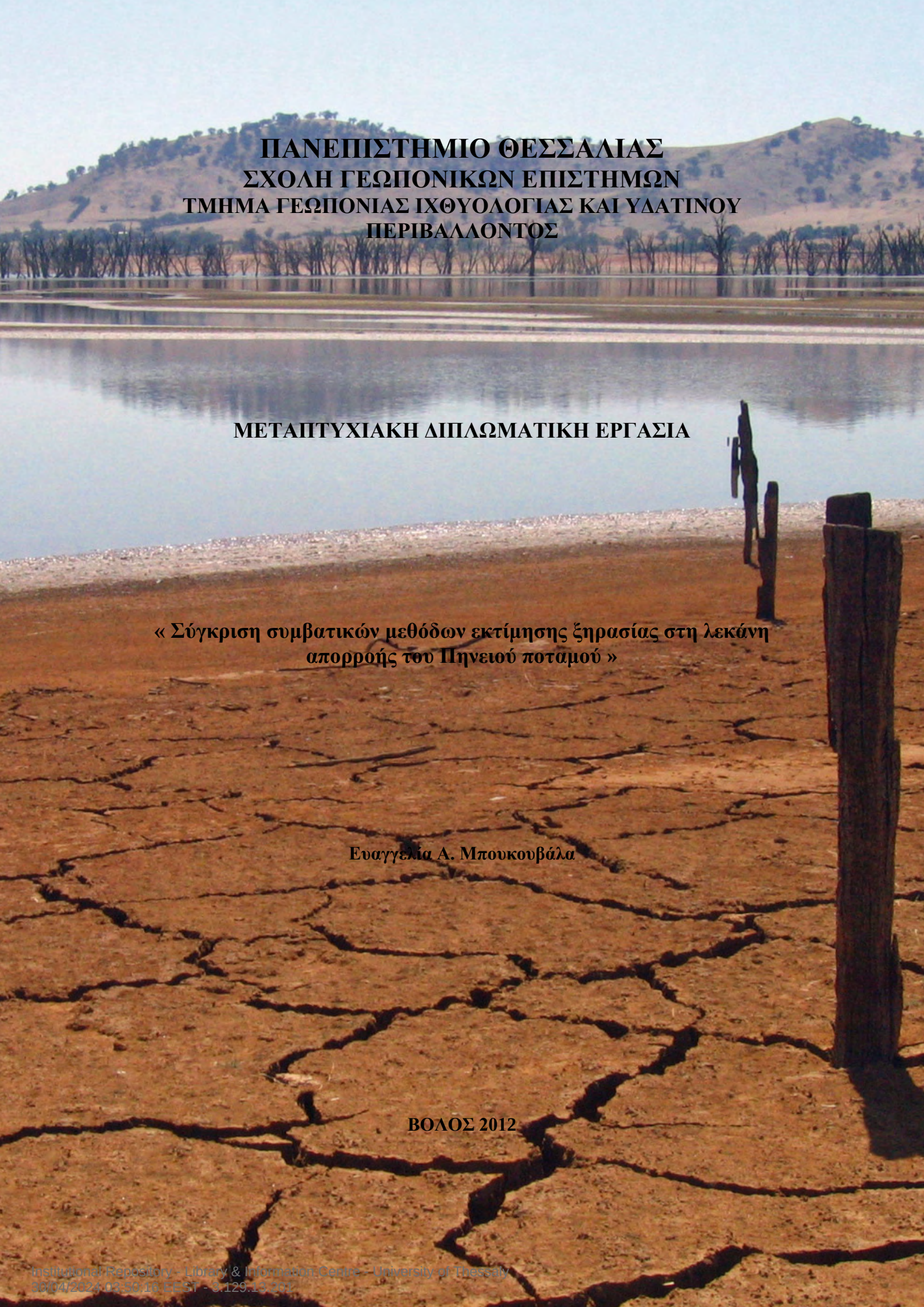


ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΙΧΘΥΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΑΤΙΝΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

« Σύγκριση συμβατικών μεθόδων εκτίμησης ξηρασίας στη λεκάνη απορροής του Πηνειού ποταμού »

Ευαγγελία Α. Μπουκουβάλα

ΒΟΛΟΣ 2012

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

« Σύγκριση συμβατικών μεθόδων εκτίμησης ξηρασίας στη λεκάνη απορροής του Πηνειού ποταμού »

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

<u>Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή</u> :

1) Νικόλαος Ρ. Δαλέζιος, Καθηγητής, Αγρομετεωρολογία – Δορυφορική Μετεωρολογία, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας***, Επιβλέπων,***

2) Άρης Ψιλοβίκος, Επίκουρος Καθηγητής, Αειφορική Διαχείριση Υδάτινων Πόρων, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, ***Μέλος,***

3) Ιφιγένεια Κάγκαλου, Επίκουρος καθηγήτρια, Υδρολογία – Λιμνολογία και Ποταμολογία, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, ***Μέλος.***

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

Στην οικογένειά μου

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα Μεταπτυχιακή Διατριβή πάνω στο θεματικό πεδίο της ξηρασίας, πραγματεύεται την εκτίμηση της ξηρασίας στη λεκάνη απορροής του Πηνειού ποταμού με χρήση συμβατικών μεθόδων.

Η έρευνα πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών της σχολής Γεωπονικών Επιστημών με τίτλο «Αειφορική Διαχείριση Υδατικού Περιβάλλοντος» του τμήματος Γεωπονίας, Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος του Πανεπιστήμιου Θεσσαλίας, και συγκεκριμένα στο Εργαστήριο Αγρομετεωρολογίας και Δορυφορικής Μετεωρολογίας, υπό την επίβλεψη του Καθηγητή Νικόλαου Ρ. Δαλέζιου.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαιτέρως τον επιβλέποντα Καθηγητή κ. Νικόλαο Ρ. Δαλέζιο για την ουσιαστική βοήθεια που μου προσέφερε με την άψογη συνεργασία, τις πολύτιμες συμβουλές και την καθοδήγησή του σε όλη την διάρκεια της εκπόνησης αυτής της διπλωματικής εργασίας, καθώς η βασική ιδέα της έρευνας του ανήκει. Ένα μεγάλο ευχαριστώ στους καθηγητές που συμπληρώνουν την τριμελή επιτροπή, κ. Ψιλοβίκο και κ. Κάγκαλου, για τις παρατηρήσεις και τις υποδείξεις τους στη βελτίωση της εργασίας. Επίσης, εκφράζονται ευχαριστίες στην Άννα Μπλάντα και τα υπόλοιπα μέλη του Εργαστηρίου Αγρομετεωρολογίας και Δορυφορικής Μετεωρολογίας για την ανεκτίμητη βοήθειά τους κάθε φορά που την χρειάστηκα.

Ευχαριστώ την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (ΕΜΥ) από την οποία προήλθαν τα συμβατικά μετεωρολογικά στοιχεία του σταθμού της Λάρισας και το Κέντρο Εκτίμησης Φυσικών Κινδύνων και Προληπτικού Σχεδιασμού της Σχολής Αγρονόμων

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

και Τοπογράφων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου για την παραχώρηση του προγράμματος «DrinC».

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω ολόθερμα τους γονείς μου (Αθανάσιο και Αικατερίνη Μπουκουβάλα) και την αδερφή μου (Βασιλική Μπουκουβάλα) για την υπομονή, την υποστήριξη, την αντοχή και την ανοχή τους κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

Κάθε καλή συνεργασία μπορεί να οδηγήσει σε καλό αποτέλεσμα, σαν επιστέγασμα μιας σειράς προσπαθειών. Το χρονικό διάστημα που αφιέρωσα στην εκπόνηση της Μεταπτυχιακής μου Εργασίας ήταν ένα από τα δημιουργικότερα και θα το θυμάμαι πάντα με όμορφες αναμνήσεις. Σας ευχαριστώ όλους και σας εύχομαι τα καλύτερα! Η συνεργασία μαζί σας ήταν πραγματικά άψογη και εποικοδομητική.

Με απεριόριστη εκτίμηση προς όλους

Ευαγγελία Α. Μπουκουβάλα

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η μελέτη των περιβαλλοντικών κινδύνων λόγω της συχνής επανεμφάνισής τους και μάλιστα στις ακραίες τους μορφές. Στους κινδύνους αυτούς συμπεριλαμβάνεται και η ξηρασία, η οποία προβληματίζει σημαντικά ένα μεγάλο ποσοστό του πλανήτη. Οι ξηρασίες κατατάσσονται, χωρίς καμία αμφιβολία, στα επικίνδυνα ακραία μετεωρολογικά - κλιματικά φαινόμενα ενός τόπου, καταλαμβάνουν το ένα άκρο της διακύμανσης της βροχής σε διάφορες χρονικές κλίμακες και μπορεί να εμφανιστούν σε ανύποπτο χρόνο, σε οποιαδήποτε περιοχή και με απροσδιόριστη διάρκεια.

Ο όρος ξηρασία χρησιμοποιείται για να περιγράψει μια μεγάλη σε διάρκεια χρονική περίοδο, όπου η παρουσία του γλυκού νερού σε μια γεωγραφική περιοχή είναι σημαντικά μικρότερη από την αναμενόμενη, όπως αυτή έχει προσδιοριστεί με βάση το κλιματικό καθεστώς αλλά και τις απαιτήσεις νερού για την κάλυψη των τοπικών αναγκών (Κουτσογιάννης & Μαμάσης 2007). Η μακροχρόνια υπερεκμετάλλευση των αγροτικών εκτάσεων, η αλόγιστη κατανάλωση των υδάτινων αποθεμάτων, η κλιματική αλλαγή (Fernando *et al.* 2011) και η εμφάνιση ακραίων καιρικών φαινομένων, είναι μερικοί από τους λόγους που οδηγούν σε εμφάνιση φαινομένων ξηρασίας. Επομένως, η ξηρασία είναι αποτέλεσμα συνδυασμού πολλών αρνητικών παραγόντων και οδηγεί σταδιακά στην υποβάθμιση του εδαφικού πλούτου.

Η παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία πραγματεύτηκε τη ξηρασία στη λεκάνη απορροής του Πηνειού ποταμού. Η Ελλάδα λόγω της γεωγραφικής της θέσης είναι επιρρεπής στην εκδήλωση συχνών ξηρασιών και η μελέτη αυτών των επεισοδίων στην περιοχή της Θεσσαλίας παίζει πολύ σημαντικό ρόλο δεδομένου ότι η εμφάνισή

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

της επηρεάζει άμεσα τη χλωρίδα, την πανίδα και την ιχθυοπανίδα της λεκάνης απορροής.

Για τον χαρακτηρισμό των επεισοδίων στη λεκάνη απορροής του Πηνειού ποταμού επιλέχτηκαν ορισμένοι ευρέως γνωστοί δείκτες ποσοτικής εκτίμησης υδρομετεωρολογικής ξηρασίας, στους οποίους εισήχθησαν μετεωρολογικά δεδομένα για τα υδρολογικά έτη 1950 - 1951 έως 2009 - 2010. Οι δείκτες αυτοί είναι: ο δείκτης δριμύτητας ξηρασίας Palmer (Palmer Drought Severity Index - PDSI), ο αναγνωριστικός δείκτης ξηρασίας (Reconnaissance Drought Index - RDI), ο τυποποιημένος δείκτης υετού (Standardized Precipitation Index - SPI) και ο δείκτης δεκατημορίων (Deciles Index - DI).

Εκτός από την εκτίμηση του φαινομένου της ξηρασίας, αντικείμενο της εργασίας αποτέλεσε και η σύγκριση των προαναφερθέντων συμβατικών δεικτών με τη χρήση στατιστικών δεικτών, στοχεύοντας στην πιστοποίηση και διερεύνηση αξιοπιστίας της μεθοδολογίας. Οι στατιστικοί αυτοί δείκτες που εφαρμόστηκαν είναι: ο δείκτης αποτελεσματικότητας (E_{ff}), το μέσο τετραγωνικό σφάλμα (RMSE), το μεροληπτικό σφάλμα (BIAS) και ο συντελεστής προσδιορισμού (r^2).

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή της μεθοδολογίας για κάθε δείκτη ξεχωριστά κρίνονται πολύ ικανοποιητικά. Μελετώντας τα 60 υδρολογικά έτη, προέκυψαν 29 επεισόδια ξηρασίας. Παρατηρείται ότι όλοι οι δείκτες παρουσιάζουν την ίδια συμπεριφορά με ταύτιση των περιόδων ξηρασίας καταλήγοντας στο συμπέρασμα ότι πρόκειται για εύχρηστους και αξιόπιστους δείκτες ποσοτικής εκτίμησης της ξηρασίας.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

Από τον υπολογισμό των στατιστικών δεικτών παρατηρείται ότι τα αποτελέσματα κυμαίνονται εντός αποδεκτού εύρους για κάθε δείκτη ξηρασίας, πλησιάζοντας μάλιστα τις βέλτιστες τιμές του κάθε δείκτη.

Συνεπώς, επιβεβαιώνεται η χρήση των δεικτών PDSI, SPI, RDI και DI για σημειακή εκτίμηση της ξηρασίας καθιστώντας τους κατάλληλους στο να περιγράψουν και να εκτιμήσουν το φαινόμενο της ξηρασίας.

Λέξεις κλειδιά: συμβατικοί δείκτες ξηρασίας, πιστοποίηση, στατιστικοί δείκτες

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ……..……1

1.1. Τύποι ξηρασίας……..……..1

1.2. Χαρακτηριστικά ξηρασίας…….……..4

1.3. Διαχείριση ξηρασίας……..…….……....4

1.4. Συμβατικές μέθοδοι εκτίμησης ξηρασίας……..…….....7

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ……...11

2.1. Περιοχή μελέτης……...……...…….....11

2.2. Βάση δεδομένων…….……..……...……..14

2.3. Μεθοδολογία……..……..……..16

2.3.1. Συγκρινόμενες μέθοδοι…….17

2.3.1.1. Δείκτης ξηρασίας Palmer……17

2.3.1.1.1. Δείκτης Δριμύτητας Ξηρασίας Palmer……..17

2.3.1.1.2. Δείκτης Υδρολογικής Ξηρασίας Palmer…….……...25

2.3.1.1.3. Δείκτης ανωμαλιών υγρασίας Palmer……25

2.3.1.2. Αναγνωριστικός δείκτης ξηρασίας (RDI)……...25

2.3.1.3. Τυποποιημένος δείκτης υετού (SPI)……27

2.3.1.4. Δείκτης δεκατημορίων (DI)……...……..……30

2.3.2. Πιστοποίηση μεθοδολογίας……..31

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ……..……33

3.1. Αποτελέσματα δεικτών ξηρασίας PDSI, SPI, RDI και DI…….33

3.2. Επεισόδια ξηρασίας…….……...…...…….39

3.3. Αποτελέσματα στατιστικών δεικτών…….……57

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ……..……58

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ……..64

5.1. Συμπεράσματα……64

5.2. Προτάσεις……...65

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ……...67

7. ABSTRACT……...72

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ……...1

Παράρτημα Α: Συμβατικές μέθοδοι εκτίμησης ξηρασίας……..2

Παράρτημα Β: Σύγκριση φυσικών καταστροφών……...27

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ξηρασία είναι σαφώς μία από τις πιο "ακριβές" φυσικές καταστροφές (Παρ. Β) και επιδρά σε ένα ευρύ πεδίο διαφορετικών τομέων, κοινωνικών ομάδων ή περιβάλλοντος και η εκδήλωσή της, εξαρτάται από την αλληλεπίδραση του φυσικού φαινομένου της βροχόπτωσης. Σημαντικά επιβαρύνονται οι σύγχρονες ανεπτυγμένες κοινωνίες, όπου ένα μεγάλο μέρος της οικονομίας βασίζεται στη γεωργία (FEMA 1995, Τσακίρης *και συν.* 2007, Ιακωβίδου 2010).

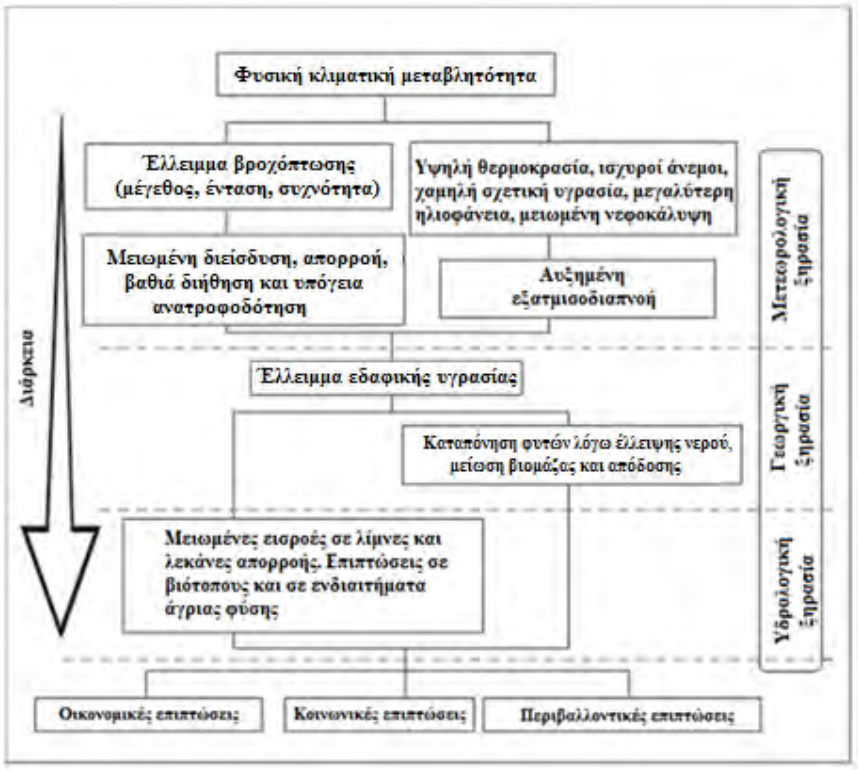
Είναι δύσκολο να οριστεί η έναρξη και η λήξη ενός επεισοδίου ξηρασίας, και αυτό γιατί παρουσιάζει χρονική υστέρηση στην εμφάνιση από τη στιγμή που παρατηρείται απουσία βροχοπτώσεων, ενώ τα καταστροφικά της αποτελέσματα συνεχίζονται και μετά την εμφάνιση κάποιων βροχοπτώσεων (Tannehill 1947). Ο ποσοτικός προσδιορισμός των ζημιών που προκαλεί η ξηρασία είναι δύσκολο να εκτιμηθεί αφού οι επιπτώσεις της είναι χωρίς ιδιαίτερη δομή και παρουσιάζονται διάσπαρτες σε μεγάλες γεωγραφικές περιοχές. Είναι απαραίτητο όμως, να υπάρχει ένα σχέδιο αντιμετώπισης της ξηρασίας, ενώ επιβάλλεται να είναι πάντα σε εξέλιξη σχέδια διαχείρισης της ξηρασίας.

1.1. Τύποι ξηρασίας

Αν η ξηρασία θεωρηθεί ως φαινόμενο, είναι ασφαλώς ατμοσφαιρικό φαινόμενο. Ωστόσο, αν η ξηρασία θεωρηθεί ως περιβαλλοντικός κίνδυνος, υπάρχει διεθνώς η τάση ταξινόμησης των τύπων ξηρασίας σε τρείς κατηγορίες, τη μετεωρολογική ή κλιματολογική, τη γεωργική ή αγρομετεωρολογική και την υδρολογική ξηρασία και να περιλαμβάνεται ως τέταρτη κατηγορία οι κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις της ξηρασίας (Keyantash & Dracup 2002, Δαλέζιος 2007, Δαλέζιος και συν. 2011).

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

Στο Σχήμα 1.1 παρατηρούνται οι διάφοροι τύποι ξηρασίας, και η δυνατότητα της μεταξύ τους σύνδεσης.



Σχήμα 1.1: Τύποι ξηρασίας και η μεταξύ τους σύνδεση (http://drought.unl.edu)

Ειδικότερα:

Η **μετεωρολογική ξηρασία (meteorological drought)**, υπολογίζεται με βάση την απόκλιση της βροχόπτωσης (συνολικό ύψος, αριθμός ημερών βροχής) από την αναμενόμενη, βασισμένη στο κλίμα της περιοχής. Με βάση τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό (World Meteorological Organization - WMO 1986), η ξηρασία καθορίζεται ως το έλλειμμα του 40% ή μεγαλύτερου ποσοστού βροχόπτωσης για περισσότερο από δύο συνεχόμενα έτη σε έκταση μεγαλύτερη του 50% της περιοχής. Εφόσον η ατμοσφαιρική κυκλοφορία η οποία επηρεάζει τη βροχόπτωση έχει χωρικό

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

χαρακτήρα, συμπερασματικά και η μετεωρολογική ξηρασία παρουσιάζει περιοχικό ή τοπικό χαρακτήρα.

Η **γεωργική ξηρασία ή αγρομετεωρολογική (agricultural drought)**, ορίζεται ως η μείωση της υγρασίας του εδάφους, σε τέτοιο βαθμό ώστε η γεωργική παραγωγή να μειώνεται σημαντικά. Η ένταση της γεωργικής ξηρασίας προσδιορίζεται από τη διαφορά μεταξύ βροχόπτωσης και δυνητικής εξατμισοδιαπνοής. Υπενθυμίζεται ότι ο όρος δυνητική εξατμισοδιαπνοή περιγράφει το σύνολο των απωλειών νερού από την εξάτμιση εδαφών και από τη διαπνοή των φυτών κάτω από συνθήκες απεριόριστης διαθεσιμότητας νερού (Κουτσογιάννης & Ξανθόπουλος 1999).

Η **υδρολογική ξηρασία (hydrological drought)**, χαρακτηρίζεται από την έλλειψη όχι μόνο ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων, αλλά επιφανειακής και υπόγειας απορροής. Η υδρολογική ξηρασία, εξαρτάται από τη μετεωρολογική ενώ η εμφάνισή της παρουσιάζει μια χρονική καθυστέρηση πράγμα που οφείλεται στο γεγονός ότι εξαρτάται και από την εδαφική υγρασία. Ένα έτος χαρακτηρίζεται ως υδρολογικά ξηρό έτος όταν η συνολική απορροή σε μια λεκάνη απορροής είναι κάτω ενός ορίου (Whipple 1996).

Οι **κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις (socioeconomic impacts)**, σχετίζονται με την αρνητική τιμή της διαφοράς κάθε μορφής προσφοράς και ζήτησης αγαθών που σχετίζονται με τη χρήση νερού, όπως το πόσιμο νερό, το πότισμα των καλλιεργειών, η παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας κα. Η ζήτηση μεταβάλλεται σημαντικά λόγω της αύξησης του πληθυσμού με την πάροδο του χρόνου. Όταν λοιπόν η ζήτηση για αυτά τα αγαθά ξεπερνά την προσφορά τότε προκύπτουν σοβαρές επιπτώσεις στην κοινωνική και οικονομική κατάσταση μιας περιοχής. Η ξηρασία προκαλεί τόσο άμεσες όσο και

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

έμμεσες επιπτώσεις στις ανθρώπινες δραστηριότητες γεγονός που επηρεάζει την παραγωγή και την ευρύτερη οικονομία.

1.2. Χαρακτηριστικά της ξηρασίας

Η αποτίμηση των χαρακτηριστικών της ξηρασίας έχει ως αντικείμενο την εκτίμηση των πιθανολογικών όρων της δριμύτητας ή έντασης και της διάρκειας των ξηρασιών που παρατηρούνται σε μια δεδομένη περιοχή (Kalamaras *et al.* 2010). Μια τέτοια αποτίμηση είναι ταυτόχρονα χρήσιμη για την ανάλυση των προηγούμενων ξηρασιών και για τον προσδιορισμό του «σχεδιασμού διαχείρισης της ξηρασίας» για μια προκαθορισμένη περίοδο επαναφοράς, ο οποίος βοηθά στην ανάλυση της επικινδυνότητας (MEDROPLAN 2007).

Κάθε επεισόδιο ξηρασίας χαρακτηρίζεται κυρίως από τη δριμύτητα ή την ένταση, τη διάρκεια, και τη χωρική του εξάπλωση. Το κάθε επεισόδιο διαφοροποιείται επίσης και με βάση την έναρξη, τη λήξη, τη συχνότητα, τη χρονική κατανομή και την ανάπτυξή του. Η δριμύτητα, η χωρική εξάπλωση και γενικότερα η κλιματική κατάσταση, εξαρτώνται από φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα στην ατμόσφαιρα όπως βροχόπτωση, εξατμισοδιαπνοή, εξάτμιση, ταχύτητα ανέμου, θερμοκρασία αλλά και από τα χαρακτηριστικά του εδάφους και της φυτοκάλυψης.

1.3. Διαχείριση της ξηρασίας

Οι δυσμενείς επιπτώσεις που οφείλονται στην ξηρασία, αντιμετωπίζονται κυρίως με μέτρα που λαμβάνονται μετά την εκδήλωση του φαινομένου. Ωστόσο, πολλά από τα μέτρα και έργα που προτείνονται από την πολιτεία κατά τη διάρκεια της ξηρασίας, εγκαταλείπονται ή δεν κατασκευάζονται καθόλου μόλις αρχίσουν οι βροχοπτώσεις.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

Αυτή η αμέλεια, έχει ως αποτέλεσμα να ξεχνιέται η οποιαδήποτε επίπτωση προκλήθηκε κατά τη διάρκεια του φαινομένου. Εν συνεχεία, επικρατεί μια περίοδος ηρεμίας και απάθειας, αγνοώντας τις περισσότερο δυσμενείς επιπτώσεις που θα επέλθουν με την επανεμφάνιση του φαινομένου (υδρο – παράλογος κύκλος) (Τσακίρης 1995).

Οι διαδοχικές ξηρασίες σε συνδυασμό με την κακή διαχείριση υποβαθμίζουν το περιβάλλον και κατά συνέπεια μειώνουν την παραγωγική ικανότητα της γης. Εξειδικευμένα άτομα αναλαμβάνουν τη διαχείριση της ξηρασίας, προκειμένου να αντιμετωπίσουν τις καταστροφικές συνέπειες του φαινομένου. Η διαχείριση της ξηρασίας σε μια ορισμένη περιοχή απαιτεί ολοκληρωμένες προσεγγίσεις και ολοκληρωμένη διαχείριση, με βάση όχι μόνο τις φυσικές διεργασίες, αλλά και τις κοινωνικοοικονομικές συνθήκες της περιοχής.

Μια προληπτική προσέγγιση περιλαμβάνει τον έγκαιρο σχεδιασμό των μέτρων, με τα κατάλληλα εργαλεία σχεδιασμού και τη συμμετοχή των άμεσα ενδιαφερόμενων. Η προληπτική προσέγγιση 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. Μπορεί να θεωρηθεί ως μια προσέγγιση για «τη διαχείριση της επικινδυνότητας».

Μια διορθωτική προσέγγιση βασίζεται στην εφαρμογή μέτρων και δράσεων μετά την εκκίνηση και την αντίληψη του φαινομένου ξηρασίας. Η προσέγγιση αυτή λαμβάνεται σε καταστάσεις εκτάκτου ανάγκης. Συχνά έχει ως αποτέλεσμα αναποτελεσματικές τεχνικές και οικονομικές λύσεις, καθώς οι δράσεις λαμβάνονται μέσα σε λίγο χρόνο για την εκτίμηση των βέλτιστων δράσεων και η συμμετοχή των άμεσα ενδιαφερόμενων είναι πολύ περιορισμένη (MEDROPLAN 2007).

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

Βασιζόμενοι επομένως στον τρόπο προσέγγισης του φαινομένου, η διαχείριση κατηγοριοποιείται σε προληπτική διαχείριση και σε διαχείριση κρίσης. Στο Σχήμα 1.2. απεικονίζονται οι δραστηριότητες που συνδέονται με τη διαχείριση της ξηρασίας.

Προληπτική διαχείριση (Risk management),είναι τα στρατηγικά μέτρα και οι δράσεις που προγραμματίζονται εκ των προτέρων, που περιλαμβάνουν την τροποποίηση των υποδομών ή/και των υπαρχόντων νόμων και των θεσμικών συμφωνιών.

Διαχείριση κρίσης (Crisis management), είναι η μη προγραμματισμένη διορθωτική προσέγγιση που προϋποθέτει την εφαρμογή τακτικών μέτρων, ώστε να αντιμετωπιστούν τα προβλήματα μετά την έναρξη της καταστροφής.

Σχήμα 1.2: Διαχείριση ξηρασίας (Wilhite 1999)

Πολλά έθνη σε συνεργασία με τους αρμόδιους φορείς, παρατήρησαν μετά από την εφαρμογή των μεθόδων διαχείρισης κρίσης της ξηρασίας, πως τα αποτελέσματα δεν

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

είναι κατά κανόνα ικανοποιητικά. Η αναποτελεσματικότητα της παραδοσιακής αυτής προσέγγισης, έχει οδηγήσει σταδιακά σε μια προσπάθεια αντικατάστασής της στοχεύοντας σε μια πιο αποτελεσματική προσέγγιση, αυτή της προληπτικής διαχείρισης.

Συνεπώς, μέσω του προσδιορισμού (identification) και της εκτίμησης (estimation) του φαινομένου, της αξιολόγησης (evaluation) αλλά και του οικονομικού προϋπολογισμού έπειτα από μια ανάλυση κόστους – οφέλους (cost – benefit analysis), είναι εφικτό να επιτευχθεί η αντιμετώπιση του φαινομένου της ξηρασίας και κατά συνέπεια η μείωση των επιπτώσεων που σχετίζονται με μελλοντικά επεισόδια ξηρασίας. Κατανοητή είναι επομένως η αναγκαιότητα λήψης απαραίτητων μέτρων για τη διαχείριση του κινδύνου εμφάνισης ξηρασίας και όχι για τη διαχείριση της ξηρασίας μετά την εκδήλωση και την επικράτηση των δυσμενών της επιπτώσεων.

1.4. Συμβατικές μέθοδοι εκτίμησης ξηρασίας

Υπάρχουν ενδείξεις ξηρασίας, που στην ουσία μεταβάλλονται ενώ περιγράφουν χαρακτηριστικά της ξηρασίας. Σύνθεση διαφόρων ενδείξεων οδηγεί σε μια μεμονωμένη ένδειξη σε ποσοτική κλίμακα, που ονομάζεται δείκτης ξηρασίας. Για τον προσδιορισμό, παρακολούθηση και ποσοτική εκτίμηση της ξηρασίας σε μια περιοχή χρησιμοποιούνται συνήθως δείκτες ξηρασίας. Υπάρχει μεγάλος αριθμός δεικτών που έχουν αναπτυχθεί σε παγκόσμιο επίπεδο και εφαρμόζονται βασιζόμενοι σε διάφορες μεταβλητές χρησιμοποιώντας είτε συμβατικά είτε τηλεπισκοπικά δεδομένα (Τσακίρης 1995, Δαλέζιος 1999, Heim 2002, Keyantash & Dracup 2002, Κανέλλου 2010).

Οι δείκτες ξηρασίας που χρησιμοποιούν συμβατικά δεδομένα (Πιν. 1.1) έχουν τη δυνατότητα να περιγράψουν όλους τους τύπους ξηρασίας. Πριν από το δείκτη Palmer, ο

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

οποίος θεωρείται «δείκτης σταθμός» για την εκτίμηση της ξηρασίας, είχαν χρησιμοποιηθεί ορισμένες μέθοδοι οι οποίες στηριζόταν σε μια ή δύο μετεωρολογικές μεταβλητές και επομένως είναι εύκολα κατανοητό ότι δεν μπορούσαν να χαρακτηρίσουν αξιόπιστα ένα τόσο σύνθετο φαινόμενο όπως η ξηρασία. Μετά τον Palmer έκαναν την εμφάνισή τους διάφοροι άλλοι δείκτες.

Πίνακας 1.1: Δείκτες ξηρασίας με χρήση επίγειων δεδομένων

ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΕΠΙΓΕΙΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ
1. Μέθοδος Thornthwaite
2. Μέθοδος Fitzpatrick
3. Μέθοδος Baier – Robertson
4. Ρωσική Μέθοδος
5. Δείκτης δριμύτητας ξηρασίας Palmer, Palmer Drought Severity Index (PDSI)
6. Αναγνωριστικός δείκτης ξηρασίας, Reconnaissance Drought Index (RDI)
7. Τυποποιημένος δείκτης υετού, Standardized Precipitation Index (SPI)
8. Δείκτης Δεκατημορίων, Deciles Index (DI)
9. Δείκτης ανωμαλιών βροχόπτωσης, Rainfall Anomaly Index (RAI)
10. Δείκτης περιοχής ξηρασίας, Drought Area Index (DAI)
11. Ποσοστό της κανονικής βροχόπτωσης, Percent of normal
12. Διακριτές και αθροιστικές ανωμαλίες βροχόπτωσης, Discrete and cumulative precipitation anomalies
13. Δείκτης ξηρασίας Bhalme – Mooley, Bhalme - Mooley Drought Index (BMDI)
14. Δείκτης υγρασίας καλλιεργειών, Crop Moisture Index (CMI)

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

15. Υπολογισμένη εδαφική υγρασία, Computed soil moisture
16. Δείκτης ανωμαλίας εδαφικής υγρασίας, Soil Moisture Anomaly Index
17. Δείκτης αγρο - υδρολογικού δυναμικού, Agro-Hydro Potential (AHP)
18. Δείκτης ξηρασίας ρευματοροής, Streamflow Drought Index (SDI)
19. Δείκτης αποτελεσματικής ξηρασίας, Effective Drought Index (EDI)
20. Δείκτες ξηρασίας δεδομένων ροής, Drought Indices derived from flow data
21. Δείκτης κανονικοποιημένης στάθμης νερού, Standardised Water-Level Index (SWI)
22. Δείκτης παροχής επιφανειακού νερού, Surface Water Supply Index (SWSI)
23. Δείκτης ανάκτησης ξηρασίας, Reclamation Drought Index (RDI)
24. Συνολικό υδατικό έλλειμμα, Total water deficit
25. Αθροιστική ανωμαλία υδατοροής, Cumulative streamflow anomaly
26. Τυποποιημένος δείκτης ανωμαλιών, Standardized Anomaly Index (SAI)
27. Δείκτης ξηρασίας Keetch-Byram, Keetch-Byram Drought Index (KBDI)
28. Δείκτης ανωμαλιών Fooley, Fooley Anomaly Index, (FAI)
29. Δείκτης ξηρότητας, Aridity index

Ο χαρακτηρισμός της ξηρασίας είναι περίπλοκος και υπάρχει ένα μεγάλο φάσμα μετεωρολογικών ή υδρολογικών δεικτών που μπορεί να χρησιμοποιηθεί (Παρ. Α). Απαιτείται μια ακριβής επιλογή μεθόδων προσδιορισμού της ξηρασίας ή/και δεικτών ξηρασίας, ικανών να περιγράψουν με ένα συνθετικό και σαφή τρόπο την εξέλιξη των συνθηκών ξηρασίας στο χώρο και το χρόνο.

Η εκτίμηση του φαινομένου της ξηρασίας χρησιμοποιώντας μια εκτεταμένη σειρά επίγειων δεδομένων στη λεκάνη απορροής του Πηνειού ποταμού καθώς επίσης και η σύγκριση των συμβατικών δεικτών αποτέλεσαν το αντικείμενο της εργασίας αυτής.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

Σκοπός της παρούσας μεταπτυχιακής διπλωματικής διατριβής είναι η προσπάθεια συμβολής στην ορθολογική διαχείριση των ελλειμματικών υδατικών πόρων της λεκάνης απορροής του Πηνειού ποταμού παρακολουθώντας την εκτίμηση της ξηρασίας.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Περιοχή μελέτης

Η περιοχή μελέτης στην παρούσα εφαρμογή είναι η λεκάνη απορροής του Πηνειού ποταμού στην περιοχή της Θεσσαλίας.

Η Περιφέρεια Θεσσαλίας, η συνολική έκταση της οποίας είναι 14.036 km^2, καταλαμβάνει το κεντρικό – ανατολικό τμήμα του ηπειρωτικού κορμού της Ελλάδος και αποτελείται από τους Νομούς Καρδίτσας, Λαρίσης, Μαγνησίας και Τρικάλων. Συνορεύει προς Βορρά με τις Περιφέρειες Δυτικής και Κεντρικής Μακεδονίας, προς Νότο με την Περιφέρεια Στερεάς Ελλάδος, Δυτικά με την Περιφέρεια Ηπείρου, ενώ Ανατολικά βρέχεται από το Αιγαίο Πέλαγος (Εικ. 2.1).

Εικόνα 2.1: Γεωγραφικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας (http://geografikadiamerismataelladas.blogspot.com)

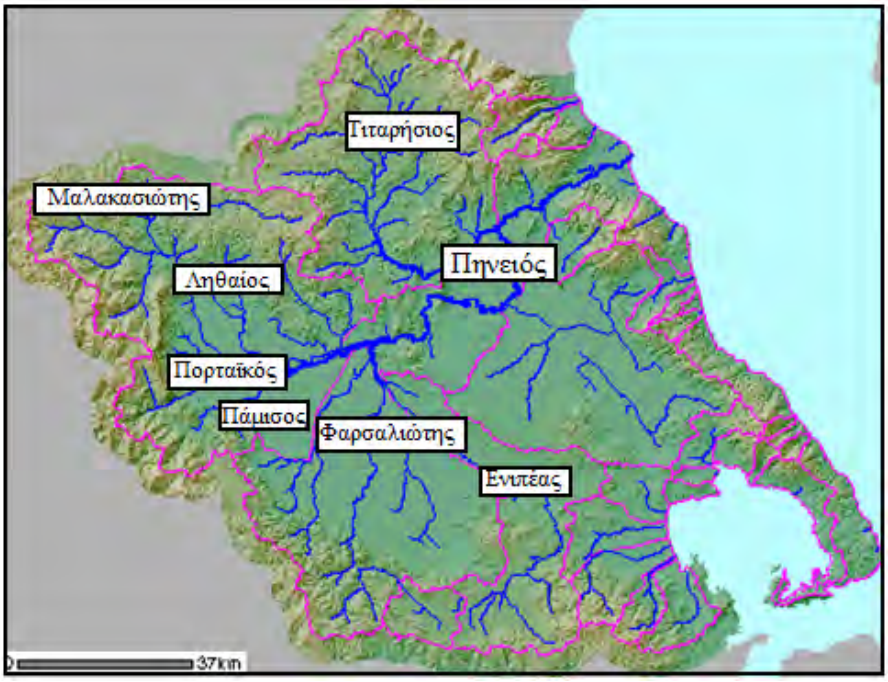
Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

Τα ψηλά βουνά που περιβάλλουν το Θεσσαλικό κάμπο, όπως ο Όλυμπος, το νότιο τμήμα της οροσειράς της Πίνδου, ο Ιταμός, το Πήλιο και η Όθρυς δημιουργούν τις λεκάνες απορροής του Πηνειού ποταμού και της λίμνης Κάρλα. Ο Πηνειός πόταμος κατέχει την 3^{η} θέση ανάμεσα στους ποταμούς της Ελλάδας με μήκος 205 km, πηγάζει από τις δυτικές πλαγιές της νότιας Πίνδου στα όρια των νομών Ιωαννίνων και Τρικάλων, διαρρέει σχεδόν το σύνολο της Περιφέρειας αυτής με διεύθυνση από δυτικά προς τα ανατολικά και εκρέει στο Αιγαίο πέλαγος. Είναι ένα από τα μεγαλύτερα ελληνικά ποτάμια, με τη λεκάνη απορροής του να έχει συνολική έκταση 9.500 km^2. Η Λίμνη Κάρλα που αποτελεί αναπόσπαστο τμήμα της λεκάνης απορροής του Πηνειού, έχει έκταση 1.050 km^2.

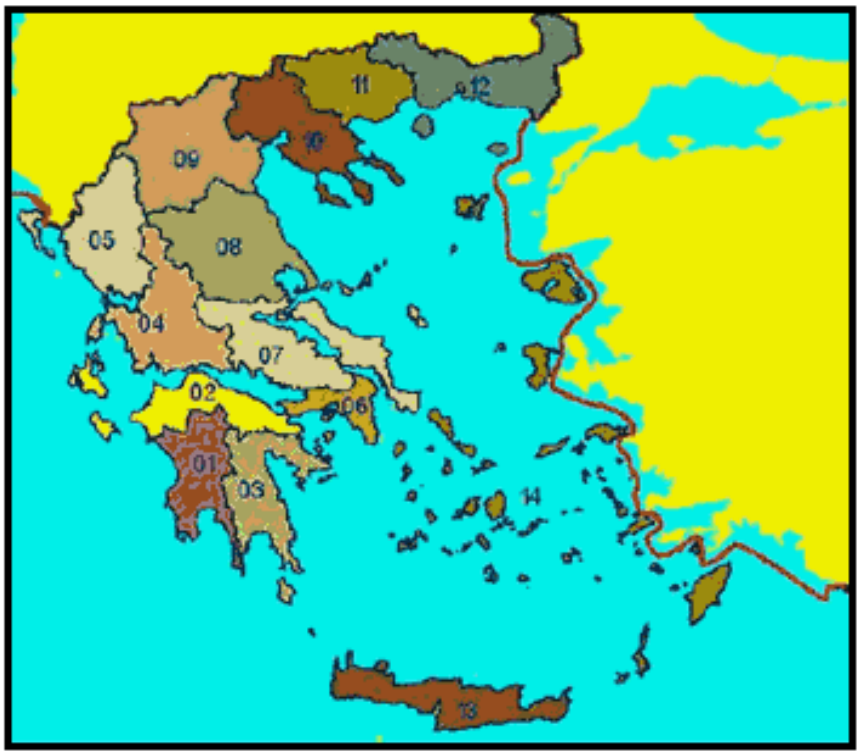
Οι παραπόταμοι του Πηνειού που βρίσκονται στη βόρεια πλευρά της λεκάνης είναι ο Τιταρήσιος, ο Νεοχωρίτης, ο Ληθαίος και ο παραπόταμος Μουργκάνι. Στην Δυτική – Βορειοδυτική πλευρά της Θεσσαλίας βρίσκονται οι ποταμοί Μαλακασιώτης, Κλεινοβίτκος, Πορταϊκός, Πάμισος και για ένα διάστημα η δυτική ορεινή Θεσσαλία διασχίζεται από τον Αχελώο, ο οποίος όμως δε συμβάλλει στη λεκάνη απορροής του Πηνειού. Επιπρόσθετα ο Πηνειός δέχεται τα νερά των παραποτάμων Φαρσαλιώτη, Σοφαδίτη, Ενιπέα, Καλέτζη και Καράμπαλη που διασχίζουν τη νότια πλευρά του γεωγραφικού διαμερίσματος (Εικ. 2.2).

Η λεκάνη απορροής του Πηνειού ποταμού, σύμφωνα με το Νόμο 1739/87, ανήκει στο 8^{ο} Υδατικό Διαμέρισμα της Ελλάδας (Εικ. 2.3). Το συνολικό υδατικό δυναμικό της Λεκάνης Πηνειού είναι περίπου 3.140 x 10^6 m^3 ανά έτος και αποτελείται από 2.558 x 10^6 m^3 επιφανειακών νερών και 590 x 10^6 m^3 υπόγειων. Το υπόγειο νερό βρίσκεται στους καρστικούς και προσχωματικούς υδροφορείς της περιοχής.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201



Εικόνα 2.2: Υδρολογικός χάρτης Θεσσαλίας (Tsakiris 2008)



Εικόνα 2.3: Υδατικά διαμερίσματα της Ελλάδας (www.ypan.gr)

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

Σχετικά με τις κλιματικές συνθήκες, τα καλοκαίρια στα πεδινά είναι συνήθως πολύ ζεστά και ξηρά, όπου τον Ιούλιο και τον Αύγουστο οι θερμοκρασίες φθάνουν τους 40°C. Η μέση ετήσια βροχόπτωση σε όλη την περιοχή της Θεσσαλίας είναι περίπου 700 mm και είναι άνισα κατανεμημένη στο χώρο και το χρόνο. Συγκεκριμένα, κυμαίνεται από περίπου 400 mm στην περιοχή της κεντρικής πεδιάδας έως και πάνω από 1.850 mm στις δυτικές βουνοκορφές της Πίνδου (Dalezios *et al.* 2011, Vasiliades *et al.* 2011).

2.2. Βάση δεδομένων

Οι συμβατικές μέθοδοι εκτίμησης της ξηρασίας χρησιμοποιούν δεδομένα από διάφορους μετεωρολογικούς σταθμούς. Τα μετεωρολογικά δεδομένα περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης, θερμοκρασίας αέρα, ταχύτητας και διεύθυνσης ανέμου. Η καταγραφή γίνεται συνήθως με εξειδικευμένα όργανα, ωστόσο υπάρχει ο κίνδυνος εμφάνισης σφάλματος που μπορεί να προκύψει είτε από την κακή λειτουργία του οργάνου, είτε από την απειρία ή την αδιαφορία των υπευθύνων.

Στην παρούσα εφαρμογή χρησιμοποιήθηκαν επίγειες παρατηρήσεις από το μετεωρολογικό σταθμό της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (ΕΜΥ) στη Λάρισα και το σταθμό του Πλατύκαμπου του Εργαστηρίου Αγρομετεωρολογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Η θέση καθώς επίσης και τα χαρακτηριστικά των μετεωρολογικών σταθμών διακρίνονται στην Εικόνα 2.4 και στον Πίνακα 2.1 αντίστοιχα. Από τους μετεωρολογικούς σταθμούς που προαναφέρθηκαν, προέρχονται δεδομένα μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας αέρα και μηνιαίας αθροιστικής βροχόπτωσης.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

Εικόνα 2.4.: Μετεωρολογικοί σταθμοί των δεδομένων συμβατικών δεικτών ξηρασίας

Πίνακας 2.1: Χαρακτηριστικά μετεωρολογικών σταθμών

ΣΤΑΘΜΟΣ / ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	ΛΑΡΙΣΑ	ΠΛΑΤΥΚΑΜΠΟΣ
Γεωγραφικό μήκος	22° 25΄	22° 18΄
Γεωγραφικό πλάτος	39° 37΄	39° 22΄
Υψόμετρο	81 m	68 m
Όργανα μέτρησης	θερμόμετρο, βροχόμετρο, ανεμόμετρο	θερμόμετρο, βροχόμετρο
Φορέας	Ε.Μ.Υ.	Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Εργαστήριο Αγρομετεωρολογίας

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

2.3. Μεθοδολογία

Στην παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε εκτίμηση της ξηρασίας στη λεκάνη απορροής του Πηνειού ποταμού, χρησιμοποιώντας τους πιο διαδεδομένους συμβατικούς δείκτες εκτίμησης του φαινομένου: PDSI, RDI, SPI και DI. Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε διακρίνεται σε τρία βασικά στάδια.

Το πρώτο στάδιο της μεθοδολογίας αποτελείτε από τη συλλογή και επεξεργασία των μηνιαίων δεδομένων υετού και της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας αέρα τα οποία προήλθαν από δυο μετεωρολογικούς σταθμούς για τα υδρολογικά έτη 1950 - 1951 έως και 2009 – 2010.

Στη συνέχεια, στο δεύτερο στάδιο οι τιμές της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας αέρα, χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής, τα αποτελέσματα της οποίας σε συνδυασμό με τις τιμές της μηνιαίας αθροιστικής βροχόπτωσης οδήγησαν στην εκτίμηση των επιλεγμένων δεικτών ξηρασίας για τα 60 χρόνια. Η εκτίμηση των δεικτών ξηρασίας πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια ενός υπολογιστικού προγράμματος Drought Indices Calculator (DrinC).

Τέλος, ακολούθησε η αξιολόγηση των τιμών που προκύπτουν από την κάθε μέθοδο και η πιστοποίηση της μεθοδολογίας, με τη χρήση στατιστικών δεικτών. Σε αυτό το τρίτο και τελευταίο στάδιο της μεθοδολογίας, η σύγκριση των μεθόδων πραγματοποιήθηκε σε σύγκριση με τον θεωρούμενο πιο αξιόπιστο και ευρείας χρήσης δείκτη ξηρασίας Palmer.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

2.3.1. Συγκρινόμενες μέθοδοι

2.3.1.1. Δείκτης ξηρασίας Palmer

Ο W. Palmer το 1965 δημιούργησε ένα μοντέλο ξηρασίας, το οποίο παρουσιάζει ευρεία χρήση (Mavromatis 2010, Bacanli *et al.* 2011, Boucher *et al.* 2011, Mishra & Singh 2011) αφού εύκολα μπορεί να δώσει μια γενική εικόνα της ξηρασίας. Θεωρητικά πρόκειται για ένα μετεωρολογικό δείκτη ξηρασίας που εκφράζει τη διάρκεια ενός ξηρού ή υγρού επεισοδίου και καθορίζει την αρχή και το τέλος κάθε επεισοδίου ξηρασίας ή κάθε υγρής περιόδου. Στη πραγματικότητα όμως, δεν είναι μόνο ένας μετεωρολογικός δείκτης, αλλά επειδή βασίζεται σ' ένα κλιματικό υδατικό ισοζύγιο μπορεί να μετατραπεί σε υδρολογικό δείκτη.

Ο όρος «Δείκτης ξηρασίας Palmer» ουσιαστικά αναφέρεται σε τρεις δείκτες: στο δείκτη Δριμύτητας Ξηρασίας Palmer (Palmer Drought Severity Index- PDSI), στο δείκτη Δριμύτητας Υδρολογικής Ξηρασίας Palmer (Palmer Hydrological Drought Severity Index - PHDI), και στο δείκτη ανωμαλιών υγρασίας Palmer γνωστός και ως Z-index (Dalezios *et al*. 1991, Heim 2002).

2.3.1.1.1. Δείκτης Δριμύτητας Ξηρασίας Palmer

Ο δείκτης δριμύτητας ξηρασίας Palmer **(Palmer Drought Severity Index - PDSI)**, είναι γνωστός ως μετεωρολογικός δείκτης ξηρασίας, παρόλο που για τον υπολογισμό του χρησιμοποιεί τιμές βροχόπτωσης, υγρασίας και απορροής˙ παραμέτρους δηλαδή του υδρολογικού κύκλου από τις οποίες χαρακτηρίζεται η υδρολογική ξηρασία. Ο δείκτης αυτός βασίζεται στη θεώρηση του υδατικού ισοζυγίου και λαμβάνει υπόψη τις

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

παρούσες καιρικές συνθήκες, τις συνθήκες υγρασίας του εδάφους καθώς και τις κανονικές κλιματικές συνθήκες της περιοχής (Dalezios *et al*. 2000, Ζαραγκότας 2005).

Ο δείκτης Palmer καθορίζει έντεκα στάδια εξέλιξης της ξηρασίας, τα οποία κυμαίνονται από το -4 (ακραία ξηρές) έως το 4 (ακραία υγρές) και προσδιορίζονται από την κλίμακα των τιμών του δείκτη (Πιν. 2.2).

Πίνακας 2.2: Κατηγοριοποίηση της ξηρασίας σύμφωνα με το δείκτη PDSI (Palmer 1965)

Τιμές δείκτη PDSI	**Κλιματικές συνθήκες**
≥ 4.0	Ακραία υγρές
3.0 έως 3.99	Πολύ υγρές
2.0 έως 2.99	Μέτρια υγρές
1.0 έως 1.99	Ελαφρώς υγρές
0.5 έως 0.99	Ίχνη υγρασίας
0.49 έως -0.49	Κανονικές συνθήκες
-0.5 έως -0.99	Ίχνη ξηρασίας
-1.0 έως -1.99	Ασθενώς ξηρές
-2.0 έως -2.99	Μέτρια ξηρές
-3.0 έως -3.99	Ισχυρά ξηρές
≤ -4.0	Ακραία ξηρές

Τα βασικά βήματα τα οποία είναι απαραίτητα για τον υπολογισμό του δείκτη PDSI παρουσιάζονται αναλυτικά ως εξής (Κανέλλου 2010):

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

1^{ο} Βήμα: Υπολογισμός κλιματικού υδατικού ισοζυγίου

Όλοι οι βασικοί όροι της εξίσωσης υδατικού ισοζυγίου, συμπεριλαμβανομένης της εξατμισοδιαπνοής της εδαφικής παρακράτησης, της απορροής και των απωλειών στο επιφανειακό στρώμα του εδάφους, καθορίζονται από τα αρχικά δεδομένα (βροχόπτωση, θερμοκρασία). Στον υπολογισμό του ισοζυγίου υγρασίας, θεωρείται ότι η εξατμισοδιαπνοή γίνεται κατά δυναμικό τρόπο από το επιφανειακό στρώμα μέχρις ότου χαθεί όλη η διαθέσιμη υγρασία και τότε μόνο συμμετέχει και η υγρασία του κατώτερου στρώματος. Οι απώλειες από τα βαθύτερα στρώματα (L_U), εξαρτώνται από την περιεχόμενη υγρασία, τη δυνητική εξατμισοδιαπνοή και τη διαθέσιμη υδατοϊκανότητα του εδαφικού συστήματος.

Οι απώλειες λόγω εξάτμισης από το επιφανειακό στρώμα (L_S) εκτιμούνται με τη μέθοδο του Thornthwaite (Gutzler *et al.* 2011), η οποία υπολογίζει τη δυνητική εξατμισοδιαπνοή (PE). Είναι όμως δυνατή η χρήση και άλλων μεθόδων εκτίμησης δυνητικής εξατμισοδιαπνοής (π.χ. Blaney- Criddle). Για τα εφαρμόσιμα αποτελέσματα εισάγεται στους υπολογισμούς η πραγματική εξατμισοδιαπνοή (ET) που θεωρείται συνάρτηση της PE και της υγρασιακής κατάστασης του εδάφους. Από την ανάλυση των παραμέτρων, όπως αναφέρθηκαν παραπάνω, προκύπτουν δύο εξισώσεις:

Αν PE > P, τότε

$L_S = \min [S_S (PE - P)]$ (2.1)

$L_U = [(PE - P) - L_S] S_U / AWC, L_U < S_U$ (2.2)

όπου L_S είναι η απώλεια υγρασίας του επιφανειακού στρώματος, L_U η απώλεια υγρασίας του κατώτερου στρώματος, S_S και S_U οι ποσότητες της διαθέσιμης

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

αποθηκευμένης υγρασίας στην αρχή κάθε μήνα για το επιφανειακό και το κατώτερο στρώμα αντίστοιχα, PE η δυνητική εξατμισοδιαπνοή του μήνα, P η μηνιαία βροχόπτωση και AWC η διαθέσιμη υδατοχωρητικότητα ή υδατοϊκανότητα και των δύο στρώσεων.

Συμπληρωματικά στον μηνιαίο υπολογισμό του υδατικού ισοζυγίου χρησιμοποιούνται τρεις επιπλέον μεταβλητές, οι οποίες καθορίζονται ως εξής:

- Δυναμικός ανεφοδιασμός ή δυνητική επαναφόρτιση (Potential Recharge, PR) Είναι η ποσότητα της υγρασίας που απαιτείται για να φθάσει η υγρασία του εδάφους στην υδατοϊκανότητα και δίνεται από τη σχέση:

  $$PR = AWC - (S_S + S_U) \quad (2.3)$$

- Δυνητική απώλεια (Potential Loss, PL)

  Είναι η ποσότητα της υγρασίας η οποία θα μπορούσε να χαθεί από το έδαφος λόγω εξατμισοδιαπνοής, εφόσον η μηνιαία βροχόπτωση είναι μηδέν. Η δυνητική απώλεια υπολογίζεται από τη σχέση:

  $$PL = PL_S + PL_U \quad (2.4)$$

  όπου PL_S, PL_U είναι η δυνητική απώλεια υγρασίας του επιφανειακού και του κατώτερου στρώματος, αντίστοιχα, και καθορίζονται από τις σχέσεις:

  $$PL_S = \min [PE, S_S] \quad (2.5)$$

  $$PL_U = [PE - PL_S] S_U / AWC, \quad PL_U < S_U \quad (2.6)$$

- Δυνητική επιφανειακή απορροή (Potential Runoff, PRO)

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

Καθορίζεται από τη διαφορά μεταξύ της δυνητικής βροχόπτωσης και της δυνητικής επαναφόρτισης. Η δυνητική βροχόπτωση ισούται με την AWC, άρα η σχέση που διέπει την PRO είναι η εξής:

$$PRO = AWC - PR = S' \quad (2.7)$$

όπου S' είναι η διαθέσιμη υγρασία και των δύο στρωμάτων στην αρχή του μήνα.

Για τον αναλυτικό μηνιαίο υπολογισμό του υδατικού ισοζυγίου, χρησιμοποιούνται επιπλέον και οι ακόλουθες σχέσεις:

$$S = S_S + S_U \quad (2.8)$$

$$L = L_S + L_U \quad (2.9)$$

$$ET = P + L \quad (2.10)$$

όπου S είναι η διαθέσιμη υγρασία και των δύο στρωμάτων στο τέλος του μήνα, L η απώλεια υγρασίας και για τα δύο εδαφικά στρώματα και ET η πραγματική εξατμισοδιαπνοή του μήνα.

2° Βήμα: Υπολογισμός κλιματικών συντελεστών

Είναι απαραίτητη η προσομοίωση του μοντέλου σε περίοδο με διαθέσιμα ιστορικά δεδομένα θερμοκρασίας και βροχόπτωσης, ώστε να υπολογιστεί η υδατοχωρητικότητα των κατώτερων εδαφικών στρωμάτων, καθώς και τέσσερις συντελεστές που αφορούν στην περιοχή μελέτης. Οι ακόλουθοι τέσσερις μηνιαίοι συντελεστές (α_j, b_j, c_j, d_j) υπολογίζονται χρησιμοποιώντας τους τέσσερις δυνητικούς όρους PE, PR, PRO και PL, και δίνονται από τις παρακάτω σχέσεις:

$$a_j = \frac{\overline{ET_j}}{\overline{PE_j}} \quad (2.11)$$

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

$$b_j = \frac{\overline{R_j}}{\overline{PR_j}} \tag{2.12}$$

$$c_j = \frac{\overline{RO_j}}{\overline{PRO_j}} \tag{2.13}$$

$$d_j = \frac{\overline{L_j}}{\overline{PL_j}} \tag{2.14}$$

όπου ET είναι η εξατμισοδιαπνοή, R η επαναφόρτιση του εδαφικού νερού, RO η απορροή και L η συνολική απώλεια νερού από το έδαφος. Η υπεργράμμιση στους όρους των εξισώσεων υποδηλώνει τις μέσες τιμές αυτών για κάθε μήνα j.

3^{ο} Βήμα: Κλιματικά Κατάλληλες για τις Υπάρχουσες Συνθήκες τιμές

Υπολογίζονται οι Κλιματικά Κατάλληλες για τις Υπάρχουσες Συνθήκες τιμές των παραμέτρων (Climatically Appropriate For Existing Conditions - CAFEC) και συμβολίζονται με (^). Ως παράδειγμα αναφέρεται η τιμή CAFEC για την εξατμισοδιαπνοή ET του μήνα j, η οποία δίνεται από τη σχέση:

$$\hat{ET}_j = \alpha_j \cdot PE_j \tag{2.15}$$

όπου PE_j είναι η δυνητική εξατμισοδιαπνοή του τρέχοντος μήνα j. Ως εκ τούτου η τιμή CAFEC της βροχόπτωσης P μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση:

$$\hat{P} = \alpha_J \cdot PE + b_j \cdot PR + c_j\ PRO - d_j \cdot\ PL \tag{2.16}$$

4^{ο} Βήμα: Δείκτης ανωμαλιών υγρασίας

Υπολογίζεται η διαφορά μεταξύ της πραγματικής βροχόπτωσης και της τιμής CAFEC για τη βροχόπτωση,. Η διαφορά αυτή, η οποία συμβολίζεται με D, εκφράζεται από τη σχέση D = P – $\hat{P}$ (Dalezios *et al*. 2000). Οι διαφορές D μετατρέπονται σε δείκτη

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

ανωμαλίας υγρασίας (Z), γνωστός ως δείκτης Palmer Z ή Z-index, σύμφωνα με τη σχέση:

$$Z = K_j \cdot D \tag{2.17}$$

όπου K_j είναι ο συντελεστής βαρύτητας για το μήνα j, ο οποίος λαμβάνει υπόψη τη χωρική μεταβλητότητα των διαφορών D, έτσι ώστε ο δείκτης να είναι χρονικά και χωρικά ανεξάρτητος.

5^{ο} Βήμα: Δριμύτητα ξηρασίας

Τελικά, οι χρονοσειρές που προκύπτουν από το δείκτη Z, αναλύονται με σκοπό την ανάπτυξη κριτηρίων, τα οποία καθορίζουν την έναρξη και τη λήξη της περιόδου ξηρασίας, καθώς και ενός τύπου προσδιορισμού της δριμύτητας του φαινομένου (Ζαραγκότας 2005). Σύμφωνα με τη μεθοδολογία του Palmer, υπολογίζονται τρεις ενδιάμεσοι δείκτες X_1, X_2, X_3, για κάθε μήνα και ένας παράγοντας πιθανότητας. Η έναρξη και η λήξη της ξηρασίας εκφράζονται με ποσοστά πιθανότητας. Οι τρεις ενδιάμεσοι δείκτες υπολογίζονται από την εμπειρική σχέση:

$$X_j = 0.897 \cdot X_{j-1} + \frac{Z_j}{3} \tag{2.18}$$

όπου το Z_j αντιπροσωπεύει τις συσσωρευμένες τιμές του δείκτη ανωμαλίας υγρασίας Z για τα διαστήματα με έντονη ξηρασία, και X_j είναι η τιμή του PDSI για το μήνα j. Το μοντέλο του Palmer επιλέγει την τιμή για καθένα από τους ενδιάμεσους δείκτες και τη χρησιμοποιεί στον υπολογισμό του PDSI ανάλογα με την τιμή του παράγοντα πιθανότητας.

Ένα μεγάλο πλεονέκτημα του δείκτη PDSI είναι η τυποποιημένη του μορφή η οποία διευκολύνει τις άμεσες συγκρίσεις του δείκτη μεταξύ διαφορετικών περιοχών και χρονικών περιόδων (Guttman *et al*. 1992). Ο δείκτης όμως παρουσιάζει και

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

σημαντικούς περιορισμούς στη χρήση του. Παρ' όλα αυτά σε περίπτωση που ο δείκτης χρησιμοποιηθεί σωστά, με επίγνωση των περιορισμών αυτών, τότε μπορεί να αποτελέσει ένα χρήσιμο εργαλείο δεδομένου ότι έχει χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν με επιτυχία, κυρίως στην Αμερική, σε πολλές ερευνητικές εφαρμογές (π.χ. World Meteorological Organization 1975, Karl 1986, Kothavala 1997). Έχει αποδειχθεί επίσης ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί επιτυχώς ως εργαλείο για τη μελέτη της ξηρασίας και της δριμύτητας αυτής στην Ελλάδα (Dalezios *et al*. 1991, Dalezios *et al*. 2000).

Οι περιορισμοί και τα μειονεκτήματα του δείκτη Palmer περιγράφονται παρακάτω (Alley 1984):

- Οι τιμές του PDSI δεν παρουσιάζουν μεγάλη ακρίβεια σε περιοχές, όπου καταγράφονται συχνά χιονοπτώσεις από τη στιγμή που ο δείκτης δεν λαμβάνει υπόψη περιπτώσεις χιονόπτωσης, χιονοκάλυψης και παγωμένου εδάφους.
- Για τον υπολογισμό της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής χρησιμοποιείται η μέθοδος Thornthwaite (Thornthwaite & Mather 1955) στη θέση της οποίας θα ήταν προτιμότερο να χρησιμοποιηθούν άλλες μέθοδοι όπως για παράδειγμα η Blaney - Criddle, 1950, η οποία δίνει σαφώς καλύτερα αποτελέσματα.
- Η φυσική υστέρηση μεταξύ της βροχόπτωσης και της αντίστοιχης απορροής δεν υπολογίζεται. Το τμήμα της απορροής που παρουσιάζει υστέρηση ποικίλλει σημαντικά και εξαρτάται από το βάθος και την υφή του εδάφους, τη γεωμορφολογία και το μέγεθος της λεκάνης απορροής, και τη φύση του υπεδάφιου υδρολογικού συστήματος.
- Ο χαρακτηρισμός των κλιματικών συνθηκών που προκύπτει από τις τιμές του PDSI, θεωρείται αυθαίρετος από τη στιγμή που έχει καθοριστεί βάση δεδομένων και

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

αναλύσεων βροχόπτωσης από δύο συγκεκριμένες περιοχές των ΗΠΑ (Κεντρική Αϊόβα και Κάνσας).

- Τέλος, ο Palmer για τον υπολογισμό της εδαφικής υγρασίας θεωρεί ότι το επιφανειακό στρώμα έχει υδατοχωρητικότητα 25 mm. Αυτό αποτελεί μια αυθαίρετη παραδοχή από τη στιγμή που η υδατοχωρητικότητα μεταβάλλεται σημαντικά, καθώς εξαρτάται από το κλίμα, την υφή του εδάφους και τη φυτοκάλυψη της περιοχής.

2.3.1.1.2 Δείκτης Υδρολογικής Ξηρασίας Palmer

Ο δείκτης υδρολογικής ξηρασίας Palmer **(Palmer Hydrological Drought Index - PHDI)** διαφέρει ελάχιστα από το δείκτη δριμύτητας ξηρασίας Palmer (PDSI). Συγκεκριμένα, ο PHDI εκτιμά τη λήξη μιας ξηρής ή μιας υγρής περιόδου με πιο αυστηρά κριτήρια και αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη σταδιακή και κατ' επέκταση την αργή ανάκαμψη προς τις κανονικές συνθήκες. Ο PDSI θεωρεί πως ένα επεισόδιο ξηρασίας έχει τελειώσει όταν οι συνθήκες υγρασίας παρουσιάζουν συνεχή άνοδο μέχρις ότου ελαχιστοποιηθεί το έλλειμμα του νερού, ενώ ο PHDI θεωρεί ότι η ξηρασία λήγει όταν το έλλειμμα υγρασίας έχει πραγματικά μηδενιστεί (Heim 2000). Αυτή η χρονική υστέρηση θεωρείται κατάλληλη για την εκτίμηση της υδρολογικής ξηρασίας, η οποία αναπτύσσεται πιο αργά σε σχέση με τη μετεωρολογική ξηρασία (Keyantash & Dracup 2002).

2.3.1.1.3 Δείκτης ανωμαλιών υγρασίας Palmer

Ο δείκτης ανωμαλιών υγρασίας Palmer **(Z-Index)**, αποτελεί έναν ενδιάμεσο όρο στον υπολογισμό του PDSI και εκτιμά τη γεωργική ξηρασία. Ο υπολογισμός του αν και θεωρείται αρκετά πολύπλοκος (Keyantash & Dracup 2002), είναι προτιμότερος για την ποσοτικοποίηση της γεωργικής ξηρασίας έναντι του αρκετά διαδεδομένου δείκτη CMI

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

(Karl 1986). Ο δείκτης ανωμαλιών υγρασίας Palmer (Z-index) δίνεται από την εξίσωση 2.17 (Heim 2002, Mavromatis 2011).

2.3.1.2. Αναγνωριστικός δείκτης ξηρασίας

Ο αναγνωριστικός δείκτης ξηρασίας **(Reconnaissance Drought Index - RDI)** έκανε πρόσφατα την εμφάνισή του και εφαρμόστηκε, με σκοπό να προσφέρει πληροφορίες για την υδρολογική ξηρασία αλλά κυρίως για να προσδιορίσει τη μετεωρολογική ξηρασία. Πρόκειται για έναν έγκυρο δείκτη, ο οποίος υπερτερεί έναντι άλλων δεικτών ξηρασίας, αφού προσφέρει περισσότερο ολοκληρωμένες πληροφορίες για τις συνθήκες της περιοχής, χρησιμοποιώντας επιπλέον και τη δυνητική εξατμισοδιαπνοή (Kanellou *et al.* 2008c, Jamshidi *et al.* 2011). Επίσης, είναι συγκρίσιμος με τον δείκτη PDSI του Palmer, αφού παρέχει τις ίδιες πληροφορίες με πολύ πιο απλούς μεθόδους υπολογισμού.

Για τον υπολογισμό του δείκτη, απαιτείται η μέση μηνιαία θερμοκρασία αέρα και η μηνιαία αθροιστική βροχόπτωση. Η αρχική τιμή του δείκτη α_k ισούται με το λόγο της συνολικής βροχόπτωσης σε μια περιοχή προς τη συνολική δυνητική εξατμισοδιαπνοή, για κάθε συνεχόμενη περίοδο μηνών κατά τη διάρκεια ενός έτους (εξ. 2.19).

$$a_k = \frac{\sum_{j=1}^{j=k} P_j}{\sum_{j=1}^{j=k} PET_j} \qquad (2.19)$$

όπου, k η συνεχόμενη περίοδος μηνών του έτους, P_j η βροχόπτωση και PET_j η δυνητική εξατμισοδιαπνοή για κάθε μήνα j.

Ο δείκτης RDI εκφράζεται ως ομαλοποιημένος RDI (εξ. 2.20) και ως τυποποιημένος RDI (εξ. 2.21).

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

$$RDI_n(k) = \frac{a_k}{\overline{a}_k} - 1 \qquad (2.20)$$

$$RDI_{st}(k) = \frac{y_k - \overline{y}_k}{\hat{\sigma}_k} \qquad (2.21)$$

όπου, $\overline{a}_k$ είναι ο μέσος όρος των α_k, y_k ο νεπέριος λογάριθμος του α_k, $\overline{y}_k$ ο μέσος όρος των y_k και $\hat{\sigma}_k$ η τυπική απόκλιση των y_k

Στην εργασία αυτή χρησιμοποιείται ο τυποποιημένος δείκτης RDI.Οι τιμές του RDI που προσδιορίζουν τις συνθήκες ξηρασίας της κάθε περιοχής παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.3.

Πίνακας 2.3: Κατηγορίες ξηρασίας σύμφωνα με το δείκτη ξηρασίας RDI (Tsakiris and Vangelis 2005)

Κατηγορίες ξηρασίας	**Τιμές δείκτη RDI**
Εξαιρετικά υγρές	>2.00
Πολύ υγρές	1.50 έως 1.99
Μέτρια υγρές	1.00 έως 1.49
Κανονικές συνθήκες	-0.99 έως 0.99
Μέτρια ξηρές	-1.00 έως -1.49
Ισχυρά ξηρές	-1.50 έως -1.99
Ακραία ξηρές	< -2.00

2.3.1.3. Τυποποιημένος δείκτης υετού

Ένας νέος και σχετικά απλός μετεωρολογικός δείκτης ξηρασίας, που χρησιμοποιείται ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια, είναι ο τυποποιημένος δείκτης υετού **(Standardized Precipitation Index - SPI)** (McKee *et al.* 1993), ο οποίος

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

ποσοτικοποιεί το έλλειμμα της βροχόπτωσης σε διάφορες χρονικές κλίμακες. Ο υπολογισμός του SPI πραγματοποιείται με την κατανομή Γάμμα (εξ. 2.22):

$$P(x) = \frac{x^{a-1}e^{-x/\beta}}{\beta^{\alpha}\Gamma(\alpha)} \qquad \alpha>0 \qquad (2.22)$$

Ο υπολογισμός των παραμέτρων α και β μπορεί να γίνει για οποιαδήποτε χρονική κλίμακα (1, 3, 6, 9, 12 μήνες). Ο προσδιορισμός των παραμέτρων γίνεται με τις εξισώσεις:

$$\alpha = (1/4A)\left(1+\sqrt{1+4A/3}\right) \qquad (2.23) \qquad \text{και} \qquad \beta = \bar{x}/a \qquad (2.24)$$

όπου $A = \ln\bar{x} - (\sum \ln(x)/n)$ και n ο αριθμός των παρατηρήσεων. Για το λόγο του ότι η συνάρτηση Γάμμα δεν ορίζεται για x = 0 , ενώ η χρονοσειρά της βροχόπτωσης είναι δυνατόν να περιλαμβάνει μηδενικές τιμές, η αθροιστική συνάρτηση πιθανότητας παίρνει τη μορφή:

$$H(x) = q + (1-q)G(x) \qquad (2.25)$$

όπου q είναι η πιθανότητα μηδενικών τιμών, G(x) είναι η αθροιστική πιθανότητα της μη πλήρους συνάρτησης Γάμμα. Η αθροιστική πιθανότητα H(x) μετασχηματίζεται στην τυποποιημένη τυχαία μεταβλητή Z με μέση τιμή μηδέν και διακύμανση ένα, η οποία δίνει τις τελικές τιμές του SPI σύμφωνα με την εξίσωση (2.26):

$$Z_{spi} = \left(X_{ij} - X_{im}\right)/\sigma \qquad (2.26)$$

όπου X_{ij} είναι η εποχική βροχόπτωση σε ένα συγκεκριμένο σταθμό, X_{im} η μέση εποχική βροχόπτωση και σ είναι η τυπική απόκλιση (Bhuiyan *et al*. 2006, Khalili *et al.* 2011).

Σύμφωνα με το σύστημα ταξινόμησης για τον καθορισμό των εντάσεων ξηρασίας με βάση τις τιμές που προκύπτουν από τον δείκτη SPI (Πιν 2.4), παρατηρείται ότι ένα επεισόδιο ξηρασίας εμφανίζεται όταν ο SPI παίρνει συνεχώς αρνητικές τιμές για ένα

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

διάστημα, ίσες με -1 ή μικρότερες. Η ξηρασία τελειώνει όταν ο SPI εμφανίζει και πάλι θετικές τιμές. Κάθε επεισόδιο ξηρασίας, έχει μια διάρκεια, που ορίζεται από την αρχή και το τέλος του φαινομένου, και ένταση για κάθε μήνα που εξακολουθεί η τιμή του δείκτη να είναι αρνητική. Το άθροισμα των αρνητικών τιμών του SPI για όλους τους μήνες ξηρασίας χαρακτηρίζει το μέγεθος του φαινομένου (Hayes *et al*. 1999).

Ο δείκτης SPI χρησιμοποιείται με επιτυχία για την παρακολούθηση τόσο των ξηρών όσο και των υγρών συνθηκών. Ο υπολογισμός του, βασίζεται σε δεδομένα βροχόπτωσης μιας μακράς χρονικής περιόδου, μεγαλύτερης των 30 ετών, ωστόσο απαιτείται η εκτίμηση δυο μόνο παραμέτρων. Χαρακτηριστικά του δείκτη είναι ότι δεν επηρεάζεται από την τοπογραφία της υπό μελέτη περιοχής αλλά και το ότι δεν εξαρτάται από την εδαφική υγρασία πράγμα που σημαίνει ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί εξίσου καλά τόσο κατά τη διάρκεια της χειμερινής, όσο και κατά τη διάρκεια της καλοκαιρινής περιόδου (Δαλέζιος *και συν.* 2011). Επίσης, η δυνατότητα υπολογισμού του δείκτη σε ποικίλες χρονικές κλίμακες, επιτρέπει την περιγραφή της ξηρασίας, για ένα σημαντικό εύρος μετεωρολογικών, γεωργικών και υδρολογικών φαινομένων. Τέλος, υπάρχει η δυνατότητα ανίχνευσης της συχνότητας για ακραία γεγονότα ξηρασίας σε οποιαδήποτε τοποθεσία και με οποιαδήποτε χρονική κλίμακα (Vasiliades *et al.* 2009).

Πίνακας 2.4.: Κατηγορίες ξηρασίας σύμφωνα με το δείκτη ξηρασίας SPI (McKee *et al.* 1993)

Κατηγορίες Ξηρασίας	**Τιμές δείκτη SPI**
Εξαιρετικά υγρές	>2.00
Πολύ υγρές	1.50 έως 1.99
Μέτρια υγρές	1.00 έως 1.49

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

Κανονικές συνθήκες	-0.99 έως 0.99
Μέτρια ξηρές	-1.00 έως -1.49
Ισχυρά ξηρές	-1.50 έως -1.99
Ακραία ξηρές	<-2.00

2.3.1.4. Δείκτης δεκατημορίων

Μια άλλη απλοποιημένη τεχνική για την παρακολούθηση της μετεωρολογικής ξηρασίας προκύπτει από την κατανομή των μηνιαίων στοιχείων βροχόπτωσης μιας μακροχρόνιας σειράς δεδομένων η οποία στη συνέχεια διακρίνεται σε δέκα κατηγορίες ή δεκατημόρια **(Deciles Index - DI)** (Gibbs & Maher 1967). Η απλότητα του δείκτη, έγκειται στην ευκολία υπολογισμού του, αφού απαιτεί μόνο δεδομένα βροχόπτωσης και λιγότερες παραδοχές σε σχέση με άλλους δείκτες. Ωστόσο, ο δείκτης δεκατημορίων ενδέχεται να παρουσιάσει δυσκολία στην εφαρμογή όπως και στην κατανόηση στην περίπτωση που οι ερευνητές καθώς και οι αρμόδιες για την Ξηρασία Υπηρεσίες δεν είναι εξοικειωμένοι με το σύστημα αυτό (Steinemann *et al*. 2005).

Το πρώτο δεκατημόριο περιλαμβάνει τιμές βροχοπτώσεων οι οποίες δεν υπερβαίνουν το 10% όλων των περιστατικών βροχόπτωσης. Αντίστοιχα το δεύτερο δεκατημόριο περιλαμβάνει τιμές μεταξύ 10 και 20% κ.ο.κ.. Τα δεκατημόρια ομαδοποιούνται σε πέντε κατηγορίες, δύο δεκατημόρια ανά κλάση (Πιν 2.5).

Πίνακας 2.5: Κλιματολογικές συνθήκες περιοχής με βάση τα δεκατημόρια βροχόπτωσης (Kanellou *et al*. 2008b)

Δεκατημόρια Βροχόπτωσης	**Κλάσεις**	**Χαρακτηρισμός συνθηκών**

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

1-2	< 20%	Ιδιαιτέρως κάτω του κανονικού
3-4	20% - 40%	Κάτω του κανονικού
5-6	40% - 60%	Κανονικές συνθήκες
7-8	60% - 80%	Πάνω του κανονικού
9-10	80% - 100%	Ιδιαιτέρως πάνω του κανονικού

2.3.2. Πιστοποίηση μεθοδολογίας

Σε αυτό το στάδιο πραγματοποιήθηκε η πιστοποίηση της μεθοδολογίας με τη χρήση στατιστικών δεικτών. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη σύγκριση των δεικτών με τον PDSI καθώς και από την αξιολόγηση των τιμών με τη χρήση στατιστικών δεικτών, έχουν αναρτηθεί στο επόμενο κεφάλαιο. Η μαθηματική έκφραση του κάθε δείκτη παρουσιάζεται στη συνέχεια:

- Δείκτης αποτελεσματικότητας (Efficiency Coefficient - E_{ff}) (Nash & Sutcliffe 1970)

$$E_{ff} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(PDSI - I_{sim})^2}{\sum_{i=1}^{n}(PDSI - \overline{PDSI})^2} \quad (2.27)$$

όπου PDSI είναι ο επίγειος δείκτης PDSI του μήνα i, I_{sim} είναι οι τιμές των δεικτών RDI, SPI, Deciles του μήνα i και $\overline{PDSI}$ είναι οι μέσες μηνιαίες τιμές επίγειου δείκτη PDSI. Το εύρος τιμών του E_{ff} κυμαίνεται μεταξύ 1,00 (βέλτιστη τιμή) και - ∞ (Krause *et al.* 2005).

- Μέσο τετραγωνικό σφάλμα (Root Mean Square Error - RMSE) (Dalezios 1988, Hondronikou *et al.* 2005)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(I_{sim} - \overline{I_{sim}})^2}{N}} \quad (2.28)$$

όπου I_{sim} είναι οι τιμές των επίγειων δεικτών κάθε μήνα i, $\overline{I_{sim}}$ είναι οι μέσες μηνιαίες τιμές τους και N είναι ο συνολικός αριθμός ετών. Το εύρος τιμών του

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

RMSE κυμαίνεται μεταξύ 0,00 και + ∞.

- Μεροληπτικό σφάλμα (BIAS) (Dalezios 1988)

$$BIAS = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(PDSI - I_{sim}) \quad (2.29)$$

όπου PDSI είναι οι τιμές του δείκτη PDSI του μήνα i, I_{sim} είναι οι τιμές των δεικτών RDI, SPI, DI του μήνα i και N ο συνολικός αριθμός ετών. Με το δείκτη αυτό υπολογίζεται η απόκλιση από τις μέσες τιμές και η βέλτιστη τιμή είναι το 0,00.

- Συντελεστής προσδιορισμού (Coefficient of Determination - r^2) (Dalezios 1988, Vasiliades & Loukas 2009)

$$r^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^{n}(PDSI - \overline{PDSI})(I_{sim} - \overline{I_{sim}})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(PDSI - \overline{PDSI})^2}\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(I_{sim} - \overline{I_{sim}})^2}} \right)^2 \quad (2.30)$$

όπου PDSI είναι οι επίγειες τιμές PDSI, $\overline{PDSI}$ οι μέσες μηνιαίες τιμές του, I_{sim} είναι οι τιμές των δεικτών RDI, SPI, DI και $\overline{I_{sim}}$ οι μέσες μηνιαίες τιμές του κάθε δείκτη. Με το στατιστικό αυτό δείκτη, μετριέται το μέγεθος συσχέτισης μεταξύ δυο μεταβλητών. Τιμές κοντά στο 1,00 υποδεικνύουν πολύ υψηλή συσχέτιση.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία συνολικά υπολογίσθηκαν τέσσερις συμβατικοί δείκτες ξηρασίας (PDSI, RDI, SPI και DI). Με βάση τον αξιόπιστο σταθμό της Λάρισας έγινε αναγωγή στη λεκάνη απορροής του Πηνειού ποταμού. Στη συνέχεια, μελετήθηκε ο τρόπος με τον οποίο προσδιορίσθηκαν τα επεισόδια ξηρασίας από τον κάθε δείκτη ενώ στο τέλος πραγματοποιήθηκε σύγκριση των δεικτών αυτών με τη βοήθεια στατιστικών δεικτών.

3.1. Αποτελέσματα δεικτών ξηρασίας PDSI, SPI, RDI και DI

Αρχικά, υλοποιήθηκε ο υπολογισμός για κάθε μήνα της χρονοσειράς των 60 υδρολογικών ετών του σταθμού Λάρισας για κάθε δείκτη που εξετάσθηκε. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τον κάθε δείκτη φαίνονται στον Πίνακα 3.1, ενώ στα Σχήματα 3.1, 3.2, 3.3 και 3.4, απεικονίζονται διαγραμματικά οι τιμές του κάθε δείκτη χωριστά σε ετήσια βάση. Σύμφωνα με τους πίνακες κατηγοριοποίησης των τιμών, ως ξηρές περίοδοι θεωρήθηκαν οι τιμές οι οποίες βρίσκονται κάτω από την τιμή 0. Στο Σχήμα 3.5 απεικονίζονται συγκεντρωτικά όλες οι τιμές των δεικτών PDSI, RDI, SPI και DI των 60 υδρολογικών ετών.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

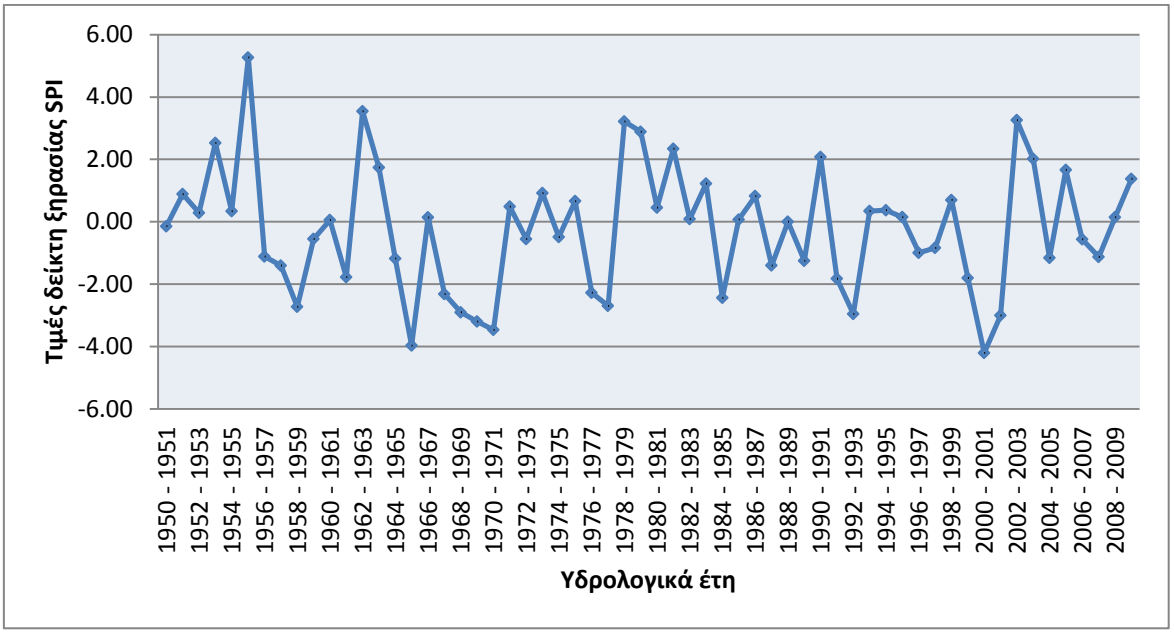
Πίνακας 3.1: Αποτελέσματα του σταθμού Λάρισας κάθε δείκτη για 60 υδρολογικά έτη

Years	PDSI	RDI	SPI	DI
1950 - 1951	-0,14	0,25	0,46	2,00
1951 - 1952	0,89	0,64	0,83	3,00
1952 - 1953	0,29	0,04	0,12	1,00
1953 - 1954	2,53	1,28	1,40	5,00
1954 - 1955	0,34	0,97	1,15	4,00
1955 - 1956	5,27	2,17	2,50	5,00
1956 - 1957	-1,11	-0,08	-0,02	0,00
1957 - 1958	-1,40	-0,77	-0,66	-2,00
1958 - 1959	-2,72	-0,28	-0,29	-1,00
1959 - 1960	-0,55	0,40	0,42	2,00
1960 - 1961	0,06	-0,43	-0,30	-1,00
1961 - 1962	-1,77	-0,15	-0,03	0,00
1962 - 1963	3,54	1,02	1,16	4,00
1963 - 1964	1,74	0,59	0,60	3,00
1964 - 1965	-1,18	-0,78	-0,77	-2,00
1965 - 1966	-3,96	-2,71	-2,43	-4,00
1966 - 1967	0,14	0,82	0,92	4,00
1967 - 1968	-2,31	-1,44	-1,35	-4,00
1968 - 1969	-2,90	-1,02	-0,96	-3,00
1969 - 1970	-3,19	-1,44	-1,32	-3,00
1970 - 1971	-3,46	-0,75	-0,76	-2,00
1971 - 1972	0,49	0,89	0,97	4,00
1972 - 1973	-0,55	-0,51	-0,53	-1,00
1973 - 1974	0,92	0,35	0,35	2,00
1974 - 1975	-0,49	0,24	0,28	1,00
1975 - 1976	0,67	0,59	0,53	2,00
1976 - 1977	-2,27	-1,62	-1,46	-4,00
1977 - 1978	-2,69	0,85	0,92	4,00
1978 - 1979	3,22	-0,49	-0,50	-1,00
1979 - 1980	2,89	0,69	0,67	3,00
1980 - 1981	0,46	-0,18	-0,19	-1,00

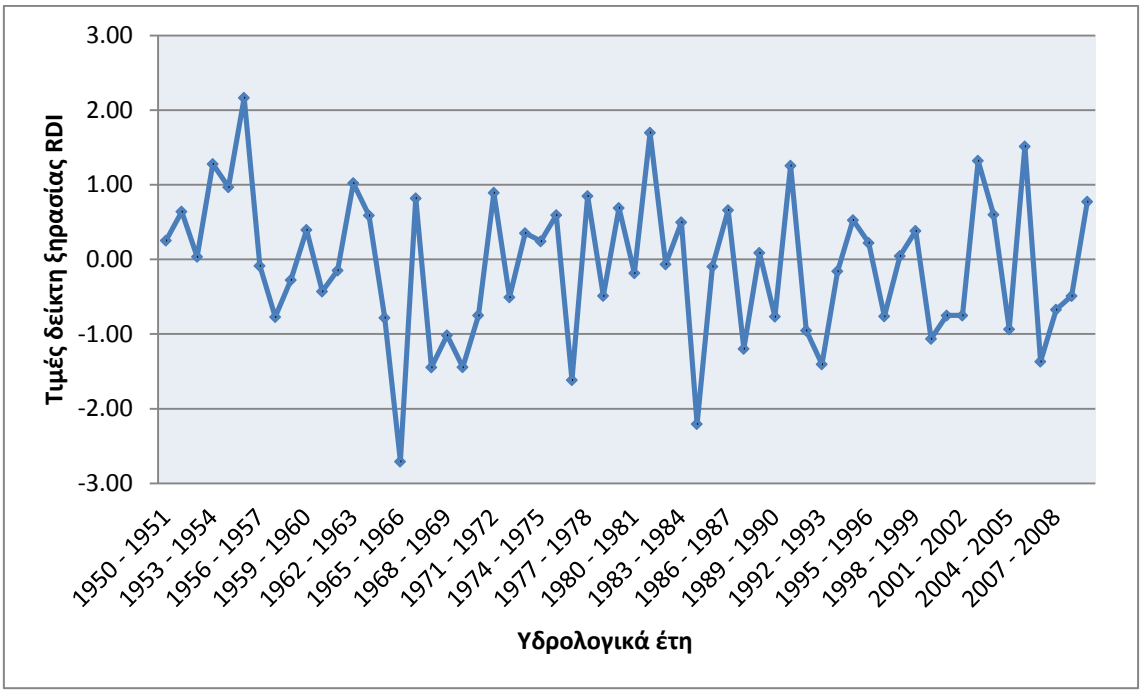
Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

Years	PDSI	RDI	SPI	DI
1981 - 1982	2,34	1,70	1,95	5,00
1982 - 1983	0,09	-0,06	-0,09	0,00
1983 - 1984	1,23	0,50	0,46	2,00
1984 - 1985	-2,43	-2,20	-2,00	-4,00
1985 - 1986	0,07	-0,09	-0,04	0,00
1986 - 1987	0,83	0,66	0,64	3,00
1987 - 1988	-1,40	-1,20	-1,10	-3,00
1988 - 1989	0,00	0,09	0,04	1,00
1989 - 1990	-1,25	-0,76	-0,72	-2,00
1990 - 1991	2,08	1,26	1,31	5,00
1991 - 1992	-1,82	-0,95	-0,98	-3,00
1992 - 1993	-2,95	-1,40	-1,33	-4,00
1993 - 1994	0,35	-0,16	0,00	0,00
1994 - 1995	0,37	0,53	0,61	3,00
1995 - 1996	0,15	0,22	0,22	1,00
1996 - 1997	-0,99	-0,76	-0,76	-2,00
1997 - 1998	-0,83	0,05	0,05	1,00
1998 - 1999	0,70	0,38	0,43	2,00
1999 - 2000	-1,80	-1,06	-1,02	-3,00
2000 - 2001	-4,20	-0,75	-0,65	-2,00
2001 - 2002	-3,00	-0,75	-0,80	-2,00
2002 - 2003	3,26	1,32	1,30	4,00
2003 - 2004	2,02	0,60	0,53	2,00
2004 - 2005	-1,15	-0,93	-0,96	-3,00
2005 - 2006	1,66	1,51	1,47	5,00
2006 - 2007	-0,56	-1,37	-1,33	-4,00
2007 - 2008	-1,12	-0,67	-0,65	-1,00
2008 - 2009	0,15	-0,49	-0,50	1,00
2009 - 2010	1,38	0,77	0,93	3,00

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

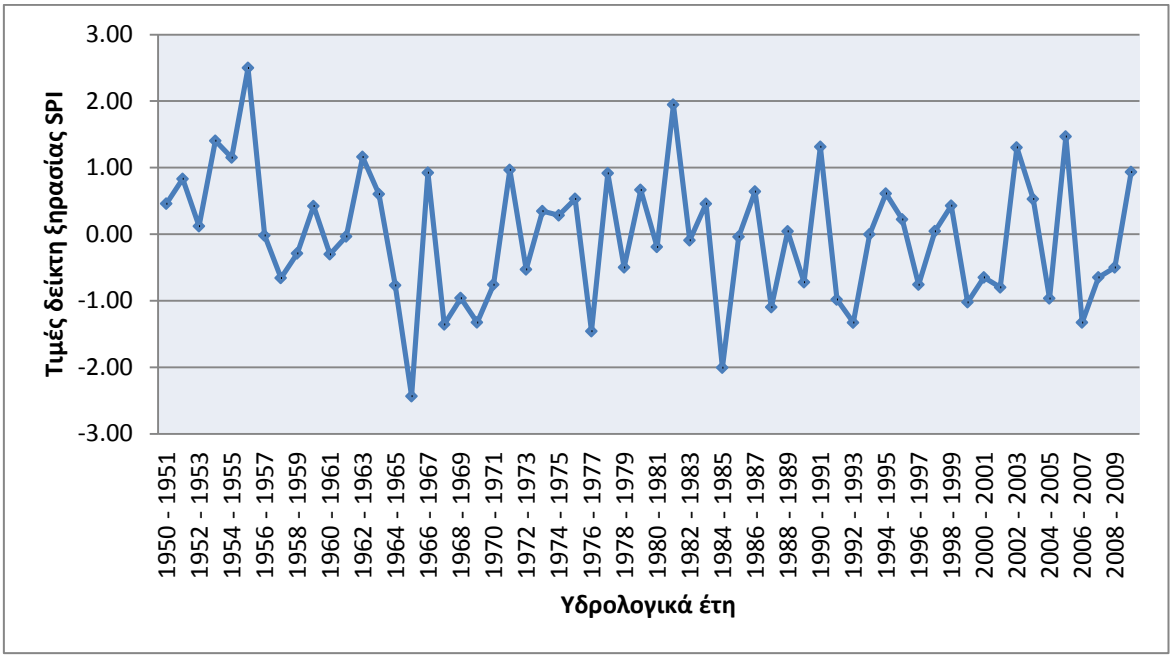


Σχήμα 3.1: Απεικόνιση τιμών επίγειου ετήσιου δείκτη PDSI για τα υδρολογικά έτη 1950 –2010 για το σταθμό της Λάρισας

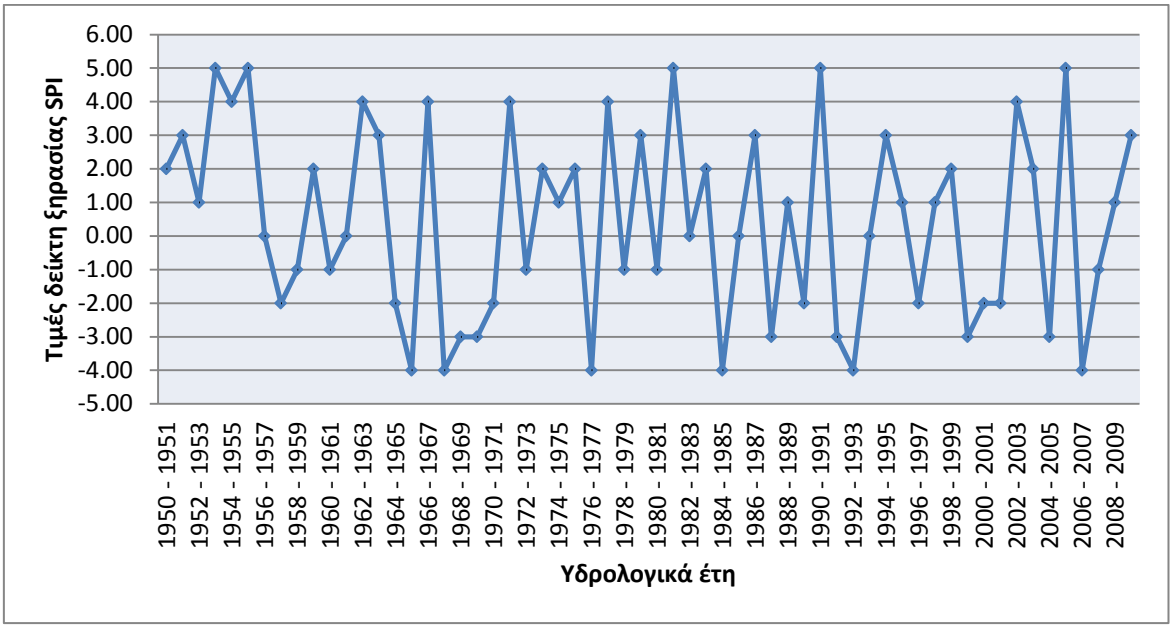


Σχήμα 3.2: Απεικόνιση τιμών επίγειου ετήσιου δείκτη RDI για τα υδρολογικά έτη 1950 – 2010 για το σταθμό της Λάρισας

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

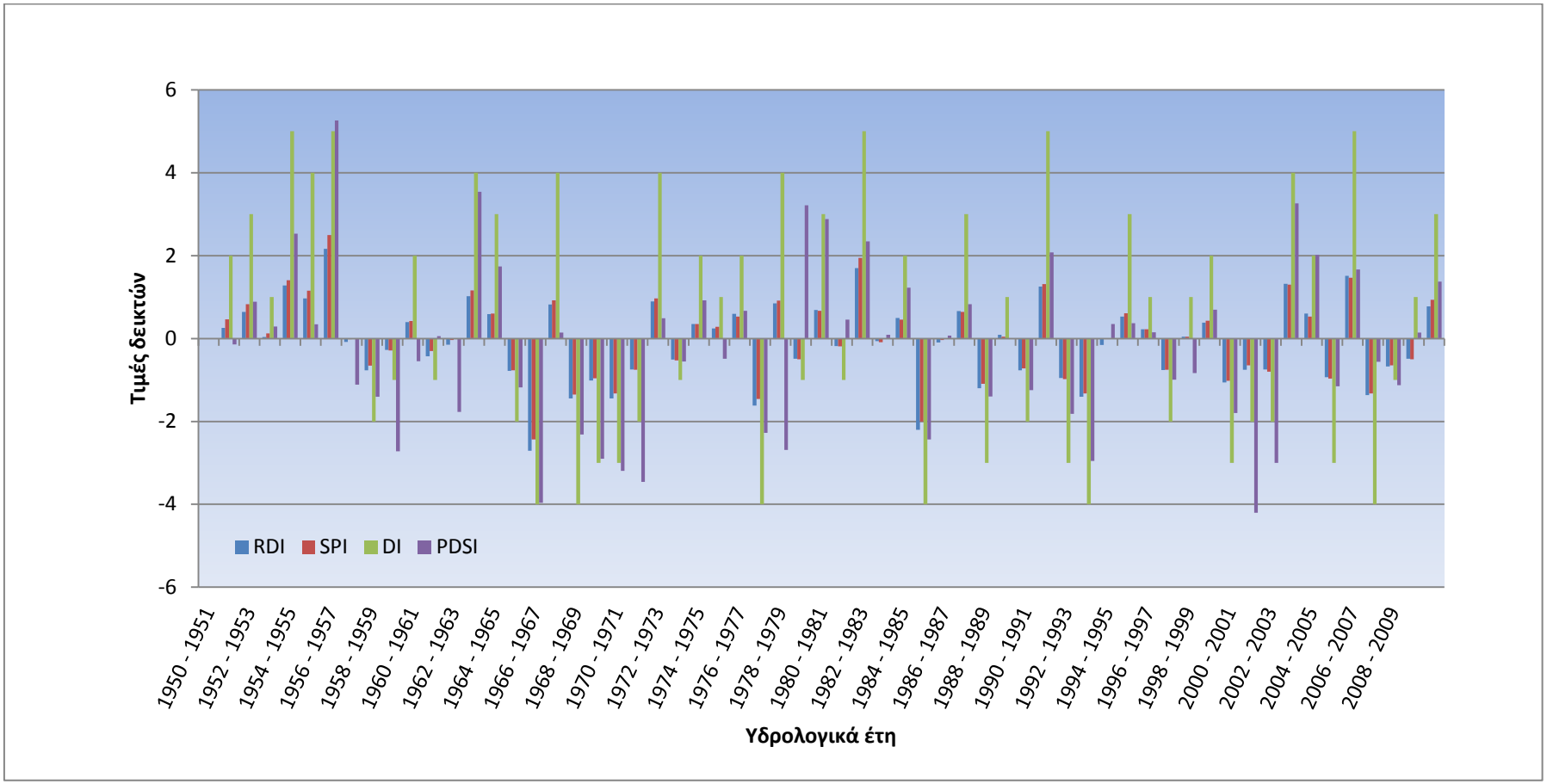


Σχήμα 3.3: Απεικόνιση τιμών επίγειου ετήσιου δείκτη SPI για τα υδρολογικά έτη 1950 – 2010 για το σταθμό της Λάρισας



Σχήμα 3.4: Απεικόνιση τιμών επίγειου ετήσιου δείκτη DI για τα υδρολογικά έτη 1950 – 2010 για το σταθμό της Λάρισας

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201



Σχήμα 3.5: Απεικόνιση τιμών όλων των επίγειων ετήσιων δεικτών για τα υδρολογικά έτη 1950 – 2010 για τη λεκάνη απορροής του Πηνειού ποταμού

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

3.2. Επεισόδια ξηρασίας

Στους Πίνακες 3.2 και 3.3 απεικονίζονται τα επεισόδια ξηρασίας που παρατηρήθηκαν βάσει των δεικτών PDSI, RDI, SPI και DI καθώς και τα χαρακτηριστικά του κάθε επεισοδίου (έναρξη - λήξη – διάρκεια - ένταση) για τα υδρολογικά έτη από το 1950 έως και το 2010.

Πίνακας 3.2: Επεισόδια ξηρασίας στην περιοχή της Λάρισας βάσει του δείκτη PDSI

Περίοδος	**Έναρξη**	**Λήξη**	**Διάρκεια (μήνες)**	**Μ.Ο. έντασης**
1950 - 1951	Οκτ 1950	Σεπ 1951	9	-0,70
1956 - 1957	Αυγ 1956	Αυγ 1957	13	-1,17
1957 - 1958	Νοε 1957	Σεπ 1958	11	-1,66
1958 - 1959	Οκτ 1958	Σεπ 1959	12	-2,72
1959 - 1960	Οκτ 1959	Αυγ 1960	7	-1,39
1961 - 1962	Απρ 1961	Αυγ 1962	17	-1,50
1964 - 1965	Αυγ 1964	Σεπ 1965	14	-1,04
1965 - 1966	Οκτ 1965	Οκτ 1966	13	-4,04
1967 - 1968	Οκτ 1967	Σεπ 1968	12	-2,31
1968 - 1969	Οκτ 1968	Σεπ 1969	12	-2,90
1969 - 1970	Οκτ 1969	Σεπ 1970	12	-3,19
1970 - 1971	Οκτ 1970	Ιαν 1972	16	-3,16
1972 - 1973	Νοε 1972	Αυγ 1973	10	-1,06
1974 - 1975	Αυγ 1974	Μαϊ 1975	10	-1,23
1976 - 1977	Σεπ 1976	Σεπ 1977	13	-2,11
1977 - 1978	Οκτ 1977	Αυγ 1978	11	-3,34
1984 - 1985	Σεπ 1984	Οκτ 1985	14	-2,13
1987 - 1988	Ιουλ 1987	Οκτ 1988	16	-1,36
1989 - 1990	Σεπ 1989	Ιουν 1990	10	-1,86
1991 - 1992	Οκτ 1991	Σεπ 1992	12	-1,82
1992 - 1993	Οκτ 1992	Οκτ 1993	13	-3,06
1996 - 1997	Νοε 1996	Σεπ 1997	11	-1,20
1997 - 1998	Οκτ 1997	Αυγ 1998	9	-1,46
1999 - 2000	Μαϊ 1999	Σεπ 2000	17	-1,54
2000 - 2001	Οκτ 2000	Σεπ 2001	12	-4,20
2001 - 2002	Οκτ 2001	Ιουν 2002	9	-4,28
2004 - 2005	Αυγ 2004	Οκτ 2005	15	-1,06
2006 - 2007	Νοε 2006	Σεπ 2007	11	-1,02
2007 - 2008	Δεκ 2007	Δεκ 2008	13	-1,71

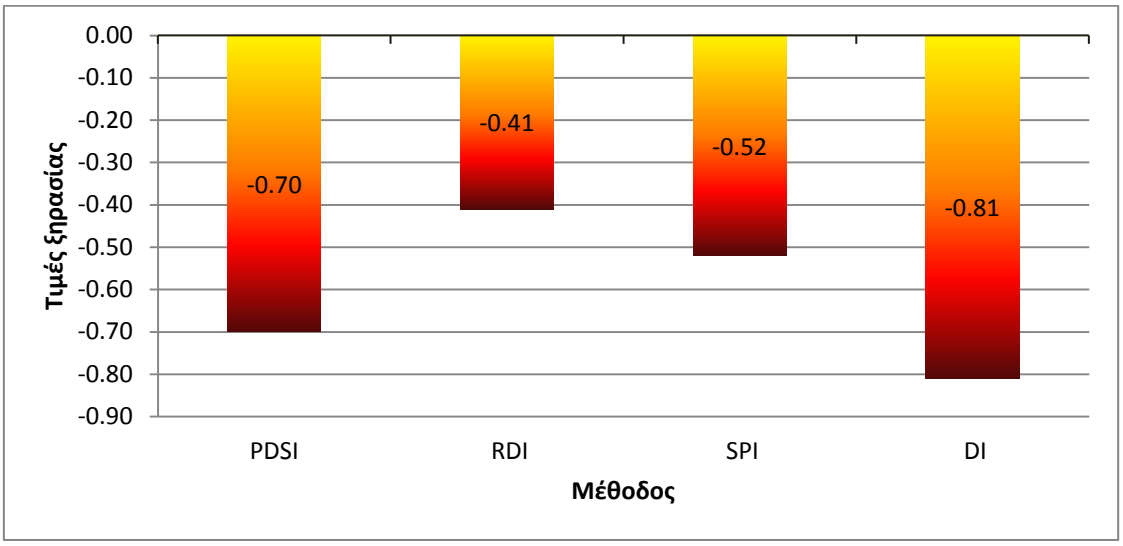
Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

Πίνακας 3.3: Επεισόδια ξηρασίας στην περιοχή της Λάρισας βάσει των SPI,RDI και DI

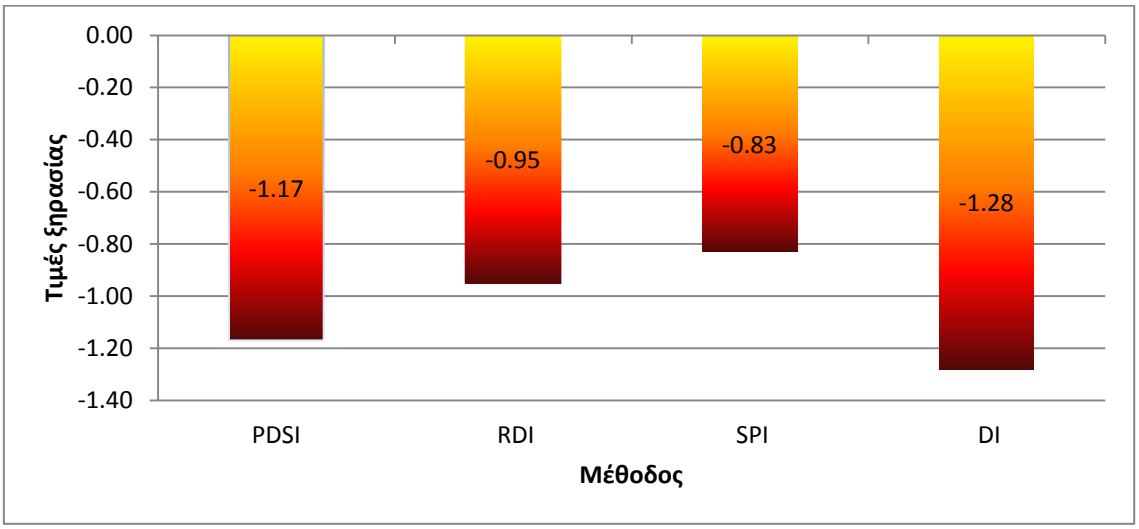
Περίοδος	Μ.Ο. έντασης RDI	Μ.Ο. έντασης SPI	Μ.Ο. έντασης DI
1950 - 1951	-0,41	-0,52	-0,81
1956 - 1957	-0,95	-0,83	-1,28
1957 - 1958	-0,84	-0,97	-1,79
1958 - 1959	-1,34	-1,28	-1,45
1959 - 1960	-0,73	-0,88	-1,42
1961 - 1962	-1,12	-1,21	-0,99
1964 - 1965	-0,58	-0,67	-0,54
1965 - 1966	-2,24	-2,12	-4,83
1967 - 1968	-1,21	-1,34	-2,16
1968 - 1969	-1,36	-1,48	-2,77
1969 - 1970	-1,55	-1,62	-2,85
1970 - 1971	-1,84	-1,71	-2,79
1972 - 1973	-0,55	-0,69	-0,59
1974 - 1975	-0,67	-0,82	-1,33
1976 - 1977	-1,12	-1,30	-2,81
1977 - 1978	-1,73	-1,67	-3,01
1984 - 1985	-1,19	-1,38	-2,46
1987 - 1988	-0,83	-0,91	-0,99
1989 - 1990	-1,35	-1,22	-1,24
1991 - 1992	-0,76	-0,87	-1,17
1992 - 1993	-1,44	-1,67	-3,28
1996 - 1997	-0,71	-0,83	-1,34
1997 - 1998	-0,87	-0,78	-1,50
1999 - 2000	-0,59	-0,61	-1,66
2000 - 2001	-2,23	-2,41	-4,65
2001 - 2002	-2,38	-2,49	-4,71
2004 - 2005	-0,74	-0,62	-0,58
2006 - 2007	-0,83	-0,59	-0,42
2007 - 2008	-1,11	-1,03	-1,64

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

Στα Σχήματα 3.6 έως 3.34, παρουσιάζεται χωριστά το κάθε επεισόδιο ξηρασίας που προέκυψε.

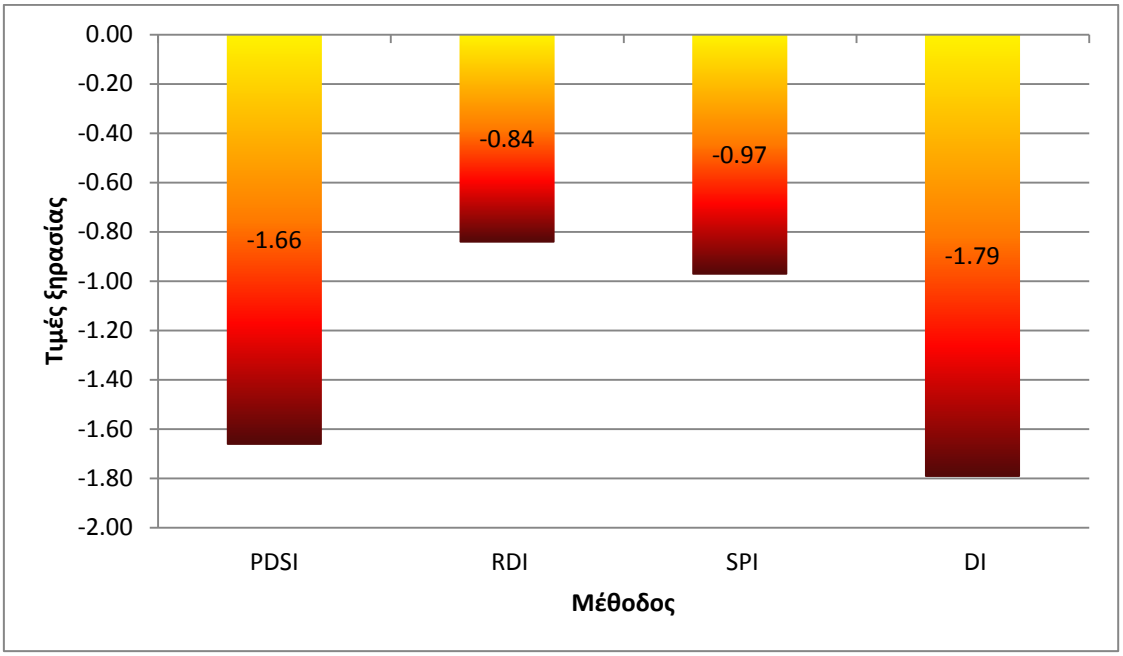


Σχήμα 3.6: Διάγραμμα σύγκρισης δεικτών που αφορά το επεισόδιο ξηρασίας του υδρολογικού έτους 1950 – 1951 στην περιοχή της Λάρισας

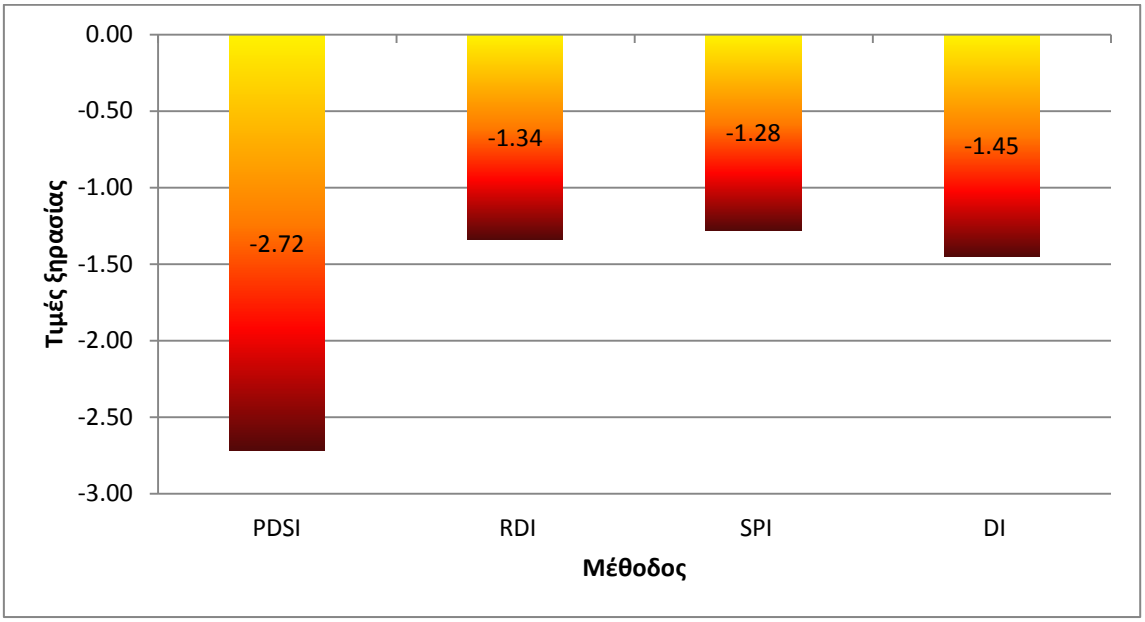


Σχήμα 3.7: Διάγραμμα σύγκρισης δεικτών που αφορά το επεισόδιο ξηρασίας του υδρολογικού έτους 1956 – 1957 στην περιοχή της Λάρισας

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

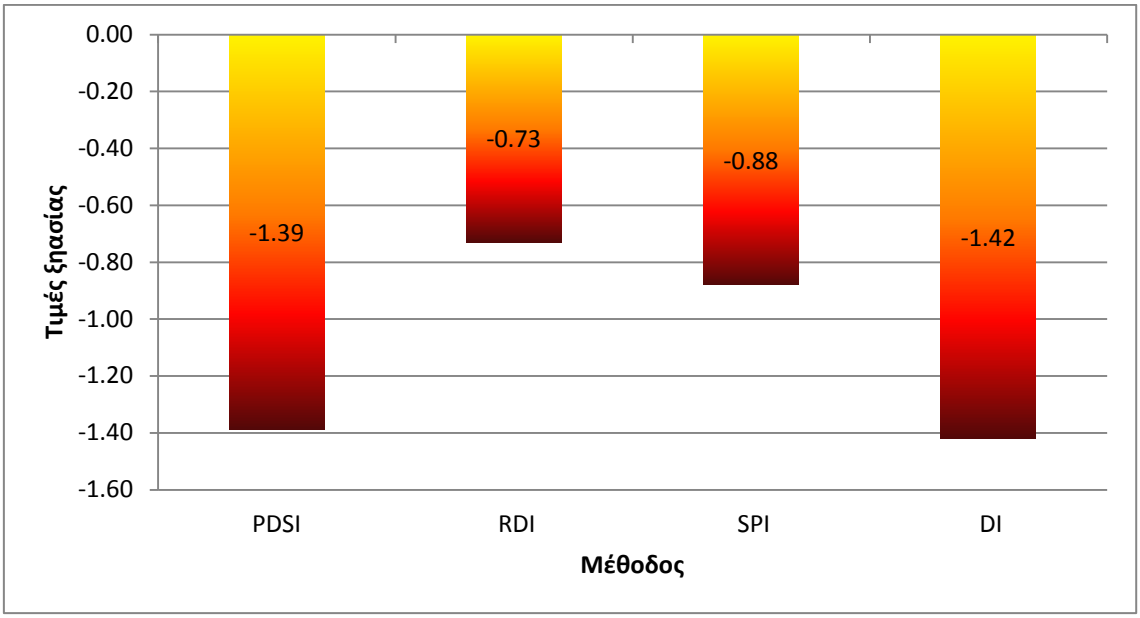


Σχήμα 3.8: Διάγραμμα σύγκρισης δεικτών που αφορά το επεισόδιο ξηρασίας του υδρολογικού έτους 1957 – 1958 στην περιοχή της Λάρισας

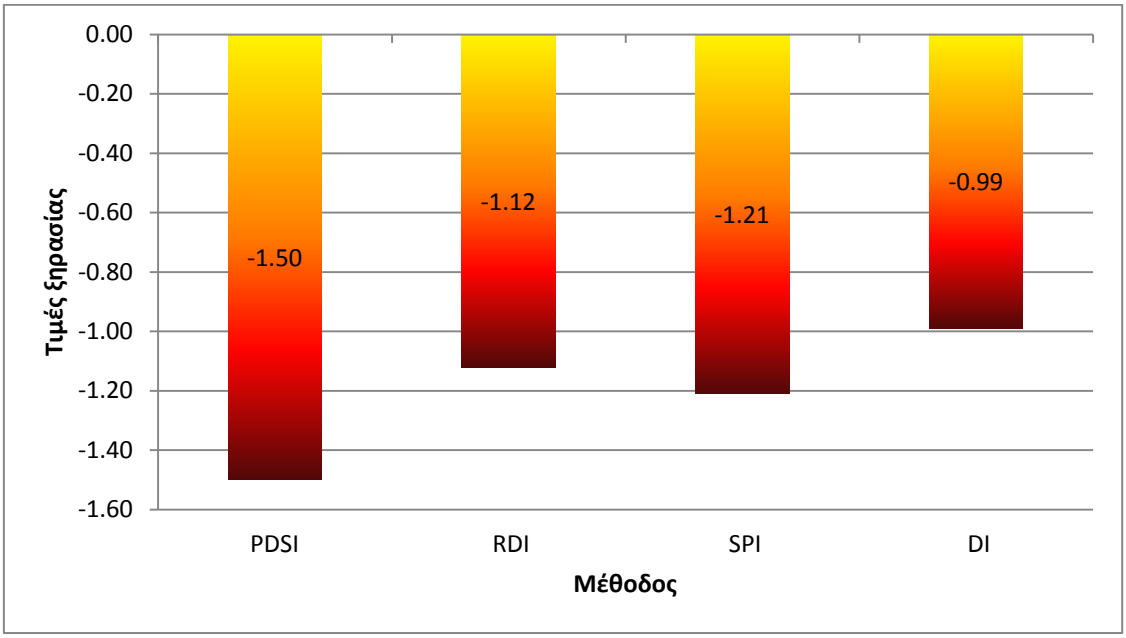


Σχήμα 3.9: Διάγραμμα σύγκρισης δεικτών που αφορά το επεισόδιο ξηρασίας του υδρολογικού έτους 1958 – 1959 στην περιοχή της Λάρισας

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

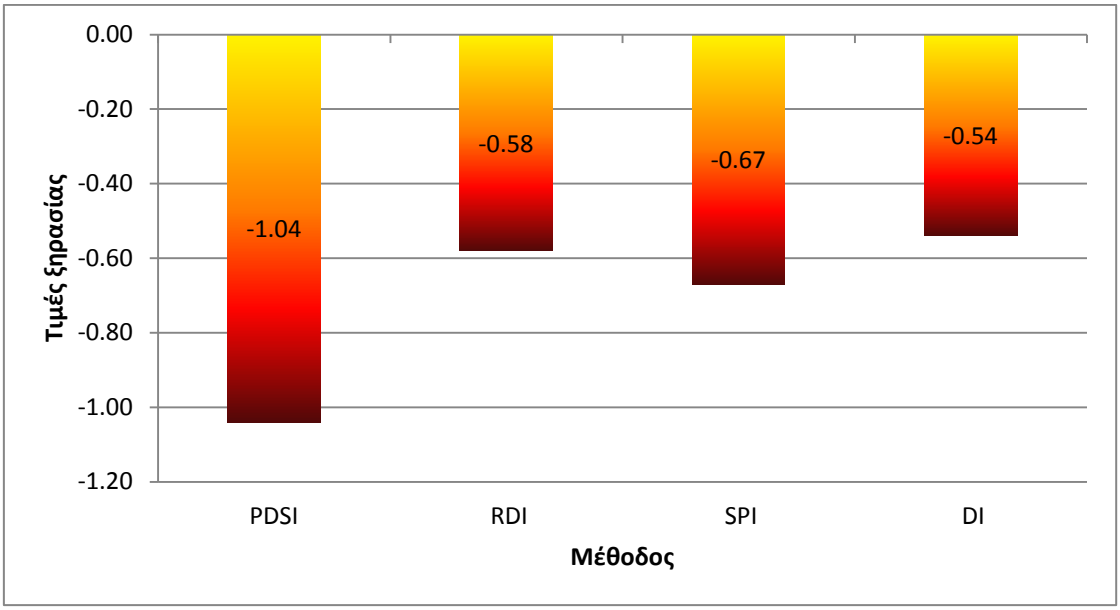


Σχήμα 3.10: Διάγραμμα σύγκρισης δεικτών που αφορά το επεισόδιο ξηρασίας του υδρολογικού έτους 1959 – 1960 στην περιοχή της Λάρισας

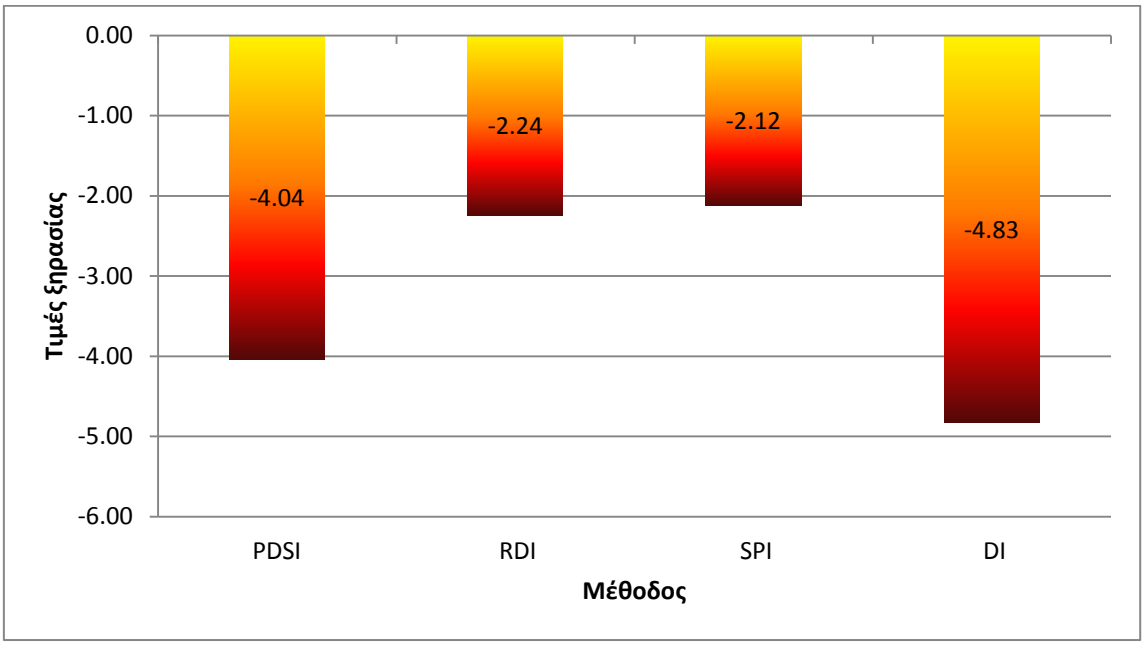


Σχήμα 3.11: Διάγραμμα σύγκρισης δεικτών που αφορά το επεισόδιο ξηρασίας του υδρολογικού έτους 1961 – 1962 στην περιοχή της Λάρισας

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

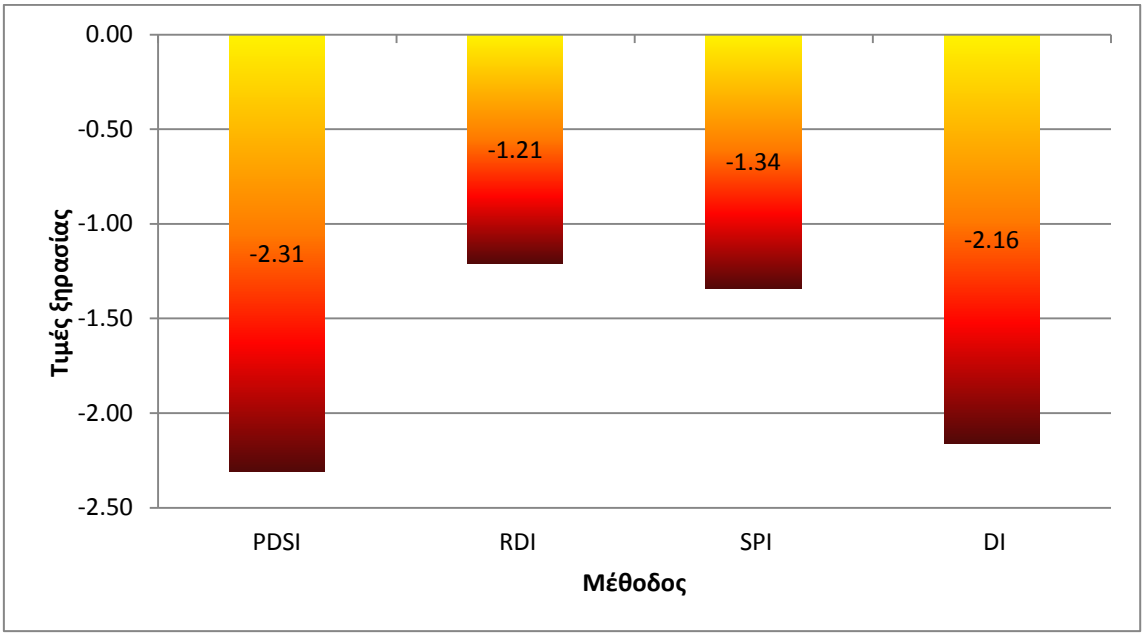


Σχήμα 3.12: Διάγραμμα σύγκρισης δεικτών που αφορά το επεισόδιο ξηρασίας του υδρολογικού έτους 1964 – 1965 στην περιοχή της Λάρισας

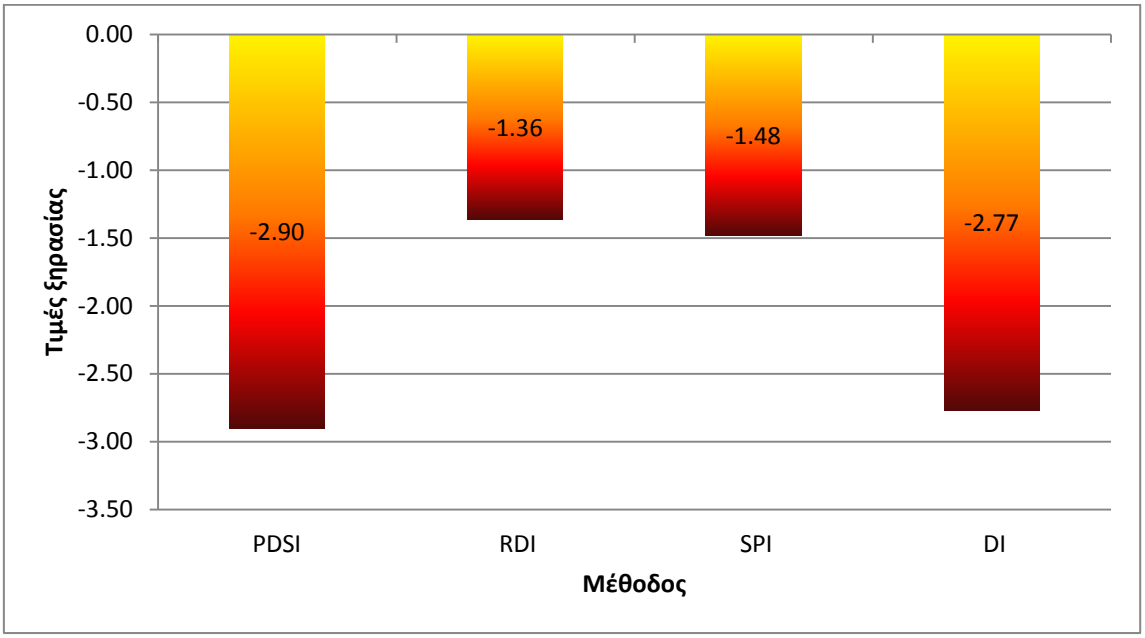


Σχήμα 3.13: Διάγραμμα σύγκρισης δεικτών που αφορά το επεισόδιο ξηρασίας του υδρολογικού έτους 1965 – 1966 στην περιοχή της Λάρισας

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

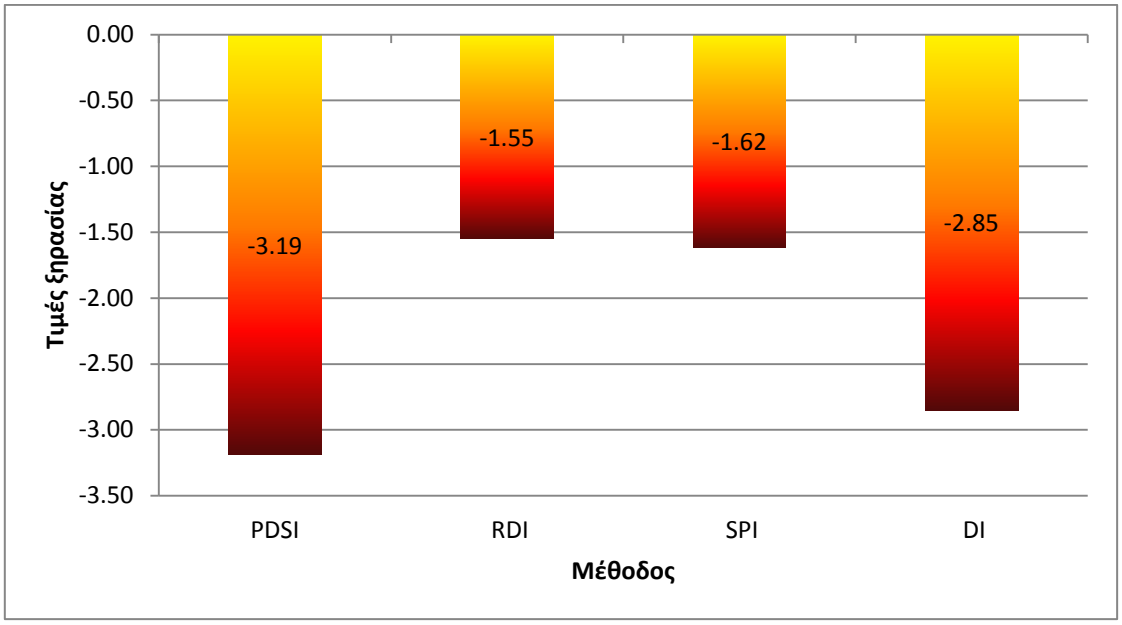


Σχήμα 3.14: Διάγραμμα σύγκρισης δεικτών που αφορά το επεισόδιο ξηρασίας του υδρολογικού έτους 1967 – 1968 στην περιοχή της Λάρισας

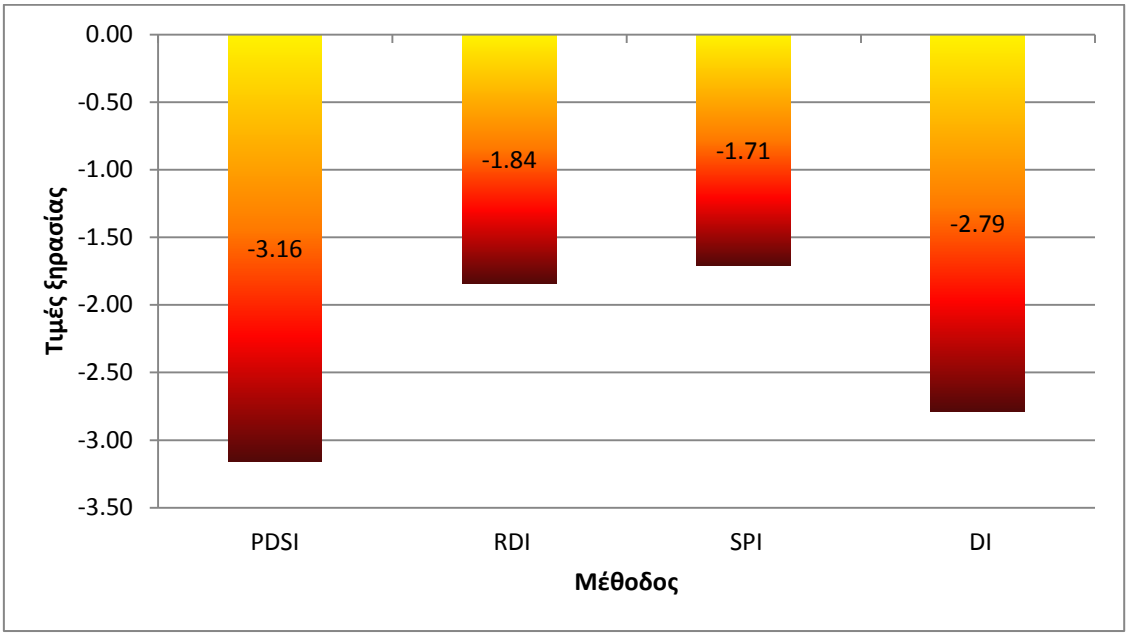


Σχήμα 3.15: Διάγραμμα σύγκρισης δεικτών που αφορά το επεισόδιο ξηρασίας του υδρολογικού έτους 1968 – 1969 στην περιοχή της Λάρισας

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

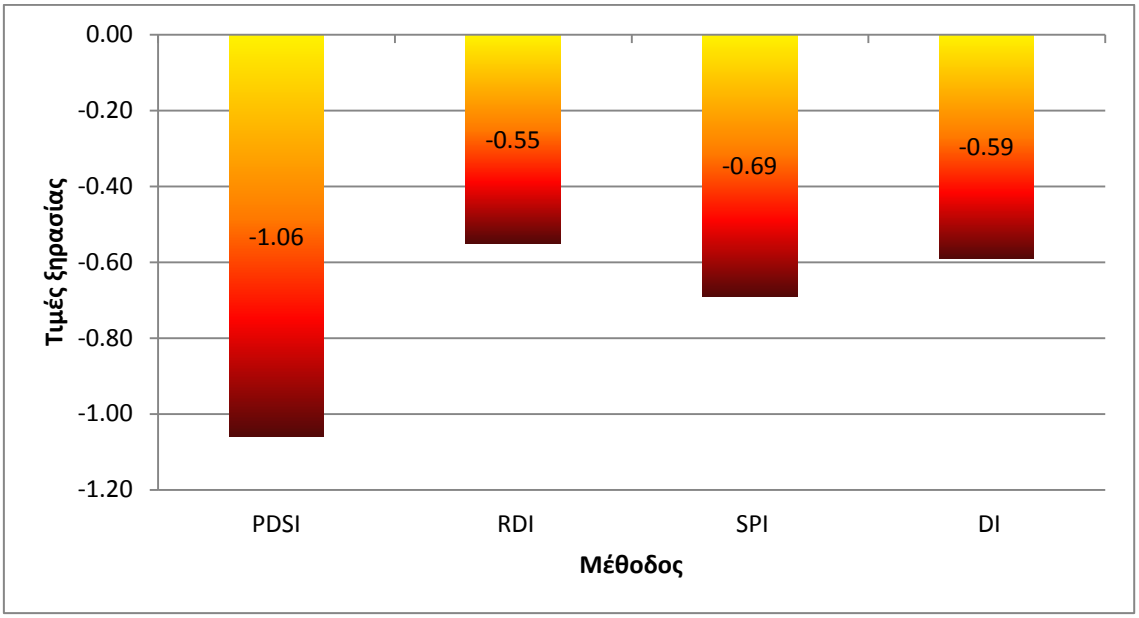


Σχήμα 3.16: Διάγραμμα σύγκρισης δεικτών που αφορά το επεισόδιο ξηρασίας του υδρολογικού έτους 1969 – 1970 στην περιοχή της Λάρισας

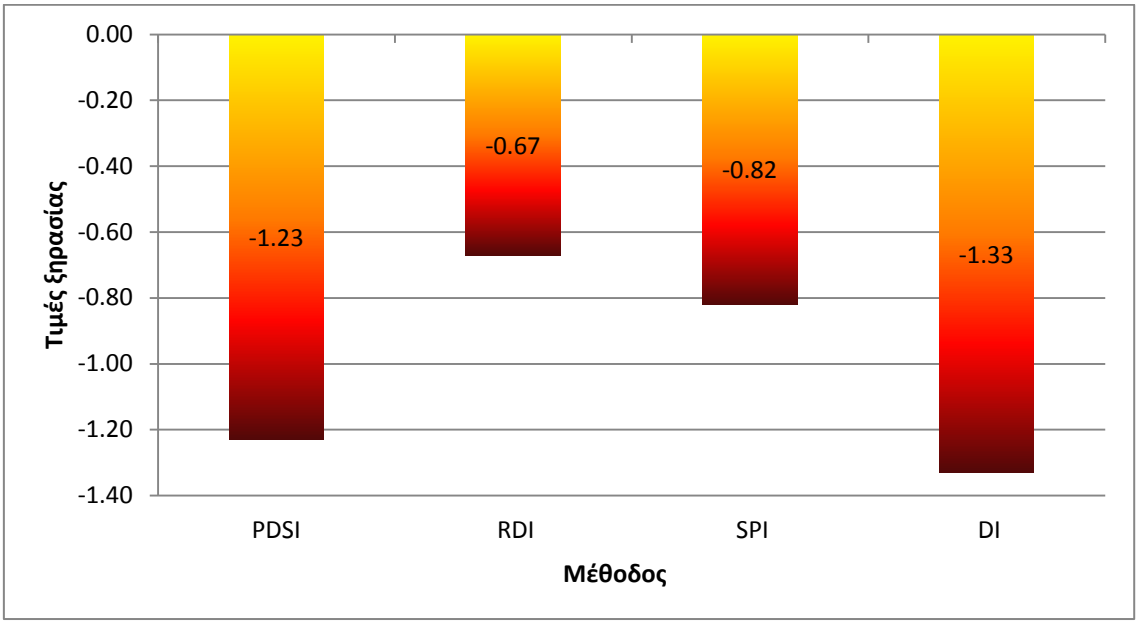


Σχήμα 3.17: Διάγραμμα σύγκρισης δεικτών που αφορά το επεισόδιο ξηρασίας του υδρολογικού έτους 1970 – 1971 στην περιοχή της Λάρισας

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

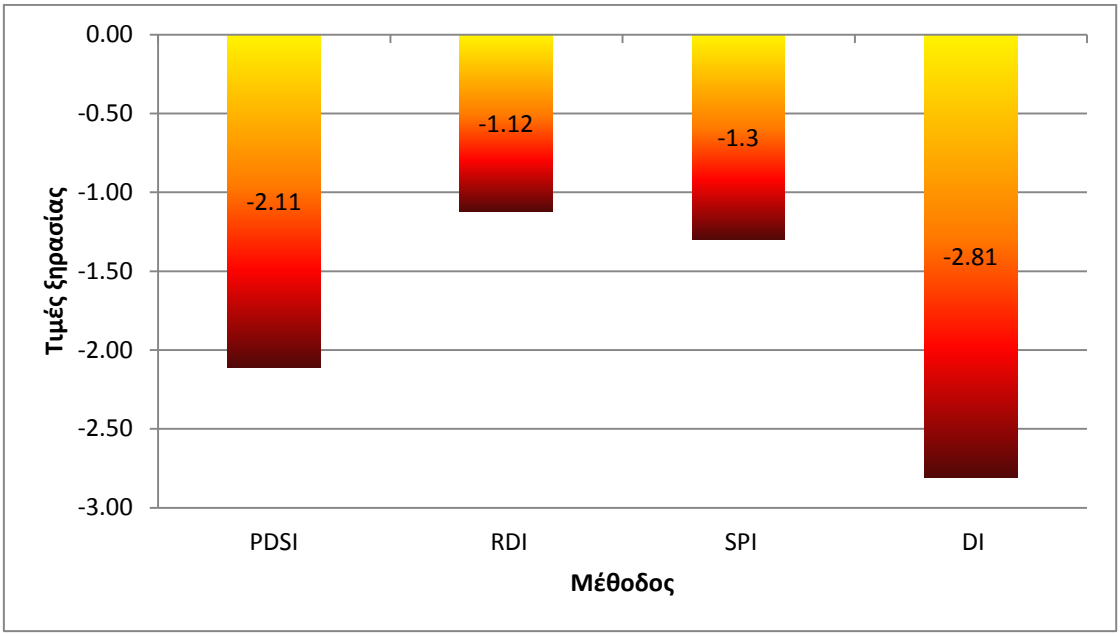


Σχήμα 3.18: Διάγραμμα σύγκρισης δεικτών που αφορά το επεισόδιο ξηρασίας του υδρολογικού έτους 1972 – 1973 στην περιοχή της Λάρισας

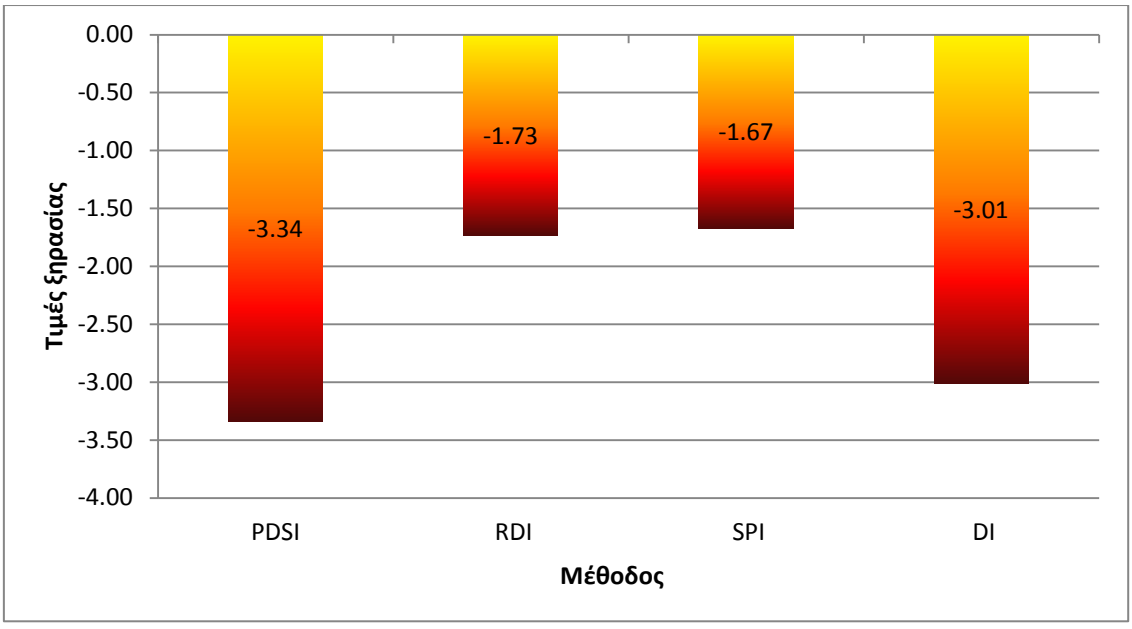


Σχήμα 3.19: Διάγραμμα σύγκρισης δεικτών που αφορά το επεισόδιο ξηρασίας του υδρολογικού έτους 1974 – 1975 στην περιοχή της Λάρισας

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

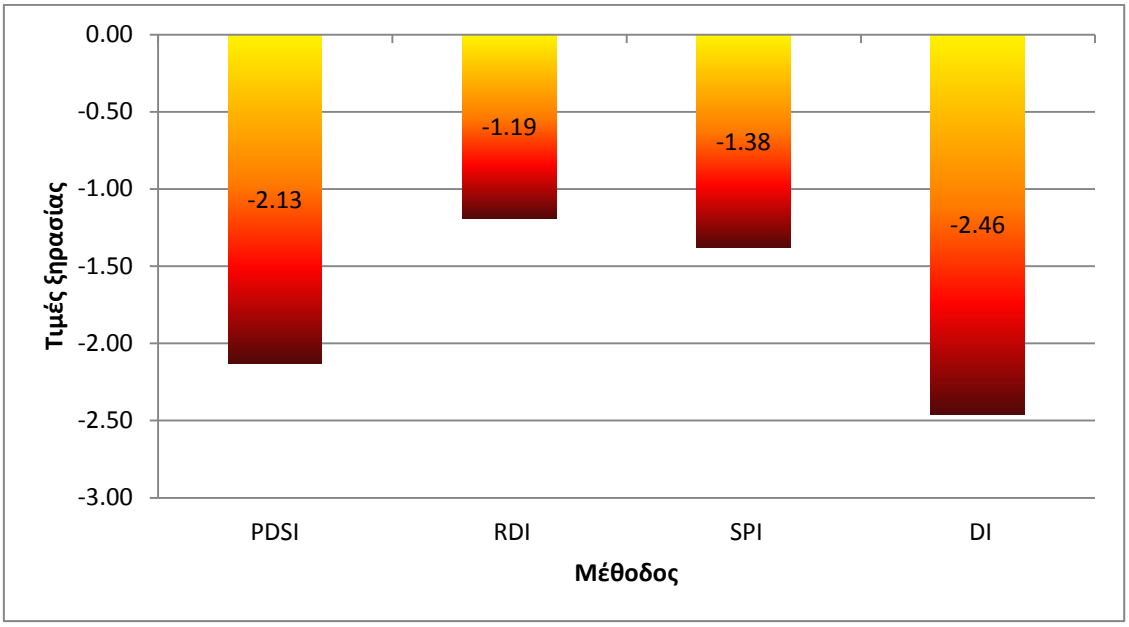


Σχήμα 3.20: Διάγραμμα σύγκρισης δεικτών που αφορά το επεισόδιο ξηρασίας του υδρολογικού έτους 1976 – 1977 στην περιοχή της Λάρισας

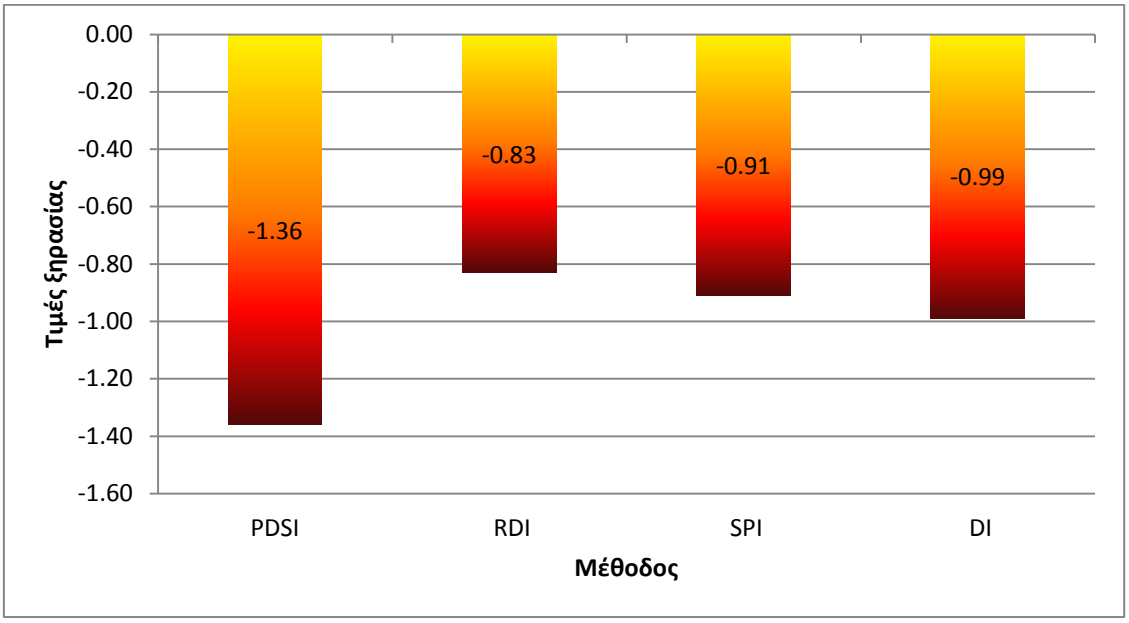


Σχήμα 3.21: Διάγραμμα σύγκρισης δεικτών που αφορά το επεισόδιο ξηρασίας του υδρολογικού έτους 1977 – 1978 στην περιοχή της Λάρισας

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

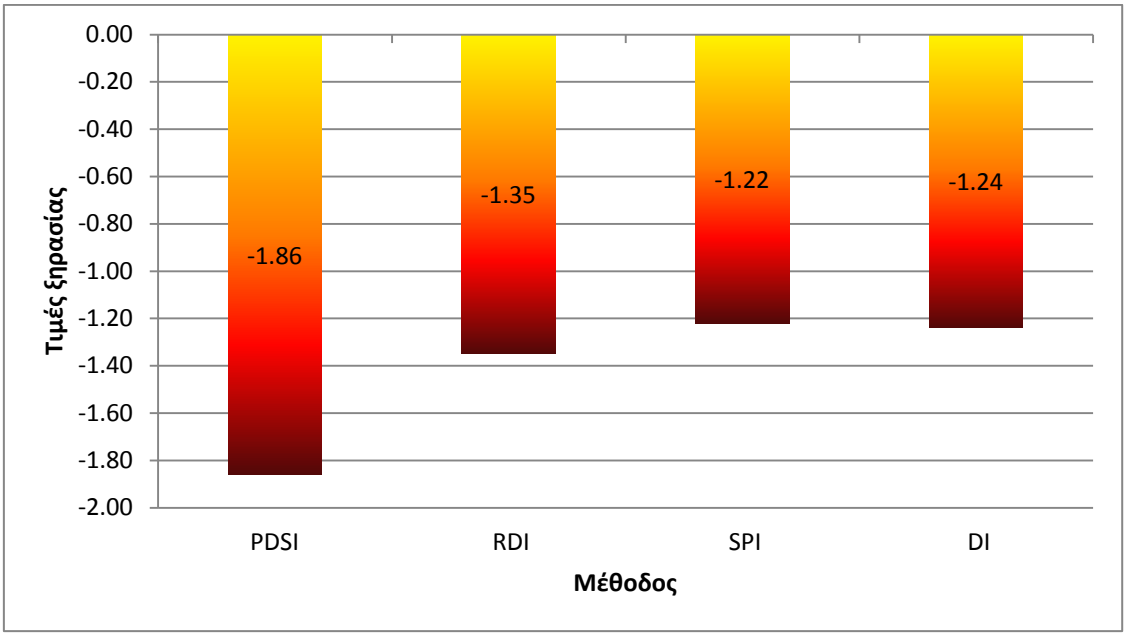


Σχήμα 3.22: Διάγραμμα σύγκρισης δεικτών που αφορά το επεισόδιο ξηρασίας του υδρολογικού έτους 1984 – 1985 στην περιοχή της Λάρισας

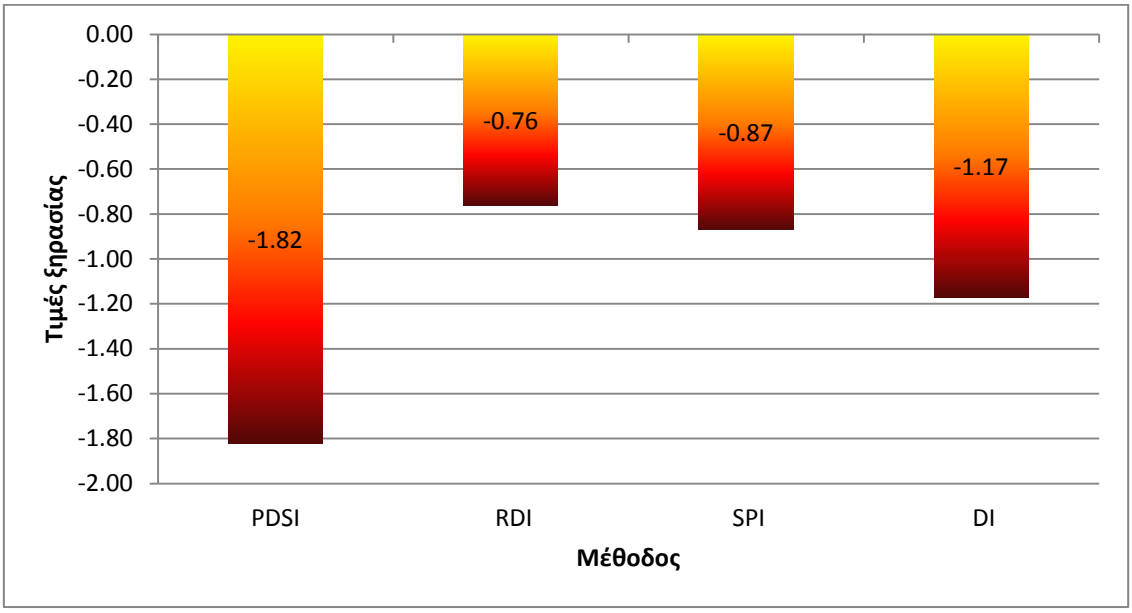


Σχήμα 3.23: Διάγραμμα σύγκρισης δεικτών που αφορά το επεισόδιο ξηρασίας του υδρολογικού έτους 1987 – 1988 στην περιοχή της Λάρισας

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

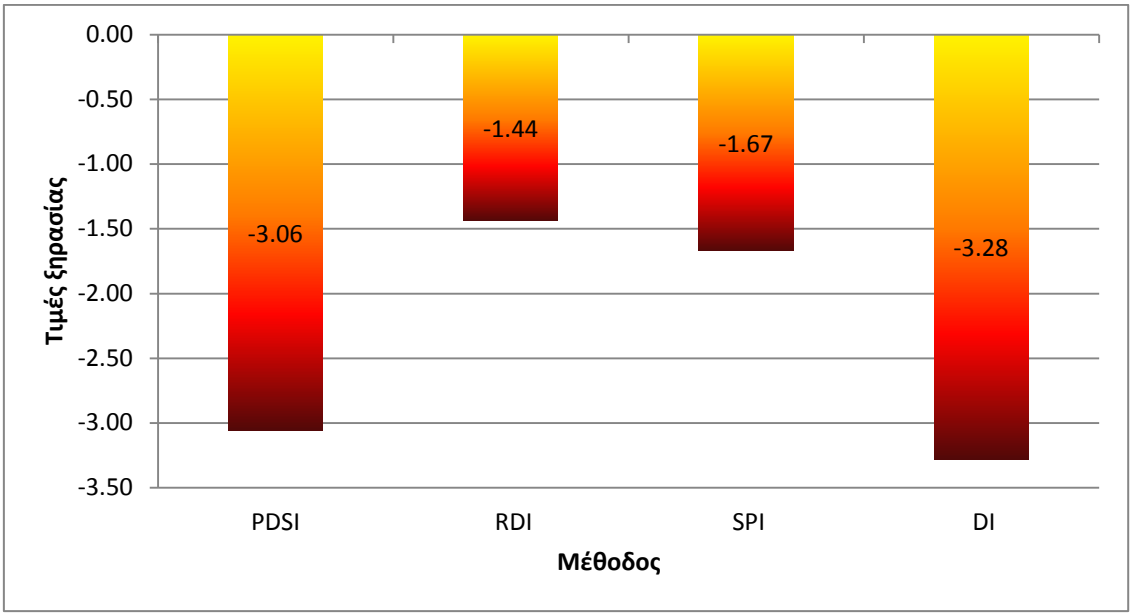


Σχήμα 3.24: Διάγραμμα σύγκρισης δεικτών που αφορά το επεισόδιο ξηρασίας του υδρολογικού έτους 1989 – 1990 στην περιοχή της Λάρισας

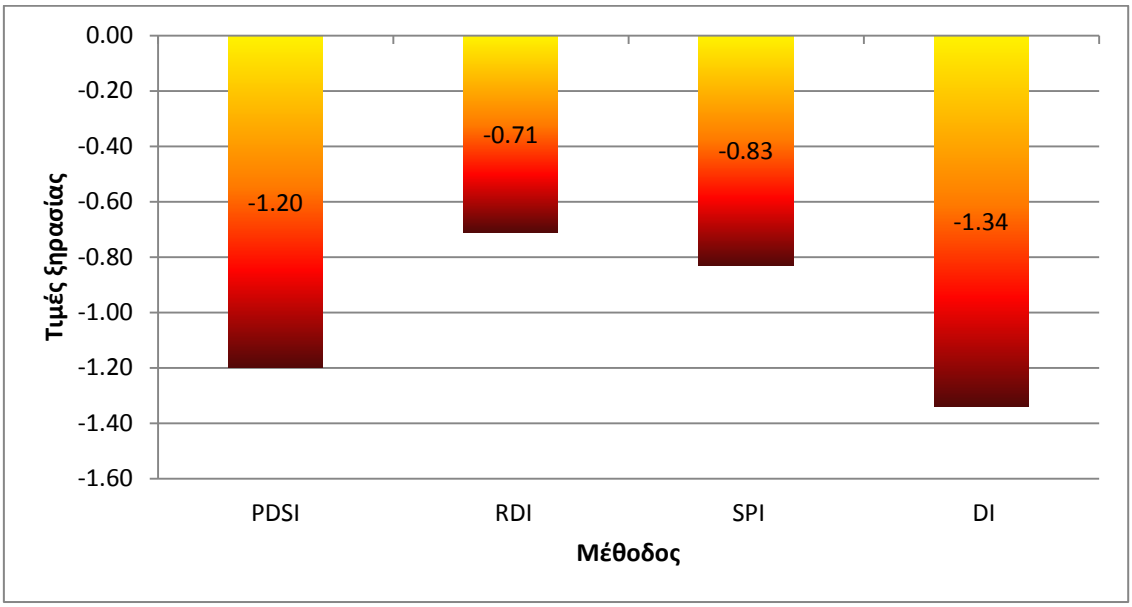


Σχήμα 3.25: Διάγραμμα σύγκρισης δεικτών που αφορά το επεισόδιο ξηρασίας του υδρολογικού έτους 1991 – 1992 στην περιοχή της Λάρισας

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

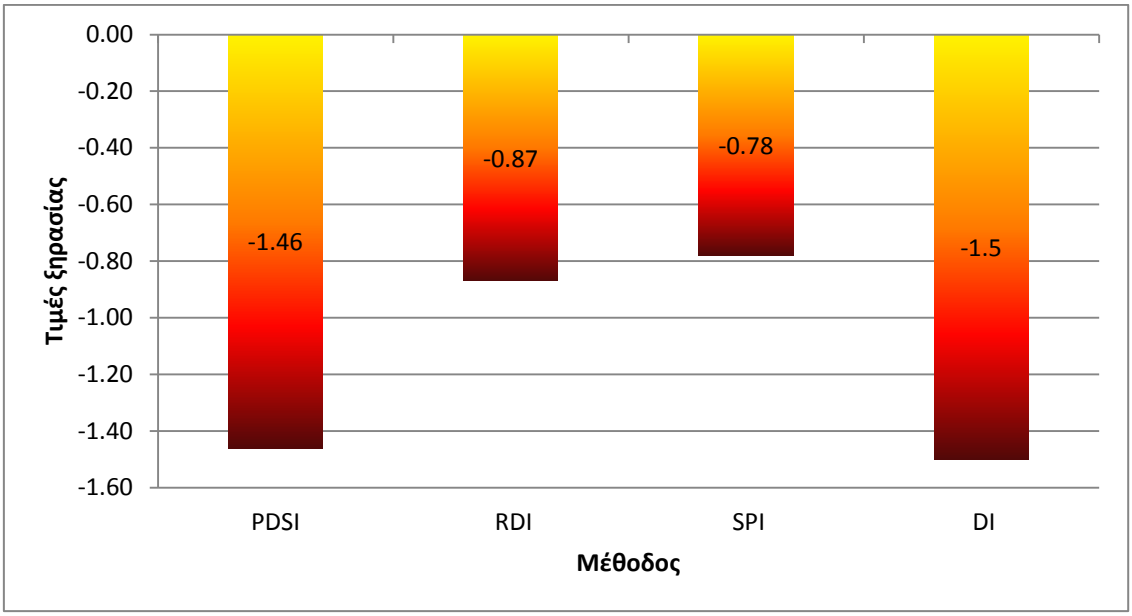


Σχήμα 3.26: Διάγραμμα σύγκρισης δεικτών που αφορά το επεισόδιο ξηρασίας του υδρολογικού έτους 1992 – 1993 στην περιοχή της Λάρισας

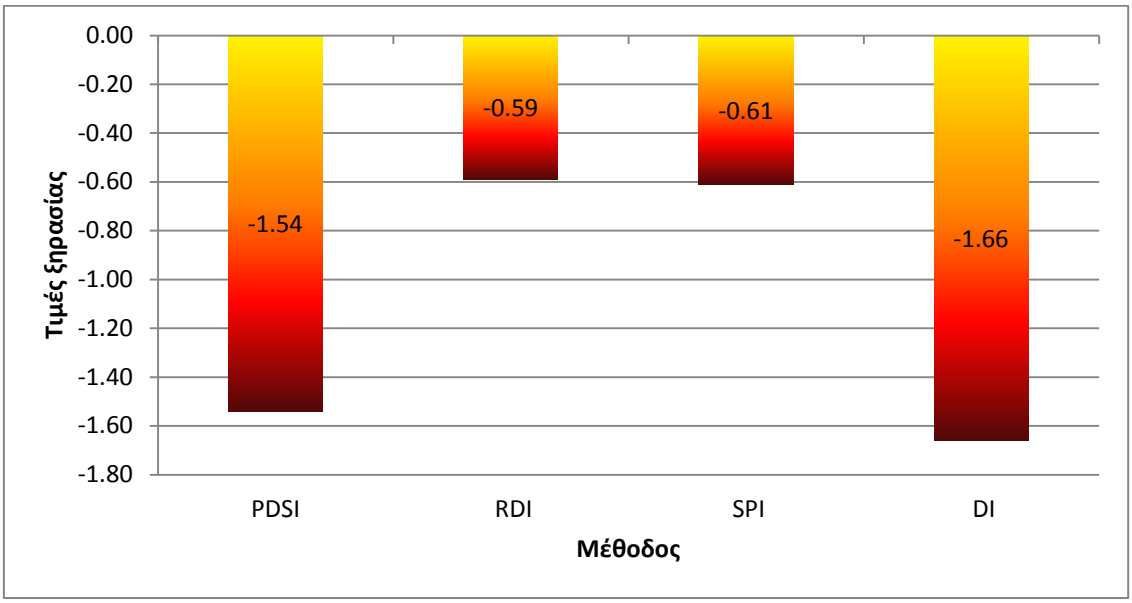


Σχήμα 3.27: Διάγραμμα σύγκρισης δεικτών που αφορά το επεισόδιο ξηρασίας του υδρολογικού έτους 1996 – 1997 στην περιοχή της Λάρισας

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

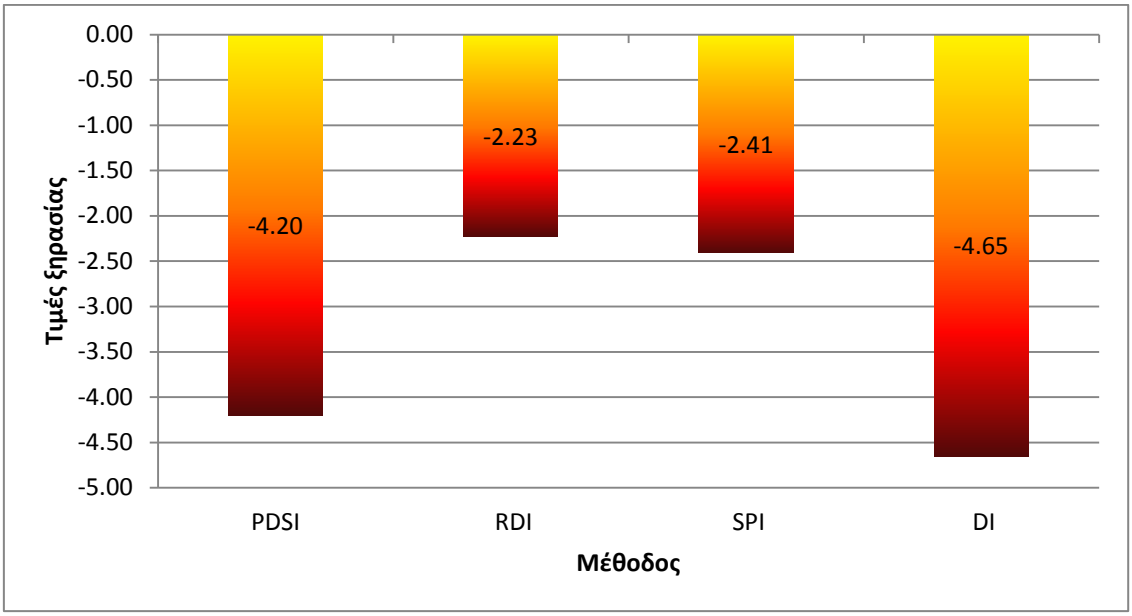


Σχήμα 3.28: Διάγραμμα σύγκρισης δεικτών που αφορά το επεισόδιο ξηρασίας του υδρολογικού έτους 1997 – 1998 στην περιοχή της Λάρισας

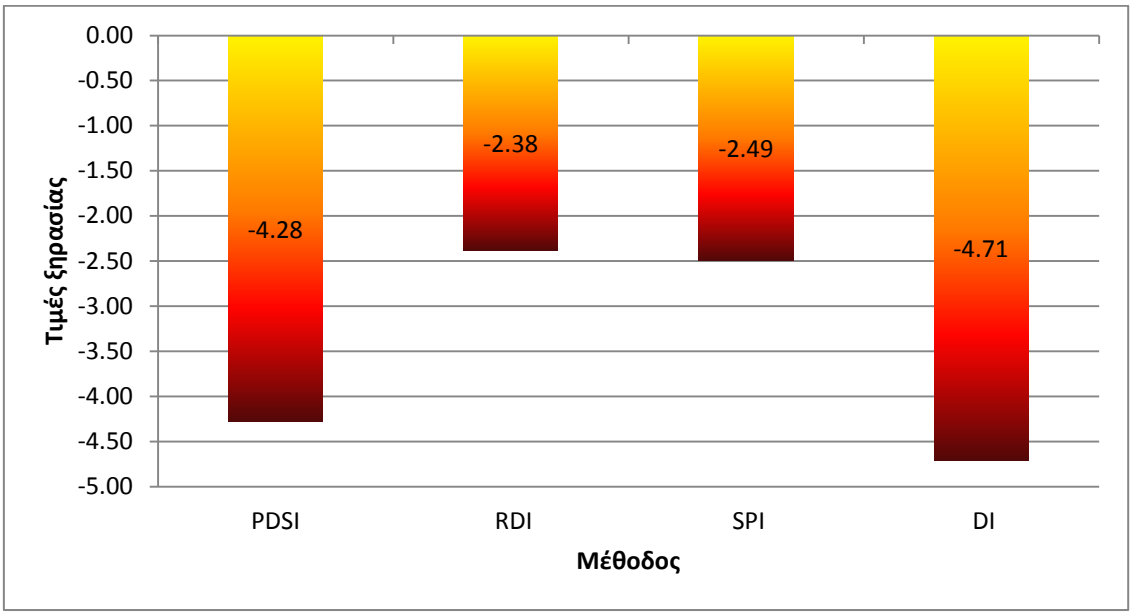


Σχήμα 3.29: Διάγραμμα σύγκρισης δεικτών που αφορά το επεισόδιο ξηρασίας του υδρολογικού έτους 1999 – 2000 στην περιοχή της Λάρισας

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

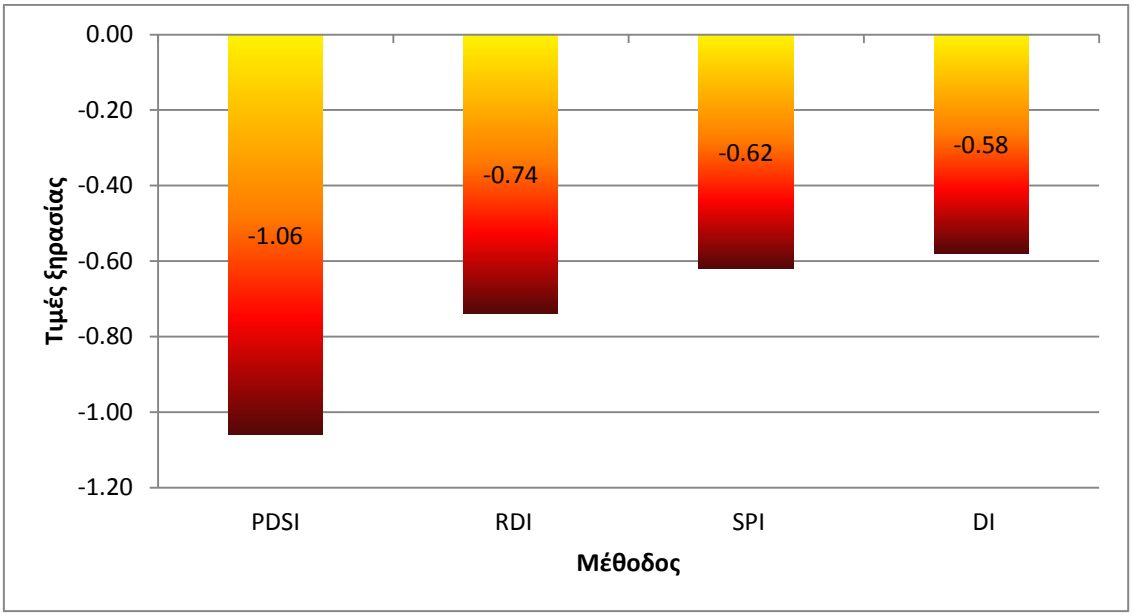


Σχήμα 3.30: Διάγραμμα σύγκρισης δεικτών που αφορά το επεισόδιο ξηρασίας του υδρολογικού έτους 2000 – 2001 στην περιοχή της Λάρισας

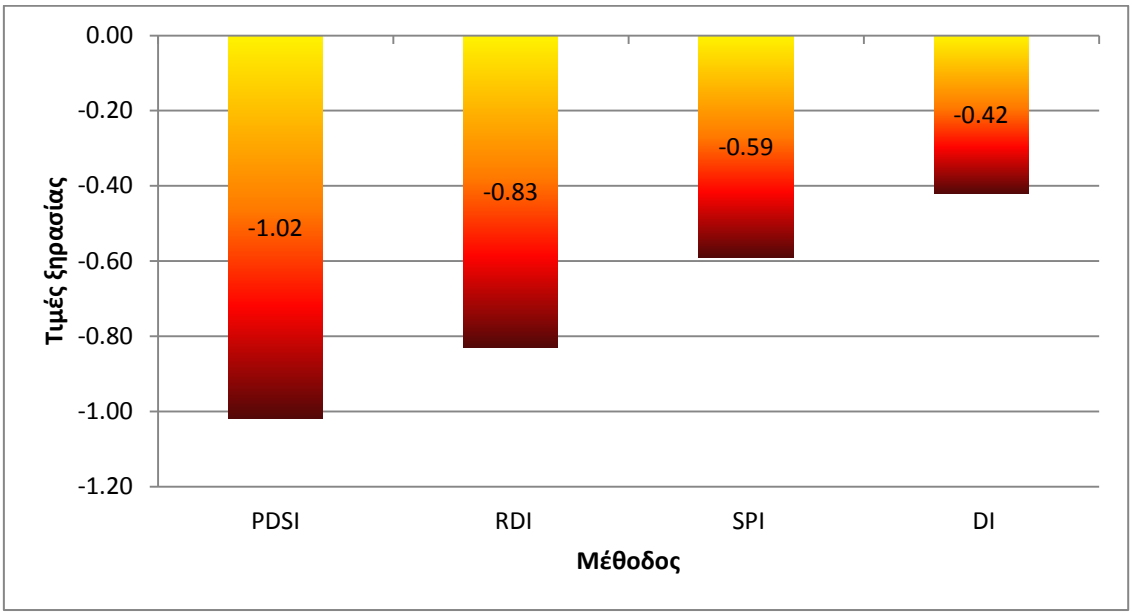


Σχήμα 3.31: Διάγραμμα σύγκρισης δεικτών που αφορά το επεισόδιο ξηρασίας του υδρολογικού έτους 2001 – 2002 στην περιοχή της Λάρισας

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

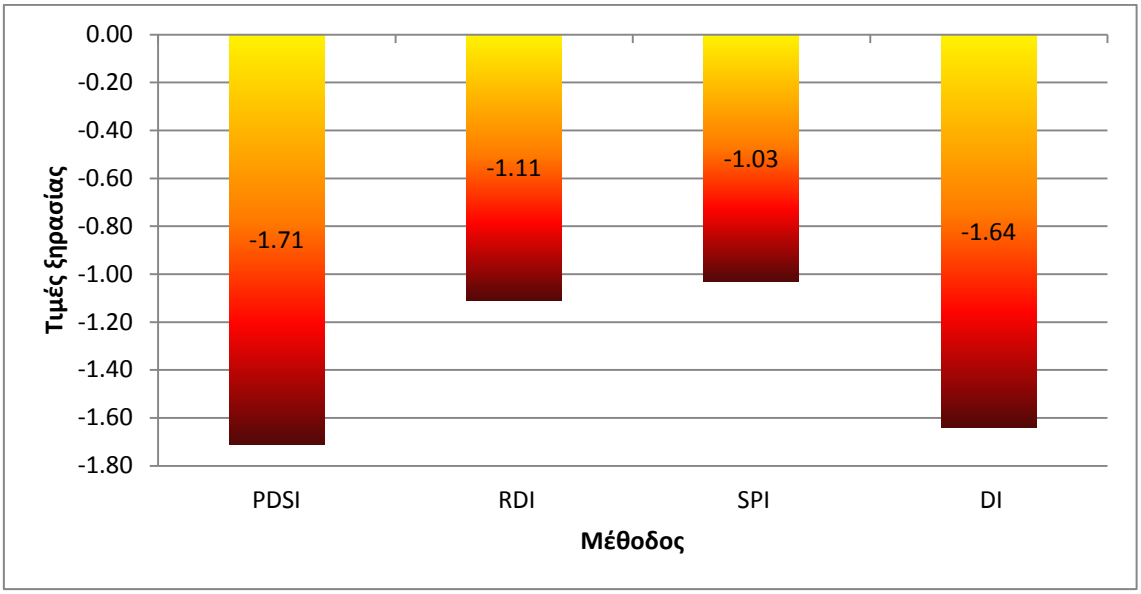


Σχήμα 3.32: Διάγραμμα σύγκρισης δεικτών που αφορά το επεισόδιο ξηρασίας του υδρολογικού έτους 2004 – 2005 στην περιοχή της Λάρισας



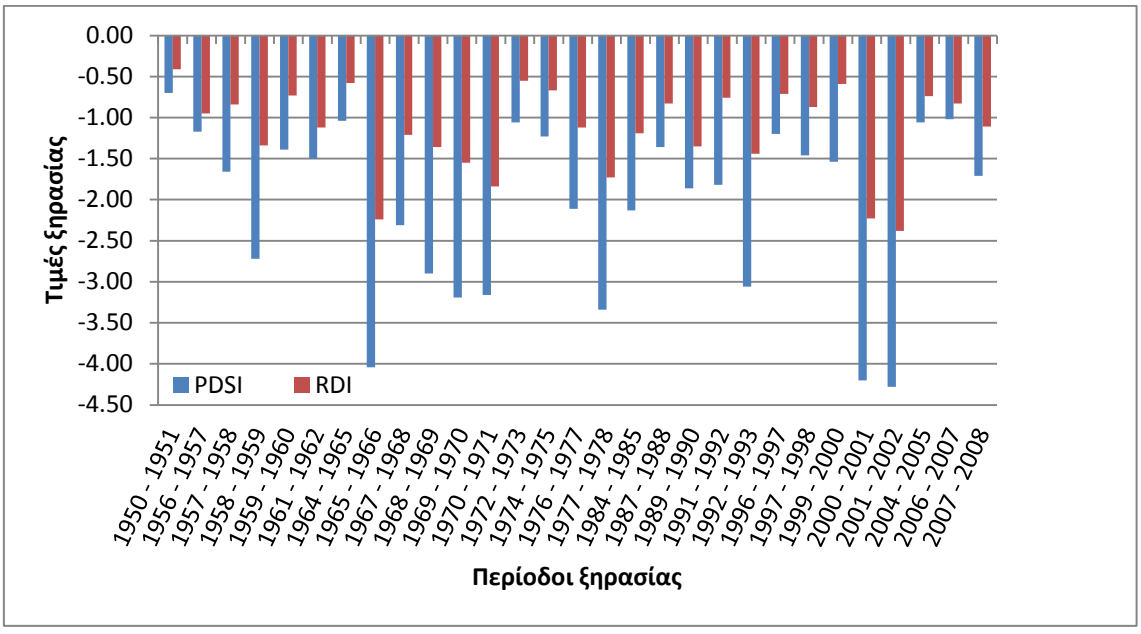
Σχήμα 3.33: Διάγραμμα σύγκρισης δεικτών που αφορά το επεισόδιο ξηρασίας του υδρολογικού έτους 2006 – 2007 στην περιοχή της Λάρισας

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201



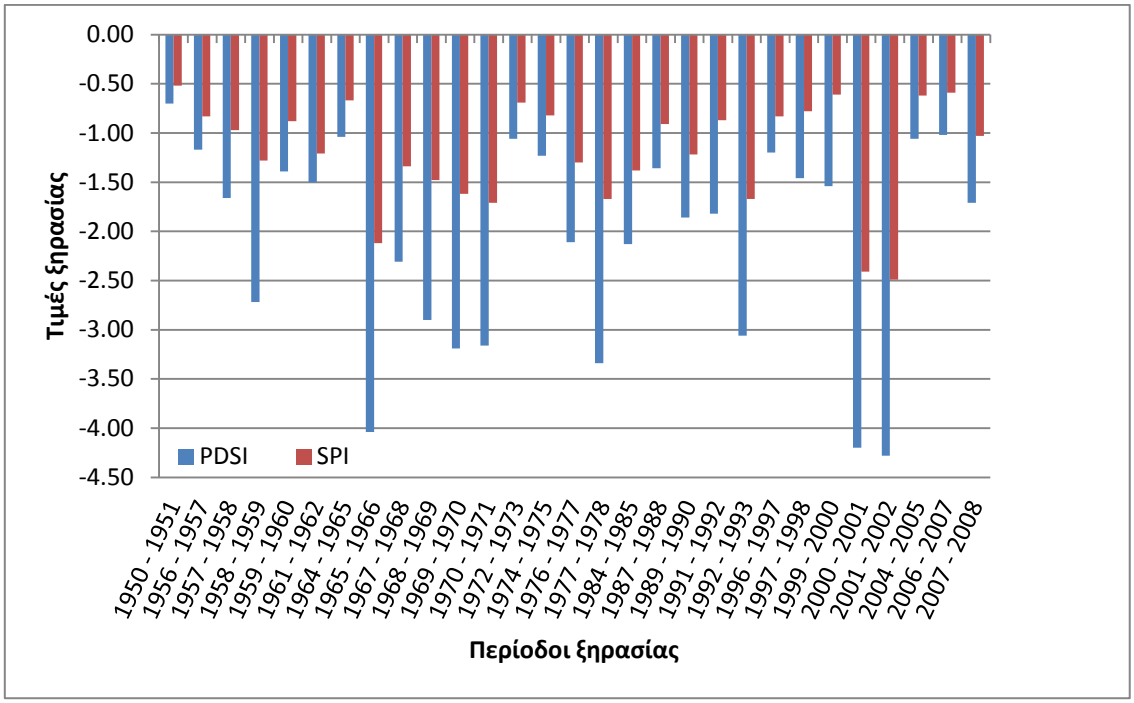
Σχήμα 3.34: Διάγραμμα σύγκρισης δεικτών που αφορά το επεισόδιο ξηρασίας του υδρολογικού έτους 2007 – 2008 στην περιοχή της Λάρισας

Στα Σχήματα 3.35, 3.36 και 3.37 πραγματοποιείται μια σύγκριση των δεικτών SPI, RDI και DI με τον PDSI όσον αφορά τα επεισόδια ξηρασίας.

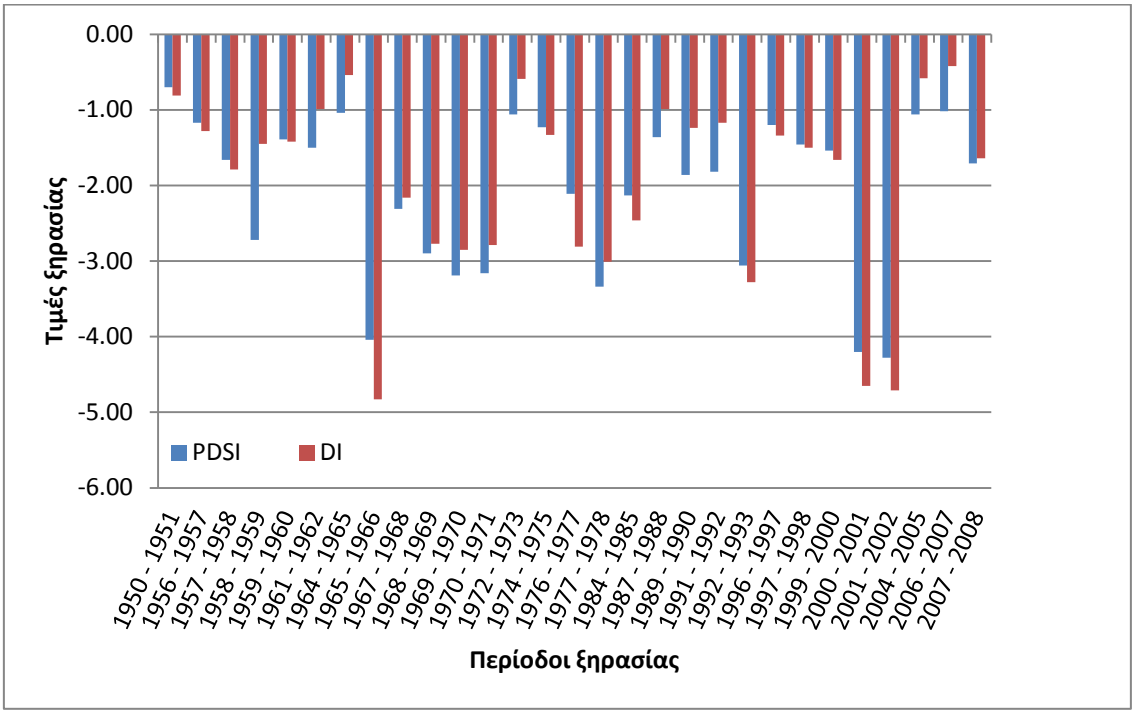


Σχήμα 3.35: Απεικόνιση τιμών επεισοδίων ξηρασίας βάσει των δεικτών PDSI και RDI

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201



Σχήμα 3.36: Απεικόνιση τιμών επεισοδίων ξηρασίας βάσει των δεικτών PDSI και SPI



Σχήμα 3.37: Απεικόνιση τιμών επεισοδίων ξηρασίας βάσει των δεικτών PDSI και DI

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

3.3. Αποτελέσματα στατιστικών δεικτών

Προκειμένου να εξασφαλισθεί μια περισσότερο ολοκληρωμένη προσέγγιση των δεικτών στοχεύοντας παράλληλα στην πιστοποίηση της μεθοδολογίας, χρησιμοποιήθηκαν οι στατικοί δείκτες, τα αποτελέσματα των οποίων παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.3.

Πίνακας 3.3: Αποτελέσματα στατιστικών δεικτών

Δείκτης ξηρασίας	E_{ff}	RMSE	BIAS	r^2
RDI	0,53	0,97	-0,15	0,62
SPI	0,52	0,97	-0,21	0,62
DI	-0,10	2,83	-0,65	0,57
PDSI	-	1,98	-	-

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η ξηρασία σχετίζεται με το χρόνο εμφάνισής της (καθυστέρηση στην έναρξη της υγρής περιόδου, απουσία βροχόπτωσης κατά τα στάδια ανάπτυξης των φυτών) αλλά και την αποτελεσματικότητα των βροχοπτώσεων (π.χ. ένταση βροχόπτωσης, αριθμός επεισοδίων βροχής) (Αναγνωστοπούλου 2003). Έτσι, κάθε επεισόδιο ξηρασίας μπορεί να θεωρηθεί μοναδικό με δικά του κλιματικά χαρακτηριστικά και επιπτώσεις.

Η εκτίμηση του φαινομένου της ξηρασίας γίνεται συνήθως σε βάθος χρόνου, καθώς διαφέρει από άλλα παρόμοια περιβαλλοντικά φαινόμενα που προκαλούν καταστροφές, γιατί έχει μεγάλη διάρκεια. Για το λόγο αυτό, στη συγκεκριμένη εργασία, ο υπολογισμός των επίγειων δεδομένων έγινε σε ένα βάθος χρόνου 60 ετών.

Στα Σχήματα 3.1, 3.2, 3.3 και 3.4, απεικονίζονται διαγραμματικά οι τιμές που προέκυψαν από τον υπολογισμό του κάθε δείκτη χωριστά σε ετήσια βάση. Παρατηρείται ότι όλοι οι δείκτες σχεδόν ταυτίζονται για την ίδια χρονική περίοδο μελέτης. Οι ελάχιστες διαφοροποιήσεις μεταξύ των τιμών των τεσσάρων δεικτών, θεωρούνται αμελητέες και δε μεταβάλλουν σε καμία περίπτωση την τάξη μεγέθους του φαινομένου. Οι μεταβολές αυτές ανάμεσα στις τιμές των δεικτών που εξετάσθηκαν, κινούνται εντός των ορίων της κάθε κλάσης της ξηρασίας (μέτρια, έντονη, ακραία), και εξηγούνται βάσει της διαφορετικής φύσης των δεδομένων που εισήχθησαν κατά τη διαδικασία υπολογισμού τους.

Σύμφωνα με τους Πίνακες 3.2 και 3.3 για το χρονικό διάστημα 1950 – 2010, αριθμούνται 29 συνολικά επεισόδια ξηρασίας στην περιοχή. Παρατηρείται ότι το κάθε ένα καθορίζεται από μια συγκεκριμένη διάρκεια μηνών. Σε αρκετές των περιπτώσεων η ξηρασία ξεφεύγει από τα όρια ενός υδρολογικού έτους, εμφανίζοντας εμμονή στην περιοχή για μεγαλύτερο διάστημα. Ο μήνας έναρξης και λήξης του επεισοδίου

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

καθορίζεται από την εμφάνιση της πρώτης και της τελευταίας αρνητικής τιμής του κάθε δείκτη, αντίστοιχα. Η διάρκεια του ενός επεισοδίου ισούται με το σύνολο των διαδοχικών μηνών εμφάνισης του φαινομένου. Ο μέσος όρος της έντασης της ξηρασίας του δείκτη προέκυψε από το άθροισμα των αρνητικών τιμών των μηνών προς το σύνολο των μηνών της διάρκειας του φαινομένου, αποτέλεσε δε ένδειξη της μέσης μηνιαίας δριμύτητας της ξηρασίας για κάθε επεισόδιο.

Οχτώ επεισόδια ξηρασίας παρατηρήθηκαν σε έρευνα (Κανέλλου 2010) που πραγματοποιήθηκε στη περιοχή της Λάρισας για τα υδρολογικά έτη 1981 – 1982 έως 2000 – 2001 με χρήση του δείκτη ξηρασίας RDI για τη χρονική διάρκεια των δώδεκα μηνών. Συγκεκριμένα, έντονη ξηρασία παρουσίασαν τα υδρολογικά έτη 1984 – 1985 και 1992 - 1993 ενώ μέτρια δριμύτητα του φαινομένου εμφανίστηκε στα έτη 1987 - 1988, 1989 – 1990, 1991 - 1992 και 1999 - 2000. Συγκρίνοντας για το ίδιο χρονικό διάστημα τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την παρούσα έρευνα παρατηρείται ταύτιση των επεισοδίων, ωστόσο διαπιστώνεται μια απόκλιση ως προς τον αριθμό των επεισοδίων της ξηρασίας τα οποία ανέρχονται σε εννέα.

Η σύγκριση και των τεσσάρων δεικτών ξηρασίας στην περιοχή δίνει επιτυχή αποτελέσματα, καθόσον και οι τέσσερις δείκτες προσδιόρισαν με τον ίδιο τρόπο τα επεισόδια ξηρασίας, εμφανίζοντας ως επί το πλείστον τις ίδιες χρονικές διάρκειες μηνών μέσα στα ίδια υδρολογικά έτη και την ίδια περίπου μέση δριμύτητα. Οι διαφορές που παρατηρήθηκαν, όσον αφορά τη δριμύτητα, μεταξύ των δεικτών εξηγούνται λόγω της διαφορετικής φύσης και δομής των δεικτών αυτών.

Παρατηρώντας τα Σχήματα 3.6 έως 3.34, φαίνεται ότι μέση τιμή της έντασης του κάθε επεισοδίου, κατατάσσει την ξηρασία στην ίδια ή γειτονική κατηγορία (μέτρια,

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

έντονη, ακραία), και για τους τέσσερις δείκτες, λαμβάνοντας υπόψη τη διαφορετική διαβάθμιση των τιμών τους.

Από το σύνολο των αποτελεσμάτων στην παρούσα έρευνα διακρίθηκαν τα υδρολογικά έτη 1965 – 1966, 1969 – 1970, 1970 – 1971, 1977 – 1978, 1992 – 1993, 2000 – 2001 και 2001 – 2002 ως τα περισσότερο ξηρά έτη της χρονοσειράς, όπου σε ορισμένες περιπτώσεις η ξηρασία, άγγιξε και τις ακραίες τιμές της.

Στα Σχήματα 3.2.30, 3.2.31 και 3.2.32 απεικονίζονται τα επεισόδια ξηρασίας στο σύνολό τους εμφανίζοντας μια περισσότερο ολοκληρωμένη προσέγγιση των δεικτών. Παρατηρείται ότι οι δείκτες εκτιμούν το φαινόμενο της ξηρασίας στην προς μελέτη περιοχή με τον ίδιο τρόπο. Περισσότερο εμφανής είναι η σύγκλιση στις ακραίες ξηρές τιμές του δείκτη, όπου φαίνεται σε σημαντικό βαθμό η ταύτιση όλων των δεικτών.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη χρήση των στατιστικών δεικτών θεωρούνται πολύ ικανοποιητικά και κυμαίνονται εντός του αποδεκτού εύρους τιμών των στατιστικών δεικτών, γεγονός που αποδεικνύει την αξιοπιστία της μεθοδολογίας.

Μελετώντας τα αποτελέσματα που προέκυψαν παρατηρούμε ότι εξήχθησαν στοιχεία, τα οποία άλλοτε συμβαδίζουν με τα αποτελέσματα άλλων ερευνητικών διαδικασιών και άλλοτε διαφοροποιούνται. Πραγματοποιώντας μια βιβλιογραφική ανασκόπηση για την ξηρασία, διαπιστώθηκε ότι το πιο συχνό εύρημα είναι η εκτίμηση του φαινομένου τόσο στον ελλαδικό χώρο όσο και διεθνώς, κυρίως με τη χρήση του αναγνωριστικού δείκτη ξηρασίας (RDI), του δείκτη ξηρασίας Palmer (PDSI) και του τυποποιημένου δείκτη υετού (SPI).

Σε μια παρόμοια ερευνητική προσπάθεια (Κανέλλου 2010), διαπιστώθηκε ότι ο RDI υπολογισμένος με τη μέθοδο δυνητικής εξατμισοδιαπνοής Blaney - Criddle, θεωρείται η περισσότερο ολοκληρωμένη και αντιπροσωπευτική μέθοδος για την περιοχή της

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

Ελλάδας, όσον αφορά στην κατηγοριοποίηση της ξηρασίας. Επίσης, σύμφωνα με υπάρχουσα βιβλιογραφία (Tsakiris & Vangelis 2005, Tsakiris *et al*. 2007, Tsakiris 2008, Kanellou *et al*. 2008b, Kanellou *et al*. 2008c, Kanellou *et al*. 2008d), ο RDI έχει εφαρμοστεί πρόσφατα για την εκτίμηση της ξηρασίας σε αρκετές περιοχές της Ελλάδας (Θεσσαλία, Αττική, Κυκλάδες, Πελοπόννησος, Κρήτη) αλλά και σε Μεσογειακές χώρες (Κύπρο, Ιταλία, Μάλτα) χρησιμοποιώντας δεδομένα επίγειων μετεωρολογικών σταθμών και παρουσιάζει εξαιρετικά αποτελέσματα, συγκρινόμενος με ευρέως διαδεδομένους δείκτες ξηρασίας. Διαφοροποιήσεις που αφορούν τη δριμύτητα ή την κατανομή του φαινομένου ενδέχεται να προέρχονται από παράγοντες που αφορούν τη χρονική διάρκεια στην οποία υπολογίζεται ο δείκτης RDI (ποιοί μήνες δηλαδή ενσωματώνονται στη διαδικασία), καθώς και το μορφολογικό ανάγλυφο της εκάστοτε περιοχής ανά τον Ελλαδικό χώρο.

Οι συγγραφείς (Αναγνωστοπούλου 2003, Βασιλειάδης 2010) κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι ο δείκτης SPI μπορεί να αποδώσει ικανοποιητικά την εμφάνιση, τη μεταβλητότητα, την ένταση καθώς και την εμμονή της ξηρασίας στην ελληνική περιοχή παρουσιάζοντας επιπλέον καλή συσχέτιση με το δείκτη ανωμαλιών της κεντρικής Ευρώπης, αλλά και της ανατολικής Μεσογείου. Επίσης, υποστηρίζεται ότι ο μετεωρολογικός δείκτης SPI, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε επιχειρησιακά προγράμματα παρακολούθησης της ξηρασίας, αφού μπορεί να αναγνωρίσει διάφορους τύπους ξηρασίας λόγω της πολλαπλής κλίμακας υπολογισμού του. Ο SPI μέχρι σήμερα έχει βρει μεγαλύτερο πεδίο εφαρμογής στη νοτιοδυτική Ασία από οποιονδήποτε άλλο δείκτη ξηρασίας, λόγω της περιορισμένης απαίτησης του σε δεδομένα, την ευελιξία και την απλότητα των υπολογισμών του ενώ έχει χρησιμοποιηθεί με επιτυχία για την περιγραφή των συνθηκών ξηρασίας στο Τέξας και στην Οκλαχόμα (Hayes *et al*. 1999).

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

Σε μια έρευνα των Khalili *et al.* (2011) πραγματοποιήθηκε μια προσπάθεια σύγκρισης των δεικτών SPI και RDI που είχε ως στόχο την διερεύνηση πιθανών ομοιοτήτων ή διαφορών. Τα αποτελέσματα πιστοποίησαν μια παρόμοια συμπεριφορά μεταξύ των δυο μεθοδολογιών σημειώνοντας ελάχιστες διαφοροποιήσεις. Αντίθετα οι Zarch *et al.* (2011) υποστήριξαν ότι ο RDI υπερτερεί σε σχέση με το δείκτη SPI, ο οποίος χρησιμοποιεί μόνο δεδομένα βροχόπτωσης, καθόσον προσφέρει περισσότερο ολοκληρωμένες πληροφορίες για τις συνθήκες της περιοχής, χρησιμοποιώντας επιπλέον και τη δυνητική εξατμισοδιαπνοή.

Σύμφωνα με τον Guttman *et al.* (1992) ένα μεγάλο πλεονέκτημα του δείκτη PDSI είναι η τυποποιημένη του μορφή η οποία διευκολύνει τις άμεσες συγκρίσεις του δείκτη μεταξύ διαφορετικών περιοχών και χρονικών περιόδων. Σε μια έρευνα (Vasiliades & Loukas 2009) που πραγματοποιήθηκε στην περιοχή της Θεσσαλίας σε επιλεγμένες λεκάνες απορροής με διαφορετικά γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά, διαπιστώθηκε ότι ο δείκτης ξηρασίας Palmer δεν εκτιμά ικανοποιητικά τη διάρκεια ξηρασίας ενός επεισοδίου και σύμφωνα με τον Rosenberg *et al.* (1983) ο PDSI τείνει να υποεκτιμά την ένταση της ξηρασίας.

Οι τελευταίες μεγάλες ξηρασίες που έπληξαν τη χώρα μας είχαν τεράστιες οικονομικές, κοινωνικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις δεδομένου ότι η ξηρασία δημιουργεί σοβαρά προβλήματα στη γεωργία, στον τουρισμό, στα αποθέματα νερού, στα οικοσυστήματα και γενικότερα στη ποιότητα της ζωής των ανθρώπων.

Η ξηρασία συνεπώς, διαφέρει από τις άλλες φυσικές καταστροφές σε τρία βασικά σημεία. Καταρχήν, πλήττει πολύ περισσότερους ανθρώπους από κάθε άλλη φυσική καταστροφή (Mishra & Desai 2005, Zarch *et al.* 2011), αν ληφθεί υπ’ όψιν μας το γεγονός ότι μόνο κατά τον 20ο αιώνα υπήρξαν εκατομμύρια νεκροί ως συνέπεια δεκάδων μεγάλων ξηρασιών που συνέβησαν στην Ασία και στην Αφρική. Είναι επίσης,

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

φαινόμενο που εξελίσσεται σιωπηλά και είναι δύσκολο να προσδιοριστεί η αρχή και το τέλος του. Ο επιδράσεις του συσσωρεύονται αργά μέσα σε μεγάλο χρονικό διάστημα και μπορεί να παραμείνουν για αρκετά χρόνια μετά τη λήξη του. Για το λόγο αυτό, συνήθως προκαλείται σύγχυση μέχρι να προσδιοριστεί η ξηρασία και η έντασή της. Τέλος, οι κοινωνικές επιδράσεις είναι λιγότερο ορατές και εκτείνονται σε πολύ μεγαλύτερες γεωγραφικές περιοχές από ότι άλλες φυσικές καταστροφές (π.χ. πλημμύρες, σεισμοί), δεδομένου ότι η ξηρασία σπάνια καταλήγει σε καταστροφή των υποδομών. Συνεπώς, η ποσοτικοποίηση των επιδράσεών της και η πρόβλεψη αρωγής στους πληγέντες είναι πολύ πιο δύσκολη.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

5.1. Συμπεράσματα

Από την εφαρμογή της μεθοδολογίας στην επιλεγμένη περιοχή μελέτης προέκυψαν συμπεράσματα που αφορούν τόσο την καταλληλότητα των μεθόδων που επιλέχθηκαν όσο και την ευκολία ερμηνείας και ανάλυσης των αποτελεσμάτων τους.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη χρήση των ευρέως διαδεδομένων δεικτών, PDSI, RDI, SPI, και DI, προτρέπουν να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι πρόκειται για εύχρηστους και ολοκληρωμένους δείκτες οι οποίοι εκτιμούν το φαινόμενο της ξηρασίας χωρίς πολλές απαιτήσεις σε δεδομένα. Αυτό οδηγεί σε εξοικονόμηση πολύτιμου χρόνου, ο οποίος είναι απαραίτητος για την καταπολέμηση της ξηρασίας που πλήττει ένα μεγάλο ποσοστό περιοχών του πλανήτη αλλά και της χώρας μας.

Αναλυτικότερα, η αποτελεσματικότητα και η εγκυρότητα των μεθόδων RDI, SPI και DI προέκυψε από τη σύγκρισή τους με τον PDSI, ο οποίος θεωρείται ο πιο αξιόπιστος δείκτης που εκτιμά το φαινόμενο της ξηρασίας. Από τη σύγκριση αυτή εξήχθησαν ικανοποιητικά αποτελέσματα αφού οι χρονοσειρές που προέκυψαν από όλες τις μεθόδους συμπίπτουν, παρουσιάζοντας μικρές αυξομειώσεις όσον αφορά τη δριμύτητα της ξηρασίας, οι οποίες είναι και αναμενόμενες. Η ταύτιση των αποτελεσμάτων υποδηλώνει την αποτελεσματική εκτίμηση της ξηρασίας ακόμη και με τη χρήση διαφορετικής μεθόδου.

Καθοριστικό ρόλο στην εξαγωγή των συμπερασμάτων, είχε η χρήση ορισμένων ευρέως διαδεδομένων στατιστικών δεικτών από τους οποίους προέκυψαν συγκρίσιμα και ικανοποιητικά αποτελέσματα. Από τον υπολογισμό των στατιστικών δεικτών παρατηρήθηκε ότι τα αποτελέσματα κυμαίνονται στα επιτρεπτά όρια πλησιάζοντας

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

μάλιστα τις βέλτιστες τιμές του κάθε δείκτη, γεγονός που εξακριβώνει και επαληθεύει τα ήδη υπάρχοντα αποτελέσματα.

Συνεπώς, επιβεβαιώνεται η χρήση των δεικτών PDSI, SPI, RDI και DI για σημειακή εκτίμηση της ξηρασίας καθιστώντας τους κατάλληλους στο να περιγράψουν και να εκτιμήσουν το φαινόμενο της ξηρασίας.

5.2. Προτάσεις

Όσον αφορά, τον αρτιότερο μεθοδολογικό σχεδιασμό και την εφαρμογή παρόμοιων μελλοντικών ερευνών:

- Σημαντικό μέτρο που θα μπορούσε να εφαρμοστεί αφορά την αύξηση του δικτύου των μετεωρολογικών σταθμών. Με τον τρόπο αυτό, εξασφαλίζεται η καλύτερη προσέγγιση του φαινομένου της ξηρασίας από τη στιγμή που θα παρέχεται η δυνατότητα άντλησης περισσότερων δεδομένων για επεξεργασία και ανάλυση.
- Για την εκτίμηση του φαινομένου της ξηρασίας, υπάρχει μια πληθώρα δεικτών. Ο κάθε ένας από αυτούς έχει τη δική του αξία και συχνά υποστηρίζει ο ένας τον άλλο. Φαίνεται ότι κανένας δείκτης δεν είναι βέλτιστος για όλες τις περιοχές και για όλες τις περιπτώσεις, με βάση το γεγονός ότι ορισμένοι δείκτες παρουσιάζουν καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με άλλους, για συγκεκριμένες καταστάσεις. Επομένως, ένας συνδυασμός δεικτών ενδεχομένως να είναι μια επιλογή.
- Βασικό επίσης, είναι να εδραιωθούν οι μέθοδοι και οι παράμετροι των δεικτών, προκειμένου να εξασφαλιστεί η δυνατότητα πρόγνωσης του φαινομένου.
- Τέλος, σκόπιμο θα ήταν να εξεταστεί η δυνατότητα χρησιμοποίησης και άλλων δεικτών οι οποίοι να αποδίδουν ενδεχομένως τη δυνατότητα ικανοποιητικών

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

αποτελεσμάτων αναλόγως με τα υδροκλιματικά χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Α. Ελληνική Βιβλιογραφία

1. Αναγνωστοπούλου Χ. (2003) Συμβολή στη μελέτη της ξηρασίας στον Ελληνικό χώρο. Διδακτορική διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, σελ. 219
2. Βασιλειάδης Λ. (2010) Χωροχρονική ανάλυση, προσομοίωση και πρόγνωση ξηρασίας στην υδρολογική λεκάνη Πηνειού ποταμού Θεσσαλίας. Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, σελ. 422
3. Δαλέζιος Ν.Ρ. (1999) Περιβαλλοντική εκπαίδευση. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις, Βόλος, σελ. 502
4. Δαλέζιος Ν.Ρ. (2007) Ξηρασία. Σε: Διαχείριση Περιβαλλοντικών Κινδύνων. Πανεπιστημιακές Παραδόσεις, Βόλος, σελ. 213-249
5. Δαλέζιος Ν.Ρ., Μπουκουβάλα Ε., Μπλάντα Α., Πισμίχος Ν., Σπυρόπουλος Ν., Ψιλοβίκος Α. (2011) Πιστοποίηση και αξιοπιστία συμβατικών δεκτών εκτίμησης υδρομετεωρολογικής ξηρασίας. CD πρακτικών 7ου Πανελλήνιου Συνεδρίου της Εταιρίας Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδος
6. Ζαραγκότας Χ. (2005) Πιθανοθεωρητική χρονική και χωρική ανάλυση ξηρασίας και διερεύνηση της σχέσης μετεωρολογικής και υδρολογικής ξηρασίας στη Θεσσαλία. Διπλωματική εργασία, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, σελ. 155
7. Ιακωβίδου Ε. (2010) Αναζήτηση συσχέτισης μεταξύ κλιματικών δεικτών μακράς κλίμακας και μετεωρολογικής ξηρασίας στην Ελλάδα. Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, σελ. 169
8. Κανέλλου Ε. (2010) Περιοχική εκτίμηση ξηρασίας. Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, σελ. 229
9. Κουτσογιάννης Δ., Ξανθόπουλος Θ. (1999) Τεχνική Υδρολογία. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, σελ. 418
10. Κουτσογιάννης Δ., Μαμάσης Ν. (2007) Φυσικές, κοινωνικές και τεχνολογικές πτυχές της ξηρασίας - Το παράδειγμα της Αθήνας. Σε: Σαπουτζάκη Κ. (ed) Φυσικές και Τεχνολογικές Καταστροφές στην Ευρώπη και την Ελλάδα. Gutenberg, Αθήνα, σελ. 61–88
11. Τσακίρης Γ. (1995) Υδατικοί Πόροι: Ι. Τεχνική Υδρολογία. Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα, σελ. 675
12. Τσακίρης, Γ., Τίγκας Δ., Βαγγέλης Χ. (2007) Επιπτώσεις της Ξηρασίας και των Κλιματικών Αλλαγών στο Επιφανειακό Δυναμικό Παράκτιων Λεκανών Απορροής στη Β. Πελοπόννησο. Πρακτικά 6ου Εθνικού Συνεδρίου Ελληνικής Επιτροπής Διαχείρισης Υδάτινων Πόρων. Χανιά, σελ. 161-169

Β. Ξένη Βιβλιογραφία

13. Alley W.M. (1984) The Palmer Drought Severity Index: Limitations and assumptions. Climate and Applied Meteorology, 23:1100-1109
14. Bacanli Ü.G., Dikbaş F., Baran T. (2011) Meteorological drought analysis case study: Central Anatolia. Desalination and Water Treatment, 26(1-3):14-23
15. Baier W., Robertson G.W. (1966) A New Versatile Soil Moisture Budget. Plant Science, 46:299-315
16. Bergman K.H., Sabol P., Miskus D. (1988) Experimental indices for monitoring global drought conditions. Proceedings of the 13th Annual Climate Diagnostics Workshop, Cambridge, MA, U.S. Dept. of Commerce, p 190-197

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

17. Bhalme H.N., Mooley D.A. (1980) Large-scale droughts/floods and monsoon circulation. Monthly Weather Review, 108:1197-1211
18. Bhuiyan C. (2004) Various drought indices for monitoring drought condition in Aravalli terrain of India. Proceedings of the XXth ISPRS Conference, International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Istanbul, p 6
19. Bhuiyan C., Singh R.P., Kogan F.N. (2006) Monitoring drought dynamics in the Aravalli region (India) using different indices based on ground and remote sensing data. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 8(4):289-302
20. Blaney H.F., Criddle W.D. (1950) Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigation data. USDA Soil Conservation Service, Technical Paper, No. 96, p 48
21. Boucher E., Guiot J., Chapron E. (2011) A millennial multi-proxy reconstruction of summer PDSI for Southern South America. Interactive Open Access Journal of the European Geosciences Union: Climate of the Past, 7(3):957-974
22. Dalezios N.R. (1988) Objective Rainfall Evaluation in Radar Hydrology. Journal of Water Resources Planning and Management, 114(5):531–546
23. Dalezios N.R., Papazafiriou Z.G., Papamichail D.M., Karacostas T.S. (1991) Drought assessment for the potential of precipitation enhancement in Northern Greece. Theoretical and Applied Climatology, 44:75-88
24. Dalezios N.R, Loukas A., Vasiliades L., Liakopoulos H. (2000) Severity - Duration - Frequency analysis of droughts and wet periods in Greece. Journal of Hydrolological Sciences, 45(5):751-770
25. Dalezios N.R., Blanta A., Spyropoulos N., Pismichos N., Boukouvala E. (2011) Spatiotemporal classification of drought severity. Proceedings of the 5th International Conference on Information and Communication Technologies in Agriculture, Food and Environment. Vol. 1, Skiathos, p 171-182
26. Dracup J.A., Lee K.S., Paulson E.G. (1980) On the statistical characteristics of drought events. Water Resources Research, 16:289-296
27. FEMA (1995) National Mitigation Strategy: Partnerships for building safer communities. Washington, DC, pp 53
28. Fernando H.J., Klaic Z.B. (2011) Addressing socioeconomic and political challenges posed by climate change. EOS, Transactions American Geophysical Union, 92(35):292-293
29. Foley J.C. (1957) Droughts in Australia: Review of Records from Earliest Years of Settlement to 1955. Australian Bureau of Meteorology, Bull 43, p 281
30. Frampton S., Chaffey J., McNaught A., Hardwick J. (1996) Natural Hazards - Causes, Consequences and Management. 2nd edition, p 7-30
31. Gibbs W.J., Maher J.V. (1967) Rainfall Deciles as Drought Indicators. Australian Bureau of Meteorology, Melbourne, pp 84
32. Guttman N.B., Wallis J.R., Hosking J.R.M. (1992) Spatial Comparability of the Palmer Drought Severity Index. Water Resources Bulletin, 28:1111-1119
33. Gutzler D.S., Robbins T.O. (2011) Climate variability and projected change in the western United States: regional downscaling and drought statistics. Climate Dynamics, 37(5):835-849
34. Hayes M.J., Svoboda M.D., Wilhite D.A., Vanyranko O.V. (1999) Monitoring the 1996 drought using the Standardized Precipitation Index. Bulletin of the American Meteorological Society, 80:429-438

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

35. Heim R.R. (2000) Drought indices. A review. In: Wilhite D.A. (ed.) Drought: A Global Assessment, Hazards Disaster Series. Routledge, New York, Vol I, p 159-167
36. Heim R.R. (2002) A review of twentieth- century drought indices used in the United States. Bulletin of the American Meteorological Society, 83(8):1149-1165
37. Holmes R.M., Robertson G.W. (1959) A Modulated Soil Moisture Budget. Monthly Weather Review, 87:101-105
38. Hondronikou E., Loukas A., Vassiliades L., Dalezios N.R. (2005) Objective intercomparison of water balance modeling in small watersheds. Proceedings of the 6th International Conference of European Water Resources Association at France (in press)
39. Huang J., Van den Dool H., Georgakakos K.P. (1996) Analysis of model - calculated soil moisture over the United States (1931-93) and application to long - range temperature forecasts. Journal of Climate, 9:1350-1362
40. Jamshidi H., Khalili D., Zadeh M.R., Hosseinipour E.Z. (2011) Assessment and comparison of SPI and RDI meteorological drought indices in selected synoptic stations of Iran. Proceedings of the 2011 World Environmental and Water Resources Congress. p 1161-1173
41. Kalamaras N., Michalopoulou H., Byun H.R. (2010) Detection of drought events in Greece using daily precipitation. Hydrology Research, 41(2):126-133
42. Kanellou E., Domenikiotis C., Dalezios N.R. (2008a) Description of Conventional and Satellite Drought Indices. Report of Proactive Management of Water Systems to Face Drought and Water Scarcity in Islands and Coastal Areas of the Mediterranean, pp 23-57
43. Kanellou E., Domenikiotis C., Blanta A., Hondronikou E., Dalezios N.R. (2008b) Index-based Drought Assessment in Semi-Arid Areas of Greece based on Conventional Data. European Water, 23/24:87-98
44. Kanellou E., Tsiros E., Domenikiotis C., Dalezios N.R. (2008c) Drought monitoring using several indices. Procedings of the 4th International Conference on Information and Communication Technologies in Bio and Earth Sciences. Athens, p 32-37
45. Kanellou E., Domenikiotis C., Blanta A., Hondronikou E., Dalezios N.R. (2008d) Intercomparison of drought indices in semi-arid areas of Greece using conventional data. Proceedings of the International Symposium of Water Shortage Management. Athens, p 167-179
46. Karl T.R. (1986) The sensitivity of the Palmer Drought Severity Index and Palmer's Z-Index to their calibration coefficients including potential evapotranspiration. Journal of Climate and Applied Meteorology, 25:77-86
47. Keyantash J., Dracup J.A. (2002) The Quantification of Drought: An Evaluation of Drought Indices. Bulletin of American Meteorological Society, p 1167-1180
48. Khalili D., Farnoud T., Jamshidi H., Kamgar - Haghighi A.A., Zand-Parsa S. (2011) Comparability Analyses of the SPI and RDI Meteorological Drought Indices in Different Climatic Zones. Water Resources Management, 25(6):1737-1757
49. Kothavala Z. (1997) Extreme precipitation events and the applicability of global climate models to the study of floods and droughts. Mathematics and Computers in Simulation, 43:261-268
50. Krause P., Boyle D.P., Base F. (2005) Comparison of different efficiency criteria for hydrological model assessment. Advances in geosciences, 5:89-97

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

51. Loukas A., Vasiliades L., Spiliotopoulos M., Bampzelis D., Domenikiotis C., Dalezios N.R. (2002) An assessment of regional droughts in Greece using two meteorological drought indices. Proceedings of the 6th Hellenic Conference in Meteorology, Climatology and Atmospheric Physics, Ioannina, p 708-716
52. Mather J.R. (1981) Using computed stream flow in watershed analysis. Bulletin of Water Resources, 17:474-482
53. Mavromatis T. (2010) Use of drought indices in climate change impact assessment studies: An application to Greece. International Journal of Climatology, 30(9):1336-1348
54. Mavromatis T. (2011) Changes in exceptional hydrological and meteorological weekly event frequencies in Greece. Climatic Change, p 1-19
55. McKee T.B., Doesken N.J., Kleist J. (1993) The relationship of drought frequency and duration to time scale. Amer. Meteor. Soc, 179: 17-22
56. Mishra A.K., Desai V.R. (2005) Drought forecasting using stochastic models. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment. Springer Verlag, 19: 326-339
57. Mishra A.K., Singh V.P. (2011) Drought modeling - A review. Journal of Hydrology, 403(1-2):157-175
58. Nalbantis I. (2008) Drought and streamflow. Proceedings of the International Symposium of Water Shortage Management, Athens, p 53-64
59. Nash J.E., Sutcliffe J.V. (1970) River flow forecasting through conceptual models. Part 1: A discussion of principles. Journal of Hydrology, 10(3):282-290
60. Oladipo E.O. (1985) A comparative performance analysis of three meteorological drought index. International Journal of Climatology, 5:655-664
61. Palfai I., Petrasovits I., Vermes L. (1995) Some methodological questions of the European drought sensitivity map. Drought in the Carpathians region, Budapest, p 131-142
62. Palmer W.C. (1965) Meteorological drought. Research Paper No. 45, U.S. Department of Commerce, Weather Bureau, Washington, D.C., p 58
63. Palmer W.C. (1968) Keeping track of crop moisture conditions, nationwide: The new Crop Moisture Index. Weatherwise, 21:156-161
64. Rosenberg N.J., Bblad R.H., Verma S.B. (1983) Microclimata - The Biological Environment. Wiley, New York, p. 1-145
65. Shafer B.A., Dezman L.E. (1982) Development of a Surface Water Supply Index (SWSI) to assess the severity of drought conditions in snowpack runoff areas. Proceedings of the Western Snow Conference, Colorado State University. Fort Collins, Colorado, p 164-175
66. Smakhtin V.U., Hughes D.A. (2007) Automated estimation and analyses of meteorological drought characteristics from monthly rainfall data. Environmental modelling & software, 22(6):880-890
67. Steinemann A., Hayes M.J., Cavalcanti L. (2005) Drought indicators and triggers. In: Donald A., Wilhite D. (eds) Drought and Water Crises, Science Technology and Management Issues. Taylor & Francis Group, Boca Raton, p 71-90
68. Tannehill I.R. (1947) Drought, its causes and Effects. Princecton NJ, Princecton University Press, p 264
69. Thornthwaite C.W. (1948) An approach toward a rational classification of climate. Geography Review, 38:55-94

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

70. Thornthwaite C.W., Mather J.R. (1955) The water budget and its use in irrigation. In: Stefferud A. (ed) Water - Yearbook of Agriculture. The United State Department of Agriculture, Washington, p 346–358
71. Tsakiris G., Vangelis H. (2005) Establishing a drought index incorporating evapotraspiration. European Water, 9/10:3-11
72. Tsakiris G., Pangalou D., Vangelis H. (2007) Regional drought assessment based on the Reconnaissance Drought Index (RDI). Water Resources Management, 21(5):821-833
73. Tsakiris G. (2008) Final Report of Proactive Management of Water Systems to Face Drought and Water Scarcity in Islands and Coastal Areas of the Mediterranean (PRODIM), Athens, pp 445
74. Vasiliades L., Loukas A. (2009) Hydrological response to meteorological drought using the Palmer drought indices in Thessaly, Greece. Desalination, 237(1-3):3-21
75. Vasiliades L., Loukas A., Patsonas G. (2009) Evaluation of a statistical downscaling procedure for the estimation of climate change impacts on droughts. Natural Hazards and Earth System Science, 9(3):879-894
76. Vasiliades L., Loukas A., Liberis N. (2011) A Water Balance Derived Drought Index for Pinios River Basin, Greece. Water Resources Management, 25(4):1087-1101
77. Whipple W. (1996) Integration of water resources planning and environmental regulation. Journal of Water Resources Planning and Management, 122(3):189-196
78. Wilhite A.D. (1999) Drought preparedness in Sub-Saharan Africa context. Proceedings of the Conference on Integrated Drought Management - Lessons for sub Saharan Africa. Pretoria, p 20-22
79. World Meteorological Organization (1975) Drought and agriculture. Publ. WMO-392, Geneva, p 127
80. World Meteorological Organization (1987) The Global Climate System, A contribution to the Global Environmental Monitoring System. Publ. WMO, Geneva, p 87
81. Zarch Asadi M.A., Malekinezhad H., Mobin M.H., Dastorani M.T., Kousari M.R. (2011) Drought Monitoring by Reconnaissance Drought Index (RDI) in Iran. Water Resources Management, p 1-20

Γ. Ηλεκτρονική Βιβλιογραφία

82. MEDROPLAN (2007) Mediterranean Drought Preparedness and Mitigation Planning: http://www.iamz.ciheam.org/medroplan/index.htm (Πρόσβαση: 19-04-2011)
83. National Drought Mitigation Center (1995): http://drought.unl.edu (Πρόσβαση: 30-05-2011)
84. NOAA. National Weather Service: Climate Prediction Center: http://www.cpc.ncep. noaa.gov/products/Soilmst_Monitoring/ (Πρόσβαση: 11-06-2011)
85. Τα γεωγραφικά διαμερίσματα της Ελλάδας (2010): http://geografikadiamerismataelladas.blogspot.com/2010_06_01_archive.html (Πρόσβαση: 10-05-2011)
86. Υπουργείο Ανάπτυξης – Ενέργεια και φυσικοί Πόροι: http://www.ypan.gr/fysikoi_poroi /emne_yd.htm (Πρόσβαση: 10-05-2011)

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

7. ABSTRACT

The study of environmental risks has particularly increased due to the frequent recurrence of their extreme forms. Drought, which is included into those risks, causes great concern in a large part of the world population. Without any doubt, droughts belong to the dangerous extreme environmental conditions of a region and are based on the reduction and variability of rainfall at different time scales.

The term drought is used to describe a long period in duration, where the presence of freshwater in a geographical area is significantly less than expected, as determined by the climate regime and the water requirements in order to cover local needs (Koutsoyiannis & Mamasis 2007). This natural hazard may occur after the long-term overexploitation of agricultural land, the excessive consumption of water resources, the climate change (Fernando *et al.* 2011) and the occurrence of extreme weather events. Therefore, drought is a combination of many negative factors and eventually leads to degradation of soil resources.

This thesis is a contribution to the drought analysis in the basin of Pinios river (Thessaly, Greece). The study in the region of Thessaly is very important since the appearance of drought has a direct influence on the flora, fauna and fish fauna of the basin.

Assessment and monitoring of drought is carried out using a time series of monthly conventional data for 60 hydrological years, from 1950-1951 to 2009-2010. Four widely used indices of quantitative estimation of hydrometeorological drought are applied, namely the Palmer Drought Severity Index (PDSI), the Reconnaissance Drought Index (RDI), the Standardised Precipitation Index (SPI) and the Deciles Index (DI).

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

Also several widely used error statistics are employed for validation of the analysis, namely Efficiency Coefficient (E_{ff}), Root Mean Square Error (RMSE), Statistical Bias (BIAS) and Coefficient of Determination (r^2).

The results are considered very satisfactory. All the drought estimation indices have indicated the same temporal behavior during periods of drought. Also the values of error statistics are considered very satisfactory and vary within acceptable ranges for each drought index.

Key words: conventional drought indices, validation, error statistics

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

Π Α Ρ Α Ρ Τ Η Μ Α Τ Α

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

Παράρτημα Α

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΜΒΑΤΙΚΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ ΞΗΡΑΣΙΑΣ

Στο Παράρτημα αυτό περιγράφονται ορισμένοι συμβατικοί δείκτες ξηρασίας που χρησιμοποιούν επίγεια δεδομένα. Οι δείκτες που αναλύονται είναι οι εξής:

1. Μέθοδος Thornthwaite
2. Μέθοδος Fitzpatrick
3. Μέθοδος Baier - Robertson
4. Ρωσική Μέθοδος
5. Δείκτης ανωμαλιών βροχόπτωσης (Rainfall Anomaly Index - RAI)
6. Δείκτης περιοχής ξηρασίας (Drought Area Index - DAI)
7. Ποσοστό της κανονικής βροχόπτωσης (Percent of normal)
8. Διακριτές και αθροιστικές ανωμαλίες βροχόπτωσης
9. Δείκτης ξηρασίας Bhalme - Mooley (Bhalme - Mooley Drought Index - BMDI)
10. Δείκτης υγρασίας καλλιεργειών (Crop Moisture Index - CMI)
11. Υπολογισμένη εδαφική υγρασία (Computed soil moisture)
12. Δείκτης ανωμαλίας εδαφικής υγρασίας (Soil Moisture Anomaly Index)
13. Δείκτης αγρο - υδρολογικού δυναμικού (Agro-Hydro Potential - AHP)
14. Δείκτης ξηρασίας ρευματοροής (Streamflow Drought Index - SDI)
15. Δείκτης αποτελεσματικής ξηρασίας (Effective Drought Index - EDI)
16. Δείκτης κανονικοποιημένης στάθμης νερού (SWI)
17. Δείκτης παροχής επιφανειακού νερού (Surface Water Supply Index - SWSI)
18. Δείκτης ανάκτησης ξηρασίας (Reclamation Drought Index - RDI)
19. Συνολικό υδατικό έλλειμμα (Total water deficit)
20. Αθροιστική ανωμαλία υδατοροής (Cumulative streamflow anomaly)

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

1. Μέθοδος Thornthwaite

Το μοντέλο ισοζυγίου ύδατος έχει εφαρμοσθεί για τη λύση πολλών προβλημάτων εδαφικού ύδατος περιλαμβανόμενης και της μελέτης της γεωργικής ξηρασίας. Χρησιμοποιεί τη διαφορά βροχοπτώσεως και εξατμισοδιαπνοής και υπολογίζει ελλείμματα ή πλεονάσματα ύδατος. Απαιτείται η ικανότητα συγκρατήσεως ύδατος από το έδαφος, που είναι η συνάρτηση του τύπου του εδάφους και των απαιτήσεων σε νερό της περιοχής. Το πλεόνασμα ύδατος υπολογίζεται αμέσως και λαμβάνεται σαν απορροή. Το έλλειμμα του νερού είναι δυσκολότερο να υπολογιστεί διότι υποτίθεται ότι η πραγματική εξατμισοδιαπνοή είναι συνάρτηση του περιεχομένου στο έδαφος νερού, ο δε ρυθμός εξατμισοδιαπνοής υπολογίζεται από την βροχόπτωση σε σχέση με το ποσό του διαθέσιμου νερού που παραμένει στο έδαφος. Όταν η βροχόπτωση είναι λιγότερη της δυναμικής εξατμισοδιαπνοής η πραγματική ισούται με τη βροχόπτωση συν το νερό, που χάνεται από το έδαφος ως εξάτμιση ή διαπνοή.

Το μοντέλο Thornthwaite έχει επίσης χρησιμοποιηθεί για να επιβεβαιώσει τη δυνατότητα αρδεύσεως, διότι περιέχει τον ολικό όγκο του απαιτούμενου ύδατος σε κάθε χρονική στιγμή. Επίσης χρησιμοποιείται και για την τελική μέτρηση της ξηρασίας. Ο όγκος αυτός συγκρινόμενος με το πλεόνασμα ύδατος άλλων περιόδων (εποχών) δείχνει αν υπάρχει αρκετό νερό κατά τη διάρκεια του έτους για άρδευση. Συγχρόνως, υπολογισμός των μεταβολών αποθηκευμένου νερού στο έδαφος κάθε μέρα, παρέχει τη δυνατότητα υπολογισμού του χρόνου και του ποσού του νερού για άρδευση με στόχο τη προστασία από την ξηρασία, που θα περιόριζε τη γεωργική παραγωγή.

Η εξίσωση του υδατικού που εκφράζει τη διατήρηση της μάζας σε μια εδαφική κατανομή μπορεί να γραφεί:

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

$$P + I + \Delta SW \pm RO - D - ET = 0 \quad (A.1)$$

όπου P είναι η βροχόπτωση, I είναι η άρδευση, RO είναι η επιφανειακή απορροή, D είναι η βαθιά διήθηση και DSW είναι η αλλαγή του περιεχόμενου νερού της εδαφικής κατανομής.

Στη μέθοδο αυτή η δυναμική εξατμισοδιαπνοή υπολογίζεται από τη μέση θερμοκρασία με τη γνωστή μέθοδο του Thornthwaite (1948). Ο Mather (1981) χρησιμοποίησε ημερήσιες και μηνιαίες τιμές βροχοπτώσεως και εξατμισοδιαπνοής. Το συμπέρασμα που προέκυψε είναι ότι τα μηνιαία στοιχεία δίνουν τιμές πλεονάσματος και ελλείμματος πολύ μικρές. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι τα μηνιαία ελλείμματα έχουν βρεθεί 50% μικρότερα από ότι είχαν υπολογιστεί με ημερήσιες τιμές, ενώ άλλα ελλείμματα υπολογισμένα από μέσες τιμές ήταν πολύ πιο μικρότερα.

2. Μέθοδος Fitzpatrick

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί το γενικευμένο μοντέλο ισοζυγίου ύδατος για να καθορίσει τη διάρκεια αναπτύξεως των φυτών σε σχέση με την εδαφική υγρασία. Συνεπώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μελέτες ξηρασίας αναφερόμενη σε περιόδους ελλείμματος νερού. Σε μελέτες κλίματος για καλλιέργειες και βοσκές ο Fitzpatrick κάνει τις επόμενες υποθέσεις:

- Βροχοπτώσεις διάρκειας μεγαλύτερης της μιας εβδομάδας τροφοδοτούν το έδαφος μέχρι 100 χιλιοστά (mm). Κάθε πρόσθετη βροχόπτωση θεωρείται ότι χάνεται από το έδαφος ως επιφανειακή απορροή ή ως διήθηση.
- Ο ρυθμός εβδομαδιαίας εξατμισοδιαπνοής είναι ανάλογος της εξατμίσεως ελεύθερης επιφάνειας.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

- Αν το υπολογισμένο νερό του εδάφους μαζί με την εβδομαδιαία βροχόπτωση είναι μεγαλύτερο των 64 mm, τότε η εξατμισοδιαπνοή θεωρείται δυναμική. Στο μοντέλο αυτό έχει υπολογιστεί ότι είναι τα 6/10 της εξάτμισης ελεύθερης επιφάνειας.
- Αν το υπολογισμένο νερό του εδάφους μαζί με την εβδομαδιαία βροχόπτωση είναι μικρότερο των 64 mm, ο ρυθμός εξατμισοδιαπνοής υπολογίζεται ότι είναι τα 4/10 της εξατμίσεως ελεύθερης επιφάνειας.

Το μοντέλο έχει χρησιμοποιηθεί για να υπολογίσει τον αριθμό εβδομάδων κάθε έτους όπου η εδαφική υγρασία ήταν εντός του ορίου των 100 mm. Εύκολα μετατρέπονται οι υπολογισμοί για να δείξουν περιόδους περιορισμένης ή μηδενικής αναπτύξεως δηλαδή περιόδους ξηρασίας.

3. Μέθοδος Baier-Robertson

Είναι τυπικό παράδειγμα μεθόδου που χρησιμοποιεί ρεαλιστικές υποθέσεις για τη χρήση της υγρασίας του εδάφους από τα φυτά. Η μέθοδος αυτή τροποποιεί τις προηγούμενες των Thornthwaite-Penman-Kouler. Έχει βρεθεί (Holmes-Robertson 1959) ότι με συνθήκες μη άρδευσης το ισοζύγιο ύδατος που χρησιμοποιεί την επίδραση της υγρασίας του εδάφους και τα χαρακτηριστικά του ριζώματος των φυτών, υπερέχει από απλούστερους υπολογισμούς της υγρασίας του εδάφους, οι οποίοι δεν λαμβάνουν υπόψη τα χαρακτηριστικά αυτά.

Συνεπώς, η μέθοδος για τον υπολογισμό της ημερήσιας υγρασίας του εδάφους κατά ζώνες από κλιματολογικά στοιχεία είναι αυτή των Baier-Robertson (1966). Η μέθοδος αυτή θεωρεί τη δυναμική εξατμισοδιαπνοή (PE) σαν τη μέγιστη δυνατή τιμή της πραγματικής διαπνοής και προσαρμόζει την τελευταία σύμφωνα με τη διαθέσιμη υγρασία του εδάφους, την απορροή και την αποστράγγιση. Η μέθοδος αυτή ταξινομεί

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

επίσης το ολικό ποσό της διαθέσιμης υγρασίας του εδάφους σε ζώνες με διαφορετικές χωρητικότητες. Συνεπώς επιτρέπει τη ταυτόχρονη ανάληψη υγρασίας από διάφορα βάθη του εδαφικού στρώματος σε σχέση με τη δυναμική εξατμισοδιαπνοή, την ύπαρξη ριζώματος και τη διαθέσιμη υγρασία του εδάφους σε κάθε ζώνη. Χαρακτηριστικό του μοντέλου είναι η εκλογή διαφόρων τύπων καμπύλων ξηρότητας του εδάφους, που καθιστά δυνατή την εξέταση διαφόρων καταστάσεων της διαθέσιμης υγρασίας του εδάφους στα φυτά σε σχέση με το έδαφος και τους μετεωρολογικούς παράγοντες.

Από τους Baier-Robertson εφαρμόζονται t-τεστ σε όλες τις φάσεις του κύκλου της υγρασίας του εδάφους. Παρόλα αυτά, αν το περιεχόμενο της διαθέσιμης εδαφικής υγρασίας πλησιάζει το μηδέν τότε ακόμη και μικρά σφάλματα υπολογισμού γίνονται σημαντικά και πρέπει να διορθώνονται ή με την τροποποίηση των συντελεστών καλλιέργειας ή με τη χρήση μιας πιο αποτελεσματικής σχέσεως.

4. Ρωσική Μέθοδος

Οι Ρώσοι έχουν χρησιμοποιήσει μέθοδοι ισοζυγίου νερού για την πρόβλεψη της σοδειάς. Στηρίζονται σε στοιχεία υγρασίας του εδάφους, του σταδίου αναπτύξεως των φυτών, του τύπου του εδάφους και της εξατμισοδιαπνοής. Οι Ρώσοι εφαρμόζουν αμέσου μετρήσεως της υγρασίας του εδάφους. Τα στοιχεία αυτά υπάρχουν σε κάθε αγρομετεωρολογικό σταθμό, καθώς και στοιχεία για τις τρεις κυριότερες καλλιέργειες κάθε περιοχής. Παρόλα αυτά, εφαρμόζονται και μέθοδοι υπολογισμού, όπου δεν υπάρχουν στοιχεία. Ειδικότερα έχουν εκπονηθεί νομογράμματα ανά δεκαήμερο για την εκτίμηση των διακυμάνσεων του πλεονάσματος της υγρασίας του εδάφους κατά την περίοδο βλαστήσεως ως συνάρτηση μετεωρολογικών, φυσικών και εδαφικών παραμέτρων.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

Ο Fedossen (1962) έχει χρησιμοποιήσει τον συντελεστή "υγρότητας" K. Ο συντελεστής αυτός είναι ανάλογος του ολικού ποσού υγρασίας, που περιέχεται μέσα σε ένα μέτρο εδάφους ενός τυπικού ορογραφικού πεδίου. Τα ποσά της υγρασίας του εδάφους διορθώνονται σύμφωνα με το ανάγλυφο της επιφάνειας. Ο Πίνακας 2 δίνει διάφορες τιμές του συντελεστή K σύμφωνα με το ανάγλυφο της επιφάνειας. Οι μεγαλύτερες διαφορές στην υγρασία του εδάφους σε σχέση με το ανάγλυφο της επιφάνειας εμφανίζονται στα "υγρά" έτη.

Ο Fedossen χρησιμοποιεί τις ακόλουθες εμπειρικές εξισώσεις για τον υπολογισμό της υγρασίας του εδάφους.

$$U = -1{,}98\ T10 + 1{,}64\ P10 - 0{,}36\ Z + 32 \qquad (A.2)$$

$$U = -0{,}63\ T10 + 0{,}49\ P10 - 0{,}22\ Z + 8{,}2 \qquad (A.3)$$

$$U = -0{,}03\ T10 + 0{,}49\ P10 - 0{,}15\ Z + 1{,}4 \qquad (A.4)$$

όπου U = διακύμανση της διαθέσιμου υγρασίας εντός δεκαημέρου (mm),

T10 = μέση θερμοκρασία αέρος του δεκαημέρου (°C),

P10 = βροχόπτωση του δεκαημέρου (mm) και

Z = υγρασία του εδάφους στην αρχή του δεκαημέρου (mm)

Από τις εξισώσεις αυτές η εξίσωση A.2 χρησιμοποιείται όταν η υγρασία του εδάφους είναι μεγαλύτερη του 60% της υδατοϊκανότητας, η εξίσωση A.3 όταν η υγρασία εδάφους είναι μεταξύ του 60% της υδατοϊκανότητας και του "σημείου μαράνσεως", και η εξίσωση A.4 όταν η εδαφική υγρασία είναι κάτω από το σημείο μαράνσεως.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

Πίνακας Α.1.: Τιμές συντελεστού Κ σύμφωνα με το ανάγλυφο της επιφάνειας

Τύπος αναγλύφου	**Κ**
Λοφώδες ανάγλυφο	
Επίπεδο μεταξύ λόφων	1,00
Κορυφή λόφου	0,46
Νότια κλίση	0,53
Βορειοδυτική κλίση	0,71
Μεταβλητό ανάγλυφο ημιερήμων	
Μικρό ridge	1,00
Μικρο-κλίση	1,24
Μικρο-trough	1,58
Βόρεια κλίση	1,12
Trough βόρειας κλίσης	1,27
Βάση σαθρώματος	1,40
Σαθρό ανάγλυφο	
Επίπεδη λεκάνη	1,00
Νότια κλίση	0,76
Trough σε νότια κλίση	0,94
Λιβάδι	1,41

Οι Ρώσοι έχουν χρησιμοποιήσει το ισοζύγιο ύδατος, το ισοζύγιο ενέργειας και αεροδυναμικές μεθόδους για τον υπολογισμό της εξάτμισης. Εφαρμόζεται η μέθοδος Budyko για τον υπολογισμό της εξάτμισης από μικρές εδαφικές επιφάνειες. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιεί στοιχεία βροχοπτώσεως και ακτινοβολίας. Η εμπειρική εξίσωση έχει ως εξής:

$$E = \sqrt{\frac{B_o}{L}\left(1 - e^{\frac{B_o}{PL}}\right) \cdot \text{th}\frac{PL}{B_o}} \qquad \text{(A.5)}$$

όπου P = ετήσια βροχόπτωση (mm)

B_o = ισοζύγιο ακτινοβολίας για την υγρή επιφάνεια (Kcal/cm^{2}year)

L = λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης (Kcal/cm^3)

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

th = υπερβολική εφαπτομένη

B_o/L = μέγιστη δυναμική εξάτμιση.

5. Δείκτης ανωμαλιών βροχόπτωσης (Rainfall Anomaly Index - RAI)

Ο Δείκτης ανωμαλιών βροχόπτωσης (RAI) είναι μια διαδικασία ταξινόμησης του μεγέθους σε θετικές και αρνητικές τιμές ανωμαλιών βροχόπτωσης. Η μορφή του δείκτη είναι:

$$RAI = \pm 3 \frac{P - \overline{P}}{\overline{E} - \overline{P}} \qquad \text{(A.6)}$$

όπου P είναι η βροχόπτωση, $\overline{P}$ είναι η μέση τιμή των βροχοπτώσεων, και $\overline{E}$ είναι ο μέσος όρος των 10 ακραίων θετικών ή αρνητικών τιμών.

Για τις θετικές ανωμαλίες της βροχόπτωσης, το πρόσημο είναι θετικό και η παράμετρος $\overline{E}$ είναι ο μέσος όρος των 10 υψηλότερων τιμών των βροχοπτώσεων που έχουν καταγραφεί ενώ για τις αρνητικές ανωμαλίες, το πρόσημο είναι αρνητικό και η παράμετρος $\overline{E}$ προκύπτει από τις 10 χαμηλότερες τιμές.

Αξιοσημείωτο είναι να αναφερθεί πως οι διαφορές μεταξύ της μεθόδου αυτής και των πιο περίπλοκων δεικτών Palmer και Bhalme-Mooley είναι αμελητέες (Oladipo 1985).

6. Δείκτης περιοχής ξηρασίας (Drought Area Index - DAI)

Ο δείκτης περιοχής ξηρασίας (DAI), χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της υγρασίας κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών ινδικών μουσώνων, όταν συγκεκριμένες περιοχές κατακλυζόταν από μεγάλη ποσότητα βροχόπτωσης, η οποία κατά περιόδους

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

ξεπερνούσε ακόμα και 75% των ετήσιων βροχοπτώσεων (Bhalme & Mooley 1980, Keyantash & Dracup 2002). Η τιμή του δείκτη περιοχής ξηρασίας δίνεται από τη σχέση:

$$I_k = 0.5 I_{k-1} + \frac{1}{48.55} \frac{P_k - \overline{P_k}}{\sigma_\kappa} \qquad \text{(A.7)}$$

όπου I είναι η ένταση της ξηρασίας (αδιάστατο μέγεθος), k είναι ο αριθμός μηνών, P είναι η μηνιαία βροχόπτωση (mm), $\overline{P_k}$ είναι ο μέσος όρος των βροχοπτώσεων (mm), και σ_κ είναι η τυπική απόκλιση βροχόπτωσης (mm).

Παρατηρείτε πως η μέθοδος του δείκτη περιοχής ξηρασίας είναι λιγότερο περίπλοκη από εκείνη του PDSI επειδή απαιτεί μόνο δεδομένα βροχόπτωσης και όχι περισσότερες παραμέτρους του υδατικού ισοζυγίου (Bhalme & Mooley 1980). Τέλος, μετά από σύγκριση των δεικτών PDSI και DAI σε περιοχή των ΗΠΑ, διαπιστώθηκε ότι τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τους δυο αυτούς δείκτες είναι όμοια.

7. Ποσοστό της κανονικής βροχόπτωσης (Percent of normal)

Το ποσοστό της κανονικής βροχόπτωσης, υπολογίζεται διαιρώντας την πραγματική βροχόπτωση με τη μέση βροχόπτωση (κατά κανόνα θεωρείται ο μέσος όρος 30 ετών) και πολλαπλασιάζοντας επί 100. Ωστόσο, το ποσοστό της μέσης τιμής βροχόπτωσης εύκολα παρερμηνεύεται από τη στιγμή που μπορεί να δώσει διαφορετικές τιμές ανάλογα με τη θέση της υπό μελέτης περιοχής και τη χρονική περίοδο.

Το μειονέκτημα της χρήσης του δείκτη, έγκειται στο γεγονός του ότι η μέση τιμή δεν είναι ίση με τη διάμεσο του ποσού βροχόπτωσης εφόσον η μηνιαία ή η εποχιακή

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

βροχόπτωση δεν παρουσιάζει κανονική κατανομή. Σε μια θετικά ασύμμετρη κατανομή των βροχοπτώσεων, η διάμεσος των τιμών είναι μικρότερη της μέσης τιμής, έτσι αυξάνει η πιθανότητα εμφάνισης τιμών βροχόπτωσης κάτω του κανονικού σε σχέση με αυτές που εμφανίζονται πάνω από το μέσο όρο (Steinemann *et al.* 2005). Στην περίπτωση αυτή η περιοχές χαρακτηρίζονται ως γενικά ξηρές.

8. Διακριτές και αθροιστικές ανωμαλίες βροχόπτωσης (Discrete and cumulative precipitation anomalies)

Η έλλειψη βροχοπτώσεων προσδιορίζεται από το δείκτη διακριτών ανωμαλιών βροχόπτωσης και υπολογίζεται από τη διαφορά μεταξύ των παρατηρούμενων τιμών βροχόπτωσης και του κλιματικού μέσου όρου της περιοχής που προκύπτει από μακροχρόνια δεδομένα (Kanellou *et al.* 2008a). Η σημασία της ανωμαλίας εξαρτάται από το κλίμα της εκάστοτε περιοχής γεγονός που αποδεικνύει ότι ο δείκτης ανωμαλιών δεν είναι ιδιαίτερα κατατοπιστικός.

Ο Foley (1957) εισήγαγε μια τέτοια τεχνική στην οποία εξετάζονται οι αθροιστικές ανωμαλίες της βροχόπτωσης. Συγκεκριμένα, πραγματοποιείται η μελέτη των αποκλίσεων μηνιαίων μετρήσεων από τους μηνιαίους μέσους όρους μιας μεγάλης χρονοσειράς δεδομένων. Αυτό δείχνει καθαρά το συνολικό ποσό και τη διάρκεια του πλεονάσματος ή του ελλείμματος νερού. Ο δείκτης αθροιστικών ανωμαλιών βροχόπτωσης, όπως και ο διακριτός, εξαρτάται από το μέγεθος των ανωμαλιών της βροχόπτωσης σε σχέση με τις κανονικές συνθήκες στην περιοχή. Για να ληφθεί υπόψη αυτό το αποτέλεσμα, η προσέγγιση του Foley ομαλοποιεί κάθε ανωμαλία σε σχέση με τον ετήσιο μέσο όρο βροχοπτώσεων, με τις αθροιστικές ανωμαλίες να εκφράζονται σε χιλιοστά της ετήσιας βροχόπτωσης (Keyantash & Dracup 2002).

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

Ωστόσο, η μέθοδος αθροιστικών ανωμαλιών βροχόπτωσης, παρουσιάζει δύο κύριες αδυναμίες. Η μέθοδος αρχικά, δεν παρέχει τη δυνατότητα εύρεσης της έναρξης της ξηρασίας, μια παράμετρο κρίσιμη για τον υπολογισμό των αθροιστικών ανωμαλιών. Επίσης, η σημασία των ανωμαλιών, διακριτών ή αθροιστικών, εξαρτάται από το μέγεθος αυτών σε σχέση με κάποιο πρότυπο μέτρο τυπικών ανωμαλιών (π.χ., η τυπική απόκλιση).

9. Δείκτης ξηρασίας Bhalme - Mooley (Bhalme - Mooley Drought Index - BMDI)

Ο δείκτης ξηρασίας Bhalme – Mooley (BMDI), βασίζεται μόνο σε τιμές μηνιαίας βροχόπτωσης και αποτελεί ένα καλό μέτρο της τρέχουσας κατάστασης της ξηρασίας, η οποία είναι αποτέλεσμα σύντομων περιόδων ξηρού καιρού. Τα βασικά βήματα για τον υπολογισμό του δείκτη BMDI είναι τα ακόλουθα (Oladipo 1985, Loukas *et al.* 2002):

- Αρχικά, πραγματοποιείται ο υπολογισμός μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης $\overline{P}$, τυπικής απόκλισης s και συντελεστών διακύμανσης για κάθε σταθμό.
- Έπειτα υπολογίζεται ο δείκτης υγρασίας M (εξ. A.8), χρησιμοποιώντας την ποσοστιαία απόκλιση της μηνιαίας βροχόπτωσης από τη μέση.

$$M = 100 (\mathbf{P} - \overline{P}) / s \qquad (A.8)$$

- Στη συνέχεια γίνεται λήψη των μέσων όρων των υψηλότερων αθροιστικών αρνητικών τιμών του δείκτη υγρασίας σε διάφορα χρονικά διαστήματα μηνών από όλους τους σταθμούς μελέτης. Με αυτό τον τρόπο, μας παρέχεται ένα συγκριτικό μέτρο περιοχικών ανωμαλιών υγρασίας αφού επιτρέπει τον αριθμητικό προσδιορισμό των ακραίων συνθηκών ξηρασίας σε τμήματα της περιοχής μελέτης.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

- Οι ακραίες συνθήκες ξηρασίας των μέγιστων μηνιαίων αθροιστικών αρνητικών τιμών του δείκτη υγρασίας M υπολογίζονται από την εξίσωση A.9:

$$\sum_{t=1}^{k} M_t = a + bk \qquad \text{(A.9)}$$

όπου M_t είναι οι αθροιστικές τιμές του δείκτη υγρασίας M, k ο αριθμός των μηνών και a, b οι σταθερές.

- Η εξίσωση που αντιστοιχεί στις τέσσερις κατηγορίες ξηρασίας είναι:

$$I_{l,k} = |l| \sum_{t=1}^{k} \frac{M_t}{(a+bk)} \qquad \text{(A.10)}$$

όπου I_k είναι η δριμύτητα της ξηρασίας για τον μήνα t και $l \in Z$, $l \in [-4, 4]$.

Σε διαδοχικούς μήνες, μια αρνητική τιμή του M έχει ως αποτέλεσμα περισσότερο αρνητικές τιμές του I_k και τη διατήρηση των υφιστάμενων συνθηκών στρες. Έτσι, για όλους τους μήνες που έπονται ενός αρχικού ξηρού μήνα, εισάγεται ένας επιπλέον όρος υπολογισμού της οποιασδήποτε μεταφοράς της κατάστασης που επικρατούσε στον προηγούμενου μήνα. Ο όρος αυτός μετατρέπει την προηγούμενη εξίσωση ως εξής:

$$\Delta I_\kappa = I_k - I_{k-1} = \frac{4M_k}{a+b} + cI_{k-1} \qquad \text{(A.11)}$$

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

όπου c είναι μια σταθερά που εξαρτάται από τη συγκεκριμένη περιοχή και υποδηλώνει την επίδραση της κατάστασης του προηγούμενου μήνα. Ως εκ τούτου, ο τελικός δείκτης δριμύτητας ξηρασίας για ένα συγκεκριμένο μήνα k, δίνεται από τη σχέση:

$$I_k = \frac{4M_k}{a+b} + (1+c)I_{k-1} \qquad \text{(A.12)}$$

Έπειτα έχουμε κατάταξη των τιμών του δείκτη BMDI σε έντεκα διαφορετικές κατηγορίες (Πιν. Α.2), παρόμοιες με εκείνες του δείκτη Palmer. Για το λόγο του ότι ο BMDI απαιτεί, όπως προαναφέρθηκε, μόνο δεδομένα βροχόπτωσης και όχι πολύπλοκους όρους υδατικού ισοζυγίου, μπορεί να θεωρηθεί μια απλοποιημένη έκδοση του δείκτη PDSI.

Πίνακας Α.2: Κλιματικές συνθήκες με βάση τις τιμές του δείκτη BMDI

Τιμές του δείκτη BMDI	**Κλιματικές συνθήκες**
≥ 4.0	Ακραία υγρές
3.0 έως 3.99	Πολύ υγρές
2.0 έως 2.99	Μέτρια υγρές
1.0 έως 1.99	Ελαφρώς υγρές
0.5 έως 0.99	Ίχνη υγρασίας
0.49 έως -0.49	Κανονικές συνθήκες
-0.5 έως -0.99	Ίχνη ξηρασίας
-1.0 έως -1.99	Ελαφρώς ξηρές
-2.0 έως -2.99	Μέτρια ξηρές
-3.0 έως -3.99	Έντονα ξηρές
≤ -4.0	Ακραία ξηρές

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

10. Δείκτης υγρασίας καλλιεργειών (Crop Moisture Index - CMI)

Ένας από τους πιο αποτελεσματικούς δείκτες γεωργικής ξηρασίας κατά τη διάρκεια μιας καλλιεργητικής περιόδου είναι ο δείκτης υγρασίας καλλιεργειών (Crop Moisture Index - CMI), του οποίου δημιουργός είναι και πάλι ο Palmer (1968). Ο συγκεκριμένος δείκτης, εκτιμά μικρής διάρκειας καταστάσεις υγρασίας κυρίως για αγροτικές περιοχές και υπολογίζεται βάσει των μέσων θερμοκρασιών και του ποσού βροχόπτωσης για κάθε εβδομάδα καθώς επίσης και βάσει της τιμής του δείκτη CMI της προηγούμενης εβδομάδας.

Ένα χαρακτηριστικό που εμποδίζει τον CMI να χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση των συνθηκών ξηρασίας και υγρασίας εκτός της καλλιεργητικής περιόδου, είναι ότι οι τιμές του δείκτη κατά την αρχή και το τέλος της κάθε καλλιεργητικής περιόδου εμφανίζονται συνήθως κοντά στο μηδέν. Επομένως, ο δείκτης CMI ανταποκρίνεται άμεσα στις βραχυπρόθεσμες αλλαγές στις συνθήκες υγρασίας σε μια καλλιέργεια ενώ δεν προορίζεται για την αξιολόγηση μιας μακροχρόνιας ξηρασίας. Ο συνδυασμός ωστόσο των δεικτών CMI και Palmer, θα οδηγούσε σε πιο έγκυρα αποτελέσματα. Στον παρακάτω πίνακα, παρατηρούμε τις κλιματικές συνθήκες με βάση τις τιμές του δείκτη CMI.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

Πίνακας Α.3: Κλιματικές συνθήκες με βάση τις τιμές του δείκτη CMI

Κλιματικές συνθήκες	**Τιμές δείκτη CMI**
Εξαιρετικά υγρές	≥ 3.0
Υγρές	2.0 έως 2.9
Μη ομαλή υγρασία	1.0 έως 1.9
Ελαφρώς ξηρές	-0.9 έως 0.9
Μη ομαλή ξηρασία	-1.0 έως -1.9
Εξαιρετικά ξηρές	-2.0 έως -2.9
Δριμεία ξηρές	≤ -3.0

11. Υπολογισμένη εδαφική υγρασία (Computed soil moisture)

Η εδαφική υγρασία μπορεί να υπολογιστεί μέσω αριθμητικών μοντέλων (Computed Soil Moisture), τα οποία προσομοιώνουν τις παραμέτρους του υδατικού ισοζυγίου εντός της στήλης του εδάφους, με τη χρήση μεταβλητών, όπως της βροχόπτωσης, της θερμοκρασίας του αέρα, της θερμοκρασίας εδάφους, του πορώδους του εδάφους, και της διείσδυσης (Keyantash & Dracup 2002).

Το κέντρο πρόβλεψης κλίματος CPC (Climate Prediction Center) της Αμερικανικής Μετεωρολογικής και Ωκεανογραφικής Υπηρεσίας NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administrator) διαθέτει υπολογισμένα στοιχεία εδαφικής υγρασίας για κάθε κλιματική ζώνη, σε μηνιαία χρονική κλίμακα από το 1931 ως και σήμερα (CPC 2000). Οι λεπτομέρειες σχετικά με το αριθμητικό μοντέλο που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της υγρασίας του εδάφους παρουσιάζονται σε σχετική έρευνα των Huang *et al*. (1996).

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

12. Δείκτης ανωμαλίας εδαφικής υγρασίας (Soil Moisture Anomaly Index)

Ο δείκτης ανωμαλιών εδαφικής υγρασίας δημιουργήθηκε από τους Bergman *et al*. (1988) και ουσιαστικά επικαλείται τη μέθοδο υπολογισμού υγρασίας του Thornthwaite και λειτουργεί με την εφαρμογή ενός μοντέλου υγρασίας δύο στρωμάτων εδάφους για την παρακολούθηση της κίνησης του νερού, αποβλέποντας τελικά στην εκτίμηση του ποσοστού κορεσμού του εδάφους. Έπειτα από έρευνες, παρατηρήθηκε πως οι τιμές του δείκτη κυμαίνονται μεταξύ των τιμών του δείκτη CMI και του δείκτη PDSI (Bergman *et al*. 1988).

13. Δείκτης αγρο - υδρολογικού δυναμικού (Agro-Hydro Potential - AHP)

Ένας ικανοποιητικός δείκτης, που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της γεωργικής ξηρασίας είναι ο δείκτης γεωργικού και υδρολογικού δυναμικού (AHP). Ο AHP, ανήκει σε μια ευρύτερη ομάδα δεικτών, οι οποίοι αναπτύχθηκαν με σκοπό τη μελέτη της διαθεσιμότητας του νερού στο έδαφος και της επάρκεια αυτού για τις καλλιέργειες. Εκφράζεται από το λόγο της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής μιας καλλιέργειας (ET_{actual}) προς τη βέλτιστη εξατμισοδιαπνοή της ίδιας καλλιέργειας ($ET_{optimal}$) και το εύρος των τιμών του κυμαίνεται μεταξύ 0 και 1 (Πιν. Α.4). Περαιτέρω ανάλυση του συγκεκριμένου δείκτη παρέχεται στην έρευνα των Palfai *et al*. (1995).

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

Πίνακας Α.4: Κατάσταση καλλιέργειας βάσει των τιμών του δείκτη AHP

Εύρος τιμών δείκτη AHP	**Ερμηνεία των συνθηκών εντός της καλλιέργειας**
1.0 - 0.8	Το υδατικό έλλειμμα στη συγκεκριμένη καλλιέργεια είναι μόνο θεωρητικό καθώς τα υδατικά αποθέματα είναι ικανοποιητικά
0.8 - 0.5	Η ζήτηση του νερού που απαιτείται για την ανάπτυξη της καλλιέργειας καλύπτεται προσωρινώς αλλά τα υδατικά αποθέματα είναι περιορισμένα
0.5 - 0.3	Εμφανίζεται αυξημένο έλλειμμα νερού, η παροχή νερού στην καλλιέργεια είναι περιοδική και αναπτύσσονται συνθήκες υδατικού στρες
< 0.3	Εμφάνιση έντονου υδατικού στρες στην καλλιέργεια, μείωση ανάπτυξης των φυτών, βιομάζας και απόδοσης. Η παράταση αυτών των συνθηκών οδηγεί σε θάνατο των φυτών της καλλιέργειας.

14. Δείκτης ξηρασίας ρευματοροής (Streamflow Drought Index - SDI)

Ο δείκτης ξηρασίας ρευματοροής (SDI) υπολογίζεται αθροίζοντας τις μηνιαίες τιμές του όγκου της απορροής ενός υδατορεύματος, για ένα υδρολογικό έτους (εξ. Α.13) (Nalbantis 2008).

$$V_{i,k} = \sum_{j=1}^{3k} Q_{i,j} \quad i = 1,2,\ldots \quad j = 1,2,\ldots 12 \quad k = 1,2,3,4 \qquad \text{(A.13)}$$

όπου $V_{i,k}$ είναι ο αθροιστικός όγκος απορροής ενός υδρολογικού έτους (i), μιας συγκεκριμένης χρονικής περιόδου (k). Το k=1 για το πρώτο τρίμηνο του υδρολογικού έτους, k=2 για το πρώτο εξάμηνο του υδρολογικού έτους, k=3 για τους πρώτους εννέα μήνες του υδρολογικού έτους και k=4 για το σύνολο των μηνών του υδρολογικού έτους.

$$SDI_{i,k} = \frac{V_{i,k} - \overline{V}_K}{s_k} \quad i = 1,2,\ldots \quad k = 1,2,3,4 \qquad \text{(A.14)}$$

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

όπου $\overline{V_K}$ είναι ο μέσος όρος και S_k η τυπική απόκλιση των αθροιστικών όγκων απορροής.

Ο SDI κυμαίνεται μεταξύ -2 (συνθήκες ξηρασίας) και 0 (κανονικές συνθήκες). Οι κατηγορίες που διακρίνει βάσει του εύρους τιμών του, παρουσιάζονται στον Πίνακα Α.5.

Πίνακας Α.5: Κατηγοριοποίηση της ξηρασίας σύμφωνα με το δείκτη SDI

Στάδια εξέλιξης ξηρασίας	**Κατηγορίες ξηρασίας**	**Τιμές δείκτη SDI**
0	Κανονικές συνθήκες	≥ 0.00
1	Ελαφριά ξηρασία	0.00 έως -1.00
2	Μέτρια ξηρασία	-1.00 έως -1.50
3	Έντονη ξηρασία	-1.50 έως -2.00
4	Ακραία ξηρασία	< -2.00

15. Δείκτης αποτελεσματικής ξηρασίας (Effective Drought Index - EDI)

Ο δείκτης αποτελεσματικής ξηρασίας (EDI), υπολογίζεται σε ημερήσιο χρονικό βήμα και είναι συνάρτηση της βροχόπτωσης που απαιτείται για την προσέγγιση, «επιστροφή», στις κανονικές συνθήκες βροχής (Precipitation Return Normal ή PRN). Ο όρος PRN, αντιπροσωπεύει το ποσό της βροχόπτωσης, που είναι αναγκαίο για την ανάκαμψη του συστήματος από την ξηρασία λόγω συσσωρευμένου υδατικού ελλείμματος. Η PRN ουσιαστικά πηγάζει από την καθημερινή αποτελεσματική βροχόπτωση (Effective Precipitation) και την απόκλιση της από το μέσο όρο για κάθε

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

μέρα (Smakhtin & Hughes 2006). Για τον υπολογισμό του δείκτη πραγματοποιούνται τα ακόλουθα βήματα:

1ο Βήμα: Υπολογισμός της καθημερινής αποτελεσματικής βροχόπτωσης (EP)

Η ημερήσια αποτελεσματική βροχόπτωση ορίζεται ως η συνάρτηση της βροχόπτωσης της τρέχουσας ημέρας και των βροχοπτώσεων των προηγούμενων ημερών. Η διάρκεια της προηγούμενης περιόδου μπορεί να διαφέρει, αλλά για την απλότητα της εφαρμογής της μεθόδου ορίζεται σε 365 ημέρες

$$EP_j = \sum_{n=1}^{i}[(\sum_{m=1}^{n} P_m)/n] \quad \text{(A.15)}$$

όπου j είναι ο δείκτης της τρέχουσας ημέρας, i η διάρκεια για την οποία υπολογίζεται η EP, P_m είναι η βροχόπτωση m-1 ημέρες πριν από τη σημερινή ημέρα και *n* ο συνολικός αριθμός ημερών του έτους.

2ο Βήμα: Υπολογισμός της μέσης EP

Στη συνέχεια υπολογίζεται η μέση EP για κάθε ημέρα του έτους (MEP_j). Εάν υπάρχουν 30 χρόνια καταγραφών δεδομένων, υπάρχουν 30 παρόμοια ημέρες (π.χ. κάθε χρόνο την 25 Ιανουαρίου). Στη συνέχεια υπολογίζονται οι ημερήσιες αποκλίσεις της EP από τη μέση ημερήσια EP (DEP), οι τυπικές αποκλίσεις (ST (EP)) για κάθε ημερολογιακή ημέρα, και η τυποποιημένη ημερήσια τιμή των αποκλίσεων (SEP), η οποία επιτρέπει τη σύγκριση της έντασης της ξηρασίας σε δύο ή περισσότερες θέσεις, ανεξάρτητα από τις κλιματολογικές διαφορές μεταξύ τους.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

$$SEP = \frac{DEP}{ST(EP)} \tag{A.16}$$

Η διάρκεια της ξηρασίας ορίζεται, όπως και στο δείκτη SPI, ως μια περίοδο όπου η SEP είναι σταθερά αρνητική.

3ο Βήμα: Υπολογισμός των τιμών PRN

Ακολουθεί ο υπολογισμός της βροχόπτωσης, που απαιτείται για την επιστροφή στις κανονικές συνθήκες της περιοχής (Precipitation Return Normal ή PRN).

$$PRN_j = \frac{DEP_j}{\sum_{N=1}^{j}(1/N)} \tag{A.17}$$

όπου j είναι η πραγματική διάρκεια για την οποία έχουν υπολογιστεί οι τιμές DEP

4ο Βήμα: Υπολογισμός του δείκτη EDI

Τέλος, πραγματοποιείται ο υπολογισμός του δείκτη βάσει της μαθηματικής έκφρασης που ακολουθεί:

$$EDI_j = \frac{PRN_j}{ST(PRN_j)} \tag{A.18}$$

όπου ST(PRN) είναι η τυπική απόκλιση των τιμών PRN για κάθε ημέρα.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

Στον πίνακα που ακολουθεί (Πιν. Α.6) παρουσιάζεται η κατηγοριοποίηση της ξηρασίας σύμφωνα με τιμές του δείκτη EDI, οι οποίες κυμαίνονται μεταξύ -2 (συνθήκες ξηρασίας) και 2 (συνθήκες υγρασίας).

Πίνακας Α.6: Κατηγοριοποίηση της ξηρασίας σύμφωνα με το δείκτη EDI

Κατηγορία Ξηρασίας	**Τιμές δείκτη EDI**
Εξαιρετικά υγρές	>2.00
Πολύ υγρές	1.50 έως 1.99
Μέτρια υγρές	1.00 έως 1.49
Κανονικές συνθήκες	-0.99 έως 0.99
Μέτρια ξηρές	-1.00 έως -1.49
Έντονα ξηρές	-1.50 έως -1.99
Ακραία ξηρές	<-2.00

16. Δείκτης κανονικοποιημένης στάθμης νερού (Standardised Water - Level Index - SWI)

Ένας από τους δείκτες που χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση της υδρολογικής ξηρασίας και συγκεκριμένα της ανωμαλίας στη στάθμη των υπόγειων υδάτων, η οποία εμφανίζεται ως απόρροια του στρες του υδροφόρου ορίζοντα (Bhuiyan 2004), είναι ο δείκτης κανονικοποιημένης στάθμης νερού (SWI).

Ο δείκτης SWI υπολογίζεται από το λόγο της διαφοράς μεταξύ της στάθμης των υδάτων και της εποχικής μέσης τιμής προς την τυπική απόκλιση (Bhuiyan *et al*. 2006).

$$SWI = \frac{W_{ij} - W_{im}}{\sigma} \qquad \text{(A.19)}$$

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

όπου W_{ij} είναι η εποχική στάθμη νερού, W_{im} είναι ο εποχικός μέσος όρος και σ είναι η τυπική απόκλιση.

Στον πίνακα που ακολουθεί (Πιν. Α.7) παρουσιάζεται η κατηγοριοποίηση της ξηρασίας σύμφωνα με το δείκτη SWI. Παρατηρούμε πως θετικές ανωμαλίες (θετικές τιμές του δείκτη SWI) αντιστοιχούν σε στρες νερού, και επομένως ξηρασία, ενώ οι αρνητικές ανωμαλίες (αρνητικές τιμές του δείκτη SWI) αντιπροσωπεύουν κανονικές συνθήκες.

Πίνακας Α.7: Κατηγοριοποίηση της ξηρασίας σύμφωνα με το δείκτη SWI

Κλάσεις ξηρασίας	**Τιμές του δείκτη SWI (Bhuiyan 2004)**
Ακραία ξηρασία	>2.0
Έντονη ξηρασία	>1.5
Μέτρια ξηρασία	>1.0
Ελαφριά ξηρασία	>0.0
Καθόλου ξηρασία (Κανονικές συνθήκες)	<0.0

17. Δείκτης παροχής επιφανειακού νερού (Surface Water Supply Index - SWSI)

Ο δείκτης παροχής επιφανειακού νερού (SWSI) είναι ένας εμπειρικός δείκτης υδρολογικής ξηρασίας που δημιουργήθηκε από τους Shafer και Dezman (1982) με σκοπό να συμπληρώσει το δείκτη PDSI για τις υγρές συνθήκες (ποσότητα του χιονιού και την αντίστοιχη απορροή) και για περιοχές με έντονη τοπογραφία.

Ο υπολογισμός του δείκτη SWSI διατυπώνεται ως το άθροισμα των πιθανοτήτων τεσσάρων υδρολογικών παραμέτρων (χιονιού, βροχόπτωσης, υδατορροής, αποθήκευσης ύδατος) και η μαθηματική του έκφραση είναι:

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

$$SWSI = \frac{aP_{snow} + bP_{prec} + cP_{strm} + dP_{resv} - 50}{12} \quad \text{(A.20)}$$

όπου α, b, c, d είναι τα βάρη κάθε υδρολογικής παραμέτρου (χιονιού, βροχής, υδατορροής και αποθήκευσης αντίστοιχα) των οποίων το άθροισμα ισούται με τη μονάδα και P_i είναι η πιθανότητα (%) μη πλεονάσματος κάθε υδρολογικού παράγοντα.

Κατά τη διάρκεια του χειμώνα, ο δείκτης SWPI υπολογίζεται μόνο βάση του ύψους του χιονιού, της βροχόπτωσης και της αποθήκευσης του ύδατος ενώ το καλοκαίρι, το ύψος του χιονιού αντικαθιστάται από την υδατορροή. Ο δείκτης SWSI, όπως και ο δείκτης Palmer, αντιστοιχεί τις κανονικές συνθήκες σε μια περιοχή στην τιμή μηδέν και κυμαίνεται μεταξύ του - 4,2 και του 4,2.

Ο SWSI είναι εύκολος στον υπολογισμό του και θεωρείται ένας από τους πολύ χρήσιμους δείκτες για την εκτίμηση και την πρόβλεψη της κατάστασης των επιφανειακών υδάτων σε όλο το εύρος της περιοχής μελέτης. Ωστόσο, κάποιες αλλαγές στη διαχείριση των υδάτων μέσα στη λεκάνη απορροής, όπως είναι οι εκτροπές ή καινούργιες υδατοδεξαμενές, απαιτούν τον επαναπροσδιορισμό του δείκτη SWPI, έτσι ώστε να υπολογίζονται καινούργιες τιμές για κάθε συντελεστή. Τέλος, τα ακραία φαινόμενα μπορούν να προκαλέσουν επιπλοκές ειδικά αν τα γεγονότα αυτά υπερβαίνουν τις τιμές των ιστορικών δεδομένων της περιοχής. Στην περίπτωση αυτή πρέπει ο δείκτης να υπολογιστεί εκ νέου συμπεριλαμβάνοντας αυτά τα ακραία γεγονότα στην κατανομή συχνοτήτων στη λεκάνη.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

18. Δείκτης ανάκτησης ξηρασίας (Reclamation Drought Index - RDI)

Ο δείκτης ανάκτησης ξηρασίας (RDI), είναι παρόμοιος με τον δείκτη SWSI απλά για τον υπολογισμό του χρησιμοποιεί μια επιπλέον συνιστώσα, που βασίζεται σε τιμές θερμοκρασίας. Ο RDI, που έχει τη δυνατότητα προσαρμογής σε κάθε περιοχή, προσδιορίζει την ένταση και τη διάρκεια της ξηρασίας, χρησιμοποιείται όμως και για την πρόβλεψη της έναρξης και της λήξης του φαινομένου.

Οι κατηγορίες που διακρίνονται βάσει του εύρους τιμών του RDI, παρουσιάζονται στον Πίνακα Α.8.

Πίνακας Α.8: Κατηγοριοποίηση της ξηρασίας σύμφωνα με το δείκτη RDI

Κατηγορίες ξηρασίας	Τιμές δείκτη RDI
Κανονικές συνθήκες - Ελαφριά ξηρασία	0.0 έως -1.5
Μέτρια ξηρασία	-1.5 έως - 4.0.
Έντονη ξηρασία	< -4.0

19. Συνολικό υδατικό έλλειμμα (Total water deficit)

Η υδρολογική ξηρασία μπορεί επίσης να προσδιοριστεί και από το συνολικό υδατικό έλλειμμα, συνώνυμο της δριμύτητας της ξηρασίας, η οποία προκύπτει από το χρόνο (διάρκεια) κατά τον οποίο η ροή του ύδατος είναι σταθερά χαμηλότερη από ένα ορισμένο επίπεδο, καθώς και από το μέγεθος Μ, το οποίο εκφράζεται ως η μέση απόκλιση της υδατορροής από το συγκεκριμένο επίπεδο κατά την περίοδο εμφάνισης του φαινομένου (Dracup *et al*. 1980). Η τιμή 0 εμφανίζεται και πάλι μετά τη λήξη της ξηρασίας.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

Η προσέγγιση του συνολικού ελλείμματος νερού αθροίζει τη συνολική ροή σε ένα συγκεκριμένο σημείο ενός δεδομένου υδάτινου σώματος. Εντούτοις, η εκπροσώπηση μιας μεγάλης σε έκταση περιοχής με εκτεταμένη ανάλυση προϋποθέτει τη λεπτομερή εξέταση και μελέτη των επί μέρους λεκανών απορροής της περιοχής αυτής. Η εμφάνιση ξηρασίας στην ευρύτερη περιοχή δεν κατανέμεται με την ίδια ένταση και μορφή σε όλες τις υπολεκάνες, με αποτέλεσμα, μια γενικευμένη εκπροσώπηση της περιοχής βασισμένη στο κυρίως υδάτινο σώμα που τη διαρρέει, να οδηγήσει σε απώλεια πληροφοριών και ενδεχομένως σε σφάλματα (Κανέλλου 2010).

20. Αθροιστική ανωμαλία υδατοροής (Cumulative streamflow anomaly)

Η αθροιστική ανωμαλία της ροής ενός υδάτινου σώματος από τις μέσες υδατικές συνθήκες μιας περιοχής είναι μια ένδειξη της τάσης της διαθεσιμότητας του νερού μακροπρόθεσμα. Όπως και στην περίπτωση των αθροιστικών ανωμαλιών της βροχόπτωσης, μια απότομη πτώση της αθροιστικής ροής σε ένα ποταμό ή σε οποιοδήποτε υδάτινο σώμα οδηγεί στο συμπέρασμα εμφάνισης ξηρασίας (Keyantash & Dracup 2002).

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201

Παράρτημα Β

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΦΥΣΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΩΝ

Στο παράρτημα αυτό παρατίθεται ένας πίνακας, στον οποίο γίνεται μια συγκριτική παρουσίαση των φυσικών καταστροφών. Η τιμή 1 αντιστοιχεί σε υψηλότερη, ενώ η τιμή 5 σε χαμηλότερη βαθμολογία.

Πίνακας Β.1: Συγκριτικός πίνακας φυσικών καταστροφών (Frampton *et al.* 1996)

	Ένταση	Διάρκεια	Γεωγρ. έκταση	Απώλειες ζωής	Οικον. ζημία	Κοινων. επιπτώσεις	Μακροπρ. επιπτώσεις	Αιφνι-διασμός
Ξηρασία	1	1	1	1	1	1	1	4
Τροπικοί κυκλώνες	1	2	2	2	2	2	1	5
Πλημμύρα	2	2	2	1	1	1	2	4
Σεισμός	1	5	1	2	1	1	2	3
Ηφαιστειακή έκρηξη	1	4	4	2	2	2	1	3
Τροπική καταιγίδα	1	3	2	2	2	2	2	5
Τσουνάμι	2	4	1	2	2	2	3	4
Πυρκαγιά	3	3	3	3	3	3	3	2
Άνοδος της θερμοκρασίας της θάλασσας	5	1	1	5	3	5	1	5
Παγόβουνο	4	1	1	4	4	5	5	2
Καταιγίδα σκόνης	3	3	2	5	4	5	4	1
Κατολισθήσεις	4	2	2	4	4	4	5	2
Χιονοθύελλα	4	3	3	5	4	4	5	2
Ισχυροί άνεμοι τοπικής κλίμακας	5	4	3	5	5	5	5	1
Πτώσεις βράχων	5	5	5	5	5	5	5	1

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
30/04/2024 03:50:16 EEST - 3.129.13.201