ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΧΩΡΟΧΡΟΝΙΚΗ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑ ΞΗΡΑΣΙΑΣ ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΕΝΩΝ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ SPI ΣΤΟ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑ ΤΗΣ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΡΙΜΠΑ ΕΙΡΗΝΗ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:
ΦΑΡΑΣΛΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

ΛΑΡΙΣΑ, 2024

ΔΗΛΩΣΗ

Βεβαιώνω ότι η παρούσα εργασία είναι δική μου, δεν έχει συγγραφεί από άλλο πρόσωπο με ή χωρίς αμοιβή, δεν έχει αντιγραφεί από δημοσιευμένη ή αδημοσίευτη εργασία άλλου και δεν έχει προηγουμένως υποβληθεί για βαθμολόγηση στο Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας ή αλλού. Βεβαιώνω ότι είμαι εν γνώσει των κανόνων περί λογοκλοπής του ΠΘ και ότι στο πλαίσιο αυτού έχουν τηρηθεί όλοι οι κανόνες κατά την ακαδημαϊκή δεοντολογία, σχετικά με αναφορές, βιβλιογραφία, κ.λ.π., τόσο από έντυπες όσο και από ηλεκτρονικές πηγές. Σε περίπτωση λογοκλοπής αποδέχομαι όλες ανεξαιρέτως τις ποινές που προβλέπουν οι εκάστοτε Κανονισμοί του ΠΘ.

Ημερομηνία: 12-09-2024

Ονοματεπώνυμο: Ειρήνη Ριμπά

Υπογραφή:

ΜΕΛΗ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η ολοκλήρωση αυτής της πτυχιακής εργασίας θα ήταν αδύνατη χωρίς την καθοδήγηση του επόπτη καθηγητή μου, Δρ. Ιωάννη Φαρασλή. Τον ευχαριστώ ειλικρινά για τη βοήθεια που μου πρόσφερε στα πλαίσια της εκπόνησης αυτής της εργασίας, το χρόνο που αφιέρωσε και όλες τις λύσεις που πρόσφερε.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για τη στήριξη που μου έδωσαν καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου, καθώς και πιο συγκεκριμένα, τη μητέρα μου που με υπομονή και κουράγιο μου παρείχε τη βοήθεια και τις γνώσεις της.

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ 7
ΕΙΣΑΓΩΓΗ 9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 11
1.1 ΞΗΡΑΣΙΑ ΟΡΙΣΜΟΙ 11
1.2 ΤΥΠΟΙ ΞΗΡΑΣΙΑΣ 11
1.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΞΗΡΑΣΙΑΣ 13
1.4 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ 14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 16
2.1 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ (ΓΣΠ) 16
2.2 ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ 22
2.3 ΔΕΙΚΤΕΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ 23
2.3.1 ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΑΝΟΝΙΚΗΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ 24
2.3.2 ΔΕΙΚΤΗΣ PALMER 24
2.3.3 ΔΕΙΚΤΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ (CMI) 25
2.3.4 ΔΕΙΚΤΗΣ ΠΑΡΟΧΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟΥ ΝΕΡΟΥ (SWSI) 26
2.3.5 ΔΕΙΚΤΗΣ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ (SPI) 27
2.3.6 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ SPI 29
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 34
3.1 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ 34
3.2 ΑΝΑΠΤΥΞΙΑΚΗ ΦΥΣΙΟΓΝΩΜΙΑ 34
3.3 ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ 39
3.4 ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ 40
3.4.1 ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΥΔΑΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ 40
3.4.2 ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΙ ΥΔΑΤΙΚΟΙ ΠΟΡΟΙ 42
3.5 ΔΕΔΟΜΕΝΑ 45
3.5.1 CLIMATE HAZARDS INFRARED PRECIPITATION WITH STATION DATA (CHIRPS) 45
3.5.2 GOOGLE EARTH ENGINE 48
3.5.3 ΔΙΑΝΥΣΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ 50

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 51
4.1 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ 51
4.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 54
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 66
5.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ 66
5.2 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ 69
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 71
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 104

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1 Τιμές ταξινόμησης του SPI 29
Πίνακας 2: Μόνιμος Πληθυσμός κατά Περιφέρειες. 35
Πίνακας 3. Κατάσταση ασχολίας Μόνιμου Πληθυσμού κατά Περιφέρειες. 37
Πίνακας 4. Κατανομή Απασχολουμένων κατά Τομέα Δραστηριότητας. 38
Πίνακας 5. Χρησιμοποιούμενη γεωργική έκταση κατά Περιφέρεια. 39
Πίνακας 6 SPI 12-month Οκτωβρίου 1990-2001 57
Πίνακας 7 SPI 12-month Οκτωβρίου 2002-2013 61

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1 Η γενική ακολουθία για την εμφάνιση διαφορετικών τύπων ξηρασίας 13
Εικόνα 2 Σύνδεση ΣΓΠ με τα επιστημονικά πεδία 22
Εικόνα 3 : Η μορφή της Γάμμα κατανομής για α=2 και β=1 30
Εικόνα 4 Μετατροπή ίσης πιθανότητας γνωστής κατανομής(gamma) σε κανονική(SPI).. 32
Εικόνα 5 Γεωγραφική θέση περιφέρειας Θεσσαλίας 34
Εικόνα 6 Απεικόνιση 8ου ΥΔ Ελλάδος. 41
Εικόνα 7: Χάρτης ταξινόμησης ποσοτικής κατάστασης των ΥΥΣ στο ΥΔ Θεσσαλίας. 45
Εικόνα 8 Κέντρα χωρικών μονάδων για την περιοχή της Θεσσαλίας (Άσπρες κουκίδες) 48
Εικόνα 9 Interface του Google Earth Engine 50
Εικόνα 10:Διάγραμμα ροής μεθοδολογίας 52
Εικόνα 11 Η μεταβολή SPI max και min στην περίοδο 1990-2001 57
Εικόνα 12 Η μεταβολή SPI max και min στην περίοδο 2002-2013 61
Εικόνα 13 Η μεταβολή SPI max και min στην περίοδο 2014-2021 65
Εικόνα 14 Διάγραμμα διακύμανσης SPI max και min ετών 1990-2021 μαζί με τον μέσο όρο 67

Κατάλογος Χαρτών

Χάρτης 1 SPI 12-month Οκτωβρίου 1990 55
Χάρτης 2 SPI 12-month Οκτωβρίου 1991 55
Χάρτης 3 SPI 12-month Οκτωβρίου 1992 55
Χάρτης 4 SPI 12-month Οκτωβρίου 1993 55
Χάρτης 5 SPI 12-month Οκτωβρίου 1994 55
Χάρτης 6 SPI 12-month Οκτωβρίου 1995 55
Χάρτης 7 SPI 12-month Οκτωβρίου 1996 56
Χάρτης 8 SPI 12-month Οκτωβρίου 1997 56
Χάρτης 9 SPI 12-month Οκτωβρίου 1998 56
Χάρτης 10 SPI 12-month Οκτωβρίου 1999 56
Χάρτης 11 SPI 12-month Οκτωβρίου 2000 56
Χάρτης 12 SPI 12-month Οκτωβρίου 2001 56
Χάρτης 13 SPI 12-month Οκτωβρίου 2002 59
Χάρτης 14 SPI 12-month Οκτωβρίου 2003 59
Χάρτης 15 SPI 12-month Οκτωβρίου 2004 59
Χάρτης 16 SPI 12-month Οκτωβρίου 2005 59
Χάρτης 17 SPI 12-month Οκτωβρίου 2006 59
Χάρτης 18 SPI 12-month Οκτωβρίου 2007 59
Χάρτης 19 SPI 12-month Οκτωβρίου 2008 60
Χάρτης 20 SPI 12-month Οκτωβρίου 2009 60
Χάρτης 21 SPI 12-month Οκτωβρίου 2010 60
Χάρτης 22 SPI 12-month Οκτωβρίου 2011 60
Χάρτης 23 SPI 12-month Οκτωβρίου 2012 60
Χάρτης 24 SPI 12-month Οκτωβρίου 2013 60
Χάρτης 25 SPI 12-month Οκτωβρίου 2014 63
Χάρτης 26 SPI 12-month Οκτωβρίου 2015 63
Χάρτης 27 SPI 12-month Οκτωβρίου 2016 63
Χάρτης 28 SPI 12-month Οκτωβρίου 2017 63
Χάρτης 29 SPI 12-month Οκτωβρίου 2018 63
Χάρτης 30 SPI 12-month Οκτωβρίου 2019 63
Χάρτης 31 SPI 12-month Οκτωβρίου 2020 64
Χάρτης 32 SPI 12-month Οκτωβρίου 2021 64
Χάρτης 33 Χάρτης υδρολογικών ετών αναφοράς 1990-2021 67

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία εξετάζει το φαινόμενο της ξηρασίας στην Περιφέρεια Θεσσαλίας, χρησιμοποιώντας τον Δείκτη Τυποποιημένης Βροχόπτωσης (SPI). Στόχος είναι ο εντοπισμός της μετεωρολογικής ξηρασίας και η ανάλυση των βασικών χαρακτηριστικών της (ένταση, διάρκεια, χωρική κατανομή) για την περίοδο 1990-2021. Η επιλογή της Θεσσαλίας ως περιοχή μελέτης οφείλεται στις προκλήσεις διαχείρισης υδάτινων πόρων που αντιμετωπίζει.

Η μεθοδολογία βασίζεται στην αξιοποίηση δορυφορικών δεδομένων CHIRPS, που καλύπτουν 30 και πλέον υδρολογικά έτη. Η χρήση αυτών των πρόσφατα διαθέσιμων δεδομένων αποτελεί την καινοτομία της έρευνας, επιτρέποντας μια λεπτομερή ανάλυση του φαινομένου. Η επεξεργασία των δεδομένων CHIRPS έγινε μέσω της ελεύθερης πλατφόρμας Google Earth Engine που επιτρέπει την ανάλυση τηλεπισκοπικών δεδομένων. Η μελέτη περιλαμβάνει τη δημιουργία χαρτών και διαγραμμάτων για την οπτικοποίηση των σημαντικότερων επεισοδίων ξηρασίας κατά την εξεταζόμενη περίοδο. Αυτή η προσέγγιση επιτρέπει τον ακριβή προσδιορισμό των πληγεισών περιοχών. Τα συμπεράσματα που προέκυψαν ανταποκρίνονται στους αρχικούς στόχους της εργασίας, προσφέροντας μια ολοκληρωμένη εικόνα του φαινομένου της ξηρασίας στη Θεσσαλία.

Λέξεις-κλειδιά: Τηλεπισκόπηση, Ξηρασία, Δείκτης Τυποποιημένης Βροχόπτωσης (SPI), CHIRPS (Climate Hazards Group Infrared Precipitation with Station), Θεσσαλία

ABSTRACT

This paper examines the phenomenon of drought in the Region of Thessaly, using the Standardized Precipitation Index (SPI). The aim is to identify the meteorological drought and analyze its main characteristics (intensity, duration, spatial distribution) for the period 1990-2021. The selection of Thessaly as a study area is due to the water resource management challenges it faces.

The methodology is based on the utilization of CHIRPS satellite data, covering more than 30 hydrological years. The use of these newly available data constitutes the innovation of the research, allowing a detailed analysis of the phenomenon. CHIRPS data was processed through the free Google Earth Engine platform that allows the analysis of remote sensing data. The study includes the creation of maps and charts to visualize the most important drought episodes during the period under review. This approach allows precise identification of affected areas. The conclusions obtained correspond to the initial objectives of the work, offering a complete picture of the phenomenon of drought in Thessaly.

Keywords: Remote Sensing, Drought, Standardized Precipitation Index (SPI), CHIRPS (Climate Hazards Group Infrared Precipitation with Station), Thessaly

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το υδάτινο δυναμικό της Θεσσαλίας, με έμφαση στη λεκάνη του Πηνειού, υφίσταται εδώ και δεκαετίες έντονη καταπόνηση από τους χρήστες νερού, κυρίως από τον αγροτικό κλάδο, για την κάλυψη των αναγκών τους. Ευλόγως, το ζήτημα αυτό έχει κινητοποιήσει την τοπική κοινότητα, αλλά πρωτίστως τους επιστημονικούς οργανισμούς και τα ακαδημαϊκά ιδρύματα.

Η παρούσα πτυχιακή μελέτη έχει ως στόχο να εξετάσει τα στοιχεία που αφορούν την πορεία του φαινομένου της ξηρασίας στην περιφέρεια της Θεσσαλίας κατά την τριακονταετία 1990 - 2021. Η έρευνα επικεντρώνεται στην ανάλυση των διαθέσιμων δεδομένων για την κατανόηση των τάσεων και των επιπτώσεων της ξηρασίας στην περιοχή κατά την προαναφερθείσα χρονική περίοδο.

Στο πρώτο κεφάλαιο, διατυπώνονται διάφοροι ορισμοί του φαινομένου, καθώς το εύρος των ορισμών της ποικίλει. Επίσης παρουσιάζονται οι κατηγορίες διάκρισης της ξηρασίας, σε μετεωρολογική, υδρολογική, γεωργική και κοινωνικό-οικονομική. Τέλος περιγράφονται κάποια από τα χαρακτηριστικά στοιχεία της ξηρασίας καθώς και οι επιπτώσεις της.

Το δεύτερο κεφάλαιο της εργασίας, επικεντρώνεται στην ανάλυση των δεικτών ξηρασίας και στην αξία τους ως εργαλεία μελέτης. Συγκεκριμένα, εισάγεται η έννοια των δεικτών ξηρασίας, τονίζοντας τη σημασία τους στην ποσοτικοποίηση και αξιολόγηση του φαινομένου. Επεξηγείται ο τρόπος με τον οποίο οι δείκτες αυτοί συμβάλλουν στην κατανόηση, παρακολούθηση και πρόβλεψη των ξηρασικών συνθηκών. Ακολουθεί μια εκτενής παρουσίαση επιλεγμένων, ευρέως αναγνωρισμένων δεικτών ξηρασίας. Η ανάλυση αυτή περιλαμβάνει τη μεθοδολογία υπολογισμού, τα πλεονεκτήματα και τους περιορισμούς του κάθε δείκτη, καθώς και παραδείγματα εφαρμογής τους σε διάφορες περιπτώσεις μελέτης. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στους συγκεκριμένους δείκτες που θα χρησιμοποιηθούν για την ανάλυση της περιοχής μελέτης. Παρέχεται λεπτομερής περιγραφή της μεθοδολογίας υπολογισμού τους, των απαιτούμενων δεδομένων εισόδου και της ερμηνείας των αποτελεσμάτων τους.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται συνοπτική περιγραφή, της θέσης της περιφέρειας Θεσσαλίας σε σχέση με τον ευρύτερο χώρο, η αναπτυξιακή φυσιογνωμία, τα γεωμορφολογικά και τα υδρολογικά χαρακτηριστικά της.

Στο 4ο κεφάλαιο γίνεται αναλυτική παρουσίαση των βάσεων δεδομένων και των μεθοδολογικών εργαλείων που αξιοποιήθηκαν για τη διεξαγωγή της έρευνας. Συγκεκριμένα, το κεφάλαιο αυτό εστιάζει στην περιγραφή των συστημάτων αποθήκευσης

των τεχνικών μέσων που χρησιμοποιήθηκαν για την επεξεργασία και ανάλυση των χωρικών και χρονικών στοιχείων. Η παρουσίαση αυτή παρέχει το απαραίτητο υπόβαθρο για την κατανόηση των μεθοδολογικών προσεγγίσεων που υιοθετήθηκαν στην έρευνα, διασφαλίζοντας τη διαφάνεια και την αναπαραγωγιμότητα των αποτελεσμάτων.

Στο 5ο κεφάλαιο παρουσιάζονται και σχολιάζονται τα αποτελέσματα της εξέλιξης του φαινομένου της ξηρασίας στη Θεσσαλία κατά την τριακονταετία 1990 – 2021 καθώς και η χωρική κατανομή της συχνότητας εμφάνισης του κάθε επιπέδου εντάσεως φαινομένου και τέλος τα αποτελέσματα της χωρικής συσχέτισης των παραμέτρων του δείκτη βροχόπτωσης SPI.

Στο 6ο κεφάλαιο, σχολιάζονται τα συμπεράσματα που εξάγονται από την μελέτη του φαινομένου ξηρασίας στη Θεσσαλία και παρατίθενται προτάσεις για μελλοντική έρευνα και εφαρμογές

Προκειμένου να αξιολογηθεί η ξηρασία ως φαινόμενο, πρέπει να απαντηθούν τα ερωτήματα που ενδιαφέρουν τη μελέτη για την αξιολόγησή της: Πώς ορίζεται επιστημονικά η ξηρασία και ποια είναι τα κριτήρια για την αναγνώρισή της; Ποιο είναι το χρονικό εύρος της ξηρασίας και πώς αυτό επηρεάζει τις επιπτώσεις της; Ποια γεωγραφική έκταση έπληξε; Ποια είναι τα διακριτικά χαρακτηριστικά της ξηρασίας; Ποιες είναι οι συνέπειες της ξηρασίας στο φυσικό περιβάλλον, την οικονομία και την κοινωνία; Είναι αναγκαία η ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου συστήματος για την πρόβλεψη, παρακολούθηση και αντιμετώπιση των επεισοδίων ξηρασίας;

Τα παραπάνω ερωτήματα αποτελούν τη βάση και θα γίνει προσπάθεια να απαντηθούν στο τέλος της εργασίας, εστιάζοντας στην περιοχή της Θεσσαλίας με επιβεβαιωμένα φαινόμενα ξηρασίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1 ΞΗΡΑΣΙΑ ΟΡΙΣΜΟΙ

Η ξηρασία είναι ένα σύνθετο φαινόμενο το οποίο είναι δύσκολο να παρακολουθηθεί και να προσδιοριστεί. Στις αρχές της δεκαετίας του 1980, πάνω από 150 ορισμοί της «ξηρασίας» είχαν ήδη δημοσιευτεί. Το εύρος των ορισμών αντανακλά τις διαφορές στις περιοχές, τις ανάγκες και τις πειθαρχικές προσεγγίσεις. Αυτή η έλλειψη ορισμού και η σύγχυση που δημιουργείται μπορεί να οδηγήσει σε αδράνεια, αναποφασιστικότητα και στις περισσότερες των περιπτώσεων, πρόχειρες λύσεις που λύνουν προσωρινά το πρόβλημα χωρίς την ελάχιστη και αναγκαία κατανόηση των κοινωνικών και περιβαλλοντικών επιπτώσεων αυτών των λύσεων (Wilhite, 1983).

Σύμφωνα με τους Wilhite και Glantz (1985) οι ορισμοί της ξηρασίας μπορούν να κατηγοριοποιηθούν είτε ως εννοιολογικοί είτε ως λειτουργικοί.

Εννοιολογικοί είναι οι ορισμοί που διατυπώνονται με γενικούς όρους για τον προσδιορισμό της έννοιας της ξηρασίας. Οι εννοιολογικοί ορισμοί παρέχουν ελάχιστη καθοδήγηση σε όσους επιθυμούν να τις εφαρμόσουν σε τρέχουσες (δηλαδή σε πραγματικό χρόνο) εκτιμήσεις ξηρασίας.

Οι λειτουργικοί ορισμοί προσπαθούν να προσδιορίσουν την έναρξη, τη σοβαρότητα και τον τερματισμό των επεισοδίων ξηρασίας. Οι εκτιμήσεις των πιθανών επιπτώσεων περιλαμβάνονται σε ορισμένους λειτουργικούς ορισμούς. Ένας λειτουργικός ορισμός, για παράδειγμα, θα ήταν αυτός που συγκρίνει τις ημερήσιες τιμές βροχόπτωσης με τους ρυθμούς εξατμισοδιαπνοής για να καθορίσει το ρυθμό εξάντλησης της υγρασίας του εδάφους και εκφράζει αυτές τις σχέσεις ως προς τις επιπτώσεις της ξηρασίας στη συμπεριφορά των φυτών σε διάφορα στάδια ανάπτυξης της καλλιέργειας.

1.2 ΤΥΠΟΙ ΞΗΡΑΣΙΑΣ

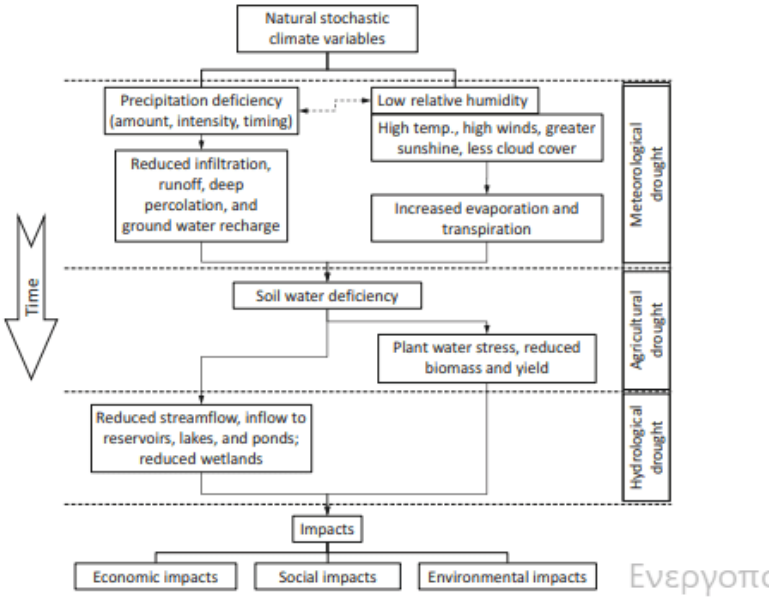
Η ξηρασία μπορεί να κατηγοριοποιηθεί σε διάφορους τύπους με βάση τα αίτια, τη διάρκεια και τα περιφερειακά χαρακτηριστικά τους.

I. Μετεωρολογική ξηρασία: Η μετεωρολογική ξηρασία συνδέεται με μια παρατεταμένη περίοδο βροχόπτωσης κάτω του μέσου όρου σε μια συγκεκριμένη περιοχή. Εμφανίζεται όταν υπάρχει έλλειψη στην ποσότητα ή τη συχνότητα των βροχοπτώσεων σε σύγκριση με τον μακροπρόθεσμο μέσο όρο. Η μετεωρολογική ξηρασία επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες, όπως η μεταβλητότητα του κλίματος, τα μοτίβα της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας και οι τοπικές καιρικές συνθήκες.

II. Αγροτική ξηρασία: Η αγροτική ξηρασία αναφέρεται σε μια κατάσταση όπου η διαθεσιμότητα νερού είναι ανεπαρκής για να καλύψει τις απαιτήσεις σε νερό των καλλιεργειών και της άλλης βλάστησης. Εμφανίζεται όταν τα επίπεδα υγρασίας του εδάφους εξαντλούνται, περιορίζοντας την ανάπτυξη και την παραγωγικότητα των φυτών. Η αγροτική ξηρασία επηρεάζεται από παράγοντες όπως τα πρότυπα βροχοπτώσεων, οι ρυθμοί εξατμισοδιαπνοής, τα χαρακτηριστικά του εδάφους και η ζήτηση νερού των καλλιεργειών. Μπορεί να έχει σοβαρές συνέπειες για την επισιτιστική ασφάλεια, οδηγώντας σε μειωμένες γεωργικές αποδόσεις, απώλειες ζώων και οικονομικές δυσκολίες για τους αγρότες και τις αγροτικές κοινότητες.

III. Υδρολογική ξηρασία: Η υδρολογική ξηρασία σχετίζεται με την εξάντληση των υδάτινων πόρων, συμπεριλαμβανομένων των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων. Εμφανίζεται όταν η διαθεσιμότητα νερού σε ποτάμια, λίμνες, ταμιευτήρες και υδροφορείς μειώνεται σημαντικά κάτω από τα κανονικά επίπεδα. Οι υδρολογικές ξηρασίες επηρεάζονται από παράγοντες όπως τα ελλείμματα βροχοπτώσεων, οι αυξημένοι ρυθμοί εξάτμισης, η υψηλή ζήτηση νερού και οι μη βιώσιμες πρακτικές διαχείρισης του νερού. Οι επιπτώσεις της υδρολογικής ξηρασίας μπορούν να παρατηρηθούν στη μειωμένη παροχή νερού για πόση, άρδευση και βιομηχανική χρήση, καθώς και στην υποβάθμιση του περιβάλλοντος και στις διαταραχές του οικοσυστήματος.

IV. Κοινωνικοοικονομική ξηρασία: Η κοινωνικοοικονομική ξηρασία αναφέρεται στις επιπτώσεις της ξηρασίας στους ανθρώπινους πληθυσμούς και στα κοινωνικοοικονομικά συστήματα. Περιλαμβάνει τις οικονομικές, κοινωνικές και πολιτιστικές πτυχές της ξηρασίας, συμπεριλαμβανομένων των επιπτώσεων της στα μέσα διαβίωσης, τις βιομηχανίες και τη συνολική ευημερία. Η κοινωνικοοικονομική ξηρασία μπορεί να οδηγήσει σε έλλειψη νερού για οικιακή και βιομηχανική χρήση, μειωμένες ευκαιρίες απασχόλησης, αύξηση των τιμών των τροφίμων, μετανάστευση, συγκρούσεις για τους υδάτινους πόρους και σε κίνδυνο τη δημόσια υγεία και τις υπηρεσίες υγιεινής. Οι συνέπειες της μπορεί να είναι ιδιαίτερα σοβαρές σε ξηρές και ημίξηρες περιοχές όπου οι υδάτινοι πόροι είναι ήδη περιορισμένοι.



Εικόνα 1 Η γενική ακολουθία για την εμφάνιση διαφορετικών τύπων ξηρασίας

(Zargar at al., 2011).

1.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΞΗΡΑΣΙΑΣ

Τα χαρακτηριστικά της ξηρασίας περιλαμβάνουν τις διάφορες διαστάσεις της, συμπεριλαμβανομένων των μετεωρολογικών, υδρολογικών, γεωργικών, κοινωνικοοικονομικών και περιβαλλοντικών πτυχών (Dracup et al, 1980). Μερικά χαρακτηριστικά της ξηρασίας είναι:

I. Διάρκεια: Οι ξηρασίες μπορεί να κυμαίνονται από βραχυπρόθεσμα γεγονότα που διαρκούν μερικές εβδομάδες έως μακροχρόνια επεισόδια που εκτείνονται σε αρκετά χρόνια.
II. Ένταση: Η ένταση μιας ξηρασίας αναφέρεται στο βαθμό στον οποίο αποκλίνουν οι κανονικές συνθήκες. Μια ήπια ξηρασία μπορεί να προκαλέσει μικρές ταλαιπωρίες, ενώ μια σοβαρή ξηρασία μπορεί να οδηγήσει σε πιο σοβαρές συνέπειες, όπως έλλειψη νερού και καταστροφή καλλιεργειών.
III. Χωρική Έκταση: Η ξηρασία μπορεί να επηρεάσει από τοπικές εκτάσεις έως ολόκληρες περιοχές ή ακόμα και ηπείρους. Ορισμένες ξηρασίες μπορεί να περιορίζονται σε συγκεκριμένες λεκάνες απορροής ποταμών, ενώ άλλες μπορεί να έχουν ευρείες γεωγραφικές επιπτώσεις.
IV. Συχνότητα: Η επανεμφάνιση ξηρασίας σε μια συγκεκριμένη περιοχή με την πάροδο του χρόνου είναι γνωστή ως συχνότητα ξηρασίας. Η κατανόηση της συχνότητας των ξηρασιών είναι ζωτικής σημασίας για την ετοιμότητα και τον προγραμματισμό.

V. Μετεωρολογικές Συνθήκες: Η μετεωρολογική ξηρασία χαρακτηρίζεται από παρατεταμένη περίοδο βροχοπτώσεων κάτω του μέσου όρου. Περιλαμβάνει αποκλίσεις από τα αναμενόμενα πρότυπα βροχόπτωσης και θερμοκρασίας, επηρεάζοντας τη διαθεσιμότητα νερού και την υγεία του οικοσυστήματος.

VI. Υδρολογικές συνθήκες: Η υδρολογική ξηρασία σχετίζεται με μειωμένη διαθεσιμότητα νερού σε ποτάμια, λίμνες, ταμιευτήρες και συστήματα υπόγειων υδάτων. Συμβαίνει όταν οι υδάτινοι πόροι πέφτουν κάτω από τα κανονικά επίπεδα λόγω μειωμένων εισροών, αυξημένης εξάτμισης και χρήσης νερού από τον άνθρωπο.

1.4 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ

Η ξηρασία έχει εκτεταμένες και πολύπλευρες συνέπειες που επηρεάζουν διάφορους τομείς της κοινωνίας, του περιβάλλοντος και της οικονομίας. Η σοβαρότητα αυτών των συνεπειών μπορεί να ποικίλλει ανάλογα με τον τύπο, τη διάρκεια και την ένταση της ξηρασίας, καθώς και την ετοιμότητα και την ικανότητα προσαρμογής της πληγείσας περιοχής.

- Λειψυδρία: Μια από τις πιο άμεσες και σοβαρές συνέπειες της ξηρασίας. Η μειωμένη βροχόπτωση και η μειωμένη διαθεσιμότητα νερού σε ποτάμια, λίμνες και ταμιευτήρες μπορεί να οδηγήσει σε έλλειψη νερού για πόση, άρδευση, βιομηχανική και οικιακή χρήση. Η λειψυδρία μπορεί να διαταράξει την καθημερινή ζωή, να καταπονήσει τα συστήματα παροχής νερού και να οδηγήσει σε συγκρούσεις για περιορισμένους πόρους (Unfried et al., 2022).
- Γεωργικές επιπτώσεις: Μια ξηρασία μπορεί να έχει καταστροφικές επιπτώσεις στη γεωργία. Η ανεπαρκής υγρασία του εδάφους μπορεί να οδηγήσει σε καθυστερημένη ανάπτυξη των φυτών, μειωμένες αποδόσεις των καλλιεργειών, ακόμη και αποτυχίες των καλλιεργειών (Lipiec et al., 2013).
- Οικολογικές συνέπειες: Τα οικοσυστήματα εξαρτώνται από την τακτική διαθεσιμότητα νερού για την επιβίωση των φυτών, των ζώων και των μικροοργανισμών. Μια ξηρασία διαταράζει τα οικοσυστήματα, οδηγώντας σε υποβάθμιση των οικοτόπων, μειωμένη βιοποικιλότητα και αυξημένη ευπάθεια σε παράσιτα και ασθένειες (Kalefetoğlu και Ekmekci, 2005).
- Οικονομικές απώλειες: Η ξηρασία μπορεί να έχει σημαντικές οικονομικές επιπτώσεις. Όπως αναφέρθηκε, η γεωργία, ένας τομέας που εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το νερό, μπορεί να παρουσιάσει μειωμένη παραγωγικότητα, οδηγώντας σε χαμηλότερο εισόδημα για τους αγρότες και πληθωρισμό των τιμών των τροφίμων. Οι βιομηχανίες που βασίζονται στο νερό για τις παραγωγικές διαδικασίες, όπως τα εργοστάσια και οι σταθμοί παραγωγής ενέργειας, επηρεάζονται επίσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2.1 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ (ΓΣΠ)

Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (ΓΣΠ), γνωστά και με την αγγλική τους ονομασία Geographic Information System (GIS), είναι πληροφοριακά συστήματα για την αποθήκευση παρατηρήσεων, την επεξεργασία και την ανάλυση δεδομένων και την παρουσίαση αυτών σύμφωνα με την γεωγραφική τους εξάρτηση, δηλαδή τα δεδομένα είναι γεωαναφορικά εξαρτημένα.

Πιο συγκεκριμένα ως ΓΣΠ μπορεί να ορισθεί και η αλληλοεπίδραση γεωγραφικών ψηφιακών υποβάθρων μιας περιοχής, με τις αντίστοιχες βάσεις δεδομένων ποιοτικών ή και ποσοτικών για την ίδια περιοχή. Το βασικό στοιχείο του ΓΣΠ, είναι ότι επιτρέπει την ενσωμάτωση της χωρικής πληροφορίας σε ένα ενιαίο σύστημα ικανό να διαχειρίζεται και μη χωρική πληροφορία (Φαρασλής, 2012).

Τα συστατικά μέρη ενός ΓΣΠ ερμηνεύονται περιληπτικά ως εξής (Κουτσόπουλος 2002):

- Γεωγραφικό: Το σύστημα αναφέρεται σε στοιχεία που σχετίζονται με τη γεωγραφική κλίμακα και αναφέρονται με κάποιο σύστημα συντεταγμένων σε θέσεις στην επιφάνεια της γης. Επομένως, τα χωρικά στοιχεία και η γεωγραφική θέση τους αποτελούν το θεμέλιο λίθο του συστήματος.
- Σύστημα: Είναι ένα περιβάλλον που επιτρέπει τη διαχείριση των δεδομένων καθώς και την αναζήτηση απαντήσεων σε ερωτήσεις που τίθενται. Στην πιο απλή μορφή του, ένα ΣΓΠ δεν χρειάζεται την αυτοματοποίηση των Η/Υ (μια βιβλιοθήκη χαρτών και μια σειρά από εργαλεία της επιστήμης της Γεωγραφίας αρκούν), άλλα πρέπει να είναι μια ολοκληρωμένη σειρά από διαδικασίες για την εισαγωγή, διαχείριση, ανάλυση και απόδοση των γεωγραφικών πληροφοριών. Βέβαια, ένα τέτοιο σύστημα επιτυγχάνει τους στόχους του καλύτερα όταν στηρίζεται στους Η/Υ.
- Πληροφοριών: Το σύστημα χρησιμοποιείται για να θέσει ερωτήσεις για τα στοιχεία της γεωγραφικής βάσης, λαμβάνοντας πληροφορίες για το γεωγραφικό κόσμο. Αυτό αντιπροσωπεύει τη γνωστή διαδικασία από στοιχεία σε πληροφορία.

Οι λειτουργίες GIS συνήθως περιλαμβάνουν απόκτηση δεδομένων, διαχείριση δεδομένων, αναζήτηση δεδομένων, ανάλυση διανυσματικών δεδομένων, ανάλυση δεδομένων ράστερ και εμφάνιση δεδομένων. Αυτές οι λειτουργίες δεν χρειάζεται να είναι διαδοχικές. Για παράδειγμα, η εμφάνιση δεδομένων μπορεί να πραγματοποιηθεί για την εξερεύνηση δεδομένων στην αρχή ενός έργου και για την παρουσίαση αποτελεσμάτων στο τέλος του έργου.

- Απόκτηση δεδομένων: Η απόκτηση δεδομένων είναι συνήθως το πρώτο βήμα για τη διεξαγωγή ενός έργου GIS. Η ανάγκη για γεωχωρικά δεδομένα από τους

χρήστες GIS έχει συνδεθεί με την ανάπτυξη γραφείων εκκαθάρισης δεδομένων και γεωπυλών. Από τις αρχές της δεκαετίας του 1990, κυβερνητικές υπηρεσίες σε διαφορετικά επίπεδα στις Ηνωμένες Πολιτείες καθώς και σε πολλές άλλες χώρες έχουν δημιουργήσει ιστοτόπους για την κοινή χρήση δημόσιων δεδομένων και για την καθοδήγηση των χρηστών σε διάφορες πηγές δεδομένων. Για παράδειγμα, το Data.gov είναι μια κυβερνητική γεωπύλη των ΗΠΑ που επιτρέπει τη δημόσια πρόσβαση σε σύνολα δεδομένων που δημιουργούνται από την εκτελεστική εξουσία της ομοσπονδιακής κυβέρνησης των ΗΠΑ. Ένα άλλο παράδειγμα είναι η γεωπύλη INSPIRE (Infrastructure for Spatial Information in Europe), η οποία παρέχει τα μέσα αναζήτησης χωρικών συνόλων δεδομένων και υπηρεσιών και προβολής χωρικών συνόλων δεδομένων από τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης, συμπεριλαμβανομένων δρόμων, κατοικημένων τόπων, κάλυψης γης/ χρήση, διοικητικά όρια, υψομετρικά δεδομένα και βυθό του ωκεανού. Υπάρχουν επίσης μη κυβερνητικές ιστοσελίδες για τη διανομή γεωχωρικών δεδομένων. Για παράδειγμα, το DIVA-GIS προσφέρει δεδομένα και δεδομένα σε επίπεδο χώρας για το παγκόσμιο κλίμα, την εμφάνιση ειδών, τη συλλογή καλλιεργειών, το υψόμετρο και τις δορυφορικές εικόνες. Ένα άλλο παράδειγμα είναι το OpenStreetMap, ένας μη κερδοσκοπικός οργανισμός με έδρα το Ηνωμένο Βασίλειο, ο οποίος προσφέρει δωρεάν γεωγραφικά δεδομένα παγκόσμιας κάλυψης, όπως οδικούς χάρτες, σημεία ενδιαφέροντος και χρήση γης, που συλλέγονται μέσω πληθοπορισμού (crowdsourcing). Για να χρησιμοποιηθούν δημόσια δεδομένα, είναι σημαντικό να υπάρχουν μεταδεδομένα, τα οποία παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τα δεδομένα. Τα μεταδεδομένα παρέχουν συνήθως πληροφορίες σχετικά με την αναγνώριση, την έκταση, την ποιότητα, τις χωρικές και χρονικές πτυχές, το περιεχόμενο, τη χωρική αναφορά, την απεικόνιση, τη διανομή και άλλες ιδιότητες των ψηφιακών γεωγραφικών δεδομένων και υπηρεσιών. Εάν δεν είναι διαθέσιμα δημόσια δεδομένα, τα νέα γεωχωρικά δεδομένα μπορούν να ψηφιοποιηθούν από χάρτες σε χαρτί ή να δημιουργηθούν από δορυφορικές εικόνες, δεδομένα GPS, δεδομένα ερευνών, δεδομένα με γεωγραφικές ετικέτες, διευθύνσεις οδών και αρχεία κειμένου. Τα γεωχωρικά δεδομένα μπορούν να ψηφιοποιηθούν χρησιμοποιώντας χειροκίνητη ψηφιοποίηση, σάρωση ή ψηφιοποίηση επί της οθόνης. Οι δορυφορικές εικόνες μπορούν να ερμηνευτούν και να ταξινομηθούν για τη δημιουργία χαρτών κάλυψης γης και άλλων χαρτών. Τα δεδομένα GPS και έρευνας μπορούν να μετατραπούν σε χαρακτηριστικά σημείου, γραμμής ή περιοχής. Δεδομένα με γεωγραφικές ετικέτες, όπως φωτογραφίες και αναρτήσεις σε κοινωνικά δίκτυα, μπορούν να απεικονιστούν ως σημεία με βάση τις γεωγραφικές τους συντεταγμένες. Ομοίως, οι διευθύνσεις οδών και τα αρχεία κειμένου με συντεταγμένες x και y μπορούν να μετατραπούν σε χαρακτηριστικά σημείου μέσω γεωκωδικοποίησης, μια διαδικασία παρόμοια με τις διαδικτυακές υπηρεσίες γεωκωδικοποίησης που παρέχονται από το Google, το Yahoo, το MapQuest και άλλες.

- Διαχείριση δεδομένων: Ένα ΓΣΠ συνήθως χρησιμοποιεί ένα σύστημα διαχείρισης βάσεων δεδομένων (DBMS) για να χειρίζεται χαρακτηριστικά διανυσματικών δεδομένων, τα οποία μπορεί να είναι μεγάλα σε μέγεθος. Κάθε πολύγωνο σε έναν χάρτη εδάφους, για παράδειγμα, μπορεί να συσχετιστεί με δεκάδες χαρακτηριστικά σχετικά με τις φυσικές και χημικές ιδιότητες του εδάφους και τις ερμηνείες του εδάφους. Η διαχείριση δεδομένων είναι πολύ λιγότερο σημαντική για τα δεδομένα ράστερ, επειδή οι τιμές κελιών συνδέονται σε σταθερές θέσεις κελιών. Τα χαρακτηριστικά των διανυσματικών δεδομένων διατηρούνται σε διαφορετικούς πίνακες σε ένα DBMS. Ένας σημαντικός τύπος πίνακα είναι ο πίνακας χαρακτηριστικών ο οποίος αντιπροσωπεύει χωρικά χαρακτηριστικά ανά γραμμή και χαρακτηριστικά ανά στήλη. Επομένως, η τομή μιας στήλης και μιας γραμμής παραθέτει μια συγκεκριμένη τιμή χαρακτηριστικού ενός συγκεκριμένου χαρακτηριστικού. Ένα DBMS προσφέρει δύο μεθόδους για τη σύνδεση πινάκων χαρακτηριστικών. Μια λειτουργία ένωσης συγκεντρώνει δύο πίνακες χρησιμοποιώντας ένα κοινό πεδίο χαρακτηριστικών. Μια σχετική λειτουργία συνδέει δύο πίνακες, αλλά διατηρεί τους πίνακες χωριστά. Έτσι, χρησιμοποιώντας ένα DBMS, τα χαρακτηριστικά μπορούν να συνδεθούν με χωρικές ιδιότητες και μεταξύ τους. Η χωρική σύνδεση είναι ένας ειδικός τύπος λειτουργίας σύνδεσης για γεωχωρικά δεδομένα. Χρησιμοποιεί μια χωρική σχέση για να ενώσει δύο σύνολα χωρικών χαρακτηριστικών και τα δεδομένα ιδιοτήτων τους. Τρεις βασικές χωρικές σχέσεις είναι ο περιορισμός, η τομή και η εγγύτητα. Επομένως, μια επιχείρηση χωρικής ένωσης μπορεί να ενώσει τα χαρακτηριστικά κάθε σχολείου με αυτά του νομού στον οποίο εμπίπτει, να ενώσει τα χαρακτηριστικά κάθε τμήματος αυτοκινητόδρομου με αυτά της δασικής πυρκαγιάς που τέμνει και να ενώσει τα χαρακτηριστικά κάθε χωριού με αυτά από το πλησιέστερο ρήγμα του. Εκτός από τις παραπάνω χωρικές σχέσεις, μια λειτουργία χωρικής ένωσης μπορεί επίσης να βασίζεται σε σχέσεις κατεύθυνσης και απόστασης.

- Αναζήτηση δεδομένων: Η αναζήτηση δεδομένων επιτρέπει στους χρήστες να επιλέξουν ένα υποσύνολο δεδομένων για προσεκτική εξέταση. Επειδή τα στοιχεία χωρικής (τοποθεσίας) και οι ιδιότητες των γεωχωρικών δεδομένων είναι συγχρονισμένα, η αναζήτηση δεδομένων μπορεί να προσεγγιστεί από οποιοδήποτε στοιχείο. Η αναζήτηση δεδομένων χαρακτηριστικών χρησιμοποιεί συνήθως μια γλώσσα ερωτημάτων που βασίζεται σε SQL (δομημένη γλώσσα ερωτημάτων) που αναπτύχθηκε από την IBM τη δεκαετία του 1970. Η βασική σύνταξη της SQL έχει τρεις λέξεις-κλειδιά: η λέξη-κλειδί επιλογής επιλέγει χαρακτηριστικά από τον πίνακα, η λέξη-κλειδί από επιλέγει πίνακα/πίνακες από τη βάση δεδομένων και η λέξη-κλειδί όπου καθορίζει τη συνθήκη ή το κριτήριο για την αναζήτηση δεδομένων. Η αναζήτηση δεδομένων ιδιοτήτων, η οποία μπορεί να λειτουργήσει με

διανυσματικά και ράστερ δεδομένα σε ένα ΓΣΠ, είναι ουσιαστικά το ίδιο με την αναζήτηση μια βάσης δεδομένων που χρησιμοποιεί ένα DBMS. Αντίθετα, η αναζήτηση χωρικών δεδομένων είναι μοναδική στα ΓΣΠ επειδή επιτρέπει στους χρήστες να επιλέγουν χαρακτηριστικά με βάση τις χωρικές σχέσεις τους και όχι τις τιμές των ιδιοτήτων τους. Η αναζήτηση χωρικών δεδομένων είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για διανυσματικά δεδομένα επειδή τα χωρικά χαρακτηριστικά στα διανυσματικά δεδομένα αντιπροσωπεύονται με σαφείς θέσεις και όρια.

- Ανάλυση διανυσματικών δεδομένων: Δύο βασικά εργαλεία για την ανάλυση διανυσματικών δεδομένων είναι η προσωρινή αποθήκευση και η επικάλυψη. Με βάση τη χωρική έννοια της εγγύτητας, η προσωρινή αποθήκευση δημιουργεί δύο περιοχές: μια περιοχή που βρίσκεται εντός μιας καθορισμένης απόστασης επιλεγμένων χαρακτηριστικών και η άλλη περιοχή που βρίσκεται πέρα. Η καθορισμένη απόσταση είναι η απόσταση προσωρινής αποθήκευσης και η περιοχή εντός της απόστασης προσωρινής αποθήκευσης είναι η ζώνη προσωρινής αποθήκευσης. Τα χωρικά χαρακτηριστικά προς αποθήκευση μπορεί να είναι σημεία, γραμμές ή πολύγωνα. Άλλες επιλογές για αποθήκευση στην προσωρινή μνήμη περιλαμβάνουν τη δημιουργία πολλαπλών ζωνών προσωρινής αποθήκευσης γύρω από ένα χαρακτηριστικό και τη διάλυση των ορίων των ζωνών προσωρινής αποθήκευσης γύρω από τα χαρακτηριστικά. Η επικάλυψη συνδυάζει τις γεωμετρίες και τα χαρακτηριστικά δύο ή περισσότερων επιπέδων εισόδου για να δημιουργήσει την έξοδο. Χρησιμοποιώντας δύο επίπεδα εισόδου ως παραδείγματα, η επικάλυψη μπορεί να είναι σημείο-σε-πολύγωνο, γραμμή-σε-πολύγωνο ή πολύγωνο-σε-πολύγωνο. Σε αυτήν την ταξινόμηση, το πρώτο στρώμα περιέχει χαρακτηριστικά σημείου, γραμμής ή πολυγώνου και το δεύτερο επίπεδο περιέχει χαρακτηριστικά πολυγώνου. Σε μια λειτουργία σημείου-σε-πολύγωνο, τα ίδια χαρακτηριστικά σημείου περιλαμβάνονται στην έξοδο, αλλά σε κάθε σημείο εκχωρούνται πρόσθετα χαρακτηριστικά του υποκείμενου πολυγώνου. Σε μια λειτουργία γραμμής σε πολύγωνο, τα χαρακτηριστικά γραμμής ανατέμνονται από τα όρια του πολυγώνου και σε κάθε τμήμα γραμμής στην έξοδο εκχωρούνται πρόσθετα χαρακτηριστικά του υποκείμενου πολυγώνου. σε μια λειτουργία πολύγωνο-σε-πολύγωνο, η έξοδος συνδυάζει τα όρια του πολυγώνου και από τα δύο επίπεδα για να δημιουργήσει ένα νέο σύνολο πολυγώνων, καθένα από τα οποία φέρει χαρακτηριστικά και από τα δύο επίπεδα. Ανάλογα με την έκταση της περιοχής της εξόδου, μια λειτουργία επικάλυψης μπορεί επίσης να είναι ένωση, τομή ή ταυτότητα. Η Ένωση διατηρεί όλα τα χαρακτηριστικά και από τα δύο επίπεδα. Η διασταύρωση διατηρεί μόνο εκείνα τα χαρακτηριστικά που εμπίπτουν στην κοινή περιοχή και στα δύο στρώματα. και η ταυτότητα διατηρεί μόνο εκείνα τα χαρακτηριστικά που εμπίπτουν στην έκταση της περιοχής του επιπέδου εισόδου.

- Ανάλυση δεδομένων ράστερ: Τέσσερα βασικά εργαλεία για ανάλυση δεδομένων ράστερ είναι οι τοπικές, γειτονικές, ζωνικές και καθολικές λειτουργίες ανάλογα με το αν η ανάλυση εκτελείται σε επίπεδο μεμονωμένων κελιών ή ομάδων κελιών ή κελιών σε ένα ολόκληρο ράστερ. Μια τοπική λειτουργία μπορεί να δημιουργήσει ένα νέο ράστερ είτε από ένα μόνο ράστερ εισόδου είτε από πολλαπλά ράστερ εισόδου ανά κελί. Οι τιμές κελιών του νέου ράστερ υπολογίζονται από μια μαθηματική συνάρτηση (αριθμητική, λογαριθμική, τριγωνομετρική ή ισχύς) που συσχετίζει την είσοδο με την έξοδο. Μια λειτουργία γειτονιάς περιλαμβάνει ένα εστιακό κελί και τη γειτονιά του (π.χ. μια περιοχή 3 × 3 με κέντρο στο εστιακό κελί) σε έναν υπολογισμό και στη συνέχεια εκχωρεί την υπολογισμένη τιμή στο εστιακό κελί. Μια λειτουργία ζωνών περιλαμβάνει ένα ράστερ εισόδου και ένα ζωνικό ράστερ και παράγει ένα ράστερ εξόδου, το οποίο συνοψίζει τις τιμές κελιών στο ράστερ εισόδου για κάθε ομάδα κελιών με τις ίδιες τιμές ή παρόμοια χαρακτηριστικά στο ζωνικό ράστερ. Μια πράξη μέτρησης φυσικής απόστασης είναι ένα παράδειγμα μιας καθολικής λειτουργίας στην οποία οι αποστάσεις ευθείας γραμμής υπολογίζονται από κελιά που ορίζονται ως κελιά πηγής σε ένα ράστερ σε όλα τα άλλα κελιά εντός του ράστερ. Αυτά τα τέσσερα βασικά εργαλεία μπορούν να συνδυαστούν στην ανάλυση χρησιμοποιώντας άλγεβρα χαρτών, μια άτυπη γλώσσα με σύνταξη παρόμοια με αυτή της άλγεβρας (Tomlin, 1990). Εκτός από αυτά τα εργαλεία ανάλυσης δεδομένων, υπάρχουν επίσης εργαλεία για τη διαχείριση δεδομένων ράστερ, όπως αποκοπή ή μωσαϊκό επιπέδων ράστερ και εξαγωγή δεδομένων ράστερ με βάση ένα χαρακτηριστικό ή ερώτημα χωρικών δεδομένων. Αρκετοί ειδικοί τύποι αναλύσεων δεδομένων βασίζονται σε δεδομένα ράστερ για να επωφεληθούν από την ευκολία χειρισμού και υπολογισμού δεδομένων. Η χαρτογράφηση και η ανάλυση του εδάφους χρησιμοποιούν ένα ψηφιακό υψομετρικό μοντέλο, μια κανονική σειρά υψομετρικών σημείων. Ένα GIS διαθέτει εργαλεία για τη χαρτογράφηση του εδάφους σε περιγράμματα, προφίλ, σκίαση λόφων και τρισδιάστατες όψεις, και για ανάλυση του εδάφους με κλίση, όψη και καμπυλότητα επιφάνειας (Wilson και Gallant, 2000). Η ανάλυση εδάφους περιλαμβάνει επίσης τη λεκάνη απορροής: μια ανάλυση οροφής προσδιορίζει περιοχές ορατές από ένα ή περισσότερα σημεία παρατήρησης και μια ανάλυση λεκάνης απορροής ανιχνεύει τη ροή του νερού για να οριοθετήσει ρέματα και λεκάνες απορροής. Η χωρική παρεμβολή χρησιμοποιεί σημεία με γνωστές τιμές για να εκτιμήσει τις τιμές σε άλλα σημεία και, στη διαδικασία, να δημιουργήσει συνεχή δεδομένα επιφάνειας από τα σημεία δείγματος. Για παράδειγμα, η χωρική παρεμβολή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία ενός ράστερ υετού με γνωστές ενδείξεις βροχόπτωσης σε μετεωρολογικούς σταθμούς. Η ανάλυση διαδρομής ελάχιστου κόστους βρίσκει τη διαδρομή λιγότερο συσσωρευμένου κόστους σε ένα ράστερ με βάση το κόστος (πραγματικό ή σχετικό) και τα μέτρα απόστασης κόστους. Είναι χρήσιμο για το σχεδιασμό δρόμων, αγωγών, γραμμών μεταφοράς και μονοπατιών.

- Εμφάνιση δεδομένων: Οι χάρτες εμφάνισης δεδομένων είναι μια διεπαφή με το GIS. Η δημιουργία χαρτών μπορεί να είναι ανεπίσημη ή επίσημη στο GIS. Είναι ανεπίσημο κατά την προβολή και αναζήτηση γεωχωρικών δεδομένων σε χάρτες και επίσημο κατά την παραγωγή χαρτών για επαγγελματικές παρουσιάσεις και αναφορές. Ένας επαγγελματικός χάρτης συνδυάζει τον τίτλο, το σώμα του χάρτη, το υπόμνημα, τη γραμμή κλίμακας, το βόρειο βέλος και άλλα στοιχεία για να μεταφέρει γεωγραφικές πληροφορίες στον αναγνώστη χάρτη. Αυτά τα στοιχεία θα πρέπει να είναι διατεταγμένα έτσι ώστε ο χάρτης να είναι ισορροπημένος, συνεκτικός, τακτοποιημένος και ενδιαφέρον να τον δούμε. Το επίκεντρο της διάταξης είναι συνήθως το σώμα του χάρτη, το οποίο χρησιμοποιεί σύμβολα χάρτη για να απεικονίσει τα χαρτογραφημένα δεδομένα. Για παράδειγμα, οι βαθμολογημένοι κύκλοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εμφάνιση της κατανομής πόλεων διαφορετικού μεγέθους σε μια πολιτεία. Εκτός από τον βαθμονομημένο κυκλικό χάρτη, άλλοι τύποι ποσοτικών χαρτών περιλαμβάνουν τον χάρτη με κουκκίδες, τον χάρτη χοροπλήθους (με βάση την περιοχή), τον χάρτη ροής και τον ισαριθμικό (ισόγραμμο) χάρτη. Αυτοί οι τύποι χαρτών χρησιμοποιούν διαφορετικές οπτικές μεταβλητές χρώματος (απόχρωση, τιμή, χρώμα), σχήμα, μέγεθος, σχέδιο και υφή για να μεταδώσουν ποσοτικές πληροφορίες στον αναγνώστη χαρτών. Αφού συντεθεί ένας χάρτης σε ένα GIS, μπορεί να εκτυπωθεί ή να αποθηκευτεί ως αρχείο γραφικών για παρουσίαση.

Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα των ΓΣΠ είναι η δυνατότητα ανάλυσης χωρικών, μη χωρικών και συνδυασμένων δεδομένων καθώς και δημιουργία χωρικών σχέσεων μεταξύ των πληροφοριών ή μεταβλητών διαφορετικών θεματικών επιπέδων. Δηλαδή τα ΓΣΠ εστιάζονται στην ανάλυση του χώρου και έχουν τη δυνατότητα να επιτρέπουν στο χρήστη την ανάπτυξη και εφαρμογή συγκεκριμένων ερωτημάτων με αποτέλεσμα την εξαγωγή περιγραφικών ή χωρικών χαρακτηριστικών ενός φαινομένου. (Φαρασλής, 2012).

Τα ΓΣΠ αναπτύχτηκαν με τον συγκερασμό διαφορετικών επιστημονικών πεδίων και τεχνολογιών διαχείρισης δεδομένων. Όπως απεικονίζεται και στην εικόνα που ακολουθεί τα πεδία συνεργασίας με τα ΓΣΠ είναι: (α) τα συστήματα αυτοματοποιημένης σχεδίασης (CAD, Computer Aided Design), (β) οι βάσεις δεδομένων (Databases), (γ) η χαρτογραφία και (δ) η επεξεργασία εικόνας με την χρήση τεχνικών γραφικών Η/Υ, τηλεπισκόπησης, και φωτογραμμετρίας.

Εικόνα 2 Σύνδεση ΣΓΠ με τα επιστημονικά πεδία

Η διεθνής βιβλιογραφία έχει να δείξει μια σειρά από πλεονεκτήματα σχετικά με τη χρήση των ΓΣΠ (Longley, 2005):

- Δυνατότητα καταγραφής και επεξεργασίας μεγάλου αριθμού ετερογενών χωρικών πληροφοριών.
- Ταχύτητα αναζήτησης συγκεκριμένων πληροφοριών.
- Ικανότητα ταυτόχρονης παρουσίασης διαχρονικών πληροφοριών.
- Δυνατότητα ανάλυσης των πληροφοριών για τη διατύπωση ερευνητικών ερωτημάτων, την επεξεργασία επιπτώσεων, τον υπολογισμό ποσοτικών μεγεθών κ.α.
- Ταχύτητα χαρτογράφησης δεδομένων (φυσικοί πόροι κ.α.) και δημιουργίας θεματικών χαρτών που απεικονίζουν παρελθοντικές και σημερινές καταστάσεις ή που προβλέπουν μελλοντικές εξελίξεις.

2.2 ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

Παράλληλα με τα ΓΣΠ μεγάλη ανάπτυξη γνωρίζει και η επιστήμη της τηλεπισκόπησης. η οποία βασίζεται σε δορυφορικές εικόνες για την καταγραφή και ανάλυση αντικειμένων ή φαινομένων από απόσταση. Για περισσότερο από τρεις δεκαετίες, δεδομένα από δορυφόρους και από αερομεταφερόμενους ανιχνευτές έχουν χρησιμοποιηθεί για την παρατήρηση της γης. Πλήθος δορυφόρων συλλέγουν και μεταδίδουν πληροφορίες για την επιφάνεια της γης, την ατμόσφαιρα, τη θάλασσα, ανάλογα με τον σκοπό για τον οποίο κατασκευάστηκαν.

Οι πιο διαδεδομένοι δορυφόροι είναι :

- Οι μετεωρολογικοί, που ελέγχουν τις ατμοσφαιρικές συνθήκες πίεση, ταχύτητα ανέμου, το προφίλ της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας και προσφέρουν στοιχεία για καιρικές προβλέψεις.
- Οι ωκεανογραφικοί, που ελέγχουν τα θαλάσσια ρεύματα, καταγράφουν τη θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας, τη ρύπανση των θαλασσών και το φάσμα της ενέργειας που προέρχεται από τα κύματα.
- Οι χαρτογραφικοί, που καταγράφουν τις χρήσεις γης, το έδαφος, τη βλάστηση, τον τύπο του γεωλογικού στρώματος, τους υδάτινους πόρους και γενικά οποιαδήποτε δραστηριότητα και αλλαγή λαμβάνει χώρα στο έδαφος.

Επιπλέον, η διεπιστημονική προσέγγιση των περιβαλλοντικών και γενικότερα προβλημάτων που έχουν σχέση με το χώρο, ώθησε την εφαρμογή της τηλεπισκόπησης σε πλήθος επιστημονικών πεδίων όπως: η γεωργία, εδαφολογία, κτηματολόγιο, γεωλογία, δασολογία, μελέτες περιβάλλοντος, τεχνικά έργα, καταγραφή και παρακολούθηση φυσικών πόρων, πολεοδομία χωροταξία, υδρολογία και υδρογεωλογία, γεωγραφία, αρχαιολογία κ.α. (Συλλαίος, 2000).

Τα δορυφορικά δεδομένα που προέρχονται, τόσο από παθητικά συστήματα όσο και από ενεργητικά συστήματα, συμβάλλουν στον εντοπισμό και τον προσδιορισμό στοιχείων του χώρου όπως δρόμοι, κτίσματα, φυτοκάλυψη κα. προσφέροντας σημαντική χωρική πληροφορία τόσο σε δύο όσο και σε τρεις διαστάσεις. Η ψηφιακή αναπαράσταση του χώρου, με δορυφορικά δεδομένα, στον δισδιάστατο ή τρισδιάστατο χώρο διευκολύνουν στην ταχύτερη και αποτελεσματικότερη ερμηνεία των πληροφοριών που εγγράφονται στον χώρο, ιδιαίτερα όταν αυτή υλοποιείται στο πλαίσιο των συμμετοχικών διαδικασιών. (Φαρασλής, 2012).

.

2.3 ΔΕΙΚΤΕΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ

Οι δείκτες ξηρασίας είναι απλές αριθμητικές τιμές που υπολογίζονται από διάφορες υδροκλιματικές μεταβλητές που επηρεάζουν την ξηρασία και, ως εκ τούτου, έχουν σημαντικό πλεονέκτημα έναντι των απλών ακατέργαστων δεδομένων στην ποσοτικοποίηση των χαρακτηριστικών της ξηρασίας (Mukherjee et al., 2018).

Συνήθως, οι δείκτες ξηρασίας κατηγοριοποιούνται με βάση τον τύπο των επιπτώσεων που σχετίζονται. Η ταξινόμηση μπορεί επίσης να βασίζεται στις μεταβλητές με τις οποίες σχετίζονται (Steinemann et al., 2003) ή στη χρήση πειθαρχικών δεδομένων (Niemeyer, 2008). Τρεις δημοφιλείς κατηγορίες είναι οι μετεωρολογικοί, γεωργικοί και υδρολογικοί δείκτες ξηρασίας. Ο Niemeyer (2008) προσθέτει τρεις κατηγορίες σε αυτή τη λίστα: δείκτες ξηρασίας περιεκτικούς, συνδυασμένους και βασισμένους στην τηλεπισκόπηση.

Ορισμένοι δείκτες ξηρασίας αντικατοπτρίζουν συγκεκριμένα έναν τύπο επιπτώσεων ή εφαρμογής, ενώ άλλοι μπορούν να διαμορφωθούν ώστε να αντιστοιχούν σε ποικίλες επιπτώσεις και συνεπώς σε τύπο ξηρασίας. Για παράδειγμα, ο SPI, που θα αναλυθεί

αργότερα και θα χρησιμοποιηθεί σε αυτή την εργασία, είναι ένας δείκτης για τη μετεωρολογική ξηρασία, μπορεί να αναπτυχθεί για μεγαλύτερες χρονικές κλίμακες για να αντικατοπτρίζει τις γεωργικές και υδρολογικές ξηρασίες και επιπτώσεις.

2.3.1 ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΑΝΟΝΙΚΗΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ

Το ποσοστό της κανονικής βροχόπτωσης είναι μια από τις απλούστερες μετρήσεις της βροχόπτωσης για μια τοποθεσία. Οι αναλύσεις που χρησιμοποιούν αυτό το ποσοστό είναι πολύ αποτελεσματικές όταν χρησιμοποιούνται για μια μεμονωμένη περιοχή ή μια εποχή. Υπολογίζεται διαιρώντας την πραγματική βροχόπτωση με την κανονική βροχόπτωση – που συνήθως πρόκειται για τον μέσο όρο 30 ετών – και πολλαπλασιάζοντας με το 100%. Το ποσοστό μπορεί να υπολογιστεί για διάφορες χρονικές κλίμακες. Συνήθως αυτές οι κλίμακες κυμαίνονται από έναν μόνο μήνα έως μια ομάδα μηνών που αντιπροσωπεύουν μια συγκεκριμένη εποχή, έως ένα έτος. Η κανονική βροχόπτωση για μια συγκεκριμένη τοποθεσία θεωρείται ότι είναι το 100%.

Ένα από τα μειονεκτήματα της χρήσης του ποσοστού της κανονικής βροχόπτωσης είναι ότι η μέση βροχόπτωση συχνά δεν είναι ίδια με τη διάμεση βροχόπτωση, η οποία είναι η τιμή που υπερβαίνει σχεδόν το μισό των περιπτώσεων βροχόπτωσης σε μια μακροπρόθεσμη κλιματική καταγραφή. Ο λόγος για αυτό είναι ότι η βροχόπτωση σε μια μηνιαία ή εποχιακή κλίμακα δεν έχει κανονική κατανομή. Η χρήση του ποσοστού συνεπάγεται μια κανονική κατανομή όπου ο μέσος όρος και ο διάμεσος θεωρούνται ίδιες.

Αυτό συμβαίνει επειδή η βροχόπτωση είναι ένα ρεαλιστικό μέγεθος και όχι αποτέλεσμα μιας συμμετρικής ταξινόμησης ή κατανομής των τιμών αυτού. 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., 2003). Στην περίπτωση αυτή η περιοχές χαρακτηρίζονται ως γενικά ξηρές. Επιπλέον, ο δείκτης του ποσοστού κανονικής βροχόπτωσης δεν είναι σε θέση να καθορίσει με σαφήνεια τη σχέση μεταξύ της έναρξης ενός επεισοδίου ξηρασίας με ένα συγκεκριμένο αίτιο και συνεπώς τη χάραξη κατάλληλων μεθόδων αντιμετώπισης και στρατηγικής πρόληψης του φαινομένου (Werick et al., 1994).

2.3.2 ΔΕΙΚΤΗΣ PALMER

Το 1965, ο Palmer ανέπτυξε έναν δείκτη για τη μέτρηση της μείωσης της υγρασίας. Ο Palmer στήριξε τον δείκτη του στην έννοια του ‘supply-and-demand’ της εξίσωσης του υδάτινου ισοζυγίου, λαμβάνοντας υπόψη περισσότερα από απλά την έλλειψη βροχόπτωσης σε μια τοποθεσία. Ο στόχος του Δείκτη Δριμύτητας Ξηρασίας Palmer (Palmer Drought Severity Index, PDSI), όπως ονομάστηκε τελικά, ήταν να παρέχει

μετρήσεις των συνθηκών υγρασίας που τυποποιήθηκαν έτσι ώστε να μπορούν να γίνουν συγκρίσεις μεταξύ περιοχών και χρονικών διαστημάτων.

Ο PDSI είναι ένας μετεωρολογικός δείκτης ξηρασίας και ανταποκρίνεται σε καιρικές συνθήκες που είναι ασυνήθιστα ξηρές ή ασυνήθιστα υγρές. Όταν οι συνθήκες αλλάζουν από ξηρές σε κανονικές ή υγρές, για παράδειγμα, η ξηρασία που μετράει ο Δείκτης τελειώνει χωρίς να λαμβάνονται υπόψη τα επίπεδα των ταμιευτήρων ή των υπόγειων υδροφόρων και άλλες μακροπρόθεσμες υδρολογικές επιπτώσεις. Ο PDSI υπολογίζεται με βάση τα δεδομένα βροχόπτωσης και θερμοκρασίας, καθώς και τους διαθέσιμους υδατικούς πόρους (Available Water Content, AWC) του εδάφους. Από τις τιμές που εισάγονται μπορούν να προσδιοριστούν όλοι οι βασικοί όροι της εξίσωσης του υδατικού ισοζυγίου, συμπεριλαμβανομένου της εξατμισοδιαπνοής, της αναπλήρωσης νερού στο έδαφος και της απώλειας υγρασίας από το επιφανειακό στρώμα. Οι ανθρώπινες επιπτώσεις στο υδατικό ισοζύγιο, όπως η άρδευση, δε λαμβάνονται υπόψη.

Το κίνητρό του Palmer ήταν το εξής: ένας ασυνήθιστα υγρός μήνας στη μέση μιας μακροπρόθεσμης ξηρασίας δε θα πρέπει να έχει σημαντικό αντίκτυπο στο δείκτη ή μια σειρά μηνών με σχεδόν κανονική βροχόπτωση μετά από μια σοβαρή ξηρασία δε σημαίνει ότι η ξηρασία έχει τελειώσει. Ως εκ τούτου, ο Palmer ανέπτυξε κριτήρια για τον προσδιορισμό του πότε αρχίζει και τελειώνει μια ξηρασία, τα οποία προσαρμόζουν ανάλογα το PDSI. Ο Palmer περιέγραψε αυτή την προσπάθεια και έδωσε παραδείγματα και περιγράφεται επίσης λεπτομερώς από τον Alley (1984). Έτσι, ο δείκτης Palmer δεν είναι πλέον μετεωρολογικός δείκτης, αλλά γίνεται υδρολογικός δείκτης που αναφέρεται ως Δείκτης Υδρολογικής Ξηρασίας Palmer (Palmer Hydrological Drought Index, PHDI), επειδή βασίζεται στην εισροή υγρασίας (κατακρήμνιση), εκροή και αποθήκευση και δε χρειάζεται να ληφθεί υπόψη η μακροπρόθεσμη τάση.

2.3.3 ΔΕΙΚΤΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ (CMI)

Ο δείκτης υγρασίας καλλιεργειών (Crop Moisture Index, CMI) χρησιμοποιεί μια μετεωρολογική προσέγγιση για την παρακολούθηση των συνθηκών καλλιέργειας κάθε εβδομάδα. Αναπτύχθηκε από τον Palmer (1968) από διαδικασίες επάνω στο PDSI. Ενώ ο PDSI παρακολουθεί μακροχρόνιες μετεωρολογικές υγρές και ξηρές περιόδους, ο CMI σχεδιάστηκε για να αξιολογεί τις βραχυπρόθεσμες συνθήκες υγρασίας σε μεγάλες περιοχές ανά τοποθεσία και χρόνο, έτσι ώστε οι χάρτες, οι οποίοι συνήθως εμφανίζουν το εβδομαδιαίο CMI, να μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη σύγκριση των συνθηκών υγρασίας σε διαφορετικές τοποθεσίες.

Επειδή έχει σχεδιαστεί για να παρακολουθεί τις βραχυπρόθεσμες συνθήκες υγρασίας που επηρεάζουν μια αναπτυσσόμενη καλλιέργεια, ο CMI δεν είναι ένα καλό εργαλείο για την μακροπρόθεσμη παρακολούθηση της ξηρασίας. Η ταχεία απόκριση του CMI στις μεταβαλλόμενες βραχυπρόθεσμες συνθήκες μπορεί να παρέχει παραπλανητικές

πληροφορίες σχετικά με τις μακροπρόθεσμες συνθήκες. Για παράδειγμα, μια ευεργετική βροχόπτωση κατά τη διάρκεια μιας ξηρασίας μπορεί να υποδεικνύει επαρκείς συνθήκες υγρασίας, ενώ, στην πραγματικότητα, η μακροχρόνια ξηρασία σε αυτήν την τοποθεσία παραμένει. Ένα άλλο χαρακτηριστικό του CMI που περιορίζει τη χρήση του ως εργαλείου μακροπρόθεσμης παρακολούθησης της ξηρασίας είναι ότι ο CMI συνήθως αρχίζει και τελειώνει κάθε καλλιεργητική περίοδο κοντά με το μηδέν. Αυτός ο περιορισμός εμποδίζει τη χρήση του CMI για την παρακολούθηση των συνθηκών υγρασίας εκτός της γενικής καλλιεργητικής περιόδου, ειδικά σε ξηρασίες που εκτείνονται σε αρκετά χρόνια.

2.3.4 ΔΕΙΚΤΗΣ ΠΑΡΟΧΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟΥ ΝΕΡΟΥ (SWSI)

Ο Δείκτης Παροχής Επιφανειακού Νερού (Surface Water Supply Index, SWSI) αναπτύχθηκε το 1982 από τους Shafer και Dezman ως συμπληρωματικός στον δείκτη Palmer. Ο δείκτης Palmer είναι βασικά ένας αλγόριθμος εδαφικής υγρασίας βαθμονομημένος για σχετικά ομοιογενείς περιοχές, αλλά δεν έχει σχεδιαστεί για μεγάλες τοπογραφικές διακυμάνσεις σε μια περιοχή και δε λαμβάνει υπόψη τη συσσώρευση χιονιού και την επακόλουθη απορροή. Οι Shafer και Dezman περιέγραψαν τον SWSI ως ένα δείκτη «εξαρτώμενο από τα ορεινά ύδατα» άρα έναν δείκτη στον οποίο η ορεινή χιονόπτωση είναι ένα σημαντικό στοιχείο.

Ο στόχος του SWSI ήταν να ενσωματωθούν τόσο τα υδρολογικά όσο και τα κλιματολογικά χαρακτηριστικά σε μια ενιαία τιμή που μοιάζει με τον δείκτη Palmer. Απαιτούνται τέσσερα δεδομένα: η χιονοκάλυψη, η υδρορροή, η βροχόπτωση και η δυνατότητα αποθήκευσης των ταμιευτήρων. Επειδή εξαρτάται από την εποχή, το χειμώνα χρησιμοποιείται η χιονοκάλυψη, η βροχόπτωση και οι ταμιευτήρες ενώ το καλοκαίρι η υδρορροή αντικαθιστά τη χιονοκάλυψη.

Η διαδικασία για τον προσδιορισμό του SWSI για μια συγκεκριμένη λεκάνη απορροής έχει ως εξής: συλλέγονται και αθροίζονται μηνιαία δεδομένα από όλους τους σταθμούς βροχόπτωσης, τους σταθμούς μέτρησης χιονοκάλυψης/υδρορροής και τους ταμιευτήρες. Κάθε αθροιστικό στοιχείο κανονικοποιείται χρησιμοποιώντας μια ανάλυση συχνότητας που συλλέγεται από ένα μακροπρόθεσμο σύνολο δεδομένων. Η πιθανότητα μη υπέρβασης – δηλαδή η πιθανότητα τα επόμενα αθροίσματα αυτού του στοιχείου να μην είναι μεγαλύτερα από το τρέχον άθροισμα – προσδιορίζεται για κάθε στοιχείο με βάση την ανάλυση συχνότητας. Αυτό επιτρέπει τη σύγκριση των πιθανοτήτων μεταξύ των συνιστωσών. Κάθε στοιχείο έχει μια βαρύτητα που του αποδίδεται ανάλογα με την τυπική συνεισφορά του στα επιφανειακά ύδατα εντός αυτής της λεκάνης, και αυτά σταθμισμένα στοιχεία αθροίζονται για να καθοριστεί μια τιμή SWSI που αντιπροσωπεύει ολόκληρη τη λεκάνη. Όπως ο δείκτης Palmer, έτσι κι ο SWSI είναι κεντραρισμένος στο μηδέν και έχει εύρος μεταξύ -4,2 και +4,2.

Πολλά χαρακτηριστικά του SWSI περιορίζουν την εφαρμογή του. Επειδή ο υπολογισμός του είναι μοναδικός για κάθε λεκάνη ή περιοχή, είναι δύσκολο να συγκριθούν οι τιμές του μεταξύ λεκανών ή περιοχών (Doesken et al., 1991). Σε μια συγκεκριμένη λεκάνη, η διακοπή οποιουδήποτε σταθμού σημαίνει ότι πρέπει να προστεθούν νέοι σταθμοί στο σύστημα και να καθοριστούν νέες κατανομές συχνοτήτων για αυτό το στοιχείο. Πρόσθετες αλλαγές στη διαχείριση του νερού μέσα σε μια λεκάνη, όπως εκτροπές ροής ή νέοι ταμιευτήρες, σημαίνουν ότι ολόκληρος ο αλγόριθμος του δείκτη για αυτή την περιοχή πρέπει να αναπτυχθεί εκ νέου για να ληφθούν υπόψη οι αλλαγές στη βαρύτητα του κάθε στοιχείου. Έτσι, είναι δύσκολο να διατηρηθεί μια ομοιογενής χρονοσειρά του δείκτη (Heddinghaus & Sabol, 1991).

2.3.5 ΔΕΙΚΤΗΣ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ (SPI)

Η κατανόηση ότι η έλλειψη βροχόπτωσης έχει διαφορετικές επιπτώσεις στα υπόγεια ύδατα, στους ταμιευτήρες, στην υγρασία του εδάφους, τη χιονόπτωση και την υδρορροή οδήγησε τους McKee et al. (1993) στην ανάπτυξη του Δείκτη Τυποποιημένης Βροχόπτωσης (Standardized Precipitation Index, SPI).

Ο SPI υπολογίζεται με την ακόλουθη σειρά. Ένα σύνολο μηνιαίων δεδομένων βροχοπτώσεων προετοιμάζεται για μια περίοδο *m* μηνών, ιδανικά για μια συνεχή περίοδο τουλάχιστον 30 ετών. Επιλέγεται ένα σύνολο περιόδων υπολογισμού μέσου όρου για τον προσδιορισμό ενός συνόλου χρονικών κλιμάκων *j* μηνών όπου το *j* είναι 3, 6, 12, 24 ή 48 μήνες.

Σύμφωνα με τους McKee et al. (1993) ο SPI έχει τα ακόλουθα επιθυμητά χαρακτηριστικά:

- Ο SPI συσχετίζεται μόνο με την πιθανότητα.
- Η βροχόπτωση που χρησιμοποιείται στον SPI μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για τον υπολογισμό της έλλειψης βροχοπτώσεων σε μια περίοδο.
- Ο SPI κατανέμεται κανονικά, ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση και υγρών και ξηρών περιόδων.
- Η βροχόπτωση που χρησιμοποιείται στον SPI μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό του τρέχοντος ποσοστού της μέσης βροχόπτωσης για χρονική περίοδο *i* μηνών.
- Ο SPI μπορεί να υπολογιστεί και για τις υπόλοιπες μεταβλητές του νερού όπως τη χιονοκάλυψη, τους ταμιευτήρες, την υδρορροή, την υγρασία του εδάφους και τα υπόγεια ύδατα.
- Ο SPI κανονικοποιείται έτσι ώστε τα ξηρότερα και τα πιο υγρά κλίματα να αντιπροσωπεύονται με παρόμοιο τρόπο.

Ο δείκτης SPI έχει επίσης τρία σοβαρά μειονεκτήματα που, σύμφωνα με τους Hayes et al. (1999), είναι τα εξής:

- Ο SPI είναι τόσο καλός όσο τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του. Δηλαδή πρέπει να υποθέσουμε ότι υπάρχει μια κατάλληλη θεωρητική κατανομή που προσαρμόζεται στη χρονοσειρά των δεδομένων.
- Λόγω των χαρακτηριστικών που σχετίζονται με την κανονική κατανομή, ο SPI θεωρεί ότι η ίδια τιμή έντονων και ακραίων ξηρασιών σε διαφορετικές περιοχές σημαίνει ίδια έλλειψη νερού στις θέσεις αυτές κάτι που δεν ισχύει πάντα. Δηλαδή, ο SPI μόνος του δε μπορεί να προσδιορίσει περιοχές που μπορεί να είναι πιο επιρρεπείς στην ξηρασία από άλλες.
- Κατά την εφαρμογή του σε μικρότερες χρονικές κλίμακες (1, 2, ή 3 μήνες) σε περιοχές με μικρές εποχικές βροχοπτώσεις μπορεί να εμφανιστούν αναπάντεχα μεγάλες θετικές ή αρνητικές τιμές του δείκτη.

Μαθηματικά, ο SPI είναι ο αριθμός της τυπικής απόκλισης του συνολικού ύψους των βροχοπτώσεων για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Λόγω του ότι η βροχόπτωση δεν έχει κανονική κατανομή, γίνεται μια ρύθμιση η οποία δίνει στο δείκτη τη δυνατότητα να έχει κανονική κατανομή. Τα δεδομένα προσαρμόζονται σε μια συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας και στη συνέχεια μετασχηματίζονται σε μια κανονικοποιημένη μεταβλητή z, η οποία είναι και η τιμή του SPI. Με αυτό τον τρόπο εντοπίζονται τα όποια επεισόδια ξηρασίας. Γενικότερα, ένα επεισόδιο ξεκινά όταν ο δείκτης παίρνει αρνητική τιμή και γίνεται εντονότερο μόλις ο δείκτης πάρει τιμή μικρότερη ή ίση με -1,5. Το επεισόδιο λήγει μόλις σημειωθεί θετική τιμή.

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 1) φαίνονται οι τιμές που μπορεί να έχει ο SPI:

ΤΙΜΕΣ SPI	*ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ*
ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΟ ΤΟΥ >2	**Εξαιρετικά Υγρό (Extremely Wet)**
1,50 ΕΩΣ 1,99	**Πολύ Υγρό (Very Wet)**
1,00 ΕΩΣ 1,49	**Μέτρια Υγρό (Moderate Wet)**
-0,99 ΕΩΣ 0,99	**Κανονικές Συνθήκες (Near Normal)**
-1,00 ΕΩΣ -1,49	**Μέτρια Ξηρασία (Moderate Dry)**
-1,50 ΕΩΣ -1,99	**Δριμεία Ξηρασία (Severely Dry)**
ΜΙΚΡΟΤΕΡΟ ΤΟΥ <-2	**Ακραία Ξηρασία (Extremely Dry)**

Πίνακας 1 Τιμές ταξινόμησης του SPI

2.3.6 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ SPI

Βασικός πυλώνας της σκέψης τους ήταν η μετατροπή μιας τιμής από κάποια κατανομή (π.χ γάμμα κατανομή), σε κατανομή με καθορισμένη μορφή (π.χ κανονική). Κάθε επεισόδιο ξηρασίας έχει μια ξεχωριστή διάρκεια, ή οποία προσδιορίζεται από μια αρχή, μια κορύφωση μέσα στους μήνες που διαρκεί και ένα τέλος. Έχουν διεξαχθεί αρκετές μελέτες για την εύρεση της καταλληλότερης κατανομής για την εκτίμηση της πιθανότητας μηνιαίας βροχόπτωσης, η πλειονότητα, όμως, των ερευνητικών κέντρων, των πανεπιστημίων και των οργανισμών, έχει υιοθετήσει την κατανομή Γάμμα 2 παραμέτρων. Ο Thom (1958) ενσωμάτωσε μια τέτοια κατανομή και ήταν σε θέση να αποδείξει ότι η κατανομή γάμμα αντανακλά και προσαρμόζεται πολύ καλά σε όλη τη χρονική σειρά των βροχοπτώσεων.

Για τον υπολογισμό της κατανομής Γάμμα χρειάζεται η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας, όπου δίνεται στη σχέση (1):

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

'Όπου:

α > 0 είναι η παράμετρος της καμπύλης (shape)

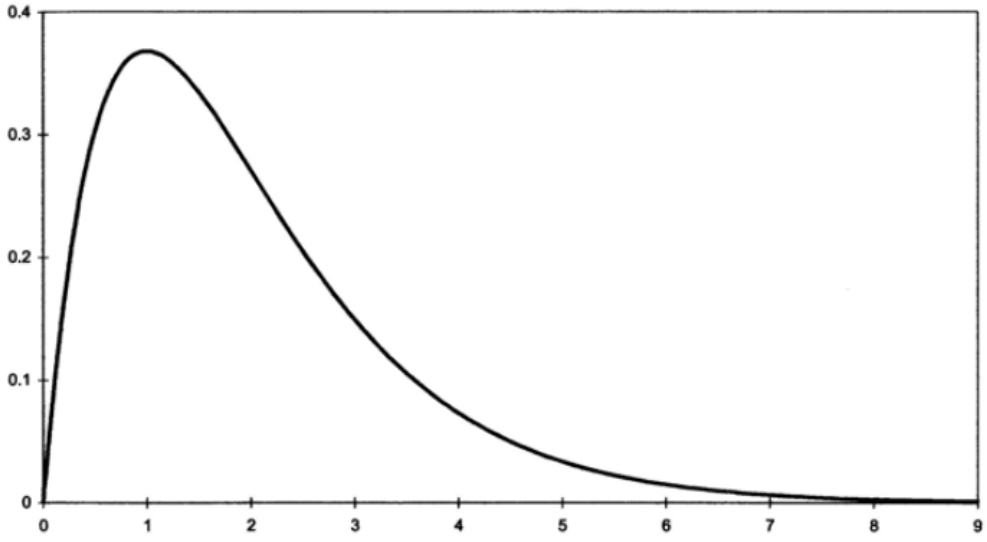
β > 0 είναι η παράμετρος του σχήματος (scale)

x > 0 είναι η ποσότητα της βροχής σε mm

με την Γ(α) Γάμμα συνάρτηση (gamma function) με τύπο:

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

Η



Εικόνα 3 : Η μορφή της Γάμμα κατανομής για α=2 και β=1

Πηγή: (Αναγνωστοπούλου, 2003)

παραπάνω εικόνα απεικονίζει την κατανομή Γάμμα με τις παραμέτρους της *α=2* και *β=1*. Όπως παρατηρείται, η κατανομή παρουσιάζεται ασύμμετρη με το πιο μεγάλο μέρος να

βρίσκεται στην αριστερή πλευρά του σχήματος και σταδιακά να μειώνεται προς τα δεξιά, παρομοίως με την κατανομή της συχνότητας βροχοπτώσεων. Στη διαδικασία υπολογισμού του SPI, περιλαμβάνεται ο λόγος της πιθανότητας της κατανομής Γάμμα, για το μέγεθος της βροχόπτωσης σε όποιο σταθμό μέτρησης χρησιμοποιείται ή για κάθε χωρική μονάδα.

Οι παράμετροι *α* και *β* υπολογίζονται ξεχωριστά για κάθε σταθμό και για κάθε απαραίτητο χρονικό διάστημα (3 μήνες, 9 μήνες, 12 μήνες κλπ.). Οι Edwards και McKee (1997) υποστήριξαν ότι η εκτίμηση των παραμέτρων θα πρέπει να βασίζεται στην προσέγγιση του Thom (1958) για τις μέγιστες πιθανότητες:

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

$$\hat{\beta} = \frac{\bar{X}}{\hat{\alpha}}$$

Όπου για *ν* παρατηρήσεις και *n* είναι το πλήθος τιμών της χρονοσειράς:

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

Στη συνέχεια, λαμβάνοντας τα αποτελέσματα των υπολογισμένων παραμέτρων και χρησιμοποιώντας τα για να υπολογιστεί η αθροιστική πιθανότητα γνωστών επεισοδίων βροχής για μια επιλεγμένη καθορισμένη περίοδο (1 μήνα, 9 μήνες, 24 μήνες κλπ.), για την καθορισμένη χωρική μονάδα. Ως επόμενο βήμα, ολοκληρώνοντας τη συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας *g(x)* για το άθροισμα της βροχόπτωσης που πρέπει να γίνει για κάθε μήνα και κάθε χρονικό βήμα. Η αθροιστική πιθανότητα δίνεται από τη σχέση:

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

Για $t = x / \beta$ η εξίσωση αλλάζει μορφή και παίρνει τη μορφή της ελλιπούς συνάρτησης Γάμμα:

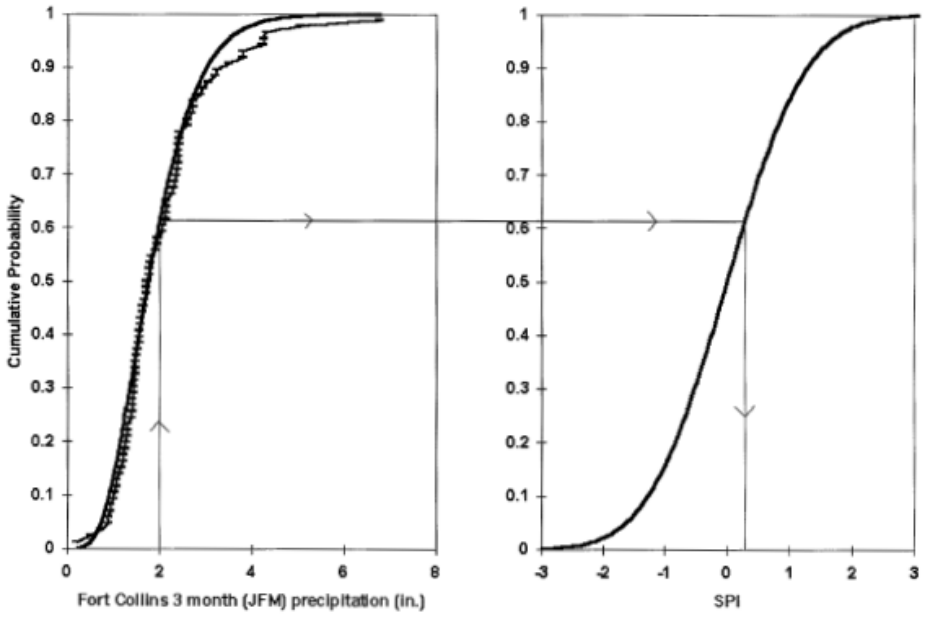
$$G(x) = \frac{1}{\Gamma(\hat{\alpha})}\int_0^x t^{\hat{\alpha}-1} e^{-1} dt$$

Λόγω του ότι η συνάρτηση Γάμμα δεν ορίζεται για *x=0*, τη στιγμή που η κατανομή της βροχής μπορεί να λάβει τη τιμή μηδέν, η αθροιστική πιθανότητα παίρνει τελικά τη μορφή:

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

Όπου *q* είναι η πιθανότητα εμφάνισης μηδενικής τιμής βροχόπτωσης.

Στη συνέχεια, η αθροιστική πιθανότητα *H(x)* πρέπει να μετασχηματιστεί σε μια κανονικοποιημένη μεταβλητή *Z*, όπου η μέση τιμή της είναι μηδέν (0) και η διακύμανση έχει την τιμή ίση με μονάδα (1). Η τιμή αυτή είναι ο δείκτης SPI. Η μετατροπή αυτή είναι ίσης πιθανότητας σύμφωνα με τους Panofsky & Brier (1958). Η βασική αρχή της σκέψης τους ήταν η μετατροπή μιας τιμής από κάποια κατανομή (π.χ. Γάμμα), σε κατανομή με καθορισμένη μορφή (π.χ. κανονική).



Εικόνα 4 Μετατροπή ίσης πιθανότητας γνωστής κατανομής(gamma) σε κανονική(SPI)

Αυτή η μέθοδος απεικονίζεται στο παραπάνω σχήμα. Σε αυτό το σχήμα, ένα ποσό βροχόπτωσης 3 μηνών (Ιανουάριος έως Μάρτιος) μετατρέπεται στη τιμή του SPI με μέσο όρο 0 και διακύμανση 1. Η αριστερή πλευρά του σχήματος περιέχει μια διακεκομμένη γραμμή με οριζόντια σημάδια που δηλώνουν τις πραγματικές τιμές ποσών βροχόπτωσης 3 μηνών (άξονας X) για του μήνες του Ιανουαρίου έως τον Μάρτιο για την περίοδο 1911-1995. Η διακεκομμένη γραμμή υποδηλώνει επίσης την εμπειρική αθροιστική κατανομή πιθανότητας (άξονας Y) για την περίοδο καταγραφής. Οι εμπειρικές αθροιστικές πιθανότητες υπολογίζονται όπως προτάθηκε από τους Panofsky και Brier (1958) όπου τα δεδομένα βροχόπτωσης ταξινομούνται με αύξουσα σειρά μεγέθους.

Η ομαλή καμπύλη στην αριστερή πλευρά του σχήματος υποδηλώνει την αθροιστική κατανομή πιθανότητας της προσαρμοσμένης κατανομής Γάμμα στα δεδομένα βροχόπτωσης. Η ομαλή καμπύλη στη δεξιά πλευρά του σχήματος υποδηλώνει την αθροιστική κατανομή πιθανότητας της τυπικής κανονικοποιημένης μεταβλητής *Z* χρησιμοποιώντας την ίδια αθροιστική κλίμακα πιθανότητας της εμπειρικής κατανομής και την προσαρμοσμένη κατανομή Γάμμα στην αριστερή πλευρά του σχήματος. Η τυπική

κανονική μεταβλητή Z (ή η τιμή SPI) συμβολίζεται στον άξονα Χ στη δεξιά πλευρά του σχήματος.

Παραδείγματος χάρη, για να βρεθεί η τιμή SPI για βροχόπτωση 2 ιντσών, χαράζεται μια κάθετη γραμμή προς τα πάνω από το σημάδι 2 ιντσών στον άξονα Χ στην αριστερή πλευρά του σχήματος μέχρι να τέμνεται στη προσαρμοσμένη καμπύλη κατανομής αθροιστικής πιθανότητας Γάμμα. Στη συνέχεια, χαράζεται μια οριζόντια γραμμή προς τα δεξιά μέχρι να τέμνεται με τη καμπύλη της τυπικής κανονικής αθροιστικής κατανομής πιθανότητας. Τέλος, χαράζεται μια γραμμή κάθετα προς τον άξονα Χ του δεξιού διαγράμματος για να προσδιοριστεί η τιμή SPI. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα η τιμή SPI είναι περίπου +0,3.

Δεδομένου ότι θα ήταν δύσκολο και χρονοβόρο να βρεθούν όλες οι τιμές για όλους τους σταθμούς σε όλες τις χρονικές κλίμακες και για κάθε μήνα του έτους, η τιμή Z ή SPI υπολογίζεται πιο εύκολα χρησιμοποιώντας μια προσέγγιση που παρέχεται από τους Edward και McKee (1997):

$$Z = SPI = -\left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}\right) \text{για } 0 < H(x) \leq 0{,}5$$

$$Z = SPI = +\left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}\right) \text{για } 0{,}5 < H(x) \leq 1$$

Όπου:

$$t = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(H(x))^2}\right)} \text{ για } 0 < H(x) \leq 0{,}5$$

$$t = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(1 - H(x))^2}\right)} \text{ για } 0{,}5 < H(x) < 1$$

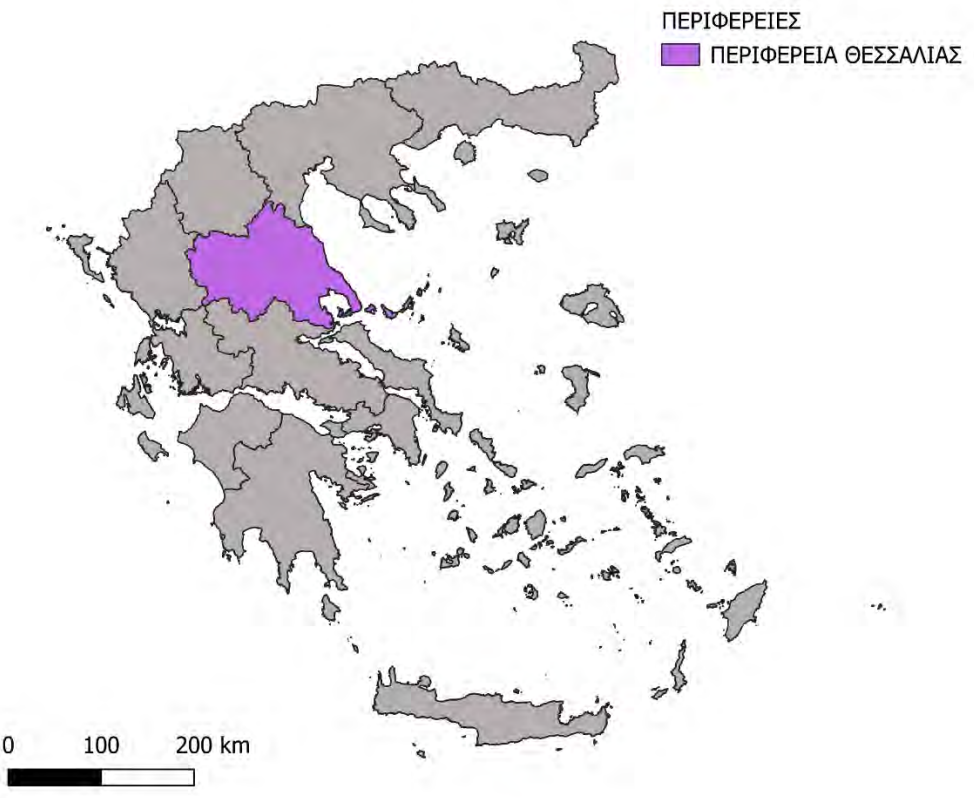
$$c_0 = 2.515517, \quad c_1 = 0.0802853, \quad c_2 = 0.010328, \quad d_1 = 1.432788,$$
$$d_2 = 0.189269, \quad d_3 = 0.001308$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η περιοχή μελέτης που θα εξεταστεί στην παρούσα εργασία είναι η περιφέρεια Θεσσαλίας. Η Θεσσαλία γεωγραφικά βρίσκεται στο Βόρειο-ανατολικό τμήμα της Κεντρικής Ελλάδας. Στην αναθεώρηση του Περιφερειακού Χωροταξικού Πλαισίου της Περιφέρειας, ως προς τη θέση της Θεσσαλίας στον ευρύτερο χώρο αναφέρεται ότι, σημαντικό συγκριτικό πλεονέκτημα της Θεσσαλίας αποτελεί η κεντροβαρική θέση της στον ελληνικό χώρο.

Η Θεσσαλία διαθέτει μία από τις σημαντικότερες γεωργικές περιοχές της Χώρας, τον θεσσαλικό κάμπο και σημαντικούς τουριστικούς προορισμούς όπως το Πήλιο και τις Σποράδες, τα Μετέωρα, τη Λίμνη Πλαστήρα κ.λπ..



Εικόνα 5 Γεωγραφική θέση περιφέρειας Θεσσαλίας

3.2 ΑΝΑΠΤΥΞΙΑΚΗ ΦΥΣΙΟΓΝΩΜΙΑ

Σύμφωνα με τα νέα και αναθεωρημένα στοιχεία της ΕΛΣΤΑΤ (η Ελλάς με αριθμούς-έκδοση Απρίλιος – Ιούνιος 2024), ο συνολικός πληθυσμός φτάνει τους 688.255 κατοίκους.

Περιφέρεια	Μόνιμος Πληθυσμός Απογραφή Πληθυσμού - 2021	Μόνιμος Πληθυσμός Απογραφή Πληθυσμού - 2011	Μεταβολή (%) 2021/2011	Επιφάνεια (km2)
Σύνολο Ελλάδος	**10.482.487**	**10.816.286**	**-3,1**	132.049
Ανατολική Μακεδονία και Θράκη	562.201	608.182	-7,6	14.179
Κεντρική Μακεδονία	1.795.669	1.882.108	-4,6	19.166
Δυτική Μακεδονία	254.595	283.689	-10,3	9.471
Ήπειρος	319.991	336.856	-5,0	9.164
Θεσσαλία	**688.255**	**732.762**	**-6,1**	**14.051**
Στερεά Ελλάδα	508.254	547.390	-7,1	15.561
Ιόνια Νησιά	204.532	207.855	-1,6	2.306
Δυτική Ελλάδα	648.220	679.796	-4,6	11.327
Πελοπόννησος	539.535	577.903	-6,6	15.511
Αττική	3.814.064	3.828.434	-0,4	3.814
Βόρειο Αιγαίο	194.943	199.231	-2,2	3.854
Νότιο Αιγαίο	327.820	309.015	6,1	5.305
Κρήτη	624.408	623.065	0,2	8.340

Πίνακας 2: Μόνιμος Πληθυσμός κατά Περιφέρειες.

(Πηγή: ΕΛΣΤΑ Απογραφή Πληθυσμού Κατοικιών 2021).

Απαρτίζεται από τις Περιφερειακές Ενότητες, Λάρισας, Μαγνησίας, Καρδίτσας και Τρικάλων με τις πρωτεύουσες τους να είναι τα σημαντικά κέντρα της περιφέρειας.

Η πόλη της Λάρισας, με πληθυσμό 164.381 κατοίκους είναι η μεγαλύτερη πόλη και έδρα της περιφέρειας, ακολουθεί η πόλη του Βόλου με 139.670 κατοίκους, ακολουθεί η πόλη των Τρικάλων με 78.508 κατοίκους και τέλος η πόλη της Καρδίτσας με 55.979 κατοίκους. Σύμφωνα με το αναθεωρημένο ΠΧΠ Θεσσαλίας, η Λάρισα και ο Βόλος αποτελούν πρωτεύοντες εθνικούς πόλους.

Η περιφέρειας Θεσσαλίας ως προς τον πληθυσμό βρίσκεται στην 3η θέση μετά την Αττική και την Κεντρική Μακεδονία με ποσοστό 6,6% του συνόλου της χώρας. Η ποσοστιαία μεταβολή του πληθυσμού της περιφέρειας 2021-2011 αντιστοιχεί στο διπλάσιο σε σχέση με τη μεταβολή στο σύνολο της χώρας. Ως προς την έκτασή της βρίσκεται στην πέμπτη θέση μετά Κεντρική Μακεδονία, Ανατολική Μακεδονία και Θράκη, Στερεά Ελλάδα και Πελοπόννησο και καταλαμβάνει το 10,6% του συνόλου της χώρας.

Από το σύνολο του πληθυσμού της Περιφέρειας το 41,15% αντιστοιχεί στους οικονομικά ενεργούς πολίτες και το 58,15% στους οικονομικά μη ενεργούς. Από τους απασχολουμένους το 15,71% ανήκει στους ανέργους.

Περιγραφή	**Σύνολο**	**Κατάσταση ασχολίας**			
		Οικονομικά ενεργοί			**Οικονομικά μη ενεργοί**
		Σύνολο	**Απασχολούμενοι**		
			Σύνολο	**Άνεργοι**	
ΣΥΝΟΛΟ ΧΩΡΑΣ	10.482.487	4.645.760	3.986.515	659.248	5.836.726
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΑΚΗΣ	562.201	225.845	190.532	35.316	336.359
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	1.795.670	783.051	653.952	129.098	1.012.616
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	254.595	103.827	84.384	19.440	150.772
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΗΠΕΙΡΟΥ	319.992	131.242	110.300	20.939	188.752
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ	**688.255**	**283.247**	**238.749**	**44.495**	**405.011**
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΣΤΕΡΕΑΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	508.255	209.671	178.225	31.448	298.582
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΙΟΝΙΩΝ ΝΗΣΩΝ	204.533	93.260	78.771	14.487	111.275
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	648.220	266.912	217.748	49.161	381.311
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ	539.533	230.193	199.826	30.369	309.344
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΑΤΤΙΚΗΣ	3.814.065	1.796.720	1.572.750	223.967	2.017.343
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΒΟΡΕΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	194.943	78.751	67.469	11.280	116.189

Περιγραφή	Σύνολο	Κατάσταση ασχολίας			
		Οικονομικά ενεργοί			Οικονομικά μη ενεργοί
		Σύνολο	Απασχολούμενοι		
			Σύνολο	Άνεργοι	
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΝΟΤΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	327.820	153.587	136.831	16.758	174.231
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΚΡΗΤΗΣ	624.410	289.466	256.982	32.482	334.948

Πίνακας 3. Κατάσταση ασχολίας Μόνιμου Πληθυσμού κατά Περιφέρειες.

(Πηγή ΕΛΣΤΑΤ - Απογραφή Πληθυσμού Κατοικιών 2021).

Σε σχέση με την κατανομή των απασχολουμένων στους τομείς παραγωγικών δραστηριοτήτων το 16,53% απασχολείται στο πρωτογενή τομέα, το 16,28% στον δευτερογενή τομέα και το 67,19% στον τριτογενή. Τα αντίστοιχα ποσοστά απασχολουμένων σε επίπεδο χώρας είναι 9,13% στον πρωτογενή και 14,92% και 75,95% στον δευτερογενή και τριτογενή αντίστοιχα.

Περιγραφή	Απασχολούμενοι			
	Σύνολο	Πρωτογενής τομέας	Δευτερογενής τομέας	Τριτογενής τομέας
ΣΥΝΟΛΟ ΧΩΡΑΣ	**3.986.515**	**364.124**	**594.601**	**3.027.790**
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΑΚΗΣ	190.532	34.478	32.861	123.189
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	653.952	66.339	111.018	476.594
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	84.384	13.637	17.867	52.875
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΗΠΕΙΡΟΥ	110.300	14.933	15.902	79.465
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ	**238.749**	**39.463**	**38.874**	**160.412**
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΣΤΕΡΕΑΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	178.225	28.288	38.764	111.174
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΙΟΝΙΩΝ ΝΗΣΩΝ	78.771	5.696	9.214	63.861
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	217.748	44.053	27.543	146.152
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ	199.826	47.355	28.201	124.270

Περιγραφή	Απασχολούμενοι			
	Σύνολο	Πρωτογενής τομέας	Δευτερογενής τομέας	Τριτογενής τομέας
ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ				
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΑΤΤΙΚΗΣ	1.572.750	16.610	216.341	1.339.803
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΒΟΡΕΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	67.469	9.619	7.510	50.344
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΝΟΤΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	136.831	6.210	18.388	112.234
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΚΡΗΤΗΣ	256.982	37.446	32.115	187.420

Πίνακας 4. Κατανομή Απασχολουμένων κατά Τομέα Δραστηριότητας.

(Πηγή ΕΛΣΤΑΤ - Απογραφή Πληθυσμού Κατοικιών 2021).

Σε σχέση με τις καλλιεργήσιμες εκτάσεις της χώρας σε επίπεδο Περιφερειών, σύμφωνα με αποτελέσματα (προσωρινά στοιχεία) απογραφής Γεωργίας – Κτηνοτροφίας ΕΛΣΤΑΤ 2021 (έτος αναφοράς 2020), στην επικράτεια παρατηρήθηκε μείωση -18,8% των χρησιμοποιούμενων γεωργικών εκτάσεων από την απογραφή του 2009. Αντίστοιχα οι αρδευθείσες εκτάσεις μειώθηκαν κατά -7,5%.

Περιγραφή	Χρησιμο-ποιούμενη γεωργική έκταση 2020 (στρ.)	Χρησιμο-ποιούμενη γεωργική έκταση 2009 (στρ.)	Αρδευθείσες εκτάσεις 2020 (στρ.)	Αρδευθείσες εκτάσεις 2009 (στρ.)
ΣΥΝΟΛΟ ΧΩΡΑΣ	**28.244.494,8 (-18,8%Ρ)**	**34.779.290,1**	**9.606.841,1 (-7,5%)**	**10.386.004,0**
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΑΚΗΣ	3.092.124,2 (-10,8%)	3.467.535,9	1.296.887,3 (-12,4%)	1.479.633,0
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	5.423.124,3 (-15,5%)	6.419.237,6	2.485.583,3 (-3,5%)	2.574.444,6
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	1.877.783,3 (-15,7%)	2.226.824,0	287.625,1 (-20,0%)	359.580,4
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΗΠΕΙΡΟΥ	714.816,9 (-31,3%)	1.040.934,2	244.133,0 (-26,2%0	330.767,8
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ	**3.470.692,0 (-11,5%)**	**3.921.003,3**	**1.693.850,2 (+0,8%)**	**1.680.646,0**
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΣΤΕΡΕΑΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	2.485.041,3 (-25,5%)	3.335.902,3	903.179,7 (-4,0%)	941.002,3

Περιγραφή	Χρησιμο-ποιούμενη γεωργική έκταση 2020 (στρ.)	Χρησιμο-ποιούμενη γεωργική έκταση 2009 (στρ.)	Αρδευθείσες εκτάσεις 2020 (στρ.)	Αρδευθείσες εκτάσεις 2009 (στρ.)
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΙΟΝΙΩΝ ΝΗΣΩΝ	561.185,9 (-27,1%)	769.399,1	26.031,0 (-4,7%)	27.315,8
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	2.390.801,3 (-19,7%)	2.976.715,9	876.485,7 (-10,2%)	976.022,0
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ	2.558.637,0 (-24,1%)	3.369.301,4	798.288,6 (-13,8%)	926.004,8
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΑΤΤΙΚΗΣ	440.057,6 (-13,6%)	509.314,6	102.319,1 (+1,2%)	101.083,7
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΒΟΡΕΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	1.229.023,1 (-25,4%0	1.647.840,1	71.009,2 (+22,7%)	57.878,1
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΝΟΤΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	654.486,8 (-34,0%)	991.947,3	56.349,1 (-10,9%)	63.247,3
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΚΡΗΤΗΣ	3.346.721,1 (-18,4%)	4.103.334,4	765.099,8 (-11,9%)	868.378,2

Πίνακας 5. Χρησιμοποιούμενη γεωργική έκταση κατά Περιφέρεια.

(Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ Απογραφή Γεωργίας – Κτηνοτροφίας 2021)

Η Περιφέρεια Θεσσαλίας είναι η δεύτερη σε έκταση σε σχέση με τις καλλιεργούμενες εκτάσεις, μετά την Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας, ενώ στην τρίτη θέση βρίσκεται η Κρήτη. Οι καλλιεργούμενες εκτάσεις στην Περιφέρεια Θεσσαλίας μειώθηκαν κατά -11,5% και η αρδευθείσες εκτάσεις αυξήθηκαν κατά 0,8%, ενώ στην Κεντρική Μακεδονία η αρδευθείσες εκτάσεις μειώθηκαν κατά -3,5%.

3.3 ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Σύμφωνα με τα δεδομένα για την περιφέρεια όπως περιγράφεται στο Περιφερειακό Σχέδιο Προσαρμογής στην Κλιματική Αλλαγή (ΠεΣΠΚΑ), η Θεσσαλία αποτελεί μια πεδινή έκταση που περικλείεται από σημαντικούς ορεινούς όγκους. Ο Όλυμπος και ο Τίταρος ορθώνονται στα βόρεια σύνορα της περιοχής, στα ανατολικά, συναντάμε τον Κίσσαβο και το Πήλιο, με την ακτογραμμή του Αιγαίου να εκτείνεται παράλληλα, το Αυγό, κορυφή της οροσειράς της Πίνδου, στα δυτικά και νότια, η οροσειρά της Όθρυς οριοθετεί τη Θεσσαλία με τη Στερεά Ελλάδα. Το μέσο υψόμετρο του διαμερίσματος Θεσσαλίας είναι 285 μ.

Ο γεωγραφικός χώρος της Θεσσαλίας, γεωμορφολογικά, χωρίζεται στις εξής ζώνες:

- Ορεινή Θεσσαλία.
- Πεδινή Θεσσαλία.

- Θαλάσσια παράκτια ζώνη.
- Νησιά των Βόρειων Σποράδων, τα οποία ανήκουν διοικητικά στη Θεσσαλία.

Η γεωμορφολογική σύνθεση του διαμερίσματος χαρακτηρίζεται από μια ευδιάκριτη διάταξη. Περιφερειακά, εκτείνονται οι ορεινοί όγκοι, οι οποίοι περιβάλλουν και οριοθετούν την περιοχή. Στον πυρήνα του διαμερίσματος, αντιθέτως, κυριαρχούν οι πεδινές εκτάσεις. Αυτή η χωρική οργάνωση δημιουργεί ένα σαφές και εύληπτο γεωγραφικό μοτίβο, όπου τα υψηλότερα εδάφη περικλείουν τις χαμηλότερες και επίπεδες περιοχές στο κέντρο.

Το τμήμα της Θεσσαλίας με απόλυτο υψόμετρο άνω των 200 m έχει έκταση 9.550 km2, δηλαδή καταλαμβάνει το 66,5% της συνολικής της έκτασης. Το υψόμετρο των 200 m είναι χαρακτηριστικό για την Θεσσαλία, γιατί οριοθετεί σχεδόν παντού, τις περιοχές που αρχίζουν οι ορεινοί όγκοι. Η πεδινή Θεσσαλία, δηλ. οι περιοχές με υψόμετρο μικρότερο από 200 m, καταλαμβάνει έκταση 4.520 km2 , δηλαδή αποτελεί το 33,5% του όλου Θεσσαλικού χώρου.

3.4 ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η νοτιοανατολική περιοχή περιλαμβάνει τη λεκάνη της λίμνης Κάρλας, που ξεκίνησε να αναδημιουργείτε το 2010, μετά από την αποξήρανσή της το 1963, και είχε μέγεθος 38.000στρ., ενώ μετά τις πλημμύρες του Σεπτέμβρη 2023 έφτασε τις 190.000στρ. Επίσης, στην περιοχή αυτή διέρχεται ο Τιταρήσιος, ο οποίος έχει σημαντική παροχή και μεγάλο μέρος των υδάτων του τροφοδοτούν τον υπόγειο υδροφορέα που όμως κατά τους καλοκαιρινούς μήνες μπορεί να περιοριστεί εξαιρετικά έως και να μηδενισθεί. Στις υπόλοιπες περιοχές της Ανατολικής Θεσσαλίας έως και τα Χαλκοδόνια, είναι έντονη η πτώση του υπόγειου υδροφορέα. Στην Ανατολική Θεσσαλία, εκτός του Τιταρήσιου και του Πηνειού, δεν υπάρχουν άλλοι ιδιαίτερα αξιόλογοι ποταμοί. Τέλος πρέπει να αναφερθεί ότι η Ανατολική Θεσσαλία έχει το μεγαλύτερο αστικό κέντρο του γεωγραφικού διαμερίσματος, τη Λάρισα, καθώς και πολλούς άλλους αξιόλογους οικισμούς.

3.4.1 ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΥΔΑΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

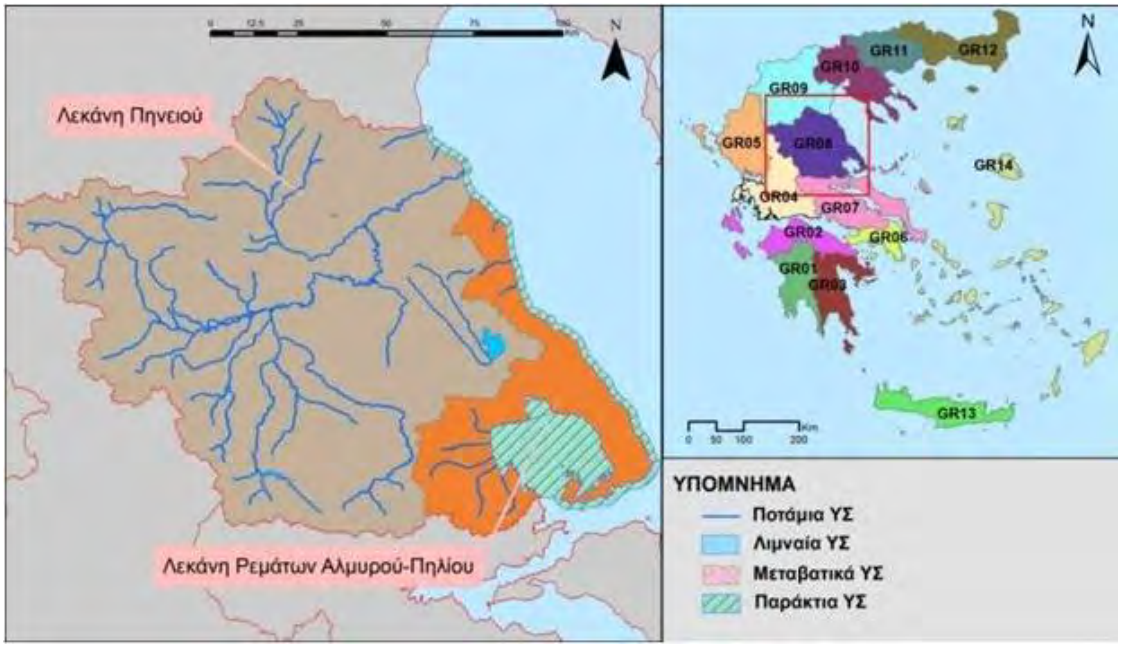
Το Υδατικό Διαμέρισμα της Θεσσαλίας, γνωστό επίσης με τον κωδικό EL08, αποτελεί ένα από τα 14 Υδατικά Διαμερίσματα που έχουν οριστεί στην ελληνική επικράτεια. Η οριοθέτησή του ακολουθεί σε μεγάλο βαθμό τα σύνορα του αντίστοιχου γεωγραφικού διαμερίσματος (εκτός από τα νησιά των Σποράδων Ωστόσο, υπάρχουν ορισμένες μικρές αποκλίσεις, κυρίως στα νότια και νοτιοδυτικά τμήματα του γεωγραφικού διαμερίσματος της Θεσσαλίας, τα οποία εντάσσονται διοικητικά σε παρακείμενα υδατικά διαμερίσματα , (ένα μικρό τμήμα δυτικά που ανήκει στο ΥΔ 04, ένα μικρό τμήμα νότια που ανήκει στο ΥΔ 07 και ένα μικρό τμήμα βόρεια που ανήκει στο ΥΔ 09), ενώ περιλαμβάνει το νότιο τμήμα της Περιφέρειας Κεντρικής Μακεδονίας (περιοχή Πλαταμώνα). Συγκεκριμένα

περιλαμβάνει το κεντρικό και ανατολικό τμήμα της ΠΕ Τρικάλων, το κεντρικό και ανατολικό τμήμα της ΠΕ Καρδίτσας, την ΠΕ Μαγνησίας, εκτός από τα νησιά των Σποράδων, το σύνολο πρακτικά της ΠΕ Λάρισας, ένα μικρό τμήμα στο βόρειο μέρος της ΠΕ Φθιώτιδας, ένα μικρό νότιο τμήμα της ΠΕ Πιερίας και ένα μικρό τμήμα της ΠΕ Γρεβενών Η συνολική έκταση του διαμερίσματος είναι 13.377km^2.

Το Θεσσαλικό Πεδίο, αποτελεί το μεγαλύτερο μέρος του υδατικού διαμερίσματος. Αυτή η εκτεταμένη πεδιάδα αποτελεί προϊόν τεκτονικής καθίζησης και περικλείεται από ένα πλαίσιο ορεινών όγκων. Συγκεκριμένα, στα βόρεια υψώνεται το σύμπλεγμα Ολύμπου-Καμβουνίων, ενώ στα δυτικά δεσπόζει η οροσειρά της Πίνδου. Νότια, το πεδίο οριοθετείται από την Όθρυ, και στα ανατολικά από τους ορεινούς όγκους του Πηλίου και της Όσσας. Αυτή η γεωμορφολογική διάταξη δημιουργεί ένα φυσικό περίγραμμα γύρω από την θεσσαλική πεδιάδα.

Το ΥΔ Θεσσαλίας περιλαμβάνει δύο κύριες υδρολογικές λεκάνες του Πηνειού και των ρεμάτων Αλμυρού-Πήλιου, τα χαρακτηριστικά των οποίων φαίνονται παρακάτω:

Υδατικό διαμέρισμα	**Κωδικός Λεκάνης**	**Ονομασία Λεκάνης Απορροής Ποταμού (ΛΑΠ)**	**Έκταση (km^2)**
Θεσσαλία (Ε108)	Ε116	Πηνειού	11062
	Ε117	Ρεμάτων Αλμυρού-Πήλιου	2079



Εικόνα 6 Απεικόνιση 8ου ΥΔ Ελλάδος (Πηγή: Βασιλειάδης, 2010).

3.4.2 ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΙ ΥΔΑΤΙΚΟΙ ΠΟΡΟΙ

Το υδρολογικό τοπίο του ΥΔ Θεσσαλίας κυριαρχείται από τη λεκάνη απορροής του Πηνειού ποταμού, που καλύπτει πάνω από το 70% της συνολικής επιφάνειας του διαμερίσματος, αναδεικνύοντας τη σημασία του Πηνειού για την περιοχή. Το υπολειπόμενο τμήμα της έκτασης αποτελείται από διάσπαρτες, μικρότερης κλίμακας λεκάνες απορροής. Αυτές οι δευτερεύουσες λεκάνες εντοπίζονται κυρίως εντός των ορίων της ΠΕ Μαγνησίας.

Οι διαθέσιμοι πόροι για ικανοποίηση της ζήτησης των διαφορετικών χρήσεων είναι επιφανειακοί και υπόγειοι. Οι επιφανειακοί υδατικοί πόροι της περιοχής αξιοποιούνται κυρίως μέσω της εκμετάλλευσης των ποτάμιων ροών. Η αξιοποίηση αυτή πραγματοποιείται με δύο βασικές μεθόδους: Πρώτον, μέσω άμεσης άντλησης από τα ποτάμια, συχνά με τη βοήθεια πρόχειρων αναχωμάτων. Δεύτερον, μέσω της κατασκευής φραγμάτων αποθήκευσης νερού, με χαρακτηριστικό παράδειγμα το φράγμα του Σμοκόβου. Ιδιαίτερη περίπτωση αποτελεί η λίμνη Πλαστήρα. Παρότι γεωγραφικά ανήκει στη λεκάνη απορροής του Αχελώου, το υδατικό της δυναμικό συνυπολογίζεται στους διαθέσιμους πόρους της Θεσσαλίας. Επιπρόσθετα, στο δίκτυο των επιφανειακών υδάτινων πόρων της περιοχής εντάσσεται και η λίμνη Κάρλα, διευρύνοντας έτσι το φάσμα των διαθέσιμων υδάτινων αποθεμάτων για την κάλυψη των τοπικών αναγκών.

Η υδρολογική εικόνα της Θεσσαλίας χαρακτηρίζεται από σημαντικές ετήσιες ροές νερού. Συγκεκριμένα, η συνολική μέση ετήσια ροή στο ποτάμιο σύστημα της Θεσσαλίας ανέρχεται σε 3,54 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα. Ο Πηνειός ποταμός συνεισφέρει το μεγαλύτερο μέρος αυτού του όγκου, με 3,325 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα ετησίως. Επιπρόσθετα, η λίμνη Πλαστήρα προσφέρει ακόμη 130 εκατομμύρια κυβικά μέτρα κατ' έτος στο υδατικό ισοζύγιο της περιοχής. Ωστόσο, η πραγματική διαθεσιμότητα αυτών των υδάτινων πόρων για χρήση περιορίζεται σημαντικά από δύο βασικούς παράγοντες:

1. Η γεωγραφική διασπορά: Ένα μέρος του νερού κατανέμεται σε μικρότερους ποταμούς και ρέματα, καθιστώντας δύσκολη την αξιοποίησή του.
2. Η χρονική ασυμμετρία: Το μεγαλύτερο ποσοστό των υδάτινων ροών εμφανίζεται κατά τη διάρκεια της υγρής περιόδου του έτους. Αντιθέτως, η αυξημένη ζήτηση νερού παρατηρείται κυρίως τους καλοκαιρινούς μήνες, δημιουργώντας έτσι μια χρονική αναντιστοιχία μεταξύ προσφοράς και ζήτησης.

Αυτοί οι περιορισμοί υπογραμμίζουν την ανάγκη για αποτελεσματική διαχείριση και αποθήκευση των υδάτινων πόρων ώστε να εξασφαλιστεί η επάρκεια νερού κατά τις περιόδους αυξημένης ζήτησης.

Ο Θεσσαλικός κάμπος είναι η πιο παραγωγική αγροτική περιοχή της Ελλάδας με έκταση περίπου 4000στρ. Οι κύριες καλλιέργειες που καλλιεργούνται στην πεδιάδα είναι το βαμβάκι, το σιτάρι και το καλαμπόκι ενώ στους πρόποδες των ανατολικών βουνών

καλλιεργούνται μήλα, βερίκοκα, κεράσια, ελιές και σταφύλια. Ο Πηνειός ποταμός και οι παραπόταμοι του διασχίζουν την πεδιάδα και η λεκάνη της συνολική απορροής είναι περίπου 9500km^2. Τα νερά του Πηνειού χρησιμοποιούνται κυρίως για άρδευση και στον υδροηλεκτρικό σταθμό του Σμόκοβου. Η έντονη και εκτεταμένη καλλιέργεια φυτών που απαιτούν νερό έχει οδηγήσει σε αξιοσημείωτη αύξηση της ζήτησης νερού, η οποία συνήθως καλύπτεται από την υπερεκμετάλλευση των υπόγειων υδάτινων πόρων. Για παράδειγμα, σχεδόν 65000 εκτάρια αρδεύονται με επιφανειακά ύδατα και περισσότερα από 210000 εκτάρια γεωργικής έκτασης τροφοδοτούνται από υπόγεια ύδατα. Η υπερκμετάλλευση των υπόγειων υδάτων, ιδιαίτερα σε εκτεταμένες περιόδους ξηρασίας, έχει οδηγήσει στην επιδείνωση του ήδη διαταραγμένου υδατικού ισοζυγίου και στην υποβάθμιση των υδατικών πόρων. Με τα χρόνια έχουν προταθεί διάφορες θέσεις εντός της λεκάνης απορροής του Πηνειού για την ανάπτυξη ταμιευτήρων χωρίς ιδιαίτερη ανάπτυξη, με μόνη εξαίρεση το φράγμα του Σμόκοβου. Οι μόνες άλλες αναπτύξεις επιφανειακών υδάτων στην περιοχή της Θεσσαλίας είναι μερικές μικρές δεξαμενές και λιμνοθάλασσες στον Πηνειό ή δίπλα και η εκτροπή νερού από τον ταμιευτήρα Ν. Πλαστήρα, ο οποίος βρίσκεται εκτός της λεκάνης απορροής του Πηνειού.

Η Θεσσαλία γνώρισε σοβαρές, ακραίες και επίμονες ξηρασίες κατά την περίοδο από τα μέσα έως τα τέλη της δεκαετίας του 1970 και κατά την περίοδο από τα τέλη της δεκαετίας του 1980 έως τις αρχές της δεκαετίας του 1990. Κατά τη διάρκεια αυτών των δύο περιόδων η μηνιαία και η ετήσια βροχόπτωση ήταν σημαντικά κάτω από την κανονική. Ειδικότερα, τα υδρολογικά έτη 1976-1977 και 1989-1990 είναι τα πρώτα και δεύτερα ξηρότερα υδρολογικά έτη που έχουν καταγραφεί ποτέ. Ο πιο ξηρός Ιανουάριος και Φεβρουάριος και ο δεύτερος ξηρότερος Μάρτιος καταγράφηκαν κατά το υδρολογικό έτος 1989-1990. Η παρατεταμένη και σημαντική μείωση των μηνιαίων και ετήσιων βροχοπτώσεων έχει δραματική επίδραση στους υδάτινους πόρους της περιοχής. Συνήθως, οι περίοδοι ξηρασίας συνοδεύονται από υψηλές θερμοκρασίες, οι οποίες οδηγούν σε υψηλότερους ρυθμούς εξατμισοδιαπνοής και ξηρά εδάφη. Οι συνθήκες αυτές επηρεάζουν αντιστρόφως τόσο τη φυσική βλάστηση και τη γεωργία της περιοχής όσο και τη διαθεσιμότητα των ταμιευτήρων. Αυτές οι σοβαρές και εξαιρετικά ξηρές συνθήκες έχουν ως αποτέλεσμα περικοπές στην άρδευση, υπερεκμετάλλευση των υπόγειων υδάτων και σημαντικές απώλειες στις αποδόσεις των καλλιεργειών. Για παράδειγμα, κατά το ξηρό υδρολογικό έτος 1989-1990, η παροχή νερού για άρδευση από τη δεξαμενή Ν. Πλαστήρα μειώθηκε περισσότερο κατά 70% και οι αρδευόμενες εκτάσεις με επιφανειακά υδάτινα αποθέματα μειώθηκαν κατά 90%.

Το κλίμα της Περιφέρειας Θεσσαλίας παρουσιάζει ποικιλία λόγω της γεωγραφικής του θέσης και της πολυμορφίας του. Οι κλιματικές περιοχές καθορίζονται από το ανάγλυφο, δηλαδή από τον προσανατολισμό, το υψόμετρο και την έκθεση στους ανέμους. Το Υδατικό Διαμέρισμα κλιματολογικά διαιρείται σε τρεις περιοχές:

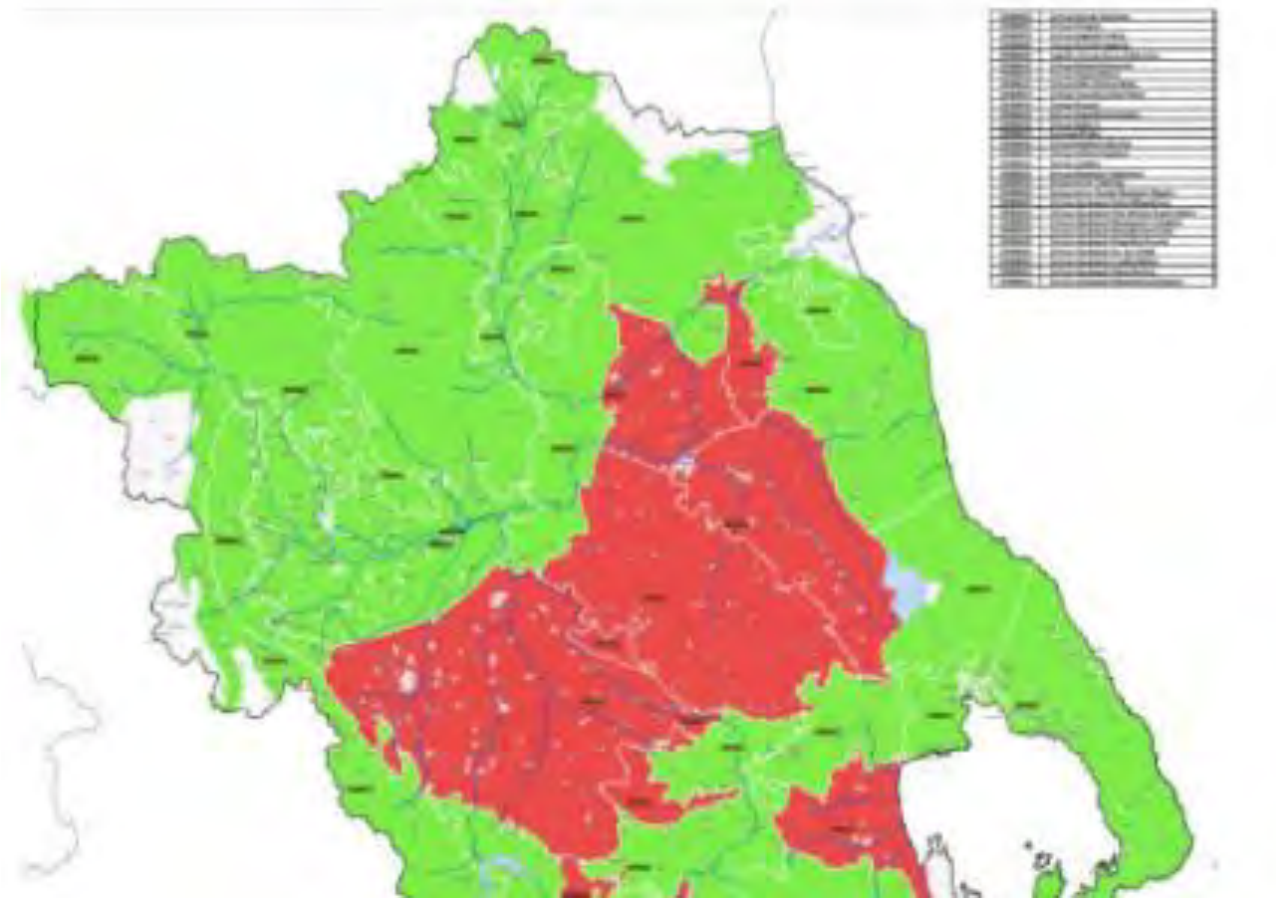
- την παράκτια όπου επικρατεί το μεσογειακό κλίμα,

- την πεδινή με ηπειρωτικό κλίμα
- και την ορεινή με ορεινό κλίμα.

Ειδικότερα, τα γενικά χαρακτηριστικά του κλίματος της περιοχής ανά εποχή είναι τα εξής:

- Χειμώνας: Ήπιος έως έντονος με εμφανή επηρεασμό από βόρειες ψυχρές μάζες.
- Άνοιξη: Ήπια χαρακτηριστικά κλίματος με σχετική μείωση των βροχών και χαμηλές θερμοκρασίες.
- Καλοκαίρι: Σημαντική αύξηση της ξηρασίας με ανάλογη μείωση των βροχοπτώσεων και αντίστοιχη αύξηση της θερμοκρασίας.
- Φθινόπωρο: Επίσης ήπια χαρακτηριστικά κλίματος με σχετική αύξηση των βροχοπτώσεων και αντίστοιχη αύξηση της υγρασίας.

Η μέση ετήσια θερμοκρασία κυμαίνεται από 16 ως 17°C, ενώ στα πιο ορεινά περίπου 2°C πιο κάτω. Οι πιο ζεστοί μήνες είναι ο Ιούλιος και ο Αύγουστος και οι πιο κρύοι ο Ιανουάριος, ο Φεβρουάριος και ο Δεκέμβριος. Το ύψος των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων στην περιοχή είναι σχετικά μεγάλο στα δυτικά, στη συνέχεια μειώνεται στο πεδινό τμήμα και αυξάνεται πάλι στο ορεινό ανατολικό τμήμα. Οι τιμές της ετήσιας βροχόπτωσης κυμαίνονται από 350 mm στο πεδινό τμήμα έως και 1.200 mm στα ορεινά. Οι πιο βροχεροί μήνες είναι από τον Οκτώβριο έως τον Ιανουάριο, ενώ οι πιο ξηροί οι Ιούλιος και Αύγουστος. Οι χιονοπτώσεις είναι συνηθισμένες, ιδιαίτερα στα ορεινά της περιοχής, και γίνονται πιο έντονες από τα νότια προς τα βόρεια και από τα ανατολικά προς τα δυτικά. Οι περισσότερες χιονοπτώσεις παρατηρούνται τους μήνες Φεβρουάριο και Ιανουάριο. Η μέση ετήσια νέφωση κυμαίνεται από 4 ως 5 βαθμίδες, με τις ψηλότερες τιμές να εμφανίζονται στα δυτικά και τις χαμηλότερες στα ανατολικά. Η μέση ετήσια σχετική υγρασία κυμαίνεται από 63% μέχρι 70%. Στην περιοχή μελέτης εμφανίζεται ξηρή περίοδος 4 έως 5 μηνών στα ανατολικά, η οποία όμως μειώνεται βαθμιαία σε 2 έως 4 μήνες στα κεντρικά-δυτικά πεδινά και 1 έως 2 μήνες στα δυτικά ορεινά. Η επικρατούσα φορά των ανέμων ποικίλει (βορειοδυτικοί και νότιοι στο Βόλο, ανατολικοί στη Λάρισα, δυτικοί στα Τρίκαλα).



Εικόνα 7: Χάρτης ταξινόμησης ποσοτικής κατάστασης των ΥΥΣ στο ΥΔ Θεσσαλίας. (Πηγή: ΠεΣΠΚΑ Θεσσαλίας – Π1. Εκτίμηση κινδύνων και Τρωτότητας Περιφέρειας)

3.5 ΔΕΔΟΜΕΝΑ

3.5.1 CLIMATE HAZARDS INFRARED PRECIPITATION WITH STATION DATA (CHIRPS)

Η Climate Hazards Infrared Precipitation with Station Data (CHIRPS) αποτελεί μια κλιματική βάση δεδομένων για βροχοπτώσεις στην ξηρά. Η βάση δεδομένων περιλαμβάνει τρεις κύριες κατηγορίες πληροφοριών: παγκόσμιες κλιματολογίες, δορυφορικές εκτιμήσεις και επιτόπιες μετρήσεις. Συγκεκριμένα, συνδυάζει μηνιαία κλιματολογικά δεδομένα βροχοπτώσεων (CHPClim), σχεδόν παγκόσμιες γεωστατικές θερμικές υπέρυθρες δορυφορικές παρατηρήσεις, το προϊόν 3B42 της Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM), ατμοσφαιρικά μοντέλα πεδίων, επίσης, περιλαμβάνουν πληροφορίες Cold Cloud Duration (CCD) από θερμικά υπέρυθρα δεδομένα (TIR) που έχουν αρχειοθετηθεί από το CPC, το NOAA Rainfall Estimate (RFE2), το National Climate Data Center (NCDC), τα δεδομένα Version 7 TRMM 3B42, τα δεδομένα Version 2 του ατμοσφαιρικού μοντέλου βροχόπτωσης από το NOAA Climate Forest System

(CFS), και τέλος μετρήσεις βροχοπτώσεων από διάφορες πηγές, όπως οι εθνικές ή περιφερειακές Μετεωρολογικές Υπηρεσίες (Funk et al. 2013). Το προϊόν CHIRPS και τα δεδομένα του διατίθενται στη διεύθυνση: http: //chg.geog.ucsb. edu / data / chirps /

Η κύρια διαφορά αυτής της βάσης δεδομένων σε σύγκριση με άλλες υφιστάμενες βάσεις δεδομένων βροχοπτώσεων είναι η υψηλή ανάλυση των δεδομένων, με εγγενή ανάλυση 0,05 μοιρών, κάτι που είναι αρκετά μοναδικό, δεδομένου ότι τα περισσότερα παγκόσμια σύνολα δεδομένων βροχοπτώσεων έχουν ανάλυση 0,5 μοιρών ή χαμηλότερη (Tapiador et al., 2012). Ελάχιστα σύνολα, όπως το 3B43 της TRMM (Huffman et al., 2007) και το E-OBS (Haylock et al., 2008), διαθέτουν ανάλυση 0,25 μοιρών.

Η διαθεσιμότητα των προϊόντων ξεκινά από το 1981 και συνεχίζεται μέχρι σήμερα, με συνεχή ανανέωση των δεδομένων. Τα προϊόντα CHIRPS δημιουργήθηκαν με σκοπό να υποστηρίξουν το δίκτυο Famine Early Warning Systems Network (FEWS NET) του Οργανισμού Διεθνούς Ανάπτυξης των Ηνωμένων Πολιτειών.

Αρχικά, τα δεδομένα CCD βαθμονομούνται με τα TRMM 3B42 για την παραγωγή 5-ημερών εκτιμήσεων υετού βασισμένων στα CCD, οι οποίες στη συνέχεια μετατρέπονται σε κλάσματα των μακροπρόθεσμων εκτιμήσεων μέσης βροχόπτωσης. Στη συνέχεια, τα κλάσματα πολλαπλασιάζονται με τα δεδομένα CHPclim για να διορθωθεί η συστηματική απόκλιση (systematic bias), δημιουργώντας το προϊόν που ονομάζεται CHIRP. Τέλος, το προϊόν CHIRP συνδυάζεται με δεδομένα από σταθμούς βροχής, εφαρμόζοντας έναν τροποποιημένο αλγόριθμο αντίστροφης στάθμισης απόστασης, για να παραχθούν τα δεδομένα CHIRPS. Όλη η προαναφερθείσα επεξεργασία πραγματοποιείται στα 5-ήμερα χρονικά διαστήματα. Τα ημερήσια δεδομένα CCD και τα καθημερινά δεδομένα CFS αξιοποιούνται τελικά για να διαχωριστούν τα 5-ημερα προϊόντα σε ημερήσιες εκτιμήσεις υετού, μέσω μιας απλής μεθόδου ανακατανομής. Το προϊόν CHIRPS κατατάσσεται στην κατηγορία «δορυφορικά δεδομένα μέτρησης» (“satellite-gauge”).

Τα CHIRPS διατίθενται σε διάφορα χρονικά βήματα:

- Ημερήσια (Daily): Παρέχει δεδομένα σε καθημερινή βάση, επιτρέποντας λεπτομερή ανάλυση βραχυπρόθεσμων φαινομένων.
- Πενθήμερα (Pentad): Προσφέρει δεδομένα σε ομάδες πέντε ημερών, παρέχοντας μια ισορροπία μεταξύ λεπτομέρειας και διαχειρισιμότητας δεδομένων.
- Δεκαήμερα (Dekad): Παρουσιάζει δεδομένα σε περιόδους δέκα ημερών, χρήσιμα για αγρομετεωρολογικές εφαρμογές.
- Μηνιαία (Monthly): Συγκεντρώνει δεδομένα σε μηνιαία βάση, κατάλληλα για ανάλυση εποχικών τάσεων.
- Διμηνιαία (2-monthly): Παρέχει δεδομένα για περιόδους δύο μηνών, επιτρέποντας την εξέταση μεσοπρόθεσμων μεταβολών.

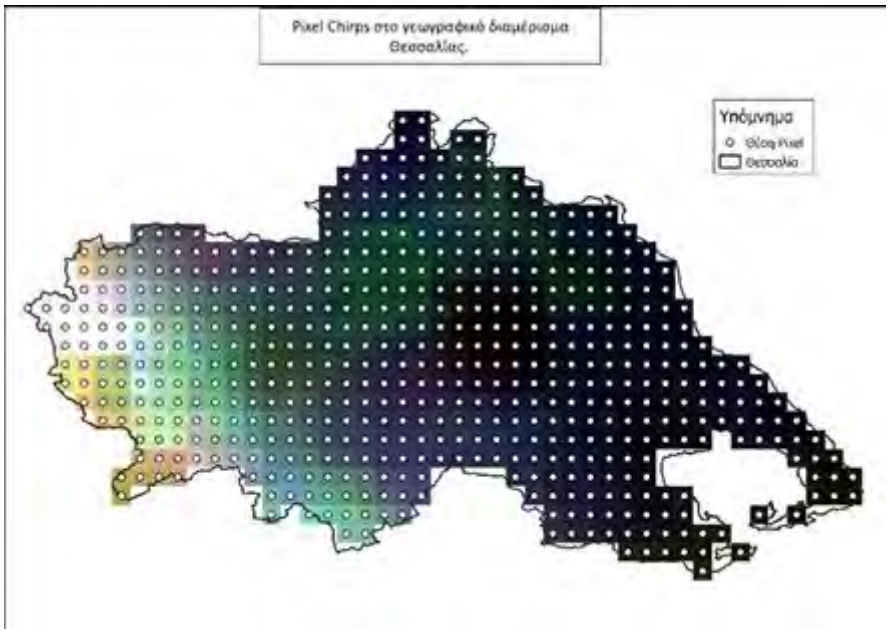
- Τριμηνιαία (3-monthly): Προσφέρει δεδομένα σε τριμηνιαία βάση, χρήσιμα για την ανάλυση εποχικών προτύπων.
- Ετήσια (Annual): Παρουσιάζει συγκεντρωτικά δεδομένα για ολόκληρο το έτος, επιτρέποντας την εξέταση μακροπρόθεσμων τάσεων και ετήσιων διακυμάνσεων.

Αυτή η ποικιλία χρονικών βημάτων επιτρέπει στους ερευνητές να επιλέξουν την καταλληλότερη χρονική κλίμακα για τις συγκεκριμένες ανάγκες της μελέτης τους, από λεπτομερείς καθημερινές αναλύσεις έως ευρύτερες ετήσιες επισκοπήσεις.

Μέχρι σήμερα, οι μελέτες που χρησιμοποιούν δεδομένα CHIRPS είναι περιορισμένες στη βιβλιογραφία, με τις περισσότερες να εστιάζουν κυρίως στην Αφρική. Για παράδειγμα, στη μελέτη τους για την καταγραφή της ευπάθειας του πληθυσμού στην κλιματική αλλαγή στην Αφρική, οι Lopez-Carr et al. (2014) χρησιμοποίησαν τις τυποποιημένες χρονικές σειρές δείκτη υετού της CHIRPS για την Αφρική, εστιάζοντας στην κύρια περίοδο ανάπτυξης. Η Shukla et al. (2014) χρησιμοποίησαν δεδομένα CHIRPS για την πρωτογενή περίοδο καλλιέργειας και βροχών (Μάρτιος-Απρίλιος-Μάιος) προκειμένου να αξιολογήσουν τις προβλέψεις υγρασίας του εδάφους που παρέχονται από ένα σύστημα εποχιακής πρόγνωσης ξηρασίας στην ανατολική Αφρική. Επιπλέον, σε μια μελέτη που επικεντρώνεται στην ανατολική Αφρική, οι Funk et al. (2013) διαπίστωσαν ότι ο μέσος όρος υετού για τα σύνολα δεδομένων CHIRPS και GPCC (Global Precipitation Climatology Center) ήταν σχεδόν ταυτόσημος για την περίοδο της άνοιξης (Μάρτιος–Μάιος).

Το CHIRPS, όπως αναφέρθηκε, παρέχει υψηλής ανάλυσης δεδομένα βροχοπτώσεων. Η χρήση αυτών των δεδομένων επιτρέπει την ακριβή εκτίμηση των κατακρημνισμάτων σε περιοχές όπου οι επίγειοι σταθμοί μέτρησης είναι περιορισμένοι ή ανύπαρκτοι. Στην εργασία χρησιμοποιήθηκαν τα CHIRPS Pentad, που παρέχουν τα δεδομένα σε πενθήμερες περιόδους (δηλαδή ανά 5 ημέρες), κατάλληλα για ανάλυση μακροπρόθεσμων τάσεων και αλλαγών. Τα δεδομένα πάρθηκαν μέσω της πλατφόρμας GEE, χωρίς την ανάγκη λήψης δεδομένων αφού προσφέρονται δωρεάν.

Συνολικά 456 raster δεδομένων CHIRPS σε ανάλυση 0,05° (δηλαδή 5km x 5km) για την περίοδο 1990-2021 χρησιμοποιήθηκαν και αξιολογήθηκαν σε αυτή την εργασία.



Εικόνα 8 Κέντρα χωρικών μονάδων για την περιοχή της Θεσσαλίας (Άσπρες κουκίδες)

3.5.2 GOOGLE EARTH ENGINE

Το Google Earth Engine (GEE) είναι μια cloud-based πλατφόρμα που έχει σχεδιαστεί για επεξεργασία γεωχωρικών δεδομένων, επιτρέποντας στους χρήστες να αναλύουν τεράστιες ποσότητες δορυφορικών εικόνων και περιβαλλοντικών δεδομένων. Οι δυνατότητές του διευκολύνουν ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, από τη χαρτογράφηση της βλάστησης έως τον πολεοδομικό σχεδιασμό, καθιστώντας ένα απαραίτητο εργαλείο για ερευνητές και επαγγελματίες σε διάφορους τομείς. Μερικά από τα βασικά χαρακτηριστικά του GEE είναι:

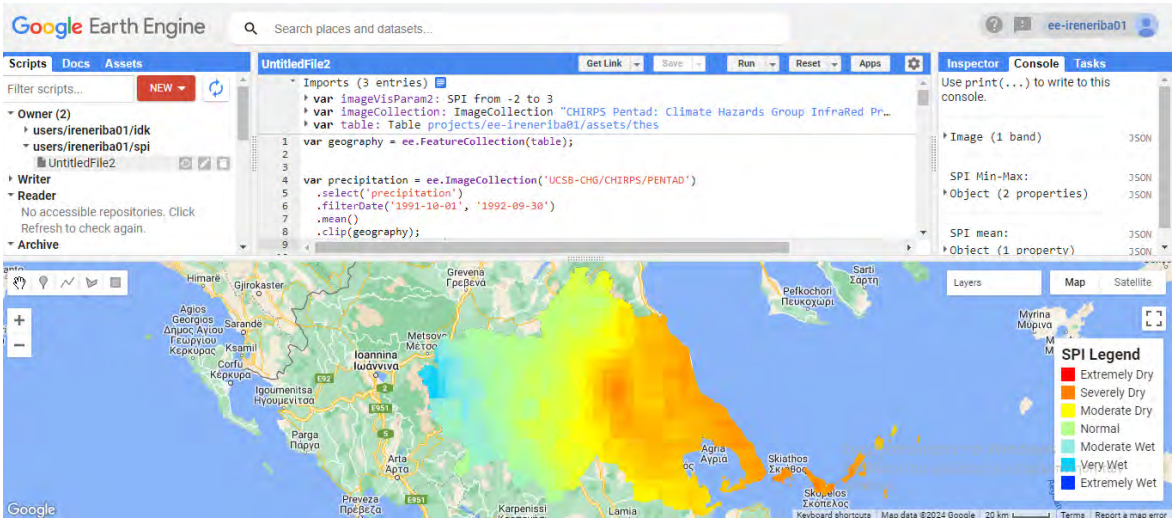
- Πρόσβαση σε δεδομένα: Το GEE παρέχει πρόσβαση σε petabytes δημοσίως διαθέσιμων δεδομένων τηλεπισκόπησης, συμπεριλαμβανομένων ιστορικών δορυφορικών εικόνων από τη Landsat που χρονολογούνται από τη δεκαετία του 1970, καθώς και δεδομένων από τα Sentinel και άλλες πηγές, όπως ψηφιακά υψομετρικά μοντέλα και κλιματικές μεταβλητές.
- Εργαλεία ανάλυσης: Η πλατφόρμα προσφέρει δυνατότητες παράλληλης επεξεργασίας υψηλής ταχύτητας και μια σειρά από αλγόριθμους που επιτρέπουν την ανάλυση μεγάλων συνόλων δεδομένων. Οι χρήστες μπορούν να γράψουν κώδικα είτε σε JavaScript είτε σε Python για να χειρίζονται και να αναλύουν δεδομένα μέσω του API του.
- Ευρεία εφαρμογή: Μπορεί να συμβάλει καθοριστικά σε έρευνες σε διάφορους τομείς και να χρησιμοποιηθεί για διάφορους σκοπούς, όπως της αντιμετώπισης καταστροφών, της παρακολούθησης αγροτικών περιοχών και της ανάλυσης χρήσεων γης.

Το Google Earth Engine προσφέρεται ως δωρεάν υπηρεσία, επιτρέποντας στο ευρύ κοινό να αξιοποιήσει τις ισχυρές δυνατότητές του για ανάλυση γεωχωρικών δεδομένων. Επίσης, παρέχει πρόσβαση σε εκτενές αρχείο δορυφορικών εικόνων, όπως των CHIRPS που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτή την εργασία, των Sentinel, των Landsat, κ.α., χωρίς την ανάγκη λήψης από άλλες πηγές ή πληρωμής για τη χρήση.

Η διεπιφάνεια χρήστη (interface) του Google Earth Engine αποτελείται από διάφορα βασικά στοιχεία, σχεδιασμένα για να διευκολύνουν την ανάλυση γεωχωρικών δεδομένων.

1. Επεξεργαστής κώδικα (Code editor): Κεντρικό τμήμα της επιφάνειας όπου ο χρήστης συντάσσει και εκτελεί σενάρια είτε σε γλώσσα JavaScript είτε σε γλώσσα Python για την επεξεργασία δεδομένων.
2. Παράθυρο χάρτη (Map window): Προβάλλει τα αποτελέσματα των αναλύσεων σε διαδραστικό, χαρτογραφικό περιβάλλον, επιτρέποντας την οπτικοποίηση των δεδομένων.
3. Κονσόλα (Console): Εμφανίζει πληροφορίες εξόδου, σφάλματα και προειδοποιήσεις κατά την εκτέλεση του κώδικα.
4. Επιθεωρητής (Inspector): Παρέχει λεπτομερείς πληροφορίες για τα επιλεγμένα αντικείμενα στο χάρτη ή τα αποτελέσματα των αναλύσεων.
5. Διαχείριση εργασιών (Task manager): Επιτρέπει την παρακολούθηση και διαχείριση των εργασιών επεξεργασίας που εκτελούνται στο παρασκήνιο.
6. Γεωμετρικά εργαλεία (Geometry tools): Εργαλεία για τη δημιουργία και επεξεργασία γεωμετρικών σχημάτων στο χάρτη.
7. Βιβλιοθήκη σεναρίων (Scripts library): Επιτρέπει την αποθήκευση, οργάνωση και διαχείριση των σεναρίων κώδικα του χρήστη.
8. Εξερευνητής δεδομένων (Asset manager): Παρέχει πρόσβαση στα διαθέσιμα δεδομένα και επιτρέπει την αναζήτηση και εισαγωγή τους στα σενάρια.
9. Μπάρα εργαλείων (Toolbar): Περιέχει τις λειτουργίες εκτέλεσης κώδικα (Run), αποθήκευσης (Save) και εξαγωγής αποτελεσμάτων.

Αυτή η διάταξη του interface επιτρέπει στους χρήστες να εκτελούν σύνθετες γεωχωρικές αναλύσεις, συνδυάζοντας προγραμματισμό και οπτικοποίηση σε ένα ενοποιημένο περιβάλλον.



Εικόνα 9 Interface του Google Earth Engine

3.5.3 ΔΙΑΝΥΣΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

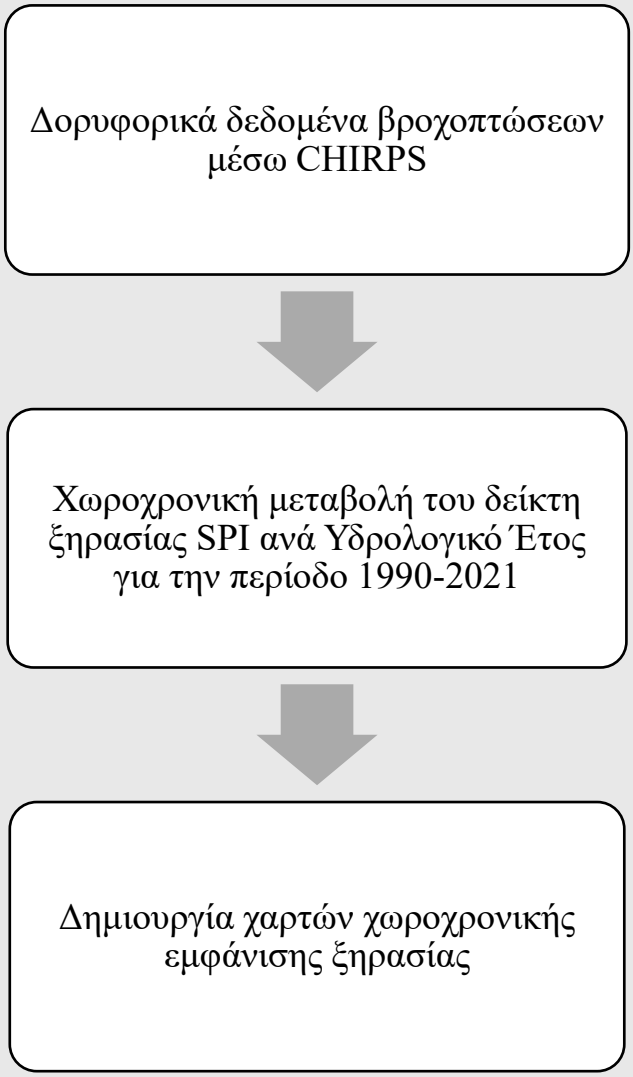
Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιούμε τα όρια της Περιφέρειας Θεσσαλίας σε διανυσματική μορφή με τον πιο δημοφιλή μορφότυπο shapefile για την απομόνωση των δεδομένων που αφορούν αποκλειστικά την περιοχή ενδιαφέροντος. Έτσι, επικεντρώνεται η ανάλυση στη συγκεκριμένη γεωγραφική ζώνη, βελτιστοποιώντας την ακρίβεια και την αποτελεσματικότητα της επεξεργασίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4.1 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Για την επίτευξη του στόχου της παρούσας πτυχιακής εργασίας, δηλαδή την παρουσίαση της πορείας του φαινομένου της ξηρασίας στην περιφέρεια της Θεσσαλίας, κατά την χρονική περίοδο 1990 – 2021, η μέθοδος και τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν παρουσιάζονται συνοπτικά στο παρακάτω διάγραμμα ροής εργασιών.

Ακολουθεί η αναλυτική περιγραφή δεδομένων που επιλέχθηκαν και του τρόπου με τον οποίο έγινε η αξιοποίηση τους.



Εικόνα 10:Διάγραμμα ροής μεθοδολογίας

Ανάλυση της χωροχρονικής διακύμανσης του δείκτη ξηρασίας SPI ανά Υδρολογικό Έτος για την περίοδο 1990-2021:

Ο Τυποποιημένος Δείκτης Βροχόπτωσης (SPI) χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό και την ποσοτικοποίηση της ξηρασίας. Η μελέτη εξετάζει πώς αυτός ο δείκτης μεταβάλλεται τόσο χωρικά όσο και χρονικά κατά τη διάρκεια των υδρολογικών ετών από το 1990 έως το 2021. Αυτό επιτρέπει την κατανόηση των μακροπρόθεσμων τάσεων και των περιοδικών μεταβολών στην εμφάνιση και ένταση των φαινομένων ξηρασίας.

Η έννοια του υδρολογικού έτους αποτελεί θεμελιώδες στοιχείο στη μελέτη και διαχείριση των υδατικών πόρων. Συγκεκριμένα:

Το υδρολογικό έτος ορίζεται ως η δωδεκάμηνη περίοδος κατά την οποία πραγματοποιείται η συστηματική καταγραφή των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων σε μια καθορισμένη γεωγραφική περιοχή. Στην ελληνική επικράτεια, η περίοδος αυτή εκτείνεται από την 1η Σεπτεμβρίου έως την 31η Αυγούστου του επόμενου ημερολογιακού έτους.

Κατά τη διάρκεια του υδρολογικού έτους, συλλέγεται ένα ευρύ φάσμα μετεωρολογικών δεδομένων. Τα κυριότερα εξ αυτών περιλαμβάνουν:

1. Το ύψος βροχόπτωσης

2. Την έκταση και το πάχος της χιονοκάλυψης

3. Τα ποσοστά εξάτμισης

Αυτές οι παράμετροι διαδραματίζουν καίριο ρόλο στην αποσαφήνιση των υδρολογικών συνθηκών και στον προσδιορισμό της υδατικής ισορροπίας της εκάστοτε περιοχής μελέτης.

Η υδρολογική δυναμική μιας περιοχής υπόκειται σε επιρροές από ποικίλους παράγοντες. Μεταξύ αυτών, ιδιαίτερα σημαντικοί είναι:

1. Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής

2. Οι εποχικές διακυμάνσεις των καιρικών φαινομένων

Η συνεχής παρακολούθηση και ανάλυση των δεδομένων του υδρολογικού έτους καθίσταται, συνεπώς, απαραίτητη για την αποτελεσματική διαχείριση των υδατικών πόρων. Επιπλέον, συμβάλλει καθοριστικά στην έγκαιρη πρόβλεψη και αντιμετώπιση ακραίων υδρολογικών φαινομένων, όπως παρατεταμένες περίοδοι ξηρασίας ή έντονα πλημμυρικά επεισόδια.

Παραγωγή ψηφιδωτών απεικονίσεων και χαρτών που αναπαριστούν τη χωροχρονική εκδήλωση της ξηρασίας:

Αυτό το βήμα περιλαμβάνει τη δημιουργία οπτικών αναπαραστάσεων των αποτελεσμάτων της ανάλυσης. Τα ψηφιδωτά (rasters) και οι χάρτες παρουσιάζουν με γραφικό τρόπο πώς η ξηρασία εκδηλώνεται σε διαφορετικές περιοχές και χρονικές περιόδους. Αυτές οι

οπτικοποιήσεις είναι κρίσιμες για την κατανόηση των προτύπων ξηρασίας, την αναγνώριση των περιοχών υψηλού κινδύνου και τη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων σχετικά με τη διαχείριση των υδατικών πόρων.

Η συνολική προσέγγιση επιτρέπει μια ολοκληρωμένη ανάλυση των συνθηκών ξηρασίας, συνδυάζοντας προηγμένα δορυφορικά δεδομένα με εξελιγμένες τεχνικές χωρικής ανάλυσης και οπτικοποίησης.

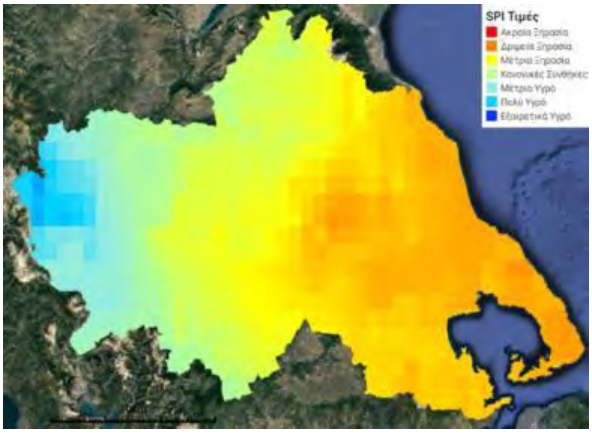
4.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Οι έντονες διαφοροποιήσεις στα αποτελέσματα εντός των χαρτών οφείλονται κατά κύριο λόγο στην πολύπλοκη γεωμορφολογία της περιοχής. Συγκεκριμένα, στο δυτικό τμήμα όπου βρίσκεται η οροσειρά της Πίνδου, παρατηρούνται σημαντικά υψηλότερα επίπεδα κατακρημνίσεων. Η παρουσία του ορεινού όγκου, επίσης, λειτουργεί ως φυσικό εμπόδιο για τις υγρές αέριες μάζες προκαλώντας ορογραφικές βροχοπτώσεις. Αντιθέτως, στο ανατολικό τμήμα, όπου εκτείνεται η πεδιάδα της Θεσσαλίας, καταγράφονται αισθητά χαμηλότερες τιμές.

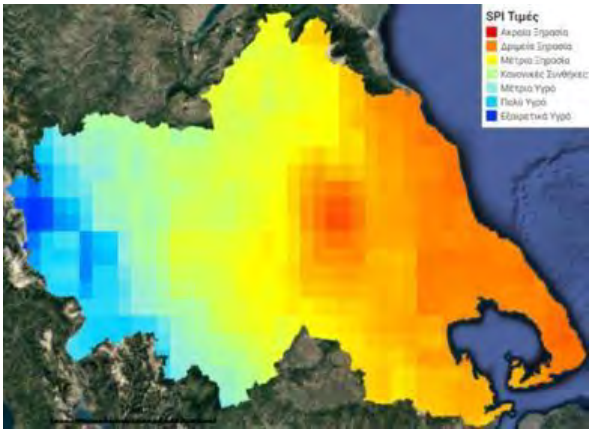
Ο δείκτης SPI παρουσιάζει διαφορετική συμπεριφορά και μπορεί να ερμηνευτεί ποικιλοτρόπως ανάλογα με το αν περιγράφει μετεωρολογικά ή υδρολογικά φαινόμενα. Ο SPI ενός μηνός εντοπίζει τη μετεωρολογική ξηρασία, καθώς αυτή εκδηλώνεται άμεσα με την καταγραφή μειωμένων βροχοπτώσεων. Για παράδειγμα, όσον αφορά την εδαφική υγρασία σε μια περιοχή, οι δείκτες SPI 1 και 3 μηνών παρουσιάζουν καλύτερη συσχέτιση, ενώ για τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα, ο SPI 12 μηνών είναι ο πλέον κατάλληλος. Ο SPI 9 μηνών και κυρίως ο SPI 12 μηνών συνδέονται άμεσα με τους υδατικούς πόρους (υπόγεια και επιφανειακά ύδατα) και αξιολογούν την υδρολογική ξηρασία, η οποία εμφανίζεται με χρονική καθυστέρηση σε σχέση με τη μετεωρολογική ξηρασία, δεδομένου ότι απαιτείται περισσότερος χρόνος για να αποτυπωθούν οι επιπτώσεις της μειωμένης βροχόπτωσης στα στοιχεία του υδρολογικού συστήματος. Σε αυτό το κεφάλαιο αναλύεται ο SPI 12-month ενώ στο παράρτημα υπολογίσθηκε ο SPI 1-month.

Με βάση τη χωροχρονική μεταβολή του δείκτη SPI 12-month κατά το κάθε υδρολογικό έτος της περιόδου 1990-2021 στην περιοχή της Θεσσαλίας δημιουργήθηκαν οι χάρτες ξηρασίας (χάρτες 1-32) σε μια προσπάθεια απεικόνισης της χωρικής κατανομής των διάφορων επιπέδων ξηρασίας σύμφωνα με την ταξινόμηση του πίνακα 1 στο κεφάλαιο 2.3.5.

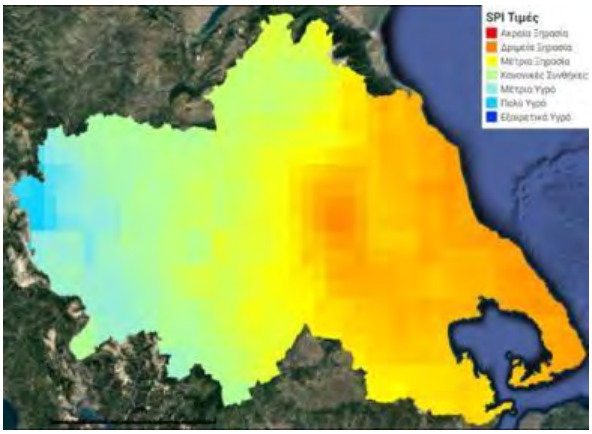
Στις εικόνες των χαρτών τα μπλε χρώματα απεικονίζουν τις υγρές συνθήκες όπου δηλαδή η μεταβολή του δείκτη είναι θετική και το ανοιχτό πράσινο τις κανονικές συνθήκες όπου η μεταβολή του δείκτη είναι μηδενική στο εκάστοτε σημείο. Επιπλέον, το κίτρινο, πορτοκαλί και κόκκινο χρώμα δείχνουν τη μέτρια, τη δριμεία και τη ακραία τιμή ξηρασίας, δηλαδή την αρνητική τιμή.



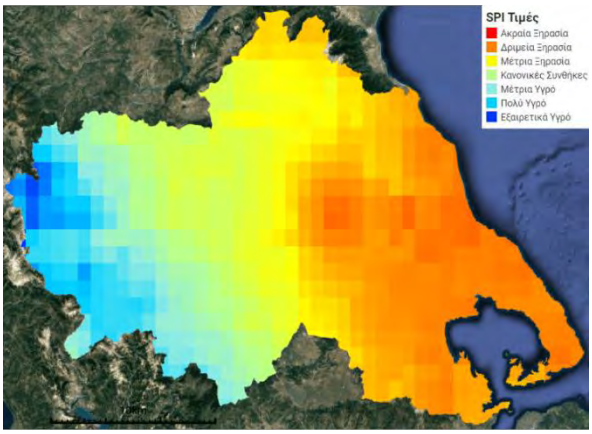
Χάρτης 1 SPI 12-month Οκτωβρίου 1990



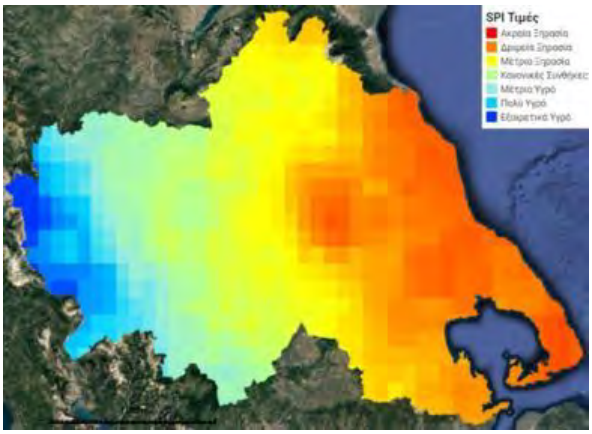
Χάρτης 2 SPI 12-month Οκτωβρίου 1991



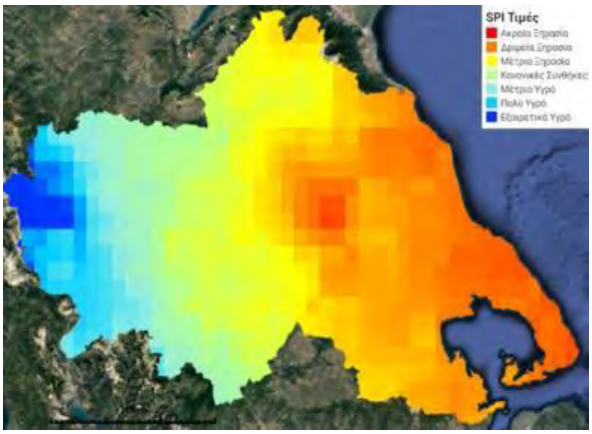
Χάρτης 3 SPI 12-month Οκτωβρίου 1992



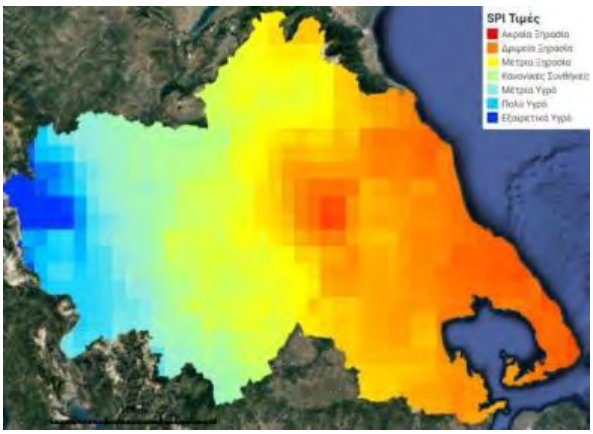
Χάρτης 4 SPI 12-month Οκτωβρίου 1993



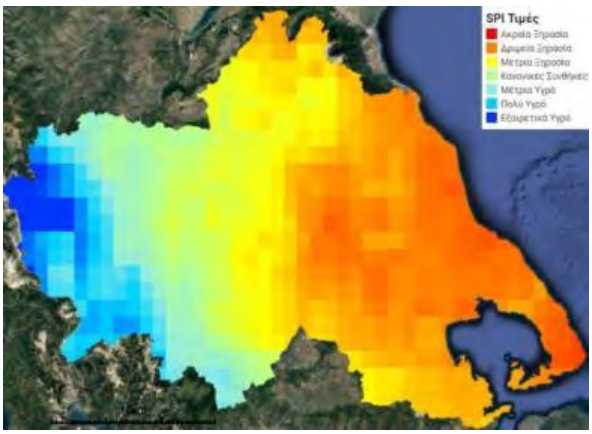
Χάρτης 5 SPI 12-month Οκτωβρίου 1994



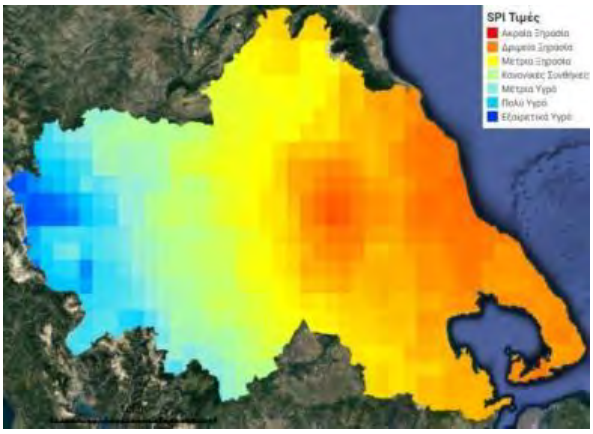
Χάρτης 6 SPI 12-month Οκτωβρίου 1995



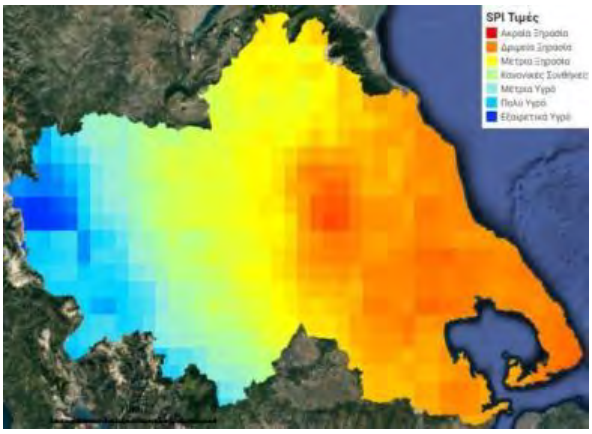
Χάρτης 7 SPI 12-month Οκτωβρίου 1996



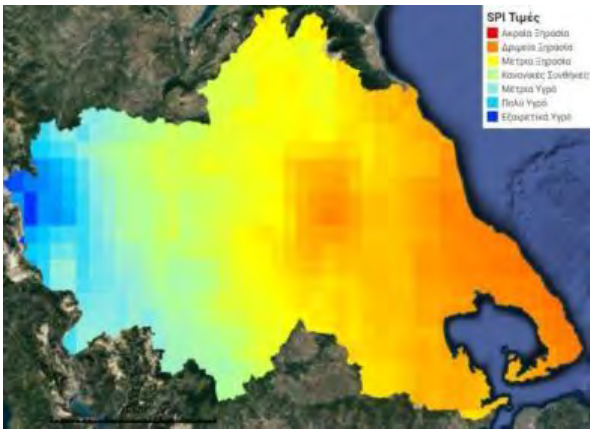
Χάρτης 8 SPI 12-month Οκτωβρίου 1997



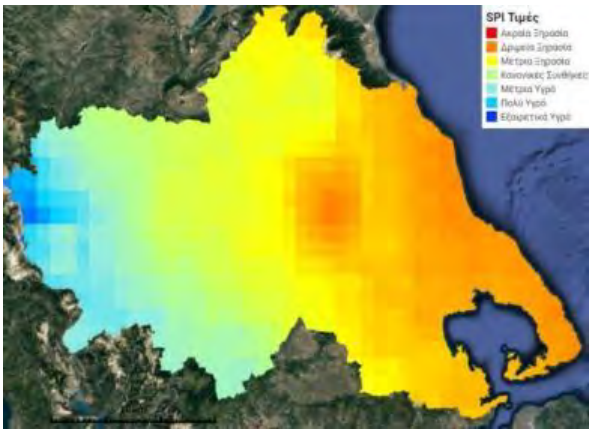
Χάρτης 9 SPI 12-month Οκτωβρίου 1998



Χάρτης 10 SPI 12-month Οκτωβρίου 1999



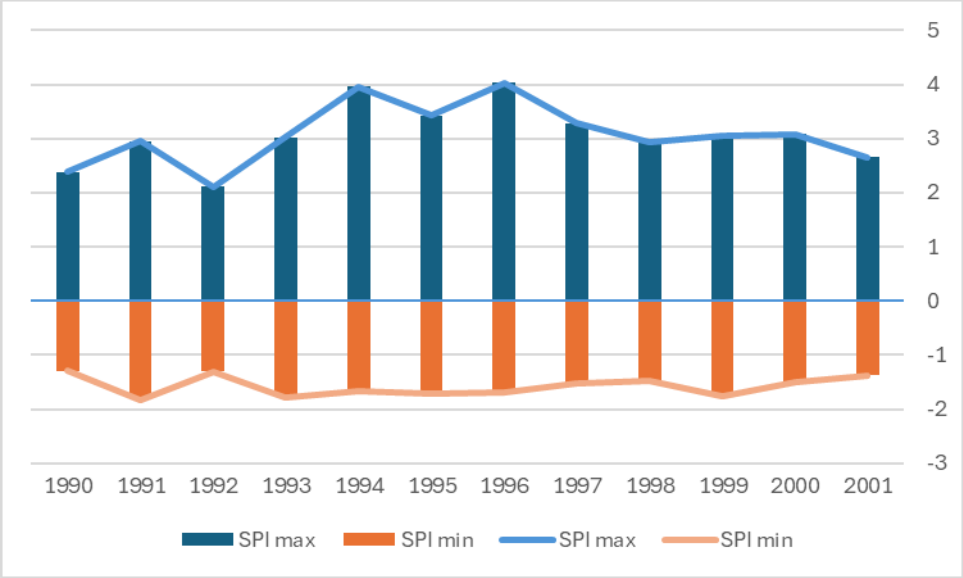
Χάρτης 11 SPI 12-month Οκτωβρίου 2000



Χάρτης 12 SPI 12-month Οκτωβρίου 2001

SPI 12-month	SPI max	SPI min
Οκτωβρίου 1990	2,38	-1,29
Οκτωβρίου 1991	2,95	**-1,83**
Οκτωβρίου 1992	2,11	-1,31
Οκτωβρίου 1993	3,02	-1,78
Οκτωβρίου 1994	3,96	-1,67
Οκτωβρίου 1995	3,42	-1,72
Οκτωβρίου 1996	**4,03**	-1,70
Οκτωβρίου 1997	3,28	-1,52
Οκτωβρίου 1998	2,94	-1,47
Οκτωβρίου 1999	3,06	-1,76
Οκτωβρίου 2000	3,08	-1,49
Οκτωβρίου 2001	2,66	-1,37

Πίνακας 6 SPI 12-month Οκτωβρίου 1990-2001



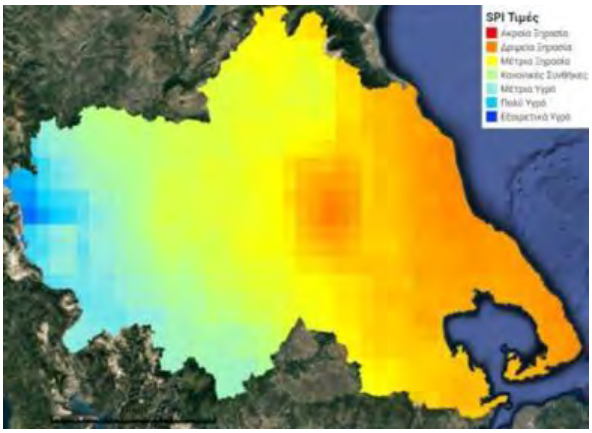
Εικόνα 11 Η μεταβολή SPI max και min στην περίοδο 1990-2001.

(Πηγή: ιδία επεξεργασία)

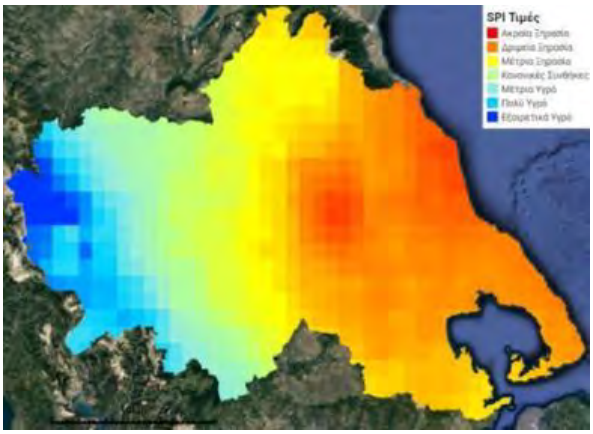
Όπως αποτυπώνεται, η περίοδος 1990-1993 χαρακτηρίστηκε από τη σημαντικότερη ανεπάρκεια κατακρημνισμάτων, γεγονός που συνάδει με τις συνθήκες έντονης ξηρασίας που επικρατούσαν εκείνο το χρονικό διάστημα. Η ανάλυση των δεδομένων που απεικονίζονται στους προαναφερθέντες χάρτες επιβεβαιώνει την παρατεταμένη και εκτεταμένη έλλειψη βροχοπτώσεων κατά τη διάρκεια αυτής της τριετίας, υποδεικνύοντας μια περίοδο ιδιαίτερα δυσμενών κλιματικών συνθηκών που συνέπεσε με την καταγεγραμμένη σοβαρή ξηρασία της εποχής.

Τα δεδομένα που παρουσιάζονται στον πίνακα 6 αποκαλύπτουν σημαντικές διακυμάνσεις στα επίπεδα βροχόπτωσης κατά τη διάρκεια της εξεταζόμενης περιόδου. Συγκεκριμένα, το έτος 1991 ξεχωρίζει ως το πιο άνυδρο, σηματοδοτώντας την κορύφωση μιας παρατεταμένης περιόδου ξηρασίας. Αυτή η χρονιά χαρακτηρίστηκε από εξαιρετικά χαμηλά επίπεδα βροχόπτωσης, επιδεινώνοντας τις ήδη δύσκολες συνθήκες που επικρατούσαν λόγω της συνεχιζόμενης λειψυδρίας.

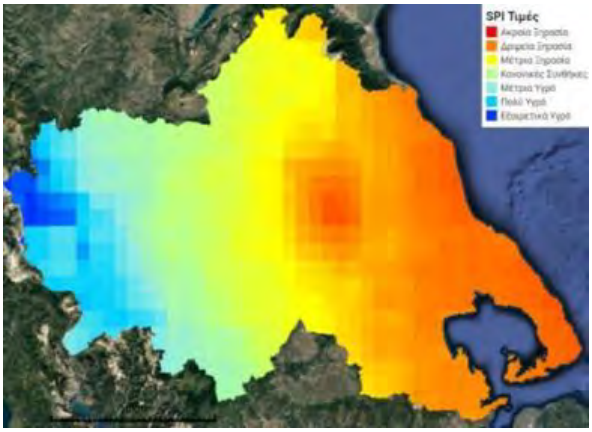
Αντιθέτως, το έτος 1996 αναδεικνύεται ως το πιο υγρό της περιόδου που εξετάζεται. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι αυτή η σημαντική αύξηση στις βροχοπτώσεις παρατηρήθηκε τρία έτη μετά το πέρας της προαναφερθείσας ξηρασίας. Αυτή η απότομη μεταβολή από ξηρές συνθήκες σε εξαιρετικά υγρές υπογραμμίζει τη μεταβλητότητα του κλίματος και την πιθανή επίδραση κλιματικών κύκλων ή άλλων περιβαλλοντικών παραγόντων στα πρότυπα βροχόπτωσης της περιοχής.



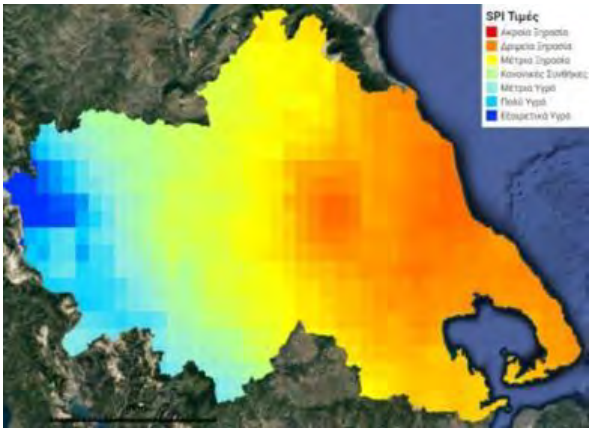
Χάρτης 13 SPI 12-month Οκτωβρίου 2002



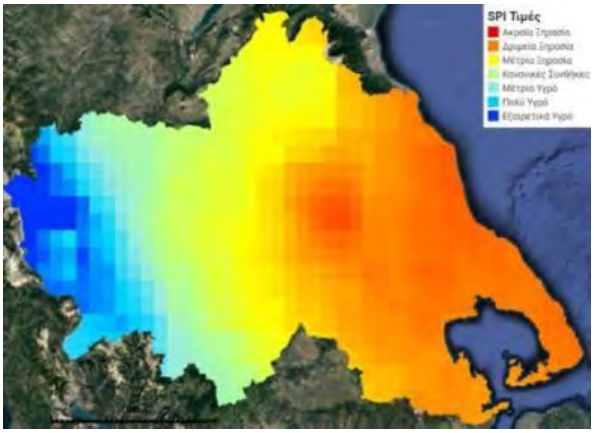
Χάρτης 14 SPI 12-month Οκτωβρίου 2003



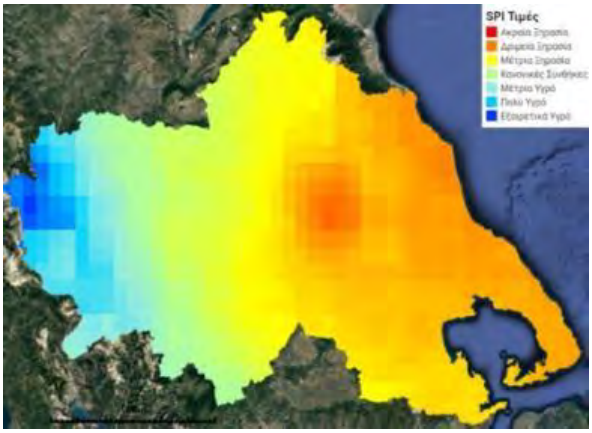
Χάρτης 15 SPI 12-month Οκτωβρίου 2004



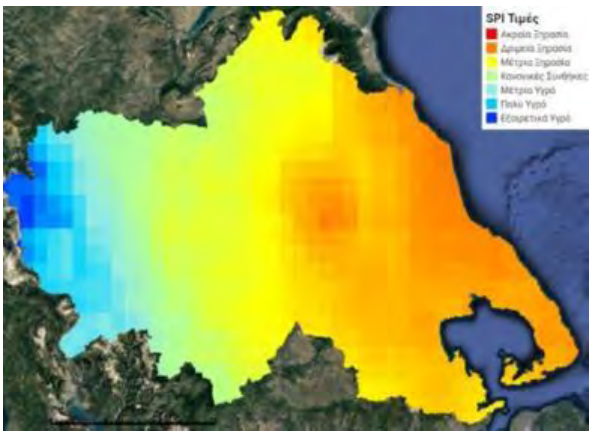
Χάρτης 16 SPI 12-month Οκτωβρίου 2005



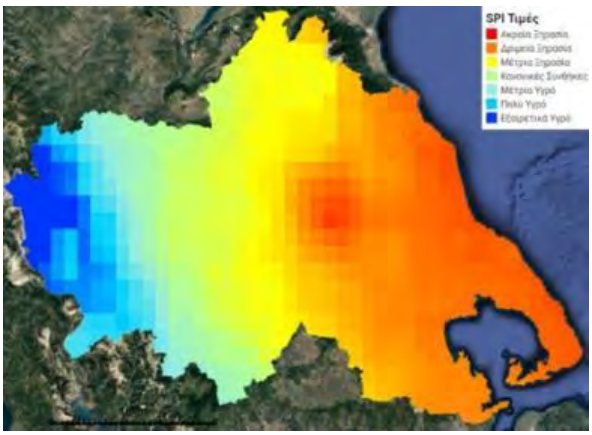
Χάρτης 17 SPI 12-month Οκτωβρίου 2006



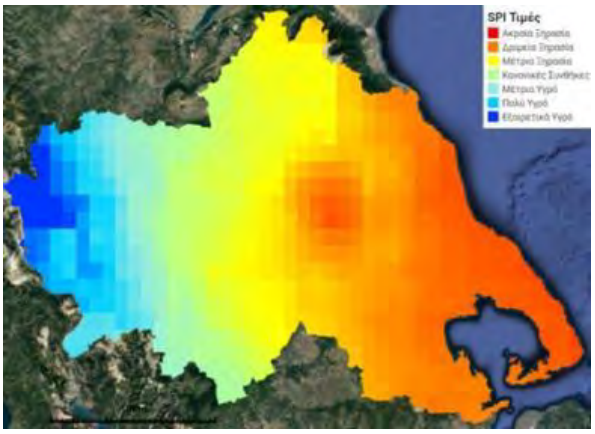
Χάρτης 18 SPI 12-month Οκτωβρίου 2007



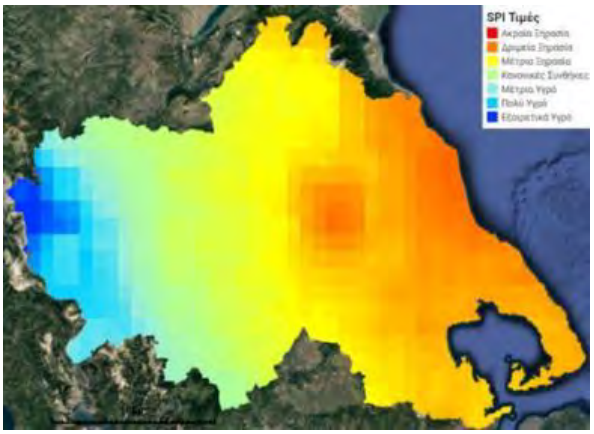
Χάρτης 19 SPI 12-month Οκτωβρίου 2008



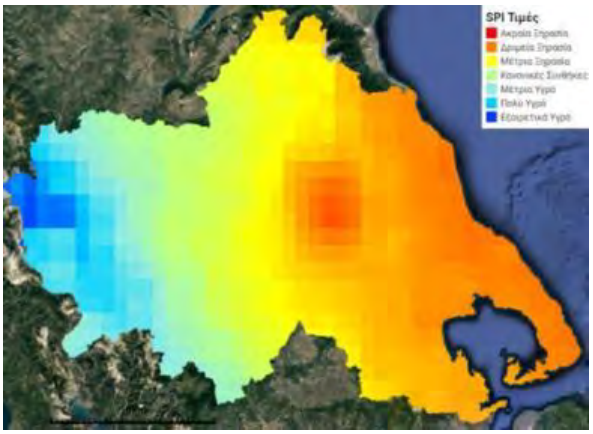
Χάρτης 20 SPI 12-month Οκτωβρίου 2009



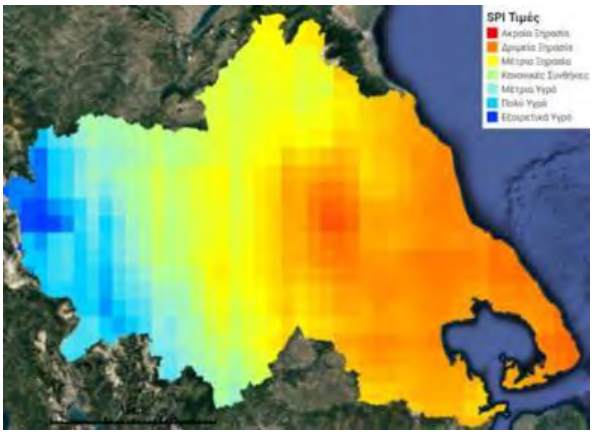
Χάρτης 21 SPI 12-month Οκτωβρίου 2010



Χάρτης 22 SPI 12-month Οκτωβρίου 2011



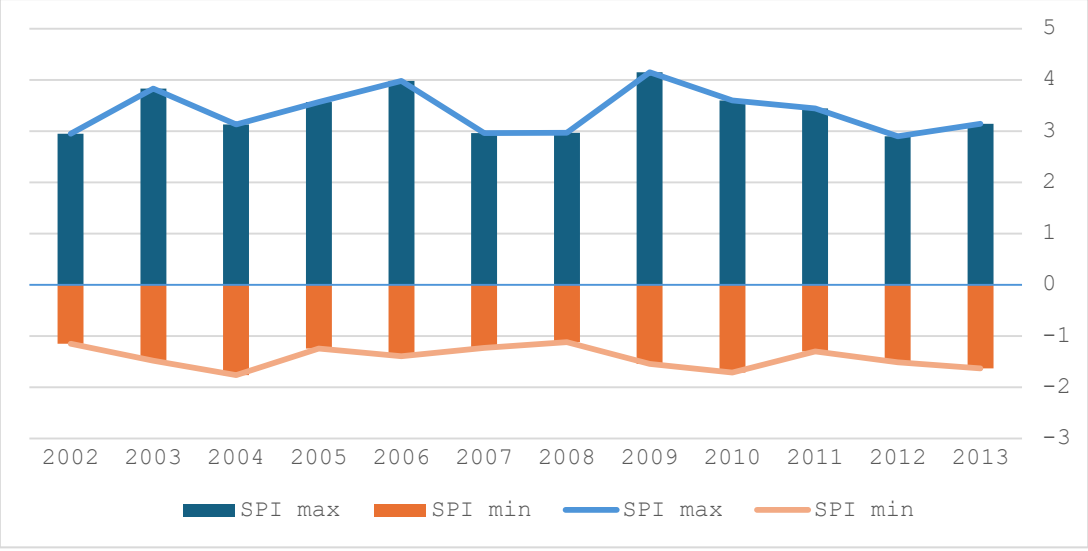
Χάρτης 23 SPI 12-month Οκτωβρίου 2012



Χάρτης 24 SPI 12-month Οκτωβρίου 2013

SPI 12-month	SPI max	SPI min
Οκτωβρίου 2002	2,95	-1,15
Οκτωβρίου 2003	3,83	-1,48
Οκτωβρίου 2004	3,13	**-1,76**
Οκτωβρίου 2005	3,57	-1,24
Οκτωβρίου 2006	3,98	-1,39
Οκτωβρίου 2007	2,96	-1,23
Οκτωβρίου 2008	2,97	-1,12
Οκτωβρίου 2009	**4,15**	-1,54
Οκτωβρίου 2010	3,60	-1,71
Οκτωβρίου 2011	3,44	-1,30
Οκτωβρίου 2012	2,90	-1,51
Οκτωβρίου 2013	3,14	-1,63

Πίνακας 7 SPI 12-month Οκτωβρίου 2002-2013



Εικόνα 12 Η μεταβολή SPI max και min στην περίοδο 2002-2013.

(Πηγή: ιδία επεξεργασία)

Κατά την εξέταση της χρονικής περιόδου 2002-2013, παρατηρείται μια πιο ομαλή διακύμανση στα επίπεδα ξηρασίας συγκριτικά με την προηγούμενη χρονική περίοδο. Αυτή η περίοδος χαρακτηρίζεται από αυξημένα ποσοστά βροχόπτωσης, υποδεικνύοντας μια βελτίωση των υδρολογικών συνθηκών.

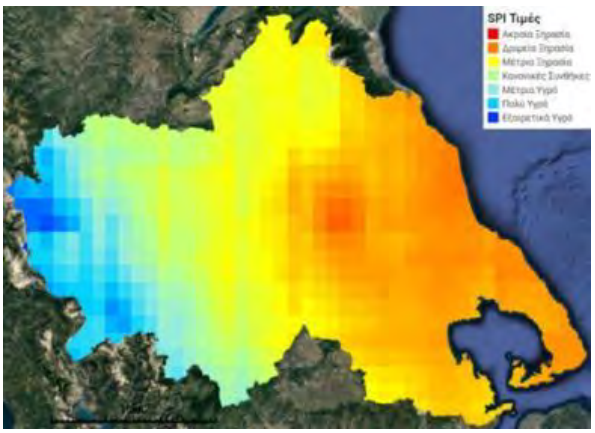
Συγκεκριμένα, τα δεδομένα αποκαλύπτουν ότι οι τιμές βροχόπτωσης κατά τη διάρκεια αυτής της δωδεκαετίας ήταν σημαντικά υψηλότερες σε σύγκριση με την προηγούμενη δεκαετία. Αυτό το πρότυπο υποδηλώνει μια πιο ισορροπημένη κατανομή των βροχοπτώσεων, με λιγότερο ακραίες διακυμάνσεις μεταξύ υγρών και ξηρών περιόδων.

Η "φυσιολογική" μεταβολή που αναφέρεται υποδεικνύει ότι οι κύκλοι ξηρασίας και βροχόπτωσης ακολούθησαν ένα πιο προβλέψιμο και λιγότερο ακραίο μοτίβο κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου. Αυτή η τάση θα μπορούσε να αποδοθεί σε διάφορους παράγοντες, όπως φυσικές κλιματικές διακυμάνσεις ή πιθανές αλλαγές στα περιφερειακά καιρικά πρότυπα.

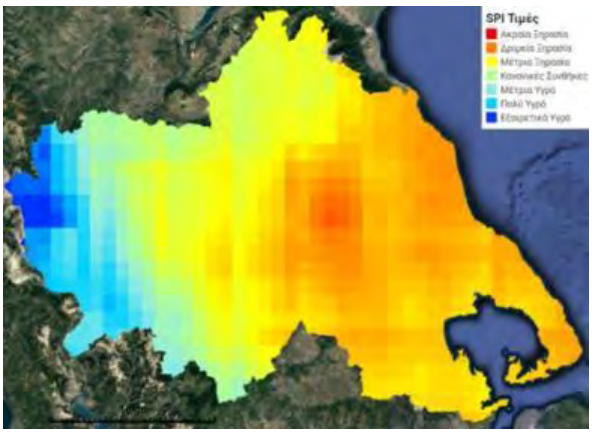
Η παρατήρηση αυτών των βελτιωμένων υδρολογικών συνθηκών υπογραμμίζει τη σημασία της μακροπρόθεσμης παρακολούθησης και ανάλυσης των κλιματικών δεδομένων για την κατανόηση των τάσεων και την πρόβλεψη μελλοντικών συνθηκών.

Παρόλα αυτά, η χρονική περίοδος 2002-2013 αναδείχθηκε ως ιδιαίτερα κρίσιμη για την περιοχή της Λάρισας, καθώς οι χαμηλότερες τιμές του δείκτη εστιάζονται κυρίως σε αυτή την περιοχή. Η ανάλυση των δεδομένων όπως φαίνεται και στους αντίστοιχους χάρτες, αποκαλύπτει ότι η συγκεκριμένη γεωγραφική ζώνη υπέστη την πιο έντονη ξηρασία κατά τη διάρκεια αυτής της δωδεκαετίας.

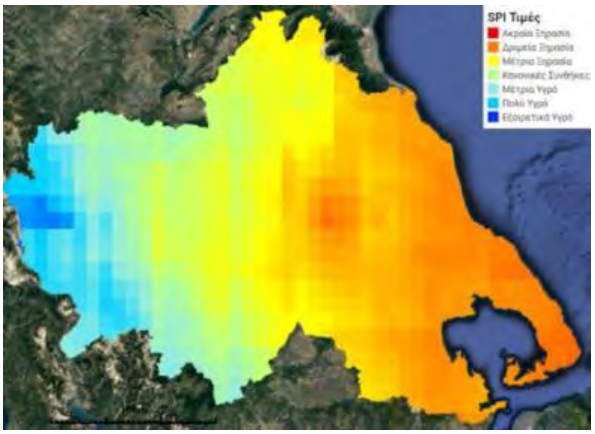
Αξιοσημείωτο είναι ότι η πλέον ακραία χαμηλή τιμή του δείκτη SPI για την προαναφερθείσα περίοδο καταγράφηκε το έτος 2004. Το γεγονός αυτό υποδηλώνει ότι το 2004 αποτέλεσε το αποκορύφωμα της έλλειψης βροχόπτωσης, παρουσιάζοντας τις δυσμενέστερες συνθήκες όσον αφορά την έλλειψη βροχοπτώσεων και τις επακόλουθες επιπτώσεις στην υδρολογική κατάσταση της περιοχής.



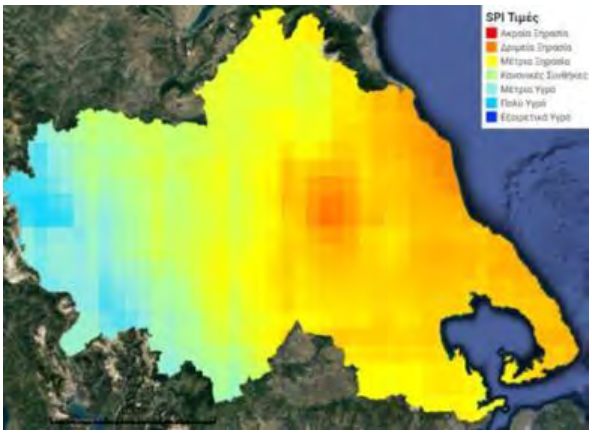
Χάρτης 25 SPI 12-month Οκτωβρίου 2014



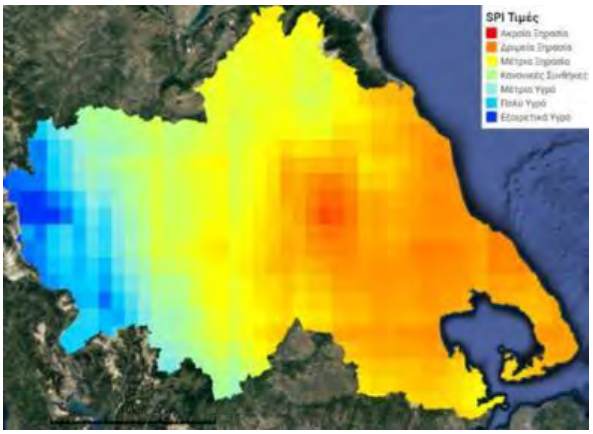
Χάρτης 26 SPI 12-month Οκτωβρίου 2015



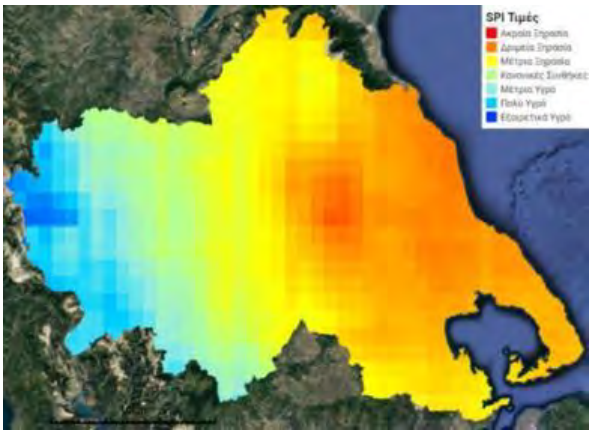
Χάρτης 27 SPI 12-month Οκτωβρίου 2016



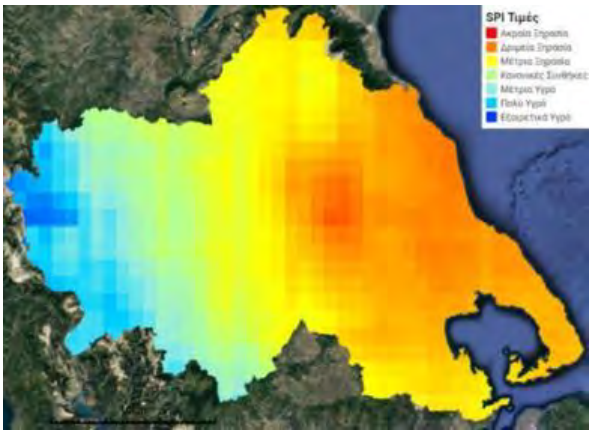
Χάρτης 28 SPI 12-month Οκτωβρίου 2017



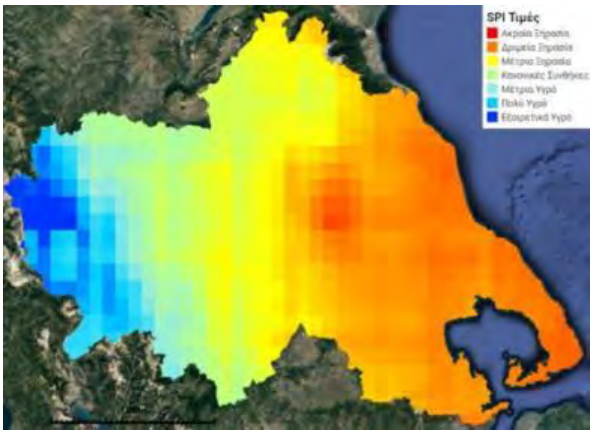
Χάρτης 29 SPI 12-month Οκτωβρίου 2018



Χάρτης 30 SPI 12-month Οκτωβρίου 2019

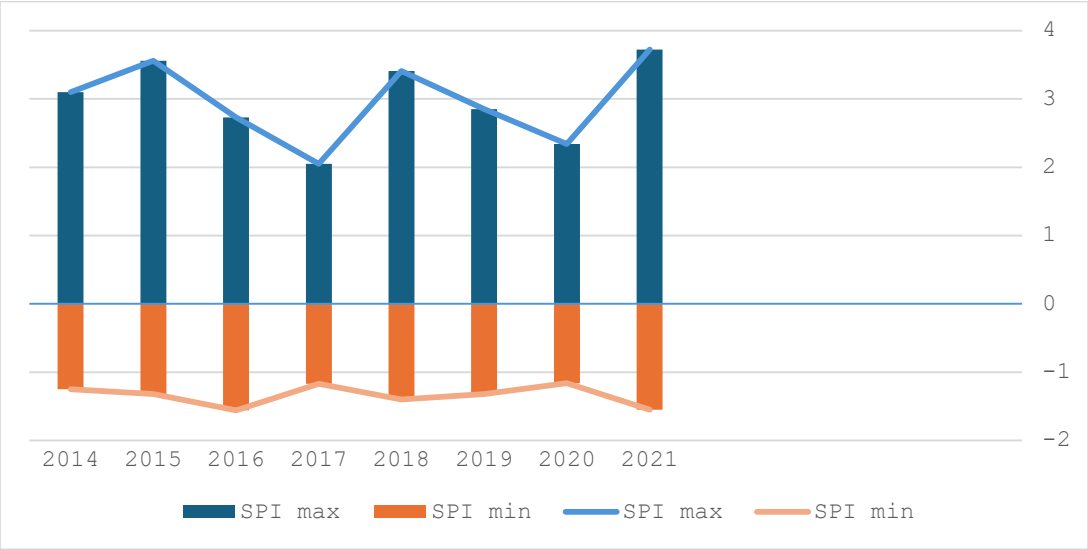


Χάρτης 31 SPI 12-month Οκτωβρίου 2020



Χάρτης 32 SPI 12-month Οκτωβρίου 2021

SPI 12-month	SPI max	SPI min
Οκτωβρίου 2014	3,10	-1,25
Οκτωβρίου 2015	3,56	-1,32
Οκτωβρίου 2016	2,73	**-1,56**
Οκτωβρίου 2017	2,05	-1,17
Οκτωβρίου 2018	3,41	-1,40
Οκτωβρίου 2019	2,85	-1,32
Οκτωβρίου 2020	2,34	-1,16
Οκτωβρίου 2021	**3,72**	-1,55



Εικόνα 13 Η μεταβολή SPI max και min στην περίοδο 2014-2021.

(Πηγή: ιδία επεξεργασία)

Κατά την περίοδο 2016-2021, παρατηρείται μια αξιοσημείωτη μείωση των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων, παρόμοια με αυτή που σημειώθηκε στις αρχές της δεκαετίας του 1990. Το φαινόμενο αυτό έχει εκτεταμένες συνέπειες σε ολόκληρη την υπό μελέτη περιοχή. Η συγκεκριμένη χρονική περίοδος χαρακτηρίζεται από μια παρατεταμένη υποχώρηση των βροχοπτώσεων, δημιουργώντας ένα περιβάλλον που επιδρά αρνητικά στο σύνολο της εξεταζόμενης περιφέρειας.

Η επεξεργασία των στοιχείων καταδεικνύει ότι η ελάττωση των βροχοπτώσεων δεν περιορίζεται σε μεμονωμένες περιοχές, αλλά καλύπτει το σύνολο της γεωγραφικής ζώνης που αποτελεί αντικείμενο της έρευνας. Αυτό το γεγονός τονίζει τη βαρύτητα και την ευρεία κλίμακα των επιδράσεων αυτής της ξηρής φάσης.

Η εκτεταμένη φύση αυτής της περιόδου μειωμένων κατακρημνισμάτων υπογραμμίζει την ανάγκη για ολοκληρωμένη αντιμετώπιση των επιπτώσεων και προσεκτικό σχεδιασμό διαχείρισης των υδάτινων πόρων σε περιφερειακό επίπεδο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

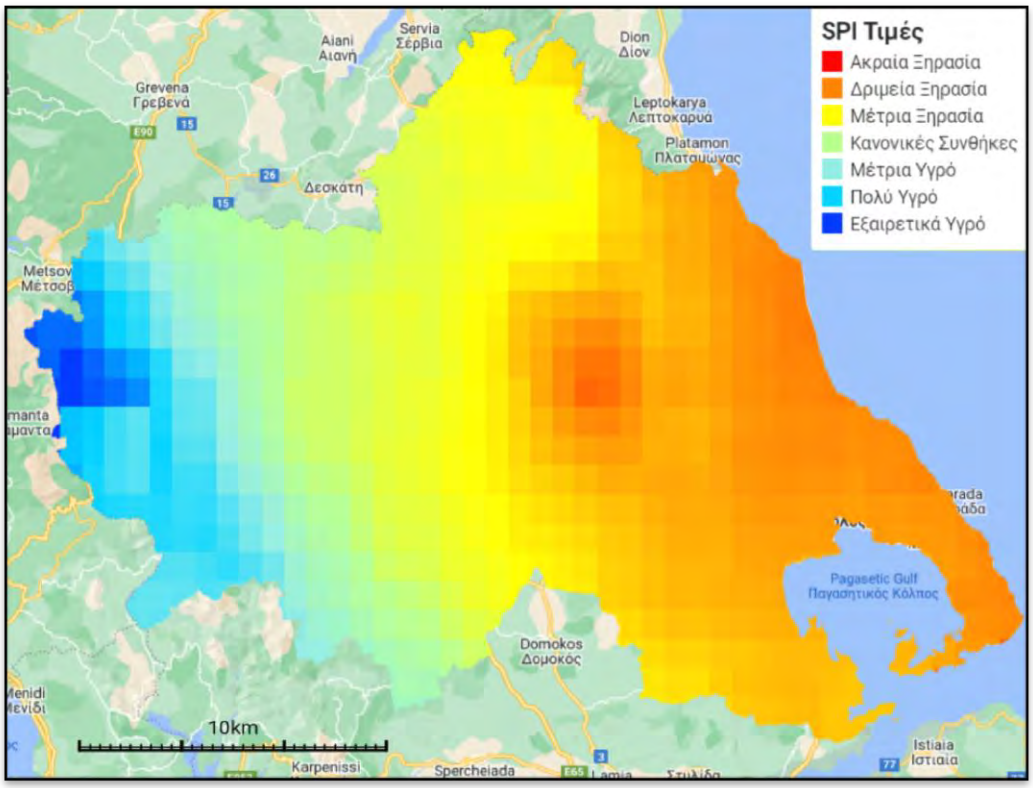
Η παρούσα πτυχιακή μελέτη εστιάζει στο φαινόμενο της ξηρασίας στην περιφέρεια της Θεσσαλίας, μια περιοχή που χαρακτηρίζεται ως ένα από τα πλέον ελλειμματικά υδατικά διαμερίσματα στον ελλαδικό χώρο. Αξιοποιώντας σύγχρονες τεχνικές τηλεπισκόπησης, η έρευνα παρήγαγε αποτελέσματα που προσφέρουν στοιχεία αναφορικά με τη γεωγραφική διασπορά του φαινομένου της ξηρασίας εντός της μελετώμενης ζώνης.

Η εφαρμογή των τηλεπισκοπικών μεθοδολογιών επέτρεψε τη συλλογή και ανάλυση δεδομένων που αποκαλύπτουν τη χωρική κατανομή της ξηρασίας στη Θεσσαλία. Τα ευρήματα αυτά παρέχουν μια λεπτομερή απεικόνιση των περιοχών που πλήττονται περισσότερο από την έλλειψη υδάτινων πόρων, επιτρέποντας την καλύτερη κατανόηση της δυναμικής του φαινομένου στο συγκεκριμένο γεωγραφικό πλαίσιο.

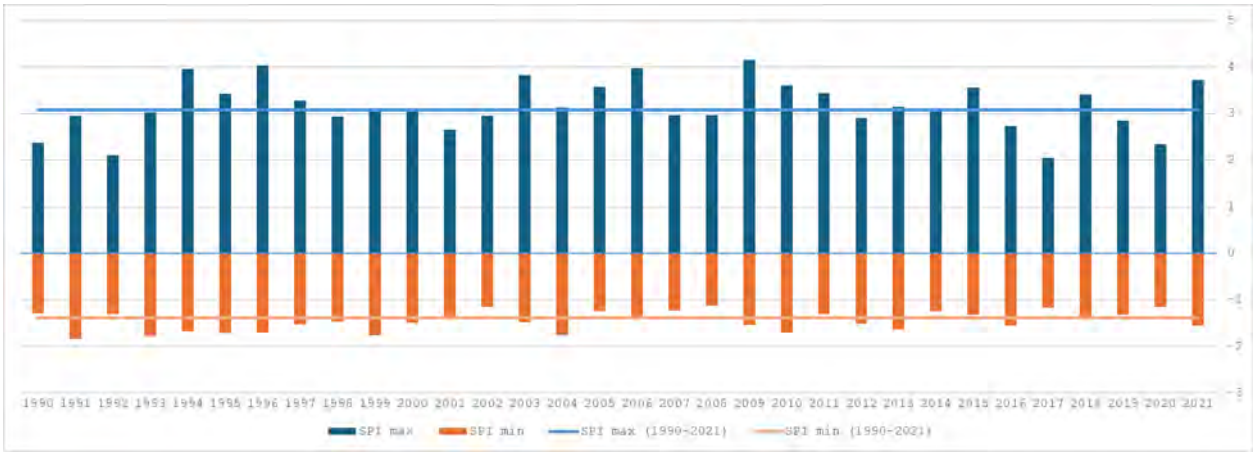
Ο Δείκτης Ξηρασίας SPI (Standardized Precipitation Index) αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο στην κλιματολογική ανάλυση, το οποίο χρησιμοποιείται για την ποσοτικοποίηση και αξιολόγηση των φαινομένων ξηρασίας. Συγκεκριμένα:

1. Μεθοδολογία υπολογισμού: Ο δείκτης SPI υπολογίζει την απόκλιση της βροχόπτωσης από τον μακροπρόθεσμο κλιματικό μέσο όρο μιας περιοχής. Αυτή η προσέγγιση επιτρέπει την τυποποίηση των μετρήσεων, καθιστώντας δυνατή τη σύγκριση μεταξύ διαφορετικών περιοχών και χρονικών περιόδων.
2. Εντοπισμός περιοχών ξηρασίας: Μέσω της ανάλυσης των τιμών του SPI, είναι εφικτός ο προσδιορισμός των γεωγραφικών περιοχών που υφίστανται συνθήκες ξηρασίας. Αυτό επιτρέπει τη χαρτογράφηση των επηρεαζόμενων περιοχών και την παρακολούθηση της εξέλιξης του φαινομένου στο χώρο και το χρόνο.
3. Ευελιξία εφαρμογής: Ο δείκτης SPI μπορεί να υπολογιστεί για διάφορες χρονικές κλίμακες (π.χ. 1, 3, 6, 12 μήνες), επιτρέποντας την αξιολόγηση τόσο βραχυπρόθεσμων όσο και μακροπρόθεσμων επεισοδίων ξηρασίας.
4. Συγκριτικό πλεονέκτημα: Η τυποποιημένη φύση του SPI επιτρέπει τη σύγκριση των συνθηκών ξηρασίας μεταξύ περιοχών με διαφορετικά κλιματικά χαρακτηριστικά, προσφέροντας μια ενιαία βάση αξιολόγησης.
5. Εφαρμογές στη διαχείριση υδατικών πόρων: Ο δείκτης SPI αποτελεί πολύτιμο εργαλείο για τους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής και τους διαχειριστές υδατικών πόρων, καθώς παρέχει έγκαιρη πληροφόρηση για την έναρξη, την ένταση και τη διάρκεια των επεισοδίων ξηρασίας.

Στη συγκεκριμένη εργασία, αξιοποιήθηκε ο SPI, ο οποίος υπολογίστηκε μέσω εφαρμογής προηγμένων στατιστικών μεθόδων ανάλυσης των βροχοπτώσεων. Παρακάτω παρουσιάζεται ο χάρτης των υδρολογικών ετών αναφοράς 1990-2021.



Χάρτης 33 Χάρτης υδρολογικών ετών αναφοράς 1990-2021



Εικόνα 14 Διάγραμμα διακύμανσης SPI max και min ετών 1990-2021 μαζί με τον μέσο όρο

Η ανάλυση των δεδομένων του παραπάνω διαγράμματος αποκαλύπτει μια πιο λεπτομερή εικόνα της κατάστασης. Από τα έτη που μελετήθηκαν, παρατηρείται μια σαφής τάση προς ξηρότερες συνθήκες:

1. 17 έτη (56,7% του συνόλου) εμφάνισαν τιμές δείκτη SPI χαμηλότερες από τον κλιματικό μέσο όρο, υποδεικνύοντας έντονες συνθήκες ξηρασίας.
2. 13 έτη (43,3% του συνόλου) κατέγραψαν τιμές δείκτη SPI υψηλότερες από τον μέσο όρο, χαρακτηριζόμενα ως πιο υγρά.

Το πιο ενδιαφέρον εύρημα, ωστόσο, δεν είναι απλώς η αριθμητική υπεροχή των ξηρών ετών, αλλά η ένταση και η έκταση της απόκλισης των λιγότερο υγρών ετών από τον μέσο όρο. Αυτή η μεγάλη απόκλιση υποδηλώνει:

1. Αυξημένη σοβαρότητα των επεισοδίων ξηρασίας.
2. Πιθανή επιδείνωση του φαινομένου της λειψυδρίας με την πάροδο του χρόνου.
3. Αυξημένη πίεση στους υδάτινους πόρους της περιοχής, ακόμη και σε έτη που δεν χαρακτηρίζονται ως εξαιρετικά ξηρά.

Αυτή η κατάσταση υπογραμμίζει την επιτακτική ανάγκη για στρατηγικές διαχείρισης υδάτινων πόρων και μέτρα αντιμετώπισης της λειψυδρίας στην περιοχή, καθώς η τάση φαίνεται να είναι προς επιδείνωση των συνθηκών ξηρασίας.

Η εξέταση των τιμών του δείκτη SPI επέτρεψε τη λεπτομερή μελέτη των χαρακτηριστικών της ξηρασίας, για τα υδρολογικά έτη, από το 1990 έως το 2021. Τα εξαγόμενα δεδομένα προσφέρουν τη δυνατότητα για αποτελεσματική παρακολούθηση της εξέλιξης του φαινομένου της ξηρασίας και ουσιαστική συμβολή στη διαμόρφωση στρατηγικών διαχείρισης της ξηρασίας.

Η αξιοποίηση αυτών των ευρημάτων μπορεί να αποτελέσει τη βάση για την ανάπτυξη ολοκληρωμένων σχεδίων αντιμετώπισης και διαχείρισης της ξηρασίας, ενισχύοντας την ικανότητα πρόβλεψης και αντίδρασης σε μελλοντικά επεισόδια ξηρασίας στην περιοχή της Θεσσαλίας.

Η παρούσα εργασία κατέληξε στα εξής συμπεράσματα:

1. Διαπιστώθηκε η δυσκολία που αντιμετωπίζει η Θεσσαλία στη διαχείριση των υδάτινων αποθεμάτων της, βάσει της μελέτης του δείκτη ξηρασίας SPI και των βιβλιογραφικών αναφορών σχετικά με τη θεσσαλική περιοχή.
2. Η ανάλυση του φαινομένου της ξηρασίας διεξήχθη μέσω του υπολογισμού του δείκτη ξηρασίας SPI, επιτρέποντας την καταγραφή των υδρολογικών ετών που χαρακτηρίστηκαν από ξηρασία. Κατά τη διάρκεια της περιόδου μελέτης, εντοπίστηκαν διάφορα επεισόδια ξηρασίας, με τα πιο αξιοσημείωτα ως προς τη διάρκεια, ένταση, συχνότητα και γεωγραφική εξάπλωση να παρατηρούνται στα υδρολογικά έτη 1989-1990, 1990-1991, 2003-2004 και 2015-2016.
3. Η ανάλυση της δριμύτητας της ξηρασίας αποκάλυψε σημαντικά ευρήματα σχετικά με την ένταση του φαινομένου κατά τη διάρκεια της εξεταζόμενης περιόδου. Συγκεκριμένα: Από την εξέταση του συνόλου των υδρολογικών ετών, αναδείχθηκε ότι το υδρολογικό έτος 1992-1993 ξεχώρισε για την εξαιρετική δριμύτητα της ξηρασίας που το χαρακτήρισε. Κατά τη διάρκεια αυτού του έτους, καταγράφηκε η

πλέον ακραία τιμή του δείκτη Standardized Precipitation Index (SPI), η οποία έφτασε στο -1.83.

4. Οι ενδείξεις του δείκτη που υποδηλώνουν ξηρασία εξαιρετικής έντασης εντοπίζονται κυρίως στην περίοδο πριν το 2000, εποχή κατά την οποία παρατηρήθηκαν τα πιο σημαντικά περιστατικά ξηρασίας.

5.2 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Για τη βελτίωση, τη συνέχιση και την τροποποίηση των μεθόδων που εφαρμόζονται στη μελέτη της ξηρασίας, προτείνονται οι ακόλουθες ενέργειες:

1. Συνδυαστική χρήση δεικτών ξηρασίας:

Για την αξιολόγηση της ξηρασίας υπάρχει ένα ευρύ φάσμα δεικτών, καθένας με τη δική του αξία, που συχνά αλληλοσυμπληρώνονται. Δεδομένου ότι δεν υπάρχει ένας καθολικά εφαρμόσιμος δείκτης για όλες τις περιοχές, ορισμένοι παρουσιάζουν καλύτερη απόδοση σε συγκεκριμένες περιπτώσεις. Συνεπώς, προτείνεται η χρήση ενός συνδυασμού δεικτών για την πληρέστερη μελέτη του φαινομένου της ξηρασίας. Η ολοκληρωμένη προσέγγιση μέσω σύνθετων δεικτών (composite) θα επιτρέψει την ανάλυση των αναγκών σε υδατικούς πόρους ανά τομέα χρήσης (Γεωργικό, Αστικό, Βιομηχανικό) και τη διαμόρφωση σχεδίων διαχείρισης υδατικών πόρων προσαρμοσμένων στις εκάστοτε ανάγκες.

2. Εφαρμογή προηγμένων μεθόδων πρόγνωσης ξηρασίας:

Κρίνεται σκόπιμη η εφαρμογή διαφόρων μεθόδων πρόβλεψης της ξηρασίας, συμπεριλαμβανομένων στοχαστικών τεχνικών, κυλιόμενης πρόγνωσης και της μεθοδολογίας νευρωνικών δικτύων (neural network), με στόχο τόσο βραχυπρόθεσμες όσο και μεσοπρόθεσμες προβλέψεις. Συγκεκριμένα, προτείνεται η διεξαγωγή προγνώσεων σε μηνιαία ή και εποχική κλίμακα, με χρονικό ορίζοντα έως ενός έτους, σε συνδυασμό με την αξιοποίηση των δορυφορικών δεδομένων CHIRPS.

3. Διερεύνηση πολλαπλών χρονικών κλιμάκων του δείκτη SPI:

Προτείνεται η ανάλυση διαφόρων εκδοχών του SPI (SPI-1, SPI-3, SPI-6, SPI-9, SPI-12) για την καλύτερη κατανόηση των σχέσεων μεταξύ διαφορετικών τύπων ξηρασίας.

4. Επανεξέταση σχέσεων έντασης-διάρκειας-συχνότητας:

Με τη χρήση των χωρικών δεδομένων CHIRPS, προτείνεται η επαναξιολόγηση αυτών των σχέσεων για τη Θεσσαλία και άλλες κλιματικές ζώνες.

5. Συγκριτική αξιολόγηση του δείκτη SPI:

Προτείνεται η σύγκριση του SPI με άλλους δείκτες, με ιδιαίτερη έμφαση στον δείκτη Palmer (PDSI), για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητάς του.

6. Μελέτη επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής:

Προτείνεται η διερεύνηση της μακροχρόνιας επίδρασης της κλιματικής αλλαγής στην ξηρασία, χρησιμοποιώντας τον δείκτη SPI ως εργαλείο ανάλυσης.

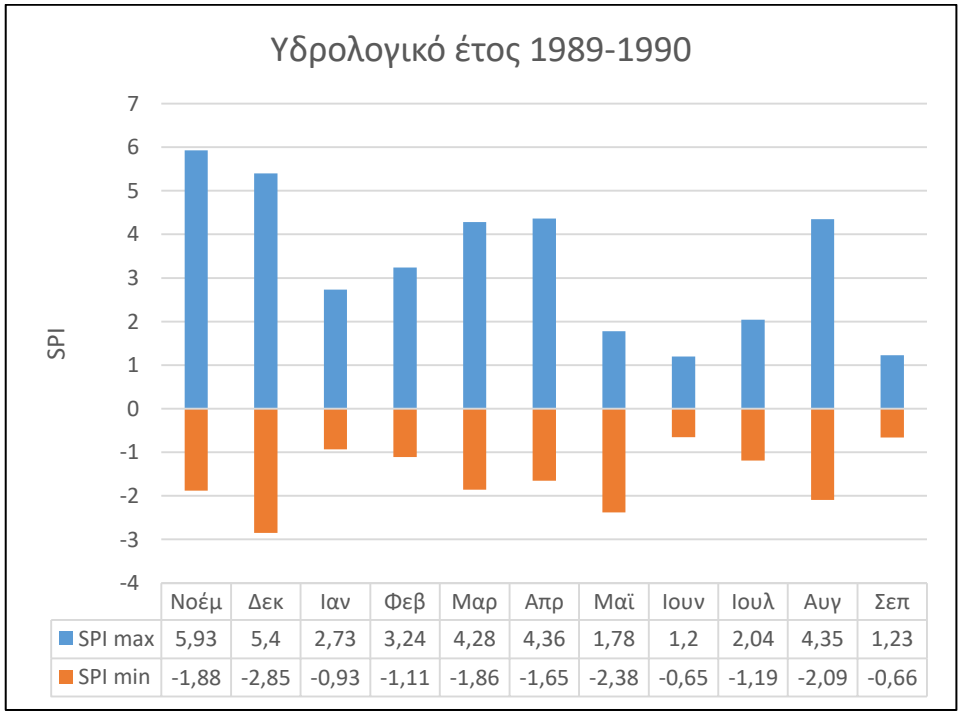
Αυτές οι προτάσεις στοχεύουν στην ενίσχυση της κατανόησης και της πρόβλεψης των φαινομένων ξηρασίας, οδηγώντας σε πιο αποτελεσματικές στρατηγικές διαχείρισης των υδατικών πόρων.

.

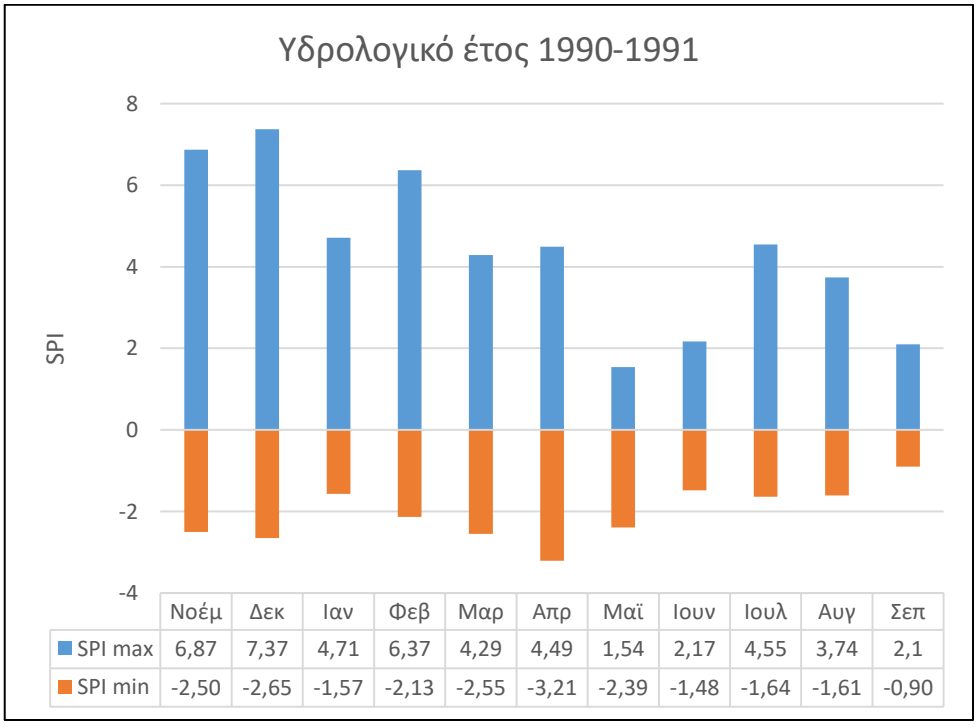
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Πίνακες δεδομένων και γραφήματα του SPI 1-month υδρολογικών ετών 1990 -2021

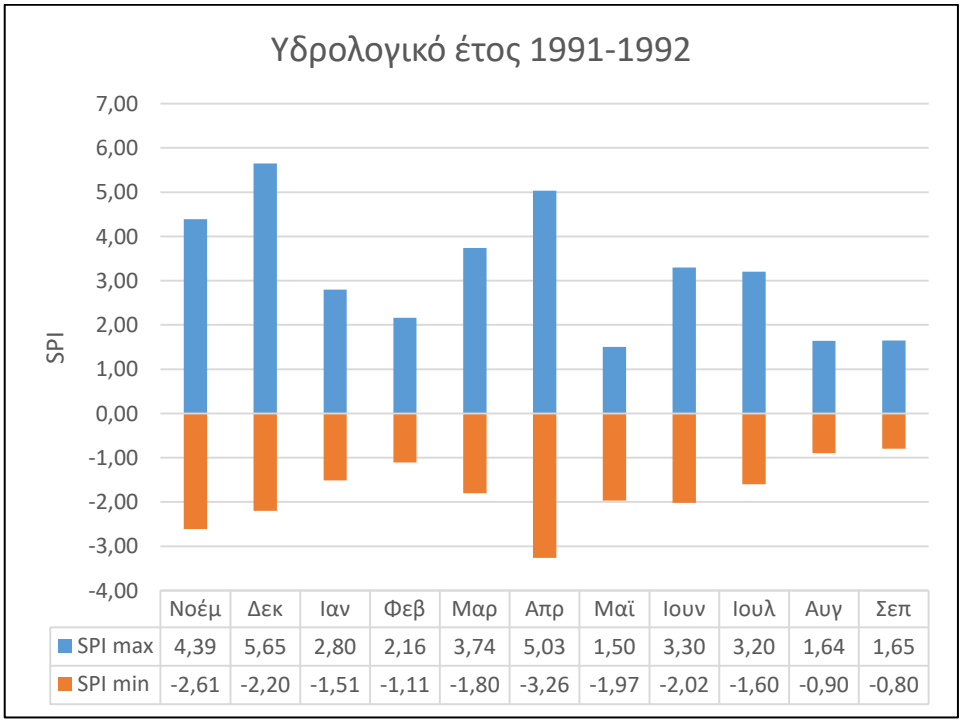
Υδρολογικό έτος 1989-1990	SPI max	SPI min
Οκτ	3,31	-1,61
Νοέμ	5,93	-1,88
Δεκ	5,4	-2,85
Ιαν	2,73	-0,93
Φεβ	3,24	-1,11
Μαρ	4,28	-1,86
Απρ	4,36	-1,65
Μαϊ	1,78	-2,38
Ιουν	1,2	-0,65
Ιουλ	2,04	-1,19
Αυγ	4,35	-2,09
Σεπ	1,23	-0,66



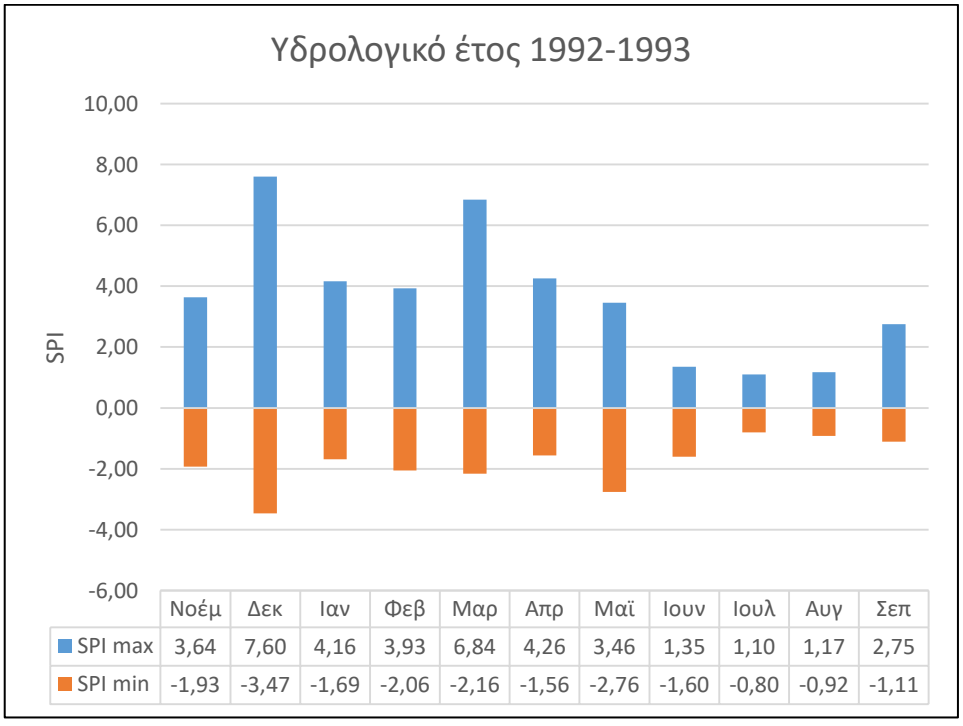
Υδρολογικό έτος 1990-1991	SPI max	SPI min
Οκτ	3,58	-2,02
Νοέμ	6,87	-2,50
Δεκ	7,37	-2,65
Ιαν	4,71	-1,57
Φεβ	6,37	-2,13
Μαρ	4,29	-2,55
Απρ	4,49	-3,21
Μαϊ	1,54	-2,39
Ιουν	2,17	-1,48
Ιουλ	4,55	-1,64
Αυγ	3,74	-1,61
Σεπ	2,1	-0,90



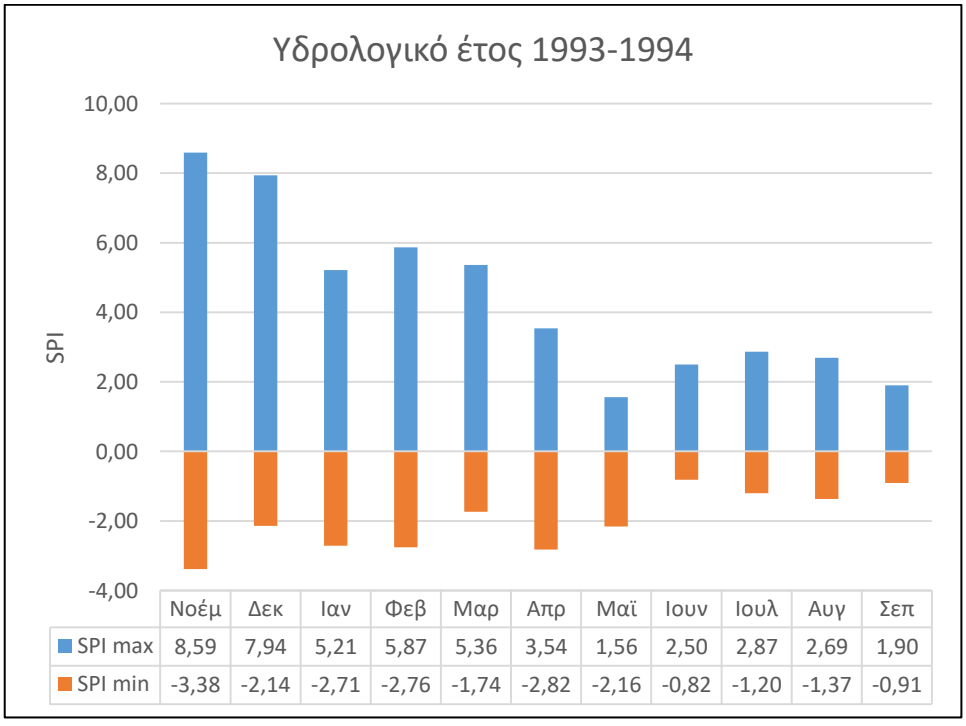
Υδρολογικό έτος 1991-1992	SPI max	SPI min
Οκτ	2,29	-1,28
Νοέμ	4,39	-2,61
Δεκ	5,65	-2,20
Ιαν	2,80	-1,51
Φεβ	2,16	-1,11
Μαρ	3,74	-1,80
Απρ	5,03	-3,26
Μαϊ	1,50	-1,97
Ιουν	3,30	-2,02
Ιουλ	3,20	-1,60
Αυγ	1,64	-0,90
Σεπ	1,65	-0,80



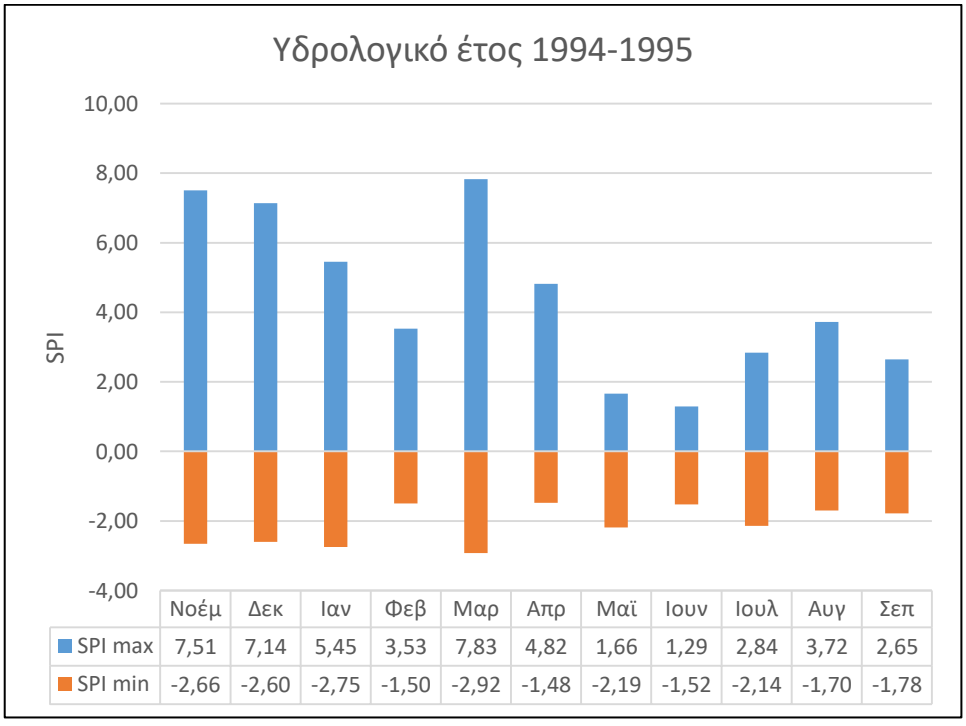
Υδρολογικό έτος 1992-1993	SPI max	SPI min
Οκτ	2,52	-2,38
Νοέμ	3,64	-1,93
Δεκ	7,60	-3,47
Ιαν	4,16	-1,69
Φεβ	3,93	-2,06
Μαρ	6,84	-2,16
Απρ	4,26	-1,56
Μαϊ	3,46	-2,76
Ιουν	1,35	-1,60
Ιουλ	1,10	-0,80
Αυγ	1,17	-0,92
Σεπ	2,75	-1,11



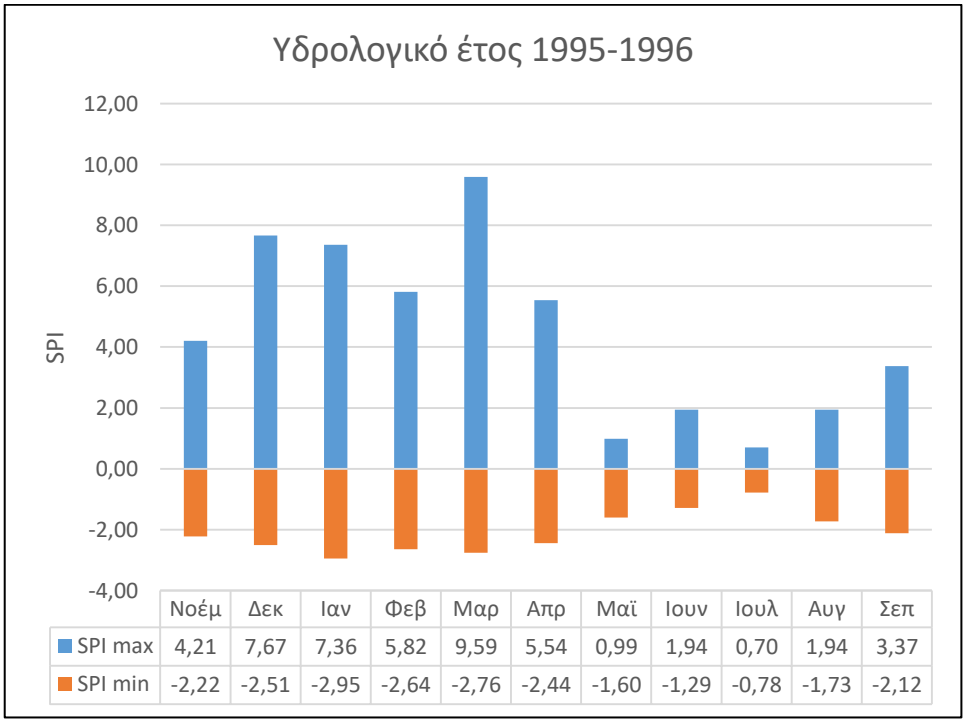
Υδρολογικό έτος 1993-1994	SPI max	SPI min
Οκτ	1,52	-1,20
Νοέμ	8,59	-3,38
Δεκ	7,94	-2,14
Ιαν	5,21	-2,71
Φεβ	5,87	-2,76
Μαρ	5,36	-1,74
Απρ	3,54	-2,82
Μαϊ	1,56	-2,16
Ιουν	2,50	-0,82
Ιουλ	2,87	-1,20
Αυγ	2,69	-1,37
Σεπ	1,90	-0,91



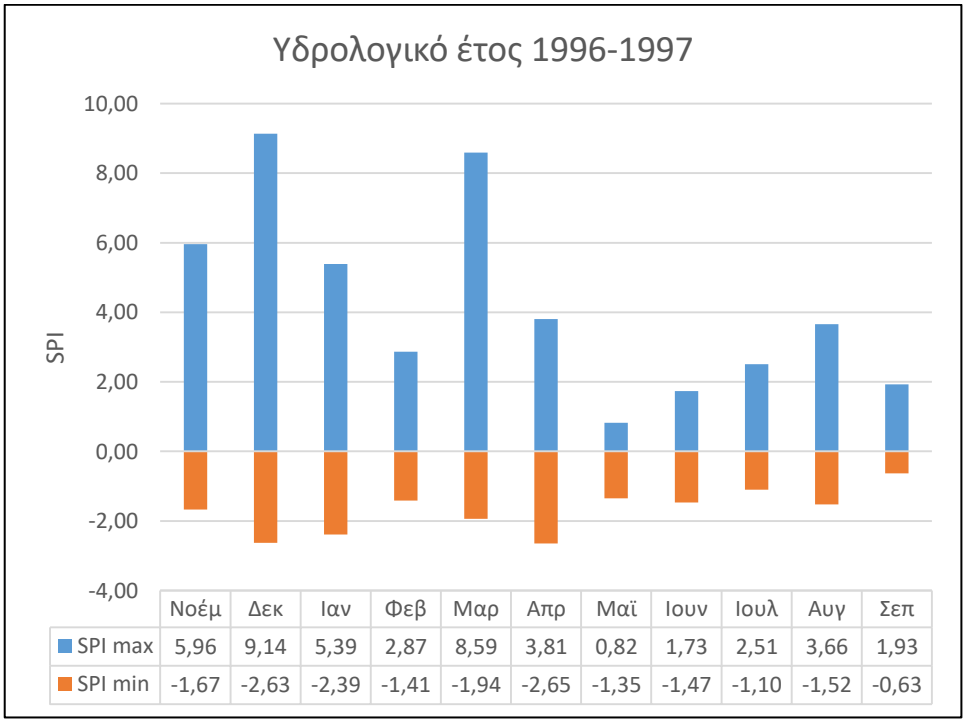
Υδρολογικό έτος 1994-1995	SPI max	SPI min
Οκτ	4,57	-1,97
Νοέμ	7,51	-2,66
Δεκ	7,14	-2,60
Ιαν	5,45	-2,75
Φεβ	3,53	-1,50
Μαρ	7,83	-2,92
Απρ	4,82	-1,48
Μαϊ	1,66	-2,19
Ιουν	1,29	-1,52
Ιουλ	2,84	-2,14
Αυγ	3,72	-1,70
Σεπ	2,65	-1,78



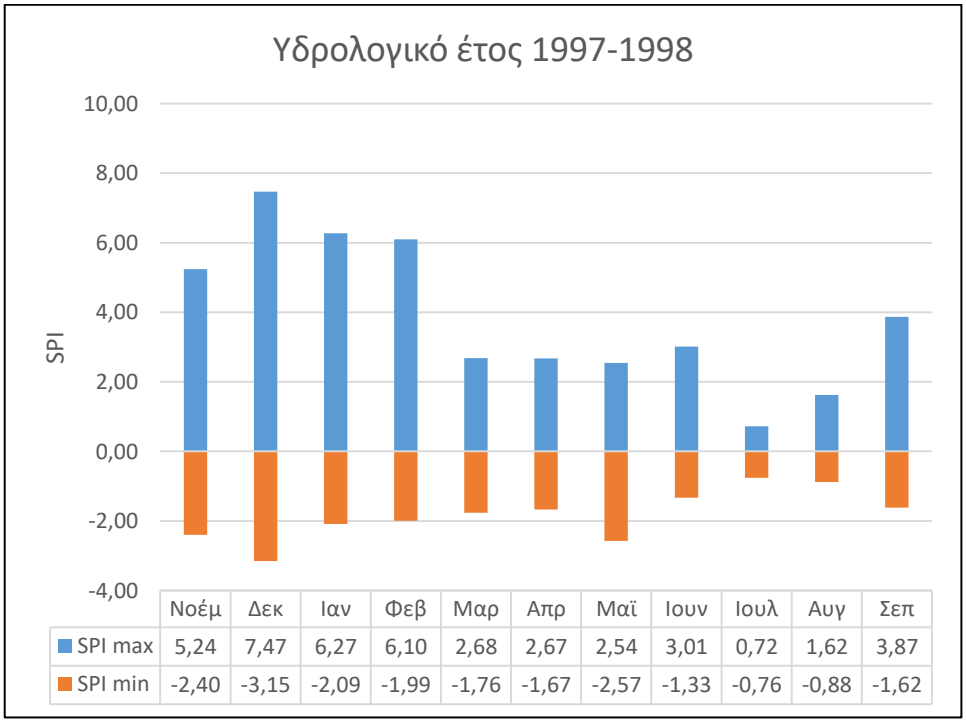
Υδρολογικό έτος 1995-1996	SPI max	SPI min
Οκτ	1,37	-0,55
Νοέμ	4,21	-2,22
Δεκ	7,67	-2,51
Ιαν	7,36	-2,95
Φεβ	5,82	-2,64
Μαρ	9,59	-2,76
Απρ	5,54	-2,44
Μαϊ	0,99	-1,60
Ιουν	1,94	-1,29
Ιουλ	0,70	-0,78
Αυγ	1,94	-1,73
Σεπ	3,37	-2,12



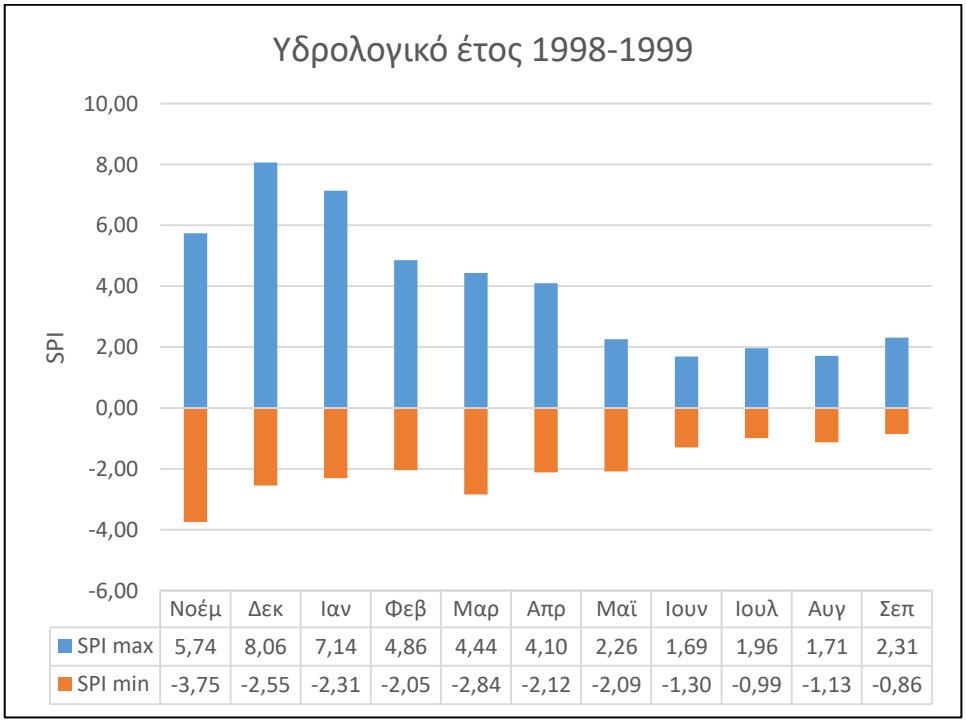
Υδρολογικό έτος 1996-1997	SPI max	SPI min
Οκτ	3,40	-2,51
Νοέμ	5,96	-1,67
Δεκ	9,14	-2,63
Ιαν	5,39	-2,39
Φεβ	2,87	-1,41
Μαρ	8,59	-1,94
Απρ	3,81	-2,65
Μαϊ	0,82	-1,35
Ιουν	1,73	-1,47
Ιουλ	2,51	-1,10
Αυγ	3,66	-1,52
Σεπ	1,93	-0,63



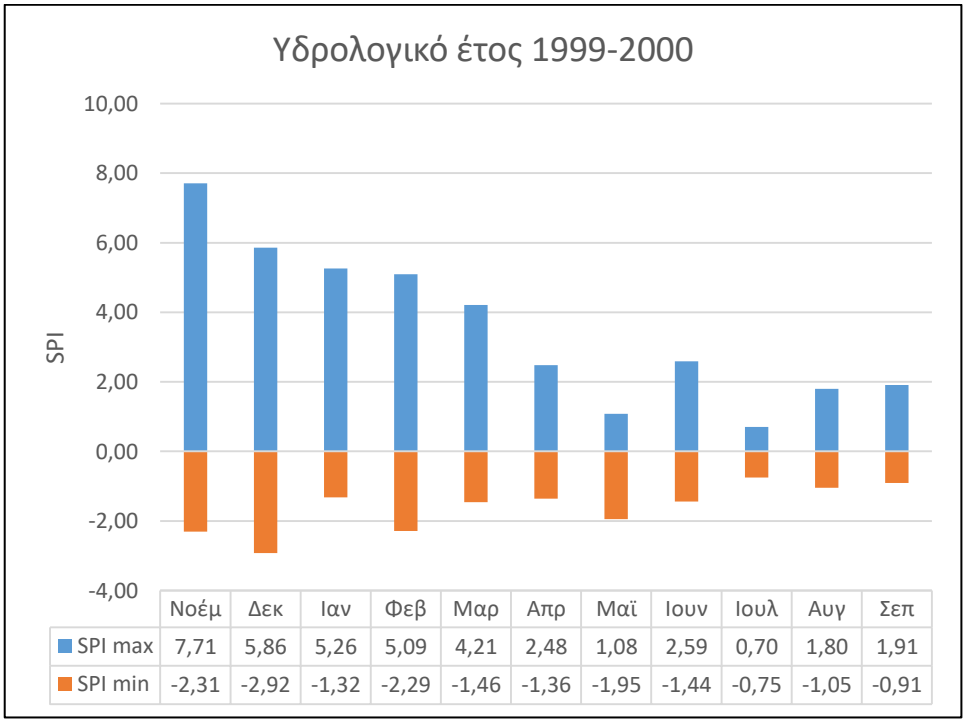
Υδρολογικό έτος 1997-1998	SPI max	SPI min
Οκτ	3,94	-1,98
Νοέμ	5,24	-2,40
Δεκ	7,47	-3,15
Ιαν	6,27	-2,09
Φεβ	6,10	-1,99
Μαρ	2,68	-1,76
Απρ	2,67	-1,67
Μαϊ	2,54	-2,57
Ιουν	3,01	-1,33
Ιουλ	0,72	-0,76
Αυγ	1,62	-0,88
Σεπ	3,87	-1,62



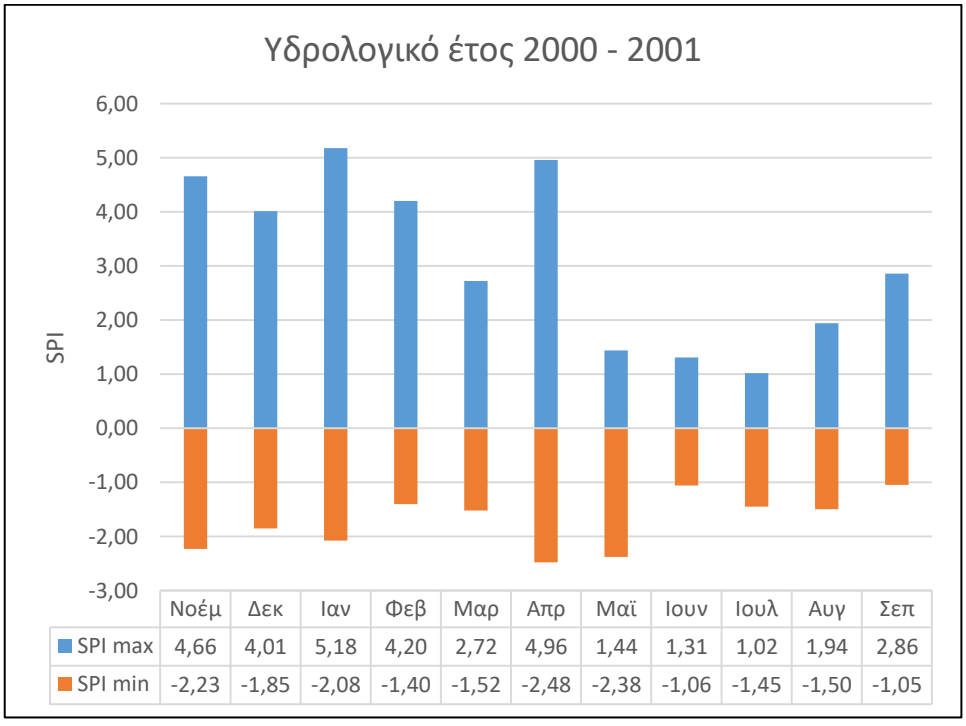
Υδρολογικό έτος 1998-1999	SPI max	SPI min
Οκτ	5,08	-1,33
Νοέμ	5,74	-3,75
Δεκ	8,06	-2,55
Ιαν	7,14	-2,31
Φεβ	4,86	-2,05
Μαρ	4,44	-2,84
Απρ	4,10	-2,12
Μαϊ	2,26	-2,09
Ιουν	1,69	-1,30
Ιουλ	1,96	-0,99
Αυγ	1,71	-1,13
Σεπ	2,31	-0,86



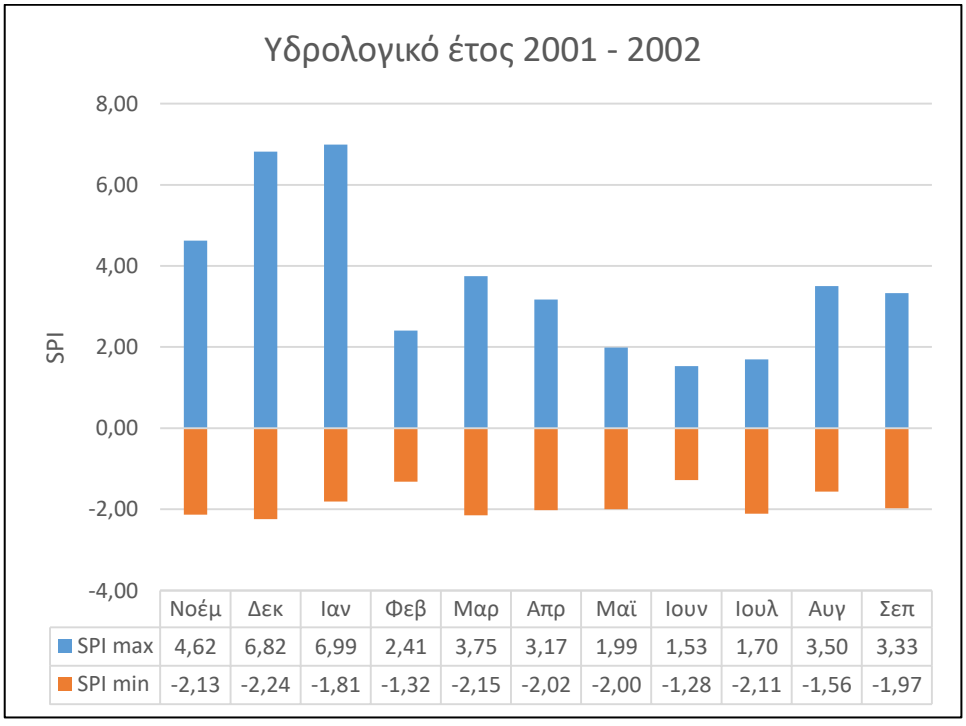
Υδρολογικό έτος 1999-2000	SPI max	SPI min
Οκτ	2,72	-1,82
Νοέμ	7,71	-2,31
Δεκ	5,86	-2,92
Ιαν	5,26	-1,32
Φεβ	5,09	-2,29
Μαρ	4,21	-1,46
Απρ	2,48	-1,36
Μαϊ	1,08	-1,95
Ιουν	2,59	-1,44
Ιουλ	0,70	-0,75
Αυγ	1,80	-1,05
Σεπ	1,91	-0,91



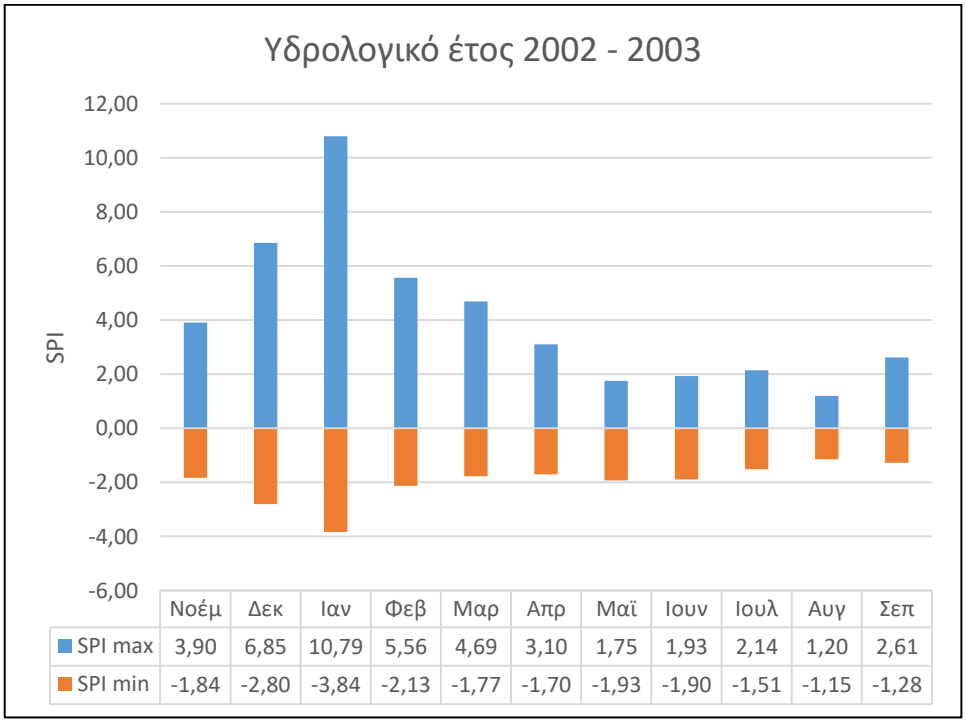
Υδρολογικό έτος 2000 - 2001	SPI max	SPI min
Οκτ	2,90	-1,23
Νοέμ	4,66	-2,23
Δεκ	4,01	-1,85
Ιαν	5,18	-2,08
Φεβ	4,20	-1,40
Μαρ	2,72	-1,52
Απρ	4,96	-2,48
Μαϊ	1,44	-2,38
Ιουν	1,31	-1,06
Ιουλ	1,02	-1,45
Αυγ	1,94	-1,50
Σεπ	2,86	-1,05



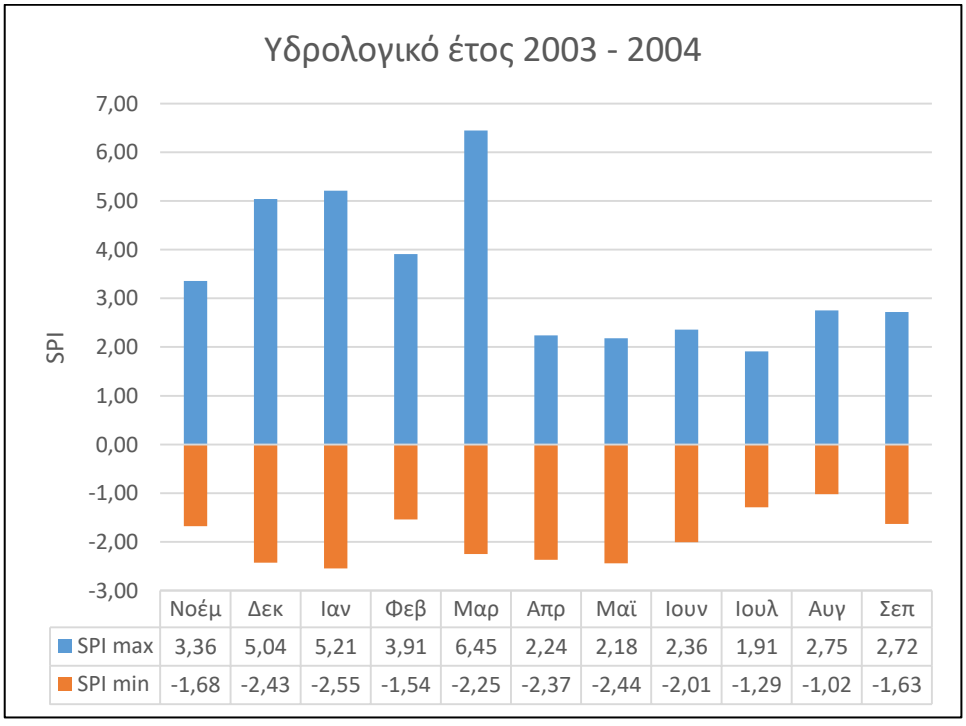
Υδρολογικό έτος 2001 - 2002	SPI max	SPI min
Οκτ	1,44	-0,87
Νοέμ	4,62	-2,13
Δεκ	6,82	-2,24
Ιαν	6,99	-1,81
Φεβ	2,41	-1,32
Μαρ	3,75	-2,15
Απρ	3,17	-2,02
Μαϊ	1,99	-2,00
Ιουν	1,53	-1,28
Ιουλ	1,70	-2,11
Αυγ	3,50	-1,56
Σεπ	3,33	-1,97



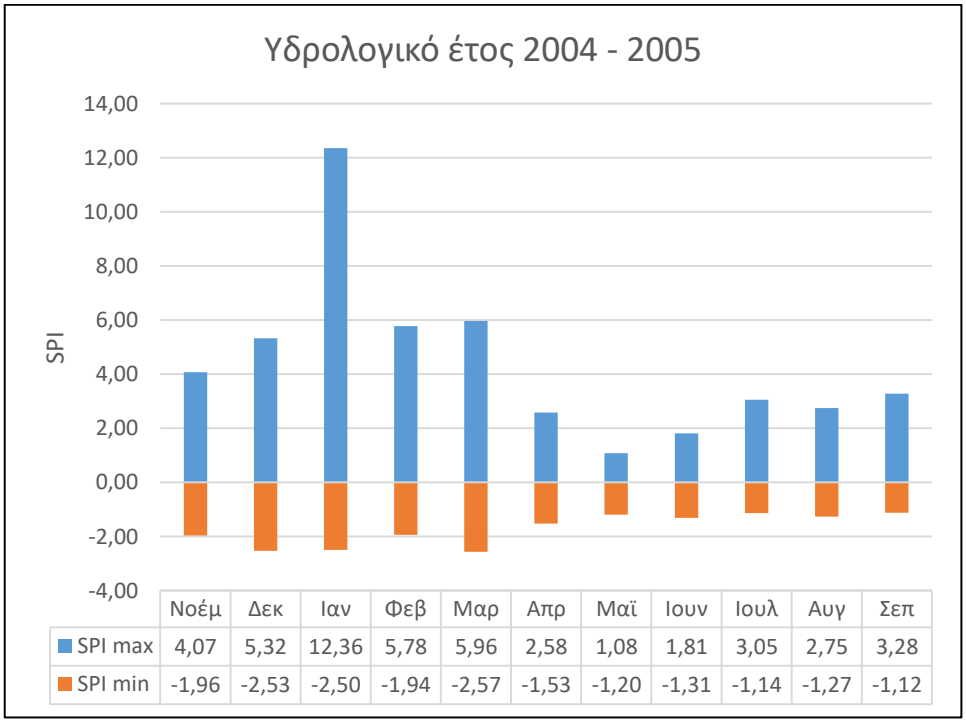
Υδρολογικό έτος 2002 - 2003	SPI max	SPI min
Οκτ	2,72	-2,04
Νοέμ	3,90	-1,84
Δεκ	6,85	-2,80
Ιαν	10,79	-3,84
Φεβ	5,56	-2,13
Μαρ	4,69	-1,77
Απρ	3,10	-1,70
Μαϊ	1,75	-1,93
Ιουν	1,93	-1,90
Ιουλ	2,14	-1,51
Αυγ	1,20	-1,15
Σεπ	2,61	-1,28



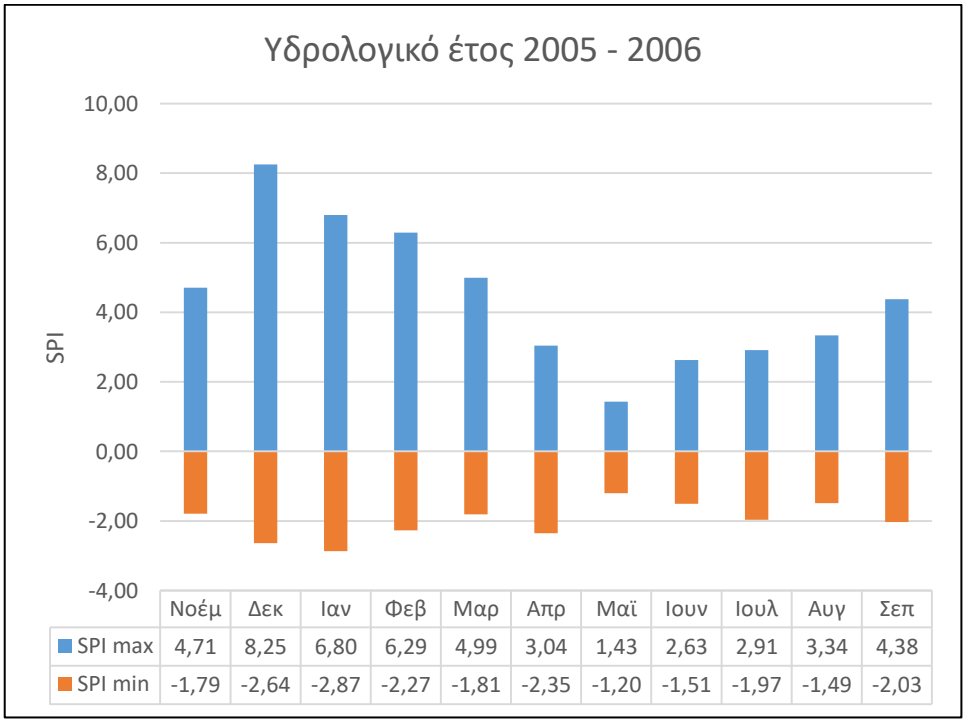
Υδρολογικό έτος 2003 - 2004	SPI max	SPI min
Οκτ	3,76	-2,49
Νοέμ	3,36	-1,68
Δεκ	5,04	-2,43
Ιαν	5,21	-2,55
Φεβ	3,91	-1,54
Μαρ	6,45	-2,25
Απρ	2,24	-2,37
Μαϊ	2,18	-2,44
Ιουν	2,36	-2,01
Ιουλ	1,91	-1,29
Αυγ	2,75	-1,02
Σεπ	2,72	-1,63



Υδρολογικό έτος 2004 - 2005	SPI max	SPI min
Οκτ	1,75	-1,51
Νοέμ	4,07	-1,96
Δεκ	5,32	-2,53
Ιαν	12,36	-2,50
Φεβ	5,78	-1,94
Μαρ	5,96	-2,57
Απρ	2,58	-1,53
Μαϊ	1,08	-1,20
Ιουν	1,81	-1,31
Ιουλ	3,05	-1,14
Αυγ	2,75	-1,27
Σεπ	3,28	-1,12



Υδρολογικό έτος 2005 - 2006	SPI max	SPI min
Οκτ	3,05	-1,29
Νοέμ	4,71	-1,79
Δεκ	8,25	-2,64
Ιαν	6,80	-2,87
Φεβ	6,29	-2,27
Μαρ	4,99	-1,81
Απρ	3,04	-2,35
Μαϊ	1,43	-1,20
Ιουν	2,63	-1,51
Ιουλ	2,91	-1,97
Αυγ	3,34	-1,49
Σεπ	4,38	-2,03



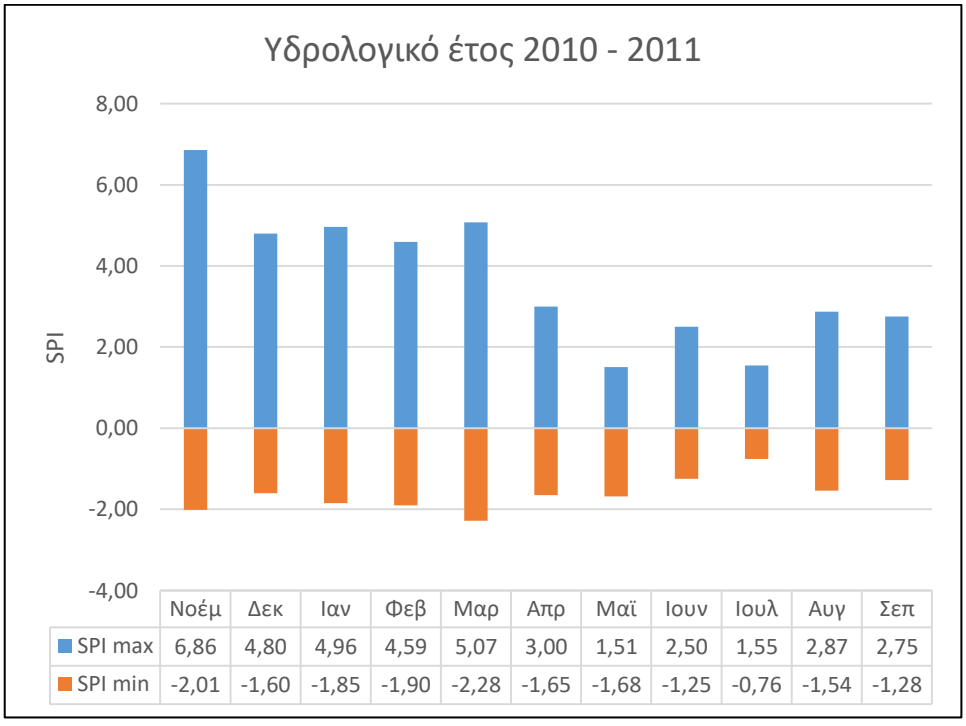
Υδρολογικό έτος 2006 - 2007	SPI max	SPI min
Οκτ	2,81	-1,21
Νοέμ	5,00	-1,36
Δεκ	6,07	-2,77
Ιαν	5,80	-1,75
Φεβ	4,93	-2,03
Μαρ	4,91	-2,26
Απρ	4,33	-1,97
Μαϊ	1,90	-1,36
Ιουν	1,98	-2,04
Ιουλ	0,79	-0,75
Αυγ	2,58	-1,19
Σεπ	2,09	-1,52

Υδρολογικό έτος 2007 - 2008	SPI max	SPI min
Οκτ	4,27	-2,00
Νοέμ	6,35	-2,09
Δεκ	4,38	-1,74
Ιαν	6,07	-1,51
Φεβ	3,80	-1,52
Μαρ	5,37	-2,16
Απρ	2,28	-1,80
Μαϊ	1,39	-1,74
Ιουν	3,40	-1,44
Ιουλ	1,86	-1,14
Αυγ	1,32	-1,04
Σεπ	2,45	-1,64

Υδρολογικό έτος 2008 - 2009	SPI max	SPI min
Οκτ	2,31	-1,70
Νοέμ	7,14	-2,51
Δεκ	6,38	-2,43
Ιαν	8,93	-3,61
Φεβ	5,47	-1,73
Μαρ	6,84	-2,23
Απρ	4,96	-2,10
Μαϊ	1,49	-2,09
Ιουν	3,30	-1,70
Ιουλ	1,57	-1,78
Αυγ	3,13	-1,43
Σεπ	5,30	-1,39

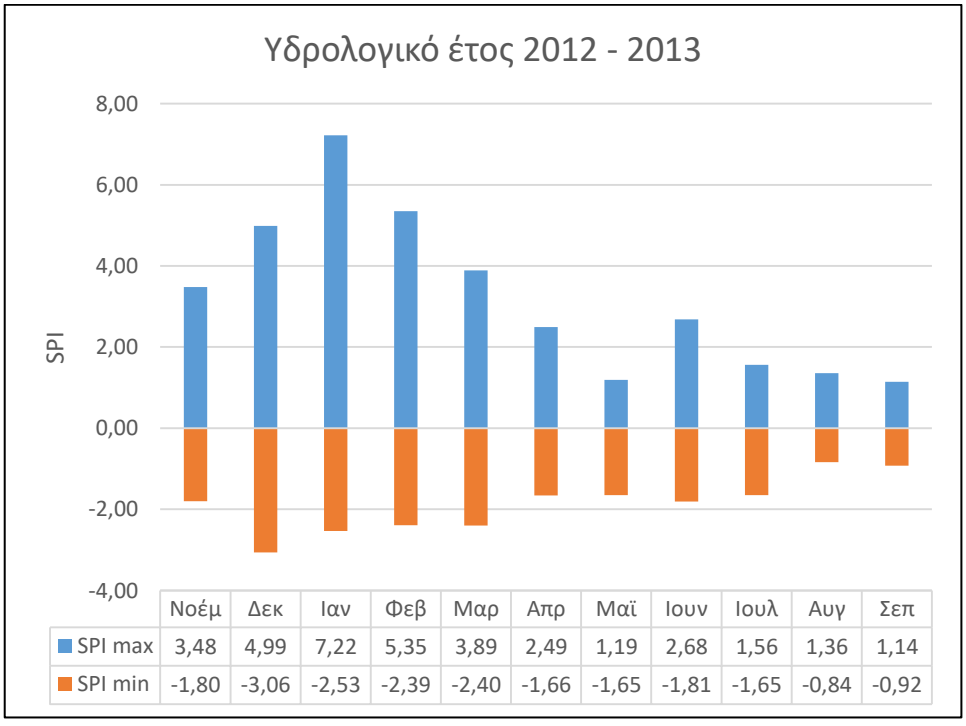
Υδρολογικό έτος 2009 - 2010	SPI max	SPI min
Οκτ	3,99	-2,60
Νοέμ	7,90	-2,49
Δεκ	4,19	-2,28
Ιαν	6,91	-2,05
Φεβ	5,85	-2,86
Μαρ	5,82	-2,42
Απρ	3,47	-1,78
Μαϊ	2,11	-1,86
Ιουν	2,93	-1,67
Ιουλ	1,98	-2,10
Αυγ	1,38	-0,93
Σεπ	3,39	-1,58

Υδρολογικό έτος 2010 - 2011	SPI max	SPI min
Οκτ	5,42	-2,46
Νοέμ	6,86	-2,01
Δεκ	4,80	-1,60
Ιαν	4,96	-1,85
Φεβ	4,59	-1,90
Μαρ	5,07	-2,28
Απρ	3,00	-1,65
Μαϊ	1,51	-1,68
Ιουν	2,50	-1,25
Ιουλ	1,55	-0,76
Αυγ	2,87	-1,54
Σεπ	2,75	-1,28

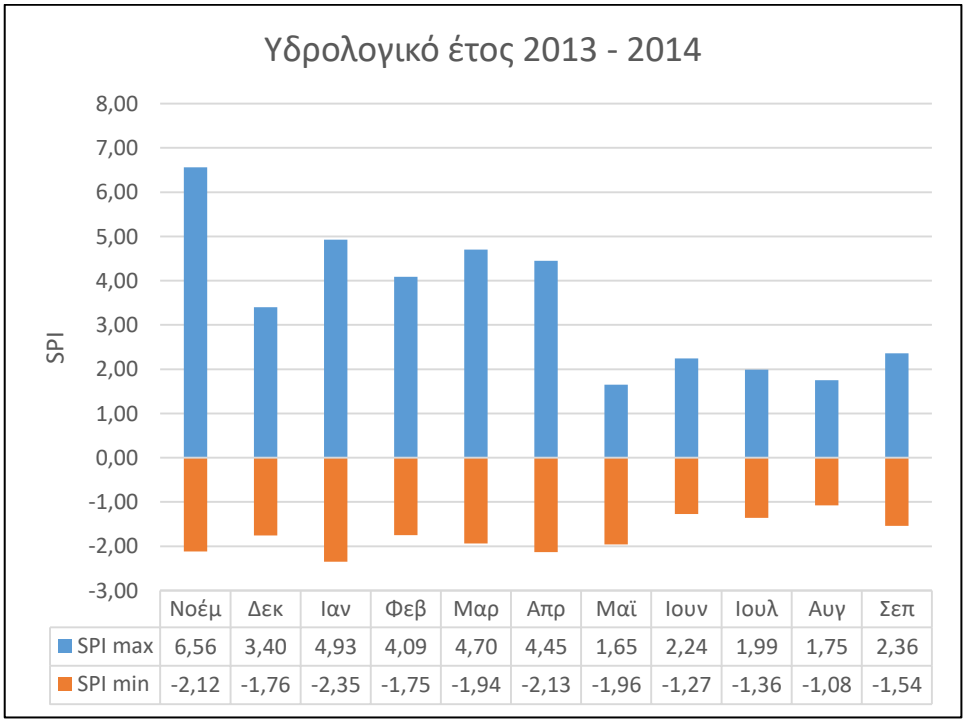


Υδρολογικό έτος 2011 - 2012	SPI max	SPI min
Οκτ	2,55	-2,10
Νοέμ	2,36	-1,28
Δεκ	4,58	-2,20
Ιαν	4,81	-1,64
Φεβ	7,12	-2,70
Μαρ	5,53	-2,28
Απρ	4,59	-2,84
Μαϊ	1,61	-2,12
Ιουν	2,54	-2,17
Ιουλ	1,59	-0,93
Αυγ	2,14	-1,34
Σεπ	2,31	-1,40

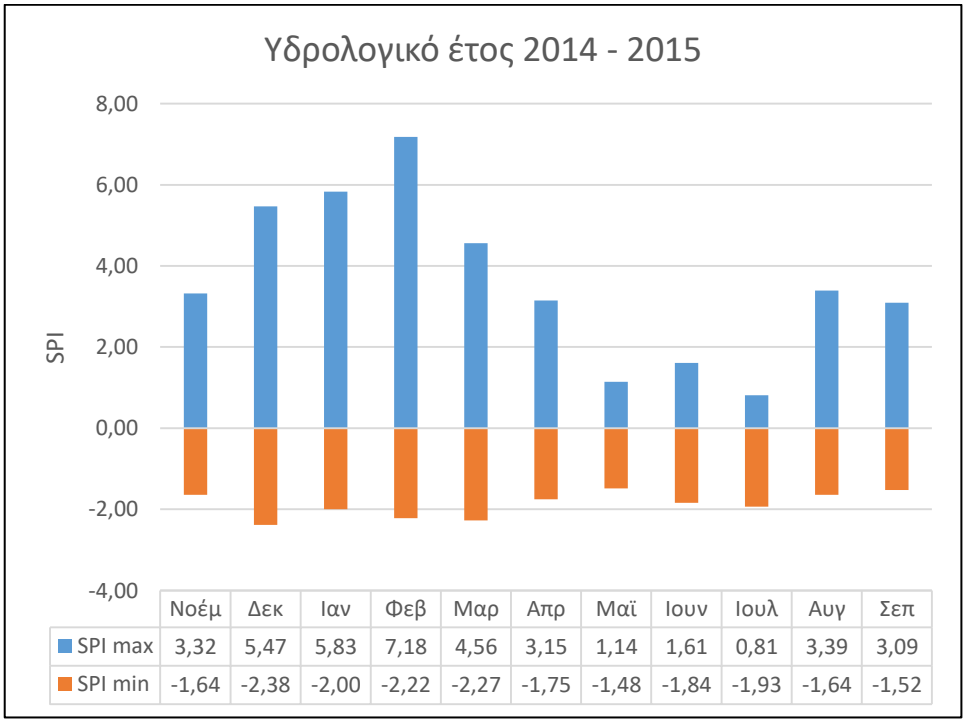
Υδρολογικό έτος 2012 - 2013	SPI max	SPI min
Οκτ	3,15	-1,98
Νοέμ	3,48	-1,80
Δεκ	4,99	-3,06
Ιαν	7,22	-2,53
Φεβ	5,35	-2,39
Μαρ	3,89	-2,40
Απρ	2,49	-1,66
Μαϊ	1,19	-1,65
Ιουν	2,68	-1,81
Ιουλ	1,56	-1,65
Αυγ	1,36	-0,84
Σεπ	1,14	-0,92



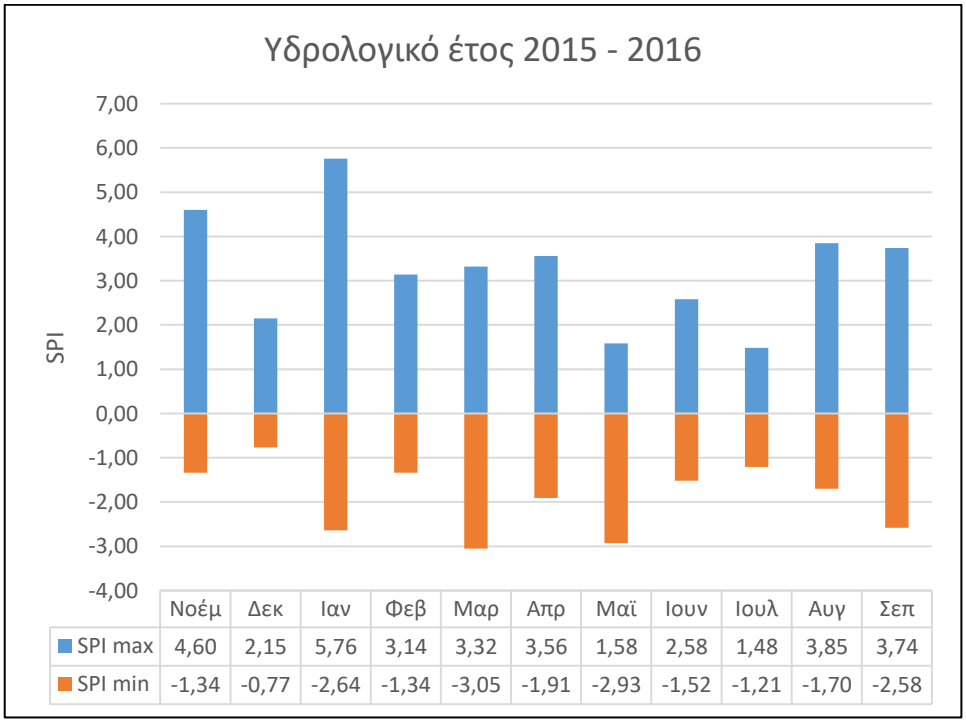
Υδρολογικό έτος 2013 - 2014	SPI max	SPI min
Οκτ	3,04	-1,67
Νοέμ	6,56	-2,12
Δεκ	3,40	-1,76
Ιαν	4,93	-2,35
Φεβ	4,09	-1,75
Μαρ	4,70	-1,94
Απρ	4,45	-2,13
Μαϊ	1,65	-1,96
Ιουν	2,24	-1,27
Ιουλ	1,99	-1,36
Αυγ	1,75	-1,08
Σεπ	2,36	-1,54



Υδρολογικό έτος 2014 - 2015	SPI max	SPI min
Οκτ	5,02	-2,55
Νοέμ	3,32	-1,64
Δεκ	5,47	-2,38
Ιαν	5,83	-2,00
Φεβ	7,18	-2,22
Μαρ	4,56	-2,27
Απρ	3,15	-1,75
Μαϊ	1,14	-1,48
Ιουν	1,61	-1,84
Ιουλ	0,81	-1,93
Αυγ	3,39	-1,64
Σεπ	3,09	-1,52



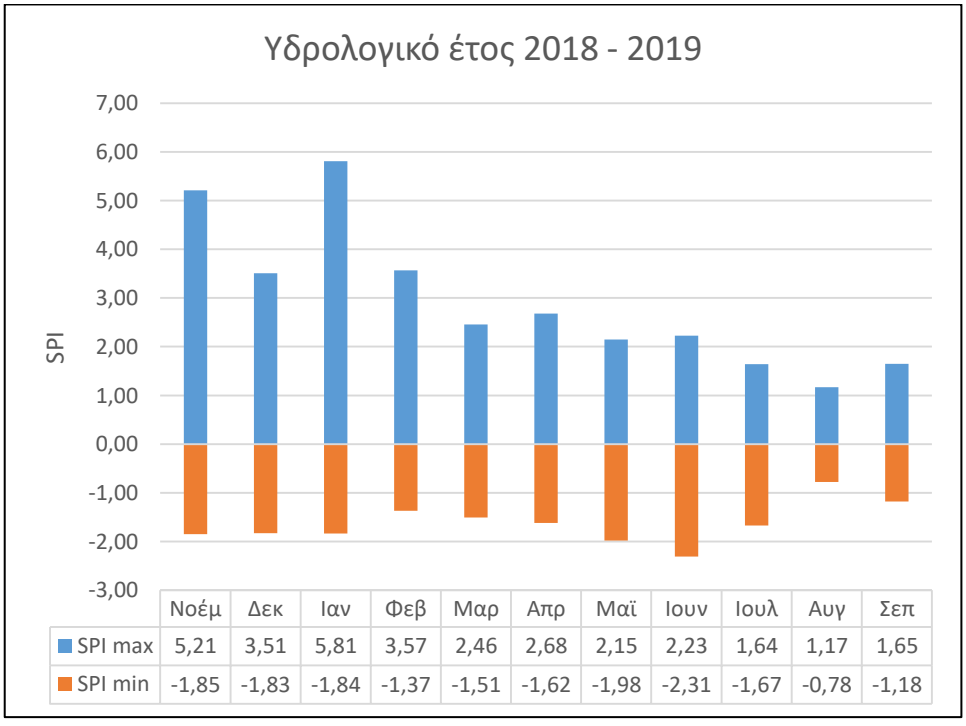
Υδρολογικό έτος 2015 - 2016	SPI max	SPI min
Οκτ	3,03	-2,14
Νοέμ	4,60	-1,34
Δεκ	2,15	-0,77
Ιαν	5,76	-2,64
Φεβ	3,14	-1,34
Μαρ	3,32	-3,05
Απρ	3,56	-1,91
Μαϊ	1,58	-2,93
Ιουν	2,58	-1,52
Ιουλ	1,48	-1,21
Αυγ	3,85	-1,70
Σεπ	3,74	-2,58



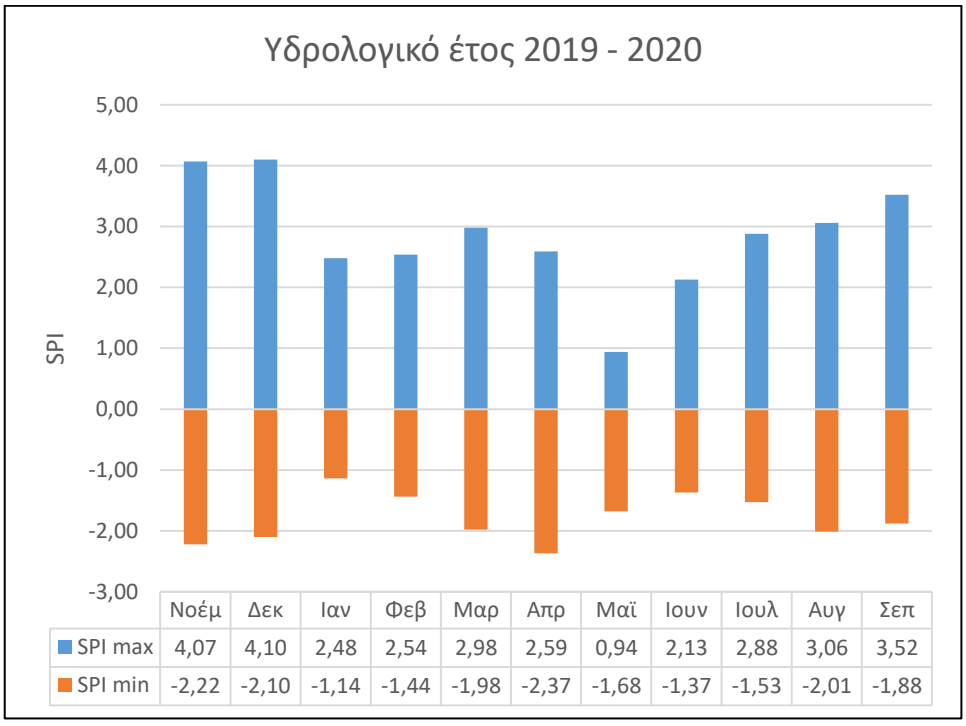
Υδρολογικό έτος 2016 - 2017	SPI max	SPI min
Οκτ	2,89	-2,11
Νοέμ	5,35	-2,06
Δεκ	2,04	-0,79
Ιαν	5,78	-2,31
Φεβ	3,47	-1,50
Μαρ	3,37	-1,57
Απρ	2,90	-1,80
Μαϊ	1,12	-1,89
Ιουν	1,87	-1,42
Ιουλ	1,63	-1,87
Αυγ	1,87	-2,07
Σεπ	1,29	-1,59

Υδρολογικό έτος 2017 - 2018	SPI max	SPI min
Οκτ	0,91	-0,92
Νοέμ	5,47	-2,14
Δεκ	6,30	-2,24
Ιαν	5,05	-1,68
Φεβ	7,67	-1,63
Μαρ	3,49	-2,99
Απρ	2,53	-1,71
Μαϊ	2,99	-2,12
Ιουν	3,75	-1,97
Ιουλ	1,20	-1,54
Αυγ	2,51	-1,42
Σεπ	2,16	-1,53

Υδρολογικό έτος 2018 - 2019	SPI max	SPI min
Οκτ	2,94	-1,29
Νοέμ	5,21	-1,85
Δεκ	3,51	-1,83
Ιαν	5,81	-1,84
Φεβ	3,57	-1,37
Μαρ	2,46	-1,51
Απρ	2,68	-1,62
Μαϊ	2,15	-1,98
Ιουν	2,23	-2,31
Ιουλ	1,64	-1,67
Αυγ	1,17	-0,78
Σεπ	1,65	-1,18



Υδρολογικό έτος 2019 - 2020	SPI max	SPI min
Οκτ	2,63	-1,49
Νοέμ	4,07	-2,22
Δεκ	4,10	-2,10
Ιαν	2,48	-1,14
Φεβ	2,54	-1,44
Μαρ	2,98	-1,98
Απρ	2,59	-2,37
Μαϊ	0,94	-1,68
Ιουν	2,13	-1,37
Ιουλ	2,88	-1,53
Αυγ	3,06	-2,01
Σεπ	3,52	-1,88



Υδρολογικό έτος 2020 - 2021	SPI max	SPI min
Οκτ	2,90	-1,68
Νοέμ	3,70	-1,00
Δεκ	4,52	-1,34
Ιαν	11,52	-0,81
Φεβ	5,56	-1,58
Μαρ	6,67	-2,24
Απρ	2,32	-1,76
Μαϊ	1,11	-1,26
Ιουν	1,32	-1,11
Ιουλ	1,93	-1,47
Αυγ	2,63	-1,21
Σεπ	2,26	-0,93

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

Wilhite, D. A., Roscnberg, N. J. and Glantz, M. H. (1983). Government response to drought in the US, Completion Report to the National Science Foundation, CAMaC Progress Reports 84-1 to 84-4, University of Nebraska, Lincoln. Ανακτήθηκε από: https://digitalcommons.unl.edu/droughtfacpub/161/

Wilhite, D. A., & Glantz, M. H. (1985). Understanding: the drought phenomenon: the role of definitions. Water international, 10(3), 111-120. doi: 10.1080/02508068508686328

Dracup, J. A., Lee, K. S., & Paulson Jr, E. G. (1980). On the statistical characteristics of drought events. Water resources research, 16(2), 289-296. Ανακτήθηκε από: https://doi.org/10.1029/WR016i002p00289

Unfried, K., Kis-Katos, K., & Poser, T. (2022). Water scarcity and social conflict. Journal of Environmental Economics and Management, 113, 102633. Ανακτήθηκε από: https://doi.org/10.1016/j.jeem.2022.102633

Zargar, A., Sadiq, R., Naser, B., & Khan, F. I. (2011). A review of drought indices. Environmental Reviews, 19(NA), 333–349. https://doi.org/10.1139/a11-013

Lipiec, J., Doussan, C., Nosalewicz, A., & Kondracka, K. (2013). Effect of drought and heat stresses on plant growth and yield: a review. International Agrophysics, 27(4). Ανακτήθηκε από: http://archive.sciendo.com/INTAG/intag.2013.27.issue-4/intag-2013-0017/intag-2013-0017.pdf

Kalefetoğlu, T., & Ekmekci, Y. (2005). The effects of drought on plants and tolerance mechanisms. Gazi University Journal of Science, 18(4), 723-740. Ανακτήθηκε από: https://dergipark.org.tr/en/pub/gujs/issue/7416/97089

Tomlin, C. D. (1990). Geographic information systems and cartographic modeling (Vol. 249). Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall. Ανακτήθηκε από: https://library.wur.nl/WebQuery/titel/564493

Wilson, J. P., & Gallant, J. C. (2000). Digital terrain analysis. Terrain analysis: Principles and applications, 6(12), 1-27.

Longley, P. (2005). Geographical information systems: A renaissance of geodemographics for public service delivery. Progress in Human Geography, 29(1), 57-63. Ανακτήθηκε από: https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1191/0309132505ph528pr

Niemeyer, S. (2008). New drought indices. Options Méditerranéennes. Série A: Séminaires Méditerranéens, 80, 267-274. Ανακτήθηκε από: https://projects.iamz.ciheam.org/medroplan/a-80_OPTIONS/Sesion%203/(267-274)%2037%20Niemeyer%20GS3.pdf

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. Ανακτήθηκε από: https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19841991422

Hayes, M. J., Alvord, C., & Lowrey, J. (2007). Drought indices. Intermountain west climate summary, 3(6), 2-6. Ανακτήθηκε από: http://danida.vnu.edu.vn/cpis/files/Refs/Drought/Drought%20Indices.pdf

Mukherjee, S., Mishra, A., & Trenberth, K. E. (2018). Climate change and drought: a perspective on drought indices. Current climate change reports, 4, 145-163. Ανακτήθηκε από: https://link.springer.com/article/10.1007/s40641-018-0098-x

Steinemann, A. (2003). Drought indicators and triggers: a stochastic approach to evaluation 1. JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 39(5), 1217-1233. Ανακτήθηκε από: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1752-1688.2003.tb03704.x

Werick, W. J., Willeke, G. E., Guttman, N. B., Hosking, J. R. M., & Wallis, J. R. (1994). National drought atlas developed. Ανακτήθηκε από: https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/94EO00706

Palmer, W. C. (1965). Meteorological drought (Vol. 30). US Department of Commerce, Weather Bureau. Ανακτήθηκε από: https://books.google.gr/books?id=kyYZgnEk-L8C&ots=U58uch4Dnn&dq=palmer%201965%20drought%20severity%20index&lr&hl=el&pg=PA1#v=onepage&q&f=false

Alley, W. M. (1984). The Palmer drought severity index: limitations and assumptions. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 23(7), 1100-1109. Ανακτήθηκε από: https://journals.ametsoc.org/view/journals/apme/23/7/1520-0450_1984_023_1100_tpdsil_2_0_co_2.xml

Doesken, N. J., McKee, T. B., & Kleist, J. D. (1991). Development of a surface water supply index for the western United States. Climatology report; 91-3. Ανακτήθηκε από: https://agris.fao.org/search/en/providers/122535/records/64738da368b4c299a3f8978f

Heddinghaus, T. R., & Sabol, P. (1991, September). A review of the Palmer Drought Severity Index and where do we go from here. In Proc. 7th Conf. on Applied Climatology (pp. 242-246). Boston, MA, USA: American Meteorological Society. Ανακτήθηκε από: https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=69512362983873d5a9ffbf816cd1d0ac014aa814

McKee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1993, January). The relationship of drought frequency and duration to time scales. In Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology (Vol. 17, No. 22, pp. 179-183). Ανακτήθηκε από: https://climate.colostate.edu/pdfs/relationshipofdroughtfrequency.pdf

Hayes, M. J., Svoboda, M. D., Wiihite, D. A., & Vanyarkho, O. V. (1999). Monitoring the 1996 drought using the standardized precipitation index. Bulletin of the American meteorological society, 80(3), 429-438. Ανακτήθηκε από: https://doi.org/10.1175/1520-0477(1999)080%3C0429:MTDUTS%3E2.0.CO;2

Panofsky, H. & Brie, W., (1958). Some Applications of Statistics to Meteorology, Pennsylvania State University. University Park, p. 224.

Edwards, D. C., & McKee, T. B. (1997). Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales.

Funk, C. et al, (2013). Attribution of 2012 and 2003–12 rainfall deficits in Eastern Kenya and Southern Somalia. Special Supplement to the Bulletin of the American Meteorological Society. American Meteorological Society, 94(9).

Tapiador, F. et al, (2012). Global precipitation measurement: methods, datasets and applications. Atmos. Res, 104-105, p. 70–97.

Huffman, G. et al., (2007). The TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA): quasiglobal, multiyear, combined-sensor precipitation estimates at fine scales. Hydrometeorol, p. 38–55.

Haylock,, M. et al., (2008). A European daily high-resolution gridded dataset of surface temperature and precipitation. J. Geophys, p. 113.

Shukla, S., McNally, A., Husak, G. & Funk, C., (2014). A seasonal agricultural drought forecast system for food-insecure regions of East Africa. Hydrol. Earth Syst. Sci. 18, p. 3907–3921.

Ελληνική Βιβλιογραφία

Συλλαίος Γ. Ν., (2000), Εισαγωγή στην τηλεπισκόπιση και στα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών, (Θεσσαλονίκη: Γιαχούδη-Γιαπούλη).

Αναγνωστοπούλου, Χ. Γ., (2003). Διδακτορική διατριβή: Συμβολή στη μελέτη της ξηρασίας στον Ελληνικό χώρο.Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Θεσσαλονίκη: s.n.

ΕΛΣΤΑΤ, (2020). Ελληνική Στατιστική Αρχή. [Ηλεκτρονικό] Available at: https://www.statistics.gr/el/statistics/-/publication/SAM03/-

Βασιλειάδης, Λ., (2010). Χωροχρονική Ανάλυση, Προσομοίωση και Πρόγνωση Ξηρασίας στην Υδρολογική Λεκάνη Πηνειού Ποταμού Θεσσαλίας.

Κουτσόπουλος, Κ., (2002). Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών & Ανάλυση Χώρου. Εκδόσεις Παπασωτηρίου, p. 51.

Κωτσοβίνος, Ν. & Αγγελίδης, Π., (2009). Η περιβαλλοντική σημασία του δείκτη ξηρασίας SPI. Προτάσεις εναλλακτικού στατιστικού υπολογισμού του.. Στο: Σ.Γιανόπουλος, επιμ. Τιμητικός τόμος στον καθηγητή κ Χ.Τζιμόπουλο.

Φαρασλής, Ι., (2012). Διδακτορική Διατριβή: «Η Συμβολή των Μεθόδων Αναπαράστασης του Χώρου στο Σχεδιασμό του και στις Συμμετοχικές Διαδικασίες, με Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών και Τηλεπισκόπηση». Ανακτήθηκε από: https://www.didaktorika.gr/eadd/handle/10442/29232

Περιφερειακό Σχέδιο Προσαρμογής στην Κλιματική Αλλαγή (ΠεΣΠΚΑ) (2020, Αύγουστος), Περιφέρεια Θεσσαλίας.

Περάκης, Κ., Μωυσιάδης, Α., & Φαρασλής, Ι. (2016). Η τηλεπισκόπηση σε 13 ενότητες. Ανακτήθηκε από: http://83.212.175.100/jspui/handle/11419/1840