



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**Τμήμα Μηχανικών Τοπογραφίας και Γεωπληροφορικής**

## **Διπλωματική Εργασία**

**Ανάλυση της ξηρασίας στην Ελλάδα με χρήση κατάλληλων δεικτών**

**Συγγραφέας  
Χαράλαμπος Διγώνης  
ΑΜ: 16014**

**Επιβλέπων/ουσα:  
Ελισσάβητ Φελώνη, Διδάσκουσα ΠαΔΑ**

**Αθήνα, Οκτώβριος 2022**



**UNIVERSITY OF WEST ATTICA**  
**SCHOOL OF ENGINEERING**  
**Department of Surveying and Geoinformatics Engineering**

## **Diploma Thesis**

**Analysis of droughts in Greece using suitable indicators**

**Student name and surname:**  
**Charalampos Digonis**  
**Registration Number: 16014**

**Supervisor name and surname:**  
**Elissavet Feloni**

**Athens, October 2022**



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ  
ΣΧΟΛΗ  
ΤΜΗΜΑ**

**Τίτλος εργασίας: Ανάλυση της ξηρασίας στην Ελλάδα με χρήση κατάλληλων δεικτών**

**Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή**

*Η πτυχιακή/διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:*

<b>A/A</b>	<b>ΟΝΟΜΑ ΕΠΩΝΥΜΟ</b>	<b>ΒΑΘΜΙΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ</b>	<b>ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ</b>
1	Ελισάβετ Φελώνη	Επιβλέπουσα Διδάσκουσα ΠαΔΑ	
2	Ανδρέας Τσάτσαρης	Καθηγητής ΠαΔΑ	
3	Πολυξένη Ηλιοπούλου	Καθηγήτρια ΠαΔΑ	

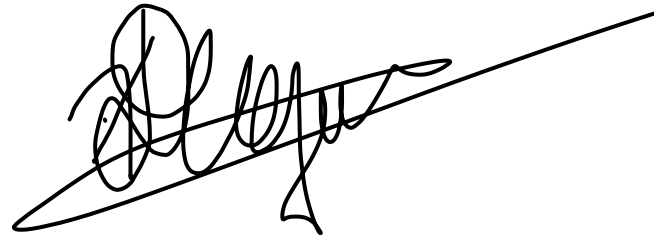
## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Χαράλαμπος Διγώνης του Αθανασίου, με αριθμό μητρώου 509160140227 φοιτητής/τρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Μηχανικών Τοπογραφίας και Γεωπληροφορικής, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο Δηλών  
Χαράλαμπος Διγώνης



**Ελισσάβητ Φελώνη**  
*Διδάσκουσα ΠαΔΑ*

**Ψηφιακή Υπογραφή Επιβλέποντα.**



# Ευχαριστίες

Φτάνοντας στο τέλος της σύνταξης της παρούσας διπλωματικής εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω προσωπικά όλους όσους συνέβαλαν στην ολοκλήρωσή της. Ειδικότερα, την επιβλέπουσα καθηγήτρια κ. Ελισσάβητ Φελώνη για την καθογήσησή της, τη βοήθειά της τόσο σε επίπεδο γνώσεων όσο και σε επίπεδο ηθικής συμπαράστασης καθώς και για το χρόνο που διέθεσε σε όλη τη διάρκεια αυτής της μακράς περιόδου που προηγήθηκε. Επιπλέον, τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής, κ. Ανδρέα Τσάτσαρη και κ. Πολυξένη Ηλιοπούλου για τις παρατηρήσεις και τις γνώσεις που μού μετέδωσαν κατά την παρουσίαση κι εξέταση της εργασίας. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τους συμφοιτητές μου για όλη την συμπαράσταση και την κατανόηση που έδειξαν όλο αυτό το διάστημα.

# Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία στοχεύει στην ανάλυση του φαινομένου της ξηρασίας στον ελληνικό χώρο με τους δείκτες Aridity Index (AI) και Standardized Precipitation Index (SPI) και πιο συγκεκριμένα η ανάλυση πραγματοποιείται για δέκα σταθμούς του δικτύου της Ε.Μ.Υ. (Ηράκλειο, Μίκρα, Αλεξανδρούπολη, Κοζάνη, Κέρκυρα, Μυτιλήνη, Τρίπολη, Ελληνικό, Καλαμάτα και Νάξος) με ικανοποιητική γεωγραφική εξάπλωση στη χώρα. Η ξηρασία συνιστά ένα ιδιαίτερο σύνθετο φαινόμενο κι αυτό είναι κάτι που οφείλεται τόσο στις διαφορές που προκύπτουν ανάλογα με την κάθε περιοχή που εξετάζεται όσο και στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που παρουσιάζουν τα αίτια και οι επιπτώσεις της. Ο ορισμός της ξηρασίας διαφοροποιείται με βάση την κάθε περιοχή και με τον σκοπό που επιτελεί κάθε ερευνητής. Επιπλέον, βασικό ρόλο διαδραματίζουν η θερμοκρασία, η υγρασία κι ο άνεμος, στοιχεία τα οποία οφείλουν να συμπεριλαμβάνονται στο χαρακτηρισμό της ξηρασίας έτσι ώστε η ερμηνεία της να γίνεται με σωστό και κατανοητό τρόπο.

Στην παρούσα διπλωματική, υπολογίστηκε ο δείκτης AI για όλους τους μήνες, ο δείκτης SPI3 αντιπροσωπευτικά για τις τέσσερις εποχές (δηλαδή για τους μήνες από Δεκέμβριο έως Ιανουάριο, Μάρτιο έως Μάιο, Ιούνιο έως Αύγουστο και Σεπτέμβριο έως Νοέμβριο), αλλά και ο δείκτης SPI6 για τις δύο περιόδους (ξηρή και υγρή, για τους μήνες Οκτώβριο έως Απρίλιο και Απρίλιο έως Σεπτέμβριο). Οι υπολογισμοί των δεικτών αυτών για τους δέκα σταθμούς έγινε κατόπιν επεξεργασίας δεδομένων μηνιαίων κατακρημνισμάτων για την χρονική περίοδο 1955-2004, όπου οι χρονοσειρές διατίθενται ελεύθερα στη βάση του European Climate Assessment & Dataset project. Τα αποτελέσματα αναλύονται και παρουσιάζονται διαγράμματα συμπεριλαμβανομένης της τάσης αλλά και χάρτες για την καλύτερη εποπτεία της χωρικής κατανομής των τιμών των δεικτών. Από όσα στοιχεία έχουν συμπεριληφθεί στην διπλωματική, προκύπτει ότι στο πέρασμα των χρόνων παρατηρείται μείωση των βροχοπτώσεων, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση περισσότερων φαινομένων ξηρασίας.

Λέξεις-κλειδιά: ξηρασία, Ελλάδα, δείκτης ξηρασίας, δείκτης ξηρότητας, βροχόπτωση, εξατμισοδιαπνοή.

# Abstract

This undergraduate diploma thesis aims to analyze the phenomenon of Aridity over Greece with the use of the Aridity Index (AI) and the Standardized Precipitation Index (SPI) and more specifically for ten stations of the HNMS network (namely Heraklion, Mikra, Alexandroupoli, Kozani, Corfu, Mytilene, Tripoli, Elliniko, Kalamata and Naxos), which are well-distributed at the Greek territory. Aridity constitutes a particularly complex phenomenon that is linked to both the differences that arise based on the studied area and the special features that its causes and effects present. The definition of aridity differs according to the region and the purpose of the researcher. On top of that, atmospheric parameters such as the temperature, humidity and wind play a major role and should be considered when defining aridity, so that its interpretation may be done in a correct and comprehensive way.

In the current dissertation, the AI Index was calculated for all months. The SPI3 Index was calculated for the four seasons (i.e., for the periods between December and January, March and May, June and August as well as September and November), while the SPI6 Index was calculated for the two period (wet and dry, between October and April and April and September, respectively). The calculation of these indices was done through data processing of monthly precipitation for the time period 1955-2004, that are freely available through the European Climate Assessment & Dataset project. The results are analyzed and presented both in charts including trends and as maps to highlight the spatial distribution of their values. Regarding the results, it turns out that a decrease in rainfall is observed over the years, resulting in the emergence of aridity in the majority of the study stations.

Keywords: aridity, Greece, aridity index, AI, SPI, precipitation, evapotranspiration.

# Περιεχόμενα

Ευχαριστίες .....	i
Περίληψη.....	ii
Abstract .....	iii
Περιεχόμενα .....	iv
1 Εισαγωγή.....	1
1.1 Γενικά .....	1
1.1.1 Ορισμός ξηρασίας .....	2
1.1.2 Ταξινόμηση ξηρασίας.....	2
1.1.3 Χαρακτηριστικά ξηρασίας .....	4
1.2 Δείκτες ξηρασίας.....	5
1.2.1 Αναγκαιότητα δεικτών ξηρασίας. ....	14
1.2.2 Χαρακτηριστικά δεικτών ξηρασίας.....	15
1.2.3 Ιδιότητες ενός δείκτη ξηρασίας. ....	16
1.2.4 Ο ρόλος των δεικτών στη διαχείριση της ξηρασίας. ....	17
1.3 Αίτια της ξηρασίας .....	18
1.3.1 Αλλαγές στην κυκλοφορία της ατμόσφαιρας.....	18
1.3.2 Φαινόμενο El-Niño.....	19
1.3.3 Αστρονομικοί Παράγοντες.....	20
1.4 Επιπτώσεις ξηρασίας.....	20
1.5 Διάρθρωση Τεύχους .....	21
2 Δεδομένα .....	23
2.1 Επιλογή σταθμών .....	23
2.2 Συλλογή δεδομένων.....	24
2.3 Ανάλυση και επεξεργασία χρονοσειρών .....	37

2.3.1	Υπολογισμός Μηνιαίων P & T.....	37
2.3.2	Υπολογισμός μέσω μηνιαίων P & T.....	37
2.1	Υπολογισμός Εξατμισοδιαπνοής με τη μέθοδο Thornthwaite.....	38
3	Μεθοδολογία.....	52
3.1	Γενική επισκόπηση μεθοδολογίας.....	52
3.2	Υπολογισμός δεικτών ξηρασίας.....	52
3.2.1	Δείκτης ξηρότητας Aridity Index(AI). ....	52
3.2.2	Standardized Precipitation Index- SPI (Τυποποιημένος Δείκτης Κατακρήμνισης).....	53
3.3	Δημιουργία θεματικών χαρτών.....	59
3.3.1	Γενικά.....	59
3.3.2	Οπτικοποίηση αποτελεσμάτων.....	60
4	Αποτελέσματα.....	61
4.1	Απεικόνιση διαγραμμάτων τάσης του δείκτη Aridity Index (AI).....	61
4.2	Χωρική κατανομή των τιμών Aridity Index(AI).....	66
4.2.1	Μέσος ετήσιος Aridity Index(AI).....	67
4.2.2	Εποχική διακύμανση Aridity Index(AI).....	69
4.3	Απεικόνιση διαγραμμάτων τάσης του δείκτη Standardized Precipitation Index (SPI) 72	
4.3.1	Απεικόνιση διαγραμμάτων SPI3.....	72
4.3.2	Χωρική κατανομή των τιμών Standardized Precipitation Index (SPI3).....	82
4.3.3	Απεικόνιση διαγραμμάτων SPI6.....	86
4.3.4	Χωρική κατανομή των τιμών Standardized Precipitation Index (SPI6).....	91
5	Συμπεράσματα.....	94
5.1	Σύνοψη - Γενικά Συμπεράσματα.....	94
5.2	Ειδικά Συμπεράσματα.....	94
5.3	Μελλοντική έρευνα.....	96
6	Βιβλιογραφικές αναφορές.....	98
	Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία.....	98

Ελληνική Βιβλιογραφία .....	100
Ιστότοποι .....	100

# 1 Εισαγωγή

## 1.1 Γενικά

Η ξηρασία είναι ένα μετεωρολογικό-κλιματικό φαινόμενο, το οποίο παρουσιάζεται σε απροσδιόριστο χρόνο με ακαθόριστη διάρκεια και σε οποιοδήποτε μέρος. Από όσα έχουν προκύψει από τα μέχρι τώρα ερευνητικά στοιχεία, η ξηρασία τείνει να εμφανίζεται όλο και συχνότερα τα τελευταία χρόνια, γεγονός που επιφέρει σημαντικές συνέπειες σε τομείς όπως η οικονομία και το περιβάλλον. Αποτελεί ένα από τα πιο περίπλοκα και λιγότερο κατανοητά φυσικά φαινόμενα.

Η ξηρασία είναι συνάρτηση πολλών παραγόντων και διαφέρει από άλλα μετεωρολογικά φαινόμενα σε πολλά σημεία. Πρώτα απ' όλα, η ημερομηνία έναρξης και λήξης ενός επεισοδίου ξηρασίας ορίζεται δύσκολα και αυτό συμβαίνει γιατί παρουσιάζει υστέρηση στην εμφάνιση από την στιγμή που θα παρατηρηθεί έλλειψη βροχοπτώσεων, ενώ τα αποτελέσματά της είναι ορατά και μετά την εμφάνιση μερικών βροχοπτώσεων. Από το γεγονός αυτό απορρέει και ο ορισμός της ξηρασίας ως «έρπον φαινόμενο» (Tannehill, 1947). Δεύτερον, δεν είναι δυνατό να οριστεί η ξηρασία με έναν συγκεκριμένο τρόπο, αφού κάθε περιοχή οφείλει να έχει το δικό της ορισμό, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά που τη διέπουν. Αυτό εξηγεί και το μεγάλο αριθμό ορισμών που έχουν καταγραφεί τα τελευταία χρόνια (World Meteorological Organization (WMO), 1975; Meteorological Office, 1991; Wilhite and Glantz, 1985).

Επιπλέον, ο ορισμός της ξηρασίας ποικίλλει ανάλογα με το αντικείμενο κάθε επιστήμης. Για παράδειγμα, στη Μετεωρολογία, «ξηρασία είναι η ελάττωση της βροχόπτωσης σε σχέση με την «κανονική» τιμή της για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα». Στη Γεωργία, είναι «η μη παραγωγική σοδειά, που είναι αποτέλεσμα της έλλειψης νερού στα κρίσιμα στάδια ανάπτυξης της καλλιέργειας». Τέλος, στην Υδρολογία και την Υδρογεωλογία σημαίνει, «πτώση της στάθμης των λιμνών, ποταμών και του υδροφόρου ορίζοντα κάτω από κάποιο όριο για μια ορισμένη χρονική περίοδο». Στην οικονομία ή την πολιτική, η ξηρασία γίνεται ορατή σε περιόδους έντονων οικονομικών και κοινωνικών επιπτώσεων.

### 1.1.1 Ορισμός ξηρασίας

Είναι αντιληπτό ότι δεν είναι δυνατόν να οριστεί η ξηρασία με έναν συγκεκριμένο τρόπο. Σε κάθε ορισμό σημασία έχει η περιοχή αλλά και ο στόχος που θέτει κάθε φορά ο ερευνητής. Οι υψηλές θερμοκρασίες, οι ισχυροί άνεμοι και η σχετική υγρασία είναι παράγοντες που συμβάλουν στον καταστροφικό χαρακτήρα του δεδομένου. (Oladipo, 1985). Επιπροσθέτως, η ξηρασία σχετίζεται με τον χρόνο στον οποίο εμφανίζεται το φαινόμενο και την αποτελεσματικότητα των βροχοπτώσεων. Επομένως, κάθε φαινόμενο ξηρασίας είναι μοναδικό, με ξεχωριστά χαρακτηριστικά και επιπτώσεις.

### 1.1.2 Ταξινόμηση ξηρασίας

Η ξηρασία κατηγοριοποιείται σε τέσσερις τομείς: τη μετεωρολογική, την υδρολογική, τη γεωργική και την κοινωνικοοικονομική (Wilhite and Glantz, 1985). Οι τομείς αυτοί δεν είναι απαραίτητο να παρουσιάζονται ξεχωριστά. Αντίθετα, μπορούν να συνδυάζονται ή να διαδέχονται ο ένας τον άλλον.

- *Μετεωρολογική ξηρασία (meteorological drought)*

Η σύγκριση των βροχοπτώσεων με τις κανονικές ή τις μέσες τιμές βροχόπτωσης. Με βάση τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό (WMO, 1986), σε κάθε χώρα ή περιοχή, η ξηρασία καθορίζεται ως το 60% ή λιγότερο του κανονικού νερού κάθε χρόνο, για περισσότερα από δύο συνεχή έτη και σε έκταση μεγαλύτερη του 50% της περιοχής. Κάποιοι άλλοι ορισμοί για το φαινόμενο της ξηρασίας, καθορίζονται από τον αριθμό βροχόπτωσης υπό ένα συγκεκριμένο όριο. Παρόλα αυτά, τέτοιου είδους ορισμοί είναι αδύνατο να ευσταθούν σε μέρη που χαρακτηρίζονται από εποχική διακύμανση και στα οποία εμφανίζεται ξηρασία. Επομένως, ο ορισμός της μετεωρολογικής ξηρασίας διακατέχεται από τοπικό χαρακτήρα, με κύρια χαρακτηριστικά την ένταση και τη διάρκεια του φαινομένου.

- *Γεωργική ξηρασία (agricultural drought)*

Αυτή η κατηγορία ξηρασίας έγκειται στην σύνδεση της μετεωρολογικής ξηρασίας με τις επιπτώσεις της στον τομέα της γεωργίας. Δίνει έμφαση κυρίως σε παραμέτρους όπως, η έλλειψη βροχοπτώσεων, η διαφορά ανάμεσα στην πραγματική και δυνητική εξατμισοδιαπνοή ή το εδαφικό νερό με τα αποτελέσματα να φαίνονται στο Σχήμα 1. Επίσης, σχετικά με την ανάγκη που έχει το φυτό για νερό, αυτή σχετίζεται με τις συνθήκες του καιρού, τα χαρακτηριστικά του, τις ιδιότητες του εδάφους.





Σχήμα 1: Γεωργική ξηρασία σε αγροτεμάχιο  
(Πηγή: <https://eclass.emt.ihu.gr/>)

- *Υδρολογική ξηρασία (hydrological drought)*

Σχετίζεται με τα αποτελέσματα που έχει μια περίοδος με ύψος βροχόπτωσης μικρότερο από τη μέση τιμή, σε συνδυασμό με τα χαμηλά υδατικά αποθέματα τους εδάφους και του υπεδάφους. Σε αντίθεση με τη μετεωρολογική και τη γεωργική ξηρασία, η υδρολογική εμφανίζεται με καθυστέρηση. Η μετεωρολογική παρουσιάζεται αμέσως μόλις παρατηρηθεί έλλειψη βροχής, ενώ η γεωργική εξαρτάται από την υγρασία του εδάφους. Το νερό, γενικότερα, χρησιμοποιείται για ποικίλους λόγους, με αποτέλεσμα σε περίοδο όπου επικρατεί ξηρασία, να υπάρχει μεγάλος ανταγωνισμός μεταξύ χρηστών. Σύμφωνα με τον Whipple (1966), ως υδρολογικά ξηρό, ορίζεται το έτος κατά το οποίο η απορροή σε μια λεκάνη απορροής είναι κάτω από κάποιο συγκεκριμένο όριο. Το όριο αυτό είναι ξεχωριστό για κάθε λεκάνη απορροής και για κάθε υδατικό μέσο.



Σχήμα 2: Υδρολογική ξηρασία (πτώση της στάθμης στους ταμιευτήρες)  
(Πηγή: <https://www.thessaliatv.gr>)

- Κοινωνικοοικονομική ξηρασία (*socioeconomic drought*)

Σχετίζεται με τα αποθέματα και τις απαιτήσεις ορισμένων οικονομικών αγαθών και υπηρεσιών, σε συνδιασμό με τις τρεις προηγούμενες μορφές ξηρασίας. Το γεγονός ότι, όσο μειώνονται τα αποθέματα, τόσο περισσότερο αυξάνονται οι ανάγκες των αγαθών, έχει αρνητικές συνέπειες σε επίπεδο κοινωνικοοικονομικό. Οι επιπτώσεις της ξηρασίας δεν είναι σε κάθε περίπτωση υλικές, όπως για παράδειγμα πλημμύρες, αλλά εμφανίζονται διασκορπισμένες σε γεωγραφικές περιοχές χωρίς συγκεκριμένη δομή, για αυτό και ο ποσοτικός προσδιορισμός των υλικών καταστροφών από τη ξηρασία είναι δύσκολος.

### 1.1.3 Χαρακτηριστικά ξηρασίας

Τα χαρακτηριστικά τα οποία συμβάλουν στο να διαφέρουν τα επεισόδια ξηρασίας μεταξύ τους, είναι τρία :

Η ένταση της ξηρασίας αναφέρεται κατά βάση στην ελάττωση της βροχής και στις επιπτώσεις που γεννά αυτή η ελάττωση. Η ένταση μπορεί να προσδιοριστεί με τον υπολογισμό κλιματολογικών δεικτών, οι οποίοι καθορίζονται ανάλογα με τις κανονικές τιμές της βροχόπτωσης. Η διάρκεια είναι το δεύτερο χαρακτηριστικό της ξηρασίας. Ένα επεισόδιο

ξηρασίας είναι πιθανό να εμφανιστεί με κάποια μικρή υστέρηση (1-3 μήνες) σε σχέση με την πρώτη φορά που παρατηρείται ελάττωση ή παντελής απουσία βροχοπτώσεων, ενώ στην συνέχεια αυτό μπορεί να ισχύει για μήνες ή για χρόνια, χωρίς να συνυπολογίζονται κάποιες βροχές, οι οποίες έχουν όμως μικρή σημασία. Ο Μαχαίρας (1992), διέκρινε τη ξηρασία σε τρεις τύπους ανάλογα με τη διάρκεια της: στη μόνιμη ξηρασία η οποία έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ερήμων, στην περιοδική ή αλλιώς εποχική ξηρασία και στην τυχαία ξηρασία. Το τρίτο και τελευταίο χαρακτηριστικό της ξηρασίας είναι η χωρική κατανομή. Οι περιοχές οι οποίες βλέπτονται από τα μακροπρόθεσμα και ακραία φαινόμενα ξηρασίας γίνονται με το πέρασμα του καιρού ολοένα και περισσότερες. Χώρες όπως, οι Ηνωμένες Πολιτείες, η Βραζιλία, η Ινδία και η Κίνα, επηρεάζονται από τη ξηρασία αλλά όχι σε όλη τους την έκταση, σε αντίθεση με μικρότερες χώρες όπως η Ελλάδα, οι οποίες βλέπτονται σε όλο το πλάτος και το μήκος τους. Γενικότερα, είναι σχεδόν ανέφικτο να μην παρατηρηθεί σε ετήσια βάση κάποιο έστω και μικρό επεισόδιο ξηρασίας, μιας και η ξηρασία είναι απόρροια ανωμαλιών μεγάλης κλίμακας της ατμόσφαιρας, οι οποίες παραμένουν για εύλογο χρονικό διάστημα πάνω από διάφορες χώρες. Είναι σημαντικό να υπάρχει γνώση της χωρικής κατανομής της ξηρασίας, διότι είναι απαραίτητο να γίνεται γνωστή η πιθανότητα ύπαρξης ενός φαινομένου ξηρασίας, όπως επίσης και οι πιθανές επιπτώσεις που θα υπάρξουν.

## **1.2 Δείκτες ξηρασίας**

Ως δείκτης ορίζεται ένας σταθμισμένος συνδυασμός δύο ή περισσότερων ενδείξεων και δημιουργείται με σκοπό να είναι η περίληψη του συστήματος. Σ'έναν περιβαλλοντικό δείκτη περιλαμβάνονται πληροφορίες όπως η ποιότητα του αέρα, των υδάτων καθώς και του εδάφους. Με βάση τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό (World Meteorological Organization-1992), δείκτης ξηρασίας θεωρείται ένας δείκτης ο οποίος συνδέεται με μερικά από τα αθροιστικά αποτελέσματα ενός παρατεταμένου και ασυνήθιστου ελλείματος υγρασίας (Heim, 2002). Οι πολλοί και διαφορετικοί ορισμοί σχετικά με το φαινόμενο της ξηρασίας, τα διαφορετικά γνωρίσματα που παρουσιάζει ανάλογα με τις τοπογραφικές και τις κλιματικές συνθήκες που επικρατούν σε κάθε εξεταζόμενη περιοχή και τα διαφορετικά αίτια που την προξενούν, καθιστούν απαραίτητη τη δημιουργία δεικτών ξηρασίας, αποσκοπώντας στην αναγνώριση, την καταγραφή της έντασης και της έκτασης της ξηρασίας αλλά και στη δυνατότητα εκτίμησης της ξηρασίας σε μια ευρύτερη περιοχή. Κάθε δείκτης ξηρασίας αποτελείται από πολλές παραμέτρους, όπως για παράδειγμα το ύψος βροχόπτωσης, τα αποθέματα υπόγειου νερού, το πάχος του στρώματος του χιονιού. Τα ιδιαίτερα γνωρίσματα κάθε επεισοδίου ξηρασίας μπορούν να γίνουν εμφανή μέσω της σωστής χρήσης δεικτών, ενώ

η τιμή του δείκτη στη διάρκεια του χρόνου έχει τη δυνατότητα πρόβλεψης των επεισοδίων ξηρασίας (Αναγνωστοπούλου, 2003). Στις επόμενες σελίδες, παρατίθενται οι σημαντικότεροι δείκτες και γνωρίσματά τους, όπως αυτοί αναγνωρίζονται από τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό (WMO)

- *Palmer Drought Severity Index (PDSI)*

Ο δείκτης PDSI συστάθηκε το 1965 από τον Palmer στις ΗΠΑ και αποτελεί τον πρώτο κατανοητό και περιεκτικό δείκτη ξηρασίας (Hayes et al., 2007). Αυτό που πρεσβεύει ο συγκεκριμένος δείκτης είναι ότι, η ποσότητα της βροχόπτωσης που απαιτείται για μια κανονική σχεδόν λειτουργία της οικονομίας μιας περιοχής κατά τη διάρκεια μιας συγκεκριμένης περιόδου, εξαρτάται από το μέσο κλίμα της περιοχής και από τις υπάρχουσες μετεωρολογικές συνθήκες, τόσο στο διάστημα που μελετάται όσο και πριν από αυτό (Χαρίλαος, 2012). Στο δείκτη συγκαταλέγονται η βροχόπτωση, η εξατμισοδιαπνοή και οι συνθήκες υγρασίας, στοιχεία τα οποία καθορίζουν σημαντικά την υδρολογική ξηρασία (Tsakiris et al., 2007). Το 1965 ο Palmer δημιούργησε το δείκτη PDSI με σκοπό τη μέτρηση του ρυθμού εξάτμισης της υγρασία από το έδαφος. Για να πραγματοποιηθεί η παραπάνω διαδικασία, απαραίτητα δεδομένα είναι η θερμοκρασία, η βροχόπτωση και το διαθέσιμο νερό στο έδαφος (Available Water Content, AWC). Η ανθρώπινη επίδραση στην ισορροπία του νερού, δεν μπορεί να προσδιοριστεί με ακρίβεια. Οι κανονικοποιημένες τιμές του δείκτη προσφέρουν τη δυνατότητα συγκρίσεων ανάμεσα σε διαφορετικές περιόδους αλλά και διαφορετικές περιοχές, δεδομένα απαραίτητα για τον υπολογισμό της χωρικής κατανομής της ξηρασίας (Palmer, 1965). Ο PDSI είναι ιδανικός δείκτης για την αντιμετώπιση της ξηρασίας σε ημι-άνυδρες και ξηρές περιοχές, όπου η βροχόπτωση αποτελεί τη βασική πηγή υγρασίας (Doesken et al., 1991). Επίσης, ο παραπάνω δείκτης έχει μετατραπεί σε υδρολογικό, ο οποίος μπορεί να εντοπιστεί ως PHDI (Karl and Knight, 1985 ; NOAA, 2003). Οι δείκτες PDSI και PHDI, επιδεικνύουν πανομοιότυπη συμπεριφορά, ωστόσο ο PHDI διαφέρει ως προς τα εξής: α) διαθέτει πιο αυστηρά κριτήρια αναφορικά με την εξάλειψη ενός υγρού ή ξηρού επεισοδίου (Tsakiris and Pangalou, 2009) και β) μπορεί να προσδιοριστεί κατά τη διάρκεια του επεισοδίου σε αντίθεση με τον PDSI, ο οποίος υπολογίζεται μόνο μετά το τέλος του επεισοδίου (Alley, 1984). Ακόμη, ο Z Index, μια παραλλαγή Palmer Index, είναι η εκτίμηση της ξηρασίας για ένα μόνο μήνα (Guttman, 1998) και πιο συγκεκριμένα, η σύγκριση της παρατηρούμενης υγρασίας με τις κανονικές (μέσες) συνθήκες (Heim, 2002). Η μεγαλύτερη διαφορά μεταξύ Z Index και PDSI είναι ότι, ο Z Index δε λαμβάνει υπόψη τους περασμένους μήνες κι αυτό έχει ως αποτέλεσμα η τιμή του να μεταβάλλεται σημαντικά από μήνα σε μήνα. Ο δείκτης Palmer υιοθέτησε την

ταξινόμηση που φαίνεται στον παρακάτω πίνακα για τις τιμές του δείκτη PDSI, οι οποίες κυμαίνονται από -4.0 και 4.0. Οι τιμές αυτές βρίσκουν ανταπόκριση σε πολλές περιοχές της Αμερικής (Alley, 1984 ; Willeke et al., 1994), αλλά και στην Ελλάδα (Dalezios et al., 1991 ; Dalezios et al., 2000 ; Loukas et al., 2000). Στον παρακάτω Πίνακα 1 αναγράφονται οι τιμές που λαμβάνει ο δείκτης PDSI, καθώς και ο χαρακτηρισμός των περιόδων βάσει αυτών.

Πίνακας 1: Τιμές του δείκτη PDSI

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

Με βάση τον Alley (1984), τα σημαντικότερα προτερήματα που προκύπτουν από την χρήση του δείκτη είναι τρία. Πιο συγκεκριμένα:

- ✓ αποτελεί ένα είδος μέτρου της μη κανονικότητας του καιρού σε μια περιοχή
- ✓ παρουσιάζει τη χωροχρονική κατανομή των επεισοδίων ξηρασίας
- ✓ δίνει τη δυνατότητα να μελετηθούν σημερινές συνθήκες με μια ιστορική προοπτική

Ωστόσο, υπάρχουν και αρκετά μειονεκτήματα που προκύπτουν κατά την εφαρμογή του δείκτη Palmer (Alley 1984, Karl and Knight 1985, Hayes, 1999). Τα μειονεκτήματα αυτά είναι:

- ✓ ο ποσοτικός προσδιορισμός της έντασης ενός επεισοδίου ξηρασίας
- ✓ η έναρξη και η λήξη μιας ξηρής ή και υγρής ακολουθίας έχει γίνει αυθαίρετα, με βάση τα δεδομένα βροχόπτωσης σε δύο συγκεκριμένες περιοχές των ΗΠΑ
- ✓ ο δείκτης Palmer παρουσιάζει ευαισθησία στην τιμή του διαθέσιμου νερού (AWC)
- ✓ η χρήση του δείκτη σε περιοχές με διαφορά στο διαθέσιμο νερό, πιθανότατα να επιφέρει



διαφορετικά αποτελέσματα

- ✓ τα δύο στρώματα εδάφους, για τα οποία γίνεται ο υπολογισμός του ισοζυγίου του ύδατος μπορεί να είναι αναποτελεσματικά σε μια άλλη περιοχή μελέτης
- ✓ ο δείκτης δεν αφορά σε χιονόπτωση, χιονοκάλυψη ή παγωμένο έδαφος
- ✓ δεν προσδιορίζεται η φυσική υστέρηση μεταξύ της βροχόπτωσης και της αντίστοιχης απορροής
- ✓ η δυνητική εξατμισοδιαπνοή υπολογίζεται με τη μέθοδο Thornthwaite (Thornthwaite, 1948 ; Thornthwaite and Mather 1957). Η μέθοδος αυτή, αν και έχει μεγάλη αποδοχή, παρουσιάζει μια πλή προσέγγιση του φαινομένου. Στην σημερινή εποχή, υπάρχουν άλλες μέθοδοι, με καλύτερα αποτελέσματα

Σύμφωνα με τον McKee et al. (1995), ο δείκτης PDSI αρχικά συστάθηκε για να εφαρμοστεί στη γεωργία, για αυτό και δεν αποδίδει την επίδραση της ξηρασίας πάνω στην υδρολογία μιας περιοχής σε μεγάλη χρονική κλίμακα. Ο Kogan (1995), υποστηρίζει ότι, ο δείκτης Palmer συστάθηκε για συγκεκριμένες περιοχές των ΗΠΑ, γεγονός που επιφέρει την αναποτελεσματικότητα σε περιοχές με διαφορετική τοπογραφία από αυτή για την οποία δημιουργήθηκε αρχικά. Επίσης, οι Smith et al., (1992), ο συγκεκριμένος δείκτης είναι ανεπαρκής σε περιοχές όπου παρατηρούνται διακυμάνσεις της βροχόπτωσης και της απορροής. Τέλος, παρά τα αρκετά μειονεκτήματά του, ο Palmer έχει εφαρμοστεί για την παρακολούθηση της ξηρασίας και τη λήψη απαραίτητων μέτρων για πολλά χρόνια κι αυτός είναι ο βασικός λόγος για τον οποίο ο δείκτης αυτός θεωρείται ιδιαίτερα γνωστός στην επιστημονική κοινότητα.

- *Percent of normal (Το ποσοστό της μέσης τιμής βροχόπτωσης).*

Το ποσοστό της μέσης τιμής βροχόπτωσης αποτελεί έναν από τους πιο απλούς δείκτες ξηρασίας. Προσδιορίζεται διαιρώντας την πραγματική τιμή του ποσού βροχόπτωσης διά τη μέση τιμή αυτής-συνήθως η μέση μηνιαία τιμή μιας χρονοσειράς 30 ετών- και πολλαπλασιάζεται επί 100. Ο δείκτης αυτός τείνει να υπολογίζεται για ένα μήνα ή για ένα σύνολο μηνών. Επομένως, η κανονική βροχόπτωση μιας περιοχής αντιπροσωπεύει το 100%, ενώ τιμές μικρότερες του 100% αντιπροσωπεύουν ξηρές συνθήκες. Το ποσοστό της μέσης τιμής βροχόπτωσης μπορεί εύκολα να ερμηνευτεί λάθος, διότι δίνονται διαφορετικές τιμές για κάθε περιοχή και εποχή. Ένα από τα μειονεκτήματα του δείκτη αυτού είναι σύμφωνα με τον Hayes (1999), ότι η μέση τιμή δεν είναι ίση με τη διάμεσο του ποσού βροχόπτωσης. Επιπλέον, υποστηρίζει ότι ο δείκτης αυτός προτείνεται μόνο για την ανάλυση μιας κάθε φοράς περιοχής

και περιόδου, επειδή είναι ανέφικτη η συσχέτιση των ποσοστών μέσης τιμής συσχέτισης ανάμεσα σε διαφορετικές περιοχές, λόγω της μεγάλης απόκλισης των δεδομένων βροχόπτωσης από τη μια περιοχή στην άλλη.

- *Reconnaissance Drought Index- RDI (Δείκτης Αναγνώρισης Ξηρασίας).*

Ο δείκτης RDI συστάθηκε στο Εργαστήριο Εγγειοβελτιωτικών Έργων και Διαχείρισης Υδατικών Πόρων του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (Tsakiris, 2004). Πρόκειται για δείκτη ο οποίος δεν απαιτεί μεγάλο αριθμό δεδομένων για την ανάλυση του φαινομένου ξηρασίας. Για την εφαρμογή αυτού του δείκτη είναι απαραίτητα τα δεδομένα βροχόπτωσης και δυνητικής εξατμισοδιαπνοής, ενώ παράλληλα παρουσιάζεται με δύο μορφές: α. την κανονικοποιημένη ( $RDI_{normalised}$ ) και β. την τυποποιημένη ( $RDI_{standardised}$ ) (Κοκκινίδου, 2008). Σκοπός του δείκτη RDI, είναι η προσέγγιση της ξηρασίας μέσω μιας μορφής ισοζυγίου μεταξύ <<εισορών>> και <<εκροών>> στο υδατικό σύστημα. Ως <<εισορή>> χαρακτηρίζεται η βροχόπτωση (P) ενώ ως <<εκροή>> η δυνητική εξατμισοδιαπνοή (PET), η οποία χρησιμοποιήθηκε λόγω του ότι η πραγματική εξατμισοδιαπνοή θα προξενούσε σημαντικά προβλήματα (Τσακίρης και Βαγγέλης, 2005). Για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο, η αρχική τιμή του δείκτη υπολογίζεται από ένα συνολικό άθροισμα, με τη χρήση μηνιαίου χρονικού βήματος και καθορίζεται για καθε μήνα του υδρολογικού έτους ξεχωριστά ή για ολόκληρο το υδρολογικό έτος (Παπάρας, 2011). Όπως προκύπτει από τους Tsakiris et al. (2006), η αρχική τιμή  $a_0$  προσδιορίζεται για το έτος  $i$  και προκύπτει από την εξίσωση:

$$a_0^i = \frac{\sum_{j=1}^{12} P_{ij}}{\sum_{j=1}^{12} PET_{ij}}, \quad i=1 \text{ μέχρι } N \text{ και } j=1 \text{ μέχρι } 12$$

Όπου:

$P_{ij}$ , η βροχόπτωση του μήνα  $j$  για το έτος  $i$ , η οποία τις περισσότερες φορές αρχίζει από τον Οκτώβριο, για  $N$  αριθμό ετών για τα οποία υπάρχουν δεδομένα.

$PET_{ij}$ , η δυναμική εξατμισοδιαπνοή του μήνα  $j$  για το έτος  $i$ , η οποία τις περισσότερες φορές αρχίζει από τον Οκτώβριο, για  $N$  αριθμό ετών για τα οποία υπάρχουν δεδομένα.

$a_0$ , ένας γενικός δείκτης, ο οποίος προσδιορίζει τη μετεωρολογική ξηρασία και ο υπολογισμός του αφορά περιόδους 3,6,9 και 12 ετών (Τσακίρης και Τίγκας, 2007).

Όπως ειπώθηκε παραπάνω, εφαρμόζονται δύο ακόμη τύποι του δείκτη RDI, ο κανονικοποιημένος ( $RDI_{normalised}$ ) και ο τυποποιημένος ( $RDI_{standardised}$ ), οι οποίοι καθορίζονται από τις παρακάτω σχέσεις:

$$RDI_n = \frac{RDI_o}{RDI_o} - 1$$
$$RDI_{st} = \frac{y - \bar{\mu}}{\hat{\sigma}}$$

Όπου:

RDI, ο μέσος όρος του RDI<sub>0</sub>,

y: In (RDI<sub>0</sub>)

μ, ο αριθμητικός μέσος του y

σ, η τυπική απόκλιση του y

- *Crop Moisture Index- CMI (Δείκτης Υγρασίας και Καλλιέργειας).*

Ο δείκτης CMI αποτελεί μια μορφή του δείκτη Palmer, ο οποίος δημιουργήθηκε από τον ίδιο, αποσκοπώντας στην παρακολούθηση των περιόδων ξηρασίας οι οποίες διαρκούν για μικρό χρονικό διάστημα, καθώς και στις αλλαγές στις συνθήκες υγρασίας που πλήττουν τις καλλιέργειες. Αυτός ο δείκτης υπολογίζεται με βάση τη μέση θερμοκρασία και την συνολική βροχόπτωση για κάθε εβδομάδα μέσα σε μια κλιματική περιοχή και την τιμή του δείκτη CMI της προηγούμενης εβδομάδας. (Καραμπουρνιώτης, 2012).

Βασικό πλεονέκτημα αυτού του δείκτη είναι ότι, αντιδρά αμέσως στις αλλαγές που παρατηρούνται στις καιρικές συνθήκες, ενώ παράλληλα έχει τη δυνατότητα να συγκρίνει τα επίπεδα υγρασίας μεταξύ περιοχών. Εξαιτίας του ότι ο δείκτης αυτός έχει συσταθεί για την παρακολούθηση μικρών περιόδων ξηρασίας σε μια αναπτυσσόμενη σοδειά, θα ήταν αναποτελεσματικό να χρησιμοποιηθεί ως μέσο για την παρακολούθηση συνθηκών μεγαλύτερης διάρκειας (Hayes, 1999). Για παράδειγμα, μια καλή βροχόπτωση στη διάρκεια μιας περιόδου ξηρασίας, μπορεί να επιτρέψει στον CMI να υποδείξει κατάλληλες συνθήκες υγρασίας, ενώ η μακροχρόνια ξηρασία εξακολουθεί να υφίσταται (Αναγνωστοπούλου, 2003 ; Μπαλάς, 2006). Ένας ακόμη λόγος για τον οποίο ο δείκτης CMI δε δύναται να εντοπίζει μεγάλης κλίμακας ξηρασίες είναι ότι, κάθε καλλιεργητική περίοδος ξεκινάει και τελειώνει με την τιμή μηδέν. Έτσι, είναι αδύνατο να χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση συνθηκών υγρασίας εκτός της καλλιεργητικής περιόδου και ιδιαίτερα για τη ξηρασία, η οποία κρατά για μεγάλη σειρά ετών. Ο δείκτης CMI για παράδειγμα, δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατά τη



διάρκεια της βλάστησης του σπόρου ή κατά την αρχή της περιόδου ανάπτυξης των φυτών (Αναγνωστοπούλου, 2003).

- *Surface Water Supply Index-SWSI (Δείκτης Παροχής Επιφανειακού Νερού).*

Ο Δείκτης Παροχής Επιφανειακού Νερού αποτελεί δημιούργημα των Shafer and Dezman (1982), με σκοπό την συμπλήρωση του δείκτη Palmer στο Κολοράντο, μέρος στο οποίο η χιονοκάλυψη αποτελεί πρωτεύον στοιχείο της ύδρευσης. Ο παραπάνω δείκτης αποτελεί ένα είδος μέτρου των συνθηκών των επιφανειακών υδάτων και χαρακτηρίζεται ως δείκτης διαθεσιμότητας του νερού σε ορεινές περιοχές, στις οποίες η χιονοκάλυψη είναι ένας σημαντικός παράγοντας. Ο δείκτης SWSI έχει ως σκοπό την ενσωμάτωση των υδρολογικών και των κλιματολογικών σε μια ενιαία τιμή του δείκτη που είναι παρόμοιος με το δείκτη Palmer για κάθε σημαντική λεκάνη απορροής ποταμού στην πολιτεία του Κολοράντο (Shafer and Dezman, 1982). Για να πετύχει τον σκοπό του χρησιμοποιεί ιστορικά δεδομένα και προσφέρει πληροφορίες αναφορικά με την τωρινή κατάσταση της εδαφικής φόρτισης, της ροής των υδάτων αλλά και της βροχόπτωσης σε μεγάλα υψόμετρα (Ζαραγκότας, 2005).

Η μαθηματική διατύπωση του δείκτη SWSI είναι η εξής:

$$SWSI = \frac{a \cdot P_{snow} + b \cdot P_{prec} + c \cdot P_{strm} + d \cdot P_{resv} - 50}{12}$$

Όπου:

a, b, c και d, είναι οι συντελεστές βαρύτητας κάθε υδρολογικής συνιστώσας με a, b, c, d = 1

P<sub>j</sub>, είναι η πιθανότητα μη υπέρβασης ( % ) για τη j συνιστώσα

sn<sub>ow</sub>, p<sub>rec</sub>, s<sub>tream</sub> και r<sub>es</sub>, είναι οι συνιστώσες χιονόπτωσης, βροχόπτωσης, υδατοροής και αποθήκευσης αντίστοιχα.

Αφαιρώντας 50 και διαιρώντας με το 12, προκύπτει μια διαδικασία στρογγυλοποίησης και συρρίκνωσης, με σκοπό την τελική τιμή στην ίδια τάξη μεγέθους με τις τιμές PDSI (Garen, 1993). Ο SWSI επικεντρώνεται στο μηδέν και έχει εύρος μεταξύ -4,2 και 4,2, όπως ακριβώς και ο δείκτης Palmer. Μερικά από τα κυριότερα πλεονεκτήματα του δείκτη SWSI, σύμφωνα με τον Hayes (1999), είναι ο εύκολος τρόπος υπολογισμού του και το γεγονός ότι προσφέρει αντιπροσωπευτικές μετρήσεις της παροχής νερού σε όλο το εύρος της περιοχής που εξετάζεται. Από την άλλη πλευρά, στα μειονεκτήματά του, κατατάσσεται η μη συνεχής ροή των δεδομένων κάθε μήνα, τα οποία είναι αναγκαία για κάποιους σταθμούς, όπως επίσης και εισαγωγή ενός νέου σταθμού παρατηρήσεων στην περιοχή που μελετάται. Φαινόμενα όπως εκτροπές ή νέες υδατοδεξαμενές, κρίνουν αναγκαία την επαναδιατύπωση του αλγόριθμου του SWSI, ώστε να

μπορούν να προσδιοριστούν καινούριες τιμές για κάθε συντελεστή. Κάτι το οποίο μπορεί να επηρεάσει τον υπολογισμό του δείκτη, είναι τα ακραία φαινόμενα. Για παράδειγμα, εάν ένα ακραίο φαινόμενο παρουσιάσει μικρότερες τιμές από αυτές που απαιτεί μια χρονοσειρά δεδομένων, τότε ο δείκτης θα πρέπει να υπολογιστεί ξανά, συμπεριλαμβάνοντας και τις νέες τιμές στην κατανομή συχνοτήτων στη λεκάνη (Βασιλειάδης, 2010).

- *Deciles.*

Ένας άλλος τρόπος με τον οποίο μπορεί να εκτιμηθεί η ξηρασία, είναι η διευθέτηση των τιμών βροχόπτωσης μιας χρονοσειράς σε δέκατα (deciles). Ο δείκτης αυτός αποτελεί δημιουργία των Gibbs and Maher (1967), ώστε να αποφευχθούν μερικές από τις αδυναμίες του Percent of Normal. Όπως ο Percent of Normal, έτσι και ο Deciles μπορεί να προσδιοριστεί για διάφορες χρονικές κλίμακες. Σύμφωνα με τα Deciles -τα οποία συναντώνται και ως Percentiles σε περίπτωση που γίνεται λόγος για άλλο ποσοστό-, η κατανομή των περιστατικών βροχόπτωσης για πολλά συνεχή έτη, διαιρείται σε δέκα μέρη, το καθένα από τα οποία ονομάζεται decile (δέκατο). Το πρώτο decile είναι το ποσό βροχόπτωσης, το οποίο δε ξεπερνιέται από το χαμηλότερο 10% των περιστατικών. Το δεύτερο είναι το ποσό βροχόπτωσης, το οποίο δε ξεπερνιέται από το χαμηλότερο 20% των περιστατικών. Μ'αυτόν τον τρόπο τα deciles συνεχίζονται μέχρι την στιγμή που το δέκατο θα ταυτιστεί με το μεγαλύτερο ποσό βροχόπτωσης που έχει καταγραφεί. Το πέμπτο decile αποτελεί τη διάμεσο του δείγματος, δηλαδή το ποσό βροχόπτωσης το οποίο δε ξεπερνιέται από το 50% των τιμών της χρονοσειράς. Τα deciles δομούνται στις πέντε παρακάτω κατηγορίες στον Πίνακα 2.

Πίνακας 2: Τιμές του δείκτη Deciles

<b>Κατηγορίες Deciles</b>	
1-2 : Χαμηλότερη 20%	Πολύ κάτω από το κανονικό
2-3 : Επόμενος χαμηλότερο 20%	Κάτω από το κανονικό
5-6 : Μεσαίο 20%	Κοντά στο κανονικό
7-8 : Επόμενο υψηλότερο 20%	Πάνω από το κανονικό
9-10 : Υψηλότερο 20%	Πολύ πάνω από το κανονικό

Τα deciles εφαρμόζονται κυρίως στην Αυστραλία. Ο δείκτης αυτός, επιλέχθηκε μάλιστα από τον Εθνικό Σύστημα Παρακολούθησης της Αυστραλίας (Australian Drought Watch System), ως μετεωρολογικός δείκτης ξηρασίας, λόγω της ευκολίας του υπολογισμού του αλλά και των λιγοστών δεδομένων που απαιτεί, σε αντίθεση με το δείκτη Palmer Drought Severity Index (Smith et al., 1993). Στα πλεονεκτήματα του δείκτη Deciles, συγκαταλέγονται η ακριβής

στατιστική μέτρηση βροχόπτωσης, καθώς και ο εύκολος υπολογισμός του, ενώ στα μειονεκτήματα κατατάσσονται η απαίτηση μακροχρόνιων δεδομένων, τουλάχιστον 30 ετών, για να είναι μπορεί να κριθεί ο δείκτης αξιόπιστος.

- *Effective Drought Index- EDI.*

Αυτός ο δείκτης δημιουργήθηκε με σκοπό να υπερβεί ορισμένες δυσκολίες που πιθανότατα αδυνατούσαν να αντιμετωπίσουν άλλοι δείκτες, αναφορικά με την έναρξη, τη λήξη, αλλά και τον προσδιορισμό της διάρκειας ενός επεισοδίου ξηρασίας (Byun and Wilhite, 1999). Ο δείκτης EDI, προσδιορίζεται σε ημερήσιο επίπεδο, με τιμές που κυμαίνονται μεταξύ -2,5 έως 2,5. Επειδή οι τιμές είναι κανονικοποιημένες, καθίσταται δυνατή η σύγκριση ανάμεσα σε ποικίλες περιοχές (Quiring, 2009).

- *Vegetation Condition Index- VCI.*

Συστάθηκε από τον Kogan (1995), έχοντας ως κύριο στόχο την εκτίμηση της κατάστασης της βλάστησης, ελέγχοντας κάθε φορά τις πιθανές διαφοροποιήσεις που ίσως προκύψουν στην παραγωγικότητα του οικοσυστήματος. Ο υπολογισμός του γίνεται μέσω δορυφόρου, με τη χρήση ραδιομετρητών, πολύ υψηλής ανάλυσης (Advanced Very High Resolution Radiometer- AVHRR), οι οποίοι με τη βοήθεια υπέρυθρης ακτινοβολίας επεξεργάζονται κλιματικά και περιβαλλοντικά δεδομένα, αλλά και δεδομένα ανάπτυξης φυτών. Ο VCI, έχει τη δυνατότητα να υπολογίζει την ένταση και τη διάρκεια ενός επεισοδίου ξηρασίας, με μερική ωστόσο αποτελεσματικότητα την κρύα περίοδο, λόγω του ότι βασίζεται σε δεδομένα βλάστησης.

- *Bhalme - Mooley Drought Index – BMDI*

Ο δείκτης αυτός δημιουργήθηκε από τους Bhalme and Mooley (1980) και αποσκοπεί στην σωστή εκτίμηση των παρόντων επεισοδίων ξηρασίας, τα οποία είναι αποτέλεσμα μικρών ξηρών περιόδων. Υπολογίζεται με μεγάλη σχετικά ευκολία, διότι βασίζεται κατά κύριο λόγο σε δεδομένα μηνιαίας βροχόπτωσης (Tsakiris and Pangalou, 2009).

- *National Rainfall Index - RI*

Ο Εθνικός Δείκτης Βροχόπτωσης αποτελεί δημιούργημα των Gommes and Petsassi (1994), προκειμένου να συγκρίνει τις τιμές βροχόπτωσης με έντονη διακύμανση σε ηπειρωτική κλίμακα στην Αφρική (Hayes, 1999). Ο δείκτης αυτός εκτιμάται για κάθε χώρα βασισμένος στην ετήσια μέση βροχόπτωση, σύμφωνα με τη μέση τιμή βροχοπτώσεων μεγάλης χρονοσειράς για καθένα σταθμό ξεχωριστά. Οι Gommes and Petsassi, υποστηρίζουν ότι, ο δείκτης αυτός με την παραγωγή αγροτικών προϊόντων στην Αφρική, σε εθνικό επίπεδο.

Επομένως, εάν ο δείκτης αποσκοπεί στον συνδυασμό της βροχόπτωσης και της ανάπτυξης των φυτών, τότε ο δείκτης χαρακτηρίζεται ως αποτελεσματικός. Σε αντίθετη περίπτωση, εάν ο δείκτης χρησιμοποιείται με σκοπό τον εντοπισμό υδρολογικών, περιβαλλοντικών και κοινωνικών επιπτώσεων ενός επεισοδίου ξηρασίας, τότε ο δείκτης κρίνεται αναποτελεσματικός.

- *China – Z Index - CZI*

Δημιουργήθηκε στην Κίνα στις αρχές της δεκαετίας του 1990 και εφαρμόζεται από το National Meteorological Centre of China (NMCC) (Wu et al., 2001), με σκοπό την παρακολούθηση επεισοδίων ξηρασιών και πλημμυρών. Χρησιμοποιεί μόνο δεδομένα βροχόπτωσης και υπολογίζεται σε διάφορες χρονικές κλίμακες (π.χ 1-, 3-, 6-, 9-, 12- μηνιαίες κλίμακες), ενώ η συμπεριφορά του είναι αρκετά παρόμοια με το δείκτη SPL. Κύριο πλεονέκτημά του είναι ότι, είναι αρκετά απλούστερος ως προς τον υπολογισμό του, αλλά και πιο ευέλικτος σε περίπτωση απουσίας μερικών δεδομένων (Wu et al, 2001).

- *Aggregated Drought Index (ADI)*

Αποτελεί δημιούργημα των Keyantash and Dracup (2004). Έχοντας ως σκοπό τη διατήρηση μιας στενής σχέσης μεταξύ της ξηρασίας και των βασικών στοιχείων του υδρολογικού κύκλου, εισηγήθηκαν στο δείκτη αυτό 6 μεταβλητές: η βροχόπτωση, η απορροή, ο όγκος αποθηκευμένου νερού, η εδαφική υγρασία, το χιόνι και η δυνητική εξατμισοδιαπνοή. Εφαρμόζεται κατά κύριο λόγο στην Αυστραλία και έχει ως κύριο πλεονέκτημα το γεγονός ότι, αντιμετωπίζει τη ξηρασία από μια πιο ευρεία οπτική, εκτός των παραδοσιακών κατηγοριών του φαινομένου (μετεωρολογική, υδρολογική, γεωργική).

### *1.2.1 Αναγκαιότητα δεικτών ξηρασίας.*

Γενικότερα, η ξηρασία αποτελεί ένα ιδιαίτερα περίπλοκο φαινόμενο, το οποίο με δυσκολία εντοπίζεται, προσδιορίζεται και ποσοτικοποιείται. Από όσες μεθόδους έχουν προταθεί για την εκτίμηση της ξηρασίας, δύο είναι οι επικρατέστερες (Tsakiris and Pangalou, 2009): αυτές οι οποίες στηρίζονται στους δείκτες ξηρασίας και τους συνδυασμούς τους (μαθηματικές μεθοδολογίες ,οι οποίες περιλαμβάνουν τη χρήση διαφόρων δεικτών). Οι εμπειρικές μεθοδολογίες χρησιμοποιούνται τις περισσότερες φορές σε περιπτώσεις ιστορικών αναλύσεων του φαινομένου της ξηρασίας, διότι δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε επεισόδια που λαμβάνουν χώρα τη δεδομένη χρονική στιγμή, επομένως είναι αδύνατο να ληφθούν μέτρα για την άμεση αντιμετώπισή τους. Σε γενικές γραμμές, είναι αρκετά δύσκολο να οριστεί με ακριβή τρόπο η ξηρασία, αν ληφθεί υπόψη ότι, πρόκειται για ένα φαινόμενο το οποίο αποτελείται από

τρεις βασικές παραμέτρους (ένταση, διάρκεια, γεωγραφική έκταση). Επιπροσθέτως, οι διαφορετικοί ορισμοί για τη ξηρασία, ο τρόπος με τον οποίο το φαινόμενο μεταβάλλεται ανάλογα με το κλίμα και την τοπογραφία κάθε μέρους και οι πολύπλοκες φυσικές διεργασίες που την προκαλούν, κάνουν τη δημιουργία δεικτών ξηρασίας ακόμη πιο αναγκαία, ώστε να μπορεί το φαινόμενο να αναγνωρίζεται και να αξιολογείται όχι μόνο σε τοπικό αλλά και σε ευρύτερο επίπεδο. Αυτό που προτείνεται είναι μια σαφή επιλογή μεθόδων προσδιορισμού της ξηρασίας, οι οποίες θα είναι ικανές να περιγράψουν με ακριβή τρόπο στο χρόνο και στο χώρο την εξέλιξη των συνθηκών ξηρασίας. Τις περισσότερες φορές αυτό που είναι πιο αποτελεσματικό, είναι ο συνδυασμός δεικτών, μιας και υπάρχουν δείκτες που μπορούν να περιγράψουν κάθε είδος ξηρασίας.

### *1.2.2 Χαρακτηριστικά δεικτών ξηρασίας.*

Ένας δείκτης για να χαρακτηρίσει σωστά ένα φαινόμενο ξηρασίας, πρέπει να πληροί ορισμένες προϋποθέσεις. Πιο συγκεκριμένα, θα πρέπει:

- A. να εκτιμάται από διαθέσιμα δεδομένα από συστήματα συλλογής δεδομένων
- B. να έχει άμεση σχέση με οικονομικά, περιβαλλοντικά και κοινωνικά συστήματα
- Γ. να χρησιμοποιείται για προβλέψεις και συστήματα έγκαιρης καταγραφής.

Ένας δείκτης για να είναι αποτελεσματικός οφείλει να παρουσιάζει μια εμφανή, απλή και ποιοτική ανάλυση των βασικών χαρακτηριστικών της ξηρασίας, δηλαδή της έντασης, της διάρκειας και της χωρικής έκτασής της (Hayes, 2000). Στο πέρασμα του χρόνου, έχουν δημιουργηθεί πολλοί δείκτες ξηρασίας, όπως ο Percent of Normal, τα Deciles, τα οποία εφαρμόζονται κυρίως στην Αυστραλία, ο Palmer Drought Severity Index (PDSI), ο οποίος χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο στις ΗΠΑ, ο China-Z index (CZI), ο οποίος χρησιμοποιείται από το Εθνικό Μετεωρολογικό Κέντρο της Κίνας (Wu et al., 2001), ο Crop Moisture Index (CMI), ο Surface Water Supply Index (SWSI), ο οποίος εφαρμόζεται σε πολλές πολιτείες των ΗΠΑ καθώς και ο Standardized Precipitation Index (SPI – McKee et al., 1993), τον οποίο αποδέχονται ολοένα και περισσότερα μέρη στη γη. Σημαντική είναι επίσης και η πρόοδος στον τομέα της τηλεπισκόπησης, η οποία προσφέρει προϊόντα που διαθέτουν μεγάλη δυναμική ως δείκτες ξηρασίας, κυρίως σε περιπτώσεις που οι πηγές δεδομένων είναι περιορισμένες. Ο NDVI χρησιμεύει στην συνεχή παρακολούθηση και πρόβλεψη της παραγωγής καλλιεργειών μέσω δορυφορικών εικόνων παγκοσμίως.

Οι δείκτες ξηρασίας χρειάζονται για τον υπολογισμό τους δεδομένα που αναφέρονται στο ύψος βροχής, στο πάχος του στρώματος του χιονιού, στα αποθέματα νερού, στη θερμοκρασία και την εξατμισοδιαπνοή αλλά και σε άλλες παραμέτρους. Παρόλα αυτά, η βροχόπτωση συνεχίζει

να αποτελεί τη σημαντικότερη παράμετρο (Oladipo, 1985 ; Guttman, 1988 ; Keyantash and Dracup, 2002). Η τιμή του δείκτη είναι ένας καθαρός αριθμός, ο οποίος τις περισσότερες φορές μπορεί να φανεί περισσότερο χρήσιμος από ότι η ανάλυση κάθε παραμέτρου ξεχωριστά. Ακόμη κι αν ο υπολογισμός του δείκτη είναι σύνθετος, τα αποτελέσματα θα πρέπει να αποδοθούν σε απλή μορφή. Η σωστή εφαρμογή των δεικτών μπορεί να παρουσιάσει τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που μπορεί να έχει κάθε επεισόδιο ξηρασίας, ενώ η μελέτη των τιμών ορισμένων δεικτών μπορεί να κάνει μια πρόβλεψη για την εμφάνιση των εν λόγω επεισοδίων. Ωστόσο, η λανθασμένη εφαρμογή και ερμηνεία των δεικτών, πιθανότατα να οδηγεί σε άλογα αποτελέσματα. Μέχρι τώρα, δεν έχει επισημανθεί ότι κάποιος δείκτης είναι κατάλληλος για κάθε περίπτωση ξηρασίας, όμως είναι δεδομένο ότι μερικοί δείκτες είναι πιο αποτελεσματικοί από άλλους. Για παράδειγμα, ο δείκτης Palmer, συστάθηκε και χρησιμοποιήθηκε σε περιοχή με ομαλό ανάγλυφο στις ΗΠΑ, αποσκοπώντας στον καθορισμό εμφάνισης της ξηρασίας. Σε περιοχές όμως που παρουσιάζουν πιο έντονο ανάγλυφο, προτείνεται η χρήση του δείκτη Palmer σε συνδυασμό και με άλλους δείκτες, όπως ο SWSI, δείκτες οι οποίοι Ανάλογα με το είδος ξηρασίας επιλέγεται και ο κατάλληλος δείκτης, ενώ μερικοί δείκτες κρίνονται καταλληλότεροι για ιστορικές αναλύσεις φαινομένων ξηρασίας, σε αντίθεση με άλλους που χρησιμοποιούνται περισσότερο για την παρακολούθηση ενός φαινομένου, το οποίο λαμβάνει χώρα την συγκεκριμένη χρονική περίοδο.

### *1.2.3 Ιδιότητες ενός δείκτη ξηρασίας.*

Με βάση τους Tsakiris and Pangalou (2009), τα ιδιαίτερα γνωρίσματα ενός καλού δείκτη ξηρασίας, είναι τα εξής:

1. Η απλότητα του δείκτη, δηλαδή να είναι κατανοητός
2. Ο σωστός ορισμός του, να είναι επιστημονικά αποδεκτός και να έχει φυσική έννοια
3. Η ευαισθησία, δηλαδή να ανταποκρίνεται σε μεγάλο εύρος τιμών
4. Η έγκαιρη ανταπόκριση του δείκτη στις κλιματικές διακυμάνσεις
5. Η μεταβιβασιμότητα, δηλαδή να χρησιμοποιείται σε πολλές περιοχές
6. Η διαθεσιμότητα στοιχείων, δηλαδή να υπάρχει διαθεσιμότητα σε εύρος δεδομένων
7. Το χαμηλό κόστος επεξεργασίας δεδομένων για την παραγωγή του δείκτη

Οι αναγκαίες ιδιότητες ενός καλού δείκτη σύμφωνα με τους Keyantash and Dracup (2002), είναι οι εξής:

1. Η ευρωστία, δηλαδή να είναι ανεξάρτητος περιοχής και χρόνου που υπολογίζεται
2. Η ευκολία υπολογισμού και η διαθεσιμότητα στοιχείων

3. Η διαφάνεια, δηλαδή να είναι κατανοητός στους πολίτες
4. Η ορθότητα, δηλαδή να είναι επιστημονικά τεκμηριωμένος και να υπάρχει φυσικό αντίκρισμα
5. Η επεκτασιμότητα, δηλαδή να μπορεί να επεκταθεί στο παρελθόν και επομένως να μπορούν να γίνουν συγκρίσεις
6. Η διαστατικότητα, δηλαδή η μονάδα μέτρησης του δείκτη να είναι απλή και να έχει νόημα στον κόσμο (π.χ mm βροχής, ποσοστό %).

Με βάση αυτές τις 6 ιδιότητες σταθμισμένες, με τις 2 πρώτες να υπερέχουν έναντι των 4 υπολοίπων, ο Quiring (2009), συνέκρινε τους παρακάτω 7 δείκτες: Standardized Precipitation Index (SPI), Palmer Drought Severity Index (PDSI), Deciles, Percent of Normal, Z Index, EDI και VCI. Από την παραπάνω σύγκριση, συμπέρανε ότι οι δείκτες SPI και Deciles, υπερέχουν των υπολοίπων.

#### *1.2.4 Ο ρόλος των δεικτών στη διαχείριση της ξηρασίας.*

Οι δείκτες ξηρασίας αποτελούν αναγκαία στοιχεία για την παρακολούθηση και την καταγραφή της ξηρασίας, διότι έχουν τη δυνατότητα να συνοψίζουν την σύνθετη διαδικασία της αλληλεπίδρασης μεταξύ των κλιματικών μεταβλητών και των σχετικών διεργασιών. Πρέπει να επισημανθεί ότι, οι δείκτες ξηρασίας δεν αποτελούν τον σκοπό αλλά το μέσο για την ανάλυση ενός επεισοδίου ξηρασίας. Η διαχείριση της ξηρασίας εξαρτάται από δείκτες που εντοπίζουν τις συνθήκες κάτω από τις οποίες παρατηρείται η ξηρασία και τα όρια που ενεργοποιούν την απόκριση στη ξηρασία. Οι δείκτες και τα όρια έχουν μεγάλη σημασία για τον εντοπισμό της έναρξης των συνθηκών ξηρασίας, για την καταγραφή κι εκτίμηση όσων συμβαίνουν στη διάρκεια ενός φαινομένου ξηρασίας, αλλά και για την ποσοτικοποίηση του κινδύνου. Επιπλέον, απλοποιούν τις κλιματικές πληροφορίες, ώστε να είναι πιο προσιτές στους πολίτες. Μερικοί δείκτες, χρησιμοποιούνται για την πιθανή εξέλιξη μια ξηρασίας που ήδη υπάρχει, χρησιμοποιώντας μοντέλα στοχαστικά, ώστε να μπορούν να ληφθούν μέτρα για τη διαχείριση των υδάτινων πόρων. Για το λόγο αυτό έχει γίνει χρήση των δεικτών Palmer Index (Karl et al., 1986 ; Cancelliere et al., 1996 ; Lohani et al., 1998) και SPI (Cancelliere, Mauro, Bonaccorso and Rossi, 2007).

Ο παρών κοινός προσανατολισμός εναποτίθεται στην εφαρμογή μιας ομάδας δεικτών σ' ένα σύστημα διαρκούς παρακολούθησης και καταγραφής των υδρομετεωρολογικών μεταβλητών και της διαθεσιμότητας των υδάτινων πόρων, που θα δίνεται μέσω "κέντρων συνεχούς παρακολούθησης και καταγραφής". Με τους δείκτες PDI, CMI, satellite-based Vegetation Health Index, SWSI, SPI και δεδομένα όπως την στάθμη επιφανειακών ή υπόγειων νερών, την

εδαφική υγρασία κ.α, το DM επιδιώκει την εκτίμηση της ξηρασίας μέσω όλων των δεικτών και των δεδομένων, προσαρμόζοντάς τα σε ένα προϊόν το οποίο θα είναι εύκολα διαχειρίσιμο από κάθε αρμόδιο χρήστη (Heim, 2002). Παρόμοιες απόπειρες διενεργούνται και στην Ιταλία, όπου το Department of Italian National Technical Services επιχειρεί να δημιουργήσει ένα εργαλείο παρακολούθησης της ξηρασίας (Drought Monitor), το οποίο με τη σειρά του θα χρησιμοποιήσει τους δείκτες Percent of Normal, SPI, Deciles και Palmer Index (Bordi, Frigio, Parenti, Speranza and Sutera, 2001).

### **1.3 Αίτια της ξηρασίας**

Τα αίτια στα οποία αποδίδει την ύπαρξή του ένα φαινόμενο ξηρασίας αλλά και το χρονικό διάστημα στο οποίο σημειώνεται, είναι ιδιαίτερα δύσκολο να προσδιοριστεί με ακριβή τρόπο. Για το λόγο αυτό αναδύθηκαν ορισμένες υποθέσεις (Bryant 1991). Τις περισσότερες φορές, η ξηρασία αποτελεί αποτέλεσμα συνδυασμού συγκεκριμένων παραμέτρων, ωστόσο υπάρχουν και φορές που αποτελεί απλώς ένα τυχαίο γεγονός. Οι επικρατέστερες θεωρίες για τη μελέτη ενός επεισοδίου ξηρασίας, είναι οι εξής:

- αλλαγές στην κυκλοφορία της ατμόσφαιρας
- φαινόμενο El-Niño
- αστρονομικοί παράγοντες

#### *1.3.1 Αλλαγές στην κυκλοφορία της ατμόσφαιρας*

Όπως προκύπτει από τους Gribbin (1978), Bryson and Murray (1979) και Lamb (1982), η ξηρασία εμφανίζεται μετά από μια γενικότερη αλλαγή στην ατμόσφαιρα. Σύμφωνα με τους ερευνητές, μικρής διάρκειας ξηρασία αλλά και ημιμόνιμες καταστάσεις του κλίματος, οφείλονται στις μετακινήσεις των κυμάτων Rossby. Πιο συγκεκριμένα, οι Brysson and Murray, υποστηρίζουν ότι, η ξηρασία που παρατηρείται στην περιοχή της Μεσογείου και της Βόρειας Αφρικής, είναι απόρροια της θέσης των κυμάτων Rossby. Το 1976 σημειώθηκε στη Μεγάλη Βρετανία μια ιδιαίτερα καταστροφική ξηρασία, η οποία ενδεχομένως να συνιστά αποτέλεσμα της μετακίνησης του πολικού αεροχειμάρρου και του πολικού μετώπου προς τα βόρεια. Το γεγονός αυτό επέφερε την επέκταση του αντικυκλώνα του Ατλαντικού μέχρι την περιοχή της Μεγάλης Βρετανίας και εν τέλει τη διατήρηση ευστάθειας αλλά και την έλλειψη βροχοπτώσεων στην περιοχή. Επιπροσθέτως, διαφορετικοί παράγοντες, μικρότερης ίσως σημασίας, έχουν τη δυνατότητα να προκαλέσουν κάποιες αλλαγές στην ατμόσφαιρα. Για παράδειγμα, σε περιοχές όπου παρατηρείται εισαγωγή μεγάλης ποσότητας ηφαιστειακής τέφρας ή λεπτόκοκκου κονιορτού από τις ερήμους μπορεί να παρατηρηθεί μεταβολή του



ισοζυγίου της ακτινοβολίας, κάτι που έχει ως αποτέλεσμα την υπερθέρμανση των αερίων μαζών και την εμφάνιση ξηρασίας. Η διέλευση των αερίων μαζών πάνω από ψυχρές θαλάσσιες μάζες. Η κατάσταση αυτή έχει ως αποτέλεσμα την ανεπάρκεια των μαζών αυτών ως προς τα απαραίτητα ποσά υγρασίας, οπότε και παρατηρείται υετός στις περιοχές που επηρεάζονται από αυτές τις μάζες.

### 1.3.2 Φαινόμενο El-Niño

Η μεγάλη θερμοχωρητικότητα των ωκεανών σε συνδυασμό με την ανταλλαγή ενέργειας μεταξύ ατμόσφαιρας και ωκεανών, αποτελούν τον κύριο παράγοντα καθορισμού των κλιμάτων στην επιφάνεια της Γης. Η μείωση της θερμοκρασίας στην επιφάνεια της θάλασσας, η οποία είναι αποτέλεσμα της μεταβολής της τροχιάς των θαλάσσιων ρευμάτων, μπορεί να προκαλέσει αλλαγή στη μεταβολή των καιρικών φαινομένων σε μια συγκεκριμένη περιοχή του πλανήτη. Αυτό αποτελεί μια ακόμη αιτία εμφάνισης ενός επεισοδίου ξηρασίας. Το φαινόμενο El-Niño λαμβάνει χώρα στον Ειρηνικό Ωκεανό. Στο τέλος κάθε χρόνου κάνει την εμφάνισή του στις ακτές του Ισημερινού και του Περού ένα ασθενές, θερμό, ωκεάνιο ρεύμα. Κάποιες φορές όμως, το ρεύμα αυτό φτάνει μέχρι και το κέντρο του Ειρηνικού Ωκεανού, εξαιτίας της περισσότερης θέρμανσης. Ο χαρακτηρισμός El-Niño χρησιμοποιείται μόνο για την περιγραφή ακραίων φαινομένων. Η έντονη θέρμανση του Ειρηνικού Ωκεανού σχετίζεται με καιρικές δυσλειτουργίες που συμβαίνουν στη διάρκεια των ακραίων αυτών φαινομένων. Κάτω από κανονικές συνθήκες, στο ανατολικό τμήμα του Ειρηνικού Ωκεανού σημειώνονται υψηλές πιέσεις, σε αντίθεση με το δυτικό τμήμα και συγκεκριμένα στις περιοχές της Ινδονησίας και της Αυστραλίας, όπου παρατηρούνται χαμηλές πιέσεις. Οι έντονοι ανατολικοί άνεμοι (αληγείς), διατηρούν την ισορροπία του ψυχρού ανατολικού με τον θερμό δυτικό Ειρηνικό. Ωστόσο, όσο διαρκεί το φαινόμενο El-Niño, γίνονται πιο ήπιοι, με αποτέλεσμα το θερμότερο νερό από το δυτικό Ειρηνικό να ρέει προς την Ανατολή. Αυτό συνεπάγεται την αλλαγή επιπέδου της θάλασσας, ενισχύει το θερμό νερό της επιφάνειας στην ακτή της Νότιας Αμερικής, και αυξάνει τη θερμοκρασία του νερού στον ανατολικό Ειρηνικό. Παράλληλα, τα σύννεφα καταιγίδας συσσωρεύονται πάνω από τον κεντρικό κι όχι από το δυτικό Ειρηνικό Ωκεανό. Έτσι, τα ψυχρά και επαρκή σε τροφή νερά των πιο βαθών στρωμάτων δεν έχουν τη δυνατότητα να αναδυθούν στη Βόρεια και τη Νότια Αμερική, με αποτέλεσμα τα θαλάσσια είδη των ζώων αυτών των περιοχών να κινδυνεύουν από έλλειψη τροφής. Αυτό το μοντέλο παλινδρόμησης της ατμοσφαιρικής πίεσης ανάμεσα στο δυτικό και ανατολικό τμήμα του Ειρηνικού, είναι σήμερα γνωστό με τον όρο «Ταλάντωση Νότιας Κύμανσης» (El-Niño Southern Oscillation, ENSO). Με βάση τους Bhalme et al. (1983), τα μέρη τα οποία επηρεάζει η ENSO κυκλοφορία, χαρακτηρίζονται ως περιοχές πλημμυρών και ξηρασίας. Τα φαινόμενα

ENSO έχουν μεγάλη σημασία για την ένταση και την εμφάνιση της ξηρασίας, ενώ ταυτόχρονα μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως μέσο πρόβλεψης της εμφάνισης ενός επεισοδίου ξηρασίας.

### *1.3.3 Αστρονομικοί Παράγοντες*

Υπάρχει η άποψη ότι, οι σεληνιακοί κύκλοι των 18.6 ετών, συνιστούν παράγοντες οι οποίοι ρυθμίζουν την εμφάνιση της ξηρασίας ή της βροχόπτωσης στον πλανήτη. Η περιοδική εμφάνισή τους αποτελεί μέσο πρόγνωσης της ξηρασίας. Η κυκλοφορία στην ανώτερη ατμόσφαιρα συνδέεται με τους κύκλους των ηλιακών κηλίδων (Currie, 1981; 1984). Από την διακύμανση της πολικότητας των ηλιακών κηλίδων στο χρόνο παρατηρείται κύκλος 22 ετών (περιοδικότητα), ο οποίος αποτελείται από δύο 11-ετής κύκλους αντίθετης πολικότητας. Τα ελάχιστα της πολικότητας, στη διακύμανση των ηλιακών κηλίδων, αντιστοιχούν σε επεισόδια ξηρασίας, μικρής ή μεγάλης έντασης. Οι σεληνιακοί κύκλοι των 18.6 ετών αντιπροσωπεύουν τη διακύμανση της τροχιάς της σελήνης, σε σχέση με τον ισημερινό του ηλίου. Υπό κανονικές συνθήκες, η τροχιά της σελήνης δημιουργεί γωνία 5° από τον ισημερινό του ηλίου. Όταν ολοκληρωθεί μια πλήρης περιστροφή, η σελήνη δεν επιστρέφει στην αρχική της θέση, αλλά έχει φτάσει πιο μακριά στο εσωτερικό της τροχιάς της. Κάθε 9.3 έτη, η τροχιά της σελήνης φτάνει στο υψηλότερο σημείο και τότε η σελήνη βρίσκεται πιο κοντά στον Ισημερινό της Γης, δηλαδή βρίσκεται στη θέση του ελαχίστου. Με την έλευση των επόμενων 9.3 ετών, η σελήνη επιστρέφει στην αρχική της θέση. Όπως προκύπτει κι από τον Currie (1981; 1984), τα μέγιστα των 18.6 ετών σεληνιακού κύκλου, είναι αλληλένδετα με την ύπαρξη φαινομένων πλημμύρας ή ξηρασίας σε πλήθος περιοχών.

Από όσα ειπώθηκαν παραπάνω, γίνεται αντιληπτό ότι, το φαινόμενο της Νότιας Διακύμανσης (ENSO), σε συνδυασμό με τους διάφορους αστρονομικούς παράγοντες, συμβάλλουν στην εμφάνιση ξηρασίας σε διάφορες περιοχές. Παρόλα αυτά, τα φαινόμενα αυτά αντιπροσωπεύουν μόνο το 15-30% της ολικής διακύμανσης της βροχόπτωσης. Επομένως, το υπόλοιπο 70% της πιθανότητας εμφάνισης ενός φαινομένου ξηρασίας, είναι απόρροια άλλων κλιματικών παραγόντων, οι οποίοι ακόμη δεν έχουν προσδιοριστεί με ακρίβεια (Bryant, 1991).

## **1.4 Επιπτώσεις ξηρασίας**

Σε οικονομικό επίπεδο, η ξηρασία συνιστά το πιο βλαβερό φαινόμενο, το οποίο έχει προκαλέσει καταστροφές στις Ηνωμένες Πολιτείες και σε άλλες χώρες (Cook et al. 2007). Η ξηρασία βλάπτει σε μεγαλύτερο βαθμό τις καλλιέργειες, αφού η γεωργία χρειάζεται μεγάλες ποσότητες νερού. Επιπροσθέτως, η ξηρασία επιφέρει σημαντικές κοινωνικοοικονομικές και

περιβαλλοντικές επιπτώσεις, οι οποίες επηρεάζονται από τη διάρκεια κι όχι από την ένταση του φαινομένου, καθώς είναι εύλογο πως η αντιμετώπιση των επιπτώσεων είναι δυσχερέστερη όταν αυτό διαρκεί πολλά έτη (Cook et al.; 2007). Τέλος, τα αρνητικά αποτελέσματα της ξηρασίας καθορίζονται ,τόσο από τις ανάγκες του ανθρώπου και του οικοσυστήματος για νερό, όσο κι από τα μετεωρολογικά και υδρολογικά χαρακτηριστικά του φαινομένου (Loucks and Gladwell, 1999). Οι επιπτώσεις του φαινομένου γίνονται ορατές κυρίως στην ύδρευση νησιών και πόλεων οι οποίες δε διαθέτουν αναπτυγμένο υδροδοτικό σύστημα , στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά και στην άρδευση των γεωργικών περιοχών. Επιπλέον, όσον αφορά το περιβάλλον, οι συνέπειες είναι πιο επικίνδυνες εξαιτίας της αυξημένης πιθανότητας πυρκαγιάς. Προκαλείται επίσης ξήρανση και προσβολή πολλών δασικών ειδών λόγω διαφόρων ασθενειών και εντόμων, υποβάθμιση των βιοτόπων της άγριας πανίδας, μείωση του πληθυσμού της ιχθυοπανίδας στα υδατορεύματα, ρύπανση της ατμόσφαιρας, αισθητική υποβάθμιση των τοπίων, ενώ ταυτόχρονα υπάρχει κίνδυνος πρόκλησης υποσιτισμού και πτώχευσης. Η εκτίμηση των οικονομικών επιπτώσεων του φαινομένου αποτελεί μια αρκετά πολύπλοκη διαδικασία, καθώς αυτές μπορεί να παρατηρηθούν αρκετά μετά τη λήξη του φαινομένου. Σε αντίθεση με τις πλημμύρες, για τη ξηρασία δεν προβλέπεται Ευρωπαϊκή Οδηγία για την αντιμετώπιση έκτακτης ανάγκης του φαινομένου, Συνεπώς, ο επικρατέστερος τρόπος διαχείρισης του φαινομένου είναι πριν την εμφάνισή του και η αντιμετώπισή του συστήνεται πριν την επικράτησή του (Μπαλούτσος κ.ά.; 2006).

## **1.5 Διάρθρωση Τεύχους**

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία αποτελείται από πέντε βασικά κεφάλαια στα οποία αναλύεται διεξοδικά το φαινόμενο της ξηρασίας και οι διάφορες παράμετροι που το συναποτελούν.

Πιο αναλυτικά, το πρώτο κεφάλαιο περιλαμβάνει γενικά στοιχεία που αφορούν στη ξηρασία, όπως ο ορισμός, οι διάφορες κατηγορίες και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους. Επιπλέον, δίνεται βάση στους δείκτες ξηρασίας και συγκεκριμένα στα δεδομένα που καθιστούν αναγκαία την ύπαρξή τους, στα γνωρίσματά τους αλλά και στο ρόλο που αυτοί διαδραματίζουν σχετικά με το φαινόμενο της ξηρασίας, ενώ παρακάτω ξεδιπλώνονται στοιχεία αναφορικά με τα αίτια που οδηγούν στη δημιουργία της ξηρασίας.

Το δεύτερο κεφάλαιο βασίζεται στα δεδομένα στα οποία στηρίχθηκε η παρούσα διπλωματική εργασία, και συγκεκριμένα στην επιλογή των σταθμών που μελετήθηκαν καθώς και στην επεξεργασία των χρονοσειρών.

Στο τρίτο κεφάλαιο δίνεται η μεθοδολογία στην οποία βασίστηκε η εργασία και ειδικότερα η ανάλυση των δεικτών Aridity Index (AI) και Standardized Precipitation Index (SPI).

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται η διεξαγωγή των αποτελεσμάτων μέσω της δημιουργίας διαγραμμάτων και χαρτών.

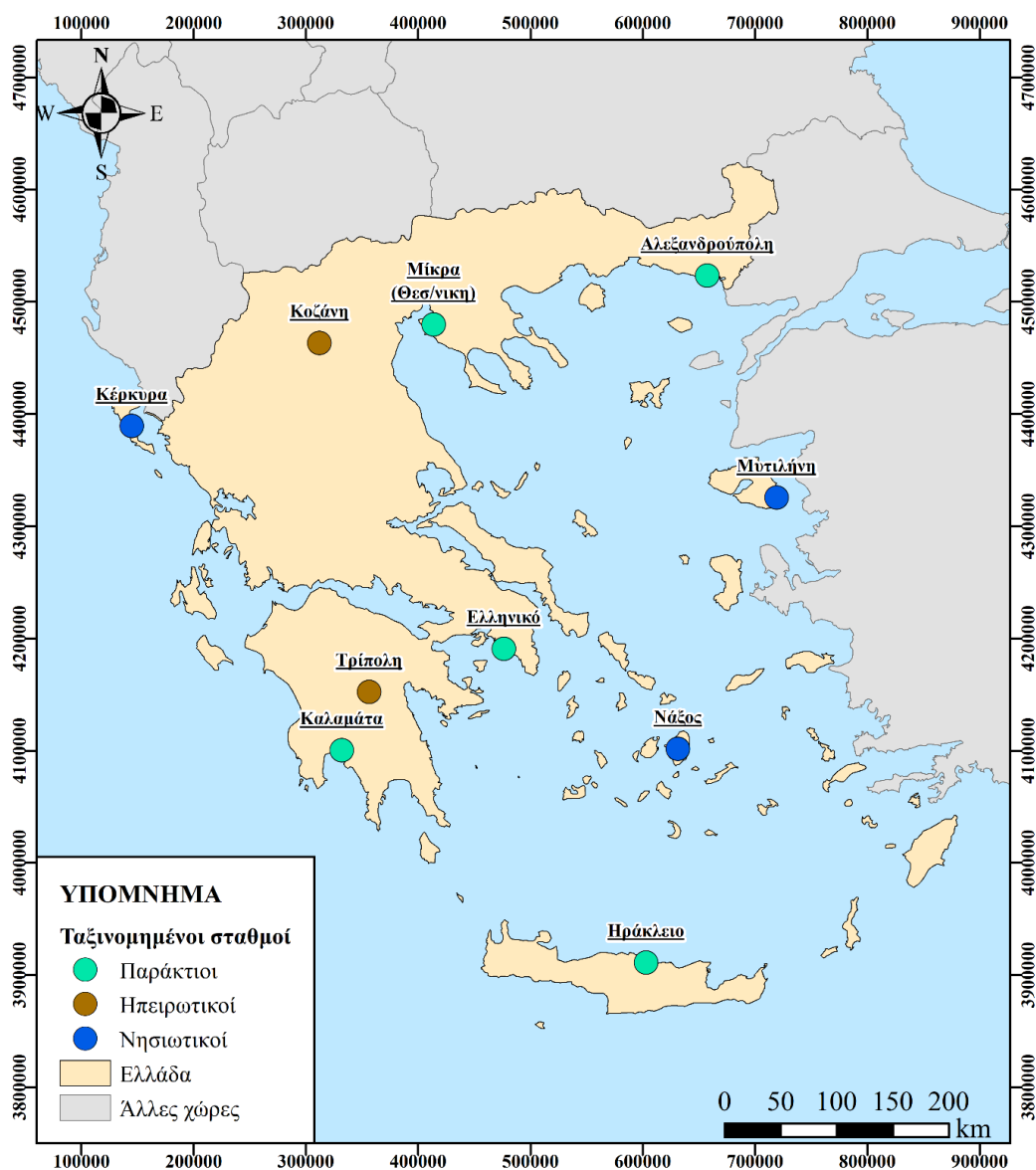
Στο πέμπτο και τελευταίο κεφάλαιο της εργασίας παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προέρχονται από την παραπάνω ανάλυση της ξηρασίας.

Τέλος, παρατίθεται η βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε κατά τη διάρκεια της συγγραφής της εργασίας, τόσο η ξενόγλωσση όσο και η ελληνική, αλλά και οι ιστότοποι από τους οποίους αντλήθηκαν χρήσιμες πληροφορίες.

## 2 Δεδομένα

### 2.1 Επιλογή σταθμών

Για να μελετηθεί με πιο αποτελεσματικό τρόπο το φαινόμενο της ξηρασίας στον ελλαδικό χώρο, επιλέχθηκαν αντιπροσωπευτικά δέκα πόλεις (θέσεις σταθμών). Οι πόλεις αυτές είναι οι εξής: Μίκρα, Ηράκλειο, Αλεξανδρούπολη, Κοζάνη, Κέρκυρα, Μυτιλήνη, Ελληνικό, Καλαμάτα, Νάξος, Τρίπολη. Κριτήριο για την επιλογή αυτή υπήρξε το γεγονός ότι, οι περιοχές αυτές βρίσκονται σε διαφορετικά γεωγραφικά διαμερίσματα της χώρας όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.



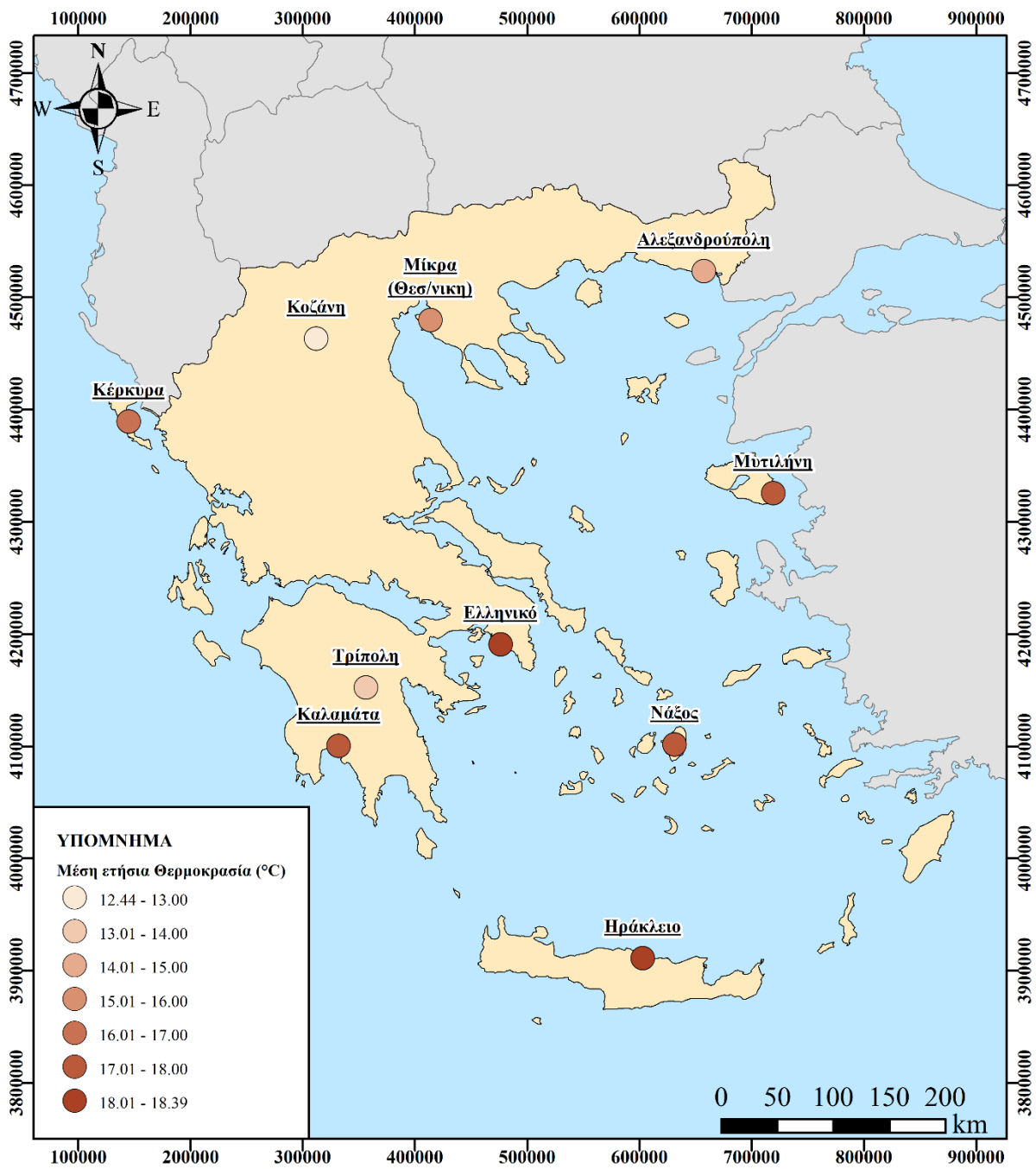
Σχήμα 3: Θέσεις σταθμών στον χάρτη της Ελλάδας (Πηγή: Ιδία επεξεργασία)

## 2.2 Συλλογή δεδομένων

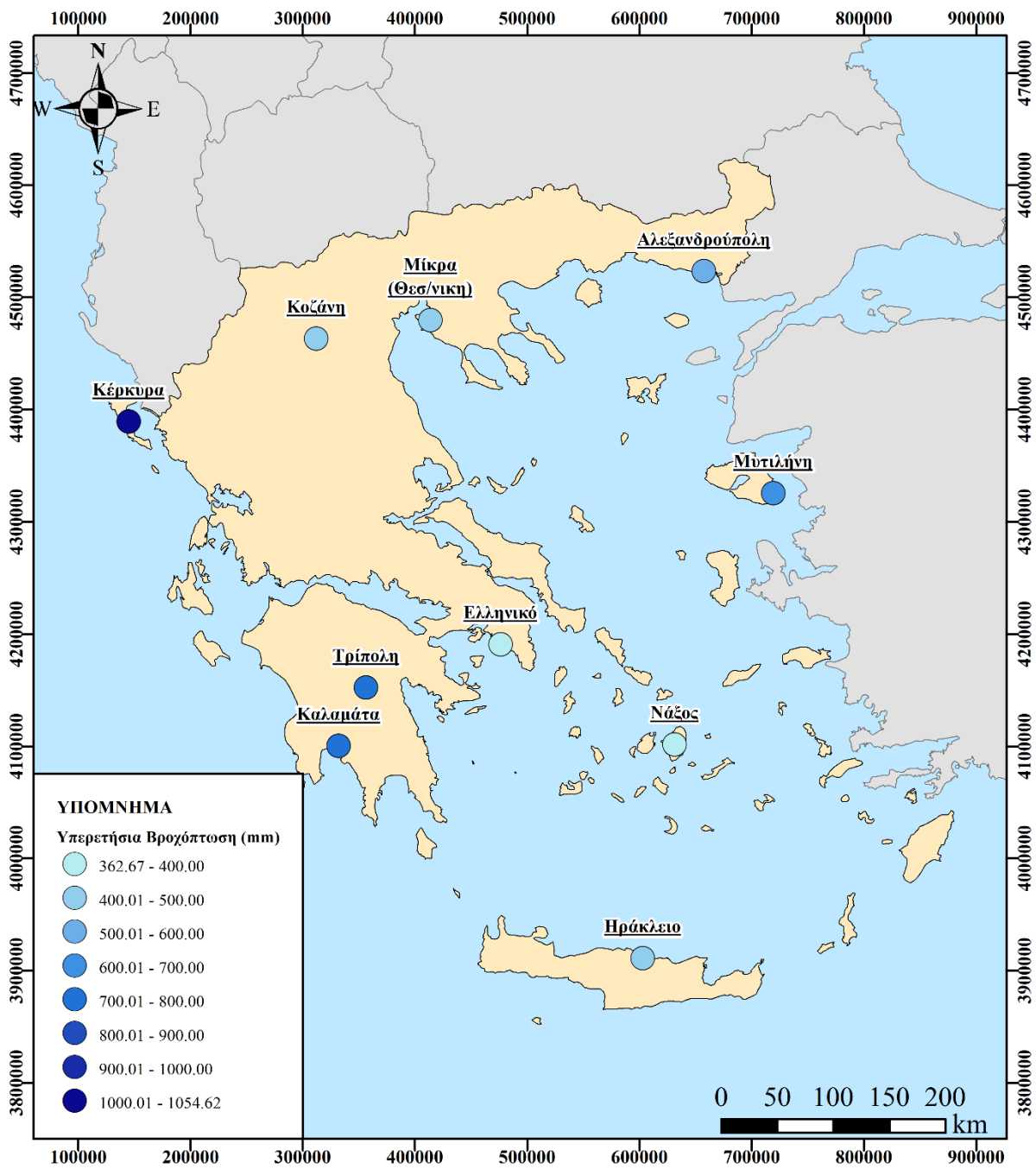
Προκειμένου να προσδιοριστούν οι δείκτες ξηρασίας για συγκεκριμένες περιοχές, οι οποίες βρίσκονται σε διαφορετικά σημεία του ελλαδικού χώρου, κρίθηκε απαραίτητη η συλλογή δεδομένων για δέκα σταθμούς μέσω της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (EMY). Πιο συγκεκριμένα, για τις περιοχές που επιλέχθηκαν, καταγράφηκαν για το χρονικό διάστημα από την 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου 1955 έως και την 31<sup>η</sup> Δεκεμβρίου 2004, οι βροχοπτώσεις καθώς και το μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία σε ημερήσια βάση<sup>1</sup>. Στη συνέχεια, έχοντας ως βάση τα επίπεδα θερμοκρασίας, υπολογίστηκε ο μέσος όρος των υψηλότερων και χαμηλότερων θερμοκρασιών, ο οποίος αναλύθηκε διαγράφοντας τις τιμές που παρατηρούνταν μικρότερες των -20°C. Από αυτές τις νέες τιμές, προέκυψε η τελική μέση θερμοκρασία. Στους χάρτες οι οποίοι προσφέρονται στην συνέχεια, αναπαριστώνται η μέση ετήσια θερμοκρασία και η υπερετήσια βροχόπτωση για όλες τις περιοχές που μελετώνται. Ειδικότερα, οι υψηλότερες τιμές σημειώνονται στις νοτιανατολικές περιοχές και συγκεκριμένα στους σταθμούς Ελληνικό και Ηράκλειο, ενώ στο χάρτη στον οποίο απεικονίζονται οι βροχοπτώσεις ανά σταθμό, φαίνεται ότι οι περισσότερες βροχοπτώσεις παρατηρούνται στη δυτική Ελλάδα και κυρίως στην Κέρκυρα Τέλος, σχεδιάστηκαν ξεχωριστά για κάθε σταθμό, τα διαγράμματα που παρατίθενται στην συνέχεια (Σχήμα 6 έως 25), αναφορικά με τις βροχοπτώσεις και τη μέση θερμοκρασία, σε ετήσιο αυτή την φορά επίπεδο.

---

<sup>1</sup> Τα δεδομένα είναι ελεύθερα διαθέσιμα μέσω της βάσης του European Climate Assessment & Dataset project <https://www.ecad.eu/>

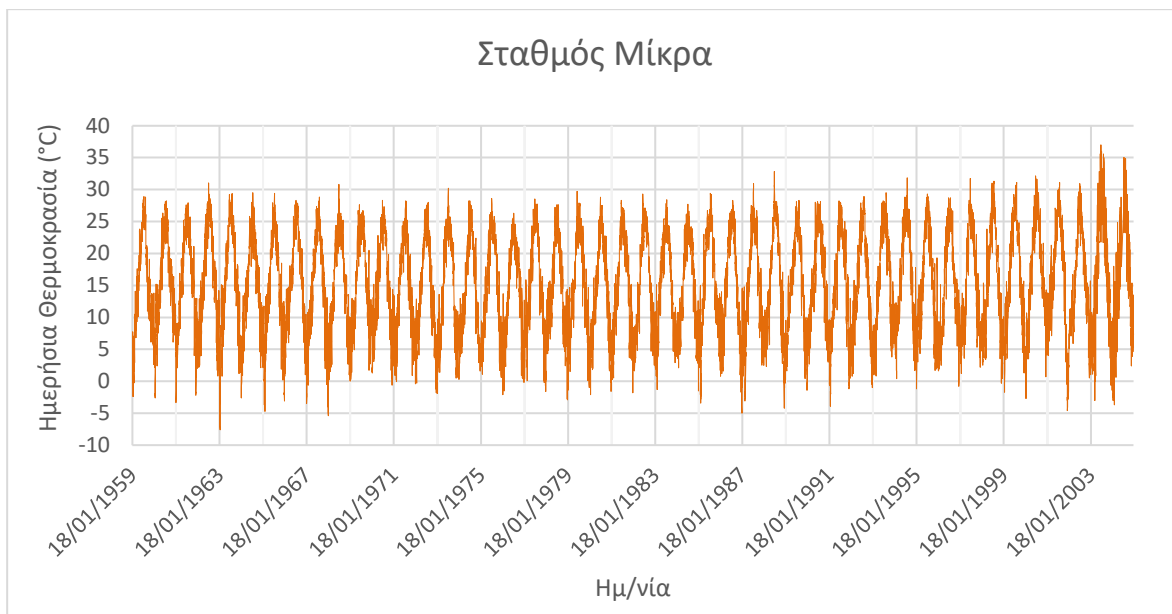


Σχήμα 4: Κατανομή μέσης ετήσιας θερμοκρασίας (Πηγή: Ιδία επεξεργασία)

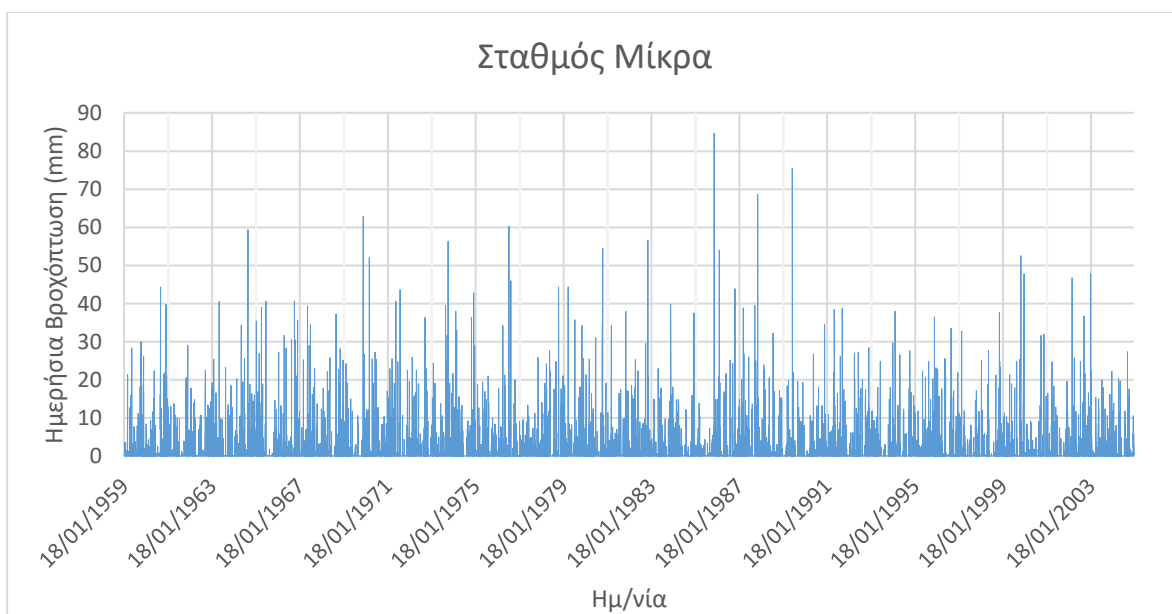


Σχήμα 5: Κατανομή υπερετήσιας βροχόπτωσης (Πηγή: Ιδία επεξεργασία)



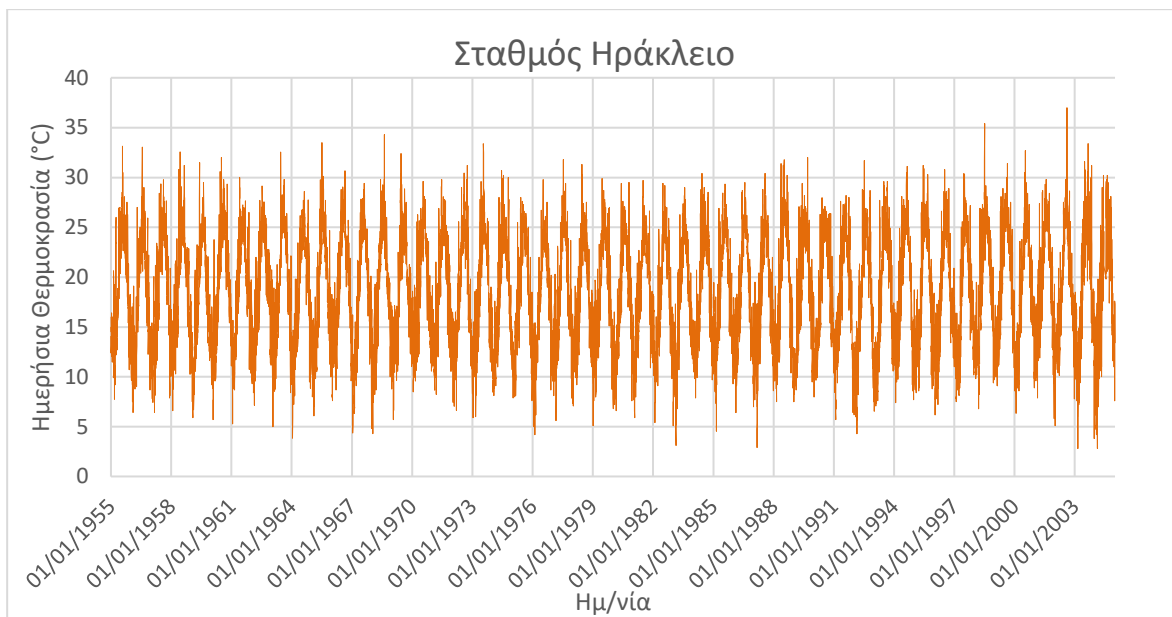


Σχήμα 6: Ημερήσιες τιμές θερμοκρασίας στον σταθμό Μίκρα



Σχήμα 7: Ημερήσιες τιμές βροχόπτωσης στον σταθμό Μίκρα

Για τον σταθμό της Μίκρας, η υψηλότερη θερμοκρασία για τα τελευταία 45 χρόνια, σημειώνεται στις 21 Ιουλίου 2003 με 32°C, ενώ η χαμηλότερη παρατηρείται στις 26 Ιανουαρίου 1963 με -7,6 °C. Επιπλέον, η μεγαλύτερη τιμή βροχόπτωσης υπήρξε η 84,7 mm στις 24 Νοεμβρίου 1985.

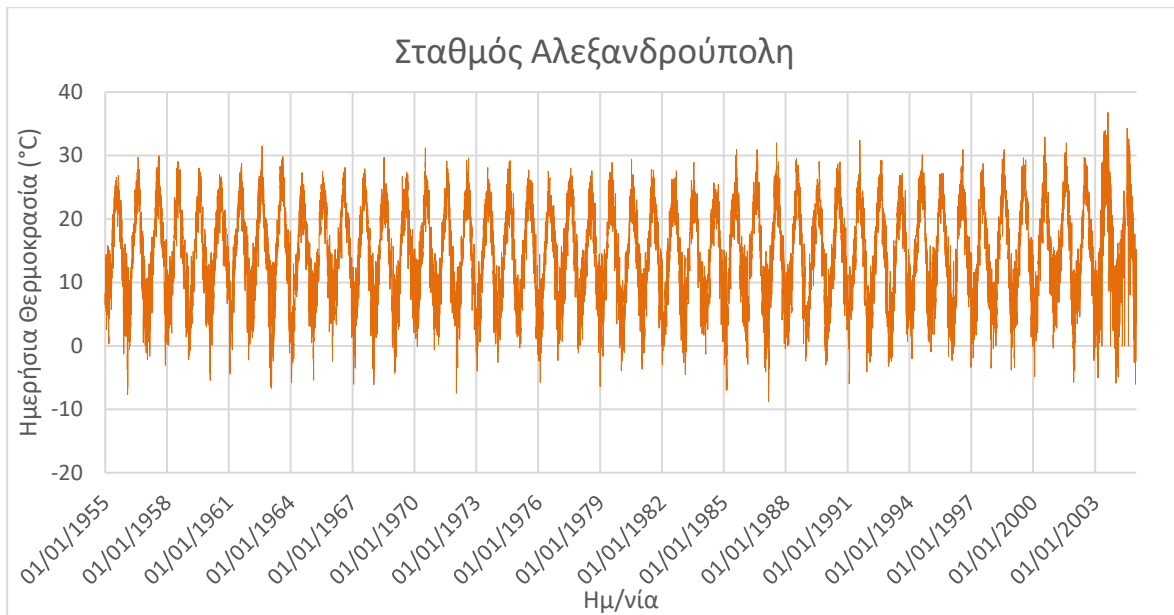


Σχήμα 8: Ημερήσιες τιμές θερμοκρασίας στον σταθμό Ηράκλειο



Σχήμα 9: Ημερήσιες τιμές βροχόπτωσης στον σταθμό Ηράκλειο

Στο Ηράκλειο, η μεγαλύτερη θερμοκρασία τα τελευταία χρόνια υπήρξαν οι 37 °C στις 12 Αυγούστου 2002 και η χαμηλότερη 2,8 °C στις 24 Φεβρουαρίου 2003. Η υψηλότερη τιμή βροχόπτωσης παρατηρήθηκε στις 22 Απριλίου 1963 και ήταν 107,5 mm.

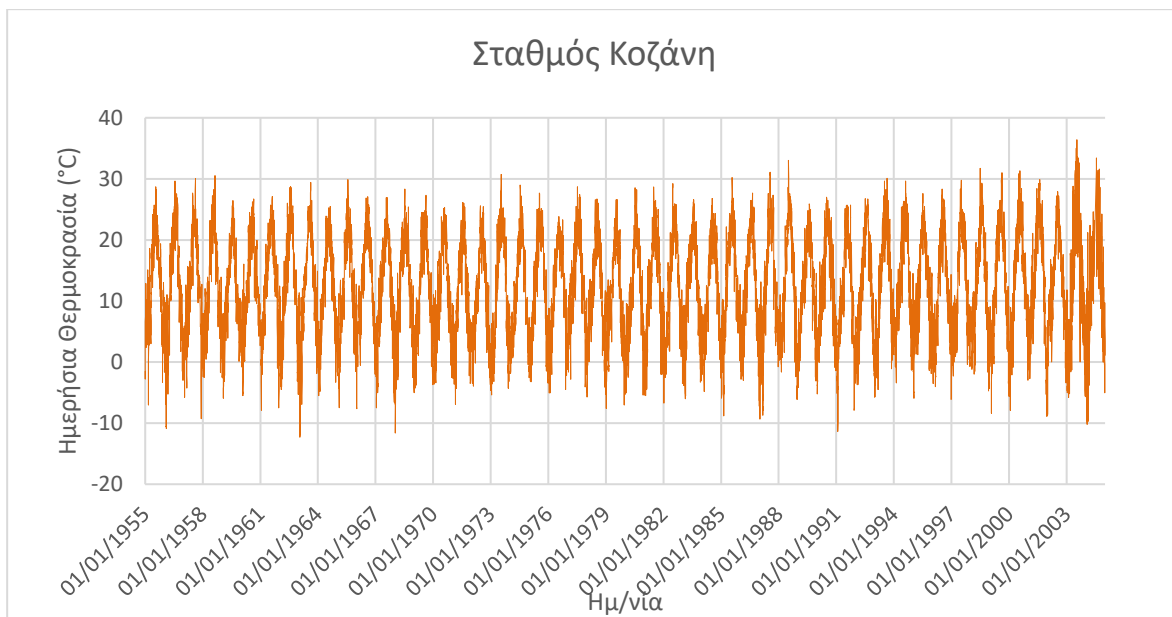


Σχήμα 10: Ημερήσιες τιμές θερμοκρασίας στον σταθμό Αλεξανδρούπολη

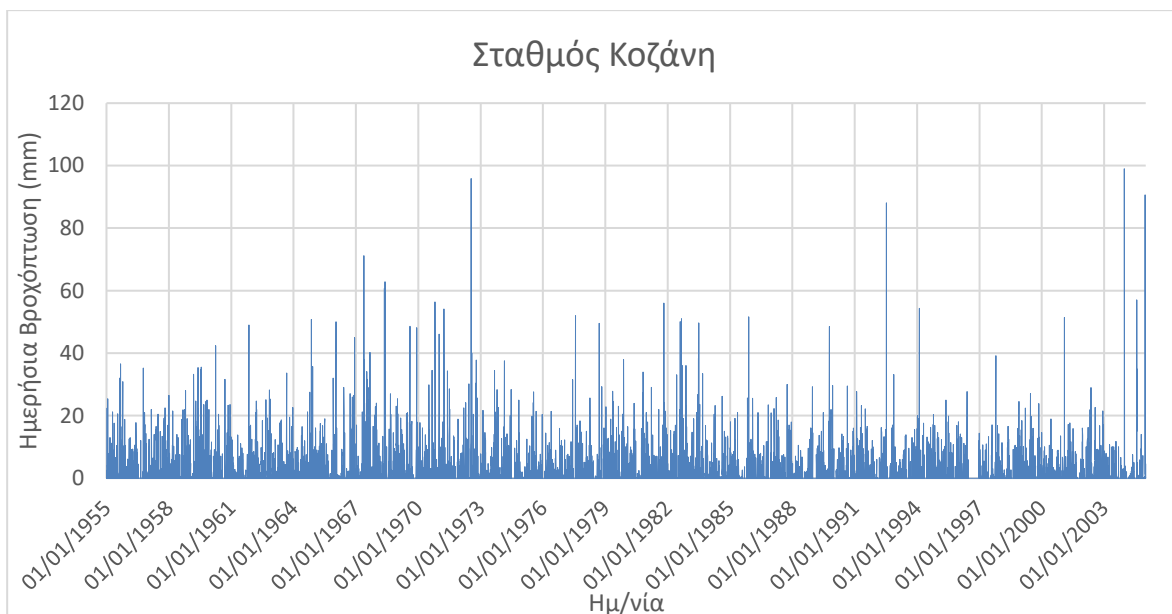


Σχήμα 11: Ημερήσιες τιμές θερμοκρασίας στον σταθμό Αλεξανδρούπολη

Στην Αλεξανδρούπολη η μεγαλύτερη θερμοκρασία τα τελευταία χρόνια, σημειώθηκε στις 16 Αυγούστου 2003 με 36,8 °C και η μικρότερη παρατηρήθηκε στις 5 Μαρτίου 1987 με -8,8 °C. Η βροχόπτωση στο υψηλότερό της επίπεδο υπήρξε την 1<sup>η</sup> Δεκεμβρίου 1980 με τιμή 140,2 mm.

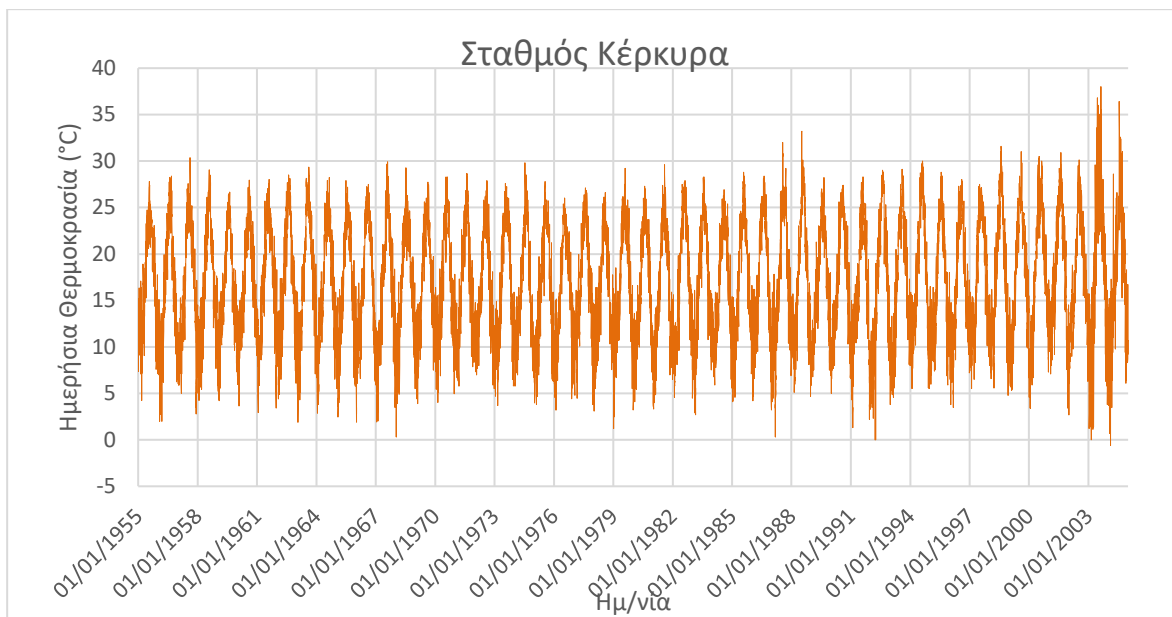


Σχήμα 12: Ημερήσιες τιμές θερμοκρασίας στον σταθμό Κοζάνη

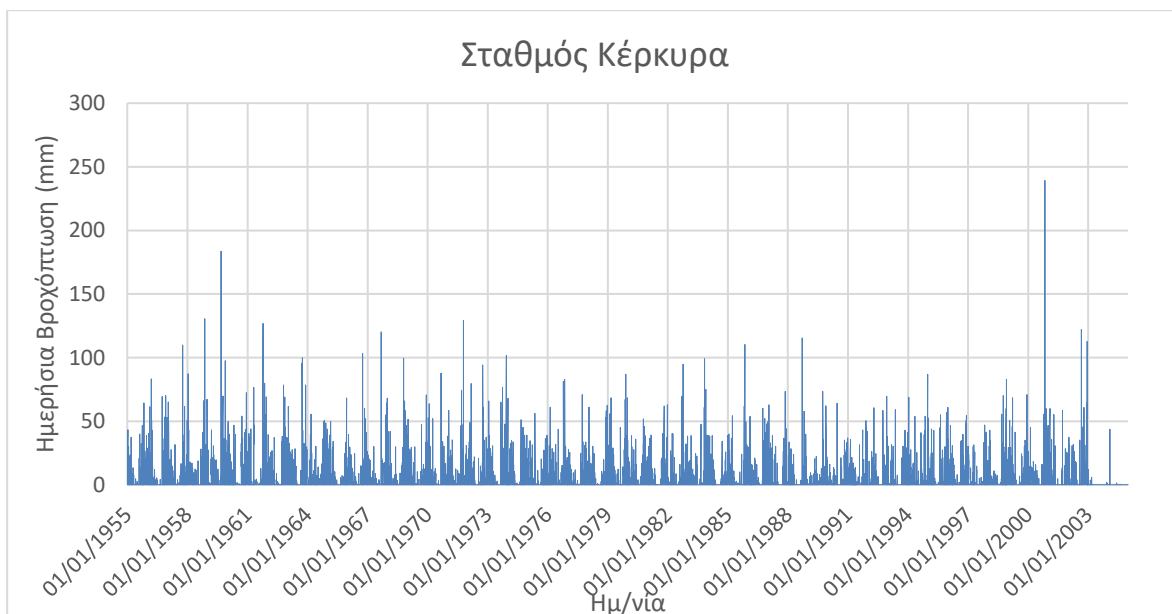


Σχήμα 13: Ημερήσιες τιμές βροχόπτωσης στον σταθμό Κοζάνη

Η Κοζάνη έφτασε στην υψηλότερή της θερμοκρασία εδώ και 49 χρόνια, στις 17 Ιουλίου 2003 με 36,4°C και στη χαμηλότερη στις 25 Ιανουαρίου 1963 με -12,3 °C. Η βροχόπτωση έφτασε στη μεγαλύτερη τιμή της στις 23 Δεκεμβρίου 2003 με 99 mm.

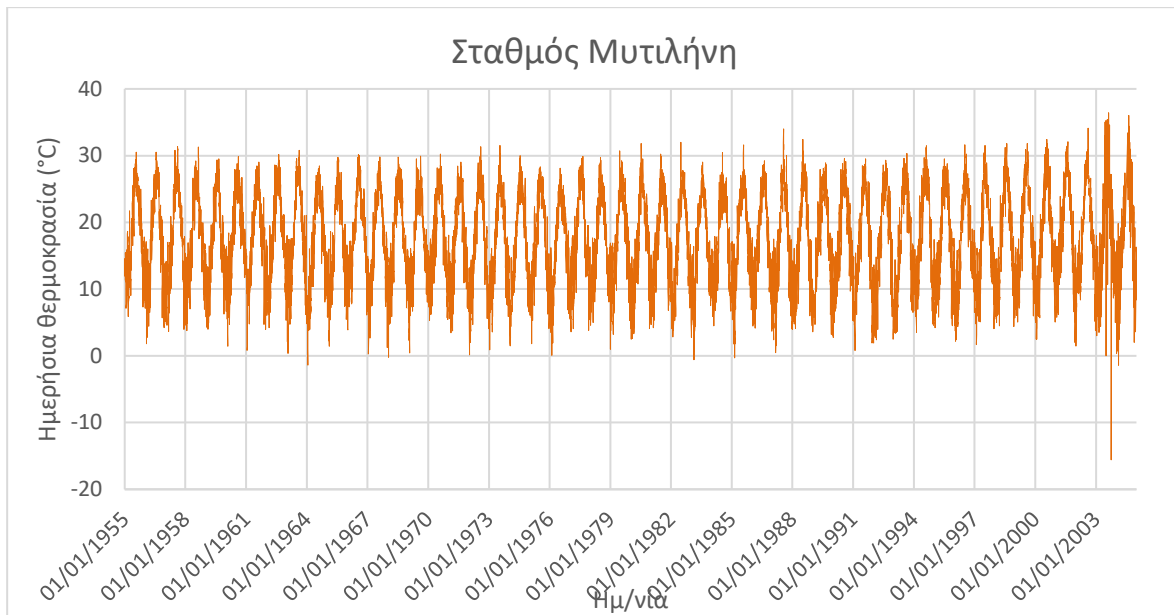


Σχήμα 14: Ημερήσιες τιμές θερμοκρασίας στον σταθμό Κέρκυρα

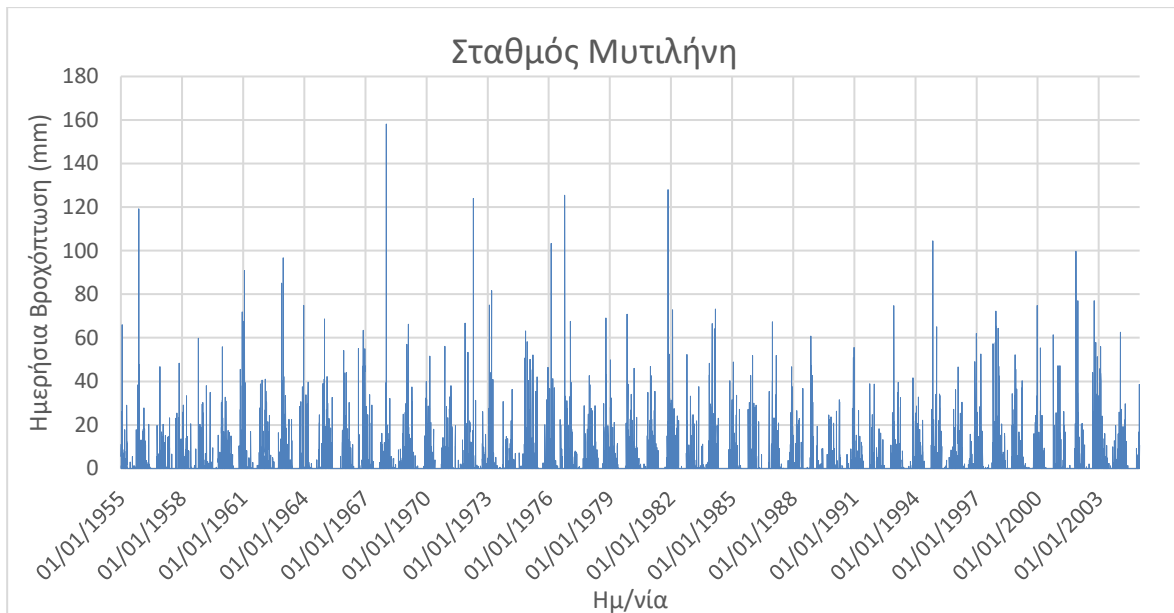


Σχήμα 15: Ημερήσιες τιμές βροχόπτωσης στον σταθμό Κέρκυρα

Η μεγαλύτερη τιμή που σημειώθηκε στην Κέρκυρα τα τελευταία χρόνια ήταν στις 19 Αυγούστου 2003 με 38 °C και η χαμηλότερη στις 13 Φεβρουαρίου 2004 με -0,6 °C. Επίσης, όσον αφορά τη βροχόπτωση, η υψηλότερη τιμή παρατηρήθηκε την 1<sup>η</sup> Νοεμβρίου 2000 με 239,3 mm.

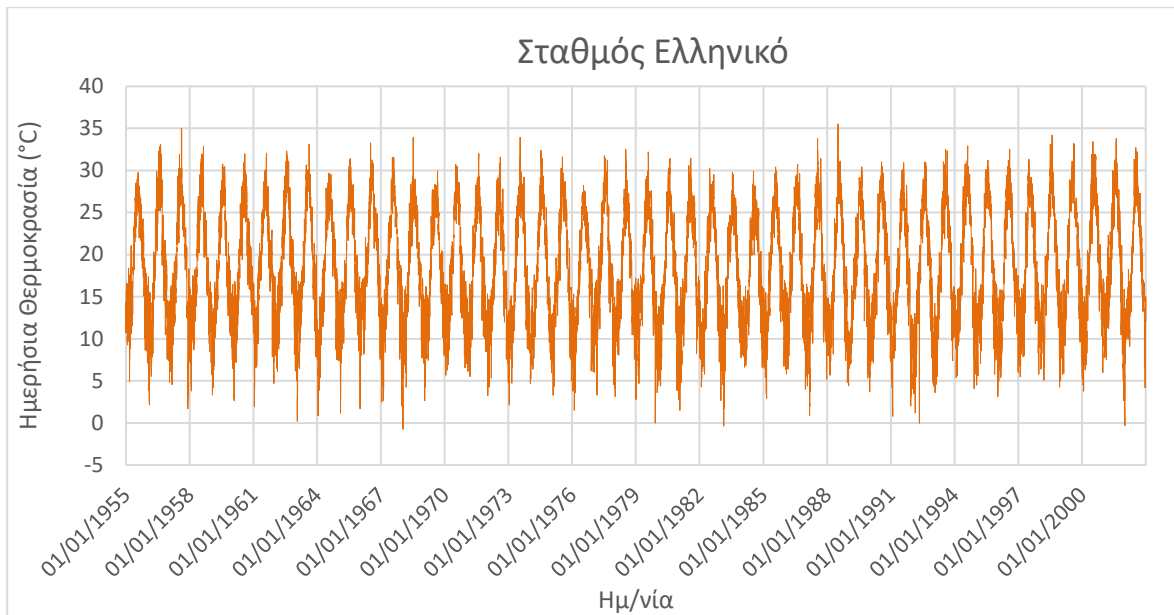


Σχήμα 16: Ημερήσιες τιμές θερμοκρασίας στον σταθμό Μυτιλήνη

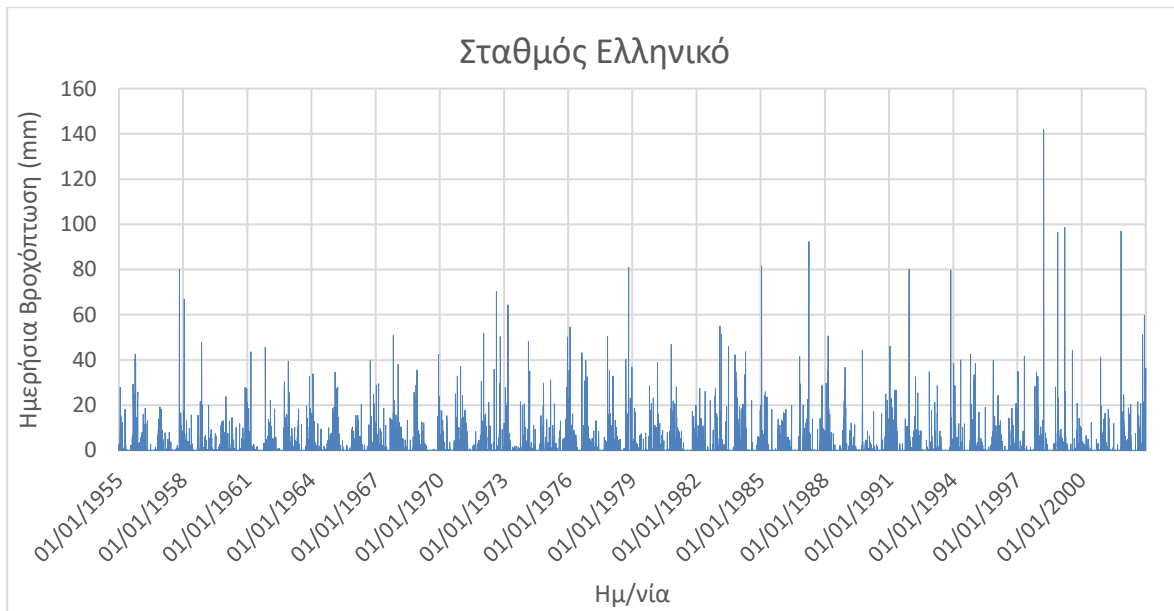


Σχήμα 17: Ημερήσιες τιμές βροχόπτωσης στον σταθμό Μυτιλήνη

Στη Μυτιλήνη η μεγαλύτερη τιμή τα τελευταία χρόνια ήταν 35,4 °C στις 24 Ιουλίου 2003 και η χαμηλότερη -15,6 στις 4 Οκτωβρίου 2003. Η βροχόπτωση άγγιξε τη μεγαλύτερη τιμή στις 11 Ιανουαρίου 1968 με 158 mm.

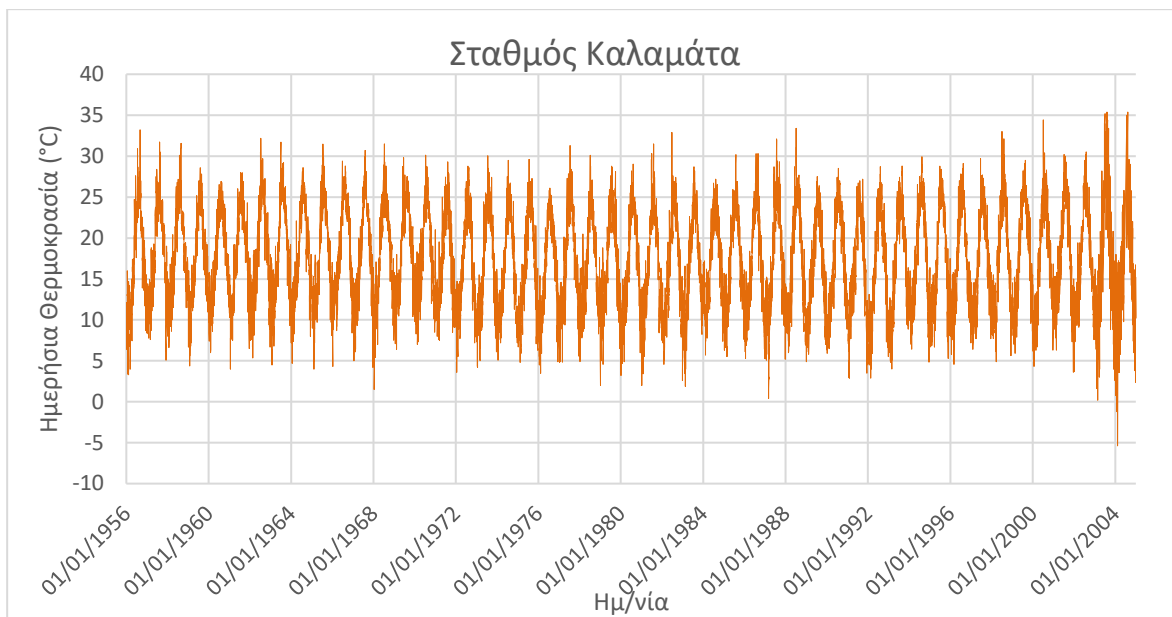


Σχήμα 18: Ημερήσιες τιμές θερμοκρασίας στον σταθμό Ελληνικό

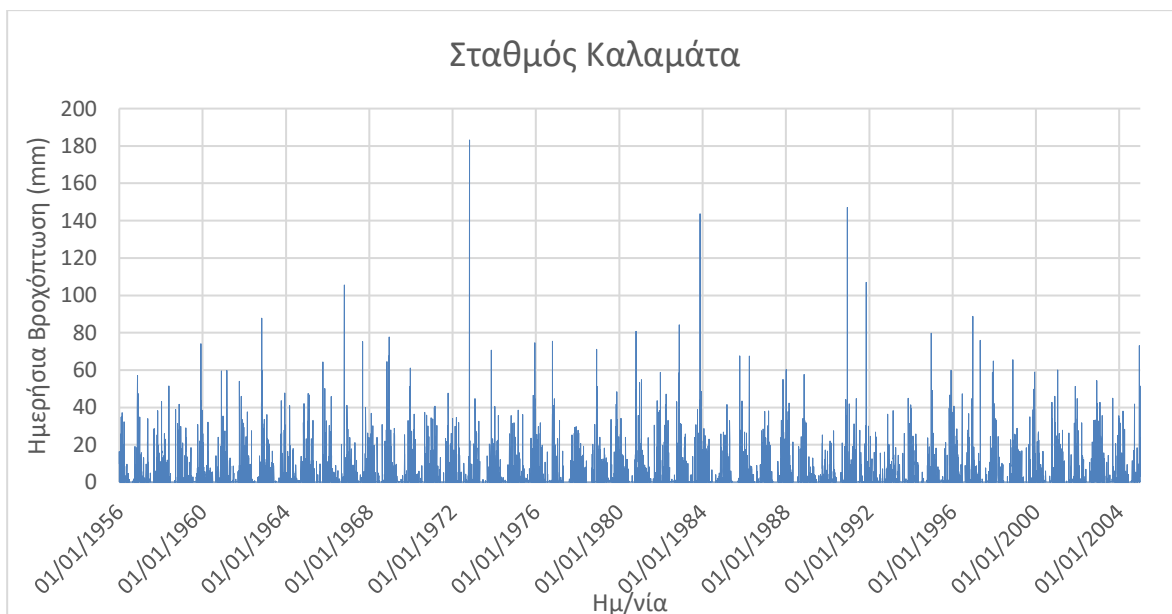


Σχήμα 19: Ημερήσιες τιμές βροχόπτωσης στον σταθμό Ελληνικό

Στην περιοχή του Ελληνικού στις 7 Ιουλίου 1988, οι 35,5 °C αποτελούν τη μεγαλύτερη τιμή που καταγράφηκε τα τελευταία 47 χρόνια, ενώ στις 14 Ιανουαρίου 1968, οι -5,4 °C αποτελούν τη μικρότερη. Ως προς τη βροχόπτωση, στις 26 Μαρτίου 1998, σημειώθηκε η μεγαλύτερη τιμή με 142 mm.



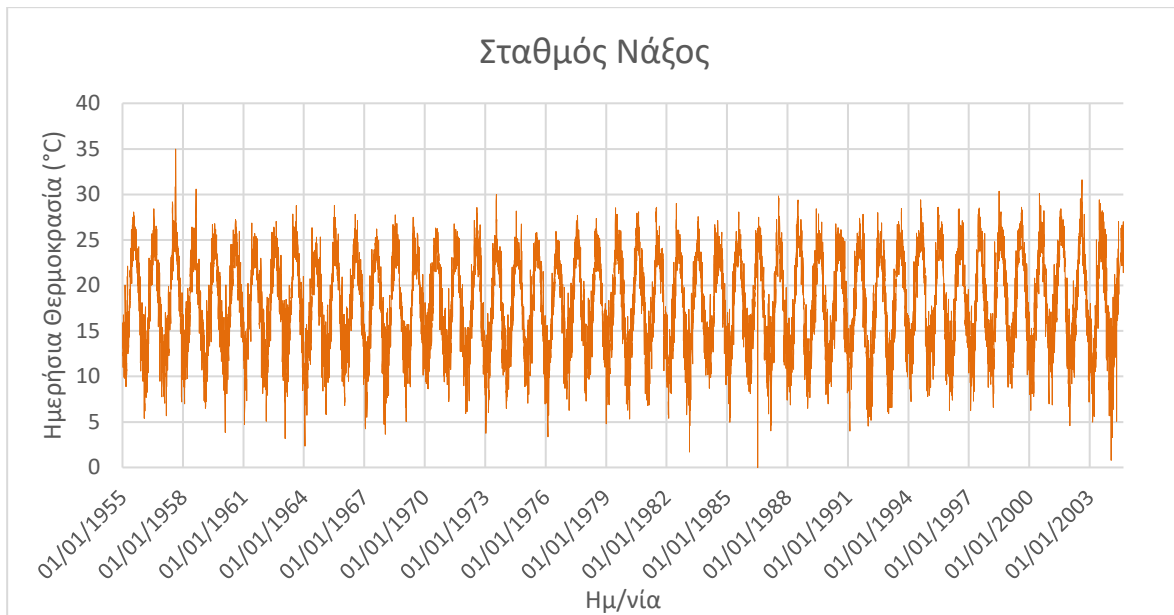
Σχήμα 20: Ημερήσιες τιμές θερμοκρασίας στον σταθμό Καλαμάτα



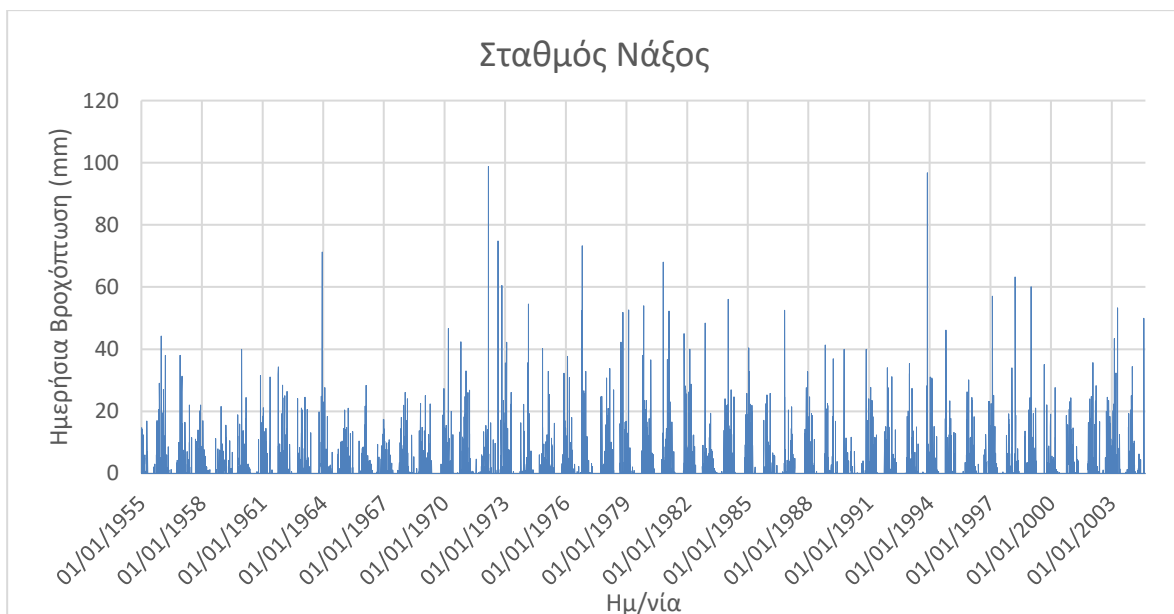
Σχήμα 21: Ημερήσιες τιμές βροχόπτωσης στον σταθμό Καλαμάτα

Η Καλαμάτα σημειώνει την υψηλότερη θερμοκρασία της στις 17 Αυγούστου 2003 με 34,4 °C και στις 14 Φεβρουαρίου με -5,4 °C τη χαμηλότερη. Από την πλευρά της βροχόπτωσης, η υψηλότερη τιμή παρατηρήθηκε στις 21 Οκτωβρίου 1972 με 142 mm.



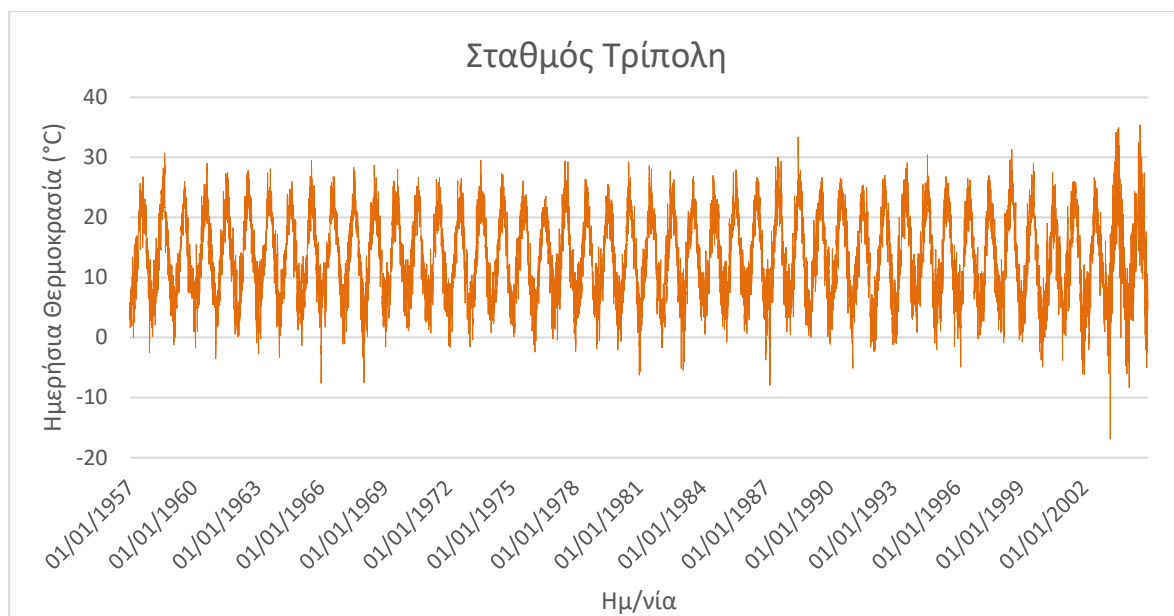


Σχήμα 22: Ημερήσιες τιμές θερμοκρασίας στον σταθμό Νάξο

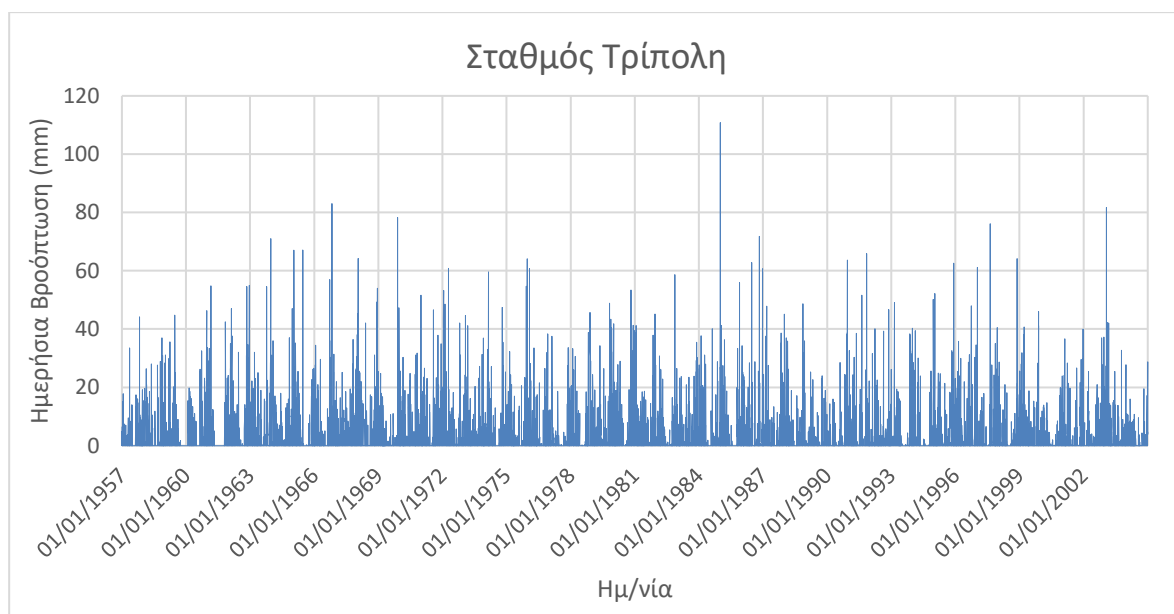


Σχήμα 23: Ημερήσιες τιμές βροχόπτωσης στον σταθμό Νάξο

Στο νησί της Νάξου, η υψηλότερη τιμή υπήρξαν οι 35 °C στις 23 Αυγούστου 1957, ενώ στις 9 Μαρτίου 2004 οι 0 °C αποτελούν τη χαμηλότερη θερμοκρασία. Η βροχόπτωση σημείωσε άνοδο στις 3 Μαρτίου 1972 με 98,8 mm.



Σχήμα 24 Ημερήσιες τιμές θερμοκρασίας στον σταθμό Τρίπολη



Σχήμα 25 Ημερήσιες τιμές βροχόπτωσης στον σταθμό Τρίπολη

Στην Τρίπολη η υψηλότερη θερμοκρασία τα τελευταία 47 χρόνια σημειώθηκε στις 21 Αυγούστου 2004 με 35,4 °C ενώ η μικρότερη στις 26 Μαρτίου 2003 με -16,85 °C. Στον τομέα της βροχόπτωσης, τα 110,7 mm στις 30 Δεκεμβρίου 1984, συνιστούν τη μεγαλύτερη τιμή.

Αξίζει να σημειωθεί σχετικά με την ΕΜΥ, από την οποία αντλήθηκαν και οι απαραίτητες πληροφορίες, ότι συστάθηκε το 1931 στο χώρο του Υπουργείου Αεροπορίας και στη συνέχεια του Υπουργείου Εθνικής Άμυνας. Μέχρι και σήμερα προσφέρει μετεωρολογική υποστήριξη τόσο σε επίπεδο εθνικής άμυνας και οικονομίας, όσο και στο κοινωνικό σύνολο γενικότερα.

## 2.3 Ανάλυση και επεξεργασία χρονοσειρών

### 2.3.1 Υπολογισμός Μηνιαίων P & T

Από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (ΕΜΥ), μας παρήχθησαν δεδομένα βροχόπτωσης και θερμοκρασίας, από δέκα μετεωρολογικούς σταθμούς, Μίκρα, Ηράκλειο, Αλεξανδρούπολη, Κοζάνη, Κέρκυρα, Μυτιλήνη, Ελληνικό, Καλαμάτα, Νάξος, Τρίπολη. Τα δεδομένα αυτά αφορούν μια περίοδο 48 ετών από το 1957 έως το 2004. Οι αρχικές χρονοσειρές περιελάμβαναν, σε ημερήσιο βήμα, τιμές βροχόπτωσης σε mm, μία μέγιστη τιμή θερμοκρασίας και μία ελάχιστη σε °C. Η επεξεργασία τους πραγματοποιήθηκε με τη χρήση excel. Αρχικά υπολογίστηκε η μέση ημερήσια θερμοκρασία, από τη μέση τιμή της μέγιστης και ελάχιστης, η μηνιαία θερμοκρασία, καθώς και η μηνιαία βροχόπτωση για όλη τη χρονοσειρά.

### 2.3.2 Υπολογισμός μέσων μηνιαίων P & T

Έπειτα υπολογίστηκαν οι μέσες μηνιαίες τιμές θερμοκρασίας και βροχόπτωσης των δέκα περιοχών για τους 12 μήνες τους έτους. Τα τελικά αποτελέσματα που εξάχθηκαν από τους προαναφερθέντες υπολογισμούς φαίνονται στους πίνακες που ακολουθούν (Πίνακας 3,4).

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων των πινάκων σχεδιάστηκαν τα αντίστοιχα θερμοϋδρογραφήματα.

Πίνακας 3: Μέσες Μηνιαίες τιμές Βροχόπτωσης

ΜΕΣΕΣ ΜΗΝΙΑΙΕΣ P										
ΠΕΡΙΟΧΗ	ΜΙΚΡΑ	ΗΡΑΚΛΕΙΟΝ	ΑΛΕΞΑΝΔΡΟ ΥΠΟΛΗ	ΚΟΖΑΝΗ	ΚΕΡΚΥΡΑ	ΜΥΤΙΛΗΝΗ	ΕΛΛΗΝΙΚΟ	ΚΑΛΑΜΑΤΑ	ΝΑΞΟΣ	ΤΡΙΠΟΛΗ
ΜΗΝΕΣ										
ΙΑΝ	37.4	91.6	57.2	33.9	129.7	115.9	45.8	111.0	67.36	106.5
ΦΕΒ	35.1	67.3	54.0	29.6	115.9	90.2	38.5	92.4	53.42	87.3
ΜΑΡΤ	39.0	56.6	47.4	36.6	92.0	70.0	44.3	71.5	47.95	73.4
ΑΠΡ	37.1	28.6	38.8	42.0	64.9	47.0	25.7	48.3	18.10	56.5
ΜΑΪ	44.7	13.0	34.1	54.9	35.4	20.7	14.0	24.7	9.83	37.8
ΙΟΥΝ	27.1	3.1	27.2	36.4	12.8	5.0	5.3	7.0	2.26	22.1
ΙΟΥΛ	23.3	0.9	19.2	36.6	8.5	2.1	6.3	4.9	0.58	18.6
ΑΥΓ	18.7	1.0	11.9	27.7	20.3	2.8	6.8	11.1	1.75	22.2
ΣΕΠ	28.4	16.8	29.6	29.8	80.3	11.9	10.4	31.6	6.87	27.7
ΟΚΤ	39.6	57.5	47.6	48.0	131.7	40.9	45.1	79.8	34.79	63.5
ΝΟΕ	53.4	60.6	81.3	55.8	181.3	98.7	61.3	137.4	51.84	107.82
ΔΕΚ	55.8	86.1	83.5	54.8	181.9	142.5	64.2	155.8	70.28	130.51

Πίνακας 4: Μέσες Μηνιαίες τιμές Θερμοκρασίας

ΜΕΣΕΣ ΜΗΝΙΑΙΕΣ Τ										
ΠΕΡΙΟΧΗ	ΜΙΚΡΑ	ΗΡΑΚΛΕΙΟΝ	ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥ ΠΟΛΗ	ΚΟΖΑΝΗ	ΚΕΡΚΥΡΑ	ΜΥΤΙΛΗΝΗ	ΕΛΛΗΝΙΚΟ	ΚΑΛΑΜΑΤΑ	ΝΑΞΟΣ	ΤΡΙΠΟΛΗ
<b>ΜΗΝΕΣ</b>										
<b>ΙΑΝ</b>	5.32	12.17	4.94	2.43	9.58	9.46	10.28	10.48	11.93	5.09
<b>ΦΕΒ</b>	6.63	12.20	5.78	3.83	9.97	9.87	10.71	10.56	11.94	5.73
<b>ΜΑΡΤ</b>	9.38	13.28	7.83	6.80	11.52	11.44	12.15	11.92	12.95	7.66
<b>ΑΠΡ</b>	13.35	15.97	12.08	10.88	14.29	15.25	15.50	14.45	15.57	10.98
<b>ΜΑΪ</b>	18.45	19.29	16.93	15.77	18.56	19.59	20.04	18.41	18.78	15.46
<b>ΙΟΥΝ</b>	23.07	23.21	21.20	20.13	22.50	24.10	24.58	22.47	22.64	19.87
<b>ΙΟΥΛ</b>	25.39	25.31	24.05	22.79	24.90	26.30	27.43	24.81	24.44	22.27
<b>ΑΥΓ</b>	25.14	25.31	24.04	22.70	25.35	26.02	27.44	25.00	24.38	22.31
<b>ΣΕΠ</b>	21.25	23.00	20.11	18.75	22.17	22.70	23.97	22.45	22.44	18.71
<b>ΟΚΤ</b>	16.25	20.12	15.40	13.41	18.48	18.45	19.51	18.98	19.42	14.38
<b>ΝΟΕ</b>	11.17	16.87	10.75	8.05	14.43	14.34	15.49	15.18	16.19	10.04
<b>ΔΕΚ</b>	6.96	13.89	6.86	3.72	11.15	11.26	11.98	11.89	13.40	6.62

### 2.1 Υπολογισμός Εξατμισοδιαπνοής με τη μέθοδο Thornthwaite

Τα παραπάνω δεδομένα, οι τιμές θερμοκρασίας σε μηνιαίο επίπεδο καθώς και οι μέσες μηνιαίες τιμές αυτής, οδήγησαν στον υπολογισμό της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής, για τα μηνιαία δεδομένα αλλά και για τα μέσα μηνιαία, όπως προκύπτει από τη μέθοδο Thornthwaite. Ο Thornthwaite (1948), εφηύρε μια εξίσωση, η οποία είναι κατάλληλη για την περιορισμένη διαθεσιμότητα νερού. Με βάση αυτή την εξίσωση, υπολογίζεται η μηνιαία εξατμισοδιαπνοή στηριζόμενη στη μέση μηνιαία θερμοκρασία. Η εξίσωση ορίζεται ως εξής:

$$E_p = 16 \left( \frac{10t_i}{J} \right)^\alpha \frac{\mu N}{360}$$

όπου,  $E_p$ , η εξατμισοδιαπνοή σε mm/μήνα

$t_i$ , η μέση μηνιαία θερμοκρασία σε C

$\mu$ , ο αριθμός ημερών

$N$ , η μέση αστρονομική διάρκεια της ημέρας

$J$ , ο ετήσιος δείκτης θερμοκρασίας

$\alpha$ , μια εμπειρική παράμετρος, η οποία εξαρτάται από το δείκτη  $J$  και η οποία εκτιμάται σύμφωνα με:

$$\alpha = 0.016 \cdot J + 0.5$$

Ο ετήσιος δείκτης θερμοκρασίας  $J$ , δίνεται από την παρακάτω σχέση (Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος, 1997):

$$J = \sum_{i=1}^{12} j_i$$

Ο μηνιαίος δείκτης θερμοκρασίας  $j_1$ , αποτελεί συνάρτηση της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας, όπως προκύπτει από την παρακάτω εξίσωση:

$$j_i = 0.09t_i^{3/2}$$

Η μέση αστρονομική διάρκεια της ημέρας  $N$ , υπολογίζεται από την σχέση:

$$N = 1.46 \cdot P$$

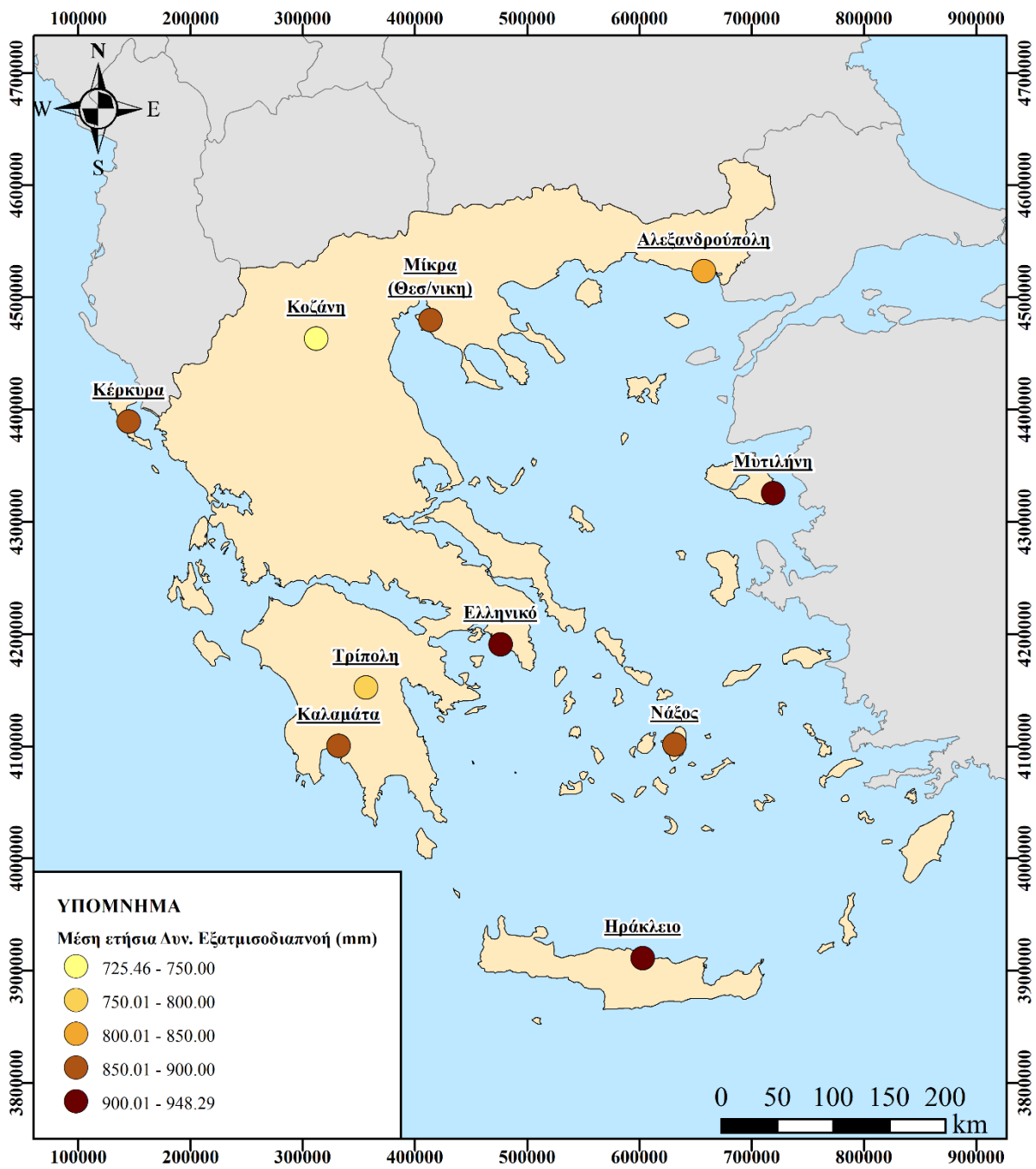
όπου,  $P$  είναι οι τιμές του ποσοστού ωρών ημέρας (%) ενός ορισμένου μήνα, όπως παρουσιάζονται στον Πίνακα 5 (Μιμίκου και Μπαλτάς, 2012) με βάση το γεωγραφικό πλάτος ( $\varphi$ ) κάθε περιοχής ( $\varphi^{\circ}$  Ηρακλείου=35<sup>0</sup>,  $\varphi^{\circ}$  Μίκρα=40<sup>0</sup>,  $\varphi^{\circ}$  Αλεξανδρούπολης=40<sup>0</sup>,  $\varphi^{\circ}$  Κοζάνη=40<sup>0</sup>,  $\varphi^{\circ}$  Κέρκυρα=39<sup>0</sup>,  $\varphi^{\circ}$  Μυτιλήνη=39<sup>0</sup>,  $\varphi^{\circ}$  Τρίπολη=37<sup>0</sup>,  $\varphi^{\circ}$  Ελληνικό=37<sup>0</sup>,  $\varphi^{\circ}$  Καλαμάτα=37<sup>0</sup>,  $\varphi^{\circ}$  Νάξος=37<sup>0</sup>).

Πίνακας 5:Μηνιαία ποσοστά ωρών ημέρας % των ωρών ημέρας του έτους.

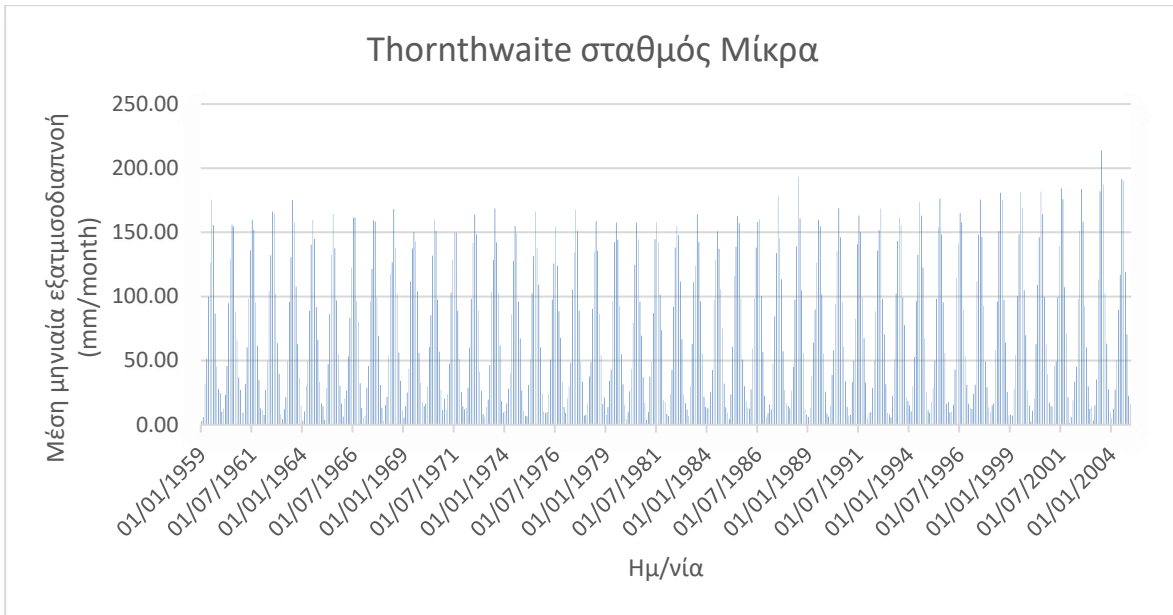
Β.Γεωγ. Πλάτος	Μήνας											
	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαι	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
24	7.58	7.17	8.40	8.60	9.30	9.20	9.41	9.05	8.31	8.09	7.43	7.46
26	7.49	7.12	8.40	8.64	9.38	9.49	9.10	8.31	8.06	9.30	7.36	7.35
28	7.40	7.07	8.39	8.68	9.46	9.38	9.58	9.16	8.32	8.02	7.27	7.27
30	7.30	7.03	8.38	8.72	9.53	9.49	9.67	9.22	8.34	7.99	7.19	7.14
32	7.20	6.97	8.37	8.75	9.63	9.60	9.77	9.28	8.34	7.93	9.11	7.05
34	7.10	6.91	8.36	8.80	9.72	9.70	9.88	9.33	8.36	7.90	7.02	6.92
36	6.99	6.86	8.35	8.85	9.81	9.83	9.99	9.40	8.36	7.85	6.92	6.79
38	6.87	6.79	8.34	8.90	9.92	9.95	10.10	9.47	8.38	7.90	6.82	6.66
40	6.76	6.73	8.33	8.95	10.02	10.08	10.22	9.54	8.38	7.75	6.72	6.52
42	6.62	6.65	8.31	9.00	10.14	10.21	10.35	9.62	8.40	7.70	6.62	6.38
44	6.40	6.58	8.30	9.05	10.26	10.38	10.49	9.70	8.41	7.63	6.49	6.22
46	6.33	6.50	8.29	9.12	10.39	10.54	10.64	9.79	8.42	7.58	6.36	6.04
48	6.17	6.42	8.27	9.18	10.53	10.71	10.80	9.89	8.44	7.51	6.22	5.86
50	5.98	6.32	8.25	9.25	10.69	10.93	10.99	10.00	8.44	7.43	6.07	5.65

Τα μηνιαία ποσοστά ωρών ημέρας εκτιμώνται με βάση τη γραμμική παρεμβολή, λόγω του ότι τα γεωγραφικά πλάτη των περιοχών αναλογούν σε ενδιάμεσες τιμές. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τον υπολογισμό εξατμισοδιαπνοής κατά τη μέθοδο Thornthwaite, δίνονται στο Σχήμα 27 έως 36 δηλαδή στις μηνιαίες διακυμάνσεις της εξατμισοδιαπνοής, για τις περιοχές της Μίκρας, της Αλεξανδρούπολης, της Κοζάνης, της Κέρκυρας, της Μυτιλήνης, της Τρίπολης, της Καλαμάτας, του Ηρακλείου, του Ελληνικού και της Νάξου. Από τα διαγράμματα που φαίνονται παρακάτω, προκύπτει ότι στους σταθμούς Καλαμάτα, Μυτιλήνη και Μίκρα παρατηρείται μικρή αυξιτική τάση για τις χρονικές περιόδους 1989 έως 2003, 1991 έως 2000 και 1991 έως 2003 αντίστοιχα, σε αντίθεση με την Κοζάνη η οποία από το 1989 έως το 1994 παρουσιάζει πτώση και από το 1994 έως το 2000 σημειώνει μια σχετική άνοδο. Στο χάρτη που ακολουθεί (Σχήμα 26) απεικονίζονται οι σταθμοί όπως κατανέμονται στα διαφορετικά γεωγραφικά διαμερίσματα της Ελλάδος καθώς και οι τιμές που λαμβάνουν.

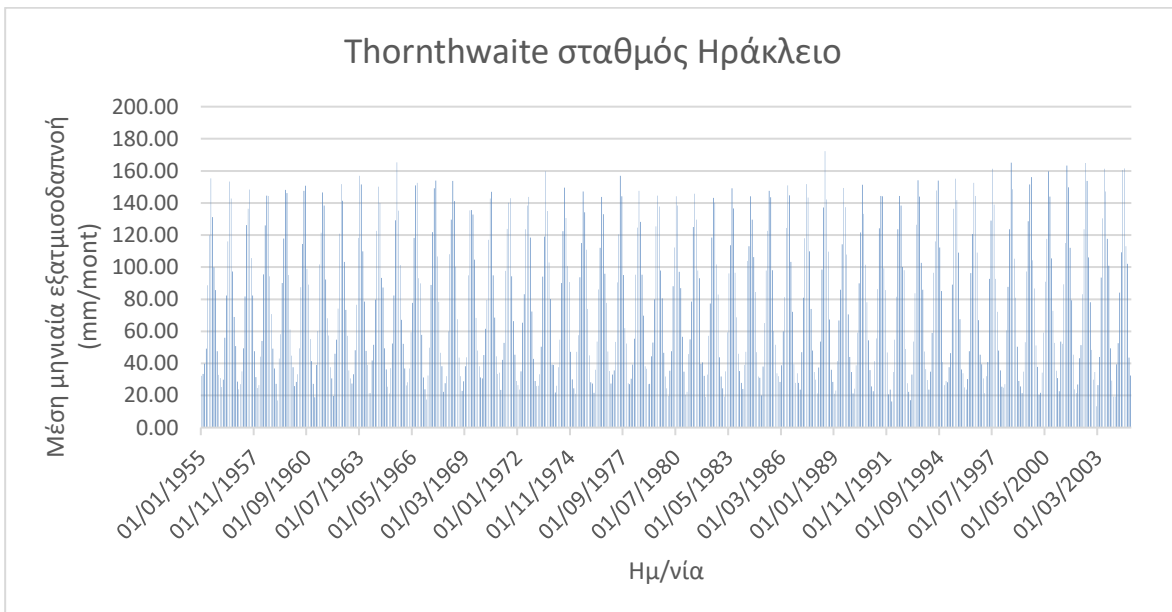
Παρατηρείται ότι, οι περιοχές που βρίσκονται νοτιοανατολικά της Ελλάδας, έχουν μεγαλύτερη μέση ετήσια δυνητική εξατμισοδιαπνοή.



Σχήμα 26: Κατανομή ετήσιας δυνητικής εξαμηνιαίας (Πηγή: Ιδίας επεξεργασίας)

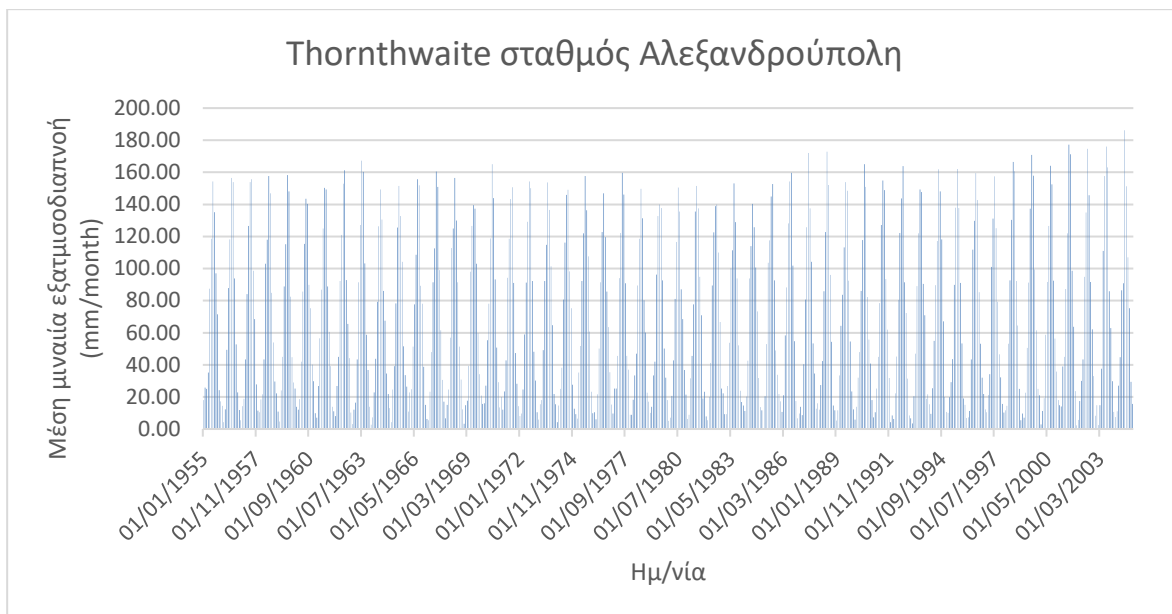


Σχήμα 27: Μέση μηνιαία διακύμανση εξατμισοδιαπνοής στον σταθμό Μίκρα

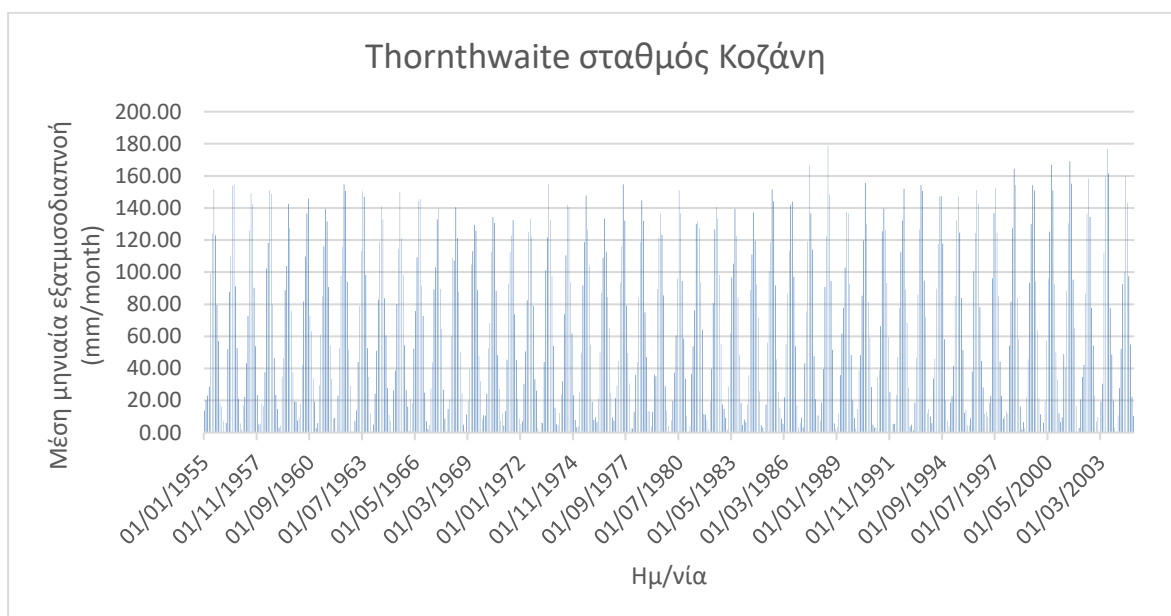


Σχήμα 28: Μέση μηνιαία διακύμανση εξατμισοδιαπνοής στον σταθμό Ηράκλειο

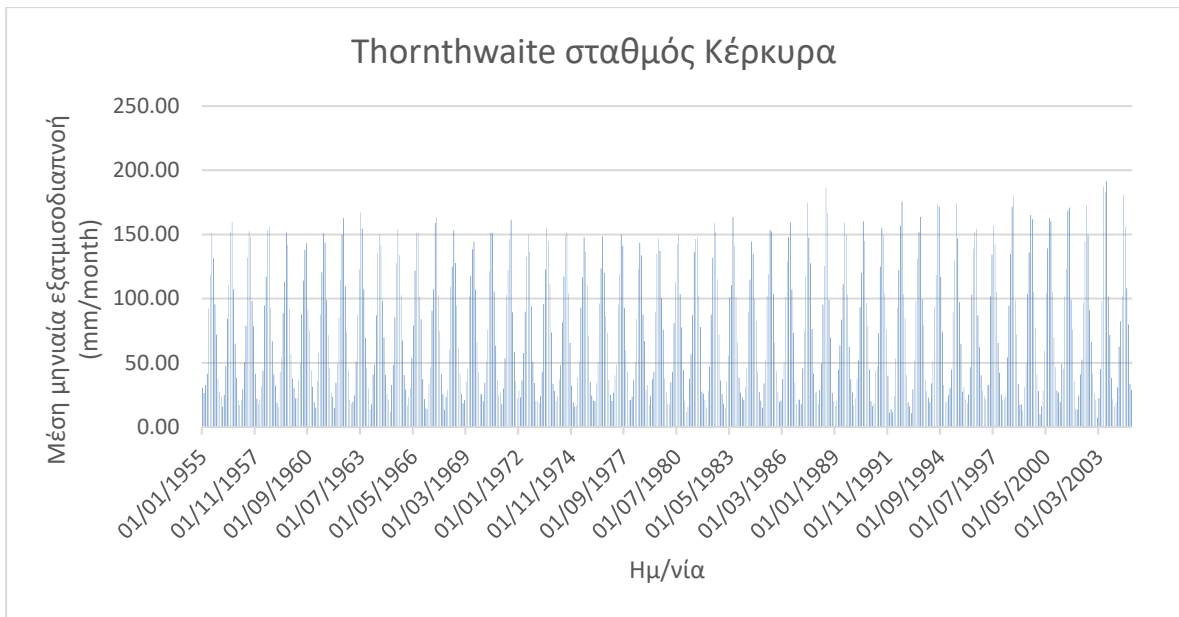




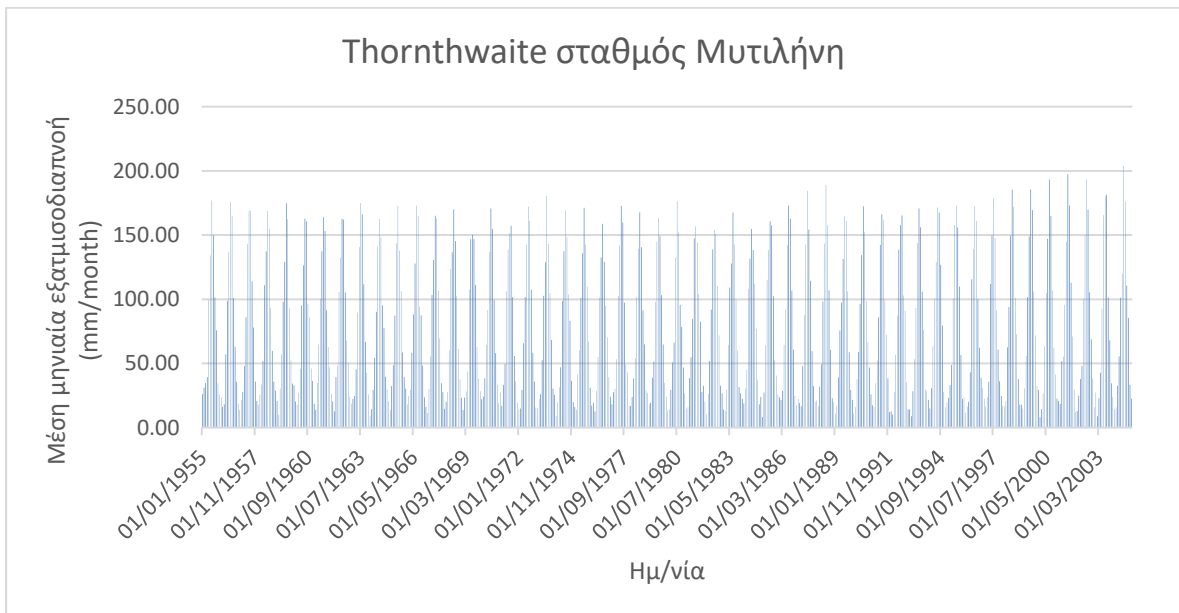
Σχήμα 29: Μέση μηνιαία διακύμανση εξατμισοδιαπνοής στον σταθμό Αλεξανδρούπολη



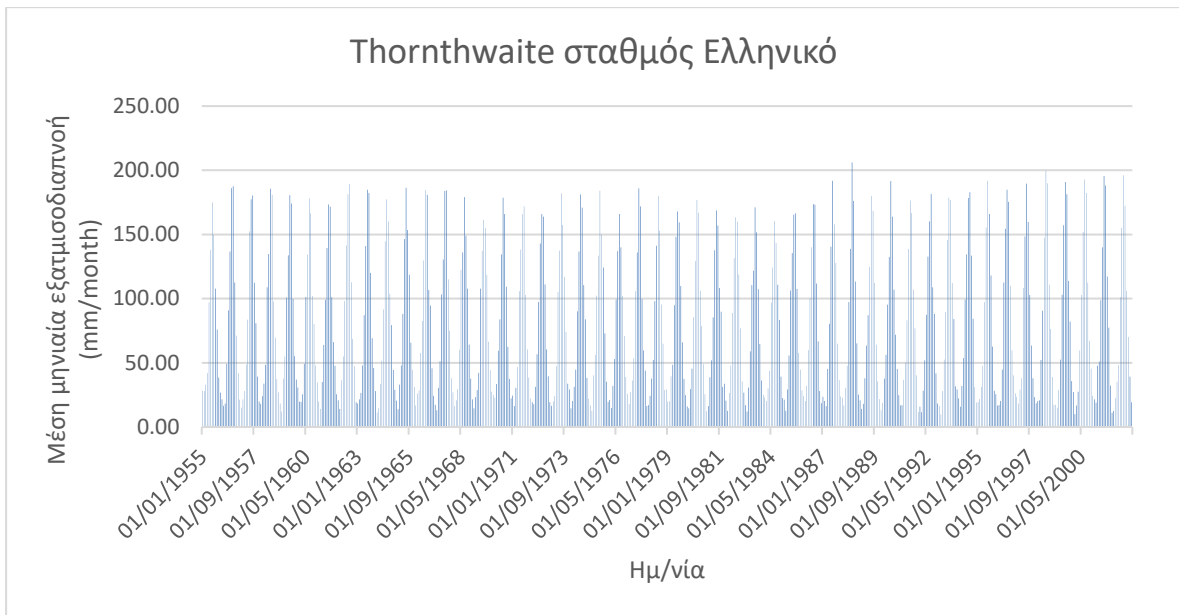
Σχήμα 30: Μέση μηνιαία διακύμανση εξατμισοδιαπνοής στον σταθμό Κοζάνη



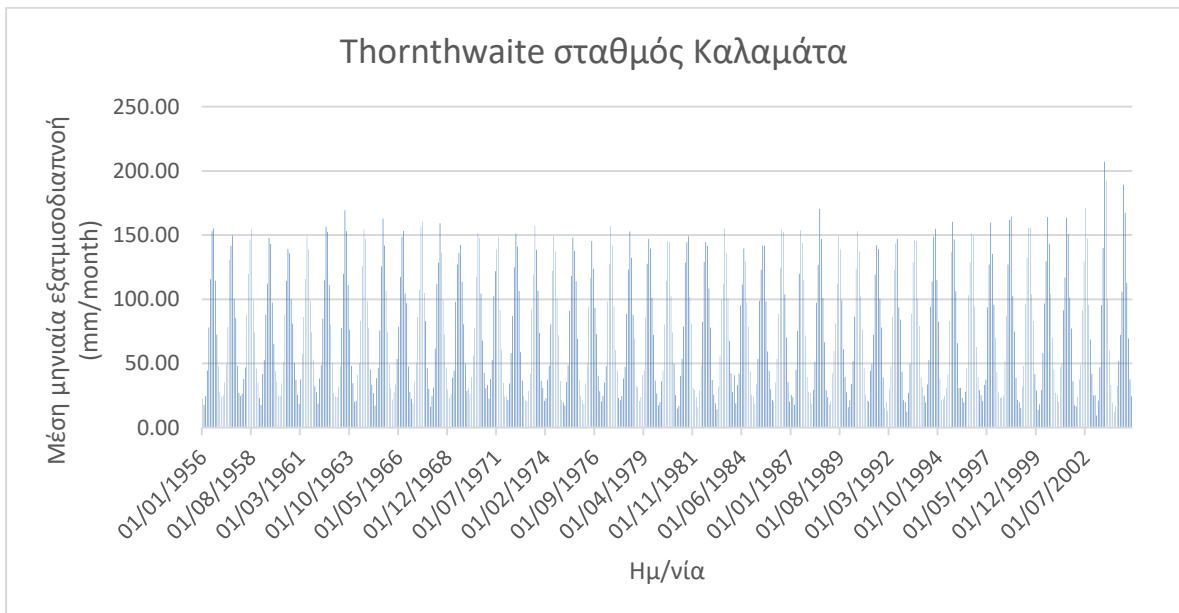
*Σχήμα 31: Μέση μηνιαία διακύμανση εξατμισοδιαπνοής στον σταθμό Κέρκυρα*



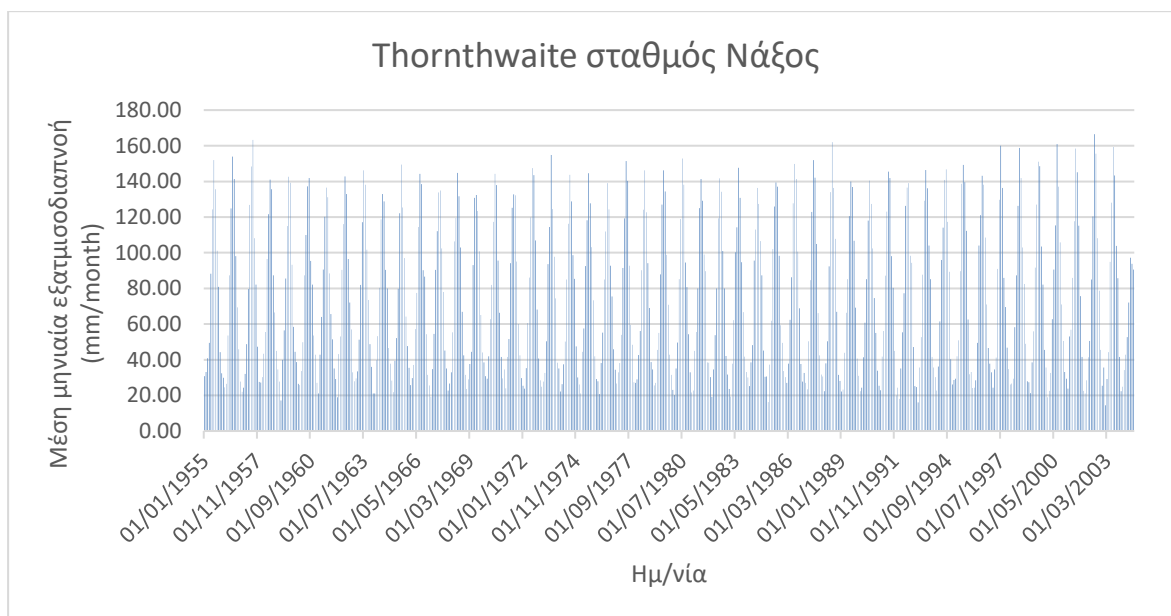
*Σχήμα 32: Μέση μηνιαία διακύμανση εξατμισοδιαπνοής στον σταθμό Μυτιλήνη*



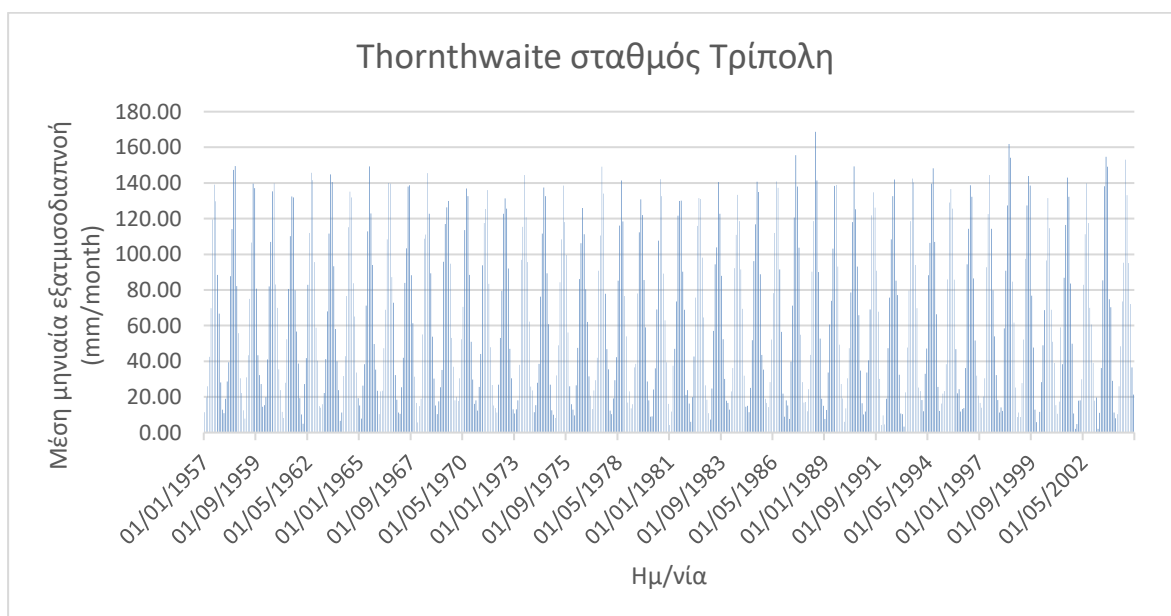
Σχήμα 33: Μέση μηνιαία διακύμανση εξατμισοδιαπνοής στον σταθμό Ελληνικό



Σχήμα 34: Μέση μηνιαία διακύμανση εξατμισοδιαπνοής στον σταθμό Καλαμάτα

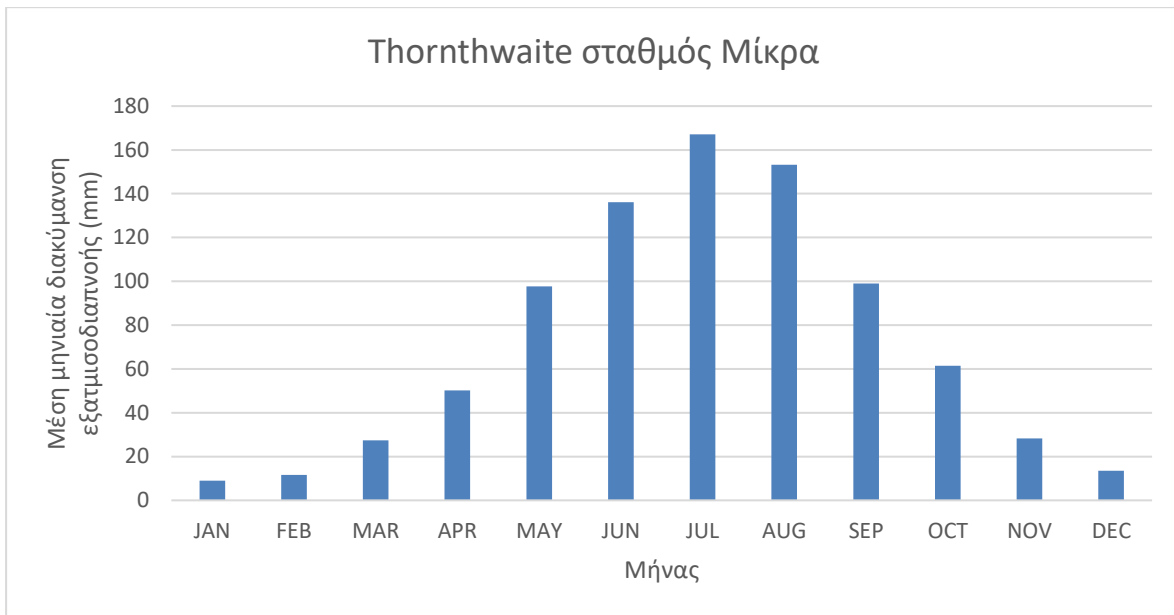


Σχήμα 35: Μέση μηνιαία διακύμανση εξατμισοδιαπνοής στον σταθμό Νάξο

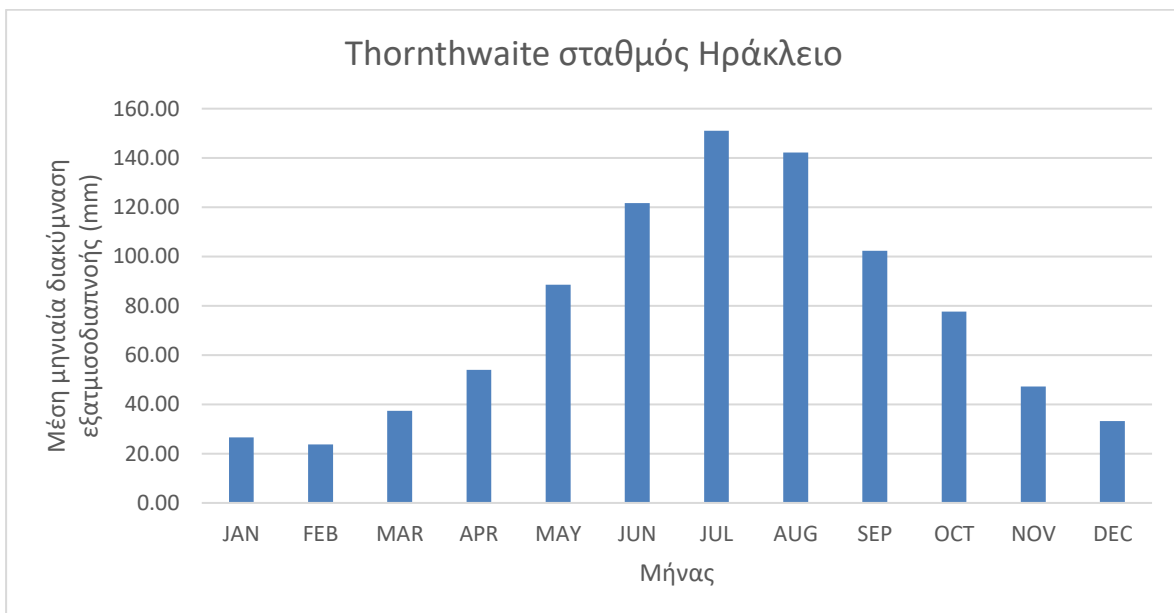


Σχήμα 36: Μέση μηνιαία διακύμανση εξατμισοδιαπνοής στον σταθμό Τρίπολη

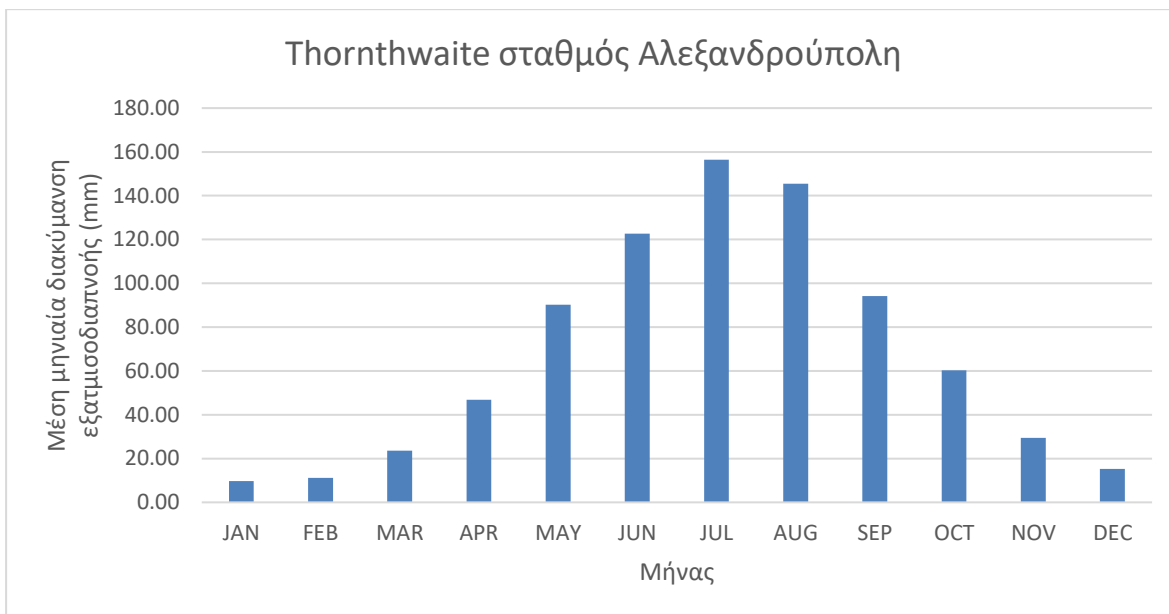
Εν συνεχεία, παρατίθενται τα διαγράμματα της μέσης μηνιαίας διακύμανσης της εξατμισοδιαπνοής για την περιοχή η οποία εξετάζεται, για ολόκληρο το χρόνο (Σχήμα 37 έως 46). Και σε αυτή την περίπτωση, οι διαφορές που παρατηρούνται ανάμεσα στις δέκα περιοχές που μελετώνται, είναι ιδιαίτερα μικρές. Πιο αναλυτικά, η μέγιστη τιμή εξατμισοδιαπνοής, σημειώνεται κατά τον Ιούλιο και για τις δέκα περιοχές, με το Ελληνικό να εμφανίζει τη μεγαλύτερη τιμή, 179.92 mm/μήνα και την Μυτιλήνη να ακολουθεί με τιμή 171.63 mm/μήνα. Επιπλέον, τις μικρότερες τιμές παρουσιάζουν η Τρίπολη και η Νάξος, με τιμές 140.59 mm/μήνα και 145.25 mm/μήνα αντίστοιχα.



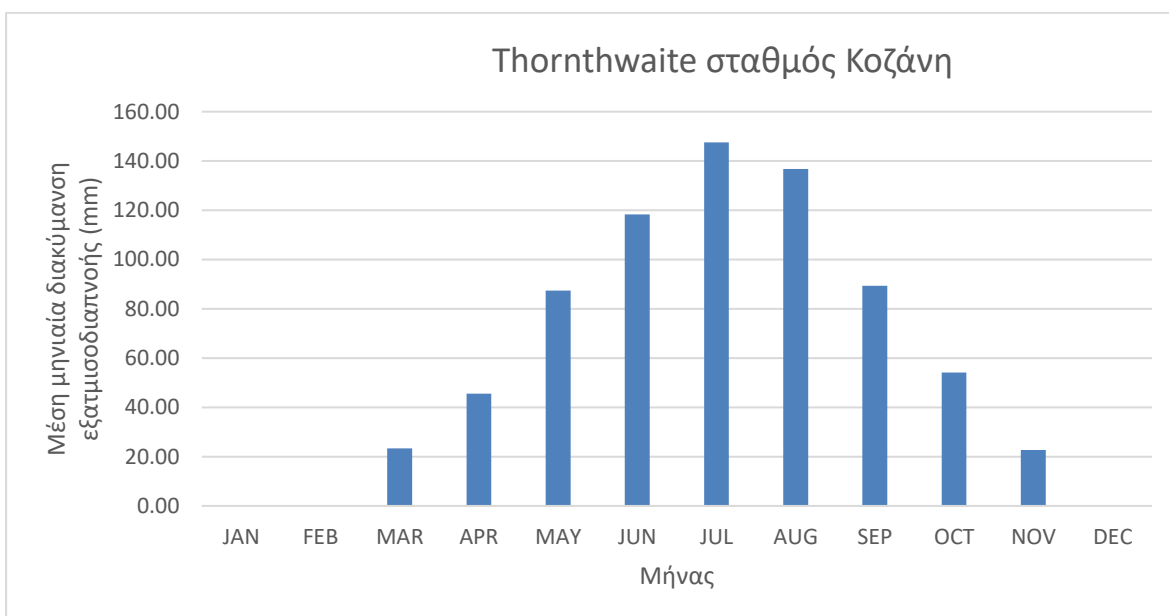
*Σχήμα 37: Μέση μηνιαία διακύμανση εξατμισοδιαπνοής στον σταθμό Μίκρα*



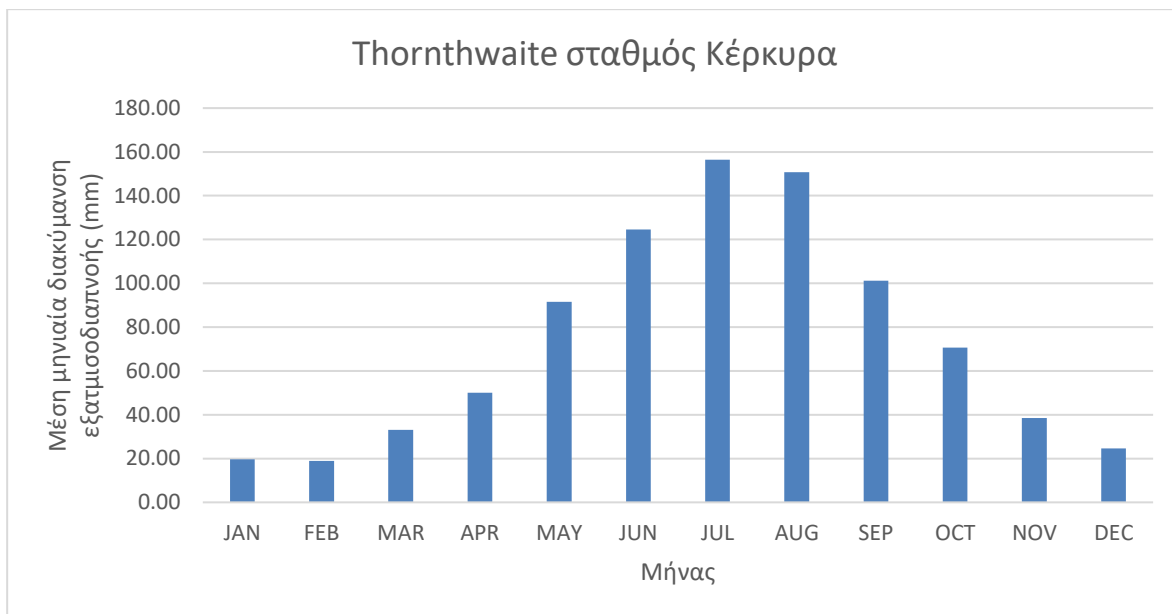
*Σχήμα 38: Μέση μηνιαία διακύμανση εξατμισοδιαπνοής στον σταθμό Ηράκλειο*



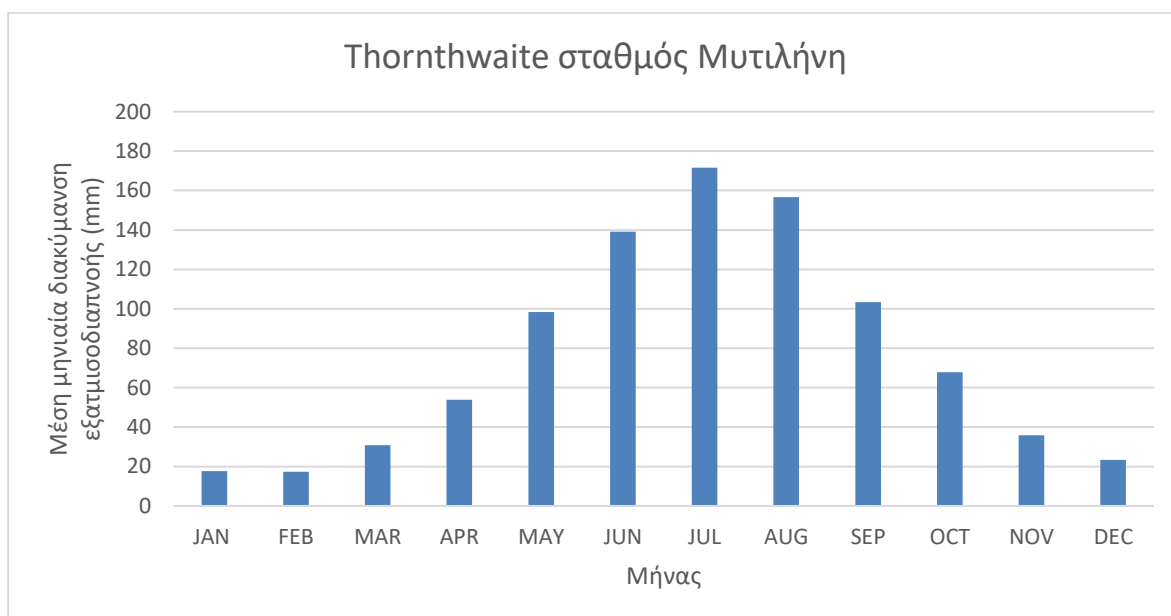
Σχήμα 39: Μέση μηνιαία διακύμανση εξατμισοδιαπνοής στον σταθμό Αλεξανδρούπολη



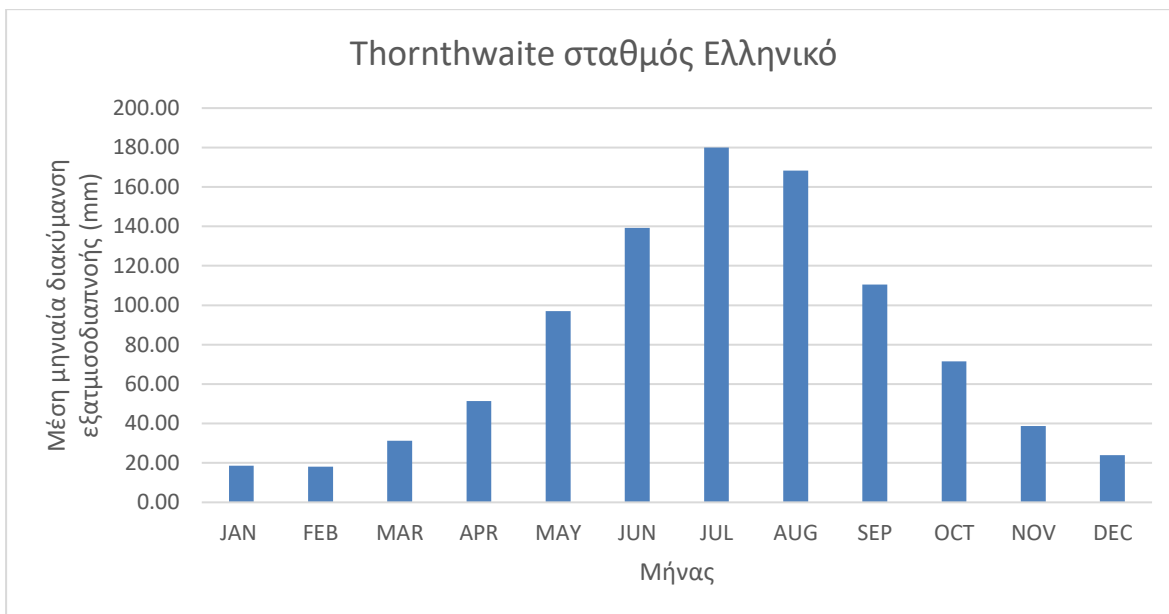
Σχήμα 40: Μέση μηνιαία διακύμανση εξατμισοδιαπνοής στον σταθμό Κοζάνη



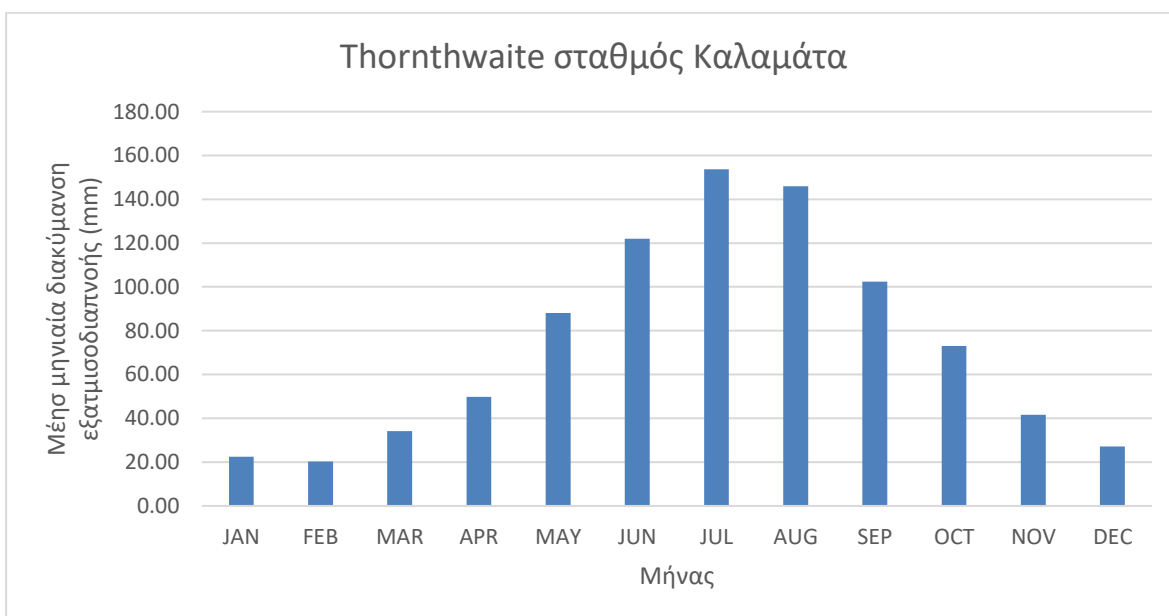
Σχήμα 41: Μέση μηνιαία διακύμανση εξατμισοδιαπνοής στον σταθμό Κέρκυρα



Σχήμα 42: Μέση μηνιαία διακύμανση εξατμισοδιαπνοής στον σταθμό Μυτιλήνη

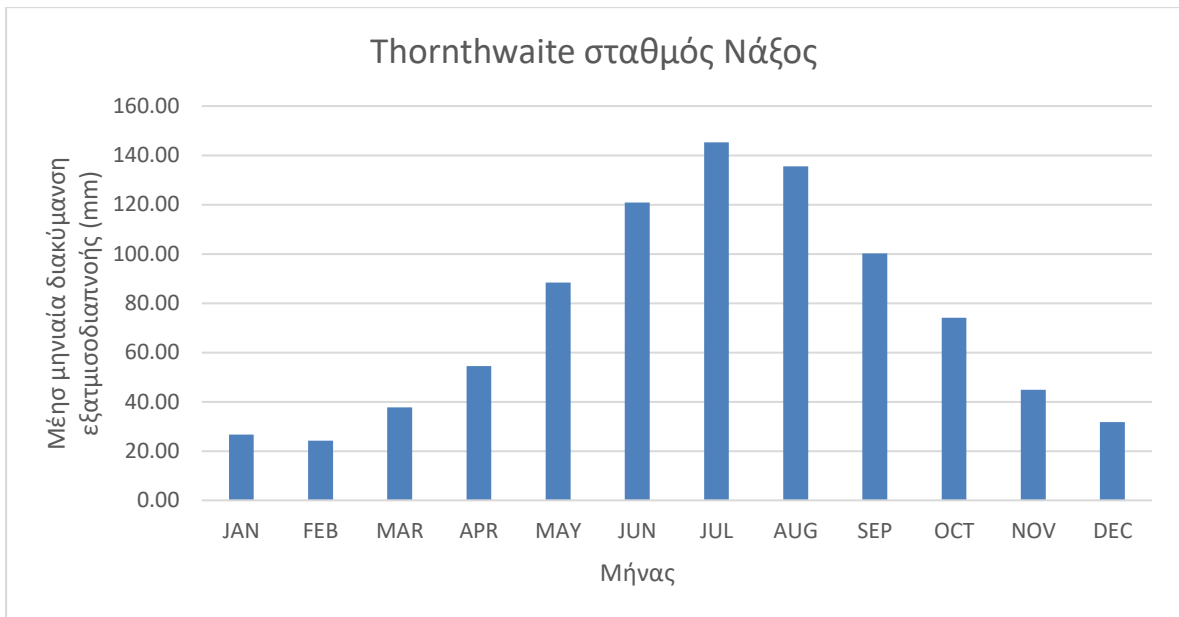


Σχήμα 43: Μέση μηνιαία διακύμανση εξατμισοδιαπνοής στον σταθμό Ελληνικό

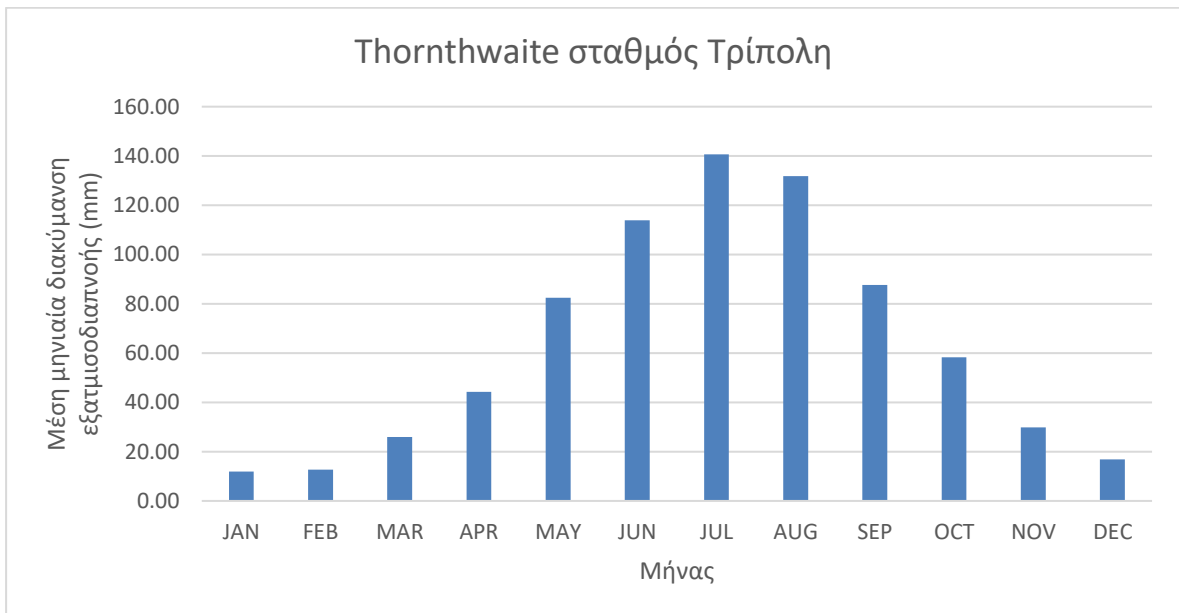


Σχήμα 44: Μέση μηνιαία διακύμανση εξατμισοδιαπνοής στον σταθμό Καλαμάτα





*Σχήμα 45: Μέση μηνιαία διακύμανση εξατμισοδιαπνοής στον σταθμό Νάξος*



*Σχήμα 46: Μέση μηνιαία διακύμανση εξατμισοδιαπνοής στον σταθμό Τρίπολη*

## 3 Μεθοδολογία

### 3.1 Γενική επισκόπηση μεθοδολογίας

Μετά την πρωτογενή επεξεργασία των διαθέσιμων χρονοσειρών βροχόπτωσης και θερμοκρασίας, ακολούθησε ο υπολογισμός κατάλληλων δεικτών ξηρασίας, όπως αυτοί περιγράφονται στο Κεφάλαιο αυτό. Συγκεκριμένα, υπολογίστηκε ο Aridity Index (AI) και ο Standardized Precipitation Index (SPI) και τελικά αναδείχτηκαν τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του φαινομένου της ξηρασίας για επιμέρους περιόδους. Ακολουθεί η αναλυτική περιγραφή των δεικτών.

### 3.2 Υπολογισμός δεικτών ξηρασίας

#### 3.2.1 Δείκτης ξηρότητας Aridity Index (AI).

Όπως προκύπτει από την ταξινόμηση της UNESCO (1979), η κλιματική ξηρότητα μπορεί να αποδοθεί με το δείκτη ξηρότητας (Aridity Index – AI), ο οποίος ουσιαστικά ορίζεται ως το πηλίκο του μέσου ετήσιου ύψους βροχής προς το μέσο ετήσιο ύψος της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής. Ο δείκτης αυτός συμβάλλει στο χαρακτηρισμό μιας περιοχής ως υπερβολικά ξηρής, ξηρής, ημίξηρης, ύφυγρης ή υγρής. Πιο αναλυτικά, ο δείκτης υπολογίζεται μέσω της παρακάτω εξίσωσης:

$$AI = \frac{P}{PET}$$

όπου P: το μέσο ετήσιο ύψος βροχής και

PET: το μέσο ετήσιο ύψος της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής.

Εάν το χρονικό βήμα εξέτασης είναι μικρότερο του έτους, για παράδειγμα μηνιαίο, χρησιμοποιείται η μηνιαία βροχόπτωση και η μέση μηνιαία δυνητική εξατμισοδιαπνοή. Αξίζει να αναφερθεί ότι, ο δείκτης AI χρησιμοποιείται επειδή υπολογίζεται ευκολότερα και συνιστά ιδανική λύση για την ένδειξη εμφάνισης της ξηρασίας, διότι περιλαμβάνει δύο βασικούς υδρολογικούς παράγοντες, τη βροχόπτωση και τη δυνητική εξατμισοδιαπνοή. Στον παρακάτω Πίνακα 6 αναγράφονται οι τιμές που λαμβάνει ο δείκτης και ο αντίστοιχος χαρακτηρισμός του κλίματος μιας περιοχής με βάση αυτές τις τιμές.

Πίνακας 6: Τιμές του Δείκτη Ξηρότητας (AI)

Τιμή δείκτη AI	Χαρακτηρισμός
0.03 και μικρότερο	Υπερβολικά ξηρή
0.03-0.20	Ξηρή
0.20-0.50	Ημίξηρη
0.5-0.75	Ύφυγη
>0.75	Υγρή

### 3.2.2 Standardized Precipitation Index- SPI (Τυποποιημένος Δείκτης Κατακρήμνισης).

Ο παραπάνω δείκτης υπερέχει σε επίπεδο αξιοπιστίας και πλεονεκτεί σε σύγκριση με όλους του υπόλοιπους δείκτες διότι υπολογίζεται σε διάφορες χρονικές κλίμακες. Επιπλέον, προσφέρει έγκυρη προειδοποίηση για τη λειψυδρία, όπως και ανάλυση των βασικών χαρακτηριστικών αυτού του φαινομένου και προτάσεις αντιμετώπισής του. Οι McKee et al. (1993) από το Colorado State University, δημιούργησαν το δείκτη αυτό αποσκοπώντας κυρίως στον ορισμό, την καταγραφή και την πρόβλεψη της ξηρασίας. Ο δείκτης στηρίζεται κατά κανόνα σε δεδομένα βροχόπτωσης για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Όπως προκύπτει από τους McKee et al. (1993), για μια αποδοτική εκτίμηση του δείκτη SPI, το καλύτερο θα ήταν να χρησιμοποιηθούν καλές χρονοσειρές για ένα διάστημα τουλάχιστον 30 χρόνων. Ο υπολογισμός του επηρεάζεται από το μήκος της χρονοσειράς (Cancelliere and Bonaccorso, 2009). Το μήκος της χρονοσειράς έχει ιδιαίτερη σημασία, αφού οι παράμετροι κλίμακας και σχήματος  $a$ ,  $b$  της κατανομής  $\gamma$  είναι περισσότερο σταθερές σε μεγάλες χρονοσειρές δεδομένων. Αξίζει να ειπωθεί πως, για την εγκυρότητα ακραίων τιμών SPI, χρειάζονται ακόμα μεγαλύτερες χρονοσειρές. Ο Wu et al (2005), ισχυρίζεται ότι οι διαφορές μεταξύ των τιμών SPI όταν υπολογίζονται μέσω διαφορετικών μηκών χρονοσειράς, δεν είναι ιδιαίτερα σημαντικές, εφόσον το μοντέλο βροχόπτωσης είναι σταθερό. Ένα από τα κυριότερα προτερήματα του δείκτη είναι ο εύκολος υπολογισμός του σε σύγκριση με άλλους δείκτες. Επίσης, υπάρχει η δυνατότητα εφαρμογής του τόσο κατά τη χειμερινή όσο και κατά τη θερινή περίοδο, διότι δεν εξαρτάται από παράγοντες όπως η εδαφική υγρασία και η τοπογραφία μιας περιοχής. Αντιθέτως, η παράμετρος η οποία επηρεάζει το δείκτη είναι η βροχόπτωση κι αυτός είναι ο βασικός λόγος για τον οποίο τα δεδομένα της πρέπει να είναι ακριβή. Η καλύτερη ποιότητα δεδομένων αποτελεί μια δύσκολη υπόθεση, λόγω του ότι αυτά ανήκουν σε διαφορετικούς φορείς διαχείρισης. Η Ειδική Γραμματεία Υδάτων και Υπεκα έχει ξεκινήσει μια διαδικασία συγκέντρωσης και διάθεσης των δεδομένων από όλους τους φορείς, ωστόσο αυτή η διαδικασία

βρίσκεται ακόμη σε εξέλιξη. Ένα ακόμη πλεονέκτημα του SPI, είναι η κανονικοποίησή του, η οποία αφορά την συχνότητα ακραίων γεγονότων σε οποιαδήποτε θέση και με οποιαδήποτε χρονική ανάλυση. Συνεπώς, ο δείκτης είναι χωρικά και χρονικά ανεξάρτητος ( Guttman, 1998 ; Heim, 2002 ; Wu et al., 2007) για αυτό και εφαρμόζεται σε πλήθος συγκρίσεων. Η κανονικοποίηση του δείκτη SPI αφορά στην σπανιότητα ενός επεισοδίου ξηρασίας, καθώς και στον εντοπισμό ξηρών και υγρών επεισοδίων. Σημαντικό ρόλο διαδραματίζει και η χρονική ευελιξία που διαθέτει ο δείκτης, η οποία προσφέρει τη δυνατότητα υπολογισμού του σε ποικίλα χρονικά βήματα, αναγνωρίζοντας διαφορετικά είδη ξηρασίας (μετεωρολογική κλπ). Επιπλέον, ο δείκτης είναι ιδανικός για τον εντοπισμό έναρξης και λήξης ενός επεισοδίου ξηρασίας, με μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα και ταχύτητα από τους υπόλοιπους δείκτες. Όπως προκύπτει από τον Wu et al (2007), οι τιμές του δείκτη για χρονικό διάστημα ενός μήνα κατηγοριοποιούνται σε άνυδρες και ημιάνυδρες περιοχές της Ελλάδας και σημειώνουν αστάθεια στον υπολογισμό τους με την συνάρτηση γάμμα. ( Καραβίτης 2012, Serrano-Vicente 2006, Λουκάς κ.α 2007, Χοτάρια 2010). Σε περιοχές όπως η Ελλάδα, στις οποίες η ξηρασία αποτελεί ένα ιδιαίτερα συχνό φαινόμενο, η ανάλυση μιας μεγάλης περιόδου ξηρασίας θα ήταν αναποτελεσματική, ενώ ο υπολογισμός του δείκτη για ένα διάστημα μικρότερο των 3 μηνών, θα μπορούσε να χαρακτηριστεί παραπλανητικός. Από την άλλη πλευρά, ο υπολογισμός του δείκτη για μια χρονική περίοδο 6 μηνών, μπορεί να έχει αποτέλεσμα ως προς τον προσδιορισμό των μοντέλων βροχόπτωσης, δηλαδή την συχνότητα βροχοπτώσεων κατά διακριτές εποχές που ακολουθείται αναφέροντας μεσοπρόθεσμες τάσεις. Πιο αναλυτικά, οι μικρές χρονικές κλίμακες, προσδιορίζουν τη γεωργική και την μετεωρολογική ξηρασία, σε αντίθεση με τις μεγαλύτερες που ανταποκρίνονται στην υδρολογική (Heim, 2002). Ο 6-μηνών δείκτης ταυτίζεται με την εδαφική υγρασία (Sims et al., 2002 ; Ji and Peters, 2003), ενώ ο 12-μηνών αφορά στους υδάτινους πόρους . Μαθηματικά, ο SPI είναι ο αριθμός των τυπικών αποκλίσεων όπου το συνολικό ύψος των βροχοπτώσεων για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο ( 3, 6, 9, 12 μήνες κλπ), απέχει από τη μέση τιμή μιας μακροχρόνιας χρονοσειράς. Λόγω του ότι η βροχόπτωση δεν έχει κανονική κατανομή, λαμβάνει χώρα μια ρύθμιση η οποία δίνει στο δείκτη τη δυνατότητα να έχει κανονική κατανομή. Τα δεδομένα προσαρμόζονται σε μια πιθανοτική κατανομή (Probability Density Function) και στην συνέχεια μετασχηματίζονται σε μια κανονικοποιημένη μεταβλητή z, η οποία είναι και η τιμή του SPI. Με αυτόν τον τρόπο εντοπίζονται ξηρά και υγρά επεισόδια ξηρασίας . Γενικότερα, ένα επεισόδιο ξηρασίας ξεκινά όταν ο δείκτης παίρνει αρνητική τιμή, στην συνέχεια διατηρεί αρνητική τιμή και γίνεται εντονότερο μόλις ο δείκτης πάρει τιμή μικρότερη ή ίση με με -1,5. Το επεισόδιο λήγει μόλις σημειωθεί θετική τιμή. Στον παρακάτω πίνακα, δίνετε ο χαρακτηρισμός κάθε περιόδου

ανάλογα με τις τιμές που λαμβάνει αυτή κάθε φορά (Πίνακας 7).

Πίνακας 7: Τιμές του Δείκτη Ξηρότητας (SPI)

Τιμή δείκτη SPI	Χαρακτηρισμός
Άνω του 2.00	Εξαιρετικά υγρή περίοδος
1.50-1.99	Πολύ υγρή περίοδος
1.00-1.49	Μέτρια υγρή περίοδος
-0.99-0.99	Κανονικές βροχοπτώσεις
1.00-(-1.49)	Ξηρασία
-1.50-(-1.99)	Σημαντική Ξηρασία
-2.00 έως κάτω	Εξαιρετική Ξηρασία

Κάθε επεισόδιο ξηρασίας έχει ξεχωριστή διάρκεια, η οποία προσδιορίζεται από μια αρχή, ένα τέλος και μια ένταση για κάθε μήνα για τον οποίο εξακολουθεί να λαμβάνει χώρα το επεισόδιο ξηρασίας. Αν και έχουν διεξαχθεί αρκετές έρευνες με σκοπό την εύρεση των καταλληλότερων κατανομών για την εκτίμηση των πιθανοτήτων εμφάνισης μηνιαίων βροχοπτώσεων. Η πλειοψηφία των ερευνητικών κέντρων, των πανεπιστημίων και των οργανισμών, έχουν υιοθετήσει την κατανομή γάμμα 2 παραμέτρων. Ο Thom (1958), απέδειξε πως τα κλιματικά δεδομένα των βροχοπτώσεων ακολουθούν Γάμμα κατανομή, η οποία αποτελεί και μια από τις πιο δημοφιλείς κατανομές της τεχνικής υδρολογίας. Είναι θετικά ασύμμετρη και ορίζεται μόνο για θετικές τιμές της μεταβλητής (Κουτσογιάννης, 1997). Η συχνότητα της πιθανότητας αποτυπώνεται από την σχέση:

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

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

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

$x$  είναι το ποσό βροχόπτωσης

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

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

Η Γάμμα κατανομή αποτελείται από δύο παραμέτρους: 1). την παράμετρο σχήματος  $\alpha$  και  $\beta$ ). την παράμετρο κλίμακας  $\beta$ . Για  $\alpha=1$ , η κατανομή ταυτίζεται με την εκθετική, η οποία συνιστά ιδιαίτερη περίπτωση της Γάμμα, ενώ για μεγάλες τιμές του  $\alpha$  (μεγαλύτερες του 15-30), η Γάμμα κατανομή πλησιάζει προς την κανονική (Κουτσογιάννης, 1997). Ο υπολογισμός του δείκτη SPI, περιλαμβάνει το κλάσμα της πιθανότητας της κατανομής Γάμμα, για το ύψος βροχής κάποιου σταθμού. Οι παράμετροι  $\alpha$  και  $\beta$ , υπολογίζονται για τον κάθε σταθμό ξεχωριστά και για οποιαδήποτε χρονική περίοδο απαιτείται (3 μήνες, 12 μήνες κλπ). Οι Edwards και McKee (1997), υποστήριξαν ότι, η εκτίμηση των παραμέτρων θα πρέπει να γίνεται βάσει της προσέγγισης του Thom (1958), σχετικά με τη μέγιστη πιθανότητα. Αναλυτικότερα,

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

όπου για  $n$  παρατηρήσεις:

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

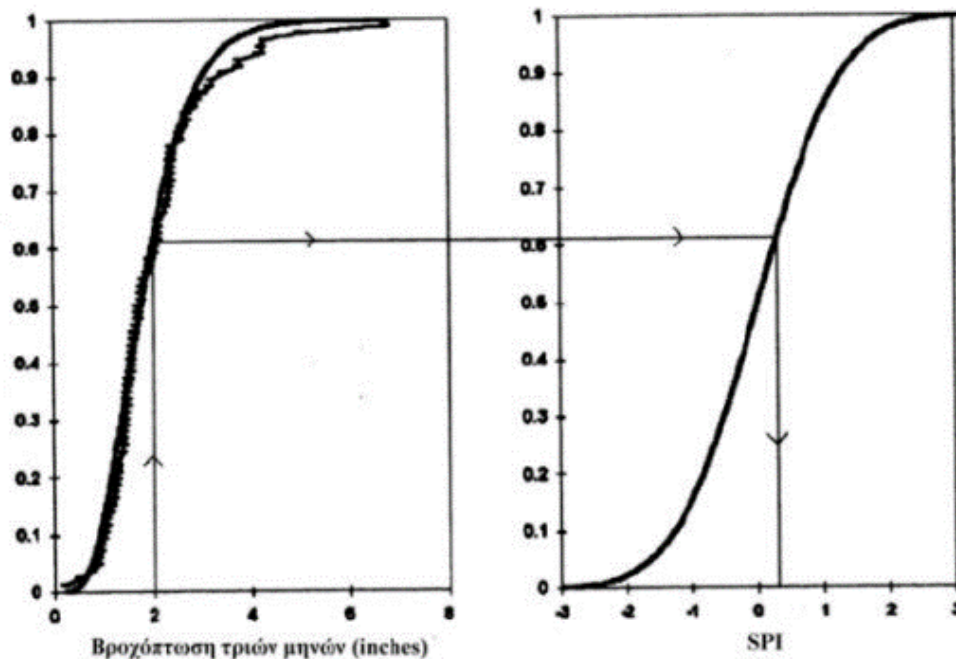
και  $n$  είναι το πλήθος τιμών της χρονοσειράς.

Έπειτα, τα αποτελέσματα των παραμέτρων χρησιμοποιούνται με σκοπό την εύρεση μιας αθροιστικής πιθανότητας ενός γνωστού επεισοδίου βροχόπτωσης για έναν ορισμένο μήνα και για κάποιο χρονικό διάστημα, το οποίο απαιτείται για τον συγκεκριμένο σταθμό. Η αθροιστική πιθανότητα προσφέρεται από την εξής σχέση:

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

Για  $t = x / \beta$ , αυτή η εξίσωση λαμβάνει τη μορφή της ελλειπούς συνάρτησης Γάμμα. Λόγω του ότι η συνάρτηση Γάμμα δεν ορίζεται για  $x = 0$ , την στιγμή που η κατανομή της βροχής μπορεί να λάβει τιμή μηδέν, η αθροιστική πιθανότητα παίρνει τελικά τη μορφή (LloydHughes, 2002):  $H(x) = 1 - G(x) = 1 - \int_0^x g(x) dx = \int_x^\infty g(x) dx$ , όπου  $g$  είναι η πιθανότητα μηδενικής βροχόπτωσης. Η αθροιστική πιθανότητα  $H(x)$ , μετασχηματίζεται στην συνέχεια στην τυποποιημένη κανονική τυχαία μεταβλητή  $Z$ , με μέσο όρο μηδέν και διακύμανση ένα, ως τιμή του SPI. Αυτή αποτελεί μετατροπή ίσης πιθανότητας, όπως προκύπτει από τους Panofsky and Brier (1958). 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).



Στο αριστερό διάγραμμα παρουσιάζονται οι πραγματικές τιμές βροχόπτωσης για τους μήνες Ιανουάριο-Μάρτιο (άξονας X), για το διάστημα 1911-1995. Η διακεκομμένη γραμμή σηματοδοτεί την εμπειρική κατανομή της αθροιστικής πιθανότητας για την περίοδο η οποία εξετάζεται (άξονας Y). Η εμπειρική αθροιστική πιθανότητα υπολογίζεται με βάση την πρόταση των Panofsky and Brier (1958), δηλαδή όταν τα δεδομένα βροχόπτωσης τοποθετούνται με αύξουσα σειρά μεγέθους. Η ομαλοποιημένη γραμμή στο ίδιο διάγραμμα αντικατοπτρίζει την κατανομή της αθροιστικής πιθανότητας της κατανομής Γάμμα που ακολουθούν τα δεδομένα βροχόπτωσης. Στο δεξιό διάγραμμα, η ομαλοποιημένη καμπύλη αντιστοιχεί στην κατανομή της αθροιστικής πιθανότητας της κανονικοποιημένης μεταβλητής z, εφαρμόζοντας την ίδια κλίμακα που χρησιμοποιήθηκε και στο αριστερό διάγραμμα, ενώ στον άξονα X υπάρχουν οι κανονικοποιημένες τιμές της μεταβλητής z. Εάν παραδείγματος χάρη, πρέπει να βρεθεί η τιμή του δείκτη SPI η οποία αντιστοιχεί σε 2 ίντσες βροχόπτωσης, εφαρμόζεται η παρακάτω διαδικασία: από το αριστερό διάγραμμα εντοπίζεται η τιμή 2 ίντσες στον άξονα X, σημειώνεται παράλληλη προς τον άξονα Y ως την καμπύλη. Από αυτό το σημείο χαράσσεται παράλληλη προς τον άξονα X και προεκτείνεται έως την καμπύλη του δεξιού διαγράμματος. Τέλος, από το σημείο τομής της παράλληλης με την καμπύλη του δεύτερου διαγράμματος, σχηματίζεται κάθετη στον άξονα X, αποσκοπώντας στον προσδιορισμό της τιμής του δείκτη. Ωστόσο, η διαδικασία αυτή είναι εξαιρετικά επίπονη και χρονοβόρα, για αυτό και η τιμή του SPI, μπορεί

να υπολογιστεί ευκολότερα, ακολουθώντας τις παρακάτω σχέσεις των Edwards και McKee (1997). Ύστερα από αυτούς, οι Hughes και Saunders (2002), υιοθετούν την προσέγγιση των Abramowitz και Stegun (1965), ως εναλλακτική λύση. Πιο συγκεκριμένα:

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

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

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

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

και  $C_0=2.515517$ ,  $c_1=0.802853$ ,  $c_2=0.010308$ ,  $d_1=1.432788$ ,  $d_2=0.189269$ ,  $d_3=0.001308$ .

Αναφορικά με τα πλεονεκτήματα του δείκτη SPI:

- ✓ Ο εύκολος υπολογισμός του, λόγω του ότι απαιτούνται μόνο δεδομένα βροχόπτωσης, αλλά και του ότι υπάρχει η δυνατότητα εφαρμογής του τόσο το χειμώνα, όσο και το καλοκαίρι.
- ✓ Η δυνατότητα εφαρμογής του σε ποικίλες χρονικές κλίμακες. Αυτή η χρονική ευελιξία βοηθά στον προσδιορισμό της έναρξης και της λήξης του επεισοδίου ξηρασίας.
- ✓ Η κανονικοποίησή του, η οποία είναι υπεύθυνη για την συχνότητα ακραίων γεγονότων σε οποιαδήποτε θέση και με οποιαδήποτε χρονική ανάλυση. Επιπλέον, αφορά και την σπανιότητα κάθε επεισοδίου.
- ✓ Η βροχόπτωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό έλλειψης βροχής για συγκεκριμένη χρονική περίοδο.
- ✓ Ο δείκτης SPI χρησιμοποιείται σε υγρές και ξηρές περιόδους, ενώ παράλληλα μπορεί να υπολογιστεί και για παραμέτρους όπως χιόνι, υγρασία κ.α
- ✓ Ο δείκτης SPI αναγνωρίζει γρηγορότερα τα επεισόδια ξηρασίας, από ότι ο Palmer Index (Hayes, 1999).



Όσον αφορά τα μειονεκτήματα του δείκτη SPI:

- ✓ Για κάθε διαφορετική κατανομή έχουμε διαφορετικές τιμές SPI, επομένως δεν υπάρχει μια συγκεκριμένη λύση που να είναι αποδεκτή από όλους, παρόλο που πολλά κέντρα των ΗΠΑ χρησιμοποιούν τη 2-παραμετρική Γάμμα.
- ✓ Απαιτούνται δεδομένα χρονοσειρών μεγάλης διάρκειας τουλάχιστον 30 ετών, ενώ για την εγκυρότητα ακραίων τιμών απαιτούνται 80 περίπου χρόνια) και χωρίς ελλείψεις. Ο υπολογισμός επηρεάζεται από το μήκος χρονοσειράς.
- ✓ Ο δείκτης έχει τη δυνατότητα προσδιορισμού των περιοχών που είναι περισσότερο επιρρεπείς στη ξηρασία. Ίδια τιμή του δείκτη σε δύο διαφορετικές περιοχές, δεν σημαίνει απαραίτητα ίδιο επίπεδο ανεπάρκειας νερού σε αυτά τα σημεία.
- ✓ Σε μικρές χρονικές κλίμακες (1,2 ή 3 μηνών) σε περιοχές με μικρή βροχόπτωση ανά διαστήματα, υπάρχει περίπτωση εμφάνισης μεγάλων θετικών ή αρνητικών τιμών.
- ✓ Χρειάζονται ακριβή δεδομένα βροχόπτωσης, διότι είναι η σημαντικότερη παράμετρος που απαιτείται στο δείκτη SPI.

### **3.3 Δημιουργία θεματικών χαρτών**

#### *3.3.1 Γενικά*

Το Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ), το οποίο συναντάται σε παγκόσμιο επίπεδο και ως G.I.S, Geographic Information Systems, αποτελεί ένα σύστημα διαχείρισης χωρικών δεδομένων (spatial data), καθώς και συσχετισμένων ιδιοτήτων. Σε μια πιο εξειδικευμένη μορφή του, συνιστά ένα ψηφιακό σύστημα το οποίο έχει την ικανότητα να ενσωματώνει, να αποθηκεύει, να προσαρμόζει, να αναλύει αλλά και να παρουσιάζει γεωγραφικά συσχετισμένες (geographically-referenced) πληροφορίες. Ωστόσο, υπό μια πιο ευρεία έννοια, ένα ΣΓΠ μπορεί να χαρακτηριστεί ως ένα μέσο "έξυπνου χάρτη", μέσω του οποίου μπορεί κάποιος να απεικονίσει μια σύνοψη του πραγματικού κόσμου και να αποδώσει τα δεδομένα σε αναλογική ή σε ψηφιακή μορφή. Τα συστήματα GIS, όπως και τα συστήματα CAD, αποδίδουν χωρικά δεδομένα σε γεωγραφικό, χαρτογραφικό ή καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων. Κύριο γνώρισμα αυτού του συστήματος είναι ότι, τα χωρικά δεδομένα ενώνονται με τα περιγραφικά. Πιο συγκεκριμένα, μια ομάδα σημείων, για παράδειγμα, που απεικονίζουν θέσεις ορισμένων πόλεων, συνδέεται με έναν πίνακα στον οποίο εκτός από τις θέσεις δίνονται πληροφορίες και σχετικά με τον πληθυσμό, την ονομασία της πόλης κ.α. Τα συστήματα αυτά αποτελούν επίσης και πληροφοριακά συστήματα (Information Systems), τα οποία διαθέτουν την ικανότητα συλλογής, αποθήκευσης, επεξεργασίας, ανάλυσης και οπτικοποίησης των δεδομένων που

αφορούν το χώρο, σε ψηφιακό αυτή τη φορά περιβάλλον. Τα παραπάνω δεδομένα, τις περισσότερες φορές αναγράφονται ως γεωγραφικά, χωρικά (spatial) κι άλλες φορές ως χαρτογραφικά, ενώ παράλληλα συνήθως έχουν σχέση με τα περιγραφικά, τα οποία τα χαρακτηρίζουν ως μοναδικά. Η σύνδεση χωρικής και περιγραφικής πληροφορίας, συνιστά ξεχωριστή ιδιότητα των συστημάτων GIS και στηρίζεται στην παρακάτω τεχνολογία:

1. Στο σχεσιακό (relational) μοντέλο δεδομένων, κατά το οποίο τα περιγραφικά δεδομένα κατηγοριοποιούνται ξεχωριστά κι έπειτα συνδέονται με τα χωρικά μέσω συγκεκριμένων τιμών, οι οποίες είναι οι ίδιες και για τις δύο κατηγορίες δεδομένων, ή
2. Στο αντικειμενοστραφές (object-oriented) στο οποίο και τα δύο είδη δεδομένων, χωρικά και περιγραφικά, μετατρέπονται σε αντικείμενα, τα οποία με την σειρά τους μοντελοποιούν ορισμένα αντικείμενα που έχουν φυσική υπόσταση.

Το αντικειμενοστραφές μοντέλο, έχει την τάση να εφαρμόζεται όλο και πιο συχνά στην υλοποίηση του GIS, κι αυτό διότι διαθέτει περισσότερες ικανότητες συγκριτικά με το σχεσιακό μοντέλο, ως προς τη μοντελοποίηση φυσικών φαινομένων και αντικειμένων με χωρική διάσταση. Υπάρχουν φορές όπου το GIS λαμβάνει μια πιο ευρεία έννοια, μια και περιλαμβάνει εκτός από τα δεδομένα, το λογισμικό και το μηχανικό εξοπλισμό και τις διαδικασίες και το ανθρώπινο δυναμικό, στοιχεία απαραίτητα για έναν οργανισμό, του οποίου πρωταρχικό μέλημα είναι η διαχείριση πληροφορίας μέσω GIS.

### *3.3.2 Οπτικοποίηση αποτελεσμάτων*

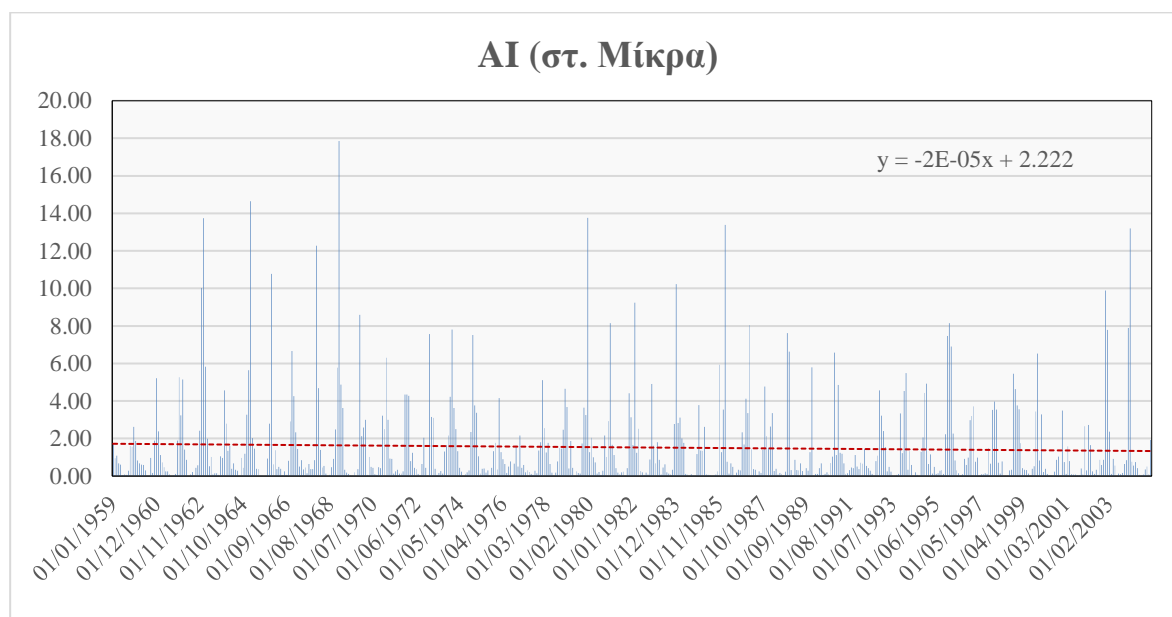
Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας δημιουργήθηκαν θεματικοί χάρτες που αποτυπώνουν σημειακά, με διαφορετική χρωματική απόδοση, τις επιμέρους τιμές των δεικτών ανά σταθμό, όπως παρουσιάζεται αναλυτικά στο Κεφάλαιο που ακολουθεί.

## 4 Αποτελέσματα

Στην παρούσα ενότητα πραγματοποιείται η παρουσίαση των αποτελεσμάτων της στατιστικής ανάλυσης και της χωρικής αποτύπωσης για τους σταθμούς Ηράκλειο, Μίκρα, Αλεξανδρούπολη, Κοζάνη, Κέρκυρα, Μυτιλήνη, Τρίπολη, Ελληνικό, Καλαμάτα, Νάξος. Όπως ειπώθηκε παραπάνω, οι δείκτες που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό της ξηρασίας στις περιοχές αυτές είναι Standardized Precipitation Index (SPI) και ο Aridity Index (AI). Πιο συγκεκριμένα για το δείκτη SPI επιλέχθηκε ο δείκτης SPI3 και ο SPI6. Στη συνέχεια δημιουργήθηκαν μέσω του προγράμματος Excel τα διαγράμματα τάσης για τον κάθε δείκτη και σταθμό αλλά και η χωρική κατανομή των τιμών τους μέσα από το λογισμικό ArcGIS.

### 4.1 Απεικόνιση διαγραμμάτων τάσης του δείκτη Aridity Index (AI)

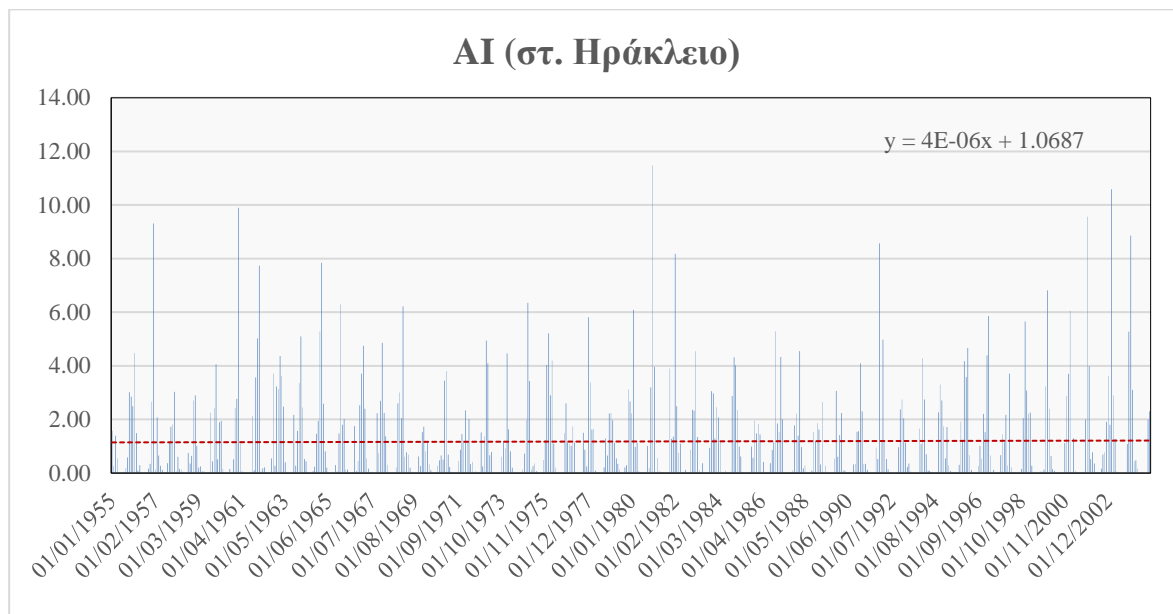
Τα διαγράμματα που αφορούν στον δείκτη Aridity Index (AI), παρατίθενται στην συνέχεια από το σχήμα 47 έως 56.



Σχήμα 47: Διάγραμμα τάσης του μηνιαίου AI στον σταθμό Μίκρα

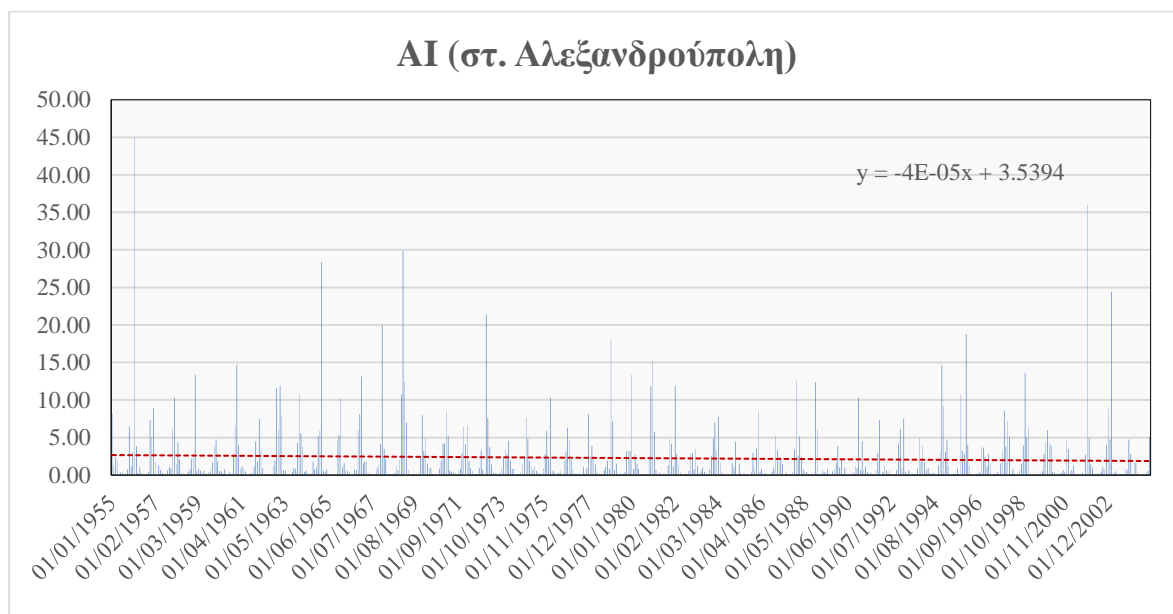
Στον σταθμό Μίκρα φαίνεται ότι για την χρονοσειρά δεν υπάρχουν έντονα φαινόμενα ξηρασίας. Οι τιμές είναι σχετικά σταθερές στην διάρκεια όλων των ετών με μια μικρή μειωτική τάση να διακρίνεται από το έτος 1997 και ύστερα. Για την χρονική περίοδο 1959 έως 2004 παρατηρείται σταδιακά μικρή αυξητική τάση της ξηρασίας. Τα έτη 1964 και 1985 σημειώνεται η χαμηλότερη τιμή της χρονοσειράς η οποία είναι 0.00 , ενώ αντίθετα οι υψηλότερες τιμές

καταγράφηκαν το έτος 1969 και 2004 με 17.85 και 13.9 αντίστοιχα.



Σχήμα 48: Διάγραμμα τάσης του μηνιαίου ΑΙ στον σταθμό Ηράκλειο

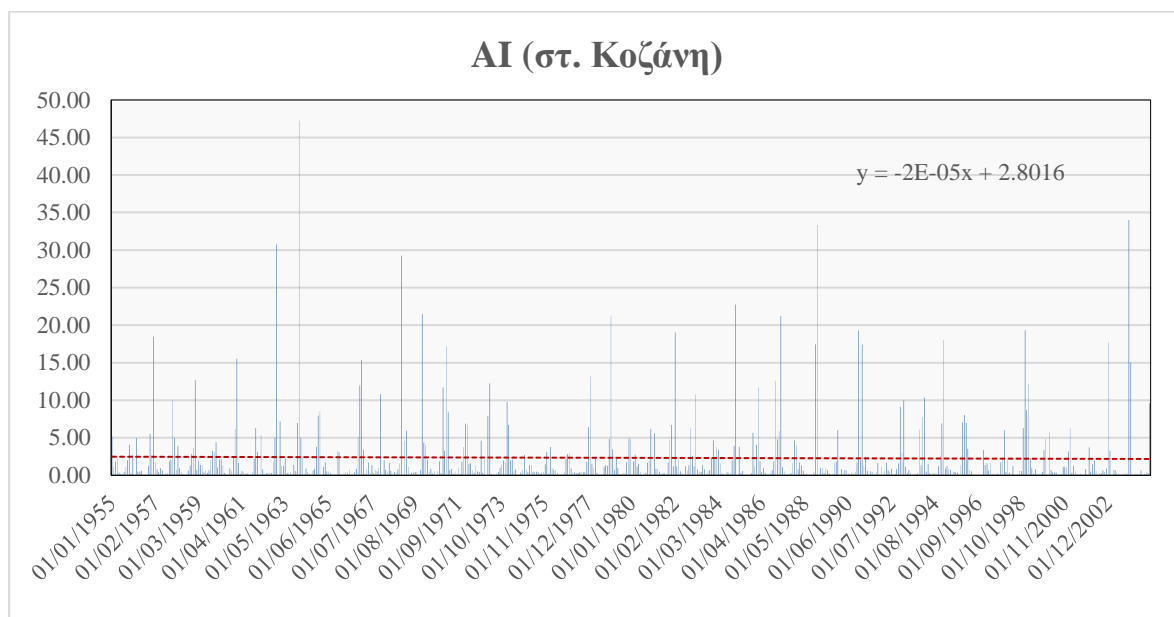
Για το σταθμό Ηράκλειο φαίνεται ότι για την χρονοσειρά υπάρχουν μικρά ποσοστά ξηρασίας. Οι τιμές είναι σχετικά σταθερές στην διάρκεια όλων των ετών με μια μικρή αυξητική τάση να παρατηρείται από το έτος 1995 και ύστερα. Τα έτη 1960 και 1975 σημειώνεται η χαμηλότερη τιμή της χρονοσειράς η οποία είναι 0.00 , ενώ αντίθετα οι υψηλότερες τιμές καταγράφηκαν το έτος 1981 και 2003 με 11.48 και 10.59 αντίστοιχα.



Σχήμα 49: Διάγραμμα τάσης του μηνιαίου ΑΙ στον σταθμό Αλεξανδρούπολη

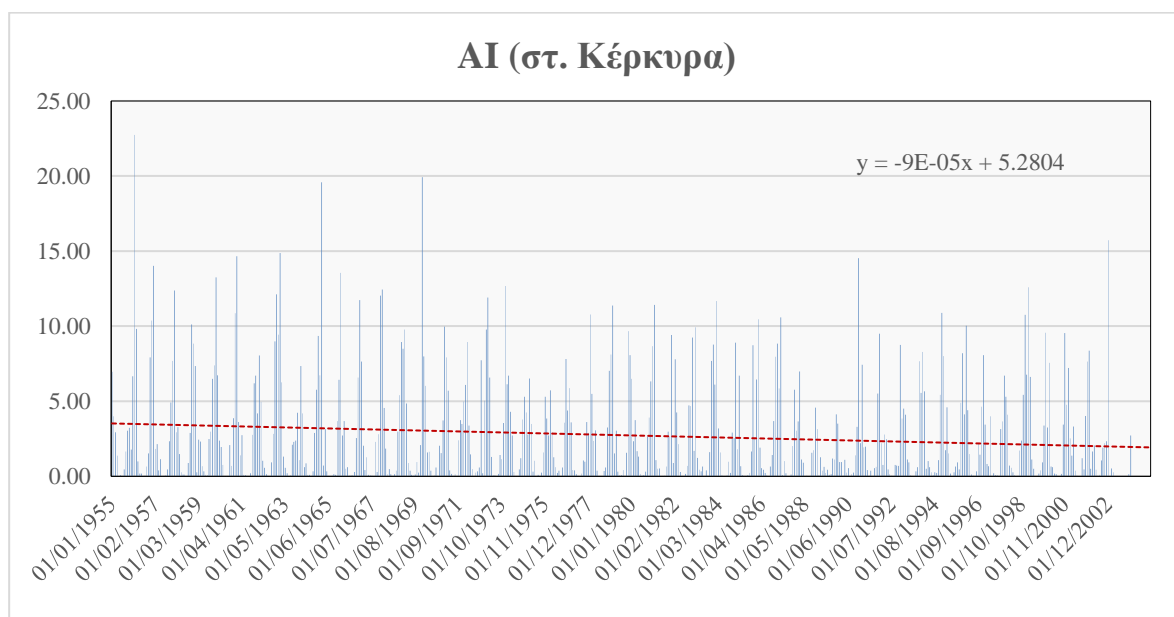
Στο σταθμό Αλεξανδρούπολη, φαίνεται ότι για την χρονοσειρά δεν υπάρχουν φαινόμενα ξηρασίας. Οι τιμές είναι σταθερές στην διάρκεια όλων των ετών με μια μικρή μειωτική τάση

να παρατηρείται από το έτος 1973 έως το 1995. Τα έτη 1956, 1969, 2001 καταγράφονται οι υψηλότερες τιμές με 44.93, 29.88 και 35.99 αντίστοιχα.



Σχήμα 50: Διάγραμμα τάσης του μηνιαίου ΑΙ στον σταθμό Κοζάνη

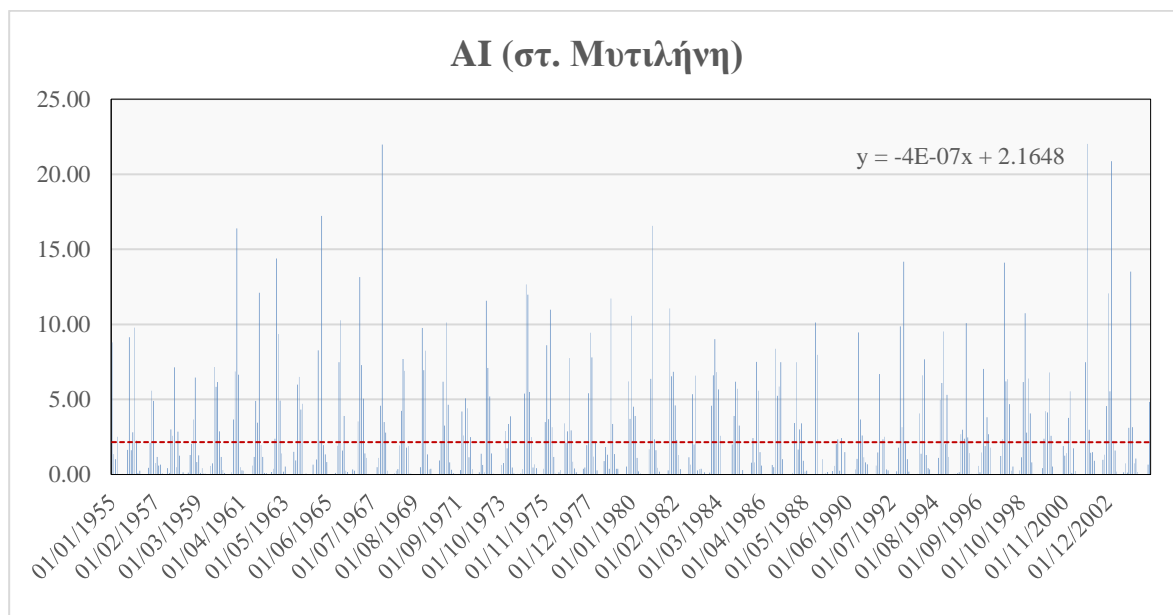
Στον σταθμό Κοζάνη αντίστοιχα φαίνεται ότι για την χρονοσειρά δεν υπάρχουν επίσης έντονα φαινόμενα ξηρασίας. Οι τιμές είναι σχετικά σταθερές στην διάρκεια όλων των ετών με μια μικρή φθίνουσα πορεία να παρατηρείται από το έτος 1955 έως το 1970. Τα έτη 1964, 1988 και 2003 παρατηρήθηκαν οι υψηλότερες τιμές για την χρονοσειρά με τιμή 47.25, 33.37 και 33.98 αντίστοιχα.



Σχήμα 51: Διάγραμμα τάσης του μηνιαίου ΑΙ στον σταθμό Κέρκυρα

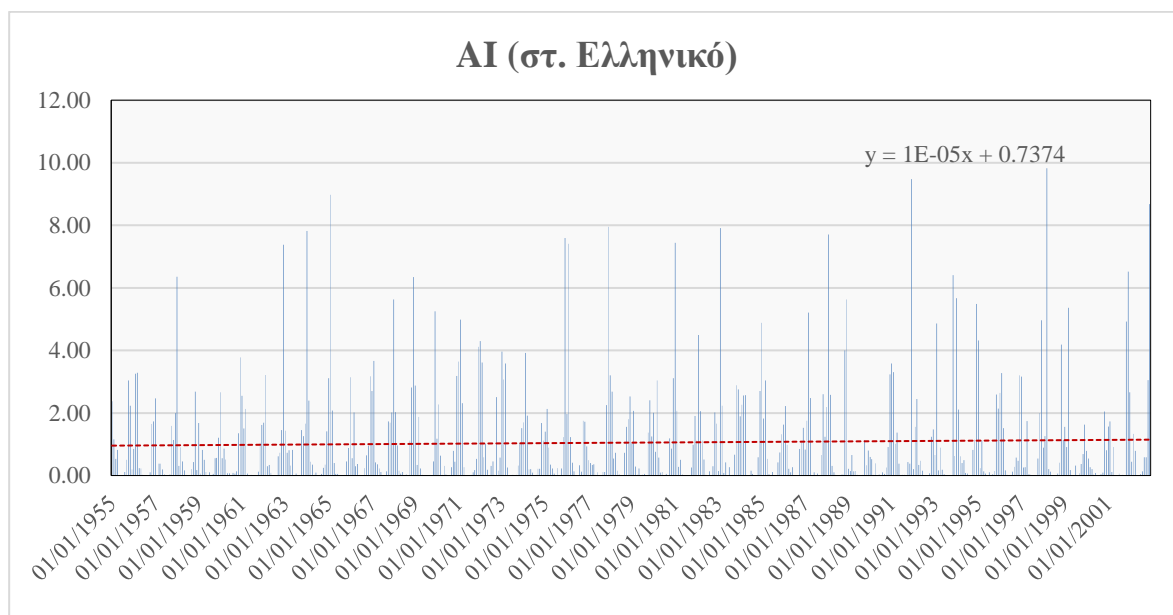
Στον σταθμό Κέρκυρα αντίστοιχα φαίνεται ότι για την χρονοσειρά υπάρχουν έντονα

φαινόμενα ξηρασίας. Οι τιμές από την αρχή της χρονοσειράς έως και τον τελευταίο χρόνο έχουν αρνητική τάση. Τα έτη 1956 και 1969 σημειώνεται η υψηλότερη τιμή της χρονοσειράς που είναι 22.75 και 19.92 αντίστοιχα.



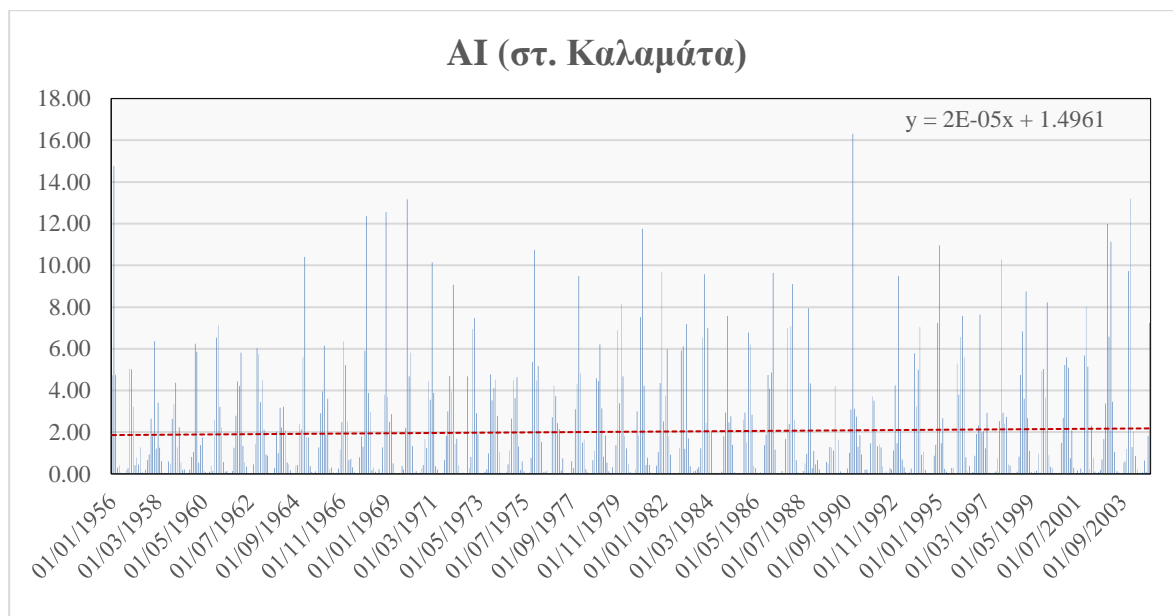
Σχήμα 52: Διάγραμμα τάσης του μηνιαίου ΑΙ στον σταθμό Μυτιλήνη

Στον σταθμό Μυτιλήνη φαίνεται ότι για την χρονοσειρά δεν υπάρχουν έντονα φαινόμενα ξηρασίας. Οι τιμές είναι σχετικά σταθερές στην διάρκεια όλων των ετών με μια μικρή μειωτική τάση να διακρίνεται από το έτος 1968 έως και το 1993. Για την χρονική περίοδο 1997 έως 2004 παρατηρείται σταδιακά μικρή μείωση της ξηρασίας. Τα έτη 1968, 2001 και 2003 σημειώνονται οι υψηλότερες τιμές της χρονοσειράς με τιμή 21.97, 22.03 και 20.86 αντίστοιχα.



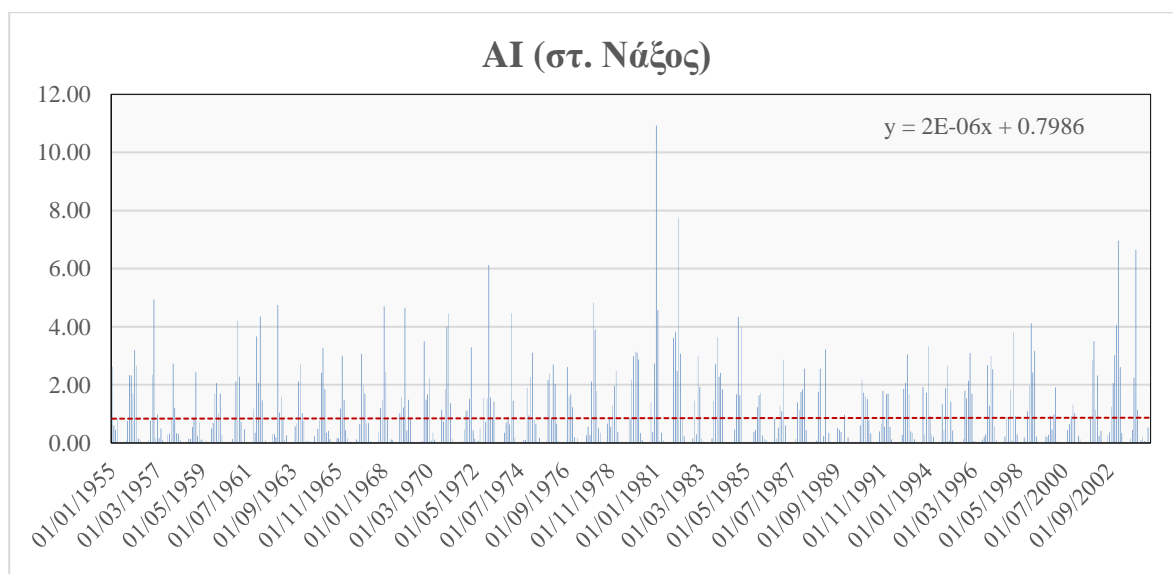
Σχήμα 53: Διάγραμμα τάσης του μηνιαίου ΑΙ στον σταθμό Ελληνικό

Για τον σταθμό Ελληνικό φαίνεται ότι για την χρονοσειρά υπάρχει μία μικρή αυξητική πορεία. Οι τιμές είναι σχετικά σταθερές στην διάρκεια όλων των ετών με μια μικρή αυξητική τάση να διακρίνεται από το έτος 1976 και ύστερα. Για την χρονική περίοδο 1974 έως το 2004 παρατηρείται σταδιακά μικρή άνοδο της υγρής περιόδου. Τα έτη 1991 και 1998 οι υψηλότερες τιμές που καταγράφηκαν ήταν 9.48 και 9.83 αντίστοιχα.



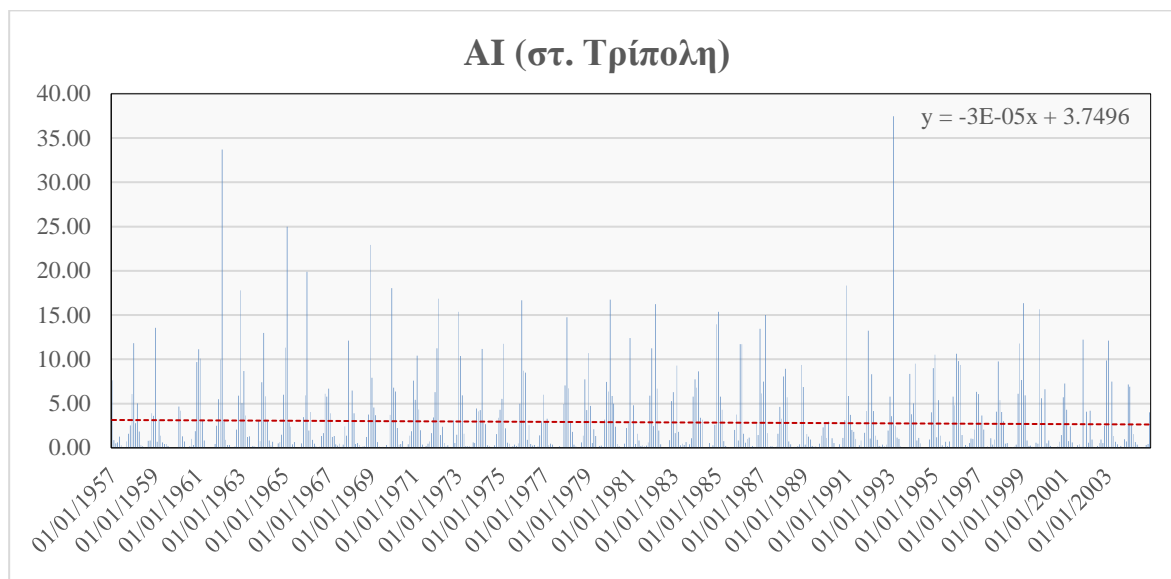
Σχήμα 54: Διάγραμμα τάσης του μηνιαίου AI στον σταθμό Καλαμάτα

Ο σταθμός Καλαμάτα μπορεί να χαρακτηριστεί σχετικά υγρός καθόλη την διάρκεια της χρονοσειράς. Οι τιμές είναι σχετικά σταθερές στην διάρκεια όλων των ετών με μια μικρή αυξητική τάση να διακρίνεται σε όλη την χρονοσειρά. Για την χρονική περίοδο 1959 έως 2004 παρατηρείται σταδιακά μικρή μείωση της ξηρασίας. Για τα έτη 1990 και 2004 οι υψηλότερες τιμές που καταγράφηκαν είναι 16.32 και 13.20 αντίστοιχα.



Σχήμα 55: Διάγραμμα τάσης του μηνιαίου ΑΙ στον σταθμό Νάξος

Στον σταθμό Νάξο για την συγκεκριμένη περίοδο δεν υπάρχουν έντονα φαινόμενα ξηρασίας. Για την χρονικό διάστημα 1983 έως 2001 παρατηρείται σταδιακά μικρή μειωτική τάση της ξηρασίας. Τα έτη στα οποία παρατηρούνται οι υψηλότερες τιμές είναι το 1981 και 2003 με 10.93 και 6.96 αντίστοιχα.



Σχήμα 56: Διάγραμμα τάσης του μηνιαίου ΑΙ στον σταθμό Τρίπολη

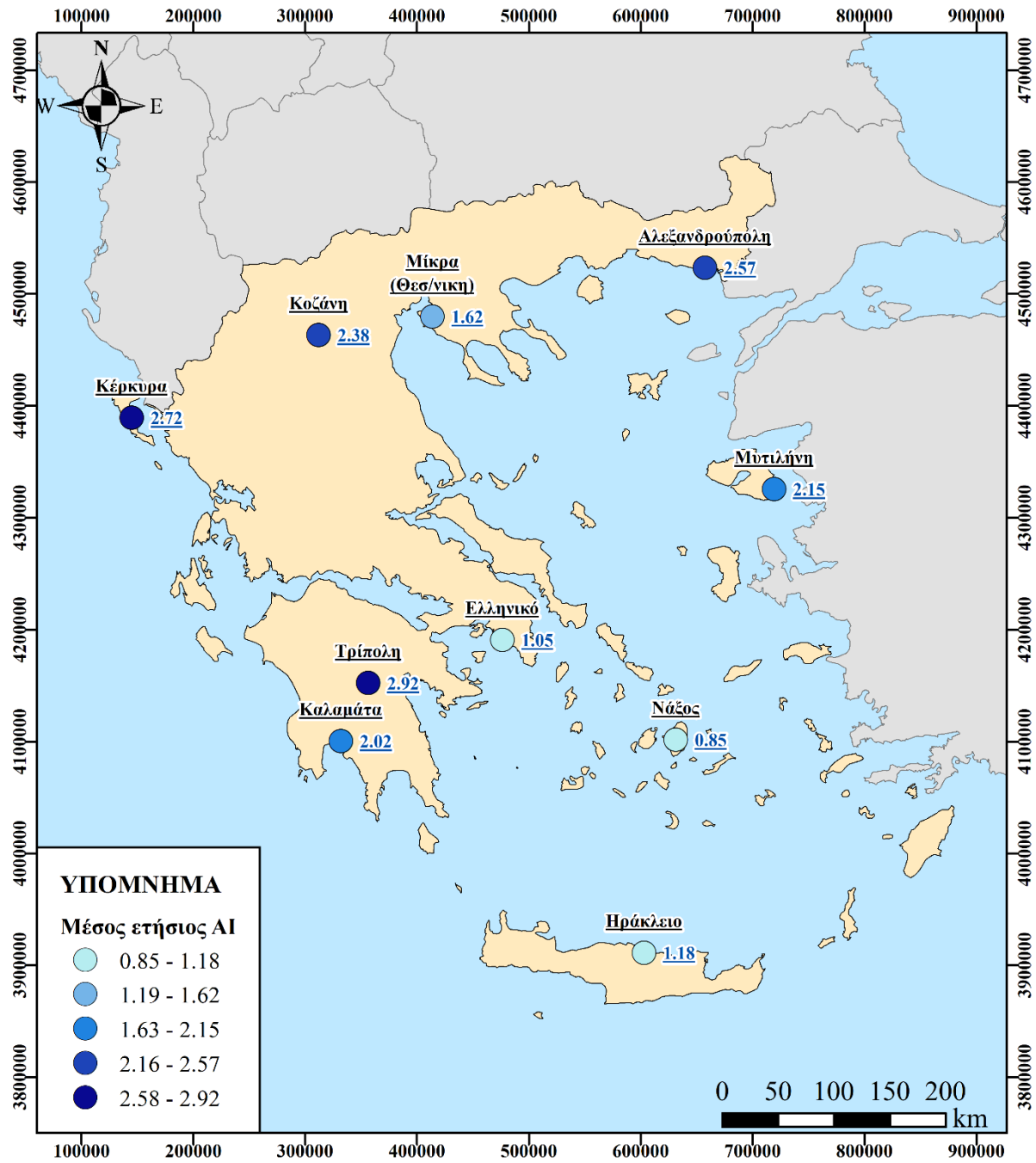
Στον σταθμό Τρίπολη φαίνεται ότι για την χρονοσειρά δεν παρατηρούνται φαινόμενα ξηρασίας. Οι τιμές είναι σχετικά σταθερές στην διάρκεια όλων των ετών και φαίνεται ότι η περιοχή είναι σχετικά υγρή. Για την χρονική περίοδο 1959 έως 2004 σημειώνεται σταδιακά μικρή μειωτική τάση της ξηρασίας. Τα έτη 1962 και 1993 καταγράφηκαν οι υψηλότερες τιμές 33.71 και 37.46 αντίστοιχα.

#### 4.2 Χωρική κατανομή των τιμών Aridity Index(AI)

Οι χάρτες, οι οποίοι προσφέρονται παρακάτω, συστάθηκαν με σκοπό την ανάλυση της μέσης ετήσιας τιμής ΑΙ, τη μέσα μηνιαία τιμή και τυπική απόκλιση, την εποχική διακύμανση ΑΙ για τους μήνες Μάρτιο έως Μάιο, Ιούνιο έως Αύγουστο, Σεπτέμβριο έως Νοέμβριο και Δεκέμβριο έως Φεβρουάριο. Στα σχήματα που ακολουθούν (σχήμα 57 έως 62), αναλύονται περαιτέρω όλα τα παραπάνω.

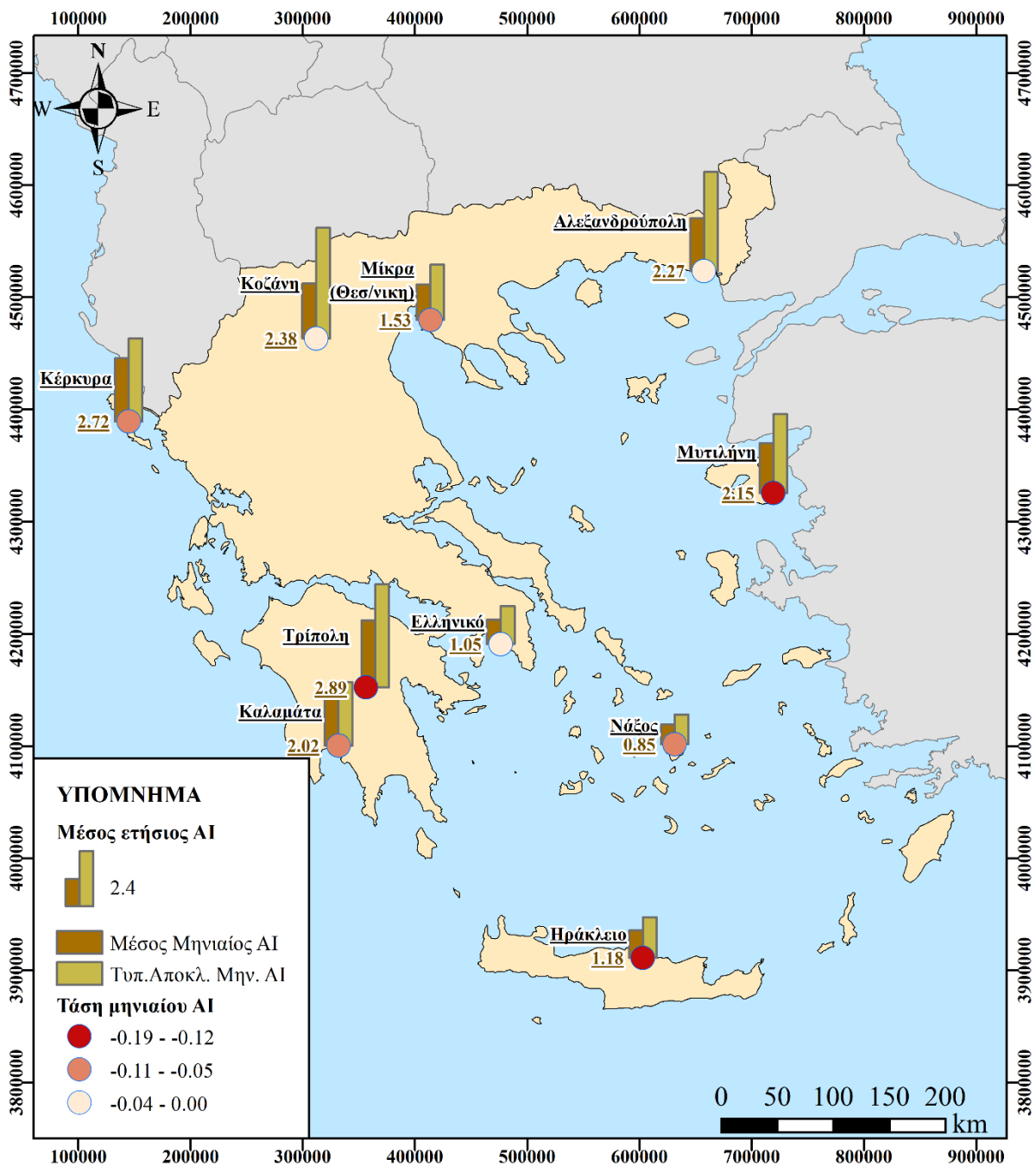


#### 4.2.1 Μέσος ετήσιος Aridity Index(AI)



Σχήμα 57: Κατανομή μέσου ετήσιου AI

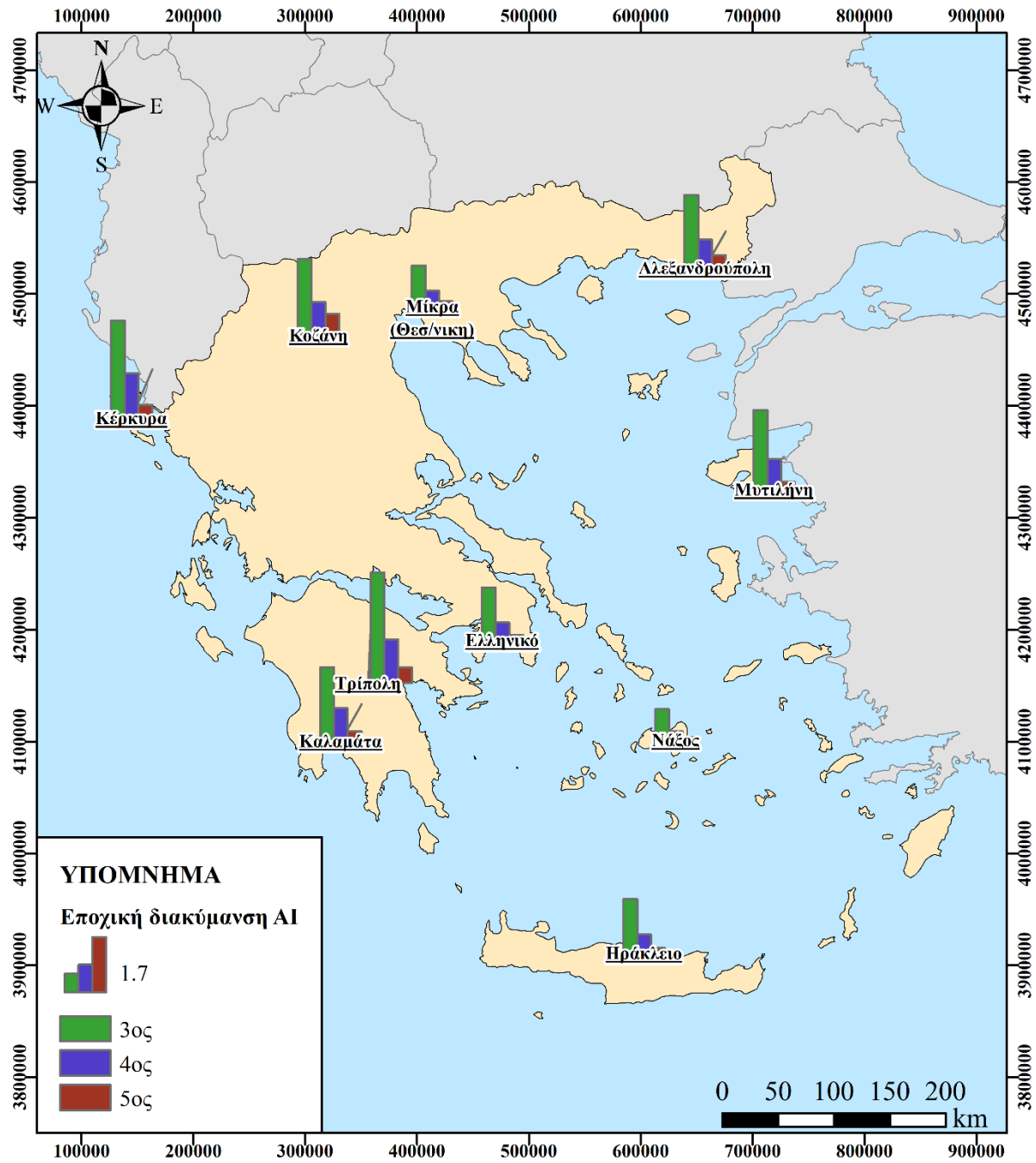
Στον παραπάνω χάρτη, με μπλε σκούρο χρώμα απεικονίζονται οι περιοχές στις οποίες παρατηρείται υψηλό επίπεδο βροχόπτωσης όπως η Κέρκυρα η Κοζάνη και η Τρίπολη με τη μέση τους τιμή να είναι 2.72, 2.38 και 2.92 αντίστοιχα. Στο νότιο μέρος της χώρας σημειώνονται φαινόμενα ξηρασίας με την μικρότερη τιμή να καταγράφεται στην Νάξο.



Σχήμα 58: Κατανομή μέσου μηνιαίου και τυπικής απόκλισης για AI, με την τάση της χρονοσειράς

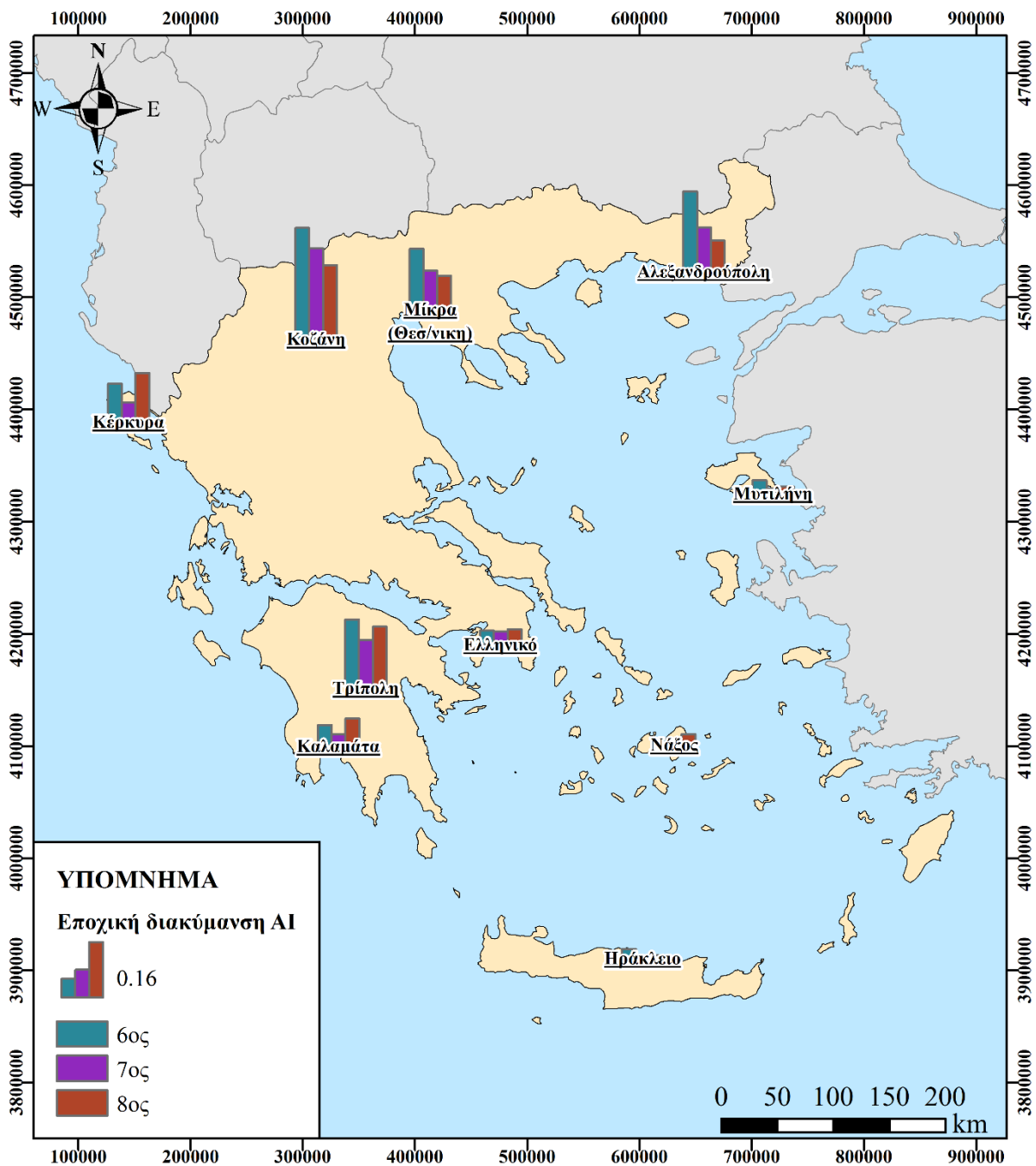
Στο χάρτη αυτό δίνονται πληροφορίες σχετικά για το μέσο μηνιαίο, την τυπική απόκλιση του μηνιαίου αλλά και την τάση του μηνιαίου. Παρατηρείται ότι ο μέσος μηνιαίος έχει τιμή 2.4 παρόλα αυτά φαίνεται να έχει μεγάλη τυπική απόκλιση γεγονός που σημαίνει ότι η τιμή δεν είναι αντιπροσωπευτική, αν αναλογιστεί κανείς ότι όσο μεγαλύτερη είναι η τυπική απόκλιση τόσο πιο μακριά από την πραγματικότητα. Τέλος, φαίνεται ότι το νοτιοανατολικό μέρος της χώρας τείνει να γίνεται ολοένα και πιο ξηρό.

#### 4.2.2 Εποχική διακύμανση Aridity Index(AI)



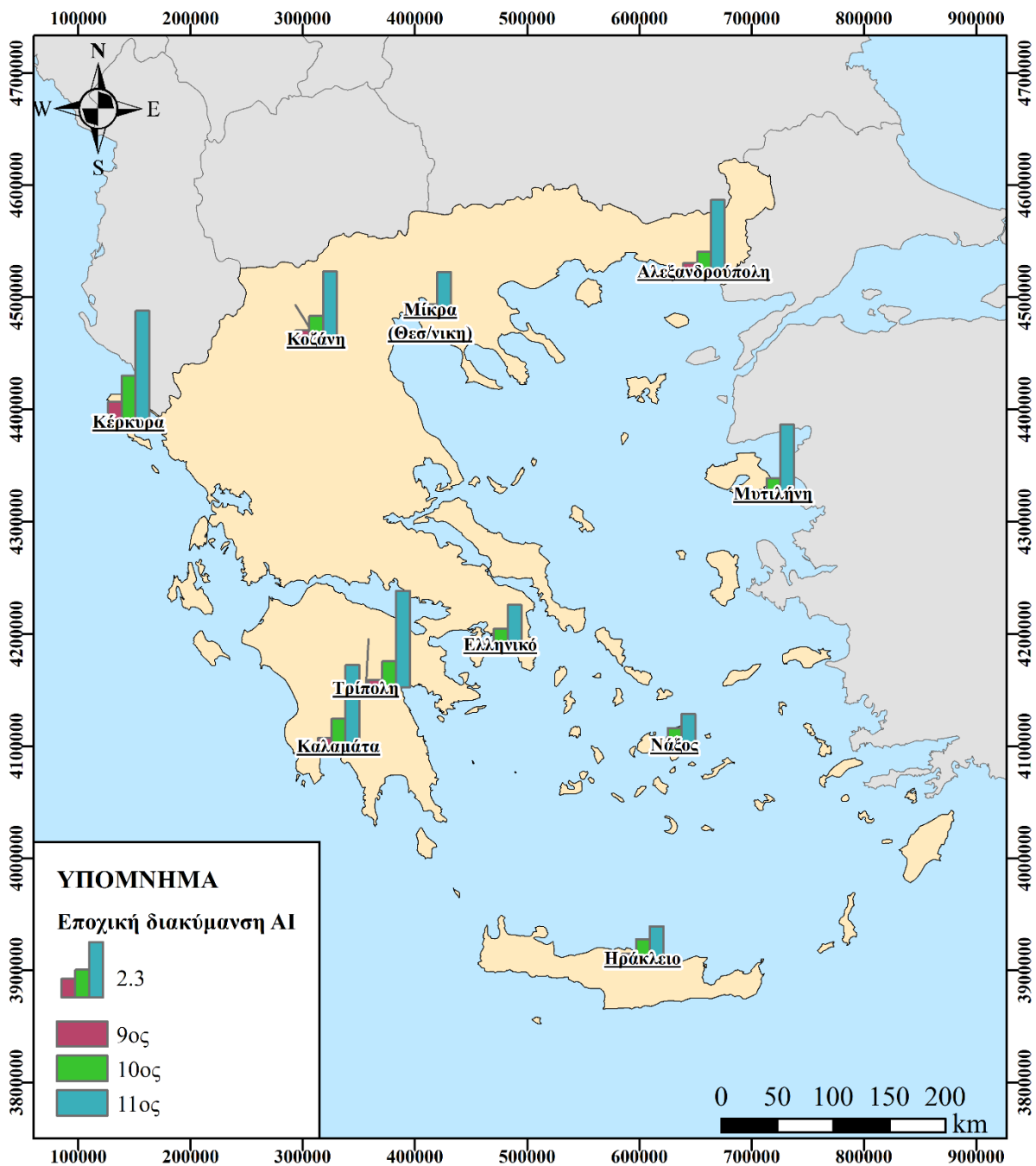
Σχήμα 59: Κατανομή μέσου μηνιαίου AI για τους μήνες της άνοιξης

Από τον παραπάνω χάρτη, φαίνεται ότι ο μήνας Μάρτιος χαρακτηρίζεται από τις περισσότερες βροχοπτώσεις σε σχέση με τους υπόλοιπους μήνες της άνοιξης δηλαδή τον Απρίλιο και τον Μάιο. Σε αντίθεση με τον Μάρτιο, ο μήνας Μάιος φαίνεται να είναι συστηματικά πιο ξηρός.



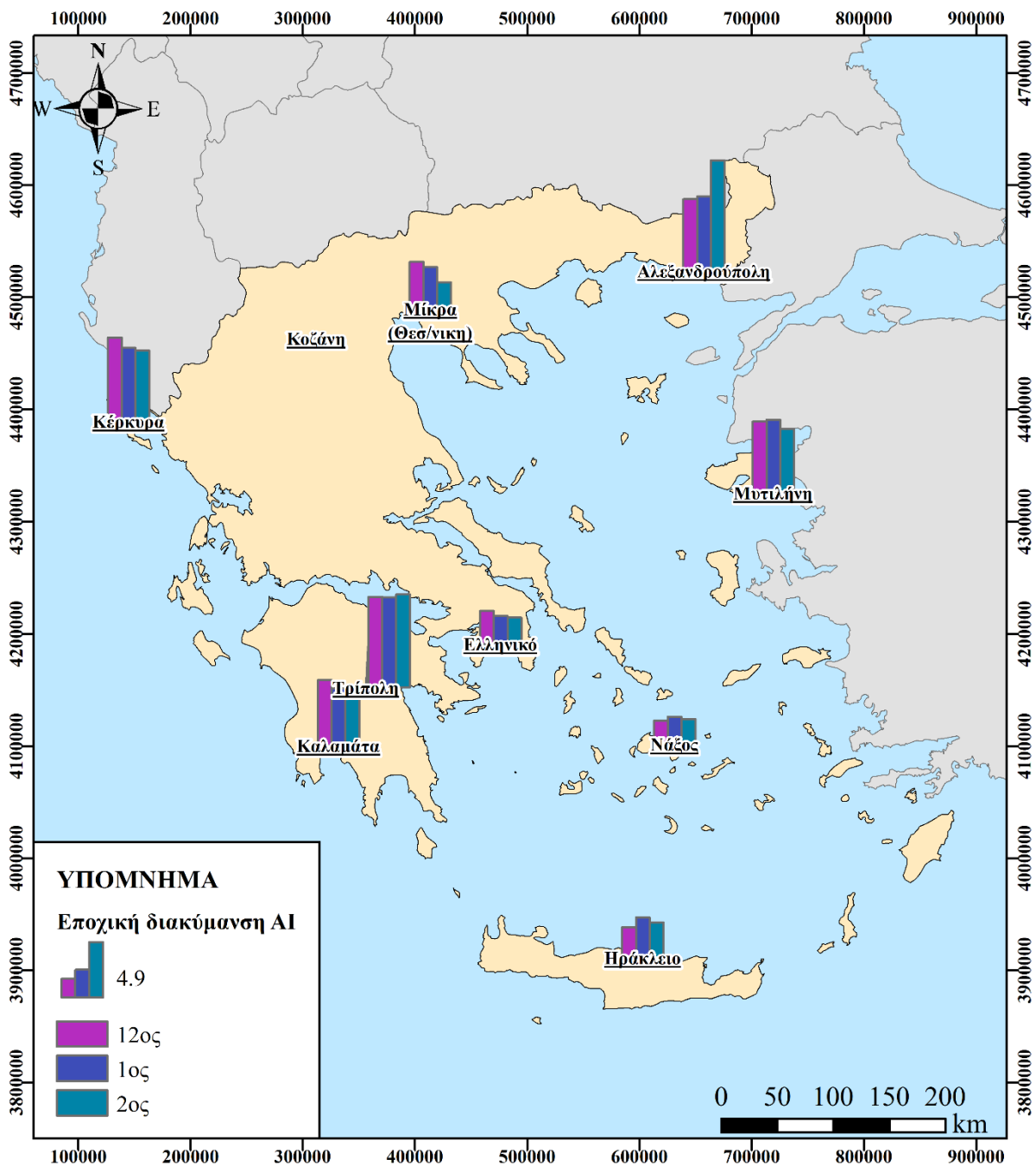
Σχήμα 60: Κατανομή μέσου μηνιαίου ΑΙ για τους μήνες του καλοκαιριού

Ο μήνας Αύγουστος όπως προκύπτει από το χάρτη είναι ο πιο ξηρός μήνας του καλοκαιριού. Στην συνέχεια ακολουθεί οι μήνες Ιούλιος και Ιούνιος. Αυτό είναι φυσικό διότι το καλοκαίρι είναι μια εποχή κατά την οποία μειώνονται οι βροχοπτώσεις με αποτέλεσμα την ανάδειξη και επικράτηση της ξηρασίας.



Σχήμα 61: Κατανομή μέσου μηνιαίου ΑΙ για τους μήνες του φθινοπώρου

Κατά τους φθινοπωρινούς μήνες, φαίνεται ότι αυξάνονται τα επίπεδα της βροχόπτωσης η οποία παρατηρείται σε μεγάλο βαθμό κυρίως τον Νοέμβριο. Οι φθινοπωρινοί μήνες όπως προκύπτει από τον ΑΙ χαρακτηρίζονται ως εξαιρετικά υγροί.



Σχήμα 62: Κατανομή μέσου μηνιαίου AI για τους μήνες του χειμώνα

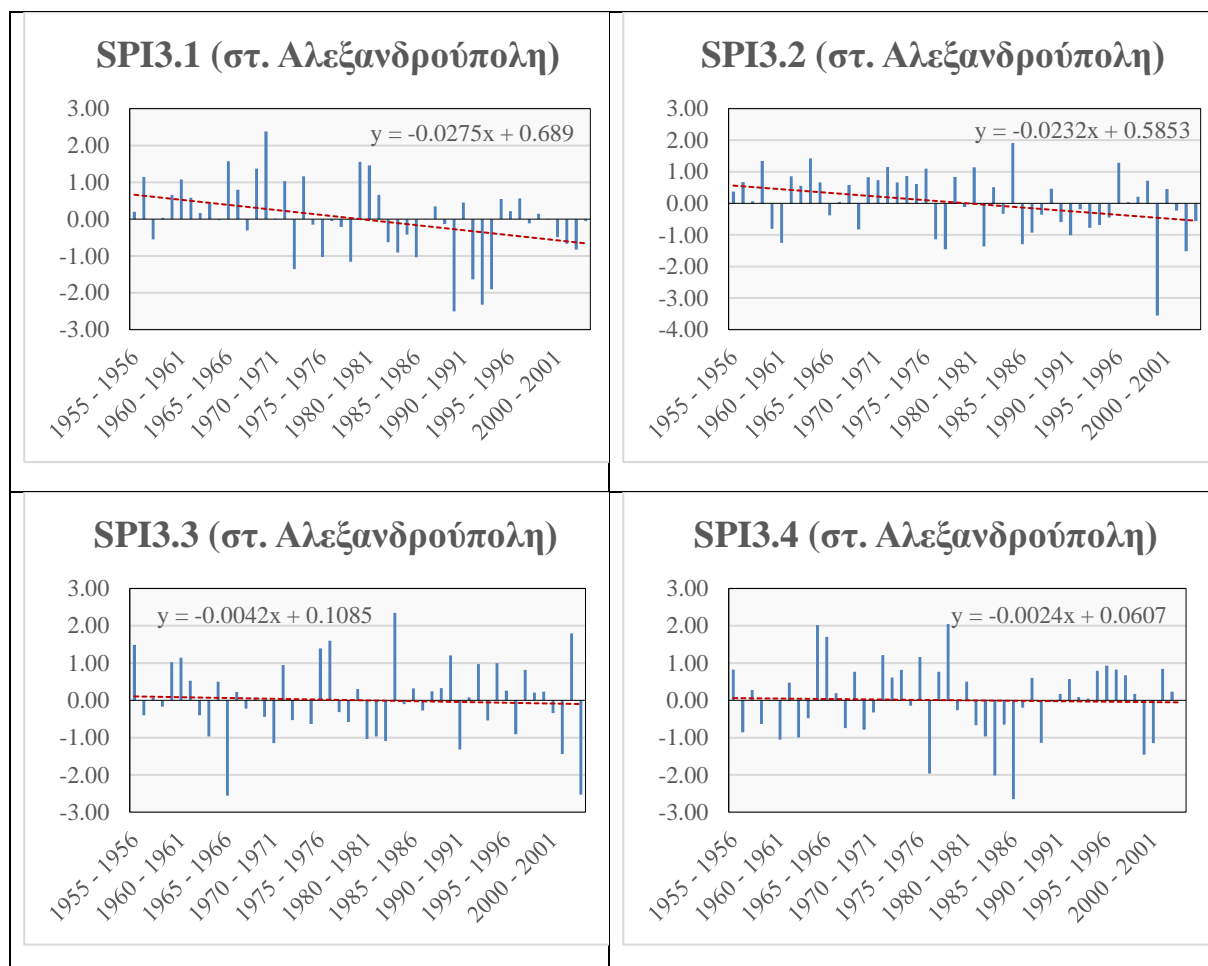
Τους χειμερινούς μήνες, παρατηρείται μια σχετική ισορροπία ως προς τις βροχοπτώσεις, ωστόσο για τις περιοχές Κέρκυρα, Μίκρα, Καλαμάτα και Ελληνικό ο μήνας δεκέμβριος χαρακτηρίζεται ως υγρότερος.

### 4.3 Απεικόνιση διαγραμμάτων τάσης του δείκτη Standardized Precipitation Index (SPI)

#### 4.3.1 Απεικόνιση διαγραμμάτων SPI3

Τα παρακάτω σχήματα 63-72 αφορούν στην απεικόνιση της ξηρασίας ανά σταθμό και για τις

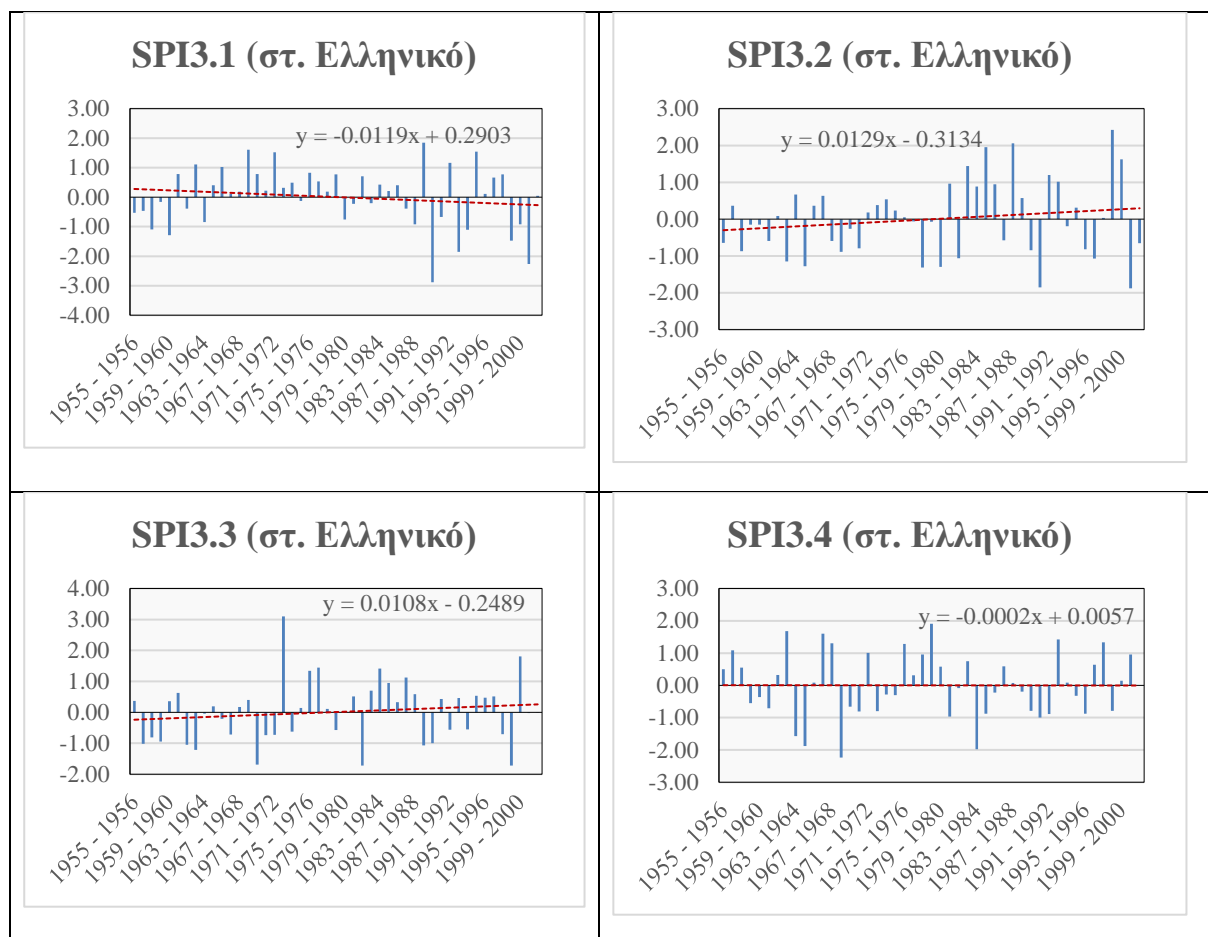
τέσσερις εποχές του έτους και πιο συγκεκριμένα, τμηματικά για τους μήνες Δεκέμβριο-Φεβρουάριο, Μάρτιο-Μαιο, Ιούνιο-Αύγουστο και Σεπτέμβριο-Νοέμβριο. Θα δοθεί έμφαση στην ανάλυση των αποτελεσμάτων τόσο στις τιμές που λαμβάνει το φαινόμενο της ξηρασίας για όλη την χρονοσειρά όσο και στην τάση που έχει κάθε σταθμός.



Σχήμα 63: Διάγραμμα τάσης Δεκεμβρίου-Ιανουαρίου-Φεβρουαρίου(SPI3.1), Μαρτίου-Απριλίου-Μαΐου(SPI 3.2), Ιουνίου-Ιουλίου-Αυγούστου(SPI3.3) και Σεπτεμβρίου-Οκτωβρίου-Νοεμβρίου στον σταθμό Αλεξανδρούπολη

Από όλα τα διαγράμματα για το σταθμό της Αλεξανδρούπολης παρατηρούμε μια μείωση του SPI (αρνητική τάση) και συνεπώς μια έντονη ξηρασία. Ειδικότερα, για τον SPI3.1 παρατηρείται ότι για το έτος 1955 έως 1980 υπάρχει μία σχετικά υγρή περίοδος με την τιμή να φτάνει έως και τις 2.38 μονάδες. Αντίστοιχα από το έτος 1981 έως το 2001 ή τάση είναι αρνητική συνεπώς το κλίμα γίνεται πιο ξηρό. Για τον SPI3.2 αντίστοιχα, η υγρή περίοδος ξεκινά από το έτος 1955 έως το έτος 1980, όμως με αυτή την χρονική περίοδο η τάση να μην είναι τόσο έντονη όπως κατά τον χειμώνα. Η ξηρασία ξεκινάει από το 1978 έως το 2004, με τις μεγαλύτερες τιμές του να είναι -3.55 και -1.55 κατά τα έτη 199-2000 και 2002-2003 αντίστοιχα. Στους καλοκαιρινούς μήνες και για τον SPI3.3, το φαινόμενο της ξηρασίας αρχίζει να σταθεροποιείται αλλά με αρνητική τάση και πάλι. Οι μέγιστες ξηρασίες σημειώθηκαν κατά τα

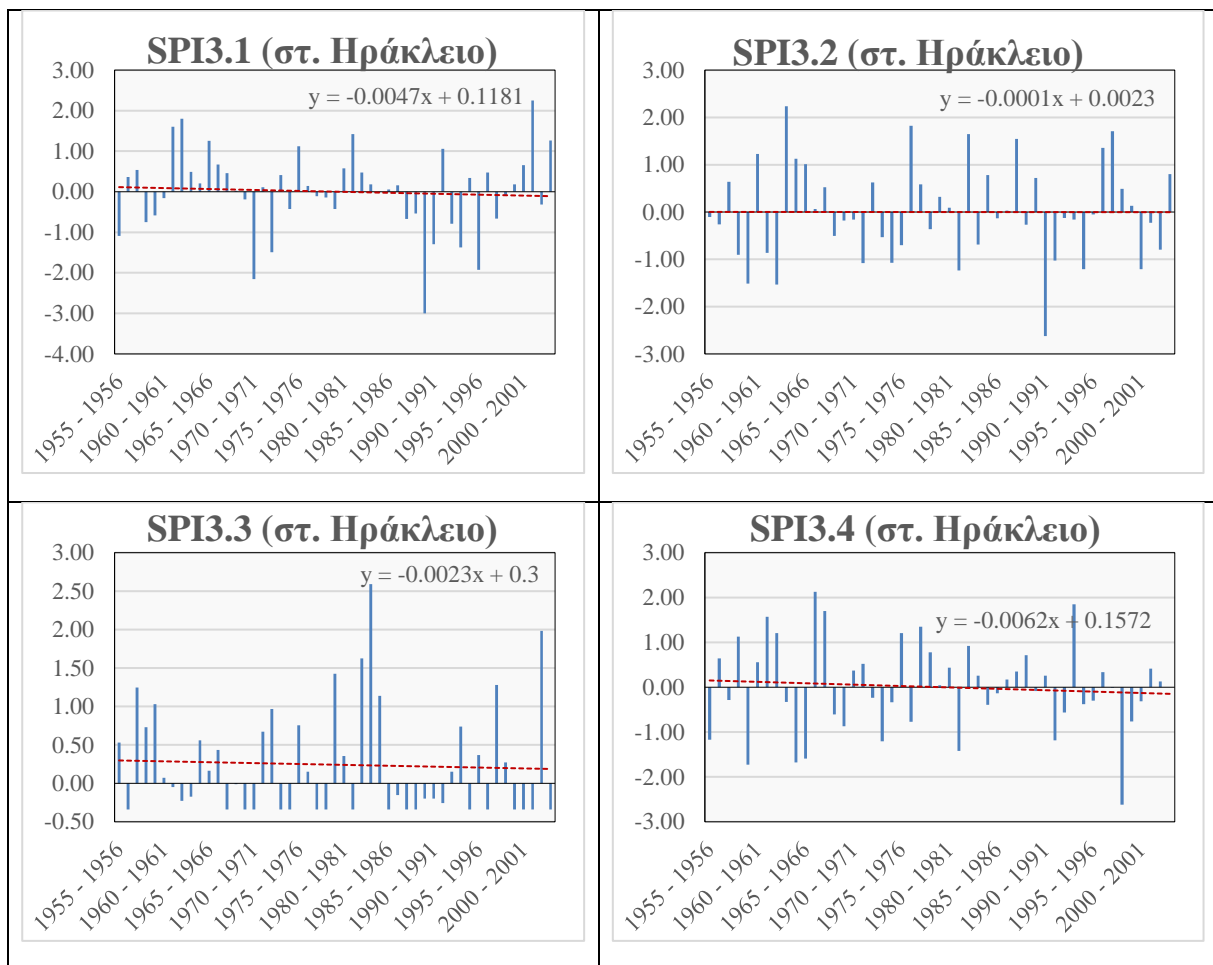
έτη 1965-1966 και 2003-2004, με τις τιμές τους να φτάνουν -2.55 και -2.54 αντίστοιχα. Τέλος, για τον SPI 3.4 και την φθινοπωρινή περίοδο, είναι χαρακτηριστικό ότι η συγκεκριμένη περίοδος για τον σταθμό Αλεξανδρούπολη έχουμε κανονικές βροχοπτώσεις και τα επίπεδα της ξηρασίας με την τάση του είναι σχεδόν σε φυσιολογικές συνθήκες.



Σχήμα 64: Διάγραμμα τάσης Δεκεμβρίου-Ιανουαρίου-Φεβρουαρίου(SPI3.1), Μαρτίου-Απριλίου-Μαΐου(SPI 3.2), Ιουνίου-Ιουλίου-Αυγούστου(SPI3.3) και Σεπτεμβρίου-Οκτωβρίου-Νοεμβρίου στον σταθμό Ελληνικό

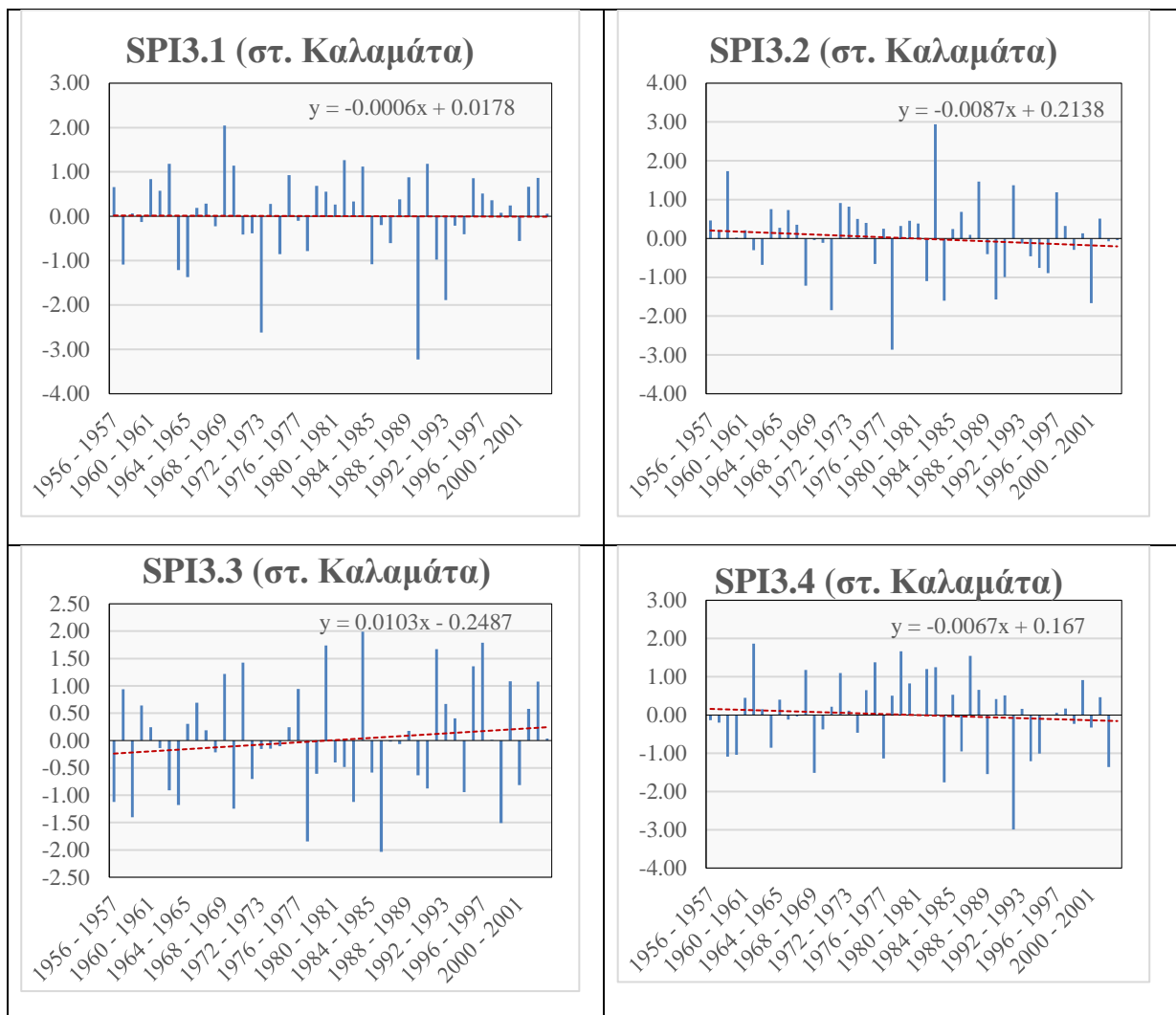
Για τον σταθμό του Ελληνικού, δε παρατηρείται έντονη ξηρασία για την χρονοσειρά που μελετήθηκε. Στον SPI3.1 παρατηρείται ότι είναι σχετικά μία υγρή περίοδος με ελάχιστα φαινόμενα ξηρασίας, όπως τα έτη 1989-1990 και 2000-2001 που οι τιμές τους έφτασαν -2.88 και -2.66 αντίστοιχα. Για τον SPI3.2, η εποχή αυτή μπορεί να χαρακτηριστεί σαν μία περίοδος με κανονικές βροχοπτώσεις και όχι έντονα φαινόμενα ξηρασίας. Οι πιο έντονες τιμές, έλαβαν χώρα την περίοδο 2000-2001 με την τιμή να φτάνει στο -1.88 . Τέλος, για τους δείκτες SPI3.3 και SPI3.4, τα φαινόμενα ξηρασίας είναι σχεδόν μηδενικά, με τα μεγαλύτερα να σημειώνονται τα έτη 1981-1982 για την θερινή περίοδο και 1968-1969 για την φθινοπωρινή περίοδο, με τις τιμές τους να είναι -1.72 και -1.23 αντίστοιχα.





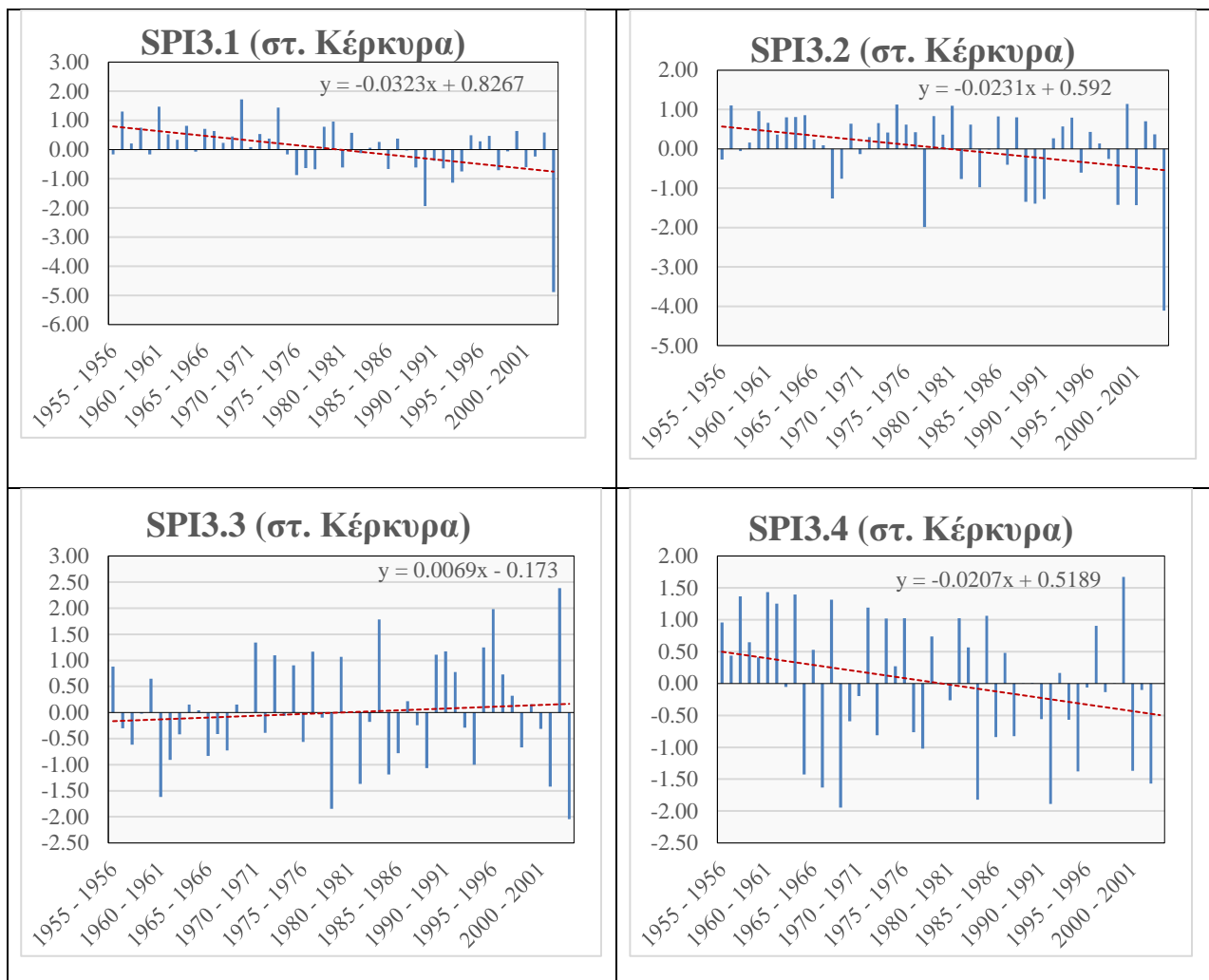
Σχήμα 65: Διάγραμμα τάσης Δεκεμβρίου-Ιανουαρίου-Φεβρουαρίου(SPI3.1), Μαρτίου-Απριλίου-Μαΐου(SPI 3.2), Ιουνίου-Ιουλίου-Αυγούστου(SPI3.3) και Σεπτεμβρίου-Οκτωβρίου-Νοεμβρίου στον σταθμό Ηράκλειο

Για τον σταθμό του Ηρακλείου, δε παρατηρούνται έντονα φαινόμενα ξηρασίας για την χρονοσειρά που μελετήθηκε, εκτός από την εποχή του καλοκαιριού. Πιο συγκεκριμένα, για τον SPI3.1 παρατηρείται ότι είναι σχετικά μία υγρή περίοδος με ελάχιστα φαινόμενα ξηρασίας, κατά τα έτη 1989 έως το 2004. Έντονη ξηρασία παρατηρήθηκε το 1989-1990 με τιμή -3.00 και το έτος 1970-1971 με τιμή -2.16. Οι υπόλοιποι δείκτες, για τις εποχές της άνοιξης, του καλοκαιριού και του φθινοπώρου, δείχνουν μια σταθερά υγρή πορεία, με πιο έντονο το φαινόμενο να παρατηρείται το καλοκαίρι.



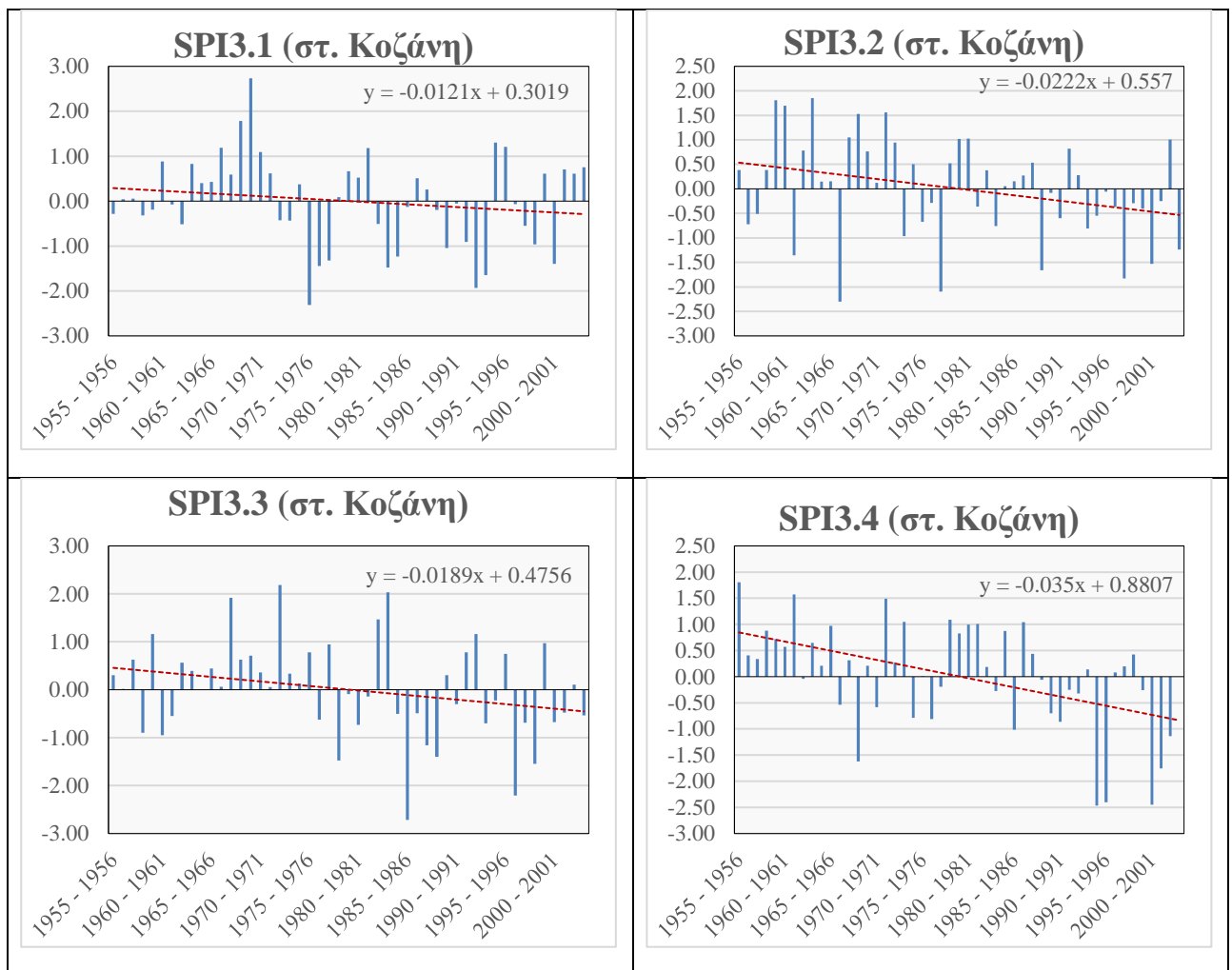
Σχήμα 66: Διάγραμμα τάσης Δεκεμβρίου-Ιανουαρίου-Φεβρουαρίου(SPI3.1), Μαρτίου-Απριλίου-Μαΐου(SPI 3.2), Ιουνίου-Ιουλίου-Αυγούστου(SPI3.3) και Σεπτεμβρίου-Οκτωβρίου-Νοεμβρίου στον σταθμό Καλαμάτα

Στην Καλαμάτα, παρατηρείται ότι οι τιμές σε επίπεδο ξηρασίας είναι σταθερές καθόλη την διάρκεια της χρονοσειράς και η πόλη με βάση τις τιμές της μπορεί να πει κανείς ότι έχει κανονικές βροχοπτώσεις. Στον SPI3.1 οι τιμές είναι κοντά στο μηδέν γεγονός που δηλώνει ότι δεν υπάρχει καθόλου ξηρασία. Για τον SPI3.2, η εποχή αυτή μπορεί να χαρακτηριστεί σαν μία περίοδος που αρχίζει να φαίνεται το φαινόμενο της ξηρασίας με τις πιο έντονες τιμές να εμφανίζονται την περίοδο 1977-1978 με την τιμή να είναι -2.86. Οι τιμές του SPI3.3 και SPI3.4 δηλώνουν την ύπαρξη υγρής περιόδου αλλά με πιο ήπιες τιμές.



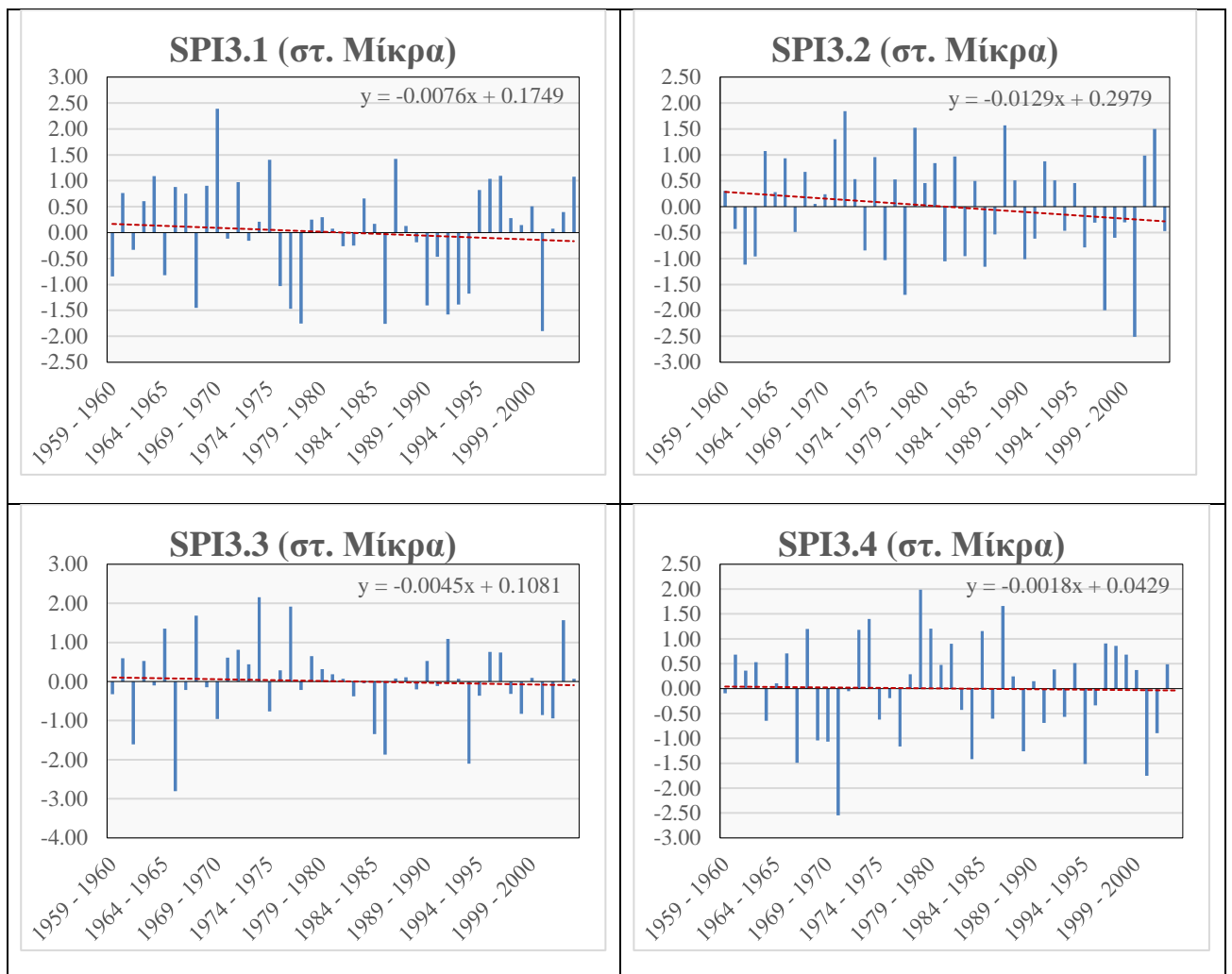
Σχήμα 67: Διάγραμμα τάσης Δεκεμβρίου-Ιανουαρίου-Φεβρουαρίου(SPI3.1), Μαρτίου-Απριλίου-Μαΐου(SPI 3.2), Ιουνίου-Ιουλίου-Αυγούστου(SPI3.3) και Σεπτεμβρίου-Οκτωβρίου-Νοεμβρίου στον σταθμό Κέρκυρα

Στον σταθμό της Κέρκυρας, για τις εποχές χειμώνα, καλοκαίρι και φθινόπωρο, φαίνεται ότι το κλίμα αν και αρχικά χαρακτηρίζεται από αρκετές βροχοπτώσεις, σταδιακά γίνεται ολοένα και πιο ξηρό. Πιο συγκεκριμένα, για τον SPI3.1, παρατηρείται από το έτος 1955 έως 1978 ότι το διάστημα αυτό είναι υγρό, έπειτα όμως το κλίμα γίνεται σταδιακά ξηρό όπως αντίστοιχα στον SPI3.2. Αντίθετα, για τον SPI3.3 παρατηρείται ότι τα φαινόμενα είναι πιο έντονα. Ειδικότερα, οι μέγιστες τιμές για την θερινή περίοδο είναι 1.98 και 2.39 για τα έτη 1995-1996 και 2002-2003 αντίστοιχα. Τέλος, η γραμμή τάσης του SPI3.4, δείχνει ότι από το έτος 1981 και ύστερα, υποδηλώνει πως η ξηρασία συνεχώς αυξάνεται.



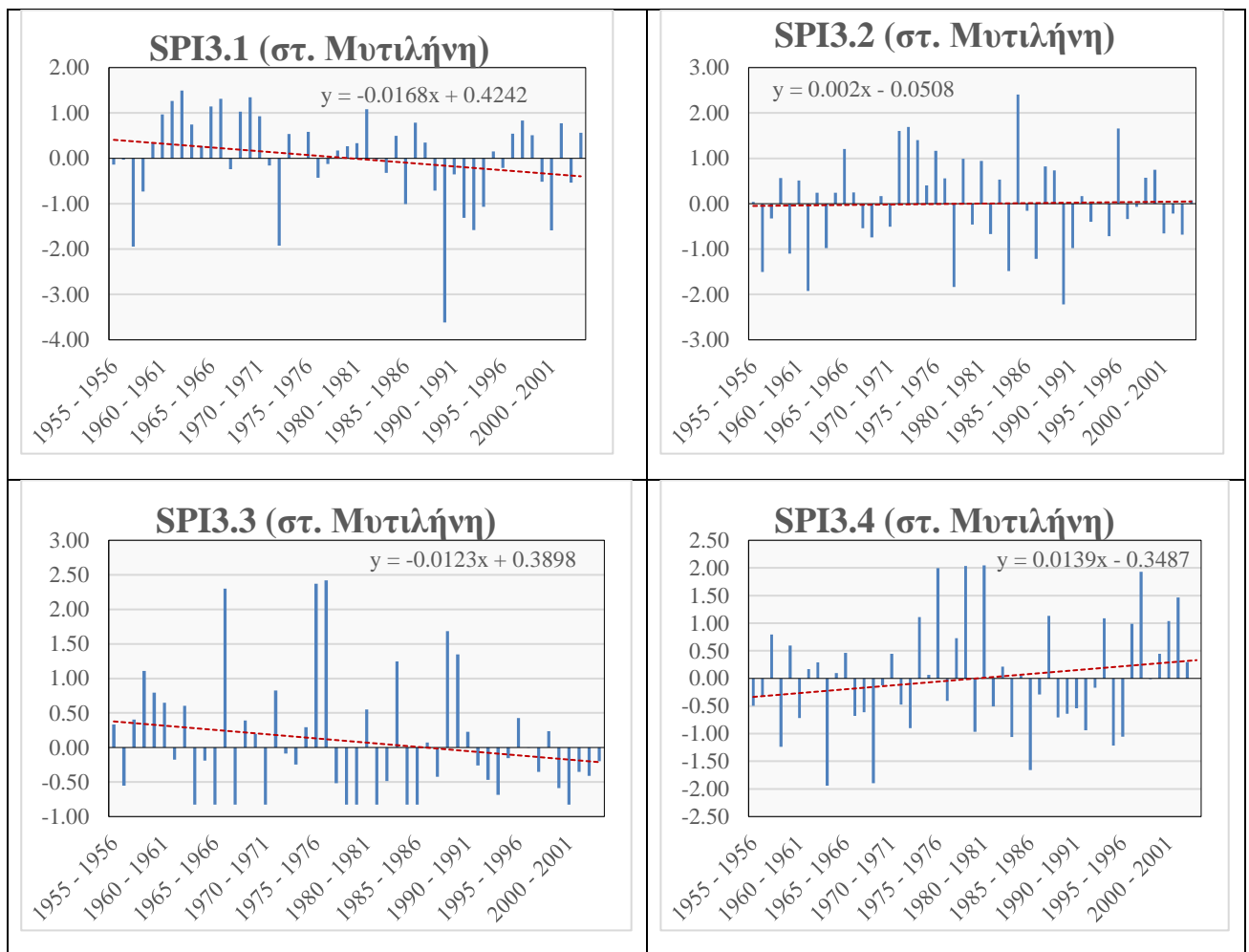
Σχήμα 68: Διάγραμμα τάσης Δεκεμβρίου-Ιανουαρίου-Φεβρουαρίου(SPI3.1), Μαρτίου-Απριλίου-Μαΐου(SPI 3.2), Ιουνίου-Ιουλίου-Αυγούστου(SPI3.3) και Σεπτεμβρίου-Οκτωβρίου-Νοεμβρίου στον σταθμό Κοζάνη

Στον σταθμό της Κέρκυρας, για τις εποχές χειμώνα, καλοκαίρι και φθινόπωρο, φαίνεται ότι το κλίμα αν και αρχικά χαρακτηρίζεται από αρκετές βροχοπτώσεις, σταδιακά γίνεται ολοένα και πιο ξηρό. Πιο συγκεκριμένα, για τον SPI3.1, παρατηρείται από το έτος 1955 έως 1978 ότι το διάστημα αυτό είναι υγρό, έπειτα όμως το κλίμα γίνεται σταδιακά ξηρό όπως αντίστοιχα στον SPI3.2. Αντίθετα, για τον SPI3.3 παρατηρείται ότι τα φαινόμενα είναι πιο έντονα. Ειδικότερα, οι μέγιστες τιμές για την θερινή περίοδο είναι 1.98 και 2.39 για τα έτη 1995-1996 και 2002-2003 αντίστοιχα. Τέλος, η γραμμή τάσης του SPI3.4, δείχνει ότι από το έτος 1981 και ύστερα, υποδηλώνει πως η ξηρασία συνεχώς αυξάνεται.



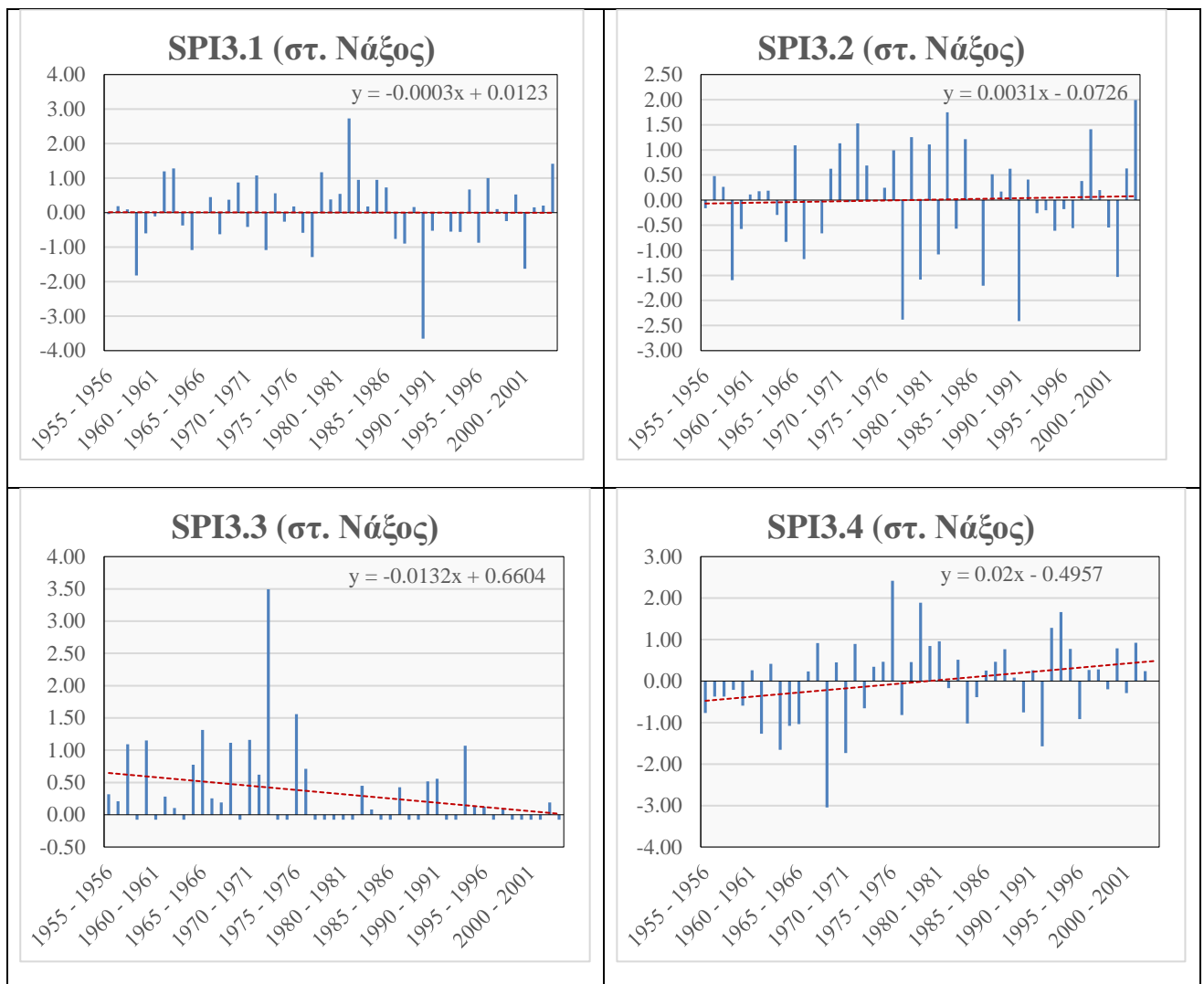
Σχήμα 69: Διάγραμμα τάσης Δεκεμβρίου-Ιανουαρίου-Φεβρουαρίου(SPI3.1), Μαρτίου-Απριλίου-Μαΐου(SPI 3.2), Ιουνίου-Ιουλίου-Αυγούστου(SPI3.3) και Σεπτεμβρίου-Οκτωβρίου-Νοεμβρίου στον σταθμό Μίκρα

Στον σταθμό Μίκρα, είναι προφανές ότι για τις εποχές του χειμώνα, του καλοκαιριού και του φθινοπώρου τα επίπεδα ξηρατότητας είναι σταθερά και σχετικά μηδενικά. Αντιθέτως, για τον SPI3.2 την εποχή της άνοιξης, παρατηρείται μία μικρή μειωτική τάση από το έτος 1980 έως και το τέλος της χρονοσειράς. Πιο συγκεκριμένα, έντονες τιμές κατγράφηκαν τα έτη 1997-1998 και 2000-2001 με τις τιμές τους να φτάνουν -2.00 και -2.51 αντίστοιχα.



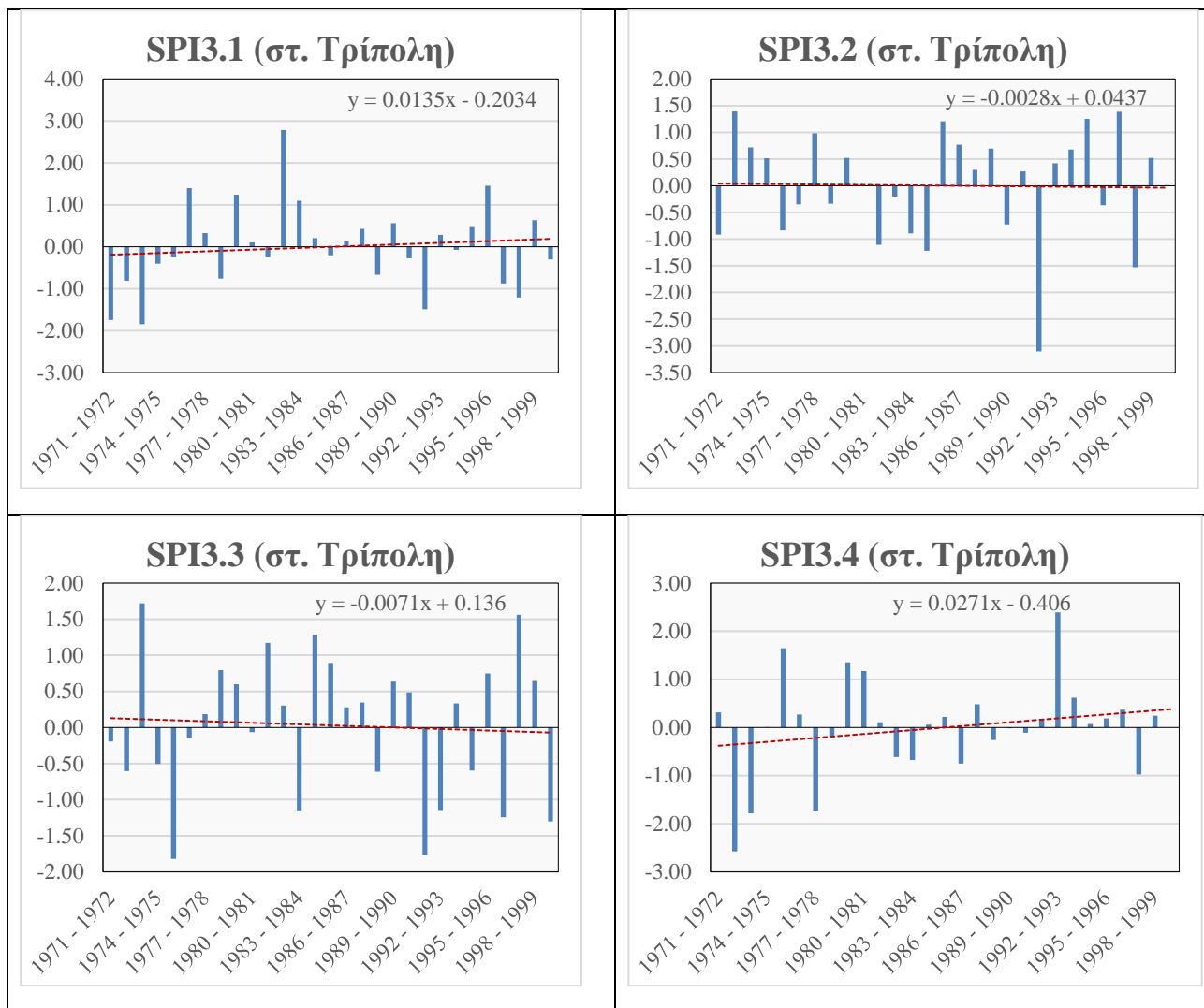
Σχήμα 70: Διάγραμμα τάσης Δεκεμβρίου-Ιανουαρίου-Φεβρουαρίου(SPI3.1), Μαρτίου-Απριλίου-Μαΐου(SPI 3.2), Ιουνίου-Ιουλίου-Αυγούστου(SPI3.3) και Σεπτεμβρίου-Οκτωβρίου-Νοεμβρίου στον σταθμό Μυτιλήνη

Κατά την χειμερινή περίοδο, στην Μυτιλήνη ο δείκτης παρουσιάζει μια σταθερή συμπεριφορά. Στον SPI3.1 από το 1981 και ύστερα, γίνεται ορατή η ξηρή περίοδος, με την πιο έντονη τιμή να είναι η -3.61 για την περίοδο 1989-1992. Ο SPI3.2 χαρακτηρίζεται μια εποχή ούτε υγρή αλλά ούτε ξηρή με τις τιμές του να είναι κοντά στο μηδέν. Για τον SPI3.3, οι τιμές που παρουσιάζει ο δείκτης είναι υψηλές με την περίοδο να θεωρείται μέτρια υγρή και με την πιο έντονη τιμή να παρουσιάζεται 1976-1977 με τιμή 2.42. Τέλος, για τον SPI3.4 παρατηρείται ότι η περίοδος γίνεται και πάλι υγρή με έντονες βροχοπτώσεις.



Σχήμα 71: Διάγραμμα τάσης Δεκεμβρίου-Ιανουαρίου-Φεβρουαρίου(SPI3.1), Μαρτίου-Απριλίου-Μαΐου(SPI 3.2), Ιουνίου-Ιουλίου-Αυγούστου(SPI3.3) και Σεπτεμβρίου-Οκτωβρίου-Νοεμβρίου στον σταθμό Νάξος

Για τον σταθμό της Νάξου, είναι φανερό από τα διαγράμματα ότι δεν υπάρχουν έντονα φαινόμενα ξηρασίας. Τους χειμερινούς και ανοιξιάτικους μήνες οι τιμές δείκτη του SP3.1 και SPI3.2 είναι κοντά στο μηδέν. Για τον SPI3.3, η θερινή περίοδος θεωρείται υγρή με υψηλές τιμές, όπως το έτος 1972-1973 με τιμή 3.49. Κατά την φθινοπωρινή περίοδο, φαίνεται από το 1980 και ύστερα η γραμμή τάσης του δείκτη αυξάνεται, που έχει σαν αποτέλεσμα η περίοδος να γίνεται πιο υγρή.



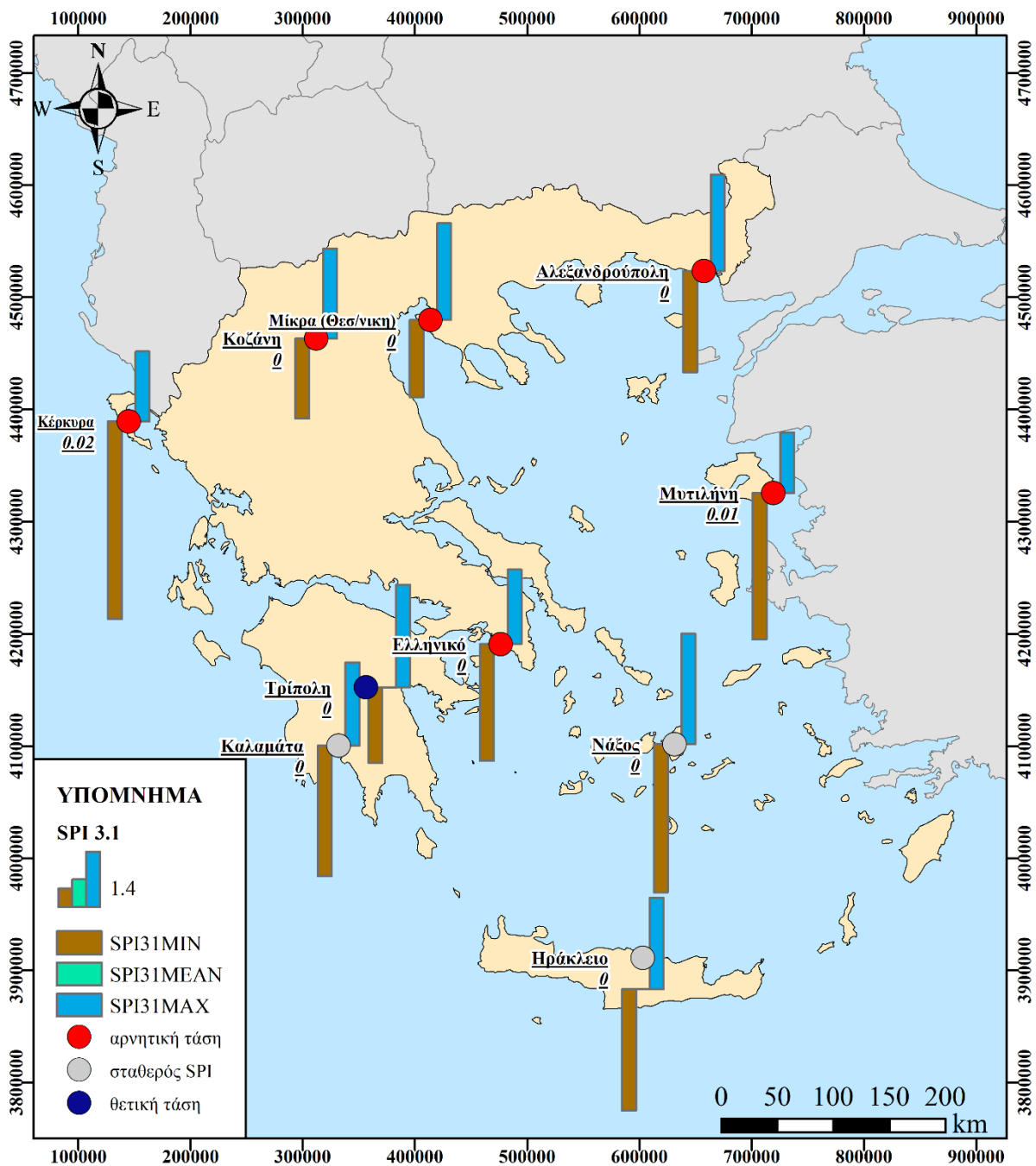
Σχήμα 72: Διάγραμμα τάσης Δεκεμβρίου-Ιανουαρίου-Φεβρουαρίου(SPI3.1), Μαρτίου-Απριλίου-Μαΐου(SPI 3.2), Ιουνίου-Ιουλίου-Αυγούστου(SPI3.3) και Σεπτεμβρίου-Οκτωβρίου-Νοεμβρίου στον σταθμό Τρίπολη

Στην Τρίπολη επίσης τα φαινόμενα της ξηρασίας απουσιάζουν. Κάτα την χειμερινή και εαρινή περίοδο, οι τιμές είναι κοντά στο μηδέν, με σπάνια ξεσπάσματα ξηρασίας. Για τον SPI3.3, η γραμμή τάσης τήνει να πάει προς την ξηρασία, με τις πιο έντονες τιμές να έχουν καταγραφεί τα έτη 1975-1976 και 1991-1992 αντίστοιχα. Τέλος, για τους φθινοπωρινούς μήνες, οι τιμές από το έτος 1985 και ύστερα τήνουν προς μια υγρή κατάσταση.

#### 4.3.2 Χωρική κατανομή των τιμών Standardized Precipitation Index (SPI3)

Οι παρακάτω θεματικοί χάρτες (σχήματα 73 έως 76), δημιουργήθηκαν αποσκοπώντας στην οπτικοποίηση των παραπάνω αποτελεσμάτων που αφορούν στον δείκτη ξηρασίας SPI. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζεται για την χειμερινή περίοδο ο SPI3.1, για την εαρινή ο SPI3.2, για την θερινή ο SPI3.3 και για την φθινοπωρινή ο SPI3.4.

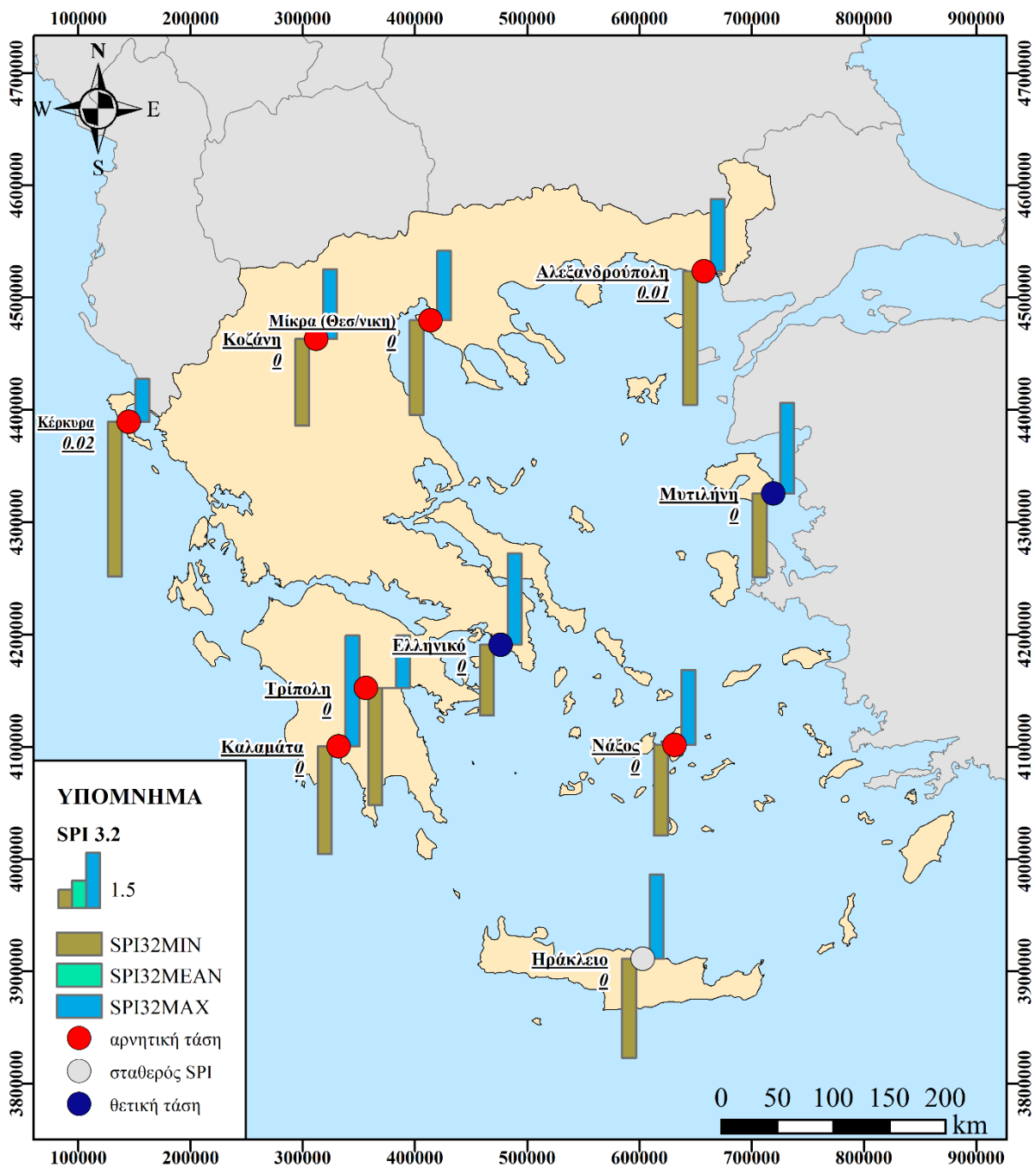




Σχήμα 73:Χωρική κατανομή των τιμών min max mean για τον SPI3.1

Στο σχήμα 73 απεικονίζεται η χωρική κατανομή των τιμών min max mean για την χειμερινή περίοδο, δηλαδή για τους μήνες Δεκέμβριο, Ιανουάριο και Φεβρουάριο. Αρχικά, είναι εμφανές ότι η τιμή SPI3.1MIN είναι έντονη σε όλες τις εξεταζόμενες τιμές. Αυτό δείχνει την σχετικά έντονη ύπαρξη του φαινομένου της ξηρασίας κατά την διάρκεια της συγκεκριμένης περιόδου, σε αντίθεση με τις τιμές του SPI3.1MAX και SPI3.1MEAN οι οποίες κυμαίνονται σε φυσιολογικά επίπεδα. Ως προς τις τάσεις, η αρνητική τάση συναντάται ως επί το πλείστον στους βόρειους σταθμούς του ελληνικού χώρου, γεγονός που υποδηλώνει την τάση του

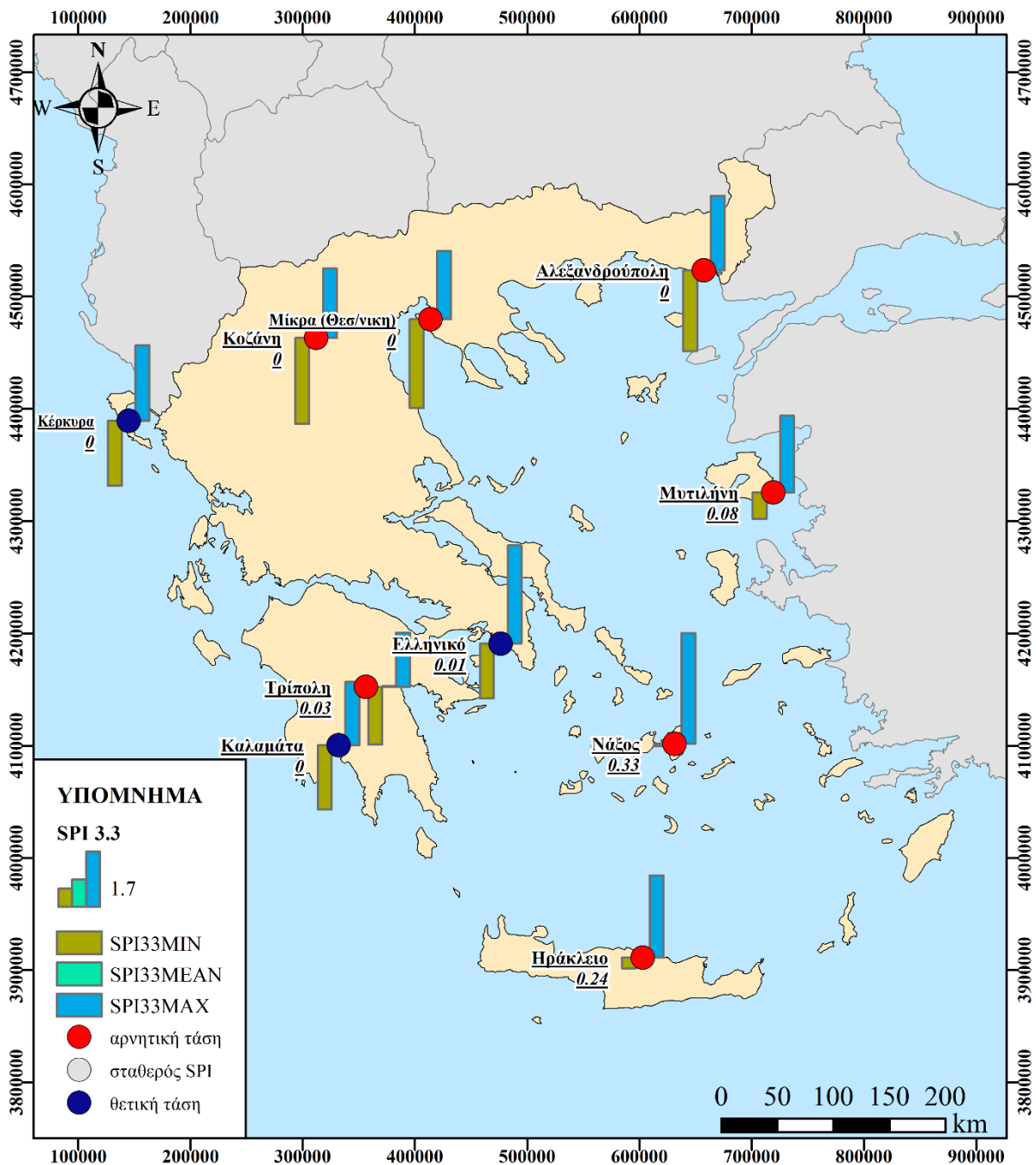
κλίματος να γίνεται ολοένα και πιο ξηρό στην διάρκεια της χρονοσειράς. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι ο μόνος σταθμός που σημειώνει θετική τάση με έντονες βροχοπτώσεις είναι η Τρίπολη.



Σχήμα 74:Χωρική κατανομή των τιμών min max mean για τον SPI3.2

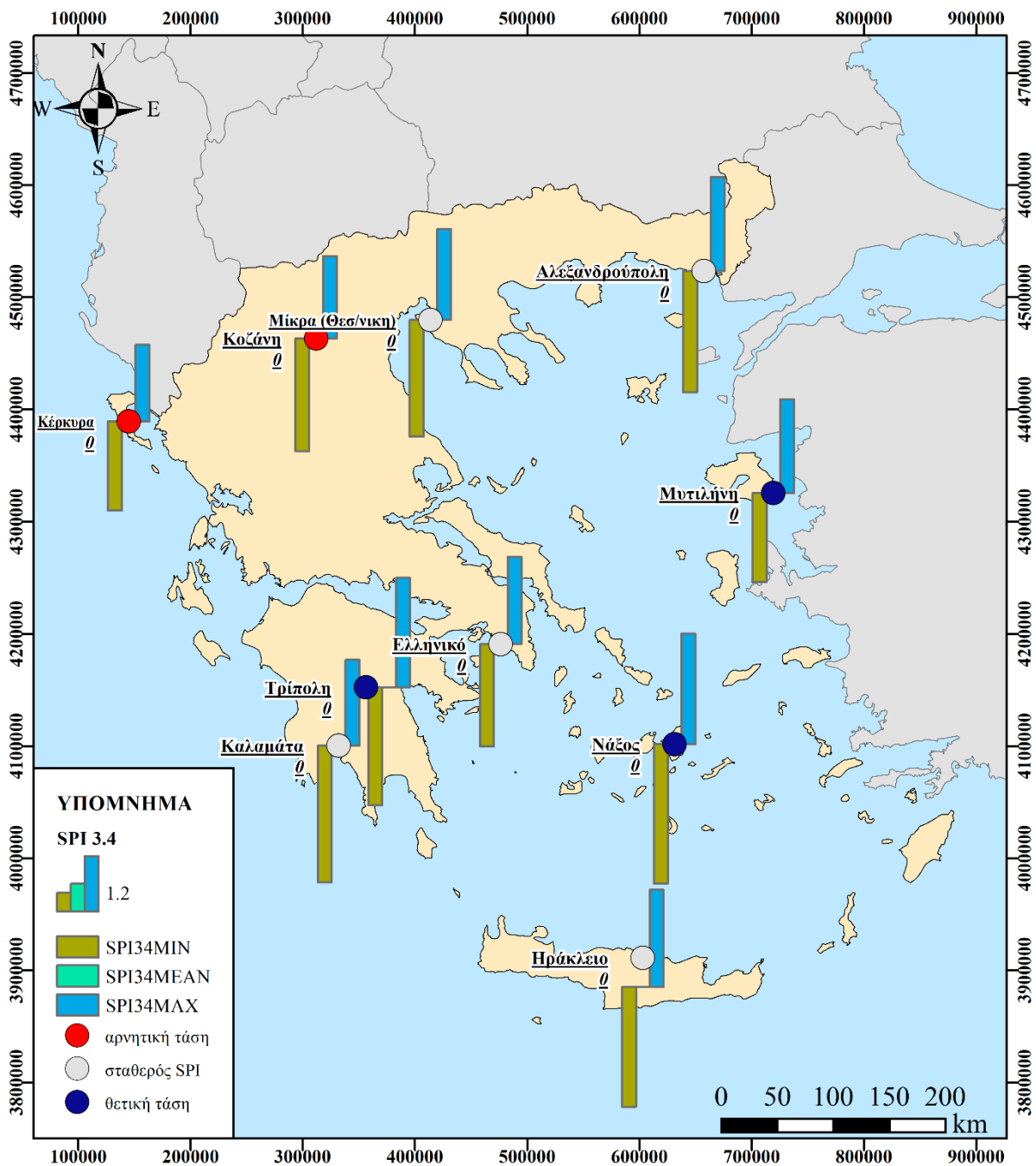
Για την περίοδο της άνοιξης και πιο συγκεκριμένα για τους μήνες Μάρτιο, Απρίλιο, Μάιο, σε πολλούς από τους σταθμούς της χώρας μεταξύ αυτών που εξετάζονται, σημειώνονται αρνητικές τιμές σε σχέση με την ξηρασία, σε αντίθεση με την χειμερινή περίοδο. Επιπροσθέτως, σταθερές τιμές παρατηρούνται στην περιοχή του Ηρακλείου, ενώ στις περιοχές

Ελληνικό και Μυτιλήνη παρατηρείται ότι κυριαρχούν οι βροχοπτώσεις, σε αντίθεση με την χειμερινή περίοδο η οποία ήταν σχετικά ξηρή.



Σχήμα 75:Χωρική κατανομή των τιμών min max mean για τον SPI3.3

Του καλοκαιρινούς μήνες, όπως είναι φυσικό, επικρατούν πιο ξηρές συνθήκες στους περισσότερους σταθμούς, με εξαίρεση τις περιοχές του Ελληνικού, της Καλαμάτας και της Κέρκυρας, στις οποίες τα φαινόμενα της βροχόπτωσης είναι πιο έντονα. Από την τάση του δείκτη φαίνεται ότι με εξαίρεση τρεις σταθμούς (Κέρκυρα, Καλαμάτα, Ελληνικό), στην υπόλοιπη χώρα παρατηρείται μια σταδιακή αύξηση της ξηρασίας (αρνητική τάση στον δείκτη).



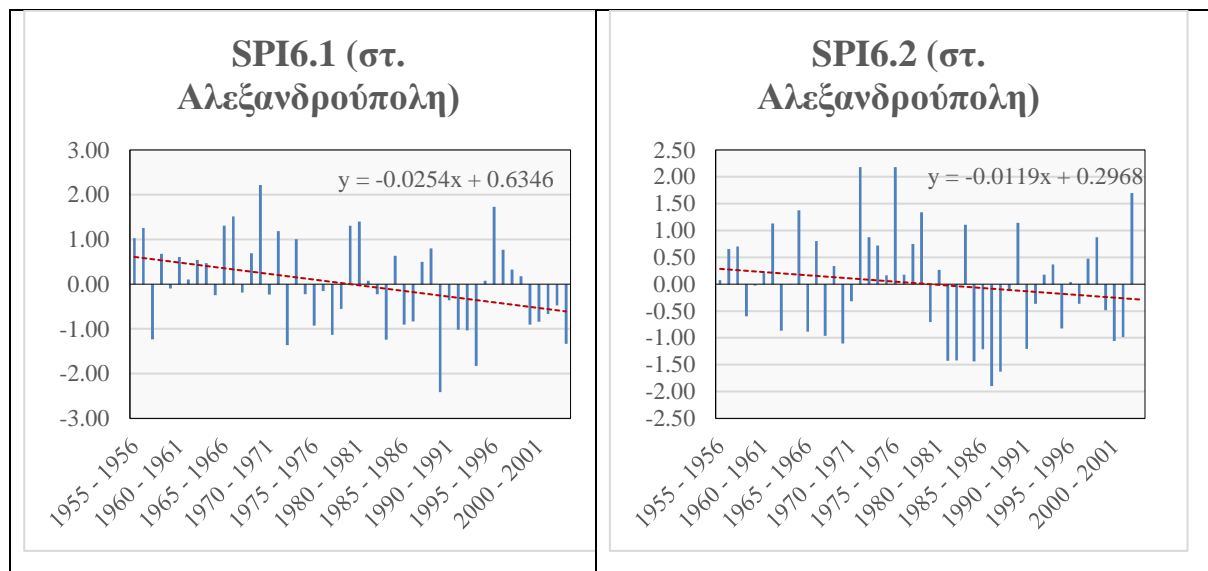
Σχήμα 76: Χωρική κατανομή των τιμών *min max mean* για τον SPI3.4

Ο χάρτης της χωρικής κατανομής SPI3.4, δείχνει την άνοδο των βροχοπτώσεων κατά την φθινοπωρινή περίοδο στην πλειοψηφία των περιοχών, σε αντίθεση με την Κοζάνη και την Κέρκυρα που σημειώνουν μειωτικές τάσεις.

#### 4.3.3 Απεικόνιση διαγραμμάτων SPI6

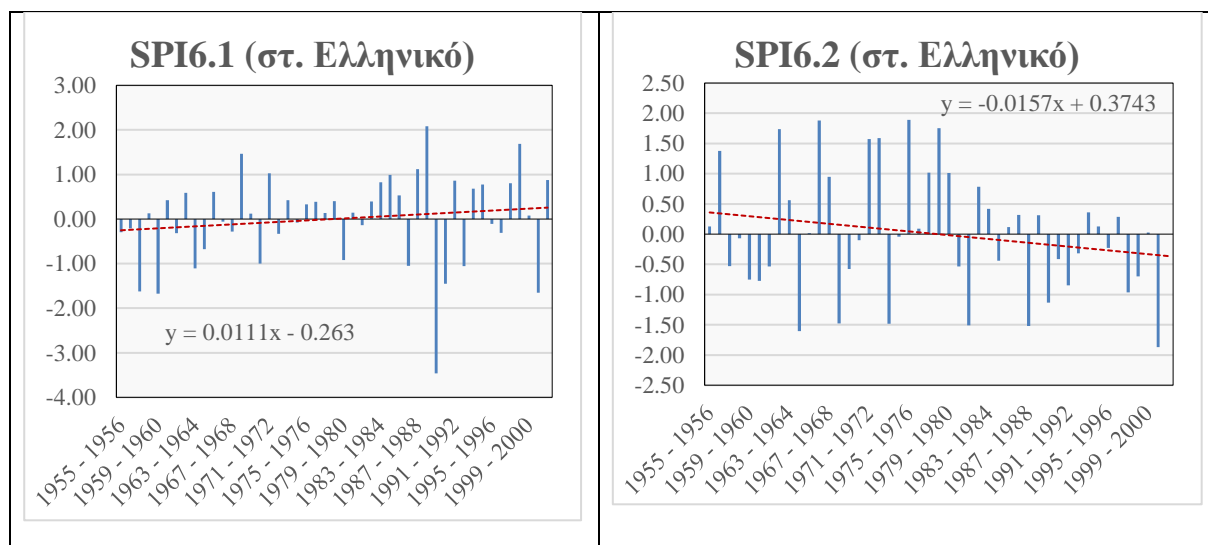
Τα παρακάτω σχήματα 77-86 αφορούν στην απεικόνιση της ξηρασίας και για τα δύο εξάμηνα του έτους και πιο συγκεκριμένα, για τους μήνες Νοέμβριο-Απρίλιο, Απρίλιο-Οκτωβρίου. Θα δοθεί έμφαση τόσο στις τιμές που λαμβάνει το φαινόμενο της ξηρασίας για όλη την χρονοσειρά

όσο και στην τάση που έχει κάθε σταθμός.



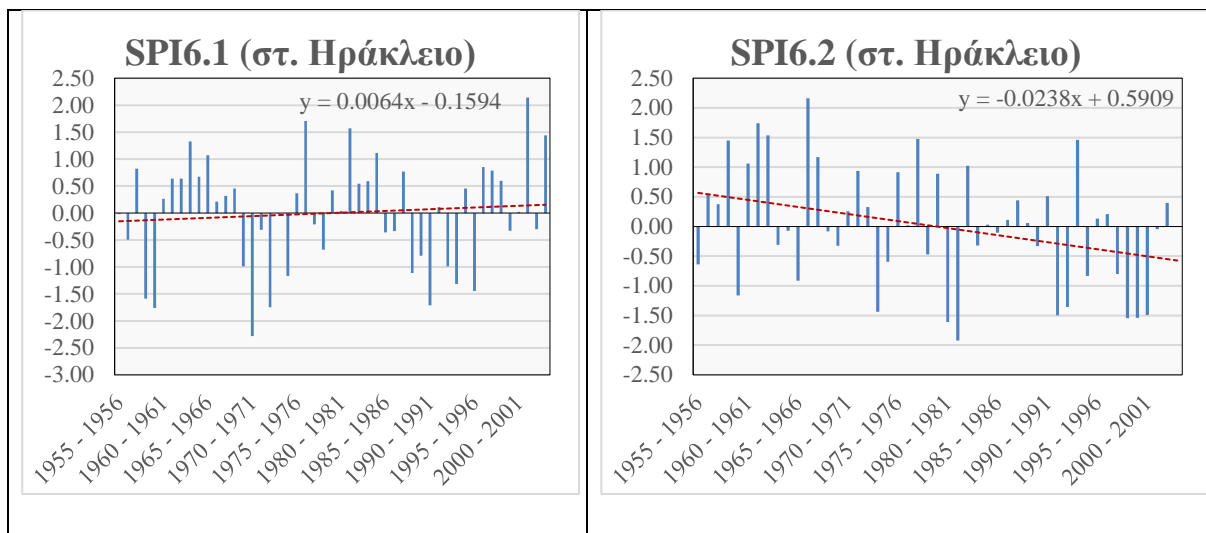
Σχήμα 77: Διάγραμμα τάσης Νοεμβρίου -Απριλίου (SPI 6.1) και Μαΐου -Οκτωβρίου(SPI6.2) στον σταθμό Αλεξανδρούπολη

Από τα διαγράμματα προκύπτει ότι για τον σταθμό Αλεξανδρούπολη, για τους δείκτες SPI6.1 και SPI6.2 η ξηρασία γίνεται σταδιακά ορατή από το έτος 1983 και ύστερα. Οι χαμηλότερες τιμές που σημειώθηκαν για αυτό το διάστημα είναι η -2.41 την περίοδο 1989-1990 για τον SPI6.1 και -1.90 την περίοδο 1986-1987 για τον SPI6.2.



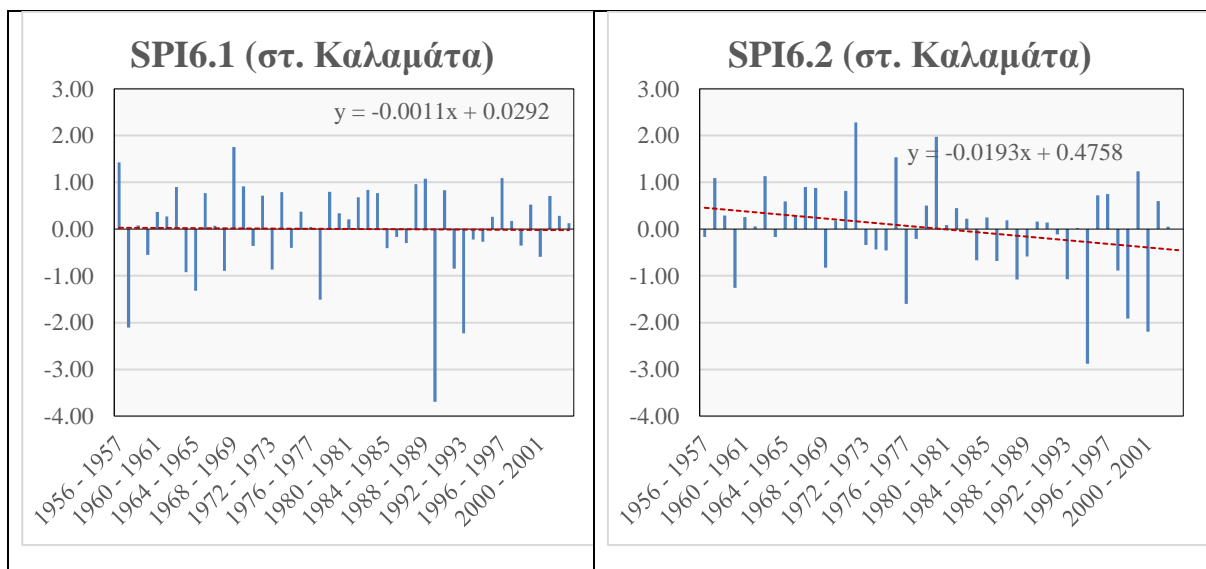
Σχήμα 78: Διάγραμμα τάσης Νοεμβρίου -Απριλίου (SPI 6.1) και Μαΐου -Οκτωβρίου(SPI6.2) στον σταθμό Ελληνικό

Ο σταθμός Ελληνικό για το δείκτη SPI6.1 φαίνεται να διανύει για ολόκληρη τη χρονοσειρά μια υγρή περίοδο με την υψηλότερη τιμή να καταγράφεται το διάστημα 1988-1989 και με τιμή 2.08. Αντίστοιχα, για το δείκτη SPI6.2, σημειώνεται μια πιο σχετικά ξηρή περίοδος με τιμή -1.87, για το έτος 2000-2001.



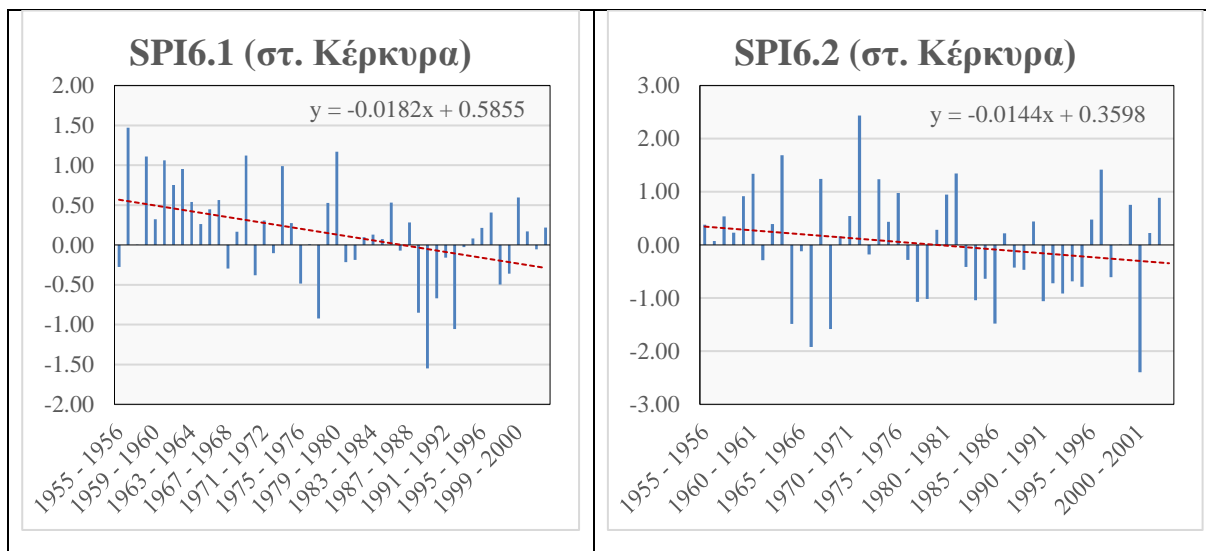
Σχήμα 79: Διάγραμμα τάσης Νοεμβρίου -Απριλίου (SPI 6.1) και Μαΐου -Οκτωβρίου(SPI6.2) στον σταθμό Ελληνικό

Ο σταθμός Ηράκλειο, χαρακτηρίζεται για το δείκτη SPI6.1 για όλη τη χρονοσειρά, ως μια υγρή περιοχή, με ήπιες ωστόσο συνθήκες, ενώ η πιο έντονη τιμή είναι η 2.14 για το διάστημα μεταξύ 2001-2002. Για το δείκτη SPI6.2 η διαφορά μεταξύ των συνθηκών σε σχέση με τον πρώτο δείκτη, είναι πιο φανερή, με τη χαμηλότερη τιμή να αγγίζει το -1.92 για την περίοδο 1981-1982.



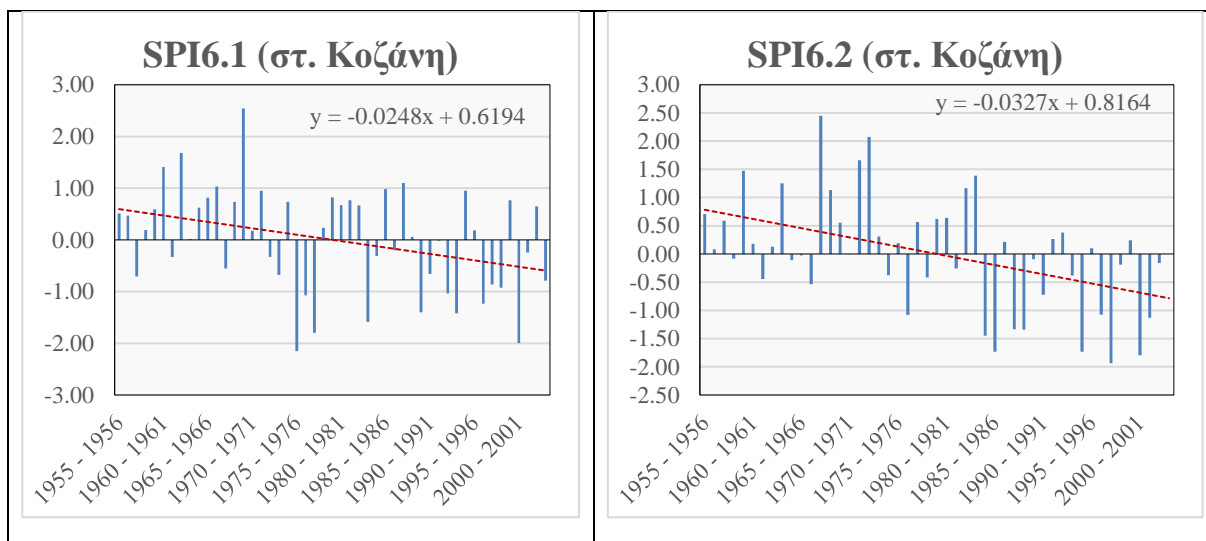
Σχήμα 80: Διάγραμμα τάσης Νοεμβρίου -Απριλίου (SPI 6.1) και Μαΐου -Οκτωβρίου(SPI6.2) στον σταθμό Καλαμάτα

Για το δείκτη SPI6.1 στην περιοχή της Καλαμάτας, οι συνθήκες παρουσιάζουν μια πιο ισορροπημένη μορφή, με την περίοδο να μην σημειώνει ούτε μεγάλο αριθμό βροχοπτώσεων αλλά ούτε και έντονα φαινόμενα ξηρασίας. Για το δείκτη SPI6.2, από το 1978 και μετά, ξεκινά μια πιο ήπια περίοδος, με την πιο έντονη τιμή να συναντάται στο -2.88 για το έτος 1994-1995.



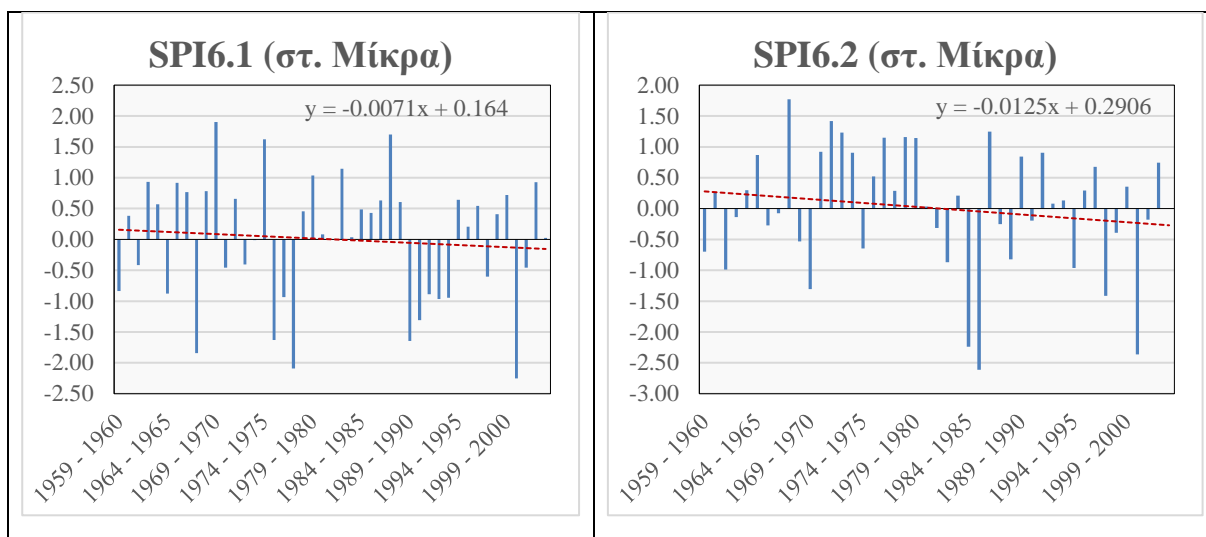
Σχήμα 81: Διάγραμμα τάσης Νοεμβρίου -Απριλίου (SPI 6.1) και Μαΐου -Οκτωβρίου(SPI6.2) στον σταθμό Κέρκυρα

Η Κέρκυρα χαρακτηρίζεται αναφορικά με το δείκτη SPI6.1 από έντονες βροχοπτώσεις κυρίως το διάστημα 1956-1957 με μέγιστη τιμή το 1.47, ενώ για τον SPI6.2 το διάγραμμα δηλώνει την συνέχιση των βροχοπτώσεων σε μια πιο ήπια μορφή, με τιμές που σημειώνονται από 2.44 το έτος 1971-1972 και -2.40 για τη ξηρή περίοδο που παρατηρείται από το 2000 έως το 2001.



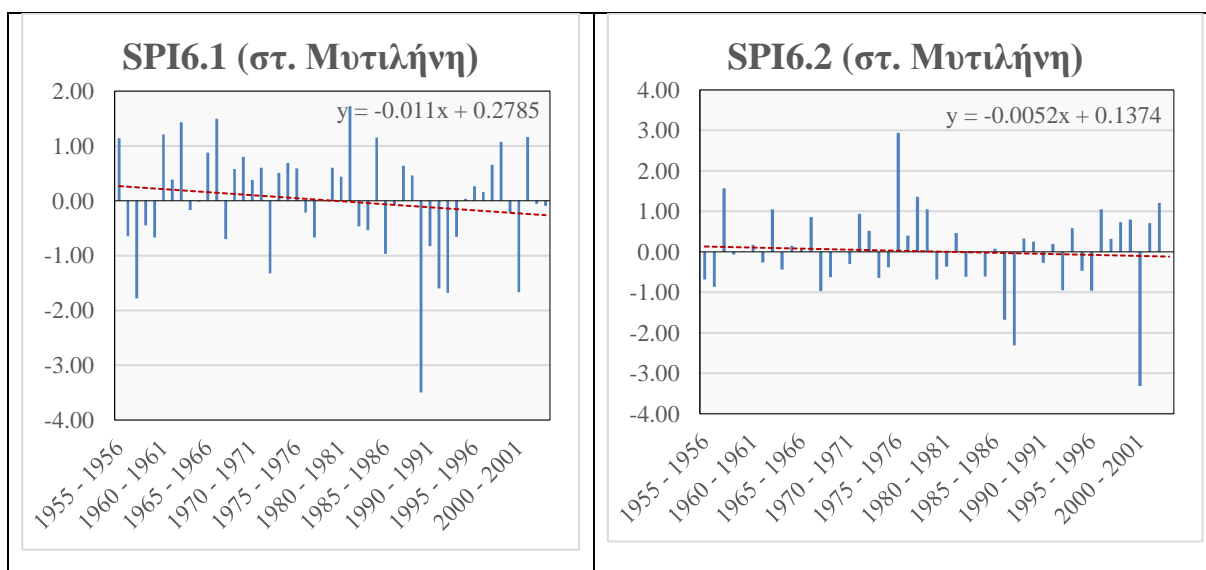
Σχήμα 82: Διάγραμμα τάσης Νοεμβρίου -Απριλίου (SPI 6.1) και Μαΐου -Οκτωβρίου(SPI6.2) στον σταθμό Κοζάνη

Η Κοζάνη ως προς και τους δύο δείκτες SPI6.1 και SPI6.2 παρουσιάζει την ύπαρξη από το 1980 και ύστερα του φαινομένου ξηρασίας με τιμές για τον SPI6.1 τη -2.00 για την περίοδο 2000-2001 και για τον SPI6.2 την -1.94 για το έτος 1997-1998.



Σχήμα 83: Διάγραμμα τάσης Νοεμβρίου -Απριλίου (SPI 6.1) και Μαΐου -Οκτωβρίου(SPI6.2) στον σταθμό Μίκρα

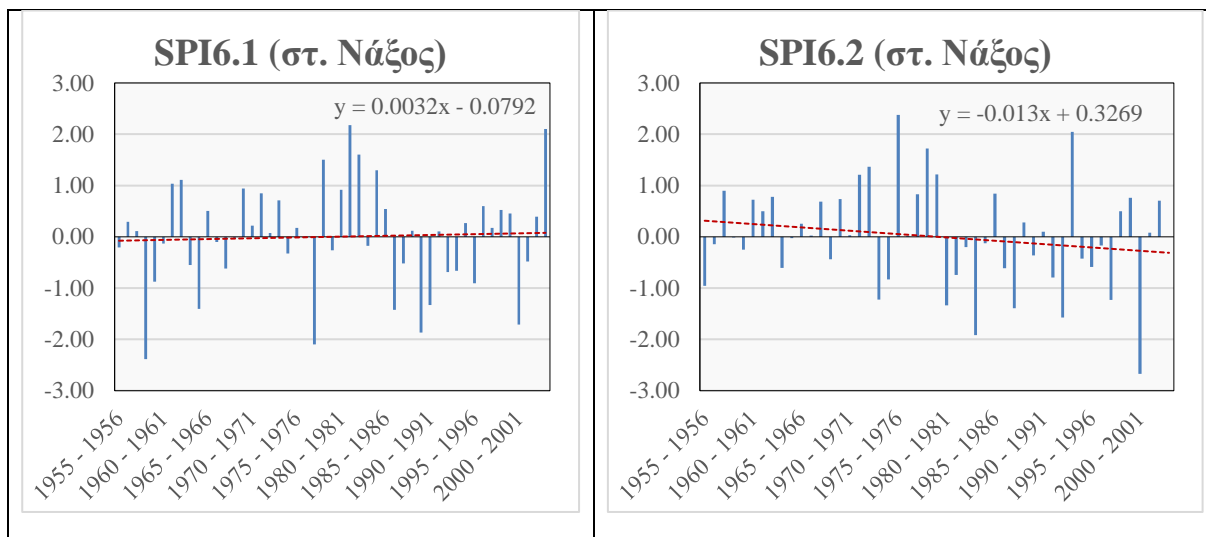
Στην περιοχή της Μίκρας, δεν σημειώνονται σοβαρά φαινόμενα ξηρασίας ή βροχοπτώσεων, ωστόσο στο δείκτη SPI6.2 από το 1986 και μετά, κάνουν την εμφάνισή τους μερικά επεισόδια ξηρασίας και μειωμένων βροχοπτώσεων. Η χαμηλότερη τιμή που συναντάται στο δείκτη SPI6.2 είναι η -2.61 για το διάστημα 1985-1986.



Σχήμα 84: Διάγραμμα τάσης Νοεμβρίου -Απριλίου (SPI 6.1) και Μαΐου -Οκτωβρίου(SPI6.2) στον σταθμό Μυτιλήνη

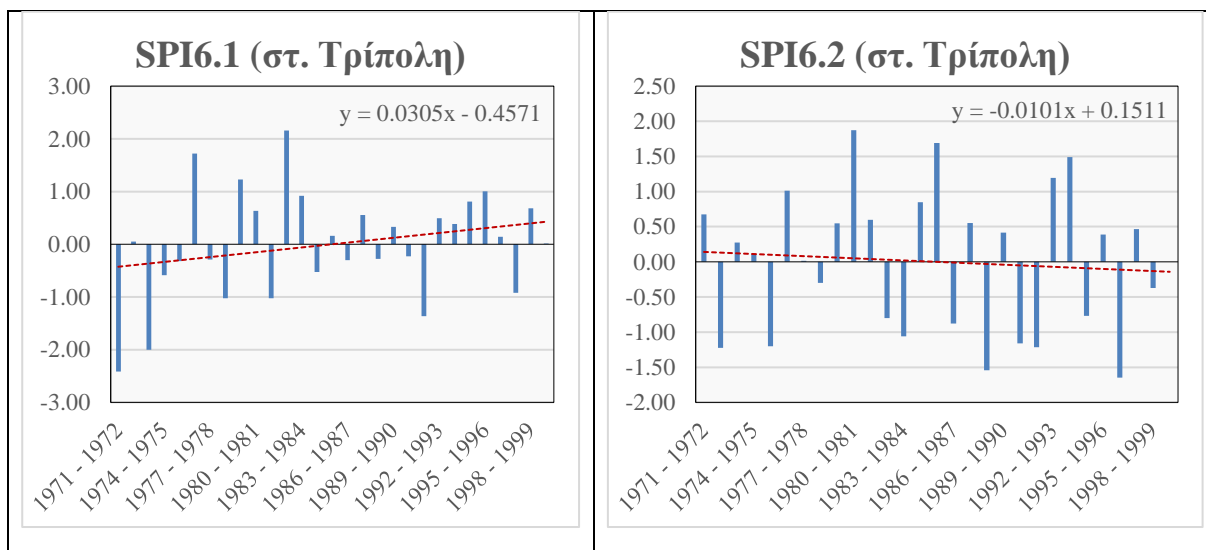
Στη Μυτιλήνη αναφορικά με τους δείκτες SPI6.1 και SPI6.2 παρατηρείται η απουσία έντονων φαινομένων ξηρασίας και βροχοπτώσεων, με μια μικρή εξαίρεση στο δείκτη SPI6.1 την περίοδο 1989-1990 με τιμή -3.49.





Σχήμα 85: Διάγραμμα τάσης Νοεμβρίου -Απριλίου (SPI 6.1) και Μαΐου -Οκτωβρίου(SPI6.2) στον σταθμό Νάξος

Παρόμοια με τον σταθμό της Μυτιλήνης, η Νάξος παρουσιάζει μια σχετική ισορροπία μεταξύ των φαινομένων ξηρασίας και βροχοπτώσεων στην περίπτωση και των δύο δεικτών. Ωστόσο, από το 1980 και μετά στο δείκτη SPI6.2 παρατηρείται μια μικρή ξηρασία, με χαρακτηριστική τιμή το διάστημα 2000-2001 με τιμή -2.67.



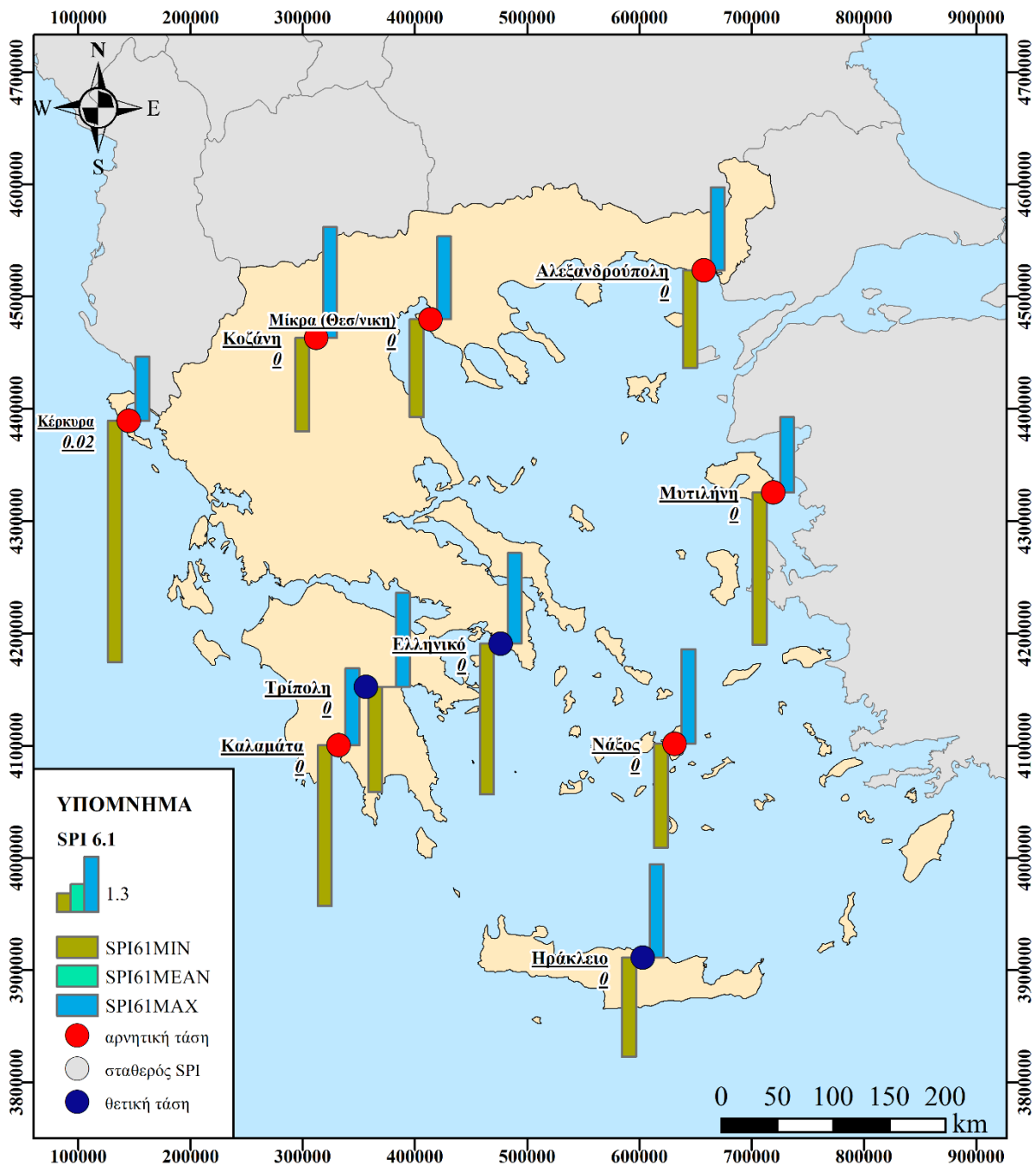
Σχήμα 86: Διάγραμμα τάσης Νοεμβρίου -Απριλίου (SPI 6.1) και Μαΐου -Οκτωβρίου(SPI6.2) στον σταθμό Τρίπολη

Η Τρίπολη αποτελεί έναν σταθμό με έντονες βροχοπτώσεις και χαμηλές θερμοκρασίες. Τα παραπάνω διαγράμματα δείχνουν ότι απουσιάζει σχεδόν τελείως η περίοδος ξηρασίας από τη χρονοσειρά η οποία εξετάζεται. Πιο συγκεκριμένα, από το 1987 και μετά, ξεκινά μια πιο υγρή περίοδος για το δείκτη SPI6.1 με την υψηλότερη τιμή να φτάνει το 2.16 την περίοδο 1982-1983.

#### 4.3.4 Χωρική κατανομή των τιμών Standardized Precipitation Index (SPI6)

Τα διαγράμματα τα οποία συστάθηκαν παραπάνω, αποτελούν τη βάση για τα σχήματα 87 και

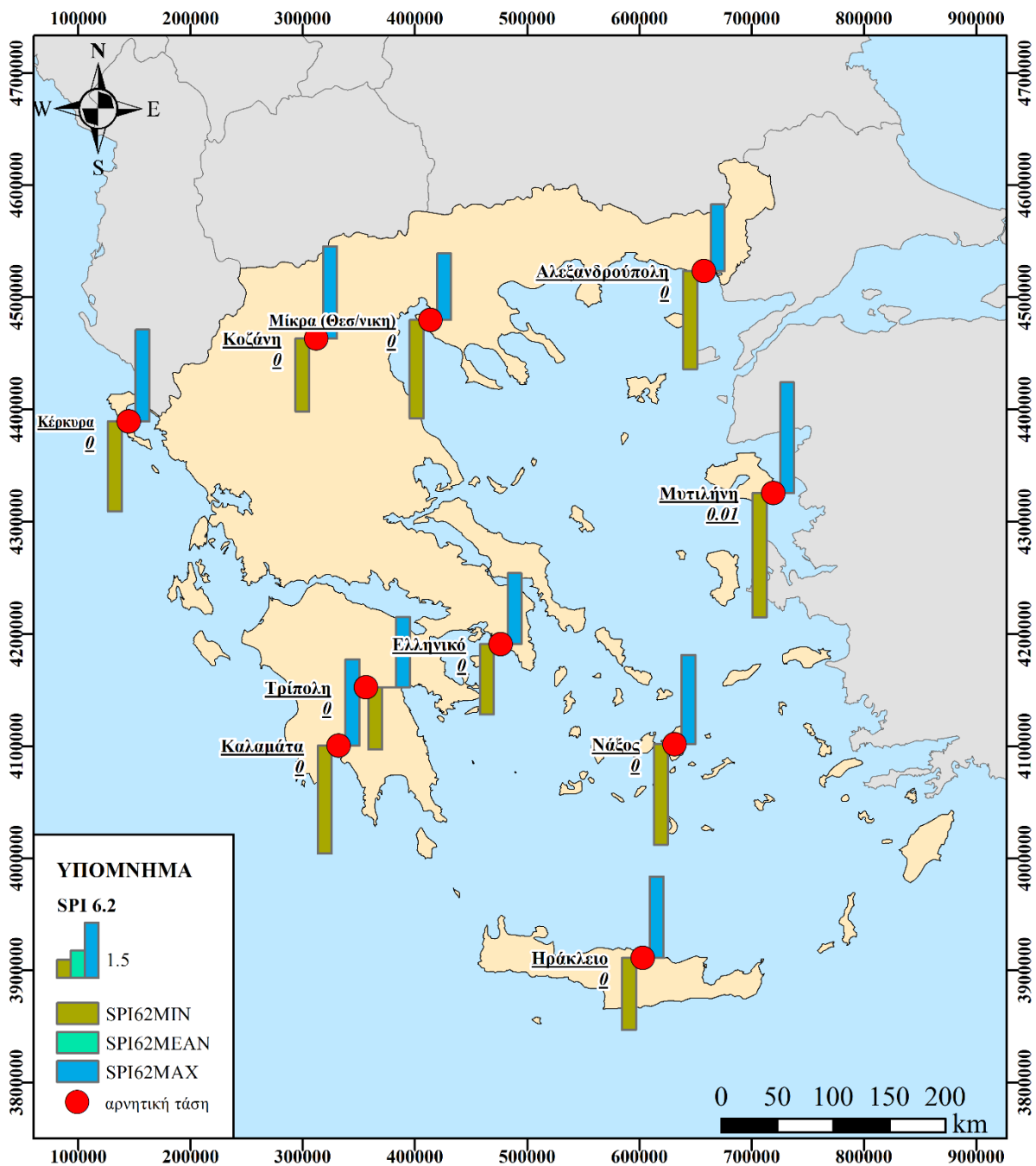
88 στα οποία περιλαμβάνονται οι τιμές min max mean για τους δείκτες SPI6.1 και SPI6.2 καθώς και οι τάσεις για την υγρή και ξηρή περίοδο, αντίστοιχα.



Σχήμα 87: Χωρική κατανομή των τιμών min max mean για τον SPI6.1

Από το σχήμα 87 προκύπτει ότι, το κλίμα για τους σταθμούς της βόρειας Ελλάδας, της Νάξου και της Μυτιλήνης τείνει να γίνει πιο ξηρό κατά την υγρή περίοδο, ενώ αντίθετα παρατηρούνται περισσότερες βροχοπτώσεις (θετική τάση στον δείκτη) στους σταθμούς Ελληνικό, Τρίπολη και Ηράκλειο. Η μεγάλη διασπορά στην τιμή του ετήσιου SPI6.1 (βλ σχήματα 77-86, αριστερό διάγραμμα) δεν επιτρέπουν τον καθορισμό μιας διαχρονικά μέσης τιμής για την αντίστοιχη

περίοδο.



Σχήμα 88:Χωρική κατανομή των τιμών min max mean για τον SPI6.2

Στο σχήμα 88 αντικατοπτρίζεται μόνο η αρνητική τάση για τους δέκα σταθμούς και ειδικότερα για την περίοδο μεταξύ των μηνών Μαΐου και Οκτωβρίου. Είναι προφανές ότι, στη διάρκεια αυτών των μηνών καταγράφονται υψηλότερες θερμοκρασίες και μικρός αριθμός βροπτώσεων. Η μεγάλη διασπορά στην τιμή του ετήσιου SPI6.2 (βλ σχήματα 77-86, δεξί διάγραμμα) δεν επιτρέπουν τον καθορισμό μιας διαχρονικά μέσης τιμής για την αντίστοιχη περίοδο, ωστόσο συστηματικά παρατηρούνται ήπιες αρνητικές τάσεις στον δείκτη.

## 5 Συμπεράσματα

### 5.1 Σύνοψη - Γενικά Συμπεράσματα

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, δόθηκε έμφαση στην ανάλυση των δεικτών Standardized Precipitation Index (SPI) και Aridity Index (AI), με γνώμονα τις χρονοσειρές βροχόπτωσης οι οποίες αντλήθηκαν για δέκα σταθμούς που ανήκουν στο δίκτυο της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (Ε.Μ.Υ.). Η ανάλυση διεξήχθη για ένα χρονικό διάστημα 49 ετών και ειδικότερα από το έτος 1995 έως και το 2004. Πιο συγκεκριμένα, έγινε ανάλυση των παραγόμενων χρονοσειρών SPI3 για τους μήνες Δεκέμβριο-Φεβρουάριο, Μάρτιο-Μάιο, Ιούνιο-Αύγουστο και Σεπτέμβριο-Νοέμβριο, SPI6 για την ξηρή και υγρή περίοδο, δηλαδή για για το διάστημα Οκτώβριο-Απρίλιο, Μάιο-Σεπτέμβριο καθώς και του δείκτη AI για όλη την χρονοσειρά. Υπολογίστηκε η μέση τιμή και οι διαχρονικές τάσεις των παραπάνω δεικτών, με σκοπό να ερευνηθεί αν οι περιοχές τείνουν προς πιο υγρές ή ξηρές συνθήκες. Στο περιβάλλον του ArcGIS, συστάθηκαν χάρτες οι οποίοι παρουσιάζουν το μέσο ετήσιο AI, την τάση μηνιαίου AI, την εποχική διακύμανση του δείκτη για όλη την χρονοσειρά ανά τρίμηνο καθώς και τον SPI3.1 έως SPI3.4 και SPI6.1 και SPI6.2 για την οπτικοποίηση των παραμέτρων mean,max και min. Με βάση τα παραπάνω, για κάθε μια περιοχή δόθηκε η κατάλληλη πληροφορία σε συνδυασμό με το γεωγραφικό μήκος και πλάτος της. Η διαδικασία ολοκληρώθηκε σταδιακά με την αποτίμηση των αποτελεσμάτων, όπως επίσης και με τον σχολιασμό των διαγραμμάτων και των χαρτών, αναφορικά με την μέση τιμή και την τάση των δεικτών SPI3, SPI6 και AI. Επιπλέον, αξίζει να σημειωθεί στο σημείο αυτό σχετικά με την τάση των δεικτών, ότι για η πλειοψηφία των σταθμών παρουσιάζει αρνητική τάση, γεγονός που δηλώνει πως οι σταθμοί τείνουν προς ξηρότερες συνθήκες.

### 5.2 Ειδικά Συμπεράσματα

Ειδικότερα, αναφορικά με τα συμπεράσματα που μπορούν να εξαχθούν ξεχωριστά για τους δέκα σταθμούς οι οποίοι μελετήθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία:

- Σταθμός Αλεξανδρούπολη:

Με βάση τους δείκτες που χρησιμοποιήθηκαν, η περιοχή της Αλεξανδρούπολης χαρακτηρίζεται για όλη την χρονοσειρά υγρή. Πιο συγκεκριμένα, η χειμερινή, η εαρινή και η θερινή περίοδος τείνει προς πιο ξηρές συνθήκες ενώ στην φθινοπωρινή επικρατεί μια πιο

σταθερή κατάσταση. Οι πιο ξηροί μήνες είναι ο Μάιος, ο Αύγουστος, ο Σεπτέμβριος και ο Δεκέμβριος.

- Σταθμός Ηράκλειο:

Όπως προκύπτει από τους δείκτες, η περιοχή του Ηρακλείου χαρακτηρίζεται για όλη την χρονοσειρά σχετικά υγρή. Αναλυτικότερα, ο σταθμός παρουσιάζει αρνητική τάση για όλη την χρονοσειρά και πιο συγκεκριμένα, σταθερή τάση για την χειμερινή, την εαρινή και τη φθινοπωρινή περίοδο, ενώ για το καλοκαιρινό διάστημα παρουσιάζει αρνητική τάση, δηλαδή πιο ξηρές συνθήκες. Πιο ξηροί μήνες φαίνεται να είναι ο Απρίλιος, ο Αύγουστος, ο Σεπτέμβριος και ο Δεκέμβριος.

- Σταθμός Μίκρα:

Από την μελέτη των δεικτών, σχετικά με την περιοχή της Μίκρας, προέκυψε ότι παρουσιάζει σε γενικές γραμμές όχι και τόσο υγρές συνθήκες και μια πιο μικρή τάση προς την ξηρασία για την χρονοσειρά που εξετάζεται. Για τους μήνες που αντιστοιχούν στην εποχή του χειμώνα, της άνοιξης και του καλοκαιριού παρατηρείται αρνητική τάση, ενώ για τους μήνες του φθινοπώρου επικρατεί μια πιο σταθερή συνθήκη. Πιο ξηροί φαίνεται να είναι οι μήνες Φεβρουάριος, Μάιος, Αύγουστος και Νοέμβριος.

- Σταθμός Κοζάνη:

Ο σταθμός της Κοζάνης χαρακτηρίζεται σε γενικό επίπεδο από έντονες βροχοπτώσεις καθόλη τη διάρκεια της χρονοσειράς που μελετάται. Παρατηρείται μηδενική σχεδόν τάση προς τη ξηρασία και αρνητική τάση για όλες τις εποχές του χρόνου, η οποία όμως φαίνεται να είναι αρκετά μικρή. Τέλος, οι μήνες Μάιος, Αύγουστος και Σεπτέμβριος παρουσιάζουν κάποιες συνθήκες ξηρασίας, ωστόσο όχι ιδιαίτερα σημαντικές.

- Σταθμός Κέρκυρα:

Η περιοχή της Κέρκυρας, όπως ακριβώς και ο σταθμός της Κοζάνης, παρουσιάζει έντονα φαινόμενα βροχοπτώσεων και μια ήπια αρνητική τάση. Στη χειμερινή, την εαρινή και την φθινοπωρινή εποχή της χρονοσειράς επικρατεί αρνητική τάση, σε αντίθεση με την θερινή περίοδο κατά την οποία παρατηρείται θετική τάση. Πιο ξηροί μήνες φαίνεται να είναι ο Φεβρουάριος, ο Μάιος, ο Ιούλιος και ο Σεπτέμβριος.

- Σταθμός Μυτιλήνη:

Το νησί της Μυτιλήνης παρουσιάζει κανονικά επίπεδα βροχοπτώσεων, τα οποία μερικές φορές τείνουν να γίνονται πιο έντονα, ενώ ταυτόχρονα στην περιοχή επικρατεί αρνητική τάση. Επιπλέον, αρνητική τάση παρατηρείται και κατά τη χειμερινή και θερινή περίοδο της

χρονοσειράς, ενώ η άνοιξη και το φθινόπωρο χαρακτηρίζονται από θετική τάση. Τέλος, ως προς του μήνες, πιο ξηροί φαίνεται να είναι ο Φεβρουάριος, ο Μάιος, ο Αύγουστος αλλά και ο Σεπτέμβριος.

- Σταθμός Τρίπολη:

Στην Τρίπολη λαμβάνουν χώρα έντονα φαινόμενα βροχοπτώσεων, ωστόσο η περιοχή σταδιακά αποκτά αρνητική τάση. Ο χειμώνας και το φθινόπωρο χαρακτηρίζονται ως εποχές με θετική τάση, σε αντίθεση με το καλοκαίρι και την άνοιξη, εποχές κατά τη διάρκεια των οποίων η τάση είναι αρνητική. Πιο ξηροί μήνες της χρονοσειράς είναι ο Ιανουάριος, ο Μάιος, ο Ιούλιος και ο Σεπτέμβριος.

- Σταθμός Ελληνικό:

Η περιοχή του Ελληνικού χαρακτηρίζεται σε γενικό επίπεδο από χαμηλά επίπεδα βροχοπτώσεων και μηδενική τάση, δηλαδή σταθερή. Σταθερή τάση παρουσιάζει επίσης και η εποχή του φθινοπώρου, αντίθετα με το χειμώνα που παρουσιάζει αρνητική τάση και την άνοιξη και το καλοκαίρι, εποχές οι οποίες χαρακτηρίζονται από θετική τάση. Οι μήνες Φεβρουάριος, Μάιος, Ιούλιος και Σεπτέμβριος αποτελούν τους πιο ξηρούς μήνες της χρονοσειράς.

- Σταθμός Καλαμάτα:

Η περιοχή της Καλαμάτας περιλαμβάνει χαμηλά ποσοστά βροχοπτώσεων και σταθερή τάση. Οι μήνες οι οποίοι συμπεριλαμβάνονται στη χειμερινή και τη φθινοπωρινή περίοδο χαρακτηρίζονται από σταθερή τάση, οι μήνες της εαρινής περιόδου από αρνητική τάση και τέλος οι μήνες της θερινής περιόδου από θετική τάση. Τέλος, ως πιο ξηροί μήνες της χρονοσειράς παρουσιάζονται ο Φεβρουάριος, ο Μάιος, ο Ιούλιος και ο Σεπτέμβριος.

- Σταθμός Νάξος:

Το νησί της Νάξου έχει πιο ξηρό κλίμα με ελάχιστες βροχοπτώσεις και σταθερή τάση. Σταθερή τάση διαθέτει επίσης η χειμερινή περίοδος, σε αντίθεση με την άνοιξη, το καλοκαίρι και το φθινόπωρο που χαρακτηρίζονται από αρνητική τάση οι δύο πρώτες εποχές και θετική η τελευταία, αντίστοιχα. Ως πιο ξηροί μήνες της χρονοσειράς που μελετάται παρουσιάζονται ο Μάιος, ο Αύγουστος, ο Σεπτέμβριος και ο Δεκέμβριος.

### **5.3 Μελλοντική έρευνα**

Η μελέτη του φαινομένου της ξηρασίας για τον ελλαδικό χώρο κρίνεται ως ιδιαίτερα σημαντική, καθώς η χώρα μας πρόκειται για περιοχή που στηρίζει μεγάλο αριθμό των δραστηριοτήτων της στους εγχώριους υδατικούς πόρους, ενώ στο πλαίσιο αξιοποίησης των

ΑΠΕ γίνεται και εκμετάλλευση του υδροηλεκτρικού δυναμικού κατά θέσεις. Ως εκ τούτου, η διαχρονική μελέτη της ξηρασίας είναι σημαντική ειδικότερο στο πλαίσιο της ολοκληρωμένης προσέγγισης για την διαχείριση των υδατικών -και ενεργειακών πλεόν- πόρων, κάτι που θα έχει και άμεση επίδραση στον καλύτερο προγραμματισμό συναφών δραστηριοτήτων, όπως η αγροτική παραγωγή. Ως μια πιο ολοκληρωμένη μελέτη του φαινομένου, προτείνεται η αξιοποίηση διαθέσιμων πλεγματικών δεδομένων τόσο για την ανάλυση της ξηρασίας κατά την ιστορική περίοδο, όσο και για την διερεύνηση κλιματικών σεναρίων (μελλοντικών προβολών), σύμφωνα με τα διαθέσιμα αναθεωρημένα κλιματικά σενάρια. Επιπρόσθετα, για την ιστορική περίοδο ειδικά, προτείνεται η εκτίμηση των ανωμαλιών για σημαντικά επεισόδια ξηρασίας (βλ. Feloni et al., 2017), και η σύγκριση των τιμών τους με ανάλογα μελλοντικά, ως ένας δείκτης της δριμύτητας (severity) των επεισοδίων ξηρασίας. Τέλος, πέραν της τάσης των χρονοσειρών των δεικτών ξηρασίας, αξίζει να υπολογιστούν και άλλα στατιστικά μέτρα, όπως ο κινούμενος Μ.Ο. δεκαετίας, αλλά και η μελέτη της ενδεχόμενης εμμονής των χρονοσειρών, ενός χαρακτηριστικού που συνδέεται ιδιαίτερα με την υδρολογική ξηρασία.

## 6 Βιβλιογραφικές αναφορές

### Ξενογλώσση Βιβλιογραφία

- Alley, W.M., 1984. The Palmer Drought Severity Index: Limitations and Assumptions. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 23, 1100–1109. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1984\)023<1100:TPDSIL>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1984)023<1100:TPDSIL>2.0.CO;2)(accessed 11.9.22)
- Bordi, I., Frigio, S., Parenti, P., Speranza, A., Sutera, A., 2001. The analysis of the Standardized Precipitation Index in the Mediterranean area: large-scale patterns. *Annals of Geophysics* 44. <https://doi.org/10.4401/ag-3549>(accessed 11.9.22).
- Byun, H.-R., Wilhite, D.A., 1999. Objective Quantification of Drought Severity and Duration. *Journal of Climate* 12, 2747–2756. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1999\)012<2747:OQODSA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1999)012<2747:OQODSA>2.0.CO;2)(accessed 12.9.22).
- Chester, D., 1993. *Natural hazards* by E. A. Bryant. Cambridge University Press, 1991. No. of pages: 294. Price: £40 (hardback); £14.95 (paperback). ISBN 0 521 37295 X (hardback); 0 521 37889 3 (paperback). *Geological Journal* 28. <https://doi.org/10.1002/gj.3350280218>(accessed 7.14.22).
- Currie, R.G., 1984. On bistable phasing of 18.6 year nodal induced flood in India. *Geophysical Research Letters* 11, 50–53. <https://doi.org/10.1029/GL011i001p00050>(accessed 7.14.22).
- Cook, E.R., Seager, R., Cane, M.A., Stahle, D.W., 2007. North American drought: Reconstructions, causes, and consequences. *Earth-Science Reviews* 81, 93–134. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2006.12.002>(accessed 8.24.22).
- Dracup, J.A., Lee, K.S., Paulson Jr., E.G., 1980. On the statistical characteristics of drought events. *Water Resources Research* 16, 289–296. <https://doi.org/10.1029/WR016i002p00289>(accessed 12.9.22).
- Drought forecasting using the Standardized Precipitation Index | SpringerLink [WWW Document], n.d. URL <https://link.springer.com/article/10.1007/s11269-006-9062-y> (accessed 9.12.22).
- Drought Characterisation in the Mediterranean | SpringerLink [WWW Document], n.d. URL [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4020-9045-5\\_6](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4020-9045-5_6) (accessed 9.11.22).
- Feloni, E.G., Kotsifakis, K.G., Nastos, P.T. and Baltas, E.A., 2017. SPI analysis over Greece using high resolution precipitation gridded datasets. *Eur. Water*, 60, pp.319-326.
- Hayes J. Michael, 1999. *Drought Indices*, National Drought Mitigation Center <https://www.civil.utah.edu/>(accessed 11.9.22).
- Hayes, M.J., Svoboda, M.D., Wilhite, D.A., Vanyarkho, O.V., 1999. Monitoring the 1996 Drought Using the Standardized Precipitation Index. *Bulletin of the American Meteorological Society* 80, 429–438. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1999\)080<0429:MTDUTS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1999)080<0429:MTDUTS>2.0.CO;2)(accessed 9.11.22).
- Heim, R.R., 2002. A Review of Twentieth-Century Drought Indices Used in the United States. *Bulletin of the American Meteorological Society* 83, 1149–1166. <https://doi.org/10.1175/1520-0477-83.8.1149>(accessed 12.9.22). - American Meteorological Society Volume 83 Issue 8 (2002) [WWW Document], n.d. URL [https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/83/8/1520-0477-83\\_8\\_1149.xml](https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/83/8/1520-0477-83_8_1149.xml) (accessed 9.12.22)



- Lloyd-Hughes, B., Saunders, M.A., 2002. A drought climatology for Europe. *International Journal of Climatology* 22, 1571–1592. <https://doi.org/10.1002/joc.846>(accessed 9.17.22)
- Karl, T., Knight, R.W., 1985. Atlas of Monthly Palmer Drought Severity Index (1931-1983) for the Contiguous United States. National Climatic Data Center. <https://books.google.gr/books>(accessed 11.9.22).
- Keyantash, J., Dracup, J.A., 2002. The Quantification of Drought: An Evaluation of Drought Indices. *Bulletin of the American Meteorological Society* 83, 1167–1180. <https://doi.org/10.1175/1520-0477-83.8.1167>(accessed 9.17.22).
- Loucks, D.P., Gladwell, J.S., Programme, I.H., 1999. Sustainability Criteria for Water Resource Systems. Cambridge University Press. <https://books.google.gr/books>(accessed 8.24.22).
- Olukayode Oladipo, E., 1985. A comparative performance analysis of three meteorological drought indices. *Journal of Climatology* 5, 655–664. <https://doi.org/10.1002/joc.3370050607>(accessed 7.9.22).
- Organization (WMO), W.M., 1986. Report on drought and countries affected by drought during 1974–1985. WMO, Geneva 118. <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com>(accessed 7.9.22).
- Palmer, W.C., 1965. Meteorological Drought. U.S. Department of Commerce, Weather Bureau. <https://books.google.gr/books?hl> (accessed 11.9.22).
- Quiring, S.M., Papakryiakou, T.N., 2003. An evaluation of agricultural drought indices for the Canadian prairies. *Agricultural and Forest Meteorology* 118, 49–62. [https://doi.org/10.1016/S0168-1923\(03\)00072-8](https://doi.org/10.1016/S0168-1923(03)00072-8)(accessed 9.11.22).
- Regional Drought Assessment Based on the Reconnaissance Drought Index (RDI) | SpringerLink [WWW Document], n.d. URL <https://link.springer.com/article/10.1007/s11269-006-9105-4> (accessed 9.11.22).
- Serinaldi, F., Bonaccorso, B., Cancelliere, A., Grimaldi, S., 2009. Probabilistic characterization of drought properties through copulas. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, Recent developments of statistical tools for hydrological application* 34, 596–605. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2008.09.004>(accessed 9.17.22)
- Smith, D.I., Hutchinson, M.F., McArthur, R.J., 1992. Climatic and agricultural drought. Australian National University, Centre for Resource and Environmental Studies. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do>(12.9.2022)
- Simard, A.J., Haines, D.A., Main, W.A., 1985. Relations between El Nino/Southern Oscillation anomalies and wildland fire activity in the United States. *Agricultural and Forest Meteorology* 36, 93–104. [https://doi.org/10.1016/0168-1923\(85\)90001-2](https://doi.org/10.1016/0168-1923(85)90001-2)(accessed 7.14.22).
- SID.ir | Development Of Surface Water Supply Index (Sswsi) To Assess The Severity Of Drought Condition In Snowpack Runoff Areas [WWW Document], n.d. URL <https://www.sid.ir/en/Journal/ViewPaper.aspx?ID=313951> (accessed 9.11.22).
- UW Press - : Climates of Hunger: Mankind and the World's Changing Weather, Reid A. Bryson and Thomas J. Murray, n.d. <https://uwpress.wisc.edu/books/0534.htm>(accessed 7.14.22).
- Whipple, W., 1966. Regional Drought Frequency Analysis. *Journal of the Irrigation and Drainage Division* 92, 11–32. <https://doi.org/10.1061/JRCEA4.0000419>(accessed 7.9.22).
- Wilhite, D.A., Glantz, M.H., 1985. Understanding: the Drought Phenomenon: The Role of Definitions. *Water International* 10, 111–120. <https://www.tandfonline.com/doi/pdf>(accessed 7.9.22).
- A Review of Twentieth-Century Drought Indices Used in the United States in: *Bulletin of the*

Severity-duration-frequency analysis of droughts and wet periods in Greece: Hydrological Sciences Journal: Vol 45, No 5 [WWW Document], n.d. URL <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02626660009492375> (accessed 9.11.22).

### Ελληνική Βιβλιογραφία

- Αναγνωστοπούλου, Χ., 2003. Συμβολή στη μελέτη της ξηρασίας στον ελληνικό χώρο (Διδακτορική Διατριβή). Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης (ΑΠΘ). Σχολή Θετικών Επιστημών. Τμήμα Γεωλογίας. Τομέας Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας. <https://www.didaktorika.gr/eadd/handle/10442/14956> (accessed 9.11.22).
- Ζαραγκότας, Χ., 2005. Πιθανοθεωρητική χρονική και χωρική ανάλυση ξηρασίας και διερεύνηση της σχέσης μετεωρολογικής και υδρολογικής ξηρασίας στη Θεσσαλία (Bachelor's thesis). <https://www.igi-global.com/article/hydrological-drought>
- Καλλιβωκά, Μ.Γ., Kallivoka, M.G., 2011. Χωροχρονική εξέλιξη των καταναλώσεων του νερού της Αθήνας. Evolution of the water supply necessities within the area of Athens. <https://doi.org/10.26240/heal.ntua.1473>(accessed 9.11.22).
- Καραμπουρνιώτης, Κ.Ν., Karampourniotis, K.N., 2012. Επισκόπηση δεικτών ξηρασίας: Εφαρμογή του δείκτη Palmer στον Ελληνικό χώρο. Drought indices review: Implementation of the Palmer drought severity index in Greece. <https://doi.org/10.26240/heal.ntua.4926>(accessed 9.11.22).
- Μαχαίρας Π. (1992). «Αίτια και μετεωρολογικά χαρακτηριστικά της ξηρασίας στον ελληνικό χώρο». Πρακτικά Συμποσίου «Λειψυδρία και Πλημμύρες». Γεωτεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας. <http://geolib.geo.auth.gr/index.php/pgc/article/viewFile/9029/8782> (accessed 7.10.22).
- Μπαλούτσος Γ., Μπουρλέτσικας Α. και Γκούμα Β., 2006. Η Ξηρασία ένα ακραίο κλιματικό φαινόμενο με ιδιαιτερότητες στη διαχείριση του Ινστιτούτο μεσογειακών Δασικών οικοσυστημάτων & Τεχνολογίας Δασικών προϊόντων <http://geolib.geo.auth.gr/index.php/grelit/article/view/12126>(accessed 8.24.22).

### Ιστότοποι

1. <https://www.environmentalscience.org/drought-issues-facing-united-states> (Τελευταία επίσκεψη: 14/06/2022)
2. <https://www.thessaliatv.gr/news/119397/k-gkoumas-xamila-i-> (Τελευταία επίσκεψη: 11/07/2022)
3. <https://earth.google.com/web/@35.94893247,24.63295938,-345.85506759a,1032668.10920566d,35.00001633y,0.00002865h,0t,0r> (Τελευταία επίσκεψη: 11/07/2022)