



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ
ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΓΓΕΙΟΒΕΛΤΙΩΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΚΑΙ
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

Διπλωματική Εργασία: Εκτίμηση και Ανάλυση της Ξηρασίας στην Πελοπόννησο



ΣΑΪΤΑ ΚΑΛΛΙΟΠΗ

Επιβλέπων: Τσακίρης Γ.,
Καθηγητής Τομέα Έργων
Υποδομής & Αγροτικής
Ανάπτυξης

Αθήνα, Οκτώβριος 2016

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Εγγειοβελτιωτικών Έργων και Διαχείρισης Υδατικών Πόρων του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, με αντικείμενο την ανάλυση και την εκτίμηση του φαινομένου της ξηρασίας στην περιοχή της Πελοποννήσου.

Αρχικά, θέλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή της εργασίας μου κ. Γεώργιο Τσακίρη, Καθηγητή του Τομέα Έργων Υποδομής & Αγροτικής Ανάπτυξης της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του ΕΜΠ, για την συμβολή του στην ολοκλήρωση της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας, με την προσφορά των γνώσεων του πάνω στο φαινόμενο της ξηρασίας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω κυρίως τον κ. Χάρη Βαγγέλη, μέλος του Εργαστηρίου Εγγειοβελτιωτικών Έργων και Διαχείρισης Υδατικών Πόρων του ΕΜΠ, για την πολύτιμη βοήθεια που μου παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια της διπλωματικής εργασίας.

Την κυρία Ινώ Παπαγεωργάκη, Υποψήφια Διδάκτορα, και τον κ. Θωμά Χατζηχρήστο, μέλος του εργαστηρίου Γεωγραφίας και Ανάλυσης Χώρου, για την μεγάλη βοήθεια που μου παρείχαν, στην αποτελεσματικότερη χρήση του προγράμματος ArcGIS®.

Τον κύριο Δημήτρη Τίγκα, Διδάκτορα και μέλος του Εργαστηρίου Εγγειοβελτιωτικών Έργων και Διαχείρισης Υδατικών Πόρων του ΕΜΠ, για την βοήθεια του στην χρήση του προγράμματος DrinC®.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την Αναστασία, τον Στάθη και τους γονείς μου για τη στήριξη τους κατά τη διάρκεια της διεξαγωγής της διπλωματικής εργασίας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ξηρασία είναι ένα φυσικό φαινόμενο που είναι δύσκολο να ανιχνευθεί και να παρακολουθηθεί. Σύμφωνα με το Emergency Events Database, παρατηρείται ότι σε ολόκληρο τον κόσμο, οι ξηρασίες αντιπροσωπεύουν το 5% των φυσικών καταστροφών, όμως οι απώλειες που προέρχονται από την ξηρασία έχουν προκαλέσει έως και το 30% των απωλειών που έχουν προκληθεί από όλες τις καταστροφές, κατατάσσοντας την ξηρασία πρώτη μεταξύ όλων των φυσικών κινδύνων (He et al., 2011).

Η διπλωματική εργασία εξετάζει το φαινόμενο της ξηρασίας στην Πελοπόννησο, μέσα από την εφαρμογή μεθόδων προσδιορισμού της.

Αρχικά, γίνεται βιβλιογραφική ανασκόπηση της έννοιας του φαινομένου, των χαρακτηριστικών του και των επιπτώσεων του. Διερευνώνται μέθοδοι προσδιορισμού της ξηρασίας, με τη χρήση δεικτών, και εφαρμόζονται κάποιοι επιλεγμένοι δείκτες στη περιοχή ανάλυσης.

Για τον υπολογισμό των δεικτών, συλλέχθηκαν μετεωρολογικά δεδομένα από επιλεγμένους σταθμούς της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (ΕΜΥ) και του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (ΥΠΕΚΑ), που βρίσκονται στην Πελοπόννησο.

Για την εκτίμηση και ανάλυση της ξηρασίας στην Πελοπόννησο, επιλέγονται οι δείκτες Standardised Precipitation Index (SPI), Reconnaissance Drought Index (RDI) και Deciles, για διάφορες χρονικές κλίμακες (ετήσια, τρίμηνη, εξάμηνη και εννεάμηνη βάση), για τον υπολογισμό των οποίων είναι απαραίτητα μόνο μετεωρολογικά δεδομένα βροχόπτωσης και θερμοκρασίας. Ο υπολογισμός του δείκτη RDI απαιτεί και δεδομένα εξατμισοδιαπνοής εκτός της βροχόπτωσης, σε αντίθεση με τους υπόλοιπους δείκτες. Για το λόγο αυτό, από τις χρονοσειρές θερμοκρασίας υπολογίζεται η δυνητική εξατμισοδιαπνοή με τρεις μεθόδους (Hargreaves, Thornthwaite και Blaney-Criddle), οι οποίες συγκρίνονται και μεταξύ τους.

Για τη διευκόλυνση εξαγωγής συμπερασμάτων, παρουσιάζονται οι τιμές των δεικτών και με την μορφή κατάλληλων διαγραμμάτων.

Ακολουθεί ο εντοπισμός της τάσης της ξηρασίας και η εφαρμογή διάφορων μεθόδων ελέγχου της σημαντικότητας της. Ειδικότερα, το δεύτερο επιτυγχάνεται με την χρήση μη παραμετρικών ελέγχων όπως το Mann-Kendall, Spearman, P-value, Sen's slope και με τους συντελεστές Nash-Sutcliffe efficiency και Pearson's r. Κατόπιν, συγκρίνονται τα αποτελέσματα των ελέγχων και εντοπίζονται και αναλύονται οι διαφορές μεταξύ τους.

Τέλος, εξάγονται συμπεράσματα από την εφαρμογή των παραπάνω μεθόδων για την διαπίστωση της ύπαρξης ή μη ξηρασίας στην Πελοπόννησο καθώς και της τάσης αυτής.

Abstract

Drought is a natural phenomenon, which is difficult to detect and monitor. According to Emergency Event Database, up to 30% of the losses caused by natural disasters, are related to drought incidents, even though those events represent only 5% of natural disasters worldwide. In conclusion to the above, drought is listed first among all the natural hazards (He et al., 2011).

This diploma thesis examines drought in the Peloponnese, the major part of southern Greece, using different methods to determine the presence and the trend of drought occurrence.

At first, a literature review of the concept of this phenomenon, its characteristics and impacts is presented. Various methods of determining drought, in the form of indices, are taken into consideration.

In order to calculate these indices, meteorological data were provided by the Hellenic National Meteorological Service and by the Hellenic Ministry for Environment, Energy and Climate Change. These data correspond to stations in different places of the Study area.

For the estimation and analysis of presence of drought in Peloponnese, Standardised Precipitation Index (SPI), Reconnaissance Drought Index (RDI) and Deciles are calculated, for four different timescales (three-, six-, nine months and annually). All above indices require only meteorological data with the exception of RDI which requires not only rainfall, but additionally evapotranspiration data. For that reason, the potential evapotranspiration has also been calculated, through the temperature time series, using three methods (Hargreaves, Thornthwaite and Blaney-Criddle). The results of these methods have been analyzed, compared and evaluated.

In order to facilitate extraction of conclusions, the values of the indices have also been visualized by using charts and appropriate boxplots.

Consequently, a trend is detected and analyzed and methods are used to determine its significance. These methods are the non-parametrical tests of Mann-Kendall, Spearman, P-Value, Sen's slope and the coefficients Nash-Sutcliffe efficiency and Pearson's r. Then, all test results are compared and the differences between them are evaluated.

Finally, conclusions are drawn for the presence and trend occurrence of drought in the Peloponnese which result from the use of all methods aforementioned.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	II
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	IV
Abstract.....	V
ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	VIII
ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	XIV
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	XVI
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	- 1 -
1.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	- 1 -
1.2. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ	- 2 -
1.3. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ	- 5 -
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	- 6 -
2.1. ΟΡΙΣΜΟΙ ΤΗΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ.....	- 6 -
2.2. ΤΥΠΟΙ ΞΗΡΑΣΙΑΣ.....	- 7 -
2.3. ΔΕΙΚΤΕΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ.....	- 8 -
2.3.1. Standardised Precipitation Index (SPI).....	- 11 -
2.3.2. Reconnaissance Drought Index (RDI).....	- 13 -
2.3.2.1. Δυνητική Εξατμισοδιαπνοή.....	- 14 -
2.3.2.1.1. Thornthwaite.....	- 14 -
2.3.2.1.2. Hargreaves	- 15 -
2.3.2.1.3. Blaney-Criddle	- 16 -
2.3.3. Percent of Normal Precipitation (Ποσοστό Κανονικής βροχόπτωσης).....	- 18 -
2.3.4. DECILES (Δέκατα της βροχόπτωσης).....	- 18 -
2.3.5. Palmer Drought Severity Index (PDSI)	- 20 -
2.3.6. Δείκτης Υδρολογικής ξηρασίας SDI.....	- 21 -
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	- 23 -
3.1. ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΑΣΗΣ	- 23 -
3.1.1. Έλεγχος Τάσης Mann - Kendall	- 23 -
3.1.1.1. P-value	- 25 -
3.1.1.2. Sen’s slope.....	- 26 -
3.1.2. Έλεγχος Τάσης Spearman.....	- 27 -
3.1.3. Nash–Sutcliffe model efficiency coefficient	- 28 -

3.1.4. Συντελεστής συσχέτισης Pearson's (r)	- 28 -
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	- 30 -
4.1. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ.....	- 30 -
4.2. ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	- 32 -
4.3. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	- 36 -
4.3.1. Υπολογισμός συντελεστή γραμμικής συσχέτισης.....	- 36 -
4.3.2. Έλεγχος Ομογένειας	- 36 -
4.3.3. Συμπλήρωση Βροχομετρικών δεδομένων.....	- 38 -
4.3.4. Προσδιορισμός μηνιαίων επιφανειακών υψών βροχής με τη μέθοδο Thiessen -	38 -
4.3.5. Υπολογισμός Βροχοβαθμίδας και Θερμοβαθμίδας.....	- 39 -
4.3.6. Υψομετρική Αναγωγή των επιφανειακών υψών βροχής στο μέσο υψόμετρο της κάθε λεκάνης.....	- 40 -
4.3.6.1. Υπολογισμός Μέσων Υψομέτρων των Λεκανών Απορροής με τη Χρήση Ψηφιακού Υψομετρικού Μοντέλου	- 40 -
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	- 45 -
5.1. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΕΙΚΤΩΝ	- 45 -
5.2. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΕΛΕΓΧΟΥ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΤΑΣΕΩΝ ΞΗΡΑΣΙΑΣ	- 62 -
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6	- 67 -
6.1. ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ -ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	- 67 -
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	- 70 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	- 74 -

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1: Ομογένεια στους σταθμούς 882-893.....	37 -
Σχήμα 2: Ομογένεια στους σταθμούς 588-595.....	37 -
Σχήμα 3: Διάγραμμα του δείκτη RDI (40 ετών), υπολογισμένος με τις τρεις μεθόδους εξατμισοδιαπνοής, της λεκάνης GR27	47 -
Σχήμα 4: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 25 ετών για ετήσια χρονική κλίμακα της λεκάνης GR27	47 -
Σχήμα 5: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 40 ετών για ετήσια χρονική κλίμακα της λεκάνης GR27	48 -
Σχήμα 6: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 25 ετών για ετήσια χρονική κλίμακα της λεκάνης GR28	48 -
Σχήμα 7: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 40 ετών για ετήσια χρονική κλίμακα της λεκάνης GR28	49 -
Σχήμα 8: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 25 ετών για ετήσια χρονική κλίμακα της λεκάνης GR29	49 -
Σχήμα 9: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 40 ετών για ετήσια χρονική κλίμακα της λεκάνης GR29	50 -
Σχήμα 10: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 25 ετών για ετήσια χρονική κλίμακα της λεκάνης GR30 ...	50 -
Σχήμα 11: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 40 ετών για ετήσια χρονική κλίμακα της λεκάνης GR30 ...	51 -
Σχήμα 12: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 25 ετών για ετήσια χρονική κλίμακα της λεκάνης GR31 ...	51 -
Σχήμα 13: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 40 ετών για ετήσια χρονική κλίμακα της λεκάνης GR31 ...	52 -
Σχήμα 14: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 25 ετών για ετήσια χρονική κλίμακα της λεκάνης GR32 ...	52 -
Σχήμα 15: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 40 ετών για ετήσια χρονική κλίμακα της λεκάνης GR32 ...	53 -
Σχήμα 16: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 25 ετών για ετήσια χρονική κλίμακα της λεκάνης GR33 ...	53 -
Σχήμα 17: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 40 ετών για ετήσια χρονική κλίμακα της λεκάνης GR33 ...	54 -
Σχήμα 18: Σύνολο των ετών κάθε κατηγορίας ξηρασίας των δεικτών RDI και SPI 40 ετών, για την λεκάνη GR27	54 -
Σχήμα 19: Σύνολο των ετών κάθε κατηγορίας ξηρασίας των δεικτών RDI και SPI 40 ετών, για την λεκάνη GR28	55 -
Σχήμα 20: Σύνολο των ετών κάθε κατηγορίας ξηρασίας των δεικτών RDI και SPI 40 ετών, για την λεκάνη GR29	55 -
Σχήμα 21: Σύνολο των ετών κάθε κατηγορίας ξηρασίας των δεικτών RDI και SPI 40 ετών, για την λεκάνη GR32	55 -
Σχήμα 22: Σύνολο των ετών κάθε κατηγορίας ξηρασίας των δεικτών RDI και SPI 40 ετών, για την λεκάνη GR30	56 -
Σχήμα 23: Σύνολο των ετών κάθε κατηγορίας ξηρασίας των δεικτών RDI και SPI 40 ετών, για την λεκάνη GR31	56 -
Σχήμα 24: Σύνολο των ετών κάθε κατηγορίας ξηρασίας των δεικτών RDI και SPI 40 ετών, για την λεκάνη GR33	56 -
Σχήμα 25: Box-and-Whisker Plots του RDI των 40 ετών για κάθε λεκάνη, σε ετήσια βάση	57 -
Σχήμα 26: Box-and-Whisker Plots του RDI των 40 ετών για κάθε λεκάνη, σε εξάμηνη βάση....	58 -
Σχήμα 27: Box-and-Whisker Plots του RDI των 40 ετών για τις λεκάνες GR27, GR28, GR29, GR30, σε τρίμηνη βάση	59 -
Σχήμα 28: Box-and-Whisker Plots του RDI των 40 ετών για τις λεκάνες GR31, GR32, GR33, σε τρίμηνη βάση.....	59 -

Σχήμα 29: Box-and-Whisker Plots του RDI των 40 ετών για κάθε λεκάνη, σε εννεάμηνη βάση	60 -
Σχήμα 30: Διάγραμμα του δείκτη RDI (40 ετών), υπολογισμένος με τις τρεις μεθόδους εξατμισοδιαπνοής, της λεκάνης GR27	74 -
Σχήμα 31: Διάγραμμα του δείκτη RDI (40 ετών), υπολογισμένος με τις τρεις μεθόδους εξατμισοδιαπνοής, της λεκάνης GR28	74 -
Σχήμα 32: Διάγραμμα του δείκτη RDI (40 ετών), υπολογισμένος με τις τρεις μεθόδους εξατμισοδιαπνοής, της λεκάνης GR29	75 -
Σχήμα 33: Διάγραμμα του δείκτη RDI (40 ετών), υπολογισμένος με τις τρεις μεθόδους εξατμισοδιαπνοής, της λεκάνης GR30	75 -
Σχήμα 34: Διάγραμμα του δείκτη RDI (40 ετών), υπολογισμένος με τις τρεις μεθόδους εξατμισοδιαπνοής, της λεκάνης GR31	76 -
Σχήμα 35: Διάγραμμα του δείκτη RDI (40 ετών), υπολογισμένος με τις τρεις μεθόδους εξατμισοδιαπνοής, της λεκάνης GR32	76 -
Σχήμα 36: Διάγραμμα του δείκτη RDI (40 ετών), υπολογισμένος με τις τρεις μεθόδους εξατμισοδιαπνοής, της λεκάνης GR33	77 -
Σχήμα 37: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 40 ετών για το 1ο εξάμηνο της λεκάνης GR27	77 -
Σχήμα 38: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 40 ετών για το 2ο εξάμηνο της λεκάνης GR27	78 -
Σχήμα 39: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 25 ετών για το 1ο εξάμηνο της λεκάνης GR27	78 -
Σχήμα 40: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 25 ετών για το 2ο εξάμηνο της λεκάνης GR27	79 -
Σχήμα 41: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 40 ετών για το 1ο εξάμηνο της λεκάνης GR28	79 -
Σχήμα 42: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 40 ετών για το 2ο εξάμηνο της λεκάνης GR28	80 -
Σχήμα 43: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 25 ετών για το 1ο εξάμηνο της λεκάνης GR28	80 -
Σχήμα 44: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 25ετών για το 2ο εξάμηνο της λεκάνης GR28	81 -
Σχήμα 45: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 40 ετών για το 1ο εξάμηνο της λεκάνης GR29	81 -
Σχήμα 46: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 40 ετών για το 2ο εξάμηνο της λεκάνης GR29	82 -
Σχήμα 47: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 25 ετών για το 1ο εξάμηνο της λεκάνης GR29	82 -
Σχήμα 48: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 25 ετών για το 2ο εξάμηνο της λεκάνης GR29	83 -
Σχήμα 49: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 40 ετών για το 1ο εξάμηνο της λεκάνης GR30	83 -
Σχήμα 50: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 40 ετών για το 2ο εξάμηνο της λεκάνης GR30	84 -
Σχήμα 51: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 25 ετών για το 1ο εξάμηνο της λεκάνης GR30	84 -
Σχήμα 52: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 25 ετών για το 2ο εξάμηνο της λεκάνης GR30	85 -
Σχήμα 53: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 40 ετών για το 1ο εξάμηνο της λεκάνης GR31	85 -
Σχήμα 54: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 40 ετών για το 2ο εξάμηνο της λεκάνης GR31	86 -
Σχήμα 55: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 25 ετών για το 1ο εξάμηνο της λεκάνης GR31	86 -
Σχήμα 56: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 25 ετών για το 2ο εξάμηνο της λεκάνης GR31	87 -
Σχήμα 57: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 40 ετών για το 1ο εξάμηνο της λεκάνης GR32	87 -
Σχήμα 58: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 40 ετών για το 2ο εξάμηνο της λεκάνης GR32	88 -
Σχήμα 59: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 25 ετών για το 1ο εξάμηνο της λεκάνης GR32	88 -
Σχήμα 60: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 25 ετών για το 2ο εξάμηνο της λεκάνης GR32	88 -
Σχήμα 61: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 40 ετών για το 1ο εξάμηνο της λεκάνης GR33	89 -
Σχήμα 62: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 40 ετών για το 2ο εξάμηνο της λεκάνης GR33	89 -
Σχήμα 63: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 25 ετών για το 2ο εξάμηνο της λεκάνης GR33	90 -
Σχήμα 64: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 25 ετών για το 2ο εξάμηνο της λεκάνης GR33	90 -
Σχήμα 65: Σύνολο των ετών κάθε κατηγορίας ξηρασίας των δεικτών RDI και SPI 40 ετών, για το 1ο εξάμηνο της λεκάνης GR27.....	91 -

Σχήμα 149: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 40 ετών για το εννεάμηνο της λεκάνης GR27	- 126 -
Σχήμα 150: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 40 ετών για το εννεάμηνο της λεκάνης GR28	- 127 -
Σχήμα 151: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 40 ετών για το εννεάμηνο της λεκάνης GR29	- 127 -
Σχήμα 152: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 40 ετών για το εννεάμηνο της λεκάνης GR30	- 128 -
Σχήμα 153: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 40 ετών για το εννεάμηνο της λεκάνης GR31	- 128 -
Σχήμα 154: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 40 ετών για το εννεάμηνο της λεκάνης GR32	- 129 -
Σχήμα 155: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 40 ετών για το εννεάμηνο της λεκάνης GR33	- 129 -
Σχήμα 156: Σύνολο των ετών κάθε κατηγορίας ξηρασίας των δεικτών RDI και SPI 40 ετών, για το εννεάμηνο της λεκάνης GR27	- 130 -
Σχήμα 157: Σύνολο των ετών κάθε κατηγορίας ξηρασίας των δεικτών RDI και SPI 40 ετών, για το εννεάμηνο της λεκάνης GR28.....	- 130 -
Σχήμα 158: Σύνολο των ετών κάθε κατηγορίας ξηρασίας των δεικτών RDI και SPI 40 ετών, για το εννεάμηνο της λεκάνης GR29.....	- 131 -
Σχήμα 159: Σύνολο των ετών κάθε κατηγορίας ξηρασίας των δεικτών RDI και SPI 40 ετών, για το εννεάμηνο της λεκάνης GR32.....	- 131 -
Σχήμα 160: Σύνολο των ετών κάθε κατηγορίας ξηρασίας των δεικτών RDI και SPI 40 ετών, για το εννεάμηνο της λεκάνης GR30.....	- 132 -
Σχήμα 161: Σύνολο των ετών κάθε κατηγορίας ξηρασίας των δεικτών RDI και SPI 40 ετών, για το εννεάμηνο της λεκάνης GR31.....	- 132 -
Σχήμα 162: Σύνολο των ετών κάθε κατηγορίας ξηρασίας των δεικτών RDI και SPI 40 ετών, για το εννεάμηνο της λεκάνης GR33.....	- 132 -

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Παράδειγμα έμμεσων και άμεσων κοινωνικών, οικονομικών και περιβαλλοντικών επιπτώσεων της ξηρασίας, πηγή: Jenkins (2011).....	- 5 -
Εικόνα 2: Μηνιαίες Μέσες Αναλογίες Πραγματικής Εξατμισοδιαπνοής προς υπολογισμένης με διάφορες μεθόδους Εξατμισοδιαπνοής και την τυπική απόκλιση των αναλογιών, πηγή: Hargreaves and Samani (1985).....	- 16 -
Εικόνα 3: Τιμές του p για κάθε μήνα, για γεωγραφικό πλάτος από 24 έως 50 μοίρες βόρεια, Πηγή: Blaney and Criddle (1964).....	- 17 -
Εικόνα 4: Ποσοστό Κανονικής Βροχόπτωσης ετήσιας και τρίμηνης περιόδου, πηγή: Noaa	- 18 -
Εικόνα 5: Οι σταθμοί της Πελοποννήσου πριν την επιλογή	- 33 -
Εικόνα 6: Οι επιλεγμένοι σταθμοί της Πελοποννήσου για τα δεδομένα βροχόπτωσης.....	- 34 -
Εικόνα 7: Οι σταθμοί που επιλέχθηκαν για την λήψη των χρονοσειρών θερμοκρασίας	- 35 -
Εικόνα 8: Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους για εξαγωγή Μέσων Υψομέτρων	- 41 -
Εικόνα 9: Πολύγωνα Thiessen και βάρη για κάθε σταθμό	- 43 -
Εικόνα 10: Θεματικός χάρτης απόδοσης κατηγοριών ξηρασίας/υγρασίας, του έτους 89-90 ...	- 61 -
Εικόνα 11: Θεματικός χάρτης απόδοσης κατηγοριών ξηρασίας/υγρασίας του έτους 68-69 ..	- 133 -
Εικόνα 12: Θεματικός χάρτης απόδοσης κατηγοριών ξηρασίας/υγρασίας, του έτους 69-70 ..	- 133 -
Εικόνα 13: Θεματικός χάρτης απόδοσης κατηγοριών ξηρασίας/υγρασίας, του έτους 70-71 ..	- 134 -
Εικόνα 14: Θεματικός χάρτης απόδοσης κατηγοριών ξηρασίας/υγρασίας, του έτους 71-72 ..	- 134 -
Εικόνα 15: Θεματικός χάρτης απόδοσης κατηγοριών ξηρασίας/υγρασίας, του έτους 72-73 ..	- 135 -
Εικόνα 16: Θεματικός χάρτης απόδοσης κατηγοριών ξηρασίας/υγρασίας, του έτους 73-74 ..	- 135 -
Εικόνα 17: Θεματικός χάρτης απόδοσης κατηγοριών ξηρασίας/υγρασίας, του έτους 74-75 ..	- 136 -
Εικόνα 18: Θεματικός χάρτης απόδοσης κατηγοριών ξηρασίας/υγρασίας, του έτους 75-76 ..	- 136 -
Εικόνα 19: Θεματικός χάρτης απόδοσης κατηγοριών ξηρασίας/υγρασίας, του έτους 76-77 ..	- 137 -
Εικόνα 20: Θεματικός χάρτης απόδοσης κατηγοριών ξηρασίας/υγρασίας, του έτους 77-78 ..	- 137 -
Εικόνα 21: Θεματικός χάρτης απόδοσης κατηγοριών ξηρασίας/υγρασίας, του έτους 78-79 ..	- 138 -
Εικόνα 22: Θεματικός χάρτης απόδοσης κατηγοριών ξηρασίας/υγρασίας, του έτους 79-80 ..	- 138 -
Εικόνα 23: Θεματικός χάρτης απόδοσης κατηγοριών ξηρασίας/υγρασίας, του έτους 80-81 ..	- 139 -
Εικόνα 24: Θεματικός χάρτης απόδοσης κατηγοριών ξηρασίας/υγρασίας, του έτους 81-82 ..	- 139 -
Εικόνα 25: Θεματικός χάρτης απόδοσης κατηγοριών ξηρασίας/υγρασίας, του έτους 82-83 ..	- 140 -
Εικόνα 26: Θεματικός χάρτης απόδοσης κατηγοριών ξηρασίας/υγρασίας, του έτους 83-84 ..	- 140 -
Εικόνα 27: Θεματικός χάρτης απόδοσης κατηγοριών ξηρασίας/υγρασίας, του έτους 84-85 ..	- 141 -
Εικόνα 28: Θεματικός χάρτης απόδοσης κατηγοριών ξηρασίας/υγρασίας, του έτους 85-86 ..	- 141 -
Εικόνα 29: Θεματικός χάρτης απόδοσης κατηγοριών ξηρασίας/υγρασίας, του έτους 86-87 ..	- 142 -
Εικόνα 30: Θεματικός χάρτης απόδοσης κατηγοριών ξηρασίας/υγρασίας, του έτους 87-88 ..	- 142 -
Εικόνα 31: Θεματικός χάρτης απόδοσης κατηγοριών ξηρασίας/υγρασίας, του έτους 88-89 ..	- 143 -
Εικόνα 32: Θεματικός χάρτης απόδοσης κατηγοριών ξηρασίας/υγρασίας, του έτους 89-90 ..	- 143 -
Εικόνα 33: Θεματικός χάρτης απόδοσης κατηγοριών ξηρασίας/υγρασίας, του έτους 90-91 ..	- 144 -
Εικόνα 34: Θεματικός χάρτης απόδοσης κατηγοριών ξηρασίας/υγρασίας, του έτους 91-92 ..	- 144 -
Εικόνα 35: Θεματικός χάρτης απόδοσης κατηγοριών ξηρασίας/υγρασίας, του έτους 92-93 ..	- 145 -
Εικόνα 36: Θεματικός χάρτης απόδοσης κατηγοριών ξηρασίας/υγρασίας, του έτους 93-94 ..	- 145 -

- Εικόνα 37: Θεματικός χάρτης απόδοσης κατηγοριών ξηρασίας/υγρασίας, του έτους 94-95 .- 146 -
Εικόνα 38: Θεματικός χάρτης απόδοσης κατηγοριών ξηρασίας/υγρασίας, του έτους 95-96 .- 146 -
Εικόνα 39: Θεματικός χάρτης απόδοσης κατηγοριών ξηρασίας/υγρασίας, του έτους 96-97 .- 147 -
Εικόνα 40: Θεματικός χάρτης απόδοσης κατηγοριών ξηρασίας/υγρασίας, του έτους 97-98 .- 147 -
Εικόνα 41: Θεματικός χάρτης απόδοσης κατηγοριών ξηρασίας/υγρασίας, του έτους 98-99 .- 148 -
Εικόνα 42: Θεματικός χάρτης απόδοσης κατηγοριών ξηρασίας/υγρασίας, του έτους 99-00 .- 148 -
Εικόνα 43: Θεματικός χάρτης απόδοσης κατηγοριών ξηρασίας/υγρασίας, του έτους 00-01 .- 149 -
Εικόνα 44: Θεματικός χάρτης απόδοσης κατηγοριών ξηρασίας/υγρασίας, του έτους 01-02 .- 149 -
Εικόνα 45: Θεματικός χάρτης απόδοσης κατηγοριών ξηρασίας/υγρασίας, του έτους 02-03 .- 150 -
Εικόνα 46: Θεματικός χάρτης απόδοσης κατηγοριών ξηρασίας/υγρασίας, του έτους 03-04 .- 150 -
Εικόνα 47: Θεματικός χάρτης απόδοσης κατηγοριών ξηρασίας/υγρασίας, του έτους 04-05 .- 151 -
Εικόνα 48: Θεματικός χάρτης απόδοσης κατηγοριών ξηρασίας/υγρασίας, του έτους 05-06 .- 151 -
Εικόνα 49: Θεματικός χάρτης απόδοσης κατηγοριών ξηρασίας/υγρασίας, του έτους 06-07 .- 152 -
Εικόνα 50: Θεματικός χάρτης απόδοσης κατηγοριών ξηρασίας/υγρασίας, του έτους 07-08 .- 152 -

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Δείκτες Ξηρασίας	- 9 -
Πίνακας 2: Πιθανότητες εμφάνισης για διαφορετικές κατηγορίες ξηρασίας, πηγή: C.T. Agnew (2000).....	- 12 -
Πίνακας 3: Κλίμακα ταξινόμησης για τις τιμές του SPI, πηγή: Hayes et al. (1999).....	- 12 -
Πίνακας 4: Κατηγοριοποίηση των τιμών του RDI, πηγή: Βαγγέλης (2012)	- 17 -
Πίνακας 5: Κατηγοριοποίηση των τιμών Deciles με βάση το επίπεδο ξηρασίας	- 19 -
Πίνακας 6: Ταξινόμηση τιμών του PDSI με βάση τις κατηγορίες υγρασίας και ξηρασίας , πηγή: Palmer (1965)	- 21 -
Πίνακας 7: Καταστάσεις υδρολογικής ξηρασίας σύμφωνα με τον SDI, πηγή: Βαγγέλης (2012) ..	- 22 -
Πίνακας 8: Μέσα Υψόμετρα Λεκανών Απορροής.....	- 41 -
Πίνακας 9: Υπολογισμένα μεγέθη για την αναγωγή στο μέσο υψόμετρο της κάθε λεκάνης	- 42 -
Πίνακας 10: Μέγιστες μηνιαίες αποκλίσεις μεταξύ της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής κάθε μεθόδου.....	- 46 -
Πίνακας 11: Τιμές των δεικτών για τις διάφορες κατηγορίες ξηρασίας	- 46 -
Πίνακας 12: Αποτελέσματα των ελέγχων MK, για ετήσια χρονική κλίμακα	- 62 -
Πίνακας 13: Αποτελέσματα των ελέγχων SP, για ετήσια χρονική κλίμακα.....	- 62 -
Πίνακας 14: Σύγκριση συντελεστών Nash-Sutcliffe με Pearson's r, για τη συσχέτιση του δείκτη RDI με τον SPI (40 ετών), με ετήσια χρονική κλίμακα	- 62 -
Πίνακας 15: Αποτελέσματα των ελέγχων MK για το πρώτο 3-μηνο	- 63 -
Πίνακας 16: Αποτελέσματα των ελέγχων SP για το πρώτο 3-μηνο	- 63 -
Πίνακας 17: Αποτελέσματα των ελέγχων MK για το πρώτο 6-μηνο	- 63 -
Πίνακας 18: Αποτελέσματα των ελέγχων SP για το πρώτο 6-μηνο	- 64 -
Πίνακας 19: Αποτελέσματα των ελέγχων MK για το πρώτο 9-μηνο	- 64 -
Πίνακας 20: Αποτελέσματα των ελέγχων SP για το πρώτο 9-μηνο	- 64 -
Πίνακας 21: Αριθμός συνεχόμενων χρόνων που υπάρχει ξηρασία	- 65 -
Πίνακας 22: Τα αποτελέσματα της μεθόδου Deciles	- 66 -

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ξηρασία είναι ένα φαινόμενο στο οποίο, ενώ οι επιπτώσεις του επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό το περιβάλλον και κατ' επέκταση τις ανθρώπινες δραστηριότητες, δεν είναι άμεσα αντιληπτές, σε αντίθεση με άλλα φαινόμενα όπως οι πλημμύρες. Η σοβαρότητα του φαινομένου παρατηρείται λόγω των υψηλών οικονομικών απωλειών και της διάρκειας του αντίκτυπου στην κοινωνία, ακόμα και μετά το τέλος του. Για αυτό το λόγο η ξηρασία είναι απαραίτητο να παρακολουθείται ώστε να περιοριστούν οι απώλειες.

Σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι η ανάλυση δεδομένων για την ύπαρξη ή μη ξηρασίας στην περιοχή της Πελοποννήσου. Η διπλωματική ξεκινάει στο πρώτο κεφάλαιο με μια ιστορική αναδρομή των σοβαρότερων ξηρασιών των παλαιότερων χρόνων και συνεχίζει με την αναφορά των επιπτώσεων της, στα διάφορα πεδία (πχ. κοινωνικό, περιβαλλοντικό).

Στο κεφάλαιο 2, διατυπώνονται διάφοροι ορισμοί του φαινομένου, καθώς οι απόψεις για την έννοια του ποικίλουν ανάλογα με τον επιστημονικό κλάδο. Καθορίζονται οι κατηγορίες διάκρισης της ξηρασίας, σε μετεωρολογική, υδρολογική, γεωργική και κοινωνικο-οικονομική. Επιπλέον, παρουσιάζονται οι δείκτες και η χρησιμότητά τους. Γίνεται ανάλυση κάποιων γνωστών δεικτών, καθώς και αυτών που θα υπολογιστούν για την περιοχή μελέτης.

Στο κεφάλαιο 3 γίνεται υπολογισμός της τάσης και εφαρμόζονται ορισμένοι έλεγχοι για τον έλεγχο της σημαντικότητας των εν λόγω τάσεων. Οι έλεγχοι που χρησιμοποιούνται είναι τα Mann-Kendall και Spearman. Υπολογίζονται περαιτέρω οι συντελεστές Pearson's r και Nash-Sutcliffe, για τον έλεγχο συσχέτισης μεταξύ των δεικτών.

Στο κεφάλαιο 4 γίνεται μια ανάλυση της περιοχής μελέτης, ως προς τα γεωμορφολογικά της χαρακτηριστικά και τις υδρολογικές χωρικές ενότητες που μοιράζεται. Ειδικότερα, γίνεται επιμερισμός (χωρικά) της περιοχής μελέτης σε υδρολογικές λεκάνες, οι οποίες καθορίστηκαν από το ΥΠΕΚΑ.

Κατόπιν, αναφέρεται η μέθοδος απόκτησης των μετεωρολογικών δεδομένων (συγκεκριμένα της βροχόπτωσης και της θερμοκρασίας) και αναλύονται οι μέθοδοι επεξεργασίας τους για την εξαγωγή των κατάλληλων σε μορφή δεδομένων που θα χρησιμοποιηθούν στον υπολογισμό των δεικτών.

Τα μετεωρολογικά δεδομένα, λόγω της άμεσης απόκτησης τους από σταθμούς, δεν έχουν υποστεί κάποια επεξεργασία με αποτέλεσμα πολλές από τις χρονοσειρές να είναι ελλιπείς και να απαιτούν συμπλήρωση ή να πρέπει να αναχθούν στη επιφάνεια και το μέσο υψόμετρο της κάθε λεκάνης, καθώς τα δεδομένα χαρακτηρίζουν τον κάθε σταθμό (σημείο) και όχι ολόκληρη την περιοχή μελέτης (επιφάνεια).

Για την συμπλήρωση των χρονοσειρών είναι απαραίτητο να υπάρχει υψηλή γραμμική συσχέτιση μεταξύ τους και να είναι ομογενής. Στη συνέχεια, αφού τα δεδομένα επεξεργάστηκαν, γίνεται υπολογισμός των δεικτών με την χρήση του προγράμματος DrinC.

Στο κεφάλαιο 5 έχοντας διαθέσιμες χρονοσειρές βροχόπτωσης κοινού χρονικού διαστήματος 40 ετών και θερμοκρασίας κοινού χρονικού διαστήματος 25 ετών, υπολογίστηκαν μόνο μετεωρολογικοί δείκτες, δηλαδή ο RDI, ο SPI και τα Deciles. Όσον αφορά τον υπολογισμό του RDI, λόγω της χρήσης της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής στον δείκτη, από τα 25 έτη θερμοκρασίας υπολογίστηκε η δυνητική εξατμισοδιαπνοή με τρεις μεθόδους, την Hargreaves, την Thornthwaite και την Blaney-Criddle και συγκρίθηκαν τα αποτελέσματα (η εύρεση της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής έγινε με τη χρήση του προγράμματος DrinC, για λόγους ευκολίας).

Στη συνέχεια, αφού επιλέχθηκε ως μέθοδος η Hargreaves, έγινε συμπλήρωση των υπόλοιπων ετών της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής (μέχρι να συμπληρωθούν τα 40 έτη) με τη μέση μηνιαία τιμή. Κατόπιν, με τη χρήση του προγράμματος DrinC υπολογίστηκαν οι δείκτες RDI, SPI και Deciles, από τους οποίους ο RDI και ο SPI προέκυψαν για διάφορες χρονικές κλίμακες, συγκεκριμένα για περιόδους τριμήνου (3-month), εξαμήνου (6-month), εννεάμηνου (9-month) και ετήσιες (12-month), σε αντίθεση με το Deciles που έχει χρονική κλίμακα μόνο ετήσια.

Στη δεύτερη ενότητα του 5^{ου} κεφαλαίου, γίνεται εντοπισμός της τάσης και έλεγχος της σημαντικότητας της, με την χρήση τεστ Mann-Kendall και Spearman. Επίσης, υπολογίζονται οι τιμές του p-value και η κλίση της τάσης με το Sen's slope.

Επιπλέον, ελέγχθηκε αν οι δείκτες RDI και SPI είναι συσχετισμένοι με την βοήθεια των συντελεστών Pearson's r και Nash-Sutcliffe και έγινε σύγκριση των αποτελεσμάτων. Επίσης, για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχεδιάστηκαν διαγράμματα των δεικτών για κάθε υδρολογική λεκάνη, για τις διαφορετικές χρονικές κλίμακες.

Στο 6^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα και οι προτάσεις επί του θέματος και η διπλωματική ολοκληρώνεται με την βιβλιογραφία.

1.2. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Αφρική, Τροπική ζώνη (133.000-88.000 π.χ.)

Οι επιστήμονες το έτος 2007 προσδιόρισαν την ύπαρξη μιας σειράς ξηρασιών, στην περιοχή της υποσαχάριας Αφρικής, που διήρκεσαν από το 135.000 ως το 90.000 π.χ. περίπου. Τα αποτελέσματα προέκυψαν από την μελέτη ιζημάτων από τον πυθμένα της λίμνης Μαλάουι, μιας εκ' των βαθύτερων λιμνών στη Γη. Οι βροχοπτώσεις ήταν τόσο σπάνιες που η στάθμη του νερού στη λίμνη έπεσε περίπου 600 μέτρα σύμφωνα με τις εκτιμήσεις. Ολόκληρα πυκνά δάση μεταμορφώθηκαν σε ξερές εκτάσεις, λόγος για τον οποίο πιστεύεται, ότι σε συνδυασμό με τη σπανιότητα των βροχών, μπορεί να ώθησε τους πρώτους ανθρώπους να αφήνουν την ήπειρο της Αφρικής και να ξεκινήσουν την πορεία τους, για την αποίκηση του υπόλοιπου κόσμου (Greenspan, 2015).

Αρχαία Αίγυπτος (περίπου 2200 π.χ.)

Μελετώντας ιζήματα από το δέλτα του Νείλου οι επιστήμονες παρατήρησαν μείωση στην ποσότητα γύρης, μέσα σε υδροβιότοπους. Η μείωση αυτή οδηγεί σε συμπεράσματα, που αφορούν την μείωση του αριθμού των φυτών στην περιοχή. Αυτή η μείωση σε συνδυασμό με την αύξηση του ξυλοκάρβουνου, οδήγησε τους επιστήμονες στη υπόθεση, ότι υπήρξαν φαινόμενα έντονης ξηρασίας στην περιοχή τη δεδομένη περίοδο (2200 π.χ.). Πιστεύεται ακόμη, ότι η έλλειψη βροχής είναι μια από τις αιτίες της πτώσης του παλαιού βασιλείου της Αιγύπτου, που είχε κατασκευάσει τις πυραμίδες τις Γκίζας. Άλλοι πολιτισμοί της εποχής που επηρεάστηκαν αρνητικά από την ξηρασία αυτή ήταν οι Harappa (σημερινές φυλές σε Ινδία και Πακιστάν), οι Subir (φυλές που κατοικούν στη σημερινή Συρία) καθώς και οι Μινωίτες (Greenspan, 2015).

Κεντρική Αμερική (760-910 μ.Χ.)

Κατά την κλασική περίοδο των Μάγια (250-900 μ.Χ.), ο πολιτισμός τους γνώριζε μεγάλη ανάπτυξη, οι οποία όμως διακόπηκε απότομα, γεγονός που οφείλεται κατά τους επιστήμονες στην ύπαρξη μιας μακροχρόνιας ξηρασίας. Πιστεύεται ότι οι Μάγια ζούσαν σε καταστάσεις σχεδόν μηδενικής βροχόπτωσης από το 600-1100 μ.Χ., ενώ όλα τα στοιχεία δείχνουν ότι η έντονη εγκατάλειψη των πόλεων τους, έλαβε μέρος μια χρονική περίοδο των ξηρών αυτών χρόνων (760-910) (Greenspan, 2015). Πιο πρόσφατες έρευνες δείχνουν ότι οι ξηρασίες διήρκησαν το διάστημα 810-910 μ.Χ. (Τσακίρης, 2013)

Βόρεια Αμερική και Καναδάς (1931-1939)

Σε μια δεκαετία που ονομάστηκε από τους αμερικάνους επιστήμονες και ως «Dirty thirties», στο μεγαλύτερο μέρος των ΗΠΑ και μέρη του νότιου Καναδά, παρουσιάστηκαν φαινόμενα έντονης ξηρασίας που κράτησαν για μια δεκαετία. Η ξηρασία αυτή σε συνδυασμό με κάποιες πρακτικές που χρησιμοποιούνταν στις καλλιέργειες της εποχής, δημιούργησαν μεγάλα σύννεφα σκόνης που κάλυψαν των ουρανό και δημιούργησαν σοβαρά αναπνευστικά προβλήματα στους κατοίκους, που κατ' επέκταση οδήγησε σε εσωτερικά μεταναστευτικά κύματα. Για τον λόγο αυτό η ξηρασία ονομάστηκε «Dust Bowl». Η δεκαετία αυτή είχε δύο πολύ έντονες χρονιές, μία το 1934 κατά την οποία παρατηρήθηκε, η χειρότερη ξηρασία της τελευταίας χιλιετίας στη βόρεια Αμερική και άλλη μία το 1936, όπου οι θύελλες σκόνης και η πολύ υψηλή καλοκαιρινή θερμοκρασία, κόστισαν τη ζωή σε 5000 Αμερικάνους και 1100 καναδούς πολίτες (Greenspan, 2015).

Κίνα (1941-1942)

Εν' μέσω του δεύτερου παγκοσμίου πολέμου, μια εκ' των χειρότερων ξηρασιών στην ιστορία της Κίνας, χτύπησε την επαρχία «Henan» που αποτελούσε σημαντικό πυρήνα καλλιέργειας σιταριού.

Αυτό είχε ως αποτέλεσμα το 1942 τη μείωση της σοδειάς στο ένα τέταρτο της αρχικής και σε συνδυασμό με την αποστολή μεγάλων ποσοτήτων στα σώματα του στρατού, πολλοί πολίτες έχασαν τη ζωή τους από την πείνα (Greenspan, 2015).

ΗΠΑ (1987-1989)

Κατά την περίοδο αυτή παρουσιάστηκαν φαινόμενα περιορισμένων βροχοπτώσεων στα «Great plains» περιοχή που καλύπτει μεγάλο μέρος της Αμερικής στο βορά και του νότιου Καναδά. Πρόκειται για μεγάλες εκτάσεις λιβαδιών και στέπας, που προσβλήθηκαν από την πρώτη ξηρασία μετά το '50. Οι περιοχή αυτή αποτελεί τόπο καλλιέργειας καλαμποκιού και φασολιών. Η έντονη ξηρασία προκάλεσε προβλήματα στη σοδιά και αποτέλεσε λόγω για πολλές πυρκαγιές σε δασικές εκτάσεις, λόγω του κύματος καύσωνα που επήλθε, μετά από την έλλειψη βροχής. Μετέπειτα αναλύσεις έδειξαν ότι πρόκειται για την πιο ζημιογόνο φυσική καταστροφή στις ΗΠΑ, με κόστος εκτιμώμενο στα 39 δις. Δολάρια (Greenspan, 2015).

Αυστραλία (2001-2010)

Κατά την περίοδο αυτή παρατηρείται στη νοτιοανατολική Αυστραλία, ποσοστό βροχοπτώσεων πολύ μικρότερο του μέσου όρου, όλων των χρόνων από το 1900. Κάποιοι επιστήμονες πιστεύουν ότι η αρχή του φαινομένου, χρονολογείται πριν το 1940, αλλά το στοιχείο για τις περιοχές τις Αυστραλίας έχουν πολλά χρονικά κενά για την περίοδο πριν το 1940, ενώ υπάρχουν ακόμη περισσότερες ελλείψεις για τα έτη πριν το 1900, αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μην είναι δυνατό να εξεταστεί αν το φαινόμενο αυτό, αποτελεί μια συνέχεια γεγονότων ή είναι ασυνήθιστο. Το τέλος της ξηρασίας ακολούθησαν ισχυρές καταιγίδες από τα τέλη του 2010 ως τα μέσα του 2011, πλημμυρίζοντας έτσι πολλές περιοχές.

Αποτελέσματα της ξηρασίας ήταν η καταστροφή οικοσυστημάτων ποταμών, η δημιουργία προβλημάτων στην άρδευση σε περιοχές χωρίς μεγάλα αποθέματα νερού, αύξηση των περιορισμών στη χρήση του νερού στις πόλεις και στην τιμή του ρεύματος (Greenspan, 2015).

Συρία (2006-2010)

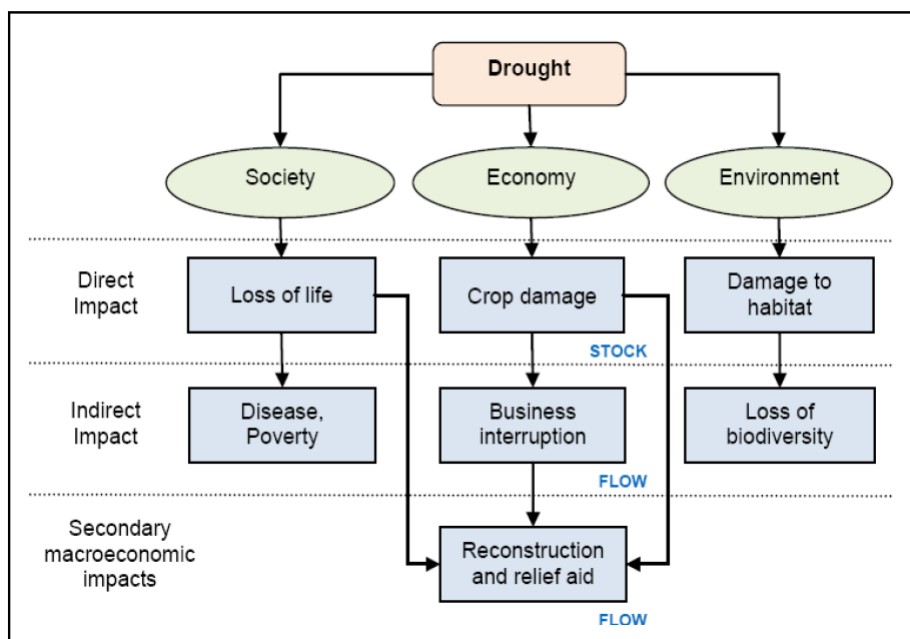
Η ξηρασία στην περιοχή της Συρίας την τελευταία δεκαετία, θεωρείται ένας από τους λόγους του εμφυλίου πολέμου. Περίπου 1,5 εκατ. άνθρωποι έφυγαν από την επαρχία και κατευθύνθηκαν στις πόλεις, καθώς τα ζώα που έκτρεφαν, πέθαιναν και οι εκτάσεις που καλλιεργούσαν, καταστράφηκαν. Με τον ερχομό τους στις πόλεις αντιμετωπίστηκαν άσχημα από την κυβέρνηση και στην προσπάθειά τους να διαδηλώσουν ειρηνικά για τα δικαιώματά τους, πυροδότησαν βίαιες συρράξεις (Greenspan, 2015).

Καλιφόρνια (2011-)

Πρόκειται για ένα φαινόμενο το οποίο ακόμη δεν έχει τελειώσει και έχει φέρει σε άσχημη κατάσταση την πολιτεία των ΗΠΑ, που αναγκάστηκε να επιβάλει περιοδικά κοψίματα στο δίκτυο νερού. Λιβάδια και καλλιέργειες ξεραίνονται, ενώ το απόθεμα σε πόσιμο και μη νερό μειώνεται σημαντικά με την πάροδο του χρόνου (Greenspan, 2015).

1.3. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ

Από τις σοβαρότερες επιπτώσεις της ξηρασίας στο περιβάλλον και στη κοινωνία είναι η μείωση της γεωργικής παραγωγής, του επιπέδου και της ποιότητας του νερού και η αύξηση του ζωικού κεφαλαίου και της θνησιμότητας των άγριων ζώων (Bannayan et al., 2010). Η γεωργική παραγωγή είναι ιδιαίτερα ευάλωτη στις κλιματικές διακυμάνσεις και ιδιαίτερα στις επαναλαμβανόμενες ξηρασίες (Chimeli et al., 2002), με αποτέλεσμα οι επιπτώσεις της ξηρασίας να μπορούν να παρατηρηθούν άμεσα και με φυσικό τρόπο. Δεδομένα και στατιστικές για τον αγροτικό τομέα είναι πιο εύκολο να αποκτηθούν απ' ό,τι για άλλους τομείς, και οι νομισματικές εκτιμήσεις των ζημιών της ξηρασίας συχνά συλλέγονται για τις περιφέρειες που αναζητούν βοήθεια λόγω καταστροφής, με τα περισσότερα προγράμματα ανακούφισης να διατίθενται μόνο για τη γεωργία. Συνεπώς, οι οικονομικές επιπτώσεις της ξηρασίας δεν λαμβάνονται υπόψη με την ίδια σοβαρότητα όπως για άλλους τύπους ακραίων καιρικών συνθηκών (για παράδειγμα πλημμύρες ή τυφώνες). Ωστόσο, η ξηρασία συνήθως συνδέεται έμμεσα με μεγάλες οικονομικές απώλειες λόγω της εξάρτησης πολλών βιομηχανικών κλάδων με το νερό για παραγωγή, και λόγω του ρόλου που έχει το νερό στην παροχή υπηρεσιών και αναψυχής (Jenkins, 2011). Αυτές οι επιπτώσεις της ξηρασίας διαδίδονται μέσω του οικονομικού συστήματος, επηρεάζοντας περιοχές που βρίσκονται μακριά από το μέρος που υπέστη το φαινόμενο και παραμένουν αισθητές για μεγάλο διάστημα μετά το τέλος της ξηρασίας (Wilhite et al., 2007). Ένα διάγραμμα που δείχνει τι είδους επιπτώσεις έχει η ξηρασία στην οικονομία, την κοινωνία και το περιβάλλον, δίνεται από τον Jenkins.



Εικόνα 1: Παράδειγμα έμμεσων και άμεσων κοινωνικών, οικονομικών και περιβαλλοντικών επιπτώσεων της ξηρασίας, πηγή: Jenkins (2011)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2.1. ΟΡΙΣΜΟΙ ΤΗΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ

Σύμφωνα με τους Wilhite and Glantz (1985), η ξηρασία αποτελεί ένα φαινόμενο που είναι δύσκολο να προσδιοριστεί. Εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, οι σημαντικότεροι από τους οποίους είναι η διάρκεια, η ένταση και η γεωγραφική έκταση ενός μεμονωμένου γεγονότος ξηρασίας, καθώς και από τις απαιτήσεις σε νερό λόγω των ανθρώπινων δραστηριοτήτων και της βλάστησης.

Η ξηρασία επηρεάζει σε πολλούς τομείς τις ανθρώπινες δραστηριότητες καθώς έχει επιπτώσεις σε κοινωνικό, οικονομικό και περιβαλλοντικό επίπεδο. Επιπλέον, ο αντίκτυπος της ξηρασίας στην κοινωνία μπορεί να διαρκέσει για πολλά χρόνια, μετά το τέλος της. Όπως στην περίπτωση του Ιράν, όπου μια ξηρασία διήρκησε περισσότερο από 2 χρόνια, το διάστημα 1998 με 2000 και σε κάποιες περιοχές του, η ξηρασία επεκτάθηκε μέχρι το χειμώνα του 2001, με αποτέλεσμα να προκαλέσει 3,5 δισεκατομμύρια \$ απώλεια, σκοτώνοντας 800.000 ζωντανά και στερεύοντας μεγάλες δεξαμενές και εσωτερικές λίμνες (Bannayan et al., 2010).

Διάφοροι ορισμοί για την ξηρασία δίνονται παρακάτω:

- Σύμφωνα με τον Wilhite (1993), ξηρασία είναι η συνέπεια μιας φυσικής μείωσης στη ποσότητα της βροχόπτωσης, που ελήφθη κατά τη διάρκεια μιας εκτεταμένης χρονικής περιόδου, συνήθως μια εποχή ή περισσότερο, παρόλο που άλλοι κλιματικοί παράγοντες (όπως υψηλές θερμοκρασίες, ισχυροί άνεμοι και χαμηλή σχετικά υγρασία) συχνά συνδέονται με αυτή σε πολλές περιοχές του κόσμου και μπορούν να επιδεινώσουν σημαντικά τη σοβαρότητα του φαινομένου.
- Η ξηρασία είναι ένα επαναλαμβανόμενο φυσικό φαινόμενο που σχετίζεται με το έλλειμμα του διαθέσιμου νερού μιας μεγάλης γεωγραφικής περιοχής και εκτείνεται για μια σημαντική χρονική περίοδο (Rossi, 2000).
- Η ξηρασία είναι το αποτέλεσμα της ανεπάρκειας ή έλλειψης βροχοπτώσεων για μια παρατεταμένη περίοδο, που προκαλεί σημαντική υδρολογική ανισορροπία (Bannayan et al., 2010).

2.2. ΤΥΠΟΙ ΞΗΡΑΣΙΑΣ

Η ξηρασία κατηγοριοποιείται σε τέσσερις τύπους ξηρασίας: τον μετεωρολογικό, τον γεωργικό, τον υδρολογικό και τον κοινωνικό-οικονομικό.

- Η μετεωρολογική ξηρασία ορίζεται με διάφορες έννοιες που είναι σχετικά ασαφείς. Κάποιες από αυτές είναι η περίοδος περισσότερων από κάποιο συγκεκριμένο αριθμό ημερών με βροχόπτωση λιγότερη από ένα συγκεκριμένο μικρό ποσό (Great Britain Meteorological Office, 1951). Μια παρατεταμένη χρονική περίοδο χωρίς σημαντικές βροχοπτώσεις (Linsley et al., 1958). Το έλλειμμα νερού κάτω από μια ορισμένη τιμή αναφοράς, όπου λαμβάνονται υπόψη η διάρκεια και το μέγεθος του ελλείμματος (Downer et al., 1967). Άλλοι ορισμοί βασίζονται στην περιοχή αναφοράς και το κατώτατο όριο που καθορίζει τις ξηρές από τις μη ξηρές περιόδους, το οποίο σπάνια διατυπώνεται. Τέτοια περίπτωση είναι στις Ηνωμένες Πολιτείες, όπου ξηρασία θεωρείται μία βροχόπτωση λιγότερο από 2.5 mm σε χρονικό διάστημα σαράντα-οχτώ ωρών (Blumenstock, 1942).
- Η υδρολογική ξηρασία, σύμφωνα με τους Linsley et al. (1975), είναι η περίοδος κατά την οποία οι απορροές αδυνατούν να προμηθεύσουν καθιερωμένες χρήσεις κάτω από ένα δεδομένο σύστημα διαχείρισης των υδάτων. Μια άλλη προσέγγιση, ορίζει ως υδρολογική ξηρασία την περίοδο που υπάρχει υδρολογικό έλλειμμα στην απορροή, στην αποθήκευση σε ταμιευτήρες, στους υπόγειους υδροφορείς (Τσακίρης, 2013). Η υδρολογική ξηρασία συνήθως δεν εμφανίζεται ταυτόχρονα με την μετεωρολογική και με την γεωργική ξηρασία (Wilhite and Glantz, 1985). Η περίοδος της υδρολογικής ξηρασίας μπορεί να έχει οποιαδήποτε διάρκεια. Εάν η απορροή μιας επιλεγμένης χρονικής περιόδου βρίσκεται κάτω από ένα κατώτατο όριο, τότε θεωρείται ότι υπάρχει υδρολογική ξηρασία. Παρόλα αυτά, κριτήρια όπως ο αριθμός των ημερών και το επίπεδο των πιθανοτήτων που πρέπει να υπερβληθεί, για να υποφέρει μια περιοχή από ξηρασία, είναι αυθαίρετα (Wilhite and Glantz, 1985).
- Η γεωργική ξηρασία λαμβάνει υπόψη την εδαφική υγρασία και την ποσότητα νερού που απαιτεί μια καλλιέργεια για να αναπτυχθεί (Τσακίρης, 2013). Σύμφωνα με τον Kulik, η ένταση της ξηρασίας προσδιορίζεται ως η διαφορά ανάμεσα στην ζήτηση νερού που απαιτεί το φυτό και το διαθέσιμο νερό του εδάφους (Wilhite and Glantz, 1985). Αν η ποσότητα του εδαφικού νερού δεν επαρκεί για την ανάπτυξη του φυτού, τότε υπάρχει γεωργική ξηρασία. Ένας χαρακτηριστικός δείκτης που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της γεωργικής ξηρασίας, είναι ο Crop Moisture Index (CMI) ο οποίος αναπτύχθηκε από τον Palmer και είναι αποτελεσματικός για γρήγορα μεταβαλλόμενες συνθήκες.

- Η κοινωνικο-οικονομική ξηρασία σχετίζεται κυρίως με την προσφορά και την ζήτηση του νερού ως οικονομικό αγαθό (Mishra and Singh, 2010). Ειδικότερα προκύπτει ξηρασία, όταν δεν μπορούν να ικανοποιηθούν οι ανάγκες σε νερό λόγω υπερκατανάλωσης, έλλειψης των απαραίτητων υποδομών, μειωμένες βροχοπτώσεις ή της διαθεσιμότητας των υδατικών πόρων (Τσακίρης, 2013). Η έννοια της κοινωνικο-οικονομικής ξηρασίας, μπορεί να περιέχει και χαρακτηριστικά των άλλων τύπων ξηρασίας (της μετεωρολογικής, γεωργικής και υδρολογικής) (Wilhite and Glantz, 1985).

2.3. ΔΕΙΚΤΕΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ

Η κατανόηση και η ανάπτυξη εργαλείων για την πρόβλεψη και την παρακολούθηση της ξηρασίας θα βοηθήσει στον σχεδιασμό της άμβλυσης των επιπτώσεων της. Για αυτό το λόγο, δημιουργήθηκαν δείκτες, οι περισσότεροι από τους οποίους βασίζονται σε μετεωρολογικές και υδρολογικές μεταβλητές, ώστε να μπορεί να προσδιοριστεί το φαινόμενο. Οι δείκτες χωρίστηκαν και αυτοί σε κατηγορίες που πήραν το όνομα τους από τις κατηγορίες της ξηρασίας που προσδιορίζουν και το είδος των δεδομένων που αξιοποίησαν. Τέτοιοι δείκτες είναι οι μετεωρολογικοί, οι οποίοι χρησιμοποιούν μετεωρολογικές παραμέτρους όπως βροχόπτωση και θερμοκρασία, μερικοί από τους οποίους είναι ο Standardised Precipitation Index (SPI), ο Reconnaissance Drought Index (RDI), ο Deciles, ο Percent of Normal Precipitation (PN), ο Rainfall Anomaly Index (RAI), ο Standardised Anomaly Index (SAI) και αρκετοί ακόμα.

Άλλη κατηγορία δεικτών αποτελούν οι υδρολογικοί δείκτες, οι οποίοι βασίζονται στο έλλειμμα της απορροής, με πιο γνωστούς τον Palmer Hydrological Drought Index (PHDI), τον Surface Water Supply Index (SWSI), τον Streamflow Drought Index (SDI), Base Flow Index (BFI), Groundwater Resource Index (GRI), Low Flow Index (Q90).

Όσον αφορά την γεωργική ξηρασία, οι δείκτες που εφαρμόζονται για τον έλεγχο της ανάπτυξης της καλλιέργειας, είναι ο Palmer Drought Severity Index (PDSI), ο οποίος συνδυάζει την εδαφική υγρασία και την εξατμισοδιαπνοή, ο Crop Moisture Index (CMI), ο Soil Moisture Drought Index (SMDI), ο Agricultural Drought Index (ADI) και πολλοί ακόμα.

Από τη δεκαετία του 1980 και μετά, με την ανάπτυξη των δορυφόρων παρατήρησης της Γης, εξοπλισμένων με αισθητήρες κυρίως στον οπτικό τομέα, άνοιξε ένας νέος δρόμος για την παρακολούθηση και τον εντοπισμό της ξηρασίας. Πολυάριθμοι δείκτες αναπτύχθηκαν για να περιγράψουν την κατάσταση της επιφάνειας της γης, κυρίως την βλάστηση, με τη δυνατότητα να ανιχνεύουν και να παρακολουθούν ανωμαλίες όπως οι ξηρασίες (Niemeyer, 2008). Έτσι, προέκυψε και άλλη μια κατηγορία δεικτών, οι τηλεπισκοπικοί (ή δορυφορικοί) δείκτες, οι οποίοι χρησιμοποιούν τηλεπισκοπικά δεδομένα για τον εντοπισμό της ξηρασίας. Ο πιο γνωστός δείκτης αυτής της κατηγορίας είναι ο Normalised Difference Vegetation Index (NDVI), ο οποίος εξετάζει την ύπαρξη ξηρασίας, ελέγχοντας με τη χρήση δορυφορικών εικόνων, αν η βλάστηση είναι υγιής.

Στον παρακάτω πίνακα, δίνονται 66 γνωστοί δείκτες ξηρασίας (Τσακίρης, 2013):

Πίνακας 1: Δείκτες Ξηρασίας

α/α	Ονομασία δείκτη	Συντομογραφία
1	Aggregate Drought Index (ADI)	ADI
2	Agricultural Drought Index	DTx
3	Anomaly of Normalized Difference Vegetation Index	NDVIA
4	Base Flow Index	BFI
5	Bhalme and Mooley Drought Index	BMDI
6	Colorado Palmer Drought Index	CPDI
7	Consecutive Dry Days	CDD
8	Corn Drought Index	CDI
9	Crop Moisture Index	CMI
10	Crop Specific Drought Index	CSDI
11	Cumulative Precipitation Anomaly	CPA
12	Cumulative Streamflow Anomaly	CSA
13	Deciles	DECILES
14	Drought Area Index	DAI
15	Drought Frequency Index	DFI
16	Drought Severity Index	DSI
17	Effective Drought Index	EDI
18	Evapotranspiration Deficit Index	ETDI
19	Foley Drought Index	FDI
20	Global Vegetation Water moisture Index	GVWI
21	Groundwater Resource Index	GRI
22	Keetch-Byam Drought Index	KBDI
23	Leaf Water Content Index	LWCI
24	Low Flow Index	Q90
25	Modified Perpendicular Drought Index	MPDI
26	Moisture Availability Index	MAI
27	Normalised Burn Ratio	NBR
28	Normalised Difference Infrared Index	NDII
29	Normalised Difference Vegetation Index	NDVI
30	Normalised Difference Water Index	NDWI
31	Normalised Multi-band Drought Index	NMDC
32	Normalised Precipitation Index	NPI
33	Palfai Aridity Index	PAI
34	Palmer Drought Severity Index	PDSI
35	Palmer Hydrological Drought Index	PHDI
36	Palmet Modified Drought Index	PMDI
37	Palmer Z-index	Z-index
38	Percent of Normal Precipitation	PN
39	Perpendicular Drought Index	PDI
40	Rainfall Anomaly Index	RAI

41	Rainfall Deficiency Index	RDI
42	Reclamation Drought Index	RDI
43	Reconnaissance Drought Index	RDI
44	Regional Streamflow Deficiency Index	RSDI
45	Remote Sensing Drought Risk Index	RDRI
46	Runoff Deficiency Index	RDI
47	Simple Ratio Water Index	SRWI
48	Soil Moisture Anomaly Index	SMAI
49	Soil Moisture Deficit Index	SMDI
50	Soil Moisture Drought Index	SMDI
51	Soybean Drought Index	SCI
52	Sperling Dought Index	SDI
53	Standardised Anomaly Index	SAI
54	Standardised Precipitation Index	SPI
55	Standardised Streamflow Index	SSI
56	Standardised Vegetation Index	SVI
57	Streamflow Drought Index	SDI
58	Surface Water Supply Index	SWSI
59	Temperature Condition Index	TCI
60	Theory of Runs	Run
61	Total Storage Deficit Index	TSDI
62	Vegetation Condition Albedo Drought Index	VCADI
63	Vegetation Condition Index	VCI
64	Vegetation Drought Response Index	VegDRI
65	Vegetation Health Index	VHI
66	Water Index	WI

Παρακάτω γίνεται εκτενής περιγραφή κάποιων βασικών δεικτών που συμβάλλουν σημαντικά στον προσδιορισμό της ξηρασίας, αν και τελικά οι δείκτες που θα υπολογιστούν για την ξηρασία στην περιοχή μελέτης θα είναι μετεωρολογικοί δείκτες.

2.3.1. Standardised Precipitation Index (SPI)

Ένας από τους πιο απλούς σε χρήση δείκτες, καθώς απαιτεί μόνο δεδομένα βροχόπτωσης είναι ο Standardised Precipitation Index (SPI). Ο συγκεκριμένος δείκτης δημιουργήθηκε από τους McKee et al. (1993) με στόχο να αποτελέσει ένα πολύπλευρο εργαλείο στη παρακολούθηση και ανάλυση της ξηρασίας.

Παρόλο που αναπτύχθηκε στο Colorado, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε παγκόσμιο επίπεδο καθώς αναγνωρίζει διάφορες χρονικές κλίμακες, σε αντίθεση με τον δείκτη Palmer, που ενώ ήταν ο πιο ευρέως χρησιμοποιημένος δείκτης στις Ηνωμένες Πολιτείες, δεν μπορούσε να χρησιμοποιηθεί παγκοσμίως λόγω τις έλλειψης προσδιορισμού χρονικής κλίμακας.

Ο McKee προσάρμοσε κάθε σύνολο δεδομένων στην γάμμα κατανομή ώστε να προσδιοριστεί η σχέση τις πιθανότητας με τη βροχόπτωση. Μόλις η σχέση πιθανότητας βροχόπτωσης έχει καθοριστεί από αρχεία παλαιότερων ετών, η αθροιστική πιθανότητα μετατρέπεται χρησιμοποιώντας ίση πιθανότητα σε μια κανονική κατανομή με μέση τιμή το μηδέν και τυπική απόκλιση του ενός, έτσι ώστε οι τιμές του SPI είναι στην πραγματικότητα τυπικές αποκλίσεις. Η μετατροπή σε κανονική κατανομή δίνεται με τον τύπο (Tsakiris and Vangelis, 2004):

$$DPI = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma} \quad (2.1)$$

Όπου x_i : η βροχόπτωση για την επιλεγμένη περίοδο κατά την διάρκεια του i έτους
 \bar{x} και σ : ο μέσος όρος και η τυπική απόκλιση της επιλεγμένης περιόδου

Ο δείκτης SPI υπολογίζεται για συνεχόμενο διάστημα τουλάχιστον 30 ετών, και χρειάζεται μηνιαίες χρονοσειρές βροχόπτωσης με τόσο αριθμό μηνών m όσο και το σύνολο της περιόδου που υπολογίζεται. Στη συνέχεια, καθορίζεται η χρονική κλίμακα i μηνών για την οποία θα υπολογιστεί ο SPI, όπου i θα είναι ίσο με 3, 6, 12, 24 ή 48 μήνες. Οι χρονικές κλίμακες όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω, είναι χρήσιμες για τον προσδιορισμό του τύπου ξηρασίας που ζητείται (γεωργική, μετεωρολογική ή υδρολογική) καθώς με τον έλεγχο μιας συγκεκριμένης χρονικής περιόδου μέσα στο έτος, μπορεί να προσδιοριστεί ποιοι μήνες είχαν ξηρασία και πόσο επηρέασε τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Επιπλέον, ο συγκεκριμένος δείκτης δίνει την δυνατότητα σύγκρισης γεγονότων ξηρασίας ανάμεσα σε διαφορετικές χρονικές περιόδους και περιοχές με διαφορετικές κλιματολογικές συνθήκες. Το σύνολο των δεδομένων προκύπτει με την λογική ότι κάθε μήνα μία νέα τιμή καθορίζεται από τους προηγούμενους i μήνες (McKee et al., 1993).

Ένα γεγονός ξηρασίας προκύπτει όταν η τιμή του SPI είναι συνεχώς αρνητική και γίνεται έντονη όταν ο SPI παίρνει τιμές -1 ή μικρότερες. Το γεγονός ολοκληρώνεται όταν ο SPI πάρει θετικές τιμές. Το μέγεθος της απόκλισης από το μηδέν αντιπροσωπεύει μια πιθανότητα εμφάνισης ώστε να παρθούν αποφάσεις βασισμένες στο SPI. Η χρήση της κανονικής κατανομής, συμβάλει στον άμεσο υπολογισμό της πιθανότητας εμφάνισης του γεγονότος ξηρασίας.

Τα πλεονεκτήματα του SPI είναι:

- Ότι σχετίζεται αποκλειστικά με την πιθανότητα
- Η βροχόπτωση που χρησιμοποιείται στον SPI μπορεί να υπολογίσει το έλλειμμα βροχόπτωσης της τρέχουσας περιόδου
- Η βροχόπτωση επίσης χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του ποσοστού της μέσης βροχόπτωσης για χρονικές περιόδους i μηνών.
- Ο SPI ακολουθεί την κανονική κατανομή ώστε να παρακολουθεί ικανοποιητικά τόσο υγρές όσο και ξηρές περιόδους.
- Ο δείκτης μπορεί να υπολογιστεί για διαφορετικές μεταβλητές όπως η χιονοκάλυψη, η απορροή, η δεξαμενή αποθήκευσης, η εδαφική υγρασία και τα υπόγεια νερά.
- Ο SPI είναι κανονικοποιημένος ώστε υγρά και ξηρά κλίματα να αντιπροσωπεύονται με τον ίδιο τρόπο (McKee et al., 1993)

Καθώς η μέση τιμή είναι το μηδέν και η τυπική απόκλιση είναι η μονάδα, σύμφωνα με την τυπική κανονική κατανομή προκύπτει ότι για τιμές του SPI μικρότερες του -1, η πιθανότητα εμφάνισης του φαινομένου είναι 16% άρα το φαινόμενο θα εμφανιστεί 16 φορές στα 100 χρόνια (Hayes et al., 1999)

Πίνακας 2: Πιθανότητες εμφάνισης για διαφορετικές κατηγορίες ξηρασίας, πηγή: C.T. Agnew (2000)

Τιμές SPI	Πιθανότητα Εμφάνισης	Κατηγορία ξηρασίας (McKee et al. 1995)
<-2	0.023	ακραία ξηρή
<-1.65	0.050	
<-1.50	0.067	σημαντικά ξηρή
<-1.28	0.100	
<-1.00	0.159	μέτρια ξηρή
<-0.84	0.201	
<-0.50	0.309	
<0.00	0.500	ήπια ξηρή

Πίνακας 3: Κλίμακα ταξινόμησης για τις τιμές του SPI, πηγή: Hayes et al. (1999)

Τιμές SPI (McKee 1995)	Κατηγορία υγρασίας/ ξηρασίας
>2.0	ακραία υγρή
1.50 έως 1.99	σημαντικά υγρή
1.00 έως 1.49	μέτρια υγρή
-0.99 έως 0.99	κανονικές συνθήκες
-1.00 έως -1.49	μέτρια ξηρή
-1.50 έως -1.99	σημαντικά ξηρή
<-2.00	ακραία ξηρή

2.3.2. Reconnaissance Drought Index (RDI)

Ο δείκτης RDI είναι ένας δείκτης εκτίμησης της ξηρασίας ο οποίος αξιοποιεί ταυτόχρονα την βροχόπτωση και την δυνητική εξατμισοδιαπνοή για τον υπολογισμό της. Ο δείκτης σχεδιάστηκε από τους Tsakiris και Vangelis (2005) με στόχο να προκύψουν πιο αντιπροσωπευτικές τιμές για την ξηρασία, λαμβάνοντας υπόψη και τις εκροές του συστήματος.

Ο δείκτης RDI προέκυψε από τη θεώρηση ότι καθώς η ξηρασία μεταφράζεται ως έλλειμα του διαθέσιμου νερού, πρέπει να προσδιοριστεί από την σχέση μεταξύ των «εισορών» και «εκροών» του υδατικού συστήματος και όχι μόνο των εισορών (βροχόπτωση), όπως σε άλλους δείκτες. Γι' αυτό χρησιμοποιείται η δυνητική εξατμισοδιαπνοή ως εκροή, καθώς συμβάλλει σημαντικά στις απώλειες νερού. Παρόλο που η πραγματική εκροή του συστήματος είναι η πραγματική εξατμισοδιαπνοή, χρησιμοποιείται η δυνητική αφού είναι πιο εύκολη η χρήση της και δεν ακυρώνει την θεωρητική προσέγγιση στην οποία βασίζεται ο δείκτης. Ως δυνητική εξατμισοδιαπνοή ορίζεται η ποσότητα του νερού που παραχωρήθηκε στην ατμόσφαιρα, από μια επιφάνεια που καλύπτεται εντελώς με βλάστηση, κάτω από συνθήκες απεριόριστης διαθεσιμότητας νερού (McGuire and Palmer, 1957).

Η διαφορά του RDI με τον SPI είναι η χρήση της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής, εκτός από την βροχόπτωση. Αυτή η διαφοροποίηση καθιστά τον δείκτη πιο ευαίσθητο, από τους δείκτες που χρησιμοποιούν μόνο την βροχόπτωση όπως ο SPI. Η αρχική τιμή του RDI για συγκεκριμένο μήνα (k) δίνεται από τον τύπο:

$$a_k = \frac{\sum_{j=1}^k P_j}{\sum_{j=1}^k PET_j} \quad (2.2)$$

Όπου P_j και PET_j είναι η βροχόπτωση και η δυνητική εξατμισοδιαπνοή αντίστοιχα, του μήνα j του συγκεκριμένου υδρολογικού έτους. Το υδρολογικό έτος για τις Μεσογειακές χώρες ξεκινά τον Οκτώβριο, οπότε για τον Οκτώβριο το $k = 1$ (Tsakiris and Vangelis, 2005).

Όταν ο a_k αναφέρεται σε χρονική περίοδο 12 μηνών, δηλαδή $k = 12$ τότε η τιμή a_{12} συγκρίνεται με τον δείκτη ξηρότητας της υπό εξέταση περιοχής \bar{a}_{12} και αν έχει κατώτερη τιμή από τον δείκτη ξηρότητας τότε η περιοχή υποφέρει από ξηρασία τον συγκεκριμένο έτος. Η διαφορά τους $a_{12} - \bar{a}_{12}$ δίνει την ένταση της ξηρασίας. Στην περίπτωση όμως που ο a_k αναφέρεται σε άλλη χρονική κλίμακα, η τιμή \bar{a}_k προκύπτει από τον αριθμητικό μέσο των τιμών a_k για N έτη.

Ο \bar{a}_{12} είναι ίσος με τον δείκτη ξηρότητας της περιοχής (Aridity Index by the FAO). Προκύπτει από τον αριθμητικό μέσο των τιμών a_{12} για N έτη.

Καθώς η τιμή a_k πρέπει να συγκριθεί με τον δείκτη ξηρότητας για να δώσει απάντηση για το αν μια περιοχή υποφέρει από ξηρασία ή όχι, δημιουργήθηκαν δύο άλλες εκφράσεις που λαμβάνουν υπόψη τους την ένταση της ξηρασίας και προσδιορίζουν τη ύπαρξη της ή όχι. Οι δύο εκφράσεις είναι ο Normalised RDI και ο Standardised RDI.

Normalised RDI (RDI_n)

$$RDI_n(k) = \frac{a_k}{\bar{a}_k} - 1 \quad (2.3)$$

Σύμφωνα με την παραπάνω σχέση, ισχύει πως όταν $\bar{a}_k > a_k$ τότε η περιοχή βρίσκεται σε ξηρασία.

Standardised RDI (RDI_{st})

$$RDI_{st}(k) = \frac{y_k - \bar{y}_k}{\hat{\sigma}_k} \quad (2.4)$$

Όπου y_k είναι ο $\ln(a_k)$, \bar{y}_k είναι ο αριθμητικός μέσος και $\hat{\sigma}_k$ η τυπική απόκλιση.

Ο υπολογισμός του RDI_{st} προκύπτει από την υπόθεση ότι οι τιμές a_k ακολουθούν την λογαριθμοκανονική κατανομή, ωστόσο οι τιμές a_k ακολουθούν ικανοποιητικά και την κατανομή γάμμα, στην οποία χρησιμοποιείται η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας.

Ειδικότερα, εκτεταμένη έρευνα έδειξε πως η κατανομή γάμμα προσαρμόζεται καλύτερα από τη λογαριθμοκανονική κατανομή σε δεδομένα χρονοσειρών, για όλες τις περιοχές και τις χρονικές κλίμακες (Βαγγέλης, 2012).

2.3.2.1. Δυνητική Εξατμισοδιαπνοή

2.3.2.1.1. Thornthwaite

Για τον υπολογισμό της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής αναφέρονται 3 μέθοδοι, η μέθοδος του **Thornthwaite** υπολογίζεται με τον ακόλουθο τύπο:

$$PET = 16 \left(\frac{N}{12} \right) \left(\frac{m}{30} \right) \left(10 \frac{T_{mean}}{I} \right)^{\alpha} \quad (2.5)$$

Όπου T_{mean} είναι η μέση μηνιαία θερμοκρασία σε (°C), N είναι οι μέσες μηνιαίες πιθανές ώρες ηλιοφάνειας (h/day), m είναι ο αριθμός των ημερών για κάθε μήνα. Ο Thornthwaite εισήγαγε έναν εμπειρικό συντελεστή I, που είναι το άθροισμα των δώδεκα μηνιαίων τιμών της θερμοκρασίας του αέρα, με τύπο:

$$I = \sum (T/5) \quad (2.6)$$

Και ο παράγοντας α υπολογίζεται από τον τύπο:

$$\alpha = 0,0000000675 I^3 - 0,00007 I^2 + 0,01792 I + 0,49239 \quad (2.7)$$

Οι άλλες 2 μέθοδοι είναι η μέθοδος του Hargreaves και η Blaney-Criddle.

2.3.2.1.2. Hargreaves

Ο Hargreaves και ο Samani (1985) κατέληξαν σε μια εξίσωση για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής η οποία απαιτεί μόνο την μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία για τον υπολογισμό της, και την ηλιακή ακτινοβολία στο εξωτερικό όριο της ατμόσφαιρας (RA) η οποία υπολογίζεται από το γεωγραφικό πλάτος (ϕ) της περιοχής. Η εξίσωση δίνεται ακολούθως:

$$ET_o = 0.00023 \times RA \times TD^{0.5} (T^{\circ}C + 17.8) \quad (2.8)$$

Όπου ET_o σε $[MJ m^{-2} day^{-1}]$, $TD = T_{max} - T_{min}$ σε $^{\circ}C$ και $T = \frac{T_{max} + T_{min}}{2}$ σε $^{\circ}C$ και το RA υπολογίζεται από το γεωγραφικό πλάτος με τον ακόλουθο τύπο σύμφωνα με τον FAO:

$$R_a = \frac{24(60)}{\pi} G_{sc} d_r [\omega_s \sin(\phi) \sin(\delta) + \cos(\phi) \cos(\delta) \sin(\omega_s)] \quad (2.9)$$

όπου

R_a $[MJ m^{-2} day^{-1}]$

ϕ γεωγραφικό πλάτος $[rad]$

G_{sc} ηλιακή σταθερά = $0.0820 [MJ m^{-2} min^{-1}]$

$d_r = 1 + 0.033 \cos\left(\frac{2\pi}{365} J\right)$ αντίστροφη σχετική απόσταση Γης – Ηλίου

$\delta = 0,409 \sin\left(\frac{2\pi}{365} J - 1.39\right)$

όπου J είναι το νούμερο της ημέρας σε ένα χρόνο ανάμεσα στο 1 (1 Ιανουαρίου) και στο 365 ή 366 (31 Δεκεμβρίου)

$\omega_s = \arccos[-\tan(\phi) \tan(\delta)]$ η γωνία την ώρα που δύει ο ήλιος

Σύμφωνα με τον Hargreaves, δόθηκε ο παρακάτω πίνακας ο οποίος δίνει μέσες μηνιαίες αναλογίες της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής (μετρημένη με λυσίμετρο) με την υπολογισμένη με διάφορους μεθόδους εξατμισοδιαπνοή και την τυπική απόκλιση. Η εξίσωση με το όνομα Equation [4] αναφέρεται στην εξίσωση του Hargreaves 1985 που αναφέρθηκε παραπάνω, ενώ η εξίσωση Equation [1] αναφέρεται στην εξίσωση του Hargreaves το 1975 που συμπεριλαμβάνει την ηλιακή ακτινοβολία RS.

Method	ET/ET _o	Std. dev. %
Equation [4]	0.94	3.6
Pan evaporation (KP = 0.85)	0.84	5.0
Equation [1]	0.94	5.7
S.C.S. Blaney-Criddle [Borrelli et al. (1981)]	0.79	6.7
FAO Penman [Doorenbos and Pruitt (1977)]	0.91	7.5
FAO Radiation [Doorenbos and Pruitt]	1.02	7.5
Colorado Pan (KP = 1.05) [Doorenbos and Pruitt]	0.87	8.1
FAO Blaney-Criddle [Doorenbos and Pruitt]	0.96	11.0
Average	0.91	6.9

Εικόνα 2: Μηνιαίες Μέσες Αναλογίες Πραγματικής Εξατμισοδιαπνοής προς υπολογισμένης με διάφορες μεθόδους Εξατμισοδιαπνοής και την τυπική απόκλιση των αναλογιών, πηγή: Hargreaves and Samani (1985)

Από την παραπάνω εικόνα, παρατηρούμε πως η εξίσωση του Hargreaves το 1985 προσεγγίζει την πραγματική εξατμισοδιαπνοή κατά 94% και έχει μικρή τυπική απόκλιση με αποτέλεσμα να την καθιστά μια ικανοποιητική μέθοδο για τον υπολογισμό της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής (Hargreaves and Samani, 1985).

2.3.2.1.3. Blaney-Criddle

Η μέθοδος Blaney-Criddle απαιτεί μόνο μέση θερμοκρασία και το γεωγραφικό πλάτος φ της περιοχής.

$$PET = k \cdot p \cdot (0.46 \cdot T_{mean} + 8.13) \quad (2.10)$$

Όπου T_{mean} είναι η μέση θερμοκρασία σε (°C), p είναι το ποσοστό όλων των ωρών που διαρκεί η ημέρα για την περίοδο που χρησιμοποιείται (ημερήσια ή μηνιαία) από το σύνολο των ωρών διάρκειας της ημέρας του έτους και k είναι ο μηνιαίος καταναλωτικός συντελεστής, ο οποίος εξαρτάται από τον τύπο της βλάστησης, την τοποθεσία και την εποχή και σύμφωνα με τον Blaney παίρνει τιμές από 0.85 για όλο το χρόνο και 1.00 για την καλλιεργητική περίοδο για ξηρό περιβάλλον και τιμές από 0.75 για όλο το χρόνο και 0.90 για την καλλιεργητική περίοδο για ύφυγρο περιβάλλον (Cruff and Thompson, 1967). Η τιμή του p μπορεί να υπολογιστεί είτε από πίνακες, για συγκεκριμένο γεωγραφικό πλάτος, όπως στην εικόνα 3, είτε από τον παρακάτω τύπο:

$$p = 100 \cdot \left(\frac{\sum_{i=d_1}^{d_2} N_i}{\sum_{i=1}^{365} N_i} \right) \quad (2.11)$$

Όπου N_i είναι η θεωρητικές ώρες διάρκειας της ημέρας της Ιουλιανής ημέρας i και d_1 και d_2 είναι η πρώτη και η τελευταία Ιουλιανή ημέρα του μήνα, αντίστοιχα (Vangelis et al., 2013).

Computed from Sunshine Tables, U.S. Weather Bureau Bull. 805 (1905 ed.).

TABLE I
DAYTIME HOUR PERCENTAGES FOR EACH MONTH OF THE YEAR FOR
LATITUDES 24 TO 50 DEGREES NORTH OF EQUATOR⁹

Month	Latitudes in degrees north of equator													
	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50
January	7.58	7.49	7.40	7.30	7.20	7.10	6.99	6.87	6.76	6.62	6.49	6.33	6.17	5.98
February	7.17	7.12	7.07	7.03	6.97	6.91	6.86	6.79	6.73	6.65	6.58	6.50	6.42	6.32
March	8.40	8.40	8.39	8.38	8.37	8.36	8.35	8.34	8.33	8.31	8.30	8.29	8.27	8.25
April	8.60	8.64	8.68	8.72	8.75	8.80	8.85	8.90	8.95	9.00	9.05	9.12	9.18	9.25
May	9.30	9.38	9.46	9.53	9.63	9.72	9.81	9.92	10.02	10.14	10.26	10.39	10.53	10.69
June	9.20	9.30	9.38	9.49	9.60	9.70	9.83	9.95	10.08	10.21	10.38	10.54	10.71	10.93
July	9.41	9.49	9.58	9.67	9.77	9.88	9.99	10.10	10.22	10.35	10.49	10.64	10.80	10.99
August	9.05	9.10	9.16	9.22	9.28	9.33	9.40	9.47	9.54	9.62	9.70	9.79	9.89	10.00
September	8.31	8.31	8.32	8.34	8.34	8.36	8.36	8.38	8.38	8.40	8.41	8.42	8.44	8.44
October	8.09	8.06	8.02	7.99	7.93	7.90	7.85	7.80	7.75	7.70	7.63	7.58	7.51	7.43
November	7.43	7.36	7.27	7.19	7.11	7.02	6.92	6.82	6.72	6.62	6.49	6.36	6.22	6.07
December	7.46	7.35	7.27	7.14	7.05	6.92	6.79	6.66	6.52	6.38	6.22	6.04	5.86	5.65
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Εικόνα 3: Τιμές του p για κάθε μήνα, για γεωγραφικό πλάτος από 24 έως 50 μοίρες βόρεια, Πηγή: Blaney and Criddle (1964)

Τα όρια των τιμών που κυμαίνεται ο RDI και καθορίζουν τις κατηγορίες ξηρασίας δίνονται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 4: Κατηγοριοποίηση των τιμών του RDI, πηγή: Βαγγέλης (2012)

Τιμές RDI_{st}	Κατηγορία υγρασίας/ ξηρασίας
>2.0	ακραία υγρή
1.50 έως 1.99	σημαντικά υγρή
1.00 έως 1.49	μέτρια υγρή
-0.99 έως 0.99	κανονικές συνθήκες
-1.00 έως -1.49	μέτρια ξηρή
-1.50 έως -1.99	σημαντικά ξηρή
<-2.00	ακραία ξηρή

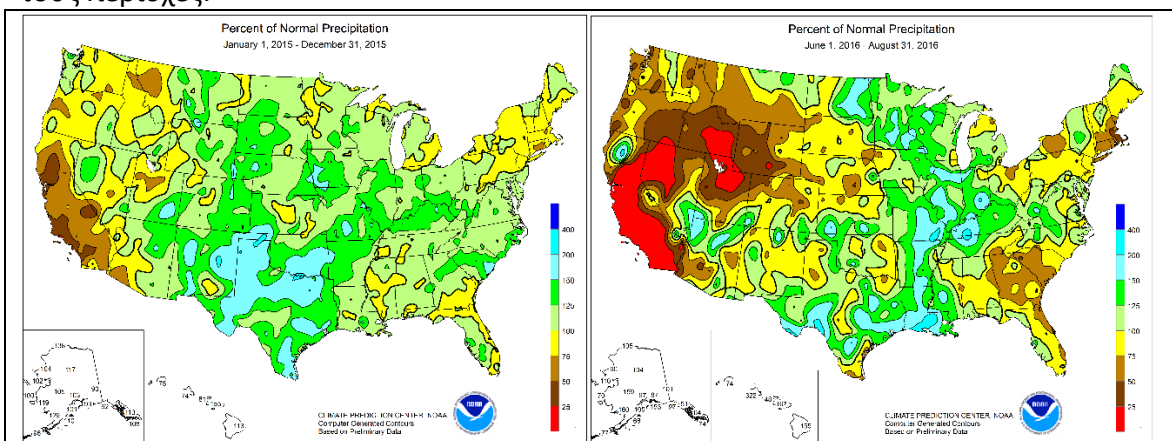
Πλεονεκτήματα του RDI

- Υπολογίζει το συνολικό έλλειμμα μεταξύ της βροχόπτωσης και της ζήτησης των υδρατμών στην ατμόσφαιρα.
- Μπορεί να υπολογιστεί για οποιαδήποτε χρονική περίοδο
- Ο υπολογισμός δίνει πάντα ένα αποτέλεσμα
- Μπορεί να συσχετιστεί αποτελεσματικά με γεωργική ξηρασία
- Είναι άμεσα συνδεδεμένο με τις κλιματικές αλλαγές μιας περιοχής, καθώς για την ετήσια τιμή, μπορεί να συγκριθεί με τον FAO (Food and Agriculture Organization) Aridity Index
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί υπό προϋποθέσεις "κλιματικής αστάθειας", για την εξέταση της σημασίας διάφορων αλλαγών των κλιματικών παραγόντων που σχετίζονται με τη λειψυδρία

2.3.3. Percent of Normal Precipitation (Ποσοστό Κανονικής βροχόπτωσης)

Τα ποσοστά κανονικής βροχόπτωσης αποτελούν μία εύκολη μέθοδο για τον προσδιορισμό της ξηρασίας, καθώς για τον υπολογισμό της απαιτείται μόνο η διαίρεση της πραγματικής τιμής βροχόπτωσης σε ένα σημείο με τη τιμή της κανονικής βροχόπτωσης (τυπικά είναι η μέση τιμή της βροχόπτωσης για περίοδο 30 ετών) επί το 100%. Η μέθοδος υπολογίζεται για διάφορες χρονικές κλίμακες που αντιστοιχούν συχνά σε ένα μήνα, σε μια εποχή, ή σε ένα εποχιακό ή υδρολογικό έτος (Hayes, 2006).

Παρακάτω, παρατίθενται 2 χάρτες της υπηρεσίας National Weather Service στην Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής, όπου παρατηρείται πως υπολογίζεται, με τη μέθοδο ποσοστών κανονικής βροχόπτωσης, η ξηρασία, στην πρώτη περίπτωση με χρονική κλίμακα ενός έτους και στην δεύτερη περίπτωση με χρονική κλίμακα ενός μήνα (και συγκεκριμένα του Αυγούστου). Είναι ιδιαίτερα χρήσιμος δείκτης για τα καιρικά δελτία, και για την σύγκριση μίας περιοχής ή μιας εποχής, αλλά παρουσιάζει αρκετά προβλήματα στον προσδιορισμό της πραγματικής ξηρασίας. Ένα από αυτά είναι πως η μέση τιμή της βροχόπτωσης συχνά δεν ταυτίζεται με τη διάμεσο, η οποία είναι η τιμή που η βροχόπτωση δεν ξεπερνά το 50% του συνόλου κατά τη μακρά χρονοσειρά. Αυτό συμβαίνει καθώς η μηνιαία ή εποχιακή κλίμακα δεν προσαρμόζεται στην κανονική κατανομή. Η χρήση της κανονικής κατανομής προϋποθέτει η μέση τιμή και ο διάμεσος να ταυτίζονται. Λόγω της ύπαρξης ποικιλίας των χρονοσειρών βροχόπτωσης με διαφορετικά χωρικά και χρονικά χαρακτηριστικά, είναι δύσκολο να συγκριθούν μεταξύ τους περιοχές.



Εικόνα 4: Ποσοστό Κανονικής Βροχόπτωσης ετήσιας και τρίμηνης περιόδου, πηγή:Νοαα

2.3.4. DECILES (Δέκατα της βροχόπτωσης)

Οι Gibbs και Maher ανέπτυξαν τη μέθοδο δέκατα της βροχόπτωσης (deciles), με στόχο την παροχή μια ακριβής στατιστικής μέτρησης της βροχόπτωσης, σε αντίθεση με το ποσοστό κανονικής βροχόπτωσης. Ο υπολογισμός της μεθόδου, ξεκινάει από την

κατάταξη των παρατηρούμενων συνόλων βροχόπτωσης των τελευταίων τριών μηνών έναντι των μετεωρολογικών καταγραφών (Keyantash and Dracup, 2002). Αυτό επιτυγχάνεται με την διαίρεση της κατανομής των συμβάντων κατά τη διάρκεια μιας μακροχρόνιας εγγραφής βροχόπτωσης σε δέκατα της κατανομής. Κάθε μέρος της κατανομής που προέκυψε από τη διαίρεση ονομάζεται δεκατημόριο (decile). Το πρώτο δεκατημόριο αντιστοιχεί στη ποσότητα βροχόπτωσης που δεν ξεπερνά το χαμηλότερο 10% της βροχόπτωσης. Το δεύτερο δεκατημόριο είναι το ποσό της βροχόπτωσης που δεν ξεπερνά το χαμηλότερο 20% της βροχόπτωσης και αντίστοιχα για τα υπόλοιπα ποσοστά, μέχρις ότου το ποσό της βροχόπτωσης στο δέκατο δεκατημόριο να είναι το μεγαλύτερο ποσό βροχών κατά τη μακροχρόνια εγγραφή. Σύμφωνα με τον ορισμό, το ποσό βροχόπτωσης που δεν ξεπερνά το 50% των συμβάντων της περιόδου αναφοράς, αντιστοιχεί στη διάμεσο και είναι το πέμπτο δεκατημόριο (Hayes, 2006). Αν το άθροισμα της βροχόπτωσης των περασμένων τριών μηνών βρίσκεται στο χαμηλότερο δεκατημόριο της κατανομής του συνόλου των 3 μηνών για όλα τα έτη που υπάρχουν εγγραφές, τότε η περιοχή υποφέρει από ξηρασία. Η ξηρασία λήγει είτε όταν η βροχόπτωση του τελευταίου μήνα τοποθετεί το συνολικό τρίμηνο μέσα ή πάνω από το τέταρτο δεκατημόριο, είτε το σύνολο της βροχόπτωσης του περασμένου τριμήνου βρίσκεται μέσα ή πάνω από το όγδοο δεκατημόριο. Τέλος ένας ακόμα έλεγχος τερματισμού της ξηρασίας που χρησιμοποιήθηκε από το Drought Watch Service of the Australian Bureau of Meteorology είναι όταν ισχύει πως το σύνολο της βροχόπτωσης από την αρχή της ξηρασίας, ξεπερνά το πρώτο δεκατημόριο για όλους του μήνες που υποφέρουν από ξηρασία (Keyantash and Dracup, 2002).

Η μέθοδος Deciles χρησιμοποιείται από το Αυστραλιανό Σύστημα Παρακολούθησης Ξηρασίας (Australian Drought Watch System), καθώς θεωρείται μια αρκετά απλή υπολογιστική μέθοδος, λόγω της αξιοποίησης μόνο χρονοσειρών βροχόπτωσης, σε αντίθεση με τον δείκτη PDSI που απαιτεί βροχόπτωση, θερμοκρασία και εδαφική υγρασία. Η μέθοδος όμως, για να ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα, χρειάζεται μεγάλες χρονοσειρές βροχόπτωσης. Επιπλέον, όταν υπάρχουν μικρά ποσά βροχόπτωσης κατά τη διάρκεια περιόδων όπου πέφτει λίγη ή καθόλου βροχή, τότε ισχύει η πρώτη περίπτωση που τερματίζει την ξηρασία με αποτέλεσμα ενώ το φαινόμενο φαίνεται πως έχει λήξει, το ποσό της βροχόπτωσης είναι ασήμαντο και το έλλειμα νερού συνεχίζει. Αν και για να αποφευχθεί το τελευταίο πρόβλημα δημιουργήθηκε ο τελευταίος έλεγχος τερματισμού της ξηρασίας που αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο.

Η κατάταξη των αποτελεσμάτων δίνεται στον ακόλουθο πίνακα (Hayes, 2006):

Πίνακας 5: Κατηγοριοποίηση των τιμών Deciles με βάση το επίπεδο ξηρασίας

Deciles		Κατηγορία
1-2	<20%	σημαντικά κάτω του φυσιολογικού
3-4	20% - 40%	κάτω του φυσιολογικού
5-6	40% - 60%	σχεδόν φυσιολογικός
7-8	60% - 80%	πάνω του φυσιολογικού
9-10	80% - 100%	σημαντικά άνω του φυσιολογικού

2.3.5. Palmer Drought Severity Index (PDSI)

Το 1965 ο Palmer ορίζοντας ως περίοδο ξηρασίας ένα χρονικό διάστημα, με διάρκεια μηνών ή ετών, κατά το οποίο το πραγματικό απόθεμα υγρασίας σε μια δεδομένη περιοχή συνεχώς υπολείπεται το κλιματικά αναμενόμενο ή κλιματικά κατάλληλο απόθεμα υγρασίας, δημιούργησε τον δείκτη PDSI με στόχο να υπολογίσει την σοβαρότητα της ξηρασίας. Ο συγκεκριμένος δείκτης αναφέρεται και ως Palmer Index, καθώς εκτιμά και τις υγρές καταστάσεις. Το αντικείμενο του PDSI ήταν να παρέχει μετρήσεις των συνθηκών υγρασίας, οι οποίες κανονικοποιούνταν ώστε να είναι δυνατή η σύγκριση μεταξύ περιοχών και μεταξύ μηνών. Η εφαρμογή του στις εκτιμήσεις των συνθηκών υγρασίας δοκιμάστηκε και στην Νότια Αφρική, την Κίνα και την Αυστραλία (Wilhite and Glantz, 1985).

Ο PDSI έχει βαθμονομηθεί για σχετικά ομογενείς περιοχές και είναι ο πρώτος ολοκληρωμένος δείκτης που αναπτύχθηκε στις Ηνωμένες Πολιτείες. Ο PDSI είναι αποτελεσματικότερος όταν χρησιμοποιείται για γεωργική ξηρασία, καθώς είναι πιο ευαίσθητος στις συνθήκες εδαφικής υγρασίας. Κάποια από τα πλεονεκτήματα της χρήσης του δείκτη PDSI είναι:

1. η δυνατότητα λήψης αποφάσεων με τη μέτρηση της ανωμαλίας των πρόσφατων καιρικών συνθηκών μιας περιοχής
2. η δυνατότητα τοποθέτησης των τρεχουσών καιρικών συνθηκών σε ιστορική βάση
3. η παροχή χωρικών και χρονικών αναπαραστάσεων ξηρασίας παλαιών χρόνων.

Αποτελεί έναν μετεωρολογικό δείκτη, ο οποίος ανταποκρίνεται στις καιρικές συνθήκες που υπήρξαν ασυνήθιστα ξηρές ή ασυνήθιστα υγρές. Όταν οι καταστάσεις μεταβάλλονται από υγρές σε κανονικές ή ξηρές, ο δείκτης δεν λαμβάνει υπόψη την απορροή ή την αλλαγή στη στάθμη των λιμνών και των δεξαμενών. (Hayes 2006)

Τα δεδομένα που απαιτούνται για τον υπολογισμό του δείκτη, είναι η βροχόπτωση, η θερμοκρασία και οι προηγούμενες τοπικές συνθήκες εδαφικής υγρασίας.

Οι περιορισμοί του δείκτη περιλαμβάνουν κυρίως:

1. μια εγγενής χρονική κλίμακα με αποτέλεσμα ο PDSI να είναι καταλληλότερος για υπολογισμό της γεωργικής ξηρασίας παρά της υδρολογικής,
2. την υπόθεση ότι όλη η κατακρήμνιση (βροχή, χιόνι, χιονόνερο, χαλάζι) είναι βροχόπτωση, έτσι κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών ή σε μεγάλα υψόμετρα, οι τιμές του PDSI δεν είναι αντιπροσωπευτικές.
3. Επίσης, την υπόθεση ότι η απορροή προκύπτει αφότου όλα τα στρώματα εδάφους είναι κορεσμένα, με αποτέλεσμα να υποεκτιμάται η απορροή
4. Η ταξινόμηση των τιμών PDSI σε ακραία και σημαντική ξηρασία αλλάζει ανάλογα με την θέση της χώρας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, ο δείκτης να μην είναι χωρικά συγκρίσιμος, και όταν πρέπει να παρθούν μέτρα αντιμετώπισης της ξηρασίας να μην είναι εφικτό.
5. Αργή ανταπόκριση στην εξέλιξη των γεγονότων ξηρασίας, με αποτέλεσμα όταν μια περιοχή υποφέρει από ξηρασία, ο δείκτης δίνει τιμές που ανταποκρίνονται στο γεγονός αφότου έχει γίνει κλιματολογική ανάκαμψη μετά την ξηρασία.

6. Τέλος, ο δείκτης δεν είναι αντιπροσωπευτικός σε ορεινές περιοχές, καθώς το μεγαλύτερο ποσοστό της κατακρήμνισης είναι χιόνι (περιορισμός 2) (Hayes et al., 1999).

Οι τιμές του δείκτη κυμαίνονται:

Πίνακας 6: Ταξινόμηση τιμών του PDSI με βάση τις κατηγορίες υγρασίας και ξηρασίας, πηγή: Palmer (1965)

Τιμές PDSI	Κατηγορία υγρασίας/ ξηρασίας
>4.0	εξαιρετικά υγρή
3.0 έως 3.99	πολύ υγρή
2.0 έως 2.99	μέτρια υγρή
1.0 έως 1.99	ελαφρά υγρή
0.5 έως 0.99	ασθενικά υγρή
0.49 έως -0.49	κοντά στο φυσιολογικό
-0.5 έως -0.99	ασθενής ξηρασία
-1.0 έως -1.99	ήπια ξηρασία
-2.0 έως -2.99	μέτρια ξηρασία
-3.0 έως -3.99	ισχυρή ξηρασία
<-4.0	ακραία ξηρασία

2.3.6. Δείκτης Υδρολογικής ξηρασίας SDI

Ο δείκτης υδρολογικής ξηρασίας SDI (Streamflow Drought Index) κατασκευάστηκε από τους Nalbantis and Tsakiris (2009) και αποτελεί έναν υδρολογικό δείκτη, καθώς αξιοποιεί την απορροή για τον έλεγχο ύπαρξης ξηρασίας. Για τον υπολογισμό του SDI είναι απαραίτητη μια χρονοσειρά μηνιαίων όγκων απορροής $Q_{i,j}$, όπου i το υδρολογικό έτος και j ο μήνας του συγκεκριμένου υδρολογικού έτους (με $j=1$ για τον Οκτώβριο), ώστε να υπολογιστεί ο αθροιστικός όγκος απορροής $V_{i,k}$ για το υδρολογικό έτος i και την περίοδο αναφοράς k , με τον ακόλουθο τύπο:

$$V_{i,k} = \sum_{j=1}^{3k} Q_{i,j}, i = 1, 2, \dots j = 1, 2, \dots, 12 k = 1, 2, 3, 4 \quad (2.12)$$

Οι τιμές της περιόδου αναφοράς k , αντιστοιχούν στις περιόδους Οκτωβρίου-Δεκεμβρίου για $k=1$, Οκτωβρίου-Μαρτίου για $k=2$, Οκτωβρίου-Ιουνίου για $k=3$ και Οκτωβρίου-Σεπτεμβρίου για $k=4$. Στη συνέχεια για κάθε περίοδο αναφοράς k , και με βάση τους αθροιστικούς όγκους απορροής $V_{i,k}$, υπολογίζεται ο SDI με τον ακόλουθο τύπο:

$$SDI_{i,k} = \frac{V_{i,k} - \bar{V}_k}{s_k} \quad i = 1, 2, \dots \quad k = 1, 2, 3, 4 \quad (2.13)$$

όπου \bar{V}_k και s_k η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση των αθροιστικών όγκων απορροής της περιόδου αναφοράς k , αντίστοιχα, όπως υπολογίζονται για μεγάλη χρονική περίοδο.

Για τον προσδιορισμό της κατηγορίας της ξηρασίας, προέκυψαν πέντε καταστάσεις οι οποίες δίνονται στον παρακάτω πίνακα, όπου ως μηδέν είναι κατάσταση χωρίς ξηρασία, ενώ ως 4 είναι η κατάσταση με την περισσότερη ξηρασία. Τα κριτήρια για τον καθορισμό των καταστάσεων συμπίπτουν με της κατηγορίες ξηρασίας του δείκτη SPI (Nalbantis, 2008).

Πίνακας 7: Καταστάσεις υδρολογικής ξηρασίας σύμφωνα με τον SDI, πηγή: Βαγγέλης (2012)

Κατάσταση	Κατηγορία ξηρασίας	Κριτήριο	Πιθανότητα (%)
0	Χωρίς ξηρασία	$SDI \geq 0.0$	50.0
1	Ήπια ξηρασία	$-1.0 \leq SDI < 0.0$	34.1
2	Μέτρια ξηρασία	$-1.5 \leq SDI < -1.0$	9.2
3	Σημαντική ξηρασία	$-2.0 \leq SDI < -1.5$	4.4
4	Ακραία ξηρασία	$SDI < -2.00$	2.3

Η απορροή μπορεί να είναι διακοπτόμενη ή εφήμερη, με αποτέλεσμα να πρέπει να καθοριστούν τρεις περιπτώσεις:

1. υδατόρευμα με μόνιμη ροή, αυτή η περίπτωση είναι ιδανική για την εφαρμογή του δείκτη,
2. υδατόρευμα με εφήμερη ροή, όχι τελείως ξηρό στη διάρκεια του υδρολογικού έτους, σε αυτή τη περίπτωση ο δείκτης δεν υπολογίζεται, καθώς η αθροιστική απορροή λαμβάνει πάντα κάποια θετική τιμή,
3. υδατόρευμα χωρίς ροή σε ορισμένα υδρολογικά έτη, όπου αυτή την περίπτωση ανήκει στην κατάσταση 4 (ακραία ξηρασία) (Βαγγέλης, 2012).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1. ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΑΣΗΣ

Η τάση ορίζεται ως ο μέσος ρυθμός μεταβολής σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα (Link and Sauer, 1997). Ο σκοπός του ελέγχου της τάσης είναι να καθοριστεί εάν οι τιμές μιας τυχαίας μεταβλητής, γενικά αυξάνονται (ή μειώνονται) κατά τη διάρκεια μιας χρονικής περιόδου σε στατιστικούς όρους (Helsel and Hirsch, 1992). Οι έλεγχοι μπορεί να είναι είτε παραμετρικοί, είτε μη παραμετρικοί. Οι παραμετρικοί έλεγχοι υποθέτουν ότι η τυχαία μεταβλητή ακολουθεί την κανονική κατανομή και είναι ομογενής, ενώ οι μη παραμετρικοί δεν κάνουν καμία υπόθεση για την κατανομή πιθανότητας (Önöz and Bayazit, 2003). Οι μετεωρολογικές χρονοσειρές τείνουν να είναι ασύμμετρες και σπανίως ακολουθούν την κανονική κατανομή (Yue et al., 2002). Οι παραμετρικοί ή μη παραμετρικοί στατιστικοί έλεγχοι χρησιμοποιούνται για να εντοπιστεί αν υπάρχει τάση που είναι στατιστικά σημαντική (Önöz and Bayazit, 2003). Το αποτέλεσμα των ελέγχων καταλήγει συνήθως σε δύο περιπτώσεις, αν ισχύει η μηδενική υπόθεση για ένα συγκεκριμένο επίπεδο εμπιστοσύνης, τότε δεν υπάρχει τάση στο δείγμα, και το αντίθετο. Οι στατιστικοί έλεγχοι περιλαμβάνουν δύο τύπους λάθους (error). Τον τύπο I error (α), που είναι η πιθανότητα να απορριφθεί η μηδενική υπόθεση όταν είναι αληθής και τον τύπο II error (β), που είναι η πιθανότητα αποδοχής της μηδενικής υπόθεσης όταν είναι ψευδής. Τα επίπεδα εμπιστοσύνης είναι συνήθως αρκετά χαμηλά με τιμές 0.01, 0.05 ή 0.10, όπου όσο μικρότερη είναι η τιμή του α , τόσο μεγαλύτερη είναι η εμπιστοσύνη ότι η μηδενική υπόθεση είναι πραγματικά ψευδής, όταν έχει προσδιοριστεί ως τέτοια. Είναι απαραίτητο να λάβουμε υπόψη την ισχύ του ελέγχου (power of the test), που είναι η πιθανότητα να απορριφθεί σωστά η μηδενική υπόθεση όταν είναι ψευδής, και ισούται με $1-\beta$, καθώς ένα δυνατό τεστ θα απορρίψει την μηδενική υπόθεση με μεγάλη πιθανότητα (Yue et al., 2002).

Μη παραμετρικοί έλεγχοι, οι οποίοι χρησιμοποιούνται σε ευρεία βάση για τον έλεγχο των τάσεων, είναι του Mann-Kendall και του Spearman.

3.1.1. Έλεγχος Τάσης Mann - Kendall

Ο μη παραμετρικός στατιστικός έλεγχος Mann-Kendall (MK) χρησιμοποιείται σε μεγάλο βαθμό για να ελεγχθεί η στατιστική σημαντικότητα σε μετεωρολογικές χρονοσειρές όπως η ποιότητα νερού, η απορροή, η θερμοκρασία και η βροχόπτωση. Ο Mann-Kendall είναι έλεγχος για την μονότονη τάση και για την εφαρμογή του υπολογίζεται αρχικά η ποσότητα:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{k=i+1}^n \operatorname{sgn}(x_k - x_i) \quad (3.1)$$

Όπου x_k και x_i : διαδοχικές παρατηρήσεις με $k > i$
 n : ο αριθμός των παρατηρήσεων

$$sgn(\theta) = \begin{cases} 1 & \text{αν } \theta > 0 \\ 0 & \text{αν } \theta = 0 \\ -1 & \text{αν } \theta < 0 \end{cases} \quad (3.2)$$

Όπου $\theta = x_k - x_i$

Ειδικότερα, από τα παραπάνω προκύπτει πως κάθε τιμή στο δείγμα συγκρίνεται με όλες τις επόμενες (χρονικά) τιμές. Για κάθε επόμενη τιμή που υπερβαίνει την συγκεκριμένη, η τιμή του S αυξάνεται κατά μια μονάδα, ενώ για κάθε τιμή που είναι μικρότερη της προηγούμενης το S μειώνεται κατά μια μονάδα. Αυτό σημαίνει πως αν είναι μεγάλη η τιμή του S , τότε υπάρχει αύξηση στις τιμές, οπότε υπάρχει θετική τάση. Αν το S είναι μεγάλη αρνητική τιμή, τότε οι τιμές τείνουν να μειώνονται, άρα υπάρχει αρνητική τάση. Όταν όμως, το S είναι μικρό, κοντά στο μηδέν, τότε δεν μπορεί να γίνει εκτίμηση (Τσακίρης, 2013). Αν η τιμή του S είναι μεγάλη τότε οι τιμές είτε αυξάνονται είτε μειώνονται, ενώ αν η τιμή του S είναι μικρή τότε οι τιμές και αυξάνονται και μειώνονται, οπότε δεν μπορεί να υπάρχει μονότονη τάση. Ο Mann και Kendall έχουν τεκμηριώσει πως όταν το $n \geq 10$ τότε το μέγεθος S είναι κανονικά κατανομημένο με μέσο όρο και τυπική απόκλιση όπως ακολουθεί:

$$E(S) = 0 \quad (3.3)$$

$$V(S) = \frac{n \cdot (n - 1) \cdot (2n + 5) - \sum_{i=1}^g t_i \cdot i \cdot (i - 1) \cdot (2i + 5)}{18} \quad (3.4)$$

Όπου t_i ο αριθμός των ισοπαλιών στο σύνολο i και g ο αριθμός των συνόλων που έχουν την ίδια τιμή.

Υπολογίζεται, στη συνέχεια, το στατιστικό μέγεθος Kendall's tau:

$$\tau = \frac{2 \cdot S}{n(n - 1)} \quad (3.5)$$

Το τ παίρνει τιμές από -1 έως 1 και συγκρίνεται με κρίσιμες τιμές από τον αντίστοιχο πίνακα για δικατάληκτο (two-tailed) ή μονοκατάληκτο (one-tailed) έλεγχο για συγκεκριμένο επίπεδο εμπιστοσύνης. Επιλέγεται η χρήση του μονοκατάληκτου ελέγχου μόνο όταν είναι προφανές ότι η τάση είναι θετική ή αρνητική (Τσακίρης, 2013).

Για μέγεθος δείγματος μεγαλύτερο των 30 ετών ($n > 30$), υπολογίζεται το κανονικοποιημένο στατιστικό μέγεθος Z :

$$Z_{MK} = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{V(S)}} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{V(S)}} & S < 0 \end{cases} \quad (3.6)$$

Όπου το μέγεθος Z ακολουθεί την τυποποιημένη κανονική κατανομή με μέση τιμή το μηδέν και διασπορά το ένα (Yue et al., 2002).

Θετικές τιμές του Z υποδεικνύουν αύξουσες τάσεις, ενώ αρνητικές τιμές του Z υποδεικνύουν αρνητικές τάσεις. Αφού ο έλεγχος της τάσης γίνεται για ένα επιλεγμένο επίπεδο εμπιστοσύνης α , τότε όταν $|Z| > Z_{1-\alpha/2}$, η μηδενική υπόθεση απορρίπτεται και υπάρχει σημαντική τάση στις χρονοσειρές. Η τιμή $Z_{1-\alpha/2}$ δίνεται από τον πίνακα της τυπικής κανονικής κατανομής. Καθώς συνηθισμένες τιμές του α είναι το 0.01 και 0.05, για επίπεδο εμπιστοσύνης 0.05, η μηδενική υπόθεση απορρίπτεται αν $|Z| > 1.96$ και για επίπεδο εμπιστοσύνης 0.01, η μηδενική υπόθεση απορρίπτεται αν $|Z| > 2.576$ (Gocic and Trajkovic, 2013).

Όταν υπάρχει τάση η ισχύς του MK τεστ (ελέγχου) εξαρτάται από το είδος της κατανομής, σε αντίθεση με την κοινή άποψη ότι είναι ανεξάρτητος της κατανομής. Απλώς, δεν απαιτείται να είναι γνωστή η κατανομή ή να είναι κανονική για την εφαρμογή του ελέγχου, για αυτό και λέγεται μη παραμετρικός. Επιπλέον, η ισχύς του τεστ εξαρτάται και από τη μεταβλητή σχήματος της κατανομής (shape parameter κ), όταν υπάρχει τάση. Η ισχύς του τεστ αυξάνεται όταν αυξάνεται η κλίση της τάσης, ή το επίπεδο εμπιστοσύνης, ή όταν έχουμε μεγάλο δείγμα. Ενώ, η ισχύς του τεστ είναι φθίνουσα συνάρτηση του συντελεστή διακύμανσης μιας χρονοσειράς, δηλαδή όσο μεγαλύτερος ο συντελεστής διακύμανσης μιας χρονοσειράς, τόσο πιο δύσκολο είναι να εντοπίσουμε τάση στο δείγμα (Yue et al., 2002).

Υπάρχει διαφορά ανάμεσα στο στατιστικά σημαντικό και στο πρακτικά σημαντικό. Μεγάλα δείγματα θα εμφανίσουν οποιαδήποτε αλλαγή, όσο μικρή και αν είναι χωρίς να είναι αναγκαστικά πρακτικά σημαντική και παρομοίως μικρά δείγματα αποτυγχάνουν να εντοπίσουν μια αλλαγή στατιστικά, που μπορεί να είναι πρακτικά σημαντική (Yue et al., 2002).

3.1.1.1. P-value

Η τιμή p-value ορίζεται ως η πιθανότητα να βρεθεί ένα αποτέλεσμα ίσο ή «περισσότερο ακραίο» από ότι ήταν στην πραγματικότητα όταν παρατηρήθηκε, όταν η μηδενική υπόθεση είναι αληθής (Biau, 2010). Για την εφαρμογή της μεθόδου, έχοντας ορίσει την μηδενική υπόθεση και ένα κατώφλι για την τιμή του p , το οποίο ταυτίζεται με την τιμή του α (επίπεδο εμπιστοσύνης) του τεστ με τιμές συνήθως 0.05 και 0.01 (Nuzzo, 2014). Αν η τιμή του p είναι μικρότερη ή ίση από το επίπεδο εμπιστοσύνης α , τότε προκύπτει ότι οι παρατηρήσεις είναι ασυμβίβαστες με την μηδενική υπόθεση, οπότε είναι απαραίτητο να απορριφθεί η μηδενική υπόθεση. Δεν ισχύει όμως το αντίθετο, ότι δηλαδή η εναλλακτική υπόθεση είναι αληθής. Το p-value χρησιμοποιείται κυρίως για το αν θα

απορριφθεί ή όχι η μηδενική υπόθεση, καθώς ο υπολογισμός του σημαίνει πως ο πρώτος τύπος λάθους (Type error I) είναι το πολύ ίσο με α . Άρα, όταν το $p < \alpha$ τότε η μηδενική υπόθεση απορρίπτεται, ενώ όταν $p > \alpha$ η μηδενική υπόθεση δεν απορρίπτεται.

Ένα αποτέλεσμα θεωρείται στατιστικά σημαντικό αν επιτρέπει να απορριφθεί η μηδενική υπόθεση. Η απόρριψη της μηδενικής υπόθεσης σημαίνει πως η σωστή υπόθεση βρίσκεται στην εναλλακτική υπόθεση. Αν όμως δεν υπάρχει μόνο μια εναλλακτική υπόθεση πέρα από την μηδενική, τότε η απόρριψη της μηδενικής υπόθεσης δεν μας προσδιορίζει ποια από τις εναλλακτικές είναι η σωστή.

3.1.1.2. Sen's slope

Ο Sen ανέπτυξε μια μη παραμετρική διαδικασία για τον υπολογισμό της κλίσης της τάσης, σε ένα δείγμα N ζευγαριών παρατηρήσεων. Ο τύπος είναι:

$$Q_i = \frac{x_j - x_k}{j - k} \text{ για } j = 1, \dots, N \quad (3.7)$$

Όπου x_j και x_k είναι οι τιμές των παρατηρήσεων τον χρόνο j και k ($j > k$), αντίστοιχα.

Αν υπάρχει μόνο ένα δεδομένο σε κάθε χρονική περίοδο, τότε $N = \frac{n(n-1)}{2}$, όπου n ο αριθμός των χρονικών περιόδων. Αν υπάρχουν πολλαπλές παρατηρήσεις σε μια ή περισσότερες χρονικές περιόδους, τότε $N < \frac{n(n-1)}{2}$, όπου n ο συνολικός αριθμός των παρατηρήσεων (Gocic and Trajkovic, 2013).

Οι N τιμές του Q_i ταξινομούνται από το μικρότερο στο μεγαλύτερο και η διάμεσος της κλίσης (Sen's slope estimator) υπολογίζεται ως εξής:

$$Q_{med} = \begin{cases} Q_{[(N+1)/2]} & \text{αν το } N \text{ είναι περιττός} \\ \frac{Q_{[N/2]} + Q_{[(N+2)/2]}}{2} & \text{αν το } N \text{ είναι ζυγός} \end{cases} \quad (3.8)$$

Το πρόσημο του Q_{med} υποδεικνύει την τάση και η τιμή του δείχνει την κλίση της τάσης. Για να προσδιοριστεί αν η μέση κλίση είναι στατιστικά διάφορη του μηδενός, θα πρέπει να δοθεί το διάστημα εμπιστοσύνης του Q_{med} σε συγκεκριμένη πιθανότητα. Το επίπεδο εμπιστοσύνης υπολογίζεται ως εξής:

$$C_a = Z_{1-a/2} \sqrt{Var(S)} \quad (3.9)$$

Όπου το $Var(S)$ υπολογίζεται σύμφωνα με την εξίσωση (3.4) και το $Z_{1-a/2}$ δίνεται από τον πίνακα της τυπικής κανονικής κατανομής (Gocic and Trajkovic, 2013).

Το Sen's slope είναι στατιστικά διάφορο του μηδενός, αν τα δύο όρια, το Q_{\min} και το Q_{\max} έχουν ίδιο πρόσημο. Υπολογίζονται οι τιμές $M_1 = \frac{N-C_a}{2}$ και $M_2 = \frac{N+C_a}{2}$. Το κατώτατο και ανώτατο όριο του διαστήματος εμπιστοσύνης της κλίσης, Q_{\min} και Q_{\max} αντίστοιχα, υπολογίζονται ως η κλίση Q_i που βρίσκεται στην θέση M_1 και η κλίση Q_i που βρίσκεται στην θέση $(M_2 + 1)$ της φθίνουσας σειράς των τιμών $\{Q_i, i = 1, 2, \dots, N\}$, αντίστοιχα (Gocic and Trajkovic, 2013).

Συνοπτικά, η μέθοδος διαλέγει την διάμεσο των κλίσεων ανάμεσα σε όλες τις γραμμές που έχουν προκύψει από ζευγάρια παρατηρήσεων του δείγματος. Βασικό πλεονέκτημα της μεθόδου είναι ότι δεν είναι ευαίσθητη στις ακραίες τιμές, με αποτέλεσμα να είναι πιο ακριβής από άλλες μεθόδους.

3.1.2. Έλεγχος Τάσης Spearman

Ο έλεγχος Spearman (SR) είναι ένας μη-παραμετρικός βαθμολογικά διατεταγμένος έλεγχος, ο οποίος έχοντας ένα σύνολο δεδομένων $\{X_i, i = 1, 2, \dots, n\}$, η μηδενική υπόθεση H_0 είναι ότι όλα τα X_i είναι ανεξάρτητα και όμοια κατανομημένα (δεν υπάρχει τάση), ενώ η εναλλακτική υπόθεση H_a είναι ότι τα X_i αυξάνονται ή μειώνονται με το i οπότε υπάρχει τάση. Ο συντελεστής συσχέτισης Spearman δίνεται από τον τύπο:

$$r_s = 1 - \frac{6}{n(n^2 - 1)} \sum (y_i - i)^2 \quad (3.10)$$

Όπου y_i είναι η σειρά (rank) της i παρατήρησης X_i σε ένα δείγμα μεγέθους n .

Αν ισχύει η μηδενική υπόθεση, δηλαδή $r_s = 0$, η ασυμπτωτική κατανομή του r_s είναι κανονική με μέσο όρο και διασπορά ως εξής:

$$E(r_s) = 0 \text{ και } V(r_s) = \frac{1}{n - 1} \quad (3.11)$$

Ο έλεγχος γίνεται με την ανηγμένη μεταβλητή:

$$Z_{SR} = r_s \sqrt{\frac{n - 2}{1 - r_s^2}} \quad (3.12)$$

Θετικές τιμές του Z_{SR} υποδεικνύουν θετική τάση, ενώ αρνητικές τιμές, υποδεικνύουν αρνητική τάση. Η μηδενική υπόθεση απορρίπτεται αν $|Z_{SR}| > t_{(n-2, 1-a/2)}$, οπότε υπάρχει σημαντική τάση στις χρονοσειρές. Το $t_{(n-2, 1-a/2)}$ είναι η κρίσιμη τιμή του t από τον πίνακα t -student, για επίπεδο εμπιστοσύνης 5% (Shadmani et al., 2011)

3.1.3. Nash–Sutcliffe model efficiency coefficient

Ο δείκτης Nash–Sutcliffe efficiency (NSE) είναι ένας κανονικοποιημένος στατιστικός δείκτης που καθορίζει το σχετικό μέγεθος της υπολειμματικής διακύμανσης («θόρυβος») σε σχέση με την μετρούμενη διαφορά δεδομένων («πληροφορία»). Ο δείκτης προσδιορίζει πόσο καλά, τα παρατηρούμενα έναντι των προσομοιωμένων δεδομένα, ταιριάζουν στη γραμμή με κλίση 1 (δηλαδή γωνία 45 μοιρών με δεδομένα ίσου μεγέθους) (Moriasi, et al., 2007). Ο υπολογισμός του NSE δίνεται από τον τύπο:

$$NSE = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{sim})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{mean})^2} \right] \quad (3.13)$$

Όπου Y_i^{obs} είναι η i παρατήρηση για το στοιχείο που αξιολογείται, Y_i^{sim} είναι η i τιμή της προσομοίωσης (μοντέλου), Y_i^{mean} είναι η μέση τιμή των παρατηρούμενων δεδομένων και n είναι ο συνολικός αριθμός των παρατηρήσεων.

Η τιμή του NSE κυμαίνεται από $-\infty$ έως και το 1.0, όπου το 1 είναι η καλύτερη τιμή. Όταν οι τιμές του NSE βρίσκονται ανάμεσα στο 0.0 και 1.0, τότε θεωρούνται ως αποδεκτές τιμές, ενώ όταν η τιμή είναι ίση ή μικρότερη του μηδενός (≤ 0.0) τότε η μέση τιμή των παρατηρούμενων δεδομένων έχει καλύτερη ικανότητα πρόβλεψης από την προσομοιωμένη τιμή, άρα η τιμή του NSE δεν είναι αποδεκτή (Moriasi et al., 2007).

Ο δείκτης στην υδρολογία χρησιμοποιείται κυρίως για να προσδιοριστεί κατά πόσο ένα μοντέλο απορροής (streamflow) πλησιάζει την πραγματική απορροή (στην θέση του Y χρησιμοποιείται η παροχή Q). Στη συγκεκριμένη εργασία όμως, ο δείκτης θα χρησιμοποιηθεί για την σύγκριση των δεικτών RDI και SPI, με στόχο να εξεταστεί πόσο καλά συσχετίζονται οι δύο δείκτες. Επιπλέον, συγκρίνεται ο βαθμός συσχέτισης τους με τον συντελεστή συσχέτισης του Pearson (r).

3.1.4. Συντελεστής συσχέτισης Pearson's (r)

Ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης του Pearson υπολογίζει το βαθμό της γραμμικής συσχέτισης μεταξύ δύο μεταβλητών. Οι τιμές του κυμαίνονται από -1 έως 1 και όσο πιο κοντά βρίσκεται η τιμή του r στα δύο άκρα τόσο μεγαλύτερη συσχέτιση μεταξύ των δύο μεταβλητών υπάρχει. Αναλυτικότερα, όταν ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης είναι ίσος με +1, τότε υπάρχει τέλεια θετική γραμμική συσχέτιση ενώ αν είναι ίσος με -1 υπάρχει τέλεια αρνητική γραμμική συσχέτιση, όπου με τον όρο τέλεια γραμμική συσχέτιση εννοείται πως αν οι δύο μεταβλητές ήταν οι άξονες ενός διαγράμματος διασποράς, τότε όλα τα σημεία του διαγράμματος θα ακολουθούσαν μια ίσια γραμμή. Όταν ο συντελεστής είναι ίσος με το μηδέν, οι δύο μεταβλητές δεν έχουν γραμμική συσχέτιση. Ο τύπος του συντελεστή γραμμικής συσχέτισης είναι ο εξής:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (3.14)$$

Όπου \bar{x} η μέση τιμή της μιας μεταβλητής και \bar{y} η μέση τιμή της άλλης μεταβλητής, με κάθε μεταβλητή να περιλαμβάνει ένα σύνολο δεδομένων, και n ο αριθμός του συνόλου των δεδομένων της μεταβλητής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4.1. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Η περιοχή που επιλέχθηκε για εφαρμογή των δεικτών ξηρασίας είναι ένα από τα εννέα διαμερίσματα της Ελλάδας, η Πελοπόννησος. Η Πελοπόννησος διαιρείται διοικητικά σε επτά νομούς με ονομασίες Αχαΐα, Ηλεία, Μεσσηνία, Αρκαδία, Λακωνία, Αργολίδα και Κορινθία και έχει συνολική έκταση ίση με 21.439 km²

Σύμφωνα με την Ειδική Γραμματεία Υδάτων, του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (ΥΠΕΚΑ), και την Οδηγία 2000/60/ΕΚ έγινε καθορισμός των Λεκανών Απορροής Ποταμών της χώρας, οι οποίες υπάγονται σε Περιοχές Λεκανών Απορροής Ποταμών με τον όρο Υδατικά Διαμερίσματα. Τα υδατικά διαμερίσματα της Πελοποννήσου είναι τρία και ονομάζονται Υδατικό Διαμέρισμα Δυτικής Πελοποννήσου (ΥΔ 01), Υδατικό Διαμέρισμα Βόρειας Πελοποννήσου (ΥΔ 02) και Υδατικό Διαμέρισμα Ανατολικής Πελοποννήσου (ΥΔ 03).

Το Υδατικό Διαμέρισμα Δυτικής Πελοποννήσου (ΥΔ 01) εκτείνεται γεωγραφικά στη δυτική και νοτιοδυτική Πελοπόννησο, με συνολική έκταση 7.235 km². Το διαμέρισμα αποτελείται από τους ορεινούς όγκους του Ερύμανθου και Αροανίων στα βόρεια, τα όρη του Αρτεμισίου, του Μαίναλου και του Ταΰγετου στα ανατολικά και τον Μεσσηνιακό κόλπο προς τα νότια και το Ιόνιο Πέλαγος και ο Κυπαρισσιακός Κόλπος προς τα δυτικά. Η μέση ετήσια βροχόπτωση έχει εκτιμηθεί ίση με 1.100 mm, με μεγάλες τιμές στα ορεινά και χαμηλές στα παράλια. Οι λεκάνες Απορροής που περιλαμβάνονται στο διαμέρισμα (ΦΕΚ 1383/Β/2-9-10), είναι του Ποταμού Αλφειού (GR29) και του Πάμισου – Νέδοντος – Νέδα (GR32).

Η λεκάνη απορροής Ποταμού Αλφειού (GR29) έχει έκταση 3810 km² και περιλαμβάνει την υδρολογική λεκάνη του Αλφειού έκτασης 3568 km² και δύο παράκτιες λεκάνες χωρίς σημαντικούς ποταμούς, τη λεκάνη που βρίσκεται η λιμνοθάλασσα Καϊάφα (165.8 km²) και βόρεια αυτής τη λεκάνη της αποξηραμένης λίμνης Αγουλινίτσας (756 km²). Τα κατακρημνίσματα φτάνουν περίπου τα 1058 mm το χρόνο.

Η λεκάνη απορροής των ποταμών Πάμισου – Νέδοντος – Νέδα (GR32) έχει έκταση 3.425 km² και τα γεωγραφικά όρια της περιοχής είναι στα βόρεια τα όρη Λύκαιο και Τετράζιο, στα ανατολικά ο Ταΰγετος, στα νότια ο Μεσσηνιακός Κόλπος και στα δυτικά το Ιόνιο Πέλαγος. Το ανάγλυφο της λεκάνης ποικίλει από πεδινό στα παράλια και στις κοιλάδες των ποταμών, με υψόμετρο από 0 έως 100 m, έως ορεινό στα ανατολικά όρια της λεκάνης απορροής, με υψόμετρο από 600 έως 2400 m. Στα ενδιάμεσα υψόμετρα, δηλαδή από 100 έως 600 m, το ανάγλυφο χαρακτηρίζεται ως ημιορεινό και λοφώδες. Τα κατακρημνίσματα φτάνουν περίπου τη μέση τιμή των 1100 mm το χρόνο.

Το Υδατικό Διαμέρισμα Βόρειας Πελοποννήσου (ΥΔ 02) έχει έκταση 7396.55 km² και το γεωμορφολογικό ανάγλυφο είναι γενικά ορεινό με υψόμετρα από 600 έως 2400 m, ημιορεινό στο εξωτερικό μέρος με τιμές από 100 έως 600 m και πεδινό από 0 έως 100 m στην παράκτια ζώνη. Το Υδατικό Διαμέρισμα Βόρειας Πελοποννήσου περιλαμβάνει τις Λεκάνες Απορροής Πείρου – Βέργα – Πηνειού (GR28), Ρεμάτων Παραλίας Β.

Πελοποννήσου (GR27) και Κεφαλονιάς – Ιθάκης – Ζακύνθου (GR45) (ΦΕΚ 1383/Β/2-9-10).

Η Λεκάνη Απορροής Ρεμάτων Παραλίας Βόρειας Πελοποννήσου (GR27) έχει έκταση 3.685 km² και βρίσκεται στα βορειοανατολικά της Πελοποννήσου. Το υψόμετρο κυμαίνεται στο εσωτερικό από 600 έως 2400 m (ορεινό ανάγλυφο), παίρνει τιμές από 100 έως 600 m στο εξωτερικό του (ημιορεινό) και ξεκινάει από 0 έως 100 m στην παράκτια περιοχή (πεδινό).

Η Λεκάνη Απορροής Πείρου – Βέργα – Πηνειού (GR28) βρίσκεται στα βορειοδυτικά της Πελοποννήσου με έκταση 2.423 km² και συνορεύει με την λεκάνη Λεκάνη Απορροής Ρεμάτων Παραλίας Βόρειας Πελοποννήσου (GR27) στα ανατολικά και με την Λεκάνη Απορροής Αλφειού (GR29) στα νότια.

Η Λεκάνη Απορροής Κεφαλονιάς – Ιθάκης – Ζακύνθου (GR45) είναι νησιωτική. Βρίσκεται στο Ιόνιο πέλαγος και περιλαμβάνει τα ομώνυμα νησιά καθώς και τις νήσους Στροφάδες. Η έκταση της ΛΑΠ είναι 1.289 km² και αντιστοιχεί στις Περιφερειακές Ενώτητες Κεφαλληνίας, Ιθάκης και Ζακύνθου.

Το Υδατικό Διαμέρισμα Ανατολικής Πελοποννήσου (ΥΔ 03) εκτείνεται στην ανατολική και νοτιοανατολική Πελοπόννησο με έκταση 8.442 km². Οροθετείται εν μέρει από τον Ταΰγετο και το Μαίναλο στα δυτικά, τον Πάρνωνα, τον Αργολικό Κόλπο και τον Κόλπο της Επιδαύρου στα ανατολικά, τον Λακωνικό Κόλπο στα νότια και τον ορεινό άξονα Ολύγιττου-Λυρκείων-Ονείων στα δυτικά. Το υδατικό διαμέρισμα περιλαμβάνει τις Λεκάνες Απορροής Οροπεδίου Τρίπολης (GR30), Ρεμάτων Αργολικού Κόλπου (GR31) και Ευρώτα (GR33) (ΦΕΚ 1383/Β/2-9-10).

Η Λεκάνη Απορροής του Οροπεδίου Τρίπολης (Κωδικός GR30) βρίσκεται στο κέντρο της Πελοποννήσου με έκταση 907 km² και συνορεύει με τις λεκάνες απορροής Ρεμάτων Παραλίας Βόρειας Πελοποννήσου (GR27), Αργολικού Κόλπου (GR31), Ευρώτα (GR33) και Ποταμού Αλφειού (GR29). Όσον αφορά το ανάγλυφο, τα υψόμετρα στο Οροπέδιο Τρίπολης κυμαίνονται από 600 έως 700 m και περιλαμβάνει κλειστές υπολεκάνες στις περιοχές Ορχομενού, Μαντινείας, Τρίπολης και Τεγέας.

Η Λεκάνη Απορροής των Ρεμάτων Αργολικού Κόλπου (GR31) βρίσκεται στα ανατολικά της Πελοποννήσου με συνολική έκταση 5.300 km² και περιλαμβάνει τα νησιά Κύθηρα, Αντικύθηρα, Σπέτσες, Ύδρα, Πόρος και τη χερσόνησο των Μεθάνων. Συνορεύει με τις λεκάνες απορροής των Ρεμάτων Παραλίας Βόρειας Πελοποννήσου (GR27), του Οροπεδίου Τρίπολης (GR30) και Ευρώτα (GR33). Το γεωμορφολογικό ανάγλυφο είναι κυρίως ορεινό με βουνά μεγάλου υψομέτρου (από 500 έως 2000 m) που οριοθετούν τις πεδιάδες της περιοχής.

Η Λεκάνη Απορροής του ποταμού Ευρώτα (GR33) βρίσκεται νότια της Πελοποννήσου, με έκταση 2.239 km² και συνορεύει με τις λεκάνες απορροής Οροπεδίου Τρίπολης (GR30) στα βόρεια, Πείρου – Βέργα – Πηνειού (GR28) στα βορειοδυτικά, Πάμισου – Νέδοντος – Νέδα (GR32) στα δυτικά του και Ρεμάτων Αργολικού Κόλπου (GR31) στα ανατολικά και βορειοανατολικά του. Η συγκεκριμένη λεκάνη απορροής περιλαμβάνει δύο βασικές πεδιάδες, της Σπάρτης και το δυτικό μέρος της πεδιάδας της Σκάλας. Στο κέντρο της κοιλάδας του Ευρώτα, η περιοχή είναι λοφώδης, και διέρχεται κατά μήκος από τον ποταμό Ευρώτα και κατά πλάτος από δευτερεύοντα μικρότερα ποτάμια που ενώνονται με το κύριο ποτάμι. Ανατολικά και δυτικά της λεκάνης, το

ανάγλυφο είναι ορεινό, ενώ στα νότια βρίσκεται η πεδιάδα της Σκάλας, που περιλαμβάνει την παράκτια περιοχή και φτάνει μέχρι το λακωνικό κόλπο, με μερικές λοφώδεις περιοχές στα βορειοδυτικά της πεδιάδας (πηγή: ΥΠΕΚΑ)

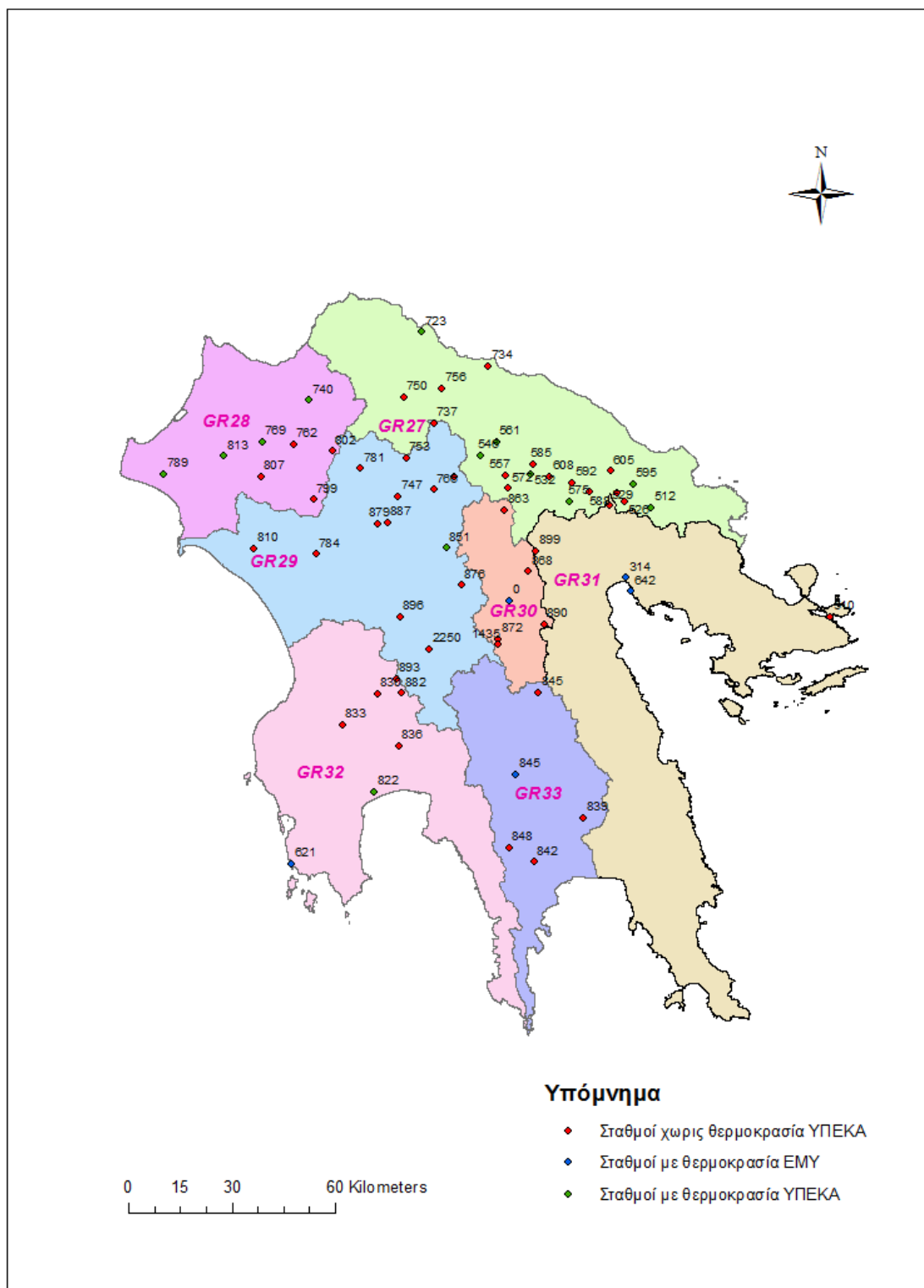
4.2. ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Ο προσδιορισμός της ξηρασίας, όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο γίνεται με τον υπολογισμό δεικτών. Καθώς στη υπό μελέτη περιοχή θα υπολογιστούν οι μετεωρολογικοί δείκτες Standardised Precipitation Index (SPI), Reconnaissance Drought Index (RDI) και Deciles, είναι απαραίτητη η συλλογή χρονοσειρών βροχής και μέγιστης, μέσης και ελάχιστης θερμοκρασίας.

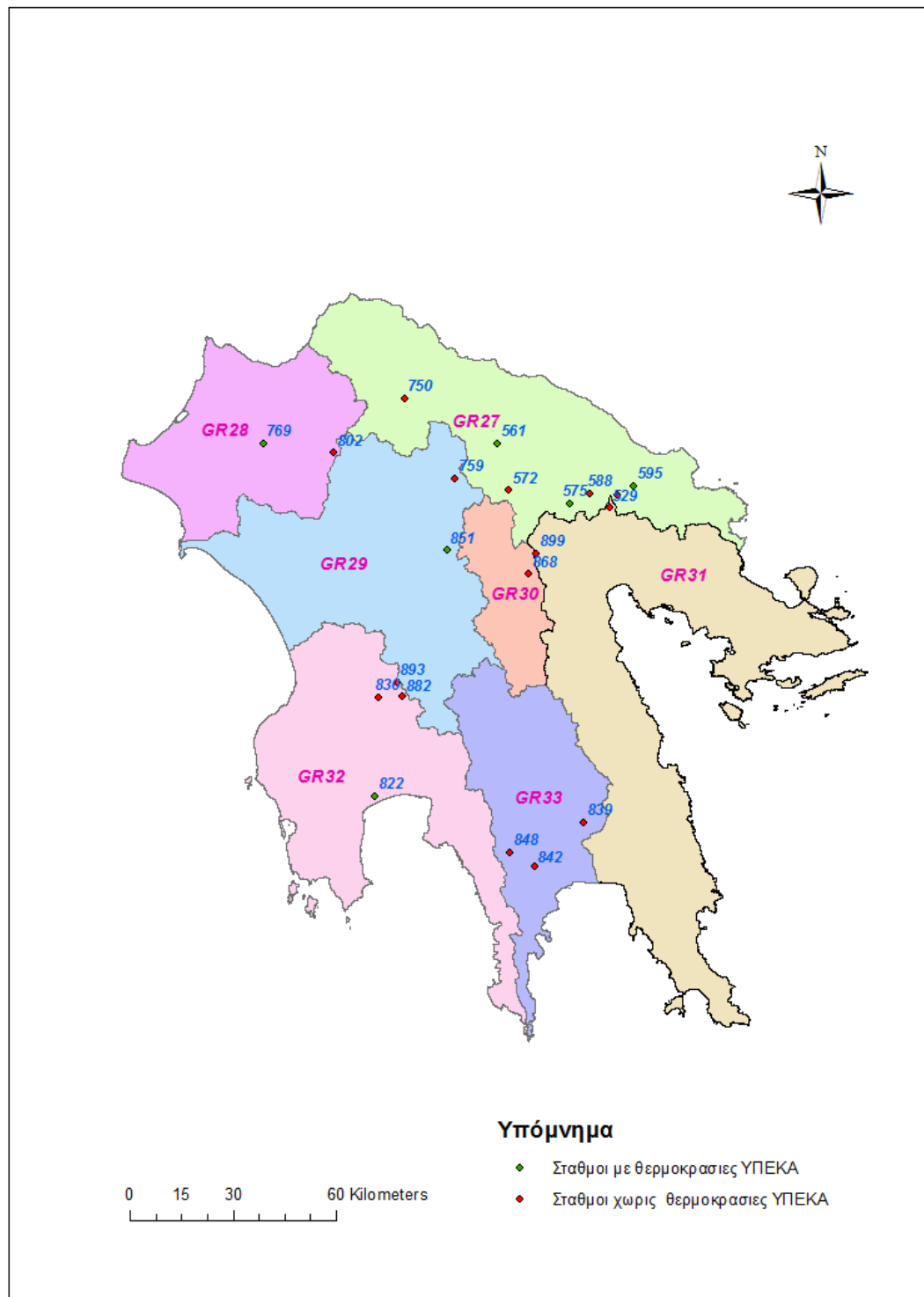
Από την ιστοσελίδα της υπηρεσίας του Υδροσκοπίου (<http://hydroscope.gr>) έγινε λήψη χρονοσειρών από σταθμούς του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (ΥΠΕΚΑ) και ζητήθηκαν και δεδομένα από σταθμούς της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (ΕΜΥ).

Η επιλογή των σταθμών που θα χρησιμοποιηθούν έγινε με τα ακόλουθα κριτήρια:

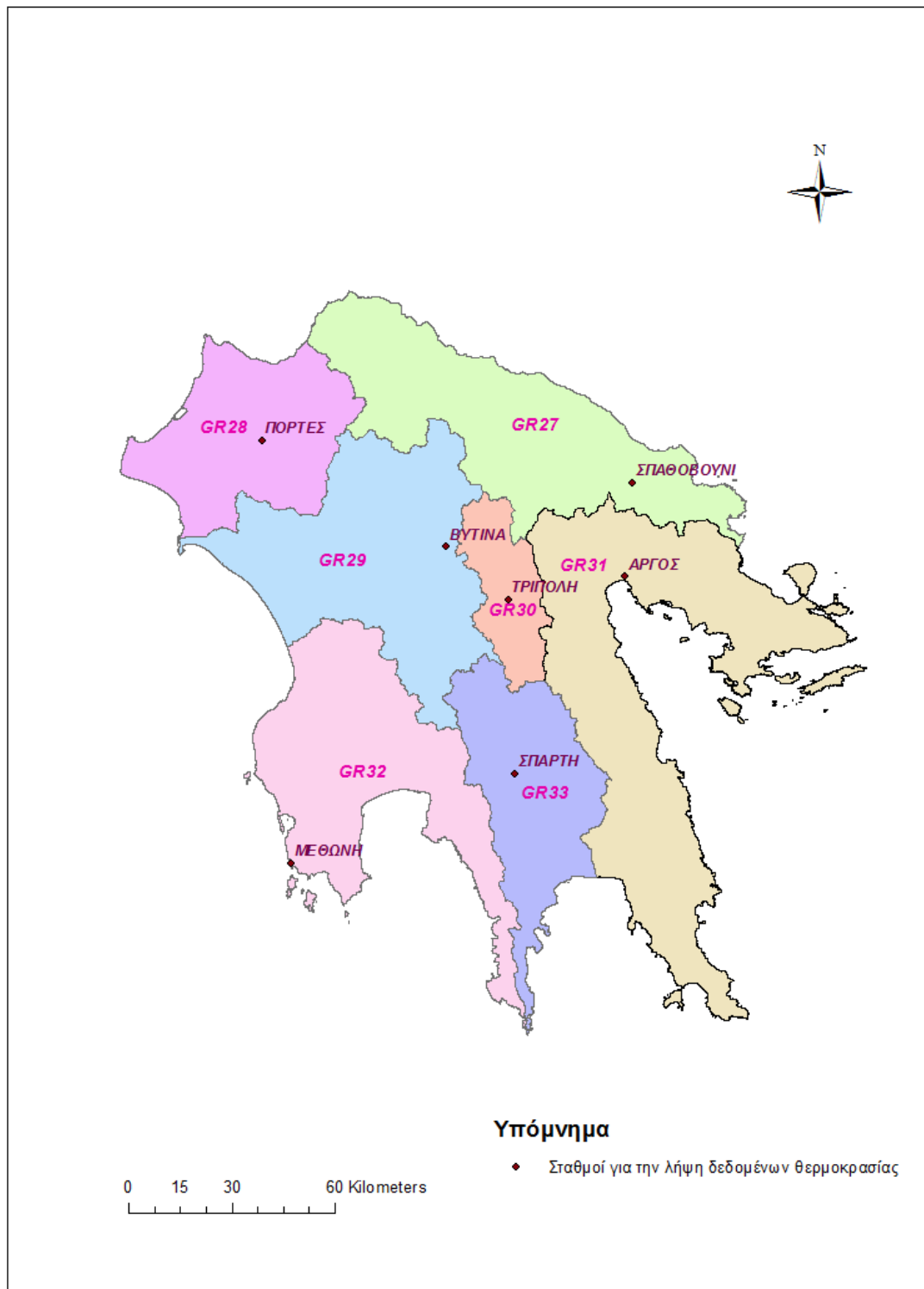
- Τον αριθμό των ετών της κάθε χρονοσειράς
- Το μέγεθος του διαστήματος που έλλειπαν δεδομένα μέσα σε μια χρονοσειρά
- Τη γραμμική συσχέτιση μεταξύ των επιλεγμένων σταθμών



Εικόνα 5: Οι σταθμοί της Πελοποννήσου πριν την επιλογή



Εικόνα 6: Οι επιλεγμένοι σταθμοί της Πελοποννήσου για τα δεδομένα βροχόπτωσης



Εικόνα 7: Οι σταθμοί που επιλέχθηκαν για την λήψη των χρονοσειρών θερμοκρασίας

Σύμφωνα με την εικόνα 5, παρόλο που αριθμός των υπαρχόντων σταθμών είναι μεγάλος, λίγοι από τους σταθμούς είχαν μικρά κενά στις χρονοσειρές της βροχόπτωσης (ώστε να μπορούν να συμπληρωθούν) και το κοινό διάστημα που προέκυψε είναι από το 1968 έως το 2008 (40 έτη). Στη συνέχεια, όταν υπολογίστηκε ο συντελεστής συσχέτισης, αφαιρέθηκαν μερικοί ακόμα σταθμοί, καθώς ο συντελεστής συσχέτισης ήταν μικρότερος της κρίσιμης τιμής (η κρίσιμη τιμή εξαρτάται από τον αριθμό των ετών). Οι σταθμοί που τελικά χρησιμοποιήθηκαν (για τα δεδομένα βροχόπτωσης) στον υπολογισμό των δεικτών, δίνονται στην εικόνα 6.

Καθώς, χρονοσειρές θερμοκρασίας δεν υπήρχαν σε πολλούς σταθμούς και το μέγεθος όσων υπήρχαν ήταν μικρό, προέκυψε ένας σταθμός σε κάθε λεκάνη με χρονοσειρά από το 1976 έως το 2001 (25 έτη). Οι σταθμοί από όπου πάρθηκαν τα δεδομένα θερμοκρασιών, φαίνονται στην εικόνα 7.

4.3. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

4.3.1. Υπολογισμός συντελεστή γραμμικής συσχέτισης

Έπειτα από την συλλογή των βροχομετρικών δεδομένων, και την επιλογή των σταθμών που θα χρησιμοποιηθούν, οι ετήσιες τιμές βροχόπτωσης και θερμοκρασίας κάθε σταθμού εισάγονται σε φύλλο του excel, και υπολογίζονται οι συντελεστές γραμμικής συσχέτισης μεταξύ των σταθμών σε κάθε λεκάνη ξεχωριστά. Δημιουργούνται πίνακες σε κάθε λεκάνη με όλες τους συντελεστές γραμμικής συσχέτισης και υπολογίζονται και οι κρίσιμες τιμές που καθορίζουν αν υπάρχει συσχέτιση στα δεδομένα. Ο τύπος του συντελεστή γραμμικής συσχέτισης του Pearson είναι ο εξής:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (4.1)$$

Στην συνέχεια, γίνεται επιλογή των σταθμών που έχουν καλές γραμμικές συσχετίσεις και γίνεται έλεγχος ομογένειας.

4.3.2. Έλεγχος Ομογένειας

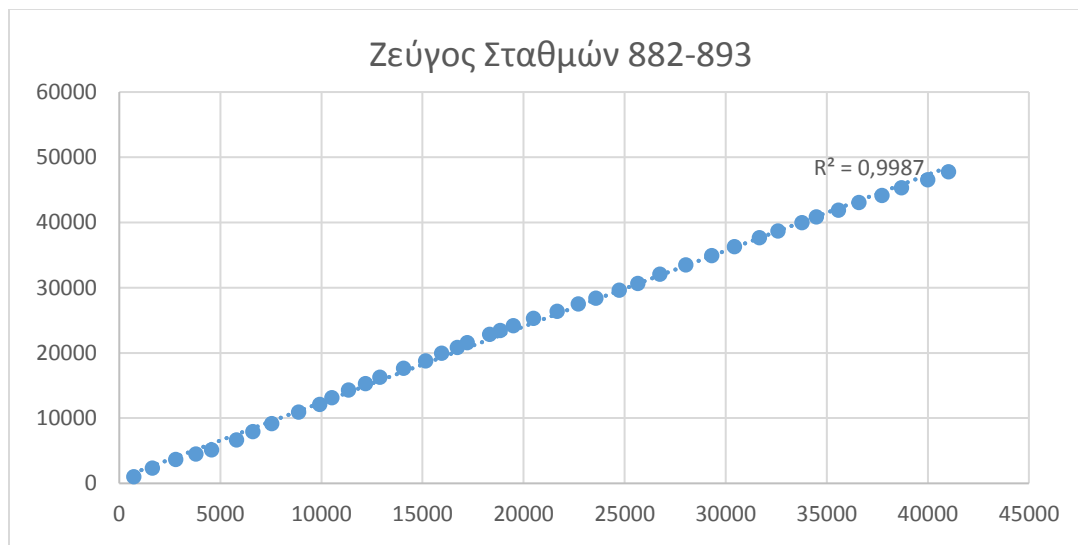
Μετά τον προσδιορισμό του συντελεστή γραμμικής συσχέτισης, είναι απαραίτητος ο έλεγχος της ποιότητας και της πληρότητας των δεδομένων. Για τον έλεγχο της ποιότητας των παρατηρήσεων πρέπει να εξακριβωθεί αν όλα τα βροχομετρικά δεδομένα προέκυψαν με τις ίδιες συνθήκες μέτρησης ή με άλλα λόγια να γίνει έλεγχος ομογένειας.

Ο έλεγχος πραγματοποιείται με τη μέθοδο της Διπλής Αθροιστικής Καμπύλης και απαιτείται υψηλός βαθμός γραμμικής συσχέτισης μεταξύ των δεδομένων (ετήσιων υψών βροχής) του εξεταζόμενου σταθμού και του σταθμού βάσης (σταθμός του οποίου

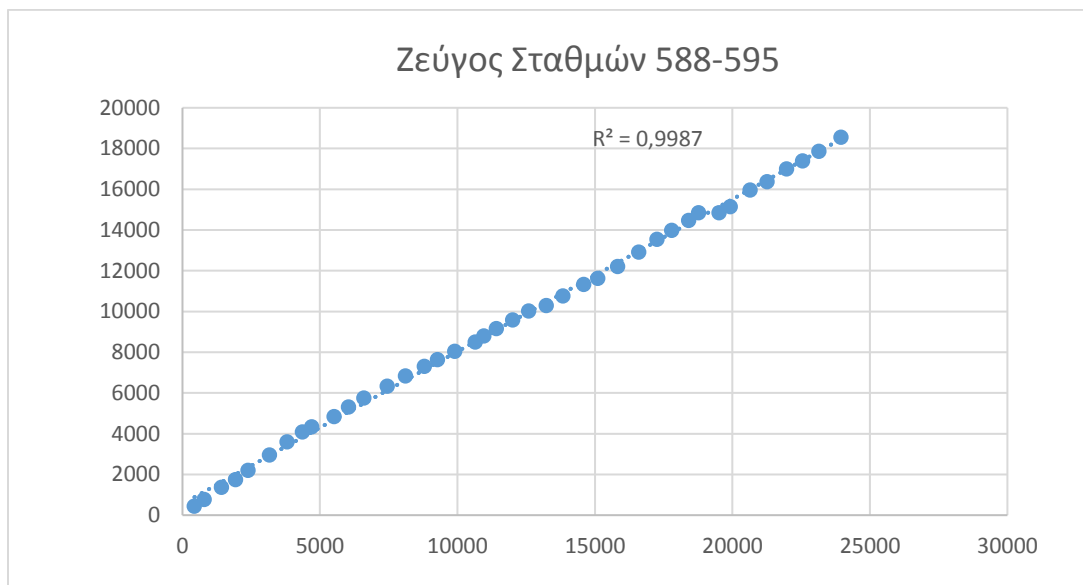
έχει ήδη ελεγχθεί η ομογένεια). Για να υπάρχει γραμμική συσχέτιση πρέπει ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης να είναι μεγαλύτερος από το 70%.

Ως σταθμοί βάσης επιλέγονται αυτοί με υψηλό συντελεστή γραμμικής συσχέτισης των ετήσιων υψών βροχόπτωσης και αυτοί που έχουν αξιόπιστα δεδομένα

Ενδεικτικά, δίνονται μερικά διαγράμματα που δείχνουν την ομογένεια μεταξύ των σταθμών.



Σχήμα 1: Ομογένεια στους σταθμούς 882-893



Σχήμα 2: Ομογένεια στους σταθμούς 588-595

4.3.3. Συμπλήρωση Βροχομετρικών δεδομένων

Λόγω της έλλειψης βροχομετρικών δεδομένων σε κάποιους σταθμούς, είναι απαραίτητη η χρήση γειτονικών σταθμών για την συμπλήρωση των προβληματικών σταθμών. Οι γειτονικοί σταθμοί πρέπει να πληρούν τις εξής προϋποθέσεις: να έχουν πλήρη δεδομένα, να έχουν ελεγχθεί ως προς την ομογένεια τους και να έχουν υψηλό βαθμό γραμμικής συσχέτισης.

Υπό αυτές τις προϋποθέσεις, αν είναι διαθέσιμοι 3 γειτονικοί σταθμοί, τότε για την συμπλήρωση της τιμής P_x του υπό συμπλήρωση σταθμού, χρησιμοποιείται η εξίσωση:

$$P_x = \frac{1}{3} \left[\frac{N_x P_1}{N_1} + \frac{N_x P_2}{N_2} + \frac{N_x P_3}{N_3} \right] \quad (4.2)$$

Όπου P_1, P_2 και P_3 οι αντίστοιχες τιμές στους σταθμούς 1, 2, 3 και N_1, N_2 και N_3 η κανονική μέση βροχόπτωση στους τρεις παραπάνω σταθμούς και N_x η κανονική βροχόπτωση του υπό συμπλήρωση σταθμού.

Στην περίπτωση που υπήρχαν 2 γειτονικοί σταθμοί με υψηλό βαθμό γραμμικής συσχέτισης (>0.7), έγινε συμπλήρωση των δεδομένων των προβληματικών σταθμών, με τη μέθοδο της απλής γραμμικής παλινδρόμησης. Σε αυτή τη μέθοδο, προσδιορίζεται η γραμμή που προσαρμόζεται καλύτερα στα δεδομένα, και από την εξίσωση της γραμμής, για γνωστές τιμές του x (οι τιμές του πλήρη σταθμού) υπολογίζονται οι τιμές του y , οι τιμές δηλαδή του σταθμού που χρειάζονται συμπλήρωση. Η μορφή της εξίσωσης της γραμμής είναι $y = b \cdot x + a$ όπου b η κλίση της ευθείας και a ο σταθερός όρος.

4.3.4. Προσδιορισμός μηνιαίων επιφανειακών υψών βροχής με τη μέθοδο Thiessen

Μετά την συμπλήρωση των δεδομένων, πρέπει να καθοριστούν τα μηνιαία επιφανειακά ύψη βροχής για κάθε λεκάνη απορροής. Με άλλα λόγια ο κάθε σταθμός μετράει την βροχόπτωση για την θέση που βρίσκεται ο σταθμός, καθώς όμως χρειάζονται δεδομένα βροχόπτωσης που να αντιπροσωπεύουν όλη την λεκάνη απορροής, είναι απαραίτητη η αναγωγή των παρατηρήσεων του κάθε σταθμού με βάση το ποσοστό που συμμετέχει στην επιφάνεια της λεκάνης.

Για τον λόγο αυτό, χρησιμοποιείται η μέθοδος των πολυγώνων Thiessen, όπου με την χάραξη μεσοκαθέτων επί των αποστάσεων των σταθμών μεταξύ τους, υπολογίζονται τα εμβαδά των πολυγώνων που αντιστοιχούν σε κάθε σταθμό και στη συνέχεια το βάρος που αντιστοιχεί σε κάθε σταθμό, το οποίο προκύπτει από το λόγο του επιμέρους εμβαδού του σταθμού προς την συνολική έκταση της λεκάνης απορροής.

Κατόπιν, έχοντας ήδη καθοριστεί τα βάρη του κάθε σταθμού, υπολογίζεται η χωρικά μέση μηνιαία βροχόπτωση της κάθε λεκάνης με τον ακόλουθο τύπο:

$$P_o = \sum \frac{A_i}{A} * P_i \quad (4.3)$$

Όπου,

P_o: το χωρικά μέσο μηνιαίο ύψος βροχόπτωσης για την κάθε λεκάνη απορροής.

P_i: το μηνιαίο ύψος βροχόπτωσης για τον κάθε σταθμό

$\frac{A_i}{A}$: το βάρος κάθε σταθμού $\left(\frac{\text{εμβαδόν πολυγώνου Thiessen}}{\text{συνολική έκταση λεκάνης απορροής}} \right)$

Για τις τιμές θερμοκρασίας, καθώς αντιστοιχεί ένας σταθμός ανά λεκάνη, λόγω ανεπάρκειας δεδομένων, δεν εφαρμόζονται πολύγωνα Thiessen και κάθε σταθμός προσδιορίζει την θερμοκρασία της λεκάνης που βρίσκεται.

4.3.5. Υπολογισμός Βροχοβαθμίδας και Θερμοβαθμίδας

Είναι γνωστό ότι το σημειακό ύψος βροχής αυξάνει με την αύξηση του υψομέτρου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να είναι απαραίτητη η αναγωγή των επιφανειακών υψών βροχής στο μέσο υψόμετρο της κάθε λεκάνης απορροής, ώστε οι παρατηρήσεις να αποκρίνονται στη λεκάνη.

Η αναγωγή εισάγει στον υπολογισμό της, την βροχοβαθμίδα, που ορίζει την μέση αύξηση του ετήσιου σημειακού βροχομετρικού ύψους ανά 100 μέτρα αύξηση του υψομέτρου.

Για τον υπολογισμό της, υπολογίζονται οι μέσες τιμές των ετήσιων υψών βροχής των βροχομετρικών σταθμών και καθώς είναι γνωστά τα υψόμετρα των σταθμών, εισάγονται σε διάγραμμα. Στο διάγραμμα ο άξονας x αντιστοιχεί στα υψόμετρα των σταθμών και ο άξονας y στις μέσες τιμές των ετήσιων υψών βροχής για τον κάθε σταθμό. Η κλίση της ευθείας αποτελεί την βροχοβαθμίδα ή οποία ανάγεται στα 100 m.

Λόγω μικρού αριθμού σταθμών σε κάθε λεκάνη, η βροχοβαθμίδα εξάχθηκε για το σύνολο της Πελοποννήσου με χρήση όλων των επιλεγμένων σταθμών.

Η τιμή της υπολογίστηκε ίση με 46 mm ανά 100 m, δηλαδή για κάθε 100 m αύξησης του υψομέτρου, το ύψος βροχής αυξάνεται κατά 46 mm, σε ετήσια βάση.

Κατά τον ίδιο τρόπο υπολογίζεται και η θερμοβαθμίδα, με την διαφορά ότι στον άξονα y χρησιμοποιείται η μέση τιμή της ετήσιας μέσης θερμοκρασίας. Η θερμοβαθμίδα υπολογίστηκε ίση με -0,7 °C ανά 100 m αύξηση του υψομέτρου.

4.3.6. Υψομετρική Αναγωγή των επιφανειακών υψών βροχής στο μέσο υψόμετρο της κάθε λεκάνης

Αφότου έχει καθοριστεί η βροχοβαθμίδα σε κάθε λεκάνη απορροής, πρέπει να υπολογιστεί το χωρικά μέσο υψόμετρο των σταθμών (χρήση των βαρών από τα πολύγωνα Thiessen) με τον τύπο:

$$\bar{Z} = \sum \frac{A_i}{A} * Z_i \quad (4.4)$$

Όπου Z_i το υψόμετρο κάθε σταθμού μιας λεκάνης απορροής

Τα μέσα υψόμετρα της κάθε λεκάνης δίνονται στον Πίνακα 8.

Η βροχοβαθμίδα είναι ετήσιο μέγεθος οπότε γίνεται πρώτα ο υπολογισμός των ετήσιων επιφανειακών υψών βροχής που έχουν αναχθεί στο μέσο υψόμετρο της λεκάνης και έπειτα θα αναχθούν σε μηνιαία. Ο πίνακας με τις τιμές της δόθηκε παραπάνω.

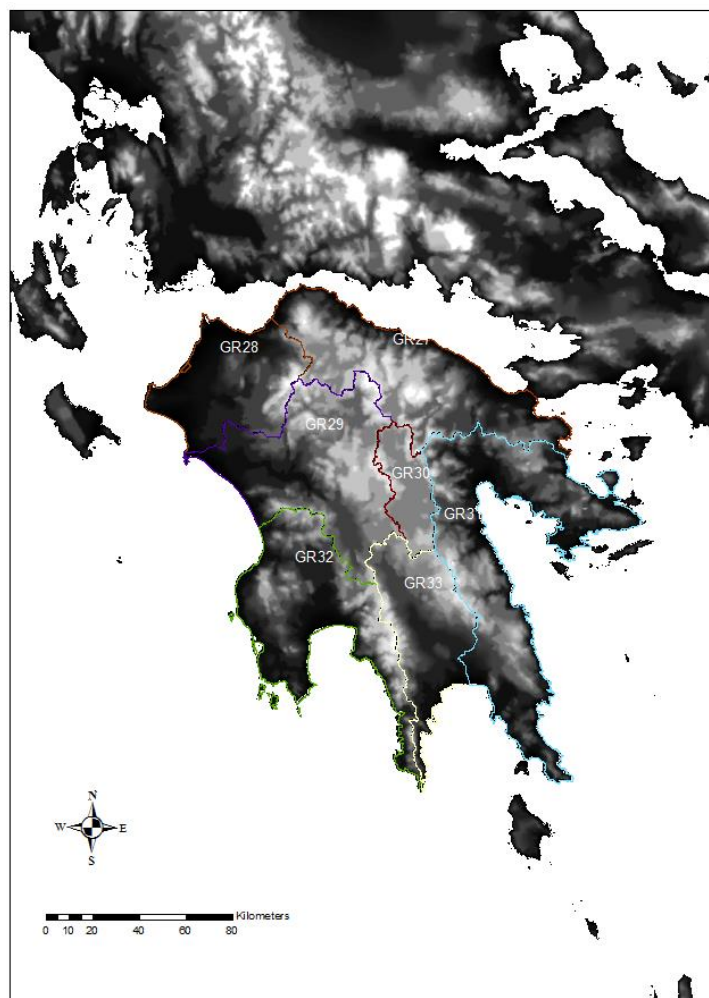
Στην συνέχεια, είναι απαραίτητος ο προσδιορισμός των μέσων υψομέτρων κάθε λεκάνης απορροής, ο οποίος πραγματοποιείται με τη Χρήση Ψηφιακού Υψομετρικού Μοντέλου.

4.3.6.1. Υπολογισμός Μέσων Υψομέτρων των Λεκανών Απορροής με τη Χρήση Ψηφιακού Υψομετρικού Μοντέλου

Στην προηγούμενη ενότητα έγινε συγκέντρωση και επιλογή των κατάλληλων μετεωρολογικών σταθμών για τον υπολογισμό των δεικτών. Απαραίτητο βήμα όμως είναι η αναγωγή των τιμών βροχόπτωσης, θερμοκρασίας και ανέμου στο μέσο υψόμετρο των λεκανών.

Για την υψομετρική αναγωγή, χρησιμοποιούνται τα υψόμετρα των σταθμών, τα οποία δίνονται από τις υπηρεσίες που προέκυψαν τα δεδομένα, καθώς και τα μέσα υψόμετρα των λεκανών τα οποία υπολογίζονται με τη χρήση του ArcGIS® και του Ψηφιακού Υψομετρικού Μοντέλου (DEM).

Στον παρακάτω χάρτη, παρουσιάζεται το ψηφιακό υψομετρικό μοντέλο και τα όρια των λεκανών απορροής που έχουν οριστεί από το ΥΠΕΚΑ.



Εικόνα 8: Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους για εξαγωγή Μέσων Υψομέτρων
Από το πρόγραμμα προέκυψαν για κάθε λεκάνη απορροής τα μέσα υψόμετρα, τα οποία δίνονται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 8: Μέσα Υψόμετρα Λεκανών Απορροής

Υδατικό Διαμέρισμα	Λεκάνη απορροής		Μέσο Υψόμετρο Λεκάνης Z_m (m)
	Όνομα	Κωδικός	
Δυτική Πελοπόννησος	Αλφειού	GR29	673
	Πάμισου-Νέδοντος-Νέδα	GR32	443
Βόρεια Πελοπόννησος	Ρεμάτων Παραλίας Βορ. Πελ.	GR27	663
	Πείρου-Βέργα-Πηγειού	GR28	288
Ανατολική Πελοπόννησος	Οροπεδίου Τρίπολης	GR30	925
	Ρεμάτων Αργολικού Κόλπου	GR31	425
	Ευρώτα	GR33	567

Η αναγωγή των ετήσιων επιφανειακών υψών βροχής από το μέσο υψόμετρο των σταθμών, στο μέσο υψόμετρο της λεκάνης γίνεται με τον ακόλουθο τύπο:

$$Pj'' = \beta \cdot \frac{(Z_m - \bar{Z})}{100} + Pj' \quad (4.5)$$

Όπου,

β : η βροχοβαθμίδα ανά 100 μέτρα

Z_m : μέσο υψόμετρο της κάθε λεκάνης απορροής

\bar{Z} : μέσο υψόμετρο των σταθμών των οποίο υπολογίζεται, χρησιμοποιώντας ως βάρη, τα πολύγωνα Thiessen

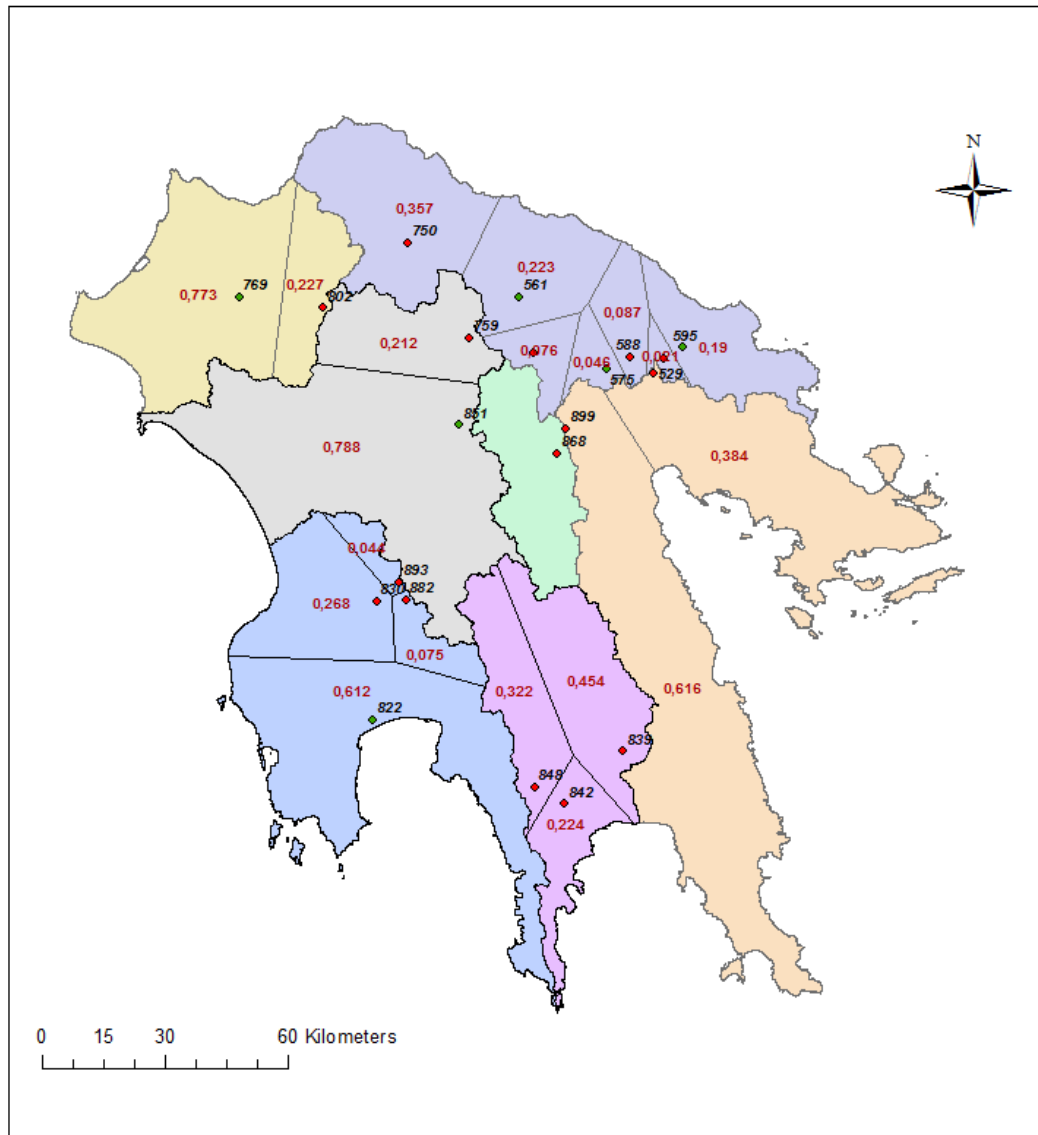
Pj'' : τα ετήσια επιφανειακά ύψη βροχής που έχουν αναχθεί στο μέσο υψόμετρο της λεκάνης

Pj' : τα ετήσια επιφανειακά ύψη βροχής

j: το κάθε έτος

Πίνακας 9: Υπολογισμένα μεγέθη για την αναγωγή στο μέσο υψόμετρο της κάθε λεκάνης

Λεκάνη Απορροής	Σταθμός	Λόγος Thiessen	Υψόμετρο σταθμού	\bar{Z}	Z_m	$\beta \cdot \frac{(Z_m - \bar{Z})}{100}$
GR27	561	0.223	867.3	644.74	663	8.40
	569	0.021	317.2			
	572	0.076	722.5			
	575	0.046	379.7			
	588	0.087	305.6			
	595	0.19	149.7			
GR28	769	0.773	395.3	535.27	288	-113.74
	802	0.227	1011.9			
GR29	759	0.212	758.1	957.31	673	-130.78
	851	0.788	1010.9			
GR30	868	1	647.5	647.50	925	127.65
GR31	529	0.384	265.3	535.23	425	-50.71
	899	0.616	703.5			
GR32	882	0.075	592.9	109.50	443	153.41
	893	0.044	508.4			
	830	0.268	81.1			
	822	0.612	34.2			
GR33	839	0.454	140.6	368.54	567	91.29
	842	0.224	240.2			
	848	0.322	779.2			



Εικόνα 9: Πολύγωνα Thiessen και βάρη για κάθε σταθμό

Τέλος, μοιράζονται τα ετήσια επιφανειακά ύψη βροχής που έχουν αναχθεί στο μέσο υψόμετρο της λεκάνης στα μηνιαία, με βάση το βάρος.

$$P_{ij}'' = \frac{P_{ij}}{P_j'} * P_j'' \quad (4.6)$$

Όπου,

i: ο κάθε μήνας

j: το κάθε έτος

P_{ij}'' : το μηνιαίο επιφανειακό ύψος βροχόπτωσης μετά την αναγωγή

P_{ij} : το μηνιαίο επιφανειακό ύψος βροχόπτωσης πριν την αναγωγή

Η αναγωγή των μηνιαίων θερμοκρασιών στο μέσο υψόμετρο της λεκάνης απορροής, ακολουθεί παρόμοια διαδικασία. Υπολογίζεται με τον τύπο:

$$T_Z = T_{\Sigma B} + \theta_1 \cdot \frac{Z_m - Z_{\Sigma B}}{100} \quad (4.7)$$

Όπου,

θ_1 : η θερμοβαθμίδα ανά 100 μέτρα

Z_m : μέσο υψόμετρο της κάθε λεκάνης απορροής

$Z_{\Sigma B}$: υψόμετρο του κάθε σταθμού

$T_{\Sigma B}$: μηνιαίες θερμοκρασίες κάθε σταθμού

T_Z : η ανηγμένη θερμοκρασία στο μέσο υψόμετρο της λεκάνης απορροής

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5.1. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΕΙΚΤΩΝ

Τα αποτελέσματα από την επεξεργασία των δεδομένων, χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό των δεικτών με την βοήθεια του προγράμματος DrinC.

Το πρόγραμμα DrinC έχει κατασκευαστεί από τον D. Tigka σε συνεργασία με τον Η. Vangeli και την D. Pangalou, με επιβλέποντα τον G. Tsakiri. Το πρόγραμμα υπολογίζει τους δείκτες Reconnaissance Drought Index (RDI), Standardised Precipitation Index (SPI), Deciles και Streamflow Drought Index (SDI). Το πρόγραμμα είναι απλό στη χρήση του και δίνει την δυνατότητα στον χρήστη του υπολογισμού των δεικτών με διάφορες επιλογές, όπως ο καθορισμός της χρονικής κλίμακας στους δείκτες RDI και SPI, ή τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής με τρεις διαφορετικές μεθόδους (Hargreaves and Samani, Thornthwaite, Blaney-Criddle). Επιπλέον τα δεδομένα μπορεί να είναι είτε μηνιαία είτε ετήσια, και υπάρχει και η δυνατότητα να είναι είτε πραγματική χρονοσειρά, είτε συνθετική. Ακόμα, μπορεί να καθοριστεί η αρχή του υδρολογικού έτους (είτε Ιανουάριος-Δεκέμβριος, είτε Οκτώβριος-Σεπτέμβριος), αν και στις μεσογειακές χώρες επιλέγεται η αρχή του υδρολογικού έτους να είναι τον Οκτώβριο.

Στις μεθόδους για τον υπολογισμό της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής, η Hargreaves and Samani (1985) χρειάζεται δεδομένα μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας, ενώ η Thornthwaite και η Blaney-Criddle (Doorenbos and Pruitt) απαιτούν μόνο μέση θερμοκρασία. Και οι τρεις μέθοδοι χρειάζονται το γεωγραφικό πλάτος ϕ της περιοχής με ακρίβεια λεπτού, το οποίο υπολογίστηκε από τα κεντροειδή της κάθε λεκάνης με τη βοήθεια του προγράμματος ArcGIS.

Λόγω του γεγονότος ότι οι χρονοσειρές θερμοκρασίας είναι από το 1976 έως το 2001, άρα έχουν διάστημα 25 έτη, η δυνητική εξατμισοδιαπνοή υπολογίστηκε για το σύνολο των 25 ετών και με τις τρεις μεθόδους που δίνονται. Η Blaney-Criddle υπολογίστηκε για $k=0.85$ καθώς είναι μια αποδεκτή τιμή για όλο το χρόνο, σύμφωνα με τον Blaney.

Στη συνέχεια, έγινε σύγκριση των διαφορών που έχουν οι τρεις μέθοδοι υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής και προέκυψε ότι η μεταβολή δεν είναι μεγάλη. Επιλέχθηκε, λοιπόν, η μέθοδος Hargreaves για τον υπολογισμό του RDI, λόγω πλεονεκτημάτων έναντι των άλλων δεικτών που αναφέρονται στο κεφάλαιο 2.3.2.

Ο πίνακας με τις αποκλίσεις των τριών μεθόδων δίνεται παρακάτω:

Πίνακας 10: Μέγιστες μηνιαίες αποκλίσεις μεταξύ της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής κάθε μεθόδου

ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΕΤΗΣΙΕΣ ΑΠΟΚΛΙΣΕΙΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΗΣ ΔΥΝΗΤΙΚΗΣ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗΣ ΚΑΘΕ ΜΕΘΟΔΟΥ (mm/month)			
Λεκάνες	Hargreaves-Thornthwaite	Thornthwaite - Blaney_Criddle	Hargreaves - Blaney_Criddle
GR27	680.7	-526.0	165.8
GR28	330.2	-540.6	-340.3
GR29	629.7	-531.6	103.8
GR30	547	-516.4	-90.9
GR31	577.7	-521.4	62.3
GR32	184.1	-546.8	-438.5
GR33	545.0	-529.5	-124.7

Η μέθοδος της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής, που επιλέχθηκε για τον υπολογισμό του RDI, είναι η Hargreaves.

Καθώς οι χρονοσειρές των βροχοπτώσεων είναι 40 έτη, και των δυνητικών εξατμισοδιαπνοών (PET) είναι 25 έτη, έγινε προσπάθεια συμπλήρωσης των χρονοσειρών PET, για τα υπόλοιπα χρόνια που λείπουν ώστε να ολοκληρωθεί μια χρονοσειρά των 40 ετών, με τις μέσες τιμές της εξατμισοδιαπνοής των 25 ετών για κάθε μήνα.

Καθώς η συμπλήρωση των χρονοσειρών με τον παραπάνω τρόπο είναι αυθαίρετη και πιθανώς εσφαλμένη, έγινε ο υπολογισμός των ακόλουθων δεικτών:

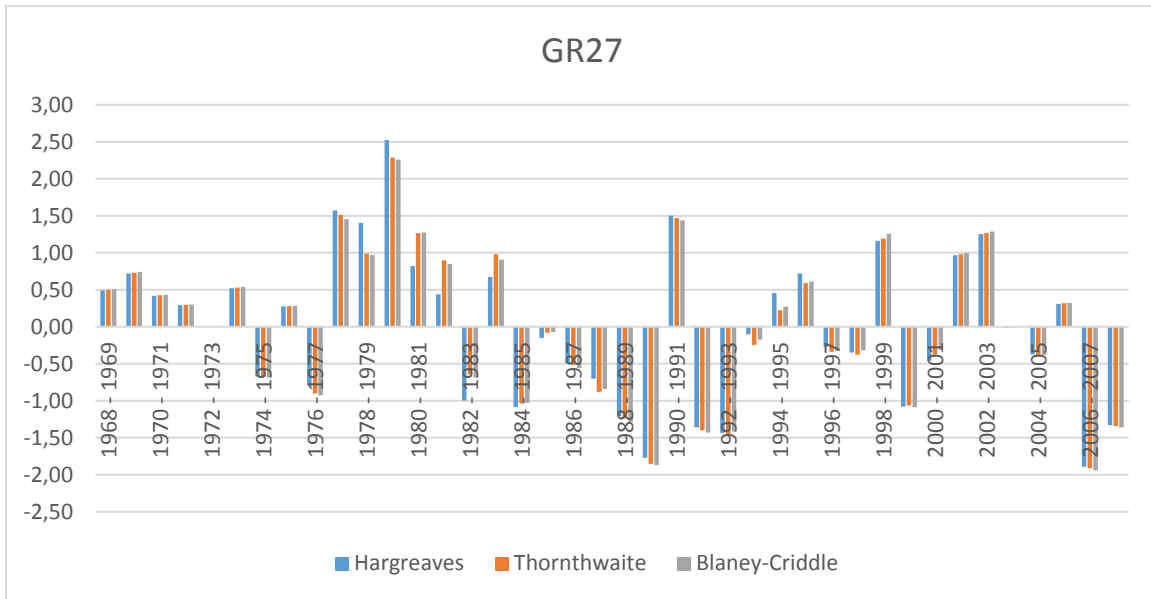
- Ο RDI για το διάστημα 1976-2001 (25 έτη)
- Ο SPI για το διάστημα 1976-2001 (25 έτη)
- Ο RDI για το διάστημα 1968-2008 (40 έτη)
- Ο SPI για το διάστημα 1968-2008 (40 έτη)
- Και τα Deciles για το διάστημα 1968-2008 (40 έτη)

Επιπλέον για να μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα και για συγκεκριμένες χρονικές κλίμακες, υπολογίστηκαν οι δείκτες RDI και SPI των 25 και 40 ετών με χρονική κλίμακα τριμήνου (3-month), εξαμήνου (6-month) και εννεάμηνου (9-month).

Για τα διαγράμματα που απεικονίζουν τον αριθμό των ετών κάθε κατηγορίας ξηρασίας, των δεικτών RDI και SPI, χρησιμοποιήθηκε η παρακάτω κατηγοριοποίηση:

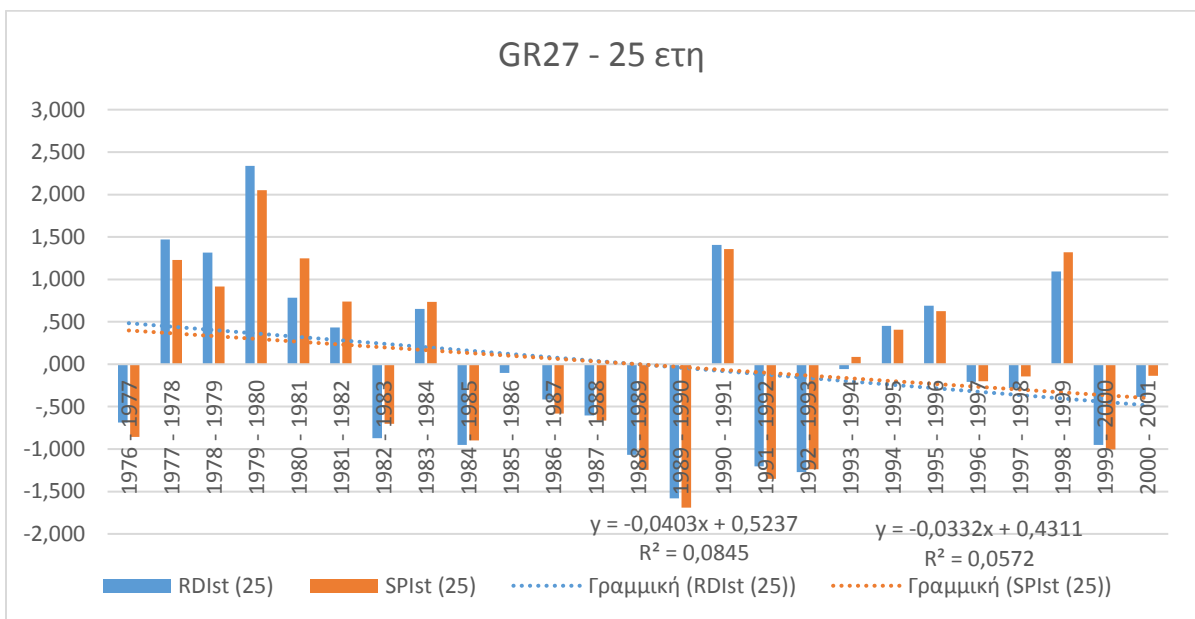
Πίνακας 11: Τιμές των δεικτών για τις διάφορες κατηγορίες ξηρασίας

Τιμές δείκτη	Κατηγορία ξηρασίας
-0.50 έως 0.50	κανονικές συνθήκες
-0.49 έως -0.99	ήπια ξηρή
-1.00 έως -1.49	μέτρια ξηρή
-1.50 έως -1.99	σημαντικά ξηρή
<-2.00	ακραία ξηρή

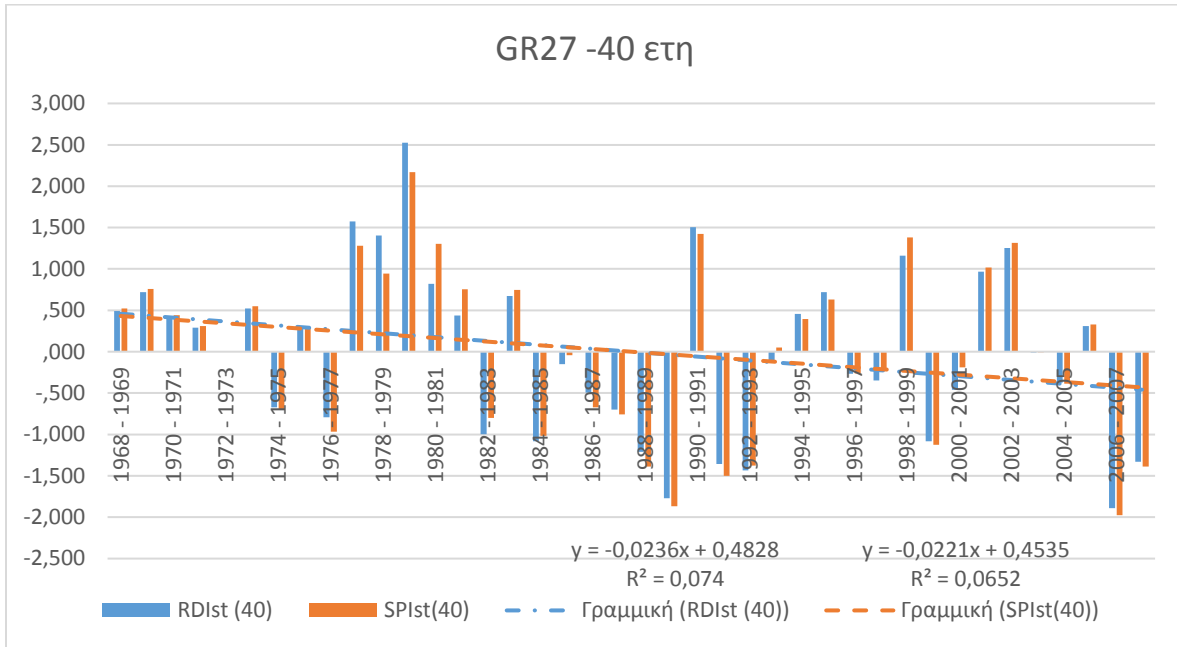


Σχήμα 3: Διάγραμμα του δείκτη RDI (40 ετών), υπολογισμένος με τις τρεις μεθόδους εξατμισοδιαπνοής, της λεκάνης GR27

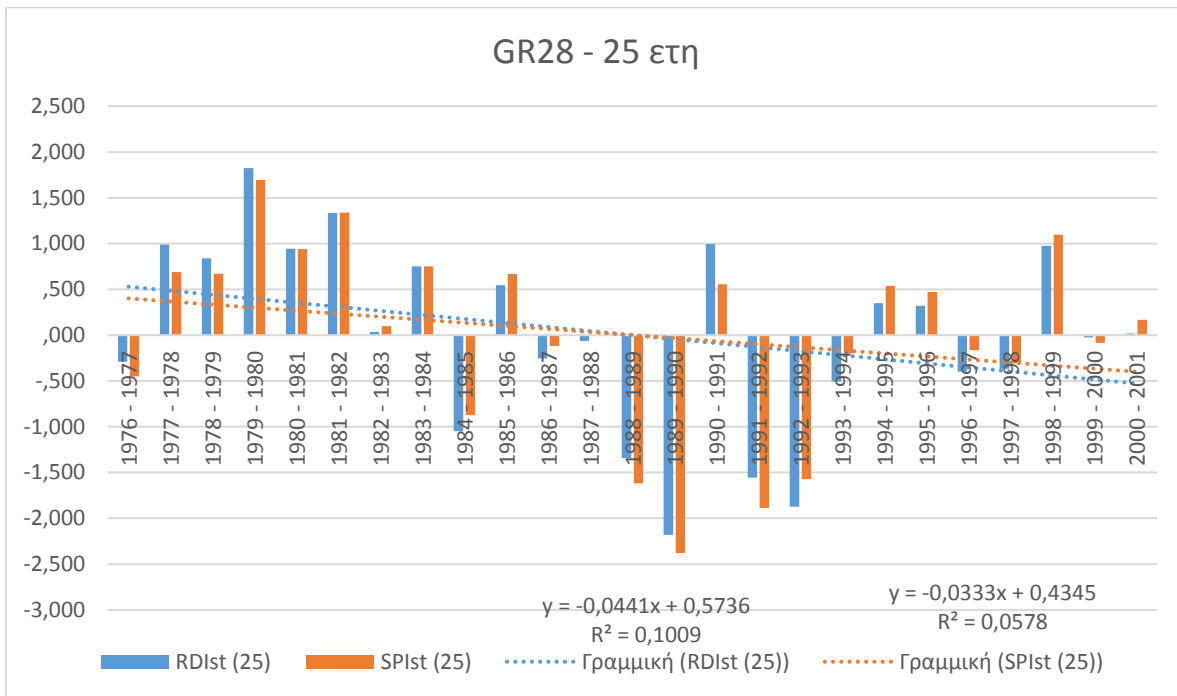
Διαγράμματα δεικτών RDI και SPI σε ετήσια βάση



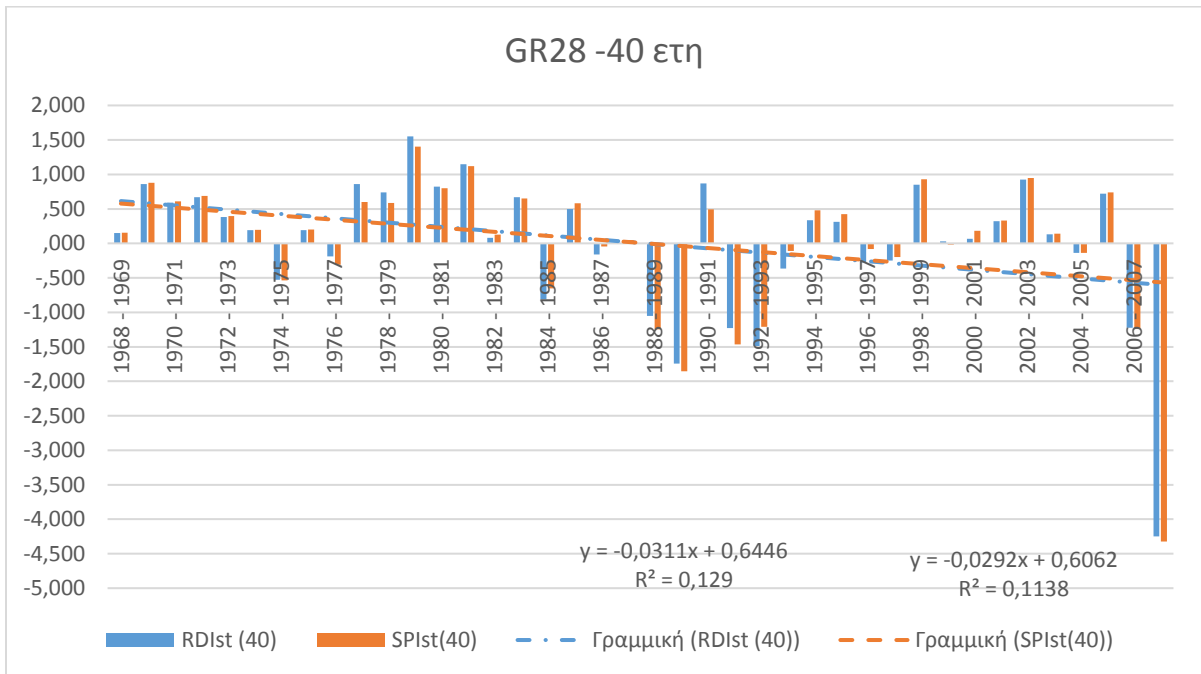
Σχήμα 4: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 25 ετών για ετήσια χρονική κλίμακα της λεκάνης GR27



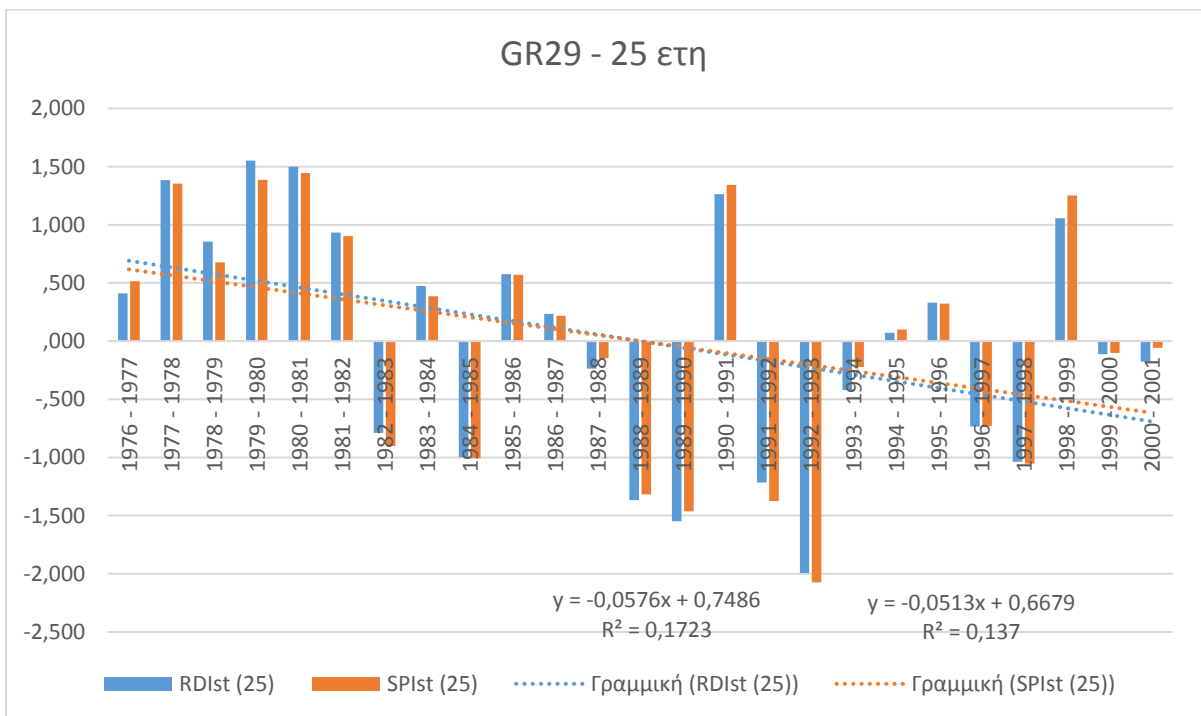
Σχήμα 5: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 40 ετών για ετήσια χρονική κλίμακα της λεκάνης GR27



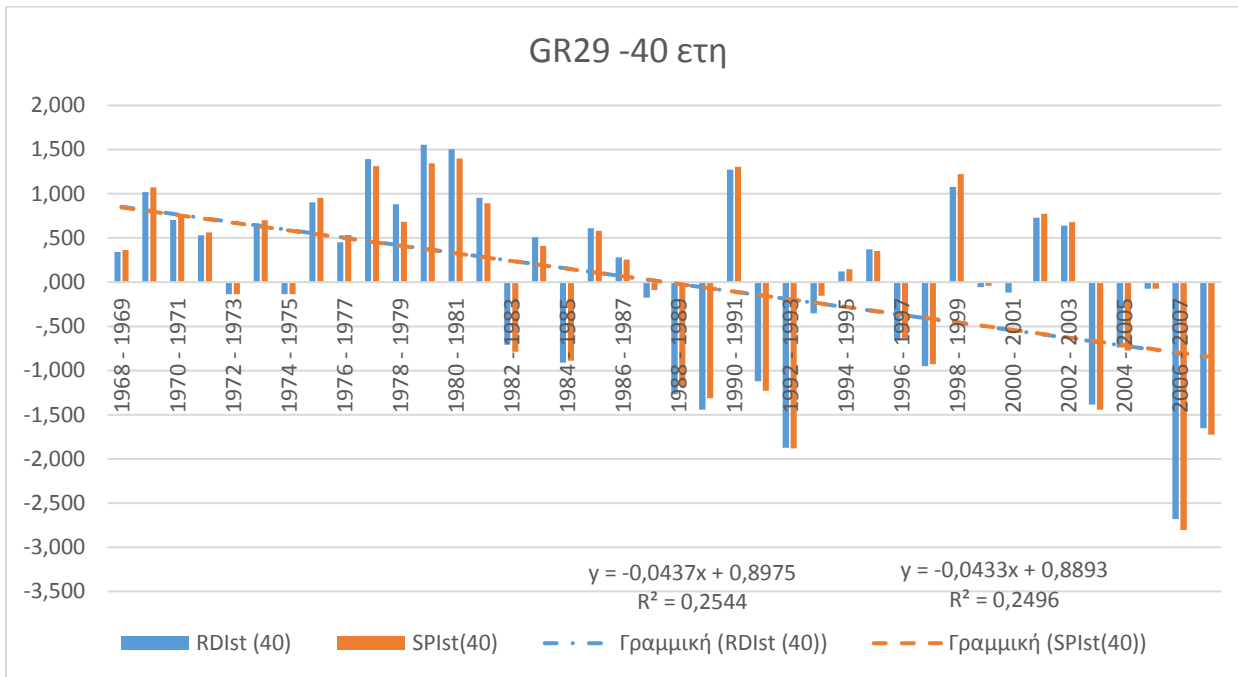
Σχήμα 6: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 25 ετών για ετήσια χρονική κλίμακα της λεκάνης GR28



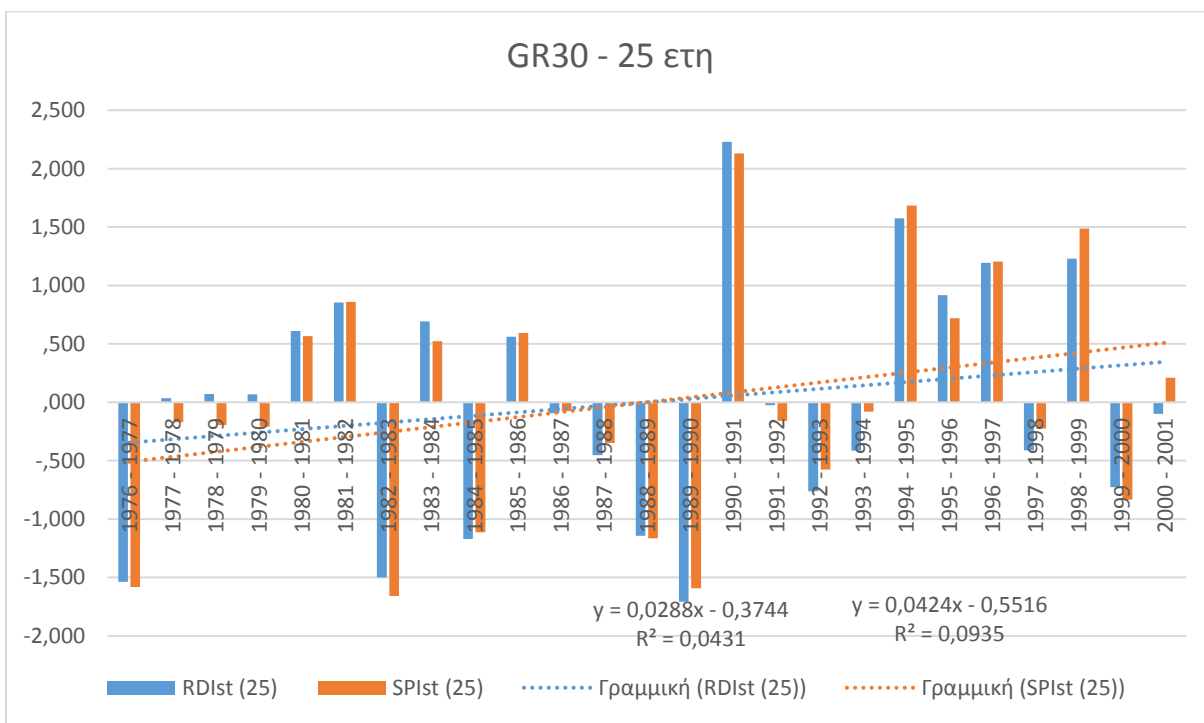
Σχήμα 7: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 40 ετών για ετήσια χρονική κλίμακα της λεκάνης GR28



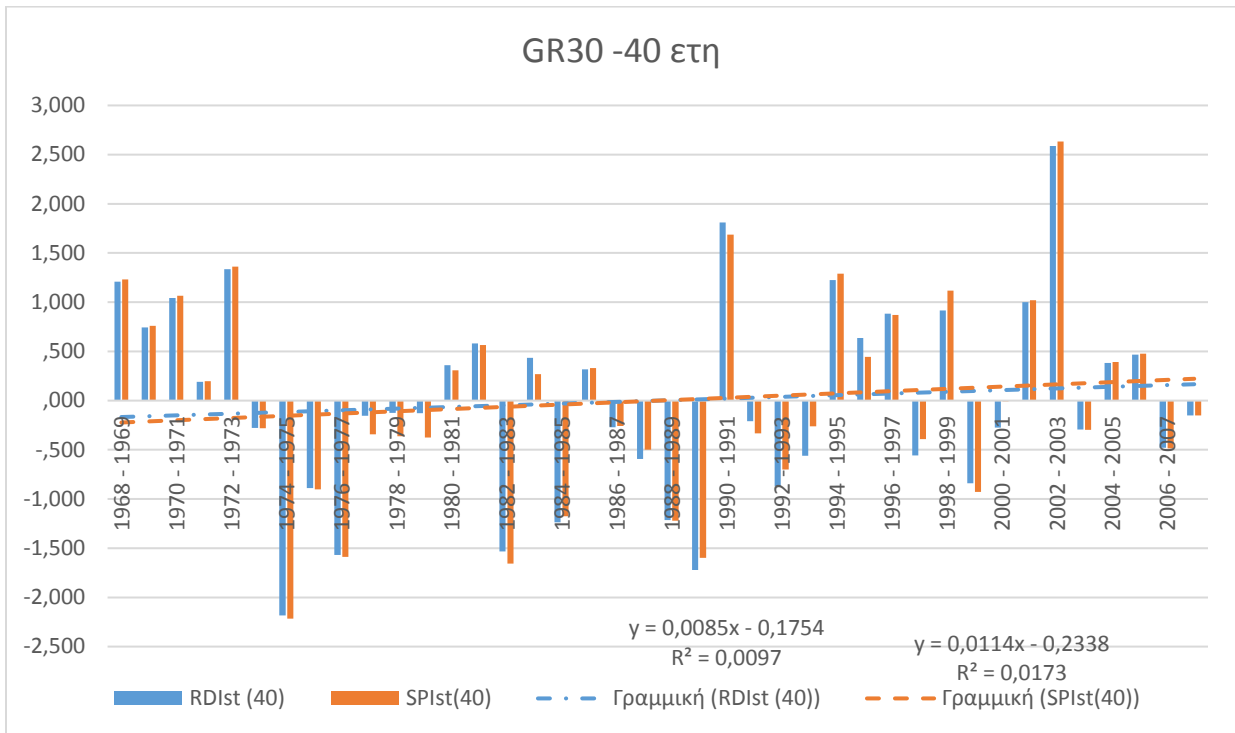
Σχήμα 8: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 25 ετών για ετήσια χρονική κλίμακα της λεκάνης GR29



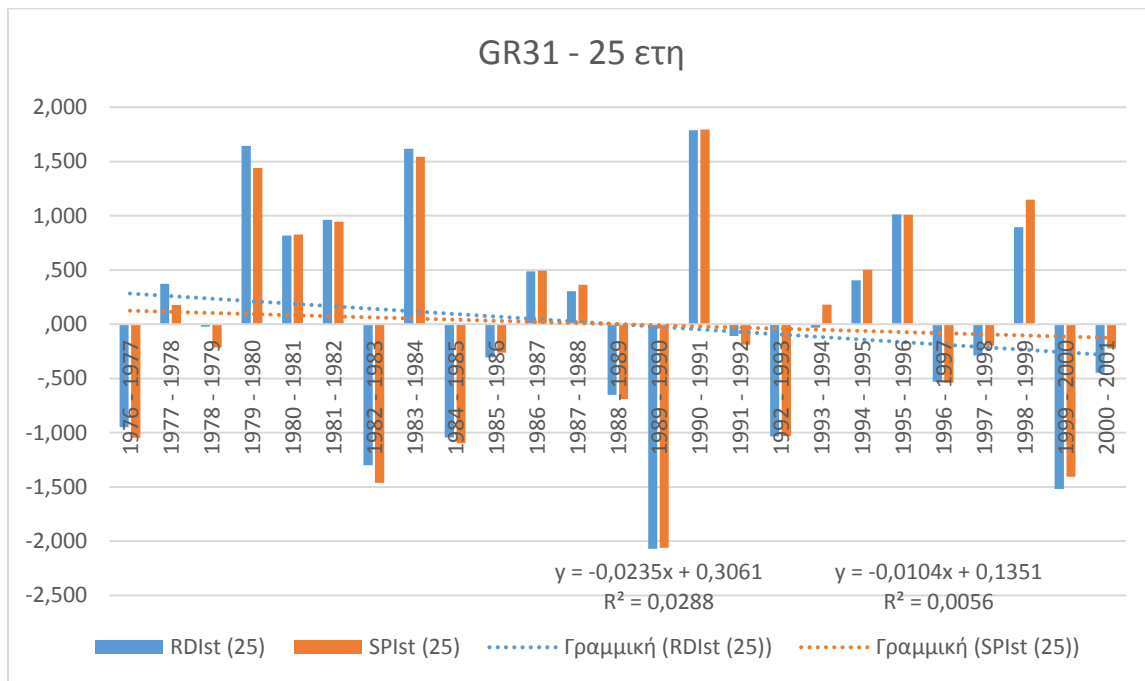
Σχήμα 9: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 40 ετών για ετήσια χρονική κλίμακα της λεκάνης GR29



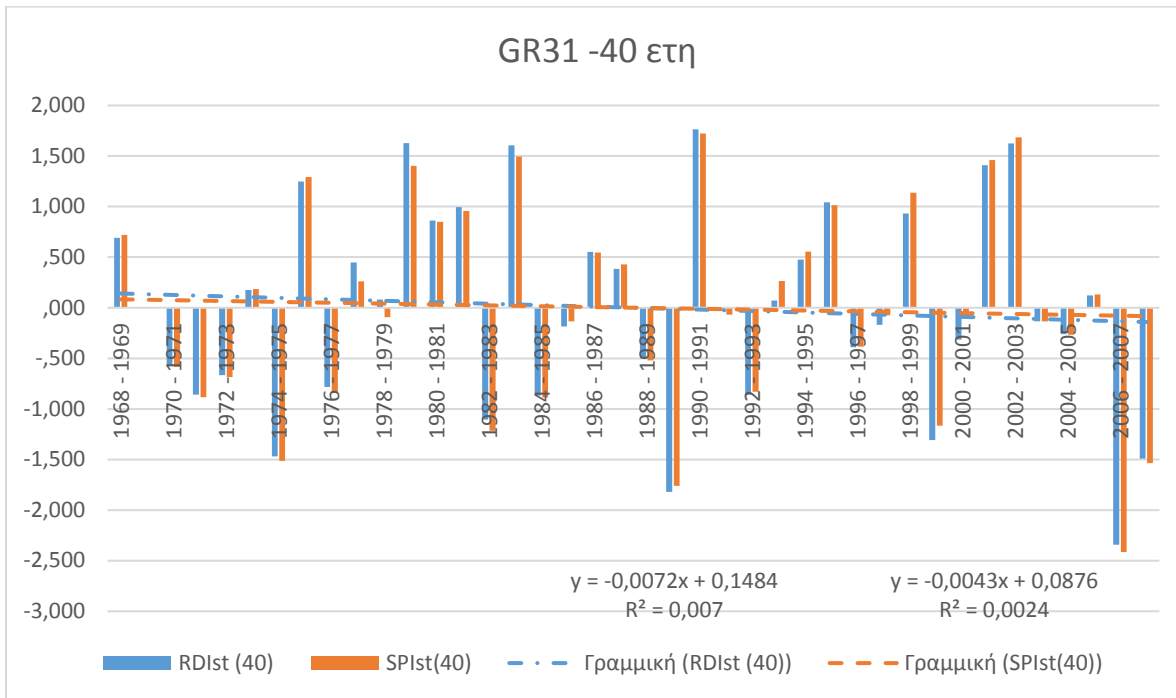
Σχήμα 10: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 25 ετών για ετήσια χρονική κλίμακα της λεκάνης GR30



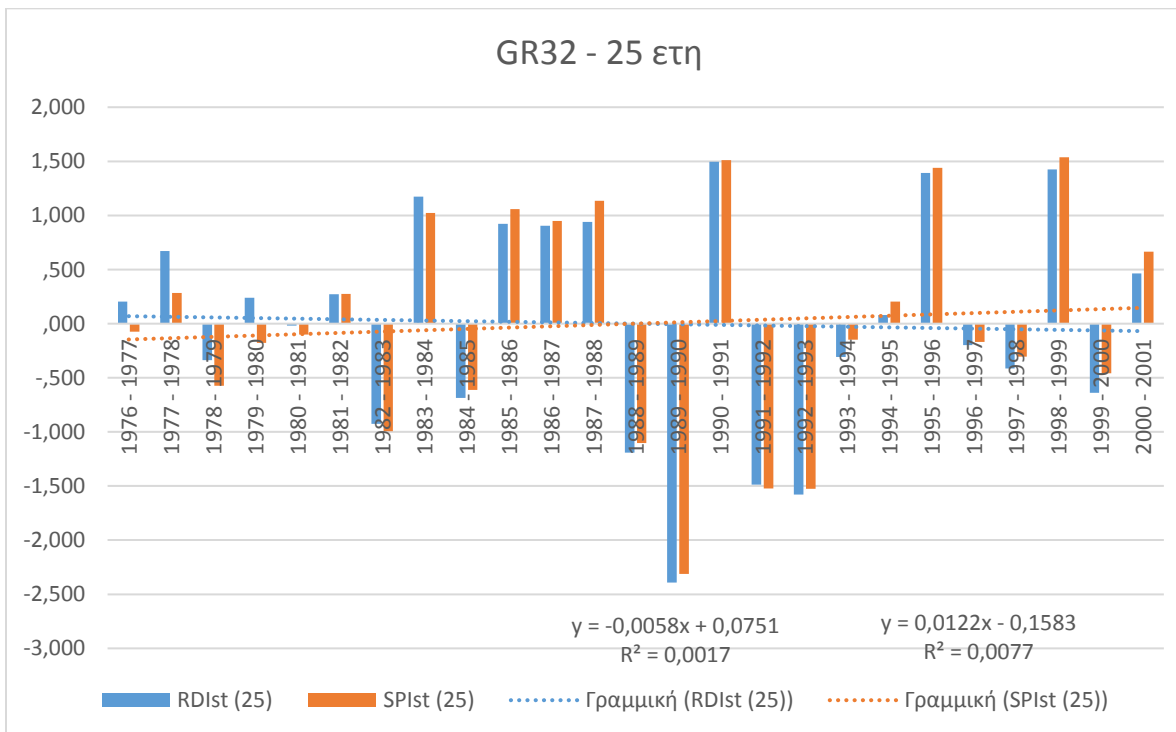
Σχήμα 11: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 40 ετών για ετήσια χρονική κλίμακα της λεκάνης GR30



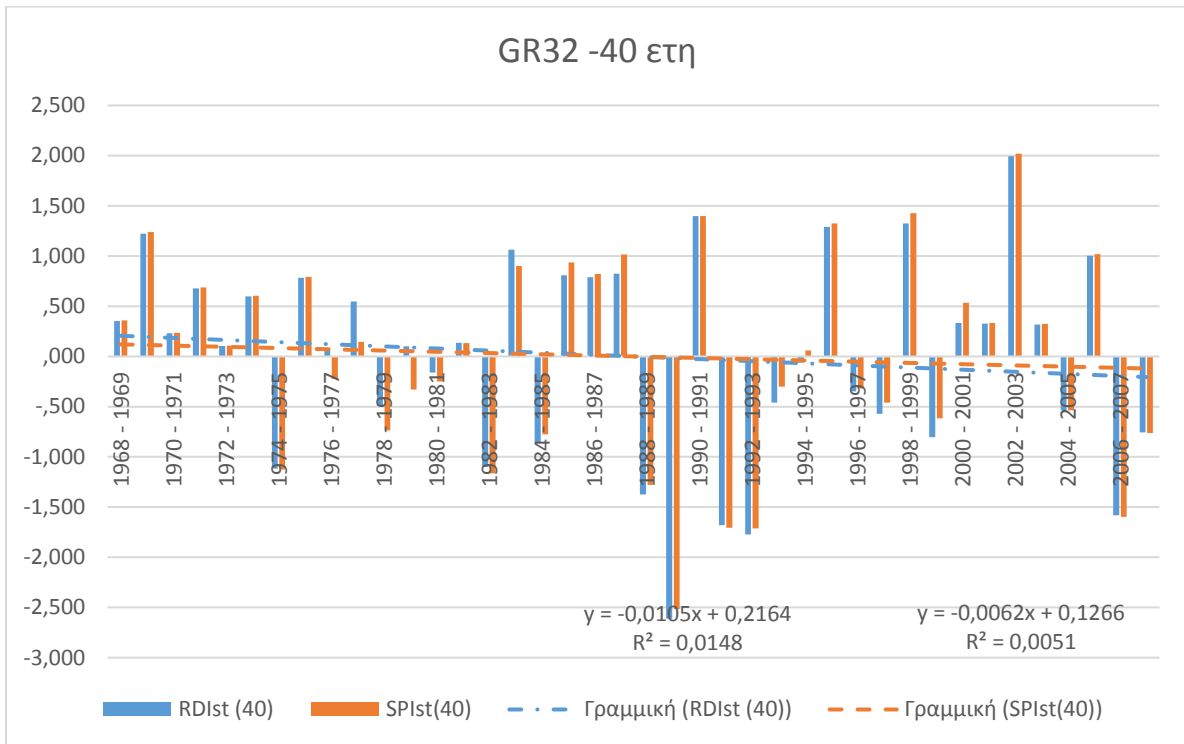
Σχήμα 12: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 25 ετών για ετήσια χρονική κλίμακα της λεκάνης GR31



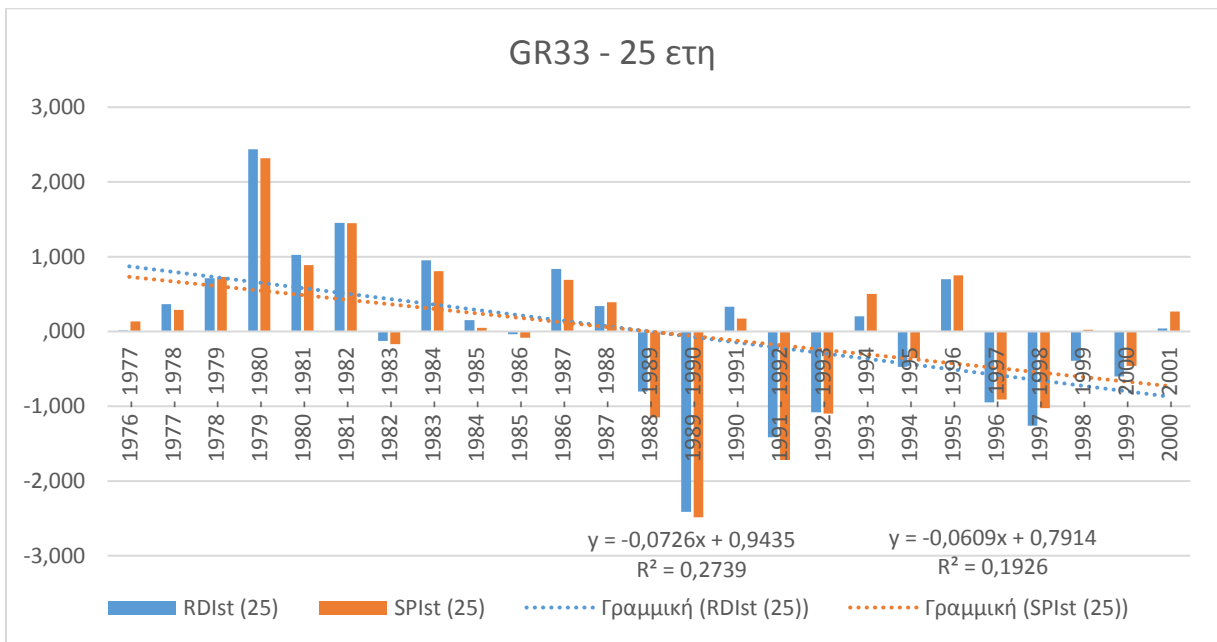
Σχήμα 13: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 40 ετών για ετήσια χρονική κλίμακα της λεκάνης GR31



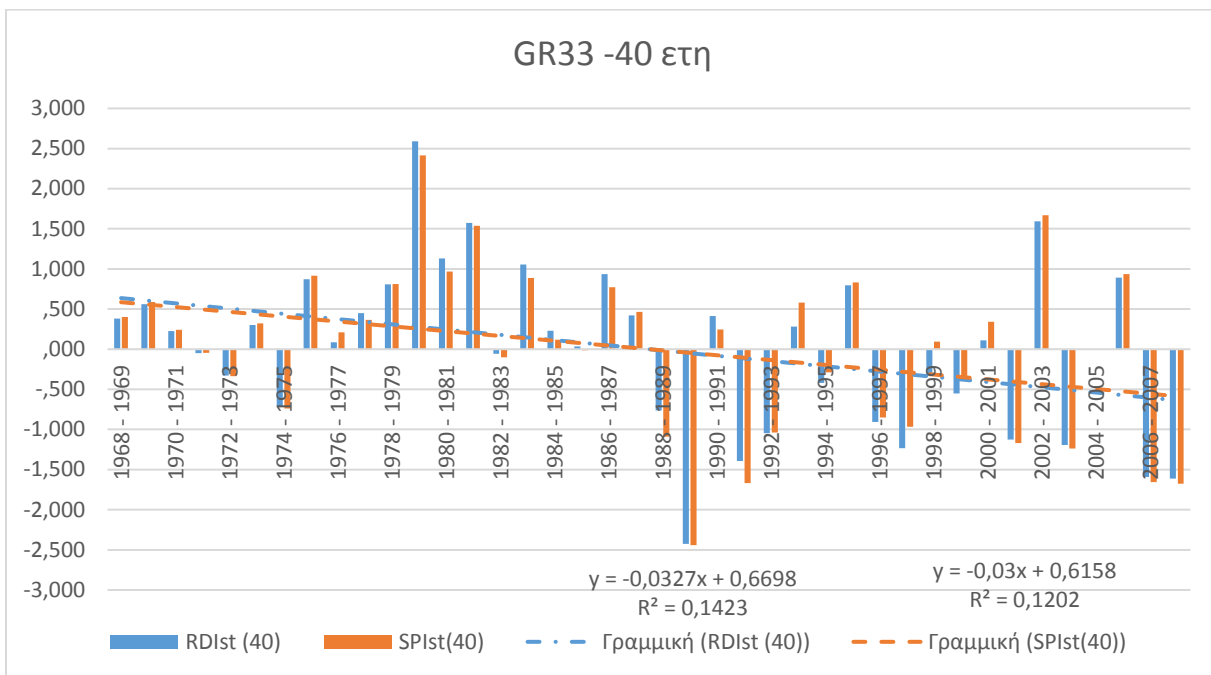
Σχήμα 14: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 25 ετών για ετήσια χρονική κλίμακα της λεκάνης GR32



Σχήμα 15: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 40 ετών για ετήσια χρονική κλίμακα της λεκάνης GR32

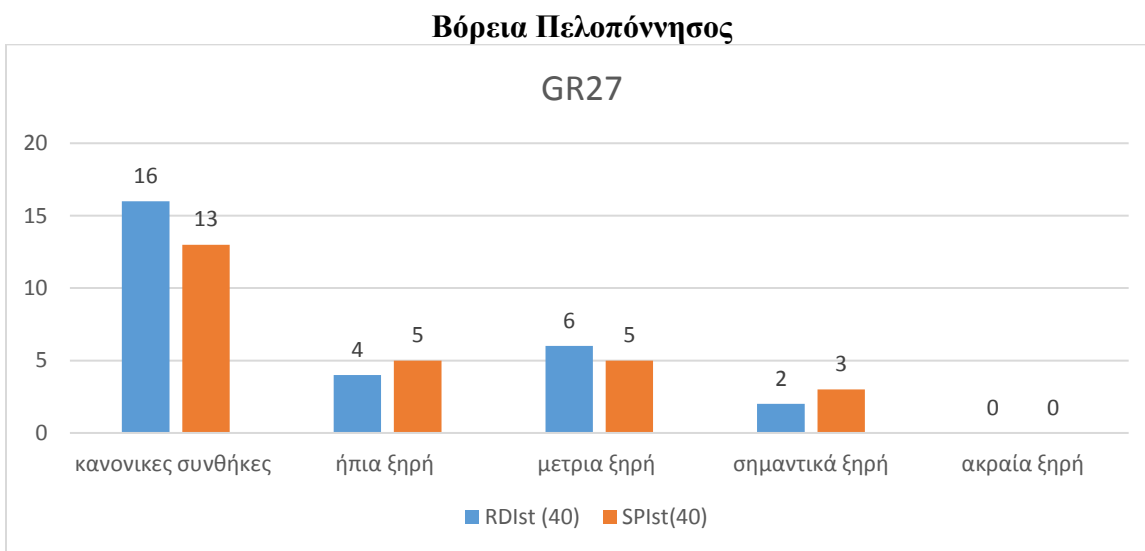


Σχήμα 16: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 25 ετών για ετήσια χρονική κλίμακα της λεκάνης GR33

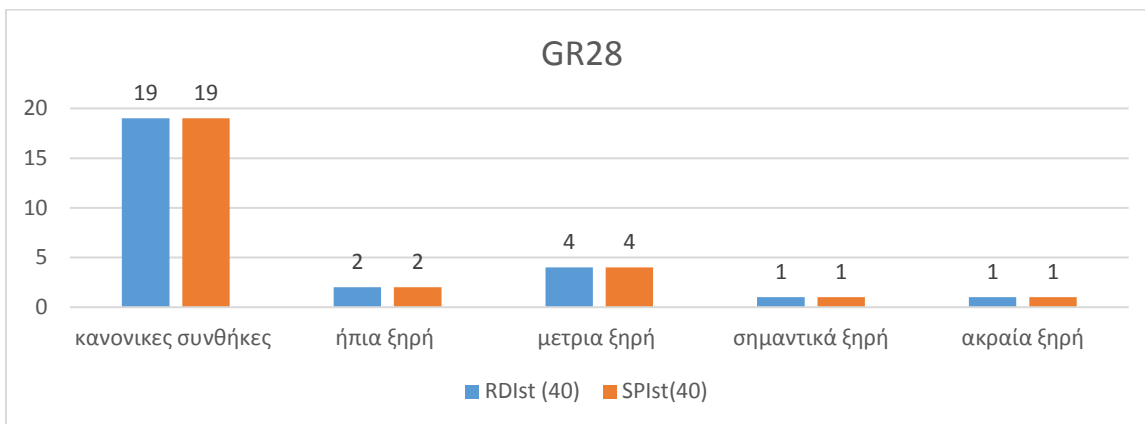


Σχήμα 17: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 40 ετών για ετήσια χρονική κλίμακα της λεκάνης GR33

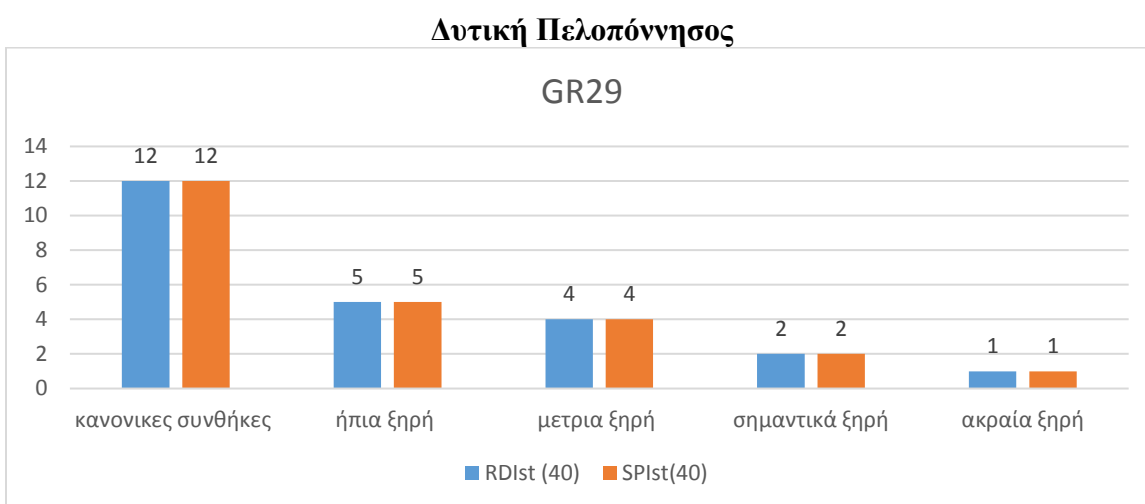
Διαγράμματα των δεικτών RDI και SPI με βάση τις κατηγορίες ξηρασίας σε ετήσια βάση



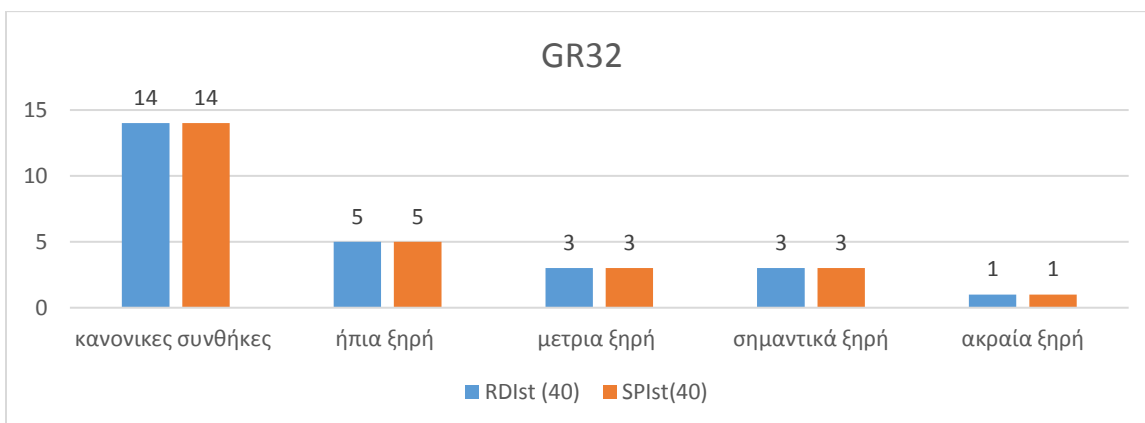
Σχήμα 18: Σύνολο των ετών κάθε κατηγορίας ξηρασίας των δεικτών RDI και SPI 40 ετών, για την λεκάνη GR27



Σχήμα 19: Σύνολο των ετών κάθε κατηγορίας ξηρασίας των δεικτών RDI και SPI 40 ετών, για την λεκάνη GR28

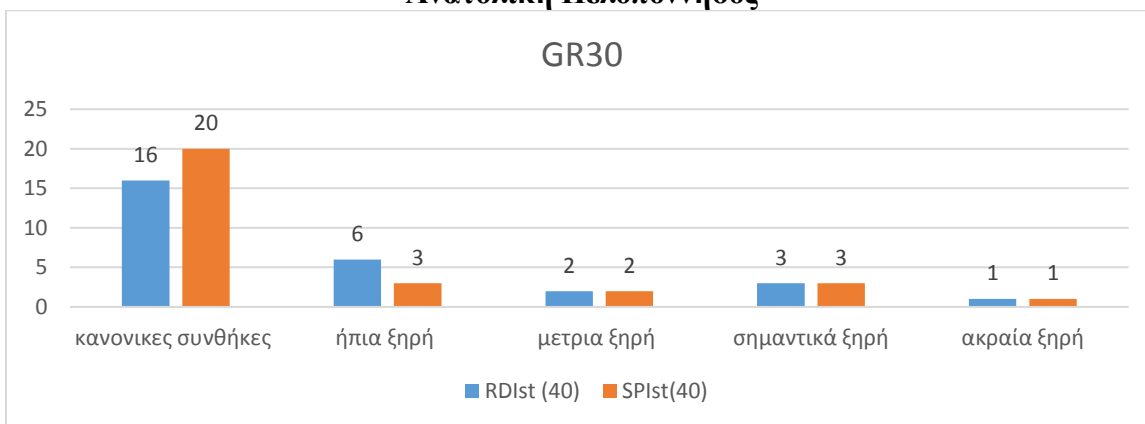


Σχήμα 20: Σύνολο των ετών κάθε κατηγορίας ξηρασίας των δεικτών RDI και SPI 40 ετών, για την λεκάνη GR29

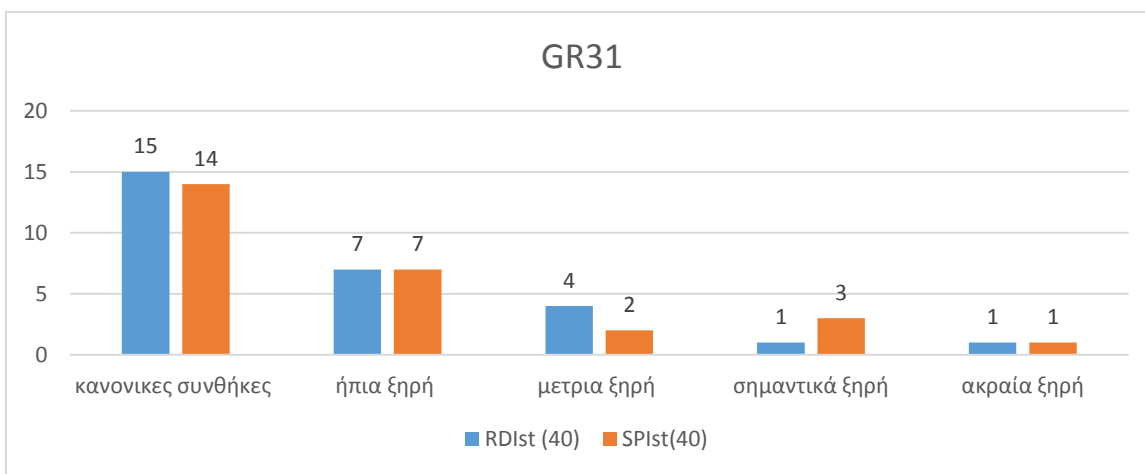


Σχήμα 21: Σύνολο των ετών κάθε κατηγορίας ξηρασίας των δεικτών RDI και SPI 40 ετών, για την λεκάνη GR32

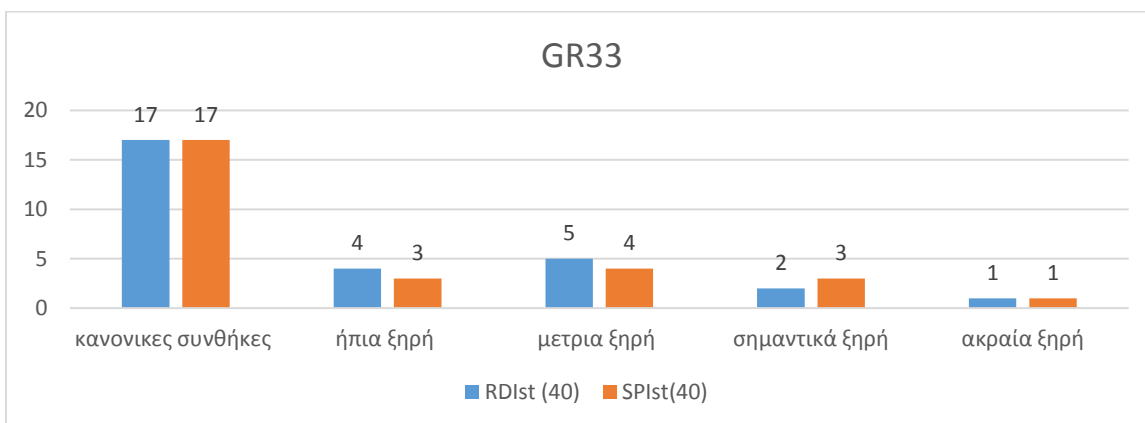
Ανατολική Πελοπόννησος



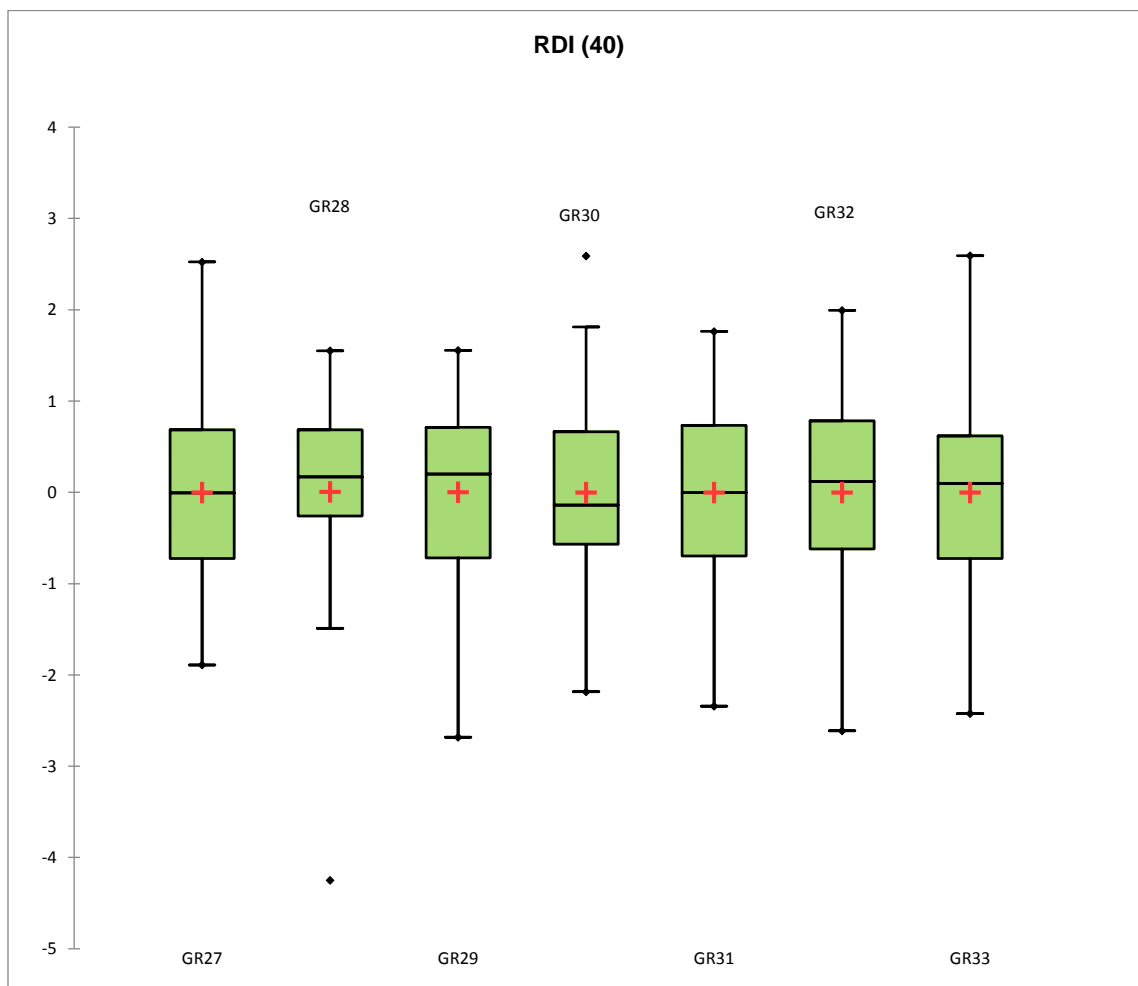
Σχήμα 22: Σύνολο των ετών κάθε κατηγορίας ξηρασίας των δεικτών RDI και SPI 40 ετών, για την λεκάνη GR30



Σχήμα 23: Σύνολο των ετών κάθε κατηγορίας ξηρασίας των δεικτών RDI και SPI 40 ετών, για την λεκάνη GR31

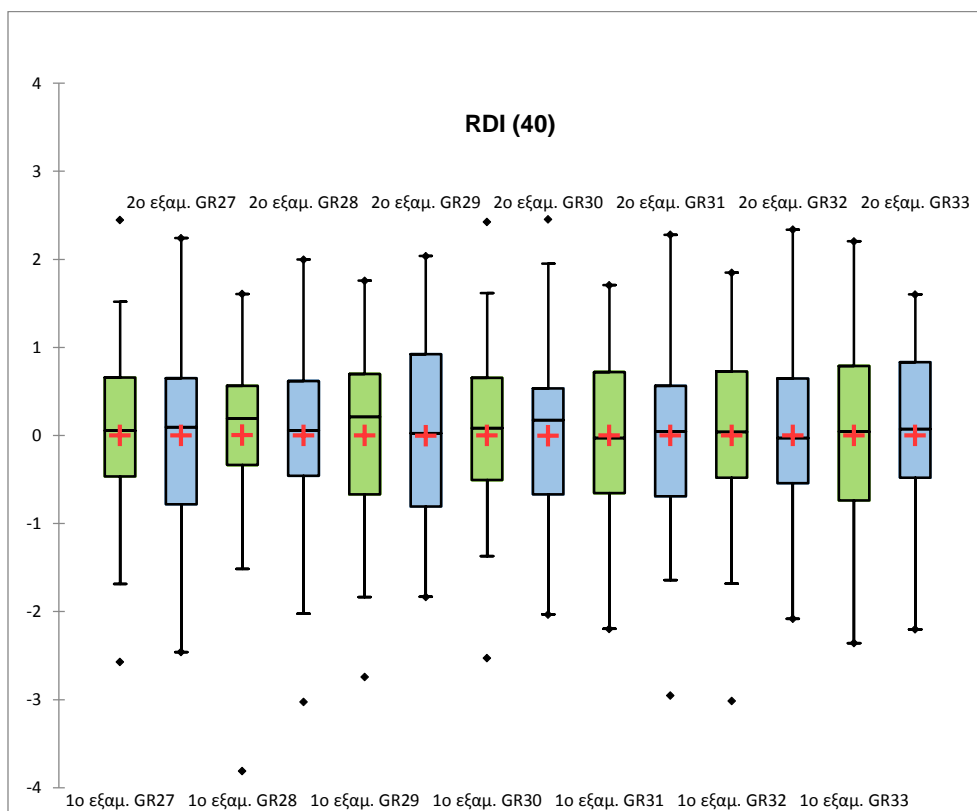


Σχήμα 24: Σύνολο των ετών κάθε κατηγορίας ξηρασίας των δεικτών RDI και SPI 40 ετών, για την λεκάνη GR33

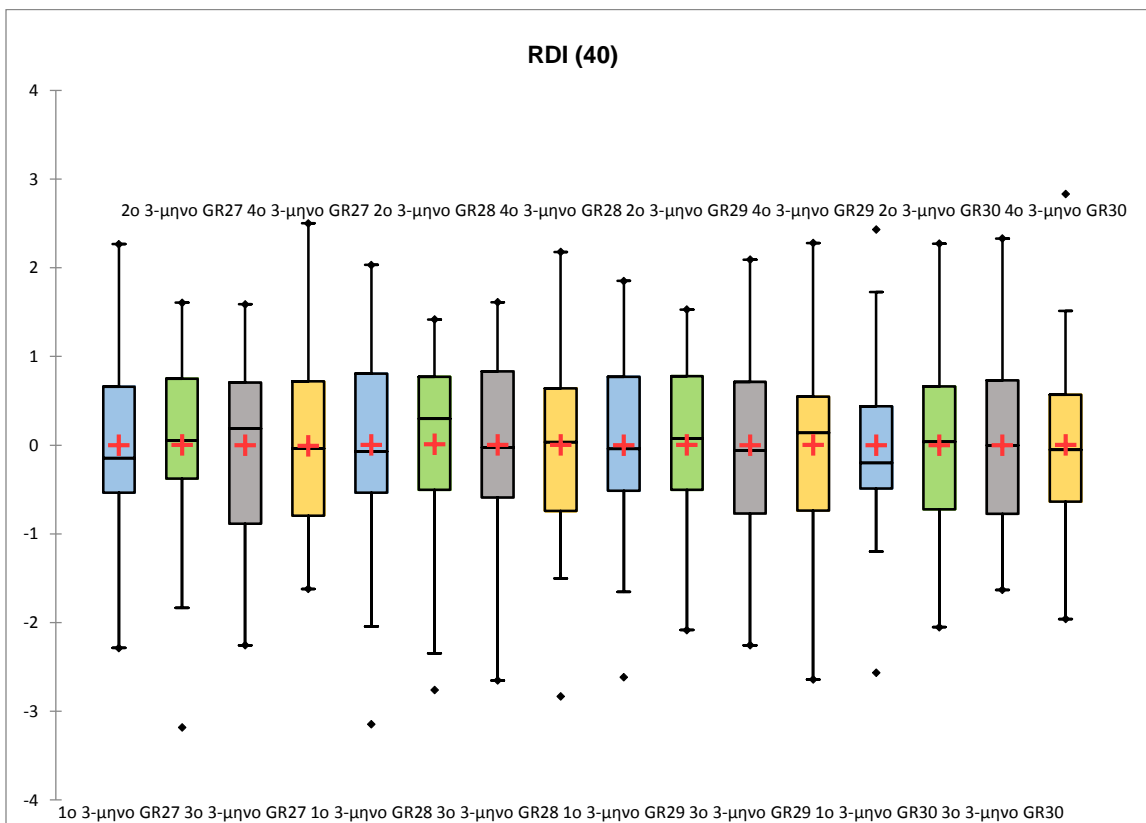


Σχήμα 25: Box-and-Whisker Plots του RDI των 40 ετών για κάθε λεκάνη, σε ετήσια βάση

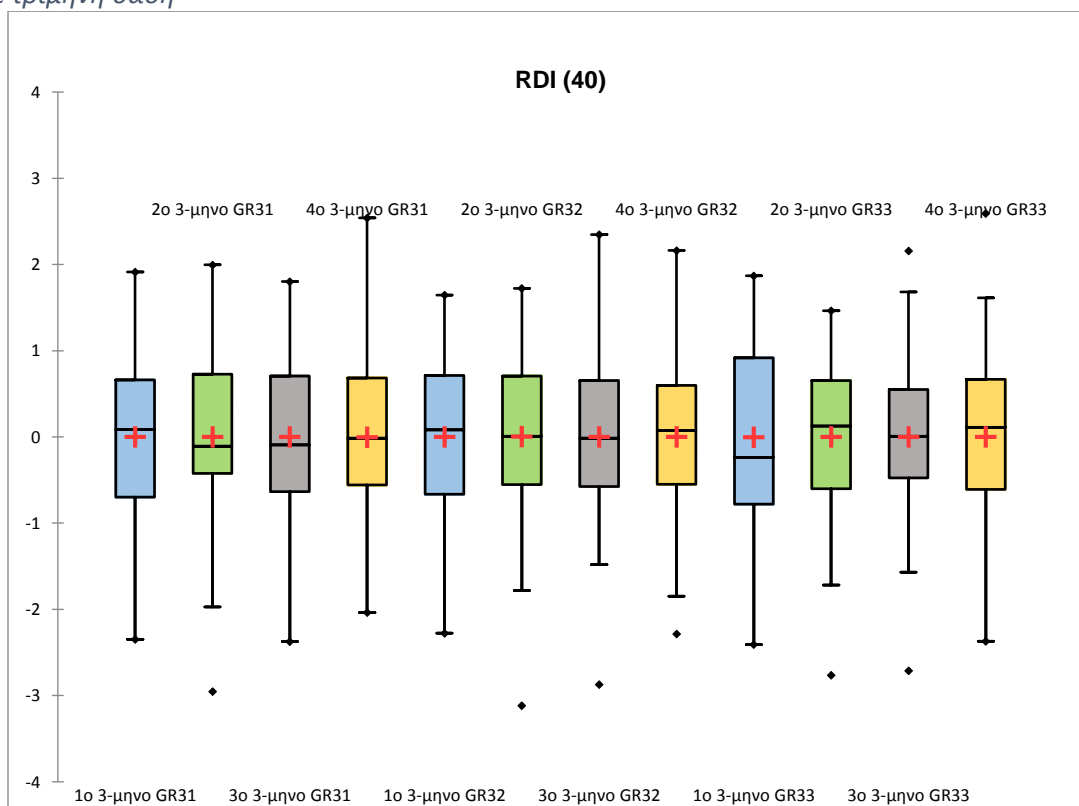
Στα Box-and-Whisker Plots οι τελείες αντιστοιχούν στις μέγιστες και ελάχιστες τιμές, οι σταυροί αντιστοιχούν στις μέσες τιμές του δείγματος, η γραμμή μέσα στο κάθε κουτί αντιπροσωπεύει την διάμεσο και το πάνω μέρος του κουτιού είναι το 75% των τιμών (τρίτο τεταρτημόριο), ενώ η κάτω πλευρά αντιστοιχεί στο 25% (πρώτο τεταρτημόριο). Τα σημεία (μέγιστα ή ελάχιστα) που βρίσκονται έξω από τα όρια των γραμμών μπορούν να θεωρηθούν ακραίες τιμές.



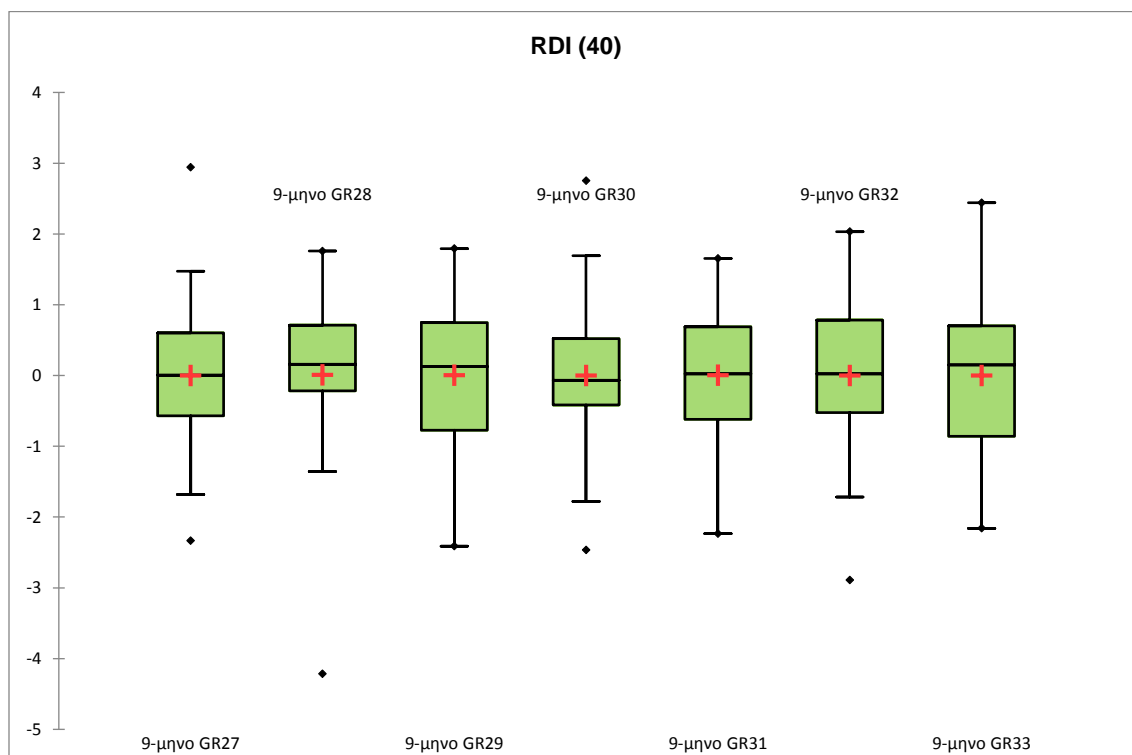
Σχήμα 26: Box-and-Whisker Plots του RDI των 40 ετών για κάθε λεκάνη, σε εξάμηνη βάση



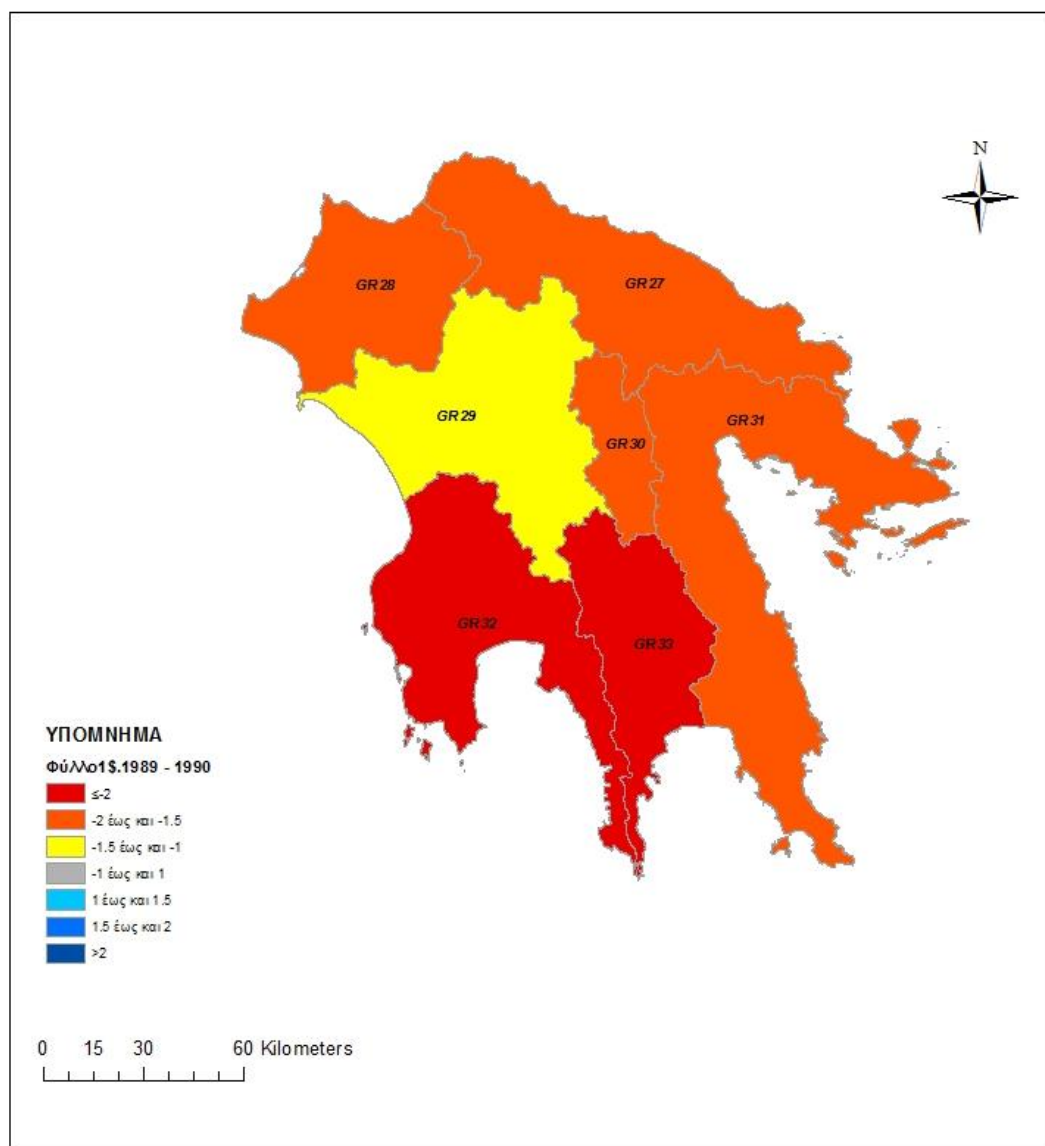
Σχήμα 27: Box-and-Whisker Plots του RDI των 40 ετών για τις λεκάνες GR27, GR28, GR29, GR30, σε τρίμηνη βάση



Σχήμα 28: Box-and-Whisker Plots του RDI των 40 ετών για τις λεκάνες GR31, GR32, GR33, σε τρίμηνη βάση



Σχήμα 29: Box-and-Whisker Plots του RDI των 40 ετών για κάθε λεκάνη, σε εννεάμηνη βάση



Εικόνα 10: Θεματικός χάρτης απόδοσης κατηγοριών ξηρασίας/υγρασίας, του έτους 89-90

5.2. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΕΛΕΓΧΟΥ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΤΑΣΕΩΝ ΞΗΡΑΣΙΑΣ

Σε ετήσια βάση, υπολογίστηκαν οι έλεγχοι τάσης Mann-Kendall (MK) (δικατάληκτος) και Spearman (SP) για κάθε λεκάνη, για επίπεδο εμπιστοσύνης $\alpha=0.05$, τα αποτελέσματα των οποίων δίνονται στον πίνακα:

Σε ετήσια βάση:

Πίνακας 12: Αποτελέσματα των ελέγχων MK, για ετήσια χρονική κλίμακα

RDI (40)	Kendall's tau	Mann Kendall S	p-value	Z	τιμη α	Αποτελεσμα τεστ MK	Sen's slope
GR27	-0.187	-146	0.091	-1.689	0.05	δεν υπάρχει τάση	-0.028
GR28	-0.197	-154	0.075	-1.783	0.05	δεν υπάρχει τάση	-0.019
GR29	-0.326	-254	0.003	-2.948	0.05	υπάρχει αρνητική τάση	-0.041
GR30	0.036	28	0.755	0.315	0.05	δεν υπάρχει τάση	0.004
GR31	-0.033	-26	0.772	-0.291	0.05	δεν υπάρχει τάση	-0.006
GR32	-0.085	-66	0.452	-0.757	0.05	δεν υπάρχει τάση	-0.014
GR33	-0.267	-208	0.015	-2.412	0.05	υπάρχει αρνητική τάση	-0.032

Πίνακας 13: Αποτελέσματα των ελέγχων SP, για ετήσια χρονική κλίμακα

RDI (40)	Spearman's rs	Z _{SR} (Spearman)	Αποτελεσμα τεστ SR
GR27	-0.258	-1.649	δεν υπάρχει τάση
GR28	-0.303	-1.959	δεν υπάρχει τάση
GR29	-0.469	-3.277	υπάρχει αρνητική τάση
GR30	0.027	0.169	δεν υπάρχει τάση
GR31	-0.059	-0.366	δεν υπάρχει τάση
GR32	-0.122	-0.760	δεν υπάρχει τάση
GR33	-0.384	-2.564	υπάρχει αρνητική τάση

Πίνακας 14: Σύγκριση συντελεστών Nash-Sutcliffe με Pearson's r, για τη συσχέτιση του δείκτη RDI με τον SPI (40 ετών), με ετήσια χρονική κλίμακα

	Nash-Sutcliffe	Pearson's r
GR27	0.971	0.986
GR28	0.983	0.992
GR29	0.993	0.996
GR30	0.986	0.993
GR31	0.991	0.996
GR32	0.981	0.991
GR33	0.979	0.990

ΜΚ και SP για το πρώτο 3-μηνο:

Πίνακας 15: Αποτελέσματα των ελέγχων ΜΚ για το πρώτο 3-μηνο

RDI (40)	Kendall's tau	Mann Kendall S	p-value	Z	τιμη α	Αποτελεσμα τεστ ΜΚ	Sen's slope
GR27	-0.123	-96	0.270	-1.107	0.05	δεν υπάρχει τάση	-0.020
GR28	-0.026	-20	0.826	-0.221	0.05	δεν υπάρχει τάση	-0.004
GR29	-0.128	-100	0.251	-1.153	0.05	δεν υπάρχει τάση	-0.018
GR30	0.072	56	0.524	0.641	0.05	δεν υπάρχει τάση	0.007
GR31	0.018	14	0.880	0.151	0.05	δεν υπάρχει τάση	0.003
GR32	-0.038	-30	0.737	-0.338	0.05	δεν υπάρχει τάση	-0.007
GR33	-0.156	-122	0.160	-1.410	0.05	δεν υπάρχει τάση	-0.026

Πίνακας 16: Αποτελέσματα των ελέγχων SP για το πρώτο 3-μηνο

RDI (40)	Spearman's rs	Z _{SR} (Spearman)	Αποτελεσμα τεστ SR
GR27	-0.188	-1.179	δεν υπάρχει τάση
GR28	-0.063	-0.388	δεν υπάρχει τάση
GR29	-0.220	-1.391	δεν υπάρχει τάση
GR30	0.112	0.696	δεν υπάρχει τάση
GR31	0.030	0.185	δεν υπάρχει τάση
GR32	-0.055	-0.338	δεν υπάρχει τάση
GR33	-0.183	-1.148	δεν υπάρχει τάση

ΜΚ και SP για το πρώτο 6-μηνο:

Πίνακας 17: Αποτελέσματα των ελέγχων ΜΚ για το πρώτο 6-μηνο

RDI (40)	Kendall's tau	Mann Kendall S	p-value	Z	τιμη α	Αποτελεσμα τεστ ΜΚ	Sen's slope
GR27	-0.249	-194	0.024	-2.249	0.05	υπάρχει αρνητική τάση	-0.029
GR28	-0.221	-172	0.046	-1.99233	0.05	υπάρχει αρνητική τάση	-0.021
GR29	-0.364	-284	0.001	-3.29724	0.05	υπάρχει αρνητική τάση	-0.046
GR30	-0.013	-10	0.917082	-0.10486	0.05	δεν υπάρχει τάση	-0.001
GR31	-0.036	-28	0.755	-0.31458	0.05	δεν υπάρχει τάση	-0.006
GR32	-0.172	-134	0.122	-1.54959	0.05	δεν υπάρχει τάση	-0.020
GR33	-0.251	-196	0.022	-2.27195	0.05	υπάρχει αρνητική τάση	-0.036

Πίνακας 18: Αποτελέσματα των ελέγχων SP για το πρώτο 6-μηνο

RDI (40)	Spearman's r_s	Z_{SR} (Spearman)	Αποτελεσμα τεστ SR
GR27	-0.358	-2.365	υπάρχει αρνητική τάση
GR28	-0.329	-2.150	υπάρχει αρνητική τάση
GR29	-0.533	-3.883	υπάρχει αρνητική τάση
GR30	-0.033	-0.204	δεν υπάρχει τάση
GR31	-0.066	-0.409	δεν υπάρχει τάση
GR32	-0.258	-1.649	δεν υπάρχει τάση
GR33	-0.405	-2.731	υπάρχει αρνητική τάση

ΜΚ και SP για το πρώτο 9-μηνο:

Πίνακας 19: Αποτελέσματα των ελέγχων MK για το πρώτο 9-μηνο

RDI (40)	Kendall's tau	Mann Kendall S	p-value	Z	τιμή α	Αποτελεσμα τεστ MK	Sen's slope
GR27	-0.215	-168	0.051	-1.94572	0.05	δεν υπάρχει τάση	-0.028
GR28	-0.231	-180	0.037	-2.086	0.05	υπάρχει αρνητική τάση	-0.018
GR29	-0.326	-254	0.003	-2.948	0.05	υπάρχει αρνητική τάση	-0.045
GR30	-0.008	-6	0.954	-0.058	0.05	δεν υπάρχει τάση	-0.001
GR31	-0.067	-52	0.555	-0.594	0.05	δεν υπάρχει τάση	-0.010
GR32	-0.149	-116	0.182	-1.340	0.05	δεν υπάρχει τάση	-0.017
GR33	-0.259	-202	0.019	-2.342	0.05	υπάρχει αρνητική τάση	-0.034

Πίνακας 20: Αποτελέσματα των ελέγχων SP για το πρώτο 9-μηνο

RDI (40)	Spearman's r_s	Z_{SR} (Spearman)	Αποτελεσμα τεστ SR
GR27	-0.317	-2.060	δεν υπάρχει τάση
GR28	-0.357	-2.359	υπάρχει αρνητική τάση
GR29	-0.495	-3.516	υπάρχει αρνητική τάση
GR30	-0.037	-0.228	δεν υπάρχει τάση
GR31	-0.095	-0.589	δεν υπάρχει τάση
GR32	-0.237	-1.506	δεν υπάρχει τάση
GR33	-0.387	-2.589	υπάρχει αρνητική τάση

Πίνακας 21: Αριθμός συνεχόμενων χρόνων που υπάρχει ξηρασία

Λεκάνη	Διάρκεια	Σύνολο	Ηπια (-0.5 έως -1)	Ηπια - Μετρια	Μετρια (-1 έως -1.5)	Μετρια-Σημαντική	Σημαντική (-1.5 έως -2)	Σημαντική -Ακραία	Ακραία (<-2)	Μετρια-Ακραία	Ηπια Σημαντική	Ηπια Μετρια Σημαντική	Ηπια Σημαντική Ακραία
GR27	1 χρόνο	12	4		6		2		0				
	2 χρόνια	3					1	1		1			
	3 χρόνια	1										1	
GR28	1 χρόνο	8	2		4		1		1				
	2 χρόνια	2			1	1							
	3 χρόνια	0											
GR29	1 χρόνο	12	5		4		2		1				
	2 χρόνια	5	1	1	1	1		1					
	3 χρόνια	0											
GR30	1 χρόνο	12	6		2		3		1				
	2 χρόνια	2	1			1							
	3 χρόνια	2										1	1
GR31	1 χρόνο	13	7		4		1		1				
	2 χρόνια	1								1			
	3 χρόνια	1	1										
GR32	1 χρόνο	12	5		3		3		1				
	2 χρόνια	3					1			1	1		
	3 χρόνια	0											
GR33	1 χρόνο	12	4		5		2		1				
	2 χρόνια	3		1	1		1						
	3 χρόνια	0											

Στον πίνακα 21 παρουσιάζεται ο αριθμός των ετών που εμφανίστηκε ξηρασία, ανά κατηγορία ξηρασίας, σε ένα χρόνο, σε 2 συνεχόμενα χρόνια και σε 3 συνεχόμενα χρόνια.

Πίνακας 22: Τα αποτελέσματα της μεθόδου Deciles

Year	GR27	GR28	GR29	GR30	GR31	GR32	GR33
1968 - 1969	7	5	6	9	8	7	7
1969 - 1970	8	9	9	8	6	9	8
1970 - 1971	7	8	8	9	3	6	6
1971 - 1972	6	9	7	6	2	8	4
1972 - 1973	5	6	4	10	3	5	4
1973 - 1974	7	6	8	5	6	7	6
1974 - 1975	3	2	4	1	1	2	3
1975 - 1976	6	6	9	2	9	8	9
1976 - 1977	3	3	7	1	3	5	6
1977 - 1978	9	8	10	4	7	6	7
1978 - 1979	9	8	8	4	5	3	8
1979 - 1980	10	10	10	4	9	4	10
1980 - 1981	9	9	10	7	8	5	10
1981 - 1982	8	10	9	8	8	6	10
1982 - 1983	3	5	3	1	2	2	4
1983 - 1984	8	8	6	6	10	8	9
1984 - 1985	2	2	3	2	2	2	5
1985 - 1986	5	7	7	7	5	9	5
1986 - 1987	4	4	6	5	7	8	8
1987 - 1988	3	4	4	3	7	9	7
1988 - 1989	1	1	2	2	4	2	2
1989 - 1990	1	1	2	1	1	1	1
1990 - 1991	10	7	10	10	10	10	6
1991 - 1992	1	1	2	4	6	1	1
1992 - 1993	2	2	1	3	3	1	2
1993 - 1994	6	3	4	5	7	4	8
1994 - 1995	7	7	5	10	8	5	4
1995 - 1996	8	7	6	7	9	10	9
1996 - 1997	4	4	3	8	4	4	3
1997 - 1998	4	3	2	3	5	4	3
1998 - 1999	10	10	9	9	9	10	5
1999 - 2000	2	4	5	2	2	3	3
2000 - 2001	5	5	5	6	5	7	7
2001 - 2002	9	6	8	9	10	7	2
2002 - 2003	10	10	7	10	10	10	10
2003 - 2004	5	5	1	5	4	6	2
2004 - 2005	4	3	3	7	4	3	5
2005 - 2006	6	9	5	8	6	9	9
2006 - 2007	1	2	1	3	1	1	1
2007 - 2008	2	1	1	6	1	3	1

Στον παραπάνω πίνακα, με κόκκινο εμφανίζονται οι σημαντικές με ακραίες ξηρασίες και με πορτοκαλί οι ήπιες και μέτριες ξηρασίες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

6.1. ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ -ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σχετικά με την διερεύνηση της ξηρασίας στην Πελοπόννησο, έγινε η επεξεργασία των χρονοσειρών των σταθμών που επιλέχθηκαν στην περιοχή μελέτης και υπολογίστηκαν οι δείκτες RDI, SPI για διάφορες χρονικές κλίμακες και ο δείκτης Deciles. Κατόπιν, παρουσιάστηκαν οι δείκτες RDI και SPI με τη μορφή διαγραμμάτων και έγινε εντοπισμός της τάσης τους. Τέλος, εφαρμόστηκαν μη παραμετρικοί έλεγχοι, για να προσδιοριστεί αν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές τάσεις.

Από την εξαγωγή των αποτελεσμάτων, τα κύρια συμπεράσματα που προέκυψαν είναι τα εξής:

Συμπεράσματα ως προς την δυνητική εξατμισοδιαπνοή:

Συγκρίνοντας τον RDI με τον SPI των 25 ετών, προκύπτει ότι οι τιμές των δύο δεικτών δεν διαφέρουν ιδιαίτερα μεταξύ τους, που σημαίνει πως οι τιμές της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής δεν είναι σημαντικές για την ύπαρξη ή όχι της ξηρασίας στη συγκεκριμένη περίπτωση. Επίσης, συγκρίνοντας τον RDI με τον SPI των 40 ετών, επίσης δεν εντοπίζεται σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο δεικτών.

Παρότι, οι τιμές της εξατμισοδιαπνοής κάθε μεθόδου διαφέρουν μεταξύ τους, παρατηρήθηκε από τα διαγράμματα που υπολογίστηκε ο δείκτης RDI με τις τρεις μεθόδους της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής, πως οι τιμές του δείκτη δεν έχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ τους, δηλαδή βρίσκονται στην ίδια κατηγορία ξηρασίας, οπότε η επιλογή της μεθόδου δεν επηρεάζει τα τελικά αποτελέσματα.

Επίσης, στις χρονοσειρές της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής παρατηρήθηκε πως οι διαφορές των τιμών μεταξύ των ετών της λεκάνης της κάθε μεθόδου δεν έχουν μεγάλη διακύμανση, καθώς οι διαφορές κυμαίνονται στα 30mm/month.

Συμπεράσματα ως προς τους δείκτες:

Τα πρωτογενή δεδομένα είναι ελλιπή, και ίσως φέρουν σφάλματα, οπότε τα αποτελέσματα πιθανώς να μην ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα.

Από τα διαγράμματα που δείχνουν το σύνολο των ετών της ξηρασίας ανά κατηγορία, παρατηρείται πως στο υδατικό διαμέρισμα της Βόρειας Πελοποννήσου (λεκάνες GR27 και GR28) έχουμε περισσότερα έτη με κανονικές συνθήκες και ήπιες και μέτριες ξηρασίες από το υδατικό διαμέρισμα της Δυτικής Πελοποννήσου (λεκάνες GR29 και GR32), αν και οι διαφορές είναι κατά ένα ή δυο έτη. Το ίδιο ισχύει και για το υδατικό διαμέρισμα της Ανατολικής Πελοποννήσου, καθώς προκύπτει ότι δεν υπάρχουν σημαντικές διαφορές στον αριθμό των ετών, σε σχέση με τα άλλα δυο υδατικά διαμερίσματα.

Από τα Box and Whisker Plots παρατηρείται ότι υπάρχουν μικρές μεταβολές μεταξύ του 1^{ου} και 2^{ου} εξαμήνου σε κάθε λεκάνη (σχήμα 26) οπότε δεν διακρίνουμε κάποια εποχικότητα (το ίδιο παρατηρείται και για τα τρίμηνα). Επίσης, σε όλες τις χρονικές κλίμακες (ετήσια, τρίμηνη, εξάμηνη και εννεάμηνη) φαίνεται πως το 25% και το 75% των

παρατηρήσεων κάθε λεκάνης, βρίσκεται μεταξύ των τιμών -1 έως 1 με αποτέλεσμα να μην υπάρχουν σημαντικές μεταβολές στις τιμές του RDI μεταξύ των λεκανών.

Από τους χάρτες που παρουσιάζουν σε ποια κατηγορία ξηρασίας ή υγρασίας βρίσκεται η κάθε λεκάνη απορροής, για κάθε έτος, με βάση τον δείκτη RDI των 40 ετών, προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα: τα υδρολογικά έτη 1974-1975, 1976-1977, 1982-1983, 1984-1985, 1988-1989, 1989-1990, 1991-1992, 1992-1993, 1997-1998, 1999-2000, 2001-2002, 2003-2004, 2006-2007 και 2007-2008 παρατηρείται ξηρασία σε κάποιες λεκάνες ή σε όλη την Πελοπόννησο. Συγκεκριμένα, οι σοβαρότερες ξηρασίες, κατηγορίας μέτριας, σημαντικής ή ακραίας, εμφανίζονται τα έτη 1974-1975, 1982-1983, 1988-1989, 1989-1990, 1991-1992, 1992-1993, 2006-2007 και 2007-2008. Τα υπόλοιπα έτη έχουν κανονικές ή υγρές συνθήκες ξηρασίας. Επίσης προκύπτει ότι τα δίχρονα με τις σοβαρότερες ξηρασίες είναι τα 1988-1990, 1991-1993 και 2006-2008.

Επίσης, από τους παραπάνω χάρτες δεν υπάρχουν πάνω από δυο συνεχόμενα έτη που να εμφανίζεται σοβαρή ξηρασία (μέτρια, σημαντική ή ακραία) σε κάποια λεκάνη.

Στις λεκάνες GR27, GR30, GR31 και GR33 ο αριθμός των ετών των γεγονότων ξηρασίας, με βάση τις κατηγορίες ήπια, μέτρια, σημαντική και ακραία, διαφέρει μεταξύ του δείκτη RDI και SPI κατά ένα έτος. Στις υπόλοιπες λεκάνες, και οι δύο δείκτες δίνουν τον ίδιο αριθμό ετών σε κάθε κατηγορία ξηρασίας. Άρα τα αποτελέσματα των δύο δεικτών δεν έχουν σημαντικές διαφορές.

Παρατηρήθηκε πως μόνο στις λεκάνες GR27, GR30 και GR31 υπάρχουν τρίχρονες ξηρασίες, όπου στην λεκάνη GR31 το επίπεδο ξηρασίας παρέμεινε ήπιο για το διάστημα των 3 χρόνων, σε αντίθεση με τις άλλες δύο λεκάνες όπου υπήρχαν σημαντικές και ακραίες κατηγορίες ξηρασίας.

Όσον αφορά τα αποτελέσματα του δείκτη Deciles, προκύπτει ότι δεν αποδίδει καλά αποτελέσματα και δεν είναι συγκρίσιμος με τους άλλους δείκτες, οπότε δεν μπορούν να εξαχθούν ικανοποιητικά συμπεράσματα.

Η εφαρμογή των συντελεστών Nash-Sutcliffe efficiency και Pearson's r έδειξε πως οι δείκτες RDI και SPI έχουν υψηλή συσχέτιση.

Συμπεράσματα ως προς την εκτίμηση της τάσης και της στατιστικής της σημαντικότητας:

Εξετάζοντας την κλίση της γραμμής τάσης μεταξύ των δεικτών RDI των 40 ετών και RDI των 25 ετών (αντίστοιχα για SPI των 40 ετών και SPI των 25 ετών), παρουσιάζεται σημαντική διαφορά (ιδίως στην λεκάνη GR30), που οφείλεται στις τιμές των υπόλοιπων 15 ετών.

Από τα διαγράμματα των δεικτών RDI και SPI των 40 ετών, παρατηρείται πως σε όλες τις λεκάνες, η κλίση της τάσης του δείκτη RDI είναι αρνητική και μικρότερη του δείκτη SPI. Αυτό σημαίνει πως ο RDI ενδέχεται να παρουσιάσει ξηρότερες καταστάσεις στο μέλλον σε σχέση με τον SPI.

Στην εννεάμηνη χρονική κλίμακα (Οκτώβριος-Ιούνιος), παρατηρείται πως υπάρχει αρνητική τάση στις λεκάνες GR28, GR29, GR33, σε αντίθεση με την ετήσια χρονική κλίμακα στην οποία υπάρχει μόνο στις λεκάνες GR29 και GR33. Η λεκάνη GR28 παρουσιάζει αρνητική τάση στο εννεάμηνο, η τιμή όμως για την οποία γίνεται δεκτή η ύπαρξη τάσης στην λεκάνη, βρίσκεται κοντά στην οριακή τιμή ($Z = -2,09 > 1,96$ που είναι

η οριακή τιμή για επίπεδο εμπιστοσύνης 0.05). Οπότε όταν υπολογίζεται το τεστ MK για την ετήσια χρονική κλίμακα, είναι πιθανώς οι τιμές των μηνών που περίσσευαν (Ιούλιος-Σεπτέμβριος) να επαρκούν ώστε να μην περάσει το όριο η τιμή του z και να δείχνει ότι δεν υπάρχει σημαντική τάση σε ετήσια χρονική κλίμακα.

Όσον αφορά τα αποτελέσματα των τεστ Mann – Kendall και Spearman παρατηρείται πως και τα δύο τεστ δίνουν ίδια αποτελέσματα για την ύπαρξη ή μη σημαντικής τάσης. Επίσης παρατηρείται πως σε ετήσια χρονική κλίμακα μόνο οι λεκάνες GR29 και GR33 παρουσιάζουν σημαντική τάση (αρνητική).

Στο πρώτο εξάμηνο παρατηρείται πως υπάρχει σημαντική τάση στις λεκάνες GR27, GR28, GR29 και GR33, δηλαδή σε 2 παραπάνω από την ετήσια. Αυτό πιθανώς σημαίνει ότι στις λεκάνες GR27 και GR28 η τάση είναι στατιστικά σημαντική στο 1^ο εξάμηνο, αλλά πιθανώς να γίνεται εξισορρόπηση με τις τιμές του 2^ο εξάμηνου και για το λόγο αυτό τελικά να μην εμφανίζεται σημαντική τάση σε ετήσια βάση.

Τέλος, παρατηρείται ότι υπάρχει σημαντική τάση στις λεκάνες GR29 και GR33, όπου υπάρχουν μόνο ετήσια και δίχρονα που εμφανίζεται ξηρασία, σε αντίθεση με άλλες λεκάνες που έχουν τρία χρόνια που παρουσιάστηκε ξηρασία στην περιοχή. Αυτό δείχνει πως παρόλο που μπορεί να υπάρχει μεγαλύτερο διάστημα ξηρασίας σε κάποιες λεκάνες, η τάση δεν είναι σημαντική, οπότε δεν προϋποθέτει κίνδυνο στο μέλλον.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

- Agnew, C. T. (2000). Using the SPI to identify drought. *Drought Network News (1994-2001)*, Paper 1, p. 12.
- Bannayan, M., Sanjani, S., Alizadeh, A., Lotfabadi, S. and Mohamadian, A. (2010). Association between climate indices, aridity index, and rainfed crop yield in northeast of Iran. *Field Crops Research*, 118(2), pp. 105-114.
- Biau, D., Jolles, B. and Porcher, R. (2010). P Value and the Theory of Hypothesis Testing: An Explanation for New Researchers. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 468(3), pp. 885-892.
- Blaney, H.F. and Criddle, W.D. (1964). Determining Water Requirements for Settling Water Disputes. *Natural Resources Journal*, Vol. 4, pp. 29-41.
- Blumenstock, G., Jr. (1942). Drought in the US analyzed by means of the theory of probability. *U.S.D.A*, Washington, DC, GPO, p. 63.
- Chimeli, A. B., Mutter, C. Z., and Ropelewski, C. (2002). Climate fluctuations, demography and development: Insights and opportunities for northeast Brazil. *Journal of International Affairs*, pp. 213-234.
- Cruff, R. and Thompson, T. (1967). A comparison of methods of estimating potential evapotranspiration from climatological data in arid and subhumid environments. *Water Supply Paper 1839 M*, Washington: U.S. G.P.O., p. 28.
- Downer, R. N., Siddiqui, M. M., and Yevjevich, V. (1967). Applications of runs to hydrologic drought. In: *Proc. Int. Hydrology Symp., Colorado State University*, Fort Collins, CO, pp. 496–505.
- Gocic, M., and Trajkovic, S. (2013). Analysis of changes in meteorological variables using Mann-Kendall and Sen's slope estimator statistical tests in Serbia. *Global and Planetary Change*, 100, pp. 172-182.
- Great Britain Meteorological Office (1951). The Meteorological Glossary. *Chemical Publishing Co*, 3rd ed., New York, p. 253.
- Hargreaves, G.H. and Samani, Z.A. (1985). Reference Crop Evapotranspiration from Temperature. *Applied Engineering in Agriculture*, 1(2), pp. 96-99.
- Hayes, M. J. (2006). Drought indices. *National Drought Mitigation Center*, p. 11.
- Hayes, M. J., Svodoba, M. D., Wilhite, D. A., and Vanyarkho, O. V. (1999). Monitoring the 1996 drought using the Standardised precipitation index. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 80(3), p. 429.

- He, B., Lü, A., Wu, J., Zhao, L. and Liu, M. (2011). Drought hazard assessment and spatial characteristics analysis in China. *Journal of Geographical Sciences*, 21(2), pp. 235-249.
- Helsel, D. R., and Hirsch, R. M. (1992). Statistical methods in water resources. *Elsevier*, Vol. 49, p. 546.
- Jenkins, K. (2011). Modelling the economic and social consequences of drought under future projections of climate change. *University of Cambridge*, PhD Thesis, p. 208.
- Keyantash, J., and Dracup, J. A. (2002). The quantification of drought: an evaluation of drought indices. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83(8), p. 1167.
- Link, W. A., and Sauer, J. R. (1997). New approaches to the analysis of population trends in land birds: comment. *Ecology*, 78(8), pp. 2632-2634.
- Linsley, R., Kohler, M. and Paulhus, J. (1958). Hydrology for engineers. *McGraw-Hill*, New York, p. 340.
- Linsley, R., Kohler, M. and Paulhus, J. (1975). Hydrology for engineers. *McGraw-Hill*, New York, p. 482.
- McGuire, J. And Palmer, W. (1957). The 1957 drought in the Eastern United States. *Monthly Weather Review*, 85(9), pp. 305-314.
- McKee, T. B., Doesken, N. J., and Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. In *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology, MA: American Meteorological Society*, Vol. 17, No. 22., Boston, pp. 179-183
- McKee, T. B., Doesken, N. J., and Kleist, J. (1995). Drought monitoring with multiple time scales. In *Proceedings of the 9th Conference on Applied Climatology Dallas, MA: American Meteorological Society*, Boston, pp. 233-236.
- Mishra, A. and Singh, V. (2010). A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*, 391(1-2), pp. 202-216.
- Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M. W., Bingner, R. L., Harmel, R. D., and Veith, T. L. (2007). Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE*, 50(3), pp. 885-900.
- Nalbantis, I. (2008). Evaluation of a hydrological drought index. *European Water*, 23(24), pp. 67-77.
- Nalbantis, I., and Tsakiris, G. (2009). Assessment of hydrological drought revisited. *Water Resources Management*, 23(5), pp. 881-897.
- Niemeyer, S. (2008). New drought indices. In *Proceedings of the 1st International Conference "Drought management: scientific and technological innovations"*, *Options Méditerranéennes*, Series A, No. 80, Zaragoza, pp. 267-274
- Nuzzo, R. (2014). Statistical errors. *Nature*, 506(7487), pp. 150-152.

- Önöz, B., and Bayazit, M. (2003). The power of statistical tests for trend detection. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 27(4), pp. 247-251.
- Palmer, W. C. (1965). Meteorological Drought. *Office of Climatology, US Weather Bureau*. Research Paper No. 45, Washington, DC, p. 58.
- Rossi, G. (2000). Drought mitigation measures: a comprehensive framework. *In Drought and drought mitigation in Europe*. Springer Netherlands, pp. 233-246.
- Shadmani, M., Marofi, S. and Roknian, M. (2011). Trend Analysis in Reference Evapotranspiration Using Mann-Kendall and Spearman's Rho Tests in Arid Regions of Iran. *Water Resources Management*, 26(1), pp. 211-224.
- Tsakiris, G. and Vangelis, H. (2005). Establishing a drought index incorporating evapotranspiration. *European Water*, 9/10, pp. 3–11.
- Tsakiris, G. and Vangelis, H. (2004). Towards a Drought Watch System based on Spatial SPI. *Water Resources Management* 18, p. 12.
- Vangelis, H., Tigkas, D. and Tsakiris, G. (2013). The effect of PET method on Reconnaissance Drought Index (RDI) calculation. *Journal of Arid Environments* 88. pp. 130-140.
- Wilhite, D. (1993). Chapter 1 The Enigma of Drought. *Drought Mitigation Center Faculty Publications*. Paper 65, p.12
- Wilhite, D. and Glantz, M. (1985). Understanding the drought phenomenon: The role of definitions. *Water International*, 10(3), pp. 111–120.
- Wilhite, D., Svoboda, M. and Hayes, M. (2007). Understanding the complex impacts of drought: A key to enhancing drought mitigation and preparedness. *Water Resources Management*, 21(5), pp. 763-774.
- Yue, S., Pilon, P., and Cavadias, G. (2002). Power of the Mann–Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series. *Journal of hydrology*, 259(1), pp. 254-271.

Ελληνική Βιβλιογραφία

- Βαγγέλης, Χ. Κ. (2012). Εκτίμηση και προληπτικός σχεδιασμός αντιμετώπισης της ξηρασίας. Διδακτορική Διατριβή. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, σελ. 355
- Τσακίρης, Γ., (Υπ. Έκδοσης), Γ. (2013). Υδατικοί Πόροι: Ι. Τεχνική Υδρολογία & Εισαγωγή στη Διαχείριση Υδατικών Πόρων. Β' Έκδοση. Αθήνα. Εκδόσεις Συμμετρία, σελ. 704

Ηλεκτρονικές διευθύνσεις

Climate Prediction Center Internet Team, (2004). *NOAA Center for Weather and Climate Prediction*. [online] cpc.ncep.noaa. Available at:
http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/regional_monitoring/us_12-month_pct_precip.shtml [Accessed 12 Sep. 2016].

Climate Prediction Center Internet Team, (2014). *Regional Climate Maps; USA*. [online] cpc.ncep.noaa. Available at:
http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/regional_monitoring/3cprnp0.png [Accessed 12 Sep. 2016].

Greenspan, J. (2015). *7 Withering Droughts*. [online] history.com. Available at:
<http://www.history.com/news/7-withering-droughts> [Accessed 3 Jul. 2016].

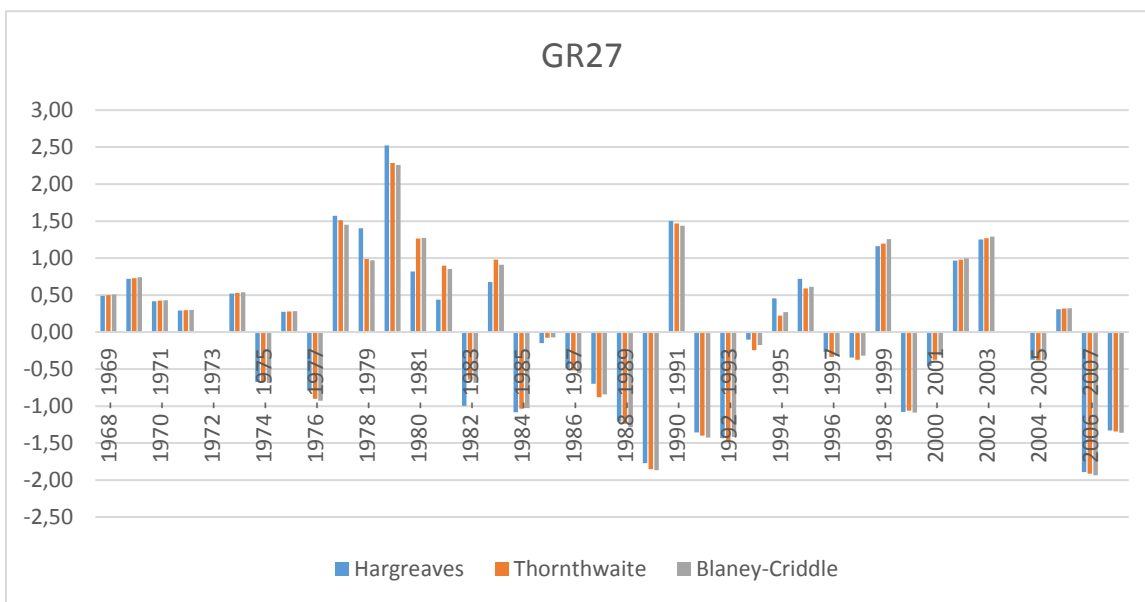
Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, (n.d.). *Κείμενα Υδατικών Διαμερισμάτων*. [online] Ypeka.gr. Available at:
[http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=924&sni\[1366\]=4294&language=el-GR](http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=924&sni[1366]=4294&language=el-GR) [Accessed 3 Sep. 2016].

Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, (n.d.). *Κείμενα Υδατικών Διαμερισμάτων*. [online] Ypeka.gr. Available at:
[http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=924&sni\[1366\]=4295&language=el-GR](http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=924&sni[1366]=4295&language=el-GR) [Accessed 3 Sep. 2016].

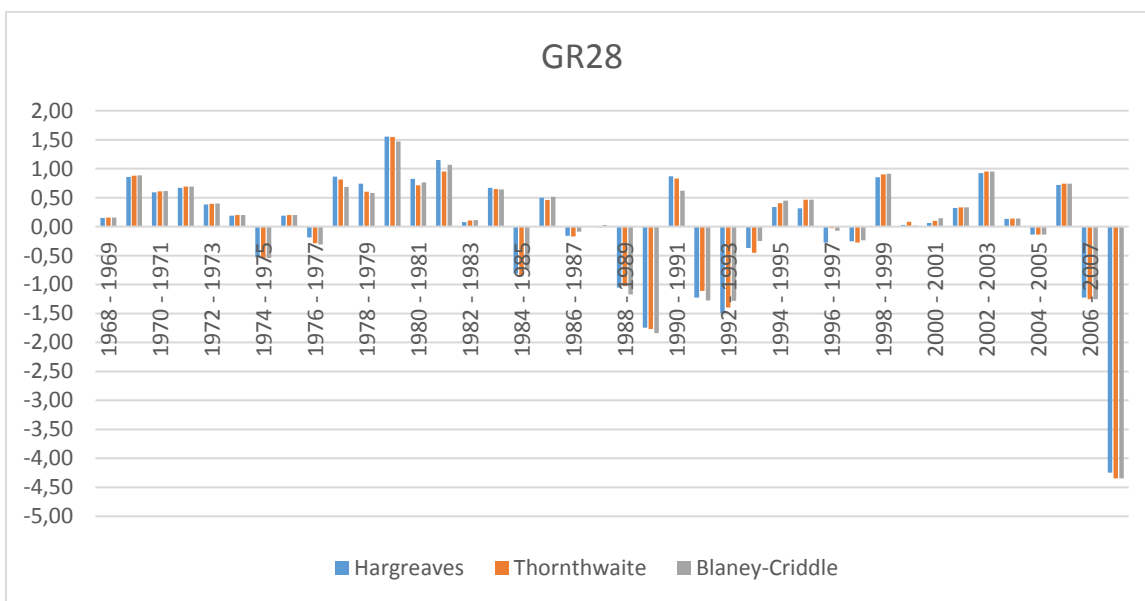
Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, (n.d.). *Κείμενα Υδατικών Διαμερισμάτων*. [online] Ypeka.gr. Available at:
[http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=924&sni\[1366\]=4293&language=el-GR](http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=924&sni[1366]=4293&language=el-GR) [Accessed 3 Sep. 2016].

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

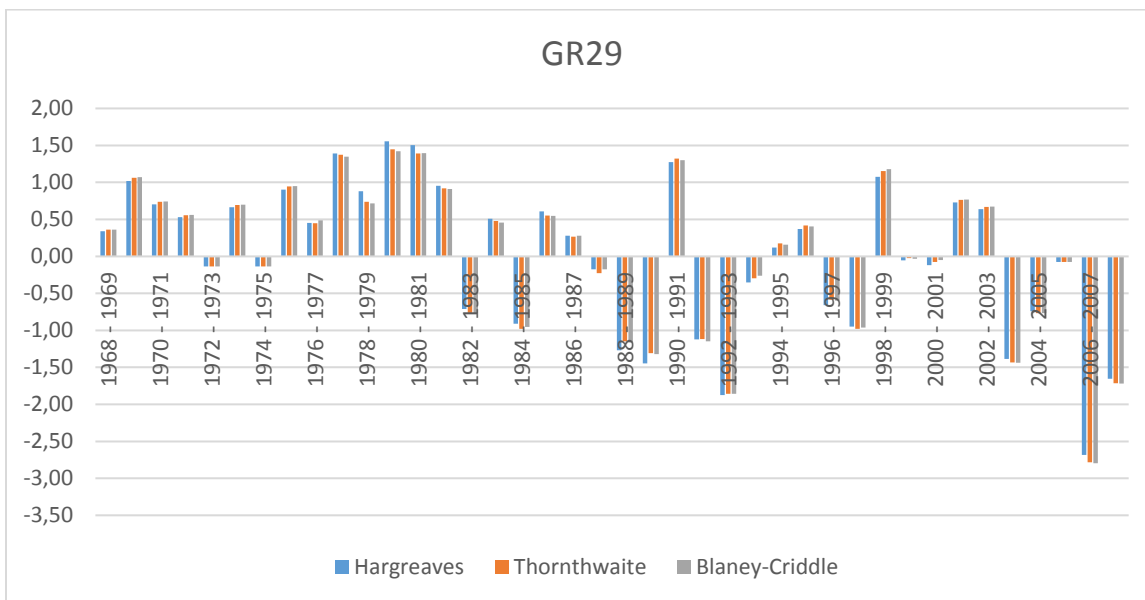
Διαγράμματα Εξαμυσοδιαπνοής



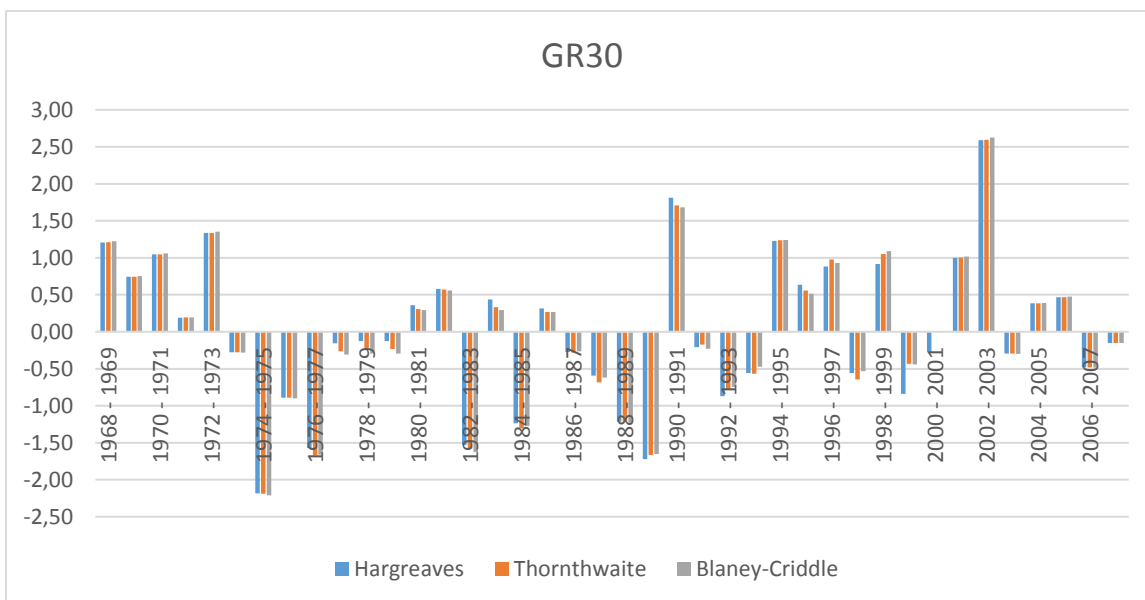
Σχήμα 30: Διάγραμμα του δείκτη RDI (40 ετών), υπολογισμένος με τις τρεις μεθόδους εξαμυσοδιαπνοής, της λεκάνης GR27



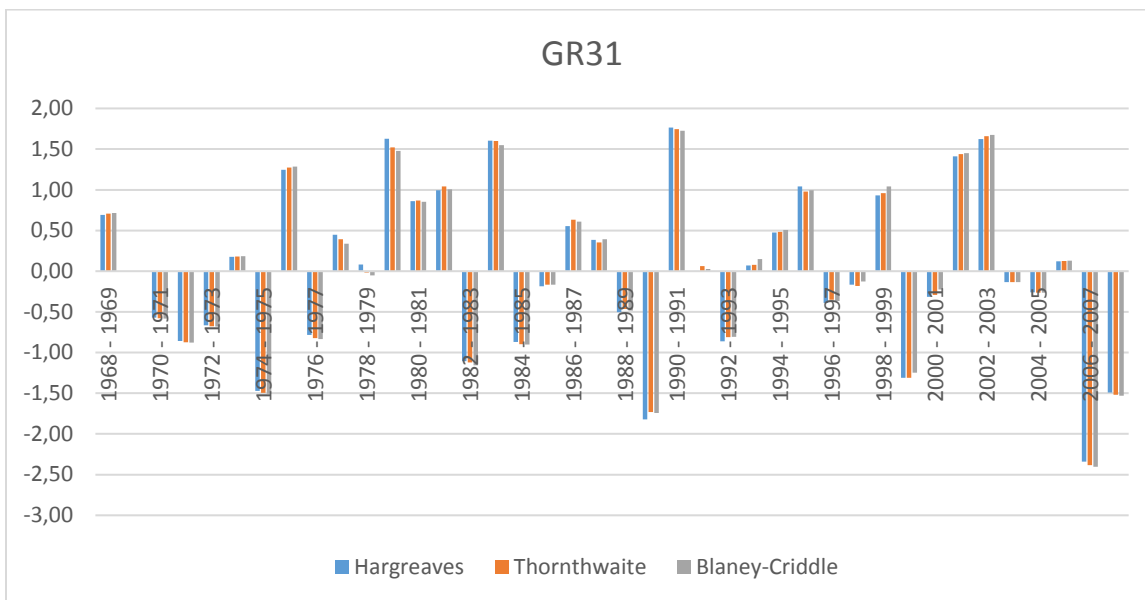
Σχήμα 31: Διάγραμμα του δείκτη RDI (40 ετών), υπολογισμένος με τις τρεις μεθόδους εξαμυσοδιαπνοής, της λεκάνης GR28



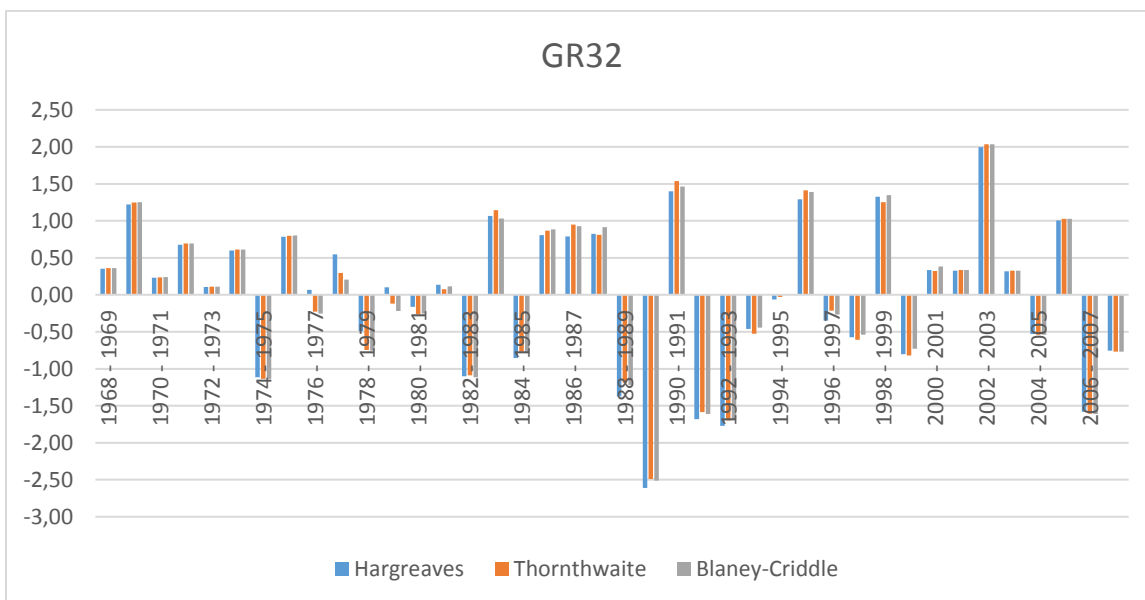
Σχήμα 32: Διάγραμμα του δείκτη RDI (40 ετών), υπολογισμένος με τις τρεις μεθόδους εξατμισοδιαπνοής, της λεκάνης GR29



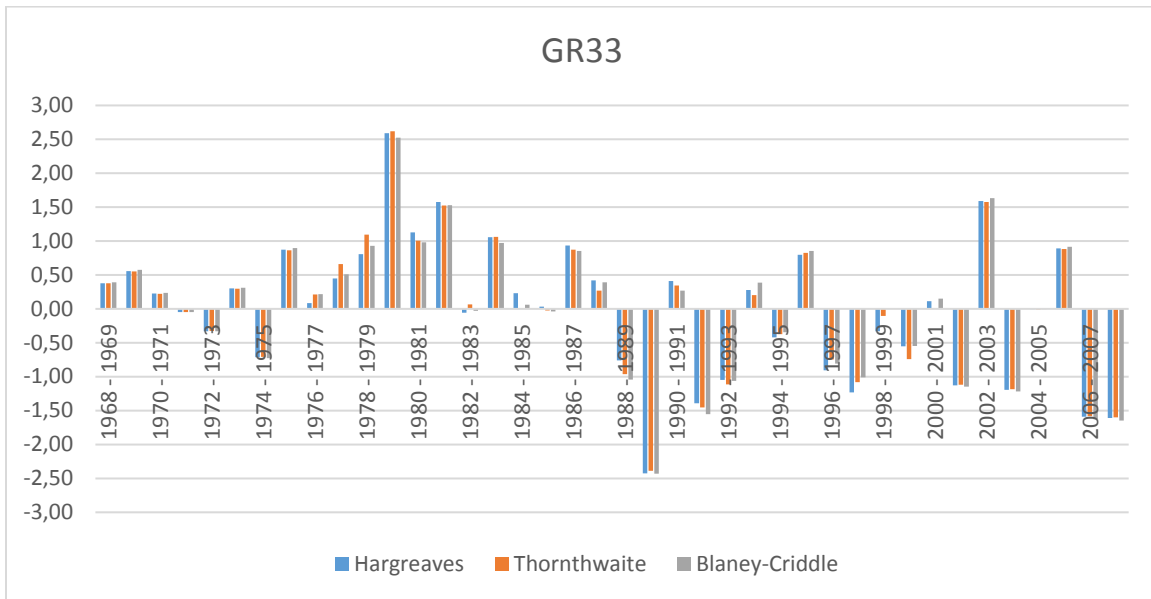
Σχήμα 33: Διάγραμμα του δείκτη RDI (40 ετών), υπολογισμένος με τις τρεις μεθόδους εξατμισοδιαπνοής, της λεκάνης GR30



Σχήμα 34: Διάγραμμα του δείκτη RDI (40 ετών), υπολογισμένος με τις τρεις μεθόδους εξατμισοδιαπνοής, της λεκάνης GR31

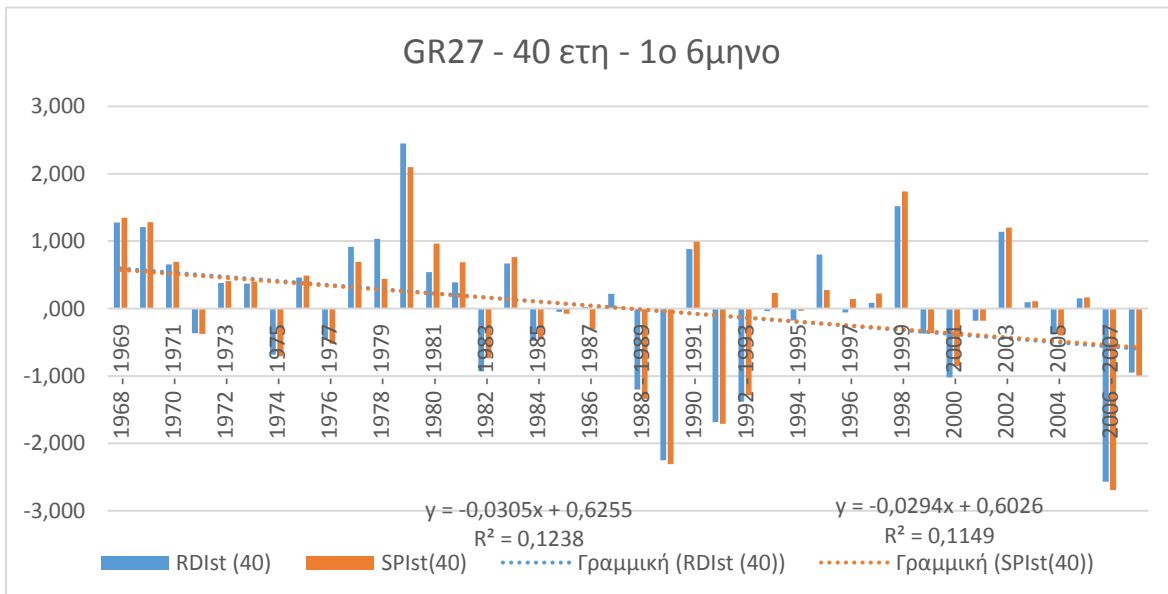


Σχήμα 35: Διάγραμμα του δείκτη RDI (40 ετών), υπολογισμένος με τις τρεις μεθόδους εξατμισοδιαπνοής, της λεκάνης GR32

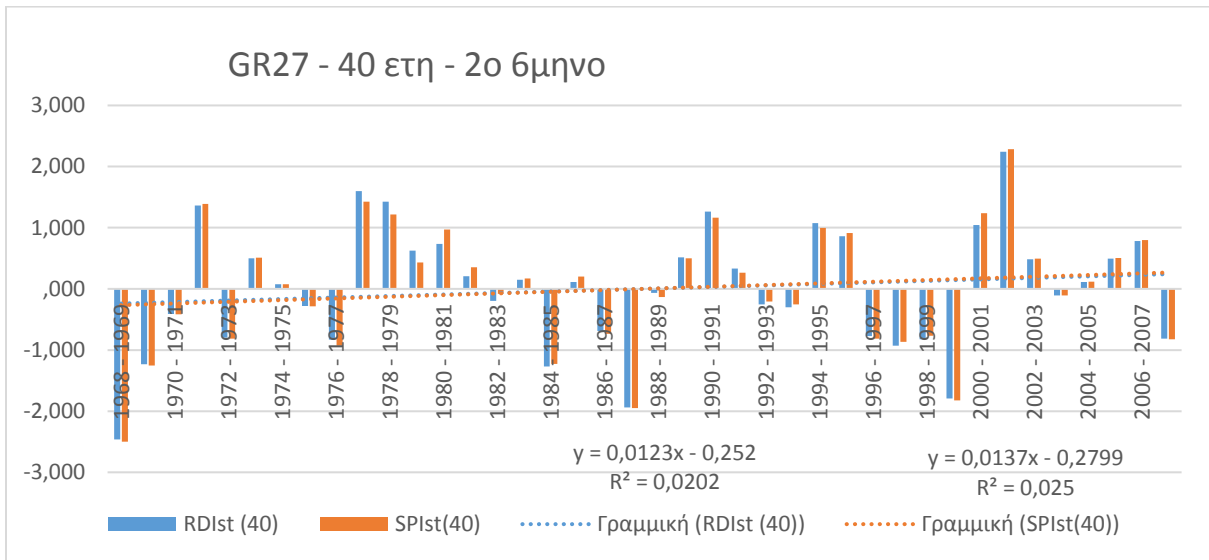


Σχήμα 36: Διάγραμμα του δείκτη RDI (40 ετών), υπολογισμένος με τις τρεις μεθόδους εξατμισοδιαπνοής, της λεκάνης GR33

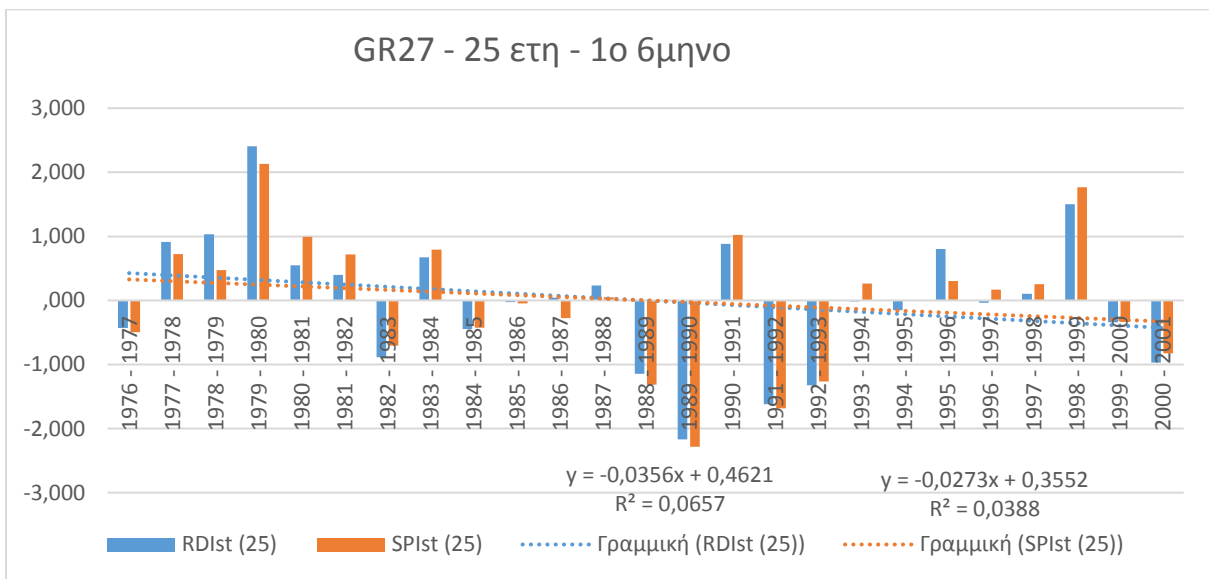
Διαγράμματα δεικτών RDI και SPI για το 6-μηνο



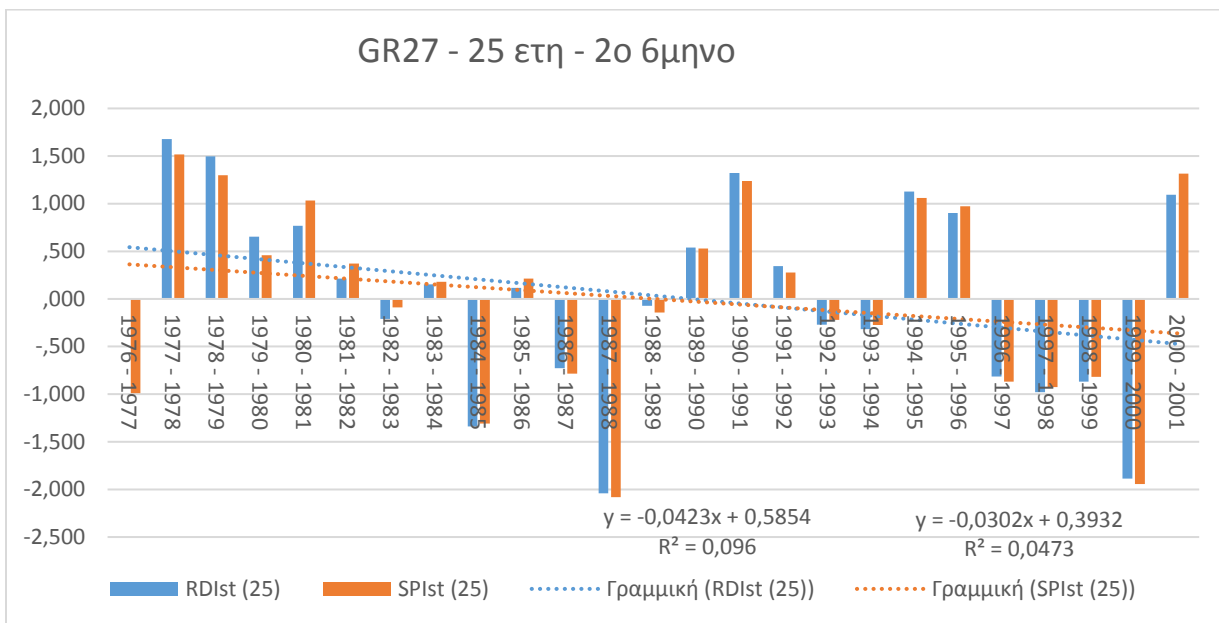
Σχήμα 37: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 40 ετών για το 1ο εξάμηνο της λεκάνης GR27



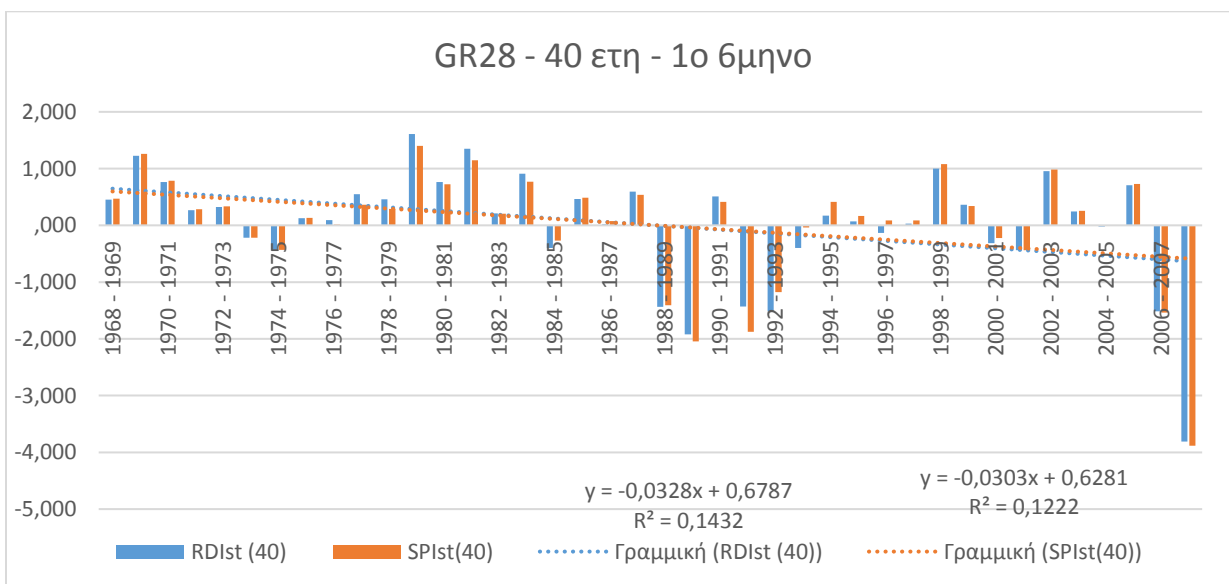
Σχήμα 38: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 40 ετών για το 2ο εξάμηνο της λεκάνης GR27



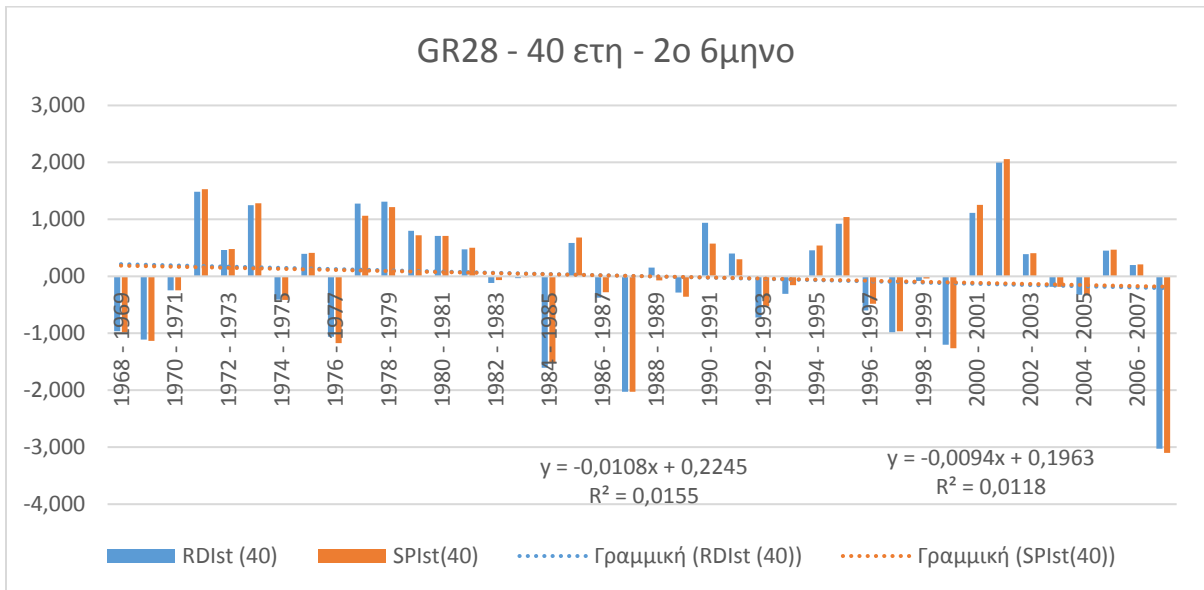
Σχήμα 39: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 25 ετών για το 1ο εξάμηνο της λεκάνης GR27



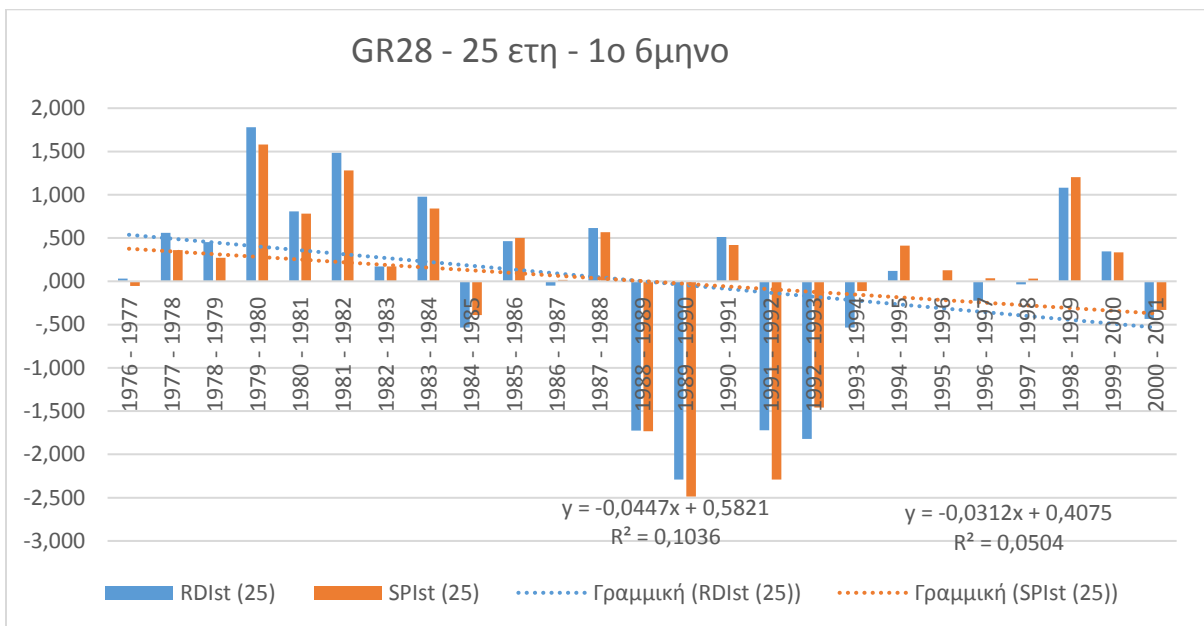
Σχήμα 40: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 25 ετών για το 2ο εξάμηνο της λεκάνης GR27



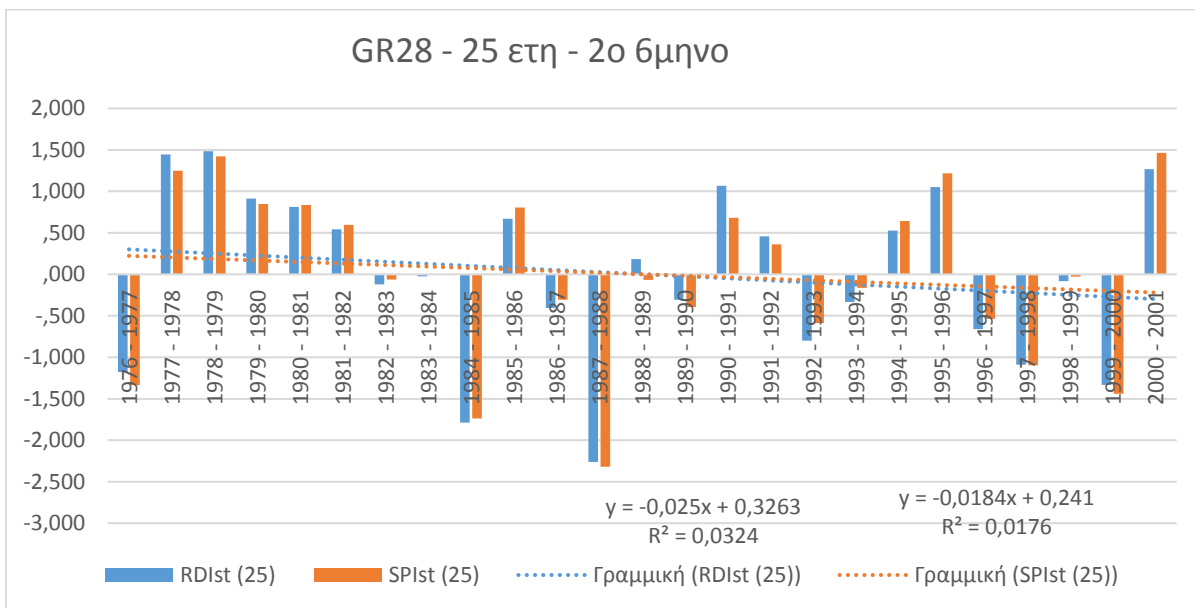
Σχήμα 41: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 40 ετών για το 1ο εξάμηνο της λεκάνης GR28



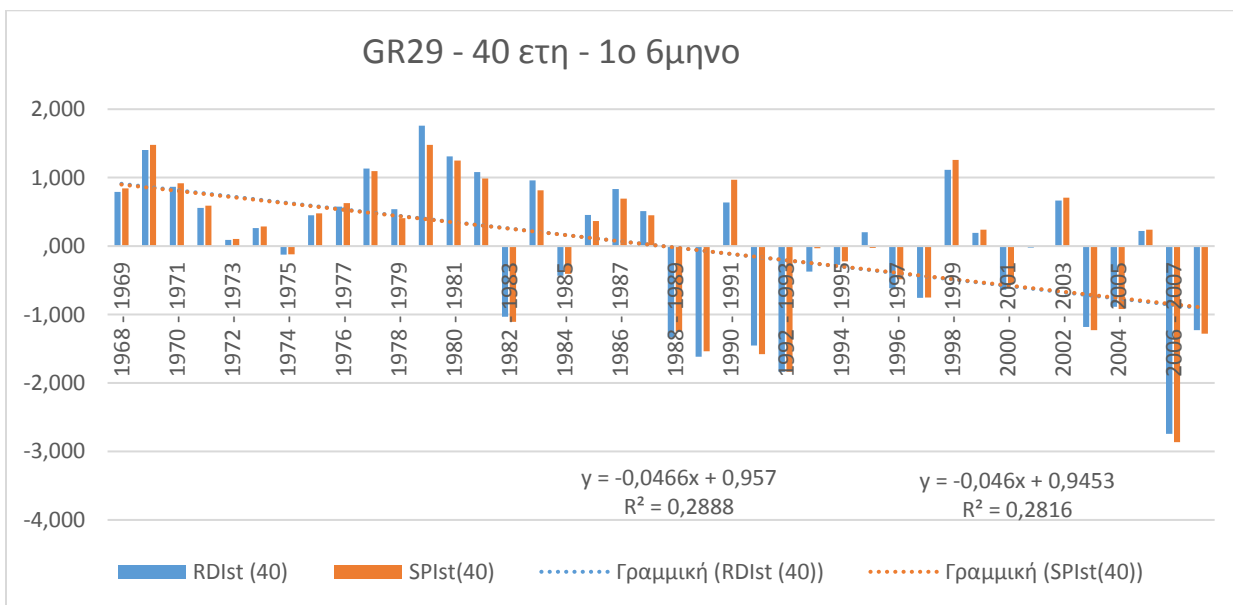
Σχήμα 42: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 40 ετών για το 2ο εξάμηνο της λεκάνης GR28



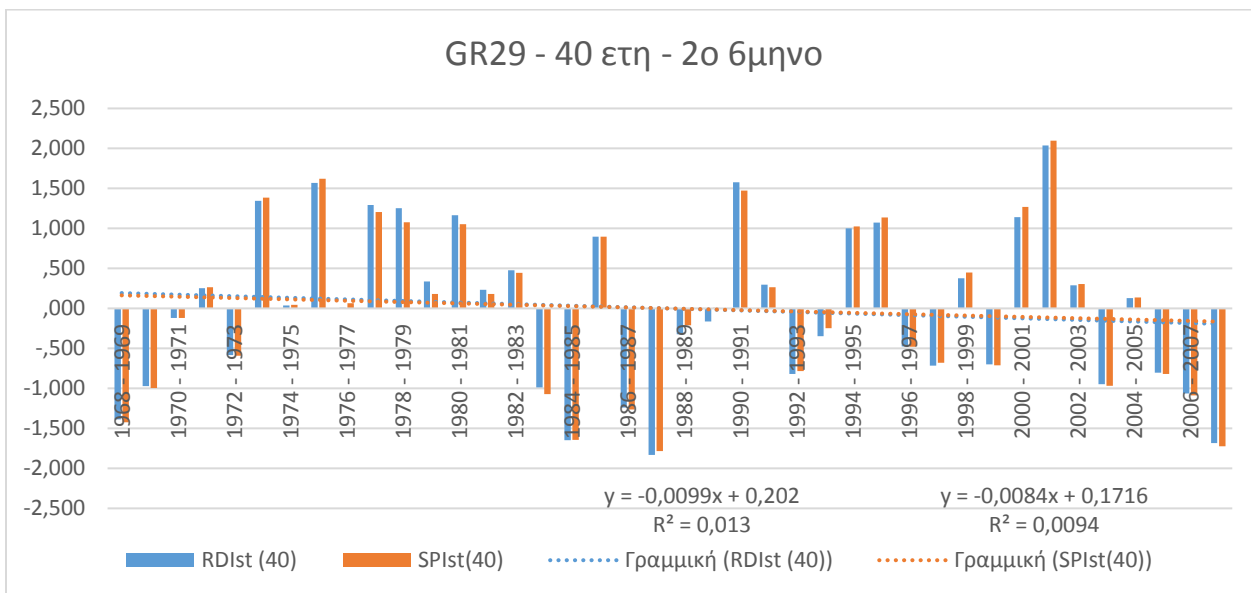
Σχήμα 43: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 25 ετών για το 1ο εξάμηνο της λεκάνης GR28



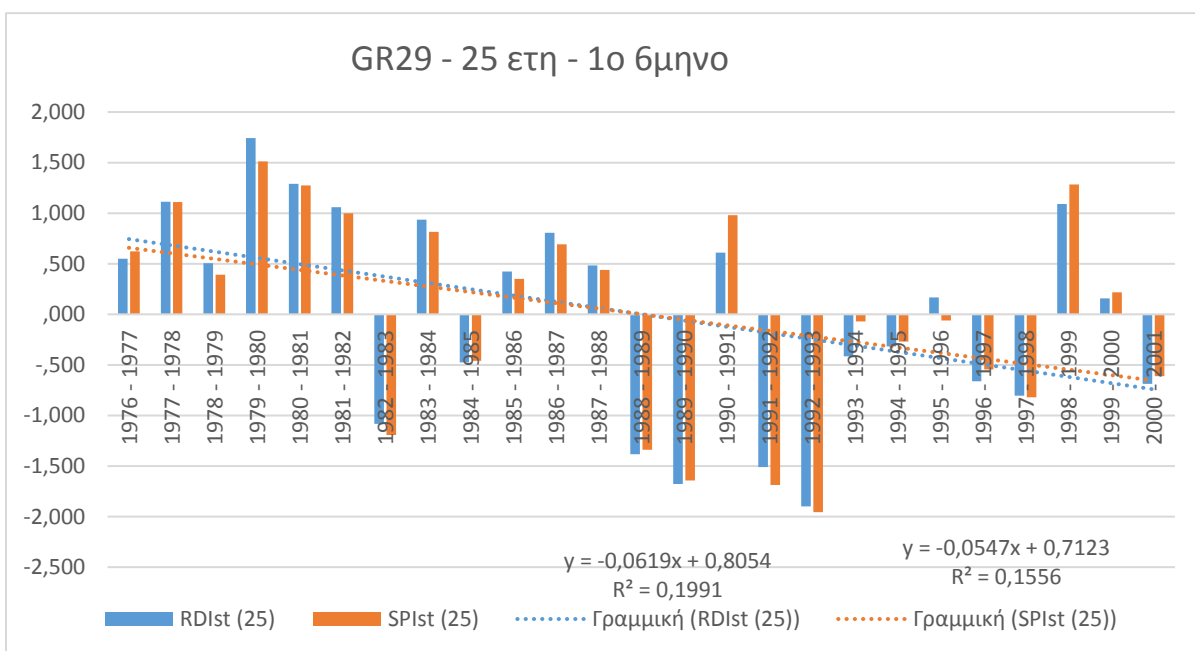
Σχήμα 44: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 25ετών για το 2ο εξάμηνο της λεκάνης GR28



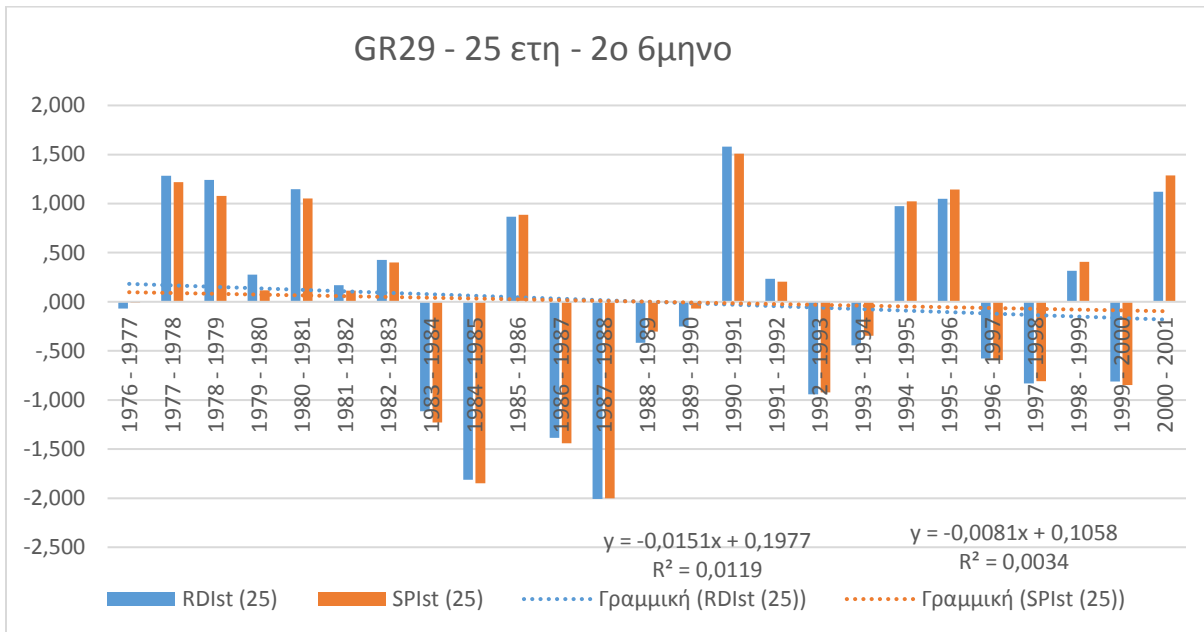
Σχήμα 45: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 40 ετών για το 1ο εξάμηνο της λεκάνης GR29



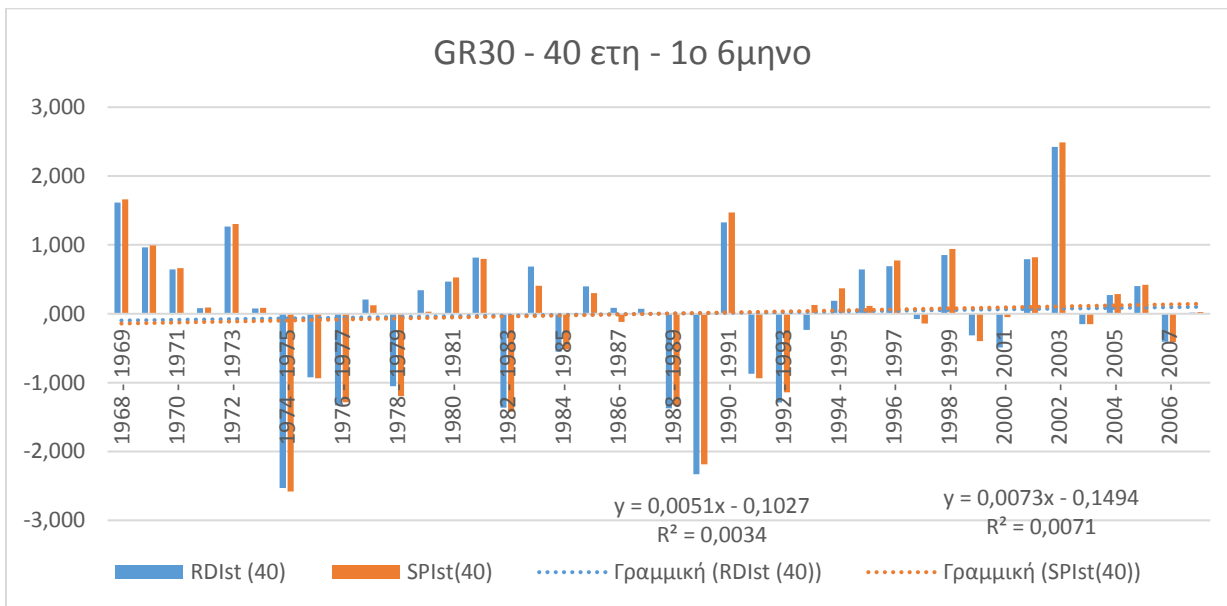
Σχήμα 46: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 40 ετών για το 2ο εξάμηνο της λεκάνης GR29



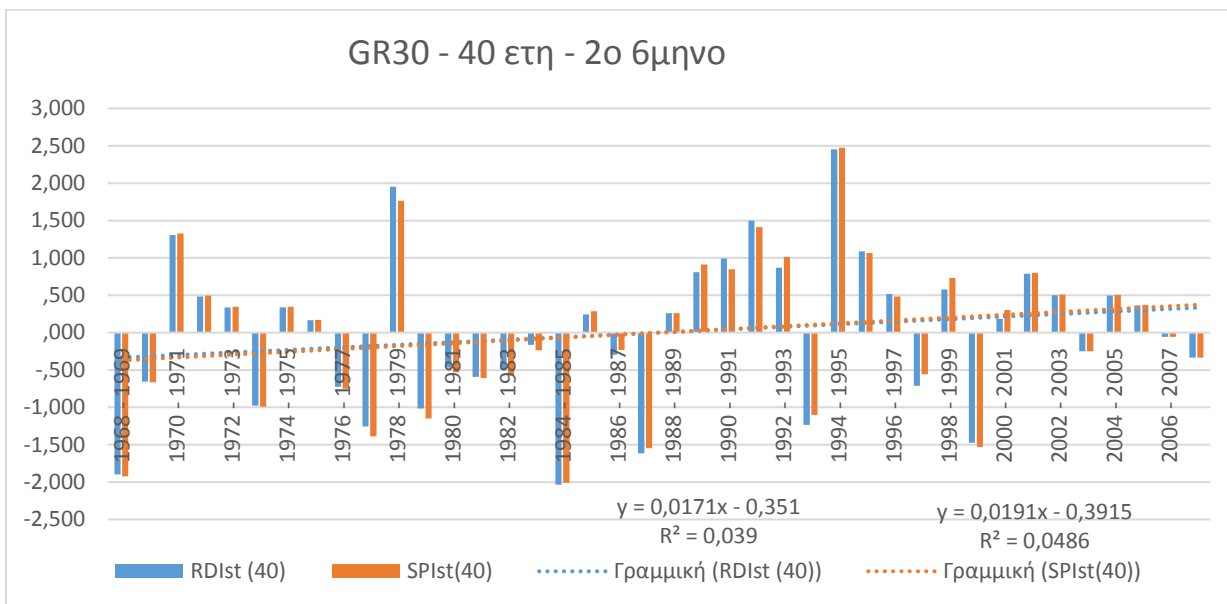
Σχήμα 47: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 25 ετών για το 1ο εξάμηνο της λεκάνης GR29



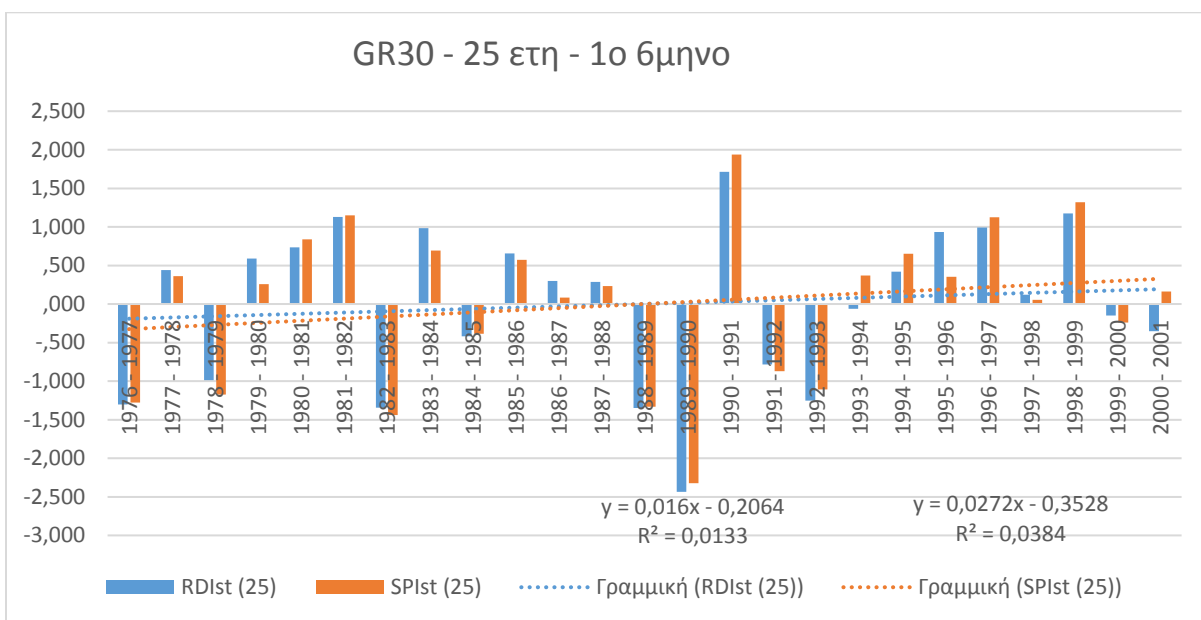
Σχήμα 48: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 25 ετών για το 2ο εξάμηνο της λεκάνης GR29



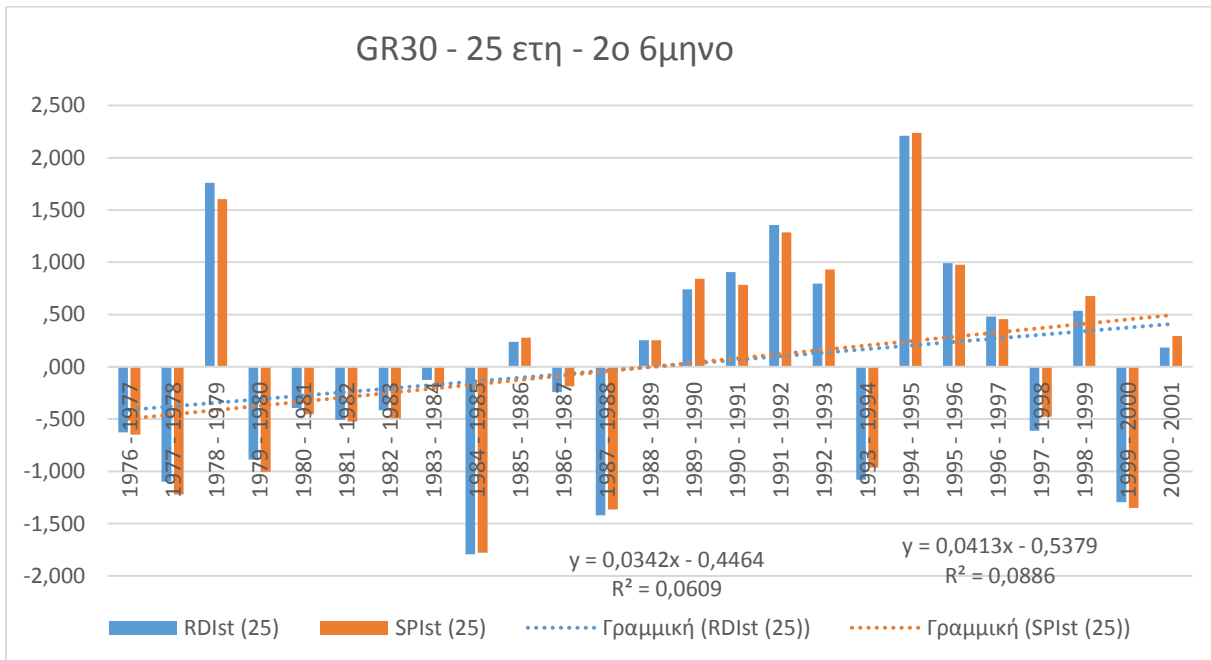
Σχήμα 49: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 40 ετών για το 1ο εξάμηνο της λεκάνης GR30



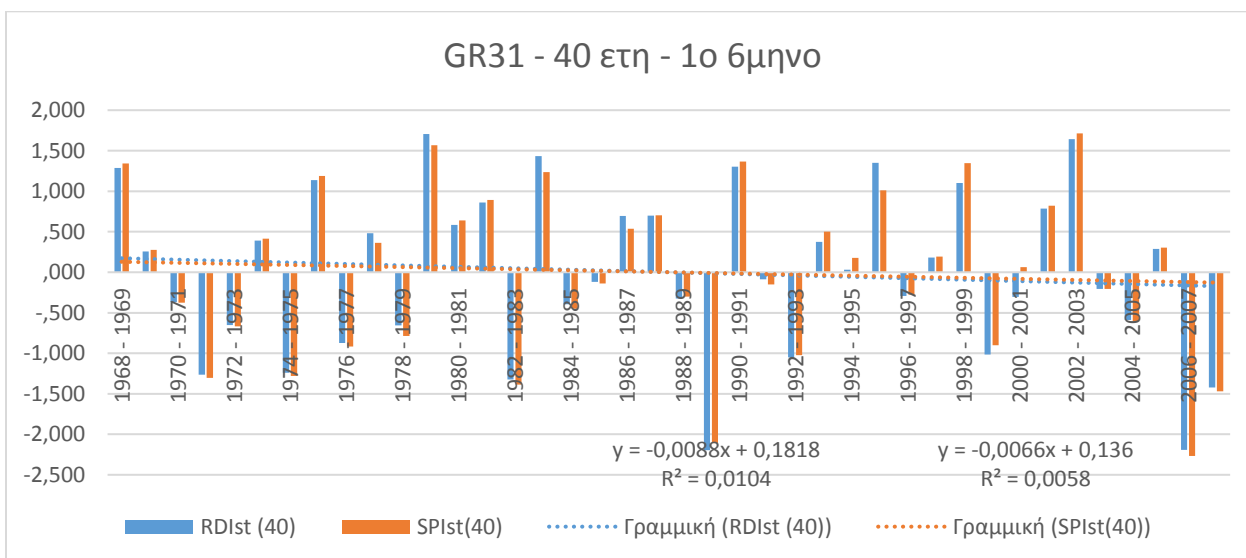
Σχήμα 50: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 40 ετών για το 2ο εξάμηνο της λεκάνης GR30



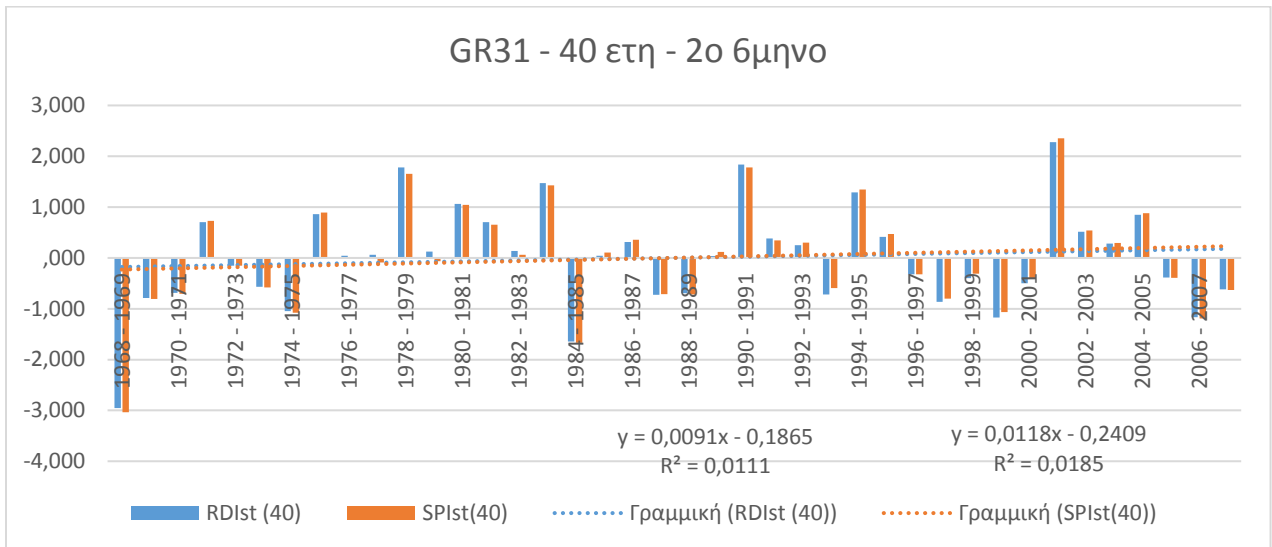
Σχήμα 51: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 25 ετών για το 1ο εξάμηνο της λεκάνης GR30



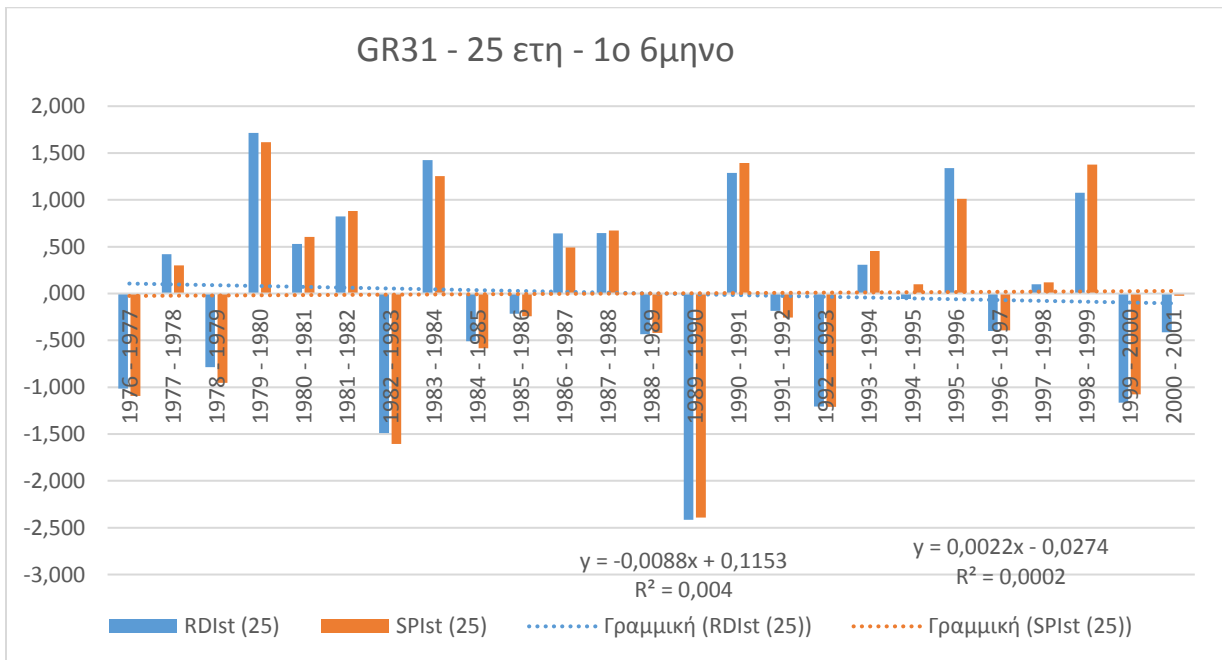
Σχήμα 52: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 25 ετών για το 2ο εξάμηνο της λεκάνης GR30



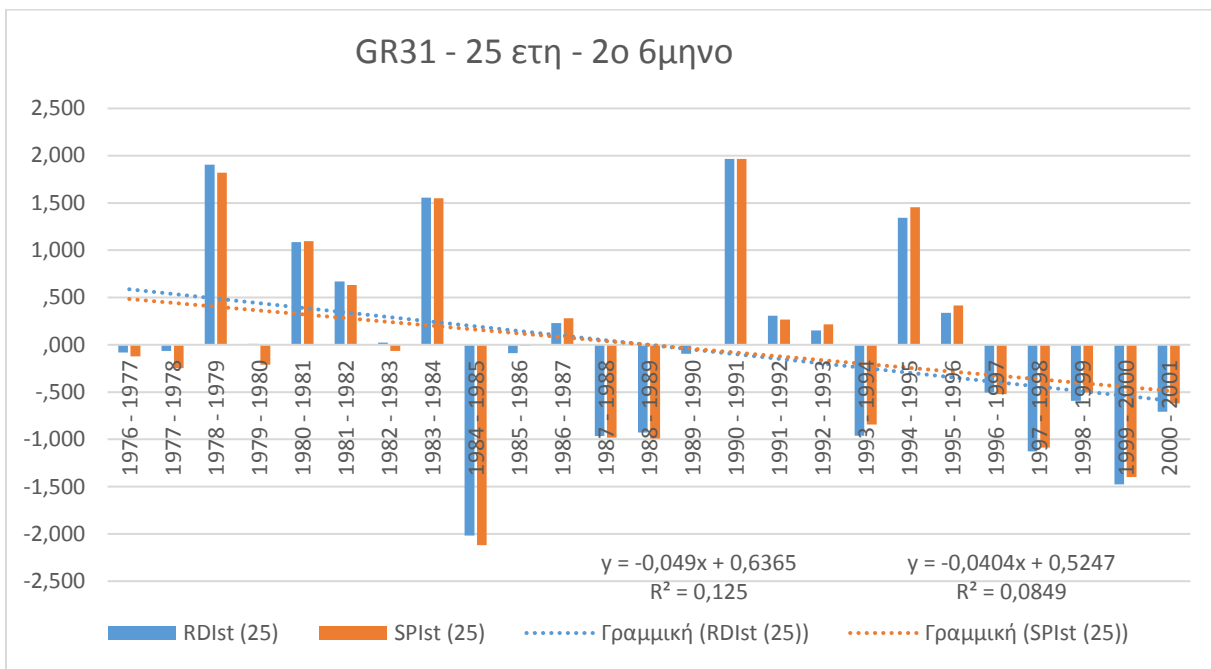
Σχήμα 53: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 40 ετών για το 1ο εξάμηνο της λεκάνης GR31



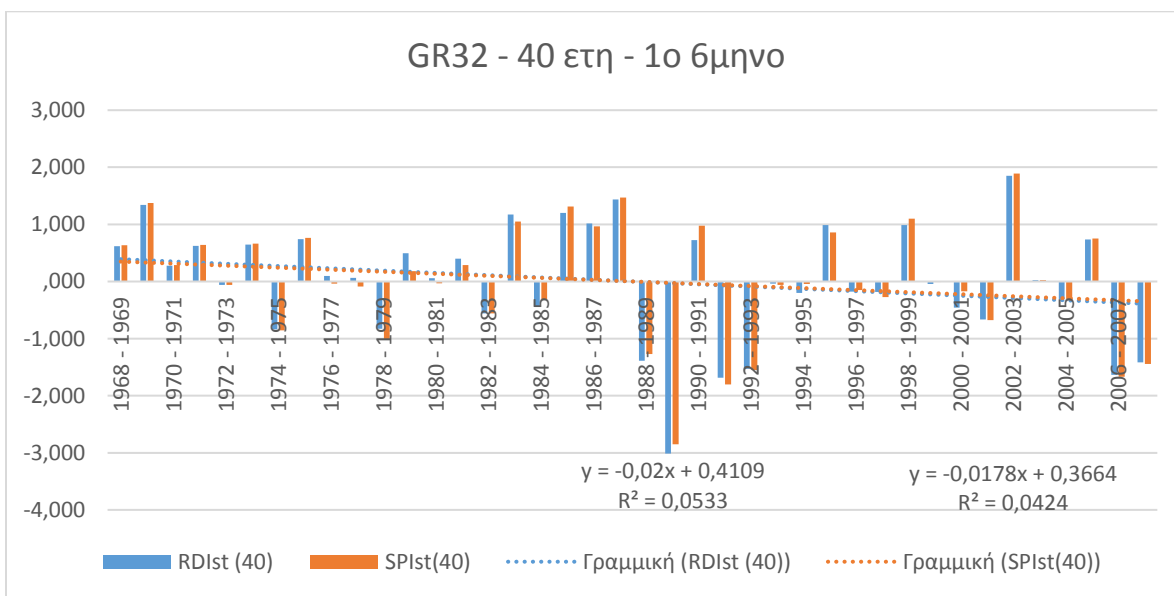
Σχήμα 54: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 40 ετών για το 2ο εξάμηνο της λεκάνης GR31



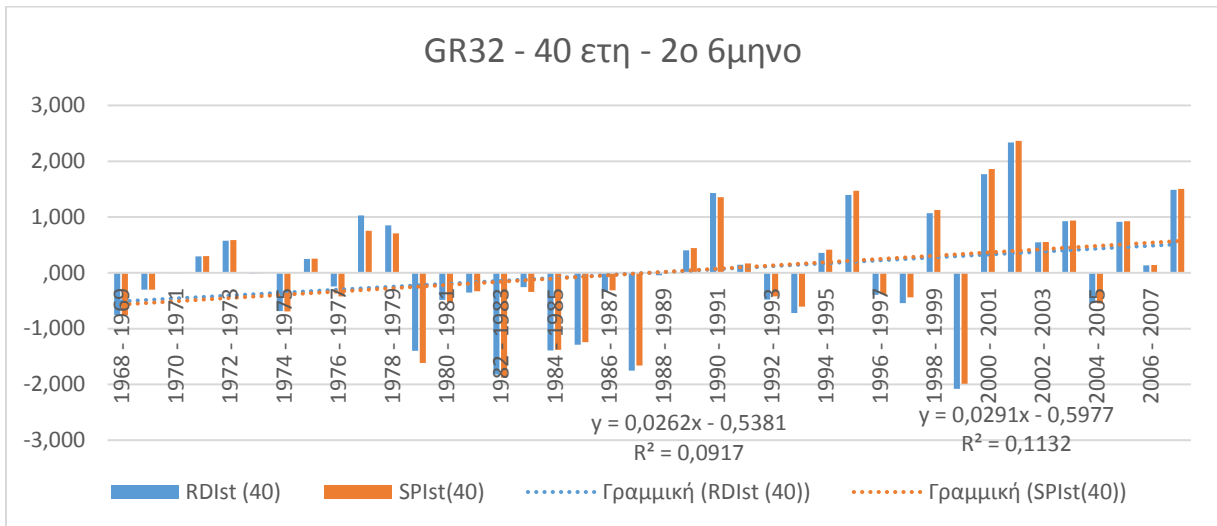
Σχήμα 55: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 25 ετών για το 1ο εξάμηνο της λεκάνης GR31



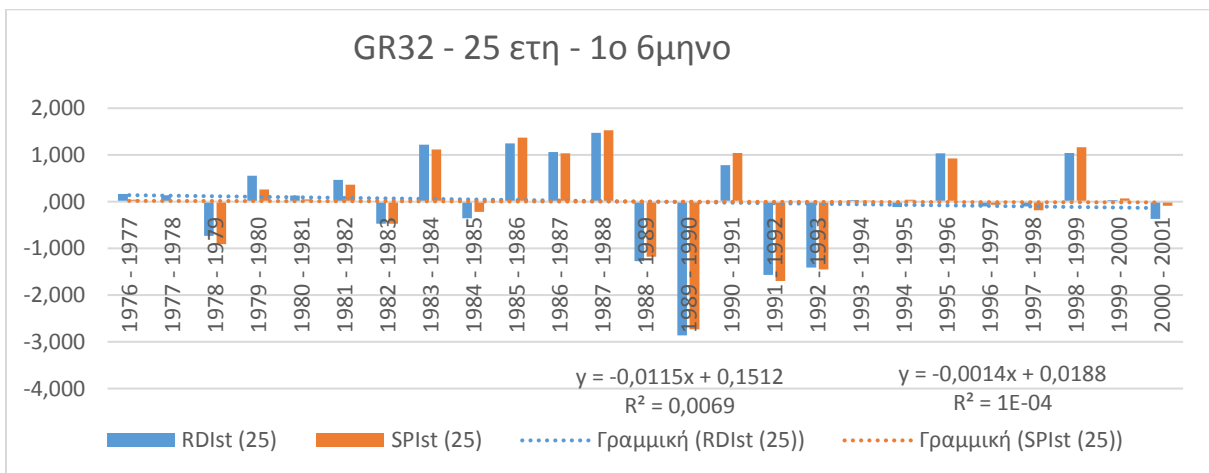
Σχήμα 56: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 25 ετών για το 2ο εξάμηνο της λεκάνης GR31



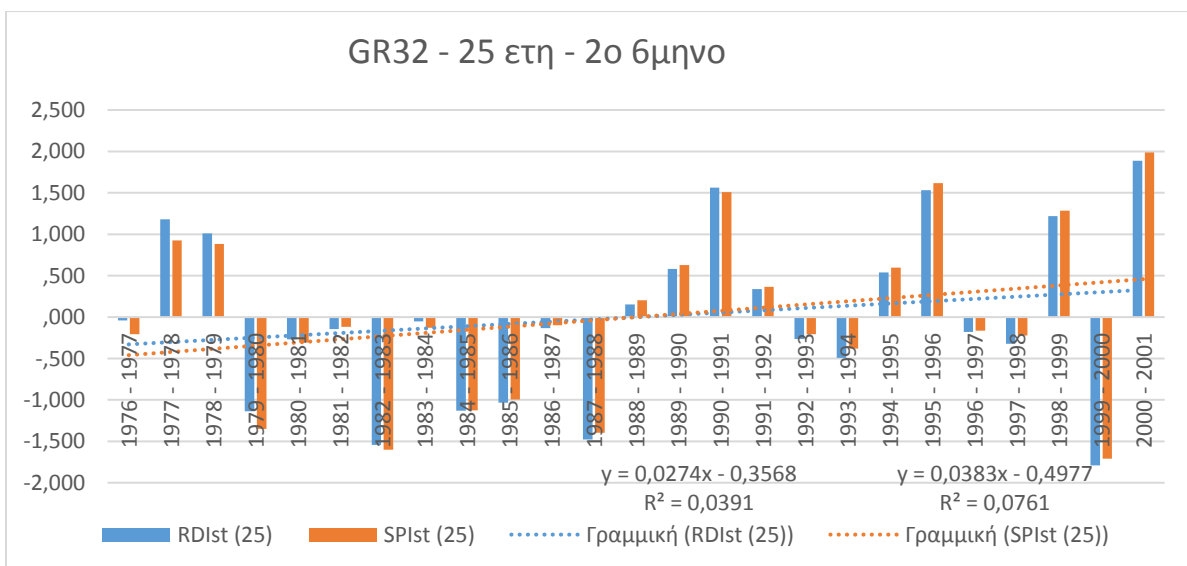
Σχήμα 57: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 40 ετών για το 1ο εξάμηνο της λεκάνης GR32



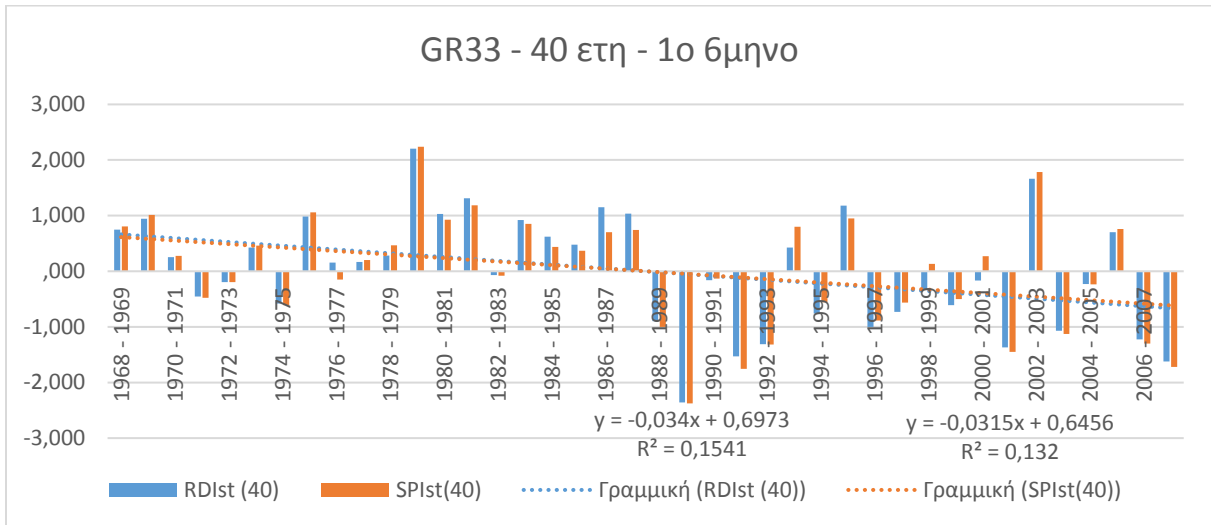
Σχήμα 58: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 40 ετών για το 2ο εξάμηνο της λεκάνης GR32



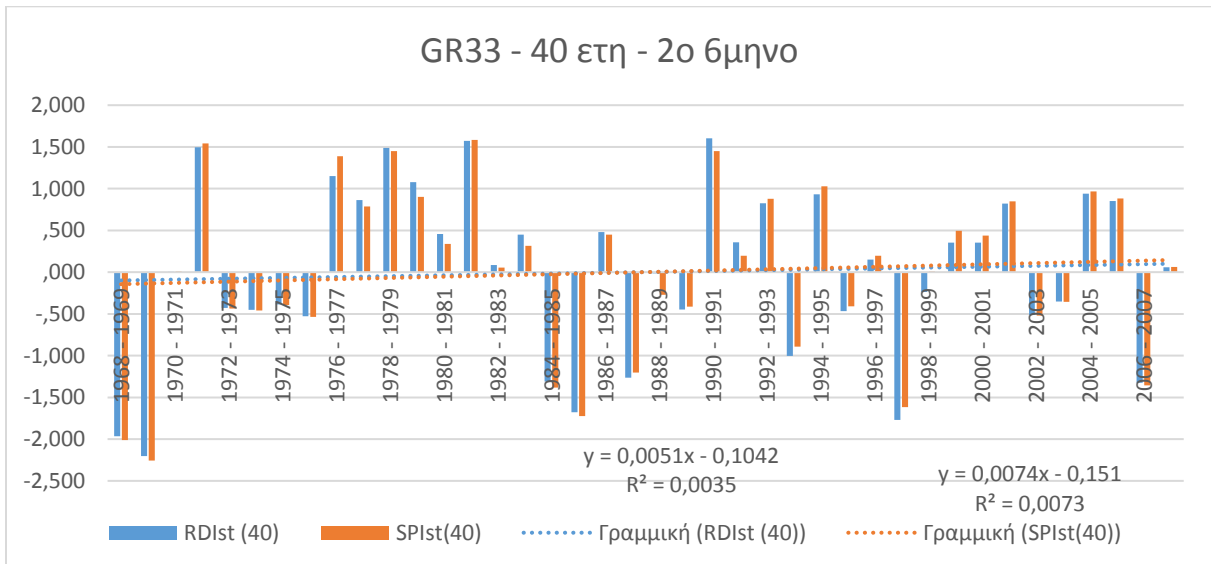
Σχήμα 59: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 25 ετών για το 1ο εξάμηνο της λεκάνης GR32



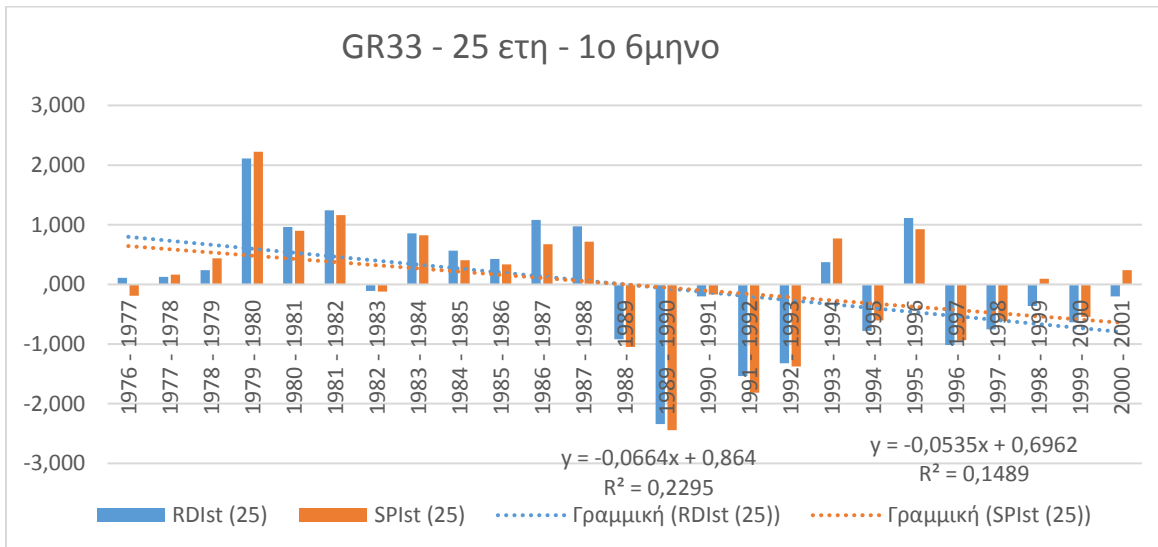
Σχήμα 60: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 25 ετών για το 2ο εξάμηνο της λεκάνης GR32



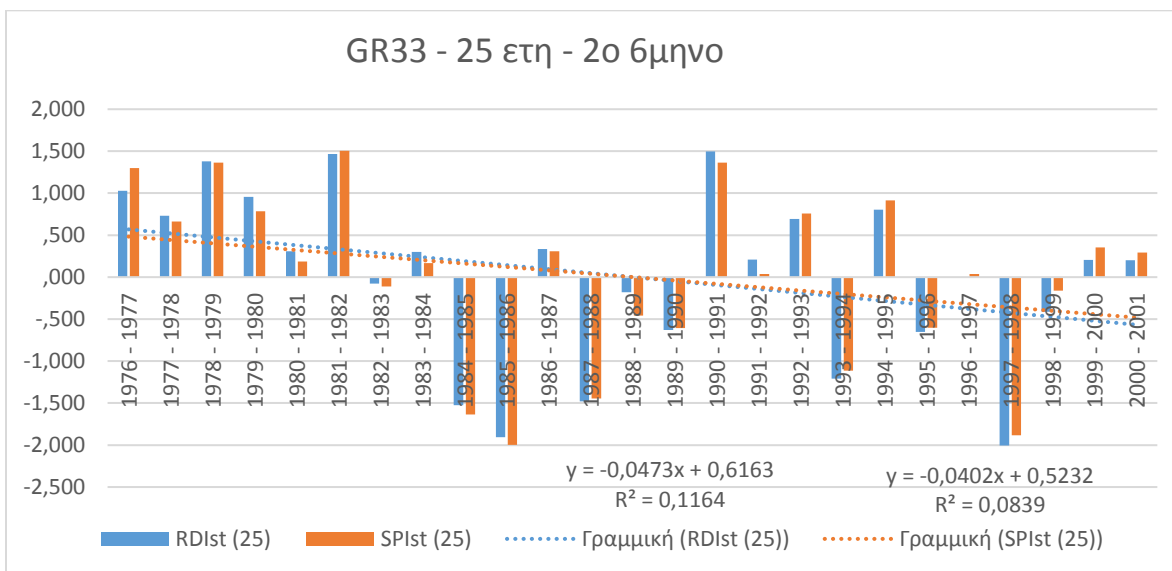
Σχήμα 61: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 40 ετών για το 1ο εξάμηνο της λεκάνης GR33



Σχήμα 62: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 40 ετών για το 2ο εξάμηνο της λεκάνης GR33

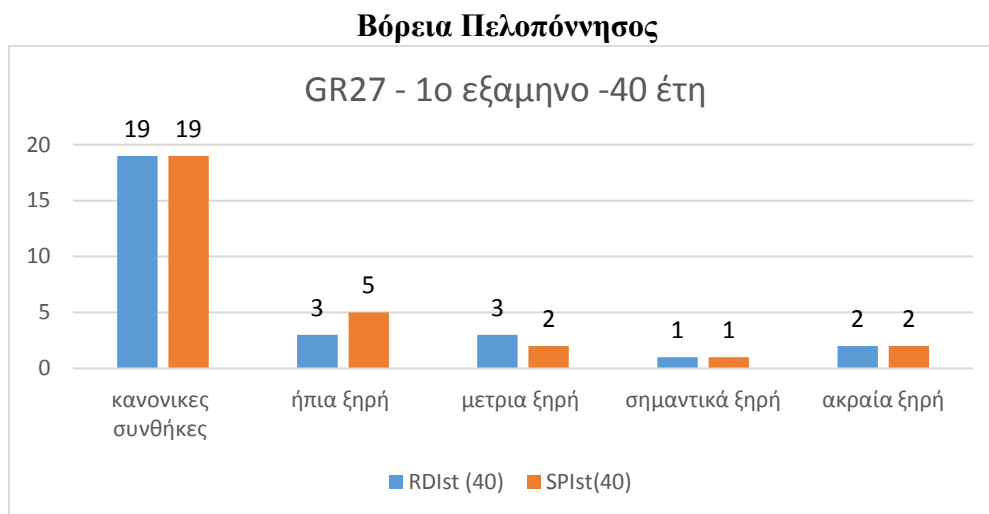


Σχήμα 63: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 25 ετών για το 2ο εξάμηνο της λεκάνης GR33

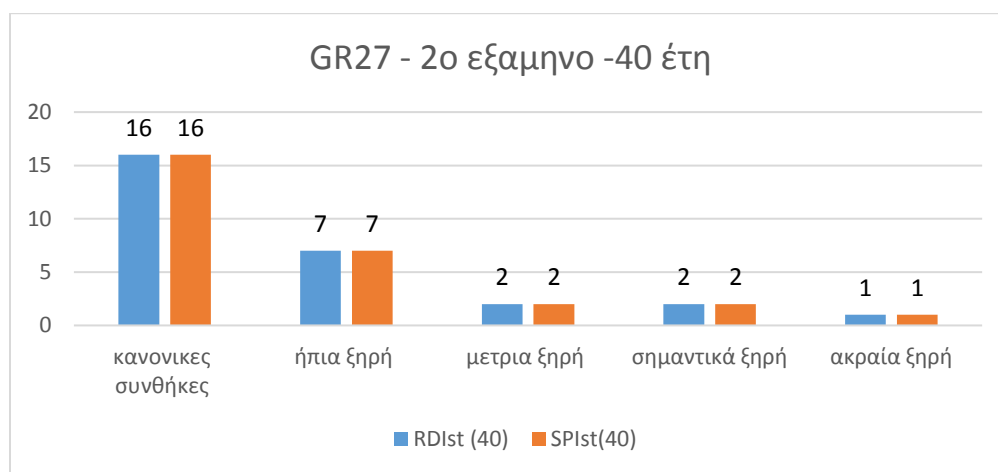


Σχήμα 64: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 25 ετών για το 2ο εξάμηνο της λεκάνης GR33

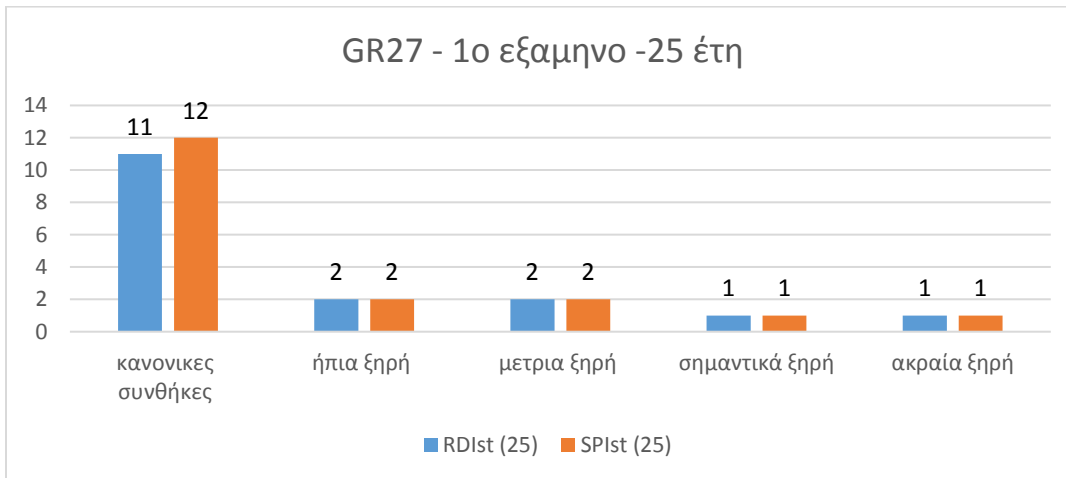
Διαγράμματα των δεικτών RDI και SPI με βάση τις κατηγορίες ξηρασίας για το 6-μηνο



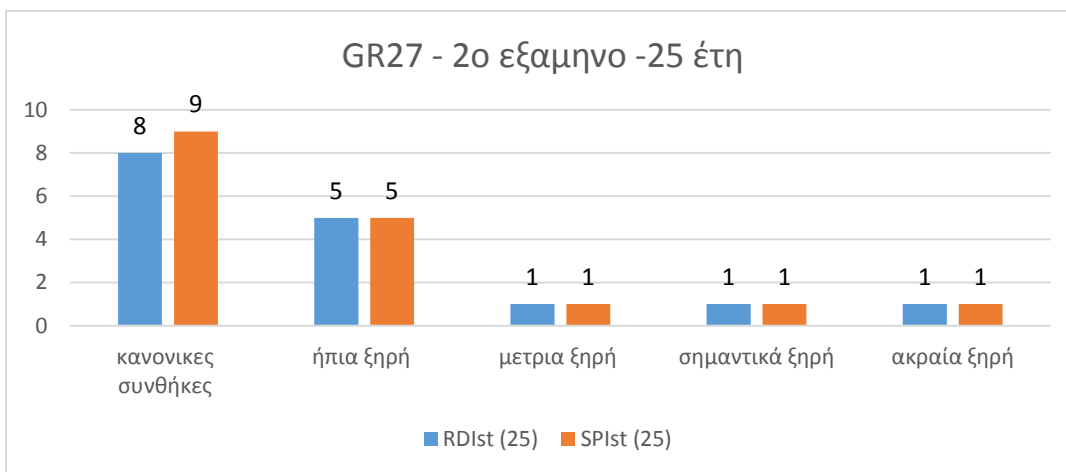
Σχήμα 65: Σύνολο των ετών κάθε κατηγορίας ξηρασίας των δεικτών RDI και SPI 40 ετών, για το 1ο εξάμηνο της λεκάνης GR27



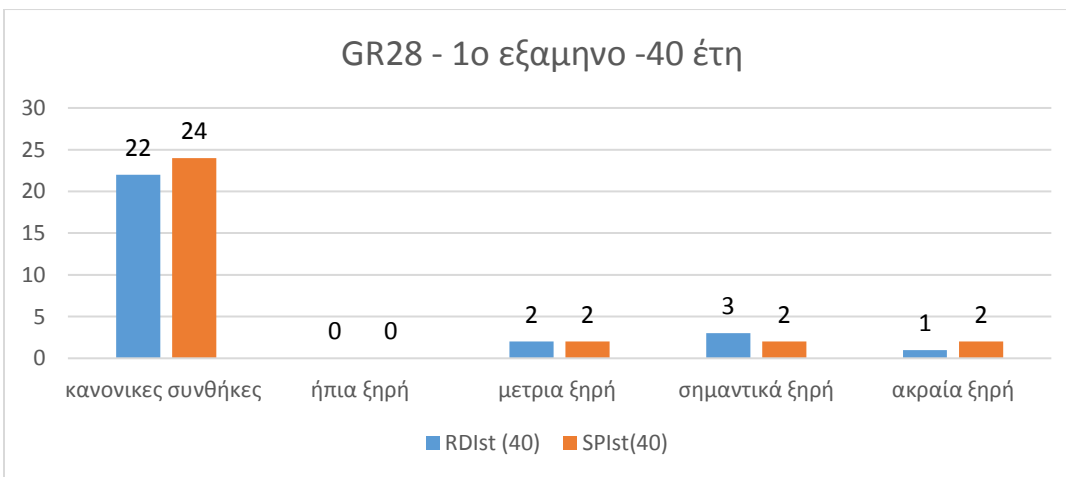
Σχήμα 66: Σύνολο των ετών κάθε κατηγορίας ξηρασίας των δεικτών RDI και SPI 40 ετών, για το 2ο εξάμηνο της λεκάνης GR27



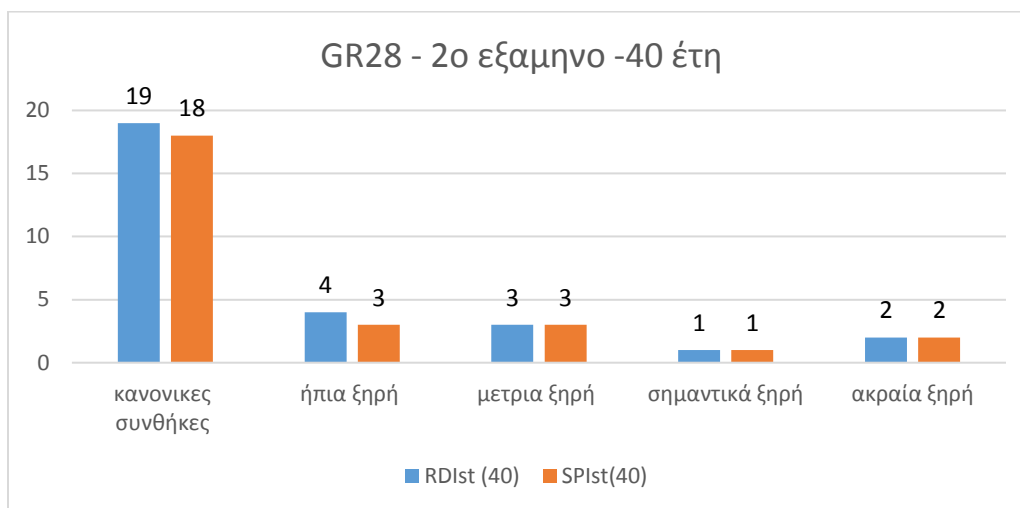
Σχήμα 67: Σύνολο των ετών κάθε κατηγορίας ξηρασίας των δεικτών RDI και SPI 25 ετών, για το 1ο εξάμηνο της λεκάνης GR27



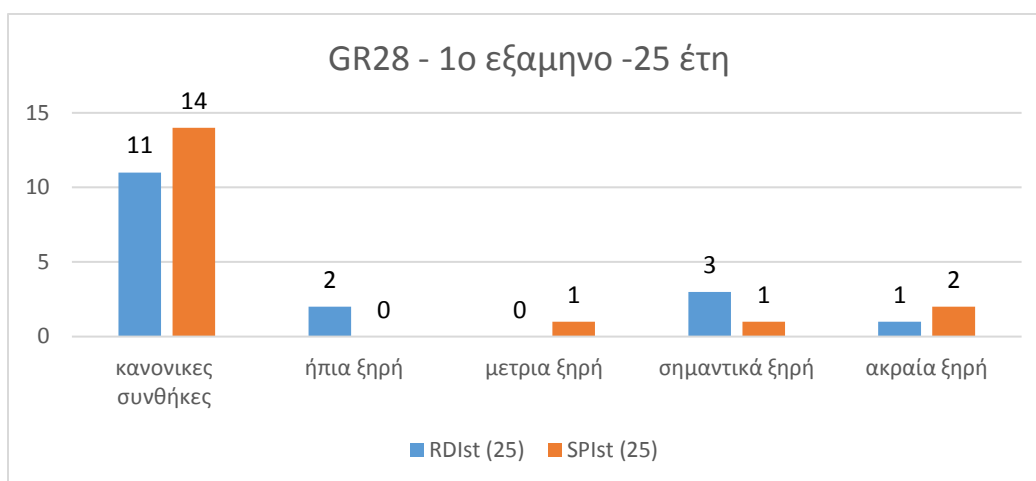
Σχήμα 68: Σύνολο των ετών κάθε κατηγορίας ξηρασίας των δεικτών RDI και SPI 25 ετών, για το 2ο εξάμηνο της λεκάνης GR27



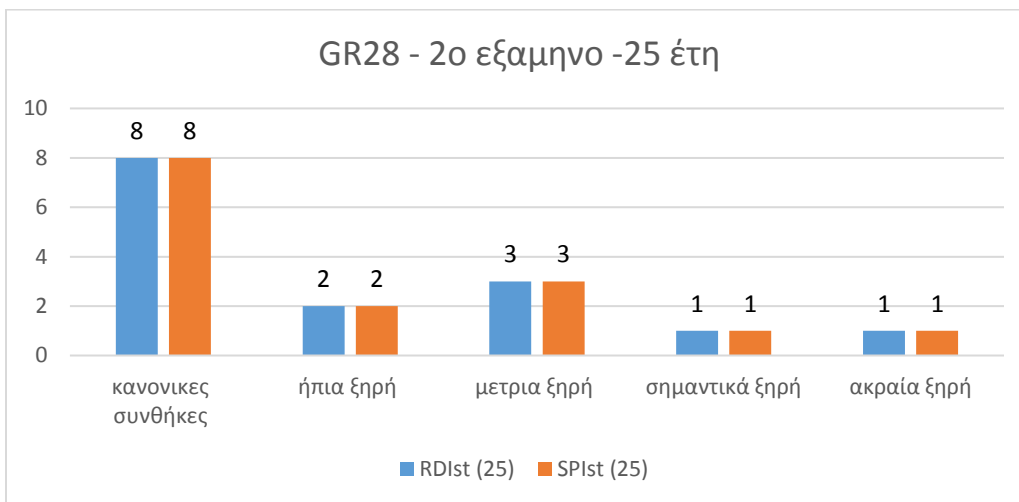
Σχήμα 69: Σύνολο των ετών κάθε κατηγορίας ξηρασίας των δεικτών RDI και SPI 40 ετών, για το 1ο εξάμηνο της λεκάνης GR28



Σχήμα 70: Σύνολο των ετών κάθε κατηγορίας ξηρασίας των δεικτών RDI και SPI 40 ετών, για το 2ο εξάμηνο της λεκάνης GR28

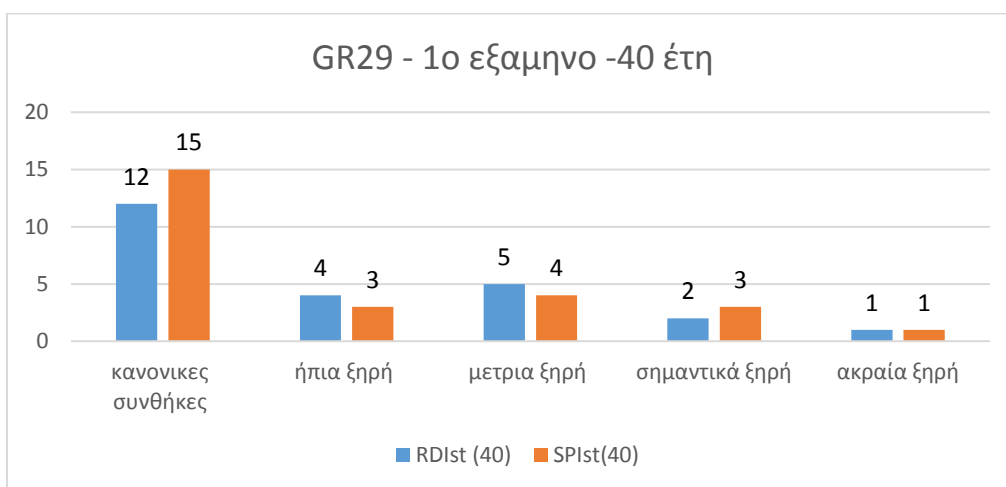


Σχήμα 71: Σύνολο των ετών κάθε κατηγορίας ξηρασίας των δεικτών RDI και SPI 25 ετών, για το 1ο εξάμηνο της λεκάνης GR28

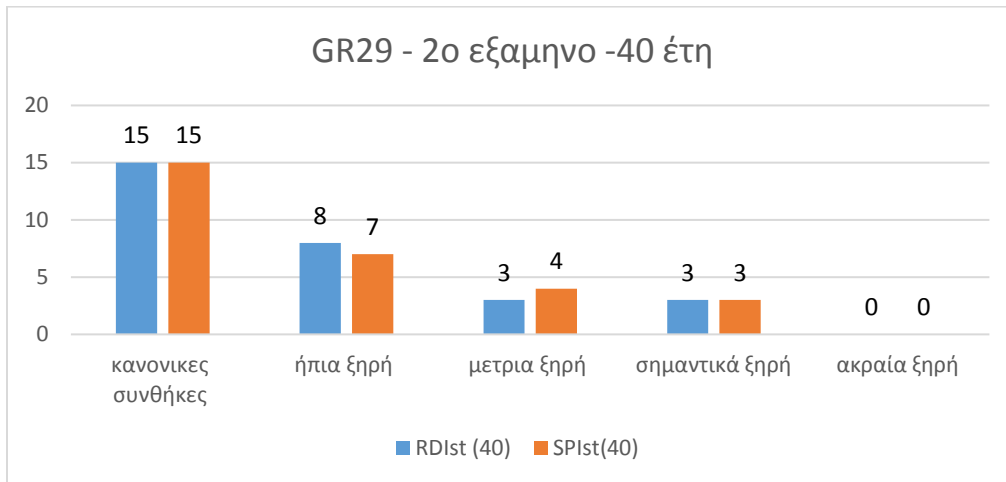


Σχήμα 72: Σύνολο των ετών κάθε κατηγορίας ξηρασίας των δεικτών RDI και SPI 25 ετών, για το 2ο εξάμηνο της λεκάνης GR28

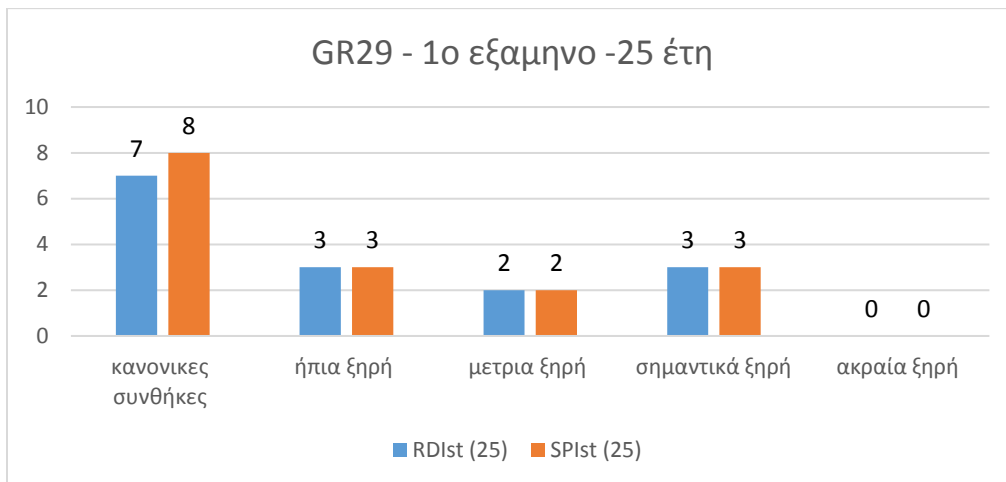
Δυτική Πελοπόννησος



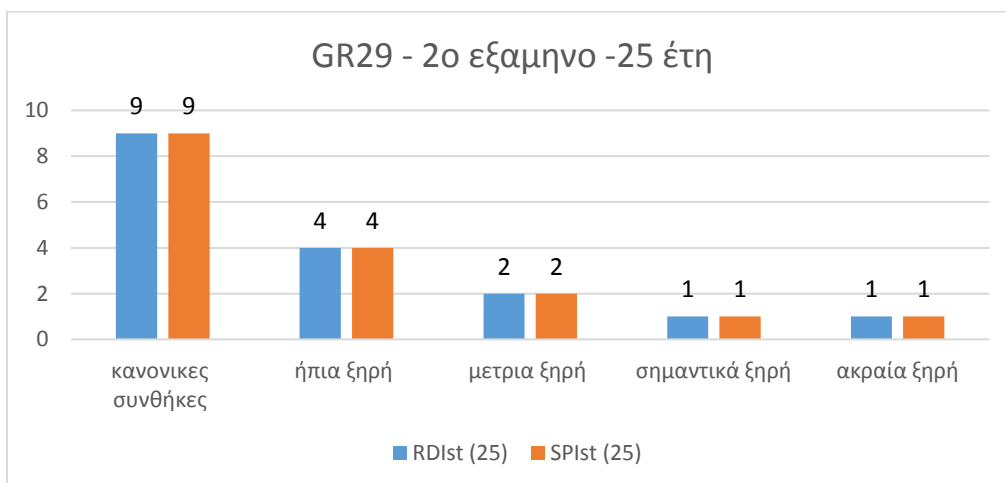
Σχήμα 73: Σύνολο των ετών κάθε κατηγορίας ξηρασίας των δεικτών RDI και SPI 40 ετών, για το 1ο εξάμηνο της λεκάνης GR29



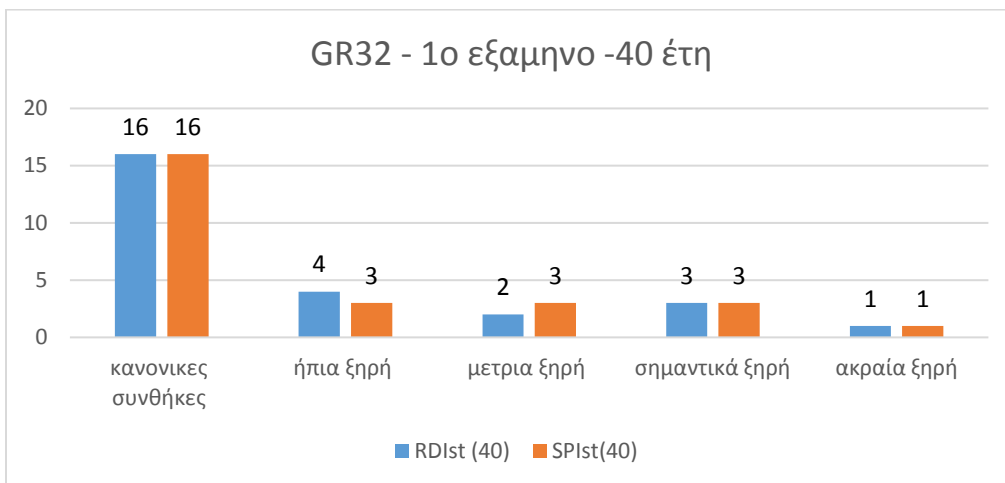
Σχήμα 74: Σύνολο των ετών κάθε κατηγορίας ξηρασίας των δεικτών RDI και SPI 40 ετών, για το 2ο εξάμηνο της λεκάνης GR29



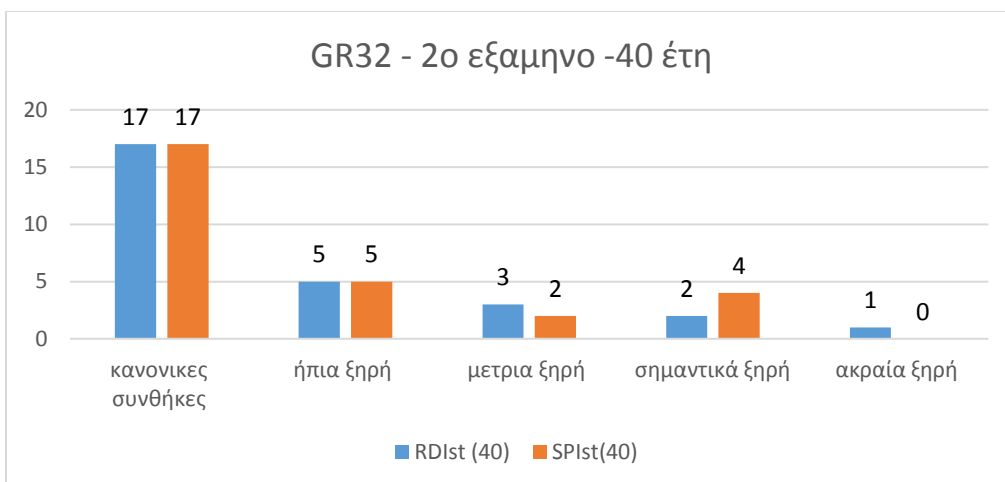
Σχήμα 75: Σύνολο των ετών κάθε κατηγορίας ξηρασίας των δεικτών RDI και SPI 25 ετών, για το 1ο εξάμηνο της λεκάνης GR29



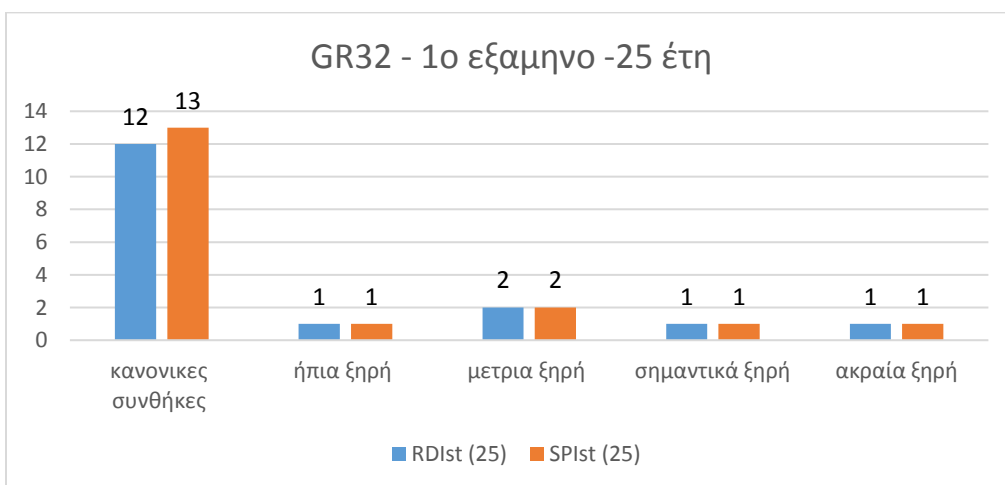
Σχήμα 76: Σύνολο των ετών κάθε κατηγορίας ξηρασίας των δεικτών RDI και SPI 25 ετών, για το 2ο εξάμηνο της λεκάνης GR29



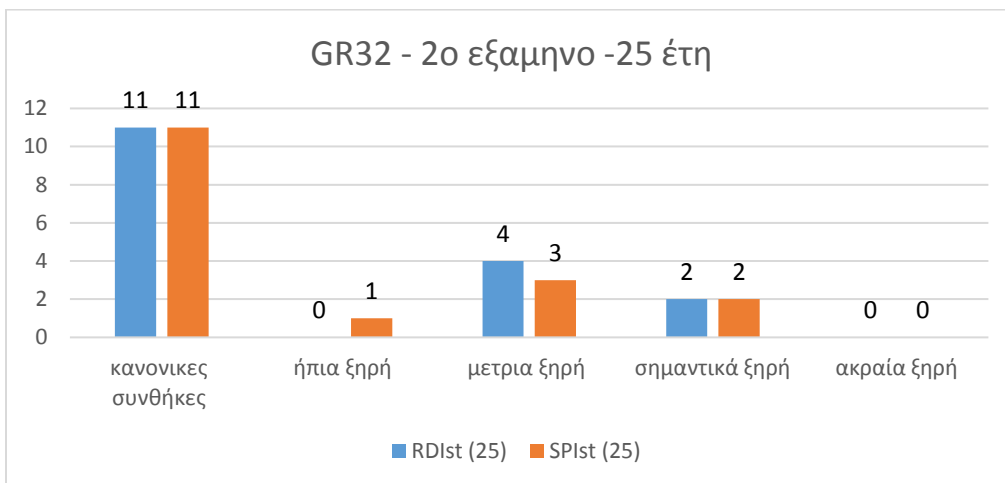
Σχήμα 77: Σύνολο των ετών κάθε κατηγορίας ξηρασίας των δεικτών RDI και SPI 40 ετών, για το 1ο εξάμηνο της λεκάνης GR32



Σχήμα 78: Σύνολο των ετών κάθε κατηγορίας ξηρασίας των δεικτών RDI και SPI 40 ετών, για το 2ο εξάμηνο της λεκάνης GR32

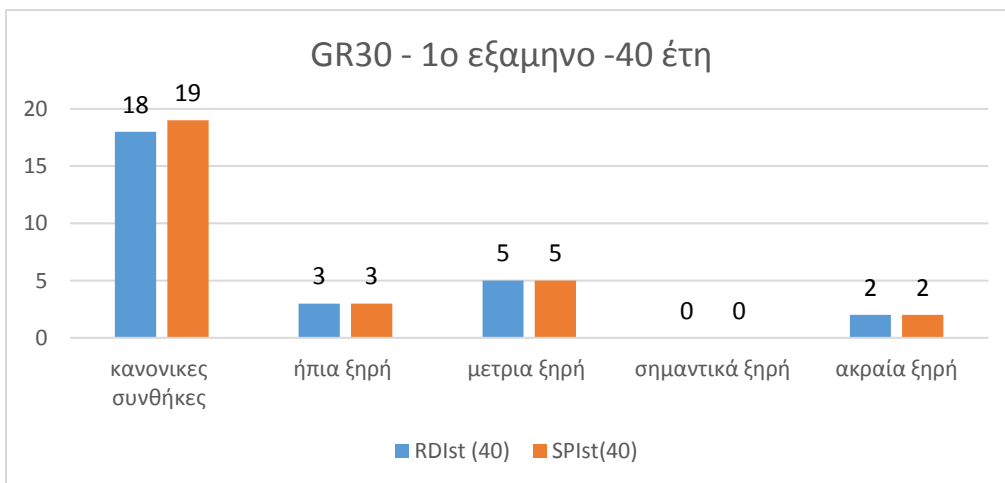


Σχήμα 79: Σύνολο των ετών κάθε κατηγορίας ξηρασίας των δεικτών RDI και SPI 25 ετών, για το 1ο εξάμηνο της λεκάνης GR32

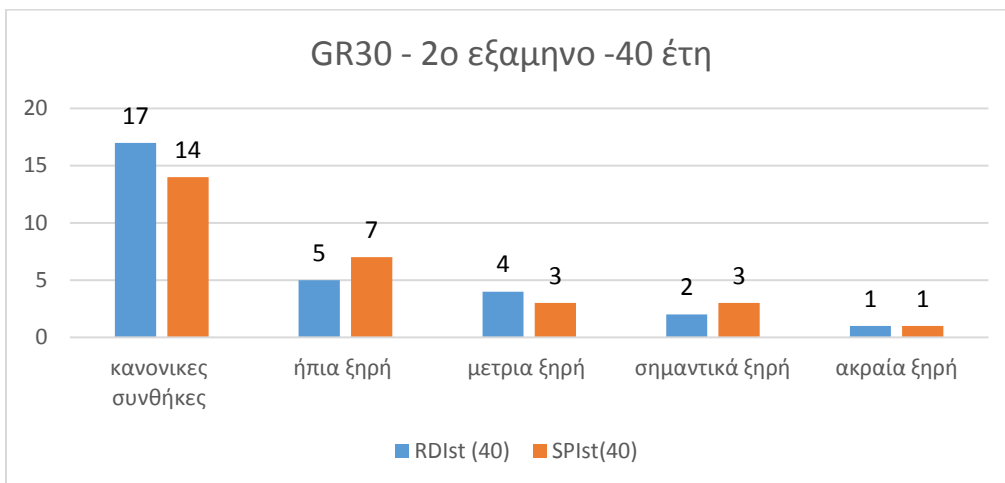


Σχήμα 80: Σύνολο των ετών κάθε κατηγορίας ξηρασίας των δεικτών RDI και SPI 25 ετών, για το 2ο εξάμηνο της λεκάνης GR32

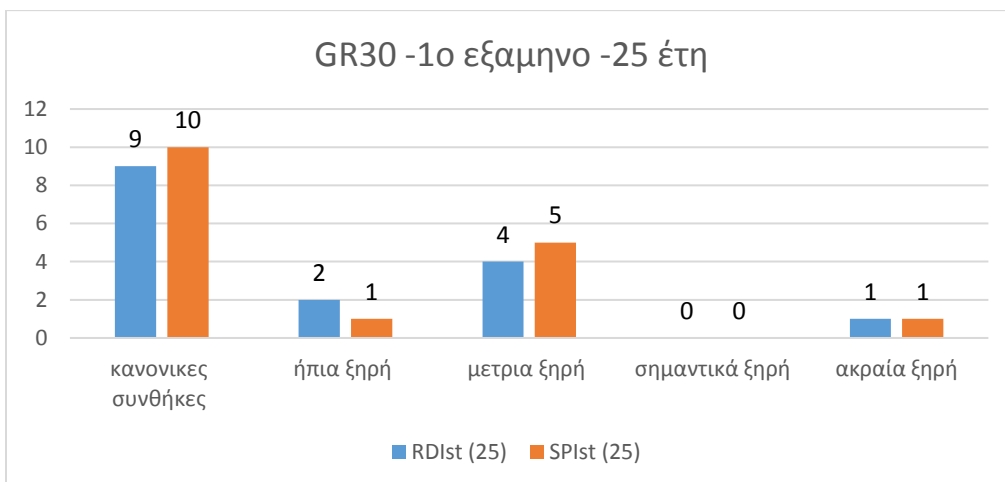
Ανατολική Πελοπόννησος



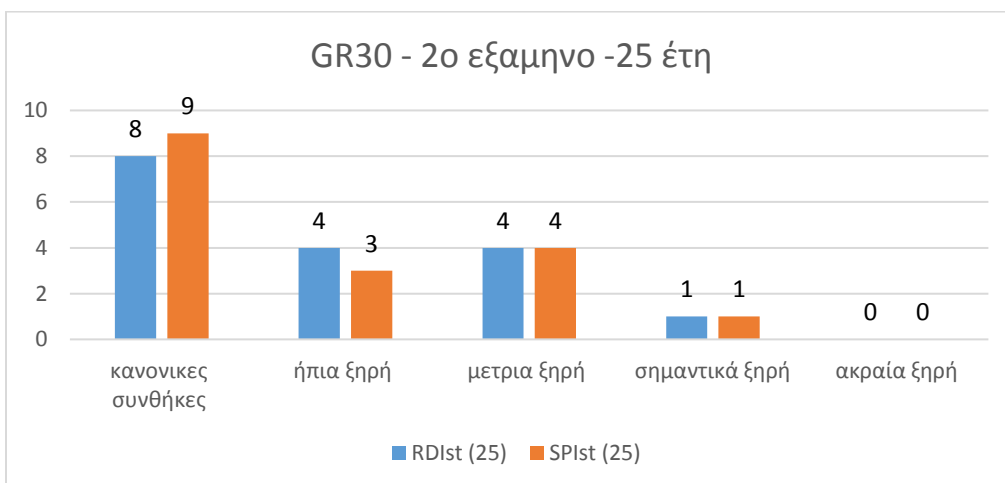
Σχήμα 81: Σύνολο των ετών κάθε κατηγορίας ξηρασίας των δεικτών RDI και SPI 40 ετών, για το 1ο εξάμηνο της λεκάνης GR30



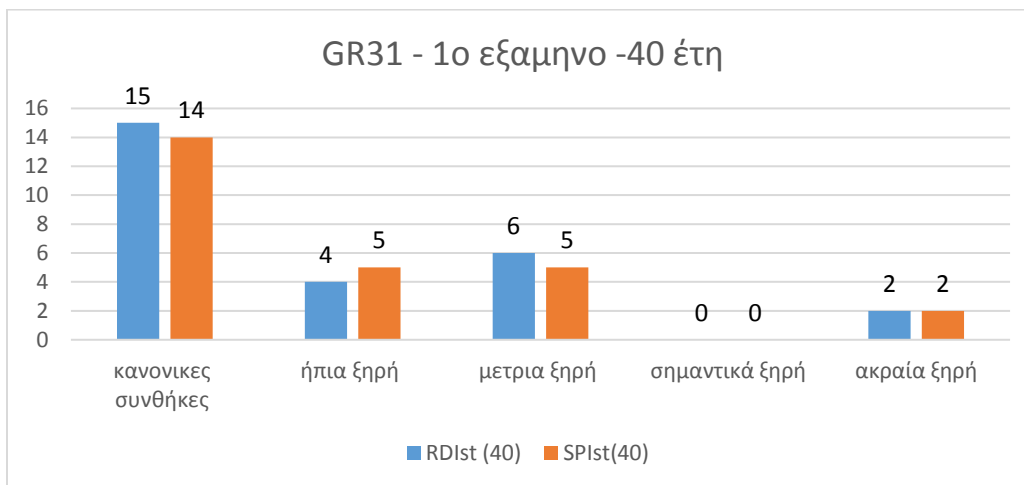
Σχήμα 82: Σύνολο των ετών κάθε κατηγορίας ξηρασίας των δεικτών RDI και SPI 40 ετών, για το 2ο εξάμηνο της λεκάνης GR30



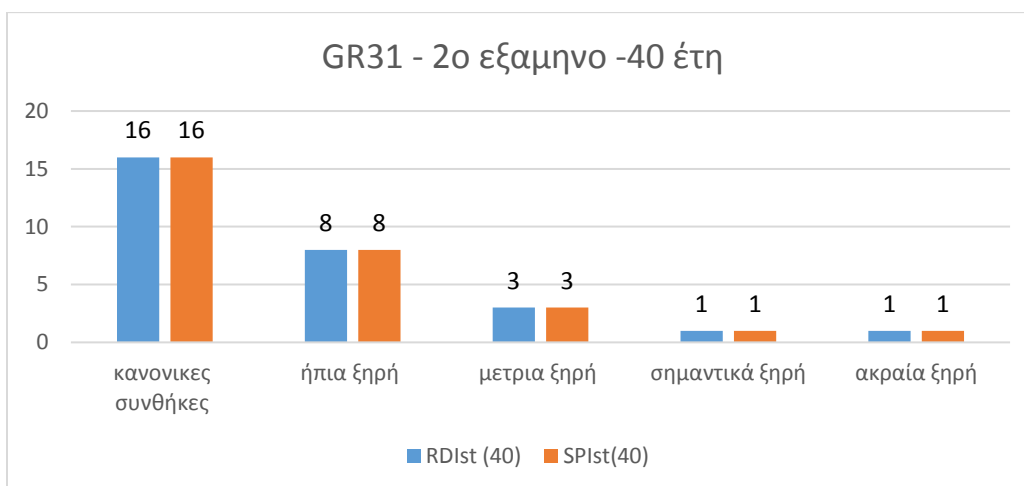
Σχήμα 83: Σύνολο των ετών κάθε κατηγορίας ξηρασίας των δεικτών RDI και SPI 25 ετών, για το 1ο εξάμηνο της λεκάνης GR30



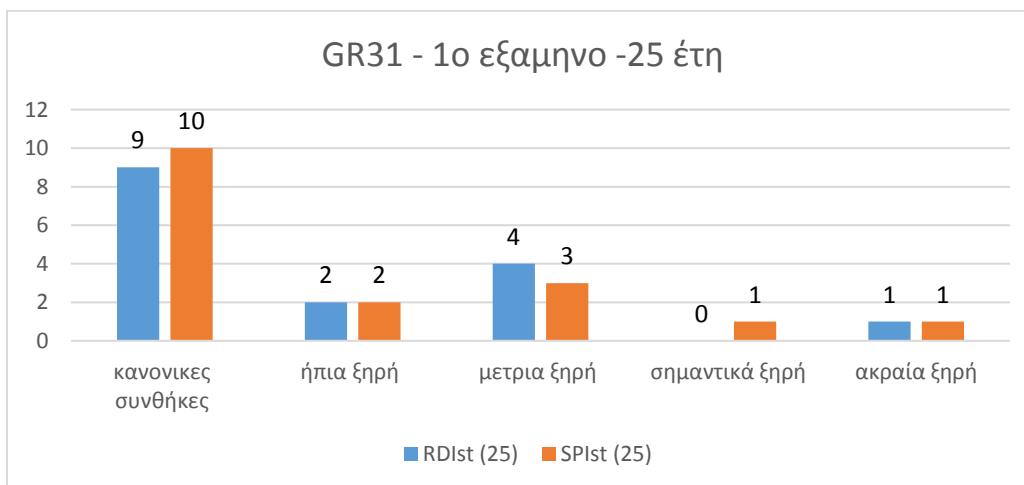
Σχήμα 84: Σύνολο των ετών κάθε κατηγορίας ξηρασίας των δεικτών RDI και SPI 25 ετών, για το 2ο εξάμηνο της λεκάνης GR30



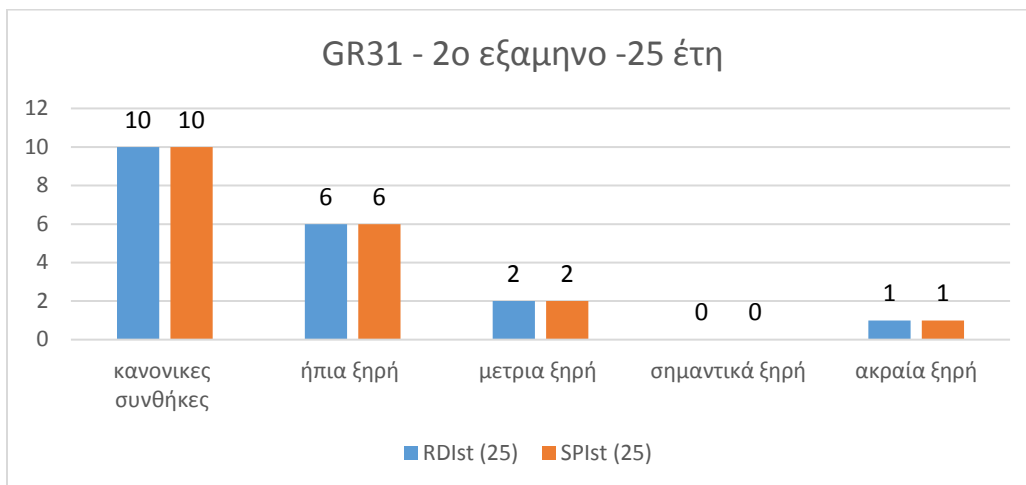
Σχήμα 85: Σύνολο των ετών κάθε κατηγορίας ξηρασίας των δεικτών RDI και SPI 40 ετών, για το 1ο εξάμηνο της λεκάνης GR31



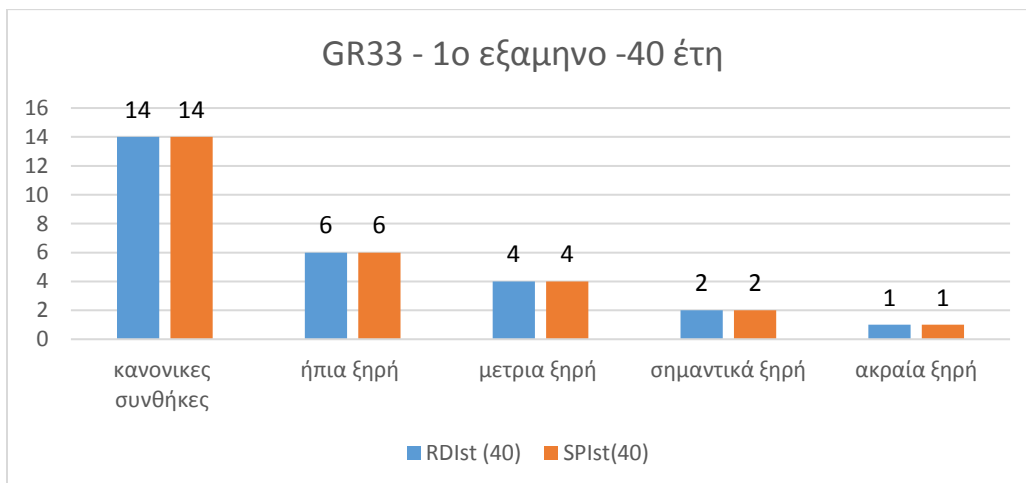
Σχήμα 86: Σύνολο των ετών κάθε κατηγορίας ξηρασίας των δεικτών RDI και SPI 40 ετών, για το 2ο εξάμηνο της λεκάνης GR31



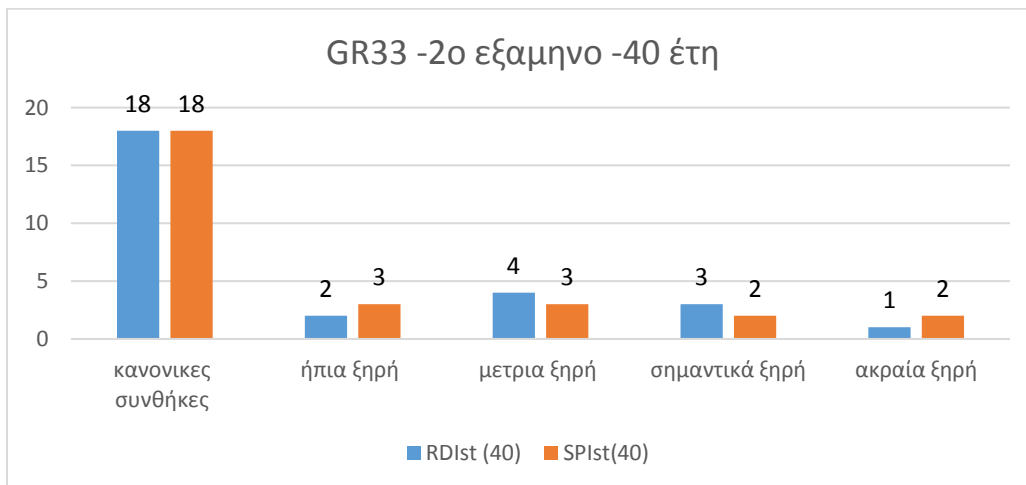
Σχήμα 87: Σύνολο των ετών κάθε κατηγορίας ξηρασίας των δεικτών RDI και SPI 25 ετών, για το 1ο εξάμηνο της λεκάνης GR31



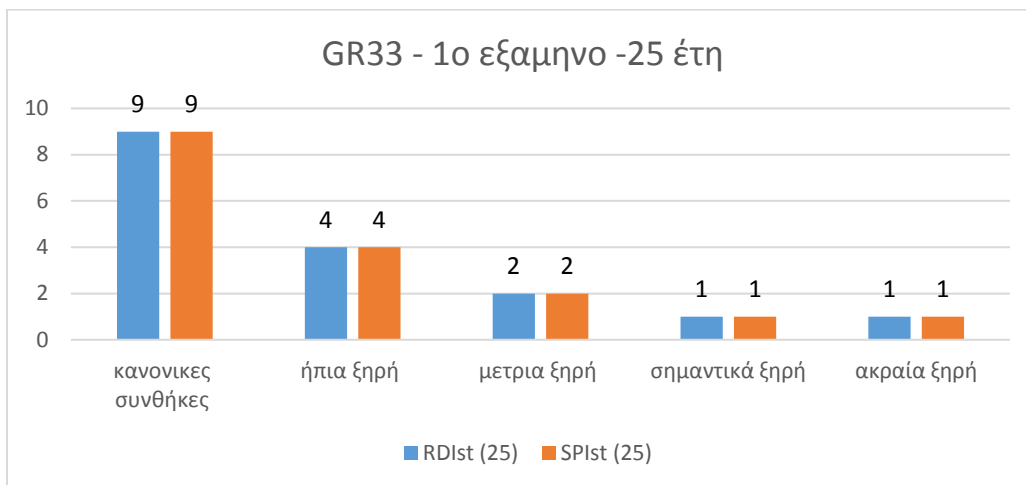
Σχήμα 88: Σύνολο των ετών κάθε κατηγορίας ξηρασίας των δεικτών RDI και SPI 25 ετών, για το 2ο εξάμηνο της λεκάνης GR31



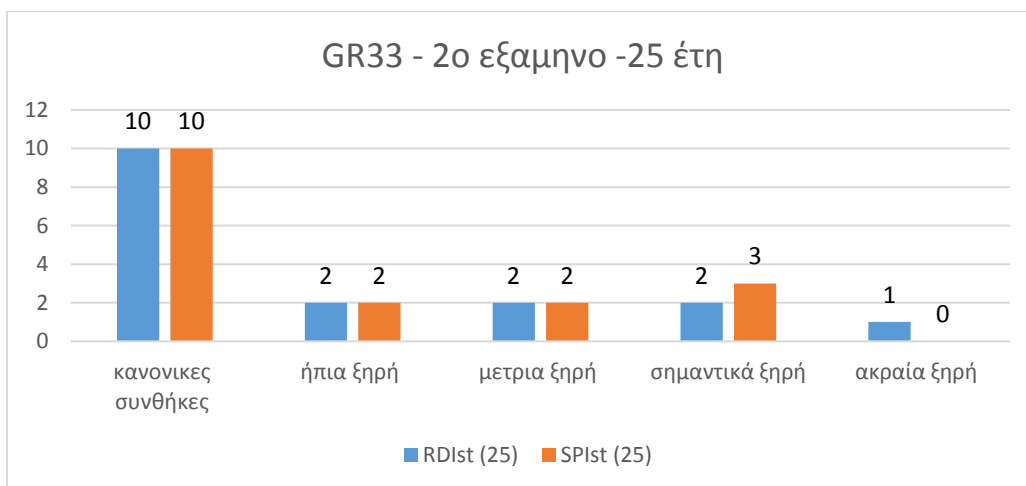
Σχήμα 89: Σύνολο των ετών κάθε κατηγορίας ξηρασίας των δεικτών RDI και SPI 40 ετών, για το 1ο εξάμηνο της λεκάνης GR33



Σχήμα 90: Σύνολο των ετών κάθε κατηγορίας ξηρασίας των δεικτών RDI και SPI 40 ετών, για το 2ο εξάμηνο της λεκάνης GR33

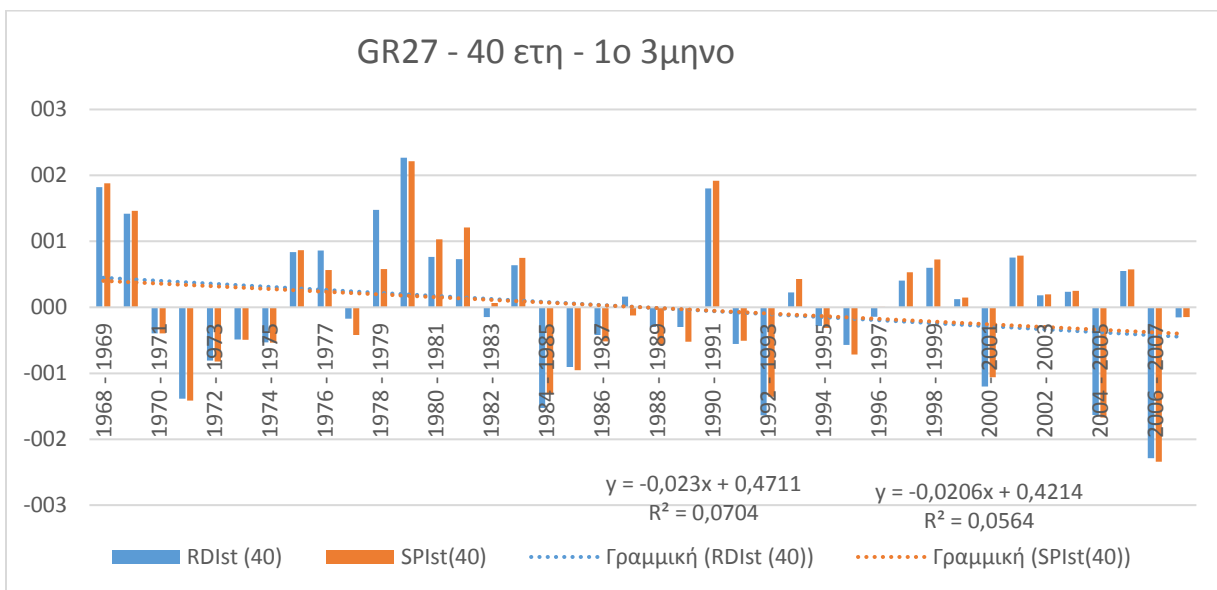


Σχήμα 91: Σύνολο των ετών κάθε κατηγορίας ξηρασίας των δεικτών RDI και SPI 25 ετών, για το 1ο εξάμηνο της λεκάνης GR33

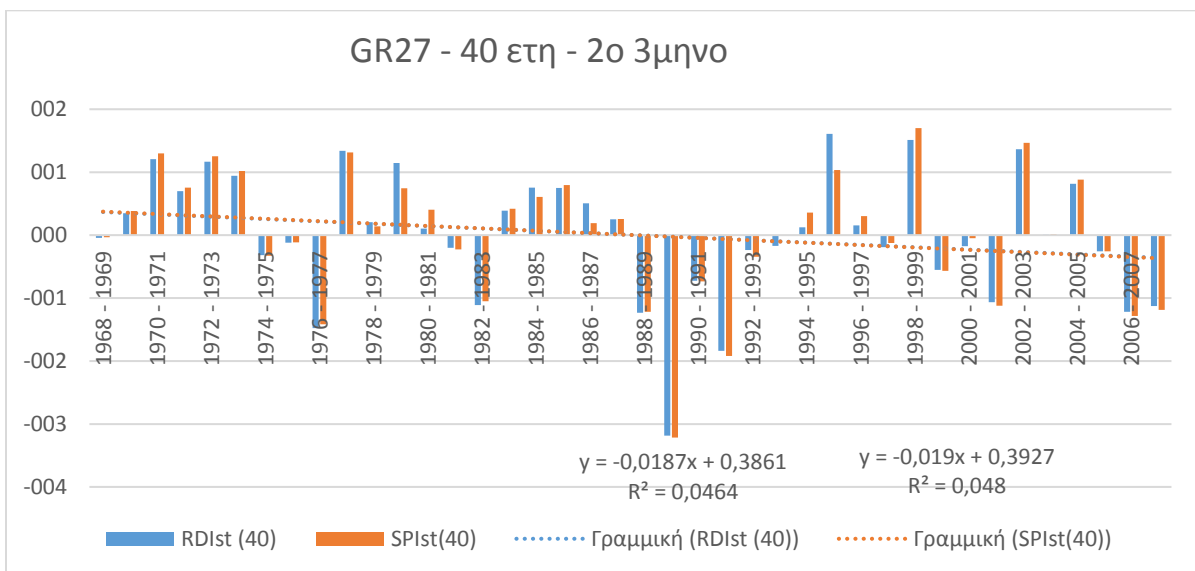


Σχήμα 92: Σύνολο των ετών κάθε κατηγορίας ξηρασίας των δεικτών RDI και SPI 25 ετών, για το 2ο εξάμηνο της λεκάνης GR33

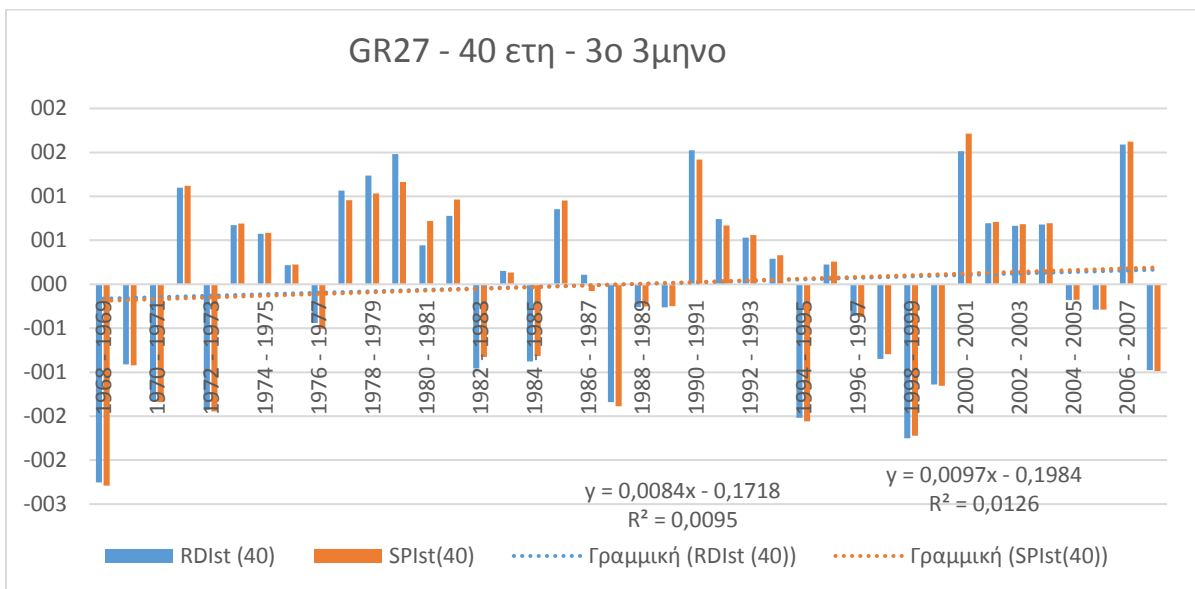
Διαγράμματα δεικτών RDI και SPI για το 3-μηνο



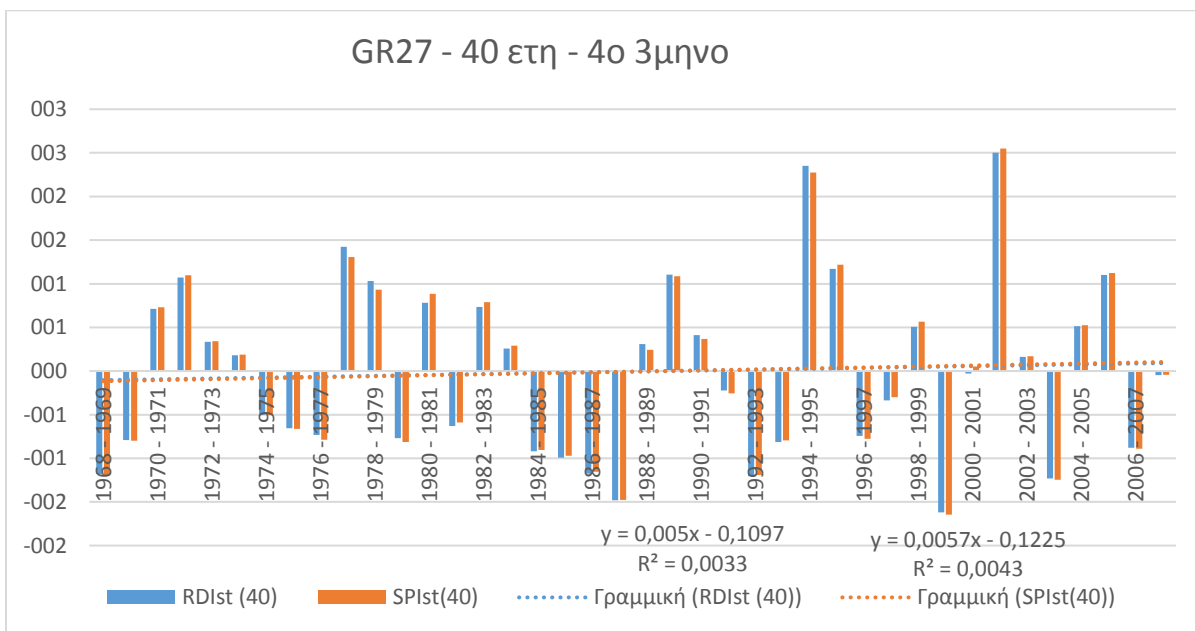
Σχήμα 93: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 40 ετών για το 1ο τρίμηνο της λεκάνης GR27



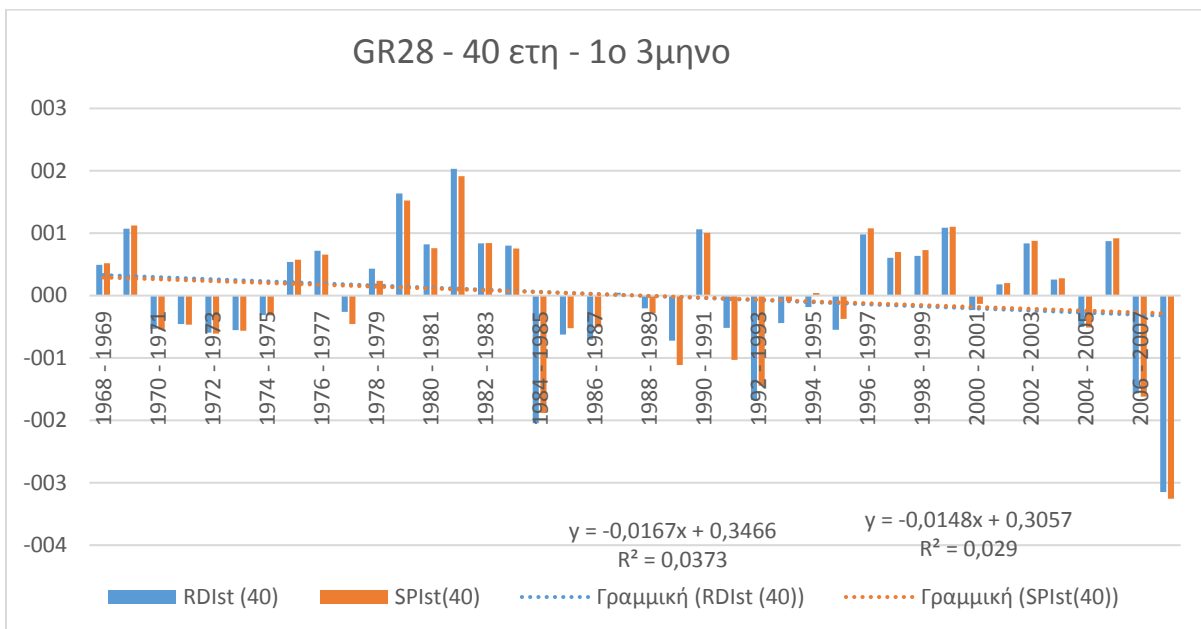
Σχήμα 94: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 40 ετών για το 2ο τρίμηνο της λεκάνης GR27



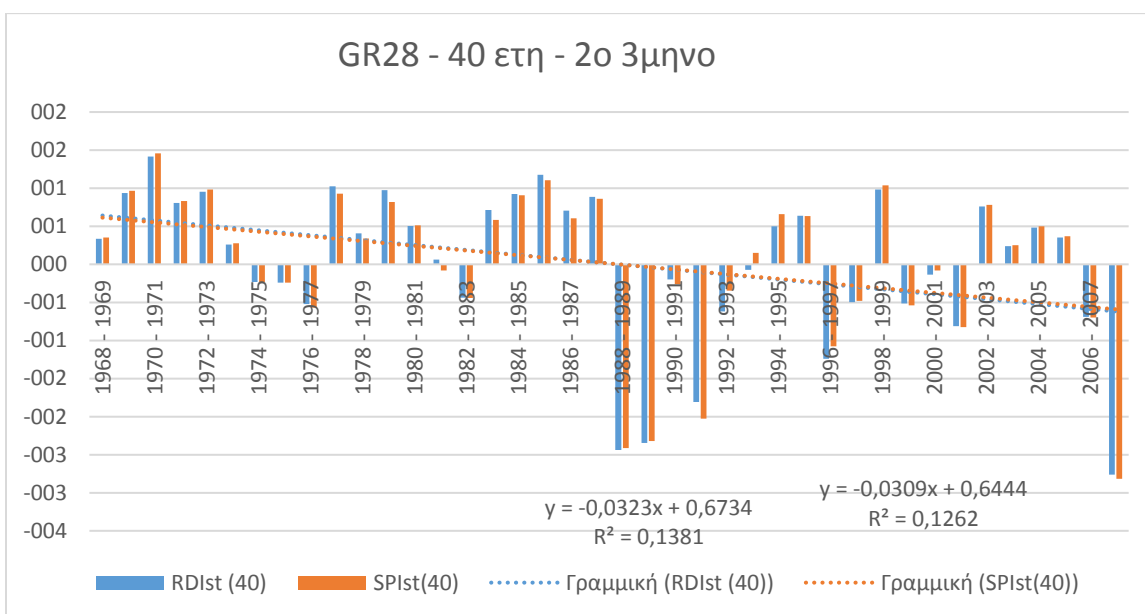
Σχήμα 95: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 40 ετών για το 3ο τρίμηνο της λεκάνης GR27



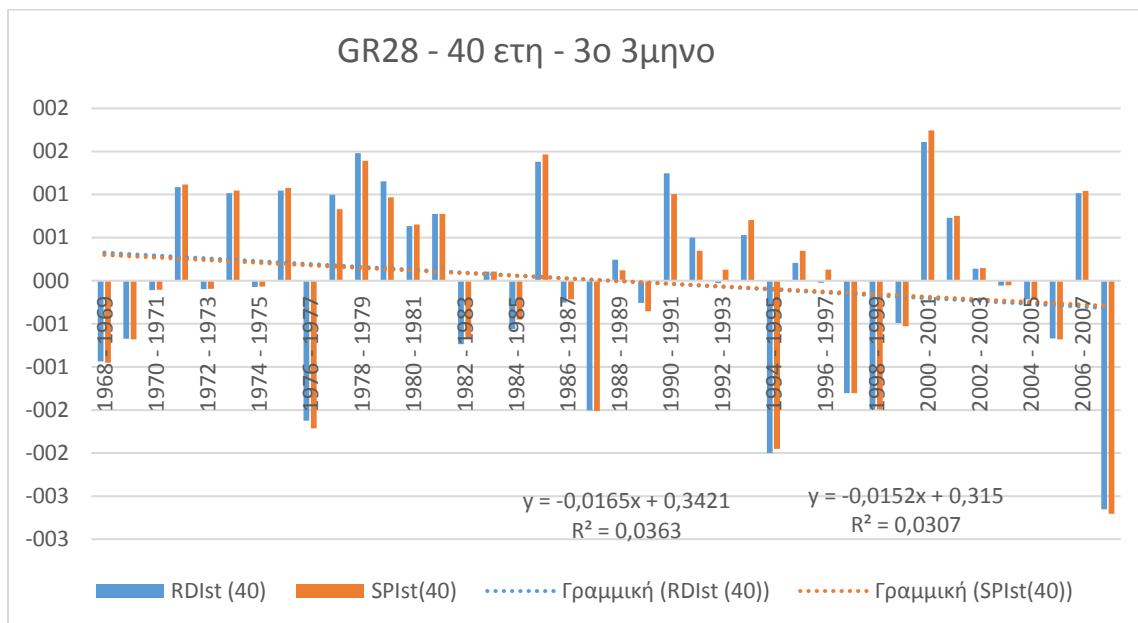
Σχήμα 96: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 40 ετών για το 4ο τρίμηνο της λεκάνης GR27



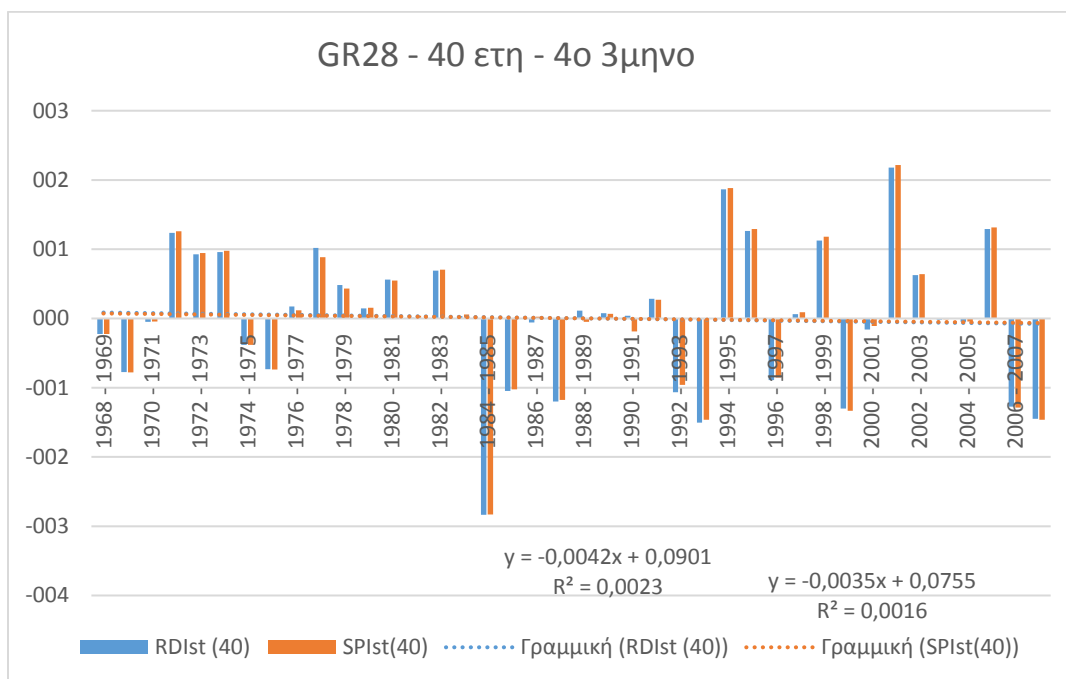
Σχήμα 97: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 40 ετών για το 1ο τρίμηνο της λεκάνης GR28



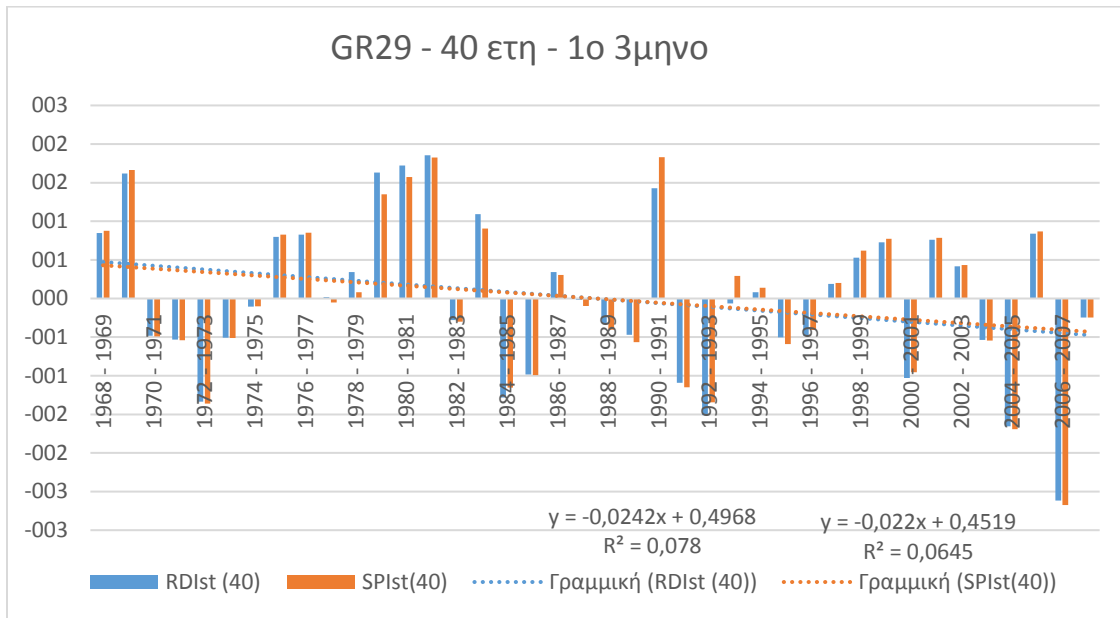
Σχήμα 98: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 40 ετών για το 2ο τρίμηνο της λεκάνης GR28



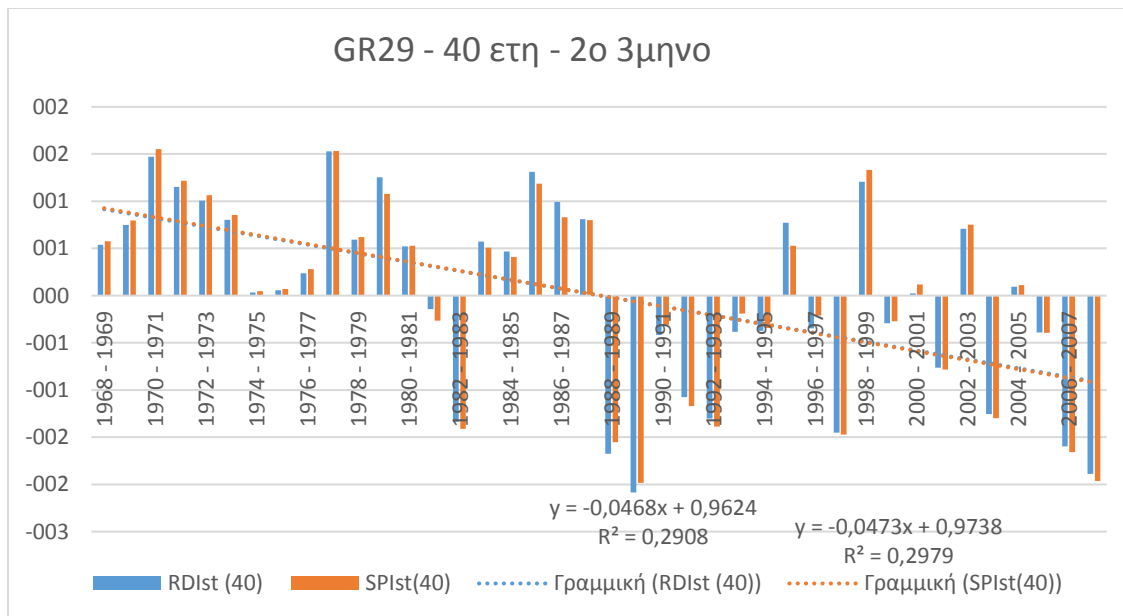
Σχήμα 99: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 40 ετών για το 3ο τρίμηνο της λεκάνης GR28



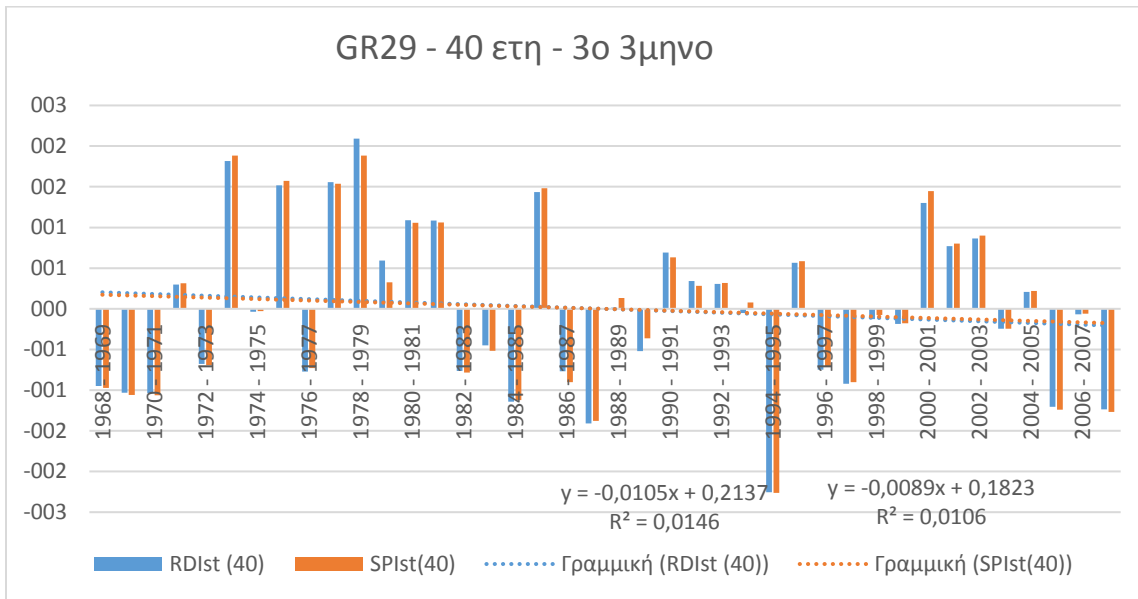
Σχήμα 100: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 40 ετών για το 4ο τρίμηνο της λεκάνης GR28



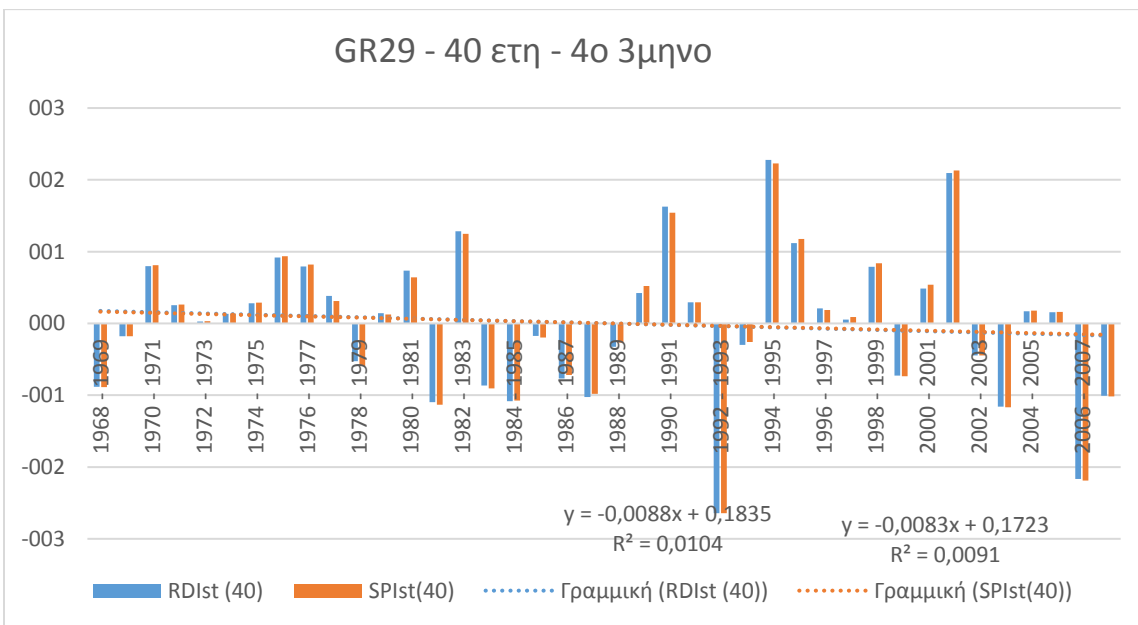
Σχήμα 101: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 40 ετών για το 1ο τρίμηνο της λεκάνης GR29



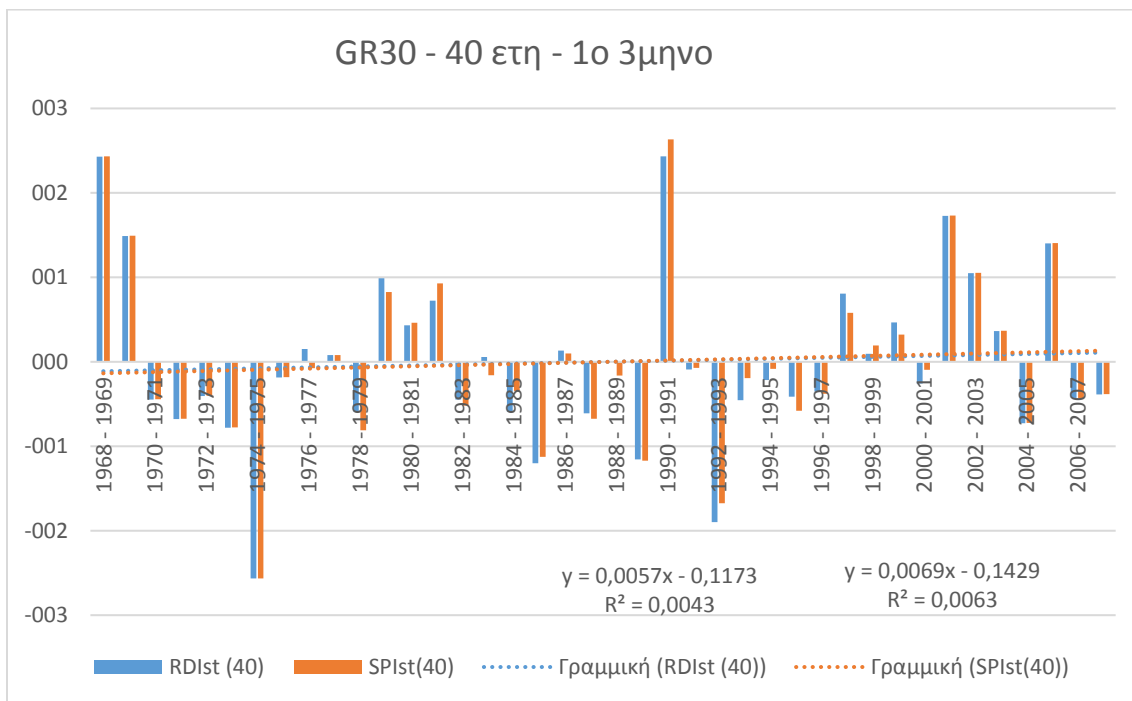
Σχήμα 102: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 40 ετών για το 2ο τρίμηνο της λεκάνης GR29



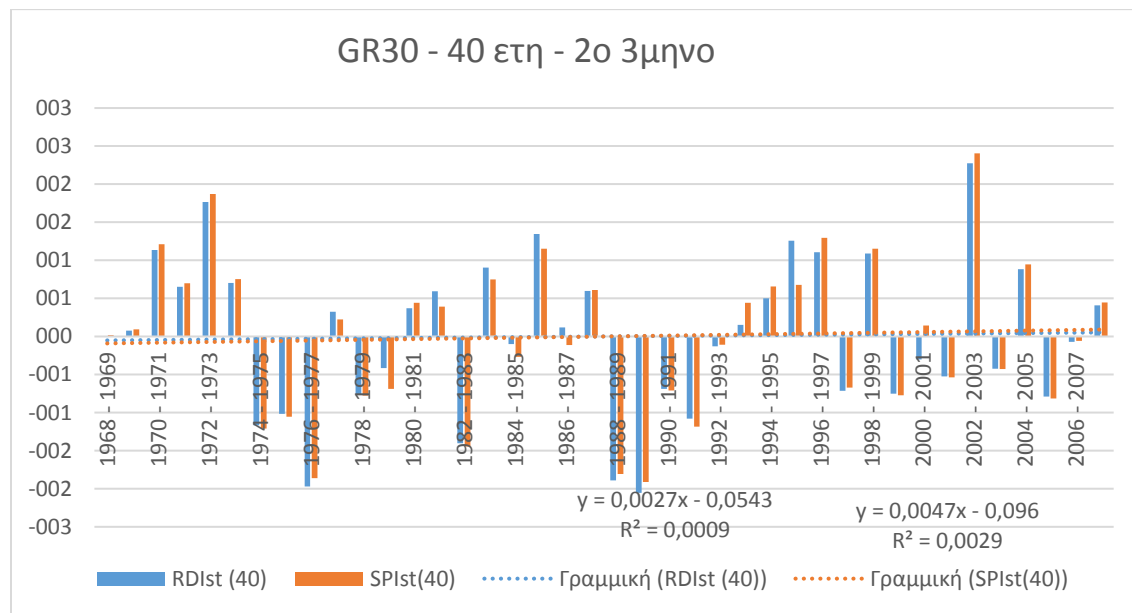
Σχήμα 103: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 40 ετών για το 3ο τρίμηνο της λεκάνης GR29



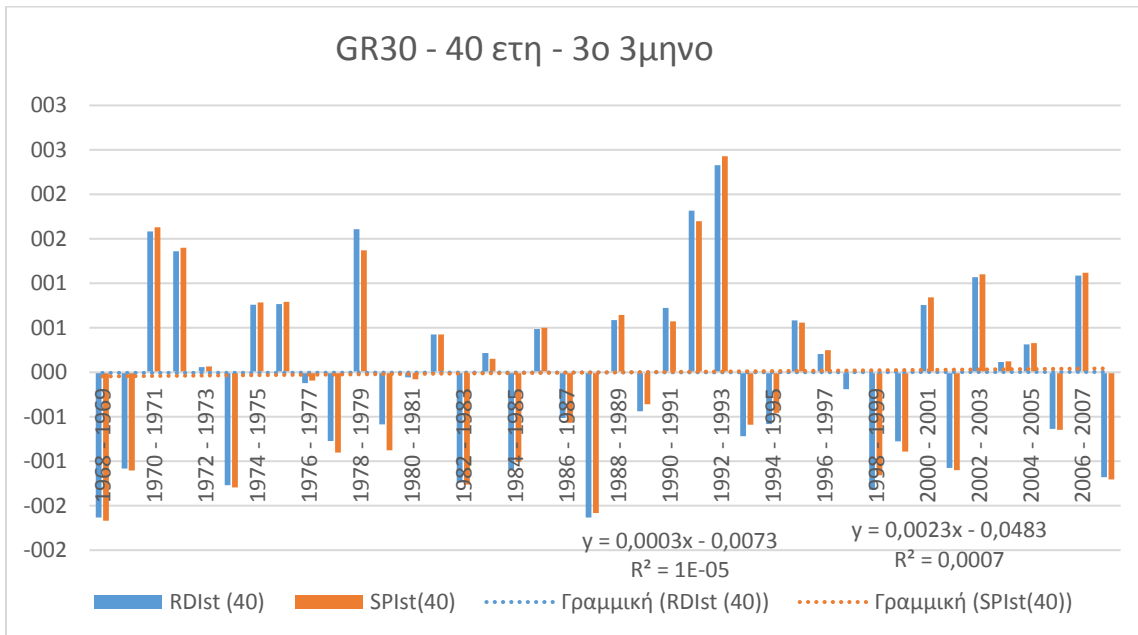
Σχήμα 104: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 40 ετών για το 4ο τρίμηνο της λεκάνης GR29



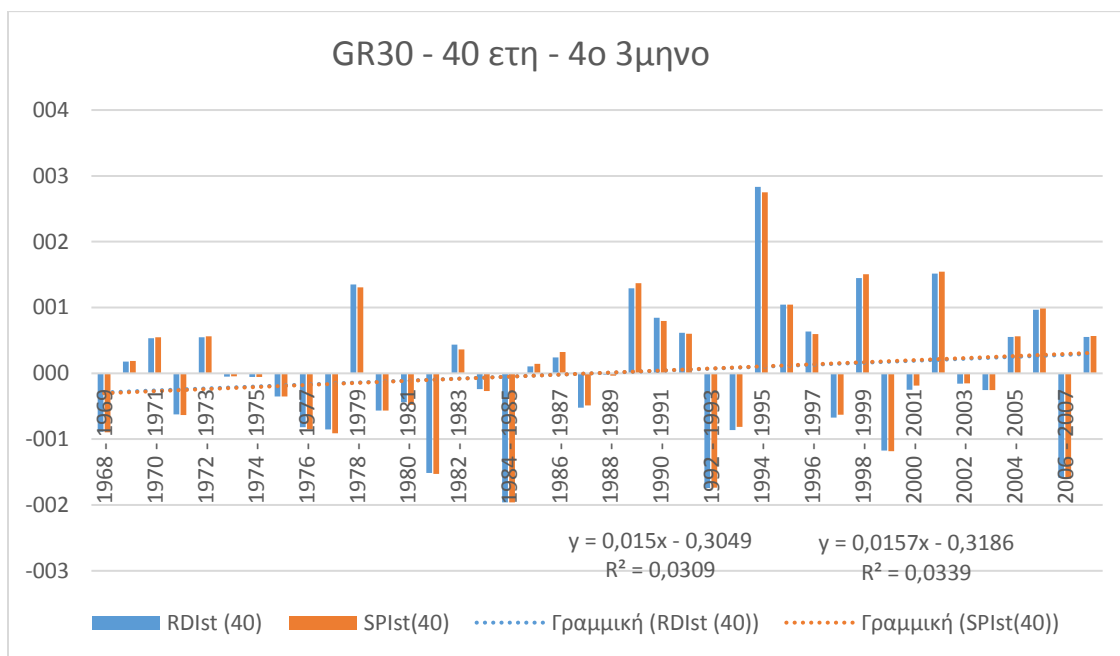
Σχήμα 105: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 40 ετών για το 1ο τρίμηνο της λεκάνης GR30



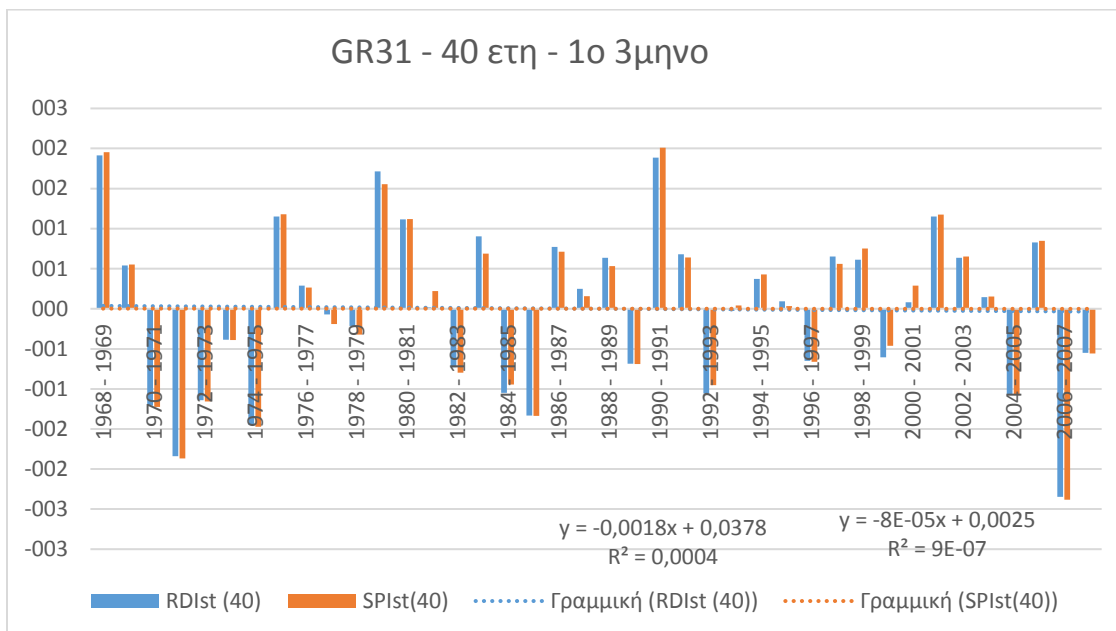
Σχήμα 106: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 40 ετών για το 2ο τρίμηνο της λεκάνης GR30



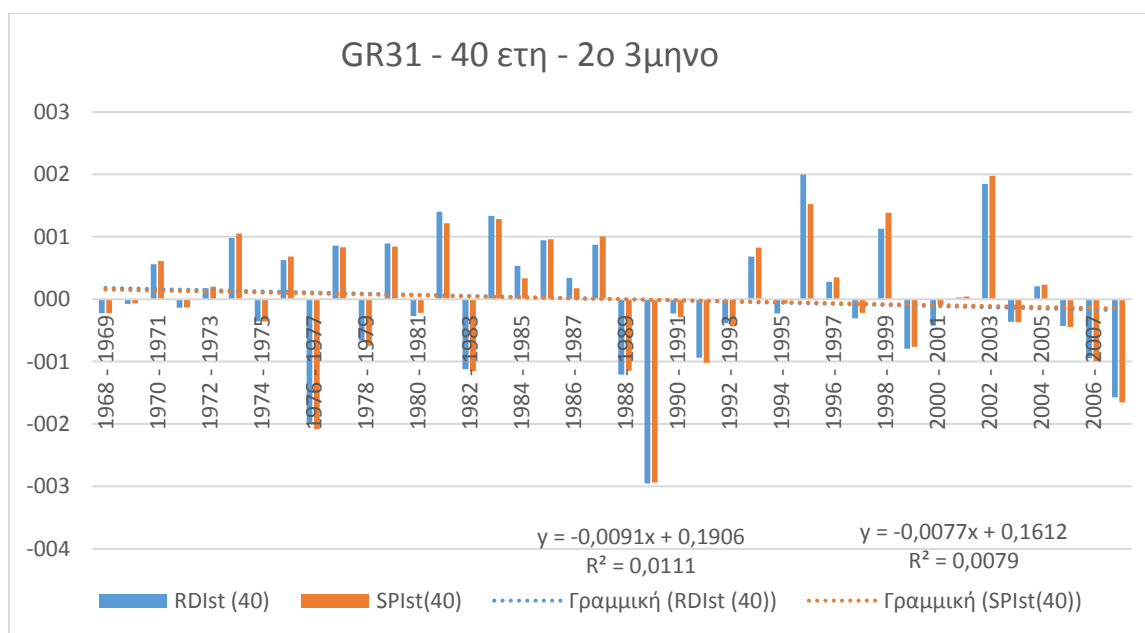
Σχήμα 107: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 40 ετών για το 3ο τρίμηνο της λεκάνης GR30



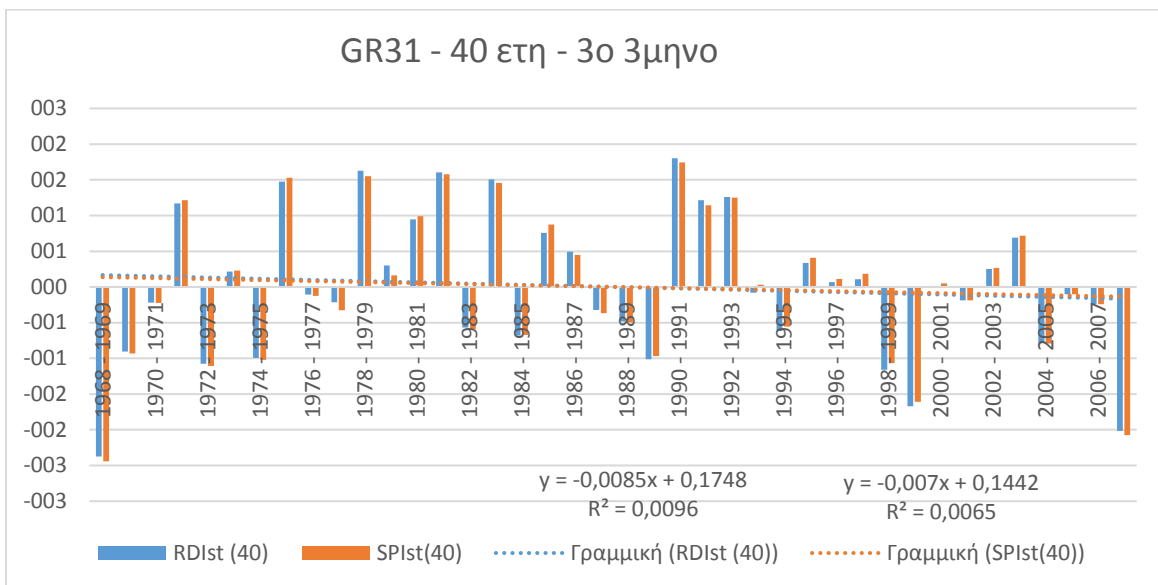
Σχήμα 108: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 40 ετών για το 4ο τρίμηνο της λεκάνης GR30



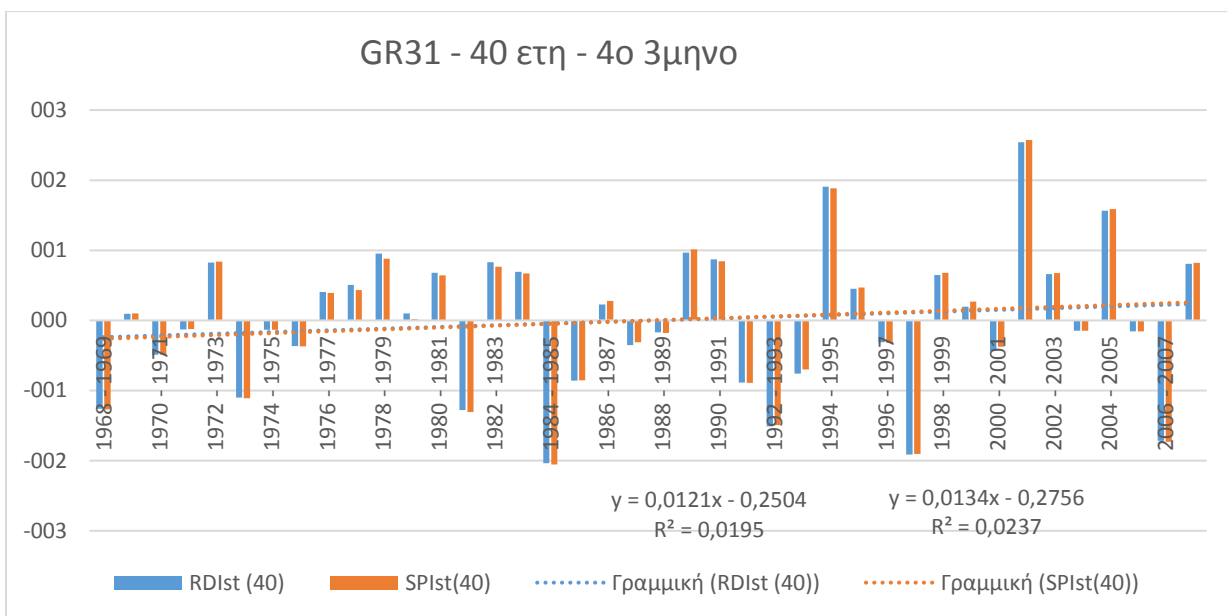
Σχήμα 109: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 40 ετών για το 1ο τρίμηνο της λεκάνης GR31



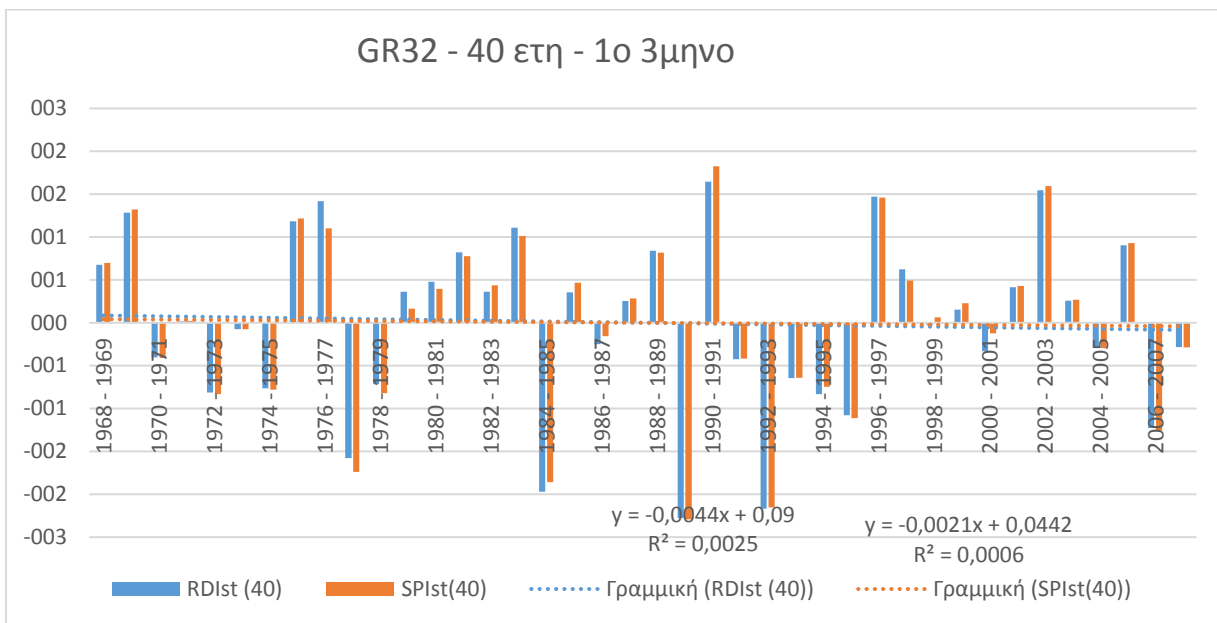
Σχήμα 110: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 40 ετών για το 2ο τρίμηνο της λεκάνης GR31



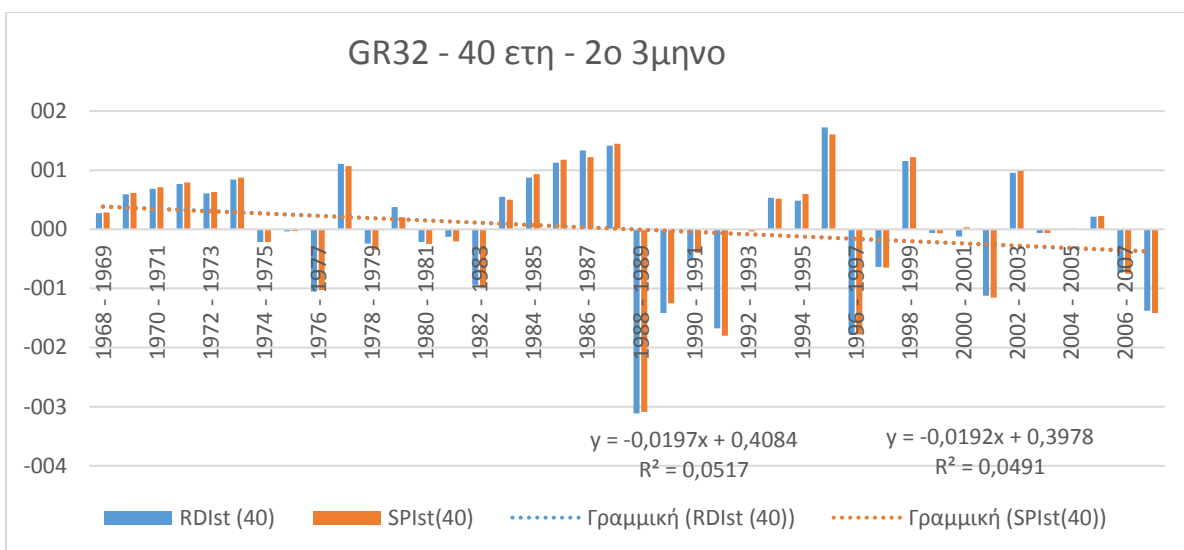
Σχήμα 111: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 40 ετών για το 3ο τρίμηνο της λεκάνης GR31



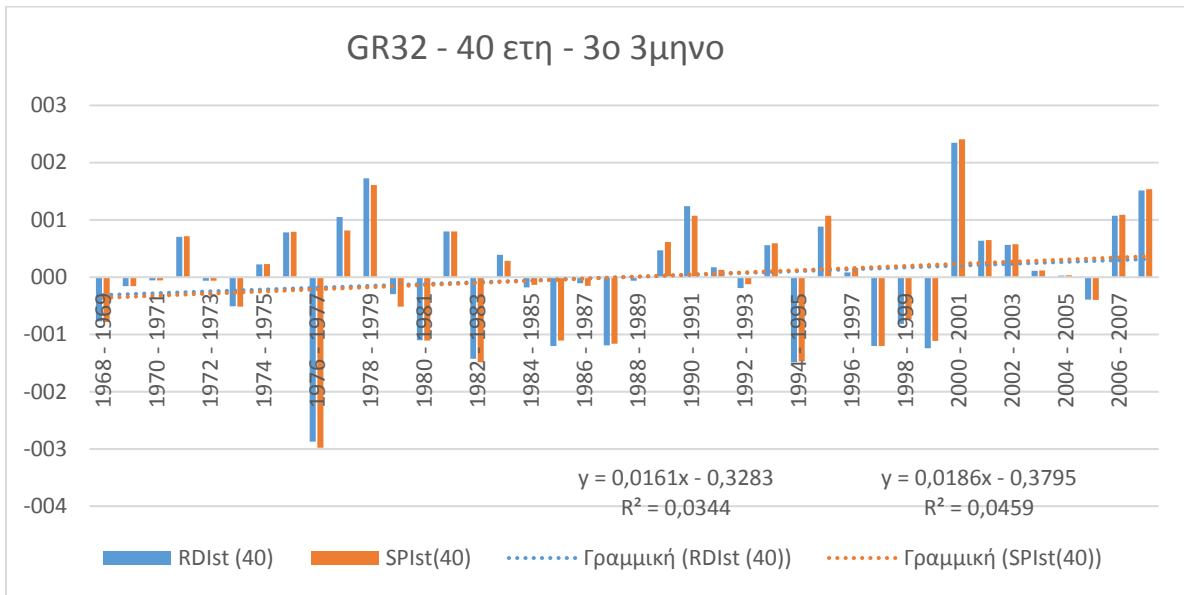
Σχήμα 112: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 40 ετών για το 4ο τρίμηνο της λεκάνης GR31



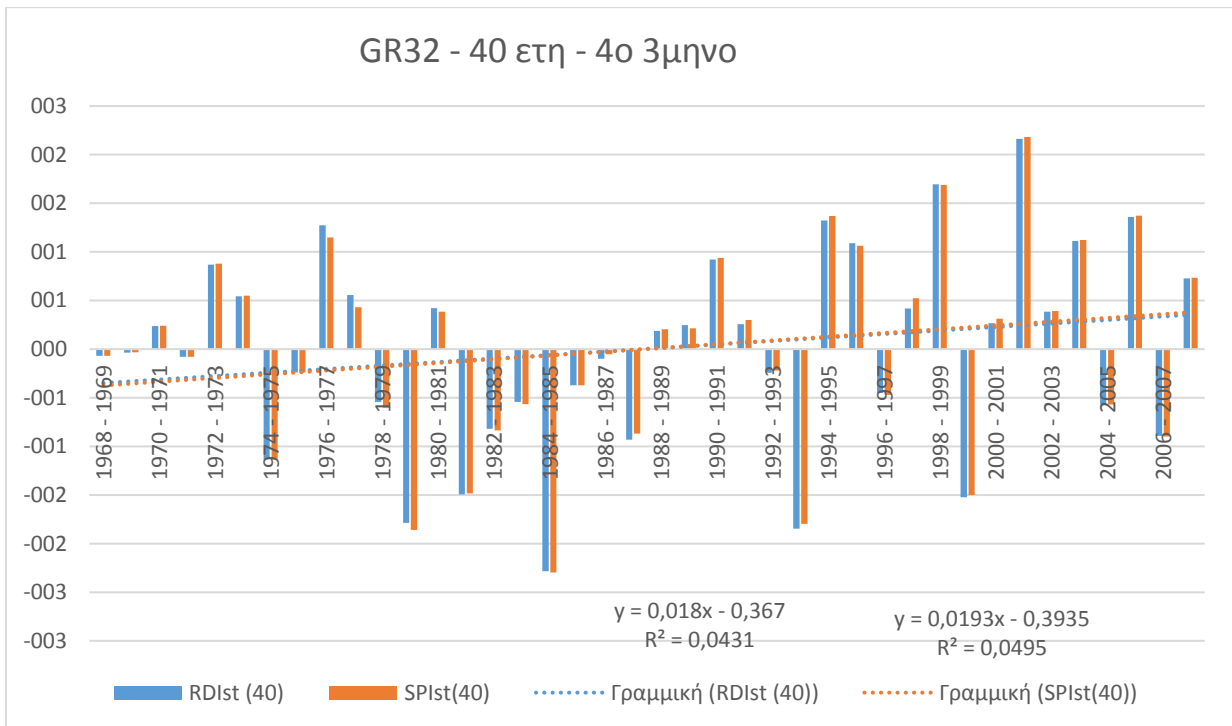
Σχήμα 113: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 40 ετών για το 1ο τρίμηνο της λεκάνης GR32



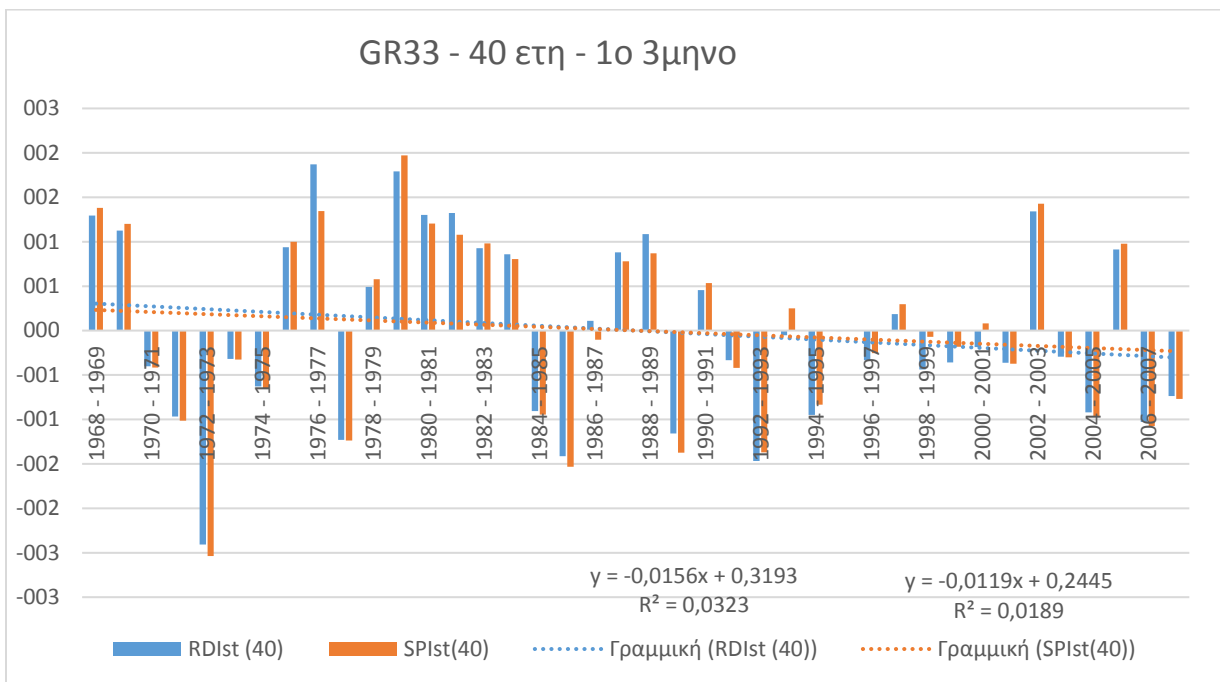
Σχήμα 114: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 40 ετών για το 2ο τρίμηνο της λεκάνης GR32



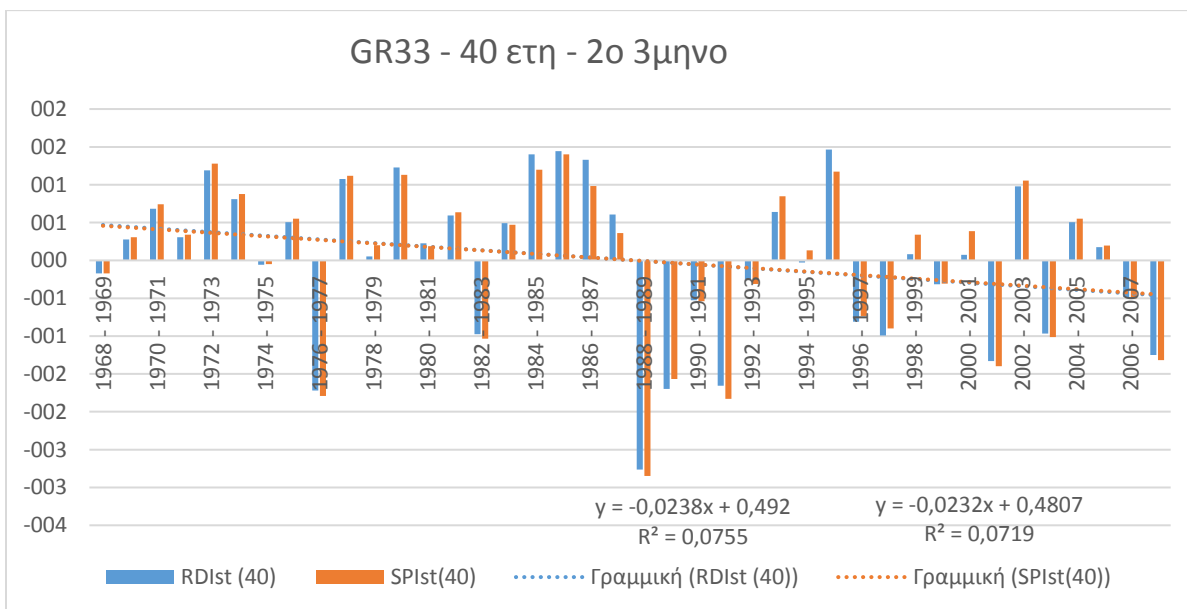
Σχήμα 115: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 40 ετών για το 3ο τρίμηνο της λεκάνης GR32



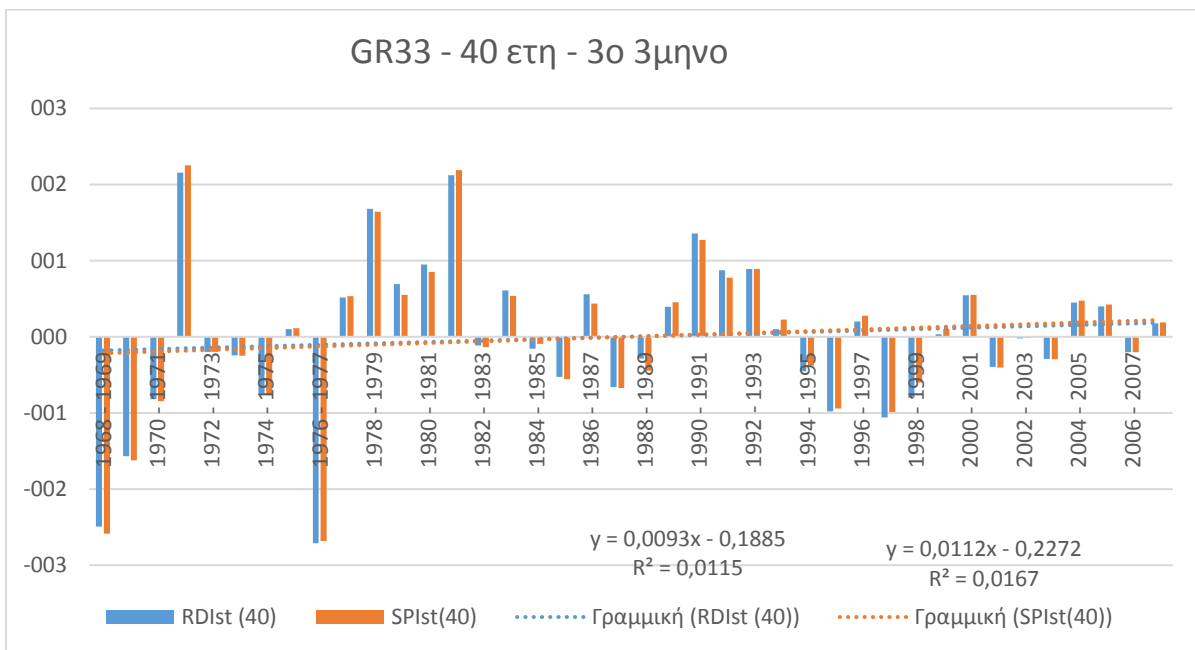
Σχήμα 116: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 40 ετών για το 4ο τρίμηνο της λεκάνης GR32



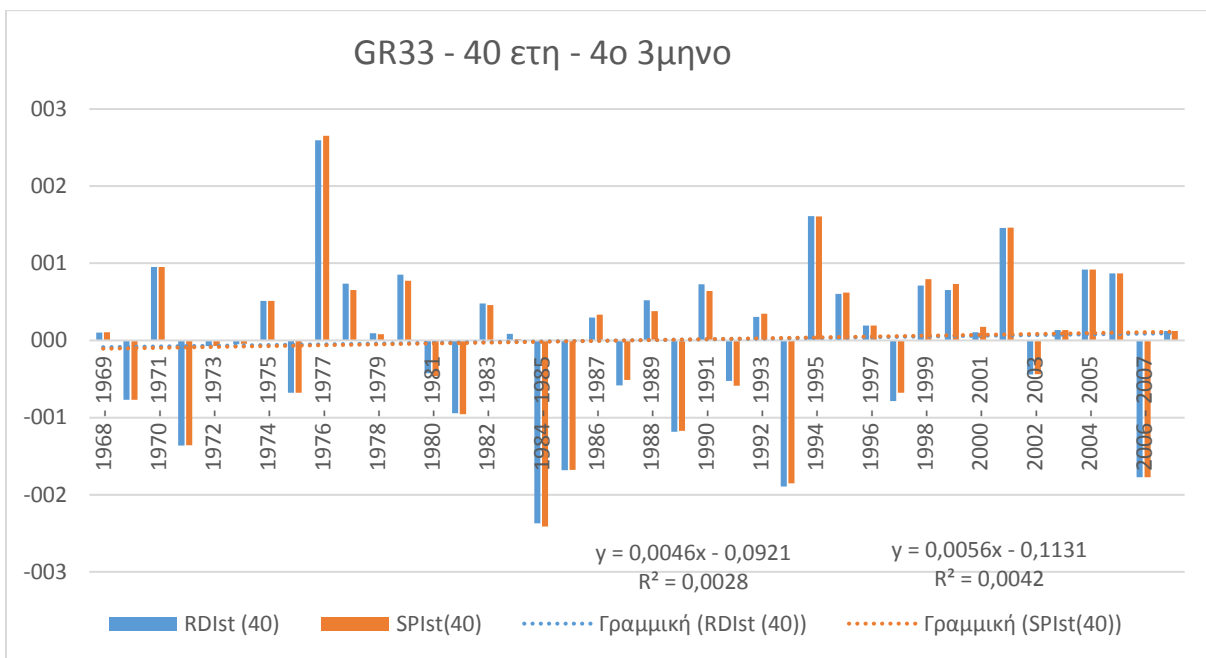
Σχήμα 117: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 40 ετών για το 1ο τρίμηνο της λεκάνης GR33



Σχήμα 118: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 40 ετών για το 2ο τρίμηνο της λεκάνης GR33



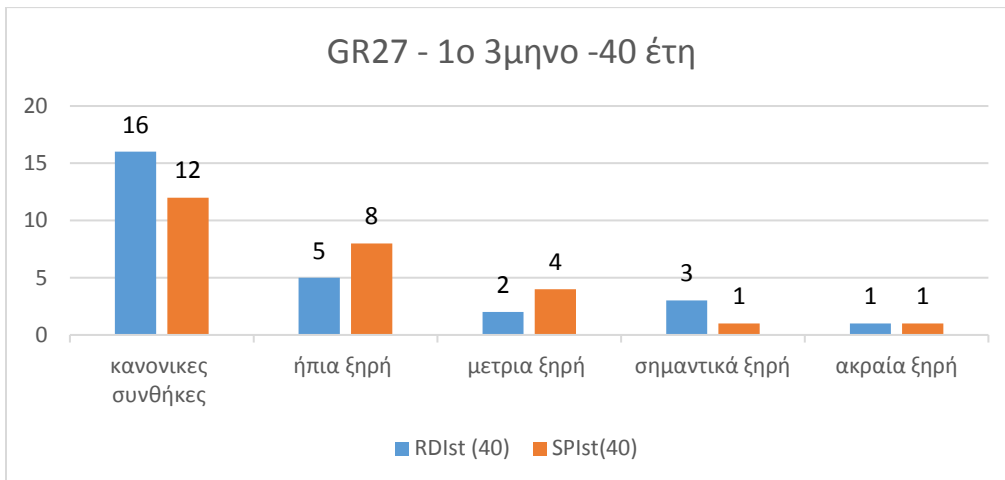
Σχήμα 119: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 40 ετών για το 3ο τρίμηνο της λεκάνης GR33



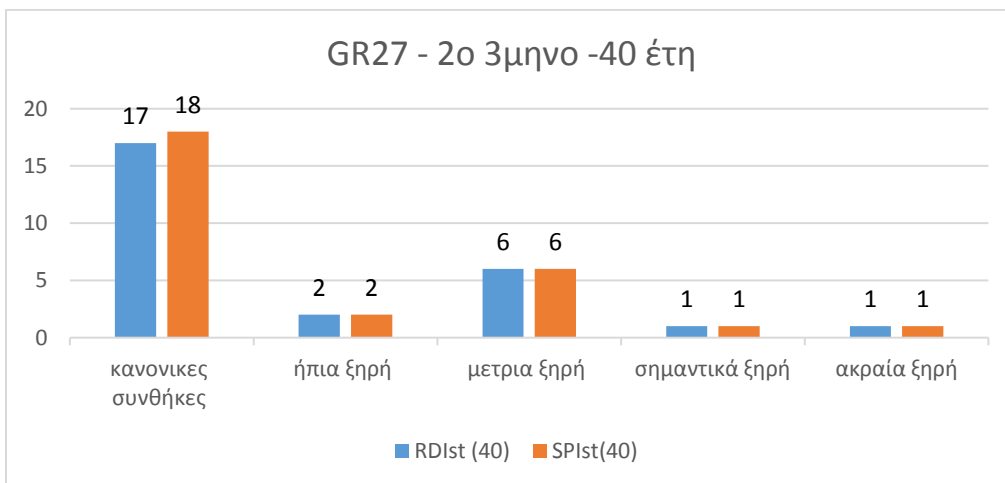
Σχήμα 120: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 40 ετών για το 4ο τρίμηνο της λεκάνης GR33

Διαγράμματα των δεικτών RDI και SPI με βάση τις κατηγορίες ξηρασίας για το 3-μηνο

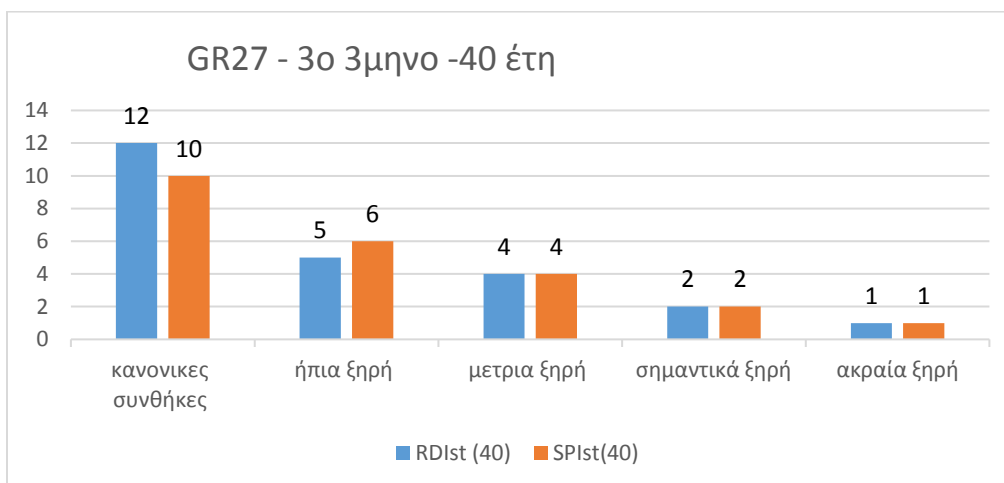
Βόρεια Πελοπόννησος



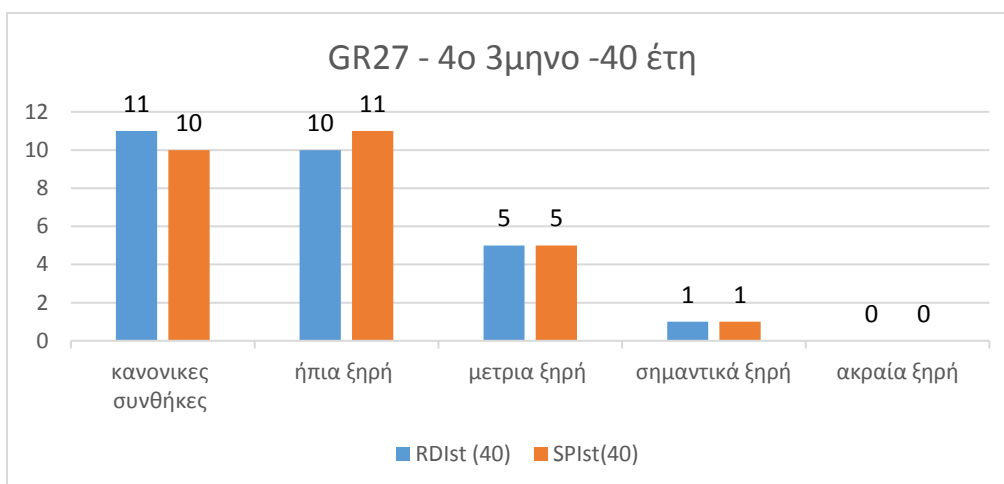
Σχήμα 121: Σύνολο των ετών κάθε κατηγορίας ξηρασίας των δεικτών RDI και SPI 40 ετών, για το 1ο τρίμηνο της λεκάνης GR27



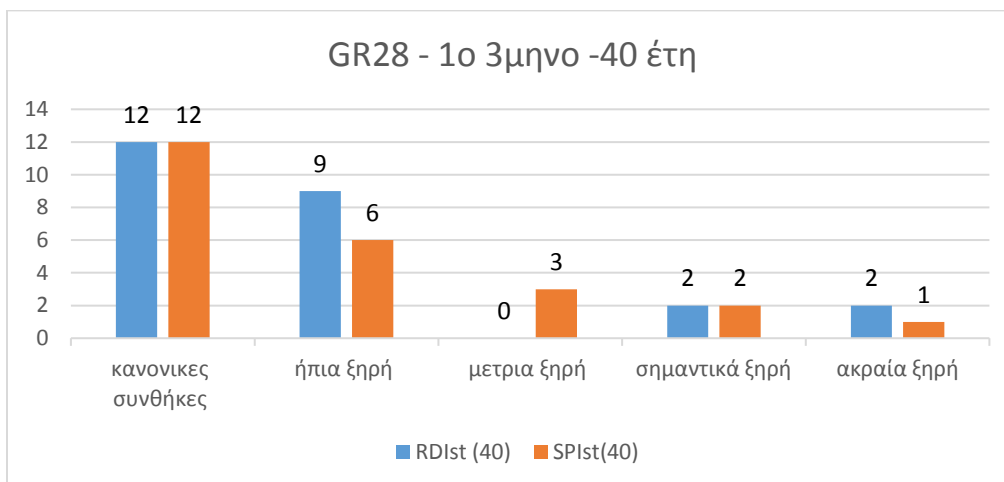
Σχήμα 122: Σύνολο των ετών κάθε κατηγορίας ξηρασίας των δεικτών RDI και SPI 40 ετών, για το 2ο τρίμηνο της λεκάνης GR27



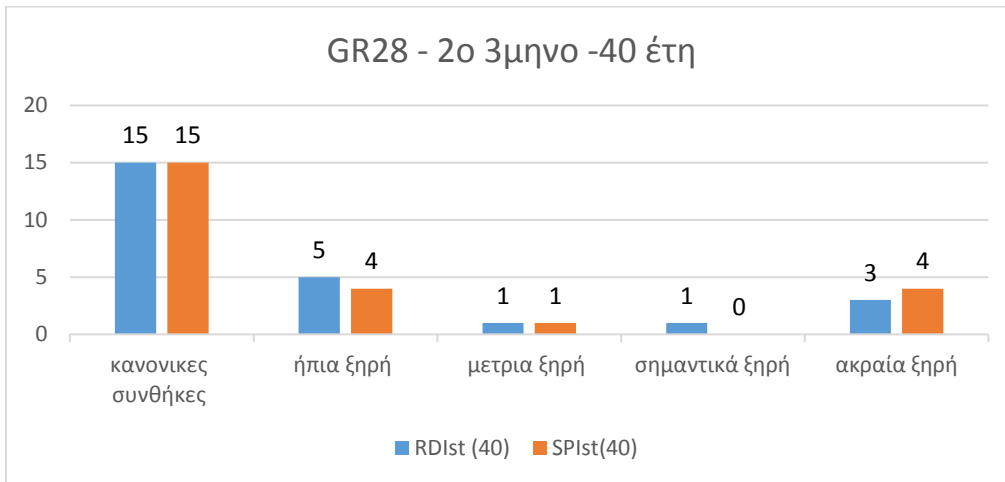
Σχήμα 123: Σύνολο των ετών κάθε κατηγορίας ξηρασίας των δεικτών RDI και SPI 40 ετών, για το 3ο τρίμηνο της λεκάνης GR27



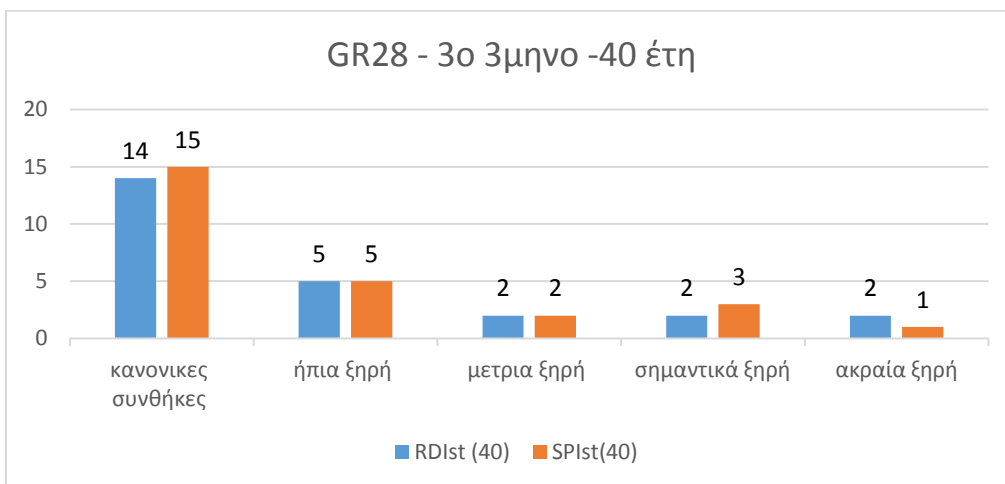
Σχήμα 124: Σύνολο των ετών κάθε κατηγορίας ξηρασίας των δεικτών RDI και SPI 40 ετών, για το 4ο τρίμηνο της λεκάνης GR27



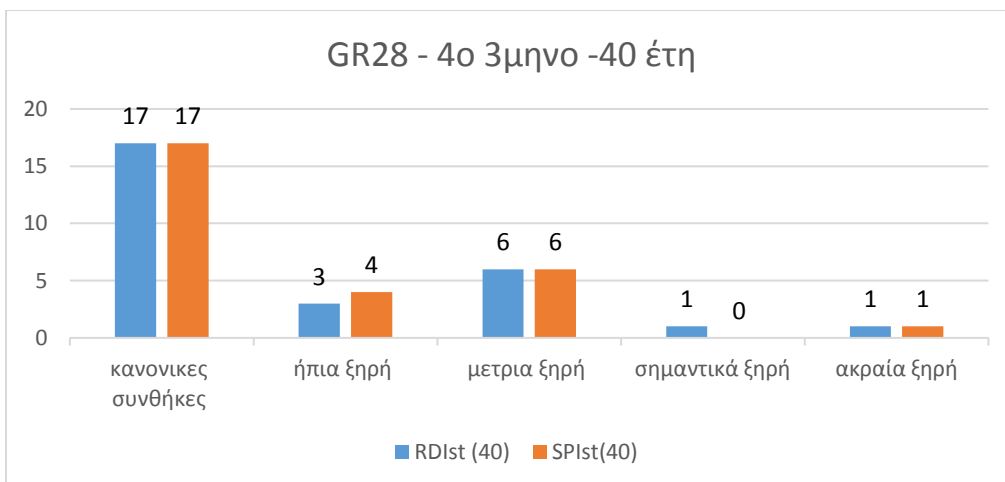
Σχήμα 125: Σύνολο των ετών κάθε κατηγορίας ξηρασίας των δεικτών RDI και SPI 40 ετών, για το 1ο τρίμηνο της λεκάνης GR28



Σχήμα 126: Σύνολο των ετών κάθε κατηγορίας ξηρασίας των δεικτών RDI και SPI 40 ετών, για το 2ο τρίμηνο της λεκάνης GR28

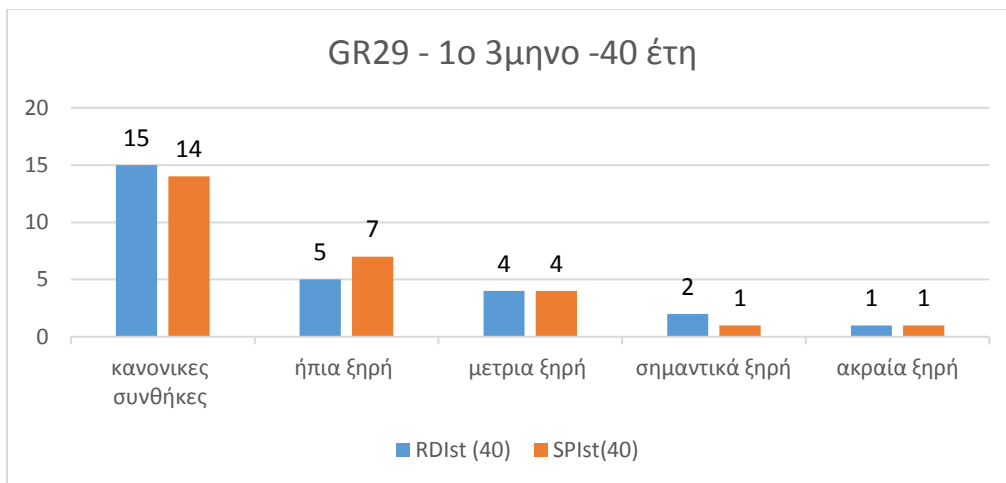


Σχήμα 127: Σύνολο των ετών κάθε κατηγορίας ξηρασίας των δεικτών RDI και SPI 40 ετών, για το 3ο τρίμηνο της λεκάνης GR28

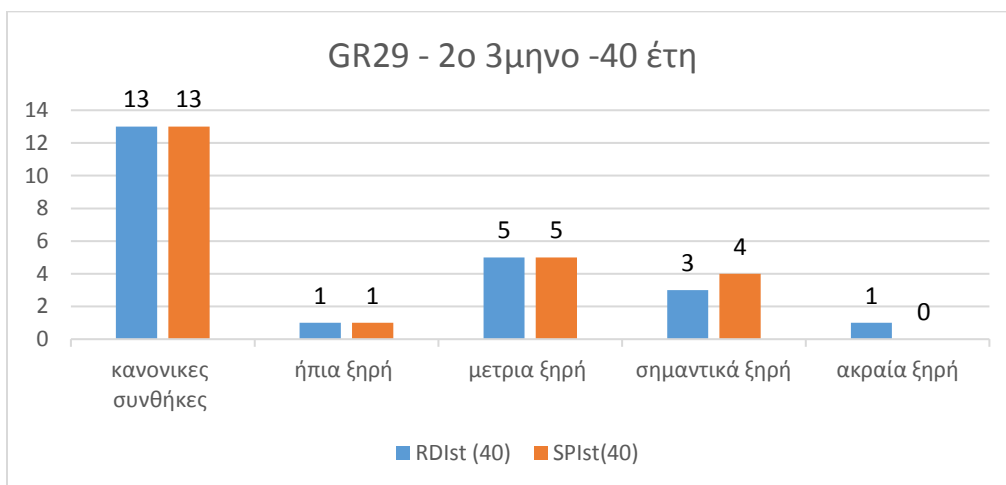


Σχήμα 128: Σύνολο των ετών κάθε κατηγορίας ξηρασίας των δεικτών RDI και SPI 40 ετών, για το 4ο τρίμηνο της λεκάνης GR28

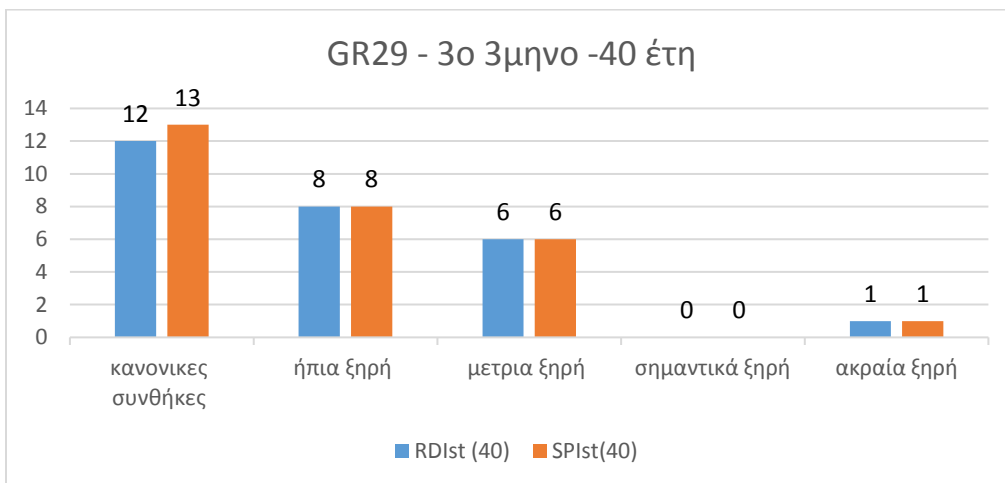
Δυτική Πελοπόννησος



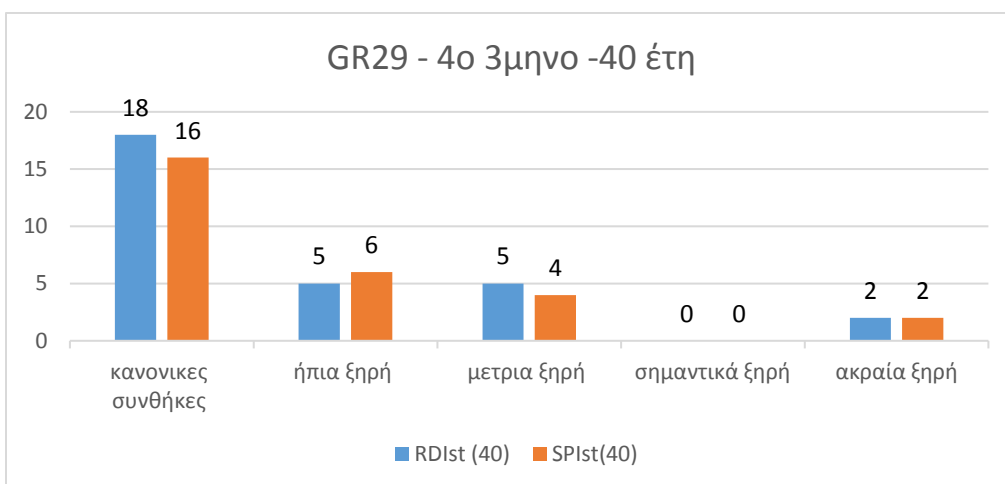
Σχήμα 129: Σύνολο των ετών κάθε κατηγορίας ξηρασίας των δεικτών RDI και SPI 40 ετών, για το 1ο τρίμηνο της λεκάνης GR29



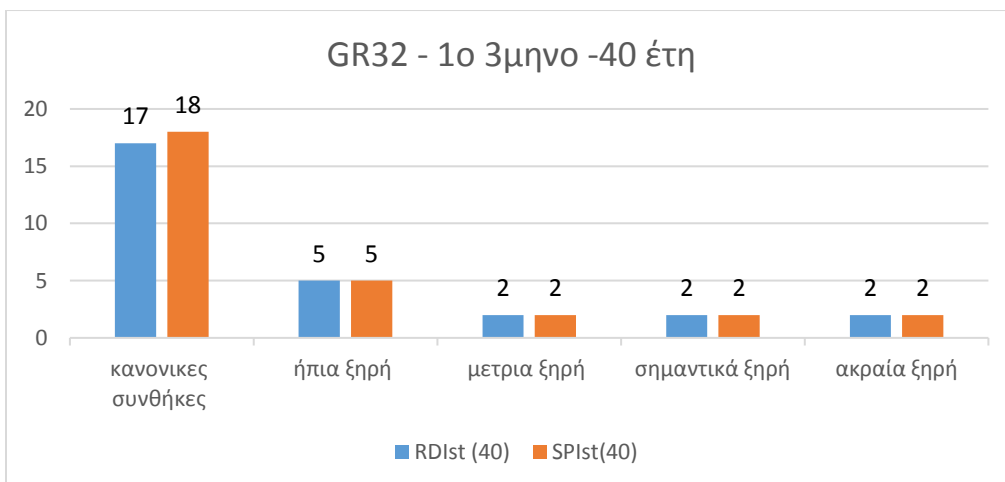
Σχήμα 130: Σύνολο των ετών κάθε κατηγορίας ξηρασίας των δεικτών RDI και SPI 40 ετών, για το 2ο τρίμηνο της λεκάνης GR29



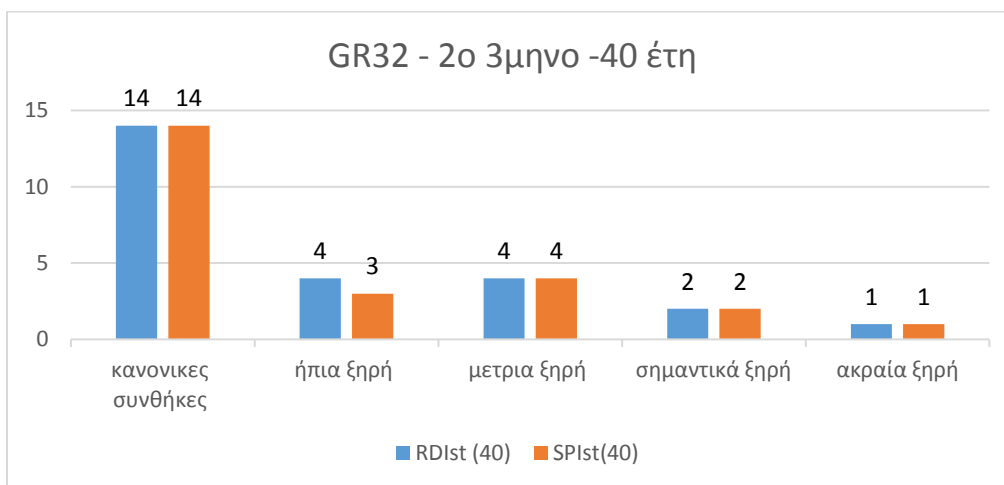
Σχήμα 131: Σύνολο των ετών κάθε κατηγορίας ξηρασίας των δεικτών RDI και SPI 40 ετών, για το 3ο τρίμηνο της λεκάνης GR29



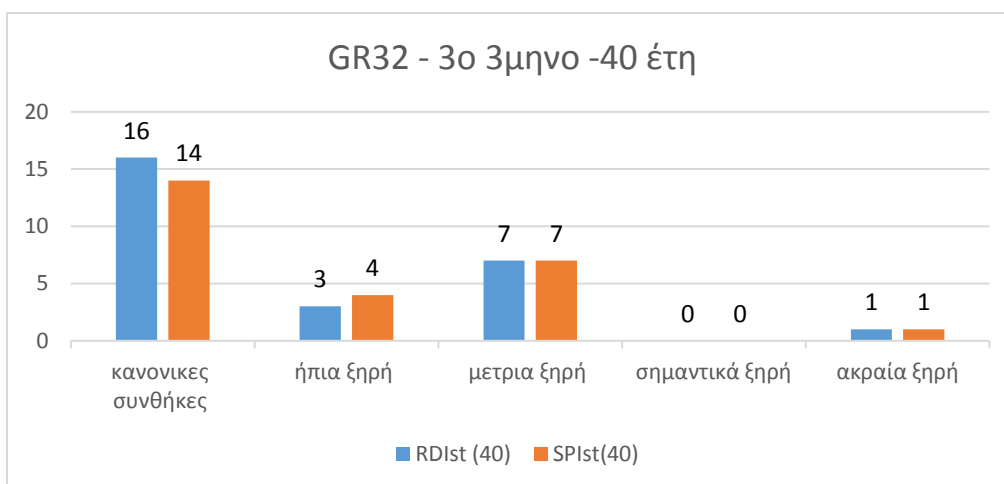
Σχήμα 132: Σύνολο των ετών κάθε κατηγορίας ξηρασίας των δεικτών RDI και SPI 40 ετών, για το 4ο τρίμηνο της λεκάνης GR29



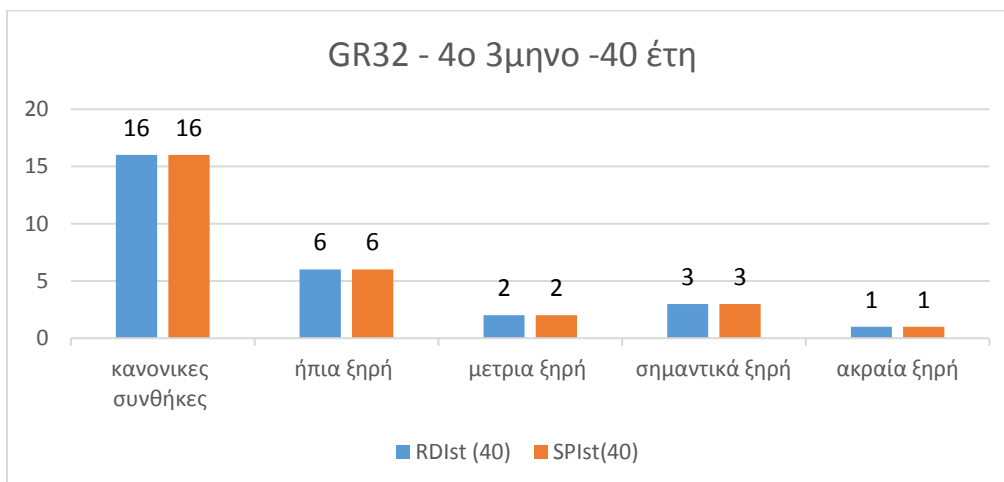
Σχήμα 133: Σύνολο των ετών κάθε κατηγορίας ξηρασίας των δεικτών RDI και SPI 40 ετών, για το 1ο τρίμηνο της λεκάνης GR32



Σχήμα 134: Σύνολο των ετών κάθε κατηγορίας ξηρασίας των δεικτών RDI και SPI 40 ετών, για το 2ο τρίμηνο της λεκάνης GR32

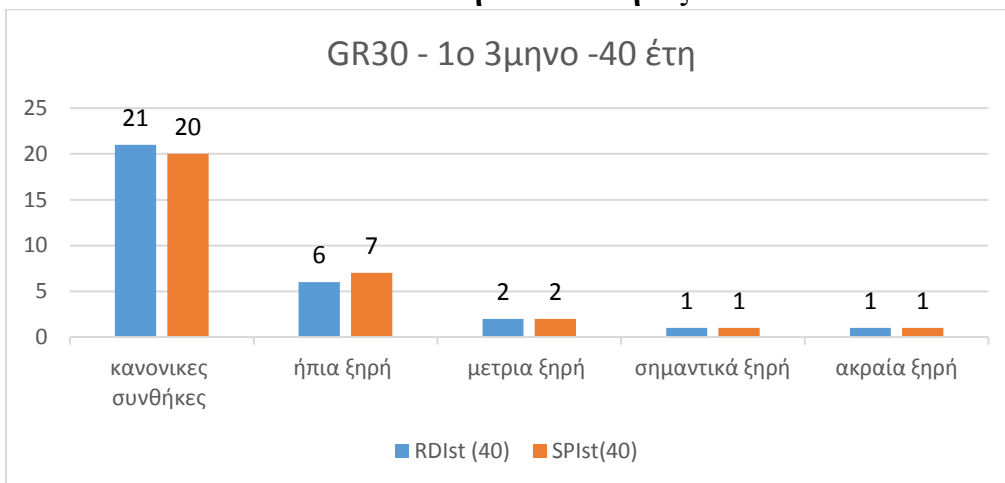


Σχήμα 135: Σύνολο των ετών κάθε κατηγορίας ξηρασίας των δεικτών RDI και SPI 40 ετών, για το 3ο τρίμηνο της λεκάνης GR32

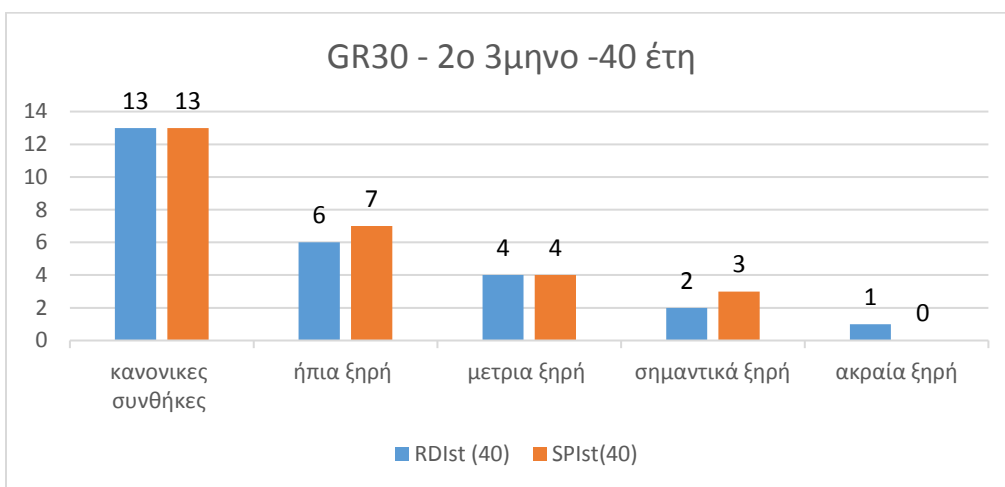


Σχήμα 136: Σύνολο των ετών κάθε κατηγορίας ξηρασίας των δεικτών RDI και SPI 40 ετών, για το 4ο τρίμηνο της λεκάνης GR32

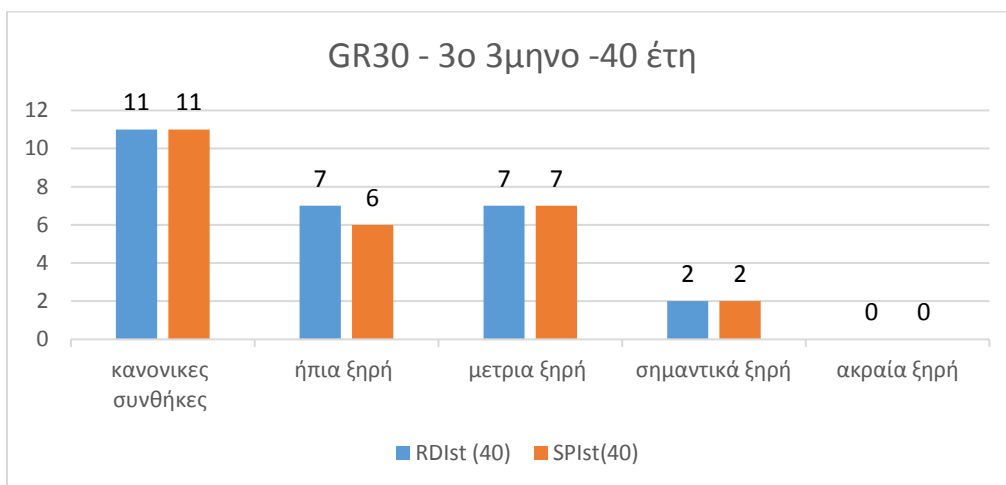
Ανατολική Πελοπόννησος



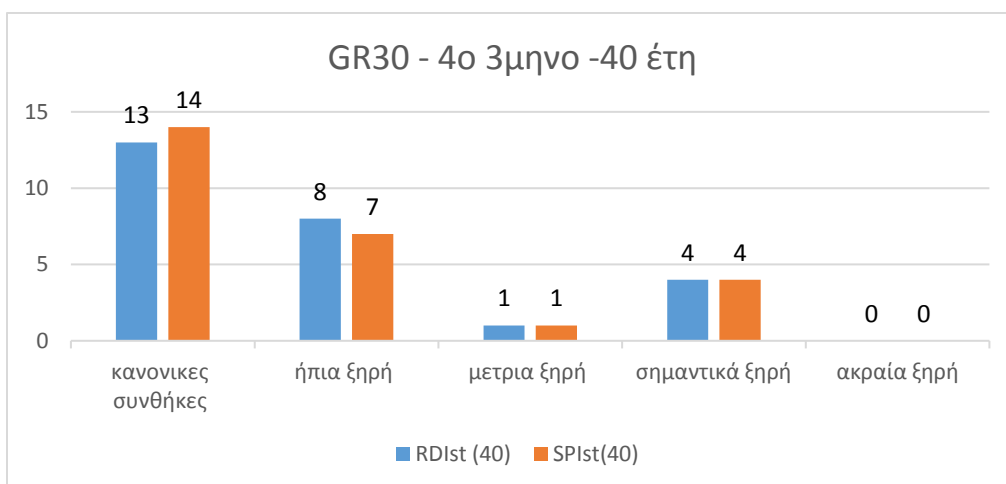
Σχήμα 137: Σύνολο των ετών κάθε κατηγορίας ξηρασίας των δεικτών RDI και SPI 40 ετών, για το 1ο τρίμηνο της λεκάνης GR30



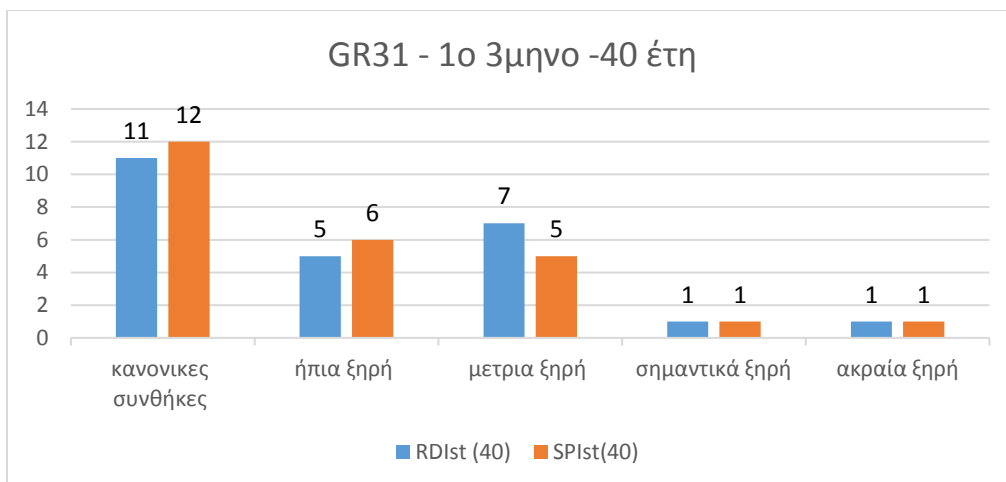
Σχήμα 138: Σύνολο των ετών κάθε κατηγορίας ξηρασίας των δεικτών RDI και SPI 40 ετών, για το 2ο τρίμηνο της λεκάνης GR30



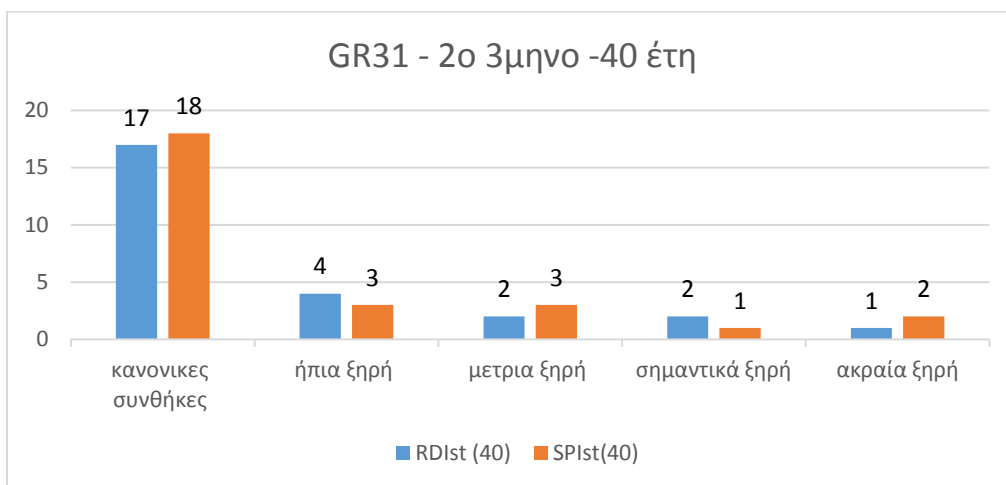
Σχήμα 139: Σύνολο των ετών κάθε κατηγορίας ξηρασίας των δεικτών RDI και SPI 40 ετών, για το 3ο τρίμηνο της λεκάνης GR30



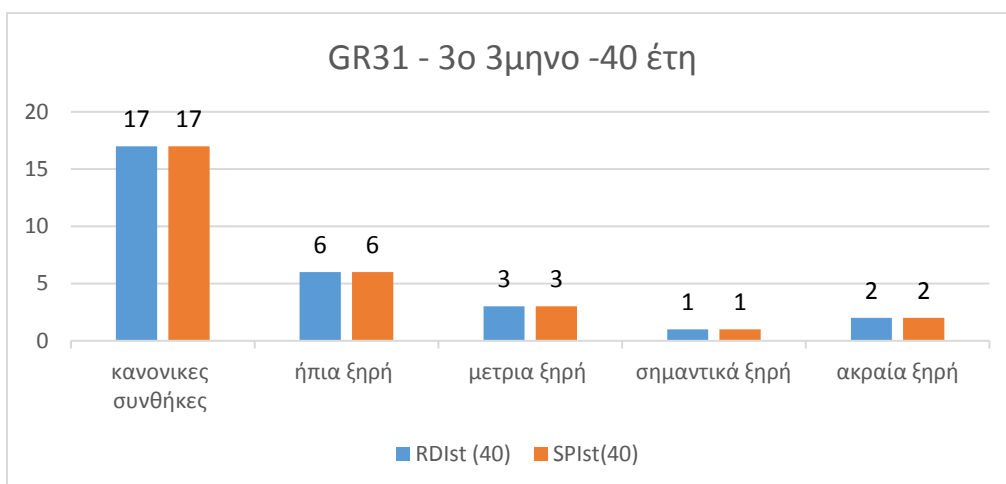
Σχήμα 140: Σύνολο των ετών κάθε κατηγορίας ξηρασίας των δεικτών RDI και SPI 40 ετών, για το 4ο τρίμηνο της λεκάνης GR30



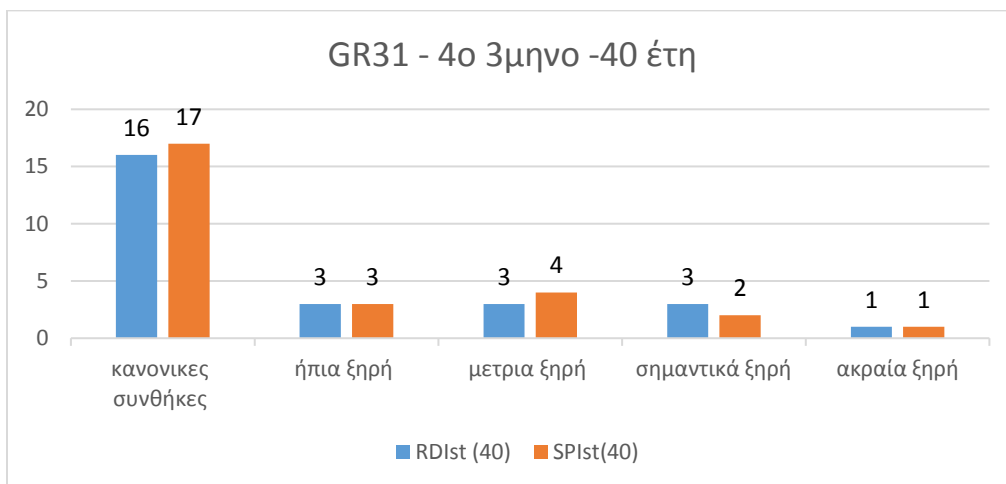
Σχήμα 141: Σύνολο των ετών κάθε κατηγορίας ξηρασίας των δεικτών RDI και SPI 40 ετών, για το 1ο τρίμηνο της λεκάνης GR31



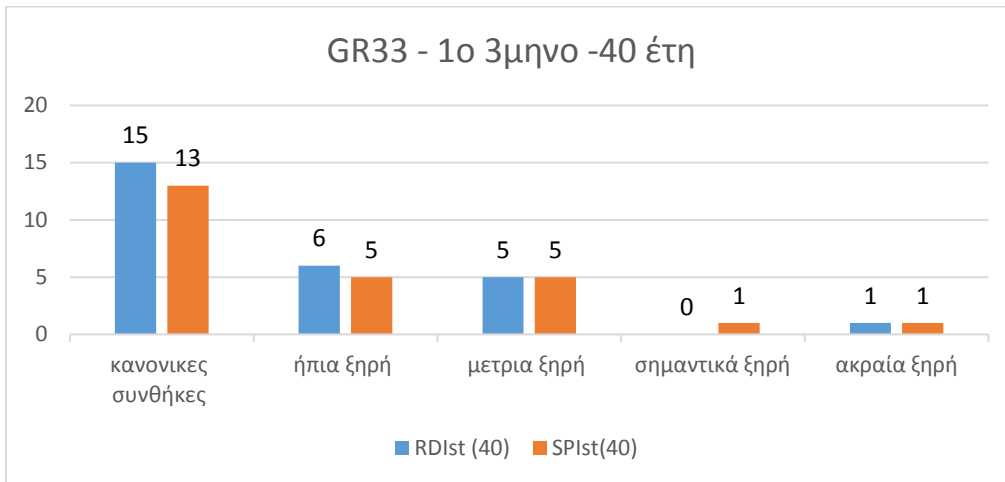
Σχήμα 142: Σύνολο των ετών κάθε κατηγορίας ξηρασίας των δεικτών RDI και SPI 40 ετών, για το 2ο τρίμηνο της λεκάνης GR31



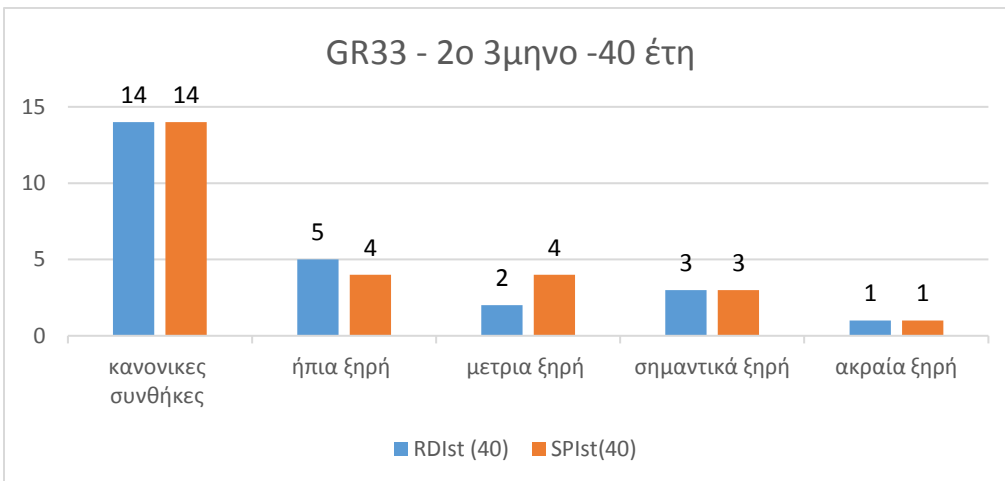
Σχήμα 143: Σύνολο των ετών κάθε κατηγορίας ξηρασίας των δεικτών RDI και SPI 40 ετών, για το 3ο τρίμηνο της λεκάνης GR31



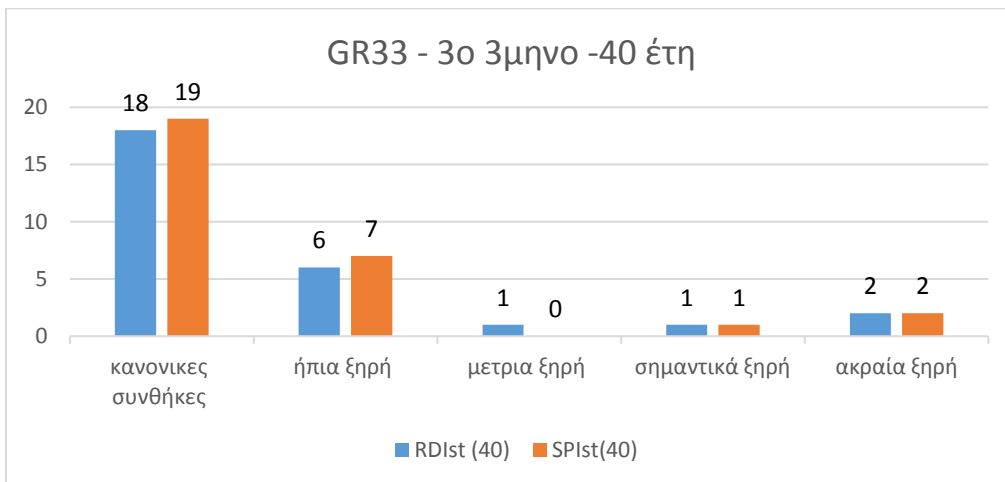
Σχήμα 144: Σύνολο των ετών κάθε κατηγορίας ξηρασίας των δεικτών RDI και SPI 40 ετών, για το 4ο τρίμηνο της λεκάνης GR31



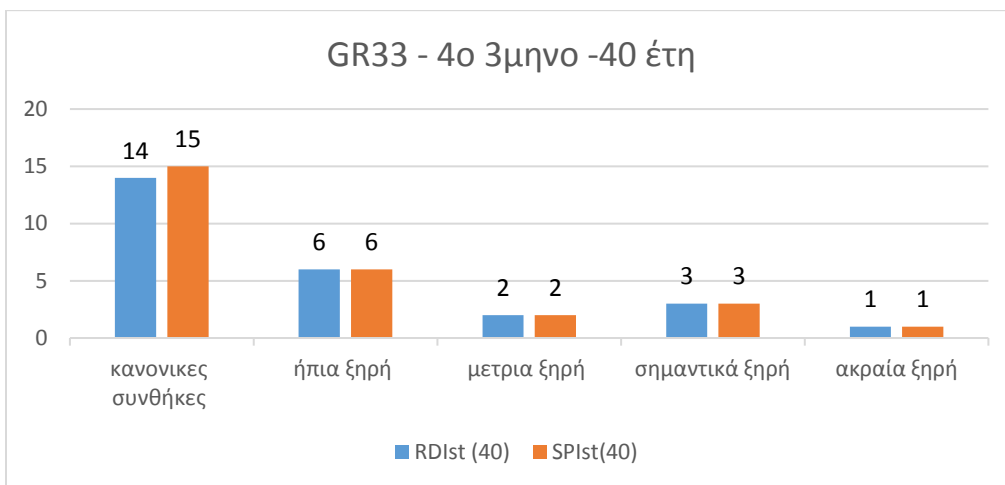
Σχήμα 145: Σύνολο των ετών κάθε κατηγορίας ξηρασίας των δεικτών RDI και SPI 40 ετών, για το 1ο τρίμηνο της λεκάνης GR33



Σχήμα 146: Σύνολο των ετών κάθε κατηγορίας ξηρασίας των δεικτών RDI και SPI 40 ετών, για το 2ο τρίμηνο της λεκάνης GR33

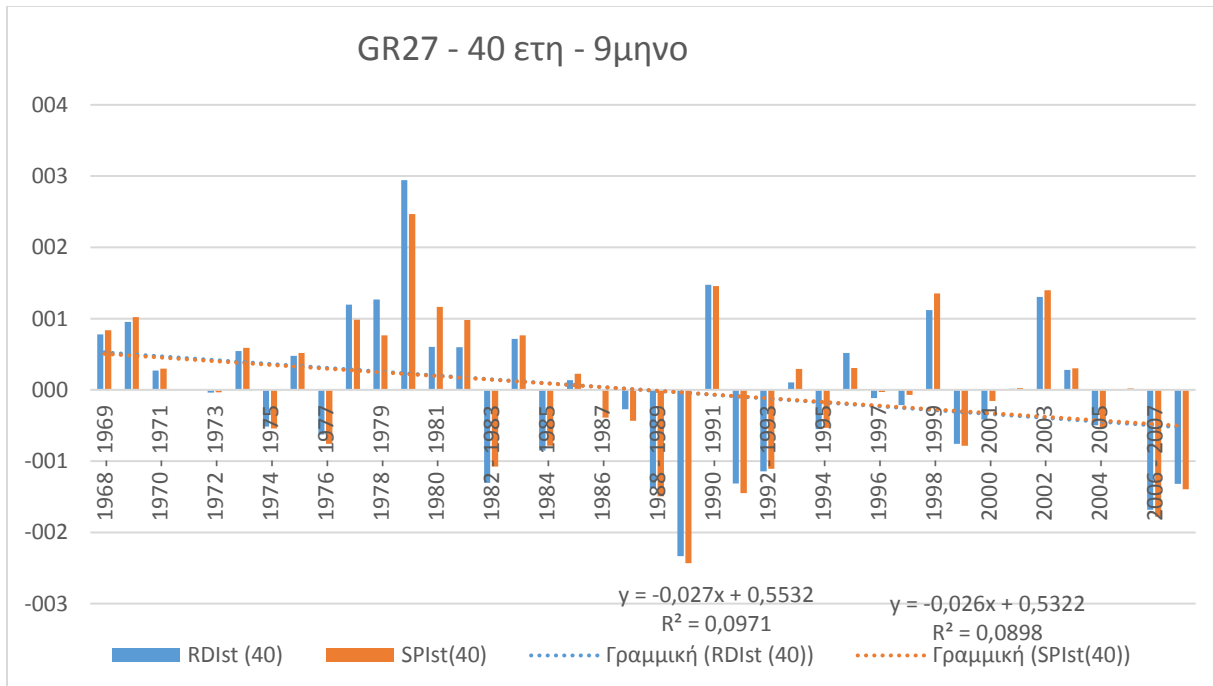


Σχήμα 147: Σύνολο των ετών κάθε κατηγορίας ξηρασίας των δεικτών RDI και SPI 40 ετών, για το 3ο τρίμηνο της λεκάνης GR33

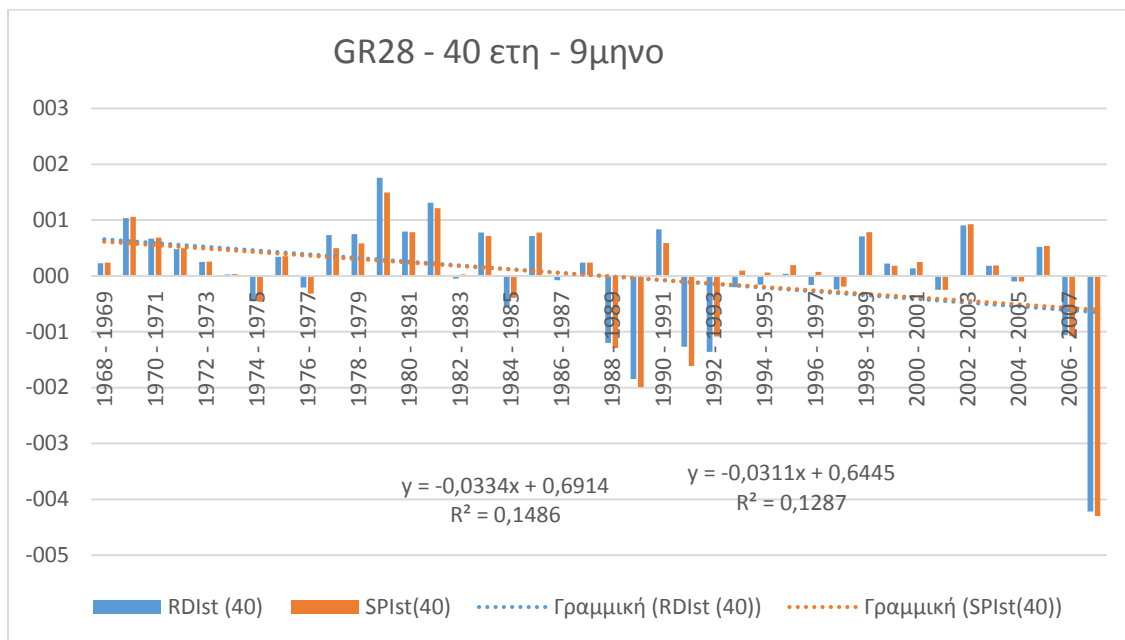


Σχήμα 148: Σύνολο των ετών κάθε κατηγορίας ξηρασίας των δεικτών RDI και SPI 40 ετών, για το 4ο τρίμηνο της λεκάνης GR33

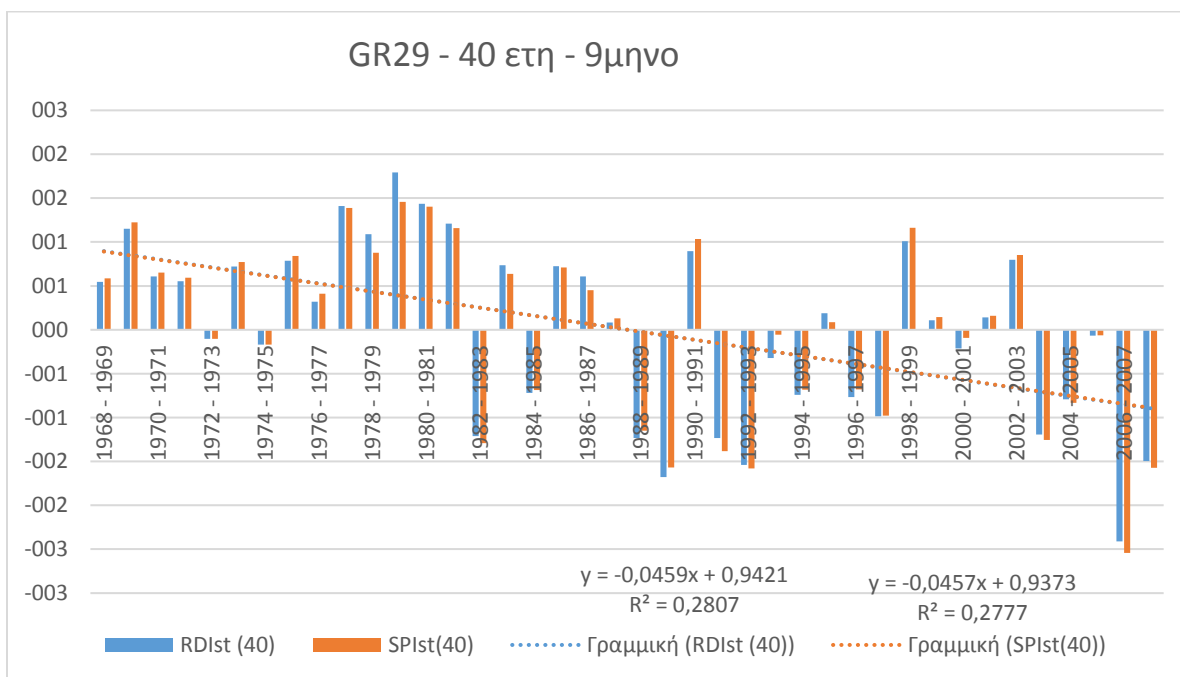
Διαγράμματα δεικτών RDI και SPI για το 9-μηνο



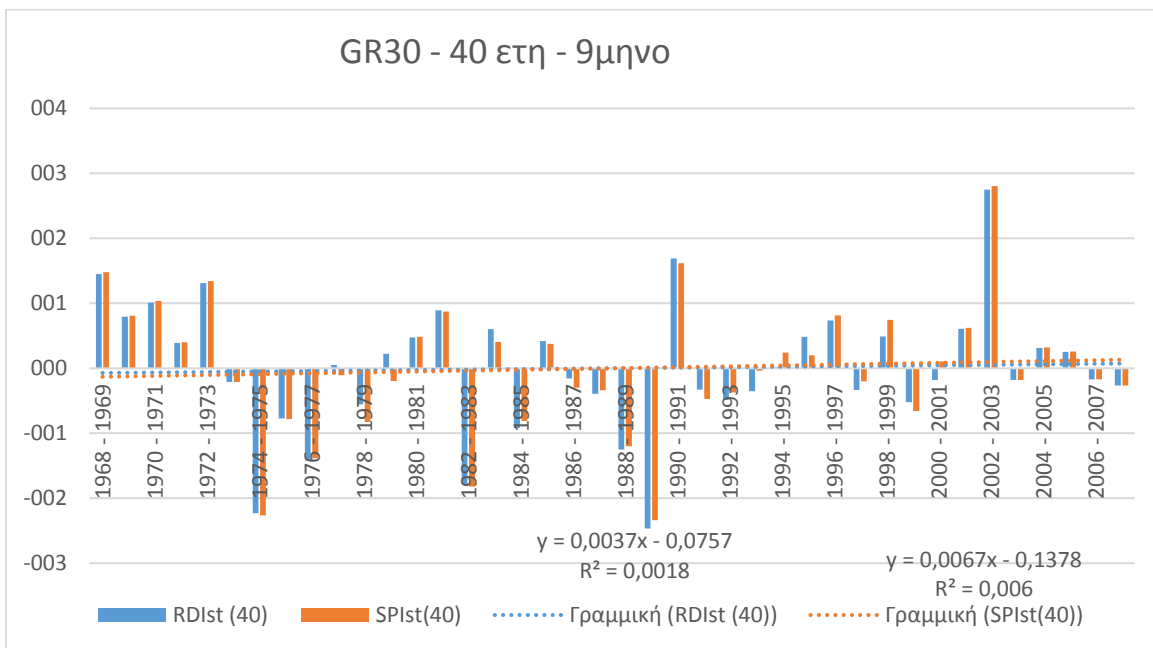
Σχήμα 149: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 40 ετών για το εννεάμηνο της λεκάνης GR27



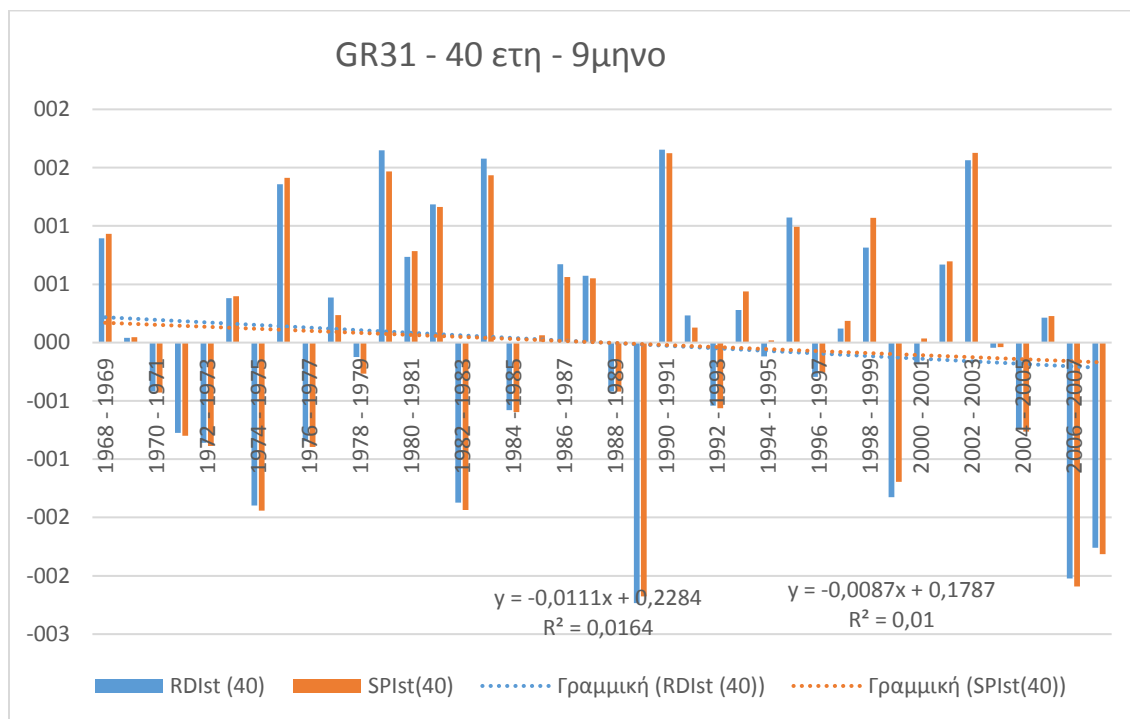
Σχήμα 150: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 40 ετών για το εννεάμηνο της λεκάνης GR28



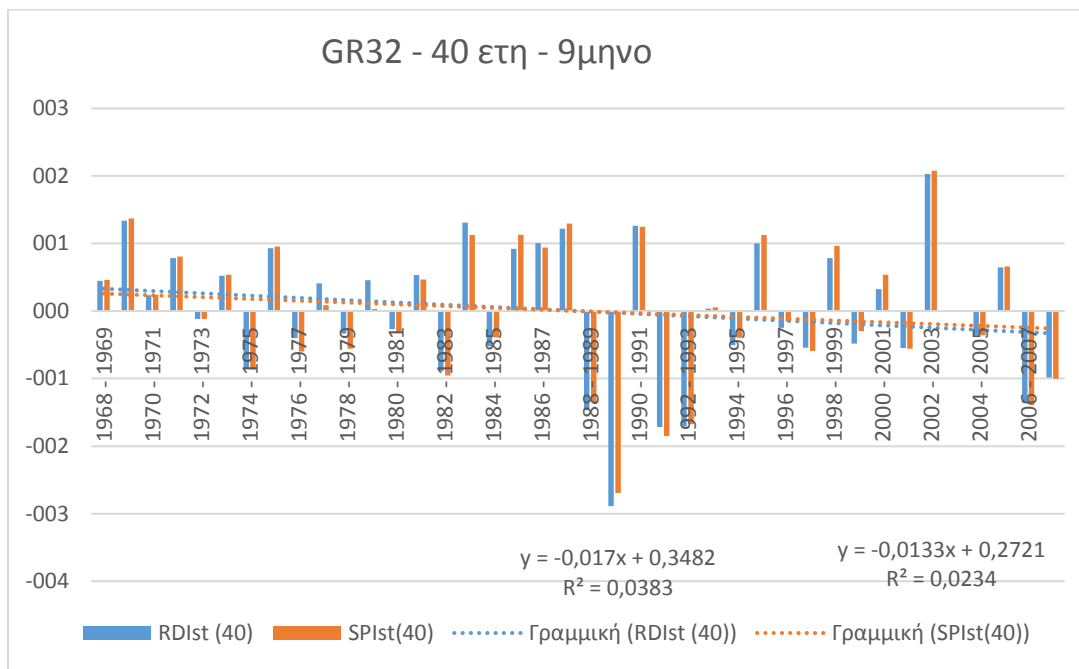
Σχήμα 151: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 40 ετών για το εννεάμηνο της λεκάνης GR29



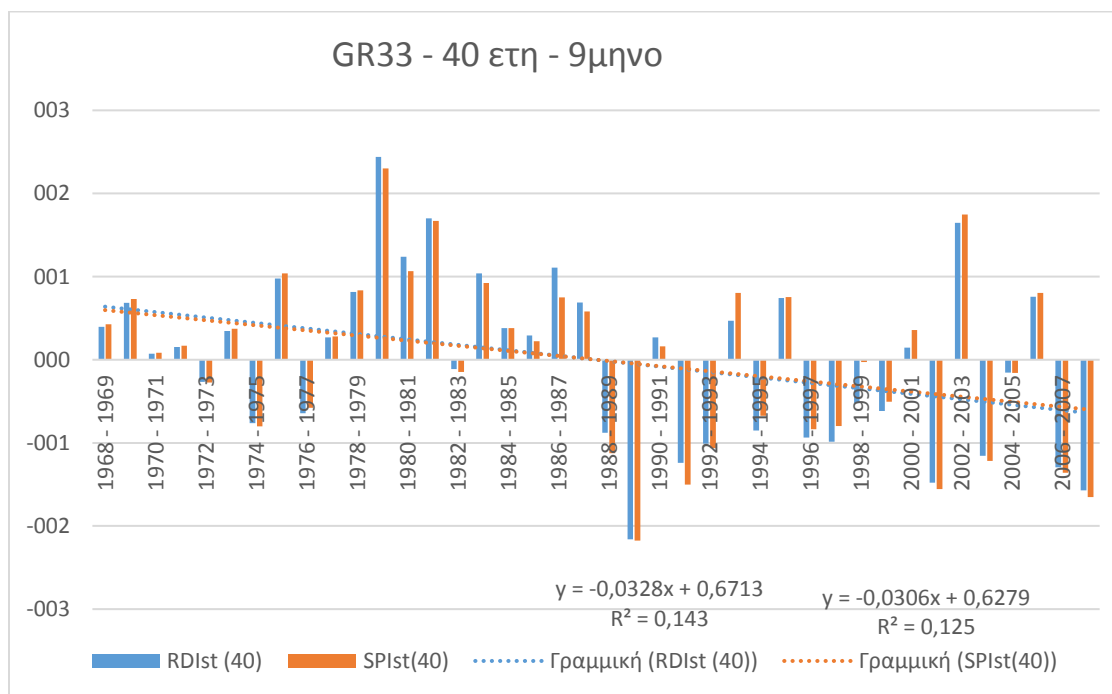
Σχήμα 152: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 40 ετών για το εννεάμηνο της λεκάνης GR30



Σχήμα 153: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 40 ετών για το εννεάμηνο της λεκάνης GR31

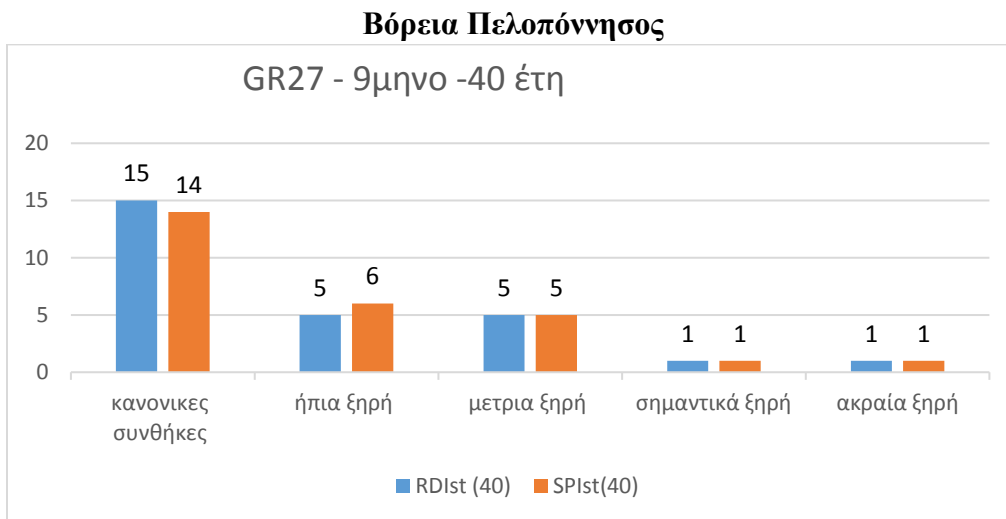


Σχήμα 154: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 40 ετών για το εννεάμηνο της λεκάνης GR32

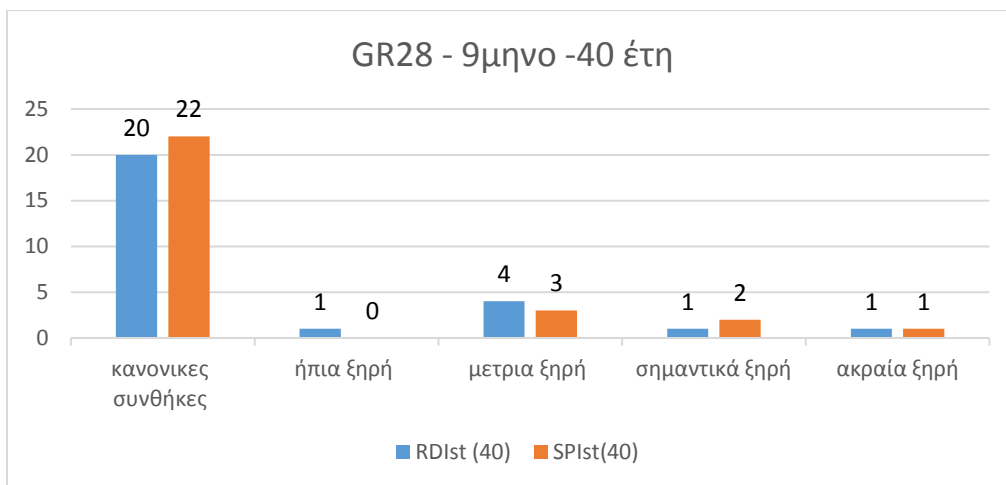


Σχήμα 155: Τιμές δείκτη RDI και SPI, 40 ετών για το εννεάμηνο της λεκάνης GR33

Διαγράμματα των δεικτών RDI και SPI με βάση τις κατηγορίες ξηρασίας για το 9-μηνο

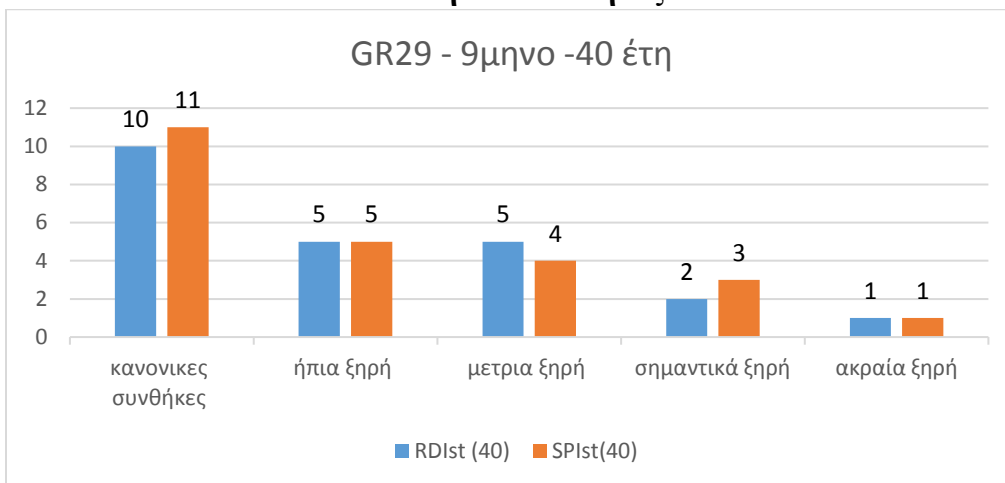


Σχήμα 156: Σύνολο των ετών κάθε κατηγορίας ξηρασίας των δεικτών RDI και SPI 40 ετών, για το εννεάμηνο της λεκάνης GR27

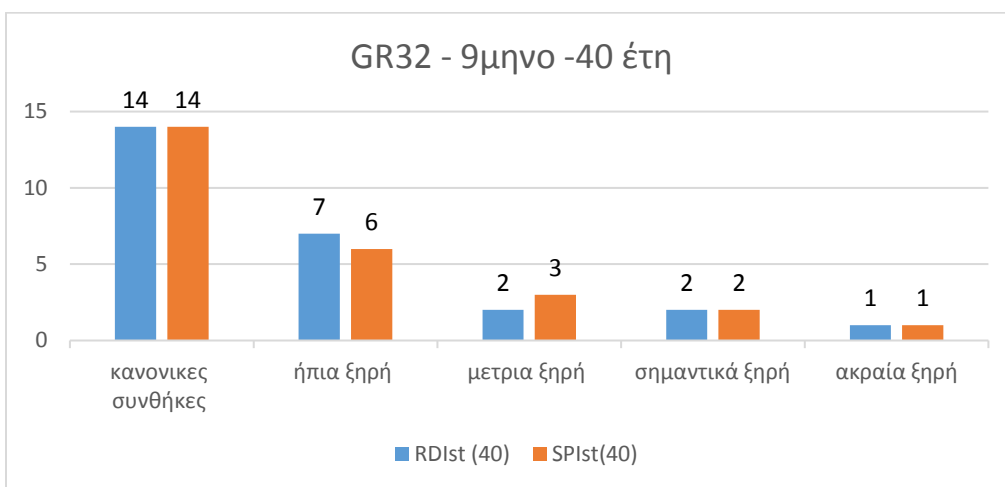


Σχήμα 157: Σύνολο των ετών κάθε κατηγορίας ξηρασίας των δεικτών RDI και SPI 40 ετών, για το εννεάμηνο της λεκάνης GR28

Δυτική Πελοπόννησος

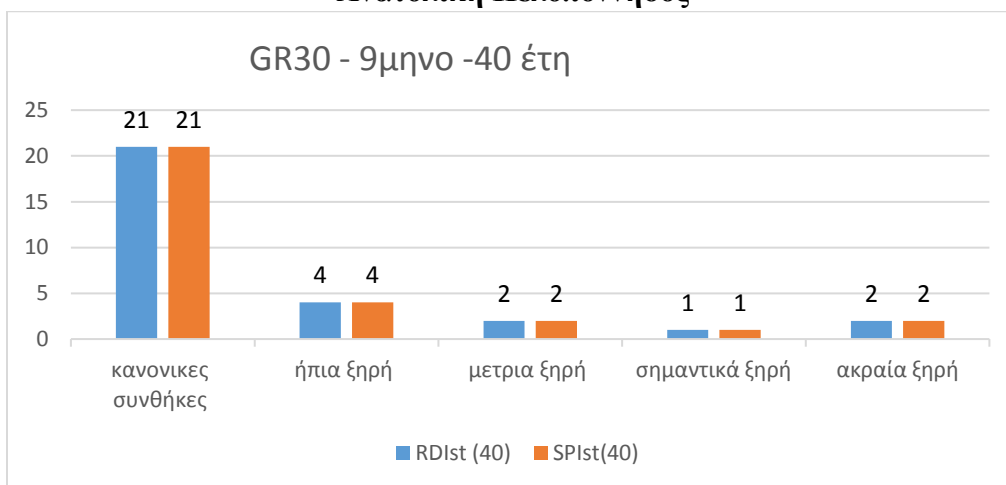


Σχήμα 158: Σύνολο των ετών κάθε κατηγορίας ξηρασίας των δεικτών RDI και SPI 40 ετών, για το εννεάμηνο της λεκάνης GR29

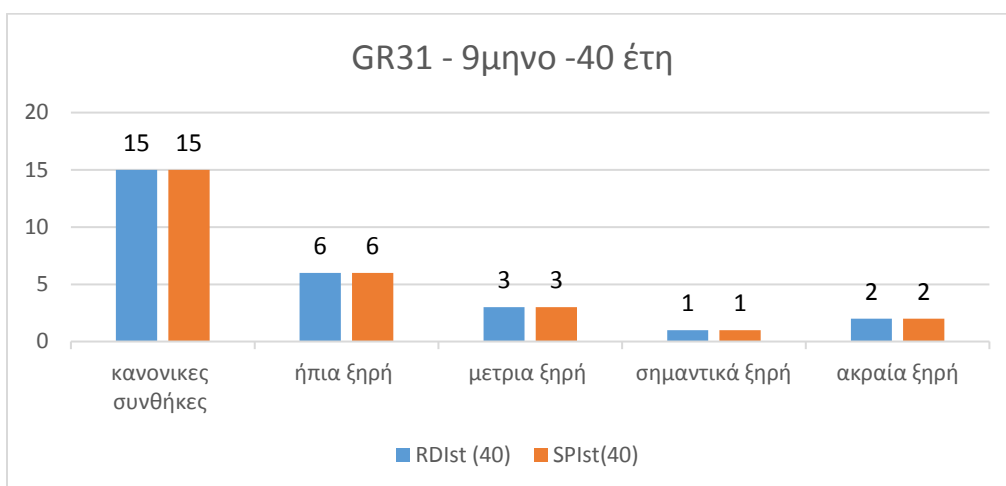


Σχήμα 159: Σύνολο των ετών κάθε κατηγορίας ξηρασίας των δεικτών RDI και SPI 40 ετών, για το εννεάμηνο της λεκάνης GR32

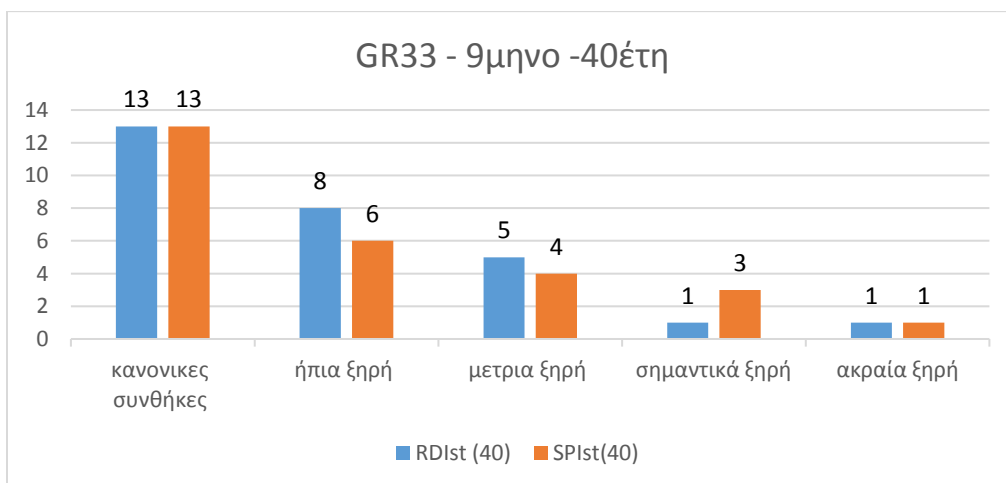
Ανατολική Πελοπόννησος



Σχήμα 160: Σύνολο των ετών κάθε κατηγορίας ξηρασίας των δεικτών RDI και SPI 40 ετών, για το εννεάμηνο της λεκάνης GR30

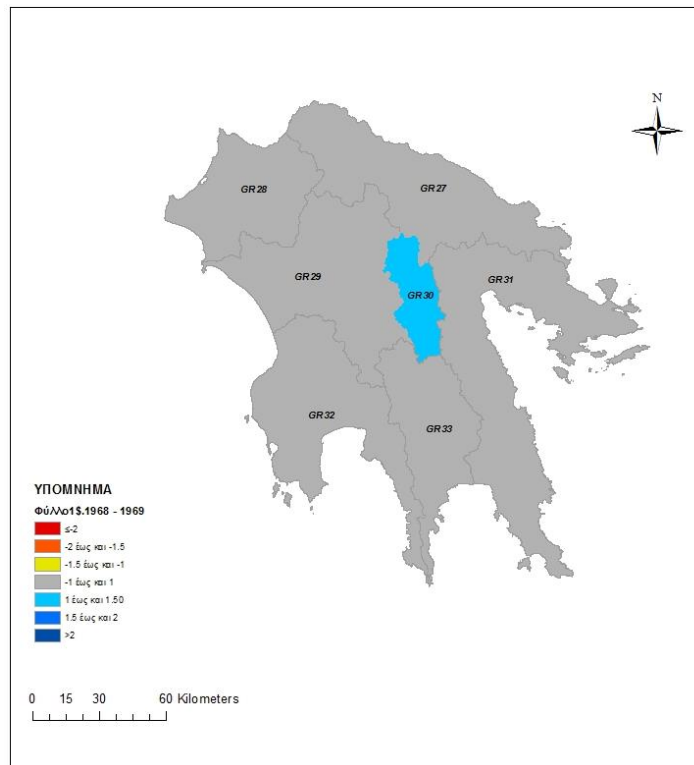


Σχήμα 161: Σύνολο των ετών κάθε κατηγορίας ξηρασίας των δεικτών RDI και SPI 40 ετών, για το εννεάμηνο της λεκάνης GR31

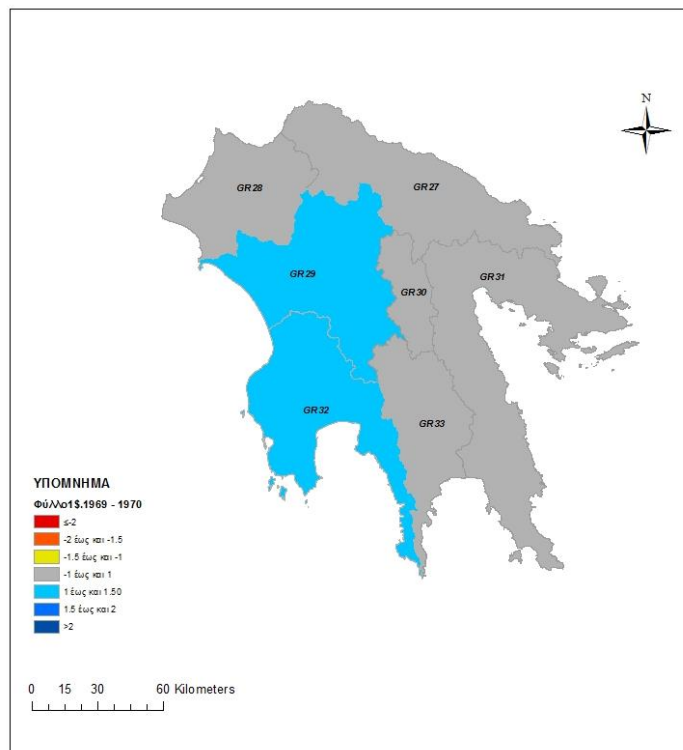


Σχήμα 162: Σύνολο των ετών κάθε κατηγορίας ξηρασίας των δεικτών RDI και SPI 40 ετών, για το εννεάμηνο της λεκάνης GR33

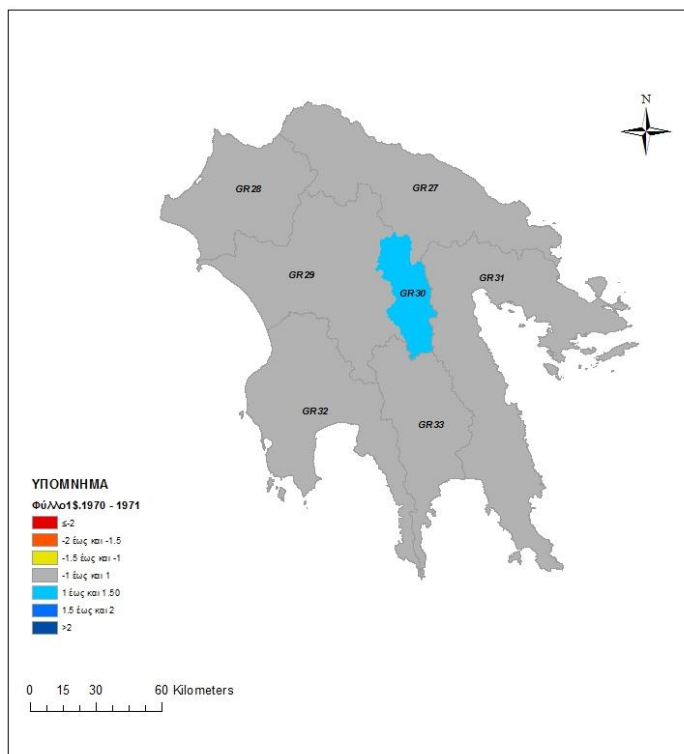
Χωρική απεικόνιση του δείκτη RDI για κάθε έτος



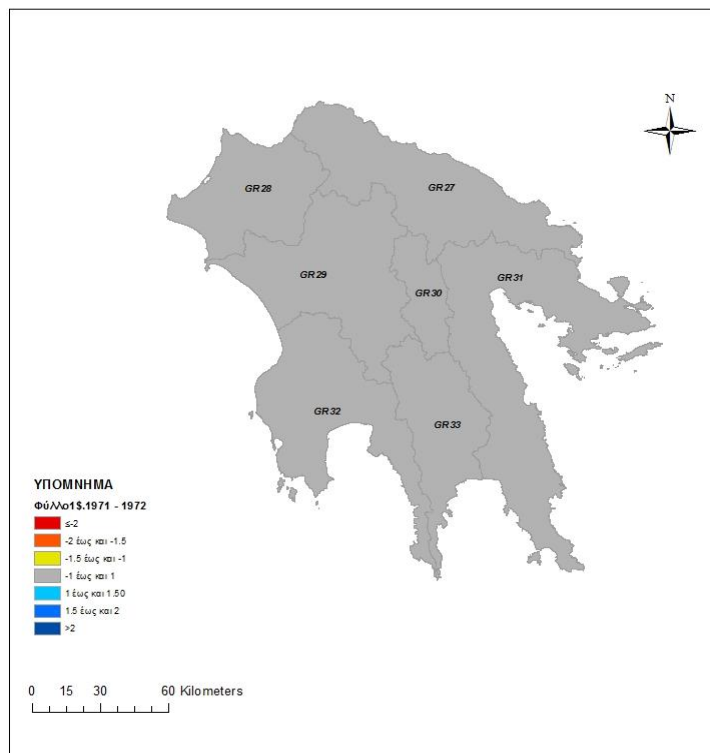
Εικόνα 11: Θεματικός χάρτης απόδοσης κατηγοριών ξηρασίας/υγρασίας του έτους 68-69



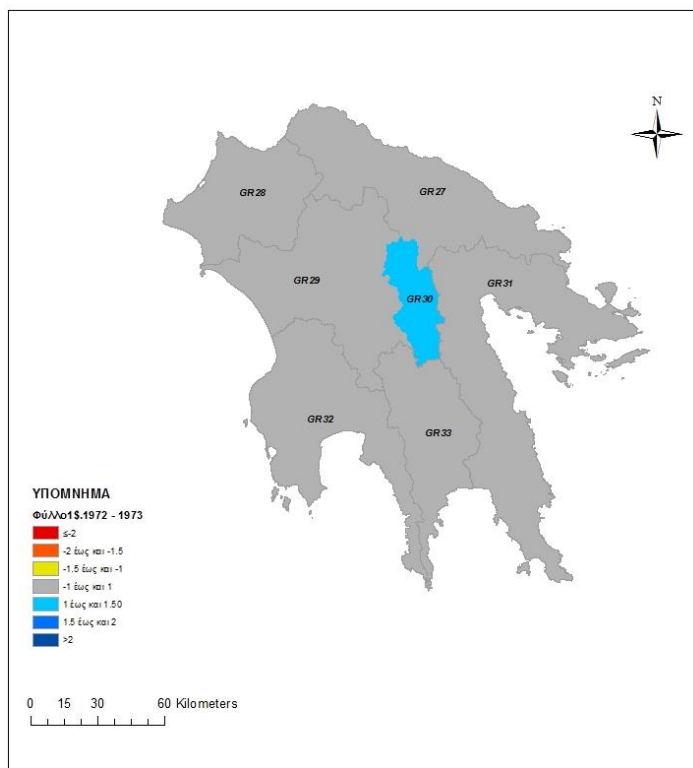
Εικόνα 12: Θεματικός χάρτης απόδοσης κατηγοριών ξηρασίας/υγρασίας, του έτους 69-70



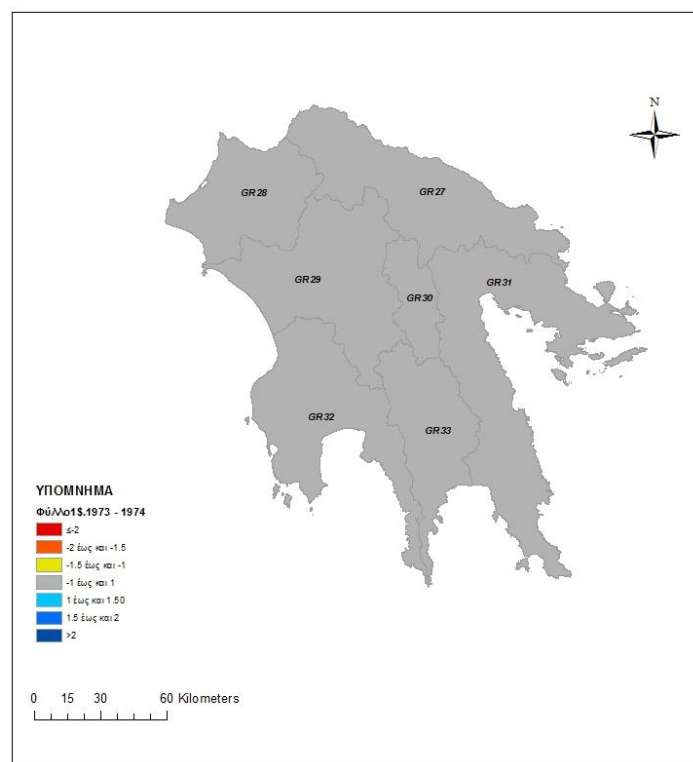
Εικόνα 13: Θεματικός χάρτης απόδοσης κατηγοριών ξηρασίας/υγρασίας, του έτους 70-71



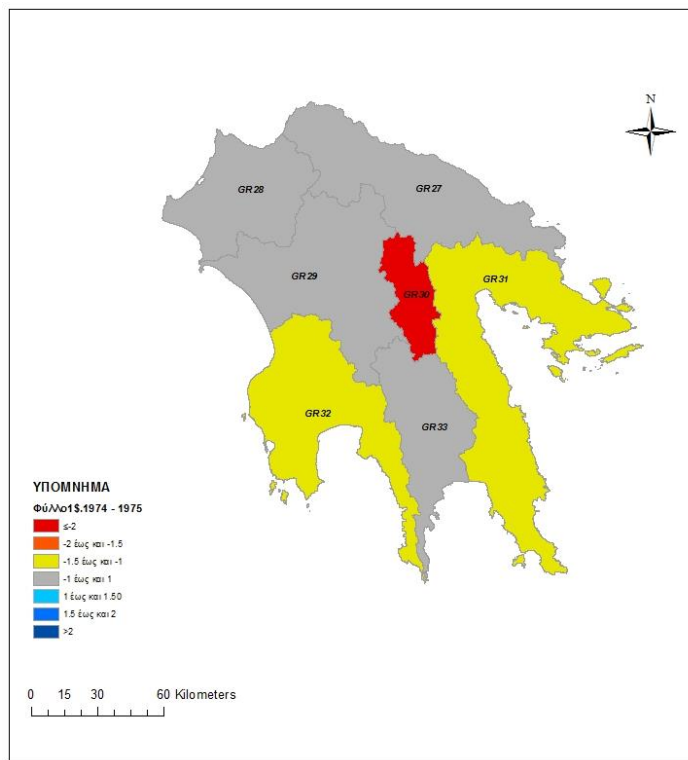
Εικόνα 14: Θεματικός χάρτης απόδοσης κατηγοριών ξηρασίας/υγρασίας, του έτους 71-72



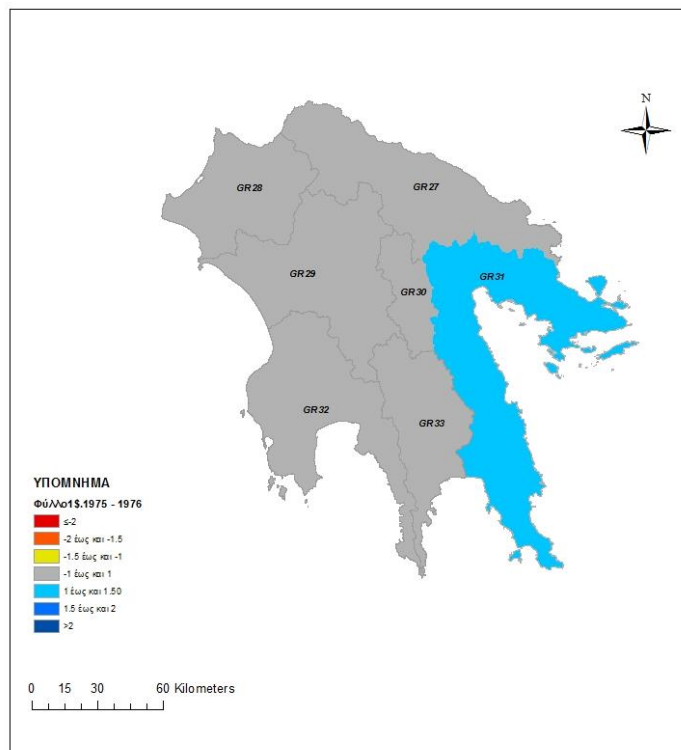
Εικόνα 15: Θεματικός χάρτης απόδοσης κατηγοριών ξηρασίας/υγρασίας, του έτους 72-73



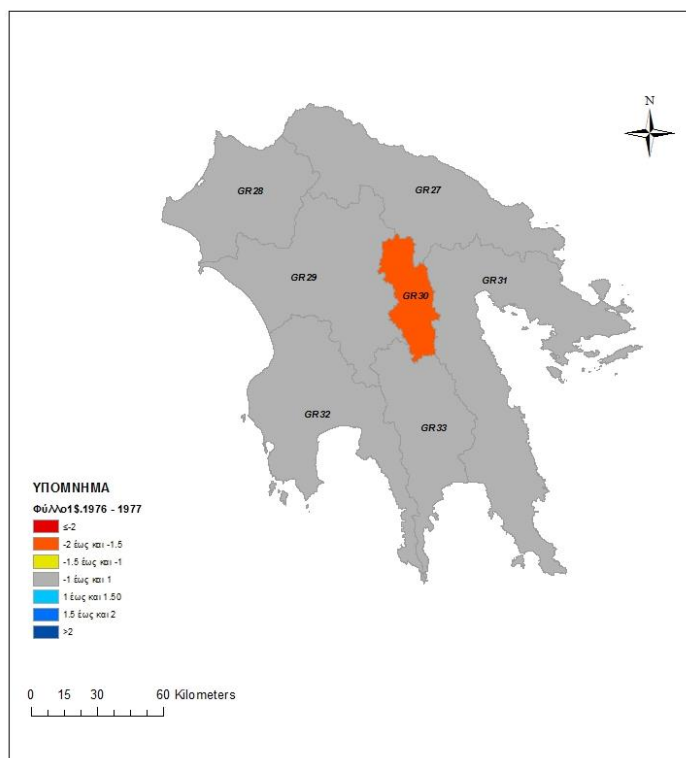
Εικόνα 16: Θεματικός χάρτης απόδοσης κατηγοριών ξηρασίας/υγρασίας, του έτους 73-74



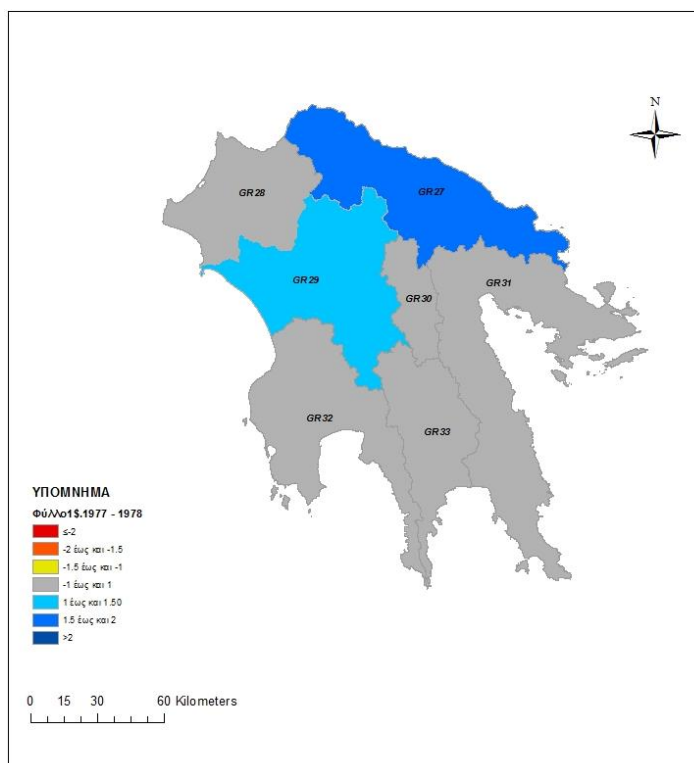
Εικόνα 17: Θεματικός χάρτης απόδοσης κατηγοριών ξηρασίας/υγρασίας, του έτους 74-75



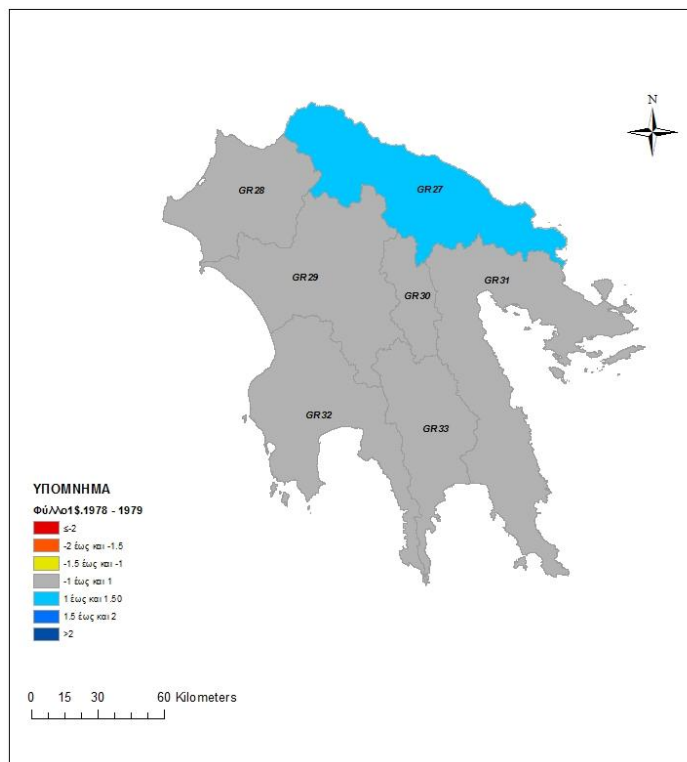
Εικόνα 18: Θεματικός χάρτης απόδοσης κατηγοριών ξηρασίας/υγρασίας, του έτους 75-76



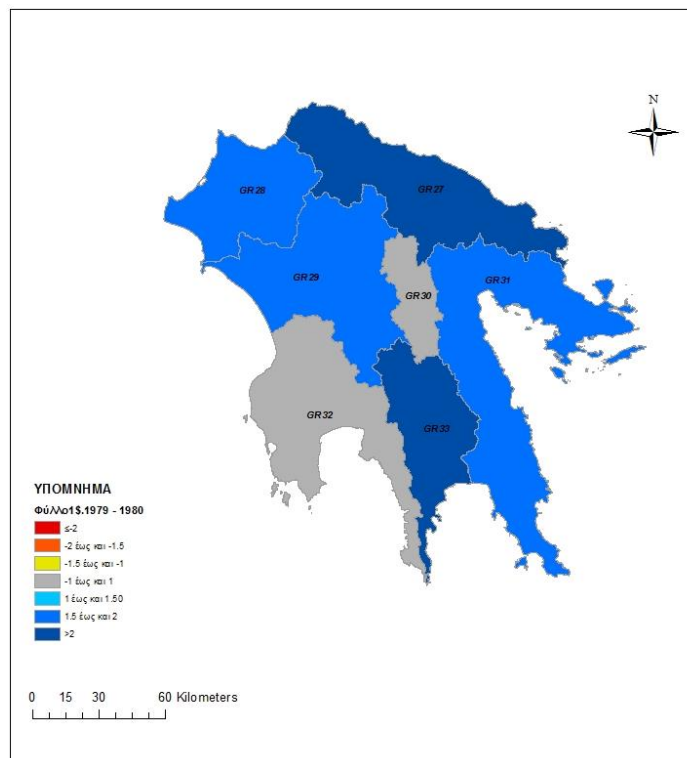
Εικόνα 19: Θεματικός χάρτης απόδοσης κατηγοριών ξηρασίας/υγρασίας, του έτους 76-77



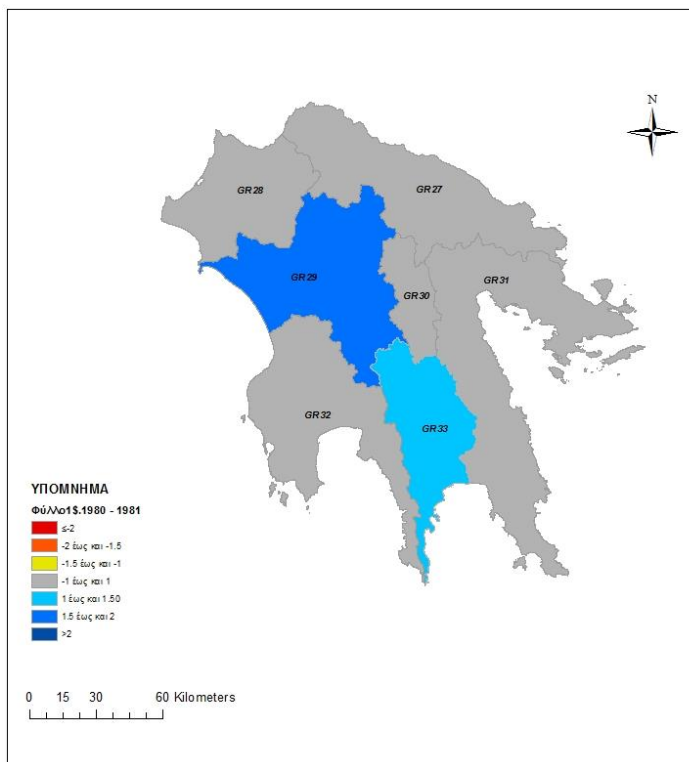
Εικόνα 20: Θεματικός χάρτης απόδοσης κατηγοριών ξηρασίας/υγρασίας, του έτους 77-78



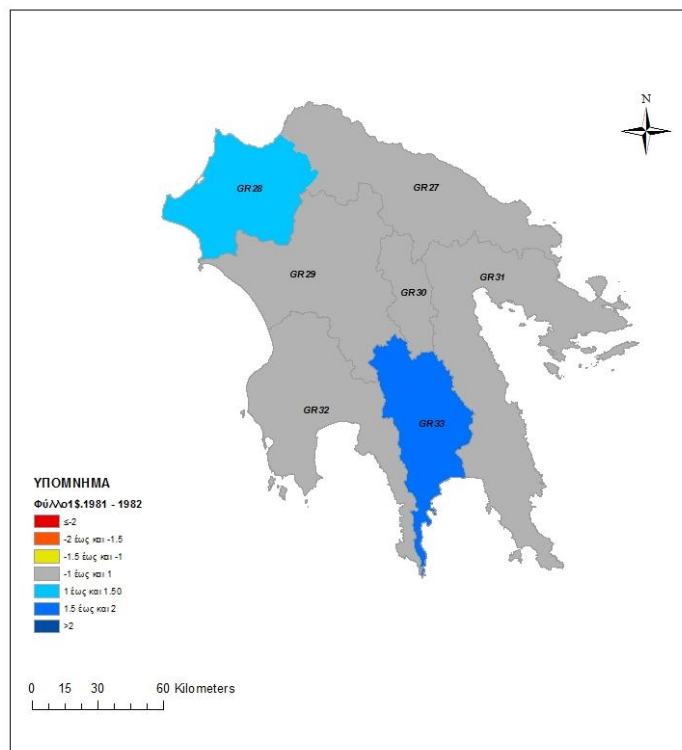
Εικόνα 21: Θεματικός χάρτης απόδοσης κατηγοριών ξηρασίας/υγρασίας, του έτους 78-79



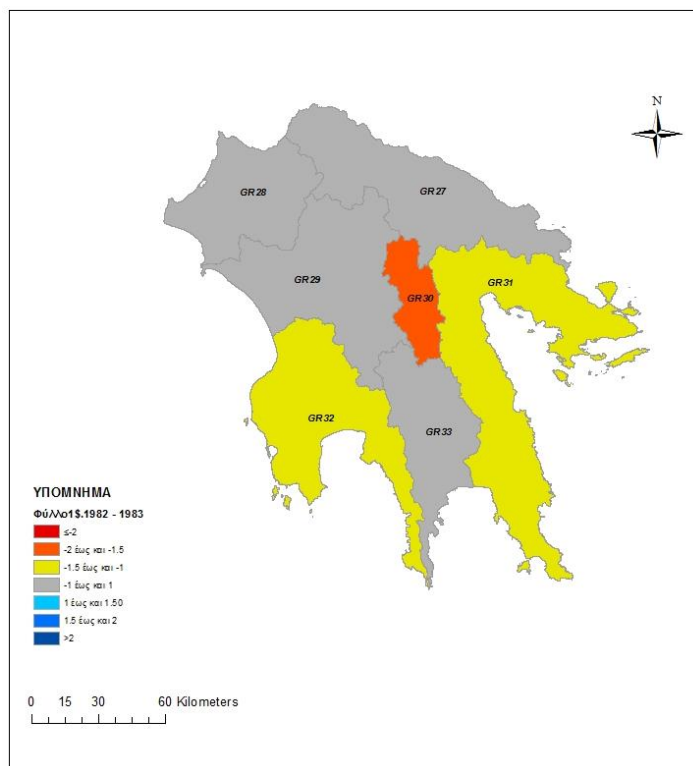
Εικόνα 22: Θεματικός χάρτης απόδοσης κατηγοριών ξηρασίας/υγρασίας, του έτους 79-80



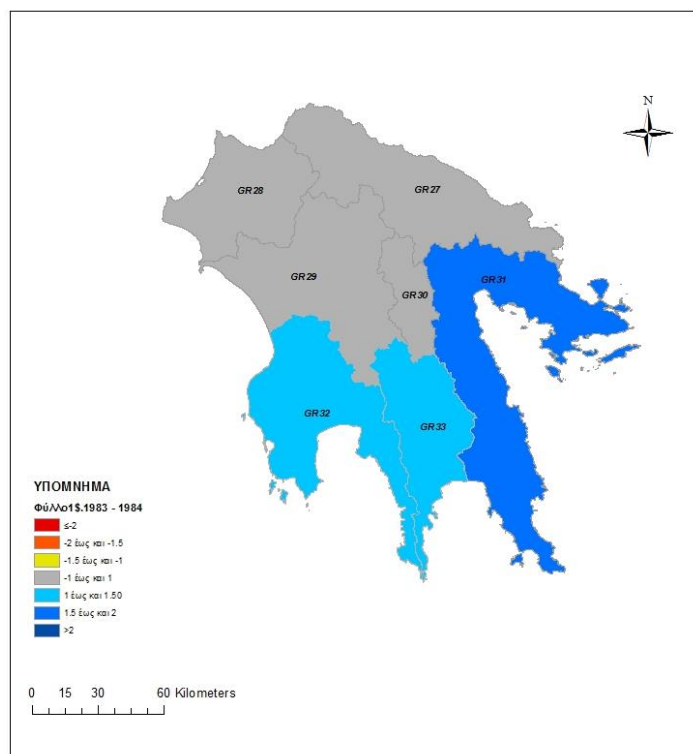
Εικόνα 23: Θεματικός χάρτης απόδοσης κατηγοριών ξηρασίας/υγρασίας, του έτους 80-81



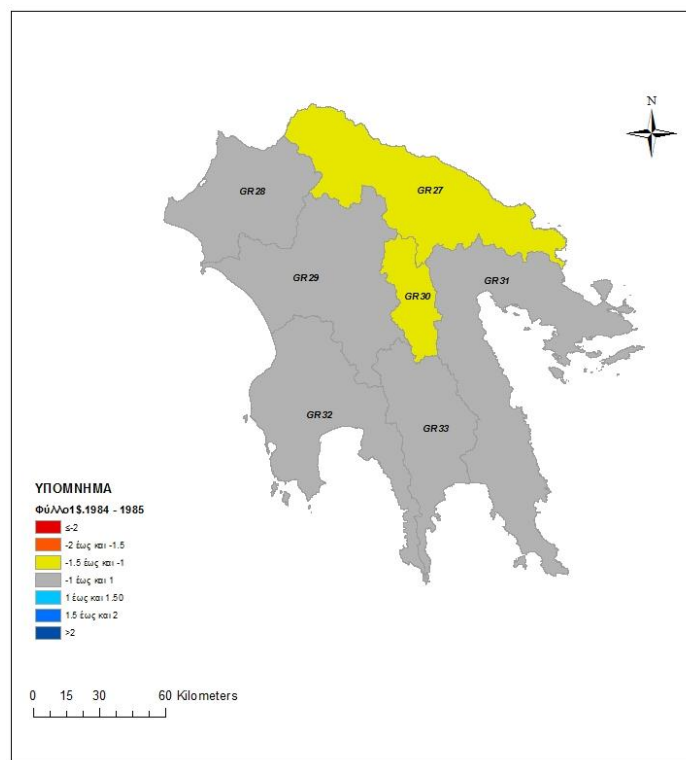
Εικόνα 24: Θεματικός χάρτης απόδοσης κατηγοριών ξηρασίας/υγρασίας, του έτους 81-82



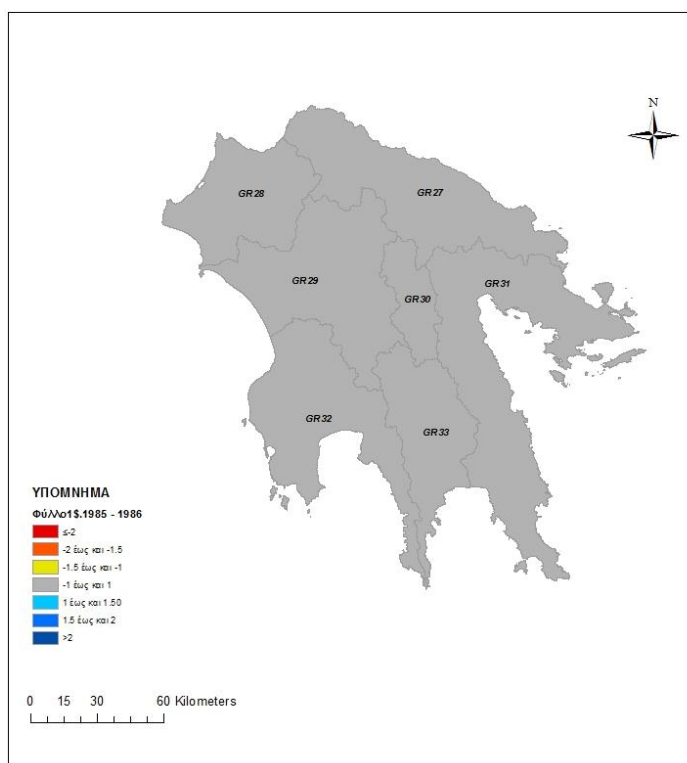
Εικόνα 25: Θεματικός χάρτης απόδοσης κατηγοριών ξηρασίας/υγρασίας, του έτους 82-83



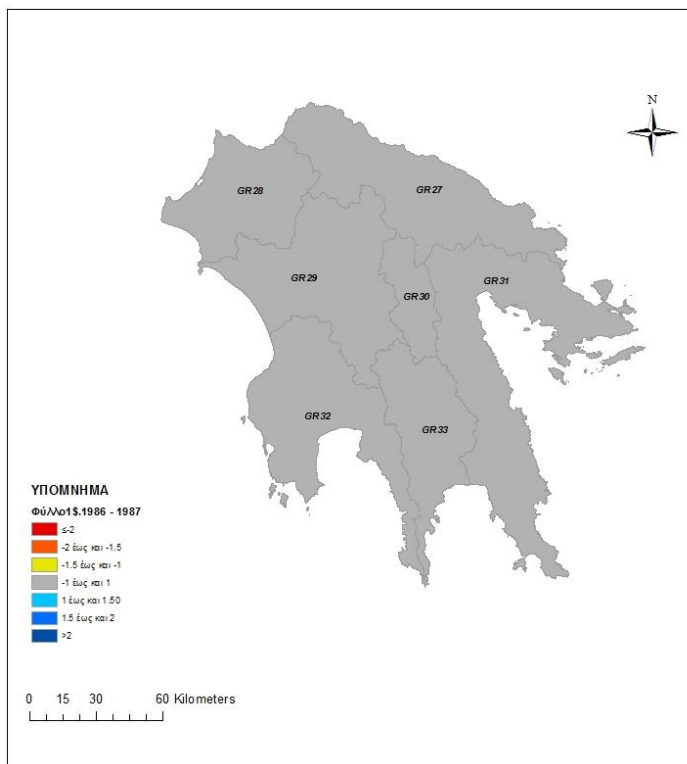
Εικόνα 26: Θεματικός χάρτης απόδοσης κατηγοριών ξηρασίας/υγρασίας, του έτους 83-84



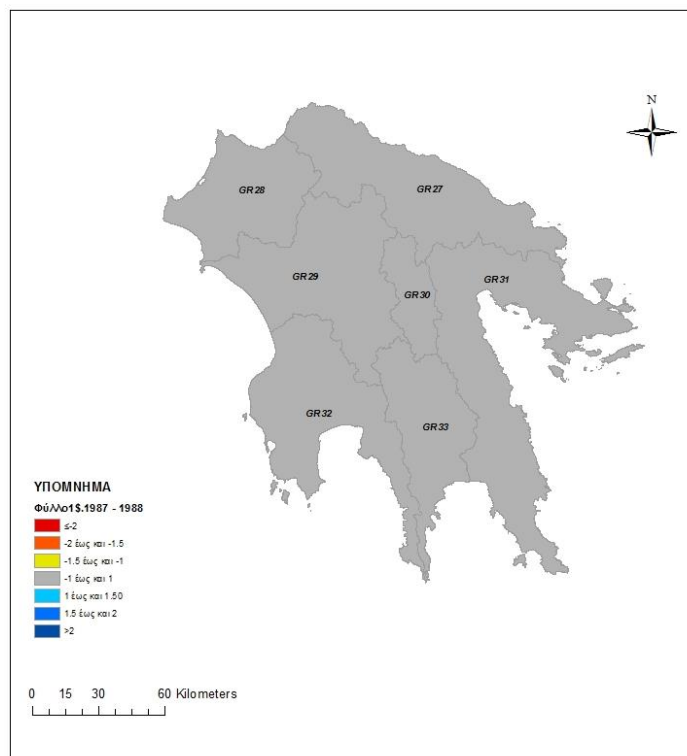
Εικόνα 27: Θεματικός χάρτης απόδοσης κατηγοριών ξηρασίας/υγρασίας, του έτους 84-85



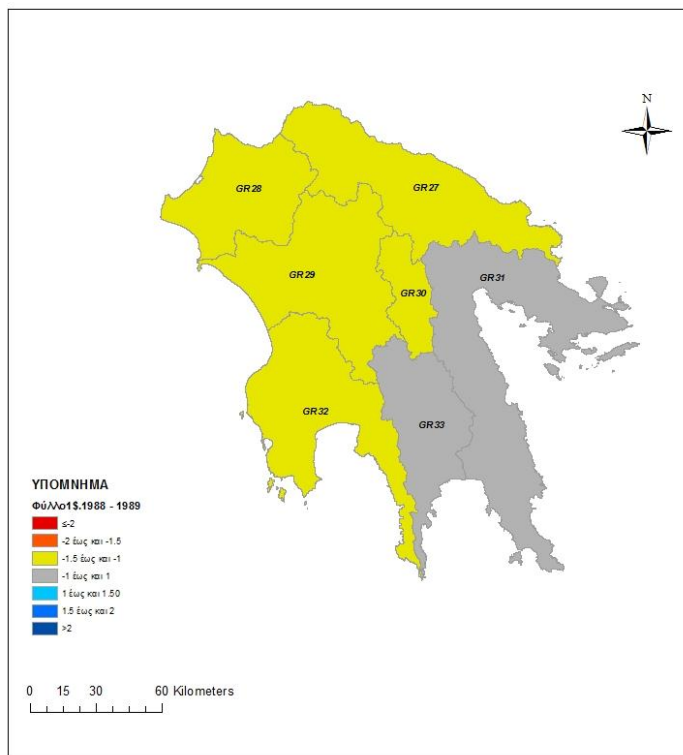
Εικόνα 28: Θεματικός χάρτης απόδοσης κατηγοριών ξηρασίας/υγρασίας, του έτους 85-86



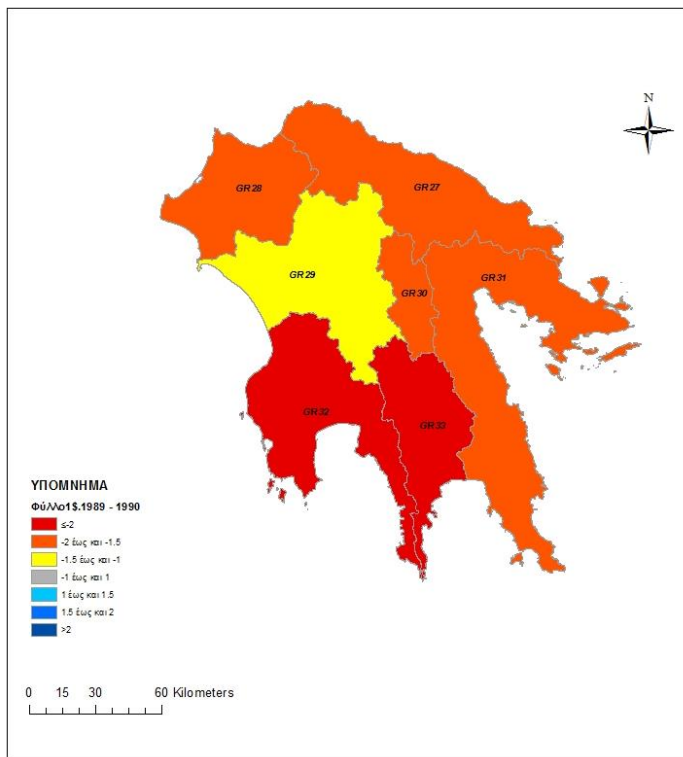
Εικόνα 29: Θεματικός χάρτης απόδοσης κατηγοριών ξηρασίας/υγρασίας, του έτους 86-87



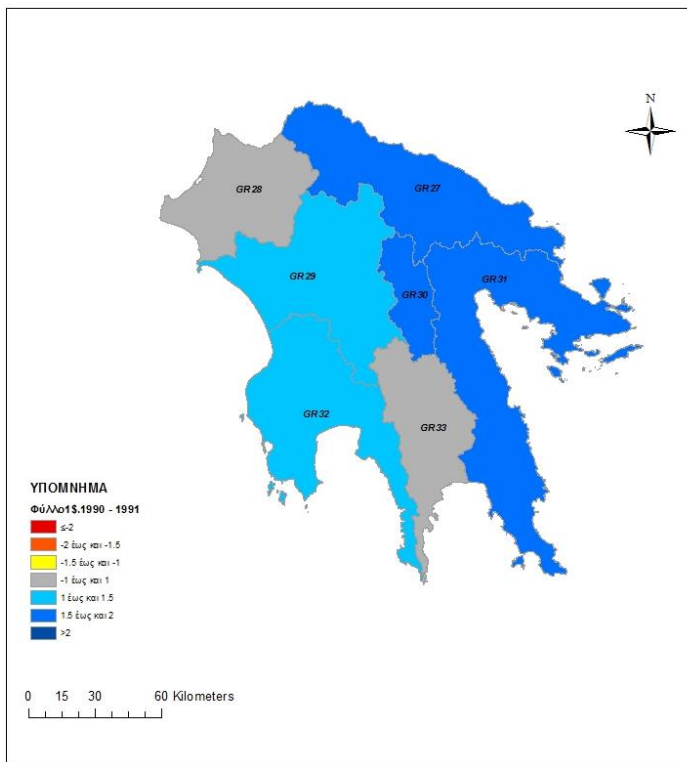
Εικόνα 30: Θεματικός χάρτης απόδοσης κατηγοριών ξηρασίας/υγρασίας, του έτους 87-88



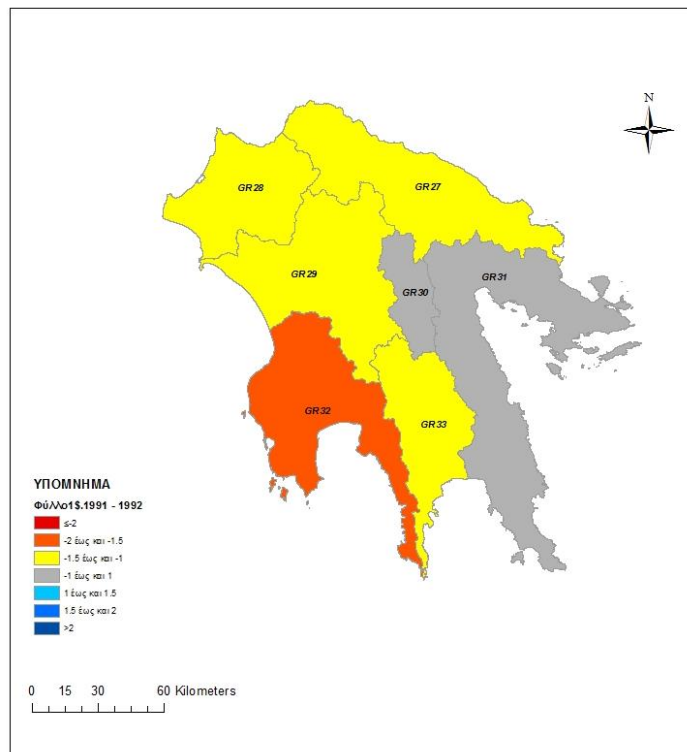
Εικόνα 31: Θεματικός χάρτης απόδοσης κατηγοριών ξηρασίας/υγρασίας, του έτους 88-89



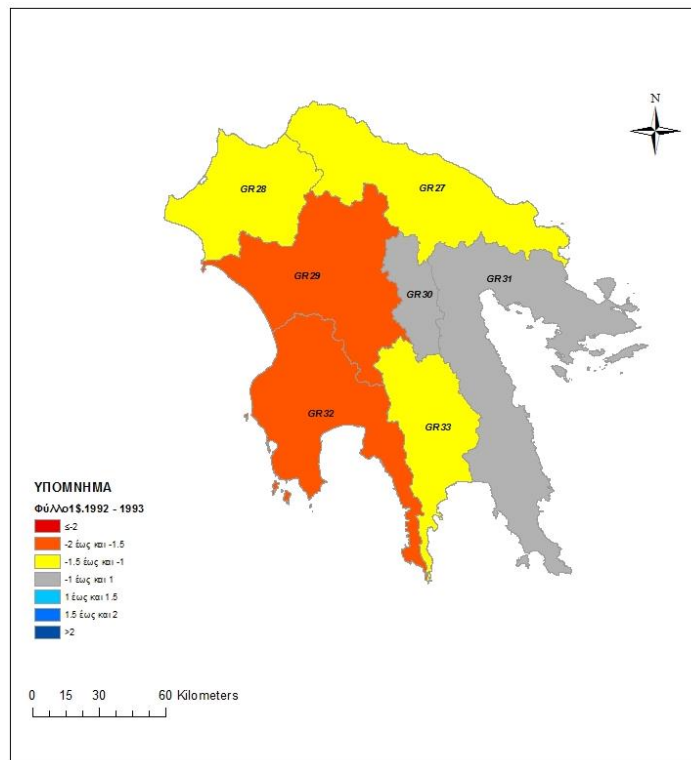
Εικόνα 32: Θεματικός χάρτης απόδοσης κατηγοριών ξηρασίας/υγρασίας, του έτους 89-90



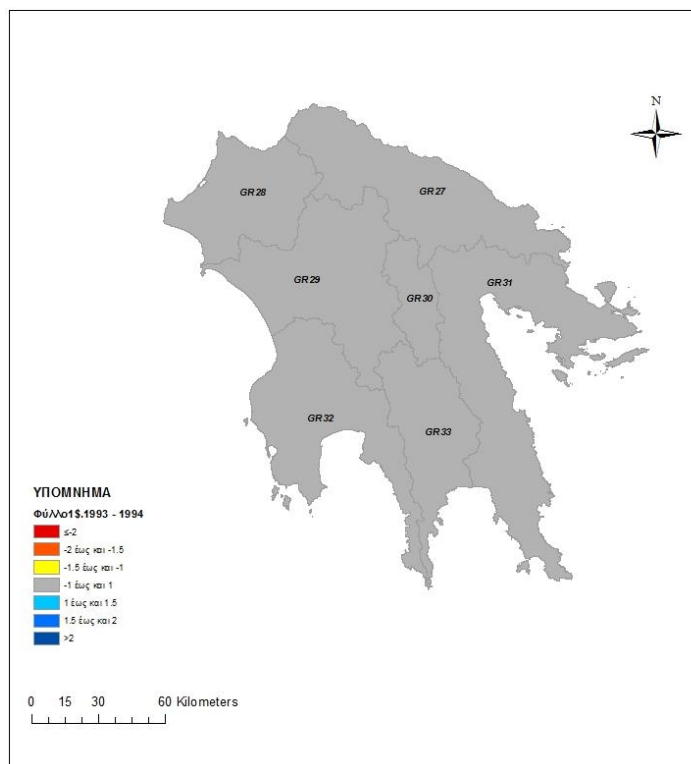
Εικόνα 33: Θεματικός χάρτης απόδοσης κατηγοριών ξηρασίας/υγρασίας, του έτους 90-91



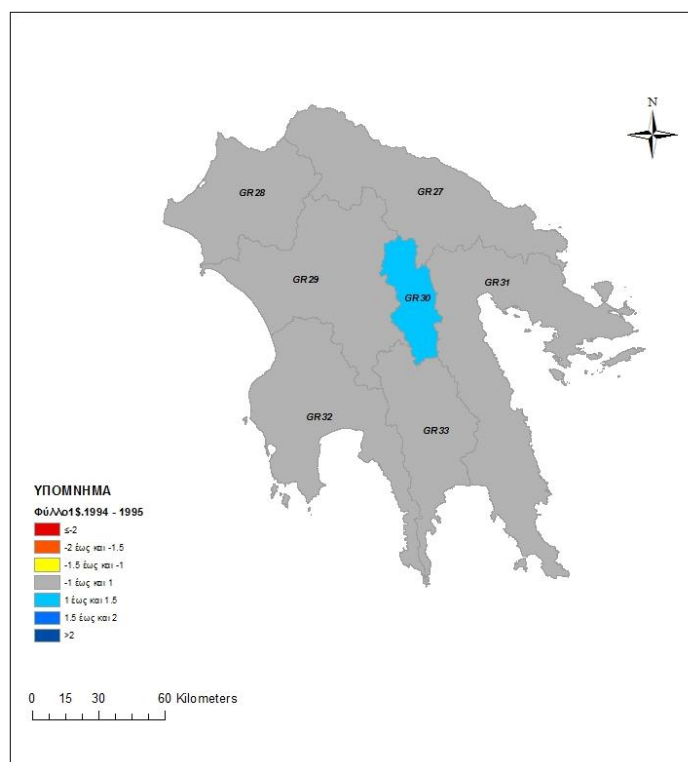
Εικόνα 34: Θεματικός χάρτης απόδοσης κατηγοριών ξηρασίας/υγρασίας, του έτους 91-92



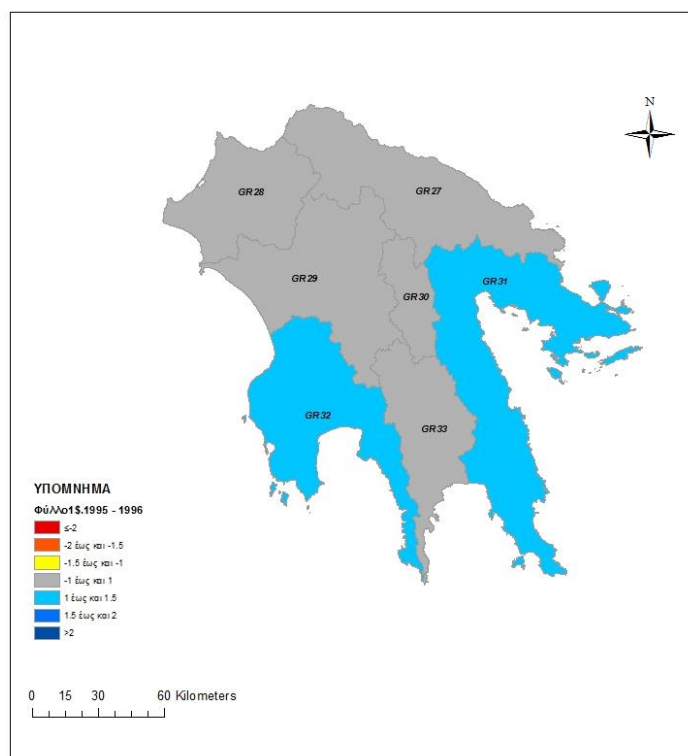
Εικόνα 35: Θεματικός χάρτης απόδοσης κατηγοριών ξηρασίας/υγρασίας, του έτους 92-93



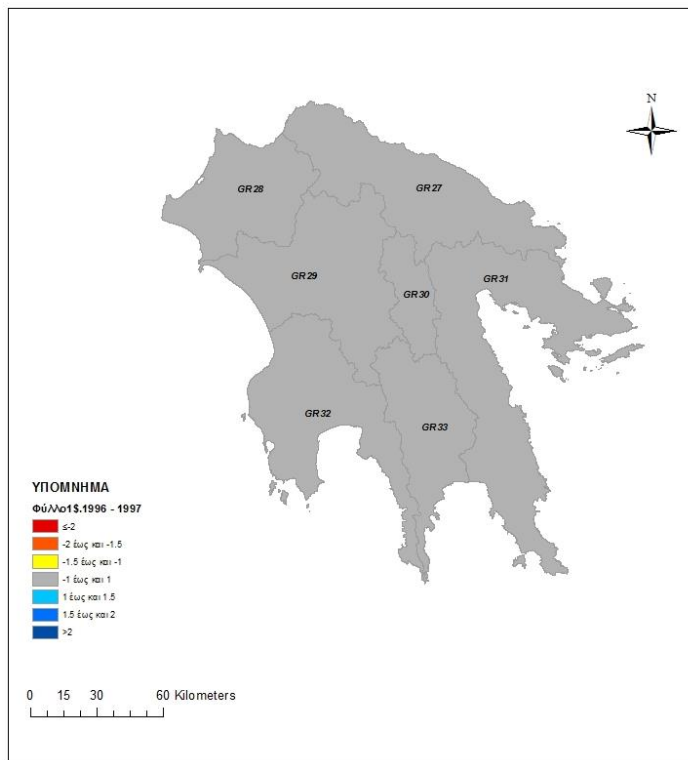
Εικόνα 36: Θεματικός χάρτης απόδοσης κατηγοριών ξηρασίας/υγρασίας, του έτους 93-94



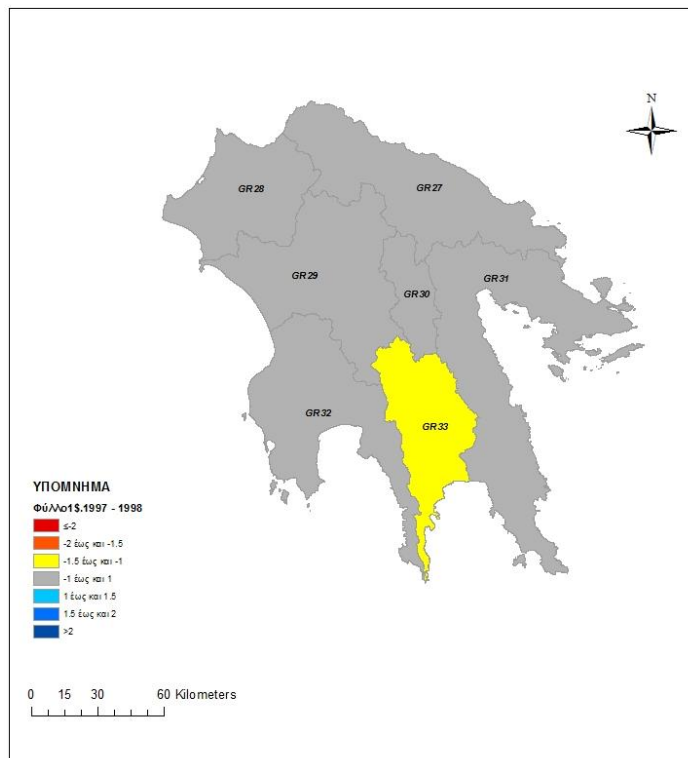
Εικόνα 37: Θεματικός χάρτης απόδοσης κατηγοριών ξηρασίας/υγρασίας, του έτους 94-95



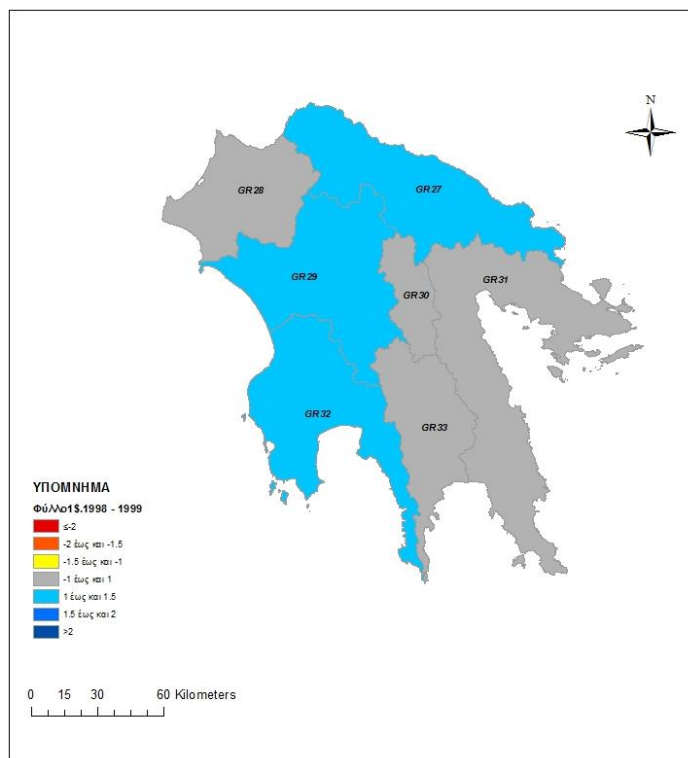
Εικόνα 38: Θεματικός χάρτης απόδοσης κατηγοριών ξηρασίας/υγρασίας, του έτους 95-96



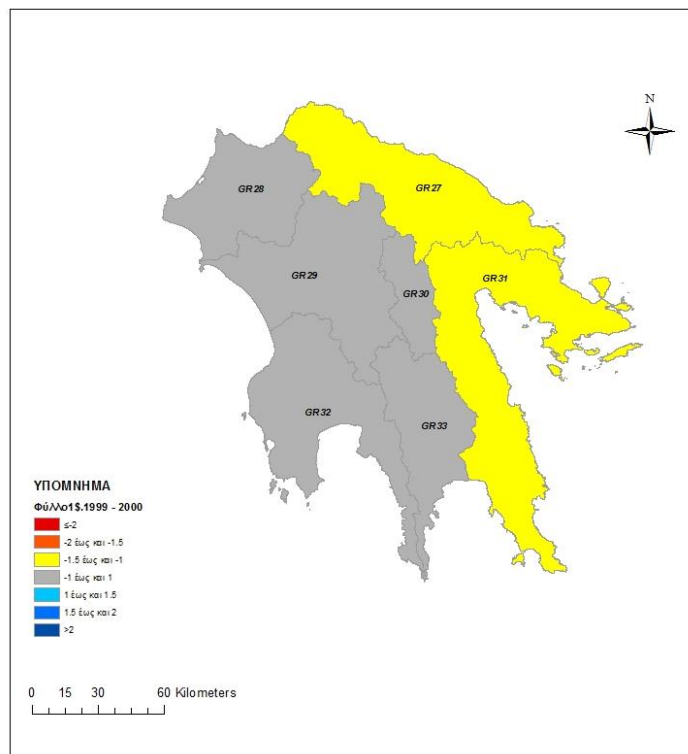
Εικόνα 39: Θεματικός χάρτης απόδοσης κατηγοριών ξηρασίας/υγρασίας, του έτους 96-97



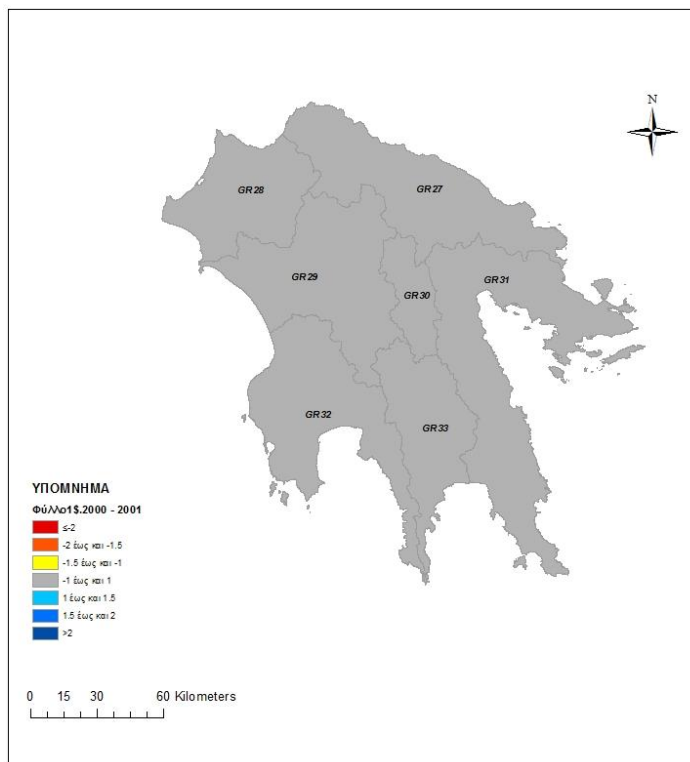
Εικόνα 40: Θεματικός χάρτης απόδοσης κατηγοριών ξηρασίας/υγρασίας, του έτους 97-98



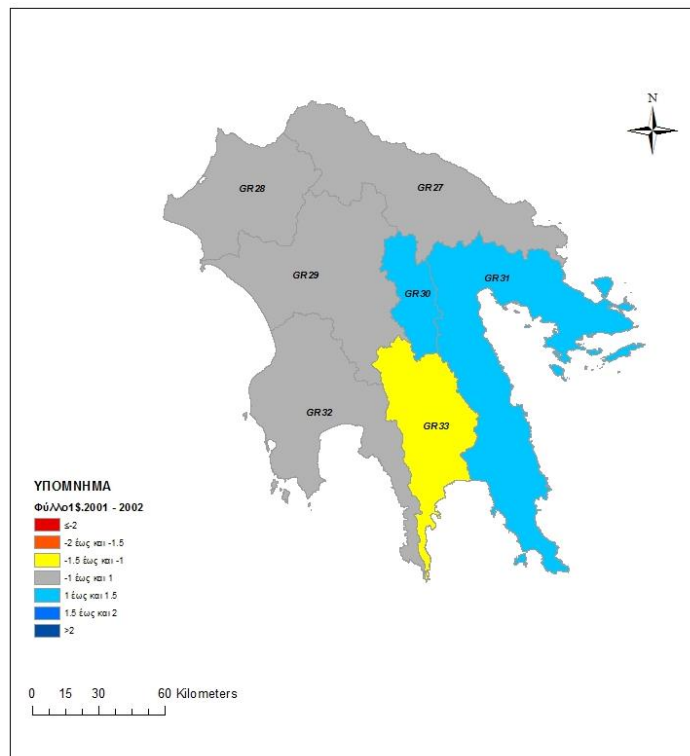
Εικόνα 41: Θεματικός χάρτης απόδοσης κατηγοριών ξηρασίας/υγρασίας, του έτους 98-99



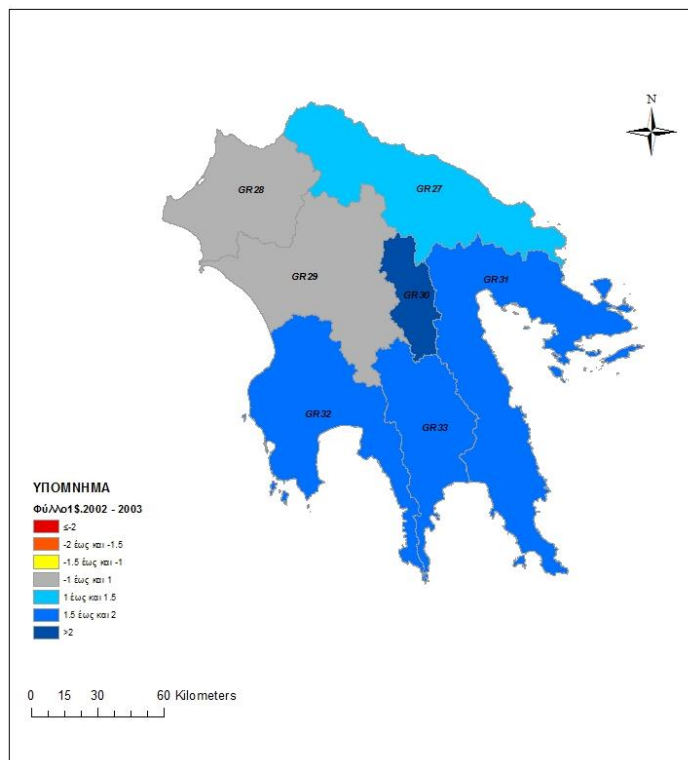
Εικόνα 42: Θεματικός χάρτης απόδοσης κατηγοριών ξηρασίας/υγρασίας, του έτους 99-00



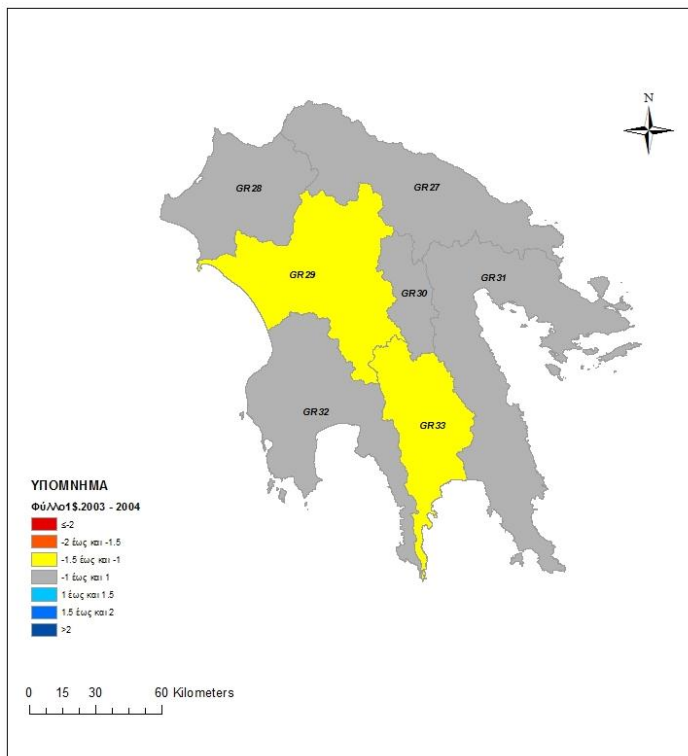
Εικόνα 43: Θεματικός χάρτης απόδοσης κατηγοριών ξηρασίας/υγρασίας, του έτους 00-01



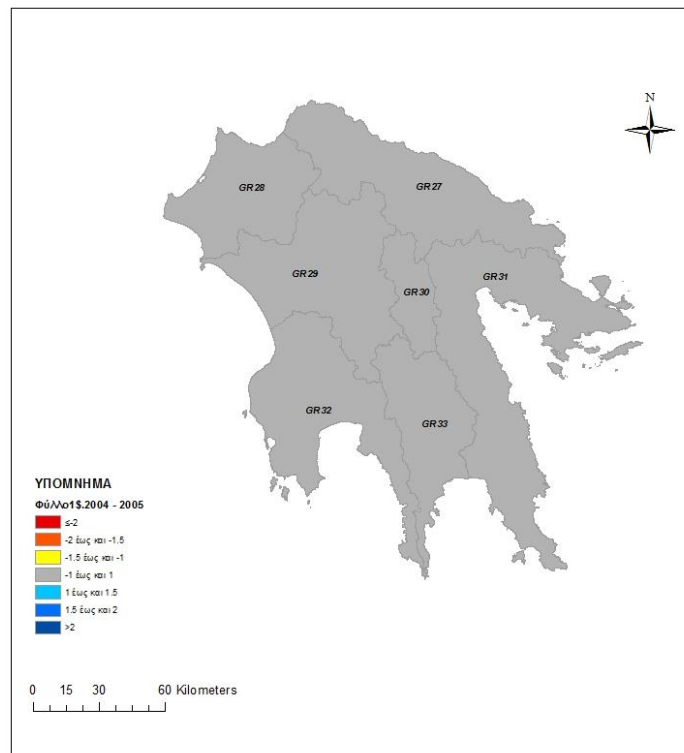
Εικόνα 44: Θεματικός χάρτης απόδοσης κατηγοριών ξηρασίας/υγρασίας, του έτους 01-02



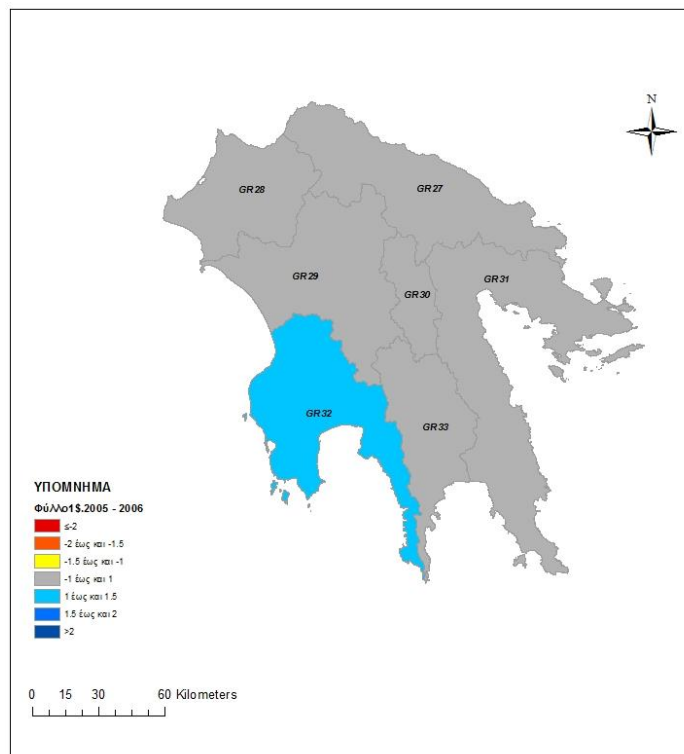
Εικόνα 45: Θεματικός χάρτης απόδοσης κατηγοριών ξηρασίας/υγρασίας, του έτους 02-03



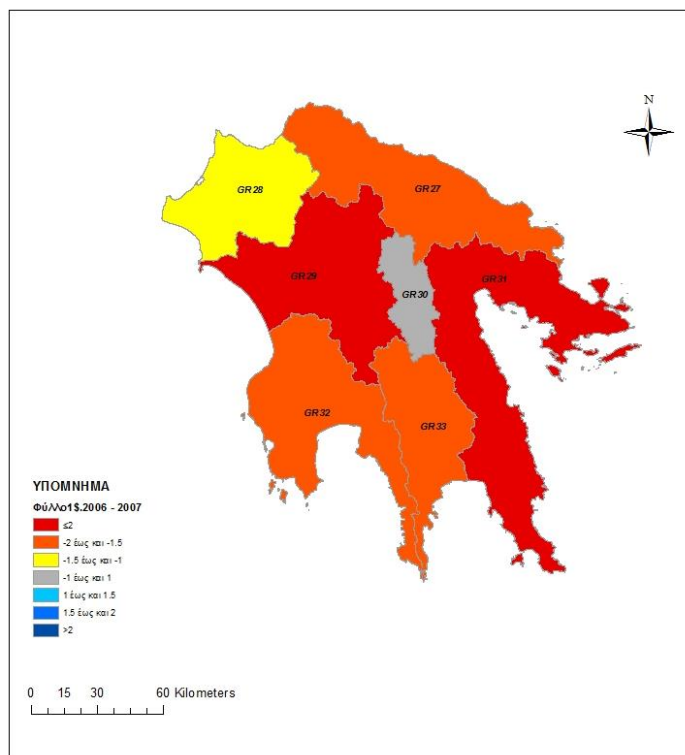
Εικόνα 46: Θεματικός χάρτης απόδοσης κατηγοριών ξηρασίας/υγρασίας, του έτους 03-04



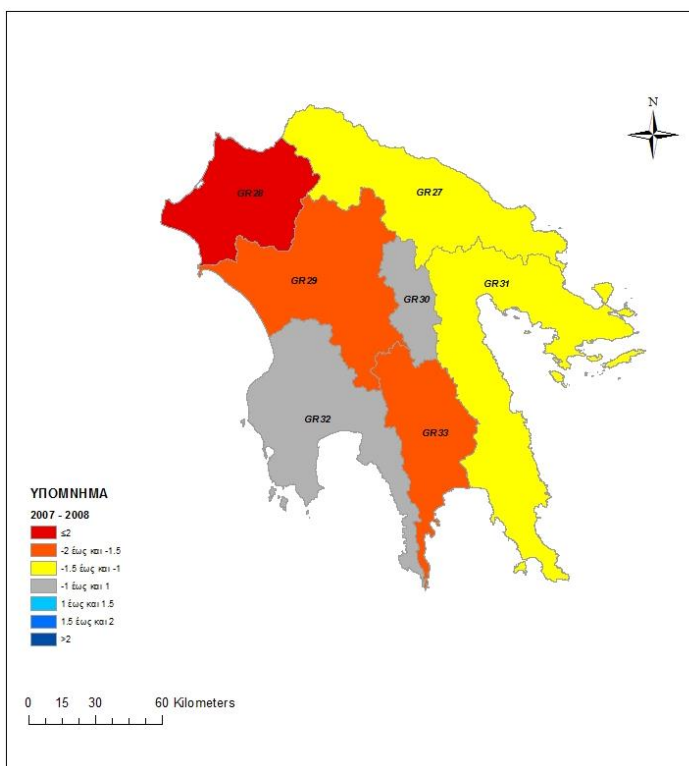
Εικόνα 47: Θεματικός χάρτης απόδοσης κατηγοριών ξηρασίας/υγρασίας, του έτους 04-05



Εικόνα 48: Θεματικός χάρτης απόδοσης κατηγοριών ξηρασίας/υγρασίας, του έτους 05-06



Εικόνα 49: Θεματικός χάρτης απόδοσης κατηγοριών ξηρασίας/υγρασίας, του έτους 06-07



Εικόνα 50: Θεματικός χάρτης απόδοσης κατηγοριών ξηρασίας/υγρασίας, του έτους 07-08