



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ & ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ –
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΓΓΕΙΟΒΕΛΤΙΩΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΤΗΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ ΣΤΗ ΝΗΣΟ ΡΟΔΟ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΛΕΞΑΝΔΡΑ ΠΑΠΑΣΠΥΡΟΠΟΥΛΟΥ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΒΑΓΓΕΛΗΣ Χ., ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΑΘΗΝΑ, Φεβρουάριος 2024

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της διπλωματικής μου εργασίας κ. Χ. Βαγγέλη για την συνεχή καθοδήγησή του και για τις χρήσιμες συμβουλές του. Επίσης, ευχαριστώ τα μέλη της τριμελούς επιτροπής κ. Β. Τσιχριντζή και κ. Ι. Ναλμπάντη. Τέλος, ευχαριστώ τον κ. Δ. Τίγκα, για την βοήθειά του στην κατανόηση του λογισμικού, DrinC.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. Εισαγωγή	14
2. Ξηρασία	15
2.1. Το φαινόμενο της ξηρασίας.....	15
2.1.1. Ορισμοί ξηρασίας.....	15
2.1.2. Τύποι ξηρασίας.....	17
2.1.3. Διαστάσεις - Χαρακτηριστικά ξηρασίας	19
2.2. Επιπτώσεις ξηρασίας.....	20
2.3. Αίτια ξηρασίας.....	24
2.4. Ξηρασίες σε ευρωπαϊκό επίπεδο.....	25
2.5. Ανάλυση επιφανειακής ξηρασίας.....	27
2.6. Εκτίμηση πιθανότητας ξηρασίας	28
2.7. Δείκτες ξηρασίας	30
2.7.1. Δείκτης PDSI (Palmer Drought Severity Index)	33
2.7.2. Δείκτης SPI (Standardised Precipitation Index).....	34
2.7.3. Δείκτης aSPI (Agricultural Standardized Precipitation Index).....	36
2.7.4. Δείκτης RDI (Reconnaissance Drought Index).....	38
2.7.5. Δείκτης eRDI (Effective Reconnaissance Drought Index)	39
2.7.6. Δείκτης CMI (Crop Moisture Index).....	40
2.7.7. Δείκτης CDI (Corn Drought Index)	40
2.7.8. Δείκτης ξηρασίας του Foley (Foley Drought Index)	41
2.7.9. Ποσοστό Κανονικής Βροχόπτωσης (Percent of Normal Precipitation).....	42
2.7.10. Μέθοδος Deciles (Δέκατα της βροχόπτωσης)	42
2.7.11. Δείκτης VegDRI (Vegetation Drought Response Index).....	43
2.7.12. Δείκτες Τηλεπισκόπησης	43
2.8. Διαχείριση ξηρασίας.....	44
2.9. Ξηρασία & Κλιματική Αλλαγή	49
3. Εφαρμογή	53
3.1 Περιοχή μελέτης.....	53
3.2. Λογισμικό DrinC (Drought Indices Calculator)	56

3.3. Παρουσίαση αποτελεσμάτων	57
3.3.1. Δείκτες Ξηρασίας SPI, aSPI, RDI και eRDI (με πρωτογενή δεδομένα από την EMY)	57
3.3.2. Δείκτες Ξηρασίας SPI, aSPI, RDI και eRDI (με πρωτογενή δεδομένα από την ιστορική χρονοσειρά του περιοχικού κλιματικού μοντέλου CLMcom-CCLM4-8-17)	69
3.3.3. Σύγκριση των Δεικτών SPI, aSPI, RDI και eRDI που προέκυψαν από διαφορετικά πρωτογενή δεδομένα	73
3.3.4. Δείκτες Ξηρασίας SPI, aSPI, RDI και eRDI (με πρωτογενή δεδομένα από το Περιοχικό Κλιματικό Μοντέλο CLMcom-CCLM-8-17 για τα σενάρια RCP4.5 και RCP8.5).....	81
3.3.5. Δείκτες Ξηρασίας SPI, aSPI, RDI και eRDI & Γεωργία	83
4. Συμπερασματικά σχόλια	88
4.1. Σχολιασμός αποτελεσμάτων.....	88
4.2. Συμπεράσματα	93
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	94
ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ	100

ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας 1: Χαρακτηρισμός κλίματος μιας περιοχής με βάση το δείκτη ξηρότητας.....	18
Πίνακας 2: Έννοιες που σχετίζονται με τη διαθεσιμότητα ύδατος.....	18
Πίνακας 3: Φυσικές καταστροφές στη Νότια Ευρώπη στη δεκαετία 1990.....	21
Πίνακας 4: Θανατηφόρες ξηρασίες του 20 ^{ου} αιώνα.....	21
Πίνακας 5: Ξηρασίες στην Ευρωπαϊκή ήπειρο.....	25
Πίνακας 6: Δείκτες ξηρασίας.....	31
Πίνακας 7: Κατηγοριοποίηση της ξηρασίας σύμφωνα με τον δείκτη SPI.....	35
Πίνακας 8: Εκτίμηση ενεργούς βροχόπτωσης τις μηνιαίες κατηγορίες βροχοπτώσεων.....	37
Πίνακας 9: Κατηγοριοποίηση της ξηρασίας σύμφωνα με τον δείκτη Deciles.....	43
Πίνακας 10: Χλωρίδα και Πανίδα της Ρόδου.....	54
Πίνακας 11: Εκτάσεις Προστατευόμενων Περιοχών στη Ρόδο.....	54
Πίνακας 12: Σταθμοί Ρόδου.....	55
Πίνακας 13: Κατηγορίες έντασης γεωργικής ξηρασίας βάσει των τιμών των δεικτών SPI, RDI, aSPI και eRDI.....	58
Πίνακας 14: Καταγραφή τάσεων των δεικτών ξηρασίας που έχουν προκύψει από δεδομένα από το σταθμό 749 Ρόδος για τις χρονοσειρές 1955-2022 και 1955-2010, με Reference period: 12-month.....	67
Πίνακας 15: Καταγραφή τάσεων των δεικτών ξηρασίας που έχουν προκύψει από δεδομένα από το σταθμό 749 Ρόδος για τις χρονοσειρές 1955-2022 και 1955-2010, με Reference period: 6-month (Οκτωβρίου-Μαρτίου).....	67
Πίνακας 16: Καταγραφή τάσεων των δεικτών ξηρασίας που έχουν προκύψει από δεδομένα από το σταθμό 749 Ρόδος για τις χρονοσειρές 1955-2022 και 1955-2010, με Reference period: 6-month (Απριλίου-Σεπτεμβρίου).....	67
Πίνακας 17: Καταγραφή τάσεων των δεικτών ξηρασίας που έχουν προκύψει από δεδομένα από την ιστορική χρονοσειρά (1950-2005) του περιοχικού κλιματικού μοντέλου CLMcom-CCLM4-8-17, με Reference period: 12-month, 6month (Οκτωβρίου-Μαρτίου) και 6-month (Απριλίου-Σεπτεμβρίου).....	73
Πίνακας 18 : Καταγραφή τάσεων των δεικτών ξηρασίας που έχουν προκύψει από δεδομένα από το σταθμό 749 Ρόδος και από την ιστορική χρονοσειρά του περιοχικού κλιματικού μοντέλου CLMcom-CCLM4-8-17, με Reference period: 12-month για τα έτη 1955 έως 2005 στη Ρόδο.....	76
Πίνακας 19: Καταγραφή τάσεων των δεικτών ξηρασίας που έχουν προκύψει από δεδομένα από το σταθμό 749 Ρόδος και από την ιστορική χρονοσειρά του περιοχικού κλιματικού μοντέλου CLMcom-CCLM4-8-17, με Reference period: 6-month (Οκτώβριος-Μάρτιος) για τα έτη 1955 έως 2005 στη Ρόδο.....	78
Πίνακας 20: Καταγραφή τάσεων των δεικτών ξηρασίας που έχουν προκύψει από δεδομένα από το σταθμό 749 Ρόδος και από την ιστορική χρονοσειρά του περιοχικού κλιματικού μοντέλου CLMcom-CCLM4-8-17, με Reference period: 6-month (Απρίλιος-Σεπτέμβριος) για τα έτη 1955 έως 2005 στη Ρόδο.....	80

Πίνακας 21: Καταγραφή τάσεων των δεικτών ξηρασίας που έχουν προκύψει από δεδομένα του περιοχικού κλιματικού μοντέλου CLMcom-CCLM4-8-17 για τα δύο κλιματικά σενάρια rcp4.5 και rcp 8.5, με Reference period: 12-month για τα έτη 2006 έως 2100 στη Ρόδο.....**83**

Πίνακας 22: Περίοδος ανάπτυξης της κάθε καλλιέργειας.....**83**

ΣΧΗΜΑΤΑ

Σχήμα 1: Χάρτης Ευρώπης 11.09.2022, δείκτης CDI – Combined Drought Indicator. Πηγή: “European Drought Observatory,”	17
Σχήμα 2: Ποσοστό πληθυσμού που επηρεάζεται από φυσικούς κινδύνους σε κάθε ήπειρο. Πηγή: “National drought mitigation center, University of Nebraska – Lincoln, USA”	20
Σχήμα 3: Αριθμός ατόμων που επηρεάστηκαν από φυσικές καταστροφές το έτος 2021. Πηγή: EM – DAT.....	22
Σχήμα 4: Αριθμός ατόμων που επηρεάστηκαν από φυσικές καταστροφές το έτος 2022. Πηγή: EM – DAT.....	22
Σχήμα 5: Ο οφειλόμενος στο φαινόμενο El Niño αεροχέιμαρρος του Ειρηνικού που ενισχύει τις καταιγίδες, μετακινείται νότια και εξαπλώνεται ανατολικότερα. Κατά τη διάρκεια του χειμώνα, αυτό οδηγεί σε πιο υγρές συνθήκες από το συνηθισμένο στις νότιες ΗΠΑ και σε θερμότερες και ξηρότερες συνθήκες στο Βορρά. Πηγή: NOAA.....	25
Σχήμα 6: Οπτικοποίηση επιπέδων ξηρασίας στον χάρτη της Ευρώπης στις 05/2023, Πηγή: “European Drought Observatory”	26
Σχήμα 7: Χάρτης ΗΠΑ – Δείκτης PDSI- εβδομαδιαία ενημέρωση του δείκτη 22.07.2023, Πηγή: Nebraska-US Drought monitor, NOAA).....	33
Σχήμα 8: Χάρτης ΗΠΑ – Δείκτης SPI - Ιούλιος 2023, Πηγή: Nebraska-US Drought monitor, NOAA.....	36
Σχήμα 9: Συνθήκες ξηρασίας στη Νάξο με βάση τον δείκτη RDI. Πηγή: Tigkas et al., 2015.....	39
Σχήμα 10: Χάρτης ΗΠΑ – Δείκτης CPI. Πηγή: Nebraska-US Drought monitor, NOAA.....	40
Σχήμα 11: Ο συνδυασμένος δείκτης ξηρασίας (CDI), με βάση έναν συνδυασμό δεικτών βροχόπτωσης, εδάφους, υγρασίας και συνθήκες βλάστησης, για τα μέσα Ιουνίου 2021 (πάνω αριστερά), 2022 (πάνω-δεξιά) και 2023 (κάτω-αριστερά). Πηγή: «European Drought Observatory, 2023».....	41
Σχήμα 12: Μέση ετήσια παγκόσμια θερμοκρασία από το 1880 συγκρινόμενη με την μέση τιμή της περιόδου 1901 – 2000 Πηγή: NOAA Climate.gov graph, based on data from the National Centers for Environmental Information.....	50
Σχήμα 13: Αναμενόμενη αύξηση της θερμοκρασίας σύμφωνα με τα σενάρια RCP μέχρι το τέλος του 21 ^{ου} αιώνα. Πηγή: IPCC.....	52
Σχήμα 14: Διάγραμμα ροής Drinc. Πηγή: «Tigkas et al., 2015».....	56
Σχήμα 15: Τιμές του δείκτη ξηρασίας SPI (12-μηνο) στη Ρόδο για την περίοδο 1955 – 2022.....	59
Σχήμα 16: Τιμές του δείκτη ξηρασίας SPI (12-μηνο) στη Ρόδο για την περίοδο 1955 – 2010.....	59
Σχήμα 17: Τιμές του δείκτη ξηρασίας SPI (6-μηνο Οκτωβρίου – Μαρτίου) στη Ρόδο για την περίοδο 1955 – 2022.....	59
Σχήμα 18: Τιμές του δείκτη ξηρασίας SPI (6-μηνο Οκτωβρίου – Μαρτίου) στη Ρόδο για την περίοδο 1955 – 2010.....	60
Σχήμα 19: Τιμές του δείκτη ξηρασίας SPI (6-μηνο Απριλίου – Σεπτεμβρίου) στη Ρόδο για την περίοδο 1955 – 2022.....	60

Σχήμα 20: Τιμές του δείκτη ξηρασίας SPI (6-μηνο Απριλίου – Σεπτεμβρίου) στη Ρόδο για την περίοδο 1955 – 2010.....	60
Σχήμα 21: Τιμές του δείκτη ξηρασίας RDI (12-μηνο) στη Ρόδο για την περίοδο 1955 – 2022.....	61
Σχήμα 22: Τιμές του δείκτη ξηρασίας RDI (12-μηνο) στη Ρόδο για την περίοδο 1955 – 2010.....	61
Σχήμα 23: Τιμές του δείκτη ξηρασίας RDI (6-μηνο Οκτωβρίου – Μαρτίου) στη Ρόδο για την περίοδο 1955-2022.....	61
Σχήμα 24: Τιμές του δείκτη ξηρασίας RDI (6-μηνο Οκτωβρίου – Μαρτίου) στη Ρόδο για την περίοδο 1955 – 2010.....	62
Σχήμα 25: Τιμές του δείκτη ξηρασίας RDI (6-μηνο Απριλίου – Σεπτεμβρίου) στη Ρόδο για την περίοδο 1955 – 2022.....	62
Σχήμα 26: Τιμές του δείκτη ξηρασίας RDI (6-μηνο Απριλίου – Σεπτεμβρίου) στη Ρόδο για την περίοδο 1955 – 2010.....	62
Σχήμα 27: Τιμές του δείκτη ξηρασίας aSPI (12-μηνο) στη Ρόδο για την περίοδο 1955 – 2022.....	63
Σχήμα 28: Τιμές του δείκτη ξηρασίας aSPI (12-μηνο) στη Ρόδο για την περίοδο 1955 – 2010.....	63
Σχήμα 29: Τιμές του δείκτη ξηρασίας aSPI (6-μηνο Οκτωβρίου – Μαρτίου) στη Ρόδο για την περίοδο 1955 – 2022.....	63
Σχήμα 30: Τιμές του δείκτη ξηρασίας aSPI (6-μηνο Οκτωβρίου – Μαρτίου) στη Ρόδο για την περίοδο 1955 – 2010.....	64
Σχήμα 31: Τιμές του δείκτη ξηρασίας aSPI (6-μηνο Απριλίου– Σεπτεμβρίου) στη Ρόδο για την περίοδο 1955-2022.....	64
Σχήμα 32: Τιμές του δείκτη ξηρασίας aSPI (6-μηνο Απριλίου– Σεπτεμβρίου) στη Ρόδο για την περίοδο 1955-2010.....	64
Σχήμα 33: Τιμές του δείκτη ξηρασίας eRDI (12-μηνο) στη Ρόδο για την περίοδο 1955 – 2022.....	65
Σχήμα 34: Τιμές του δείκτη ξηρασίας eRDI (12-μηνο) στη Ρόδο για την περίοδο 1955 – 2010.....	65
Σχήμα 35: Τιμές του δείκτη ξηρασίας eRDI (6-μηνο Οκτωβρίου – Μαρτίου) στη Ρόδο για την περίοδο 1955 – 2022.....	65
Σχήμα 36: Τιμές του δείκτη ξηρασίας eRDI (6-μηνο Οκτωβρίου – Μαρτίου) στη Ρόδο για την περίοδο 1955 – 2010.....	66
Σχήμα 37: Τιμές του δείκτη ξηρασίας eRDI (6-μηνο Απριλίου – Σεπτεμβρίου) στη Ρόδο για την περίοδο 1955 – 2022.....	66
Σχήμα 38: Τιμές του δείκτη ξηρασίας eRDI (6-μηνο Απριλίου – Σεπτεμβρίου) στη Ρόδο για την περίοδο 1955 – 2010.....	66
Σχήμα 39: Πλήθος ετών σύμφωνα με το επίπεδο έντασης ξηρασίας από το 1955 έως το 2022 στη Ρόδο, με βάση με τους δείκτες SPI, RDI, aSPI και eRDI (reference period: 12-month, time step: annual).....	67
Σχήμα 40: Πλήθος ετών σύμφωνα με το επίπεδο έντασης ξηρασίας από το 1955 έως το 2010 στη Ρόδο, με βάση με τους δείκτες SPI, RDI, aSPI και eRDI (reference period: 12-month, time step: annual).....	68

Σχήμα 41: Πλήθος ξηρών ετών (δείκτης ξηρασίας <-1) σύμφωνα με τους δείκτες που έχουν προκύψει από δεδομένα από το σταθμό 749 Ρόδος για τις χρονοσειρές (1): 1955 έως 2010 και (2): 1955 έως 2022, με Reference period: 12-month για τα έτη 1955 έως 2010 στη Ρόδο.....	68
Σχήμα 42 : Τιμές του δείκτη ξηρασίας SPI (12-μηνο) στη Ρόδο για την περίοδο 1950 – 2005.....	69
Σχήμα 43: Τιμές του δείκτη ξηρασίας SPI (6-μηνο Οκτωβρίου – Μαρτίου) στη Ρόδο για την περίοδο 1950 – 2005.....	69
Σχήμα 44: Τιμές του δείκτη ξηρασίας SPI (6-μηνο Απριλίου – Σεπτεμβρίου) στη Ρόδο για την περίοδο 1950 – 2005.....	70
Σχήμα 45 : Τιμές του δείκτη ξηρασίας RDI (12-μηνο) στη Ρόδο για την περίοδο 1950 – 2005.....	70
Σχήμα 46: Τιμές του δείκτη ξηρασίας RDI (6-μηνο Οκτωβρίου – Μαρτίου) στη Ρόδο για την περίοδο 1950 – 2005.....	70
Σχήμα 47: Τιμές του δείκτη ξηρασίας RDI (6-μηνο Απριλίου – Σεπτεμβρίου) στη Ρόδο για την περίοδο 1950 – 2005.....	71
Σχήμα 48: Τιμές του δείκτη ξηρασίας aSPI (12-μηνο) στη Ρόδο για την περίοδο 1950 – 2005.....	71
Σχήμα 49: Τιμές του δείκτη ξηρασίας aSPI (6-μηνο Οκτωβρίου – Μαρτίου) στη Ρόδο για την περίοδο 1950 – 2005.....	71
Σχήμα 50: Τιμές του δείκτη ξηρασίας aSPI (6-μηνο Απριλίου – Σεπτεμβρίου) στη Ρόδο για την περίοδο 1950 – 2005.....	72
Σχήμα 51: Τιμές του δείκτη ξηρασίας RDI (12-μηνο) στη Ρόδο για την περίοδο 1950 – 2005.....	72
Σχήμα 52: Τιμές του δείκτη ξηρασίας eRDI (6-μηνο Οκτωβρίου – Μαρτίου) στη Ρόδο για την περίοδο 1950 – 2005.....	72
Σχήμα 53: Τιμές του δείκτη ξηρασίας eRDI (6-μηνο Απριλίου – Σεπτεμβρίου) στη Ρόδο για την περίοδο 1950 – 2005.....	73
Σχήμα 54: Τιμές του δείκτη ξηρασίας SPI, με δεδομένα από το σταθμό 749 Ρόδος (πορτοκαλί ράβδοι) και με δεδομένα από την ιστορική χρονοσειρά του περιοχικού κλιματικού μοντέλου CLMcom-CCLM4-8-17 (μπλε ράβδοι) στη Ρόδο, με Reference period: 12-month για την περίοδο 1955 – 2005.....	74
Σχήμα 55: Τιμές του δείκτη ξηρασίας RDI, με δεδομένα από το σταθμό 749 Ρόδος (πορτοκαλί ράβδοι) και με δεδομένα από την ιστορική χρονοσειρά του περιοχικού κλιματικού μοντέλου CLMcom-CCLM4-8-17 (μπλε ράβδοι) στη Ρόδο με Reference period: 12-month για την περίοδο 1955 – 2005.....	74
Σχήμα 56: Τιμές του δείκτη ξηρασίας aSPI, με δεδομένα από το σταθμό 749 Ρόδος (πορτοκαλί ράβδοι) και με δεδομένα από την ιστορική χρονοσειρά του περιοχικού κλιματικού μοντέλου CLMcom-CCLM4-8-17 (μπλε ράβδοι) στη Ρόδο, με Reference period: 12-month για την περίοδο 1955 – 2005.....	75
Σχήμα 57: Τιμές του δείκτη ξηρασίας eRDI, με δεδομένα από το σταθμό 749 Ρόδος (πορτοκαλί ράβδοι) και με δεδομένα από την ιστορική χρονοσειρά του περιοχικού κλιματικού μοντέλου CLMcom-CCLM4-8-17 (μπλε ράβδοι) στη Ρόδο, με Reference period: 12-month για την περίοδο 1955 – 2005.....	75
Σχήμα 58: Τιμές του δείκτη ξηρασίας SPI, με δεδομένα από το σταθμό 749 Ρόδος (πορτοκαλί ράβδοι) και με δεδομένα από την ιστορική χρονοσειρά του περιοχικού κλιματικού μοντέλου CLMcom-CCLM4-8-17 (μπλε ράβδοι) στη Ρόδο, με Reference period: 6-month (Οκτώβριο-Μάρτιο) για την περίοδο 1955 – 2005.....	76

Σχήμα 59: Τιμές του δείκτη ξηρασίας RDI, με δεδομένα από το σταθμό 749 Ρόδος (πορτοκαλί ράβδοι) και με δεδομένα από την ιστορική χρονοσειρά του περιοχικού κλιματικού μοντέλου CLMcom-CCLM4-8-17 (μπλε ράβδοι) στη Ρόδο, με Reference period: 6-month (Οκτώβριο-Μάρτιο) για την περίοδο 1955-2005.....	76
Σχήμα 60: Τιμές του δείκτη ξηρασίας aSPI, με δεδομένα από το σταθμό 749 Ρόδος (πορτοκαλί ράβδοι) και με δεδομένα από την ιστορική χρονοσειρά του περιοχικού κλιματικού μοντέλου CLMcom-CCLM4-8-17 (μπλε ράβδοι) στη Ρόδο, με Reference period: 6-month (Οκτώβριο-Μάρτιο) για την περίοδο 1955 – 2005.....	77
Σχήμα 61: Τιμές του δείκτη ξηρασίας eRDI, με δεδομένα από το σταθμό 749 Ρόδος (πορτοκαλί ράβδοι) και με δεδομένα από την ιστορική χρονοσειρά του περιοχικού κλιματικού μοντέλου CLMcom-CCLM4-8-17 (μπλε ράβδοι) στη Ρόδο, με Reference period: 6-month (Οκτώβριο-Μάρτιο) για την περίοδο 1955 – 2005.....	77
Σχήμα 62: Τιμές του δείκτη ξηρασίας SPI, με δεδομένα από το σταθμό 749 Ρόδος (πορτοκαλί ράβδοι) και με δεδομένα από την ιστορική χρονοσειρά του περιοχικού κλιματικού μοντέλου CLMcom-CCLM4-8-17 (μπλε ράβδοι) στη Ρόδο, με Reference period: 6-month (Απρίλιος- Σεπτέμβριος) για την περίοδο 1955 – 2005.....	78
Σχήμα 63: Τιμές του δείκτη ξηρασίας RDI, με δεδομένα από το σταθμό 749 Ρόδος (πορτοκαλί ράβδοι) και με δεδομένα από την ιστορική χρονοσειρά του περιοχικού κλιματικού μοντέλου CLMcom-CCLM4-8-17 (μπλε ράβδοι) στη Ρόδο, με Reference period: 6-month (Απρίλιος- Σεπτέμβριος) για την περίοδο 1955 – 2005.....	78
Σχήμα 64: Τιμές του δείκτη ξηρασίας aSPI, με δεδομένα από το σταθμό 749 Ρόδος (πορτοκαλί ράβδοι) και με δεδομένα από την ιστορική χρονοσειρά του περιοχικού κλιματικού μοντέλου CLMcom-CCLM4-8-17 (μπλε ράβδοι) στη Ρόδο, με Reference period: 6-month (Απρίλιος- Σεπτέμβριος) για την περίοδο 1955 – 2005.....	79
Σχήμα 65: Τιμές του δείκτη ξηρασίας eRDI, με δεδομένα από το σταθμό 749 Ρόδος (πορτοκαλί ράβδοι) και με δεδομένα από την ιστορική χρονοσειρά του περιοχικού κλιματικού μοντέλου CLMcom-CCLM4-8-17 (μπλε ράβδοι) στη Ρόδο, με Reference period: 6-month (Απρίλιος- Σεπτέμβριος) για την περίοδο 1955 – 2005.....	79
Σχήμα 66: Πλήθος ετών σύμφωνα με το επίπεδο έντασης ξηρασίας από το 1955 έως το 2005 στη Ρόδο, με βάση τους δείκτες SPI, RDI, aSPI και eRDI (reference period: 12-month, time step: annual), με δεδομένα από την ιστορική χρονοσειρά του περιοχικού κλιματικού μοντέλου CLMcom - CCLM4 – 8 - 17.....	80
Σχήμα 67: Πλήθος ετών σύμφωνα με το επίπεδο έντασης ξηρασίας από το 1955 έως το 2005 στη Ρόδο, με βάση τους δείκτες SPI, RDI, aSPI και eRDI (reference period: 12-month, time step: annual), με δεδομένα από το σταθμό 749 Ρόδος.....	80
Σχήμα 68: Τιμές του δείκτη ξηρασίας SPI, με δεδομένα από το περιοχικό κλιματικό μοντέλο CLMcom-CCLM4-8-17, στη Ρόδο, με βάση τα κλιματικά σενάρια RCP4.5 και RCP8.5 (Reference period: 12-month για την περίοδο 2006 – 2100).....	81
Σχήμα 69: Τιμές του δείκτη ξηρασίας RDI, με δεδομένα από το περιοχικό κλιματικό μοντέλο CLMcom-CCLM4-8-17, στη Ρόδο, με βάση τα κλιματικά σενάρια RCP4.5 και RCP8.5 (Reference period: 12-month για την περίοδο 2006 – 2100).....	81

Σχήμα 70: Τιμές του δείκτη ξηρασίας aSPI, με δεδομένα από το περιοχικό κλιματικό μοντέλο CLMcom-CCLM4-8-17, στη Ρόδο, με βάση τα κλιματικά σενάρια RCP4.5 και RCP8.5 (Reference period: 12-month για την περίοδο 2006 – 2100).....	82
Σχήμα 71: Τιμές του δείκτη ξηρασίας eRDI, με δεδομένα από το περιοχικό κλιματικό μοντέλο CLMcom-CCLM4-8-17, στη Ρόδο, με βάση τα κλιματικά σενάρια RCP4.5 και RCP8.5 (Reference period: 12-month για την περίοδο 2006 – 2100).....	82
Σχήμα 72: Τιμές των δεικτών ξηρασίας aSPI, eRDI, RDI και SPI (6-μηνο Δεκέμβριο – Μάιο) και της απόδοσης παραγωγής σιταριού στα Δωδεκάνησα για την περίοδο 1968 – 2006, με βάση τα δεδομένα από το σταθμό 749 Ρόδος.....	84
Σχήμα 73: Τιμές των δεικτών ξηρασίας aSPI, eRDI, RDI και SPI (6-μηνο Δεκέμβριο – Μάιο) και της απόδοσης παραγωγής κριθαριού στα Δωδεκάνησα για την περίοδο 1968 – 2006, με βάση τα δεδομένα από το σταθμό 749 Ρόδος.....	84
Σχήμα 74: Τιμές των δεικτών ξηρασίας aSPI, eRDI, RDI και SPI (6-μηνο Δεκέμβριο – Μάιο) και της απόδοσης παραγωγής ελιάς στα Δωδεκάνησα για την περίοδο 1968 – 2006, με βάση τα δεδομένα από το σταθμό 749 Ρόδος.....	85
Σχήμα 75: Τιμές των δεικτών ξηρασίας aSPI, eRDI, RDI και SPI (6-μηνο Απριλίου – Σεπτεμβρίου) και της απόδοσης παραγωγής σταφυλιού στα Δωδεκάνησα για την περίοδο 1968 – 2006, με βάση τα δεδομένα από το σταθμό 749 Ρόδος.....	85
Σχήμα 76: Τιμές των δεικτών ξηρασίας aSPI, eRDI, RDI και SPI (6-μηνο Απριλίου – Σεπτεμβρίου) και της απόδοσης παραγωγής πορτοκαλιού στα Δωδεκάνησα για την περίοδο 1968 – 2006, με βάση τα δεδομένα από το σταθμό 749 Ρόδος.....	86
Σχήμα 77: Τιμές των δεικτών ξηρασίας aSPI, eRDI, RDI και SPI (12-μηνο) και της απόδοσης παραγωγής πατάτας στα Δωδεκάνησα για την περίοδο 1968 – 2006, με βάση τα δεδομένα από το σταθμό 749 Ρόδος.....	86
Σχήμα 78: Τιμές των δεικτών ξηρασίας aSPI, eRDI, RDI και SPI (6-μηνο Απριλίου – Σεπτεμβρίου) και της απόδοσης παραγωγής ντομάτας στα Δωδεκάνησα για την περίοδο 1968 – 2006, με βάση τα δεδομένα από το σταθμό 749 Ρόδος.....	87
Σχήμα 79: Περιοχή μελέτης (Ρόδος) με αποτύπωση της θέσης του υδρομετεωρολογικού σταθμού Ρόδος και των γεωργικών εκτάσεων.....	87

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία αναλύεται το φαινόμενο της ξηρασίας. Πρόκειται για ένα φυσικό φαινόμενο κατά το οποίο παρατηρείται έλλειψη του διαθέσιμου γλυκού νερού σε ευρεία έκταση για μεγάλη χρονική περίοδο. Αντίθετα με άλλα ακραία γεγονότα (π.χ. πλημμύρες), η ξηρασία έχει μεγάλη χρονική διάρκεια χωρίς εύκολα να μπορεί να διακριθεί η αρχή και το τέλος της. Έχει γίνει αντιληπτό ότι η ξηρασία επηρεάζει περισσότερους ανθρώπους από κάθε άλλο φυσικό κίνδυνο. Η κλιματική αλλαγή πρόκειται να αυξήσει την ένταση και τη συχνότητα των γεγονότων ξηρασίας σε ορισμένες περιοχές της γης. Γνωρίζοντας τις επιπτώσεις, τα αίτια καθώς επίσης και τα γεγονότα ξηρασίας που έχουν συμβεί στο παρελθόν, γίνεται πιο εύκολη η κατανόηση του φαινομένου. Η ξηρασία μπορεί να διαχωριστεί σε μετεωρολογική, γεωργική, υδρολογική και κοινωνικο-οικονομική. Επίσης, δεν πρέπει να συγχέεται με άλλες έννοιες όπως είναι η λειψυδρία, η ερημοποίηση και η ξηρότητα. Η εκτίμηση της ξηρασίας μπορεί να πραγματοποιηθεί χρησιμοποιώντας δείκτες ξηρασίας. Η ξηρασία χαρακτηρίζεται από τρεις διαστάσεις: την ένταση, τη διάρκεια και τη χωρική της έκταση. Συνήθως οι δείκτες ξηρασίας στοχεύουν κατά κύριο λόγο στην ένταση του φαινομένου. Επιπλέον, ένα σημαντικό ζήτημα είναι ο σχεδιασμός αντιμετώπισης της ξηρασίας, ο οποίος, όπως αναφέρεται αναλυτικότερα και παρακάτω, θα πρέπει να βασίζεται κυρίως σε οργανωμένες προληπτικές ενέργειες που αφορούν την πρόληψη. Σε εφαρμογή των παραπάνω, πραγματοποιείται η ανάλυση και η εκτίμηση της ξηρασίας στη Ρόδο με τη χρήση των δεικτών SPI, RDI, aSPI και eRDI. Οι συγκεκριμένοι δείκτες συγκρίθηκαν μεταξύ τους και εκτιμήθηκαν οι τάσεις τους. Επίσης, πραγματοποιήθηκε σύγκριση των δεικτών με την παραγωγή διαφόρων γεωργικών προϊόντων. Τέλος, εξήχθησαν τα συμπεράσματα από την παραπάνω ανάλυση.

ABSTRACT

In this thesis, the phenomenon of drought is analyzed. Drought is a natural occurrence characterized by lack of available water over a wide area for a prolonged period of time. Unlike other extreme events (e.g., floods), droughts persist for long durations without easily distinguishable beginnings and ends. It has been observed that drought affects more people than any other natural hazard. Climate change is expected to increase the intensity and frequency of drought events. Understanding the phenomenon becomes easier by knowing its impacts, causes, and past drought events. Drought can be categorized into meteorological, agricultural, hydrological, and socio-economic. It should also not be confused with other concepts such as aridity, desertification, and dryness. Drought assessment can be performed using drought indices. Drought is characterized by three dimensions: intensity, duration, and spatial extent. Typically, drought indices primarily focus on the intensity of the phenomenon. Additionally, an important issue is drought management planning, which, as further elaborated below, is mainly based on organized preventive actions. The analysis and assessment of drought is applied on the island of Rhodes and is conducted using the SPI, RDI, aSPI, and eRDI indices, attributing the prevailing and future drought conditions. These specific indices were compared to each other, and their trends were depicted. Furthermore, a comparison of the indices with various agricultural product yield was conducted. Finally, conclusions were drawn from the above analysis.

1. Εισαγωγή

Η ξηρασία θεωρείται ένα φυσικό φαινόμενο εντός των ορίων της διακύμανσης του κλίματος. Αποτελεί ένα αναπότρεπτο φαινόμενο, επηρεάζοντας το περιβάλλον, την κοινωνία και την οικονομία. Αυτή η κατάσταση επιφέρει σημαντικές προκλήσεις για τους ανθρώπους, επιβάλλοντας την ανάγκη για εφαρμογή στρατηγικών προσαρμογής και διαχείρισης για την αντιμετώπισή της.

Στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία αναλύεται το φαινόμενο της ξηρασίας καθώς επίσης πραγματοποιείται η ανάλυση και η εκτίμηση της στο νησί της Ρόδου. Παρακάτω παρατίθενται τα κεφάλαια της εργασίας:

Κεφάλαιο 1: Παρουσιάζεται η δομή και το θέμα της διπλωματικής εργασίας.

Κεφάλαιο 2: Αναλύεται το φαινόμενο της ξηρασίας. Πιο συγκεκριμένα παρατίθενται διάφοροι ορισμοί του φαινομένου καθώς επίσης και οι τύποι και οι διαστάσεις του. Επιπλέον, γίνεται αναφορά στις επιπτώσεις της ξηρασίας και εξηγούνται τα αίτια πρόκλησής της. Ακόμη, παρουσιάζονται σημαντικές ξηρασίες που έπληξαν την Ευρώπη. Επίσης, παρουσιάζεται ο επιστημονικός τρόπος ανάλυσης της επιφανειακής ξηρασίας και εκτίμησης της πιθανότητας ξηρασίας. Γίνεται αναφορά στους σημαντικότερους δείκτες ξηρασίας. Ακόμη, παρουσιάζεται ο τρόπος διαχείρισης του συγκεκριμένου φαινομένου και τέλος, γίνεται αναφορά στην κλιματική αλλαγή και στο πως επηρεάζεται η ξηρασία.

Κεφάλαιο 3: Πραγματοποιείται η εφαρμογή. Αρχικά παρουσιάζεται η περιοχή μελέτης, δηλαδή το νησί της Ρόδου, και στη συνέχεια παρουσιάζεται το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε. Έπειτα, με πρωτογενή δεδομένα από την EMY και από το περιοχικό κλιματικό μοντέλο CLMcom-CCLM -8-17, εξάγονται οι δείκτες ξηρασίας SPI, RDI, aSPI και eRDI, και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα. Τέλος, πραγματοποιείται σύγκριση των δεικτών με την απόδοση παραγωγής διαφόρων γεωργικών προϊόντων.

Κεφάλαιο 4: Ολοκληρώνεται η διπλωματική εργασία με την παρουσίαση των συμπερασμάτων από την παρατήρηση των αποτελεσμάτων και των διαγραμμάτων που προέκυψαν από την εφαρμογή.

2. Ξηρασία

2.1. Το φαινόμενο της ξηρασίας

2.1.1. Ορισμοί ξηρασίας

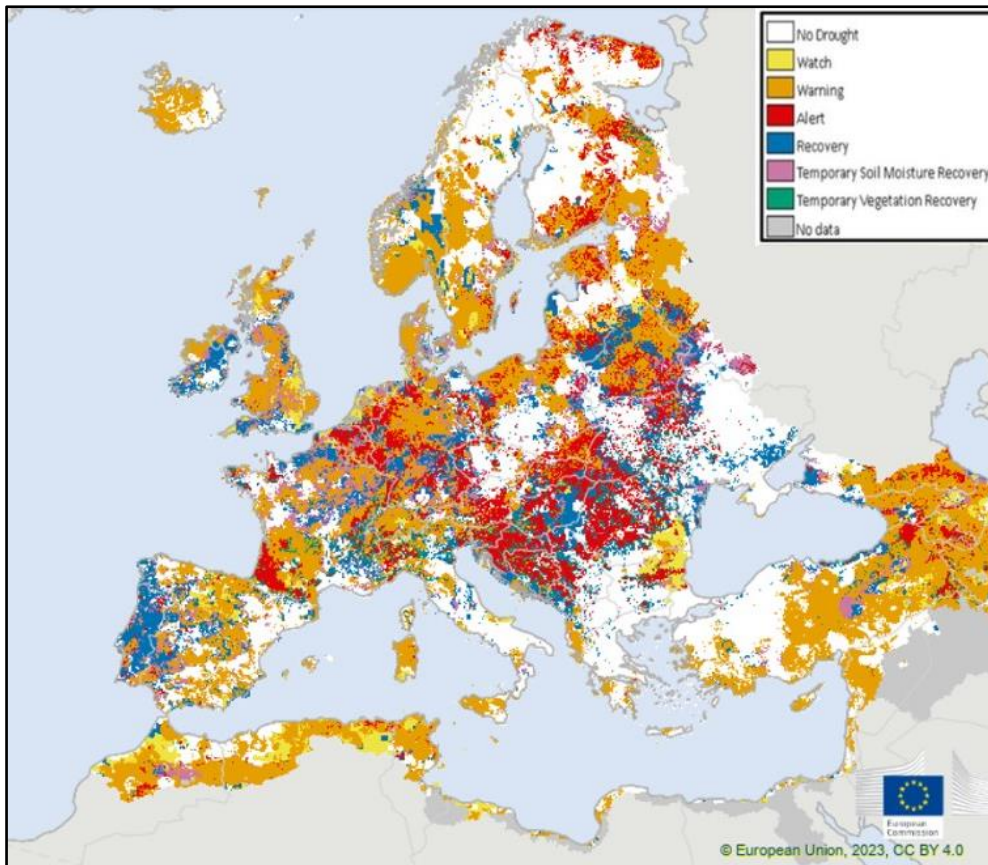
Η ξηρασία είναι δύσκολο να προβλεφθεί, να παρακολουθηθεί καθώς επίσης και να διακριθεί η αρχή και το τέλος της (Glantz, 1987) . Κάποιοι ορισμοί εστιάζουν περισσότερο στην ξηρασία ως έννοια, ενώ άλλοι έχουν μια πιο πρακτική διάσταση, καθώς βασίζονται σε μετρούμενα μεγέθη. Κατά καιρούς η ξηρασία έχει αποτυπωθεί με διάφορους ορισμούς, οι οποίοι έχουν προκύψει από διαφορετικές προσεγγίσεις, ανάγκες και περιοχές (NIDIS, 2023). Οι περισσότεροι ορισμοί συμφωνούν στο ότι **η ξηρασία είναι ένα φυσικό φαινόμενο κατά το οποίο παρατηρείται έλλειψη του διαθέσιμου γλυκού νερού σε ευρεία έκταση για μεγάλη χρονική περίοδο** (Rossi et al., 1992). Παρακάτω παρατίθενται μερικοί επιπλέον ορισμοί της ξηρασίας:

- Έλλειψη υγρασίας που προκαλεί επιπτώσεις σε ανθρώπους, ζώα ή βλάστηση σε μια μεγάλη έκταση (NOAA's National Weather Service).
- Μια περίοδος ξηρότητας ειδικά όταν είναι παρατεταμένη (Merriam-Webster Dictionary).
- Μια περίοδος ασυνήθιστα ξηρού καιρού αρκετά μεγάλης διάρκειας ώστε να προκαλέσει σοβαρή υδρολογική ανισορροπία (American Meteorological Society).
- Ένα χρονικά παρατεταμένο και περιφερειακά εκτεταμένο φαινόμενο κατά το οποίο η διαθεσιμότητα του φυσικού νερού βρίσκεται υπό την τιμή του μέσου όρου και οφείλεται σε φυσικά αίτια και προκύπτει ως συνέπεια της μεταβλητότητας του κλίματος (Tallaksen and Van Lanen, 2004).
- Μια περίοδος με σύνολο κατακρημνισμάτων μικρότερο από κάποιο προκαθορισμένο μικρό ύψος (π.χ. 0.10 in / 48 h).
- Μια περίοδος μεγαλύτερη από κάποιο συγκεκριμένο αριθμό ημερών με κατακρημνίσεις μικρότερες από κάποια προκαθορισμένη ποσότητα.
- Μια περίοδος δυνατών ανέμων, χαμηλής βροχόπτωσης, υψηλής θερμοκρασίας και συνήθως μικρής σχετικής υγρασίας, η οποία μάλιστα αναφέρεται ως «ατμοσφαιρική ξηρασία».
- Μια ημέρα κατά την οποία η διαθέσιμη εδαφική υγρασία έχει μειωθεί σε ένα πολύ μικρό ποσοστό της διαθέσιμης υδατοϊκανότητας.

- Μια χρονική περίοδος κατά την οποία επικρατεί μία ή όλες οι ακόλουθες συνθήκες: (α) η βοσκή γίνεται σπάνια, (β) δεν επικρατούν επαρκείς συνθήκες για την κτηνοτροφία, (γ) τάισμα των ζώων με το χέρι, (δ) η εκτροφή των ζώων γίνεται συστηματικά και όχι ελεύθερα.
- Η πτώση της μηνιαίας ή ετήσιας βροχόπτωσης κάτω από κάποιο συγκεκριμένο ποσοστό του φυσιολογικού.
- Η συνθήκη που επικρατεί όταν οι βροχοπτώσεις είναι ανεπαρκείς για να καλύψουν τις ανάγκες των συνηθισμένων ανθρώπινων δραστηριοτήτων.
- Ελάττωση της διαθεσιμότητας νερού σε συγκεκριμένη περιοχή κατά τη διάρκεια συγκεκριμένης χρονικής περιόδου (Beran and Rodier, 1985)
- Το φαινόμενο κατά το οποίο το υδατικό σύστημα βρίσκεται κάτω από ένα κρίσιμο επίπεδο σε σχέση με την κανονική του λειτουργία (Correira et al., 1991)
- Η συνεχής, εκτεταμένη ανεπάρκεια βροχόπτωσης (World Meteorological Organisation, WMO)
- Το φυσικό φαινόμενο κατά το οποίο οι βροχοπτώσεις βρίσκονται σημαντικά κάτω από τα κανονικά επίπεδα που έχουν καταγραφεί, προκαλώντας σοβαρές υδρολογικές ανισορροπίες που επηρεάζουν δυσμενώς τα συστήματα παραγωγής χερσαίων πόρων (Οργανισμός Ηνωμένων Εθνών).
- Το ποσοστό των ετών, κατά το οποίο οι καλλιέργειες αποτυγχάνουν από την έλλειψη υγρασίας (Οργανισμός Τροφίμων και Γεωργίας).
- Μια φυσική αλλά προσωρινή ανισορροπία της διαθεσιμότητας νερού (Paulo and Pereira, 2009)
- Η μικρότερη ετήσια τιμή των μέσων ημερήσιων απορροών ενός ποταμού (Gumbel, 1963).

Ακόμη, η ξηρασία σχετίζεται με την ισορροπία που επικρατεί στις βροχοπτώσεις και στην εξατμισοδιαπνοή (Glantz, 1987).

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 1 η ξηρασία επηρεάζει σημαντικά τον ευρωπαϊκό χώρο. Πιο συγκεκριμένα, στο Σχήμα 1 εφαρμόστηκε ο δείκτης CDI (Combined Drought Indicator) στις 11.09.2022. Επίσης, οι καύσωνες που συνήθως παρατηρούνται τους καλοκαιρινούς μήνες επιδεινώνουν την ξηρασία.



Σχήμα 1: Χάρτης Ευρώπης 11.09.2022, δείκτης CDI – Combined Drought Indicator. Πηγή: “European Drought Observatory”

Πρόκειται για ένα σημαντικό φυσικό κίνδυνο, που έχει σοβαρές επιπτώσεις σε πολλούς τομείς της οικονομίας, της κοινωνίας και του περιβάλλοντος. Ακόμη, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι οι επιπτώσεις της ξηρασίας διαφέρουν από τη μια περιοχή στην άλλη, αυτό οφείλεται στις κλιματικές διαφορές που επικρατούν (Tsakiris, 2013 ; NIDIS, 2023).

2.1.2. Τύποι ξηρασίας

Για την καλύτερη κατανόηση της ξηρασίας έχουν διακριθεί οι εξής τύποι ξηρασίας:

I. Μετεωρολογική ξηρασία: πρόκειται για μια περίοδο όπου παρατηρείται σημαντικό έλλειμμα βροχόπτωσης, συγκρινόμενο με τη μέση κατάσταση που επικρατεί στην συγκεκριμένη περιοχή.

II. Γεωργική/Οικολογική ξηρασία: πρόκειται για την επίπτωση της μετεωρολογικής ξηρασίας που προκαλεί έλλειμμα εδαφικής υγρασίας και έτσι παρατηρείται ανεπάρκεια νερού για την ανάπτυξη των φυσικών οικοσυστημάτων και των καλλιεργειών.

III. Υδρολογική ξηρασία: είναι η περίοδος υδρολογικού ελλείματος. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρείται μείωση στη ροή των ποταμών, καθώς επίσης και της στάθμης των ταμιευτήρων, των λιμνών και των υπόγειων υδάτων. (European Drought Observatory, 2023)

IV. Κοινωνικο-οικονομική ξηρασία: πρόκειται για την ύπαρξη ελλειμμάτων στους υδατικούς πόρους, και έτσι επηρεάζεται η προσφορά και η ζήτηση των εμπορευμάτων.

Ο τελευταίος τύπος ξηρασίας συνδέεται και με ένα άλλο φαινόμενο, την λειψυδρία. Αυτές οι δύο έννοιες πρέπει να διακρίνονται, καθώς η λειψυδρία είναι μια κατάσταση κατά την οποία οι διαθέσιμοι υδατικοί πόροι δεν είναι επαρκείς για να ικανοποιήσουν τη ζήτηση νερού. Επομένως, η λειψυδρία οφείλεται και στην ξηρασία αλλά και στον τρόπο διαχείρισης των υδατικών πόρων.

Ακόμη ένα φαινόμενο αντίστοιχο της λειψυδρίας, αλλά μεγαλύτερης διάρκειας είναι η ερημοποίηση. Σύμφωνα με τα “Ηνωμένα Έθνη (1994)” η ερημοποίηση ορίζεται ως η υποβάθμιση της γης, στις ξηρές, ημίξηρες και υφυγρές περιοχές, ως αποτέλεσμα διάφορων παραγόντων, συμπεριλαμβανομένων της κλιματικής αλλαγής και των ανθρώπινων δραστηριοτήτων.

Επίσης, η ξηρασία πολλές φορές συγχέεται με την ξηρότητα. Η ξηρότητα σε αντιδιαστολή με την ξηρασία αναφέρεται στα μόνιμα κλιματικά χαρακτηριστικά μιας περιοχής. Η κλιματική ξηρότητα μιας περιοχής μπορεί να προσδιορισθεί με τον δείκτη ξηρότητας (Aridity Index), όπου πρόκειται για τον λόγο του μέσου ετήσιου ύψους βροχής προς το μέσο ετήσιο ύψος της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής (P/PET) (Tsakiris, 2013 ; UNESCO, 1979). Ο χαρακτηρισμός του κλίματος μιας περιοχής φαίνεται αναλυτικότερα στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1: Χαρακτηρισμός κλίματος μιας περιοχής με βάση το δείκτη ξηρότητας

Χαρακτηρισμός κλίματος	P/PET
Υπερβολικά ξηρό	<0.03
Ξηρό	0.03-0.2
Ημί-ξηρό	0.2-0.5
Υφυγρό	0.5-0.75
Υγρό	>0.75

Πίνακας 2: Έννοιες που σχετίζονται με τη διαθεσιμότητα ύδατος

	Φυσικά αίτια	Ανθρωπογενή αίτια
Προσωρινή κατάσταση	<ul style="list-style-type: none"> Ξηρασία 	<ul style="list-style-type: none"> Έλλειμμα νερού
Μόνιμη κατάσταση	<ul style="list-style-type: none"> Ξηρότητα 	<ul style="list-style-type: none"> Λειψυδρία Ερημοποίηση

Πηγή: «MEDROPLAN, 2007»

2.1.3. Διαστάσεις - Χαρακτηριστικά ξηρασίας

Προκειμένου να αξιολογηθούν και να παρακολουθηθούν οι κίνδυνοι ξηρασίας, είναι απαραίτητο να εντοπιστούν διάφορα χαρακτηριστικά όπως είναι η ένταση, η περιοδικότητα, η διάρκεια, η έκταση, η έναρξη και η λήξη της ξηρασίας. Αναλυτικότερα παρατίθενται παρακάτω:

Η *ένταση - δριμύτητα* σχετίζεται με το βαθμό της έλλειψης των βροχοπτώσεων, και με τις επιπτώσεις που αυτός προκαλεί. Η ένταση της ξηρασίας μπορεί να κατηγοριοποιηθεί σε ήπια, μέτρια, σοβαρή και ακραία. Η κατηγοριοποίηση αυτή μπορεί να προκύψει από την εφαρμογή δεικτών ξηρασίας. Οι περιοχές που επηρεάστηκαν λόγω της έντονης ξηρασίας εξελίσσονται σταδιακά, και υπάρχει μια εποχιακή και ετήσια μετατόπιση του «επίκεντρου», που είναι η περιοχή της μέγιστης σοβαρότητας.

Η *περιοδικότητα* είναι το διάστημα επανάληψης της ξηρασίας. Η συχνότητα ενός ακραίου γεγονότος, όπως η ξηρασία, εκφράζεται συνήθως ως το μέσο χρονικό διάστημα εντός του οποίου επιτυγχάνεται ή υπερβαίνει το μέγεθος του γεγονότος για μια φορά.

Η *διάρκεια* ενός επεισοδίου ξηρασίας ορίζεται ως το χρονικό διάστημα από την έναρξη έως τη λήξη του, και εκφράζεται συνήθως σε μήνες. Συνήθως, η ξηρασία απαιτεί τουλάχιστον δύο με τρεις μήνες για να εδραιωθεί και μπορεί να συνεχιστεί για μήνες ή και χρόνια.

Η *έκταση* της ξηρασίας θεωρείται η χωρική κάλυψη του φαινομένου, όπως ποσοτικοποιείται σε κατηγορίες έντασης μέσω των δεικτών. Η τηλεπισκόπηση έχει συμβάλει σημαντικά στην οριοθέτηση αυτής της παραμέτρου μετρώντας τον αριθμό των pixel της κάθε κατηγορίας. Οι ξηρασίες διαφέρουν ως προς τα χωρικά τους χαρακτηριστικά. Η έκταση της περιοχής με σοβαρή ξηρασία εξελίσσεται σταδιακά και ποικίλλει με την πάροδο του χρόνου. Επίσης, η κλιματική ποικιλομορφία και το μέγεθος μεγάλων περιοχών δικαιολογούν την εμφάνιση ξηρασίας κάθε χρόνο.

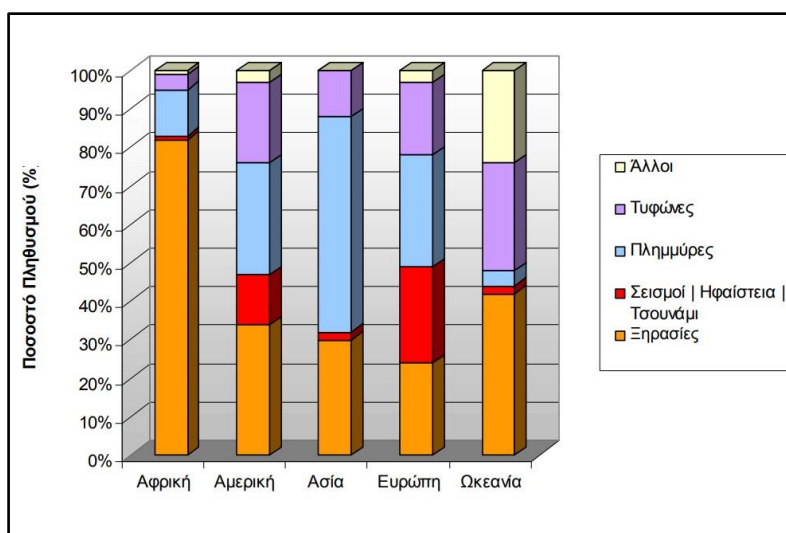
Η *έναρξη* μιας ξηρασίας καθορίζεται από την εμφάνιση ενός επεισοδίου ξηρασίας. Η έναρξη μιας ξηρασίας εντοπίζεται μέσω δεικτών που φθάνουν μια συγκεκριμένη τιμή κατωφλίου.

Η *λήξη* ενός επεισοδίου ξηρασίας καθορίζεται από τον τερματισμό της ξηρασίας. Η λήξη μιας ξηρασίας εντοπίζεται μέσω δεικτών που φθάνουν μια συγκεκριμένη τιμή κατωφλίου. Γενικά, είναι δύσκολο να προσδιοριστεί η ώρα έναρξης και λήξης της ξηρασίας, καθώς επίσης και να επιλεγούν τα κριτήρια τα οποία προσδιορίζουν την ώρα έναρξης και λήξης της ξηρασίας. Επιπλέον, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη εάν το τέλος της ξηρασίας σηματοδοτείται από την επιστροφή στην κανονική βροχόπτωση και ποια χρονική περίοδος κανονικής βροχόπτωσης πρέπει να διατηρηθεί για να

τερματιστεί η ξηρασία. Επίσης, θα πρέπει να εξετάσει εάν οι ταμειυτήρες και τα επίπεδα των υπόγειων υδάτων θα επανέλθουν σε φυσιολογικές συνθήκες (Saeid Eslamian et al., 2017).

2.2. Επιπτώσεις ξηρασίας

Οι φυσικές καταστροφές αποτελούν μια αναπόφευκτη πραγματικότητα, και επηρεάζουν πάνω από 255 εκατομμύρια ανθρώπους ετησίως (Vangelis, 2012). Αναμένεται αύξηση των ακραίων γεγονότων στο μέλλον, τόσο σε συχνότητα όσο και σε ένταση σύμφωνα με προβλέψεις σχετικές με την κλιματική αλλαγή. Οι κάτοικοι των αναπτυσσόμενων χωρών είναι πιο ευάλωτοι απέναντι στις φυσικές καταστροφές, και αναμένεται αύξηση στις καταστάσεις έκτακτης ανάγκης τα επόμενα χρόνια. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2, η ξηρασία επηρεάζει κυρίως τους κατοίκους της Αφρικής (Vangelis, 2012).



Σχήμα 2: Ποσοστό πληθυσμού που επηρεάζεται από φυσικούς κινδύνους σε κάθε ήπειρο. Πηγή: "National drought mitigation center, University of Nebraska – Lincoln, USA".

Η συστηματική καταγραφή των επιπτώσεων των καταστροφών είναι αναγκαία, καθώς έτσι μπορεί να δημιουργηθεί ένα σύστημα πρόληψης για τις μελλοντικές καταστροφές. Είναι σαφές ότι η συλλογή και καταγραφή τέτοιων δεδομένων δεν ανταποκρίνεται με απόλυτη ακρίβεια στην πραγματικότητα, και εξαρτάται από την αξιοπιστία των πηγών που έχουν χρησιμοποιηθεί. Η εξέλιξη της τεχνολογίας έχει βοηθήσει σε μεγάλο βαθμό σε αυτή την συλλογή και ανάλυση των δεδομένων.

Οι επιπτώσεις της ξηρασίας δεν γίνονται άμεσα αντιληπτές στους ανθρώπους. Επίσης, η μεγάλη διάρκεια των γεγονότων ξηρασίας δεν καθιστά εύκολη την διάκρισή τους, με αποτέλεσμα να δημιουργείται η αντίληψη ότι πρόκειται για σπάνια φαινόμενα, συγκριτικά με άλλες φυσικές καταστροφές. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 3, αποτυπώνονται με αριθμούς τα γεγονότα φυσικών καταστροφών, ο αριθμός των

ανθρώπων που επηρεάστηκαν και η οικονομική ζημιά που εντοπίστηκε στην Νότια Ευρώπη τη δεκαετία του 1990. Πιο συγκεκριμένα, τα γεγονότα ξηρασίας ήταν περίπου τα μισά από εκείνα των σεισμών και των πλημμυρών. Όμως η οικονομική ζημιά που προκάλεσαν οι ξηρασίες ήταν περίπου ίση με εκείνες των σεισμών και των πλημμυρών. Όσον αφορά τον αριθμό των ανθρώπων που επηρεάστηκαν από τις ξηρασίες έφτασε περίπου στα 6 εκατομμύρια. Τέλος η Ελλάδα ακολουθεί περίπου τα ίδια στατιστικά, με την ξηρασία να αποτελεί μια από τις πιο δαπανηρές φυσικές καταστροφές (Vangelis, 2012).

Πίνακας 3: Φυσικές καταστροφές στη Νότια Ευρώπη στη δεκαετία 1990.

Τύπος καταστροφής	Αριθμός γεγονότων	Άτομα που επηρεάστηκαν	Οικονομική ζημιά (εκατ. δολάρια)
Ξηρασίες	8 (9.09%)	6010000 (95.2%)	10510 (28.1%)
Σεισμοί	18 (20.45%)	142131 (2.3%)	10214 (27.3%)
Επιδημίες	3 (3.41%)	2148 (0.0%)	0 (0.0%)
Ακραίες θερμοκρασίες	4 (4.55%)	0 (0.0%)	824 (2.2%)
Πλημμύρες	22 (25.00%)	126489 (2.0%)	12235 (32.7%)
Μετακινήσεις υγρών γαιών	5 (5.68%)	3563 (0.1%)	71 (0.2%)
Καταιγίδες	15 (17.05%)	2410 (0.0%)	1257 (3.4%)
Ηφαιστεια	1 (1.14%)	7000 (0.1%)	0 (0.0%)
Δασικές πυρκαγιές	12 (13.63%)	19400 (0.3%)	2302 (6.2%)
Σύνολο	88 (100%)	6313141 (100%)	37413 (100%)

Πηγή: "EM – DAT : The OFDA /CRED International Disaster Database, www.em-dat.net – Universite Catholique de Louvain – Brussels – Belgium".


Στον Πίνακα 4 αποτυπώνονται οι δέκα πιο θανατηφόρες ξηρασίες του 20^{ου} αιώνα:

Πίνακας 4: Θανατηφόρες ξηρασίες του 20^{ου} αιώνα

Χώρα	Ημερομηνία	Θάνατοι
Λαϊκή Δημοκρατία της Κίνας	1928	3000000
Μπαγκλαντές	1943	1900000
Ινδία	1942	1500000
Ινδία	1965	1500000
Ινδία	1900	1250000
Σοβιετική Ένωση	1921	1200000
Λαϊκή Δημοκρατία της Κίνας	1920	500000
Αιθιοπία	1983 (Μάιος)	300000
Σουδάν	1983 (Απρίλιος)	150000
Αιθιοπία	1973 (Δεκέμβριος)	100000
Σύνολο		11400000

Πηγή: "EM – DAT : The OFDA /CRED International Disaster Database, www.em-dat.net – Universite Catholique de Louvain – Brussels – Belgium".

Στα Σχήματα 3 και 4, αποτυπώνονται τα δέκα εντονότερα γεγονότα φυσικών καταστροφών, όσον αφορά τον αριθμό των ανθρώπων που επηρεάστηκαν, κατά τη διάρκεια των ετών 2021 και 2022 αντίστοιχα. Πάνω από τα μισά γεγονότα ήταν ξηρασίες.

 China	Flood	14.5 million	 Somalia	Drought	5.6 million
 South Africa	Drought	12.0 million	 Ethiopia	Drought	5.5 million
 Afghanistan	Drought	11.0 million	 Syrian Arab Rep.	Drought	5.5 million
 Philippines	Typhoon Rai	10.6 million	 Iran (Islamic Rep.)	Drought	2.6 million
 Iraq	Drought	7.0 million	 Kenya	Drought	2.1 million

Σχήμα 3: Αριθμός ατόμων που επηρεάστηκαν από φυσικές καταστροφές το έτος 2021. Πηγή: EM – DAT.

 Pakistan	Flood	33.0 million	 Bangladesh	Flood	7.2 million
 Congo (Democratic Rep.)	Drought	26.0 million	 China	Drought	6.1 million
 Ethiopia	Drought	24.1 million	 Niger	Drought	4.4 million
 Nigeria	Drought	19.1 million	 Burkina Faso	Drought	3.5 million
 Sudan	Drought	11.8 million	 Philippines	Storm 'Nalgae'	3.3 million

Σχήμα 4: Αριθμός ατόμων που επηρεάστηκαν από φυσικές καταστροφές το έτος 2022. Πηγή: EM – DAT.

Οι επιπτώσεις της ξηρασίας μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις κατηγορίες: περιβαλλοντικές, κοινωνικές και οικονομικές (MEDROPLAN, 2007).

Περιβαλλοντικές επιπτώσεις

Η ξηρασία επηρεάζει σημαντικά τα οικοσυστήματα και το περιβάλλον. Αποτέλεσμα της ξηρασίας είναι η μείωση της παροχής ύδατος και της ποιότητας του επιφανειακού και του υπόγειου νερού. Η ξηρασία μπορεί να προκαλέσει ζημιές στα οικοσυστήματα και στους υγροτόπους, όπως διάβρωση του εδάφους, σκόνη, μειωμένη φυτοκάλυψη, πρόκληση ασθενειών κ.λ.π. Η βιοποικιλότητα εξαρτάται από διάφορες καταστάσεις νερού, όπως είναι η υγρασία στο έδαφος και στην ατμόσφαιρα. Οι επιπτώσεις στη βιοποικιλότητα μπορεί να είναι είτε μόνιμες είτε παροδικές, ανάλογα με τη διάρκεια, την έκταση και την ένταση της ξηρασίας. Η μείωση του νερού μπορεί να αλλάξει την παροχή τροφής σε διάφορες μορφές ζωής, και στη συνέχεια μπορεί να αλλάξει η τροφική αλυσίδα. Είδη με μικρό πληθυσμό μπορεί να μειωθούν ακόμη περισσότερο,

λόγω των ασφυκτικών κλιματικών συνθηκών. Επίσης, μπορεί να παρατηρηθεί έλλειψη τροφής και πόσιμου νερού, αύξηση της συγκέντρωσης άλατος σε ρέματα, υπόγεια στρώματα και αρδευόμενες περιοχές. Ακόμη, μπορεί να επηρεαστεί η χλωρίδα και η πανίδα στα ποτάμια και στους υγροτόπους. Παρατηρούνται απώλειες σε φυσικές και τεχνικές λίμνες (ψάρια, τοπία κ.λ.π.). Επιπλέον, η αύξηση των δασικών πυρκαγιών λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας σε συνδυασμό με τη χαμηλή υγρασία μπορούν να μειώσουν τα δάση και την άγρια ζωή. Τέλος, μπορεί να επηρεαστεί η ποιότητα του αέρα (ρυπαντική σκόνη) (MEDROPLAN, 2007 ; Kala, 2017).

Κοινωνικές επιπτώσεις

Η ξηρασία μπορεί να επηρεάσει τη δημόσια υγεία και ασφάλεια, λόγω των επιπτώσεων στην ποιότητα του αέρα και των υδάτων ή των αυξημένων πυρκαγιών. Αναλυτικότερα, η υψηλή πυκνότητα μορίων σκόνης στην ατμόσφαιρα λόγω παρατεταμένης ξηρασίας μπορεί να επηρεάσει το αναπνευστικό σύστημα των ανθρώπων και να τους προκαλέσει αλλεργίες. Η ξηρή κατάσταση ευνοεί τις δασικές πυρκαγιές, με αποτέλεσμα να θέτονται σε κίνδυνο ανθρώπινες ζωές. Ακόμη, μπορεί να προκληθούν συγκρούσεις λόγω περιορισμού της παροχής ύδατος. Παρατηρούνται επίσης επιπτώσεις στον τρόπο ζωής των ανθρώπων (π.χ. ανεργία, δυσκολίες στην προσωπική φροντίδα, εγκατάλειψη δραστηριοτήτων, επαναχρησιμοποίηση του ύδατος, απαγόρευση πλυσίματος αυτοκινήτων και σπιτιών, μείωση της διασκέδασης, απώλεια περιουσίας, ανησυχία για το μέλλον κ.α.). Επιπλέον παρατηρείται ανισότητα των επιπτώσεων της ξηρασίας και της κατανομής των μέτρων περιορισμού της. Παρατηρούνται αλλαγές στις πολιτικές προοπτικές και τέλος σε ακραίες περιπτώσεις η ξηρασία μπορεί να οδηγήσει στη μετανάστευση λαών (MEDROPLAN, 2007 ; Kala, 2017).

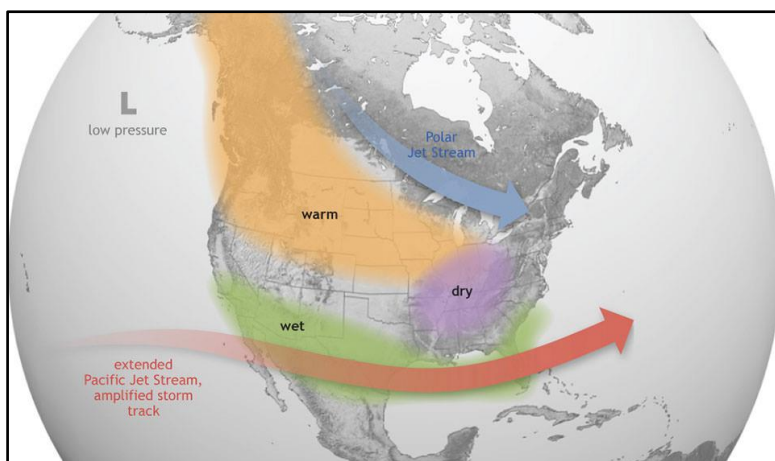
Οικονομικές επιπτώσεις

Η ξηρασία επηρεάζει την οικονομία τόσο σε τοπικό όσο και σε παγκόσμιο επίπεδο. Πιο συγκεκριμένα, εξαιτίας της ξηρασίας μπορεί να μειωθεί η παραγωγή στη γεωργία, στη δασοκομία, στην αλιεία, στην υδροηλεκτρική ενέργεια, στον τουρισμό, στη βιομηχανία και στις οικονομικές δραστηριότητες που εξαρτώνται από τους συγκεκριμένους τομείς. Ακόμη, μια συνέπεια είναι η ανεργία που προκαλείται από τη μείωση της παραγωγής. Επίσης, μπορεί να εντοπιστεί οικονομική ζημιά λόγω μειωμένης πλευστότητας στα ρέματα, στα ποτάμια και στα κανάλια. Μπορεί να πληγεί οικονομικά και ο τομέας του τουρισμού εξαιτίας της μειωμένης διαθεσιμότητας νερού στα συστήματα υδροδότησης και στα υδάτινα σώματα. Επιπλέον, επηρεάζονται οι οικονομικοί φορείς π.χ. μεγαλύτερη επικινδυνότητα δανεισμού, μείωση των κεφαλαίων κ.α. , και μειώνονται τα εισοδήματα σε εταιρείες υδάτων λόγω της μειωμένης διανομής ύδατος. Τέλος γίνονται δαπάνες σε μέτρα εκτάκτου ανάγκης για τη βελτίωση των πόρων και μειώνονται οι απαιτήσεις

(επιπλέον έξοδα για τη μεταφορά και την απομάκρυνση του νερού, έξοδα διαφήμισης για τη μείωση της χρήσης του νερού) (MEDROPLAN, 2007 ; Kala, 2017).

2.3. Αίτια ξηρασίας

Η ξηρασία οφείλεται κατά κύριο λόγο στην έλλειψη βροχής (Panu & Sharma, 2002). Η μείωση της βροχόπτωσης συνδέεται με τον κορεσμό των σύννεφων από σωματίδια σκόνης, που προέρχονται από την επιφάνεια της γης (Rodier & Beran, 1985). Ένας επιπλέον λόγος μπορεί να είναι η έλλειψη βλάστησης, αφού συντελεί στη δημιουργία βιογενών πυρήνων (biogenic nuclei) και κατ'επέκταση στον σχηματισμό σταγόνων βροχής. Ακόμη ένας αιτιολογικός παράγοντας είναι η αύξηση της λευκαύγειας (albedo) (Rodier & Beran, 1985). Αναλυτικότερα, η λευκαύγεια είναι η ανακλαστική ικανότητα ενός σώματος. Όταν αυξάνεται η λευκαύγεια παρατηρείται μείωση των επιφανειακών θερμοκρασιών και κατ'επέκταση μειώνεται η ανύψωση των αέριων μαζών με αποτέλεσμα να μειώνονται οι βροχοπτώσεις. Επιπλέον, με την αύξηση της λευκαύγειας παρατηρείται τοπική απώλεια θερμότητας έχοντας ως αποτέλεσμα μια διαβάθμιση θερμοκρασίας η οποία δημιουργεί μια κυκλοφορία ικανή να αποκαταστήσει την ισορροπία με το θερμότερο περιβάλλον και έτσι να προκαλέσει καθίζηση και ξήρανση του αέρα και επομένως να μειωθεί η βροχόπτωση. Επίσης, η ξηρασία σχετίζεται με τις ωκεάνιες κυκλοφορίες, οι οποίες επηρεάζουν τον καιρό και το κλίμα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η ξηρασία του 1952 στη Βραζιλία (Panu & Sharma, 2002 ; Charney, 1975). Αναλυτικότερα, υπό κανονικές συνθήκες, αληγείς άνεμοι πνέουν προς τα δυτικά κατά μήκος του ισημερινού, μεταφέροντας ζεστό νερό από τη Νότια Αμερική προς την Ασία, με αποτέλεσμα να εντοπίζονται χαμηλότερες θερμοκρασίες στα ανοιχτά της Νότιας Αμερικής καθώς αναδύονται ψυχρά ύδατα, πλούσια σε θρεπτικά συστατικά, από τα βάθη του ωκεανού. Κατά τη διάρκεια του El Niño, οι αληγείς άνεμοι εξασθενούν. Το ζεστό νερό ωθείται προς τα ανατολικά, δηλαδή προς τη δυτική ακτή της Αμερικής. Οι ψαράδες της Νότιας Αμερικής παρατήρησαν για πρώτη φορά περιόδους ασυνήθιστα ζεστού νερού στον Ειρηνικό Ωκεανό το 1600. Συνήθως κορύφωση του φαινομένου παρατηρείται το Δεκέμβριο. Το El Niño μπορεί να επηρεάσει σε μεγάλο βαθμό τις καιρικές συνθήκες. Ο οφειλόμενος στο φαινόμενο El Niño αεροχείμαρρος του Ειρηνικού που ενισχύει τις καταιγίδες, μετακινείται νοτιοανατολικά. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να εντοπίζονται θερμότερες θερμοκρασίες στον Καναδά και στις βόρειες ΗΠΑ, καθώς επίσης οι συγκεκριμένες περιοχές είναι πιο ξηρές από ότι συνήθως. Αλλά στις ακτές του Κόλπου των ΗΠΑ και στα νοτιοανατολικά, αυτές οι περίοδοι είναι πιο υγρές από το συνηθισμένο και παρουσιάζουν αυξημένες πλημμύρες. Οι επιστήμονες αποκαλούν αυτό το φαινόμενο κύκλος El Niño-Southern Oscillation (ENSO). Το El Niño έχει παγκόσμιες επιπτώσεις στον καιρό, τις πυρκαγιές, τα οικοσυστήματα και τις οικονομίες. Συνήθως τα επεισόδια El Niño έχουν διάρκεια εννέα έως δώδεκα μήνες, αλλά μπορεί να διαρκέσουν και χρόνια.



Σχήμα 5: Ο οφειλόμενος στο φαινόμενο El Niño αεροχέιμαρρος του Ειρηνικού που ενισχύει τις καταιγίδες, μετακινείται νότια και εξαπλώνεται ανατολικότερα. Κατά τη διάρκεια του χειμώνα, αυτό οδηγεί σε πιο υγρές συνθήκες από το συνηθισμένο στις νότιες ΗΠΑ και σε θερμότερες και ξηρότερες συνθήκες στο Βορρά. Πηγή: NOAA.

2.4. Ξηρασίες σε ευρωπαϊκό επίπεδο

Η ξηρασία ως φαινόμενο εντοπίζεται σε όλες τις ηπείρους, σε όλη τη διάρκεια ζωής του πλανήτη. Υποστηρίζεται ότι η ξηρασία ήταν ο λόγος εξαφάνισης κάποιων αρχαίων πολιτισμών. Από τον 20^ο αιώνα οι ξηρασίες καταγράφονται με συστηματικό τρόπο. Όσον αφορά την Ευρώπη, παρατηρείται έλλειψη νερού σε ορισμένες περιοχές, με συχνότητα πέντε χρόνων και διάρκεια περίπου ενός έτους. Ενώ ακραία φαινόμενα ξηρασίας εντοπίζονται μία φορά στα πενήντα χρόνια. Έντονα φαινόμενα ξηρασίας που έπληξαν τον ευρωπαϊκό χώρο, φαίνονται στον Πίνακα 5. Οι επιπτώσεις που προκάλεσαν οι συγκεκριμένες ξηρασίες ήταν η μείωση της παραγωγής, η κρίση στον κτηνοτροφικό τομέα, ο περιορισμός ή και η διακοπή των αρδεύσεων.

Πίνακας 5: Ξηρασίες στην Ευρωπαϊκή ήπειρο

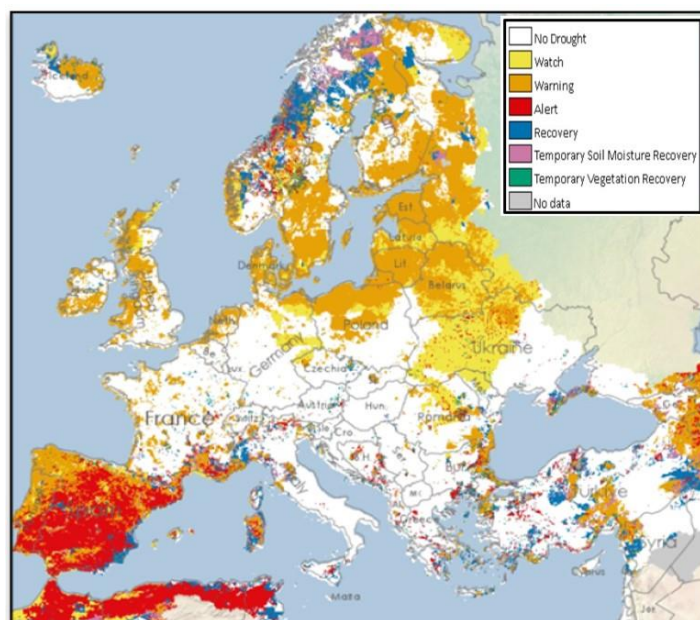
Σημαντικές ξηρασίες στην Ευρώπη	
Χώρα	Ημερομηνία
Ελλάδα	1987-1988 έως 1992-1993
Ιταλία	1988-1990
Ισπανία	1990-1996
Βόρεια Ευρώπη (από τις Σκανδιναβικές χώρες μέχρι τη Γαλλία)	1976
Γερμανία-Ουγγαρία-Βουλγαρία-Δυτική Ρωσία	1992
Ιβηρική χερσόνησος (Ισπανία-Πορτογαλία)	1990 έως 1995

Πηγή: «Tsakiris, 2013 ; Bradford, 2000; EEA: Ευρωπαϊκή υπηρεσία περιβάλλοντος».

Έχει παρατηρηθεί ότι από τις αρχές του 20^{ου} αιώνα τα διαστήματα ξηρασίας είναι μικρότερα αλλά έχουν μεγαλύτερη ένταση (Markonis et al., 2021).

Όσον αφορά το κοντινό παρελθόν, και συγκεκριμένα το έτος 2022 παρατηρήθηκαν έντονα φαινόμενα ξηρασίας στον ευρωπαϊκό χώρο. Αυτό συνέβη λόγω της παρατεταμένης απουσίας των βροχοπτώσεων το χρονικό διάστημα 2021-2022 σε συνδυασμό με τους συνεχόμενους καύσωνες τους καλοκαιρινούς μήνες. Ακόμη, η επιφανειακή υγρασία του εδάφους ήταν σε πολύ χαμηλά επίπεδα καθιστώντας την τη δεύτερη χαμηλότερη των τελευταίων πενήντα ετών. Η έλλειψη βροχοπτώσεων ήταν σημαντική, με χαρακτηριστικό παράδειγμα τις ιταλικές Άλπεις. Αναλυτικότερα, το μέσο έλλειμμα χιονόπτωσης στις ιταλικές Άλπεις έφτασε στο 45% στη διάρκεια του έτους, ενώ το μέγιστο έλλειμμα παρατηρήθηκε τον Μάρτιο και ήταν 60%.

Το έλλειμμα υγρασίας του εδάφους επηρέασε κατά κύριο λόγο τη νοτιοανατολική Γαλλία, τη βορειοδυτική Ιταλία, την Ουκρανία και τη Σλοβακία. Τον Ιούλιο το 36% της Ευρώπης είχε ξηρασία, και η κατάσταση χαρακτηρίστηκε ως «προειδοποίηση - warning» ή ακόμη και ως «συναγερμός - alert». Σε αρκετές ευρωπαϊκές χώρες παρατηρήθηκαν επιπτώσεις στη βλάστηση, στις καλλιέργειες, και κατ'επέκταση στον κοινωνικο-οικονομικό τομέα. Πιο συγκεκριμένα, εντοπίστηκαν απώλειες στη γεωργία (ρύζι, καλαμπόκι, σόγια και ηλίανθος). Επιπλέον, λόγω της ξηρασίας ελαττώθηκε η ροή στα ποτάμια με αποτέλεσμα να επηρεαστεί η υδροηλεκτρική παραγωγή. Μια ακόμη επίπτωση της ξηρασίας ήταν η έλλειψη υδατικών πόρων για άρδευση, βιομηχανική και οικιακή χρήση, καθώς μειώθηκε η στάθμη του νερού σε ορισμένες λίμνες. Τέλος αυξήθηκαν οι πυρκαγιές και οι εκπομπές άνθρακα (Climate Copernicus, 2023). Στο Σχήμα 6 αποτυπώνονται τα επίπεδα ξηρασίας που επικρατούσαν στην Ευρώπη τον Μάιο του 2023.



Σχήμα 6: Οπτικοποίηση επιπέδων ξηρασίας στον χάρτη της Ευρώπης στις 05/2023, Πηγή: “European Drought Observatory”

2.5. Ανάλυση επιφανειακής ξηρασίας

α) Στιγμαία Ελλειμματική Επιφάνεια

Πρόκειται για το τμήμα μιας συνολικής επιφάνειας S που πλήττεται από ξηρασία. Ο όρος «στιγμαία», προσδιορίζει τη χρονική βάση μελέτης της ξηρασίας.

$$A_s(i) = \sum_{k=1}^n a_k I [h(i,k)] \quad (2.1)$$

όπου:

$A_s(i)$: η ελλειμματική επιφάνεια για την i περίοδο

a_k : ο συντελεστής επιρροής του βροχομετρικού σταθμού k ($0 \leq a_k \leq 1$)

$$a_k = S_k / S$$

όπου:

S_k : η επιφάνεια που αντιστοιχεί στον βροχομετρικό σταθμό k , ($k=1, \dots, n$)

S : η συνολική έκταση της περιοχής στην οποία γίνεται η ανάλυση

I : η χαρακτηριστική συνάρτηση που μπορεί να πάρει τιμές 0 ή 1, ανάλογα με την ετήσια τιμή του βροχομετρικού ύψους $h(i,k)$ του σταθμού k , που αντιστοιχεί στο υδρολογικό έτος i .

Επιπλέον, για ένα κατώφλι βροχής, δηλαδή για ένα κρίσιμο ύψος βροχής «CL» για το βροχομετρικό σταθμό k ισχύουν τα παρακάτω:

Αν $h(i,k) < CL$, τότε $I(h(i,k)) = 1$

Αν $h(i,k) \geq CL$, τότε $I(h(i,k)) = 0$

β) Επιφανειακή Ξηρασία

Όταν η στιγμαία ελλειμματική επιφάνεια είναι μεγαλύτερη ή ίση από μια κρίσιμη τιμή CA , τότε παρατηρείται επιφανειακή ξηρασία.

γ) Διάρκεια Ξηρασίας

Η διάρκεια ξηρασίας είναι το χρονικό διάστημα που εντοπίζεται ξηρασία στην περιοχή μελέτης, και ορίζεται όπως φαίνεται παρακάτω:

$$L = t_e - t_0 + 1 \quad (2.2)$$

όπου:

t_0 : η χρονική στιγμή τέτοια ώστε $A_s(t_0) \geq CA$ και $A_s(t_0 - 1) < CA$

t_e : η χρονική στιγμή τέτοια ώστε $A_s(t_e) \geq CA$ και $A_s(t_e + 1) < CA$

δ) Στιγμαίο Υδατικό Έλλειμμα

Το στιγμαίο υδατικό έλλειμμα αποτυπώνει την ένταση της ξηρασίας, και πρόκειται για έναν ποσοτικό δείκτη που ορίζεται όπως φαίνεται παρακάτω:

$$D_s(i) = \sum_{k=1}^n a_k [CL - h(i,k)] I[h(i,k)] \quad (2.3)$$

ε) Μέση Ελλειμματική Επιφάνεια

Η μέση ελλειμματική επιφάνεια αντιστοιχεί στο δείκτη της χωρικής εξάπλωσης της ξηρασίας. Είναι η μέση τιμή της «στιγμαϊάς» ελλειμματικής επιφάνειας που αντιστοιχεί στο χρονικό διάστημα (t_0, t_e) :

$$\bar{A} = \frac{\sum_{t_0}^{t_e} A_s(t)}{L} \quad (2.4)$$

όπου ισχύει $A_s(t) \geq CA$, $t_0 \leq t \leq t_e$

στ) Αθροιστικό Υδατικό Έλλειμμα

Το αθροιστικό υδατικό έλλειμμα ορίζεται ως το άθροισμα των «στιγμαϊών τιμών» του υδατικού ελλείμματος κατά τη διάρκεια της ξηρασίας. Για την εκτίμηση του συνολικού μεγέθους της ξηρασίας χρησιμοποιείται το αθροιστικό υδατικό έλλειμμα.

$$D = \sum_{t_0}^{t_e} D_s(t) \quad (2.5)$$

2.6. Εκτίμηση πιθανότητας ξηρασίας

α) Πιθανότητα ξηρασίας

Η πιθανότητα να υπάρξει ξηρασία σε κάποιο υδρολογικό έτος, ορίζεται με την παρακάτω σχέση:

$$P(H < h) = \frac{1}{T} \quad (2.6)$$

όπου:

$P(H/h)$: η πιθανότητα μη υπέρβασης της τιμής h της τυχαίας μεταβλητής H που είναι το ετήσιο ύψος της ίδιας μεταβλητής .

T : η περίοδος επαναφοράς σε έτη.

Η πιθανότητα μη υπέρβασης $P(H < h) = \frac{1}{T}$ αφορά την ανάλυση ελαχίστων. Για την ανάλυση μέγιστων χρησιμοποιείται η αντίστροφη σχέση. Η πιθανότητα να προκληθεί ξηρασία για τις ελάχιστες τιμές, για ένα συναπτό αριθμό ετών (n) ορίζεται με την εξίσωση:

$$P(H < h)_n = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n \quad (2.7)$$

Δεδομένου ότι το φαινόμενο της ξηρασίας είναι πολυδιάστατο, για να εκτιμηθεί ο βαθμός επικινδυνότητας θα πρέπει είτε να καθοριστεί εξαρχής η έκταση και η διάρκεια είτε η ανάλυση να πραγματοποιηθεί για αντιπροσωπευτικά της έντασης μεγέθη (π.χ. να ληφθούν τα δεδομένα του πιο αντιπροσωπευτικού σταθμού).

β) Επαναφορά

Όσον αφορά την εκτίμηση του χρόνου αποκατάστασης της ξηρασίας, διακρίνονται δύο περιπτώσεις:

- i. Ο χρόνος επαναφοράς του συστήματος να ισούται με τη διάρκεια της ξηρασίας που προηγήθηκε.
- ii. Ο χρόνος επαναφοράς να είναι μεγαλύτερος από τη διάρκεια της ξηρασίας.

Ο χρόνος επαναφοράς στην δεύτερη περίπτωση μπορεί να υπολογιστεί όπως φαίνεται παρακάτω:

$$e(t) = h(t) - RL, \quad RL < h(t) \quad (2.8)$$

$$e(t) = 0, \quad RL \geq h(t) \quad (2.9)$$

όπου:

$e(t)$: το υδατικό πλεόνασμα στο χρόνο t (υδρολογικό έτος i), μετά τα πέρασ της ξηρασίας t_e .

RL: το βροχομετρικό ύψος επαναφοράς, το οποίο θεωρείται ίσο ή μεγαλύτερο από το κρίσιμο βροχομετρικό ύψος.

Το αθροιστικό υδατικό πλεόνασμα της περιόδου (t_e, t) μπορεί να οριστεί από την εξίσωση:

$$E(t) = \sum_{t_e}^t e(t) \quad (2.10)$$

Το ποσοστό επαναπλήρωσης AR αντιστοιχεί στο ποσοστό του αθροιστικού υδατικού ελλείμματος D που πρέπει να καλυφθεί. Τελικά ο χρόνος επαναφοράς του συστήματος t_r υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$t_r = \min [(t-t_e): E(t) / D \geq AR] \quad (2.11)$$

γ) Διακινδύνευση (drought risk)

Όσον αφορά τις συνέπειες μιας ξηρασίας εκτιμώνται από τη συνάρτηση διακινδύνευσης του συστήματος, σύμφωνα με την παρακάτω εξίσωση (Correia, et al., 1986) :

$$L_f = -1 / K (\ln[1-D/D_{max}]) \quad (2.12)$$

όπου:

L_f : συνάρτηση απωλειών

D : το αθροιστικό υδατικό έλλειμμα

D_{max} : οριακή τιμή του D

K : παράμετρος που προσδιορίζει την ταχύτητα που η τιμή του D προσεγγίζει την οριακή τιμή D_{max} .

Ωστόσο για να εκτιμηθούν οι συνέπειες της ξηρασίας θα πρέπει να ληφθούν υπόψη πολλές παράμετροι. Η παραπάνω εξίσωση χρησιμοποιείται βασικά για την κατανόηση της έννοιας της διακινδύνευσης (drought risk) (Tsakiris, 2013).

2.7. Δείκτες ξηρασίας

Οι δείκτες ξηρασίας είναι ένα μέσο προσδιορισμού και ανάλυσης των ξηρασιών (MEDROPLAN, 2007). Οι δείκτες ξηρασίας βασίζονται σε δεδομένα όπως η βροχόπτωση, η θερμοκρασία, η απορροή κ.α. για να εξάγουν συμπεράσματα ανάλογα με τον τύπο της ξηρασίας που μελετάται. Επίσης υπόψη λαμβάνονται και οι ειδικές συνθήκες (κλιματολογικές, οργανωτικές κ.α.) (Tsakiris, 2013). Για να εξαχθούν ορθά συμπεράσματα από τους δείκτες, απαιτείται η βαθμονόμησή τους με τις

παρατηρούμενες επιπτώσεις, το επίπεδο επικινδυνότητας και την τρωτότητα (MEDROPLAN, 2007). Στον Πίνακα 6 παρουσιάζονται διάφοροι δείκτες ξηρασίας.

Πίνακας 6: Δείκτες ξηρασίας

α/α	Δείκτες ξηρασίας
1	Aggregate Drought Index (ADI)
2	Agricultural Drought Index (DTx)
3	Agricultural Reference Index for Drought (ARID)
4	Agricultural Standardised Precipitation Index (aSPI)
5	Anomaly of Normalized Difference Vegetation Index (NDVIA)
6	Anomaly of Vegetation Condition (FAPAR Anomaly)
7	Aridity Anomaly Index (AAI)
8	Aridity Index (AI)
9	Base Flow Index (BFI)
10	Bhalme and Mooley Drought Index (BMDI)
11	China Z Index (CZI)
12	Colorado Palmer Drought Index (CPDI)
13	Computed Soil Moisture (CSM)
14	Consecutive Dry Days (CDD)
15	Corn Drought Index (CDI)
16	Crop Moisture index (CMI)
17	Crop Specific Drought Index (CSDI)
18	Cumulative Precipitation Anomaly (CPA)
19	Cumulative Streamflow Anomaly (CSA)
20	Deciles (DECILES)
21	Drought Area Index (DAI)
22	Drought Frequency Index (DFI)
23	Drought Severity Index (DSI)
24	Effective Drought Index (EDI)
25	Effective Reconnaissance Drought Index (eRDI)
26	Enhanced Vegetation Index (EVI)
27	Evapotranspiration Deficit Index (ETDI)
28	Evapotranspiration Stress Index (ESI)
29	Foley Drought Index (FDI)
30	Global Integrated Drought Monitoring and Prediction System (GIDMaPS)
31	Global Land Data Assimilation System (GLDAS)
32	Global Vegetation Water moisture Index (GVWI)
33	Groundwater Resource Index (GRI)
34	Heat and Cold Wave Index (HCWI)
35	Hydro-thermal Coefficient of Selyaninov (HTC)
36	Keetch-Byam Drought Index (KBDI)
37	Land Surface Water Index (LSWI)
38	Leaf Water Content Index (LWCI)

39	Low Flow Index (LFI)
40	Modified Perpendicular Drought Index (MPDI)
41	Moisture Availability Index (MAI)
42	Multivariate Standardized Drought Index (MSDI)
43	NOAA Drought Index (NDI)
44	Normalised Burn Ratio (NBR)
45	Normalized Difference Infrared Index (NDII)
46	Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)
47	Normalized Difference Water Index (NDWI)
48	Normalized Multi-band Drought Index (NMDC)
49	Normalized Precipitation Index (NPI)
50	Palfai Aridity Index (PAI)
51	Palmer Drought Severity Index (PDSI)
52	Palmer Hydrological Drought Index (PHDI)
53	Palmer Modified Drought Index (PMDI)
54	Palmer Z-index (Z-index)
55	Percent of Normal Precipitation (PN)
56	Perpendicular Drought Index (PDI)
57	Rainfall Anomaly Index (RAI)
58	Rainfall Deciles (RD)
59	Rainfall Deficiency Index (RDI)
60	Reclamation Drought Index (RDI)
61	Reconnaissance Drought Index (RDI)
62	Regional Streamflow Deficiency Index (RSDI)
63	Remote Sensing Drought Risk Index (RDRI)
64	Risk of Drought Impact for Agriculture (Rdri-Agri)
65	Runoff Deficiency Index (RDI)
66	Self – Calibrated Palmer Drought Severity Index (sc-PDSI)
67	Simple Ratio Water Index (SRWI)
68	Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI)
69	Soil Moisture Anomaly Index (SMAI)
70	Soil Moisture Deficit Index (SMDI)
71	Soil Moisture Drought Index (SMDI)
72	Soil Water Storage (SWS)
73	Soybean Drought Index (SDI)
74	Sperling Drought Index (SDI)
75	Standardized Anomaly Index (SAI)
76	Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI)
77	Standardized Precipitation Index (SPI)
78	Standardized Reservoir Supply Index (SRSI)
79	Standardized Snowmelt and Rain Index (SMRI)
80	Standardized Streamflow Index (SSI)
81	Standardized Vegetation Index (SVI)
82	Standardized Water -level Index (SWI)
83	Streamflow Drought Index (SDI)
84	Surface Water Supply Index (SWSI)

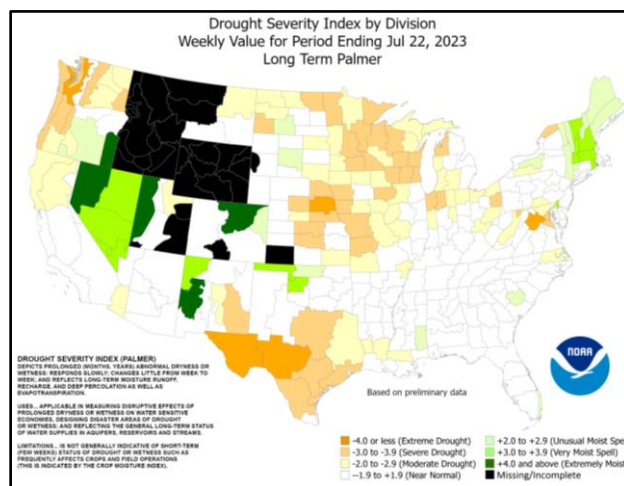
85	Temperature Condition Index (TCI)
86	Theory of Runs (Run)
87	Total Water Deficit (S)
88	Total Storage Deficit Index (TSDI)
89	United States Drought Monitor (USDM)
90	Vegetation Condition Albedo Drought Index (VCADI)
91	Vegetation Condition Index (VCI)
92	Vegetation Drought Response Index (VegDRI)
93	Vegetation Health Index (VHI)
94	Water Index (WI)
95	Water Requirement Satisfaction Index (WRSI and Geospatial WRSI)
96	Weighted Anomaly Standardized Precipitation (WASP)

Πηγή: «Svoboda and Fuchs, 2016 ; Tsakiris, 2013»

2.7.1. Δείκτης PDSI (Palmer Drought Severity Index)

Ο W.C. Palmer το 1965 ανέπτυξε τον δείκτη PDSI - Palmer Drought Severity Index. Πιο συγκεκριμένα, ο δείκτης PDSI βασίζεται στο γεγονός ότι το μέσο κλίμα καθώς επίσης και οι μετεωρολογικές συνθήκες μιας περιοχής, το διάστημα πριν και κατά τη διάρκεια της περιόδου που μελετάται, καθορίζει την απαιτούμενη ποσότητα βροχής. Ο PDSI θεωρείται ένας δείκτης μετεωρολογικής ξηρασίας, αλλά λαμβάνει υπόψη παράγοντες της υδρολογικής ξηρασίας. Ο δείκτης PDSI στηρίζεται σε δεδομένα όπως η βροχόπτωση, η εξατμισοδιαπνοή και οι συνθήκες υγρασίας του εδάφους (Tsakiris et al., 2007).

Στο Σχήμα 7 φαίνεται ο χάρτης των ΗΠΑ στον οποίο έχει οπτικοποιηθεί ο δείκτης PDSI. Ο συγκεκριμένος δείκτης ενημερώνεται εβδομαδιαία από το Κέντρο Πρόβλεψης Κλίματος.



Σχήμα 7: Χάρτης ΗΠΑ – Δείκτης PDSI- εβδομαδιαία ενημέρωση του δείκτη 22.07.2023, Πηγή: Nebraska-US Drought monitor, NOAA)

2.7.2. Δείκτης SPI (Standardised Precipitation Index)

Ο δείκτης SPI αναπτύχθηκε από τον McKee και τους συνεργάτες του στο πανεπιστήμιο του Colorado. Πρόκειται για έναν κατανοητό δείκτη, που βασίζεται μόνο στις βροχοπτώσεις. Ο συγκεκριμένος δείκτης δημιουργήθηκε για να ενισχύσει τα δεδομένα που προκύπτουν από τον PDSI (McKee et al., 1993). Ο SPI μπορεί να υπολογιστεί για διάφορες χρονικές κλίμακες. Αυτή η ευελιξία επιτρέπει στον SPI να είναι χρήσιμος σε βραχυπρόθεσμες γεωργικές εφαρμογές καθώς επίσης και σε μακροπρόθεσμες υδρολογικές εφαρμογές (Nebraska-US Drought monitor). Επίσης, χάρη στην ιδιαιτερότητα του δείκτη να εφαρμόζεται σε διαφορετικές χρονικές κλίμακες, γίνεται εφικτός ο εντοπισμός και η παρακολούθηση της ξηρασίας κατά τη διάρκεια εξέλιξης ενός γεγονότος (Wilhite et al., 2000).

Όσον αφορά την εφαρμογή του, ο δείκτης SPI χρησιμοποιεί μηνιαίες χρονοσειρές αθροιστικής βροχόπτωσης, για συγκεκριμένη κλίμακα ενδιαφέροντος (π.χ. 1, 3, 6, 9, 12,... μήνες). Στη δεδομένη χρονοσειρά προσαρμόζεται η θεωρητική κατανομή πιθανότητας Γάμμα, η οποία στη συνέχεια μετατρέπεται σε κανονική κατανομή, έτσι ώστε η μέση τιμή του SPI να είναι μηδέν (Edwards and McKee, 1997). Η κατανομή Γάμμα ορίζεται από τη συνάρτηση συχνότητας ή πυκνότητας πιθανότητας:

$$g(x) = \frac{1}{\beta^a \Gamma(a)} x^{a-1} e^{-x/\beta}, \text{ for } x > 0 \quad (2.13)$$

όπου α και β είναι οι παράμετροι σχήματος και κλίμακας αντίστοιχα, x είναι η ποσότητα βροχόπτωσης και $\Gamma(\alpha)$ είναι η συνάρτηση Γάμμα. Οι παράμετροι α και β υπολογίζονται για κάθε σταθμό και για κάθε χρονική κλίμακα ενδιαφέροντος (1, 3, 6, 9, 12 μήνες κ.λπ.). Οι εκτιμήσεις μέγιστης πιθανότητας των α και β είναι:

$$\alpha = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right), \beta = \frac{\bar{x}}{\alpha}, \text{ where } A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum \ln(x)}{n} \quad (2.14)$$

και n είναι ο αριθμός των παρατηρήσεων.

Οι παράμετροι που προκύπτουν χρησιμοποιούνται στη συνέχεια για να βρεθεί η αθροιστική πιθανότητα ενός παρατηρούμενου γεγονότος βροχόπτωσης για τον δεδομένο μήνα και τη χρονική κλίμακα για την εν λόγω τοποθεσία. Δεδομένου ότι η συνάρτηση Γάμμα δεν έχει οριστεί για $x=0$ και μια κατανομή υετού μπορεί να περιέχει μηδενικά, η αθροιστική πιθανότητα γίνεται:

$$H(x) = q + (1 - q) G(x) \quad (2.15)$$

όπου q είναι η πιθανότητα μηδενικής κατακρήμνισης και $G(x)$ είναι η αθροιστική πιθανότητα της ατελούς συνάρτησης Γάμμα. Αν m είναι ο αριθμός των μηδενικών σε μια χρονοσειρά υετού, τότε το q μπορεί να εκτιμηθεί με m/n . Η αθροιστική πιθανότητα $H(x)$, στη συνέχεια μετασχηματίζεται στην τυπική κανονική τυχαία μεταβλητή z με μέση τιμή 0 και διακύμανση 1 (Abramovitz and Stegun, 1965), που είναι η τιμή του SPI.

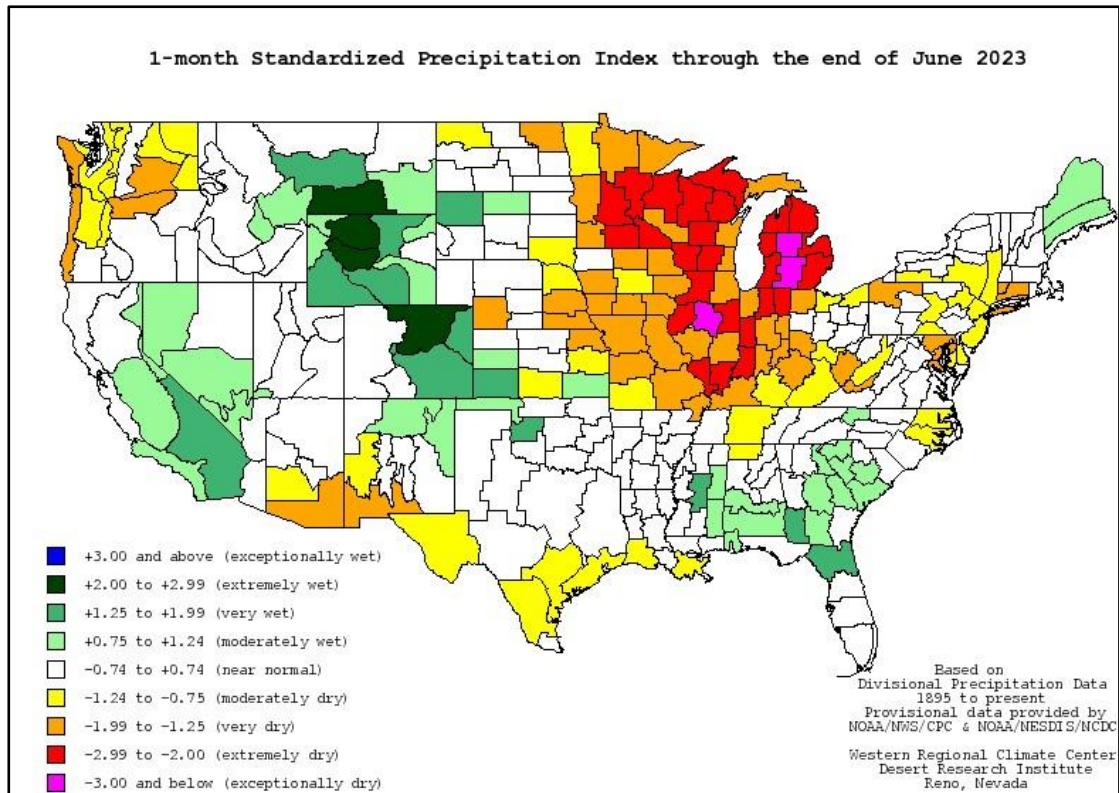
Ο δείκτης SPI έχει χρησιμοποιηθεί σε πολλές χώρες. Μπορεί να εφαρμοστεί σε οποιαδήποτε περιοχή για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, αρκεί να υπάρχουν μηνιαίες χρονοσειρές βροχόπτωσης με δεδομένα τουλάχιστον τριάντα χρόνων.

Πίνακας 7: Κατηγοριοποίηση της ξηρασίας σύμφωνα με τον δείκτη SPI

Τιμές SPI	Κατηγορία
>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

Στον Πίνακα 7, κατατάσσεται η ξηρασία με βάση τις τιμές του SPI. Για τιμές του SPI μικρότερες από -1.0 το φαινόμενο αναμένεται στατιστικά να εντοπιστεί 16 φορές κατά τη διάρκεια ενός αιώνα, ενώ για τιμές μικρότερες από -2 το φαινόμενο αναμένεται στατιστικά να εμφανιστεί 2 ή 3 φορές σε έναν αιώνα (Tsakiris, 2013). Ο C.T. Agnew (2000) λαμβάνοντας υπόψιν τα δεδομένα για τη χρονική περίοδο 1961 έως 1990 κατέληξε στο ότι η πιθανότητα να συμβεί μια σημαντική ξηρασία είναι περίπου τριπλάσια από την πιθανότητα να συμβεί μια ακραία ξηρασία.

Στο Σχήμα 8 φαίνεται ο χάρτης των ΗΠΑ στον οποίο έχει οπτικοποιηθεί ο δείκτης SPI. Το Σχήμα 8 βασίζεται σε δεδομένα από το Εθνικό Κέντρο Κλιματικών Δεδομένων σε συνεργασία με το Δυτικό Περιφερειακό Κέντρο Κλίματος των ΗΠΑ.



Σχήμα 8: Χάρτης ΗΠΑ – Δείκτης SPI - Ιούλιος 2023, Πηγή: Nebraska-US Drought monitor, NOAA.

2.7.3. Δείκτης aSPI (Agricultural Standardized Precipitation Index)

Ο δείκτης aSPI αποτελεί μια τροποποιημένη έκδοση του SPI. Πρόκειται για έναν απλό δείκτη αφού μπορεί να εξαχθεί από δεδομένα βροχόπτωσης. Πιο συγκεκριμένα, στον δείκτη aSPI χρησιμοποιείται η ενεργός βροχόπτωση (effective precipitation), ενώ στον SPI χρησιμοποιείται η συνολική βροχόπτωση. Η ενεργός βροχόπτωση είναι η ποσότητα του νερού που μπορεί να χρησιμοποιηθεί παραγωγικά από τα φυτά. Ο δείκτης aSPI είναι κατάλληλος για τον προσδιορισμό της γεωργικής ξηρασίας. Για να επιτευχθεί η εκτίμηση της ενεργού βροχόπτωσης χρησιμοποιούνται μέθοδοι που βασίζονται στα μηνιαία δεδομένα της συνολικής βροχόπτωσης (Tigkas et al., 2018). Οι μέθοδοι αυτοί είναι:

- U.S. Bureau of Reclamation (USBR): Σε αυτή τη μέθοδο, η ενεργός βροχόπτωση (P_e) υπολογίζεται με τη χρήση κατηγοριών βροχόπτωσης όπως φαίνεται στον Πίνακα 8.

Πίνακας 8: Εκτίμηση ενεργούς βροχόπτωσης τις μηνιαίες κατηγορίες βροχοπτώσεων.

Μηνιαία συνολική βροχόπτωση (mm)	Ενεργός βροχόπτωση (%)
0.0 – 25.4	90 - 100
25.4 – 50.8	85 - 95
50.8 – 76.2	75 - 90
76.2 – 101.6	50 - 80
101.6 – 127.0	30 - 60
127.0 – 152.4	10 - 40
> 152.4	0 - 10

- Soil Conservation Service/U.S. Department of Agriculture–CROPWAT version (USDA-SCS CROPWAT): Πρόκειται για μια προσέγγιση που χρησιμοποιείται στο λογισμικό CROPWAT, βασισμένη στη μέθοδο USDA SCS, και χρησιμοποιεί μόνο την συνολική βροχόπτωση (P) για την εκτίμηση της ενεργού βροχόπτωσης (Pe), σύμφωνα με τους παρακάτω τύπους:

$$P_e = \begin{cases} P \frac{(125-0.2P)}{125} & \text{for } P \leq 250 \text{ mm} \\ 0.1P + 125 & \text{for } P > 250 \text{ mm} \end{cases} \quad (2.16)$$

- Soil Conservation Service/U.S. Department of Agriculture–simplified version (USDA-SCS simp.): Πρόκειται για μια απλοποιημένη έκδοση της μεθόδου USDA SCS, που χρησιμοποιεί μόνο δεδομένα βροχόπτωσης και θεωρεί σταθερές τις υπόλοιπες παραμέτρους του μοντέλου.
- U.N. Food and Agriculture Organization (FAO): Πρόκειται για μια απλή εμπειρική προσέγγιση που έχει προταθεί από τον FAO, χρησιμοποιώντας τις ακόλουθες εξισώσεις

$$P_e = \begin{cases} 0.6P - 10 & \text{for } P < 75 \text{ mm} \\ 0.8P - 25 & \text{for } P \geq 75 \text{ mm} \end{cases} \quad (2.17)$$

Αξίζει να σημειωθεί ότι οι μέθοδοι USBR, USDA-SCS CROPWAT και USDA-SCS simp εξάγουν παρόμοια αποτελέσματα για συνολική μηνιαία βροχόπτωση έως 110mm, όπου αντιστοιχεί σε ξηρές και ημίξηρες περιοχές. Ενώ η μέθοδος FAO ακολουθεί διαφορετικό μοτίβο, με χαμηλότερες εκτιμήσεις για την ενεργό βροχόπτωση, για το ίδιο ποσό συνολικής μηνιαίας βροχόπτωσης. Ακόμη η μέθοδος FAO εφαρμόζεται κυρίως σε πεδινές περιοχές, με μέγιστη κλίση 4–5%. Τέλος, οι παραπάνω μέθοδοι είναι αξιόπιστοι για ξηρές και ημίξηρες συνθήκες (Tigkas et al., 2022).

2.7.4. Δείκτης RDI (Reconnaissance Drought Index)

Ο δείκτης RDI (Reconnaissance Drought Index) αναπτύχθηκε από τους Tsakiris and Vangelis (2005). Πρόκειται για έναν δείκτη ο οποίος βασίζεται στις εισροές και στις εκροές του υδατικού συστήματος. Πιο συγκεκριμένα, για την απώλεια νερού λαμβάνει υπόψη τη δυνητική εξατμισοδιαπνοή.

$$\alpha_k = \frac{\sum_{j=1}^k P_j}{\sum_{j=1}^k PET_j} \quad (2.18)$$

όπου:

α_k : η αρχική τιμή του RDI για συγκεκριμένο μήνα k.

P_j : βροχόπτωση.

PET_j : δυνητική εξατμισοδιαπνοή του μήνα j του συγκεκριμένου υδρολογικού έτους.

Για να εντοπιστεί η ξηρασία καθώς επίσης και η έντασή της χρησιμοποιούνται οι τύποι Normalised RDI και Standardised RDI.

Ο Normalised RDI εκφράζεται παρακάτω:

$$RDI_n(k) = (\alpha_k / \bar{\alpha}_k) - 1 \quad (2.19)$$

όπου:

α_k : η αρχική τιμή του RDI για συγκεκριμένο μήνα k, στις μεσογειακές χώρες το υδρολογικό έτος ξεκινά από τον Οκτώβριο (k=1).

$\bar{\alpha}_k$: μέση τιμή η οποία είναι ίση με τον δείκτη ξηρότητας της εκάστοτε περιοχής.

Ο Standardised RDI εκφράζεται παρακάτω:

$$RDI_{st}(k) = (y_k - \bar{y}_k) / \hat{\sigma}_k \quad (2.20)$$

όπου:

y_k : ισούται με το $\ln(\alpha_k)$, οι τιμές του α_k ακολουθούν την λογαριθμική κατανομή.

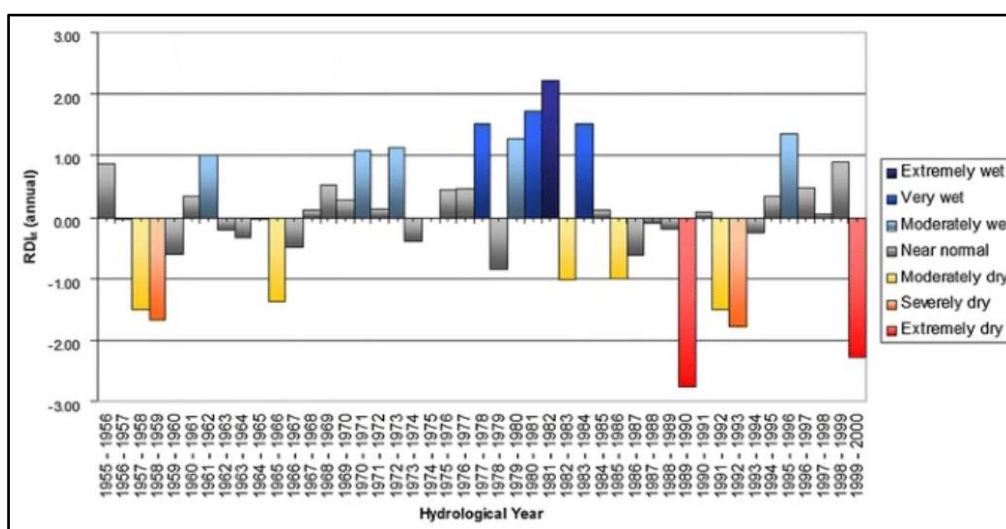
\bar{y}_k : ο αριθμητικός μέσος όρος

$\hat{\sigma}_k$: τυπική απόκλιση

Ο δείκτης RDI (RDI_{st}) παρουσιάζει ομοιότητες με τον SPI τόσο στη διαδικασία υπολογισμού όσο και στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων τους. Ο Πίνακας 7 μπορεί να χρησιμοποιηθεί και στην περίπτωση του RDI.

Επιπλέον, ο RDI μπορεί να εκτιμηθεί και με τη συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της Γάμμα κατανομής, καθώς οι τιμές του α_k ακολουθούν ικανοποιητικά και την

Γάμμα κατανομή. Για μικρές χρονικές κλίμακες (π.χ. μηνιαία κλίμακα) στις οποίες μπορεί να εμφανίζονται μηδενικές τιμές της βροχόπτωσης ($\alpha_k = 0$), ο RDI_{st} μπορεί να εκτιμηθεί με τη χρήση της σύνθετης συνάρτησης αθροιστικής πιθανότητας, που περιλαμβάνει: i) την πιθανότητα μηδενικών βροχοπτώσεων και ii) την αθροιστική πιθανότητα της Γάμμα κατανομής. Ο RDI μπορεί να υπολογιστεί για ένα υδρολογικό έτος για περιόδους αναφοράς 3, 6, 9 και 12 μηνών (Tsakiris, 2013). Στο Σχήμα 9 φαίνονται οι συνθήκες ξηρασίας που επικρατούσαν στο νησί της Νάξου για 45 υδρολογικά έτη. Τα ακραία γεγονότα ξηρασίας εντοπίζονται με κόκκινο χρώμα, δηλαδή τα χρονικά διαστήματα 1989-1990 και 1999-2000.



Σχήμα 9: Συνθήκες ξηρασίας στη Νάξο με βάση τον δείκτη RDI. Πηγή: Tigkas et al., 2015.

2.7.5. Δείκτης eRDI (Effective Reconnaissance Drought Index)

Ο δείκτης eRDI είναι μια τροποποιημένη έκδοση του δείκτη RDI, η οποία έχει ως στόχο τη βελτίωση της ικανότητας αξιολόγησης της γεωργικής ξηρασίας. Η βασική διαφορά των δύο δεικτών είναι ότι στον eRDI χρησιμοποιείται η ενεργός βροχόπτωση, ενώ στον RDI χρησιμοποιείται η συνολική βροχόπτωση. Επομένως, για τον υπολογισμό του eRDI χρειάζονται δεδομένα της ενεργού βροχόπτωσης (Pe) και της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής (PET). Ο δείκτης eRDI μπορεί να υπολογιστεί με τον παρακάτω τύπο:

$$\alpha_{ek} = \frac{\sum_{j=1}^k Pe_j}{\sum_{j=1}^k PET_j} \quad (2.21)$$

όπου:

α_{ek} : η αρχική τιμή του eRDI για συγκεκριμένο μήνα k .

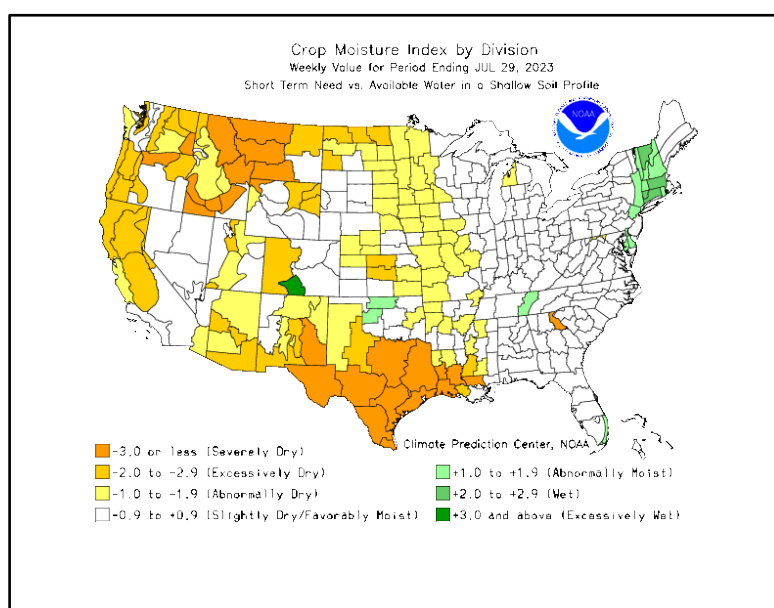
Pe_j : ενεργός βροχόπτωση.

PET_j : δυνητική εξατμισοδιαπνοή του μήνα j του συγκεκριμένου υδρολογικού έτους

2.7.6. Δείκτης CMI (Crop Moisture Index)

Ο δείκτης υγρασίας καλλιεργειών, που ενημερώνεται εβδομαδιαία από το Κέντρο Πρόβλεψης Κλίματος, είναι ένα παράγωγο του Δείκτη ξηρασίας Palmer, σχεδιασμένο να αντικατοπτρίζει τις ταχέως μεταβαλλόμενες συνθήκες υγρασίας του εδάφους (Nebraska-USDM, 2023).

Βασίζεται σε διαθέσιμες μετεωρολογικές πληροφορίες όπως είναι η μέση θερμοκρασία και η συνολική βροχόπτωση για κάθε εβδομάδα. Οι αρνητικές τιμές του CMI σημαίνουν ότι η εξατμισοδιαπνοή ήταν ανεπαρκής, ενώ οι θετικές τιμές CMI σημαίνουν ότι είτε η πραγματική εξατμισοδιαπνοή υπερέβη την αναμενόμενη ποσότητα, είτε οι πρόσφατες βροχοπτώσεις ξεπέρασαν τις απαιτήσεις υγρασίας των καλλιεργειών και πρόσθετη υγρασία προστέθηκε στο έδαφος ή θεωρήθηκε ως απορροή (Palmer, 1968).

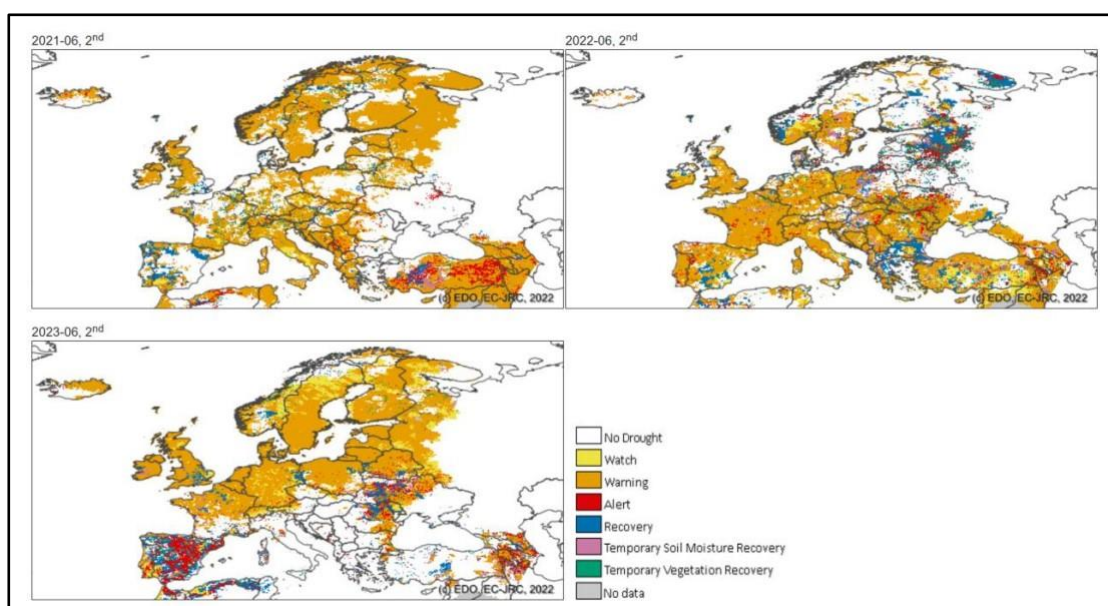


Σχήμα 10: Χάρτης ΗΠΑ – Δείκτης CPI. Πηγή: Nebraska-US Drought monitor, NOAA

2.7.7. Δείκτης CDI (Corn Drought Index)

Ο δείκτης ξηρασίας CDI λαμβάνει υπόψιν τις μεταβλητές που σχετίζονται με διάφορους τύπους ξηρασίας. Ο CDI βασίζεται στο σταθμισμένο μέτρο ομοιότητας (entropy weighted Euclidian distance). Ο CDI θεωρείται ένας αμερόληπτος δείκτης καθώς είναι χρονικά ευέλικτος και συνδέεται με τις κλιματικές συνθήκες τις περιοχής μελέτης.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 11, με βάση τον δείκτη ξηρασίας (CDI), η Ιβηρική Χερσόνησος ήταν σε κατάσταση συναγερμού τον Ιούνιο του 2023. Πιο συγκεκριμένα, η έλλειψη βροχοπτώσεων και οι θερμότερες από το μέσο όρο συνθήκες στην Ιβηρική χερσόνησο, οδήγησαν σε μείωση τις υγρασίας του εδάφους και επηρεάστηκαν αρνητικά οι καλλιέργειες και η βλάστηση. Τον Απρίλιο και τον Ιούνιο του 2023, οι καύσωνες και η έλλειψη βροχοπτώσεων επηρέασαν τη βόρεια και την κεντρική Ευρώπη, καθώς τις και τις περιοχές τις Βαλτικής Θάλασσας. Οι συγκεκριμένες χώρες είναι σε κατάσταση παρακολούθησης ή και προειδοποίησης.



Σχήμα 11: Ο συνδυασμένος δείκτης ξηρασίας (CDI), με βάση έναν συνδυασμό δεικτών βροχοπτώσης, εδάφους, υγρασίας και συνθήκες βλάστησης, για τα μέσα Ιουνίου 2021 (πάνω αριστερά), 2022 (πάνω-δεξιά) και 2023 (κάτω-αριστερά). Πηγή: «European Drought Observatory, 2023».

2.7.8. Δείκτης ξηρασίας του Foley (Foley Drought Index)

Ο δείκτης Foley αποτυπώνει το συνολικό έλλειμμα βροχοπτώσεων που συγκρίνεται με τη μέση ετήσια βροχόπτωση (Abbas et al., 2019)

Η υπέρβαση του ελλείματος της βροχοπτώσης μιας συγκεκριμένης περιόδου συγκρινόμενη με τον αντίστοιχο μέσο όρο μιας μακράς περιόδου μπορεί να αποτυπωθεί με την καμπύλη αθροιστικών υπολοίπων, όπου πρόκειται ουσιαστικά για ένα γράφημα αθροιστικών αποκλίσεων. Το θετικό του γραφήματος είναι ότι προσδιορίζει τη διάρκεια καθώς και την ένταση του ελλείματος της βροχοπτώσης. Ενώ το αρνητικό του είναι ότι δεν λαμβάνει υπόψιν τις ανάγκες κάθε καλλιέργειας για νερό, με αποτέλεσμα όλα τα ελλείματα να παρουσιάζουν την ίδια βαρύτητα.

Επιπλέον, η περίοδος ξηρασίας μπορεί να προσδιοριστεί από μια διαδοχική σειρά ανεπαρκειών. (Tsakiris, 2013)

Τα ελλείμματα εκφράστηκαν σε ποσοστά επί τοις χιλίοις της ετήσιας βροχόπτωσης, και ονομάστηκαν «μονάδες» (Foley, 1957). Πιο συγκεκριμένα, οι μονάδες μπορούν να εντοπίσουν ένα διάστημα ξηρασίας και μπορούν να διαιρεθούν με τον αριθμό των μηνών τις περιόδου που εξετάζεται δημιουργώντας ένα δείκτη της έντασης της ξηρασίας (Tsakiris, 2013).

2.7.9. Ποσοστό Κανονικής Βροχόπτωσης (Percent of Normal Precipitation)

Τα ποσοστά κανονικής βροχόπτωσης αποτελούν μια απλή μέθοδο εντοπισμού της ξηρασίας. Με βάση τους Hayes et al., 2007, η κανονική βροχόπτωση είναι η μέση τιμή της βροχόπτωσης μιας περιόδου τριάντα ετών. Αναλυτικότερα, αν διαιρεθεί η πραγματική τιμή της βροχόπτωσης σε ένα σημείο με τη μέση τιμή της βροχόπτωσης και πολλαπλασιαστεί με το 100%, θα προκύψει το ποσοστό κανονικής βροχόπτωσης. Ο συγκεκριμένος υπολογισμός μπορεί να πραγματοποιηθεί για διάφορες χρονικές κλίμακες, που γενικά κυμαίνονται από έναν μήνα έως ένα ολόκληρο υδρολογικό έτος. Μειονέκτημα της συγκεκριμένης περιόδου αποτελεί το γεγονός ότι κάποιες φορές η μέση τιμή της βροχόπτωσης δεν είναι η ίδια με την τιμή που θα ξεπεραστεί στο 50% των περιπτώσεων. Αυτό συμβαίνει όταν οι εποχιακές ή οι μηνιαίες κλίμακες δεν ακολουθούν την κανονική κατανομή, και έτσι τα ποσοστά της βροχόπτωσης δεν αποτυπώνουν ακριβώς την κατάσταση ξηρασίας που επικρατεί (Tsakiris, 2013).

2.7.10. Μέθοδος Deciles (Δέκατα της βροχόπτωσης)

Η μέθοδος Deciles αναπτύχθηκε από τους Gibbs and Maher (1967), και δίνει λύση στο πρόβλημα που είχε δημιουργηθεί από τη μέθοδο των ποσοστών κανονικής βροχόπτωσης. Πιο συγκεκριμένα, χωρίζεται η κατανομή χρονοσειράς βροχοπτώσεων σε δέκατα της κατανομής, που ονομάζονται decile (δεκατημόριο). Το πρώτο δεκατημόριο αντιστοιχεί στο ύψος των βροχοπτώσεων που δεν υπερβαίνει το χαμηλότερο 10% της βροχόπτωσης. Το δεύτερο δεκατημόριο αντιστοιχεί στο ύψος των βροχοπτώσεων που δεν υπερβαίνει το χαμηλότερο 20% της βροχόπτωσης κ.ο.κ. , μέχρι το ποσό βροχής στο δέκατο δεκατημόριο να είναι το μεγαλύτερο ποσό βροχοπτώσεων της χρονοσειράς. Αξίζει να σημειωθεί ότι το πέμπτο δεκατημόριο είναι η διάμεσος (Tsakiris, 2013).

Όπως φαίνεται και από τον Πίνακα 9, τα deciles ομαδοποιούνται σε πέντε κλάσεις:

Πίνακας 9: Κατηγοριοποίηση της ξηρασίας σύμφωνα με τον δείκτη Deciles

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 πάνω του φυσιολογικού

Πηγή: «Vangelis, 2012».

2.7.11. Δείκτης VegDRI (Vegetation Drought Response Index)

Ο δείκτης VegDRI συνδυάζει ιστορικά κλιματικά δεδομένα, και δορυφορικές παρατηρήσεις της γης με τις βιοφυσικές πληροφορίες (π.χ. κάλυψη γης, εδάφη) για την παραγωγή του δείκτη ανάλυσης 1 km της γεωγραφικής έκτασης και της έντασης της ξηρασίας στη βλάστηση. Πιο συγκεκριμένα, συνδυάζει τα ιστορικά κλιματικά δεδομένα που προκύπτουν από δείκτες ξηρασίας, και τις μετρήσεις του NDVI που αποτυπώνουν τις συνθήκες βλάστησης, με διάφορα βιοφυσικά χαρακτηριστικά (Brown et al., 2008).

2.7.12. Δείκτες Τηλεπισκόπησης

Με την εξέλιξη της τεχνολογίας και κατ'επέκταση της τηλεπισκόπησης έχουν δημιουργηθεί δείκτες βλάστησης, οι οποίοι βασίζονται σε ραδιομετρικές μετρήσεις και σε δορυφορικά δεδομένα (Tsakiris, 2013). Οι δείκτες βλάστησης θα πρέπει (Running et al., 1994 ; Huete and Justice, 1999):

- να έχουν ευαισθησία στις βιοφυσικές παραμέτρους των φυτών,
- να κανονικοποιούν τους εξωγενείς παράγοντες (πχ γωνία ήλιου, γωνία δέκτη, ατμόσφαιρα), για να μπορεί να γίνει σύγκριση των τιμών ανεξάρτητα του χώρου και του χρόνου,
- να κανονικοποιούν τους ενδογενείς παράγοντες (π.χ. τοπογραφία εδάφους, διαφορές που αφορούν τη βλάστηση),
- και τέλος να σχετίζονται με κάποια βιοφυσική παράμετρο (π.χ. βιομάζα, δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI), απορροφούμενη φωτοσυνθετικά ενεργή ακτινοβολία (APAR)).

Κάποιοι δείκτες τηλεπισκόπησης παρουσιάζονται παρακάτω:

Δείκτης Βλάστησης Κανονικοποιημένης Διαφοράς – NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)

Οι Rouse et al.(1974) ανέπτυξαν τον Δείκτη Βλάστησης Κανονικοποιημένης Διαφοράς – NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Ο NDVI έχει τη δυνατότητα να παρακολουθεί τις αλλαγές στην ανάπτυξη της βλάστησης καθώς και να μειώνει αρκετές μορφές πολλαπλασιαστικού θορύβου(πχ διαφορές στον ηλιακό φωτισμό, σκιές νεφών , τοπογραφικές μεταβολές) (Jensen, 2009).

Δείκτης Περιεκτικότητας των Φύλλων σε Νερό- LWCI (Leaf Water Content Index)

Οι Hunt et al. (1987) ανέπτυξαν το Δείκτη Περιεκτικότητας των Φύλλων σε Νερό- LWCI (Leaf Water Content Index). Ο συγκεκριμένος δείκτης χρησιμοποιείται για να μελετηθεί η έλλειψη νερού στα φύλλα.

Εδαφικά Προσαρμοσμένος δείκτης Βλάστησης- SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index):

Οι Huete (1988), Huete et al. (1992) και Karnieli et al. (2001) ανέπτυξαν τον Εδαφικά Προσαρμοσμένος Δείκτης Βλάστησης- SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index). Ο δείκτης SAVI ελαχιστοποιεί τον εδαφικό θόρυβο που υπάρχει στον δείκτη NDVI.

2.8. Διαχείριση ξηρασίας

Παρατηρείται μια έντονη δυσκολία στο σχεδιασμό αντιμετώπισης της ξηρασίας. Αυτό συμβαίνει καθώς υπάρχει σύγχυση όσον αφορά τη λήψη αποφάσεων και τη συνεργασία των αρμόδιων. Επιπλέον, το γεγονός ότι η ξηρασία πρόκειται για ένα φαινόμενο το οποίο είναι πολύπλοκο και οι επιπτώσεις του δεν είναι άμεσα αντιληπτές, καθιστά ακόμη δυσκολότερο το σχεδιασμό αντιμετώπισής του.

Για να εφαρμοστούν οι διαχειριστικές δράσεις θα πρέπει να έχουν προσδιοριστεί οι στόχοι , τα χρονικά σημεία, και τα στοιχεία του συστήματος. Επίσης, θα πρέπει να έχουν οριστεί τα χρονοδιαγράμματα, να έχουν κατανεμηθεί οι αρμοδιότητες, και τέλος θα πρέπει το πρόβλημα να διερευνηθεί με έναν σφαιρικό τρόπο, ώστε να αναπτυχθεί το σχέδιο αντιμετώπισης της ξηρασίας (Vangelis, 2012).

Η διαχείριση της ξηρασίας μπορεί να επιτευχθεί με τα παρακάτω βήματα (MEDROPLAN, 2007):

- Το πλαίσιο προγραμματισμού
- Το οργανωτικό μέρος
- Το μεθοδολογικό μέρος
- Το επιχειρησιακό μέρος
- Το μέρος της ανοιχτής αξιολόγησης

Πλαίσιο προγραμματισμού

Το πλαίσιο προγραμματισμού προσδιορίζει τον σκοπό και τη διαδικασία σχεδιασμού αντιμετώπισης της ξηρασίας. Πιο συγκεκριμένα, πρέπει εξ αρχής να προσδιοριστεί ο τελικός σκοπός ούτως ώστε να ακολουθήσουν οι απαιτούμενες δράσεις ώστε να επιτευχθεί η αντιμετώπιση της ξηρασίας. Τα σχέδια ξηρασίας πρέπει συνέχεια να ανανεώνονται, καθώς βασίζονται στην τεχνολογία που διαρκώς αναπτύσσεται, και σε πολλούς ακόμη μεταβλητούς παράγοντες.

Επίσης, στο πλαίσιο προγραμματισμού εντάσσεται και ο προσδιορισμός μιας κοινής γλώσσας ανάμεσα στους άμεσα ενδιαφερόμενους. Αναλυτικότερα, θα πρέπει σε πρώτο στάδιο να ξεκαθαριστεί η ξηρασία ως έννοια ώστε να είναι δυνατή η ορθή ανάπτυξη του σχεδίου διαχείρισης της ξηρασίας. Οι αρμόδιοι καλούνται να συνομιλήσουν ώστε να συγκεντρώσουν τις απαραίτητες γνώσεις για να μπορέσουν να αντιμετωπίσουν μια κατάσταση ξηρασίας. Επιπλέον, θα πρέπει να έχουν ως γνώμονα την επιστήμη, να παραμερίσουν προσωπικά συμφέροντα και να καταλήξουν στη λήψη ρεαλιστικών μέτρων με βάση ένα συγκεκριμένο χρονοδιάγραμμα (MEDROPLAN, 2007; Kala, 2017) .

Τέλος, στο πλαίσιο προγραμματισμού περιλαμβάνεται και ο προσδιορισμός των προσεγγίσεων διαχείρισης της ξηρασίας. Οι δύο προσεγγίσεις είναι οι εξής (Οδηγίες MEDROPLAN, 2007; Kala, 2017; Vangelis, 2012) :

- *Διορθωτική προσέγγιση* : Πρόκειται ουσιαστικά για την αντίδραση στην ξηρασία. Αναλυτικότερα, αναφέρεται στην εφαρμογή μέτρων και ενεργειών εκ των υστέρων, δηλαδή μετά τον εντοπισμό του φαινομένου της ξηρασίας. Χρησιμοποιείται σε καταστάσεις εκτάκτου ανάγκης. Δεδομένου του περιορισμένου χρόνου που λαμβάνονται αυτές οι δράσεις, αναμένονται και τα αντίστοιχα αποτελέσματα.
- *Προληπτική προσέγγιση* : Αναφέρεται στον έγκαιρο σχεδιασμό των μέτρων για την πρόληψη ή την μείωση των επιπτώσεων της ξηρασίας. Αναλυτικότερα, με τη συνεχή καταγραφή των υδρομετεωρολογικών μεταβλητών και του επιπέδου των υδατικών αποθεμάτων, μπορούν να προβλεφθούν οι κρίσιμες καταστάσεις και να εφαρμοστούν έγκαιρα τα απαραίτητα μέτρα. Πρόκειται λοιπόν για την εκ των προτέρων κινητοποίηση ενάντια στην ξηρασία, όπου

έχει καλύτερα αποτελέσματα από την διορθωτική προσέγγιση. Στην προληπτική προσέγγιση είναι απαραίτητο να υπάρχει μια νομική πράξη η οποία θα καθιστά σαφείς τις ευθύνες. Τα μέτρα που θα αναπτυχθούν θα έχουν καθοριστεί από διάφορους φορείς, και θα πρέπει να διαχωριστούν οι αρμοδιότητες του κάθε φορέα. Τέλος, σημαντική είναι η συμμετοχή των άμεσα ενδιαφερόμενων, η διαχείριση της νομοθεσίας όσον αφορά τις άδειες νερού που επιτρέπουν ανταλλαγή νερού σε καταστάσεις ξηρασίας καθώς και η λήψη μέτρων που αφορούν την οικονομία νερού.

Οργανωτικό μέρος

Το οργανωτικό μέρος θέτει το θεσμικό και νομικό πλαίσιο, που θα αναπτυχθεί η οργανωτική δομή για την πραγματοποίηση του σχεδίου αντιμετώπισης της ξηρασίας, στην εκάστοτε γεωγραφική μονάδα σχεδιασμού. Με βάση τους Raikes et al. (2019) είναι απαραίτητη η συμβολή όλων των βασικών ενδιαφερομένων και η ιεράρχηση των τοπικών στρατηγικών ώστε να επιτευχθεί η διαχείριση της ξηρασίας (Cobon et al., 2009; Connell and Grafton, 2011; Paneque, 2015).

Πιο συγκεκριμένα, θα πρέπει να υπάρχει σαφής περιγραφή της νομοθεσίας, και των συνδέσμων και των ιεραρχικών σχέσεων ανάμεσα σε οργανισμούς και φορείς, ώστε:

- Να βρεθεί λύση σε θέματα που αφορούν το σχεδιασμό υδατικών πόρων και τη λειτουργία συστημάτων υδροδότησης.
- Να υπάρχει ετοιμότητα και περιορισμός των επιπτώσεων της ξηρασίας.
- Να συλλεχθούν και να μελετηθούν μετεωρολογικά, υδρολογικά, βιολογικά, κοινωνικά και οικονομικά δεδομένα.
- Να πραγματοποιηθούν βελτιώσεις και αλλαγές στα υπάρχοντα σχέδια διαχείρισης της ξηρασίας.
- Να πραγματοποιηθούν βελτιώσεις και αλλαγές στο θεσμικό και νομικό πλαίσιο.
- Να επιτευχθεί η έγκαιρη πληροφόρηση του κοινού όσον αφορά τη ξηρασία.

Η γεωγραφική μονάδα αναφέρεται στην χωρική έκταση για τη διαχείριση των υδατικών πόρων (π.χ. υδρογραφική περιφέρεια, δήμοι, επαρχεία, περιφέρειες, χώρες, κ.λ.π). Κάθε γεωγραφική μονάδα θα πρέπει να έχει ένα σύστημα άμεσα ενδιαφερόμενων, οι οποίοι αναλόγως με τις ικανότητές τους θα δραστηριοποιηθούν με σκοπό τη διαχείριση της ξηρασίας. Ένα σύστημα άμεσα ενδιαφερομένων μπορεί να απαρτίζεται από τα σχετικά υπουργεία (γεωργίας, περιβάλλοντος κ.α.), αγρότες, καταναλωτές αστικού νερού, αρχές διαχείρισης υδάτων, διεθνείς οργανισμούς, διάφορους φορείς (έρευνας, αγροτικού δανεισμού κ.α.), βιομηχανικές εταιρείες,

τουριστικές εταιρείες κ.α. Ο καθένας από αυτούς λοιπόν μπορεί με τον τρόπο του να συμβάλει στη διαχείριση της ξηρασίας, με ενέργειες όπως (MEDROPLAN, 2007; Paneque, 2015; Kala, 2017; Vangelis, 2012 ; Tsakiris, 2010; Aitkenhead et al., 2021) :

- Ενημέρωση αγροτών εκ των προτέρων για το ενδεχόμενο ξηρασίας ώστε να επιλέξουν να σπείρουν καλλιέργειες που απαιτούν λιγότερο νερό.
- Κατανομή αρδευτικού νερού ανά περιοχή και είδος καλλιέργειας.
- Κατανομή νερού οικιακής χρήσης ανά νοικοκυριό
- Παροχή νερού σε έκτακτες καταστάσεις.
- Μέτρα μείωσης της ζήτησης νερού (π.χ. εγκατάσταση ειδικών συσκευών περιορισμού νερού)
- Εντοπισμός διαρροών (π.χ. με δικλείδες απομόνωσης, αντικατάσταση αγωγών, υδρομέτρων, καταγραφικά ήχου, ηλεκτρονικός συσχετιστής, γεώφωνο).
- Επιλογή μεθόδων στην κτηνοτροφία, τη γεωργία και σε οικιακό επίπεδο με τις οποίες θα πραγματοποιείται εξοικονόμηση ύδατος (π.χ. προτίμηση στάγδην άρδευσης έναντι πλημμυρικής, καθώς εξοικονομείται 35-40% νερού κ.α.)
- Οι βιομηχανικές εταιρείες διαθέτουν πλέον τις ικανότητες ώστε να βελτιώσουν την υδατική αειφορία.
- Λήψη προληπτικών πρωτοβουλιών όσον αφορά τα σχέδια διαχείρισης υδατικών λεκανών.
- Αξιοποίηση νεκρού όγκου ταμειυτήρων, αξιοποίηση ανεκμετάλλευτων λιμνών κ.α. (σε έκτακτες καταστάσεις)
- Χρήση δεδομένων για να γίνει ανάλυση επικινδυνότητας και έτσι να αναπτυχθούν και να υλοποιηθούν στρατηγικές διαχείρισης νερού.
- Ευαισθητοποίηση και ενημέρωση ατόμων σε θέματα που αφορούν την ξηρασία.
- Μεταφορά τεχνολογίας και τεχνογνωσίας.
- Ύπαρξη οικονομικών αποθεμάτων σε κρίσιμες καταστάσεις .

Μεθοδολογικό μέρος

Το μεθοδολογικό μέρος αποτελείται από την επιστημονική προσέγγιση του φαινομένου της ξηρασίας. Πιο συγκεκριμένα, προσφέρει δεδομένα που έχουν αντληθεί με επιστημονικό τρόπο τα οποία θα ληφθούν υπόψη στο σχεδιασμό διαχείρισης της ξηρασίας. Αρχικά, με τη χρήση διάφορων δεικτών επιτυγχάνεται η παρακολούθηση της ξηρασίας καθώς και ο χαρακτηρισμός της σε μετεωρολογική, γεωργική, υδρολογική και κοινωνική. Έπειτα, γίνεται αποτίμηση της επικινδυνότητας της ξηρασίας σε μια περιοχή. Μπορεί να γίνει ποιοτική αποτίμηση που επιτυγχάνεται με τη συμβολή των άμεσα ενδιαφερόμενων, καθώς και ποσοτική αποτίμηση που βασίζεται σε πιθανολογικές αναλύσεις. Η ποσοτική αποτίμηση της επικινδυνότητας

βοηθά στην ποσοτική αποτίμηση της ζημιάς. Αφού λοιπόν έχει προσδιοριστεί η εκτιμώμενη ζημία, μπορούν να ληφθούν μέτρα ελαχιστοποίησης των επιπτώσεων της ξηρασίας. Τέλος γίνεται αποτίμηση της τρωτότητας, δηλαδή της ευπάθειας μιας κοινωνικής ομάδας στην αντιμετώπιση της ξηρασίας. Η τρωτότητα αποτελεί την εσωτερική συνιστώσα της επικινδυνότητας και περιγράφεται από έναν συνδυασμό οικονομικών, περιβαλλοντικών και κοινωνικών παραγόντων. Έτσι λοιπόν με ένα συνδυασμό δεικτών μπορούν να προσδιοριστούν τα χαρακτηριστικά του συστήματος που το καθιστούν ευάλωτο στις επιπτώσεις της ξηρασίας (MEDROPLAN, 2007; Kala, 2017; Vangelis, 2012)

Επιχειρησιακό μέρος

Το επιχειρησιακό μέρος περιλαμβάνει τα βραχυπρόθεσμα καθώς και τα μακροπρόθεσμα μέτρα που μπορούν να υλοποιηθούν ώστε να προληφθούν και να αντιμετωπιστούν οι επιπτώσεις της ξηρασίας. Το επιχειρησιακό μέρος αποτελείται από πέντε άξονες (MEDROPLAN, 2007) :

- Ύπαρξη συστήματος συνεχούς παρακολούθησης ώστε να επιτευχθεί ετοιμότητα και έγκαιρη προειδοποίηση.
- Καθορισμός προτεραιοτήτων χρήσης ύδατος.
- Προσδιορισμός συνθηκών που προκύπτουν από δείκτες ξηρασίας (Προειδοποίηση, Συναγερμός, Έκτακτη ανάγκη) .
- Καθορισμός δράσεων.
- Εφαρμογή δράσεων.

Ανοιχτή αξιολόγηση

Η ανοιχτή αξιολόγηση είναι απαραίτητη σε όλα τα στάδια ανάπτυξης του σχεδίου διαχείρισης της ξηρασίας, ώστε να επιτευχθεί η βελτίωσή του. Πιο συγκεκριμένα, δεδομένου ότι οι καταστάσεις μεταβάλλονται, τα σχέδια αντιμετώπισης της ξηρασίας θα πρέπει να προσαρμόζονται ώστε να επιτευχθεί η βέλτιστη λύση. Καθώς λοιπόν οι κοινωνικές και περιβαλλοντικές συνθήκες αλλάζουν θα πρέπει διαρκώς να επανεξετάζεται η ανάλυση επικινδυνότητας, καθώς επίσης και οι δράσεις των άμεσα ενδιαφερόμενων. Τέλος, συνιστάται η ανάλυση του σχεδίου ξηρασίας και μετά τη λήξη του επεισοδίου ξηρασίας, που θα αξιολογεί την ικανότητα πρόβλεψης και προειδοποίησης που βασίζεται στο μεθοδολογικό μέρος, και την αποτελεσματικότητα που βασίζεται στο επιχειρησιακό μέρος, ώστε να βελτιώνονται διαρκώς τα σχέδια διαχείρισης της ξηρασίας (MEDROPLAN, 2007; Vangelis, 2012)

2.9. Ξηρασία & Κλιματική Αλλαγή

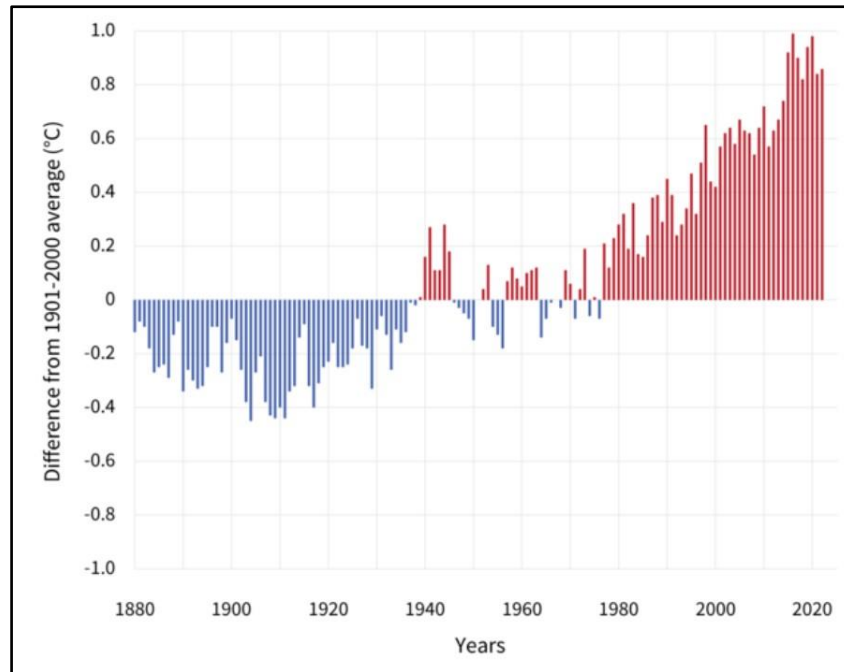
Κλίμα

Κλίμα είναι ο μέσος όρος των καιρικών συνθηκών σε μια περιοχή για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα, τουλάχιστον 30 ετών. Το κλίμα δεν πρέπει να συγχέεται με τον καιρό. Ο καιρός μπορεί να οριστεί ως η κατάσταση της ατμόσφαιρας σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία βραχυπρόθεσμα (NOAA, 2023).

Κλιματική Αλλαγή

Κλιματική αλλαγή ορίζεται ως η μεταβολή στην κατάσταση του κλίματος που μπορεί να εντοπιστεί με τις αλλαγές στο μέσο όρο και τις ιδιότητές του, και έχει μεγάλη χρονική διάρκεια, συνήθως δεκαετίες ή και περισσότερο (IPCC, 2012). Τα οικοσυστήματα και οι κοινότητες σε ολόκληρο τον κόσμο επηρεάζονται σήμερα από τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής. Η κλιματική αλλαγή πέρα από την αύξηση της θερμοκρασίας επιφέρει επιπτώσεις όπως είναι η άνοδος της στάθμης της θάλασσας, αλλαγές στα καιρικά μοτίβα της ξηρασίας, πλημμύρες κ.α. Επίσης, οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής έχουν αντίκτυπο στο νερό, στην ενέργεια, τις μεταφορές, στην άγρια ζωή, στη γεωργία, στα οικοσυστήματα, στην ανθρώπινη υγεία κ.α. Παρακάτω παρατίθενται κάποιες από τις αλλαγές που έχουν καταγραφεί (NOAA, 2023):

- Οι παγκόσμιες θερμοκρασίες αυξήθηκαν περίπου 1.1°C από το 1901 έως το 2020.
- Η άνοδος της στάθμης της θάλασσας έχει επιταχυνθεί από 1,7mm/έτος που επικρατούσε στο μεγαλύτερο μέρος του 20^{ου} αιώνα σε 3,2 mm/έτος από το 1993.
- Οι παγετώνες συρρικνώνονται (το μέσο πάχος τριάντα μελετημένων παγετώνων έχει μειωθεί περισσότερο από 18m από το 1980).
- Η περιοχή που καλύπτεται από θαλάσσιο πάγο στην Αρκτική έχει συρρικνωθεί κατά περίπου 40% από το 1979.
- Αύξηση διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα κατά 25% από το 1958 και κατά περίπου 40% από τη Βιομηχανική Επανάσταση.
- Τήξη χιονιού νωρίτερα συγκριτικά με τους μακροπρόθεσμους μέσους όρους.



Σχήμα 12.: Μέση ετήσια παγκόσμια θερμοκρασία από το 1880 συγκρινόμενη με την μέση τιμή της περιόδου 1901 – 2000 Πηγή: NOAA Climate.gov graph, based on data from the National Centers for Environmental Information.

Όπως αναφέρεται και παραπάνω οι θερμοκρασίες έχουν αυξηθεί παγκοσμίως, κατά περισσότερο από 1°C από την προβιομηχανική εποχή, και αναμένεται να αυξηθούν περισσότερο από 1,5°C έως το τέλος του αιώνα (IPCC,2021). Αυτή η αύξηση οφείλεται σε μεγάλο μέρος στην ανθρώπινη επίδραση, καθώς γίνεται υπερεκμετάλλευση των φυσικών πόρων με σκοπό να επιτευχθεί οικονομική και τεχνολογική ανάπτυξη (Gatti,2016). Το κλίμα επηρεάζεται από τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Πιο συγκεκριμένα, η θέρμανση της γης, του ωκεανού και της ατμόσφαιρας, οι καύσωνες, η άνοδος της στάθμης της θάλασσας, η μείωση της χιονοκάλυψης, οι ξηρασίες και τα φαινόμενα πλημμύρας καθώς και οι αλλαγές στα πρότυπα βροχόπτωσης σχετίζονται με την ανθρώπινη επίδραση (IPCC, 2013;IPCC,2021). Η μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου είναι απαραίτητη για να περιοριστεί η υπερθέρμανση του πλανήτη και να παραμείνει κάτω από το όριο του 2°C μέχρι το τέλος του αιώνα (Gatti, 2016).

Το όριο που τέθηκε από τη συμφωνία του Παρισιού όσον αφορά την υπερθέρμανση του πλανήτη ήταν 1,5°C . Σύμφωνα με ειδικούς είναι πιθανό αυτή η τιμή να αποτελεί πραγματικότητα μεταξύ των ετών 2030 έως 2050 (Copernicus Climate Change Service, 2023).

Οι ξηρασίες συμβαίνουν φυσικά, όμως η κλιματική αλλαγή έχει αυξήσει την συχνότητα και την έντασή τους (Mukherjee et al., 2018). Από το 1970 και έπειτα έχει παρατηρηθεί αύξηση των περιοχών που πλήττονται από ξηρασία (Vangelis,2012). Ακόμη, η υπερθέρμανση του πλανήτη που προκαλείται από τα αέρια του θερμοκηπίου (GHG) μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένη επιφανειακή ξηρασία και σε

αύξηση γενικότερα των ξηρασιών, λόγω μειωμένων βροχοπτώσεων, αυξημένης εξάτμισης και αυξημένης απώλειας υγρασίας από την επιφάνεια (Dai et al., 2018).

Μοντέλα Γενικής Κυκλοφορίας (GCMs)

Τα Μοντέλα Γενικής Κυκλοφορίας (General Circulation Models – GCMs) είναι αριθμητικά μοντέλα που παρουσιάζουν τις φυσικές διεργασίες που πραγματοποιούνται στην ατμόσφαιρα, στους ωκεανούς, στην κρυόσφαιρα και στην επιφάνεια του εδάφους (IPCC, 2023). Αποτελούν τα πιο αξιόπιστα εργαλεία προσομοίωσης του παγκόσμιου κλίματος καθώς υπολογίζουν σε ωριαία χρονική κλίμακα την εξέλιξη της κατάστασης της ατμόσφαιρας σε τρεις χωρικές διαστάσεις, έχοντας ως βάση την αρχή διατήρησης της μάζας στην ατμόσφαιρα, την ταχύτητα κίνησης, τη συνολική ενέργεια και την εξάτμιση του νερού (Grotch and MacCracken, 1991 ; IPCC, 2023). Υπολογίζουν τις δυναμικές, χημικές και βιολογικές διαδικασίες και την μεταξύ του αλληλεπίδραση, λαμβάνοντας υπόψη και την αυξανόμενη συγκέντρωση των αερίων του θερμοκηπίου (π.χ. CO₂), ώστε να προσομοιωθεί το παγκόσμιο κλίμα (IPCC, 2023). Τα Μοντέλα Γενικής Κυκλοφορίας παρουσιάζουν μεταβλητές όπως είναι η θερμοκρασία, οι θαλάσσιοι πάγοι, η ατμοσφαιρική ακτινοβολία, η νέφωση, η διάδοση της θερμότητας, η λευκαύγεια (albedo), το υψόμετρο της επιφάνειας της γης, η ατμοσφαιρική πίεση, οι κατακρημνίσεις, οι ωκεάνιες κυκλοφορίες, οι κύκλοι κινήσεως των αερίων του θερμοκηπίου, η θερμική ενέργεια των ωκεανών, η αλμυρότητα των ωκεανών, η ανάδραση του συστήματος ατμόσφαιρας – ωκεανών και εδάφους – ατμόσφαιρας, η συμπεριφορά του ανέμου στην ατμόσφαιρα η υγρασία κ.α. (Ledley et al., 1999 ; Washington and Meehl, 1983). Η εκτίμηση της επίδρασης της κλιματικής αλλαγής στο παγκόσμιο οικοσύστημα εξαρτάται από την ικανότητα των μοντέλων γενικής κυκλοφορίας να απεικονίσουν αξιόπιστα την εποχιακή και γεωγραφική κατανομή των αλλαγών στις μεταβλητές του επιφανειακού κλίματος (Gates, 1985). Τα Μοντέλα Γενικής Κυκλοφορίας (GCMs) αποτελούνται από τα Ατμοσφαιρικά Μοντέλα Γενικής Κυκλοφορίας (Atmospheric GCMs – AGCMs) και από τα Ωκεάνια Μοντέλα Γενικής Κυκλοφορίας (Oceanic GCMs – OGCMs). Με την σύνδεση αυτών των δύο μοντέλων προκύπτουν τα Συζευγμένα Ατμοσφαιρικά – Ωκεάνια Μοντέλα Γενικής Κυκλοφορίας (Atmosphere – Ocean Coupled General Circulation Model – CGCM or AOGCM), των οποίων οι εκτιμήσεις τους για το κλίμα είναι ακριβέστερες.

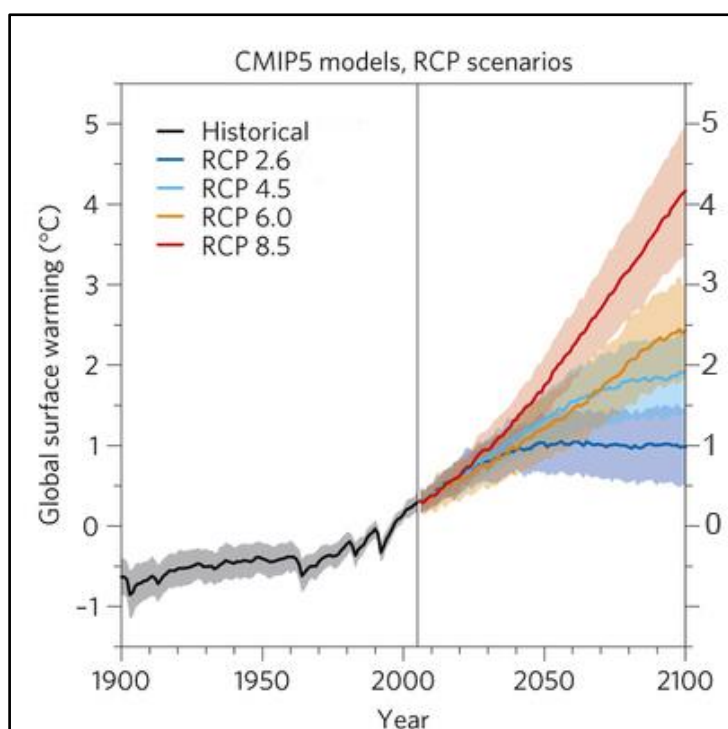
Περιοχικά Κλιματικά Μοντέλα (RCMs)

Τα Περιοχικά Κλιματικά Μοντέλα βασίζονται στα Μοντέλα Γενικής Κυκλοφορίας. Πιο συγκεκριμένα, για την δημιουργία ενός Περιοχικού Μοντέλου χρειάζεται η σύνδεση μοντέλων που ανήκουν στο ίδιο Μοντέλο Γενικής Κυκλοφορίας και έτσι προκύπτουν

τοπικές συνθήκες με υψηλό επίπεδο λεπτομέρειας. Δηλαδή, τα Περιοχικά Κλιματικά Μοντέλα προσομοιώνουν το κλίμα της γης σε υψηλότερη χωρική ανάλυση, συγκριτικά με τα Μοντέλα Γενικής Κυκλοφορίας, σε μια χωρικά περιορισμένη περιοχή. Τέλος, τα Περιοχικά Κλιματικά Μοντέλα χαρακτηρίζονται από την προσθήκη λεπτομέρειας στην τοπογραφία και στις φυσικές παραμέτρους, στην συγκεκριμένη κλίμακα για την οποία αρχικά κατασκευάστηκαν (Kassiou, 2015).

Σενάρια Κλιματικής Αλλαγής (RCP scenarios)

Σύμφωνα με το Data Distribution Centre του IPCC (DDC: Κέντρο Διανομής Δεδομένων) σενάριο κλιματικής αλλαγής είναι η παρουσίαση μιας πιθανής μελλοντικής κλιματικής κατάστασης του πλανήτη. Τα σενάρια βασίζονται στα Μοντέλα Γενικής Κυκλοφορίας (Ahmed and Alam, 1999). Από τα σενάρια μπορεί να εκτιμηθεί το φάσμα της αβεβαιότητας στις κλιματικές μεταβολές (DDC, 2011). Στην εικόνα 1 απεικονίζεται η αύξηση της θερμοκρασίας που αναμένεται, σύμφωνα με το κάθε σενάριο RCP. Τέλος, όσον αφορά τα υδατικά συστήματα, πρόκειται να επηρεαστούν σε μεγάλο βαθμό, καθώς θα υπάρξουν αλλαγές στις θερμοκρασίες και στις βροχοπτώσεις με αποτέλεσμα να επηρεάζονται οι απορροές. Επιπλέον, αναμένεται αύξηση των ξηρασιών με αποτέλεσμα να κλονιστούν τομείς όπως η υγεία, η γεωργία, η ύδρευση, η παραγωγή ενέργειας, η άρδευση κ.α. (Vangelis, 2012).



Σχήμα 13: Αναμενόμενη αύξηση της θερμοκρασίας σύμφωνα με τα σενάρια RCP μέχρι το τέλος του 21^{ου} αιώνα. Πηγή: IPCC.

3. Εφαρμογή

3.1 Περιοχή μελέτης

Η Ρόδος είναι ένα νησί της Ελλάδας, βρίσκεται στο νοτιοανατολικό Αιγαίο, και ανήκει στα Δωδεκάνησα. Αποτελεί το τρίτο πολυπληθέστερο ελληνικό νησί, με πληθυσμό 125.113 κατοίκους, με βάση την απογραφή του 2021. Στα βορειοανατολικά του νησιού εντοπίζεται η πρωτεύουσά του, η πόλη της Ρόδου, η οποία είναι και ο μεγαλύτερος οικισμός του με πληθυσμό 56.440 κατοίκους. Στα βορειοδυτικά του νησιού και σε απόσταση 12 χιλιομέτρων από την πρωτεύουσα εντοπίζεται ο Κρατικός Αερολιμένας Ρόδου «Διαγόρας».

Η Ρόδος βρίσκεται νοτιοανατολικά της Αθήνας και νοτιοδυτικά της Τουρκίας. Πιο συγκεκριμένα, απέχει περίπου 450 χιλιόμετρα από την Αθήνα, και 18 χιλιόμετρα από την Τουρκία. Η Ρόδος έχει έκταση 1400,684 km², γεγονός που την καθιστά το μεγαλύτερο νησί των Δωδεκανήσων και της Περιφέρειας Νοτίου Αιγίου. Επίσης, είναι το τέταρτο μεγαλύτερο νησί της χώρας και το ένατο της Μεσογείου. Στα δυτικά του νησιού εντοπίζεται το Αιγαίο Πέλαγος ενώ στα ανατολικά η θάλασσα της Ρόδου. Στα βόρεια οι δύο θαλάσσιες περιοχές διαχωρίζονται από το στενό της Ρόδου και στα νότια από το στενό της Καρπάθου.

Το μέγιστο μήκος του νησιού είναι περίπου 77 km, με βορειότερο σημείο το ακρωτήριο Ζωνάρι (ή ακρωτήριο των Μύλων), και νοτιότερο το άκρο Πράσο. Το μέγιστο πλάτος του νησιού είναι περίπου 37 km, με δυτικότερο σημείο το ακρωτήριο Αρμενιστής και ανατολικότερο το ακρωτήριο Γκίνας. Η ακτογραμμή της Ρόδου είναι περίπου 253 km.

Τα υψηλότερα σημεία της Ρόδου είναι η κορυφή Άγιος Ιωάννης του όρους Αττάβυρος, το βουνό Ακραμύτης και το βουνό Προφήτης Ηλίας, με υψόμετρα 1215m, 823m και 800m αντίστοιχα.

Όσον αφορά το υδρογραφικό δίκτυο του νησιού, αποτελείται από υδάτινα ρεύματα που μπορούν να χαρακτηριστούν αναλόγως την υπάρχουσα κατάσταση ως μικροί ή εποχικοί ποταμοί, ως χειμαρροί, ρέματα ή ρυάκια. Η Ρόδος δεν έχει ποτάμια με σταθερή ροή νερού. Πιο συγκεκριμένα, ο ποταμός Γαδουράς έχει τις πηγές του στις πλαγιές του Αττάβυρου, και τις εκβολές του ανάμεσα στα χωριά Κάλαθος και Μασάρη. Για να καλυφθούν οι ανάγκες υδροδότησης του νησιού δημιουργήθηκε το τεχνητό φράγμα Γαδουρά στα κεντρικά του νησιού κοντά στο χωριό Λαέρμα. Ακόμη, ο ποταμός Σιανίτης έχει τις πηγές του στη νοτιοδυτική πλευρά του Ατταβύρου, κοντά στο χωριό Απολλακιά και τα νερά του συγκεντρώνονται στο τεχνητό φράγμα Απολλακιάς, ώστε να καλυφθούν οι ανάγκες άρδευσης. Στα βορειοανατολικά εντοπίζεται ο δεύτερος σε μέγεθος ποταμός, ο Λουτάνης, ο οποίος σχηματίζει

μια κοιλάδα, που αποτελεί φυσικό πλούτο για το νησί, στην περιοχή των Επτά Πηγών. Υπάρχουν αρκετά ακόμη υδάτινα ρεύματα στο νησί της Ρόδου.

Η Ρόδος χαρακτηρίζεται από ένα ζεστό μεσογειακό κλίμα με ήπιους χειμώνες και θερμά καλοκαίρια. Η νοτιοανατολική πλευρά της Ρόδου παρουσιάζει το θερμότερο κλίμα της γεωγραφικής Ευρώπης, με την πόλη της Λίνδου να έχει μέση ετήσια θερμοκρασία 21.9°C (Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών). Επίσης, η νοτιοανατολική Ρόδος έχει τη μεγαλύτερη μέση ετήσια ηλιοφάνεια στη χώρα με πάνω από 3.100 ώρες.

Στον Πίνακα 10 αποτυπώνεται η χλωρίδα και η πανίδα της Ρόδου, ενώ στον Πίνακα 11 παρουσιάζονται οι εκτάσεις των προστατευόμενων περιοχών που εντάσσονται στο δίκτυο Natura 2000.

Πίνακας 10: Χλωρίδα και Πανίδα της Ρόδου

Χλωρίδα	Πανίδα
<ul style="list-style-type: none"> • Ιβίσκος • Πλουμέρια • Ροδίτικος φίκος • Παιωνία η ροδιά 	<ul style="list-style-type: none"> • Πλατώνι • Πεταλούδα της Ρόδου • Αλογάκι της Ρόδου • Ταζί • Γκιζάνι • Σαύρα της Ρόδου

«<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A1%CF%8C%CE%B4%CE%BF%CF%82>»

Πίνακας 11: Εκτάσεις Προστατευόμενων Περιοχών στη Ρόδο

Προστατευόμενες Περιοχές Ρόδου (Natura 2000)	Έκταση (km ²)
Δύο Ειδικές Ζώνες Διατήρησης (ΕΖΔ)	360.5
Τρεις Ζώνες Ειδικής Προστασίας (ΖΕΠ)	293.21
Καταφύγια Άγριας Ζωής (ΚΑΖ)	94.27
Σύνολο:	747.98

«<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A1%CF%8C%CE%B4%CE%BF%CF%82>»

Από την Εθνική Τράπεζα Υδρολογικής και Μετεωρολογικής Πληροφορίας «Υδροσκόπιο» εντοπίστηκαν οι σταθμοί στο νησί της Ρόδου που παρουσιάζονται στον Πίνακα 12. Το Υδροσκόπιο είναι μια διαδικτυακή βάση δεδομένων η οποία δίνει πρόσβαση σε υδρολογικά, μετεωρολογικά, υδρογεωλογικά και γεωγραφικά δεδομένα στην Ελλάδα.

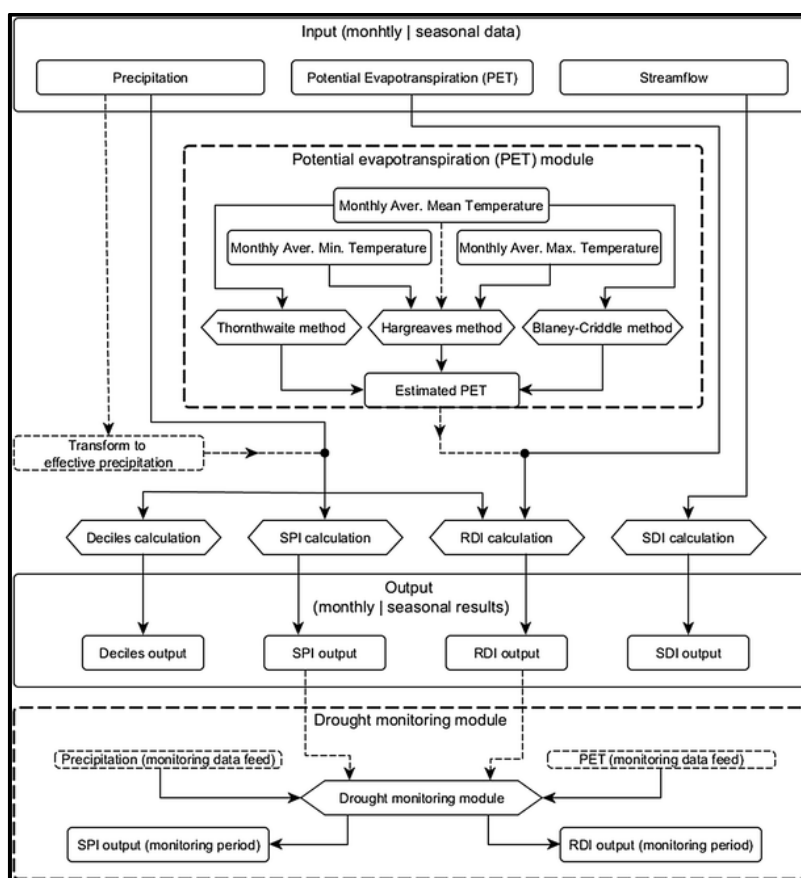
Πίνακας 12: Σταθμοί Ρόδου

α/α	Ονομασία	Τύπος	Ιδιοκτήτης	Λεκάνη Απορροής	Υδατικό Διαμέρισμα	Διοικητική Υποδιάρθρωση
1	ΡΟΔΟΣ	Υδρομετεωρολογικός	Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία	Νήσος Ρόδος	Νήσοι Αιγαίου	Δωδεκανήσου
2	ΜΑΡΙΤΣΩΝ ΡΟΔΟΥ	Μετεωρολογικός	Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία	Νήσος Ρόδος	Νήσοι Αιγαίου	Δωδεκανήσου
3	ΑΠΟΛΛΩΝΙΑ	Υδρομετεωρολογικός	Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων	Νήσος Ρόδος	Νήσοι Αιγαίου	Δωδεκανήσου
4	ΕΜΠΩΝΑΣ	Υδρομετεωρολογικός	Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων	Νήσος Ρόδος	Νήσοι Αιγαίου	Δωδεκανήσου
5	ΣΙΑΝΑ	Υδρομετεωρολογικός	Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων	Νήσος Ρόδος	Νήσοι Αιγαίου	Δωδεκανήσου
6	ΛΑΕΡΜΑ	Υδρομετεωρολογικός	Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων	Νήσος Ρόδος	Νήσοι Αιγαίου	Δωδεκανήσου
7	ΧΕΙΜ. ΓΑΔΟΥΡΑ	Σταθμημετρικός	Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων	Νήσος Ρόδος	Νήσοι Αιγαίου	Δωδεκανήσου
8	ΚΑΛΑΘΟΣ ΡΟΔΟΥ	Μετεωρολογικός	Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία	Νήσος Ρόδος	Νήσοι Αιγαίου	Δωδεκανήσου
9	ΑΠΟΛΑΚΚΙΑ	Σταθμημετρικός	Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων	Νήσος Ρόδος	Νήσοι Αιγαίου	Δωδεκανήσου
10	ΑΠΟΛΑΚΚΙΑ ΡΟΔΟΥ	Υδρομετεωρολογικός	Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων	Νήσος Ρόδος	Νήσοι Αιγαίου	Δωδεκανήσου
11	ΧΕΙΜ. ΚΑΤΤΑΒΙΑΣ	Υδρομετεωρολογικός	Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων	Νήσος Ρόδος	Νήσοι Αιγαίου	Δωδεκανήσου
12	ΧΕΙΜ. ΚΑΤΑΒΙΑΣ	Σταθμημετρικός	Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων	Νήσος Ρόδος	Νήσοι Αιγαίου	Δωδεκανήσου
13	ΚΑΠΑΒΙΑ ΡΟΔΟΥ	Υδρομετεωρολογικός	Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων	Νήσος Ρόδος	Νήσοι Αιγαίου	Δωδεκανήσου

«<http://main.hydroscope.gr/>».

3.2. Λογισμικό DrinC (Drought Indices Calculator)

Το DrinC (Drought Indices Calculator) αποτελεί ένα εύχρηστο ερευνητικό και επιχειρησιακό μέσο για την ανάλυση της ξηρασίας. Το DrinC είναι ένα λογισμικό που βασίζεται σε MS Windows λειτουργικό και ελέγχεται μέσα από γραφική διεπαφή με τον χρήστη (GUI) (Tigkas et al., 2014). Το συγκεκριμένο λογισμικό δημιουργήθηκε για την παροχή ενός απλού εργαλείου για τον χρήστη, μέσω του οποίου μπορούν να υπολογιστούν διάφοροι δείκτες ξηρασίας. Αναλυτικότερα, το DrinC μπορεί να υπολογίσει τους δείκτες ξηρασίας Reconnaissance Drought Index (RDI), Streamflow Drought Index (SDI), Standardized Precipitation Index (SPI), Agricultural Standardised Precipitation Index (aSPI), Effective Reconnaissance Drought Index (eRDI) και τον Precipitation Deciles (PD). Το λογισμικό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση της ξηρασίας, την αξιολόγηση της χωρικής κατανομής της ξηρασίας, τη εξαγωγή σεναρίων ξηρασίας κ.λπ. (Tigkas et al., 2015). Επιπλέον, το DrinC είναι κατάλληλα σχεδιασμένο ώστε να λαμβάνει υπόψη το φαινόμενο περιορισμένων δεδομένων για ξηρές ή ημί-ξηρες (Tigkas et al., 2014). Στο Σχήμα 14 αποτυπώνεται το διάγραμμα ροής του DrinC:



Σχήμα 14: Διάγραμμα ροής DrinC. Πηγή: «Tigkas et al., 2015».

3.3. Παρουσίαση αποτελεσμάτων

3.3.1. Δείκτες Ξηρασίας SPI, aSPI, RDI και eRDI (με πρωτογενή δεδομένα από την ΕΜΥ)

Αρχικά λήφθηκαν από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία ημερήσια κλιματικά δεδομένα για το σταθμό 749 Ρόδος (Γεωγραφικό μήκος σταθμού: 28.09, Γεωγραφικό πλάτος σταθμού: 36.4, Ύψος σταθμού: 7m). Πιο συγκεκριμένα, λήφθηκαν ελάχιστες, μέγιστες και μέσες ημερήσιες τιμές θερμοκρασίας (°C) καθώς επίσης και το σύνολο των ημερήσιων τιμών βροχόπτωσης (mm) από το 1955 έως το 2022. Οι συγκεκριμένες τιμές μετατράπηκαν σε μηνιαίες ώστε να είναι δυνατή η χρήση τους από το πρόγραμμα DrinC. Αναλυτικότερα, από το πρόγραμμα DrinC υπολογίστηκαν οι δείκτες ξηρασίας SPI, RDI, aSPI και eRDI. Η απλή δομή τους σε συνδυασμό με τις μικρές απαιτήσεις τους σε δεδομένα τους καθιστούν εύχρηστους δείκτες (Tigkas et al., 2022; Tsakiris et al. 2010, Vicente-Serrano et al. 2012, Al-Faraj et al. 2016, Chen et al. 2016).

Δημιουργήθηκαν διαγράμματα (Σχήματα 15 έως 38) για κάθε έναν από τους τέσσερις δείκτες ξηρασίας από τις χρονοσειρές 1955-2022 και 1955-2010, με Time step: Annual, Distribution: Gamma-Standardised και Reference period: 12-month και 6-month (και για τα δύο εξάμηνα), μέσω του προγράμματος DrinC. Χρειάστηκε να «τρέξουν» και οι δύο χρονοσειρές καθώς τα πρωτογενή κλιματικά δεδομένα για τα έτη 2010- 2022 ήταν ελλιπή, με αποτέλεσμα να μην μπορούν να εξαχθούν αξιόπιστα συμπεράσματα για τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο.

Για την εξαγωγή του δείκτη SPI χρειάστηκε ως δεδομένο εισαγωγής οι μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης ενώ για τον δείκτη RDI χρειάστηκαν επιπλέον οι τιμές της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής (PET), όπου στο πρόγραμμα από της μεθόδους Hargreaves, Blaney-Cridle και Thornthwaite επιλέχτηκε η μέθοδος Hargreaves. Επιπλέον, η μέθοδος Hargreaves, με τη βελτίωση που προτάθηκε από τους Hargreaves & Samani (1982, 1985), υπολογίζει τη μηνιαία δυνητική εξατμισοδιαπνοή (PET) με βάση την εξίσωση:

$$PET = 0.0023 \times R_a \times (T_{max} - T_{min})^{0.5} \times (T_{mean} + 17.8) \quad (2.22)$$

όπου T_{mean} , T_{max} και T_{min} είναι η μέση, η μέγιστη και η ελάχιστη μηνιαία θερμοκρασία (°C) αντίστοιχα και η R_a είναι η ακτινοβολία στο εξωτερικό όριο της ατμόσφαιρας (mm/day) (Tsakiris et al., 2009)

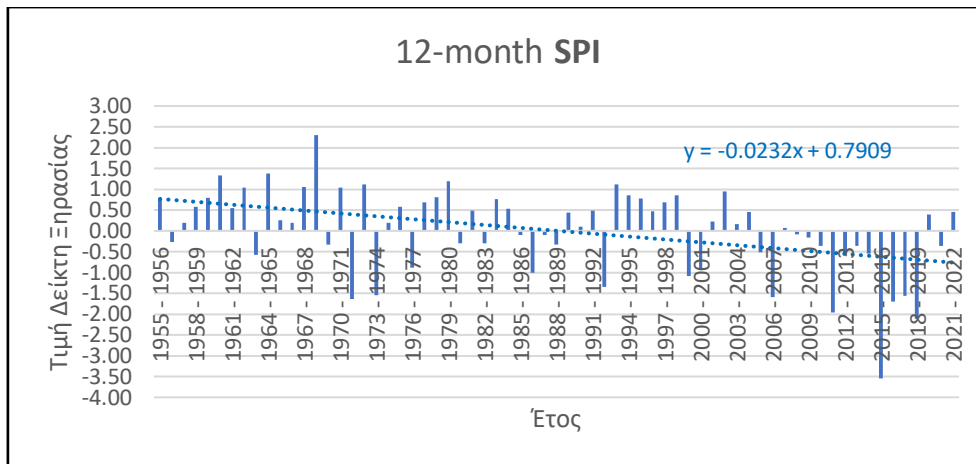
Ο δείκτης aSPI ακολουθεί τις βασικές αρχές υπολογισμού του δείκτη SPI, με τη διαφορά ότι αντικαθιστάται η παράμετρος της βροχόπτωσης από την ενεργό βροχόπτωση (Tigkas et al., 2022). Η έννοια της ενεργού βροχόπτωσης εξαρτάται από το ερευνητικό πεδίο εφαρμογής. Για τον δείκτη aSPI, ενεργός βροχόπτωση

αντιστοιχεί στο ποσοστό της συνολικής βροχόπτωσης το οποίο μπορεί να αξιοποιηθεί παραγωγικά από τα φυτά, άμεσα ή έμμεσα (Tigkas et al. 2019). Για να επιτευχθεί η εκτίμηση της ενεργού βροχόπτωσης χρησιμοποιούνται μέθοδοι που βασίζονται στα μηνιαία δεδομένα της συνολικής βροχόπτωσης, όπως η μέθοδος του U.S. Bureau of Reclamation (USBR) (Stamm 1967), του USDA βάσει της τροποποίησης για το μοντέλο CROPWAT (Smith 1992) και του Food and Agriculture Organisation (FAO) (Brouwer and Heibloem 1986). Στη συγκεκριμένη περίπτωση επιλέχθηκε η μέθοδος USBR, για τους δείκτες aSPI και eRDI. Τέλος, για να προκύψει ο δείκτης eRDI χρειάστηκαν η ενεργός βροχόπτωση και η δυνητική εξατμισοδιαπνοή (PET).

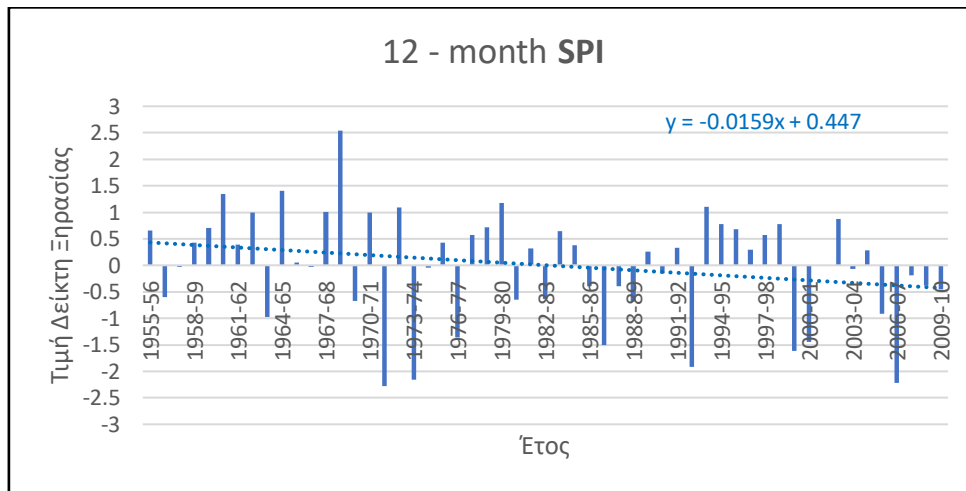
Η κατηγοριοποίηση του επιπέδου έντασης της ξηρασίας αποτυπώνεται στον Πίνακα 13. Στα Σχήματα 39 και 40 αποτυπώνεται το πλήθος ετών σύμφωνα με το επίπεδο έντασης ξηρασίας, σύμφωνα με τους δείκτες SPI, RDI, aSPI και eRDI. Στο Σχήμα 41 απεικονίζεται το πλήθος των ξηρών ετών σύμφωνα με τους δείκτες που έχουν προκύψει από δεδομένα από το σταθμό 749 Ρόδος από τις χρονοσειρές (1): 1950 έως 2010 και (2): 1950 έως 2022, με Reference period: 12-month για τα έτη 1950 έως 2010 στη Ρόδο. Τέλος, στους πίνακες 14 έως 16 αποτυπώνονται οι τάσεις.

Πίνακας 13: Κατηγορίες έντασης γεωργικής ξηρασίας βάσει των τιμών των δεικτών SPI, RDI, aSPI και eRDI.

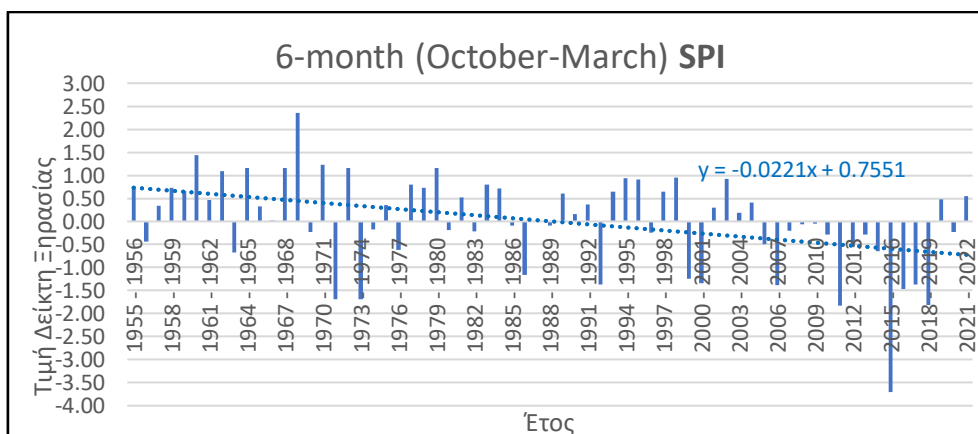
Τιμή SPI, RDI, aSPI, eRDI	Κατηγορία συνθηκών
> 2.00	Εξαιρετικά υγρό
1.50 έως 1.99	Έντονα υγρό
1.00 έως 1.49	Μέτρια υγρό
0.99 έως 0.00	Κανονικές συνθήκες (ήπια υγρό)
0.00 έως -0.99	Κανονικές συνθήκες (ήπια ξηρό)
-1.00 έως -1.49	Μέτρια ξηρό
-1.50 έως -1.99	Έντονα ξηρό
< -2.00	Εξαιρετικά ξηρό



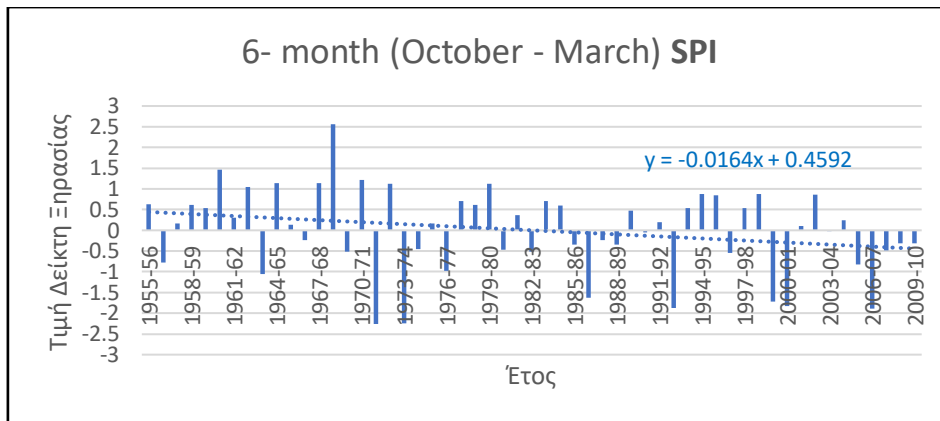
Σχήμα 15: Τιμές του δείκτη ξηρασίας SPI (12-μηνo) στη Ρόδο για την περίοδο 1955 – 2022.



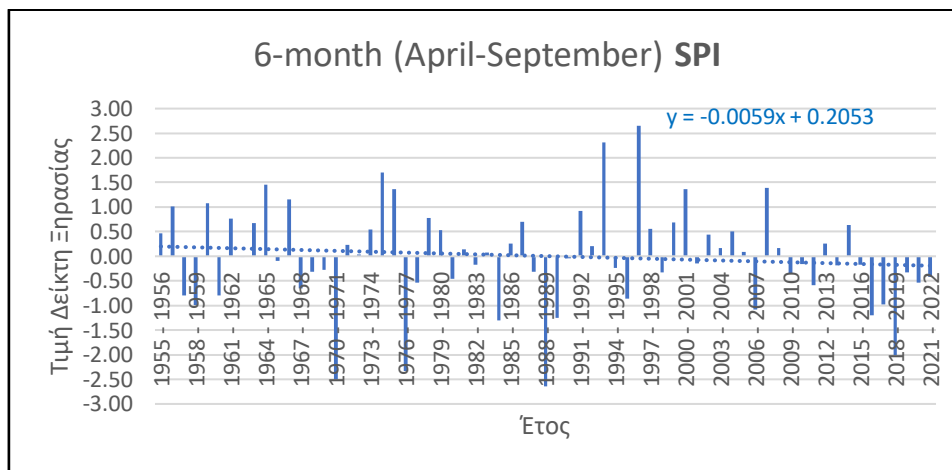
Σχήμα 16: Τιμές του δείκτη ξηρασίας SPI (12-μηνo) στη Ρόδο για την περίοδο 1955 – 2010.



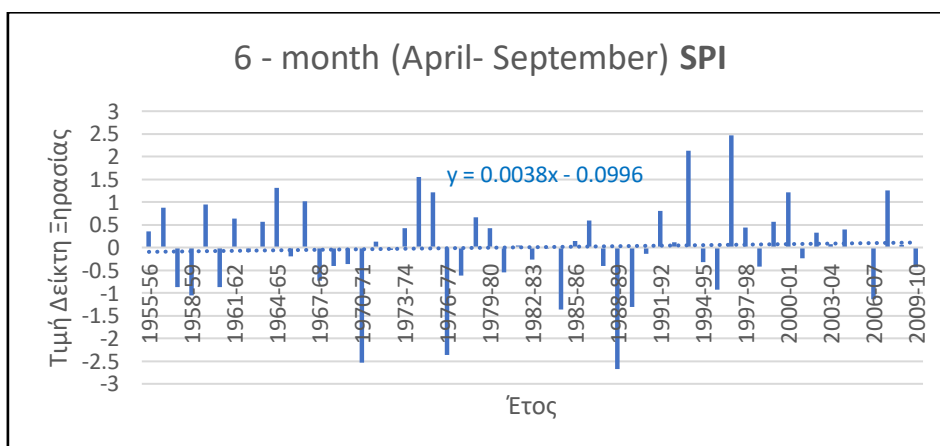
Σχήμα 17: Τιμές του δείκτη ξηρασίας SPI (6-μηνo Οκτωβρίου – Μαρτίου) στη Ρόδο για την περίοδο 1955 – 2022.



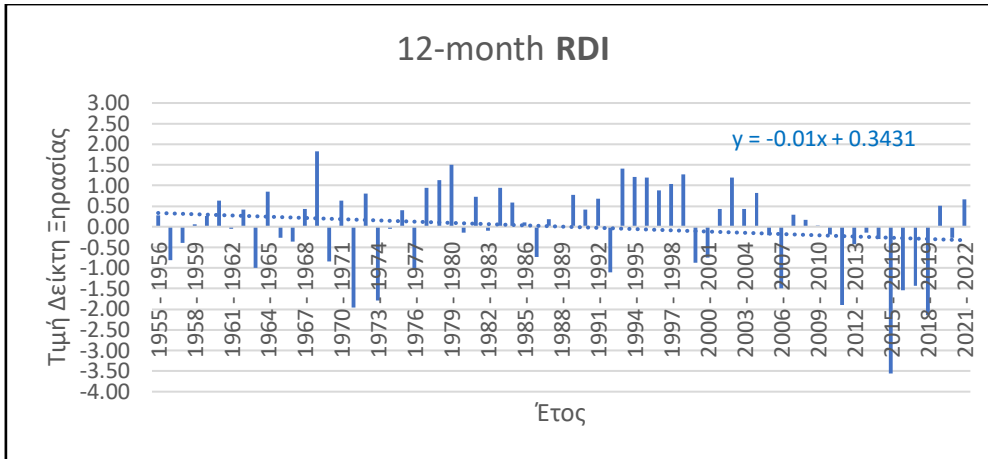
Σχήμα 18: Τιμές του δείκτη ξηρασίας SPI (6-μνη Οκτωβρίου – Μαρτίου) στη Ρόδο για την περίοδο 1955 – 2010.



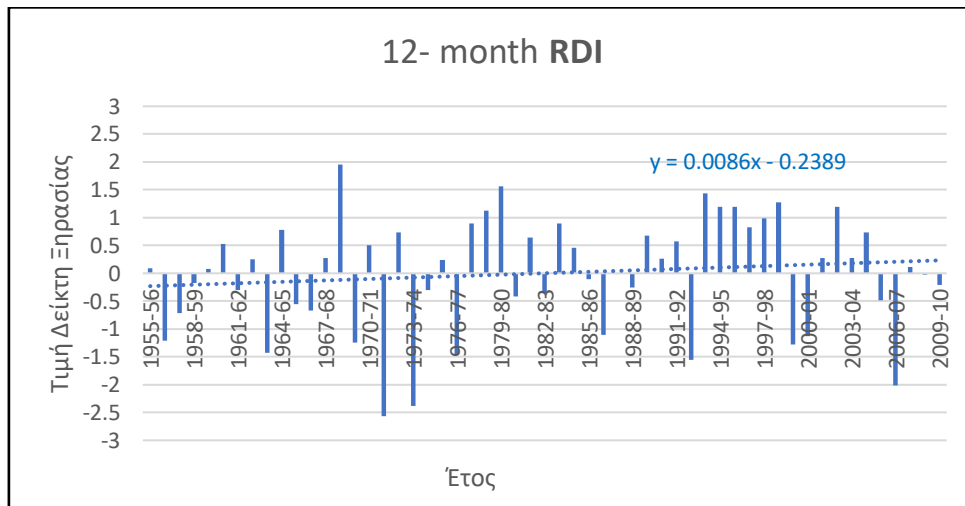
Σχήμα 19: Τιμές του δείκτη ξηρασίας SPI (6-μνη Απριλίου – Σεπτεμβρίου) στη Ρόδο για την περίοδο 1955 – 2022.



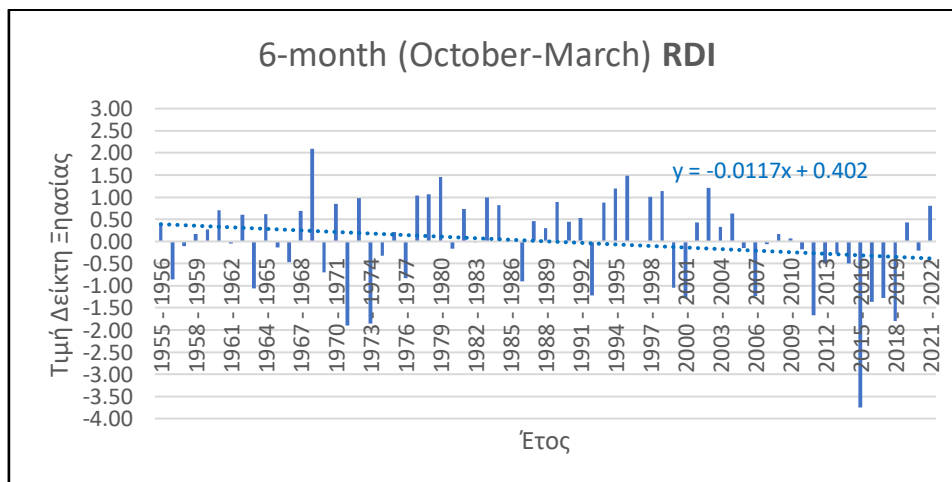
Σχήμα 20: Τιμές του δείκτη ξηρασίας SPI (6-μνη Απριλίου – Σεπτεμβρίου) στη Ρόδο για την περίοδο 1955 – 2010.



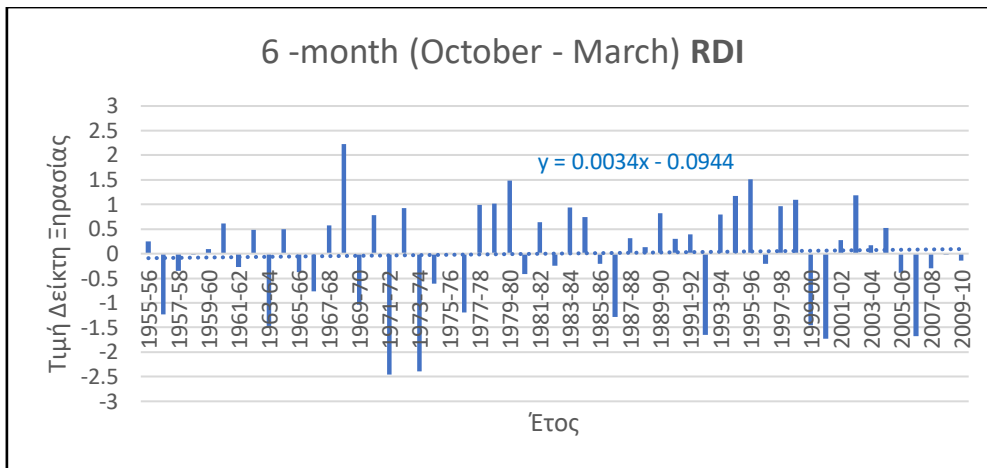
Σχήμα 21: Τιμές του δείκτη ξηρασίας RDI (12-μηνo) στη Ρόδο για την περίοδο 1955 – 2022.



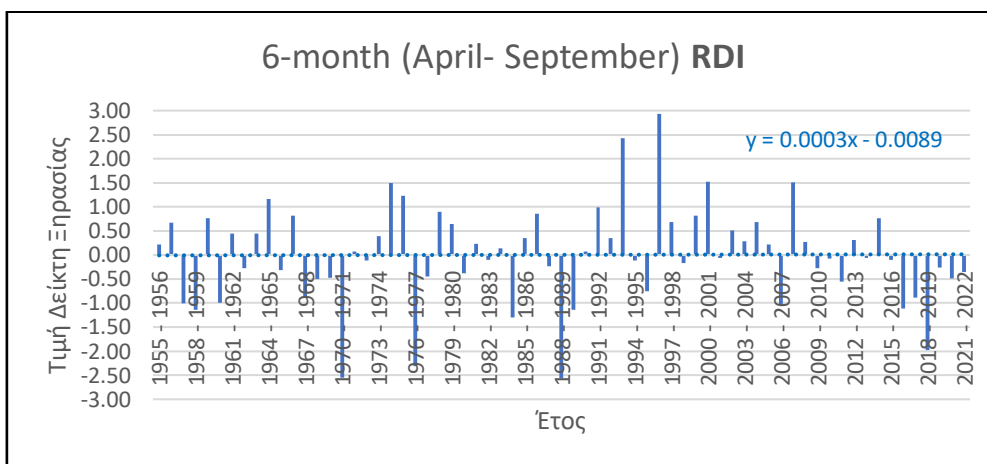
Σχήμα 22: Τιμές του δείκτη ξηρασίας RDI (12-μηνo) στη Ρόδο για την περίοδο 1955 – 2010.



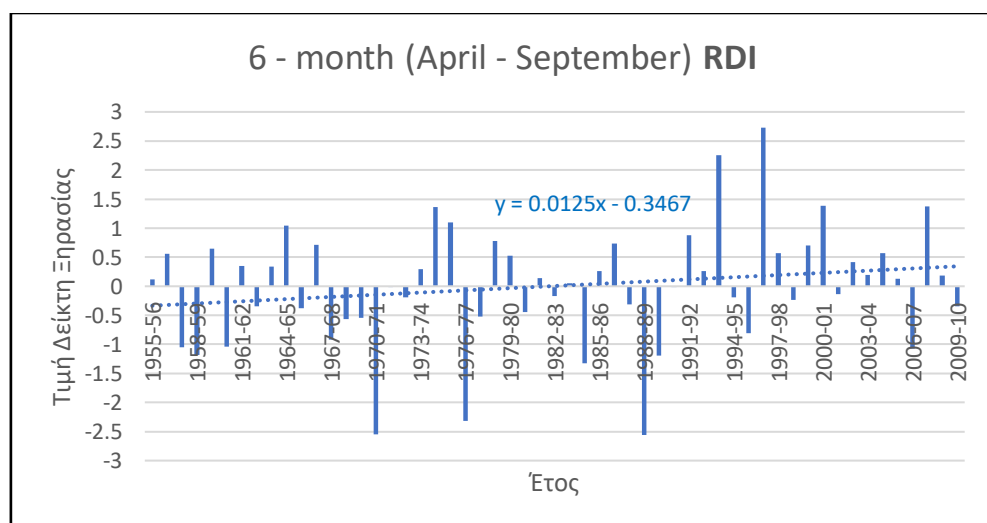
Σχήμα 23: Τιμές του δείκτη ξηρασίας RDI (6-μηνo Οκτωβρίου – Μαρτίου) στη Ρόδο για την περίοδο 1955 – 2022.



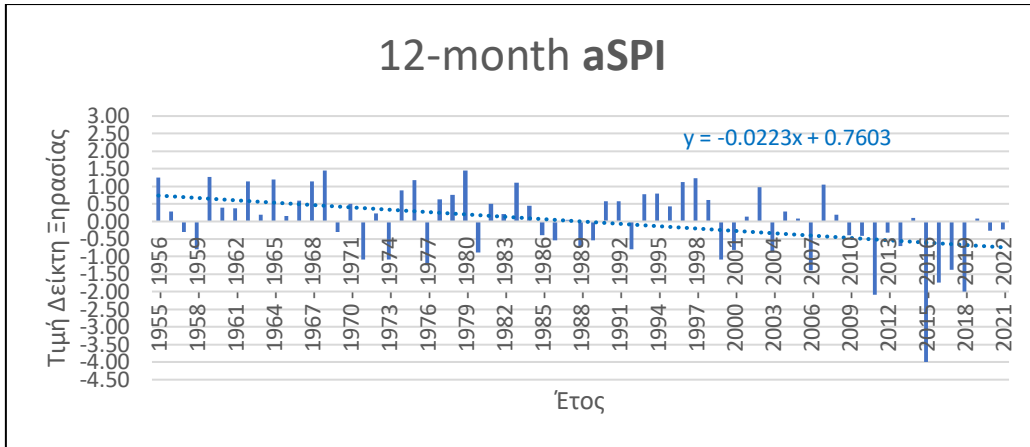
Σχήμα 24: Τιμές του δείκτη ξηρασίας RDI (6-μνη Οκτωβρίου – Μαρτίου) στη Ρόδο για την περίοδο 1955 – 2010.



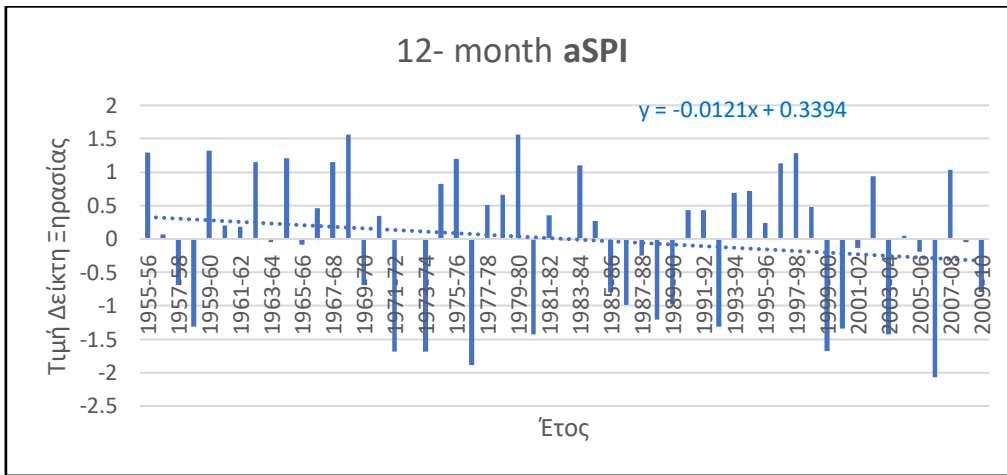
Σχήμα 25: Τιμές του δείκτη ξηρασίας RDI (6-μνη Απριλίου – Σεπτεμβρίου) στη Ρόδο για την περίοδο 1955 – 2022.



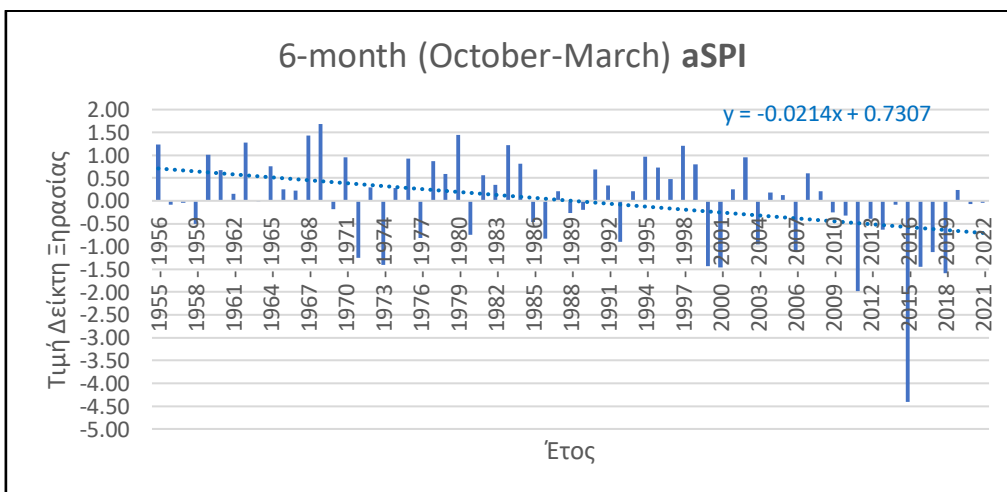
Σχήμα 26: Τιμές του δείκτη ξηρασίας RDI (6-μνη Απριλίου – Σεπτεμβρίου) στη Ρόδο για την περίοδο 1955 – 2010.



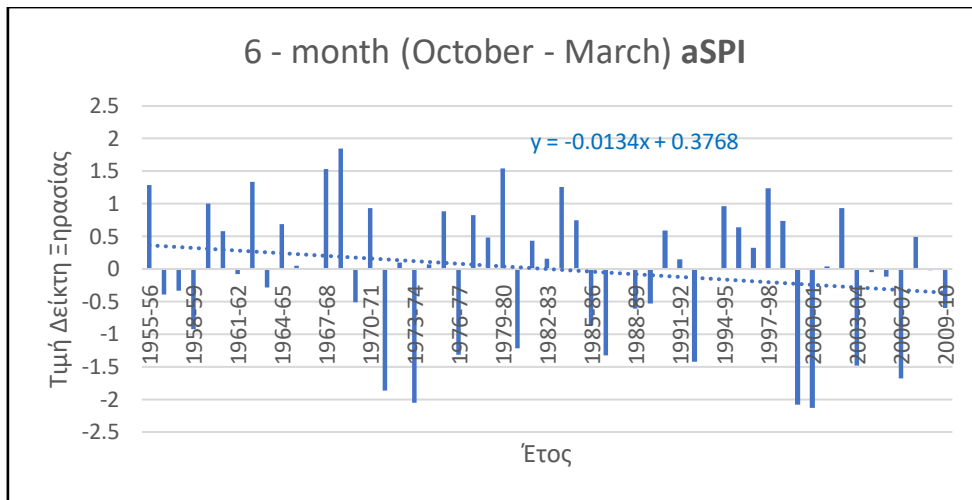
Σχήμα 27: Τιμές του δείκτη ξηρασίας aSPI (12-μηνo) στη Ρόδο για την περίοδο 1955 – 2022.



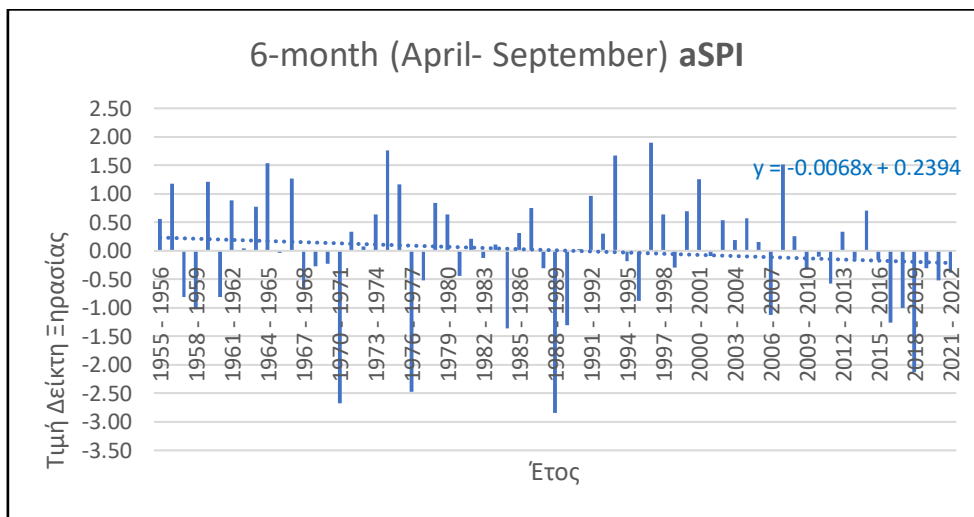
Σχήμα 28: Τιμές του δείκτη ξηρασίας aSPI (12-μηνo) στη Ρόδο για την περίοδο 1955 – 2010.



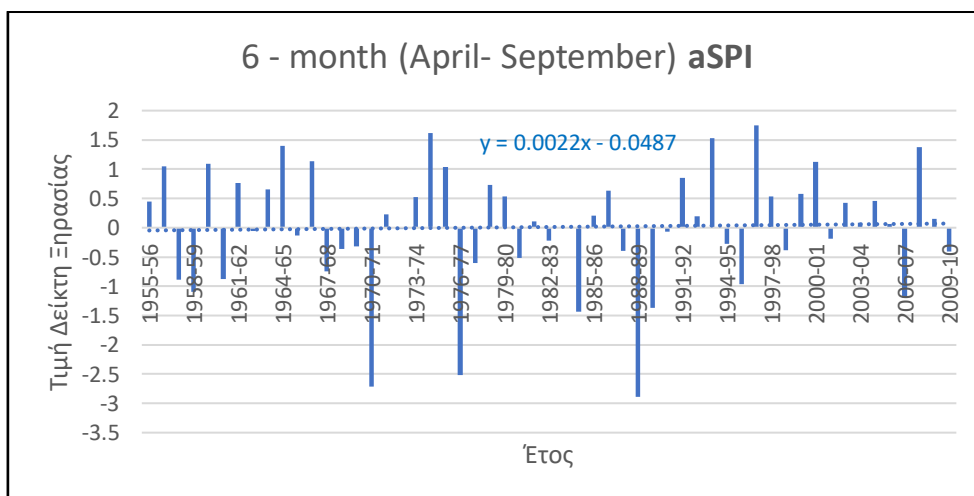
Σχήμα 29: Τιμές του δείκτη ξηρασίας aSPI (6-μηνo Οκτωβρίου – Μαρτίου) στη Ρόδο για την περίοδο 1955 – 2022.



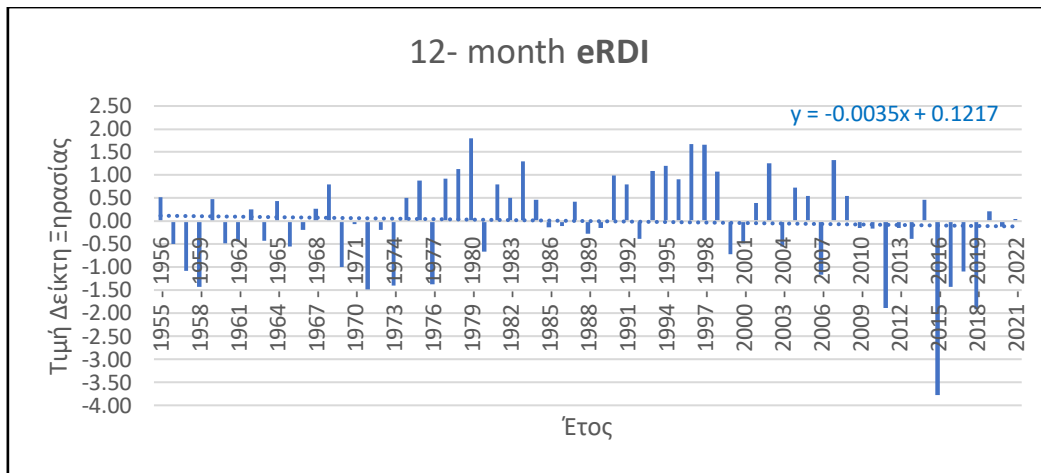
Σχήμα 30: Τιμές του δείκτη ξηρασίας aSPI (6-μνηο Οκτωβρίου – Μαρτίου) στη Ρόδο για την περίοδο 1955 –2010.



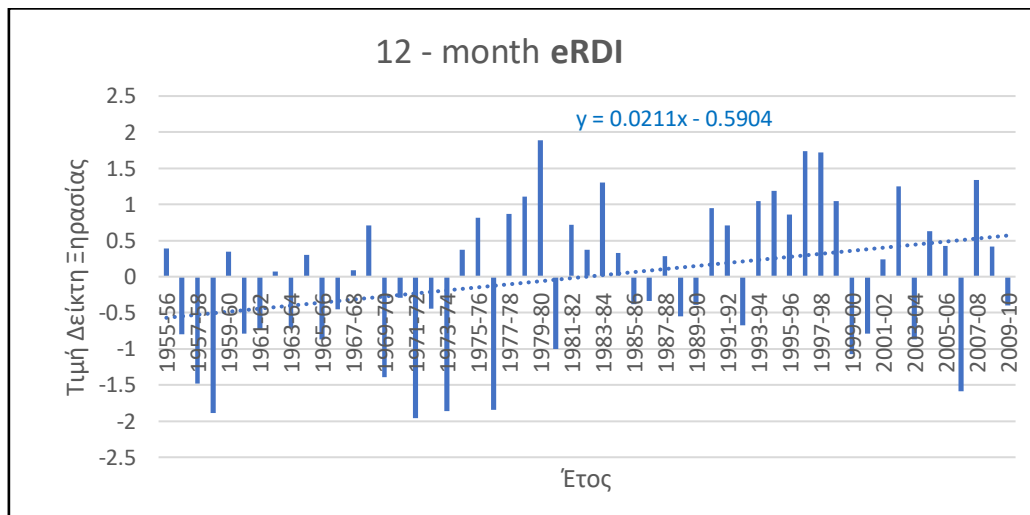
Σχήμα 31: Τιμές του δείκτη ξηρασίας aSPI (6-μνηο Απριλίου– Σεπτεμβρίου) στη Ρόδο για την περίοδο 1955-2022.



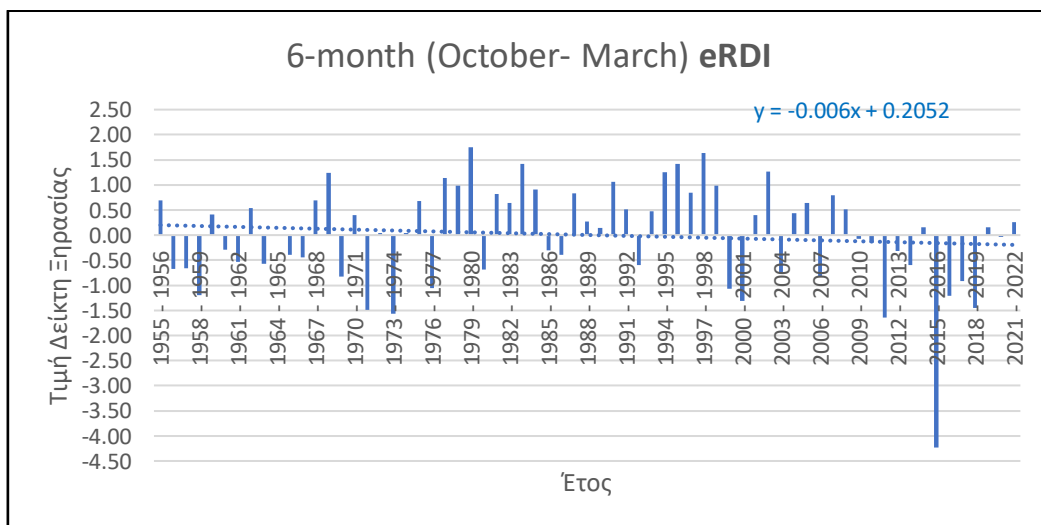
Σχήμα 32: Τιμές του δείκτη ξηρασίας aSPI (6-μνηο Απριλίου– Σεπτεμβρίου) στη Ρόδο για την περίοδο 1955-2010.



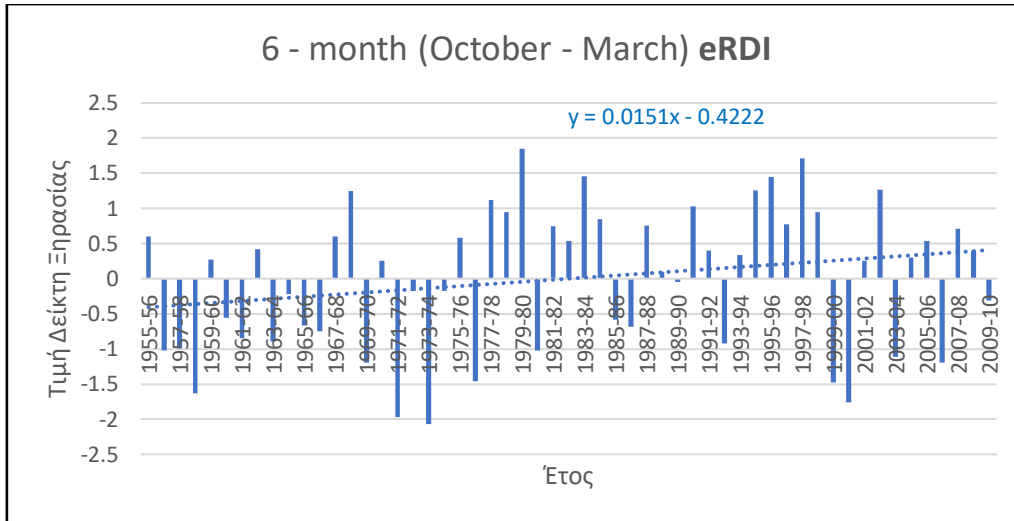
Σχήμα 33: Τιμές του δείκτη ξηρασίας eRDI (12-μηνo) στη Ρόδο για την περίοδο 1955 – 2022.



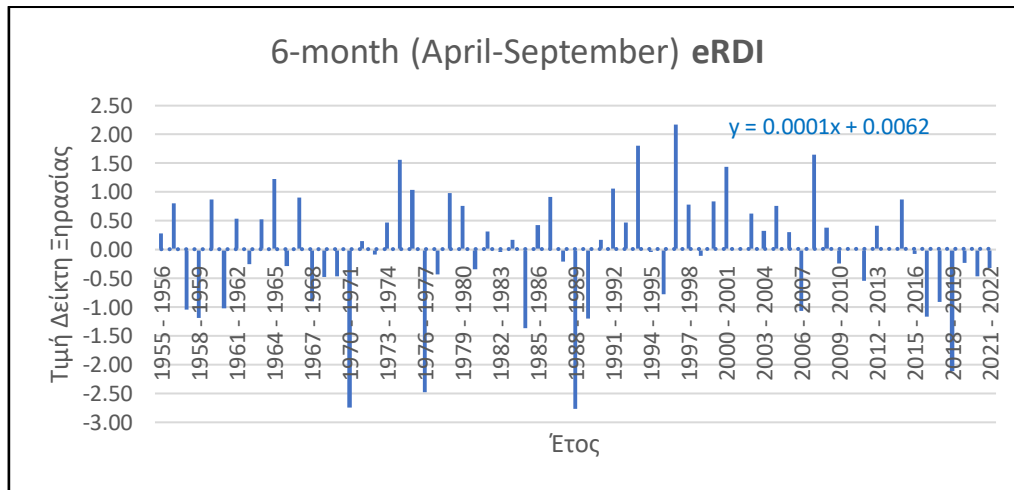
Σχήμα 34: Τιμές του δείκτη ξηρασίας eRDI (12-μηνo) στη Ρόδο για την περίοδο 1955 – 2010.



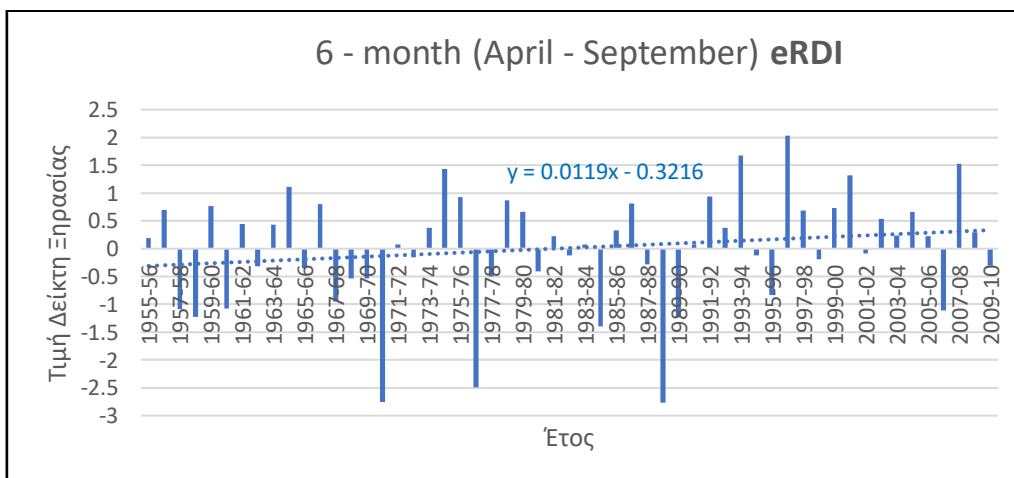
Σχήμα 35: Τιμές του δείκτη ξηρασίας eRDI (6-μηνo Οκτωβρίου – Μαρτίου) στη Ρόδο για την περίοδο 1955 – 2022.



Σχήμα 36: Τιμές του δείκτη ξηρασίας eRDI (6-μηνο Οκτωβρίου – Μαρτίου) στη Ρόδο για την περίοδο 1955 – 2010.



Σχήμα 37: Τιμές του δείκτη ξηρασίας eRDI (6-μηνο Απριλίου – Σεπτεμβρίου) στη Ρόδο για την περίοδο 1955 – 2022.



Σχήμα 38: Τιμές του δείκτη ξηρασίας eRDI (6-μηνο Απριλίου – Σεπτεμβρίου) στη Ρόδο για την περίοδο 1955 – 2010.

Πίνακας 14: Καταγραφή τάσεων των δεικτών ξηρασίας που έχουν προκύψει από δεδομένα από το σταθμό 749 Ρόδος για τις χρονοσειρές 1955-2022 και 1955-2010, με Reference period: 12-month.

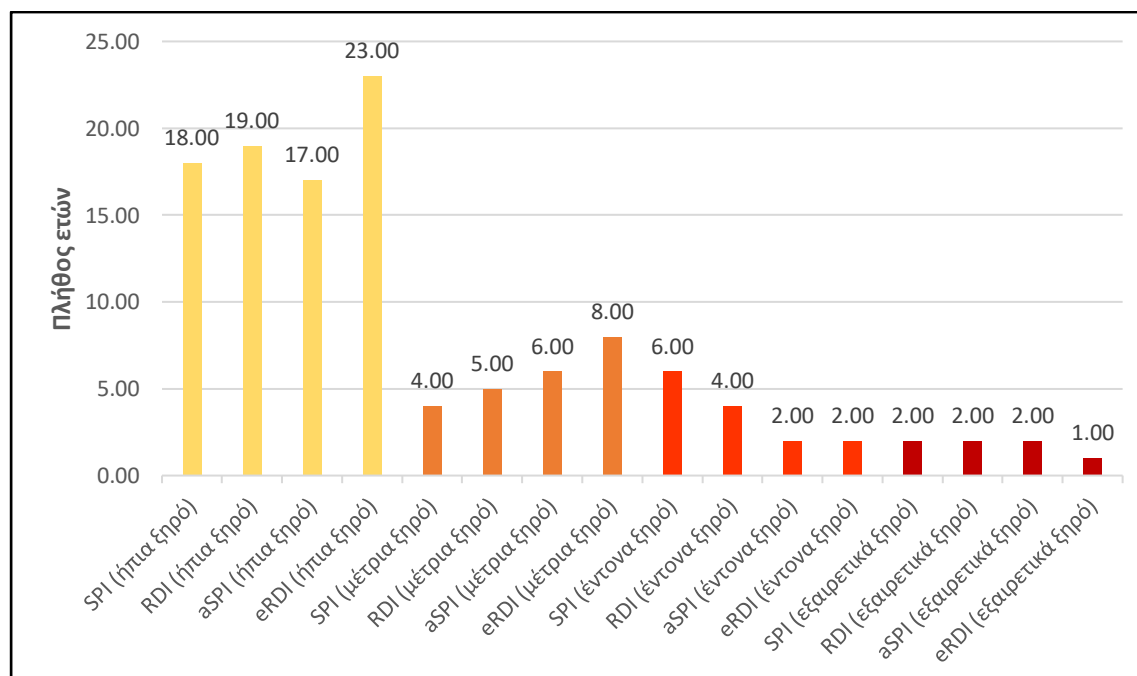
	SPI	RDI	aSPI	eRDI
Χρονοσειρά 1955-2022	-0.0232	-0.0100	-0.0223	-0.0035
Χρονοσειρά 1955-2010	-0.0159	0.0086	-0.0121	0.0211

Πίνακας 15: Καταγραφή τάσεων των δεικτών ξηρασίας που έχουν προκύψει από δεδομένα από το σταθμό 749 Ρόδος για τις χρονοσειρές 1955-2022 και 1955-2010, με Reference period: 6-month (Οκτωβρίου-Μαρτίου).

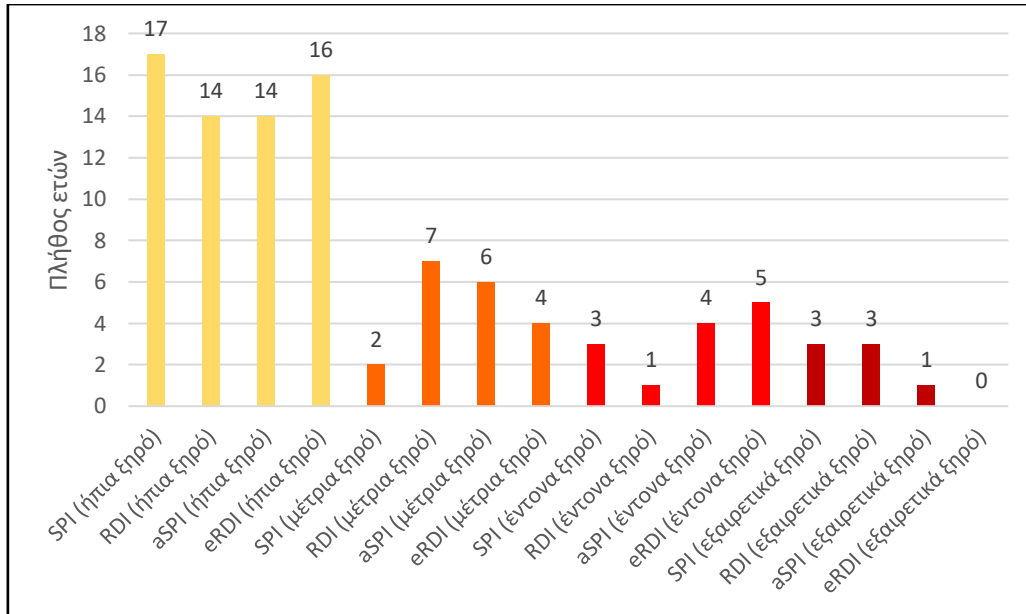
	SPI	RDI	aSPI	eRDI
Χρονοσειρά 1955-2022	-0.0221	-0.0117	-0.0214	-0.006
Χρονοσειρά 1955-2010	-0.0164	0.0034	-0.0134	0.0151

Πίνακας 16: Καταγραφή τάσεων των δεικτών ξηρασίας που έχουν προκύψει από δεδομένα από το σταθμό 749 Ρόδος για τις χρονοσειρές 1955-2022 και 1955-2010, με Reference period: 6-month (Απριλίου-Σεπτεμβρίου).

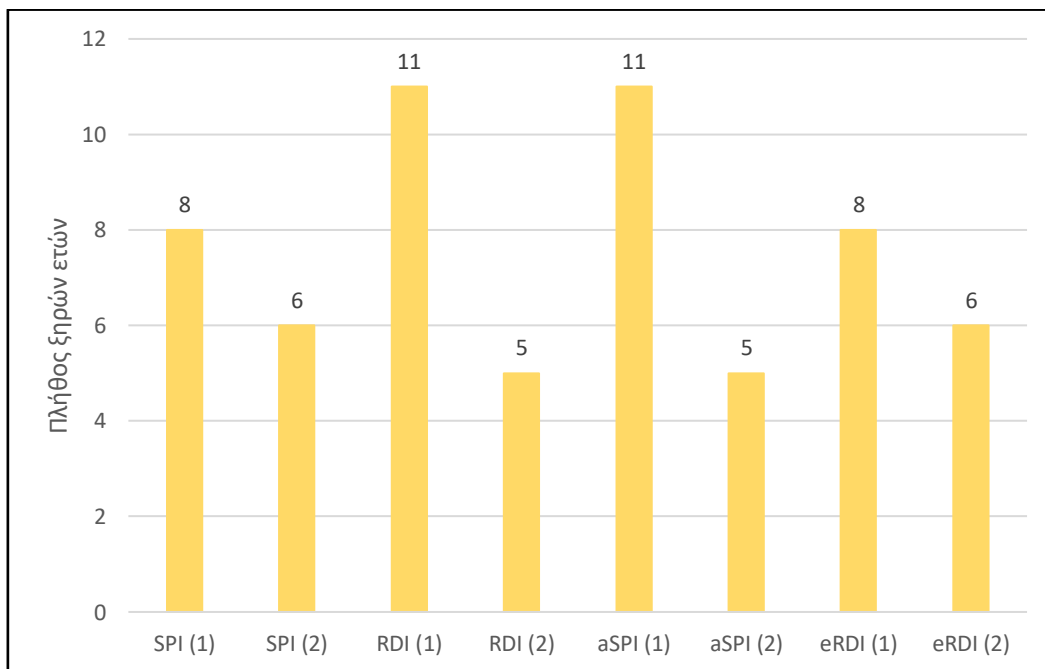
	SPI	RDI	aSPI	eRDI
Χρονοσειρά 1955-2022	-0.0059	0.0003	-0.0068	0.0001
Χρονοσειρά 1955-2010	0.0038	0.0125	0.0022	0.0119



Σχήμα 39: Πλήθος ετών σύμφωνα με το επίπεδο έντασης ξηρασίας από το 1955 έως το 2022 στη Ρόδο, με βάση με τους δείκτες SPI, RDI, aSPI και eRDI (reference period: 12-month, time step: annual).



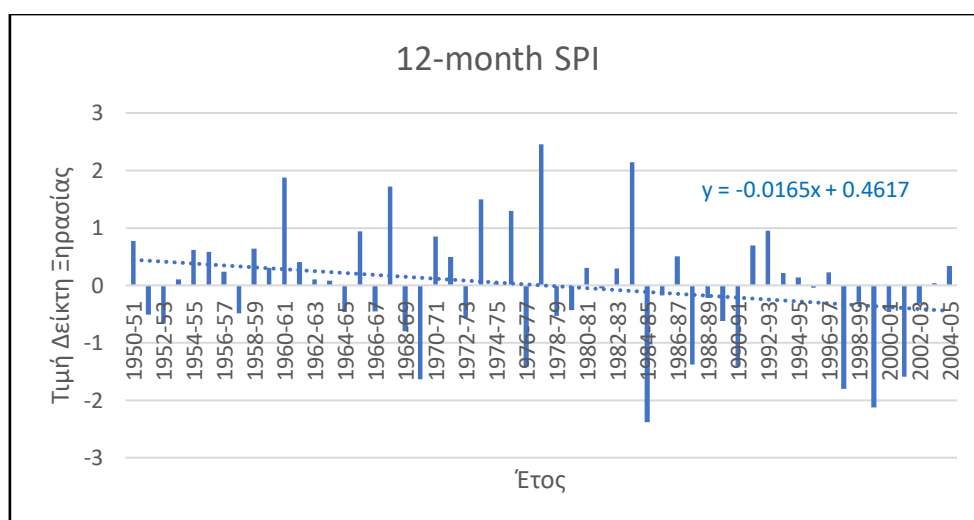
Σχήμα 40: Πλήθος ετών σύμφωνα με το επίπεδο έντασης ξηρασίας από το 1955 έως το 2010 στη Ρόδο, με βάση με τους δείκτες SPI, RDI, aSPI και eRDI (reference period: 12-month, time step: annual).



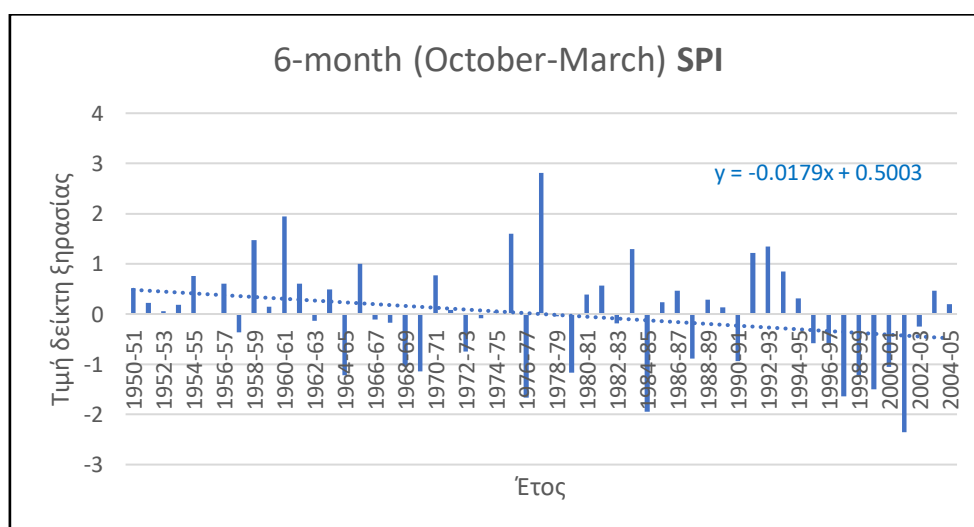
Σχήμα 41: Πλήθος ξηρών ετών (δείκτης ξηρασίας <-1) σύμφωνα με τους δείκτες που έχουν προκύψει από δεδομένα από το σταθμό 749 Ρόδος για τις χρονοσειρές (1): 1955 έως 2010 και (2): 1955 έως 2022, με Reference period: 12-month για τα έτη 1955 έως 2010 στη Ρόδο.

3.3.2. Δείκτες Ξηρασίας SPI, aSPI, RDI και eRDI (με πρωτογενή δεδομένα από την ιστορική χρονοσειρά του περιοχικού κλιματικού μοντέλου CLMcom-CCLM4-8-17)

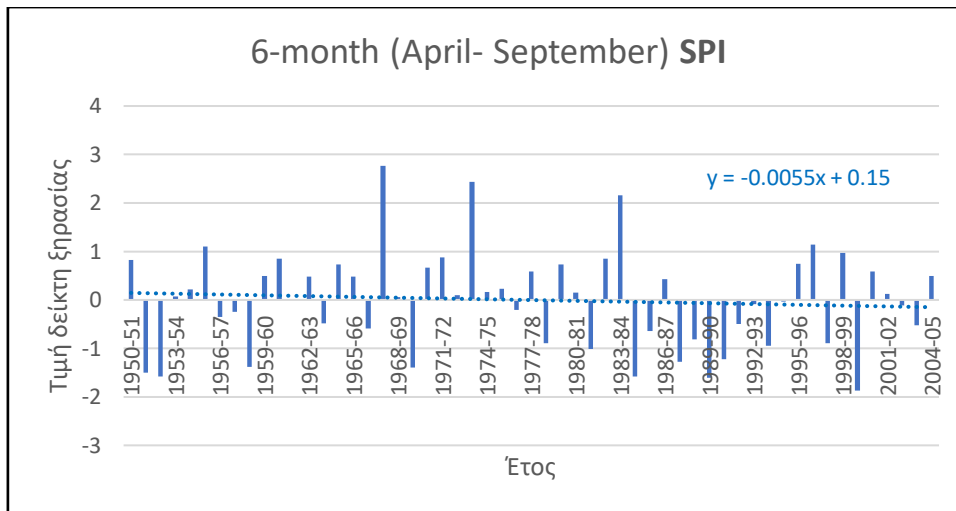
Από το περιοχικό κλιματικό μοντέλο CLMcom-CCLM4-8-17, το οποίο βασίζεται στο παγκόσμιο κλιματικό μοντέλο CNRM-CERFACS-CNRM-CM5, αντλήθηκαν τα μηνιαία δεδομένα μέσης, ελάχιστης και μέγιστης θερμοκρασίας, καθώς επίσης και τα μηνιαία δεδομένα συνολικής βροχόπτωσης για την ιστορική χρονοσειρά 1950-2005. Με βάση τα συγκεκριμένα δεδομένα προέκυψαν τα διαγράμματα που απεικονίζονται στα Σχήματα 42 έως 53. Αναλυτικότερα, αποτυπώνονται οι δείκτες ξηρασίας SPI, aSPI, RDI και eRDI, το χρονικό διάστημα 1950 έως 2005, με Time step: :Annual, και Reference period: 12-month και 6-month (και για τα δύο εξάμηνα). Τέλος, στον πίνακα 17 αποτυπώνονται οι τάσεις.



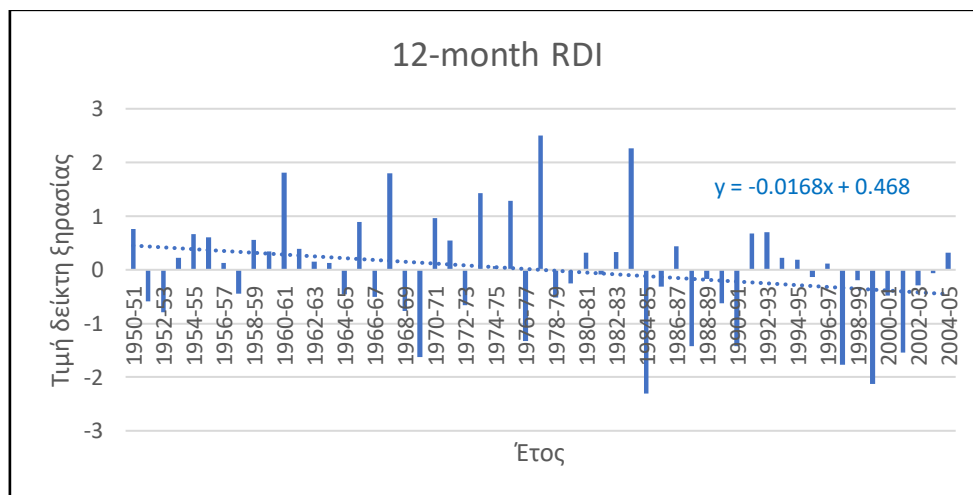
Σχήμα 42 : Τιμές του δείκτη ξηρασίας SPI (12-μην) στη Ρόδο για την περίοδο 1950 – 2005.



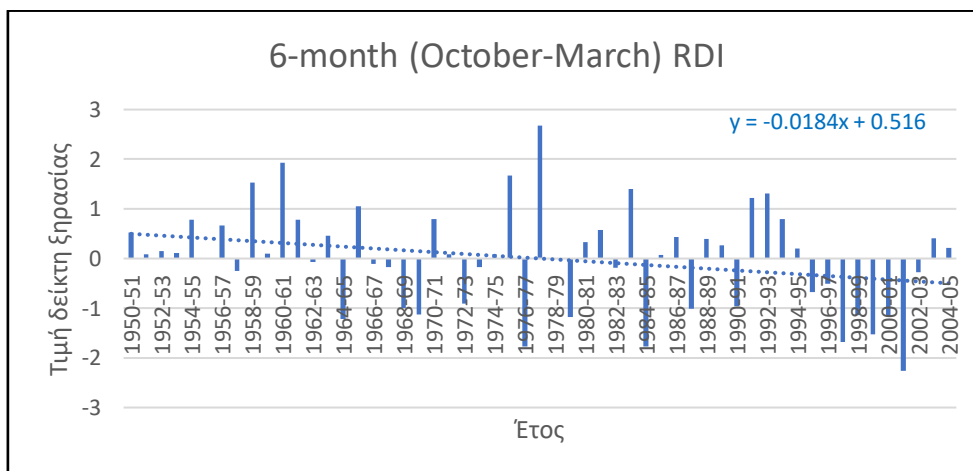
Σχήμα 43 : Τιμές του δείκτη ξηρασίας SPI (6-μην Οκτωβρίου – Μαρτίου) στη Ρόδο για την περίοδο 1950 – 2005.



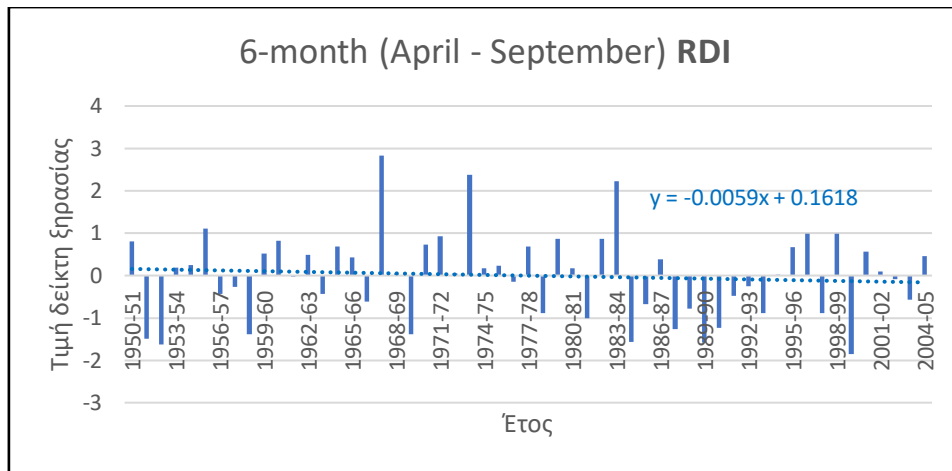
Σχήμα 44: Τιμές του δείκτη ξηρασίας SPI (6-μηνο Απριλίου – Σεπτεμβρίου) στη Ρόδο για την περίοδο 1950 – 2005.



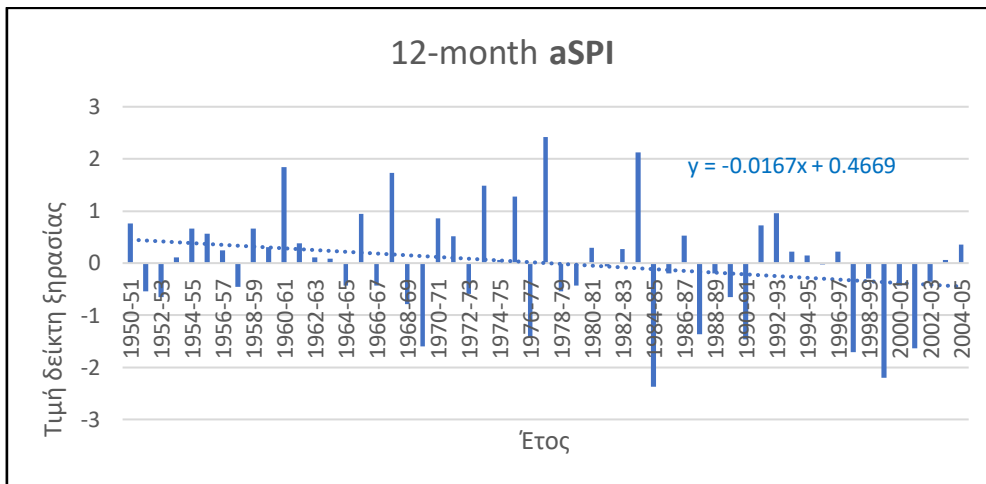
Σχήμα 45 : Τιμές του δείκτη ξηρασίας RDI (12-μηνο) στη Ρόδο για την περίοδο 1950 – 2005.



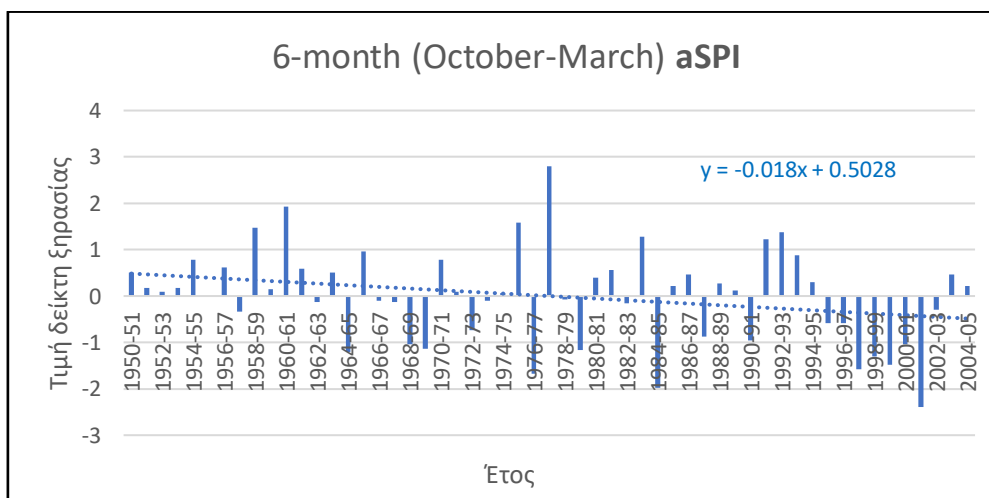
Σχήμα 46: Τιμές του δείκτη ξηρασίας RDI (6-μηνο Οκτωβρίου – Μαρτίου) στη Ρόδο για την περίοδο 1950 – 2005.



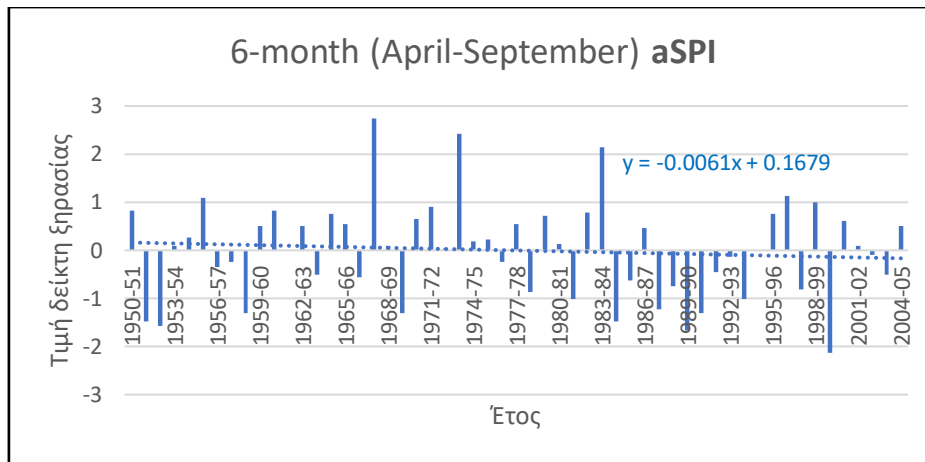
Σχήμα 47: Τιμές του δείκτη ξηρασίας RDI (6-μνηο Απριλίου – Σεπτεμβρίου) στη Ρόδο για την περίοδο 1950 – 2005.



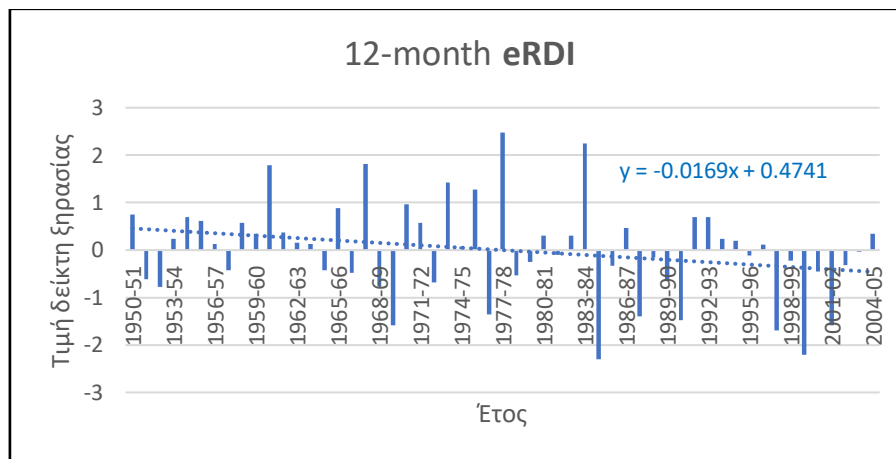
Σχήμα 48: Τιμές του δείκτη ξηρασίας aSPI (12-μνηο) στη Ρόδο για την περίοδο 1950 – 2005.



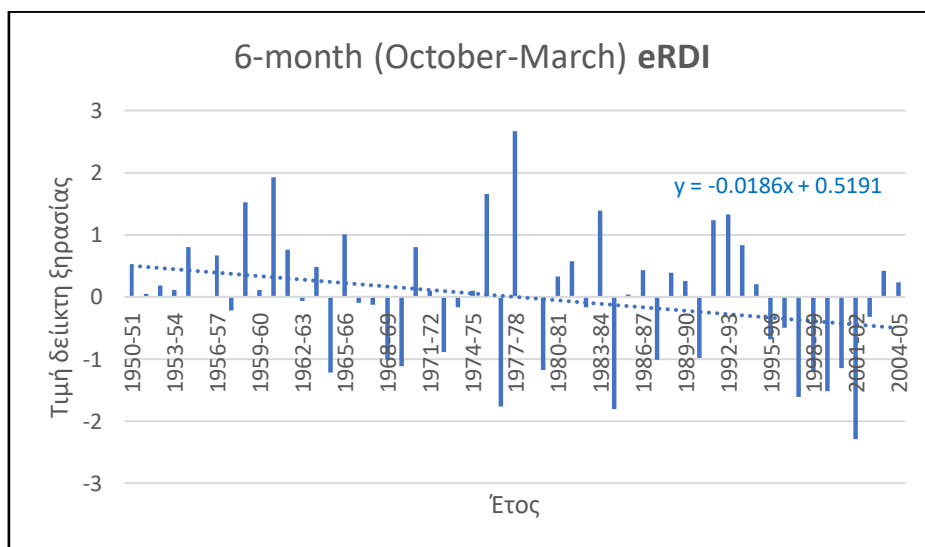
Σχήμα 49: Τιμές του δείκτη ξηρασίας aSPI (6-μνηο Οκτωβρίου – Μαρτίου) στη Ρόδο για την περίοδο 1950 – 2005.



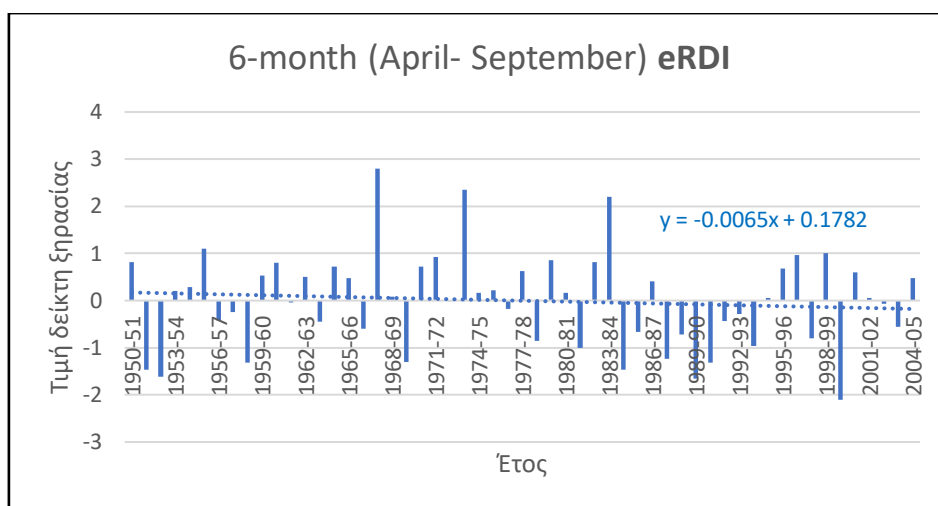
Σχήμα 50: Τιμές του δείκτη ξηρασίας aSPI (6-μνη Απριλίου – Σεπτεμβρίου) στη Ρόδο για την περίοδο 1950 – 2005.



Σχήμα 51: Τιμές του δείκτη ξηρασίας RDI (12-μνη) στη Ρόδο για την περίοδο 1950 – 2005.



Σχήμα 52: Τιμές του δείκτη ξηρασίας eRDI (6-μνη Οκτωβρίου – Μαρτίου) στη Ρόδο για την περίοδο 1950 – 2005.



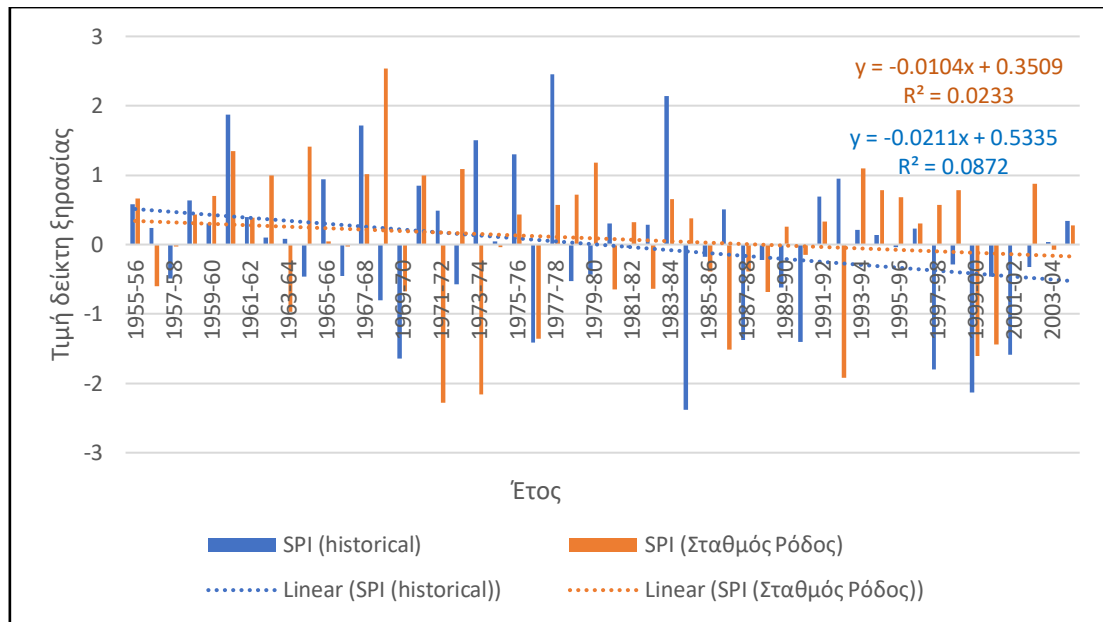
Σχήμα 53: Τιμές του δείκτη ξηρασίας eRDI (6-μηνο Απριλίου – Σεπτεμβρίου) στη Ρόδο για την περίοδο 1950 – 2005.

Πίνακας 17: Καταγραφή τάσεων των δεικτών ξηρασίας που έχουν προκύψει από δεδομένα από την ιστορική χρονοσειρά (1950-2005) του περιοχικού κλιματικού μοντέλου CLMcom-CCLM4-8-17, με Reference period: 12-month , 6month (Οκτωβρίου-Μαρτίου) και 6-month (Απριλίου-Σεπτεμβρίου).

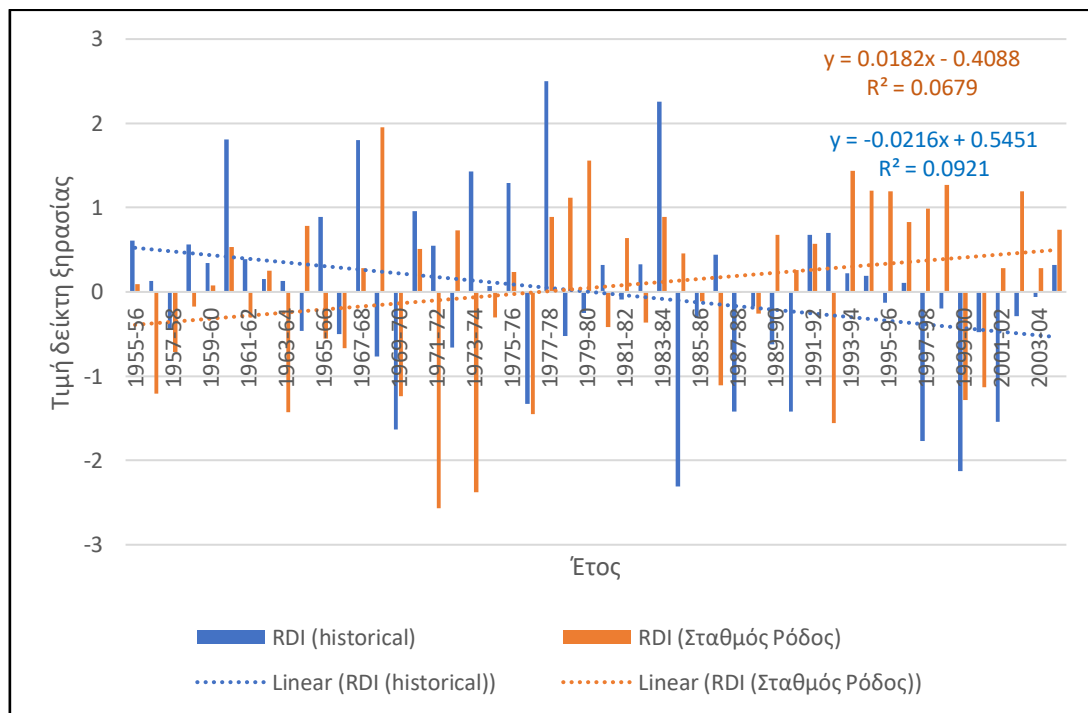
	SPI	RDI	aSPI	eRDI
12-μηνο	-0.0165	-0.0168	-0.0167	-0.0169
6-μηνο (Οκτωβρίου-Μαρτίου)	-0.0179	-0.0184	-0.018	-0.0186
6-μηνο (Απριλίου – Σεπτεμβρίου)	-0.0055	-0.0059	-0.0061	-0.0065

3.3.3. Σύγκριση των Δεικτών SPI, aSPI, RDI και eRDI που προέκυψαν από διαφορετικά πρωτογενή δεδομένα

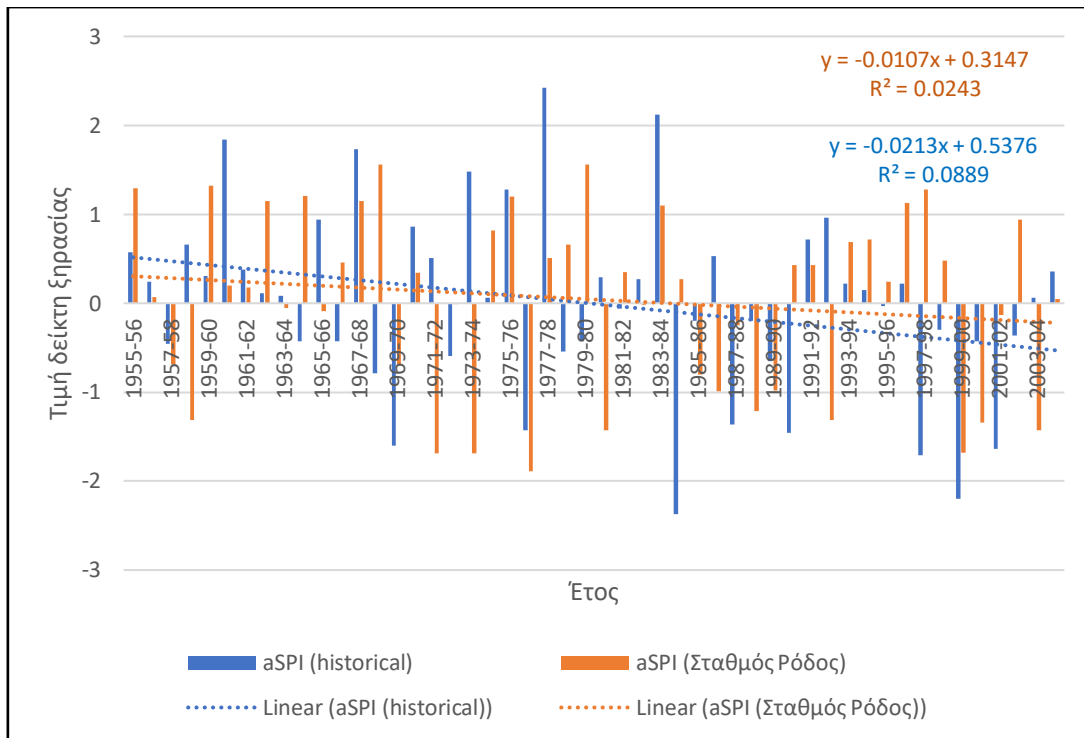
Στα Σχήματα 54 έως 65 αποτυπώνεται η σύγκριση των δεικτών ξηρασίας SPI, aSPI, RDI και eRDI που έχουν προκύψει από διαφορετικά πρωτογενή δεδομένα. Αναλυτικότερα τα δεδομένα αυτά έχουν αντληθεί από τον μετεωρολογικό σταθμό 749 Ρόδος για τη χρονοσειρά 1955-2010 καθώς επίσης και από την ιστορική χρονοσειρά (1950-2005) του περιοχικού κλιματικού μοντέλου CLMcom-CCLM4-8-17. Στα συγκεκριμένα διαγράμματα απεικονίζεται η κοινή χρονική τους περίοδος δηλαδή από το 1955 έως το 2005, με reference period 12-month και 6-month και για τα δύο εξάμηνα. Στους Πίνακες 18, 19 και 20 αποτυπώνονται οι τάσεις. Τέλος, στα Σχήματα 66 και 67 αποτυπώνεται το πλήθος ετών σύμφωνα με το επίπεδο έντασης της ξηρασίας από το 1955 έως το 2005.



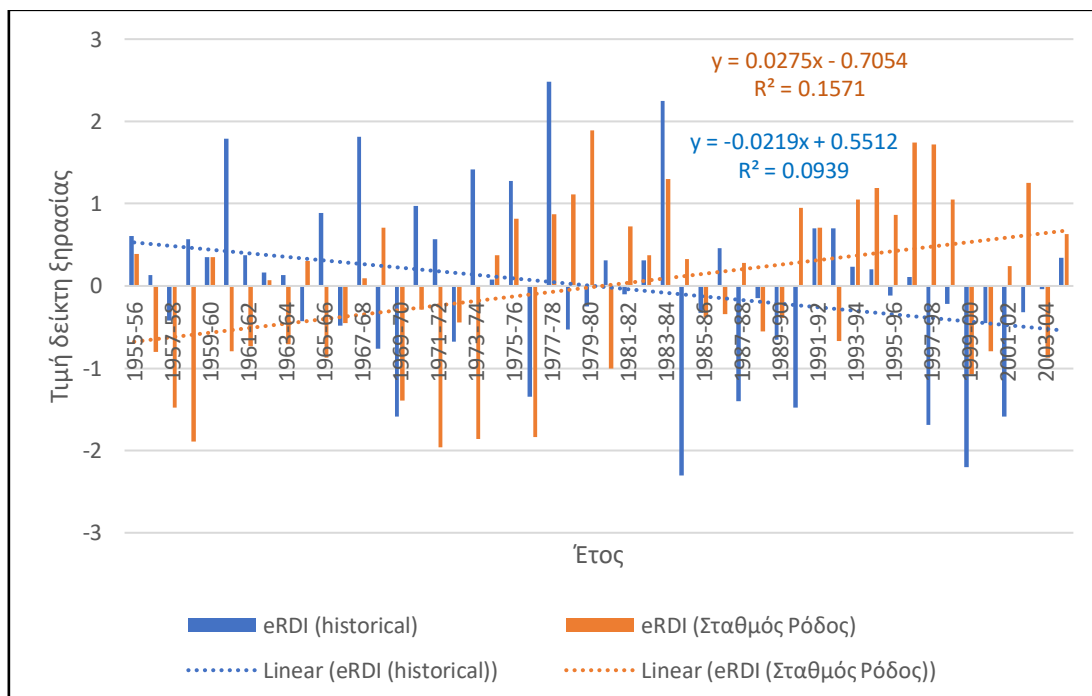
Σχήμα 54: Τιμές του δείκτη ξηρασίας SPI, με δεδομένα από το σταθμό 749 Ρόδος (πορτοκαλί ράβδοι) και με δεδομένα από την ιστορική χρονοσειρά του περιοχικού κλιματικού μοντέλου CLMcom-CCLM4-8-17 (μπλε ράβδοι) στη Ρόδο, με Reference period: 12-month για την περίοδο 1955 – 2005.



Σχήμα 55: Τιμές του δείκτη ξηρασίας RDI, με δεδομένα από το σταθμό 749 Ρόδος (πορτοκαλί ράβδοι) και με δεδομένα από την ιστορική χρονοσειρά του περιοχικού κλιματικού μοντέλου CLMcom-CCLM4-8-17 (μπλε ράβδοι) στη Ρόδο με Reference period: 12-month για την περίοδο 1955 – 2005.



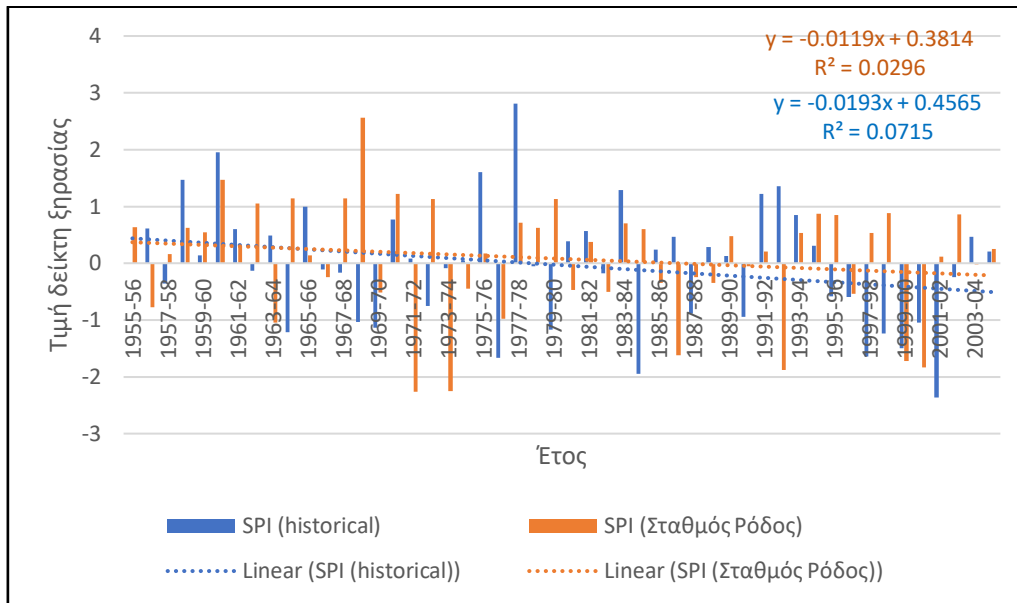
Σχήμα 56: Τιμές του δείκτη ξηρασίας aSPI, με δεδομένα από το σταθμό 749 Ρόδος (πορτοκαλί ράβδοι) και με δεδομένα από την ιστορική χρονοσειρά του περιοχικού κλιματικού μοντέλου CLMcom-CCLM4-8-17 (μπλε ράβδοι) στη Ρόδο, με Reference period: 12-month για την περίοδο 1955 – 2005.



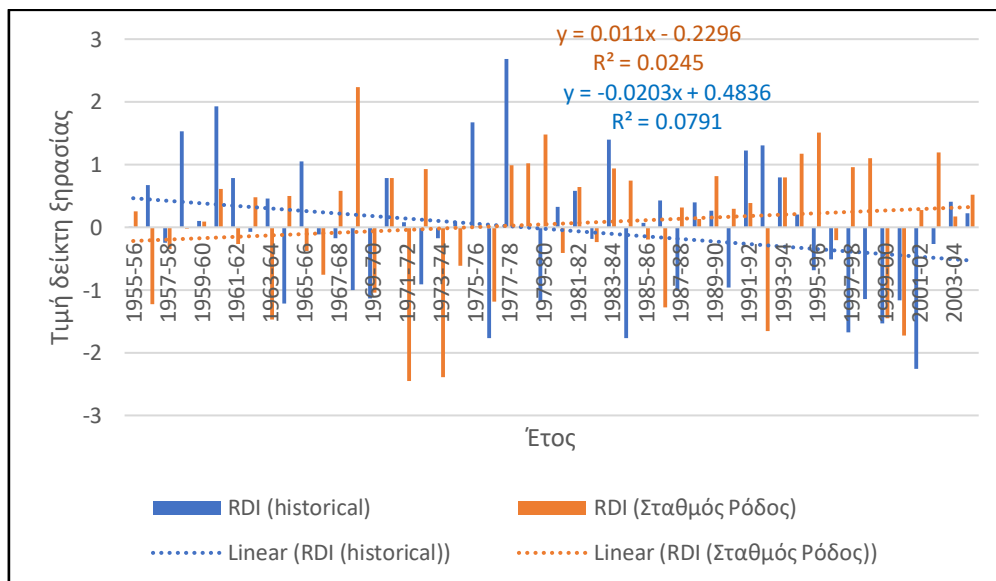
Σχήμα 57: Τιμές του δείκτη ξηρασίας eRDI, με δεδομένα από το σταθμό 749 Ρόδος (πορτοκαλί ράβδοι) και με δεδομένα από την ιστορική χρονοσειρά του περιοχικού κλιματικού μοντέλου CLMcom-CCLM4-8-17 (μπλε ράβδοι) στη Ρόδο, με Reference period: 12-month για την περίοδο 1955 – 2005.

Πίνακας 18 : Καταγραφή τάσεων των δεικτών ξηρασίας που έχουν προκύψει από δεδομένα από το σταθμό 749 Ρόδος και από την ιστορική χρονοσειρά του περιοχικού κλιματικού μοντέλου CLMcom-CCLM4-8-17, με Reference period: 12-month για τα έτη 1955 έως 2005 στη Ρόδο.

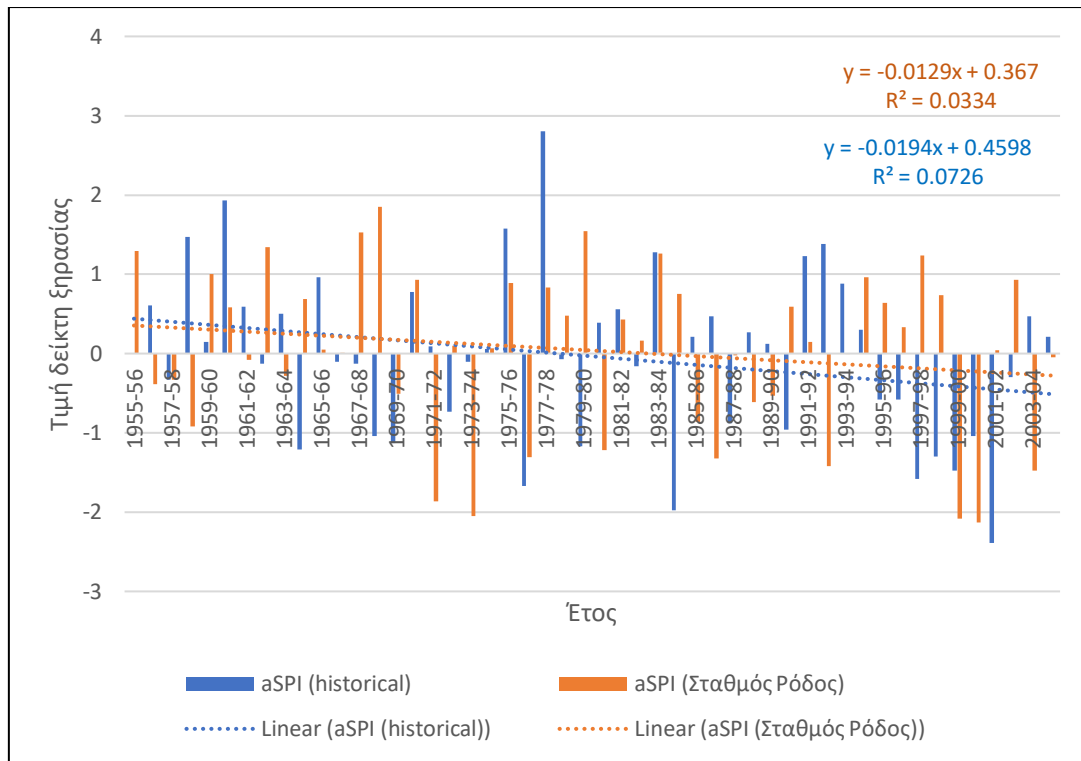
	SPI	RDI	aSPI	eRDI
Σταθμός 749 Ρόδος	-0.0104	0.0182	-0.0107	0.0275
CLMcom-CCLM4-8-17	-0.0211	-0.0216	-0.0213	-0.0219



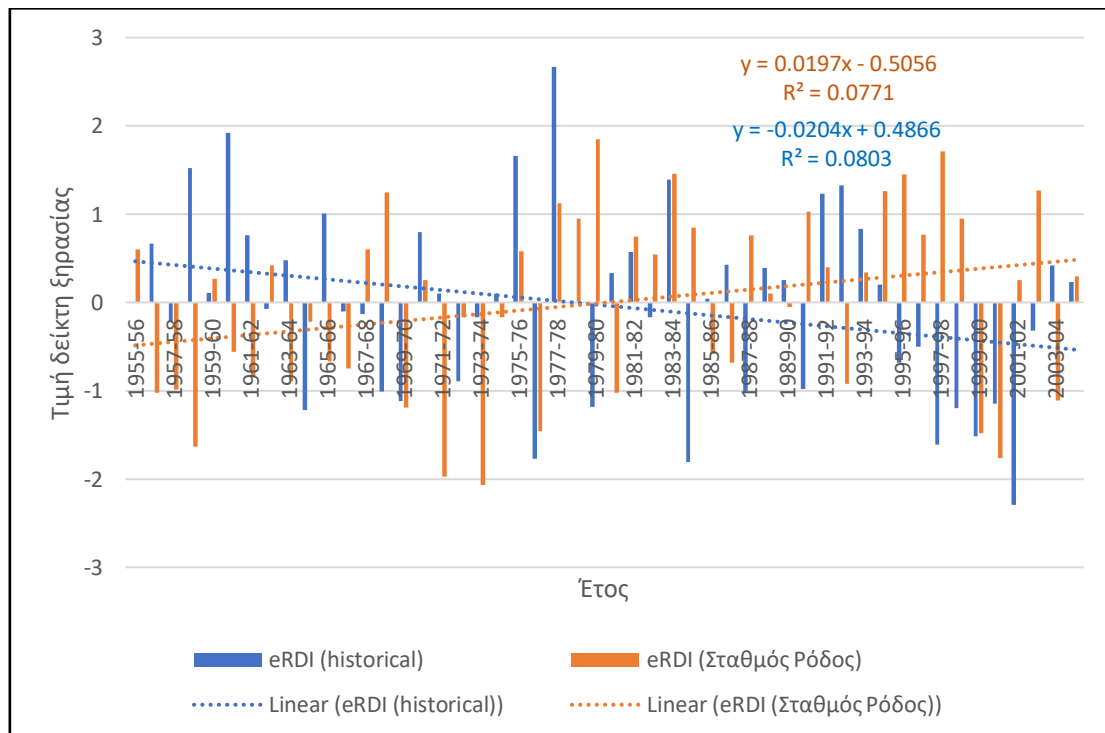
Σχήμα 58: Τιμές του δείκτη ξηρασίας SPI, με δεδομένα από το σταθμό 749 Ρόδος (πορτοκαλί ράβδοι) και με δεδομένα από την ιστορική χρονοσειρά του περιοχικού κλιματικού μοντέλου CLMcom-CCLM4-8-17 (μπλε ράβδοι) στη Ρόδο, με Reference period: 6-month (Οκτώβριο-Μάρτιο) για την περίοδο 1955 – 2005.



Σχήμα 59: Τιμές του δείκτη ξηρασίας RDI, με δεδομένα από το σταθμό 749 Ρόδος (πορτοκαλί ράβδοι) και με δεδομένα από την ιστορική χρονοσειρά του περιοχικού κλιματικού μοντέλου CLMcom-CCLM4-8-17 (μπλε ράβδοι) στη Ρόδο, με Reference period: 6-month (Οκτώβριο-Μάρτιο) για την περίοδο 1955 – 2005.



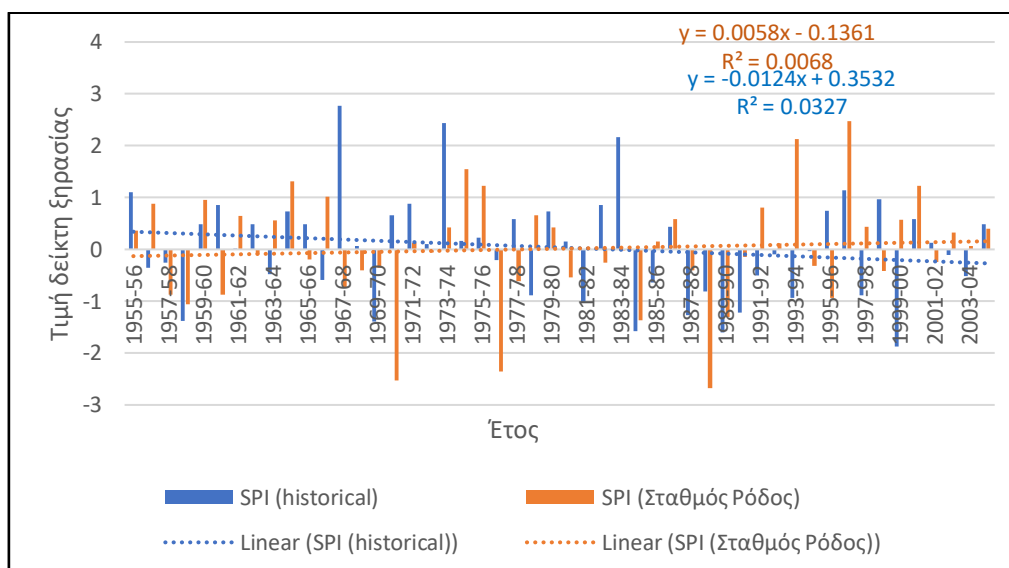
Σχήμα 60: Τιμές του δείκτη ξηρασίας aSPI, με δεδομένα από το σταθμό 749 Ρόδος (πορτοκαλί ράβδοι) και με δεδομένα από την ιστορική χρονοσειρά του περιοχικού κλιματικού μοντέλου CLMcom-CCLM4-8-17 (μπλε ράβδοι) στη Ρόδο, με Reference period: 6-month (Οκτώβριο-Μάρτιο) για την περίοδο 1955 – 2005.



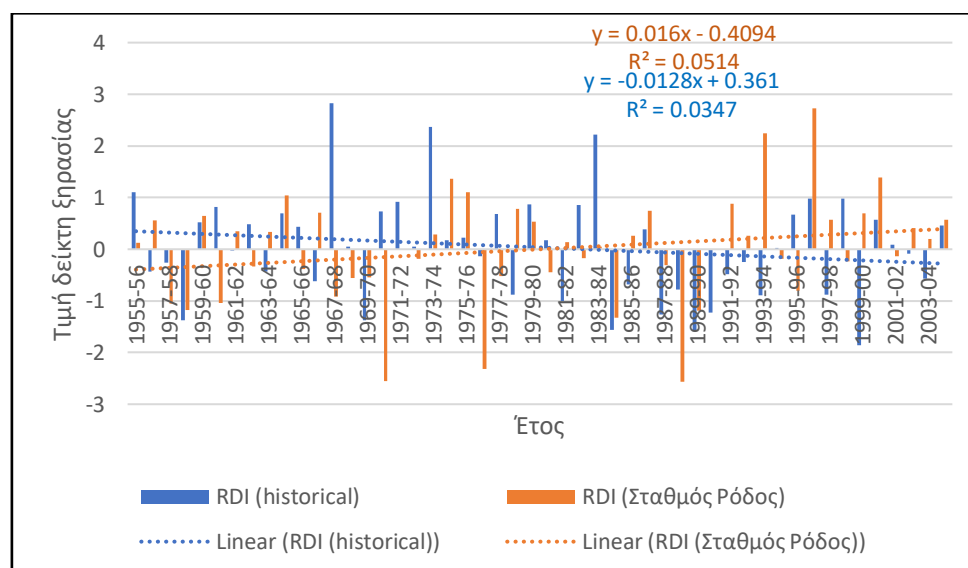
Σχήμα 61: Τιμές του δείκτη ξηρασίας eRDI, με δεδομένα από το σταθμό 749 Ρόδος (πορτοκαλί ράβδοι) και με δεδομένα από την ιστορική χρονοσειρά του περιοχικού κλιματικού μοντέλου CLMcom-CCLM4-8-17 (μπλε ράβδοι) στη Ρόδο, με Reference period: 6-month (Οκτώβριο-Μάρτιο) για την περίοδο 1955 – 2005.

Πίνακας 19: Καταγραφή τάσεων των δεικτών ξηρασίας που έχουν προκύψει από δεδομένα από το σταθμό 749 Ρόδος και από την ιστορική χρονοσειρά του περιοχικού κλιματικού μοντέλου CLMcom-CCLM4-8-17, με Reference period: 6-month (Οκτώβριος-Μάρτιος) για τα έτη 1955 έως 2005 στη Ρόδο.

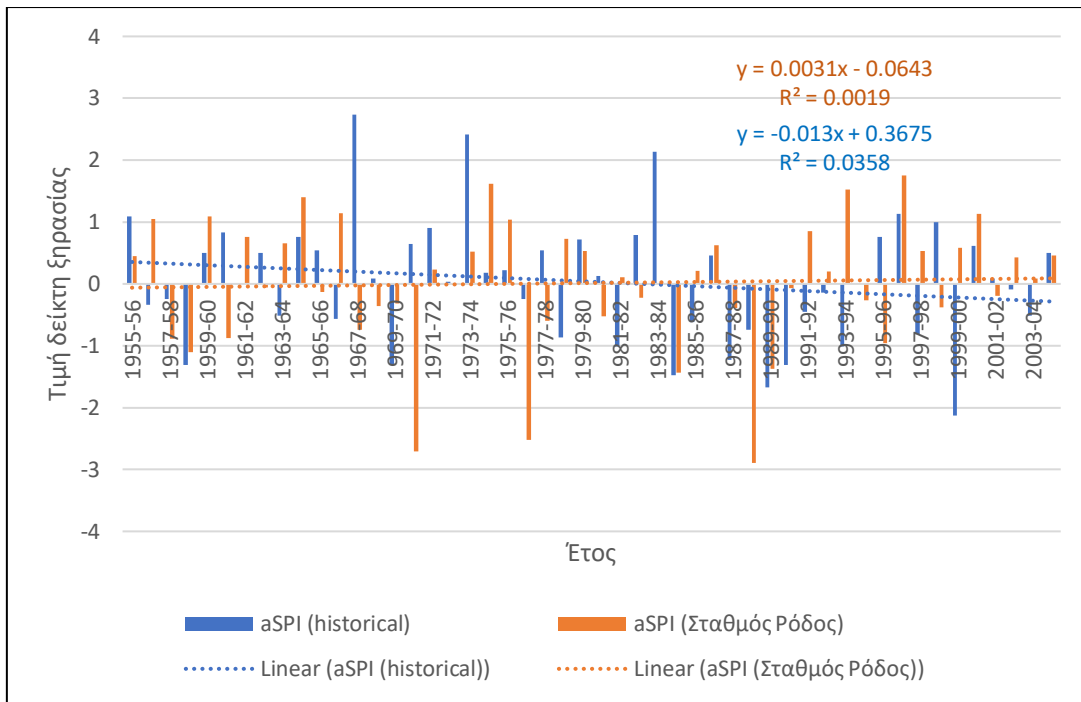
	SPI	RDI	aSPI	eRDI
Σταθμός 749 Ρόδος	-0.0119	0.011	-0.0129	0.0197
CLMcom-CCLM4-8-17	-0.0193	-0.0203	-0.0194	-0.0204



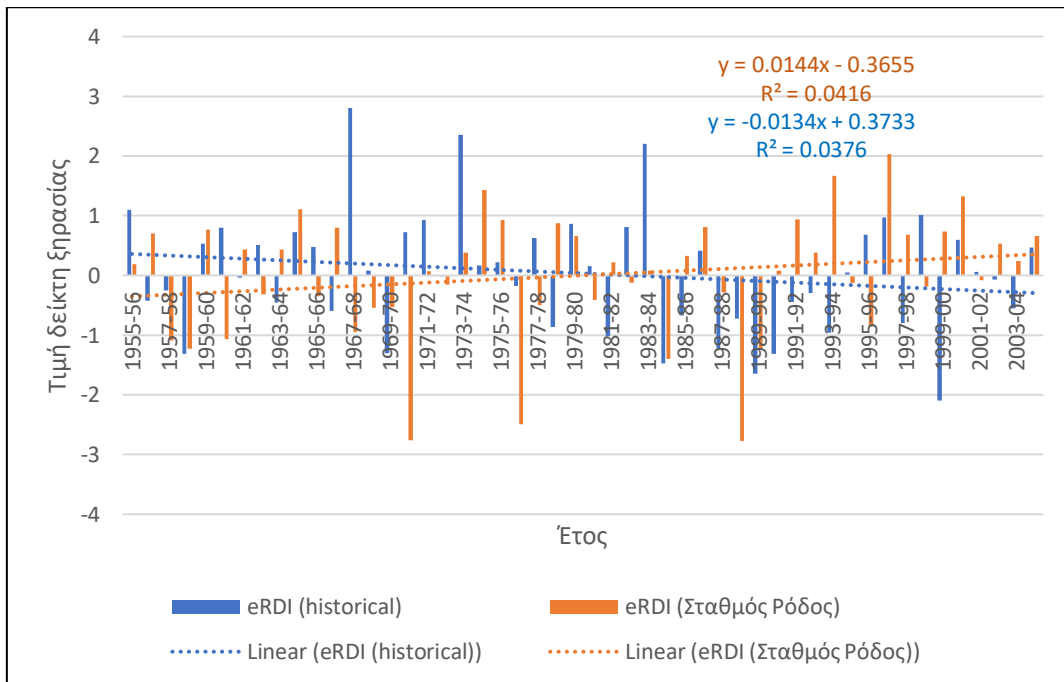
Σχήμα 62: Τιμές του δείκτη ξηρασίας SPI, με δεδομένα από το σταθμό 749 Ρόδος (πορτοκαλί ράβδοι) και με δεδομένα από την ιστορική χρονοσειρά του περιοχικού κλιματικού μοντέλου CLMcom-CCLM4-8-17 (μπλε ράβδοι) στη Ρόδο, με Reference period: 6-month (Απρίλιος- Σεπτέμβριος) για την περίοδο 1955 – 2005.



Σχήμα 63: Τιμές του δείκτη ξηρασίας RDI, με δεδομένα από το σταθμό 749 Ρόδος (πορτοκαλί ράβδοι) και με δεδομένα από την ιστορική χρονοσειρά του περιοχικού κλιματικού μοντέλου CLMcom-CCLM4-8-17 (μπλε ράβδοι) στη Ρόδο, με Reference period: 6-month (Απρίλιος- Σεπτέμβριος) για την περίοδο 1955 – 2005.



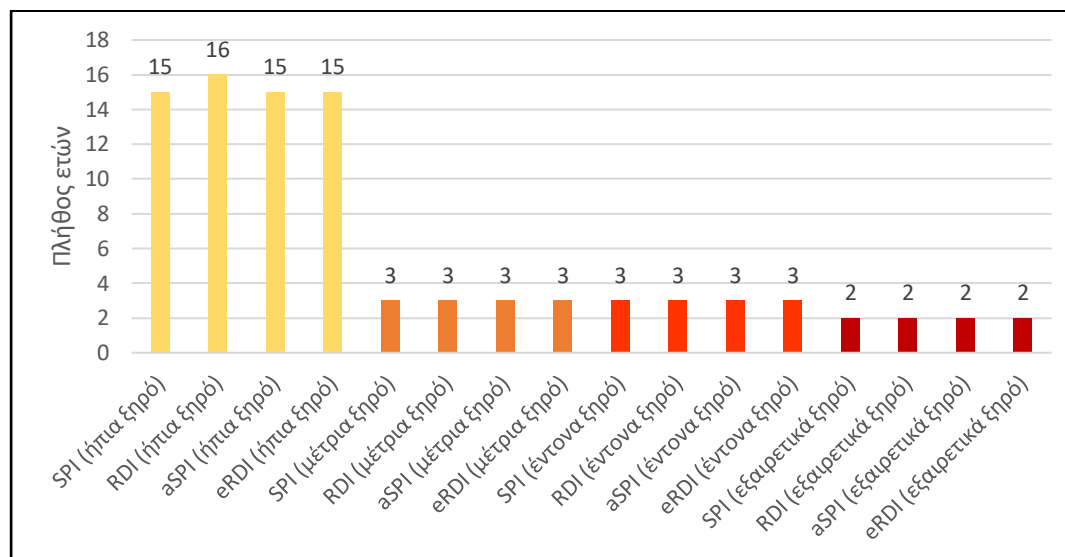
Σχήμα 64: Τιμές του δείκτη ξηρασίας aSPI, με δεδομένα από το σταθμό 749 Ρόδος (πορτοκαλί ράβδοι) και με δεδομένα από την ιστορική χρονοσειρά του περιοχικού κλιματικού μοντέλου CLMcom-CCLM4-8-17 (μπλε ράβδοι) στη Ρόδο, με Reference period: 6-month (Απρίλιος- Σεπτέμβριος) για την περίοδο 1955 – 2005.



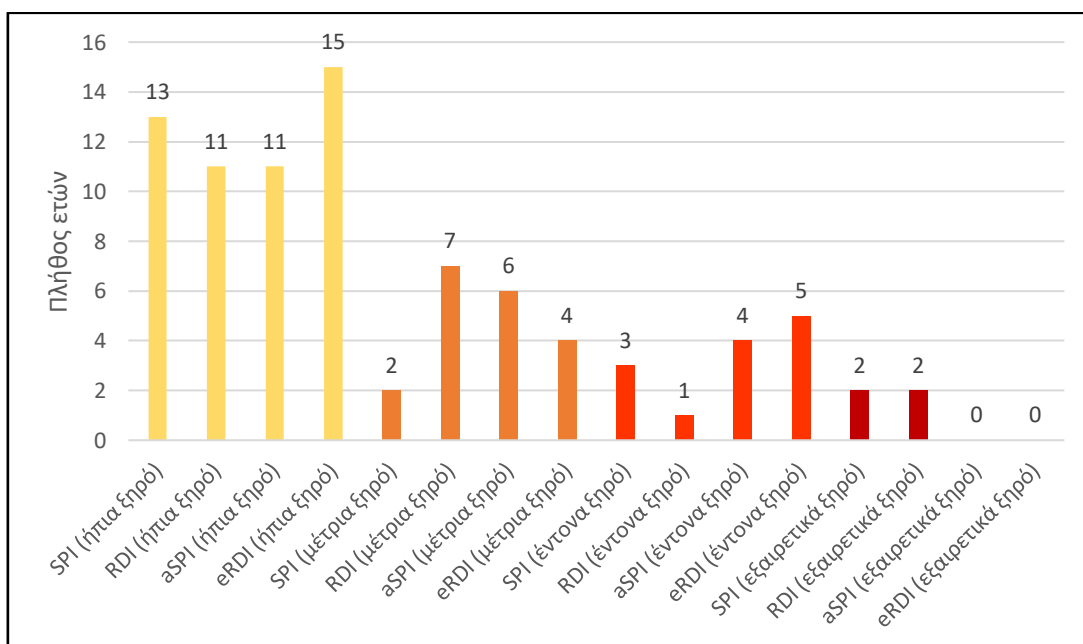
Σχήμα 65: Τιμές του δείκτη ξηρασίας eRDI, με δεδομένα από το σταθμό 749 Ρόδος (πορτοκαλί ράβδοι) και με δεδομένα από την ιστορική χρονοσειρά του περιοχικού κλιματικού μοντέλου CLMcom-CCLM4-8-17 (μπλε ράβδοι) στη Ρόδο, με Reference period: 6-month (Απρίλιος- Σεπτέμβριος) για την περίοδο 1955 – 2005.

Πίνακας 20: Καταγραφή τάσεων των δεικτών ξηρασίας που έχουν προκύψει από δεδομένα από το σταθμό 749 Ρόδος και από την ιστορική χρονοσειρά του περιοχικού κλιματικού μοντέλου CLMcom-CCLM4-8-17, με Reference period: 6-month (Απρίλιος-Σεπτέμβριος) για τα έτη 1955 έως 2005 στη Ρόδο.

	SPI	RDI	aSPI	eRDI
Σταθμός 749 Ρόδος	0.0058	0.016	0.0031	0.0144
CLMcom-CCLM4-8-17	-0.0124	-0.0128	-0.0013	-0.0134



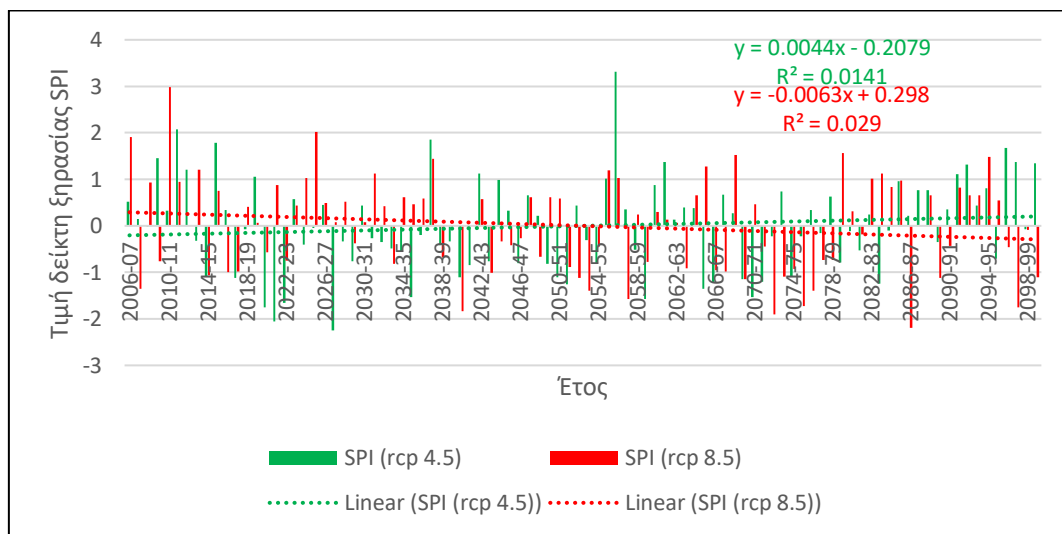
Σχήμα 66: Πλήθος ετών σύμφωνα με το επίπεδο έντασης ξηρασίας από το 1955 έως το 2005 στη Ρόδο, με βάση τους δείκτες SPI, RDI, aSPI και eRDI (reference period: 12-month, time step: annual), με δεδομένα από την ιστορική χρονοσειρά του περιοχικού κλιματικού μοντέλου CLMcom-CCLM4-8-17.



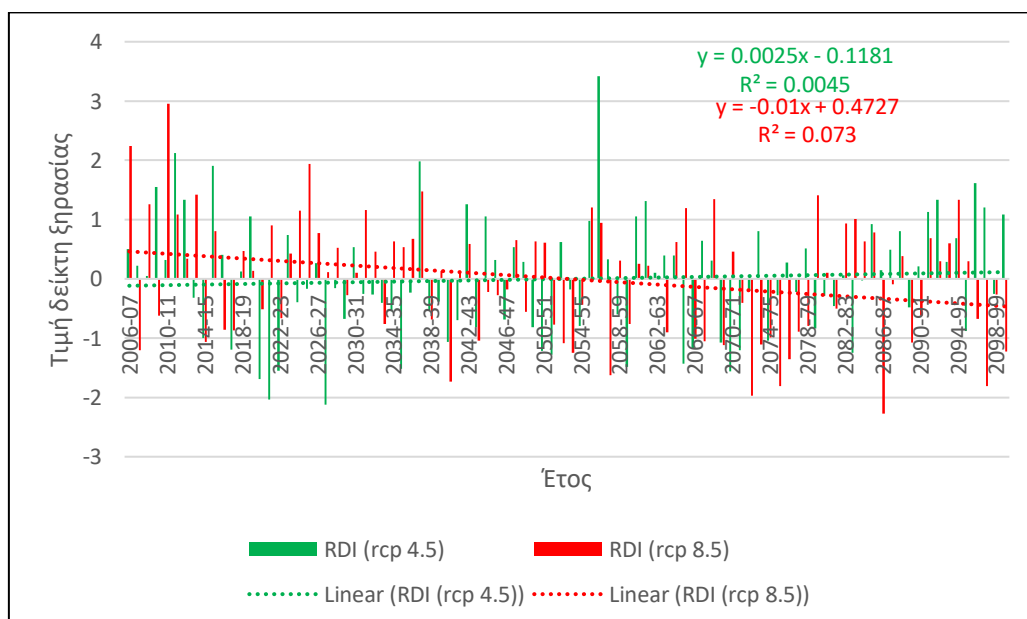
Σχήμα 67: Πλήθος ετών σύμφωνα με το επίπεδο έντασης ξηρασίας από το 1955 έως το 2005 στη Ρόδο, με βάση τους δείκτες SPI, RDI, aSPI και eRDI (reference period: 12-month, time step: annual), με δεδομένα από το σταθμό 749 Ρόδος.

3.3.4. Δείκτες Ξηρασίας SPI, aSPI, RDI και eRDI (με πρωτογενή δεδομένα από το Περιοχικό Κλιματικό Μοντέλο CLMcom-CCLM-8-17 για τα σενάρια RCP4.5 και RCP8.5)

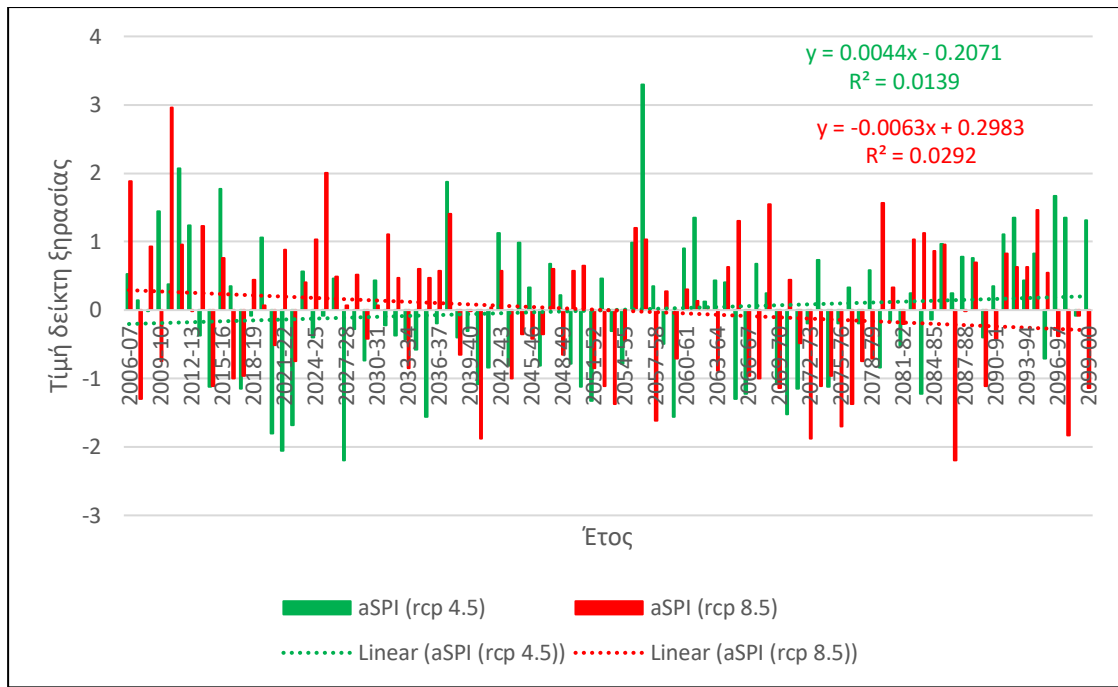
Στα Σχήματα 68 έως 71 αποτυπώνονται οι δείκτες ξηρασίας SPI, aSPI, RDI και eRDI με πρωτογενή δεδομένα από το περιοχικό κλιματικό μοντέλο CLMcom-CCLM-8-17 (το οποίο βασίζεται στο παγκόσμιο κλιματικό μοντέλο CNRM-CERFACS-CNRM-CM5) για το χρονικό διάστημα 2006 έως 2100 για τα κλιματικά σενάρια RCP4.5 και RCP8.5. Τέλος, στον Πίνακα 21 αποτυπώνονται οι τάσεις.



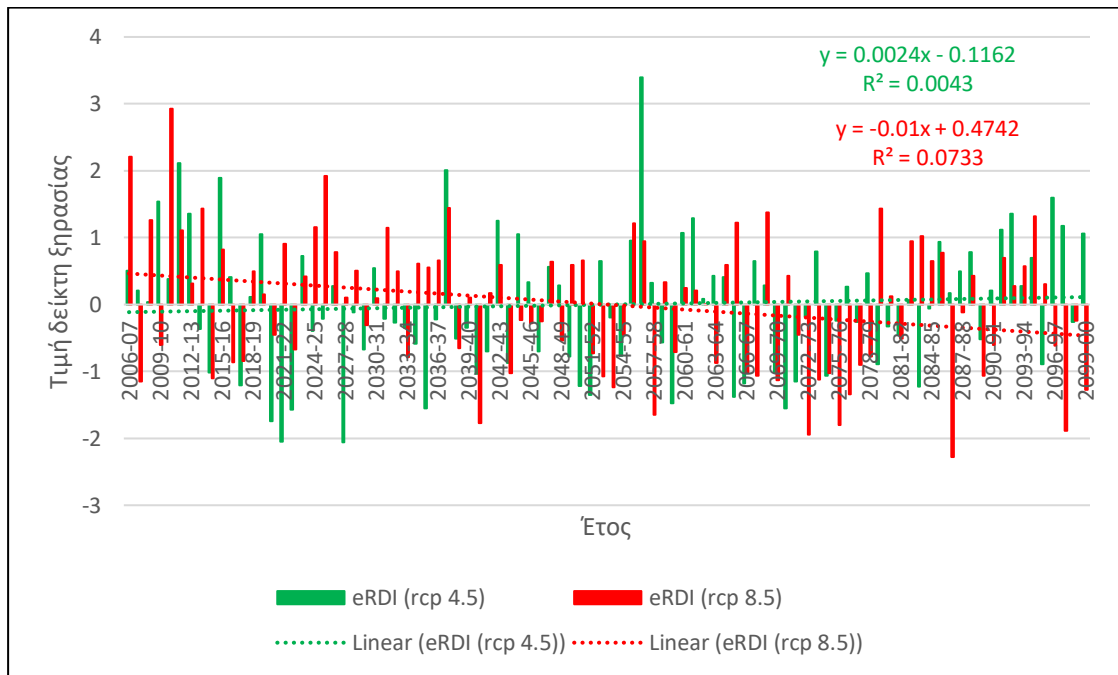
Σχήμα 68: Τιμές του δείκτη ξηρασίας SPI, με δεδομένα από το περιοχικό κλιματικό μοντέλο CLMcom-CCLM4-8-17, στη Ρόδο, με βάση τα κλιματικά σενάρια RCP4.5 και RCP8.5 (Reference period: 12-month για την περίοδο 2006 – 2100).



Σχήμα 69: Τιμές του δείκτη ξηρασίας RDI, με δεδομένα από το περιοχικό κλιματικό μοντέλο CLMcom-CCLM4-8-17, στη Ρόδο, με βάση τα κλιματικά σενάρια RCP4.5 και RCP8.5 (Reference period: 12-month για την περίοδο 2006 – 2100).



Σχήμα 70: Τιμές του δείκτη ξηρασίας aSPI, με δεδομένα από το περιοχικό κλιματικό μοντέλο CLMcom-CCLM4-8-17, στη Ρόδο, με βάση τα κλιματικά σενάρια RCP4.5 και RCP8.5 (Reference period: 12-month για την περίοδο 2006 – 2100).



Σχήμα 71: Τιμές του δείκτη ξηρασίας eRDI, με δεδομένα από το περιοχικό κλιματικό μοντέλο CLMcom-CCLM4-8-17, στη Ρόδο, με βάση τα κλιματικά σενάρια RCP4.5 και RCP8.5 (Reference period: 12-month για την περίοδο 2006 – 2100).

Πίνακας 21: Καταγραφή τάσεων των δεικτών ξηρασίας που έχουν προκύψει από δεδομένα του περιοχικού κλιματικού μοντέλου CLMcom-CCLM4-8-17 για τα δύο κλιματικά σενάρια rcp4.5 και rcp 8.5, με Reference period: 12-month για τα έτη 2006 έως 2100 στη Ρόδο.

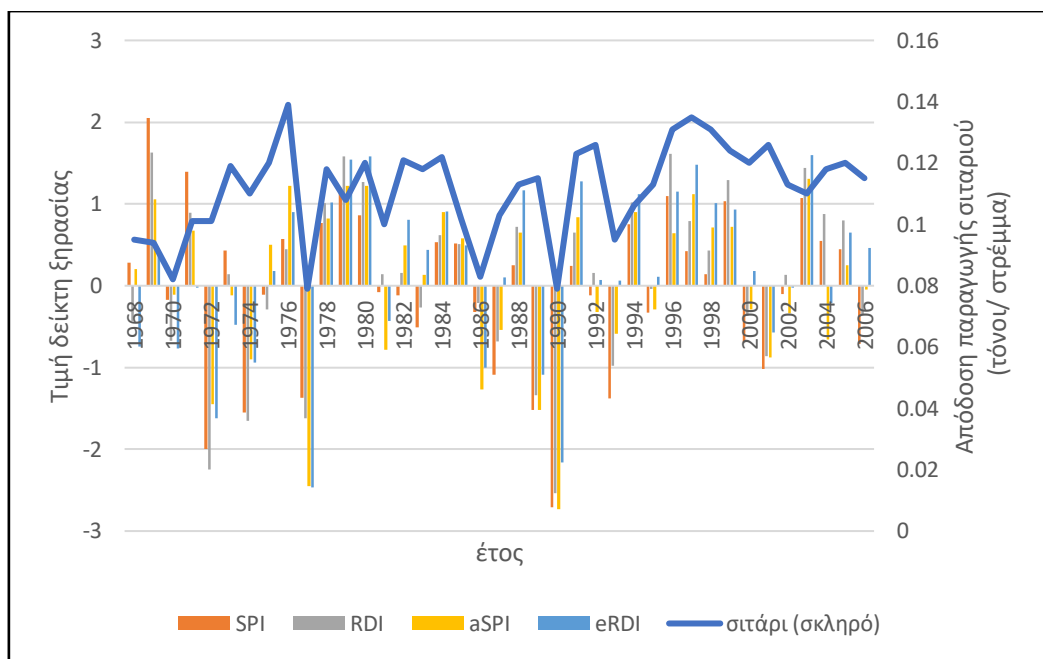
	SPI	RDI	aSPI	eRDI
RCP 4.5	0.0044	0.0025	0.0044	0.0024
RCP 8.5	-0.0063	-0.01	-0.0063	-0.01

3.3.5. Δείκτες Ξηρασίας SPI, aSPI, RDI και eRDI & Γεωργία

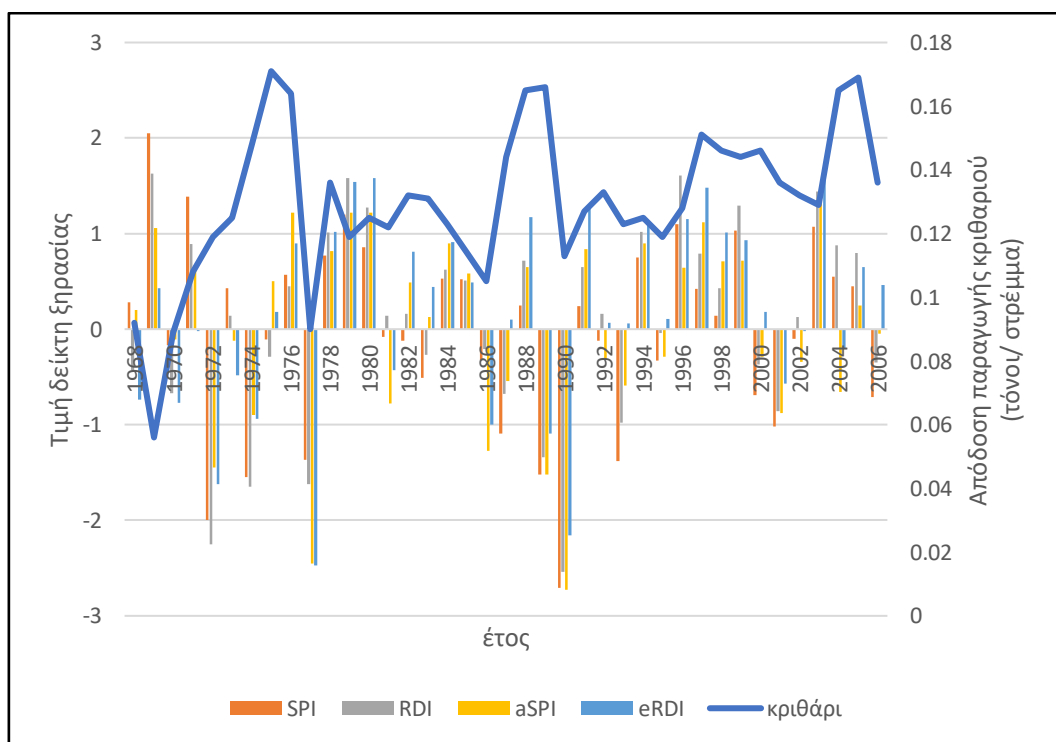
Από την ΕΛΣΤΑΤ αντλήθηκαν δεδομένα που αφορούν την γεωργία στα Δωδεκάνησα για τα έτη 1968 έως 2006. Πιο συγκεκριμένα, υπολογίστηκε η απόδοση παραγωγής (τόνοι/στρέμμα) του σιταριού, του κριθαριού, της ελιάς, του σταφυλιού, του πορτοκαλιού, της πατάτας και της ντομάτας και αποτυπώθηκαν σε διαγράμματα (Σχήματα 72 έως 78), συνδυαστικά με τους δείκτες ξηρασίας για την ίδια χρονική περίοδο: έτη 1968 έως 2006. Επιπλέον, οι δείκτες ξηρασίας SPI, aSPI, RDI και eRDI που αποτυπώνονται στα συγκεκριμένα διαγράμματα έχουν προκύψει από πρωτογενή δεδομένα από τον μετεωρολογικό σταθμό 749 Ρόδος. Επίσης, για τον υπολογισμό των δεικτών επιλέχτηκε η περίοδος εκείνη που αντιστοιχεί στα στάδια ανάπτυξης της κάθε καλλιέργειας (Πίνακας 22) . Τέλος, το Σχήμα 79 αποτυπώνει έναν χάρτη όπου παρουσιάζεται το νησί της Ρόδου με τις γεωργικές εκτάσεις και τον υδρομετεωρολογικό σταθμό Ρόδος.

Πίνακας 22: Περίοδος ανάπτυξης της κάθε καλλιέργειας

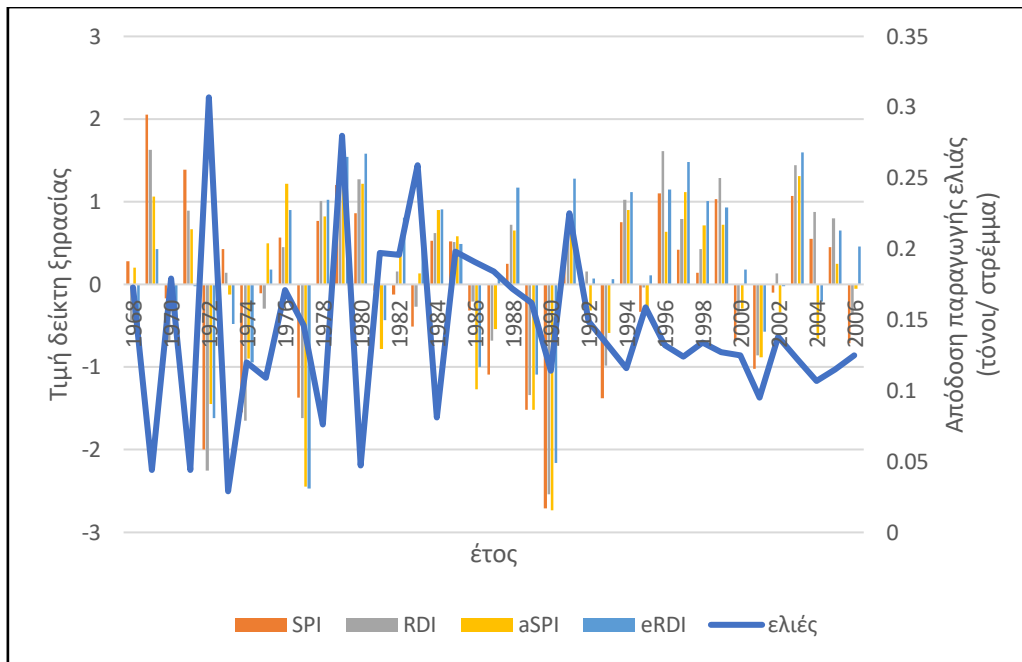
Είδος καλλιέργειας	Μήνες ανάπτυξης
Σιτάρι	Δεκέμβριο – Μάιο
Κριθάρι	Δεκέμβριο – Μάιο
Ελιά	Δεκέμβριο – Μάιο
Σταφύλι	Απριλίου – Σεπτεμβρίου
Πορτοκάλι	Απριλίου – Σεπτεμβρίου
Πατάτα	Όλο το έτος
Ντομάτα	Απριλίου – Σεπτεμβρίου



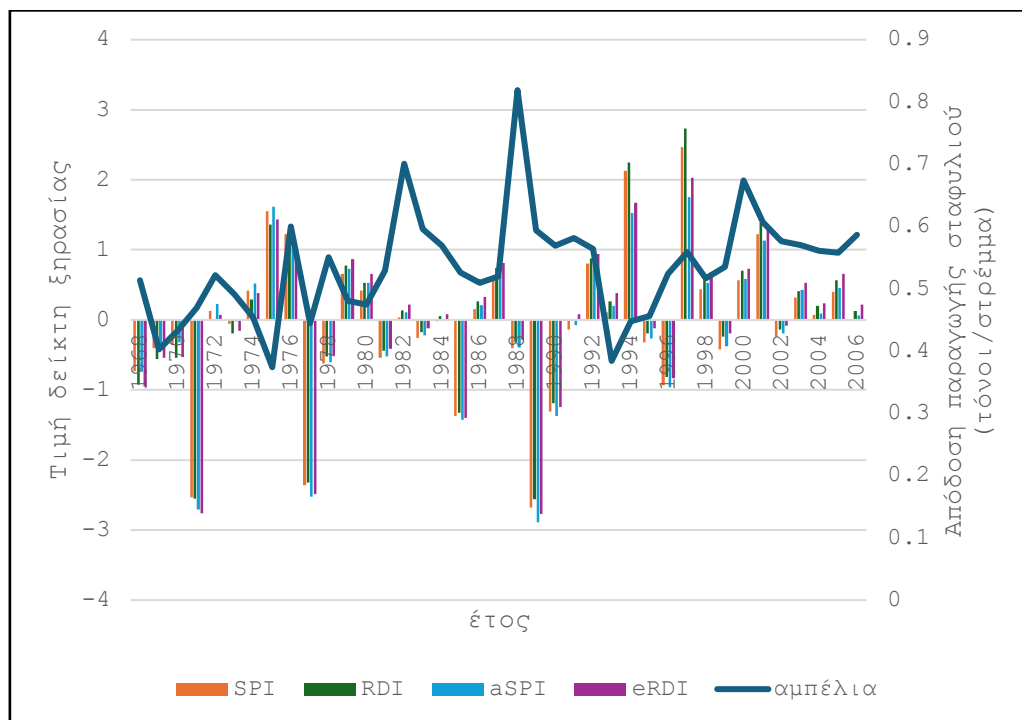
Σχήμα 72: Τιμές των δεικτών ξηρασίας aSPI, eRDI, RDI και SPI (6-μηνο Δεκέμβριο – Μάιο) και της απόδοσης παραγωγής σιταριού στα Δωδεκάνησα για την περίοδο 1968 – 2006, με βάση τα δεδομένα από το σταθμό 749 Ρόδος.



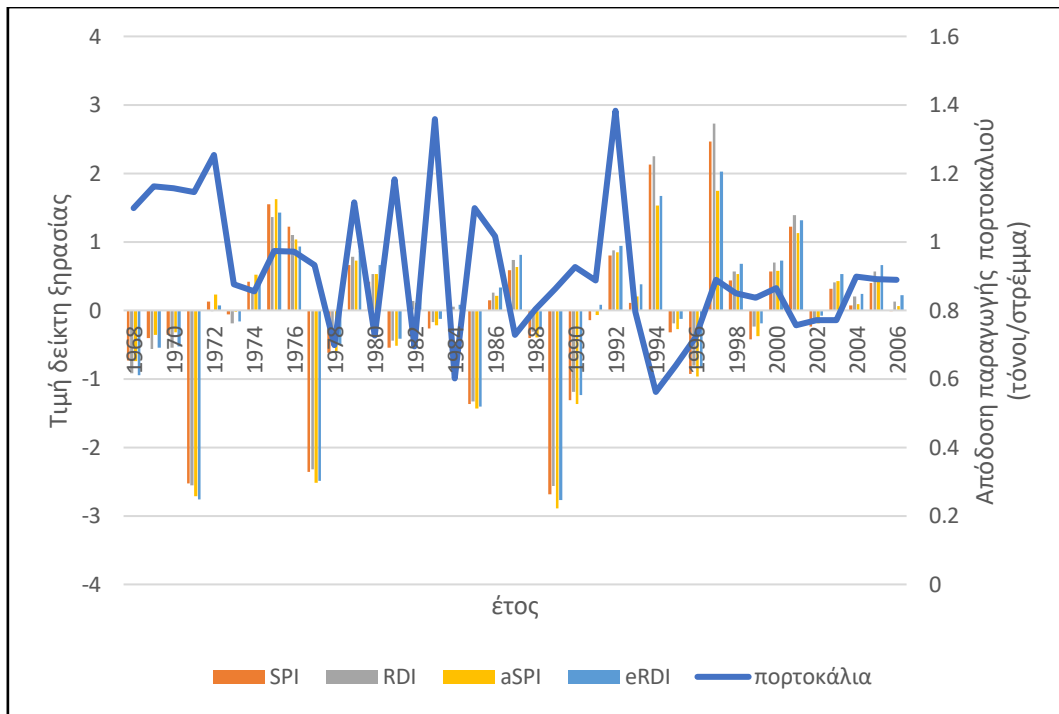
Σχήμα 73: Τιμές των δεικτών ξηρασίας aSPI, eRDI, RDI και SPI (6-μηνο Δεκέμβριο – Μάιο) και της απόδοσης παραγωγής κριθαριού στα Δωδεκάνησα για την περίοδο 1968 – 2006, με βάση τα δεδομένα από το σταθμό 749 Ρόδος.



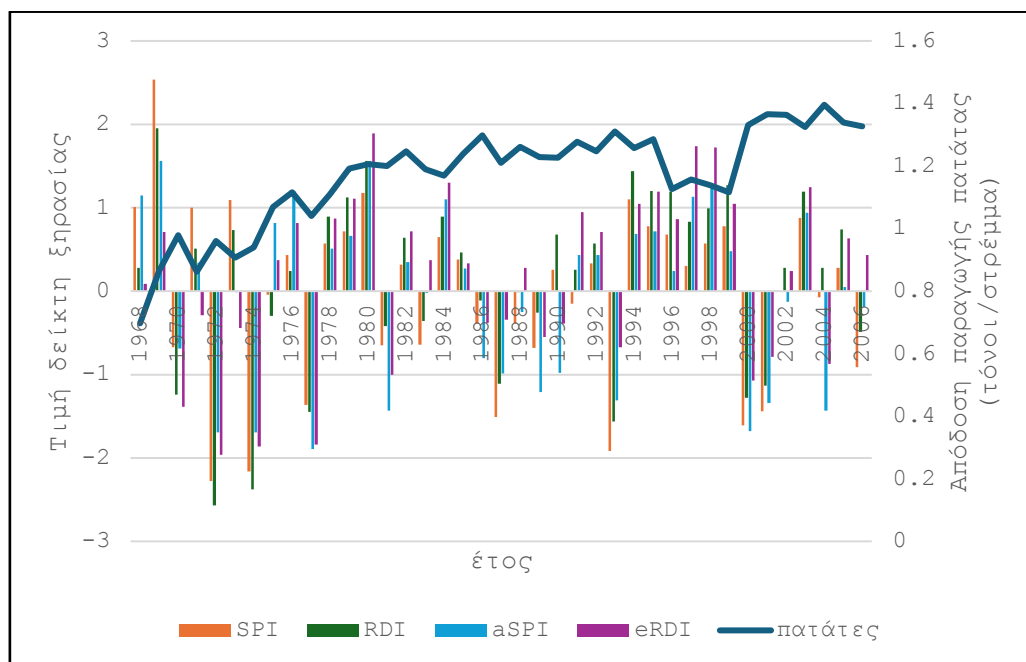
Σχήμα 74: Τιμές των δεικτών ξηρασίας aSPI, eRDI, RDI και SPI (6-μηνο Δεκέμβριο – Μάιο) και της απόδοσης παραγωγής ελιάς στα Δωδεκάνησα για την περίοδο 1968 – 2006, με βάση τα δεδομένα από το σταθμό 749 Ρόδος.



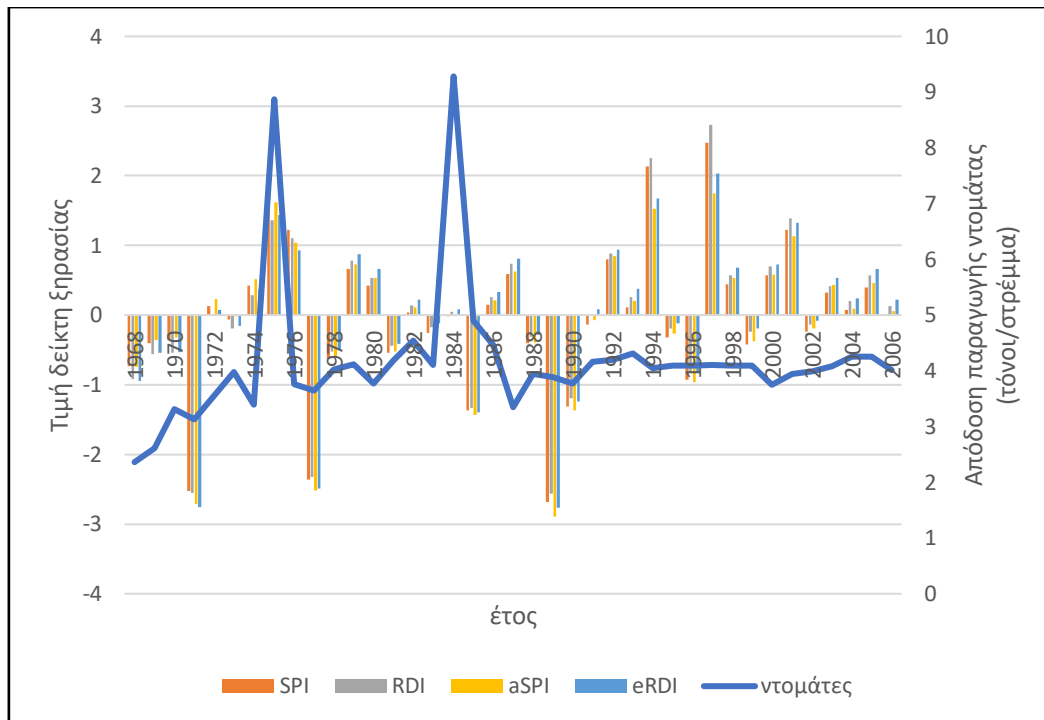
Σχήμα 75: Τιμές των δεικτών ξηρασίας aSPI, eRDI, RDI και SPI (6-μηνο Απρίλιου – Σεπτεμβρίου) και της απόδοσης παραγωγής σταφυλιού στα Δωδεκάνησα για την περίοδο 1968 – 2006, με βάση τα δεδομένα από το σταθμό 749 Ρόδος.



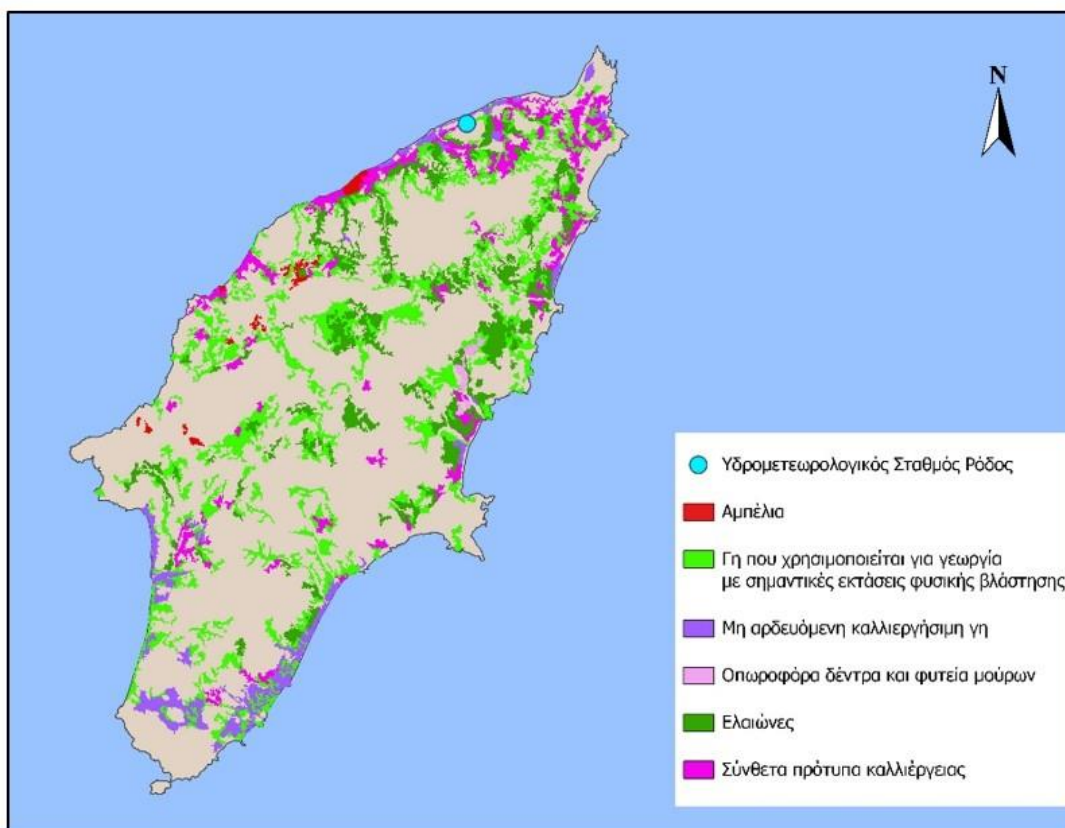
Σχήμα 76: Τιμές των δεικτών ξηρασίας aSPI, eRDI, RDI και SPI (6-μηνος Απριλίου – Σεπτεμβρίου) και της απόδοσης παραγωγής πορτοκαλιού στα Δωδεκάνησα για την περίοδο 1968 – 2006, με βάση τα δεδομένα από το σταθμό 749 Ρόδος.



Σχήμα 77: Τιμές των δεικτών ξηρασίας aSPI, eRDI, RDI και SPI (12-μηνος) και της απόδοσης παραγωγής πατάτας στα Δωδεκάνησα για την περίοδο 1968 – 2006, με βάση τα δεδομένα από το σταθμό 749 Ρόδος.



Σχήμα 78: Τιμές των δεικτών ξηρασίας aSPI, eRDI, RDI και SPI (6-μηνο Απριλίου – Σεπτεμβρίου) και της απόδοσης παραγωγής ντομάτας στα Δωδεκάνησα για την περίοδο 1968 – 2006, με βάση τα δεδομένα από το σταθμό 749 Ρόδος.



Σχήμα 79: Περιοχή μελέτης (Ρόδος) με αποτύπωση της θέσης του υδρομετεωρολογικού σταθμού Ρόδος και των γεωργικών εκτάσεων.

4. Συμπερασματικά σχόλια

4.1. Σχολιασμός αποτελεσμάτων

Συγκρίνοντας τις τάσεις των διαγραμμάτων των δεικτών ξηρασίας, που προέκυψαν από τη χρονοσειρά 1955-2022, καθώς επίσης και από τη χρονοσειρά 1955-2010, με κλιματικά δεδομένα από το σταθμό 749 Ρόδος παρατηρούνται τα εξής:

- Για τους δείκτες SPI, RDI, aSPI και eRDI που προέκυψαν από τη χρονοσειρά 1955-2022, με reference period: 12-month, παρατηρούνται αρνητικές τάσεις, δηλαδή μια τάση των τιμών των δεικτών για χαμηλότερες τιμές στο μέλλον και άρα περισσότερα συμβάντα ξηρασίας. Πιο συγκεκριμένα, ο δείκτης SPI έχει τη μεγαλύτερη τάση κατά απόλυτη τιμή και ακολουθούν με τη σειρά οι aSPI, RDI και eRDI. Επίσης, η κλίση της γραμμής τάσης του SPI είναι διπλάσια από αυτή του δείκτη RDI, προμηνύοντας έτσι ένα ξηρότερο μέλλον από ότι ο RDI.
- Όσον αφορά, τους δείκτες SPI και aSPI που προέκυψαν από τη χρονοσειρά 1955-2010, με reference period: 12-month, παρατηρούνται αρνητικές τάσεις, και άρα περισσότερα συμβάντα ξηρασίας στο μέλλον. Από την άλλη πλευρά για τους δείκτες RDI και eRDI παρατηρούνται θετικές τάσεις, δηλαδή μια τάση των τιμών των δεικτών για υψηλότερες τιμές στο μέλλον και άρα λιγότερα περιστατικά ξηρασίας. Αναλυτικότερα, ο δείκτης SPI έχει μεγαλύτερη κλίση τάσης από τον aSPI, και επομένως υποδεικνύει ένα ξηρότερο μέλλον από ότι ο aSPI. Αντίθετα, ο eRDI έχει μεγαλύτερη κλίση τάσης από ότι ο RDI, υποδεικνύοντας έτσι ένα υγρότερο μέλλον από ότι ο RDI.
- Για τους δείκτες SPI, RDI, aSPI και eRDI που προέκυψαν από τη χρονοσειρά 1955-2022, με reference period: 6-month (Οκτωβρίου-Μαρτίου), παρατηρούνται αρνητικές τάσεις, δηλαδή μια τάση των τιμών των δεικτών για χαμηλότερες τιμές στο μέλλον και άρα περισσότερα συμβάντα ξηρασίας. Πιο συγκεκριμένα, ο δείκτης SPI έχει τη μεγαλύτερη τάση κατά απόλυτη τιμή και ακολουθούν με τη σειρά οι aSPI, RDI και eRDI. Επίσης, η κλίση της γραμμής τάσης του SPI είναι διπλάσια από αυτή του δείκτη RDI, προμηνύοντας έτσι ένα ξηρότερο μέλλον από ότι ο RDI.
- Όσον αφορά, τους δείκτες SPI και aSPI που προέκυψαν από τη χρονοσειρά 1955-2010, με reference period: 6-month (Οκτωβρίου-Μαρτίου), παρατηρούνται αρνητικές τάσεις, και άρα περισσότερα συμβάντα ξηρασίας στο μέλλον. Από την άλλη πλευρά για τους δείκτες RDI και eRDI παρατηρούνται θετικές τάσεις, δηλαδή μια τάση των τιμών των δεικτών για υψηλότερες τιμές στο μέλλον και άρα λιγότερα περιστατικά ξηρασίας. Αναλυτικότερα, ο δείκτης SPI έχει μεγαλύτερη κλίση τάσης από τον aSPI, και

επομένως υποδεικνύει ένα ξηρότερο μέλλον από ότι ο aSPI. Αντίθετα, ο eRDI έχει μεγαλύτερη κλίση τάσης από ότι ο RDI, υποδεικνύοντας έτσι ένα υγρότερο μέλλον από ότι ο RDI.

- Για τους δείκτες SPI και aSPI που προέκυψαν από τη χρονοσειρά 1955-2022, με reference period: : 6-month (Απριλίου-Σεπτεμβρίου), παρατηρούνται αρνητικές τάσεις, δηλαδή μια τάση των τιμών των δεικτών για χαμηλότερες τιμές στο μέλλον και άρα περισσότερα συμβάντα ξηρασίας, με τον aSPI να υποδεικνύει ένα ξηρότερο μέλλον από τον SPI. Δηλαδή, ο δείκτης aSPI έχει μεγαλύτερη τάση κατά απόλυτη τιμή από ότι ο SPI. Από την άλλη πλευρά για τους δείκτες RDI και eRDI παρατηρούνται θετικές τάσεις, δηλαδή μια τάση των τιμών των δεικτών για υψηλότερες τιμές στο μέλλον και άρα λιγότερα περιστατικά ξηρασίας. Ο RDI έχει μεγαλύτερη κλίση τάσης από ότι ο eRDI, υποδεικνύοντας έτσι ένα υγρότερο μέλλον από ότι ο eRDI.
- Όσον αφορά, τους δείκτες SPI, RDI, aSPI και eRDI που προέκυψαν από τη χρονοσειρά 1955-2010, με reference period: 6-month (Απριλίου-Σεπτεμβρίου), παρατηρούνται θετικές τάσεις, δηλαδή μια τάση των τιμών των δεικτών για υψηλότερες τιμές στο μέλλον και άρα λιγότερα περιστατικά ξηρασίας. Ο RDI έχει τη μεγαλύτερη τάση, και ακολουθούν με τη σειρά οι eRDI, SPI και aSPI. Δηλαδή ο RDI προμηνύει ένα υγρότερο μέλλον συγκριτικά με τους άλλους δείκτες.
- Γενικά διαπιστώνεται ότι οι τάσεις των δεικτών ξηρασίας, που προέκυψαν από τη χρονοσειρά 1955-2022 υποδεικνύουν ένα ξηρότερο μέλλον από εκείνες που προέκυψαν από τη χρονοσειρά 1955-2010. Ένας παράγοντας που οφείλεται αυτή η διαφορά στα αποτελέσματα των τάσεων των δεικτών, που προέκυψαν από τις χρονοσειρές 1955-2022 και 1955-2010, είναι το γεγονός ότι τα πρωτογενή κλιματικά δεδομένα της χρονικής περιόδου 2010-2022 ήταν ελλιπή. Επομένως πιο αξιόπιστα αποτελέσματα μπορούν να θεωρηθούν εκείνα που προέκυψαν από τη χρονοσειρά 1955-2020.
- Όσον αφορά το χρονικό διάστημα 1955-2010 για τους δείκτες SPI, RDI και aSPI το πλήθος των ξηρών ετών (δείκτης ξηρασίας < -1) που προέκυψε από τη χρονοσειρά 1955-2022 (ανά 12-μηνο) είναι μικρότερο από εκείνο που προέκυψε από τη χρονοσειρά 1955-2010 (ανά 12-μηνο).

Συγκρίνοντας τις τάσεις των διαγραμμάτων των δεικτών ξηρασίας SPI, RDI, aSPI και eRDI, που προέκυψαν από πρωτογενή κλιματικά δεδομένα του σταθμού 749 Ρόδος καθώς επίσης και από δεδομένα του περιοχικού κλιματικού μοντέλου CLMcom-CCLM4-8-17, για τη χρονική περίοδο 1955-2005, παρατηρούνται τα εξής:

- Όσον αφορά, τους δείκτες SPI και aSPI που προέκυψαν από κλιματικά δεδομένα του σταθμού 749 Ρόδος με reference period: 12-month, παρατηρούνται αρνητικές τάσεις, και άρα περισσότερα συμβάντα ξηρασίας στο μέλλον. Από την άλλη πλευρά για τους δείκτες RDI και eRDI

παρατηρούνται θετικές τάσεις, δηλαδή μια τάση των τιμών των δεικτών για υψηλότερες τιμές στο μέλλον και άρα λιγότερα περιστατικά ξηρασίας. Αναλυτικότερα, ο δείκτης aSPI έχει μεγαλύτερη κλίση τάσης από τον SPI, και επομένως υποδεικνύει ένα ξηρότερο μέλλον από ότι ο SPI. Αντίθετα, ο eRDI έχει μεγαλύτερη κλίση τάσης από ότι ο RDI, υποδεικνύοντας έτσι ένα υγρότερο μέλλον από ότι ο RDI.

- Για τους δείκτες SPI, RDI, aSPI και eRDI που προέκυψαν από κλιματικά δεδομένα του περιοχικού κλιματικού μοντέλου CLMcom-CCLM4-8-17, με reference period: 12-month, παρατηρούνται αρνητικές τάσεις, δηλαδή μια τάση των τιμών των δεικτών για χαμηλότερες τιμές στο μέλλον και άρα περισσότερα συμβάντα ξηρασίας. Επίσης, παρατηρούνται σχεδόν ίδιες τιμές τάσεων μεταξύ των δεικτών.
- Όσον αφορά, τους δείκτες SPI και aSPI που προέκυψαν από κλιματικά δεδομένα του σταθμού 749 Ρόδος με reference period: 6-month (Οκτώβριος-Μάρτιος), παρατηρούνται αρνητικές τάσεις, και άρα περισσότερα συμβάντα ξηρασίας στο μέλλον. Από την άλλη πλευρά για τους δείκτες RDI και eRDI παρατηρούνται θετικές τάσεις, δηλαδή μια τάση των τιμών των δεικτών για υψηλότερες τιμές στο μέλλον και άρα λιγότερα περιστατικά ξηρασίας. Αναλυτικότερα, ο δείκτης aSPI έχει μεγαλύτερη κλίση τάσης από τον SPI, και επομένως υποδεικνύει ένα ξηρότερο μέλλον από ότι ο SPI. Αντίθετα, ο eRDI έχει μεγαλύτερη κλίση τάσης από ότι ο RDI, υποδεικνύοντας έτσι ένα υγρότερο μέλλον από ότι ο RDI.
- Για τους δείκτες SPI, RDI, aSPI και eRDI που προέκυψαν από κλιματικά δεδομένα του περιοχικού κλιματικού μοντέλου CLMcom-CCLM4-8-17, με reference period: 6-month (Οκτώβριος-Μάρτιος), παρατηρούνται αρνητικές τάσεις, δηλαδή μια τάση των τιμών των δεικτών για χαμηλότερες τιμές στο μέλλον και άρα περισσότερα συμβάντα ξηρασίας. Επίσης, παρατηρούνται σχεδόν ίδιες τιμές τάσεων μεταξύ των δεικτών, με τους δείκτες RDI και eRDI να προμηνύουν ένα ξηρότερο μέλλον.
- Όσον αφορά, τους δείκτες SPI και aSPI που προέκυψαν από κλιματικά δεδομένα του σταθμού 749 Ρόδος με reference period: 6-month (Απρίλιος-Σεπτέμβριος), παρατηρούνται θετικές τάσεις, δηλαδή μια τάση των τιμών των δεικτών για υψηλότερες τιμές στο μέλλον και άρα λιγότερα περιστατικά ξηρασίας. Ο RDI έχει μεγαλύτερη κλίση τάσης από ότι οι υπόλοιποι δείκτες, υποδεικνύοντας έτσι ένα υγρότερο μέλλον. Ακολουθούν με τη σειρά οι τάσεις των δεικτών eRDI, SPI και eRDI.
- Για τους δείκτες SPI, RDI, aSPI και eRDI που προέκυψαν από κλιματικά δεδομένα του περιοχικού κλιματικού μοντέλου CLMcom-CCLM4-8-17, με reference period: 6-month (Απρίλιος-Σεπτέμβριος), παρατηρούνται αρνητικές τάσεις, δηλαδή μια τάση των τιμών των δεικτών για χαμηλότερες τιμές στο μέλλον και άρα περισσότερα συμβάντα ξηρασίας. Πιο

συγκεκριμένα, ο δείκτης eRDI έχει τη μεγαλύτερη τάση κατά απόλυτη τιμή και ακολουθούν με τη σειρά οι RDI, SPI και aSPI. Επομένως, ο δείκτης eRDI προμηνύει ένα ξηρότερο μέλλον από τους υπόλοιπους δείκτες.

- Διαπιστώνεται ότι οι τάσεις των δεικτών ξηρασίας, που προέκυψαν από τα δεδομένα του περιοχικού κλιματικού μοντέλου CLMcom-CCLM4-8-17 υποδεικνύουν ένα ξηρότερο μέλλον από εκείνες που προέκυψαν από τα κλιματικά δεδομένα του σταθμού 749 Ρόδος.
- Με βάση τα δεδομένα του περιοχικού κλιματικού μοντέλου CLMcom-CCLM4-8-17, προέκυψε ότι το ποσοστό των ξηρών ετών για τη χρονική περίοδο 1955-2005 (ανά 12-μηνο) είναι περίπου 40%. Ακόμη, παρατηρείται για όλους τους δείκτες ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των ξηρών ετών αντιστοιχεί σε ήπια ξηρασία. Επίσης, συμπεραίνεται ότι το πλήθος των ετών ξηρασίας παρουσιάζει γενικά φθίνουσα πορεία όσο αυξάνεται η ένταση του φαινομένου της ξηρασίας. Τέλος, διαπιστώνεται ότι υπάρχει σχεδόν απόλυτη συμφωνία μεταξύ των δεικτών, όσον αφορά το διαχωρισμό του πλήθους των ετών με βάση το επίπεδο έντασης της ξηρασίας.
- Με βάση τα δεδομένα του σταθμού 749 Ρόδος, προέκυψε ότι το ποσοστό των ξηρών ετών για τη χρονική περίοδο 1955-2005 (ανά 12-μηνο) είναι περίπου 44%. Ακόμη, παρατηρείται για όλους τους δείκτες ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των ξηρών ετών αντιστοιχεί σε ήπια ξηρασία. Επίσης, συμπεραίνεται ότι το πλήθος των ετών ξηρασίας παρουσιάζει γενικά φθίνουσα πορεία όσο αυξάνεται η ένταση του φαινομένου της ξηρασίας, με εξαίρεση τον δείκτη SPI όπου το πλήθος των μέτρια ξηρών ετών είναι κατά 1 έτος μικρότερο από το πλήθος των έντονα ξηρών ετών. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι σύμφωνα με τους δείκτες aSPI και eRDI δεν υπήρχε κανένα έτος που θα χαρακτηριζόταν εξαιρετικά ξηρό.

Συγκρίνοντας τις τάσεις των διαγραμμάτων των δεικτών ξηρασίας SPI, aSPI, RDI και eRDI που προέκυψαν από δεδομένα από το περιοχικό κλιματικό μοντέλο CLMcom-CCLM-8-17, για το χρονικό διάστημα 2006 έως 2100 (ανά 12-μηνο), για τα κλιματικά σενάρια RCP 4.5 και RCP 8.5, παρατηρούνται τα εξής:

- Για τους δείκτες SPI, RDI, aSPI και eRDI που προέκυψαν από δεδομένα του σεναρίου rcp 4.5, παρατηρούνται θετικές τάσεις δηλαδή μια τάση των τιμών των δεικτών για υψηλότερες τιμές στο μέλλον και άρα λιγότερα περιστατικά ξηρασίας. Πιο συγκεκριμένα, οι δείκτες SPI και aSPI έχουν μεγαλύτερες τάσεις από ότι οι δείκτες RDI και eRDI. Επομένως, οι δείκτες SPI και aSPI υποδεικνύουν ένα υγρότερο μέλλον. Ακόμη οι τιμές τάσεων του SPI με τον aSPI είναι ίδιες, καθώς επίσης και οι τιμές του RDI με τον eRDI είναι σχεδόν ίδιες.

- Για τους δείκτες SPI, RDI, aSPI και eRDI που προέκυψαν από δεδομένα του σεναρίου rcr 8.5, παρατηρούνται αρνητικές τάσεις δηλαδή μια τάση των τιμών των δεικτών για χαμηλότερες τιμές στο μέλλον και άρα περισσότερα περιστατικά ξηρασίας. Πιο συγκεκριμένα, η κλίση της γραμμής τάσης των δεικτών RDI και eRDI είναι μεγαλύτερη από εκείνη των δεικτών RDI και eRDI. Επομένως, οι δείκτες RDI και eRDI υποδεικνύουν ένα ξηρότερο μέλλον. Ακόμη οι τιμές τάσεων του SPI με τον aSPI είναι ίδιες, καθώς επίσης και οι τιμές του RDI με τον eRDI.

Συγκρίνοντας την απόδοση παραγωγής των καλλιεργειών με τους δείκτες ξηρασίας προκύπτουν τα εξής:

- Όλες οι καλλιέργειες επηρεάζονται από την ξηρασία, καθώς εντοπίζεται συχνά συμφωνία μεταξύ της πορείας της γραμμής απόδοσης παραγωγής και των δεικτών ξηρασίας.
- Η γραμμή που απεικονίζει την απόδοση παραγωγής του σιταριού και του κριθαριού ακολουθεί την πορεία των δεικτών ξηρασίας με μεγαλύτερη συνέπεια.
- Η απόδοση παραγωγής μπορεί να επηρεαστεί και από άλλους παράγοντες όπως είναι η αύξηση των αρδευόμενων εκτάσεων κατά το συγκεκριμένο έτος, η διαχρονική βελτίωση των τεχνικών καλλιέργειας κ.α. Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι η απόδοση παραγωγής της ντομάτας το έτος 1984, η απόδοση παραγωγής του σταφυλιού το έτος 1988, η απόδοση παραγωγής του πορτοκαλιού το έτος 1983, η απόδοση παραγωγής της πατάτας το έτος 2001 κ.α.
- Στις 9/8/1987 προκλήθηκε πυρκαγιά στο νησί της Ρόδου όπου έκαψε 8185000m² γεωργικών εκτάσεων. Από αυτήν την πυρκαγιά επηρεάστηκε η απόδοση παραγωγής της ελιάς, του πορτοκαλιού, της πατάτας και της ντομάτας (Σχήματα 74,76,77 και 78).
- Στις 24/9/1992 ξέσπασε πυρκαγιά στο νησί της Ρόδου όπου έκαψε 3000000m² γεωργικών εκτάσεων. Από αυτήν την πυρκαγιά επηρεάστηκε η απόδοση παραγωγής του σιταριού, του κριθαριού, της ελιάς, του σταφυλιού, του πορτοκαλιού, της πατάτας και της ντομάτας (Σχήματα 72 έως 78).

4.2. Συμπεράσματα

- Τα αποτελέσματα των δεικτών ξηρασίας (SPI, RDI, aSPI και eRDI) που προέκυψαν από τη χρονοσειρά 1955-2010, με κλιματικά δεδομένα από το σταθμό 749 Ρόδος, είναι πιο αξιόπιστα από εκείνα που προέκυψαν από τη χρονοσειρά 1955-2022. Αυτό συμπεραίνεται καθώς τα κλιματικά δεδομένα για την περίοδο 2011-2022 ήταν ελλιπή.
- Οι δείκτες ξηρασίας SPI και aSPI υποδεικνύουν ένα ξηρότερο μέλλον από τους δείκτες RDI και eRDI (με κλιματικά δεδομένα που προέκυψαν από το σταθμό 749 Ρόδος).
- Συγκρίνοντας τις τάσεις των διαγραμμάτων των δεικτών ξηρασίας (SPI, RDI, aSPI και eRDI), που προέκυψαν από πρωτογενή κλιματικά δεδομένα του σταθμού 749 Ρόδος καθώς επίσης και από δεδομένα του περιοχικού κλιματικού μοντέλου CLMcom-CCLM4-8-17, συμπεραίνεται ότι ο δείκτης aSPI, με Reference period: 6-month (Οκτώβριος-Μάρτιος) δίνει πιο αξιόπιστα αποτελέσματα από τους υπόλοιπους δείκτες. Αυτό διαπιστώθηκε καθώς παρατηρείται η μεγαλύτερη ομοιότητα στις τιμές των τάσεων του δείκτη aSPI που προέκυψε από πρωτογενή κλιματικά δεδομένα του σταθμού 749 Ρόδος και από δεδομένα του περιοχικού κλιματικού μοντέλου CLMcom-CCLM4-8-17, με Reference period: 6-month (Οκτώβριος-Μάρτιος).
- Το σενάριο rcp 8.5 προμηνύει ένα ξηρότερο μέλλον από το σενάριο rcp 4.5.
- Δεδομένου ότι εντοπίστηκε γενικά συμφωνία μεταξύ της πορείας της γραμμής απόδοσης παραγωγής και των δεικτών ξηρασίας, συμπεραίνεται ότι οι καλλιέργειες επηρεάζονται από την ξηρασία. Όμως, η απόδοση παραγωγής των γεωργικών προϊόντων μπορεί να επηρεαστεί και από άλλους παράγοντες. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι η γραμμή που απεικονίζει την απόδοση παραγωγής του σιταριού ακολουθεί την πορεία των δεικτών ξηρασίας με μεγαλύτερη συνέπεια.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Abbas, H. A., Bond, W. J., & Midgley, J. J., 2019. The worst drought in 50 years in a South African savannah: Limited impact on vegetation. *African Journal of Ecology*, 57(4), 490-499.
- Abramovitz M. and Stegun I., 1965. Handbook of mathematical functions. National bureau of standards, applied mathematics series–55, Washington, D.C
- Agnew C.T., 2000. Using the SPI to Identify Drought. *Drought Network News*, 12(1): 6-12.
- Ahmed, A. U., & Alam, M., 1999. Development of climate change scenarios with general circulation models. In *Vulnerability and adaptation to climate change for Bangladesh* (pp. 13-20). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Aitkenhead, I., Kuleshov, Y., Watkins, A. B., Bhardwaj, J., & Asghari, A., 2021. Assessing agricultural drought management strategies in the Northern Murray–Darling Basin. *Natural Hazards*, 109(2), 1425-1455.
- Al-Faraj, F.A., Tigkas, D. and Scholz, M., 2016. Irrigation Efficiency Improvement for Sustainable Agriculture in Changing Climate: A Transboundary Watershed between Iraq and Iran. *Environmental Processes*, 3(3): 603-616.
- Bradford R.B., 2000. Drought Events in Europe. In: J.V. Voght and F. Somma (eds.), *Drought and Drought Mitigation in Europe (Advances in Natural and Technological Hazard Research)*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht 2000, The Netherlands, ISBN; 0-7923-6589-5, pp. 7-20.
- Brouwer, C. and Heibloem, M., 1986. *Irrigation Water Management: Irrigation Water Needs*. Training manual No. 3, FAO, Rome.
- Brown, J. F., Wardlow, B. D., Tadesse, T., Hayes, M. J., & Reed, B. C., 2008. The Vegetation Drought Response Index (VegDRI): A new integrated approach for monitoring drought stress in vegetation. *GIScience & Remote Sensing*, 45(1), 16-46.
- Cazzolla Gatti, R., 2016. Trends in human development and environmental protection. *International Journal of Environmental Studies*, 73(2), 268-276.
- Charney, J. G., 1975. Dynamics of deserts and drought in the Sahel. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 101(428), 193-202.
- Chen, T., Xia, G., Liu, T., Chen, W. and Chi, D., 2016. Assessment of Drought Impact on Main Cereal Crops Using a Standardized Precipitation Evapotranspiration Index in Liaoning Province, China. *Sustainability*, 8(10): 1069.

Correia F.N., M.A. Santos and R.R. Rodrigues, 1991. Reliability in Regional Drought Studies. In: Water Resources Engineering Risk Assessment, Jacques Ganoulis (ed.), NATO ASI Series, Vol. G 29, Berlin, 43-62.

Dai, A., Zhao, T., & Chen, J., 2018. Climate change and drought: a precipitation and evaporation perspective. *Current Climate Change Reports*, 4, 301-312.

DDC, 2011. Definition of Terms used within the DDC Pages. Data Distribution Centre of the IPCC, http://www.ipcc-data.org/ddc_definitions.html, modified: 28 November 2011.

Edwards D.C., and McKee T.B., 1997. Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales. *Climatology Report No. 97-2 (Atmospheric Science, Colorado State University, Fort Collins (CO), May 1997, 155 p.*

EM – DAT : The OFDA /CRED International Disaster Database, www.em-dat.net – Universite Catholique de Louvain – Brussels – Belgium.

Foley J.C., 1957. Droughts in Australia. Bulletin no. 43, 281. Commonwealth of Australia, Bureau of Meteorology, Melbourne, Australia.

Gates, W. L., 1985. The use of general circulation models in the analysis of the ecosystem impacts of climatic change. *Climatic Change*, 7(3), 267-284.

Glantz, M. H., 1987. Drought in Africa. *Scientific American*, 256(6), 34-41.

Gibbs W.J. and Maher J.V., 1967. Rainfall deciles as drought indicators. Bureau of Meteorology Bulletin 48, Commonwealth of Australia, Melbourne, Australia.

Grotch, S. L., & MacCracken, M. C., 1991. The use of general circulation models to predict regional climatic change. *Journal of climate*, 4(3), 286-303.

Gumbel E.G., 1963. Statistical Forecast of Droughts. *International Association of Scientific Hydrology. Bulletin*, 8 (1): 5-23.

Hayes M.J., Alvord C. and Lowrey J., 2007. Drought Indices. Feature Article, *Intermountain West Climate Summary*, 3(6): 2-6.

Huete, A. R. and Justice, 1999. MODIS Vegetation Index (MOD 13) Algorithm Theoretical Basis Document, Greenbelt: NASA Goddard Space Flight Center, <http://modarch.gsfc.nasa.gov/MODIS/LAND/#vegetation-indices>, 129 p.

Hunt, E. R., Rock, B.N. and P. S. Nobel, 1987, "Measurement of Leaf Relative Water Content by Infrared Reflectance," *Remote Sensing of Environmental*, 22:4210-435.

Huete, A. R., 1988, "A Soil-adjusted Vegetation Index (SAVI), "Remote Sensing of Environment, 25:295-309.

Huete, A. R., Hua, G., Qi, J., Chehbouni A. and W. J. Van Leeuwem, 1992, "Normalization of Multidirectional Red and Near-infrared Reflectances with the SAVI," *Remote Sensing of Environmental*, 40:1-20.

IPCC, 2013: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp, doi:10.1017/CBO9781107415324.

IPCC, 2012. *Glossary of terms*. In: *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation* [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, pp. 555-564. [https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srex/SREX-Annex_Glossary.pdf]

IPCC, 2013: *Summary for Policymakers*. In: *Climate Change 2013. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Jensen, J. R. , 2009. *Remote sensing of the environment: An earth resource perspective 2/e*. Pearson Education India.

Kala, C., 2017. Environmental and socioeconomic impacts of drought in India: lessons for drought management. *Applied Ecology and Environmental Sciences*, 5(2), 43-48.

Karnieli, A, Kaufman, Y. J., Remer, L. and A. Wald, 2001, "AFRI: Aerosol Free Vegetation Index," *Remote Sensing of Environmental*, 77:10-21.

Kassiou, E., 2015. Η επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην ένταση και συχνότητα των γεγονότων ξηρασίας στην Κρήτη.

Ledley, T. S., Sundquist, E. T., Schwartz, S. E., Hall, D. K., Fellows, J. D., & Killeen, T. L., 1999. Climate change and greenhouse gases. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 80(39), 453-458.

Markonis, Y., Kumar, R., Hanel, M., Rakovec, O., Máca, P., & AghaKouchak, A., 2021. The rise of compound warm-season droughts in Europe. *Science Advances*, 7(6), eabb9668.

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, 17(22): 179-183.

McKee T.B., Doesken N.J. and Kleist J., 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scale. Proceedings of the Eight Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society. Anaheim (CA), 17-22 January 1993, AMS, pp.179-184.

MEDROPLAN, 2007. Drought Management Guidelines and examples of Application, Iglesias, A., Cancelliere, A., Gabina, D., Lopez-Francos, A., Moneo, M. and Rossi, G. (eds). European Commission/ MEDA Water Programme, Zaragoza, 2 Vols in 6 languages. Available at <http://www.iamz.ciheam.org/medroplan>.

Mukherjee, S., Mishra, A., & Trenberth, K. E., 2018. Climate change and drought: a perspective on drought indices. Current climate change reports, 4, 145-163.

NOAA, 2023. Climate.gov graph, based on data from the National Centers for Environmental Information.

Nicolas R. Dalezios, Zoltan Dunkel, Saeid Eslamian., 2017. Meteorological Drought Indices: Definitions from: Handbook of Drought and Water Scarcity, Principles of Drought and Water Scarcity CRC Press. Accessed on: 06 Sep. <https://www.routledgehandbooks.com/doi/10.1201/9781315404219-3>.

Palmer W.C., 1968. Keeping track of crop moisture conditions, nationwide: The new Crop Moisture Index. Weatherwise, 21(4): 156-161.

Palmer, W. C., 1968. Keeping track of crop moisture conditions, nationwide: the new crop moisture index.

Palmer W.C., 1965. Meteorological Drought. US Department of Commerce, Weather Bureau, Research Paper No. 45, Washington D.C., 58 p.

Paneque, P., 2015. Drought management strategies in Spain. Water, 7(12), 6689-6701.

Panu, U. S., & Sharma, T. C. , 2002. Challenges in drought research: some perspectives and future directions. Hydrological Sciences Journal, 47(S1), S19-S30.

Paulo A.A. and Pereira L.S., 2009. Drought Concepts and Characterization: Comparing Drought Indices Applied at Local and Regional Scales. Water International, 31(1): 37-49.

Raikes, J., Smith, T. F., Jacobson, C., & Baldwin, C., 2019. Pre-disaster planning and preparedness for floods and droughts: A systematic review. International Journal of Disaster Risk Reduction, 38, 101207.

- Rodier, J. A., & Beran, M. A., 1985. Hydrological aspects of drought. UNESCO MWO.
- Rossi G., Benedini M., Tsakiris G. and Giakoumakis S., 1992. On regional drought estimation and analysis. *Water Resources Management*, 6(4): 249-277.
- Rouse, J. W, Haas, R. H, Schell, J. A. and D. W. Deering, 1974, "Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS," *Proceedings Third Earth Resources Technology Satellite- 1 Symposium, Greenbelt: NASA SP-351, 3010-3017.*
- Running S. W, Justice, C. O, Solomonson, V, Hall, D, Barker, J., Kaufmann, Y. J, Strahler, A. H, Huete, A. R, Muller, J. P, Vanderbilt, V, Wan, Z. M, Teillet, P. and D. Carneggie, 1994, "Terrestrial Remote Sensing Science and Algorithms Planned for EOS/MODIS," *Intl. Journal of Remote Sensing*, 15(17): 3587-3620.
- Smith M., 1992. CROPWAT - A computer program for irrigation planning and management. FAO Irrigation and Drainage Paper 46. Rome, Italy.
- Stamm G.G., 1967. Problems and procedures in determining water supply requirements for irrigation projects. In: *Irrigation of agricultural lands; Hagan et al., Eds.; Agronomy Monograph 11, American Society of Agronomy, Madison WI, USA, 771-784.*
- Svoboda, M., & Fuchs, B., 2016. Handbook of drought indicators and indices. *Drought and water crises: Integrating science, management, and policy*, 155-208.
- Tallaksen, L. M., & Van Lanen, H. A. (Eds.), 2004. *Hydrological drought: processes and estimation methods for streamflow and groundwater.*
- Tigkas D., Kourtis I., Proutsos N., Tsakiris V. K., Vangelis H., Tsakiris G., 2022. Comparative Application of the Agricultural Drought Index aSPI in Crete.
- Tigkas D., Vangelis H., Tsakiris G., 2014. DrinC: a software for drought analysis based on drought indices. *Earth Science Informatics*, doi: 10.1007/s12145-014-0178-y.
- Tigkas, D., Vangelis, H., & Tsakiris, G., 2015. DrinC: a software for drought analysis based on drought indices. *Earth Science Informatics*, 8, 697-709.
- Tigkas, D., Vangelis, H. and Tsakiris, G. 2019. Drought characterisation based on an agriculture-oriented standardised precipitation index. *Theoretical and Applied Climatology*, 135: 1435-1447, doi: 10.1007/s00704-018-2451-3
- Tsakiris G. and Vangelis H., 2005. Establishing a Drought Index Incorporation Evapotranspiration. *European Water*, 9/10: 3-11.
- Tsakiris, G., Loukas, A., Pangalou, D., Vangelis, H., Tigkas, D., Rossi, G., & Cancelliere, A., 2007. Drought characterization. *Drought management guidelines technical annex*, 58, 85-102.

Tsakiris, 2013. Υδατικοί Πόροι: Ι. Τεχνική Υδρολογία & Εισαγωγή στη διαχείριση υδατικών πόρων.

UNESCO, 1979. "Map of the World Distribution of Arid Regions: Explanatory Note". Man and the Biosphere, Technical Notes 7, Paris.

Vangelis, H. K., 2012. Εκτίμηση και Προληπτικός Σχεδιασμός Αντιμετώπισης της Ξηρασίας.

Vicente-Serrano, S.M., Beguería, S., Lorenzo-Lacruz, J., Camarero, J.J. et al., 2012. Performance of drought indices for ecological, agricultural, and hydrological applications. *Earth Interactions*, 16(10): 1-27.

Washington, W. M., & Meehl, G. A., 1983. General circulation model experiments on the climatic effects due to a doubling and quadrupling of carbon dioxide concentration. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 88(C11), 6600-6610.

Wilhite D.A., Hayes M.J. and Svoboda M.D., 2000. Drought Monitoring and Assessment: Status and Trends in the United States. In: J.V. Voght and F. Somma (eds.), *Drought and Drought Mitigation in Europe (Advances in Natural and Technological Hazard Research)*, Kluwer Academic Publishers , Dordrecht 2000, The Netherlands, ISBN: 0-7923-6589-5, pp. 149-160.

ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ

<https://climate.copernicus.eu/esotc/2022/drought>

<https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/Drought/>

<https://www.drought.gov/>

<https://droughtmonitor.unl.edu/CurrentMap/StateDroughtMonitor.aspx?NE>

<https://www.ipcc.ch/>

<https://www.emdat.be/>

<https://edo.jrc.ec.europa.eu/edov2/php/index.php?id=1000>

<https://www.drought.gov/states/nebraska>

<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A1%CF%8C%CE%B4%CE%BF%CF%82>

<http://main.hydroscope.gr/>

<https://drought-software.com/>

<https://land.copernicus.eu/en/products/corine-land-cover/clc2018>

<https://www.statistics.gr/el/statistics/agr>

<https://www.vecteezy.com/free-photos/nature>

<https://www.vecteezy.com/photo/30645883-tree-grow-drought-sunset>

<https://parallaximag.gr/life/istorikes-foties-pou-pligosan-tin-ellada>

[https://projects.iamz.ciheam.org/medroplan/a-80_OPTIONS/Round%20Table/\(397-408\)%2057%20Iglesias.pdf](https://projects.iamz.ciheam.org/medroplan/a-80_OPTIONS/Round%20Table/(397-408)%2057%20Iglesias.pdf)