



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ & ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ



ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΚΑΡΚΑΛΕΤΣΗΣ

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΔΕΙΚΤΩΝ ΞΗΡΑΣΙΑΣ
ΣΤΙΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΤΗΣ ΝΑΟΥΣΑΣ
ΚΑΙ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ (Α.Π.Θ.)
ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ DRINC

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2023 – 2024



ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΚΑΡΚΑΛΕΤΣΗΣ

Φοιτητής Τμήματος Γεωλογίας, Α.Ε.Μ.: 5686

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΔΕΙΚΤΩΝ ΞΗΡΑΣΙΑΣ
ΣΤΙΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΤΗΣ ΝΑΟΥΣΑΣ
ΚΑΙ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ (Α.Π.Θ.)
ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ DRINC

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Μετεωρολογίας & Κλιματολογίας

Επιβλέπων

Μαυρομμάτης Θεόδωρος, Καθηγητής, Τομέας Μετεωρολογίας & Κλιματολογίας, τμήμα
Γεωλογίας



© Γεώργιος Καρκαλέτσης, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Μετεωρολογίας & Κλιματολογίας, 2023-2024

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΔΕΙΚΤΩΝ ΞΗΡΑΣΙΑΣ ΣΤΙΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΤΗΣ ΝΑΟΥΣΑΣ ΚΑΙ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ (Α.Π.Θ.) ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ DRINC – *Διπλωματική εργασία*

© Georgios Karkaletsis, School of Geology, Dept. of Meteorology & Climatology, 2023-2024

All rights reserved.

EVALUATION AND COMPARISON OF DROUGHT INDICES IN THE REGIONS OF NAOUSSA AND THESSALONIKI (A.U.TH.) USING THE DRINC SOFTWARE – *Bachelor Thesis*

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.



Θέλω να εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε όλους όσους με βοήθησαν και με υποστήριξαν κατά τη διάρκεια της εκπόνησης αυτής της πτυχιακής εργασίας.

Πρώτα απ' όλα, ευχαριστώ τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Θεόδωρο Μαυρομμάτη, για την καθοδήγηση, την αμεσότητα, την συμπαράσταση και τις συμβουλές του. Η βοήθειά του υπήρξε πολύτιμη για την ολοκλήρωση της εργασίας αυτής. Τον ευχαριστώ ακόμα που μου γνώρισε το πρόγραμμα DrinC, το οποίο είναι ένα θαυμάσιο πρόγραμμα επεξεργασίας και ανάλυσης δεδομένων ξηρασίας και με ώθησε να γνωρίσω σε βάθος διάφορες λειτουργίες του προγράμματος διαχείρισης υπολογιστικών φύλλων Microsoft Excel.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες απευθύνω στην οικογένεια και τους φίλους μου για την αδιάκοπη στήριξη, υπομονή και κατανόηση τους καθ' όλη τη διάρκεια αυτής της προσπάθειας μου.

Τέλος, ευχαριστώ όλους τους συναδέλφους μου για τις πολύτιμες συζητήσεις και την ενθάρρυνση που μου προσέφεραν.

Η παρούσα πτυχιακή εργασία διερευνά και συγκρίνει τις υδρολογικές συνθήκες και τα φαινόμενα ξηρασίας στις περιοχές της Νάουσας και του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης (Α.Π.Θ.) μέσω του λογισμικού DrinC. Χρησιμοποιώντας ανάλυση δεδομένων θερμοκρασίας του αέρα και βροχόπτωσης, η μελέτη καταδεικνύει τις διαφορές στην ένταση και τη συχνότητα των περιόδων ξηρασίας μεταξύ των δύο περιοχών. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η Νάουσα αντιμετωπίζει πιο σοβαρές και συχνές ξηρασίες σε σύγκριση με το Α.Π.Θ., γεγονός που επισημαίνει την ανάγκη για προσαρμοσμένες στρατηγικές διαχείρισης των υδάτινων πόρων. Η αξιοποίηση του λογισμικού DrinC αποδείχθηκε καθοριστική για την ακριβή εκτίμηση και κατανόηση των υδρολογικών προκλήσεων, συμβάλλοντας στη διαμόρφωση κατάλληλων μέτρων αντιμετώπισης των επιπτώσεων της ξηρασίας στις δύο περιοχές. Επιπλέον, η μελέτη προσφέρει μια βαθύτερη κατανόηση των κλιματικών τάσεων και των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στις δύο περιοχές, αναδεικνύοντας την ανάγκη για μακροπρόθεσμες στρατηγικές και πολιτικές που θα βοηθήσουν στη μείωση των επιπτώσεων της ξηρασίας. Η σύγκριση των δύο περιοχών αποκαλύπτει τις ιδιαίτερες ανάγκες και προκλήσεις κάθε περιοχής, τονίζοντας τη σημασία της περιφερειακής προσαρμογής των στρατηγικών διαχείρισης υδάτινων πόρων. Μέσω αυτής της ανάλυσης, η εργασία συμβάλλει στην επιστημονική κατανόηση των φαινομένων ξηρασίας και παρέχει πολύτιμες πληροφορίες για τη βελτίωση των πρακτικών διαχείρισης των υδάτινων πόρων.



This thesis investigates and compares hydrological and drought conditions in the areas of Naousa and Aristotle University of Thessaloniki (A.U.Th.) using the DrinC software. By analyzing climatic data, the study highlights the differences in the intensity and frequency of drought periods between the two regions. The results show that Naousa faces more severe and frequent droughts compared to A.U.Th., emphasizing the need for tailored water resource management strategies. The utilization of the DrinC software proved crucial for the accurate assessment and understanding of hydrological challenges, contributing to the formulation of appropriate measures to address the impacts of drought in the two areas. Furthermore, the study provides a deeper understanding of climatic trends and the effects of climate change in both regions, highlighting the need for long-term strategies and policies to mitigate the impacts of drought. The comparison between the two areas reveals their specific needs and challenges, underscoring the importance of regional adaptation of water resource management strategies. Through this analysis, the thesis contributes to the scientific understanding of drought phenomena and offers valuable insights for improving water resource management practices.



Περιεχόμενα

1.	ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	8
2.	ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ. ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ DrinC	9
	2.1. Οι δείκτες Reclamation Drought Index (R.D.I.) και effective Reclamation Drought Index (e.R.D.I.).	10
	2.2. Ο δείκτης Streamflow Drought Index (S.D.I.) .	16
	2.3. Ο δείκτης Standardized Precipitation Index (S.P.I.).	18
	2.4. Ο δείκτης agricultural Standardized Precipitation Index (a.S.P.I.).	20
	2.5. Ο δείκτης Precipitation Deciles (P.D.).	21
	2.6. Η δυνητική εξατμισοδιαπνοή (P.E.T.).	23
3.	ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	27
	3.1. Δεδομένα εισόδου (Input requirements).	27
	3.2. Αποτελέσματα εξόδου (Output).	30
	3.3. Μέθοδοι	31
	3.4. Στόχοι της εργασίας	32
4.	ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	33
	4.1 Δείκτες R.D.I. και e.R.D.I.	33
	4.2 Δείκτης S.P.I.	39
	4.3 Δείκτης a.S.P.I.	41
	4.4 Δείκτης P.D.	43
	4.5 Δείκτης P.E.T.	45
5.	ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΤΟ. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	47
6.	ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	49



1. ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ξηρασία αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά και περίπλοκα φαινόμενα που επηρεάζουν την οικονομία, το περιβάλλον και την κοινωνία σε παγκόσμια κλίμακα. Καθώς οι κλιματικές αλλαγές εντείνονται, η ανάγκη για αποτελεσματική παρακολούθηση και διαχείριση της ξηρασίας καθίσταται επιτακτική (Dai 2011, Trenberth et al. 2014). Οι δείκτες ξηρασίας αποτελούν απαραίτητα εργαλεία για την εκτίμηση της έντασης και της διάρκειας των ξηρασιών, συμβάλλοντας στη λήψη ενημερωμένων αποφάσεων για τη διαχείριση των υδάτινων πόρων και τη γεωργική παραγωγή (Mishra & Singh, 2010, Svoboda et al. 2002).

Η παρούσα πτυχιική εργασία επικεντρώνεται στη χρήση του λογισμικού DrinC (Drought Indices Calculator) για την ανάλυση και παρακολούθηση της ξηρασίας (Tigkas et al. 2013). Το DrinC είναι ένα εξειδικευμένο λογισμικό που αναπτύχθηκε για τον υπολογισμό διαφόρων δεικτών ξηρασίας, οι οποίοι δεν απαιτούν μεγάλο όγκο δεδομένων παρά μόνο βροχόπτωσης και θερμοκρασίας και χρησιμοποιούνται ευρέως για την αξιολόγηση των υδρολογικών συνθηκών και την ανίχνευση περιόδων ξηρασίας. Το λογισμικό επιτρέπει την εκτίμηση της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής (Potential Evapotranspiration - P.E.T.) χρησιμοποιώντας διάφορες μεθόδους.

Ο κύριος στόχος αυτής της εργασίας είναι η εφαρμογή του λογισμικού DrinC σε πραγματικά δεδομένα, η ανάλυση και παρουσίαση των αποτελεσμάτων καθώς και η αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των διαφόρων δεικτών ξηρασίας. Η μελέτη αυτή φιλοδοξεί να συμβάλει στην καλύτερη κατανόηση του φαινομένου της ξηρασίας και στην ανάπτυξη στρατηγικών για την αντιμετώπισή της.

2. ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ. ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ DrinC

Το DrinC (Drought Indices Calculator) είναι ένα πακέτο λογισμικού που αναπτύχθηκε για τον υπολογισμό δεικτών ξηρασίας. Η εργασία στοχεύει στην παρουσίαση του γενικού σχεδιασμού και της εφαρμογής του λογισμικού μαζί με την αξιοποίηση διαφόρων δεικτών για την ανάλυση της ξηρασίας:

- ❖ Του δείκτη Reclamation Drought Index (R.D.I.).
- ❖ Του δείκτη effective Reclamation Drought Index (e.R.D.I.).
- ❖ Του δείκτη Streamflow Drought Index (S.D.I.).
- ❖ Του δείκτη Standardized Precipitation Index (S.P.I.).
- ❖ Του δείκτη agricultural Standardized Precipitation Index (a.S.P.I.).
- ❖ Του δείκτη Precipitation Deciles (P.D.).

Επιπλέον, το λογισμικό περιλαμβάνει απλά και μη απαιτητικά εργαλεία, ως προς τα δεδομένα που χρειάζονται, για την εκτίμηση της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής (Potential Evapotranspiration - P.E.T.) με την χρήση δεδομένων θερμοκρασίας. Οι μέθοδοι των Thornthwaite (Thornthwaite 1948), Hargreaves (Hargreaves & Samani 1985) και Blaney-Criddle (Blaney & Criddle 1950).

Το λογισμικό DrinC χρησιμοποιείται για την:

- Παρακολούθηση ξηρασίας στον χρόνο.
- Παρακολούθηση της χωρικής κατανομής της ξηρασίας.
- Διερεύνηση κλιματικών σεναρίων και σεναρίων ξηρασίας.

2.1. Οι δείκτες Reclamation Drought Index (R.D.I.) και effective Reclamation Drought Index (e.R.D.I.).

Ο δείκτης **R.D.I. (Reclamation Drought Index)** είναι ένας μετεωρολογικός δείκτης που δημιουργήθηκε από τον Don Wilhite (1987). Χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της ξηρασίας με βάση τις μετεωρολογικές συνθήκες, στην πρόγνωση των υδάτινων ελλειμμάτων και της επίδρασής της στους υδάτινους πόρους (Kanellou E. et al. 2009). Ο υπολογισμός του βασίζεται στην σωρευτική βροχόπτωση (Precipitation) και την δυνητική εξατμισοδιαπνοή (P.E.T.) για συγκεκριμένες περιόδους αναφοράς, παρέχοντας μια έκφραση του υδατικού ισοζυγίου. Ο δείκτης αξιολογεί τη σχέση μεταξύ του ύψους βροχής και της ατμοσφαιρικής ζήτησης νερού από τα φυτά και το έδαφος. Με βάση αυτήν την σχέση παράγει ενδείξεις για την κατάσταση της ξηρασίας σε μία συγκεκριμένη περιοχή και την επίπτωσή της στους υδάτινους πόρους.

Ο R.D.I. εκφράζεται από δύο βασικές τιμές. Την αρχική τιμή (α_k) και την τυποποιημένη (standardised) μορφή $R.D.I._{st}$. Το $R.D.I._{st}$ υπολογίζεται προσαρμόζοντας τη συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας γάμμα στη δεδομένη κατανομή συχνότητας του α_k , η οποία στη συνέχεια μετατρέπεται σε κανονική κατανομή. Επομένως, το $R.D.I._{st}$ αντιπροσωπεύει το μέγεθος της ξηρασίας σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία, με βάση την πιθανότητα εμφάνισης ενός γεγονότος ξηρασίας, όπως προσδιορίζεται από την αντίστοιχη τιμή α_k .

Τα κύρια πλεονεκτήματα των παραπάνω δεικτών είναι η απλή δομή τους και οι χαμηλές απαιτήσεις δεδομένων, ενώ μπορούν να υπολογιστούν για πολλές χρονικές κλίμακες (π.χ. περιόδους 1, 3, 6, 12 μηνών). Αν και αυτοί οι δείκτες δεν έχουν σχεδιαστεί ειδικά για την αξιολόγηση των επιπτώσεων της ξηρασίας στη βλάστηση, υπάρχουν αρκετές μελέτες που τα έχουν χρησιμοποιήσει για τέτοιο σκοπό με ικανοποιητικά αποτελέσματα (Al-Faraj et al. 2016).

$$\alpha_k = \frac{\sum_{j=1}^{j=k} P_j}{\sum_{j=1}^{j=k} ET\theta_j} \quad RDI_{st}^{(i)} = \frac{y^{(i)} - \bar{y}}{\hat{\sigma}_y}$$

Όπου:

$\alpha_k^{(i)}$: Η αρχική-συγκεντρωτική τιμή χρησιμοποιώντας ένα μηνιαίο χρονικό βήμα και μπορεί να είναι υπολογιστεί σε μηνιαία, εποχιακή ή ετήσια βάση. Για το έτος i και μια χρονική βάση k (μήνες).

Precipitation/ P (mm): Το άθροισμα των ποσοτήτων βροχοπτώσεων για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα (συνήθως μηνιαίο).

P.E.T./ET (mm): Η συνολική δυνητική εξατμισοδιαπνοή για το ίδιο χρονικό διάστημα.

$$y^{(i)} = \ln(\alpha_k^{(i)}).$$

$\bar{y}$: Μέση τιμή.

σ_y : Τυπική απόκλιση.

Οι τιμές του R.D.I. παρέχουν πληροφορίες σχετικά με την υδρολογική κατάσταση της περιοχής σε σχέση με την κανονική της κατάσταση.

Θετικό πρόσημο (θετικές τιμές R.D.I.)

- Οι θετικές τιμές του R.D.I. υποδηλώνουν ότι οι συνθήκες είναι πιο υγρές από τις κανονικές.
- Όσο μεγαλύτερη είναι η θετική τιμή, τόσο πιο υγρές είναι οι συνθήκες. Υποδεικνύοντας περίοδο αυξημένης βροχόπτωσης και υγρασίας.

Για παράδειγμα, θετικές τιμές μπορεί να σημαίνουν ότι η περιοχή έχει δεχθεί αρκετή ή και υπερβολική βροχόπτωση, κάτι που μπορεί να οδηγήσει σε καλύτερη γεωργική παραγωγή και πληρότητα των υδατικών πόρων.

Αρνητικό πρόσημο (αρνητικές τιμές R.D.I.)

- Οι αρνητικές τιμές του R.D.I. υποδηλώνουν ότι οι συνθήκες είναι πιο ξηρές από τις κανονικές.
- Όσο μεγαλύτερη είναι η αρνητική τιμή, τόσο πιο σοβαρή είναι η ξηρασία.
- Αρνητικές τιμές δείχνουν έλλειψη βροχόπτωσης και μειωμένη υγρασία, κάτι που μπορεί να επηρεάσει αρνητικά την γεωργία, την διαθεσιμότητα νερού και το περιβάλλον.
- Σοβαρές αρνητικές τιμές μπορεί να υποδηλώνουν κρίσιμες ξηρασίες που απαιτούν άμεση διαχείριση και λήψη μέτρων.

Πότε Έχουμε Ξηρασία και Πότε το Αντίθετο

Ξηρασία υπάρχει όταν το R.D.I. έχει αρνητικό πρόσημο και η τιμή του δείκτη πέφτει κάτω από ένα συγκεκριμένο όριο, συνήθως το -1 ή χαμηλότερα. Αυτό σημαίνει ότι η περιοχή δέχεται λιγότερη βροχόπτωση από το κανονικό και οι συνθήκες είναι ξηρότερες από τις συνήθεις, κάτι που επηρεάζει την γεωργία, τους υδατικούς πόρους και το περιβάλλον αρνητικά. Υγρές συνθήκες (ή το αντίθετο της ξηρασίας) υπάρχει όταν το R.D.I. έχει θετικό πρόσημο, σημαίνει ότι η περιοχή βιώνει υγρές συνθήκες. Αυτό δείχνει ότι η βροχόπτωση είναι πάνω από το κανονικό και οι συνθήκες είναι υγρότερες από τις συνήθεις, υποδηλώνοντας βελτιωμένη διαθεσιμότητα νερού και θετικές επιπτώσεις για τη γεωργία και τους υδατικούς πόρους.

Η κατανόηση των τιμών του R.D.I. βοηθά στη λήψη ενημερωμένων αποφάσεων για τη διαχείριση των υδάτινων πόρων και τη γεωργική παραγωγή, ιδιαίτερα σε περιοχές που είναι ευάλωτες στις κλιματικές μεταβολές και τις ακραίες καιρικές συνθήκες.



Πρόσφατες μελέτες έχουν χρησιμοποιήσει το R.D.I. με επιτυχία σε πολλές περιοχές του κόσμου, καλύπτοντας ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, όπως η αξιολόγηση των πιθανών οικονομικών, κοινωνικών και περιβαλλοντικών επιπτώσεων της ξηρασίας. Για παράδειγμα, οποιαδήποτε μείωση της βροχόπτωσης μαζί με αύξηση της θερμοκρασίας μπορεί να οδηγήσει σε ξηρασίες και να οδηγήσει σε σημαντική παρατεταμένη μείωση της γεωργικής παραγωγής, που θα οδηγούσε σε μείωση του εισοδήματος των αγροτικών κοινοτήτων και θα μπορούσε να οδηγήσει σε εμφύλιες συγκρούσεις ή αναταραχές. (π.χ. Λίβανος-Ανατολική Μεσόγειος Farajalla και Ziade (2010), Khalili (2011), Ιράν Zarch (2011), Ελλάδα Tigkas (2012), Kousari (2014), Al-Faraj (2016), Ιράν Zarei (2016)).

Ο δείκτης **e.R.D.I. (effective Reclamation Drought Index)** χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της ξηρασίας ενός εδάφους (Tigkas & Proutsos 2020). Σχετίζεται με τη δυνατότητα του εδάφους να διατηρεί νερό και ως εκ τούτου να υποστηρίζει την ανάπτυξη των φυτών.

Χρησιμοποιείται συχνά στη γεωργία για να βοηθήσει τους αγρότες να παρακολουθούν την ξηρασία του εδάφους και να λαμβάνουν αποφάσεις σχετικά:

- Με την αρδευτική διαχείριση και την επιλογή των φυτών που μπορούν να καλλιεργηθούν με επιτυχία στις κλιματικές συνθήκες της περιοχής τους.
- Με την ανακατασκευή ή ανάπτυξη, περιοχές εξορυκτικών εγκαταστάσεων ή ανάπτυξης υδροηλεκτρικών έργων.

Ο δείκτης αυτός επίσης βοηθά στην παρακολούθηση των υδρολογικών συνθηκών και στη λήψη αποφάσεων για τη διαχείριση των υδάτινων πόρων σε αυτές τις περιοχές.. Ο τύπος για τον υπολογισμό του e.R.D.I. είναι ο εξής:

$$e.R.D.I.=1-\frac{Precipitation}{P.E.T.}.$$

Όπου:

Precipitation (mm): Το άθροισμα των ποσοτήτων βροχοπτώσεων για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα (συνήθως μηνιαίο).

P.E.T. (Evapotranspiration) (mm): Η δυνητική εξατμισοδιαπνοή.

Οι τιμές του e.R.D.I. παρέχουν πληροφορίες σχετικά με την εκτίμηση της ξηρασίας, λαμβάνοντας υπόψη τις περιόδους καλλιέργειας και τη διαθεσιμότητα υδάτινων πόρων σε μια πιο άμεση βάση. Ενσωματώνει την έννοια της καλλιεργητικής περιόδου, καθιστώντας τον πιο ευαίσθητο στις μεταβολές που επηρεάζουν την αγροτική παραγωγή.



Θετικό πρόσημο (θετικές τιμές e.R.D.I.).

- Όταν ο e.R.D.I. έχει θετικό πρόσημο, αυτό υποδηλώνει πλεόνασμα υγρασίας σε σχέση με τις ανάγκες της καλλιεργητικής περιόδου.
- Οι συνθήκες είναι ευνοϊκές και δεν υπάρχει ξηρασία. Οι υδάτινοι πόροι είναι επαρκείς για τις καλλιέργειες και τις άλλες ανάγκες.

Αρνητικό πρόσημο (αρνητικές τιμές e.R.D.I.).

- Όταν ο e.R.D.I. έχει αρνητικό πρόσημο υποδηλώνει έλλειμμα υγρασίας σε σχέση με τις ανάγκες της καλλιεργητικής περιόδου.
- Αυτό σημαίνει ότι υπάρχει ξηρασία. Οι υδάτινοι πόροι δεν είναι επαρκείς για να καλύψουν τις ανάγκες των καλλιεργειών και άλλων χρήσεων.

Οι Τίγκας και Τσακίρης (2015) μελέτησαν τις επιπτώσεις της ξηρασίας στην απόδοση του σιταριού με την χρήση των R.D.I. και e.R.D.I στην περιοχή της Λάρισας. Για την προσομοίωση του σιταριού χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο AquaCrop (Steduto 2012), ενώ για τη συσχέτιση μεταξύ του R.D.I. και της απόδοσης της καλλιέργειας χρησιμοποιήθηκαν μοντέλα παλινδρόμησης. Το e.R.D.I. βρέθηκε να έχει καλύτερη απόδοση από το R.D.I.

2.2. Ο δείκτης Streamflow Drought Index (S.D.I.) .

Ο δείκτης **S.D.I.** είναι ένας δείκτης που χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση της ξηρασίας με βάση τη ροή των ρευμάτων σε μια περιοχή. Βασίζεται στις παρατηρήσεις της ροής των ρευμάτων και συνήθως χρησιμοποιεί αλγόριθμους και μοντέλα για να εκτιμήσει την κατάσταση της ξηρασίας.

Ο S.D.I. έχει σχέση και παρόμοιο μέτρο σύγκρισης με τον R.D.I., όπου υψηλότερες (θετικές/αρνητικές) τιμές και των δύο υποδηλώνουν μεγαλύτερο βαθμό υγρασίας/ξηρασίας, αντίστοιχα.

Condition	Range
Extremely wet	$(SDI \text{ and } RDI_{st}) \geq 2.00$
Very wet	$1.5 \leq (SDI \text{ and } RDI_{st}) < 2.00$
Moderately wet	$1.00 \leq (SDI \text{ and } RDI_{st}) < 1.50$
Near normal	$-1.00 < (SDI \text{ and } RDI_{st}) < 1.00$
Moderately dry	$-1.50 < (SDI \text{ and } RDI_{st}) \leq -1.00$
Severely dry	$-2.00 < (SDI \text{ and } RDI_{st}) \leq -1.50$
Extremely dry	$(SDI \text{ and } RDI_{st}) \leq -2.00$

Πίνακας 1. Ταξινόμηση συνθηκών ξηρασίας με βάση τους δείκτες S.D.I. και R.D.I._{st} (Al-Faraj et al. 2014).

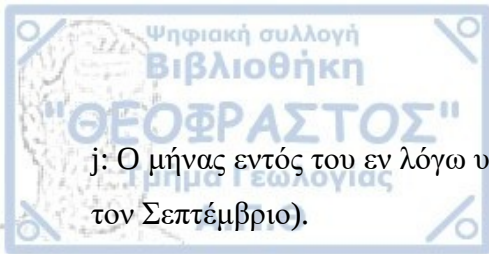
Για τον υπολογισμό του S.D.I. πρώτα υπολογίζεται ο $V_{i,k}$ ο οποίος είναι ο αθροιστικός όγκος ροής για το i υδρολογικό έτος και την συγκεκριμένη k περίοδο αναφοράς.

$$V_{i,k} = \sum_{j=1}^{3k} Q_{ij} .$$

Όπου:

Q_{ij} : Μηνιαίως όγκος ροής.

i : Το υδρολογικό έτος αναφοράς.



j: Ο μήνας εντός του εν λόγω υδρολογικού έτους (j = 1 για τον Οκτώβριο και j = 12 για τον Σεπτέμβριο).

k: Η περίοδος αναφοράς (k = 1 για τον Οκτώβριο-Δεκέμβριο, k = 2 για τον Οκτώβριο-Μάρτιο, k = 3 για τον Οκτώβριο-Ιούνιο και k = 4 για τον Οκτώβριο-Σεπτέμβριο).

Με βάση τους αθροιστικούς όγκους ροής ($V_{i,k}$) ο S.D.I. ορίζεται για κάθε περίοδο αναφοράς (k) του επιλεγμένου υδρολογικού έτους (i).

$$S.D.I._{i,k} = \frac{V_{i,k} - \bar{V}_k}{S_k} .$$

Όπου:

$\bar{V}_k$: Ο μέσος όρος του όγκου ροής της περιόδου αναφοράς k.

S_k : Ο σωρευτικός όγκος ροής της περιόδου αναφοράς k.

2.3. Ο δείκτης Standardized Precipitation Index (S.P.I.).

Ο δείκτης **S.P.I.** είναι ένας δείκτης που αναπτύχθηκε από τον McKee (1993) και βασίζεται στην ανάλυση δεδομένων βροχόπτωσης. Συνήθως χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση της ξηρασίας (π.χ. Maniatis 2010) και των ακραίων κλιματικών συνθηκών σε μια περιοχή σε σχέση με την περίοδο αναφοράς.

Ο S.P.I. παρουσιάζεται σε μια κλίμακα που χαρακτηρίζει τον βαθμό ξηρασίας/υγρασίας από ακραία υγρασία (θετικές τιμές) έως ακραία ξηρασία (αρνητικές τιμές).

SPI Value	Class	Cumulative Probability	Probability of Event [%]
$SPI \geq 2.00$	Extreme wet	0.977 – 1.000	2.3%
$1.50 < SPI \leq 2.00$	Severe wet	0.933 – 0.977	4.4%
$1.00 < SPI \leq 1.50$	Moderate wet	0.841 – 0.933	9.2%
$-1.00 < SPI \leq 1.00$	Near normal	0.159 – 0.841	68.2%
$-1.50 < SPI \leq -1.00$	Moderate dry	0.067 – 0.159	9.2%
$-2.00 < SPI \leq -1.50$	Severe dry	0.023 – 0.067	4.4%
$SPI < -2.00$	Extreme dry	0.000 – 0.023	2.3%

Πίνακας 2. Ταξινόμηση των τιμών του S.P.I. σύμφωνα με τον McKee (1993).

Όπου η τάξη (class) χαρακτηρίζει το επίπεδο έντασης της ξηρασίας/υγρασίας του εδάφους. Η Cumulative Probability την αθροιστική πιθανότητα της κάθε τάξης και η Probability of Event (%) την πιθανότητα να πραγματοποιηθεί όντως το συγκεκριμένο γεγονός.

Ο S.P.I. μπορεί να βοηθήσει στον προσδιορισμό των περιοχών που βρίσκονται υπό σοβαρή απειλή ξηρασίας και μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για τον σχεδιασμό των διαχειριστικών μέτρων για την αντιμετώπιση της ξηρασίας. Ο S.P.I. δεν αναφέρεται μόνο στην ποσότητα της βροχόπτωσης, αλλά και στην κατανομή της στο χρόνο. Αυτό τον καθιστά χρήσιμο για την αξιολόγηση της επίδρασης της βροχόπτωσης στην υδατική ισορροπία της περιοχής.

$$S.P.I. = \frac{X - \mu}{\sigma}$$

Όπου:



X: Η τιμή του νετού για τον συγκεκριμένο χρονικό διάστημα (π.χ. μήνας, έτος).

μ: Η μέση τιμή του νετού για το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα (μακροπρόθεσμος μέσος όρος).

σ: Η τυπική απόκλιση του νετού για το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα (μακροπρόθεσμη τυπική απόκλιση).

Το μοναδικό δεδομένο που χρειάζεται ο δείκτης S.P.I. είναι το ύψος της βροχής για το επιλεγμένο χρονικό διάστημα (μήνας ή έτος) που θέλουμε να αναλύσουμε.

2.4. Ο δείκτης agricultural Standardized Precipitation Index (a.S.P.I.).

Ο δείκτης **a.S.P.I.** (Agricultural Standardized Precipitation Index) δημιουργήθηκε από τους Κ. Δρούγκαση και Χ. Βαρθακούρη, ερευνητές από το Εθνικό Κέντρο Ερευνών και Τεχνολογικής Ανάπτυξης (ΕΚΕΤΑ) (2017). Χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση της ξηρασίας σε αγροτικές περιοχές. Ο a.S.P.I. είναι ένας υδρολογικός δείκτης που συνδυάζει τις μετρήσεις της βροχής με τις υδρολογικές ανάγκες των φυτών και των καλλιεργειών. Στηρίζεται στην αρχή ότι οι αγροτικές περιοχές έχουν διαφορετικές απαιτήσεις για τη βροχή ανάλογα με το είδος της καλλιέργειας και το στάδιο ανάπτυξής της. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό των περιοχών που αντιμετωπίζουν κίνδυνο ξηρασίας, για την αξιολόγηση της παραγωγικότητας των καλλιεργειών, καθώς και για τον σχεδιασμό αποδοτικότερων μεθόδων άρδευσης και διαχείρισης των υδάτων σε γεωργικές περιοχές. (Tigkas et al. 2015 και 2017).

Για τον υπολογισμό του χρησιμοποιείται η κατανομή γάμμα (Gamma Distribution) για την προσαρμογή της βροχόπτωσης:

$$a.S.P.I. = \frac{\overline{\text{Precipitation}} - \overline{\text{Min.Precipitation}}}{\overline{\text{Max.Precipitation}} - \overline{\text{Min.Precipitation}}}.$$

Όπου:

Precipitation (mm): Το άθροισμα του ύψους βροχής για ένα υδρολογικό έτος.

$\overline{\text{Min.Precipitation}}$ (mm): Η μέση ελάχιστη μηνιαία τιμή βροχόπτωσης για το ίδιο υδρολογικό έτος.

$\overline{\text{Max.Precipitation}}$ (mm): Η μέση μέγιστη μηνιαία τιμή βροχόπτωσης για το ίδιο υδρολογικό έτος.

2.5. Ο δείκτης Precipitation Deciles (P.D.).

Ο δείκτης P.D. (Precipitation Deciles) δημιουργήθηκε από τον Richard G. Heim Jr. τη δεκαετία του 1990. Ο δείκτης χρησιμοποιείται στη μετεωρολογία και την υδρολογία για την κατανόηση της κατανομής του ύψους βροχής σε συγκεκριμένα ποσοστομόρια σε σχέση με τον μέσο όρο. Χρησιμοποιείται για μελέτες που ασχολούνται με την κατανομή της βροχόπτωσης σε διάφορα επίπεδα έντασης, την ανάλυση της κλιματικής τάσης, μελέτες που σχετίζονται με τη διαχείριση των υδάτινων πόρων και τις επιπτώσεις της βροχόπτωσης σε διάφορα περιβαλλοντικά και ανθρώπινα συστήματα, καθώς και για τη διαχείριση των υδάτινων πόρων. Ακόμη, ο δείκτης είναι χρήσιμος και για μελλοντικές προβλέψεις-εκτιμήσεις των υδάτινων αποθεμάτων, την πιθανότητα εκδήλωσης ακραίων και ασυνήθιστων βροχοπτώσεων και την πρόβλεψη πλημμυρών (Zarch et al. 2011, Elagib et al. 2011, Farajalla et al. 2010, Khalili et al. 2011).

Ο τρόπος υπολογισμού του δείκτη βροχόπτωσης P.D. περιλαμβάνει τα εξής βήματα:

- ✓ Ταξινόμηση του ύψους βροχής σε αύξουσα σειρά.
- ✓ Υπολογισμός Δεκατημορίων: Διαίρεση του ύψους της βροχής σε δέκα ίσα διαστήματα (δεκατημόρια) ίσου εύρους, δίνοντας έτσι το πρώτο δεκατημόριο (D1) με τα χαμηλότερα ύψη βροχής και το δέκατο δεκατημόριο (D10) με τα υψηλότερα ύψη βροχής (Πίνακας 2).
- ✓ Αξιολόγηση: Με τη χρήση των δεκατημορίων, μπορούν να αξιολογηθούν ποια ποσοστά των παρατηρούμενων βροχοπτώσεων ανήκουν σε κάθε δεκατημόριο. Αυτό σας βοηθά να κατανοήσετε την κατανομή της βροχόπτωσης και το ποσοστό της που ενδέχεται να αντιστοιχεί σε υψηλότερες ή χαμηλότερες ποσότητες.

Decile Classifications

deciles 1-2: lowest 20%	much below normal
deciles 3-4: next lowest 20%	below normal
deciles 5-6: middle 20%	near normal
deciles 7-8: next highest 20%	above normal
deciles 9-10: highest 20%	much above normal

Πίνακας 3. Decile Classification: Ταξινόμηση των συνθηκών ξηρασίας σύμφωνα με τα Deciles ανά %. DrinC (Tigkas et al. 2014).

2.6. Η δυνητική εξατμισοδιαπνοή (P.E.T.).

Η δυνητική εξατμισοδιαπνοή (Potential Evapotranspiration – P.E.T.) αναφέρεται στο ποσό νερού που θα εξατμισθεί από την επιφάνεια του εδάφους και θα διαπνευσθεί από τα φυτά σε μια συγκεκριμένη περιοχή, εάν δεν υπήρχε έλλειψη νερού (το έδαφος ήταν κορεσμένο). Χρησιμοποιείται ευρέως στην επιστήμη της υδρολογίας, της μετεωρολογίας και της γεωργίας για να αξιολογήσει τη δυνατότητα εξατμισοδιαπνοής σε μια περιοχή, τον ρυθμό διαπνοής των φυτών και τη γενικότερη διαχείριση των υδάτων και των αγροτικών καλλιεργειών. Στο λογισμικό DrinC η εξατμισοδιαπνοή μπορεί να υπολογισθεί με τις μεθόδους των Thornthwaite (1948), Hargreaves (1985) και Blaney – Criddle(έχει τροποποιηθεί από την Doorenbos et al. 1977).

Η μέθοδος **Thornthwaite** (1948) χρησιμοποιεί τον πολλαπλασιαστικό συντελεστή (α) για να αυξηθεί το σχετικό μέγεθός του, καθώς υπάρχουν αρκετές μελέτες που δείχνουν ότι η μέθοδος υποτιμά την δυνητική εξατμισοδιαπνοή. Εφαρμόζεται σε όλο τον κόσμο. Η μέθοδος εκτιμά το P.E.T. με βάση την ακόλουθη εξίσωση:

$$P.E.T.=16 \times \left(\frac{N}{12} \right) \times \left(\frac{m}{30} \right) \times \left(10 \times \frac{T_{mean}}{1} \right)^{\alpha}.$$

Όπου:

T_{mean} : Η μέση μηνιαία θερμοκρασία (βαθμοί Κελσίου).

N: Οι μέσες μηνιαίες πιθανές ώρες ηλιοφάνειας (ώρες/ημέρα).

m: Ο αριθμός των ημερών κάθε μήνα.

α : Δίνεται από την εξίσωση: $\alpha=6.75 \times 10^{-7} \times I^3 - 7.71 \times 10^{-5} \times I^2 + 1.79 \times 10^{-2} \times I + 0.49$.

$$I = \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{T_{imean}}{5} \right)^{1.514}.$$

I: Είναι ένας δείκτης θερμότητας που υπολογίζεται:

Η μέθοδος **Hargreaves** είναι μία άλλη εμπειρική μέθοδος που βασίζεται στη θερμοκρασία. Το 1985 οι Hargreaves και Samani δημοσίευσαν την ακόλουθη εξίσωση για την εκτίμηση P.E.T. χρησιμοποιώντας για $K_{RS}=0.16$, που προκύπτει από κλιματικά δεδομένα της λεκάνης απορροής του ποταμού της Σενεγάλης (Hargreaves et al. 1985).

$$P.E.T.=0.0023 \times R_a \times (T_{mean} + 17.8) \times TR^{0.5}$$

Όπου:

R_a : Η ακτινοβολία που φτάνει στο όριο της γήινης ατμόσφαιρας με το διάστημα (mm/ημέρα).

T_{mean} : Η θερμοκρασία (βαθμοί Κελσίου).

TR: Το ημερήσιο εύρος θερμοκρασίας σε βαθμούς Κελσίου ($TR=T_{max}-T_{min}$). Όπου το T_{max} είναι η μέση ημερήσια μέγιστη θερμοκρασία και T_{min} είναι η μέση ημερήσια ελάχιστη θερμοκρασία.

Αρχικά, στον πρώιμο τύπο του P.E.T. υπήρχε το R_s , το οποίο όμως δεν ήταν εύκολα διαθέσιμο. Ο Hargreaves κατέληξε στο συμπέρασμα ότι το R_s θα μπορούσε να υπολογιστεί από την ακτινοβολία που φτάνει στο όριο της γήινης ατμόσφαιρας με το διάστημα (R_a) και το ποσοστό πιθανής ηλιοφάνειας (S).

Τέλος, ο Hargreaves και ο Samani (1982) πρότειναν την προγνωστική μορφή:

$$R_s = K_{RS} \times R_a \times TR^{0.5}$$

Όπου:

R_s : Η παγκόσμια ηλιακή ακτινοβολία στην επιφάνεια (mm/ημέρα).

K_{RS} : Είναι ένας εμπειρικός συντελεστής που προσαρμόζεται σε $\frac{R_s}{R_a}$ έναντι των

δεδομένων TR.

Η ελκυστικότητα της μεθόδου έγκειται στην απλότητα, την αξιοπιστία και τις ελάχιστες απαιτήσεις δεδομένων.

Η μέθοδος **Blanley – Criddle** είναι μία από τις παλαιότερες εξισώσεις για την εκτίμηση του P.E.T. με αποκλιστική χρήση θερμοκρασίας. Έχει τροποποιηθεί από τους Doorenbos και Pruitt (1977). Η συνήθης μορφή της εξίσωσης γράφεται ως:

$$P.E.T.=k \times p \times (0.46 \times T_{\text{mean}} + 8.13).$$

Όπου:

k: Συντελεστής μηνιαίας καταναλωτικής χρήσης. Αναλόγως τον τύπο της βλάστησης, την τοποθεσία και την εποχή.

T_{mean}: Μέση θερμοκρασία για την εξεταζόμενη περίοδο (βαθμοί Κελσίου).

p: Το ποσοστό των συνολικών ωρών ημέρας (θεωρητικής ηλιοφάνειας) για την περίοδο που χρησιμοποιήθηκε (ημερήσια ή μηνιαία), από τις συνολικές ώρες ημέρας (ηλιοφάνειας) του έτους. Η τιμή του λαμβάνεται συνήθως από πίνακες. Ωστόσο, μπορεί να εκτιμηθεί για συγκεκριμένο γεωγραφικό πλάτος χρησιμοποιώντας την ακόλουθη εξίσωση:

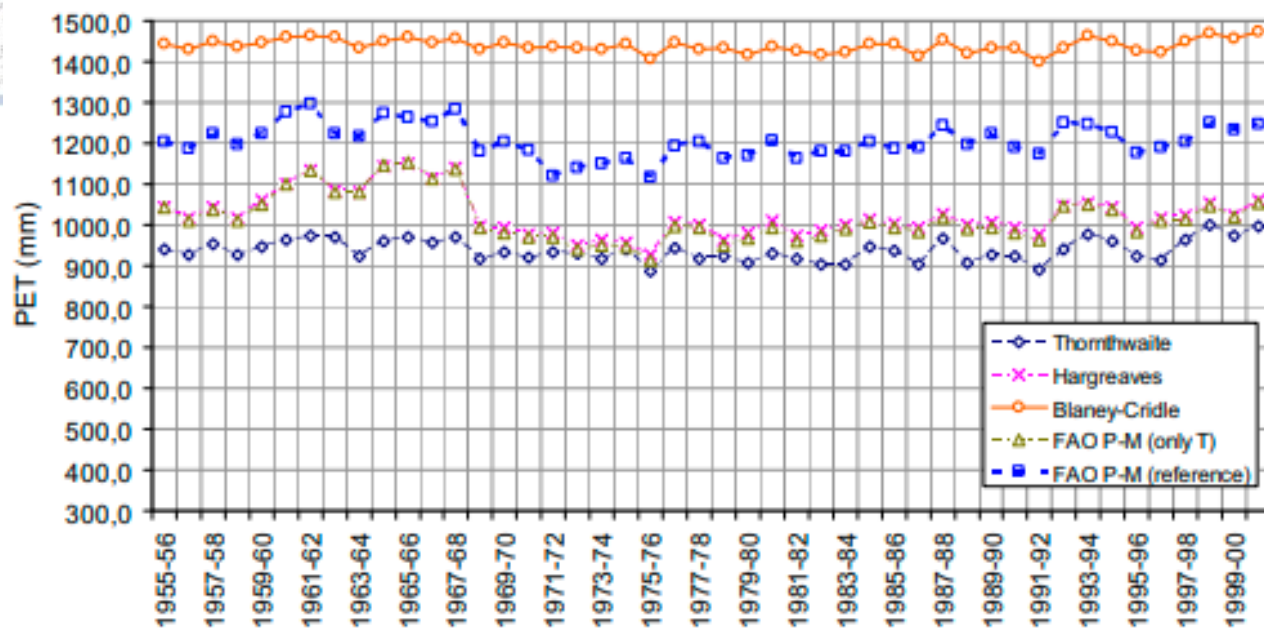
$$p=100 \times \left(\frac{\sum_{i=d_1}^{d_2} N_i}{\sum_{i=1}^{365} N_i} \right).$$

Όπου:

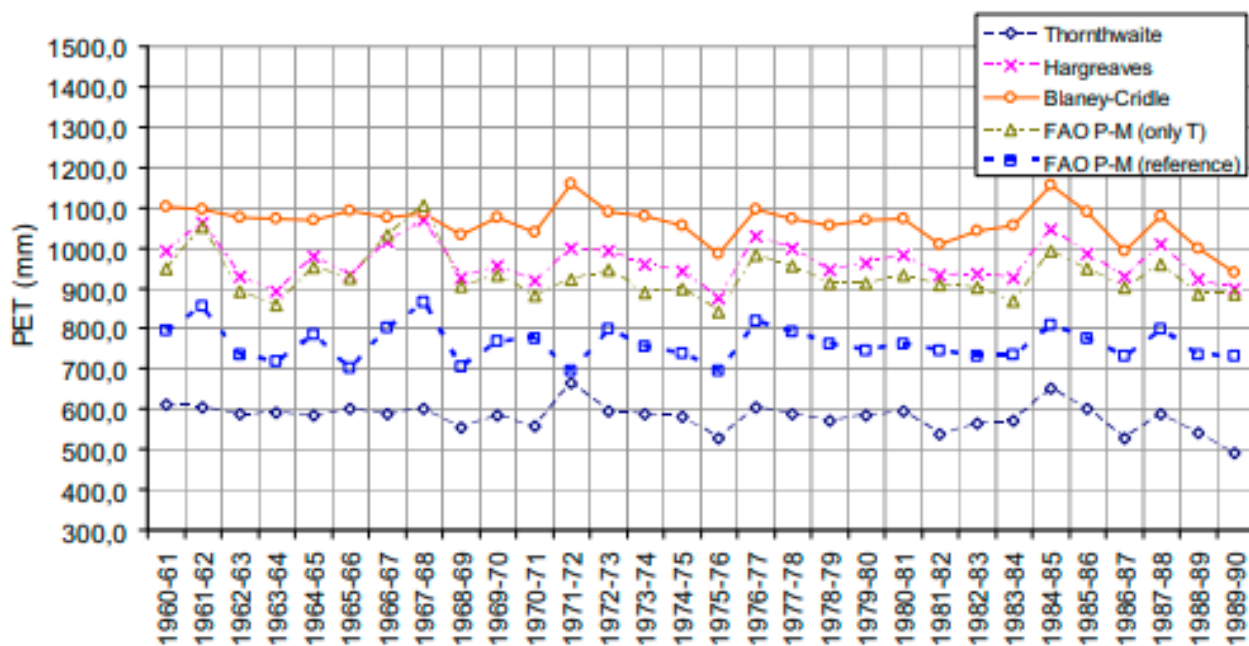
N_i: Οι θεωρητικές ημερήσιες ώρες της Ιουλιανής ημέρας i.

d₁, d₂: Η πρώτη και η τελευταία Ιουλιανή ημέρα του μήνα.

Τα διαγράμματα 1 και 2 συγκρίνουν 5 μεθόδους εκτίμησης της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής στο Ηράκλειο της Κρήτης και στον Ασπροπόταμο Τρικάλων.



Διάγραμμα 1. Η πιθανή εξατμισοδιαπνοή (P.E.T.) υπολογίζεται με διάφορες μεθόδους για τον παραλιακό νησιώτικο σταθμό του Ηράκλειου, Κρήτης. (Υψόμετρο: 39 μέτρα) (Βανγκέλης et al.(2012)).



Διάγραμμα 2. Η πιθανή εξατμισοδιαπνοή (P.E.T.) υπολογίζεται με διάφορες μεθόδους για τον ορεινό δασώδη σταθμό του Ασπροποτάμου, Τρικάλων. (Υψόμετρο: 1050 μέτρα) (Βανγκέλης et al.(2012)).

3. ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

3.1. Δεδομένα εισόδου (Input requirements).

Στην εργασία αυτή χρησιμοποιήθηκαν οι μηνιαίες τιμές της βροχόπτωσης (mm), μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας (βαθμοί Κελσίου) για τον σταθμό της Νάουσας για τα υδρολογικά έτη 1975-2021 και του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης (Α.Π.Θ.) για την περίοδο 1980-2018.

Τρία συγκεντρωτικά αρχεία excel (TminALL.xls, TmaxALL.xls, PrecALL.xls), απαιτούνται από το DrinC, με το καθένα να περιέχει κάθε μία από τις τρεις μετεωρολογικούς παραμέτρους την περίοδο Οκτώβριος-Σεπτέμβριος (Εικόνες 1-3).

TminALL [Κατάσταση λειτουργίας συμβατότητας]

Κεντρική Εισαγωγή Διάταξη σελίδας Τύποι Δεδομένα Αναθεώρηση Προβολή

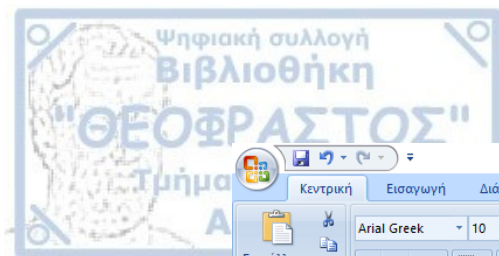
Επικύληση Arial Greek 10 A A Αναδύπωση κειμένου Γενική

Πρόχειρο Γραμματοσειρά Στοιχισμός Συγχώνευση και στοιχισμός στο κέντρο Αριθμός

Προετοιμότητα ασφαλείας Η αυτόματη ενημέρωση συνδέσεων έχει απενεργοποιηθεί Επιλογές...

Y14	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
Year	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.		
1975 - 1976	3,2	-7,0	-7,5	-8,5	-10,2	-1,7	2,4	7,0	11,6	12,6	12,4	8,5		
1976 - 1977	2,5	-5,8	-8,0	-6,0	-2,6	-4,0	2,0	8,2	9,5	15,0	10,0	3,5		
1977 - 1978	3,0	1,8	-6,5	-9,0	-1,0	-1,5	1,6	2,5	10,6	11,0	12,0	5,3		
1978 - 1979	0,0	-3,5	-3,0	-12,0	-4,0	-0,4	2,2	6,5	12,5	12,2	11,0	5,5		
1979 - 1980	3,6	1,5	-8,0	-8,0	-4,8	-4,0	1,2	6,5	9,5	12,5	13,3	9,0		
1980 - 1981	6,5	-1,5	-7,2	-7,0	-6,0	0,0	2,0	6,0	13,0	13,0	10,0	8,0		
1981 - 1982	5,0	-4,0	-2,5	-6,3	-6,7	-2,5	2,5	4,5	10,5	14,0	13,0	13,5		
1982 - 1983	6,5	-2,5	-2,5	-5,5	-9,0	-3,2	1,0	5,0	10,5	14,0	14,0	8,0		
1983 - 1984	2,6	-2,5	-3,0	-3,0	-1,4	1,0	3,0	8,0	10,3	11,0	13,5	7,6		
1984 - 1985	3,0	1,3	-5,0	-8,0	-10,0	0,0	4,0	3,0	10,5	13,5	10,7	8,5		
1985 - 1986	2,0	-0,3	-3,5	-7,0	-3,5	0,0	0,0	8,0	13,0	14,0	12,5	9,4		
1986 - 1987	4,0	-2,0	-10,5	-11,5	-3,0	-9,0	3,2	6,2	10,0	14,5	12,5	14,0		
1987 - 1988	4,0	0,0	-3,5	-2,0	-6,0	-4,0	0,7	6,0	12,0	15,5	13,0	11,0		
1988 - 1989	-1,5	-4,0	-10,0	-6,8	-5,5	2,0	6,0	4,5	8,7	14,0	9,0	10,5		
1989 - 1990	4,0	-7,0	-7,0	-8,7	-3,0	-2,5	6,0	4,2	8,0	14,5	14,5	8,2		
1990 - 1991	2,0	-0,8	-2,3	-8,0	-11,5	-2,5	4,4	2,4	10,0	12,5	13,0	11,3		
1991 - 1992	2,5	-1,5	-9,0	-6,5	-7,5	-2,3	1,5	6,5	13,0	13,5	16,0	8,0		
1992 - 1993	7,5	-1,0	-7,0	-10,7	-7,2	-4,5	0,8	7,0	10,5	12,6	11,8	7,8		
1993 - 1994	5,0	-1,5	-1,5	-3,8	-2,7	-1,0	3,0	7,5	10,5	15,0	14,5	12,0		
1994 - 1995	6,5	-2,5	-5,5	-10,5	-2,0	-1,2	-1,0	5,0	12,5	16,0	10,0	5,2		
1995 - 1996	1,0	-9,0	-5,0	-9,0	-7,0	-9,0	-2,5	7,0	11,0	11,5	14,6	8,5		
1996 - 1997	1,0	-3,0	-4,0	-4,5	-9,0	-4,0	-3,3	8,0	5,5	14,5	11,0	8,5		
1997 - 1998	0,5	0,5	-2,5	-4,5	-3,0	-4,5	0,0	7,5	9,5	10,0	12,0	8,5		
1998 - 1999	5,0	-2,0	-7,0	-5,5	-7,5	-1,0	4,5	7,0	10,5	14,0	15,5	13,0		
1999 - 2000	7,0	-2,5	-7,0	-10,5	-3,5	-3,5	1,0	6,5	11,5	13,0	12,0	8,5		
2000 - 2001	4,5	2,0	-6,0	0,0	-4,0	1,5	0,5	7,5	8,0	15,0	14,5	6,5		
2001 - 2002	3,5	-2,8	-12,5	-10,5	0,0	1,0	0,5	9,5	11,0	16,0	0,0	0,0		
2002 - 2003	1,5	2,5	-6,0	-4,0	-5,5	-3,5	-5,9	11,0	14,0	16,0	15,5	10,0		
2003 - 2004	5,0	1,0	-4,0	-9,0	-10,0	-4,0	5,0	5,5	9,0	12,0	13,0	7,5		
2004 - 2005	8,0	-4,5	-2,5	-5,5	-7,5	-5,5	1,0	7,5	9,0	16,0	14,5	8,5		
2005 - 2006	3,0	0,0	-5,5	-12,0	-11,0	-3,0	3,5	7,0	10,0	15,5	12,5	10,5		
2006 - 2007	4,0	-2,5	-5,5	-3,5	-3,0	1,5	4,0	11,0	13,5	14,5	11,5	6,5		

Εικόνα 1. TminALL.xls.



TmaxALL [Κατάσταση λειτουργίας συμβατότητας]

Κεντρική Εισαγωγή Διάταξη σελίδας Τύποι Δεδομένα Αναθεώρηση Προβολή

Αναδιπλωση κειμένου Συγχώνευση και στοίχιση στο κέντρο

Γενική Αριθμός

212

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	Year	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	
2	1975 - 1976	27,5	20,5	13,5	19,0	18,5	20,3	23,7	28,8	32,0	33,0	278,0	29,0	
3	1976 - 1977	28,0	21,0	17,0	16,4	22,5	26,5	26,0	32,7	34,0	38,5	34,5	31,0	
4	1977 - 1978	24,5	22,0	16,5	15,0	19,5	24,5	185,0	28,0	35,5	39,0	34,5	28,2	
5	1978 - 1979	28,5	17,5	20,0	19,5	21,0	22,0	25,0	30,4	33,5	35,0	34,5	31,0	
6	1979 - 1980	27,0	20,0	20,5	12,0	16,0	20,0	23,5	26,0	34,0	34,0	35,3	32,5	
7	1980 - 1981	25,0	22,0	18,0	12,0	17,0	26,5	25,0	29,0	36,0	32,5	37,0	33,5	
8	1981 - 1982	29,5	26,0	21,0	15,0	15,5	18,5	23,0	30,5	39,5	32,5	33,0	33,0	
9	1982 - 1983	26,0	21,0	14,0	16,2	16,5	22,7	28,0	30,5	31,0	38,0	33,0	32,5	
10	1983 - 1984	28,5	18,0	18,2	13,7	14,0	19,0	21,5	29,5	33,5	34,0	33,0	32,5	
11	1984 - 1985	31,5	22,2	13,5	14,0	18,5	18,0	34,5	32,2	32,5	36,5	36,5	32,5	
12	1985 - 1986	28,0	19,0	22,0	16,5	17,5	23,0	26,0	31,0	32,5	32,5	35,0	33,0	
13	1986 - 1987	30,0	17,5	16,0	21,0	18,5	18,5	26,5	29,7	36,8	38,0	32,5	37,4	
14	1987 - 1988	24,0	20,5	18,7	15,5	16,0	20,0	25,5	30,0	33,0	40,0	36,0	34,5	
15	1988 - 1989	27,0	16,0	17,5	17,5	20,0	26,0	27,0	29,5	32,5	33,5	33,5	31,5	
16	1989 - 1990	24,0	25,5	15,0	19,0	21,5	27,5	23,5	32,5	34,3	34,5	34,0	33,0	
17	1990 - 1991	30,0	26,0	16,0	15,5	15,2	21,5	22,0	27,0	35,5	34,2	34,5	32,0	
18	1991 - 1992	32,5	18,0	14,0	20,0	20,0	21,5	27,2	29,0	34,5	33,8	35,5	32,5	
19	1992 - 1993	27,0	24,5	17,7	18,5	23,0	26,5	25,5	32,0	36,0	36,5	39,5	34,5	
20	1993 - 1994	32,0	23,5	21,0	17,0	18,6	23,0	26,2	33,8	35,0	35,4	40,5	34,4	
21	1994 - 1995	30,0	23,6	21,4	21,5	21,3	23,0	27,5	30,7	33,0	34,5	32,5	30,0	
22	1995 - 1996	30,5	22,0	21,0	14,5	14,5	15,5	25,0	33,0	33,5	35,5	34,5	30,5	
23	1996 - 1997	26,0	23,0	20,5	18,0	23,0	23,0	22,5	33,5	35,0	39,5	33,5	32,5	
24	1997 - 1998	29,0	22,0	17,5	18,5	24,0	19,5	29,5	28,5	35,0	37,5	38,5	29,5	
25	1998 - 1999	28,5	24,5	17,5	15,5	18,5	22,5	27,8	31,0	34,0	34,0	38,0	33,0	
26	1999 - 2000	29,5	26,5	19,5	16,5	20,5	21,5	28,5	31,5	36,5	40,0	38,0	33,5	
27	2000 - 2001	26,5	22,5	20,5	16,0	20,5	26,5	27,5	33,5	36,0	35,5	37,0	36,0	
28	2001 - 2002	31,5	22,5	10,5	23,0	22,5	26,5	25,5	30,5	36,5	38,0	0,0	0,0	
29	2002 - 2003	24,5	22,0	16,0	20,0	15,5	21,0	29,0	32,5	36,0	36,0	38,5	33,0	
30	2003 - 2004	27,5	24,5	16,0	14,5	26,0	24,0	25,0	31,0	33,0	37,5	35,0	32,5	
31	2004 - 2005	27,5	26,0	17,5	17,5	17,5	27,5	28,5	32,5	34,5	37,0	38,0	33,5	
32	2005 - 2006	28,5	0,0	17,5	13,5	22,5	24,5	25,5	35,5	39,5	37,0	37,0	37,5	
33	2006 - 2007	27,5	21,5	16,5	22,0	19,0	23,5	28,5	34,5	42,0	43,5	39,5	33,0	
34	2007 - 2008	29,5	21,5	15,5	16,0	21,5	25,0	28,5	35,5	36,5	34,5	37,5	34,0	
35	2008 - 2009	24,5	24,5	17,5	15,5	17,5	20,5	24,5	32,5	33,5	36,5	34,5	30,0	
36	2009 - 2010	27,5	22,5	16,5	19,5	18,5	21,5	25,5	30,5	37,5	37,5	37,5	31,5	

Εικόνα 2. TmaxALL.xls.

PrecALL [Κατάσταση λειτουργίας συμβατότητας] - Microsoft Excel

Κεντρική Εισαγωγή Διάταξη σελίδας Τύποι Δεδομένα Αναθεώρηση Προβολή

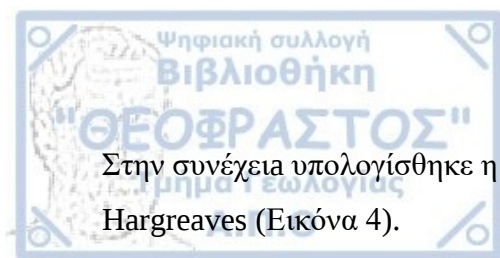
Αναδιπλωση κειμένου Συγχώνευση και στοίχιση στο κέντρο

Γενική Αριθμός

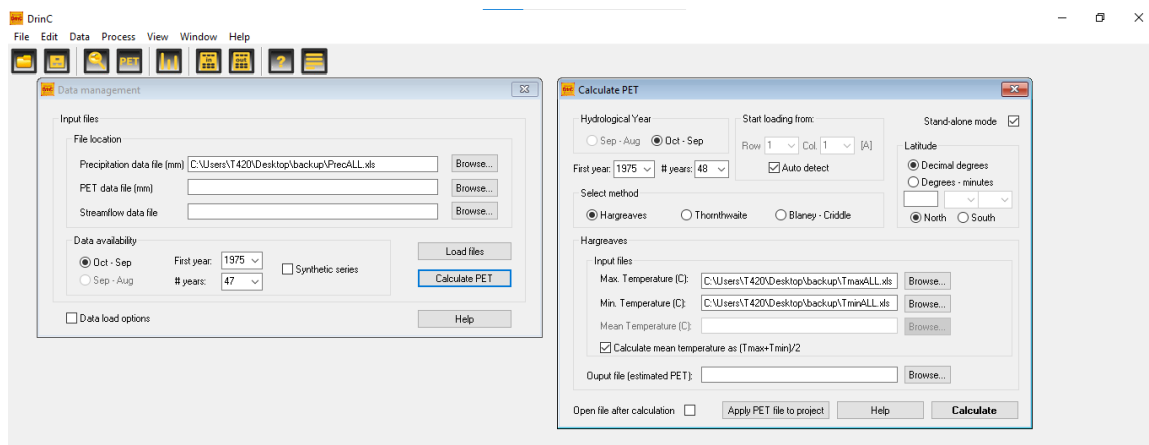
W13

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	Year	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	
2	1975 - 1976	39,0	62,0	32,5	20,5	154,0	65,5	49,0	193,0	70,5	83,0	55,0	6,5	
3	1976 - 1977	143,0	89,5	13,5	12,5	29,0	33,0	26,0	65,0	73,5	34,0	8,0	53,0	
4	1977 - 1978	16,0	39,0	46,5	63,5	58,5	27,0	180,0	61,5	6,0	2,0	13,5	101,0	
5	1978 - 1979	182,5	10,0	104,0	51,5	0,0	25,5	83,0	71,0	7,7	54,5	48,5	34,0	
6	1979 - 1980	137,0	342,5	151,0	76,0	18,5	94,5	61,0	144,5	21,5	52,5	7,0	30,0	
7	1980 - 1981	129,5	43,0	74,5	98,0	70,5	44,0	43,0	27,0	23,0	16,0	40,5	17,0	
8	1981 - 1982	81,5	61,0	71,5	6,5	59,5	88,5	147,0	86,5	12,0	25,0	98,5	62,0	
9	1982 - 1983	180,0	123,5	75,5	9,5	10,5	0,0	41,5	55,5	127,0	56,5	37,5	24,5	
10	1983 - 1984	18,0	50,5	220,0	48,5	81,5	73,5	164,0	14,5	11,0	12,5	38,5	26,0	
11	1984 - 1985	9,0	62,0	52,0	65,5	16,5	90,5	31,0	100,0	22,0	0,0	7,0	3,5	
12	1985 - 1986	59,5	243,5	32,5	36,0	161,0	84,5	9,0	127,5	69,5	8,0	14,0	18,0	
13	1986 - 1987	68,5	91,0	35,0	0,0	149,5	174,5	81,5	40,0	7,0	14,0	9,0	26,5	
14	1987 - 1988	68,0	87,0	27,0	39,0	27,0	54,0	29,0	29,0	41,0	7,0	0,0	22,0	
15	1988 - 1989	48,5	113,0	87,0	3,0	7,5	47,0	26,5	60,5	31,0	45,5	8,5	61,5	
16	1989 - 1990	61,0	22,5	44,0	0,0	13,5	14,0	43,0	54,5	11,0	7,0	80,0	20,0	
17	1990 - 1991	32,0	71,0	138,0	71,5	58,5	76,5	131,0	67,5	30,0	88,5	77,5	46,5	
18	1991 - 1992	28,5	53,0	5,5	32,5	3,0	10,0	198,5	53,5	88,5	59,5	0,0	2,5	
19	1992 - 1993	100,5	34,0	58,0	0,0	32,0	49,0	14,0	71,0	15,5	13,5	2,5	0,0	
20	1993 - 1994	55,5	158,5	20,5	169,0	179,5	18,5	70,0	60,0	1,5	22,5	21,5	1,5	
21	1994 - 1995	74,0	43,5	66,5	92,5	17,0	75,5	28,0	70,0	73,0	104,0	50,5	7,0	
22	1995 - 1996	11,0	26,0	277,0	110,7	99,0	109,5	35,5	40,0	10,0	30,0	55,5	58,5	
23	1996 - 1997	73,0	26,5	61,0	76,5	57,5	27,0	33,0	16,5	71,0	36,0	42,5	11,0	
24	1997 - 1998	102,5	101,5	98,0	40,0	72,5	9,0	8,5	0,0	17,5	7,5	28,0	41,3	
25	1998 - 1999	24,0	268,0	73,0	74,0	44,0	98,5	9,5	39,5	60,0	22,5	46,5	37,0	
26	1999 - 2000	53,0	240,5	79,0	25,0	58,0	35,5	36,5	62,0	6,0	1,0	53,0	17,0	
27	2000 - 2001	181,0	32,5	33,0	75,5	26,0	23,5	150,5	67,0	34,0	119,0	11,5	8,0	
28	2001 - 2002	19,0	8,0	9,0	18,0	29,5	108,5	117,0	47,0	9,0	83,0	0,0	0,0	
29	2002 - 2003	56,5	38,0	417,5	134,0	22,5	17,0	22,5	96,0	51,0	10,0	49,0	49,5	
30	2003 - 2004	132,5	35,0	104,5	97,0	39,0	69,0	87,0	100,5	75,5	13,0	43,0	43,0	

Εικόνα 3. PrecALL.xls.



Στην συνέχεια υπολογίσθηκε η δυνητική εξατμισοδιαπνοή (P.E.T.) με την μέθοδο Hargreaves (Εικόνα 4).



Εικόνα 4. Παράθυρο δημιουργίας αρχείου pet.xls.

Όλα τα αποτελέσματα παρέχονται από το DrinC σε μορφή .xls (Στην Εικόνα 5. παρουσιάζεται η δυνητική εξατμισοδιαπνοή (pet.xls)).

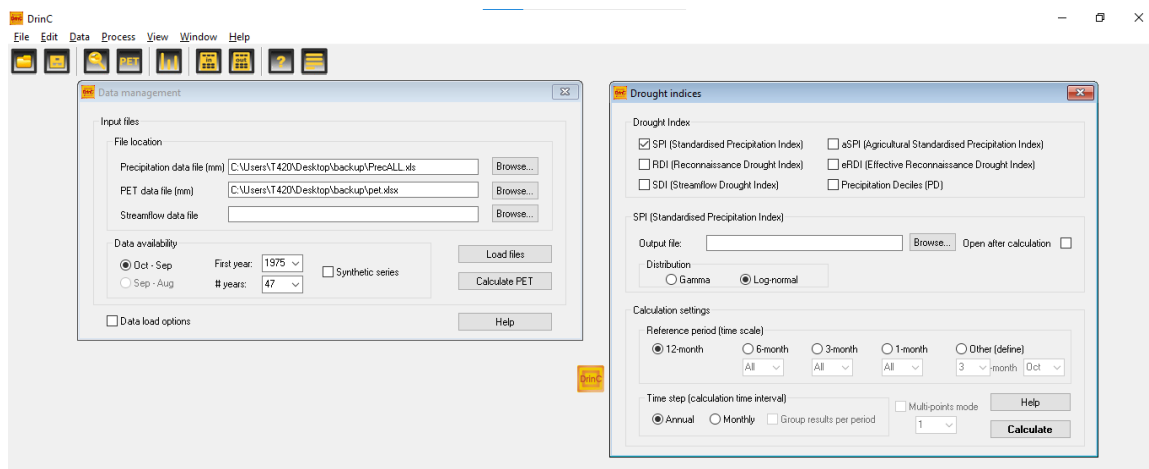
Year	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Annual
1975 - 1976	104,4	57,8	37,0	52,5	61,8	100,6	138,4	192,3	210,1	216,4	2800,5	137,5	4109,3
1976 - 1977	106,7	59,0	43,3	47,2	73,0	127,0	151,4	218,4	230,0	254,8	209,0	152,7	1672,7
1977 - 1978	93,5	59,9	42,5	44,2	64,3	118,3	1462,2	192,5	239,5	267,2	205,3	137,4	2926,9
1978 - 1979	109,3	51,0	49,0	52,5	69,1	107,2	145,7	204,4	219,6	233,3	207,2	151,3	1599,7
1979 - 1980	102,3	55,1	49,9	38,4	56,1	100,1	138,4	173,4	230,0	224,6	208,2	155,3	1531,8
1980 - 1981	92,2	61,1	45,3	38,4	58,7	126,5	145,9	195,3	238,3	211,3	226,2	161,8	1601,0
1981 - 1982	110,9	70,8	51,0	44,4	55,0	93,6	134,4	207,6	270,8	208,3	192,4	150,6	1589,7
1982 - 1983	96,1	58,9	37,2	46,8	57,2	111,0	163,1	207,1	205,0	253,2	189,8	156,5	1581,8
1983 - 1984	108,5	51,9	45,5	41,1	49,7	93,4	125,6	195,5	224,6	228,1	191,1	157,0	1511,8
1984 - 1985	119,6	60,7	36,9	42,3	61,8	90,0	198,9	220,6	216,5	242,2	221,7	155,9	1667,2
1985 - 1986	106,9	53,6	53,1	47,4	59,7	111,2	152,6	206,3	210,4	208,3	207,8	157,4	1574,8
1986 - 1987	113,4	50,7	41,1	55,8	62,2	93,6	153,2	199,9	250,6	252,0	190,0	174,9	1637,3
1987 - 1988	90,9	57,0	46,5	44,6	56,2	100,1	149,5	202,3	216,9	266,0	213,9	163,4	1607,3
1988 - 1989	104,2	47,8	43,9	49,5	66,5	123,3	152,8	200,7	220,1	216,5	203,8	147,8	1576,8
1989 - 1990	90,9	69,2	39,7	52,4	70,3	131,4	132,3	221,8	234,7	223,2	195,8	158,9	1620,7
1990 - 1991	114,3	70,7	41,0	45,3	53,3	105,9	126,4	185,9	240,5	226,2	203,1	149,2	1561,8
1991 - 1992	123,6	51,7	37,8	54,9	66,3	105,8	158,4	194,5	226,3	220,4	202,7	156,5	1598,8
1992 - 1993	98,9	67,0	44,7	50,9	74,2	126,9	149,5	215,1	243,5	244,3	241,1	167,3	1723,4
1993 - 1994	120,5	64,7	50,8	48,3	62,4	111,7	151,7	227,4	235,8	229,2	243,5	161,3	1707,3
1994 - 1995	111,7	65,0	51,9	57,2	69,6	111,8	161,1	208,5	215,7	218,5	195,3	146,5	1612,7
1995 - 1996	116,5	60,8	51,1	43,2	52,5	82,5	148,0	222,3	223,2	238,7	199,2	145,4	1583,4
1996 - 1997	100,0	63,7	50,1	50,5	73,7	112,3	135,3	224,5	242,8	264,3	200,3	155,9	1673,4

Εικόνα 5. pet.xls.

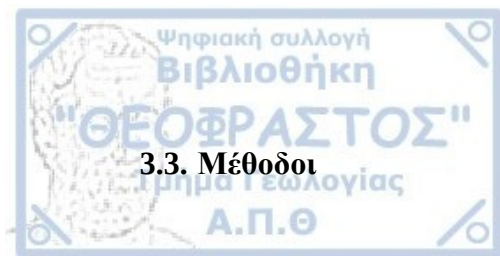
3.2. Αποτελέσματα εξόδου (Output).

Οι παρακάτω δείκτες ξηρασίας (μέσα σε παρένθεση αναφέρονται τα απαιτούμενα δεδομένα για κάθε δείκτη) υπολογίστηκαν από το λογισμικό DrinC (σε excel αρχεία) για τον σταθμό της Νάουσας και του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης (Α.Π.Θ.) σε μηνιαία βάση (Εικόνα 6.).

- R.D.I. (Βροχόπτωση και P.E.T.).
- e.R.D.I. (Βροχόπτωση και P.E.T.).
- S.P.I. (Βροχόπτωση).
- a.S.P.I. (Βροχόπτωση).
- P.D. (Βροχόπτωση).



Εικόνα 6. Παράθυρο δημιουργίας S.P.I.



Το υδρολογικό έτος της εργασίας αντιπροσωπεύει την περίοδο Οκτωβρίου – Σεπτεμβρίου (του επόμενου έτους). Στην παρουσίαση των δεικτών ξηρασίας χρησιμοποιείται η γραμμική εξίσωση τάσης: $y=ax+b$

Όπου:

y: Οι τιμές της εξαρτημένης μεταβλητής, δηλαδή του εκάστοτε δείκτη.

x: Οι τιμές της ανεξάρτητης μεταβλητής, δηλαδή το εκάστοτε υδρολογικό έτος.

a: Η κλίση της ευθείας που αντιστοιχεί στον τρόπο με τον οποίο η τάση αλλάζει σε σχέση με την χρονική διάσταση.

b: Η σταθερά μεταβολής, η οποία αντιστοιχεί στην τιμή της τάσης, όταν η χρονική διάσταση είναι ίση με μηδέν.

3.4. Στόχοι της εργασίας

- **Ανάλυση Ξηρασίας:** Η ανάλυση των φαινομένων ξηρασίας χρησιμοποιώντας το λογισμικό DrinC (Drought Indices Calculator) για την εκτίμηση διαφόρων δεικτών ξηρασίας. Το λογισμικό αυτό αξιοποιεί δεδομένα βροχόπτωσης και θερμοκρασίας για τον υπολογισμό αυτών των δεικτών.
- **Εφαρμογή σε Πραγματικά Δεδομένα:** Η εφαρμογή των μεθόδων αυτών σε πραγματικά δεδομένα από τους μετεωρολογικούς σταθμούς της Νάουσας και του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης (Α.Π.Θ.) με στόχο την εξαγωγή συμπερασμάτων για τις υδρολογικές συνθήκες και τις περιόδους ξηρασίας στις δύο περιοχές.
- **Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων:** Η αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των διαφόρων δεικτών ξηρασίας που χρησιμοποιούνται από το λογισμικό DrinC και η σύγκριση των αποτελεσμάτων μεταξύ των δύο περιοχών μελέτης.
- **Στρατηγικές Διαχείρισης:** Η ανάπτυξη στρατηγικών για τη διαχείριση των υδάτινων πόρων και την αντιμετώπιση των επιπτώσεων της ξηρασίας, βασισμένων στα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα της ανάλυσης.

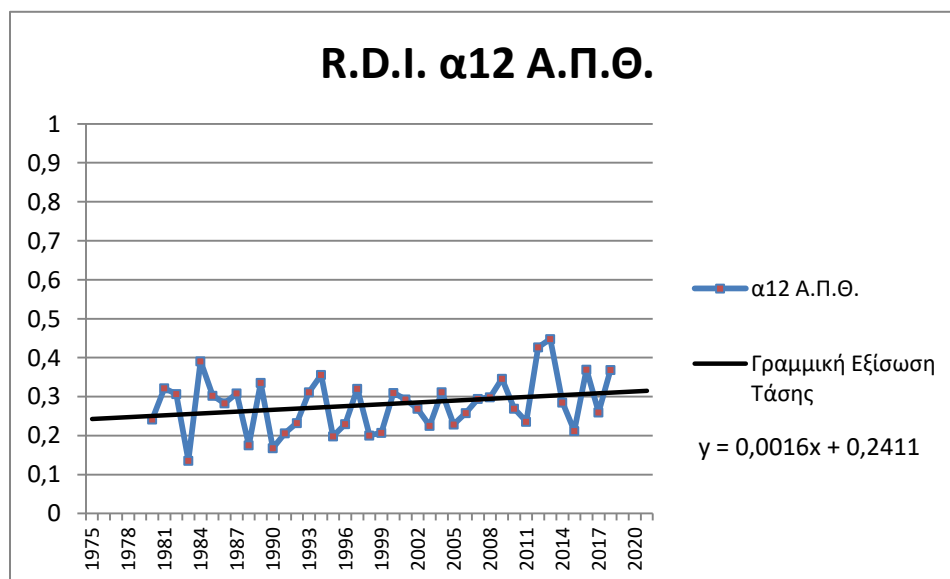
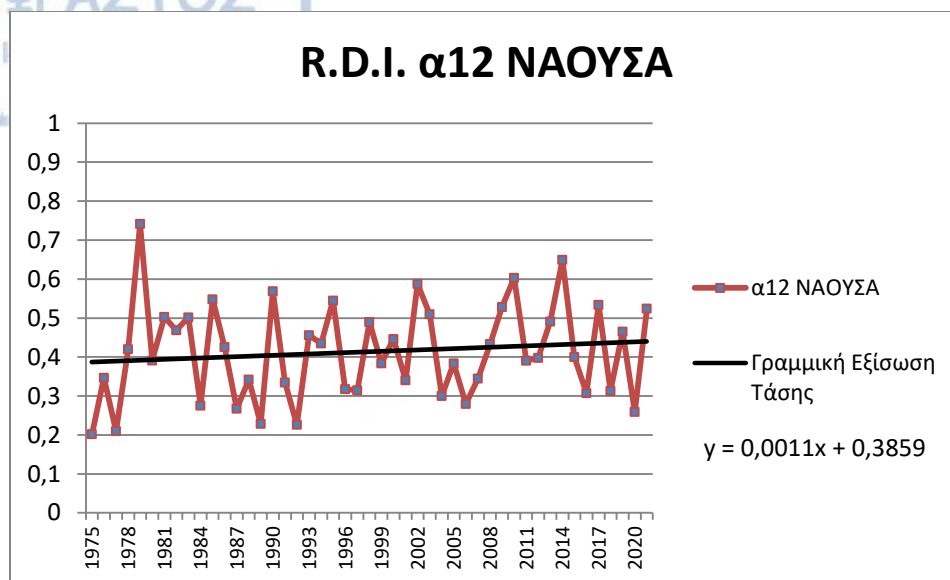
4. ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4.1 Δείκτες R.D.I. και e.R.D.I.

Η αρχική μορφή του δείκτη R.D.I. για περίοδο κ μηνών υπολογίζεται από τον τύπο του α_k για $k=12$ (α_{12}), ενώ η κανονικοποιημένη μορφή (standardised) (RDI_{st}) υπολογίζεται προσαρμόζοντας τη συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας γάμμα στη δεδομένη κατανομή συχνότητας του α_k , η οποία στη συνέχεια μετατρέπεται σε κανονική κατανομή. Στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 7) παραθέτονται τα αποτελέσματα από το λογισμικό DrinC.

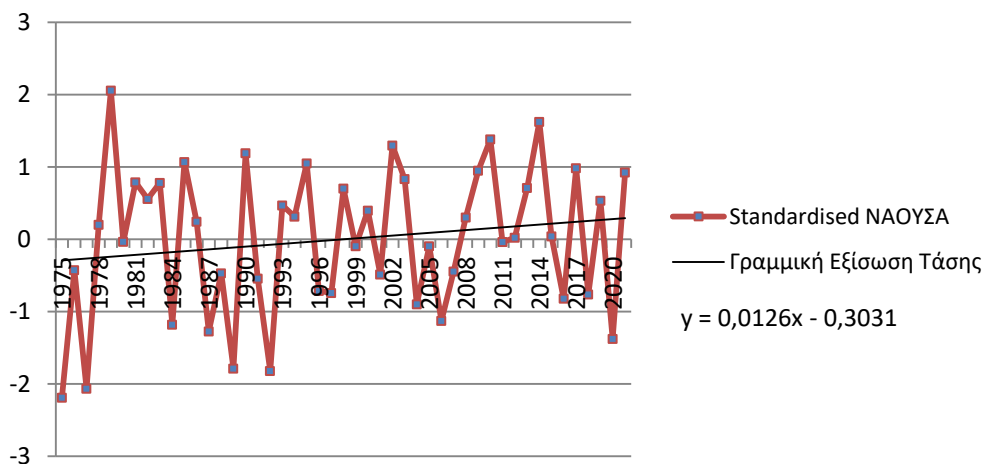
1	ΧΡΟΝΙΑ	α_{12} ΝΑΟΥΣΑ	Standardised ΝΑΟΥΣΑ	e.R.D.I. ΝΑΟΥΣΑ	α_{12} Α.Π.Θ.	Standardised Α.Π.Θ.	e.R.D.I. Α.Π.Θ.
2	1975	0,20	-2,19	-2,04			
3	1976	0,35	-0,43	-0,47			
4	1977	0,21	-2,06	-1,94			
5	1978	0,42	0,20	0,15			
6	1979	0,74	2,05	2,26			
7	1980	0,39	-0,03	-0,08	0,24	-0,49	-0,46
8	1981	0,50	0,79	0,78	0,32	0,64	0,42
9	1982	0,47	0,56	0,53	0,31	0,44	0,27
10	1983	0,50	0,78	0,77	0,14	-2,49	-2,23
11	1984	0,28	-1,18	-1,17	0,39	1,48	1,02
12	1985	0,55	1,07	1,09	0,30	0,39	0,23
13	1986	0,43	0,24	0,20	0,28	0,12	0,03
14	1987	0,27	-1,27	-1,26	0,31	0,47	0,29
15	1988	0,34	-0,47	-0,51	0,18	-1,64	-1,44
16	1989	0,23	-1,79	-1,70	0,34	0,82	0,55
17	1990	0,57	1,19	1,23	0,17	-1,79	-1,58
18	1991	0,33	-0,54	-0,58	0,21	-1,08	-0,95
19	1992	0,23	-1,82	-1,73	0,23	-0,64	-0,58
20	1993	0,46	0,47	0,43	0,31	0,51	0,32
21	1994	0,43	0,31	0,27	0,36	1,07	0,73
22	1995	0,54	1,05	1,07	0,20	-1,22	-1,07
23	1996	0,32	-0,71	-0,74	0,23	-0,68	-0,61
24	1997	0,31	-0,74	-0,77	0,32	0,62	0,41
25	1998	0,49	0,70	0,68	0,20	-1,18	-1,03
26	1999	0,38	-0,10	-0,15	0,21	-1,06	-0,93
27	2000	0,45	0,40	0,36	0,31	0,48	0,30
28	2001	0,34	-0,49	-0,53	0,29	0,26	0,13
29	2002	0,59	1,30	1,35	0,27	-0,08	-0,13
30	2003	0,51	0,83	0,83	0,23	-0,75	-0,67

Εικόνα 7. Τα αποτελέσματα από το λογισμικό DrinC στο Microsoft Excel.

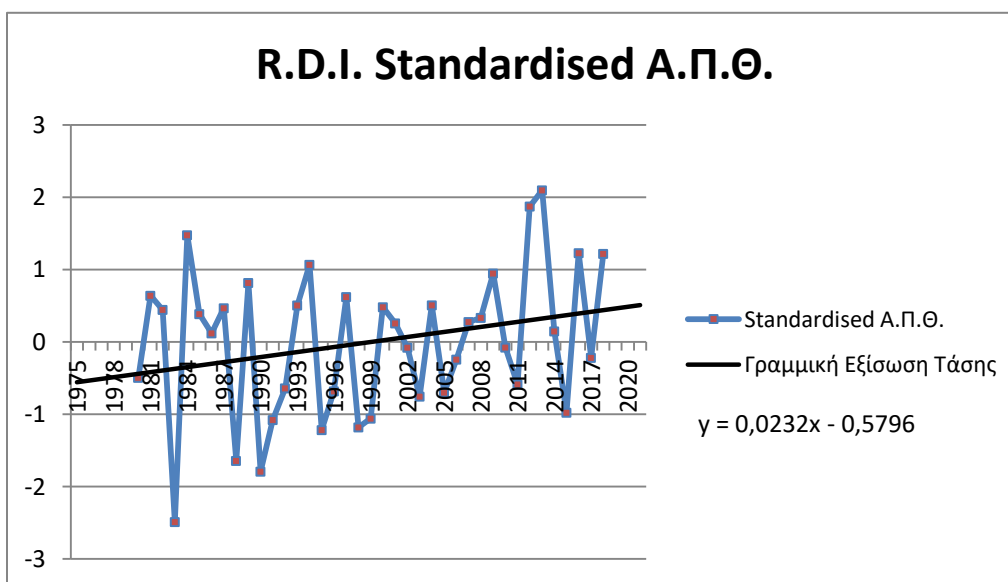


Εικόνα 8. Ο α_{12} R.D.I. για την Νάουσα και Θεσσαλονίκη.

R.D.I. Standardised NAOΥΣΑ



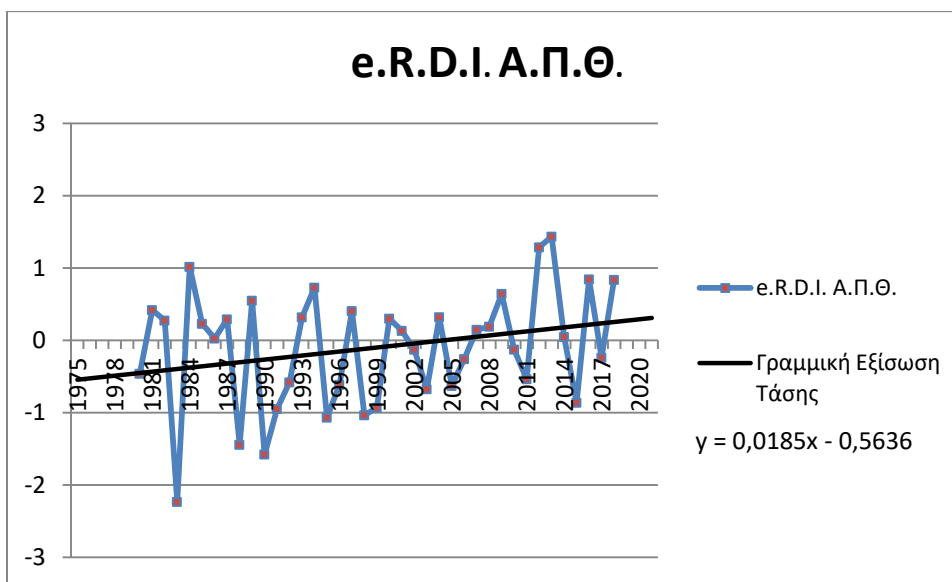
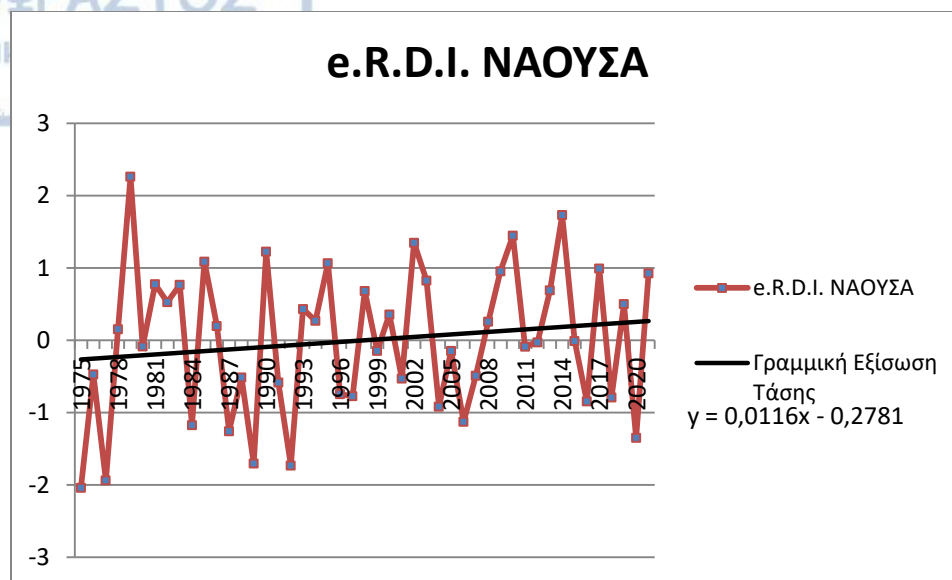
R.D.I. Standardised Α.Π.Θ.



Εικόνα 9. Ο κανονικοποιημένος (standardized) R.D.I. για την Νάουσα και Θεσσαλονίκη.



- Η Νάουσα (Εικόνες 8 και 9) παρουσίασε σημαντικές διακυμάνσεις στον R.D.I. με περιόδους έντονης ξηρασίας κατά την περίοδο μελέτης με αυξητική τάση του α_{12} και του $R.D.I_{st}$, όπως υποδηλώνεται από τους θετικούς συντελεστές του χ στις εξισώσεις γραμμικής παλινδρόμησης. Οι πιο έντονες ξηρασίες τα τελευταία χρόνια καταγράφηκαν το 2016, 2018 και 2020 όπου οι τιμές του δείκτη α_{12} υποχώρησαν στο 0.3 και του $R.D.I_{st}$ στο -1 και χαμηλότερα υποδηλώνοντας σοβαρή ξηρασία και έντονη επιβάρυνση των υδατικών πόρων τα συγκεκριμένα έτη. Αυτά τα έτη ήταν κρίσιμα για την περιοχή, καθώς οι γεωργικές και υδρολογικές συνθήκες επιδεινώθηκαν σημαντικά.
- Στο Α.Π.Θ. παρατηρείται μια πιο έντονη αυξητική τάση με λιγότερες και ηπιότερες ξηρασίες (Εικόνες 8 και 9). Ο δείκτης α_{12} σπάνια πλησίασε το 0.2 και ο $R.D.I_{st}$ το -1, το 2015 (το έτος με την πιο έντονη ξηρασία τα τελευταία χρόνια) αμφότεροι, δείχνοντας ότι η περιοχή είναι λιγότερο επιρρεπής σε σοβαρές ξηρασίες, σε σύγκριση με τη Νάουσα.

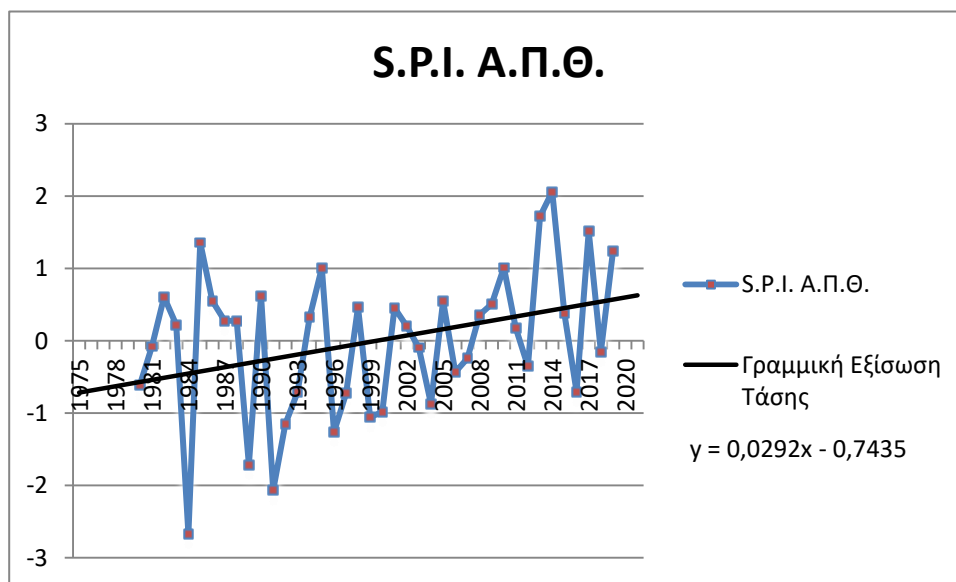
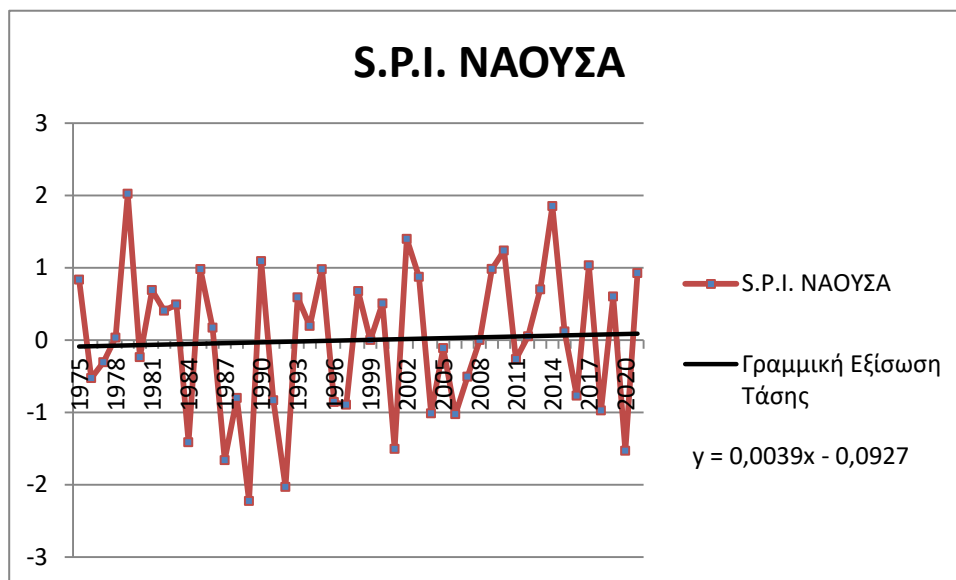


Εικόνα 10. Ο e.R.D.I. για την Νάουσα και Θεσσαλονίκη.



- Η εικόνα 10 (ο e.R.D.I. στη Νάουσα) επιβεβαιώνει τις τάσεις που παρατηρήθηκαν με τον R.D.I. Οι περίοδοι ξηρασίας είναι συχνές και έντονες, επιδεινώνοντας τις συνθήκες στη Νάουσα. Η γραμμική εξίσωση παλινδρόμησης επιδεικνύει μια αδύναμη θετική τάση, υποδεικνύοντας μείωση της ξηρασίας. Η πιο πρόσφατη αρνητική τιμή σημειώθηκε το υδρολογικό έτος 2020 με τον δείκτη να αγγίζει το -1.5.
- Στην Θεσσαλονίκη (Εικόνα 10) οι τιμές του e.R.D.I. για το Α.Π.Θ. δείχνουν μια πιο ήπια εικόνα, με τις διακυμάνσεις να είναι μικρότερες και οι ακραίες τιμές να εμφανίζονται σπανιότερα με μικρότερο εύρος. Ο υψηλότερος θετικός συντελεστής της εξίσωσης γραμμικής παλινδρόμησης δείχνει μείωση της ξηρασίας με ταχύτερους ρυθμούς από την Νάουσα.

4.2 Δείκτης S.P.I.

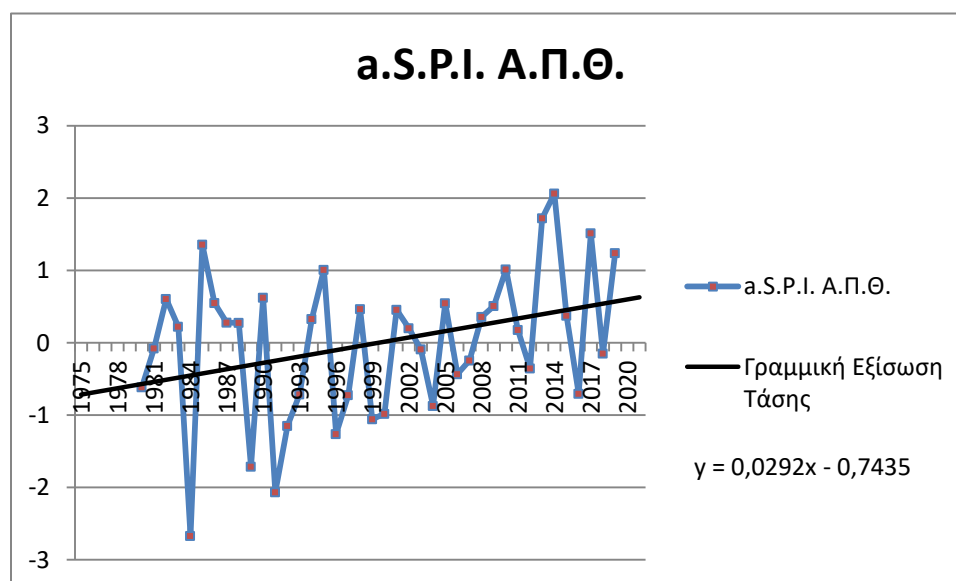
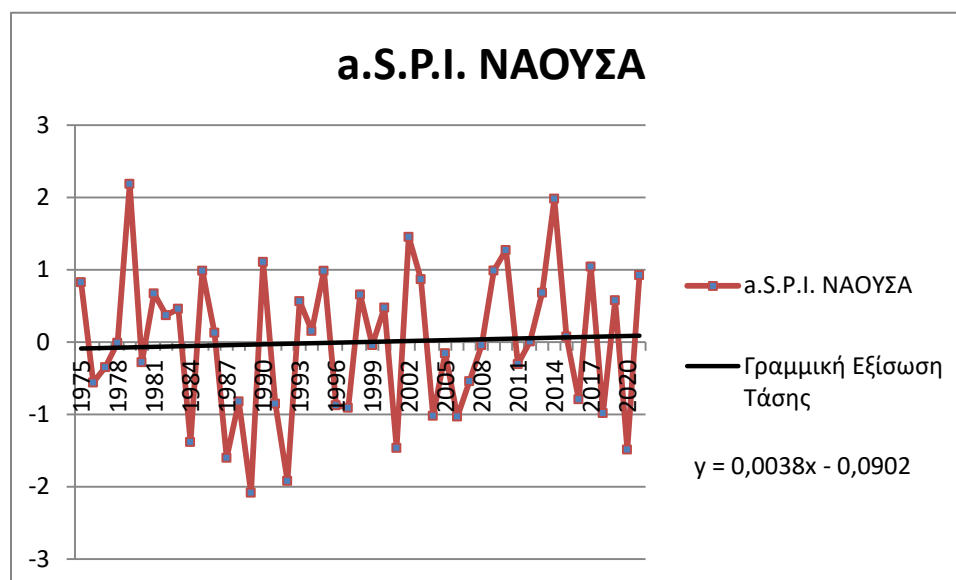


Εικόνα 11. Ο S.P.I. για την Νάουσα και Θεσσαλονίκη.



- Στην Νάουσα ο S.P.I. (Εικόνα 11) παρουσιάζει ασήμαντη – πολύ αδύναμη τάση προς την μείωση της ξηρασίας (η κλίση της εξίσωσης γραμμικής παλινδρόμησης είναι θετική). Ο δείκτης το 2020 ξεπέρασε το -1.5 (πολύ έντονη ξηρασία), δείχνοντας έλλειψη βροχής που επηρέασε αρνητικά την υδρολογία της περιοχής.
- Οι τιμές του S.P.I. στο Α.Π.Θ. (Εικόνα 11) είναι γενικά υψηλότερες και λιγότερο μεταβλητές υποδηλώνοντας λιγότερες περιόδους ξηρασίας και λιγότερο έντονες ελλείψεις βροχοπτώσεων. Ο υψηλότερος συντελεστής του χ (στην εξίσωση γραμμικής παλινδρόμησης) στο Α.Π.Θ. δείχνει ταχύτερη μετάβαση σε λιγότερο ξηρές συνθήκες.

4.3 Δείκτης a.S.P.I.

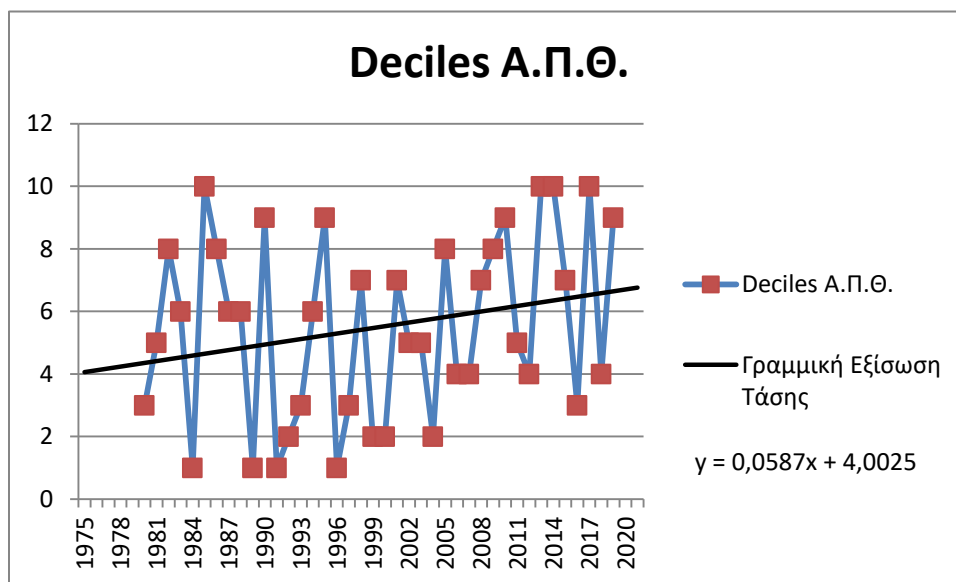
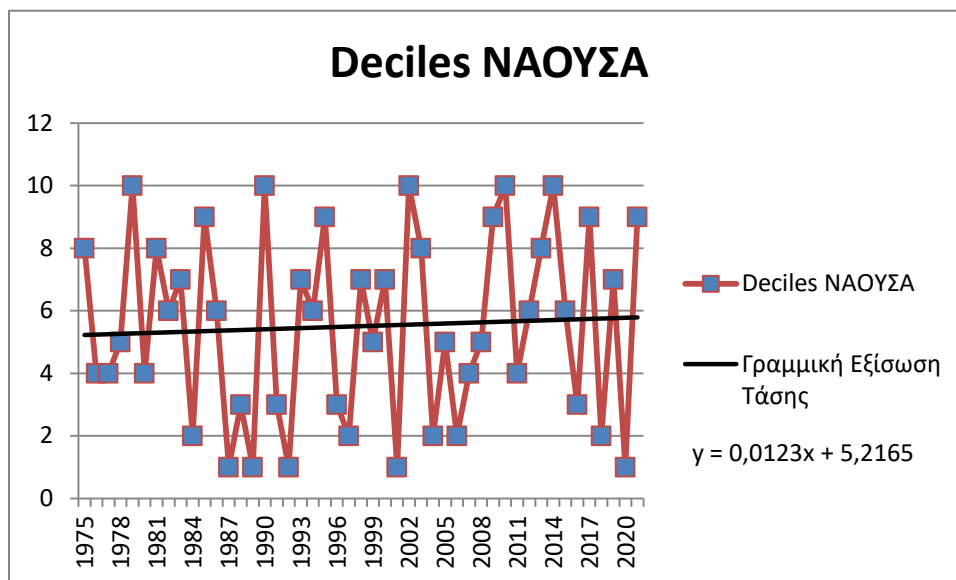


Εικόνα 12. Ο a.S.P.I. για την Νάουσα και Θεσσαλονίκη.

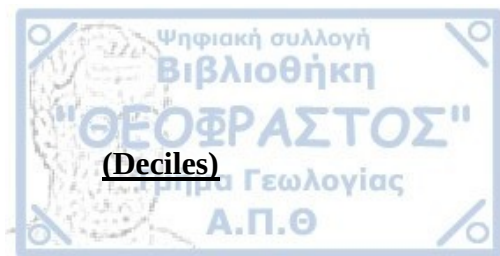


- Η κλίση της γραμμικής παλινδρόμησης (0.0038) δείχνει απουσία ανοδικής ή καθοδικής τάσης του δείκτη a.S.P.I. στην Νάουσα (Εικόνα 12). Τα πιο ξηρά έτη είναι τα 2018 και 2020, με αρνητικές τιμές που φτάνουν έως το -1.5 (μέτρια ξηρασία).
- Ο υψηλότερος θετικός συντελεστής της γραμμικής παλινδρόμησης (0.0292) του Α.Π.Θ. (Εικόνα 12) δείχνει γρηγορότερη μετάβαση σε λιγότερο ξηρές συνθήκες. Το πιο ξηρό έτος, σύμφωνα με τον a.S.P.I., ήταν το 1984.

4.4 Δείκτης P.D.

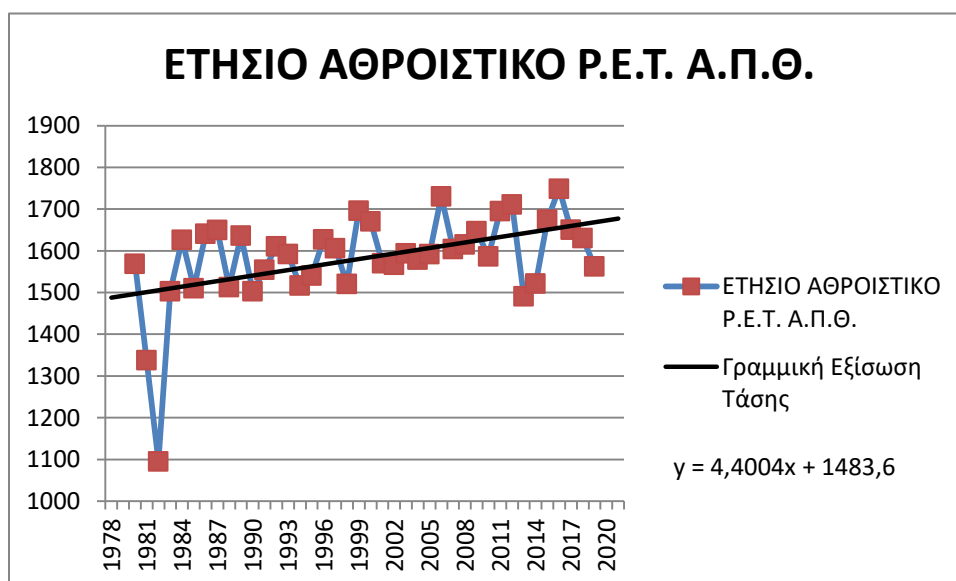
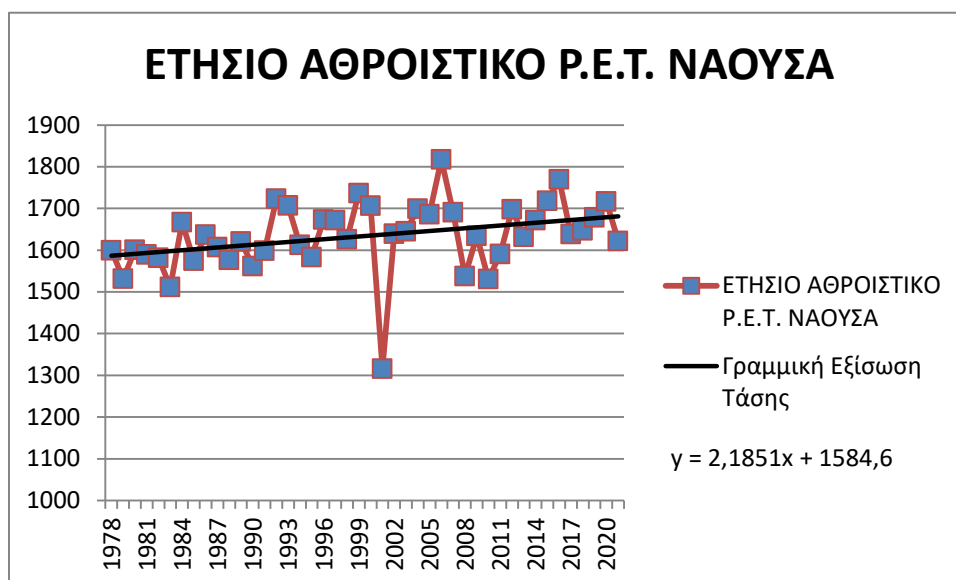


Εικόνα 13. Οι Deciles για την Νάουσα και Θεσσαλονίκη.



- Το γεγονός ότι το έτος 2021, στην Νάουσα (Εικόνα 13), κατατάσσεται στο 9^ο δεκατημόριο και το 2020 στο 2^ο δείχνει ότι η περιοχή βίωσε πολύ υγρές συνθήκες το 2021 και σοβαρή ξηρασία το 2020. Οι υψηλές βροχοπτώσεις του 2021 θα μπορούσαν να συμβάλουν στην ανάκαμψη των υδάτινων αποθεμάτων και στην ενίσχυση της γεωργικής παραγωγής. Ενώ το 2020 χαρακτηρίζεται από έλλειψη βροχοπτώσεων και έντονη ξηρασία, με σοβαρές επιπτώσεις για τους υδατικούς πόρους και τη γεωργία. Κατά τη διάρκεια τέτοιων συνθηκών, οι καλλιέργειες μπορεί να υποφέρουν, οι αποδόσεις να μειωθούν και να υπάρχει αυξημένη ανάγκη για άρδευση.
- Όσον αφορά την Θεσσαλονίκη (Εικόνα 13) η μεγαλύτερη κλίση της εξίσωσης γραμμικής παλινδρόμησης (0.058 vs 0.012) σημαίνει ότι υπάρχει σημαντική αύξηση των “βροχερών” ετών (2013, 2014, 2017, 2019). Οι διακυμάνσεις είναι λιγότερο έντονες και οι περίοδοι ξηρασίας είναι λιγότερο σοβαρές σε σύγκριση με τη Νάουσα.

4.5 Δείκτης Ρ.Ε.Τ.



Εικόνα 14. Το ετήσιο Ρ.Ε.Τ. για την Νάουσα και Θεσσαλονίκη.



- Στη Νάουσα (Εικόνα 14), τα δεδομένα δείχνουν υψηλές τιμές αυξητικής τάσης P.E.T., ιδιαίτερα το υδρολογικό έτος 2016, όπου η τιμή ξεπέρασε τα 1770 mm, υποδεικνύοντας αυξημένες ανάγκες για άρδευση λόγω της υψηλής εξατμισοδιαπνοής.
- Στο Α.Π.Θ. (Εικόνα 14), οι τιμές της PET είναι ελαφρώς χαμηλότερες, αλλά παρουσιάζουν υπερδιπλάσια αυξητική τάση με μέγιστες τιμές που συχνά ξεπερνούν τα 1600 mm. Αυτή η αυξητική τάση υποδηλώνει ότι, αν και η περιοχή έχει καλύτερες υδρολογικές συνθήκες σε σύγκριση με τη Νάουσα, οι ανάγκες για άρδευση αυξάνονται με την πάροδο του χρόνου, καθιστώντας απαραίτητη την υιοθέτηση βιώσιμων πρακτικών διαχείρισης των υδάτων.

5. ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΤΟ. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκαν και συγκρίθηκαν, με την βοήθεια του λογισμικού DrinC (Drought Indices Calculator) μέσω δεδομένων βροχόπτωσης και θερμοκρασίας των μετεωρολογικών σταθμών της Νάουσας για την περίοδο 1975-2021 και του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης (Α.Π.Θ.) για την περίοδο 1980-2018, ως προς τις συνθήκες ξηρασίας.

Στόχος της παρούσας μελέτης είναι η αξιολόγηση και οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από το DrinC. Η ανάλυση των δεικτών ξηρασίας αποκαλύπτει ότι η Νάουσα είναι πιο ευάλωτη και επιρρεπής στις ξηρασίες σε σύγκριση με το Α.Π.Θ. το οποίο παρουσιάζει καλύτερες και σταθερότερες υδρολογικές συνθήκες με λιγότερες και ηπιότερες ξηρασίες. Οι δείκτες R.D.I. και e.R.D.I. δείχνουν μεγαλύτερες διακυμάνσεις και πιο έντονες και συχνές ξηρασίες στη Νάουσα απ' ό τι στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, ενώ οι δείκτες S.P.I. και a.S.P.I. υποδηλώνουν συχνές ελλείψεις βροχοπτώσεων με σημαντικές επιπτώσεις στη γεωργία για την Νάουσα.

Η κλιματική ευαισθησία και οι μεταβολές παίζουν καθοριστικό ρόλο στην ανθεκτικότητα των γεωργικών καλλιεργειών και στην υδρολογική σταθερότητα μιας περιοχής. Οι διακυμάνσεις των κλιματικών παραμέτρων, όπως η βροχόπτωση και η θερμοκρασία, επιδρούν άμεσα στην υδρολογική ισορροπία και την ευρωστία των γεωργικών εκμεταλλεύσεων. Η Νάουσα, με την έντονη μεταβλητότητα στις υδρολογικές της συνθήκες, παρουσιάζει σημαντικές προκλήσεις στη διαχείριση των υδάτινων πόρων και στη γεωργική παραγωγή. Συγκεκριμένα, οι συχνές και έντονες περίοδοι ξηρασίας απαιτούν αυξημένη προσοχή στη διαχείριση των υδάτων για την άρδευση και την υποστήριξη των καλλιεργειών. Αντίθετα, η Θεσσαλονίκη, με σταθερότερες υδρολογικές συνθήκες, παρουσιάζει μεγαλύτερη ανθεκτικότητα στις κλιματικές μεταβολές, κάτι που αποτυπώνεται στη σταθερότερη γεωργική παραγωγή και στη μειωμένη ανάγκη για διαρκείς προσαρμογές στις καλλιεργητικές πρακτικές.

Η ανάλυση αυτή υπογραμμίζει τη σημασία της κατανόησης και παρακολούθησης των κλιματικών και υδρολογικών δεικτών για την ανάπτυξη στρατηγικών που ενισχύουν την ανθεκτικότητα των γεωργικών περιοχών απέναντι στις κλιματικές προκλήσεις.

Προτάσεις για την αποτελεσματική διαχείριση των υδάτινων πόρων στις δύο περιοχές.

Για τη Νάουσα:

- Ενίσχυση των αρδευτικών συστημάτων και υιοθέτηση νέων τεχνολογιών για την εξοικονόμηση νερού και την αντιμετώπιση της αυξημένης P.E.T..
- Ανάπτυξη στρατηγικών διαχείρισης ξηρασίας για την προστασία και την μείωση των επιπτώσεων στις καλλιέργειες.
- Τακτική παρακολούθηση των δεικτών ξηρασίας και των γενικότερα υδρολογικών συνθηκών για προσαρμογή των πολιτικών διαχείρισης.

Για το Α.Π.Θ.:

- Συνέχιση της παρακολούθησης των δεικτών ξηρασίας για την έγκαιρη ανίχνευση περιόδων ξηρασίας. Η έμφαση πρέπει να δοθεί στην πρόληψη και την ετοιμότητα για τις μελλοντικές κλιματικές μεταβολές.
- Εφαρμογή μέτρων εξοικονόμησης νερού και βελτίωση των υφιστάμενων αρδευτικών συστημάτων για την αντιμετώπιση μελλοντικών προκλήσεων.
- Εξερεύνηση νέων μεθόδων για την αειφόρο διαχείριση και βελτίωση των υδάτινων πόρων, λαμβάνοντας όμως υπόψη τις κλιματικές αλλαγές.

Η ανάλυση αυτή υπογραμμίζει την ανάγκη για διαφοροποιημένες στρατηγικές διαχείρισης των υδάτινων πόρων στις δύο περιοχές, λαμβάνοντας υπόψη τις ειδικές υδρολογικές συνθήκες, τις διαφορές στην ένταση και τη συχνότητα των ξηρασιών καθώς και τις ανάγκες τους.



6. ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Χρονοπούλου – Σερέλη Αικατερίνη, Φλόκας Απόστολος, 2010, Μαθήματα Γεωργικής Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.

Asadi Zarch, M.A., Malekinezhad, H., Mobin, M.H., Dastorani, M.T., Kousari, M.R., 2011. Drought monitoring by Reconnaissance Drought Index (RDI) in Iran. *Water Resources Management* 25 (13), 3485e3504.

Blaney, H. F., & Criddle, W. D., 1950. "Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigation data." *USDA Soil Conservation Service Technical Paper*, 96.

Dai, A., 2011. "Drought under global warming: a review." *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 2(1), 45-65.

Dimitris Tigkas, Harris Vangelis, George Tsakiris, 2017. Drought characterisation based on an agriculture-oriented standardised precipitation index.

<https://link.springer.com/article/10.1007/s00704-018-2451-3>

Dimitris Tigkas Nikolaos Proutsos, 2020. Growth Response of Endemic Black Pine Trees to Meteorological Variations and Drought Episodes in a Mediterranean Region.

Elagib, N.A., Elhag, M.M., 2011. Major climate indicators of ongoing drought in Sudan. *Journal of Hydrology* 409 (3e4), 612e625.

Farajalla, N., Ziade, R., 2010. Drought frequency under a changing climate in the Eastern Mediterranean: the Beka'a Valley, Lebanon. *Geophysical Research Abstracts* 12. EGU2010e11653.



Furat A. M. Al-Faraj, Dimitris Tigkas, 2016. Impacts of Multi-year Droughts and Upstream Human-Induced Activities on the Development of a Semi-arid Transboundary Basin

<https://link.springer.com/article/10.1007/s11269-016-1473-9>

Hargreaves, G. H., & Samani, Z. A., 1985. "Reference crop evapotranspiration from temperature." *Applied Engineering in Agriculture*, 1(2), 96-99.

Jianbiao Lu, Ge Sun, Steven G. McNulty, Devendra M. Amatya, 2007. A comparison of six potential evapotranspiration methods for regional use in the southeastern United States.

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1752-1688.2005.tb03759.x>

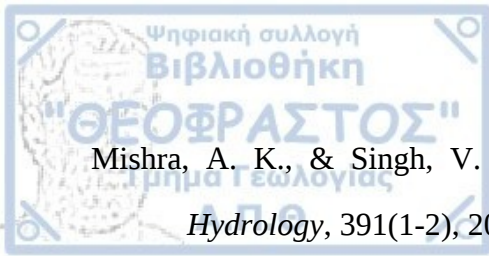
Kanellou E., Domenikiotis C., Dalezios N.R., 2009. Mapping of the Reconnaissance Drought Index (RDI) based on Remote Sensing and GIS over Greece. Proceedings of European Geosciences Union (EGU) General Assembly 2009. Vol 11 Poster, Vienna, p 8464-1

Khalili, D., Farnoud, T., Jamshidi, H., Kamgar-Haghighi, A.A., Zand-Parsa, S., 2011. Comparability analyses of the SPI and RDI meteorological drought indices in different climatic zones. *Water Resources Management* 25 (6), 1737e1757

Mavromatis, T., 2010. Use of drought indices in climate change impact assessment studies: an application to Greece. *Int. J. Climatol.*, 30: 1336-1348

<https://doi.org/10.1002/joc.1976>

McKee, T. B., J. Nolan, and J. Kleist, 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. Preprints, Eighth Conf. on Applied Climatology, Anaheim, CA, Amer. Meteor. Soc., 179- 184.



Mishra, A. K., & Singh, V. P., 2010. "A review of drought concepts." *Journal of Hydrology*, 391(1-2), 202-216.

Omkar D Rajmane, JD Jadhav, VA Sthool, PB Pawar, SV Bagade, SK Upadhye, SG Ahire and ST Majik, 2023. Analyse rainfall drought using Precipitation Deciles (PD) Index for different tehsils in the Sangli district.

<https://www.thepharmajournal.com/archives/2023/vol12issue1/PartX/12-1-275-324.pdf>

Svoboda, M., et al., 2002. "The drought monitor." *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83(8), 1181-1190.

Thornthwaite, C. W., 1948. "An approach toward a rational classification of climate." *Geographical Review*, 38(1), 55-94.

Tigkas D., Vangelis H., Tsakiris G., 2013. The Drought Indices Calculator (DrinC). In: Proceedings of 8th International EWRA Conference "Water Resources Management in an Interdisciplinary and Changing Context", R. Maia et al. (eds.). Porto, Portugal, 26-29 June 2013, pp.1333-1342.

https://drought-software.com/rf/DrinC_EWRA_Porto2013.pdf

Trenberth, K. E., et al., 2014. "Global warming and changes in drought." *Nature Climate Change*, 4(1), 17-22.

<https://www.nature.com/articles/nclimate2067>

Tsakiris, G., Pangalou, D., & Vangelis, H., 2007. "Regional drought assessment based on the Reconnaissance Drought Index (RDI)." *Water Resources Management*, 21(5), 821-833.

<https://link.springer.com/article/10.1007/s11269-006-9105-4>



Vo Ngoc Quynh Tram, Hiroaki Somura, Toshitsugu Moroizumi, 2021. Evaluation of drought features in the Dakbla watershed, Central Highlands of Vietnam.

https://www.jstage.jst.go.jp/article/hrl/15/3/15_77/_article/-char/ja

Wilhite, Donald A., Glantz, M. H., 1987. Understanding the drought phenomenon: The role of definitions. In Donald A. Wilhite, W. E. Easterling, & D. A. Wood (Eds.), Planning for Drought (1st ed., pp. 11–27).

<https://doi.org/10.4324/9780429301735-2>

Zarch Mohammad Amin Asadi, 2011. Drought Monitoring by Reconnaissance Drought Index (RDI) in Iran

<https://link.springer.com/article/10.1007/s11269-011-9867-1>

Zarei Abdol Rassoul, Mohammad Mehdi Moghimi, Mohammad Reza Mahmoudi, 2016. Analysis of Changes in Spatial Pattern of Drought Using RDI Index in south of Iran

<https://link.springer.com/article/10.1007/s11269-016-1380-0>

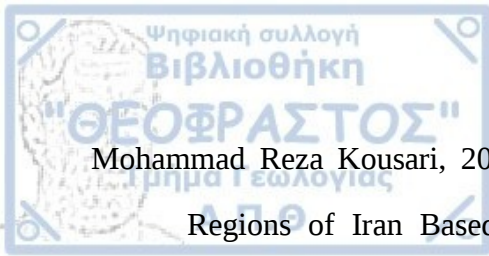
Διαδικτυακές Πηγές

Furat A. M. Al-Faraj, Dimitris Tigkas, 2016. Impacts of Multi-year Droughts and Upstream Human-Induced Activities on the Development of a Semi-arid Transboundary Basin.

<https://link.springer.com/article/10.1007/s11269-016-1473-9>

Farajalla Nadim, Ziade Rouba, 2010. Drought Frequency under a Changing Climate in the Eastern Mediterranean: the Beka'a Valley, Lebanon

<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2010EGUGA..1211653F/abstract>



Mohammad Reza Kousari, 2014. Trend Detection of Drought in Arid and Semi-Arid Regions of Iran Based on Implementation of Reconnaissance Drought Index (RDI) and Application of Non-Parametrical Statistical Method

<https://link.springer.com/article/10.1007/s11269-014-0558-6>

Khalili, 2011. Assessment and Comparison of SPI and RDI Meteorological Drought Indices in Selected Synoptic Stations of Iran

[https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/41173\(414\)120](https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/41173(414)120)

Tigkas D., Vangelis H., Tsakiris G., 2015. DrinC: a software for drought analysis based on drought indices. Earth Science Informatics, 8(3):697 709.

<https://link.springer.com/article/10.1007/s12145-014-0178-y>

Tigkas D., Vangelis H., Proutsos N., Tsakiris G., 2022. Incorporating aSPI and eRDI in Drought Indices Calculator (DrinC) software for agricultural drought characterisation and monitoring. Hydrology, 9(6): 100. doi: <https://www.mdpi.com/2306-5338/9/6/100>

Διαγράμματα

Διάγραμμα 1 και Διάγραμμα 2

(<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0140196312002236>)