

Μάθημα: ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΔΡΟΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΩΝ

9^η Διάλεξη : **Ολοκληρωμένη ανάλυση και χαρτογράφηση της ξηρασίας – Εφαρμογή σε επιλεγμένες περιοχές της Ελλάδας**

Αναπλ. Καθηγητής **Φώτιος Π. Μάρης**
Δρ. **Σπυρίδων Παπαρρίζος**

Κλιματική Αλλαγή - Ξηρασία - Ορισμοί - Αιτίες

- Η κλιματική αλλαγή είναι η μεγαλύτερη πρόκληση που αντιμετωπίζει ο κόσμος, καθώς οι δυσμενείς επιπτώσεις όπως τα πλημμυρικά φαινόμενα, τα κύματα καύσωνα, οι δασικές πυρκαγιές αλλά και οι περιόδους ξηρασίας έχουν αρχίσει να γίνονται πιο έντονα και σοβαρά.
- Οι ανθρώπινες δραστηριότητες έχουν επηρεαστεί από αυτή την αλλαγή και θα συνεχίσουν να επηρεάζονται στο μέλλον.
- Σύμφωνα με προηγούμενες δημοσιεύσεις της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Αλλαγή του Κλίματος (IPCC) υπάρχουν πολλές αβεβαιότητες σχετικά με την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στους υδατικούς πόρους καθώς τα πλημμυρικά φαινόμενα ή οι περιόδους ξηρασίας συμβαίνουν για διάφορους λόγους.

Κλιματική Αλλαγή - Ξηρασία - Ορισμοί - Αιτίες

- Αυτοί οι λόγοι μπορεί να είναι διαφορετικά σενάρια οικονομικής ανάπτυξης, εκπομπών θερμοκηπίου, κλιματικών και υδρολογικών μοντέλων.
- Για παράδειγμα ή μειωμένη ποσότητα των κατακρημνισμάτων και η αυξημένη θερμοκρασία του αέρα που αυξάνουν την εξατμισοδιαπνοή και μειώνουν την υγρασία του εδάφους, αποτελούν σημαντικούς παράγοντες για την δημιουργία φαινομένων ξηρασίας.
- Οι τελευταίες δημοσιεύσεις του IPCC δίνουν έμφαση στη σημασία των τοπικών αλλαγών αλλά και το γεγονός ότι αυτές οι τοπικές ή παγκόσμιες εκτιμήσεις παραμένουν σχετικά αβέβαιες σε σχέση με άλλες πτυχές του υδρολογικού κύκλου.

Κλιματική Αλλαγή - Ξηρασία - Ορισμοί - Αιτίες

Ο προσδιορισμός της έννοιας της ξηρασίας έχει γίνει με γνώμονα το αντικείμενο της μελέτης του φαινομένου και έχει ιδιαίτερη πολυπλοκότητα σε σύγκριση με άλλες φυσικές καταστροφές, καθιστώντας δύσκολη την πρόβλεψη της έναρξης και του τέλους μιας περιόδου ξηρασίας.

Περισσότεροι από 150 ορισμοί έχουν αποδοθεί για την ξηρασία:

Η ξηρασία είναι μια κατάσταση σημαντικής μείωσης της διαθεσιμότητας του νερού (σε σύγκριση με τις συνηθισμένες συνθήκες) και διέπεται από:

- ✓ Ένταση
- ✓ Διάρκεια
- ✓ Χωρική επέκταση



Κλιματική Αλλαγή - Ξηρασία - Ορισμοί - Αιτίες

- Παρόλο που δεν υπάρχει κάποιος συγκεκριμένος ορισμός για τη ξηρασία, είναι σαφές ότι σχετίζεται με περιόδους με ασυνήθιστα χαμηλή διαθεσιμότητα νερού. Αυτό προκύπτει συνήθως από τη μείωση της συχνότητας και των περιόδων βροχόπτωσης.
- Ο όρος ξηρασία μπορεί να αναφέρεται στη μετεωρολογική ξηρασία (κατακρήμνιση κάτω του μέσου όρου), στην υδρολογική ξηρασία (χαμηλές ροές νερού και χαμηλά επίπεδα υδάτων σε ποτάμια, λίμνες και υπόγεια ύδατα), γεωργική ξηρασία (χαμηλή υγρασία του εδάφους) αλλά και περιβαλλοντική ξηρασία (ένας συνδυασμός όλων των παραπάνω).
- Ιδιαίτερα για τις υδρομετεωρολογικές ξηρασίες οι οποίες αποτελούν και το επίκεντρο της τρέχουσας παρουσίασης, αυτές είναι αποτέλεσμα ορισμένων μετεωρολογικών φαινομένων που συνδέονται με εξαιρετικά **μακρές περιόδους ελάχιστης διαθεσιμότητας νερού** μέσω της **βροχόπτωσης**.

Δείκτες Ξηρασίας

Υπάρχουν πολύ λίγες άμεσες μετρήσεις των μεταβλητών με τους οποίους συνδέεται η ξηρασία όπως για παράδειγμα η εδαφική υγρασία, έτσι χρησιμοποιούνται αρκετοί δείκτες προκειμένου να την εκτιμήσουν.

Οι κυριότεροι δείκτες ξηρασίας είναι:

- **Standardized Precipitation Index (SPI)**, ο οποίος βασίζεται στην πιθανότητα της βροχόπτωσης και μπορεί να εφαρμοστεί για διάφορες χρονικές κλίμακες.
- **Palmer Drought Severity Index (PDSI)**, ο οποίος είναι ένας αλγόριθμος εδαφικής υγρασίας, βαθμονομημένος για σχετικά ομοιογενείς περιοχές.
- **Reclamation Drought Index (RDI)**, ο οποίος βασίζεται στον υπολογισμό της ξηρασίας σε επίπεδο λεκάνης απορροής και ενσωματώνει τη θερμοκρασία αλλά και τη βροχόπτωση, τις χιονοπτώσεις και την επιφανειακή απορροή.
- **Aridity Index (AI)** από το περιβαλλοντικό πρόγραμμα του Ο.Η.Ε. (United Nations Environment Program), ο οποίος είναι ένας αριθμητικός δείκτης του βαθμού ξηρότητας του κλίματος σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία και χρησιμοποιεί δεδομένα βροχόπτωσης και δυνητικής εξατμισοδιαπνοής.

Ο δείκτης (και άρα οι μεταβλητές) που θα χρησιμοποιηθεί κάθε φορά μπορεί να επηρεάσει έντονα την κατάταξη των συμβάντων ξηρασίας σε μια συγκεκριμένη περιοχή.

Επιδράσεις ξηρασίας

Οι **επιπτώσεις** των **φαινομένων ξηρασίας** αφορούν πολλούς τομείς:

- Οικονομία
- Περιβάλλον
- Κοινωνία της πληγείσας περιοχής



Οι κοινωνικο-οικονομικές επιπτώσεις της ξηρασίας μπορεί να προκύψουν από την αλληλεπίδραση μεταξύ φυσικών συνθηκών και ανθρώπινων παραγόντων, όπως είναι οι αλλαγές στη χρήση γης, η κάλυψη της γης αλλά και η ζήτηση και χρήση του νερού.

Η υπερβολική άντληση νερού από τους υπόγειους υδροφορείς επιδεινώνει τις επιπτώσεις της ξηρασίας.

Ξηρασία και Διαχείριση Υδατικών Πόρων

- Η **αβεβαιότητα** ως προς το κλίμα από τα **φαινόμενα ξηρασίας** είναι μία από τις **σημαντικότερες απειλές** στη **διαχείριση των σύγχρονων υδατικών πόρων**
- Η **κατανάλωση** του νερού **αυξάνεται** στις **ημι-άνυδρες αγροτικές περιοχές** του κόσμου κυρίως λόγω της **ανάπτυξης γεωργικών δραστηριοτήτων**
- Επιπλέον, η **ραγδαία αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού** και η **ανισοκατανομή των φυσικών πόρων** έχουν συμβάλλει στην **κλιμάκωση της συχνότητας και της σφοδρότητας των φυσικών κινδύνων και καταστροφών.**



Ανάλυση ξηρασίας στην Ελλάδα σε περιοχές με διαφορετική κλιματική ταξινόμηση

- Η Ελλάδα ανήκει γεωγραφικά σε μια περιοχή στην νοτιοανατολική Ευρώπη στην οποία η χρήση των υδατικών πόρων είναι απαραίτητη για τη γεωργία.
- Επομένως, η έρευνα και η ερμηνεία των φαινομένων ξηρασίας έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον καθώς αυτά τα φαινόμενα είναι πολύ κρίσιμα για τη γεωργική παραγωγή.



Ανάλυση ξηρασίας – Επιλογή περιοχής μελέτης



Πηγές:

1. Paparrizos S, Maris F, Weiler M, Matzarakis A. 2018: **Analysis and mapping of present and future drought conditions over Greek areas with different climate conditions.** Theoretical and Applied Climatology, 131, 259-270.
2. Paparrizos S, Maris F, Matzarakis A. 2016: **Integrated analysis and mapping of aridity over Greek areas with different climate conditions.** Global NEST J., 18(1), 131-145.

Ανάλυση ξηρασίας – Επιλογή περιοχής μελέτης

Οι **λόγοι** για την **επιλογή** των συγκεκριμένων **περιοχών μελέτης** είναι:

- Η γεωργία είναι η κύρια παραγωγική και οικονομική δραστηριότητα
- Ένα σημαντικό μέρος του πληθυσμού απασχολείται εν μέρει ή εξ ολοκλήρου με τον 1γενή τομέα παραγωγής (γεωργία και κτηνοτροφία)
- Ένα μεγάλο ποσοστό του τοπικού πληθυσμού χρησιμοποιεί νερό από τα χειμαρρικά ρέματα για άρδευση



Ανάλυση Ξηρασίας - Άρδευση

- Η **άρδευση** διαδραματίζει ένα πολύ σημαντικό ρόλο λόγω της μειωμένης ποσότητας νερού από τις βροχοπτώσεις, αλλά και της αδυναμίας των αγροτών να “αγοράσουν” νερό λόγω της οικονομικής κρίσης.
- Οι **γεωργικές και μεταποιητικές δραστηριότητες** που βασίζονται στη γεωργική δραστηριότητα, καθώς και άλλες δραστηριότητες του πρωτογενούς και δευτερογενούς τομέα παραγωγής, κάνουν επιτακτική την ανάγκη της γνώσης σχετικά με την παρούσα αλλά και τη μελλοντική διαθεσιμότητα του νερού αλλά και τις συνθήκες ξηρασίας.
- Αυτό συμβάλλει **στην αιχμόρο ανάπτυξη της γεωργικής παραγωγής** για τον τοπικό πληθυσμό που σχετίζεται με τις αγροτικές δραστηριότητες.

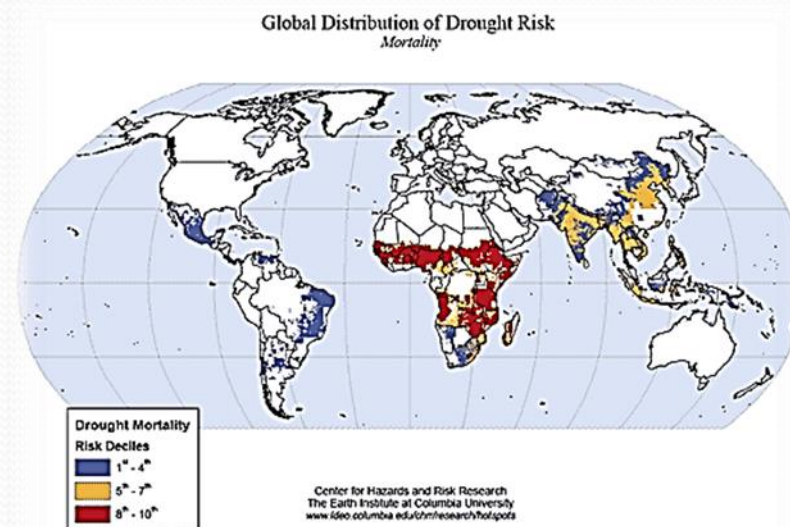


Ανάλυση ξηρασίας – Περίληψη έρευνας

Ολοκληρωμένη ανάλυση της συχνότητας (frequency), διάρκειας (duration), έντασης (intensity), τάσης (trend) και χωρικής κατανομής (spatial distribution) με τη χρήση του δείκτη ξηρότητας κλίματος (Aridity Index - AI) για τις 3 επιλεγμένες περιοχές στην Ελλάδα

➤ Χρησιμοποιείται η εξίσωση του δείκτη ξηρασίας AI που περιλαμβάνει βροχόπτωση (Precipitation) και δυνητική εξατμισοδιαπνοή (Potential Evapotranspiration).

➤ Η χωρική κατανομή του δείκτη ξηρασίας έγινε με ένα συνδυασμό στατιστικής ανάλυσης και χωρικής παρεμβολής σε περιβάλλον ArcGIS.



Ανάλυση ξηρασίας – Περιοχές μελέτης

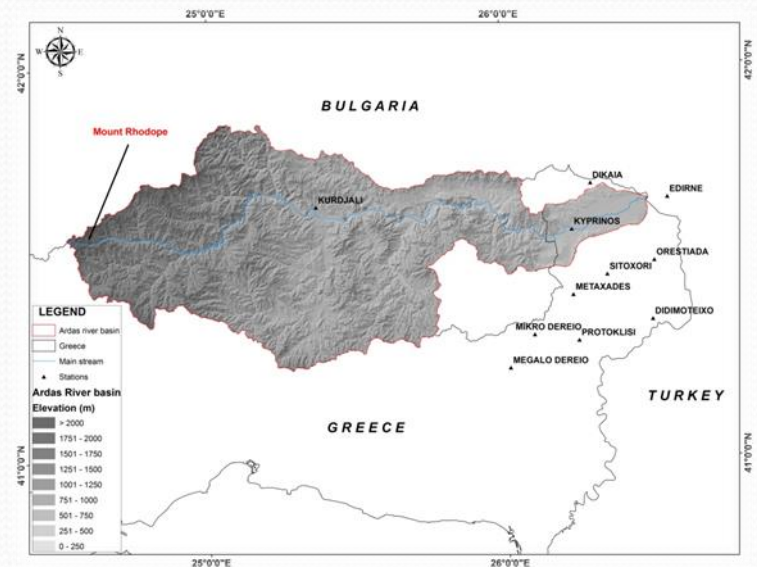
Λεκάνη απορροής ποταμού Άρδα (Ν. Έβρου)

Ο π. Άρδας πηγάζει από τη Βόρεια πλευρά του όρους Ροδόπη (Βουλγάρικη πλευρά – 2.191m) και είναι παραπόταμος του ποταμού Έβρου.

Δυτική → Ανατολική κατεύθυνση, μήκος 253km (214km στο Βουλγάρικο κομμάτι και 39km σε Ελληνικό έδαφος)

Στην κύρια κοίτη του π. Άρδα υπάρχουν υδροηλεκτρικά φράγματα αλλά και φράγματα που καλύπτουν αρδευτικές ανάγκες (π.χ. φράγμα Κυπρίνου)

Ο Άρδας διασχίζει την ομώνυμη κοιλάδα του Άρδα και εξυπηρετεί αρδευτικούς σκοπούς σε μια επιφάνεια 200.000 εκταρίων στο νομό Έβρου.



Ανάλυση ξηρασίας – Περιοχές μελέτης

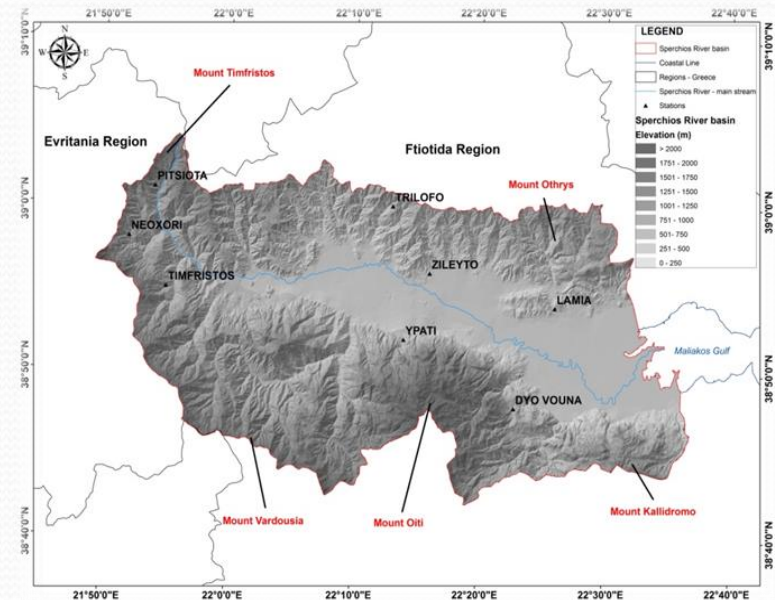
Λεκάνη απορροής ποταμού Σπερχειού (Κεντρική Ελλάδα)

Ο ποταμός Σπερχειός πηγάζει από το όρος Τυμφρηστός (υψόμετρο 2.327m) και καταλαμβάνει ένα μεγάλο κομμάτι των νομών Ευρυτανίας και ειδικότερα της Φθιώτιδας στην Κεντρική Ελλάδα.

Έχοντας γενική κατεύθυνση προς τα Ανατολικά, εισέρχεται στο ν. Φθιώτιδας, διασχίζει την ομώνυμη κοιλάδα του Σπερχειού ανάμεσα στα βουνά Οίτη και Όρθυς, και καταλήγει στο Μαλιακό κόλπο

Τροφοδοτείται από μια σειρά χειμαρικών ρεμάτων που πηγάζουν από τα Βαρδούσια όρη (2.286m), την Όρθυς (1.170m) και το όρος Καλλίδρομο (2.116m).

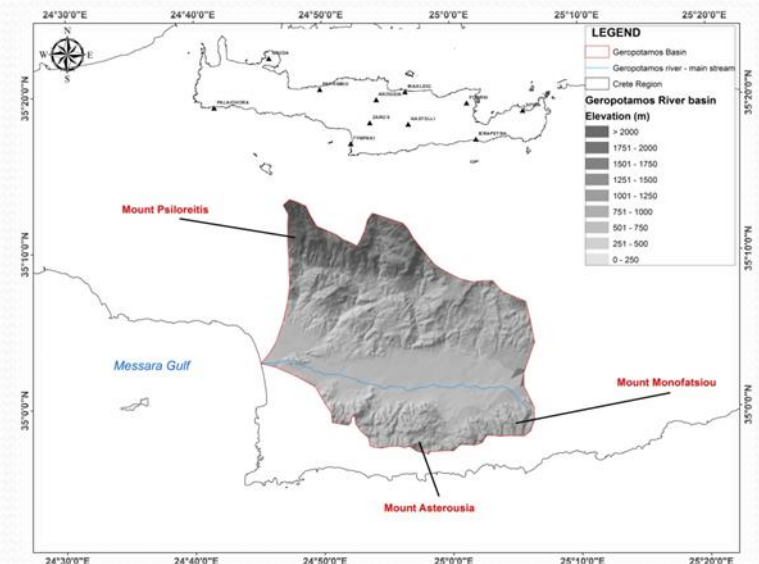
Η κοιλάδα του Σπερχειού είναι μια αρκετά εύφορη περιοχή με πολλά είδη βλάστησης αλλά και χρήσεων γης.



Ανάλυση ξηρασίας – Περιοχές μελέτης

Λεκάνη απορροής ποταμού Γεροπόταμου Κρήτης

- Η λεκάνη απορροής του π. Γεροπόταμου είναι η μεγαλύτερη στη νήσο Κρήτη και κυρίως βρίσκεται στο ν. Ηρακλείου και συγκεκριμένα στο νότιο τμήμα.
- Ο π. Γεροπόταμος πηγάζει από το όρος Μονοφατίου (1.050m), τροφοδοτείται από αρκετά χειμναρικά ρέματα από το όρος Αστερούσια (1.231m) και διασχίζει την κοιλάδα της Μεσσαράς.
- Η κοιλάδα της Μεσσαράς είναι η μεγαλύτερη κοιλάδα στην Κρήτη και εκεί λαμβάνει χώρα το μεγαλύτερο μέρος της αγροτικής παραγωγής.
- Ο κύριος συμβάλλοντας στον π. Γεροπόταμο πηγάζει από το όρος Ψηλορείτης (2.456m) στη βόρεια πλευρά του ποταμού, εισέρχεται στο φράγμα της Φανερωμένης και συναντά στην κατάντη μεριά τον π. Γεροπόταμο.
- Το φράγμα της Φανερωμένης κατασκευάστηκε το 2005 για να καλύψει τις αρδευτικές ανάγκες της περιοχής.



Ανάλυση ξηρασίας – Περιοχές μελέτης

Τοπικός πληθυσμός που σχετίζεται με τον πρωτογενή τομέα παραγωγής:

Περιοχή μελέτης	Νομός	Συνολικός πληθυσμός	Εργαζόμενοι στον 1γενή τομέα παραγωγής	Ποσοστό (%)
Άρδας	Έβρος	149.354	37.560	25.1
Σπερχειός	Φθιώτιδα	169.542	52.426	30.9
Γεροπόταμος	Ηράκλειο	304.270	116.251	38.2

Κλιματικά δεδομένα

Ημερήσιες τιμές μετεωρολογικών δεδομένων από σταθμούς μέσα στην περιοχή μελέτης είτε παρακείμενους από την Ε.Μ.Υ. και την www.ogimet.com

Πριν την χρησιμοποίηση των δεδομένων κάναμε έλεγχο ομοιογένειας.

Ανάλυση ξηρασίας – Μεθοδολογία

Δείκτης Ξηρασίας

Η ξηρασία μπορεί να εκτιμηθεί μέσω πολλών διαφορετικών δεικτών ξηρασίας. Στην παρούσα φάση χρησιμοποιήσαμε τον **Aridity Index (AI)**.

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

Όπου :

P είναι η μέση τιμή της βροχόπτωσης (mm)

PET είναι η μέση τιμή της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής (mm)

Ταξινόμηση του δείκτη ξηρασίας Aridity Index

Ταξινόμηση	Aridity Index (AI)
Υπερ-ξηρό (Hyper-arid)	$AI \leq 0.05$
Ξηρό (Arid)	$0.05 \leq AI < 0.20$
Ημί-ξηρο (Semi-arid)	$0.20 \leq AI < 0.50$
Ξηρό-υπο-υγρό (Dry sub-humid)	$0.50 \leq AI < 0.65$
Υπό-υγρό (Sub-humid)	$0.65 \leq AI < 0.80$
Υγρό (Humid)	$0.80 \leq AI < 1.5$
Πολύ Υγρό (Very humid)	$1.5 \leq AI$

Ανάλυση ξηρασίας – Μεθοδολογία

EmPEst software για τον υπολογισμό της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής (PET)

- Η PET υπολογίστηκε χρησιμοποιώντας το λογισμικό **EmPEst**. Το EmPEst (empirical potential evapotranspiration estimation) είναι ένα απλό λογισμικό που μπορεί να υπολογίσει την ημερήσια δυν. εξατμ/πνοή (PET_{ref}) χρησιμοποιώντας 13 διαφορετικές εμπειρικές εξισώσεις.
- Αυτές οι εξισώσεις συμπεριλαμβάνουν τους εμπειρικούς τύπους του Hargreaves, McGuinness, Jensen, Hansen, Caprio, Romanenko, Turc, Makkink, de Bruin, McCloud και 3 versions του Hamon.
- Ανάλογα με τη διαθεσιμότητα των δεδομένων, το λογισμικό μπορεί να υπολογίσει ημερήσιες τιμές 5 στατιστικών μεταβλητών (MSE, MAE, RMSE, RMAE, MBE), για να κάνει επαλήθευση των εκτιμήσεων του λογισμικού.
- Οι εμπειρικές εξισώσεις (PET_{ref}) που συμπεριλαμβάνονται στο λογισμικό καλύπτουν ένα μεγάλο φάσμα δεδομένων εισόδου. Από εξισώσεις που χρησιμοποιούν μόνο ημερήσια θερμοκρασία αέρα, ακτινοβολία (radiation) και σχετική υγρασία κ.τ.λ., η χρησιμοποίηση αυτών των εξισώσεων έγκειται κάθε φορά στη διαθεσιμότητα των δεδομένων.

Ανάλυση ξηρασίας – Μεθοδολογία

Δεδομένα εισόδου εμπειρικών μεθόδων υπολογισμού δυν. εξατμ/πνοής του EmPEst

	T_{mean}	T_{min}	T_{max}	T_{dew}	RH	Wind Speed	DL	R_s	R_a	R_n
	°C	°C	°C	°C	%	m / s	(h)	MJ / m ²	MJ / m ²	MJ / m ²
PET_{ASCE}	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>
PET_{Cap}	<input type="checkbox"/>							<input type="checkbox"/>		
PET_{deB}	<input type="checkbox"/>									<input type="checkbox"/>
PET_{Ham1}	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>			
PET_{Ham2}	<input type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>			
PET_{Ham3}	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>			
PET_{Han}	<input type="checkbox"/>							<input type="checkbox"/>		
PET_{Har}	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>	
PET_{Jen}	<input type="checkbox"/>							<input type="checkbox"/>		
PET_{Mak}	<input type="checkbox"/>							<input type="checkbox"/>		
PET_{McC}	<input type="checkbox"/>									
PET_{McG}	<input type="checkbox"/>								<input type="checkbox"/>	
PET_{Rom}	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
PET_{Tur}	<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>					

Note: RH = Relative air humidity (%); T_{mean} = mean air temperature (°C); T_{max} = maximum air temperature (°C); T_{min} = minimum air temperature (°C); T_{dew} = dew point temperature (°C); RR = precipitation (mm); R_s = total global solar radiation (MJ m⁻²); R_a = total solar radiation reaching the atmosphere's surface (MJ m⁻²); R_n = total net solar radiation (MJ m⁻²); WS = wind speed (m s⁻¹)

Ανάλυση ξηρασίας – Μεθοδολογία

Σχετική συχνότητα, διάρκεια, ένταση και ανάλυση τάσης

Η συχνότητα της ξηρασίας, αλλά και η διάρκεια, η ένταση και η τάση είναι βασικά χαρακτηριστικά και συχνά χρησιμοποιούνται ως παράγοντες σχεδιασμού.

Στην παρούσα μελέτη, ο AI υπολογίστηκε για κάθε διαθέσιμο μετεωρολογικό σταθμό στις περιοχές μελέτης.

Σχετική συχνότητα:

$$f_i = \frac{n_i}{N} \times 100$$

Όπου:

n_i ημέρες με φαινόμενα ξηρασίας ($AI < 0.5$)

N συνολικές ημέρες ανάλυσης. Το f_i υπολογίζεται ως ποσοστό % ($\times 100$)

Η **διάρκεια** της ξηρασίας υπολογίστηκε καθορίζοντας τις ημέρες σε κάθε Μ.Σ. όπου ο AI παρείχε ξηρές συνθήκες ($AI < 0.5$) και μετράται σε ημέρες / έτος.

Η **ένταση** της ξηρασίας υπολογίστηκε αναλύοντας τις χαμηλότερες ημερήσιες τιμές του AI για τις ημέρες ανά έτος για κάθε Μ.Σ. όπου κατά την ανάλυση διάρκειας της ξηρασίας οι τιμές του AI < 0.5 .

Η **ανάλυση τάσης** (trend analysis) πραγματοποιήθηκε με το Mann-Kendall τεστ.

Ανάλυση ξηρασίας – Μεθοδολογία

Στατιστική ανάλυση, χωρική ανάλυση και αποτύπωση ξηρασίας

Η μεθοδολογία που εφαρμόζεται για τη χωρική παρεμβολή από στατικά δεδομένα σε δεδομένα πλέγματος (gridded points) είναι βασισμένη στην **Ordinary Kriging** μέσω του ArcGIS.

Οι παράγοντες που συνεισφέρουν στην εφαρμογή του δείκτη AI είναι η **βροχόπτωση** και η **δυσνητική Εξατμισοδιαπνοή**.

Κατά τη **χωρική κατανομή** τους, οι παραπάνω παράγοντες **επηρεάζονται** από:

- Γεωγρ. Πλάτος (Latitude)
- Γεωγρ. Μήκος (Longitude)
- Υψόμετρο (elevation)
- Κλίση (Slope)
- Ταχύτητα ανέμου (Prevalent wind speed)
- Απόσταση από σώμα νερού (Distance from water)
- Θερμοκρασία (Temperature)
- κ.τ.λ.



Ανάλυση ξηρασίας – Μεθοδολογία

➤ Προκειμένου να συμπεριληφθούν όλοι οι παράγοντες που επηρεάζουν την βροχόπτωση και την δυν. Εξατμ. στη στατιστική ανάλυση, αναπτύχθηκε μια τεχνική πολυ-γραμμικής παλνδρόμησης (**multi-linear regression technique**) για κάθε περιοχή μελέτης χρησιμοποιώντας τα δεδομένα των εκάστωτε Μ.Σ..

➤ Η εξαρτημένη μεταβλητή είναι κάθε φορά ο εξεταζόμενος παράγοντας (AI, P, PET, συχνότητα, διάρκεια, κ.τ.λ.), ενώ όλα τα υπόλοιπα διαθέσιμα στοιχεία χρησιμοποιούνται σαν ανεξάρτητες μεταβλητές

No.	Station	AI	Precipitation (mm)	elevation (h)	Slope (%)	X	Y	Distance from Water (km)
1	Tympaki	0.52	448.7	33.65	10.54	18.90	34.99	0.29
2	Souda	0.63	579.6	106.41	4.73	24.10	35.54	2.13
3	Irakleio	0.56	457.7	68.28	2.92	25.17	35.32	1.17
4	Ierapetra	0.47	408	24.2	1.45	25.72	35.01	1.44
5	Siteia	0.59	464.4	25	0.1	26.09	35.19	1.03
6	Rethimno	0.77	661.4	117.95	13.55	24.50	35.34	2.13
7	Palaioxora	0.29	260.5	25	0.1	23.68	35.23	0.19
8	Anogeia	1.44	1022.1	823.7	12.67	24.95	35.28	11.05
9	Fourni	0.8	678.1	500	0.1	25.66	35.25	5.57
10	Kastelli	0.83	665.8	350	0.1	25.2	35.12	16.95
11	Zaros	0.83	751.3	322	3.54	24.9	35.13	15.69

AI_Total				
	Coefficients		Regression statistics	
Intercept	2.88397		Multiple R	0.99
Precipitation	0.00085		R square	0.98
elevation (h)	0.00040		Adjusted R	0.94
Slope (%)	0.00993		Standard Error	0.07
X	0.01708		Observation values	11
Y	-0.09133			
Distance from Water Body (km)	-0.00124			

Ανάλυση ξηρασίας – Μεθοδολογία

Ακολουθώντας την διαδικασία που περιγράψαμε, η εξίσωση που δημιουργείται για κάθε περιοχή μελέτης είναι:

$$x = b_0 + b_1h + b_2slp + b_3X + b_4Y + b_5temp + b_6WS + b_7DistWat$$

Όπου:

x εξαρτημένη μεταβλητή (target variable) σε ένα συγκεκριμένο σημείο

b₀ σταθερά γραμμικής παλινδρόμησης

b₁...b₇ συντελεστές κάθε ανεξάρτητης μεταβλητής

h υψόμετρο (m)

slp κλίση (%)

X Γεωγρ. Μήκος (°)

Y Γεωγρ. Πλάτος (°)

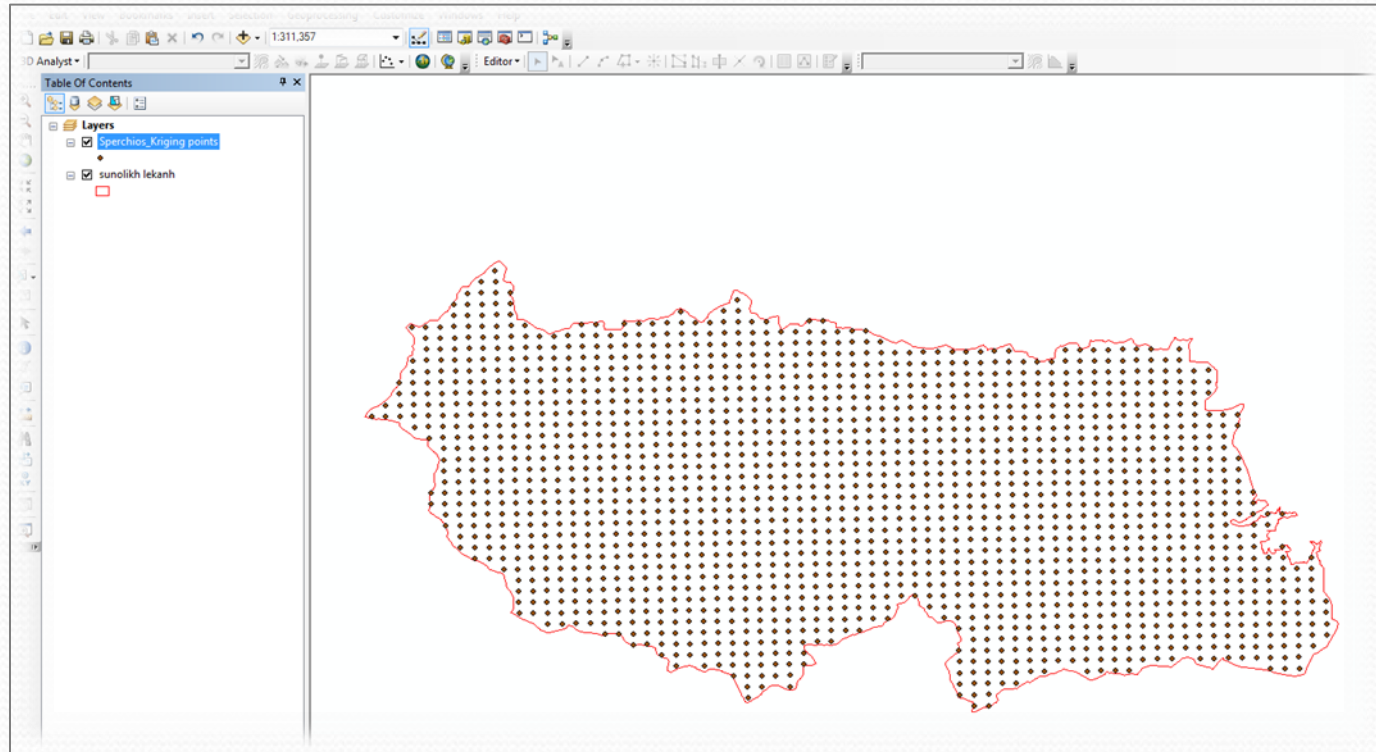
temp Θερμοκρασία αέρα (°C)

WS Ταχύτητα ανέμου (m s⁻¹)

DistWat απόσταση από σώμα νερού (θάλασσα, λίμνη ή ταμιευτήρας με σημαντικές ποσότητες νερού)

Ανάλυση ξηρασίας – Μεθοδολογία

Στη συνέχεια, μέσω του προγράμματος ArcGIS 10.2.1 και για να πραγματοποιήσουμε τη χωρική παρεμβολή Ordinary Kriging, δημιουργήσαμε αυτόματα σημεία σε πλέγμα με ανάλυση **1x1 km** και μέσω των εξισώσεων που περιγράψαμε νωρίτερα δώσαμε σε κάθε σημείο του πλέγματος μια τιμή (τιμή συχνότητας, έντασης, διάρκειας, κτλ).



Ανάλυση ξηρασίας – Αποτελέσματα

Αποτελέσματα ανάλυσης ξηρασίας:

Περιοχή μελέτης	AI Ανάλυση	Συχνότητα (Frequency) Ξηρασίας (%)	Διάρκεια (Duration) Ξηρασίας (Ημέρες)	Ένταση (Intensity) Ξηρασίας (τιμές AI)	Τάση (Trend)
Άρδας	0.94	33.3	80.5	0.49	-0.96
Σπερχειός	0.93	40.9	137.6	0.36	0.04
Γεροπόταμος	1.09	30.1	107.1	0.43	-0.64
*μέσες τιμές / έτος					

- Η συνολική ανάλυση ξηρασίας έδειξε ότι όλες οι περιοχές μελέτης αντιμετωπίζουν υγρές συνθήκες κατά τη διάρκεια του έτους.
- Η πολυσχειδής τοπογραφία με την ύπαρξη ορεινών όγκων με μέτρια έως υψηλά υψόμετρα επιδρούν στη διατήρηση των υγρών συνθηκών.

Ανάλυση ξηρασίας - Αποτελέσματα

Όσο αναφορά τη λεκάνη απορροής του π. Γεροπόταμου:

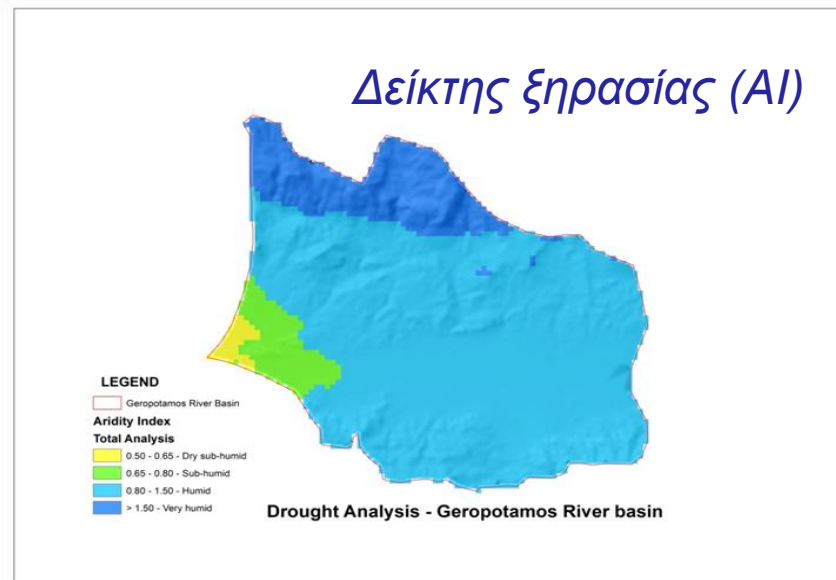
- Η συνολική ανάλυση έδειξε ότι ο $AI = 1.09$, η οποία είναι η υψηλότερη τιμή ανάμεσα στις περιοχές μελέτης παρόλο που η περιοχή βρίσκεται στο νοτιότερο τμήμα σε σχέση με τις υπόλοιπες, και δέχεται πλήρως Μεσογειακές κλιματικές συνθήκες.
- Η συγκεκριμένη περιοχή χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη του Ψηλορείτη (2.456m), του ψηλότερου βουνού στο νησί και ο οποίος χαρακτηρίζεται από απότομες κλίσεις, φαινόμενο που είναι συχνό γενικά στην Κρήτη.
- Επιπρόσθετα, στο π. Γεροπόταμο η λεκάνη απορροής είναι μια λεκάνη με σχετικά μικρές αποστάσεις (των ορίων της λεκάνης) από την ακτογραμμή (όπου είναι η μυχός του ποταμού), πράγμα που συνηγορεί στην σημαντική τροφοδοσία των χαμηλότερων υψομετρικά περιοχών.

Ανάλυση ξηρασίας - Αποτελέσματα

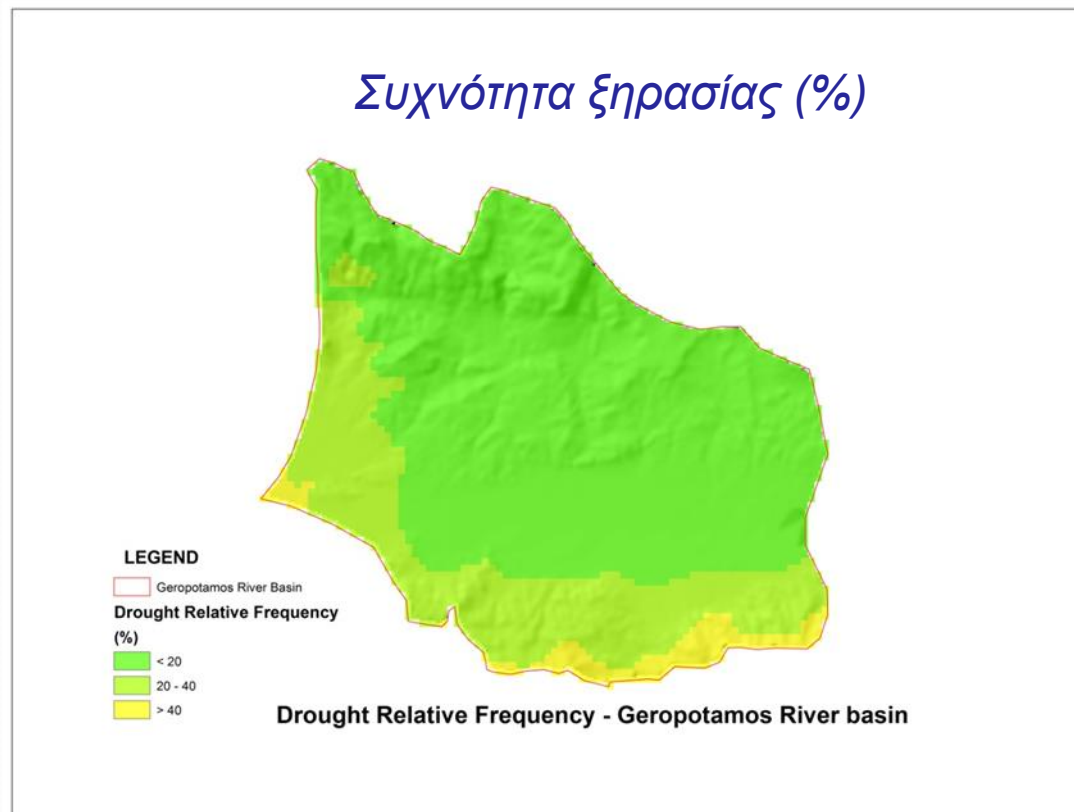
- Αυτό το γεγονός, σε συνδυασμό με την επίδραση του υψομέτρου αλλά και του φράγματος της Φανερωμένης συμβάλλουν στη δημιουργία υγρών συνθηκών στον π. Γεροπόταμο.
- Επιπλέον, το ποσοστό της συχνότητας ξηρασίας είναι λίγο μεγαλύτερο του 30% και όταν εμφανίζονται συνθήκες ξηρασίας, αυτές διακρούν κατά Μ.Ο. 107 ημέρες.
- Η συνολική ανάλυση έδειξε ότι ο συνθήκες ξηρασίας στη συγκεκριμένη περιοχή ακολουθούν μια καθοδική τάση.

➤ Στον **π. Γεροπόταμο**, σύμφωνα με την χωρική κατανομή της ξηρασίας, οι συνθήκες στο μεγαλύτερο μέρος της λεκάνης απορροής συμπεριλαμβανομένου της κοιλάδας της Μεσσαράς όπου έχουμε όλη την αγροτική δραστηριότητα είναι **υγρές**.

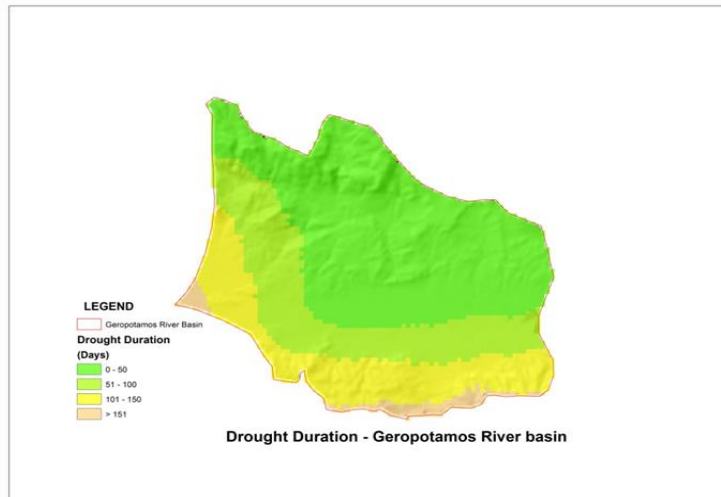
➤ Κάποιες, μικρές διαφορές εμφανίζονται στο στόμιο του ποταμού κοντά στην ακτογραμμή. Επίσης ένα παρατεταμένο τμήμα στη βόρεια πλευρά της λεκάνης όπου βρίσκεται ο Ψηλορείτης φαίνεται να διακατέχεται από **πολύ υγρές συνθήκες**.



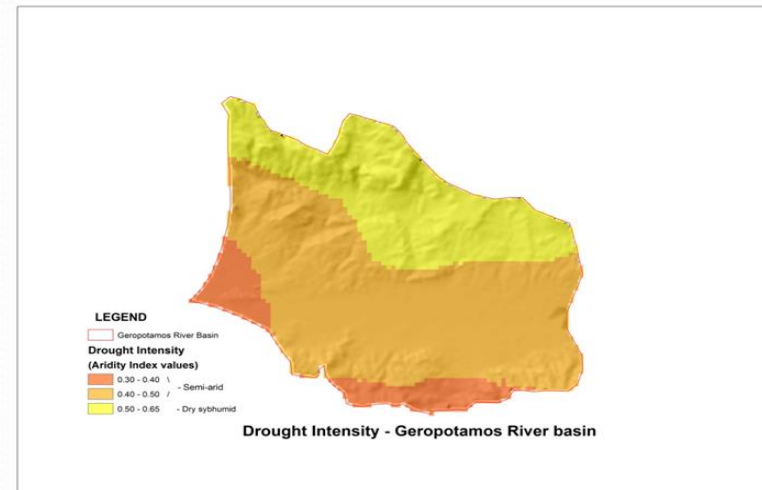
Η **συχνότητα** της ξηρασίας, η **διάρκεια** και η **ένταση** επηρεάζονται από την τοπογραφία της περιοχής, όπως στο βόρειο τμήμα όπου υπάρχουν μεγαλύτερα υψόμετρα, τα αποτελέσματα μειώνονται σε σχέση με το νότιο μέρος της λεκάνης όπου η ανάλυση ξηρασίας έδειξε ότι είναι πιο πιθανό να εμφανιστούν συνθήκες ξηρασίας.



Διάρκεια ξηρασίας (ημέρες)

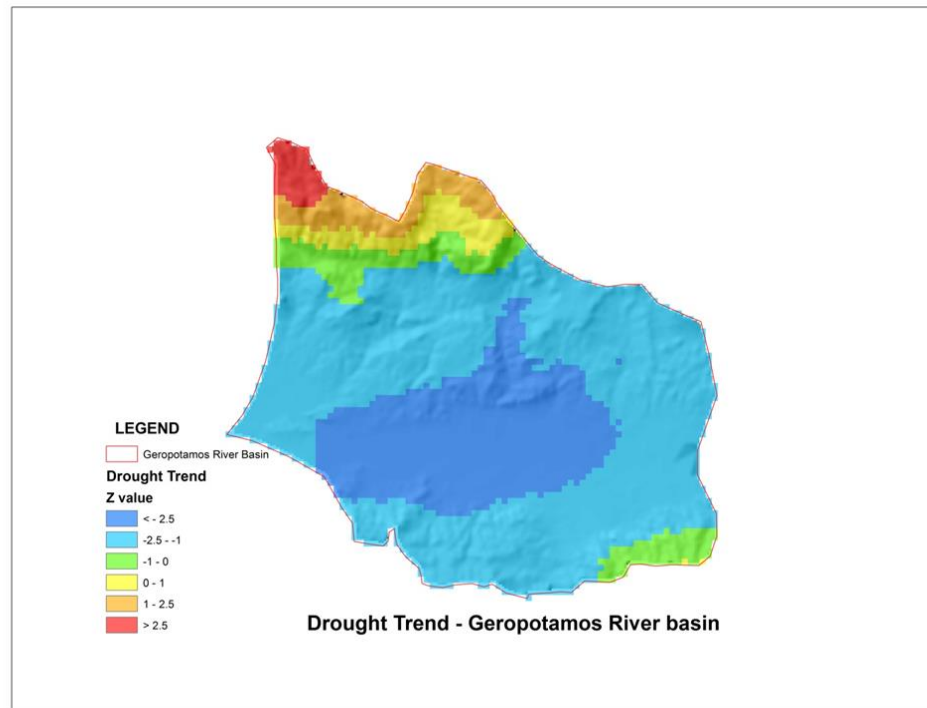


Ένταση ξηρασίας



- Η ανάλυση τάσης (trend analysis) έδειξε ότι στο βόρειο τμήμα της λεκάνης απορροής (με τις υγρότερες συνθήκες) οι συνθήκες ξηρασίας αναμένεται να αυξηθούν

Τάση ξηρασίας



Σχετικά με τη λεκάνη του ποταμού Σπερχειού, η ανάλυση του δείκτη AI έδωσε τιμή $AI = 0.93$. Παρόλα αυτά, σε ορισμένα τμήματα της λεκάνης απορροής, εμφανίζονται (αρκετά) ξηρές συνθήκες.

- **συχνότητα** εμφάνισης των συνθηκών ξηρασίας είναι σχεδόν 40% ετησίως
- **διάρκεια** είναι 137.6 ημέρες η οποία είναι η υψηλότερη μεταξύ των περιοχών
- **ένταση** κατά τις ημέρες αυτές μπορεί να φτάσει μέχρι και $AI = 0.36$ (ημι-ξηρή)

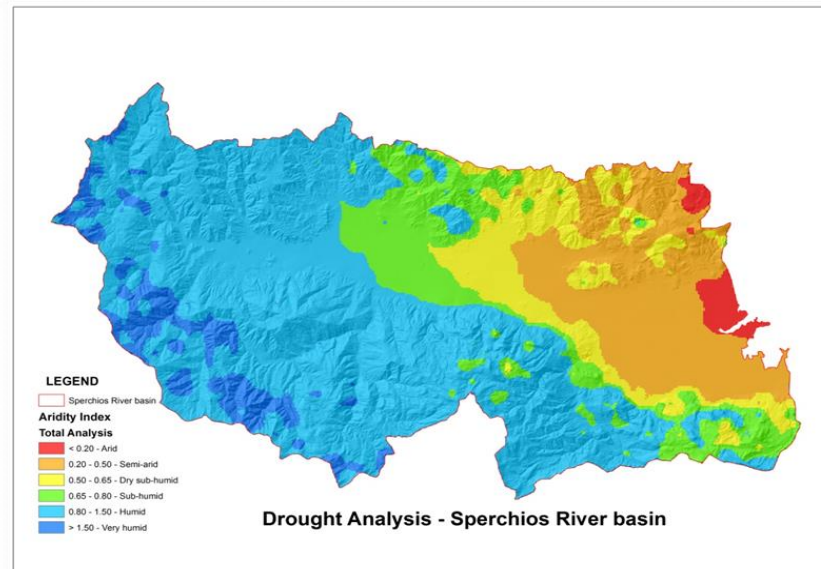
Η λεκάνη του ποταμού Σπερχειού έχει μεσογειακό κλίμα (Csa). Οι περιοχές με αυτόν τον τύπο κλίματος λαμβάνουν σχεδόν όλες τις βροχοπτώσεις τους κατά τη διάρκεια των χειμερινών, φθινοπωρινών και ανοιξιάτικων εποχών και μπορούν να φθάσουν από 4 έως 6 μήνες κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού χωρίς να έχουν σημαντικές βροχοπτώσεις.

Οι εκτιμώμενες 137.6 ημέρες (ή σχεδόν 4.5 μήνες) της διάρκειας της ξηρασίας κατά τη διάρκεια της ξηρασίας **επικυρώνουν** τα αποτελέσματα της τρέχουσας μελέτης.

Τέλος, με την εφαρμογή του Mann-Kendal τεστ εκτιμήθηκε η τάση ($Z=0.04$), η οποία δείχνει μια **μικρή ανοδική τάση** των **συνθηκών ξηρασίας** που επικρατούν στη λεκάνη του ποταμού **Σπερχειού**.

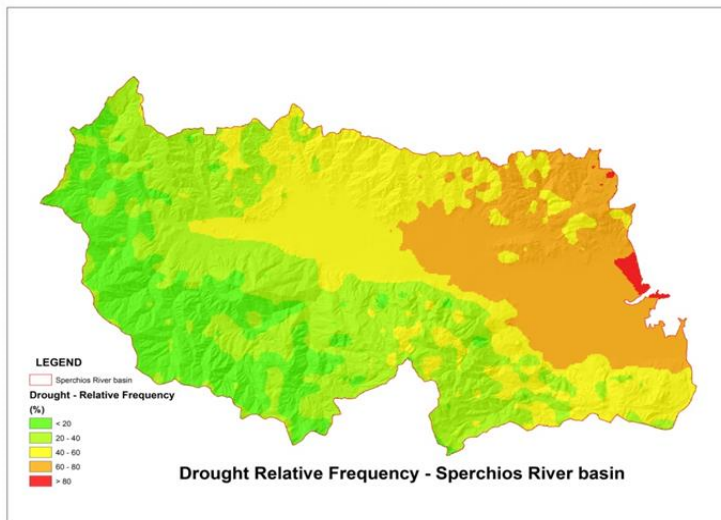
- Γενικά οι συνθήκες ξηρασίας στον π. Σπερχειό κυμαίνονται από πολύ υγρές στις ανώτερες υψομετρικά περιοχές, έως ξηρές στο στόμιο της λεκάνης απορροής στην ακτογραμμή
- Σε περιοχές όπου λαμβάνει χώρα η αγροτική παραγωγή στην κοιλάδα του Σπερχειού, οι συνθήκες είναι ημι-άνυδρες.

Δείκτης ξηρασίας (AI)

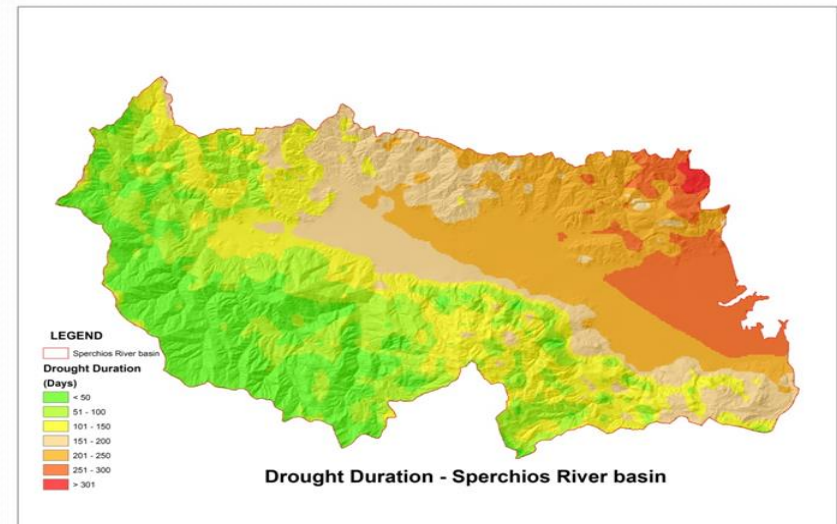


- Στην κοιλάδα του π. Σπερχειού, η ανάλυση συχνότητας έδωσε μια τιμή 60-80% ενώ κοντά στην ακτογραμμή η τιμή αυτή φτάνει το 80%.
- Με άλλα λόγια, η πιθανότητα εμφάνισης φαινομένων ξηρασίας είναι σχεδόν **4 φορές κάθε 5 χρόνια**, με τη διάρκεια του να κυμαίνεται από **201-301 ημέρες** το χρόνο.

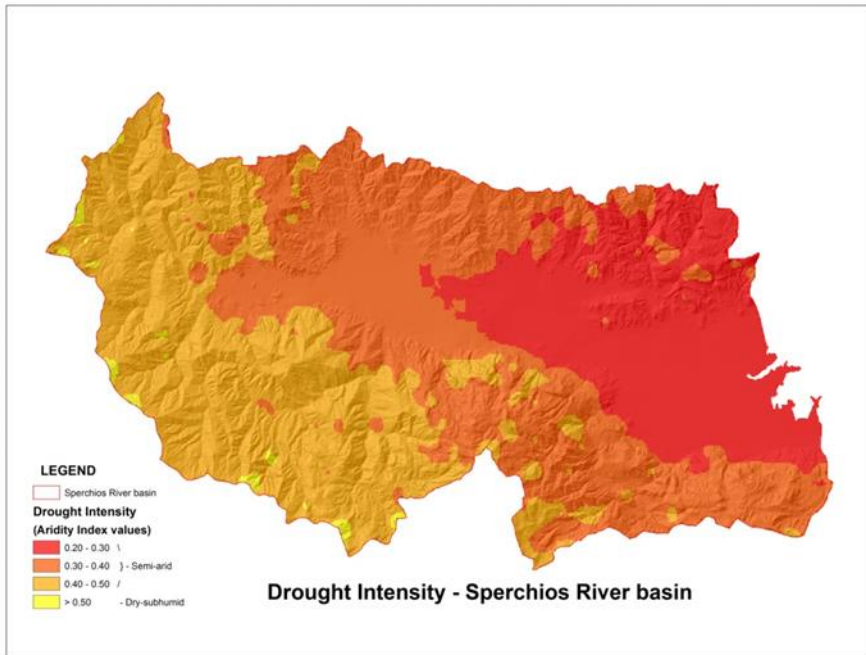
Συχνότητα ξηρασίας (%)



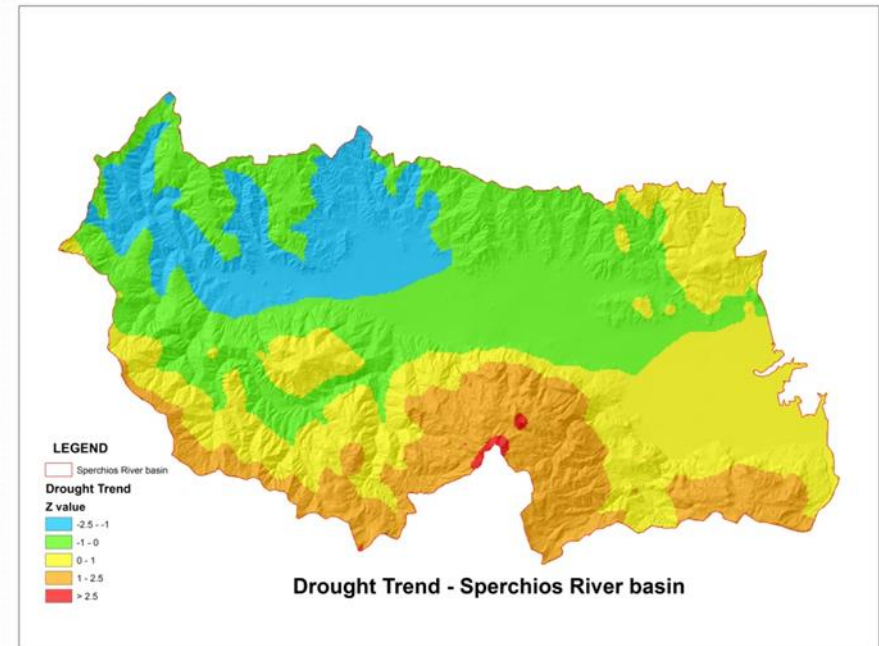
Διάρκεια ξηρασίας (ημέρες)



Ένταση ξηρασίας



Τάση ξηρασίας



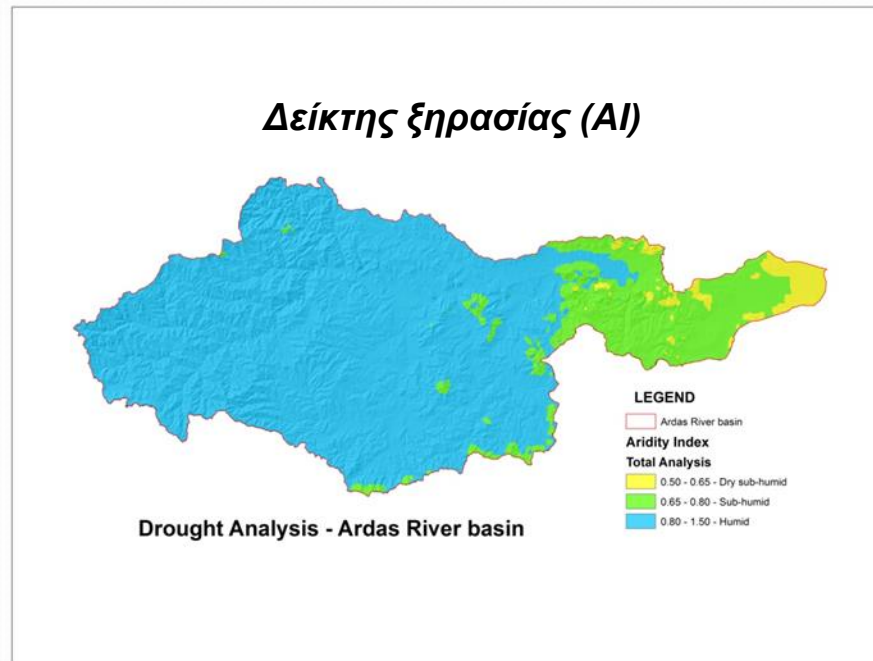
- Αυτές οι τιμές υπογραμμίζουν τη σφοδρότητα του φαινομένου και πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή προκειμένου να αποφευχθούν προβλήματα λειψυδρίας τα επόμενα χρόνια.
- Διαφοροποιήσεις επίσης εμφανίζονται μεταξύ της βόρειας και νότιας πλευράς της λεκάνης απορροής. Το νότιο τμήμα της λεκάνης χαρακτηρίζεται από περιοχές με υψηλά υψόμετρα, ενώ στο βόρειο τμήμα της λεκάνης συναντάμε μέτρια υψόμετρα.
- Αυτή η ιδιαιτερότητα επηρεάζει την ανάλυση της ξηρασίας, καθώς τα αποτελέσματα στο νότιο τμήμα είναι πιο μετριοπαθή σε σχέση με το βόρειο τμήμα.



Η ολοκληρωμένη ανάλυση για τη λεκάνη του ποταμού **Άρδα** έδειξε ότι οι συνθήκες είναι **υγρές**.

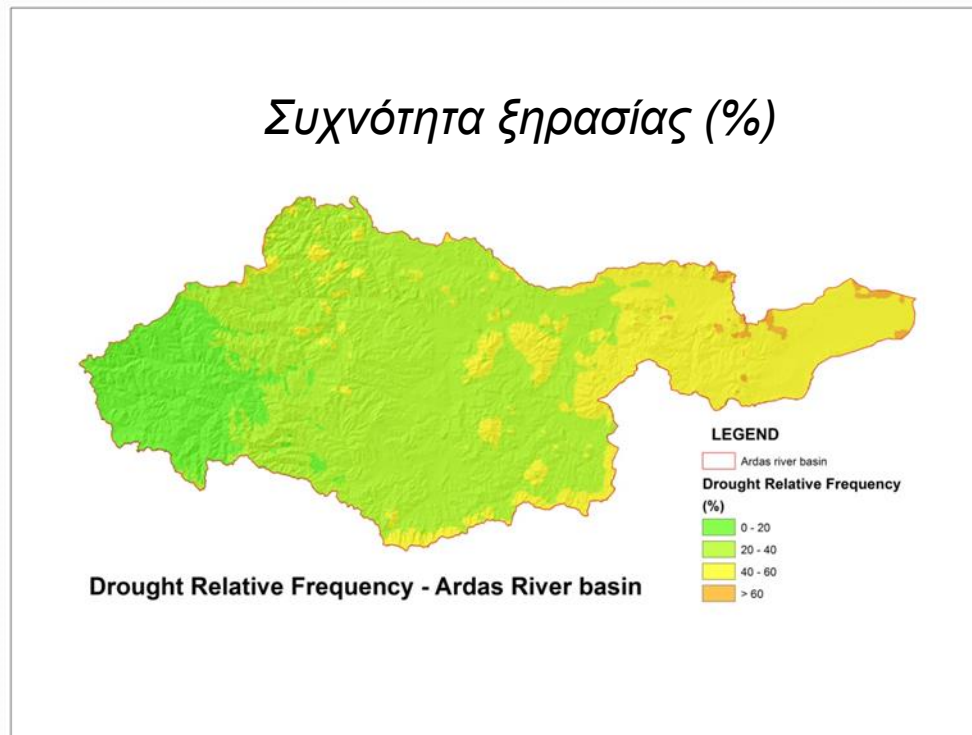
Οι **ορεινές περιοχές** παρουσιάζονται με **υγρές συνθήκες** ενώ οι περιοχές με **μέτριο υψόμετρο** παρουσιάζουν **ξηρότερες συνθήκες** κατά τη διάρκεια του έτους.

Οι περιοχές αυτές βρίσκονται κυρίως στο **ελληνικό τμήμα** της περιοχής μελέτης όπου πραγματοποιείται όλη η γεωργική δραστηριότητα.



Η πιθανότητα εμφάνισης ξηρασίας είναι περίπου **30%** ετησίως.

0 – 20% το ποσοστό εμφάνισης φαινομένων ξηρασίας σε περιοχές με υψηλό υψόμετρο, έως 60% σε κατώτερες υψομετρικά περιοχές.



Η μέση **διάρκεια** ξηρασίας είναι **80.5 ημέρες**.

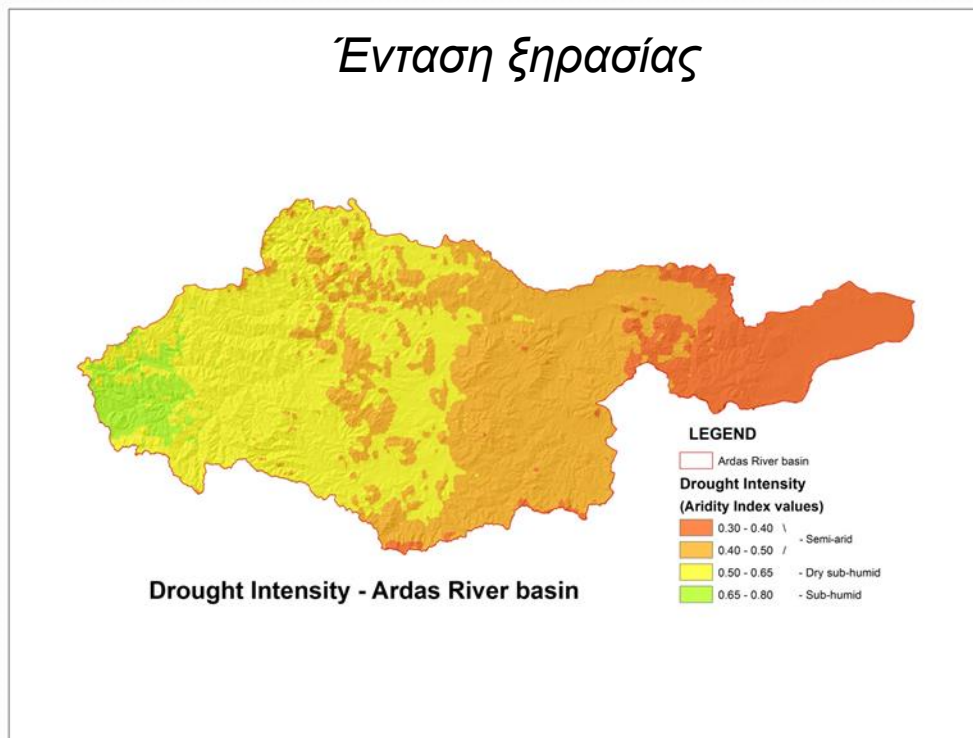
Όταν εμφανίζονται συνθήκες ξηρασίας στη λεκάνη του ποταμού Άρδα, η διάρκεια τους κυμαίνεται μεταξύ 50-100 ημερών (2-3 μήνες), ενώ στις χαμηλότερες περιοχές η διάρκεια μπορεί περιστασιακά να υπερβαίνει τις 100 ημέρες.

Συντομότερη διάρκεια της ξηρασίας σε σχέση με τις άλλες περιοχές μελέτης.

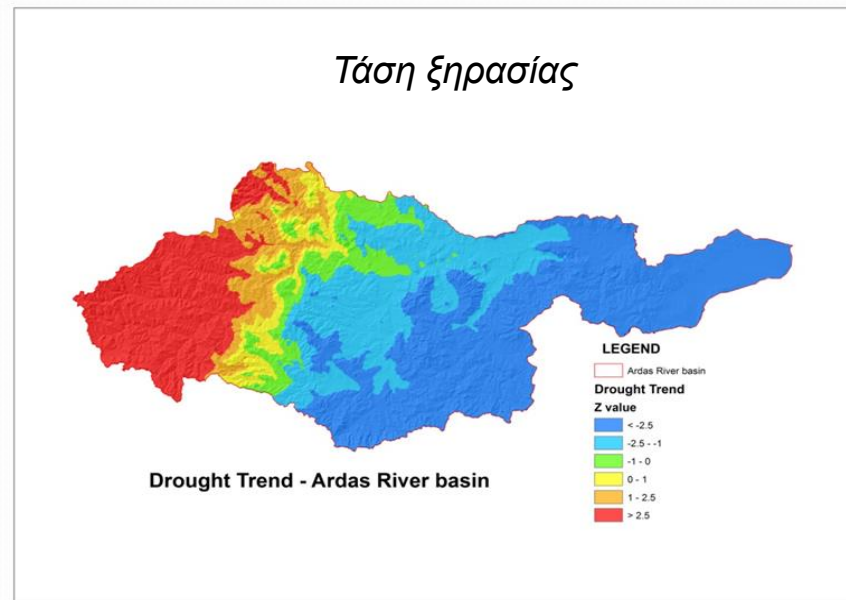


Η μέση ένταση κατά τη διάρκεια των ημέρων με συνθήκες ξηρασίας είναι 0.49 (σε τιμές AI) που είναι το όριο μεταξύ ημι-ξηρών και ξηρών-ημι-υγρών συθνηκών.

Η ένταση είναι ακρετά ισχυρή και σχεδόν το ½ της λεκάνης εμφανίζεται με ημι-άνυδρες (semi-arid) συνθήκες.



- Η ανάλυση τάσης (trend analysis) για τον π. Άρδα δείχνει μια καθοδική τάση που θεωρείται και αρκετά σημαντική καθώς οι συνθήκες ξηρασίας μειώνονται στη συγκεκριμένη περιοχή.
- Τα κατάντη τμήματα παρουσιάζουν μια πολύ μεγάλη πτωτική τάση των συνθηκών ξηρασίας, ενώ αντίθετα το ορεινό δυτικό μέρος της λεκάνης απορροής παρουσιάζει μια ισχυρή ανοδική τάση στα φαινόμενα ξηρασίας.
- Αυτή η ιδιαιτερότητα τείνει να μετριάσει τις συνθήκες ξηρασίας που επικρατούν στο σύνολο της λεκάνης απορροής



- Η κλιματική ταξινόμηση κατά Köppen–Geiger ποικίλλει έτσι εμφανίζονται ηπειρωτικές συνθήκες (*Dfb*) στη βορειοδυτική πλευρά της λεκάνης αποροής και υγρές και εύκρατες (*Cfb*) συνθήκες στην υπόλοιπη λεκάνη.
- Το κύριο χαρακτηριστικό των συγκεκριμένων κλιματικών τύπων είναι ότι το καλοκαίρι είναι υγρότερο σε σχέση με τα Μεσογειακά κλίματα που επικρατούν στις υπόλοιπες περιοχές μελέτης.
- Λόγω λοιπόν αυτής της ιδιαιτερότητας, η διάρκεια των φαινομένων ξηρασίας είναι σημαντικά μικρότερη, όπως και η ένταση του φαινομένου επειδή τα καλοκαίρια χαρακτηρίζονται ως θερμά.
- Ένας παράγοντας που μπορεί να φρενάρει την εμφάνιση των φαινομένων ξηρασίας στην περιοχή είναι η ύπαρξη των φραγμάτων στην κοίτη του π. Άρδα.
- Τα φράγματα μπορούν να δράσουν σαν ρυθμιστικός παράγοντας σε σχέση με την ζήτηση και την προσφορά του νερού.

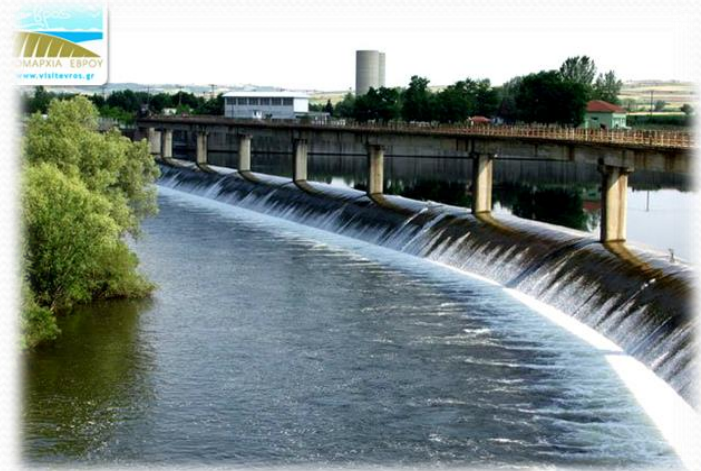
Γενικά, όλες οι περιοχές μελέτης έδειξαν μια **ανοδική τάση** των **συνθηκών ξηρασίας** στις **ορεινές περιοχές** ενώ η τάση αλλάζει εντελώς και ακολουθεί μια **καθοδική πορεία** στις **πεδινές περιοχές** όπου λαμβάνει χώρα όλη η **γεωργική δραστηριότητα**.

Είναι προφανές ότι το **υψόμετρο** αλλά και η **γεωγραφική θέση** διαδραματίζουν **καθοριστικό ρόλο** στη δημιουργία των κλιματικών συνθηκών που επικρατούν και επηρεάζουν τα αποτελέσματα της ανάλυσης της ξηρασίας.

Ένα άλλο αξιοσημείωτο γεγονός είναι η **ύπαρξη μεγάλων φραγμάτων** στις λεκάνες του ποταμού Άρδα και του Γεροποτάμου που εξυπηρετούν **αρδευτικούς σκοπούς**. Αυτά τα φράγματα μπορούν να **εξαλείψουν τη διαφορά ανάμεσα στην παροχή νερού και τη ζήτηση**, ειδικά τους καλοκαιρινούς μήνες, όταν αυξάνεται η ανάγκη για διαθέσιμο νερό για άρδευση.

Η ζήτηση νερού σε περιοχές με χαμηλότερο υψόμετρο είναι υψηλότερη από τα άλλα μέρη της λεκάνης απορροής.

Με **μη** ορθολογική διαχείριση των διαθέσιμων υδάτινων πόρων, οι **συνθήκες ξηρασίας** θα συνεχίσουν να προκαλούν **μεγάλες επιπτώσεις** στη γεωργία.



Ανάλυση ξηρασίας - Συζήτηση

Το κλίμα στο βόρειο τμήμα της Ελλάδας όπου βρίσκεται η λεκάνη του ποταμού Άρδα επηρεάζεται από το κλίμα της ηπειρωτικής Ευρώπης και τείνει να είναι πιο υγρό σε σχέση με κλίμα που επικρατεί στις υπόλοιπες περιοχές οι οποίες επηρεάζονται έντονα από το μεσογειακό κλίμα.

Μια ιδιαιτερότητα της τρέχουσας έρευνας είναι η **έλλειψη διαθέσιμων παρατηρήσεων** που συνήθως υπάρχουν στην Ελλάδα, καθώς το δίκτυο των Μ.Σ. παρέχει ανεπαρκείς παρατηρήσεις που είναι ένα **κοινό πρόβλημα** που ο ερευνητής καλείται να ξεπεράσει.

Ειδικά για τη λεκάνη του ποταμού Άρδα, η έλλειψη διαθέσιμων παρατηρήσεων για το βουλγαρικό τμήμα της λεκάνης είναι ένας παράγοντας που πρέπει να αναφερθεί.

Ανάλυση ξηρασίας - Προτάσεις

Μια γενική πρόταση που μπορεί επίσης να δοθεί είναι η **δημιουργία φράγματος** στις ορεινές περιοχές της **λεκάνης του ποταμού Σπερχειού**.

Φράγμα → να λειτουργήσει ως ρυθμιστής και να αντιμετωπίσει πιθανές συνθήκες ξηρασίας που θα εμφανιστούν όπως προέκυψε από την ανάλυση της παρούσας εργασίας.

Δημιουργία επαρκούς μετεωρολογικού δικτύου → διαφορετικά όλες οι έρευνες προς αυτήν την κατεύθυνση θα διέπονται από αυτές τις ελλείψεις.

Ανάλυση ξηρασίας - Συμπεράσματα

Απαιτείται μεγάλη προσοχή για τη διατύπωση συμπερασμάτων σχετικά με το κλίμα στην περιοχή της Μεσογείου.

Δημιουργία χαρτών → Χρήσιμα εργαλεία για όλα τα ενδιαφερόμενα μέρη (τοπική αυτοδιοίκηση, υπεύθυνοι φορείς, κάθε ενδιαφερόμενος)

Κατανόηση → μπορεί να γίνει από μη εξειδικευμένο προσωπικό

Οι **πολύπλοκες κλιματικές συνθήκες** που επικρατούν τόσο στην Ελλάδα όσο και στην περιοχή της Μεσογείου παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στη δημιουργία συνθηκών ξηρασίας, φαινομένων πλημμύρας κλπ.

Επερχόμενες μελέτες → επικεντρωθούν σε σχετικά μικρή κλίμακα

Διαφορετικά απαιτείται μεγάλος όγκος δεδομένων εισόδου για την παραγωγή ικανοποιητικών αποτελεσμάτων καθώς και συνδυασμός τεχνικών, μοντέλων και τύπων κλίματος που συχνά οδηγούν σε υπερεκτίμηση ή ακόμη χειρότερα σε **υποεκτίμηση των γεγονότων**.

Ανάλυση ξηρασίας - Σύνοψη

Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής είναι σημαντικές και πρέπει να ληφθούν κρίσιμες αποφάσεις σχετικά με την αειφόρο διαχείριση του περιβάλλοντος.

Προκειμένου να αποφευχθούν οι συνθήκες ξηρασίας τα επόμενα χρόνια, η επιστήμη της **διαχείρισης των υδάτινων πόρων** σε συνδυασμό με την **υδρομετεωρολογία** και την **κλιματολογία** καλούνται να παίξουν ένα **σημαντικό ρόλο** στην εποχή της κλιματικής αλλαγής και πρέπει να σχεδιάσουν και να εφαρμόσουν τεχνικά έργα και υποδομές οι οποίες σήμερα είναι περισσότερο από ποτέ απαραίτητες προκειμένου να **ανταπεξέλθουμε** σε σχέση με τις **επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής**.





THANK YOU FOR YOUR ATTENTION

Βιβλιογραφία

1. Allen, R., Pereira, L., Raes, D. and Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements, Journal of Irrigation and Drainage Engineering, Paper 56, Rome: Food and Agriculture Organization (FAO), 300 p.
2. ASCE Task Committee on Standardization of Reference Evapotranspiration of the Environmental and Water Resources Institute, 2005. The ASCE standardized reference evapotranspiration equation. In: Allen, R., Walter, I.A., Elliot, R.L., Howell, T.A., Itenfisu, D., Jensen, M.E. and Snyder, R.L. eds. Reston, VA: ASCE, 172 p.
3. Bates, B.C, Kundzewicz, Z.W., Wu, S. and Palutikof, J.P., 2008. Climate Change and Water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva: IPCC Secretariat, 210 p.
4. Burn, D. and Hag Elnur, M., 2002. Detection of hydrologic trends and variability, Journal of Hydrology, 255, 107-122.
5. Caprio, J., 1974. The solar thermal unit concept in problems related to plant development and potential evapotranspiration. In: Lieth, H. ed. Phenology and seasonality modeling, New York: Springer, 353-364.
6. Chen, C.-C., Gillig, D., McCarl, B.A., 2001. Effects of climatic change on a water dependent regional economy: a study of the Texas Edwards aquifer. Climate Change, 49 (4), 397-409.
7. Crete Region 2001. Integrated Water Resources Management in Crete Island, Department of Water Resources Management, Direction of Planning and Development, Crete Island.
8. Dai, A., Trenberth, K.E. and Qian, T., 2004. A global data set of Palmer Drought Severity Index for 1870-2002: A relationship with soil moisture and effects of surface warming, Journal of Hydrometeorology, 5, 1117-1130.
9. Dai, A., 2011. Drought under global warming: A review, WIREs Climate Change, 2, 45-65.
10. Dai, A., 2013. Increasing drought under global warming in observations and models, Nature Climate Change, 3, 52-58.
11. Dalezios, N. R. and Bartzokas, A., 1995. Daily precipitation variability in semiarid agricultural regions. Hydrological Sciences Journal, 40(5): 569-585.
12. Dalezios, R.N., Loukas, A., Vasilades, L. and Liakopoulos, E., 2000. Severity-Duration-Frequency analysis of droughts and wet periods in Greece, Hydrological Sciences Journal, 45(5): 751-769.
13. Dingman, S.L., 1994. Physical Hydrology, Macmillan Publishing Co., New York, NY.
14. Dingman, S.L., 2002. Physical Hydrology, 2nd ed., Upper Saddle River, N.J., Prentice Hall.
15. FAO, 1993. Forest Resources Assessment 1990. Tropical Countries. Forestry Paper 112. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
16. Gouvas, M., Sakellariou, N. and Xystrakis, F., 2009. The relationship between altitude of meteorological stations and average monthly and annual precipitation, Studia Geophysica et Geodaetica, 53 (4), 557-570.
17. Haan, C.T., 2002. Statistical methods in Hydrology, 2nd ed., Iowa State University Press, Ames, Iowa, 378pp.
18. Hillel, D. and Rosenzweig, C., 2002. Desertification in relation to climate variability and Change, Advances in Agronomy, 77: 1-38.
19. Hirsch, R.M., Slack, J.R. and Smith, R.A., 1982. Techniques of Trend Analysis for Monthly Water Quality Data, Water Resources Research, 18(1):107-121.
20. Holman, I.P., 2006. Climate change impacts on groundwater recharge uncertainty, shortcomings, and the way forward? Hydrogeology Journal 14 (5), 637-647.
21. Houghton, J., Meria-Filho, L., Callander, B., Harris, N., Kattenberg, A. and Maskell, K., 1996. Climate Change 1995: the science of climate change. Cambridge University Press: New York.
22. IPCC, 2007. Contribution of Working Group 1 to the Fourth IPCC Assessment Report. In: Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M. and Miller, H.L., eds. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 996 p.
23. IPCC, 2013. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In: 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. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Cambridge, UK and New York, NY, USA: Cambridge University Press 1535 pp.
24. Irmak, S., Allen R. and Whitty, E., 2003. Daily grass and alfalfareference evapotranspiration estimates and alfalfa-to-grass evapotranspiration ratios in Florida, Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 129 (5), 360-370.
25. Jacobs, J. and Satti S. 2001. Evaluation of reference evapotranspiration methodologies and AFSIRS crop water use simulation model, Final Rep. Palatka, FL: St. Johns River Water Management District.

1. Jensen, M. and Haise, H., 1963. Estimating evapotranspiration from solar radiation, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 89, 15-41.
2. Kendall, M. G., 1938. A new measure of rank correlation, *Biometrika*, 30, 81-93.
3. Kendall, M.G. and Stuart, A., 1969. *The Advanced Theory of Statistics*, vol. 1, 3rd Ed., Hafner, New York.
4. Kendall, M.G., 1975. *Rank Correlation Methods*, Charles Griffin, London.
5. Komuscu, A.U., 2001. An analysis of recent drought conditions in Turkey in relation to circulation patterns, *Drought Network News*, 13, 2-3.
6. Kostinakis, K., Xystrakis, F., Theodoropoulos, K., Stathis, D., Eleftheriadou, E. and Matzarakis, A., 2011. Estimation of reference potential evapotranspiration with focus on vegetation science – the EmPEst software, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 137, 616–619.
7. Livada, I. and Asimakopoulos, V.D., 2007. Spatial and temporal analysis of drought in Greece using the Standardized Precipitation Index (SPI), *Theoretical and Applied Climatology*, 89, 143-153.
8. Lu, J., Sun, G., McNulty S. and Amatya D., 2005. A comparison of six potential evapotranspiration methods for regional use in the southeastern United States, *American Water Resources Association*, 41 (3), 621–633.
9. Manolas, E., Tampakis, S., Gkaintatzis, S. and Mavridou-Mavroudi, S., 2010. Recreation in the area of River Ardas: The views of Elementary school pupils, *Tourismos: An International Multidisciplinary Journal of Tourism*, 5(2), 99-114.
10. Maris, F., Kitikidou, K., Angelidis P. and Potouridis, S., 2013. Kriging Interpolation Method for Estimation of Continuous Spatial Distribution of Precipitation in Cyprus, *British Journal of Applied Science & Technology*, 3 (4), 1286-1300.
11. Maris, F., Kitikidou, K., Paparrizos, S. and Potouridis, S., 2014. Stream flow quantile regression modeling using land use information in the Sperchios River basin (Central Greece), *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 9 (1), 5-10.
12. Matzarakis, A., Rutz, F. and Mayer H., 2007. Modeling radiation fluxes in simple and complex environments—Application of the RayMan model, *International Journal of Biometeorology*, 51 (4), 323–334.
13. Matzarakis, A., Rutz, F. and Mayer, H., 2010. Modelling radiation fluxes in simple and complex environments: basics of the RayMan model, *International Journal of Biometeorology*, 54 (2), 131-139.
14. Matzarakis, A. and Nastos, P., 2011. Analysis of tourism potential for Crete Island, Greece, *Global NEST Journal*, 13(2), 141-149.
15. 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*, Anaheim, California, U.S.A., 179-184.
16. Mechler, R., Hochrainer, S., Aaheim, A., Salen, H., Wreford, A., 2010. Modeling economic impacts and adaptation to extreme events: insights from European case studies. *Mitig. Adapt. Strategies for global change*, 15 (7), 737–762.
17. Michaelides, S. and Pashiardis, S., 2008. Monitoring Drought in Cyprus during the 2007-2008 Hydro-meteorological Year by using the Standardized Precipitation Index, *European Water*, 23-24, 123-131.
18. Minville, M., Brissette, F., Krau, S. and Leconte, R., 2009. Adaptation to climate change in the management of a canadian water resources system exploited for hydropower, *Water Resources Management*, 23, 2965-2986.
19. Oliver, M. A. and Webster, R., 1990. Kriging: a method of interpolation for geographical information systems, *International Journal of Geographical Information Systems*, 4(3), 313-332.
20. Oudin, L., Hervieu, F., Michel, C., Perrin, C., Andréassian, V., Anctil, F. and Loumagne, C., 2005. Which potential evapotranspiration input for a lumped rainfall-runoff model? Part 2 - Towards a simple and efficient potential evapotranspiration model for rainfall-runoff modeling, *Journal of Hydrology*, 303 (01), 290-306.
21. Nalbantis, I. and Tsakiris, G., 2009. Assessment of Hydrological Drought Revisited, *Water Resources Management*, 23, 881-897.
22. Nastos, P. and Zerefos, C., 2009. Spatial and temporal variability of consecutive dry and wet days in Greece, *Atmospheric Research*, 94, 616-628.
23. Nastos, P., Politi, N. and Kapsomenakis, J., 2013a. Spatial and temporal variability of the Aridity Index in Greece, *Atmospheric Research*, 119, 140-152.
24. Nastos, P., Kapsomenakis, J. and Douvis, K., 2013b. Analysis of precipitation extremes based on satellite and high-resolution gridded data set over Mediterranean basin. *Atmospheric Research*, 131, 46–59.
25. Palmer, W., 1965. *Meteorological Drought*, Research Paper No. 45, U.S. Department of Commerce Weather Bureau, 58 p.



1. Paparrizos, S., 2012. Study of the torrential Environment of Sperchios River with the integrated, hydrological, physically-based MIKE-SHE model, using GIS. M.Sc. Thesis. Department of Forestry and Management of the Environment and Natural Resources, Democritus University of Thrace, Greece (*In Greek*)
2. Paparrizos, S., Maris, F. and Matzarakis, A., 2014a. Estimation and comparison of Potential Evapotranspiration based on daily and monthly data from Sperchios River valley in Central Greece, *Global NEST Journal*, 16 (2), 204-217./
3. Paparrizos, S., Maris, F. and Matzarakis, A., 2014b. Mapping of drought for Sperchios River basin in Greece, *Hydrological Sciences Journal (In press)* <http://dx.doi.org/10.1080/02626667.2014.965175>
4. Pashiardis, S. and Michaelides, S., 2008. Implementation of the Standardized Precipitation Index (SPI) for Regional Drought Assessment: A case study for Cyprus, *European Water*, 23-24, 57-65.
5. Peel, M.C., Finlayson, B.L. and McMahon, T.A., 2007. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification, *Hydrology and Earth Systems Sciences* 11, 1633-1644.
6. Piccarreta, M., Capolongo, D. and Boenzi, F., 2004. Trend analysis of precipitation and drought in Basilicata from 1923 to 2000 within a Southern Italy context. *International Journal of Climatology*, 24, 907-922.
7. Robock, A., Vinnikov, K., Srinivasan, G., Entin, J., Hollinger, S., Speranskaya, N., Liu, S. and Namkhai, A., 2000. The Global Soil Moisture Data Bank, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 81, 1281-1299.
8. Rosenberry, D.O., Stannard, D.I., Winter, T.C. and Martinez, M.L., 2004. Comparison of 13 equations for determining evapotranspiration from a prairie wetland, Cottonwood Lake Area, North Dakota, USA, *Wetlands Ecology and Management*, 24 (3), 483-497.
9. Rossi, G., Benedini, M., Tsakiris, G. and Giakoumakis, S., 1992. On regional drought estimation and analysis, *Water Resources Management*, 6, 249-277.
10. Rossi, G. 2000. Drought mitigation measures: a comprehensive framework. In: Voght, J. and Somma, F., eds. *Drought and drought mitigation in Europe*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 233-246.
11. Salmi, T., Määttä, A., Anttila, P., Ruoho-Airola, T. and Amnell, T., 2002. Detecting trends of annual values of atmospheric pollutants by the Mann-Kendall test and Sen's slope estimates – the Excel template application MAKESENS, *Publications on air quality, Finnish Meteorological Institute, Air Quality Research*, No. 31, Helsinki.
12. Saravi, M., Safdari, A. and Malekian, A., 2009. Intensity-Duration-Frequency and spatial analysis of droughts using the Standardized Precipitation Index, *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 6:1347-1383.
13. Serbis, D., Papanthanasiou, C. and Mamassis, N., 2013. Flood mitigation at the downstream areas of a transboundary river, 8th International Conference "Water Resources Management in an Interdisciplinary and Changing Context", Porto, Portugal, 10 pages, European Water Resources Association.
14. Sheffield, J., Andreadis, K., Wood, E. and Lettenmaier, D., 2009. Global and continental drought in the second half of the twentieth century: Severity-area-duration analysis and temporal variability of large-scale events, *Journal of Climatology*, 22, 1962-1981.
15. Shiau, J.T., 2006. Fitting Drought Duration and Severity with Two-Dimensional Copulas, *Water Resources Management*, 20, 795-815.
16. Snedecor, G.W. and Cochran, G., 1989. *Statistical methods*, 8th ed., Iowa State University, Ames, Iowa, 803 pp.
17. Stansoft, I., 2007. *STATISTICA data analysis system*, [Computer Software]. Tulsa, OK, U.S.A.
18. Stobbelaar, D.J., Kuiper, J., Van Mansvelt, J. and Kabourakis, E., 2000. Landscape quality on Organic farms as components in the landscape, *Agriculture Ecosystems and Environment*, 77, 79-93.
19. Tsakiris G., Vangelis H.: 2004, Towards a Drought Watch System based on spatial SPI. *Water Resources Management*; 18(1), 1-12.
20. Tsakiris, G. and Vangelis, H., 2005. Establishing a Drought Index Incorporating Evapotranspiration, *European Water*, 9/10, 3-11.
21. Tsakiris, G., Pangalou, D. and Vangelis, H., 2007. Regional Drought Assessment Based on the Reconnaissance Drought Index (RDI), *Water Resources Management*, 21, 821-833.
22. Tsakiris, G., Vangelis, H. and Tigkas, D., 2010. Assessing Water System Vulnerability to Multi-year Droughts, *European Water*, 29, 21-29.
23. United Nations Environment Programme (UNEP), 1992. *World Atlas of Desertification*. London: Edward Arnold.
24. Vangelis, H., Spiliotis, M. and Tsakiris, G., 2011. Drought Severity Assessment Based on Bivariate Probability Analysis, *Water Resources Management*, 25, 357-371.
25. Vidal, J., Martin, E., Franchisteguy, L., Habets, F., Soubeyroux, J., Blanchard, M., and Bailon, M., 2010. Multilevel and multiscale drought reanalysis over France with the Safran-Isba-Modcou hydrometeorological suite, *Hydrology and Earth System Sciences*, 14, 459-478.
26. Vroidou, A.E., 2013. Drought Assessment based on a Multi-Model precipitation projections for the Island of Crete, *Earth Science and Climatic Change*, 4, 158.
27. Wang, G., 2005. Agricultural drought in a future climate: results from 15 global climate models participating in the IPCC 4th assessment. *Climate Dynamics* 25 (7-8), 739-753.
28. Wang, G., Minnis, R.B., Belant, J.L., Wax, C.L., 2010. Dry weather induces outbreaks of human West Nile virus infections. *BMC Infectious Disease Journal*, 10 (38), 1-7.
29. Westmacott, J. and Burn, D., 1997. Climate change effects on the hydrologic regime within the Churchill-Nelson River basin, *Journal of Hydrology*, 202, 263-279.
30. Xu, C.Y. and Singh V.P., 2002. Cross comparison of empirical equations for calculating potential evapotranspiration with data from Switzerland, *Water Resources Management*, 16 (3), 197-219.
31. Xu, Z.X., Chen, Y.N. and Li, J.Y., 2004. Impact of climate change on water resources in the Tarim River basin, *Water resources management*, 18(5), 439-458.
32. Xystrakis, F. and Kostinakis, K., 2010. EmPEst – empirical reference potential evaporation estimation: user's guide. Available at <http://empest.wordpress.com/>
33. Xystrakis, F. and Matzarakis, A., 2011. Evaluation of 13 empirical reference potential evapotranspiration equations on the island of Crete in southern Greece, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 137, 211-222.
34. Yue, S. and Wang, C.Y., 2004. The Mann-Kendall test modified by effective sample size to detect trend in serially correlated hydrological series, *Water Resources Management*, 18(3), 201-218.