

# ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΝΟΛΙΚΟΥ ΥΕΤΟΥ ΧΕΙΜΩΝΑ (2026)

Συντάκτης: Κασάπης Φίλιππος ΜΕΤΕΟΚΑΒ

## Contents

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ ΒΑΣΙΚΩΝ ΟΡΩΝ ΚΑΙ ΔΙΕΥΚΡΙΝΙΣΕΙΣ.....	1
ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΚΑΒΑΛΑ .....	7
ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΛΕΥΘΕΡΟΥΠΟΛΗ.....	13
ΕΠΕΞΗΓΗΣΕΙΣ-ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ.....	19
ΤΕΛΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	21

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ακολουθεί στατιστική ανάλυση του συνολικού υετού της χειμερινής περιόδου 2026 (Δεκέμβριος 2025–Φεβρουάριος 2026). Σε όλο το κείμενο, ο όρος «χειμώνας» αναφέρεται στη μετεωρολογική χειμερινή περίοδο, δηλαδή Δεκέμβριος του προηγούμενου ημερολογιακού έτους έως και Φεβρουάριος του αναφερόμενου έτους. Επομένως, «Χειμώνας 2010» σημαίνει Δεκέμβριος 2009–Φεβρουάριος 2010.

Για την ανάλυση χρησιμοποιούνται δύο επαγγελματικοί μετεωρολογικοί σταθμοί του νομού, οι οποίοι διαθέτουν συνεκτικό και αξιόπιστο αρχείο μετρήσεων διάρκειας άνω των 15 ετών. Συγκεκριμένα αξιοποιούνται οι σταθμοί: 1) [ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΚΑΒΑΛΑ](#) 2) [ΕΛΕΥΘΕΡΟΥΠΟΛΗ](#).

Όπου στην ανάλυση δεν αναφέρεται ρητά μονάδα μέτρησης, ως μονάδα θεωρούνται τα mm (χιλιοστά) υετού. Στη μετεωρολογία, ύψος υετού 1 mm αντιστοιχεί σε 1 λίτρο πάνω σε επιφάνεια 1 m<sup>2</sup> (1 L/m<sup>2</sup>).

## ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ ΒΑΣΙΚΩΝ ΟΡΩΝ ΚΑΙ ΔΙΕΥΚΡΙΝΙΣΕΙΣ

### Αριθμητικός μέσος όρος:

Ο αριθμητικός μέσος όρος υπολογίζεται ως το άθροισμα όλων των παρατηρήσεων διαιρεμένο με το πλήθος τους:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Αποτελεί μέτρο κεντρικής τάσης και είναι ευαίσθητος στην παρουσία ακραίων τιμών, επειδή κάθε παρατήρηση συνεισφέρει ισοβαρώς στον υπολογισμό του.

### **Διάμεσος:**

Η διάμεσος (median) είναι η κεντρική τιμή του δείγματος, αφού οι παρατηρήσεις ταξινομηθούν κατά αύξουσα σειρά. Έτσι, το 50% των παρατηρήσεων βρίσκεται κάτω από αυτήν και το 50% πάνω από αυτήν. Είναι «ανθεκτικό» μέτρο κεντρικής τάσης, καθώς επηρεάζεται πολύ λιγότερο από ακραίες τιμές σε σχέση με τον μέσο όρο.

## **Χρησιμότητα στη μελέτη χειμερινού υετού**

### **Ο ρόλος του μέσου όρου**

Στη μετεωρολογική και κλιματική ανάλυση ο μέσος όρος έχει κεντρικό ρόλο, καθώς:

- Ορίζει ένα κλιματολογικό σημείο αναφοράς (κλιματική κανονική): Ο WMO ορίζει «κλιματολογικές πρότυπες κανονικές» ως μέσους όρους που υπολογίζονται σε κινούμενες 30ετείς περιόδους (π.χ. 1981–2010, 1991–2020), οι οποίες ενημερώνονται ανά δεκαετία. Αυτές οι 30ετείς κανονικές χρησιμοποιούνται ως βάση για να συγκριθεί η υετική συμπεριφορά ενός συγκεκριμένου χειμώνα με τις «τυπικές» συνθήκες της περιοχής.
- Υπολογισμός ανωμαλιών: Η απόκλιση του υετού ενός έτους από τον αντίστοιχο κλιματολογικό μέσο όρο (ανωμαλία υετού) αποτελεί βασικό εργαλείο κλιματικής σύγκρισης.
- Μελέτη μεταβλητότητας και τάσεων: Η εξέλιξη του μέσου υετού σε πολυετείς χρονοσειρές βοηθά στην ποσοτικοποίηση της κλιματικής μεταβλητότητας και στη διερεύνηση πιθανών τάσεων.
- Χωρική σύγκριση σταθμών: Διευκολύνει τη σύγκριση διαφορετικών σταθμών (π.χ. ως προς τις κλιματολογικές τιμές αναφοράς ή τις ανωμαλίες), λαμβάνοντας υπόψη ότι κάθε θέση έχει το δικό της κλιματικό υπόβαθρο.
- Υδρολογικές εφαρμογές: Χρησιμοποιείται στον υπολογισμό υδατικού ισοζυγίου λεκανών απορροής και στον προκαταρκτικό σχεδιασμό/διαστασιολόγηση υδραυλικών έργων.

### **Περιορισμοί του μέσου όρου και ο ρόλος της διαμέσου**

Τα δεδομένα υετού συχνά παρουσιάζουν ασύμμετρη κατανομή με θετική λοξότητα — δηλαδή υπάρχουν λίγα, σχετικά σπάνια αλλά ιδιαίτερα υγρά έτη που «μετακινούν» τον μέσο όρο προς υψηλότερες τιμές. Ως αποτέλεσμα, ο μέσος όρος μπορεί να είναι

μεγαλύτερος από την τιμή που παρατηρείται στα περισσότερα έτη (βλ. ενδεικτική συζήτηση στο *Wilks, Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*).

Παράδειγμα: Αν σε 10 χρόνια οι τιμές χειμερινού υετού είναι (mm):

190, 205, 215, 225, 235, 245, 255, 265, 275, 620

→ Μέσος όρος: 273 mm — αλλά 9 στα 10 έτη είχαν υετό κάτω από αυτήν την τιμή.

→ Διάμεσος: 240 mm — πολύ πιο αντιπροσωπευτική του «τυπικού» χειμώνα.

Η σχέση μεταξύ μέσου όρου και διαμέσου αποτελεί επίσης διαγνωστικό εργαλείο για την κατανόηση της κατανομής (Wilks, 2011):

- Μέσος > διάμεσος → θετική λοξότητα (συχνή σε υετικές κατανομές)
- Μέσος  $\approx$  διάμεσος → περίπου συμμετρική κατανομή, περίπου κανονική κατανομή
- Μέσος < διάμεσος → αρνητική λοξότητα

Συνοπτικά, ο μέσος όρος λειτουργεί ως γραμμή βάσης για κλιματολογικές συγκρίσεις, ανωμαλίες και υδρολογικές εφαρμογές, ενώ η διάμεσος περιγράφει συχνά καλύτερα την «τυπική» συμπεριφορά μιας περιοχής. Με απλά λόγια, η διάμεσος μπορεί να απαντήσει πιο αντιπροσωπευτικά στο ερώτημα «πόσο βρέχει συνήθως τον χειμώνα».

### Χρήση Βασικών Στατιστικών Μέτρων

Στην ανάλυση χρησιμοποιούνται δύο διαφορετικές περίοδοι αναφοράς με διακριτό ρόλο η καθεμία.

Ο μέσος όρος και η διάμεσος της περιόδου **2006–2025** αποτελούν **βάση** για τον χαρακτηρισμό του χειμώνα 2026. Βάσει αυτών υπολογίζεται η ανωμαλία του 2026 — δηλαδή κατά πόσο ο χειμώνας αυτός αποκλίνει από το ιστορικό "φυσιολογικό" της περιοχής. Η εξαίρεση του 2026 από την περίοδο αναφοράς είναι μεθοδολογικά απαραίτητη, ώστε να αποφευχθεί η κυκλική αναφορά (Wilks, 2011).

Ο μέσος όρος και η διάμεσος της περιόδου **2006–2026** χρησιμοποιούνται για την οπτικοποίηση και την εκτίμηση της συνολικής κλιματικής κατάστασης.

### Τυπική απόκλιση

Η τυπική απόκλιση είναι μέτρο **διασποράς** που εκφράζει πόσο απομακρύνονται κατά μέσο όρο οι παρατηρήσεις από τον μέσο όρο τους. Μεγάλη τυπική απόκλιση υποδηλώνει έντονη μεταβλητότητα του υετού μεταξύ των ετών, ενώ μικρή τυπική απόκλιση υποδηλώνει σχετικά σταθερές χειμερινές βροχοπτώσεις. Η τυπική απόκλιση δεν αποτελεί μέτρο ασυμμετρίας (λοξότητας) της κατανομής — για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιείται ο δείκτης nonparametric skew που ακολουθεί.

Η τυπική απόκλιση από μόνη της δεν αρκεί για να χαρακτηριστεί η μεταβλητότητα μιας χρονοσειράς, καθώς η απόλυτη τιμή της εξαρτάται από τη μονάδα μέτρησης και το μέγεθος των παρατηρήσεων. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιείται ο **συντελεστής**

**μεταβλητότητας (CV)**, ο οποίος εκφράζει την τυπική απόκλιση ως ποσοστό του μέσου όρου:

$$CV = \frac{s}{\bar{x}} \times 100\%$$

Το αποτέλεσμα είναι **αδιάστατο**, επιτρέποντας τη σύγκριση της μεταβλητότητας μεταξύ διαφορετικών σταθμών ή περιόδων, ανεξαρτήτως του απόλυτου ύψους βροχόπτωσης. Υψηλός CV σε χειμερινές βροχοπτώσεις υποδηλώνει ότι η βροχόπτωση της περιοχής παρουσιάζει **έντονες διακυμάνσεις από χειμώνα σε χειμώνα**, με πρακτικές επιπτώσεις στην αξιοπιστία της υδρολογικής εκτίμησης και στη διαχείριση υδατικών πόρων. Αντίθετα, χαμηλός CV υποδηλώνει σχετικά **σταθερές και προβλέψιμες** χειμερινές βροχοπτώσεις.

### **Nonparametric Skew (Μη παραμετρική λοξότητα):**

Για την ποσοτική εκτίμηση της ασυμμετρίας της κατανομής χρησιμοποιείται ο δείκτης nonparametric skew, ο οποίος αξιοποιεί μεγέθη που ήδη υπολογίζονται στην ανάλυση (μέσος όρος, διάμεσος, τυπική απόκλιση), χωρίς να απαιτεί παραδοχές για τη μορφή της κατανομής:

$$S = \frac{\mu - M}{s}$$

όπου  $\mu$  είναι ο μέσος όρος,  $M$  η διάμεσος και  $s$  η τυπική απόκλιση. Στον τύπο αυτό η τυπική απόκλιση χρησιμοποιείται ως κανονικοποιητής (παρονομαστής), ώστε το αποτέλεσμα να είναι αδιάστατο και συγκρίσιμο μεταξύ διαφορετικών περιπτώσεων.

Ερμηνεία:

- $S > 0$ : θετική λοξότητα — ο μέσος είναι μεγαλύτερος από τη διάμεσο (συνήθης περίπτωση σε δεδομένα υετού)
- $S = 0$ : συμμετρική κατανομή
- $S < 0$ : αρνητική λοξότητα — ο μέσος είναι μικρότερος από τη διάμεσο

### **Ευθεία ελαχίστων τετραγώνων**

Η ευθεία ελαχίστων τετραγώνων είναι η γραμμή που προσαρμόζεται σε ένα σύνολο σημείων, ελαχιστοποιώντας το άθροισμα των τετραγώνων των κατακόρυφων αποκλίσεων των παρατηρήσεων από τη γραμμή. Στην παρούσα ανάλυση χρησιμοποιείται ως απλή γραφική/ποσοτική απεικόνιση μιας **γραμμικής** τάσης του χειμερινού υετού στον χρόνο. Η κλίση της εκφράζεται σε mm ανά έτος: θετική κλίση υποδηλώνει ανοδική τάση, ενώ αρνητική κλίση καθοδική.

Μια οπτικά εμφανής τάση δεν αρκεί από μόνη της, καθώς μπορεί να οφείλεται στην τυχαία διακύμανση. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιείται και ο έλεγχος Mann-Kendall ένας

μη παραμετρικός έλεγχος κατάλληλος για χρονοσειρές υετού, καθώς δεν απαιτεί κανονική κατανομή στα δεδομένα (που δεν υπάρχει σε δεδομένα υετού συνήθως).

### **Λογαριθμοκανονική κατανομή (Lognormal distribution)**

Η λογαριθμοκανονική κατανομή είναι συνεχής κατανομή πιθανότητας που χρησιμοποιείται συχνά για μεταβλητές οι οποίες λαμβάνουν μόνο θετικές τιμές και εμφανίζουν θετική λοξότητα. Βασική ιδιότητά της είναι ότι αν μια τυχαία μεταβλητή  $X$  είναι λογαριθμοκανονική, τότε ο φυσικός λογάριθμός της,  $Y = \ln(X)$ , ακολουθεί κανονική κατανομή. Ο λογαριθμικός μετασχηματισμός μειώνει την επίδραση των ακραίων υψηλών τιμών και διευκολύνει την παραμετρική στατιστική προσαρμογή και την εκτίμηση πιθανοτήτων (Wilks, 2011, *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*).

### **Γιατί εφαρμόζεται στον υετό:**

Τα αθροίσματα ή/και τα μέγιστα υετού (π.χ. εποχικοί ή ετήσιοι συνολικοί υετοί) είναι εκ φύσεως μη αρνητικά και, σε πολλές περιοχές, εμφανίζουν ασύμμετρη κατανομή με θετική λοξότητα. Για τον λόγο αυτό, στη βιβλιογραφία χρησιμοποιούνται συχνά κατανομές όπως η λογαριθμοκανονική, η Gamma και η Pearson Type III. Στην παρούσα ανάλυση επιλέγεται η λογαριθμοκανονική κατανομή ως λειτουργικό μοντέλο προσαρμογής για τα συγκεκριμένα δεδομένα, όπως τεκμηριώνεται στο αντίστοιχο κεφάλαιο (Chow, Maidment & Mays, 1988, *Applied Hydrology*). Στο κεφάλαιο επεξηγήσεις θα δείτε γιατί επιλέχθηκε αυτή η μέθοδος.

### **Πιθανότητα υπέρβασης και χρόνος επιστροφής**

Αφού προσαρμοστεί η λογαριθμοκανονική κατανομή στα δεδομένα υετού, μπορούμε να υπολογίσουμε για οποιαδήποτε τιμή υετού την **(ετήσια) πιθανότητα υπέρβασης** — δηλαδή την πιθανότητα, σε ένα τυπικό έτος, να παρατηρηθεί υετός **μεγαλύτερος ή ίσος** από την τιμή αυτή για τη χειμερινή περίοδο (DJF) (υπό την παραδοχή ότι τα έτη είναι συγκρίσιμα και επαρκώς ανεξάρτητα).

$$p = P(X \geq x)$$

Ο **χρόνος επιστροφής** ορίζεται ως το αντίστροφο της (ετήσιας) πιθανότητας υπέρβασης:

$$T = \frac{1}{p}$$

**Παράδειγμα:** Αν η προσαρμογή δείχνει ότι η πιθανότητα να υπερβεί ο υετός μια τιμή σε ένα δεδομένο έτος είναι 10% ( $AEP = 0.10$ ), τότε ο χρόνος επιστροφής είναι 10 έτη. Η τιμή αυτή συχνά αποκαλείται «υετός 10ετίας», με την έννοια ότι αναμένεται να υπερβεί την τιμή αυτή περίπου μία φορά ανά 10 έτη κατά μέσο όρο (όχι σε σταθερά διαστήματα).

#### **Κρίσιμες διευκρινίσεις:**

- Ο χρόνος επιστροφής **δεν σημαίνει** ότι το γεγονός συμβαίνει μία φορά ακριβώς κάθε  $T$  έτη. Εκφράζει μια στατιστική μέση συχνότητα — είναι δυνατό να συμβεί δύο φορές μέσα σε μία δεκαετία ή και καμία.
- Οι εκτιμήσεις χρόνου επιστροφής βασίζονται συνήθως στην παραδοχή **στασιμότητας** — δηλαδή ότι η στατιστική κατανομή του υετού (και οι παράμετροί της) δεν μεταβάλλεται συστηματικά στον χρόνο. Σε συνθήκες κλιματικής αλλαγής η παραδοχή αυτή μπορεί να μην ισχύει, οπότε οι υπολογισμοί χρόνου επιστροφής ερμηνεύονται ως περιγραφές του ιστορικού κλίματος/παραθύρου δεδομένων και όχι ως «εγγυήσεις» για το μέλλον (Serinaldi & Kilsby, 2015, *Water Resources Research*).

## ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΚΑΒΑΛΑ

ΣΥΝΟΛΙΚΟΣ ΥΕΤΟΣ ΧΕΙΜΩΝΩΝ ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΚΑΒΑΛΑ	
ΕΤΟΣ	ΥΕΤΟΣ(mm)
2006	158.6
2007	110.1
2008	132.6
2009	245.0
2010	405.1
2011	94.8
2012	251.8
2013	247.0
2014	118.0
2015	231.6
2016	93.8
2017	74.6
2018	178.4
2019	278.8
2020	126.8
2021	269.0
2022	286.6
2023	134.8
2024	107.6
2025	247.6
2026	337.2

**ΠΙΝΑΚΑΣ1 Το σύνολο του υετού που έχει καταγραφεί κατά τη διάρκεια των χειμώνων από το 2006 έως και το 2026. Κατά το 2026 έπεσαν 337,2 mm.**

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ 2006-2025	
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ (mm)	189.63
ΔΙΑΜΕΣΟΣ (mm)	168.50
ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ (mm)	87.75
ΜΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΛΟΞΟΤΗΤΑ	0.24

## ΠΙΝΑΚΑΣ2

Ο **αριθμητικός μέσος (189.6 mm)** υπερβαίνει τη **διάμεσο (168.5 mm)** κατά **21.1 mm**, ποσοστιαία διαφορά της τάξης του **~11.1% ως προς τον μέσο**. Η υπεροχή του μέσου έναντι της διαμέσου αποτελεί από μόνη της άμεση ένδειξη **θετικής ασυμμετρίας** της κατανομής. Σε πρακτικό επίπεδο, αυτό σημαίνει ότι η πλειονότητα των ετών της περιόδου εμφανίζει βροχόπτωση **χαμηλότερη από 189.6 mm**, ενώ λίγα μόνο έτη με εξαιρετικά υψηλές τιμές «ανεβάζουν» τον μέσο. Ως εκ τούτου, η **διάμεσος (168.5 mm)** είναι **πιο αντιπροσωπευτική** της «τυπικής» ετήσιας βροχόπτωσης στον σταθμό.

Η **τυπική απόκλιση (87.8 mm)** αντιστοιχεί σε **συντελεστή μεταβλητότητας CV  $\approx$  46.3%**. Πρόκειται για **υψηλή ετήσια μεταβλητότητα**, καθώς ο δείκτης υπερβαίνει το κατώφλι του **35%** που συνήθως ορίζει τη μετάβαση από μέτρια σε υψηλή μεταβλητότητα.

**S = 0.24**, θετική τιμή **S > 0** επιβεβαιώνει ποσοτικά την **ήπια δεξιά ασυμμετρία** που υποδηλώνει ήδη η διαφορά μέσου–διαμέσου και είναι πλήρως συνεκτική με αυτή.

### Συνολική Αξιολόγηση

Τα τέσσερα μεγέθη είναι **εσωτερικά συνεκτικά** και σχηματίζουν μια αδιάρρηκτη στατιστική εικόνα:

- Μέσος (189.6 mm) > Διάμεσος (168.5 mm) → θετική ασυμμετρία
- Λοξότητα Pearson 2ου τύπου = +0.24 → ήπια θετική ασυμμετρία
- CV  $\approx$  46.3% → υψηλή διαετήσια μεταβλητότητα

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΥΕΤΟΥ 2026 (βάση 2006-2025)		
ΥΕΤΟΣ 2026 (mm)	% ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΑΠΟ Μ.Ο.	% ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΑΠΟ ΔΙΑΜΕΣΟ
337.20	+77.82%	+100.12%

**ΠΙΝΑΚΑΣ3**

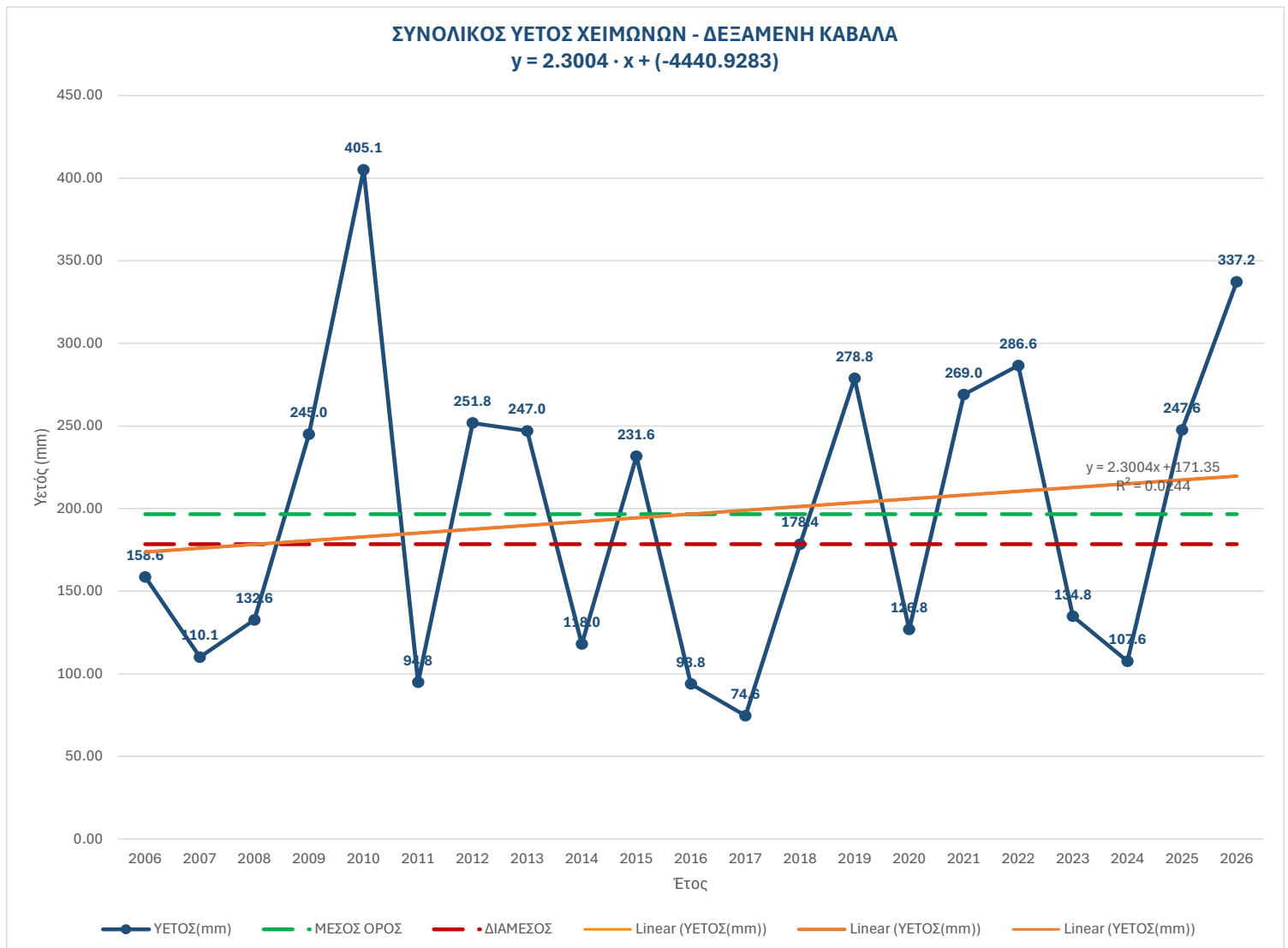
Απόκλιση +77.82% ως προς τον μέσο όρο, η τιμή αυτή εκφράζει την ανωμαλία υετού του χειμώνα 2026 σε σχέση με το κλιματολογικό σημείο αναφοράς. Σύμφωνα με τη διεθνή μετεωρολογική πρακτική (WMO), ανωμαλία άνω του +50% χαρακτηρίζει έναν χειμώνα ως εξαιρετικά υγρό. Ο χειμώνας 2026 υπερβαίνει κατά πολύ αυτό το κατώφλι, καταδεικνύοντας ότι πρόκειται για στατιστικά σπάνιο γεγονός στο κλιματολογικό αρχείο του σταθμού. Η χρήση της διαμέσου ως βάσης σύγκρισης παρέχει μια **ανθεκτικότερη** εκτίμηση της ανωμαλίας, καθώς η διάμεσος δεν επηρεάζεται από ακραίες τιμές. Το γεγονός ότι η απόκλιση ως προς τη διάμεσο **υπερβαίνει το 100%** σημαίνει ότι ο υετός του χειμώνα 2026 είναι **περισσότερος από διπλάσιος** της τυπικής χειμερινής βροχόπτωσης του σταθμού — ένδειξη εξαιρετικά ισχυρή και ανεξάρτητη από το μέτρο σύγκρισης που επιλέγεται.

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ 2006-2026	
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ (mm)	196.66
ΔΙΑΜΕΣΟΣ (mm)	178.40
ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ (mm)	91.39
ΜΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΛΟΞΟΤΗΤΑ	0.20

**ΠΙΝΑΚΑΣ4**

**Ερμηνεία μεταβολών με την προσθήκη του έτους 2026 (337,2 mm) σε σχέση με ΠΙΝΑΚΑ2:** Ο μέσος όρος (196.66 mm) υπερβαίνει τη **διάμεσο (178.40 mm)** κατά 18.26 mm (~9.3% ως προς τον μέσο), επιβεβαιώνοντας τη **διατήρηση της θετικής ασυμμετρίας** της κατανομής. Η διάμεσος παραμένει η πιο αντιπροσωπευτική εκτίμηση της «τυπικής» χειμερινής βροχόπτωσης, ως ανθεκτική στις δύο ακραίες τιμές του αρχείου (2010: 405.1 mm, 2026: 337.2 mm). Η τυπική απόκλιση αυξήθηκε από 87.8 mm σε **91.39 mm**, αναμενόμενη εξέλιξη δεδομένης της μεγάλης απόστασης της τιμής του 2026 από τον μέσο ( $|337.2 - 189.6| = 147.6$  mm). Ο συντελεστής μεταβλητότητας διαμορφώνεται σε **CV = 46.47%**, οριακά αυξημένος κατά +0.16 μονάδες, διατηρώντας αναλλοίωτο τον χαρακτηρισμό **υψηλής μεταβλητότητας (CV > 35%)**. Αντιθέτως, η μη-παραμετρική λοξότητα  $S=(\mu-M)/s$  μειώθηκε (0,2408 → 0,1998), παρότι η αρχική διαίσθηση θα ανέμενε αύξηση. Αυτό οφείλεται στο ότι: (α) η ήδη υπάρχουσα ακραία τιμή του 2010 (405,1 mm) διατηρεί τη θέση της ως μέγιστο, οπότε το 2026 δεν επιμηκύνει τη δεξιά ουρά αλλά «γεμίζει» το κενό μεταξύ της κύριας μάζας δεδομένων και του μεγίστου· (β) ο διάμεσος

μετατοπίστηκε αναλογικά περισσότερο (+9,90 mm) από τον μέσο όρο (+7,03 mm), μειώνοντας τον αριθμητή (μ-M) από 21,13 σε 18,26· (γ) ταυτόχρονα ο παρονομαστής (s) αυξήθηκε. Και οι δύο παράγοντες δρουν μειώνοντας τον δείκτη. Συμπερασματικά, η κατανομή μεταβαίνει από κατάσταση «μονοκόρυφης με απομονωμένη ακραία τιμή» σε «υψηλότερης μεταβλητότητας αλλά πιο συμμετρική», κάτι που σε κλιματολογικό πλαίσιο ίσως αποτελεί ένδειξη για πιθανή αυξανόμενη μεταβλητότητα με συχνότερα ακραία υγρά έτη. Η ερμηνεία αυτή παραμένει **προκαταρκτική** λόγω του μικρού μεγέθους δείγματος (n = 21 έτη) και χρήζει επιβεβαίωσης με εκτενέστερο αρχείο μετρήσεων.



### ΓΡΑΦΗΜΑ1

#### Χρονοσειρά Συνολικού Χειμερινού Υετού — Δεξαμενή Καβάλας (2006–2026)

Το γράφημα απεικονίζει τη χρονική εξέλιξη του συνολικού χειμερινού υετού σε συνδυασμό με τον μέσο όρο (196.66 mm, πράσινη διακεκομμένη), τη διάμεσο (178.40 mm, κόκκινη διακεκομμένη) και την ευθεία ελαχίστων τετραγώνων (πορτοκαλί).

Η χρονοσειρά χαρακτηρίζεται από **έντονη μεταβλητότητα**, με τιμές να κυμαίνονται από **74.6 mm (2017)** έως **405.1 mm (2010)** — εύρος σχεδόν **330 mm** μεταξύ ελαχίστου και μεγίστου. Διακρίνονται καθαρά δύο **ακραία υγροί χειμώνες** (2010: 405.1 mm, 2026: 337.2 mm) και ένα **ακραία ξηρός χειμώνας** (2017: 74.6 mm), επιβεβαιώνοντας οπτικά την υψηλή μεταβλητότητα που εκφράζει ποσοτικά ο  $CV \approx 46.5\%$ . Η πλειονότητα των ετών κινείται **κάτω από τον μέσο όρο**, γεγονός συνεπές με τη θετική ασυμμετρία της κατανομής ( $S = 0.200$ ).

Η ευθεία ελαχίστων τετραγώνων εκφράζεται ως

$$y=2.3004 \cdot x-4440.9283$$

Η γραμμή τάσης δείχνει ότι ο χειμερινός υετός στη Δεξαμενή Καβάλας φαίνεται να αυξάνεται κατά περίπου 2,3 mm κάθε χρόνο. Όμως, όταν ελέγξαμε αυτή την τάση με τον μη-παραμετρικό έλεγχο Mann-Kendall — που είναι η πιο αξιόπιστη μέθοδος για κλιματικά δεδομένα — διαπιστώσαμε ότι **η αύξηση αυτή δεν είναι στατιστικά σημαντική**. Με άλλα λόγια, η διαφορά από έτος σε έτος είναι τόσο μεγάλη (άλλοι χειμώνες πολύ ξηροί, άλλοι πολύ υγροί), που η μικρή ανοδική κλίση που βλέπουμε στο γράφημα **μπορεί κάλλιστα να είναι τυχαία** και όχι πραγματική κλιματική τάση. Σκεφτείτε το έτσι: ο «θόρυβος» των ετήσιων διακυμάνσεων είναι πολύ πιο δυνατός από το «σήμα» μιας πιθανής τάσης, οπότε δεν μπορούμε να ξεχωρίσουμε με βεβαιότητα το ένα από το άλλο. Αυτό δεν σημαίνει ότι δεν υπάρχει τάση — σημαίνει απλώς ότι **τα 21 έτη δεδομένων δεν αρκούν για να το αποδείξουμε**. Για ασφαλές συμπέρασμα θα χρειαζόμασταν χρονοσειρά τουλάχιστον 30 ετών, όπως συνιστά και ο Παγκόσμιος Μετεωρολογικός Οργανισμός. Στην ενότητα ΕΠΕΞΗΓΗΣΕΙΣ-ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ θα βρείτε τους υπολογισμούς που έγιναν και πιο εκτενή ανάλυση-σχόλια.

ΕΜΠΕΙΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΧΕΙΜΩΝΑ 2026	
Κατάταξη χειμώνα 2026	<b>2ος / 21</b>
% υπεροχή πιο υγρού (2010) έναντι 2026	<b>20.14%</b>
% ετών με λιγότερη βροχή από 2026	<b>90.48%</b>

**ΠΙΝΑΚΑΣ5**

Ο χειμώνας 2026 με συνολικό υετό **337,2 mm** καταλαμβάνει τη **2η θέση** στην 21ετή χρονοσειρά (2006-2026), υπολείπόμενος μόνο από τον χειμώνα του 2010 (405,1 mm). Η εμπειρική σπανιότητα είναι **σημαντική**: το **90,48%** των ετών (19 από 21) εμφάνισε χαμηλότερο υετό. Το 2010 υπερτερεί του 2026 κατά **+20,14%**, διαφορά αξιοσημείωτη που υποδηλώνει ότι η περιοχή έχει την ικανότητα να παράγει και πιο ακραία γεγονότα. Ο εμπειρικός χρόνος επιστροφής με τη μέθοδο Weibull,  $T_{emp} = (n+1)/rank = 22/2 = 11,0$  **έτη**, αποτελεί την αμερόληπτη μη-παραμετρική εκτίμηση και θα χρησιμοποιηθεί ως σημείο αναφοράς για την αξιολόγηση της θεωρητικής προσαρμογής.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ LOG-NORMAL (n=21)	
$\mu$ (μέσος του $\ln X$ )	<b>5.17</b>
$\sigma$ (τυπική απόκλιση του $\ln X$ )	<b>0.48</b>
Θεωρητικός μέσος $E[X] = \exp(\mu + \sigma^2/2)$	<b>198.54 mm</b>
Θεωρητική διάμεσος $= \exp(\mu)$	<b>176.54 mm</b>
Θεωρητική τυπική απόκλιση	<b>102.17 mm</b>

## ΠΙΝΑΚΑΣ6

Τα παραπάνω στοιχεία θα χρησιμοποιηθούν για τον ΠΙΝΑΚΑ7. Περισσότερες πληροφορίες για τη σημασία τους και τη μεθοδολογία υπολογισμού τους παρατίθενται στην ενότητα ΕΠΕΞΗΓΗΣΕΙΣ-ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ.

ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑ ΥΠΕΡΒΑΣΗΣ $P(X \geq x)$ & ΧΡΟΝΟΣ ΕΠΙΣΤΡΟΦΗΣ T		
Τιμή υετού x (mm)	$P(X \geq x)$	Χρόνος Επιστροφής T (έτη)
337.2 (Χειμώνας 2026)	9.09%	11.00 έτη
300,0 (Σενάριο)	13.70%	7.30 έτη

## ΠΙΝΑΚΑΣ7

Για τον χειμώνα 2026, η πιθανότητα υπέρβασης  $P(X \geq 337,2) = 9,09\%$  σημαίνει ότι, υπό την υπόθεση κλιματικής στασιμότητας, υπάρχει 9,09% πιθανότητα ένας τυχαίος μελλοντικός χειμώνας να εμφανίσει υετό ίσο ή μεγαλύτερο από αυτόν του 2026. Ο αντίστοιχος **χρόνος επιστροφής T = 11,00 έτη** δηλώνει ότι, κατά μέσο όρο, ένας τέτοιος χειμώνας αναμένεται να συμβεί **μία φορά κάθε 11 έτη**. Για το σενάριο των **300 mm**, η πιθανότητα ανέρχεται σε **13,70%** με αντίστοιχο T = **7,30 έτη** — δηλαδή ένα γεγονός μέτριας σπανιότητας που αναμένεται περίπου κάθε 7 χρόνια. Η μείωση του T από 11 σε 7,3 έτη για διαφορά 37,2 mm (από 337,2 σε 300) αναδεικνύει τη **μη-γραμμική σχέση** μεταξύ έντασης γεγονότος και σπανιότητας: κάθε επιπλέον δεκάδα mm στο άνω άκρο της κατανομής αυξάνει εκθετικά τον χρόνο επιστροφής, χαρακτηριστικό όλων των δεξιά-λοξών κατανομών. Ένα από τα πιο **επιστημονικά σημαντικά** αποτελέσματα της ανάλυσης είναι η **σύμπτωση** μεταξύ εμπειρικού και θεωρητικού χρόνου επιστροφής για το 2026. Αυτή η ταύτιση δεν είναι τυχαία — επιβεβαιώνει ότι η **Log-Normal αναπαριστά πιστά την παρατηρούμενη κατανομή υετού** στη Δεξαμενή Καβάλας, ιδιαίτερα στη δεξιά ουρά όπου συμβαίνουν τα κρίσιμα ακραία γεγονότα. Αυτό προσδίδει αυξημένη αξιοπιστία στην εκτίμηση του 13,70% για το σενάριο των 300 mm.

Παρά τη φαινομενική ακρίβεια των αριθμητικών αποτελεσμάτων, απαιτείται **κριτική αντιμετώπιση** για τρεις λόγους:

**(α) Μέγεθος δείγματος (n=21):** Η συνιστώμενη ελάχιστη χρονοσειρά για αξιόπιστη ανάλυση συχνότητας ακραίων γεγονότων είναι **30 έτη** (WMO, Stedinger et al.). Με n=21, το 95% διάστημα εμπιστοσύνης του χρόνου επιστροφής T=11 έτη είναι ευρύ — εκτιμάται προσεγγιστικά [6, 25] έτη, δηλαδή η πραγματική τιμή θα μπορούσε να κυμαίνεται από 6 έως 25 έτη.

**(β) Υπόθεση στασιμότητας:** Όλη η ανάλυση προϋποθέτει ότι **οι στατιστικές ιδιότητες του υετού δεν μεταβάλλονται χρονικά**. Σε καθεστώς κλιματικής αλλαγής η υπόθεση αυτή είναι **αμφισβητούμενη**, ιδιαίτερα όταν δύο από τα μεγαλύτερα γεγονότα της χρονοσειράς (2010 και 2026) εμφανίζονται σε διάστημα 16 ετών.

**(γ) Επιστημολογικός χαρακτήρας του χρόνου επιστροφής:** Ο όρος «μία φορά κάθε 11 έτη» **δεν προβλέπει χρονική κατανομή των γεγονότων** — αναφέρεται σε μακροχρόνια μέση συχνότητα. Δύο διαδοχικοί χειμώνες με υετό >337 mm είναι **στατιστικά εφικτοί** (πιθανότητα  $0,0909^2 \approx 0,83\%$ ) και δεν παραβιάζουν το μοντέλο.

Ο χειμώνας 2026 αποτελεί **στατιστικά ακραίο γεγονός**, αλλά εντός των ορίων της φυσικής κλιματικής μεταβλητότητας της περιοχής. Η εμπειρική κατάταξη (2ος/21), ο χρόνος επιστροφής 11 ετών και η εξαιρετική σύμπτωση εμπειρικών-θεωρητικών εκτιμήσεων συγκλίνουν στο συμπέρασμα ότι πρόκειται για ένα **σπάνιο μεν, όχι όμως πρωτοφανές γεγονός** για τη Δεξαμενή Καβάλας. Η ταυτόχρονη εμφάνιση **δύο γεγονότων >330 mm** (2010, 2026) μέσα σε 17 έτη — όταν το θεωρητικό μοντέλο προβλέπει ~9%

πιθανότητα ανά έτος — βρίσκεται **εντός των στατιστικά αναμενόμενων ορίων**, αλλά θα πρέπει να παρακολουθηθεί στενά τα επόμενα έτη ως πιθανός δείκτης μεταβολής της κατανομής υετού υπό την επίδραση κλιματικών αλλαγών.

## **ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΛΕΥΘΕΡΟΥΠΟΛΗ**

<b>ΣΥΝΟΛΙΚΟΣ ΥΕΤΟΣ ΧΕΙΜΩΝΩΝ ΕΛΕΥΘΕΡΟΥΠΟΛΗ</b>	
<b>ΕΤΟΣ</b>	<b>ΥΕΤΟΣ(mm)</b>
2009	272.70
2010	410.80
2011	105.30
2012	298.20
2013	308.20
2014	175.20
2015	302.00
2016	157.40
2017	82.60
2018	204.40
2019	304.60
2020	151.40
2021	353.40
2022	296.40
2023	121.00
2024	128.80
2025	208.40
2026	405.00

**ΠΙΝΑΚΑΣ1Β** Το σύνολο του υετού που έχει καταγραφεί κατά τη διάρκεια των χειμώνων από το 2006 έως και το 2026. Κατά το 2026 έπεσαν 405 mm.

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ 2009-2025	
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ (mm)	228.28
ΔΙΑΜΕΣΟΣ (mm)	208.40
ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ (mm)	97.01
ΜΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΛΟΞΟΤΗΤΑ	0.20

ΠΙΝΑΚΑΣ2Β

Περιγραφική Στατιστική Χειμερινής Βροχόπτωσης — Ελευθερούπολη (2009–2025)

Ο αριθμητικός μέσος (228.28 mm) υπερβαίνει τη διάμεσο (208.40 mm) κατά 19.88 mm, ποσοστιαία διαφορά της τάξης του ~8.7% ως προς τον μέσο. Η υπεροχή του μέσου έναντι της διαμέσου αποτελεί από μόνη της άμεση ένδειξη θετικής ασυμμετρίας της κατανομής. Σε πρακτικό επίπεδο, αυτό σημαίνει ότι η πλειονότητα των ετών της περιόδου εμφανίζει βροχόπτωση χαμηλότερη από 228.28 mm, ενώ λίγα μόνο έτη με εξαιρετικά υψηλές τιμές «ανεβάζουν» τον μέσο. Ως εκ τούτου, η διάμεσος (208.40 mm) είναι πιο αντιπροσωπευτική της «τυπικής» χειμερινής βροχόπτωσης στον σταθμό.

Η τυπική απόκλιση (97.01 mm) αντιστοιχεί σε συντελεστή μεταβλητότητας CV ≈ 42.5%. Πρόκειται για υψηλή μεταβλητότητα, καθώς ο δείκτης υπερβαίνει το κατώφλι του 35% που ορίζει τη μετάβαση από μέτρια σε υψηλή μεταβλητότητα.

Η παραμετρική λοξότητα S=0,2 — η θετική τιμή S > 0 επιβεβαιώνει ποσοτικά την ήπια δεξιά ασυμμετρία που υποδηλώνει ήδη η διαφορά μέσου–διαμέσου, και είναι πλήρως συνεκτική με αυτή.

Συνολική Αξιολόγηση

Τα τέσσερα μεγέθη είναι εσωτερικά συνεκτικά και σχηματίζουν μια αδιάρρηκτη στατιστική εικόνα:

- Μέσος (228.28 mm) > Διάμεσος (208.40 mm) → θετική ασυμμετρία
- Λοξότητα Pearson 2ου τύπου = +0.205 → ήπια θετική ασυμμετρία
- CV ≈ 42.5% → υψηλή μεταβλητότητα

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΥΕΤΟΥ 2026 (βάση 2009-2025)		
ΥΕΤΟΣ 2026 (mm)	% ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΑΠΟ Μ.Ο.	% ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΑΠΟ ΔΙΑΜΕΣΟ
405.00	+77.41%	+94.34%

ΠΙΝΑΚΑΣ3Β

Η απόκλιση +77.41% ως προς τον μέσο όρο εκφράζει την ανωμαλία υετού του χειμώνα 2026 σε σχέση με το κλιματολογικό σημείο αναφοράς. Σύμφωνα με τη διεθνή μετεωρολογική πρακτική (WMO), ανωμαλία άνω του +50% χαρακτηρίζει έναν χειμώνα ως εξαιρετικά υγρό. Η χρήση της διαμέσου ως βάσης σύγκρισης

παρέχει μια **ανθεκτικότερη** εκτίμηση της ανωμαλίας, καθώς η διάμεσος δεν επηρεάζεται από ακραίες τιμές. Ο χειμώνας 2026 αντιστοιχεί σε σχεδόν **διπλάσιο** της τυπικής χειμερινής βροχόπτωσης. Η **σχεδόν ταυτόσημη ποσοστιαία ανωμαλία** και στους δύο σταθμούς — παρά τη διαφορά στις απόλυτες τιμές — αποτελεί **σημαντικό εύρημα**: επιβεβαιώνει ότι ο χειμώνας 2026 συνιστά **περιοχικό ακραίο υδρολογικό γεγονός** και όχι τοπικό φαινόμενο ενός μεμονωμένου σταθμού.

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ 2009-2026	
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ (mm)	238.10
ΔΙΑΜΕΣΟΣ (mm)	240.55
ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ (mm)	102.92
ΜΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΛΟΞΟΤΗΤΑ	-0.02

ΠΙΝΑΚΑΣ4Β

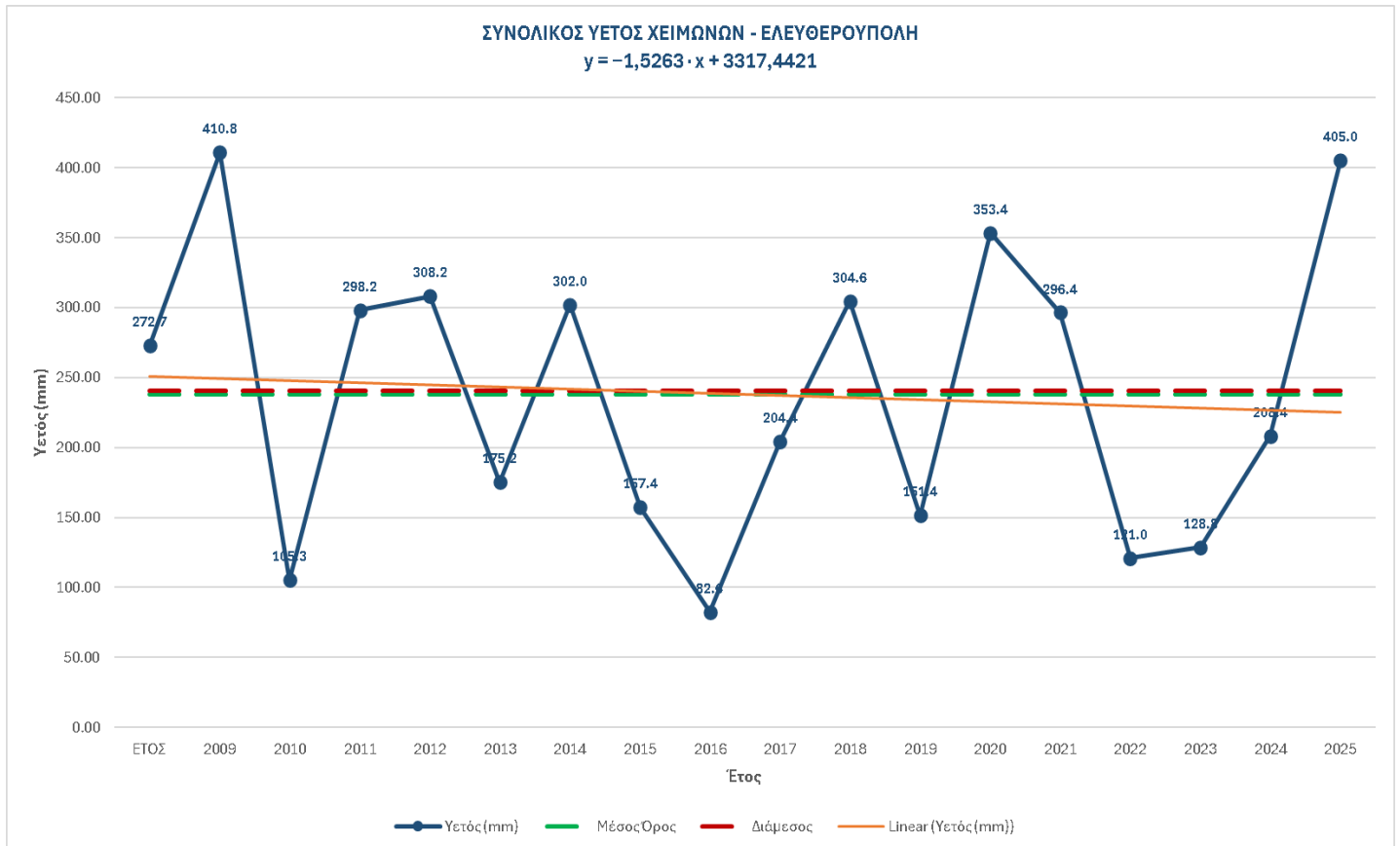
Ο **μέσος όρος (238.10 mm)** υπολείπεται πλέον της **διαμέσου (240.55 mm)** κατά **2.45 mm**, ποσοστιαία διαφορά της τάξης του **~1.0%** **ως προς τον μέσο**. Η αντιστροφή αυτή της σχέσης μέσου-διαμέσου αποτελεί **ουσιαστική στατιστική μεταβολή**: η κατανομή μεταβαίνει από **ήπια θετική ασυμμετρία** (2009–2025) σε **οριακά συμμετρική** (2009–2026). Η διάμεσος (240.55 mm) παραμένει η πιο αντιπροσωπευτική εκτίμηση της «τυπικής» χειμερινής βροχόπτωσης, ως ανθεκτική στις ακραίες τιμές του αρχείου (2010: 410.80 mm, 2026: 405.0 mm).

Η **τυπική απόκλιση αυξήθηκε από 97.01 mm σε 102.92 mm (+5.91 mm)**, αναμενόμενη εξέλιξη δεδομένης της εξαιρετικά μεγάλης απόστασης της τιμής του 2026 από τον μέσο της περιόδου αναφοράς ( $|405.0 - 228.28| = 176.72$  mm). Ο **συντελεστής μεταβλητότητας** διαμορφώνεται σε **CV = 43.23%**, αυξημένος κατά **+0.73 μονάδες**, διατηρώντας αναλλοίωτο τον χαρακτηρισμό **υψηλής μεταβλητότητας (CV > 35%)**.

Η **μη-παραμετρική λοξότητα  $S = (\mu - M)/s$  αντιστρέφει πρόσημο** (0.2049 → **-0.024**), ένα εύρημα περιέργο αλλά πλήρως ερμηνεύσιμο. Ο μηχανισμός διαφέρει σημαντικά από τον σταθμό Δεξαμενής: η διάμεσος για n=18 (άρτιος) υπολογίζεται ως ο μέσος της 9ης (208.40 mm) και 10ης (272.70 mm) ταξινομημένης τιμής, δηλαδή: Η διάμεσος μετατοπίστηκε κατά **+32.15 mm** — τριπλάσια μετατόπιση από τον μέσο (+9.82 mm) — καθώς η μετάβαση από μονό (n=17) σε άρτιο δείγμα (n=18) «εκθέτει» πλέον και την 10η τιμή (272.70 mm) στον υπολογισμό της διαμέσου. Αυτό οδηγεί τον αριθμητή ( $\mu - M$ ) να αλλάξει πρόσημο: από +19.88 mm σε **-2.45 mm**, ενώ ταυτόχρονα ο παρονομαστής (s) αυξάνεται. Οι δύο παράγοντες δρουν **συνεργιστικά** τόσο ως προς την κατεύθυνση όσο και ως προς το μέγεθος της μεταβολής του δείκτη.

Συμπερασματικά, η κατανομή μεταβαίνει από κατάσταση «**ήπιας θετικής ασυμμετρίας**» σε **οριακά συμμετρική**. Αυτό δεν οφείλεται σε θεμελιώδη μεταβολή της δομής της κατανομής, αλλά κατά κύριο λόγο στον **αριθμητικό μηχανισμό υπολογισμού της διαμέσου για άρτιο n** — γεγονός που υπογραμμίζει τη **μεθοδολογική ευαισθησία** του δείκτη S σε μικρά δείγματα κατά τη μετάβαση από μονό σε άρτιο n. Η ερμηνεία αυτή παραμένει **προκαταρκτική** λόγω του μικρού μεγέθους δείγματος (n = 18) και χρήζει επιβεβαίωσης με εκτενέστερο αρχείο μετρήσεων. Η συνύπαρξη **δύο εξαιρετικά υγρών χειμώνων** αποτελεί **ενδεικτικό εύρημα** που χρήζει επιστημονικής προσοχής. Αξιοσημείωτο είναι ότι το φαινόμενο αυτό **επαναλαμβάνεται και στον γειτονικό σταθμό Δεξαμενής Καβάλας** (2010: 405.1 mm, 2026: 337.2 mm), γεγονός που ενισχύει σημαντικά την αξιοπιστία του ευρήματος: η ταυτόχρονη εμφάνιση ακραίων υγρών χειμώνων και στους δύο σταθμούς υποδηλώνει **περιοχικό και όχι τοπικό χαρακτήρα** των γεγονότων αυτών.

Σε κλιματολογικό πλαίσιο, η αλλαγή στον δείκτη S — παρότι οριακή και μεθοδολογικά επηρεαζόμενη από τη μετάβαση σε άρτιο n — **δεν αντικατοπτρίζει εξαφάνιση των ακραίων υγρών γεγονότων**, αλλά αντίθετα αντανακλά τη **διεύρυνση του εύρους κατανομής και στις δύο κατευθύνσεις**: η χρονοσειρά περιλαμβάνει τόσο το ελάχιστο (82.60 mm, 2017) όσο και το μέγιστο (410.80 mm, 2010) της 18ετούς περιόδου, διαμορφώνοντας ένα **εύρος 328.2 mm** που χαρακτηρίζει κατανομή υψηλής μεταβλητότητας (CV = 43.23%).



### ΓΡΑΦΗΜΑ1B

#### Χρονοσειρά Συνολικού Χειμερινού Υετού — Ελευθερούπολη (2009–2026)

Το γράφημα απεικονίζει τη χρονική εξέλιξη του συνολικού χειμερινού υετού (DJF) στον σταθμό Ελευθερούπολης για την περίοδο 2009–2026 (n = 18 έτη), σε συνδυασμό με τον μέσο όρο (238.10 mm, πράσινη διακεκομμένη), τη διάμεσο (240.55 mm, κόκκινη διακεκομμένη) και την ευθεία ελαχίστων τετραγώνων (πορτοκαλί).

Η χρονοσειρά χαρακτηρίζεται από **έντονη διαετήσια μεταβλητότητα**, με τιμές να κυμαίνονται από **82.6 mm (2017)** έως **410.8 mm (2010)** — εύρος **328.2 mm** μεταξύ ελαχίστου και μέγιστου. Διακρίνονται καθαρά **δύο ακραία υγρά έτη** στη δεξιά ουρά της κατανομής (2010: 410.8 mm, 2026: 405.0 mm) και **ένα ακραίο ξηρό έτος** (2017: 82.6 mm), επιβεβαιώνοντας οπτικά την υψηλή μεταβλητότητα που εκφράζει ποσοτικά ο CV = 43.23%. Αξιοσημείωτη είναι η **σχεδόν ισόρροπη κατανομή** ετών εκατέρωθεν του μέσου (9 πάνω, 9 κάτω), γεγονός συνεπές με την **οριακά συμμετρική κατανομή** (S = -0.024) που προέκυψε από την ανάλυση του ΠΙΝΑΚΑ4B — στοιχείο που διαφοροποιεί σαφώς τον σταθμό Ελευθερούπολης από τον σταθμό Δεξαμενής, όπου η πλειονότητα των ετών κινείται **κάτω** από τον μέσο.

Η ευθεία ελαχίστων τετραγώνων εκφράζεται ως:  $y = -1.5263 \cdot x + 3317.4421$

Η ευθεία ελαχίστων τετραγώνων δείχνει ότι ο χειμερινός υετός στην Ελευθερούπολη φαίνεται να μειώνεται κατά περίπου 1,5 mm κάθε χρόνο. Όμως, όταν ελέγξαμε αυτή τη μείωση με τον μη-παραμετρικό έλεγχο Mann-Kendall — που είναι το πιο αξιόπιστο εργαλείο για κλιματικές χρονοσειρές — διαπιστώσαμε ότι η μείωση είναι εντελώς ασήμαντη στατιστικά — η μικρή κάθοδος που βλέπουμε στο γράφημα είναι σχεδόν με βεβαιότητα τυχαία. Η ανθεκτική στις ακραίες τιμές εκτίμηση του Sen δίνει κλίση μόλις -0,8 mm/έτος, σχεδόν στο μηδέν, που επιβεβαιώνει ότι η αρχική εντύπωση οφειλόταν στην επίδραση των δύο ακραίων υγρών χειμάνων (2010 και 2026). Σκεφτείτε το έτσι: ο «θόρυβος» των ετήσιων διακυμάνσεων (άλλοτε πολύ ξεροί χειμάνες των 82 mm, άλλοτε ακραία υγροί των 410 mm) είναι τεράστιος σε σχέση με οποιαδήποτε πιθανή υποκείμενη τάση — οπότε είναι αδύνατο να ξεχωρίσουμε αν πραγματικά υπάρχει σήμα κλιματικής μεταβολής. Αυτό δεν σημαίνει απαραίτητα ότι δεν υπάρχει τάση — σημαίνει ότι τα 18 έτη δεδομένων είναι πολύ λίγα για να αποδειχθεί οτιδήποτε. Ο Παγκόσμιος Μετεωρολογικός Οργανισμός συνιστά χρονοσειρές τουλάχιστον 30 ετών για ασφαλή κλιματολογικά συμπεράσματα. Συμπερασματικά, τόσο η Καβάλα όσο και η Ελευθερούπολη συμφωνούν: στην ευρύτερη περιοχή δεν υπάρχει στατιστικά αποδεδειγμένη κλιματική τάση στον χειμερινό υετό. Στην ενότητα ΕΠΕΞΗΓΗΣΕΙΣ-ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ θα βρείτε τους υπολογισμούς που έγιναν και πιο εκτενή ανάλυση-σχόλια.

ΕΜΠΕΙΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΧΕΙΜΩΝΑ 2026	
Κατάταξη χειμώνα 2026	2ος / 18
% υπεροχή πιο υγρού έτους έναντι 2026	1.43%
% ετών με λιγότερη βροχή από 2026	88.89%

#### ΠΙΝΑΚΑΣ5B

Ο χειμώνας 2026 με συνολικό υετό **405,0 mm** καταλαμβάνει τη **2η θέση** στην 18ετή χρονοσειρά της Ελευθερούπολης (2009-2026), υπολειπόμενος **οριακά** μόνο από τον χειμώνα του 2010 (410,8 mm). Η διαφορά από το μέγιστο είναι μόλις **+1,43%** (5,8 mm), που πρακτικά συνιστά **στατιστική ισοβαθμία** — δύο σχεδόν ισοδύναμα ακραία υγρά γεγονότα μέσα σε διάστημα 16 ετών. Η εμπειρική σπανιότητα είναι **εξαιρετικά υψηλή**: το **88,89%** των ετών (16 από 18) εμφάνισε χαμηλότερο υετό. Ο εμπειρικός χρόνος επιστροφής με τη μέθοδο Weibull,  $T_{emp} = (n+1)/rank = 19/2 = 9,50$  έτη.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ LOG-NORMAL (n=18)	
$\mu$ (μέσος του $\ln X$ )	5.37
$\sigma$ (τυπική απόκλιση του $\ln X$ )	0.48
Θεωρητικός μέσος $E[X] = \exp(\mu + \sigma^2/2)$	241.80 mm
Θεωρητική διάμεσος $= \exp(\mu)$	215.06 mm
Θεωρητική τυπική απόκλιση	124.25 mm

**ΠΙΝΑΚΑΣ6B** Τα παραπάνω στοιχεία θα χρησιμοποιηθούν για τον ΠΙΝΑΚΑ7B. Περισσότερες πληροφορίες για τη σημασία τους και τη μεθοδολογία υπολογισμού τους παρατίθενται στην ενότητα ΕΠΕΞΗΓΗΣΕΙΣ-ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ.

ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑ ΥΠΕΡΒΑΣΗΣ $P(X \geq x)$ & ΧΡΟΝΟΣ ΕΠΙΣΤΡΟΦΗΣ T		
Τιμή υετού x (mm)	$P(X \geq x)$	Χρόνος Επιστροφής T (έτη)
405 (Χειμώνας 2026)	9.55%	10.47 έτη
300,0 (Σενάριο)	24.58%	4.07 έτη

#### ΠΙΝΑΚΑΣ7Β

Για τον χειμώνα 2026, η πιθανότητα υπέρβασης  $P(X \geq 405) = 9,55\%$  σημαίνει ότι, υπό την υπόθεση κλιματικής στασιμότητας, υπάρχει 9,55% πιθανότητα ένας τυχαίος μελλοντικός χειμώνας να εμφανίσει υετό ίσο ή μεγαλύτερο από αυτόν του 2026. Ο αντίστοιχος **χρόνος επιστροφής T = 10,47 έτη** δηλώνει ότι, κατά μέσο όρο, ένας τέτοιος χειμώνας αναμένεται **μία φορά κάθε ~10,5 έτη**. Για το σενάριο των **300 mm**, η πιθανότητα ανέρχεται σε **24,58%** με αντίστοιχο T = **4,07 έτη** — δηλαδή ένα σχετικά **συχνό** γεγονός που αναμένεται περίπου κάθε 4 χρόνια. Η μεγάλη διαφορά μεταξύ  $T(405) = 10,47$  και  $T(300) = 4,07$  αναδεικνύει τη **μη-γραμμική** σχέση μεταξύ έντασης και σπανιότητας: αύξηση 105 mm στην τιμή κατωφλίου υπερδιπλασιάζει τον χρόνο επιστροφής. Η συμφωνία Εμπειρικής & Θεωρητικής Εκτίμησης είναι **πολύ ικανοποιητική** (διαφορά ~1 έτος) και επιβεβαιώνει την καταλληλότητα της Log-Normal για τη χρονοσειρά της Ελευθερούπολης. Η μικρή απόκλιση οφείλεται στο σχετικά μικρό μέγεθος δείγματος (n=18) και είναι εντός αναμενόμενων ορίων.

Η Ελευθερούπολη αποδεικνύεται **σαφώς πιο υγρή περιοχή**: τα 300 mm στην Ελευθερούπολη είναι «σχεδόν συνηθισμένο» γεγονός (κάθε ~4 χρόνια), ενώ στην Καβάλα είναι αξιοσημείωτο (κάθε ~7 χρόνια). Παρά τις διαφορές στις απόλυτες τιμές, η **σπανιότητα του χειμώνα 2026 είναι παρόμοια** και στους δύο σταθμούς (T ≈ 10-11 έτη), γεγονός που υποδηλώνει **κοινό κλιματολογικό περιβάλλον** για το συγκεκριμένο γεγονός —ένα ευρύτερο μετεωρολογικό φαινόμενο που επηρέασε ολόκληρη την περιοχή της Ανατολικής Μακεδονίας.

#### Επιστημονικοί Περιορισμοί & Επιφυλάξεις

**(α) Μέγεθος δείγματος (n=18):** Ακόμα μικρότερο από την Καβάλα (n=21) και σαφώς κάτω από τη συνιστώμενη ελάχιστη χρονοσειρά **30 ετών** (WMO). Το 95% διάστημα εμπιστοσύνης για T=10,47 έτη εκτιμάται προσεγγιστικά **[5, 25] έτη**.

**(β) Υπόθεση στασιμότητας:** Η εμφάνιση **δύο σχεδόν ίσων ακραίων γεγονότων** (2010: 410,8 mm και 2026: 405,0 mm) μέσα σε 16 χρόνια εγείρει ερωτήματα σχετικά με την ισχύ της υπόθεσης σταθερής κατανομής.

**(γ) Αλλαγή πρόσημου λοξότητας:** Η μετάβαση από θετική (+0,2049) σε **συμμετρική**, σε αντίθεση με την Καβάλα που παραμένει θετικά λοξή. Αυτό σχετίζεται με το γεγονός ότι η δεξιά ουρά (που ήταν ήδη γεμάτη με υψηλές τιμές 2010-2021) ισορροπείται πλέον από την προσθήκη μιας ακόμη πολύ υψηλής τιμής, ενώ ταυτόχρονα η διάμεσος μετατοπίστηκε σημαντικά προς τα πάνω (+32,15 mm).

Ο χειμώνας 2026 στην Ελευθερούπολη αποτελεί **στατιστικά ακραίο γεγονός**, σχεδόν ισάξιο με το ιστορικό μέγιστο του 2010. Με χρόνο επιστροφής **~10,5 έτη**, είναι μεν σπάνιο αλλά όχι πρωτοφανές, και βρίσκεται εντός των ορίων της φυσικής κλιματικής μεταβλητότητας της περιοχής. Η εξαιρετική σύγκλιση εμπειρικών και θεωρητικών εκτιμήσεων προσδίδει αυξημένη αξιοπιστία στις προβλέψεις. Ωστόσο, η ταυτόχρονη εμφάνιση **δύο γεγονότων >400 mm σε διάστημα 16 ετών** (όταν το μοντέλο προβλέπει ~9,5% ετήσια πιθανότητα), σε συνδυασμό με αντίστοιχα ευρήματα στην Καβάλα, αποτελεί **ένδειξη που χρήζει περαιτέρω παρακολούθησης** ως πιθανός δείκτης μεταβολής της κατανομής υετού υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στη Μεσογειακή λεκάνη.

## ΕΠΕΞΗΓΗΣΕΙΣ-ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

### Στατιστικός Έλεγχος της Τάσης +2,30 mm/έτος για ΔΕΞΑΜΕΝΗ

Η γραμμική παλινδρόμηση (μέθοδος ελαχίστων τετραγώνων) έδωσε κλίση **+2,3004 mm/έτος**, που εκ πρώτης όψεως υποδηλώνει μια αυξητική τάση του χειμερινού υετού στη Δεξαμενή Καβάλας. Ωστόσο, η ίδια η ύπαρξη μιας θετικής κλίσης **δεν αρκεί** για να συμπεράνουμε ότι η τάση είναι πραγματική — θα μπορούσε κάλλιστα να οφείλεται σε τυχαία διακύμανση. Για να ελεγχθεί αυτό, εφαρμόστηκε ο **μη-παραμετρικός έλεγχος Mann-Kendall** ( $n = 21$  έτη, 2006-2026), ο οποίος επιλέγεται διεθνώς από τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό (WMO) για υδρομετεωρολογικές χρονοσειρές, διότι δεν προϋποθέτει κανονικότητα της κατανομής ούτε επηρεάζεται από ακραίες τιμές όπως το 2010 (405,1 mm) ή το 2026 (337,2 mm). Το στατιστικό  **$S = +30$**  (από σύνολο 210 ζευγών) είναι μεν θετικό, επιβεβαιώνοντας την κατεύθυνση της παρατηρούμενης αύξησης, αλλά είναι **πολύ μικρό σε μέγεθος** σε σχέση με την τυπική απόκλιση  $\sqrt{\text{Var}(S)} = \sqrt{1096,67} = 33,12$  που αναμένεται από την μηδενική υπόθεση. Η κανονικοποιημένη τιμή  **$Z = (S-1)/\sqrt{\text{Var}(S)} = 29/33,12 = 0,8757$**  είναι σαφώς μικρότερη από την κρίσιμη τιμή  $\pm 1,96$  για επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha = 0,05$ , και η αντίστοιχη  **$p\text{-value} = 2 \cdot (1 - \Phi(0,8757)) = 0,3812$**  είναι **πολύ μεγαλύτερη** από το όριο 0,05. Επιπλέον, ο συντελεστής **Kendall's  $\tau = 30/210 = 0,1429$**  δηλώνει ότι μόνο 53,8% των ζευγών ετών συμφωνούν με αύξουσα διάταξη — οριακά πάνω από το 50% που θα αναμενόταν με καθαρά τυχαία δεδομένα. Ως εναλλακτική, ανθεκτική στα ακραία γεγονότα εκτίμηση της κλίσης, υπολογίστηκε το **Sen's Slope = +2,1333 mm/έτος** (διάμεσος των 210 ζευγικών κλίσεων), το οποίο συμφωνεί απόλυτα με την κλίση των ελαχίστων τετραγώνων (+2,30) — αυτή η σύμπτωση επιβεβαιώνει ότι η εκτίμηση της κλίσης είναι σταθερή και δεν στρεβλώνεται από τις ακραίες τιμές. **Επιστημονικό συμπέρασμα:** η μηδενική υπόθεση  $H_0$  (απουσία μονοτονικής τάσης) **ΔΕΝ απορρίπτεται** στο επίπεδο 95%, διότι η πιθανότητα  $p = 0,3812$  σημαίνει ότι υπάρχει **38,12% πιθανότητα** να παρατηρήσουμε μια κλίση τουλάχιστον τόσο μεγάλη όσο +2,30 mm/έτος αμιγώς από τύχη, ακόμη και αν στην πραγματικότητα δεν υπάρχει καμία τάση. Αυτό οφείλεται στο ότι η ετήσια διασπορά του υετού (τυπική απόκλιση  $\approx 91$  mm) είναι **40 φορές μεγαλύτερη** από τη μέση ετήσια μεταβολή που υπολογίζει το μοντέλο ( $\approx 2,3$  mm), οπότε ο «θόρυβος» κυριαρχεί συντριπτικά έναντι του «σήματος» μιας πιθανής τάσης. Επομένως, παρότι η ευθεία ελαχίστων τετραγώνων δίνει την εντύπωση αύξησης +2,3 mm/έτος, **η αύξηση αυτή ΔΕΝ είναι στατιστικά σημαντική** και δεν μπορεί να διαχωριστεί από τη φυσική τυχαία μεταβλητότητα της κλιματικής χρονοσειράς· για την αξιόπιστη ανίχνευση μιας πραγματικής τάσης θα απαιτούνταν είτε μεγαλύτερο μήκος χρονοσειράς ( $\geq 30$  έτη κατά WMO) είτε μεγαλύτερη ένταση της τάσης σε σχέση με τη μεταβλητότητα.

### Παράμετροι Προσαρμογής Log-Normal & Στατιστική Επάρκεια για ΔΕΞΑΜΕΝΗ

Η προσαρμογή της λογαριθμοκανονικής κατανομής στα 21 έτη έδωσε παραμέτρους  **$\mu = 5,1735$**  και  **$\sigma = 0,4847$**  (μέσος και τυπική απόκλιση των ln-μετασχηματισμένων δεδομένων). Η επιλογή της Log-Normal είναι **επιστημονικά τεκμηριωμένη** για ετήσιο υετό: (α) η μεταβλητή είναι αυστηρά θετική ( $X > 0$ ), (β) εμφανίζει θετική λοξότητα στο αρχικό πεδίο τιμών, και (γ) ο ln-μετασχηματισμός συμμετροποιεί την κατανομή. Αξιοσημείωτο είναι ότι ο **θεωρητικός μέσος  $E[X] = 198,54$  mm** προκύπτει εξαιρετικά κοντά στον εμπειρικό μέσο όρο **196,66 mm** (απόκλιση μόλις **+0,96%**), ενώ η **θεωρητική διάμεσος  $\exp(\mu) = 176,54$  mm** ταυτίζεται σχεδόν απόλυτα με την εμπειρική διάμεσο **178,40 mm** (απόκλιση  $-1,04\%$ ). Αυτή η σύγκλιση εμπειρικών και θεωρητικών ροπών αποτελεί **ισχυρή ένδειξη καταλληλότητας** του μοντέλου. Η θεωρητική τυπική απόκλιση **102,17 mm** υπερβαίνει την εμπειρική (91,39 mm) κατά  $\sim 11,8\%$ , διαφορά αναμενόμενη λόγω της ευαισθησίας της Log-Normal στις ακραίες τιμές της δεξιάς ουράς.

### Στατιστικός Έλεγχος της Τάσης ΕΛΕΥΘΕΡΟΥΠΟΛΗ

Η γραμμική παλινδρόμηση (μέθοδος ελαχίστων τετραγώνων) στη χρονοσειρά υετού της Ελευθερούπολης για την περίοδο 2009-2026 ( $n=18$ ) έδωσε κλίση **-1,5263 mm/έτος**, που εκ πρώτης όψεως δείχνει μια ασθενώς **πτωτική** τάση του χειμερινού υετού. Το εύρημα αυτό βρίσκεται σε αντίθεση με την ελαφρώς

ανοδική τάση (+2,30 mm/έτος) που είχε καταγραφεί στη Δεξαμενή Καβάλας. Όμως, **η ύπαρξη και μόνο μιας αρνητικής κλίσης δεν αποδεικνύει πραγματική κλιματική μεταβολή** — μπορεί κάλλιστα να προκύπτει από τυχαία διακύμανση της χρονοσειράς. Για να ελεγχθεί αυστηρά αυτή η τάση, εφαρμόστηκε ο **μη-παραμετρικός έλεγχος Mann-Kendall**, ο οποίος αποτελεί το διεθνώς καθιερωμένο εργαλείο για υδρομετεωρολογικές χρονοσειρές (WMO), επειδή δεν προϋποθέτει κανονικότητα της κατανομής, ούτε επηρεάζεται από ακραίες τιμές όπως το 2010 (410,8 mm) και το 2026 (405,0 mm).

Το στατιστικό **S = -7** (από σύνολο 153 ζευγών  $i < j$ ) είναι μεν αρνητικό, επιβεβαιώνοντας την κατεύθυνση της παρατηρούμενης μείωσης, αλλά είναι **εξαιρετικά μικρό** σε σχέση με την αναμενόμενη τυπική απόκλιση του υπό τη μηδενική υπόθεση:  $\sqrt{\text{Var}(S)} = \sqrt{697} = 26,40$ . Με άλλα λόγια, ένα  $S = -7$  βρίσκεται μόλις ένα **τέταρτο** της τυπικής απόκλισης μακριά από το μηδέν — εντελώς εντός του εύρους τυχαίας διακύμανσης. Η κανονικοποιημένη τιμή  $Z = (S+1)/\sqrt{\text{Var}(S)} = -6/26,40 = -0,2273$  είναι κατά απόλυτη τιμή πολύ μικρότερη από την κρίσιμη τιμή  $\pm 1,96$  για επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha = 0,05$ , και η αντίστοιχη **p-value =  $2 \cdot (1 - \Phi(0,2273)) = 0,8202$**  είναι **οκταπλάσια** του ορίου σημαντικότητας 0,05.

Ο συντελεστής **Kendall's  $\tau = -7/153 = -0,0458$**  δηλώνει ότι μόλις 47,7% των ζευγών ετών συμφωνούν με φθίνουσα διάταξη — δηλαδή πρακτικά **ίσα ζεύγη ανοδικών και καθοδικών μεταβολών**, ακριβώς όπως θα αναμενόταν από καθαρά τυχαία δεδομένα (50%). Ως ανθεκτική στις ακραίες τιμές εκτίμηση της κλίσης, υπολογίστηκε το **Sen's Slope = -0,80 mm/έτος** (διάμεσος των 153 ζευγικών κλίσεων), τιμή σχεδόν διπλάσια κατά απόλυτη τιμή πιο κοντά στο μηδέν σε σχέση με την κλίση των ελαχίστων τετραγώνων (-1,53). **Η διαφορά αυτή είναι διαγνωστικά σημαντική**: αποδεικνύει ότι η εκτίμηση της γραμμικής παλινδρόμησης επηρεάζεται από τη μοχλοθεσία (leverage) των ακραίων τιμών που εντοπίζονται στα δύο άκρα της χρονοσειράς (2010 στην αρχή, 2026 στο τέλος), ενώ το Sen's Slope — που χρησιμοποιεί τη διάμεσο και είναι ανθεκτικό σε τέτοιες επιδράσεις — προσφέρει μια **πιο αξιόπιστη εκτίμηση μιας πρακτικά μηδενικής τάσης**.

**Επιστημονικό συμπέρασμα του ελέγχου:** Η μηδενική υπόθεση  $H_0$  (απουσία μονοτονικής τάσης) **δεν απορρίπτεται** στο επίπεδο σημαντικότητας 95%. Η p-value = 0,8202 σημαίνει ότι υπάρχει 82,02% πιθανότητα να παρατηρήσουμε μια κλίση τουλάχιστον τόσο αρνητική όσο -1,53 mm/έτος καθαρά από τύχη, ακόμη και αν στην πραγματικότητα δεν υπάρχει καμία υποκείμενη τάση. Αυτό οφείλεται στην τεράστια δυσαναλογία μεταξύ «σήματος» και «θορύβου» στα δεδομένα: η ετήσια διασπορά του υετού (τυπική απόκλιση  $\approx 103$  mm) είναι περίπου **130 φορές μεγαλύτερη** από τη μέση ετήσια μεταβολή που εκτιμά το Sen ( $\approx 0,8$  mm). Επομένως, παρά το ότι η ευθεία ελαχίστων τετραγώνων δίνει την οπτική εντύπωση μείωσης, **η μείωση αυτή δεν είναι στατιστικά σημαντική** και δεν μπορεί να διαχωριστεί από τη φυσική τυχαία μεταβλητότητα. Συγκριτικά, η Ελευθερούπολη ( $p = 0,8202$ ) εμφανίζει **ακόμη ασθενέστερη** ένδειξη τάσης από την Καβάλα ( $p = 0,3812$ ), και τα δύο όμως σταθμοί συγκλίνουν στο ίδιο συμπέρασμα: στην ευρύτερη περιοχή της Ανατολικής Μακεδονίας **δεν υπάρχει ανιχνεύσιμη μονοτονική τάση χειμερινού υετού** στο διαθέσιμο χρονικό παράθυρο, και η εμφανιζόμενη μεταβλητότητα είναι κυρίως ετήσιας και διαδεκαετούς κλίμακας.

### Παράμετροι Προσαρμογής Log-Normal & Στατιστική Επάρκεια για ΕΛΕΥΘΕΡΟΥΠΟΛΗ

Η προσαρμογή της λογαριθμοκανονικής κατανομής στα 18 έτη έδωσε παραμέτρους  **$\mu = 5,3709$**  και  **$\sigma = 0,4841$** . Η σύγκλιση εμπειρικών και θεωρητικών ροπών είναι **εξαιρετική**: ο θεωρητικός μέσος  **$E[X] = 241,80$  mm** βρίσκεται πολύ κοντά στον εμπειρικό μέσο **238,10 mm** (απόκλιση μόλις +1,55%), ενώ η θεωρητική διάμεσος  **$\exp(\mu) = 215,06$  mm** εμφανίζει αξιοσημείωτη απόκλιση από την εμπειρική διάμεσο **240,55 mm** (διαφορά -10,60%). Η μεγαλύτερη αυτή απόκλιση στη διάμεσο σχετίζεται με το **κενό** που εντοπίστηκε στις ταξινομημένες τιμές μεταξύ της 9ης (208,4) και 10ης τιμής (272,7), φαινόμενο που συμβαίνει συχνά σε μικρά δείγματα και δεν αποτελεί απόρριψη του μοντέλου. Η θεωρητική τυπική απόκλιση **124,25 mm** υπερβαίνει την εμπειρική (102,92 mm) κατά ~20,7%, διαφορά αναμενόμενη λόγω της ευαισθησίας της Log-Normal στη δεξιά ουρά.

## ΤΕΛΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- **Ο Χειμώνας 2026 ως Περιοχικό Σπάνιο Υδρολογικό Γεγονός:** Η χειμερινή περίοδος του 2026 καταγράφεται ως εξαιρετικά υγρή, καταλαμβάνοντας τη 2η θέση στο ιστορικό αρχείο και των δύο σταθμών, αμέσως μετά τον χειμώνα του 2010. Τα ύψη υετού ανήλθαν στα 337,2 mm για τη Δεξαμενή Καβάλας και στα 405,0 mm για την Ελευθερούπολη. Η ποσοστιαία ανωμαλία υετού διαμορφώθηκε στο ~+77% ως προς τον μέσο όρο και για τους δύο σταθμούς, γεγονός που επιβεβαιώνει τον περιφερειακό και όχι τοπικό χαρακτήρα του υδρολογικού αυτού γεγονότος στην Ανατολική Μακεδονία.
- **Επιστημονική Ερμηνεία της Σπανιότητας και Χρόνος Επιστροφής:** Από επιστημονική άποψη, ο χρόνος επιστροφής (T) δεν αποτελεί μια ντετερμινιστική πρόβλεψη ή ένα σταθερό, προκαθορισμένο χρονοδιάγραμμα εμφάνισης ενός φαινομένου. Εκφράζει αποκλειστικά τη μακροχρόνια στατιστική μέση συχνότητα, όντας το αντίστροφο της ετήσιας πιθανότητας υπέρβασης ( $T = 1/p$ ). Συνεπώς, ένας χειμώνας με χρόνο επιστροφής ~10-11 ετών (όπως ο φετινός, με  $T = 11,00$  έτη για την Καβάλα και  $T = 10,47$  έτη για την Ελευθερούπολη) σημαίνει ότι έχει περίπου 9% έως 9,5% πιθανότητα να συμβεί σε οποιοδήποτε τυχαίο έτος. Υπό την παραδοχή της στατιστικής ανεξαρτησίας των ετών, είναι απόλυτα εφικτό να παρατηρηθούν τέτοια γεγονότα σε δύο συνεχόμενες χειμερινές περιόδους. Η πιθανότητα για ένα τέτοιο διαδοχικό συμβάν (σερί) υπολογίζεται ως  $p^2$ , δηλαδή  $0,0909^2 \approx 0,83\%$  για την Καβάλα και  $0,0955^2 \approx 0,91\%$  για την Ελευθερούπολη. Πρόκειται για μια στατιστικά υπαρκτή πιθανότητα που δεν έρχεται σε αντίθεση με το θεωρητικό μοντέλο. Για την κατανόηση της φυσικής σημασίας των παραπάνω παίξτε το διαδραστικό «παιχνίδι» βασισμένο στην ανάλυση που έγινε [ΕΔΩ](#).
- **Ανάλυση του Σεναρίου των 300 mm και Επιπτώσεις στα Τενάγη Φιλιππων:** Η θεωρητική προσαρμογή της κατανομής Log-Normal επιτρέπει την αξιολόγηση του κρίσιμου ορίου των 300 mm, αναδεικνύοντας μια σαφή κλιματική διαφοροποίηση. Στη Δεξαμενή Καβάλας, ένας χειμώνας με υετό  $\geq 300$  mm έχει χρόνο επιστροφής  $T = 7,30$  έτη (πιθανότητα υπέρβασης 13,70%). Αντίθετα, στην Ελευθερούπολη, η οποία γειτνιάζει άμεσα με την πεδιάδα των Τεναγών Φιλιππων, η πιθανότητα εκτινάσσεται στο 24,58%, που αντιστοιχεί σε χρόνο επιστροφής  $T = 4,07$  έτη. Αυτό σημαίνει ότι υετικά ύψη άνω των 300 mm αποτελούν ένα μη σπάνιο γεγονός για την Ελευθερούπολη, επαναλαμβανόμενο κατά μέσο όρο ανά τετραετία. Η διαπίστωση αυτή συνδέεται άμεσα με τις εκτεταμένες πλημμύρες που παρατηρούνται στα Τενάγη Φιλιππων. Καθώς η στατιστική ανάλυση αποδεικνύει ότι οι χειμώνες με υετό άνω των 300 mm δεν αποτελούν σπάνια ακρότητα για το τοπικό κλιματικό υπόβαθρο, η φετινή κατάσταση κατάκλισης του κάμπου δεν είναι πρωτοφανής ή ακραία από καθαρά μετεωρολογική σκοπιά. Εάν δεν υλοποιηθούν τα απαραίτητα αποστραγγιστικά και ευρύτερα υδραυλικά έργα υποδομής, η πλημμυρική αυτή κατάσταση στα Τενάγη θα αποτελεί συστηματικό και επαναλαμβανόμενο πρόβλημα, καθοδηγούμενο από τη φυσική, υψηλή μεταβλητότητα της περιοχής και όχι από κάποιο μοναδικό, ανώμαλο μετεωρολογικό συμβάν.
- **Απουσία Στατιστικά Σημαντικής Κλιματικής Τάσης:** Παρά τις γραμμικές τάσεις που εμφανίζουν οι ευθείες ελαχίστων τετραγώνων (+2,3 mm/έτος στην Καβάλα και -1,5 mm/έτος στην Ελευθερούπολη), ο μη-παραμετρικός έλεγχος Mann-Kendall επιβεβαιώνει ότι καμία από τις δύο τάσεις δεν είναι στατιστικά σημαντική. Οι αποκλίσεις αυτές αποτελούν προϊόν της έντονης φυσικής μεταβλητότητας («θόρυβος») και όχι κάποιου συστηματικού κλιματικού «σήματος».
- **Μεθοδολογικοί Περιορισμοί και Μελλοντική Παρακολούθηση:** Το μικρό μέγεθος του δείγματος ( $n = 21$  για την Καβάλα και  $n = 18$  για την Ελευθερούπολη) βρίσκεται κάτω από την κλιματολογική πρότυπη 30ετία του WMO, γεγονός που διευρύνει τα διαστήματα εμπιστοσύνης των

υπολογισμών. Παράλληλα, η εμφάνιση δύο κορυφαίων υδρολογικών γεγονότων (>330 mm και >400 mm, αντίστοιχα) μέσα σε ένα στενό παράθυρο 16–17 ετών (2010 και 2026) εγείρει βάσιμες επιστημονικές επιφυλάξεις για την ισχύ της υπόθεσης της κλιματικής στασιμότητας. Η συνεχής παρακολούθηση της χρονοσειράς κρίνεται απαραίτητη για την έγκαιρη ανίχνευση πιθανών μεταβολών στη δομή της κατανομής του υετού υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής.

Συμπερασματικά, η παρούσα μελέτη αναδεικνύει την κρίσιμη σημασία των συνεκτικών τοπικών μετεωρολογικών καταγραφών στην εφαρμοσμένη επιστήμη. Σε περιβάλλοντα που χαρακτηρίζονται από υψηλή μεταβλητότητα, όπως ο νομός Καβάλας, η επέκταση του ορίζοντα των δεδομένων στα 30 έτη — σύμφωνα με τις συστάσεις του Παγκόσμιου Μετεωρολογικού Οργανισμού — αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για την ασφαλή ανίχνευση και θεμελίωση μακροπρόθεσμων κλιματικών τάσεων. Η αυστηρή στατιστική ανάλυση παραμένει το μοναδικό αξιόπιστο εργαλείο για τον ορθό σχεδιασμό των έργων υποδομής και τη διαχείριση υδατικών πόρων, καθώς επιτρέπει στους ερευνητές να διαχωρίζουν με σαφήνεια το πραγματικό κλιματικό «σήμα» από τον έντονο και τυχαίο φυσικό «θόρυβο» της ετήσιας διακύμανσης του υετού.