

## Η Περιβαλλοντική Σημασία του Δείκτη Ξηρασίας SPI. Προτάσεις Εναλλακτικού Στατιστικού Υπολογισμού του

**Ν. Κωτσοβίνος, Π. Αγγελίδης**

*Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Δ.Π.Θ.  
Πολυτεχνική Σχολή Ξάνθης, Βασ. Σοφίας 12, 67100 Ξάνθη*

### Περίληψη

Μελετάται ένας νέος σχετικά μετεωρολογικός δείκτης ξηρασίας, ο δείκτης SPI, με τον οποίο είναι εφικτή η αναγνώριση, η καταγραφή της έντασης και της έκτασης επεισοδίων ξηρασίας. Για τον υπολογισμό του δείκτη SPI συνήθως γίνεται χρήση της κατανομής Γάμμα. Στην εργασία αυτή, πέρα από την κατανομή Γάμμα, ελέγχεται η καταλληλότητα χρήσης δύο ακόμα θεωρητικών κατανομών, της Κανονικής και της Λογαριθμοκανονικής. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε ένας σημαντικός αριθμός χρονοσειρών, στις οποίες ελέγχθηκε η προσαρμογή των τριών θεωρητικών κατανομών και ακολούθως υπολογίστηκε ο δείκτης SPI σε διάφορες χρονικές κλίμακες (3, 6, 12 και 24 ωρών) και με τις τρεις προαναφερθείσες θεωρητικές κατανομές, με στόχο να διακριβωθεί η καταλληλότητά τους για τον υπολογισμό του δείκτη SPI.

## The Environmental Importance of the Drought Index SPI. Suggestions for an Alternative Statistical Calculation

**N. Kotsovinos, P. Angelidis**

*Civil Engineering Dep. – D.U.TH  
School of Engineering, Vas. Sofias 12, 67100 Xanthi*

### Abstract

We study a relatively new meteorological index, the standardized precipitation index (SPI), which can help identifying the duration and/or severity of a drought. The SPI is usually computed by fitting the Gamma probability distribution to the frequency distribution of the precipitation data. In this work, we study the possibility to model the data by a distribution other than the Gamma, such as Normal and Log-normal. For this purpose, we used a large number of time series, and we tested the assumption that the Gamma distribution would provide better representation of the data than Log-normal and Normal distributions, at various time scales (3, 6, 12 and 24 hours).

## 1. Εισαγωγή

Η ξηρασία είναι ένα ακραίο μετεωρολογικό-κλιματικό φαινόμενο, που μπορεί να εμφανιστεί σε ανύποπτο χρόνο, σε οποιαδήποτε περιοχή και με απροσδιόριστη διάρκεια. Αναφέρεται σε μια παροδική κατάσταση του κλίματος, που χαρακτηρίζεται από σημαντική ελάττωση του ιετού σε μια περιοχή. Από τη μέχρι σήμερα μετεωρολογική έρευνα, φαίνεται, ότι είναι ένα φαινόμενο, που τα τελευταία χρόνια παρουσιάζει σημαντική αύξηση στη συχνότητα εμφάνισής του, σε πολλές χώρες του κόσμου, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα σημαντικές οικονομικές, κοινωνικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Η ξηρασία μπορεί να διακριθεί σε τέσσερις κατηγορίες:

- τη μετεωρολογική,
- την υδρολογική,
- τη γεωργική και την
- κοινωνικοοικονομική ξηρασία.

Τα βασικά χαρακτηριστικά των διαφόρων επεισοδίων ξηρασίας είναι:

- η ένταση (ελάττωση της βροχόπτωσης και επιπτώσεις),
- η διάρκεια και
- η χωρική κατανομή.

Η ερημοποίηση είναι ένα πολύπλοκο φαινόμενο, το οποίο είναι αποτέλεσμα της συνδυασμένης δράσης πολλών παραμέτρων, με σημαντικότερη την ξηρασία. Με τον όρο ερημοποίηση, εννοείται η διαδικασία σύμφωνα με την οποία η παραγωγική γη υποβαθμίζεται και σταδιακά μετατρέπεται σε αφιλόξενη για την αναπτυσσόμενη βλάστηση. Η ερημοποίηση έχει σημαντικότερες περιβαλλοντικές και κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις, αφού με την υποβάθμιση των φυσικών πόρων μειώνεται η παραγωγικότητα ενός τόπου και κατ' επέκταση το αγροτικό εισόδημα, μετατοπίζοντας τον πληθυσμό σε περιοχές με περισσότερες δυνατότητες απασχόλησης. Ειδικότερα η ερημοποίηση συνεπάγεται απώλεια της βιοποικιλότητας μιας περιοχής, μείωση της παραγωγικότητας του εδάφους, μεταβολή των τοπικών κλιματικών συνθηκών, μείωση της διαθεσιμότητας του γλυκού νερού, αύξηση της συχνότητας και του μεγέθους των πλημμυρών στις κατώτερες περιοχές, μείωση του αγροτικού εισοδήματος, εγκατάλειψη της γης, μετανάστευση του πληθυσμού, ανεργία, αναταραχές.

## 2. Δείκτης SPI

Στην παρούσα εργασία μελετάται ένας νέος σχετικά μετεωρολογικός δείκτης ξηρασίας, που χρησιμοποιείται ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια, ο δείκτης SPI - Standard Precipitation Index (McKee et al., 1993). Ο δείκτης SPI αναπτύχθηκε για να ποσοτικο-

ποιηθεί το έλλειμμα βροχόπτωσης σε διάφορες χρονικές κλίμακες. Ο SPI είναι απλά ο μετασχηματισμός μιας χρονοσειράς βροχόπτωσης σε μια τυπική κανονική κατανομή. Οι Hayes et al. (1999) παρέθεσαν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της χρήσης του δείκτη SPI για τον χαρακτηρισμό της σοβαρότητας της ξηρασίας. Ο δείκτης SPI έχει τρία κύρια πλεονεκτήματα:

- α) το πρώτο και κύριο πλεονέκτημά του είναι η ευκολία υπολογισμού του, καθώς απαιτείται μόνο χρονοσειρά βροχόπτωσης και εκτίμηση δύο μόνο παραμέτρων· επειδή δεν εξαρτάται από την εδαφική υγρασία, μπορεί να χρησιμοποιηθεί με επιτυχία τόσο για τα καλοκαίρια όσο και για τους χειμώνες· επίσης δεν επηρεάζεται από την τοπογραφία,
- β) το δεύτερο πλεονέκτημά του συνίσταται στη δυνατότητα υπολογισμού του σε διάφορες χρονικές κλίμακες, γεγονός που επιτρέπει την εκτίμηση συνθηκών ξηρασίας σε μεγάλη ποικιλία μετεωρολογικών, αγροτικών και υδρολογικών εφαρμογών,
- γ) το τρίτο πλεονέκτημα προέρχεται από την τυποποιημένη εφαρμογή του, η οποία εξασφαλίζει τον εντοπισμό της συχνότητας ακραίων γεγονότων σε οποιαδήποτε θέση και με οποιαδήποτε χρονική ανάλυση.

Ο δείκτης SPI έχει επίσης τρία σοβαρά μειονεκτήματα, που είναι τα εξής:

- α) η υπόθεση που πρέπει να γίνει εκ των προτέρων, ότι υπάρχει μια κατάλληλη θεωρητική κατανομή που προσαρμόζεται καλά στη χρονοσειρά δεδομένων· ένα σχετικό με την υπόθεση αυτή πρόβλημα είναι το ικανοποιητικό μέγεθος της χρονοσειράς καθώς και η αξιοπιστία των δεδομένων· για τον λόγο αυτό οι McKee et al. (1993) συνιστούν τη χρήση χρονοσειρών τουλάχιστον 30 ετών υψηλής αξιοπιστίας δεδομένων,
- β) ο δείκτης SPI δεν είναι ικανός να διακρίνει, ότι κάποιες περιοχές είναι περισσότερο επιρρεπείς στην ξηρασία από άλλες· ίδια τιμή του δείκτη σε δύο διαφορετικές περιοχές δεν σημαίνει ίδια έλλειψη νερού στις θέσεις αυτές,
- γ) το τρίτο μειονέκτημα του δείκτη αυτού εμφανίζεται κατά την εφαρμογή του σε μικρές χρονικές κλίμακες (1, 2 ή 3 μηνών) σε περιοχές με μικρή εποχική βροχόπτωση· στις περιπτώσεις αυτές μπορεί να εμφανιστούν αναπάντεχα μεγάλες θετικές ή αρνητικές τιμές του δείκτη.

Ο δείκτης SPI υπολογίζεται με την προσαρμογή μιας συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας στην εμπειρική κατανομή συχνότητας μιας χρονοσειράς, που προέκυψε από εφαρμογή κυλιόμενου αθροίσματος επιθυμητής χρονικής κλίμακας πάνω στην εξεταζόμενη χρονοσειρά βροχόπτωσης. Στη συνέχεια η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας μετασχηματίζεται σε μια τυπική κανονική κατανομή. Έτσι ο δείκτης SPI «κανονικοποιείται» χωρικά, καθώς στον υπολογισμό του υπεισέρχεται τόσο η κατανομή της συχνότητας εμφάνισης της βροχόπτωσης στο συγκεκριμένο τόπο όσο και η διακύμανση της βροχόπτωσης στην περιοχή. Επιπρόσθετα, ο SPI «κανονικοποιείται» και χρονικά, γιατί ο υπολογισμός του μπορεί να γίνει για οποιαδήποτε χρονική κλί-

μακα (3, 6, 12, 24, κ.λπ. μηνών) ανάλογα με το σκοπό της εκάστοτε ανάλυσης.

Οι χαρακτηρισμοί των επεισοδίων ξηρασίας, βασιζόμενοι στην κλίμακα ταξινόμησης του δείκτη SPI κατά McKee et al. (1993), δίνονται στον Πίνακα 1. Ο πίνακας αυτός περιέχει επίσης τις αντιστοιχούσες πιθανότητες εμφάνισης κάθε κατηγορίας, που όπως είναι αναμενόμενο προκύπτουν από τη συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της κανονικής κατανομής.

**Πίνακας 1:** Ταξινόμηση ξηρασίας με βάση τον δείκτη SPI και αντιστοιχούσες πιθανότητες εμφάνισης.

Τιμές SPI	Κατηγορία Επεισοδίου	Πιθανότητα %
$SPI \geq +2.00$	Εξαιρετικά υγρή περίοδος	2.3
$1.50 \leq SPI \leq 1.99$	Πολύ υγρή περίοδος	4.4
$1.00 \leq SPI \leq 1.49$	Υγρή περίοδος	9.2
$0.00 \leq SPI \leq 0.99$	Κανονικές Βροχοπτώσεις	34.1
$-0.99 \leq SPI \leq 0$	Κανονικές Βροχοπτώσεις	34.1
$-1.49 \leq SPI \leq -1.00$	Ξηρασία	9.2
$-1.99 \leq SPI \leq -1.5$	Σημαντική Ξηρασία	4.4
$SPI \leq -2.00$	Εξαιρετική Ξηρασία	2.3

Οι χρονοσειρές μηνιαίας βροχόπτωσης ακολουθούν διάφορες θεωρητικές κατανομές. Μια τέτοια κατανομή και μάλιστα ευρέως χρησιμοποιούμενη είναι η κατανομή Γάμμα, της οποίας η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας ορίζεται ως εξής:

$$g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} \quad (2.1)$$

όπου,  $\alpha > 0$ ,  $\alpha$  είναι η παράμετρος σχήματος,  $\beta > 0$ ,  $\beta$  είναι η παράμετρος κλίμακας και  $x > 0$ ,  $x$  είναι το ποσό βροχόπτωσης.  $\Gamma(\alpha)$  είναι η συνάρτηση Γάμμα, που ορίζεται ως:

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^\infty y^{\alpha-1} e^{-y} dy \quad (2.2)$$

Η προσαρμογή της κατανομής στα δεδομένα απαιτεί τον προσδιορισμό των παραμέτρων  $\alpha$  και  $\beta$ . Σύμφωνα με την προσέγγιση του Thom (1958), οι παράμετροι αυτοί υπολογίζονται από τις σχέσεις:

$$\alpha = \frac{1}{4A} \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right), \quad \beta = \frac{\bar{x}}{a}, \quad (2.3)$$

$$\text{όπου } A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum \ln(x)}{n}$$

n είναι το πλήθος τιμών της χρονοσειράς.

Ολοκληρώνοντας τη συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας ως προς x και αντικαθιστώντας τις παραμέτρους α και β προκύπτει η ακόλουθη έκφραση για την αθροιστική συνάρτηση πιθανότητας G(x):

$$G(x) = \int_0^x g(x)dx = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \int_0^x x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} dx \quad (2.4)$$

Αντικαθιστώντας t=x/β η τελευταία εξίσωση απλοποιείται στην ακόλουθη:

$$G(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_0^x t^{\alpha-1} e^{-t} dt \quad (2.5)$$

Επειδή η συνάρτηση Γάμμα δεν ορίζεται για x=0, ενώ η χρονοσειρά της βροχόπτωσης είναι δυνατόν να περιλαμβάνει μηδενικές τιμές, η αθροιστική συνάρτηση πιθανότητας παίρνει τελικώς τη μορφή (Lloyd-Hughes, 2002):

$$H(x) = q + (1 - q)G(x) \quad (2.6)$$

όπου q είναι η αθροιστική πιθανότητα μηδενικών τιμών βροχόπτωσης.

Τέλος, η αθροιστική κατανομή πιθανότητας μετασχηματίζεται σε τυπική κανονική κατανομή για τον υπολογισμό του δείκτη SPI. Με βάση τον προσεγγιστικό μετασχηματισμό που προτάθηκε από τους Abramowitz and Stegun (1965) προκύπτει:

$$z = \text{SPI} = - \left\{ t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}, \quad t = \sqrt{\ln \left( \frac{1}{(H(x))^2} \right)} \right\} \quad (2.7)$$

για  $0 < H(x) < 0.5$

$$z = \text{SPI} = + \left\{ t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}, \quad t = \sqrt{\ln \left( \frac{1}{(1.0 - H(x))^2} \right)} \right\} \quad (2.8)$$

για  $0.5 < H(x) < 1.0$  και

$$\begin{aligned} c_0 &= 2.515517, & c_1 &= 0.802853, & c_2 &= 0.010328 \\ d_1 &= 1.432788, & d_2 &= 0.189269, & d_3 &= 0.001308 \end{aligned} \quad (2.9)$$

Είναι δυνατό, αντί της κατανομής Γάμμα, άλλες θεωρητικές κατανομές να προσαρμόζονται το ίδιο καλά ή και καλύτερα σε χρονοσειρές βροχόπτωσης. Μια τέτοια κατανομή, που θα μελετηθεί στα πλαίσια της παρούσας εργασίας και θα συγκριθεί ως προς την καταλληλότητά της με τη Γάμμα, είναι η Λογαριθμοκανονική. Η κατανομή αυτή, όπως και η Γάμμα, παρουσιάζει θετική ασυμμετρία και παίρνει μη αρνητικές τιμές. Έχει όμως το πλεονέκτημα της απλότητας, καθώς πρόκειται απλά για ένα λογαριθμικό μετασχηματισμό των δεδομένων, δηλαδή  $Y = \ln(x)$  (για  $x > 0$ ), με την υπόθεση ότι στην προκύπτουσα χρονοσειρά προσαρμόζεται καλά η κατανομή Gauss. Έτσι, επιλέγοντας τη Λογαριθμοκανονική κατανομή, και υπολογίζοντας τη μέση τιμή  $\mu_y$  και τη διασπορά  $\sigma_y^2$  στη χρονοσειρά που προέκυψε από τον λογαριθμικό μετασχηματισμό, ο δείκτης SPI παίρνει την ακόλουθη απλή μορφή:

$$SPI = Z = \frac{\ln(x) - \mu_y}{\sigma_y} \quad (2.10)$$

Το κεντρικό οριακό θεώρημα αναφέρει, ότι όσο αυξάνεται η χρονική κλίμακα που χρησιμοποιείται για τη εφαρμογή κυλιόμενου μέσου όρου σε μια χρονοσειρά, τόσο η προκύπτουσα χρονοσειρά τείνει προς την κανονική κατανομή, όταν η χρονική κλίμακα του κυλιόμενου μέσου όρου είναι διάστημα μεγαλύτερο των 6 μηνών. Επειδή συνεπώς η κατανομή Γάμμα τείνει προς την Κανονική κατανομή καθώς η παράμετρος σχήματος  $\alpha$  τείνει στο άπειρο, είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί η Κανονική κατανομή αντί της κατανομής Γάμμα για την προσαρμογή στα δεδομένα, γεγονός που καθιστά τη διαδικασία αυτή υπολογιστικά πολύ πιο εύκολη. Στην περίπτωση αυτή ο δείκτης SPI υπολογίζεται ως:

$$SPI = Z = \frac{(x - \mu)}{\sigma} \quad (2.11)$$

όπου  $\mu$  και  $\sigma$  είναι η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση των δεδομένων της χρονοσειράς.

Για να διαπιστωθεί πόσο καλά η θεωρητική κατανομή προσαρμόζεται στα δεδομένα, είναι δυνατό όπως είναι γνωστό, να συγκριθεί η εμπειρική κατανομή αθροιστικής πιθανότητας με την αντίστοιχη θεωρητική κατανομή. Μια τέτοια μέθοδος σύγκρισης αποτελεί το γνωστό κριτήριο Kolmogorov-Smirnov (K-S), το οποίο και χρησιμοποιείται στην παρούσα εργασία και περιγράφεται μαθηματικά ως εξής:

$$D_n = \max_x |F_n(x) - F(x)| \quad (2.12)$$

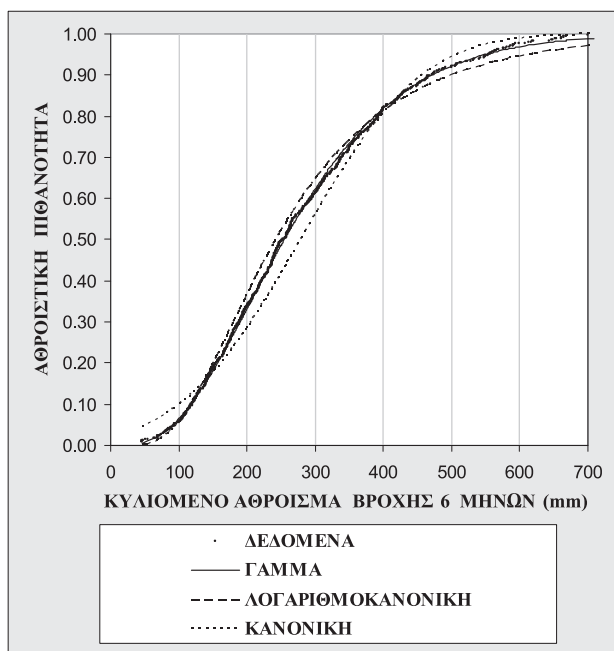
όπου  $F(x)$  είναι η θεωρητική αθροιστική κατανομή και

$F_n(x)$  είναι η εμπειρική αθροιστική κατανομή, που υπολογίζεται ως  $F_n(x_{(i)}) = i/n$  για την  $i$ -οστή μικρότερη τιμή της χρονοσειράς δεδομένων με πλήθος  $n$ .

Η μέγιστη «απόσταση» εμπειρικής και θεωρητικής κατανομής  $D_n$  συγκρίνεται με μια κρίσιμη ποσότητα  $D_{cr}$ , που επιλέγεται από πίνακες και είναι συνάρτηση του βαθμού εμπιστοσύνης και του μεγέθους της χρονοσειράς.

### 3. Καταλληλότητα Γάμμα, λογαριθμοκανονικής και κανονικής κατανομής για τον υπολογισμό του δείκτη ξηρασίας SPI

Στην παρούσα εργασία επιλέχθηκαν 18 χρονοσειρές μηνιαίων τιμών βροχόπτωσης από ισάριθμους μετεωρολογικούς σταθμούς, που βρίσκονται στην περιοχή Guadiana της Ισπανίας. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 2, οι χρονοσειρές αυτές περιλαμβάνουν μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης από 27 έως 76 χρόνια. Σε κάθε μία από αυτές τις χρονοσειρές έγινε έλεγχος προσαρμογής των κατανομών Γάμμα, Λογαριθμοκανονικής και Κανονικής και μάλιστα σε 5 χρονικές κλίμακες, ήτοι για 1, 3, 6, 12 και 24 μήνες. Για κάθε χρονοσειρά και για κάθε χρονική κλίμακα σχεδιάστηκε ένα διάγραμμα, όπως το ενδεικτικά αναφερόμενο στο Σχήμα 1, στο οποίο φαίνεται η εμπειρική αθροιστική κατανομή πιθανότητας καθώς και οι προαναφερθείσες τρεις θεωρητικές κατανομές



**Σχήμα 1.** Εμπειρική αθροιστική κατανομή πιθανότητας και τρεις θεωρητικές κατανομές για το κυλιόμενο άθροισμα βροχής 6 μηνών. Σταθμός BARRANCOS, 1931–2003.

ως συναρτήσεις της βροχόπτωσης για την επιλεγείσα κάθε φορά χρονική κλίμακα (1, 3, 6, 12 και 24 μηνών). Ακολούθως, με το κριτήριο Kolmogorov-Smirnov (K-S) και για επίπεδο εμπιστοσύνης  $(1-\alpha)=99\%$  έγινε έλεγχος καταλληλότητας προσαρμογής κάθε μιας από τις τρεις εξεταζόμενες θεωρητικές κατανομές. Τα αποτελέσματα εμφανίζονται συνοπτικά στον Πίνακα 2, από τον οποίο προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα. Για χρονική κλίμακα κυλιόμενου αθροίσματος 3 μηνών, δηλαδή για την περίπτωση που σε κάθε μια χρονοσειρά εφαρμοστεί κυλιόμενος μέσος όρος 3 μηνών και στις προκύπτουσες χρονοσειρές προσαρμοστούν οι τρεις εξεταζόμενες θεωρητικές κατανομές, τότε από τον έλεγχο καταλληλότητας προσαρμογής με το κριτήριο (K-S), προκύπτει, ότι μόνο σε δύο χρονοσειρές προσαρμόζεται ικανοποιητικά η κατανομή Γάμμα· ούτε η Λογαριθμοκανονική και ούτε η Κανονική είναι αποδεκτές για όλες τις χρονοσειρές για το επίπεδο εμπιστοσύνης που τέθηκε. Ο ίδιος έλεγχος καταλληλότητας και των τριών θεωρητικών κατανομών έγινε επίσης και για τις ίδιες τις χρονοσειρές μηνιαίων βροχόπτώσεων και βρέθηκε, ότι καμία κατανομή από τις τρεις δεν πληρεί το κριτήριο (K-S) για το επιλεγέν επίπεδο εμπιστοσύνης.

Στον Πίνακα 2 εμφανίζονται επίσης τα αποτελέσματα ελέγχου καταλληλότητας των τριών θεωρητικών κατανομών για χρονική κλίμακα 6 μηνών. Όπως προκύπτει, η κατανομή Γάμμα πληρεί το κριτήριο (K-S) σε όλες τις (18) χρονοσειρές, η Λογαριθμοκανονική σε 16 χρονοσειρές και η Κανονική σε καμία χρονοσειρά. Στην περίπτωση χρονικής κλίμακας 12 μηνών, η μεν κατανομή Γάμμα προσαρμόζεται καλά σε όλες επίσης τις 18 χρονοσειρές, η Λογαριθμοκανονική σε 15, ενώ η Κανονική κατανομή σε 11 από τις 18 χρονοσειρές. Τέλος αν επιλεγεί χρονική κλίμακα 24 μηνών, τότε η κατανομή Γάμμα και η Κανονική προσαρμόζονται καλά σε 14 από τις 18 χρονοσειρές, ενώ η Λογαριθμοκανονική σε 9 χρονοσειρές. Ας σημειωθεί, ότι όπως εμφανίζεται και στην τελευταία γραμμή του Πίνακα 2, σε αρκετές περιπτώσεις η Λογαριθμοκανονική και η Κανονική κατανομή παρουσίαζαν μικρότερη «μέγιστη» απόσταση  $D_n$  από την εμπειρική κατανομή, δηλαδή προσαρμόζονταν καλύτερα στα βροχομετρικά δεδομένα σε σχέση με την κατανομή Γάμμα. Για παράδειγμα για χρονική κλίμακα 24 μηνών σε 4 από τις 18 περιπτώσεις βέλτιστη προσαρμογή παρουσίαζε η Λογαριθμοκανονική, σε 9 περιπτώσεις η Κανονική και μόνο σε 5 χρονοσειρές η Γάμμα.

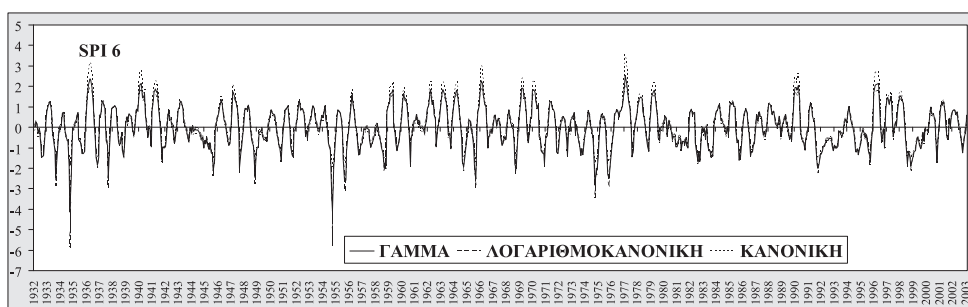
Από τα παραπάνω συμπεραίνεται, ότι όσο αυξάνεται η χρονική κλίμακα και γίνεται μεγαλύτερη των 6 μηνών, η Κανονική κατανομή προσαρμόζεται αρκετά καλά έως εξίσου καλά ή και καλύτερα στα δεδομένα, επιβεβαιώνοντας έτσι το κεντρικό οριακό θεώρημα, που αναφέρει, ότι με την αύξηση της χρονικής κλίμακας πάνω από τους 6 μήνες, η προκύπτουσα χρονοσειρά τείνει προς την κανονική. Επίσης από τον Πίνακα 2 προκύπτει, ότι η Λογαριθμοκανονική κατανομή προσομοιώνει περίπου το ίδιο καλά και μερικές φορές καλύτερα τα δεδομένα, ιδιαίτερα στις περιπτώσεις μικρού χρονικού βήματος (μέχρι 12 μήνες). Τα παραπάνω οδηγούν στο συμπέρασμα, ότι οι δείκτες SPI είναι δυνατό να υπολογιστούν με την ίδια ή και σε μερικές περιπτώσεις μεγαλύτερη ακρίβεια με τη χρήση των θεωρητικών συναρτήσεων Λογαριθμοκανονικής και Κανονικής (για μεγάλες χρονικές κλίμακες) αντί της Γάμμα.



**Πίνακας 2.** Έλεγχος προσαρμογής κατανομών Γάμμα, Λογαριθμοκανονικής και Κανονικής σε 18 χρονοσειρές, για τον υπολογισμό δεικτών SPI 3, 6, 12 και 24 μηνών.

Α/Α	Σταθμός δεδομένων χρονοσειράς	Περίοδος δεδομένων	3 ΜΗΝΕΣ			6 ΜΗΝΕΣ			12 ΜΗΝΕΣ			24 ΜΗΝΕΣ		
			ΓΑΜΜΑ	ΛΟΓΑΡΙΘΜ.	ΚΑΝΟΝΙΚΗ	ΓΑΜΜΑ	ΛΟΓΑΡΙΘΜ.	ΚΑΝΟΝΙΚΗ	ΓΑΜΜΑ	ΛΟΓΑΡΙΘΜ.	ΚΑΝΟΝΙΚΗ	ΓΑΜΜΑ	ΛΟΓΑΡΙΘΜ.	ΚΑΝΟΝΙΚΗ
1	AMARELEJA	1932-2005				√	√		√			√		
2	ALDEIA NOVA DE SGO BENTO	1931-1973				√	√		√	√	√	√	√	√
3	BARRANCOS	1931-2003				√	√		√	√	√	√		√
4	HERDADE DE VALADA	1968-2007	√			√	√		√	√	√	√	√	√
5	MINAS DE SGO DOMINGOS	1931-1968				√	√		√	√	√	√		√
6	SANTA IRIA	1980-2007				√	√		√	√	√	√	√	
7	SANTO ALEIXO DA RESTAURAHÇO	1931-2007				√	√		√	√			√	
8	SERPA	1931-2007				√	√		√	√	√	√		√
9	SOBRAL DA ADIHA	1980-2007	√			√	√		√	√	√	√	√	√
10	PEDROGFO DO ALENTEJO	1941-2007				√	√		√	√	√	√		√
11	SALVADA	1957-2007				√	√		√	√		√	√	√
12	MIRTOLA	1931-2000				√			√	√		√	√	√
13	MESQUITA	1980-2007				√	√		√	√		√	√	
14	MARTIM LONGO	1941-2007				√			√	√	√			√
15	PORTEL	1939-2007				√	√		√					√
16	REGUENGOS	1931-2007				√	√		√		√	√		√
17	ALANDROAL	1931-2007				√	√		√	√	√			√
18	JUROMENHA	1931-2007				√	√		√	√		√	√	√
Πλήθος ικανοποίησης κριτ.Κ-S			2	0	0	18	16	0	18	15	11	14	9	14
Καλύτερη προσαρμογή σε αριθμό περιπτώσεων:			14		4	14	4		13	2	3	5	4	9

Για τη διαπίστωση της ορθότητας των τελευταίων συμπερασμάτων υπολογίσθη-  
καν για κάθε μία από τις 18 χρονοσειρές, οι δείκτες SPI για χρονικές κλίμακες 3, 6,  
12 και 24 μηνών κάνοντας χρήση και των τριών θεωρητικών κατανομών, ήτοι της  
Γάμμα, της Λογαριθμοκανονικής και της Κανονικής κατανομής. Ενδεικτικά στο  
Σχήμα 2 έχει σχεδιαστεί ο δείκτης SPI 6 μηνών, για μια χρονοσειρά (BARRANCOS),  
υπολογισμένος όμως με τις προαναφερθείσες τρεις κατανομές. Αυτό που παρατηρεί-  
ται από το Σχήμα 2 και που είναι ταυτόσημο σε όλες τις προαναφερθείσες περιπτώ-  
σεις των 18 σταθμών και για τις χρονικές κλίμακες των 3, 6, 12 και 24 μηνών, είναι  
ότι οι δείκτες SPI ουσιαστικά συμπίπτουν υπολογιζόμενοι με την χρήση των τριών  
κατανομών.



**Σχήμα 2.** Δείκτης ξηρασίας SPI 6 μηνών, υπολογισμένος με τρεις διαφορετικές θεωρητικές κατανομές για τη χρονοσειρά BARRANCOS.

#### 4. Συμπεράσματα

Για τον υπολογισμό του δείκτη SPI δεν πρέπει να χρησιμοποιείται «άκριτα» η κατα-  
νομή Γάμμα. Για μεγάλες χρονικές κλίμακες, η Κανονική κατανομή παρέχει τα ίδια ή  
και ακριβέστερα αποτελέσματα, ενώ στις μικρότερες χρονικές κλίμακες η Λογαριθ-  
μοκανονική προσφέρει περίπου την ίδια ή και μερικές φορές περισσότερη ακρίβεια.  
Κριτήριο επιλογής αποτελεί κάθε φορά ο έλεγχος προσαρμογής στα δεδομένα κάθε  
μιας από τις παραπάνω θεωρητικές κατανομές. Η χρήση Λογαριθμοκανονικής και  
Κανονικής κατανομής έχει το πλεονέκτημα της απλότητας, έναντι της Γάμμα. Ο δεί-  
κτης SPI υπολογιζόμενος με κάθε μια από τις τρεις αυτές θεωρητικές κατανομές δίνει  
πρακτικά τα ίδια αποτελέσματα.

## Ευχαριστίες

Η παρούσα εργασία υποστηρίχθηκε από το ερευνητικό πρόγραμμα INTERREG III B –MEDOCC-Mesure–4, Project number 2005-05-4.4-P-105 -“Acronyme”– SADMO. Η χρηματοδότηση έγινε κατά 75% από το Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο και κατά 25% από εθνικούς πόρους.

## Βιβλιογραφία

1. Abramowitz, M. and Stegun, A., (eds) 1965. *Handbook of mathematical formulas, graphs, and mathematical tables*. Dover Publications Inc., New York.
2. Hayes, M.J., Svoboda, M.D., Wilhite, D.A. and Vanyarkho, O.V., 1999. *Monitoring the 1996 drought using the standardized precipitation index*. Bulletin of the American Meteorological Society, 80: 429-438.
3. Lloyd-Hughes, B. and Saunders, M., 2002. *A drought climatology for Europe*. Int. J. Climatol., 22: 1571-1592.
4. McKee, T.B., Doesken, N.J. and Kliest, J., 1993. *The relationship of drought frequency and duration to time scales*. Proc. of the 8<sup>th</sup> Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society, Boston, pp. 179-184.
5. Thom, H.C.S., 1958. *A note on the gamma distribution*. Monthly Weather Review, 86: 117-122.