

ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑ

Στατιστική ανάλυση Ελληνικών χρονοσειρών για τη διαπίστωση ύπαρξης κλιματικών αλλαγών

Χ. Ανυφαντή

Γαλήνης 32-34, Ζωγράφου 15772

Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται αύξηση της θερμοκρασίας, το λεγόμενο φαινόμενο του θερμοκηπίου, το οποίο οφείλεται στην αύξηση της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα. Γίνονται λόγος για κλιματική αλλαγή και μελετώνται διάφορες σειρές παρατηρήσεων, κυρίως η θερμοκρασία και η κατακρήμνιση. Οι σταθμοί που έχουν μελετηθεί σε προηγούμενες εργασίες είναι το Αστεροσκοπείο Αθηνών, η Αλιάρτος και ο Βοιωτικός Κηφισός.

Οι μεταβλητές που έχουν μελετηθεί είναι: μέγιστη, ελάχιστη και μέση μηνιαία θερμοκρασία και κατακρήμνιση του Αστεροσκοπείου Αθηνών, κατακρήμνιση της Αλιάρτου και παροχή του Βοιωτικού Κηφισού.

Στη μελέτη αυτή χρησιμοποιούνται πάλι οι ίδιοι σταθμοί γιατί τα test πρέπει να εφαρμοστούν σε χρονοσειρές μακρές άνω των 60 ετών. Δεν ήταν εύκολο να βρεθούν άλλες τέτοιες μακρές χρονοσειρές, διότι οι σταθμοί της Ελλάδας που ανήκουν στην υπηρεσία του Αστεροσκοπείου σταματούν να λειτουργούν γύρω στα 1931 και κατόπιν αρχίζουν να λειτουργούν οι σταθμοί της ΕΜΥ και της ΔΕΗ.

Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η εφαρμογή μη παραμετρικών στατιστικών test για την ανίχνευση σημείου αλλαγής καθώς και ο συνδυασμός δύο σταθμών συγχρόνως.

Επισκόπηση Βιβλιογραφίας

Για το θέμα της κλιματικής αλλαγής και την ύπαρξη τάσεων στις χρονοσειρές έγιναν παλαιότερα μελέτες. Χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος των κινουμένων μέσων όρων τριάντα ετών. (Καραπιπέρης 1960, Katsoulis Kambetizidis 1989, Katsoulis 1987). Για την κατακρήμνιση και τη θερμοκρασία το χειμώνα στην Αθήνα έγινε έλεγχος κλιματικής τάσεως κάθε μιας από τις δύο εξεταζόμενες παραμέτρους και του συνδυασμού τους. Οι χρονοσειρές για τις ανάγκες του test χωρίζονται σε τριακονταετίες.

(Κανελλοπούλου, Νικολάκης 1984). Εξετάστηκε η κατακρήμιση σε σχέση με την ηλιακή δραστηριότητα με τη βοήθεια των κινουμένων μέσων όρων δέκα ετών. (Κατσούλης, Τσελεπιδάκι, Θεοχαράτος 1976). Ακόμη χρησιμοποιήθηκαν οι εξισώσεις παλινδρόμησης για την κατακρήμιση και τη θερμοκρασία σε σχέση με το χρόνο. (Νάστος και Δικαϊάκος, Φ. Κανδύλης 1991, P. Nastos 1993).

Οι Χ. Ζερεφός, Γ. Κοσμάς, Χ. Ρεπάτης, Ι. Ζαμπάκας (1977) έκαναν για την κατακρήμιση τον έλεγχο Cramer για την ομογένεια των στοιχείων καθώς και τον έλεγχο Wald και Wolfowitz για την ύπαρξη εμμονής. Επίσης έγιναν φάσματα ισχύος για την περιοδικότητα, αναζήτηση της επίδρασης των φάσεων της σελήνης στην κατακρήμιση με τη μέθοδο των υπερτιθεμένων εποχών, καθώς και δοκιμαστική πρόβλεψη του ετησίου ύψους κατακρήμισης. Το test Mann-Kendall χρησιμοποιήθηκε για τον έλεγχο κλιματικής τάσης (Χ. Ζερεφός, Γ. Κοσμάς, Χ. Ρεπάτης, Ι. Ζαμπάκας (1977), Katsoulis Kambetzidis 1989, C.C. Repapis 1989) καθώς και το test γραμμικής συσχέτισης (Ναλμπάντης, Μαμάσης, Κουτσογιάννης 1992). Για την τάση χρησιμοποιήθηκαν φίλτρα (Katsoulis Kambetzidis 1989, Katsoulis 1987, Katsoulis Kambetzidis 1984). Για να ελεγχθεί η κανονικότητα έγινε το test Fisher. (Katsoulis 1987).

Για την περιοδικότητα έγινε φασματική ανάλυση (P. Nastos 1993, C.C. Repapis 1989) (Katsoulis Kambetzidis 1989) (Ναλμπάντης, Μαμάσης, Κουτσογιάννης 1992). Επίσης έγινε ανάλυση εμμονής και εξίσωση παλινδρόμησης για τη συσχέτιση μεταξύ ελάχιστης θερμοκρασίας και πληθυσμού με λογαριθμικά μοντέλο (Katsoulis 1987, Katsoulis Kambetzidis 1984) καθώς και συσχέτιση της θερμοκρασίας και κατακρήμισης με τον ηλιακό κύκλο με ετεροσυσχετόγραμμα (Katsoulis Kambetzidis 1984, C.C. Repapis 1989).

Οι σταθμοί που έχουν μελετηθεί στις προηγούμενες μελέτες είναι το Αστεροσκοπείο Αθηνών, η Αλιάρτος και ο Βοιωτικός Κηφισός.

Μελετήθηκαν οι εξής μεταβλητές:

Μέγιστη, ελάχιστη και μέση θερμοκρασία για το Αστεροσκοπείο Αθηνών από τους Κανελλοπούλου και Νικολάκη 1984, Κατσούλη και Καμπετζίδη 1984, Κατσούλη, Τσελεπιδάκη, Καμπετζίδη 1986, Κατσούλη 1987, Νάστο και Δικαϊάκο.

Η κατακρήμιση του Αστεροσκοπείου Αθηνών μελετήθηκε από τους εξής: Καραπιπέρη (1960), Κατσούλη, Τσελεπιδάκη και Θεοχαράτο (1976), Κανδήλη (1991), Κανελλοπούλου και Νικολάκη (1984), Ζερεφός, Κοσμάς, Ρεπάτη και Ζαμπάκας (1977), Κατσούλη και Καμπετζίδη (1989), Κατσούλη, Τσελεπιδάκη και Καμπετζίδη (1986), Νάστο (1993).

Η κατακρήμιση της Αλιάρτου μελετήθηκε από τους Μαμάση, Ναλμπάντη και Κουτσογιάννη (1992) και Repapis (1989).

Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας. Α.Π.Θ.

Η παροχή του Β. Κηφισού μελετήθηκε από τους Μαμάση, Ναλμάντη και Κουτσογιάννη (1992).

Περίληπτικά συμπεράσματα

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

Για τη μέγιστη θερμοκρασία του ΕΑΑ παρατηρείται αύξηση μέχρι το 1950 σύμφωνα με τους Κατσούλη και Καμπετζίδη, ενώ για τους Νάστο και Δικαιάκο υπάρχει αυξητική τάση. Για την ελάχιστη θερμοκρασία συμφωνούν ότι υπάρχει αυξητική τάση.

ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΗ

Για την κατακρήμνιση του ΕΑΑ σύμφωνα με τους Ζαμπάκα κ.λπ. και Καμπετζίδη, Κατσούλη δεν υπάρχει τάση στα ετήσια ενώ οι εξισώσεις παλινδρόμησης με το χρόνο (Νάστος) δείχνουν καθοδική πορεία στο ετήσιο. Το θέρος ο Ζαμπάκας κ.ά. παρατηρούν τάση για ελάττωση της κατακρήμνισης ενώ οι Κατσούλης και Καμπετζίδης στα εποχικά (αντιπροσωπευτικός μήνας ο Ιούλιος) δεν παρατηρούν τάση.

Για τον αριθμό ημερών κατακρήμνισης συμφωνούν ότι υπάρχει τάση στα ετήσια. Για την κατακρήμνιση Αλιάρτου οι Ρεπάπης και Μαμάσης κ.ά. συμφωνούν ότι υπάρχει τάση στα ετήσια.

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Χρησιμοποιήθηκαν μη παραμετρικά στατιστικά test που έχουν το πλεονέκτημα ότι δεν γίνεται υπόθεση για την κατανομή που ακολουθούν οι μετρήσεις. Οι αλλαγές που ανακαλύπτονται δεν είναι κατ' ανάγκη κλιματικές. Μπορεί να οφείλονται στο όργανο, στον τρόπο υπολογισμού, στη θέση του οργάνου, το χρόνο μετρήσεων κ.λπ.

ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΝΕΞΑΡΤΗΣΙΑΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Πρώτα γίνεται έλεγχος για την ανεξαρτησία των μετρήσεων. Η μηδενική υπόθεση είναι η ανεξαρτησία των μετρήσεων με εναλλακτική την ύπαρξη της συσχέτισης. Υπολογίζεται ο συντελεστής αυτοσυσχέτισης r . Χρησιμοποιείται η κανονική κατανομή με μέση τιμή $E(r) = -1/(n-1)$ και διασπορά $\text{var}r = 1/(n-1)$ όπου r ο συντελεστής αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξεως και n ο αριθμός παρατηρήσεων. Το test είναι δίπλευρο.

TEST MANN-KENDALL

Για να ευρεθεί αν όλα τα στοιχεία της σειράς ανήκουν στην ίδια κατανομή έγινε το test Mann-Kendall. Για κάθε στοιχείο x_i υπολογίζεται ο αριθμός n_i των προηγούμενων στοιχείων που είναι μικρότερα από x_i και η στατιστική μεταβλητή του test είναι η ποσότητα

$$t = \sum n_i$$

με εναλλακτική υπόθεση την ύπαρξη τάσης.

Η μεταβλητή t για $n_i \geq 10$ ακολουθεί κανονική κατανομή με μέση τιμή και διασπορά που δίνονται από τις σχέσεις

$$E(t) = n(n-1)/4 \quad \text{και} \quad \text{var} t = (n-1)(2n+5)/72$$

Στην περίπτωση που οι θερμοκρασίες αυξάνονται και παρατηρούνται μεγάλες τιμές του t χρησιμοποιείται μονόπλευρο test. Όταν η εναλλακτική υπόθεση δεν είναι γνωστή χρησιμοποιείται δίπλευρο test.

Εάν t είναι η στατιστική τιμή του test, η κανονικοποιημένη τιμή u_i λαμβάνεται με το μετασχηματισμό

$$u_i = [t - E(t)] / \sqrt{\text{var} t}$$

Όταν η μηδενική υπόθεση περί μη υπάρξεως τάσης απορρίπτεται τίθεται το ερώτημα τι είδους τάση παρατηρείται στη χρονοσειρά.

Ακόμη και όταν η μηδενική υπόθεση δεν απορρίπτεται, μπορεί να είναι το αποτέλεσμα αναιρουμένων τάσεων κατά την περίοδο των παρατηρήσεων. Για τον σκοπό αυτό εφαρμόζεται το test Kendall από την αρχή και το τέλος της χρονοσειράς. Η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση μεταβάλλονται για κάθε στοιχείο της χρονοσειράς. Μία ειδική περίπτωση είναι όταν υπάρχει τάση και την ίδια στιγμή το διάγραμμα Kendall των τιμών του u_i από την αρχή προς το τέλος των παρατηρήσεων και αντίστροφα τέμνεται σε ένα σημείο.

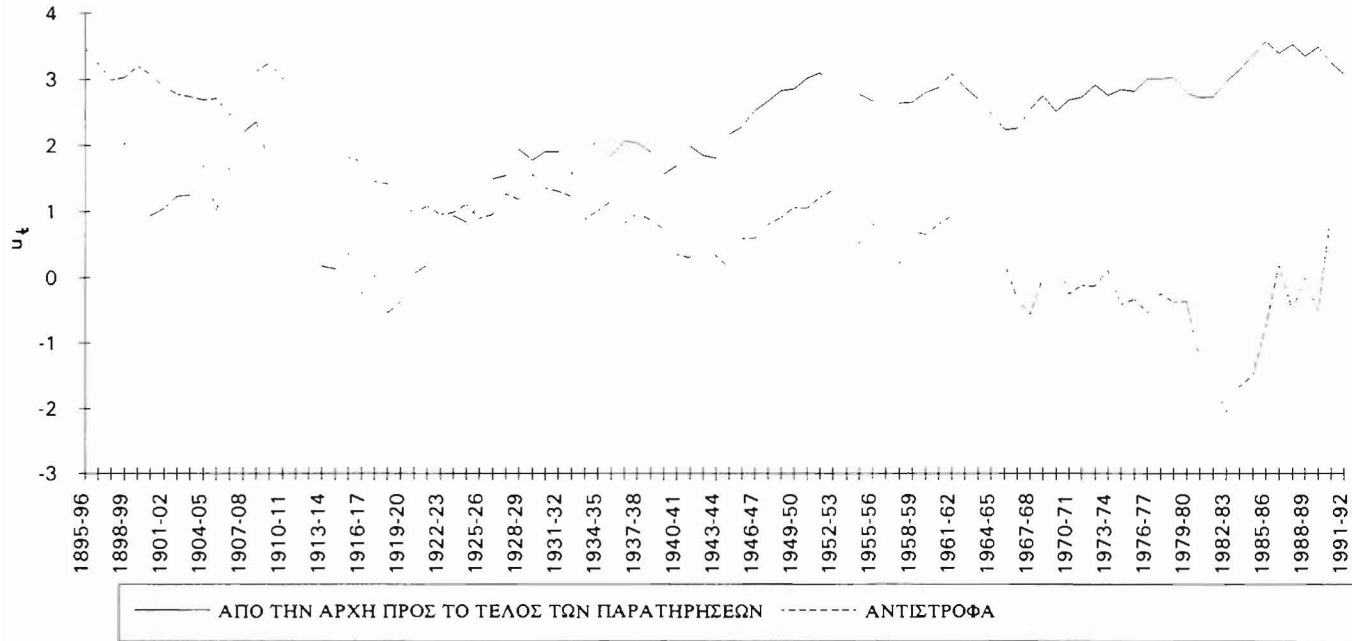
TEST PETTITT

Για την εξακρίβωση της υπάρξεως αλλαγής εφαρμόζεται το test Pettitt με στατιστική μεταβλητή

$$x_k = 2R_k - k(n+1)$$

όπου $k = 1, 2, \dots, n$ και $R_k = \sum \tau_i$ όπου τ_i η τάξη του στοιχείου x_i ταξινομημένου κατ' αύξουσα τάξη με άθροισμα Σ από 1 έως k .

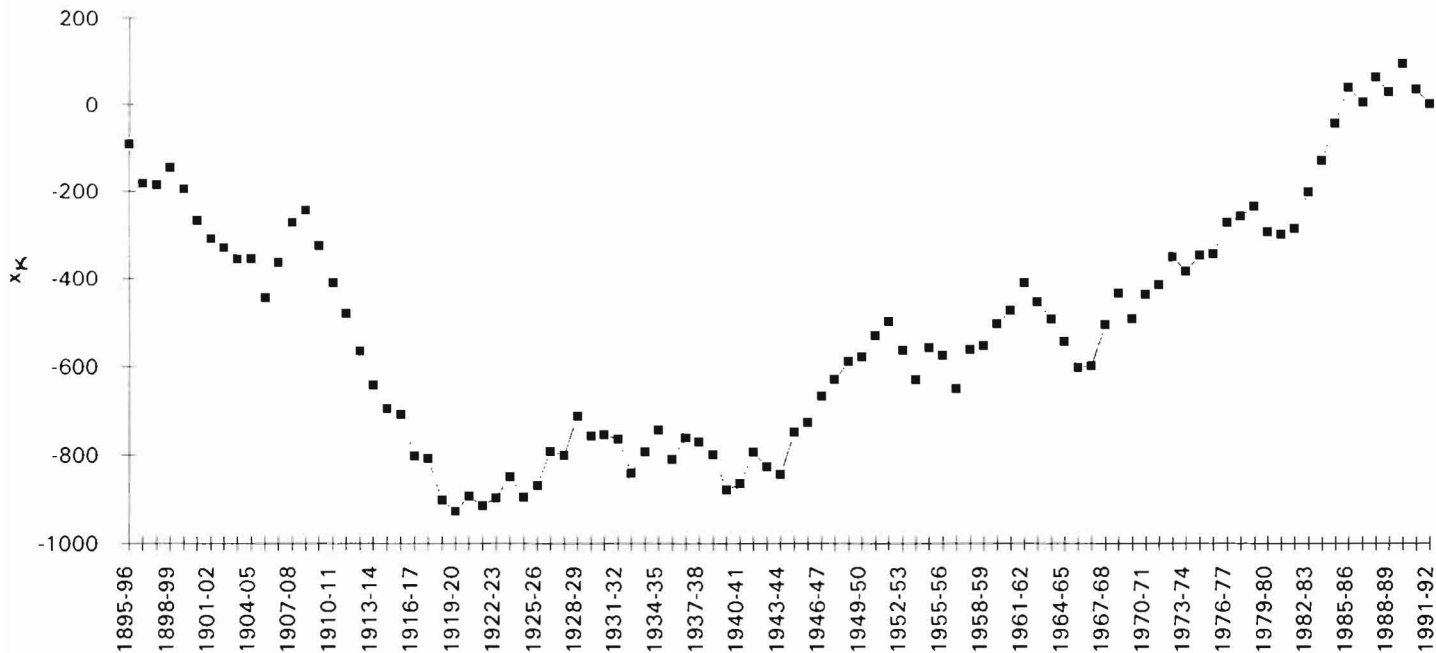
**TEST KENDALL
ΜΕΓΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΕΑΑ
ΜΑΙΟΣ**



Σχ. 1.

TEST PETTITT
ΜΕΓΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΕΑΑ

ΜΑΙΟΣ



Σχ. 2.

Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.

Το σημείο αλλαγής δίνεται από την τιμή k του x_k για την οποία γίνεται μέγιστο ή ελάχιστο εφόσον η μεταβολή είναι μείωση ή αύξηση. Η χρονοσειρά πρέπει να είναι ομογενής δηλαδή δεν υπάρχει αλλαγή στις παρατηρήσεις (αλλαγή αργάνου, τρόπου υπολογισμού, θέσης αργάνου, χρόνου μέτρησης κ.λπ.).

Στην περίπτωση που υπάρχει τάση και την ίδια στιγμή το διάγραμμα Kendall των τιμών του u_i από την αρχή προς το τέλος των παρατηρήσεων και αντίστροφα τέμνεται σε ένα σημείο οι τιμές χωρίζονται σε δύο ομάδες και στη μία υπάρχει το μέγιστο ή ελάχιστο των τιμών που υπολογίζονται από το test Pettitt. Εφαρμόζεται το test Mann-Whitney με μηδενική υπόθεση $M_I = M_{II}$ που είναι οι διάμεσοι του x_k των δύο ομάδων που χωρίζονται οι τιμές. Η εναλλακτική υπόθεση είναι $M_I \neq M_{II}$. Όταν η τιμή της πιθανότητας είναι μικρότερη από 0.01, τότε θεωρείται ότι οι δύο ομάδες της μεταβλητής διαφέρουν σημαντικά και το σημείο που εμφανίζεται το μέγιστο ή ελάχιστο των τιμών θεωρείται σημαντικό σημείο αλλαγής.

Περίπτωση περισσοτέρων σημείων αλλαγής

Όταν το διάγραμμα Kendall των τιμών του u_i από την αρχή προς το τέλος των παρατηρήσεων και αντίστροφα τέμνεται σε περισσότερα από ένα σημεία, τότε η χρονοσειρά παρουσιάζει πολλές διακυμάνσεις. Στην περίπτωση αυτή γίνεται ανάλυση των διαφόρων υποσειρών.

Εάν α_0 είναι το επίπεδο σημαντικότητας της χρονοσειράς (στην περίπτωση αυτή είναι 0.01) και n' το μέγεθος της υποσειράς, η συνθήκη ώστε το επίπεδο σημαντικότητας να παραμένει σταθερό είναι

$$(1 - \alpha')^{n/n'} = 1 - \alpha_0$$

όπου α' το επίπεδο σημαντικότητας της υποσειράς. (R. Sneyers On the use of statistical analysis for the objective determination of climate change). Εφαρμόζεται το test Pettitt και βρίσκεται το μέγιστο και το ελάχιστο της στατιστικής μεταβλητής x_k και εάν k_1, k_2 είναι τα χρονικά σημεία των ακρότατων, τότε γίνεται ανάλυση των υποσειρών $(1, k_1)$, (k_1, k_2) , (k_2, n) , $(1, k_2)$ και (k_1, n) .

Εξετάζεται εάν υπάρχει τάση στις υποσειρές $(1, k_1)$, (k_1, k_2) και (k_2, n) . Στην περίπτωση που είναι σταθερές η εφαρμογή του test Kendall από την αρχή προς το τέλος των παρατηρήσεων και αντίστροφα δεν μπορεί να γίνει για εξασκρίβωση της σημαντικότητας των k_1, k_2 . Εφαρμόζεται χωριστά το test Pettitt στις υποσειρές $(1, k_2)$ και (k_1, n) και υπολο-

Το σημείο αλλαγής δίνεται από την τιμή k του x_k για την οποία γίνεται μέγιστο ή ελάχιστο εφόσον η μεταβολή είναι μείωση ή αύξηση. Η χρονοσειρά πρέπει να είναι ομογενής δηλαδή δεν υπάρχει αλλαγή στις παρατηρήσεις (αλλαγή οργάνου, τρόπου υπολογισμού, θέσης οργάνου, χρόνου μέτρησης κ.λπ.).

Στην περίπτωση που υπάρχει τάση και την ίδια στιγμή το διάγραμμα Kendall των τιμών του u_i από την αρχή προς το τέλος των παρατηρήσεων και αντίστροφα τέμνεται σε ένα σημείο οι τιμές χωρίζονται σε δύο ομάδες και στη μία υπάρχει το μέγιστο ή ελάχιστο των τιμών που υπολογίζονται από το test Pettitt. Εφαρμόζεται το test Mann-Whitney με μηδενική υπόθεση $M_1 = M_{11}$ που είναι οι διάμεσοι του x_k των δύο ομάδων που χωρίζονται οι τιμές. Η εναλλακτική υπόθεση είναι $M_1 \neq M_{11}$. Όταν η τιμή της πιθανότητας είναι μικρότερη από 0.01, τότε θεωρείται ότι οι δύο ομάδες της μεταβλητής διαφέρουν σημαντικά και το σημείο που εμφανίζεται το μέγιστο ή ελάχιστο των τιμών θεωρείται σημαντικό σημείο αλλαγής.

Περίπτωση περισσότερων σημείων αλλαγής

Όταν το διάγραμμα Kendall των τιμών του u_i από την αρχή προς το τέλος των παρατηρήσεων και αντίστροφα τέμνεται σε περισσότερα από ένα σημεία, τότε η χρονοσειρά παρουσιάζει πολλές διακυμάνσεις. Στην περίπτωση αυτή γίνεται ανάλυση των διαφόρων υποσειρών.

Εάν α_0 είναι το επίπεδο σημαντικότητας της χρονοσειράς (στην περίπτωση αυτή είναι 0.01) και n' το μέγεθος της υποσειράς, η συνθήκη ώστε το επίπεδο σημαντικότητας να παραμένει σταθερό είναι

$$(1 - \alpha')^{n'} = 1 - \alpha_0$$

όπου α' το επίπεδο σημαντικότητας της υποσειράς. (R. Sneyers On the use of statistical analysis for the objective determination of climate change). Εφαρμόζεται το test Pettitt και βρίσκεται το μέγιστο και το ελάχιστο της στατιστικής μεταβλητής x_k και εάν k_1, k_2 είναι τα χρονικά σημεία των ακρότατων, τότε γίνεται ανάλυση των υποσειρών $(1, k_1)$, (k_1, k_2) , (k_2, n) , $(1, k_2)$ και (k_1, n) .

Εξετάζεται εάν υπάρχει τάση στις υποσειρές $(1, k_1)$, (k_1, k_2) και (k_2, n) . Στην περίπτωση που είναι σταθερές η εφαρμογή του test Kendall από την αρχή προς το τέλος των παρατηρήσεων και αντίστροφα δεν μπορεί να γίνει για εξακρίβωση της σημαντικότητας των k_1, k_2 . Εφαρμόζεται χωριστά το test Pettitt στις υποσειρές $(1, k_2)$ και (k_1, n) και υπολο-

γίζεται το επίπεδο σημαντικότητας της ακρότατης τιμή x_E που δίνεται από τη σχέση

$$\alpha = \exp\{-6(x_E)^2/(n^3 + n^2)\}.$$

Όταν το x_E είναι θετικό τότε γίνεται η σύγκριση με το α' χωρίς να διπλασιασθεί η τιμή του α , διαφορετικά η τιμή του α διπλασιάζεται.

Εάν $\alpha > \alpha'$ τότε το ακρότατο x_E που βρέθηκε δεν είναι σημαντικό σημείο αλλαγής.

Εάν $\alpha < \alpha'$ τότε το ακρότατο x_E της υποσειράς είναι σημαντικό σημείο αλλαγής.

Στην περίπτωση που οι υποσειρές $(1, k_1)$, (k_1, k_2) και (k_2, n) έχουν τάση, εφαρμόζεται το test Pettitt σε όλη τη χρονοσειρά με τον ίδιο τρόπο. Όταν υπάρχει ένα ακρότατο μέγιστο ή ελάχιστο, τότε υπάρχουν δύο υποσειρές για ανάλυση.

TEST ΚΥΡΙΩΝ ΣΥΝΙΣΤΩΣΩΝ

Για τους δύο σταθμούς χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος των κυρίων συνιστωσών. Εστω x ο πρώτο σταθμός και y ο δεύτερος. Πρώτα έγινε η τυποποίηση των μεταβλητών

$$x_s = \frac{x - \bar{x}}{s_x} \quad y_s = \frac{y - \bar{y}}{s_y}$$

όπου \bar{x}, \bar{y} η μέση τιμή και s_x, s_y η τυπική απόκλιση. Δημιουργούνται οι νέες μεταβλητές

$$u = (x_s + y_s)/\sqrt{2} \quad v = (x_s - y_s)/\sqrt{2}$$

που είναι ανάλογες αντίστοιχα της πρώτης και της δεύτερης κύριας συνιστώσας.

Οι μεταβλητές u και v είναι ασυσχέτιστες. Χρησιμοποιούμε τις χρονοσειρές $u(t)$ και $v(t)$.

Ετσι x Αθήνα και y Αλιάρτος (1)

y Αλιάρτος και w παροχή Β. Κηφισού (2)

ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Οι σταθμοί που χρησιμοποιήθηκαν είναι του Αστεροσκοπείου Αθηνών και της Αλιάρτου και οι παροχές του Β. Κηφισού επειδή οι χρονοσειρές που θα εφαρμοστούν τα στατιστικά test πρέπει να είναι μακρές άνω των 60 χρόνων. Δεν ήταν εύκολο να βρεθούν άλλες μακρές χρο-

νοσειρές, διότι οι σταθμοί της Ελλάδας που ανήκουν στην υπηρεσία του Αστεροσκοπείου σταματούν να λειτουργούν γύρω στο 1931 και μετά αρχίζουν να λειτουργούν της ΕΜΥ και της ΔΕΗ. Για την κατακρήμνιση του ΕΑΑ το διάστημα από το 1893 έως σήμερα, κατά το οποίο οι μετρήσεις γίνονται στην ίδια θέση και γίνεται σύγκριση μεταξύ βροχομέτρου και βροχογράφου, μπορεί να θεωρηθεί ως περίοδος ομογενών παρατηρήσεων. Για τη θερμοκρασία του ΕΑΑ οι μετρήσεις έγιναν στις 8,12 και 21 (1858-1929) και στις 8,12 και 20 (1930-σήμερα). Από το 1984 χρησιμοποιείται θερμογράφος 24 ωρών και γίνεται σύγκριση με τις τρεις ημερήσιες τιμές. Η Αλιάρτος για το 1907-1964 έχει βροχομετρικά δεδομένα από τον Οργανισμό Κωπαΐδος και βρίσκονται στη Μελέτη υδατικού ισοζυγίου μετά υδρογεωλογικής ερεύνης κοιλάδος Βοιωτικού Κηφισού και πεδιάδων Κωπαΐδος και Θηβών των Π.Δ. Λαδόπουλου και Ν.Δ. Χωραφά (Αθήνα Φεβρουάριος 1974). Το βροχόμετρο της ΕΜΥ θεωρείται το πλέον αξιόπιστο της ευρύτερης περιοχής. Το βροχόμετρο είναι 090 Αναγνώστου και έχει έναρξη λειτουργίας 1967, είναι σε άριστη κατάσταση και δεν έχει μετακινηθεί. Η συμπλήρωση του σταθμού έγινε με βάση το σταθμό της Τανάγρας, διότι οι μετρήσεις της ΕΜΥ αρχίζουν το 1965.

Η θερμοκρασία της Αλιάρτου από το 1907-1958 είναι του Οργανισμού Κωπαΐδας και από το 1967 έως σήμερα της ΕΜΥ. Οι μετρήσεις θερμοκρασίας του Οργανισμού Κωπαΐδας υπάρχουν στη μελέτη των Αλτηγού-Κυριακού-Μαχαίρα Ύδρευση Αθηνών προκαταρκτική έκθεση (Αθήνα 1964). Τα θερμομέτρα είναι σε άριστη κατάσταση και δεν έγινε μετακίνηση του σταθμού όσον αφορά την ΕΜΥ. Η μέση θερμοκρασία δεν μελετήθηκε λόγω του ότι είναι αποτέλεσμα υπολογισμού. Για την ελάχιστη θερμοκρασία Αλιάρτου ο συντελεστής συσχέτισης με την Τανάγρα τον Αύγουστο είναι 0.15, αλλά η συμπλήρωση έγινε με βάση το σταθμό αυτό.

Η ετήσια απορροή του Β. Κηφισού δεν είναι φυσική ροή, διότι είναι φυσική τους χειμερινούς μήνες μέχρι το Μάιο και το καλοκαίρι επηρεάζεται από την άρδευση. Τα 1942-43 έχει έλλειψη σε Οκτώβριο, Νοέμβριο και Δεκέμβριο. Επίσης τα έτη 1964-65, 1965-66, 1966-67, 1967-68 και 1976-77 λείπουν. Ο Β. Κηφισός με λεκάνη απορροής 2010 km² μέσω της Σήραγγας Καρδίτσας τροφοδοτεί την Υλίκη. Η απορροή του Β. Κηφισού μετρίεται από το 1906-07 με μικρές περιόδους ελλείψεων. Μέχρι το 1975-76 οι μετρήσεις γίνονταν στην Παλιά Διώρυγα Καρδίτσας και στη συνέχεια στη Νέα Διώρυγα, όπου υπάρχει σταθμήμετρο της ΕΥΔΑΠ. Η στάθμη ανάγεται σε παροχή με υδραυλικές μεθόδους, αλλά ο συντελεστής τραχύτητας της διώρυγας έχει εκτιμηθεί από μία μόνο υδρομέτρηση. Θεωρούμε ότι οι χρονοσειρές έχουν αναχθεί σε αμογενείς.

ΣΤΑΘΜΟΙ

ΟΝΟΜΑ ΣΤΑΘΜΟΥ	ΔΕΔΟΜΕΝΑ
Αστεροσκοπείο Αθηνών	Κατακρήμνιση (1870 - 1992), Θερμοκρασία (1896 - 1992), αριθμός ημερών βροχής (1870 - 1992)
Αλιάρτος	Κατακρήμνιση (1907 - 1993), Θερμοκρασία (1907 - 1988)
Βοιωτικός Κηφισός (Σήραγγα Καρδίτσας ΕΥΔΑΠ)	Παροχή (1907-1993)

ΠΙΝΑΚΑΣ 1

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΤΗΣΙΩΝ

ΣΤΑΘΜΟΙ	TEST KENDALL	TEST PETTITT
ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΗ ΑΣΤΕΡΟΣΚΟΠΕΙΟΥ	ΔΕΝ ΥΠΑΡΧΕΙ ΤΑΣΗ	ΔΕΝ ΥΠΑΡΧΕΙ ΣΗΜΕΙΟ ΑΛΛΑΓΗΣ
ΜΕΓΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΣΤΕΡΟΣΚΟΠΕΙΟΥ	ΤΑΣΗ ΑΥΞΗΤΙΚΗ ΣΗΜΕΙΑ ΑΛΛΑΓΗΣ 1918 - 19 ΚΑΙ 1920 - 21	1922 - 33 ΕΛΑΧΙΣΤΟ
ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΣΤΕΡΟΣΚΟΠΕΙΟΥ	ΔΕΝ ΥΠΑΡΧΕΙ ΤΑΣΗ	1922 - 23 ΕΛΑΧΙΣΤΟ
ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΗ ΑΛΙΑΡΤΟΥ	ΠΤΩΤΙΚΗ ΤΑΣΗ ΣΗΜΕΙΑ ΑΛΛΑΓΗΣ 1971 - 72 ΚΑΙ 1979 - 80	1955 - 56 ΜΕΓΙΣΤΟ
ΜΕΓΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΛΙΑΡΤΟΥ	ΔΕΝ ΥΠΑΡΧΕΙ ΤΑΣΗ	1961 - 62 ΜΕΓΙΣΤΟ
ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΛΙΑΡΤΟΥ	ΠΤΩΤΙΚΗ ΤΑΣΗ ΣΗΜΕΙΑ ΑΛΛΑΓΗΣ 1939 - 40 ΚΑΙ 1940 - 41	1947 - 48 ΜΕΓΙΣΤΟ
ΠΑΡΟΧΗ ΒΟΙΩΤΙΚΟΥ ΚΗΦΙΣΟΥ	ΠΤΩΤΙΚΗ ΤΑΣΗ ΣΗΜΕΙΑ ΑΛΛΑΓΗΣ 1985 - 86 ΚΑΙ 1986 - 87	3 ΦΟΡΕΣ ΤΟ ΙΔΙΟ ΜΕΓΙΣΤΟ

Για τον αριθμό ημερών κατακρήμνισης του Αστερασκοπείου δεν υπάρχει τάση και σημείο αλλαγής.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2

ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΗΝΙΑΙΩΝ

ΣΤΑΘΜΟΙ	TEST KENDALL	TEST PETTITT
ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΗ ΑΣΤΕΡΟΣΚΟΠΕΙΟΥ	ΔΕΝ ΥΠΑΡΧΕΙ ΤΑΣΗ	ΔΕΝ ΥΠΑΡΧΕΙ ΣΗΜΕΙΟ ΑΛΛΑΓΗΣ
ΜΕΓΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΣΤΕΡΟΣΚΟΠΕΙΟΥ	ΤΑΣΗ ΑΥΞΗΤΙΚΗ ΣΗΜΕΙΑ ΑΛΛΑΓΗΣ ΑΠΡΙΛΙΟΣ 1921-22 (ΕΛΑΧΙΣΤΟ) ΙΟΥΝΙΟΣ 1921-22 (ΕΛΑΧΙΣΤΟ)	ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 1922-23 ΕΛΑΧΙΣΤΟ
ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΣΤΕΡΟΣΚΟΠΕΙΟΥ	ΔΕΝ ΥΠΑΡΧΕΙ ΤΑΣΗ	ΙΟΥΝΙΟΣ 1924-25 ΕΛΑΧΙΣΤΟ ΙΟΥΛΙΟΣ 1925-26 ΕΛΑΧΙΣΤΟ*
ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΗ ΑΛΙΑΡΤΟΥ	ΔΕΝ ΥΠΑΡΧΕΙ ΤΑΣΗ	ΔΕΝ ΥΠΑΡΧΕΙ ΣΗΜΕΙΟ ΑΛΛΑΓΗΣ
ΜΕΓΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΛΙΑΡΤΟΥ	ΔΕΝ ΥΠΑΡΧΕΙ ΤΑΣΗ	ΔΕΝ ΥΠΑΡΧΕΙ ΣΗΜΕΙΟ ΑΛΛΑΓΗΣ
ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΛΙΑΡΤΟΥ	ΠΤΩΤΙΚΗ ΤΑΣΗ ΣΗΜΕΙΑ ΑΛΛΑΓΗΣ ΙΟΥΛΙΟΣ 1931-32 ΕΩΣ 1936-37*	ΔΕΝ ΥΠΑΡΧΕΙ ΣΗΜΕΙΟ ΑΛΛΑΓΗΣ
ΠΑΡΟΧΗ ΒΟΙΩΤΙΚΟΥ ΚΗΦΙΣΟΥ	ΠΤΩΤΙΚΗ ΤΑΣΗ ΣΗΜΕΙΑ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 1985-86 (ΜΕΓΙΣΤΟ)	ΔΕΝ ΥΠΑΡΧΕΙ ΣΗΜΕΙΟ ΑΛΛΑΓΗΣ

* Παρατηρούνται σε κοντινές χρονολογίες τα σημεία αλλαγής.

ΑΡΙΘΜΟΣ ΗΜΕΡΩΝ ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΗΣ

Το test Pettitt δεν έδειξε σημεία αλλαγής.

Το test Kendall έδειξε πτωτική τάση τον Ιούνια, Ιούλιο, Αύγουστο αλλά κανένα σημείο αλλαγής.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΣΤΕΡΟΣΚΟΠΕΙΟΥ ΑΘΗΝΩΝ

Για τη μέγιστη θερμοκρασία του Αστεροσκοπείου το test Kendall έδειξε σημείο αλλαγής στο 1918-19 και στο 1920-21, ενώ το test Pettitt έδειξε σημείο αλλαγής το 1922-23 (ελάχιστο) στα ετήσια. Αυτά οφείλονται στα σημεία αλλαγής που παρουσιάζονται τον Απρίλιο το 1921-22 και Ιούνιο το 1921-22 για το test Kendall και το Νοέμβριο το 1922-23 (ελάχιστο) για το test Pettitt. Η ελάχιστη θερμοκρασία του ΕΑΑ δεν παρουσιάζει τάση ενώ το test Pettitt παρουσιάζει το 1922-23 σημείο αλλαγής (ελάχιστο) που οφείλεται στο σημείο αλλαγής που παρουσιάζεται τον Ιούνιο 1924-25 (ελάχιστο) και τον Ιούλιο το 1925-26 (ελάχιστο).

ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΗ ΕΑΑ

Στην κατακρήμνιση δεν παρουσιάζεται τάση και σημείο αλλαγής. Για τον αριθμό ημερών κατακρήμνισης το test Pettitt δεν έδειξε σημείο αλλαγής. Το test Kendall δεν έδειξε τάση στα ετήσια ενώ υπάρχει πτωτική τάση στον Ιούνιο, Ιούλιο και Αύγουστο αλλά κανένα σημείο αλλαγής.

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΛΙΑΡΤΟΥ

Η μέγιστη θερμοκρασία της Αλιάρτου δεν παρουσιάζει τάση. Τα ετήσια παρουσιάζουν σύμφωνα με το test Pettitt μέγιστο το 1961-62 που δεν επαληθεύεται από τα μηνιαία. Η ελάχιστη θερμοκρασία Αλιάρτου σύμφωνα με το test Kendall παρουσιάζει σημεία αλλαγής το 1939-40 και 1940-41 που οφείλονται στα σημεία αλλαγής που εμφανίζονται τον Ιούλιο από το 1931-32 έως το 1936-37. Σύμφωνα με το test Pettitt παρουσιάζει το 1947-48 μέγιστο που δεν επαληθεύεται από τα μηνιαία.

ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΗ ΑΛΙΑΡΤΟΥ

Η κατακρήμνιση Αλιάρτου σύμφωνα με το test Kendall παρουσιάζει σημεία αλλαγής το 1971-72 και το 1979-80 που δεν επαληθεύονται από τα μηνιαία. Σύμφωνα με το test Pettitt παρουσιάζει το 1955-56 μέγιστο που δεν επαληθεύεται από τα μηνιαία.

ΠΑΡΟΧΗ Β. ΚΗΦΙΣΟΥ

Η παροχή Β. Κηφισού σύμφωνα με το test Kendall παρουσιάζει σημεία αλλαγής το Φεβρουάριο το 1985-86 ενώ το test Pettitt δεν έδειξε σημείο αλλαγής. Τα ετήσια δεν λαμβάνονται υπόψη λόγω του ότι η χρονοσειρά δεν είναι φυσική ροή.

Συμπεράσματα

Η θερμοκρασία του ΕΑΑ παρουσιάζει σημείο αλλαγής γύρω στο 1920, είναι ελάχιστο και συμφωνεί με τη μελέτη του Κατσούλη (1987). Η κατακρήμνιση του Αστεροσκοπείου Αθηνών δεν έδειξε τάση και σημείο αλλαγής. Για τον αριθμό ημερών κατακρήμνισης του Αστεροσκοπείου υπάρχει πτωτική τάση τον Ιούνιο, Ιούλιο και Αύγουστο αλλά δεν υπάρχει στο ετήσιο. Η ελάχιστη θερμοκρασία Αλιάρτου έχει σημεία αλλαγής γύρω στο 1940 σύμφωνα με το test Kendall, ενώ η παροχή του Βοιωτικού Κηφισού γύρω στο 1986 (Φεβρουάριος) σύμφωνα με το ίδιο test. Για την κατακρήμνιση και τη μέγιστη θερμοκρασία της Αλιάρτου τα ετήσια δεν επηγηθούνται από τα μηνιαία.

Βιβλιογραφία

- Ζερεφός, Χ.Σ. Κοσμάς, Ρεπάτης, Ζαμπάκας. (1977). Μελέτη επί των χρονοσειρών βροχής εις τον σταθμόν του Εθν. Αστ. Αθηνών κατά την εκατονταετία 1871-1970. Δημοσιεύματα Εργ. Κλιματολογίας Πανεπιστημίου Αθηνών.
- Kambetzidis, H.D. (1989). Analysis of the long term precipitation series at Athens Greece Climatic Change 14 p. 263-290.
- Κανδήλη, Φ. (1991). Τάση υψών υετού στον Ελλαδικό χώρο την τελευταία 30ετία 1960-1989. Δημοσιεύματα Εργαστηρίου Κλιματολογίας Αθηνών Διευθυντής Καθηγ. Ι.Δ. Ζαμπάκας Αθήνα.
- Κανελλοπούλου, Ε.Α., Νικολάκης, Δ.Ι. (1984). Κλιματική τάση θερμοβροχομετρικής καταστάσεως των χειμώνων στην Αθήνα. Τεχνικά Χρονικά Α' Τάμ. 4 Τεύχ. 4.
- Carariperis, Leon. (1960) Trends in the Mediterranean rainfall.
- Κατσούλης Β., Τσελεπιδάκη, Θεοχαράτος. (1976). Χαρακτηριστικά του υετού εν Αθήναις. Δελτίον Ελληνικής Μετεωρολογικής Εταιρείας Τόμος 1ος Τεύχος 2ο.
- Katsoulis, B.D. (1987). Indications of change of climate from the analysis of air temperature time series in Athens, Greece. Climatic Change 10 p. 67-79.
- Katsoulis, B.D., Τσελεπιδάκη, Καμπετζιδης. (1986). Analysis of the long term series of climatic data from Athens Greece. Τελική έκθεση προς την 11η διεύθυνση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής GII-118-GR.
- Katsoulis, B.D. Kambetzidis H.D. (1984). Evidence of the change of climate as revealed from climatological analysis of Athens time series air temperature XVIII International Conference for Alpine Meteorology Opatija.

- Μαμάσης, Ν., Ναλμπάντης, Κουτσογιάννης. (1992). Διερεύνηση υδρολογικών χαρακτηριστικών των λεκανών Μόρνου και Β. Κηφισού - Υλίκης. Ημερίδα ΤΕΕ.
- Nastos, P. Th. (1993). Changements de la pluie au region hellenique pendant la period 1858-1992. Συνέδριο Κλιματολογίας Θεσσαλονίκη.
- Nastos, P., Dikaiakos J. Temperature variations over Greece during the period 1858-1990 1st General Conference of the Balkan Physical Union.
- Repapis, C.C. (1989). A quasi-nine year oscillation of the water level in Lake Copais (Greece) cited by Theophrastus (4th century b.C.) and Pliny (1st century a.D.). Climatic Change 14 p. 81-87.
- Sneyers, R. (1992). On the use of statistical analysis for the objective determination of climate change Meteorol. Zeitschrift N.E. 1, p. 247-256.
- Vannitsem, St., Demaree G. (1991). Detection et modelisation des secheresses au Sahel. Hydrol. continent. vol. 6, no 2 p. 155-171.