

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΩΝ ΛΕΚΑΝΩΝ ΜΟΡΝΟΥ ΚΑΙ Β. ΚΗΦΙΣΟΥ - ΥΛΙΚΗΣ

N. ΜΑΜΑΣΗΣ, I. ΝΑΛΜΠΙΑΝΤΗΣ & Δ. ΚΟΥΤΣΟΓΙΑΝΝΗΣ

Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Ηρώων Πολυτεχνείου 5, 157 00 Ζωγράφου

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή αναλύονται στατιστικά τα ιστορικά υδρολογικά δείγματα δείγματα των λεκανών Μόρνου και Β. Κηφισού - Υλικής. Από την ανάλυση διαπιστώνονται στατιστικά-σημαντικές πτωτικές τάσεις της βροχόπτωσης και της απορρόφησης στην περιοχή Β. Κηφισού - Υλικής. Ακόμη διαπιστώνεται στατιστικά σημαντική μείωση των ετήσιων απορροών της τελευταίας πενταετίας και στις δύο λεκάνες με εμφάνιση δύο εξαιρετικά ξηρών υδρολογικών ετών. Η ανάλυση των βροχοπτώσεων έδειξε ότι σε ετήσια βάση δεν υπάρχει ανάλογη μείωση του συνολικού ύψους βροχής, αλλά ωστόσο η κατανομή της βροχής κατά μήνα εμφανίζεται σημαντικά διαφοροποιημένη. Ειδικότερα παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική μείωση των βροχοπτώσεων του Ιανουαρίου και στις δύο λεκάνες την τελευταία πενταετία, γεγονός που θα πρέπει να θεωρηθεί ως εξήγηση της μείωσης της απορρόφησης.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τελευταία χρόνια πραγματοποιήθηκε ένα έντονο φαινόμενο ξηρασίας που επηρέασε καθοριστικά το υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας, λόγω των μειωμένων εισροών στους ταμειυτήρες Μόρνου και Υλικής. Το φαινόμενο αυτό έγινε ιδιαίτερα έντονο κατά το υδρολογικό έτος 1989-90. Το υδρολογικό έτος που πέρασε (1991-92) ήταν ένα ακόμη ξηρό έτος, και σύμφωνα με τα ιστορικά δείγματα το δεύτερο φτωχότερο στις απορροές των ποταμών που κύρια τροφοδοτούν την Αθήνα.

Στην εποχή μας οι ανθρωπογενείς αλλαγές στο φυσικό περιβάλλον έχουν αρχίσει να θεωρούνται υπεύθυνες για αλλαγές στο κλίμα και μπροστά σε τέτοια φαινόμενα ξηρασίας εκφράζονται φόβοι για μονιμότερες αλλαγές των κλιματικών παραμέτρων. Ωστόσο, όπως περιγράφεται σε επόμενο κεφάλαιο, και ανεξάρτητα από την επίδραση των ανθρωπογενών αιτίων, το κλίμα ενός τόπου δεν είναι σταθερό αλλά αλλάζει σε όλες τις χρονικές κλίμακες.

Η κλιματική παράμετρος που κύρια ενδιαφέρει για τους υδατικούς πόρους, η βροχόπτωση, έχει μελετηθεί με στοχαστικές μεθόδους από διάφορους ερευνητές στον Ελλαδικό χώρο για την ανίχνευση τάσεων (Αμανατίδης κ.α., 1992), ειδικότερα σε περιοχές σημαντικές για την ύδρευση της Αθήνας (Κουτσογιάννης κ.α., 1991).

Οι *Maheras & Kolyva-Mahera* (1990) συσχέτισαν την υψηλή βροχόπτωση με την μεσημβρινή κυκλοφορία των υφέσεων και την χαμηλή με την ζωνική κυκλοφορία δίνοντας μια μετεωρολογική θεώρηση των αιτιών των φαινομένων ξηρασίας.

Στα επόμενα κεφάλαια εξετάζεται με στατιστικές μεθόδους το κατά πόσον τα φαινόμενα αυτά αποδίδονται στη συνήθη τυχαία διακύμανση των υδρολογικών μεγεθών, ή συνιστούν στατιστικά σημαντικές αποκλίσεις από αυτή. Στη δεύτερη περίπτωση θα πρέπει να εκληφθούν ως (προσωρινές ή μονιμότερες) κλιματικές διακυμάνσεις.

2 ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΔΕΙΓΜΑΤΑ

2.1 Γενικά

Η υδρολογική πληροφορία των λεκανών Μόρνου και Β. Κηφισού-Υλίκης είναι πολύ σημαντική για το υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας. Ειδικότερα η απορροή του ποταμού Μόρνου μαζί με τις εισροές στη λίμνη Υλίκη αποτελούν τον κυριότερο υδατικό πόρο για την ύδρευση της Αθήνας. Οι εισροές στη λίμνη Υλίκη προέρχονται κυρίως από τον Β. Κηφισό με λεκάνη απορροής έκτασης 2010 km² που μέσω της Σήραγγας Καρδίτσας τροφοδοτεί τη λίμνη. Τα ιστορικά δείγματα των υδρολογικών μεταβλητών των λεκανών αυτών προέρχονται από εκτεταμένη συλλογή, αξιολόγηση και επεξεργασία των δεδομένων τριών υδρομετρικών, δέκα βροχομετρικών και ενός μετεωρολογικού σταθμού (*Αλεξοπούλου κ.α., 1992*), καθώς και δεδομένα από την λειτουργία ταμιευτήρων (*Ρώτη και Ανυφαντή, 1992*). Η ποιότητα των δεδομένων είναι μέτρια με λίγες εξαιρέσεις. Πάντως αξιοσημείωτη είναι η ύπαρξη μεγάλου μήκους υδρολογικών χρονοσειρών στη λεκάνη Β. Κηφισού - Υλίκης. Ο τρόπος κατάρτισης των ιστορικών δειγμάτων των υδρολογικών μεταβλητών περιγράφεται ξεχωριστά για κάθε λεκάνη.

2.2 Ιστορικά δείγματα λεκάνης Β.Κηφισού - Υλίκης

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.

Η βροχόπτωση στη λεκάνη της Υλίκης μετρίεται σε τρεις βροχομετρικούς σταθμούς, οι οποίοι γενικά είναι αξιόπιστοι. Ειδικότερα στην Αλίαρτο υπάρχουν μετρήσεις από το 1906-07, οι οποίες όμως προέρχονται από τρεις διαφορετικούς σταθμούς.

2.3 Ιστορικά δείγματα λεκάνης Μόρνου

Το συνολικό δείγμα της απορροής του ποταμού Μόρνου περιλαμβάνει τρεις διαφορετικές περιόδους. Τα δεδομένα της πρώτης περιόδου (1951-52 μέχρι 1955-56) βασίζονται σε μετρήσεις στο σταθμό Στενό, λίγα χιλιόμετρα ανάντη του φράγματος. Τα δεδομένα της

δεύτερης περιόδου (1963-64 έως 1967-68) βασίζονται στις μετρήσεις του σταθμού Περιβόλι, αμέσως κατάντη του φράγματος. Τέλος τα δεδομένα της τρίτης περιόδου (1979-80 έως σήμερα) προκύπτουν από το υδατικό ισοζύγιο του ταμιευτήρα. Για την εκπόνηση του ισοζυγίου χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα από τρεις βροχομετρικούς, ένα μετεωρολογικό σταθμό καθώς και δεδομένα από τη λειτουργία του ταμιευτήρα.

Η βροχόπτωση στη λεκάνη του Μόρνου μετριέται σε επτά βροχομετρικούς σταθμούς.

3. ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΤΑΣΙΜΟΤΗΤΑΣ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΩΝ

3.1. Κλιματικές μεταβολές

Οι τιμές πολλών υδρομετεωρολογικών μεταβλητών, όπως είναι η θερμοκρασία και η βροχόπτωση έχουν εκτιμηθεί για τα τελευταία ένα εκατομμύριο χρόνια από στοιχεία που προέρχονται κυρίως από ισοτοπική ανάλυση σε απολιθώματα, πυρήνες πάγου, εξέταση των δακτυλίων των δέντρων και άλλα. Από την ανάλυση των δεδομένων αυτών προκύπτει ότι οι κλιματικές μεταβολές είναι φαινόμενο συνηθισμένο στην ιστορία της γης. Η θερμοκρασία για παράδειγμα, εμφανίζει διακύμανση από 10°C σε 10.000 χρόνια μέχρι 0.5°C σε 50 χρόνια. Χαρακτηριστικά αναφέρεται η πτώση της μέσης θερμοκρασίας της γης κατά 0.3° C το διάστημα 1940-1970 (*Mason, 1976*).

Οι μηχανισμοί πραγματοποίησης κλιματικών μεταβολών συνδέονται άμεσα με το ενεργειακό ισοζύγιο της γης, άρα και με την κύρια πηγή ενέργειας που είναι η εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία. Η διακύμανση της τελευταίας είναι κυρίως υπεύθυνη για τις κλιματικές μεταβολές του απώτερου παρελθόντος ενώ μια σειρά από άλλες ενδογενείς αιτίες μπορούν να επηρεάσουν το ενεργειακό ισοζύγιο και άρα να είναι υπεύθυνες για κλιματικές μεταβολές. Ως τέτοιες ενδογενείς αιτίες μπορούμε να αναφέρουμε την αλλοίωση της ατμοσφαιρικής σύνθεσης σε CO₂, όζον, σκόνη και υδρατμούς, την αλλαγή της ανακλαστικότητας του εδάφους και την απελευθέρωση μεγάλων ποσών θερμότητας. Τα τελευταία χρόνια οι ανθρώπινες δραστηριότητες επηρεάζουν σοβαρά τους ενδογενείς παράγοντες και εκφράζονται φόβοι για ενδεχόμενη διαταραχή των κλιματικών μηχανισμών, με συνέπεια τη μεταβολή του κλίματος.

3.2 Ανίχνευση κλιματικών μεταβολών από ιστορικά δεδομένα

Η ανίχνευση των κλιματικών μεταβολών γίνεται με στατιστικές μεθόδους, που ελέγχουν τη στασιμότητα ή όχι των υδρομετεωρολογικών χρονοσειρών. Για το σκοπό αυτό ελέγχεται η ύπαρξη στατιστικά σημαντικών τάσεων και περιοδικοτήτων στα ιστορικά δείγματα των μεταβλητών αυτών.

Οι τάσεις στα δεδομένα εντοπίζονται με τη βοήθεια γραφημάτων που παρουσιάζουν την εξέλιξη του κινούμενου μέσου όρου της χρονοσειράς στο χρόνο. Κατόπιν εξετάζεται με

τη βοήθεια στατιστικών δοκιμών (Kendall, Γραμμικής συσχέτισης κ.ά., βλ. *Kottegoda, 1980*) αν είναι στατιστικά σημαντικές σε κάποιο επίπεδο εμπιστοσύνης.

Οι περιοδικότητες εντοπίζονται με τη βοήθεια του αυτοσυσχετογράμματος και με τη συνάρτηση πυκνότητας φάσματος. Με το αυτοσυσχετόγραμμα μπορούμε να εντοπίσουμε ενδεχόμενη περιοδικότητα στα δεδομένα αν ορισμένοι συντελεστές αυτοσυσχέτισης είναι στατιστικά σημαντικοί. Η συνάρτηση πυκνότητας φάσματος υπολογίζεται με βάση τους συντελεστές αυτοσυσχέτισης για τις επιθυμητές συχνότητες. Αν υπερβαίνει μια συγκεκριμένη τιμή που αντιστοιχεί σε ορισμένο επίπεδο εμπιστοσύνης, τότε υπάρχει στατιστικά σημαντική περιοδικότητα σε αυτή τη συχνότητα.

Πάντως, πρέπει να τονιστεί ότι το μικρό μήκος των χρονοσειρών δυσκολεύει τον διαχωρισμό των επιδράσεων κλιματικών μεταβολών από τα σφάλματα μετρήσεων και τα στατιστικά σφάλματα.

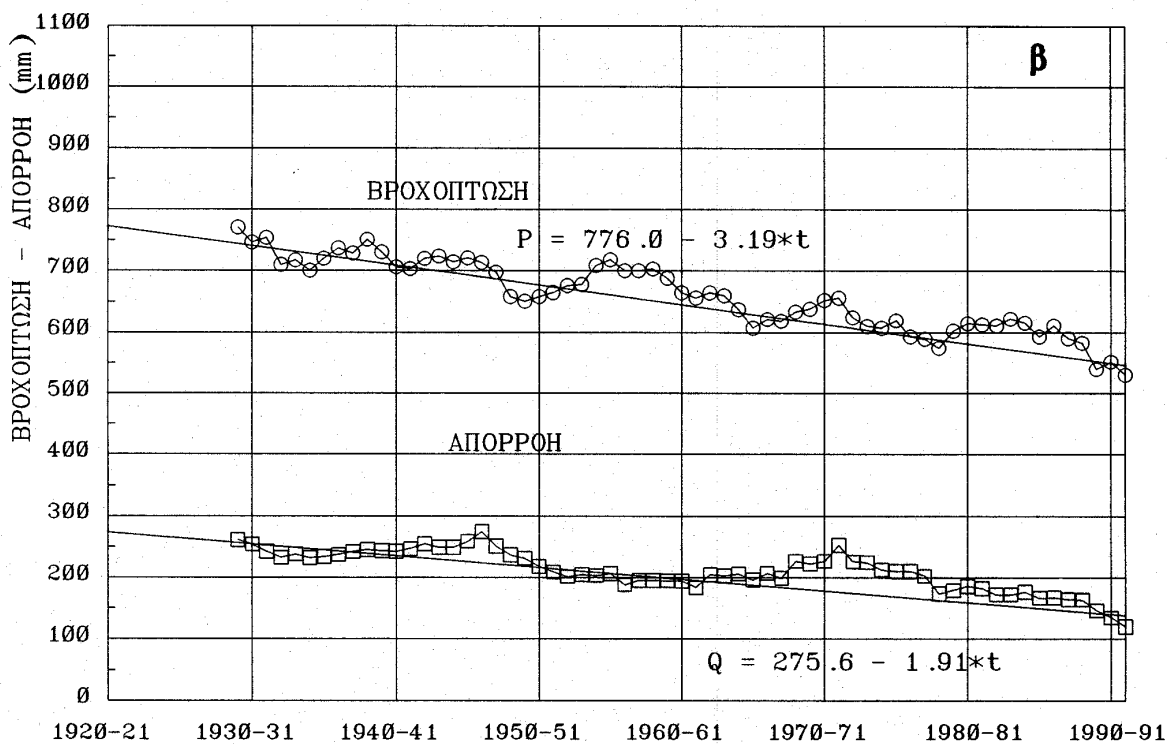
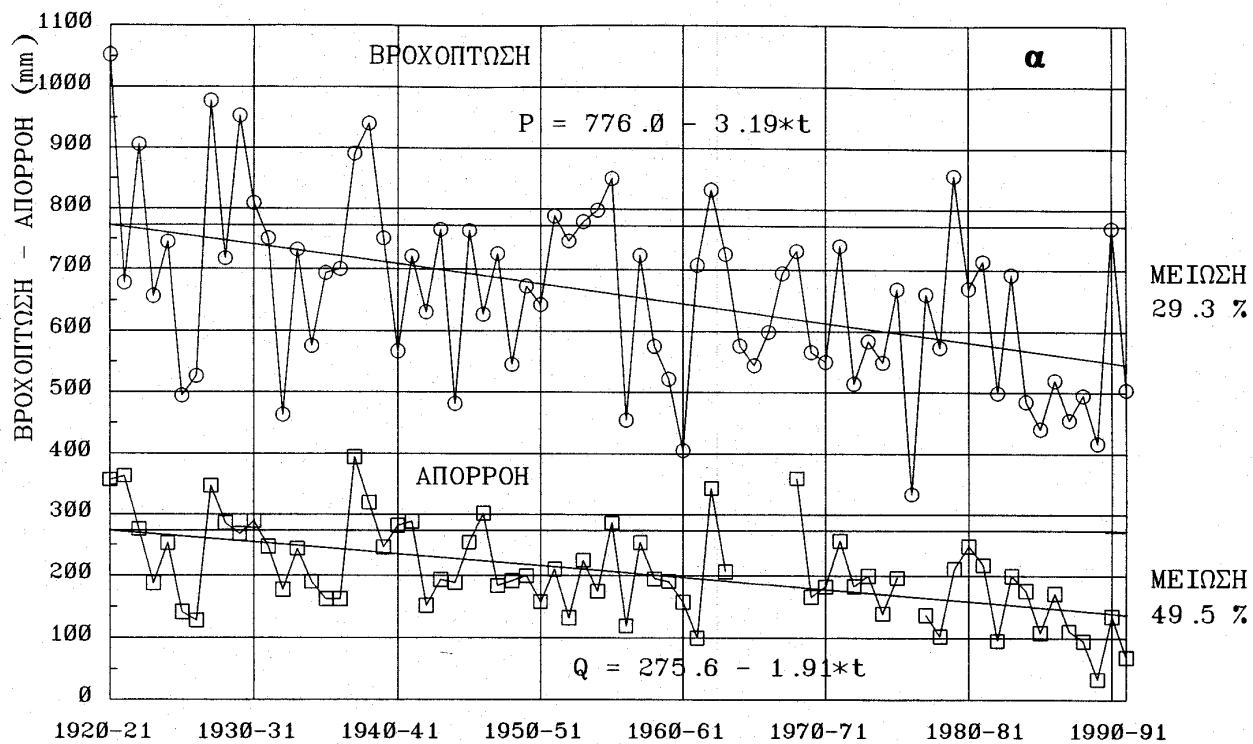
3.3 Έλεγχος στασιμότητας των ιστορικών χρονοσειρών βροχής Αλιάρτου και παροχής Β.Κηφισού.

Το μεγάλο μήκος των ιστορικών δειγμάτων της παροχής του Β. Κηφισού και της βροχής στην Αλιάρτο επιτρέπει την εφαρμογή των στατιστικών δοκιμών που αναφέρθηκαν για τον εντοπισμό τάσεων και περιοδικοτήτων στις χρονοσειρές.

Πράγματι και στις δύο χρονοσειρές διαπιστώνεται στατιστικά σημαντική πτωτική τάση που ξεκινάει από το 1920-21 και που μπορεί να περιγραφεί με γραμμικές εξισώσεις ως προς τον χρόνο. Τα επίπεδα εμπιστοσύνης που θα δεχόμαστε την μηδενική υπόθεση περί μη ύπαρξης τάσης στις δύο χρονοσειρές είναι πολύ μικρότερα από το 1% και στις δύο χρονοσειρές χρησιμοποιώντας τις δοκιμές Kendall και γραμμικής συσχέτισης. Τα αποτελέσματα των τάσεων αυτών είναι ότι από το 1920-21 έως το 1991-92 παρατηρείται μείωση της βροχής κατά 29.3% και της απορροής κατά 49.5%.

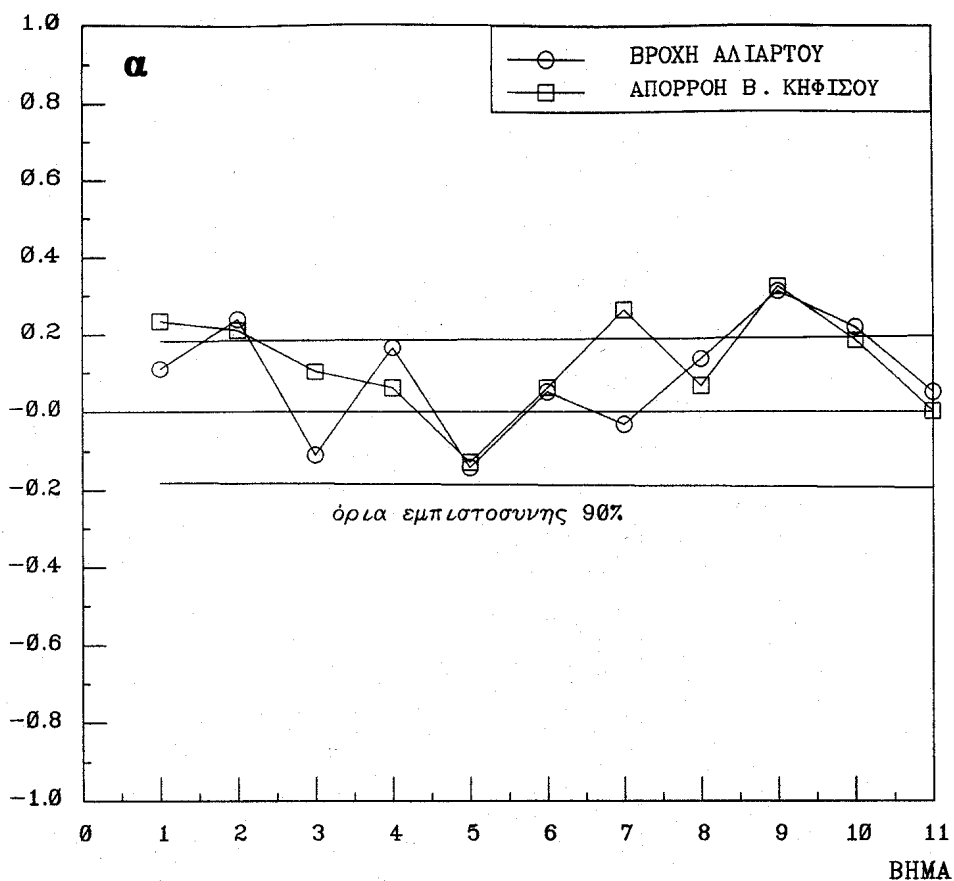
Στο Σχήμα 1α φαίνεται η εξέλιξη των δύο χρονοσειρών στο χρόνο καθώς και η εξίσωση της πτωτικής τάσης. Στο Σχήμα 1β φαίνεται η εξέλιξη του κινούμενου μέσου όρου δεκαετίας των δύο χρονοσειρών.

Η φασματική ανάλυση που έγινε στις χρονοσειρές δεν έδειξε καμιά στατιστικά σημαντική συχνότητα. Στα σχήματα 2α και 2β παρουσιάζονται τα αυτοσυσχετογράμματα των χρονοσειρών πριν και μετά την αφαίρεση των τάσεων. Στα σχήματα 3α και 3β παρουσιάζονται τα φασματογραφήματα των χρονοσειρών πριν και μετά την αφαίρεση των τάσεων. Παρά την ύπαρξη κάποιων συντελεστών αυτοσυσχέτισης που ξεπερνούν τα στατιστικά όρια εμπιστοσύνης για βαθμό 90% (π.χ. για βήμα 9 χρόνια), η συνάρτηση πυκνότητας φάσματος επιβεβαιώνει την ανυπαρξία περιοδικών διακυμάνσεων στις δύο χρονοσειρές.

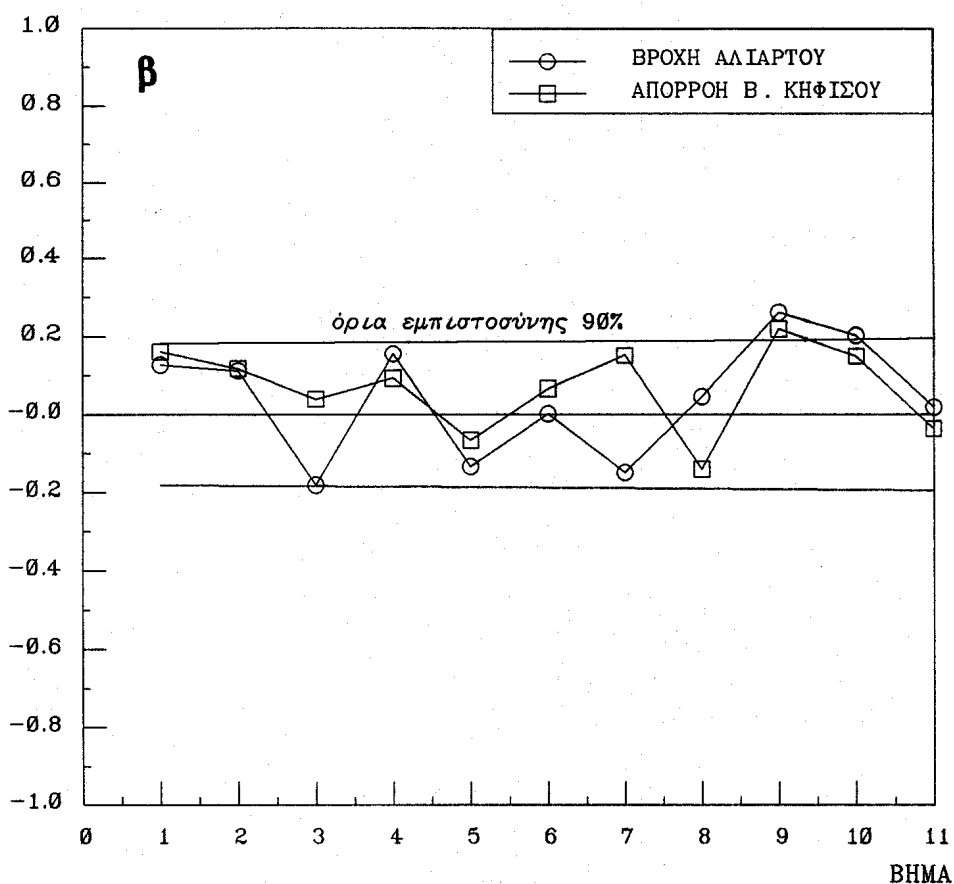


Σχίμα 1 Χρονική εξέλιξη της απορροής και της βροχής στη περιοχή Β. Κηφισού - Υλίκης:
 (α) ετήσιες τιμές (β) κινούμενοι μέσοι όροι δεκαετίας.

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΥΤΟΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ

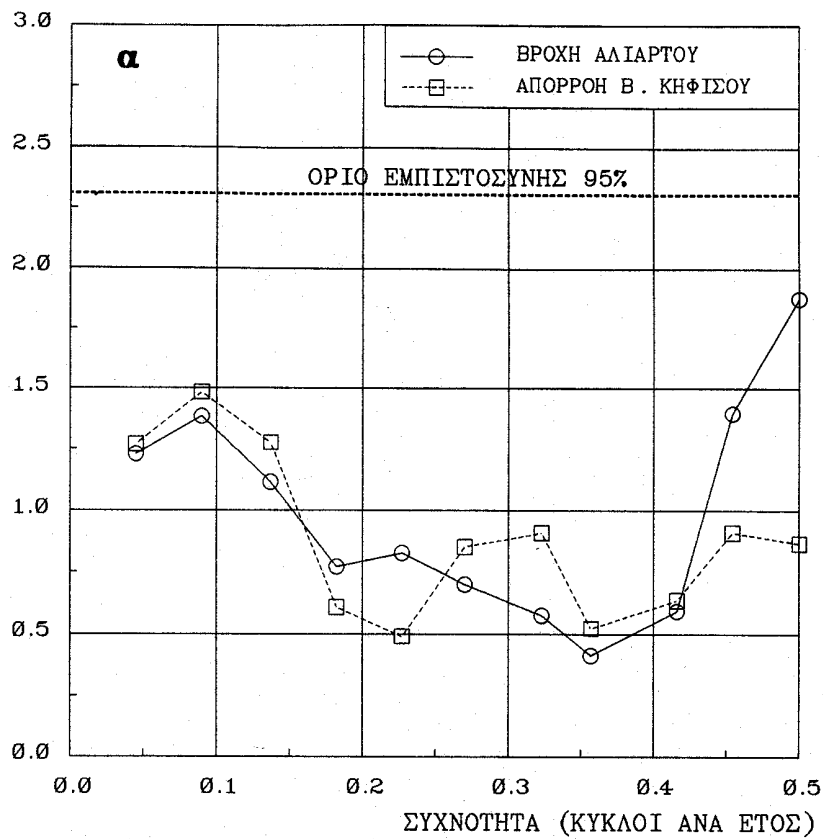


ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΥΤΟΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ

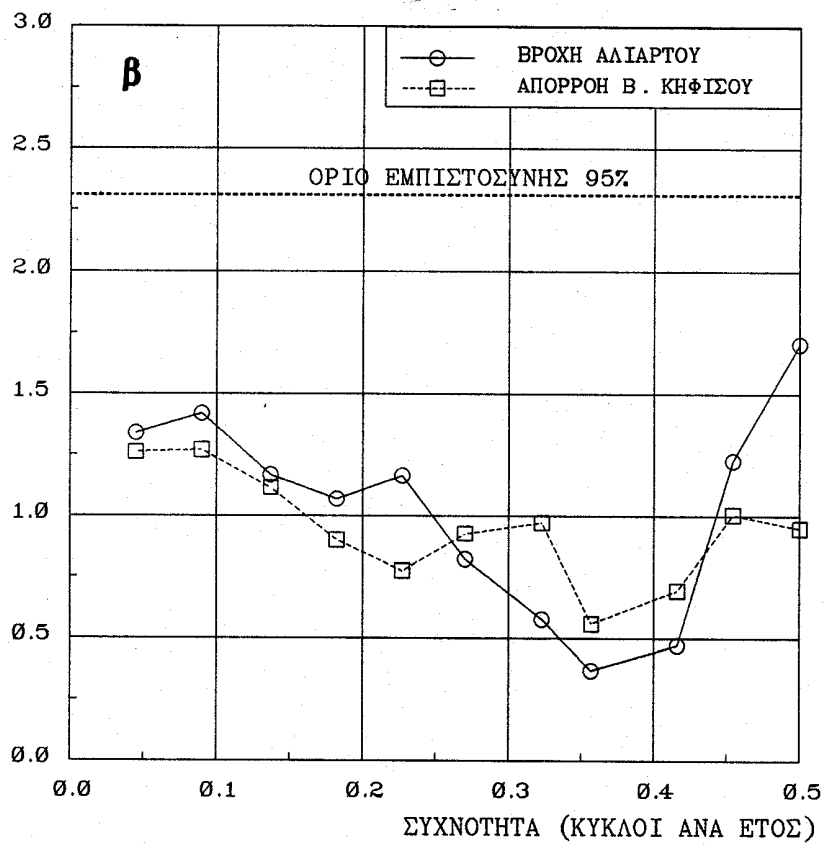


Σχήμα 2 Αυτοσυσχετόγραμμα χρονοσειρών απορροής και βροχής στη περιοχή Β. Κηφισού - Υλίκης: (α) πριν την αφαίρεση τάσης (β) μετά την αφαίρεση τάσης.

ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΦΑΣΜΑΤΙΚΗΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ



ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΦΑΣΜΑΤΙΚΗΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ



Σχήμα 3 Φασματική ανάλυση χρονοσειρών απορροής και βροχής στη περιοχή Β. Κηφισού - Υλίκης, για μήκη κύματος 2 έως 22 έτη: (α) πριν την αφαίρεση τάσης (β) μετά την αφαίρεση τάσης.

3.4 Έλεγχος στασιμότητας των υδρολογικών χρονοσειρών Λεκάνης Μόρνου.

Το μικρό μήκος των ιστορικών δειγμάτων της λεκάνης του Μόρνου δεν επιτρέπει την αξιόπιστη εφαρμογή των στατιστικών μεθόδων ελέγχου στασιμότητας των χρονοσειρών. Πάντως ο έλεγχος τάσεων που έγινε στις χρονοσειρές της ετήσιας βροχόπτωσης δεν έδειξε στατιστικά σημαντικές τάσεις.

4. ΕΞΕΤΑΣΗ ΤΩΝ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΗΣ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑΣ ΠΕΝΤΑΕΤΙΑΣ.

4.1 Γενικά.

Η τελευταία πενταετία χαρακτηρίζεται από μειωμένες τιμές της απορροής στις λεκάνες Μόρνου και Β. Κηφισού - Υλίκης, ειδικότερα κατά τα υδρολογικά έτη 1989-90 και 1991-92. Για τη μελέτη της υδρολογικής δίαιτας των δύο λεκανών έγινε στατιστική ανάλυση ιστορικών δειγμάτων της βροχής και της απορροής με στόχο τον εντοπισμό στα ιστορικά δεδομένα περιόδων, που η δίαιτα των υδρολογικών μεταβλητών διαφέρει σημαντικά από τη συνήθη. Έτσι για τη μελέτη των χαρακτηριστικών της τελευταίας πενταετίας κάθε ιστορικό δείγμα χωρίζεται σε δύο επί μέρους δείγματα που το πρώτο περιλαμβάνει τα δεδομένα μέχρι το υδρολογικό έτος 1986-87 και το άλλο τα δεδομένα της πενταετίας 1987-88 έως 1991-92. Στη συνέχεια ελέγχεται με συνήθεις στατιστικές δοκιμές (Spiegel, 1975) αν τα δύο δείγματα προέρχονται από τον ίδιο πληθυσμό, χρησιμοποιώντας ως μηδενική υπόθεση την ισότητα των μέσων τιμών τους. Γενικά η μηδενική υπόθεση ελέγχεται σε επίπεδα σημαντικότητας 10% ή 5% αλλά πρακτικά για την συγκεκριμένη επεξεργασία αν η μηδενική υπόθεση φθάσει να απορρίπτεται και σε επίπεδο 1%, τότε έχουμε στατιστικά σημαντική διαφορά στις μέσες τιμές των δύο επιμέρους δειγμάτων, που στην συγκεκριμένη περίπτωση ερμηνεύεται ως εμφάνιση μιας "αουνηθιστα" ξηρής πενταετίας.

Επί πλέον για τις τιμές των υδρολογικών μεταβλητών κατά τα υδρολογικά έτη 1989-90 και 1991-92, υπολογίστηκαν οι πιθανότητες εμφάνισης τους με τις κατανομές Gauss και Γάμα. Πάντως επισημαίνεται ότι ο υπολογισμός της πιθανότητας εμφάνισης είναι απλώς ενδεικτικός και έχει μικρή αξία εξ αιτίας του μικρού αριθμού των δεδομένων αλλά και της ανομογένειας των δειγμάτων.

Στη λεκάνη του Μόρνου εξετάσθηκαν το δείγμα απορροής στη θέση του φράγματος, η βροχή στο Λιδορίκι καθώς και η μέση επιφανειακή βροχοπτώση στη λεκάνη όπως αυτή προέκυψε από την επεξεργασία επτά βροχομετρικών σταθμών της περιοχής.

Στη περιοχή του Β. Κηφισού - Υλίκης εξετάσθηκε το πρόσφατο ιστορικό δείγμα απορροής του Β. Κηφισού στη θέση της Διώρυγας Καρδίτσας και η βροχή σε τρεις βροχομετρικούς σταθμούς της περιοχής (Αλιάρτος, Μουρίκι και Καλλιθέα).

4.2 Ανάλυση ιστορικών δειγμάτων απορροής.

Εξετάζοντας τα δύο δείγματα απορροής (που σχετίζονται άμεσα με τα υδατικά αποθέματα) παρατηρούμε την εμφάνιση δύο πολυ ξηρών ετών την τελευταία πενταετία. Το 1989-90 η απορροή του ποταμού Μόρνου ήταν η μικρότερη που έχει μετρηθεί στο μήκος 23 ετών ιστορικό δείγμα, ενώ η απορροή του Β.Κηφισού ήταν η μικρότερη από το 1906-07 και μάλιστα υποδιπλάσια της αμέσως μεγαλύτερης τιμής που είχε εμφανιστεί το 1916-17. Το 1991-92 οι απορροές στα δύο ποτάμια ήταν οι αμέσως μικρότερες που είχαν μετρηθεί ποτέ μετά από αυτές του 1989-90. Στον Πίνακα 1 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι πιθανότητες εμφάνισης των ετησίων απορροών τα δύο ξηρά έτη, υπολογισμένες με βάση τις κατανομές Gauss και Γάμα

ΠΙΝΑΚΑΣ 1

ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΕΣ ΘΕΩΡΗΤΙΚΕΣ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΕΣ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ
ΤΗΣ ΕΤΗΣΙΑΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΚΑΤΑ ΔΥΟ ΞΗΡΑ ΕΤΗ
(1989-90 και 1991-92 με βάση τα στατιστικά χαρακτηριστικά
του δείγματος πρό του 1986-87)

Ιστορικά δείγματα	Gauss	Γάμα
Μόρνος (1989-90)	1:1300	$<10^{-5}$
Μόρνος (1991-92)	1:860	$<10^{-5}$
Β. Κηφισός (1989 90)	1:85	1:5500
Β. Κηφισός (1991-92)	1:24	1:77

Στα Σχήματα 4α και 4β παρουσιάζονται οι μέσες τιμές της απορροής σε mm και hm^3 , της τελευταίας πενταετίας για τα δύο ποτάμια συγκριτικά με την προγενέστερη περίοδο. Στα ίδια σχήματα παρουσιάζονται και οι τιμές της απορροής κατά τα δύο ξηρά έτη. Για να γίνει δεκτή η μηδενική υπόθεση ότι οι δύο μέσες τιμές δεν διαφέρουν σημαντικά πρέπει να δεχτούμε επίπεδα σημαντικότητας κατά πολύ μικρότερα του 1% για τον Μόρνο και τον Β. Κηφισό, γεγονός που αποδεικνύει ότι η δραματική μείωση είναι και στατιστικά σημαντική.

4.3 Ανάλυση ιστορικών δειγμάτων βροχής.

Η εξέταση των ιστορικών δειγμάτων βροχής δεν δείχνει ότι η τελευταία πενταετία ήταν από πλευράς βροχοπτώσεων τόσο φτωχή, ιδιαίτερα για την λεκάνη Β. Κηφισού - Υλίκης, στο βαθμό τουλάχιστον που να εξηγούνται οι ακραίες τιμές της απορροής.

Η βροχόπτωση στη λεκάνη του Μόρνου τα υδρολογικά έτη 1989-90 και 1991-92 εμφάνισε τις δύο μικρότερες ιστορικές τιμές με πλιό υγρή χρονιά το 1989-90. Αντίθετα στα

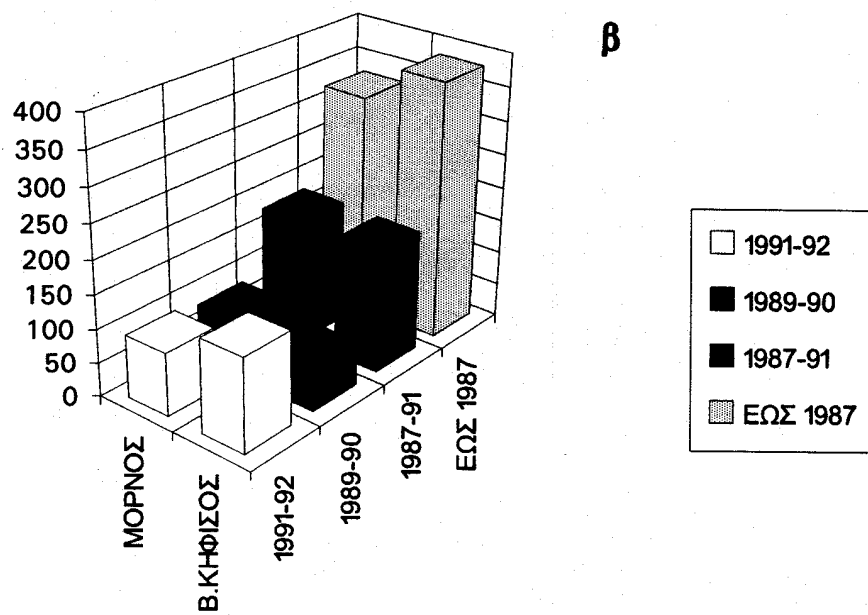
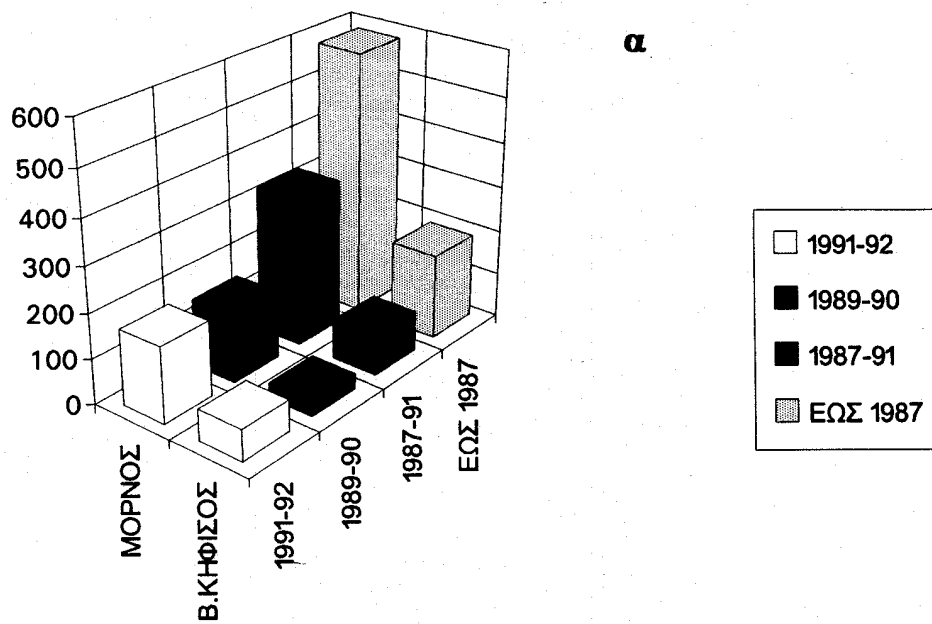
ιστορικά δείγματα βροχής στην περιοχή Β. Κηφισού - Υλίκης οι τιμές στα δύο αυτά έτη δεν είναι οι ιστορικά μικρότερες, ενώ από τα δύο έτη πιο υγρό ήταν το 1991-92. Στον Πίνακα 2 παρουσιάζονται οι πιθανότητες εμφάνισης των ετησίων βροχοπτώσεων για τα δύο έτη, σύμφωνα με τις κατανομές Gauss και Γάμα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2
ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΕΣ ΘΕΩΡΗΤΙΚΕΣ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΕΣ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ
ΤΗΣ ΕΤΗΣΙΑΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ ΚΑΤΑ ΔΥΟ ΞΗΡΑ ΕΤΗ
(1989-90 και 1991-92 με βάση τα στατιστικά χαρακτηριστικά
του δείγματος πρό του 1986-87)

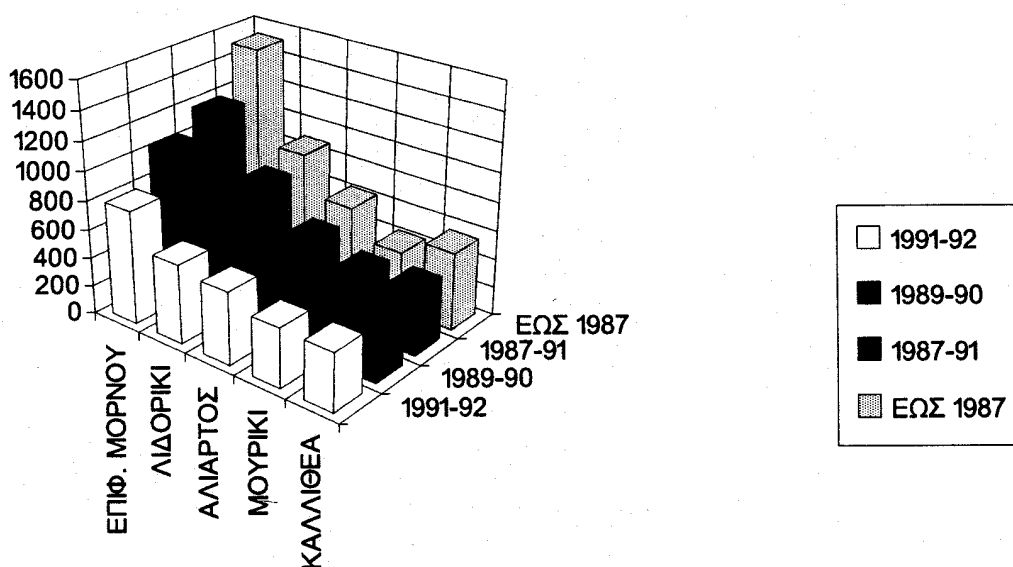
Ιστορικά δείγματα	Gauss	Γάμα
Λιδορίκι (1989-90)	1:16	1:19
Λιδορίκι (1991-92)	1:47	1:90
Επ. Μόρνου (1989-90)	1:42	1:69
Επ. Μόρνου (1991-92)	1:815	1:7800
Αλίαρτος (1989-90)	1:16	1:21
Αλίαρτος (1991-92)	1:5	1:5
Μουρίκι (1989-90)	1:3.3	1:3.1
Μουρίκι (1991-92)	1:2.1	1:2
Καλλιθέα (1989-90)	1:30	1:59
Καλλιθέα (1991-92)	1:7	1:7.5

Στο Σχήμα 5 παρουσιάζονται οι μέσες τιμές της βροχής της τελευταίας πενταετίας στις δύο λεκάνες, συγκριτικά με τις μέσες τιμές της προγενέστερης περιόδου και τις τιμές των δύο ξηρών ετών. Η μηδενική υπόθεση ότι οι δύο μέσες τιμές είναι ίσες, γίνεται δεκτή σε επίπεδο 10% για τους σταθμούς Αλίαρτο, Λιδορίκι και Μουρίκι, σε επίπεδο 5% για την Καλλιθέα και μόνο για το επιφανειακό δείγμα του Μόρνου δεν γίνεται δεκτή ούτε σε επίπεδο 1%.

Η παραπάνω ανάλυση δείχνει ότι την τελευταία πενταετία υπήρξε μία μείωση των βροχών, ιδιαίτερα στη λεκάνη του Μόρνου, το μέγεθος της οποίας όμως δεν ήταν τέτοιο που να υποδηλώνει μια μόνιμη αλλαγή του υπερετήσιου ύψους βροχής στις δύο λεκάνες, ούτε εξηγεί τις ακραίες τιμές της απορροής την ίδια περίοδο.



Σχήμα 4 Συγκριτική εικόνα των απορροών της πενταετίας 1987-88 έως 1991-92 σε σχέση με τις παλιότερες μέσες τιμές για τις λεκάνες Μόρνου και Β. Κηφισού - Υλίκης : (α) σε mm (β) σε hm³



Σχήμα 5 Συγκριτική εικόνα των ετήσιων βροχοπτώσεων της πενταετίας 1987-88 έως 1991-92 σε σχέση με τις παλιότερες μέσες τιμές για τις λεκάνες Μόρνου και Β. Κηφισού - Υλίκης.

4.4 Ερμηνεία των ιδιαίτερα χαμηλών απορροών της τελευταίας πενταετίας.

Απο την προηγούμενη ανάλυση των ιστορικών δειγμάτων βροχής και απορροής στις δύο λεκάνες προκύπτει ότι, ενώ δεν υπάρχει σημαντική διαφορά στη μέση ετήσια βροχόπτωση της τελευταίας πενταετίας, η μέση ετήσια απορροή είναι δραματικά μειωμένη, τείνοντας να φτάσει το μισό της μέσης τιμής των προηγούμενων ετών, γεγονός που αρχικά φαίνεται παράξενο. Για την ερμηνεία αυτού του γεγονότος εξετάσθηκε η κατανομή της βροχόπτωσης στο χρόνο. Στα Σχήματα 6α και 6β παρουσιάζονται οι μέσες μηνιαίες τιμές της επιφανειακής βροχής στο Μόρνο και της βροχής στην Αλίαρτο. Στα σχήματα παρουσιάζονται οι μέσες μηνιαίες τιμές της τελευταίας πενταετίας, συγκριτικά με τις μέσες μηνιαίες τιμές της προηγούμενης περιόδου και τις τιμές τα δύο ξηρά έτη. Ακόμη στα Σχήματα 7α και 7β παρουσιάζεται η ίδια πληροφορία για τις απορροές του Μόρνου και του Β. Κηφισού αντίστοιχα.

Από τα σχήματα 6α και 6β παρατηρούμε ότι η χρονική κατανομή της βροχοπτώσης μέσα στη διάρκεια του υδρολογικού έτους είναι αισθητά διαφοροποιημένη την τελευταία πενταετία, σε σχέση με την παλαιότερη δίαιτα της, και στις δύο λεκάνες

απορροής. Συγκεκριμένα η βροχόπτωση του Ιανουαρίου και στις δύο λεκάνες, είναι κατά πολύ μικρότερη από τη συνήθως αναμενόμενη. Στο Σχήμα 8 παρουσιάζονται και για τις δύο λεκάνες οι μέσες τιμές βροχής του Ιανουαρίου της τελευταίας πενταετίας, συγκριτικά με την προηγούμενη περίοδο και τις τιμές των δύο ξηρών ετών. Έτσι για να γίνει δεκτή η μηδενική υπόθεση ότι οι δύο μέσες τιμές είναι ίσες πρέπει να δεχτούμε επίπεδο σημαντικότητας κατα πολύ μικρότερο του 1% για το επιφανειακό δείγμα του Μόρνου την Καλλιθέα και το Λιδορίκι, 5% για την Αλίαρτο ενώ για το Μουρίκι η μηδενική υπόθεση γίνεται δεκτή για τα συνήθη επίπεδα σημαντικότητας. Ακόμη τα δύο ξηρά έτη είχαμε σχεδόν μηδενικές βροχοπτώσεις τον Ιανουάριο με ενδεικτικές πιθανότητες εμφάνισης που παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3

ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΕΣ ΘΕΩΡΗΤΙΚΕΣ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΕΣ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ
ΤΗΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΥ ΚΑΤΑ ΔΥΟ ΞΗΡΑ ΕΤΗ
(1989-90 και 1991-92 μέ βάση τα στατιστικά χαρακτηριστικά
του δείγματος πρό του 1986-87)

Ιστορικά δείγματα	Gauss	Γάμα
Λιδορίκι (1989-90)	1:25.8	$<10^{-5}$
Λιδορίκι (1991-92)	1:22	1:8.500
Επ. Μόρνου (1989-90)	1:24	$<10^{-5}$
Επ. Μόρνου (1991-92)	1:23	1:15.500
Αλίαρτος (1989-90)	1:23	1:623
Αλίαρτος (1991-92)	1:9	1:13
Μουρίκι (1989-90)	1:7.2	1:45
Μουρίκι (1991-92)	1:4.6	1:4.7
Καλλιθέα (1989-90)	1:58	$<10^{-5}$
Καλλιθέα (1991-92)	1:67	$<10^{-5}$

Αντίθετα από την στατιστικά σημαντική πτώση που παρατηρείται στις βροχές του Ιανουαρίου, διαπιστώνεται και μια σημαντική αύξηση στις βροχές του Αυγούστου (βλ. Σχήματα 6α, β) γεγονός όμως που δεν ενδιαφέρει από άποψη απορροής.

Από τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι το χαρακτηριστικό σχήμα της χρονικής κατανομής της βροχής, αντί να παρουσιάζει τη συνηθισμένη εικόνα με μία αιχμή τον Δεκέμβριο, εμφανίζει σημαντική πτώση τον Ιανουάριο με δεύτερη αιχμή τον Φεβρουάριο ή τον Μάρτιο και μία μικρότερη αιχμή τον Αύγουστο. Μια τέτοια κατανομή, στην οποία διακόπτεται η ομαλή εξέλιξη των χειμερινών βροχοπτώσεων, έχει συνέπεια τη σημαντική μείωση της επιφανειακής απορροής όχι μόνο τον Ιανουάριο και τον Φεβρουάριο, αλλά και τους επόμενους μήνες. Το γεγονός αυτό αποδίδεται στους ιδιαίτερα πολύπλοκους και

ευαίσθητους ως προς την κατανομή της βροχής μηχανισμούς μετατροπής της βροχής σε επιφανειακή απορροή, οι οποίοι συνδέονται με τη δίαιτα της εδαφικής υγρασίας, του χιονιού και της εξατμισοδιαπνοής.

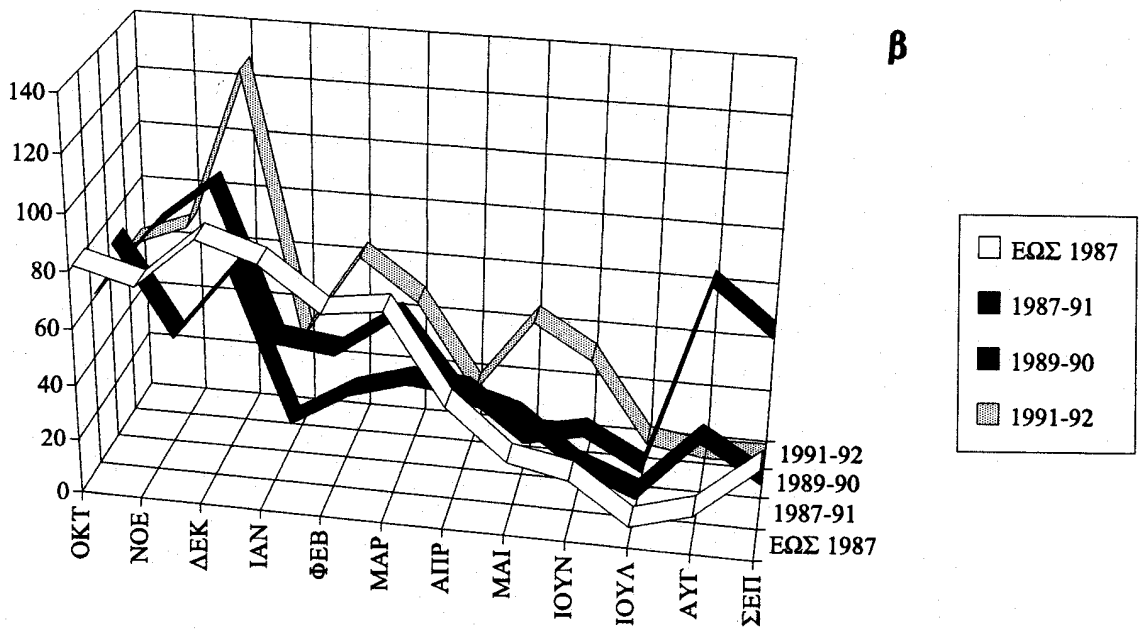
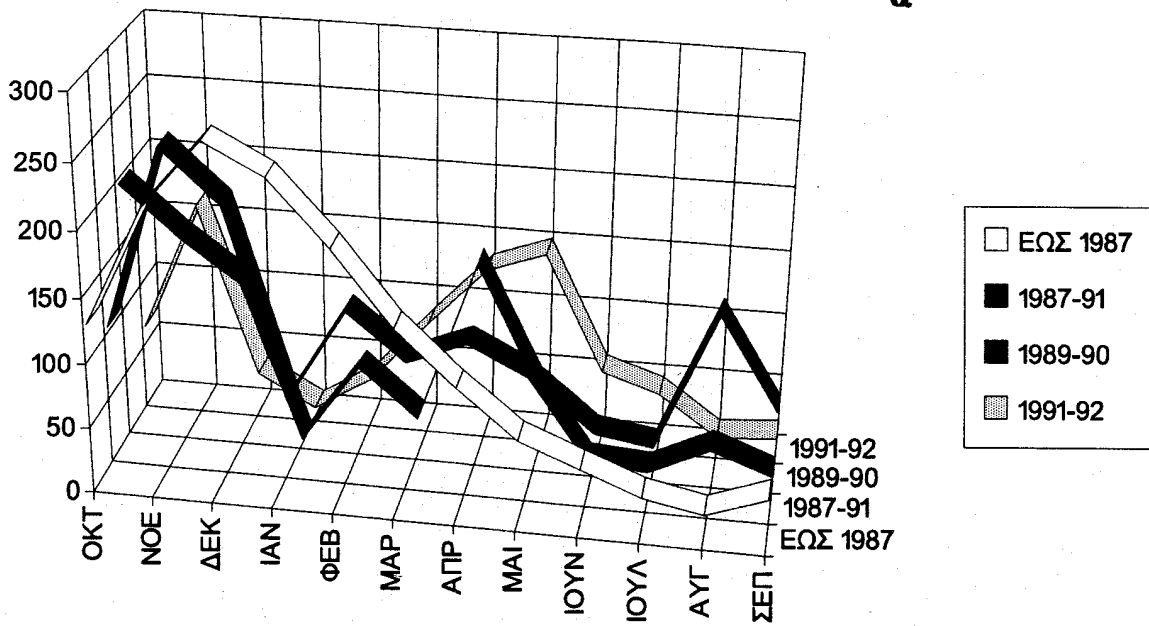
Τα παραπάνω επιβεβαιώνονται σε άλλη χρονική κλίμακα, την ετήσια, από τη δίαιτα της απορροής την τελευταία τριετία. Πράγματι ενώ το 1990-91 ήταν πλούσιο σε βροχές (κοντά στο μέσο όρο στο Μόρνο και πολύ πάνω από αυτόν στην Υλίκη) οι απορροές δεν ήταν ανάλογες, επειδή το προηγούμενο υδρολογικό έτος ήταν ιδιαίτερα ξηρό.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.

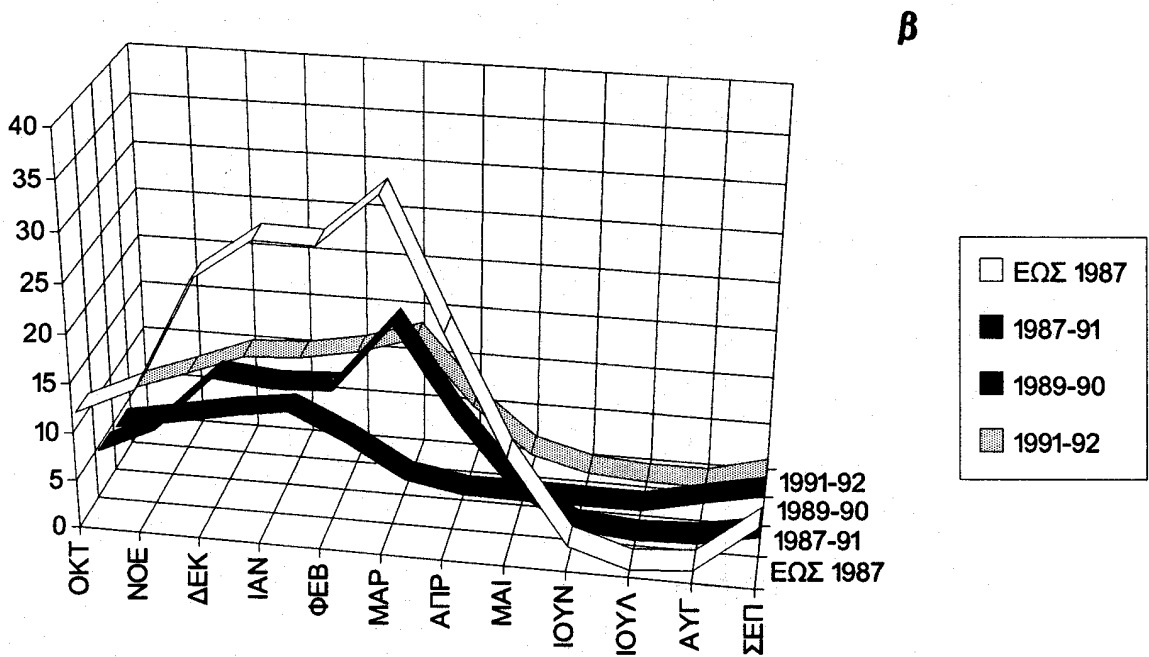
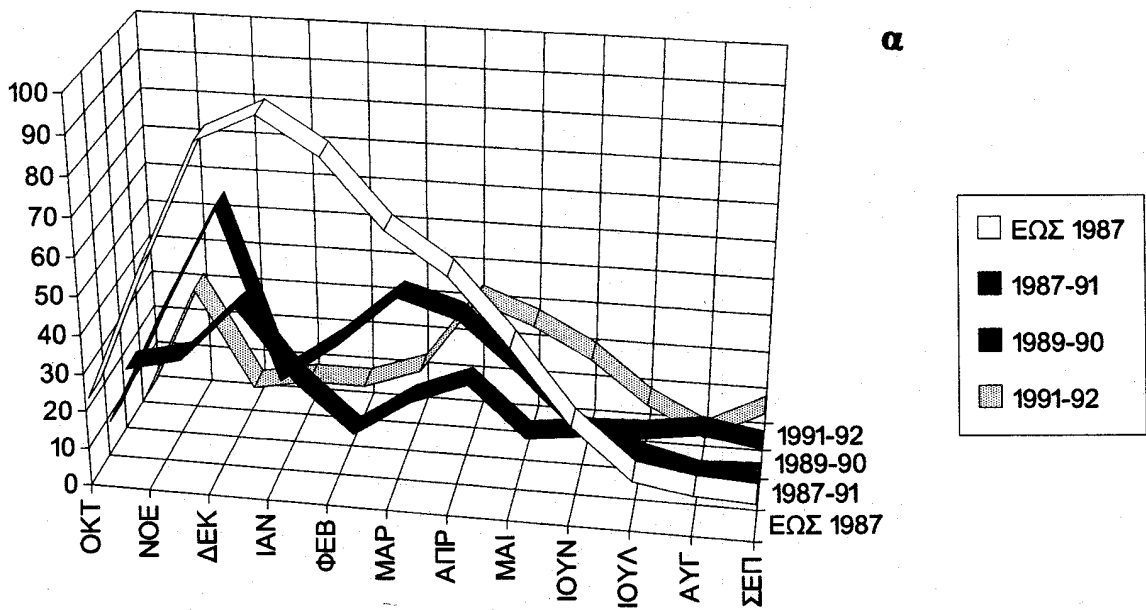
1. Στις χρονοσειρές απορροής και βροχής του Β. Κηφισού παρουσιάζονται στατιστικά σημαντικές πτωτικές τάσεις. Η φασματική ανάλυση δεν δείχνει περιοδικότητες στις χρονοσειρές.
2. Οι μέσες τιμές των ετησίων απορροών της τελευταίας πενταετίας των δύο ποταμών που υδροδοτούν την Αθήνα έχουν μειωθεί σχεδόν κατά 50% σε σχέση με τις μέσες τιμές της προηγούμενης περιόδου.
3. Οι ετήσιες βροχοπτώσεις της τελευταίας πενταετίας δεν εμφανίζουν αντίστοιχη μείωση, περισσότερο δε οι βροχοπτώσεις της περιοχής Β. Κηφισού - Υλίκης. Η κατανομή όμως της βροχής κατά μήνα εμφανίζεται αισθητά διαφοροποιημένη.
4. Από τα δεδομένα προκύπτει ότι η διαταραχή της δίαιτας της βροχόπτωσης, όχι μόνο σε ετήσια αλλά και σε μηνιαία βάση, προκαλεί πολύ δραστικότερες μεταβολές της απορροής, και κατά συνέπεια των υδατικών πόρων του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας.

Αναγνωρίσεις

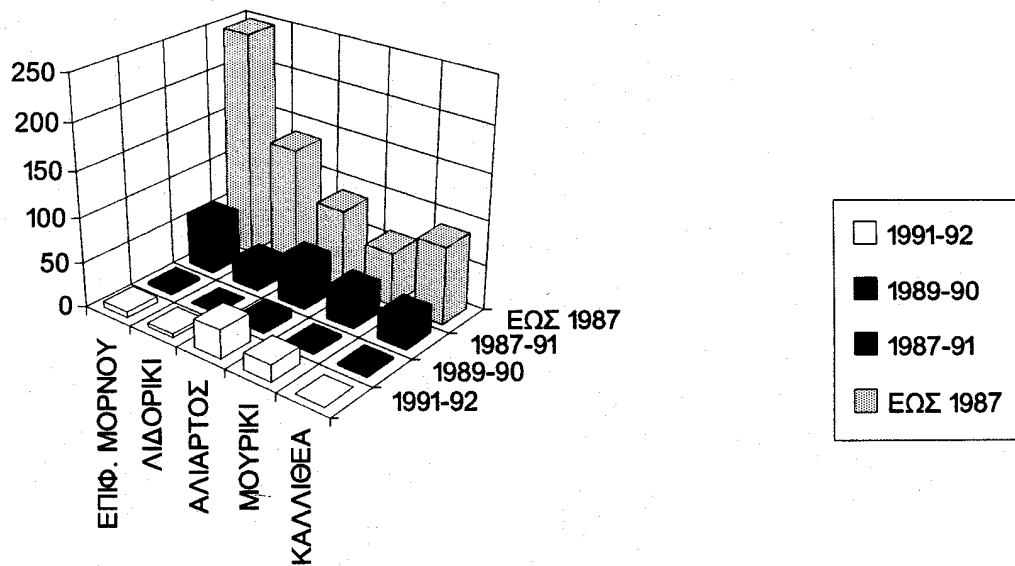
Τα ιστορικά δείγματα που χρησιμοποιήθηκαν στα πλαίσια της εργασίας αυτής βασίζονται σε υδρομετεωρολογικά δεδομένα του ΥΠ.Ε.ΧΩ.Δ.Ε. της Ε.Υ.Δ.ΑΠ. και της Ε.Μ.Υ. και προέρχονται από τις Εκθέσεις των Ερευνητικών Έργων "Διερεύνηση προσφερομένων δυνατοτήτων για την ύδρευση της μείζονος περιοχής Αθηνών" και "Εκτίμηση και διαχείριση των υδατικών πόρων της Στερεάς Ελλάδας" που εκπονήθηκαν από ομάδα του Τομέα Υδατικών Πόρων του Ε.Μ.Π. με επιστημονικό υπεύθυνο τον Θ. Ξανθόπουλο. Για τις ανάγκες της εργασίας αυτής τα ιστορικά δείγματα συμπληρώθηκαν με πρόσφατα δεδομένα. Οι συγγραφείς εκφράζουν θερμές ευχαριστίες προς τους φορείς για την χορήγηση των δεδομένων και ιδιαίτερα στους Π. Αναστασοπούλου και Κ. Αλεξοπούλου του ΥΠ.Ε.ΧΩ.Δ.Ε, Χ. Μαντέλη και Δ. Κεντούρη της Ε.Υ.Δ.ΑΠ. και Α. Νιάνιο της Ε.Μ.Υ. για την έγκαιρη χορήγηση και αρχική αξιολόγηση των πιο πρόσφατων δεδομένων.



Σχήμα 6 Συγκριτική εικόνα των μηνιαίων βροχοπτώσεων της πενταετίας 1987-88 έως 1991-92 σε σχέση με τις παλιότερες μέσες τιμές στις περιοχές Μόρνου και Β. Κηφισού - Υλίκης: (α) Επιφανειακή βροχόπτωση στο Μόρνο (β) βροχόπτωση στην Αλιάρτο



Σχήμα 7 Συγκριτική εικόνα των μηνιαίων απορροών της πενταετίας 1987-88 έως 1991-92 σε σχέση με τις παλιότερες μέσες τιμές στις περιοχές Μόρνου και Β. Κηφισού - Υλίκης: (α) απορροή Μόρνου (β) απορροή Β. Κηφισού.



Σχήμα 8 Συγκριτική εικόνα των βροχοπτώσεων Ιανουαρίου της πενταετίας 1987-88 έως 1991-92 σε σχέση με τις παλιότερες μέσες τιμές για τις λεκάνες Μόρνου και Β. Κηφισού - Υλίκης.

Αναφορές.

- Αλεξοπούλου Κ., Αναστασοπούλου Π. & Μαμάσης Ν. (1992) *Εκτίμηση και διαχείριση των υδατικών πόρων της Στερεάς Ελλάδας*, Τεύχος 2, Βροχομετρικοί και υδρομετρικοί σταθμοί και δεδομένα, ΕΜΠ, Αθήνα.
- Αμανατίδης Γ.Θ., Ρεπάπης Χ.Κ., Παλιάτσος Α.Γ., Μπαρτζής Ι.Γ. (1992) Η χωρική κατανομή των τάσεων των βροχοπτώσεων στην Ελλάδα. Πρακτικά συνεδρίου ΕΕΔΥΠ, "Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από έργα αξιοποίησης υδατικών πόρων", Αθήνα, 225-233.
- Κουτσογιάννης Δ., Ναλμπάντης Ι. και Μαμάσης Ν. (1992) Εκτίμηση του κινδύνου ανεπάρκειας του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας σε συνθήκες έμμονης ξηρασίας,, Πρακτικά ημερίδας ΕΥΔΑΠ.
- Kottegoda N.T.(1980) *Stochastic water resources technology*, McMillan Press, Hong Kong.
- Maheras, P. and Kolyva - Mahera, F. (1990) Temporal and spatial characteristics of annual precipitation over Balkans in the twentieth century, *J. Climatol.*, 10, 495-504.
- Mason, B.J. (1976), Towards the understanding and prediction of climatic variations, *Q.J. of the Royal Meteorological Society*, 102, 473 - 498.
- Ρώτη Σ. και Ανυφαντή Χ.. (1992) *Εκτίμηση και διαχείριση των υδατικών πόρων της Στερεάς Ελλάδας*, Τεύχος 4, Ισοζύγια ταμιευτήρων, ΕΜΠ, Αθήνα.
- Spiegel, M.R. (1975) *Probability and Statistics*, Schaum's outline series, McGraw-Hill, USA.