

Εκτίμηση του κινδύνου ανεπάρκειας του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας σε συνθήκες έμμονης ξηρασίας

Δ. ΚΟΥΤΣΟΓΙΑΝΝΗΣ, Ι. ΝΑΛΜΠΙΑΝΤΗΣ & Ν. ΜΑΜΑΣΗΣ

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

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία αυτή περιλαμβάνει δύο κύρια μέρη. Στο πρώτο μέρος αναλύονται τα υδρολογικά χαρακτηριστικά των χρονοσειρών βροχόπτωσης και απορροής στις λεκάνες Μόρνου και Βοιωτικού Κηφισού-Υλίκης. Από την ανάλυση αυτή διαπιστώνονται στατιστικά σημαντικές μακροχρόνιες πτωτικές τάσεις της βροχής και απορροής στην περιοχή Βοιωτικού Κηφισού-Υλίκης, καθώς επίσης και στατιστικά σημαντική μείωση των απορροών και στις δύο λεκάνες την τελευταία πενταετία. Η μείωση αυτή οφείλεται σε αλλοίωση της κατανομής των βροχοπτώσεων στη διάρκεια του έτους, η οποία φαίνεται να αποτελεί κοινό χαρακτηριστικό της τελευταίας πενταετίας. Στο δεύτερο μέρος διατυπώνονται και διερευνώνται με τη μέθοδο της στοχαστικής προσομοίωσης διάφορα σενάρια εξέλιξης του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας για την επόμενη πενταετία. Τα σενάρια αυτά βασίζονται σε δύο εναλλακτικές υποθέσεις, ήτοι (1) της επανόδου σε ένα κανονικό υδρολογικό καθεστώς και (2) της συνέχισης της ξηρασίας με χαρακτηριστικά παρόμοια με αυτά που διαπιστώνονται από το ιστορικό δείγμα της προηγούμενης πενταετίας. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι υπό κανονικό υδρολογικό καθεστώς το σύστημα με κατάλληλες ενισχύσεις υπόγειου νερού δεν θα αντιμετωπίσει σοβαρό πρόβλημα, αλλά στην περίπτωση συνέχισης της ξηρασίας απαιτείται σοβαρή μείωση της κατανάλωσης προκειμένου να ανακτήσει το σύστημα επαρκή αξιοπιστία.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στη διάρκεια του υδρολογικού έτους 1989-90 πραγματοποιήθηκε ένα έντονο φαινόμενο ξηρασίας που επηρέασε καθοριστικά το υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας. Θεωρούσαμε τότε, χωρίς να αποκλείουμε τον κίνδυνο επανάληψης του φαινομένου, ότι αυτό θα μπορούσε να αποδοθεί στον τυχαίο χαρακτήρα των υδρολογικών διεργασιών. Έτσι το φαινόμενο είχε χαρακτηριστεί ως ένα σπάνιο γεγονός με πολύ μικρή πιθανότητα πραγματοποίησης.

Εφέτος έχουμε την επανεμφάνιση ενός ανάλογου φαινομένου ξηρασίας, με μεγαλύτερη μάλιστα ένταση στη Δυτική Ελλάδα, αλλά μικρότερη στη Ανατολική. Μπορούμε και πάλι να

το αποδώσουμε στη συνήθη τυχαία διακύμανση των υδρολογικών μεγεθών; Χωρίς η θετική απάντηση στο ερώτημα αυτό να αποκλείεται, ωστόσο γίνεται ελάχιστα πειστική. Δύο περισσότερες ικανοποιητικές ερμηνείες θα απέδιδαν στο συνολικό φαινόμενο το χαρακτήρα είτε της έμμονης αλλά παροδικής ξηρασίας, είτε της μονιμότερης κλιματικής αλλαγής.

Στην πρώτη περίπτωση κυριαρχεί το χαρακτηριστικό της *εμμονης*, δηλαδή της τάσης των υδρολογικών χρονοσειρών να εμφανίζουν μεγάλες περιόδους είτε με συνεχώς χαμηλή υδροφορία είτε με συνεχώς υψηλή υδροφορία (Kottegoda, 1980, σ. 193). Ειδικότερα η ξηρασία, η οποία δεν ορίζεται με μοναδικό τρόπο, συνδέεται με έμμονη απουσία των βροχοπτώσεων ή αλλοίωση της χωροχρονικής κατανομής τους. Όπως χαρακτηριστικά τονίζεται στην πρόσφατη έκδοση του NRC (1991), η οποία συνοψίζει το σημερινό επίπεδο ανάπτυξης των υδρολογικών επιστημών "*λίγα είναι πραγματικά γνωστά για τις αιτίες και την έμμονη της ξηρασίας*". Τα αίτια της ξηρασίας γενικά αποδίδονται στην αδράνεια των φαινομένων που προκαλούν αλλοιώσεις στην ατμοσφαιρική κυκλοφορία και για τη διάρκεια της είναι γνωστό ότι αυτή μπορεί και να ξεπερνά τη δεκαετία (NRC, 1991, σ. 26).

Στη δεύτερη περίπτωση η ξηρασία των τελευταίων ετών μπορεί να θεωρηθεί ως αποτέλεσμα ενδεχόμενης εισόδου σε μια φάση μονιμότερης κλιματικής αλλαγής. Με μια τέτοιου είδους ερμηνεία η χαμηλή υδροφορία των τελευταίων ετών δεν αντιμετωπίζεται πλέον ως ένα εξαιρετικά ακραίο γεγονός αλλά ως κανονικό γεγονός μέσα σε ένα νέο στατιστικό πληθυσμό που ορίζεται από το νέο (μετά την αλλαγή) κλίμα. Όπως τονίζεται στην ίδια έκδοση του NRC (1991, σ. 21) το κλίμα ενός τόπου δεν είναι σταθερό αλλά "*αλλάζει για άγνωστους λόγους σε όλες τις χρονικές κλίμακες*".¹ Αν και σήμερα, εξαιτίας κυρίως των επιπτώσεων που διαφαίνεται ότι μπορούν να έχουν οι ανθρωπογενείς αλλαγές στο κλίμα, σημαντική έρευνα διεξάγεται στο θέμα αυτό από τους επιστήμονες, ακόμη δεν μπορούν να εξηγηθούν ικανοποιητικά οι αλλαγές στο κλίμα που συμβαίνουν ή να προβλεφθούν με αξιοπιστία οι μελλοντικές αλλαγές².

¹ Υπάρχουν βεβαίως και οι εξηγήσιμες περιοδικές διακυμάνσεις που οφείλονται σε περιοδικές μεταβολές στην τροχιά της γής και έχουν περιόδους 21000, 41000 και 100000 ετών (NRC, 1991, σ. 21)

² Χαρακτηριστικό της αβεβαιότητας που υπάρχει στο θέμα των κλιματικών αλλαγών και των συνεπειών της στη λήψη πολιτικών αποφάσεων είναι και το ακόλουθο απόσπασμα της εισήγησης της Brigitta Dahl, Υπουργού Περιβάλλοντος και Ενέργειας της Σουηδίας στο Συνέδριο του WMO για το κλίμα και το νερό (WMO Conference on Climate and Water, Helsinki, Sept. 1989), το οποίο παρατίθεται από τον Askew (1991): "Οι πληροφορίες που δίνονται από την επιστημονική κοινότητα σχετικά με την κλίμακα της κλιματικής αλλαγής και των επιπτώσεων της δεν είναι εντελώς σύμφωνες μεταξύ τους. Είμαστε όλοι ενήμεροι για το γεγονός ότι στην κοινότητα της έρευνας υπάρχουν – και έπρεπε να υπάρχουν – αμφιβολίες σχετικά με την απόλυτη αλήθεια αλλά εμείς ως πολιτικοί δεν μπορούμε να αναμένουμε τα τελικά αποτελέσματα. Συχνά χρησιμοποιείται το γεγονός ότι τα αποτελέσματα είναι ελλιπή σαν μια δικαιολογία να μη πάρουμε τα αναγκαία μέτρα. Πολύ συχνά τέτοιες συμπεριφορές έχουν αποδειχτεί εσφαλμένες."

Ας σημειωθεί ότι και ο πρώτος τρόπος ερμηνείας της ξηρασίας, η επίκληση δηλαδή της εμμονής, κατ' ουσίαν δεν διαφέρει από το δεύτερο. Αν και η εμμονή στις υδρολογικές χρονοσειρές, μετά την πρώτη ανίχνευση της από τον Hurst, θεωρήθηκε ως το αποτέλεσμα μιας μακράς μνήμης των γεωφυσικών διεργασιών, έχουν αναπτυχθεί και θεωρίες που την συνδέουν με τις κλιματικές αλλαγές. Σύμφωνα με τις απόψεις των *Klemeš*, 1974, *Potter*, 1976 και *Potter*, 1979 (βλ. και *WMO*, 1983, σ. 5.123) το φαινόμενο Hurst μπορεί να εξηγηθεί από μη στασιμότητα των γεωφυσικών χρονοσειρών. Η τελευταία προκύπτει κατά κανόνα από τη φυσική διεργασία που γεννά τη χρονοσειρά και συγκεκριμένα από αλλαγές στις ιδιότητες της οι οποίες μπορεί να προέρχονται είτε από φυσικές κλιματικές αλλαγές, είτε από ανθρωπογενή αίτια (π.χ. αστικοποίηση, αποδάσωση κλπ.). Ακόμη, η μη στασιμότητα μπορεί να οφείλεται και σε ανομογένειες στις σειρές των δεδομένων που προέρχονται από αλλαγές είτε στην τεχνική των μετρήσεων είτε στην τοποθέτηση των οργάνων. Θα πρέπει, τέλος, να σημειωθεί ότι η εναλλαγή συνεχών ξηρών και υγρών περιόδων σήμερα προσεγγίζεται και με τη θεωρία των στοχαστικών-δυναμικών συστημάτων, που μπορεί ίσως να θεωρηθεί ότι περιγράφει την εμμονή ως το αποτέλεσμα διαδοχικής μετάβασης από ένα κλιματικό καθεστώς σε ένα άλλο και αντίστροφα (*NRC*, 1991, σ. 202). Τα δύο αυτά κλιματικά καθεστώτα (ένα κανονικής βροχοπτώσης και ένα χαμηλής) θεωρούνται ως ευσταθείς καταστάσεις ή ελκυστές (attractors) ενός δι-ευσταθούς μη γραμμικού δυναμικού συστήματος. Το σύστημα αυτό υπόκειται σε μεταβλητότητα που εισάγεται είτε από εσωτερικούς μηχανισμούς (π.χ. φαινόμενα μεταφοράς, ακτινοβολίας) είτε εξωτερικούς (π.χ. ανωμαλίες στην επιφανειακή θερμοκρασία της θάλασσας). Η μεταβλητότητα αυτή εισάγεται ως στοχαστική διέγερση και είναι υπεύθυνη και για τη μετάβαση από τη μία κατάσταση στην άλλη.

Πριν προχωρήσουμε στην πιο λεπτομερή εξέταση των υδρολογικών χαρακτηριστικών της ξηρασίας των τελευταίων ετών θεωρούμε σκόπιμο να κάνουμε μια αρχική σύγκριση της συνολικής κατάστασης του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας σήμερα σε σχέση με την κατάσταση του το κρίσιμο υδρολογικό έτος 1989-90. Κατ' αρχήν οι εφετινές εισροές στο Μόρνο και την Υλίκη στο διάστημα από τον Οκτώβριο 1991 μέχρι και τον Μάρτιο του 1992, όπως φαίνεται στον Πίνακα 1, είναι μεγαλύτερες κατά 45 hm³ περίπου από τις αντίστοιχες εισροές το ίδιο διάστημα του 1989-90. Παράλληλα το υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας έχει σήμερα ενισχυθεί με ένα σύνολο έργων υδροληψίας υπόγειου νερού που κατ' εκτίμηση θα φτάσει τα 100 - 150 hm³ ετησίως, ενώ, χάρη στα σχετικά μέτρα και την ανταπόκριση του κοινού, έχει μειωθεί αισθητά η κατανάλωση. Ωστόσο και παρά τα παραπάνω μέτρα, τα ολικά αποθέματα των δύο κύριων ταμιευτήρων στις αρχές Απριλίου 1992 είναι λιγότερα κατά 32 hm³ από τα αντίστοιχα αποθέματα τον Απρίλιο του 1990. Η διαφορά όμως αυτή αναμένονταν να καλυφθεί από τον αυξημένο, σε σχέση με αυτόν του 1989-90, ρυθμό της απορροής του Β. Κηφισού (πράγμα που επιβεβαιώνεται από νεότερα δεδομένα του Απριλίου). Κατά συνέπεια,

το υδροδοτικό σύστημα αντικειμενικά βρίσκεται σε κατάσταση παρόμοια με αυτή που βρίσκονταν πριν δύο χρόνια. Όμως, η διαπίστωση του έμμονου χαρακτήρα της ξηρασίας και η αδυναμία να προβλέψουμε αν και πότε αυτή θα τελειώσει δημιουργεί σοβαρές ανησυχίες. Υπό αυτή την έννοια μπορεί να θεωρηθεί ότι η συνολική κατάσταση του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας σήμερα είναι κρισιμότερη και οι προοπτικές που υπάρχουν μέχρι την ολοκλήρωση των έργων του Ευήνου είναι δυσμενέστερες εφέτος απ' ότι ήταν πριν από δύο χρόνια.

Πίνακας 1 Σύγκριση χαρακτηριστικών μεγεθών του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας για τα υδρολογικά έτη 1989-90 και 1991-92

ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΕΤΟΣ	1989-90	1991-92
Ολικές εισροές Οκτ.-Μαρ. (hm ³)		
Μόρνος	54.9	36.7
Υλίκη	62.0	124.4
Σύνολο	116.9	161.1
Ακαθάριστα αποθέματα στις 1 Απρ. (hm ³)		
Μόρνος	226.4	202.6
Υλίκη	138.8	127.5
Μαραθώνας	26.3	29.4
Σύνολο	391.5	359.5

2. ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ ΣΤΙΣ ΛΕΚΑΝΕΣ ΜΟΡΝΟΥ ΚΑΙ ΒΟΙΩΤΙΚΟΥ ΚΗΦΙΣΟΥ-ΥΛΙΚΗΣ

Ιστορικά δείγματα

Το συνολικό δείγμα της απορροής του Μόρνου περιλαμβάνει τρεις περιόδους με ενδιάμεσα κενά μετρήσεων. Τα δεδομένα της πρώτης περιόδου (1951-52 μέχρι 1955-56) βασίζονται σε μετρήσεις στο σταθμό Στενό, αρκετά ανάντη του φράγματος. Τα δεδομένα της δεύτερης περιόδου (1963-64 μέχρι 1967-68) βασίζονται στις μετρήσεις του σταθμού Περιβόλι, λίγο κατάντη του φράγματος. Τέλος, τα δεδομένα της τρίτης περιόδου (1979-80 μέχρι σήμερα) βασίζονται στο υδατικό ισοζύγιο του ταμιευτήρα Μόρνου.

Οι απορροές του Βοιωτικού Κηφισού που τροφοδοτεί την Υλίκη μετριοούνται από το 1906-07, υπάρχουν όμως και εδώ περίοδοι με ελλείψεις. Μέχρι το 1975-76 οι μετρήσεις γίνονταν στην Παλιά Διώρυγα Καρδίτσας και στη συνέχεια στη Νέα Διώρυγα. Χαρακτηριστικό της χαμηλής ποιότητας των μετρήσεων είναι το γεγονός ότι για τη Νέα Διώρυγα η αναγωγή της στάθμης σε παροχή βασίζεται σε υδραυλικές μεθόδους και σε μία μόνο μέτρηση παροχής. Οι ολικές εισροές στην Υλίκη προσδιορίζονται από τις παροχές του Β. Κηφισού προσαυξημένες κατά 6 % για να συμπεριληφθεί και η άμεση απορροή της λεκάνης Υλίκης

(Κουτσογιάννης κ.α., 1990α, σ. 116). Ας σημειωθεί ότι το ισοζύγιο της Υλικής δεν αποτελεί ουσιαστικό τρόπο ελέγχου του μεγέθους των εισροών δεδομένου ότι οι υπόγειες διαφυγές της Υλικής είναι πολύ μεγάλες και παρουσιάζουν μεγάλο βαθμό αβεβαιότητας.

Οι βροχοπτώσεις στις λεκάνες Μόρνου και Υλικής μετριοούνται σε επτά και τρεις βροχομετρικούς σταθμούς, αντίστοιχα. Ειδικότερα στην Αλίαρτο (περιοχή Β. Κηφισού-Υλικής) υπάρχουν μετρήσεις από το 1906-07, οι οποίες όμως προέρχονται από τρεις διαφορετικούς σταθμούς.

Εξέταση κλιματικών τάσεων στις χρονοσειρές μεγάλου μήκους

Το μεγάλο μήκος των χρονοσειρών της παροχής του Β. Κηφισού και της βροχόπτωσης στην Αλίαρτο επιτρέπει την ανίχνευση και τον εντοπισμό κλιματικών τάσεων στην περιοχή Υλικής-Β. Κηφισού. Πράγματι, και στις δύο χρονοσειρές έχει διαπιστωθεί στατιστικά σημαντική πτωτική τάση που ξεκινά από το 1920-21 και συνεχίζεται βαθμιαία μέχρι σήμερα (Κουτσογιάννης κ.α., 1990β, σ. 84, Μαμάσης κ.α., 1990). Οι τάσεις αυτές μπορούν να περιγραφούν με γραμμικές εξισώσεις ως προς το χρόνο, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1, στο οποίο έχουν συμπεριληφθεί και τα πιο πρόσφατα δεδομένα.

Το αποτέλεσμα αυτών των τάσεων είναι ότι από το 1920-21 μέχρι το 1990-91 παρατηρείται μείωση της βροχής κατά 28.5 % και της απορροής κατά 46.2 %. Αν δεν μπορούν να αποκλειστούν τα σφάλματα στις μετρήσεις, υπάρχουν σοβαρές ενδείξεις (Κουτσογιάννης κ.α., 1990β, σ. 84, Μαμάσης κ.α., 1990) ότι οι τάσεις αυτές στις χρονοσειρές αντιπροσωπεύουν σε σημαντικό βαθμό την υδρολογική πραγματικότητα στη λεκάνη και δείχνουν μια βαθμιαία κλιματική μεταβολή σε αυτή.

Στη λεκάνη του Μόρνου η σαφής ανομογένεια των μετρήσεων της απορροής αλλά και το μικρό μήκος της χρονοσειράς δεν επιτρέπουν παρόμοιες διερευνήσεις.

Εξέταση των υδρολογικών χαρακτηριστικών της τελευταίας πενταετίας

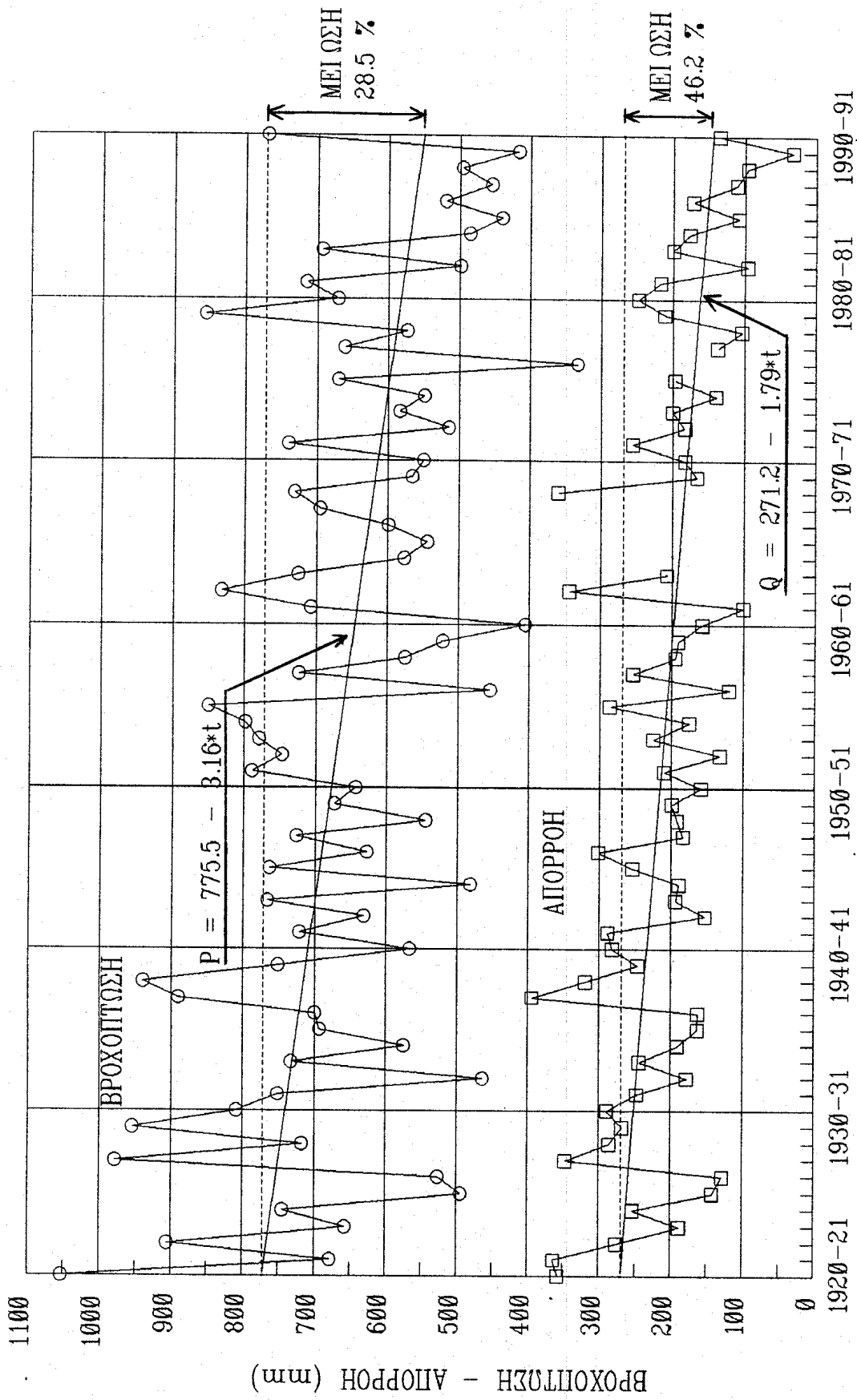
Η πενταετία που ξεκινά από το υδρολογικό έτος 1987-88 και φτάνει μέχρι σήμερα χαρακτηρίζεται από μειωμένες τιμές της απορροής, αισθητά μικρότερες του ιστορικού μέσου όρου των προηγούμενων ετών, και στις δύο υδρολογικές λεκάνες. Ειδικότερα στο υδρολογικό έτος 1989-90 έχουμε την εμφάνιση μιας εξαιρετικά μικρής ποσότητας απορροής στο Βοιωτικό Κηφισό, η οποία αποτελεί το απόλυτο ελάχιστο που έχει παρατηρηθεί από το 1907 που υπάρχουν μετρήσεις. Μάλιστα η ελάχιστη αυτή τιμή είναι υποδιπλάσια της αμέσως επόμενης μικρότερης τιμής που είχε παρατηρηθεί το 1916-17. Αντίστοιχα, εφέτος φαίνεται να έχουμε την απολύτως ελάχιστη τιμή για τη λεκάνη του Μόρνου.

Στο Σχήμα 2α δίνεται μια συγκριτική απεικόνιση της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης της τετραετίας 1987-88 έως 1990-91 (η βροχόπτωση του 1991-92 δεν είναι ακόμη γνωστή) στους σταθμούς Λιδορίκι (περιοχή Μόρνου) και Αλίαρτος (περιοχή Β. Κηφισού-Υλικής) σε σχέση

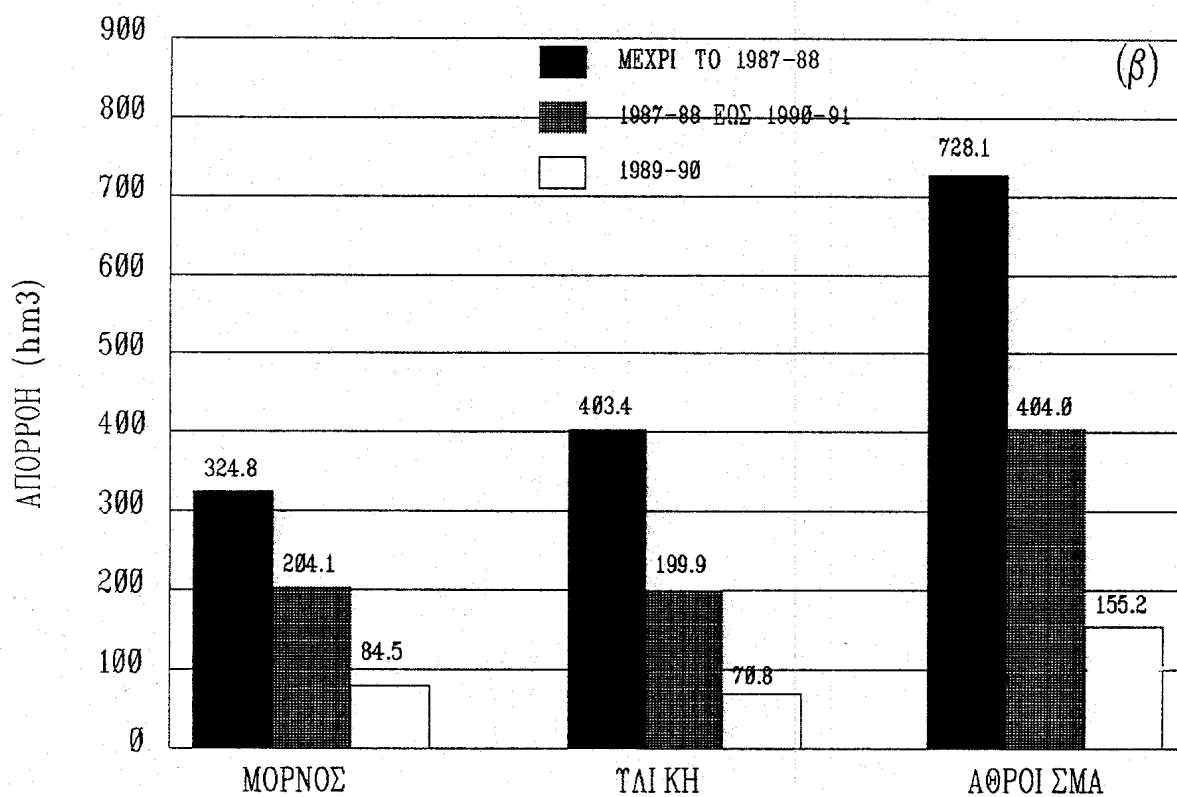
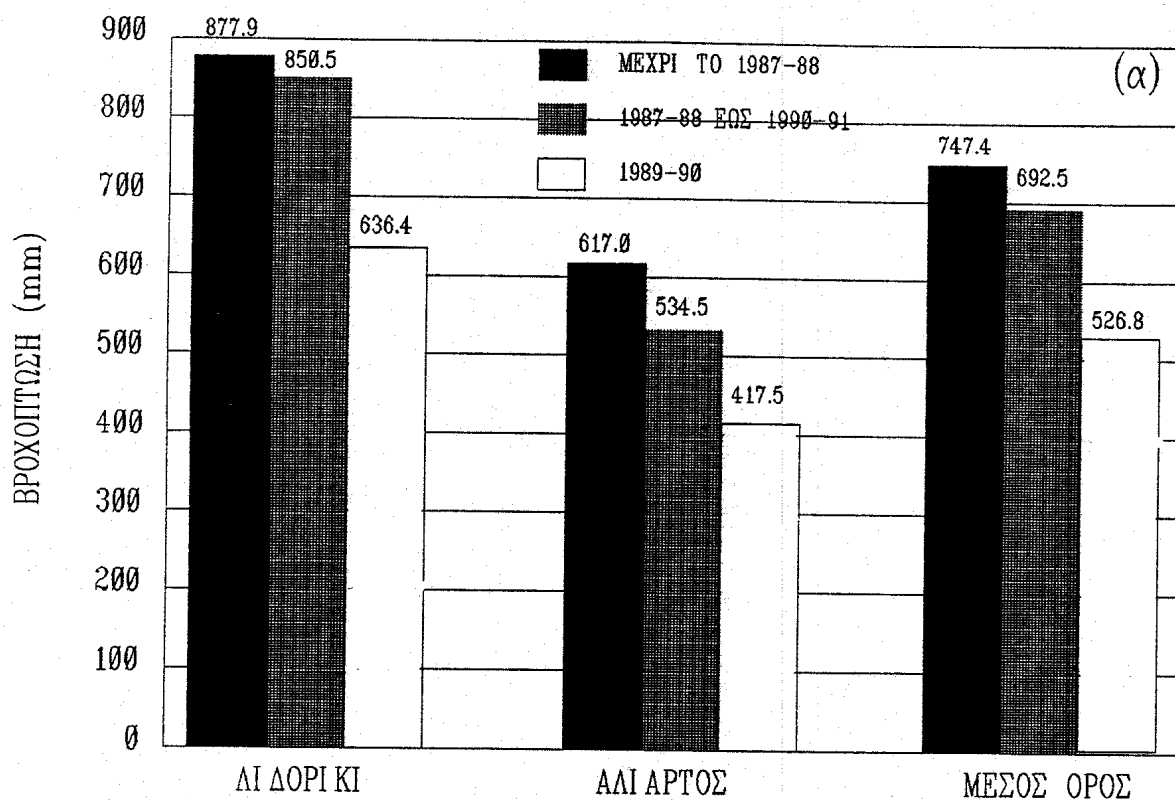
με τις παλιότερες μέσες τιμές. Αντίστοιχα, στο Σχήμα 2β δίνεται μια παρόμοια απεικόνιση των μέσων εισροών στο Μόρνο και την Υλίκη. Παρατηρούμε ότι, ενώ δεν υπάρχει αισθητή διαφορά στη μέση ετήσια βροχόπτωση της ξηρής τετραετίας, ωστόσο η αντίστοιχη μέση ετήσια απορροή είναι δραματικά μειωμένη, τείνοντας να φτάσει το υποδιπλάσιο των προηγούμενων μέσων τιμών, πράγμα που κατ' αρχήν μοιάζει παράδοξο. Ας σημειωθεί πάντως ότι το Σχήμα 2α αναφέρεται σε σημειακές βροχοπτώσεις, και μάλιστα σε σημεία χαμηλού σχετικώς υψομέτρου, ενώ η στην πραγματικότητα ενδιαφέρει η επιφανειακή βροχόπτωση και έτσι δεν δίνει πολύ ευκρινή εικόνα του φαινομένου, παρά μόνο ενδεικτική.

Η αναζήτηση της αιτίας αυτού του φαινομενικά παράδοξου γεγονότος μπορεί να αναζητηθεί στο Σχήμα 3, όπου γίνονται παρόμοιες συγκρίσεις για τις μέσες μηνιαίες τιμές της βροχόπτωσης και της απορροής. Εδώ παρατηρούμε ότι η χρονική κατανομή της βροχόπτωσης μέσα στη διάρκεια του υδρολογικού έτους είναι αισθητά διαφοροποιημένη την τελευταία πενταετία σε σχέση με το παλιότερο καθεστώς της και στις δύο λεκάνες απορροής. Συγκεκριμένα η βροχόπτωση του Ιανουαρίου είναι και στις δύο λεκάνες πολύ μικρότερη από την συνήθως αναμενόμενη. Στη λεκάνη Μόρνου η τιμή ξηρής πενταετίας του Ιανουαρίου ανέρχεται μόλις στο 1/5 της κανονικώς αναμενόμενης τιμής και μάλιστα τα κρίσιμα υδρολογικά έτη 1989-90 και 1991-92 πρακτικώς η βροχόπτωση τον Ιανουάριο μηδενίζεται. Στην Υλίκη, αν και εμφανής, δεν είναι τόσο δραματική η μεταβολή τον Ιανουάριο, αλλά το φαινόμενο επεκτείνεται και στον Φεβρουάριο. Έτσι το χαρακτηριστικό σχήμα της χρονικής κατανομής της βροχής, αντί να παρουσιάζει τη συνήθη περίπου κωδωνοειδή εικόνα με μια αιχμή γύρω στο Δεκέμβριο, εμφανίζει και δεύτερη αιχμή τον Φεβρουάριο ή το Μάρτιο και μια μικρότερη τρίτη αιχμή τον Αύγουστο. Μια τέτοια κατανομή, στην οποία διακόπτεται η ομαλή εξέλιξη των χειμερινών βροχοπτώσεων έχει συνέπεια τη σημαντική μείωση της απορροής όχι μόνο τον Ιανουάριο και Φεβρουάριο, αλλά και τους επόμενους μήνες. Το γεγονός αυτό αποδίδεται στους ιδιαίτερα πολύπλοκους και ευαίσθητους ως προς την κατανομή της βροχής μηχανισμούς μετατροπής της βροχόπτωσης σε επιφανειακή απορροή, οι οποίοι συνδέονται με τη διαίτα της εδαφικής υγρασίας, της συσσώρευσης/τήξης χιονιού και της εξατμισοδιαπνοής.

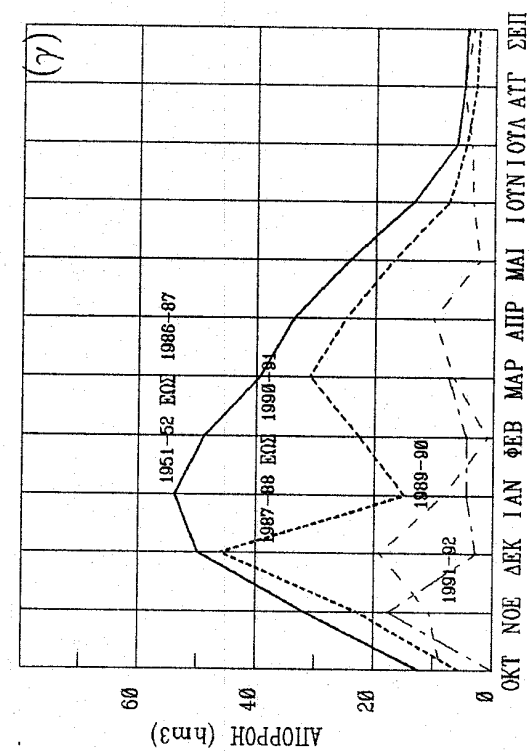
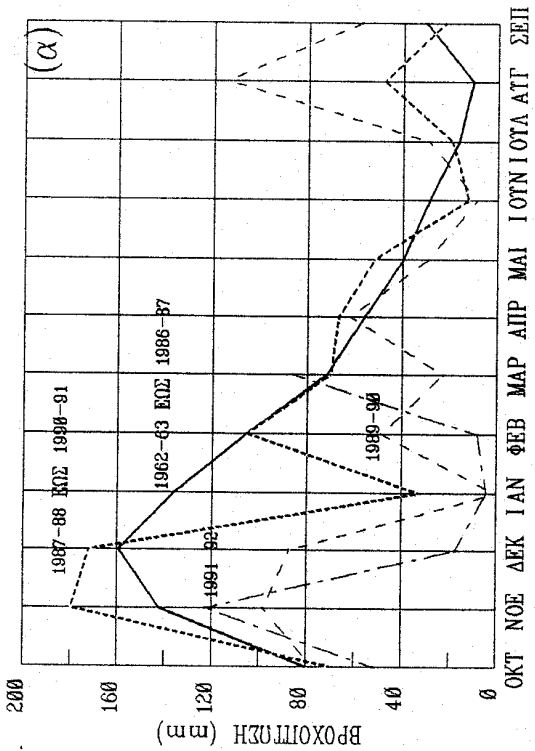
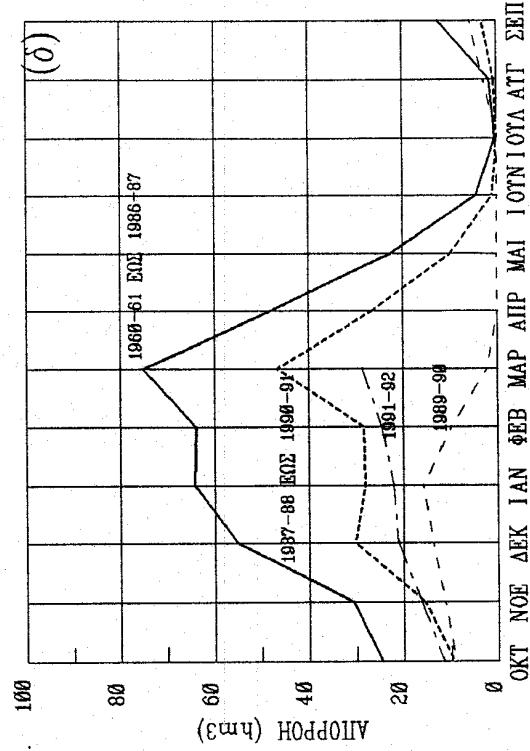
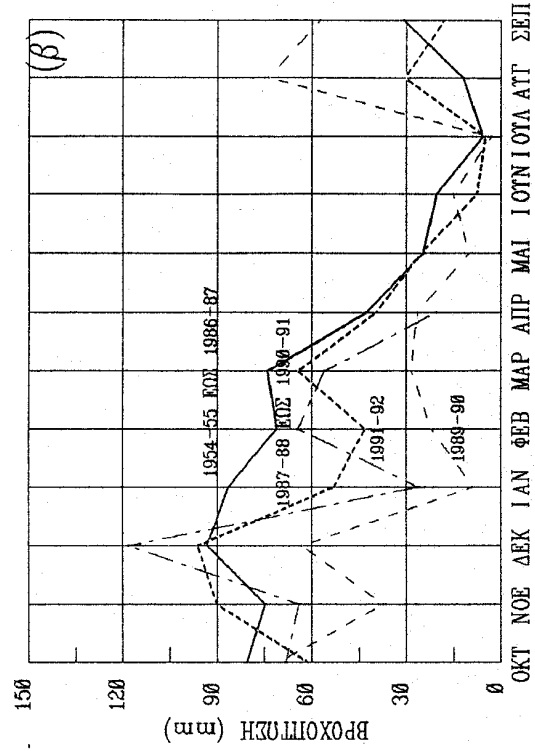
Η παραπάνω ανάλυση πρέπει να θεωρηθεί ως πρώτη ποιοτική προσέγγιση στο θέμα που στοχεύει κυρίως στην αναζήτηση κοινών χαρακτηριστικών στην υδρολογική διαίτα των τελευταίων ετών παρά στην πλήρη ερμηνεία του φαινομένου. Θεωρούμε πάντως ότι το θέμα έχει ιδιαίτερο επιστημονικό και πρακτικό ενδιαφέρον και είναι σκόπιμο να μελετηθεί σε βάθος, εξετάζοντας διεξοδικά όλες τις παραμέτρους του και ιδιαίτερα τη χωροχρονική κατανομή της βροχόπτωσης και του χιονιού, αλλά και τους μηχανισμούς μετατροπής των κατακρημνισμάτων σε απορροή και εξατμισοδιαπνοή.



Σχήμα 1 Χρονική εξέλιξη της απορροής και της βροχής στην περιοχή Β. Κηφισού - Υλίκης



Σχήμα 2 Συγκριτική εικόνα των ετήσιων βροχοπτώσεων και απορροών της τετραετίας 1987-88 έως 1990-91 σε σχέση με τις παλιότερες μέσες τιμές στις περιοχές Μόρνου και Β. Κηφισού-Υλικής: (α) βροχοπτώση στο Λιδορίκι και την Αλίαρτο και (β) εισροές στο Μόρνο και την Υλική.



Σχήμα 3 Συγκριτική εικόνα των μηνιαίων βροχοπτώσεων και απορροών της τετραετίας 1987-88 έως 1990-91 σε σχέση με τις παλιότερες μέσες τιμές στις περιοχές Μόρνου και Β. Κηφισού-Υλίκης: (α) βροχόπτωση στο Λιδορικί, (β) βροχόπτωση στην Αλιάρτο, (γ) εισροή στο Μόρνο και (δ) εισροή στην Υλίκη.

3. ΚΑΤΑΡΤΙΣΗ ΤΕΛΙΚΩΝ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΟΥΣ

Γενικά

Προκειμένου να γίνει οποιαδήποτε πρόγνωση για την εξέλιξη του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας, απαραίτητο είναι να οργανωθούν κατάλληλα τα ιστορικά δείγματα της απορροής στις δύο λεκάνες και να εξαχθούν οι στατιστικές παράμετροι τους. Τα συγκεκριμένα δείγματα παρουσιάζουν αρκετές ιδιαιτερότητες και έτσι οι εργασίες αυτές δεν έχουν μονοσήμαντη αντιμετώπιση. Αναγκαστικά υπεισέρχεται η υποκειμενική θεώρηση του μελετητή, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις είναι απαραίτητη η εξέταση εναλλακτικών υποθέσεων ή σεναρίων. Οι συγκεκριμένες ιδιαιτερότητες των δειγμάτων και οι τρόποι αντιμετώπισης τους αναλύονται παρακάτω.

Ανομογένειες δειγμάτων

Στην περίπτωση του απορροής του Μόρνου υιοθετήθηκε (βλ. *Κουτσογιάννης κ.ά.*, 1990, σ. 78) η ενοποίηση των τριών διαφορετικής προέλευσης χρονικών περιόδων του δείγματος σε ένα ενιαίο στατιστικό δείγμα. Αντιστοιχη ενοποίηση έγινε και στο δείγμα της Υλίκης, με τη διαφορά ότι εδώ, λόγω των διαπιστωμένων έντονων αλλαγών στη διαίτα της απορροής που αναφέρθηκαν παραπάνω, δεν χρησιμοποιήθηκαν καθόλου τα προ του 1960-61 δεδομένα (βλ. *Κουτσογιάννης κ.ά.*, 1990, σ. 117).

Αντιμετώπιση πτωτικής τάσης

Η πτωτική τάση που διαπιστώθηκε στο δείγμα της απορροής του Β. Κηφισού απομακρύνθηκε σε τρόπο ώστε το τελικό δείγμα να είναι στατιστικά ομογενές. Συγκεκριμένα, έγινε κατ' αρχήν η υπόθεση ότι η βαθμιαία πτωτική τάση είναι πιθανόν να εξακολουθήσει με τον ίδιο ρυθμό (κλίση) και την επόμενη πενταετία στην οποία αναφέρεται η εργασία αυτή, και έτσι έγινε αναγωγή όλων των τιμών του δείγματος στα επίπεδα μέσης τιμής που αναμένεται στο τέλος της επόμενης πενταετίας. Η αναγωγή έγινε με πολλαπλασιασμό των δεδομένων κάθε έτους με ένα κατάλληλο συντελεστή (διαφορετικό για κάθε έτος) που εξαρτάται από τη χρονική θέση του συγκεκριμένου έτους και από τους συντελεστές της γραμμικής σχέσης που περιγράφει την τάση, όπως αναλυτικότερα περιγράφεται από τους *Κουτσογιάννη κ.ά.*, 1990.

Εξωκείμενες τιμές (outliers)

Οι εξαιρετικά χαμηλές τιμές τις απορροής των υδρολογικών ετών 1989-90 και 1991-92 μπορούν να θεωρηθούν ως εξωκείμενες τιμές (outliers) με την έννοια ότι αποκλίνουν πολύ από τη στατιστική εικόνα της απορροής όπως αυτή δίνεται από τα υπόλοιπα έτη. Τέτοιες τιμές αφού ελεγχθούν με κατάλληλες δοκιμασίες (*Chow et al.*, 1988) συνήθως απαλείφονται

από το τελικό δείγμα. Στην προκειμένη περίπτωση οι σχετικές δοκιμασίες συνηγορούν στη μη συμπερίληψη ορισμένων χαμηλών τιμών στα δείγματα. Ωστόσο, για λόγους συντηρητικότερων προβλέψεων, αλλά και επειδή οι τιμές αυτές εντάσσονται σε μια ευρύτερη περίοδο ξηρασίας, οι εξαιρετικά χαμηλές τιμές τελικά συμπεριλήφθηκαν στα δείγματα.

Αντιμετώπιση της ξηρής πενταετίας

Το βασικό ερώτημα που ανακύπτει με την τελευταία ξηρή πενταετία, αν δηλαδή η απορροή της τελευταίας πενταετίας διαφέρει σημαντικά από την συνήθη δίαιτα της απορροής, το οποίο παραπάνω αναλύθηκε από την ποιοτική του άποψη μπορεί να εξεταστεί και ποσοτικά με στατιστικές μεθόδους. Συγκεκριμένα το κάθε δείγμα μπορεί να χωριστεί σε δύο επιμέρους δείγματα από τα οποία το πρώτο περιλαμβάνει τα δεδομένα μέχρι και το 1986-87 και το δεύτερο τα κατοπινά. Στη συνέχεια ελέγχεται με τις συνήθεις στατιστικές μεθόδους (π.χ. *Spiegel*, 1975) αν τα δύο επιμέρους δείγματα προέρχονται από τον ίδιο πληθυσμό, χρησιμοποιώντας ως μηδενική υπόθεση την ισότητα των μέσων τιμών τους ή, ισοδύναμα, ότι η διαφορά της μέσης τιμής τους είναι στατιστικά μηδενική.³ Οι σχετικοί υπολογισμοί με την κατανομή Student έδειξαν ότι η μηδενική υπόθεση απορρίπτεται και για τις δύο λεκάνες σε επίπεδο σημαντικότητας 1% (για μονόπλευρο έλεγχο). Μάλιστα για την Υλίκη η υπόθεση αυτή απορρίπτεται ακόμα και αν αφαιρεθεί η τάση στα δύο επιμέρους δείγματα. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχει στατιστικώς σημαντική διαφορά στην απορροή της τελευταίας πενταετίας από την αντίστοιχη ετήσια απορροή των προηγούμενων ετών.

Κατά συνέπεια μπορεί να θεμελιωθεί ως πιθανή η υπόθεση ότι έχουμε ένα άλμα στη δίαιτα της απορροής που εντοπίζεται γύρω στο 1987 και σε αυτό συνηγορεί και η διαπίστωση κοινών χαρακτηριστικών και στη δίαιτα της βροχόπτωσης (διαφοροποιημένη χρονική κατανομή) στα τελευταία έτη. Ωστόσο, δεν μπορεί να υπάρξει βεβαιότητα ως προς την υπόθεση αυτή δεδομένου ότι οι παραπάνω στατιστικοί έλεγχοι έχουν μόνο ενδεικτική αξία, γιατί το δεύτερο δείγμα της πενταετίας είναι πολύ βραχύ για να δώσει ασφαλή στατιστικά συμπεράσματα. Το μέλλον θα δείξει κατά πόσον ευσταθεί η υπόθεση του άλματος στα χαρακτηριστικά των χρονοσειρών της απορροής. Προς το παρόν θεωρούμε σκόπιμο να διατυπώσουμε δύο πιθανά σενάρια: Το πρώτο, το οποίο παρακάτω θα αναφέρεται ως **κανονικό σενάριο**, χρησιμοποιεί τα συνολικά δείγματα ως ενιαία και αντιπροσωπευτικά και της μελλοντικής δίαιτας των απορροών. Το δεύτερο που θα αναφέρεται ως **σενάριο ξηρασίας**

³ Για να εκτιμηθεί η συνολική τιμή της απορροής του τρέχοντος υδρολογικού έτους έγινε αναγωγή του ισοδύναμου ύψους απορροής της περιόδου Οκτωβρίου-Μαρτίου (που είναι γνωστό) με βάση το στατιστικά προσδιορισμένο υπερετήσιο λόγο του ύψους αυτού προς το ολικό ετήσιο ύψος, που για το Μόρνο είναι 0.725 και για την Υλίκη 0.775. Έτσι προέκυψε για το Μόρνο η εκτίμηση των 92.2 mm για το ετήσιο ύψος απορροής και για την Υλίκη η εκτίμηση των 75.4 mm που μετά την απομάκρυνση της τάσης γίνεται 71.4 mm

αποδίδει ιδιαίτερη σημασία στην τελευταία πενταετία, θεωρώντας ως μέσες απορροές αυτές της πενταετίας. Η πιθανότητα καθενός από τα δύο σενάρια δεν μπορεί να ποσοτικοποιηθεί με αξιόπιστο τρόπο.

Ένα σημαντικό στατιστικό πρόβλημα που ανακύπτει για το σενάριο ξηρασίας είναι ότι η εκτίμηση των στατιστικών χαρακτηριστικών δεύτερης ή ανώτερης τάξης (π.χ. διασπορές, συντελεστές αυτοσυσχέτισης ή ετεροσυσχέτισης) είναι πρακτικώς αδύνατο να βασιστεί στα πέντε χρόνια. Η μέθοδος που ακολουθήσαμε για να δώσουμε μια σχετικώς ικανοποιητική λύση στο πρόβλημα αυτό είναι η ακόλουθη: Υπολογίσαμε το λόγο της μέσης τιμής της ξηρής πενταετίας προς την αντίστοιχη μέση τιμή του συνολικού δείγματος. Ο λόγος αυτός είναι 0.573 για το Μόρνο και 0.601 για την Υλίκη (για το δείγμα χωρίς τάση). Οι δύο πολύ παραπλήσιες τιμές αυτές στρογγυλεύτηκαν σε ένα ενιαίο συντελεστή 0.60, ο οποίος και χρησιμοποιήθηκε για την αναγωγή του κανονικού σεναρίου σε σενάριο σενάριο ξηρασίας. Δηλαδή δεν υπολογίστηκαν ξεχωριστά τα στατιστικά χαρακτηριστικά του δεύτερου σεναρίου, αλλά κάθε συνθετική σειρά του κανονικού σεναρίου πολλαπλασιάστηκε με τον παραπάνω συντελεστή προκειμένου να αναχθεί σε σειρά σεναρίου ξηρασίας. Πρόκειται βεβαίως για ένα "τέχνασμα" παρά για μια θεωρητικά συνεπή αντιμετώπιση. Το τέχνασμα αυτό ισοδυναμεί με αποδοχή μειωμένων στο 60% τιμών της μέσης τιμής και της τυπικής απόκλισης των σειρών και με διατήρηση των τιμών των συντελεστών αυτοσυσχέτισης και ετεροσυσχέτισης στα αρχικά τους επίπεδα.

4. ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΩΝ ΚΙΝΔΥΝΩΝ ΑΝΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Για δεδομένα στατιστικά χαρακτηριστικά εισροών και κατανάλωσης και δεδομένες λειτουργικές παραμέτρους του υδροδοτικού συστήματος ο κίνδυνος ανεπάρκειας του είναι δυνατό να ποσοτικοποιηθεί με τη μέθοδο της στοχαστικής προσομοίωσης του συστήματος. Ποσοτικά ο κίνδυνος αυτός αποδίδεται από την πιθανότητα αστοχίας του συστήματος δηλαδή την πιθανότητα να έχουμε αποτυχία κάλυψης της ζήτησης στη διάρκεια ενός υδρολογικού έτους. Υπάρχουν διάφορα μέτρα αυτής της πιθανότητας (Dyck, 1980, σ. 425), το αυστηρότερο από τα οποία δίνεται από τη σχέση

$$a' = n_{\alpha} / n \quad (1)$$

όπου a' η πιθανότητα αστοχίας και n_{α} ο αριθμός των περιπτώσεων στις οποίες δεν ικανοποιείται η ζήτηση, έστω και μια στιγμή του υπό εξέταση έτους, σε συνολικό αριθμό πιθανών περιπτώσεων n .

Ειδικότερα για το υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας έχει προταθεί (Κουτσογιάννης &

Ξανθόπουλος, 1990) η διάκριση της αστοχίας σε δύο κατηγορίες: *αστοχία με την αυστηρή έννοια* έχουμε όταν τα κανονικά ωφέλιμα αποθέματα δεν επαρκούν για την κάλυψη των συνήθων συνθηκών ζήτησης, ενώ *αστοχία με την ελαστική έννοια* έχουμε όταν εξαντλείται και η ελαστικότητα του συστήματος, δηλαδή όταν ούτε τα αποθέματα ασφαλείας, ούτε οι εφεδρικές πηγές επαρκούν ακόμη και για συνθήκες ζήτησης μειωμένες σε βαθμό που μπορεί να επιτευχθεί χωρίς διακοπές υδροδότησης. Ως αποδεκτό επίπεδο πιθανότητας αστοχίας έχει θεωρηθεί (Κουτσογιάννης & Ξανθόπουλος, 1990) το 1 % για την αστοχία με την αυστηρή έννοια και το 0.2 - 0.5 % για την αστοχία με την ελαστική έννοια.

Τα στάδια του υπολογισμού της πιθανότητας αστοχίας του συστήματος είναι τα ακόλουθα (Κουτσογιάννης & Ξανθόπουλος, 1990):

1. Πλήρης καθορισμός του υδροδοτικού συστήματος, δηλαδή των επί μέρους έργων και των μεταβλητών που υπεισέρχονται σ' αυτό
2. Επιλογή πιθανών σεναρίων για όσες μεταβλητές ή καταστάσεις δεν επιδέχονται πλήρη στατιστική περιγραφή (π.χ. κατανάλωση)
3. Στοχαστική προσομοίωση των μεταβλητών για τις οποίες υπάρχει τέτοια δυνατότητα (π.χ. υδρολογία, απώλειες)
4. Μαθηματική μοντελοποίηση της λειτουργίας του συστήματος
5. Καθορισμός των αρχικών συνθηκών
6. Επιλογή μετά από διερεύνηση ή βελτιστοποίηση των κανόνων λειτουργίας του συστήματος
7. Υπολογισμός με προσομοίωση της πιθανότητας αστοχίας και σύγκριση της με την αποδεκτή τιμή.

Για τις ανάγκες της εργασίας αυτής χρησιμοποιήθηκε το Μοντέλο Προγραμματισμού Λειτουργίας του Υδροδοτικού Συστήματος Μόρνου-Υλίκης (Κουτσογιάννης κ.ά, 1990β, Nalbantis et al., 1992). Το μοντέλο αυτό, κωδικοποιημένο σε πρόγραμμα υπολογιστή, περιλαμβάνει (εκτός από ένα κεντρικό πρόγραμμα επικοινωνίας χρήστη-υπολογιστή) δύο κύρια τμήματα, ήτοι το τμήμα της υδρολογικής προσομοίωσης και το τμήμα της λειτουργικής προσομοίωσης. Το πρώτο παράγει μηνιαίες χρονοσειρές της απορροής στις δύο λεκάνες (για το χειρισμό της βροχοπτώσης και της εξάτμισης βλ. παράγραφο 6) σε δύο φάσεις. Στην πρώτη φάση παράγονται ετήσια μεγέθη με ένα διδιάστατο Μαρκοβιανό μοντέλο και στη δεύτερη τα μεγέθη αυτά επιμερίζονται σε μηνιαία με ένα μοντέλο επιμερισμού. Το δεύτερο τμήμα βασίζεται στις εξισώσεις υδατικού ισοζυγίου, ενώ περιέχει κατάλληλες διαδικασίες για τον υπολογισμό των κάθε είδους απωλειών και για την προσομοίωση της πολιτικής τήρησης αποθεμάτων ασφαλείας, όταν αυτό είναι εφικτό. Ο κανόνας λειτουργίας του μοντέλου είναι μονοσήμαντος και προέκυψε μετά από βελτιστοποίηση της απολήψιμης

ποσότητας νερού από το σύστημα. Συνοψίζεται στην απόλυτη προτεραιότητα των απολήψεων από την Υλίκη (έναντι των απολήψεων από το Μόρνο), γεγονός που αιτιολογείται από τις σοβαρά αυξημένες υπόγειες διαφυγές της Υλίκης. Τα εξαγόμενα (outputs) του μοντέλου είναι οι πιθανότητες αστοχίας του συστήματος καθώς και αναλυτικά και συνοπτικά ισοζύγια των ταμιευτήρων και του συστήματος.

Εν προκειμένω το μοντέλο για κάθε συνδυασμό μεταβλητών χρησιμοποίησε 500 συνθετικές χρονοσειρές μηνιαίων τιμών, μεγέθους 10 ετών η κάθε μια.

5. ΚΥΡΙΕΣ ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ

Εισροές

Χρησιμοποιήθηκαν τα δύο σενάρια που περιγράφηκαν παραπάνω, το κανονικό και το σενάριο ξηρασίας. Οι υπερετήσιες μέσες εισροές για τα δύο αυτά σενάρια φαίνονται στον Πίνακα 3.

Πίνακας 3 Μέσες εισροές στους δύο ταμιευτήρες για κάθε υδρολογικό σενάριο (hm^3)

Υδρολογικό σενάριο	Μόρνος	Υλίκη	Σύνολο
Κανονικό	299	299	598
Ξηρασίας	179	179	358

Απολήψεις από γεωτρήσεις

Σύμφωνα με το ΥΠΕΧΩΔΕ (1992) τα έργα υδροληψίας υπόγειου νερού που υπάρχουν ή εκτελούνται και θα μπουν άμεσα σε λειτουργία για ενίσχυση της ύδρευσης της Αθήνας ανήκουν σε δύο ομάδες. Η πρώτη ομάδα περιλαμβάνει γεωτρήσεις στο μέσο ρου του Βοιωτικού Κηφισού συνολικής δυναμικότητας 60-70 hm^3 ετησίως για ύδρευση και άρδευση. Το νερό που παίρνεται από την ομάδα αυτή κατευθύνεται προς τον υδαταγωγό Μόρνο και μέσω αυτού οδηγείται στην Αθήνα. Η δεύτερη ομάδα περιλαμβάνει γεωτρήσεις στην περιοχή της Υλίκης συνολικής δυναμικότητας 90 hm^3 για ύδρευση και άρδευση. Το νερό από αυτές της γεωτρήσεις φτάνει στην Αθήνα μέσω του υδραγωγείου Υλίκης. Η συνολική δυναμικότητα των δύο ομάδων γεωτρήσεων φτάνει τα 150-160 hm^3 σε μέση ετήσια βάση. Δεν υπάρχουν αναλυτικά στοιχεία πως οι απολήψεις αυτές επηρεάζονται από ενδεχόμενη συνέχιση της ξηρασίας, ούτε πως οι ποσότητες κατανέμονται στις χρήσεις ύδρευσης και άρδευσης. Πάντως κατά το ΥΠΕΧΩΔΕ (1992) 50 hm^3 θα διατίθενται για άρδευση και η υπόλοιπη ποσότητα για την ύδρευση της Αθήνας. Κατά την ΕΥΔΑΠ είναι δυνατό, σε περίπτωση παρατεταμένης ξηρασίας, να μειωθεί η ποσότητα που δίνεται για άρδευση σε όφελος της

ύδρευσης. Με αυτές τις αβεβαιότητες δεν ήταν δυνατό να είναι επακριβώς ορισμένη η ποσότητα των απολήψεων υπόγειου νερού που θα τροφοδοτεί το υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας και έτσι έγινε η υπόθεση των σεναρίων που φαίνονται στον Πίνακα 4. Σημειώνεται ότι για την υπόθεση συνέχισης της Ξηρασίας θεωρήθηκε ότι η απολήψιμη ποσότητα υπόγειου νερού θα είναι μειωμένη στο 60 - 80 %.

Πίνακας 4 Πιθανές ετήσιες απολήψεις υπόγειου νερού για ενίσχυση της ύδρευσης της Αθήνας για κάθε υδρολογικό σενάριο (hm³)

Υδρολογικό σενάριο	Προς υδραγ. Μόρνου	Προς υδραγ. Υλίκης	Σύνολο
Κανονικό - Α	60	90	150
Κανονικό - Β	30	70	100
Ξηρασίας - Γ	48	72	120
Ξηρασίας - Δ	18	42	60

Κατανάλωση Αθήνας

Κατά την ΕΥΔΑΠ εφέτος η ετήσια κατανάλωση της Αθήνας, υπολογισμένη στα διυλιστήρια, αναμένεται να φτάσει τα 350 hm³. Σύμφωνα με τα τελευταία δεδομένα της ΕΥΔΑΠ θεωρείται ότι η διαφορά του ετήσιου όγκου στα διυλιστήρια από τον ετήσιο όγκο στις εξόδους των ταμιευτήρων ανέρχεται στο 8 % του πρώτου και συμπεριλαμβάνει απώλειες στα υδραγωγεία, νόμιμες και παράνομες υδροληψίες και σφάλματα μετρήσεων. Κατά συνέπεια η εφετεινή ετήσια ακαθάριστη κατανάλωση, υπολογισμένη στις πηγές, αναμένεται να φτάσει στα 380 hm³. Αυτό το μέγεθος αποτελεί και το βασικό σενάριο κατανάλωσης της εργασίας αυτής. Παράλληλα, όπως θα φανεί παρακάτω, εξετάστηκαν και άλλα εναλλακτικά σενάρια μειωμένης κατανάλωσης τα οποία οδηγούσαν κατά περίπτωση σε αποδεκτά επίπεδα πιθανότητας αστοχίας του συστήματος και προέκυψαν μετά από δοκιμαστικές εφαρμογές του μοντέλου προσομοίωσης.

Αποδεκτό επίπεδο πιθανότητας αστοχίας

Όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 4, η αποδεκτή πιθανότητα αστοχίας υπό ελαστική έννοια, στην οποία αναφέρονται όλες οι προσομοιώσεις της εργασίας αυτής, μπορεί να θεωρηθεί ίση με 0.2 - 0.5 %. Η πιθανότητα αυτή συνεκτιμά όλες τις αβεβαιότητες του υδροδοτικού συστήματος και κύρια τις υδρολογικές. Εάν ήταν γνωστές οι επιμέρους πιθανότητες πραγματοποίησης των δύο βασικών υδρολογικών σεναρίων (κανονικού και Ξηρασίας) θα ήταν δυνατό να υπολογιστεί για κάθε έτος μια ενιαία (χωρίς δέσμευση) τιμή της διακινδύνευσης του συστήματος και στη συνέχεια αυτή να συγκριθεί με ένα ενιαίο αποδεκτό επίπεδο. Επειδή αυτό δεν συμβαίνει, κατά παραδοχήν εδώ υιοθετήθηκαν δύο

ξεχωριστές τιμές της αποδεκτής πιθανότητας αστοχίας, δεσμευμένης από το υποθετικό υδρολογικό σενάριο: για το κανονικό σενάριο η τιμή 0.5 %, ενώ για το σενάριο ξηρασίας η τιμή 1 %. Η τελευταία αυξημένη τιμή γίνεται αποδεκτή γιατί το σενάριο ξηρασίας φαίνεται να αποτελεί μια αρκετά δυσμενή παραδοχή.

6. ΛΟΙΠΕΣ ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ

Υπόγειες διαφυγές ταμιευτήρων

Ο ταμιευτήρας Μόρνου είναι κατά το μεγαλύτερο μέρος της λεκάνης κατάκλυσης του στεγανός εκτός από τη θέση "Πύρνος" όπου υπάρχει εμφάνιση διαπερατών γεωλογικών σχηματισμών και παρά τα έργα στεγανοποίησης που κατασκευάστηκαν εξακολουθούν να γίνονται κάποιες μικρές αλλά όχι αμελητέες διαφυγές. Το μεγαλύτερο μέρος των διαφυγών από τη θέση αυτή μετριέται με υπερχειλιστές λεπτής στέψης σε μηνιαία χρονική βάση. Για τις μη μετρούμενες διαφυγές έγινε η παραδοχή ότι αυτές είναι περίπου ίσες με τις μετρούμενες (Κουτσογιάννης κ.ά., 1990α, σ. 28, 80). Διαπιστώθηκε ότι οι συνολικές υπόγειες διαφυγές συσχετίζονται με τη στάθμη του ταμιευτήρα με γραμμικό τρόπο. Η σχέση που βρέθηκε και που χρησιμοποιήθηκε και στην παρούσα διερεύνηση είναι η ακόλουθη:

$$L = 22.865 \times 10^{-3} (Z - 390.0) + 0.1327 \quad (2)$$

όπου L είναι οι μηνιαίες υπόγειες διαφυγές από τον ταμιευτήρα σε $\text{hm}^3/\mu\eta\gamma\alpha$ και Z είναι η απόλυτη στάθμη του ταμιευτήρα σε m.

Σε ότι αφορά τη Λίμνη Υλίκη εκτιμήθηκαν κατ' αρχήν οι υπόγειες διαφυγές σε μηνιαία χρονική βάση από το υδατικό ισοζύγιο της λίμνης. Η μεθοδολογία κατάρτισης των ισοζυγίων αυτών είναι η ίδια που περιγράφεται από τους Κουτσογιάννη κ.ά. (1990α). Στη συνέχεια καταστρώθηκε μία πολυωνυμική σχέση στάθμης-διαφυγών με ένα προστιθέμενο τυχαίο μέρος. Η σχέση αυτή που είναι διαφορετική για τους χειμερινούς (Οκτώβριος-Μάρτιος) και τους θερινούς μήνες (Απρίλιος-Σεπτέμβριος)⁴ περιγράφεται από τις παρακάτω εξισώσεις:

α. Χειμερινοί μήνες

$$L = 0.012582 Z^2 - 1.0584 Z + 25.47 + \varepsilon \quad (3)$$

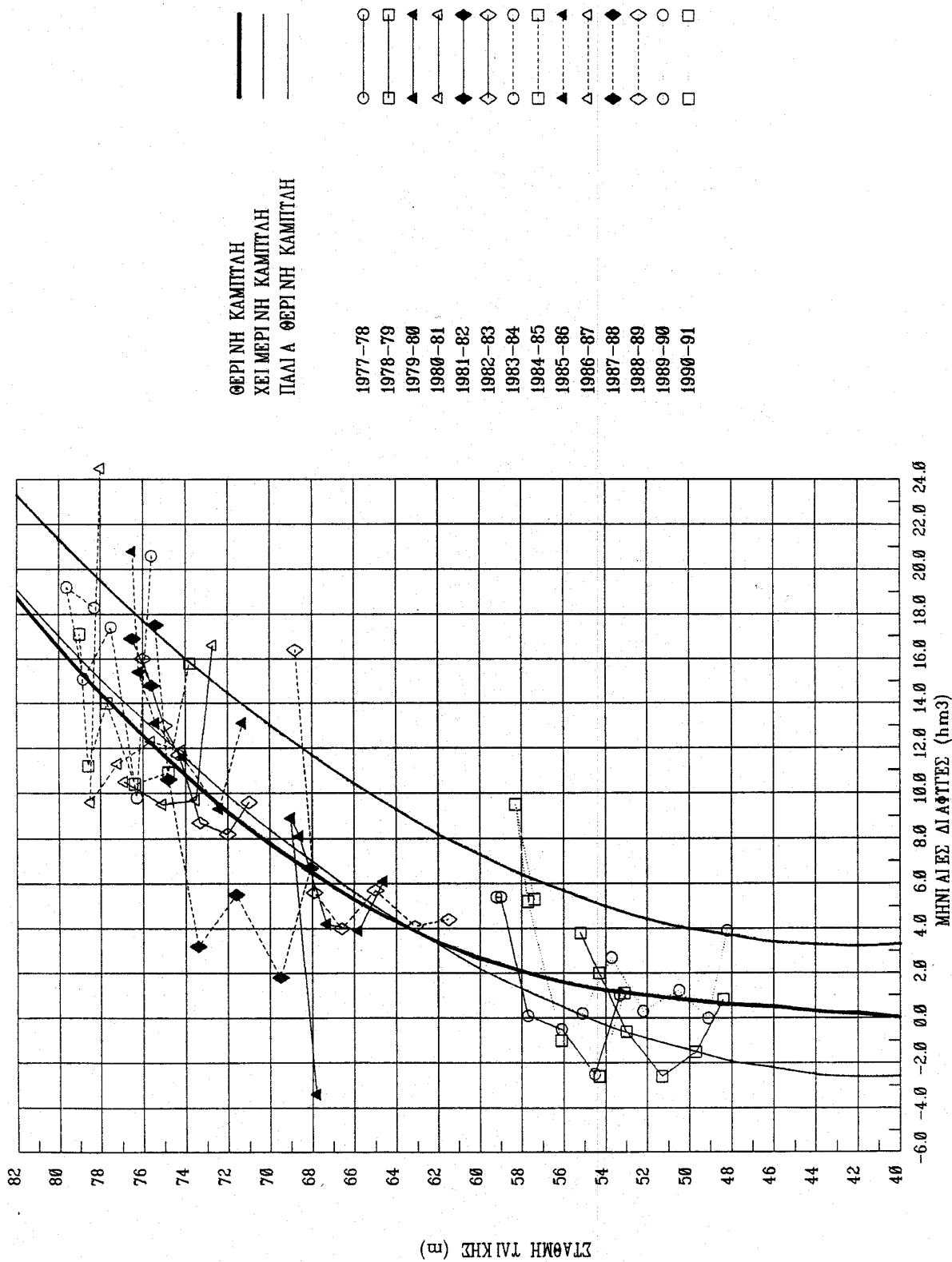
⁴ Απόπειρα ερμηνείας της διαφοράς στη διαίτα των διαφυγών τους χειμερινούς και θερινούς μήνες έγινε από τους Κουτσογιάννη κ.ά. (1990α, σ. 130).

β. Θερινοί μήνες

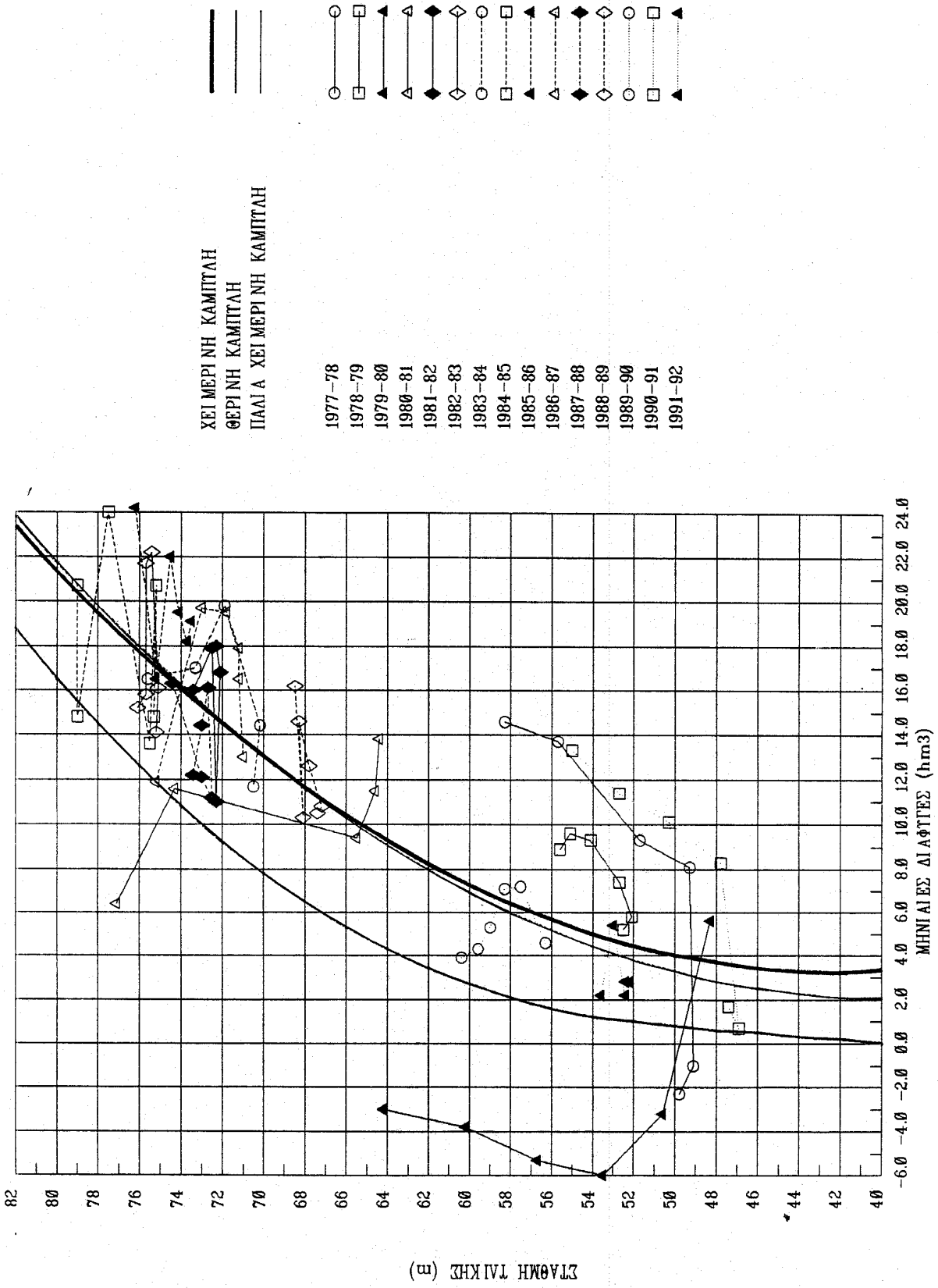
$$L = 88.298 \times 10^{-6} Z^3 - 0.61425 Z + 20.46 + \varepsilon \quad (4)$$

όπου τα σύμβολα L και Z έχουν την ίδια σημασία όπως παραπάνω ενώ ε είναι το τυχαίο μέρος που ακολουθεί κανονική κατανομή με μηδενική μέση τιμή και τυπική απόκλιση $\sigma_\varepsilon = 5.31 \text{ hm}^3/\text{μήνα}$ για τους χειμερινούς μήνες και $\sigma_\varepsilon = 3.12 \text{ hm}^3/\text{μήνα}$ για τους θερινούς μήνες. Η εξίσωση (4) ισχύει για $Z \geq 51.5 \text{ m}$ ενώ για $Z < 51.5 \text{ m}$ γίνεται η παραδοχή ότι οι διαφυγές μεταβάλλονται γραμμικά από $1 \text{ hm}^3/\text{μήνα}$ για $Z = 51.5 \text{ m}$ έως 0 για $Z = 40.0 \text{ m}$ (πυθμένας της λίμνης).

Οι καμπύλες αυτές φαίνονται στο Σχήμα 4 σε σύγκριση με τα δεδομένα αλλά και με παλιότερες καμπύλες (Κουτσογιάννης κ.ά., 1990α). Από τη σύγκριση διαπιστώνεται ότι στις χαμηλές στάθμες υπάρχει μια μικρή απόκλιση των νέων καμπυλών σε σχέση με τις παλιότερες προς μεγαλύτερες τιμές των απωλειών που είναι εμφανέστερη στην καμπύλη των θερινών μηνών. Αυτό οφείλεται στα νεότερα δεδομένα που αξιοποιήθηκαν για τις νέες καμπύλες, τα οποία είναι δυσμενέστερα ως προς τις απώλειες από τα παλιότερα. Αυτό πιθανόν να οφείλεται και στην εντατικότερη εκμετάλλευση των υπόγειων υδροφορέων της περιοχής από τις νέες γεωτρήσεις. Εξαιτίας αυτής της διαφοράς, για την κατάρτιση της καμπύλης των θερινών μηνών δεν χρησιμοποιήθηκαν τα προ του 1981 δεδομένα που αντιστοιχούσαν σε χαμηλές στάθμες της λίμνης. Θεωρήσαμε δηλαδή ότι η συμπεριφορά του καρστικού συστήματος της λίμνης στο άμεσο μέλλον που ενδιαφέρει στην παρούσα διερεύνηση (προσεχή πενταετία), θα μοιάζει με εκείνη της πρόσφατης ξηρής περιόδου, παρά με τη συμπεριφορά της προηγούμενης, προ του 1981, περιόδου εντατικής άντλησης της Υλίκης.



Σχήμα 4 Υπόγειες διαφυγές της Υλικής συναρτησει της στάθμης: (α) Δεδομένα και καμπύλη
 θεριών μηνών



Σχήμα 4 Υπόγειες διαφυγές της Υλικής συναρτήσει της στάθμης: (β) Δεδομένα και καμπύλη χειμερινών μηνών

Απώλειες στα υδραγωγεία μεταφοράς

Οι τιμές του ετήσιου όγκου νερού που μετριέται στα διυλιστήρια υπολείπονται από εκείνες που αντιστοιχούν στην έξοδο των ταμιευτήρων. Οι διαφορές οφείλονται στις απώλειες νερού κατά την διαδρομή προς την Αθήνα (εξάτμιση, διήθηση, υπερχειλίσσεις), στις νόμιμες και παράνομες απολήψεις και στα σφάλματα των μετρήσεων (Κουτσογιάννης κ.ά., 1990α, σ. 34). Με βάση παλιότερες εκτιμήσεις των απωλειών αλλά και νεότερα στοιχεία από την ΕΥΔΑΠ, καταλήξαμε να δεχτούμε για την παρούσα διερεύνηση ένα ποσοστό απωλειών στα υδραγωγεία μεταφοράς ίσο με 8% της συνολικής απόληψης από τις πηγές (έξοδοι ταμιευτήρων).

Απώλειες από εξάτμιση - Εισροές από βροχόπτωση στην επιφάνεια των ταμιευτήρων

Η εισροή από βροχόπτωση στη επιφάνεια των ταμιευτήρων καθώς και η εξάτμιση από αυτούς δεν επηρεάζουν σημαντικά το ισοζύγιο των ταμιευτήρων Μόρνου και Υλίκης. Για τον λόγο αυτό λήφθηκαν υπόψη με προσεγγιστικό τρόπο στην παρούσα διερεύνηση. Και οι δύο μεταβλητές δίνονται κατ' αρχήν σε ισοδύναμο ύψος νερού (mm) και μετατρέπονται σε όγκο νερού μετά από πολλαπλασιασμό με την επιφάνεια του ταμιευτήρα που λαμβάνεται ίση με εκείνη της αρχής του κάθε μήνα.

Η βροχόπτωση στη επιφάνεια των ταμιευτήρων σε mm θεωρήθηκε ως γραμμική συναάρτηση της απορροής της λεκάνης που τροφοδοτεί τον ταμιευτήρα. Η συσχέτιση των δύο αυτών υδρολογικών μεγεθών βρέθηκε αρκετά υψηλή, γεγονός που επιτρέπει την ασφαλή χρήση μίας γραμμικής σχέσης βροχής απορροής για κάθε μήνα του έτους ξεχωριστά. Η προσέγγιση αυτή αποδείχτηκε ικανοποιητική (Ναλμπάντης, 1990, Κουτσογιάννης κ.ά, 1990γ). Οι σχετικές εξισώσεις που έχουν αντληθεί από τους Κουτσογιάννη κ.ά. (1990γ), βασίστηκαν σε δεδομένα μέχρι το 1988 και δεν αναθεωρήθηκαν με βάση τα νεότερα δεδομένα καθόσον η επιρροή της βροχής στο ισοζύγιο των ταμιευτήρων είναι μικρή, όπως ήδη αναφέρθηκε παραπάνω.

Σε ότι αφορά στην εξάτμιση, θεωρήθηκε μόνο η μεταβολή της εντός του έτους (12 μέσες μηνιαίες τιμές) χωρίς να παραχθεί πλήρης χρονοσειρά για όλα τα έτη της προσομοίωσης. Αυτό μπορεί να γίνει γενικά παραδεκτό αφού η διασπρόρα των μηνιαίων εξατμίσεων είναι πολύ μικρή.

Αποθέματα ασφαλείας

Κατά την προσομοίωση του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας λήφθηκε πρόνοια για διατήρηση αποθεμάτων ασφαλείας έναντι βλαβών στους αγωγούς μεταφοράς. Η πρόβλεψη τέτοιων αποθεμάτων αφορά κύρια στη λίμνη Υλίκη αφού ο ταμιευτήρας Μόρνου έχει μεγάλα νεκρά αποθέματα που παρέχουν κάποια ασφαλεία έναντι του ενδεχόμενου βλάβης του

Υδραγωγείου Υλίκης. Βεβαίως σε κάθε περίπτωση βλάβης ασφάλεια παρέχουν και τα αποθέματα του ταμιευτήρα Μαραθώνα, ο οποίος θεωρήθηκε ότι εξυπηρετεί μόνο έκτακτες ανάγκες του υδροδοτικού συστήματος και δεν έχει ρυθμιστικό ρόλο. Στη Λίμνη Υλίκη θεωρήθηκε ότι παραμένει πάντα απόθεμα για κάλυψη των αναγκών της Αθήνας επί τρίμηνο καθώς και για της εξασφάλιση των απαραίτητων ποσοτήτων αρδευτικού νερού που διατίθενται για άρδευση του Κωπαϊδικού Πεδίου. Ο κανόνας λειτουργίας του συστήματος που λαμβάνει υπόψη την τήρηση των παραπάνω αποθεμάτων περιγράφεται από τον *Ναλμπάντη* (1990, σ. 71-73). Σημειώνεται πάντως ότι στην περίπτωση επερχόμενης αστοχίας του συστήματος τα αποθέματα ασφαλείας λαμβάνονται και αυτά για τις υδρευτικές ανάγκες της Αθήνας.

Κατώτατες στάθμες υδροληψίας

Στον ταμιευτήρα Μόρνου ως ελάχιστη στάθμη λειτουργίας θεωρήθηκε η στάθμη +362 m που αντιστοιχεί σε νεκρό όγκο 40 hm^3 και ωφέλιμο όγκο 722 hm^3 . Η στάθμη αυτή θα πρέπει να είναι επιτεύξιμη με τον κατάλληλο μηχανικό εξοπλισμό πλωτών αντλιοστασίων. Αντίστοιχα στην Υλίκη θεωρήθηκε ελάχιστη στάθμη στα +43 m που αντιστοιχεί σε νεκρό όγκο 10 hm^3 και ωφέλιμο όγκο 587 hm^3 .

Αρχικές συνθήκες

Οι προσομοιώσεις του συστήματος ξεκινούν την 1η Απριλίου 1992. Τα αρχικά αποθέματα του συστήματος κατά την ημερομηνία αυτή φαίνονται στον Πίνακα 1. Επίσης ως αρχικές συνθήκες για το μοντέλο προσομοίωσης θεωρούνται και οι εισροές του τρέχοντος υδρολογικού έτους μέχρι το μήνα που αρχίζει η προσομοίωση (1η Απριλίου). Αυτό απαιτείται για τη λειτουργία του υδρολογικού μοντέλου το οποίο ως Μαρκοβιανό χρησιμοποιεί παλιές τιμές της απορροής προκειμένου να προχωρήσει σε παραγωγή μελλοντικών τιμών της. Οι αντίστοιχες τιμές φαίνονται στον Πίνακα 5.

Πίνακας 5 Μηνιαίες εισροές στους ταμιευτήρες στο τρέχον υδρολογικό έτος 1991-92 (σε hm^3)

	Οκτ	Νοε	Δεκ	Ιαν	Φεβ	Μαρ
Μόρνος	0.00	17.31	2.90	4.49	4.48	7.48
Β. Κηφισός στη Σήραγγα Καρδίτσας	10.96	15.42	20.00	20.83	23.18	27.00

7. ΤΕΛΙΚΕΣ ΕΚΤΙΜΗΣΕΙΣ

Με συνδυασμούς των σεναρίων της παραγράφου 5 σχηματίστηκαν τα τελικά σενάρια λειτουργίας του υδροδοτικού συστήματος που παρουσιάζονται στον Πίνακα 6. Από αυτά τα τρία αναφέρονται σε κανονικές υδρολογικές συνθήκες και τα έξι σε συνθήκες ξηρασίας. Στον Πίνακα αυτό για κάθε σενάριο φαίνονται (α) οι κύριες και δευτερεύουσες παραδοχές που σχηματίζουν το σενάριο, (β) τα συνοπτικά μέσα ισοζύγια σε χρονική βάση μιας δεκαετίας από σήμερα και (γ) οι πιθανότητες αστοχίας του συστήματος, μερικές και αθροιστικές, για κάθε ένα από τα επόμενα πέντε υδρολογικά έτη. Εννοείται ότι οι ομάδες στοιχείων (β) και (γ) είναι τα αποτελέσματα του μοντέλου προσομοίωσης του υδροδοτικού συστήματος. Για όλα τα σενάρια οι πιθανότητες αστοχίας απεικονίζονται γραφικά στο Σχήμα 5. Επί πλέον τα μέσα συνοπτικά ισοζύγια των σεναρίων ξηρασίας απεικονίζονται στο Σχήμα 6.

Με βάση τον Πίνακα 6 ή το Σχήμα 5 συμπεραίνουμε ότι υπό κανονικές υδρολογικές συνθήκες το υδροδοτικό σύστημα αναμένεται να είναι επαρκές για τα σημερινά επίπεδα κατανάλωσης αν ενισχύεται με 150 hm³ υπόγειου νερού ετησίως (Σενάριο 2). Αν η ποσότητα ενίσχυσης είναι μικρότερη (Σενάριο 3) θα πρέπει να γίνει μείωση της κατανάλωσης. Τα Σενάρια 4 και 5 δείχνουν ότι, υπό συνθήκες συνέχισης της ξηρασίας, χωρίς δραστική μείωση της κατανάλωσης το σύστημα θα οδηγηθεί σε αστοχία με πολύ μεγάλη πιθανότητα που φτάνει μέχρι 75 %. Αν το σύστημα ενισχύεται με 120 hm³ υπόγειου νερού ετησίως σε συνθήκες ξηρασίας και η κατανάλωση μειωθεί στα 260 - 275 hm³ (κατανάλωση στα διυλιστήρια για το 1991-92 - αντιστοιχεί σε περίπου 270 - 285 hm³ για το 1992-93) τότε αναμένεται να επανακτήσει την αξιοπιστία του (Σενάρια 7 και 8). Η μείωση της κατανάλωσης θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη αν δεν επιτευχθεί η ενίσχυση των 120 hm³ ετησίως (Σενάριο 9).

Από το Σχήμα 6, στο οποίο, για κάθε σενάριο, επιμερίζεται η ολική εισροή των 358 hm³ στους ταμιευτήρες, προκύπτει μια σημαντική παρατήρηση που αφορά στα αποθέματα των ταμιευτήρων. Όλα τα ασφαλή σενάρια για συνθήκες ξηρασίας δείχνουν ότι πρέπει να εξασφαλίζεται μια μέση ετήσια αύξηση των αποθεμάτων των ταμιευτήρων κατά περίπου 50 hm³. Επιπλέον τα ασφαλή σενάρια συμβαδίζουν με σημαντικές απώλειες εξάτμισης και διαφυγών, πράγμα που είναι αναγκαστικό τίμημα για την εξασφάλιση ικανοποιητικής αξιοπιστίας του συστήματος.

Πίνακας 6 Πιθανά μέσα υδατικά ισοζύγια και πιθανότητες αστοχίας του υδροδοτικού συστήματος την επόμενη πενταετία

	ΣΕΝΑΡΙΟ 1	ΣΕΝΑΡΙΟ 2	ΣΕΝΑΡΙΟ 3	
A. ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ				
Καθεστώς εισροής	Κανονικό	Κανονικό	Κανονικό	
Κατανάλωση 1991-92 (hm ³)				
στα διυλιστήρια	350	350	305	
στις πηγές	380	380	330	
Ετήσια αύξηση κατανάλωσης (%)	3	3	3	
Ετήσια απόληψη Κωπαΐδας (hm ³)	15	15	15	
Αρχικά ωφέλ. αποθέματα Μόρνου (hm ³)	162	162	162	
Αρχικά ωφέλ. αποθέματα Υλίκης (hm ³)	118	118	118	
Νεκρός όγκος Μόρνου (hm ³)	40	40	40	
Νεκρός όγκος Υλίκης (hm ³)	10	10	10	
Ετήσια ενίσχυση από γεωτρήσεις στον υδαταγωγό Μόρνου				
α) Οκτ-Απρ (hm ³)	30	35	30	
β) Μάιος-Σεπ (hm ³)	0	25	0	
Ετήσια ενίσχυση από γεωτρήσεις στον υδαταγωγό Υλίκης Οκτ-Σεπ (hm ³)	70	90	70	
Συνολ. ετήσια ενίσχυση (hm ³)	100	150	100	
B. ΜΕΣΑ ΕΤΗΣΙΑ ΙΣΟΖΥΓΙΑ[†] (hm³)				
	Μόρνος	Υλίκη Μόρνος	Υλίκη Μόρνος	Υλίκη
Σύνολο εισροών	299	299	299	299
Απορροή	288	293	287	293
Βροχόπτωση	11	6	12	6
Σύνολο εκροών	299	299	299	299
' Υδρευση	195	142	171	123
' Αρδευση	0	15	0	15
Εξάτμιση	21	23	23	24
Υπόγεια διαφυγή	10	89	11	98
Υπερχείλιση	22	5	40	8
Διαφορά αποθέματος	51	25	54	31
Ενίσχυση	30	70	60	70
Γ. ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΕΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ (%)				
	Μερική	Ολική	Μερική	Ολική
Υδρ. έτος 1991-92	0.0	0.0	0.0	0.0
Υδρ. έτος 1992-93	1.8	1.8	<0.2	<0.2
Υδρ. έτος 1993-94	2.8	3.2	0.4	0.4
Υδρ. έτος 1994-95	3.0	4.2	0.4	0.6
Υδρ. έτος 1995-96	1.2	4.4	0.2	0.6
Υδρ. έτος 1996-97	0.2	4.4	0.2	0.6

[†] Τα μέσα ισοζύγια αναφέρονται σε χρονική βάση μιας δεκαετίας από σήμερα

Πίνακας 6 (συνέχεια) Πιθανά μέσα υδατικά ισοζύγια και πιθανότητες αστοχίας του υδροδοτικού συστήματος την επόμενη πενταετία

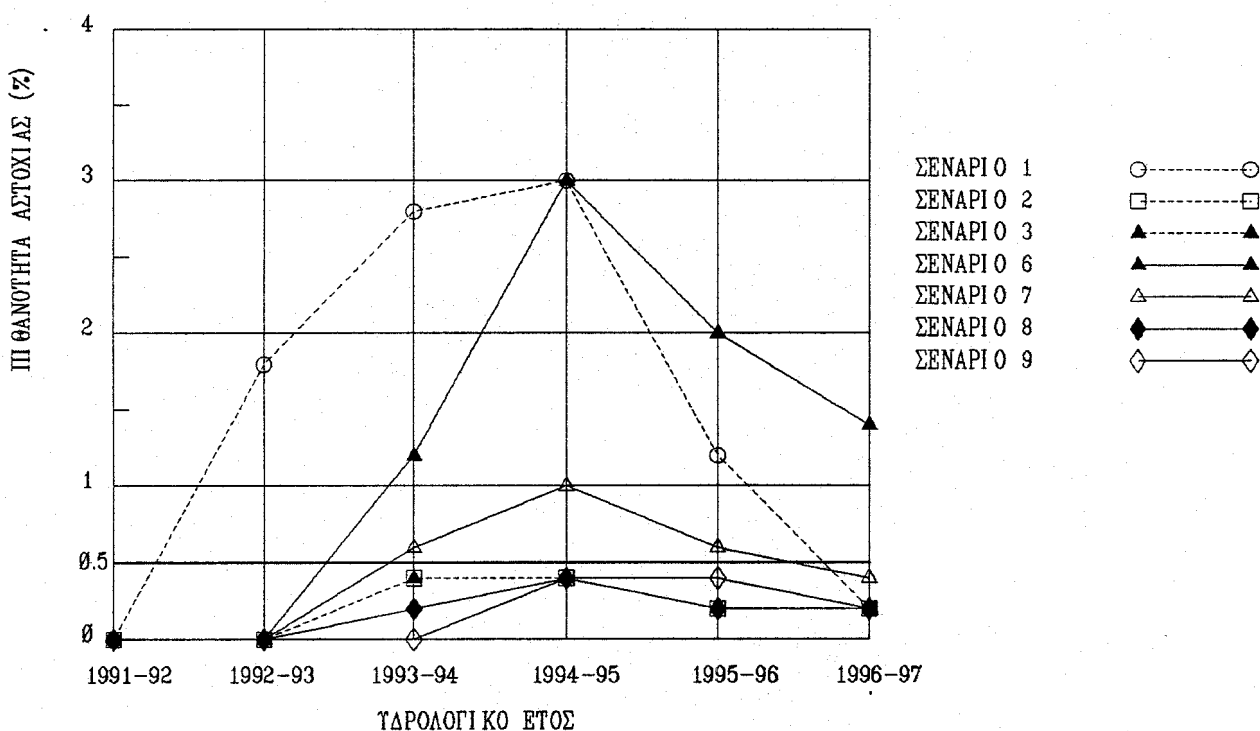
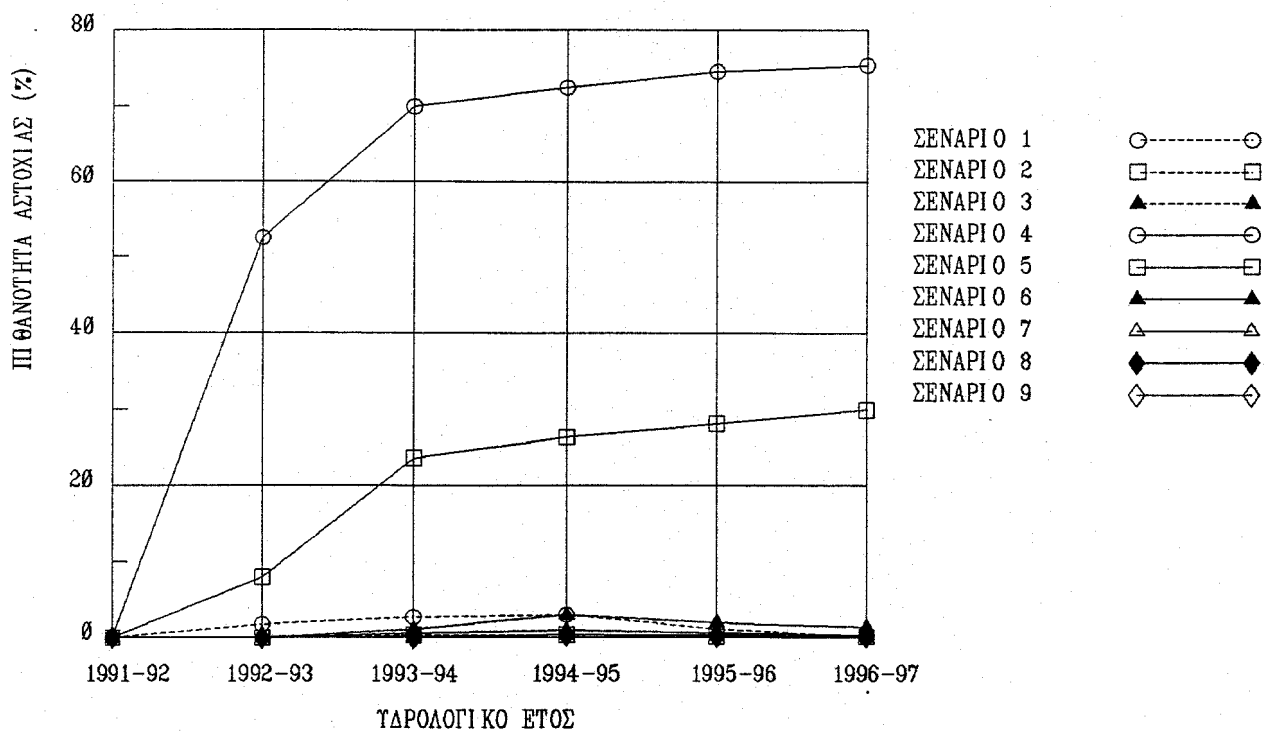
	ΣΕΝΑΡΙΟ 4	ΣΕΝΑΡΙΟ 5	ΣΕΝΑΡΙΟ 6	
A. ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ				
Καθεστώς εισροής	Ξηρασία	Ξηρασία	Ξηρασία	
Κατανάλωση 1991-92 (hm ³)				
στα διυλιστήρια	350	290	290	
στις πηγές	380	315	315	
Ετήσια αύξηση κατανάλωσης (%)	3	3	3	
Ετήσια απόληψη Κωπαΐδας (hm ³)	15	15	0	
Αρχικά ωφέλ. αποθέματα Μόρνου (hm ³)	162	162	162	
Αρχικά ωφέλ. αποθέματα Υλίκης (hm ³)	118	118	118	
Νεκρός όγκος Μόρνου (hm ³)	40	40	40	
Νεκρός όγκος Υλίκης (hm ³)	10	10	10	
Ετήσια ενίσχυση από γεωτρήσεις στον υδαταγωγό Μόρνου				
α) Οκτ-Απρ (hm ³)	18	18	28	
β) Μάιος-Σεπ (hm ³)	0	0	20	
Ετήσια ενίσχυση από γεωτρήσεις στον υδαταγωγό Υλίκης Οκτ-Σεπ (hm ³)	42	42	72	
Συνολ. ετήσια ενίσχυση (hm ³)	60	60	120	
B. ΜΕΣΑ ΕΤΗΣΙΑ ΙΣΟΖΥΓΙΑ[†] (hm³)				
	Μόρνος	Υλίκη Μόρνος	Υλίκη Μόρνος	Υλίκη
Σύνολο εισροών	179	179	179	179
Απορροή	176	176	174	176
Βροχόπτωση	3	3	5	3
Σύνολο εκροών	179	179	179	179
Υδρευση	178	125	165	129
Αρδευση	0	7	0	0
Εξάτμιση	1	14	11	14
Υπόγεια διαφυγή	1	34	3	8
Υπερχείλιση	0	0	0	3
Διαφορά αποθέματος	-1	-1	0	31
Ενίσχυση	18	42	18	48
Γ. ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΕΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ (%)				
	Μερική	Ολική	Μερική	Ολική
Υδρ. έτος 1991-92	0.0	0.0	0.0	0.0
Υδρ. έτος 1992-93	52.6	52.6	8.0	8.0
Υδρ. έτος 1993-94	70.0	71.4	23.6	24.2
Υδρ. έτος 1994-95	72.4	81.0	26.4	32.0
Υδρ. έτος 1995-96	74.6	87.7	28.2	39.2
Υδρ. έτος 1996-97	75.4	90.8	30.0	45.0

[†] Τα μέσα ισοζύγια αναφέρονται σε χρονική βάση μιας δεκαετίας από σήμερα

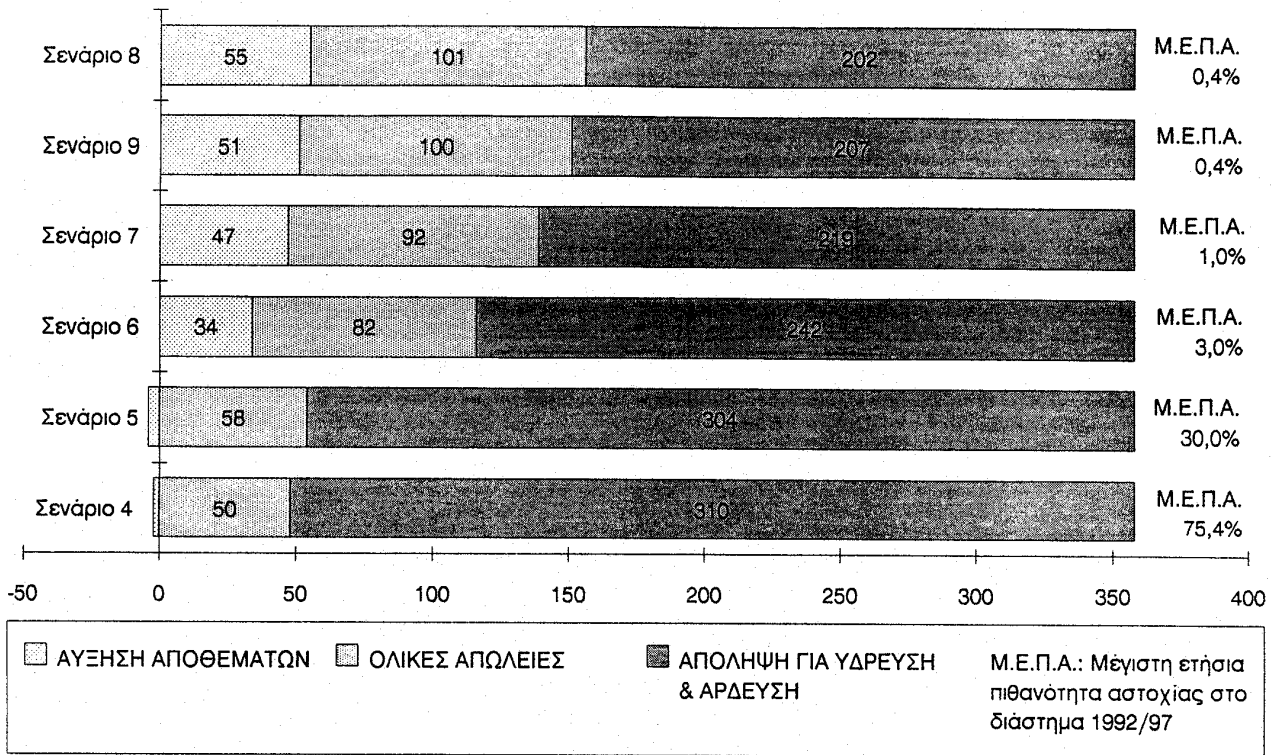
Πίνακας 6 (συνέχεια) Πιθανά μέσα υδατικά ισοζύγια και πιθανότητες αστοχίας του υδροδοτικού συστήματος την επόμενη πενταετία

	ΣΕΝΑΡΙΟ 7	ΣΕΝΑΡΙΟ 8	ΣΕΝΑΡΙΟ 9	
A. ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ				
Καθεστώς εισροής	Ξηρασία	Ξηρασία	Ξηρασία	
Κατανάλωση 1991-92 (hm ³)				
στα διυλιστήρια	275	260	200	
στις πηγές	295	280	220	
Ετήσια αύξηση κατανάλωσης (%)	3	3	3	
Ετήσια απόληψη Κωπαίδας (hm ³)	0	0	15	
Αρχικά ωφέλ. αποθέματα Μόρνου (hm ³)	162	162	162	
Αρχικά ωφέλ. αποθέματα Υλίκης (hm ³)	118	118	118	
Νεκρός όγκος Μόρνου (hm ³)	40	40	40	
Νεκρός όγκος Υλίκης (hm ³)	10	10	10	
Ετήσια ενίσχυση από γεωτρήσεις στον υδαταγωγό Μόρνου				
α) Οκτ-Απρ (hm ³)	28	28	18	
β) Μάιος-Σεπ (hm ³)	20	20	0	
Ετήσια ενίσχυση από γεωτρήσεις στον υδαταγωγό Υλίκης Οκτ-Σεπ (hm ³)	72	72	42	
Συνολ. ετήσια ενίσχυση (hm ³)	120	120	60	
B. ΜΕΣΑ ΕΤΗΣΙΑ ΙΣΟΖΥΓΙΑ[†] (hm³)				
	Μόρνος	Υλίκη Μόρνος	Υλίκη Μόρνος	Υλίκη
Σύνολο εισροών	179	179	179	179
Απορροή	172	176	172	176
Βροχόπτωση	7	3	7	3
Σύνολο εκροών	179	179	179	179
'Υδρευση	100	119	87	115
'Αρδευση	0	0	0	0
Εξάτμιση	20	15	21	16
Υπόγεια διαφυγή	10	39	10	41
Υπερχείλιση	8	0	13	0
Διαφορά αποθέματος	41	6	48	7
Ενίσχυση	48	72	48	18
Γ. ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΕΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ (%)				
	Μερική	Ολική	Μερική	Ολική
Υδρ. έτος 1991-92	0.0	0.0	0.0	0.0
Υδρ. έτος 1992-93	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
Υδρ. έτος 1993-94	0.6	0.6	0.2	<0.2
Υδρ. έτος 1994-95	1.0	1.0	0.4	0.4
Υδρ. έτος 1995-96	0.6	1.0	0.2	0.6
Υδρ. έτος 1996-97	0.4	1.0	0.2	0.6

[†] Τα μέσα ισοζύγια αναφέρονται σε χρονική βάση μιας δεκαετίας από σήμερα



Σχήμα 5 Ετήσιες πιθανότητες αστοχίας του υδροδοτικού συστήματος για τα διάφορα σενάρια που εξετάστηκαν



Σχήμα 6 Συνοπτικά μέσα ισοζύγια σε χρονική βάση μιας δεκαετίας από σήμερα για τα σενάρια ξηρασίας που εξετάστηκαν

8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

1. Χωρίς να είναι αντικειμενικά δυσμενέστερη η κατάσταση του υδροδοτικού συστήματος σήμερα σε σχέση με το κρίσιμο υδρολογικό έτος 1989-90, η επανάληψη της ξηρασίας φέτος δημιουργεί φόβους ότι έχουμε εισέλθει είτε σε προσωρινή περίοδο ξηρασίας, είτε σε μονιμότερη κλιματική αλλαγή με μειωμένους ρυθμούς απορροής.
2. Το κλίμα της περιοχής Υλικής/Βοιωτικού Κηφισού δεν χαρακτηρίζεται από σταθερότητα, δεδομένου ότι διαπιστώνονται βαθμιαίες αλλά μακροχρόνιες στατιστικά σημαντικές τάσεις της βροχής και απορροής.
3. Η τελευταία πενταετία χαρακτηρίζεται από στατιστικά σημαντική μείωση των απορροών στις δύο λεκάνες χωρίς αντιστοιχού βαθμού μείωση των ετήσιων

βροχοπτώσεων. Όμως, η κατανομή των βροχοπτώσεων στο έτος εμφανίζεται αισθητά διαφοροποιημένη, πράγμα που δικαιολογεί τη μείωση των απορροών.

4. Η συνέχιση των φαινομένων ξηρασίας και στα επόμενα χρόνια δεν μπορεί να αποκλειστεί. Η πιθανότητα συνέχισης της ξηρασίας δεν μπορεί να εκτιμηθεί ποσοτικά αλλά πάντως δεν είναι αμελητέα.
5. Αν η υδρολογική διαίτα των λεκανών επανέλθει στα προ της τελευταίας πενταετίας επίπεδα τότε το υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας αναμένεται να είναι επαρκώς αξιόπιστο, υπό την προϋπόθεση ότι ενισχύεται από υδροληψίες υπόγειου νερού κατά 150 hm³.
6. Σε ενδεχόμενη συνέχιση της ξηρασίας το σύστημα των δύο ταμειυτήρων δεν θα μπορέσει να αποδώσει με ασφάλεια άνω των 200-220 hm³ ετησίως κατά μέσο όρο για ύδρευση και άρδευση. Υπό τις συνθήκες αυτές και με ενίσχυση κατά 120 hm³ ετησίως η κατανάλωση της Αθήνας θα πρέπει να μειωθεί στα 270-285 hm³ ετησίως (για το 1992-93), προκειμένου να ανακτήσει το σύστημα επαρκή αξιοπιστία σε συνθήκες ξηρασίας.

Αναγνωρίσεις

Τα ιστορικά δείγματα που χρησιμοποιήθηκαν στα πλαίσια της εργασίας αυτής βασίζονται σε δεδομένα σταθμών του ΥΠΕΧΩΔΕ, της ΕΥΔΑΠ και της ΕΜΥ και προέρχονται από τις Εκθέσεις του Ερευνητικού Έργου *Διερεύνηση προσφερομένων δυνατοτήτων για την ενίσχυση της ύδρευσης μείζονος περιοχής Αθηνών* που εκπονήθηκε από ομάδα του Τομέα Υδατικών Πόρων του ΕΜΠ με επιστημονικό υπεύθυνο τον καθηγητή Θ. Ξανθόπουλο. Τα δείγματα αυτά συμπληρώθηκαν με τα πιο πρόσφατα δεδομένα των σταθμών του ΥΠΕΧΩΔΕ, της ΕΥΔΑΠ και τις ΕΜΥ. Εκφράζονται ευχαριστίες προς τους φορείς αυτούς για τη χορήγηση των δεδομένων καθώς και στις Π. Αναστασοπούλου, Κ. Αλεξοπούλου και Χ. Ανυφαντή για τη συμβολή τους στην επεξεργασία των δεδομένων. Επίσης εκφράζονται προσωπικές ευχαριστίες στον Πρόεδρο της ΕΥΔΑΠ καθηγητή Δ. Χριστούλα και στο Διευθυντή Δ6 του ΥΠΕΧΩΔΕ Ι. Λεονταρίτη για τη συνεργασία τους στην κατάρτιση των σεναρίων που εξετάστηκαν στην εργασία αυτή.

Αναφορές

- Askew, A.J. (1991), Climate and water - A call for international action, *Hydrological Sciences Journal*, 36(4) 391-404.
- Chow, V.T., Maidment, D.R. & Mays, L.W. (1988), *Applied Hydrology*, McGraw-Hill, USA.
- Dyck, S. (1990), *Angewandte Hydrologie*, Teil 1, Verlag von Wilhelm Ernst & Son, Berlin.
- National Research Council (NRC), Commission on Geosciences, Environment and Resources, Water Science and Technology Board, Committee on Opportunities in the Hydrologic Sciences (1991), *Opportunities in the hydrologic sciences*, National Academy Press, Washington, USA.
- Klemeš, V. (1974) The Hurst phenomenon - A puzzle?, *Water Resources Research*, 10, 675-688.
- Kottegoda, N.T. (1980) *Stochastic water resources technology*, MacMillan Press, Hong Kong.
- Nalbantis, I., Koutsoyiannis, D. & Xanthopoulos, Th. (1992) Modeling the Athens water supply system, *Water Resources Management*, in press.
- Potter, K.W. (1976), Evidence for nonstationarity as a physical explanation of the Hurst phenomenon, *Water Resources Research*, 12, 1047-1052.
- Potter, K.W. (1979), Annual precipitation in the Northeast United States - Long memory, short memory or no memory? *Water Resources Research*, 15, 340-346.
- Spiegel, M.R. (1975) *Probability and Statistics*, Schaum's outline series, McGraw-Hill, USA.
- World Meteorological Organization (WMO) (1983), *Guide to hydrological practices, Vol. II, Analysis, forecasting and other applications*, Fourth Edition, WMO No 1688, Geneva, Switzerland.
- Κουτσογιάννης, Δ. & Ξανθόπουλος Θ. (1990) Αξιοπιστία και ασφάλεια του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας, στο *Προοπτικές επίλυσης του υδροδοτικού προβλήματος της Αθήνας*, Πρακτικά της ημερίδας της ΕΕΔΥΠ, εκδόσεις Γ. Φούντας, Αθήνα.
- Κουτσογιάννης, Δ., Ξανθόπουλος, Θ. & Αφτιάς Ε. (1990α) *Διερεύνηση προσφερομένων δυνατοτήτων για την ενίσχυση της ύδρευσης μείζονος περιοχής Αθηνών*, Τεύχος 18, Τελική Έκθεση, ΕΜΠ, Αθήνα.
- Κουτσογιάννης, Δ., Μαμάσης, Ν. & Ναλμπάντης Ι. (1990β) *Διερεύνηση προσφερομένων δυνατοτήτων για την ενίσχυση της ύδρευσης μείζονος περιοχής Αθηνών*, Τεύχος 13, Στοχαστική προσομοίωση υδρολογικών μεταβλητών, ΕΜΠ, Αθήνα.

- Κουτσογιάννης, Δ., Ναλμπάντης, Ι. & Τσολακίδης Κ. (1990γ) *Διερεύνηση προσφερομένων δυνατοτήτων για την ενίσχυση της ύδρευσης μείζονος περιοχής Αθηνών*, Τεύχος 16, Προγραμματισμός λειτουργίας του σημερινού υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας, ΕΜΠ, Αθήνα.
- Μαμάσης, Ν., Ρώτη, Σ., Κουτσογιάννης, Δ. & Ξανθόπουλος Θ. (1990) *Υδρολογικά χαρακτηριστικά λεκανών Μόρνου, Ευήνου και Υλίκης, στο Προοπτικές επίλυσης του υδροδοτικού προβλήματος της Αθήνας*, Πρακτικά της ημερίδας της ΕΕΔΥΠ, εκδόσεις Γ. Φούντας, Αθήνα.
- Ναλμπάντης Ι. (1990) *Διερεύνηση προσφερομένων δυνατοτήτων για την ενίσχυση της ύδρευσης μείζονος περιοχής Αθηνών*, Τεύχος 14, Μοντελοποίηση υδροδοτικού συστήματος, ΕΜΠ, Αθήνα.
- ΥΠΕΧΩΔΕ, Διεύθυνση Έργων Ύδρευσης & Αποχέτευσης (1992), *Υπόμνημα για την κατάσταση του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας καθώς και προφορικές συζητήσεις με τη Διεύθυνση*.