

**ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ &
ΔΗΜΟΣΙΩΝ ΕΡΓΩΝ**

ΓΕΝΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΔΗΜΟΣΙΩΝ ΕΡΓΩΝ
Δ/ΝΣΗ ΕΡΓΩΝ ΥΔΡΕΥΣΗΣ & ΑΠΟΧΕΤΕΥΣΗΣ

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ - ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ
& ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΕΡΓΩΝ

**MINISTRY OF ENVIRONMENT, REGIONAL
PLANNING & PUBLIC WORKS**

GENERAL SECRETARIAT OF PUBLIC WORKS
SECRETARIAT OF WATER SUPPLY & SEWAGE

NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
DIVISION OF WATER RESOURCES - HYDRAULIC
& MARITIME ENGINEERING

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΕΡΓΟ
ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΩΝ ΥΔΑΤΙΚΩΝ
ΠΟΡΩΝ ΤΗΣ ΣΤΕΡΕΑΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

ΦΑΣΗ Β

ΤΕΥΧΟΣ 16
ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΤΑΡΤΙΣΗΣ
ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΙΣΟΖΥΓΙΩΝ

RESEARCH PROJECT
EVALUATION AND MANAGEMENT OF THE
WATER RESOURCES OF STEREA HELLAS

PHASE B

VOLUME 16
METHODOLOGY OF WATER
BALANCE ANALYSIS

ΣΥΝΤΑΞΗ: Ι. ΝΑΛΜΠΑΝΤΗΣ
ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΣ ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ: Θ. ΞΑΝΘΟΠΟΥΛΟΣ
ΚΥΡΙΟΣ ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Δ. ΚΟΥΤΣΟΓΙΑΝΝΗΣ

BY: I. NALBANTIS
SCIENTIFIC DIRECTOR: TH. XANTHOPOULOS
PRINCIPAL INVESTIGATOR: D. KOUTSOYIANNIS

ΑΘΗΝΑ - ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 1995

ATHENS - SEPTEMBER 1995

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΤΑΡΤΙΣΗΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΙΣΟΖΥΓΙΩΝ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	iii
ABSTRACT.....	iii
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1 Ιστορικό - Στόχος του τεύχους.....	1
1.2 Ορισμοί.....	1
1.3 Χρησιμότητα υδατικών ισοζυγίων.....	2
2. ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΙΣΟΖΥΓΙΩΝ.....	4
3. ΠΟΡΕΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ.....	8
3.1 Επιλογή γεωγραφικών ορίων.....	8
3.1.1 Υδρολογικά όρια.....	8
3.1.2 Διοικητικά όρια.....	9
3.2 Επιλογή χρονικής περιόδου για την ανάλυση.....	9
3.2.1 Ιστορική περίοδος έντονης ξηρασίας.....	9
3.2.2 Πρόσφατη χρονική περίοδος.....	10
3.2.3 Μελλοντική περίοδος.....	10
3.2.4 Διάρκεια χρονικής περιόδου ανάλυσης.....	10
3.3 Επιλογή χρονικής κλίμακας.....	11
3.4 Εντοπισμός κύριων συνιστωσών.....	11
3.5 Κατάστρωση εξίσωσης υδατικού ισοζυγίου.....	12
3.6 Δεδομένα υδατικών ισοζυγίων.....	13
3.7 Πηγές σφαλμάτων στα υδατικά ισοζύγια.....	14
4. ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΚΥΡΙΩΝ ΣΥΝΙΣΤΩΣΩΝ ΕΝΟΣ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ.....	16
4.1 Συνιστώσες φυσικής προσφοράς νερού.....	16
4.1.1 Βροχόπτωση.....	16
4.1.2 Απορροή υδατορευμάτων.....	17

4.1.3	Αποθέματα επιφανειακού νερού.....	18
4.1.4	Απολήψεις (αντλήσεις) από υπόγεια νερά.....	19
4.1.5	Αποθέματα υπόγειου νερού.....	20
4.1.6	Νερό από μεταφορά από άλλες λεκάνες.....	20
4.1.7	Ροή επιστροφής.....	21
4.1.8	Υφάλμυρο νερό.....	21
4.2	Συνιστώσες χρήσεων νερού.....	21
4.2.1	Αρδευτικό νερό.....	21
4.2.2	Υδρευτικό νερό.....	23
4.2.3	Νερό βιομηχανικών χρήσεων.....	23
4.2.4	Δικαιώματα χρήσης νερού.....	24
4.2.5	Απαιτούμενη ελάχιστη εξασφαλισμένη παροχή.....	24
4.2.6	Απώλειες λόγω εξάτμισης και διήθησης.....	25
5.	ΤΡΟΠΟΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΙΣΟΖΥΓΙΩΝ.....	26
5.1	Όρια περιοχής μελέτης.....	26
5.2	Μεμονωμένες συνιστώσες υδατικών ισοζυγίων και μεταβολή τους στον χώρο και το χρόνο.....	27
5.3	Σχέση μεταξύ των συνιστωσών ενός υδατικού ισοζυγίου.....	28
5.4	Αποτελέσματα υδατικών ισοζυγίων - Παραδείγματα.....	30
	ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	36
A.	Στην ελληνική γλώσσα.....	36
B.	Σε ξένες γλώσσες.....	37

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στο τεύχος αυτό παρουσιάζεται μια γενική μεθοδολογία κατάρτισης υδατικών ισοζυγίων. Καθορίζονται οι συνιστώσες ενός υδατικού ισοζυγίου και περιγράφεται η πορεία των υπολογισμών που αφορά την επιλογή των γεωγραφικών ορίων, της χρονικής περιόδου για την ανάλυση και της χρονικής κλίμακας, τον εντοπισμό των κύριων συνιστωσών του ισοζυγίου και τέλος την κατάστροψη της εξίσωσης του ισοζυγίου. Δίνονται επίσης στοιχεία σχετικά με τα δεδομένα των διαφόρων συνιστωσών, τις πηγές σφαλμάτων σε αυτά καθώς και τους τρόπους εκτίμησης των μεγεθών που δε μετρούνται άμεσα. Τέλος αναλύονται οι τρόποι παρουσίασης των δεδομένων και των αποτελεσμάτων ενός υδατικού ισοζυγίου και δίνονται παραδείγματα από δεδομένα του ελληνικού χώρου.

ABSTRACT

A general methodology for preparing water balances is presented. Water balance components are defined and the calculation steps are described. These concern the selection of the geographical boundaries, period of the analysis and time scale, the selection of the water balance components that are significant and, finally, writing the water balance equation. The availability of data and the related sources of error are also discussed along with methods of estimation for the components that are not directly measured. Finally, methods of presentation of water balance data and results are described and illustrated with examples from Greek real-world cases.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Ιστορικό - Στόχος του τεύχους

Το τεύχος αυτό γράφηκε για τις ανάγκες της Β φάσης του ερευνητικού προγράμματος “Εκτίμηση και διαχείριση των υδατικών πόρων της Στερεάς Ελλάδας” που ανατέθηκε από το Υπουργείο Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημόσιων Έργων σε ερευνητική ομάδα του Τομέα Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων του ΕΜΠ με την από 8-9-1993 απόφαση του Υπουργού ΠΕΧΩΔΕ. Επιστημονικός Υπεύθυνος του έργου ήταν ο καθηγητής στο ΕΜΠ Θ. Ξανθόπουλος και διαχειριστής του έργου ο Δ. Κουτσογιάννης, επίκουρος καθηγητής στο ΕΜΠ.

Το τεύχος καλύπτει το συμβατικό αντικείμενο της εργασίας 2δ του έργου όπως αυτό περιγράφεται στο παράρτημα της απόφασης ανάθεσης. Αποτελεί ένα εγχειρίδιο για την κατάρτιση υδατικών ισοζυγίων στην περιοχή της Στερεάς Ελλάδας που είναι και η περιοχή μελέτης στο ερευνητικό έργο. Παράλληλα, φιλοδοξεί να αποτελέσει ένα εγχειρίδιο για γενικευμένη χρήση σε προβλήματα κατάρτισης υδατικών ισοζυγίων και σε άλλες περιοχές.

Το τεύχος περιλαμβάνει έξι κεφάλαια. Στο Κεφάλαιο 1 ορίζονται στην αρχή οι όροι που χρησιμοποιούνται και στη συνέχεια παρουσιάζονται οι πιθανές χρήσεις ενός υδατικού ισοζυγίου. Στο Κεφάλαιο 2 δίνονται συνοπτικά όλες οι μεταβλητές του προβλήματος καθώς και οι υπηρεσίες που πραγματοποιούν μετρήσεις για τις μεταβλητές αυτές στον ελληνικό χώρο. Τα Κεφάλαια 3 και 4 αφορούν την πορεία των υπολογισμών που κατά την κατάρτιση ενός υδατικού ισοζυγίου ενώ στο Κεφάλαιο 5 δίνονται διάφοροι εναλλακτικοί τρόποι παρουσίασης των δεδομένων και των αποτελεσμάτων ενός υδατικού ισοζυγίου στον τελικό χρήστη μαζί με πραγματικά παραδείγματα από τον ελληνικό χώρο.

1.2 Ορισμοί

Ως υδατικό ισοζύγιο ορίζεται η συστηματική παρουσίαση δεδομένων σχετικών με τη φυσική προσφορά αλλά και τη χρήση του νερού σε μια συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή και μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο (U.S Army Corps of Engineers, 1980). Ο γενικός αυτός ορισμός περιλαμβάνει όλες τις μορφές με τις οποίες εμφανίζεται το νερό στην περιοχή μελέτης δηλαδή το τμήμα εκείνο του υδρολογικού κύκλου που αφορά την περιοχή αυτή. Είναι όμως δυνατό να χρησιμοποιούνται επιλεκτικά μερικές μόνον συνιστώσες του υδρολογικού κύκλου. Για παράδειγμα, στην περίπτωση απευθείας απολήψεων από υδατόρευμα εξετάζεται μόνον η απορροή του υδατορεύματος ενώ τα μεγέθη της βροχόπτωσης στη λεκάνη του υδατορεύματος και της διήθη-

σης στο έδαφος της λεκάνης αυτής παραλείπονται. Η επιλεκτική αυτή χρήση μεγεθών του υδρολογικού κύκλου αφορά και τις χρήσεις νερού δηλαδή τα μεγέθη του υδρολογικού κύκλου που σχετίζονται άμεσα με ανθρώπινες επεμβάσεις στις φυσικές διεργασίες του κύκλου αυτού. Ως παράδειγμα αναφέρουμε τη μεταφορά νερού από μια λεκάνη απορροής σε μια άλλη. Είναι δυνατόν οι ποσότητες που μεταφέρονται να θεωρηθούν αμελητέες σε σχέση με άλλα μεγέθη και να παραλειφθούν κατά την κατάρτιση του υδατικού ισοζυγίου των λεκανών που ενδιαφέρουν.

1.3 Χρησιμότητα υδατικών ισοζυγίων

Τα υδατικά ισοζύγια χρησιμοποιούνται γενικά στις ακόλουθες εργασίες:

α. Προσδιορισμός πηγών/χρήσεων νερού

Ένα υδατικό ισοζύγιο αποτιμά με ποιοτικό αλλά και ποσοτικό τρόπο τις πηγές και τις χρήσεις του νερού σε μια συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή. Δίνει τις δυνατότητες των υφιστάμενων πηγών νερού, τη θέση τους στο χώρο, καθώς και τις διαθέσιμες ποσότητες στο χρόνο. Ακόμη, προσδιορίζει τις χρήσεις νερού, τη γεωγραφική θέση τους και την αντίστοιχη ζήτηση νερού μαζί με την κατανομή της στο χρόνο.

β. Έλεγχος της καταλληλότητας των διαθέσιμων δεδομένων

Η κατάρτιση ενός υδατικού ισοζυγίου δίνει την ευκαιρία να εκτιμηθούν: (α) η ποσότητα της διαθέσιμης πληροφορίας σχετικά με το νερό στην υπό μελέτη περιοχή και (β) η ακρίβεια και η αξιοπιστία της πληροφορίας αυτής. Έτσι, το υδατικό ισοζύγιο γίνεται ένα εργαλείο για τον εντοπισμό των προβλημάτων στα δεδομένα ώστε αυτά να βελτιωθούν στο μέλλον.

γ. Εντοπισμός δυνατοτήτων εξοικονόμησης νερού

Η γνώση της φυσικής προσφοράς και των χρήσεων νερού είναι απόλυτα αναγκαία για τη διερεύνηση των δυνατοτήτων εξοικονόμησης νερού. Τα υδατικά ισοζύγια που είναι ακριβώς η απεικόνιση της φυσικής προσφοράς και των χρήσεων του νερού αποτελούν, κατά συνέπεια, πολύτιμο εργαλείο σε τέτοιου είδους μελέτες.

δ. Επίδραση των έργων αξιοποίησης υδατικών πόρων

Τα υδατικά ισοζύγια επιτρέπουν τη μελέτη των επιπτώσεων, στους υδατικούς πόρους της περιοχής μελέτης, της κατασκευής και λειτουργίας έργων αξιοποίησης υδατικών πόρων (ταμιευτήρες, έργα εκτροπής, υδρογεωτρήσεις). Όπως είναι γνωστό, τα έργα αυτά αποθηκεύουν νερό και το μεταφέρουν από μια περιοχή σε μια άλλη μεταβάλλοντας έτσι τη χρονική και τη χωρική κατανομή των

διαθέσιμων, με φυσικό τρόπο, ποσοτήτων νερού. Η αποτίμηση και συστηματική παρουσίαση των μεταβολών αυτών στο χρόνο και στο χώρο —που είναι και ο ορισμός του υδατικού ισοζυγίου— επιτρέπει την ποσοτική αποτίμηση και παρουσίαση των επιπτώσεων, στην φυσική εμφάνιση του νερού, των έργων που κάθε φορά ενδιαφέρουν.

2. ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΙΣΟΖΥΓΙΩΝ

Οι συνιστώσες της φυσικής προσφοράς νερού (ή αλλιώς των υδατικών πόρων) ενός υδατικού ισοζυγίου περιλαμβάνουν τόσο συνιστώσες του υδρολογικού κύκλου όσο και μεγέθη που σχετίζονται με έργα αξιοποίησης των υδατικών πόρων της υπό μελέτη περιοχής. Στην πρώτη κατηγορία κατατάσσονται για παράδειγμα η απορροή και τα αποθέματα υπόγειου νερού ενώ η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει τις ποσότητες νερού που μεταφέρονται από άλλη λεκάνη ή τις ποσότητες νερού που επανέρχονται στην περιοχή μελέτης μετά από χρησιμοποίηση για συγκεκριμένη χρήση και που αναφέρονται ως ροή επιστροφής (return flow).

Ένα υδατικό ισοζύγιο δίνονται είναι απαραίτητο να περιλαμβάνει όλα τα μεγέθη που σχετίζονται με τους υδατικούς πόρους της περιοχής μελέτης. Απαραίτητα είναι εκείνα μόνον τα μεγέθη που αντιστοιχούν σε σημαντικές ποσότητες νερού. Στην γενική περίπτωση, οι συνιστώσες της φυσικής προσφοράς νερού είναι οι ακόλουθες:

- (α) Ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα.
- (β) Απορροή υδατορευμάτων που οφείλεται στην βροχόπτωση, την τήξη χιονιού, την τροφοδοσία από υπόγεια νερά, την εκροή από ανάντη ταμιευτήρα ή τη ροή επιστροφής.
- (γ) Αποθέματα επιφανειακού νερού σε τεχνητούς ταμιευτήρες ή φυσικές λίμνες.
- (δ) Απόληψη από υπόγεια νερά.
- (ε) Αποθέματα υπόγειου νερού.
- (στ) Νερό από μεταφορά από γειτονική ή και απομακρυσμένη λεκάνη.
- (ζ) Ροή επιστροφής που καταλήγει σε υδατόρευμα ή υπόγειο υδροφορέα μετά από συγκεκριμένη χρήση νερού.
- (η) Υφάλμυρο νερό που είναι κατάλληλο μόνον για ορισμένες χρήσεις (π.χ. ως ψυκτικό υγρό στη βιομηχανία).

Από τις παραπάνω συνιστώσες επιλέγονται, σε κάθε περίπτωση, οι πιο κατάλληλες. Εάν, για παράδειγμα, διατίθενται δεδομένα απορροής, τότε η χρησιμοποίηση δεδομένων βροχόπτωσης δεν είναι γενικά απαραίτητη καθόσον η απορροή είναι το τελικό εξαγόμενο της φυσικής διεργασίας μετασχηματισμού της βροχόπτωσης σε απορροή. Σε άλλη μελέτη όμως, όπως π.χ. σε περιοχή με μεγάλη λίμνη, η βροχόπτωση στην επιφάνεια της λίμνης είναι ενδεχομένως σημαντική συνιστώσα του υδατικού ισοζυγίου της υπό μελέτη περιοχής. Ως τρίτο παράδειγμα αναφέρουμε την περίπτωση που αγνοείται η ροή επιστροφής σε περιοχές χωρίς σημαντικές χρήσεις νερού.

Οι συνιστώσες χρήσεων νερού στα υδατικά ισοζύγια, αντιστοιχούν είτε σε καταναλωτικές χρήσεις (πχ. ύδρευση οικισμών) είτε σε μη καταναλωτικές χρήσεις (πχ. απαίτηση ελάχιστης εξασφαλισμένης παροχής σε υδατόρευμα για περιβαλλοντικούς λόγους) ή σε φυσικές απώλειες (διήθηση, εξάτμιση). Πιο συγκεκριμένα, οι συνιστώσες χρήσεων νερού είναι οι ακόλουθες:

- (α) Νερό για αγροτικές χρήσεις (άρδευση).
- (β) Νερό ύδρευσης για οικιακή χρήση, χρήση σε γραφεία, εμπορικές και βιοτεχνικές επιχειρήσεις, δημόσιες και δημοτικές χρήσεις.
- (γ) Νερό βιομηχανικής χρήσης σε σημαντικές βιομηχανικές μονάδες.
- (δ) Δικαιώματα χρήσης νερού.
- (ε) Ελάχιστη εξασφαλισμένη παροχή υδατορεύματος για τη διατήρηση ποτάμιων οικοσυστημάτων, τη διατήρηση της ποιότητας νερού, την αντιμετώπιση της υφαλμύρωσης υπόγειων νερών.
- (στ) Ελάχιστη εξασφαλισμένη παροχή υδατορεύματος για τη ναυσιπλοΐα και την αναψυχή.
- (η) Ελάχιστη εξασφαλισμένη παροχή υδατορεύματος για την εξασφάλιση γενικά των κατάντη χρήσεων νερού (καταναλωτικών ή μη).
- (θ) Φυσικές απώλειες όπως είναι η εξάτμιση από ελεύθερη επιφάνεια νερού, η εξατμοδιαπνοή από εδαφική επιφάνεια και η διήθηση νερού στο έδαφος.
- (ι) Μετεωρολογικές μεταβλητές για τον έμμεσο υπολογισμό των απωλειών από εξάτμιση και εξατμοδιαπνοή.

Όπως οι συνιστώσες της φυσικής προσφοράς νερού, έτσι και οι συνιστώσες των χρήσεων υπεισέρχονται στο ισοζύγιο που κάθε φορά καταρτίζεται, στο βαθμό που αυτές αντιστοιχούν σε σημαντικές ποσότητες νερού. Για παράδειγμα, η συνιστώσα του αρδευτικού νερού είναι γενικά αμελητέα σε αστικές περιοχές.

Σε ορισμένες περιπτώσεις, είναι απαραίτητο να γίνει περαιτέρω κατηγοριοποίηση των χρήσεων νερού, στο επίπεδο της καθεμιάς από τις παραπάνω συνιστώσες, κατά τύπο, φορέα χρήσης ή άλλα κριτήρια (πχ. οι ποσότητες αρδευτικού νερού διακρίνονται κατά είδος καλλιέργειας, και αρδευόμενη περιοχή).

Δεδομένα για τις συνιστώσες των υδατικών ισοζυγίων που περιγράφηκαν στο κεφάλαιο αυτό, λαμβάνονται από τους δημόσιους φορείς που ασχολούνται με τη διαχείριση των υδατικών πόρων. Ο Πίνακας 1 που ακολουθεί, δίνει, για κάθε συνιστώσα, τους φορείς του ελληνικού χώρου οι οποίοι συγκεντρώνουν και διαχειρίζονται τα αντίστοιχα δεδομένα.

Πίνακας 1. Δημόσιοι φορείς που διαθέτουν δεδομένα σχετικά με τις συνιστώσες υδατικών ισοζυγίων.

Φορέας	Δεδομένα φυσικής προσφοράς νερού	Δεδομένα χρήσεων νερού
Υπουργείο Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημόσιων Έργων (ΥΠΕΧΩΔΕ)	Παροχή, βροχόπτωση, απολήψεις από υπόγεια νερά, αποθέματα επιφανειακών και υπόγειων νερών, νερό από μεταφορά, ροή επιστροφής, υφάλμυρο νερό	Υδρευτικό νερό, ελάχιστη παροχή, εξάτμιση, μετεωρολογικά δεδομένα
Υπουργείο Γεωργίας (ΥΠΓΕ)	Παροχή, βροχόπτωση, απολήψεις από υπόγεια νερά, αποθέματα επιφανειακών και υπόγειων νερών, νερό από μεταφορά, ροή επιστροφής, υφάλμυρο νερό	Αρδευτικό νερό, υδρευτικό νερό, ελάχιστη παροχή, εξάτμιση, μετεωρολογικά δεδομένα
Υπουργείο Βιομηχανίας, Ενέργειας και Τεχνολογίας (ΥΒΕΤ)	Επεξεργασμένα υδρολογικά δεδομένα άλλων φορέων	Επεξεργασμένα δεδομένα χρήσεων νερού άλλων φορέων δικαιώματα χρήσεων νερού
Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ)	Παροχή, βροχόπτωση, αποθέματα επιφανειακών νερών, νερό από μεταφορά	Ελάχιστη παροχή, εξάτμιση, μετεωρολογικά δεδομένα

Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (ΕΜΥ)	Βροχόπτωση	Μετεωρολογικά δεδομένα, εξάτμιση
Επιχείρηση Ύδρευσης και Αποχέτευσης (ΕΥΔΑΠ)	Απολήψεις από υπόγεια νερά, αποθέματα επιφανειακών και υπόγειων νερών, νερό από μεταφορά	Υδρευτικό νερό
Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ)	Παροχή πηγών, βροχόπτωση, απολήψεις από υπόγεια νερά, αποθέματα υπόγειων νερών, υφάλμυρο νερό	
Ινστιτούτο Δασικών Ερευνών (ΙΔΕ)	Παροχή, βροχόπτωση	Μετεωρολογικά δεδομένα, εξάτμιση
Δημοτικές Επιχειρήσεις Ύδρευσης και Αποχέτευσης (ΔΕΥΑ)		Υδρευτικό νερό
Περιφερειακές Υπηρεσίες Υπουργείου Γεωργίας (π.χ. ΥΕΒ, ΤΟΕΒ κλπ.)		Αρδευτικό νερό
Πανεπιστήμια, Πολυτεχνεία και Ερευνητικά ιδρύματα (π.χ. ΕΚΕΦΕ "Δημόκριτος", ΚΑΠΕ κλπ.)	Βροχόπτωση	Μετεωρολογικά δεδομένα

3. ΠΟΡΕΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ

3.1 Επιλογή γεωγραφικών ορίων

Τα γεωγραφικά όρια ενός υδατικού ισοζυγίου, συνήθως υπαγορεύονται από τους γενικότερους στόχους της μελέτης της οποίας μέρος αποτελεί η κατάρτιση του υδατικού ισοζυγίου. Πολλές φορές όμως, τα όρια αυτά αντιστοιχούν σε μεγάλη περιοχή όπου η αλληλεπίδραση των συνιστωσών του ισοζυγίου (βλ. Κεφάλαιο 2) είναι εξαιρετικά πολύπλοκη. Στην περίπτωση αυτή, απαιτείται η υποδιαίρεση της περιοχής μελέτης σε υποπεριοχές και η κατάρτιση ξεχωριστού υδατικού ισοζυγίου σε κάθε υποπεριοχή. Αυτή η κατάτμηση της περιοχής μελέτης σε υποπεριοχές επιτρέπει την απλοποίηση των σχέσεων των διαφόρων συνιστωσών του ισοζυγίου και διευκολύνει την τελική παρουσίαση. Τα γεωγραφικά όρια των υδατικών ισοζυγίων επιλέγονται έτσι ώστε να συμπίπτουν: (α) είτε με υδρολογικά όρια ώστε να διευκολύνεται η ανάλυση των συνιστωσών της προσφοράς νερού, είτε (β) με διοικητικά όρια στα οποία και αναφέρονται τα δεδομένα χρήσης νερού. Στη συνέχεια, θα σχολιάσουμε αναλυτικότερα τα δύο αυτά είδη γεωγραφικών ορίων.

3.1.1 Υδρολογικά όρια

Στην περίπτωση απόληψης από ένα υδατόρευμα, τα όρια επιλέγονται έτσι ώστε να περιλαμβάνουν τη λεκάνη του υδατορεύματος ανάντη της θέσης όπου γίνεται η απόληψη. Το ίδιο ισχύει και για την τροφοδοσία από υπόγεια νερά. Στην περίπτωση συνδυασμένης χρήσης επιφανειακών και υπόγειων νερών είναι καλύτερο να καταρτιστούν δύο ξεχωριστά ισοζύγια, ένα για κάθε πηγή νερού. Αυτό επιβάλλεται και από το γεγονός ότι η χρονική μεταβλητότητα των απολήψιμων ποσοτήτων από τις δύο πηγές, είναι πολύ διαφορετική (στα υπόγεια νερά η κίνηση του νερού είναι πολύ πιο αργή από ότι στα επιφανειακά). Κατά συνέπεια, η χρονική κλίμακα μελέτης της διακύμανσης των διαθέσιμων ποσοτήτων νερού είναι δυνατόν να διαφέρει για τις δύο πηγές.

Στην περίπτωση απόληψης από υπόγεια νερά, είναι δυνατό να χρειαστεί υποδιαίρεση της λεκάνης τροφοδοσίας σε επιμέρους ομοιογενείς, ως προς τα υδραυλικά χαρακτηριστικά τους, υπολεκάνες και στη συνέχεια να αθροιστούν οι τελικές απολήψιμες ποσότητες από κάθε υπολεκάνη.

Τέλος, η θέση των υδρομετρικών σταθμών είναι δυνατό να επηρεάσει την επιλογή των υδρολογικών ορίων. Ως παράδειγμα αναφέρουμε την περίπτωση όπου δεν υπάρχουν μετρήσεις στη θέση της υδροληψίας οπότε τα υδρολογικά όρια επεκτείνονται μέχρι τον πλησιέστερο ανάντη ή κατάντη υδρομετρικό σταθμό. Τα δεδομένα του σταθμού αυτού μεταφέρονται στην θέση που ενδιαφέρει μετά από κατάλληλο μετα-

σχηματισμό για τον οποίο λαμβάνονται υπόψη οι υδρολογικές διεργασίες της ενδιάμεσης λεκάνης.

3.1.2 Διοικητικά όρια

Στις πιο πολλές περιπτώσεις πολλαπλών χρήσεων νερού, τουλάχιστον στον ελληνικό χώρο, το μέγεθος που ενδιαφέρει είναι μόνον η συνολική ποσότητα νερού που διατίθεται για τις χρήσεις αυτές. Αυτό εμφανίζεται όταν το είδος της χρήσης δεν επηρεάζει τη δυνατότητα των θεωρούμενων πηγών νερού να ικανοποιήσουν τη ζήτηση. Υπάρχουν όμως περιπτώσεις όπου απαιτείται λεπτομερής πληροφορία σχετικά με τις χρήσεις νερού σε μια περιοχή. Τότε, είναι απαραίτητη η θεώρηση των ορίων της περιοχής. Ως παράδειγμα αναφέρουμε την εξοικονόμηση νερού σε περιοχή με αστική αλλά και αγροτική ανάπτυξη οπότε ενδιαφέρουν και οι επιμέρους περιοχές με διαφορετικές μορφές ανάπτυξης. Οι χρήσεις νερού μελετώνται συνήθως με βάση διοικητικά όρια. Αυτά περιλαμβάνουν είτε ένα ή περισσότερους νομούς, δήμους ή κοινότητες είτε ακόμη ένα μεμονωμένο ταμιευτήρα ή μια μεμονωμένη βιομηχανική εγκατάσταση. Τέλος, θα πρέπει να τονιστεί ότι η χωρική κατανομή των διαθέσιμων δεδομένων σχετικά με τη ζήτηση του νερού (πληθυσμιακά, οικονομικά και αναπτυξιακά στοιχεία) είναι καθοριστικό στοιχείο στην επιλογή των διοικητικών ορίων μελέτης ενός υδατικού ισοζυγίου.

3.2 Επιλογή χρονικής περιόδου για την ανάλυση

Η επιλογή της χρονικής περιόδου για την κατάρτιση ενός υδατικού ισοζυγίου εξαρτάται από το γενικότερο στόχο της μελέτης στην οποία εντάσσεται το υδατικό ισοζύγιο. Συνήθως, χρησιμοποιείται ένας από τους ακόλουθους τρεις τύπους χρονικής περιόδου: (α) Ιστορική περίοδος έντονης ξηρασίας, (β) πρόσφατη χρονική περίοδος, (γ) μελλοντική χρονική περίοδος (U.S. Army Corps of Engineers, 1980). Στην συνέχεια του υποκεφαλαίου, αναλύονται ξεχωριστά οι τρεις αυτοί τύποι της χρονικής περιόδου.

3.2.1 Ιστορική περίοδος έντονης ξηρασίας

Ως γνωστό, υπάρχουν διάφοροι ορισμοί της ξηρασίας ανάλογα με την υδρολογική μεταβλητή που χρησιμοποιείται για τον ορισμό της. Έτσι ξηρασία είναι η περίοδος με έλλειμμα στην απορροή ή τη βροχόπτωση ή τα αποθέματα επιφανειακού ή εδαφικού ή υπόγειου νερού. Η επιλογή της κρίσιμης ξηρής περιόδου γίνεται από το ιστορικό δείγμα της μεταβλητής που ενδιαφέρει (π.χ. απορροή). Η χρησιμοποίηση της κρίσιμης ιστορικής ξηρασίας σε ένα υδατικό ισοζύγιο επιτρέπει την εκτίμηση των αρνητικών επιπτώσεων του φαινομένου αυτού στην ικανοποίηση της ζήτησης για διάφορες χρήσεις νερού όπως π.χ. η ύδρευση και η άρδευση. Ο όρος "κρίσιμη ξηρή περίοδος" αναφέρεται είτε στην ένταση της ξηρασίας (στην χαμηλότερη παροχή που

εμφανίζεται για ένα μικρό χρονικό διάστημα) είτε στην διάρκειά της (τη μακρότερη περίοδο με χαμηλές παροχές) ή ακόμη σε συνδυασμό των δύο προηγούμενων κριτηρίων. Η επιλογή εξαρτάται από το είδος του προβλήματος που κάθε φορά εξετάζεται. Για παράδειγμα, στην περίπτωση ενός ταμιευτήρα, μια παρατεταμένη ξηρασία αναμένεται να έχει δυσμενέστερες επιπτώσεις στις απολήψιμες από τον ταμιευτήρα ποσότητες από ότι μία σύντομη περίοδο με πολύ χαμηλές παροχές. Γενικά, με την επιλογή της κρίσιμης ιστορικής περιόδου ξηρασίας, εντοπίζουμε τα προβλήματα από την άποψη της φυσικής προσφοράς νερού.

3.2.2 Πρόσφατη χρονική περίοδος

Η πρόσφατη χρονική περίοδος αντανακλά και τις πιο πρόσφατες τάσεις στην εξέλιξη της κατανάλωσης νερού καθώς και της ζήτησης για μη καταναλωτικές χρήσεις. Συνήθως, τα πιο πρόσφατα δεδομένα ζήτησης νερού αντιστοιχούν και στην μέγιστη ζήτηση που έχει παρατηρηθεί ιστορικά. Αυτή εισάγει, όπως είναι αυτονόητο, τις μέγιστες, ιστορικά βεβαιωμένες, απαιτήσεις από τις πηγές νερού της περιοχής μελέτης. Αυτός είναι και ο λόγος που η πρόσφατη χρονική ενδιαφέρει ιδιαίτερα στην κατάρτιση υδατικών ισοζυγίων. Σημειώνεται τέλος, ότι τα πιο πρόσφατα δεδομένα είναι και τα πιο αξιόπιστα και, κατά συνέπεια, αναμένεται να δίνουν κάθε φορά τα πιο αξιόπιστα υδατικά ισοζύγια.

3.2.3 Μελλοντική περίοδος

Στο σχεδιασμό έργων αξιοποίησης υδατικών πόρων, είναι γενικά αναγκαίο να αναφερθούμε σε μια μελλοντική χρονική περίοδο. Στην περίοδο αυτή, εξετάζεται η λειτουργία των έργων κάτω από κανονικές ή δυσμενείς υδρολογικές συνθήκες και με τις προβλεπόμενες μελλοντικές τιμές για τη ζήτηση νερού.

3.2.4 Διάρκεια χρονικής περιόδου ανάλυσης

Η διάρκεια της χρονικής περιόδου για την ανάλυση, σε οποιονδήποτε από τους παραπάνω τρεις τύπους και αν ανήκει, κυμαίνεται συνήθως από μερικά έτη μέχρι μερικούς μήνες. Πολυετής διάρκεια χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις μελέτης των επιπτώσεων παρατεταμένης ξηρασίας είτε με βάση ιστορικά δεδομένα ή ακόμη και συνθετικά δεδομένα για μια μελλοντική χρονική περίοδο. Μικρές διάρκειες που αντιστοιχούν στις αιχμές της ζήτησης νερού χρησιμοποιούμε όταν μελετούμε μεμονωμένα τις αιχμές αυτές (π.χ. θερινοί μήνες σε μελέτη των χαμηλών παροχών).

Στον Ελληνικό χώρο, χρησιμοποιούμε δύο τύπους "έτους": (α) το υδρολογικό έτος (1η Οκτωβρίου έως 30η Σεπτεμβρίου) και (β) το ημερολογιακό έτος (1η Ιανουαρίου έως 31η Δεκεμβρίου). Σε υδρολογικά έτη αναφέρονται συνήθως οι συνιστώσες φυσικής προσφοράς νερού ενώ οι συνιστώσες των χρήσεων έχουν ως βάση το ημερολογιακό

έτος. Για το λόγο αυτό, απαιτείται συχνά η μετατροπή δεδομένων της μιας κατηγορίας συνιστωσών του υδατικού ισοζυγίου στον τύπο έτους της άλλης.

3.3 Επιλογή χρονικής κλίμακας

Με τον όρο "χρονική κλίμακα" εννοούμε τη χρονική βάση διακριτοποίησης των δεδομένων του υδατικού ισοζυγίου. Η χρονική κλίμακα είναι ετήσια, εποχιακή, μηνιαία, δεκαήμερη, εβδομαδιαία ή ημερήσια. Όπως είναι αυτονόητο, αυτή πρέπει να είναι ενιαία για όλες τις συνιστώσες του υδατικού ισοζυγίου.

Η επιλογή της χρονικής κλίμακας εξαρτάται από τη χρονική μεταβλητότητα των συνιστωσών του συγκεκριμένου υδατικού ισοζυγίου που εξετάζεται. Για παράδειγμα, σε μελέτες διαχείρισης συστημάτων ταμιευτήρων μεγάλης χωρητικότητας, χρησιμοποιείται συνήθως μηνιαία χρονική κλίμακα η οποία θεωρείται ικανοποιητική για την περιγραφή της μεταβλητότητας τόσο των εισροών όσο και της ζήτησης. Η χρήση ετήσιας χρονικής κλίμακας δεν επιτρέπει, όπως είναι αυτονόητο, την παρακολούθηση ενδοετήσιων μεταβολών στο υδατικό ισοζύγιο. Εφαρμόζεται σε περιπτώσεις όπου η ενδοετήσια μεταβλητότητα είναι μικρή (π.χ. βιομηχανική χρήση με απόληψη από μεγάλα αποθέματα υπόγειου νερού). Ετήσια χρονική κλίμακα χρησιμοποιείται και στις περιπτώσεις όπου ενδιαφέρει αποκλειστικά η υπερετήσια μεταβολή στις συνιστώσες του ισοζυγίου (π.χ σε μελέτη μακροχρόνιων τάσεων).

Η επιλογή της χρονικής κλίμακας εξαρτάται και από τη συνολική διάρκεια της περιόδου ανάλυσης. Όταν αυτή η περίοδος είναι μεγάλη χρησιμοποιούνται συνήθως ετήσιες τιμές και η εφαρμογή μικρότερης χρονικής κλίμακας (μηνιαία, εβδομαδιαία) περιορίζεται σε μερικά κρίσιμα έτη.

3.4 Εντοπισμός κύριων συνιστωσών

Προτού προχωρήσει κανείς στην κατάστρωση της εξίσωσης ενός υδατικού ισοζυγίου, θα πρέπει να καθορίσει επακριβώς τις μεταβλητές της εξίσωσης αυτής. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να επιλέξει από τις συνιστώσες του υδατικού ισοζυγίου που περιγράψαμε στο Κεφάλαιο 2, εκείνες τις συνιστώσες που αντιστοιχούν σε σημαντικές ποσότητες νερού. Για παράδειγμα, στις περισσότερες ευρωπαϊκές πόλεις οι απολήψεις και τα αποθέματα από υπόγεια νερά είναι οι μόνες συνιστώσες προσφοράς νερού που ενδιαφέρουν καθόσον οι πόλεις αυτές υδρεύονται από υπόγεια νερά. Αντίθετα, στην περίπτωση της Αθήνας, όπου γίνεται συνδυασμένη χρήση επιφανειακών και υπόγειων νερών πρέπει να ληφθούν υπόψη τόσο οι απορροές των ποταμών Μόρφου και Β. Κηφισού όσο και τα αποθέματα και οι απολήψεις από τους υδροφορείς της λεκάνης του Β. Κηφισού.

Είναι τέλος δυνατόν, οι συνιστώσες ενός υδατικού ισοζυγίου να διαφοροποιούνται ανάλογα με τη χρονική περίοδο στην οποία αυτό αναφέρεται. Ως παράδειγμα αναφέρουμε την κατάρτιση ισοζυγίου για ύδρευση μιας πόλης η οποία στις παρούσες συνθήκες υδρεύεται μόνον από επιφανειακά νερά ενώ στο μέλλον προβλέπεται η ενίσχυση της ύδρευσης από υπόγεια νερά.

3.5 Κατάστρωση εξίσωσης υδατικού ισοζυγίου

Η σχέση μεταξύ των συνιστωσών προσφοράς και χρήσεων νερού εκφράζεται ποσοτικά με την εξίσωση υδατικού ισοζυγίου. Οι συνιστώσες που υπεισέρχονται στην εξίσωση αυτή ποικίλλουν ανάλογα είδος του υπό μελέτη συστήματος και τον σκοπό της μελέτης. Διακρίνουμε τρεις μορφές εξισώσεων υδατικού ισοζυγίου που συνδέονται με τους ακόλουθους τρεις τύπους υδροδοτικού συστήματος: (α) σύστημα με απευθείας απόληψη από υδατόρευμα, (β) σύστημα με επιφανειακή ταμίευση (ταμιευτήρες, φυσικές λίμνες) και (γ) σύστημα με απόληψη από υπόγεια αποθέματα.

Σε σύστημα με απευθείας απόληψη από υδατόρευμα, χωρίς καμία αποθήκευση νερού, η εξίσωση υδατικού ισοζυγίου είναι

$$D = U + I - L - R \quad (1)$$

όπου D = κατάντη ροή, U = ανάντη ροή, I = τοπική εισροή, L = απώλειες και R = απολήψεις.

Το εξαγόμενο είναι η κατάντη ροή D η οποία διατίθεται για την ικανοποίηση της ζήτησης νερού. Η ανάντη ροή U αντιστοιχεί στην εισροή, από τα ανάντη, στα όρια της θεωρούμενης υδρολογικής λεκάνης. Η τοπική εισροή I αντιστοιχεί συνήθως στην ροή επιστροφής από αρδευόμενες εκτάσεις ή εγκαταστάσεις επεξεργασίας νερού εντός των θεωρούμενων υδρολογικών ορίων. Οι απώλειες L περιλαμβάνουν την εξάτμιση, την εξατμοδιαπνοή και τη διήθηση. Οι απολήψεις R αντιστοιχούν στις διάφορες χρήσεις νερού περιλαμβανόμενων και των απαιτήσεων ελάχιστης εξασφαλισμένης παροχής στο υδατόρευμα για περιβαλλοντικούς ή άλλους λόγους.

Σε σύστημα με επιφανειακή ταμίευση (π.χ. ταμιευτήρες, φυσικές λίμνες) η εξίσωση υδατικού ισοζυγίου εκφράζεται σε όγκους νερού σε αντίθεση με την εξίσωση (1) η οποία μπορεί να εκφράζεται είτε σε όγκους νερού είτε σε ρυθμούς ροής. Η εξίσωση υδατικού ισοζυγίου είναι σε αυτή την περίπτωση

$$SA = S + I - L - R \quad (2)$$

όπου SA = διαθέσιμο απόθεμα μετά την απόληψη νερού για διάφορες χρήσεις, S = αρχικό απόθεμα, I = εισροή στο θεωρούμενο σύστημα επιφανειακής ταμίευσης νερού, L = απώλειες και R = απολήψεις.

Σε σύστημα με απόληψη από υπόγεια αποθέματα, η εξίσωση υδατικού ισοζυγίου είναι

$$C = RE - P + I - O \quad (3)$$

όπου C = μεταβολή αποθεμάτων, RE = επαναφόρτιση υδροφορέα από επιφανειακά νερά, P = άντληση, I και O = εισροή και εκροή αντίστοιχα από και προς γειτονικές υπόγειες λεκάνες.

Οι παραπάνω εξισώσεις (1), (2) και (3) είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν και για έλεγχο της ακρίβειας και της καταλληλότητας των διαθέσιμων δεδομένων ώστε αυτά να βελτιωθούν στο μέλλον.

3.6 Δεδομένα υδατικών ισοζυγίων

Οι διάφορες μέθοδοι εκτίμησης των συνιστωσών ενός υδατικού ισοζυγίου περιγράφονται με λεπτομέρεια στο Κεφάλαιο 4 που ακολουθεί. Στο παρόν υποκεφάλαιο αναφέρουμε απλά τις γενικές κατηγορίες μεθόδων που χρησιμοποιούνται για τις εκτιμήσεις αυτές. Οι μέθοδοι αυτές είναι

α. Για τις συνιστώσες της φυσικής προσφοράς νερού

- α1. Απευθείας μέτρηση της μεταβλητής που ενδιαφέρει στη θέση που ενδιαφέρει.
- α2. Απευθείας μέτρηση της μεταβλητής που ενδιαφέρει σε γειτονική θέση σε σχέση με τη θέση που ενδιαφέρει και μεταφορά της πληροφορίας στη θέση ενδιαφέροντος με βάση απλές ή περισσότερο πολύπλοκες υδρολογικές μεθόδους.
- α3. Εκτίμηση με βάση άλλες υδρολογικές πληροφορίες (π.χ. εκτίμηση της απορροής από τη βροχόπτωση και την εξάτμιση με βάση μια απλή μαθηματική σχέση ή ένα μοντέλο βροχόπτωσης-απορροής).
- α4. Εκτίμηση με βάση μετρήσεις στην ευρύτερη περιοχή και μαθηματικές σχέσεις που προέκυψαν από εντοπική ανάλυση.

β. Για τις συνιστώσες χρήσεων νερού

- β1. Απευθείας μέτρηση της μεταβλητής που ενδιαφέρει στη θέση που ενδιαφέρει.

- β2. Απευθείας μέτρηση της μεταβλητής που ενδιαφέρει σε γειτονική θέση σε σχέση με τη θέση που ενδιαφέρει και τη μεταφορά της πληροφορίας στη θέση ενδιαφέροντος με βάση απλές ή περισσότερο πολύπλοκες μεθόδους.
- β3. Εκτίμηση με βάση άλλες πληροφορίες (π.χ. εκτίμηση της ζήτησης νερού για οικιακή κατανάλωση από πληθυσμιακά δεδομένα και δεδομένα κατά κεφαλήν κατανάλωσης από άλλες περιοχές με παρόμοιες συνθήκες).
- β4. Εκτίμηση με βάση μετρήσεις στην ευρύτερη περιοχή.

Όπως είναι ευνόητο, η αξιοπιστία της χρησιμοποιούμενης πληροφορίας μειώνεται όσο προχωρεί κανείς από την υποκατηγορία α1 προς την υποκατηγορία α4 για την κατηγορία α και την υποκατηγορία β1 προς την υποκατηγορία β4 για την κατηγορία β.

Τέλος, θα πρέπει να τονίσουμε ότι χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή στην χρήση κατάλληλων και ενιαίων μονάδων μέτρησης σε όλα τα μεγέθη που υπεισέρχονται σε ένα υδατικό ισοζύγιο. Η καταλληλότητα εννοείται ως προς τη σημασία που έχουν οι χρησιμοποιούμενες μονάδες (όγκοι νερού ή ρυθμοί ροής). Για παράδειγμα στις εξισώσεις (2) και (3) είναι γενικά παραδεκτό, να χρησιμοποιούνται hm^3 σε χρονική βάση ίση με τη χρονική κλίμακα του ισοζυγίου ($1 \text{ hm}^3 = 1\,000\,000 \text{ m}^3$).

3.7 Πηγές σφαλμάτων στα υδατικά ισοζύγια

Ένα υδατικό ισοζύγιο δεν περιγράφει επακριβώς την κίνηση του νερού στο υδατικό σύστημα για το οποίο καταρτίζεται. Και αυτό για δύο λόγους: (α) η ακρίβεια και η αντιπροσωπευτικότητα των δεδομένων που χρησιμοποιούνται, ποικίλλει ανάλογα με τον τρόπο που αυτά έχουν μετρηθεί ή εκτιμηθεί, και (β) οι πολύπλοκες διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στο υπό μελέτη σύστημα απλοποιούνται κατά την κατάρτιση του ισοζυγίου αλλά και το ίδιο το σύστημα περιγράφεται με απλουστευμένο τρόπο. Αποτέλεσμα είναι πολλές φορές να μη "κλείνει" το ισοζύγιο ή αλλιώς να μην είναι δυνατή η εξασφάλιση της ισότητας των δύο σκελών των εξισώσεων (1), (2) και (3). Πάντως, ακόμη και στην περίπτωση που "κλείνει" ένα ισοζύγιο δεν αποκλείεται η ύπαρξη σφαλμάτων στα δεδομένα των επιμέρους συνιστωσών του. Ενδεικτικά αναφέρουμε τις ακόλουθες περιπτώσεις σφαλμάτων που εμφανίζονται σε υδατικά ισοζύγια:

1. Παράλειψη ορισμένων συνιστωσών εισόδου (γνωστών ποσοτήτων του προβλήματος).
2. Παράλειψη ορισμένων συνιστωσών εξόδου (αγνώστων του προβλήματος).
3. Αγνόηση της υπερετήσιας διακύμανσης ορισμένων παραμέτρων του προβλήματος.

4. Αγνόηση της ενδοετήσιας διακύμανσης ορισμένων παραμέτρων του προβλήματος (π.χ. συντελεστές ενδοετήσιας ανισοκατανομής της ζήτησης).
5. Χρήση ημερολογιακών ετών που δεν αντιστοιχούν στην ετήσια διακύμανση των υδρολογικών μεγεθών.
6. Απλουστευτικές υποθέσεις και παραδοχές κατά τη μεταφορά υδρολογικής πληροφορίας από άλλες περιοχές στην περιοχή μελέτης.
7. Αμέληση των πολύπλοκων αλληλεπιδράσεων επιφανειακών και υπόγειων νερών.
8. Σφάλματα δεδομένων λόγω εφαρμογής μεθόδων παρεμβολής στον χώρο και στον χρόνο.

4. ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΚΥΡΙΩΝ ΣΥΝΙΣΤΩΣΩΝ ΕΝΟΣ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ

4.1 Συνιστώσες φυσικής προσφοράς νερού

4.1.1 Βροχόπτωση

Η βροχόπτωση δεν υπεισέρχεται, στις συνήθεις περιπτώσεις, στα υδατικά ισοζύγια καθόσον αυτό που ενδιαφέρει είναι συνήθως το αποτέλεσμα της βροχόπτωσης που είναι είτε η απορροή είτε η διήθηση στο έδαφος. Σε δύο όμως τουλάχιστον περιπτώσεις η θεώρηση της βροχόπτωσης είναι αναγκαία: (α) όταν εξετάζεται η επαναφόρτιση υπόγειων υδροφορέων απευθείας από διηθούμενες ποσότητες ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων και (β) στον υπολογισμό των καθαρών εισροών σε λίμνες ή ταμιευτήρες οπότε η βροχόπτωση στην επιφάνεια της λίμνης ή του ταμιευτήρα μαζί με την εξάτμιση από αυτόν είναι δυνατόν να επηρεάζουν σημαντικά το υδατικό ισοζύγιο, ιδίως εάν η χρονική κλίμακα είναι μικρότερη της ετήσιας (εποχιακή, μηνιαία κλπ.).

Πρωτογενή δεδομένα βροχόπτωσης διατίθενται από τους φορείς που πραγματοποιούν αντίστοιχες μετρήσεις. Οι φορείς αυτοί φαίνονται στον Πίνακα 1 του Κεφαλαίου 2. Η μορφή στην οποία διατίθενται τα δεδομένα είναι:

1. Πρωτογενείς ημερήσιες παρατηρήσεις από βροχόμετρο μετά από έλεγχο χονδροειδών σφαλμάτων.
2. Πρωτογενείς ημερήσιες παρατηρήσεις από βροχόμετρο χωρίς προηγούμενο έλεγχο χονδροειδών σφαλμάτων.
3. Ταινίες βροχογράφων μετά από σύγκριση των ημερήσιων υψών βροχόπτωσης με αντίστοιχες ενδείξεις του βροχομέτρου του ίδιου σταθμού.
4. Ταινίες βροχογράφων χωρίς προηγούμενη σύγκριση των ημερήσιων υψών βροχόπτωσης με αντίστοιχες ενδείξεις του βροχομέτρου του ίδιου σταθμού.
5. Μηνιαία και ετήσια συναθροισμένα (aggregated) δεδομένα εφόσον έχει προηγηθεί επεξεργασία των πρωτογενών δεδομένων στα πλαίσια συγκεκριμένης μελέτης.

Προς το παρόν, το σύνολο σχεδόν των παραπάνω δεδομένων διατίθεται σε δελτία ή ταινίες παρατηρήσεων, Κατά τα επόμενα χρόνια η κατάσταση αυτή αναμένεται να αλλάξει με την ηλεκτρονική υποδομή που δημιουργήθηκε στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος ΥΔΡΟΣΚΟΠΙΟ "Δημιουργία Εθνικής Τράπεζας Υδρολογικής και Μετεωρολογικής Πληροφοριών" που χρηματοδοτήθηκε από τη ΓΓΕΤ στα πλαίσια

του προγράμματος STRIDE HELLAS. Με την προϋπόθεση ότι η Τράπεζα θα ολοκληρωθεί επιχειρησιακά, θα είναι δυνατή η άμεση πρόσβαση στο σύνολο των πρωτογενών και τα επεξεργασμένων δεδομένων του Ελληνικού χώρου.

Η μορφή στην οποία υπεισέρχεται η βροχόπτωση στα υδατικά ισοζύγια είναι εκείνη της επιφανειακής βροχόπτωσης στην περιοχή που ενδιαφέρει. Οι μέθοδοι εκτίμησης της επιφανειακής βροχόπτωσης από σημειακές μετρήσεις περιγράφονται σε πολλά βιβλία υδρολογίας (Ξανθόπουλος, 1984; Chow et al. 1991; Maidment, 1993).

4.1.2 Απορροή υδατορευμάτων

Η απορροή αποτελεί τη σημαντικότερη και πολλές φορές τη μοναδική, συνιστώσα φυσικής προσφοράς νερού σε περιπτώσεις απολήψεων από επιφανειακά νερά (με ή χωρίς ταμίευση). Όπως έχει λεχθεί και προηγουμένως (εδάφιο 4.1.1), η συνιστώσα αυτή αποτελεί το τελικό εξαγόμενο των υδρολογικών διεργασιών σε μια λεκάνη (βροχόπτωση, χιονόπτωση, εξάτμιση, εξατμοδιαπνοή, διήθηση στο έδαφος κλπ.) Η απορροή εκφράζεται συνήθως ως ρυθμός ροής και αναφέρεται τότε ως παροχή.

Ο Πίνακας 1 δίνει τις υπηρεσίες που πραγματοποιούν τις αντίστοιχες μετρήσεις.

Η παροχή υδατορεύματος είναι "παράγωγο" μέγεθος και προκύπτει από καταγραφή της στάθμης του υδατορεύματος η οποία μετατρέπεται σε παροχή μέσω της καμπύλης στάθμης-παροχής. Τα πρωτογενή δεδομένα που διατίθενται για την εξαγωγή της παροχής είναι:

1. Ημερήσιες καταγραφές στάθμης υδατορευμάτων.
2. Καταγραφές στάθμης υδατορευμάτων σε χρονικά διαστήματα μικρότερα της ημέρας συνήθως κατά τη διάρκεια πλημμυρικών φαινομένων.
3. Συνεχείς καταγραφές στάθμης σε ταινίες σταθμηγράφων μετά από σύγκριση και ενδεχόμενη διόρθωση με βάση τις ενδείξεις του σταθμημέτρου του ίδιου σταθμού.
4. Συνεχείς καταγραφές στάθμης σε ταινίες σταθμηγράφων χωρίς καμία σύγκριση με βάση τις ενδείξεις του σταθμημέτρου του ίδιου σταθμού.
5. Δεδομένα υδρομετρήσεων που περιλαμβάνουν μετρήσεις ταχύτητας και βάθους ροής, διατομή υδατορεύματος, εκτίμηση της παροχής, ενδείξεις σταθμημέτρου πριν και μετά την υδρομέτρηση.
6. Καμπύλες στάθμης-παροχής που προέκυψαν με βάση δεδομένα υδρομετρήσεων.
7. Ημερήσιες, μηνιαίες και ετήσιες τιμές της παροχής που προέκυψαν από μετρήσεις στα πλαίσια συγκεκριμένων μελετών.

8. Ημερήσιες, μηνιαίες και ετήσιες τιμές της παροχής που εκτιμήθηκαν από τη δευτερεύουσα (βροχόπτωση) και τριτεύουσα υδρολογική πληροφορία (εξάτμιση) στα πλαίσια συγκεκριμένων μελετών.

Σε περίπτωση που διατίθενται τα πρωτογενή δεδομένα (κατηγορίες 1 έως 5) είναι προτιμότερο να καταφεύγει κανείς σε αυτά. Σε αντίθετη περίπτωση και εφόσον ο χρόνος ή ο προϋπολογισμός της μελέτης δεν το επιτρέπει, τα δεδομένα της κατηγορίας 7 αποτελούν την πιο ενδεδειγμένη λύση. Η χρήση δεδομένων της κατηγορίας 8 καλό είναι να αποφεύγεται καθόσον αυτά έχουν γενικά πολύ μικρό βαθμό αξιοπιστίας.

Όπως και στην περίπτωση της βροχόπτωσης, το σύνολο σχεδόν των παραπάνω δεδομένων διατίθεται σήμερα σε δελτία ή ταινίες παρατηρήσεων. Κατά τα επόμενα όμως χρόνια η κατάσταση αυτή αναμένεται να αλλάξει. Σε αυτό θα συμβάλει η ηλεκτρονική υποδομή που δημιουργήθηκε στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος ΥΔΡΟΣΚΟΠΙΟ "Δημιουργία Εθνικής Τράπεζας Υδρολογικής και Μετεωρολογικής Πληροφορίας" (βλ. προηγούμενη παράγραφο).

Πολλές φορές, δε διατίθενται δεδομένα παροχής στη θέση που ενδιαφέρει. Το πρόβλημα επιλύεται με μεταφορά της ζητούμενης πληροφορίας από άλλη θέση. Ενδεικτικά αναφέρουμε τις ακόλουθες περιπτώσεις:

1. Μεταφορά πληροφορίας σε κατάντη θέση του ίδιου υδατορεύματος με τη βοήθεια απλής ή πιο πολύπλοκης μεθόδου διόδευσης πλημμυρικού κύματος.
2. Μεταφορά πληροφορίας σε ανάντη θέση του ίδιου υδατορεύματος με τη βοήθεια απλής ή πιο πολύπλοκης μεθόδου διόδευσης πλημμυρικού κύματος.
3. Μεταφορά πληροφορίας από το ίδιο ή άλλο υδατόρευμα με χρήση απλών μαθηματικών σχέσεων (π.χ. αναλογίας ή απλής ή πολλαπλής παλινδρόμησης).

Η περιγραφή των μεθόδων για την επίλυση των παραπάνω προβλημάτων εκφεύγει από τον σκοπό του παρόντος τεύχους. Ο αναγνώστης παραπέμπεται σε βιβλία υδρολογίας (Ξανθόπουλος, 1984; Chow et al. 1991; Handbook of Hydrology, 1992).

4.1.3 Αποθέματα επιφανειακού νερού

Τα αποθέματα επιφανειακού νερού, εφόσον υπάρχουν, αποτελούν μια σημαντική συνιστώσα ενός υδατικού ισοζυγίου. Αυτά συνδέονται με την κατασκευή και λειτουργία έργων ταμίευσης επιφανειακών νερών όπως είναι οι ταμιευτήρες. Τα έργα αυτά τροποποιούν σημαντικά τον υδρολογικό κύκλο της περιοχής όπου κατασκευάζονται. Για το λόγο αυτό αποτελούν τυπική περίπτωση μελέτης με βάση την κατάρτιση υδατικών ισοζυγίων. Τα υδρολογικά όρια περιλαμβάνουν, τις περισσότερες φορές, μόνον τον αντίστοιχο αποθηκευμένο όγκο νερού, χωρίς να επεκτείνονται προς την α-

νάντη λεκάνη από την οποία λαμβάνεται υπόψη μόνον η απορροή στην είσοδο του θεωρούμενου έργου. Διακρίνουμε τρεις περιπτώσεις υδατικών ισοζυγίων που περιλαμβάνουν αποθέματα επιφανειακών νερών:

- α. Υδατικά ισοζύγια με βάση ιστορικά δεδομένα για όλες τις συνιστώσες του υδατικού ισοζυγίου όπως αυτές μετρούνται ή εκτιμώνται από την υπηρεσία που είναι υπεύθυνη για τη λειτουργία του έργου.
- β. Υδατικά ισοζύγια με βάση ιστορικά δεδομένα όπου όμως για μία ή, σπανιότερα, περισσότερες συνιστώσες του υδατικού ισοζυγίου δε διατίθενται μετρήσεις ούτε εκτιμήσεις από την υπηρεσία που είναι υπεύθυνη για τη λειτουργία του έργου.
- γ. Υδατικά ισοζύγια με βάση συνθετικά δεδομένα για μια μελλοντική περίοδο λειτουργίας του έργου, στα πλαίσια ενός μοντέλου προσομοίωσης της λειτουργίας του έργου που μελετάται.

Τα δεδομένα που απαιτούνται για την κατάρτιση του υδατικού ισοζυγίου ενός έργου επιφανειακής αποθήκευσης νερού είναι:

1. Δεδομένα εισροής από την ανάντη λεκάνη.
2. Δεδομένα βροχόπτωσης και εξάτμισης.
3. Δεδομένα σχετικά με τα φυσικά χαρακτηριστικά του έργου (π.χ. ωφέλιμη χωρητικότητα ταμιευτήρα).
4. Δεδομένα σχετικά με τις απολήψεις νερού.
5. Κανόνας λειτουργίας του έργου.

Η χρονική κλίμακα που συνήθως χρησιμοποιείται είναι η μηνιαία. Η μορφή της εξίσωσης του υδατικού ισοζυγίου δίνεται από τη σχέση (2).

4.1.4 Απολήψεις (αντλήσεις) από υπόγεια νερά

Οι απολήψεις από υπόγεια νερά υπολογίζονται με βάση μια από τις ακόλουθες μεθόδους:

1. Άμεσα, από δεδομένα υδρογεωτρήσεων ως γινόμενο της παροχής και της χρονικής διάρκειας των περιόδων άντλησης όταν υπάρχουν δεδομένα για τα δύο αυτά μεγέθη.
2. Έμμεσα από την εξίσωση υδατικού ισοζυγίου (εξ. (3)) όταν διατίθενται: (α) εκτιμήσεις της επαναφόρτισης (recharge) μέσω κατεΐσδυσης επιφανειακών νερών και (β) εκτιμήσεις των μεταβολών στα αποθέματα υπόγειου νερού από δεδομένα στάθμης.

3. Από δεδομένα χρήσης όπως για παράδειγμα οι ποσότητες αρδευτικού νερού που είτε μετρούνται είτε εκτιμώνται από τις ανάγκες των αρδευόμενων καλλιεργειών (σημειώνεται ότι στην περίπτωση αυτή χρειάζεται αναγωγή στις πηγές με διαίρεση με το συντελεστή απόδοσης και συμπερίληψη του συντελεστή έκπλυσης του εδάφους από διάφορα άλατα όπως αναλυτικά περιγράφεται στην παράγραφο 4.2.1, εξ. 7).

4.1.5 Αποθέματα υπόγειου νερού

Στην περίπτωση του υπόγειου νερού, ενδιαφέρει κυρίως η μεταβολή των αποθεμάτων νερού C σε μεγάλες χρονικές περιόδους. Το μέγεθος αυτό δίνει πολύ σημαντική πληροφορία σχετικά με τη μακροπρόθεσμη δυνατότητα απολήψεων από τον υπό μέλετη υδροφόρο. Δίνεται από τη σχέση

$$C = A\Delta hS \quad (4)$$

όπου A είναι η επιφάνεια της υδρογεωλογικής λεκάνης, Δh η μέση, χωρικά, μεταβολή της στάθμης του υπόγειου νερού και S ο συντελεστής αποθηκευτικότητας.

Πρέπει πάντως να τονιστεί ότι ο μεγάλος αριθμός ιδιωτικών υδρογεωτρήσεων σε πολλές περιοχές του ελληνικού χώρου εισάγει εξαιρετικές δυσχέρειες στις εκτιμήσεις των μεγεθών που υπεισέρχονται στην παραπάνω εξίσωση (4) και κυρίως στο μέγεθος Δh .

4.1.6 Νερό από μεταφορά από άλλες λεκάνες

Στο ελληνικό χώρο, δύο είναι οι σημαντικότερες περιπτώσεις μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων νερού (εκατοντάδες hm^3 το χρόνο) από μια λεκάνη σε μια άλλη: (α) η μεταφορά νερού από τις λεκάνες Μόρνου, Ευήνου και Β. Κηφισού για ύδρευση της Αθήνας και (β) η σχεδιαζόμενη εκτροπή του Αχελώου προς τη Θεσσαλία. Πολλές όμως είναι οι περιπτώσεις μεταφοράς μικρότερων ποσοτήτων κυρίως για άρδευση και οικιακή χρήση. Δεδομένα σχετικά με τις μεταφερόμενες ποσότητες διαθέτουν οι υπηρεσίες που είναι υπεύθυνες για τη λειτουργία των έργων μεταφοράς (π.χ. ΕΥΔΑΠ για την Αθήνα, ΥΕΒ για τις αρδευόμενες περιοχές, ΔΕΥΑ για την ύδρευση πόλεων κλπ). Η ακριβής μέτρηση των μεταφερόμενων ποσοτήτων δεν είναι εύκολη και πρέπει να γίνεται σε πολλά σημεία της διαδρομής των έργων μεταφοράς. Ανακρίβειες και σφάλματα μέτρησης είναι συχνά. Οι διαφορές μεταξύ των μετρούμενων ποσοτήτων μεταξύ της πλέον ανάντη και της πλέον κατάντη θέσης μέτρησης αναμένεται να εκφράζουν τις ενδιάμεσες απώλειες που είναι πολλές φορές σημαντικές. Αυτές οφείλονται στην εξάτμιση, τις υπόγειες διαφυγές, τις υπερχειλίσεις και τις παράνομες απολήψεις.

4.1.7 Ροή επιστροφής

Ως ροή επιστροφής θεωρούνται εκείνες οι ποσότητες νερού που επανέρχονται στα θεωρούμενα όρια του υπό κατάρτιση υδατικού ισοζυγίου αφού πρώτα έχουν βγει από αυτά ως απολήψεις για την ικανοποίηση της ζήτησης συγκεκριμένης χρήσης νερού. Η ροή επιστροφής είναι γενικά σημαντική στις περιπτώσεις αρδευτικής χρήσης, λειτουργίας μονάδων ιχθυοκαλλιέργειας και κτηνοτροφικών εκμεταλλεύσεων ή βιομηχανικής χρήσης. Σε κάθε περίπτωση πρέπει να μετριέται η ποσότητα του νερού που επιστρέφει είτε σε φυσικό υδατόρευμα είτε σε τεχνητό, ανοικτό συνήθως, αγωγό. Η ποσότητα του νερού δεν είναι όμως η μόνη παράμετρος που ενδιαφέρει. Μετρήσεις ποιοτικών παραμέτρων όπως π.χ. του BOD₅ και των αιωρούμενων φερτών είναι απαραίτητες για τον καθορισμό των συνθηκών υπό τις οποίες γίνεται περαιτέρω χρήση του νερού ή απευθείας διάθεση σε υδάτινο αποδέκτη με ή χωρίς προηγούμενη επεξεργασία. Σε όλες αυτές τις περιπτώσεις, η κατάρτιση υδατικών ισοζυγίων συναρτάται, κατά συνέπεια, άμεσα με τη διαχείριση του νερού από ποιοτική άποψη.

Δεδομένα σχετικά με τη συνιστώσα της ροής επιστροφής διατίθενται από τις υπηρεσίες που διαχειρίζονται τα αντίστοιχα έργα (βλ. Πίνακα 1).

4.1.8 Υφάλμυρο νερό

Αποθέματα υφάλμυρου νερού εμφανίζονται συνήθως υπό την επίδραση του θαλάσσιου νερού, σε παράκτιους υδροφορείς. Τα αποθέματα αυτά είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν για ορισμένες μόνον χρήσεις. Αυτός είναι και ο λόγος που θεωρούνται ως ξεχωριστή συνιστώσα της φυσικής προσφοράς του νερού. Σημειώνεται ότι σε μερικές περιπτώσεις γίνεται ανάμιξη του υφάλμυρου νερού με γλυκό, έτσι ώστε γίνει εξοικονόμηση ποσοτήτων γλυκού νερού. Όπως είναι αυτονόητο, σε αυτή την περίπτωση, η ξεχωριστή θεώρηση των αποθεμάτων γλυκού και υφάλμυρου νερού είναι αναγκαία καθόσον πρέπει να γίνει παρακολούθηση των αποθεμάτων αυτών ξεχωριστά και να διατηρείται συγκεκριμένη ποσοστιαία αναλογία μεταξύ τους πριν από την τελική χρησιμοποίηση.

4.2 Συνιστώσες χρήσεων νερού

4.2.1 Αρδευτικό νερό

Δεδομένα ή γενικά εκτιμήσεις σχετικά με τις ποσότητες αρδευτικού νερού είναι δυνατό να ληφθούν από τις υπηρεσίες, ή και τους ιδιώτες που διαχειρίζονται τα αντίστοιχα αρδευτικά δίκτυα. Στην πλειονότητα όμως των περιπτώσεων τέτοια στοιχεία δεν υπάρχουν. Αυτό συμβαίνει επίσης και στην περίπτωση σχεδιασμού ενός αρδευτικού δικτύου ή προσομοίωσης της λειτουργίας του σε μελλοντική χρονική περίοδο. Σε όλες αυτές τις περιπτώσεις έλλειψης δεδομένων, οι ποσότητες αρδευτικού νερού

προσδιορίζονται με βάση τις ανάγκες της συγκεκριμένης καλλιέργειας η οποία αρδεύεται. Οι καθαρές ανάγκες σε αρδευτικό νερό I_n δίνονται από τη σχέση

$$I_n = ET_c - (P_e + GW + SM) \quad (5)$$

όπου ET_c είναι η δυνητική εξατμοδιαπνοή για την υπό μελέτη καλλιέργεια, P_e είναι η ωφέλιμη βροχόπτωση, GW η συμβολή του υπόγειου νερού και SM το απόθεμα της εδαφικής υγρασίας στη ζώνη του ριζοστρώματος της καλλιέργειας στην αρχή της θεωρούμενης αρδευτικής περιόδου.

Η εξατμοδιαπνοή ET_c υπολογίζεται από τη δυνητική εξατμοδιαπνοή ET_p της καλλιέργειας αναφοράς με εφαρμογή κατάλληλου φυτικού συντελεστή k_c , ως εξής

$$ET_c = k_c ET_p \quad (6)$$

Ο φυτικός συντελεστής k_c εξαρτάται από το είδος της καλλιέργειας και το στάδιο ανάπτυξής της. Η τιμή της ET_c που υπεισέρχεται την εξίσωση (5) προσαρμόζεται περαιτέρω προς τις τοπικές συνθήκες αφού ληφθούν υπόψη και άλλοι παράγοντες όπως π.χ. η ακρίβεια της εκτίμησης της ET_p , η στάθμη του υπόγειου νερού και η μέθοδος άρδευσης.

Η ωφέλιμη βροχόπτωση P_e αντιστοιχεί στην συνολική βροχόπτωση από την οποία έχουν αφαιρεθεί η επιφανειακή απορροή, η βαθιά διήθηση και η εξάτμιση. Η συμβολή του υπόγειου νερού εξαρτάται από την στάθμη του σε σχέση με την στάθμη του ριζοστρώματος. Τέλος, η εδαφική υγρασία στη ζώνη του ριζοστρώματος στην αρχή της θεωρούμενης αρδευτικής περιόδου, είναι δυνατό να αποτελεί σημαντική συνιστώσα στην εξίσωση (5), καθόσον αυτή είναι δυνατόν να φθάσει τη μέγιστη αποθηκευτική ικανότητα του εδάφους (ή αλλιώς υδατοϊκανότητα) στο τέλος της υγρής περιόδου που πολύ συχνά συμπίπτει με την αρχή της βλαστικής περιόδου της υπό μελέτη καλλιέργειας.

Η απαιτούμενη ποσότητα αρδευτικού νερού IR ή αλλιώς οι ολικές ανάγκες για άρδευση δύνανται από τη σχέση

$$IR = \frac{I_n}{E(1-LR)} \quad (7)$$

όπου I_n είναι οι καθαρές ανάγκες της καλλιέργειας που δίνονται από τη σχέση (5), E είναι η αποδοτικότητα του συστήματος άρδευσης και LR είναι ο συντελεστής έκπλυσης. Η αποδοτικότητα του συστήματος άρδευσης δίνεται από τη σχέση

$$E = E_1 E_2 E_3 \quad (8)$$

όπου E_1 είναι η αποδοτικότητα του δικτύου μεταφοράς, E_2 η αποδοτικότητα του δικτύου εφαρμογής και E_3 η αποδοτικότητα εφαρμογής. Ο τελευταίος συντελεστής αντιστοιχεί στη διεργασία εφαρμογής του αρδευτικού νερού στο ριζόστρωμα της θεωρούμενης καλλιέργειας.

Περισσότερα στοιχεία σχετικά με την εκτίμηση των ποσοτήτων του αρδευτικού νερού δίνονται σε πολλά βιβλία περί αρδεύσεων (Τσακίρης, 1988, Παπαζαφειρίου, 1984).

4.2.2 Υδρευτικό νερό

Δεδομένα κατανάλωσης υδρευτικού νερού λαμβάνονται με τις ακόλουθες τρεις μορφές:

1. Δεδομένα κατανάλωσης κατά είδος χρήσης υδρευτικού νερού, περιοχή, κατηγορία καταναλωτών (μεγάλες ή μικρές καταναλώσεις) και χρονικές περιόδους (π.χ. εποχές του έτους).
2. Εκτιμήσεις κατανάλωσης από ενδείξεις υδρομετρητών με συνεκτίμηση των αφανών διαρροών.
3. Εκτιμήσεις με βάση πληθυσμιακά δεδομένα και θεώρησης μιας μέσης κατά κεφαλήν κατανάλωσης.

Σε κάθε περίπτωση, οι εκτιμήσεις είναι καλύτερο να γίνονται, εφόσον τα διαθέσιμα δεδομένα το επιτρέπουν, σε ομοιογενείς ως προς τα δεδομένα, επί μέρους περιοχές στις οποίες χωρίζεται η υπό μελέτη περιοχή.

Το νερό ύδρευσης χρησιμοποιείται στις ακόλουθες χρήσεις: (α) καθαρά οικιακή χρήση, (β) χρήση σε γραφεία, εμπορικές και βιοτεχνικές επιχειρήσεις, (γ) δημόσιες και δημοτικές χρήσεις. Η ανάλυση στις επί μέρους αυτές χρήσεις διευκολύνει την εξαγωγή πιο αξιόπιστων δεδομένων για την κατανάλωση νερού. Πάντως, κατά την κατάρτιση των τελικών υδατικών ισοζυγίων, υπεισέρχεται συνήθως μόνο η εκτίμηση της "ζήτησης νερού" για ύδρευση χωρίς να γίνεται διάκριση σε επί μέρους χρήσεις. Το τελευταίο θα ήταν αναγκαίο μόνον εφόσον υπήρχαν δύο ή περισσότερα δίκτυα με διαφορετικές ποιότητες νερού.

4.2.3 Νερό βιομηχανικών χρήσεων

Οι περισσότερες βιομηχανίες στον ελληνικό χώρο είναι ελαφρές βιομηχανίες και χρησιμοποιούν διυλισμένο νερό ύδρευσης για τις ανάγκες τους. Μια δεύτερη δυνατότητα που ήρθε στο προσκήνιο με την πρόσφατη ξηρασία 1988-93 είναι η χρησιμοποίηση τοπικών πηγών νερού συνήθως με την ανόρυξη υδρογεωτρήσεων. Πληροφορίες σχετικά με τη βιομηχανική χρήση νερού λαμβάνονται με δύο μορφές:

1. Συγκεντρωτικά στοιχεία για μια ολόκληρη περιοχή μετά από συγκεκριμένη μελέτη.

2. Εκτιμήσεις από τις ποσότητες παραγόμενων προϊόντων και τη διαπιστωμένη μέση κατανάλωση κατά μονάδα του κάθε προϊόντος.

Τα ζητούμενα στις εκτιμήσεις ποσοτήτων νερού για βιομηχανική χρήση είναι όπως και στην περίπτωση της άρδευσης: (α) η ολική απόληψη, (β) η κατανάλωση και (γ) η ροή επιστροφής. Εξαιρετική σημασία έχουν και τα δεδομένα ποσότητας του νερού τόσο πριν την απόληψη όσο και μετά την επιστροφή. Αν η ποσότητα του νερού επιστροφής δεν επιτρέπει τη χρησιμοποίηση σε κατάντη χρήσεις, αυτό θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά την κατάρτιση ενός υδατικού ισοζυγίου.

4.2.4 Δικαιώματα χρήσης νερού

Η ελληνική νομοθεσία βρίθει διατάξεων που αφορούν τα δικαιώματα χρήσης του επιφανειακού και του υπόγειου νερού σε σχέση με την ιδιοκτησία της γης. Οι διατάξεις αυτές είναι σε πολλές περιπτώσεις αλληλοσυγκρουόμενες. Ο πιο πρόσφατος νόμος για τους υδατικούς πόρους, ο ν. 1739/87 θέσπισε την "άδεια χρήσης νερού".

Τα δικαιώματα χρήσης νερού θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την κατάρτιση ισοζυγίων στα οποία υπεισέρχονται οι μέγιστες απολήψιμες ποσότητες νερού, οι οποίες, όπως είναι ευνόητο, συναρτώνται με τα δικαιώματα χρήσης νερού στην υπό μελέτη περιοχή. Μια δεύτερη περίπτωση που είναι δυνατό να εμφανιστεί στην Υπηρεσία που εκδίδει τις άδειες χρήσης νερού (επί του παρόντος η Διεύθυνση Υδατικού Δυναμικού και Φυσικών Πόρων του Υπουργείου Βιομηχανίας, Έρευνας και Τεχνολογίας). Είναι η περίπτωση όπου οι μέγιστες απολήψιμες ποσότητες νερού —που συνδέονται με τα δικαιώματα χρήσης νερού— υπεισέρχονται ως άγνωστοι προς υπολογισμό στο υδατικό ισοζύγιο που καταρτίζεται.

4.2.5 Απαιτούμενη ελάχιστη εξασφαλισμένη παροχή

Όπως ορίστηκε ήδη στο Κεφάλαιο 2, η ελάχιστη εξασφαλισμένη παροχή υδατορεύματος είναι εκείνη η τιμή της παροχής που εξασφαλίζει την ποιότητα του νερού (π.χ. για τη διατήρηση ποτάμιων οικοσυστημάτων ή την αντιμετώπιση της υφαλμύρωσης υπόγειων υδροφορέων) ή επιτρέπει την εξασφάλιση των κατάντη χρήσεων νερού είτε πρόκειται για καταναλωτικές χρήσεις (π.χ. ύδρευση) είτε για μη καταναλωτικές (π.χ. ναυσιπλοΐα, αναψυχή).

Δεδομένα σχετικά με το μέγεθος αυτό λαμβάνονται με κατάλληλες μελέτες στο θεωρούμενο υδατόρευμα. Για παράδειγμα, στις μελέτες περιβαλλοντικών επιπτώσεων μεγάλων υδραυλικών έργων κατά τις οποίες δίνεται μια ποσοτική εκτίμηση της παροχής που θα πρέπει να εξασφαλίζεται για το υπό μελέτη υδατόρευμα. Η εκτίμηση αυτή της παροχής υπεισέρχεται στο υδατικό ισοζύγιο της υπό μελέτη περιοχής ως περιορισμός που πρέπει να ικανοποιείται εφόσον αυτό είναι δυνατό. Στις περιπτώσεις που η ικανοποίηση του περιορισμού δεν είναι δυνατή (π.χ. σε περίπτωση παρα-

τεταμένης ξηρασίας) τότε εκτιμάται με κατάλληλα αριθμητικά κριτήρια (π.χ. πιθανότητα αστοχίας) ο βαθμός στον οποίο ο περιορισμός παραβιάζεται.

4.2.6 Απώλειες λόγω εξάτμισης και διήθησης

Η εξάτμιση από ελεύθερη επιφάνεια νερού υπεισέρχεται συνήθως στα ισοζύγια που περιλαμβάνουν σημαντικές εμφανίσεις επιφανειακού νερού (εξισώσεις (1) και (2)). Συνήθως υπολογίζεται η δυναμική εξάτμιση που δεν περιορίζεται από τη διαθεσιμότητα νερού. Δεδομένα εξάτμισης λαμβάνονται με τους ακόλουθους τρόπους:

1. Μετρήσεις από εξατμισόμετρο και αναγωγή σε μεγάλες επιφάνειες με κατάλληλο συντελεστή αναγωγής.
2. Εκτιμήσεις με ημιεμπειρικές μεθόδους που βασίζονται σε μετεωρολογικά δεδομένα (π.χ. μέθοδος Penman).
3. Εμπειρικές μέθοδοι υπολογισμού με βάση μια ή περισσότερες μεταβλητές για τις οποίες διατίθενται μετρήσεις (π.χ. μέθοδος Thornthwaite με βάση τη θερμοκρασία).

Πολλές φορές ενδιαφέρει η εξατμοδιαπνοή από εδαφική επιφάνεια με ή χωρίς φυτοκάλυψη. Η δυναμική εξατμοδιαπνοή εκτιμάται με μεθόδους των κατηγοριών 2 και 3 που δόθηκαν αμέσως πιο πάνω. Η πραγματική όμως εξατμοδιαπνοή, η οποία και τελικά ενδιαφέρει, εξαρτάται από τη διαθεσιμότητα εδαφικής υγρασίας και είναι εξαιρετικά δύσκολο να εκτιμηθεί καθόσον οι σχετικές μετρήσεις είναι γενικά πολυδάπανες και δεν καλύπτουν χωροχρονικά τις ανάγκες των υπό κατάρτιση υδατικών ισοζυγίων. Το θέμα αυτό έχει σχολιαστεί και στο εδάφιο 4.2.1 περί αρδευτικού νερού.

Η διήθηση του νερού στο έδαφος θεωρείται ως απώλεια για ένα σύστημα με επιφανειακή αποθήκευση νερού ενώ αντίθετα αποτελεί την κύρια τροφοδοσία στην περίπτωση υπόγειων αποθεμάτων. Η μέτρησή της είναι εξαιρετικά δύσκολη και συνήθως προκύπτει έμμεσα με την κατάρτιση υδατικών ισοζυγίων που αντιστοιχούν σε κατάλληλα επιλεγμένα υδρολογικά όρια. Ως παράδειγμα αναφέρουμε την περίπτωση ποταμού που παρουσιάζει μεγάλες απώλειες σε μερικά τμήματά του ενώ σε άλλα γίνεται επανεμφάνιση του νερού στην επιφάνεια. Είναι φανερό ότι η εκτίμηση της παροχής κατά τμήματα του ποταμού με κατάλληλη επιλογή των θέσεων υδρομέτρησης και της μέτρησης της στάθμης θα δώσει μια καλή προσέγγιση των "ανταλλαγών νερού" μεταξύ των επιφανειακών και των υπόγειων νερών.

5. ΤΡΟΠΟΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΙΣΟΖΥΓΙΩΝ

Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων μιας μελέτης υδατικού ισοζυγίου είναι καθοριστικής σημασίας για δύο λόγους: (α) βοηθά στην κατανόηση των συμπερασμάτων αλλά και της μεθοδολογίας που χρησιμοποιήθηκε από το προσωπικό των φορέων-χρηστών των υδατικών ισοζυγίων που μελετήθηκαν, και (β) διευκολύνει σημαντικά την ίδια τη διαδικασία κατάρτισης των υδατικών ισοζυγίων. Η παρουσίαση ενός υδατικού ισοζυγίου περιλαμβάνει γενικά τα ακόλουθα στοιχεία:

1. Όρια περιοχής μελέτης.
2. Μεμονωμένες συνιστώσες υδατικών ισοζυγίων και μεταβολή τους στον χώρο και το χρόνο.
3. Σχέση μεταξύ των συνιστωσών ενός υδατικού ισοζυγίου.
4. Αποτελέσματα υδατικών ισοζυγίων.

Στη συνέχεια δίνονται αναλυτικότερες πληροφορίες σχετικά με την παρουσίαση των παραπάνω στοιχείων ενός υδατικού ισοζυγίου.

5.1 Όρια περιοχής μελέτης

Τα όρια της περιοχής μελέτης ενός υδατικού ισοζυγίου καθορίζονται και παρουσιάζονται με έναν ή περισσότερους κάθε φορά τρόπους. Αυτοί είναι οι ακόλουθοι:

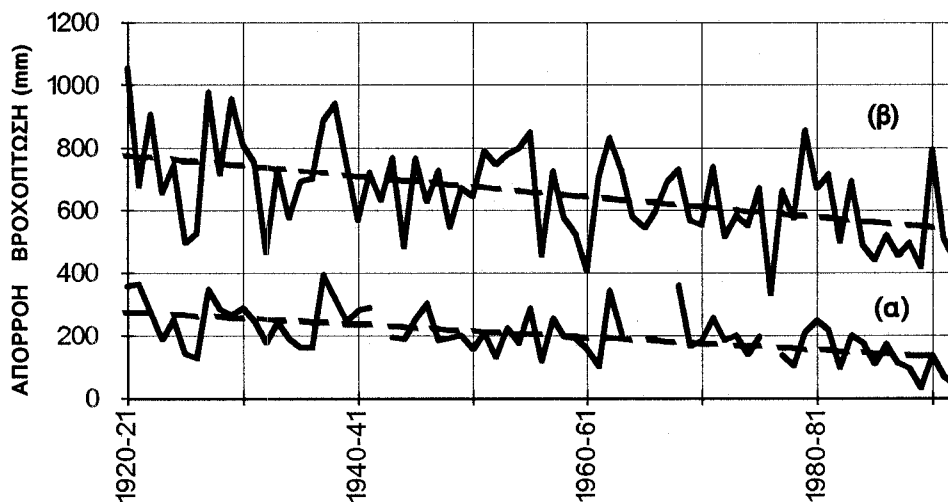
1. Χάρτες με ισοΰψεις, όρια λεκανών, υδρογραφικά δίκτυα, μετρητικούς σταθμούς, υδραυλικά έργα, δρόμους και οικιστικές περιοχές όπως αυτοί προκύπτουν από τους αντίστοιχους χάρτες της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού μετά από κατάλληλη επεξεργασία τους και κατάλληλη προσθήκη πληροφορίας (π.χ. υδροκρίτες).
2. Γεωλογικοί-υδρολιθολογικοί χάρτες για την περίπτωση των υπόγειων νερών.
3. Αεροφωτογραφίες από αεροπλάνο.
4. Δορυφορικές εικόνες.
5. Εικόνες από ραντάρ (π.χ. για τη βροχόπτωση).

Η παρουσίαση περιλαμβάνει είτε υδρολογικά όρια που σχετίζονται με τη φυσική προσφορά νερού είτε διοικητικά όρια που αντιστοιχούν στις συνιστώσες χρήσεων νερού. Στις περισσότερες περιπτώσεις οι χάρτες χρησιμεύουν και στην εξαγωγή χρήσιμων για τη μελέτη ποσοτήτων όπως για παράδειγμα τα εμβαδά των λεκανών απορροής.

5.2 Μεμονωμένες συνιστώσες υδατικών ισοζυγίων και μεταβολή τους στον χώρο και το χρόνο

Οι συνιστώσες του υδατικού ισοζυγίου που κάθε φορά μελετάται, αποτελούν, στην γενική περίπτωση, χρονοσειρές συγκεκριμένων μεταβλητών. Για το λόγο αυτό η γραφική παράστασή τους στο χρόνο δίνει σημαντικές πληροφορίες σχετικά με τη μεταβλητότητά τους από έτος σε έτος ή από εποχή σε εποχή καθώς και ποιοτικές πληροφορίες σχετικά με την ύπαρξη μακροχρόνιων τάσεων. Είναι λοιπόν σκόπιμη η γραφική παρουσίαση των συνιστωσών ενός υδατικού ισοζυγίου πέραν της πινακοποιημένης παρουσίασης.

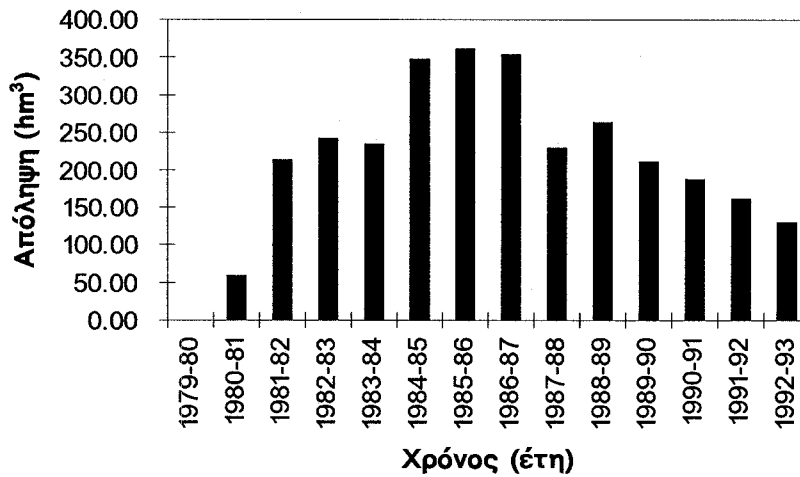
Ένα παράδειγμα παρουσίασης μεμονωμένης συνιστώσας φυσικής προσφοράς ενός υδατικού ισοζυγίου δίνουμε στο Σχήμα 1 που ακολουθεί. Στο σχήμα αυτό δίνεται η χρονική εξέλιξη της ετήσιας απορροής του Β. Κηφισού και της ετήσιας βροχόπτωσης στον σταθμό της Αλιάρτου.



Σχήμα 1. Ανίχνευση τάσης: (α) Ετήσια απορροή Β. Κηφισού και ευθεία της τάσης $Q(t) = 278.3 - 2.02t$, (β) Βροχόπτωση στην Αλιάρτο και ευθεία της τάσης $P(t) = 778.0 - 3.31t$. $Q(t)$ και $P(t)$ είναι αντίστοιχα οι μέσες τιμές της απορροής και της βροχόπτωσης στο χρόνο t σε mm. Οι ευθείες της τάσης δίνονται με διακεκομμένες γραμμές. (από τους Nalbantis et al., 1994).

Το σχήμα δείχνει καθαρά, χωρίς προηγούμενη χάραξη των ευθειών των τάσεων, την ύπαρξη πτωτικής τάσης τόσο στην βροχόπτωση όσο και στην απορροή του Β. Κηφισού.

Ένα δεύτερο παράδειγμα αφορά μια συνιστώσα χρήσης νερού και πιο συγκεκριμένη την ετήσια απόληψη από τον ταμιευτήρα Μόρνου μέσω της σήραγγας Γκιώνας κατά τη χρονική περίοδο 1979-80 έως 1993-94 η οποία παρουσιάζεται στο Σχήμα 2 που ακολουθεί.

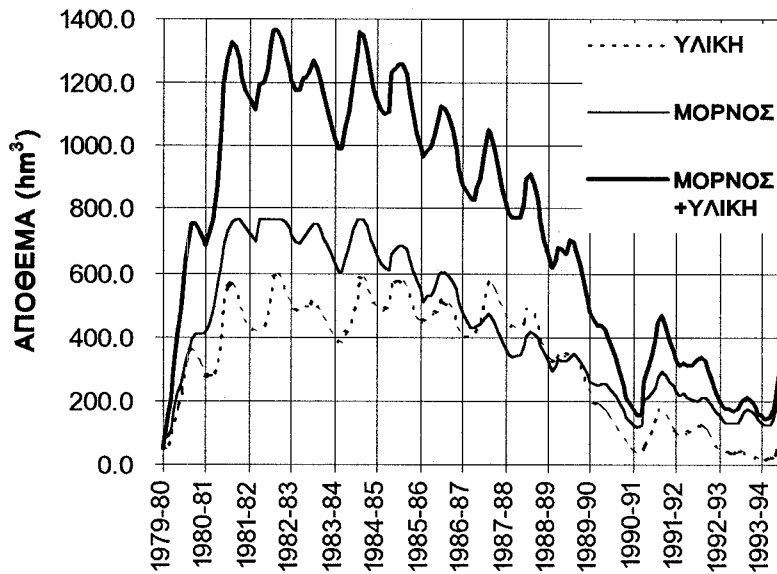


Σχήμα 2. Ετήσια απόληψη (σε hm³) από τον ταμιευτήρα Μόρνου μετρημένη στη έξοδο της σήραγγας Γκιώνας (από δεδομένα του προγράμματος "Διερεύνηση προσφερομένων δυνατοτήτων για την ενίσχυση της ύδρευσης της μείζονος περιοχής Αθηνών", βλ. Κουτσογιάννη κ.α., 1990γ, μετά από συμπλήρωση).

5.3 Σχέση μεταξύ των συνιστωσών ενός υδατικού ισοζυγίου

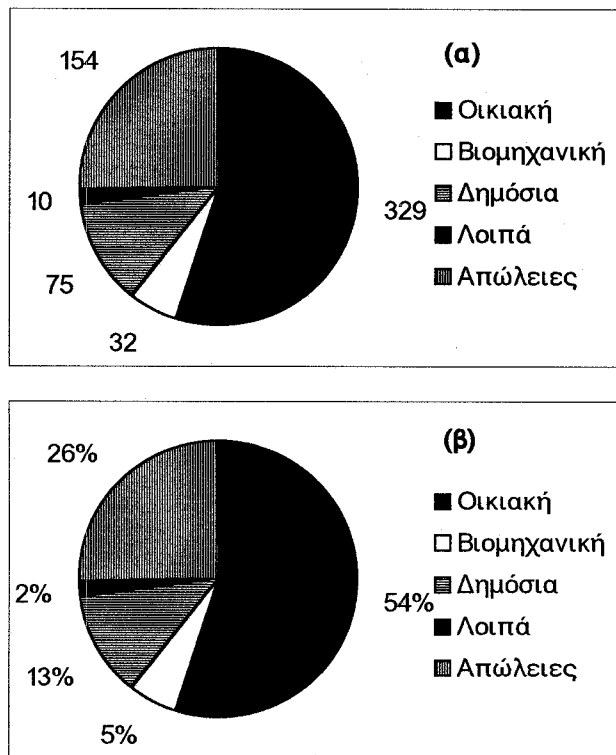
Η σχέση μεταξύ των διαφόρων συνιστωσών του υδατικού ισοζυγίου προτού ακόμη αυτό καταρτιστεί, διευκολύνουν την ανάλυση καθόσον δείχνουν ποιες συνιστώσες είναι σημαντικές και ποιες από αυτές δείχνουν μεγάλη μεταβλητότητα στο χρόνο σε σχέση με άλλες. Αυτό επιτρέπει τον καλύτερο καθορισμό των παραδοχών και των υποθέσεων με βάση τις οποίες γίνεται η ανάλυση.

Η σχεδίαση σε κοινό γράφημα και σε μορφή στηλών (bars) ή γραμμών δύο χρονοσειρών αποτελεί ένα συνηθισμένο εργαλείο για την επίτευξη των παραπάνω σκοπών. Ως παράδειγμα αναφέρουμε την περίπτωση της ταυτόχρονης διακύμανσης των μηνιαίων αποθεμάτων του ταμιευτήρα Μόρνου, της λίμνης Υλίκης και του αθροίσματος των δύο αποθεμάτων, από το 1979 έως το 1994. Η διακύμανση αυτή παρουσιάζεται στο Σχήμα 3 που ακολουθεί.



Σχήμα 3 Διακύμανση αποθεμάτων του ταμιευτήρα Μόρνου, της λίμνης Υλίκης και του αθροίσματος των δύο αποθεμάτων (από δεδομένα του προγράμματος "Διερεύνηση προσφερομένων δυνατοτήτων για την ενίσχυση της ύδρευσης της μείζονος περιοχής Αθηνών", βλ. Κουτσογιάννη κ.α., 1990γ, μετά από συμπλήρωση).

Στη συνέχεια δίνουμε ένα διαφορετικό παράδειγμα όπου μία συνιστώσα χρήσης νερού και συγκεκριμένα η κατανάλωση νερού στο υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας διαχωρίζεται σε υποκατηγορίες χρήσεων: την οικιακή χρήση, τη βιομηχανική χρήση, τις δημόσιες και δημοτικές χρήσεις και τις πάσης φύσεως απώλειες στο εσωτερικό δίκτυο διανομής και τα εξωτερικά υδραγωγεία μεταφοράς. Ο διαχωρισμός αυτός φαίνεται στο Σχήμα 4 που ακολουθεί και αντιστοιχεί σε πρόγνωση της εξέλιξης της κατανάλωσης το έτος 2010 η οποία έγινε στο ερευνητικό έργο "Διερεύνηση προσφερομένων δυνατοτήτων για την ενίσχυση της ύδρευσης της μείζονος περιοχής Αθηνών" (Κουτσογιάννης κ.α., 1990γ, Αφτιάς κ.α., 1990α, β). Οι ποσότητες αντιστοιχούν στη μέση ή πιθανότερη πρόβλεψη (μέσο σενάριο).



Σχήμα 4. Διαχωρισμός της κατανάλωσης της Αθήνας (στις πηγές) σε επί μέρους χρήσεις (μέσο σενάριο για το 2010), με βάση δεδομένα από τους Αφτιά κ.α.(1990α) και Αφτιά κ.α. (1990β): (α) σε απόλυτες τιμές (hm³), (β) σε ποσοστιαία αναλογία.

5.4 Αποτελέσματα υδατικών ισοζυγίων - Παραδείγματα

Παρουσιάζονται δύο παραδείγματα πραγματικών υδατικών ισοζυγίων. Στο πρώτο παράδειγμα, δίνονται τα μηνιαία και ετήσια ισοζύγια του ταμιευτήρα Μόρνου για την περίοδο 1979-94 όπως αυτά προκύπτουν από τα ιστορικά στοιχεία. Η παρουσίαση των ισοζυγίων γίνεται στον Πίνακα 2 που ακολουθεί. Τα ισοζύγια αυτά χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση της εισροής στον ταμιευτήρα από τον ποταμό Μόρνο για την οποία δεν υπήρχαν μετρήσεις για την περίοδο μετά την κατασκευή του φράγματος Μόρνου. Οι εκτιμήσεις της μηνιαίας εισροής φαίνονται στην τελευταία γραμμή του Πίνακα 2.

Πίνακας 2. Μηνιαία και ετήσια ισοζύγια ταμιευτήρα Μόρνου για το υδρολογικό έτος 1985-86.

	Οκτ	Νοε	Δεκ	Ιαν	Φεβ	Μάρ	Απρ	Μαι	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Έτος
Απόθεμα (hm^3)	545.6	513.2	526.8	531.3	556.6	594.3	604.7	605.5	593.5	571.4	544.8	513.2	
Απόληψη (hm^3)	35.00	30.20	20.70	27.20	24.60	26.80	29.50	31.60	31.50	35.20	34.50	33.30	360.10
Απώλειες (hm^3)	0.91	0.86	0.91	0.94	0.87	1.02	1.01	1.04	1.01	1.02	0.94	0.83	11.36
Υπερχει- λίσεις (hm^3)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Εξάτμιση (mm)	62.3	34.2	20.2	27.1	41.3	65.1	143.2	160.7	197.5	208.8	208.7	130.0	1298.9
Επιφάνεια (km^2)	15.10	15.00	15.10	15.20	15.50	15.70	15.70	15.70	15.60	15.50	15.10	14.80	
Εξάτμιση (hm^3)	0.94	0.51	0.31	0.41	0.64	1.02	2.25	2.51	3.06	3.15	3.09	1.92	19.81
Βροχόπτωση (mm)	40.1	280.4	35.7	116.6	142.1	41.7	32.1	33.6	75.6	21.3	10.0	0.4	829.65
Βροχόπτωση (hm^3)	0.60	4.20	0.54	1.77	2.20	0.65	0.50	0.53	1.18	0.33	0.15	0.01	12.67
Εισροές (hm^3)	3.85	40.97	25.88	52.08	61.61	38.59	33.05	22.62	12.29	12.44	6.78	2.45	312.60

Στο δεύτερο παράδειγμα δίνονται τα μέσα ετήσια ισοζύγια της δεκαετούς περιόδου 1992-2002 όπως αυτά υπολογίστηκαν με βάση συνθετικά υδρολογικά δεδομένα απορροής βροχόπτωσης και εξάτμισης 5000 ετών (500 διαφορετικές χρονοσειρές για 10 έτη). Ο Πίνακας 3 που ακολουθεί έχει ληφθεί από την εργασία των Ναλμπάντη και Κουτσογιάννη (1992α) που στηρίχτηκε σε δεδομένα και μεθόδους που αναπτύχθηκαν στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος "Διερεύνηση προσφερομένων δυνατοτήτων για την ενίσχυση της ύδρευσης της μείζονος περιοχής Αθηνών" (Κουτσογιάννης και Ναλμπάντης, 1990, Κουτσογιάννης κ.α., 1990α, β, γ, Μαμάσης, 1990, Ναλμπάντης, 1990α, β, Nalbantis et al., 1992)

Πίνακας 3. Μέσα υδατικά ισοζύγια με βάση συνθετικά δεδομένα για τη δεκαετία 1992-2002.

	ΣΕΝΑΡΙΟ 1	ΣΕΝΑΡΙΟ 2	ΣΕΝΑΡΙΟ 3
A. ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ			
Καθεστώς εισροής	Κανονικό	Κανονικό	Κανονικό
Κατανάλωση 1991-92 (hm ³)			
στα διυλιστήρια	330	330	310
στις πηγές	360	360	335
Ετήσια αύξηση κατανάλωσης (%)	3	3	3
Ετήσια απόληψη Κωπαΐδας (hm ³)	15	15	15
Αρχικά ωφέλ. αποθέματα Μόρνου (hm ³)	99.6	99.6	99.6
Αρχικά ωφέλ. αποθέματα Υλίκης (hm ³)	33.8	33.8	33.8
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)	35	28	28
β) Μάϊος-Σεπτ (hm ³)	25	20	0
Ετήσια ενίσχυση από γεωτρήσεις στον υδαταγωγό Υλίκης Οκτ-Σεπτ (hm ³)	90	72	72
Συνολική ετήσια ενίσχυση (hm ³)	150	120	100

B. ΜΕΣΑ ΕΤΗΣΙΑ ΙΣΟΖΥΓΙΑ* (hm ³)	Μόρνος	Υλίκη	Μόρνος	Υλίκη	Μόρνος	Υλίκη
Σύνολο εισροών	294	282	294	282	294	287
Απορροή	281	276	281	276	282	276
Βροχόπτωση	13	6	13	6	12	6
Σύνολο εκροών	294	282	294	282	294	282
Ύδρευση	158	108	172	122	165	120
Άρδευση	0	15	0	15	0	15
Εξάτμιση	24	25	24	24	24	23
Υπόγεια διαφυγή	12	105	12	94	12	94
Υπερχείλιση	60	6	48	5	55	6
Διαφορά αποθέματος	40	25	38	22	38	24
Ενίσχυση	60	90	48	72	28	72

Πίνακας 3. (συνέχεια) Μέσα υδατικά ισοζύγια με βάση συνθετικά δεδομένα για τη δεκαετία 1992-2002.

	ΣΕΝΑΡΙΟ 4	ΣΕΝΑΡΙΟ 5	ΣΕΝΑΡΙΟ 6
A. ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ			
Καθεστώς εισροής	Ξηρασία	Ξηρασία	Ξηρασία
Κατανάλωση 1991-92 (hm ³)			
στα διυλιστήρια	330	290	260
στις πηγές	360	315	280
Ετήσια αύξηση κατανάλωσης (%)	3	3	3
Ετήσια απόληψη Κωπαΐδας (hm ³)	15	15	15
Αρχικά ωφέλ. αποθέματα Μόρνου (hm ³)	99.6	99.6	99.6
Αρχικά ωφέλ. αποθέματα Υλίκης (hm ³)	33.8	33.8	33.8
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	28
β) Μάϊος-Σεπτ (hm ³)	20	20	20
Ετήσια ενίσχυση από γεωτρήσεις στον υδαταγωγό Υλίκης Οκτ-Σεπτ (hm ³)	72	72	72
Συνολική ετήσια ενίσχυση (hm ³)	120	120	120

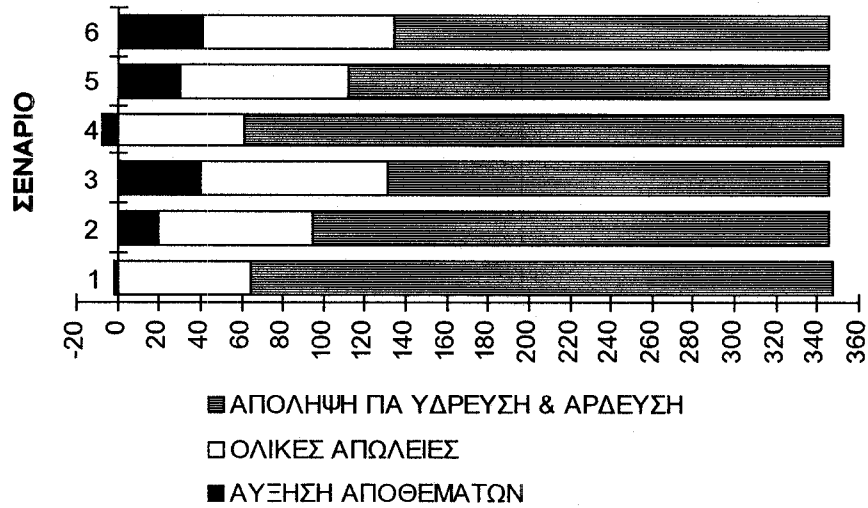
B. ΜΕΣΑ ΕΤΗΣΙΑ ΙΣΟΖΥΓΙΑ* (hm ³)	Μόρνος	Υλίκη	Μόρνος	Υλίκη	Μόρνος	Υλίκη
Σύνολο εισροών	176	169	176	169	176	169
Απορροή	172	166	171	166	170	166
Βροχόπτωση	4	3	5	3	6	3
Σύνολο εκροών	176	169	176	169	176	169
Ύδρευση	166	108	134	106	100	102
Άρδευση	0	9	0	12	0	12
Εξάτμιση	11	15	16	15	20	15
Υπόγεια διαφυγή	3	35	7	34	10	36
Υπερχείλιση	0	0	2	0	10	0
Διαφορά αποθέματος	--4	2	17	3	36	4
Ενίσχυση	48	72	48	72	48	72

Πίνακας 3. (συνέχεια) Μέσα υδατικά ισοζύγια με βάση συνθετικά δεδομένα για τη δεκαετία 1992-2002.

	ΣΕΝΑΡΙΟ 7	ΣΕΝΑΡΙΟ 8	ΣΕΝΑΡΙΟ 9
A. ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ			
Καθεστώς εισροής	Ξηρασία	Ξηρασία	Ξηρασία
Κατανάλωση 1991-92 (hm ³)			
στα διυλιστήρια	330	260	240
στις πηγές	360	280	260
Ετήσια αύξηση κατανάλωσης (%)	3	3	3
Ετήσια απόληψη Κωπαΐδας (hm ³)	0	0	15
Αρχικά ωφέλ. αποθέματα Μόρνου (hm ³)	99.6	99.6	99.8
Αρχικά ωφέλ. αποθέματα Υλίκης (hm ³)	33.8	33.8	33.8
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	28
β) Μάιος-Σεπτ (hm ³)	0	0	0
Ετήσια ενίσχυση από γεωτρήσεις στον υδαταγωγό Υλίκης Οκτ-Σεπτ (hm ³)	72	72	72
Συνολική ετήσια ενίσχυση (hm ³)	100	100	100

B. ΜΕΣΑ ΕΤΗΣΙΑ ΙΣΟΖΥΓΙΑ* (hm ³)	Μόρνος	Υλίκη	Μόρνος	Υλίκη	Μόρνος	Υλίκη
Σύνολο εισροών	176	169	176	169	176	169
Απορροή	172	166	169	166	169	166
Βροχόπτωση	4	3	7	3	7	3
Σύνολο εκροών	176	169	176	169	176	169
Ύδρευση	172	110	116	105	98	101
Άρδευση	0	9	0	12	0	12
Εξάτμιση	10	14	18	15	20	15
Υπόγεια διαφυγή	2	35	9	15	10	37
Υπερχείλιση	0	0	5	0	11	0
Διαφορά αποθέματος	-8	1	28	2	37	4
Ενίσχυση	28	72	28	72	28	72

Τα μέσα ετήσια ισοζύγια για τα σενάρια 6 ως 9 παρουσιάζονται στο Σχήμα 5 που ακολουθεί



Σχήμα 5. Μέσα ετήσια ισοζύγια για το υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας. Έχουν βασιστεί σε 500 συνθετικές χρονοσειρές χρονικού ορίζοντα μιας 10-ετίας.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Α. Στην ελληνική γλώσσα

- Αφτιάς, Ε., Τσολακίδης, Κ. και Μαμάσης, Ν., 1990α. *Διερεύνηση προσφερομένων δυνατοτήτων για την ενίσχυση της ύδρευσης μείζονος περιοχής Αθηνών*, Τεύχος 12, Υδατικές καταναλώσεις μείζονος περιοχής Αθηνών, ΕΜΠ, ΤΥΠΥΘΕ, Αθήνα.
- Αφτιάς, Ε., Τσολακίδης, Κ. και Ξανθόπουλος, Θ., 1990β. Εναλλακτικές προοπτικές της εξέλιξης των καταναλώσεων στην Αθήνα, στο *Προοπτικές επίλυσης του υδροδοτικού προβλήματος της Αθήνας*, Πρακτικά ημερίδας της ΕΕΔΥΠ, της 17 Οκτωβρίου 1990, έκδοση Γ. Φούντα, σελ. 25-34, Αθήνα.
- Κουτσογιάννης, και Ναλμπάντης, Ι., 1990. *Διερεύνηση προσφερομένων δυνατοτήτων για την ενίσχυση της ύδρευσης μείζονος περιοχής Αθηνών*, Τεύχος 8, Εκτίμηση δυνατοτήτων σημερινού υδροδοτικού συστήματος Μόρνου - Υλίκης, ΕΜΠ, ΤΥΠΥΘΕ, Αθήνα.
- Κουτσογιάννης, Δ., Μαμάσης, Ν. και Ναλμπάντης, Ι., 1990α. *Διερεύνηση προσφερομένων δυνατοτήτων για την ενίσχυση της ύδρευσης μείζονος περιοχής Αθηνών*, Τεύχος 13, Στοχαστική προσομοίωση υδρολογικών μεταβλητών, ΕΜΠ, ΤΥΠΥΘΕ, Αθήνα.
- Κουτσογιάννης, Δ., Ναλμπάντης, Ι. και Τσολακίδης, Κ., 1990β. *Διερεύνηση προσφερομένων δυνατοτήτων για την ενίσχυση της ύδρευσης μείζονος περιοχής Αθηνών*, Τεύχος 16, Προγραμματισμός λειτουργίας του σημερινού υδροδοτικού συστήματος, ΕΜΠ, ΤΥΠΥΘΕ, Αθήνα.
- Κουτσογιάννης, Δ., Ξανθόπουλος, Θ., και Αφτιάς, Ε., 1990γ. *Διερεύνηση προσφερομένων δυνατοτήτων για την ενίσχυση της ύδρευσης της μείζονος περιοχής Αθηνών*, Τεύχος 18, Τελική Έκθεση, ΕΜΠ, Αθήνα.
- Κουτσογιάννης, Δ., Ναλμπάντης, Ι. και Μαμάσης, Ν., 1992. Εκτίμηση του κινδύνου ανεπάρκειας του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας σε συνθήκες έμμονης ξηρασίας, *Ημερίδα της ΕΥΔΑΠ*, 7 Μαΐου 1992, 30 σελ.
- Μαμάσης, Ν., Ναλμπάντης, Ι. και Κουτσογιάννης, Δ., 1992. Διερεύνηση των υδρολογικών χαρακτηριστικών των λεκανών Μόρνου και Β. Κηφισού - Υλίκης, *Ημερίδα Ύδρευση Αθήνας* Συλλόγου Πολιτικών Μηχανικών Ελλάδας, Πανελληνίου Συλλόγου Χημικών Μηχανικών και Συνδέσμου Ελληνικών Γραφείων Μελετών, 23-24 Νοεμβρίου 1992, Αθήνα, σελ. 17.

- Ναλμπάντης, Ι., 1990α. *Διερεύνηση προσφερομένων δυνατοτήτων για την ενίσχυση της ύδρευσης μείζονος περιοχής Αθηνών*, Τεύχος 14, Μοντελοποίηση υδροδοτικού συστήματος, ΕΜΠ, ΤΥΠΥΘΕ, Αθήνα.
- Ναλμπάντης, Ι., 1990β. *Διερεύνηση προσφερομένων δυνατοτήτων για την ενίσχυση της ύδρευσης μείζονος περιοχής Αθηνών*, Τεύχος 15, Υδρολογικός σχεδιασμός ταμειυτήρων Ευήνου, ΕΜΠ, ΤΥΠΥΘΕ, Αθήνα.
- Ναλμπάντης, Ι. και Κουτσογιάννης, Δ., 1992α. Εκτίμηση του κινδύνου ανεπάρκειας του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας, Ημερίδα *Ύδρευση Αθήνας* Συλλόγου Πολιτικών Μηχανικών Ελλάδας, Πανελλήνιου Συλλόγου Χημικών Μηχανικών και Συνδέσμου Ελληνικών Γραφείων Μελετών, 23-24 Νοεμβρίου 1992, Αθήνα, σελ. 16.
- Ναλμπάντης, Ι. και Κουτσογιάννης, Δ., 1992β. *Εκτίμηση και διαχείριση υδατικών πόρων της Στερεάς Ελλάδας*, Τεύχος 10, Τελική Έκθεση Α φάσης, ΕΜΠ, ΤΥΠΥΘΕ, Αθήνα.
- Ξανθόπουλος, Θ., 1984. *Εισαγωγή στην Τεχνική Υδρολογία*, ΕΜΠ, Αθήνα.
- Παπαζαφειρίου, Ζ., 1984. *Αρχές και πρακτική των αρδεύσεων*, εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.
- Τσακίρης, Γ., 1988. *Μαθήματα εγγειοβελτιωτικών έργων*, ΕΜΠ, Αθήνα.

B. Σε ξένες γλώσσες

- Chow, V.T., Maidment, D.R. and Mays, L.W., 1988. *Applied Hydrology*, McGraw Hill.
- Maidment, D.R. (editor in chief), 1993. *Handbook of hydrology*, McGraw Hill, New York.
- Nalbantis, I., Koutsoyiannis, D. and Xanthopoulos, Th., 1992. Modeling the Athens water supply system, *Water Resour. Management* 6(1), 57-67.
- Nalbantis, I., Mamassis, N. et Koutsoyiannis, D., 1994. Le phénomène récent de sécheresse persistante et l'alimentation en eau de la cité d'Athènes, Comptes-rendus du 6ème colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Thessalonique, 20-25 Septembre 1993, dans *La sécheresse en Méditerranée et les pays environnants* (P. Mahéras ed.), Publications de l'Association Internationale de Climatologie, Vol. 6, 123-132, Aix-en-Provence.
- U.S. Army Corps of Engineers, 1980. *Guide manual for preparation of water balances*, research document No 16, Hydrologic Research Center.