

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 ΕΛΛΑΣ

ΦΑΣΗ Β

ΤΕΥΧΟΣ 32
ΤΕΛΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ Β' ΦΑΣΗΣ

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

PHASE B

VOLUME 32
FINAL REPORT OF PHASE B

ΣΥΝΤΑΞΗ: Δ. ΚΟΥΤΣΟΓΙΑΝΝΗΣ, Π. ΜΑΡΙΝΟΣ
ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΣ ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ: Θ. ΞΑΝΘΟΠΟΥΛΟΣ
ΚΥΡΙΟΣ ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Δ. ΚΟΥΤΣΟΓΙΑΝΝΗΣ

BY: D. KOUTSOYIANNIS, P. MARINOS
SCIENTIFIC DIRECTOR: TH. XANTHOPoulos
PRINCIPAL INVESTIGATOR: D. KOUTSOYIANNIS

ΑΘΗΝΑ - ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 1995

ATHENS - SEPTEMBER 1995

Περιεχόμενα

Ερευνητική ομάδα	iii
Αναγνωρίσεις.....	vi
1. Εισαγωγή	1
1.1 Ιστορικό	1
1.2 Στόχοι και συμβατικό αντικείμενο της δεύτερης φάσης	2
1.3 Αντικείμενο του παρόντος τεύχους	4
1.4 Παραδοτέα της δεύτερης φάσης	4
2. Γενική περιγραφή υδατικών διαμερισμάτων Στερεάς Ελλάδας	8
2.1 Λεκάνες απορροής	8
2.2 Συνοπτικά γεωλογικά και υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά των υδατικών διαμερισμάτων	11
2.2.1 Γεωλογική δομή της Στερεάς Ελλάδας	11
Ζώνη Παξών ή Προαπούλιος.....	11
Ζώνη Ιόνιος.....	11
Ζώνη Γαβρόβου.....	12
Ζώνη Πίνδου	12
Ζώνη Παρνασσού - Γκιώνας.....	12
Βοιωτική σειρά.....	13
Υποπελαγονική ζώνη.....	13
Πελαγονική ζώνη.....	13
Παλαιοζωϊκοί σχηματισμοί	14
Μεταλπικές αποθέσεις (Μολάσσες - Νεογενή)	14
Τεταρτογενείς σχηματισμοί	14
2.2.2 Υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά της Στερεάς Ελλάδας	15
2.3 Υδατικά συστήματα με ιδιαίτερο διαχειριστικό ενδιαφέρον	18
2.4 Υδατικά συστήματα με ιδιαίτερο υδρογεωλογικό ενδιαφέρον	22
3. Δεδομένα επιφανειακής υδρολογίας - Επιφανειακό υδατικό δυναμικό	26
3.1 Αναβάθμιση υπολογιστικού περιβάλλοντος για την διαχείριση και επεξεργασία υδρολογικών δεδομένων	26
3.2 Μεθοδολογία επεξεργασίας υδρολογικών δεδομένων	28
3.2.1 Βροχομετρικά δεδομένα	28
3.2.2 Μετεωρολογικά δεδομένα	28
3.2.3 Υδρομετρικά δεδομένα	30
3.3 Κατάρτιση υδατικών ισοζυγίων	32
3.4 Αποτελέσματα επεξεργασίας δεδομένων - Υδατικό δυναμικό	35
3.5 Ανίχνευση κλιματικών τάσεων	37
4. Σύστημα γεωγραφικής πληροφορίας	44

4.1 Τοπογραφικές πληροφορίες	44
4.2 Πληροφορίες επιφανειακής υδρολογίας	45
4.3 Πληροφορίες γεωλογίας και υδρογεωλογίας	54
Ανάπτυξη υδρολιθολογικού χάρτη.....	55
Χάρτης κατανομής και δυναμικού των διαφόρων τύπων υδροφοριών	56
Χάρτες υδρογεωλογικών πληροφοριών σε επιλεγμένη λεκάνη με υδρογεωλογικό ενδιαφέρον	57
5. Κατασκευή μαθηματικών μοντέλων και ανάπτυξη λογισμικού	58
5.1 Μοντέλο στοχαστικής προσομοίωσης υδρολογικών χρονοσειρών με απλή τεχνική επιμερισμού	58
5.1.1 Το γενικό σχήμα προσομοίωσης του μοντέλου	59
5.1.2 Στατιστικές παράμετροι που διατηρούνται	60
5.1.3 Μοντέλο γέννησης ετήσιων μεταβλητών (μεταβλητών υψηλότερου επιπέδου)	61
5.1.4 Μοντέλο γέννησης μεταβλητών χαμηλότερου επιπέδου	61
5.1.5 Δομή και λειτουργία του προγράμματος	62
5.2 Μοντέλο κατάρτισης όμβριων καμπυλών	63
5.2.1 Μεθοδολογία κατάρτισης όμβριων καμπυλών	64
5.2.2 Γενική περιγραφή του προγράμματος OMBRE	65
5.2.3 Μεθοδολογία διερεύνησης της γεωγραφικής μεταβολής των όμβριων καμπυλών με συνεκτίμηση και των δεδομένων από βροχόμετρα	67
5.2.4 Εφαρμογή της μεθόδου στη Στερεά Ελλάδα	68
5.3 Μοντέλα βελτιστοποίησης της διαχείρισης υδατικών συστημάτων	69
5.3.1 Επιλογή σχήματος μοντέλων για τα δύο βασικά υδατικά συστήματα της Στερεάς Ελλάδας	72
5.3.2 Πιλοτικό μοντέλο για τη διαχείριση του συστήματος ταμιευτήρων υδροδότησης της Αθήνας	73
5.3.3 Πιλοτικό μοντέλο για τη διαχείριση του συστήματος ταμιευτήρων του Αχελώου	75
6. Σύνοψη, συμπεράσματα και προτάσεις	78
6.1 Σύνοψη	78
6.2 Κυριότερα συμπεράσματα	79
6.3 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα	81
Αναφορές.....	83

Ερευνητική ομάδα

Επιστημονικός υπεύθυνος του ερευνητικού έργου ήταν ο καθηγητής Θ. Ξανθόπουλος. Συντονιστής του έργου και κύριος ερευνητής στο τμήμα του έργου που αφορά στην επιφανειακή υδρολογία και διαχείριση υδατικών πόρων ήταν ο επίκουρος καθηγητής Δ. Κουτσογιάννης. Κύριος ερευνητής στο τμήμα του έργου που αφορά στην υδρογεωλογία ήταν ο καθηγητής Π. Μαρίνος.

Στην ερευνητική ομάδα του Τομέα Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων του ΕΜΠ συμμετείχαν οι ακόλουθοι ερευνητές, οι οποίοι και έκαναν τις αντίστοιχες εργασίες της δεύτερης φάσης του ερευνητικού έργου:

Όνοματεπώνυμο - Ιδιότητα	Εργασίες
A. Κουκουβίνος Διπλ. Μηχανικός	Συμμετοχή στην ανάπτυξη του Συστήματος Γεωγραφικής Πληροφορίας.
Δ. Κουτσογιάννης Επίκουρος καθηγητής	Συμμετοχή στην αναβάθμιση του υπολογιστικού περιβάλλοντος. Θεωρητική ανάπτυξη μοντέλου στοχαστικής προσομοίωσης. Θεωρητική ανάπτυξη μοντέλου όμβριων καμπυλών. Συμμετοχή στο πιλοτικό μοντέλο διαχείρισης του υδροδοτικού συστήματος Αθήνας. Θεωρητική κάλυψη της κατάρτισης καμπυλών στάθμης-παροχής. Συμμετοχή στην κατάρτιση υδρολογικών ισοζυγίων. Συμμετοχή στην συγγραφή της τελικής έκθεσης.
N. Μαμάσης Διπλ. Μηχανικός - Υποψήφιος διδάκτορας	Συμμετοχή στην αναβάθμιση του υπολογιστικού περιβάλλοντος. Συμμετοχή στην επεξεργασία υδρομετεωρολογικών δεδομένων. Συντονισμός εργασιών συλλογής και αρχειοθέτησης υδρολογικών δεδομένων. Κατάρτιση υδρολογικών ισοζυγίων. Συμμετοχή στην ανάπτυξη του Συστήματος Γεωγραφικής Πληροφορίας. Ανάπτυξη και εκτέλεση προγραμμάτων επεξεργασίας υδρολογικών δεδομένων μέσω Συστήματος Γεωγραφικής Πληροφορίας.
A. Μανέτας Διπλ. Μηχανικός - Υποψήφιος διδάκτορας	Προγραμματιστικές εργασίες αναβάθμισης του υπολογιστικού περιβάλλοντος. Προγραμματισμός και λειτουργία μοντέλου στοχαστικής προσομοίωσης. Προγραμματισμός και λειτουργία μοντέλου όμβριων καμπυλών. Συμμετοχή στη συλλογή και αρχειοθέτηση υδρολογικών δεδομένων

Όνοματεπώνυμο - Ιδιότητα	Εργασίες
I. Ναλμπάντης Δρ Μηχανικός	Συγκριτική μελέτη μεθόδων βελτιστοποίησης σε προβλήματα υδατικών πόρων. Συμμετοχή στην κατάρτιση μεθοδολογίας για τη βέλτιστη διαχείριση του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας. Ανάπτυξη-τυποποίηση μεθοδολογίας για την κατάρτιση υδατικών ισοζυγίων. Συμμετοχή στην κατάρτιση υδρολογικών ισοζυγίων. Καταγραφή και συστηματοποίηση διαχειριστικών δεδομένων.
A. Παπακώστας Διπλ. Μηχανικός - Υποψήφιος διδάκτορας	Αναβάθμιση βάσεων δεδομένων. Σύνδεση υπολογιστικών συστημάτων. Διαχείριση υπολογιστικών συστημάτων.
I. Σταματάκη Διπλ. Μηχανικός	Συμμετοχή στην ανάπτυξη Συστήματος Γεωγραφικής Πληροφορίας. Ψηφιοποίηση χαρτών.
Γ. Τσακαλίας Διπλ. Μηχανικός - Υποψήφιος διδάκτορας	Θεωρητική ανάπτυξη μοντέλου βελτιστοποίησης με γενετικούς αλγορίθμους. Προγραμματισμός πιλοτικού μοντέλου για τη διαχείριση του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας. Ανάπτυξη συστήματος κατάρτισης καμπυλών στάθμης-παροχής και εξαγωγής παροχών, και εφαρμογή του στους ποταμούς της Στερεάς Ελλάδας.
A. Χριστοφίδης Διπλ. Μηχανικός	Συμμετοχή στη διαχείριση των υπολογιστικών συστημάτων. Επεξεργασία υδρομετεωρολογικών δεδομένων

Με την παραπάνω ερευνητική ομάδα συνεργάστηκαν επίσης στην κατασκευή του πιλοτικού μοντέλου διαχείρισης του συστήματος ταμιευτήρων του Αχελώου οι A. Γεωργακάκος, καθηγητής, H. Yao, μεταδιδακτορικός ερευνητής, Y. Yu και K. Νουτσόπουλος, προδιδακτορικοί ερευνητές, της Σχολής Πολιτικών και Περιβαλλοντικών Μηχανικών του Ινστιτούτου Τεχνολογίας της Γεωργίας (HITA). Ακόμη συνεργάστηκε ως σύμβουλος στη μεθοδολογία κατάρτισης όμβριων καμπυλών η καθηγήτρια του Πανεπιστημίου της Μίνεσότα (HITA) E. Φούφουλα-Γεωργίου.

Στην ομάδα συμμετείχαν ακόμη ο A. Καζάκος, πτυχιούχος διοίκησης επιχειρήσεων, ως σύμβουλος διαχείρισης, ο οποίος έκανε και την απόδοση στα ελληνικά του τεύχους 15, και ο I. Σπυράκος, ως σύμβουλος στην ανάπτυξη του Συστήματος Γεωγραφικής Πληροφορίας. Τη γραμματειακή επιμέλεια είχε η Φ. Κρεμιζή, ενώ βοήθησε και η B. Γαλανοπούλου.

Στην ερευνητική ομάδα του Τομέα Γεωτεχνικής του ΕΜΠ συμμετείχαν οι ακόλουθοι ερευνητές, οι οποίοι και έκαναν τις αντίστοιχες εργασίες της δεύτερης φάσης του ερευνητικού έργου:

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ - ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΕΡΓΑΣΙΕΣ
Μ.Χ. Αλεξιάδου Υδρογεωλόγος	Καταγραφή και ανάλυση υδρογεωλογικών δεδομένων. Ανάπτυξη βάσης δεδομένων
Α. Βαλαδάκη Γεωλόγος, Υποψ. διδάκτορας	Ανάπτυξη Συστήματος Γεωγραφικής Πληροφορίας
Δ. Ζαμπετάκης Γεωλόγος, Υποψ. διδάκτορας	Καταγραφή και ανάλυση υδρογεωλογικών δεδομένων
Μ. Καββαδάς Επίκουρος καθηγητής	Συμβουλευτική συμμετοχή σε θέματα ανάπτυξης του προγράμματος μέσω των Η/Υ.
Π. Μαρίνος Καθηγητής	Κύριος ερευνητής, συντονιστής, υδρογεωλογικού τμήματος.
Α. Παναγόπουλος Γεωλόγος	Καταγραφή και ανάλυση υδρογεωλογικών δεδομένων. Υπεύθυνος ψηφιακών χαρτών
Β. Περλέρος Υδρογεωλόγος	Καταγραφή και ανάλυση υδρογεωλογικών δεδομένων
Σ. Πλέσσας	Καταγραφή και ανάλυση υδρογεωλογικών δεδομένων. Ανάπτυξη Συστήματος Γεωγραφικής Πληροφορίας

Επίσης στην ερευνητική ομάδα συμμετείχαν οι γεωλόγοι Κ. Σωτηροπούλου, Κ. Μιχαλοπούλου, Π. Δαφνής και Ε. Κλεισιούνη και ο Πολ. Μηχανικός Α. Αντωνίου οι οποίοι βοήθησαν στη συγκέντρωση και επεξεργασία των υδρογεωλογικών δεδομένων.

Στην ερευνητική ομάδα του ΥΠΕΧΩΔΕ συμμετείχαν αρχικώς η Κ. Αλεξοπούλου και η Π. Αναστασοπούλου, διπλωματούχοι μηχανικοί και υπάλληλοι ΥΠΕΧΩΔΕ, οι οποίες συνέβαλαν στη μεταφορά των δεδομένων από το παλιό στο νέο υπολογιστικό περιβάλλον και τη διαχείριση της βάσης δεδομένων. Με την απόφαση Δ6/οικ/1960/26-10-1994 τα παραπάνω μέλη αντικαταστάθηκαν από τους Ε. Τηλιγάδα, Δρ. Μηχανικό (με αναπληρωτή τον Σ. Τζοβαρίδη, Δρ. Μηχανικό) και Γ. Παπαγεωργίου, Διπλ. Μηχανικό (με αναπληρωτή τον Δ. Κάτρη, Διπλ. Μηχανικό), οι οποίοι υποστήριξαν το έργο από πλευράς ΥΠΕΧΩΔΕ και διευκόλυναν τη συλλογή των υδρολογικών δεδομένων.

Αναγνωρίσεις

Η ερευνητική ομάδα του ΕΜΠ επιθυμεί να ευχαριστήσει

- τον πρώην διευθυντή Έργων Ύδρευσης και Αποχέτευσης (Δ6) του ΥΠΕΧΩΔΕ κ. Ι. Λεονταρίτη, για την ανάθεση του έργου.
- τον πρώην διευθυντή Έργων Ύδρευσης και Αποχέτευσης (Δ6) του ΥΠΕΧΩΔΕ κ. Τσουρέλη, για τη συνεργασία του.
- το διευθυντή Έργων Ύδρευσης και Αποχέτευσης (Δ6) του ΥΠΕΧΩΔΕ κ. Θ. Μπακόπουλο, για τη συνεργασία του.
- τα μέλη της ομάδας του ΥΠΕΧΩΔΕ κκ. Κ. Αλεξοπούλου, Π.Αναστασοπούλου, Ε. Τηλιγάδα, Γ. Παπαγεωργίου, Σ. Τζοβαρίδη και Δ. Κάτρη, για τη συνεργασία τους.

Ακόμη η ερευνητική ομάδα ευχαριστεί:

- τους κκ. Α. Κατσίκα, Π. Τσούκα της Διεύθυνσης Δ7 του ΥΠΕΧΩΔΕ,
- τους κκ. Χ. Μαντέλη και Δ. Κεντούρη του Τμήματος Στατιστικών στοιχείων της ΕΥΔΑΠ,
- τον τομεάρχη κ. Α. Ξανθουλέα και την κα. Ι. Μαραγκού του Τομέα Συλλογής και Μελέτης Υδρολογικών στοιχείων της Διεύθυνσης Ανάπτυξης Υδροηλεκτρικών Έργων (ΤΣΜΥΣ/ΔΑΥΕ) της ΔΕΗ,
- τον κλαδάρχη κ. Λέρη καθώς και τους κκ. Αργυράκη και Μαύρο του Κλάδου Υδραυλικής Παραγωγής της Διεύθυνσης Εκμετάλλευσης Παραγωγής της ΔΕΗ

για την παροχή δεδομένων.

Τέλος, ευχαριστεί τον καθηγητή Α. Γεωργακάκο και τα μέλη της ερευνητικής ομάδας του Η. Yao, Y. Yu και K. Νουτσόπουλο, της Σχολής Πολιτικών και Περιβαλλοντικών Μηχανικών του Ινστιτούτου Τεχνολογίας της Γεωργίας (ΗΠΑ) καθώς και την καθηγήτρια του Πανεπιστημίου της Μινεσότα (ΗΠΑ) E. Φουφουλα-Γεωργίου, για τη συνεργασία τους.

Η ερευνητική ομάδα της υδρογεωλογίας επιθυμεί να ευχαριστήσει:

- τον κ. Μαυρίδη, διευθυντή της Διεύθυνσης χαρτογράφησης του ΙΓΜΕ καθώς και τους γεωλόγους κκ. Κατσαβριά και Τριανταφύλλη για την πολύτιμη βοήθειά τους στη χορήγηση των γεωλογικών στοιχείων των ανέκδοτων γεωλογικών χαρτών του ΙΓΜΕ.
- τις ακόλουθες Διευθύνσεις Εγγείων Βελτιώσεων για τη χορήγηση δεδομένων υδρογεωτρήσεων: ΔΕΒ Αιτωλοακαρνανίας (Γεωπόνος κ. Τσιλίγκρος, κ. Σίσκος), ΔΕΒ Βοιωτίας, ΔΕΒ Ευβοίας (Γεωπόνος κα Μαρτίνου), ΔΕΒ Ευβοίας (Διευθυντής κ. Λύκος), ΔΕΒ Λευκάδας (Γεωπόνος Διευθυντής κ. Βαγενάς), ΔΕΒ Φθιώτιδας (Γεωλόγος κ. Δημητρέσας) και ΔΕΒ Φωκίδας (Γεωπόνος κ. Δημητρέλος).

Αιτήσεις για τη χορήγηση υδρογεωλογικών δεδομένων έγιναν στη Διεύθυνση Υδρογεωλογίας του ΙΓΜΕ μέσω ΥΠΕΧΩΔΕ και στη Διεύθυνση Γεωλογίας - Υδρολογίας του Υπουργείου Γεωργίας.

1. Εισαγωγή

1.1 Ιστορικό

Το Υπουργείο Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημόσιων Έργων με την απόφασή του με αριθμό Δ6/20595/9-5-1991, ανέθεσε σε ερευνητική ομάδα του Τομέα Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, με επιστημονικό υπεύθυνο τον καθηγητή Θ. Ξανθόπουλο, το ερευνητικό έργο με τίτλο *Εκτίμηση και διαχείριση των υδατικών πόρων Στερεάς Ελλάδας*. Το ερευνητικό έργο αποτελείται από τρεις (3) φάσεις. Αντικείμενο της πρώτης φάσης του έργου, όπως αυτό προβλεπόταν στην παραπάνω απόφαση, ήταν η συλλογή, αξιολόγηση και αρχειοθέτηση σε Η/Υ της υδρομετεωρολογικής πληροφορίας που αφορά στους επιφανειακούς υδατικούς πόρους της Στερεάς Ελλάδας, καθώς και η ανάπτυξη προγραμμάτων επεξεργασίας υδρομετεωρολογικών δεδομένων και υδρολογικής προσομοίωσης.

Με τη νεότερη απόφαση του ΥΠΕΧΩΔΕ Δ6/21512/8-9-1993 ανατέθηκε η δεύτερη φάση του έργου στην ερευνητική ομάδα του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του ΕΜΠ με επιστημονικό υπεύθυνο τον καθηγητή Θ. Ξανθόπουλο και συντονιστή τον επίκουρο καθηγητή Δ. Κουτσογιάννη. Το αντικείμενο της δεύτερης φάσης του έργου περιλαμβάνει δύο βασικές ομάδες εργασιών. Η πρώτη ομάδα εργασιών, που εκπονήθηκε από ερευνητική ομάδα του Τομέα Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων του ΕΜΠ, αφορά στην οργάνωση των δεδομένων επιφανειακής υδρολογίας και στην ανάπτυξη μεθοδολογιών διαχείρισης των υδατικών συστημάτων. Συγκεκριμένα, αυτή η ομάδα εργασιών περιλαμβάνει την αναβάθμιση του υπολογιστικού περιβάλλοντος, την επεξεργασία των δεδομένων επιφανειακής υδρολογίας και την κατάρτιση υδατικών ισοζυγίων, την ανάπτυξη συστήματος Γεωγραφικής Πληροφορίας, και την έναρξη συλλογής διαχειριστικών δεδομένων. Επίσης περιλαμβάνει εργασίες βασικής έρευνας και ανάπτυξης λογισμικού, όπως την ανάπτυξη μοντέλου στοχαστικής προσομοίωσης, την επισκόπηση των μεθόδων βελτιστοποίησης σε προβλήματα υδατικών πόρων, την έναρξη της ανάπτυξης διαχειριστικών μοντέλων, και την ανάπτυξη μεθοδολογίας και προγράμματος Η/Υ για την κατάρτιση όμβριων καμπυλών (η τελευταία εργασία προβλέφθηκε για την κάλυψη γενικότερων αναγκών του ΥΠΕΧΩΔΕ/Δ6 σε μελέτες αποχέτευσης της Στερεάς Ελλάδας). Η δεύτερη ομάδα εργασιών αφορά στην οργάνωση της υδρογεωλογικής πληροφορίας της Στερεάς Ελλάδας. Περιλαμβάνει την καταγραφή και ανάλυση των υδρογεωλογικών δεδομένων και την αρχειοθέτηση και επεξεργασία των δεδομένων αυτών μέσω Συστήματος Γεωγραφικής Πληροφορίας.

Σύμφωνα με το γενικό προγραμματισμό του ερευνητικού έργου, όπως αυτός αποτυπώνεται στις υπουργικές αποφάσεις που προαναφέρθηκαν, η ολοκλήρωση του ερευνητικού έργου θα γίνει με την τρίτη φάση. Ως αντικείμενο της τρίτης φάσης του ερευνητικού έργου προβλέπεται η ολοκλήρωση της ανάπτυξης προγραμμάτων διαχειριστικής προσομοίωσης και βελτιστοποίησης της εκμετάλλευσης των υδατικών συστημάτων της Στερεάς Ελλάδας. Στη φάση

αυτή, αφού συστηματοποιηθούν οι πληροφορίες σχετικά με τις χρήσεις νερού και τα οικονομικά τους δεδομένα, προβλέπεται να εξεταστούν διάφορα σενάρια αναπτυξιακών έργων και διαχείρισης τους, και να εξαχθούν τα τελικά συμπεράσματα.

1.2 Στόχοι και συμβατικό αντικείμενο της δεύτερης φάσης

Οι γενικοί στόχοι του ερευνητικού έργου καθορίζονται στην ενότητα 2.1 του Παραρτήματος της απόφασης ανάθεσης Δ6 /21512/8-9-1993, η οποία παρατίθεται παρακάτω:

- α. Οι κύριοι στόχοι του ερευνητικού έργου είναι η εκτίμηση και διερεύνηση των υδατικών πόρων της Στερεάς Ελλάδας στο σύνολό τους, τόσο των επιφανειακών όσο και των υπόγειων, και η συστηματική μελέτη όλων εκείνων των παραμέτρων που υπεισέρχονται στην ορθολογική ανάπτυξη και διαχείριση των πόρων αυτών.
- β. Στους στόχους του έργου συμπεριλαμβάνεται, ως εργασία υποδομής, η ανάπτυξη προγραμμάτων Η/Υ για την υδρολογική, υδρογεωλογική και διαχειριστική προσομοίωση του συστήματος των συνδυασμένων λεκανών απορροής που θα εξεταστούν. Η ανάπτυξη των προγραμμάτων αυτών, παράλληλα με την ανάπτυξη μεθοδολογιών κατάλληλα προσαρμοσμένων στις ελληνικές συνθήκες, θα αποτελέσει ένα μόνιμο βοήθημα στη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων για τη διαχείριση των υδατικών πόρων τόσο της Στερεάς Ελλάδας, όσο και άλλων περιοχών της Ελλάδας.
- γ. Στους στόχους του ερευνητικού έργου συμπεριλαμβάνεται επίσης η διεύρυνση της συνεργασίας του ΥΠΕΧΩΔΕ και του ΕΜΠ. Η συνεργασία είναι απαραίτητη και για τις δύο πλευρές και αποτελεί προϋπόθεση για τη διαρκή ενημέρωση των αποτελεσμάτων του έργου και την επιτελική αντιμετώπιση του συστήματος των υδατικών πόρων της Στερεάς Ελλάδας. Για την υλοποίηση του στόχου αυτού έχει προβλεφτεί η συμμετοχή επιστημόνων του ΥΠΕΧΩΔΕ στην ερευνητική ομάδα.

Το συμβατικό αντικείμενο της δεύτερης φάσης του ερευνητικού έργου αναλύεται στην ενότητα 2.3 του Παραρτήματος της απόφασης ανάθεσης Δ6/21512/8-9-1993, η οποία παρατίθεται παρακάτω:

2.3 Ανάλυση του αντικειμένου της δεύτερης φάσης

2.3.1 Αναβάθμιση των βάσεων δεδομένων από λειτουργικό σύστημα MS-DOS σε UNIX

- α. Μεταφορά των συνόλου των πρωτογενών δεδομένων της Α' φάσης σε σταθμό εργασίας (workstation) με λειτουργικό σύστημα UNIX (δεν κοστολογείται ως εργασία στο παρόν ερευνητικό έργο).
- β. Πρόγραμμα παραγωγής καμπυλών στάθμης-παροχής (δεν κοστολογείται ως εργασία στο παρόν ερευνητικό έργο).
- γ. Μετατροπή προγραμμάτων στατιστικής επεξεργασίας υδρολογικών δεδομένων σε μηνιαία βάση.
- δ. On-line σύνδεση ΕΜΠ/ΤΥΠΥΘΕ - ΥΠΕΧΩΔΕ/Δ6, μέσω του δικτύου ΥΔΡΟΣΚΟΠΙΟΥ και της διεύθυνσης Δ7 του ΥΠΕΧΩΔΕ (δεν κοστολογείται ως εργασία στο παρόν ερευνητικό έργο).

- ε. Εκμάθηση και προσαρμογή στο νέο υπολογιστικό περιβάλλον (δεν κοστολογείται ως εργασία στο παρόν ερευνητικό έργο).

2.3.2 Επεξεργασία δεδομένων επιφανειακής υδρολογίας

- α. Συμπλήρωση μετεωρολογικών και βροχομετρικών δεδομένων για όσους σταθμούς υπήρξε πρόβλημα ανεύρεσης των δεδομένων κατά την Α' φάση.
- β. Παραγωγή καμπυλών στάθμης-παροχής και εξαγωγή παροχών (σε περιβάλλον UNIX).
- γ. Ομογενοποίηση και μεγιστοποίηση των δεδομένων επιφανειακής υδρολογίας.
- δ. Ανάπτυξη γενικής μεθοδολογίας κατάρτισης συνολικών υδατικών ισοζυγίων.
- ε. Κατάρτιση υδρολογικών ισοζυγίων.

2.3.3 Βασική έρευνα και ανάπτυξη νέου λογισμικού

- α. Συνέχιση της ανάπτυξης μοντέλου στοχαστικής προσομοίωσης χρονοσειρών επιφανειακής υδρολογίας
- β. Σύνταξη μεθοδολογίας και προγράμματος Η/Υ για κατάρτιση ομβρίων καμπυλών με ή χωρίς διαθέσιμα δεδομένα εντάσεων βροχής από βροχογράφο στην περιοχή μελέτης.
- γ. Έναρξη ανάπτυξης έμπειρου συστήματος για τη διαχείριση των υδατικών πόρων της Στερεάς Ελλάδας: (α) Βιβλιογραφική επισκόπηση (β) Τοποθέτηση του προβλήματος (γ) Σχεδιασμός συστήματος και ανάπτυξη πρωτοτύπου.
- δ. Συγκριτική μελέτη μεθόδων βελτιστοποίησης σε προβλήματα διαχείρισης υδατικών πόρων.

2.3.4 Ανάπτυξη Συστήματος Γεωγραφικής Πληροφορίας

- α. Ολοκλήρωση του συστήματος επιφανειακής υδρολογίας με πληροφορίες τοπογραφικού χαρακτήρα, λεκανών απορροής, υδρογραφικού δικτύου και σταθμών μέτρησης - Σχεδίαση χαρτών και διαγραμμάτων.
- β. Ανάπτυξη συστήματος με πληροφορίες υδρολογικού και υδρολιθικού χαρακτήρα και συγκεκριμένα:

 - β1. Συλλογή, καταχώρηση και ψηφιοποίηση τοπογραφικών φύλλων 1 : 50 000 και δημιουργία master chart
 - β2. Συλλογή, αξιολόγηση και ψηφιοποίηση γεωλογικών χαρτών 1 : 50 000
 - β3. Αξιολόγηση και ψηφιοποίηση μη καταχωρηθέντων φύλλων
 - β4. Ανάπτυξη γενικού υδρολιθικού χάρτη 1 : 500 000
 - β5. Ανάπτυξη λεπτομερών υδρολιθικών χαρτών 1 : 50 000 σε επιλεγμένες λεκάνες

- γ. Ολοκλήρωση συστήματος με σύνδεση των δύο παραπάνω υποσυστημάτων (α) και (β) μεταξύ τους και με τις βάσεις δεδομένων.

2.3.5 Έναρξη συλλογής δεδομένων διαχείρισης υδατικών πόρων

Συλλογή, καταγραφή και απεικόνιση δεδομένων χρήσεων νερού από υφιστάμενες μελέτες. (Η ολοκλήρωση του αντικειμένου με επί τόπου επισκέψεις θα πραγματοποιηθεί στην τρίτη φάση)

2.3.6 Καταγραφή και ανάλυση υδρογεωλογικών δεδομένων

Μέρος Α: Συλλογή, αξιολόγηση και καταχώρηση στοιχείων για το σύνολο της Στερεάς Ελλάδας

- α. Συλλογή και καταγραφή των διαθέσιμων μελετών, εργασιών και δεδομένων σχετικά με τις υδρογεωλογικές συνθήκες της Στερεάς Ελλάδας.
- β. Αξιολόγηση των πληροφοριών που θα συγκεντρωθούν σχετικά με το είδος και την αξιοπιστία τους. Εντοπισμός περιοχών με ελλείψεις στοιχείων. Εντοπισμός περιοχών με ιδιαίτερο υδρογεωλογικό ενδιαφέρον.
- γ. Δόμηση βάσης δεδομένων.

Μέρος Β: Υδρογεωλογική αναγνώριση και υδρογεωλογική μελέτη επιλεγμένων λεκανών (εργασίες υπαίθρου και γραφείου)

- δ. Γεωμετρικά χαρακτηριστικά υδροφορέων. Διαχωρισμός των επί μέρους υδροφορέων ανάλογα με τις συνθήκες κυκλοφορίας του νερού (πορώδεις ή καρστικοί) και τη διαμόρφωση των υδροφόρων οριζόντων (φρεατίων, βαθέων, υπό πίεση).
- ε. Υδρομορφολογία υπόγειου νερού. Παρουσίαση των συνθηκών τροφοδοσίας και εκφόρτισης των υδροφορέων, της κίνησης του υπόγειου νερού (υπόγειοι άξονες αποστράγγισης, υπόγειοι υδροκρίτες, υδρογραμμές ροής, μέτωπα μετάγγισης κτλ.) καθώς και της τυχόν επικοινωνίας των διαφορετικών υδροφορέων μεταξύ τους.
- στ. Εκτίμηση των υδροληπτικών σημείων που έχουν ανορυχθεί για την εκμετάλλευση των υδροφορέων και καταχώρηση των στοιχείων τους (βάθος, στάθμη, παροχή κτλ.).
- ζ. Εκτίμηση χαρακτηριστικών υδραυλικών παραμέτρων (όπου αυτή είναι δυνατή), όπως συντελεστή μεταβατικότητας (T), συντελεστή εναποθήκευσης κτλ.).
- η. Εκτίμηση συντελεστών κατείσδυσης (I).
- θ. Θέση, τύπος και παροχή πηγών.
- ι. Διακύμανση στάθμης ανά υδροφορέα.
- ια. Ποιοτικά χαρακτηριστικά υπόγειου νερού.

Μέρος Γ: Τελικές εργασίες

- ιβ. Καθορισμός σημείων ελέγχου και τροφοδοσίας της βάσης δεδομένων.
- ιγ. Σύνταξη τευχών - βοηθημάτων για τη χρήση των προγραμμάτων και των βάσεων δεδομένων.
- ιδ. Εξαγωγή συμπερασμάτων και σύνταξη έκθεσης.

2.3.7 Σύνταξη τελικής έκθεσης

1.3 Αντικείμενο του παρόντος τεύχους

Αντικείμενο του παρόντος τεύχους, που αποτελεί την τελική έκθεση της Β' φάσης του ερευνητικού έργου, είναι επισκόπηση του συνόλου εργασιών της Β' φάσης του ερευνητικού έργου. Η λεπτομερής ανάλυση των εργασιών περιλαμβάνεται στα επιμέρους τεύχη, δισκέτες μαγνητικές ταινίες και παραρτήματα που συνυποβάλλονται με την έκθεση αυτή.

1.4 Παραδοτέα της δεύτερης φάσης

Τα υπόλοιπα τεύχη, εκτός από την παρούσα τελική έκθεση (Τεύχος 32), που εκπονήθηκαν στα πλαίσια της Β' φάσης του έργου φαίνονται κατά ομάδα και κατηγορία εργασιών στους Πίν. 1.1 (ομάδα εργασιών επιφανειακής υδρολογίας και διαχείρισης υδατικών πόρων) και Πίν. 1.3 (ομάδα εργασιών υδρογεωλογίας). Τα λοιπά παραδοτέα στοιχεία φαίνονται ανά

ομάδα εργασιών στους Πίν. 1.2 (ομάδα εργασιών επιφανειακής υδρολογίας και διαχείρισης υδατικών πόρων) και Πίν. 1.4 (ομάδα εργασιών υδρογεωλογίας).

Πίν. 1.1 Τεύχη ομάδας εργασιών επιφανειακής υδρολογίας και διαχείρισης υδατικών πόρων, ανά κατηγορία εργασιών.

A/A	Τίτλος	Αντιστοιχία με συμβ. αντ.
Κατηγορία 1: Βασική έρευνα και ανάπτυξη λογισμικού		
11	Αναβάθμιση του υπολογιστικού περιβάλλοντος για την επεξεργασία υδρολογικών δεδομένων	2.3.1
12	Μοντέλο στοχαστικής προσδομοίωσης υδρολογικών χρονοσειρών με απλή τεχνική επιμερισμού – Εγχειρίδιο χρήσης προγράμματος	2.3.3.α
13	Λογισμικό κατάρτισης όμβριων καμπυλών – Εγχειρίδιο χρήσης	2.3.3.β
14	Πιλοτικό μοντέλο για τη διαχείριση του συστήματος ταμιευτήρων υδροδότησης της Αθήνας	2.3.3.γ
15	Πιλοτικό μοντέλο για τη διαχείριση του συστήματος ταμιευτήρων Αχελώου	2.3.3.γ
Κατηγορία 2: Εργασίες μεθοδολογικής επισκόπησης και ταξινόμησης		
16	Μεθοδολογία κατάρτισης υδατικών ισοζυγίων	2.3.2.δ
17	Συγκριτική μελέτη μεθόδων βελτιστοποίησης σε προβλήματα υδατικών πόρων	2.3.3.δ
Κατηγορία 3: Εργασίες συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων		
18	Επεξεργασία υδρομετεωρολογικών δεδομένων	2.3.2.γ
19	Καμπύλες στάθμης-παροχής και εξαγωγή παροχών	2.3.2.β
20	Μελέτη υδρολογικών ισοζυγίων	2.3.2.ε
21	Συνοπτικά δεδομένα διαχείρισης υδατικών πόρων	2.3.5
Κατηγορία 4: Εργασίες ανάπτυξης Συστήματος Γεωγραφικής Πληροφορίας.		
22	Ανάπτυξη συστήματος Γεωγραφικής Πληροφορίας - Τμήμα A: Πληροφορίες επιφανειακής υδρολογίας	2.3.4.α & γ
23	Χάρτες - Τμήμα A: Πληροφορίες επιφανειακής υδρολογίας	2.3.4.α

Πίν. 1.2 Λοιπά παραδοτέα ομάδας εργασιών επιφανειακής υδρολογίας και διαχείρισης υδατικών πόρων, ανά κατηγορία εργασιών.

A/A	Τίτλος	Αντιστοχία με συμβ. αντ.
Κατηγορία 1: Βασική έρευνα και ανάπτυξη λογισμικού		
Δισκέτα 1	Στατιστική βιβλιοθήκη για ενσωμάτωση στο πακέτο EXCEL	2.3.1.γ
Εγχειρίδιο	Εγχειρίδιο χρήσης ΥΔΡΟΣΚΟΠΟΥ	2.3.1.γ
Δισκέτα 2	Πρόγραμμα στοχαστικής προσομοίωσης υδρολογικών χρονοσειρών με απλή τεχνική επιμερισμού (SIDIS)	2.3.3.α
Δισκέτα 3	Πρόγραμμα κατάρτισης όμβριων καμπυλών (OMBRE)	2.3.3.β
Δισκέτα 4	Πιλοτικό πρόγραμμα για τη διαχείριση του συστήματος ταμιευτήρων υδροδότησης της Αθήνας	2.3.3.γ
Δισκέτες 5-7	Δεδομένα για τη λειτουργία του πιλοτικού προγράμματος για τη διαχείριση του συστήματος ταμιευτήρων υδροδότησης της Αθήνας	2.3.3.γ
Κατηγορία 3: Εργασίες συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων		
Ψηφιακή μαγνητοταπίνια 1	Υδρολογικά και μετεωρολογικά δεδομένα υπό μορφή πινάκων σχεσιακής βάσης δεδομένων INGRES	2.3.1 & 3.3.2
Κατηγορία 4: Εργασίες ανάπτυξης Συστήματος Γεωγραφικής Πληροφορίας.		
Ψηφιακή μαγνητοταπίνια 2	1. Προγράμματα υπολογιστή για: (1α) παραγωγή χαρτών, (1β) σύνδεση με τη βάση υδρολογικών δεδομένων, και (1γ) επεξεργασία υδρολογικών δεδομένων 2. Δεδομένα: (2α) επίπεδα γεωγραφικής πληροφορίας (coverages), και (2β) ψηφιακό μοντέλο εδάφους 3. Αποτελέσματα Έτοιμα αρχεία για παραγωγή ψηφιακών χαρτών	2.3.4.α & γ

Πίν. 1.3 Τεύχη ομάδας εργασιών υδρογεωλογίας.

A/A	Τίτλος	Αντιστοιχία με συμβ. αντ.
Κατηγορία 1: Εργασίες ανάπτυξης Συστήματος Γεωγραφικής Πληροφορίας		
24	Ανάπτυξη Συστήματος Γεωγραφικής Πληροφορίας - Ανάπτυξη Γεωγραφικής Βάσης Δεδομένων - Βοήθημα χρήσης προγραμμάτων Τμήμα B: Πληροφορίες υδρογεωλογίας	2.3.4.β, 2.3.6.γ και 2.3.6.ιγ
Κατηγορία 2: Καταγραφή και ανάλυση υδρογεωλογικών δεδομένων		
25	Συλλογή, καταγραφή και αξιολόγηση των πληροφοριών	2.3.6.α και 2.3.6.β
26	Γενική θεώρηση υδρογεωλογικών συνθηκών Στερεάς Ελλάδας	
27	Αξιολόγηση υδρογεωλογικών συνθηκών. Υδατικό διαμέρισμα Αττικής (06)	2.3.6.δ έως 2.3.6.ιβ
28	Αξιολόγηση υδρογεωλογικών συνθηκών. Υδατικό διαμέρισμα Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας (07)	2.3.6.δ έως 2.3.6.ιβ
29	Αξιολόγηση υδρογεωλογικών συνθηκών. Υδατικό διαμέρισμα Δυτικής Στερεάς Ελλάδας (04)	2.3.6.δ έως 2.3.6.ιβ
30	Παραρτήματα: I. Βιβλιογραφία: II. Πίνακες στοιχείων πηγών. III. Πίνακες στοιχείων υδρογεωτρήσεων	2.3.6.δ έως 2.3.6.ιβ
31	Χάρτες. Τμήμα B: Πληροφορίες υδρογεωλογίας	2.3.4. β

Πίν. 1.4 Λοιπά παραδοτέα ομάδας εργασιών υδρογεωλογίας.

A/A	Τίτλος	Αντιστοιχία με συμβ. αντ.
Κατηγορία 1: Εργασίες ανάπτυξης Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών		
Ψηφιακή μαγνητοταίνια 1	1. Προγράμματα υπολογιστή για: (1α) παραγωγή χαρτών, (1β) σύνδεση με τη βάση υδρογεωλογικών δεδομένων. 2. Δεδομένα: (2α) Επίπεδα γεωγραφικών πληροφοριών (coverages), και (2β) Υδρογεωλογικά Δεδομένα υπό μορφή πινάκων στη σχεσιακή βάση δεδομένων INFO. 3. Αποτελέσματα Ετοιμα αρχεία για παραγωγή ψηφιακών χαρτών	2.3.4. β
Κατηγορία 2: Καταγραφή και ανάλυση υδρογεωλογικών δεδομένων		
Δισκέτα 1	Πίνακες βιβλιογραφίας, στοιχείων πηγών και υδρογεωτρήσεων στο EXCEL	2.3.6.

2. Γενική περιγραφή υδατικών διαμερισμάτων Στερεάς Ελλάδας

2.1 Λεκάνες απορροής

Η περιοχή που μελετήσαμε στο παρόν ερευνητικό έργο περιλαμβάνει τα ακόλουθα τρία υδατικά διαμερίσματα της χώρας:

1. Υδατικό διαμέρισμα Δυτικής Στερεάς Ελλάδας
2. Υδατικό διαμέρισμα Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας
3. Υδατικό διαμέρισμα Αττικής

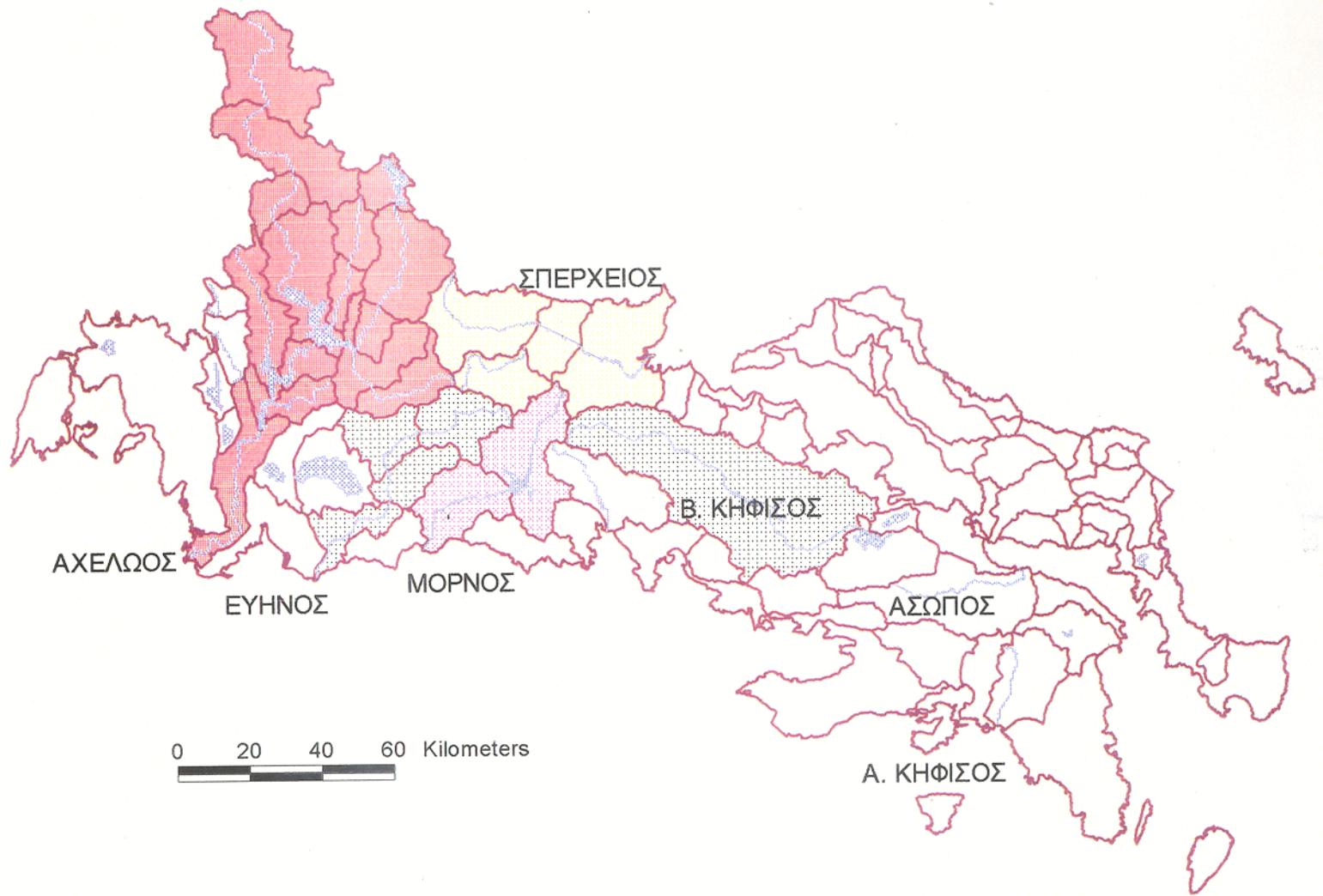
Η περιοχή αυτή που φαίνεται στο Σχ. 2.1 έχει συνολική έκταση 25 300 km² και αποτελεί σημαντικό τμήμα της επιφάνειας της ηπειρωτικής Ελλάδας με ιδιαίτερη σημασία για τη χώρα, από την άποψη των υδατικών πόρων. Οι πόροι αυτοί διατίθενται κύρια για την ύδρευση της πρωτεύουσας, την ύδρευση άλλων μικρών πόλεων, την άρδευση γεωργικών εκτάσεων και την ηλεκτροπαραγωγή.

Στον Πίνακα 2.1 παρουσιάζονται συνοπτικά οι κυριότερες λεκάνες απορροής της Στερεάς Ελλάδας, η έκτασή τους καθώς και άλλα χρήσιμα στοιχεία.

Πίν. 2.1: Κυριότερες υδρολογικές λεκάνες της Στερεάς Ελλάδας

ΥΔΑΤΙΚΟ ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑ	ΠΟΤΑΜΟΣ ή ΛΙΜΝΗ	ΕΚΤΑΣΗ (km ²)	ΚΥΡΙΟΤΕΡΑ ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΕΡΓΑ	ΟΡΙΑ ΛΕΚΑΝΗΣ (Κυριότερες οροσειρές)
Δυτικής Στερεάς Ελλάδας (04)	Αχελώος	4782	Ταμιευτήρες Κρεμαστών, Καστρακίου και Στράτου	Δ: Θύαμο, Μακρύ, Βάλτος, Αθαμάνια ΒΔ: Λάκμος Α: Πίνδος, Τυμφρηστός, Οξύα, Παναιτωλικό
	Εύηνος	1111	Υπό κατασκευή ταμιευτήρας Αγίου Δημητρίου	Β, ΒΔ: Παναιτωλικό ΒΑ: Βαρδούσια
	Μόρνος	998	Ταμιευτήρας Μόρνου	ΝΑ: όρη Ναυπακτίας Αράκυνθος Γκίωνα, Οίτη
	Αμβρακία	111		
	Λυσιμαχία	253		
	Τριχωνίδα	401		
Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας (07)	Βοιωτικός Κηφισός	1958		Β: Καλλίδρομο, Χλωμός Ν-ΝΔ: Ελικώνας, Παρνασσός Δ: Γκιώνα
	Υλίκη	418	Έργα υδροληψίας για ύδρευση Αθήνας	
	Παραλίμνη	76		
	Σπερχειός	1828		Β: Όθρυς Ν: Καλλίδρομο, Οίτη, Βαρδούσια Δ: Τυμφρηστός
	Ασωπός	724		
Αττικής (06)	Χάραδρος	259	Ταμιευτήρας Μαραθώνα	
	Αττικός Κηφισός	417	Διευθέτηση πεδινής κοίτης	

Σχ. 2.1 Λεκάνες απορροής της Σπερέας Ελλάδας



2.2 Συνοπτικά γεωλογικά και υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά των υδατικών διαμερισμάτων

2.2.1 Γεωλογική δομή της Στερεάς Ελλάδας

Η ευρύτερη περιοχή της Στερεάς Ελλάδας δομείται από τους γεωλογικούς σχηματισμούς όλων των εξωτερικών γεωτεκτονικών ζωνών της Ελλάδος όπως επίσης και από σχηματισμούς των εσωτερικών ζωνών της Υποπελαγονικής και Πελαγονικής (Αττικοκυκλαδικής) αντίστοιχα.

Οι γεωτεκτονικές ζώνες παρουσιάζουν ιδιαίτερα χαρακτηριστικά και έχουν απασχολήσει πλήθος ερευνητών κατά το παρελθόν έως σήμερα. Στη συνέχεια καταγράφονται οι επικρατούσες κύριες απόψεις για τη δομή τους με ιδιαίτερη έμφαση εκείνων των στοιχείων που έχουν άμεση σύνδεση με τη συμπεριφορά τους ως προς την κίνηση του υπόγειου νερού. Η περιγραφή των γεωτεκτονικών ζωνών (συνοπτική) γίνεται από τα δυτικά προς τα ανατολικά.

Ζώνη Παξών ή Προαπούλιος

Συναντάται στο δυτικότερο τμήμα των Ιονίων νήσων, στην περιοχή μελέτης στο δυτικό τμήμα της Λευκάδας.

Αποτελείται από μία συνεχή νηριτική σειρά ασβεστολίθων που διακόπτονται από ένα ορίζοντα σχιστολιθικό (Μάλμιο) και στα ανώτερα τμήματα της σειράς συναντώνται κλαστικά ιζήματα πηλιτών και ψαμμιτών. Τα τελευταία αυτά κλαστικά ιζήματα αναπτύσσονται στο δυτικό τμήμα της Λευκάδας χωρίς ιδιαίτερη υδρογεωλογική σημασία.

Ζώνη Ιόνιος

Αποτελείται από εναλλαγές νηριτικών και πελαγικών ασβεστολίθων (Παντοκράτορας, Βίγλας) που διακόπτονται από την παρουσία ορίζοντα σχιστολιθιών με Possidonies. Αναπτύσσονται στην περιοχή δυτικά του Αχελώου στα Ακαρνανικά όρη.

Οι πελαγικοί ασβεστόλιθοι (Βίγλας) που αποτελούν τα ανώτερα ασβεστολιθικά τμήματα της σειράς περιέχουν ενδιαστρώσεις πυριτιολίθων.

Ιδιαίτερο γνώρισμα της σειράς αποτελούν τα κλαστικά ιζήματα στη βάση αυτής που συνίστανται από ασβεστολιθικά λατυποπαγή Τριαδικής ηλικίας που περιέχουν γύψους, ανυδρίτες, ορυκτό αλάτι και μαργαϊκά στρώματα. Οι σχηματισμοί αυτοί αποτελούν τα ανατολικά περιθώρια των Ακαρνανικών ορέων δυτικά του Αχελώου ποταμού και εκτείνονται σε μια ζώνη από τον Αμβρακικό μέχρι τον κάμπο Λεσινίου.

Όλα τα ανωτέρω ανθρακικά ιζήματα της ζώνης παρουσιάζουν υδρογεωλογικό ενδιαφέρον και στην τελευταία περίπτωση των Τριαδικών λατυποπαγών λόγω της συνεχούς μεγάλης έκτασης σχηματίζουν μεγάλες πηγές επιβαρυμένες όμως με θειϊκά ιόντα εξαιτίας της διάλυσης των γύψων. Ιδιαίτερη επίσης υδρογεωλογική σημασία παρουσιάζει ο σχιστολιθικός ορίζοντας με Possidonies που διακόπτει την ανθρακική σειρά της Ιονίου ζώνης και κατ' επέκταση διαχωρίζει υδρογεωλογικά, όπου αυτός είναι συνεχής, τους νηρητικούς και πελαγικούς ασβεστόλιθους.

Τέλος ως ανώτερος σχηματισμός της ζώνης συναντάται ο φλύσχης της Ιονίου (Κάτω Ολιγόκαινο).

Ζώνη Γαβρόβου

Η ζώνη αυτή είναι επωθημένη από τη ζώνη της Πίνδου στα ανατολικά της και συναντάται στην Αιτωλοακαρνανία.

Η διάπλαση στην εξεταζόμενη περιοχή αποτελείται κυρίως από φλύσχη που καλύπτει τον κάτω ρου Ευήνου, μέσο ρου Αχελώου. Οι υποκείμενες ασβεστολιθικές εμφανίσεις χωρίς παρεμβολές αδιαπέρατων σχηματισμών όπως στις ζώνες Ιονίου και Πίνδου εμφανίζονται κυρίως στο αντίκλινο του Γαβρόβου (όρη Βάλτου) και λιγότερο σε περιοχές Κλεισούρας - Κλόκοβα κτλ.).

Στη βάση της ζώνης συναντώνται τα στρώματα Τυρού που αποτελούνται από ηφαιστειογενείς σχηματισμούς με φακούς ασβεστολίθων χωρίς να εμφανίζονται αυτά στην ευρύτερη περιοχή μελέτης.

Πάνω στα στρώματα Τυρού αναπτύσσεται μια συνεχής νηριτική ασβεστολιθική σειρά που καταλήγει με την απόθεση του φλύσχη (Αν. Ηώκαινο).

Ζώνη Πίνδου

Στη ζώνη Ωλονού-Πίνδου συναντώνται τα ψαμμιτοπηλιτικά ιζήματα του Τριαδικού, στη συνέχεια λεπτοστρωματώδεις ασβεστόλιθοι με κερατολίθους (Α. Τριαδικό - Αν. Λιάσιο), ακολουθούν οι ραδιολαρίτες που διακρίνονται σε τρεις επιμέρους ενότητες (πηλίτες, ραδιολαρίτες, πρώτος φλύσχης), πάνω στους οποίους επικάθονται οι πλακώδεις ασβεστόλιθοι (Αν. Κρητιδικό). Κατά το Αν. Μαιστρίχτιο αποτίθενται τα μεταβατικά ιζήματα πηλιτών, ψαμμιτών και ασβεστολίθων και τελειώνει η ιζηματογένεση με την απόθεση του φλύσχη (Παλαιόκαινο - Αν. Ηώκαινο). Αναπτύσσεται σε όλο το κεντρικό τμήμα της Στερεάς Ελλάδας από το δυτικό όριο της λίμνης Τριχωνίδας - Ναυπάκτου μέχρι και τη λεκάνη του Σπερχειού ποταμού.

Η ζώνη Πίνδου αποτελεί ένα τεράστιο τεκτονικό κάλυμμα. Παρουσιάζεται πολυπτυχωμένη εξαίτιας της φύσης των ιζημάτων της (λεπτοπλακώδη βαθειών θαλασσών) αποτελούμενη από σειρά διαδοχικών λεπιώσεων.

Η συνεχής αυτή εναλλαγή διαπερατών και αδιαπέρατων πετρωμάτων έχει μια ιδιαίτερη υδρογεωλογική σημασία γιατί δεν επιτρέπει την ανάπτυξη εκτεταμένων υπογείων υδρογεωλογικών λεκανών στα ανθρακικά ιζήματα εξαίτιας του τεκτονισμού τους και επιβάλλει εκλεκτική κατευθυνόμενη κίνηση του υπόγειου νερού με γενική διεύθυνση από βορρά προς νότο.

Ζώνη Παρνασσού - Γκιώνας

Η ζώνη αυτή αποτελείται από συνεχή σειρά νηρητικών ασβεστολίθων και καταλαμβάνει κυρίως τα ομώνυμα βουνά και την περιοχή γύρω από αυτά. Το ιδιαίτερο γνώρισμα της ζώνης

αποτελούν οι τρεις διακοπές στην ιζηματογένεση των ανθρακικών πετρωμάτων που συνοδεύονταν από ανάδυση, διάβρωση και απόθεση βωξιτών σε παλιές καρστικές επιφάνειες.

Κατά το Παλαιόκαινο αποτίθενται τα μεταβατικά ιζήματα και τέλος ο φλύσχης που εδώ η εξάπλωσή του είναι περιορισμένη στην επιφάνεια.

Το πάχος των ασβεστολίθων υπερβαίνει τα 2 000 m. Εξαιτίας και των διαδοχικών αναδύσεων και των παχυπλακωδών ασβεστολίθων χωρίς να διακόπτονται αυτοί από αδιαπέρατα πετρώματα δημιουργήθηκαν εκείνες οι συνθήκες για την έντονη καρστικοποίησή τους. Στα ανθρακικά ιζήματα της ανωτέρω ζώνης αναπτύσσονται εκτεταμένες υδρογεωλογικές λεκάνες που εκφορτίζονται μέσω μεγάλων καρστικών πηγών (Ορχομενού - Μαυρονερίου, Ιτέας κτλ). Τα όρια των λεκανών αυτών τις περισσότερες φορές είναι ανεξάρτητα των ορίων των υδρολογικών λεκανών της περιοχής.

Δυτικά της ζώνης Παρνασσού - Γκιώνας συναντάται η σειρά των Βαρδουσίων που αποτελείται από μεταβατικά ιζήματα πελαγικής και νηρητικής φάσης. Πρόκειται περί ιζημάτων μεταβάσεως προς τη ζώνη Πίνδου.

Βοιωτική σειρά

Η σειρά αυτή αποτελείται από κλαστικά ιζήματα που αποτελούνται από πηλίτες, ασβεστολιθικές ενδιαστρώσεις, ψαμμίτες και κροκαλοπαγή που αποτελούνται κυρίως από υπερβασικά πετρώματα. Ο σχηματισμός αυτός καλείται και Βοιωτικός φλύσχης.

Το υπόβαθρο του κλαστικού αυτού σχηματισμού αποτελούν οι νηρητικοί ασβεστόλιθοι προς τα δυτικά και οι πελαγικοί προς τα ανατολικά. Η σειρά αυτή συναντάται στις λεκάνες Κηφισού και Σπερχειού.

Υποπελαγονική ζώνη

Το κύριο χαρακτηριστικό της ζώνης αυτής που αποτελεί το δυτικότερο όριο των εσωτερικών ζωνών που συναντάται στο ανατολικό τμήμα της Στερεάς Ελλάδας αποτελεί η ύπαρξη της σχιστοκερατολιθικής διάπλασης. Πρόκειται για εναλλαγές αργιλικών σχιστολίθων, ψαμμιτών, οφιολίθων, τόφφων και ασβεστολίθων. Η διάπλαση αυτή διακόπτει την ανθρακική ιζηματογένεση και αποτελείται από δύο ορίζοντες, ένα στο Κάτω - Μεσο Ιουρασικό και ένα δεύτερο στο Ανω Ιουρασικό - Κάτω Κρητιδικό.

Πελαγονική ζώνη

Αποτελείται από το Κρυσταλλοσχιστώδες Αττικής- Ευβοίας. Συνίσταται από εναλλαγές μαρμάρων και σχιστολίθων και συναντάται στην ανατολική Αττική και στη νότιο Εύβοια (ενότητα Αλμυροπόταμου).

Πάνω στην ενότητα αυτή είναι επωθημένο το Νεοελληνικό τεκτονικό κάλυμμα που αποτελείται από Μάρμαρα, σιπολίνες και σχιστολίθους (Νότια Εύβοια).

Παλαιοζωϊκοί σχηματισμοί

Αποτελούν το υπόβαθρο των σχηματισμών της αλπικής ορογένεσης και αποτελούνται από ασβεστολιθικές διαστρώσεις, χλωριτικούς σχιστόλιθους, κροκαλοπαγή και ψαμμιτικούς σχιστόλιθους με χαλαζία.

Συναντώνται μόνο στην Ανατολική Στερεά Ελλάδα όπως στα Δερβενοχώρια, στην Πάρνηθα, Κιθαιρώνα, Πατέρα και στην περιοχή ΝΔ της Αταλάντης, Παύλου, Κόκκινου και περιοχή Ελικώνα.

Είναι γενικά αδιαπέρατοι σχηματισμοί και συχνά όπως στην περίπτωση της Πάρνηθας - Κιθαιρώνα διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση των ορίων των υδρογεωλογικών λεκανών.

Μεταλπικές αποθέσεις (Μολάσσες - Νεογενή)

Ο έντονος τεκτονισμός που επικρατεί από το τέλος του Μειόκαινου μέχρι σήμερα δημιούργησε τεκτονικά βυθίσματα τα οποία πληρώθηκαν κυρίως από νεογενείς σχηματισμούς.

Πρόκειται περί κλαστικών ιζημάτων κυρίως μαργών, ψαμμιτών, κροκαλοπαγών και μαργαϊκών ασβεστολίθων σε εναλλαγές μεταξύ τους. Στη Στερεά Ελλάδα αναπτύσσονται στην κεντρική και βόρεια Εύβοια, σε περιοχές της Αττικής (Μεσόγεια, Μέγαρα, Αγ. Θεόδωροι, λεκανοπέδιο Αθηνών), στη Βοιωτία (Θήβα, Ασωπός) στην περιοχή Μαλεσίνας, στην περιοχή Αγρινίου - Αιτωλικού και στην περιοχή Χλωμού όρους.

Τεταρτογενείς σχηματισμοί

Παρουσιάζουν μεγάλη ανάπτυξη στη Στερεά Ελλάδα και καλύπτουν όλα τα τεκτονικά βυθίσματα της περιοχής και τις παράκτιες κοιλάδες.

Περιλαμβάνουν λιμναίες και χειμαρρώδεις αποθέσεις, αλλονθιακές προσχώσεις, πλευρικά κορήματα, κώνους κορημάτων κτλ. Κυρίως αποτελούνται από αργίλους, ίλυες, άμμους, κροκάλες, χαλίκια.

Το πάχος τους γίνεται σημαντικό στις κοίτες του κάτω ή και του μέσου ρου των κύριων ποταμών της περιοχής όπου έχουν ανάπτυξη πολλών δεκάδων ή και λίγων εκατοντάδων μέτρων. Στο άνω ρου οι προσχώσεις είναι περιορισμένες και δεν δημιουργούν λεκάνες με αξιόλογο υδρογεωλογικό ενδιαφέρον. Στον κάτω ρου δημιουργούνται και Δέλτα στα κύρια ποτάμια με μια κοκκομετρική διαβάθμιση όπου σε βάθος κυρίως συναντώνται πλέον αδρομερείς ορίζοντες. Εκτός των κύριων ποταμών (Σπερχειού - Αχελώου - Ευήνου - Μόρνου) οι τεταρτογενείς προσχώσεις είναι περιορισμένες και ανάλογο και το υδρογεωλογικό ενδιαφέρον. Σημαντική ανάπτυξη σε εσωτερικές λεκάνες έχουμε μόνο στη λεκάνη του Βοιωτικού Κηφισού.

Στις περιοχές ανάπτυξης τους φιλοξενούν, ανάλογα με τη σύστασή τους, εκτεταμένους υδροφορείς τόσο ελεύθερης πιεζομετρικής στάθμης, όσο και υπό πίεση.

Οι ανωτέρω αποθέσεις αναπτύσσονται στην κοιλάδα του Σπερχειού στην Κωπαΐδα, στο λεκανοπέδιο Αθηνών, στο Θριάσιο πεδίο, στο μέσο και άνω ρου του Βοιωτικού Κηφισού,

στα Δέλτα του Ευήνου, του Μόρνου και του Αχελώου, στο βύθισμα του Αγρινίου, όπως επίσης και σε όλα τα παράκτια ρέματα και ποτάμια και στις μορφολογικές υφέσεις των εσωτερικών περιοχών (Δερβενοχώρια).

2.2.2 Υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά της Στερεάς Ελλάδας

Από τους σχηματισμούς που συμμετέχουν στη γεωλογική διαμόρφωση της Στερεάς Ελλάδας υδρογεωλογικό ενδιαφέρον παρουσιάζουν κατά κύριο λόγο οι ανθρακικοί καρστικοί σχηματισμοί και δευτερευόντως, οι αλλουβιακές αποθέσεις και τα νεογενή.

Στους θεματικούς χάρτες που παρουσιάζονται γίνεται ταξινόμηση των γεωλογικών σχηματισμών με βάση τα υδρολιθολογικά τους χαρακτηριστικά.

Η λιθολογία των σχηματισμών σε συνδυασμό με την τεκτονική δομή της Στερεάς Ελλάδας είναι οι κύριοι παράγοντες που επιδρούν στη δημιουργία υδρογεωλογικών ενοτήτων.

Η ποικιλία των πετρωμάτων και οι συνεχείς εναλλαγές τόσο εξαιτίας της στρωματογραφίας, όσο και της τεκτονικής δημιουργούν εκείνες τις προϋποθέσεις ανάπτυξης εκτεταμένων ή όχι υδρογεωλογικών λεκανών.

Τα κύρια γενικά χαρακτηριστικά που συναντώνται στην ευρύτερη περιοχή της Στερεάς Ελλάδας και διαμορφώνουν τις υδρογεωλογικές συνθήκες της είναι τα ακόλουθα:

- Ο ρόλος της τεκτονικής δράσης της Αλπικής ορογένεσης κυρίως είναι σημαντικός στη διαμόρφωση υδρογεωλογικών λεκανών. Οι επωθήσεις των διαδοχικών γεωτεκτονικών ζωνών φέρουν σε επαφή διαπερατά και αδιαπέρατα πετρώματα διαμορφώνοντας υδρογεωλογικές ενότητες. Τα τεκτονικά καλύμματα της Υποπελαγονικής στη ζώνη Παρνασσού Γκιώνας δημιουργούν επικρεμάμενους ορίζοντες και υδρογεωλογικές λεκάνες που εκφορτίζουν τα νερά τους σε μεγάλα υψόμετρα (πηγές Λιλαίας, Πολύδροσου, Γραβιάς). Οι πολυπτυχωμένοι αντίθετα στρωματογραφικοί ορίζοντες της ζώνης της Πίνδου δημιουργούν αλληλουχία λεπιώσεων και διακόπτουν έτσι την ανάπτυξη των ανθρακικών ιζημάτων τόσο οριζόντια όσο και κατακόρυφα και κατ' επέκταση τη δημιουργία εκτεταμένων αξιόλογων υδρογεωλογικών λεκανών. Στην εδώ περίπτωση έχουμε τη δημιουργία πηγών σε διαφορετικά υψόμετρα που εκφορτίζουν τις μικρές επιμήκεις υδρογεωλογικές λεκάνες.
- Μεγάλα επίσης ρήγματα που διακόπτουν τα ανθρακικά ιζήματα και έχουν συντελέσει στη δημιουργία αλλουβιακών ή νεογενών λεκανών δημιουργούν φραγμό στην κίνηση του υπόγειου νερού και κατ' επέκταση μεγάλες πηγές (Ορχομενού, Μαυρονερίου, Λάμπρας, Λεσινίου, Μεξιατών Φθιώτιδας κτλ). Τα μεγάλα αυτά ρήγματα επίσης έχουν δημιουργήσει μεγάλα τεκτονικά βυθίσματα στα οποία έχουν αποτεθεί τόσο νεογενείς όσο και τεταρτογενείς αποθέσεις. Στις αποθέσεις αυτές αναπτύσσονται, ανάλογα με τη σύστασή τους, κυμαινόμενου δυναμικού υπόγειες υδροφορίες τόσο ελεύθερες όσο και υπό πίεση (Σπερχειός, Αταλάντη, Θριάσιο, Μέγαρα, Θήβα, Βοιωτικός Κηφισός, Εύβοια, Αγρίνιο κτλ).

- Στις νεογενείς αποθέσεις ανάλογα με την κοκκομετρική τους σύνθεση, αναπτύσσονται τοπικά υπόγειες υδροφορίες ικανές να ενισχύσουν ή και να καλύψουν τοπικές αρδευτικές κυρίως ανάγκες (Θήβα, Αγγελόκαστρο Αγρινίου, βόρεια και κεντρική Εύβοια, Μεσόγεια Αττικής, Σχηματάρι, Μαλεσίνα κτλ.).
- Η καρστικοποίηση των ανθρακικών σχηματισμών δεν είναι η ίδια σε όλες τις εμφανίσεις αυτών. Σε γενικές γραμμές οι νηρητικοί παχυπλακώδεις ασβεστόλιθοι των ζωνών Τρίπολης - Γαβρόβου και Παρνασσού - Γκιώνας είναι περισσότερο καρστικοποιημένοι έναντι των πελαγικών ασβεστολίθων των άλλων ζωνών. Το ανωτέρω δεν σημαίνει ότι δεν υπάρχουν και πελαγικοί ασβεστόλιθοι έντονα καρστικοποιημένοι πράγμα που εξαρτάται και από την τεκτονική τους καταπόνηση.

Ως αποτέλεσμα της έντονης καρστικοποίησης συναντώνται στη Γκιώνα και στον Παρνασσό εκτεταμένες υδρογεωλογικές λεκάνες με μεγάλες πηγαίες εκφορτίσεις τόσο στις βόρειες ακτές του Κορινθιακού (Ιτέα, Κίρρα) όσο και στο Βοιωτικό Κηφισό (Μαυρονέρι, Ακόντιο, Πολύγυρα, Λειβαδιά).

- Η έντονη αυτή καρστικοποίηση των ανθρακικών μαζών ιδιαίτερα κοντά στα σημεία εκφόρτισης των υδρογεωλογικών λεκανών είχε αποτέλεσμα την ομογενοποίηση της ανάπτυξης των καρστικών αγωγών και διακένων με τη δημιουργία πολλές φορές ενιαίας υπόγειας πιεζομετρικής επιφάνειας (Βοιωτικός Κηφισός).

Η ανωτέρω ομογενοποίηση σε συνδυασμό με τις διαδοχικές εκτεταμένες αυξομειώσεις της στάθμης της θάλασσας κατά τις παγετώδεις περιόδους είχε ως αποτέλεσμα τμήματα του αναπτυγμένου κάρστ να βρίσκονται σήμερα στις παραθαλάσσιες περιοχές κάτω από τη στάθμη της θάλασσας.

Οι συνθήκες αυτές δημιουργούν εκτεταμένες ζώνες ανάμιξης θαλασσινού με υπόγειο γλυκό νερό με αποτέλεσμα τη μόλυνση των υπογείων υδροφοριών.

Το μέτωπο της υφαλμύρυνσης και η διείσδυσή του προς το εσωτερικό εκτός των ανωτέρων παλαιογεωγραφικών συνθηκών έχει σχέση επίσης με τη δυναμικότητα των υπογείων υδροφορέων ώστε να δημιουργείται μια ισορροπία, με την τεκτονική και το μηχανισμό ανάμιξης και διείσδυσης του θαλάσσιου νερού που δεν είναι παντού ίδιος και τέλος με τις υφιστάμενες εκμεταλλεύσεις των υπογείων νερών και την ανάπτυξή τους που προκαλεί διατάραξη της ισορροπίας και περαιτέρω διείσδυση της θάλασσας σε μεγαλύτερες αποστάσεις προς το εσωτερικό.

Στην περιοχή της Στερεάς Ελλάδας εκτεταμένες ζώνες υφαλμύρυνσης παράκτιων καρστικών υδροφορέων, διαφορετικής πάντα έντασης εκδήλωσης του φαινομένου, συναντάται στις παράκτιες περιοχές του βορείου Κορινθιακού (πηγές Ιτέας, Κίρρας, Ελλοπίας, Παραλίας Διστόμου, Πόρτο Γερμενό), στην περιοχή των δυτικών παραλίων της Στερεάς Ελλάδας (Αστακός, Αμφιλοχία) στην περιοχή Υπάτου και Μεσοβουνίου Θηβών, (800 ppm Cl), Αγ. Θωμά Αττικής, Αγ. Αποστόλων Αττικής, (Κάλαμος >2000 ppm Cl), Παραλίμνης (780 ppm Cl) Τραγάνας (>2 000 ppm).

Μικρότερης έκτασης διείσδυση του θαλάσσιου νερού παρατηρείται επίσης στο μεγαλύτερο μέρος των ανοιχτών στη θάλασσα καρστικών σχηματισμών.

Αντίθετα υπόγειοι εκτεταμένοι καρστικοί υδροφορείς με επίπεδα εκφόρτισης θετικά υψόμετρα πολύ πάνω από τη στάθμη της θάλασσας εξαιτίας κυρίως της τεκτονικής (Βοιωτικός Κηφισός ανάντη των πηγών Ορχομενού) δεν αντιμετωπίζουν κινδύνους υφαλμύρυνσης ούτε σήμερα, ούτε στο μέλλον.

- Φαινόμενα επίσης υφαλμύρυνσης εξαιτίας της διατάραξης της ισορροπίας μεταξύ θαλασσινού και γλυκού υπόγειου νερού παρατηρείται στους προσχωματικούς υδροφορείς του Σπερχειού, όπως επίσης και στις περιοχές Λιβανάτων και Θερμοπολών.
- Στην ευρύτερη περιοχή της Στερεάς Ελλάδας εξαιτίας της γεωλογικής και τεκτονικής διαμόρφωσής της παρατηρείται μεγάλο πλήθος καρστικών, κυρίως, πηγών που εκφορτίζουν μικρές ή μεγάλες υδρογεωλογικές λεκάνες.

Μεγάλος αριθμός πηγών εκφορτίζουν μικρές υδρογεωλογικές λεκάνες και αναπτύσσονται σε διαφορετικά υψόμετρα μέσα στην ίδια πολλές φορές υδρολογική λεκάνη. Τέτοιες πηγές παρατηρούνται κυρίως στις λεπιώσεις της Πίνδου ή στα τεκτονικά καλύμματα της Πελαγονικής ζώνης πάνω σ' αυτή του Παρνασσού - Γκιώνας.

Εμφανίζονται στη Στερεά Ελλάδα σημαντικές καρστικές πηγές που εκφορτίζουν εκτεταμένες υδρογεωλογικές λεκάνες. Οι κυριότερες αυτών συναντώνται στους παχυστρωματώδεις ασβεστολίθους της ζώνης Παρνασσού - Γκιώνας και Πελαγονικής. Μερικές από τις μεγάλες αυτές πηγές είναι στη λεκάνη του Βοιωτικού Κηφισού, οι Ορχομενού, Μαυρονερίου, Πολύγυρας, Λιλαίας, Πολύδροσου και Λειβαδιάς, στη λεκάνη Σπερχειού οι Μεξιατών, Αγ. Δημητρίου, Μεγ. Βρύση, Μαντάνια, Μαυρονέρια, στην Αττική των Αγίων Αποστόλων, στον Βόρειο Κορινθιακό της Ιτέας, Κίρρας και στην Αιτωλοακαρνανία της Ναυπάκτου, Αμφιλοχίας και Λάμπρας Λεσινίου. Οι τελευταίες εκφορτίζουν υπόγεια υδροφορία που αναπτύσσεται στα τριαδικά λατυποπαγή με γύψους και το νερό έχει αυξημένη ηλεκτρική αγωγιμότητα και περιεκτικότητα σε θειϊκά.

- Τέλος στη Στερεά Ελλάδα εμφανίζεται μεγάλος αριθμός θερμομεταλλικών πηγών πολλές απ' τις οποίες έχουν γίνει κέντρα ιαματικού τουρισμού γνωστά από την αρχαιότητα.
Η τροφοδοσία των θερμομεταλλικών πηγών γίνεται τις περισσότερες φορές, από τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα που κατεισδύουν σε μεγάλα βάθη μέσω ρωγματώσεων, θερμαίνονται, εμπλουτίζονται με συστατικά και αέρια και εξέρχονται στην επιφάνεια υπό μορφή πηγών.

Οι περισσότερες από αυτές στην περιοχή της Στερεάς Ελλάδας συνδέονται με ύπαρξη μεγάλων ρηγμάτων καταβύθισης όπως επίσης και με παρουσία μιας μαγματικής εστίας σε βάθος.

Θερμομεταλλικές πηγές αναπτύσσονται κατά μήκος του νότιου ρήγματος του Μαλλιακού κόλπου (Καμμένα Βούρλα, Θερμοπύλες, Υπάτη), στο Λουτράκι, στο ρήγμα Γερανίων, στην Αιδηψό και άλλού.

Στην περιοχή των Καμένων Βούρλων ο εμπλουτισμός σε ραδιενεργό ραδόνιο γίνεται από το ηφαίστειο των Λιχάδων Νήσων στο εσωτερικό του Μαλλιακού κόλπου.

Εμφανίζονται επίσης θερμομεταλλικές πηγές μικρής παροχής σε διάφορα υψόμετρα χωρίς κάποια σύνδεση με τεκτονική δράση ή ηφαιστειακή δραστηριότητα.

Οι μεγάλες θερμομεταλλικές πηγές εκτός της ιαματικής και τουριστικής αξιοποίησής τους, είναι δυνατόν να αποτελέσουν πεδίο ανάπτυξης ήπιων μορφών ενέργειας (θέρμανση, θερμοκήπια, κτλ) αφού πρώτα μελετηθούν τόσο από γεωθερμική, όσο και από υδρογεωλογική σκοπιά.

2.3 Υδατικά συστήματα με ιδιαίτερο διαχειριστικό ενδιαφέρον

Σε γενικές γραμμές οι κύριοι υδατικοί πόροι της Στερεάς Ελλάδας, οι οποίοι έχουν μέχρι σήμερα αξιοποιηθεί με συστηματικό τρόπο, μπορούν να ενταχθούν σε δύο διακεκριμένα συστήματα. Το πρώτο περιλαμβάνει τους υδατικούς πόρους που έχουν συνδεθεί με την ύδρευση της Αθήνας και συγκεκριμένα τις υδρολογικές λεκάνες Ευήνου, Μόρνου, Βοιωτικού Κηφισού και Υλίκης. Το δεύτερο περιλαμβάνει την υδρολογική λεκάνη του Αχελώου. Βεβαίως, στη Στερεά Ελλάδα υπάρχουν και άλλοι υδατικοί πόροι αξιόλογοι, είτε από πλευράς υδατικού δυναμικού, είτε λόγω των σημαντικών περιβαλλοντικών διαστάσεών τους, όπως είναι ο ποταμός Σπερχειός, οι λίμνες Τριχωνίδα, Λυσιμαχία, Οζερός, Αμβρακία κ.α. Όμως, από την οπτική του συγκεκριμένου ερευνητικού έργου, τα παραπάνω δύο συστήματα παρουσιάζουν το μεγαλύτερο ερευνητικό, αλλά και επιχειρησιακό, ενδιαφέρον και γι' αυτό έχει εστιαστεί σε αυτά η έρευνά μας.

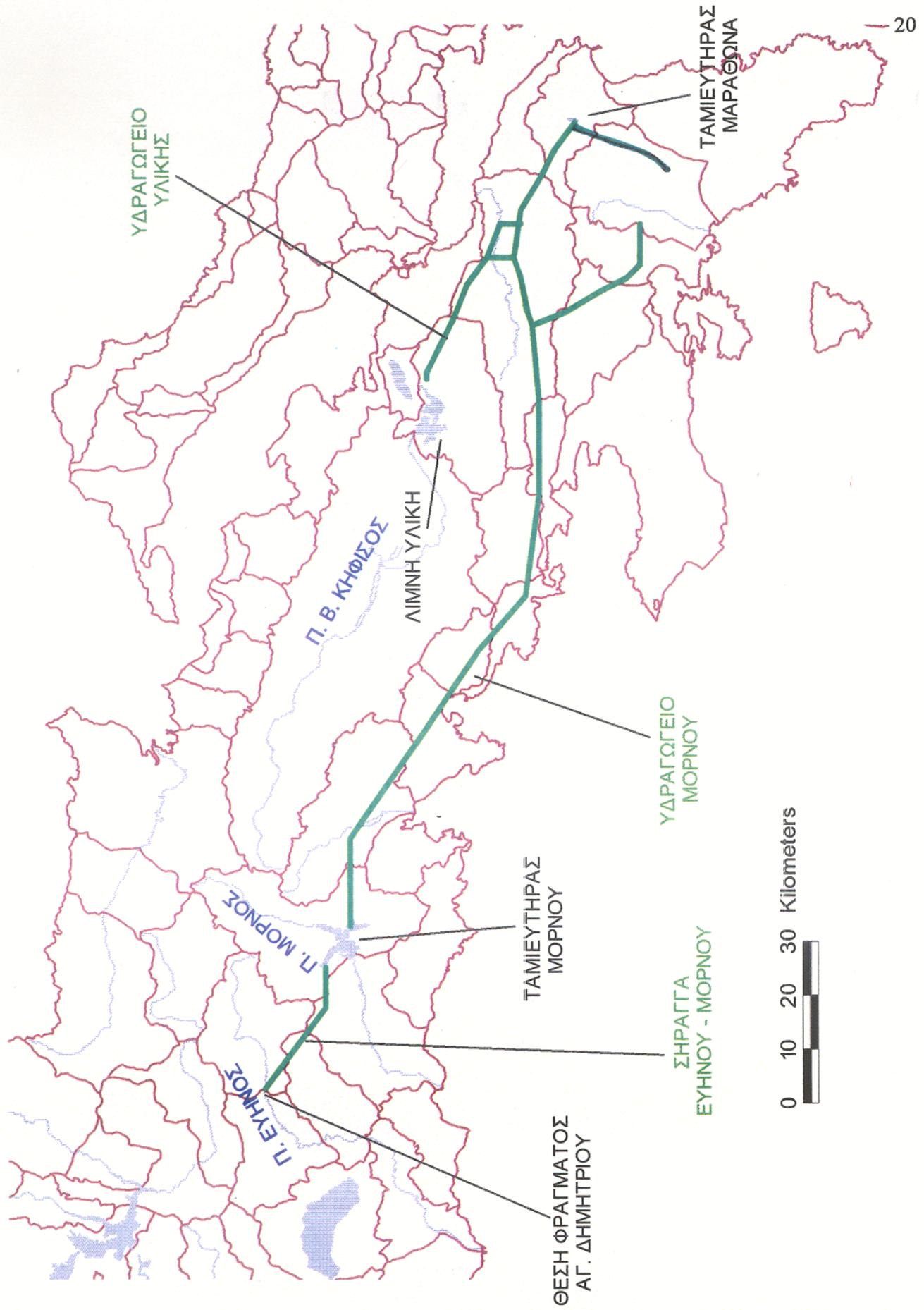
Ειδικότερα, τα κύρια έργα αξιοποίησης υδατικών πόρων στο σύστημα που αφορά στην ύδρευση της Αθήνας περιλαμβάνουν κυρίως τους ταμιευτήρες Μόρνου και Ευήνου, την υδροληψία από τη λίμνη Υλίκη, και ένα σύνολο γεωτρήσεων στη λεκάνη Βοιωτικού Κηφισού - Υλίκης και αλλού. Περιλαμβάνουν επίσης τα σημαντικά έργα μεταφοράς νερού από τις θέσεις υδροληψίας προς την Αθήνα.

Το σύστημα του Αχελώου μπορεί να διακριθεί σε δύο υποσυστήματα, όριο των οποίων μπορεί σχηματικά να θεωρηθεί ότι είναι το φράγμα Στράτου. Το υποσύστημα του Μέσου και Άνω Αχελώου περιλαμβάνει τα έργα Στράτου, Καστρακίου και Κρεμαστών, τα οποία αποσκοπούν στην παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας και στην εξασφάλιση εγγυημένων παροχών στα κατάντη για αρδευτική χρήση και περιβαλλοντική προστασία. Στο σύστημα αυτό προστίθενται ήδη τα υπό κατασκευή έργα της Μεσοχώρας, ενώ θα συμπεριληφθούν και τα έργα Συκιάς. Εναλλακτικά, έχει μελετηθεί και ο ταμιευτήρας στο Αυλάκι. Όλα τα συμπληρωματικά έργα έχουν μελετηθεί καταρχήν για υδροηλεκτρική ανάπτυξη. Ωστόσο, μια πολύ πιθανή εκδοχή είναι η εναλλακτική αξιοποίηση των έργων Συκιάς (πρωτίστως) και Μεσοχώρας (δευτερευόντως) για την εκτροπή νερού προς τη Θεσσαλία για αρδευτική χρήση και περιβαλλοντική αναβάθμιση. Στην περίπτωση αυτή θα κατασκευαστεί σήραγγα εκτροπής από τον ταμιευτήρα Μεσοχώρας προς τη Θεσσαλία (Πευκόφυτο). Η ποσότητα που πρόκειται να εκτραπεί προς τη Θεσσαλία σύμφωνα με το τρέχον σενάριο φτάνει στα 600 hm^3 ετησίως, ενώ

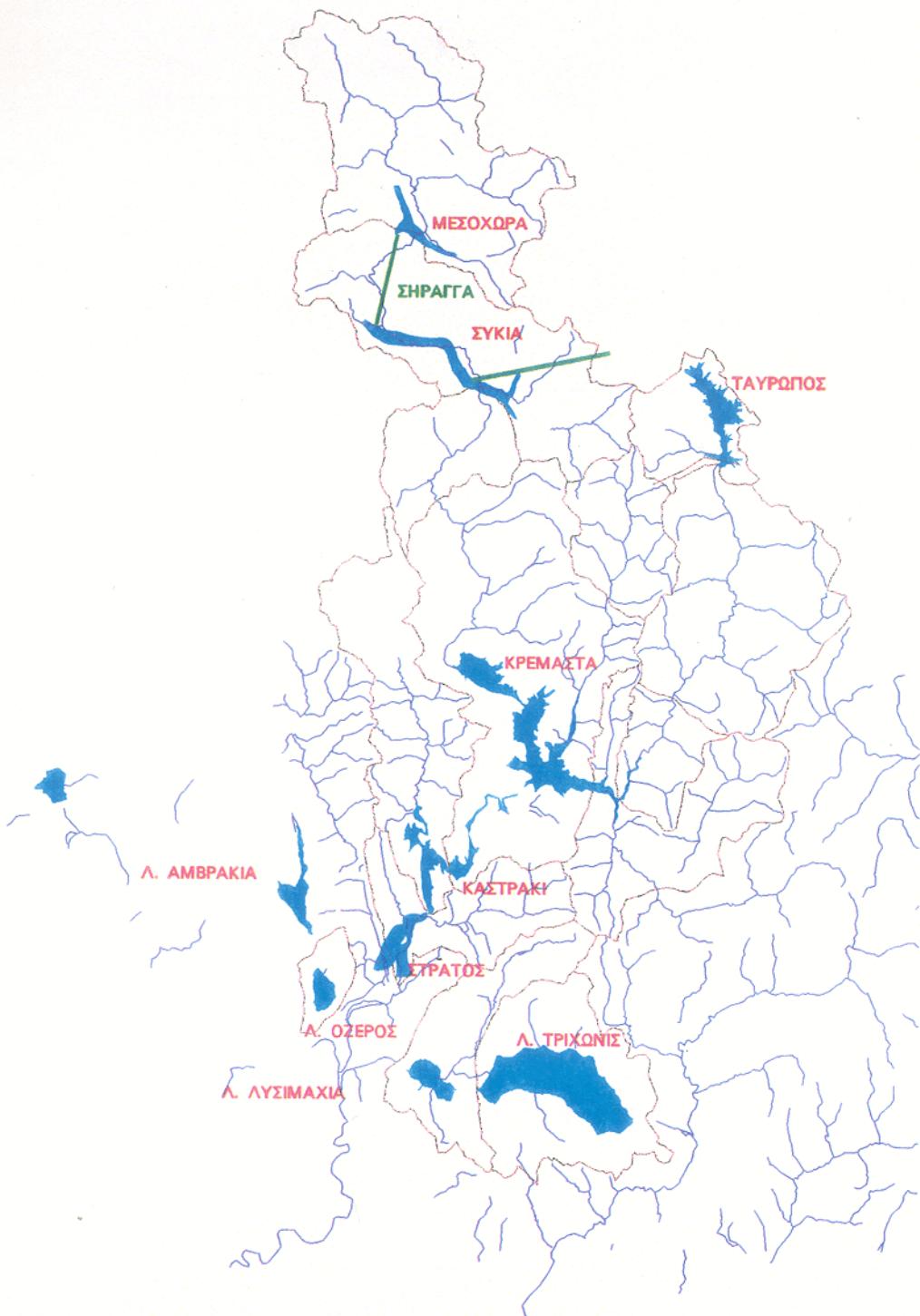
παλιότερα είχαν εξεταστεί και άλλα σενάρια μικρότερης ή μεγαλύτερης ποσότητας εκτροπής (μέχρι 1100 hm^3 ετησίως).

Το δεύτερο υποσύστημα του Αχελώου αφορά στις αρδευτικές και λοιπές χρήσεις νερού στην περιοχή της Αιτωλοακαρνανίας κατάντη του Στράτου. Το υποσύστημα αυτό περιλαμβάνει, εκτός από τον Κάτω Αχελώο, και τις λίμνες Τριχωνίδα και Λυσιμαχία, καθώς και τα υπόγεια νερά της περιοχής. Τα έργα του υποσυστήματος αυτού είναι αρδευτικά έργα και πρωτίστως διώρυγες για τη μεταφορά νερού από τις υδροληψίες (Αχελώος κατάντη Στράτου, Τριχωνίδα, Λυσιμαχία, γεωτρήσεις) προς τις θέσεις κατανάλωσης. Δεδομένου ότι το σύστημα αυτό έχει αποτελέσει το ιδιαίτερο αντικείμενο ενός παράλληλου ερευνητικού έργου, το οποίο έχει ανατεθεί από τη Διεύθυνση Έργων Εγγείων Βελτιώσεων (Δ7) του ΥΠΕΧΩΔΕ (Επιστημονικός υπεύθυνος Α. Ψυλοβίκος, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης), δεν έχουμε επεκταθεί στο παρόν ερευνητικό έργο στη μελέτη αυτού του υποσυστήματος. Ορισμένα στοιχεία για τις παρούσες και μελλοντικές χρήσεις νερού στο υποσύστημα αυτό δίνονται στο Τεύχος 21.

Αντίθετα, στο υποσύστημα του Αχελώου ανάτη του Στράτου, καθώς και στο σύστημα υδροδότησης της Αθήνας έχουμε αφιερώσει το μεγαλύτερο μέρος της μελέτης. Η συλλογή και επεξεργασία δεδομένων, τόσο από πλευράς υδατικού δυναμικού, όσο και από πλευράς χρήσεων, για τα συστήματα αυτά καλύπτεται στα Τεύχη 18 έως 21. Επιπλέον, έχουμε ήδη ξεκινήσει την κατασκευή μοντέλων για τα δύο συστήματα, τα οποία περιγράφονται αναλυτικά στα Τεύχη 14 και 15. Στα επόμενα κεφάλαια της έκθεσης αυτής δίνονται συνοπτικά στοιχεία τόσο για το υδατικό δυναμικό των συστημάτων (Κεφ. 3) όσο και για τα μοντέλα που κατασκευάστηκαν (Κεφ. 5).



Σχ. 2.2 Συνοπτικό διάγραμμα του συστήματος υδροδότησης της Αθήνας.



Σχ. 2.3 Συνοπτικό διάγραμμα του υδατικού συστήματος Αχελώου.

2.4 Υδατικά συστήματα με ιδιαίτερο υδρογεωλογικό ενδιαφέρον

Στην περιοχή της Στερεάς Ελλάδας το κυριότερο υδρογεωλογικό ενδιαφέρον επικεντρώνεται στους καρστικούς υδροφορείς που αναπτύσσονται σ' αυτήν και ιδιαίτερα σε εκείνους που μια σειρά γεωλογικοί, τεκτονικοί και παλαιογεωγραφικοί παράγοντες διαμόρφωσαν και απομόνωσαν αυτούς από την επίδρασης της θάλασσας.

Οι κύριες αυτές καρστικές ενότητες είναι των ορεινών όγκων Παρνασσού - Γκιώνας, Πάρνηθας και Ακαρνανικών Ορέων, όπως επίσης και κατά δεύτερο λόγο της Οίτης, Όθρυος, Καλλιδρόμου και Παναιτωλικού.

Ο καρστικός όγκος του Παρνασσού αποτελείται από δύο κύριες υδρογεωλογικές λεκάνες, αυτής του Βοιωτικού Κηφισού και της νοτιοδυτικής πλευράς που εκφορτίζεται μέσω πηγών στο Βόρειο Κορινθιακό Κόλπο.

Οι δύο αυτές κύριες υδρογεωλογικές ενότητες αποτελούνται από επιμέρους μικρότερες που διακινούν η κάθε μία ποσότητες νερού μέσα όμως στα πλαίσια της ευρύτερης.

Η υδρογεωλογική λεκάνη του Βοιωτικού Κηφισού εκφορτίζεται μέσω των πηγών Μαυρονερίου - Ορχομενού και Πολύγυρας. Στον άνω ρου του Βοιωτικού Κηφισού εξαιτίας της γεωλογικής και τεκτονικής δομής διαμορφώνονται επικρεμάμενοι υδροφόροι ορίζοντες οι οποίοι εκφορτίζονται μέσω των πηγών Λιλαίας - Πολύδροσου. Το μεγαλύτερο όμως μέρος των νερών των πηγών αυτών επαναδιηθείται κατά τη ροή του μέσω του Βοιωτικού Κηφισού και επανέρχεται στην επιφάνεια στις τρεις ανωτέρω πηγές.

Μέσα στην ίδια υδρολογική λεκάνη του Βοιωτικού Κηφισού υπάρχουν και οι πηγές Λειβαδιάς που εκφορτίζουν τμήμα του καρστικού όγκου του Ελικώνα. Στη λεκάνη του Βοιωτικού Κηφισού έχουν κατασκευαστεί τα τελευταία χρόνια πλήθος γεωτρήσεων για την άμεση αντιμετώπιση της λειψυδρίας στην Αθήνα.

Τα ρυθμιστικά αποθέματα της υδρογεωλογικής λεκάνης του Βοιωτικού Κηφισού συμπεριλαμβανομένων σ' αυτά και των πηγών Λειβαδιάς ανέρχονται σε μια τάξη μεγέθους $300 \text{ hm}^3/\text{έτος}$. Εξαιτίας των ανταγωνιστικών συμφερόντων των χρηστών του νερού είναι επιτακτική η ανάγκη ορθολογικής διαχείρισης τόσο των υπογείων, όσο και των επιφανειακών νερών στη λεκάνη του Βοιωτικού Κηφισού.

Στην ευρύτερη υδρογεωλογική λεκάνη του Β. Κηφισού εντάσσεται, σύμφωνα με πολλούς μελετητές, και το καρστικό σύστημα Υλίκης - Παραλίμνης. Η διασύνδεση των δύο συστημάτων, Βοιωτικού Κηφισού και Υλίκης - Παραλίμνης, γίνεται μέσω της σήραγγας Καρδίτσας που κατασκευάστηκε για την αποξήρανση της Κωπαΐδας.

Το καρστικό σύστημα Υλίκης - Παραλίμνης θεωρείται ως ενιαίο και διακινεί τα υπόγεια νερά του τόσο προς τον Ευβοϊκό κόλπο, όσο και προς τον Κάμπο Βαγίων - Θηβών μεταγγίζοντας νερά προς τους προσχωματικούς υδροφορείς των πεδιάδων. Το ΙΓΜΕ (1994) εκτιμά το υπόγειο υδατικό δυναμικό του συστήματος σε $50 \text{ hm}^3/\text{έτος}$ με βάση όμως τα στοιχεία που διαθέτει μέχρι το 1989. Το υπόγειο αυτό δυναμικό έχει άμεση σχέση με τις διαφυγές της λίμνης Υλίκης και τις απορροές της σήραγγας Καρδίτσας. Με τα έργα που έχουν γίνει στο Βοιωτικό Κηφισό για την ύδρευση της Αθήνας και μέσω του Υδραγωγείου Διστόμου είναι

απαραίτητη μια πιο λεπτομερής προσέγγιση του δυναμικού του υπόγειου καρστικού συστήματος Υλίκης - Παραλίμνης.

Η δεύτερη κύρια υδρογεωλογική ενότητα του Παρνασσού που εκφορτίζεται στο βόρειο Κορινθιακό κόλπο μέσω υφάλμυρων πηγών διαχωρίζεται σε δύο επιμέρους λεκάνες των πηγών Κίρρας και των πηγών Αγ. Ισιδώρου. Εκτιμάται ότι το δυναμικό της ανωτέρω υδρογεωλογικής ενότητας είναι της τάξης των $150 \text{ hm}^3/\text{έτος}$.

Η καρστική ενότητα Γκιώνας που καταλαμβάνει το οιμώνυμο βουνό αποτελείται από μία υδρογεωλογική λεκάνη που εκφορτίζεται μέσω των υφάλμυρων πηγών του κόλπου της Ιτέας και άλλων διάσπαρτων υποθαλάσσιων αναβλύσεων. Εκτιμάται ότι το δυναμικό της υδρογεωλογικής λεκάνης της Γκιώνας ανέρχεται σε $200 \text{ hm}^3/\text{έτος}$.

Η καρστική ενότητα της Πάρνηθας - Κιθαιρώνα - Πατέρα διαχωρίζεται σε τρεις κύριες υδρογεωλογικές λεκάνες:

- Υδρογεωλογική λεκάνη κρασπέδων της Πάρνηθας που εκφορτίζεται μέσω των υφάλμυρων πηγών Αγίων Αποστόλων Αττικής με υπόγειο υδατικό δυναμικό της τάξης των $80 \text{ hm}^3/\text{έτος}$.
- Υδρογεωλογική λεκάνη Νοτίων κρασπέδων Πάρνηθας και Κιθαιρώνα με εκφορτίσεις προς το Σαρωνικό κόλπο κυρίως μέσω της πηγής Κουμουνδούρου αλλά και άλλων μικρότερων στην Κακιά Σκάλα.
- Υδρογεωλογική ενότητα Κιθαιρώνα - Πατέρα με διακίνηση των νερών προς κόλπο Πόρτο Γερμενού που διαχωρίζεται σε δύο επιμέρους υδρογεωλογικές λεκάνες τη βόρεια και νότια.

Η καρστική ενότητα των Ακαρνανικών ορέων, της ανατολικής πλευράς, αποτελείται από Τριαδικά ασβεστολιθικά λατυποπαγή και εκφορτίζεται μέσω των μεγάλων καρστικών πηγών Λάμπρας Λεσινίου. Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό των πηγών αυτών είναι η υψηλή περιεκτικότητα σε θειϊκά ιόντα εξαιτίας της διάλυσης των γύψων που περιέχονται στα ασβεστολιθικά λατυποπαγή. Στη δίαιτα των πηγών αυτών συμμετέχουν και οι διηθήσεις του Αχελώου ποταμού που πραγματοποιούνται στα στενά Παλαιομάνινα - Πενταλόφου. Εκτιμάται ότι το δυναμικό της υδρογεωλογικής λεκάνης των πηγών Λάμπρας Λεσινίου είναι της τάξης των $200 \text{ hm}^3/\text{έτος}$.

Στην καρστική ενότητα των Ακαρνανικών Ορέων εκτός των τριαδικών ασβεστολιθικών λατυποπαγών ενδιαφέρον παρουσιάζουν και οι ασβεστολιθικές εμφανίσεις του δυτικού τμήματος που έχουν ανοιχτό μέτωπο προς το Ιόνιο πέλαγος. Στις ασβεστολιθικές αυτές εμφανίσεις αναπτύσσεται αξιολόγη υπόγεια υδροφορία που εκφορτίζεται μέσω πηγών που βρίσκονται στο βόρειο και βορειοδυτικό τμήμα της καρστικής ενότητας (πηγές Βόνιτσας, Μοναστηρακίου, Κεφαλόβρυσου κλπ).

Στην ευρύτερη περιοχή της Στερεάς Ελλάδας αναπτύσσονται επίσης και άλλοι αξιόλογοι καρστικοί υδροφορείς που περιγράφονται πιο κάτω:

Στη λεκάνη του Σπερχειού εμφανίζεται το καρστικό σύστημα της Νότιας Όθρυος που εκφορτίζεται κυρίως μέσω των πηγών Αγίας Παρασκευής με ετήσιο υπόγειο δυναμικό της τάξης των 50 hm^3 .

Το καρστικό σύστημα της Οίτης βρίσκεται στα νότια όρια της λεκάνης του Σπερχειού και εκφορτίζεται μέσω πηγών σε διάφορα υψόμετρα (πηγές Παύλιανης, Γοργοπόταμου, Κομποτάδων - Μεξιατών). Η κύρια εκφόρτιση του συστήματος γίνεται από τις πηγές Κομποτάδων - Μεξιατών.

Η καρστική ενότητα Καλλίδρομου - Οίτης είναι η πλέον σημαντική της λεκάνης του Σπερχειού και εκφορτίζεται μέσω των πηγών Μαυρονέρια Βαρδατών. Το σύστημα αυτό συμμετέχει επίσης στην τροφοδοσία των μεγάλων θερμομεταλλικών πηγών των Θερμοπυλών και Καμένων Βούρλων.

Η καρστική ενότητα των πολυπτυχωμένων ασβεστολίθων της ζώνης της Πίνδου με την αλληλουχία των λεπιώσεων διαχωρίζεται σε επιμέρους μικρές υδρογεωλογικές λεκάνες οι οποίες εκφορτίζονται μέσω πηγών σε διαφορετικά υψόμετρα. Η κίνηση του υπόγειου νερού στη ζώνη της Πίνδου είναι γενικά από ΒΒΔ προς ΝΝΑ.

Υπάρχουν όμως περιπτώσεις που η γεωλογία και η τεκτονική επιτρέπουν την υδραυλική επικοινωνία μεταξύ των διαφόρων λεπίων και δημιουργούνται έτσι μεγαλύτερης έκτασης υδρογεωλογικές λεκάνες που εκφορτίζονται μέσω αξιόλογων πηγών όπως συμβαίνει με τις πηγές Ναυπάκτου και Τριχωνίδας.

Στην περιοχή της Εύβοιας οι ανθρακικοί καρστικοί σχηματισμοί παρουσιάζουν μεγάλη διασπορά και δημιουργούν έτσι μικρές υδρογεωλογικές λεκάνες. Το ανοιχτό μέτωπο των καρστικών αυτών ενοτήτων με τη θάλασσα και η γεωλογία της περιοχής δεν επιτρέπουν τη δημιουργία μεγάλων υδρογεωλογικών ενοτήτων με δυνατότητα εκμετάλλευσης. Εμφανίζεται σημαντικός αριθμός πηγών μικρής γενικά παροχής στα κράσπεδα των καρστικών ενοτήτων. Οι κύριες εκφορτίσεις όμως των υπογείων νερών γίνονται είτε μέσω υφάλμυρων παράκτιων πηγών, είτε με διάσπαρτες υποθαλάσσιες αναβλύσεις.

Στην ευρύτερη περιοχή της Στερεάς Ελλάδας εκτός των καρστικών ενοτήτων αναπτύσσονται υπόγειες υδροφορίες τόσο στους προσχωματικούς, όσο και στους τριτογενείς - νεογενείς σχηματισμούς. Στις αποθέσεις αυτές αναπτύσσονται κυμαινόμενο δυναμικού υπόγειες υδροφορίες τόσο ελεύθερες, όσο και υπό πίεση. Η κοκκομετρική σύσταση των αποθέσεων αυτών είναι ο κύριος παράγοντας που καθορίζει την κυκλοφορία του νερού.

Η κύρια ανάπτυξη των προσχωματικών τεταρτογενών σχηματισμών που φιλοξενούν αξιόλογες υπόγειες υδροφορίες στην ευρύτερη περιοχή της Στερεάς Ελλάδας παρατηρείται στα κύρια ποτάμια και κατά σειρά στη λεκάνη του Σπερχειού, του Αχελώου, κυρίως στην πεδιάδα του Αγρινίου, και στα Δέλτα του Μόρνου και του Ευήνου. Σημαντική επίσης ανάπτυξη έχουμε και στη λεκάνη του Βοιωτικού Κηφισού (Κωπαΐδα) χωρίς όμως υδρογεωλογικό ενδιαφέρον.

Οι νεογενείς αποθέσεις, τέλος, καταλαμβάνουν σημαντικά τμήματα της Στερεάς Ελλάδας σε περιοχές τεκτονικών βυθισμάτων. Αναπτύσσονται στην κεντρική και βόρεια Εύβοια, στη λεκάνη των Θηβών, στη λεκάνη των Μεγάρων, στη λεκάνη των Μεσογείων.

3. Δεδομένα επιφανειακής υδρολογίας - Επιφανειακό υδατικό δυναμικό

Στα πλαίσια της πρώτης φάσης του ερευνητικού έργου έγινε εκτεταμένη συλλογή και αρχειοθέτηση (σε υπολογιστικό περιβάλλον DOS) των βασικών υδρολογικών δεδομένων της Στερεάς Ελλάδας, ενώ ξεκίνησε και η επεξεργασία των δεδομένων. Στην παρούσα δεύτερη φάση του έργου έγιναν αρκετές συμπληρώσεις των αρχείων δεδομένων και ολοκληρώθηκε η επεξεργασία τους (βλ. Τεύχη 18-20). Ετσι προέκυψαν τα τελικά συμπεράσματα σχετικά με το επιφανειακό υδατικό δυναμικό των κύριων υδρολογικών λεκανών της Στερεάς Ελλάδας. Οι εργασίες της δεύτερης φάσης, που συνοπτικά περιγράφονται στις επόμενες ενότητες, έγιναν σε νέο υπολογιστικό περιβάλλον, προσανατολισμένο στο σύστημα ΥΔΡΟΣΚΟΠΙΟ.

3.1 Αναβάθμιση υπολογιστικού περιβάλλοντος για την διαχείριση και επεξεργασία υδρολογικών δεδομένων

Στην πρώτη φάση του παρόντος ερευνητικού έργου αναπτύχθηκαν προγράμματα αρχειοθέτησης και επεξεργασίας υδρολογικών δεδομένων σε μηνιαία βάση, τα οποία λειτουργούσαν σε προσωπικούς υπολογιστές και σε υπολογιστικό περιβάλλον DOS. Η αναβάθμιση του υπολογιστικού περιβάλλοντος αναφέρεται στη μετάβαση από το περιβάλλον DOS, στο συνδυασμό των συστημάτων UNIX και WINDOWS στα οποία αναπτύχθηκαν όλα τα προγράμματα της δεύτερης φάσης του ερευνητικού έργου.

Το νέο υπολογιστικό περιβάλλον καθορίστηκε κατά βάση από το σύστημα ΥΔΡΟΣΚΟΠΙΟ το οποίο αποτελεί τη βάση της Εθνικής Τράπεζας Υδρολογικής και Μετεωρολογικής Πληροφορίας της χώρας και αναπτύχθηκε στα πλαίσια του κοινοτικού ερευνητικού προγράμματος STRIDE ΕΛΛΑΣ 1992-94.[†]

Η γενική περιγραφή του νέου υπολογιστικού συστήματος και των εργασιών που απαιτήθηκαν για τη μετάβαση σε αυτό, καλύπτονται στο τεύχος 11, το οποίο περιλαμβάνει και την περιγραφή και θεωρητική τεκμηρίωση του πρόσθετου λογισμικού που απαιτήθηκε να αναπτυχθεί στα πλαίσια του παρόντος ερευνητικού έργου για τη στατιστική επεξεργασία των υδρολογικών δεδομένων.

Συνοπτικά πραγματοποιήθηκαν οι ακόλουθες εργασίες υποδομής για τη μετάβαση στο νέο υπολογιστικό περιβάλλον, οι οποίες και προβλέπονταν στην απόφαση ανάθεσης του ερευνητικού έργου:[‡]

[†] Ανάδοχος του ερευνητικού έργου αυτού ήταν και πάλι ο Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων του ΕΜΠ με επιστημονικό υπεύθυνο τον Δ. Κουτσογιάννη, ενώ συμμετείχε σε αυτό και η διεύθυνση Δ7 του ΥΠΕΧΩΔΕ, καθώς και το σύνολο σχεδόν των δημόσιων φορέων της χώρας που ασχολούνται με την καταγραφή και αξιοποίηση της υδρολογικής και μετεωρολογικής πληροφορίας της χώρας.

[‡] Σημειώνεται ότι καμία από τις εργασίες αυτές δεν κοστολογήθηκε στο παρόν ερευνητικό έργο. Το έργο επιβαρύνθηκε μόνο από τη δαπάνη προμήθειας εξοπλισμού.

- α. Έγινε προμήθεια υπολογιστικού εξοπλισμού και λογισμικού υποδομής, και εγκατάστασή τους στη Διεύθυνση Έργων Ύδρευσης και Αποχέτευσης του ΥΠΙΕΧΩΔΕ. Συγκεκριμένα αγοράστηκε σταθμός εργασίας τύπου Hewlett-Packard 9000/710 συνοδευόμενος από λειτουργικό σύστημα UNIX (HP-UX). Αγοράστηκε επίσης και εγκαταστάθηκε το Σύστημα Διαχείρισης Βάσης Δεδομένων INGRES και το Σύστημα Γεωγραφικής Πληροφορίας ARC/INFO.
- β. Έγινε on-line σύνδεση του Τομέα Υδατικών Πόρων του ΕΜΠ και της Διεύθυνσης Έργων Ύδρευσης και Αποχέτευσης του ΥΠΙΕΧΩΔΕ, μέσω του δίκτυου ΥΔΡΟΣΚΟΠΟΥ και ειδικότερα της μισθωμένης ψηφιακής γραμμής ΕΜΠ-ΥΠΙΕΧΩΔΕ.
- γ. Μεταφέρθηκε το σύνολο των πρωτογενών δεδομένων της Α' φάσης στο νέο υπολογιστικό περιβάλλον.
- δ. Ολοκληρώθηκε η εκμάθηση και προσαρμογή της ομάδας εργασίας του ΥΠΙΕΧΩΔΕ στο νέο υπολογιστικό περιβάλλον.
- ε. Έγιναν διάφορες προσαρμογές των προγραμμάτων του ΥΔΡΟΣΚΟΠΟΥ για τις ανάγκες του παρόντος ερευνητικού έργου.

Με τις εργασίες αυτές εξασφαλίστηκε η δυνατότητα ταυτόχρονης προσπέλασης και ενημέρωσης της βάσης δεδομένων της Στερεάς Ελλάδας και από τον κόμβο του ΕΜΠ και από τον κόμβο του ΥΠΙΕΧΩΔΕ, ενώ το ίδιο ισχύει για την ανάπτυξη και εκτέλεση των προγραμμάτων. Εξ άλλου είναι δυνατή η πρόσβαση και σε δεδομένα άλλων φορέων που συμμετέχουν στο ΥΔΡΟΣΚΟΠΟ, στο βαθμό που αυτά έχουν εισαχθεί στην κατανεμημένη βάση.

Η χρήση του νέου υπολογιστικού εξοπλισμού δεν αποκλείει και την παράλληλη χρήση προσωπικών υπολογιστών σε συνεργασία με τον τοπικό σταθμό εργασίας αλλά και το γενικό δίκτυο του ΥΔΡΟΣΚΟΠΟΥ. Οι προσωπικοί υπολογιστές είναι μάλιστα πιο εύχρηστοι αλλά και οικονομικότεροι σε πολλές περιπτώσεις επεξεργασίας δεδομένων, λόγω της δυνατότητας χρήσης καθιερωμένων εμπορικών πακέτων λογισμικού. Τα τελευταία διαρκώς τελειοποιούνται και διατίθενται σε φτηνές τιμές λόγω της μεγάλης αγοράς που υπάρχει σε προγράμματα προσωπικών υπολογιστών.

Πολλές από τις απαραίτητες υπολογιστικές διαδικασίες επεξεργασίας υδρολογικών δεδομένων υπάρχουν ενσωματωμένες στο σύστημα του ΥΔΡΟΣΚΟΠΟΥ. Αρκετές όμως δεν είχαν προβλεφθεί στην πρώτη φάση του ΥΔΡΟΣΚΟΠΟΥ και έτσι έπρεπε να γίνει εκ νέου προγραμματισμός τους λαμβάνοντας υπόψη τις απαιτήσεις του νέου υπολογιστικού περιβάλλοντος. Συγκεκριμένα οι διαδικασίες αυτές αναφέρονται στη στατιστική επεξεργασία των υδρολογικών χρονοσειρών.

Παίρνοντας υπόψη τα παραπάνω γενικά δεδομένα, αποφασίστηκε να αναπτυχθούν οι απαιτούμενες συμπληρωματικές υπολογιστικές εφαρμογές σε προσωπικούς υπολογιστές με υπολογιστικό περιβάλλον WINDOWS. Πιο συγκεκριμένα επελέγη ως πλατφόρμα ανάπτυξης των εφαρμογών το λογιστικό πακέτο EXCEL της Microsoft, το οποίο αποτελεί ένα από τα πιο εξελιγμένα και διαδεδομένα πακέτα του είδους του και προσφέρει πολλές δυνατότητες επεξεργασίας και γραφικής απεικόνισης δεδομένων. Οι εφαρμογές αναπτύχθηκαν με χρήση

των γλωσσών προγραμματισμού C και Visual Basic και τελικά ενσωματώθηκαν υπό μορφή βιβλιοθήκης στην πλατφόρμα του EXCEL. Προηγουμένως εξασφαλίστηκε η δυνατότητα συνεργασίας του EXCEL με την κατανεμημένη βάση δεδομένων του ΥΔΡΟΣΚΟΠΟΥ.

3.2 Μεθοδολογία επεξεργασίας υδρολογικών δεδομένων

3.2.1 Βροχομετρικά δεδομένα

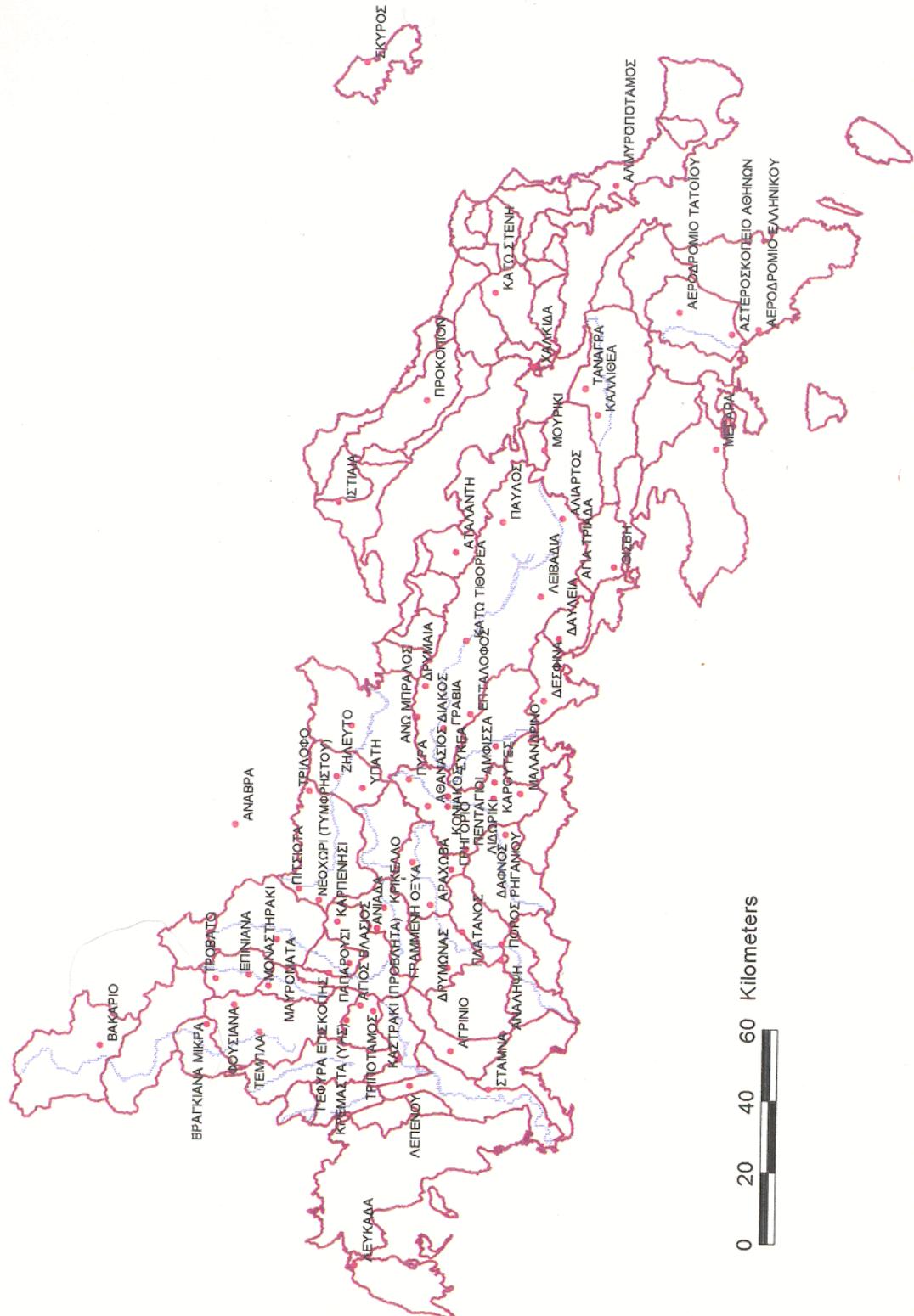
Χρησιμοποιήθηκαν συνολικά 71 βροχομετρικοί σταθμοί της Στερεάς Ελλάδας (Σχ. 3.1). Αρχικά έγιναν εκτεταμένοι έλεγχοι της ομογένειας των ιστορικών δεδομένων, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της διπλής αθροιστικής καμπύλης, όπως αυτή έχει τυποποιηθεί και κωδικοποιηθεί στο αντίστοιχο πρόγραμμα του ΥΔΡΟΣΚΟΠΟΥ. Σε πολλούς σταθμούς διαπιστώθηκαν συστηματικά σφάλματα, οφειλόμενα στην κακή ποιότητα των δεδομένων, και όπου ήταν δυνατό έγινε ανόρθωση των εσφαλμένων μετρήσεων.

Στη συνέχεια έγιναν συμπληρώσεις των κενών των αρχείων σε μηνιαία βάση. Χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της γραμμικής παλινδρόμησης με γειτονικούς σταθμούς, όπως αυτή έχει τυποποιηθεί και κωδικοποιηθεί στο αντίστοιχο πρόγραμμα του ΥΔΡΟΣΚΟΠΟΥ.

Τέλος έγινε υπολογισμός των επιφανειακών μηνιαίων βροχής σε 10 υπολεκάνες του Αχελώου, 3 υπολεκάνες του Ευήνου, 1 του Μόρνου (ανάντη φράγματος), 1 του Βοιωτικού Κηφισού (σύνολο λεκάνης) και 3 του Σπερχειού. Στο στάδιο αυτό χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Thiessen με υψομετρική αναγωγή. Τα βάρη των σταθμών της μεθόδου Thiessen υπολογίστηκαν με τη χρήση κατάλληλου προγράμματος το οποίο αναπτύχθηκε στα πλαίσια του Συστήματος Γεωγραφικής Πληροφορίας. (βλ. εν. 4.1). Αναλυτικά, οι εργασίες επεξεργασίας των βροχομετρικών δεδομένων περιγράφονται στο Τεύχος 18.

3.2.2 Μετεωρολογικά δεδομένα

Τα μετεωρολογικά δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση της εξάτμισης από τους ταμιευτήρες της Στερεάς Ελλάδας. Χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Penman, όπως αυτή έχει κωδικοποιηθεί στην αντίστοιχη εφαρμογή του ΥΔΡΟΣΚΟΠΟΥ. Αναλυτικά η επεξεργασία και τα αποτελέσματα φαίνονται στο Τεύχος 18.



Σχ. 3.1 Αρχειοθετημένοι βροχομετρικοί σταθμοί της Στερεάς Ελλάδας.

3.2.3 Υδρομετρικά δεδομένα

Οι θέσεις υδρομέτρησης και οι αντίστοιχοι ποταμοί που απασχόλησαν τη μελέτη μας φαίνονται στον Πίν. 3.1.

Πίν. 3.1 Θέσεις υδρομέτρησης που απασχόλησαν τη μελέτη.

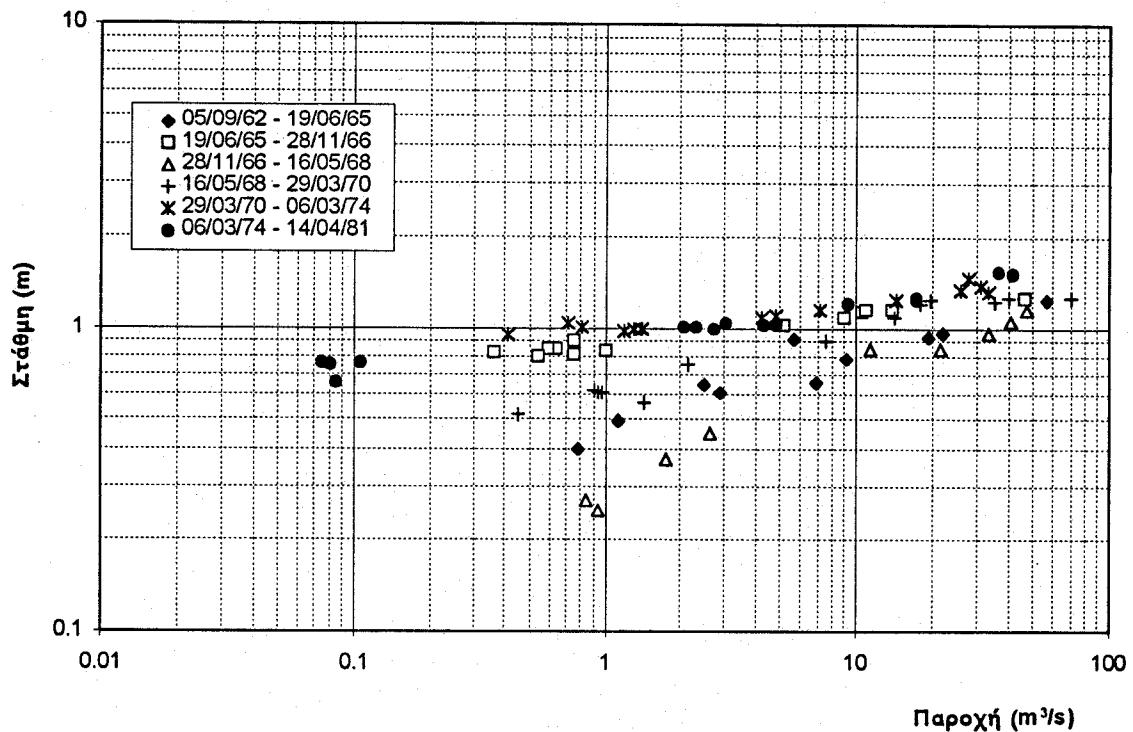
Ποταμός και θέση υδρομέτρησης	Σταθμήμετρο [†]
Εύηνος, Άγιος Δημήτριος	1, 2, 3, 4, 5, 6
Εύηνος, Πόρος Ρηγανίου	1
Εύηνος, Αχλαδόκαστρο	1
Αγραφώτης, Γέφυρα Βαρβαριάδας	1, 2
Αχελώος, Αυλάκι	1
Σπερχειός, Γέφυρα Καστριού	1
Σπερχειός, Γέφυρα Κομποτάδων	1
Ταυρωπός (ή Μέγδοβας), Γέφυρα Βίνιανης	1, 2
Τρικεριώτης	4, 5, 6, 7, 8
Βοιωτικός Κηφισός, Διώρυγα Καρδίτσας	1

[†] Οι αριθμοί των σταθμημέτρων και τα ονόματα των υδρομετρικών σταθμών δίνονται έτσι όπως έχουν κωδικοποιηθεί στο ΥΔΡΟΣΚΟΠΙΟ.

Στο πρώτο στάδιο της εργασίας έγινε εισαγωγή των δεδομένων των υδρομετρήσεων στη βάση δεδομένων του ΥΔΡΟΣΚΟΠΙΟΥ. Επίσης, έγινε εισαγωγή των δεδομένων των σταθμημέτρων και σταθμηγράφων, τα οποία δεν υπήρχαν στη βάση δεδομένων του ΥΔΡΟΣΚΟΠΙΟΥ. Τα περισσότερα από τα δεδομένα υπήρχαν ήδη σε ψηφιακή μορφή από την πρώτη φάση του ερευνητικού έργου. Έγιναν όμως και ορισμένες συμπληρώσεις στην παρούσα φάση. Έτσι, συμπληρώσαμε το αρχείο με το σταθμό Αυλάκι του Αχελώου, ο οποίος κρίθηκε ότι είναι ιδιαίτερα σημαντικός για τη μελέτη του ισοζυγίου του Αχελώου. Για το σκοπό αυτό χρειάστηκε να γίνει πληκτρολόγηση των ημερήσιων αναγνώσεων των σταθμημέτρων και εκτεταμένες ψηφιοποιήσεις των ταινιών σταθμηγράφου. Για τις ψηφιοποιήσεις χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα DIGIT που αναπτύχθηκε στα πλαίσια του ΥΔΡΟΣΚΟΠΙΟΥ.

Για κάθε υδρομετρικό σταθμό του Πίν. 3.1 έχουν καταρτιστεί ξεχωριστές καμπύλες στάθμης-παροχής. Σε κάθε σειρά υδρομετρήσεων (μία για κάθε θέση και σταθμήμετρο) εφαρμόστηκε ο αλγόριθμος PINAX. Ο αλγόριθμος αυτός και το αντίστοιχο πρόγραμμα H/Y έχουν αναπτυχθεί στα πλαίσια των εφαρμογών λογισμικού του ΥΔΡΟΣΚΟΠΙΟΥ. Μετά από αριθμό δοκιμαστικών εφαρμογών του αλγορίθμου, πραγματοποιήσαμε βελτιστοποίηση των παραμέτρων που χρησιμοποιούνται για τη διερεύνηση της ομογένειας των δεδομένων για κάθε σειρά υδρομετρήσεων. Η βελτιστοποίηση έγινε έχοντας στόχο την όσο το δυνατόν καλύτερη αντιστοίχιση των υπολογιζόμενων καμπυλών στάθμης-παροχής στις πραγματικές συνθήκες ροής του υδατορεύματος. Αναλυτική περιγραφή του συστήματος PINAX δίνεται στην εργα-

σία των Tsakalias and Koytsoyiannis [1995], ενώ περιγραφή του προγράμματος H/Y που υλοποιεί τον αλγόριθμο μπορεί να βρεθεί στο Εγχειρίδιο Χρήσης του Υδροσκοπίου [Χριστοφίδης, 1994]. Ο αλγόριθμος PINAX αξιοποιεί τεχνικές της τεχνητής νοημοσύνης και της στατιστικής ανάλυσης. Σκοπός του αλγορίθμου είναι ο διαχωρισμός του χρόνου σε περιόδους όπου η κοίτη του υδατορεύματος παραμένει σταθερή. Στις περιόδους αυτές έχουμε μία μοναδική σχέση (καμπύλη) στάθμης-παροχής. Ένα παράδειγμα διαχωρισμού των μετρήσεων σε υποπεριόδους σταθερής σχέσης στάθμης-παροχής δίνεται στο Σχ. 3.2. Για να επιτευχθεί ο διαχωρισμός πρέπει να απομονωθούν μετρήσεις που δεν συμβαδίζουν με τις γειτονικές τους (εξωκείμενες μετρήσεις). Οι μετρήσεις αυτές είτε προέρχονται από μετρητικά λάθη (το πιο συνηθισμένο), από μη μόνιμες συνθήκες ροής, αστάθειες ροής ή από εξαιρετικά σπάνια γεγονότα.



Σχ. 3.2 Ανίχνευση με το σύστημα PINAX των υποπεριόδων σταθερής καμπύλης στάθμης-παροχής για τον υδρομετρικό σταθμό Γέφυρα Καστριού.

Μετά από την κατάρτιση των καμπυλών στάθμης-παροχής, προχωρήσαμε στον υπολογισμό των σειρών παροχής για κάθε θέση και σταθμήμετρο. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήσαμε το πρόγραμμα Σειρές Παροχής του ΥΔΡΟΣΚΟΠΙΟΥ. (βλ. Εγχειρίδιο Χρήσης ΥΔΡΟΣΚΟΠΙΟΥ). Συνοπτικά αναφέρουμε ότι οι σειρές παροχής υπολογίζονται από τις αντίστοιχες της μετρημένης στάθμης, με παρεμβολή στην καμπύλη στάθμης-παροχής. Ο υπολογισμός της παροχής από τη στάθμη έγινε σε ωριαία χρονική κλίμακα για τις περιπτώσεις που υπήρχε σταθμηγράφος και σε ημερήσια κλίμακα για τις περιπτώσεις που υπήρχε μόνο σταθμήμετρο. Στις περιπτώσεις που υπήρχε σταθμηγράφος (Πόρος Ρηγανίου, Αυλάκι), έγινε ειδική διόρθωση ώστε οι μετρήσεις του σταθμηγράφου να συμπίπτουν με εκείνες του σταθ-

μημέτρου στην ίδια χρονική στιγμή. Η παρεμβολή στην καμπύλη στάθμης-παροχής δεν είναι γραμμική αλλά λογαριθμική. Η τιμή της παροχής δεν είναι ακριβώς αυτή που δίνεται από τη λογαριθμική παρεμβολή αλλά διορθώνεται με βάση τον αλγόριθμο του Stout [Shaw, 1983]. Σύμφωνα με αυτόν τον αλγόριθμο, κάθε υπολογιζόμενη παροχή διορθώνεται έτσι ώστε τις χρονικές στιγμές που υπάρχει διαθέσιμη υδρομέτρηση, η τιμή της υπολογιζόμενης παροχής να ταυτίζεται με την αντίστοιχη μετρημένη.

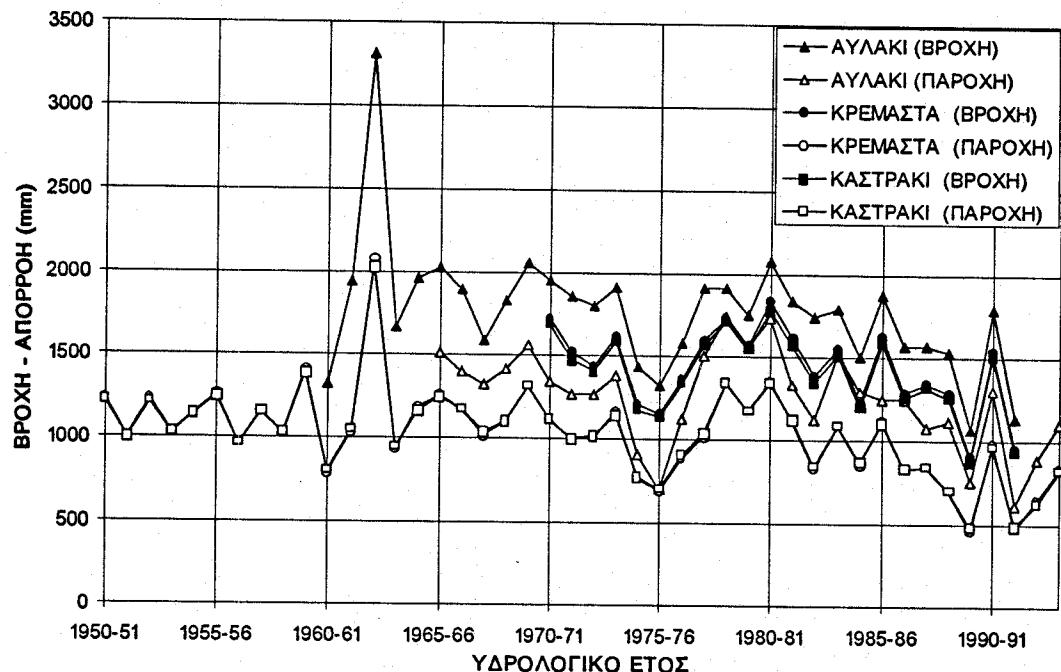
Αφού έγινε η εξαγωγή των ημερήσιων ή ωριαίων σειρών παροχής, στη συνέχεια έγινε υπολογισμός και αποθήκευση των σειρών μέσων μηνιαίων καθώς και ετησίων παροχών. Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι, για τον υπολογισμό της μέσης μηνιαίας παροχής, πρέπει να υπάρχουν υπολογισμένες παροχές για όλη τη διάρκεια του μήνα. Σε ορισμένες περιπτώσεις έχουμε ενώσει τις σειρές παροχών από τα διάφορα σταθμήμετρα ενός σταθμού, ώστε να σχηματιστεί μία ενιαία σειρά που να αφορά στη συγκεκριμένη μετρητική θέση. Τα αποτελέσματα της διαδικασίας κατάρτισης των καμπυλών στάθμης-παροχής και εξαγωγής παροχών δίνονται στο Τεύχος 19.

3.3 Κατάρτιση υδατικών ισοζυγίων

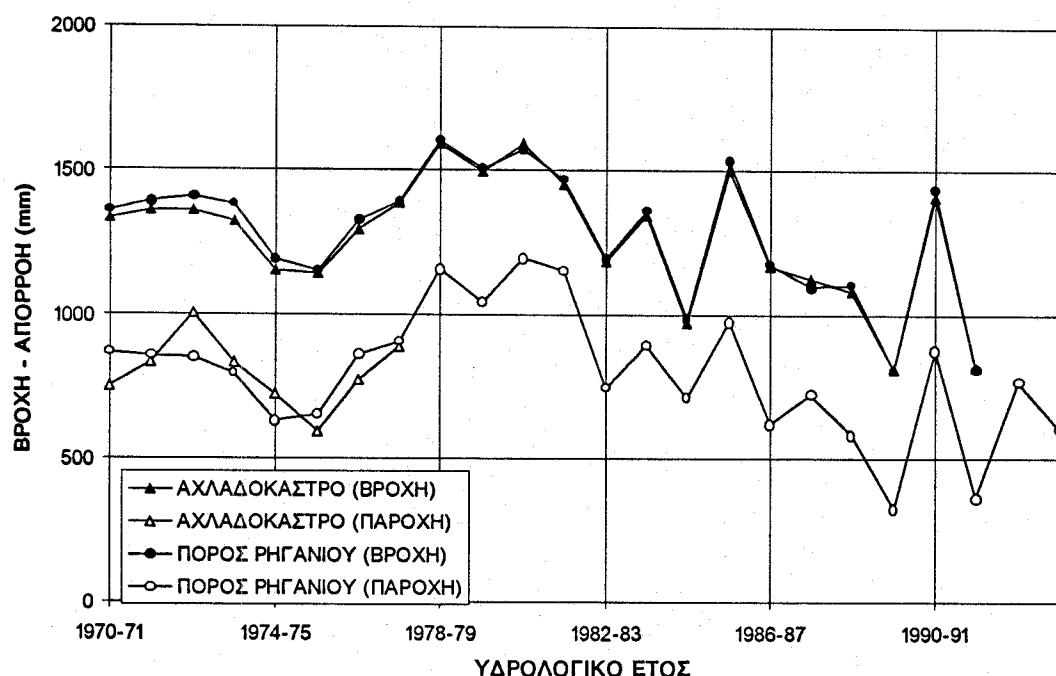
Ως υδατικό ισοζύγιο ορίζεται η συστηματική παρουσίαση δεδομένων σχετικών με τη φυσική προσφορά αλλά και τη χρήση νερού σε μια συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή και μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο [U.S. Army Corps of Engineers, 1980]. Αναλυτική περιγραφή των συνιστώσων του υδατικού ισοζυγίου και της μεθοδολογίας εκτίμησής τους δίνεται στο Τεύχος 16.

Στα πλαίσια της δεύτερης φάσης του ερευνητικού έργου, οι εξισώσεις υδατικού ισοζυγίου αξιοποιήθηκαν πρωτίστως για (α) εκτίμηση των εισροών σε ταμιευτήρες και (β) εκτίμηση υπόγειων διαφυγών από ταμιευτήρες. Πιο συγκεκριμένα, από τα υδατικά ισοζύγια των ταμιευτήρων Κρεμαστών και Μόρνου εκτιμήθηκαν οι φυσικές απορροές των λεκανών απορροής. Από το ισοζύγιο του ταμιευτήρα Καστρακίου εκτιμήθηκαν οι εισροές της ενδιάμεσης λεκάνης και τελικά, παίρνοντας υπόψη και τις εισροές στα Κρεμαστά, οι φυσικοποιημένες εισροές του Αχελώου στη θέση Καστράκι. Το ισοζύγιο του ταμιευτήρα Στράτου χρησιμοποιήθηκε για τον έλεγχο του αντίστοιχου ισοζυγίου στο Καστράκι και για την εκτίμηση ενός μέσου συντελεστή αναλογίας μεταξύ των φυσικοποιημένων παροχών του Στράτου και Καστρακίου. Σε όλες τις παραπάνω περιπτώσεις δεν γίνεται μέτρηση των εισροών στους ταμιευτήρες, παρά μόνο των εκροών. Τα άλλα μεγέθη που υπεισέρχονται στο ισοζύγιο, δηλαδή οι συνιστώσες της βροχόπτωσης, εξάτμισης, υπόγειας διαφυγής και διαφοράς αποθέματος, εκτιμήθηκαν αξιοποιώντας κατάλληλα τις αντίστοιχες σειρές δεδομένων. Τέλος, στο ισοζύγιο της λίμνης Υλίκης η κατάσταση είναι διαφορετική, δεδομένου ότι υπάρχουν δεδομένα εισροών (μετρήσεις στη Σήραγγα Καρδίτσας) αλλά εδώ είναι πολύ σημαντικό το μέγεθος των υπόγειων διαφυγών. Έτσι, το υδατικό ισοζύγιο της Υλίκης αξιοποιήθηκε για την εκτίμηση της υπόγειας διαφυγής σε μηνιαία βάση και τη διερεύνηση της μεταβολής στο χρόνο των υπόγειων διαφυγών, συναρτήσει και της στάθμης της λίμνης.

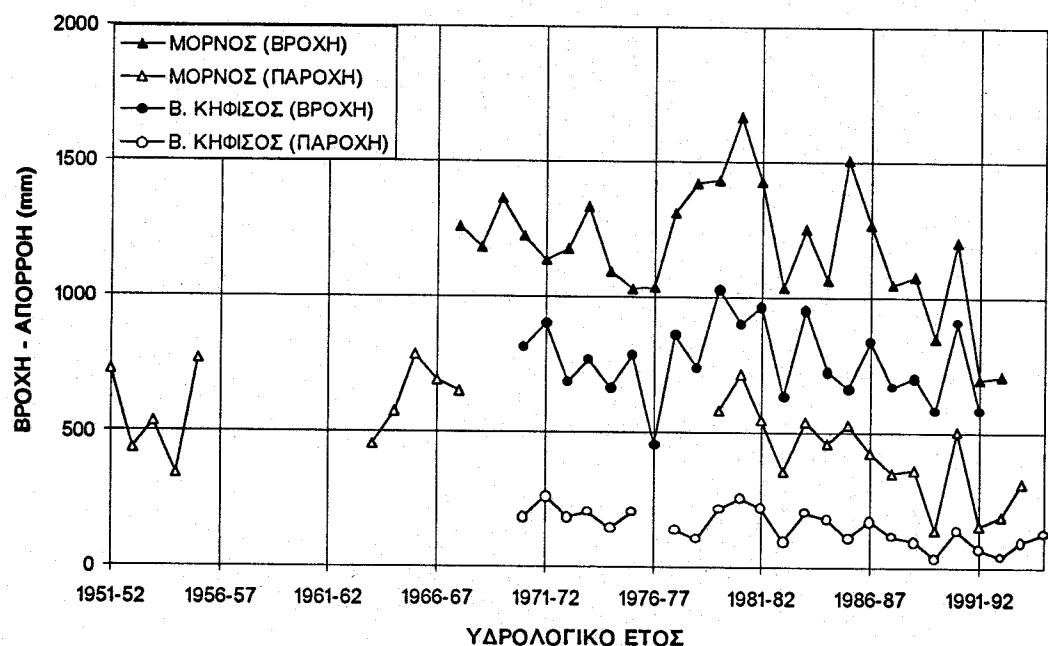
Ισοζύγια επίσης καταρτίστηκαν για όλες τις λεκάνες ανάντη των θέσεων υδρομετρήσεων. Βασικός στόχος στην περίπτωση αυτή ήταν η σύγκριση των παροχών με τις βροχές για λόγους ελέγχου. Χαρακτηριστικά παραδείγματα ταυτόχρονης απεικόνισης των ετήσιων χρονοσειρών χρονοσειρών βροχής και απορροής σε διάφορες λεκάνες δίνονται στα Σχ. 3.3 (Αχελώος) Σχ. 3.4 (Εύηνος, Μόρνος, Βοιωτικός Κηφισός) και Σχ. 3.6 (Σπερχειός).



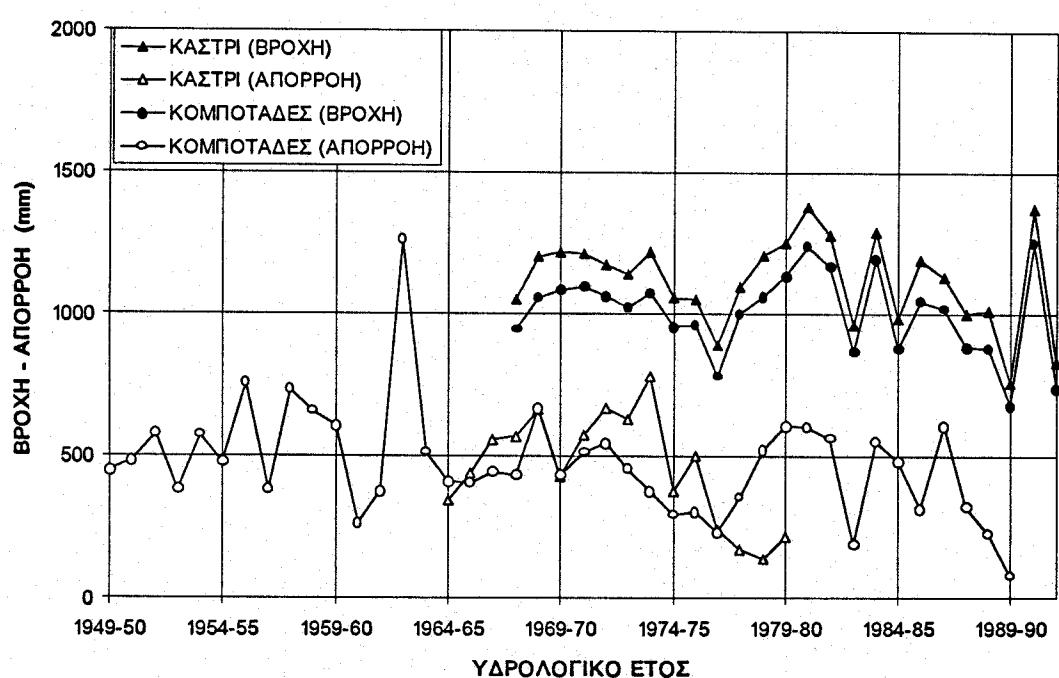
Σχ. 3.3 Διακύμανση των ετήσιων χρονοσειρών βροχής και απορροής σε τρεις υπολεκάνες του Αχελώου.



Σχ. 3.4 Διακύμανση των ετήσιων χρονοσειρών βροχής και απορροής σε δύο υπολεκάνες του Ευήνου.



Σχ. 3.5 Διακύμανση των ετήσιων χρονοσειρών βροχής και απορροής στις λεκάνες Μόρνου και Βοιωτικού Κηφισού.



Σχ. 3.6 Διακύμανση των ετήσιων χρονοσειρών βροχής και απορροής σε δύο υπολεκάνες του Σπερχειού.

3.4 Αποτελέσματα επεξεργασίας δεδομένων - Υδατικό δυναμικό

Η συστηματική επεξεργασία των δεδομένων επιφανειακής υδρολογίας, με τον τρόπο που περιγράφεται συνοπτικά παραπάνω και αναλυτικότερα στα επιμέρους τεύχη, επέτρεψε την εξαγωγή αρκετά αξιόπιστων υδατικών ισοζυγίων και την εκτίμηση του επιφανειακού υδατικού δυναμικού στις πιο χαρακτηριστικές θέσεις της περιοχής μελέτης. Συνοπτικά στοιχεία για το υδατικό δυναμικό στις θέσεις αυτές δίνονται στο Σχ. 3.7. Από την υπολογιστική διαδικασία που περιέχεται στο Τεύχος 20 προκύπτουν οι ακόλουθες συνοπτικές παρατηρήσεις που αφορούν στην αξιοπιστία των τελικών εκτιμήσεων.

1. Για τη λεκάνη του Βοιωτικού Κηφισού υπάρχουν μεγάλου μήκους ιστορικά δείγματα. Το δείγμα της απορροής του Βοιωτικού Κηφισού στη Διώρυγα Καρδίτσας ξεκινά από το 1907-08 και είναι το μεγαλύτερο σε μήκος δείγμα απορροής στην Ελλάδα. Γενικά, στα πιο πρόσφατα χρόνια (μετά το 1970-71), για τα οποία έγινε μελέτη του ισοζυγίου της Υλίκης, φαίνεται να υπάρχει γενική συμφωνία των παροχών του Βοιωτικού Κηφισού με το ισοζύγιο της λίμνης. Ωστόσο, η στήριξη των παροχών που υπολογίζονται με υδραυλική μέθοδο στη διώρυγα Καρδίτσας, σε πρακτικώς μία άμεση μέτρηση παροχής, αποτελεί πηγή αβεβαιότητας για το δείγμα των παροχών του Βοιωτικού Κηφισού, παρόλο που η κοίτη του ποταμού στη συγκεκριμένη θέση είναι διευθετημένη και σταθερή. Η έλλειψη σταθμηγράφου οδηγεί σε επιπλέον αβεβαιότητα για τις περιόδους των πλημμυρών. Πρόβλημα επίσης για τη συνολικότερη θεώρηση της λεκάνης του Βοιωτικού Κηφισού, η οποία έχει αρκετά πολύπλοκη λειτουργία λόγω της σημαντικής συμμετοχής σε αυτή της δίαιτας των υπόγειων νερών, αποτελεί η έλλειψη μετρήσεων του ποταμού σε άλλες ενδιάμεσες θέσεις.
2. Για το Σπερχειό οι μετρήσεις στη Γέφυρα Καστριού και (κυρίως) στη Γέφυρα Κομποτάδων αποτελούν μια αρκετά ικανοποιητική βάση για την εκτίμηση του σημαντικού υδατικού δυναμικού του ποταμού. Οι διαθέσιμες υδρομετρήσεις ξεκινούν από τον Αύγουστο του 1949, αλλά δυστυχώς τερματίζονται το Νοέμβριο του 1980, και έτσι τα δεδομένα των πιο πρόσφατων ετών αποτελούν εκτιμήσεις μειωμένης αξιοπιστίας, βασισμένες σε συσχετίσεις με άλλα μεγέθη. Επιπλέον, η έλλειψη σταθμηγράφων και στους δύο σταθμούς είναι πηγή αβεβαιότητας για τις παροχές της χειμερινής περιόδου.
3. Οι εισροές στον ταμιευτήρα Μόρνου που εκτιμήθηκαν για την περίοδο μετά από την έναρξη λειτουργίας του φράγματος είναι δυνατόν να θεωρηθούν ότι αντιπροσωπεύουν ικανοποιητικά τη δίαιτα του ποταμού Μόρνου σε μηνιαία χρονική βάση, όπως προέκυψε από σχετικό έλεγχο μέσω των συντελεστών απορροής της λεκάνης Μόρνου.
4. Στη λεκάνη του Ευήνου, τα πιο αξιόπιστα δεδομένα παροχής είναι εκείνα της θέσης Πόρος Ρηγανίου ενώ στις άλλες θέσεις παρουσιάζονται προβλήματα που διαπιστώνονται από τους ασυνήθιστα μεγάλους συντελεστές απορροής (πολλές φορές μεγαλύτερους από τη μονάδα). Η διαπίστωση αυτή είχε γίνει και σε παλιότερη υδρολογική διερεύνηση (Κουτσογιάννης κ.ά., 1990β).

5. Οι σειρές της φυσικοποιημένης παροχής σε κάθε θέση φράγματος του συστήματος ταμιευτήρων του Αχελώου, είναι αρκετά αξιόπιστες και προσφέρουν μια ικανοποιητική βάση εκτιμήσεων. Αμφιβολίες δημιουργεί η ασυμβατότητα, σε ορισμένους μήνες, των ισοζυγίων στο Καστράκι και το Στράτο. Σε υπερετήσια βάση, πάντως, φαίνεται να αλληλοεξαλείφονται τα σφάλματα και να αίρεται η ασυμβατότητα. Αβεβαιότητα δημιουργούν οι μη μετρούμενες υπόγειες διαφυγές από τον ταμιευτήρα Κρεμαστών, για τις οποίες διατίθεται μόνον μια χονδρική εκτίμηση, καθώς και από τον ταμιευτήρα Στράτου. Γενικά, πάντως, το σφάλμα που υπεισέρχεται στις ψηλές τιμές της μηνιαίας παροχής αναμένεται να είναι, σε σχετικές τιμές, μικρό.
6. Τα δεδομένα παροχής στο Αυλάκι σχηματίζουν ένα ικανοποιητικό δείγμα που δείχνει να συμφωνεί με το αντίστοιχο δείγμα της βροχόπτωσης καθώς και με τα δείγματα παροχής στις κατάντη θέσεις. Ωστόσο, και στο σταθμό αυτό υπάρχουν προβλήματα αξιοπιστίας που επισημαίνονται στο Τεύχος 19.
7. Τα δεδομένα παροχής του ποταμού Αγραφιώτη ανάντη της Γέφυρας Βαρβαριάδας παρουσιάζουν εξαιρετικά μειωμένη αξιοπιστία όπως προέκυψε από την μελέτη των συντελεστών απορροής στην αντίστοιχη λεκάνη. Προβλήματα παρουσιάζουν επίσης και τα δεδομένα παροχής του Τρικεριώτη ανάντη της Γέφυρα Γερομπόρου και του Μέγδοβα στη θέση Γέφυρας Βίνιανης.

Τα αποτελέσματα της κατάρτισης των υδατικών ισοζυγίων, όπως αυτά συνοψίζονται στο Σχ. 3.7, επιτρέπουν την εξαγωγή των ακόλουθων συμπερασμάτων:

1. Το ύψος απορροής ή αλλιώς ο όγκος απορροής ανά μονάδα επιφάνειας, λαμβάνει τη μεγαλύτερη τιμή του στη λεκάνη του Αχελώου (γύρω στα 1000 mm στη λεκάνη ανάντη των Κρεμαστών), και μειώνεται στα 800 mm στη λεκάνη Ευήνου και στα 400–500 mm στις λεκάνες του Μόρνου και Σπερχειού. Στη λεκάνη του Βοιωτικού Κηφισού το ύψος απορροής είναι πολύ μικρό (μικρότερο των 200 mm), κυρίως λόγω του έντονα καρστικοποιημένου γεωλογικού υπόβαθρου.
2. Η επιφανειακή βροχόπτωση στις λεκάνες της Δυτικής Ελλάδας είναι σημαντικά μεγαλύτερη από εκείνη των λεκανών της Ανατολικής Ελλάδας. Πιο συγκεκριμένα, η βροχόπτωση ζεκινά από μεγάλες, για τον Ελληνικό χώρο, τιμές στη Δυτική Στερεά Ελλάδα (1800 mm στη λεκάνη του Αχελώου ανάντη του Αυλακίου), μειώνεται στα 1300 mm ανατολικότερα (Εύηνος, Μόρνος), για να φθάσει στα 750-1000 mm στην Ανατολική Στερεά Ελλάδα (Σπερχειός, Βοιωτικός Κηφισός) και να πέσει μέχρι τα 400 mm στην περιοχή της Αθήνας.
3. Ο μέσος ετήσιος συντελεστής απορροής παίρνει μια σημαντικά μεγάλη τιμή στις λεκάνες του Αχελώου (0.65-0.75) και του Ευήνου (0.62). Στα ανατολικότερα μειώνεται στα επίπεδα του 0.40 για το Σπερχειό, 0.30 για το Μόρνο και 0.20 για το Βοιωτικό Κηφισό.

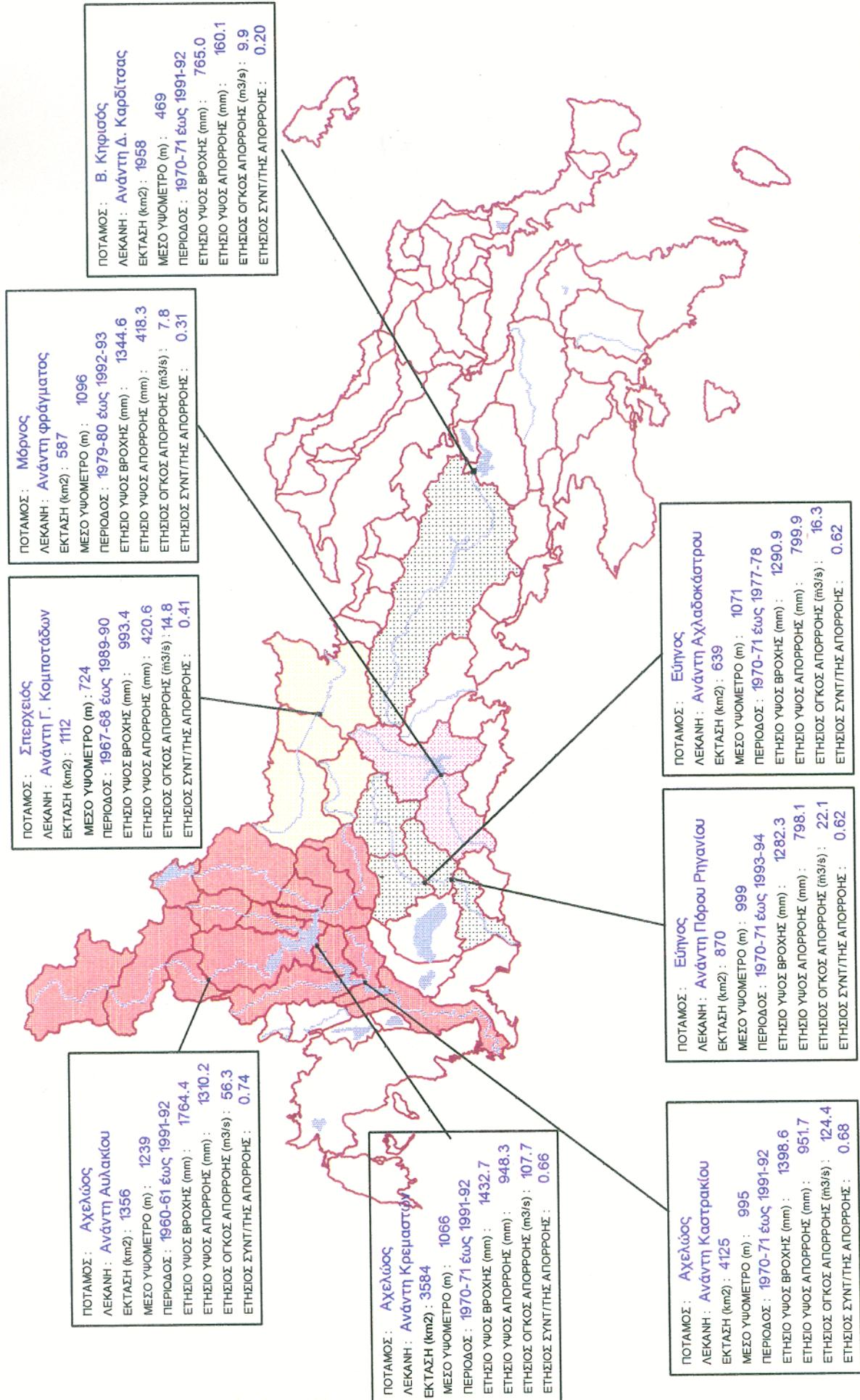
4. Η πορεία της ετήσιας απορροής ακολουθεί αρκετά καλά την πορεία της βροχόπτωσης για όλες τις λεκάνες, πλην εκείνης του Βοιωτικού Κηφισού όπου, λόγω της καρστικής υδροφορίας, η απορροή δείχνει περισσότερο “ομαλοποιημένη” από ό,τι στις άλλες λεκάνες.

Τα αποτελέσματα των υδρογεωλογικών αναλύσεων και εκτιμήσεων επιβεβαιώνουν την ύπαρξη υδροφορέων με σημαντικό υπόγειο υδατικό δυναμικό. Οι σημαντικότεροι από αυτούς είναι η υδρογεωλογική λεκάνη του Βοιωτικού Κηφισού με ετήσιο δυναμικό περί τα 300 hm^3 , η υδρογεωλογική ενότητα Παρνασσού που εκφορτίζεται στο Βόρειο Κορινθιακό κόλπο με ετήσιο δυναμικό περί τα 150 hm^3 , η καρστική ενότητα Γκιώνας με ετήσιο δυναμικό περί τα 200 hm^3 , η υδρογεωλογική λεκάνη κρασπέδων Πάρνηθας με ετήσιο δυναμικό περί τα 80 hm^3 και η καρστική ενότητα των Ακαρνανικών ορέων, που εκφορτίζεται μέσω των καρστικών πηγών Λάμπρας Λεσινίου, με ετήσιο δυναμικό περί τα 200 hm^3 .

3.5 Ανίχνευση κλιματικών τάσεων

Λόγω της ιδιαίτερης σημασίας των κλιματικών τάσεων στην περιοχή μελέτης έγινε ειδική έρευνα στο θέμα αυτό που κατέληξε σε σημαντικές, όπως θα δούμε παρακάτω, διαπιστώσεις.

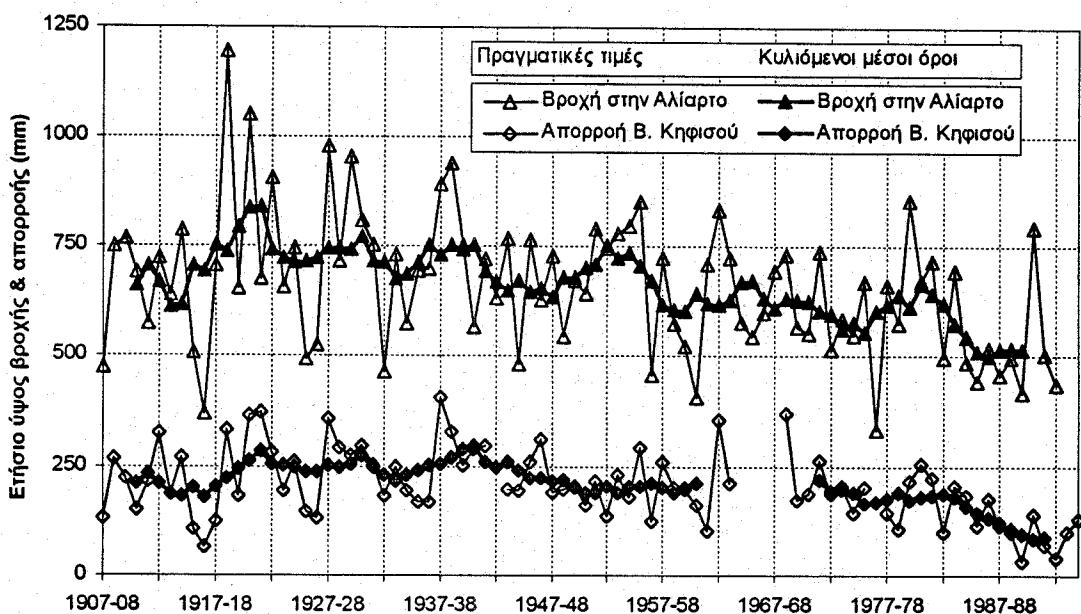
Στα Σχ. 3.3, έως Σχ. 3.6 διακρίνονται ανοδικοί και καθοδικοί κλάδοι στα γραφήματα των χρονοσειρών βροχόπτωσης και απορροής της περιοχής. Ο εντοπισμός των περιόδων στις οποίες εμφανίζονται οι ανοδικές ή καθοδικές μεταβολές διευκολύνεται με την απεικόνιση των κυλιόμενων μέσων όρων επταετίας της βροχής ή απορροής. Τέτοια απεικόνιση έγινε στο Σχ. 3.8 για τη λεκάνη Βοιωτικού Κηφισού (βροχή στην Αλιάρτο και απορροή στη σήραγγα Καρδίτσας), στο Σχ. 3.9 για τη λεκάνη Σπερχειού (βροχή στο Τρίλοφο και την Υπάτη και απορροή στους Κομποτάδες), και στο Σχ. 3.10 για τη λεκάνη Αχελώου (βροχή στο Βακάριο και τη Λεπενού, και απορροή στο Αυλάκι και το Καστράκι). Οι χρονοσειρές που απεικονίζονται στα σχήματα αυτά, έχουν επιλεγεί με κριτήριο να έχουν σχετικά μεγάλο μήκος, πάνω από 40 χρόνια. Εξαίρεση έγινε για τον Άνω Αχελώο, όπου δεν υπήρχαν τόσο μεγάλα δείγματα: τα δείγματα της βροχής στο Βακάριο και της απορροής στο Αυλάκι έχουν μέγεθος 32 και 34 χρόνια, αντίστοιχα. Εξ άλλου, στο Σχ. 3.10 δεν έχει απεικονιστεί η χρονοσειρά της απορροής του Αχελώου στα Κρεμαστά, παρόλο που το μήκος του φτάνει τα 44 χρόνια, επειδή πρακτικώς ταυτίζεται με αυτή στο Καστράκι. Στις περισσότερες από τις χρονοσειρές διακρίνουμε ανοδική μεταβολή στις υποπεριόδους 1950-51 μέχρι 1965-66 και 1975-76 μέχρι 1980-81 και καθοδική στις υποπεριόδους 1965-66 μέχρι 1975-76 και 1980-81 μέχρι 1993-94.



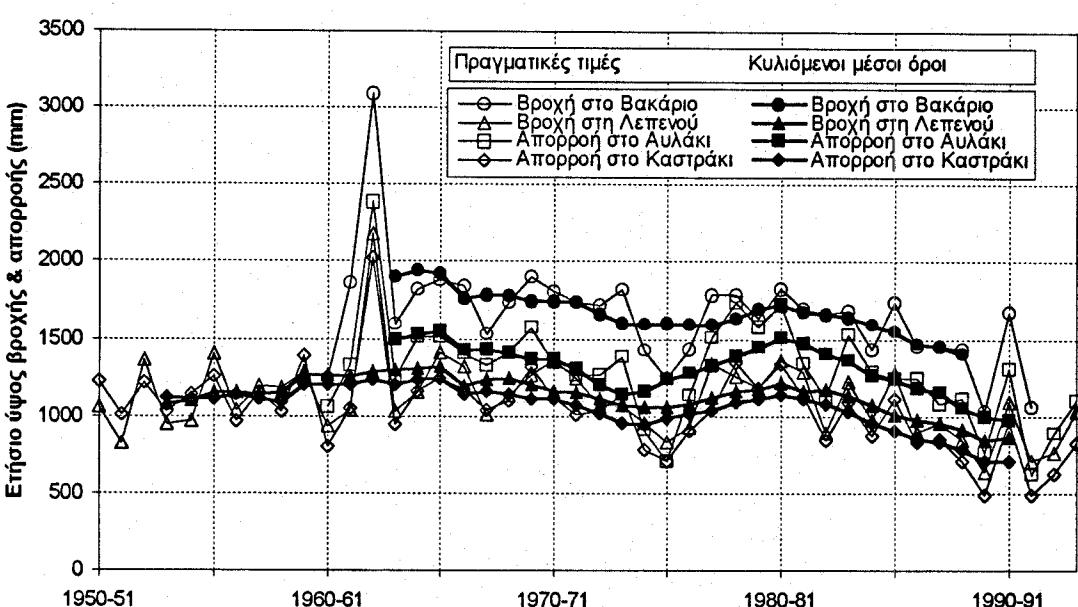
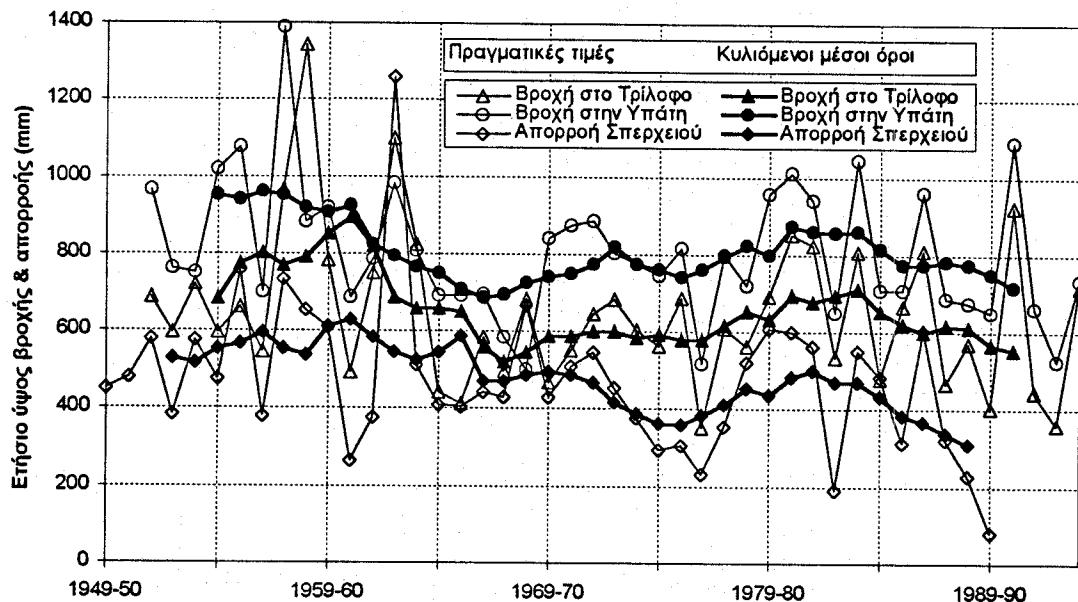
Σχ. 3.7 Χαρακτηριστικά μεγέθη επιφανειακού υδατικού δυναμικού στις πιο ενδιαφέρουσες υδρολογικές λεκάνες της Στερεάς Ελλάδας

Ωστόσο, το μικρό μήκος αυτών των υποπεριόδων (5-15 χρόνια) δεν επιτρέπει τη συναγωγή ασφαλών στατιστικών συμπερασμάτων ως προς την ύπαρξη ή όχι τάσεων. Από στατιστικής πλευράς οι παρατηρούμενοι ανοδικοί και καθοδικοί κλάδοι μπορούν κατ' αρχήν να αποδοθούν στη συνήθη τυχαία διακύμανση των υδρολογικών μεταβλητών. Ο στατιστικός έλεγχος για σημαντικές τάσεις, που δεν εξηγούνται από τη συνήθη τυχαία διακύμανση, προϋποθέτει την ύπαρξη μεγάλου μήκους χρονοσειρών. Για τις συγκεκριμένες χρονοσειρές, αυτό που μπορεί να ελεγχθεί στατιστικά είναι εάν στο σύνολό τους εμφανίζεται ή όχι μια ενιαία μονόπλευρη (αυξητική ή πτωτική) τάση.

Για τα δείγματα της βροχόπτωσης στους σταθμούς που αναφέρθηκαν παραπάνω έγιναν στατιστικοί έλεγχοι, οι οποίοι παρουσιάζονται στον Πίν. 3.2. Η υπό έλεγχο στατιστική υπόθεση αφορά στην ύπαρξη ή όχι πτωτικής τάσης στο σύνολο της κάθε χρονοσειράς. Εφαρμόστηκαν δύο στατιστικές δοκιμές: Η δοκιμή του Kendall ελέγχει την ύπαρξη μονόπλευρης (αυξητικής ή πτωτικής) τάσης χωρίς να κάνει καμιά υπόθεση σχετικά με το νόμο που ακολουθεί η συγκεκριμένη τάση. Η δοκιμή γραμμικής συσχέτισης ελέγχει την ύπαρξη τάσης που περιγράφεται από γραμμική συνάρτηση του χρόνου. Τα αποτελέσματα και των δύο στατιστικών δοκιμών επιβεβαιώνουν την ύπαρξη πτωτικής τάσης σε επίπεδο σημαντικότητας 5% ή και μικρότερο. Εξαίρεση αποτελεί η χρονοσειρά του σταθμού Τρίλοφο, όπου η δοκιμή του Kendall δεν δίνει στατιστικά σημαντική πτωτική τάση σε επίπεδο σημαντικότητας μέχρι και 10%. Ωστόσο, και στην τελευταία περίπτωση είναι εμφανής η αρνητική κλίση του ετήσιου ύψους βροχής συναρτήσει του χρόνου (3.63 mm/έτος), η οποία είναι στατιστικά σημαντική σε επίπεδο σημαντικότητας 10%.



Σχ. 3.8 Συγκριτική γραφική απεικόνιση των χρονοσειρών του ετήσιου ύψους βροχής (σταθμός Αλίαρτος) και απορροής του Βοιωτικού Κηφισού (σταθμός Σήραγγα Καρδίτσας), καθώς και των αντίστοιχων κυλιόμενων μέσων όρων επταετίας.



Πίν. 3.2 Χαρακτηριστικά πτωτικών τάσεων σε πέντε βροχομετρικούς σταθμούς της περιοχής μελέτης.

Ονομασία σταθμού	Λεκάνη απορροής	Μέγεθος δείγματος (έτη)	Ετήσια μείωση ύψους βροχής (mm)	Συντελεστής συσχέτισης	Επίπεδο σημαντικότητας δοκιμής γραμμικής συσχέτισης (%)	Επίπεδο σημαντικότητας δοκιμής Kendall (%)
Αλιάρτος	B. Κηφισός	73*	3.31	-0.466	0.001	0.001
Τρίλοφο	Σπερχειός	43	3.63	-0.231	6.9	11.8
Υπάτη	Σπερχειός	43	3.57	-0.256	4.9	3.6
Βακάριο	Αχελώος	32	17.46	-0.467	0.3	0.1
Λεπενού	Αχελώος	44	6.06	-0.302	2.3	2.6

* Παρά το γεγονός ότι το ιστορικό δείγμα ξεκινά από το υδρολογικό έτος 1907-08, η έναρξη της πτωτικής τάσης εντοπίζεται στο 1920-21 και από αυτό το έτος ξεκινά ο στατιστικός έλεγχος.

Είναι λογικό ότι η πτωτική τάση των βροχοπτώσεων θα έχει συνέπεια την αντίστοιχη τάση και στην επιφανειακή απορροή. Πράγματι, αυτό επιβεβαιώνεται άμεσα με στατιστικούς ελέγχους στις χρονοσειρές απορροής που αναφέρθηκαν παραπάνω. Όπως προκύπτει από τον Πίν. 3.3, σε όλες τις παραπάνω χρονοσειρές απορροής (στις οποίες έχει προστεθεί για λόγους πληρότητας και η χρονοσειρά στον Πόρο Ρηγανίου του Ευήνου, καίτοι έχει μικρό μέγεθος, 24 ετών) οι δύο στατιστικές δοκιμές που προαναφέρθηκαν συνηγορούν στην ύπαρξη πτωτικής τάσης σε επίπεδο σημαντικότητας 5% ή και μικρότερο. Σχηματικά οι πτωτικές τάσεις φαίνονται στο Σχ. 3.11. Οι ετήσιες μειώσεις του ύψους απορροής κυμαίνονται από 2.12 μέχρι 12.85 mm/έτος.

Εκτός από την παραπάνω προσαρμογή γραμμικής συνάρτησης του χρόνου στην πτωτική τάση της απορροής, έγινε εναλλακτικά και προσαρμογή εκθετικής συνάρτησης του χρόνου. Αυτό ισοδυναμεί με την παραδοχή γραμμικής τάσης στους λογαρίθμους του ύψους απορροής. Τα αποτελέσματα των σχετικών υπολογισμών, που συνοψίζονται στον Πίν. 3.4, είναι παρόμοια με αυτά του Πίν. 3.3. Οι συντελεστές συσχέτισης της πτωτικής τάσης είναι ελαφρά ισχυρότερη στην περίπτωση της εκθετικής τάσης. Οι πτωτικές τάσεις που υπολογίζονται κυμαίνονται από 1.1% μέχρι 2% ετησίως, με μέση τιμή 1.4% ετησίως. Η απεικόνιση των τάσεων αυτών δίνεται στο Σχ. 3.12, στο οποίο έχει χρησιμοποιηθεί λογαριθμική κλίμακα για την απορροή. Στο σχήμα αυτό είναι εμφανής η σχεδόν παράλληλη κλίση των ευθειών που απεικονίζουν τις τάσεις. Μια άλλη σημαντική παρατήρηση είναι ότι όλες οι χρονοσειρές συμβαδίζουν χρονικά ως προς τις εξάρσεις και τις υφέσεις τους, παρόλο το διαφορετικό κλιματικό καθεστώς των λεκανών απορροής της δυτικής και ανατολικής Στερεάς Ελλάδας.

Πίν. 3.3 Χαρακτηριστικά πτωτικών τάσεων της απορροής σε έξι σταθμούς της περιοχής μελέτης.

Ονομασία σταθμού	Λεκάνη απορροής	Μέγεθος δείγματος (έτη)	Ετήσια μείωση ύψους βροχής (mm)	Συντελεστής συσχέτισης	Επίπεδο σημαντικότητας δοκιμής γραμμικής συσχέτισης (%)	Επίπεδο σημαντικότητας δοκιμής Kendall (%)
Διώρ.Καρδίτσας	Β. Κηφισός	69*	2.12	-0.576	0.5×10^{-6}	0.7×10^{-6}
Κομποτάδες	Σπερχειός	41	5.57	-0.343	1.4	0.7
Αυλάκι	Αχελώος	34	14.48	-0.435	0.5	0.2
Κρεμαστά	Αχελώος	44	10.11	-0.492	0.03	0.01
Καστράκι	Αχελώος	44	10.30	-0.486	0.03	0.01
Πόρος Ρηγανίου	Εύηνος	24	12.85	-0.410	2.3	0.9

* Παρά το γεγονός ότι το ιστορικό δείγμα ξεκινά από το υδρολογικό έτος 1907-08, η έναρξη της πτωτικής τάσης εντοπίζεται στο 1920-21 και από αυτό το έτος ξεκινά ο στατιστικός έλεγχος.

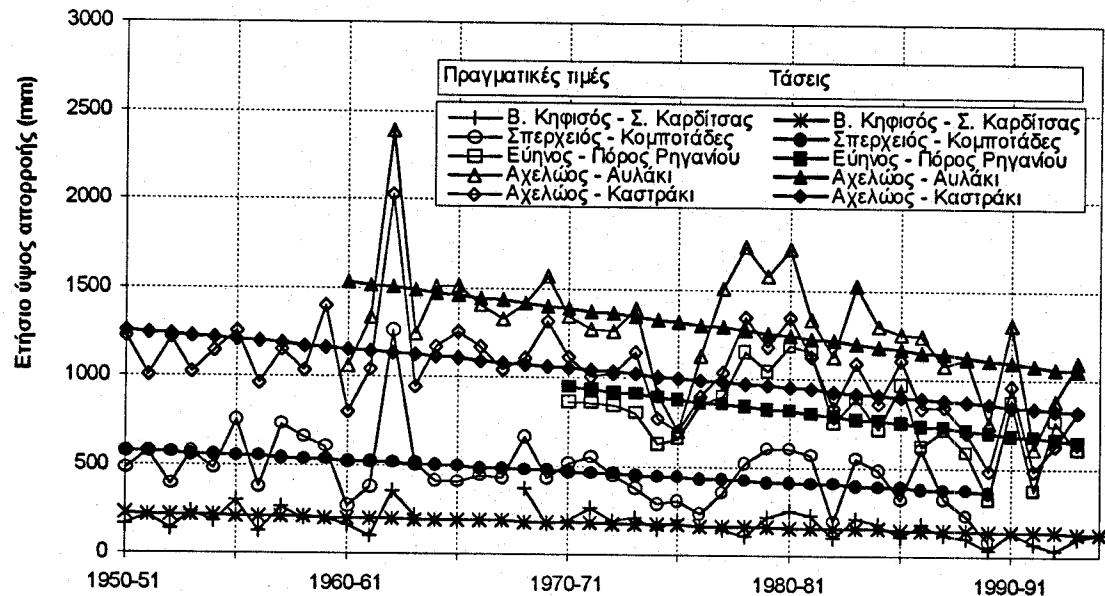
Πίν. 3.4 Χαρακτηριστικά πτωτικών τάσεων σε τέσσερις βροχομετρικούς σταθμούς της περιοχής μελέτης.

Ονομασία σταθμού	Λεκάνη απορροής	Μέγεθος δείγματος (έτη)	Ποσοστιαία ετήσια μείωση ύψους απορροής (%)	Συντελεστής συσχέτισης	Επίπεδο σημαντικότητας δοκιμής γραμμικής συσχέτισης (%)
Διώρ.Καρδίτσας	Β. Κηφισός	69*	1.25	-0.590	0.2×10^{-6}
Κομποτάδες	Σπερχειός	41	1.56	-0.414	0.3
Αυλάκι	Αχελώος	34	1.18	-0.440	0.4
Κρεμαστά	Αχελώος	44	1.10	-0.536	0.006
Καστράκι	Αχελώος	44	1.13	-0.530	0.008
Πόρος Ρηγανίου	Εύηνος	24	2.00	-0.446	1.4

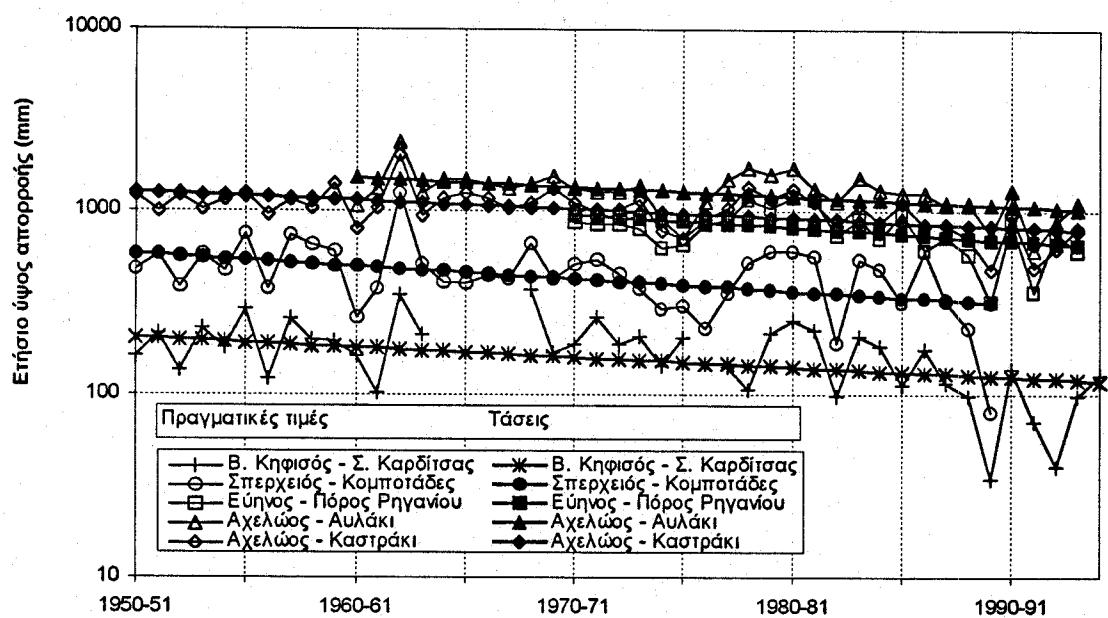
* Παρά το γεγονός ότι το ιστορικό δείγμα ξεκινά από το υδρολογικό έτος 1907-08, η έναρξη της πτωτικής τάσης εντοπίζεται στο 1920-21 και από αυτό το έτος ξεκινά ο στατιστικός έλεγχος.

Τα παραπάνω αποτελέσματα επιβεβαιώνουν άλλες σχετικές προγενέστερες μελέτες (Κουτσογιάννης κ.ά., 1990· Μαμάσης κ.ά., 1990· Κουτσογιάννης κ.ά., 1992· Ναλμπάντης κ.ά., 1994· Κουτσογιάννης και Τσακαλίας, 1995· Κουτσογιάννης και Μαμάσης, 1995). Η ομοιότητα της εξέλιξης των χρονοσειρών της Ανατολικής με αυτές της Δυτικής Στερεάς Ελλάδας είναι εντυπωσιακή, αν μάλιστα ληφθεί υπόψη και το σημαντικά διαφορετικό υδροκλιματικό καθεστώς στα δύο υδατικά διαμερίσματα. Συμπεραίνουμε, λοιπόν, ότι οι πτωτικές τάσεις στη βροχή και την απορροή αποτελούν φαινόμενο με μεγάλη γεωγραφική έκταση και, συνεπώς, μεγάλη σημασία για τους υδατικούς πόρους της χώρας, και θα πρέπει να του δοθεί η δέουσα προσοχή τόσο σε επίπεδο ερευνών και μελετών, όσο και σε επίπεδο διαχείρισης

υδατικών πόρων. Ως προς τη διάγνωση των αιτιών του φαινομένου αυτού και τη δυνατότητα πρόγνωσης της εξέλιξής του στο μέλλον, η υδρολογική επιστήμη δεν επιτρέπει συγκεκριμένες απαντήσεις.



Σχ. 3.11 Γραφική απεικόνιση των χρονοσειρών ετήσιου ύψους απορροής για τέσσερις λεκάνες της Στερεάς Ελλάδας (Βοιωτικός Κηφισός στη Διώρυγα Καρδίτσας, Σπερχειός στους Κομποτάδες, Εύηνος στον Πόρο Ρηγανίου, και Αχελώος στο Αυλάκι και το Καστράκι) και των αντίστοιχων υπερετήσιων πτωτικών τάσεων (γραμμική κλίμακα απορροής).



Σχ. 3.12 Γραφική απεικόνιση των χρονοσειρών ετήσιου ύψους απορροής για τέσσερις λεκάνες της Στερεάς Ελλάδας (Βοιωτικός Κηφισός στη Διώρυγα Καρδίτσας, Σπερχειός στους Κομποτάδες, Εύηνος στον Πόρο Ρηγανίου, και Αχελώος στο Αυλάκι και το Καστράκι) και των αντίστοιχων υπερετήσιων πτωτικών τάσεων (λογαριθμική κλίμακα απορροής).

4. Σύστημα γεωγραφικής πληροφορίας

Στα πλαίσια του ερευνητικού έργου έγινε σοβαρή προσπάθεια για την ανάπτυξη ενός Συστήματος Γεωγραφικής Πληροφορίας (GIS), το οποίο καλύπτει τις ανάγκες απεικόνισης και επεξεργασίας πληροφοριών που κατανέμονται γεωγραφικά. Τέτοιες πληροφορίες που ενδιαφέρουν το συγκεκριμένο ερευνητικό έργο είναι (α) τοπογραφικές πληροφορίες, όπως το εδαφικό ανάγλυφο, το υδρογραφικό δίκτυο, οι λεκάνες απορροής κτλ., (β) υδρολογικές και μετεωρολογικές πληροφορίες και (γ) γεωλογικές και υδρογεωλογικές πληροφορίες. Ένα σύστημα γεωγραφικής πληροφορίας καταρχήν διευκολύνει τη χωρική απεικόνιση των πληροφοριών σε οποιοδήποτε μέσο (π.χ. οθόνη υπολογιστή, εκτυπωτής (printer), σχεδιογράφος (plotter)). Το κυριότερο όμως, επιτρέπει την αυτόματη επεξεργασία των πληροφοριών, μέσω κατάλληλων προγραμμάτων. Για παράδειγμα, με βάση τα παραπάνω δεδομένα της κατηγορίας (α), είναι δυνατός ο άμεσος υπολογισμός των εμβαδών των λεκανών απορροής, των μέσων υψομέτρων τους, των υψογραφικών καμπυλών τους κτλ. Επίσης είναι δυνατή ακόμη και η αυτόματη χάραξη του υδρογραφικού δικτύου και των υδροκριτών με βάση μόνο τα στοιχεία του εδαφικού αναγλύφου, αλλά σημειώνεται ότι οι εργασίες αυτές απαιτούν προσοχή αλλά και επαλήθευση. Ακόμη, με βάση τις πληροφορίες της παραπάνω κατηγορίας (β) είναι δυνατή η επιφανειακή ολοκλήρωση των σημειακών μετρήσεων. Τέλος ένα σύστημα γεωγραφικής πληροφορίας επιτρέπει την αξιοποίηση εξωτερικών πληροφοριών που προέρχονται είτε από άλλες βάσεις δεδομένων, είτε από την εκτέλεση εξωτερικών προγραμμάτων (π.χ. μοντέλων προσομοίωσης ενός συστήματος κάτω από διάφορα σενάρια) και την γεωγραφική επεξεργασία και απεικόνιση των αντίστοιχων εξωτερικών πληροφοριών.

Οι εργασίες ανάπτυξης του συστήματος γεωγραφικής πληροφορίας περιγράφονται αναλυτικά στα τεύχη 22 και 24, ενώ οι χάρτες που κατασκευάστηκαν με τη βοήθεια του συστήματος αυτού περιέχονται στα τεύχη 23 και 31. Στις ακόλουθες ενότητες δίνονται ορισμένα συνοπτικά στοιχεία για τις αντίστοιχες εργασίες.

4.1 Τοπογραφικές πληροφορίες

Με αφετηρία τους χάρτες της ΓΥΣ κλίμακας 1 : 100 000 (29 φύλλα χάρτη) έγινε ψηφιοποίηση των δεδομένων που ενδιαφέρουν τη μελέτη. Συγκεκριμένα, ψηφιοποιήθηκαν οι ισοϋψείς καμπύλες με ισοδιάσταση 200 m γενικά και 40 m στις πεδινές και παράλιες περιοχές, καθώς και τα υψομετρικά σημεία των χαρτών. Επίσης, ψηφιοποιήθηκαν οι λεκάνες απορροής, το υδρογραφικό δίκτυο, οι λίμνες και οι θέσεις των υδρολογικών και μετεωρολογικών σταθμών. Μετά την ψηφιοποίησή τους, τα δεδομένα ελέγχθηκαν, και έγιναν οι απαραίτητες διορθώσεις και συμπληρώσεις. Από τα υψομετρικά δεδομένα δημιουργήθηκε το ψηφιακό μοντέλο εδάφους, αρχικώς με τη μορφή ακανόνιστου τριγωνικού δικτύου και τελικώς με τη μορφή τετραγωνικού καννάβου (lattice) με ισοδιάσταση 100 m.

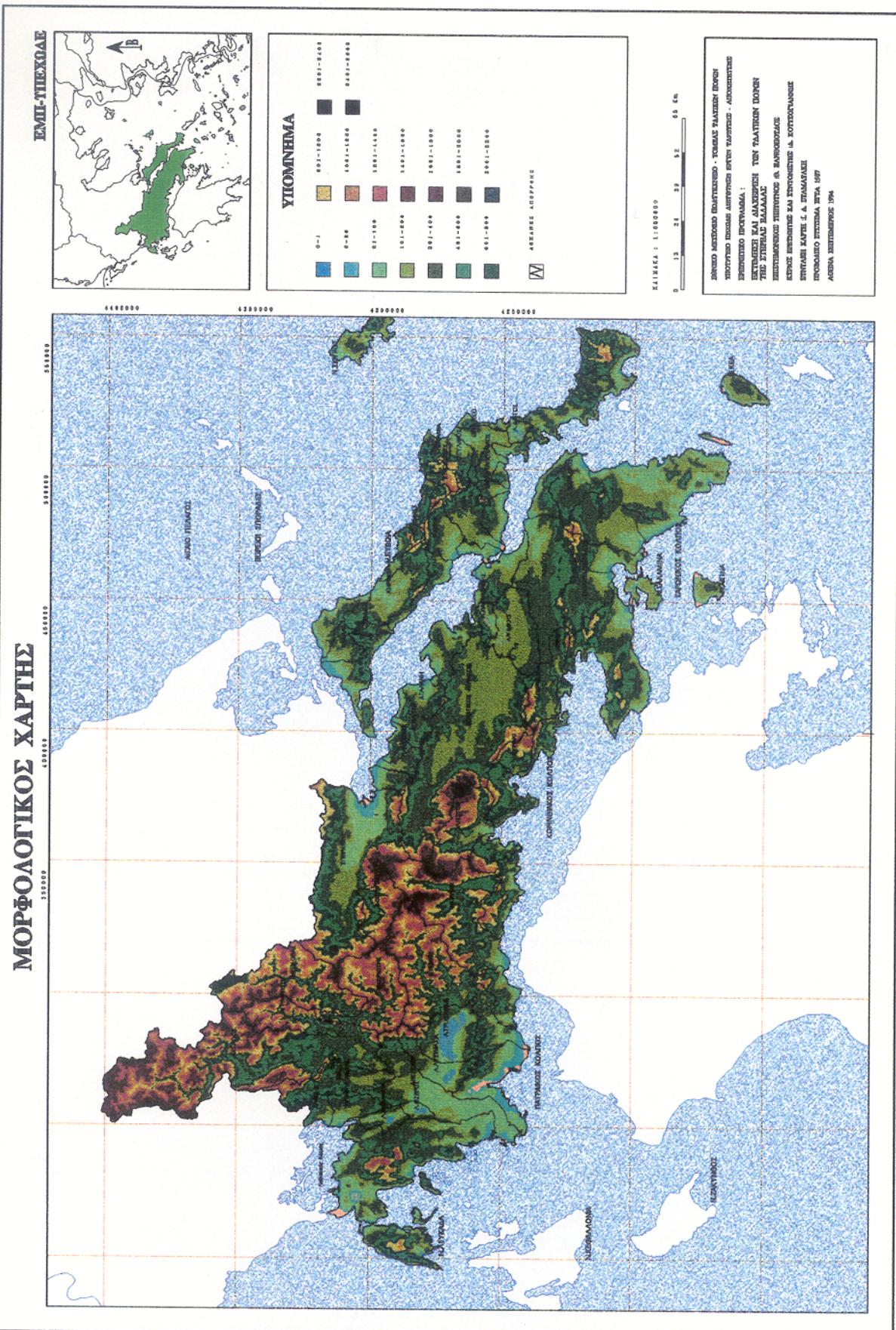
Συνδυάζοντας το ψηφιακό μοντέλο εδάφους με τα άλλα επίπεδα πληροφορίας, έγινε δυνατή η παραγωγή και εκτύπωση διάφορων χαρτών, όπως μορφολογικού χάρτη, χάρτη κλί-

σεων εδάφους, υδρολογικού χάρτη, καθώς και διάφορων τριδιάστατων απεικονίσεων, παραδείγματα των οποίων φαίνονται υπό σμίκρυνση στα Σχ. 4.1 και Σχ. 4.2.

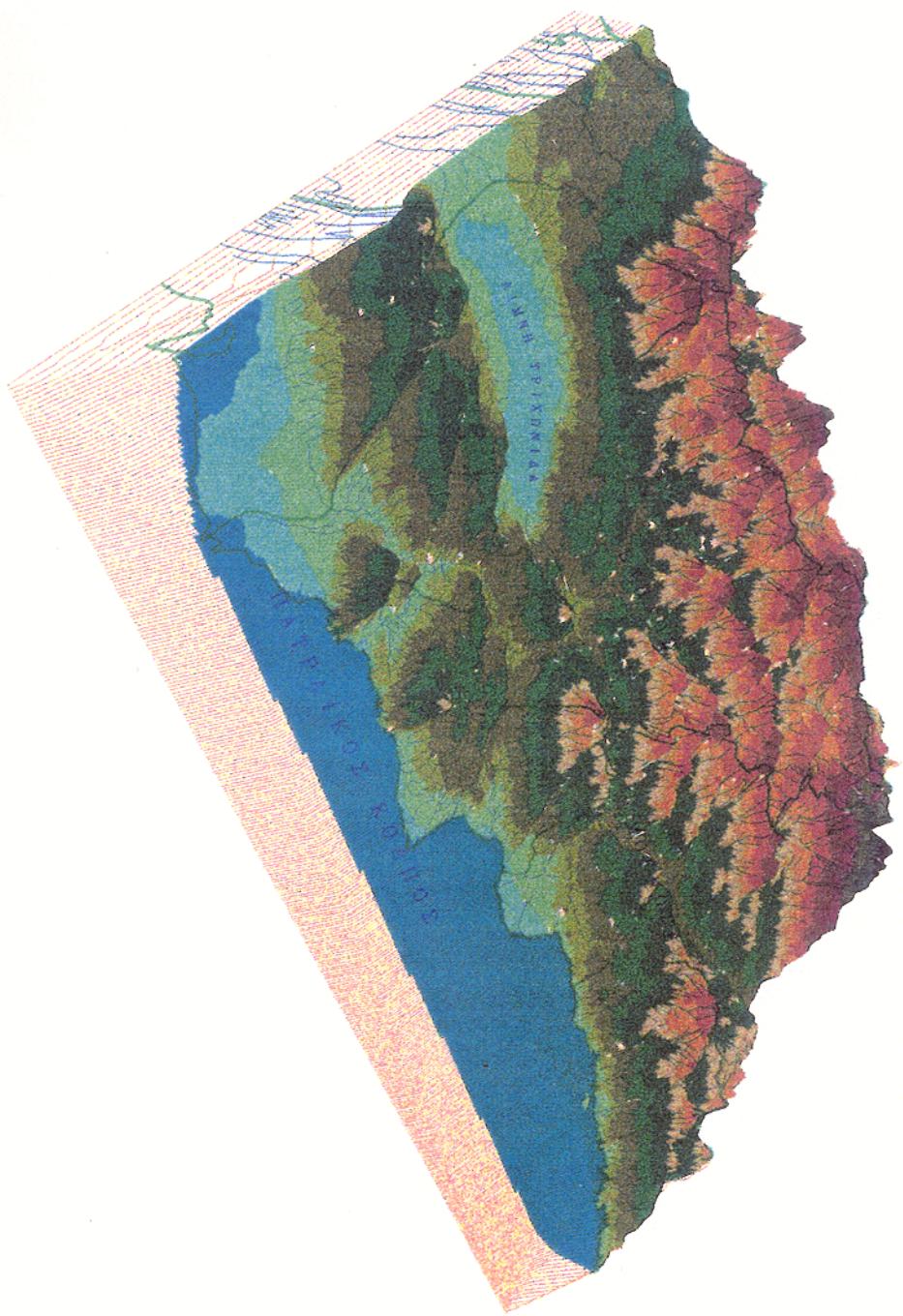
Με τη χρήση των διάφορων επιπέδων πληροφοριών, είναι δυνατή η επεξεργασία των γεωγραφικών δεδομένων ανά υδρολογική λεκάνη και η εξαγωγή των φυσιογραφικών χαρακτηριστικών της λεκάνης, όπως, για παράδειγμα, του εμβαδού, του μέσου υψομέτρου, της μέσης κλίσης, του μήκους της κύριας μισγάγγειας, κτλ. Επίσης είναι δυνατή η χάραξη των επιφανειών επιρροής των υδρομετεωρολογικών σταθμών μέτρησης (πολύγωνα Thiessen) και η εξαγωγή των αντίστοιχων συντελεστών βάρους. Για όλες αυτές τις εργασίες χρειάζεται να εκτελεστούν κατάλληλα προγράμματα επεξεργασίας, τα οποία έχουν αναπτυχθεί στα πλαίσια του ερευνητικού έργου (βλ. Τεύχος 22). Στο Σχ. 4.3 δίνονται γραφικά δύο παραδείγματα τέτοιων εφαρμογών. Στη λεκάνη του Αχελώου έχει υπολογιστεί και σχεδιαστεί το ψηφιακό μοντέλο εδάφους, βάσει του οποίου υπολογίστηκε το μέσο υψόμετρο της λεκάνης (469 m), ενώ στη λεκάνη του Βοιωτικού Κηφισού έχουν χαραχτεί τα πολύγωνα Thiessen των βροχομετρικών σταθμών της λεκάνης.

4.2 Πληροφορίες επιφανειακής υδρολογίας

Όπως έχει ήδη αναφερθεί (ενότητα 3.1) οι πληροφορίες που αφορούν στα μεγέθη της επιφανειακής υδρολογίας έχουν αποθηκευτεί υπό μορφή χρονοσειρών-πινάκων στη βάση δεδομένων του ΥΔΡΟΣΚΟΠΙΟΥ, η οποία λειτουργεί μέσω του Σχεσιακού Συστήματος Διαχείρισης Βάσης Δεδομένων INGRES. Το σύστημα γεωγραφικής πληροφορίας επιτρέπει την αμεσότερη παράσταση και επεξεργασία της μεταβολής των μεγεθών στο χώρο. Για το σκοπό αυτό αναπτύχθηκε μια σειρά προγραμμάτων για τη διασύνδεση των δύο συστημάτων (βάσης δεδομένων ΥΔΡΟΣΚΟΠΙΟΥ και συστήματος γεωγραφικής πληροφορίας) και, εν συνεχείᾳ, της απεικόνισης και επεξεργασίας των υδρολογικών δεδομένων μέσω του συστήματος γεωγραφικής πληροφορίας. Τα προγράμματα αυτά και οι εφαρμογές τους περιγράφονται στο Τεύχος 22. Οι βασικότερες από τις δυνατότητες που προσφέρει το σύστημα γεωγραφικής πληροφορίας, μέσω των ενσωματωμένων λειτουργιών του αλλά και των προγραμμάτων που αναπτύχθηκαν, αφορούν στην επιφανειακή ολοκληρωση των σημειακών πληροφοριών με παρεμβολή ή/και εξομάλυνση, και στην εξαγωγή χωρικά κατανεμημένων στατιστικών χαρακτηριστικών των μεταβλητών. Μερικά παραδείγματα τέτοιων επεξεργασιών φαίνονται στα σχήματα που ακολουθούν (Σχ. 4.4 - Σχ. 4.7).



Σχ. 4.1 Μορφολογικός χάρτης Στερεάς Ελλάδας.



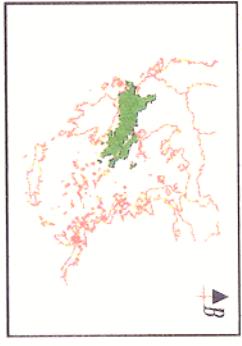
ΤΙΓΩΝΗΜΑ

0 - 1
2 - 20
21 - 100
101 - 200
201 - 400
401 - 600
601 - 800
801 - 1000
1.001 - 1.200
1.201 - 1.400
1.401 - 1.600
1.601 - 1.800
1.801 - 2.000
2.001 - 2.200
2.201 - 2.400
2.401 - 2.600

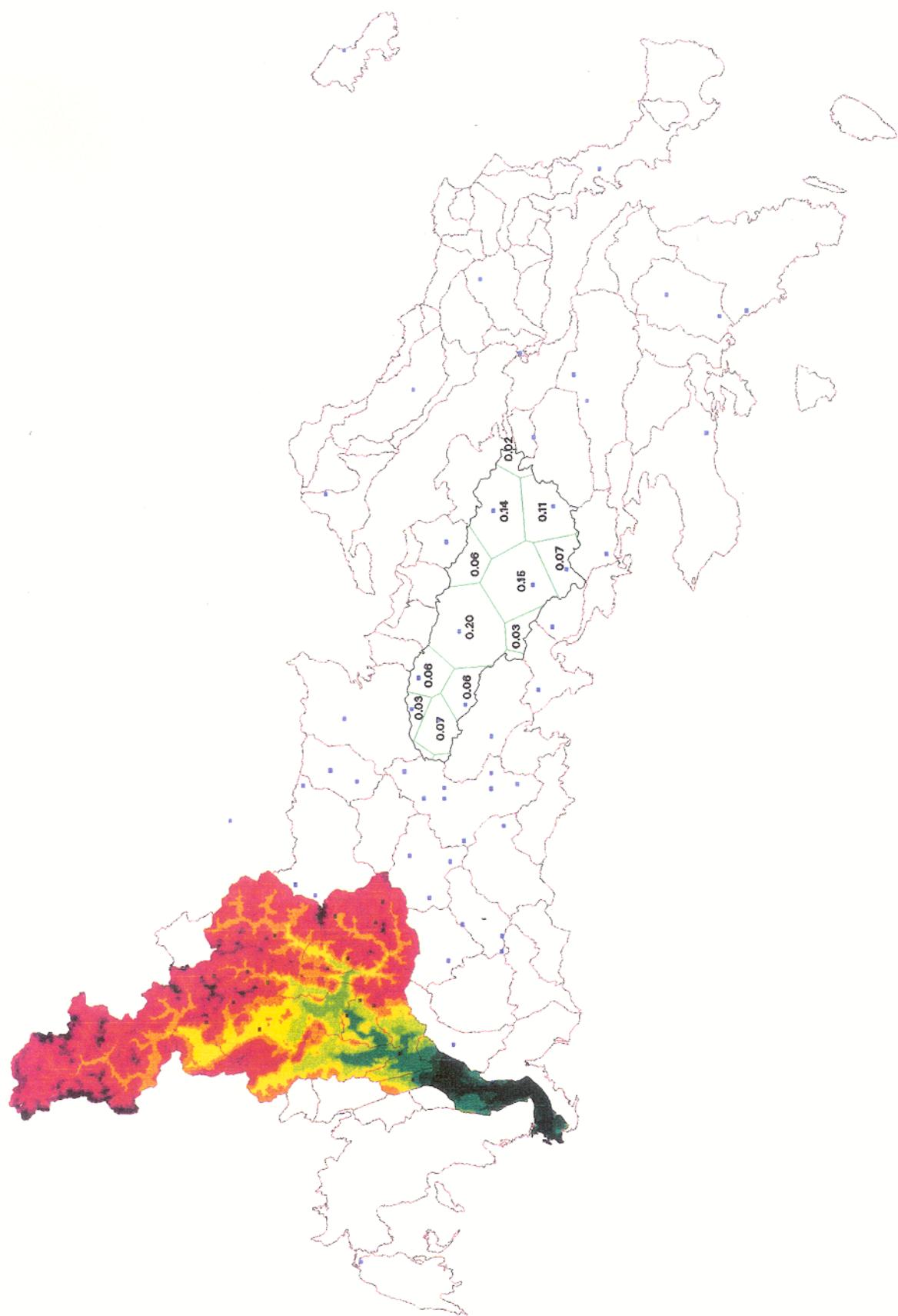
ΕΜΠ / ΤΤΠΤΘΕ ΥΠΟΧΩΔΕ / ΔΣ
ΕΡΕΤΗΤΙΚΟ ΣΡΓΟ :
“ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ
ΤΩΝ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ
ΤΗΣ ΕΠΕΙΓΕΙΑΣ ΕΛΑΣΣΑΣ”

ΤΙΤΛΟΣ ΧΑΡΤΗ

ΜΗ ΚΑΝΟΝΙΚΟ ΤΡΙΓΩΝΙΚΟ
ΔΙΚΤΥΟ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΠΗΝΟΥ
Ευρετήριας φύλαξης ζώων ΕΠΑ
Ορία Τ.Μ.Χ.: 274480 - 241860 m
Υ.: 424992 - 420558 m
ΣΥΝΤΑΞΗ: 1. Δ. ΣΤΑΜΑΤΑΚΗ



Σχ. 4.2 Τριδιάστατη απεικόνιση ακανόνιστου τριγωνικού δικτύου περιοχής Ευήνου.

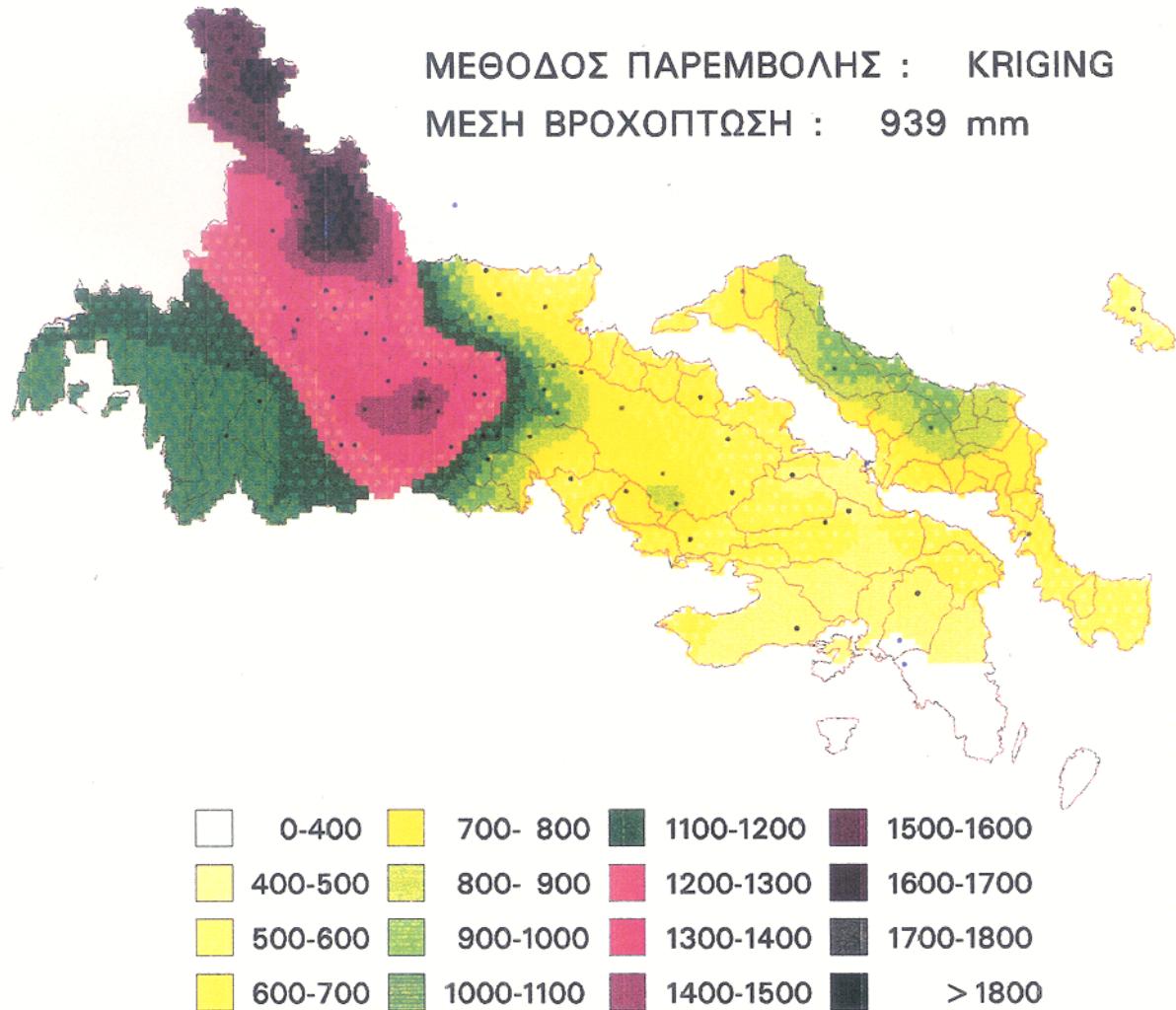


Σχ. 4.3 Παράδειγμα εξαγωγής γεωγραφικών χαρακτηριστικών λεκανών απορροής: Ψηφιακό μοντέλο εδάφους λεκάνης Αχελώου και πολύγωνα Thiessen λεκάνης Βοιωτικού Κηφισού.

ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ : KRIGING

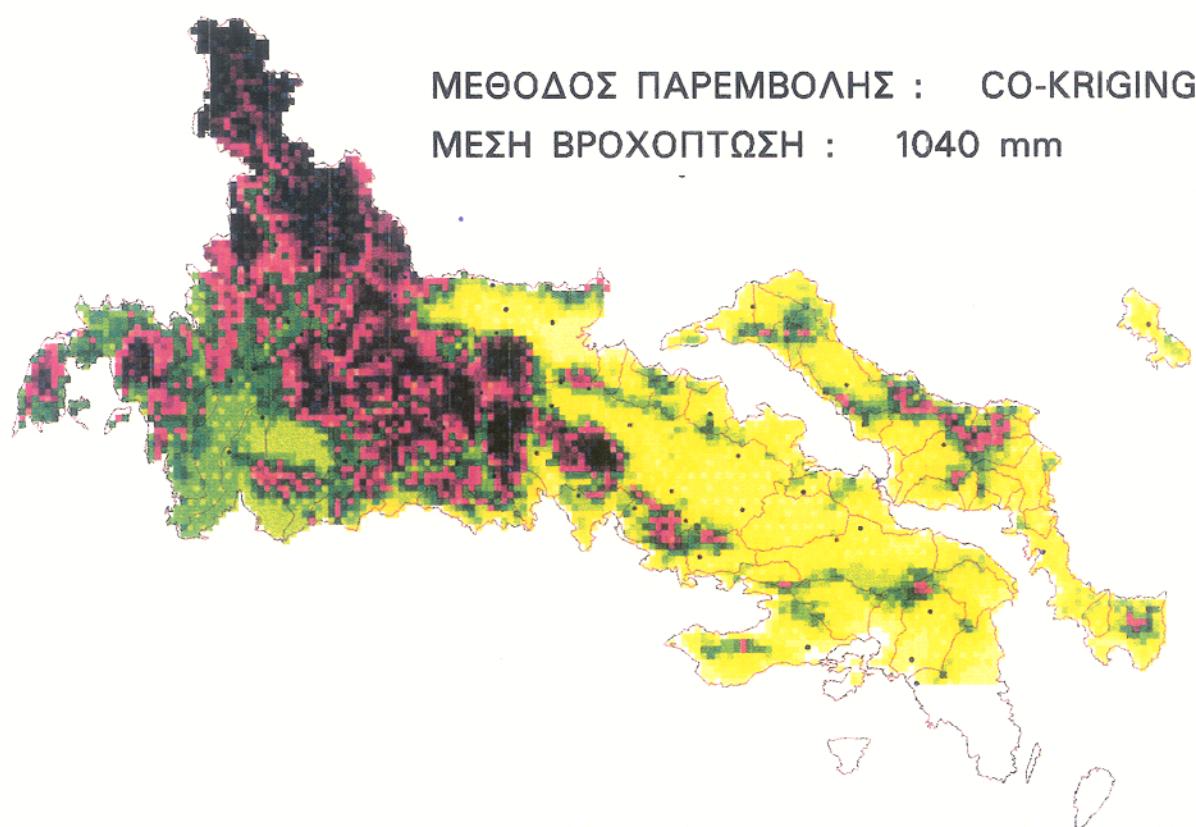
ΜΕΣΗ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ : 939 mm

49

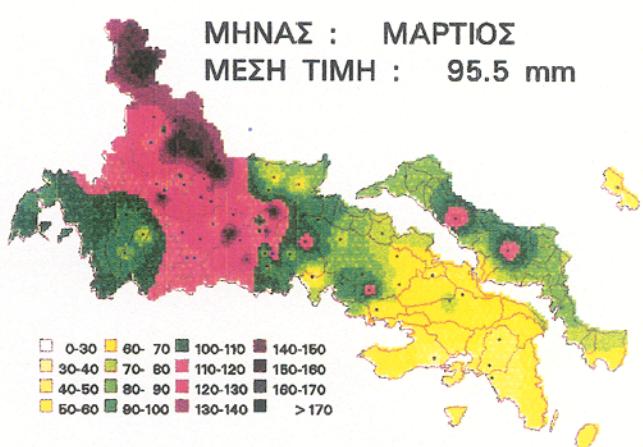
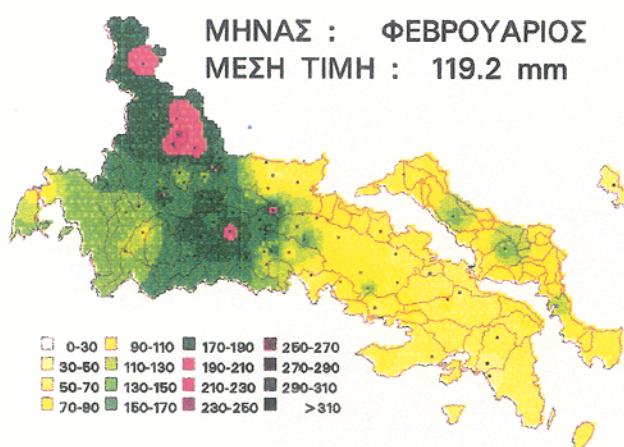
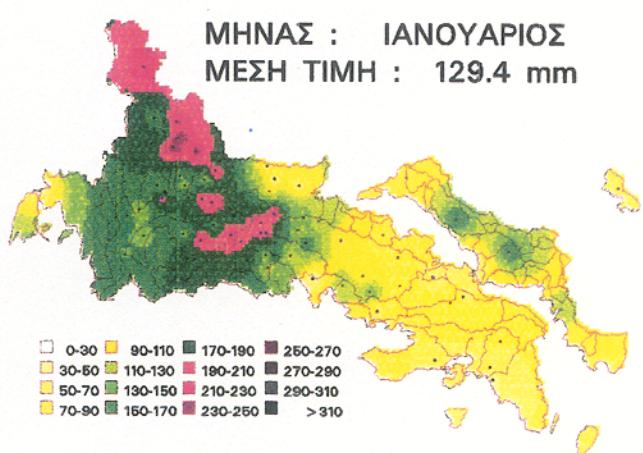
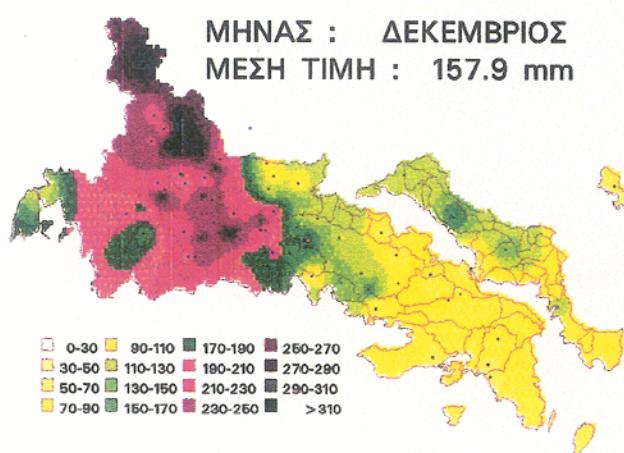
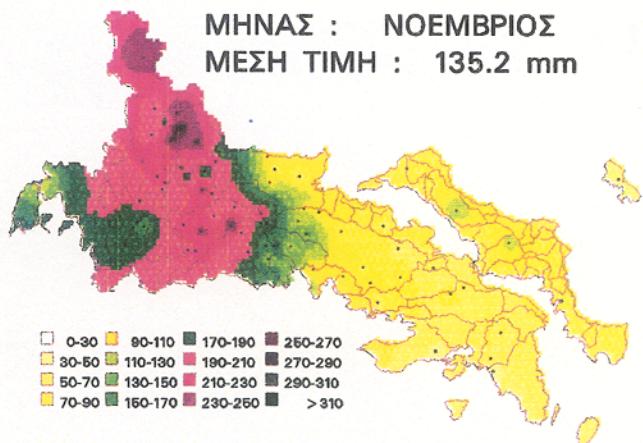
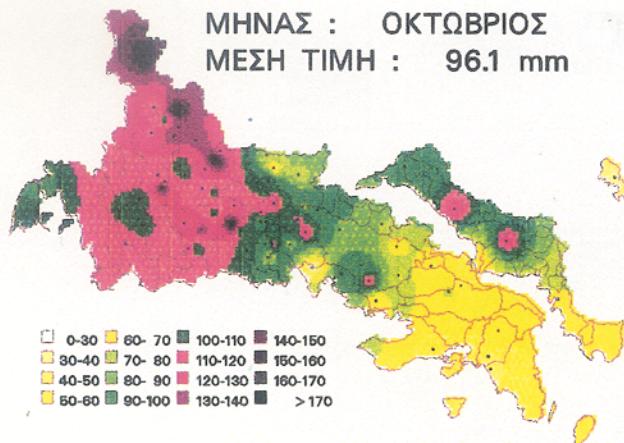


ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ : CO-KRIGING

ΜΕΣΗ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ : 1040 mm

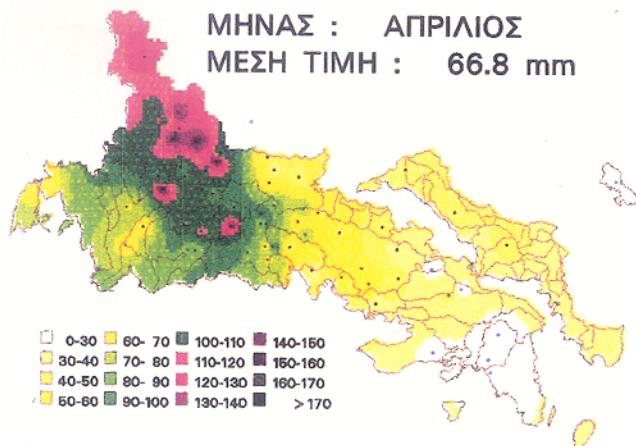


Σχ. 4.4 Γεωγραφική κατανομή μέσης ετήσιας βροχόπτωσης με μέθοδο παρεμβολής και εξομάλυνσης (α) Kriging και (β) Co-Kriging, με συνεκτίμηση και του τοπογραφικού υψομέτρου.

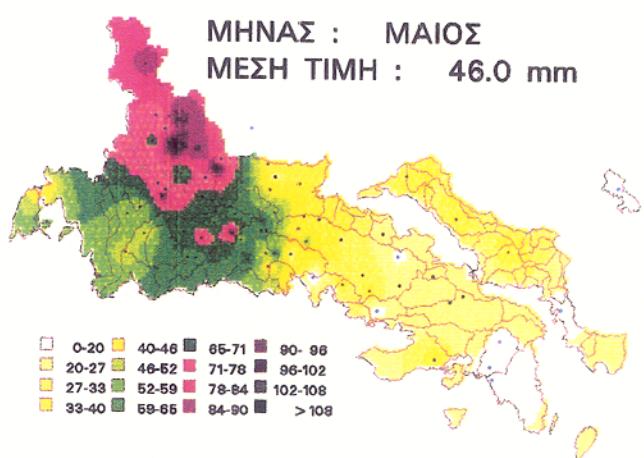


Σχ. 4.5 Γεωγραφική κατανομή μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης με μέθοδο παρεμβολής αντίστροφων αποστάσεων (μήνες Οκτώβριος - Μάρτιος).

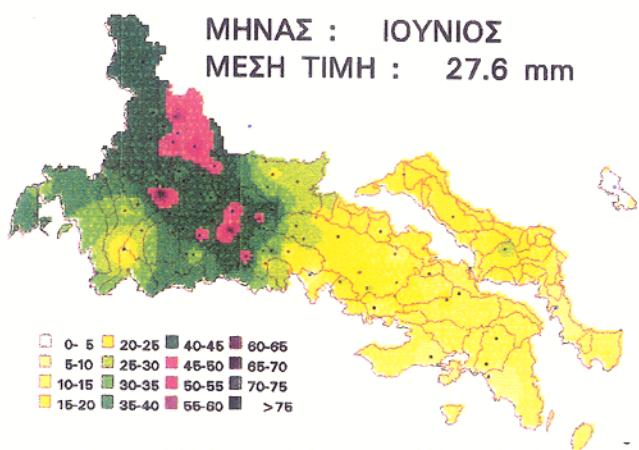
ΜΗΝΑΣ : ΑΠΡΙΛΙΟΣ
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ : 66.8 mm



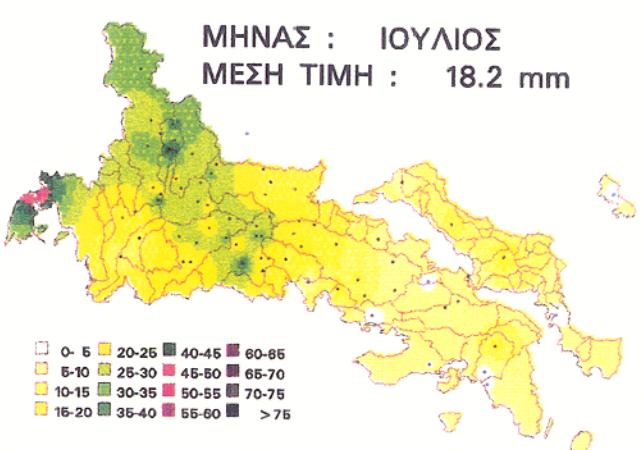
ΜΗΝΑΣ : ΜΑΙΟΣ
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ : 46.0 mm



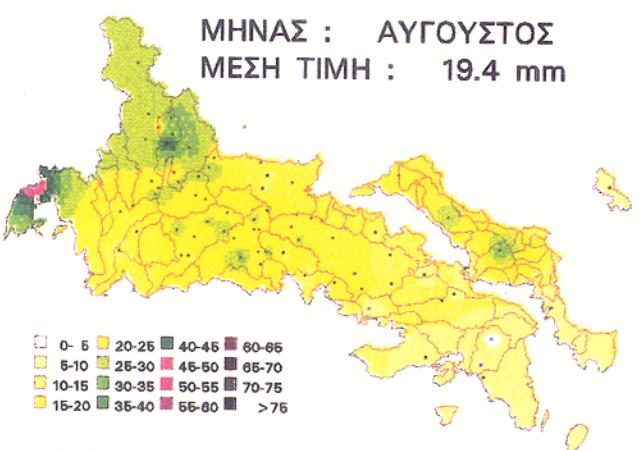
ΜΗΝΑΣ : ΙΟΥΝΙΟΣ
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ : 27.6 mm



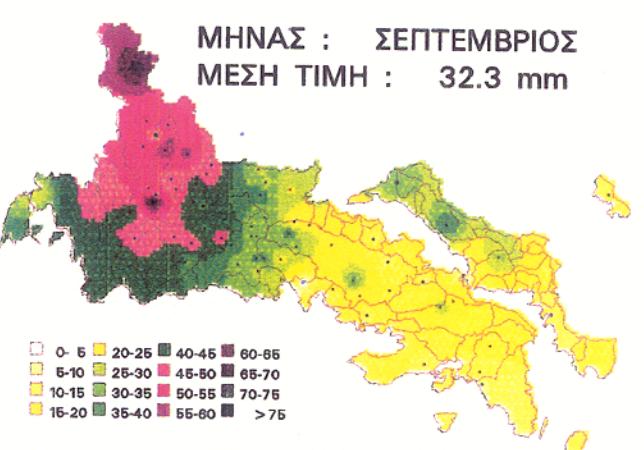
ΜΗΝΑΣ : ΙΟΥΛΙΟΣ
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ : 18.2 mm



ΜΗΝΑΣ : ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ : 19.4 mm



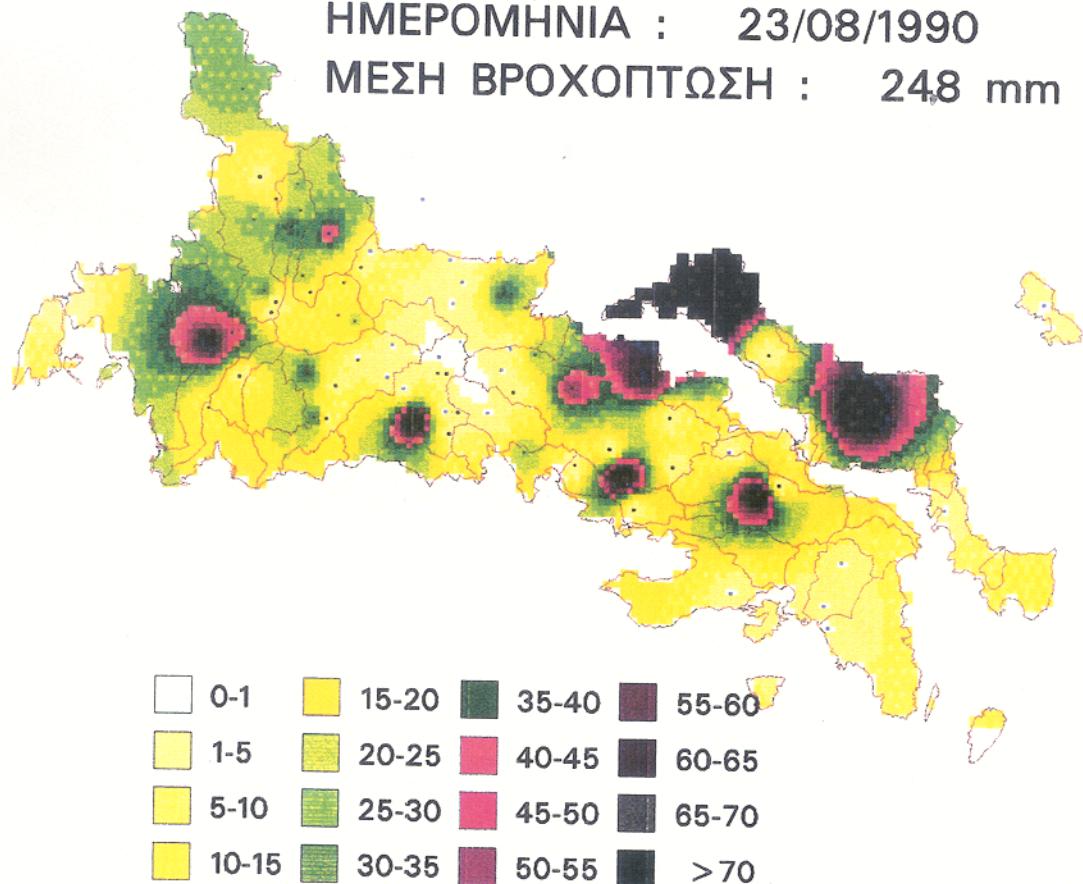
ΜΗΝΑΣ : ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ : 32.3 mm



Σχ. 4.5 (συνέχεια) Γεωγραφική κατανομή μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης με μέθοδο παρεμβολής αντίστροφων αποστάσεων (μήνες Απρίλιος - Σεπτέμβριος).

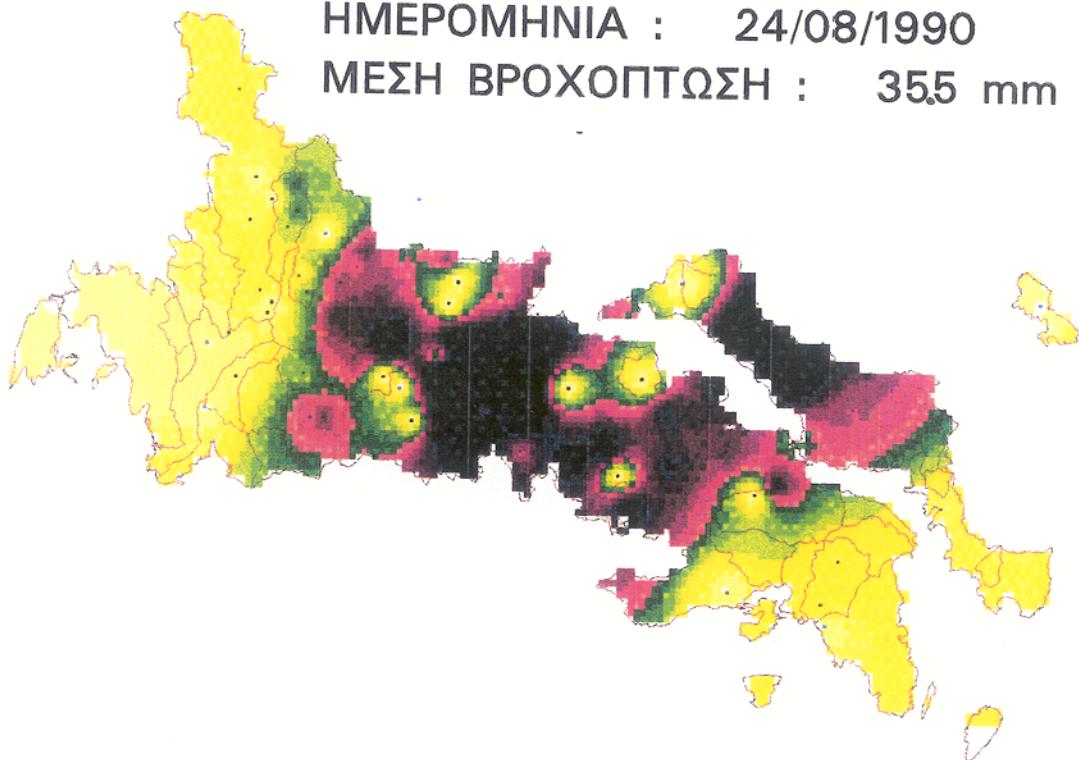
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ : 23/08/1990

ΜΕΣΗ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ : 24.8 mm 52



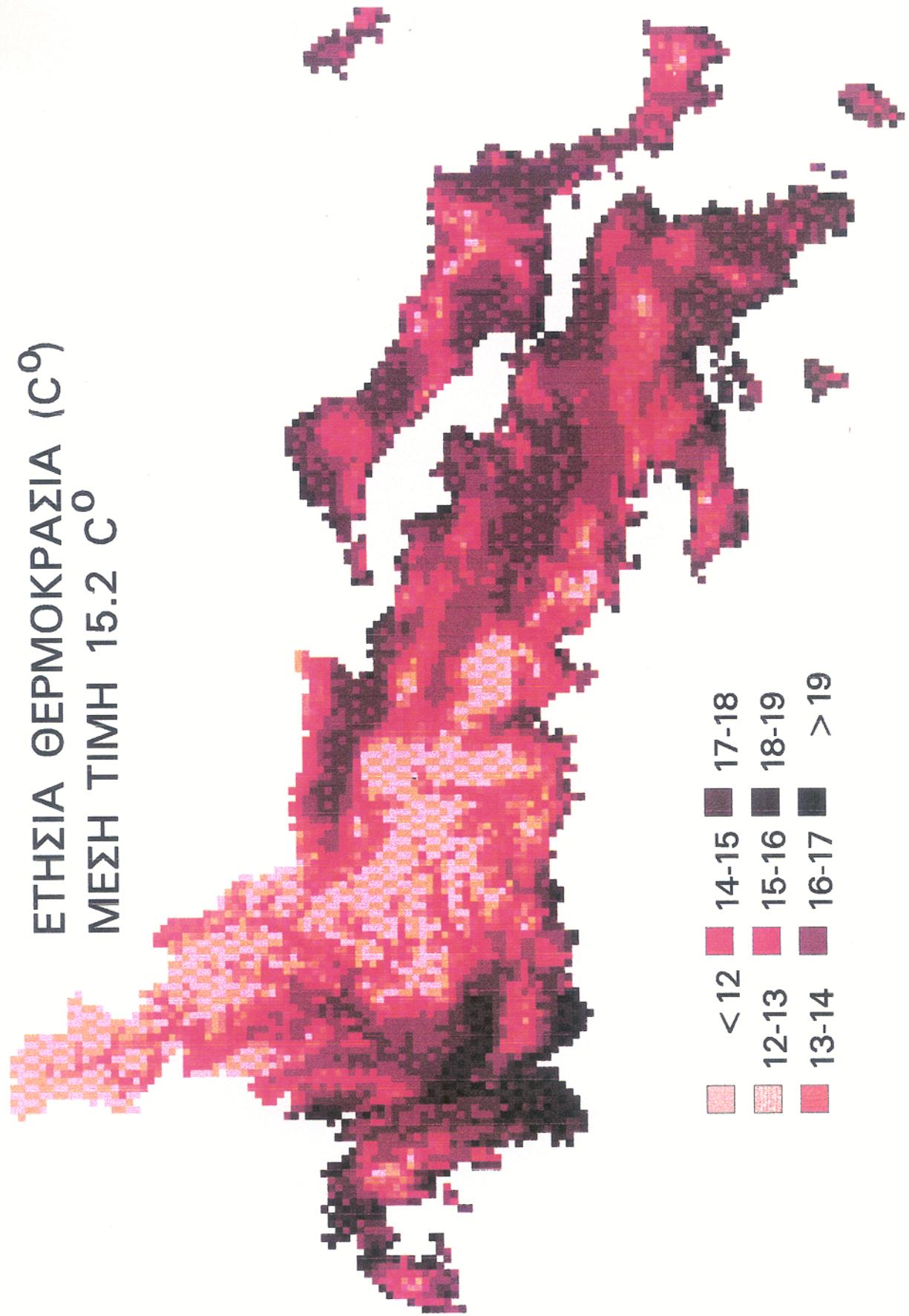
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ : 24/08/1990

ΜΕΣΗ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ : 35.5 mm



Σχ. 4.6 Γεωγραφική κατανομή ημερήσιας βροχόπτωσης (α) στις 23/08/1990 και (β) στις 24/08/1990.

ΕΤΗΣΙΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (C°)
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ $15.2 C^{\circ}$



Σχ. 4.7 Γεωγραφική κατανομή μέσης ετήσιας θερμοκρασίας.

4.3 Πληροφορίες γεωλογίας και υδρογεωλογίας

Η Στερεά Ελλάδα δομείται από πλήθος γεωλογικών ενοτήτων, οι οποίες συνιστούν πολυπλοκότητα στη γεωλογική δομή και αποτελούνται από πλήθος διαφορετικών λιθολογικών χαρακτήρων. Επομένως στο σύνολο της μελετώμενης περιοχής αναπτύσσονται πολλές διαφορετικής φύσης υδροφορίες (καρστικές και μη), σημαντικού δυναμικού κατά περίπτωση, οι οποίες παρουσιάζονται στα επιμέρους τεύχη.

Στα πλαίσια του παρόντος ερευνητικού έργου δημιουργήθηκε και αναπτύχθηκε ένα Υδρογεωλογικό Σύστημα Γεωγραφικής Πληροφορίας το οποίο χρησιμοποιήθηκε ως εργαλείο για την αποθήκευση, ανάλυση, επεξεργασία και παρουσίαση των σχετικών διαθέσιμων πληροφοριών, που συλλέχτηκαν στα πλαίσια και για τους σκοπούς του παρόντος προγράμματος, από φορείς της πρωτεύουσας και των επιμέρους νομών.

Το τμήμα του ερευνητικού έργου που αφορά τις εργασίες υδρογεωλογικού αντικειμένου είναι δυνατόν για λόγους πρακτικούς να χωριστεί σε δύο μέρη τα οποία είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους.

A. Συλλογή, καταγραφή, ανάλυση και αξιολόγηση των υπαρχόντων υδρογεωλογικών δεδομένων και συμπλήρωση βασικών κενών με αναγνωριστική πρωτογενή εργασία στο ύπαιθρο.

Σκοπός των εργασιών αυτών ήταν να προκύψουν οι απαραίτητες υδρογεωλογικές παράμετροι και να παρουσιαστούν οι πληροφορίες αυτές σε συμβατικούς, κατ' αρχήν, χάρτες.

Οι εργασίες του μέρους αυτού εξελίσσονται σε δύο επίπεδα:

A1. Εργασίες που αφορούν όλη την έκταση της Στερεάς Ελλάδας, όπου η παρουσίαση των δεδομένων γίνεται σε χάρτες κλίμακας 1 : 250 000.

A2. Εργασίες που αφορούν λεκάνες ιδιαίτερου υδρογεωλογικού ενδιαφέροντος, όπου η επεξεργασία και η παρουσίαση των δεδομένων γίνεται σε κλίμακα 1 : 50 000.

B. Εργασίες ανάπτυξης του Συστήματος Γεωγραφικής Πληροφορίας (ΣΓΠ). Οι εργασίες αυτές περιέλαβαν το σχεδιασμό και την ανάπτυξη της γεωγραφικής βάσης δεδομένων, την εισαγωγή των δεδομένων σ' αυτή, τις αναλυτικές διαδικασίες επεξεργασίας των δεδομένων αυτών για την δημιουργία νέων και την αυτοματοποίηση της διαδικασίας παρουσίασης των τελικών χαρτών. Οι πληροφορίες που καταχωρούνται στο σύστημα είναι:

B1. *Tα χαρτογραφικά δεδομένα, που είτε αξιοποιήθηκαν ως έχουν στη Βάση, είτε χρησιμοποιήθηκαν ως υπόβαθρα για τις επεξεργασίες που ακολουθούν.*

B2. *Tα μη χαρτογραφικά δεδομένα, που εισήχθησαν ως πληροφορίες των πεδίων της Βάσης.*

Τα χαρτογραφικά δεδομένα της Βάσης Υδρογεωλογικών Δεδομένων που δημιουργήθηκε είχαν τριπλή προέλευση:

- Ετοιμα ψηφιακά αρχεία από άλλες πηγές.
- Ψηφιακά αρχεία που δημιούργησε η ερευνητική ομάδα από συμβατικούς χάρτες χωρίς προηγούμενη επεξεργασία.

- Ψηφιακά αρχεία που προέκυψαν από επεξεργασία των υδρογεωλογικών δεδομένων.

Οι πληροφορίες που περιέχει η Βάση Δεδομένων διακρίθηκαν στις ακόλουθες τέσσερις κατηγορίες:

1. *Γενικής - γεωγραφικής πληροφόρησης*, που περιλαμβάνουν
 - τις διοικητικές πληροφορίες,
 - τους οικισμούς και το οδικό δίκτυο,
 - τις ισούψεις καμπύλες και τους παράγωγους χάρτες των τιμών και του προσανατολισμού των μορφολογικών κλίσεων.
 - τα τεκτονικά στοιχεία και άλλα γενικά γεωλογικά στοιχεία καθώς και τα μεγάλα τεχνικά έργα.
2. *Υδρογεωλογικής στατικής πληροφόρησης*, όπου περιλαμβάνονται τα δεδομένα που αφορούν:
 - τις υδρολογικές λεκάνες και υπολεκάνες,
 - τους υδρολιθολογικούς σχηματισμούς,
 - τις υδρογεωλογικές μελέτες που χρησιμοποιήθηκαν και
 - τα σημεία εμφάνισης νερού (πηγές, φρέατα και υδρογεωτρήσεις).
3. *Υδρογεωλογικής πληροφόρησης χρονοσειρών*, όπου περιλαμβάνονται δεδομένα μεταβαλλόμενα στο χρόνο όπως των:
 - χρονοσειρών των πηγών και των γεωτρήσεων (παροχές, στάθμες, ποιότητα),
 - χαρτών της πιεζομετρίας του υδροφόρου ορίζοντα και
 - ορίων των ζωνών με προβλήματα ρύπανσης.
4. *Συνολικής υδρογεωλογικής αξιολόγησης*, όπου περιλαμβάνονται στοιχεία:
 - δυναμικού εκμετάλλευσης υπογείων υδάτων και
 - δυνατοτήτων εκμετάλλευσης.

Ως πιλοτική περιοχή για την εφαρμογή και τον έλεγχο του προγράμματος επιλέχτηκε η υδρολογική λεκάνη του Σπερχειού ποταμού.

Ανάπτυξη υδρολιθολογικού χάρτη

Αφετηρία για τη διερεύνηση των υδρογεωλογικών συνθηκών αποτέλεσε η σύνταξη του γενικού υδρολιθολογικού χάρτη σε κλίμακα 1 : 250 000.

Κριτήριο για τη σύνταξη του χάρτη αυτού ήταν ο συνδυασμός δύο βασικών παραμέτρων:

- επιτελικότητας, για την απόδοση των υδρογεωλογικών συνθηκών σε μια τέτοια μεγάλη έκταση, και
- ακρίβειας, για την αρτιότερη αξιολόγηση όλων των διαθέσιμων δεδομένων.

Για τους παραπάνω λόγους η απόδοση των υδρολιθολογικών χαρακτήρων των γεωλογικών σχηματισμών έγινε μετά από την ενοποίηση των γεωλογικών χαρτών του ΙΓΜΕ κλίμα-

κας 1 : 50 000 (συνολικά 70 φύλλα). Η διαδικασία επίλυσης των προβλημάτων αυτής της ενοποίησης αναπτύσσεται στο Τεύχος 24.

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που απαντώνται στη Στερεά Ελλάδα διαχωρίστηκαν σε τρεις κύριες κατηγορίες, ανάλογα με τους υδρολιθολογικούς τους χαρακτήρες:

1. *Πορώδεις σχηματισμοί*. Διακρίνονται (i) οι πορώδεις προσχωματικοί σχηματισμοί κυμαινόμενης περατότητας, στους οποίους περιλαμβάνονται κυρίως οι πρόσφατες αλλονβιακές αποθέσεις και (ii) οι πορώδεις μη προσχωματικοί σχηματισμοί μέτριας έως μικρής περατότητας, στους οποίους περιλαμβάνονται οι πλειοπλειστοκαινικοί και νεογενείς σχηματισμοί.
2. *Καρστικοί σχηματισμοί*. Περιλαμβάνονται τα ανθρακικά πετρώματα στα οποία αναπτύσσεται καρστική υδροφορία.
3. *Αδιαπέρατοι σχηματισμοί αλπικού υποβάθρου*. Περιλαμβάνονται οι πρακτικά αδιαπέρατοι σχηματισμοί ή εκλεκτικής κυκλοφορίας σχηματισμοί του αλπικού υποβάθρου.

Στο γενικό υδρολιθολογικό χάρτη παρουσιάζονται επίσης για λόγους περαιτέρω υδρογεωλογικής αξιολόγησης:

- Οι περιοχές στις οποίες επικρατούν τα τριαδικά λατυποπαγή.
- Οι περιοχές στις οποίες επικρατούν η σχιστοκερατολιθική διάπλαση, οι οφιόλιθοι, οι περιδοτίτες, οι σχιστόλιθοι, τα μεταμορφωμένα πετρώματα και το παλαιοζωϊκό υπόβαθρο. Ουσιαστικά δηλαδή διαχωρίζονται οι περιοχές του φλύσχη.
- Οι περιοχές στις οποίες επικρατούν τα ηφαιστειακά.
- Τα τεκτονικά δεδομένα και οι πηγές, η διαδικασία εισαγωγής και παρουσίασης των οποίων αναπτύσσεται επίσης στα επιμέρους τεύχη.
- Η σχέση (στρωματογραφική ή τεκτονική) μεταξύ διαπερατών - αδιαπέρατων σχηματισμών του αλπικού υποβάθρου.

Στο τέλος του τεύχους αυτού δίνεται ενδεικτικά ο υδρολιθολογικός χάρτης (αριθμός σχεδίου 1) σε σμίκρυνση κλίμακας 1 : 1 250 000.

Χάρτης κατανομής και δυναμικού των διαφόρων τύπων υδροφοριών

Στα πλαίσια του παρόντος ερευνητικού έργου συντάχθηκαν και παραδόθηκαν χάρτες κατανομής και δυναμικού των διαφόρων τύπων υδροφοριών (προσχωματικών, καρστικών, νεογενών σχηματισμών). Κριτήρια για την ταξινόμηση των κατηγοριών ήταν:

1. Η υδρολιθολογία, όπως αυτή προκύπτει από την επεξεργασία των δεδομένων.
2. Η αξιολόγηση των δεδομένων των υδροληπτικών έργων σύμφωνα με τη βάση δεδομένων που έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του ΣΓΠ.
3. Η γνώση και εμπειρία των υδρογεωλογικών συνθηκών σε επί μέρους περιοχές από την ερευνητική ομάδα.

Οι χάρτες αυτοί, σε κλίμακα 1 : 250 000, είναι επιτελικοί και δίνουν στο χρήστη μια συνολική εποπτική εικόνα του υδρογεωλογικού καθεστώτος της Στερεάς Ελλάδας. Διευκρινίζεται ότι, ποσοτικά δεδομένα για λεπτομερέστερη χρήση, είναι δυνατόν να υπάρξουν μόνο κατόπιν ειδικότερης προσέγγισης και μελέτης.

Στο τέλος του τεύχους αυτού δίνεται ενδεικτικά ο χάρτης των προσχωματικών υδροφοριών (αριθμός σχεδίου 2) σε σμίκρυνση κλίμακας 1 : 1 250 000.

Χάρτες υδρογεωλογικών πληροφοριών σε επιλεγμένη λεκάνη με υδρογεωλογικό ενδιαφέρον

Η προσέγγιση των αναλύσεων και επεξεργασιών καθώς και η παρουσίαση των πληροφοριών σε επιλεγμένη λεκάνη με ιδιαίτερο υδρογεωλογικό ενδιαφέρον, έγινε σε κλίμακα 1 : 50 000. Οι χάρτες αυτοί είναι λεπτομερέστεροι και ακριβέστεροι των προηγούμενων γενικών χαρτών.

5. Κατασκευή μαθηματικών μοντέλων και ανάπτυξη λογισμικού

Στα Κεφάλαια 3 και 4 έγινε αναφορά στο λογισμικό που χρειάστηκε να αναπτυχθεί προκειμένου να εξυπηρετήσει τις ανάγκες στατιστικής επεξεργασίας των υδρολογικών δεδομένων και επιφανειακής ολοκλήρωσης των υδρολογικών και υδρογεωλογικών δεδομένων μέσω του συστήματος γεωγραφικής πληροφορίας. Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναφερθούμε σε μια άλλη κατηγορία εφαρμογών λογισμικού, οι οποίες αφορούν μαθηματικά μοντέλα που αναπτύχθηκαν στα πλαίσια του ερευνητικού έργου.

5.1 Μοντέλο στοχαστικής προσομοίωσης υδρολογικών χρονοσειρών με απλή τεχνική επιμερισμού

Τα μοντέλα προσομοίωσης υδρολογικών χρονοσειρών δίνουν τη δυνατότητα γέννησης συνθετικών σειρών υδρολογικών μεταβλητών (απορροής, βροχής, εξάτμισης κ.ά.) σε πολλές θέσεις ταυτόχρονα. Οι συνθετικές αυτές σειρές μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε προσομοίωσης συστημάτων υδατικών πόρων για υποβοήθηση της διαχείρισης τους. Πιο συγκεκριμένα οι συνθετικές χρονοσειρές βοηθούν στον προγραμματισμό και σχεδιασμό των απαραίτητων υδραυλικών έργων, στον προγραμματισμό ή τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας τους και στο λειτουργικό τους έλεγχο κάτω από εναλλακτικές πολιτικές διαχείρισης.

Προς το παρόν, οι περισσότερες μελέτες προγραμματισμού, σχεδιασμού ή λειτουργίας υδραυλικών έργων, και στη χώρα μας αλλά και διεθνώς, βασίζονται στις ιστορικές υδρολογικές χρονοσειρές και ακολουθούν ανάλογες καθιερωμένες μεθοδολογίες. Ωστόσο, έχει αποδειχτεί [π.χ. *Vogel and Stedinger*, 1988] ότι η χρήση της στοχαστικής υδρολογίας οδηγεί σε ακριβέστερες εκτιμήσεις των απαιτούμενων μεγεθών (π.χ. χωρητικότητες στο σχεδιασμό ταμιευτήρων) από αυτές στις οποίες οδηγεί η χρήση μεθόδων που στηρίζονται μόνο στα ιστορικά δεδομένα.

Η στοχαστική υδρολογία και η μέθοδος της προσομοίωσης προσφέρει τη δυνατότητα λεπτομερέστερης και ακριβέστερης μελέτης των συστημάτων υδατικών πόρων, με βάση συνθετικές χρονοσειρές οι οποίες αναπαράγουν τη στατιστική δομή και τις στατιστικές παραμέτρους των ιστορικών δεδομένων. Με βάση τις συνθετικές χρονοσειρές μπορούμε να καταρτίσουμε την πιθανοτική περιγραφή της συμπεριφοράς ενός συστήματος υδατικών πόρων και να αποκτήσουμε εικόνα των μεγεθών που ενδιαφέρουν για ακραία επίπεδα πιθανότητας (π.χ. 1 : 100, 1 : 1000 κτλ.) πράγμα που δεν μπορεί να γίνει μόνο με τα ιστορικά δείγματα που κατά κανόνα είναι διαθέσιμα για μικρή μόνο χρονική περίοδο.

Προϋπόθεση για τη γέννηση συνθετικών χρονοσειρών είναι η υιοθέτηση ενός πιθανοτικού/στοχαστικού μοντέλου που να περιγράφει την από κοινού συνάρτηση κατανομής των υδρολογικών μεταβλητών που ενδιαφέρουν. Ιδιαίτερα ενδιαφέρει η στοχαστική εξάρτηση των μεταβλητών ως προς το χώρο και το χρόνο. Η χωρική εξάρτηση αντιστοιχεί στην εμφανή συγγένεια της ταυτόχρονης υδρολογικής δίαιτας σε γειτονικές θέσεις ή λεκάνες.

Αντίστοιχα, η χρονική εξάρτηση αντιστοιχεί στη διαπιστωμένη εμμονή των υδρολογικών (και γενικότερα των γεωφυσικών) μεγεθών.

Εφόσον υιοθετηθεί ένα συγκεκριμένο στοχαστικό μοντέλο για τις μεταβλητές που ενδιαφέρουν, το επόμενο βήμα είναι η εκτίμηση των παραμέτρων του. Κατά κανόνα ενδιαφέρουν οι στατιστικές παράμετροι που καλύπτονται με το γενικό όρο στατιστικές ροπές (μέσες τιμές, διασπορές, συνδιασπορές, τρίτες ροπές κτλ.). Η εκτίμηση των παραμέτρων αυτών γίνεται από τα ιστορικά δείγματα με καθιερωμένες μεθόδους της στατιστικής.

Θα πρέπει να τονιστεί ότι και η επιλογή ενός συγκεκριμένου στοχαστικού μοντέλου και η εκτίμηση των παραμέτρων του βασίζεται πάντα στο διαθέσιμο ιστορικό δείγμα, το οποίο αποτελεί τη μόνη πρωτογενή πηγή πληροφορίας. Η γέννηση συνθετικών χρονοσειρών (που κατά κανόνα έχει μήκος πολλαπλάσιο του μήκους του διαθέσιμου ιστορικού δείγματος) δεν προσθέτει ουσιαστική πληροφορία, ούτε επαυξάνει τη διάρκεια του συγκεκριμένου ιστορικού δείγματος.

5.1.1 Το γενικό σχήμα προσομοίωσης του μοντέλου

Από τα διάφορα σχήματα προσομοίωσης που έχουν μελετηθεί, θεωρήθηκε ως πλεονεκτικότερο και υιοθετήθηκε ως βάση για τα μοντέλο που αναπτύχθηκε, ένα σχήμα πολλών μεταβλητών (θέσεων) και δύο διαδοχικών επιπέδων ή φάσεων: Στο πρώτο επίπεδο (γνωστό ως υψηλότερο επίπεδο) γίνεται γέννηση των παράλληλων χρονοσειρών των διάφορων θέσεων σε μια αραιή χρονική κλίμακα. Η χρονική ισοδιάσταση αυτής της κλίμακας λέγεται περίοδος. Στο δεύτερο επίπεδο (γνωστό ως χαμηλότερο επίπεδο) γίνεται γέννηση των χρονοσειρών σε πυκνότερη χρονική κλίμακα και στη συνέχεια εφαρμόζεται μια διαδικασία διόρθωσης που εξασφαλίζει τη συμβατότητα των σειρών χαμηλότερου επιπέδου με αυτές του υψηλότερου επιπέδου (ικανοποίηση της αθροιστικής ιδιότητας). Η χρονική ισοδιάσταση αυτής της πυκνότερης κλίμακας λέγεται υποπερίοδος. Ως χρονική κλίμακα του πρώτου επιπέδου έχει επιλεγεί η ετήσια για διάφορους λόγους, ο κυριότερος από τους οποίους είναι ότι σε αυτή την κλίμακα εξαφανίζονται οι ετήσιες περιοδικότητες και έτσι οι χρονοσειρές εμφανίζουν στάσιμο (stationary) χαρακτήρα. Για το δεύτερο επίπεδο δεν υπάρχει καθορισμένη χρονική κλίμακα και, ανάλογα με το πρόβλημα που μας ενδιαφέρει, μπορούμε να επιλέξουμε κατά περίπτωση εποχική, μηνιαία, δεκαπενθήμερη ή άλλη κλίμακα. Θεωρητικά το σχήμα αυτό θα μπορούσε να επεκταθεί και με επόμενες φάσεις πύκνωσης σε ακόμη λεπτομερέστερες χρονικές κλίμακες, αλλά, ωστόσο, τεχνικά αυτό δεν υποστηρίζεται από την τρέχουσα έκδοση του προγράμματος.

Το παραπάνω σχήμα προσομοίωσης είναι σαφώς πλεονεκτικότερο από το πιο διαδεδομένο σχήμα που γεννά τις μεταβλητές σειριακά, τη μια μετά την άλλη, σε μια και μοναδική φάση που έχει μια μοναδική χρονική κλίμακα αναφοράς (ίδια με την πυκνότερη από τις δύο κλίμακες του παραπάνω σχήματος, δηλαδή τη χρονική κλίμακα του χαμηλότερου επιπέδου). Το βασικό πλεονέκτημα του σχήματος δύο επιπέδων είναι ότι παρέχει τη δυνατότητα διατήρησης των σημαντικών στατιστικών χαρακτηριστικών των χρονοσειρών σε πολλαπλή χρονική κλίμακα. Για παράδειγμα, στην γέννηση μηνιαίων χρονοσειρών, το σχήμα δύο επιπέδων

επιτρέπει αφενός τη διατήρηση των στατιστικών χαρακτηριστικών των μηνιαίων απορροών (οι οποίες αποτελούν τις μεταβλητές χαμηλότερου επιπέδου) και αφετέρου τη διατήρηση των στατιστικών χαρακτηριστικών των ετήσιων απορροών (μεταβλητές υψηλότερου επιπέδου), αφού οι δεύτερες γεννώνται ανεξάρτητα και πριν από τις πρώτες με βάση διαφορετικό μοντέλο. Αντίθετα, το σειριακό σχήμα μπορεί να διατηρεί μόνο τα χαρακτηριστικά των μηνιαίων απορροών και να υπολογίζει τις ετήσιες απορροές ως αθροίσματα των μηνιαίων. Σε αυτή όμως την περίπτωση, λόγω συσσώρευσης σφαλμάτων και λόγω αναντιστοιχιών των μοντέλων με τη φυσική πραγματικότητα, δεν διατηρούνται από το σειριακό σχήμα επακριβώς, παρά μόνο σε πρώτη προσέγγιση, τα στατιστικά χαρακτηριστικά των ετήσιων χρονοσειρών. Βεβαίως, το σχήμα δύο επιπέδων που υιοθετήθηκε έχει και μειονεκτήματα, το κυριότερο από τα οποία είναι η πολυπλοκότητα του σε σχέση με το σειριακό σχήμα ενός επιπέδου.

5.1.2 Στατιστικές παράμετροι που διατηρούνται

Ανεξάρτητα από τη χρονική κλίμακα και το επίπεδο προσομοίωσης (υψηλότερο ή χαμηλότερο), το σύνολο των στατιστικών παραμέτρων των μεταβλητών που χρησιμοποιούνται από το μοντέλο και τελικά αναπαράγονται (διατηρούνται) στις συνθετικές χρονοσειρές αποτελείται από τις ακόλουθες ομάδες:

Παράμετροι των περιθώριων συναρτήσεων κατανομής κάθε μεταβλητής

- (1) Μέσες τιμές των μεταβλητών.
- (2) Διασπορές των μεταβλητών.
- (3) Συντελεστές ασυμμετρίας των μεταβλητών (και, κατά συνέπεια, τρίτες ροπές).

Παράμετροι των από κοινού συναρτήσεων κατανομής των μεταβλητών

- (4) Συντελεστές αυτοσυσχέτισης με μοναδιαίο χρονικό βήμα μεταξύ μεταβλητών της ίδιας θέσης.
- (5) Συντελεστές ετεροσυσχέτισης με μηδενικό χρονικό βήμα μεταξύ μεταβλητών διαφορετικής θέσης.

Πρόκειται για το ελάχιστο σύνολο ουσιώδων στατιστικών παραμέτρων που κατά κανόνα ενδιαφέρουν [Matalas and Wallis, 1976, σσ. 60, 63]. Η επιλογή της ελαχιστοποίησης του αριθμού των παραμέτρων έγινε με σκοπό να είναι το πρόγραμμα κατά το δυνατόν εύχρηστο και γρήγορο, οι σχετικοί αλγόριθμοι κατά το δυνατόν απλούστεροι και η απαιτούμενη προεργασία εκτίμησης παραμέτρων σχετικά απλή και άμεση, χωρίς παράλληλα να χάνεται ουσιώδης και χρήσιμη στατιστική πληροφορία.

Σημειώνεται ότι το παραπάνω σύνολο παραμέτρων αποτελεί την είσοδο στα συγκεκριμένα μοντέλα. Οι παράμετροι αυτές μπορούν να υπολογιστούν από το ίδιο το πρόγραμμα, αν είναι διαθέσιμα τα κατάλληλα ιστορικά δεδομένα, ή να εισαχθούν απ' ευθείας από το χρήστη, αν είναι εξ αρχής γνωστές οι τιμές τους.

Διευκρινίζεται ότι το παραπάνω σύνολο παραμέτρων αφορά κατά περίπτωση και στις μεταβλητές υψηλότερου επιπέδου και στις μεταβλητές χαμηλότερου επιπέδου. Συγκεκριμένα, για την ακολουθία των μεταβλητών υψηλότερου επιπέδου (ετήσιων μεταβλητών), η οποία θεωρείται στάσιμη, χρειάζεται ένα σύνολο τέτοιων παραμέτρων. Αντίστοιχα για την ακολουθία των μεταβλητών χαμηλότερου χρειάζονται τόσα σύνολα παραμέτρων όσες είναι και οι μεταβλητές μιας περιόδου (π.χ. για μηνιαίες μεταβλητές χρειάζονται 12 σύνολα παραμέτρων).

5.1.3 Μοντέλο γέννησης ετήσιων μεταβλητών (μεταβλητών υψηλότερου επιπέδου)

Έχει αποδειχτεί ότι οι ετήσιες χρονοσειρές εμφανίζουν το φαινόμενο της εμμονής (presence), δηλαδή την τάση ομαδοποίησης των ετών υψηλής υδροφορίας και αντίστοιχα των περιόδων χαμηλής υδροφορίας. Το φαινόμενο αυτό μπορεί εν μέρει να περιγραφεί και να μοντελοποιηθεί μαθηματικά με ένα μη μηδενικό συντελεστή αυτοσυσχέτισης των ετήσιων τιμών της υπόψη μεταβλητής. Ωστόσο, η πληρέστερη μαθηματική αναπαράσταση της μακροπρόθεσμης εμμονής απαιτεί την εισαγωγή της λεγόμενης παραμέτρου Hurst (από το όνομα του ερευνητή που την εισήγαγε και τη μελέτησε, το 1950) της οποίας ο ορισμός και ο τρόπος εκτίμησης είναι αρκετά πολύπλοκος και ξεφεύγει από τους στόχους αυτού του κειμένου.

Πολλοί ερευνητές έχουν αξιολογήσει συγκριτικά τα πολύπλοκα μοντέλα που αναπαριστούν την μακροπρόθεσμη εμμονή των υδρολογικών χρονοσειρών σε σχέση με απλούστερα μοντέλα που αναπαριστούν μόνο συντελεστές αυτοσυσχέτισης των χρονοσειρών. Το γενικό συμπέρασμα των ερευνών ήταν ότι τα απλούστερα μοντέλα δίνουν ικανοποιητικά αποτελέσματα σε πρακτικά προβλήματα υδρολογικής προσομοίωσης ενώ η χρήση των πολυπλοκότερων μοντέλων δεν κρίνεται γενικά απαραίτητη. Εξ άλλου, η διαφορά στα αποτελέσματα των δύο τύπων μοντέλων κρίνεται ως αμελητέα αν συγκριθεί με την επίδραση της αβεβαιότητας στην εκτίμηση των παραμέτρων και στους δύο τύπους μοντέλων.

Στο δικό μας μοντέλο έχει υιοθετηθεί το μοντέλο AR(1) που διατηρεί ακριβώς το σύνολο στατιστικών παραμέτρων που περιγράφηκε στο προηγούμενο εδάφιο, ενώ άμεσα υλοποιείται και το μοντέλο τύπου AR(0).

5.1.4 Μοντέλο γέννησης μεταβλητών χαμηλότερου επιπέδου

Όπως προαναφέρθηκε, η γέννηση των μεταβλητών χαμηλότερου επιπέδου, π.χ. μηνιαίων, γίνεται σε δεύτερη φάση και σε τρόπο ώστε το ετήσιο άθροισμα των μεταβλητών να είναι ίσο με την γνωστή τιμή της ετήσιας μεταβλητής. Η τελευταία είναι γνωστή δεδομένου ότι έχει προηγηθεί η εφαρμογή του μοντέλου γέννησης των ετήσιων μεταβλητών. Κατά συνέπεια αυτό που χρειάζεται εδώ είναι ένα μοντέλο επιμερισμού, δηλαδή ένα μοντέλο που να επιμερίζει ένα άθροισμα στις συνιστώσες του.

Ένα τέτοιο μοντέλο είναι το απλό μοντέλο επιμερισμού. Ας σημειωθεί ότι το μοντέλο αυτό δεν είναι μοντέλο της βιβλιογραφίας, αλλά αναπτύχθηκε εξ ολοκλήρου από την ερευνητική

ομάδα στα πλαίσια της παρούσας φάσης του ερευνητικού έργου. Η μεθοδολογία που ακολουθείται στο μοντέλο αυτό βασίζεται κατ' αρχήν σε παρόμοια εργασία που έγινε στην πρώτη φάση του έργου [Κουτσογιάννης, 1992]. Η νέα εργασία αποτελεί εξέλιξη της προηγούμενης τόσο σε θεωρητικό όσο και σε προγραμματιστικό επίπεδο. Θεωρητικά είναι απλούστερη σε σύλληψη και ταυτόχρονα εξίσου αποτελεσματική. Προγραμματιστικά έχει γίνει μετάβαση από το περιβάλλον DOS στο περιβάλλον Windows και έτσι το πρόγραμμα είναι πολύ πιο φιλικό προς το χρήστη.

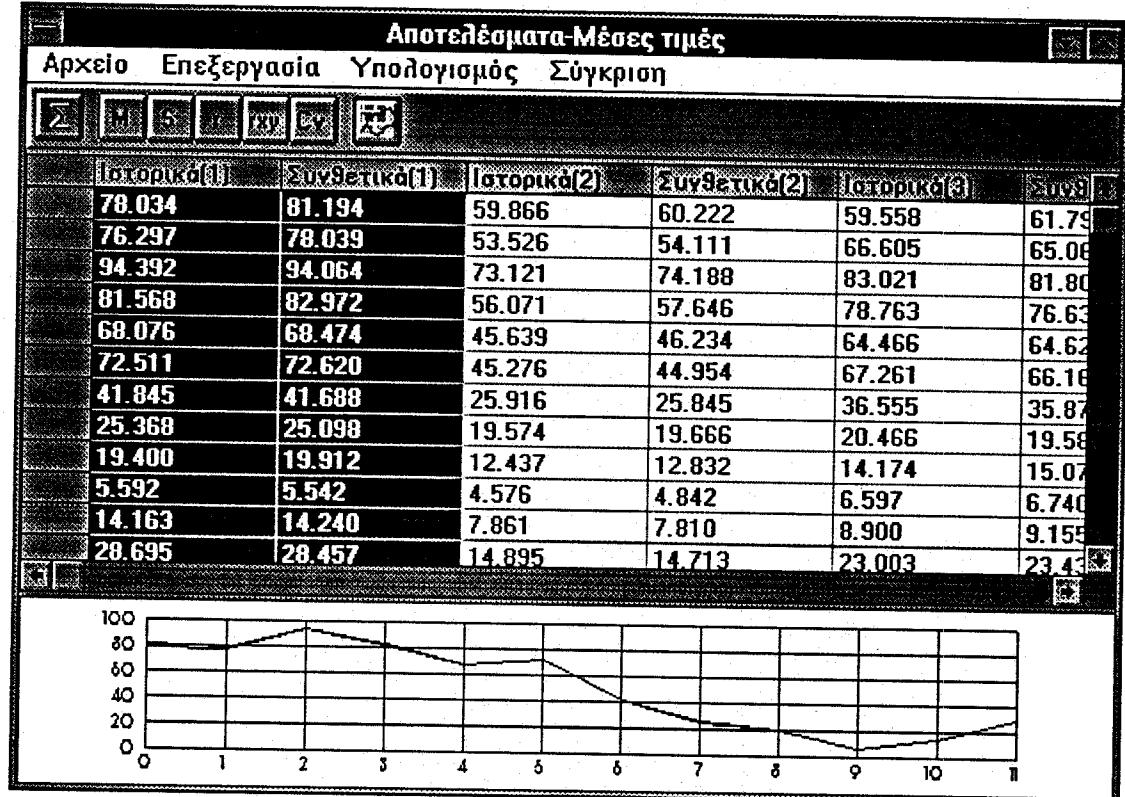
Το απλό μοντέλο επιμερισμού διατηρεί, εκτός από την αθροιστική ιδιότητα σε σχέση με τη μεταβλητή υψηλότερου επιπέδου, και το σύνολο στατιστικών παραμέτρων που περιγράφηκε στο εδάφιο 5.1.2. Τονίζεται ότι στο απλό μοντέλο επιμερισμού δεν χρειάζεται εισαγωγή άλλων δευτερευουσών παραμέτρων, όπως συμβαίνει με άλλα μοντέλα επιμερισμού της βιβλιογραφίας. Εξ άλλου, με το ακολουθούμενο σχήμα προσομοίωσης δεν είναι απαραίτητη λεπτομερέστερη περιγραφή της στατιστικής δομής των μεταβλητών χαμηλότερου επιπέδου, που ενδεχομένως θα χρειάζονταν αν ακολουθούσαμε ένα αυστηρά σειριακό σχήμα προσομοίωσης, γιατί στην τελευταία περίπτωση θα ήταν πιθανή η συσσώρευση σφαλμάτων στη χρονική κλίμακα υψηλότερου επιπέδου (ετήσια).

Οι μεταβλητές χαμηλότερου επιπέδου (π.χ. μηνιαίες) αρχικά γεννιούνται από ένα μοντέλο PAR(1) ανεξάρτητα από τις ήδη γνωστές μεταβλητές υψηλότερου επιπέδου (π.χ. ετήσιες). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το άθροισμα των μεταβλητών χαμηλότερου επιπέδου για τη χρονική διάρκεια μιας περιόδου να μην ισούται με την αντίστοιχη μεταβλητή υψηλότερου επιπέδου. Την προκύπτουσα διαφορά καλούνται να μειώσουν δύο διαφορετικές τεχνικές: (α) η επανάληψη και (β) η διόρθωση. Έτσι, το πρόγραμμα, αντί να κάνει μια μόνο γέννηση τιμών των μεταβλητών χαμηλότερου επιπέδου μιας περιόδου, γεννά περισσότερες σειρές και τελικά κρατά αυτή που δίνει το μικρότερο σφάλμα σε σχέση με τις ήδη γνωστές τιμές των μεταβλητών υψηλότερου επιπέδου. Σε αυτή τη σειρά επεμβαίνει στη συνέχεια η διαδικασία διόρθωσης, η οποία μηδενίζει το παραπάνω σφάλμα, τροποποιώντας κατάλληλα τις τιμές των μεταβλητών χαμηλότερου επιπέδου. Η τροποποίηση γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να μην εισάγεται μεροληψία στις στατιστικές παραμέτρους που ενδιαφέρουν. Ο χρήστης καθορίζει το μέγιστο αριθμό επαναλήψεων και το ανώτατο επιτρεπτό σφάλμα. Το πρόγραμμα σταματάει τις επαναλήψεις είτε όταν το σφάλμα γίνει μικρότερο από το επιτρεπτό είτε όταν φτάσει το μέγιστο αριθμό επαναλήψεων. Επίσης, ο χρήστης καθορίζει ποια διορθωτική διαδικασία θα ακολουθήσει το πρόγραμμα, επιλέγοντας μία από τις τρεις διαθέσιμες επιλογές.

Αναλυτική περιγραφή του απλού μοντέλου επιμερισμού, ως προς τη θεωρητική του βάση και τους αλγορίθμους του, δίνεται στο Τεύχος 12 (Παράρτημα 1).

5.1.5 Δομή και λειτουργία του προγράμματος

Το σχήμα προσομοίωσης που περιγράφηκε στα προηγούμενα εδάφια υλοποιείται από το πρόγραμμα H/Y SIDIS, το οποίο αποτελεί ένα από τα παραδοτέα του παρόντος ερευνητικού έργου. Όπως προαναφέρθηκε, το πρόγραμμα αυτό έχει αναπτυχθεί και λειτουργεί στο υπολογιστικό περιβάλλον WINDOWS (βλ. τυπική εικόνα οθόνης υπολογιστή στο Σχ. 5.1).



Σχ. 5.1 Πρόγραμμα SIDIS: τυπική εικόνα οθόνης υπολογιστή.

Συνοπτικά, οι εργασίες που εκτελεί το πρόγραμμα είναι οι ακόλουθες:

- Διαχείριση αρχείων ιστορικών και συνθετικών δεδομένων και αρχείων παραμέτρων (άνοιγμα, κλείσιμο, φύλαξη, εισαγωγή και διόρθωση δεδομένων των αρχείων).
- Υπολογισμός στατιστικών χαρακτηριστικών ιστορικών δεδομένων και εκτίμηση παραμέτρων μοντέλου.
- Γέννηση ετήσιων συνθετικών χρονοσειρών σε μία ή περισσότερες θέσεις.
- Γέννηση μηνιαίων συνθετικών χρονοσειρών σε μία ή περισσότερες θέσεις, είτε με επιμερισμό των ετήσιων χρονοσειρών, είτε ανεξάρτητα από αυτές.
- Παρουσίαση σε πινακοποιημένη μορφή και γραφική απεικόνιση σε διάφορες μορφές των δεδομένων, των στατιστικών χαρακτηριστικών τους και των παραμέτρων, με δυνατότητα σύγκρισης των ιστορικών και συνθετικών δεδομένων.

Αναλυτικότερη περιγραφή των παραπάνω λειτουργιών, οδηγίες χρήσης του προγράμματος, καθώς και παραδείγματα εφαρμογής δίνονται στο Τεύχος 12.

5.2 Μοντέλο κατάρτισης όμβριων καμπυλών

Η εργασία ανάπτυξης του μοντέλου όμβριων καμπυλών και της εφαρμογής του στη Στερεά Ελλάδα εμπίπτει μόνον εμμέσως στο αντικείμενο της διαχείρισης των υδατικών πόρων της Στερεάς Ελλάδας και γι' αυτό δεν συνδέεται άμεσα με τα άλλα τμήματα του ερευνητικού έργου, αλλά αποτελεί αυτόνομο τμήμα. Η ένταξή της στη δεύτερη φάση του ερευνητικού έργου έγινε μετά από πρόταση του ΥΠΕΧΩΔΕ/Δ6, προκειμένου να καλυφθούν γενικότερες

ανάγκες σε μελέτες αποχέτευσης της Στερεάς Ελλάδας. Η εργασία περιέλαβε τις ακόλουθες τέσσερις φάσεις:

1. Θεωρητική ανάπτυξη μεθοδολογίας κατάρτισης όμβριων καμπυλών.
2. Ανάπτυξη λογισμικού για την κατάρτιση όμβριων καμπυλών (πρόγραμμα OMBRE).
3. Θεωρητική ανάπτυξη μεθοδολογίας για την διερεύνηση της γεωγραφικής μεταβολής των παραμέτρων των όμβριων καμπυλών με συνυπολογισμό και των δεδομένων από βροχόμετρα.
4. Εφαρμογή στην περιοχή της Στερεάς Ελλάδας.

Οι εργασίες αυτές συνοψίζονται στα εδάφια που ακολουθούν, ενώ αναλυτικότερα περιγράφονται στο Τεύχος 13.

5.2.1 Μεθοδολογία κατάρτισης όμβριων καμπυλών

Οι καμπύλες έντασης-διάρκειας-περιόδου επαναφοράς βροχόπτωσης, ή όμβριες καμπύλες, όπως απλούστερα έχει καθιερωθεί να αποκαλούνται στην ελληνική τεχνική ορολογία, αποτελούν ένα από τα βασικότερα εργαλεία του υδρολόγου μηχανικού για το σχεδιασμό αντιπλημμυρικών έργων. Πρόκειται για απλές αναλυτικές ή γραφικές εκφράσεις της μέγιστης έντασης βροχής i συναρτήσει της διάρκειας d και της περιόδου επαναφοράς T . Για την κατάρτιση των όμβριων καμπυλών πρέπει να είναι διαθέσιμες ιστορικές σειρές μέγιστων εντάσεων βροχής για ένα σύνολο k διαρκειών $d_j, j = 1, \dots, k$, ξεκινώντας από ελάχιστη διάρκεια ίση με την ευκρίνεια Δ των παρατηρήσεων (π.χ. 5-10 min για βροχογράφο ημερήσιας ταινίας και 1 h για βροχογράφο εβδομαδιαίας ταινίας) και φθάνοντας μέχρι τη μέγιστη διάρκεια βροχής που ενδιαφέρει στο υπό εξέταση πρόβλημα (π.χ. 24 ή 48 h).

Το μοντέλο που αναπτύχθηκε χρησιμοποιεί τη γενική αναλυτική έκφραση όμβριων καμπυλών

$$i = \frac{a(T)}{b(d)} \quad (5.1)$$

όπου οι $a(T)$ και $b(d)$ είναι συναρτήσεις της περιόδου επαναφοράς T και της διάρκειας d , αντίστοιχα. Η συνάρτηση του παρονομαστή $b(d)$ παίρνει μια από τις ακόλουθες διαδεδομένες μορφές:

$$b(d) = (d + f)^n \quad b(d) = d^n \quad b(d) = d + f \quad (5.2)$$

όπου f και n παράμετροι προς προσδιορισμό. Η δεύτερη και τρίτη από τις πιο πάνω μορφές αποτελούν ειδικές περιπτώσεις της πρώτης (για $f = 0$ και $n = 1$, αντίστοιχα).

Η συνάρτηση του αριθμητή $a(T)$ εξαρτάται από τον τύπο της συνάρτησης κατανομής που νιοθετείται για τη μέγιστη ένταση βροχής $i(d)$. Στο μοντέλο μπορεί να γίνει επιλογή ανάμεσα στις ακόλουθες τυπικές συναρτήσεις κατανομής:

- Κατανομή Gumbel
- Κατανομή γάμα

- Κατανομή Log Pearson III
- Κατανομή Pareto
- Εκθετική κατανομή

Ανάλογα με τη συνάρτηση κατανομής που θα επιλεγεί, προκύπτει και διαφορετική έκφραση της συνάρτησης $a(T)$ (π.χ. λογαριθμική, διπλή λογαριθμική, έκφραση δύναμης, κτλ.). Διεξοδική ανάλυση για τις πιο πάνω συναρτήσεις κατανομής καθώς και τις παραμέτρους και τον τρόπο εκτίμησής τους, δίνεται στο Τεύχος 13 (Παράρτημα 1).

Για την εκτίμηση των παραμέτρων της εξίσωσης όμβριων καμπυλών αναπτύχθηκαν οι ακόλουθες τρεις μέθοδοι:

1. *Καθολική εκτίμηση*: Η μέθοδος αυτή εκτιμά ταυτόχρονα (σε ένα στάδιο) το σύνολο των παραμέτρων των όμβριων καμπυλών ελαχιστοποιώντας το συνολικό σφάλμα των όμβριων καμπυλών σε σχέση με τα ιστορικά δεδομένα.
2. *Εκτίμηση με ενοποίηση διαφορών*: Η μέθοδος αυτή υπολογίζει το σύνολο των παραμέτρων των όμβριων καμπυλών σε δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο υπολογίζονται οι παράμετροι της συνάρτησης $b(d)$ και στο δεύτερο αυτές της $a(T)$.
3. *Εμπειρική εκτίμηση*: Η μέθοδος αυτή διαφοροποιείται από τις προηγούμενες κυρίως στο γεγονός ότι η παράσταση του αριθμητή δεν αντιμετωπίζεται ως αντίστροφη συνάρτηση κατανομής, αλλά ως καθαρώς εμπειρική έκφραση. Και αυτή η μέθοδος εφαρμόζεται σε δύο ξεχωριστά στάδια. Το πρώτο στάδιο αντιστοιχεί στην προσαρμογή μιας συνάρτησης κατανομής ξεχωριστά για κάθε διάρκεια και το δεύτερο στην εκτίμηση των παραμέτρων της εξίσωσης (5.1)

Αναλυτική τεκμηρίωση των τριών μεθόδων περιέχεται στο Τεύχος 13 (Παράρτημα 1). Σημειώνεται ότι οι δύο πρώτες μέθοδοι είναι πρωτότυπες, αφού αναπτύχθηκαν στα πλαίσια αυτού του ερευνητικού έργου, και συνιστώνται ως ακριβέστερες και συνεπέστερες προς την πιθανοτική θεώρηση των μέγιστων εντάσεων βροχής. Η μέθοδος της εμπειρικής εκτίμησης στηρίζεται σε παλιότερες τεχνικές τις οποίες έχει κωδικοποιήσει και συστηματοποιήσει κατάλληλα.

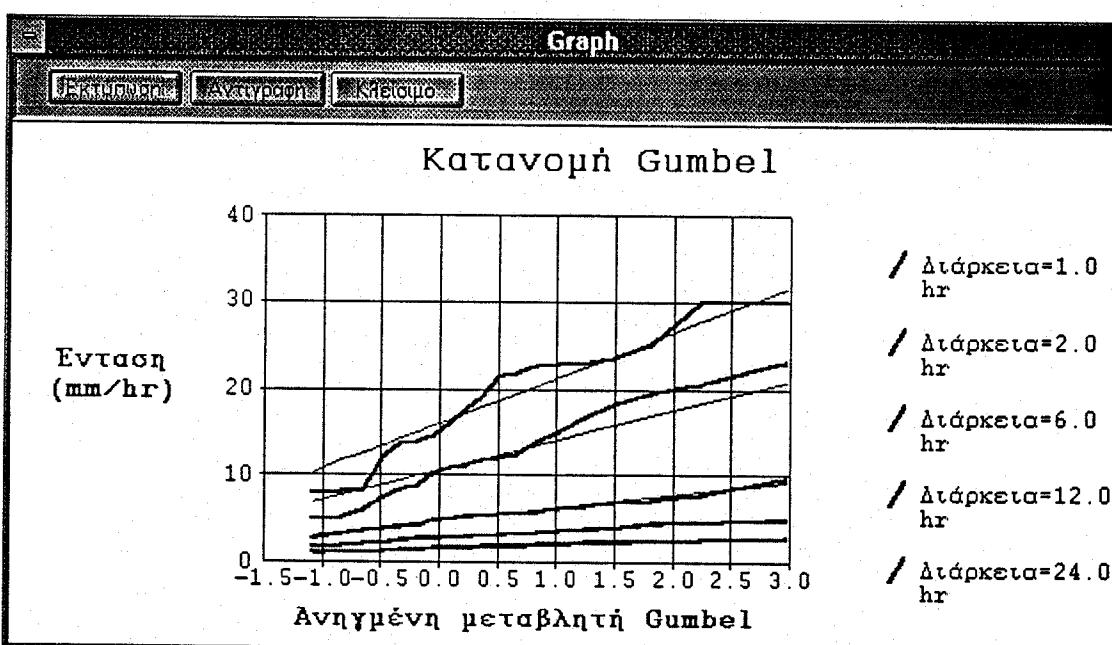
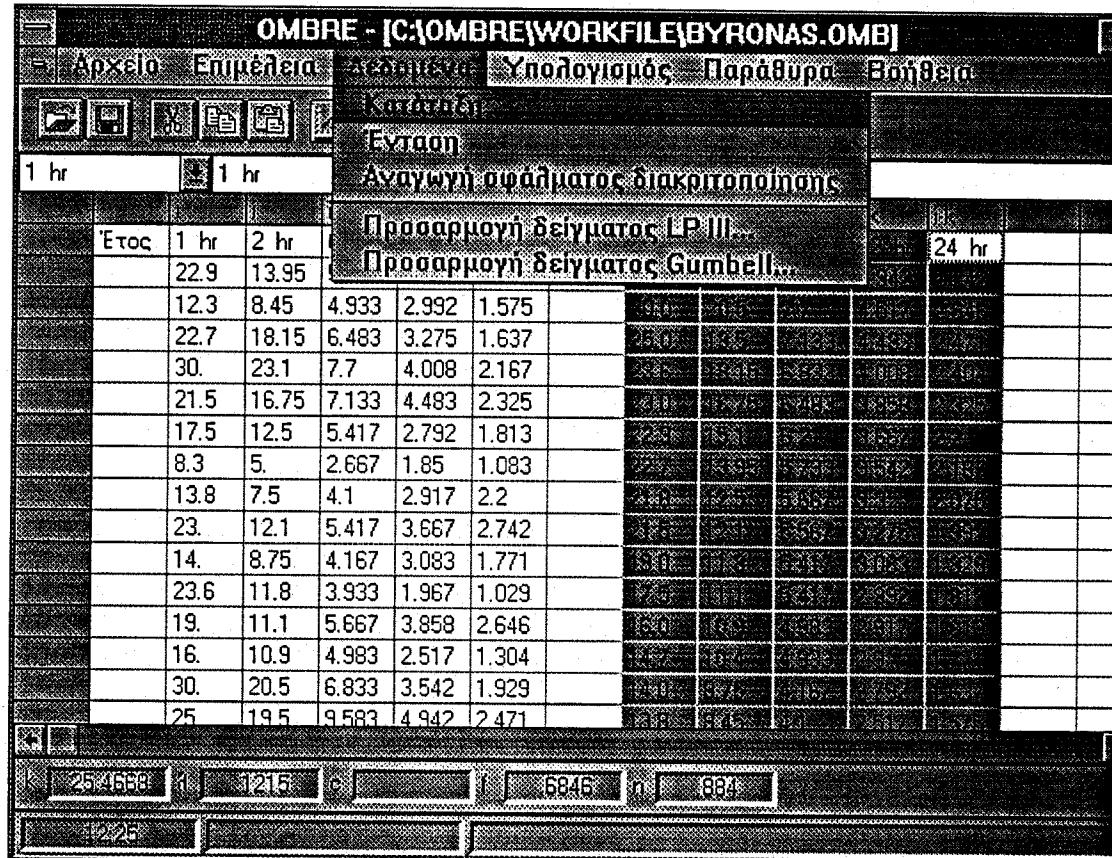
5.2.2 Γενική περιγραφή του προγράμματος OMBRE

Το πρόγραμμα έχει αναπτυχθεί σε περιβάλλον MS-Windows και λειτουργεί με διαδραστική (interactive) μορφή. Βάση της λειτουργίας του προγράμματος είναι ένα φύλλο εργασίας (worksheet) στο οποίο εισάγονται τα πρωτογενή δεδομένα. Στο ίδιο φύλλο εργασίας γίνονται οι υπολογισμοί των μετασχηματισμένων δεδομένων (π.χ. εντάσεις βροχής από ύψη, ανηγμένα δεδομένα, κατάταξη δειγμάτων, κτλ.) καθώς και η εκτίμηση των παραμέτρων των όμβριων καμπυλών. Το πρόγραμμα δίνει ακόμη τη δυνατότητα:

- Μεταφοράς των πινακοποιημένων δεδομένων από ή προς άλλο πρόγραμμα (π.χ. Excel)
- Κατασκευής διαγραμμάτων όμβριων καμπυλών ή πιθανότητας, τα οποία επίσης μπορούν να μεταφερθούν σε άλλο πρόγραμμα

- Σύνταξης αναφορών με τα πρωτογενή δεδομένα και τα αποτελέσματα, οι οποίες και πάλι μπορούν να μεταφερθούν σε άλλο πρόγραμμα (π.χ. Word).

Παραδείγματα τυπικών εικόνων οθόνης υπολογιστή του προγράμματος φαίνονται στο Σχ. 5.2.



Σχ. 5.2 Πρόγραμμα OMBRE: τυπικές εικόνες από οθόνες υπολογιστή.

5.2.3 Μεθοδολογία διερεύνησης της γεωγραφικής μεταβολής των όμβριων καμπυλών με συνεκτίμηση και των δεδομένων από βροχόμετρα

Σε προηγμένες χώρες το θέμα της κατάρτισης όμβριων καμπυλών έχει αντιμετωπιστεί μαζικά για εκτεταμένες γεωγραφικές περιοχές και κατασκευάστηκαν έτσι χάρτες που δίνουν έτοιμα στοιχεία για κάθε περιοχή, βάσει των οποίων μπορεί να καταρτιστούν εύκολα όμβριες καμπύλες σε οποιοδήποτε σημείο, χωρίς να απαιτείται να ανατρέξει κανείς στα πρωτογενή βροχογραφικά δεδομένα.

Μια πρώτη προσπάθεια διερεύνησης της γεωγραφικής μεταβολής των όμβριων καμπυλών στην Ελλάδα και κατασκευής ανάλογων χαρτών, έγινε στα πλαίσια αυτού του ερευνητικού έργου. Πρώτο στάδιο για μια τέτοια γεωγραφική μελέτη είναι η κατάρτιση σημειακών όμβριων καμπυλών, η οποία προϋποθέτει την ύπαρξη μετρήσεων της βροχής με υψηλή χρονική ευκρίνεια (π.χ. από μερικά λεπτά μέχρι μία ώρα). Τέτοια ευκρίνεια παρέχεται από τις ταινίες αυτογραφικών οργάνων (βροχογράφων) ή από τους πιο σύγχρονους ψηφιακούς αισθητήρες του ύψους βροχής. Τα δεδομένα από βροχόμετρο, που κανονικά έχουν ευκρίνεια μίας ημέρας δεν προσφέρονται για την εξαγωγή όμβριων καμπυλών. Ωστόσο, σε μια γενικότερη διερεύνηση της χωρικής μεταβολής των όμβριων καμπυλών είναι δυνατό να συναξιολογηθούν και τα δεδομένα των βροχομέτρων, σύμφωνα με τη μεθοδολογία που αναπτύχθηκε. Αυτό προσφέρει μεγαλύτερη αξιοπιστία στη γεωγραφική διερεύνηση, δεδομένου ότι το δίκτυο των βροχομέτρων είναι πολύ πυκνότερο από το δίκτυο των βροχογράφων. Από την εφαρμογή της προτεινόμενης μεθόδου στη Στερεά Ελλάδα προέκυψαν ενθαρρυντικά αποτελέσματα και φάνηκε ότι είναι δυνατή η κατασκευή χαρτών ανάλογων με τους παραπάνω, βάσει των οποίων μπορούν να εξαχθούν όμβριες καμπύλες στην περιοχή μελέτης χωρίς αναφορά στα πρωτογενή δεδομένα.

Η μεθοδολογία που αναπτύξαμε για την αξιοποίηση των δεδομένων των βροχομέτρων έχει ως πρώτο στάδιο την έμμεση παραγωγή όμβριων καμπυλών σε όλες τις θέσεις που υπάρχουν βροχόμετρα. Τα δεδομένα που απαιτούνται για την έμμεση παραγωγή όμβριων καμπυλών σε καθεμιά από τις θέσεις βροχομέτρων είναι:

- Μέγιστα ύψη βροχής 24ωρης ή και 48ωρης διάρκειας από το βροχομετρικό σταθμό μελέτης.
- Μέγιστα ύψη (ή αντίστοιχες εντάσεις) για μεγάλο φάσμα διαρκειών (π.χ. με κατώτερη διάρκεια από μερικά λεπτά μέχρι 1 h και ανώτερη διάρκεια 24 ή 48 h) από τους πλησιέστερους 2-3 βροχομετρικούς σταθμούς οι οποίοι διαθέτουν και βροχογράφο επαρκούς αξιοπιστίας και περιόδου λειτουργίας.

Διευκρινίζεται ότι η μεθοδολογία αναφέρεται σε σημειακές και όχι επιφανειακές όμβριες καμπύλες (η αναγωγή των σημειακών υψών σε επιφανειακά μπορεί να γίνει με τις γνωστές μεθόδους της βιβλιογραφίας). Αν και η μεθοδολογία δεν μπορεί να τυποποιηθεί πλήρως, σε

μορφή μονοσήμαντης πορείας υπολογισμών, σε γενικές γραμμές μπορούμε να θεωρήσουμε ότι περιλαμβάνει τα ακόλουθα βήματα:

1. Κατάρτιση των όμβριων καμπυλών από τα δεδομένα των βροχογράφων
2. Συγκριτική μελέτη των παραμέτρων των παραπάνω καμπυλών και επιλογή παραμέτρων του σταθμού μελέτης.
3. Εκτίμηση υπόλοιπων παραμέτρων του σταθμού μελέτης με βάση τα δεδομένα των βροχομέτρων.

Αναλυτικότερα, τα παραπάνω βήματα περιγράφονται στο Τεύχος 13 (Παράρτημα 2).

5.2.4 Εφαρμογή της μεθόδου στη Στερεά Ελλάδα

Εκτεταμένη εφαρμογή της μεθοδολογίας στην περιοχή της Στερεάς Ελλάδας έγινε από τον Κοζώνη [1995]. Η εφαρμογή αυτή αποσκοπούσε περισσότερο στον έλεγχο της προτεινόμενης μεθοδολογίας και λιγότερο στην κατασκευή τελικών χαρτών που θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν επιχειρησιακά για την έμμεση κατάρτιση όμβριων καμπυλών σε οποιαδήποτε θέση της Στερεάς Ελλάδας. Πάντως, τα αποτελέσματα της εφαρμογής έδειξαν ότι (α) η προτεινόμενη μέθοδος είναι ικανοποιητική, (β) οι περισσότερες από τις παραμέτρους των όμβριων καμπυλών μπορούν να θεωρηθούν σταθερές σε μεγάλες γεωγραφικές περιοχές και να εκτιμηθούν από το σχετικώς αραιό δίκτυο βροχογράφων, (γ) οι υπόλοιπες παράμετροι μπορούν να εξαχθούν με βάση δεδομένα από το πυκνότερο δίκτυο βροχομέτρων, και (δ) η προτεινόμενη μέθοδος βοηθά στην κατασκευή χαρτών για την έμμεση κατάρτιση όμβριων καμπυλών χωρίς αναδρομή στα πρωτογενή δεδομένα.

Οι χάρτες που αναδημοσιεύονται από την εργασία του Κοζώνη [1995] (Σχ. 5.3 και Σχ. 5.4) δεν μπορούν να θεωρηθούν ως τελικοί επιχειρησιακά αξιοποίησματα αλλά ως ένα πρώτο βήμα προς την κατεύθυνση της κατασκευής ενός άτλαντα της χώρας. Κάτι τέτοιο βέβαια προϋποθέτει τη συστηματική ψηφιοποίηση των ταινιών των βροχογράφων της χώρας, πράγμα που αναμένεται να υλοποιηθεί στα πλαίσια του Σταδίου 2 του Προγράμματος ΥΔΡΟΣΚΟΠΙΟ, αν τελικά χρηματοδοτηθεί και ολοκληρωθεί το στάδιο αυτό.

Στην εν λόγω πιλοτική εργασία χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα 13 σταθμών με βροχογράφο, σχεδόν ομοιόμορφα κατανεμημένων στα υδατικά διαμερίσματα της Στερεάς Ελλάδας, και 66 σταθμών με βροχόμετρο, τα δεδομένα των οποίων έχουν αρχειοθετηθεί στα πλαίσια του παρόντος ερευνητικού έργου. Οι διάρκειες που επιλέχθηκαν για τα δείγματα των βροχογράφων είναι 1, 2, 6, 12, 24 και 48 h και για τα δείγματα των βροχομέτρων 24 και 48 h.

Για την έκφραση των όμβριων καμπυλών χρησιμοποιήθηκε η κατανομή Gumbel, η οποία έδειξε να προσαρμόζεται ικανοποιητικά στο σύνολο των δειγμάτων. Η τελική έκφραση όμβριας καμπύλης είναι

$$i = \frac{a(T)}{b(d)} = \frac{\frac{1}{\lambda} \left\{ c - \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right] \right\}}{d^n} \quad (5.3)$$

που διαθέτει τρεις μόνο παραμέτρους, τις n , c και λ .

Στο βήμα 2 της παραπάνω μεθοδολογίας (υποπερίπτωση 2.2) φάνηκε ότι οι παράμετροι n και c μπορούν να θεωρηθούν σταθερές ανά ζώνη (υδατικό διαμέρισμα), με τιμές που φαίνονται στο Σχ. 5.3. Προχωρώντας στο βήμα 3 της πιο πάνω μεθοδολογίας (υποπερίπτωση 3.2) υπολογίστηκε για καθένα από τους βροχομετρικούς σταθμούς η παράμετρος λ και στη συνέχεια ελέγχθηκε η προσαρμογή της εξίσωσης (5.3) στα δεδομένα, είτε γραφικά είτε με στατιστικές δοκιμές (χ^2). Τα αποτελέσματα του ελέγχου προσαρμογής ήταν γενικώς ικανοποιητικά.

Εναλλακτικά εξετάστηκε και η περίπτωση καθορισμού μιας σταθερής παραμέτρου, της n , από το βήμα 2 (υποπερίπτωση 2.2) και εκτίμησης των άλλων δύο παραμέτρων c και λ στο βήμα 3 (υποπερίπτωση 3.1). Τα αποτελέσματα σε αυτή την περίπτωση δεν είχαν ουσιαστικές διαφορές από αυτά της προηγούμενης, γι' αυτό και τελικά υιοθετήθηκε η πρώτη απλούστερη εκδοχή των δύο σταθερών παραμέτρων ανά ζώνη (υδατικό διαμέρισμα).

Αφού τελικά σε κάθε υδατικό διαμέρισμα υπάρχει μόνο μία παράμετρος, η λ , που μεταβάλλεται από θέση σε θέση αρκεί ένας μόνος χάρτης για την απεικόνιση της γεωγραφικής μεταβολής των όμβριων καμπυλών. Ο χάρτης αυτός αποφασίστηκε να δοθεί με τη μορφή των ισοϋετίων για διάρκεια βροχής 24 h και περίοδο επαναφοράς 5 (Σχ. 5.4). Για να κατασκευαστούν οι ισοϋέτιες υπολογίστηκε προηγουμένως σε κάθε θέση βροχομετρικού σταθμού το ύψος της μέγιστης 24ωρης βροχόπτωσης για $T = 5$, με βάση την (5.3) και στη συνέχεια χαράχτηκαν οι ισοϋέτιες με τη βοήθεια του συστήματος γεωγραφικής πληροφορίας.

Χρησιμοποιώντας το χάρτη του Σχ. 5.4 μπορούμε να εφαρμόσουμε την αντίστροφη διαδικασία και να εκτιμήσουμε την όμβρια καμπύλη σε οποιοδήποτε σημείο της Στερεάς Ελλάδας. Συγκεκριμένα, εντάσσουμε το σημείο σε μία από τις τρεις ζώνες του Σχ. 5.3 και αποκτούμε έτσι τις τιμές των παραμέτρων n και c . Στη συνέχεια εντοπίζουμε το σημείο στο χάρτη του Σχ. 5.4 και βρίσκουμε την τιμή $h_5(24)$ του μέγιστου 24ωρου ύψους βροχής για περίοδο επαναφοράς $T = 5$. Τέλος, υπολογίζουμε την παράμετρο λ από την ακόλουθη σχέση, η οποία είναι συνέπεια της (5.3):

$$\lambda = \frac{d^{1-n}}{h_5(24)} [c - \ln(-\ln 0.8)] \quad (5.4)$$

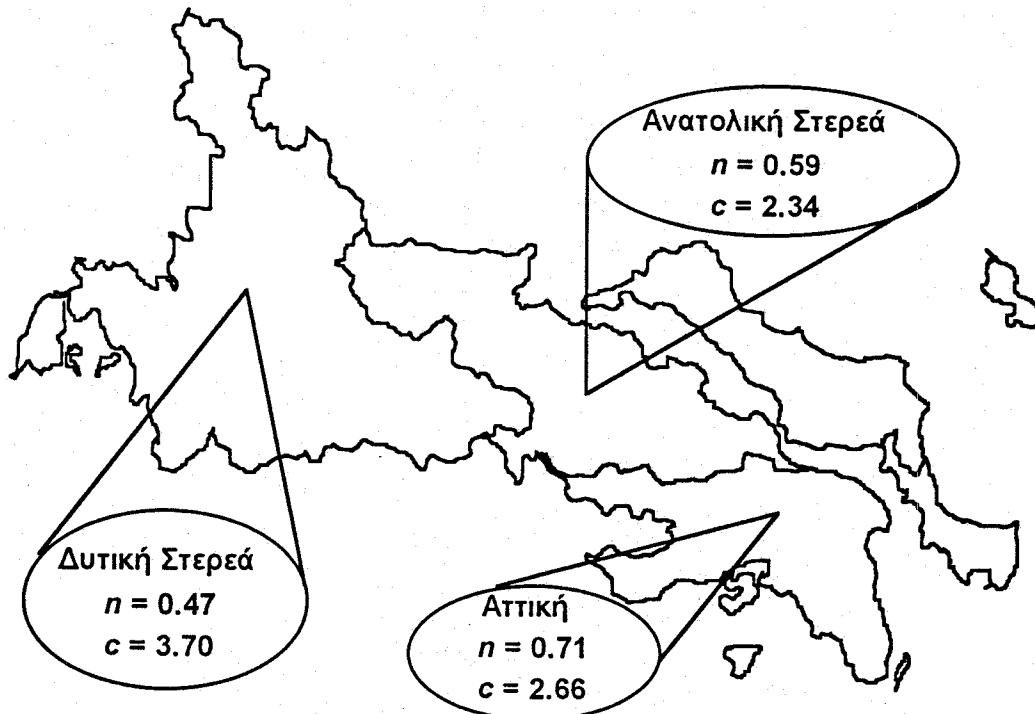
Η τελική έκφραση της όμβριας καμπύλης για το υπόψη σημείο προκύπτει με αντικατάσταση στην (5.3) των τιμών των παραμέτρων που καθορίστηκαν με τον παραπάνω τρόπο.

5.3 Μοντέλα βελτιστοποίησης της διαχείρισης υδατικών συστημάτων

Σύμφωνα με το γενικό προγραμματισμό του ερευνητικού έργου, η ανάπτυξη διαχειριστικών μοντέλων είχε ενταχθεί στην τρίτη και τελευταία φάση του έργου. Ωστόσο, ήδη από την πρώτη φάση είχε επισημανθεί ότι λόγω της μεγάλης γεωγραφικής έκτασης της Στερεάς Ελλάδας, των πολλών λεκανών απορροής που υπάρχουν και των πολύπλοκων διασυνδέσεων ανάμεσα σε αυτές ή και λεκάνες άλλων υδατικών διαμερισμάτων (π.χ. με το υδατικό διαμέ-

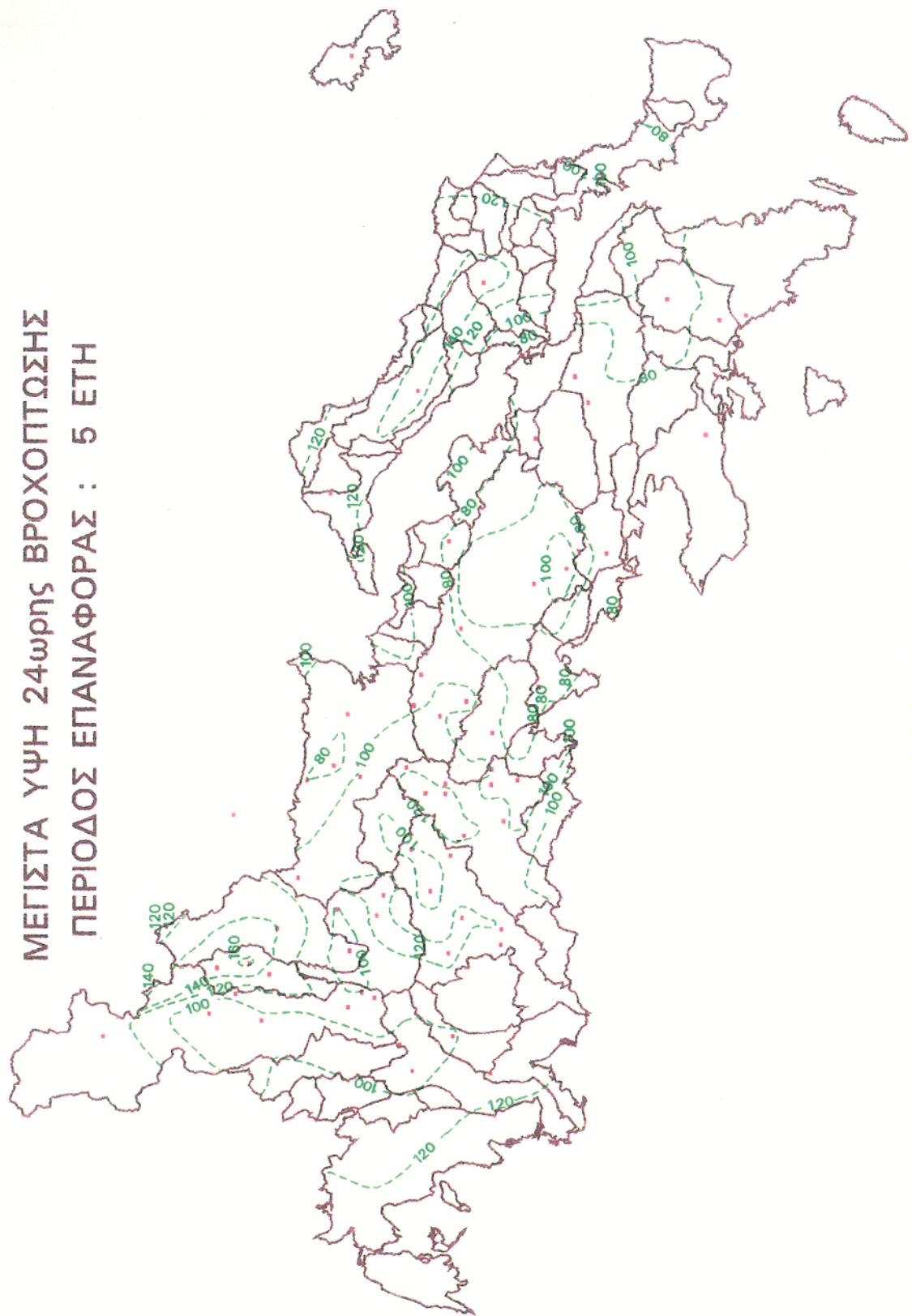
ρισμα της Θεσσαλίας λόγω της σχεδιαζόμενης εκτροπής του Αχελώου), η προσέγγιση στο θέμα της διαχείρισης των υδατικών πόρων της Στερεάς Ελλάδας έχει πολύ μεγάλες δυσκολίες. Έτσι, κρίθηκε απαραίτητο και προβλέφτηκε στην απόφαση ανάθεσης να ξεκινήσει η προσπάθεια ανάπτυξης διαχειριστικών μοντέλων από τη δεύτερη φάση.

Η σχετική εργασία ξεκίνησε με μια συγκριτική βιβλιογραφική επισκόπηση των κυριότερων μεθόδων σχετικά με θέματα βελτιστοποίησης σε προβλήματα υδατικών πόρων, η οποία δημοσιεύεται στο Τεύχος 17. Ειδικότερα εξετάστηκαν οι κλασικές μέθοδοι του Γραμμικού και Δυναμικού Προγραμματισμού καθώς και διάφορες παραλλαγές και επεκτάσεις τους που καλύπτουν κυρίως το θέμα της υδρολογικής αβεβαιότητας. Πιο συγκεκριμένα, οι επεκτάσεις αυτές είναι ο Στοχαστικός Γραμμικός Προγραμματισμός, ο Γραμμικός Προγραμματισμός με Πιθανοτικές Περιοριστικές Συνθήκες, ο Στοχαστικός Δυναμικός Προγραμματισμός και οι γραμμικοί κανόνες αποφάσεων. Τέλος η επισκόπηση περιέλαβε και δύο νεότερες μεθόδους, την Επεκτεταμένη Γραμμική Δευτεροβάθμια Γκαουσιανή μέθοδο ελέγχου (Extended Linear Quadratic Gaussian – ELQG – control method) και τη μέθοδο του συνδυασμού προσομοίωσης και βελτιστοποίησης. Η πρώτη αποτελεί ένα παράδειγμα μεταφοράς, στην επιστήμη των υδατικών πόρων, κλασικών αναλυτικών μεθόδων αυτομάτου ελέγχου. Η δεύτερη αποτελεί μια απλή και εύχρηστη μέθοδο η οποία αποσκοπεί στη βελτιστοποίηση των παραμέτρων ενός παραμετρικού κανόνα λειτουργίας μέσω πολλαπλών προσομοιώσεων του υπό μελέτη συστήματος. Αυτές οι δύο νεότερες μέθοδοι έχουν υιοθετηθεί και χρησιμοποιηθεί στην παρούσα φάση του ερευνητικού έργου για τη μοντελοποίηση δύο βασικών συστημάτων υδατικών πόρων της Στερεάς Ελλάδας, όπως αναλυτικότερα περιγράφεται στα εδάφια που ακολουθούν.



Σχ. 5.3 Τιμές των σταθερών παραμέτρων ανά ζώνη

ΜΕΓΙΣΤΑ ΥΨΗ 24ωρης βροχόπτωσης
ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ : 5 ΕΤΗ



Σχ. 5.4 Ισοϋέτιες μέγιστης 24ωρης βροχόπτωσης για περίοδο επαναφοράς $T = 5$.

5.3.1 Επιλογή σχήματος μοντέλων για τα δύο βασικά υδατικά συστήματα της Στερεάς Ελλάδας

Όπως προαναφέρθηκε (Ενότητα 2.3) οι κύριοι υδατικοί πόροι της Στερεάς Ελλάδας, οι οποίοι έχουν μέχρι σήμερα αξιοποιηθεί με συστηματικό τρόπο, μπορούν να ενταχθούν σε δύο διακεκριμένα συστήματα. Το πρώτο περιλαμβάνει τους υδατικούς πόρους που έχουν συνδεθεί με την ύδρευση της Αθήνας και συγκεκριμένα τις υδρολογικές λεκάνες Ευήνου, Μόρνου, Βοιωτικού Κηφισού και Υλίκης. Το δεύτερο περιλαμβάνει την υδρολογική λεκάνη του Αχελώου. Από την οπτική του συγκεκριμένου ερευνητικού έργου, τα παραπάνω δύο συστήματα παρουσιάζουν το μεγαλύτερο ερευνητικό, αλλά και επιχειρησιακό, ενδιαφέρον και γι' αυτό έχει εστιαστεί σε αυτά η έρευνά μας.

Τα δύο αυτά συστήματα παρουσιάζουν σαφέστατες διαφορές μεταξύ τους και γι' αυτό η ενιαία αντιμετώπισή τους δεν θεωρείται ως η πλέον ενδεδειγμένη λύση. Στον Πίν. 5.1 δίνονται επιγραμματικά οι κύριες διαφορές τους.

Πίν. 5.1 Κύρια χαρακτηριστικά των δύο βασικών συστημάτων υδατικών πόρων της Στερεάς Ελλάδας.

Χαρακτηριστικά συστήματος	Σύστημα ταμιευτήρων υδροδότησης της Αθήνας	Σύστημα ταμιευτήρων Αχελώου
Διάταξη ταμιευτήρων	Παράλληλη (σε διαφορετικά ποτάμια)	Σε σειρά (στο ίδιο ποτάμι)
Κύρια μορφή αξιοποίησης	Καταναλωτική για ύδρευση Αθήνας	Ενεργειακή
Ενεργειακή εκμετάλλευση	Αρνητική (λόγω αντλήσεων)	Θετική, πολύ σημαντική
Κύρια καταναλωτική χρήση	Υδρευση Αθήνας	Άρδευση Αιτωλοακαρνανίας
Άλλες καταναλωτικές χρήσεις	Άρδευση Κωπαΐδας	Υδρευση Αιτωλοακαρνανίας
Χρήση περιβαλλοντικής διατήρησης	Μικρή	Μεγάλη
Υδατικό δυναμικό ανά μονάδα επιφάνειας	Μικρό στα ανατολικά, μέτριο έως μεγάλο στα δυτικά	Μεγάλο
Ενίσχυση από υπόγεια νερά	Σημαντική	Όχι σημαντική
Απαιτούμενο επίπεδο αξιοπιστίας	Πολύ μεγάλο (π.χ. 99%)	Μέτριο (π.χ. 90%)
Κύριο χαρακτηριστικό απολήψεων	Αυστηρά καθορισμένες από τη ζήτηση	Κυμαινόμενες με στόχο τη μεγιστοποίηση της παραγωγής ενέργειας

Εκτός από τις διαφορές που φαίνονται στον πίνακα, τα δύο συστήματα έχουν και μερικές ακόμη ιδιαιτερότητες. Συγκεκριμένα, το σύστημα υδροδότησης της Αθήνας χαρακτηρίζεται

από τη συμμετοχή της φυσικής λίμνης Υλίκης σε χαμηλό υψόμετρο, το οποίο συνεπάγεται σημαντική ενέργεια για άντληση προς την Αθήνα. Αυτό καθιστά κατ' αρχήν δευτερεύουσας προτεραιότητας το νερό της Υλίκης. Ωστόσο, ο μεγάλος ρυθμός υπόγειων διαφυγών από την Υλίκη επιβάλλει την άντληση του νερού απ' αυτή σε πρώτη προτεραιότητα, ώστε να μεγιστοποιηθεί το συνολικό αξιοποιήσιμο δυναμικό του συστήματος. Η αντίφαση αυτή, σε συνδυασμό με την παράλληλη διάταξη των ταμιευτήρων συνθέτει ένα αρκετά πολύπλοκο πρόβλημα βελτιστοποίησης και ικανοποίησης φυσικών περιορισμών. Απ' την άλλη πλευρά, στον Αχελώο δεν υπάρχουν σημαντικοί ανταγωνισμοί χρήσεων και προτεραιοτήτων, δεδομένου ότι οι απολήψεις για άρδευση πραγματοποιούνται κατάντη των ταμιευτήρων. Ωστόσο υπάρχει και εδώ πρόβλημα ελέγχου της λειτουργίας των ταμιευτήρων με στόχο τη βελτιστοποίηση της παραγωγής ενέργειας. Συγκεκριμένα, για μεγαλύτερη απόδοση στην παραγωγή ενέργειας θα πρέπει να εξασφαλίζεται υψηλή στάθμη στους ταμιευτήρες, πράγμα όμως που αυξάνει την πιθανότητα υπερχειλίσεων. Έτσι ο στόχος της βελτιστοποίησης σε αυτή την περίπτωση είναι η εύρεση του βέλτιστου σημείου λειτουργίας των ταμιευτήρων και των συνεπαγόμενων απολήψεων στη διάρκεια του χρόνου. Πέραν όμως αυτού, η πιθανότητα εκτροπής νερού από τον Αχελώο προς τη Θεσσαλία για άρδευση και περιβαλλοντική διατήρηση, εισάγει πλέον ανταγωνισμό χρήσεων και καθιστά το πρόβλημα ελέγχου της λειτουργίας του συστήματος του Αχελώου ιδιαίτερα πολύπλοκο.

Λόγω των παραπάνω διαφορών, στην παρούσα φάση του ερευνητικού έργου υιοθετήσαμε διαφορετική μεθοδολογία προσέγγισης για καθένα από τα δύο υδατικά συστήματα. Αυτό δεν σημαίνει ότι είναι θεωρητικά αδύνατη η ενιαία αντιμετώπισή τους. Ωστόσο, η ευελιξία της χρήσης διαφορετικών μεθοδολογιών-μοντέλων, προσανατολισμένων αλλά και δοκιμασμένων στις ιδιαιτερότητες του κάθε προβλήματος, έχει σημαντικά πλεονεκτήματα που δεν αντισταθμίζονται από το μειονέκτημα της μη ενιαίας αντιμετώπισης. Συγκεκριμένα υιοθετήσαμε τη μέθοδο της συνδυασμένης προσομοίωσης και βελτιστοποίησης για το σύστημα ταμιευτήρων υδροδότησης της Αθήνας και τη μέθοδο ELQG για το σύστημα ταμιευτήρων Αχελώου.

Θα πρέπει ωστόσο να επισημάνουμε ότι η προσπάθεια αυτή και το αποτέλεσμά της, στην παρούσα δεύτερη φάση του έργου, έχει διερευνητικό και όχι άμεσα επιχειρησιακό χαρακτήρα. Αυτός ο χαρακτήρας συμβαδίζει με το γενικότερο προγραμματισμό του ερευνητικού έργου και άλλωστε έχει αποτυπωθεί, όπως προαναφέρθηκε, στην απόφαση ανάθεσής του. Στην επόμενη τρίτη φάση του έργου προγραμματίζεται η ανάπτυξη των μοντέλων σε επιχειρησιακή μορφή.

5.3.2 Πιλοτικό μοντέλο για τη διαχείριση του συστήματος ταμιευτήρων υδροδότησης της Αθήνας

Το μοντέλο του υδατικού συστήματος Ευήνου - Μόρνου - Βοιωτικού Κηφισού - Υλίκης είναι βασισμένο στην θεωρητική εργασία των *Nalbantis and Koutsoyiannis [1995]* (βλ. και Τεύχος 17), η οποία συνδυάζει τη βελτιστοποίηση με την προσομοίωση του συστήματος. Κατά την προσομοίωση, οι αποφάσεις που αφορούν στις απολήψεις από το σύστημα λαμβά-

νονται με βάση ένα παραμετρικό ευρετικό κανόνα. Οι παράμετροι αυτού του κανόνα αποτελούν αντικείμενο βελτιστοποίησης, ο στόχος (αντικειμενική συνάρτηση) της οποίας είναι είτε η μεγιστοποίηση των απολήψεων για δεδομένο επίπεδο αξιοπιστίας, είτε η μεγιστοποίηση της αξιοπιστίας για δεδομένη κατανάλωση, είτε η ελαχιστοποίηση του κόστους για δεδομένη κατανάλωση, είτε, τέλος, συνδυασμός των παραπάνω [βλ. *Nalbantis and Koutroumanis*, 1995, καθώς και Τεύχος 17]. Η βελτιστοποίηση των παραμέτρων απαιτεί πολλαπλές προσομοιώσεις, οι οποίες οδηγούνται μέσω ενός συστήματος τεχνητής νοημοσύνης βασισμένου στους γενετικούς αλγορίθμους. Το συνολικό μοντέλο αυτό περιγράφεται στο Τεύχος 15. Εδώ περιοριζόμαστε στη σκιαγράφηση των βασικών χαρακτηριστικών του μοντέλου.

Το υδατικό σύστημα της Στερεάς Ελλάδας μέσω του οποίου υδροδοτείται η Αθήνα και αρδεύεται η Κωπαΐδα περιλαμβάνει τους ταμιευτήρες Ευήνου, Μόρνου και Υλίκης, καθώς και ένα αριθμό γεωτρήσεων. Περιλαμβάνει επίσης τους κύριους αγωγούς μεταφοράς του νερού από τις θέσεις υδροληψίας προς την Αθήνα. Στην παρούσα δοκιμαστική έκδοση του μοντέλου δεν έχουν ενσωματωθεί οι συνιστώσες του συστήματος που αναφέρονται στα υπόγεια νερά.

Το συνολικό μοντέλο του συστήματος ενσωματώνει τέσσερα επιμέρους μοντέλα:

- Το μοντέλο στοχαστικής προσομοίωσης των υδρολογικών μεταβλητών.
- Το μοντέλο λειτουργικής προσομοίωσης του υδατικού συστήματος.
- Το γενετικό αλγόριθμο βελτιστοποίησης παραμέτρων κανόνων λειτουργίας.
- Τον αλγόριθμο προσέγγισης μέγιστης ζήτησης.

Στο κέντρο του συστήματος βρίσκεται το μοντέλο λειτουργικής προσομοίωσης των ταμιευτήρων. Αυτό προσομοιώνει όλες τις λειτουργίες του υδατικού συστήματος για ένα πολύ μεγάλο αριθμό (προσομοιωμένων) ετών λειτουργίας (αρκετές χλιάδες έτη). Οι λειτουργίες που προσομοιώνονται είναι οι απολήψεις από τους ταμιευτήρες για ύδρευση και άρδευση, οι εισροές στους ταμιευτήρες (από τη βροχή και την απορροή) και η μείωση των αποθεμάτων λόγω των διαρροών και της εξάτμισης. Επίσης, το μοντέλο λαμβάνει υπόψη του τις περιπτώσεις υπερχείλισης ή κένωσης ενός ταμιευτήρα, καθώς και περιορισμούς που επιβάλλει η δεδομένη παροχετευτικότητα των υδραγωγείων.

Οι χρονοσειρές των υδρολογικών διεργασιών (βροχής, απορροής εξάτμισης) που αποτελούν τις “εισόδους” του μοντέλου λειτουργικής προσομοίωσης παράγονται από το μοντέλο στοχαστικής προσομοίωσης (δηλαδή είναι συνθετικές), σε τρόπο ώστε τα στατιστικά χαρακτηριστικά τους να είναι όμοια με εκείνα των παρατηρημένων χρονοσειρών (βλ. Εν. 5.1).

Το μοντέλο λειτουργικής προσομοίωσης ρυθμίζει τις απολήψεις από τον κάθε ταμιευτήρα με βάση έναν κανόνα λειτουργίας. Ο κανόνας αυτός, λαμβάνει υπόψη την κατάσταση του υδατικού συστήματος τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή (συνολικός όγκος νερού στο σύστημα, κατανομή αποθεμάτων στους ταμιευτήρες, εποχή του έτους, ζήτηση) και αποφασίζει για το πόση απόληψη θα γίνει από τον κάθε ταμιευτήρα για κάθε κόμβο ζήτησης

(ύδρευση και άρδευση). Δύο από τους βασικούς στόχους ενός κανόνα λειτουργίας είναι η ελαχιστοποίηση των υπερχειλίσεων και των διαρροών. Όσο πιο ορθολογικός είναι ο χρησιμοποιούμενος κανόνας λειτουργίας τόσο πιο μεγάλες απολήψεις θα μπορέσουν να γίνουν, τόσο πιο μεγάλη ασφάλεια απέναντι σε πιθανές περιόδους ξηρασίας θα υπάρχει.

Για την αξιολόγηση ενός κανόνα λειτουργίας θα πρέπει να προσομοιωθεί η λειτουργία του υδατικού συστήματος, με βάση αυτόν τον κανόνα, για πολλά χρόνια (π.χ. 5 000 χρόνια) και να υπολογιστεί σε πόσα από αυτά τα χρόνια δεν καλύφθηκε η ζήτηση. Το πόσες φορές δεν καλύφθηκε η ζήτηση (π.χ. 200 φορές στα 5 000 χρόνια) ορίζει την πιθανότητα αστοχίας του συστήματος όταν αυτό ελέγχεται από το συγκεκριμένο κανόνα λειτουργίας (π.χ. $p' = 200 / 5 000 = 0.04$), ή, ισοδύναμα, το αντίστοιχο επίπεδο αξιοπιστίας (π.χ. $p = 1 - 200 / 5 000 = 0.96$).

Οι κανόνες λειτουργίας που έχουν χρησιμοποιηθεί στη βιβλιογραφία είναι προκαθορισμένοι, δηλαδή εξ αρχής διατυπωμένοι σε πλήρη μορφή, η οποία προκύπτει συνήθως με ευρετικές προσεγγίσεις. Αυτό αποτελεί σοβαρό μειονέκτημα της σχετικής μεθοδολογίας, δεδομένου ότι απαιτεί τον προηγούμενο καθορισμό της κατάλληλης πολιτικής διαχείρισης του υπό μελέτη συστήματος, η οποία στις περισσότερες φορές απαιτεί ένα από τα ζητούμενα. Για την αντιμετώπιση αυτού του μειονεκτήματος, οι *Nalbantis and Koutsogiannis [1995]* εισήγαγαν παραμετρικούς κανόνες, οι οποίοι περιλαμβάνουν αριθμητικές παραμέτρους. Η εισαγωγή των παραμέτρων αυτών δίνει αντίστοιχους βαθμούς ελευθερίας στην πολιτική διαχείρισης του συστήματος και επιτρέπει τη βελτιστοποίηση της πολιτικής αυτής. Ο προσδιορισμός των τιμών παραμέτρων αποτελεί το στόχο της βελτιστοποίησης. Ωστόσο ο προσδιορισμός αυτών των τιμών δεν είναι απλός, δεδομένου ότι αποκλείεται η χρήση αναλυτικών μεθόδων. Για αυτό το σκοπό, στο μοντέλο που αναπτύχθηκε χρησιμοποιείται ένας γενετικός αλγόριθμος, ο οποίος δοκιμάζει διαδοχικά εναλλακτικούς κανόνες (κανόνες με διαφορετικές παραμέτρους) μέχρι να καταλήξει στη βέλτιστη λύση.

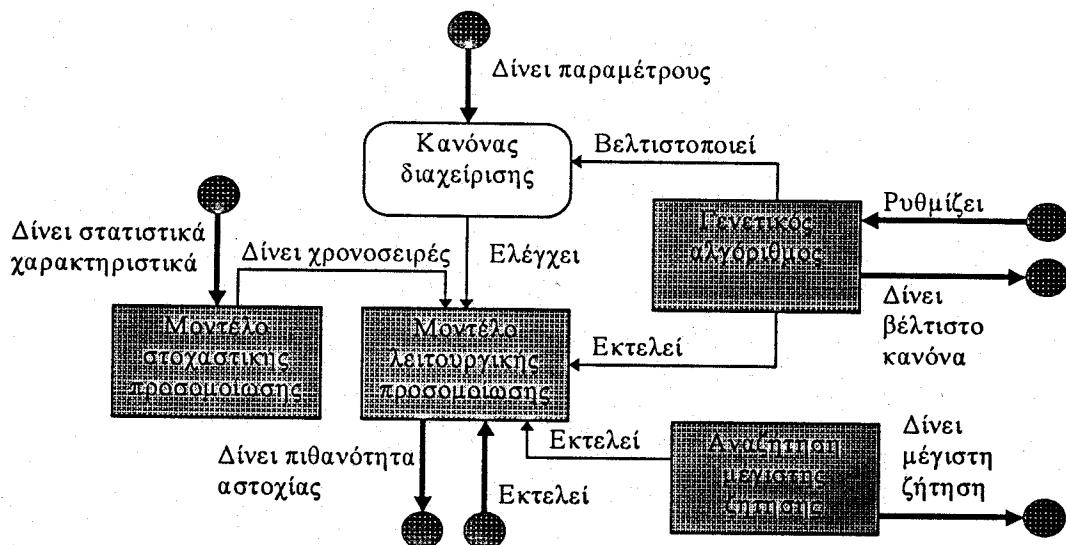
Στην εφαρμογή του αλγορίθμου, αρχικά ο γενετικός αλγόριθμος βρίσκει τις βέλτιστες παραμέτρους του κανόνα διαχείρισης που για δεδομένη ζήτηση δίνουν τη μικρότερη πιθανότητα αστοχίας. Στη συνέχεια, χρησιμοποιώντας αυτές τις βέλτιστες παραμέτρους, μπορεί να υπολογίσει τη μέγιστη ζήτηση που μπορεί να καλυφθεί με δεδομένη πιθανότητα αστοχίας. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιεί τον αλγόριθμο προσέγγισης βέλτιστης ζήτησης που είναι μια εφαρμογή της αριθμητικής μεθόδου *Regula-Falsi*.

Στο Σχ. 5.5 φαίνονται τις τέσσερα επιμέρους συνιστώσες που συνιστούν το μοντέλο, καθώς και τον τρόπο αλληλεπίδρασης μεταξύ τους και με το χρήστη. Η αναλυτική παρουσίαση του μοντέλου γίνεται στο Τεύχος 15.

5.3.3 Πιλοτικό μοντέλο για τη διαχείριση του συστήματος ταμιευτήρων του Αχελώου

Για το σύστημα του Αχελώου έχει επιλεγεί, ως πιο κατάλληλη και άμεσα εφαρμόσιμη, η Επεκτεταμένη Γραμμική Δευτεροβάθμια Γκαουσιανή μέθοδος ελέγχου (ELQG). Η μέθοδος αυτή έχει εισαχθεί το 1987 από τους Α. Γεωργακάκο και Π. Μαρκς, και έκτοτε έχει αναπτυχ-

Θεί περαιτέρω από τον Α. Γεωργακάκο και έχει χρησιμοποιηθεί σε πολλές εφαρμογές σημαντικού επιχειρησιακού χαρακτήρα, όπως για παράδειγμα στον ποταμό Νείλο. Για την εφαρμογή της μεθόδου έγινε συνεργασία της ομάδας του ΕΜΠ με την ομάδα του Α. Γεωργακάκου του Τεχνολογικού Ινστιτούτου της Γεωργίας (ΗΠΑ). Θεωρούμε ότι το προϊόν αυτής της ερευνητικής συνεργασίας είναι ιδιαίτερα σημαντικό, δεδομένου ότι για πρώτη φορά στην Ελλάδα εφαρμόζονται μοντέλα τέτοιας εξελιγμένης τεχνολογίας. Επιπλέον, τα αποτελέσματα της εφαρμογής στον Αχελώο έχουν ένα χαρακτήρα επικαιρότητας, λόγω της σχεδιαζόμενης εκτροπής του Αχελώου. Έτσι, το τεύχος αυτό δίνει μια εικόνα των ενεργειακών επιπτώσεων της εκτροπής στο σύστημα Κρεμαστών-Καστρακίου-Στράτου, για μέγεθος εκτροπής 600 hm^3 ετησίως, όπως πρόσφατα έχει ανακαθοριστεί.



Σχ. 5.5 Συστατικά συστήματος γενετικής προσομοίωσης. Με τα γκρίζα τετράγωνα αναπαριστώνται τα τέσσερα επιμέρους μοντέλα. Με κύκλο συμβολίζεται ο χρήστης του συστήματος. Με τα βέλη συμβολίζεται η λειτουργική σχέση μεταξύ των μοντέλων καθώς και η αλληλεπίδραση μοντέλων-χρήστη.

Βασικό χαρακτηριστικό της μεθόδου είναι οι αναλυτικές εξισώσεις της, οι οποίες επιταχύνουν σημαντικά την εφαρμογή της. Σε αντίθεση με την προηγούμενη, η μέθοδος αυτή δεν χρησιμοποιεί κάποιο κανόνα για τον προσδιορισμό των απολήψεων, αλλά υπολογίζει τις απολήψεις σε τρόπο ώστε να ελαχιστοποιηθεί μια αντικειμενική συνάρτηση, η οποία περιλαμβάνει εμμέσως στην έκφρασή της τις απολήψεις αυτές και περιγράφει την απόδοση του συστήματος (π.χ. σε όρους απόκλισης από ένα συγκεκριμένο στόχο παραγωγής ενέργειας). Εκτός από την αντικειμενική συνάρτηση αυτή, η μέθοδος χρησιμοποιεί και ένα σύνολο εξισώσεων που περιγράφουν τη δυναμική του συστήματος (εξισώσεις ισοζυγίων ταμιευτήρων) καθώς και ένα σύνολο ανισοτικών περιορισμών που εκφράζουν τους φυσικούς περιορισμούς (π.χ. περιορισμός της στάθμης μέσα στα επιτρεπτά όρια). Πάντως, και αυτή η μέθοδος σε ένα δεύτερο στάδιο συνδυάζεται με προσομοίωση, ο στόχος της οποίας είναι να εξασφαλίσει την

εφικτότητα των λύσεων. Η μέθοδος συνοπτικά περιγράφεται στο Τεύχος 17, ενώ αναλυτικότερη περιγραφή της γίνεται στο Τεύχος 15.

Όπως προαναφέραμε, η προσπάθεια αυτή και το αποτέλεσμά της, στην παρούσα δεύτερη φάση του έργου, έχει διερευνητικό και όχι άμεσα επιχειρησιακό χαρακτήρα. Στην επόμενη φάση προγραμματίζεται η ανάπτυξη του μοντέλου σε επιχειρησιακή μορφή, η οποία προδιαγράφεται συνοπτικά στο Κεφάλαιο 5 του Τεύχους 15. Επισημαίνουμε ότι στην επόμενη φάση θα πρέπει να περιγραφεί με ακριβέστερο τρόπο το σύστημα ταμιευτήρων και υδροηλεκτρικών έργων και γι' αυτό κρίνεται απαραίτητη η αμεσότερη συνεργασία της ΔΕΗ. Επίσης, θεωρούμε απαραίτητο στο μοντέλο της επόμενης φάσης να συμπεριληφθεί το σύνολο των υδροηλεκτρικών έργων του άνω Αχελώου (συμπεριλαμβανομένου και του ταμιευτήρα Αυλακίου) και των συνδεόμενων έργων στην πλευρά της Θεσσαλίας, και να εξεταστούν όλα τα δυνατά σενάρια συνδυασμών αναπτυξιακών έργων. Η διερεύνηση των σεναρίων αυτών θα πρέπει να έχει χαρακτήρα τόσο τεχνικό όσο και οικονομικό και περιβαλλοντικό. Αυτή η μελέτη θα έχει καθοριστική σημασία για την επιλογή του τελικού σχήματος πλήρους ανάπτυξης του υδατικού δυναμικού του Αχελώου, αλλά και για τη διαχείριση του συστήματος στις παρούσες και μελλοντικές συνθήκες.

6. Σύνοψη, συμπεράσματα και προτάσεις

6.1 Σύνοψη

Στις δύο πρώτες φάσεις του Ερευνητικού Έργου *Εκτίμηση και διαχείριση των υδατικών πόρων της Στερεάς Ελλάδας* οι εργασίες που αφορούν στην εκτίμηση των υδατικών πόρων, οι οποίες αποτελούν την απαραίτητη υποδομή για την ορθολογική διαχείρισή τους. Παράλληλα, ξεκίνησαν σε αναγνωριστική μορφή οι εργασίες που αφορούν στη διαχείριση των υδατικών πόρων καθεαυτήν. Αναλυτικότερα:

1. Έγινε επισκόπηση των μελετών υδρολογικού και υδρογεωλογικού ενδιαφέροντος που έχουν κατά καιρούς εκπονηθεί για την περιοχή της Στερεάς Ελλάδας και αντλήθηκαν από αυτές οι σημαντικότερες πληροφορίες, οι οποίες και αξιολογήθηκαν και συστηματοποιήθηκαν.
2. Έγινε συστηματική συλλογή, αξιολόγηση, αρχειοθέτηση και επεξεργασία των σημαντικότερων υδρολογικών και μετεωρολογικών πληροφοριών (χρονοσειρών μετρήσεων) της περιοχής μελέτης.
3. Έγινε συστηματική συλλογή, καταγραφή, ανάλυση και αξιολόγηση των υδρογεωλογικών δεδομένων και συμπλήρωση των βασικών κενών με αναγνωριστική πρωτογενή εργασία στο ύπαιθρο.
4. Αναπτύχθηκαν βάσεις δεδομένων για την καταχώρηση και ανάκτηση των πιο πάνω πληροφοριών.
5. Αναπτύχθηκε ένα σύστημα γεωγραφικής πληροφορίας, συνδεδεμένο με τις παραπάνω βάσεις δεδομένων, για την απεικόνιση και χωρική επεξεργασία των σχετικών πληροφοριών.
6. Πραγματοποιήθηκαν εργασίες μεθοδολογικής επισκόπησης για τα προβλήματα που συνδέονται με την εκτίμηση και διαχείριση των υδατικών πόρων της Στερεάς Ελλάδας, με βασική αναφορά στη διεθνή βιβλιογραφία.
7. Αναπτύχθηκε λογισμικό, τόσο για τους σκοπούς της ανάπτυξης και διαχείρισης των βάσεων δεδομένων και του συστήματος γεωγραφικής πληροφορίας, όσο και για εξειδικευμένα υδρολογικά προβλήματα που άπτονται της διαχείρισης υδατικών πόρων. Το λογισμικό της δεύτερης κατηγορίας αφορά στα ακόλουθα επιμέρους αντικείμενα:
 - Επεξεργασία υδρολογικών δεδομένων (παραγωγή δευτερογενών μεταβλητών και στατιστική επεξεργασία).
 - Προσομοίωση της σχέσης βροχής - απορροής.
 - Στοχαστική προσομοίωση υδρολογικών μεταβλητών
 - Κατάρτιση όμβριων καμπυλών.
8. Ξεκίνησαν οι εργασίες που αφορούν στη διαχείριση υδατικών πόρων καθεαυτήν και συγκεκριμένα:

- Συγκεντρώθηκαν και αξιολογήθηκαν τα βασικότερα δεδομένα διαχείρισης υδατικών πόρων.
- Αναπτύχθηκε σε αναγνωριστικό στάδιο ένα πιλοτικό μοντέλο για τη διαχείριση του συστήματος των ταμιευτήρων του Αχελώου.
- Αναπτύχθηκε σε αναγνωριστικό στάδιο ένα πιλοτικό μοντέλο για τη διαχείριση του συστήματος των ταμιευτήρων υδροδότησης της Αθήνας.

6.2 Κυριότερα συμπεράσματα

Παρακάτω κωδικοποιούνται μερικά από τα πιο βασικά συμπεράσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία των δεδομένων και αναφέρονται κυρίως στο υδατικό δυναμικό της περιοχής μελέτης.

1. Η περιοχή της Στερεάς Ελλάδας χαρακτηρίζεται από έντονη ποικιλομορφία ως προς το ανάγλυφο, τη γεωλογία, την υδρολογία και υδρογεωλογία, και το κλίμα. Χαρακτηριστικά, η περιοχή δομείται από τους γεωλογικούς σχηματισμούς όλων των εξωτερικών γεωτεκτονικών ζωνών της Ελλάδας. Η ορογραφία της περιοχής, με εξέχουσα την παρουσία της οροσειράς της Πίνδου, προκαλεί έντονη γεωγραφική μεταβλητότητα ως προς το κλίμα και την υδρολογία της περιοχής. Είναι χαρακτηριστικό ότι η ετήσια βροχόπτωση κυμαίνεται στην περιοχή από 400 mm (περιοχή Αττικής) μέχρι 2000 mm (βορειοδυτικό άκρο). Επίσης, είναι χαρακτηριστική η ταυτόχρονη παρουσία στη Στερεά Ελλάδα του μεγαλύτερου σε παροχή ποταμού της χώρας, του Αχελώου, και μιας από τις πιο άνυδρες περιοχές, της Αττικής. Τέλος, είναι εντυπωσιακό το γεγονός ότι οι παραπάνω εντονότατες διαφορές της βροχόπτωσης σε ετήσια κλίμακα, αμβλύνονται, σχεδόν τείνοντας στην ομογενοποίηση, όταν μεταβούμε σε μικρές χρονικές κλίμακες και εξετάσουμε τις υπεύθυνες για την πλημμυρογένεση ισχυρές βροχοπτώσεις.
2. Το συνολικό επιφανειακό δυναμικό της περιοχής είναι πολύ αξιόλογο. Είναι χαρακτηριστικό ότι στην περιοχή του Άνω Αχελώου το επιφανειακό δυναμικό ανά μονάδα επιφάνειας (δηλαδή το ετήσιο ισοδύναμο ύψους απορροής) φτάνει ή ξεπερνά τα 1000 mm ετησίως, πράγμα που κατατάσσει την περιοχή στις πλουσιότερες παγκοσμίως ζώνες (σε σχέση με αυτή τη συγκεκριμένη παράμετρο). Επίσης, στην περιοχή εμφανίζονται σημαντικοί υπόγειοι υδροφορείς με αξιόλογο υδατικό δυναμικό. Πρόβλημα, ωστόσο, δημιουργεί η ανισοκατανομή του δυναμικού αυτού, σε συνδυασμό με την (μη συμβατή) ανισοκατανομή των καταναλώσεων στην ευρύτερη περιοχή της Στερεάς Ελλάδας. Σε σχέση με την εκμετάλλευση του υπόγειου δυναμικού, πρόβλημα δημιουργεί σε μερικές περιπτώσεις η υφαλμύρυνση. Αξιόλογες ποσότητες καρστικών υπόγειων υδάτων εκφορτίζουν στη θάλασσα υπό συνθήκες όπου η υφαλμύρυνση έχει αναπτυχθεί σε τέτοιο βαθμό και έκταση, που δυσχεραίνει την εκμετάλλευσή τους, ακόμη και στις αμέσως ανάντη των ακτών περιοχές.
3. Στην περιοχή μελέτης διαπιστώνονται πτωτικές τάσεις τόσο στη βροχόπτωση, όσο και στην απορροή. Οι τάσεις αυτές φαίνεται να είναι γενικευμένες στο σύνολο της Στερεάς

Ελλάδας αλλά και έξω από αυτή. Χρονικά οι τάσεις αυτές εντοπίζονται στο σύνολο των διαθέσιμων περιόδων μετρήσεων, οι οποίες ξεκινούν από το 1950-51. Σε μία περίπτωση, (Βοιωτικός Κηφισός) που υπάρχουν πιο παλιά δεδομένα, η πτωτική τάση ξεκινά από το 1920-21. Βεβαίως, μέσα στις συνολικές χρονοσειρές βροχόπτωσης και απορροής εντοπίζονται και χρονικά διαστήματα στα οποία οι τάσεις σταματούν ή και αντιστρέφονται, αλλά πάντως η όλη εικόνα επιβεβαιώνει την καθοδική συνολική πορεία των μεγεθών. Η μεγάλη γεωγραφική έκταση και χρονική διάρκεια του φαινομένου τού προσδίδει σοβαρές διαστάσεις. Η σημασία του φαινομένου αυτού είναι μεγάλη για τους υδατικούς πόρους της χώρας και θα πρέπει να τού δοθεί η δέουσα προσοχή τόσο σε επίπεδο ερευνών και μελετών, όσο και σε επίπεδο διαχείρισης υδατικών πόρων. Ως προς τη διάγνωση των αιτιών του φαινομένου αυτού και τη δυνατότητα πρόγνωσης της εξέλιξής του στο μέλλον, η υδρολογική επιστήμη δεν επιτρέπει συγκεκριμένες απαντήσεις. Πάντως δεν θα είχε νόημα η συσχέτισή του με το φαινόμενο θερμοκηπίου, γιατί κάτι τέτοιο δεν μπορεί να αποδειχτεί με κατηγορηματικό τρόπο. Άλλωστε, δεν είναι απαραίτητο να καταφύγουμε σε τέτοια εξήγηση αφού, σύμφωνα με τη διατύπωση του Αμερικανικού National Research Council (1991), γενικά το κλίμα “αλλάζει με ακανόνιστο τρόπο, για άγνωστους λόγους, σε όλες τις χρονικές κλίμακες”.

4. Οι κυριότερες χρήσεις νερού στο καταναλωτικό επίπεδο αναφέρονται στην άρδευση (με προεξάρχουσες τις περιοχές Αγρινίου και Κωπαΐδας) και την ύδρευση (με προεξάρχουσα την ευρύτερη περιοχή της Αθήνας. Στο μη καταναλωτικό επίπεδο κυριαρχεί η ενεργειακή εκμετάλλευση του υδατικού δυναμικού του Αχελώου, ενώ τα τελευταία χρόνια έχει αποκτήσει μεγάλη σημασία η χρήση της περιβαλλοντικής διατήρησης.
5. Γενικά το πλούσιο υδατικό δυναμικό της συνολικής περιοχής υπερκαλύπτει τις ανάγκες των διάφορων χρήσεων, έστω και αν ληφθούν υπόψη οι διαπιστωμένες ως τώρα πτωτικές τάσεις. Υπάρχουν περιπτώσεις όπου το υδατικό δυναμικό παραμένει ανεκμετάλλευτο στο μεγαλύτερο μέρος του (π.χ. Σπερχειός). Λόγω των πλεονασμάτων υδατικού δυναμικού στην περιοχή έχουν υπάρξει πιέσεις μεταφοράς του σε γειτονικές περιοχές (π.χ. εκτροπή Αχελώου προς Θεσσαλία). Λόγω της αναντιστοιχίας της γεωγραφικής κατανομής των πόρων και των χρήσεων έχουν ήδη πραγματοποιηθεί σημαντικά έργα μεταφοράς μέσα στην ευρύτερη περιοχή της Στερεάς Ελλάδας (εκτροπή Ευήνου, Μόρνου και Βοιωτικού Κηφισού προς Αθήνα).
6. Από άποψη επιστημονική, αλλά και επιχειρησιακή, διακρίνονται δύο κύρια υδατικά συστήματα που παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον: το σύστημα υδροδότησης της Αθήνας, το οποίο περιλαμβάνει έργα αξιοποίησης επιφανειακού και υπόγειου υδατικού δυναμικού, και το σύστημα ταμιευτήρων Αχελώου. Για τα συστήματα αυτά έχει ήδη ξεκινήσει από την παρούσα δεύτερη φάση η προσπάθεια κατασκευής μοντέλων λειτουργίας και βέλτιστης διαχείρισής τους.

6.3 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Σύμφωνα με το γενικό προγραμματισμό του ερευνητικού έργου και την οργάνωσή του σε τρεις φάσεις, για την τρίτη και τελική φάση είχε προδιαγραφεί η ολοκληρωμένη συλλογή δεδομένων χρήσεων νερού και οικονομικών δεδομένων, η κατάρτιση διαχειριστικών σεναρίων, η αποτίμησή τους, και η επιλογή των βέλτιστων πρακτικών διαχείρισης.

Σύμφωνα με τα νέα δεδομένα γύρω από την αντιμετώπιση των θεμάτων διαχείρισης υδατικών πόρων της χώρας, σε σχέση και με την κοινοτική εμπλοκή και ενίσχυση των δραστηριοτήτων γύρω από τα θέματα αυτά, διαμορφώνεται ένα διαφορετικό γενικό πλαίσιο για το σύνολο της χώρας, το οποίο δεν υπήρχε όταν ξεκίνησε αυτό το ερευνητικό έργο. Αυτό το γενικό πλαίσιο αναμένεται να οδηγήσει στην εκπόνηση ενός ολοκληρωμένου σχεδίου (master plan) των υδατικών πόρων της χώρας, αλλά και λεπτομερειακών μελετών για τα επιμέρους υδατικά διαμερίσματα. Έτσι, αναμένεται ότι πολλές από τις εργασίες που είχαν προβλεφτεί για την τρίτη φάση του ερευνητικού έργου θα ενταχθούν σε αυτό το γενικό πλαίσιο. Οι εργασίες που έχουν ως τώρα εκπονηθεί στα πλαίσια του παρόντος ερευνητικού έργου αναμένεται να αποτελέσουν κατάλληλο πληροφοριακό υπόβαθρο για τις επιμέρους μελέτες των αντίστοιχων υδατικών διαμερισμάτων.

Η παραπάνω ευτυχής συγκυρία καθιστά δυνατή την μετατόπιση των στόχων της τρίτης φάσης του έργου προς πιο ερευνητικά αντικείμενα. Πιο συγκεκριμένα προτείνεται να αφιερωθεί η τρίτη φάση στη μελέτη των δύο υδατικών συστημάτων που παρουσιάζουν το μεγαλύτερο ερευνητικό ενδιαφέρον: του συστήματος υδροδότησης της Αθήνας και του συστήματος ταμιευτήρων του Αχελώου. Έτσι, οι ειδικότεροι στόχοι της τρίτης φάσης προτείνεται να είναι:

1. η πλήρης γεωγραφική αναπαράσταση των δύο συστημάτων και των συνιστώσων τους·
2. η πλήρης μαθηματική αναπαράσταση της λειτουργίας των δύο συστημάτων και των φυσικών και λειτουργικών περιορισμών τους·
3. η πλήρης στοχαστική προσομοίωση των υδρολογικών εισόδων στις διάφορες θέσεις των συστημάτων, κάτω από διαφορετικά υδρολογικά σενάρια, στα οποία θα λαμβάνονται υπόψη οι διαπιστωμένες τάσεις και η ξηρασία των πρόσφατων ετών·
4. η ενσωμάτωση των δεδομένων κόστους, οφέλους και περιβαλλοντικών δεσμεύσεων, τα οποία θα ληφθούν από άλλες, παλιότερες ή παράλληλες, μελέτες, καθώς και των σεναρίων περαιτέρω ανάπτυξης των συστημάτων (π.χ. εκτροπή Αχελώου) και των αντίστοιχων δεσμεύσεων·
5. η ανάπτυξη αλγορίθμων βελτιστοποίησης της διαχείρισης των δύο συστημάτων·
6. η ολοκλήρωση των παραπάνω σε λογισμικά πακέτα, κατάλληλα για χρήση από τους ενδιαφερόμενους φορείς.

Το πληροφοριακό υλικό (υδρολογικά δείγματα κτλ.) που θα χρησιμοποιηθεί θα ληφθεί από τις εργασίες που έχουν εκτελεστεί στα πλαίσια των δύο πρώτων φάσεων του έργου. Επίσης, θα χρησιμοποιηθούν όλες οι μέθοδοι και θα αξιοποιηθούν όλες οι διερευνήσεις που

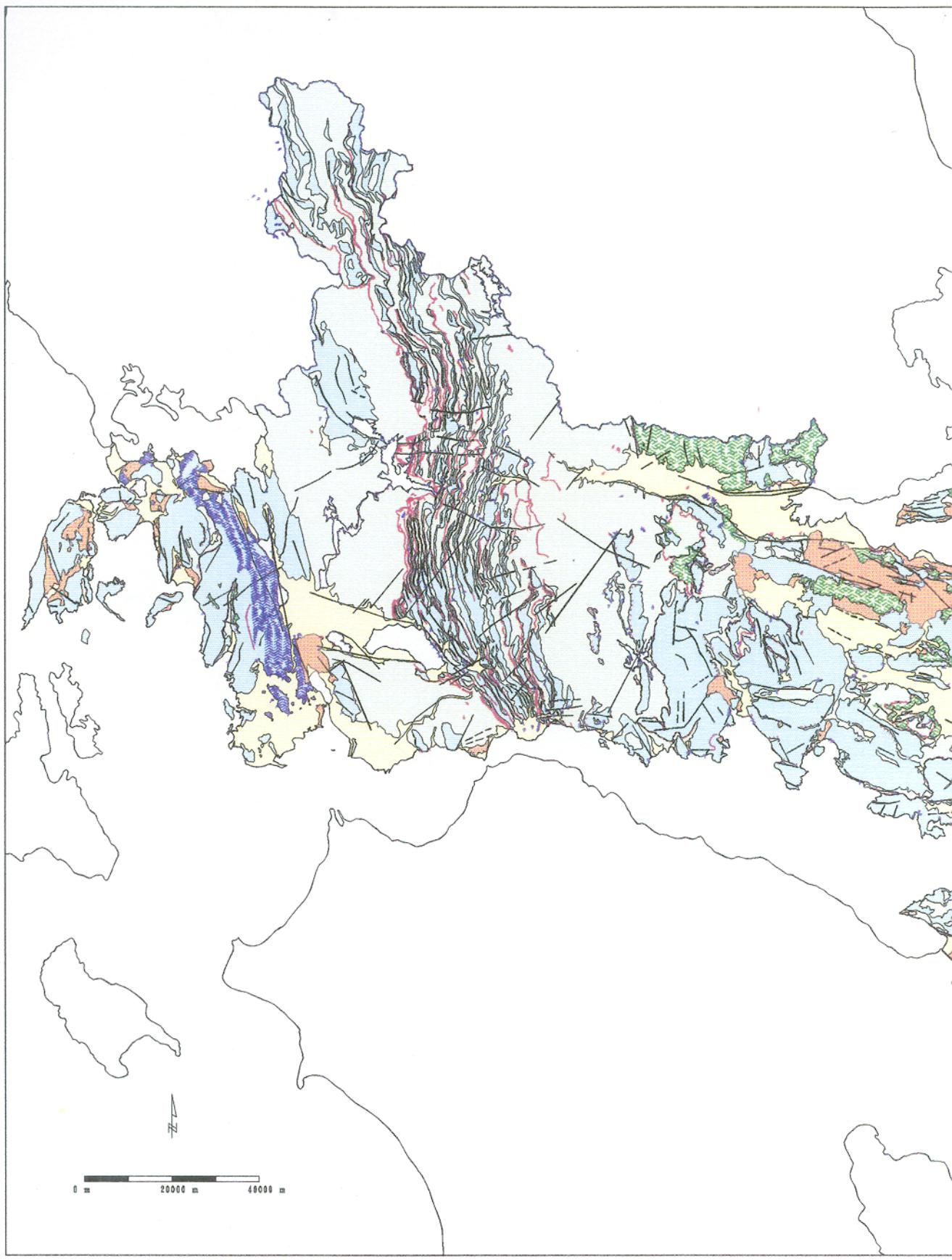
έχουν γίνει ως τώρα στο έργο. Τονίζεται ότι, όπως αναλυτικότερα έχει περιγραφεί στην Ενότητα 5.3, τα δύο υδατικά συστήματα έχουν τελείως διαφορετική δομή και απαιτούν διαφορετικές προσεγγίσεις.

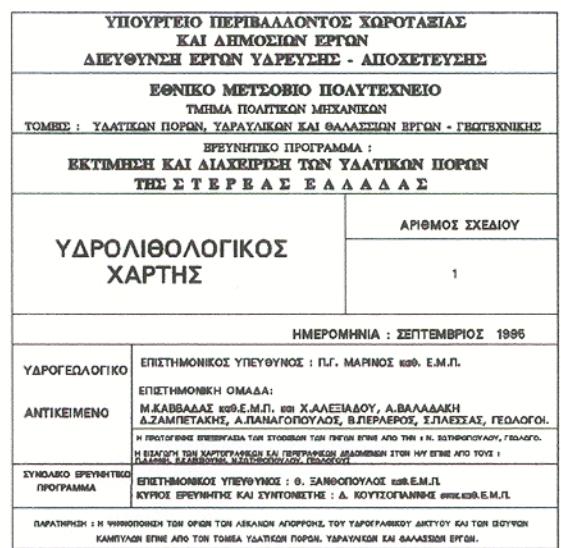
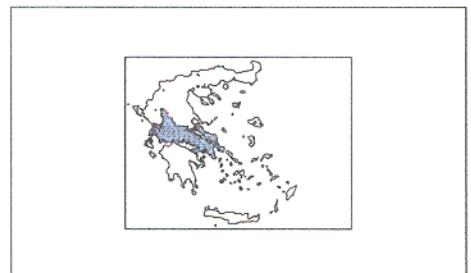
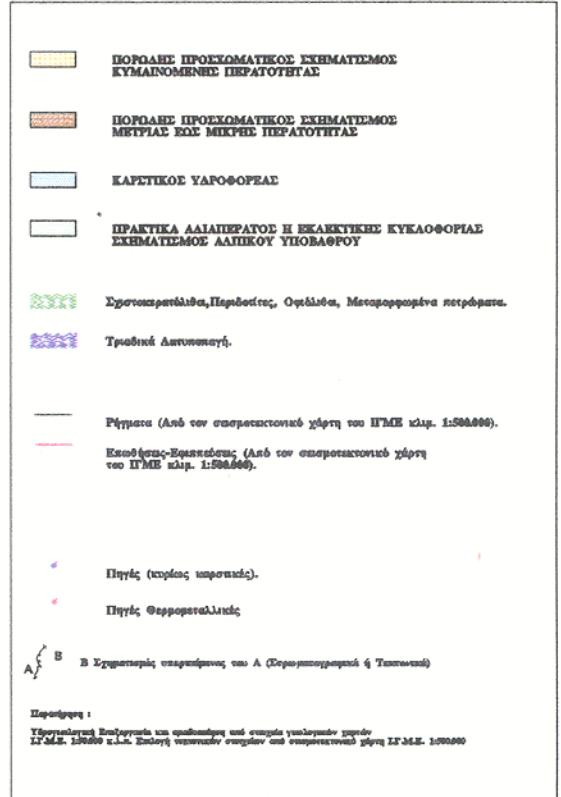
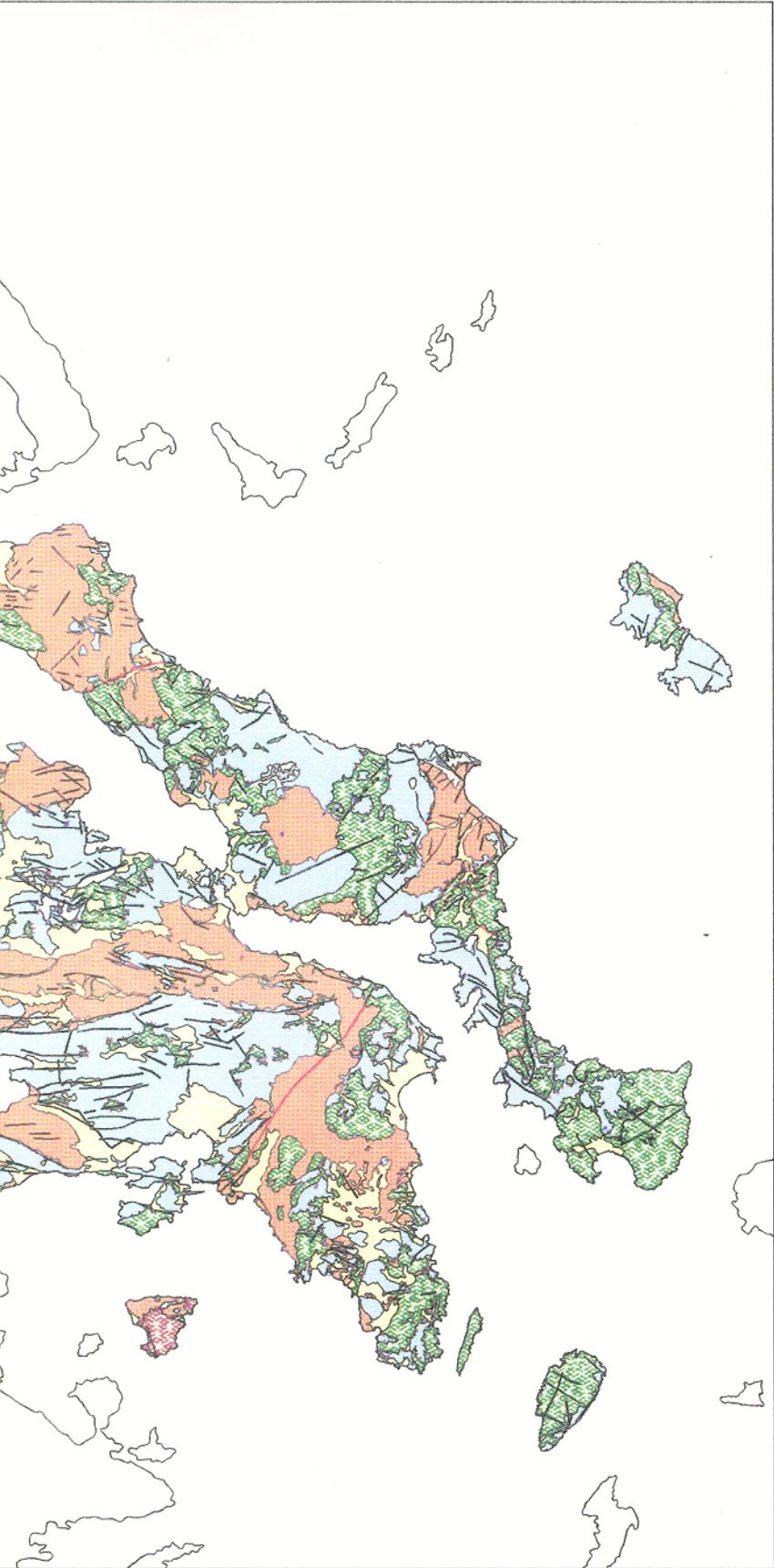
Αναφορές

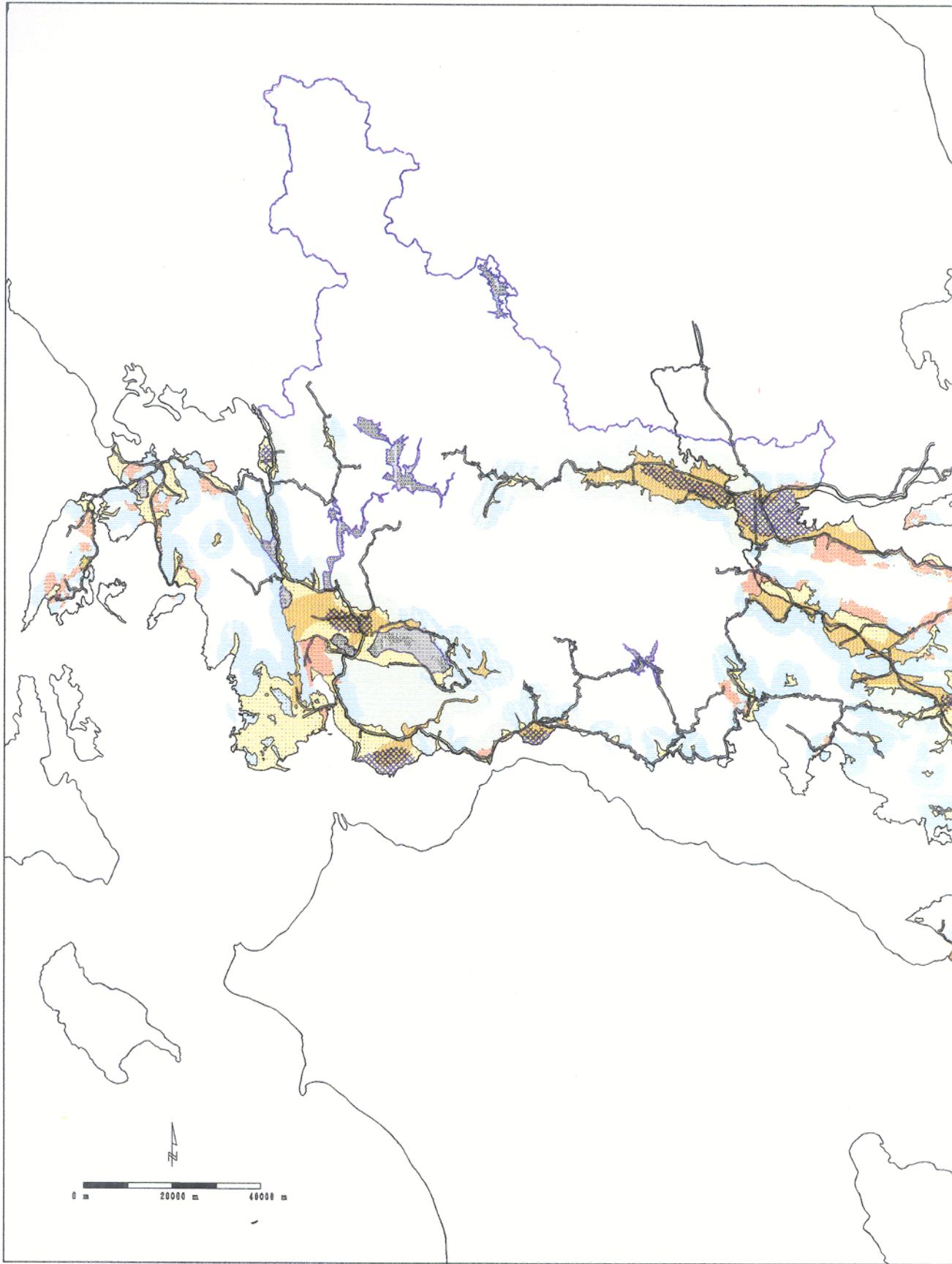
- Κοζώνης, Δ., *Κατάρτιση όμβριων καμπυλών με ελλιπή δεδομένα, Εφαρμογή στην περιοχή της Στερεάς Ελλάδας*, Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 1995.
- Κουτσογιάννης, Δ., *Προγράμματα στοχαστικής προσομοίωσης υδρολογικών χρονοσειρών, Τεύχος 7, Εκτίμηση και διαχείριση των υδατικών πόρων της Στερεάς Ελλάδας*, ΕΜΠ, Τομέας ΥΠΥΘΕ, Αθήνα, 1992.
- Κουτσογιάννης, Δ. και Ν. Μαμάσης, Μέτσοβο: Η υδρολογική καρδιά της Ελλάδας, *Πρακτικά των συνεδρίων "Το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο για το Μέτσοβο"*, Μέτσοβο, Μάιος 1995, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (υπό έκδοση).
- Κουτσογιάννης, Δ., Ν. Μαμάσης και Ι. Ναλμπάντης, *Στοχαστική προσομοίωση υδρολογικών μεταβλητών, Τεύχος 13, Διερεύνηση προσφερομένων δυνατοτήτων για την ενίσχυση της ύδρευσης μείζονος περιοχής Αθηνών*, ΕΜΠ, Τομέας ΥΠΥΘΕ, Αθήνα, 1990.
- Κουτσογιάννης, Δ., Θ. Ξανθόπουλος και Ε. Αφτιάς, Τελική έκθεση, Τεύχος 18, *Διερεύνηση προσφερομένων δυνατοτήτων για την ενίσχυση της ύδρευσης μείζονος περιοχής Αθηνών*, ΕΜΠ, Τομέας ΥΠΥΘΕ, Αθήνα, 1990β.
- Κουτσογιάννης, Δ., Ι. Ναλμπάντης και Ν. Μαμάσης, *Εκτίμηση του κινδύνου ανεπάρκειας του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας σε συνθήκες έμμονης ξηρασίας, Πρακτικά ημερίδας της ΕΥΔΑΠ "Πιθανότητα εμμένουσας ξηρασίας και υδροδότηση της Πρωτεύουσας"*, 1992.
- Κουτσογιάννης, Δ. και Γ. Τσακαλίας, *Υδρολογικά χαρακτηριστικά της λεκάνης Σπερχειού, Πρακτικά της ημερίδας Σπερχειός 2000*, Λαμία 4 Μαΐου 1995.
- Μαμάσης, Ν., Σ. Ρώτη, Δ. Κουτσογιάννης και Θ. Ξανθόπουλος, *Υδρολογικά χαρακτηριστικά των λεκανών Μόρνου, Ευήνου και Υλίκης, Πρακτικά ημερίδας της ΕΕΔΥΠ "Προοπτικές επόμενης του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας"*, Γ. Φούντας, 55-64, 1990.
- Ναλμπάντης, Ι., Ν. Μαμάσης, Δ. Κουτσογιάννης, Ε. Μπαλτάς, Ε. Αφτιάς, Μ. Μιμίκου και Θ. Ξανθόπουλος, *Υδρολογικά χαρακτηριστικά της λειψυδρίας, Πρακτικά της ημερίδας των Τομέα Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων Το υδροδοτικό πρόβλημα της Αθήνας*, Αθήνα 12 Απριλίου 1994, σσ. 13-28, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 1994.
- Χριστοφίδης, Α., *Υδροσκόπιο: Οδηγίες χρήσης*, ΕΜΠ, Αθήνα, 1994.

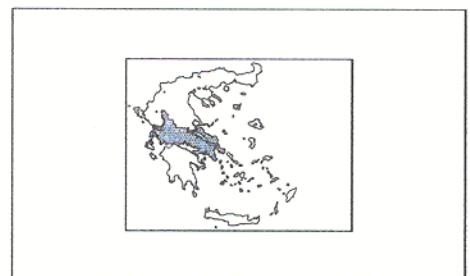
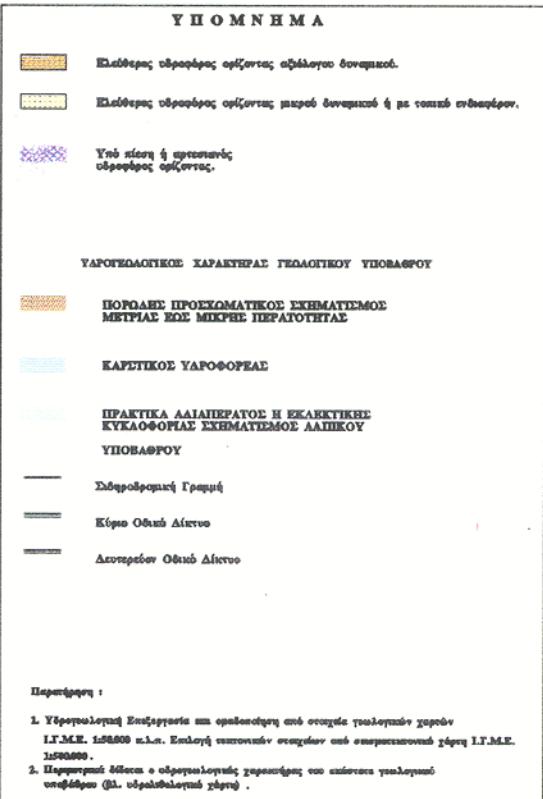
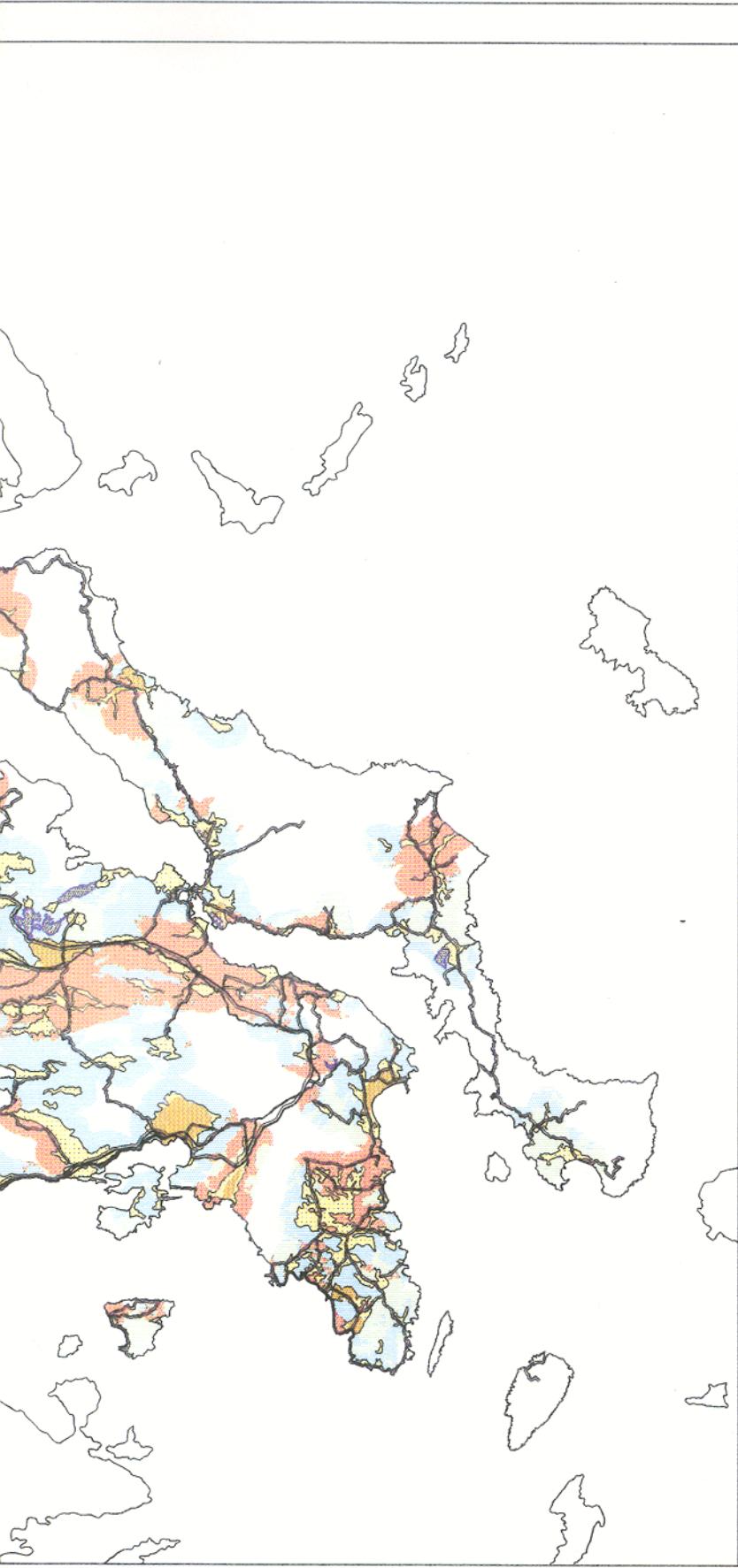
- Matalas, N.C. and J. R. Wallis, Generation of synthetic flow sequences, in *Systems approach to water management*, edited by A. K. Biswas, McGraw Hill, 1976.
- Nalbantis, I. and D. Koutsoyiannis, A heuristic rule for planning and management of multiple reservoir systems, submitted for publication in *Water Resour. Res.*, 1995.
- National Research Council, Committee on Opportunities in the Hydrologic Sciences, *Opportunities in the Hydrologic Sciences*, National Academy Press, Washington, DC, 1991.

- Shaw, E. M., *Hydrology in practice*, Van Nostrand Reinhold, London, 1983.
- Smith, J. A., Precipitation, Ch. 4 in *Handbook of hydrology*, edited by D. R. Maidment, McGraw-Hill, New York, 1993.
- Tsakalias, G. and D. Koutsoyiannis, A comprehensive system for the exploration of the hydrologic data homogeneity, Internal Report, National Technical University, Athens, 1995.
- Vogel, R.M. and J. R. Stedinger, The value of stochastic streamflow models in over-year reservoir design applications, *Water Resour. Res.* 24(9), 1483-90, 1988.
- U.S. Army Corps of Engineers, *Guide manual for preparation of water balances*, Research document no 16, Hydrologic Research Center, 1980.









ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΧΟΡΟΤΑΞΙΑΣ ΚΑΙ ΔΗΜΟΣΙΩΝ ΕΡΤΩΝ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΕΡΤΩΝ ΥΔΡΕΥΣΗΣ - ΑΠΟΧΕΤΕΥΣΗΣ	
ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΕΩΡΙΟ ΠΟΔΑΥΤΕΧΝΕΙΟ ΤΜΗΜΑ ΠΟΔΑΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ	
ΤΟΜΕΣ : ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ, ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΕΡΤΩΝ - ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΚΑΙ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΙΣ	
ΕΡΓΥΝΗΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ :	ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΥΝ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΤΗΣ ΣΤΕΡΕΑΣ ΕΔΔΑΔΑΣ
ΧΑΡΤΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΠΡΟΣΧΩΜΑΤΙΚΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΙΩΝ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΧΕΔΙΟΥ
	2
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ : ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 1996	
ΥΔΡΟΓΕΩΔΟΓΙΚΟ	ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΣ ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ : Π.Γ. ΜΑΡΙΝΟΣ καθ. Ε.Μ.Π.
ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ	ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΟΜΑΔΑ: Μ.ΚΑΒΒΑΔΑΣ καθ.Ε.Μ.Π. και Χ.ΑΛΕΞΙΑΔΟΣ, Α.ΒΑΛΑΔΑΚΗ Δ.ΖΑΜΠΕΤΑΚΗΣ, Α.ΠΑΝΑΓΟΠΟΥΛΟΣ, Β.ΠΕΡΑΕΡΟΣ, Σ.ΠΛΕΣΙΑΣ, ΓΕΩΛΟΓΟΣ. Η ανανεώντας υποτερριφερένων διαδρόμων δύναται από τον Π. Δαφνί. Γεωλόγο.
ΣΥΝΔΙΚΑΛΕΦΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ	ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΣ ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ : Θ. ΞΑΝΘΟΠΟΥΛΟΣ καθ.Ε.Μ.Π. ΚΥΡΙΟΣ ΕΡΓΥΝΗΤΗΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΟΝΙΣΤΗΣ : Α. ΚΟΥΤΣΟΓΛΑΝΗΣ καθ.Ε.Μ.Π.
ΠΑΡΑΓΡΑΦΗ : Η υπογεωλογική τοπ ορίζη των αλκανικών απορροών, του υαρογεώδους λυκτού και τον βούρων κατιτύπων είναι από τον Τομέα Υδατικών Πορών, Υδραύλικων Και Θαλασσιών Ερτων.	