

**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ: ΔΕΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ  
ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ  
ΠΜΣ: ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ:  
"Εφαρμογή των Συστημάτων Υποστήριξης  
Αποφάσεων (DSS) για τη Διαχείριση των Υδατικών  
Πόρων στην Λεκάνη Απορροής του βοιωτικού  
Κηφισού"**

**Παπαδάκης Δ. Ευάγγελος**



**Επιβλέπων: Χρίστος Καραβίτης Επίκουρος Καθηγητής ΓΠΑ**

**Αθήνα 2013**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ:**

**"Εφαρμογή των Συστημάτων Υποστήριξης Αποφάσεων (DSS) για τη Διαχείριση των Υδατικών Πόρων στην Λεκάνη Απορροής του βοιωτικού Κηφισού"**

**Παπαδάκης Δ. Ευάγγελος**

**Επιβλέπων: Χρίστος Καραβίτης Επίκουρος Καθηγητής ΓΠΑ**

***Τριμελής Επιτροπή:***

Επιβλέπων: Χρίστος Καραβίτης, Επίκουρος Καθηγητής Γ.Π.Α.

Μέλος: Σταύρος Αλεξανδρής, Επίκουρος Καθηγητής Γ.Π.Α.

Μέλος: Κωνσταντίνος Κοσμάς, Καθηγητής Γ.Π.Α.

## Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία με τίτλο «**Εφαρμογή των Συστημάτων Υποστήριξης Αποφάσεων για την Διαχείριση των Υδατικών Πόρων στην Λεκάνη Απορροής του βοιωτικού Κηφισού** » ανατέθηκε από τον κ. Χρίστο Καραβίτη Λέκτορα του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών του τμήματος Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής και πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του μεταπτυχιακού προγράμματος σπουδών με τίτλο: Διαχείρισης Περιβάλλοντος του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών. Σαν συντάκτης της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Επίκουρο Καθηγητή, κ. Καραβίτη Χρήστο που ήταν και ο επιβλέπων καθηγητής μου στην παρούσα μελέτη και η καθοδήγηση του ήταν αναγκαία σε όλη την διάρκεια της εκπόνησης της. Παράλληλα θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής, τον κ. Σταύρο Αλεξανδρή Επίκουρο του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών του τμήματος Αξιοποίηση Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής και τον κ. Κωνσταντίνο Κοσμά, Καθηγητή του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών του τμήματος Αξιοποίηση Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής, που συντέλεσαν στην άριστη διεξαγωγή της παρούσας μελέτης. Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τους υποψήφιους διδάκτορες Σταματάκο Δημήτριο και Τσεσμελή Δημήτριο που με βοήθησαν στην κατανόηση βασικών εννοιών καθώς και στο στήσιμο και την εφαρμογή του μοντέλου. Ακόμα πρέπει να ευχαριστήσω την Κα Γκίνη Μαρία από την Διεύθυνση υδάτων και τον Κ. Ιωάννη Βαζίμα, για τα υδρολογικά και μετεωρολογικά δεδομένα που μου πρόσφεραν. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και τους φίλους μου που με στήριξαν και με βοήθησαν τόσο ηθικά όσο και υλικά, ώστε να μπορέσω να ανταπεξέλθω στις απαιτήσεις για την πραγματοποίηση αυτής της εργασίας.

## Περιεχόμενα

	Περίληψη.....	6
1.	Εισαγωγή.....	8
2.	Βιβλιογραφική ανασκόπηση.....	10
	2.1 Υδατική προέλευση και κατανομή.....	10
	2.2 Υδατικοί Πόροι.....	14
	2.3 Υδατικές διαστάσεις.....	17
	2.4 Υδατικά προβλήματα.....	19
	2.5 Οι υδατικοί πόροι στην Ελλάδα.....	23
	2.6 Γενικές αρχές διαχείρισης υδατικών πόρων.....	25
	2.7 Συστήματα υποστήριξης αποφάσεων (DSS).....	28
	2.8 Υδρολογικά μοντέλα.....	30
3.	Μεθοδολογία.....	32
4.	Περιγραφή της περιοχής μελέτης.....	34
	4.1. Ιστορία της περιοχής.....	37
	4.2 Γεωμορφολογία.....	40
	4.2.1. Όρη.....	40
	4.2.2. Πεδιάδες.....	41
	4.3. Γεωλογία.....	42
	4.3.1. Γεωλογικοί σχηματισμοί.....	43
	4.3.2. Τεκτονική.....	45
	4.4. Υδρογεωλογία.....	47
	4.4.1 Υδρογεωλογικές λεκάνες.....	47
	4.4.2 Υδροφορία στους γεωλογικούς σχηματισμούς.....	49
	4.4.3 Υδρογραφικό δίκτυο – Καρστικές πηγές.....	52
	4.5. Χρήσεις νερού και βασικά έργα υποδομής.....	56
	4.6. Κλιματικά στοιχεία.....	58
5.	Περιγραφή του υδρολογικού μοντέλου MIKE SHE.....	60
	5.1. Γενική περιγραφή του μοντέλου.....	60
	5.2 Κατακρημνίσματα.....	64
	5.3. Επιφανειακή απορροή.....	65
	5.4 Η πραγματική εξατμισοδιαπνοή.....	65
	5.5 Ροή στην ακόρεστη ζώνη.....	67

5.6. Ροή στην κορεσμένη ζώνη.....	68
6. Εφαρμογή του υδρολογικού μοντέλου MIKE SHE.....	70
6.1 Χαρακτηριστικά προσομοίωσης (simulation specification).....	71
6.2 Πεδίο - κάναβος προσομοίωσης (Model Domain).....	72
6.3 Ψηφιακό μοντέλο εδάφους - Τοπογραφία (Topography).....	73
6.4 Βροχομετρικά δεδομένα.....	74
6.5 Δυνητική εξατμισοδιαπνοή (Reference Evapotranspiration).....	76
6.6 Χρήσεις γης και φυτοκάλυψη (Land Use).....	77
6.7 Άμεση επιφανειακή απορροή (Overland flow zones).....	81
6.8 Ροή στην Ακόρεστη Ζώνη (Unsaturated Flow).....	82
6.9 Ροή στην Κορεσμένη Ζώνη – Ενδιάμεση Απορροή (Saturated Zone - Interflow Reservoirs).....	83
6.10 Ροή στην Κορεσμένη Ζώνη – Βασική Απορροή (Saturated Zone – Baseflow Reservoirs).....	83
7. Αποτελέσματα και Συζήτηση.....	87
7.1. Σκοπός ρύθμισης.....	87
7.2 Αποτελέσματα.....	87
8. Συμπεράσματα.....	117
Βιβλιογραφία.....	118

## Περίληψη

Το μοντέλο MIKE SHE έχει τη δυνατότητα να προσομοιώσει το σύνολο της ροής των υδατορευμάτων που περιλαμβάνει την άμεση ροή και τη βασική ροή. Πολλά μοντέλα είτε δεν προσομοιώνουν, ή χρησιμοποιούν απλοϊκές μεθόδους, για τον προσδιορισμό της βασικής ροής. Το μοντέλο εξετάζει επίσης διάφορες χρήσεις γης και τους τύπους εδάφους στην προσομοίωση και επιτρέπει την αξιολόγηση των διαφορετικών σεναρίων διαχείρισης. Εκτός αυτού, MIKE SHE λαμβάνει υπ όψιν και πολλά άλλα υδρολογικά στοιχεία. Δεδομένου ότι η μελέτη αυτή κατευθύνθηκε προς την προσομοίωση των επιφανειακών απορροών, καθώς και της διήθησης σε κορεσμένη και ακόρεστη ζώνη, το MIKE SHE αποτελεί το κατάλληλο μοντέλο για την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων. Το μοντέλο MIKE SHE χρησιμοποιήθηκε για να προσομοιώσει την απορροή λεκάνη του βοιωτικού Κηφισού. Η εφαρμογή, βαθμολόγηση και η ανάλυση των αποτελεσμάτων και των παραμέτρων του υδρολογικού μοντέλου MikeShe, για να διευκολυνθεί η διαδικασία λήψης αποφάσεων, τώρα ή στο μέλλον, σχετικά με τα προβλήματα υδρολογικού και περιβαλλοντικού χαρακτήρα που μπορεί να προκύψουν στην λεκάνη του βοιωτικού Κηφισού, είναι ο σκοπός και ο στόχος της παρούσας μελέτης. Επιλέχθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν μετεωρολογικά και κλιματικά δεδομένα από δέκα μετεωρολογικούς σταθμούς που καλύπτουν όλη την επικράτεια της λεκάνης. Η χρήση των ημερήσιων δεδομένων εισόδου βροχόπτωσης και εξατμισοδιαπνοής σε συνδυασμό γεωλογικά και εδαφολογικά στοιχεία, κυρίως από τη βιβλιογραφία, καθώς και οι παράμετροι αυτών, στοιχεία φυτοκάλυψης και φυλλικής επιφάνειας συγχρόνως με άλλα στοιχεία που αφορούν κυρίως τις καλλιέργειες αποτέλεσαν ένα σημαντικό υπόβαθρο για τη σωστή προσομοίωση όλων των φυσικών διαδικασιών. Στα αποτελέσματα της προσημείωσης παρατηρήθηκε αύξηση της απορροής με την αύξηση των βροχοπτώσεων. Η σύγκριση της απορροής που εκτίμησε το μοντέλο με την απορροή που μετρήθηκε στην διώρυγα της Καρδίτσας έδειξε μεγάλη ομοιότητα, αυτό δείχνει ότι η προσομοίωση της λεκάνης του βοιωτικού Κηφισού ήταν επιτυχής.

## **Abstract**

The MIKE SHE model is able to simulate the entire flow of watercourses including the direct flow and main flow. Many models either not simulate or using simplified methods for determining the basic flow. The model also examines the various land use and soil types to simulate and to evaluate different management scenarios. Besides that, MIKE SHE takes into account many other hydrological data. Since the study was directed towards the simulation of surface runoff and seepage to saturated and unsaturated zone, the MIKE SHE is an appropriate model to draw firm conclusions. The MIKE SHE model was used to simulate the runoff in the entire area of voiotikos Kifissos basin. The application, calibration and analysis of results and parameters of the hydrological model MikeShe, to facilitate our decision making, now or in the future, on problems of hydrological and environmental nature that may arise in the basin of voiotikos Kifissos, is the purpose and the objective of this study. Meteorological and climate data were selected and used from ten meteorological stations covering the whole basin. The use of daily input rainfall and evapotranspiration data combined geological and soil data, mainly from the literature and the parameters of these elements, vegetation and leaf area along with other information relating in particular crops were an important foundation for the correct simulation of all natural processes. The various simulation scenarios management found that the scenario of deforestation. In the results of simulation observed increase in runoff with increasing rainfall. The comparison of the outflow rated by the model, with runoff measured at Canal of Karditsa, showed great similarity, this indicates that the simulation of the basin of voiotikos Kifissos was successful.

## 1. Εισαγωγή

Η όλο και εντονότερη ανάπτυξη των συστημάτων υδατικών πόρων σε παγκόσμια κλίμακα, ταυτόχρονα με τα συνεχώς αυξανόμενα ελλείμματα, έχει κάνει επιτακτική την ανάγκη για την εφαρμογή ολοκληρωμένων μεθόδων σχεδιασμού και διαχείρισης των υδατικών πόρων. Η επιστήμη της Διαχείρισης των υδατικών πόρων είναι αυτή που κλήθηκε να εφαρμόσει αυτές τις μεθόδους σε σύντομο σχετικά χρονικό διάστημα (των τελευταίων δεκαετιών), για να δώσει λύσεις στα σχετιζόμενα με το νερό προβλήματα της ανθρώπινης κοινωνίας. Αυτό γιατί το νερό είναι βασικό στοιχείο όλων των περιβαλλοντικών και κοινωνικών διαδικασιών. Το νερό είναι κύριο συστατικό του οικολογικού κύκλου. Το νερό είναι απαραίτητο για την αγροτική, την βιομηχανική παραγωγή και την παραγωγή ενέργειας. Για να καλυφθεί λοιπόν η συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση εκμεταλλεύονται όλο και περισσότερο τα υπόγεια νερά, κατασκευάζονται όλο και περισσότερα φράγματα για να ελέγξουν τις πλημμύρες και να ταμιεύσουν το νερό, όλο και μεγαλύτερα υδραγωγεία για να μεταφέρουν το νερό, πολλές φορές σε εκατοντάδες χιλιόμετρα απόσταση, εκμεταλλεύονται όλο και εντονότερα τα υπόγεια υδροφόρα στρώματα και τελευταία ενεργοβόρα εργοστάσια αφαλάτωσης, για να υδροδοτήσουν παραδοσιακά ημι-ερημικές η/και ερημικές περιοχές.

Είναι λοιπόν αναγκαία η αναθεώρηση των παραδοσιακών μεθόδων διαχείρισης των υδατικών πόρων με τελικό στόχο την κατάληξη σε μια ολοκληρωμένη και ορθολογική διαχείριση αυτών με βάση και την οδηγία-πλαίσιο της Ευρωπαϊκής ένωσης (60/2000) για την υδατική πολιτική της. Αναγκαία και σίγουρα χρήσιμη είναι η αναζήτηση νέων ιδεών, νέων μεθόδων νέων μέσων καθώς και νέων τεχνολογιών στον τομέα σχεδιασμού, προγραμματισμού, εκτέλεσης και βέλτιστης αξιοποίησης των υδατικών πόρων.

Αυτές τις μεθόδους διαχείρισης των υδατικών πόρων, σε επίπεδο λεκάνης απορροής θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε, να αναλύσουμε και να εφαρμόσουμε και στην παρούσα μελέτη. Η περιοχή ενδιαφέροντος της παρούσας μελέτης είναι η λεκάνη απορροής του βοιωτικού Κηφισού, μια περιοχή πολύ σημαντικού υδατικού δυναμικού, η σωστή διαχείριση του οποίου επηρεάζει το φυσικό περιβάλλον, την παραγωγή ενέργειας και την κάλυψη αρδευτικών αναγκών μιας μεγάλης περιοχής της Κωπαΐδας.



Ο σκοπός αυτής της μελέτης είναι η εφαρμογή του υδρολογικού μοντέλου MikeShe στην περιοχή μελέτης, η ανάλυση και η επεξεργασία των αποτελεσμάτων ώστε να έχουμε όλα τα απαραίτητα εφόδια για την διευκόλυνση μας στην λήψη αποφάσεων, πάνω σε προβλήματα υδρολογικής φύσεως που μπορεί να προκόψουν στην περιοχή.

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία περιλαμβάνει, εκτός από την Εισαγωγή (Κεφάλαιο 1), τα εξής Κεφάλαια:

- Στο Κεφάλαιο 2: Διαχείριση Υδατικών Πόρων και Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων, γίνεται μια εισαγωγή στον κύκλο του νερού, μια γενική παρουσίαση των Συστημάτων Υποστήριξης Αποφάσεων και μια παρουσίαση των ορισμών που έχουν δοθεί για κάποιες βασικές έννοιες της υδρολογίας.
- Στο Κεφάλαιο 3: Μεθοδολογία, παρουσιάζονται τα στάδια της συλλογής και αρχικής επεξεργασίας των χρονικών και χωρικών δεδομένων και τα αντίστοιχα διαγράμματα ροής.
- Στο Κεφάλαιο 4: Περιγραφή περιοχή μελέτης, παρουσιάζεται η περιοχή για την οποία εφαρμόστηκε το υδρολογικό μοντέλο (λεκάνη βοιωτικού Κηφισού)
- Στο Κεφάλαιο 5: Περιγραφή υδρολογικού ομοιώματος MikeShe, Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται εκτενής παρουσίαση της δομής του υδρολογικού ομοιώματος MIKE SHE, ενώ περιγράφονται αναλυτικά οι απαραίτητες παράμετροι για την κατάρτιση του κάθε σταδίου του.
- Στο Κεφάλαιο 6: Εφαρμογή του υδρολογικού ομοιώματος MikeShe στην περιοχή μελέτης, περιγράφεται η διαδικασία εισαγωγής των δεδομένων (ψηφιακών χαρτών, μετεωρολογικών - βροχομετρικών παραμέτρων, παραμέτρων εδαφικών κλάσεων κ.α ) ανά στάδιο κατάρτισης του υδρολογικού μοντέλου.
- Στο Κεφάλαιο 7: Αποτελέσματα, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης και τα αντίστοιχα διαγράμματα.
- Στο Κεφάλαιο 8: Συμπεράσματα – Προτάσεις παρουσιάζονται συνοπτικά τα κύρια συμπεράσματα της εργασίας και διατυπώνονται προτάσεις για μελλοντική έρευνα.

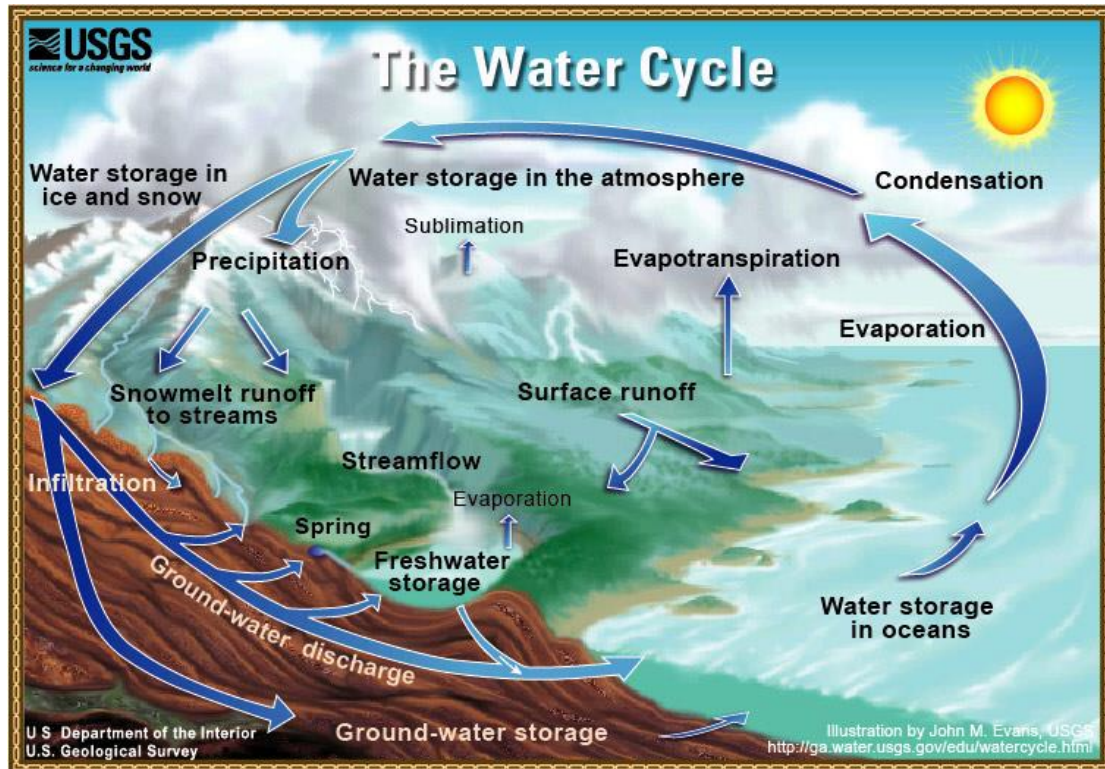
## 2 Βιβλιογραφική ανασκόπηση

### 2.1 Υδατική προέλευση και κατανομή

Η προέλευση του νερού είναι στενά συνδεδεμένη με τις διαδικασίες και τους μηχανισμούς που διαμόρφωσαν τη γη και το στερεό φλοιό της. Στα αρχικά στάδια σχηματισμού της, υδάτινα μόρια στερεοποιήθηκαν από ψύξη και ομαδοποιήθηκαν με τη μορφή νέφους αέριας σκόνης, που συμπυκνώθηκε. Η συσσωρευμένη θερμότητα, από τη μετέπειτα ραδιενεργή θέρμανση, προκάλεσε εξάτμιση της υδάτινης μορφής από τον πυρήνα της γης και οι υδρατμοί, ψυχόμενοι εκ νέου, συμπυκνώθηκαν σε σταγόνες και κατέπεσαν ως «θερμή μόρα». Περισσότερο αληθοφανής ήταν η άποψη κατά την οποία οι υδρατμοί εμφανίστηκαν στο «πλάσμα» της σχηματιζόμενης γης ταυτόχρονα με τα διάφορα ορυκτά και, στην περίοδο της ψύξης μετέπεσαν στην υγρή μορφή σχηματίζοντας την υδρόσφαιρα. Την ταυτόχρονη διαμόρφωση στερεού φλοιού και νερού υποστήριξε ο σοβιετικός ακαδημαϊκός D. I. Scherbakov (1925) ο οποίος πρόσθεσε ότι η συνολική μάζα του νερού στη γη δεν υφίσταται καμία μεταβολή.

Ο Αργεντινός γεωλόγος Geinsgeimer (1960) ανέφερε ότι η γη χάνει προοδευτικά νερό με τη διαδικασία της αποσύνθεσης των υδρατμών, στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας, σε υδρογόνο και οξυγόνο, άποψη την οποία υποστήριξαν και σοβιετικοί επιστήμονες στη δεκαετία του '70, ενώ τόνισαν ότι η μείωση αυτή θεωρείται αμελητέα, αφού σύμφωνα με τους υπολογισμούς τους, η απώλεια νερού σε ολόκληρη τη γεωλογική ιστορία της γης, προκάλεσε υποβιβασμό στην επιφάνεια των ωκεανών μόλις της τάξης των 2-3 m. Τέλος, πειστική ήταν και η θεωρία του Vernadsky (1911) κατά την οποία η ποσότητα του νερού της γης έχει παραμείνει αμετάβλητη για μεγάλη περίοδο και οι θάλασσες, που πλημμυρίζουν την ξηρά, κατά τη διάρκεια των επικλύσεων, δεν είναι παρά «παφλασμοί» του παγκόσμιου ωκεανού (Στουρνάρας, 2007).

Το νερό της γης επομένως, δε χάνεται, αλλά ανακυκλώνεται, μετατρέπεται δηλαδή με κάθε δυνατό τρόπο από τη στερεά μορφή των πάγων στην υγρή των ποταμών, των λιμνών και της θάλασσας και στην αέρια των υδρατμών. Η διαδικασία αυτή είναι γνωστή ως "Υδρολογικός Κύκλος" ή "Κύκλος του Νερού" ( εικόνα 2.1).



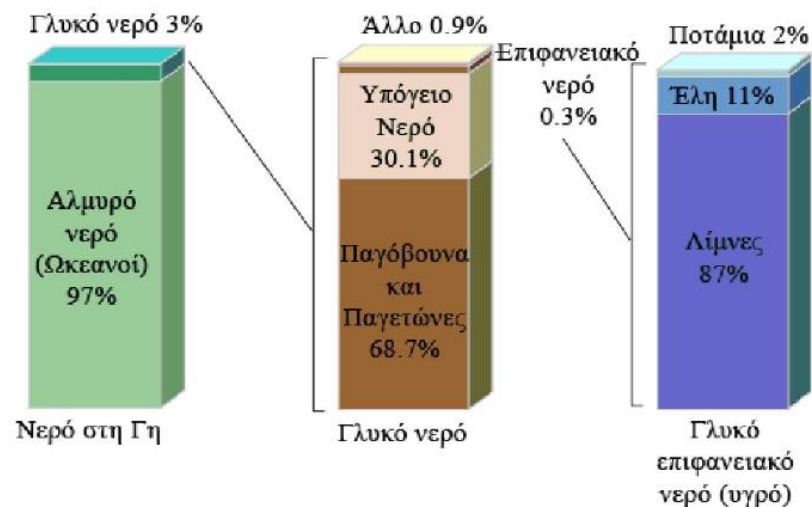
*Εικόνα 2.1: Ο κύκλος του νερού Πηγή: DSGS*

Η κυκλική διαδικασία του υδρολογικού κύκλου επιτυγχάνεται εξαιτίας της ηλιακής ακτινοβολίας. Λόγω της θέρμανσης και των ανέμων στην επιφάνεια της γης, τα νερά της εξατμίζονται και δημιουργούν τους υδρατμούς, των οποίων ένα μέρος συμπυκνώνεται και σχηματίζει τα σύννεφα. Τα ρεύματα του αέρα κινούν τα σύννεφα γύρω απ' την υδρόγειο. Παράλληλα τα σταγονίδια νερού που σχηματίζουν τα σύννεφα συγκρούονται, μεγαλώνουν, και τελικά πέφτουν ως βροχή ή άλλες μορφές νερού, εμπλουτίζοντας τις αποθήκες νερού της γης, επιφανειακές (θάλασσες, λίμνες) και υπόγειες.

Το νερό καλύπτει πάνω από το 70% της επιφάνειας της γης. Οι μεγαλύτερες ποσότητες νερού βρίσκονται στη θάλασσα και καταλήγουν στην ξηρά, ως ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα με την εξάτμιση και τη μεταφορά των υδρατμών, ενώ τα επιφανειακά νερά των ποταμών και οι διαδρομές των υπογείων έχουν ως

κατάληξη κάποιο φυσικό αποδέκτη, συνήθως τη θάλασσα. Το νερό των θαλασσών είναι αλμυρό, λόγω της μεγάλης του περιεκτικότητας σε αλάτι, ενώ το πόσιμο ή "γλυκό" νερό, προέρχεται από τους ποταμούς και τις λίμνες. Στο παρακάτω σχήμα (εικόνα 2.2) και πίνακα δεδομένων (πίνακας 2.1) περιγράφεται λεπτομερώς η κατανομή του νερού της γης σε μια δεδομένη χρονική στιγμή.

Παρατηρείται λοιπόν ότι από τα συνολικά 1.386 εκατομμύρια κυβικά χιλιόμετρα του νερού στη γη το 97% περίπου είναι αλμυρό. Το 68% του γλυκού νερού είναι δεσμευμένο σε πάγο και παγετώνες και ένα 30% του γλυκού νερού βρίσκεται σε υπόγειους υδροφορείς. Το επιφανειακό γλυκό νερό που βρίσκεται σε ποτάμια και λίμνες ανέρχεται συνολικά σε 93.100 κυβικά χιλιόμετρα και αποτελεί το 1/150 του 1% του συνολικού νερού στη γη. Πάρα ταύτα, τα ποτάμια και οι λίμνες είναι οι βασικές πηγές νερού για την κάλυψη των ανθρώπινων αναγκών.



**Εικόνα 2.2:** Παγκόσμια κατανομή νερού Πηγή: Gleick, P. H., 1996

**Πίνακας 2.1:** Εκτίμηση της παγκόσμιας κατανομής νερού Πηγή: Gleick, P. H., 1996

ΜΟΡΦΗ	ΟΓΚΟΣ ΝΕΡΟΥ ΣΕ ΚΥΒΙΚΑ	ΠΟΣΟΣΤΟ ΓΛΥΚΟΥ	ΠΟΣΟΣΤΟ ΣΥΝΟΛΙΚΟΥ
Ωκεανοί, Θάλασσες &	1.338.000.000	-	96,5
Παγόβουνα, Παγετώνες &	24.064.000	68,	1,7
Υπόγειο Νερό	23.400.000	-	1,7
Γλυκό	10.530.000	30,	0,7
Αλμυρό	12.870.000	--	0,94
Εδαφική Υγρασία	16.500	0,05	0,001
Εδαφικός πάγος & Μόνιμα	300.000	0,86	0,022
Λίμνες	176.400	-	0,013
Γλυκές	91.	0,2	0,007
Αλμυρές	85.400	--	0,006
Ατμόσφαιρα	12.900	0,04	0,00
Έλη	11.	0,0	0,0008
Ποταμοί	2.120	0,006	0,0002
Βιολογικό Νερό	1.120	0,003	0,0001
Σύνολο	1.386.000.000	-	100

Το γεγονός ότι οι λίμνες και τα ποτάμια (επιφανειακά νερά), είναι οι κύριες πηγές νερού, ή αλλιώς υδατικοί πόροι, φαίνεται να έρχεται σε αντίθεση με την εικόνα που δίνει ο παραπάνω πίνακας, σύμφωνα με την οποία τα υπόγεια νερά είναι κατά τάξεις μεγέθους περισσότερα από τα επιφανειακά. Η εξήγηση έγκειται στο ότι οι πόροι του νερού δεν είναι αποθεματικοί, αλλά ανανεώσιμοι. Επομένως αυτό που έχει σημασία δεν είναι η ποσότητα νερού που είναι αποθηκευμένη, αλλά αυτή που ανανεώνεται κάθε χρόνο. Έτσι, λοιπόν, τα επιφανειακά νερά διακινούνται και άρα ανανεώνονται με πολύ πιο γρήγορους ρυθμούς από τα υπόγεια. Με άλλα λόγια δεν έχει τόσο σημασία η στατική εικόνα της αποθήκευσης του νερού, αλλά η δυναμική εικόνα της κυκλοφορίας του νερού στην υδρόγειο, η οποία περιγράφεται από τις ποσότητες των διακινήσεων του νερού ανάμεσα στις διάφορες μορφές, δηλαδή από τις ποσότητες που μεταφέρονται μέσα στον υδρολογικό κύκλο (Perlman et al., 2005).

## 2.2 Υδατικοί Πόροι

Υδατικοί πόροι ονομάζονται οι ποσότητες νερού που βρίσκονται σε κατάσταση (μορφή, ποιότητα, θέση) κατάλληλη για την εξυπηρέτηση συγκεκριμένων αναγκών. Οι υδατικοί πόροι δεν ταυτίζονται με το συνολικά διαθέσιμο νερό του Πλανήτη. Έτσι, το 96,5% του φυσικού νερού που βρίσκεται στη θάλασσα δε θεωρείται, γενικά, υδατικός πόρος. Το ίδιο συμβαίνει και με μια ποσότητα υπογείου νερού υψηλής αλατότητας, που ανέρχεται στο 1% του φυσικού νερού, καθώς επίσης και με το ακινητοποιημένο νερό των πολικών παγετώνων, που αποτελεί το 1,7% του συνόλου. Απομένει, λοιπόν, το γλυκό νερό των λιμνών, των ποταμών και των υπογείων υδροφορέων σε μικρά και μεσαία βάθη, δηλαδή οι τυπικοί υδατικοί πόροι σε ποσοστό μικρότερο του 1% (Ξανθόπουλος et al, 1997).

Βάσει της Οδηγίας-Πλαίσιο 2000/60/EK, οι υδατικοί πόροι διακρίνονται σε εσωτερικά επιφανειακά, υπόγεια, μεταβατικά και παράκτια ύδατα. **Επιφανειακά** είναι τα εσωτερικά ύδατα πλην των υπογείων, τα μεταβατικά και τα παράκτια ύδατα και **υπόγεια** τα ύδατα που βρίσκονται κάτω από την επιφάνεια του εδάφους στη ζώνη κορεσμού και σε άμεση επαφή με το έδαφος ή το υπέδαφος. Το σύνολο των στάσιμων ή των ρεόντων επιφανειακών υδάτων και όλα τα υπόγεια ύδατα που βρίσκονται προς την πλευρά της ξηράς σε σχέση με τη γραμμή βάσης από την οποία μετράται το εύρος των χωρικών υδάτων αποτελούν τα **εσωτερικά** ύδατα (inland waters). **Μεταβατικά** (transitional waters) χαρακτηρίζονται τα συστήματα επιφανειακών υδάτων πλησίον του στομίου ποταμών που εν μέρει είναι αλμυρά λόγω της γεινιάσής τους με παράκτια ύδατα, αλλά τα οποία επηρεάζονται ουσιαστικά από ρεύματα γλυκού νερού και **παράκτια** (coastal waters) είναι τα επιφανειακά ύδατα που βρίσκονται στην πλευρά της ξηράς μιας γραμμής, κάθε σημείο της οποίας βρίσκεται σε απόσταση ενός ναυτικού μιλίου προς τη θάλασσα από το πλησιέστερο σημείο της γραμμής βάσης, από την οποία μετράται το εύρος των χωρικών υδάτων και τα οποία, κατά περίπτωση, εκτείνονται μέχρι του απώτερου ορίου των μεταβατικών υδάτων (Νόμος 3199/2003). Τα εσωτερικά ύδατα χαρακτηρίζονται από την παρουσία γλυκού νερού και διακρίνονται σε ρέοντα (ποτάμια, χείμαρροι) και στάσιμα ύδατα (λίμνες, ταμιευτήρες, έλη) (Παναγιωτίδης, 2007).

Η επιμήκης υδατοσυλλογή με τρεχούμενο νερό, το οποίο ρέει προς τα κατάντη με τη βαρύτητα, καλείται **ποταμός**. Το νερό των ποταμών προέρχεται κυρίως απευθείας από τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα και από την επιφανειακή απορροή, υπάρχουν όμως και περιπτώσεις τροφοδοσίας ποταμών με υπόγεια νερά ή με νερό λιμνών. Ανάλογα με το πλάτος της υδατοσυλλογής τα ποτάμια διακρίνονται σε: i) ρυάκια πηγών και μικρά ρυάκια, με πλάτος μέχρι 1 m και ζώνη επιρροής έως 2 km<sup>2</sup>, ii) μεγάλα ρυάκια, με πλάτος από 1 έως 3 m και ζώνη επιρροής από 2 έως 50 km<sup>2</sup>, iii) μικρά ποτάμια, με πλάτος από 3 έως 10 m και ζώνη επιρροής από 50 έως 300 km<sup>2</sup> και iv) μεγάλα ποτάμια, με πλάτος μεγαλύτερο των 10 m και ζώνη επιρροής από 50 έως 500 km<sup>2</sup> σε μεγάλο υψόμετρο και από 300 έως 500 km<sup>2</sup> στην πεδιάδα, ενώ διαφοροποιούνται ανάλογα και με τα χημικά χαρακτηριστικά των νερών τους (περιεκτικότητά σε Ca και Mg, pH κ.λπ.). Τα υδάτινα ρεύματα παροδικής ροής ονομάζονται **χειμάρροι**. Η δημιουργία τους οφείλεται κυρίως στις μεγάλες τοπογραφικές κλίσεις και έμμεσα στην έλλειψη δασικής βλάστησης. Εν αντιθέσει με τα ποτάμια που έχουν μόνιμη ροή, οι χειμάρροι δέχονται νερό μόνο από τις βροχοπτώσεις με αποτέλεσμα να παρατηρούνται στη ροή τους εποχικές διακυμάνσεις (Μοντεσάντου, 1999).

Η μικρή ή μεγάλη υδάτινη μάζα στη στεριά που περιέχει γλυκό, υφάλμυρο και αλμυρό νερό με άμεση, έμμεση, υπόγεια ή και επίγεια σύνδεση ή χωρίς σύνδεση με άλλους υδάτινους χώρους και αποδέκτες λέγεται **λίμνη**. Ανάλογα με την προέλευσή τους οι λίμνες κατατάσσονται σε τεκτονικές, ηφαιστειακές, λίμνες κατολισθήσεων, παγετωνικές και καρστικές, ενώ η συνδυασμένη δράση ποταμών και θάλασσας στις περιοχές των εκβολών έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία παρακτίων λιμνών. Οι **ταμιευτήρες** (τεχνητές λίμνες) αποτελούν υδατικά συστήματα ανθρωπογενούς προέλευσης που δημιουργούνται για τη συλλογή νερού και είναι εφοδιασμένοι με κατασκευές (θυρίδες, αναχώματα), μέσω των οποίων ρυθμίζεται η στάθμη του νερού για να εξυπηρετούνται οι ανάγκες για τις οποίες έχουν κατασκευαστεί. Πέραν της αντιπλημμυρικής, υδρευτικής, αρδευτικής και υδροηλεκτρικής αξίας που διαθέτουν εξαιτίας της αποθήκευσης του νερού, οι περισσότεροι ταμιευτήρες έχουν αποκτήσει με την πάροδο του χρόνου βιολογική και αλιευτική αξία και αξία αναψυχής, καθώς εντός τους διαβιούν πολύτιμα υγροτοπικά οικοσυστήματα (EKBY, 2008).

Ανάλογα συστήματα με τις λίμνες είναι τα **έλη**, δηλαδή οι πρόσκαιρες ή μόνιμες υδάτινες περιοχές όπου τα λιμνάζοντα νερά είναι συνήθως αβαθή και καλύπτονται ως επί το πλείστον από υδρόβιες, υδροχαρείς, υδρόφιλες και ελόβιες

φυτοκοινωνίες. Οι φυσικές ή τεχνητές περιοχές που αποτελούνται από έλη με ποώδη βλάστηση, από μη αποκλειστικώς ομβροδίαιτα έλη με τυρφώδες υπόστρωμα, από τυρφώδεις γαίες ή από νερό καλούνται **υγρότοποι**. Οι υγρότοποι μπορεί να βρίσκονται κοντά στην ακτή (παράκτιοι υγρότοποι) ή στο εσωτερικό της χέρσου (εσωτερικοί υγρότοποι), να είναι φυσικοί ή τεχνητοί (Κουσουρής,2007)

Τα παράκτια και μεταβατικά ύδατα (coastal and transitional waters) χαρακτηρίζονται από την παρουσία αλμυρού νερού και περιλαμβάνουν τις θάλασσες (seas), τις λιμνοθάλασσες (lagoons) και τα εκβολικά συστήματα (estuaries).

Με την ευρύτερη έννοιά του ο όρος **θάλασσα** περιλαμβάνει το σύνολο των αλμυρών τμημάτων της υδρόσφαιρας, τα οποία επικοινωνούν μεταξύ τους και καλύπτουν τα 7/10 της επιφάνειας του πλανήτη. Γεωγραφικά αναφέρεται σε σχετικά περιορισμένες εκτάσεις που περιβάλλονται από την ξηρά (Μεσόγειος θάλασσα), σε αντίθεση με τον ανοικτό ωκεανό. Η θάλασσα είναι ο τελικός αποδέκτης της επιφανειακής απορροής που μεταφέρει όλα τα προϊόντα της διάβρωσης της χέρσου, καθώς και τα υλικά που προέρχονται από τη βιολογική δραστηριότητα. Ως **λιμνοθάλασσες** (lagoons), ορίζονται παράκτιες υδατοσυλλογές με ήρεμα και αβαθή νερά που επικοινωνούν με τη θάλασσα μέσω στενών διαύλων. Οι λιμνοθάλασσες σχηματίζονται είτε στις εκβολές ποταμών, είτε σε κοραλλιογενείς υφάλους. Καλύπτουν περίπου το 10% της παγκόσμιας ακτογραμμής και αποτελούν θέσεις μεγάλης οικολογικής και οικονομικής αξίας. Τέλος, ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχουν οι **εκβολές και τα δέλτα** των ποταμών, εξαιτίας του μεταβατικού χαρακτήρα και της αλληλεπίδρασης ως προς το θαλασσινό και το γλυκό νερό. Εντός τους δημιουργούνται ιδιόζουσες φυσικοχημικές συνθήκες, αποτίθενται και μετακινούνται φερτά υλικά και συναθροίζονται νεαρά ψάρια και καρκινοειδή (Παναγιωτίδης, 2007). Η ανάπτυξη των υδατικών πόρων προϋποθέτει δύο βασικούς τύπους υδραυλικών έργων, τα έργα αποθήκευσης και τα έργα μεταφοράς. Τα κυριότερα έργα αποθήκευσης είναι οι ταμιευτήρες (τεχνητές λίμνες), οι οποίοι δημιουργούνται με την κατασκευή φραγμάτων σε κατάλληλες θέσεις ποταμών. Τα έργα μεταφοράς περιλαμβάνουν υδραγωγεία και δίκτυα διανομής, τα οποία λειτουργούν είτε ως ανοικτοί αγωγοί (διώρυγες, υδατογέφυρες) είτε ως κλειστοί (σήραγγες, σίφωνες, σωλήνες υπό πίεση), ενώ μια τρίτη κατηγορία υδραυλικών έργων, τα αντιπλημμυρικά, κατασκευάζονται για την αντιμετώπιση των φυσικών κινδύνων που συνδέονται με την πλημμυρική (καταστροφική) δίαιτα του νερού (Ξανθόπουλος et al, 1997).



### 2.3 Υδατικές διαστάσεις

Το νερό είναι ο απαραίτητος φυσικός πόρος και το μοναδικό οικονομικό, κοινωνικό και περιβαλλοντικό αγαθό για τη διατήρηση, ανάπτυξη και επιβίωση της ανθρωπότητας και του πλανήτη. Είναι όμως και το πλέον ευαίσθητο και το πρώτο θιγόμενο περιβαλλοντικό συστατικό όσον αφορά την ποσότητά του, λόγω της υπερκατανάλωσης και την ποιότητά του, λόγω της ρύπανσης (Κουσουρής, 2008).

Σύμφωνα με την Κοινοτική Οδηγία 2000/60 που καθορίζει το πλαίσιο της υδατικής πολιτικής της Ευρωπαϊκής Ένωσης με κύριο άξονα την περιβαλλοντική διάσταση του νερού «Το ύδωρ δεν είναι εμπορικό προϊόν, αλλά αποτελεί κληρονομιά που πρέπει να προστατεύεται». Η Οδηγία στοχεύει στην αναχαίτιση οποιασδήποτε περαιτέρω υποβάθμισης και στην επίτευξη καλής κατάστασης για όλα τα υδάτινα σώματα των κρατών-μελών έως το 2015 και εισάγει νέα κριτήρια για μια ορθολογική οικονομική διαχείριση των υδατικών πόρων που καθορίζεται από την αρχή της ανάκτησης κόστους, συνεκτιμώντας τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τις χρήσεις του νερού βάσει της αρχής ο «ρυπαίνων πληρώνει», και την αξία του σε συνθήκες έλλειψης. Το νερό λοιπόν, ως πολύτιμο περιβαλλοντικό αγαθό, πρέπει να προστατεύεται με κάθε τρόπο, προκειμένου να συνεχίσει να υπάρχει ζωή στη φύση και να συντηρείται η οικολογική ισορροπία, ενώ οφείλει να έχει λελογισμένη χρήση.

Το νερό αποτελεί κοινωνικό αγαθό με την έννοια της παραδοχής του αναφαίρετου κοινωνικού δικαιώματος στη χρήση του. Η παραδοχή αυτή απένειμε μια μορφή κοινωνικής δικαιοσύνης, καθώς συνετέλεσε στο να αποκτήσουν πρόσβαση σε νερό ικανής ποσότητας και ικανοποιητικής ποιότητας, ισότιμα, όλοι οι κάτοικοι της γης, χωρίς κοινωνικούς, οικονομικούς ή άλλους αποκλεισμούς. Ωστόσο, η κοινωνική θεώρηση του νερού έρχεται σε αντίφαση με την προσπάθεια κοστολόγησής του, καθώς ένα κοινωνικό αγαθό είναι δύσκολο να έχει τιμή που να ικανοποιεί ισότιμα όλους τους χρήστες (Κολοκυθά, 2000).

Στο παρελθόν η οικονομική διάσταση του νερού είχε παραβλεφθεί. Το γεγονός ότι λογιζόταν ως φυσικό αγαθό σε επάρκεια σε συνδυασμό με τη σχεδόν δωρεάν προσφορά του, οδήγησε τους χρήστες στην υποτίμηση της περιβαλλοντικής του

αξίας, στη σπατάλη του και στην ποιοτική και ποσοτική του υποβάθμιση. Σήμερα, δεδομένου ότι το νερό βρίσκεται σε ανεπάρκεια σε πολλές περιοχές, η αναγνώριση της πλήρους αξίας του είναι επιβεβλημένη και αποτελεί εγγύηση για τη βιώσιμη διαχείριση, διατήρηση και προστασία του.

Η πλήρης αξία του νερού υπολογίζεται με τον υπολογισμό και την ένταξη στην οικονομική αξιολόγηση του άμεσου κόστους, του κόστους ευκαιρίας και του περιβαλλοντικού κόστους. Το άμεσο κόστος, έχει τη μορφή του κόστους κεφαλαίου, του κόστους εργασίας και του κόστους των διοικητικών και άλλων ρυθμίσεων που είναι απαραίτητες για τη συλλογή, μεταφορά, επεξεργασία και διανομή του νερού και αποτελεί μέχρι σήμερα τη συνήθη πρακτική, μιας και η τελική τιμή του νερού υπολογίζεται αποκλειστικά βάσει των δαπανών αξιοποίησής του, αγνοώντας οτιδήποτε σχετίζεται με την αξία αυτού καθαυτού του φυσικού πόρου. Το κόστος ευκαιρίας, αντιστοιχεί στην πλέον πολύτιμη εναλλακτική χρήση του νερού αποκαθιστώντας, όταν λαμβάνεται υπόψη, την ισχύ του οικονομικού νόμου της ζήτησης και της προσφοράς και, τέλος, το περιβαλλοντικό κόστος, με τη μορφή των διαφυγόντων κερδών, εξαιτίας της εξάντλησης ή της υποβάθμισης του νερού, αποδίδει στο φυσικό πόρο την περιβαλλοντική του αξία, συμπληρώνοντας την κοστολόγησή του σύμφωνα με την πλήρη αξία του.

Αυτό που θα κρίνει πάντως την επιτυχία της πολιτικής κοστολόγησης του νερού, σύμφωνα με την πλήρη αξία του, είναι το κατά πόσο θα επιτευχθεί να γίνει κοινή συνείδηση στους πολίτες, ότι δεν αποτελεί ένα ακόμη εισπρακτικό μέσο του κράτους και ότι δε στοχεύει πουθενά αλλού, παρά μόνο στην προστασία του πολύτιμου φυσικού αγαθού από τη σπάταλη χρήση και την ποιοτική υποβάθμιση. Η προβολή του κοινωνικού χαρακτήρα του τελικού στόχου, που είναι η βελτίωση της ποιότητας και των συνθηκών της ζωής, καθώς και του γεγονότος της αποκατάστασης της σημερινής κοινωνικής αδικίας (άλλοι σπαταλούν και ρυπαίνουν το νερό και άλλοι αναγκάζονται να πληρώνουν για να το μεταφέρουν από μακριά ή να το καθαρίζουν), είναι στοιχεία που θα πρέπει να αξιοποιηθούν κατάλληλα για την υιοθέτηση μιας σύγχρονης πολιτικής νερού (Μυλόπουλος, 2008).

Το νερό, εκτός από τη σημασία του ως παράγοντας που καθορίζει την ποιότητα του περιβάλλοντος και την κοινωνική του σημασία, έχει έντονη αναπτυξιακή διάσταση. Καθορίζει τη δυνατότητα ή την αδυναμία επέκτασης των παραγωγικών δραστηριοτήτων, προσδιορίζοντας πολλές φορές και αυτήν την αποδοτικότητά τους. Το νερό, ως οικονομικό αγαθό, για να παραχθεί χρειάζεται την πραγματοποίηση

επενδύσεων. Οι επενδύσεις που γίνονται για την παραγωγή και αξιοποίηση του νερού, ανάλογα με τη χρήση στην οποία θα διατεθεί, διακρίνονται σε επενδύσεις ύδρευσης (οικιακής χρήσης), άρδευσης (γεωργία) και σε επενδύσεις λοιπών οικονομικών δραστηριοτήτων (βιομηχανική χρήση και παραγωγή ενέργειας). Αποβλέπουν στην αξιοποίηση του νερού σε μία ή/και περισσότερες χρήσεις (ύδρευση και άρδευση, παραγωγή ενέργειας και άρδευση, παραγωγή ενέργειας, άρδευση και ύδρευση κ.λπ.) και έχουν άμεσα και έμμεσα κοινωνικοοικονομικά οφέλη που αφορούν στη μείωση του κόστους παραγωγής και τη βελτίωση της ποιότητας των παραγόμενων προϊόντων (κυρίως των γεωργικών), στην ανάπτυξη παραγωγικών τομέων όπως ο τουρισμός, ενώ εμμέσως ενισχύεται η απασχόληση και τα εισοδήματα (Μουλαΐδου et al, 2004).

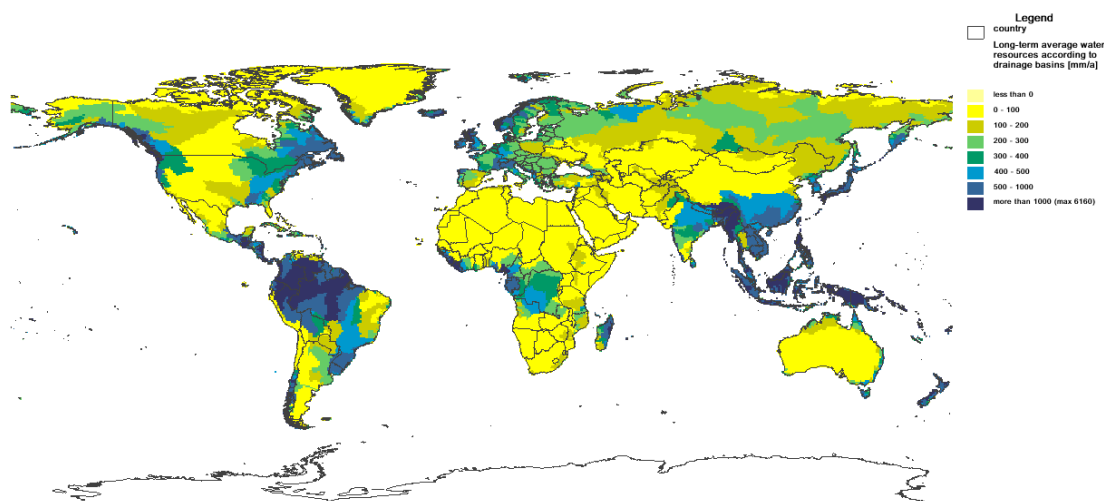
## **2.4 Υδατικά προβλήματα**

Παρά το γεγονός ότι οι διαθέσιμοι υδατικοί πόροι είναι επαρκείς για την κάλυψη των συνολικών υδατικών αναγκών του πλανήτη, η ανομοιόμορφη κατανομή τους δημιουργεί ανισότητες και έχει πυροδοτήσει δεκάδες διαμάχες σε ολόκληρο τον κόσμο. Η Ασία, η ήπειρος που φιλοξενεί το 60% του παγκόσμιου πληθυσμού, κατέχει το 36% του συνολικού νερού που καταλήγει στις λίμνες και τα ποτάμια. Αντίθετα, ο ποταμός Αμαζόνιος περιέχει το 15% του συνολικού νερού των ποταμών, μόνο όμως το 0,4% του παγκόσμιου πληθυσμού έχει πρόσβαση, λόγω γεωγραφικής θέσης, στη χρήση του. Η ανομοιόμορφη κατανομή ισχύει και για τις βροχοπτώσεις με ορισμένες περιοχές της γης να είναι σχεδόν πάντοτε ξηρές, και άλλες, παρότι δεν είναι ξηρές, να πλήττονται κατά καιρούς από περιόδους ξηρασίας (Σταματάκος, 2010).

Τα βασικά υδατικά ζητήματα που απασχολούν σήμερα κράτη και διεθνείς οργανισμούς είναι τα εξής τρία: η λειψυδρία, η μόλυνση των υδροφόρων οριζόντων και η ορθολογική διαχείριση των υδατικών πόρων. Ένας στους έξι ανθρώπους παγκοσμίως (1,1 δις) δεν έχει πρόσβαση σε νερό, την ίδια στιγμή που ένας στους τρεις πίνει νερό που προέρχεται από εγκαταστάσεις που δεν πληρούν τις βασικές προϋποθέσεις υγιεινής (Σύλλας, 2007).

Ως λειψυδρία καλείται η περιστασιακή ή μονιμότερη έλλειψη νερού σε σχέση πάντα με τη χρήση, την κατάχρηση και τις πάσης μορφής απώλειες (Τσακίρης, 2008). Το φαινόμενο της λειψυδρίας σημειώνεται όταν οι ποσότητες του νερού που

αφαιρούνται από τις λίμνες, τα ποτάμια ή το υπέδαφος είναι τόσο μεγάλες, ώστε οι προμήθειες νερού δεν επαρκούν πλέον για την ικανοποίηση των ανθρώπινων αναγκών ή των αναγκών του οικοσυστήματος. Μιλώντας με αριθμούς, η λειψυδρία, έχει οριστεί ως η κατάσταση κατά την οποία η διαθεσιμότητα νερού σε μια χώρα ή μια περιοχή είναι μικρότερη των 1000 m<sup>3</sup>/άτομο/έτος (MIO-ECSDE, 2007). Σε έναν Ισλανδό αντιστοιχούν ετησίως 708.000 m<sup>3</sup> νερού, σε έναν Έλληνα 3.000 m<sup>3</sup> και σε έναν Αιγύπτιο 30 m<sup>3</sup> (Σταματάκος, 2010).



*Εικόνα 2.3 : Διαθεσιμότητα των υδατικών πόρων ανά κύρια υδρολογική λεκάνη σε παγκόσμιο επίπεδο (UNEP, 2004).*

Οι άνθρωποι στις αναπτυγμένες χώρες καταναλώνουν καθημερινά κατά μέσο όρο περίπου 10 φορές περισσότερο νερό από εκείνους στις αναπτυσσόμενες. Υπολογίζεται ότι ο μέσος καταναλωτής των αναπτυγμένων χωρών χρησιμοποιεί την ημέρα άμεσα ή έμμεσα 500- 800 λίτρα νερό (300 m<sup>3</sup> ετησίως). Στις μεγάλες πόλεις, η κατανάλωση νερού υπολογίζεται σε 300-600 λίτρα ανά άτομο την ημέρα με το αντίστοιχο ποσό στις μικρές πόλεις να είναι 100- 150 λίτρα. Στις αναπτυσσόμενες χώρες στην Ασία, την Αφρική και τη Λατινική Αμερική, η δημόσια κατανάλωση νερού αντιπροσωπεύει 50-100 λίτρα ανά άτομο την ημέρα (30 m<sup>3</sup> ετησίως), ενώ σε περιοχές με ανεπαρκείς υδατικούς πόρους το ποσό αυτό ενδέχεται να μην ξεπερνά ημερησίως τα 10-40 λίτρα (Μεσόγειος SOS, 2008).

Στον πλανήτη κατοικούν 6,4 δισεκατομμύρια άνθρωποι, αριθμός διπλάσιος απ' ότι το 1960, ο οποίος το 2050 αναμένεται να παρουσιάσει αύξηση της τάξεως του 45% και να φτάσει τα 9,3 δις. Η αύξηση του πληθυσμού της γης, σε συνδυασμό με την αλλαγή των συνηθειών διαβίωσης, δημιουργούν δύο αντιφατικές τάσεις: τη

συνεχή μείωση των κατά κεφαλήν διαθέσιμων υδατικών πόρων, εξαιτίας της αύξησης του πληθυσμού από τη μία πλευρά, και τη διαρκή αύξηση των κατά κεφαλήν υδατικών απαιτήσεων, ως αποτέλεσμα της αλλαγής των συνθηκών διαβίωσης από την άλλη (ΑΣΔΑ, 2008).

Το νερό, εκτός από απαραίτητο για τη συντήρηση της ίδιας της ζωής, είναι πρωταρχικής σημασίας για μεγάλο πλήθος εξόχως σημαντικών δραστηριοτήτων του ανθρώπου, από τη γεωργία και τη βιομηχανική ανάπτυξη, μέχρι τον τουρισμό και την παραγωγή ενέργειας. Η επέκταση και εντατικοποίηση των αρδεύσεων, με την εισαγωγή σύγχρονων υδροβόρων καλλιεργειών και την εφαρμογή σπάταλων σε νερό αρδευτικών μεθόδων στον αγροτικό τομέα και οι αυξημένες σε νερό απαιτήσεις επεξεργασίας των προϊόντων στο βιομηχανικό τομέα, επαληθεύουν τη μεγάλη αλλαγή που έχει επιτελεσθεί στη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών στην υδατική ζήτηση. Στο μέλλον εκτιμάται ότι θα υπάρξει περαιτέρω αύξηση των υδατικών αναγκών για τη γεωργία, την παροχή πόσιμου νερού, τις υπηρεσίες υγιεινής, τη λειτουργία βιομηχανιών και την τροφοδότηση των πόλεων. Κατά συνέπεια, το έλλειμμα στο υδατικό ισοζύγιο προσφοράς-ζήτησης ενδέχεται να αυξηθεί ακόμη περισσότερο, απειλώντας την παγκόσμια οικονομική και κοινωνική ανάπτυξη και περιβαλλοντική βιωσιμότητα (Μεσόγειος SOS, 2008).

Έτσι αν το 2000, 508.000.000 άνθρωποι αντιμετώπιζαν προβλήματα λειψυδρίας, σύμφωνα με έκθεση του World Resources Institute, ο αριθμός αυτός το 2025 θα επταπλασιαστεί και θα φτάσει τα 3,5 δις, ενώ το 2050, εκτιμάται ότι 4,2 δις άνθρωποι (πάνω από το 45% του παγκόσμιου πληθυσμού) θα στερούνται της ελάχιστης απαιτούμενης ποσότητας νερού (50 λίτρα την ημέρα) για την επιβίωση και την ατομική τους καθαριότητα (Σταματάκος, 2010).

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου, που προήλθε από τις υψηλές εκπομπές των αερίων καύσης εξαιτίας της έντονης αναπτυξιακής δραστηριότητας των πλούσιων χωρών του βορρά στους τομείς της βιομηχανίας, της παραγωγής ενέργειας και των μεταφορών, προκάλεσε την υπερθέρμανση του πλανήτη, η οποία με τη σειρά της οδήγησε σε απορρύθμιση του κλίματος. Η απορρύθμιση του κλίματος έχει άμεσο αντίκτυπο σε οτιδήποτε σχετίζεται με το νερό. Μάλιστα η κλιματική αλλαγή εκτιμάται ότι θα επιφέρει στις περιοχές της Βόρειας και Κεντρικής Ευρώπης αύξηση του μέσου ύψους της βροχής, στις περιοχές της Μεσογείου συχνότερη εμφάνιση ακραίων φαινομένων με τη μορφή της εναλλαγής ξηρών και υγρών περιόδων και στις περιοχές του τρίτου κόσμου αύξηση της ανομβρίας. Γίνεται λοιπόν εύκολα αντιληπτό

ότι σε συνθήκες κλιματικής αλλαγής, αναμένεται έξαρση των φαινομένων λειψυδρίας στις αναπτυσσόμενες χώρες (Μυλόπουλος, 2007).

Στα προβλήματα της λειψυδρίας και των απαιτήσεων του αυξανόμενου πληθυσμού, έρχεται να προστεθεί το πρόβλημα της μόλυνσης. Υπολογίζεται ότι η ποσότητα των λυμάτων (οικιακών και βιομηχανικών) που καταλήγει κάθε χρόνο στους ποταμούς του πλανήτη, ισοδυναμεί με 450 km<sup>3</sup>. Στην Αφρική, τα απόβλητα της αναπτυσσόμενης βιομηχανίας καταλήγουν, χωρίς καμία διεργασία, στα νερά των ποταμών. Στα αναπτυγμένα κράτη πάλι, οι ποταμοί συχνά δηλητηριάζονται από τοξικές χημικές ουσίες, συμπεριλαμβανομένων των γεωργικών λιπασμάτων. Στη Βόρεια Αμερική, τη Νότια Ασία και τις περιοχές του Ειρηνικού τα περισσότερα ποτάμια και λίμνες έχουν επιβαρυνθεί από νιτρικά άλατα, απόβλητα βιομηχανιών και βαρέα μέταλλα (μόλυβδος, χρώμιο), ενώ οι 31 ποταμοί που διασχίζουν την Ευρώπη παρουσιάζουν προβλήματα ρύπανσης, με το 25% αυτών να είναι μολυσμένοι και ορισμένοι μάλιστα σε τέτοιο βαθμό, ώστε θεωρούνται οικολογικά νεκροί. Οι ασθένειες που σχετίζονται με το νερό (διαρροϊκές ασθένειες, χολέρα, τυφοειδής πυρετός) μπορούν να προκαλέσουν ακόμη και θάνατο. Υπενθυμίζεται ότι περισσότεροι από 400 εκατομμύρια άνθρωποι πάσχουν από γαστρεντερίτιδα και ακόμη 230 εκατομμύρια από άλλες ασθένειες που μεταδίδονται με το ακατάλληλο νερό (Καϊτατζής, 2007).

Η μεγάλη αύξηση του πληθυσμού, οι μη αειφόροι μορφές κατανάλωσης, οι κακές πρακτικές διαχείρισης, η ρύπανση, η ανεπαρκής επένδυση σε υποδομές και η χαμηλή αποδοτικότητα στη χρήση του νερού, οδηγούν στην ταχύτερη μείωση των διαθέσιμων υδατικών αποθεμάτων. Η κατάσταση των παγκόσμιων αποθεμάτων νερού παραμένει σήμερα εξαιρετικά επισφαλής, ενώ η ανάγκη για την ολοκληρωμένη και βιώσιμη διαχείρισή τους, επείγει όσο ποτέ άλλοτε. Ο εντοπισμός και η ανάπτυξη νέων πόρων, η ενίσχυση του θεσμικού δυναμικού και της διακυβέρνησης σε όλα τα επίπεδα, η περαιτέρω προώθηση της τεχνολογίας, η επιστράτευση υψηλότερου μεγέθους οικονομικών πόρων και η σωστή εφαρμογή των υπαρχουσών πρακτικών και γνώσεων είναι ενέργειες που συνθέτουν το πλαίσιο δράσης για την επιτυχή αντιμετώπιση των κρίσιμων υδατικών ζητημάτων (Μεσόγειος SOS, 2008).

## 2.5 Οι υδατικοί πόροι στην Ελλάδα

Το σύνολο των υδατικών πόρων της Ελλάδας, επιφανειακών και υπόγειων, εκτιμάται στα 69 δις m<sup>3</sup>, εκ των οποίων τα 49 δις είναι η μέση ετήσια επιφανειακή απορροή και τα 20 δις οι υπόγειοι υδατικοί πόροι (Δάνδολος κ.ά., 2008). Συνολικά η Ελλάδα διαθέτει επαρκείς επιφανειακούς και υπόγειους υδατικούς πόρους. Υπάρχουν, όμως, διάφοροι λόγοι που μειώνουν σημαντικά την πραγματική διαθέσιμη ποσότητά τους και δυσκολεύουν την αξιοποίησή τους. Οι κυριότεροι από αυτούς είναι η χωρικά και χρονικά άνιση κατανομή των υδατικών πόρων, η χωρικά και χρονικά ανομοιόμορφη κατανομή της ζήτησης ύδατος, η γεωμορφολογία της χώρας, η εξάρτηση της βόρειας Ελλάδας από διασυνοριακούς ποταμούς (περίπου 13 Gm<sup>3</sup>/y), το μεγάλο ανάπτυγμα ακτών και τα πολλά άνυδρα ή με ελάχιστους υδατικούς πόρους νησιά. Τα προβλήματα διαθεσιμότητας των υδατικών πόρων επιτείνουν η σημαντική αύξηση της κατανάλωσης, η μείωση της εισροής νερών από τις γειτονικές χώρες, η ρύπανση και η εμμονή ακραίων φαινομένων (ξηρασίες) (Σουφλιάς, 2008).

Οι δύο σημαντικότερες χρήσεις νερού στην Ελλάδα είναι η αστική και η αγροτική, με την αγροτική να απορροφά τη μερίδα του λέοντος με ποσοστό 86% (το 96% του οποίου αφορά άρδευση και απ' αυτό το 80% χάνεται σε απώλειες από τον υδρολογικό κύκλο της κάθε περιοχής). Η κατανομή για την αγροτική χρήση νερού της χώρας έχει ως εξής: το μεγαλύτερο μερίδιο κατέχει η Θεσσαλία (απορροφά το 25% του «γεωργικού» νερού και συγκεντρώνει το 21,7% της συνολικής ζήτησης νερού στη χώρα), με την Ανατολική Στερεά (12,5% της αγροτικής ζήτησης νερού), στη δεύτερη θέση, και την Κεντρική Μακεδονία (10,5%), στην τρίτη. Το μεγαλύτερο ποσοστό της αστικής χρήσης απορροφάται στην ύδρευση των μεγάλων αστικών κέντρων. Στην Ελλάδα την πρωτιά κατέχει η περιοχή της Αττικής, όπου καταναλώνεται το 4% του συνολικά διαθέσιμου νερού της χώρας, ποσότητα υπερτριπλάσια της αμέσως επόμενης (Κεντρική Μακεδονία). Ως προς τις υπόλοιπες «κατευθύνσεις» του νερού, μόλις το 2% των υδάτων απορροφάται για βιομηχανική χρήση, ενώ στο 1% ανέρχεται το ποσοστό του νερού που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ενέργειας (Τερζής, 2006).

Το υδρολογικό καθεστώς της Ελλάδας παρουσιάζει ιδιαιτερότητες που διαφοροποιούν σημαντικά τις ανατολικές περιοχές της χώρας, οι οποίες, μαζί με τα νησιά του Αιγαίου και την Κρήτη, είναι περιοχές ιδιαίτερα προβληματικές από

πλευράς φυσικού εμπλουτισμού, καθώς δέχονται μικρά ποσά βροχής, πολύ άνισα κατανομημένα στο χρόνο. Βιώνουν δηλαδή καταστροφικές πλημμύρες, ιδιαίτερα το χειμώνα, και μεγάλες ξηρασίες το καλοκαίρι. Η ανισότητα αυτή αναμένεται να αυξηθεί με μια ενδεχόμενη κλιματική αλλαγή, η οποία θα επιδεινώσει την επικινδυνότητα των πλημμυρών και παράλληλα τη δριμύτητα της ξηρασίας. Ειδικά για την ξηρασία, οι περιοχές αυτές βιώνουν ένα καθεστώς «ενδημικής» έλλειψης νερού που, ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες, απασχολεί λιγότερο ή περισσότερο. Για να μιλήσει όμως κανείς για λειψυδρία, σε μια περιοχή, θα πρέπει να αναφέρεται συνδυασμένα όχι μόνο στην κατάσταση των υδατικών πόρων, αλλά και στις χρήσεις του νερού. Δυστυχώς για την Ελλάδα, οι μεγάλοι χρήστες νερού βρίσκονται κυρίως στη μειονεκτική, όπως προαναφέρθηκε, από πλευράς φυσικού εμπλουτισμού, ανατολική και νότια περιοχή της χώρας. Η ανομοιόμορφη κατανομή των υδατικών πόρων, σε συνδυασμό με την πολύ υψηλή κατανάλωση νερού που συντελείται σε αυτές τις περιοχές, με ιδιαίτερη δε ένταση στη Θεσσαλία και στην Αττική, δημιουργούν σχεδόν μόνιμες συνθήκες διαρκούς επικινδυνότητας έλλειψης νερού και μη κάλυψης της υδατικής ζήτησης (Μιμίκου, 2001).

Τη διαχείριση των υδατικών πόρων στην Ελλάδα χαρακτηρίζουν η αλόγιστη χρήση και η ανεξέλεγκτη σπατάλη. Σε κάθε Έλληνα αναλογούν ετησίως περίπου 400 km<sup>3</sup> νερό, όταν ο αντίστοιχος παγκόσμιος μέσος όρος είναι 240 km<sup>3</sup>. Καθημερινά χάνονται τεράστιες ποσότητες νερού λόγω των κακοσυντηρημένων αρδευτικών συστημάτων και της λανθασμένης νοοτροπίας των Ελλήνων καταναλωτών. Στον αγροτικό τομέα, καταγράφονται απώλειες νερού της τάξεως του 45%. Η μεγάλη σπατάλη νερού στη γεωργία προκύπτει από έρευνα του Γεωπονικού Πανεπιστημίου, σύμφωνα με την οποία το νερό που καταναλώνει συνολικά η Ελλάδα ανέρχεται ετησίως σε 25,2 Gm<sup>3</sup>, από τα οποία μόλις τα 0,83 Gm<sup>3</sup> χρησιμοποιούνται στον οικιακό τομέα. Η κατανάλωση του νερού που χρησιμοποιείται για άρδευση σήμερα στην Ελλάδα, συγκριτικά με τις ανάγκες, μπορεί να θεωρηθεί ως «υπεράντληση», αφού σπαταλιέται μέχρι και 40% περισσότερο νερό από το απαιτούμενο. Ωστόσο, η χρήση προηγμένων τεχνολογιών άρδευσης, η ανακύκλωση νερού και η μείωση των απωλειών στην αποθήκευση, μεταφορά και εφαρμογή του νερού και ο περιορισμός του χρόνου άρδευσης στο δεκατετράωρο μεταξύ 18.00 και 08.00, αποτελούν σημαντικά στοιχεία αντιμετώπισης της συνεχώς αυξανόμενης ζήτησης (Γιουρουκέλη, 2008).



## 2.6 Γενικές αρχές διαχείρισης υδατικών πόρων

Η άνιση κατανομή των διαθέσιμων υδατικών πόρων σε χωροχρονικό επίπεδο, οι ολοένα αυξανόμενες ανάγκες σε υδατικό δυναμικό για διάφορες χρήσεις, η, διαρκώς, αυξανόμενη απειλή υδατικών ελλειμμάτων και ποιοτικής υποβάθμισης των υδατικών συστημάτων, οι λειψυδρίες και ξηρασίες, οι ρυπάνσεις και μολύνσεις, καθιστούν το θέμα της υδατικής διαχείρισης, ως πρωτεύον και κυριαρχικό (Στουρνάρας, 2007).

Η Διαχείριση Υδατικών Πόρων (ΔΥΠ), ως επιστημονική προσέγγιση, αλλά και ως επιχειρησιακή πρακτική, βρίσκεται σε άμεση συσχέτιση και εμπλέκεται ενεργά με τη διαδικασία της ανάπτυξης, αλλά και με εκείνη της περιβαλλοντικής πολιτικής. Αυτό είναι φυσικό, καθώς το νερό είναι από τα πλέον πολύτιμα και ευαίσθητα περιβαλλοντικά αγαθά, ως ανανεώσιμος φυσικός πόρος, ενώ συγχρόνως συμμετέχει ενεργά στην αναπτυξιακή διαδικασία, αποτελώντας προϋπόθεση για κάθε μορφή οικονομικής ανάπτυξης (Μυλόπουλος, 2000).

Στη διεθνή βιβλιογραφία, απαντώνται περισσότεροι του ενός ορισμοί της ΔΥΠ. Σύμφωνα με το Ν. 1739/1987 του ΥΒΕΤ ως διαχείριση υδατικών πόρων, νοείται το σύνολο των μέτρων και των δραστηριοτήτων που πρέπει να αναπτύσσονται για την κάλυψη των αναγκών σε νερό. Ο Grigg (1996) ορίζει ως διαχείριση υδατικών πόρων την εφαρμογή μέτρων (κατασκευαστικών και μη)<sup>2</sup> για τον έλεγχο των συστημάτων υδατικών πόρων (φυσικών και τεχνητών) προς όφελος του ανθρώπου και του περιβάλλοντος. Σύμφωνα με τον Καραβίτη (2005) ένας πλήρης ορισμός της διαχείρισης υδατικών πόρων είναι αυτός όπου διαχείριση των υδατικών πόρων περιέχει όλες τις οργανωμένες δραστηριότητες, σχετικά με την ανάπτυξη, διατήρηση, προστασία και τον έλεγχο προστασίας των υδατικών πόρων και των έργων τους, κάτω απ' όλες τις συνθήκες, με την ταυτόχρονη προστασία του περιβάλλοντος και την αειφορία του πόρου. Η διαχείριση δηλαδή πρέπει να είναι προετοιμασμένη για όλα τα πιθανά συμβάντα και αυτό καθορίζει και τον βαθμό επιτυχία της (Καραβίτης, 2005).

Η ΔΥΠ έχει ως στόχους: α) την προμήθεια νερού επαρκούς ποσότητας και κατάλληλης ποιότητας για την ικανοποίηση των διαφόρων αναγκών, β) την

προστασία των υδατικών πόρων από τη ρύπανση, γ) τη διατήρηση των οικοσυστημάτων και του φυσικού περιβάλλοντος, δ) την προστασία από τα ακραία φαινόμενα (πλημμύρες/ξηρασίες), ε) τη μεγιστοποίηση της αποδοτικότητας των υδατικών πόρων, στ) τη μέριμνα για τη διατήρηση των αναγκαίων αποθεμάτων στο μέλλον και την αποφυγή μη αναστρέψιμων επεμβάσεων και ζ) τη διατήρηση υψηλού επιπέδου αξιοπιστίας (περιορισμός της αβεβαιότητας) (Κουτσογιάννης, 2007).

Βασικοί κανόνες της ΔΥΠ είναι η ισομερής κατανομή μεταξύ των χρηστών με βάση αντικειμενικά κριτήρια, η οικονομική βελτιστοποίηση της χρήσης νερού σήμερα και στο μέλλον, η αποφυγή βλαβών και άλλων αρνητικών συνεπειών (καταστροφή πόρων και περιβάλλοντος) και η βιωσιμότητα της ανάπτυξης (Μαμάσης, 2007).

Δύο ειδών δραστηριότητες σχετίζονται με τους υδατικούς πόρους. Η πρώτη δραστηριότητα περιλαμβάνει τα «έργα» και αναφέρεται στα έργα ανάπτυξης (δίκτυα ύδρευσης, γεωτρήσεις κ.λπ.) και τα έργα διατήρησης και ελέγχου (αντιπλημμυρικά έργα, έργα βιολογικού καθαρισμού κ.λπ.) των υδατικών πόρων. Η δεύτερη δραστηριότητα αφορά στη διαχείριση των υδατικών πόρων για την εξασφάλιση της βέλτιστης χρήσης νερού στο παρόν και στο μέλλον. Στις δραστηριότητες της ΔΥΠ περιλαμβάνονται: α) η έρευνα και μελέτη των υδατικών πόρων (με οικονομικά και κοινωνικά κριτήρια), β) η συλλογή και η ανάλυση των ποσοτικών και ποιοτικών δεδομένων για τους υφιστάμενους και αναξιοποίητους υδατικούς πόρους και τη ζήτηση σε όλους τους τομείς, με βάση τα υφιστάμενα έργα ή έργα που μπορούν να γίνουν, γ) η ανάπτυξη στρατηγικής και προετοιμασίας «σχεδίων», δ) η απόφαση για σχέδια και η εξασφάλιση αποδοχής και συμμετοχής των διαφόρων ενδιαφερομένων ομάδων και ε) η εφαρμογή κάθε σχεδίου (Τσακίρης, 1995).

Οι αναζητούμενοι τρόποι υδατικής διαχείρισης πρέπει να χαρακτηρίζονται από ορθολογικότητα (δηλαδή να είναι επιστημονικά θεμελιωμένοι), αποδοτικότητα (δηλαδή να αξιοποιούν τους υδατικούς πόρους στο μέγιστο δυνατό βαθμό) και βιωσιμότητα (δηλαδή να μη δημιουργούν πρόβλημα εξάντλησης των υδατικών πόρων στο μέλλον για την κάλυψη των αναγκών του σήμερα). Το αποτέλεσμα της βέλτιστης λειτουργίας είναι η κάλυψη της ζήτησης να γίνεται με αξιοπιστία (μείωση της πιθανότητας μη κάλυψης της ζήτησης νερού σε αποδεκτά επίπεδα), με νερό ασφαλούς ποιότητας, με μεθόδους που δε δημιουργούν προβλήματα στο περιβάλλον και με οικονομικά πρόσφορο τρόπο (Μαμάσης, 2007).

Βασικό υπόβαθρο για την επίτευξη αποτελεσματικής διαχείρισης, αποτελεί το ανθρώπινο δυναμικό και η τεχνολογική υποδομή, ενώ απαραίτητη είναι και η κατάλληλη υλικοτεχνική υποδομή, με την υιοθέτηση σύγχρονων τεχνολογιών και αντιλήψεων. Βάσεις δεδομένων, επαρκείς και ενημερωμένες με τα απαραίτητα δεδομένα, κατάλληλο λογισμικό για τη διαχείριση της πρωτογενούς πληροφορίας, βαθμονομημένα ομοιώματα για την προσομοίωση των φυσικών διεργασιών και την ανάπτυξη σεναρίων και γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών για την προσομοίωση της χωρικής μεταβλητότητας των συνιστωσών είναι μόνο μερικά από τα απαραίτητα στοιχεία που συνθέτουν το πλαίσιο πάνω στο οποίο θα αναπτυχθούν οι δράσεις και οι ενέργειες με σκοπό τη διαχείριση (Βαράνου et al., 2005).

Σύμφωνα με τον Ασημακόπουλο (2008) τα βασικά εργαλεία για την ορθολογική διαχείριση της ζήτησης νερού είναι τα εξής πέντε: α) επιβολή (νομοθεσία, αυστηρές προδιαγραφές, πρότυπα), β) ενθάρρυνση (υποστήριξη των καταναλωτών για την ορθολογική χρήση του νερού), γ) τεχνολογία και σχεδιασμός (διαχείριση διαρροών και ελαχιστοποίηση απωλειών, μέτρηση κατανάλωσης, μείωση πίεσης, μειωτές ροής), δ) οικονομικά εργαλεία (οικονομικά κίνητρα και αντικίνητρα τιμολόγηση) και ε) εκπαίδευση (πρόσβαση σε δεδομένα, πληροφόρηση, ενημέρωση και ευαισθητοποίηση των καταναλωτών).

Για να θεωρηθεί ολοκληρωμένος ένας αναπτυξιακός σχεδιασμός, είτε σε επίπεδο χώρας, είτε σε επίπεδο περιφερειακό, επιβάλλεται να είναι ενταγμένη σ' αυτόν μια στρατηγική διαχείρισης υδατικών πόρων, κεντρικά και περιφερειακά. Απαιτείται δε, ενεργός συμμετοχή όλων των εμπλεκόμενων κρατικών φορέων και όλων των ενδιαφερομένων στη διαδικασία λήψης αποφάσεων. Μια αποτελεσματική διαχείριση προάγει, ανάμεσα σε άλλα, τη διατήρηση των υπαρχόντων φυσικών υδατικών συστημάτων, τη σχεδιασμένη επαναχρησιμοποίηση των υδατικών πόρων, την αναβάθμιση της ποιότητας των υδατικών πόρων και τη διαχείριση της ζήτησης του νερού με σκοπό την εξοικονόμηση (Βαράνου et al, 2005)

## 2.7 Συστήματα υποστήριξης αποφάσεων (DSS)

Σύμφωνα με ένα γενικό ορισμό, τα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων (ΣΥΑ-αγγλικά Decision Support Systems, DSS) είναι εφαρμογές λογισμικού που υποστηρίζουν τη διαδικασία λήψης αποφάσεων, βοηθώντας τους αρμόδιους χρήστες να κατανοήσουν τις επιπτώσεις των δράσεών τους (French, 2000).

Ο όρος «σύστημα υποστήριξης αποφάσεων» αντικατέστησε σχεδόν ολοκληρωτικά τις πρακτικά ισοδύναμες έννοιες «έμπειρο σύστημα» και «τεχνητή νοημοσύνη», οι οποίες ήταν ιδιαίτερα διαδεδομένες στην επιστήμη της πληροφορικής μέχρι πριν μια δεκαετία. Η διαφοροποίηση αυτή σηματοδοτεί σημαντική στροφή στην προτεραιότητα των στόχων ανάπτυξης των υπολογιστικών συστημάτων, δηλαδή από την υποκατάσταση, στην υποβοήθηση της κρίσης του χρήστη-εμπειρογνώμονα (Dreyfus and Dreyfus, 1986 & Watkins and McKinney, 1995).

Τα ΣΥΑ έχουν βρει ένα ευρύ πεδίο εφαρμογής, κυρίως στον έλεγχο και στη διαχείριση πολύπλοκων φυσικών ή τεχνητών συστημάτων (Eom et al., 1998 & Turban and Aronson, 1998), αξιοποιώντας τις ραγδαίες τεχνολογικές εξελίξεις στο χώρο της πληροφορικής και την παραγωγή νέας γνώσης στο επιστημονικό πεδίο της μαθηματικής προσομοίωσης και ανάλυσης συστημάτων.

Ορισμένα χαρακτηριστικά ενός ΣΥΑ φαίνονται παρακάτω (Ευστρατιάδης et al, 2007):

- πρόκειται για ολοκληρωμένο σύστημα από υπολογιστικά εργαλεία, με διαδραστικό, κατά κανόνα, περιβάλλον λειτουργίας (δηλαδή προϋποθέτει επέμβαση του χρήστη, μέσω κατάλληλα σχεδιασμένου interface),
- παρέχει δυνατότητες τυποποίησης, οργάνωσης, διαχείρισης και επεξεργασίας των πληροφοριών (μέσω βάσεων δεδομένων), καθώς και οπτικοποίησης αυτών (μέσω συστημάτων γεωγραφικής πληροφορίας),
- περιέχει υπολογιστικά εργαλεία ανάλυσης συστημάτων, όπως μοντέλα προσομοίωσης, βελτιστοποίησης και ανάλυσης αποφάσεων
- σχεδιάζεται με στόχο την υποβοήθηση του χρήστη στη λήψη αποφάσεων σε σχετικά πολύπλοκα και ασθενώς δομημένα προβλήματα (δηλαδή προβλήματα που δεν επιδέχονται άμεση διατύπωση

εξισώσεων), μέσω της διατύπωσης και λεπτομερούς μελέτης σειράς εναλλακτικών επιλογών.

Στις δραστηριότητες που σχετίζονται με τη λήψη αποφάσεων κατατάσσονται η συλλογή πρωτογενών δεδομένων και επεξεργασία τους (ήτοι, μετατροπή τους σε χρήσιμη πληροφορία για την εκτίμηση της κατάστασης), η διατύπωση και διερεύνηση εναλλακτικών λύσεων, η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, η λήψη της απόφασης και η ανάληψη των σχετικών δράσεων (Sage, 1993).

Η συλλογή των πρωτογενών δεδομένων γίνεται, τα τελευταία χρόνια, όλο και περισσότερο μέσω συστημάτων αυτοματισμού των μετρήσεων, τα οποία μπορούν να θεωρηθούν ως συνιστώσες ενός ΣΥΑ. Η κύρια λειτουργία των ΣΥΑ επικεντρώνεται στην επεξεργασία των δεδομένων και στη διατύπωση και διερεύνηση μιας σειράς εναλλακτικών λύσεων. Η επεξεργασία των δεδομένων πραγματοποιείται μέσω εφαρμογών διαχείρισης και επεξεργασίας των πληροφοριών, οι οποίες μπορεί να είναι από απλά εργαλεία λογιστικών φύλλων μέχρι πιο σύνθετα εργαλεία σχεσιακών βάσεων δεδομένων και συστημάτων γεωγραφικής πληροφορίας. Από την άλλη πλευρά, η διατύπωση και διερεύνηση των εναλλακτικών λύσεων που αποτελεί την κεντρική συνιστώσα ενός ΣΥΑ, αναφέρεται στην εφαρμογή εξειδικευμένων μαθηματικών μοντέλων (από απλά εμπειρικά μοντέλα έως εξελιγμένα μοντέλα προσομοίωσης και βελτιστοποίησης), τα οποία αναπαριστούν τη δυναμική εξέλιξη του υπό μελέτη συστήματος, διερευνώντας τις επιπτώσεις εναλλακτικών δράσεων που σχετίζονται με τη λειτουργία και διαχείριση αυτού. Με τον τρόπο αυτό, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να αξιολογήσει αλλά και να ερμηνεύσει ένα ευρύ φάσμα τέτοιων δράσεων, εστιάζοντας όχι μόνο στις άμεσες επιπτώσεις (που μπορεί να είναι και προφανείς) αλλά και στις μελλοντικές. Κατ' αυτόν τον τρόπο, η λήψη της τελικής απόφασης και, συνεπακόλουθα, η ανάληψη των σχετικών δράσεων τεκμηριώνεται αντικειμενικά, και σε συνδυασμό με την εμπειρία και κρίση του αναλυτή, οδηγεί στην επιλογή της απόφασης με ορθολογικά κριτήρια (Ευστρατιάδης κ.ά., 2007).

Τα Συστήματα Υδατικών Πόρων είναι ένα από τα πολύ σημαντικά πεδία εφαρμογής των ΣΥΑ (DSS). Αυτό συμβαίνει επειδή παρουσιάζουν πολυπλοκότητα στη δομή και τη λειτουργία τους, οι σχετιζόμενες με αυτά φυσικές διεργασίες είναι στοχαστικής φύσης και η διαχείριση τους απαιτεί πληθώρα δεδομένων.

Μερικές από τις τυπικές εφαρμογές των ΣΥΑ στην ευρύτερη περιοχή των υδατικών πόρων είναι (Watkins et al, 1995):

- Διαχείριση λιμνών και ταμιευτήρων(για την εξυπηρέτηση στόχων υδροδότησης, παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας).
- Έλεγχος πλημμυρών και διαχείριση πλημμυρικού κινδύνου (σε λεκάνες ποταμών αλλά και αστικές λεκάνες).
- Διαχείριση υδροφορέων- συνδυασμένη χρήση επιφανειακών και υπόγειων πόρων.
- Έλεγχος βλαβών ή διαρροών σε δίκτυα ύδρευσης.
- Έλεγχος ρύπανσης σε λεκάνες απορροής και δέλτα ποταμών.
- Διαχείριση μη σημειακών πηγών ρύπανσης σε γεωργικές περιοχές.

Για τη διαχείριση μεγάλης κλίμακας υδροσυστημάτων έχουν αναπτυχθεί υπολογιστικά πακέτα (μοντέλο & επιφάνεια διεπαφής με τον χρήστη), τα οποία αποτελούν εμπορικά, συνήθως, προϊόντα και χρησιμοποιούνται ως ΣΥΑ μετά από προσαρμογή στο υπό μελέτη σύστημα υδατικών πόρων. Τα εν λόγω πακέτα έχουν αναπτυχθεί και συντηρούνται από εξειδικευμένα ερευνητικά κέντρα όπως είναι στην Ευρώπη η Delft Hydraulics στην Ολλανδία, η Danish Hydraulic Institute στη Δανία (η οποία έχει αναπτύξει το υδρολογικό μοντέλο που θα χρησιμοποιηθεί στην παρούσα μελέτη, το MIKESHE), και η HR Wallingford στη Μεγάλη Βρετανία.

## **2.8 Υδρολογικά μοντέλα**

Ο όρος υδρολογικό μοντέλο αναφέρεται σε ένα ευρύ φάσμα μαθηματικών μετασχηματισμών που χρησιμοποιούν δεδομένα πεδίου και εύλογες υποθέσεις σχετικά με τους φυσικούς μηχανισμούς, με στόχο την ποσοτική εκτίμηση υδρολογικών μεταβλητών που είναι πρακτικά αδύνατο να μετρηθούν στο πεδίο.

Τα Υδρολογικά μοντέλα, απλοποιούν αναπαραστάσεις πραγματικών υδρολογικών συστημάτων, προβλέπουν απαντήσεις υδρολογικών και επιτρέπουν σε κάποιον να μελετήσει τη λειτουργία και την αλληλεπίδραση των διαφόρων

συντελεστών παραγωγής και με τον τρόπο αυτό την καλύτερη κατανόηση των γεγονότων υδρολογικών (Brooks et al., 1991).

Ο στόχος της προσομοίωσης υδρολογικών είναι η εκτίμηση της διανομής και της κυκλοφορίας του ύδατος πέρα από το έδαφος, στα υπόγεια, και σε ροή, καθώς και την ποσότητα του νερού που αποθηκεύεται στο έδαφος ή / και σε φυσικά υδατικά συστήματα και την ανταλλαγή τους, μπορούν επίσης να εκτιμήσουν πως αλλάζουν σε τιμές οι ποσότητες με την πάροδο του χρόνου (Σταματάκος, 2010)

Τα μοντέλα αυτά περιγράφουν:

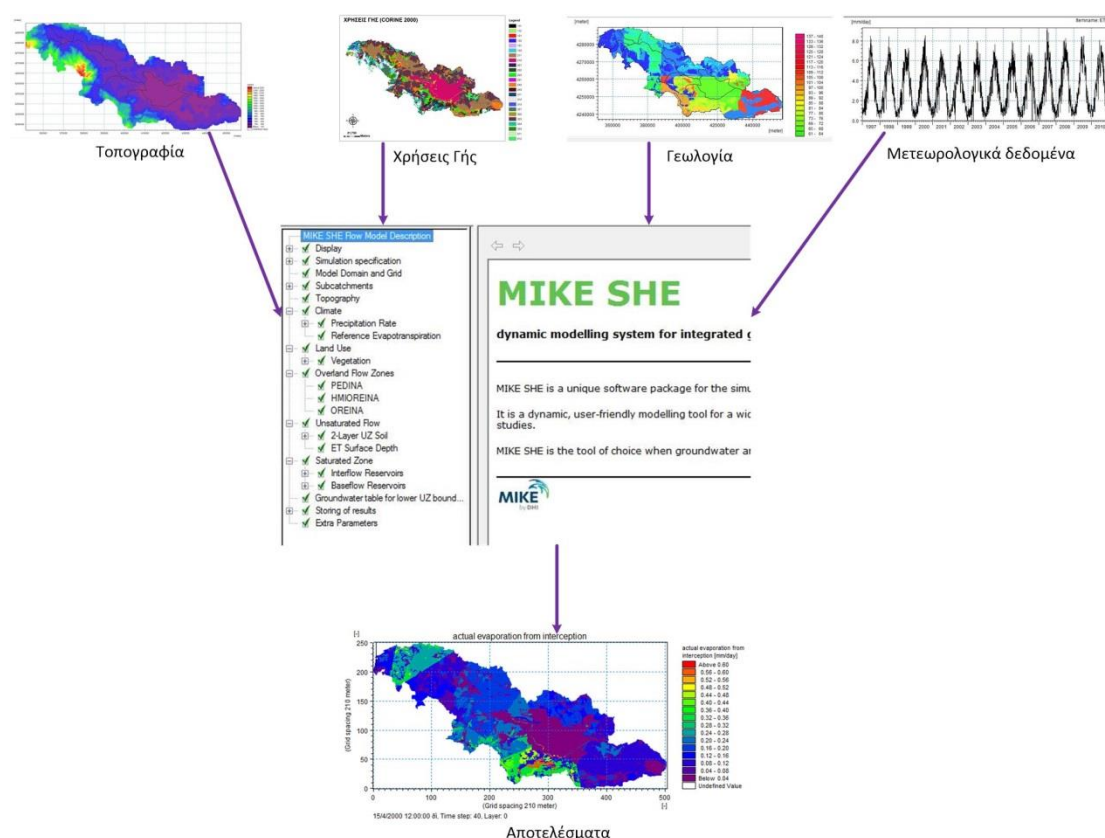
- μεμονωμένα γεγονότα, όπως ένα υδρογράφημα ή την αιχμή μιας πλημμύρας όπου, η αναπαράσταση του γεγονότος γίνεται μέσω εμπειρικών, συνήθως, προσεγγίσεων (π.χ. ορθολογική μέθοδος, μοναδιαίο υδρογράφημα), στις οποίες αγνοούνται οι διεργασίες του υδρολογικού κύκλου που δεν ενδιαφέρουν στη μελέτη, όπως η εξάτμιση και η διήθηση
- τη διαχρονική εξέλιξη του ισοζυγίου των υδατικών πόρων μιας πεπερασμένης χωρικής ενότητας (π.χ. μιας λεκάνης απορροής), όπου η διαδικασία διέπεται, εν μέρει από κάποιο φυσικό υπόβαθρο και χρησιμοποιούνται εργαλεία προσομοίωσης, μέσω των οποίων αναπαρίστανται υπόψη οι κύριες, τουλάχιστον, διεργασίες που επηρεάζουν τον κύκλο του νερού

Στα επόμενα κεφάλαια γίνεται χρήση και ανάλυση του μοντέλου της DHL MikeSHE. που είναι ένα φυσικό, πλήρως ή και ημι-κατενεμημένο μοντέλο. Σύμφωνα και με τα παραπάνω το μοντέλο αυτό μετά την ρύθμιση του και σε συνδυασμό με βάσεις δεδομένων και γεωγραφικά πληροφοριακά συστήματα για την επικαιροποίησή του, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν ένα σύστημα υποστήριξης αποφάσεων.

### 3. Μεθοδολογία

Σε αυτό το κεφάλαιο περιγράφεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την εφαρμογή και την ρύθμιση του μοντέλου MIKE SHE στην λεκάνη απορροής του βοιωτικού Κηφισού.

- Καταρχήν συλλέχτηκαν όλες οι απαραίτητες πληροφορίες για την περιοχή μελέτης, ώστε να βάλουμε τις απαραίτητες βάσεις για να κάνουμε αργότερα χρήση του μοντέλου.
- Στη συνέχεια συλλέχτηκαν και επεξεργάστηκαν τα απαραίτητα δεδομένα που πρέπει να εισάγουμε στο υδρολογικό ομοίωμα, τα δεδομένα αυτά είναι χωρικά (spatial) και χρονικά (time varying).



*Εικόνα 2.1: Διάγραμμα ροής της μεθοδολογίας εφαρμογής του MikeShe ως σύστημα υποστήριξης αποφάσεων*

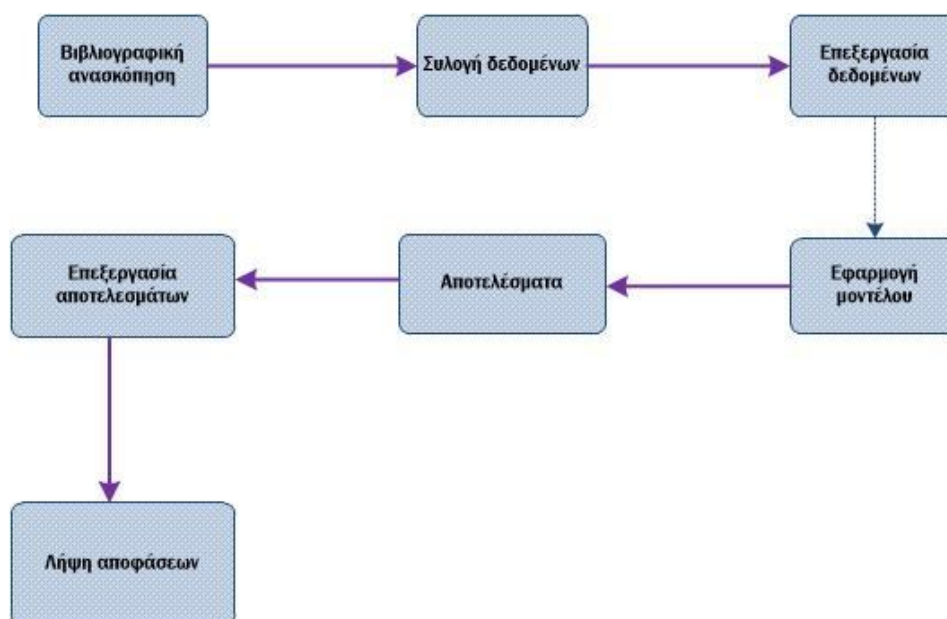


### Τα χωρικά δεδομένα είναι τα εξής :

- Το ανάγλυφο του εδάφους.
- Η Γεωλογία της περιοχής.
- Η Εδαφολογία και η υπόγεια υδροφορία της περιοχής.
- Οι χάρτες χρήσεων γης για την Ελλάδα, από το Corine land cover.
- Οι τοποθεσίες των βροχομετρικών και μετεωρολογικών

### Τα χρονικά δεδομένα είναι τα εξής :

- Βροχομετρικά δεδομένα Τα βροχομετρικά δεδομένα σε ημερήσιο βήμα παραχωρήθηκαν από την Διεύθυνση Υδάτων.
  - Κλιματικά δεδομένα
- Το επόμενο βήμα ήταν η εισαγωγή των δεδομένων στο ομοίωμα και η εφαρμογή του μοντέλου ώστε να πάρουμε αποτελέσματα.
- Μετά έγινε έλεγχος και επεξεργασία των αποτελεσμάτων.
- Και τέλος έχουμε τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων, τα οποία θα βοηθήσουν στη λήψη αποφάσεων.



Εικόνα 2.2: Μεθοδολογία Μεταπτυχιακής Μελέτης.

#### 4. Περιοχή μελέτης

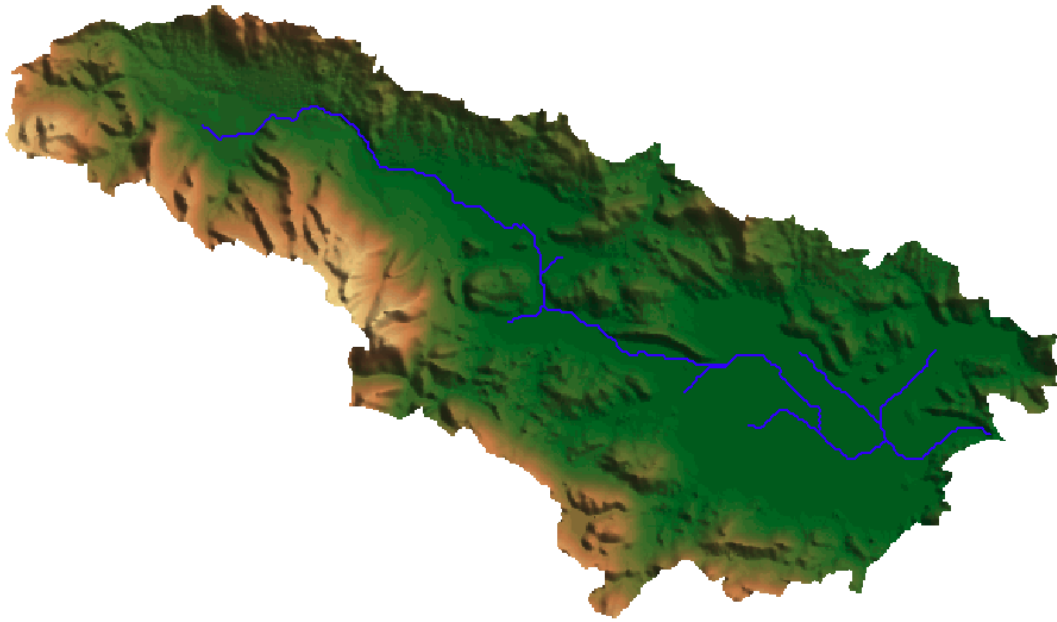
Η περιοχή μελέτης της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η λεκάνη του βοιωτικού Κηφισού . Ο Βοιωτικός Κηφισός έχει μήκος 102 km περίπου και ονομάζεται έτσι για να διακρίνεται από τον ομώνυμο ποταμό της Αττικής. Πηγάζει από τον Παρνασσό στους πρόποδες του Νομού Φωκίδος (ονομάζεται και Φωκικός Κηφισός), διασχίζει τη Βοιωτική Πεδιάδα και φτάνει μέχρι τη λίμνη Υλίκη (Κοψιάτη, 2009).

Η λεκάνη απορροής έχει έκταση περίπου 1952.4 km<sup>2</sup> και τοποθετείται κυρίως στο Ν. Βοιωτίας, ενώ μικρά τμήματα του δυτικού άκρου της καταλαμβάνουν εκτάσεις των Ν. Φωκίδας και Φθιώτιδας, είναι η μεγαλύτερη και σημαντικότερη, από πλευράς υδατικού δυναμικού, της Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας. Ο υδροκρίτης της λεκάνης ορίζεται βόρεια και βορειοανατολικά από τα όρη Οίτη, Καλλίδρομο, Σφίγγιο και Χλωμό, και νότια και νοτιοδυτικά από τα όρη Γκιώνα, Παρνασσός και Ελικώνας. Το μέσο υψόμετρο της λεκάνης ανέρχεται σε 481.4 m, ενώ το μέγιστο υψόμετρό της είναι στην κορυφή Λιάκουρα του Παρνασσού, η οποία φτάνει τα +2457 m. (Ευστρατιάδης et al, 2004).

Στο ανατολικό τμήμα της λεκάνης βρίσκεται το λεκανοπέδιο της Κωπαΐδας που περιλαμβάνει την επιμήκη πεδιάδα της Δαύλειας – Χαιρώνειας στα δυτικά, την πεδιάδα του Ορχομενού συνέχεια αυτής προς τα ανατολικά και ολόκληρη την περιοχή που κατείχε η λίμνη Κωπαΐδα και η οποία αποξηράνθηκε το 1931 (Πάπυρος Larousse Britannica, 2007). Η έξοδος της λεκάνης καταλήγει λίγο πριν τη λίμνη Υλίκη και το νοτιοανατολικό όριό της συνορεύει με το Θηβαϊκό πεδίο.

Η λεκάνη του Βοιωτικού Κηφισού συνορεύει νοτιοανατολικά με τη λεκάνη της Υλίκης και νότια με τις λεκάνες των Βαγίων και του Ασωπού. Ως έξοδος της λεκάνης θεωρείται η Διώρυγα Καρδίτσας, μέσω της οποίας τα επιφανειακά νερά της οδηγούνται προς τη λίμνη Υλίκη. (Ευστρατιάδης et al, 2004).

Στην πραγματικότητα, πρόκειται για μια κλειστή (ενδοροϊκή) λεκάνη, οι απορροές της οποίας τροφοδοτούσαν τη ρηχή λίμνη της Κωπαΐδας, που καταλάμβανε μια έκταση που κυμαινόταν από 150 km<sup>2</sup>, σε περιόδους ανομβρίας, μέχρι 250 km<sup>2</sup>, σε περιόδους υψηλής υδροφορίας. Τα νερά αυτά, με τη σειρά τους, αποστραγγίζονταν προς γειτονικές λεκάνες και τη θάλασσα, μέσω ενός πολύπλοκου συστήματος καταβοθρών (Παπαλεξίου & Ευστρατιάδης, 2009).



**Εικόνα 4.1:** Ψηφιακό μοντέλο εδάφους λεκάνης Βοιωτικού Κηφισού.

Λόγω της ιδιόμορφης γεωλογικής και υδρογεωλογικής της δομής, που οφείλεται στην κυριαρχία των ασβεστολιθικών πετρωμάτων, η λεκάνη του Βοιωτικού Κηφισού διαθέτει πολύ αξιόλογο υπόγειο και πηγαίο υδατικό δυναμικό. Χαρακτηριστικό είναι το γεγονός ότι η συνεισφορά της βασικής απορροής στο συνολικό επιφανειακό υδατικό δυναμικό της λεκάνης ξεπερνά το 50%, ενώ σημαντικό μέρος του υπόγειου δυναμικού εκφορτίζεται εκτός λεκάνης, είτε επιφανειακά (μέσω πηγών) είτε υποθαλάσσια. Τα μέτωπα των υποθαλάσσιων διαφυγών είναι ιδιαίτερα εκτενή, με κατεύθυνση προς το Μαλιακό και το Βόρειο Ευβοϊκό Κόλπο, ενώ επιφανειακές εκφορτίσεις εμφανίζονται στις περιοχές Τραγάνας και Λάρυμνας. Επιπλέον, είναι αρκετά πιθανό μέρος των υπόγειων εκροών να τροφοδοτεί την Υλίκη όταν η στάθμη της λίμνης είναι χαμηλά. (Κυριάκου et al, 2004)

#### **4.1 Ιστορία της περιοχής**

Ο **Ορχομενός** είναι κωμόπολη του νομού Βοιωτίας και έχει πληθυσμό 5.780 κατοίκους. Αποτελεί έδρα του Δήμου Ορχομενού ο οποίος έχει πληθυσμό 10.732 κατοίκους και έκταση 230.098 στρεμμάτων. Ο Ορχομενός είναι χτισμένος σε πεδινή

τοποθεσία, στην βόρεια πλευρά της πεδιάδας της Κωπαΐδας. Διαρέεται από τον Μέλανα ποταμό (Μαυροπόταμος) που είναι παραπόταμος του βοιωτικού Κηφισού.(<http://viotikoskosmos.wikidot.com>)



**Εικόνα 4.2:** *Ο Ορχομενός από το αρχαίο κάστρο*

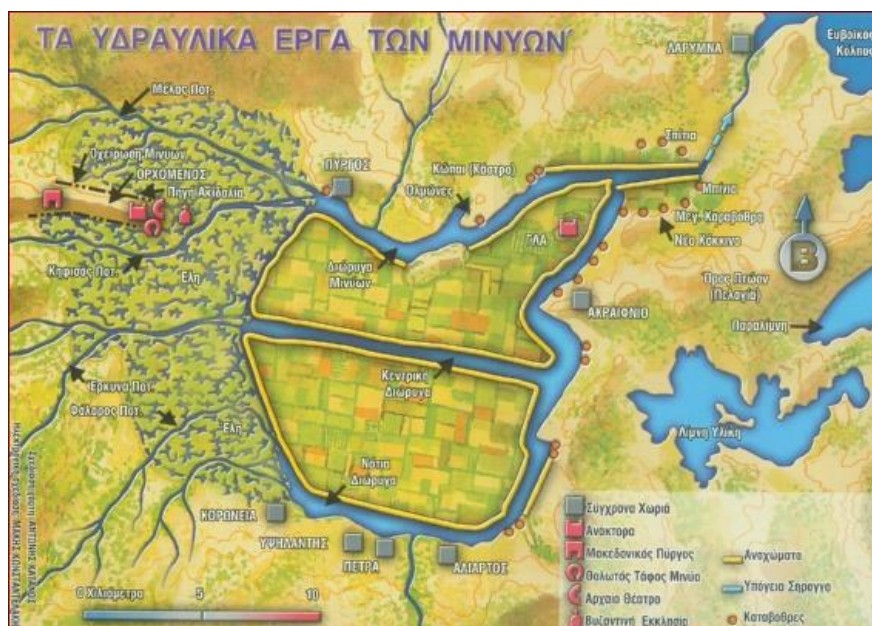
Ο Ορχομενός φαίνεται να κατοικήθηκε από την νεολιθική περίοδο, γύρω στο 6000 π.χ. Μεγάλη ακμή όμως γνώρισε την πρώιμη Μηκυναϊκή περίοδο μεταξύ 2.000 και 1.200 π.Χ. όταν κατοικήθηκε από ένα αρχαιοελληνικό φύλλο τους Μινύες. Την περίοδο εκείνη η περιοχή γνώρισε μεγάλη ακμή. Υπάρχουν μάλιστα πολλοί ερευνητές, που πιστεύουν ότι η Αργοναυτική εκστρατεία απηχεί δικές τους περιπέτειες. Και τα μινυακά αγγεία, που έχουμε στη διάθεσή μας, μαρτυρούν υψηλό βαθμό πολιτισμού. Οι Μινύες απέκτησαν τόση δύναμη στην ξηρά και στη θάλασσα, ώστε η πρωτεύουσά τους, ο Ορχομενός συναγωνιζόταν στα πλούτη τις Μυκήνες, το Άργος, την Πύλο και την Θήβα της Αιγύπτου. Οι Μινύες κυριαρχούν από το 1500 π.Χ. μέχρι το 1200 π.Χ. περίπου, με απόγειο της ακμής τους γύρω στα 1400 π.Χ. Κατά καιρούς επικράτησαν σε όλη την Βοιωτία, είχαν δεσμούς με όλα τα μεγάλα βασίλεια της εποχής τους, συμμετείχαν και ίσως ίδρυσαν την αρχαιότερη ναυτική συμπολιτεία καθώς διαφαίνονται ναυτικές επιχειρήσεις τους στον Ελλήσποντο και στη Μαύρη Θάλασσα, καθώς και αποικίες τους στη Μικρά Ασία. Την αίγλη και τους θησαυρούς τους οι Μινύες τους χρωστούσαν στην επιμελημένη καλλιέργεια της Κωπαΐδας και στο εκτεταμένο χερσαίο και θαλάσσιο εμπόριο. Η Κωπαΐδα ήταν

κάποτε η μεγαλύτερη λίμνη της Ελλάδας. Τη διέσχισε ο Κηφισός ποταμός.(  
<http://historyreport.gr>)

Οι Μινύες υπήρξαν οι πρώτοι που σκέφτηκαν να την αποξηράνουν. Οι συχνές αλλαγές της στάθμης των υδάτων της λίμνης αφενός δεν επέτρεπαν τη συστηματική καλλιέργεια της γης αφετέρου δε είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ελών που προκαλούσαν αρρώστιες στους κατοίκους των παραλίμνιων περιοχών. Όταν ήταν βασιλιάς του Ορχομενού ο γιος του Μινύα, ο Ορχομενός, σχεδιάστηκαν και υλοποιήθηκαν τα αποξηραντικά έργα της λίμνης Κωπαΐδα, τα έργα τους σήμερα αποτελούν αντικείμενο μελέτης επιστημόνων - ερευνητών. Οι μεγαλοφυείς Μινύες είχαν φτιάξει τρεις αναχωματικές τάφρους στη μέση και στις δυο άκρες της λίμνης και διοχέτευαν τα νερά στις καταβόθρες με τέτοιο τρόπο, ώστε να ρυθμίζουν όπως ήθελαν το ύψος της στάθμης. Μ' άλλα λόγια, όχι μόνον είχαν αποξηράνει την απέραντη έκταση, αλλά χρησιμοποιούσαν τα νερά των ποταμών για να αρδεύουν τα νέα χωράφια τους. Ο άλλοτε βυθός της λίμνης, φορτωμένος με την εύφορη λάσπη (ιλύ) που είχαν αποθέσει εκεί οι αιώνες, αποδείχτηκε ασύλληπτα γόνιμος. Το μαρτυρούν οι σιτοβολώνες, που αποκαλύφθηκαν εκεί στις κατοπινές ανασκαφές: Πελώρια στρογγυλά κτίρια με εσωτερική διάμετρο έξι μέτρων, που έκλειναν από πάνω με κεραμίδια. Με σκάλες, οι Μινύες ανέβαιναν στην κορφή, έχυναν μέσα το στάρι και σφράγιζαν την οροφή. Όταν ήθελαν να πάρουν ποσότητα σταριού, αποσφράγιζαν ειδικά ανοίγματα στον κυλινδρικό τοίχο, από όπου χυνόταν έξω όσο χρειάζονταν. Όσπου ν' αδειάσουν οι σιτοβολώνες, ερχόταν η εποχή του νέου θερισμού (Knauss, 2002).

Οι Μινύες αντί να αφήσουν τα νερά των ποταμών να χυθούν στην στη λίμνη τα συγκέντρωναν σε ένα κανάλι - διώρυγα, που έφτιαξαν, και τα διοχέτευαν στον Ευβοϊκό κόλπο. Η διώρυγα είχε συνολικό μήκος 27 χιλιόμετρα ,πλάτος 40 έως 60 μέτρα και βάθος 2 ως 3 μέτρα. Στο βόρειο κομμάτι της διώρυγας, μήκος 9 χιλιομέτρων συγκεντρώνονταν τα νερά του Κηφισού και του Μέλανα ποταμού. Η διώρυγα περνούσε από τις Ολμόνες (Στροβίκι), τις Κώπες και κατέληγε στην Μεγάλη καταβόθρα στο Νέο Κόκκινο. Η δεύτερη διώρυγα, η κεντρική, έπαιρνε τα νερά της Έρκυνας , περνούσε από το χωριό Μαυρόγεια και διέσχισε την κεντρική Κωπαΐδα ώσπου συναντούσε την τρίτη διώρυγα, τη βόρεια. Η τρίτη διώρυγα, στο νότο, έπαιρνε τα νερά του Φάλαρου, από την περιοχή της Κορώνειας, του Λοφίδος της Αλιάρτου, του Τρίτωνος και άλλων χειμάρρων του Ελικώνα , περνούσε από το κάστρο του Γλα και συναντούσε την πρώτη διώρυγα, τη βόρεια.( Μαργιολακος,2013)

Οι Μινύες για την καλύτερη αποχέτευση των υδάτων άνοιξαν καταβόθρες ή διεύρυναν τις φυσικές που ήδη υπήρχαν. Τέτοιες καταβόθρες υπάρχουν πάνω από τριάντα. Επειδή στο ΒΑ τμήμα της η λίμνη ήτα βαθιά τα νερά και δεν μπορούσαν να αποστραγγίσουν, οι Μινύες έσκαψαν και άνοιξαν μια υπόγεια σήραγγα, από το Νέο Κόκκινο μέχρι τον κόλπο της Λάρυμνας, μήκους 2.230 μέτρων, πλάτους 1,50 μέτρων και διοχέτευαν τα νερά στην περιοχή της Λάρυμνας. Σε αυτή τη σήραγγα έφτιαξαν 16 κάθετα ανοίγματα - φρεάτια- σε απόσταση το καθένα 100 μέχρι 200 μέτρα το ένα από το άλλο. Τα φρεάτια είχαν βάθος 18 ως 60 μέτρα. . Με τη βοήθεια αυτών κατάφεραν να σκάσουν το τούνελ αλλά και να παρακολουθούν τη ροή του νερού. Οι Μινύες χρησιμοποίησαν τις διώρυγες και ως πλωτά ποτάμια για μεταφορές με κωπήλατα πλεούμενα. Για το λόγο αυτό είχαν μεγαλώσει σκόπιμα την κοίτη του ποταμού ώστε να ελαττωθεί η ταχύτητα. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι η στάθμη στο κανάλι ήταν 1,5 έως 2 μέτρα ψηλότερο από την επιφάνεια της αποξηραμένης λίμνης, δηλ. ψηλότερα από την επιφάνεια του εδάφους που καλλιεργούσαν, αλλά και την επιφάνεια όπου είχαν αναπτυχθεί πόλεις, η δε στεγανότητα των έργων ήταν απόλυτη. Από την αρχή ως στο τέλος το κανάλι είχε μια ελαφριά κλίση, για να διευκολύνεται η ροή του νερού. Τα αναχώματα που είχαν φτιαχτεί είχαν επενδυθεί με θαλάσσια άργιλο που στη συνέχεια είχαν επενδυθεί με ογκόλιθους για προστασία από τη διάβρωση, όπως τα κυκλώπεια τείχη. Τα αναχώματα είχαν ύψος 3,5 έως 4 μ. και πλάτος στη βάση 40 μ. ενώ στη κορυφή 35μ. Σε μερικά σημεία ο δρόμος Ορχομενού -Κάστρου περνά πάνω από το ανάχωμα της βόρειας διώρυγας.( Λάζος, 2003)



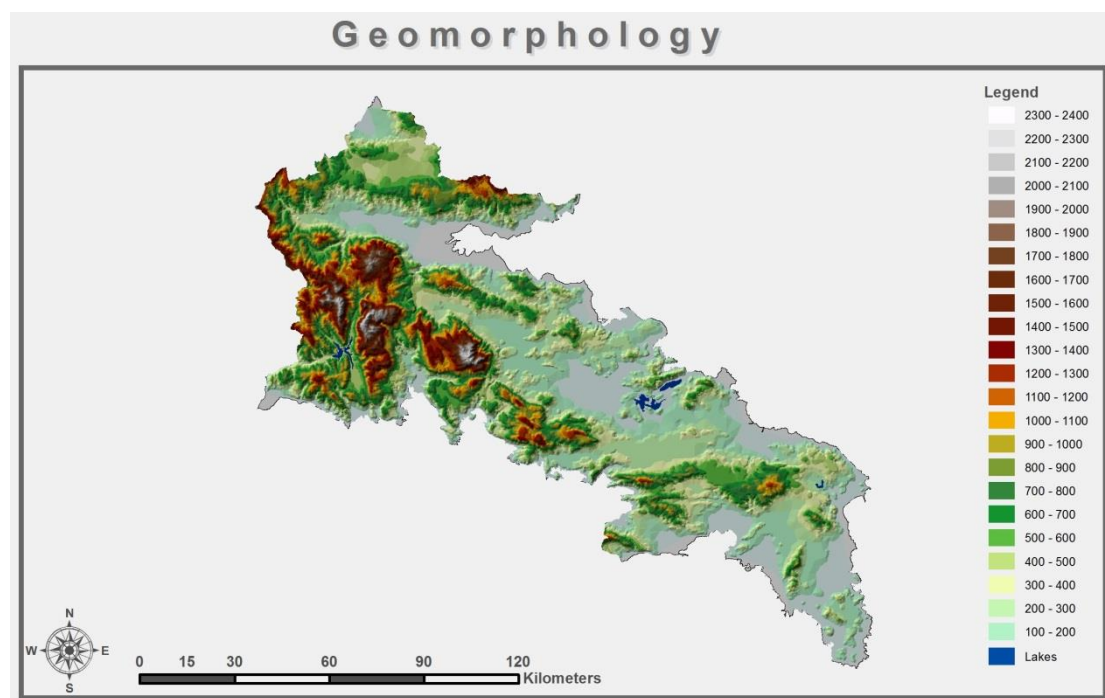
Εικόνα 4.3: Τα αποστραγγιστικά έργα των Μινύων

Όμως, οι καταβόθρες δεν ήταν σταθερές. Κάποιες από αυτές, κατά καιρούς, βούλωναν. Οι Μινύες κατασκεύασαν έναν νέο αγωγό κι έστειλαν τα νερά στη γειτονική Λάρυμνα, όταν η απορρόφηση παρουσίαζε προβλήματα. Με τα χρόνια, οι φυσικές υποδοχές των νερών βούλωσαν ολοκληρωτικά. Ίσως, να έφταιγε και η επέμβαση των ανθρώπων που ποτέ δεν μπόρεσαν να υποτάξουν πλήρως τη φύση. Τα νερά δεν έβρισκαν πια διέξοδο κι ο αγωγός, που τα έστελνε στη Λάρυμνα, δεν επαρκούσε. Η φύση δημιούργησε αυτό, που αργότερα χρεώθηκε στον Ηρακλή. Σιγά - σιγά, ο κάμπος πλημμύρισε, ξανάγινε λίμνη. Τα εύφορα χωράφια σκεπάστηκαν πάλι απ' τα νερά. Ο Ορχομενός άρχισε να φθίνει. Στα 1.100 π.Χ., δεν ήταν παρά ένα φτωχικό χωριό. Έτσι τον αναφέρει και ο Όμηρος στον Νεών κατάλογο. Ο Ορχομενός ξεχάστηκε ( Παπάζογλου,2008).

Κατά τη μυθολογία, ο Ηρακλής έφραξε τις καταβόθρες με αποτέλεσμα τα νερά να πλημμυρίσουν τους οικισμούς και να τους πνίξουν. Έτσι, η λίμνη σχηματίστηκε πάλι. Στον καιρό του Μεγάλου Αλεξάνδρου, ο υδραυλικός Κράτης προσπάθησε να την αποξηράνει. Η δουλειά, όμως, ποτέ δεν τελείωσε. Το 1865, μια γαλλική εταιρία ανέλαβε να την αποξηράνει με επαχθείς για το ελληνικό κράτος όρους. Στις 8 Οκτωβρίου του 1873, το τότε υπουργικό συμβούλιο κήρυξε έκπτωτη την εταιρία. Ως πρωθυπουργός, ο Χαρίλαος Τρικούπης αποφάσισε να προχωρήσει το έργο. Στις 3 Ιουλίου του 1882, ψηφίστηκε ο νόμος για την αποξήρανση της λίμνης. Χρειάστηκαν πενήντα χρόνια, ώσπου το έργο να ολοκληρωθεί, το 1931. Στη διάρκειά τους, δημιουργήθηκε το οξύτατο Κωπαϊδικό ζήτημα που καταταλαιπώρησε αγρότες και κυβερνήσεις επί μισόν αιώνα. Η αγγλική κατασκευάστρια εταιρεία έφτασε να νοικιάζει τα αποξηραμένα εδάφη με ποσοστό ως και 47% επί της παραγωγής και να ξεζουμίζει τους αγρότες. Το Κωπαϊδικό ζήτημα αντιμετωπίστηκε αρχικά από τον Ελευθέριο Βενιζέλο και έληξε με την ανάθεση της διαχείρισης των αγρών στον Οργανισμό Κωπαΐδας. Ο Χαρίλαος Τρικούπης ευτύχησε να εγκαινιάσει την πρώτη σήραγγα (του Αγίου Γεωργίου) το 1884. Όταν τα νερά αποσύρθηκαν, αποκαλύφθηκε το αριστουργηματικό έργο των Μινύων, που, με λίγες μετατροπές, θα μπορούσε να λειτουργήσει και στην εποχή μας. Σήμερα, 250.000 στρέμματα της πρώην λίμνης έχουν αποδοθεί στην καλλιέργεια. (Έθνος της Κυριακής, 2001 – 2002).

## 4.2 Γεωμορφολογία

Η διαμόρφωση του ανάγλυφου της περιοχής επηρεάζει δραστικά την υδροφορία που εμφανίζεται, υπόγεια και επιφανειακή, και για το λόγο αυτό περιγράφεται αναλυτικά ακολούθως:



Εικόνα 4.3: Γεωμορφολογικός χάρτης της περιοχής μελέτης

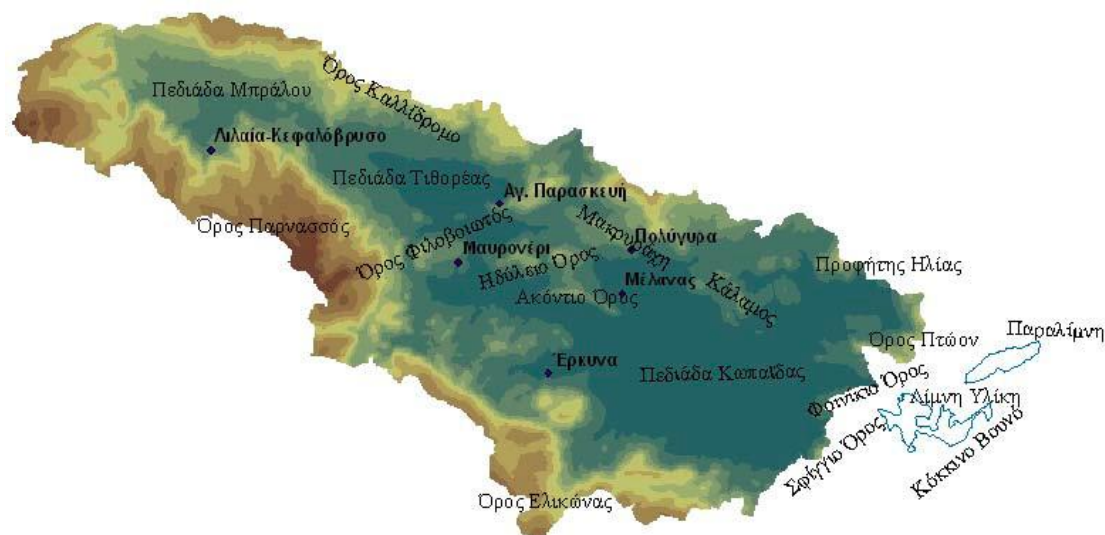
### 4.2.1. Όρη

Η λεκάνη του Βοιωτικού Κηφισού περιβάλλεται από μεγάλους ορεινούς όγκους (Εικόνα 2). Στο νοτιοδυτικό τμήμα της λεκάνης υψώνεται ο Παρνασσός (2.457 m) με τον κύριο όγκο του στο νομό Βοιωτίας και ένα τμήμα στο νομό Φωκίδας. Νοτιοανατολικά του Παρνασσού και στην περιοχή της Βοιωτίας, υψώνεται το όρος Ελικώνας ή αλλιώς «όρος των Νυμφών». Η περιοχή αυτή των οροσειρών παρουσιάζει τα μεγαλύτερα υψόμετρα και κλίσεις σε όλη τη λεκάνη απορροής. Από την περιοχή αυτή προέρχονται κυρίως οι βωξίτες της Βοιωτίας (Εγκυκλοπαίδεια Δομή, 2004, σ. 432).

Στο βορειοδυτικό τμήμα της λεκάνης υψώνεται το όρος Καλλίδρομο (1.419 m) εντός του Νομού Φθιώτιδας και ανατολικότερα αυτού το όρος Χλωμό, στα όρια των Νομών Βοιωτίας και Φθιώτιδας. Στην ανατολική περιοχή της λεκάνης το ανάγλυφο



παρουσιάζεται ηπιότερο. Στο ανατολικό όριο της λεκάνης συναντώνται τα όρη Πτώων ή Πελαγία (726 m) στα βόρεια και Σφίγγιον (565 m) και 5 Φοινίκιον στα νότια, τα οποία ουσιαστικά χωρίζουν την περιοχή της Κωπαΐδας από τις λίμνες Υλίκη και Παραλίμνη. Η θέση των προαναφερόμενων οροσειρών και βουνών ακολουθεί τα όρια της λεκάνης του Βοιωτικού Κηφισού, περιβάλλοντας τις πεδινές περιοχές κατά μήκος των οποίων ρέει το ποτάμι (Κοψιαύτη, 2009).



**Εικόνα 4.4:** Το ανάγλυφο του εδάφους της λεκάνης του Βοιωτικού Κηφισού. Σημειώνονται οι βασικές πηγές της περιοχής, καθώς και τα κυριότερα όρη και πεδιάδες.

#### 4.2.2. Πεδιάδες

Η λεκάνη του Βοιωτικού Κηφισού περιλαμβάνει τρεις πεδινές περιοχές από τα βοριοδυτικά προς τα νοτιοανατολικά, όπου και βρίσκεται η έξοδός της: την πεδιάδα μεταξύ Μπράλου και Αμφίκλειας, την πεδιάδα της Τιθορέας έως το Ανθοχώρι και το λεκανοπέδιο της Κωπαΐδας που με τη σειρά του περιλαμβάνει την επιμήκη πεδινή περιοχή από τη Δαύλεια έως τον Ορχομενό και την περιοχή της αποξηραμένης λίμνης Κωπαΐδας (Εικόνα 2). Η πεδιάδα μεταξύ Μπράλου και Αμφίκλειας βρίσκεται μεταξύ των μεγάλων οροσειρών Παρνασσού και Καλλίδρομου και είναι η μικρότερη σε έκταση και ψηλότερη γεωγραφικά πεδινή περιοχή από τις προαναφερόμενες. Νοτιοανατολικότερα βρίσκεται η πεδιάδα της Τιθορέας, η οποία βόρεια και νότια περιορίζεται επίσης από τον Παρνασσό και το Καλλίδρομο όρος. Η επικοινωνία της με τις ανάντη και κατάντη πεδινές περιοχές (Αμφίκλειας και Κωπαΐδας αντίστοιχα)

γίνεται μέσω μικρών και στενών πεδινών περιοχών που περιορίζονται από μικρά βουνά που αποτελούν πρόποδες των μεγάλων οροσειρών.

Ακολουθεί στα ανατολικά η στενή πεδινή περιοχή μεταξύ Δαύλειας – Χαιρώνειας και Ορχομενού που περιβάλλεται από τα όρη Ηδύλειο και το Ακόντιο στα βόρεια (πρόποδες του Χλωμού όρους) και Προφήτη Ηλία στα νότια, στην περιοχή του Θουρίου.

Η περιοχή της αποξηραμένης λίμνης περιβάλλεται από το Χλωμό όρος στα βόρεια, τον Ελικώνα στα Νότια και τα όρη Σφίγγιο και Πτών στα ανατολικά. Πρόκειται για εύφορη περιοχή που αποξηράνθηκε το 1931. Η παλιά λίμνη είχε βάθος περίπου 3 m και καταλάμβανε έκταση 250.000 στρεμμάτων. Η αποξήρανσή της έγινε μέσω μιας κεντρικής διώρυγας που καταλήγει στη λίμνη Υλίκη. Στην κεντρική διώρυγα κατέληγαν αποστραγγιστικές διώρυγες από όλη την έκταση της περιοχής συνολικού μήκους περίπου 1000 km. Σήμερα αρδεύονται και καλλιεργούνται περίπου 240.000 στρέμματα (Πάπυρος Larousse Britannica, 2007, σ. 52).

Νοτιοανατολικά της Κοπαΐδας βρίσκεται το λεκανοπέδιο των Θηβών που μαζί με την πεδιάδα Σχηματαρίου και Τανάγρας φτάνει έως τον Ευβοϊκό Κόλπο. Μεταξύ της λεκάνης του Βοιωτικού Κηφισού και του Θηβαϊκού πεδίου παρεμβάλλεται το όρος Πτών στα βόρεια και το Σφίγγιον στα νότια (Κοψιαύτη, 2009).

### 4.3 Γεωλογία

Η γεωλογική-τεκτονική δομή της λεκάνης χαρακτηρίζεται από την πτύχωση και την διάρρηξη των ηπειρωμάτων, αλλά και από την κλιμακωτή τοποθέτηση των διαφόρων τεμαχών κατά μήκος της. Οι πολλαπλές παρεμβολές των υδατοστεγανών σχηματισμών στα ασβεστολιθικά τεμάχια είχαν ως αποτέλεσμα την δημιουργία ποικίλων γεωμορφολογικών δομών, και ειδικότερα την διαμόρφωση πολλαπλών υδρογεωλογικών ενοτήτων που μπορεί να είναι ανεξάρτητες ή και να επικοινωνούν μεταξύ τους. Οι ασβεστόλιθοι αποτελούν τον κύριο γεωλογικό σχηματισμό της λεκάνης (~ 40% της επιφάνειας), μέσα στον οποίο διαμορφώνονται οι υδροφόροι ορίζοντες. Η συνηθέστερη κατάσταση είναι η ύπαρξη ενός ανώτερου υδροφόρου ορίζοντα μέσα σε τεταρτογενείς αποθέσεις και νεογενή, καθώς και ενός κατώτερου (κυρίου) καρστικού υδροφόρου ορίζοντα μέσα σε ασβεστόλιθους. Ο σχηματισμός της λεκάνης του Βοιωτικού Κηφισού οφείλεται σε τεκτονικές επιδράσεις, ρήγματα και μεταπτώσεις. (Κοψιαύτη, 2009).

### 4.3.1 Γεωλογικοί σχηματισμοί

#### Τεταρτογενείς σχηματισμοί (προσχώσεις)

Περιλαμβάνουν τους εξής σχηματισμούς:

- Λατυποπαγές με ερυθρά ασβεστική συνδετική ύλη. Έχει πάχος περίπου 1 m και καλύπτει τους ασβεστόλιθους γεμίζοντας τα σπασίματά τους. Συναντάται στην περιοχή του Κερατοβουνίου, κοντά στο Θούριο, απέναντι από το όρος Ακόντιο.
- Ερυθρές αργίλους, με πολυάριθμα γωνιώδη τεμάχια από ασβεστόλιθους και κερατόλιθους που καλύπτουν τα ασβεστολιθικά ανάγλυφα της περιοχής.
- Ποτάμιες προσχώσεις. Αποτελούνται κυρίως από λεπτά υλικά αργίλου, ανάμεσα στα οποία συχνά εμφανίζονται ασβεστολιθικά χαλίκια, ψηφίδες και άμμοι.οιου είδους προσχώσεις εμφανίζονται στην περιοχή της Κωπαΐδας. Η λεκάνη της Κωπαΐδας συνορεύει νοτιοανατολικά με το Θηβαϊκό πεδίο, από το οποίο χωρίζεται με κώνους αποθέσεως.

#### Σχηματισμοί του Τριτογενούς (νεογενή ιζήματα)

Πρόκειται για μάργες και ασβεστόλιθους κυρίως, τοποθετημένων επάνω από φλύσχη. Επίσης, μπορεί να είναι αποθέσεις που αποτελούνται από άμμους και κροκαλοπαγή. Τέτοιου είδους αποθέσεις συναντώνται ανατολικά του ασβεστολιθικού όγκου Κραβασαράς και καταλαμβάνουν τα ανώτερα στρώματα των νεογενών αποθέσεων. Στη μελέτη, επίσης, αναφέρεται ότι σύμφωνα με τον (Philipson, 1962) έχει ενδιαφέρον η εμφάνιση νεογενούς σχηματισμού στη νότια περιοχή της λεκάνης Κωπαΐδας και στις περιοχές Λιβαδειάς, Κορωνίας (νοτιοανατολικά της Λιβαδειάς) και Θηβών σε υψόμετρο γύρω στα 360 m. Οι σχηματισμοί αυτοί δεν εμφανίζονται σε άλλα κράσπεδα της λεκάνης παρά μόνο βορειοανατολικά, εκτός των ορίων του νομού Βοιωτίας (Κοψιαύτη, 2009).

#### Φλύσχη

Οι σχηματισμοί του φλύσχη χωρίζονται στις ακόλουθες βαθμίδες:

- Ερυθροί μαργαϊκοί σχιστόλιθοι με ασβεστολιθικές ενστρώσεις.
- Μαργαϊκοί σχιστόλιθοι τεφροπράσινου χρώματος με ψαμμιτικές ενστρώσεις.
- Κροκαλοπαγές κυρίως με ασβεστολιθικές κροκάλες και με λιγότερες κροκάλες οφιολιθικών πετρωμάτων.

Ο φλύσχος αυτός που συναντάνται στη νοτιοδυτική περιοχή της λεκάνης απορροής της Κωπαΐδας, ανήκει στη ζώνη Παρνασσού – Γκιώνας.

#### **Ασβεστόλιθοι του Άνω Κρητιδικού**

Εμφανίζονται στην περιοχή του Κερατοβουνίου, Καραμούζας και Σιρμινίτσας και στα υψώματα που υπάρχουν ανατολικά αυτών μέχρι Μελισσού. Επίσης, στα νότια του ρήγματος Σούρπη και στα όρια της λίμνης Υλίκης. Σε αυτούς τους σχηματισμούς εμφανίζονται αντίκλινα, πτυχές με κατεύθυνση από ΒΔ προς ΝΑ, καθώς και σημαντικά ρήγματα (Σούρπης, Χωστίων και Ζηρικίου) που συχνά τέμνονται με τις πλευρές των αντικλίνων.

#### **Ασβεστόλιθοι του Κάτω Κρητιδικού (εν μέρει Άνω Ιουρασικού – Τιθώνιον)**

Πρόκειται για λευκούς ασβεστόλιθους που τοποθετούνται επάνω από τους Ιουρασικούς και εμφανίζονται στα ανατολικά του Ανθοχωρίου και βόρεια του χωριού Τσάρισι. Παρουσιάζονται, επίσης, στην περιοχή Βρασταμιτών – Πέτρας με τη μορφή λεπτού στρώματος επικείμενου σε φλύσχη με διερρηγμένη επαφή.

#### **Σχιστοκερατόλιθοι**

Εμφανίζονται κυρίως στα βορειοδυτικά της Κωπαΐδας και στα βόρεια του όρους Ακόντιο που οι σχηματισμοί του είναι ασβεστολιθικοί. Επίσης, παρουσιάζονται στη νοτιοδυτική πλευρά του Κερατοβουνίου, στους πρόποδες του.

#### **Τριαδικοί ασβεστόλιθοι και δολομίτες**

Ένας ασβεστολιθικός όγκος, ύψους 1260 m, υπάρχει βόρεια της Δομβραίνης, κοντά στη Λιβαδειά, ενώ στη νοτιοδυτική του παρυφή βρέθηκαν υπερκείμενα στρώματα ασβεστολίθων Λιασίου. Το δυτικό τμήμα των ασβεστολίθων θεωρείται επώθηση. Σε γενικές γραμμές, περιμετρικά της Κωπαΐδας εμφανίζονται κυρίως ασβεστόλιθοι και φλύσχη. Οι σχηματισμοί του φλύσχη παρουσιάζονται ιδιαίτερα διαβρωμένοι με βαθιές και απότομες κοιλάδες, αλλά απαλές τις γενικές γραμμές. Αντίθετα, στις περιοχές με ασβεστολιθικούς σχηματισμούς, εμφανίζονται λιγότερες κοιλάδες και πιο ανοικτές (Κοψιαύτη, 2009).

#### 4.3.2. Τεκτονική

Όσον αφορά την τεκτονική της περιοχής, τα χαρακτηριστικότερα φαινόμενα που έχουν παρατηρηθεί είναι τα εξής (Υπουργείο Γεωργίας, 1971):

- **Επώθηση ασβεστολιθικών σχηματισμών που ανήκουν στη ζώνη Ανατολικής Ελλάδας, σε φλύσχη της ζώνης Παρνασσού – Γκιώνας.**

Σύμφωνα με τη σχετική μελέτη του Υπουργείου Γεωργίας, τέτοιου είδους επωθήσεις εμφανίζονται στην περιοχή του Ακραιφνίου και της Μονής Πελαγίας, στα βορειοανατολικά της Κωπαΐδας (Petrascheck, 1963) με επαφή γύρω από το όρος «Μεγάλο Βουνό» (Πτώο Όρος), καθώς και σε άλλες θέσεις, λιγότερο όμως ξεκάθαρα. Επίσης, ανώμαλη επαφή φλύσχη – ασβεστολίθων εμφανίζεται στον ανατολικό Παρνασσό, δυτικά και νότια της Αμφίκλειας και της Αγίας Μαρίνας. Στη μελέτη του Υπουργείου Γεωργίας αναφέρεται ότι η φορά των επιπτευτικών γεγονότων είναι από Ν προς Β στην περιοχή του Ακραιφνίου και από Α προς Δ στην περιοχή από τα υψώματα Βυζαντίου προς τον Κοκκινόβραχο, Άγιο Σώστη, Αγία Ελεούσα, Στρούλογγο και Άγιο Ιωάννη, δηλαδή προς τη βορειοανατολική πλευρά του Πτώου Όρους (Τάταρης και Κούνης, 1969). Μάλιστα, αναφέρεται ότι υπάρχει επιπτευτικό ρήγμα στη βόρεια πλευρά του Πτώου έως την περιοχή Σκροπονέρια, η παρουσία του οποίου συνδέεται με τη βύθιση όλης της βόρειας περιοχής.

- **Κατακόρυφη τεκτονική – συστήματα ρηγμάτων.**

Σε αυτά οφείλεται ο σχηματισμός της λεκάνης του Βοιωτικού Κηφισού και της τάφρου της Κωπαΐδας. Εμφανίζονται δύο βασικά συστήματα ρηγμάτων και μεταπτώσεων. Στο πρώτο, που έχει κατεύθυνση ΑΒΑ – ΔΒΔ, εμφανίζεται μεγάλη μετάπτωση στα ανατολικά της λεκάνης του Βοιωτικού Κηφισού, και συγκεκριμένα στην Παραλίμνη, στα νότια του Πτώου Όρους, και στο βορειοδυτικό παλιό κόλπο της Κωπαΐδας (βύθισμα Τοπόλια), καθώς και το βύθισμα Λιβαδειά – Πετρομαγούλα. Στο δεύτερο, που έχει κατεύθυνση ΔΒΔ – ΑΝΑ, οφείλονται οι μεταπτώσεις στα όρη Ακόντιο και Κερατοβούνι. Στο ίδιο σύστημα ανήκουν τα ρήγματα από Θούριο προς Χαιρώνεια έως το βόρειο άκρο της Κωπαΐδας στον κόλπο Τσαμαλή. Στη μελέτη του Υπουργείου Γεωργίας αναφέρεται, επίσης, ότι το όρος στην περιοχή του Θουρίου είναι αντίκλινο κατεύθυνσης ΒΔ – ΝΑ, με ρήγματα στη νοτιοδυτική πλευρά με τα οποία και καλύπτεται η σχέση με το γειτονικό φλύσχη (Παπαδόπουλος, Scanvic, 1966, σ. 13). Αποτέλεσμα αυτών των διαρρήξεων ήταν οι κατακόρυφες μετακινήσεις

και μεταπτώσεις των ασβεστολίθων της περιοχής με άλμα μεγαλύτερο των 100 m. Η ανώμαλη επαφή των μεσαίων και ανώτερων στρωμάτων του φλύσχη στην ίδια περιοχή (ψαμμίτες και κροκαλοπαγή αντίστοιχα), δείχνει ότι ανάλογες μεταπτώσεις έχουν συμβεί και στους σχηματισμούς αυτούς. Οι διαρρήξεις αυτές είναι ακόμα πιο έντονες στην περιοχή της Λοκρίδας. Η ίδια μελέτη αναφέρει ότι νεότερες, πολύ σημαντικές, διαρρήξεις από ρήγματα εμφανίζονται, επίσης, στους Τριαδικούς και Κρητιδικούς ασβεστόλιθους στα ανατολικά της Κωπαΐδας, στα δυτικά του χωριού Νέο Κόκκινο, καθώς και στις γειτονικές λίμνες Υλίκη και Παραλίμνη (Petrascheck, 1963, σ. 142).

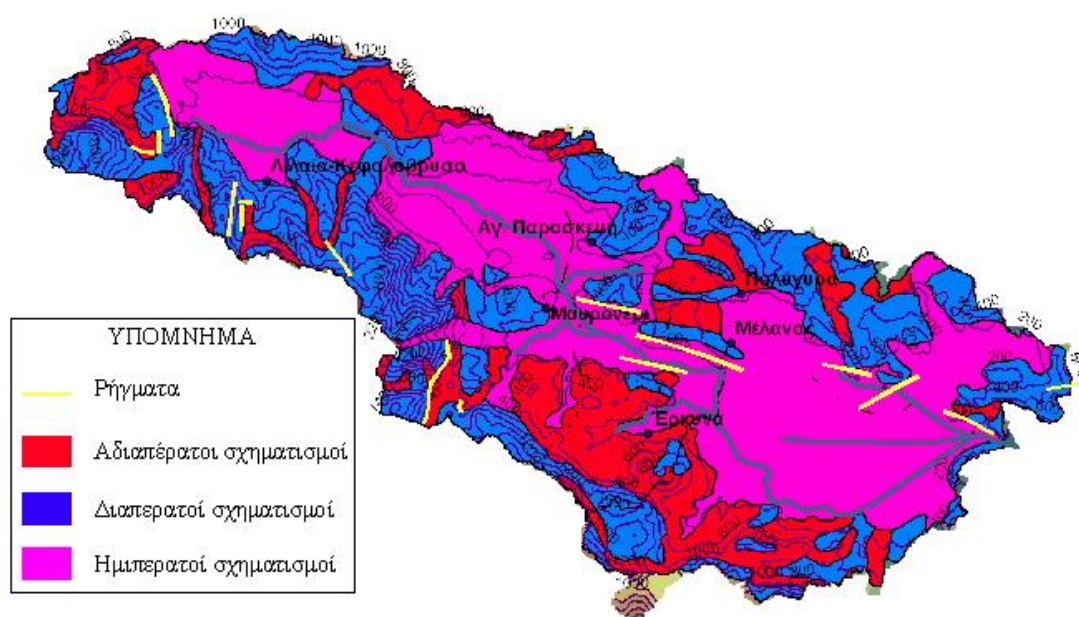
Τα πιο μεγάλα από τα προαναφερόμενα ρήγματα άρχισαν να εξελίσσονται από το Πλειόκαινο και οι διαρρήξεις πληρώθηκαν από ιζήματα της αντίστοιχης εποχής, ενώ ρήγματα της ίδιας διεύθυνσης δημιουργήθηκαν και αργότερα, όπως εκείνα κατά τη διεύθυνση Λιβαδειάς – Θηβών, λόγω των οποίων καταβυθίζεται προς την Κωπαΐδα η βορειοδυτική πλευρά. Όσον αφορά τη λεκάνη της Κωπαΐδας, σχηματίστηκε λόγω ρηγμάτων και μεταπτώσεων που τοποθετούνται χρονικά μετά το Πλειόκαινο (Εικόνα 4.5).

Στη μελέτη του Υπουργείου Γεωργίας αναφέρεται ότι αυτές εμφανίζονται στα βόρεια, δυτικά και νότια του Κωπαϊδικού πεδίου σε υψόμετρα 220 – 280 m και 150 m από τη στάθμη της θάλασσας (Philippson, 1962). Αυτό επιβεβαιώνεται και από την επαφή των αλλουβιακών προσχώσεων που έχουν σχηματιστεί στη λεκάνη της Κωπαΐδας, με τους ασβεστολιθικούς σχηματισμούς που εμφανίζονται στα τοιχώματα γύρω από τη λεκάνη. Χαρακτηριστική είναι η εμφάνιση πηγών στις θέσεις των μεταπτώσεων, που είναι προαλλουβιακές, όπως θα αναφερθεί αναλυτικότερα στην περιγραφή της υδρογεωλογίας της περιοχής.

Πολύ ενδιαφέρουσα είναι, επίσης, η άποψη του Philippson (1962) σύμφωνα με την οποία η πορεία των ποταμών της περιοχής μελέτης μπορεί να επηρεάστηκε σημαντικά από μια νεότερη φάση διαρρήξεων στη λεκάνη της Κωπαΐδας. Λόγω των διαδικασιών αυτών, είναι πιθανό ο Κηφισός να άρχισε να ρέει και μέσα στο βύθισμα του Κωπαϊδικού πεδίου, ενώ πριν έρεε ανατολικά και τελικά κατέληγε στη θάλασσα. Το ίδιο θεωρήθηκε ότι συνέβη και με άλλους κοντινούς ποταμούς, οι οποίοι σταμάτησαν να επικοινωνούν με τη θάλασσα, τουλάχιστον επιφανειακά.

Τελικά, προκύπτει ότι κατά το Πλειόκαινο η λίμνη Κωπαΐδα είχε μεγαλύτερη έκταση που εκτεινόταν από τη Λιβαδειά έως τη Θήβα. Η έκταση αυτή περιορίστηκε σημαντικά λόγω βυθίσματος της λεκάνης που συνέβη στους αλλουβιακούς χρόνους.

Όσον αφορά την περιοχή του Ελικώνα, η ζώνη Παρνασσού – Γκιώνας στα δυτικά της Κοπαΐδας χαρακτηρίζεται βαρεία τεκτονική (γερμανικού τύπου). Εμφανίζονται μεταπτώσεις με διεύθυνση Β – Ν ή Α – Δ (με απόκλιση προς ΝΑ – ΒΔ), αντίκλινα και ελαφρά σύγκλινα, συχνά αντεστραμμένα, οπότε ο φλύσχος υπόκειται των παλαιότερων ασβεστολιθικών σχηματισμών. Στα ανατολικά του Ελικώνα, έχουν δημιουργηθεί ρήγματα, βορειοανατολικά του χωριού Σούρπη, δυτικά του χωριού Ελικώνα (Ζιρίκι) και στο Δίστομο.



**Εικόνα 4.5:** Η λεκάνη του Βοιωτικού Κηφισού όπως διαχωρίζεται σε γεωλογικούς σχηματισμούς διαφορετικής διαπερατότητας. Σημειώνονται τα βασικότερα ρήγματα της περιοχής (Προέλευση: Παπαγιαννοπούλου et al, 1971).

## 4.4 Υδρογεωλογία

### 4.4.1 Υδρογεωλογικές λεκάνες

Οι περισσότερες υδρογεωλογικές λεκάνες της περιοχής μελέτης, εμπίπτουν εντός της υδρολογικής λεκάνης του Βοιωτικού Κηφισού, που περιλαμβάνει και το Κοπαϊδικό πεδίο (Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε., 1974). Η υδρολογική λεκάνη του Βοιωτικού Κηφισού, όπως προαναφέρθηκε, εκφορτίζεται μέσω της σήραγγας Καρδίτσας, στα ανατολικά, ενώ είναι κλειστή στα βόρεια και νότια όπου υπάρχουν μεγάλοι ορεινοί όγκοι. Στην παρούσα εργασία, θεωρείται ότι οι ορεινοί αυτοί όγκοι (Παρνασσός –

Καλλίδρομο και Ελικώνα) αποτελούν και φυσικά όρια των υδρογεωλογικών λεκανών. Στην πραγματικότητα υπάρχουν απόψεις που υποστηρίζουν την επικοινωνία του Παρνασσού με τον Κορινθιακό κόλπο, καθώς στις ακτές του εκδηλώνονται πηγές που εκφορτίζουν πολύ μεγάλες ποσότητες υδάτων, οι οποίες πιστεύεται ότι προέρχονται από τον εν λόγω ορεινό όγκο.

Συχνά, σε πολλές μελέτες που έχουν γίνει για τη λεκάνη του Βοιωτικού Κηφισού, διαχωρίζονται τρεις βασικές περιοχές της: οι περιοχές του άνω, μέσου και κάτω ρου. Ο διαχωρισμός αυτός αφορά περισσότερο την υδρογεωλογία της περιοχής, αλλά χρησιμοποιείται και για την περιγραφή της θέσης πηγών, κλάδων του ποταμού κλπ. Το όριο των περιοχών άνω και μέσου ρου βρίσκεται στη χαράδρα που σχηματίζεται μεταξύ της Αμφίκλειας και του Μοδίου, ανάμεσα στις πεδιάδες Μπράλου – Αμφίκλειας και Τιθορέας. Αντίστοιχα, το όριο των περιοχών μέσου και κάτω ρου βρίσκεται σε μια δεύτερη χαράδρα μεταξύ του Μαυρονερίου και του Ανθοχωρίου εκεί που ξεκινάει η στενή πεδινή περιοχή μεταξύ της πεδιάδας της Τιθορέας και της λεκάνης της Κωπαΐδας. Μάλιστα, στις θέσεις αυτές είναι ιδιαίτερα μεγάλες οι διηθήσεις των επιφανειακών υδάτων του ποταμού σε βαθμό που να μηδενίζεται σχεδόν η παροχή του (Ευστρατιάδης, 2008, σ. 275).

Οι υδρογεωλογικές λεκάνες χωρίζονται σε δύο βασικές ομάδες, του Παρνασσού και του Ελικώνα (Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε., 1974, σ. 12). Η υδρογεωλογική λεκάνη Παρνασσού περιλαμβάνει τις εξής υπολεκάνες:

- Υπολεκάνες Άνω Ρου: Πρόκειται για τις υπολεκάνες Αγίας Ελεούσας, Λιλαίας και Γραβιάς.
- Υπολεκάνες Μέσου και Κάτω Ρου: Πρόκειται για τις υπολεκάνες Σφάκας – Πολυγύρας, Μαυρονερίου και Ακοντίου.

Η υδρογεωλογική λεκάνη Ελικώνα περιλαμβάνει αντίστοιχα, τις υπολεκάνες Λιβαδειάς και Αλιάρτου. Όλες οι προαναφερόμενες υδρογεωλογικές λεκάνες σχηματίζονται κατά κύριο λόγο μέσα σε ασβεστολιθικούς σχηματισμούς, καρστικοποιημένους, και εκφορτίζονται μέσω πηγών υπερπλήρωσης που εκδηλώνονται στις παρυφές, συνήθως, των ορεινών όγκων. Προτείνεται, μάλιστα, εκμετάλλευση των υδροφόρων στρωμάτων που αναπτύσσονται στις λεκάνες αυτές μέσω υπερετήσιας αναρρύθμισης των πηγών (Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε., 1974, σ. 12).



#### 4.4.2 Υδροφορία στους γεωλογικούς σχηματισμούς

Το γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής μελέτης είναι αρκετά πολύπλοκο, παρουσιάζοντας σχηματισμούς υδροπερατούς, έντονα καρστικοποιημένους σε πολλές περιοχές, ημιπερατούς, αλλά και αδιαπέρατους (Εικόνα 4.5).

Υδρογεωλογική μελέτη έχει δείξει ότι σημαντικοί υδροφόροι ορίζοντες εμφανίζονται εντός καρστικοποιημένων ασβεστόλιθων και των μεγάλων σε έκταση αλλουβιακών σχηματισμών που εντοπίζονται στις πεδινές περιοχές της λεκάνης του Κηφισού. Στην πρώτη περίπτωση, σημαντικό ρόλο παίζουν τα φαινόμενα επώθησης, λόγω των οποίων ασβεστολιθικές μάζες έχουν επικαθήσει σε μη μαργαϊκό φλύσχη, με αποτέλεσμα τη δημιουργία μεταξύ τους υδροφόρων στρωμάτων. Μάλιστα, είναι συνηθισμένο φαινόμενο σε τέτοιες περιπτώσεις, η εμφάνιση πηγών στα σημεία επαφής των δύο σχηματισμών. Κάτι τέτοιο συμβαίνει σε αρκετές θέσεις της περιοχής της λεκάνης, για παράδειγμα γύρω από την Κωπαΐδα, όπως περιγράφεται σε επόμενη ενότητα. Όσον αφορά τους αδιαπέρατους σχηματισμούς, αυτοί δεν είναι υδροφόροι εκτός από την περίπτωση που έχουν διαρρηχθεί τα κροκαλοπαγή ή ψαμμιτικά στρώματά τους. Βέβαια, ακόμα και σε αυτή την περίπτωση σχηματίζονται υδροφορείς μικρού πάχους και διαστάσεων με τοπική σημασία (Υπουργείο Γεωργίας, 1971).

Η περιοχή μελέτης περιλαμβάνει τρία είδη γεωλογικών σχηματισμών βάσει της υδροπερατότητάς τους ( Παγούνης, 1994).

- Υδροπερατοί σχηματισμοί

Πρόκειται για ασβεστόλιθους διαρρηγμένους και αποκαρστωμένους, δολομιτικούς ασβεστόλιθους και δολομίτες. Τέτοιου είδους σχηματισμοί, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, έχουν εντοπιστεί στις περιοχές Κερατοβουνίου, Καραμούζας και Σιρμινίτσας, στο χωριό Σούρπη και στα όρια της λίμνης Υλίκης, στα ανατολικά του Ανθοχωρίου, στην περιοχή Βρασταμιτών – Πέτρας, βόρεια του όρους Ακόντιο, βόρεια της Δομβραίνης κοντά στη Λιβαδειά, καθώς και περιμετρικά της Κωπαΐδας σε συνδυασμό με φλύσχη. Οι σχηματισμοί αυτοί εμφανίζονται διάσπαρτα στα όρια της λεκάνης και σε μεγάλη έκταση στα βορειοδυτικά και δυτικά της (όπως γύρω από τις πηγές Μαυρονερίου) (Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε., 1998, σ. 7).

Η υδροφορία των ασβεστόλιθων οφείλεται στην εμφάνιση ρηγμάτων, διακλάσεων και μεταπτώσεων, μέσω των οποίων διηθούνται και κινούνται τα όμβρια ύδατα και

όχι στην ίδια τη σύστασή τους που είναι συμπαγής. Στην περιοχή μελέτης, η παρουσία έντονων καρστικών φαινομένων έχει σαν αποτέλεσμα πολύ διαπερατούς ασβεστολιθικούς σχηματισμούς, ακόμα και σε σύγκριση με τους αλλουβιακούς, με γεωτρήσεις που δίνουν μεγάλες παροχές χωρίς να πέφτει σημαντικά η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα (Υπουργείο Γεωργίας, 1971). Επίσης, ένα ακόμη στοιχείο που οδηγεί στο συμπέρασμα ότι υπάρχουν πλούσιοι υδροφόροι ορίζοντες στις ασβεστολιθικές περιοχές της λεκάνης, π.χ. γύρω από την Κοπαΐδα, είναι το γεγονός ότι η περιοχή μελέτης ανήκει γεωλογικά στη ζώνη Ανατολικής Ελλάδας, με τους κρητιδικούς και τριαδικούς ασβεστόλιθους να κυριαρχούν. Οι σχηματισμοί αυτοί θεωρούνται ιδιαίτερα ευνοϊκοί ως προς τη δημιουργία υπόγειων υδροφορέων (Υπουργείο Γεωργίας, 1971, σ. 39). Η ίδια μελέτη του Υπουργείου Γεωργίας αναφέρει ότι η υδροφορία σε αυτούς τους σχηματισμούς είναι τέτοια που εξισορροπεί τις ακανόνιστες βροχοπτώσεις (Barbeau, κ.ά., 1964).

- Ημιπερατοί σχηματισμοί

Πρόκειται για λιμναίες χειμαρρικές και ποτάμιες αποθέσεις υλικών με διαφορετική συνεκτικότητα, όπως πηλός, άμμος, κροκάλες κλπ.

Εμφανίζονται είτε ως τριτογενείς είτε ως τεταρτογενείς σχηματισμοί όπως προαναφέρθηκε, στην περιοχή του Κερατοβουνίου, κοντά στο Θούριο, ανατολικά του ασβεστολιθικού όγκου Κραβασαράς, στη λεκάνη της Κοπαΐδας, αλλά και νότια αυτής, στις περιοχές της Λιβαδειάς, της Κορωνίας (νοτιοανατολικά της Λιβαδειάς) και των Θηβών. Γενικά, οι ημιπερατοί σχηματισμοί εμφανίζονται στις πεδινές περιοχές όπου ρέει ο Βοιωτικός Κηφισός, όπως στην πεδιάδα μεταξύ Μπράλου και Αμφίκλειας, στην πεδιάδα της Τιθορέας, στην πεδινή περιοχή Δαύλειας – Χαιρώνειας και φυσικά στην πεδιάδα της Κοπαΐδας. Σε μεγαλύτερη έκταση εντοπίζονται στην περιοχή του κάτω ρου (Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε., 1998) και τοπικά στις θέσεις που προαναφέρθηκαν.

Το πάχος αυτών των προσχωματικών σχηματισμών εντός των οποίων εμφανίζεται υδροφορία, ποικίλει. Σε ορισμένες περιοχές όπως στην Χαιρώνεια και στα Τοπόλια, έχει εκτιμηθεί ότι είναι μερικές εκατοντάδες μέτρα (250 m και 143 m αντίστοιχα). Γενικά, σύμφωνα με τους Barbeau κ.ά. (1964) στα ανώτερα στρώματα αυτών των σχηματισμών η υδροφορία είναι δεν είναι σημαντική τόσο γιατί τα υδροφόρα στρώματα περιορίζονται εντός των αργίλων, όσο και γιατί η επανατροφοδότησή τους από κατεΐσδυση της βροχής είναι μικρή. Ο εμπλουτισμός

τους γίνεται κυρίως μέσω της επαφής τους με τους ασβεστολιθικούς σχηματισμούς στις θέσεις μεταπτώσεων, αλλά και μέσω των πηγαίων υδάτων που ρέουν μέσα από τις προσχώσεις, με χαρακτηριστικό παράδειγμα την περιοχή της Κωπαΐδας (Παπαγιαννοπούλου και Λέτσιος, 1971).

Επίσης, αναφέρονται οι κάτωθι περιοχές αλλουβιακών σχηματισμών με βάση τον προαναφερόμενο διαχωρισμό της λεκάνης απορροής του Βοιωτικού Κηφισού σε τρεις περιοχές, του άνω, του μέσου και του κάτω ρου:

- Περιοχή του κάτω ρου: Πρόκειται κυρίως για τα κροκαλοπαγή υδροφόρα στρώματα της λεκάνης Κωπαΐδας, τα οποία παρεμβάλλονται μεταξύ μαργών. Οι γεωτρήσεις που έγιναν στις παρυφές και στο μέσο της λεκάνης έδωσαν παροχές μόνο στην πρώτη περίπτωση, γεγονός που επιβεβαιώνει την τροφοδότηση αυτών των αλλουβιακών σχηματισμών από τους γειτονικούς ασβεστόλιθους.
- Περιοχή του μέσου ρου: Πρόκειται για την περιοχή κοντά στο Κηφισσοχώρι, Ανθοχώρι κλπ. Στην περιοχή υπάρχουν υδροφόροι ορίζοντες σε διάφορα βάθη. Στα μικρότερα βάθη η ύπαρξή τους διαπιστώνεται από μεγάλο αριθμό φρεάτων που φτάνουν στα 10 – 12 m κάτω από το έδαφος. Οι βαθύτεροι βρίσκονται στην περιοχή της Χαιρώνειας, όπου γεωλογική τομή έδειξε ότι λόγω παρουσίας αργίλων και ψαμμιτικών και κροκαλοπαγών στρώσεων, δεν επανατροφοδοτούνται. Πιο συγκεκριμένα, διαπιστώθηκε ότι μόνο τα ανώτερα κροκαλοπαγή στρώματα ήταν υδροφόρα.
- Περιοχή του άνω ρου: Περιλαμβάνει κυρίως τεταρτογενείς αποθέσεις με μικρό πάχος, επικείμενων στους σχηματισμούς φλύσχη. Λόγω της μικρής παροχής των φρεάτων, εκτιμάται ότι λαμβάνει χώρα κυρίως κάθετη διήθηση των κατακρημνίσεων και πλευρική τροφοδοσία από χειμάρρους που ρέουν εντός φλύσχη, ενώ δεν υπάρχει τροφοδοσία από τους ασβεστόλιθους. Μάλιστα στην περιοχή της Γραβιάς οι στάθμες των γεωτρήσεων είναι διαφορετικές από αυτές των φρεάτων και μεταξύ τους δεν υπάρχει υψομετρική σύνδεση.

- Πρακτικά στεγανοί σχηματισμοί

Πρόκειται για πετρώματα όπως είναι οι αργιλομαργαϊκοί σχιστόλιθοι, οι σχιστοψαμμίτες και τα εκρηξιγενή πετρώματα. Οι σχηματισμοί φλύσχη, που

εμφανίζονται κυρίως στις λεκάνες Πλατανιάς και Αγίου Βλασίου στα νοτιοανατολικά της λεκάνης, είναι πιθανό να αποτελούνται από εναλλαγές τέτοιων πετρωμάτων. Εμφανίζονται τόσο στους ορεινούς όγκους της λεκάνης του Βοιωτικού Κηφισού, όπως στον Παρνασσό στην περιοχή της Καλοσκοπής και στη βόρεια και βορειοανατολική πλευρά του Ελικώνα, αλλά και διάσπαρτα σε άλλες περιοχές της λεκάνης, όπως στα βόρειά της, κοντά στην περιοχή του Μοδίου και βορειοδυτικά της Κωπαΐδας και του Ορχομενού, μεταξύ του Ακοντίου, του Ηδυλείου Όρους και της Μακρυνράχης. Σε νεογενή πετρώματα, όπως μάργες, δεν εμφανίζεται υδροφόρος ορίζοντας (Παπαγιαννοπούλου και Λέτσιος, 1971).

#### **4.4.3 Υδρογραφικό δίκτυο – Καρστικές πηγές**

Η διαμόρφωση του αναγλύφου της περιοχής μελέτης ευνοεί τη συγκέντρωση και ροή μεγάλης ποσότητας επιφανειακών υδάτων, σχηματίζοντας το ένα υδρογραφικό δίκτυο με κύριο ποταμό τον Βοιωτικό Κηφισό και αρκετούς παραποτάμους και χειμάρρους, συνολικού μήκους 152,7 km. Ο Βοιωτικός Κηφισός πηγάζει από τον Παρνασσό, στην περιοχή της Φωκίδας. Μάλιστα στην περιοχή αυτή είναι γνωστός ως Φωκικός Κηφισός (Εγκυκλοπαίδεια Δομή, 2004).

Ο κύριος κλάδος του Βοιωτικού Κηφισού έχει μήκος 102 km, περιλαμβανομένων και των τοπικών διακοπών της κοίτης του. Ο ποταμός διέρχεται από δύο μεγάλες χαράδρες στις περιοχές Μοδίου-Αμφίκλειας και Ανθοχωρίου-Μαυρονερίου, μέσω των οποίων διαμορφώνονται τρεις χαρακτηριστικές υδρογεωλογικές ενότητες, του άνω, μέσου και κάτω ρου. Ο μεγαλύτερος κλάδος του ξεκινά από τις υπώρειες του όρους Καλλίδρομο, και ακολούθως εμπλουτίζεται από τα νερά των χειμάρρων Γραβιάς και Αγοριανίτου, που τροφοδοτούνται από πολυάριθμες καρστικές πηγές. Οι κυριότερες αναβλύζουν στις υπώρειες του Παρνασσού, σε υψόμετρα περί τα +300 m (Αγία Ελεούσα, Γκατσινός, Αβυσσος, Ανατολικό Κεφαλόβρυσο ή Κάτω Αγόριανη, Δυτικό Κεφαλόβρυσο, Μαριολάτα), ενώ σε αρκετά μεγαλύτερα υψόμετρα αναπτύσσονται τα συγκροτήματα πηγών της Άνω Σουβάλας (από +640 ως +745 m) και της Άνω Αγόριανης (από +725 ως +755 m). Κατά μήκος του μέσου ρου του Βοιωτικού Κηφισού, και ιδιαίτερα στην περιοχή Αμφίκλειας-Μοδίου, πραγματοποιούνται σημαντικές διηθήσεις, με συνέπεια τη σημαντική μείωση (έως και μηδενισμό) της παροχής του, στο ύψος της γέφυρας Ανθοχωρίου. Στην περιοχή δεν υπάρχουν αξιόλογες καρστικές πηγές, με εξαίρεση αυτές της Αγίας

Παρασκευής και του Προφήτη Ηλία, σε υψόμετρο +130 m. Στη συνέχεια, ο ποταμός διέρχεται από τα στενά της Δαύλειας, και εισέρχεται στην υπολεκάνη του κάτω ρου, όπου ενισχύεται σημαντικά από τα νερά των καρστικών πηγών Μαυρονερίου και των χειμάρρων Πλατανιάς και Αγίου Βλασίου. Οι πηγές Μαυρονερίου, που αναβλύζουν στις ανατολικές υπώρειες του Παρνασσού (Φιλοβοιωτό όρος), και σε υψόμετρα από +120 έως +124 m, διαθέτουν πολύ πλούσιο υδατικό δυναμικό, που καταδεικνύει ότι τα όρια της υδρογεωλογικής τους λεκάνης εκτείνονται πολύ πέρα από τα όρια της αντίστοιχης υδρολογικής. Μετά τη θέση του φράγματος αναρρύθμισης BOOT, κοντά στο χωριό Ρωμαίικο, ο ποταμός ακολουθεί πλέον την τεχνητή του κοίτη, που διανοίχτηκε στα πλαίσια των έργων αποξήρανσης της Κωπαΐδας, για να καταλήξει στην Υλίκη.

Το δεύτερο σημαντικότερο υδατόρευμα της περιοχής μελέτης είναι ο Μέλανας (Μαυροπόταμος). Παλαιότερα, όπως ο Βοιωτικός Κηφισός, έτσι και ο Μέλανας τροφοδοτούσε απευθείας την λίμνη της Κωπαΐδας. Σήμερα, τα νερά του, ενισχυόμενα και από τις εκροές των πηγών Πολυγύρας, εκτρέπονται μέσω διευθετημένης κοίτης (Τάφρος Μέλανα) προς τη Συγκεντρωτική Τάφρο και, ακολούθως, τη Διώρυγα Καρδίτσας, ενώ ένα μικρό μέρος τους, ακολουθώντας την παλιά κοίτη, κατευθύνεται προς το Κάστρο και καταλήγει στις καταβόθρες του Αγίου Ιωάννη, στην περιοχή Τοπόλια (BA του χωριού Κόκκινο).

Ο Μέλανας πηγάζει από τις ομώνυμες καρστικές πηγές, κοντά στο χωριό Ορχομενός, γνωστές στην αρχαιότητα ως πηγές Χαρίτων. Οι εν λόγω πηγές αναβλύζουν στις υπώρειες του όρους Ακόντιο, σε υψόμετρα που κυμαίνονται από +101 m μέχρι +98 m. Συνολικά, έχουν καταγραφεί 69 εμφανίσεις τους, που εκτείνονται σε μια ζώνη άνω των 2 km. Πρόκειται για εξαιρετικά πλούσιες πηγές, που παρουσιάζουν μικρές μόνο διακυμάνσεις, τόσο σε ετήσια όσο και σε υπερετήσια βάση. Ο μηχανισμός λειτουργίας τους δεν είναι γνωστός. Αρκετά παλιότερα είχε διατυπωθεί η εκδοχή ότι τροφοδοτούνται από έναν υπόγειο καρστικό ποταμό, με ροή από δυτικά προς ανατολικά, δηλαδή από τον Παρνασσό προς την Κωπαΐδα. Νεότερες απόψεις αναφέρουν ότι πρόκειται για καρστικές πηγές υπερχείλισης, τα σημεία εκροής των οποίων συμπίπτουν με διασταυρώσεις δευτερευόντων ρηγμάτων με το κύριο ρήγμα του Ακοντίου όρους και όχι με καρστικούς αγωγούς (Παπαγιαννοπούλου και Λέτσιος, 1971).

Όσον αφορά στις πηγές Πολυγύρας, πρόκειται για τέσσερις καρστικές εκφορτίσεις, που εμφανίζονται σε υψόμετρα περί τα +96 m, ενώ λόγω της γεωλογικής

διαμόρφωσης της περιοχής θεωρείται αδύνατη η υδραυλική επικοινωνία τους με τις πηγές Μέλανα.



**Εικόνα 4.6:** Οι μεγαλύτερες πηγές της λεκάνης του Βοιωτικού Κηφισού

Άλλος ποταμός με σημαντική ροή είναι η Έρκυνα, που πηγάζει από τις πηγές Κρύας στη Λειβαδιά και τελικά εκτρέπεται στη Συγκεντρωτική Διώρυγα. Οι εν λόγω πηγές αναπτύσσονται στις υπώρειες του Ελικώνα, σε υψόμετρο +200 m. Τέλος, μικρότερης σημασίας πηγές, οι οποίες τροφοδοτούν μικρά ποτάμια που παλαιότερα απέρρεαν στην Κωπαΐδα, είναι αυτές του Λόφι, που αναπτύσσονται νότια του χωριού Μάζι, του Αγίου Ιωάννη, που αναβλύζουν νοτιοανατολικά του χωριού Λαφύστιο, και του Υψηλάντη, κοντά στο χωριό Σωληνάριο (Κοψιάτη, 2009).

### **Καρστικές πηγές**

Λόγω της ιδιόμορφης γεωλογικής και υδρογεωλογικής της δομής (κυριαρχία ασβεστολιθικών πετρωμάτων), η λεκάνη του Βοιωτικού Κηφισού διαθέτει πολύ αξιόλογο υπόγειο και πηγαίο υδατικό δυναμικό. Ακολουθώντας το συμβατικό διαχωρισμό της λεκάνης στις τρεις υδρογεωλογικές ενότητες του άνω, μέσου και κάτω ρου, οι κυριότερες πηγές που αναπτύσσονται ανά υπολεκάνη είναι:

### **Πηγές άνω ρου**

Οι σημαντικότερες πηγές του άνω ρου είναι γνωστές με την ονομασία πηγές Λιλαίας ή Σουβάλας. Πρόκειται για ανερχόμενες καρστικές πηγές που αναβλύζουν στις υπώρειες του Παρνασσού, σε υψόμετρα περί τα +300 m, κατά μήκος του άξονα Μαριολάτα - Λιλαία - Πολύδροσο. Οι κυριότερες εμφανίσεις τους είναι στις θέσεις Αγία Ελεούσα (+306.2 m), Γκατσινός (+301.2 m), Άβυσσος (+295.6 m), Κάτω Αγόριανη ή Ανατολικό Κεφαλόβρυσο (+296.1 m), Δυτικό Κεφαλόβρυσο (+298.8 m)

και Μαριολάτα (+298.4 m). Σε μεγαλύτερα υψόμετρα, αναπτύσσονται τα συγκροτήματα των πηγών της Άνω Σουβάλας (από +640 ως +745 m) και της Άνω Αγόριανης (από +725 ως +755 m).

### **Πηγές μέσου ρου**

Οι κυριότερες πηγές του μέσου ρου είναι οι καρστικές πηγές Μαυρονερίου, οι οποίες αναβλύζουν στις ανατολικές υπώρειες του Παρνασσού (Φιλοβοιωτό όρος), και σε υψόμετρο +120-124 m. Οι πηγές Μαυρονερίου διαθέτουν πολύ πλούσιο υδατικό δυναμικό, το οποίο καταδεικνύει ότι τα όρια της υδρογεωλογικής τους λεκάνης εκτείνονται πολύ πέρα από τα όρια της αντίστοιχης υδρολογικής. Πριν την κατασκευή των έργων της BOOT, τα νερά των πηγών τροφοδοτούσαν το μόνιμο έλος Δαύλειας, ενώ τώρα σχηματίζουν ένα μικρό τέλμα, και στη συνέχεια διοχετεύονται στον Βοιωτικό Κηφισό μέσω της ομώνυμης αποστραγγιστικής τάφρου, στην οποία συμβάλλουν και οι χείμαρροι Αγίου Βλασίου και Πλατανιάς. Άλλες αξιόλογες πηγές στην υπολεκάνη του μέσου ρου είναι αυτές της Δαύλειας (δυτικά του ομώνυμου χωριού), την Αγίας Παρασκευής και του Προφήτη Ηλία, σε υψόμετρο +130 m. Σημειώνεται ότι αν και οι πηγές Μαυρονερίου και Δαύλειας ανήκουν γεωγραφικά στην υπολεκάνη του κάτω ρου, θεωρείται ότι τροφοδοτούνται από κατεισδύσεις που πραγματοποιούνται στο μέσο ρου, οπότε εντάσσονται σε αυτή την υδρογεωλογική ενότητα.

### **Πηγές κάτω ρου**

Οι κυριότερες πηγές, όχι μόνο του κάτω ρου αλλά και ολόκληρης της λεκάνης του Βοιωτικού Κηφισού, είναι αυτές του Μέλανα (ή πηγές Χαρίτων), οι οποίες αναβλύζουν κατά μήκος των βόρειων προπόδων του όρους Ακόντιο, σε υψόμετρα που κυμαίνονται από +101.2 m μέχρι +97.9 m. Συνολικά, έχουν καταγραφεί 69 εμφανίσεις των πηγών Μέλανα που εκτείνονται σε μήκος άνω των 2 km. Χαρακτηριστικό των εν λόγω πηγών είναι οι πολύ υψηλές παροχές που εμφανίζουν και οι οποίες παρουσιάζουν μικρές μόνο διακυμάνσεις, τόσο σε ετήσια όσο και σε υπερετήσια βάση. Ο μηχανισμός τροφοδοσίας των πηγών Μέλανα δεν είναι γνωστός. Αρκετά παλιότερα είχε διατυπωθεί η εκδοχή ότι οι πηγές τροφοδοτούνται από έναν υπόγειο καρστικό ποταμό, με ροή από δυτικά προς ανατολικά, δηλαδή από τον Παρνασσό προς την Κωπαΐδα. Νεότερες απόψεις αναφέρουν ότι πρόκειται για

καρστικές πηγές υπερχειλίσης, τα σημεία εκροής των οποίων συμπίπτουν με διασταυρώσεις δευτερευόντων ρηγμάτων με το κύριο ρήγμα του Ακοντίου όρους και όχι με καρστικούς αγωγούς (Παπαγιαννοπούλου και Λέτσιος, 1971).

Άλλες σημαντικές πηγές της υπολεκάνης του κάτω ρου είναι αυτές της Πολυγύρας και του Έρκυνα. Οι τέσσερις πηγές Πολυγύρας αναπτύσσονται λίγο χαμηλότερα από τις πηγές Μέλανα, σε υψόμετρα περί τα +96 m, ενώ λόγω της γεωλογικής διαμόρφωσης της ευρύτερης περιοχής, θεωρείται αδύνατη η υδραυλική επικοινωνία τους με τις πηγές Μέλανα. Οι πηγές Έρκυνα (ή πηγές Κρύας) αναβλύζουν πάνω ακριβώς από την πόλη της Λειβαδιάς, στις υπόγειες του Ελικώνα, τροφοδοτώντας τον ομώνυμο ποταμό. Τέλος, μικρότερης σημασίας πηγές στην περιοχή του κάτω ρου είναι οι πηγές του Λόφι, οι οποίες αναπτύσσονται νότια του χωριού Μάζι και τροφοδοτούν τον ομώνυμο χείμαρρο, του Αγίου Ιωάννη, οι οποίες αναβλύζουν νδιαφόρων ηλικιών και τύπων (Παγούνης et al, 1994).

#### **4.5 Χρήσεις νερού και βασικά έργα υποδομής**

Η κύρια χρήση νερού στη λεκάνη είναι η αρδευτική. Στην βρίσκονται τέσσερις τοπικοί οργανισμοί εγγείων βελτιώσεων (ΤΟΕΒ), που διαθέτουν οργανωμένα αρδευτικά δίκτυα. Ο πλέον σημαντικός είναι ο Οργανισμός Κωπαΐδας, που διαχειρίζεται μια έκταση 180 km<sup>2</sup> (από τα οποία αρδεύονται τα 160 km<sup>2</sup>), ενώ οι ΤΟΕΒ Λειβαδιάς, Ορχομενού και Χαιρώνειας διαχειρίζονται μια πολύ μικρότερη έκταση, της τάξης των 10 km<sup>2</sup>. Εκτός των ΤΟΕΒ, αρδευτικές περιοχές που δεν εξυπηρετούνται από δημόσια δίκτυα αναπτύσσονται και στις πεδινές περιοχές του κάτω, μέσου και άνω ρου του Βοιωτικού Κηφισού, με εκτάσεις 19.3, 50.5 και 104.5 km<sup>2</sup>. (Ζαρρής et al, 1999).

Η άρδευση των καλλιεργειών πραγματοποιείται με συνδυασμένες απολήψεις από επιφανειακά και υπόγεια νερά. Ειδικότερα, οι απολήψεις υπόγειων νερών γίνονται κυρίως από ευρύτερα συστήματα γεωτρήσεων και δευτερευόντως από μικρά ιδιωτικά έργα. Οι οργανωμένες γεωτρήσεις εντάσσονται σε δύο κατηγορίες, ήτοι τις παλαιότερες γεωτρήσεις του Υπουργείου Γεωργίας και τις νεώτερες των ΕΥΔΑΠ-ΥΠΕΧΩΔΕ-ΙΓΜΕ. Οι πρώτες διανοίχτηκαν στα τέλη της δεκαετίας του 1970 και εκτείνονται σε μεγάλη έκταση, με τις περισσότερες να βρίσκονται κατάντη του Μαυρονερίου, με εξαίρεση αυτές της Σφάκας και του Προφήτη Ηλία. Ορισμένες καλύπτουν τοπικές αρδευτικές ανάγκες, ενώ οι υπόλοιπες διοχετεύουν τα νερά τους



στο Υδραγωγείο Κωπαΐδας, που υδροδοτεί την ομώνυμη περιοχή. Κατά την περίοδο της λειψυδρίας, ορισμένες εξ αυτών (γεωτρήσεις Μαυρονερίου και Ακοντίου) χρησιμοποιήθηκαν εντατικά για την ενίσχυση του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας. Όσον αφορά στη δεύτερη μεγάλη ομάδα γεωτρήσεων, οι οποίες εκτείνονται από το Μαυρονέρι μέχρι την περιοχή Βασιλικών-Παρορίου, αυτές διανοίχτηκαν κατά την περίοδο έμμονης ξηρασίας των ετών 1990-1992. Αν και αρχικά, χρησιμοποιήθηκαν για την ενίσχυση του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας (μέσω του Υδραγωγείου Διστόμου), λειτουργούν πλέον μόνο τους θερινούς μήνες για να ενισχύσουν την άρδευση της Κωπαΐδας, μέσω του συγκεντρωτικού αγωγού Βασιλικών-Παρορίου. Εκτός των γεωτρήσεων, οι περιοχές του κάτω ρου, και των ΤΟΕΒ Ορχομενού, Κωπαΐδας και Κάστρου αρδεύονται με απευθείας απολήψεις επιφανειακών νερών από τον Βοιωτικό Κηφισό και τις πηγές του. Μια επιπλέον πηγή υδροδότησης είναι οι αντλήσεις από την Υλίκη, που στα μέσα της δεκαετίας του 1980 έφτασαν στα επίπεδα των 50 hm<sup>3</sup>/έτος, αλλά τα τελευταία χρόνια έχουν σταθεροποιηθεί στα επίπεδα των 15-20 hm<sup>3</sup>/έτος. Τα κυριότερα υφιστάμενα αρδευτικά έργα στην λεκάνη του Βοιωτικού Κηφισού, και παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.1.

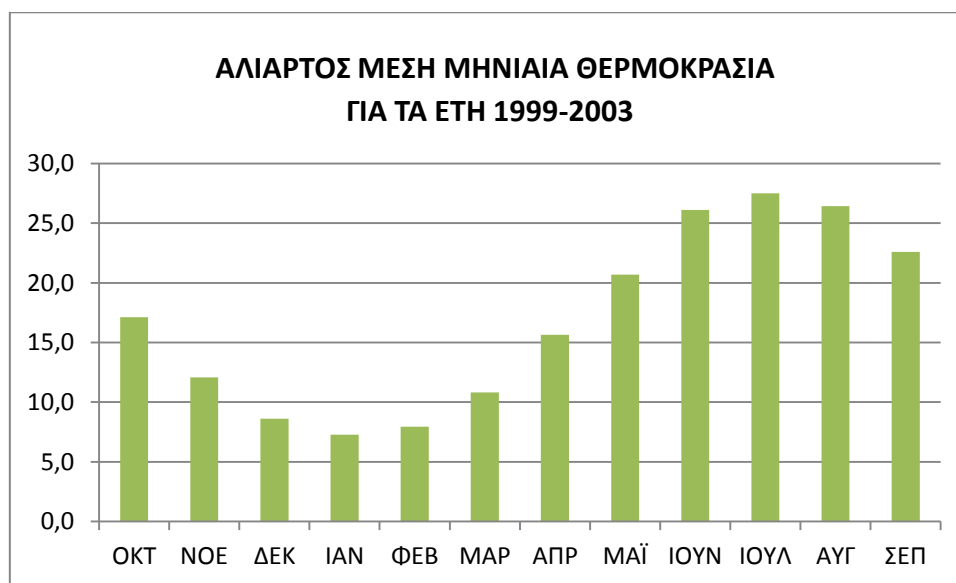
**ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1** Υφιστάμενα αρδευτικά έργα Πηγή: Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, (2009)

Περιοχή - Αρδευτικό έργο	Πηγή	Έκταση (στρέμ.)
<b>1. Άνω Ρου Βοιωτικού Κηφισού</b>		
Λιλαΐας-Πολυδρόσου*	Πηγές και γεωτρήσεις	10000
Εξάρχου	Πηγές και γεωτρήσεις	5000
Κάτω Τιθορέας	Πηγές και γεωτρήσεις	4000
Γραβιάς	Γεωτρήσεις	3500
<b>2. Μέσου Ρου Βοιωτικού Κηφισού</b>		
Αγίου Βλασίου-Χαιρώνιας**	Β. Κηφισός-γεωτρήσεις	50000
Αμφίκλειας-Ελάτιας	Γεωτρήσεις	30000
Ανθοχωρίου-Προφ. Ηλία-Μαυρονερίου-Δαύλειας-Διστόμου	Γεωτρήσεις	20000
Λιβαδειάς-Ερκυνας	Πηγές	16000
<b>3. Κάτω Ρου Βοιωτικού Κηφισού</b>		
Κωπαϊδικού πεδίου**	Υλίκη-Β. Κηφισός-γεωτρήσεις	180000
Κάστρο	Υλίκη	23000

#### 4.6. Κλιματικά στοιχεία

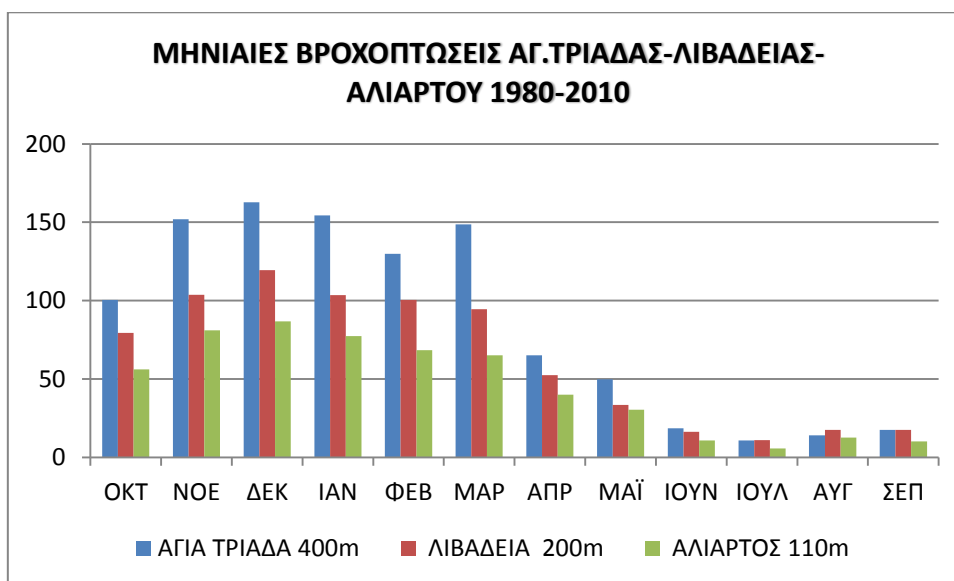
Το κλίμα της περιοχής έχει χαρακτήρα ηπειρωτικό-μεσογειακό (Ευθυμιάδης και Κόζαρης, 2002). Οι κλιματικές συνθήκες της περιοχής έρευνας χαρακτηρίζονται από εναλλαγή μιας υγρής-ψυχρής περιόδου, που αρχίζει τον Οκτώβριο και μιας θερμής-ξηρής περιόδου, που αρχίζει περί τα μέσα Μαΐου, όπως προκύπτει από τις τιμές του ύψους των βροχοπτώσεων και της θερμοκρασίας (Δάνδολος, 2003). Ο όγκος και η κατανομή των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων, η θερμοκρασία και τα θερμοκρασιακά εύρη, η ηλιοφάνεια, η απόλυτη και σχετική υγρασία, η εξάτμιση και οι άνεμοι είναι οι καιρικοί παράγοντες που διαμορφώνουν το κλίμα της περιοχής και επηρεάζουν το υδατικό δυναμικό της. Τα υδρολογικά χαρακτηριστικά κάθε περιοχής εξαρτώνται από τις κλιματικές συνθήκες και τη γεωλογική της δομή.

Η θερμοκρασία του αέρα αποτελεί ένα από τα σπουδαιότερα κλιματικά στοιχεία, τόσο από πλευράς θεωρητικών, όσο και από πλευράς πρακτικών εφαρμογών.



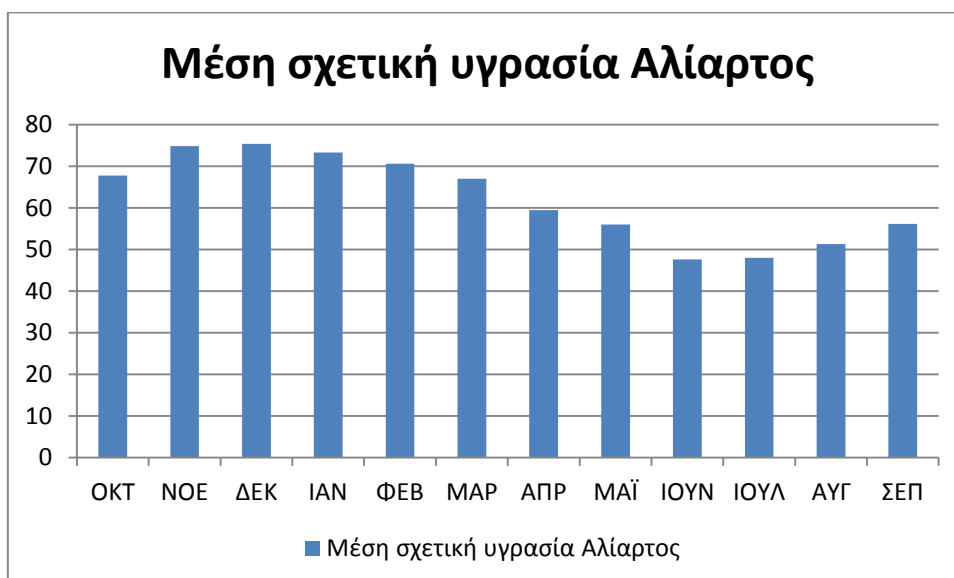
*Διάγραμμα 4.1 Η ετήσια πορεία της θερμοκρασίας ακολουθεί απλή ετήσια διακύμανση, με μέγιστα τον Ιούλιο-Αύγουστο και ελάχιστα τον Ιανουάριο Πηγή: ΥΠΑΝ*

Τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα παίζουν το σπουδαιότερο ρόλο στη διαμόρφωση του επιφανειακού υδρογραφικού δικτύου και των υπόγειων νερών μιας υδρογεωλογικής λεκάνης.



*Διάγραμμα 4.2* Μηνιαίες βροχοπτώσεις την περίοδο 1980-2001 Πηγή: ΥΠΙΑΝ

Από το Διάγραμμα 4.2. βλέπουμε ότι υπάρχει μια μεγάλη διακύμανση των μηνιαίων τιμών ύψους νετού. Έχουμε ένα μέγιστο τον Δεκέμβριο και ακολούθως μια βαθμιαία μείωση, για να φτάσει στο ελάχιστο ύψος τον μήνα Ιούλιο. Όπως φαίνεται από το διάγραμμα το ύψος βροχόπτωσης είναι ανάλογο του υψομέτρου που βρίσκεται ο σταθμός.



*Διάγραμμα 4.4.* Ετήσια πορεία της μέσης σχετικής υγρασίας 1980-2001 Πηγή: ΥΠΙΑΝ

## 5. Περιγραφή του υδρολογικού μοντέλου MIKE SHE

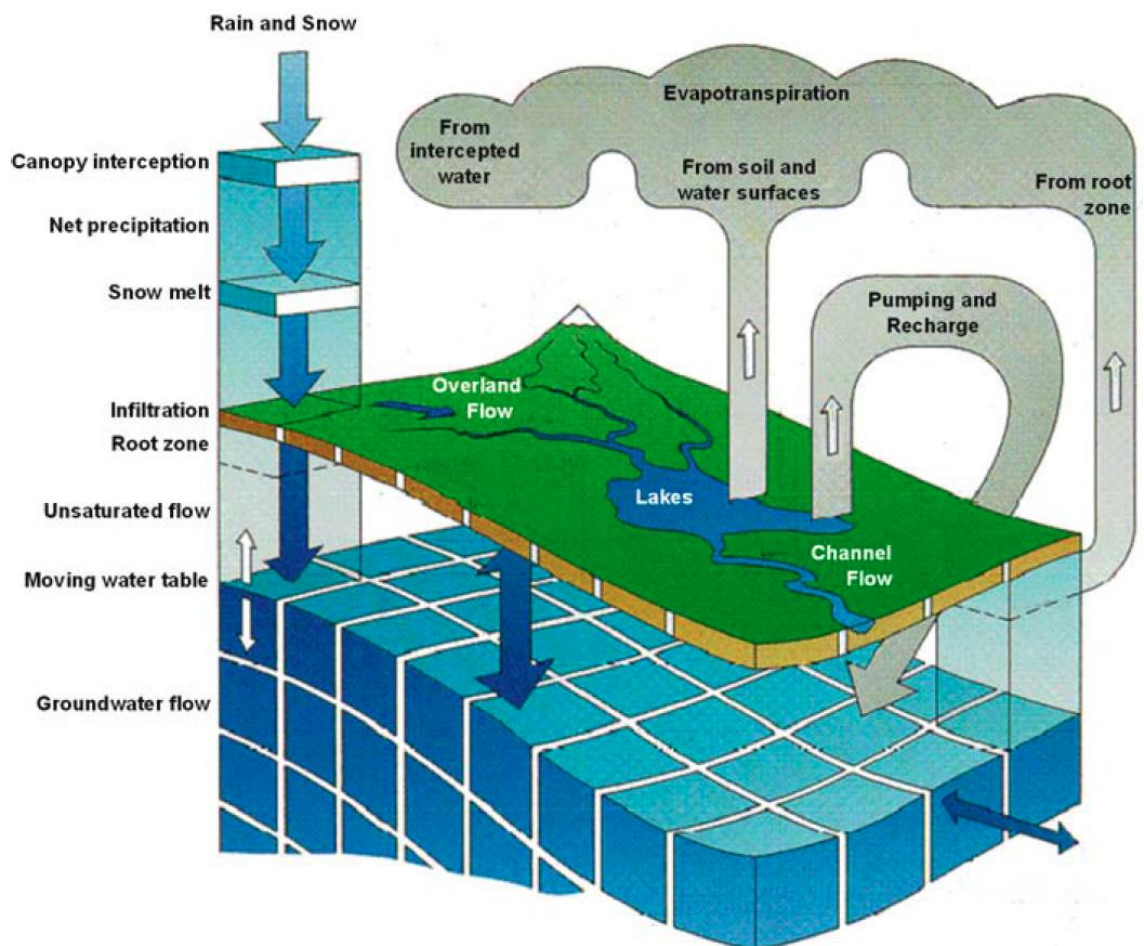
### 5.1 Γενική περιγραφή του μοντέλου

Το 1969, ο Freeze και ο Harlan (Freeze και Harlan, 1969) πρότειναν ένα σχέδιο για την μοντελοποίηση του υδρολογικού κύκλου. Σε αυτό το αρχικό σχέδιο, διαφορετικές διαδικασίες ροής περιγράφονται από τις διαφορετικές εξισώσεις τους. Οι εξισώσεις που χρησιμοποιούνται στο σχέδιο ήταν γνωστό ότι αντιπροσωπεύουν τις φυσικές διεργασίες στις κατάλληλες κλίμακες στα διάφορα στάδια του υδρολογικού κύκλου. Από το 1977 και μετά, αναπτύχθηκε μια κοινοπραξία τριών Ευρωπαϊκών οργανώσεων, του Ινστιτούτου Υδρολογίας του Ηνωμένου Βασιλείου στην, της SOGREAH της Γαλλίας, και του Ινστιτούτου Υδραυλικής της Δανίας. Η κοινοπραξία και εφάρμοσε ευρέως, το Ευρωπαϊκό Σύστημα Υδρολογίας - *Système Hydrologique Européen* (SHE), με βάση το προσχέδιο του Freeze και Harlan (Abbott et al., 1986).

Έτσι προέκυψε το ολοκληρωμένο υδρολογικό σύστημα μοντελοποίησης, MIKE SHE. Από τα μέσα της δεκαετίας του 1980, το MIKE SHE έχει αναπτυχθεί και έχει επεκταθεί περαιτέρω από την DHI. Σήμερα το MIKE SHE είναι ένα εξελιγμένο και εργαλείο για την υδρολογική μοντελοποίηση. Η μαθηματική προσέγγιση των απόλυτων διαφορών χρησιμοποιείται για την επίλυση μερικώς διαφορικών εξισώσεων οι οποίες περιγράφουν τις διεργασίες κίνησης του νερού επιφανειακά (διδιάστατη εξίσωση Saint-Venant κινηματικής ρευστών), σε κανάλι (μονοδιάστατη εξίσωση διάχυσης ρευστών), στην ακόρεστη ζώνη (μονοδιάστατη εξίσωση Richards) και στην κορεσμένη ζώνη (τριδιάστατη εξίσωση Boussinesq), ενώ αναλυτική επίλυση χρησιμοποιείται για την περιγραφή της κατακράτησης (μοντέλο Rotter) και της εξατμισοδιαπνοής (μοντέλο Kristensen and Jensen) (Thompson et al, 2004).

Το MIKE SHE καλύπτει όλες τις σημαντικές διεργασίες του υδρολογικού κύκλου και περιλαμβάνει μοντέλα για την εξατμισοδιαπνοή, την επιφανειακή ροή, την ακόρεστη ροή, τη ροή των υπογείων υδάτων, και τη ροή των καναλιών. Κάθε μία από αυτές τις διαδικασίες μπορούν να τοποθετηθούν σε διάφορα επίπεδα της χωρικής κατανομής και της πολυπλοκότητας, σύμφωνα με τους στόχους της μελέτης μοντελοποίησης, τη διαθεσιμότητα των δεδομένων του πεδίου και τις επιλογές της μοντελοποίησης του (Μπατς, 2004). Η αναπαράσταση των χαρακτηριστικών της

λεκάνης και της εισαγωγής των δεδομένων διασφαλίζεται με τον οριζόντιο διαχωρισμό της λεκάνης σε ένα ορθογώνιο δίκτυο τετράγωνων κελιών (κάναβος). Με αυτόν τον τρόπο είναι δυνατή η χωρική διαφοροποίηση των παραμέτρων όπως τοπογραφία, είδος εδάφους, φυτοκάλυψη, κατακρημνίσεις και δυνητική εξατμισιοδιαπνοή. Σε κάθε κελί οι κατακόρυφες μεταβολές σε εδαφικά και υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά περιγράφονται με οριζόντια στρώματα ποικίλου πάχους. Πλευρική ροή μεταξύ κελιών συμβαίνει είτε ως επιφανειακή ροή είτε ως υπόγεια ροή στην κορεσμένη ζώνη. Τέλος, η μονοδιάστατη εξίσωση Richards που χρησιμοποιείται για την ακόρεστη ζώνη αξιώνει ότι η οριζόντια κίνηση του νερού είναι αμελητέα σε σχέση με την κατακόρυφη (DHI, 2004).



**Εικόνα 5.1 :** Προσομοίωση του υδρολογικού κύκλου στο MIKE SHE (DHI, 2004)

Το MIKE SHE, στην αρχική του μορφή, θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως ένα ντετερμινιστικό, βασισμένο στη φυσική, κατανεμημένο μοντέλο. Αυτό αναπτύχθηκε ως μια ολοκληρωμένη εναλλακτική λύση για τα πιο κοινά, εννοιολογικά μοντέλα

βροχής-απορροής. Το MIKE SHE μπορεί να συνδυάσει τα εννοιολογικά και τα φυσικά μοντέλα, με βάση τη διαθεσιμότητα των δεδομένων και τις ανάγκες της μελέτης. Η δομή του μοντέλου είναι ευέλικτη ώστε να μπορεί να απλοποιηθεί σύμφωνα με την αντίληψη και τις ανάγκες του χρήστη καθώς και την διαθεσιμότητα των δεδομένων (Refsgaard και Storm, 1995). Η ευελιξία του MIKE φαίνεται από το ότι επιτρέπει σε κάθε διεργασία του υδρολογικού κύκλου να επιλυθεί στη δική της χωρική και χρονική κλίμακα. Για παράδειγμα, η εξατμισοδιαπνοή ποικίλλει κατά τη διάρκεια της ημέρας και η επιφανειακή ροή ανταποκριθεί γρήγορα στη βροχή, ενώ τα υπόγεια ύδατα αντιδρούν πολύ πιο αργά.

Το μοντέλο έχει ένα εξαιρετικά ευρύ φάσμα εφαρμογών σε προβλήματα επιφανειακών και υπόγειων υδατικών πόρων, καθώς και σε προβλήματα περιβάλλοντος, όπως:

- επιπτώσεις στα επιφανειακά νερά λόγω αντλήσεων
- συνδυασμένη χρήση επιφανειακών και υπόγειων νερών
- διαχείριση και προστασία υδροβιότοπων
- διαχείριση λεκάνης απορροής
- εκτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων
- δυναμική επανατροφοδοσία υδροφορέων
- διαχείριση υπόγειων υδατικών πόρων
- μελέτες πλημμυρών
- εκτίμηση επιπτώσεων από αλλαγές στις χρήσεις γης και στο κλίμα
- εκτίμηση επιπτώσεων από γεωργικές πρακτικές

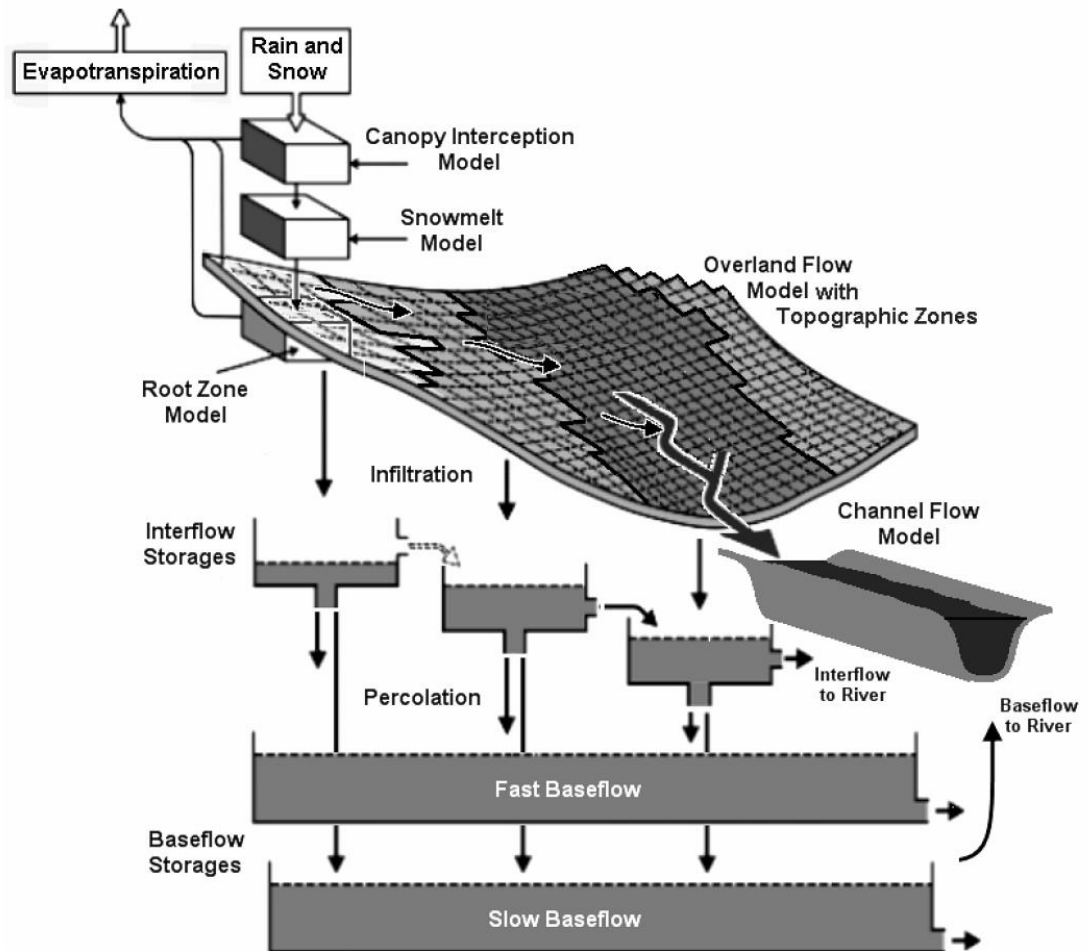
Το μοντέλο αναπαριστά τις ακόλουθες διεργασίες:

- Κατακρήμνισματα (βροχόπτωση, χιονόπτωση)
- Πραγματική εξατμισοδιαπνοή
- Επιφανειακή απορροή
- Ακόρεστη ροή
- Κορεσμένη ροή.

Για κάθε διεργασία, το MIKE SHE παρέχει εναλλακτικούς τρόπους μαθηματικής περιγραφής, που κυμαίνονται από απλές, συγκεντρωτικές προσεγγίσεις έως εξελιγμένες, κατανεμημένες προσεγγίσεις φυσικής βάσης. Οι εν λόγω προσεγγίσεις μπορούν να συνδυαστούν με μεγάλη ευελιξία, παρέχοντας έτσι στο χρήστη τη δυνατότητα να προσαρμόσει το μοντέλο στο υδρολογικό πρόβλημα που εξετάζεται και στα διαθέσιμα δεδομένα

Για την προσομοίωση του υδατικού ισοζυγίου σε επίπεδο λεκάνης απορροής, χρησιμοποιείται μια ημι-κατανεμημένη μορφή του ομοιώματος, όπου η υποδερμική απορροή (interflow) καθώς και η βασική απορροή (baseflow) προσομοιώνονται ως ένα σύστημα γραμμικών ταμιευτήρων (linear reservoirs). Αυτό γίνεται καθώς είναι πρακτικά πολύ δύσκολη η προσομοίωση των υπόγειων υδροφορέων σε τόσο μεγάλη επιφάνεια με όρους πεπερασμένων διαφορών, κυρίως γιατί η γνώση των χαρακτηριστικών των υπόγειων υδροφορέων είναι εξαιρετικά ελλιπής, αν όχι ανύπαρκτη και ότι οι απαιτήσεις σε υπολογιστική ισχύ και χρόνο θα καθιστούσαν απαγορευτική μια τέτοια προσέγγιση.

Οι γραμμικοί ταμιευτήρες της υποδερμικής απορροής (interflow reservoirs) χαρακτηρίζονται από την τοπογραφία και τη γεωλογία της λεκάνης απορροής, τοποθετούνται σε σειρά και είναι διπλής εξόδου, μίας πλευρικής ως γρήγορης απορροής στο υδρογραφικό δίκτυο (interflow) και μιας στο πυθμένα ως βαθιάς διήθησης προς τους υπόγειους υδροφορείς (percolation). Η βασική απορροή προσομοιώνεται ως δύο ταμιευτήρες που ελέγχουν τη βασική απορροή. Στο σχήμα 5.2. περιγράφεται σχηματικά η λειτουργία του ομοιώματος.



**Εικόνα 5.2 :** το υδρολογικό μοντέλο MIKE SHE στην ημι-κατανεμημένη μορφή του (DHI, 2009)

## 5.2 Κατακρημνίσματα

Τα δεδομένα κατακρήμισης εισάγονται στο ομοίωμα με τη μέθοδο των πολύγωνων Thiessen. Για κάθε πολύγωνο γίνεται η υψομετρική διόρθωση βάσει της αντίστοιχης βροχοβαθμίδας. Ανάλογα με το πόσοι σταθμοί έχουν διαθέσιμα δεδομένα ημερήσιων θερμοκρασιών, μπορεί να γίνει κατάταξη με βάση υψομετρικές ζώνες (σε περίπτωση που οι σταθμοί είναι λίγοι) ή ακόμα και με πολύγωνα Thiessen αν οι σταθμοί είναι περισσότεροι ή αν το γεωγραφικό πλάτος ή μήκος των σταθμών παίζουν σημαντικότερο ρόλο από το υψόμετρο. Στην παρούσα μελέτη, τα πεδία βροχής εισάγονται κατανεμημένα βάσει των πολυγώνων Thiessen των αντίστοιχων σταθμών του υδρολογικού δικτύου. Η εισαγωγή γίνεται υπό μορφή αρχείου



πολυγώνου του γεωγραφικού συστήματος πληροφοριών(GIS). Για κάθε πολύγωνο Thiessen δίδεται η χρονοσειρά βροχόπτωσης του σταθμού στον οποίο αυτό αντιστοιχεί, η οποία πρέπει να καλύπτει πλήρως τη χρονική περίοδο της προσομοίωσης. Η εισαγωγή των χρονοσειρών γίνεται με ειδικά δυαδικά αρχεία (dfsO) του ομοιώματος.

### **5.3 Επιφανειακή απορροή**

Στο MIKE SHE η ροή του νερού στην επιφάνεια του εδάφους υπολογίζεται χρησιμοποιώντας μια 2D προσέγγιση διάχυτου κύματος, με πεπερασμένη διαφορά των εξισώσεων Venant για τη λεπτομερή μοντελοποίηση, ή χρησιμοποιώντας μια ημι-καταναμημένη, προσέγγιση που βασίζεται στην εξίσωση Mannings.

Στην επιλογή αυτή ορίζονται σταθερές παράμετροι βάσει των οποίων το ομοίωμα υπολογίζει την (κατά κανόνα μικρή) συνιστώσα της άμεσης απορροής, δηλαδή εκείνου του τμήματος της απορροής που απορρέει άμεσα χωρίς να κατεισδύσει στο υπέδαφος. Η χωρική μεταβολή της μπορεί να οριστεί είτε ενιαία πάνω σε όλο το πεδίο προσομοίωσης, είτε καταναμημένη με βάση κάποια χωρική μεταβλητή (για παράδειγμα ,υψομετρικές ζώνες ή λεκάνες απορροής ή κάποιος συνδυασμός αυτών), η εννοιολογική προσέγγιση της αναπαράστασης της επιφανειακής απορροής στο MIKE SHE βασίζεται σε μία εμπειρική σχέση μεταξύ του βάθους ροής και της κλίσης του εδάφους και τον συντελεστή τραχύτητας του εδάφους , σε συνδυασμό με την εξίσωση του Manning (Crawford and Linsley, 1966).Η επιφανειακή απορροή προκαλείται σε περιπτώσεις έντονων βροχοπτώσεων και ο ρυθμός βροχής ξεπερνά το ρυθμό διήθησης του εδάφους (Παπαρρίζος, 2012).

### **5.4 Πραγματική εξατμισοδιαπνοή**

Η εξατμισοδιαπνοή είναι το μεγαλύτερο μέρος του υδατικού ισοζυγίου. Στο MIKE SHE, η εξατμισοδιαπνοή από τη βλάστηση υπολογίζεται από την διακοπή της αποθήκευσης, το χιόνι, την επιφάνεια του εδάφους, του κατακλυσμένου νερού, τη ζώνη του ριζικού συστήματος και τα υπόγεια ύδατα. Έτσι, συνδέονται άμεσα με την απορροή, τη διήθηση και τη ροή των υπογείων υδάτων.

Η εξατμισοδιαπνοή αναφέρεται στο άθροισμα των διαδικασιών άμεσης εξάτμισης από την ελεύθερη επιφάνεια του νερού και της διαπνοής του νερού κάτω από την επιφάνεια, είτε άμεσα είτε μέσω των φυτών. Η Εξατμισοδιαπνοή είναι ένα σημαντικό συστατικό του υδατικού ισοζυγίου και μπορεί να φτάνει το 70% των βροχοπτώσεων σε εύκρατα κλίματα, ακόμη και να υπερβαίνει την ετήσια βροχόπτωση σε ξηρές περιοχές (Bedient και Huber, 2002). Η εξάτμιση λαμβάνει χώρα από όλες τις ελεύθερες επιφάνειες νερού, οι οποίες δεν περιλαμβάνουν μόνο τις λίμνες και τα ποτάμια, αλλά επίσης και νερό που έχει παγιδευτεί στα φύλλα, καθώς και τις επιφάνειες χιόνι. Η εξάτμιση από το έδαφος ελέγχεται από την υγρασία του εδάφους, της υδραυλικές ιδιότητες και την ύπαρξη υπόγειων υδάτων. Η διαπνοή, από την άλλη πλευρά, συνδέεται στενά με την φυσιολογία των φυτών, το βάθος των ριζών, την ικανότητα των ριζών να εξαγάγουν το νερό από το έδαφος, τα χαρακτηριστικά των φύλλων, κλπ. Τα φυτά μπορούν να ρυθμίσουν τη διαπνοή τους, ανάλογα με τη διαθεσιμότητα του νερού, το οποίο σημαίνει ότι η διαπνοή είναι επίσης μια συνάρτηση της περιεκτικότητας υγρασίας του εδάφους στην ακόρεστη ζώνη. Έτσι, η εξατμισοδιαπνοή μπορεί να έχει υψηλό βαθμό χωρικής διακύμανσης που αλλάζει καθημερινά και εποχιακά. Το MIKE SHE υπολογίζει την πραγματική εξατμισοδιαπνοή με βάση τη μέθοδο Kristensen and Jensen. Η πραγματική εξατμισοδιαπνοή θεωρείται ως συνάρτηση της δυναμικής εξατμισοδιαπνοής με το βάθος του ριζικού συστήματος και το δείκτη επιφάνειας φυλλώματος για τη βλάστηση (Παπαρρίζος, 2012).

Η μέθοδος αυτή διακρίνει τις διεργασίες που αφορούν την πραγματική εξατμισοδιαπνοή σε τέσσερις κατηγορίες (DHI, 2009):

- Η κατακράτηση μέρους της βροχής από τη βλάστηση, η οποία μετά εξατμίζεται στο σύνολό της. Το μέγεθος αυτό είναι συνάρτηση του δείκτη επιφάνειας φυλλώματος (Leaf Area Index, LAI).

- Το τμήμα της βροχής που φθάνει στο έδαφος είτε απορροεί επιφανειακά είτε διηθείται στην ακόρεστη ζώνη.

- Μέρος του διηθούμενου νερού είτε εξατμίζεται από την ανώτερη στοιβάδα του εδάφους είτε χρησιμοποιείται από τις ρίζες της βλάστησης και μετά εξατμίζεται από το φύλλωμα της βλάστησης με τη διαπνοή. Το ποσό της διαπνοής των φυτών εξαρτάται από το LAI, το βάθος του ριζικού συστήματος (Root Depth, RD) και τη

διαθέσιμη εδαφική υγρασία σε όλο το βάθος του ριζικού συστήματος. Η εξάτμιση της εδαφικής υγρασίας από την ανώτερη στοιβάδα της ακόρεστης ζώνης εξαρτάται προφανώς από τη διαθέσιμη εδαφική υγρασία.

- Το υπόλοιπο μέρος εμπλουτίζει τους υπόγειους υδροφορείς.

## 5.5 Ροή στην ακόρεστη ζώνη

Η ακόρεστη ζώνη αποτελεί τη διεπιφάνεια μεταξύ των επιφανειακών και υπόγειων υδατικών πόρων. Το μοντέλο ακόρεστης ροής του MIKE SHE είναι ένα μοντέλο εδαφικού προφίλ, που αλληλεπιδρά τόσο με την επίγεια ροή (μέσω της επιλίμνασης των υδάτων στην επιφάνεια του εδάφους) όσο και με το μοντέλο υπόγειων νερών (αφού η στάθμη του υδροφορέα αποτελεί την κατώτατη οριακή συνθήκη της ακόρεστης ζώνης). Το MIKE SHE παρέχει τρεις διαφορετικές προσεγγίσεις, και συγκεκριμένα: (α) ένα απλό μοντέλο υδατικού ισοζυγίου, που υποθέτει διαχωρισμό της ακόρεστης ζώνης σε δύο περιοχές, (β) ένα μοντέλο ροής με βαρύτητα, και (γ) ένα πλήρες μοντέλο επίλυσης των εξισώσεων Richards. Σε κάθε περίπτωση, απαιτείται ο προσδιορισμός ορισμένων χαρακτηριστικών του εδάφους.

Για την προσομοίωση της ροής σε ακόρεστη ζώνη στην λεκάνη του βοιωτικού Κηφισού, χρησιμοποιείται ένα απλοποιημένο σύστημα δύο επιπέδων. Το πρώτο, ανώτερο επίπεδο, αποτελείται από το ριζικό σύστημα και η διαθέσιμη εδαφική υγρασία του θα είναι ο περιοριστικός παράγοντας για τον υπολογισμό της πραγματικής εξατμοδιαπνοής ως μέρους της δυναμικής. Το δεύτερο επίπεδο βρίσκεται χαμηλότερα από το ριζικό σύστημα αλλά πάνω από τον υπόγειο ορίζοντα. Για κάθε εδαφικό τύπο προσδιορίζονται τέσσερις παράμετροι: (α) ποσοστό κορεσμού, πρακτικά το ενεργό πορώδες (soil water content at saturated conditions), (β) η υδατοϊκανότητα (soil water content at field capacity), (γ) το όριο μααρασμού (soil water content at field wilting point), και (δ) η υδραυλική αγωγιμότητα (infiltration rate) (DHI, 2009). Η διαφορά της υδατοϊκανότητας με το όριο μααρασμού είναι εξαιρετικά σημαντική, καθώς δείχνει το ποσό του νερού που μπορεί να κατακρατήσει κάθε τύπος εδάφους και είναι διαθέσιμο για εξάτμιση. Ο όγκος της επιφανειακής απορροής, αλλά και της διείσδυσης εξαρτάται σημαντικά από την προσδιορισμένη τιμή της υδραυλικής αγωγιμότητας. (Παπαρρίζος, 2012)

## 5.6 Ροή στην κορεσμένη ζώνη

Η ροή στην κορεσμένη ζώνη προσομοιώνεται με ένα σύστημα γραμμικών ταμιευτήρων (linear reservoirs), οι οποίοι χρησιμοποιώντας εννοιολογικά απλές σχέσεις της υδραυλικής, προσομοιώνουν την υπόγεια υδροφορία και τη βασική απορροή χωρίς να είναι απαραίτητη η αναλυτική γνώση των φυσικών συνθηκών. Το συγκεκριμένο τμήμα του ομοιώματος είναι εκείνο που αποκλίνει από την πλήρως χωρικά κατανεμημένη αρχική μορφή του πρωτοτύπου του MIKE SHE (DHI, 2009).

Η προσομοίωση της ροής σε κορεσμένη ζώνη γίνεται σε δύο επίπεδα, το πρώτο αφορά στην υποδερμική ή ενδιάμεση απορροή (interflow), η οποία αποτελεί τμήμα της επιφανειακής απορροής σε υγρές περιόδους και το δεύτερο τη βασική απορροή (baseflow) η οποία αποτελεί την αλληλεπίδραση των υπόγειων υδροφορέων με το υδρογραφικό δίκτυο. Οι γραμμικοί ταμιευτήρες είναι βασικό στοιχείο των εννοιολογικών (conceptual) ομοιωμάτων και η εξίσωση συνέχειας που διέπει την απόκριση των γραμμικών ταμιευτήρων είναι η:

$$I(t) - Q(t) = \frac{d[S(t)]}{dt} \quad (5.1)$$

όπου  $I(t)$  τα δεδομένα εισόδου στο σύστημα,  $Q(t)$  η απόκριση του συστήματος και  $S(t)$  η αποθήκευση στο σύστημα. Η αποθηκευτικότητα του συστήματος μπορεί να προσομοιωθεί με βάση την απόκριση και ένα συντελεστή,  $k$ , που δείχνει τη χρονική καθυστέρηση στην απόκριση του γραμμικού ταμιευτήρα και επομένως η (5.1) γράφεται ως:

$$I(t) - Q(t) = k \frac{d[Q(t)]}{dt} \quad (5.2)$$

Η προσομοίωση της ενδιάμεσης απορροής γίνεται με ένα σύστημα γραμμικών ταμιευτήρων διπλής εξόδου: μιας πλευρικής που δείχνει την γρήγορη επιφανειακή απορροή, και μιας στον πυθμένα που δείχνει την κατείσδυση στους γραμμικούς ταμιευτήρες της βασικής απορροής. Η καταστατική εξίσωση συνέχειας που διέπει τη λειτουργία των γραμμικών ταμιευτήρων της ενδιάμεσης απορροής, είναι της μορφής

$$\frac{dh}{dt} = \frac{Q_{inf} - Q_i - Q_{perc}}{S_y} \quad (5.3)$$

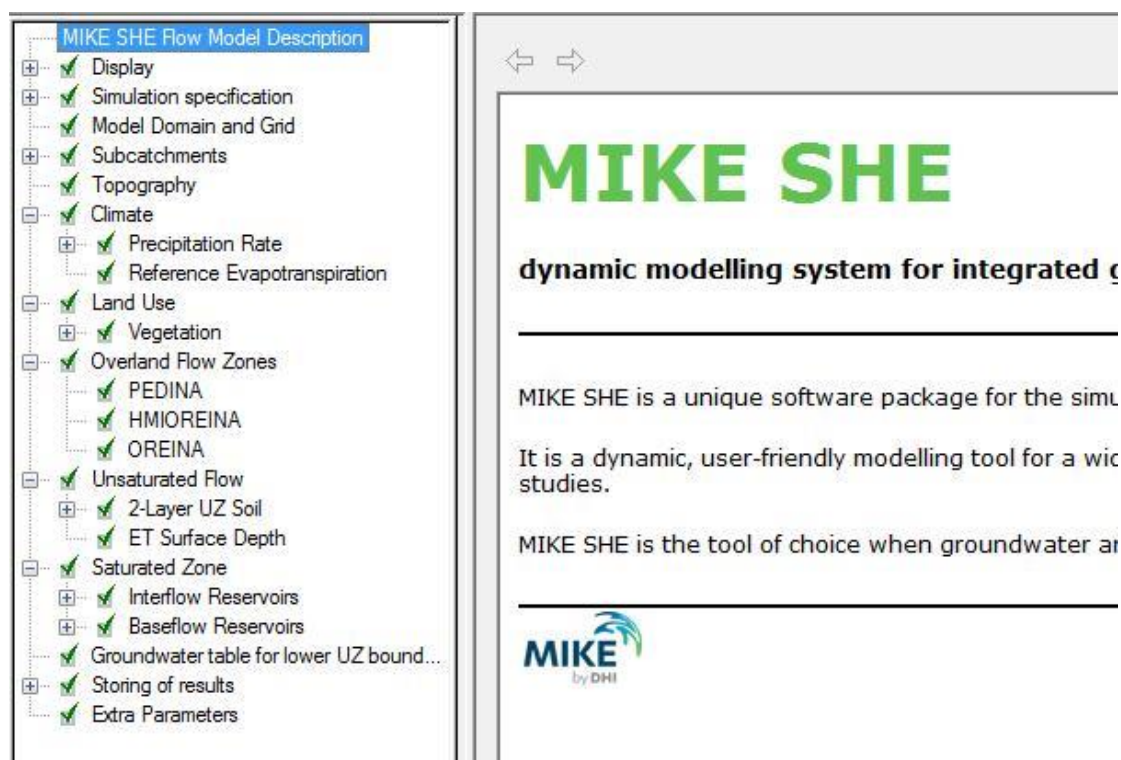
όπου,  $h$  είναι η στάθμη του νερού στο γραμμικό ταμιευτήρα,  $Q_{inf}$  η παροχή που εισρέει από την ακόρεστη ζώνη,  $Q_i$  η ενδιάμεση απορροή που απορρέει επιφανειακά,  $Q_{perc}$  η απορροή που οδηγείται στους γραμμικούς ταμιευτήρες της βασικής απορροής και  $S_y$  η ειδική απόδοση. Για παράδειγμα, αν η στάθμη του νερού στο γραμμικό ταμιευτήρα είναι πάνω από το όριο έναρξης της ενδιάμεσης απορροής ( $h_{thresh}$ ), η ενδιάμεση απορροή για κάθε χρονικό βήμα,  $t$ , θα είναι:

$$Q_i = \frac{-(h_t - h_{t0})S_y}{dt} + Q_{inf} \quad (5.4)$$

Ομοίως με την εξίσωση (5.4) είναι η αντίστοιχη εξίσωση συνέχειας για τους γραμμικούς ταμιευτήρες της βασικής απορροής (DHI, 2009)

## 6. Εφαρμογή του υδρολογικού μοντέλου MIKE SHE

Σε αυτό το κεφάλαιο θα περιγράψουν τα βήματα που έγιναν για να ρυθμίσουμε και να εφαρμόσουμε το υδρολογικό μοντέλο Mike She στη λεκάνη του βοιωτικού Κηφισού.



*Εικόνα 6.1. Καθορισμός μεθόδου προσομοίωσης και δένδρο εισαγωγής δεδομένων*

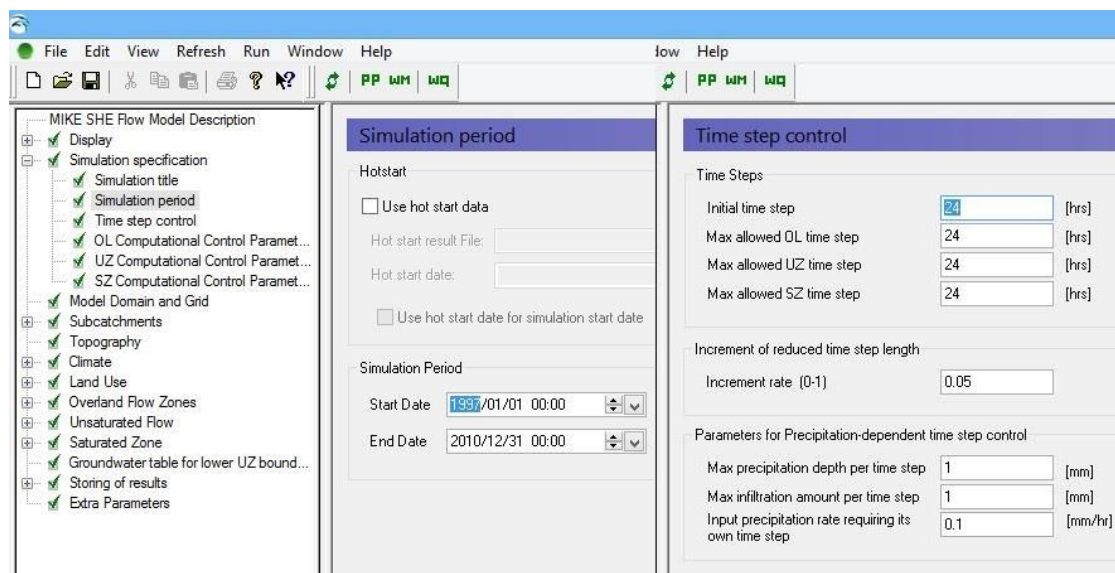
Το πρώτο βήμα είναι η εισαγωγή των δεδομένων (Data) στη φόρμα εισαγωγής του υδρολογικού μοντέλου (εικόνα 6.1), τα δεδομένα που πρέπει να εισάγουμε είναι τα εξής:

- Χαρακτηριστικά προσομοίωσης (simulation specification)
- Πεδίο και κάναβος προσομοίωσης (Model Domain)
- Ψηφιακό μοντέλο εδάφους (Topography)
- Πολύγωνα των βροχόμετρων σταθμών και την εκάστοτε χρονοσειρά βροχόπτωσης για κάθε σταθμό (Precipitation Rate)
- Χρονοσειρά δυνητικής εξατμισοδιαπνοής (Evapotranspiration)
- Χρήσεις γης και τη φυτοκάλυψη (Land use)
- Άμεση επιφανειακή απορροή (Overland flow zones)

- Ροή στην Ακόρεστη Ζώνη (Unsaturated Flow)
- Ροή στην Κορεσμένη Ζώνη – Ενδιάμεση Απορροή (Saturated Zone - Interflow Reservoirs)
- Ροή στην Κορεσμένη Ζώνη – Βασική Απορροή (Saturated Zone - Baseflow Reservoirs)

## 6.1 Χαρακτηριστικά προσομοίωσης (simulation specification)

Εδώ γίνεται ο προσδιορισμός των στοιχείων που θα χρησιμοποιηθούν στην προσομοίωση. Καθορίζονται, η διάρκεια της προσομοίωσης (simulation period), το βήμα της προσομοίωσης (time step) καθώς και ο μέγιστος αριθμός των επαναλήψεων για συγκεκριμένο ύψος βροχής (max number of iterations) και τα κριτήρια τερματισμού των επαναλήψεων (iteration stop criteria). Για τον μέγιστο αριθμό των επαναλήψεων καθώς και τα κριτήρια τερματισμού αυτών, χρησιμοποιήθηκαν οι ήδη υπάρχουσες τιμές του μοντέλου. Στην μελέτη για τη λεκάνη του βιοτικού Κηφισού το μοντέλο εφαρμόστηκε για την περίοδο 1/1/1997 έως 31/12/2010 με time step 24 ώρες (ημερήσιο).



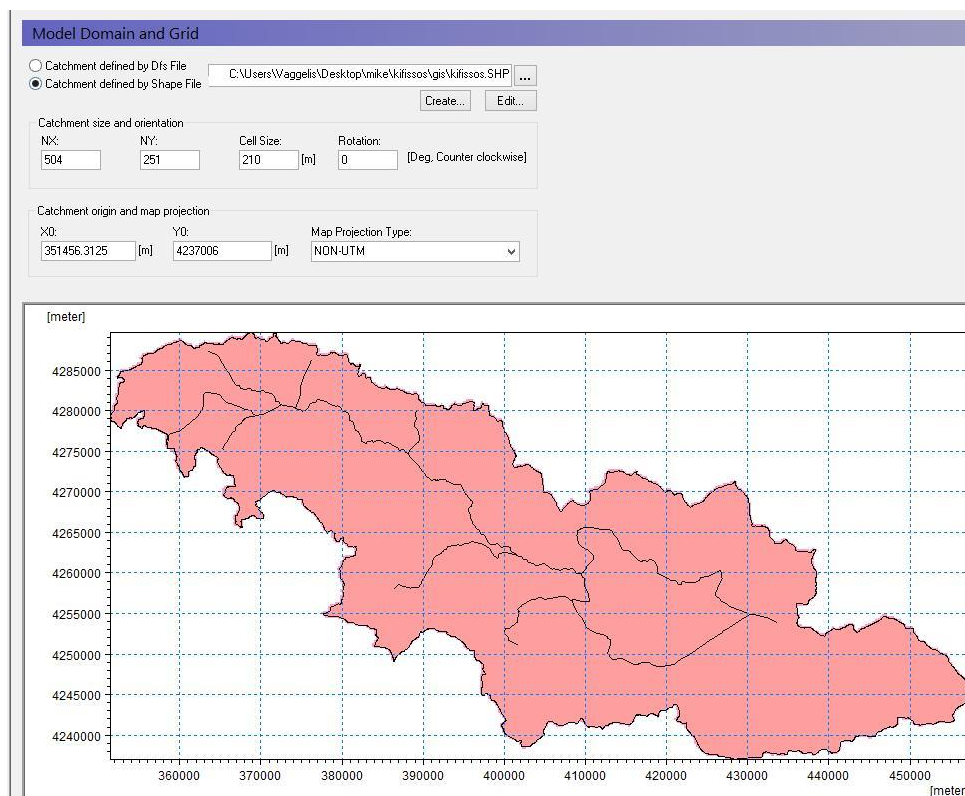
*Εικόνα 6.2 : Η φόρμα επιλογής διάρκειας προσομοίωσης και χρονικού βήματος στο ομοίωμα MIKE SHE*

Εκτός από το ημερήσιο time step (24 ώρες) το μοντέλο εφαρμόστηκε και για μηνιαίο time step (720 ώρες). Τέλος επιλέγονται οι μέθοδοι με τις οποίες το μοντέλο προσομοιώνει την κίνηση του νερού στην επιφανειακή απορροή (Overland Flow -

OL), στη ροή στην ακόρεστη ζώνη (Unsaturated Flow - UZ) και στη ροή στην κορεσμένη ζώνη (Saturated Flow - SZ). Και εδώ χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές που υπάρχουν στο μοντέλο εξαρχής.

## 6.2 Πεδίο - κάναβος προσομοίωσης (Model Domain)

Εδώ ορίζονται τα όρια της περιοχής μελέτης στην οποία θέλουμε να τρέξουμε την προσομοίωση. Το πεδίο προσομοίωσης μπορεί να περιλαμβάνει μόνο μία λεκάνη ή ακόμα και περισσότερες λεκάνες απορροής. Η εισαγωγή γίνεται υπό τη μορφή αρχείου πολυγώνου (GIS shape file) ή απ' ευθείας στη μορφή αρχείου κανάβου της DHI (dfs2). Το πεδίο προσομοίωσης της λεκάνης απορροής του βοιωτικού Κηφισού δίνεται στην Εικόνα 6.2 όπως έχει εισαχθεί στο ομοίωμα.



*Εικόνα 6.3 : Το πεδίο προσομοίωσης της λεκάνης απορροής του βοιωτικού Κηφισού στο ομοίωμα MIKE SHE*

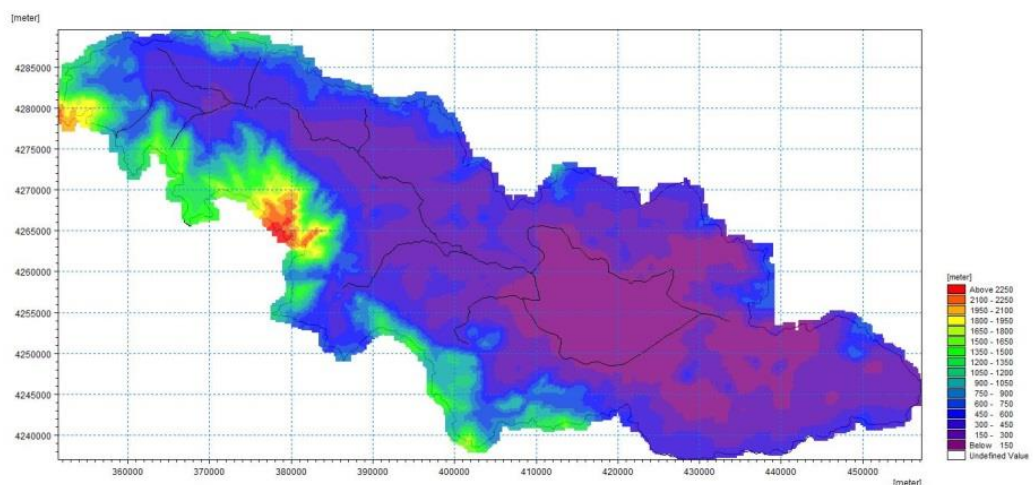
Στην επιλογή αυτή ορίζεται ακόμα το μέγεθος της κυψέλης (Cell) του κανάβου προσομοίωσης. Όλες οι διεργασίες του ομοιώματος γίνονται στο επίπεδο τετραγωνικών κυψελών όμοιας διάστασης που καλύπτουν πλήρως το πεδίο



προσομοίωσης. Η διάσταση της κυψέλης μπορεί να ποικίλλει και συνήθως κυμαίνεται από 200m περίπου για λεπτομερείς προσομοιώσεις περιορισμένων εκτάσεων ενώ μπορεί να φθάσει ως και τα 5000m ή και παραπάνω στην περίπτωση που προσομοιώνονται εκτεταμένες λεκάνες απορροής. Το μέγεθος του κανάβου επηρεάζει την ταχύτητα της προσομοίωσης και αποτελεί έναν βέλτιστο συμβιβασμό μεταξύ της ακρίβειας της αναπαράστασης για την προσομοιωμένη έκταση και τα χωρικά δεδομένα που διατίθενται και της ταχύτητας της εκτελούμενης προσομοίωσης (Vázquez et al, 2002). Στην περίπτωση μας το μέγεθος της κυψέλης (Cell) είναι 210m.

### 6.3 Ψηφιακό μοντέλο εδάφους - Τοπογραφία (Topography)

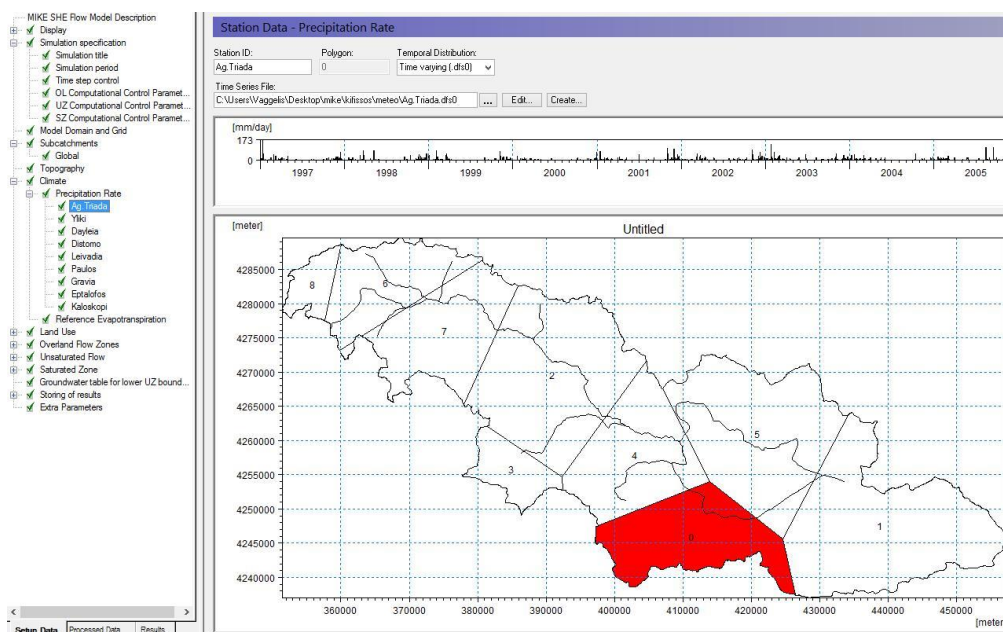
Στην επιλογή αυτή εισάγεται το ψηφιακό μοντέλο εδάφους-ΨΜΕ-DME (τοπογραφία) της λεκάνης του βοιωτικού Κηφισού, το οποίο περιγράφει την υψομετρία και το ανάγλυφο της περιοχής μελέτης. Το ΨΜΕ χρησιμοποιείται για την διόδευση της άμεσης απορροής προς τα υδατορεύματα καθώς και για τον καθορισμό του βάθους του υδροφόρου ορίζοντα σε σχέση με την επιφάνεια του εδάφους όταν διενεργείται λεπτομερής προσομοίωση της υπόγειας υδροφορίας. Το ψηφιακό μοντέλο εδάφους που χρησιμοποιήθηκε στη παρούσα μελέτη προέρχεται από το εργαστήριο εδαφολογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών και εισήχθη στο μοντέλο ως αρχείο του dfs2 και έχει διαστάσεις κανάβου 210 m. Στην Εικόνα 6.4 παρουσιάζεται το ψηφιακό μοντέλο εδάφους της λεκάνης απορροής του βοιωτικού Κηφισού όπως έχει εισαχθεί στο ομοίωμα.



*Εικόνα 6.4 : μοντέλο εδάφους (τοπογραφία) της λεκάνης απορροής του βοιωτικού Κηφισού στο ομοίωμα MIKE SHE*

## 6.4 Βροχομετρικά δεδομένα

Στην επιλογή αυτή δίδονται τα δεδομένα βροχοπτώσεων, υπό μορφή τόσο χωρικής εξάπλωσης όσο και χρονοσειρών δεδομένων παρατηρήσεων. Η χωρική δομή του πεδίου βροχής που εισάγεται στο ομοίωμα μπορεί να δοθεί είτε ως ενιαία πάνω σε ολο το πεδίο προσομοίωσης («επιφανειακή βροχόπτωση») είτε κατανεμημένη με βάση τα πολύγωνα Thiessen που σχηματίζουν οι σταθμοί του δικτύου παρακολούθησης, είτε, τέλος πλήρως κατανεμημένη σε επίπεδο κυψελών του κανάβου προσομοίωσης. Στην παρούσα μελέτη, το πεδίο βροχόπτωσης εισάγεται κατανεμημένο βάση των πολυγώνων Thiessen των αντίστοιχων σταθμών του υδρολογικού δικτύου. Η εισαγωγή γίνεται υπό μορφή αρχείου πολυγώνου του γεωγραφικού συστήματος πληροφοριών (GIS). Για κάθε πολύγωνο Thiessen δίδεται η χρονοσειρά βροχόπτωσης του σταθμού στον οποίο αυτό αντιστοιχεί, η οποία πρέπει να καλύπτει πλήρως τη χρονική περίοδο της προσομοίωσης. Η εισαγωγή των χρονοσειρών γίνεται με ειδικά δυαδικά αρχεία (dfsO) του ομοιώματος.



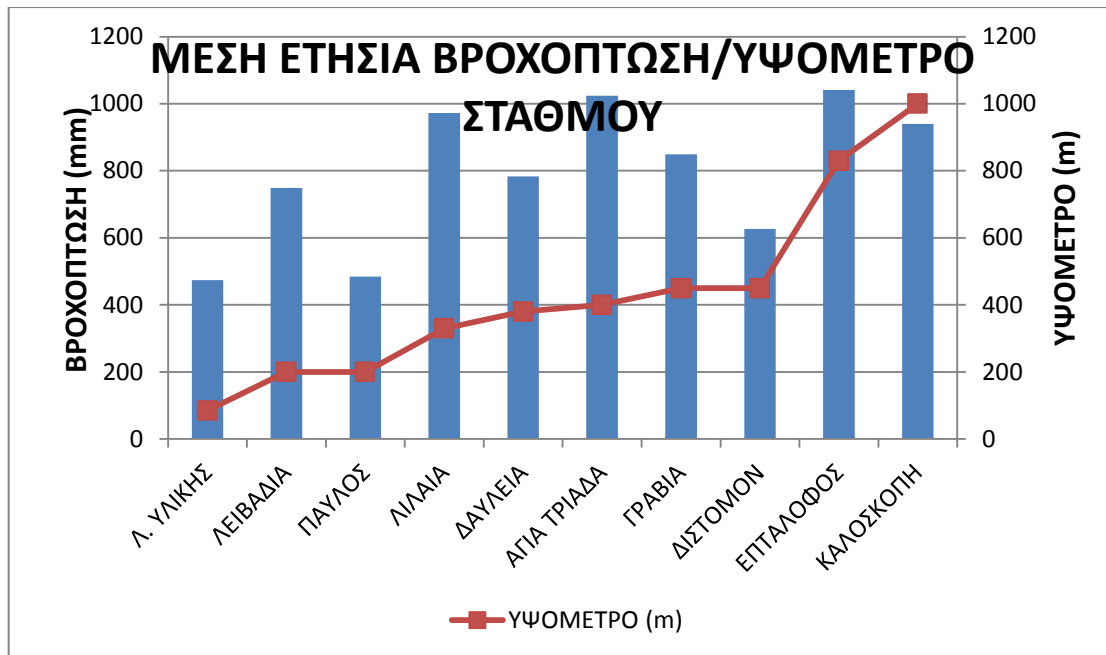
Εικόνα 6.5 : Πολύγωνα Thiessen της περιοχής μελέτης στο ομοίωμα MIKE SHE



**Εικόνα 6.6:** Βροχομετρικοί σταθμοί στο Υ.Δ. Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας (ΔΕΗ: κίτρινο χρώμα, ΥΠΕΧΩΔΕ: μώβ χρώμα, ΥΠΓΕ: πράσινο χρώμα, ΕΜΥ: γαλάζιο χρώμα)

**Πίνακας 6.1:** Βροχομετρικοί σταθμοί στην λεκάνη απορροής του βοιωτικού Κηφισού.

Α/Α	ΟΝΟΜΑΣΙΑ	ΥΠΗΡΕΣΙΑ	ΥΨΟΜΕΤΡΟ (m)	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓ.	ΛΕΚΑΝΗ	Χ ΕΓΣΑ87	Υ ΕΓΣΑ87	ΜΕΣΗ ΕΤΗΣΙΑ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ 1997-2010 (mm)
1	ΑΓΙΑ ΤΡΙΑΔΑ	ΥΠΕΧΩΔΕ	400	1962-	Βοιωτικός Κηφισός	405136	4244800	1024
2	Λ. ΥΛΙΚΗΣ	ΥΠΕΧΩΔΕ	85,20	1962-	Βοιωτικός Κηφισός	442591	4253107	474
3	ΓΡΑΒΙΑ	ΥΠΕΧΩΔΕ	450	1954-	Βοιωτικός Κηφισός	363497	4280548	849
4	ΔΑΥΛΕΙΑ	ΥΠΕΧΩΔΕ	380	1962-	Βοιωτικός Κηφισός	389166	4248703	783
5	ΔΙΣΤΟΜΟΝ	ΥΠΕΧΩΔΕ	450	1962-	Βοιωτικός Κηφισός	383406	4253888	627
6	ΕΠΤΑΛΟΦΟΣ	ΥΠΕΧΩΔΕ	830	1969-	Βοιωτικός Κηφισός	367725	4273077	1041
7	ΚΑΛΟΣΚΟΠΗ	ΥΠΕΧΩΔΕ	1000	1962-	Βοιωτικός Κηφισός	354830	4282551	940
8	ΛΕΙΒΑΔΙΑ	ΥΠΕΧΩΔΕ	200	1954-	Βοιωτικός Κηφισός	400880	4254100	749
9	ΛΙΛΑΙΑ	ΥΠΕΧΩΔΕ	330	1969-	Βοιωτικός Κηφισός	369237	4276752	972
10	ΠΑΥΛΟΣ	ΥΠΕΧΩΔΕ	200	1962-	Βοιωτικός Κηφισός	421355	4264972	484



Διάγραμμα 6.1: Μέσες βροχοπτώσεις περιοχής μελέτης και υψόμετρα σταθμών.

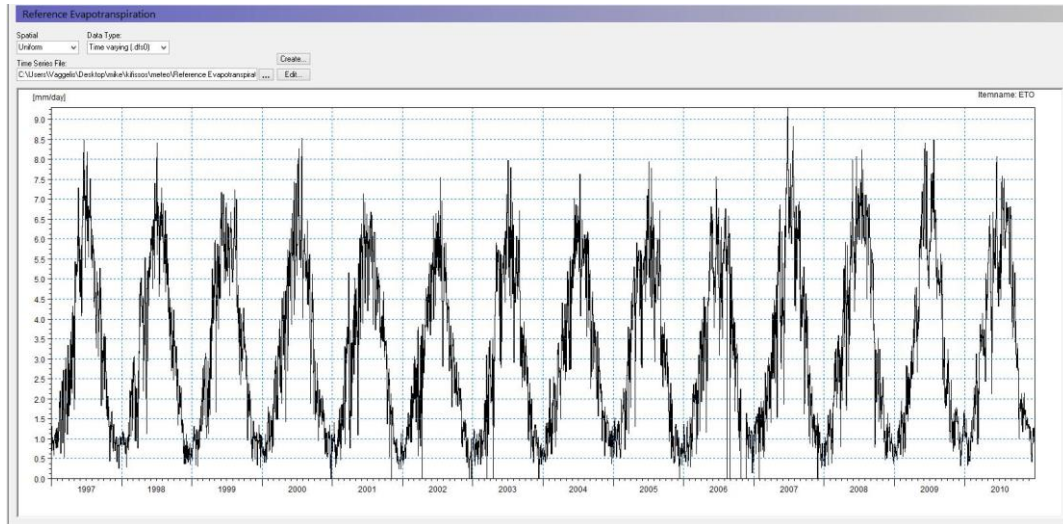
## 6.5 Δυνητική εξατμισοδιαπνοή (Reference Evapotranspiration)

Για να υπολογιστεί η δυνητική εξατμισοδιαπνοή χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Hargreaves (Hargreaves et al., 1985) συχνά αποτελεί την επιλεγόμενη μέθοδο, λόγω της περιορισμένης διαθεσιμότητας των μετεωρολογικών δεδομένων που απαιτούνται και δίνεται ως:

$$ET_{0Ha} = 0,0023R_a (t_{\text{mean}} + 17,8) (t_{\text{max}} - t_{\text{min}})^{0.5} \quad (6.1)$$

Όπου:  $ET_0$  η βασική εξατμισοδιαπνοή [ $\text{mm} \cdot \text{day}^{-1}$ ],  $T_{\text{mean}}$ ,  $T_{\text{max}}$ ,  $T_{\text{min}}$  η μέση, μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία του αέρα σε ύψος 2m [ $^{\circ}\text{C}$ ] αντίστοιχα και  $R_a$  η εξωγήινη ακτινοβολία [ $\text{mm}/\text{d}$ ] που δίνεται από πίνακες (Ράπτη Ευαγγελίδης και Αραμπατζής, 2009).

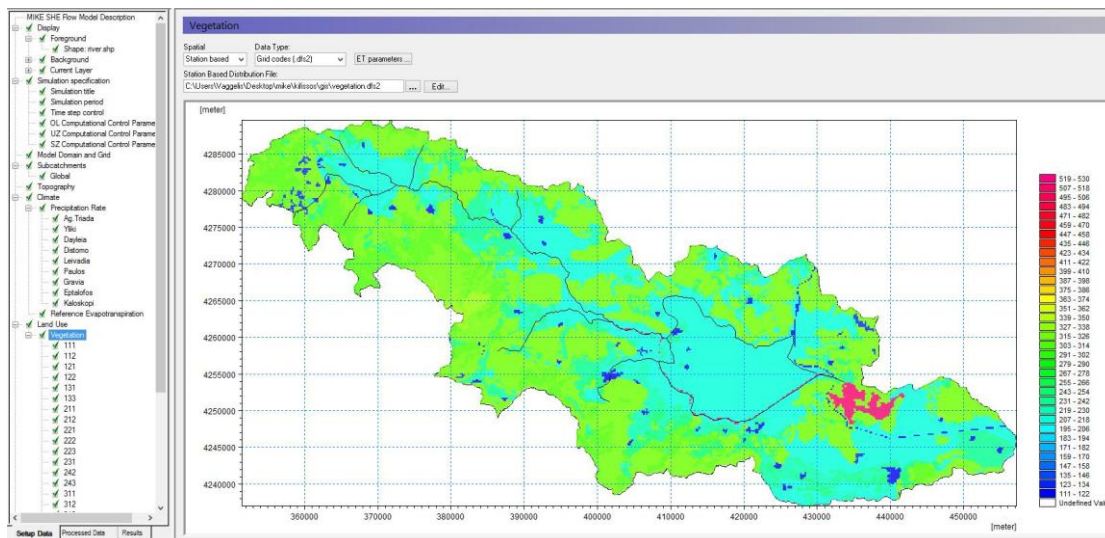
Στην ενότητα αυτή, εφαρμόστηκε ομοιόμορφα η χρονική ακολουθία (χρονοσειρά) της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής σε όλη την επικράτεια του υδρολογικού μοντέλου με το κατάλληλο αρχείο dfs0.



**Εικόνα 6.7:** Δυνητική εξατμισοδιαπνοή όπως εισήχθη στο ομοίωμα.

## 6.6 Χρήσεις γης και φυτοκάλυψη (Land Use)

Στην επιλογή αυτή δίδεται η κάλυψη του πεδίου προσομοίωσης όσον αφορά τις διάφορες χρήσεις γης και την φυτοκάλυψη. Στην παρούσα μελέτη πηγή των παραπάνω πληροφοριών είναι η εθνική βάση δεδομένων χρήσεων γης που έχει παραχθεί μέσω του προγράμματος CORINE Land Cover και αφορά το σύνολο της χώρας. Η εισαγωγή των δεδομένων γίνεται υπό τη μορφή αρχείου πολυγώνων (GIS shapefiles), όπου στο κάθε πολύγωνο αντιστοιχεί μια διαφορετική χρήση γης / φυτοκάλυψη χαρακτηριζόμενη από τον αντίστοιχο τυποποιημένο κωδικό CORINE. Το επίπεδο αυτό χρησιμοποιείται από το ομοίωμα στον καθορισμό της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής πάνω στο πεδίο προσομοίωσης. Για το σκοπό αυτό εισάγονται για κάθε κατηγορία φυτοκάλυψης (π.χ., δάσος κωνοφόρων, καλλιέργειες, θαμνώδεις εκτάσεις, κλπ.) η χρονική εξέλιξη στο διάστημα ενός ημερολογιακού έτους δύο δεικτών: το Leaf Area Index (δείκτης έκτασης φυλλώματος) και το βάθος ριζοστρώματος (Rooting Depth) για ολόκληρη την περίοδο προσομοίωσης, δηλαδή 14 υδρολογικά έτη. Η χρονική εξέλιξη των δύο αυτών δεικτών εντός του έτους για τις διάφορες κατηγορίες φυτοκάλυψης που απαντώνται στον ελληνικό χώρο και έχουν καταγραφεί στο πρόγραμμα CORINE ελήφθη από βιβλιογραφικά δεδομένα. Όταν η χρήση γης που περιγράφεται από τη βάση δεδομένων του CORINE αφορά χρήσεις αστικές, εμπορικές ή βιομηχανικές (π.χ., συνεχής αστική οικοδόμηση, ζώνες λιμένων ή αεροδρομίων, βιομηχανικές ζώνες κλπ.) οι δείκτες αυτοί τίθενται ίσοι με το μηδέν.



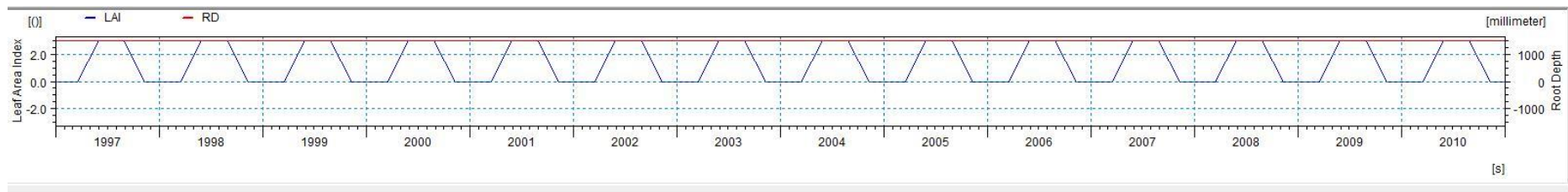
*Εικόνα 6.8: Απεικόνιση της φυτοκάλυψης μέσω του λογισμικού πακέτου MIKE SHE*

Τα δεδομένα του προγράμματος εδαφικής κάλυψης Corine διακρίνονται σε τρία επίπεδα ταξινόμησης, με βάση το σύστημα ταξινόμησης του προγράμματος (Πιν. 6.2). Κάθε χρήση και κάλυψη γης αναπαρίσταται με ένα κλειστό πολύγωνο, το οποίο έχει ένα τριψήφιο κωδικό. Ο κωδικός αυτός δημιουργείται από μία σύνθεση των μονοψήφιων κωδικών των τριών επιπέδων ταξινόμησης. Οι τύποι κάλυψης και χρήσεων γης του τρίτου επιπέδου συγχωνεύονται και ενοποιούνται σε κατηγορίες του δεύτερου επιπέδου και με την ίδια διαδικασία, οι τύποι του δεύτερου επιπέδου ενοποιούνται σε κατηγορίες του πρώτου επιπέδου.

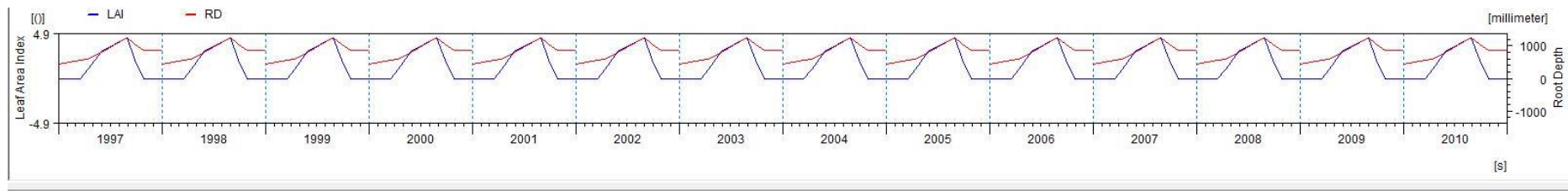
Με βάση τα αποτελέσματα που εξήχθησαν, παρατηρούμε ότι από τις 44 κατηγορίες χρήσεων και κάλυψης γης που χρησιμοποιεί το πρόγραμμα Corine, οι 24 απαντώνται στη λεκάνη του βοιωτικού Κηφισού, οι οποίες φαίνονται στον πίνακα 6.2.

*Πίνακας 6.2: Κατηγορίες χρήσεων και κάλυψης γης που απαντώνται στο βιοωτικό Κηφισό.*

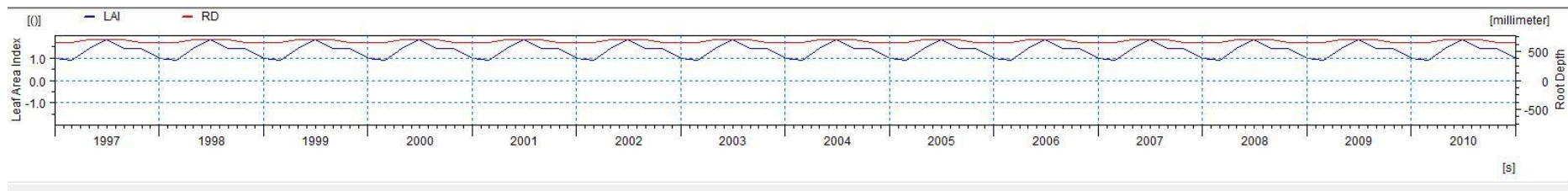
1 <sup>ο</sup> επίπεδο	2 <sup>ο</sup> επίπεδο	3 <sup>ο</sup> επίπεδο
1. ΤΕΧΝΗΤΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ	1.1 ΑΣΤΙΚΟΣ ΙΣΤΟΣ	1.1.1 Συνεχής αστικός ιστός 1.1.2 Ασυνεχής αστικός ιστός
	1.2 ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ - ΕΜΠΟΡΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΑ	1.2.1 Βιομηχανικές και εμπορικές ζώνες 1.2.2 Οδικά και σιδηροδρομικά δίκτυα
	1.3 ΟΡΥΧΕΙΑ, ΧΩΡΟΙ ΑΠΟΡΡΙΨΕΩΣ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΧΩΡΟΙ	1.3.1 Χώροι εξορύξεως ορυκτών 1.3.3 Χώροι οικοδόμησης
2. ΓΕΩΡΓΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ	2.1 ΑΡΩΣΙΜΗ ΓΗ	2.1.1 Μη αρδευόμενη αρόσιμη γη 2.1.2 Μόνιμα αρδευόμενη γη
	2.2 ΜΟΝΙΜΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ	2.2.1 Αμπελώνες 2.2.2 Οπωροφόρα δένδρα και φυτείες με σαρκώδεις καρπούς 2.2.3 Ελαιώνες
	2.3 ΛΙΒΑΔΙΑ	2.3.1 ΛΙΒΑΔΙΑ
	2.4 ΕΤΕΡΟΓΕΝΕΙΣ ΓΕΩΡΓΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ	2.4.2 Σύνθετες καλλιέργειες 2.4.3 Γη που χρησιμοποιείται κυρίως για γεωργία μαζί με σημαντικά τμήματα φυσικής βλάστησης
3. ΔΑΣΗ ΚΑΙ ΗΜΙΦΥΣΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ	3.1 ΔΑΣΗ	3.1.1 Δάσος πλατύφυλλων 3.1.2 Δάσος κωνοφόρων 3.1.3 Μικτό δάσος
	3.2 ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ ΘΑΜΝΩΔΟΥΣ Η/ΚΑΙ ΠΟΩΔΟΥΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ	3.2.1 φυσικοί βοσκότοποι 3.2.2 Θάμνοι και χερσότοποι 3.2.3 Σκληροφυλλική βλάστηση 3.2.4 Μεταβατικές δασώδεις και θαμνώδεις εκτάσεις
	3.3 ΑΝΟΙΧΤΟΙ ΧΩΡΟΙ ΜΕ ΛΙΓΗ Ή ΚΑΘΟΛΟΥ ΒΛΑΤΗΣΗ	3.3.3 Εκτάσεις με αραιή βλάστηση
5. ΥΔΑΤΙΝΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ	5.1 ΧΕΡΣΑΙΑ ΥΔΑΤΑ	5.1.1 Υδατοορεύματα 5.1.2 Επιφάνειες στάσιμου ύδατος



*Διαγραμμα 6.1: Ετήσια μεταβολή δεικτη Φυλικής επιφάνειας και του βάθους ριζοστρώματος του για Αμπελώνες*

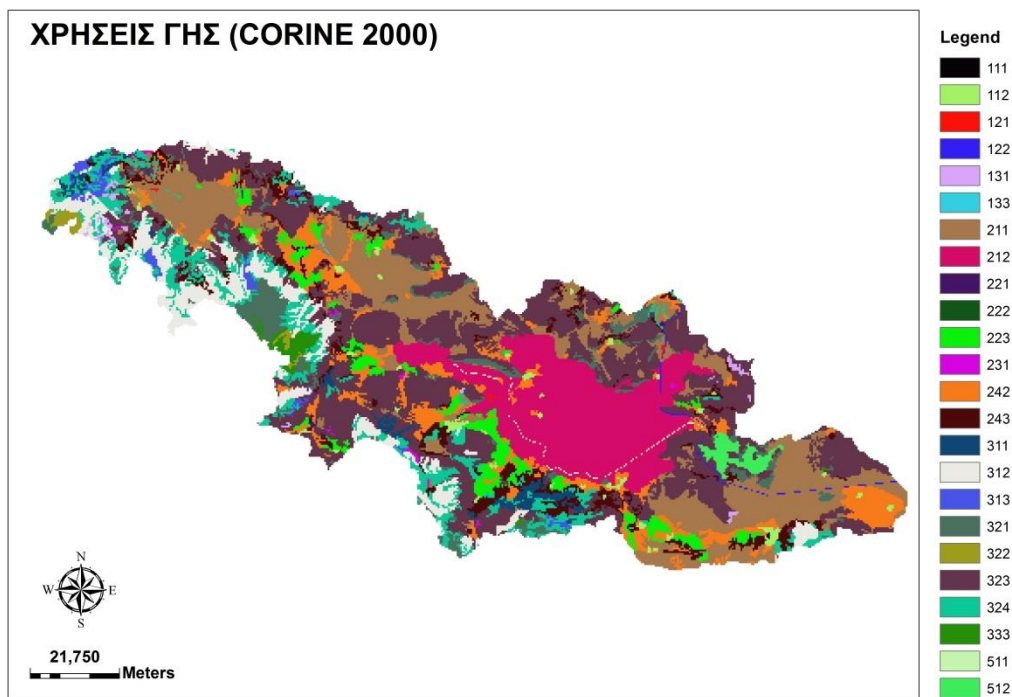


*Διαγραμμα 6.1: Ετήσια μεταβολή δεικτη Φυλικής επιφάνειας και του βάθους ριζοστρώματος του για Σύνθετες καλλιέργειες*



*Διαγραμμα 6.1: Ετήσια μεταβολή δεικτη Φυλικής επιφάνειας και του βάθους ριζοστρώματος του για Εκτάσεις με αραιή βλάστηση*





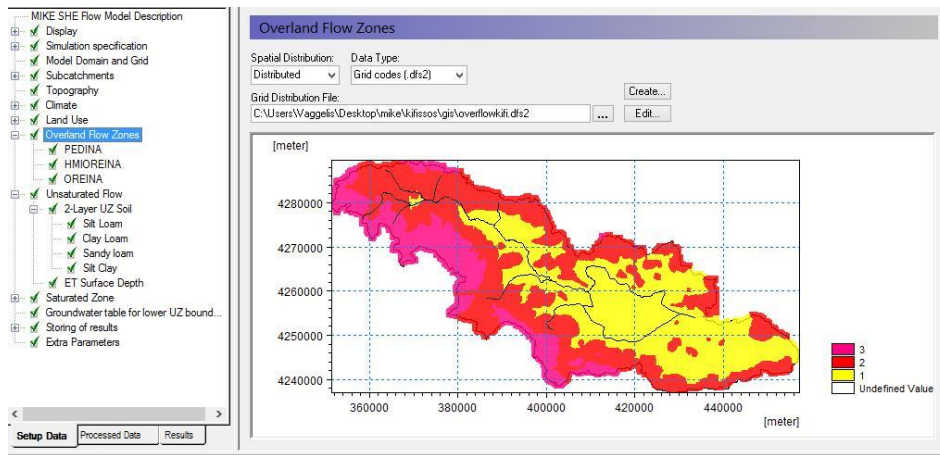
*Εικόνα 6.9: Χάρτης χρήσεων γης της περιοχής μελέτης*

### 6.7 Άμεση επιφανειακή απορροή (Overland flow zones)

Στην επιλογή αυτή ορίζονται σταθερές παράμετροι βάσει των οποίων το ομοίωμα υπολογίζει την (κατά κανόνα μικρή) συνιστώσα της άμεσης απορροής, δηλαδή εκείνου του τμήματος της απορροής που απορρέει άμεσα χωρίς να κατεισδύσει στο υπέδαφος. Η χωρική μεταβολή της μπορεί να οριστεί είτε ενιαία πάνω σε όλο το πεδίο προσομοίωσης, είτε κατανεμημένη με βάση κάποια χωρική μεταβλητή. Στην παρούσα μελέτη η χωρική κατανομή της άμεσης απορροής διαφοροποιείται βάσει της κλίσης του εδάφους σε ορεινά ημιορεινά και πεδινά. Στον πίνακα 6.3 φαίνονται οι παράμετροι που διαφοροποιούν κάθε μία από τις τρεις κατηγορίες (ΙΓΜΕ)

*Πίνακας 6.3: Παράμετροι που διαφοροποιούν την περιοχή μελέτης σε ορεινά ημιορεινά και πεδινά*

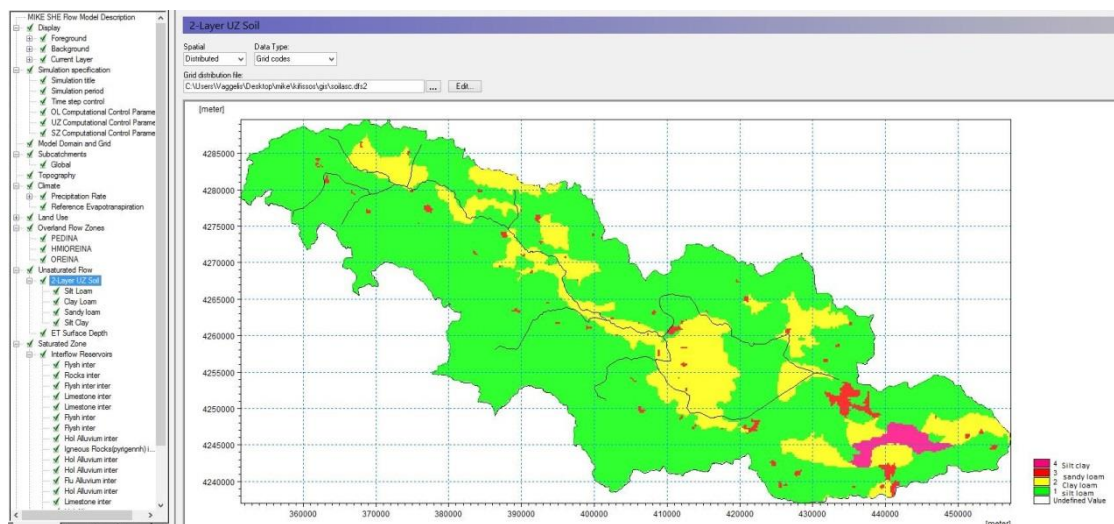
	Grid code	Slope	Manning Number
Πεδινά	1	0.02	25
Ημιορεινά	2	0.1	35
Ορεινά	3	0.3	50



Εικόνα 6.10: Οι 3 κλάσεις της περιοχής μελέτης ανάλογα με την κλίση του εδάφους

### 6.8 Ροή στην Ακόρεστη Ζώνη (Unsaturated Flow)

Στην ενότητα αυτή προσδιορίζονται τα χαρακτηριστικά των εδαφικών στρωμάτων (πάνω από τον υδροφόρο ορίζοντα) που καλύπτουν το πεδίο προσομοίωσης. Για την παρούσα μελέτη και την προσομοίωση της ροής στην ακόρεστη ζώνη της λεκάνης του βοιωτικού Κηφισού χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο ως επίπεδο χωρικής διαφοροποίησης των εδαφικών σχηματισμών, ο ψηφιακός υδρολιθολογικός χάρτης της χώρας (ΥΠΙΑΝ, 1996).



Εικόνα 6.11: Εδαφολογικός χάρτης της ακόρεστης ζώνης όπως εισήχθη στο μοντέλο

## **6.9 Ροή στην Κορεσμένη Ζώνη – Ενδιάμεση Απορροή (Saturated Zone - Interflow Reservoirs)**

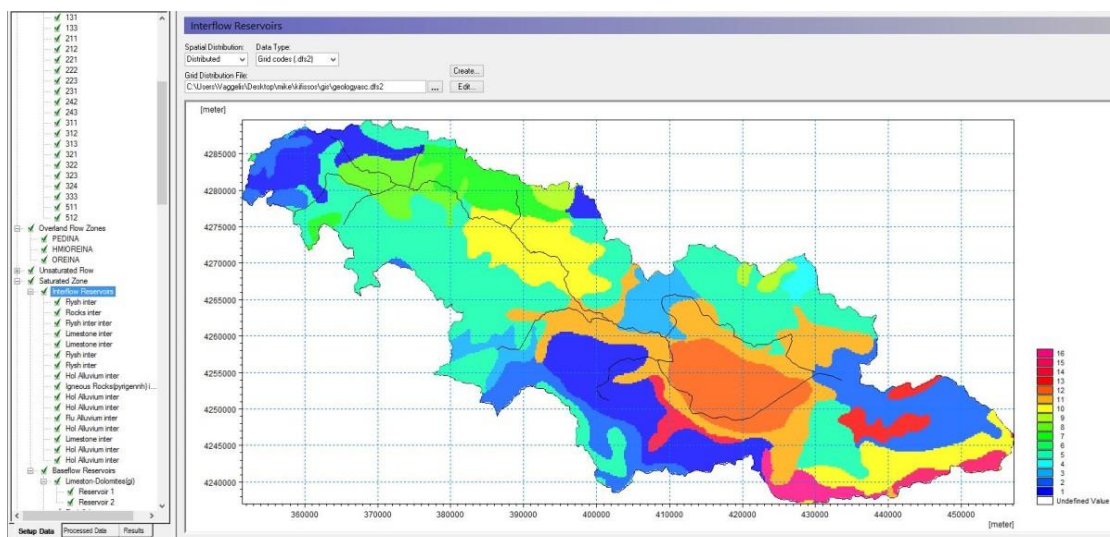
Στην ενότητα αυτή εισάγονται τα χαρακτηριστικά της πρώτης εκ των δύο ομάδων γραμμικών ταμιευτήρων που συνολικά αντιπροσωπεύουν την ροή στην κορεσμένη ζώνη. Κάθε κυψέλη του καννάβου προσομοίωσης στο επίπεδο αυτό περιλαμβάνει έναν ταμιευτήρα από κάθε ομάδα, σε κατακόρυφη διάταξη. Η πρώτη και ανώτερη ομάδα γραμμικών ταμιευτήρων διαθέτει την δυνατότητα είτε να εκρεύσει νερό απ' ευθείας στην επιφανειακή απορροή και τα υδατορεύματα, είτε να κατεισδύσει ποσότητες νερού στην κατώτερη ομάδα γραμμικών ταμιευτήρων. Έτσι, η ομάδα αυτή χρησιμοποιείται για την προσομοίωση της καλούμενης «ενδιάμεσης» απορροής (interflow) δηλαδή ποσότητες νερού που αφού έχουν κατεισδύσει στο υπέδαφος, αδυνατούν να συνεχίσουν την πορεία τους προς τα βαθύτερα στρώματα διότι έχει ξεπερασθεί η διηθητική ικανότητα των σχηματισμών στους οποίους βρίσκονται και - συνεχιζόμενης της βροχόπτωσης - βρίσκουν διέξοδο πλευρικά, εξέρχονται της υπόγειας υδροφορίας και καταλήγουν στα υδατορεύματα. Αυτού του τύπου η απορροή αφορά συνήθως μικρής διάρκειας παλμούς σχετικά γρήγορης απόκρισης σε καταιγίδες σχετικά μεγάλων εντάσεων, όταν ο ρυθμός βροχόπτωσης είναι τέτοιος που υπερβαίνει το ρυθμό απορρόφησης που επικρατεί στην λεκάνη (DHI, 2009).

Οι παράμετροι που διέπουν τη λειτουργία τους αφορούν την αρχική και μέγιστη χωρητικότητα των ταμιευτήρων αυτών και τις χρονοσταθερές εκροής προς τα υδατορεύματα και κατείσδυσης στα βαθύτερα στρώματα. Οι τιμές των παραμέτρων ποικίλλουν ανάλογα με το είδος του σχηματισμού τον οποίο προσομοιώνει η ομάδα των γραμμικών ταμιευτήρων και αποτελούν αντικείμενο ρύθμισης του ομοιώματος.

Η χωρική τους διαφοροποίηση στην έκταση του πεδίου προσομοίωσης δίδεται με τον εδαφολογικό χάρτη της Ελλάδος (Ιάσoglou, 2004),

**Πίνακας 6.4:** Παράμετροι που διαφοροποιούν την κορεσμένη-ενδιάμεση ζώνη ανάλογα με τον τύπο του εδάφους

	Grid code	Specific Yield	Interflow Time constant
<b>Rocks</b>	2	0,01	2
<b>Igneous Rocks</b>	9	0,01	2
<b>Limestone</b>	4,5,14	0,14	10
<b>Hol Alluvium</b>	8,10,11,13,15,16	0,2	20
<b>Flysh</b>	1,3,6,7	0,02	5
<b>Flu Alluvium</b>	12	0,2	20



**Εικόνα 6.12:** Εδαφολογικός χάρτης της κορεσμένης- ενδιάμεσης ζώνης όπως εισήχθη στο μοντέλο

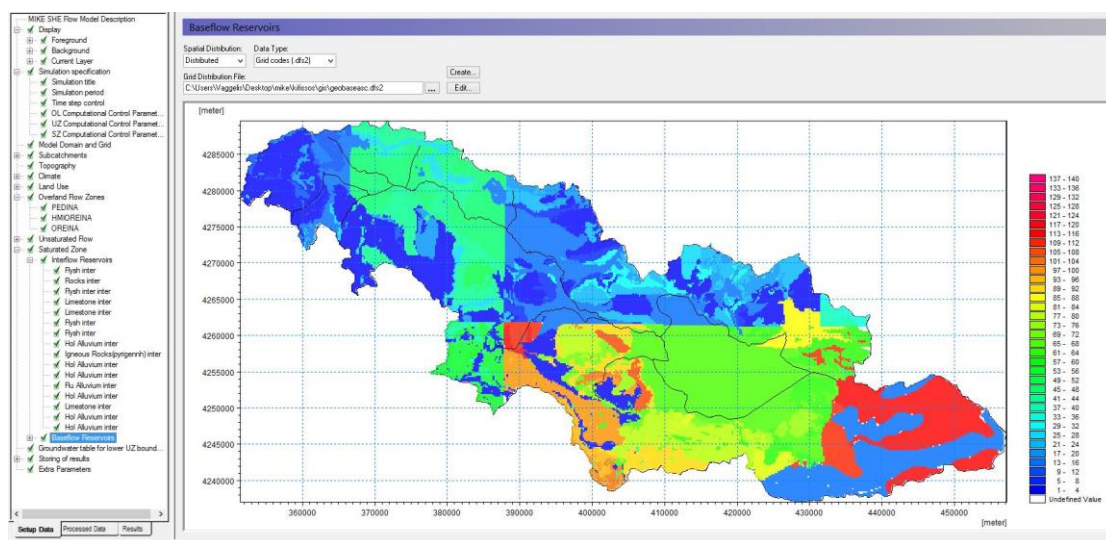
## 6.10 Ροή στην Κορεσμένη Ζώνη – Βασική Απορροή (Saturated Zone - Baseflow Reservoirs)

Στην ενότητα αυτή, που είναι η τελευταία στη δομή της εισαγωγής δεδομένων του ομοιώματος, εισάγονται τα δεδομένα της κατώτερης ομάδας γραμμικών ταμιευτήρων. Η ομάδα αυτή αντιπροσωπεύει τις ποσότητες νερού της βαθιάς κατείσδυσης από την οποία προκύπτει η αργής απόκρισης υπόγεια απορροή των υδρολογικών λεκανών, ενώ έχουν μόνο μια οδό εκροής (βασική απορροή προς τα υδατορεύματα). Όπως και η ανώτερη ομάδα, βρίσκονται σε οριζόντια διασύνδεση μεταξύ τους βάσει της υψομετρικής τους διαφοράς, αλλά, σε αντίθεση με την ανώτερη ομάδα, τα όρια της ομάδας ανάμεσα στις διάφορες υπολεκάνες του πεδίου προσομοίωσης δεν είναι στεγανά και επομένως επιτρέπουν την απώλεια ποσοτήτων νερού προς γειτονικές υπολεκάνες ή αντίστροφα την εισροή νερού από τις γειτονικές υπολεκάνες. Το κριτήριο που καθορίζει τη θετική ή αρνητική φορά ροής ανάμεσα σε γειτονικές υπολεκάνες είναι η στάθμη νερού της ομάδας των ταμιευτήρων η οποία θεωρείται όμοια ανάμεσα στην ίδια ομάδα ταμιευτήρων έστω και εάν αυτή διασχίζει όρια υπολεκανών του πεδίου προσομοίωσης. Έτσι, έστω π.χ. ότι μια ομάδα ταμιευτήρων αντιπροσωπεύει την υδροφορία ενός ασβεστολιθικού στρώματος το οποίο εκτείνεται σε περισσότερες γειτονικές υπολεκάνες. Εάν σε κάποια από αυτές τις υπολεκάνες τα μέλη της ομάδας ταμιευτήρων δέχονται στο χρόνο μεγαλύτερες ποσότητες νερού (ως αποτέλεσμα των συνθηκών κατείσδυσης της υπολεκάνης) τότε η στάθμη τους ανεβαίνει εντός των ορίων της υπολεκάνης αυτής και με βάση την αρχή της ίσης στάθμης σε όλους τους ταμιευτήρες της αυτής ομάδας (του αυτού σχηματισμού με άλλα λόγια), δημιουργείται εκροή νερού υπογείως προς τις γειτονικές υπολεκάνες για να εξισορροπηθεί η στάθμη. Το χαρακτηριστικό αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο στην προσομοίωση π.χ. καρστικών συστημάτων διότι επιτρέπει τον υπολογισμό των υπόγειων ανταλλαγών νερού προς και από γειτονικές υπολεκάνες, που δεν εμφανίζεται επιφανειακά (DHI, 2009).

Οι παράμετροι που εισάγονται αφορούν την αρχική και μέγιστη χωρητικότητα των ταμιευτήρων και την χρονοσταθερά της βασικής απορροής προς τα υδατορεύματα και αποτελούν επίσης αντικείμενο ρύθμισης. Η χωρική τους διαφοροποίηση στην έκταση του πεδίου προσομοίωσης δίδεται και σε αυτή την

περίπτωση από τον υδρολιθολογικό χάρτη που χρησιμοποιείται για το σύνολο της πεδιάδας υδροφορίας.

Ο χάρτης (εικόνα 6.13) έχει αυτή τη μορφή λόγω των πολυγώνων Thiessen των χρονομετρικών σταθμών βάση των οποίων εισήχθησαν τα δεδομένα βροχόπτωσης.



*Εικόνα 6.13: Εδαφολογικός χάρτης της κορεσμένης ζώνης- Βασική Απορροή όπως εισήχθη στο μοντέλο*

## **7. Αποτελέσματα και Συζήτηση**

### **7.1. Σκοπός ρύθμισης**

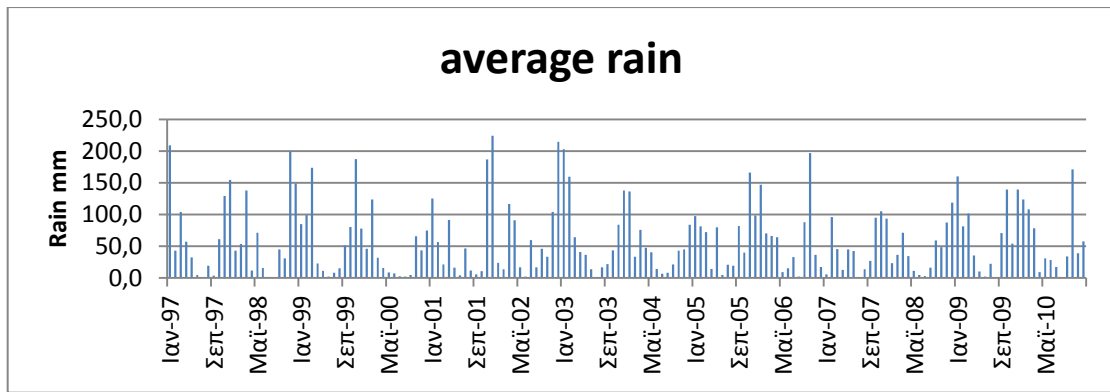
Σε ένα ημι-καταναμημένο υδρολογικό μοντέλο οι παράμετροι δεν έχουν πάντα φυσικό νόημα και η παραμετροποίηση είναι μια διαδικασία βελτιστοποίησης που δεν υπόκειται απαραίτητα σε φυσικά όρια. Από την άλλη πλευρά όμως ένα πλήρως καταναμημένο με φυσικές βάσεις, υδρολογικό μοντέλο εξ ορισμού περιέχει μόνο τις παραμέτρους που θα μπορούσαν να εκτιμηθούν από μετρήσεις πεδίου. Αυτό συνεπάγεται ότι η ρύθμιση σε περιπτώσεις ύπαρξης επαρκών δεδομένων δεν είναι αναγκαία, αλλά και το ότι λόγω της αδυναμίας εύρεσης όλων των χωρικών και χρονικών μεταβλητών των παραμέτρων σε επίπεδο λεκάνης απορροής, οι παράμετροι εισαγωγής στο μοντέλο είναι μέσες χωρικά τιμές και χρήζουν ρύθμισης. Λόγω έλλειψης δεδομένων, λάθος μετρήσεων και σφαλμάτων κλίμακας τα ημι-καταναμημένα υδρολογικά μοντέλα όπως το MikeShe και ειδικά για την περίπτωση που γίνεται χρήση των γραμμικών ταμιευτήρων πρέπει να ρυθμιστούν.

### **7.2. Αποτελέσματα**

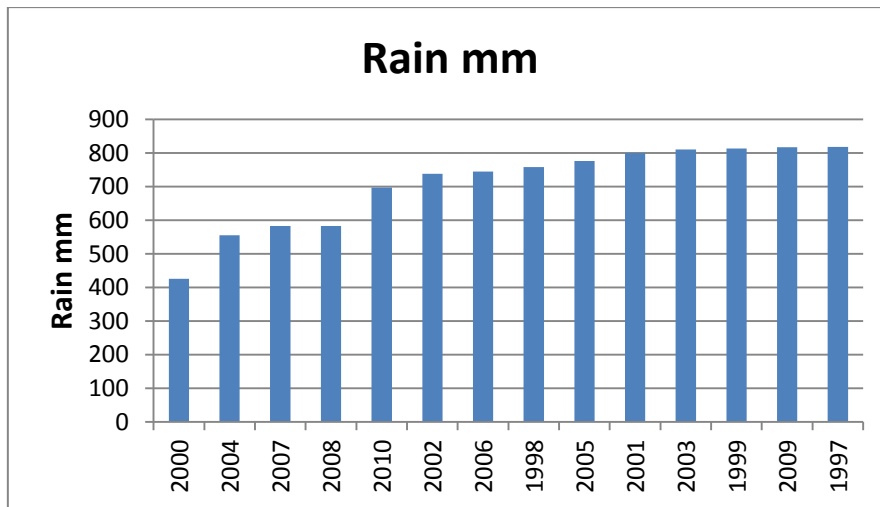
Σε αυτή την ενότητα θα μελετηθούν τα αποτελέσματα που έδωσε το μοντέλο για την περιοχή Μελέτης μας

Το Μοντέλο εφαρμόστηκε:

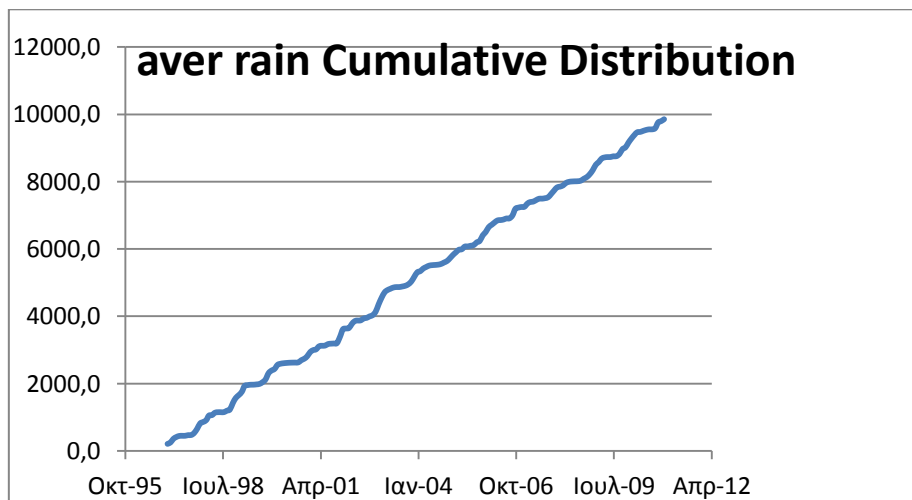
- σε όλη την λεκάνη απορροής του βοιωτικού Κηφισού
- για 14 έτη (1997-2010)
- ημερήσιες χρονοσειρές βροχόπτωσης και εξατμισοδιαπνοής.
- Το μοντέλο εφαρμόστηκε 2 φορές: Την πρώτη με ημερήσιο βήμα (24 ώρες) και τη δεύτερη με μηνιαίο (720 ώρες)



Διάγραμμα 7.1: Μέση μηνιαία βροχόπτωση σε συνάρτηση με τον χρόνο (1997-2010)



Διάγραμμα 7.2: Μέση ετήσια βροχόπτωση ετών 1997-2010

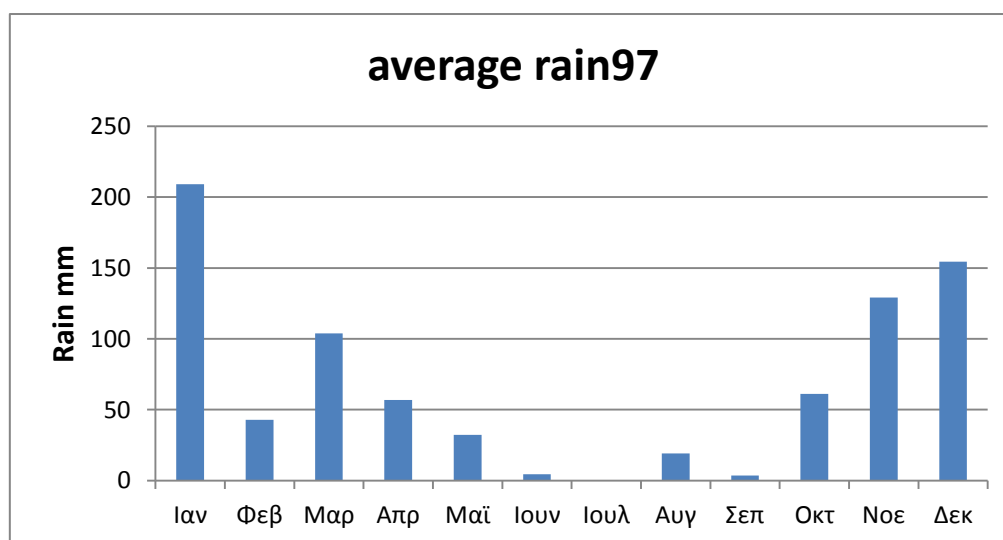


Διάγραμμα 7.3: Αθροιστική κατανομή μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης ετών 1997-2010

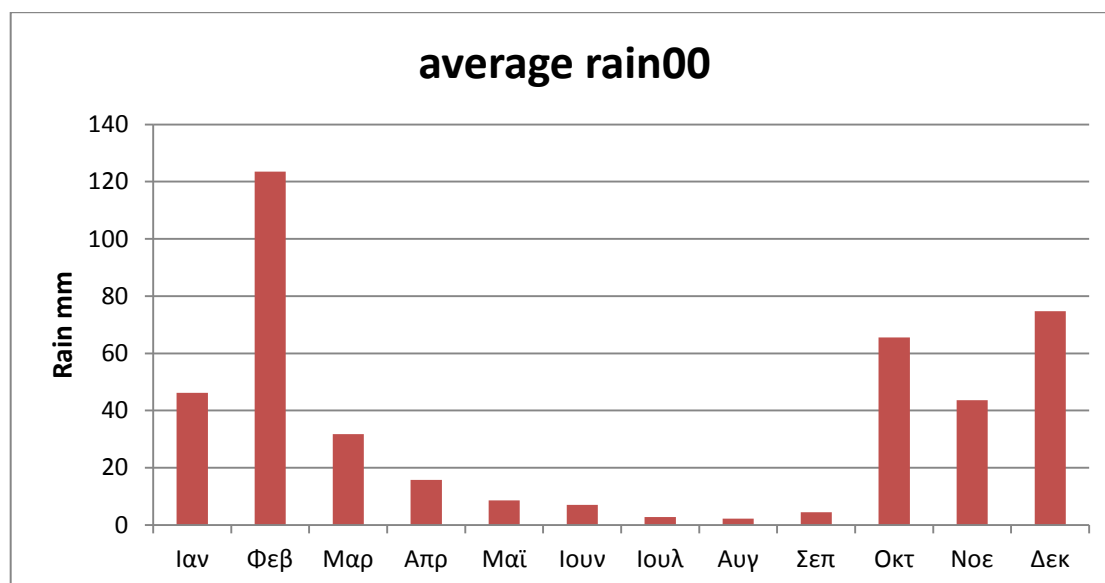


Από τα διαγράμματα 7.1 και 7.2 παρατηρούμε ότι κατά τα έτη 2000, 2004, 2007 είχαμε λίγη βροχή ενώ κατά τα έτη 2001,2003,1999,2009,1997 είχαμε πολλές βροχοπτώσεις, οπότε προκύπτει ότι το έτος 2000 είχαμε τις λιγότερες βροχοπτώσεις (ξηρό έτος) ενώ κατά το έτος 1997 τις περισσότερες (υγρό έτος).

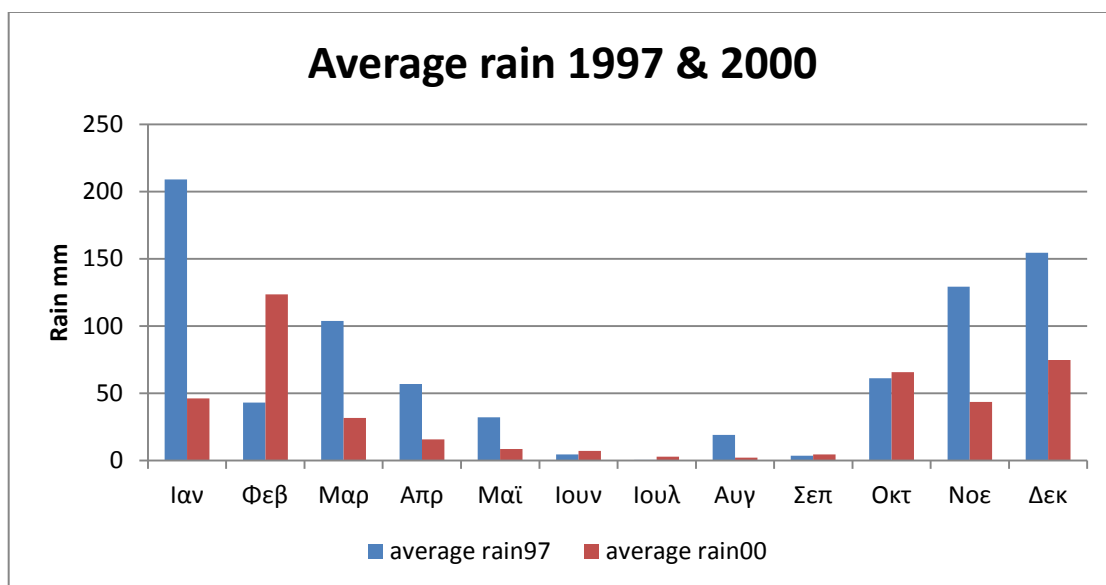
Στο διάγραμμα 7.3 παρατηρείται ότι, κατά το έτος 1997 που έχουμε τις περισσότερες βροχοπτώσεις η καμπύλη εμφανίζει πολύ μεγαλύτερο άλμα σε σχέση με το έτος 2000 κατά το οποίο έχουν μετρηθεί οι λιγότερες βροχές.



*Διάγραμμα 7.4: Μέση βροχόπτωση υγρού έτους 1997*

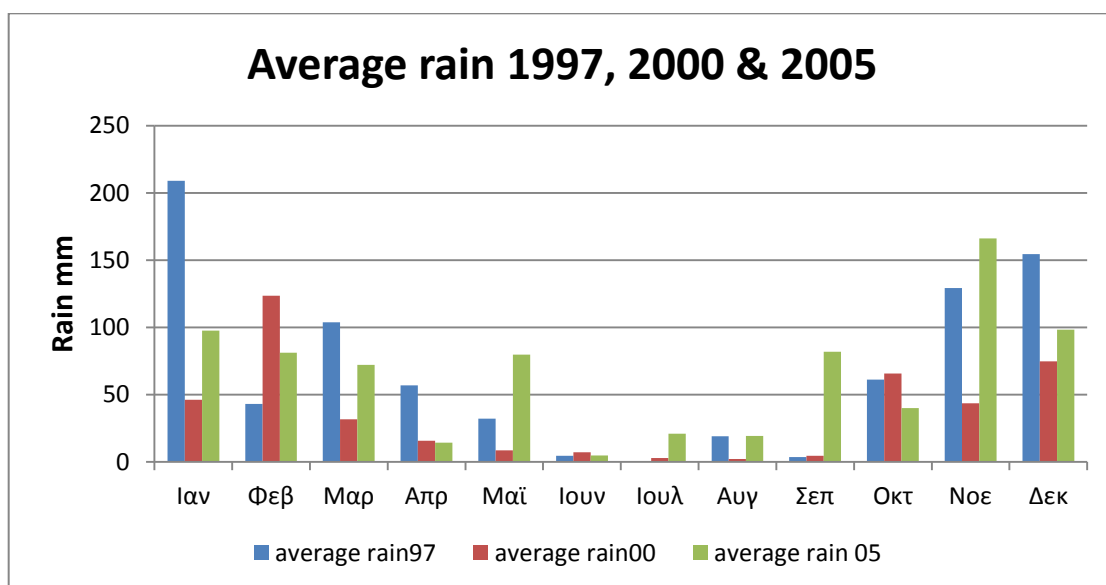


*Διάγραμμα 7.5: Μέση βροχόπτωση ξηρού έτους 2000*



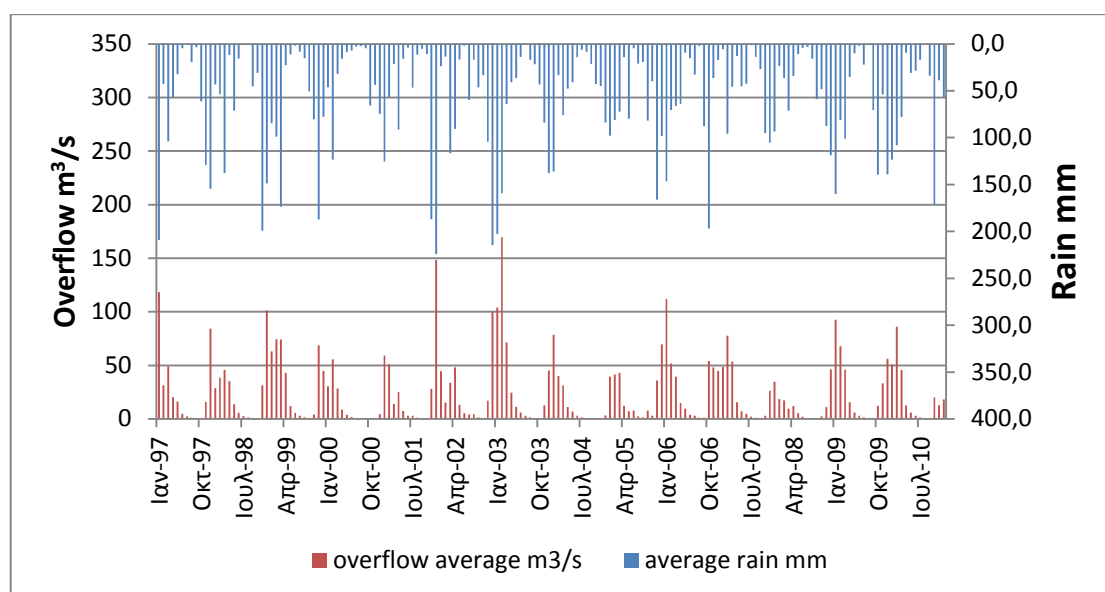
*Διάγραμμα 7.6: Μέση μηνιαία βροχόπτωση υγρού έτους 1997 και Ξηρού έτους 2000*

Στο Διάγραμμα 7.6 γίνεται σύγκριση της μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης μεταξύ του υγρού έτους 1997 και του ξηρού 2000. Το έτος 1997 παρατηρείται πολύ μεγαλύτερη βροχόπτωση από το έτος 2000. Κατά το έτος 1997 η βροχή εμφανίζει μέγιστο κατά το μήνα Ιανουάριου ενώ κατά το έτος 2000 τον Φεβρουάριο και στα 2 έτη είχαμε ελάχιστες βροχοπτώσεις κατά τους καλοκαιρινούς μήνες.

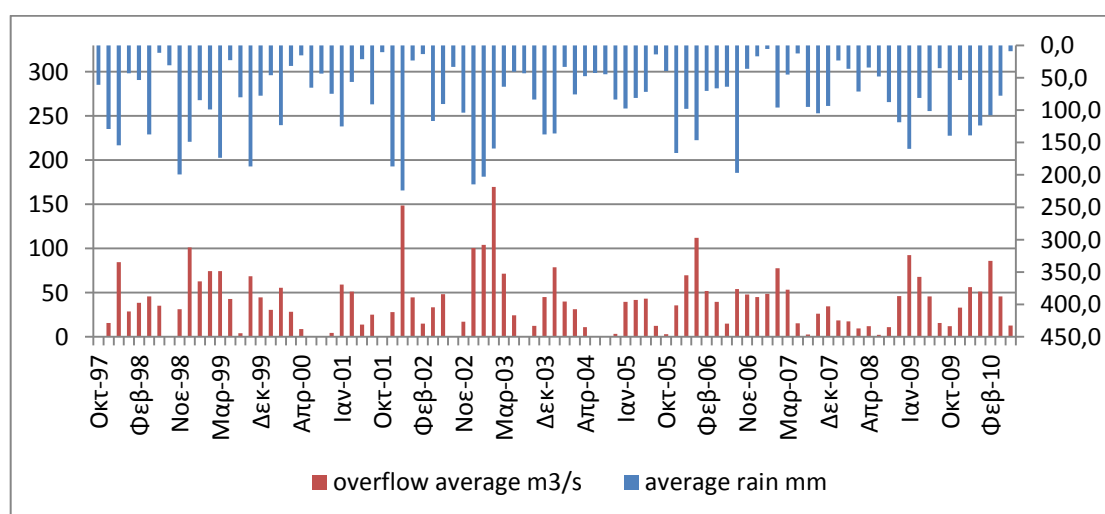


*Διάγραμμα 7.6: Μέση βροχόπτωση υγρού έτους 1997 και Ξηρού έτους 2000 και μέσου έτους 2005*

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα 7.6 το έτος 1997 (υγρό έτος) έχουμε πολλές βροχοπτώσεις κατά τους μήνες Ιανουάριο, Μάρτιο, Νοέμβριο και Δεκέμβριο ενώ το καλοκαίρι έχουμε ελάχιστες βροχές. Το έτος 2000 (ξηρό έτος) ;έχουμε πολλές βροχοπτώσεις τους μήνες Φεβρουάριο, Οκτώβριο και Δεκέμβριο ενώ την άνοιξη και όλο το καλοκαίρι έχουμε ελάχιστες βροχές. Κατά το έτος 2005 παρατηρείτε ότι οι βροχές είναι διασκορπισμένες όλο το χρόνο ακόμα και το καλοκαίρι έχουμε λίγες βροχές.

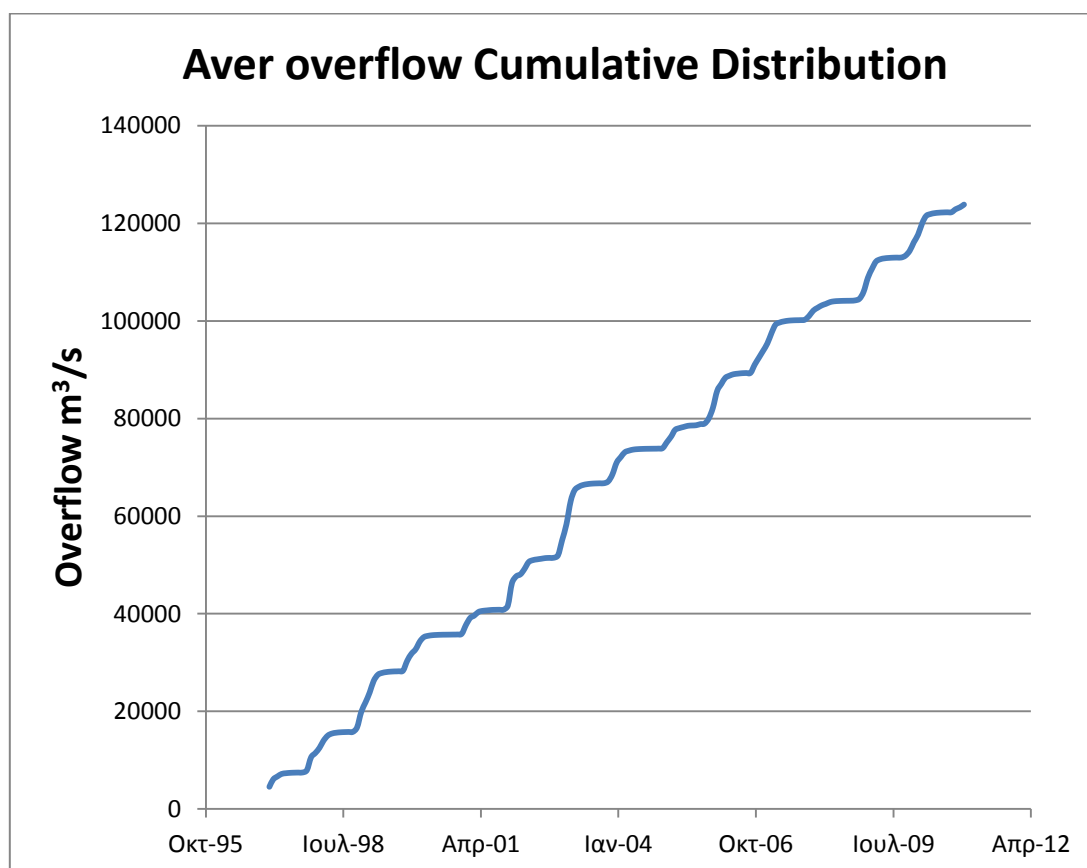


Διάγραμμα 7.7: Μέση μηνιαία βροχόπτωση και μέση μηνιαία απορροή κατά τα έτη 1997-2010



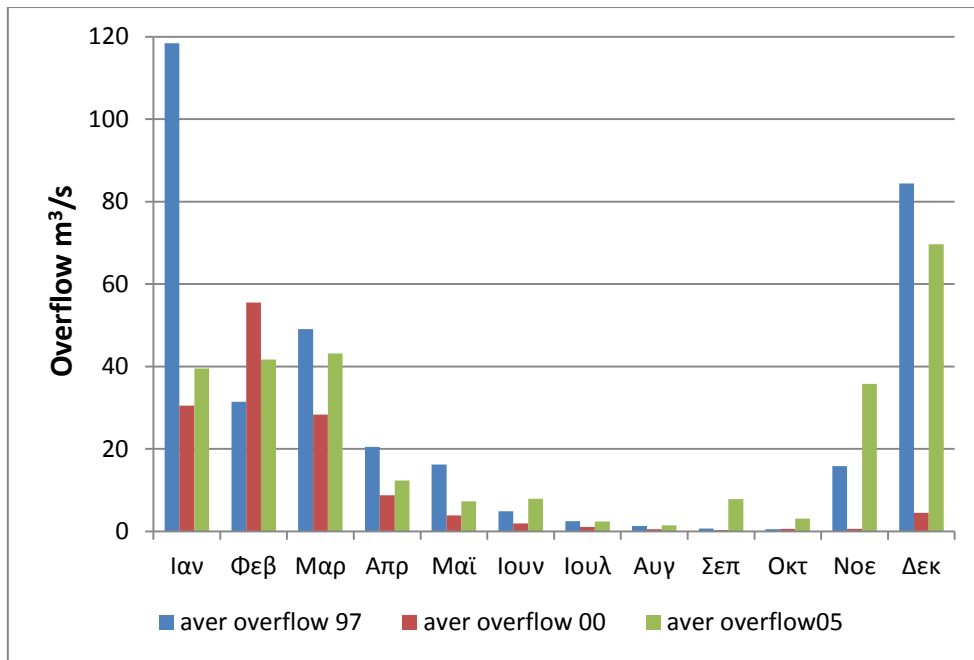
Διάγραμμα 7.8: Μέση μηνιαία βροχόπτωση και μέση μηνιαία απορροή κατά τους βροχερούς μήνες των ετών 1997-2010

Στο διάγραμμα 7.7 εμφανίζονται η βροχή και η εκτιμώμενη απορροή που έδωσε το μοντέλο για την περίοδο της προσομοίωσης 1997-2010. Από το διάγραμμα φαίνεται ότι όταν έχουμε πολλές βροχές έχουμε και μεγάλη απορροή, τον Ιανουάριο του 1997, το Δεκέμβριο του 2001, το Δεκέμβριο 2002 και τον Ιανουάριο του 2003, παρατηρούνται τα μέγιστα στις βροχοπτώσεις και αντίστοιχα έχουμε και τα μέγιστα στην εκτιμώμενη απορροή. Κατά του τους καλοκαιρινούς μήνες ενώ έχει βρέξει έστω και λίγο δεν εμφανίζεται καθόλου απορροή ή αυτή είναι ελάχιστη, αυτό συμβαίνει διότι το νερό της βροχής το καλοκαίρι είναι πολύ λίγο για να μπορέσει να απορρεύσει οπότε παραμένει στο έδαφος.



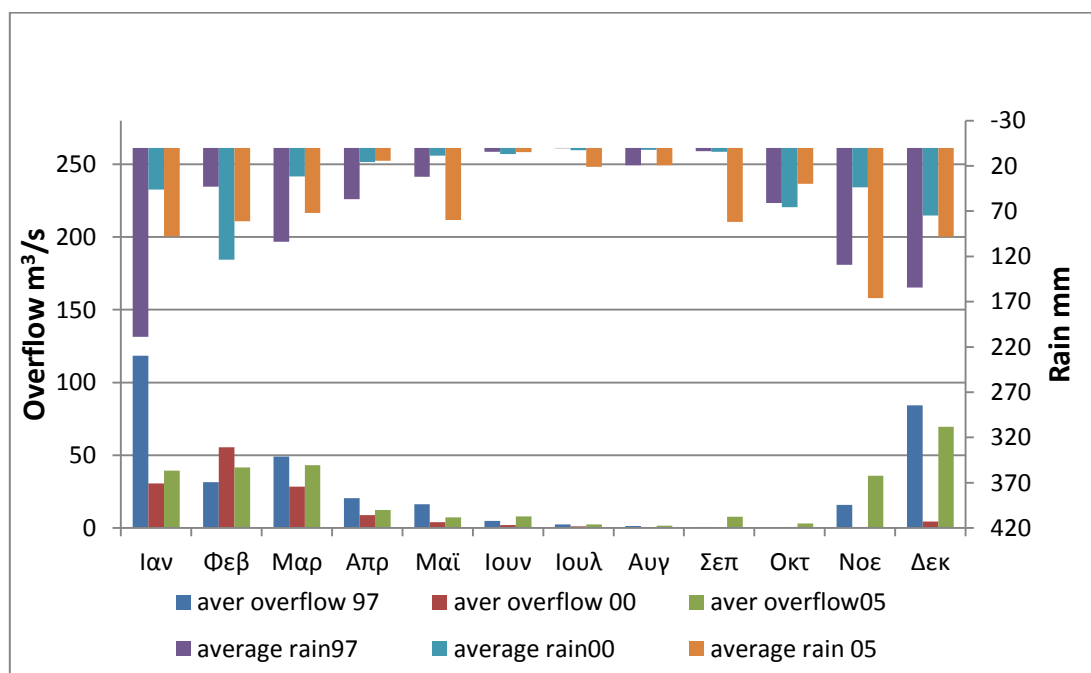
**Διάγραμμα 7.9:** Αθροιστική κατανομή μέσης μηνιαίας εκτιμώμενης απορροής ετών 1997-2010

Στο διάγραμμα 7.9 παρατηρείται η αθροιστική κατανομή μέσης μηνιαίας απορροής, όσο πιο μεγάλο Άλμα έχουμε στην καμπύλη τόσο πιο μεγάλη απορροή, κατά το έτος 1997 που έχουμε μεγάλη απορροή η καμπύλη εμφανίζει πολύ μεγαλύτερο άλμα σε σχέση με το έτος 2000 κατά το οποίο έχουμε μικρότερη απορροή.

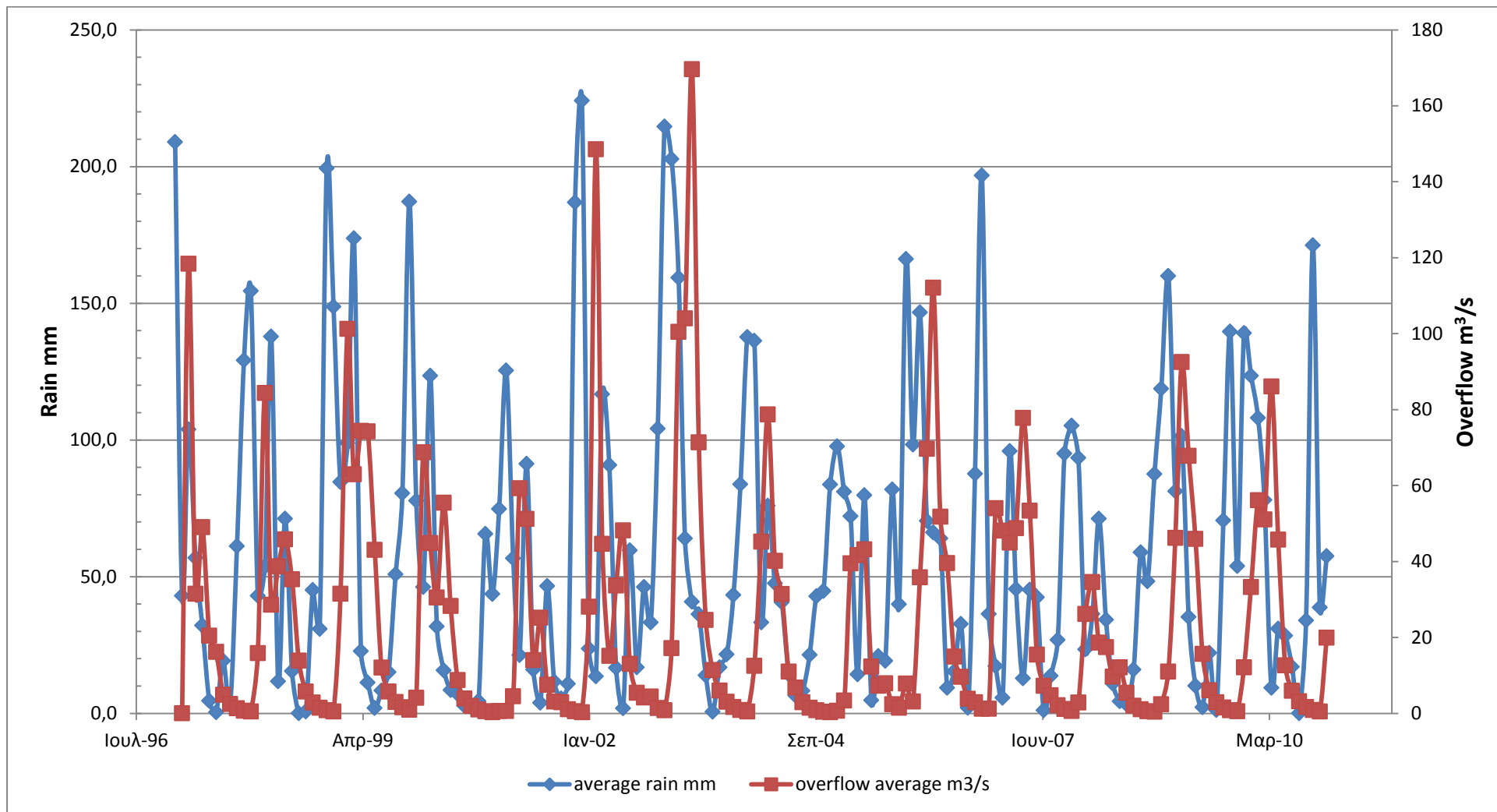


Διάγραμμα 7.10: Μέση μηνιαία απορροή Υγρού έτους 1997 και Ξηρού έτους 2000

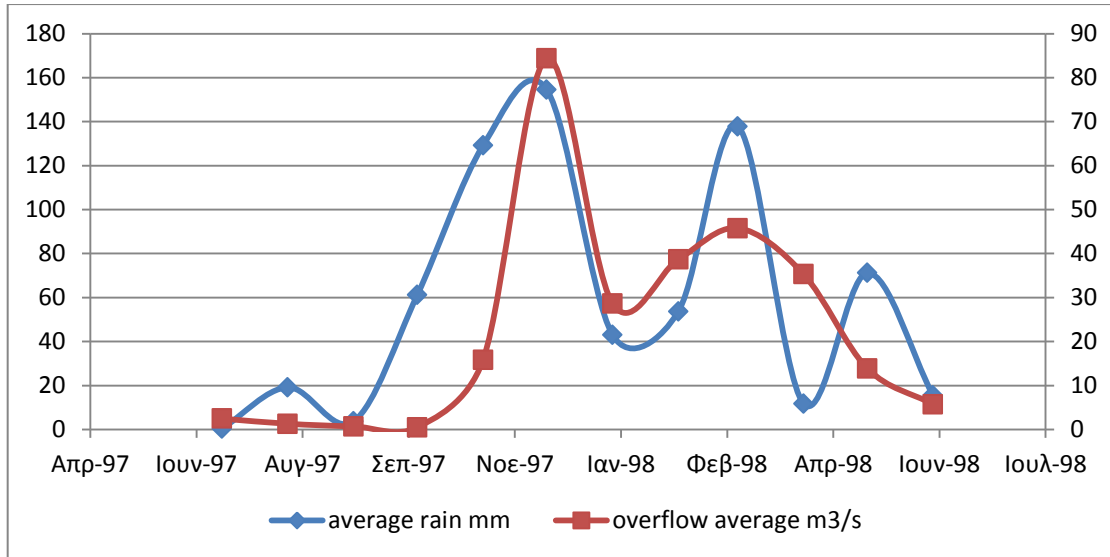
Όπως φαίνεται στο διάγραμμα 7.10 το έτος 1997 (υγρό έτος) έχουμε μεγάλη απορροή κατά τους μήνες Ιανουάριο, Μάρτιο, και Δεκέμβριο. Το έτος 2000 (ξηρό έτος) εμφανίζεται μεγάλη απορροή τους μήνες Ιανουάριο, Φεβρουάριο, και Μάρτιο. Και στο Υγρό και στο Ξηρό έτος από τον Ιούνιο μέχρι και τον Οκτώβριο έχουμε ελάχιστη έως μηδαμινή απορροή. Το έτος 2005 παρατηρείτε απορροή και κατά τους μήνες Ιούνιο Σεπτέμβριο και Οκτώβριο.



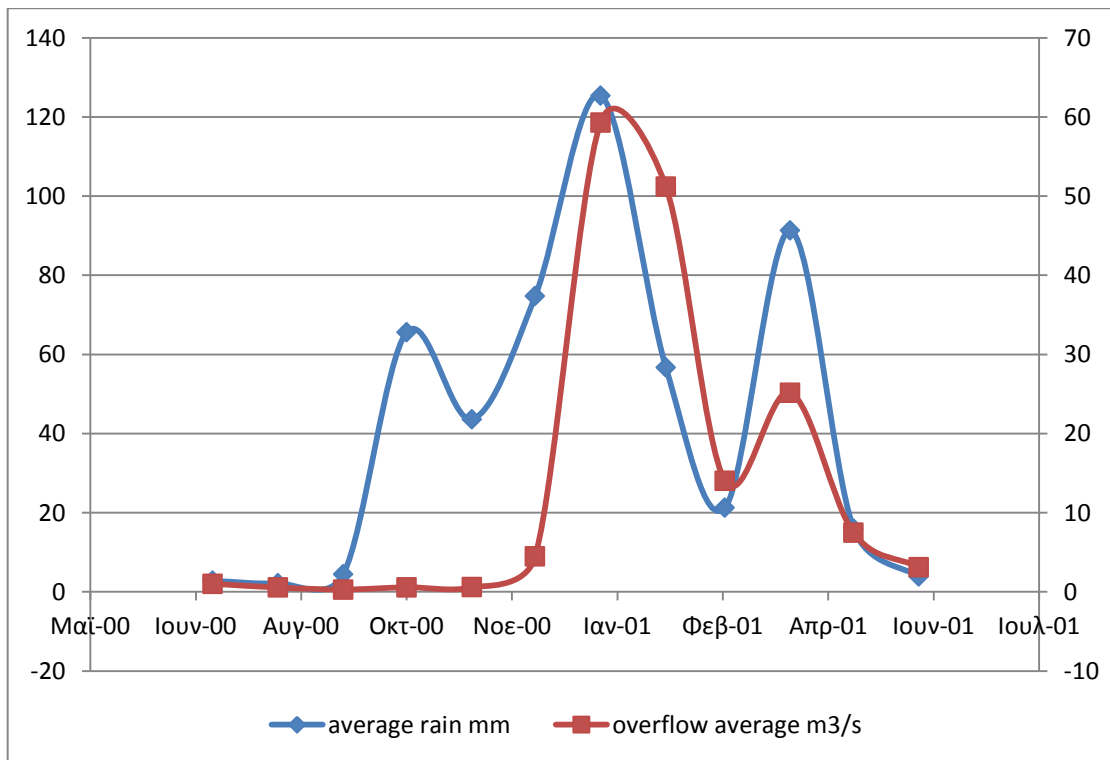
Διάγραμμα 7.11: Σύνθετο διάγραμμα μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης- μέσης μηνιαίας απορροής εκτιμώμενης απορροής για τα έτη 1997,2000 και 2005



*Διάγραμμα 7.12: Διάγραμμα διασποράς μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης- μέσης μηνιαίας απορροής (1997-2010)*



*Διάγραμμα 7.13: Διάγραμμα διασποράς μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης- μέσης μηνιαίας απορροής υδρολογικού έτους 1997-1998*



*Διάγραμμα 7.14: Διάγραμμα διασποράς μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης- μέσης μηνιαίας απορροής υδρολογικού έτους 2000-2001*

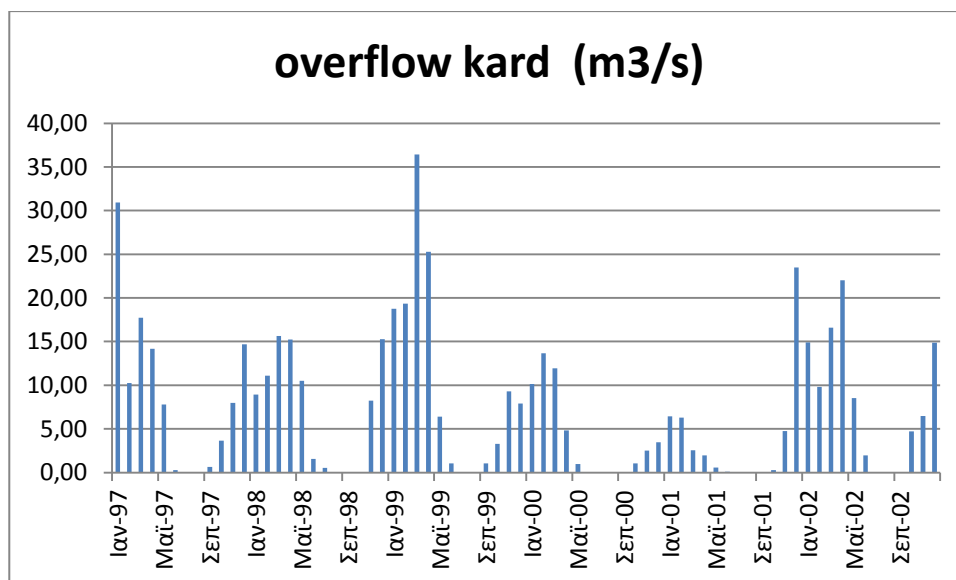
Στο διάγραμμα 7.11 παρουσιάζεται η μέση μηνιαία βροχόπτωση σε συνδυασμό με την μέση μηνιαία απορροή που έχει εκτιμήσει το μοντέλο. Η απορροή φαίνεται να ακολουθεί την βροχή στις περισσότερες των περιπτώσεων. Χαρακτηριστικός μήνας είναι ο Οκτώβριος που ενώ φαίνεται να έχει βρέξει έχουμε σχεδόν μηδενική απορροή για τα έτη 1997 και 2000 και ελάχιστη για το έτος 2005. Αυτό γίνεται διότι τα έτη 1997 και 2000 από τον Ιούνιο μέχρι και τον Σεπτέμβρη είχαμε ελάχιστες βροχοπτώσεις και ουσιαστικά έβρεξε τον Οκτώβριο, η βροχή όμως δεν ήταν αρκετή για να έχουμε απορροή αφού το έδαφος ήταν αρκετά ξηρό και συγκράτησε σχεδόν όλη τη βροχή. Το έτος 2005 εμφάνισε αρκετά μεγαλύτερη απορροή από τα άλλα 2 καθώς είχαμε βροχές και κατά τη διάρκεια του Σεπτεμβρίου οι οποίες κατάφεραν να ξεδιψάσουν το ξηρό έδαφος.

Στο διάγραμμα 7.13 παρατηρούμε ότι τον Αύγουστο ενώ έχει βρέξει δεν έχει εμφανιστεί απορροή, αυτό σημαίνει ότι η βροχή δεν ήταν αρκετή και το νερό απορροφήθηκε από το έδαφος, επίσης παρατηρείται μία καθυστέρηση της απορροής σε σχέση με την βροχόπτωση, αυτή η καθυστέρηση οφείλεται στο ότι θα πρέπει να κορεστεί πρώτα το έδαφος και μετά το νερό να απορρεύσει, το ίδιο συμβαίνει και στον μήνα Απρίλιο. Με τις βροχές του Οκτωβρίου η απορροή θα αρχίσει να αυξάνεται ως ότου πιάσει μέγιστη τιμή τον Δεκέμβριο και μετά πάλι μειώνεται. μέχρι τις βροχές του Μάρτιου όπου πάλι σημειώνει αύξηση ακολουθώντας την βροχόπτωση.

Στο διάγραμμα 7.14 παρατηρούμε ότι με την πρώτη βροχή που έχουμε τον Οκτώβριο πάλι δεν έχουμε απορροή, από τον Νοέμβριο παρατηρούμε αύξηση της απορροής μέχρι να εμφανίσει μέγιστη τιμή τον μήνα Ιανουάριο και μετά μειώνεται πάλι για να εμφανίσει πάλι κορυφή με τις βροχές του Απριλίου



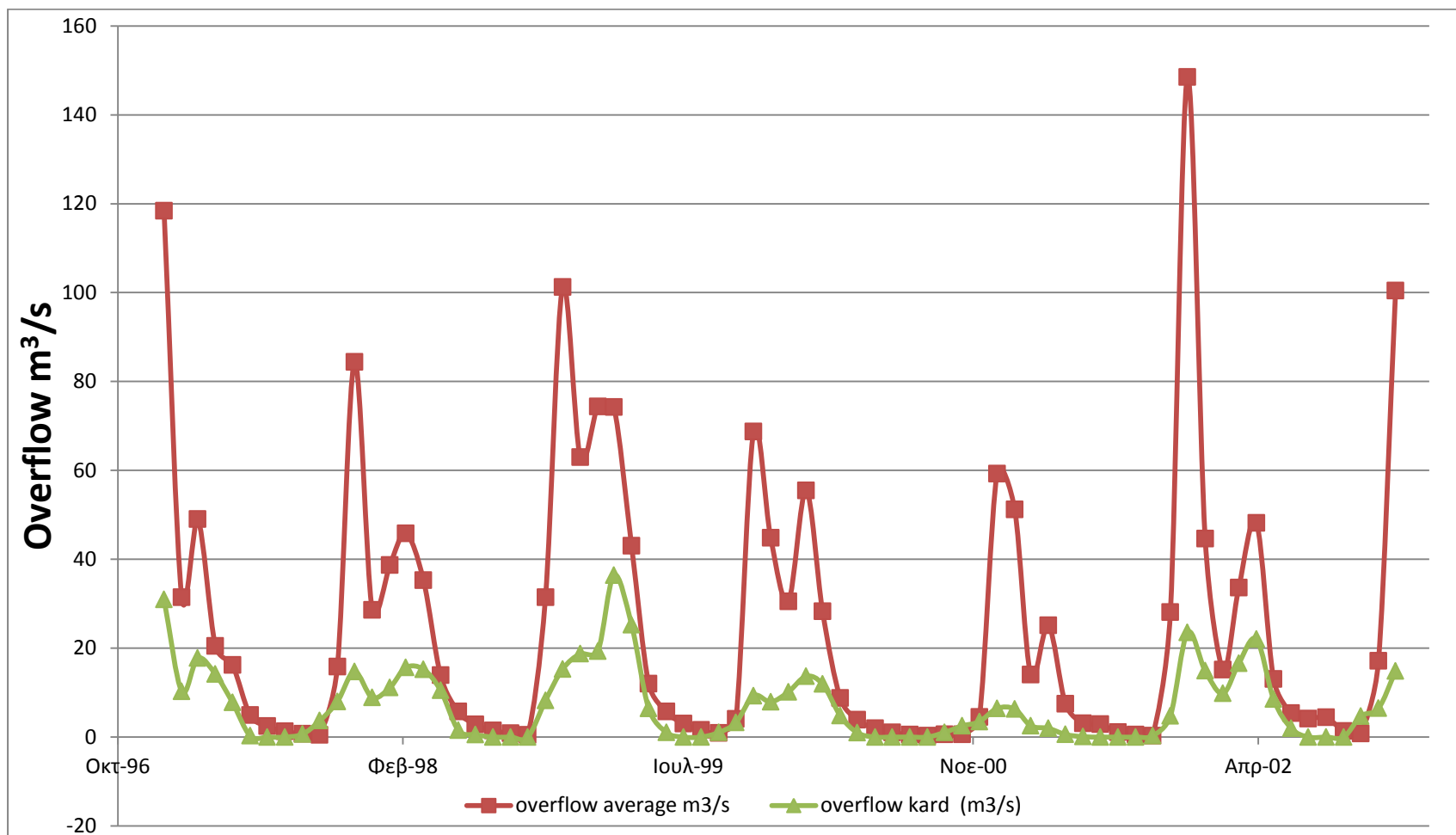
Στη συνέχεια θα γίνει σύγκριση της μέσης μηνιαίας απορροής που εκτίμησε το μοντέλο με την απορροή που έχουμε από δεδομένα του Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε για την διώρυγα της Καρδίτσας (Ακραιφνίου) για τα έτη 1997-2002 για τα οποία έχουμε δεδομένα (διάγραμμα 7.15).



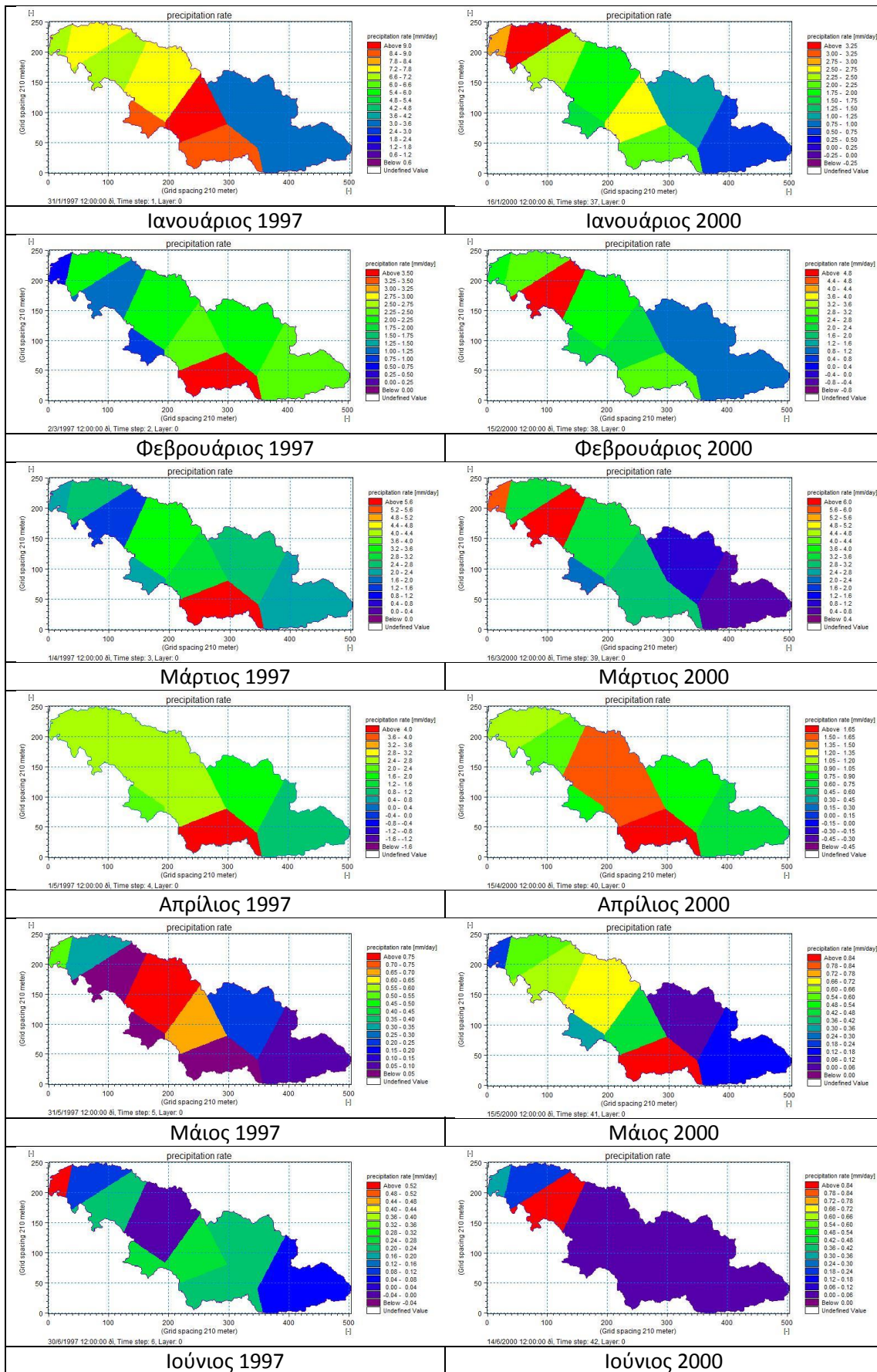
*Διάγραμμα 7.15: Μέση μηνιαία απορροή στη διώρυγα της Καρδίτσας (Ακραιφνίου)*

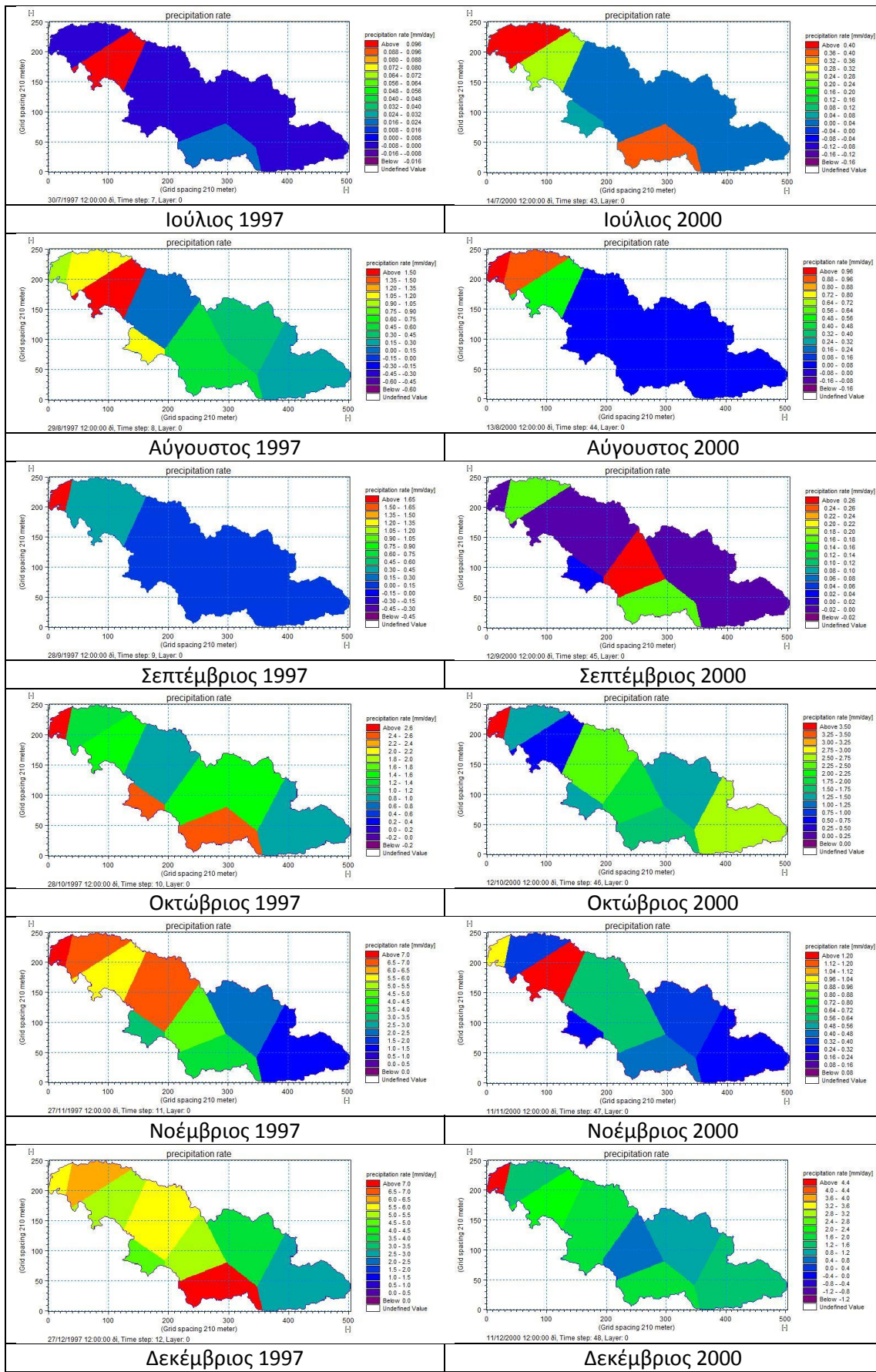
Στο διάγραμμα 7.16 γίνεται σύγκριση της απορροής που εκτίμησε το μοντέλο mikeshe με τις απορροές που έχουν μετρηθεί στην διώρυγα της Καρδίτσας κατά την περίοδο 1997-2002 για την οποία είχαμε δεδομένα από το ΥΠΑΝ( μετά από προσωπική επικοινωνία).

Η σύγκριση της εκτιμώμενης από το μοντέλο απορροής και της απορροής που έχει μετρηθεί στην διώρυγα της Καρδίτσας έδωσε αρκετά καλά αποτελέσματα. Όσο αυξάνεται η μετρημένη απορροή αυξάνεται και η εκτιμώμενη από το μοντέλο και όσο μειώνεται, μειώνεται και η εκτιμώμενη. Βεβαία σε τάξη μεγέθους η εκτιμώμενη απορροή από το μοντέλο Mikeshe είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή που μετρήθηκε στη διώρυγα της Καρδίτσας καθώς αφορά όλη την λεκάνη του βοιωτικού Κηφισού.

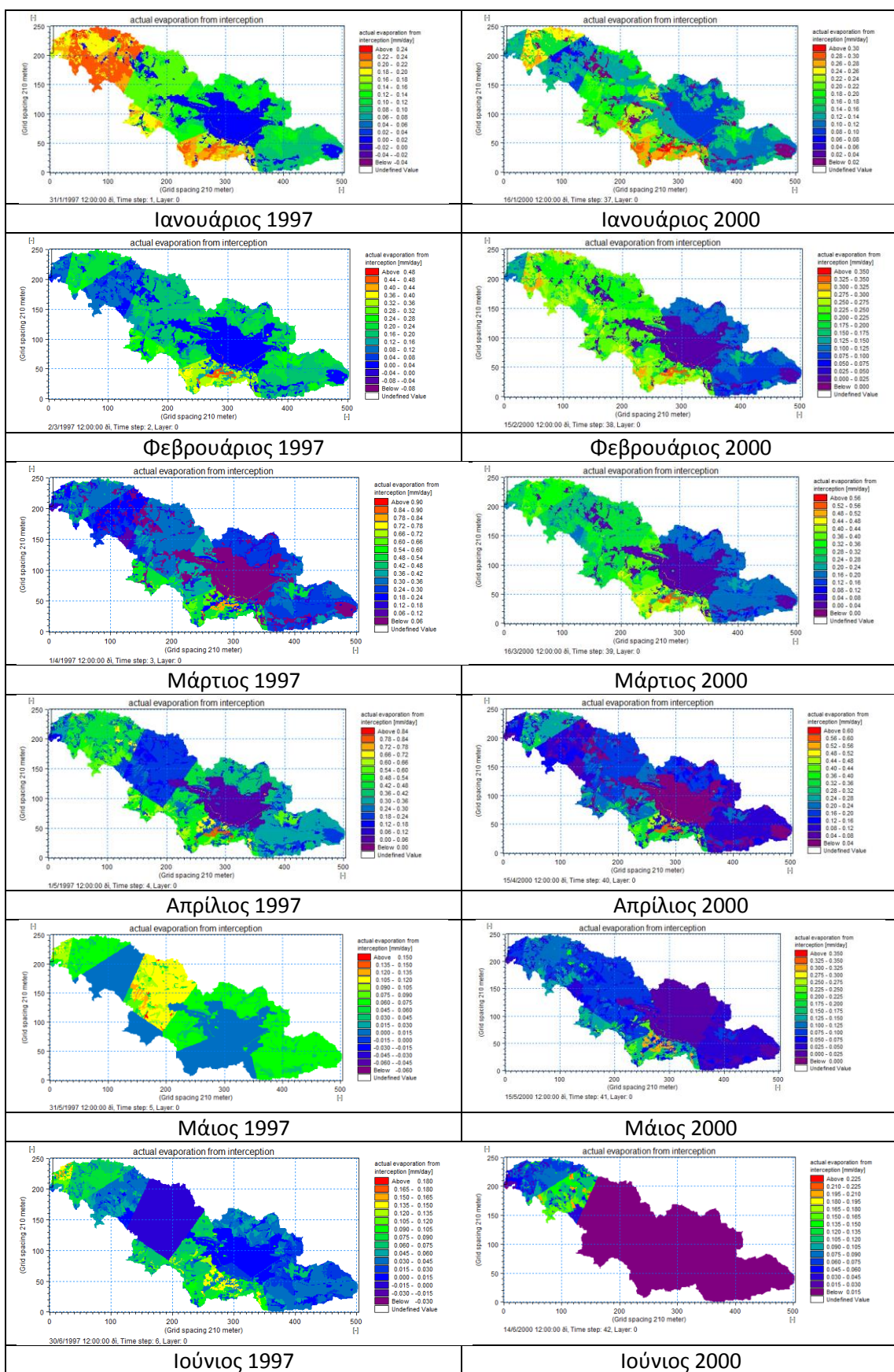


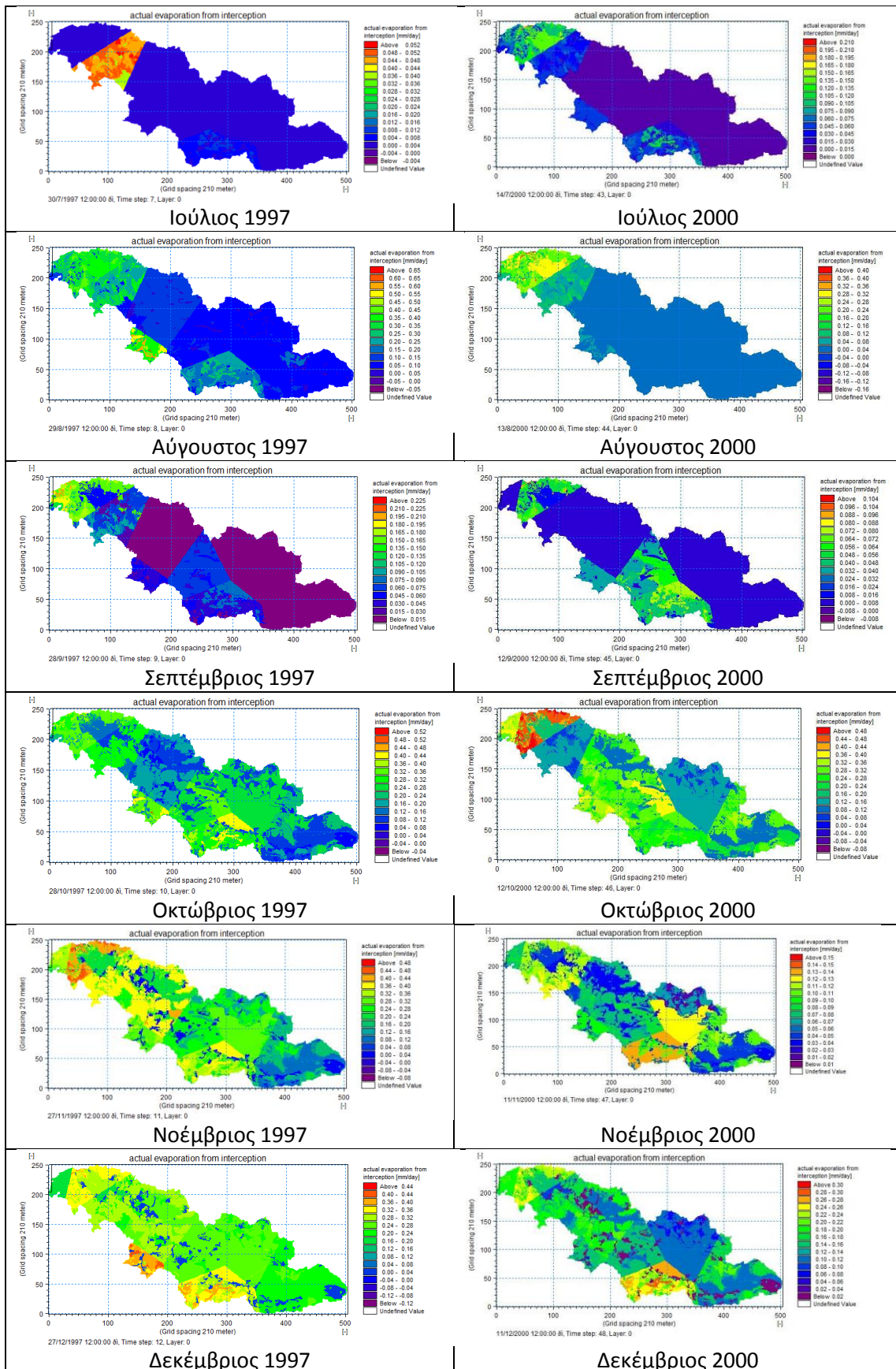
Διάγραμμα 7.16: Μέση μηνιαία εκτιμώμενη απορροή και μέση μηνιαία απορροή στη διώρυγα της Καρδίτσας 1997-2002)



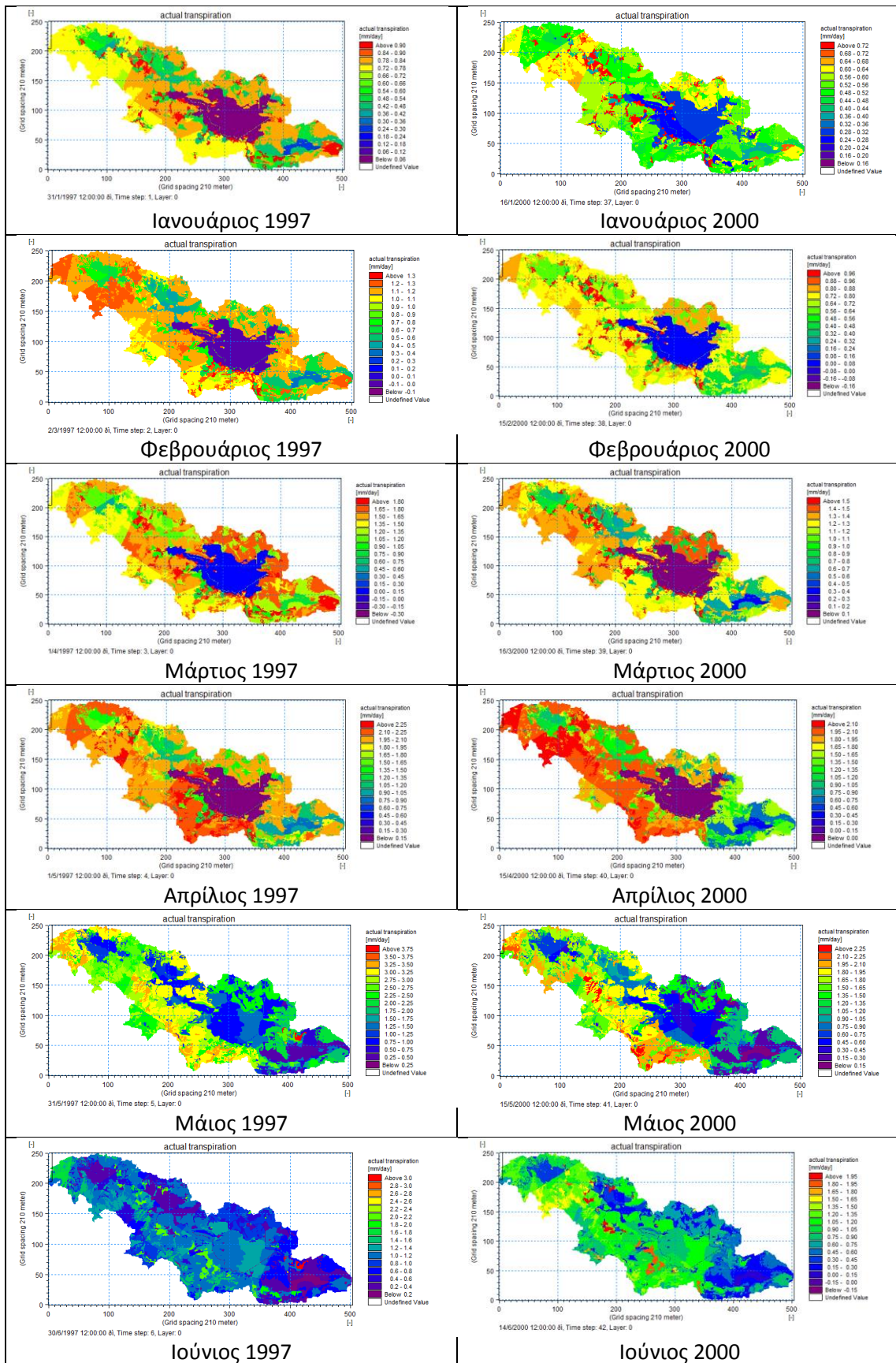


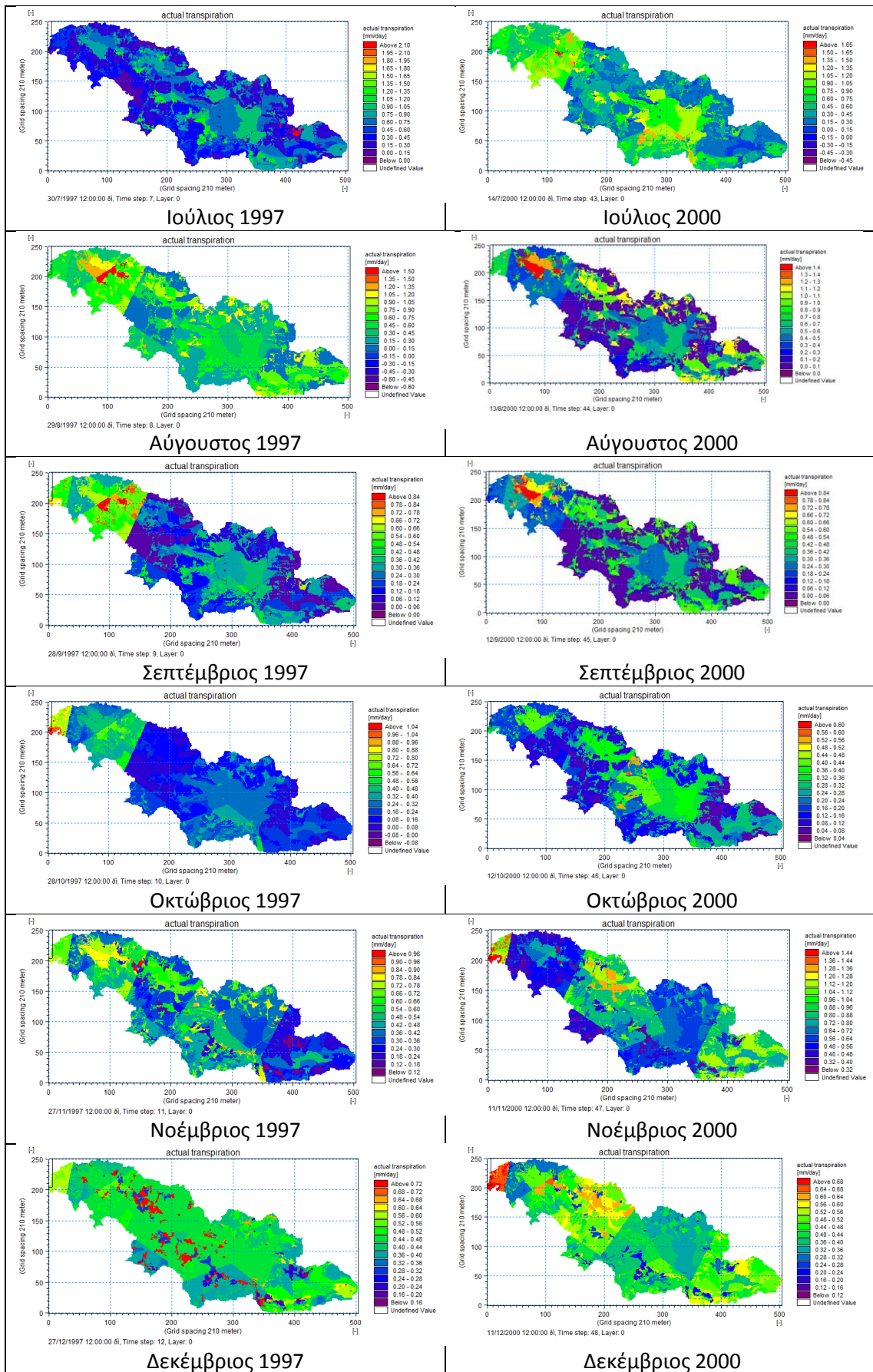
Διάγραμμα 7.17: χάρτης βροχόπτωσης της λεκάνης του βοιωτικού Κηφισού για τα έτη 1997 κ 2000.





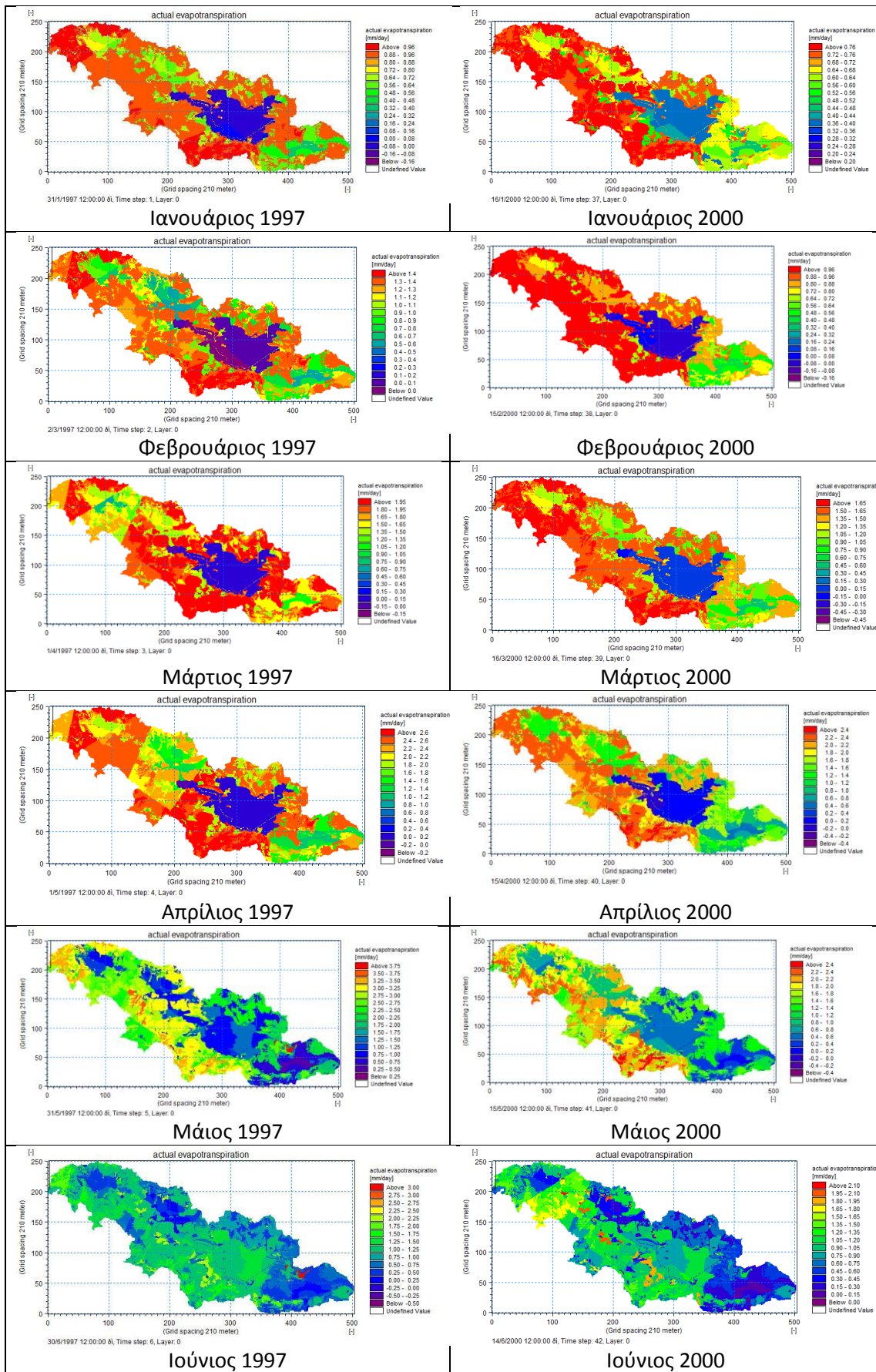
Διάγραμμα 7.18: χάρτης εξάτμισης της λεκάνης του βοιωτικού Κηφισού για τα έτη 1997 κ 2000.

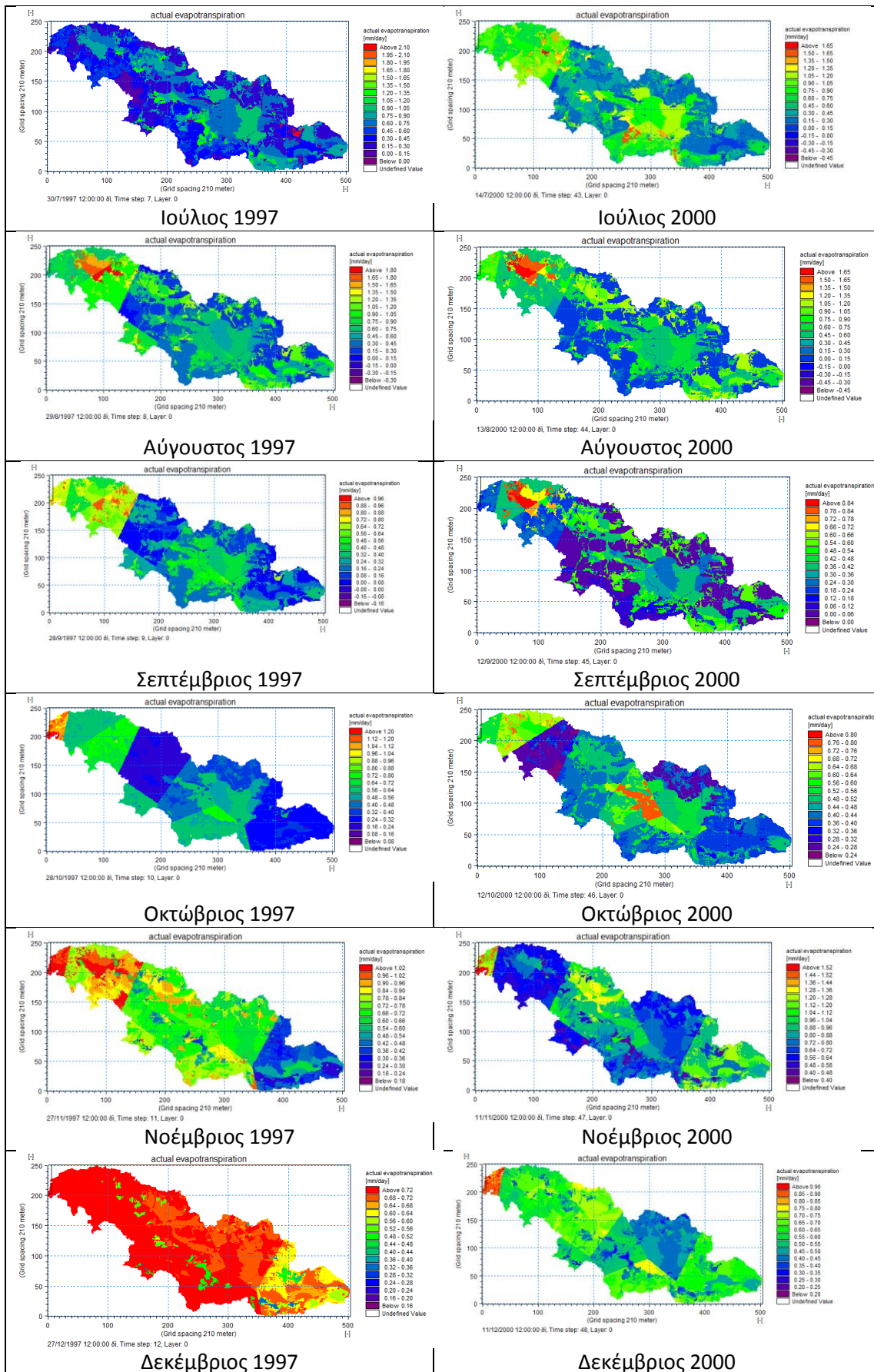




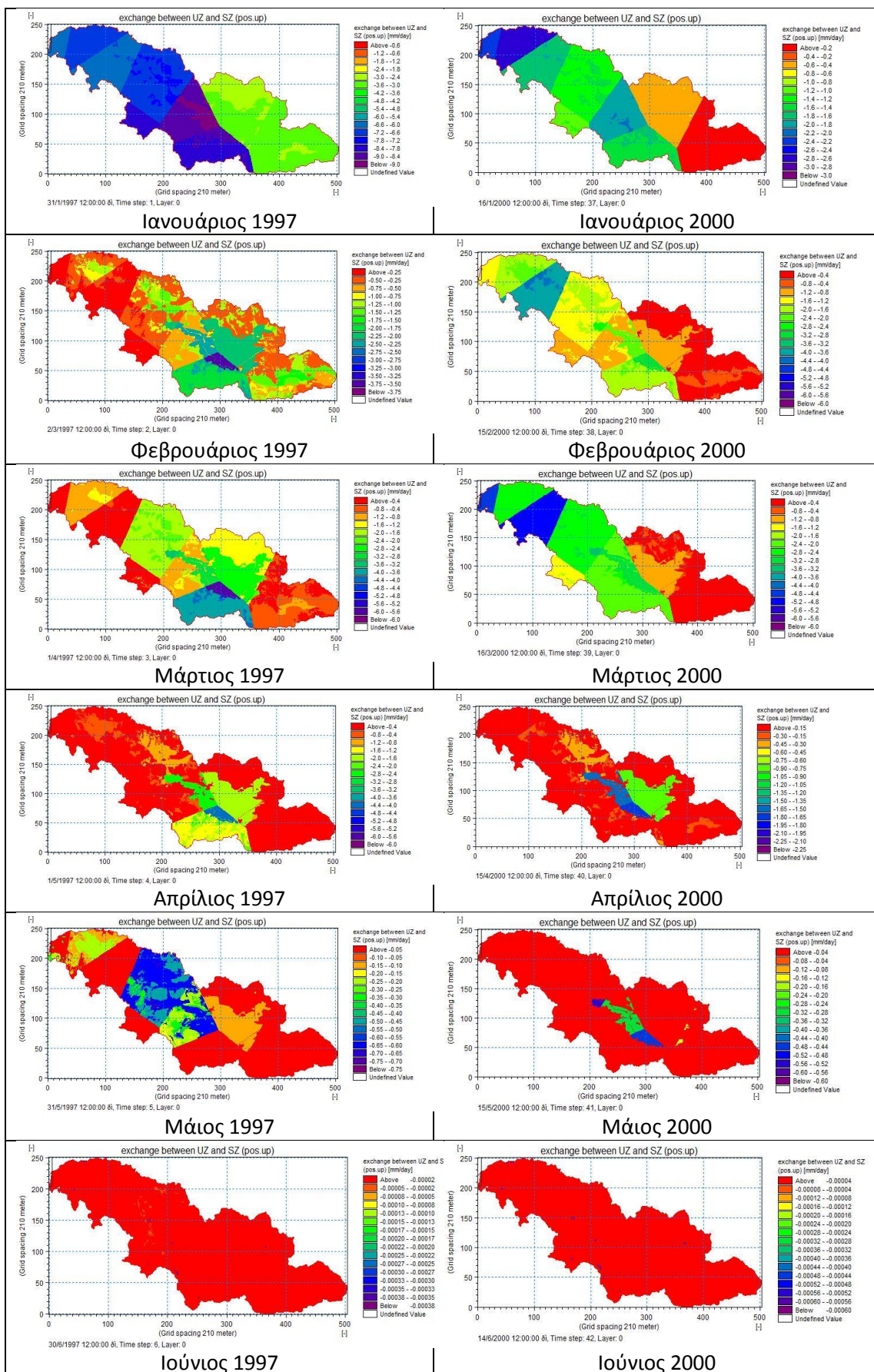
Διάγραμμα 7.19: χάρτης διαπνοής της λεκάνης του βοιωτικού Κηφισού για τα έτη 1997 κ 2000.

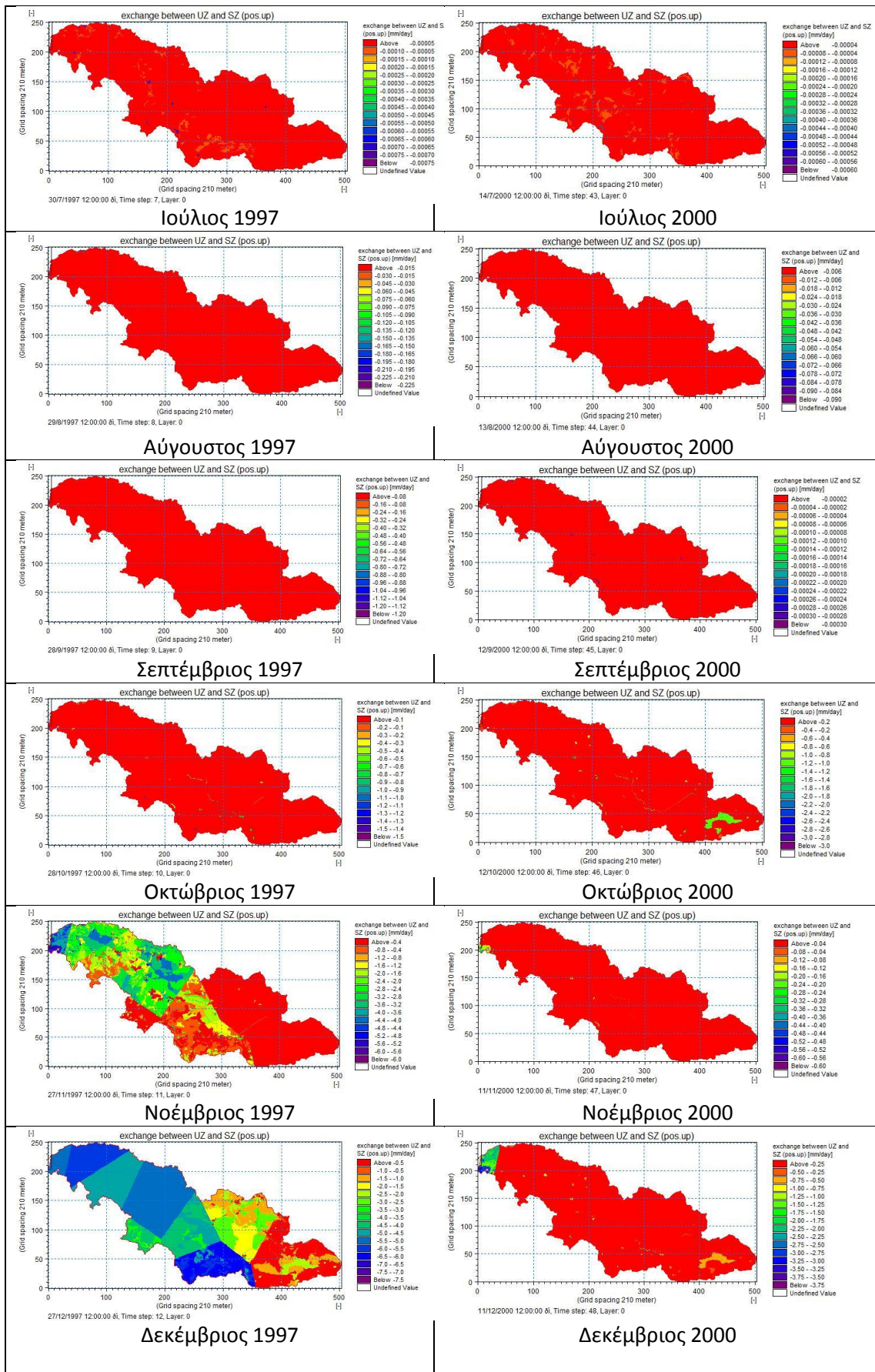




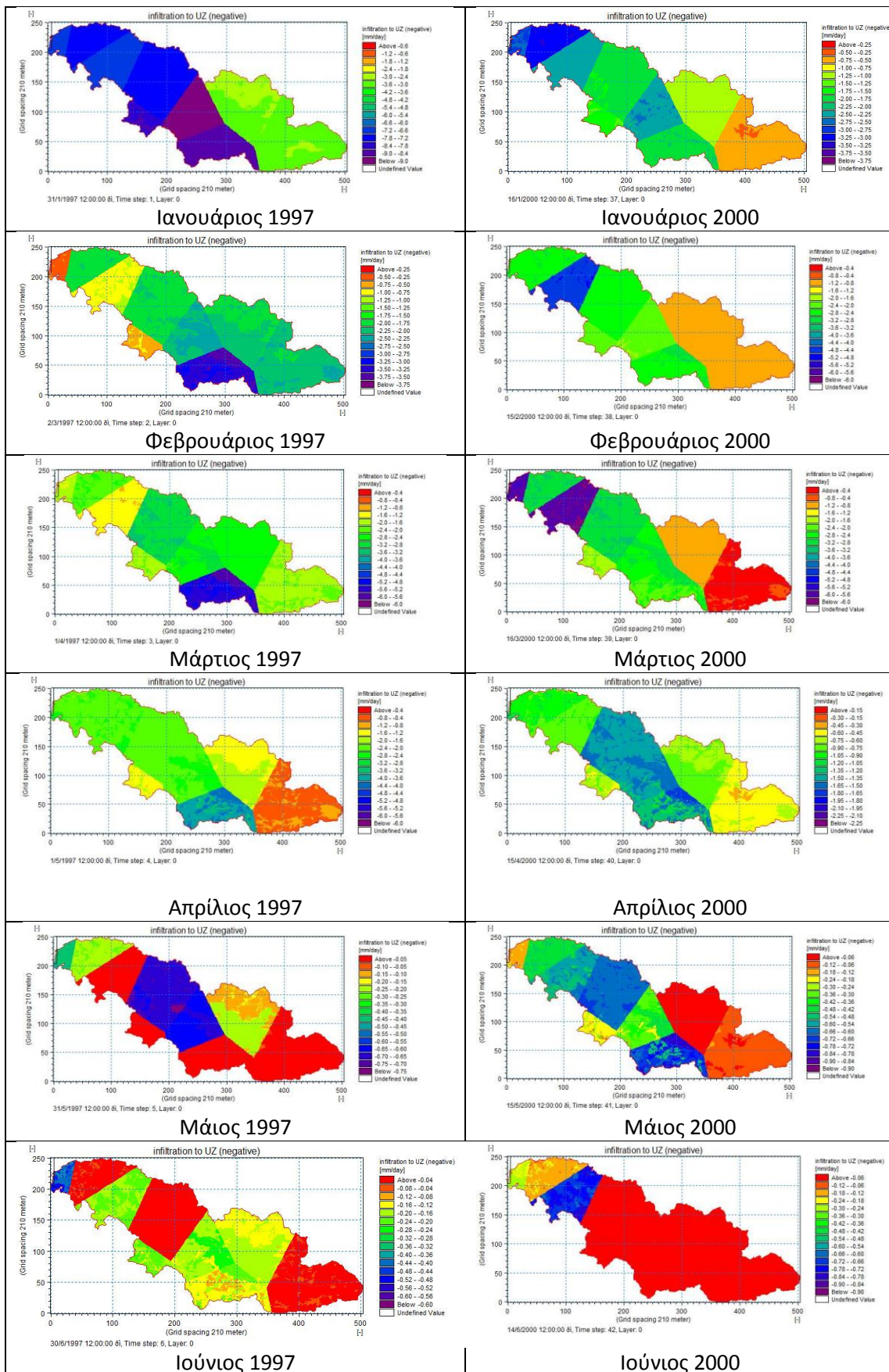


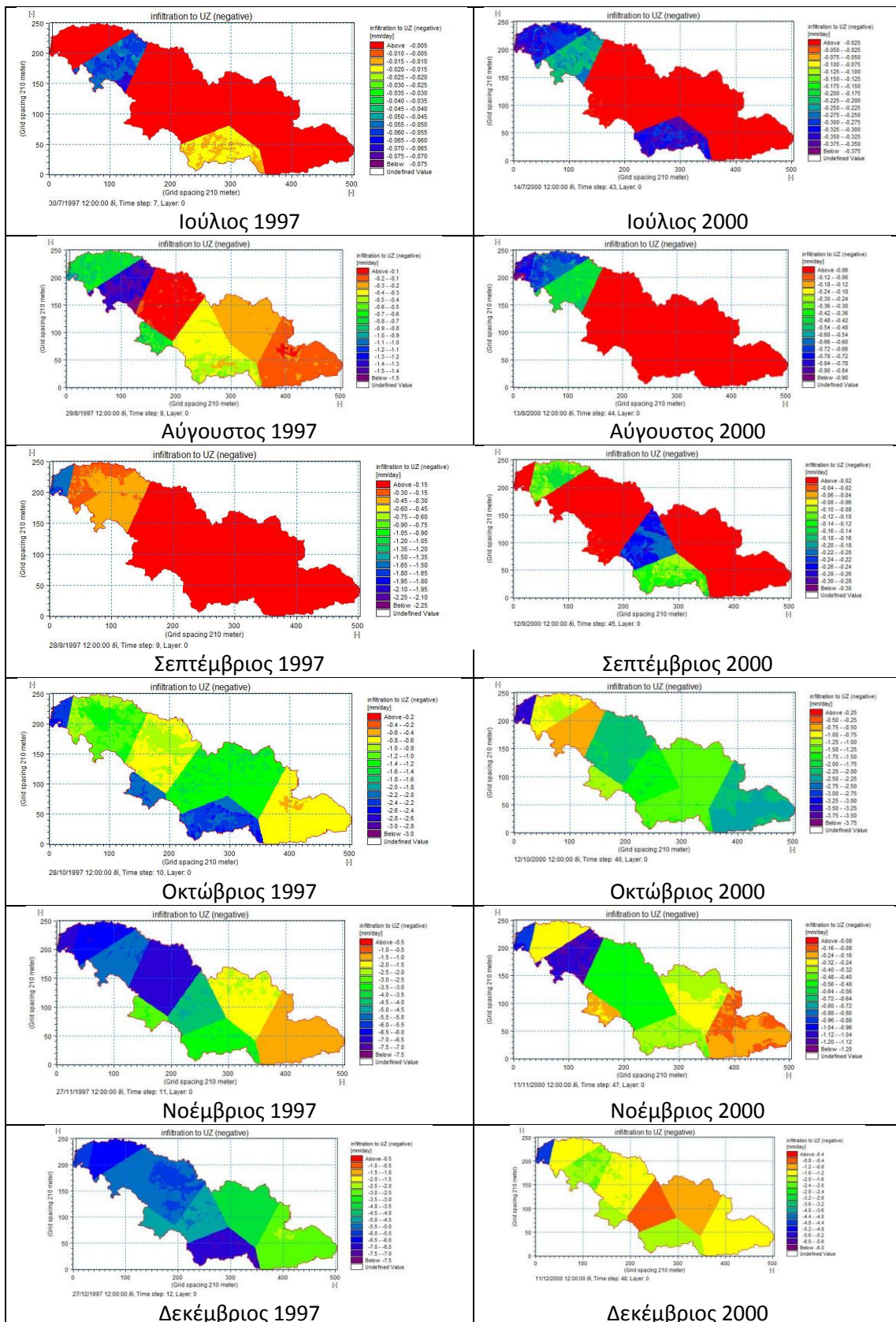
**Διάγραμμα 7.20:** χάρτης πραγματικής εξατμισοδιαπνοής της λεκάνης του βοιωτικού Κηφισού για τα έτη 1997 κ 2000.



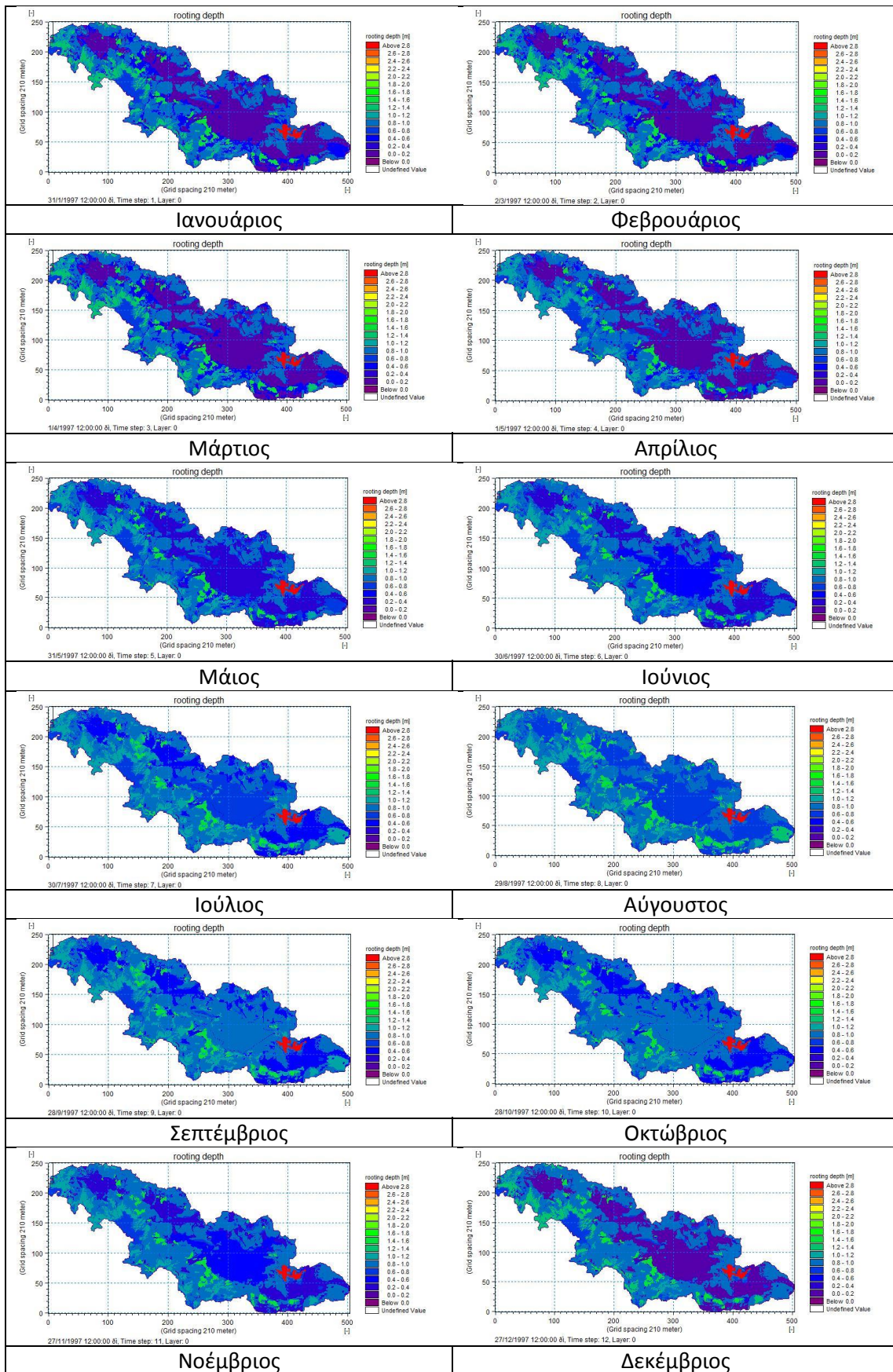


**Διάγραμμα 7.21:** χάρτης μεταφοράς νερού ανάμεσα σε ακόρεστη και κορεσμένη ζώνη, της λεκάνης του βοιωτικού Κηφισού για τα έτη 1997 κ 2000.

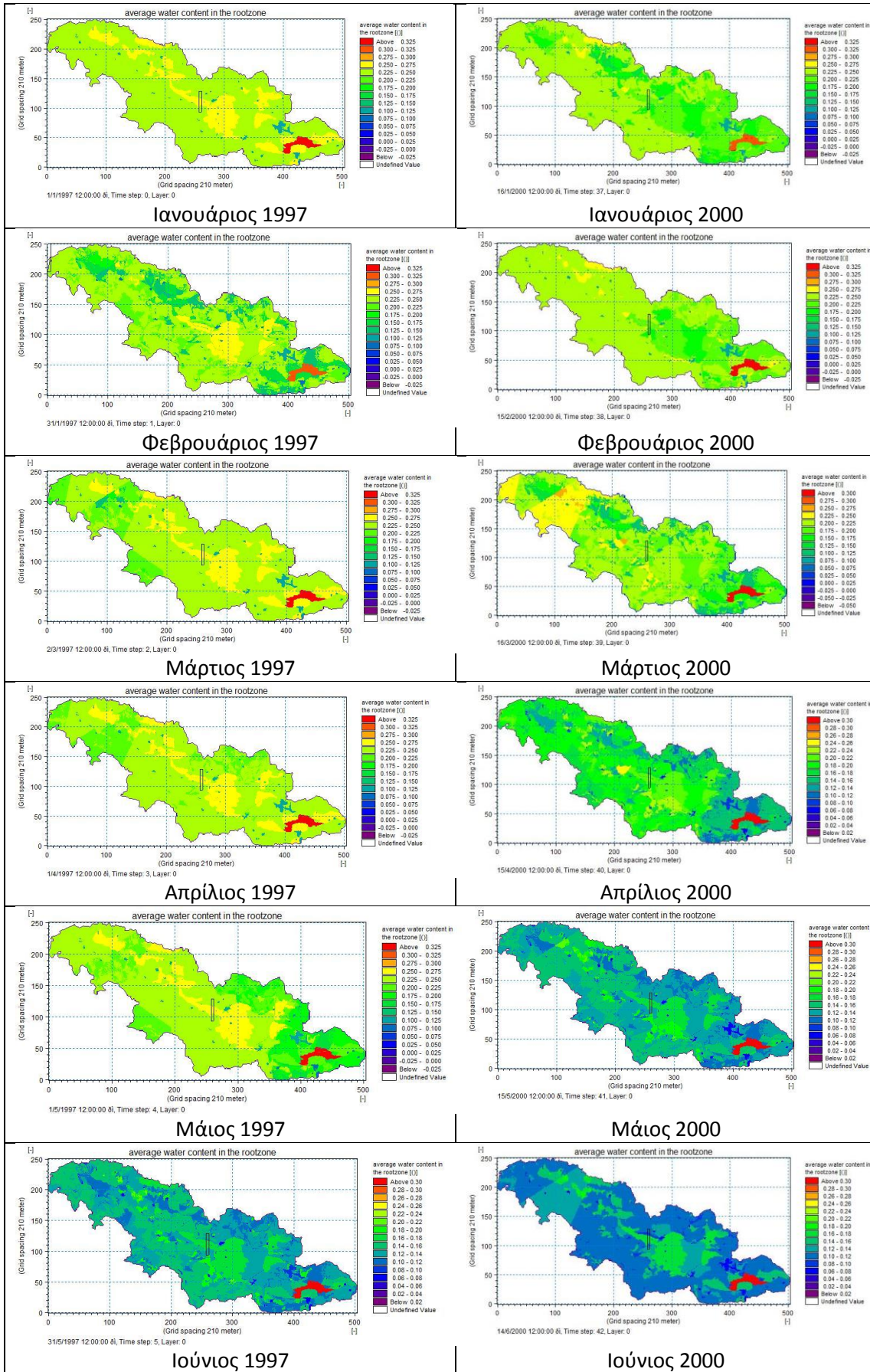




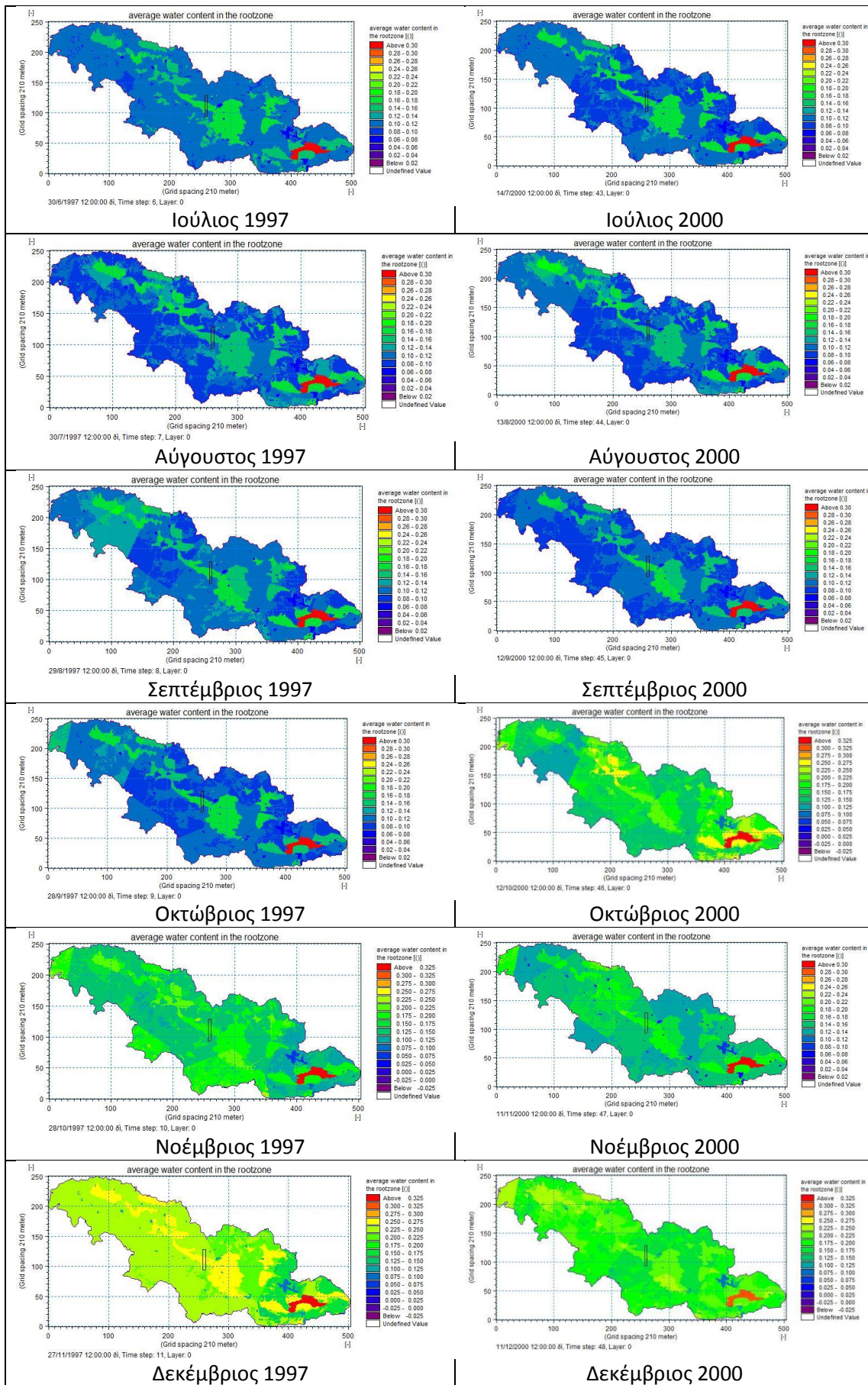
**Διάγραμμα 7.22:** χάρτης διήθησης στην ακόρεστη ζώνη της λεκάνης του βοιωτικού Κηφισού για τα έτη 1997 κ 2000.



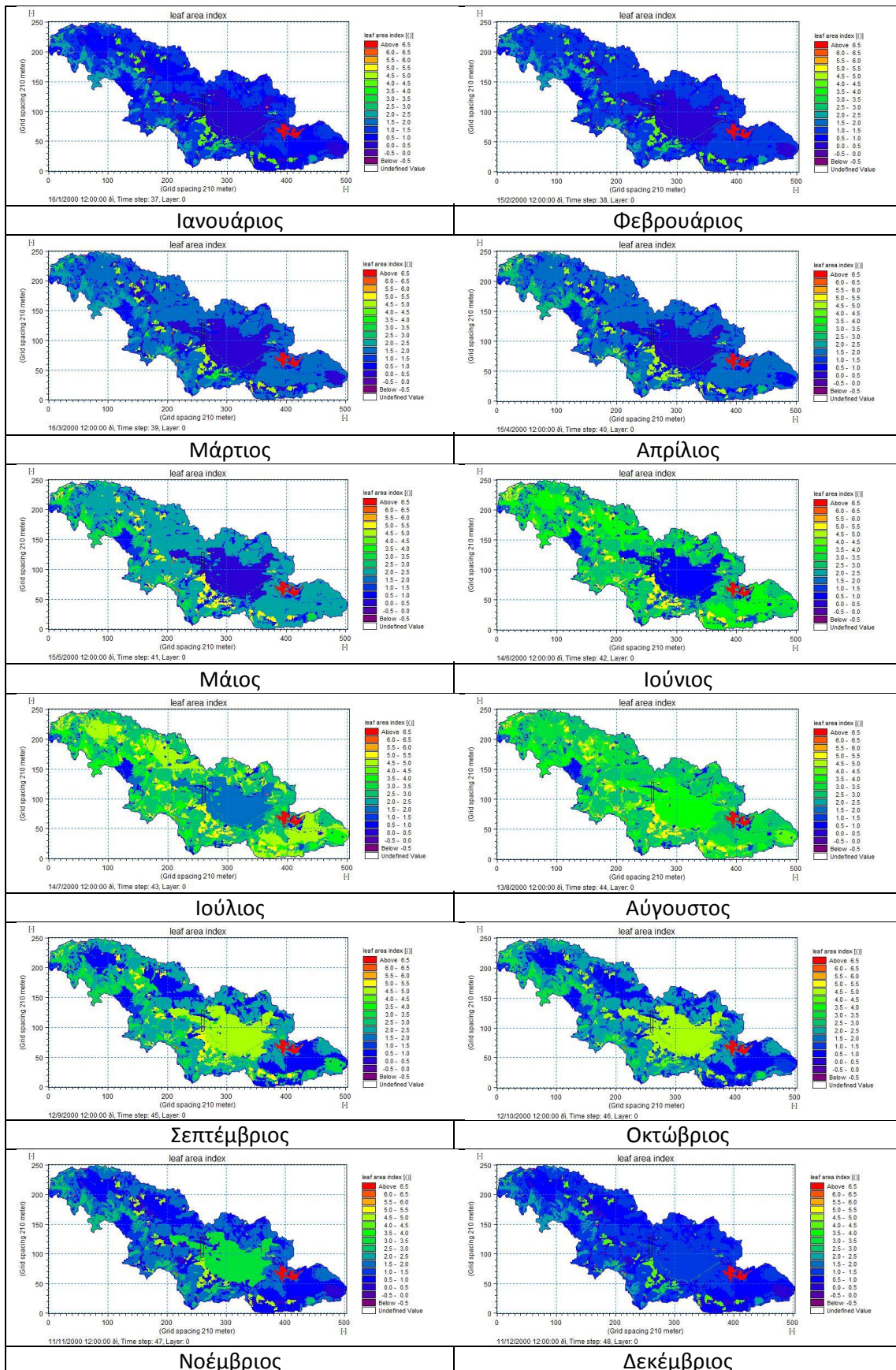
Διάγραμμα 7.23: χάρτης βάθους ριζοστρώματος της περιοχής μελέτης







Διάγραμμα 7.24: Χάρτης Διαθέσιμου νερού στο ριζόστρωμα της περιοχής μελέτης



Διάγραμμα 7.25: Χάρτης δείκτη φιλικής επιφάνειας

Στο διάγραμμα 7.17 παρουσιάζεται ο χάρτης βροχόπτωσης στην λεκάνη του βοιωτικού Κηφισού για τα έτη 1997 (υγρό έτος) και 2000 (ξηρό έτος). Η βροχόπτωση είναι πολύ μεγάλη κατά τους χειμερινούς μήνες ιδιαίτερα το έτος 1997 (υγρό έτος), από την άνοιξη οι βροχές μειώνονται και ελαχιστοποιούνται κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Στην παρούσα μελέτη, το πεδίο βροχόπτωσης εισάγεται κατανεμημένο βάση των πολυγώνων Thiessen των αντίστοιχων σταθμών του υδρολογικού δικτύου για αυτό το λόγο ο χάρτης στο διάγραμμα 7.17 είναι χωρισμένος σε πολύγωνα.

Στο διάγραμμα 7.18 φαίνεται ο χάρτης εξάτμισης από της λεκάνης του βοιωτικού Κηφισού για τα έτη 1997 (υγρό έτος ) και 2000 (ξηρό έτος). Η εξάτμιση τους καλοκαιρινούς μήνες είναι αρκετά μικρή αφού δεν υπάρχει μεγάλη ποσότητα νερού για να εξατμιστεί, ενώ τον χειμώνα εμφανίζει αύξηση.

Στο διάγραμμα 7.19 παρουσιάζεται ο χάρτης διαπνοής της λεκάνης του βοιωτικού Κηφισού για τα έτη 1997 (υγρό έτος ) και 2000 (ξηρό έτος). Το χειμώνα παρατηρείται χαμηλή διαπνοή στα φυτά αφού λόγω χαμηλών θερμοκρασιών κλείνουν τα στόματα με αποτέλεσμα να διαπνέουν ελάχιστα, μόλις την άνοιξη αυξηθεί η θερμοκρασία και τα φυτά ανθίζουν έχουμε μεγάλη αύξηση της διαπνοής. Η διαπνοή εξαρτάται και από το είδος του φυτού και της χρήσεις γης , στην περιοχή της Κωπαΐδας κατά τους χειμερινούς μήνες παρατηρείται ελάχιστη διαπνοή ενώ από την αρχή του καλοκαιρού που αρχίζουν οι καλλιέργειες παρατηρείται μέγιστη διαπνοή.

Στο διάγραμμα 7.20 παρουσιάζεται ο χάρτης Πραγματικής εξατμισοδιαπνοής της λεκάνης του βοιωτικού Κηφισού για τα έτη 1997 (υγρό έτος) και 2000 (ξηρό έτος). Η εξατμισοδιαπνοή αρχίζει να αυξάνεται όσο πλησιάζει η άνοιξη και αυξάνεται η διαπνοή των φυτών και ξανά μειώνεται τους καλοκαιρινούς μήνες κατά τους οποίους δεν υπάρχει μεγάλη ποσότητα νερού για να εξατμιστεί. Το έτος 1997 παρατηρούμε αυξημένη εξατμισοδιαπνοή καθολη τη διάρκεια του χρόνου σε σχέση με τη το 2000 κατά το οποίο είχαμε λιγότερες βροχοπτώσεις.

Στο διάγραμμα 7.21 παρουσιάζεται ο χάρτης μεταφοράς νερού ανάμεσα σε ακόρεστη και κορεσμένη ζώνη της λεκάνης του βοιωτικού Κηφισού για τα έτη 1997 (υγρό έτος ) και 2000 (ξηρό έτος). Το χειμώνα που έχουμε ελάχιστες βροχές αυτή η ανταλλαγή νερού μεταξύ ακόρεστης και κορεσμένης ζώνης είναι μεγάλη, όσο μειώνονται οι βροχοπτώσεις μειώνεται και η ανταλλαγή νερού. Κατά τους καλοκαιρινούς μήνες που έχουμε ελάχιστες βροχοπτώσεις η ανταλλαγή νερού ανάμεσα σε ακόρεστη και κορεσμένη ζώνη είναι σχεδόν μηδενική. Αξίζει να σημειωθεί ότι το έτος 1997 που είχαμε περισσότερες βροχοπτώσεις από το 2000

είχαμε και ανταλλαγή περισσότερου όγκου νερού ανάμεσα σε ακόρεστη και κορεσμένη ζώνη.

Στο διάγραμμα 7.22 παρουσιάζεται ο χάρτης διήθησης στην ακόρεστη ζώνη της λεκάνης του βοιωτικού Κηφισού για τα έτη 1997 (υγρό έτος ) και 2000 (ξηρό έτος). Το χειμώνα που έχουμε ελάχιστες βροχές η διήθηση νερού στην ακόρεστη ζώνη είναι μεγάλη, όσο μειώνονται οι βροχοπτώσεις μειώνεται και η διήθηση νερού. Κατά τους καλοκαιρινούς μήνες που έχουμε ελάχιστες βροχοπτώσεις η διήθηση νερού στην ακόρεστη ζώνη μειώνεται.

Στο διάγραμμα 7.23 παρουσιάζεται ο χάρτης βάθους ριζοστρώματος της περιοχής μελέτης για κάθε μήνα του έτους για τα έτη 1997 (υγρό έτος ) και 2000 (ξηρό έτος). Το βάθος ριζοστρώματος εξαρτάται από τις χρήσεις Γής της εκάστοτε περιοχής. Η Κωπαΐδα που χρησιμοποιείται κυρίως για καλλιέργειες κατά τους χειμερινούς μήνες δεν έχει σχεδόν καθόλου βλάστηση μέχρι να φτάσουμε στο Μάιο οπότε και εμφανίζονται οι καλλιέργειες στο χάρτη. Αντίθετα περιοχές με άγρια και δασική βλάστηση εμφανίζονται όλη τη διάρκεια του χρόνου και παρουσιάζουν πολύ μεγαλύτερο βάθος ριζοστρώματος απ ότι οι καλλιέργειες,

Στο διάγραμμα 7.24 φαίνεται ο χάρτης διαθέσιμου νερού στο ριζόστρωμα της περιοχής μελέτης για κάθε μήνα του έτους για τα έτη 1997 (υγρό έτος ) και 2000 (ξηρό έτος). Όπως φαίνεται στο διάγραμμα το χειμώνα το ριζόστρωμα έχει διαθέσιμο πολύ περισσότερο νερό απ ότι το καλοκαίρι αφού το χειμώνα έχουμε πολύ περισσότερες βροχές από το καλοκαίρι. Το έτος 1997 (υγρό έτος ) παρατηρείτε περισσότερο διαθέσιμο νερό στο ριζόστρωμα νερό απ ότι το έτος 2000 (ξηρό έτος). Χαρακτηριστική είναι η λίμνη Υλίκη που παρουσιάζεται με κόκκινο χρώμα όλους τους μήνες του χρόνου.

Στο διάγραμμα 7.25 παρουσιάζεται ο Χάρτης του δείκτη φιλικής επιφάνειας .Ο δείκτης αυτός εξαρτάται άμεσα από της χρήσεις Γής της περιοχής. Παρατηρούνται οι εναλλαγές βλάστησης στην περιοχή της Κωπαΐδας από το χειμώνα που δεν έχουμε καλλιέργειες μέχρι την άνοιξη που αρχίζει η καλλιεργητική περίοδος.

## 8. Συμπεράσματα - Προτάσεις

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως σκοπό την διερεύνηση των υδρολογικών συνθηκών της λεκάνης απορροής του βοιωτικού Κηφισού με την χρήση του υδρολογικού μοντέλου MikeShe. Η εφαρμογή του μοντέλου βασίστηκε στην προϋπόθεση ότι δεν υπάρχουν απώλειες νερού προς γειτονικές λεκάνες ούτε είσοδος προς την του βοιωτικού Κηφισού.

Οι έντονες βροχοπτώσεις και το ορεινό ανάγλυφο της περιοχής μελέτης κάνουν αναγκαία την ύπαρξη περισσότερων βροχομετρικών σταθμών με ημερήσια καταγραφή των βροχοπτώσεων ώστε να μπορεί στο μέλλον να γίνει ακόμα πιο αναλυτική ρύθμιση του μοντέλου.

Τα τελικά αποτελέσματα της προσομοίωσης για το χρονικό διάστημα των 14 ετών συνοψίζονται στα εξής:

- Κατά την περίοδο προσομοίωσης 1997-2010 παρατηρήθηκε ότι το πιο βροχερό έτος ήταν το 1997 και το πιο ξηρό το 2000.
- Η εκτιμώμενη απορροή ακόλουθη την μέση βροχόπτωση, όσο περισσότερες βροχοπτώσεις τόσο μεγαλύτερη απορροή.
- Σε ξηρές περιόδους όταν βρέχει μετά από καιρό, εμφανίζεται ελάχιστη έως καθόλου απορροή, διότι το νερό απορροφάται από το έδαφος και δεν είναι αρκετό για να απορρεύσει.
- Η σύγκριση της εκτιμώμενης από το μοντέλο απορροής και της απορροής που έχει μετρηθεί στην διώρυγα της Καρδίτσας έδωσε αρκετά καλά αποτελέσματα, Όσο αυξάνεται η μετρημένη απορροή αυξάνεται και η εκτιμώμενη από το μοντέλο και όσο μειώνεται, μειώνεται και η εκτιμώμενη. Βεβαία σε τάξη μεγέθους η εκτιμώμενη απορροή από το μοντέλο Mikeshe είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή που μετρήθηκε στη διώρυγα της Καρδίτσας καθώς αφορά όλη την λεκάνη του βοιωτικού Κηφισού.

Η λεκάνη του Βοιωτικού Κηφισού έχει μεγάλη υδρολογική και περιβαλλοντική αξία, και πρέπει να γίνει ορθολογική διαχείριση των υδατικών πόρων. Η κυριότερη χρήση νερού είναι η άρδευση, ενώ σημαντικές είναι και οι ποσότητες που αντλούνται από την Υλίκη για την ύδρευση της Αθήνας, ιδιαίτερος σε περιόδους χαμηλής υδροφορίας, προκειμένου να αποφευχθεί η υπερεκμετάλλευση των αποθεμάτων των ταμιευτήρων Μόρνου και Ευήνου.

Οι περιοχές από τις οποίες διέρχεται ο Κηφισός Ποταμός είναι κατεξοχήν αγροτικές περιοχές και το κύριο εισόδημα των κατοίκων προέρχεται από τις γεωργικές καλλιέργειες. Οι υδατικοί πόροι του διαμερίσματος, ενώ σε ετήσια βάση ξεπερνούν αρκετά την αντίστοιχη ζήτηση, δεν επαρκούν για να καλύψουν τις ανάγκες

κατά την αρδευτική περίοδο. Στην ευρύτερη περιοχή του Βοιωτικού Κηφισού αρδεύονται υδροβόρες καλλιέργειες με αποτέλεσμα να κατασπαταλώνται τα υδατικά αποθέματα μέσω γεωτρήσεων . Επίσης σπαταλώνται με την εξατμισοδιαπνοή μεγάλα υδατικά αποθέματα από τον τρόπο ποτίσματος καλλιεργειών ( π.χ. τεχνητή βροχή).

Σε γενικές γραμμές η προσομοίωση θεωρείται αρκετά επιτυχής και θα μπορούσε να βοηθήσει τον διαχειριστή των υδάτινων πόρων να λάβει όσο το δυνατόν πιο έγκυρες αποφάσεις για την διευθέτηση ποικίλων ζητημάτων που αφορούν μια ολοκληρωμένη διαχείριση των υδατικών πόρων.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

1. *Abbott, D.H., Morton, J.L. and Holmes, M.L., 1986. Heat flow measurements on a hydrothermally-active, slow-spreading ridge: The Escanaba Trough: Geophysical Research.*
2. *DHI,2004. «The MIKE SHE User and Technical Reference Manual, Danish Hydraulic Institute, Copenhagen».*
3. *Dreyfus, H., and Dreyfus, S., 1986. Mind over Machine: The Power of Human Intuition and Expertise in the Era of the Computer, Free Press.*
4. *Eom, S. B., Lee, S. M., Kim E. B., and Somarajan, C., 1998. A survey of decision support system applications (1994-1998), Journal of Operational Research.*
5. *French, S., 2000. Decision Analysis and Decision Support Systems, 3rd draft edition.*
6. *Gleick, P. H., 1996. Water resources. In Encyclopedia of Climate and Weather, ed. By S. H. Schneider, Oxford University Press, New York, vol. 2, pp.817-823.*
7. *Jost Knauss,2002 Υστεροελλαδικά υδραυλικά έργα, Αθήνα.*
8. *Petrascheck W.,1963. Τα κοιτάσματα σιδηρονικελιούχων μεταλλευμάτων της Λοκρίδος, Ι.Γ.Ε.Υ. Γεωλ. Γεωφ. Μελ. III, Αθήνα*
9. *Perlman, H., Makropoulos, C., and Koutsoyiannis, D., 2005. The water cycle, United States Geological Survey.*
10. *Philip B. Bedient, Wayne C. Huber, Baxter E. Vieux,2002. Hydrology and Floodplain Analysis.*
11. *Phillipson A.1962, Die friechischen landschaften Ph. I, Teil II. Frankfurt am Main.*
12. *Sage, A. P., 1993. Associates systems for decision support, Information and Decision Technologies.*
13. *Thompson, J.R.; Refstrup Sørensen, H.; Gavin, H.; Refsgaard, A.; (2004) Application of the coupled MIKE SHE/MIKE 11 modelling system to a lowland wet grassland in southeast England. **Journal of Hydrology** , 293 (1-4) pp. 151-179*
14. *Turban, E., and Aronson, J.,1998: Decision Support Systems and Intelligent Systems, Prentice-Hall, New Jersey.*
15. *Watkins, D. W., and McKinney, D. C. 1995: Recent developments associated with decision support systems in water resources, U.S. National Report to*

16. Ασημακόπουλος, Δ., 2008. Προοπτικές και Εργαλεία για την Ορθολογική Διαχείριση της Ζήτησης Νερού. Παρουσίαση στο πλαίσιο της ημερίδας «Το νερό στην εποχή της κλιματικής αλλαγής». Αθήνα, 28 Μαρτίου.
17. Βαράνου, Α., Δασακλής, Α., Φωτόπουλος, Φ., και Μπαλτάς, Ε., 2005. Διαχείριση Υδατικών Πόρων, Σημειώσεις του μαθήματος "Διαχείριση Υδατικών Πόρων" του Δ.Π.Μ.Σ. "Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων", ΕΜΠ, Αθήνα.
18. Γιουρουκέλη, Μ., 2008. Χάνονται 1,6 δις. km<sup>3</sup> νερού το χρόνο στην Ελλάδα. ΗΜΕΡΗΣΙΑ.
19. Δάνδολος, Η., 2003. Έκθεση υδρογεωλογικής αναγνώρισης Δήμου Δαύλειας Νομού Βοιωτίας. Προγραμματική σύμβαση Κ.Ε.Δ.Κ.Ε. - ΥΠ.ΕΣ.Δ.Α.Α - Ι.Γ.Μ.Ε., Γ. 2678/Υ. 1906, Αρ. Αιτ. 335, Ι.Γ.Μ.Ε., Αθήνα.
20. ΔΟΜΗ Εγκυκλοπαίδεια, 2004. Βοιωτία (λήμμα), Τόμος 5, σελίδες 432 - 436, Αθήνα.
21. Ευθυμιάδης, Α. & Κόζαρης, Ξ., 2002. Μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων του έργου: Θερμοηλεκτρικός σταθμός Λιβαδειάς τεχνολογίας συνδυασμένου κύκλου, καυσίμου φυσικού αερίου ισχύος 390 MW. Τοποθεσία εγκατάστασης: Περιοχή Αγίου Βλασίου του Δήμου Χαιρώνειας. Enelco A.E.
22. Ευστρατιάδης, Α., Καραβοκυρός, Γ., Κουκουβίνος, Α., Κουτσογιάννης, Δ., Μαμάσης, Ν., Ναλμπάντης, Ι., Ρόζος, Ε., Νασίκας, Α., Νικολόπουλος, Δ., Κούτρα, Μ., 2004. Σχέδιο διαχείρισης του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας - Έτος 2003-2004, Εκσυγχρονισμός της εποπτείας και διαχείρισης του συστήματος των υδατικών πόρων ύδρευσης της Αθήνας, ΕΜΠ, Αθήνα.
23. Ευστρατιάδης, Α., και Κουτσογιάννης, Δ., 2004. Κασταλία (έκδοση 2.0): Σύστημα στοχαστικής προσομοίωσης υδρολογικών μεταβλητών, Εκσυγχρονισμός της εποπτείας και διαχείρισης του συστήματος των υδατικών πόρων ύδρευσης της Αθήνας, Τεύχος 23, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων-ΕΜΠ, Αθήνα.
24. Ευστρατιάδης Α., Ι. Ναλμπάντης, Ε. Ρόζος, 2004. Μοντέλο προσομοίωσης του υδρολογικού κύκλου στη λεκάνη Βοιωτικού Κηφισού – Υλίκης, Εκσυγχρονισμός της εποπτείας και διαχείρισης του συστήματος των υδατικών πόρων ύδρευσης της Αθήνας, Τεύχος 21, 196 σελίδες, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
25. Ευστρατιάδης, Α., Κουτσογιάννης, Δ., Κοζάνης, Σ., 2005. Θεωρητική τεκμηρίωση μοντέλου στοχαστικής προσομοίωσης υδρολογικών μεταβλητών «Κασταλία», Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Συστημάτων σε Σύζευξη με Εξελιγμένο Υπολογιστικό Σύστημα (ΟΔΥΣΣΕΥΣ), Τεύχος 3, ΕΜΠ, Αθήνα. την 4η Προγραμματική Περίοδο 2007-2013, Αθήνα.

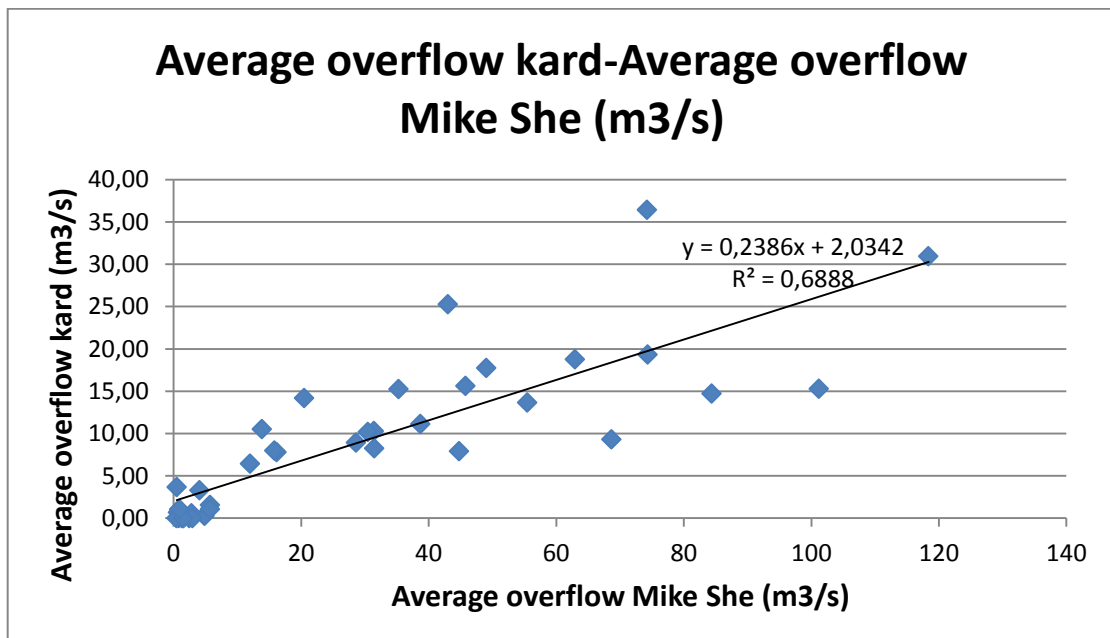
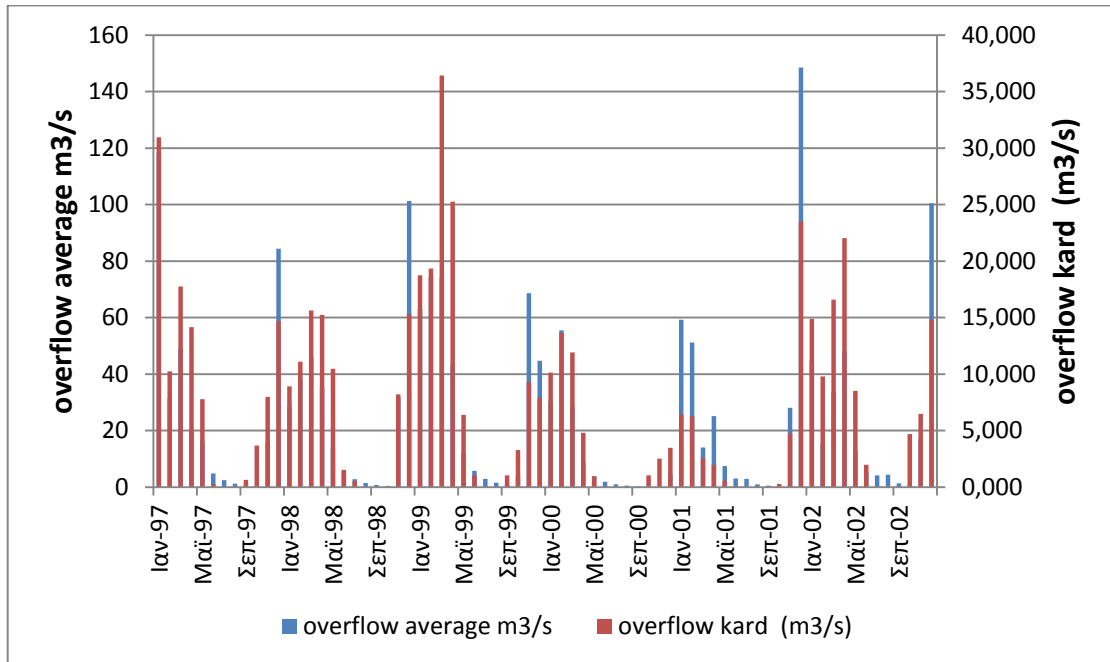


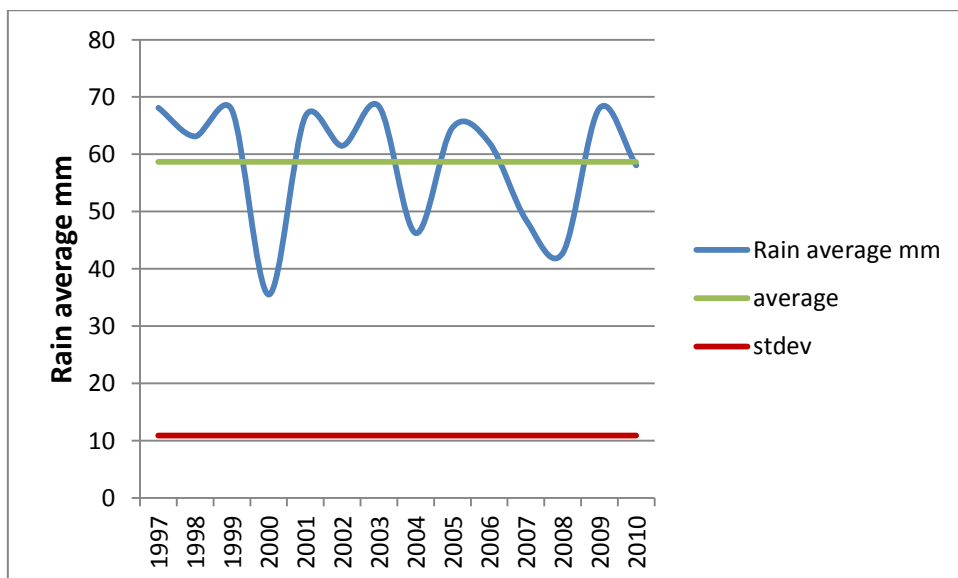
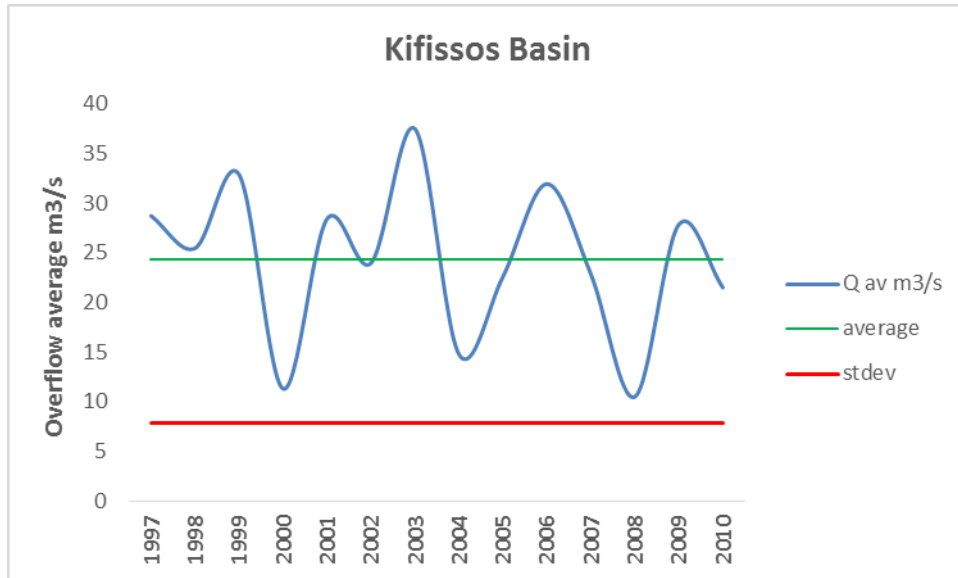
26. *Ευστρατιάδης, Α. και Καραβοκυρός, Γ., 2007. Το μαθηματικό μοντέλο του Υδρονομέα, Εκσυγχρονισμός της εποπτείας και διαχείρισης του συστήματος των υδατικών πόρων ύδρευσης της Αθήνας, ΕΜΠ, Αθήνα.*
27. *Ευστρατιάδης, Α., Καραβοκυρός, Γ., Κουτσογιάννης, Δ., 2007. Θεωρητική τεκμηρίωση μοντέλου προσομοίωσης και βελτιστοποίησης της διαχείρισης υδατικών συστημάτων «ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ», Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Συστημάτων σε Σύζευξη με Εξελιγμένο Υπολογιστικό Σύστημα ΟΔΥΣΣΕΥΣ, Τεύχος 9, ΕΜΠ, Αθήνα.*
28. *Ευστρατιάδης, Α., Μαμάσης, Ν., Κουτσογιάννης, Δ., 2007: Συστήματα υποστήριξης αποφάσεων σε προβλήματα διαχείρισης υδατικών πόρων, Σημειώσεις στο πλαίσιο του μαθήματος "Διαχείριση Υδατικών Πόρων" του Δ.Π.Μ.Σ. "Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων", ΕΜΠ, Αθήνα.*
29. *Ευστρατιάδης Α., 2008. Μη γραμμικές μέθοδοι βελτιστοποίησης υδατικών πόρων, με έμφαση στη βαθμονόμηση υδρολογικών μοντέλων, Διδακτορική Διατριβή, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.*
30. *Ζαρρής, Δ., Ε. Ρόζος, και Δ. Σακελλαριάδης, 1999. Περιγραφή των υδατικών συστημάτων, Εκτίμηση και Διαχείριση των Υδατικών Πόρων της Στερεάς Ελλάδας - Φάση 3, Τεύχος 36, 160.*
31. *Καραβίτης Χ., 2005. Διαχείριση Περιβάλλοντος*
32. *Κολοκυθά, Ε., 2000. Η σταγόνα και το γκαζόν: Αυτοί που καταναλώνουν τις μεγαλύτερες ποσότητες νερού πληρώνουν από ελάχιστα έως καθόλου, Το ΒΗΜΑ, 12 Ιανουαρίου.*
33. *Κουσουρής, Θ., 2007. ΥΔΑΤΙΚΟΙ ΠΟΡΟΙ (Προέλευση, Ταξινόμηση, Κατανομή, Αποθέματα, Υγρότοποι, Αξιοποίηση, Διαχείριση)*
34. *Κουσουρής, Θ., 2008. Βιωματικά Εργαλεία Ευαισθητοποίησης ως προς το Νερό, τις Αξίες και Λειτουργίες του.*
35. *Κουτσογιάννης, Δ., 2007. Εισαγωγή: έννοιες, μεθοδολογία, μεγέθη, πλαίσιο διαχείρισης υδατικών πόρων στην Ελλάδα, Σημειώσεις στο πλαίσιο του μαθήματος "Διαχείριση Υδατικών Πόρων" του Δ.Π.Μ.Σ. "Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων", ΕΜΠ, Αθήνα.*
36. *Κουτσογιάννης, Δ., 2007. Έργα Αξιοποίησης των Υδατικών Πόρων, Σημειώσεις στο πλαίσιο του μαθήματος "Διαχείριση Υδατικών Πόρων" του Δ.Π.Μ.Σ. "Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων", ΕΜΠ, Αθήνα.*
37. *Κοψιάτη, Μ., 2009. Διερεύνηση στρατηγικών παραμετροποίησης υδρογεωλογικού υπομοντέλου του λογισμικού Υδρόγειος - Εφαρμογή στη λεκάνη του Βοιωτικού Κηφισού, Μεταπτυχιακή εργασία, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.*

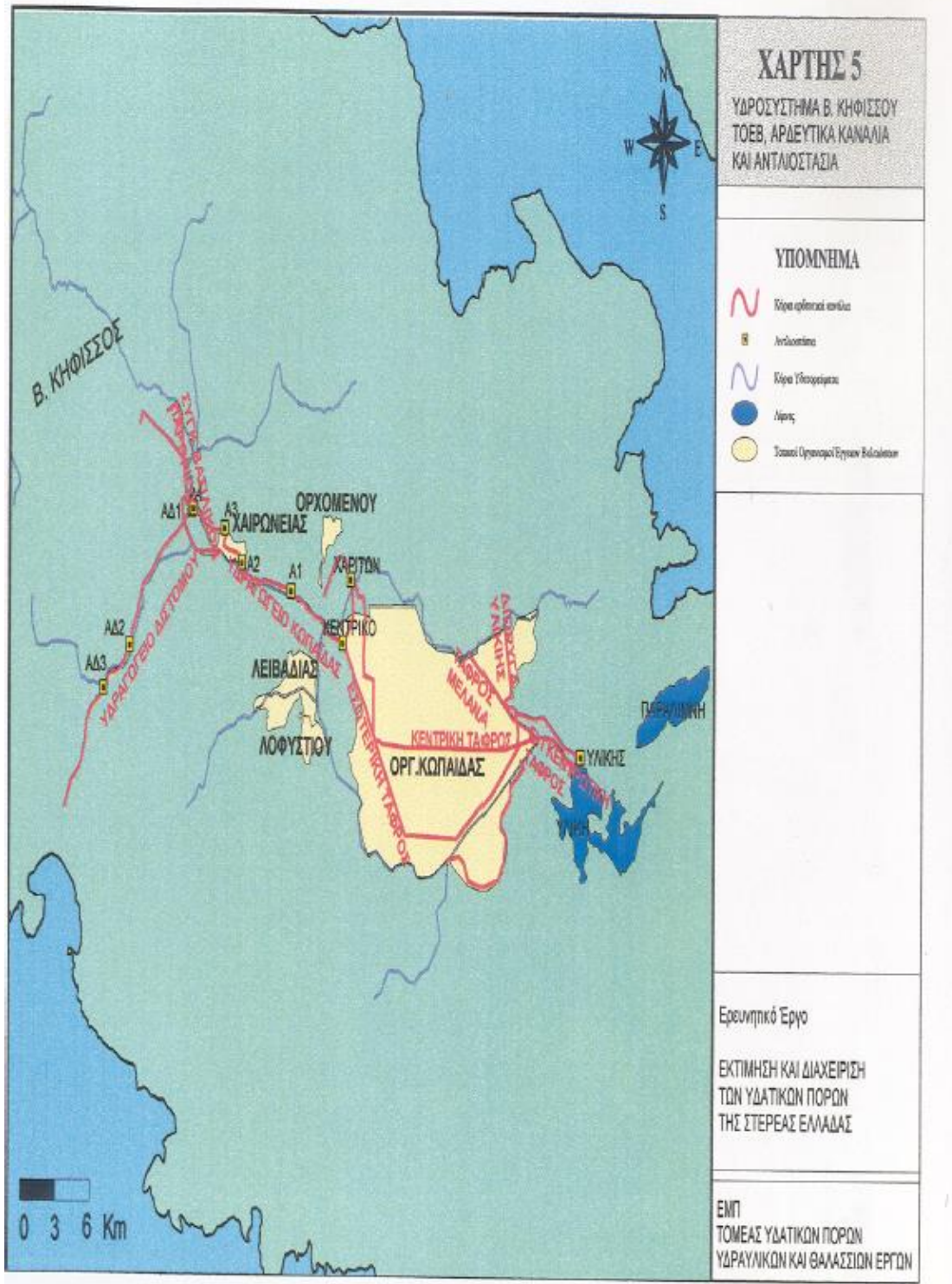
38. Κυριακού, Γ., Νικολάου, Α., και Ε. Χρυσάφοπούλου, 2009. Παρεμβάσεις για την Ποιοτική και Ποσοτική Διαχείριση του Υδάτινου Δυναμικού των Λεκανών Απορροής του Κηφισού Ποταμού, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Τμήμα Ανατολικής Στερεάς, Λαμία.
39. Λάζος, Χρήστος Δ., 1993. Μηχανική και τεχνολογία στην αρχαία Ελλάδα, Εκδόσεις ΑΙΟΛΟΣ.
40. Μαμάσης, Ν., 2007. Διαχείριση Υδατικών Πόρων, Σημειώσεις στο πλαίσιο του μαθήματος "Υδατικό Περιβάλλον και Ανάπτυξη" του Δ.Π.Μ.Σ. "Περιβάλλον και Ανάπτυξη", ΕΜΠ, Αθήνα.
41. Μαριολάκος Ηλίας, Αποστραγγιστικά -υδραυλικά έργα των Μινύων, Αθήνα
42. Μιμίκου, Μ., 2001: Κι όμως είναι αγαθό εν ανεπαρκεία- Ελλάδα: Και «πνιγμένη» και διψασμένη, ΕΛΕΥΘΕΡΟΤΥΠΙΑ, 21 Αυγούστου.
43. Μέγας Γ., 2012. Εφαρμογή Συστημάτων Υποστήριξης Αποφάσεων (DSS) για τη Διαχείριση των Υδατικών Πόρων στην Λεκάνη Απορροής του Άνω Ρου του Αράχθου", Εθνικό Μετσόβιο πολυτεχνείο-Πανεπιστήμιο Πειραιώς, Αθήνα.
44. Μεσόγειος SOS, 2008. Η λειψυδρία προ των πυλών, Δίκτυο Μεσόγειος SOS.
45. Μοντεσάντου, Β., 1999. Σημειώσεις Λιμνολογίας-Ποτάμια Υδροσυστήματα.
46. Μουλαΐδου, Φ. και Τσακαλίδου, Φ., 2004. Το πρόβλημα του Νερού, Λευκωσία.
47. Μυλόπουλος, Ι., 2000. Διαχείριση της Ζήτησης και Κοστολόγηση Νερού, Ελληνική Επιτροπή Υδάτων.
48. Μυλόπουλος, Ι., 2000. Αγαθό εν ανεπαρκεία, ΤΟ ΒΗΜΑ, 12 Νοεμβρίου.
49. Μυλόπουλος, Ι., 2007. Νερό ο Επόμενος εφιάλτης
50. Μυλόπουλος, Ι., 2008. Είναι το νερό Οικονομικό Αγαθό;
51. Ξανθόπουλος, Θ. και Κουτσογιάννης, Δ., 1997. Υδατικοί Πόροι, Τεχνολογία
52. Παγούνης Μ., Θ. Γκέρτσος, 1998. Αποτελέσματα υδρογεωλογικής αναγνώρισης κοινοτήτων Αγ. Τριάδας και Αγ. Άννας, Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών.
53. ΠΑΠΥΡΟΣ LAROUSSE BRITANNICA, (2007), Εγκυκλοπαίδεια, Κωπαΐδα (λήμμα), Τόμος 32, σελίδες 52-52, Αθήνα.
54. Παναγιωτίδης, Π., 2007. Διαχείριση Υδατικών Οικοσυστημάτων Παράκτια & Μεταβατικά Ύδατα, Διάλεξη του Δ.Π.Μ.Σ. "Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων", ΕΜΠ, Αθήνα.

55. Παπαγιαννοπούλου Α., Α. Λέτσιος, 1971. Υδρογεωλογική μελέτη Κωπαϊδικού Πεδίου και Βοιωτικού Κηφισού, 144 σελίδες, Υπουργείο Γεωργίας Υ.Ε.Β., Αθήνα.
56. Παπαρρίζος, Σ., 2012. Μελέτη του χειμαρρικού περιβάλλοντος του ποταμού Σπερχειού με το ολοκληρωμένο, υδρολογικό, φυσικής βάσης μοντέλο MIKE - SHE και χρήση GIS. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Ορεστιάδα.
57. Σταματάκος Δ., 2010. «Εφαρμογή του μοντέλου Mike She σε περιόδους κλιματικής αλλαγής», Γεωπονικό Πανεπιστημίο Αθηνών, Αθήνα.
58. Σύλλας, Χ., 2008. Πρόχειρο το Εθνικό Σχέδιο Διαχείρισης Υδάτων, ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΗ.
59. Σουφλιάς, Γ., 2008. Εθνικό Πρόγραμμα Διαχείρισης και Προστασίας των Υδατικών Πόρων.
60. Τερζής, Γ., 2006: Τεράστια σπατάλη νερού για άρδευση, ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΗ, 17 Μαΐου.
61. Τσακίρης, Γ., 1995: Εισαγωγή στη Διαχείριση Υδατικών Πόρων. Υδατικοί Πόροι:

## Παράρτημα







## ΣΧΕΔΙΟ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΩΝ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΛΕΚΑΝΗΣ ΒΟΙΩΤΙΚΟΥ ΚΗΦΙΣΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΕΚΤΑΚΤΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΤΟΥ ΛΕΚΑΝΟΠΕΔΙΟΥ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΗΛΙΑΣ ΔΑΔΛΩΔΟΣ Υδραυλικό ΙΓΜΕ, υπεύθυνο έργων - ΑΝΤΩΝΗΣ ΑΓΓΕΛΟΠΟΥΛΟΣ ΕΥΔΑΠ, Γεωλόγο Γεωφυσικό - ΚΩΣΤΑΣ ΡΙΠΗΣ ΕΥΔΑΠ, Μsc Γεωλόγο Μηχανικό

### ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ :

ΕΚΤΑΣΗ: 1952,2 km<sup>2</sup>  
ΜΕΣΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΛΕΚΑΝΗΣ: 430m  
ΥΔΡΟΠΕΡΑΤΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ: 1482km<sup>2</sup>  
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ: 20%  
ΕΞΑΤΜΙΣΩΔΑΓΙΝΟΗ: 50%



Υπόγεια ρυθμιστικά αποθέματα: 390hm<sup>3</sup>  
Ετήσια κατανάλωση νερού: 200hm<sup>3</sup>

Επικρατούν τα ανθρακικά πετρώματα που διαμορφώνουν τρεις επάλληλες υδροφόρες.

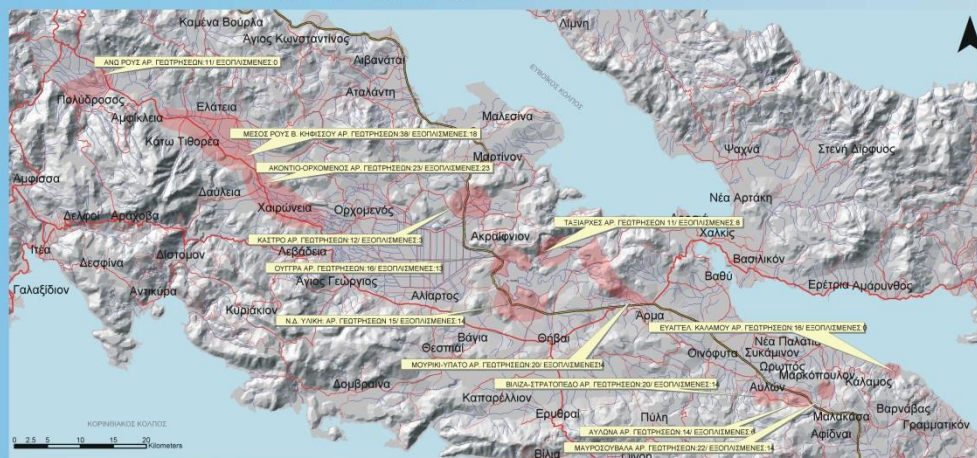
Στους κοκκώδεις σχηματισμούς η υδροφορία αναπτύσσεται στις τεταρταγενείς και Νεογενείς αποθέσεις.

ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΕΣ ΕΙΣΡΟΕΣ: 1450hm<sup>3</sup>/έτος  
ΜΕΣΟ ΕΤΗΣΙΟ ΥΨΟΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ: 827mm

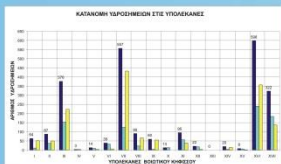


### ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΛΕΚΑΝΟΠΕΔΙΟΥ (ΣΥΝΟΛΟ:160)

ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ ΣΕ ΧΡΗΣΗ: 110 ΣΕ ΑΝΘΡΑΚΙΚΟΥΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ 160hm<sup>3</sup>/έτος

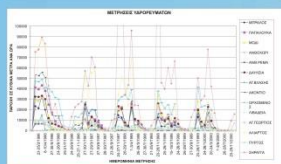


Σε περιόδους ανομβρίας οι εισροές μειώνονται μέχρι και στο 30% των μέσων τιμών της λεκάνης



ΑΡΙΘΜΟΣ ΥΔΡΟΛΗΨΙΩΝ ΛΕΚΑΝΗΣ: 3000

ΣΕ ΑΝΘΡΑΚΙΚΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ: 39%  
ΣΕ ΚΟΚΚΩΔΗ: 61%



ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΤΩΝ ΚΥΡΙΩΝ ΥΔΡΟΡΕΜΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΒΟΙΩΤΙΚΟΥ ΚΗΦΙΣΟΥ



ΜΕΓΑΛΕΣ ΠΗΓΑΙΕΣ ΑΝΑΒΛΥΣΕΙΣ: 24  
ΜΕΣΗ ΔΥΝΑΜΙΚΟΤΗΤΑ ΠΗΓΩΝ: 290 hm<sup>3</sup>/έτος

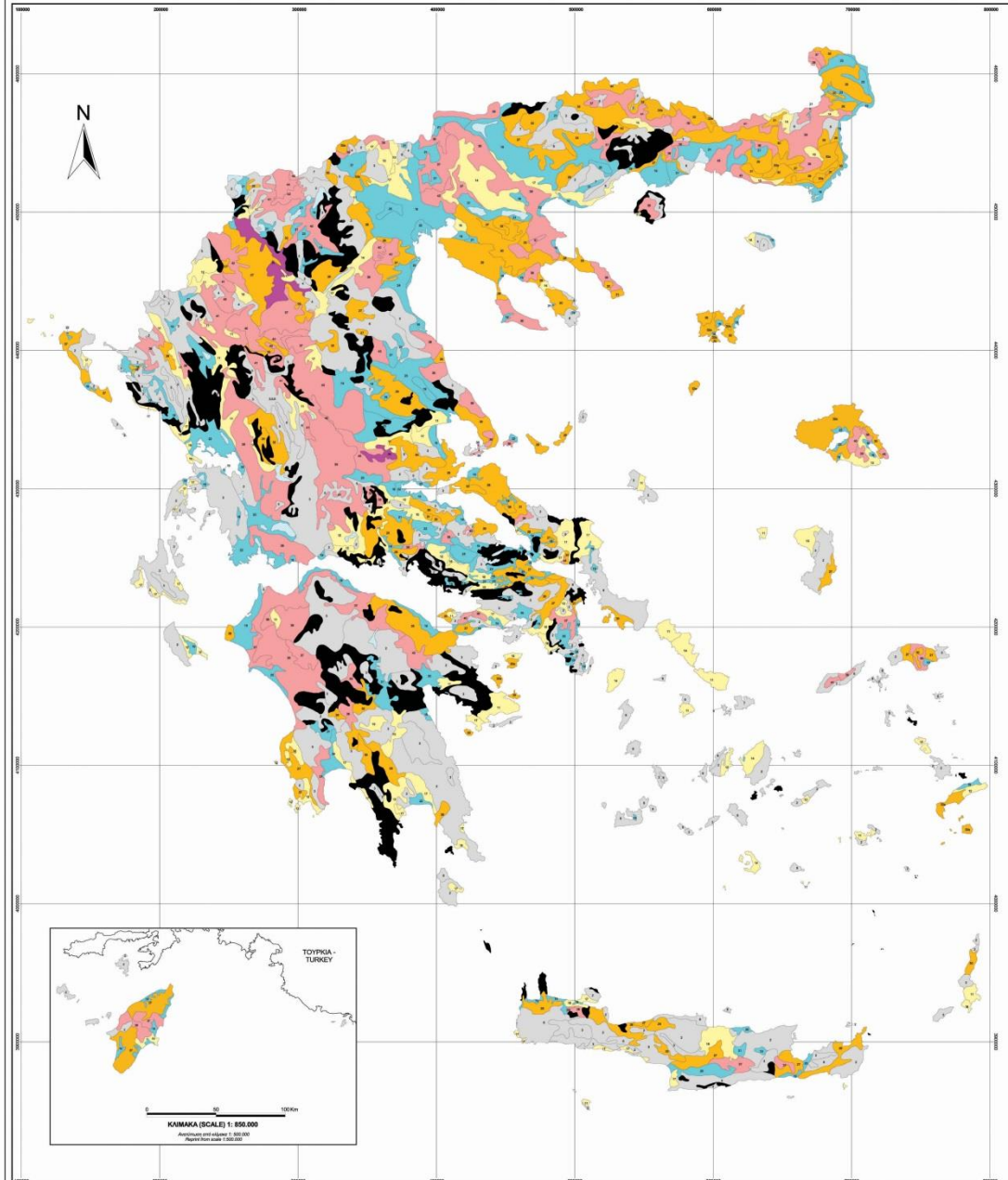
Για την αντιμετώπιση εκτάκτων αναγκών ύδρευσης του Λεκανοπέδιου, πρέπει να εκπονηθεί σχέδιο διαχείρισης των νερών της λεκάνης. Τα αναγκαία κύρια βήματα για το σκοπό αυτό είναι :

1. Σύσταση ομάδας εργασίας ειδικών σε μόνιμη δραστηριότητα.
2. Εκπόνηση τριών σεναρίων, ανάλογα με την εμμονή της ανομβρίας.
3. Διαχωρισμός των περιοχών της λεκάνης ανάλογα με τη δυναμικότητα των υπόγειων καρστικών υδροφόρων, σε τρεις ζώνες αναγκών.
4. Κατηγοριοποίηση των υδροληψιών ανάλογα με την επανατροφοδοσία με επιλογή από τις γεωτρήσεις ΕΥΔΑΠ και του Οργανισμού Κωπαΐδας σε
  - α) συνεχούς άντλησης, β) άντλησης υγρής περιόδου, γ) βραχύβιες.
5. Μέτρα για την αντιμετώπιση αντιδράσεων τοπικών φορέων.
6. Δημιουργία δικτύου παρακολούθησης με μόνιμους δείκτες ελέγχου για την πρόληψη αρνητικών επιπτώσεων στα υπόγεια νερά.
7. Μέτρα προστασίας των 3 περιοχών, Τιβόρας, Βασιλικών, Λιμνών που διαθέτουν τους παραγωγικότερους ανθρακικούς υδροφόρους.
8. Προτάσεις κατασκευής οραδικών έργων περιορισμού της σαπαλής των υπόγειων νερών ( μικρά ομαδικά αρδευτικά έργα ) και αυτές για περιορισμό της ημερήσιας Κατανάλωσης στο Λεκανοπέδιο.

ΣΥΝΤΑΞΗ: Β. ΖΟΡΑΠΑΣ ΓΕΩΛΟΓΟΣ

# ΧΑΡΤΗΣ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΕΝΩΣΕΩΝ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ - SOIL ASSOCIATIONS MAP OF GREECE

Εθνική Επιτροπή κατά της Ερημοποίησης - Greek National Committee for Combating Desertification  
 Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών - Agricultural University of Athens  
 Συντάκτης : Ν. Γιάνναγλου - Prepared by: N. J. Yassoglou



Water bodies	Rock Outcrops - Ραγιές	Lepidochloa (L2P)	Phanerophytes (P1)	Cereals (C1)	Herbaceous (H1)	Lupinus (L1)
1. Rivers, streams, lakes, reservoirs, ponds, etc.	1. Bare rock, limestone, marble, etc.	1. <i>Lepidochloa</i> spp.	1. <i>Quercus</i> spp.	1. <i>Triticum</i> spp.	1. <i>Medicago</i> spp.	1. <i>Lupinus</i> spp.
2. ...	2. ...	2. ...	2. ...	2. ...	2. ...	2. ...
3. ...	3. ...	3. ...	3. ...	3. ...	3. ...	3. ...
4. ...	4. ...	4. ...	4. ...	4. ...	4. ...	4. ...
5. ...	5. ...	5. ...	5. ...	5. ...	5. ...	5. ...
6. ...	6. ...	6. ...	6. ...	6. ...	6. ...	6. ...
7. ...	7. ...	7. ...	7. ...	7. ...	7. ...	7. ...
8. ...	8. ...	8. ...	8. ...	8. ...	8. ...	8. ...
9. ...	9. ...	9. ...	9. ...	9. ...	9. ...	9. ...
10. ...	10. ...	10. ...	10. ...	10. ...	10. ...	10. ...
11. ...	11. ...	11. ...	11. ...	11. ...	11. ...	11. ...
12. ...	12. ...	12. ...	12. ...	12. ...	12. ...	12. ...
13. ...	13. ...	13. ...	13. ...	13. ...	13. ...	13. ...
14. ...	14. ...	14. ...	14. ...	14. ...	14. ...	14. ...
15. ...	15. ...	15. ...	15. ...	15. ...	15. ...	15. ...
16. ...	16. ...	16. ...	16. ...	16. ...	16. ...	16. ...
17. ...	17. ...	17. ...	17. ...	17. ...	17. ...	17. ...
18. ...	18. ...	18. ...	18. ...	18. ...	18. ...	18. ...
19. ...	19. ...	19. ...	19. ...	19. ...	19. ...	19. ...
20. ...	20. ...	20. ...	20. ...	20. ...	20. ...	20. ...
21. ...	21. ...	21. ...	21. ...	21. ...	21. ...	21. ...
22. ...	22. ...	22. ...	22. ...	22. ...	22. ...	22. ...
23. ...	23. ...	23. ...	23. ...	23. ...	23. ...	23. ...
24. ...	24. ...	24. ...	24. ...	24. ...	24. ...	24. ...
25. ...	25. ...	25. ...	25. ...	25. ...	25. ...	25. ...
26. ...	26. ...	26. ...	26. ...	26. ...	26. ...	26. ...
27. ...	27. ...	27. ...	27. ...	27. ...	27. ...	27. ...
28. ...	28. ...	28. ...	28. ...	28. ...	28. ...	28. ...
29. ...	29. ...	29. ...	29. ...	29. ...	29. ...	29. ...
30. ...	30. ...	30. ...	30. ...	30. ...	30. ...	30. ...
31. ...	31. ...	31. ...	31. ...	31. ...	31. ...	31. ...
32. ...	32. ...	32. ...	32. ...	32. ...	32. ...	32. ...
33. ...	33. ...	33. ...	33. ...	33. ...	33. ...	33. ...
34. ...	34. ...	34. ...	34. ...	34. ...	34. ...	34. ...
35. ...	35. ...	35. ...	35. ...	35. ...	35. ...	35. ...
36. ...	36. ...	36. ...	36. ...	36. ...	36. ...	36. ...
37. ...	37. ...	37. ...	37. ...	37. ...	37. ...	37. ...
38. ...	38. ...	38. ...	38. ...	38. ...	38. ...	38. ...
39. ...	39. ...	39. ...	39. ...	39. ...	39. ...	39. ...
40. ...	40. ...	40. ...	40. ...	40. ...	40. ...	40. ...
41. ...	41. ...	41. ...	41. ...	41. ...	41. ...	41. ...
42. ...	42. ...	42. ...	42. ...	42. ...	42. ...	42. ...
43. ...	43. ...	43. ...	43. ...	43. ...	43. ...	43. ...
44. ...	44. ...	44. ...	44. ...	44. ...	44. ...	44. ...
45. ...	45. ...	45. ...	45. ...	45. ...	45. ...	45. ...
46. ...	46. ...	46. ...	46. ...	46. ...	46. ...	46. ...
47. ...	47. ...	47. ...	47. ...	47. ...	47. ...	47. ...
48. ...	48. ...	48. ...	48. ...	48. ...	48. ...	48. ...
49. ...	49. ...	49. ...	49. ...	49. ...	49. ...	49. ...
50. ...	50. ...	50. ...	50. ...	50. ...	50. ...	50. ...



**ΣΤΑΘΜΟΣ: ΔΙΩΡΥΓΑ  
ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ**

**ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ: Β.ΚΗΦΙΣΟΣ**

**ΝΟΜΟΣ:  
ΒΟΙΩΤΙΑΣ**

	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΕΤΟΣ
1980-1981	15,7	12,1	20,6	42,9	41,6	23,3	19,4	5,9	1,4	0,5	1,5	6,7	16,0
1981-1982	7,1	8,4	11,6	9,9	22,7	35,6	34,1	20,5	8,7	1,6	2,4	4,9	13,9
1982-1983	5,5	8,7	12,4	10,4	11,5	15,9	4,4	1,8	3,1	0,1	0,0	0,0	6,2
1983-1984	2,8	4,9	19,8	16,4	28,1	28,8	30,9	13,4	1,7	1,4	1,3	4,6	12,8
1984-1985	4,4	7,7	10,2	38,6	18,5	24,5	19,8	6,6	2,8	0,0	0,2	2,4	11,3
1985-1986	6,8	10,2	11,6	10,3	16,7	15,7	7,3	3,8	0,8	0,0	0,0	0,7	7,0
1986-1987	6,8	8,4	7,5	16,3	16,5	29,8	28,3	14,1	2,8	0,0	0,0	1,5	11,0
1987-1988	4,7	7,3	7,3	8,5	17,4	24,9	11,5	3,8	0,4	0,0	0,0	0,3	7,2
1988-1989	2,7	7,1	16,3	10,1	7,4	19,5	8,7	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	6,1
1989-1990	3,2	4,1	4,9	5,6	3,8	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	2,1	2,1
1990-1991	2,6	4,2	14,1	15,6	15,7	20,5	18,5	9,1	1,2	0,0	0,0	2,3	8,6
1991-1992	4,1	5,9	7,5	7,8	9,6	10,1	5,2	1,5	0,3	0,0	0,0	1,2	4,4
1992-1993	3,0	3,9	4,6	5,7	6,9	6,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,6
1993-1994	0,6	2,7	3,9	9,7	30,8	16,1	9,6	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,4
1994-1995	7,4	8,1	9,9	22,2	15,5	18,3	14,3	2,0	0,0	0,0	0,0	0,8	8,2
1995-1996	4,1	5,8	11,6	17,4	31,4	26,3	17,2	3,9	4,2	0,1	0,0	1,9	10,3
1996-1997	4,4	5,7	6,8	30,0	11,0	17,2	14,1	7,5	0,3	0,0	0,0	0,7	8,1
1997-1998	3,5	8,0	14,2	8,6	11,9	15,1	15,2	10,2	1,5	0,5	0,0	0,0	7,4
1998-1999	0,0	8,2	14,8	18,2	20,7	35,2	25,3	6,2	1,0	0,0	0,0	1,1	10,9
1999-2000	3,2	9,3	7,6	9,8	14,6	11,92	4,82	0,96	0	0	0	0	5,2
2000-2001	1,04	2,51	3,47	6,44	6,29	2,55	1,97	0,58	0,08	0	0	0	
2001-2002	0,27	4,75	23,5	14,89	9,8	16,59	22,03	8,53	1,97	0	0	0	
2002-2003	4,71	6,48	14,85										
ΑΘΡΟΙΣΜΑ	93,5	143,1	220,5	320,3	358,5	398,9	290,7	116,1	30,2	4,2	6,4	31,3	165,7
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	4,5	6,8	10,5	15,3	17,1	19,0	13,8	5,5	1,4	0,2	0,3	1,5	8,3
ΤΥΠ. ΑΠΟΚΛ.	3,3	2,5	4,9	10,4	9,5	9,5	10,0	5,4	2,1	0,5	0,7	1,9	3,6
ΣΥΝ. ΜΕΤΑΒΛ.	0,7	0,4	0,5	0,7	0,6	0,5	0,7	1,0	1,4	2,2	2,2	1,3	0,4