



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS

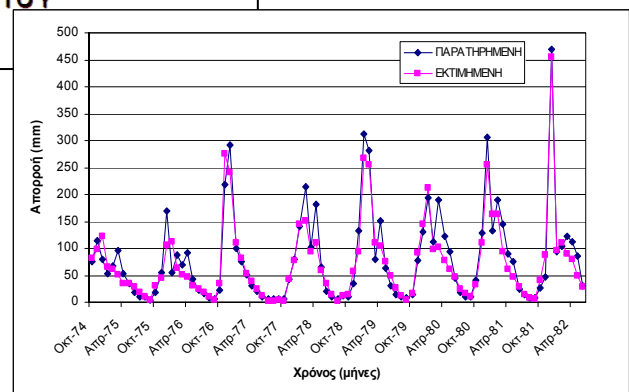
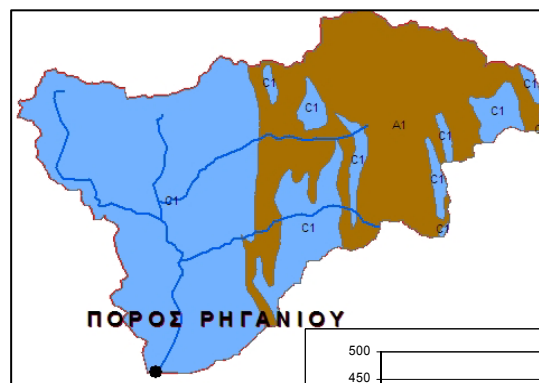
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ
ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ & ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΈΡΓΩΝ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
DEPARTMENT OF WATER RESOURCE
HYDRAULIC & MARITIME ENGINEERING

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΕΝΝΟΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ
ΜΕ ΤΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΛΕΚΑΝΩΝ
ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΜΕ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΖΥΓΟΣ



ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ
ΥΔΑΤΙΚΩΝ
ΠΟΡΩΝ

Εκπόνηση: Αικ. Π. Τζούκα
Επιβλέπων: Ν. Μαμάσης, Λέκτορας Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2007



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ - ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΕΠΙΣΤΗΜΗ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ
ΕΝΝΟΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ
ΜΕ ΤΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΛΕΚΑΝΩΝ
ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΜΕ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΖΥΓΟΣ**

Εκπόνηση: **Αικατερίνη Π. Τζούκα**

Επιβλέπων: **Ν. Μαμάσης, Λέκτορας, Ε.Μ.Π.**

**«ΕΠΙΣΤΗΜΗ &
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ
ΥΔΑΤΙΚΩΝ
ΠΟΡΩΝ»**

Αθήνα, Ιούλιος 2007

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	vii
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	viii
ABSTRACT	xi
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
Αντικείμενο εργασίας.....	1
Διάρθρωση εργασίας.....	2
Υδρολογικές λεκάνες και δεδομένα.....	3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	
ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ – ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ	
1.1 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΑΚΟΡΕΣΤΗΣ – ΚΟΡΕΣΜΕΝΗΣ ΖΩΝΗΣ	7
1.1.1 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΗΣ ΑΚΟΡΕΣΤΗΣ ΖΩΝΗΣ.....	7
1.1.2 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΗΣ ΚΟΡΕΣΜΕΝΗΣ ΖΩΝΗΣ.....	7
1.2 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΚΑΙ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑ	8
1.2.1 ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑ.....	8
1.2.2 ΕΛΛΕΙΨΗ ΓΝΩΣΗΣ	8
1.2.3 ΣΧΕΤΙΚΗ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ.....	8
1.2.4 Η ΚΑΛΥΤΕΡΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ.....	8
1.2.5 ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ.....	9
1.3 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΧΩΡΙΚΗΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑΣ ΖΩΝΩΝ ΨΗΛΗΣ ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΗΣ ΣΕ ΜΗΝΙΑΙΑ ΒΑΣΗ	9

1.4 ΕΛΑΦΟΛΟΓΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΚΑΙ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ	10
1.4.1 ΧΩΡΙΚΗ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑ ΕΔΑΦΩΝ.....	10
1.4.2 ΣΤΡΩΜΑΤΩΣΗ ΕΔΑΦΩΝ.....	10
1.4.3 ΤΟ ΒΑΘΟΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ.....	11
1.4.4 ΣΥΣΤΑΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ.....	11
1.5 ΑΝΘΡΑΚΙΚΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ	12
1.5.1 ΛΙΘΟΛΟΓΙΚΟΙ ΚΑΙ ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ	12
1.5.1.1 ΠΑΧΟΣ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΣ ΚΑΡΣΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΗΣ ΑΚΟΛΟΥΘΙΑΣ ΤΩΝ ΑΝΘΡΑΚΙΚΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ.....	12
1.5.1.2 ΛΙΘΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΑΝΘΡΑΚΙΚΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ.....	12
1.5.1.3 ΤΑ ΑΔΙΑΠΕΡΑΤΑ ΣΤΡΩΜΑΤΑ.....	12
1.5.1.4 ΟΙ ΚΛΑΣΤΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ.....	13
1.5.2 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΔΟΜΗΣ ΤΩΝ ΑΝΘΡΑΚΙΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ.....	13
1.5.2.1 Ο ΒΑΘΜΟΣ ΠΤΥΧΩΣΕΩΝ.....	13
1.5.2.2 ΤΑ ΤΟΠΙΚΑ ΒΥΘΙΣΜΑΤΑ.....	13
1.5.2.3 ΡΗΓΜΑΤΑ.....	14
1.6 ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΟΡΓΑΝΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	14
1.7 ΚΛΑΣΤΙΚΕΣ ΦΛΕΒΕΣ ΚΑΙ ΚΟΙΤΕΣ	15
1.8 ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ – ΕΠΑΝΑΦΟΡΤΙΣΗ ΥΔΡΟΦΟΡΩΝ ΟΡΙΖΟΝΤΩΝ	15
1.9 ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ Η ΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ – ΠΟΡΩΔΕΣ	17
1.9.1 ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ – ΚΛΙΜΑΚΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ.....	18
1.9.2 ΕΝΕΡΓΟ ΠΟΡΩΔΕΣ (Sy) – ΕΙΔΙΚΗ ΚΑΤΑΚΡΑΤΗΣΗ (Sr).....	19
1.10 ΚΑΤΕΙΣΔΥΣΗ	21
1.10.1 Η ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΚΑΤΕΙΣΔΥΣΗΣ.....	21
1.10.2 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΣΥΣΤΑΣΗΣ ΕΔΑΦΩΝ ΣΤΗΝ ΚΑΤΕΙΣΔΥΣΗ.....	21
1.10.3 ΠΑΧΟΣ ΡΟΗΣ.....	23

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ (Σ.Γ.Π)

2.1 ΟΡΙΟΘΕΤΗΣΗ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΛΕΚΑΝΩΝ – ΥΔΑΤΟΡΕΥΜΑΤΩΝ....	27
2.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΚΤΑΣΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ.....	28
2.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΕΡΙΜΕΤΡΟΥ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ.....	30
2.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΗΚΟΥΣ ΥΔΑΤΟΡΕΥΜΑΤΩΝ.....	30
2.5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΛΙΣΕΩΝ ΤΟΥ ΕΛΑΦΟΥΣ.....	32
2.6 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΣΚΙΑΣΗΣ ΤΟΥ ΨΜΕ.....	33
2.7 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΥΨΟΜΕΤΡΟΥ.....	34

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΜΟΝΤΕΛΟ ΖΥΓΟΣ - ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ

3.1 ΤΟ ΑΠΛΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ ΤΗΟΡΝΤΗΒΑΙΤΕ... 35	35
3.2 ΑΔΡΟΜΕΡΕΣ ΜΟΝΤΕΛΟ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ - ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΖΥΓΟΣ..... 36	36
3.3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ – ΕΞΑΓΩΓΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ..... 40	40
3.4 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ – ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ NASH..... 44	44

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΕΣ ΛΕΚΑΝΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

4.1 Case Study 1: ΛΕΚΑΝΗ ΑΧΕΛΩΟΥ	47
4.1.1 ΘΕΣΗ – ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ...	47
4.1.2 ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	48
4.1.3 ΓΕΩΛΟΓΙΑ – ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ.....	52
4.1.4 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ – ΘΕΣΗ ΚΡΕΜΑΣΤΑ.....	58
4.1.5 ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	59
4.2 Case Study 2: ΛΕΚΑΝΗ ΑΡΑΧΘΟΥ	
4.2.1 ΘΕΣΗ – ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ...	64
4.2.2 ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	65
4.2.3 ΓΕΩΛΟΓΙΑ – ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ.....	68
4.2.3 Α) ΛΕΚΑΝΗ ΑΝΑΝΤΗ ΥΔΡ. ΣΤΑΘΜΟΥ ΑΡΤΑΣ.....	75
4.2.3 Β) ΛΕΚΑΝΗ ΑΝΑΝΤΗ ΥΔΡ. ΣΤΑΘΜΟΥ ΤΣΙΜΟΒΟΥ.....	77
4.2.4 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ.....	81
4.2.4 Α) ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΛΕΚΑΝΗ ΑΡΑΧΘΟΥ.....	81
4.2.4 Β) ΛΕΚΑΝΗ ΤΣΙΜΟΒΟΥ.....	82
4.2.5 ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	83
4.3 Case Study 3: ΛΕΚΑΝΗ ΣΠΕΡΧΕΙΟΥ	88
4.3.1 ΘΕΣΗ – ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ....	88
4.3.2 ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	89
4.3.3 ΓΕΩΛΟΓΙΑ – ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ.....	93
4.3.4 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ – ΘΕΣΗ ΚΟΜΠΟΤΑΔΕΣ.....	101
4.3.5 ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	102
4.4 Case Study 4: ΛΕΚΑΝΗ ΜΟΡΝΟΥ	107
4.4.1 ΘΕΣΗ – ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ..	107
4.4.2 ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	108
4.4.3 ΓΕΩΛΟΓΙΑ – ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ.....	111
4.4.4 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ – ΘΕΣΗ ΑΝΑΝΤΗ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ..	117
4.4.5 ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	118

4.5 Case Study 5: ΛΕΚΑΝΗ ΕΥΗΝΟΥ	122
4.5.1 ΘΕΣΗ – ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ.	122
4.5.2 ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	123
4.5.3 ΓΕΩΛΟΓΙΑ – ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ.....	126
4.5.4 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ – ΘΕΣΗ ΠΟΡΟΣ ΡΗΓΑΝΙΟΥ.....	132
4.5.5 ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	133
4.6 Case Study 6: ΛΕΚΑΝΗ ΒΟΙΩΤΙΚΟΥ ΚΗΦΙΣΣΟΥ	137
4.6.1 ΘΕΣΗ – ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ..	137
4.6.2 ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	138
4.6.3 ΓΕΩΛΟΓΙΑ – ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ.....	140
4.6.4 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ – ΘΕΣΗ ΣΗΡΑΓΓΑ ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ....	147
4.6.5 ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	148
4.7 Case Study 7: ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΣΕΛΕΜΗ	152
4.7.1 ΘΕΣΗ – ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ.	152
4.7.2 ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	153
4.7.3 ΓΕΩΛΟΓΙΑ – ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ.....	157
4.7.4 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ – ΘΕΣΗ ΠΟΤΑΜΙΕΣ.....	164
4.7.5 ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	165
Α) ΓΙΑ 0% ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ ΑΠΟ ΟΡ. ΛΑΣΙΘΙΟΥ.....	166
Β) ΓΙΑ 30% ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ ΑΠΟ ΟΡ. ΛΑΣΙΘΙΟΥ.....	166
Γ) ΓΙΑ 50% ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ ΑΠΟ ΟΡ. ΛΑΣΙΘΙΟΥ.....	167
4.8 Case Study 8: ΛΕΚΑΝΗ ΠΗΝΕΙΟΥ	171
4.8.1 ΘΕΣΗ – ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ..	171
4.8.2 ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	172
4.8.3 ΓΕΩΛΟΓΙΑ – ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ.....	175
4.8.3 Α) ΛΕΚΑΝΗ ΑΝΑΝΤΗ ΥΔΡ. ΣΤΑΘΜΟΥ ΑΛΗ ΕΦΕΝΤΗ...	181
4.8.3 Β) ΛΕΚΑΝΗ ΑΝΑΝΤΗ ΥΔΡ. ΣΤΑΘΜΟΥ ΣΚΟΠΙΑΣ.....	185
4.8.4 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ.....	190
4.8.4 Α) ΛΕΚΑΝΗ ΑΛΗ ΕΦΕΝΤΗ.....	191
4.2.4 Β) ΛΕΚΑΝΗ ΣΚΟΠΙΑΣ	192
4.2.5 ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	193

4.9 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΟΝΤΕΛΟΥ – ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΛΕΚΑΝΩΝ ΣΥΝΟΛΙΚΑ.....	198
4.10 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΧΕΙΡΟΚΙΝΗΤΗΣ ΚΑΙ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΖΥΓΟΣ.....	201
 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	207
Προτάσεις.....	214
 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	216
 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	225
Υπόμνημα υδρολιθικού χάρτη.....	226
Πίνακες τιμών ρύθμισης των παραμέτρων του μοντέλου.....	230

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η ανάθεση και επίβλεψη της παρούσας διπλωματικής εργασίας έγινε από τον Δρ Μηχανικό Νικόλαο Μαμάση, Λέκτορα του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου χωρίς τη βοήθεια του οποίου θα ήταν αδύνατη η διεκπεραίωση της. Τον ευχαριστώ θερμά για τη συνεχή συνεργασία, τη βοήθεια και το ενδιαφέρον του καθόλην τη διάρκεια συγγραφής της.

Ευχαριστώ θερμά τον Διευθυντή του ΔΠΜΣ Γ. Χριστοδούλου και την Μ.Α. Μιμίκου, Πρόεδρο της Σχολής των Πολιτικών Μηχανικών για την ευκαιρία συμμετοχής μου στο διετές κύκλο του Διατμηματικού Μεταπτυχιακού «Επιστήμη και Τεχνολογία Υδάτινων Πόρων», στην Α Κατεύθυνση καθώς και για την άψογη επικοινωνία και συνεργασία μαζί τους.

Στα πλαίσια των ευχαριστιών μου θα πρέπει να αναφέρω τον Αναπληρωτή Καθηγητή Δ. Κουτσογιάννη του τομέα Υδάτινων Πόρων της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου και τον Ομότιμο Καθηγητή Ιωάννη Κουμαντάκη, πρώην Διευθυντή του Εργαστηρίου Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας του τομέα Γεωλογικών Επιστημών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, τους οποίους ευχαριστώ για τη συνεχή μετάδοση των γνώσεων τους και της εμπειρίας τους.

Επίσης ευχαριστώ την ομάδα ΙΤΙΑ του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου και ειδικότερα τους Α. Χριστοφίδη και Σ. Κοζάνη για την παραχώρηση ήδη υπάρχοντος υλικού σχετικά με το μοντέλο Ζυγός.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες δίνονται στον Δρ Πολιτικό Μηχανικό Α. Ευστρατιάδη για τη βοήθεια του όσον αφορά τη συλλογή υδρολογικών δεδομένων, τη λειτουργία του μοντέλου αλλά και τις παρατηρήσεις του στα συμπεράσματα στο τέλος της εργασίας καθώς και το Ν. Δέρβο, ερευνητικό συνεργάτη του εργαστηρίου υδρολογίας ΕΜΠ για τη βοήθεια του στην επεξεργασία των χαρτών.

Η διπλωματική αυτή εργασία χρησιμοποίησε έτοιμα υδρολογικά και υδρογεωλογικά δεδομένα με σχετική επεξεργασία και προσαρμογή στα δεδομένα των αντίστοιχων προς μελέτη περιοχών και για αυτό το λόγο οφείλω να ευχαριστήσω όλους όσους βοήθησαν έμμεσα με δικές τους μελέτες και δημοσιεύσεις για την εκπλήρωση αυτού του σκοπού.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση των υδρολογικών και υδρογεωλογικών παραμέτρων του Αδρομερούς Εννοιολογικού Μοντέλου Υδατικού Ισοζυγίου Ζυγός, το οποίο ανήκει στην ομάδα ΙΤΙΑ του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, με βάση τα χαρακτηριστικά των λεκανών. Αν και το υδρολογικό αυτό μοντέλο, όπως και τα περισσότερα μοντέλα της ίδιας κατηγορίας, έχει ήδη ενσωματωμένο αλγόριθμο για την βελτιστοποίηση των παραμέτρων του τα αποτελέσματα του δεν ανταποκρίνονται ή δεν είναι πάντα κοντά στις πραγματικές τους τιμές.

Από το μοντέλο εξάγονται χρονοσειρές απορροών με βάση δεδομένα βροχόπτωσης, εξατμοδιαπνοής ή αντλήσεων (Βοιωτικός Κηφισσός) και τα αποτελέσματα του συγκρίνονται με μετρημένες τιμές απορροών για καθεμία λεκάνη ξεχωριστά. Οι παράμετροι του ρυθμίστηκαν κατόπιν πολλών δοκιμών και έγινε προσπάθεια να ερμηνευτούν με βάση πρώτα τα υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά των λεκανών και συγκεκριμένα με το είδος και το ποσοστό συμμετοχής των υδρογεωλογικών σχηματισμών στη λεκάνη. Ως κριτήριο αξιολόγησης του μοντέλου επιλέχθηκε ο Συντελεστής Nash ο οποίος στην πλειονότητα των λεκανών προσδιορίστηκε με υψηλές έως πολύ υψηλές τιμές λαμβάνοντας την βέλτιστη τιμή του στην λεκάνη των Κρεμαστών και ακολούθως στις λεκάνες Άρτας, Τσιμόβου, Πόρου Ρηγανίου και Κομποτάδων.

Στη συνέχεια έγινε μία προσπάθεια και με τα υπόλοιπα στοιχεία σχετικά με την μορφολογία, τις χρήσεις γης και το διαχειριστικό καθεστώς των επιλεχθέντων υδρολογικών λεκανών να δοθεί μια φυσική ερμηνεία των παραμέτρων και να καθοριστεί ένα περιορισμένο εύρος διακύμανσης των τιμών αυτών με βάση τα ελληνικά δεδομένα. Για κάθε λεκάνη περιγράφεται η θέση της, παρατίθενται τα βασικά υδρολογικά και υδρογεωλογικά στοιχεία της και κατόπιν εφαρμογής του μοντέλου περιγράφεται διεξοδικά η ευαισθησία του συντελεστή Nash σε καθεμία από τις εννέα παραμέτρους ρύθμισης του ενώ δίνεται μία ερμηνεία των αποτελεσμάτων του. Στο τέλος της εργασίας παρατίθενται συγκεντρωτικοί πίνακες με τις βέλτιστες τιμές των παραμέτρων και για τις δέκα λεκάνες και εξάγονται τα βασικότερα συμπεράσματα σχετικά με τις λεκάνες μελέτης και με τη λειτουργία του μοντέλου.

Η μεταπτυχιακή αυτή εργασία είναι μια προσπάθεια που γίνεται στο χώρο της μοντελοποίησης των υδρολογικών διαδικασιών με στόχο να δώσει μία ερμηνεία της μεταβολής και της συμπεριφοράς των παραμέτρων με βάση τα χαρακτηριστικά των λεκανών. Γίνεται προσπάθεια να καθοριστούν οι πιο εύλογες τιμές των παραμέτρων αλλά και να δοθούν κάποιες κατευθύνσεις προκειμένου ο χρήστης να είναι υποψιασμένος και να έχει κάποιες ενδείξεις για τον πιο σωστό και αντικειμενικό προσδιορισμό τους. Για την επίτευξη αυτού του σκοπού:

1. γίνεται **βιβλιογραφική επισκόπηση** των υδρολογικών μοντέλων και των διεργασιών που προσομοιώνουν. Δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στις παραμέτρους τους, στην σπουδαιότητα και το ρόλο τους στην προσομοίωση των υδρολογικών διεργασιών και οι λόγοι δυσκολίας και αβεβαιότητας που υπάρχουν στον προσδιορισμό τους.

2. Επιλέχθηκε η εφαρμογή του μοντέλου σε **10 διαφορετικές υδρολογικές λεκάνες** από άποψη γεωγραφικής θέσης, μορφολογίας, υδρολογίας και γεωλογίας ούτως ώστε να δειχθεί η ευαισθησία των παραμέτρων του μοντέλου στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους. Οι υδρολογικές λεκάνες οι οποίες επιλέχθηκαν είναι οι εξής:

1. Αχελώος: λεκάνη ανάντη υδρομετρικού σταθμού Κρεμαστών
2. Άραχθος: λεκάνη ανάντη υδρομετρικών σταθμών Τσιμόβου και Άρτας
3. Σπερχειός: λεκάνη ανάντη υδρομετρικού σταθμού Κομποτάδων
4. Εύηνος: λεκάνη ανάντη υδρομετρικού σταθμού Πόρου Ρηγανίου
5. Μόρνος: λεκάνη ανάντη ταμιευτήρα φράγματος Μόρνου
6. Βοιωτικός Κηφισός: λεκάνη ανάντη σήραγγας Καρδίτσας
7. Χείμαρρος Αποσελέμη: λεκάνη ανάντη υδρομετρικού σταθμού Ποταμιών
8. Πηνειός: λεκάνη ανάντη υδρομετρικού σταθμού Αλή Εφέντη και Σκοπιάς.

3. Για την ολοκληρωμένη ανάλυση και παρουσίαση των λεκανών κρίθηκε αναγκαία η **επεξεργασία** τους με τα **Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ)**. Υπολογίστηκαν μέσω κωδικών VBA τα βασικά χαρακτηριστικά των λεκανών με κυριότερα αυτά της έκτασης, της περιμέτρου, του μήκους των κύριων υδατορευμάτων και τα ποσοστά των γεωλογικών σχηματισμών που τις δομούν.

4. Έγινε **χειροκίνητη προσαρμογή** του μοντέλου και περιγράφηκε όσο το δυνατόν αναλυτικότερα η συμπεριφορά του Συντελεστή Nash στις μεταβολές των παραμέτρων. Για τις τιμές των παραμέτρων που βελτιστοποιούν τον συντελεστή δόθηκε μία φυσική ερμηνεία με βάση τα χαρακτηριστικά λεκανών.

5. Προτείνεται ένα εύρος τιμών των παραμέτρων και γίνεται **σύγκριση με την αυτόματη βαθμονόμηση** του μοντέλου προκειμένου να γίνει μία αξιολόγηση των αποτελεσμάτων και των δύο διαδικασιών βαθμονόμησης καθώς και να δοθούν κατευθύνσεις για την καλύτερη εφαρμογή και λειτουργία του μοντέλου.

INTERPRETATION OF CONCEPTUAL HYDROLOGIC MODEL PARAMETERS WITH WATERSHED CHARACTERISTICS

THESIS

TZOUKA P. AIKATERINH

National Technical University of Athens

EXTENDED ABSTRACT

Watershed runoff depends on many factors such as: geology (rock permeability), morphology (slopes, geometry of river net, human interferences) and rainfall (intensity, duration and distribution on catchment area).

The current thesis investigates the hydrological and hydrogeological parameters of lumped conceptual water balanced model ZYGOS which has been planned and constructed by research team of ITIA of National Technical University of Athens. Although ZYGOS model, like most models of this category, constitute an incorporated algorithm for the optimization of its parameters, the results are not always representative or even close to their true values. The parameters of the model have been calibrated after many experiments and there has been an effort to be interpreted and explained firstly according to the hydrogeological characteristics of 10 Greek river basins and particularly according to the types of rocks, their proportion of participation in the basin and according to the percentage of the basic water streams that flow on the geological formations. Secondly, information has been taken into account about altitude, morphologic slopes of basins, the appearance of springs, sea water intrusion in fresh aquifers, land usages, the tectonic status of the studied area and the construction and operation of technical works (reservoirs, net irrigation etc). Most of the above mentioned information has been taken into account in an indirect way for the interpretation of the results of the model. At the end of each basin analysis it is given a description of Nash coefficient sensitivity in variations of the parameters of the model and a justification for its fluctuations and its optimum values that have been defined. Finally in the chapter of conclusions the optimum values of Nash

coefficient and the parameters of the model are presented in total in a table for all 10 basins.

APPLICATION OF GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS

The use of Geographical Information Systems (GIS) was a basic requirement of current thesis in order to set the boundaries of the watersheds and to calculate some of basic characteristics of the basins such as the Area, Perimeter and Length of water streams. The GIS program was of vital importance in calculating the proportion of rocks and geological formations of the basins and in defining the percentage of basic water streams that flow over the geological units.

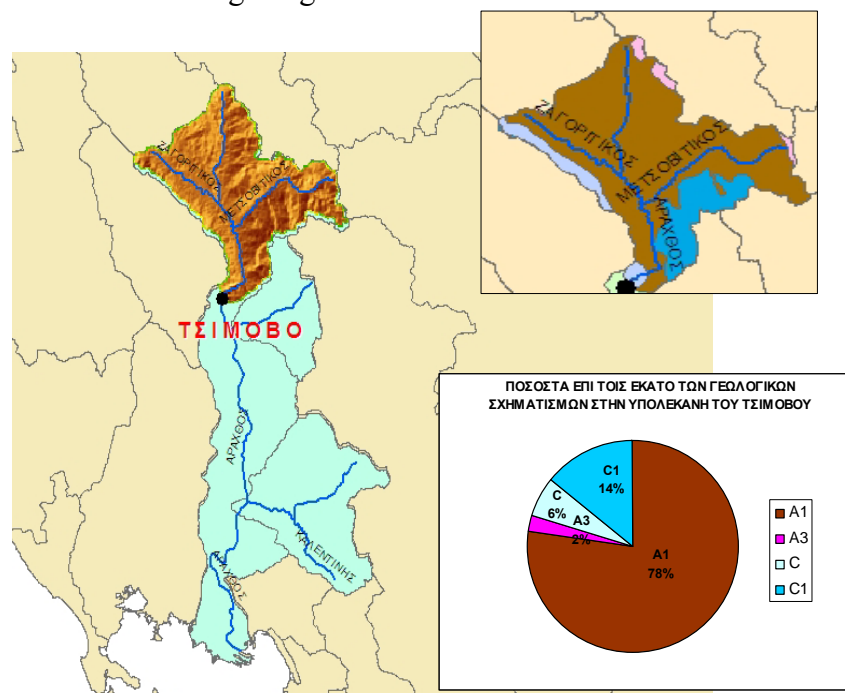


Figure 1: Catchment area upstream of Tsimobo hydrometeorological station and the percentage of concluded geological units.

It is used the Arc Map 9.1 program which is one of the three basic applications of Arc GIS Desktop. The thematic layers that were added and worked out with Arc Map are:

- Rivers.shp
- Basins.shp
- Geological.shp

For the Tsimovo basin in Araxhtos River and for the Sperxeios basin was also available the Digital Terrain Model (DTM) relying on slopes were calculated, the elevation contours were designed and the Hillshade model of DTM was created.

ZYGOS MODEL – A BRIEF PRESENTATION

The water balanced model ZYGOS simulates both surface and underground processes of the water circle. For its operation 1 to 3 time series of monthly step are required and one more runoff time series is necessary for its calibration. Usually 2 time series are required those of the rainfall and the evapotranspiration. The third time series concerns the underground processes and it can be a pumping time series of the underground aquifer. A pumping aquifer time series was available only in the case study of Beotic Kifissos which covers ten consecutive hydrological years (1984-1994).

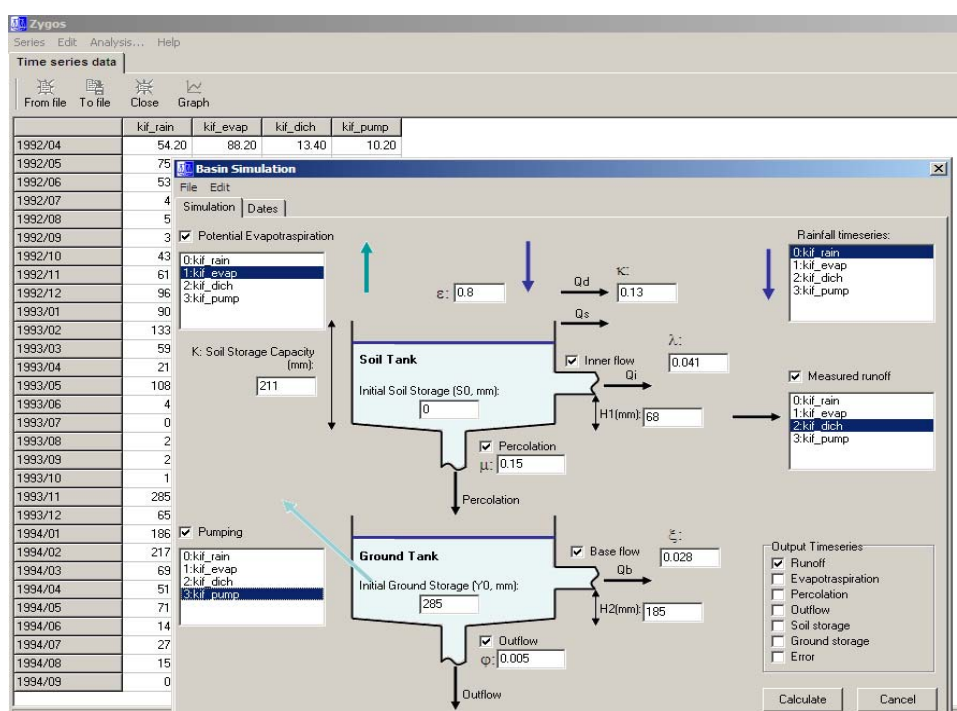


Figure 2: Basin simulation with ZYGOS model. In this form the parameters values are defined and the hydrological processes that model will follow are chosen.

The parameters of ZYGOS are ten in total. Six for the surface processes: K = Soil Storage Capacity (mm), ϵ = the amount of rainfall that it is consumed for the coverage of evapotranspiration needs, k = the amount of rainfall that directly drainage, $H1$ = threshold for the inner flow production (mm), λ = the Soil tank retention coefficient of inner flow and μ = the discharge rate of Soil tank for the production of underground flow. Another four parameters are required for the simulation of the underground processes: Y_0 = the Ground Storage Capacity (mm), $H2$ = threshold for the production of basic flow (mm), ξ = the Ground tank discharge rate for basic flow production and ϕ = the Ground tank retention coefficient for the production of outflow.

After the definition of parameters the estimated runoff is produced from the model which is compared with the observed one. From those two time series Nash Coefficient is calculated which is indicative of model's efficiency.

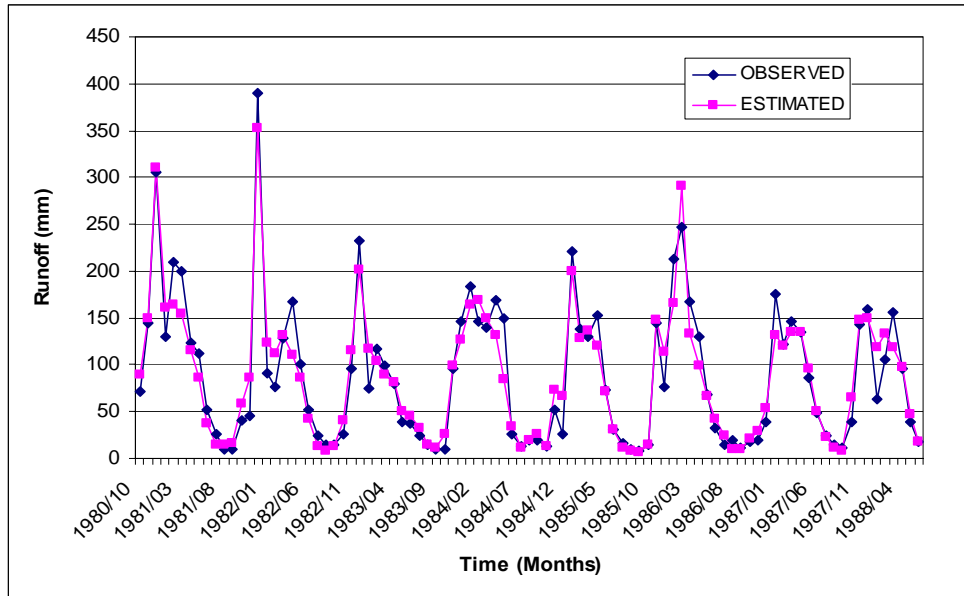


Figure 3: Model calibration for 18 historical years.

CONCLUSIONS

As far as the water balance model ZYGOS is concerned it can be said that:

1. ZYGOS is a reliable, easy to use model and simple regarding its function. It offers to the user the possibility to choose the hydrological processes that the model will follow during its implementation (the user can minimize the underground parameters, to reduce or eliminate the outflow rates, to load to the model a pumping time series if it is available etc).

2. The spatial division of the geological (hydrogeological) formations of the basins is necessary in order to apply the model and their detailed description and mapping depiction as more as possible.

3 Moreover the calculation of water streams length that flow on the corresponding geological formations of the basin is very useful mainly for the interpretation of parameter ξ which stands for the discharge rate of Ground Storage for the basic flow production and secondly for parameter ϕ which is the Ground tank retention coefficient for outflow.

4. For the best and proper operation of the model, the user should calibrate the parameters of surface and underground processes simultaneously.

5. In the majority of basins the Nash Coefficient takes very high values, its highest value is observed in case study of Achelos River – site Kremasta ($R = 0.900835$). This fact means that the estimated runoff time series are very close to the observed real values.

6. In current thesis the sensitivity of Nash Coefficient in variations of the parameters is described analytically but it is not quantified. In order to limit the subjective factor in model's calibration is necessary a criterion for this sensitivity to be defined. This criterion will set the boundaries for the categorization of sensitivity of Nash Coefficient in small, medium and high grade sensitivity in variations of parameters.

Table 1: Optimum values of parameters for the model calibration in ten hydrological basins.

Basins	K	ε	κ	λ	H1	μ	ξ	φ	H2	Yo
ACHELOS Nash (0.9083)	330	0.2	0.19	0.049	64	0.006	0.033	0.0001	180	265
ARTA Nash (0.8741)	362	0.23	0.23	0.078	77	0.028	0.03	0.006	141	270
TSIMOVO Nash (0.8353)	355	0.2	0.28	0.068	72	0.021	0.041	0.001	176	255
SPERXEIOS Nash (0.8201)	441	0.25	0.2	0.027	192	0.0001	0.022	0.0001	216	305
EVINOS Nash (0.8717)	202	0.41	0.175	0.095	126	0.044	0.092	0.0045	162	238
MORNOS Nash (0.8030)	283	0.3	0.2	0.025	73	0.061	0.023	0.008	206	271
B. KIFISSOS Nash (0.8076)	211	0.8	0.13	0.041	68	0.15	0.028	0.005	185	285
APOSELEMI (30%) Nash (0.5544)	317	0.8	0.051	0.021	106	0.19	0.056	0.058	173	238
A. EFENTI Nash (0.6852)	217	0.8	0.153	0.055	67	0.071	0.065	0.002	113	175
ENIPEAS Nash (0.5308)	424	0.8	0.118	0.021	161	0.0055	0.075	0.001	121	190

As far as the 10 watersheds of rivers in which the model applied are concerned:

✚ ACHELOS RIVER – basin upstream of hydrometric station of Kremasta

The basin appears a high value of direct runoff, $k = 0.19$, which is justified by the high proportion of impervious rocks (44% flysch) and at the same time a small soil tank retention coefficient for percolation, $\mu = 0.006$. Even if it is constituted by 56% carbonate formations only a small amount of water percolates and increases underground water deposits. This happens because limestones are interchanged with the impetuous rocks of flysch and their presented permeability is limited.

✚ ARAXTHOS RIVER – upstream of hydrometric stations of Arta and Tsimovo.

Both basins present the highest values of direct runoff (64% and 74% are covered by flysch respectively). The Ground tank discharge rate for the production of outflow in Arta basin is multiplus of the outflow rate in Tsimovo basin because of the higher withdrawals of water for irrigation in Arta plain and for the production of hydro electrical energy in the same area.

✚ SPERXEIOS RIVER – basin upstream of hydrometric station of Kompotades

The watershed of Sperxeios river appears a high amount of direct runoff, $k=0.2$ and minimum to eliminated rates of outflow. The Soil tank retention coefficient for percolation is also extremely low in comparison with the other basins. The increased sensitivity of Nash Coefficient in variations of parameter λ namely the Soil tank discharge rate for the production of inner flow most possibly is owing to the great depth of clastic sentiments in the central part of the basin (over 200 m).

✚ MORNOS RIVER – basin upstream of Mornos dam

It has a significant high discharge rate of soil tank for the production of underground flow, $\mu = 0.061$ and a high rate of outflow out of the catchment area as well, $\phi=0.008$. These values are the highest values defined in current thesis and most probably are due to the extent degree of karstification of carbonates and to the high tectonized rocks of flysch. Both karstic carbonates and tectonic cracked rocks of flysch appear a considerable secondary permeability.

✚ EVINOS RIVER – basin upstream of hydrometric station of Poros Riganiou

In the Evinos basin the Nash Coefficient is extremely sensitive to the variations of parameter ξ which expresses the Ground tank retention coefficient for the basic flow

production. This phenomenon is due to the river supplement with water from the near river limestones (their hydraulic gradients are directed to river and supply it with water). The amount of rainfall water that is consumed for the evapotranspiration needs is quite high, $\varepsilon = 0.41$, due to middle altitude of the basin and moderate geomorphologic slopes.

✚ BEOTIC KIFISSOS RIVER – basin upstream of the Karditsa tunnel

This basin presents a very high Soil tank retention coefficient for percolation, $\mu = 0.15$. This value is the highest value defined after the Aposelemi basin and it is because of the highly permeability of carbonates and of the medium to high permeability of Quaternary deposits. The characteristic of the river is phenomena of transfusions, percolation and respout of the same water along the axis of Quaternary alluvial deposits.

✚ APOSELEMI TORRENT – upstream of hydrometric station of Potamies

The available amount of rainfall water for the production of direct runoff in three scenarios that have been examined regarding communication of the basin with Lasithi Plateau (hypothesis of 0% water contribution from Lasithi Plateau, 30% contribution and 50% contribution) is extremely small: $\kappa = 0.079, 0.051$ and 0.0034 respectively. This is something that is presented because of very high rock permeability of karstic carbonates. The basin of Aposelemi torrent appears many underground karstic systems of water conduits and communicates underground with Lasithi Plateau. For this reason hygrograms are characterized by great peaks that model can approach with difficulty and this leads to the calculation of a low value of Nash Coefficient.

✚ PHNEIOS RIVER – upstream of hydrometric stations of Ali Efenti & Skopias.

For both basins, Ali Efenti and Skopias, the amount of rainfall water that is allocated for the evapotranspiration needs is very high, $\varepsilon = 0.76-0.8$ due to their low altitude and middle geomorphological slopes. The basins largest part consists of Neogene and Molasse deposits (49% in Ali Efenti basin and 43% in Skopia basin). The permeability of these rocks is medium to high and for this reason the biggest amount of rainfall water percolates rather than drainage. The observed runoff in Skopia station is problematic and for this reason is difficult to deduce conclusions regarding the values of the parameters of the model in this particular basin.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Αντικείμενο εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του Διατμηματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου «Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων» και αποσκοπεί στη διερεύνηση των παραμέτρων του Μοντέλου Υδατικού Ισοζυγίου Ζυγός με βάση τα χαρακτηριστικά 10 υδρολογικών λεκανών σε όλη σχεδόν την έκταση του ελλαδικού χώρου. Η επιλογή τους βασίστηκε στην επάρκεια ταυτόχρονα τόσο των υδρολογικών όσο και των γεωλογικών δεδομένων και για αυτό το λόγο επιλέχθηκαν υδρολογικές λεκάνες που βρίσκονται ανάντη της θέσεως φραγμάτων ή υδρομετρικών σταθμών.

Τα ΣΓΠ χρησιμοποιήθηκαν για την οριοθέτηση των λεκανών και υπολεκανών και για τον προσδιορισμό όσων χαρακτηριστικών τους κρίθηκαν ότι θα επηρεάζουν περισσότερο το μοντέλο.

Στην συνέχεια εφαρμόστηκε το μοντέλο σε κάθε περιοχή ξεχωριστά για την εκτίμηση μηνιαίων παροχών και σε συνδυασμό με τις υπάρχουσες χρονοσειρές μετρημένων παροχών υπολογίστηκε ο συντελεστής Nash ο οποίος είναι ενδεικτικός της ακρίβειας του μοντέλου. Οι παράμετροι του Ζυγού, στο σύνολο τους εννέα – έξι παράμετροι για τις επιφανειακές διεργασίες και τρεις παράμετροι για τις υπόγειες - ρυθμίστηκαν κατάλληλα ούτως ώστε να επιτευχθεί ο βέλτιστος συντελεστής Nash χωρίς όμως οι τιμές των παραμέτρων να ξεφεύγουν από τα λογικά τους όρια. Αντίθετα για τον προσδιορισμό τους και κατόπιν για την ερμηνεία τους λαμβάνονται υπόψη όσον το δυνατόν περισσότερα στοιχεία για τις περιοχές εφαρμογής του μοντέλου όπως είναι οι γεωλογικοί σχηματισμοί που τις δομούν και από τους οποίους περνάνε τα βασικότερα υδατορεύματα, το υψόμετρο και οι μορφολογικές κλίσεις, πληροφορίες σχετικά με την κατασκευή και λειτουργία τεχνικών έργων, τα ρυθμιστικά αποθέματα, το τεκτονικό καθεστώς, την ύπαρξη πηγών, την υφαλμύριση, τις χρήσεις γης, τις απολήψεις νερού από αντλήσεις για ύδρευση και για άρδευση κ.α. Τα περισσότερα από τα τελευταία στοιχεία λαμβάνονται υπόψη με έμμεσο τρόπο για την ερμηνεία των αποτελεσμάτων του μοντέλου.

Διάρθρωση εργασίας

Η εργασία περιλαμβάνει 4 Κεφάλαια και ένα Παράρτημα:

- στο ΠΡΩΤΟ ΚΕΦΑΛΑΙΟ παρατίθενται στοιχεία σχετικά με τα υδρολογικά μοντέλα, την αβεβαιότητα στον προσδιορισμό των παραμέτρων τους και στο ρόλο της γεωλογίας στα μοντέλα αυτά.
- στο ΔΕΥΤΕΡΟ ΚΕΦΑΛΑΙΟ περιγράφονται οι διαδικασίες και οι εντολές που εφαρμόστηκαν από τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών προκειμένου να οριοθετηθούν οι λεκάνες και τα υδατορεύματα που αυτές περικλείουν, να υπολογιστούν ορισμένα βασικά χαρακτηριστικά τους και να υπολογιστεί η έκταση των γεωλογικών σχηματισμών και το μήκος των υδατορευμάτων που διατρέχουν καθένα από αυτούς του σχηματισμούς.
- στο ΤΡΙΤΟ ΚΕΦΑΛΑΙΟ περιλαμβάνονται πληροφορίες για το μοντέλο Ζυγός σχετικά με τα χαρακτηριστικά του, τις διεργασίες του και τον τρόπο λειτουργίας του. Διατυπώνονται τα βασικά κριτήρια αξιολόγησης των υδρολογικών μοντέλων και δίνεται ένα παράδειγμα υπολογισμού του συντελεστή Nash ο οποίος επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο της ακρίβειας του συγκεκριμένου μοντέλου.
- στο ΤΕΤΑΡΤΟ και βασικό ΚΕΦΑΛΑΙΟ αναλύονται οι λεκάνες και περιλαμβάνει:
 - A. μια περιγραφή της θέσης και της γεωμορφολογίας τους
 - B. την παράθεση υδρολογικών στοιχείων για κάθε περιοχή ξεχωριστά
 - Γ. μία περιγραφή της γεωλογίας – υδρογεωλογίας καθώς και άλλων πληροφοριών σχετικά με το υπάρχον διαχειριστικό καθεστώς τους.
Στα Β και Γ μέρη, περιλαμβάνεται επιπλέον η επεξεργασία των λεκανών με τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ) με σκοπό τον προσδιορισμό της θέσης και βασικών χαρακτηριστικών των λεκανών όπως το Εμβαδόν, η Περίμετρος, το Μήκος των υδατορευμάτων και το ποσοστό των γεωλογικών σχηματισμών στο σύνολο της λεκάνης.
 - Δ. την εφαρμογή του μοντέλου και την εξαγωγή των αποτελεσμάτων και
 - E. χάρτες και ειδικά συμπεράσματα για κάθε λεκάνη και υπολεκάνη.

Στο τέλος του κεφαλαίου συντάχθηκε πίνακας συνολικών χαρακτηριστικών των παραμέτρων του μοντέλου για τις λεκάνες και συνολικά διαγράμματα για την ολοκληρωτική θεώρηση και καλύτερη κατανόηση και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων του μοντέλου. Επιπλέον γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων χειροκίνητης και αυτόματης βαθμονόμησης του μοντέλου με στόχο να προταθεί ο καλύτερος δυνατός τρόπος λειτουργίας του.

- στο ΠΕΜΠΤΟ ΚΕΦΑΛΑΙΟ παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα συμπεράσματα που προκύπτουν από το σύνολο των παραπάνω μελετημένων περιοχών για τις βέλτιστες τιμές των παραμέτρων του μοντέλου, για τη λειτουργία και προσφορά του και διατυπώνονται προτάσεις σχετικά με την μελλοντική εφαρμογή και χρήση παρόμοιων μοντέλων.

- Στο τέλος της μεταπτυχιακής εργασίας έχει συνταχθεί ένα Παράρτημα με στόχο την παράθεση των πιο αξιοσημείωτων μεταβολών των παραμέτρων ρύθμισης του Ζυγού κατά τρόπο τέτοιο ώστε να δειχθεί η μεταξύ τους αλληλεξάρτηση και η ευαισθησία του μοντέλου στις μεταβολές τους. Επιπλέον δίνεται το αναλυτικό υπόμνημα του υδρογεωλογικού χάρτη που χρησιμοποιήθηκε.

Υδρολογικές λεκάνες και δεδομένα

Η συλλογή των απαιτούμενων δεδομένων και στοιχείων τόσο για την εφαρμογή του μοντέλου όσο και για τη συνολική εκτίμηση των αποτελεσμάτων τους σε σχέση με τα χαρακτηριστικά και την υπάρχουσα κατάσταση των λεκανών έγινε με βάση μελέτες και εργασίες από:

- το Υπουργείο Περιβάλλοντος Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων (ΥΠΕΧΩΔΕ)
- το Ίδρυμα Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ)
- την Κεντρική Βιβλιοθήκη του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου
- την Κεντρική Βιβλιοθήκη του τμήματος Γεωλογίας του Εθνικού Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών
- την Βιβλιοθήκη του Μεταπτυχιακού του τομέα Υδάτινων Πόρων της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου
- από το Διαδίκτυο.

1

Υδρολογικά Μοντέλα και Προσδιορισμός Παραμέτρων τους

Ο όρος «μοντέλο» αναφέρεται σε κάθε μορφή αναπαράστασης ενός πραγματικού συστήματος (Fetter, 2001). Ένα υδρολογικό μοντέλο ορίζεται σαν ένα σύνολο μαθηματικών εξισώσεων που απεικονίζουν κατά προσέγγιση το σύνολο των αλληλοσχετιζόμενων φαινομένων που υπεισέρχονται στη διαδικασία μετατροπής της βροχής σε απορροή (Τσακίρης, 1995). Οι παράμετροι των υδρολογικών μοντέλων προσδιορίζονται έμμεσα μέσω της διαδικασίας της βαθμονόμησης (calibration).

Κατά την διάρκεια βαθμονόμησης ενός υδρολογικού μοντέλου μπορεί να λάβει χώρα μία ανάλυση ευαισθησίας του μοντέλου. Καθώς οι παράμετροι του μοντέλου μεταβάλλονται κατά τη διαδικασία της βαθμονόμησης είναι εφικτός ο προσδιορισμός της ευαισθησίας του μοντέλου στις μεταβολές αυτές και στις οριακές συνθήκες τους (Fetter, 2001).

Ο όγκος του επιφανειακού νερού σε μια υδρολογική λεκάνη είναι συνάρτηση της έντασης της βροχής, της υδροπερατότητας του εδάφους, της διάρκειας της βροχής, του είδους της χλωρίδας, των φυσιογραφικών παραμέτρων της λεκάνης απορροής, της διανομής της βροχής, της γεωμετρίας του υδρογραφικού δικτύου και του βάθους της επιφάνειας του φρεάτιου υδροφόρου ορίζοντα (Καλλέργης, 1999).

Μία γενική απλοποιημένη περιγραφή των υδρολογικών διεργασιών μιας λεκάνη είναι η ακόλουθη:

από το νερό που φθάνει στην επιφάνεια του εδάφους, ένα μέρος συγκρατείται από τη βλάστηση και εξατμίζεται ή διαπνέεται από τα φυτά, ένα άλλο διηθείται εντός του εδάφους και ένα τρίτο απορρέει επιφανειακά προς τα ρέματα και τους ποταμούς καταλήγοντας στις λίμνες ή στις θάλασσες. Από το νερό που διηθείται, ένα μέρος

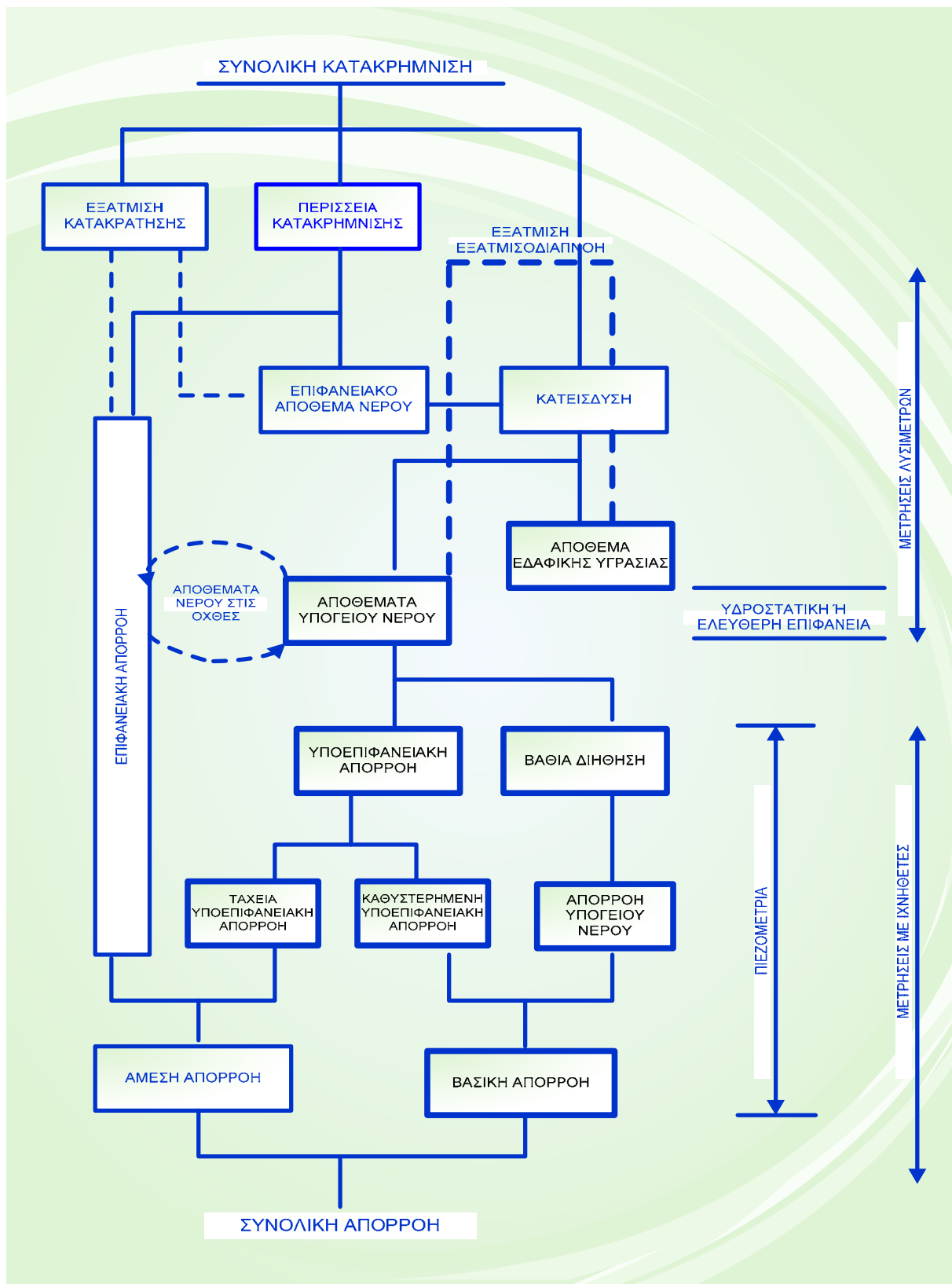
εξατμίζεται ή διαπνέεται και μέσω των φυτών και το υπόλοιπο διηθείται σε βαθύτερα στρώματα επαναφορτίζοντας τους υπόγειους υδροφορείς, βρίσκοντας αργότερα διέξοδο σε χαμηλότερα υψόμετρα και καταλήγοντας τελικά στη θάλασσα. Σχηματικά οι επιφανειακές και υπόγειες υδρολογικές διεργασίες φαίνονται στο διάγραμμα 1.

Τα παραπάνω μπορούν να διατυπωθούν ως μία εξίσωση υδατικού ισοζυγίου όπως:

$$I = P - (RO + ET) \quad (1)$$

όπου I είναι η κατείσδυση (Infiltration). Οι κώδικες ενός υδρολογικού μοντέλου συνήθως αναφέρονται σε αυτή ως ταχύτητα κατείσδυσης (infiltration rate), αλλά είναι σωστότερος ο όρος «καθαρή κατείσδυση» (net infiltration) δεδομένου ότι είναι το ποσοστό ροής ύδατος πέρα από την επιρροή των ριζών επιφάνειας και των εγκαταστάσεων. Συνεπώς στην παραπάνω εξίσωση το I είναι η καθαρή κατείσδυση, το P είναι η κατακρήμνιση (ενδεχομένως συμπεριλαμβανομένης της άρδευσης), RO είναι η απορροή, και ET είναι η εξατμοδιαπνοή από τα φυτά (συμπεριλαμβανομένης της εξάτμισης από την επιφάνεια του εδάφους).

Στη συνέχεια αναφέρονται οι κυριότεροι παράγοντες-παράμετροι που επηρεάζουν τη δομή και λειτουργία των υδρολογικών μοντέλων.



Διάγραμμα1: Αναπαράσταση των υδρολογικών διαδικασιών από την αρχική κατακρήμνιση μέχρι την συνολική απορροή, με έμφαση στις υπόγειες διεργασίες και στις μετρήσεις τους (Dr. K. UBELL, Research Institute for Water Resources, Budapest, Hungary με τροποποιήσεις και μετάφραση στα ελληνικά)

1.1 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΚΟΡΕΣΜΕΝΗΣ – ΑΚΟΡΕΣΤΗΣ ΖΩΝΗΣ

Η ακόρεστη ζώνη ή ζώνη αερισμού (vadose zone) αποτελείται από διάκενα που κατέχονται μερικώς από νερό και μερικώς από αέρα, δηλαδή απαντά διφασική ροή. Στη ζώνη κορεσμού όλα τα διάκενα είναι γεμάτα με νερό κάτω από υδροστατική πίεση και η ροή εδώ είναι μονοφασική (Καλλέργης, 1999).

ΟΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΗΣ ΑΚΟΡΕΣΤΗΣ ΖΩΝΗΣ

Οι παράμετροι της ακόρεστης ζώνης καθορίζουν τους ρυθμούς μεταφοράς του νερού ή των μολυσματικών παραγόντων δια μέσου αυτής. Οι παράμετροι περιλαμβάνουν τον αριθμό των στρωμάτων και το πάχος κάθε στρώματος. Επιπλέον για κάθε στρώμα απαιτείται ένας ακόμα αριθμός παραμέτρων όπως:

- το φαινόμενο ειδικό βάρος (bulk density)
- το πορώδες
- η περιεκτικότητα σε νερό και
- οι συντελεστές διασποράς για κάθε μολυσματικό παράγοντα.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΗΣ ΚΟΡΕΣΜΕΝΗΣ ΖΩΝΗΣ

Οι παράμετροι της κορεσμένης ζώνης καθορίζουν τη μεταφορά του νερού και των μολυσματικών παραγόντων στην κορεσμένη ζώνη. Αυτές οι παράμετροι περιλαμβάνουν:

- το φαινόμενο ειδικό βάρος (bulk density)
- το πορώδες
- το ενεργό πορώδες,
- την ειδική παροχή και
- τους συντελεστές διασποράς κάθε μολυσματικού παράγοντα (Meyer et al., 1999).

1.2 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΚΑΙ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑ

Η διαδικασία της μοντελοποίησης και της παραμετροποίησης είναι τόσο σύνθετη που έχουν αναπτυχθεί μέθοδοι για το επίπεδο βεβαιότητας των αποτελεσμάτων που έχουν ποσοτικοποιηθεί κατά την μοντελοποίηση (Decourt & Madsen, 2002).

Υπάρχουν πολλές πηγές αβεβαιότητας στον προσδιορισμό των υδρολογικών παραμέτρων που έχουν να κάνουν κυρίως με την μεταβλητότητα τους και την έλλειψη γνώσης δεδομένων για τον ακριβή προσδιορισμό των τιμών τους.

1.2.1 ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑ

Η φυσική μεταβλητότητα πολλών υδρολογικών ιδιοτήτων είναι ο πρωταρχικός παράγοντας που συνεισφέρει στην αβεβαιότητα μιας παραμέτρου. Αυτή η μεταβλητότητα μπορεί για παράδειγμα να είναι χωρική όπως συμβαίνει σε πολλές εδαφολογικές υδραυλικές παραμέτρους. Παρακάτω αναλύονται η εδαφική μεταβλητότητα καθώς και η χωρική μεταβλητότητα της κατακρήμνισης.

1.2.2 ΕΛΛΕΙΨΗ ΓΝΩΣΗΣ

Εκτός από την φυσική μεταβλητότητα, η αβεβαιότητα μιας παραμέτρου μπορεί να προκύψει από την παρουσία ανακριβών και μη αντιπροσωπευτικών ή περιορισμένων στοιχείων. Αυτή η πηγή αβεβαιότητας μπορεί να χαρακτηριστεί, γενικά, ως έλλειψη γνώσης. Ως παράδειγμα αναφέρεται η περίπτωση μελέτης της κατανομής των κορεσμένων τιμών της υδραυλικής αγωγιμότητας οι οποίες μετρούνται επί τόπου σε μία περιοχή. Εάν μόνο τρεις ή τέσσερις μετρήσεις έγιναν επί του τόπου αυτού, εύκολα μπορούμε να φθάσουμε σε ανακριβείς τιμές της μέσης τιμής της υδραυλικής αγωγιμότητας και της μεταβλητότητας της στην περιοχή μελέτης.

1.2.3 ΣΧΕΤΙΚΗ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ

Το μέτρο της αβεβαιότητας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί είναι ο συντελεστής μεταβλητότητας που ορίστηκε ως η σταθερή απόκλιση που διαιρέθηκε με τη μέση τιμή. Οι τιμές του συντελεστή μεταβλητότητας είναι συχνά ιδιαίτερα αβέβαιες λόγω της μεγάλης ευαισθησίας τους με τις ιδιαίτερες συνθήκες κάθε περιοχής και το γεγονός ότι η χρήση ενός γραμμικού προτύπου για κάποιες διαδικασίες μπορεί να αντιπροσωπεύσει μια υπεραπλοποίηση διάφορων συνθετότερων διαδικασιών. Επίσης η καθαρή ταχύτητα διήθησης συχνά θα έχει έναν υψηλό βαθμό αβεβαιότητας ως αποτέλεσμα της χρονικής και χωρικής μεταβλητότητάς της και της εξάρτησης της με ποικίλες σύνθετες διαδικασίες όπως το κλίμα, η απορροή και η ανάπτυξη των φυτών.

1.2.4 Η ΚΑΛΥΤΕΡΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ

Η "καλύτερη εκτίμηση" είναι ένας περιγραφικός όρος και χρησιμοποιείται πολλές φορές για να αναφερθεί στις τιμές της παραμέτρου οι οποίες αντιπροσωπεύουν καλύτερα τις πραγματικές ιδιότητες της σε μία περιοχή. Οι τιμές της καλύτερης-εκτιμημένης παραμέτρου θα πρέπει, κατά την κρίση του αναλυτή, να παρέχουν την

ακριβέστερη αντιπροσώπευση της συμπεριφοράς μιας παραμέτρου στις συνθήκες ροής και μεταφοράς στην περιοχή.

1.2.5 ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Κατά την πραγματοποίηση μιας πιθανολογικής ανάλυσης απαιτείται και ο υπολογισμός της αβεβαιότητας στον προσδιορισμό των τιμών της παραμέτρου πέρα από τον προσδιορισμό της καλύτερης εκτίμησης της τιμής της παραμέτρου. Οι πληροφορίες που χαρακτηρίζουν την αβεβαιότητα μιας παραμέτρου μπορούν να παρουσιαστούν με ποικίλους τρόπους, που περιλαμβάνουν:

- μια ποιοτική περιγραφή της αβεβαιότητας
- μέγιστες και ελάχιστες περιοριστικές τιμές
- συντηρητικές τιμές
- λογικές οριακές τιμές
- διαφορά ή σταθερή απόκλιση από τη μέση τιμή
- quantiles ή ποσοστημόρια της κατανομής συνάρτησης
- μια πλήρη κατανομή πιθανότητας (Meyer and Gee, 1999).

1.3 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΧΩΡΙΚΗΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΖΩΝΩΝ ΥΨΗΛΗΣ ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΗΣ ΣΕ ΜΗΝΙΑΙΑ ΒΑΣΗ

Πολλές φορές τα στοιχεία βροχόπτωσης που χρησιμοποιούνται στα υδρολογικά μοντέλα εκφράζονται ως ετήσιοι μέσοι όροι στην ανάλυση για τον καθορισμό ενός μεγέθους πχ της ικανότητας επαναφόρτισης ενός υδροφόρου στρώματος. Εντούτοις, οι ετήσιοι μέσοι όροι μπορούν να αυξήσουν το λάθος της εκτίμησης, έναντι των διαδικασιών βασισμένων στην ανάλυση μικρότερων χρονικών περιόδων, όπως παραδείγματος χάριν στην ανάλυση μηνιαίων μέσων όρων. Για αυτόν τον λόγο, επιλέγεται κυρίως η χρήση μηνιαίων μέσων όρων αντί των μέσων τιμών έτους ή χρησιμοποιούνται οι μέγιστες μέσες τιμές των καθημερινών εντάσεων βροχόπτωσης. Χωρικά η μεταβλητότητα των κατακρημνισμάτων μπορεί να αναλυθεί με διάφορες γεωστατιστικές μεθόδους (πχ Universal Kriging) από την επεξεργασία βροχομετρικών δεδομένων. Το Μέσο Τετραγωνικό Σφάλμα (RMSE) της παρεμβολής είναι σε θέση να μας δείξει κατά πόσο το είδος παρεμβολής που χρησιμοποιήθηκε είναι σωστό ή όχι (Silva, 2003?).

1.4 ΕΔΑΦΟΛΟΓΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΣΤΑ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ

Οι παράμετροι του εδάφους που έχουν επιπτώσεις στη διαδικασία κατείσδυσης – διήθησης για ένα μοντέλο κυρίως είναι: το βάθος των εδαφών, η σύσταση τους και παράγοντες που είναι δυνατόν να επηρεάσουν ή να τροποποιήσουν αυτήν την σύσταση.

1.4.1 ΧΩΡΙΚΗ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑ ΕΔΑΦΩΝ

Μια παρεμβολή όπως η Universal Kriging (με τη σφαιρική λειτουργία) μπορεί να εφαρμοστεί σε διάφορες τιμές εδαφολογικών βαθών προκειμένου να καθοριστεί η χωρική μεταβλητότητά τους (RMSE = %). Στην συνέχεια μπορεί να προγραμματιστεί μια πρότυπη ποιοτική χαρτογραφική διαδικασία στο Arc Info - Grid module για να χαρακτηρίσει σε μια περιοχή η διηθητική ικανότητα του εδάφους (υψηλή, μεσαία, χαμηλή) όπως περιγράφεται παρακάτω.

- Οι ζώνες υψηλής διήθησης αντιστοιχούν συνήθως σε περιοχές δασικών εκτάσεων που το βάθος των εδαφών είναι μικρό και σε περιοχές εδαφών με χονδρόκοκκη σύσταση.
- Οι ζώνες μέσης διήθησης μπορεί να περιλαμβάνουν περιοχές που βρίσκονται στο ανώτερο τμήμα δασικών ζωνών ή σε ζώνες με γεωργική χρήση ή λιβάδια, με συνήθως χαμηλό βάθος εδάφους και μεσόκοκκης σύστασης.
- Οι ζώνες χαμηλής διήθησης ανήκουν κυρίως σε αστικές περιοχές με ιδιαίτερα αδιαπέρατες επιφάνειες ή σε περιοχές που χρησιμοποιούνται για γεωργικούς ή άλλους λόγους και στις οποίες εμφανίζεται αυξημένη απορροή λόγω της απουσίας μιας σταθερής εδαφολογικής κάλυψης (Felipe Omar Tapia Silva, 2003?).

1.4.2 ΣΤΡΩΜΑΤΩΣΗ ΕΔΑΦΩΝ

Η στρωμάτωση εμφανίζεται ως φυσική συνέπεια του τρόπου που τα εδάφη αποτέθηκαν ή σχηματίστηκαν. Τα στρώματα ως αποτέλεσμα της απόθεσης ποικίλουν γενικά στη σύσταση σε μια εδαφοτομή ανάλογα με το βάθος. Πέρα όμως από τη φυσική τους απόθεση διαφορετικοί στρωματικοί ορίζοντες είναι δυνατόν να

δημιουργηθούν και από διαδικασίες χημικής συγκόλλησης μέσα στις ζώνες μιας εδαφοτομής. Στρωμάτωση επίσης μπορεί να προκληθεί από τη συμπίεση κατά τη διάρκεια διαδικασιών διαμόρφωσης του εδάφους και διαδικασιών οργώματος. Οι αλλαγές στη σύσταση και το πορώδες στα στρώματα του εδάφους μπορούν να έχουν σοβαρές επιπτώσεις στη μετακίνηση εδαφικού νερού, αναγκάζοντας γενικά το νερό να κινηθεί πιο αργά (είτε προσωρινά, είτε μόνιμα). Η καθαρή επίδραση είναι ότι η ικανότητα συγκράτησης του νερού ενός τέτοιου εδάφους είναι υψηλότερη από ότι οι εργαστηριακές αναλύσεις θα προέβλεπαν (<http://cru.cahe.wsu.edu/CEPublications>).

1.4.3 ΒΑΘΟΣ ΕΔΑΦΟΥΣ

Στα υπόγεια νερά το βάθος έχει πάρα πολύ σημαντικό ρόλο πρώτον επειδή καθορίζει τον όγκο του εδάφους μέσω του οποίου το νερό ή ένας ρύπος πρέπει να ταξιδέψει πριν φθάσει σε ένα υδροφόρο στρώμα και δεύτερον επειδή καθορίζει το χρονικό διάστημα στο οποίο το νερό ή ο ρύπος είναι σε επαφή με το χώμα. Στα σημεία που το έδαφος είναι αρκετά βαθύ, οι διαδικασίες της διήθησης, της προσρόφησης, της βιοδιάσπασης και της αεριοποίησης λειτουργούν πολύ πιο αποτελεσματικά (<http://www.soil.ncsu.edu/publications/AG-439-09/TheNature of Groundwater>).

1.4.4 ΣΥΣΤΑΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ

Το σχετικό ποσοστό της άμμου, της ιλύος και της αργίλου σε ένα έδαφος καθορίζει τη σύστασή του, δηλαδή το πόσο λεπτόκοκκο ή χονδρόκοκκο αυτό είναι. Η σύσταση επηρεάζει τη μετακίνηση του νερού μέσω ενός εδάφους αφού από αυτήν εξαρτάται το μέγεθος των πόρων και η επιφάνεια των κόκκων στην οποία μπορεί να συγκρατηθεί το νερό με την μορφή λεπτού υμενίου. Τα αμμώδη εδάφη είναι αυτά που έχουν μεγάλους πόρους οι οποίοι είναι συνδεδεμένοι μεταξύ τους και επιτρέπουν έτσι την γρήγορη στράγγιση του νερού. Αντίθετα τα μόρια αργίλου παρέχουν μια απέραντη περιοχή επιφάνειας στην οποία η προσρόφηση μπορεί να πραγματοποιηθεί. Κατά συνέπεια, η διήθηση είναι λιγότερο πιθανή στα εδάφη αργίλου.

1.5 ΑΝΘΡΑΚΙΚΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ

Στην Ελλάδα το 1/3 της επιφάνειας της καλύπτεται από αποκαρστωμένα ανθρακικά πετρώματα και για αυτό η μελέτη τους και ο ρόλος τους στα μοντέλα κυρίως των υπόγειων νερών είναι ιδιαίτερα σημαντικός.

1.5.1 ΛΙΘΟΛΟΓΙΚΟΙ ΚΑΙ ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ

Οι παράγοντες που είναι σημαντικοί σε μια μελέτη των ανθρακικών σχηματισμών μιας περιοχής είναι οι εξής:

1.5.1.1. ΠΑΧΟΣ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΣ ΚΑΡΣΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΗΣ ΑΚΟΛΟΥΘΙΑΣ ΤΩΝ ΑΝΘΡΑΚΙΚΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ

Και οι δυο αυτοί παράγοντες είναι καθοριστικής σημασίας στον προσδιορισμό της ποσότητας του νερού που θα κατευθύνεται προς τα βαθύτερα στρώματα και για το χρονικό διάστημα στο οποίο θα είναι σε επαφή με τα πετρώματα.

1.5.1.2. ΛΙΘΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΑΝΘΡΑΚΙΚΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ

Οι ασβεστόλιθοι τείνουν να αναπτύξουν πιο πολύπλοκα συστήματα υπόγειων αγωγών από τους δολομίτες και από άλλους σχηματισμούς. Οι αμμώδεις ασβεστόλιθοι μπορούν να είναι το ίδιο καρστικοί όσο σχεδόν οι καθαροί ασβεστόλιθοι αλλά οι σχιστολιθικοί ασβεστόλιθοι τείνουν να έχουν περιορισμένη ανάπτυξη υπόγειων αγωγών και να εμφανίζονται λιγότερο καρστικοποιημένοι στην επιφάνεια. Οι μεταβολές στην λιθολογία οδηγούν στην συγκέντρωση της ροής των υπόγειων νερών σε συγκεκριμένα σημεία και στην ανάπτυξη αγωγών σε ευνοϊκές για αυτά ενότητες πετρωμάτων.

1.5.1.3. ΑΔΙΑΠΕΡΑΤΑ ΣΤΡΩΜΑΤΑ

Οι σχιστόλιθοι πρώτιστα αλλά και οι φλέβες που έχουν πληρωθεί με ψαμμιτικά ή με άλλα πυριγενή υλικά, μέσα σε τμήματα των ανθρακικών σχηματισμών μπορούν να εμποδίσουν τη ροή των υπόγειων νερών, να ελαχιστοποιήσουν την κάθετη κυκλοφορία, να περιορίσουν τη ροή στους αρτεσιανούς υδροφορείς κάτω από τα αδιαπέρατα στρώματα και να οδηγήσουν τη ροή των υπόγειων νερών επάνω από το στρώμα περιορισμού.

1.5.1.4. ΚΛΑΣΤΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ

Οι κλαστικοί σχηματισμοί πετρωμάτων κάτω από μία ανθρακική ακολουθία μπορεί να οδηγήσουν στην ανοδική πορεία της ροής των υπόγειων νερών και να αποτρέψουν τη κυκλοφορία τους προς τα βαθύτερα στρώματα. Οι κλαστικοί σχηματισμοί πάνω από τους ανθρακικούς ενεργούν ως κάλυψη των στρωμάτων και ελαχιστοποιούν ή ρυθμίζουν εκ νέου την επαναφόρτιση των υδροφορέων (Palmer et al., 1999).

1.5.2 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΔΟΜΗΣ ΤΩΝ ΑΝΘΡΑΚΙΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ

Ο παράγων της δομής σε συνδυασμό με τους στρωματογραφικούς και λιθολογικούς παράγοντες είναι πολύ σημαντικός γιατί ουσιαστικά θέτει τα όρια στις πιθανές διαδρομές της ροής των υπόγειων νερών. Οι δομικοί περιορισμοί λειτουργούν σε πολλές κλίμακες μεγέθους από τα τοπικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα έως στον προσανατολισμό μεμονωμένων διακλάσεων (joints). Αυτού του είδους οι περιορισμοί περιγράφονται σε πολύ γενικούς όρους παρακάτω:

1.5.2.1. ΒΑΘΜΟΣ ΠΤΥΧΩΣΕΩΝ

Στις περιοχές του έντονα πτυχωμένου πετρώματος οι αγωγοί νερού τείνουν να προσανατολιστούν κατά μήκος της διεύθυνσης της δομής, και λόγω του μεγαλύτερου ανοίγματος των διακλάσεων αλλά και λόγω του προσανατολισμού σε αυτές τις περιοχές (των πτυχώσεων) των ευνοϊκών λιθολογιών για την ανάπτυξη τέτοιων αγωγών νερού. Στις περιοχές με μικρό βαθμό πτύχωσης τα σχεδόν οριζόντια αποτιθέμενα στρώματα παρέχουν δυο δυσδιάστατες πορείες στην ροή κατά μήκος των στρωμάτων - επίπεδων χωρισμού, οδηγώντας κατά αυτόν τον τρόπο στην καλύτερη ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου τρόπου αποστράγγισης.

1.5.2.2. ΤΟΠΙΚΑ ΒΥΘΙΣΜΑΤΑ (REGIONAL DIPS)

Τα υδροφόρα στρώματα στα οποία τα τοπικά βυθίσματα είναι (λίγο ή πολύ) στη κατάντη κατεύθυνση τείνουν να αναπτύξουν πιο ρηχές πορείες ροής από ότι στα υδροφόρα στρώματα όπου τα υπόγεια νερά πρέπει να κινηθούν διαμέσου των δομών

αυτών. Στη δεύτερη περίπτωση είναι συχνότερο φαινόμενο οι εντελώς πλημμυρισμένοι αγωγοί και η κυκλοφορία του νερού προς τα βαθύτερα στρώματα.

1.5.2.3. ΡΗΓΜΑΤΑ

Τα ρήγματα διαδραματίζουν διάφορους ρόλους στην πορεία του νερού λειτουργώντας είτε σαν αρνητικά είτε σαν θετικά υδρογεωλογικά όρια. Τα ενεργά ρήγματα μπορούν να λειτουργήσουν ως διαδρομές υψηλής διαπερατότητας και να συγκεντρώσουν τη ροή των υπόγειων νερών. Τα παλαιά, σταθερά ρήγματα τείνουν να σφραγίζονται από δευτερογενείς ορυκτολογικές αποθέσεις και να έχουν πολύ λίγη επιρροή στις πορείες ροής. Τα ρήγματα μέσα στα οποία έχουν κινηθεί ελάχιστα διαλυτά ή αδιαλυτά πετρώματα δημιουργούν υπόγεια φράγματα στις πιθανές πορείες των υπόγειων νερών που μπορούν να εκτρέψουν τη ροή τους (Palmer et al., 1999). Αν το ρήγμα έχει πληρωθεί με τεκτονικά λατυποπαγή τότε εμφανίζει υψηλότερες τιμές διαπερατότητας και το ίδιο παρατηρείται και στα ρήγματα που αναπτύσσονται σε μη συνεκτικά πετρώματα σε σχέση με τα ρήγματα που αναπτύσσονται σε πιο συνεκτικούς σχηματισμούς (Fetter, 2001).

1.6 ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΟΡΓΑΝΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ

Ο όρος «οργανικό υλικό» περιλαμβάνει κάθε είδος ζωικού ή φυτικού υπολείμματος σε διάφορα στάδια αποσύνθεσης. Τα εδάφη με υψηλή περιεκτικότητα σε οργανικό υλικό ελαττώνουν την επιφανειακή διάβρωση και συγκρατούν το νερό περισσότερο από τα αμμούχα εδάφη που έχουν μικρή συνοχή, υψηλό πορώδες και υψηλή διαπερατότητα (Λέκκας, 1999).

Τα οργανικά υλικά έχουν μια πολύ μεγάλη προσροφητική ικανότητα και στις οργανικές και στις ανόργανες ενώσεις. Για τα περισσότερα εδάφη, η οργανική ουσία συγκεντρώνεται στην επιφάνεια τους. Η διατήρηση ενός ενεργού οργανικού συστατικού στη ανώτερη επιφάνεια του εδάφους μέσω της καλής διαχείρισης του εδάφους κατά την διάρκεια οικιστικών και αγροτικών ενεργειών ενισχύει την ικανότητα του εδάφους να χρησιμεύσει ως ένα φίλτρο. Επίσης ευεργετική είναι η επίδραση των οργανικών ουσιών όσον αφορά τη βελτίωση της δομής του εδάφους. Η παρουσία οργανικού υλικού οδηγεί στην συγκέντρωση των μεμονωμένων

εδαφολογικών μορίων σε μεγαλύτερα σύνολα. Κατά αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται μία επιθυμητή συνάθροιση και αυξάνεται η προσροφητική ικανότητα του εδάφους με την ακόλουθη μείωση της επιφανειακής απορροής. Επιπλέον η δομή του εδάφους μπορεί να επηρεαστεί από τη χρήση και τη διαχείριση του εδάφους. Ως παράδειγμα αναφέρεται το όργωμα του χώματος υπό τις κατάλληλες συνθήκες υγρασίας και η ενσωμάτωση των υπολειμμάτων των συγκομιδών τα οποία ενισχύουν την καλύτερη διαμόρφωση του εδάφους (<http://www.soil.ncsu.edu/publications/AG-439-09>).

1.7 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ ΚΛΑΣΤΙΚΩΝ ΦΛΕΒΩΝ ΚΑΙ ΚΟΙΤΩΝ

Οι κλαστικές φλέβες είναι διεισδύσεις ιζηματογενών σχηματισμών που αναπτύσσονται σε κάθετη ή διαγώνια διεύθυνση. Οι κοίτες είναι οι ίδιοι σχεδόν σχηματισμοί με τις φλέβες αλλά αναπτύσσονται παράλληλα με τα γεωλογικά στρώματα. Μελέτες σε περιοχές που φιλοξενούσαν κλαστικές φλέβες και κοίτες μέσα σε αργιλοψαμμιτικούς σχηματισμούς έδειξαν ότι το μεγαλύτερο ποσοστό υγρασίας συγκεντρώνονταν σε αυτές. Ακόμα κι αν η διαπερατότητα είναι μικρή λόγω της ύπαρξης αέρα και αν η κορεσμένη υδραυλική αγωγιμότητα μέσα στην φλέβα ή την κοίτη είναι επίσης πολύ χαμηλή, οι κλαστικές φλέβες μπορούν να εξακολουθούν να αποτελούν γρήγορες διόδους μεταφοράς του νερού υπό ακόρεστες συνθήκες, στη ζώνη αερισμού (vadose zone). Τα αποτελέσματα των ίδιων μελετών έδειξαν ότι τα εννοιολογικά και αριθμητικά μοντέλα μεταφοράς νερού ή ρύπων προς τα βαθύτερα στρώματα μέσω της ζώνης αερισμού θα πρέπει να λαμβάνουν σοβαρά υπόψη την ύπαρξη κλαστικών φλεβών ή κοιτών (Murray et al, 2001).

1.8 ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ – ΕΠΑΝΑΦΟΡΤΙΣΗ ΤΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΩΝ ΟΡΙΖΟΝΤΩΝ

Η τροφοδοσία των υπόγειων υδροφόρων εμφανίζεται όταν το νερό από την επιφάνεια του εδάφους κινείται προς τα βαθύτερα στρώματα και φθάνει την ελεύθερη επιφάνεια του υδροφόρου ορίζοντα. Γίνεται κυρίως με τη διήθηση του νερού των ποταμών. Το ποσοστό της μεταβάλλεται ανάλογα με τις εποχιακές και ετήσιες διακυμάνσεις και εξαρτάται από διάφορους παράγοντες που επηρεάζουν την επιφάνεια του εδάφους όπως είναι η βλάστηση, η κλίση και η σύσταση του. Άλλοι παράγοντες που μπορεί να είναι εξίσου σημαντικοί και να ελέγχουν το ποσοστό της επαναφόρτισης είναι το

ετήσιο ποσοστό κατακρήμισης και οι ιδιότητες της ακόρεστης ζώνης. Στο μεγαλύτερο μέρος τους ωστόσο οι διακυμάνσεις στην τροφοδοσία οφείλονται σε αντίστοιχες διακυμάνσεις της κατακρήμισης (www.twdb.state.tx.us – Groundwater Availability Model for the central part of Carrizo-Wilcox aquifer in Texas).

Οι μηχανισμοί επαναφορτίσεων είναι είτε άμεσοι είτε έμμεσοι (Lerner et al., 1990).

Η **άμεση επαναφόρτιση** είναι το νερό που προστίθεται στη δεξαμενή του υπόγειου νερού από την άμεση κάθετη διήθηση μέσω της ακόρεστης ζώνης. Το νερό εδώ είναι αυτό που έχει περισσέψει από την κάλυψη αναγκών εξατμισοδιαπνοής και την πλήρωση του ελλείμματος εδαφικής υγρασίας.

Η **έμμεση επαναφόρτιση** είναι η διήθηση του ύδατος στο υπόγειο υδροφόρο επίπεδο μέσω των κοιτών των ποταμών, των λιμνών, του νερού από τα αυλάκια και τα κανάλια, και η μίξη των υπόγειων νερών από τα παρακείμενα ή υποκείμενα υδροφόρα στρώματα

Για τους υδροφόρους των κοιλάδων και των ποτάμιων κοιτών πλημμύρας, η επαναφόρτιση από τη βροχή μίας ευρείας περιοχής είναι περισσότερο αποτελεσματική όταν η στάθμη του υπόγειου νερού είναι υψηλή και το έδαφος και η ζώνη αερισμού είναι πορώδης και μικρού πάχους. Η πορώδης φύση των ηφαιστειακών ή ασβεστολιθικών πετρωμάτων από τα οποία μπορεί να αποτελούνται οι υδροφορείς, οι επιφανειακές εμφανίσεις ή η παρουσία χαρακτηριστικών γνωρισμάτων διάβρωσης όπως είναι τα καρστικά φρέατα (sink holes) διευκολύνουν τη διήθηση του επιφανειακού νερού προς τα βαθύτερα στρώματα.

Τα ιζηματογενή πετρώματα (εκτός από τον ασβεστόλιθο) με μικρή διαπερατότητα έχουν χαμηλά ποσοστά επαναφορτίσεων όπως επίσης και τα μεταμορφωμένα πετρώματα τα οποία εμφανίζουν και αυτά μικρή διαπερατότητα και κατά συνέπεια χαμηλά ποσοστά επαναφορτίσεων. Εντούτοις η παρουσία διακριτών ζωνών ρηγματώσεων και διακλάσεων μέσα σε μεταμορφωμένα πετρώματα μπορούν συνολικά να επιτρέψουν την κατείδυση σημαντικών ποσοτήτων νερού καθώς και τη μετακίνηση τυχόν μολυσματικών παραγόντων (Sheppard et al., ?).

Περιβαλλοντικοί ιχνηθέτες όπως τα χλωρίδια στο εδαφικό νερό και το Τρίτιο (^3H) ή η αναλογία $^3\text{H} / \text{He}$ στο υπόγειο, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό του ρυθμού τροφοδοσίας. Ενδεικτικά ο ρυθμός τροφοδοσίας (R) με βάση τα χλωρίδια ισούται με:

$$R = C_{I_p} / C_{I_s} * P \quad (2)$$

Όπου C_{I_p} και C_{I_s} είναι η συγκέντρωση του χλωριδίου στο κατακρημνίσμο και στο εδαφικό νερό αντίστοιχα και P η κατακρήμνιση (http://www.twdb.state.tx.us/gam/czwx_c/CZWX_c_Part1_97_Finalrev2c).

1.9 ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ – ΠΟΡΩΔΕΣ

Η διαπερατότητα (permeability) ή περατότητα (που όπως καθορίζεται στη συνηθισμένη υδρογεωλογική ορολογία, είναι η υδραυλική αγωγιμότητα) είναι η δυνατότητα ενός υλικού να απελευθερώσει από το εσωτερικό του μια τρέχουσα ροή ύδατος όταν εφαρμόζεται σε αυτό μια υδραυλική πίεση και μπορεί να καθοριστεί σε ένα πέτρωμα από το νόμο του Darcy (Geo – Hydrology.com).

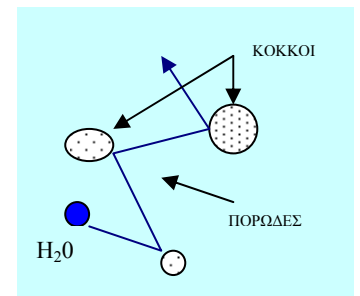
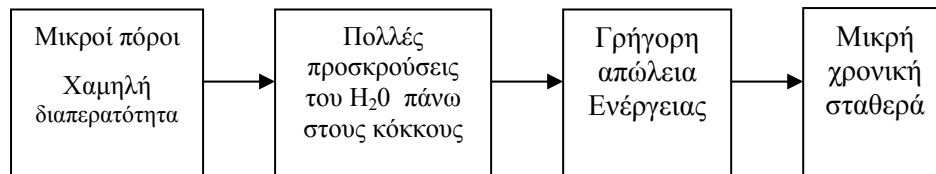
Γενικότερα οι παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η διαπερατότητα είναι (Sheppard et al.,?):

- το πορώδες,
- το μέγεθος των πόρων
- το μέγεθος των κενών και
- η πολυπλοκότητα (tortuosity) της πορείας ροής.

Εάν το πορώδες είναι σχεδόν μηδέν η διαπερατότητα θα είναι κι αυτή αναγκαστικά επίσης πολύ μικρή. Υπάρχουν όμως και περιπτώσεις που το πορώδες μπορεί να είναι υψηλό, όπως στην περίπτωση ενός στρώματος αργίλου, ωστόσο η διαπερατότητα να παραμένει μικρή. Το πορώδες και η διαπερατότητα δεν είναι ανεξάρτητοι παράγοντες ο ένας από τον άλλο: η διαπερατότητα περιλαμβάνει επιπλέον τις πληροφορίες για το πορώδες σε περίπτωση καθορισμού του όγκου του ύδατος που μπορεί να εξαχθεί από το έδαφος. Η διαπερατότητα συνδέεται όχι μόνο με τον όγκο του διαθέσιμου ύδατος, αλλά και με το μέγεθος των πόρων: για μια δεδομένη τιμή του πορώδους, οι μεγάλοι

σε μέγεθος πόροι οδηγούν σε μια υψηλότερη διαπερατότητα από τους μικρούς σε μέγεθος πόρους καθώς στους μεγαλύτερους πόρους το νερό ρέει ευκολότερα.

Η διαπερατότητα ενός στρώματος αργίλου μπορεί να είναι τόσο χαμηλή όσο 10^{-10} m/s, όσο ενός πολύ λίγο διαπερατού στρώματος 10^{-6} m/s ή ενός ιδιαίτερα διαπερατού στρώματος 10^{-2} m/s (Geo – Hydrology.com).



Σχήμα 1: Σχέση μεταξύ χρονικής σταθεράς και διαπερατότητας (με μετάφραση στα ελληνικά και τροποποιήσεις, Geo – Hydrology.com)

Πιν.1: Αριθμητικές τιμές για διάφορα είδη πετρωμάτων (Geo – Hydrology.com)

ΕΙΔΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ		ΠΟΡΩΔΕΣ (%)	ΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ (m/s)
ΜΗ ΣΥΝΕΚΤΙΚΑ - ΜΑΛΑΚΑ ΙΖΗΜΑΤΑ	ΧΑΛΙΚΙΑ	30	10^{-2}
	ΑΜΜΟΣ	25	10^{-4}
	ΑΡΓΙΛΟΣ	50	10^{-12}
ΣΥΝΕΚΤΙΚΑ ΙΖΗΜΑΤΑ ψαμμίτες ασβεστόλιθοι γρανίτες, βασάλτες	ΣΥΜΠΑΓΗ	1	10^{-10}
	ΜΕ ΣΧΙΣΜΕΣ / ΡΩΓΜΕΣ	5	10^{-8}
	ΑΠΟΣΑΡΘΡΩΜΕΝΑ	15	10^{-6}

1.9.1 ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ – ΚΛΙΜΑΚΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Η διαπερατότητα στα κρυσταλλικά πετρώματα ή σε άλλους σχηματισμούς μπορεί να έχει διάφορες τιμές ανάλογα με την κλίμακα με την οποία έχει εκτιμηθεί. Γενικές ποσοτικές ή ημι-ποσοτικές σχέσεις που να συνδέουν την διαπερατότητα με την κλίμακα της περιοχής για την οποία προσδιορίζεται δεν υπάρχουν. Ακόμη και αν υπήρχαν διαθέσιμα στοιχεία για τις τιμές της διαπερατότητας σε διάφορες κλίμακες μιας περιοχής, δεν είναι πάντοτε ξεκάθαρο για το ποια κλίμακα είναι κατάλληλη για

τον προσδιορισμό και την εκτίμηση των υδάτινων πόρων της, για την βαθμονόμηση των μοντέλων ή για την εξέταση γενικά διαφόρων υποθέσεων (McPherson, <http://www.ees.nmt.edu>)

1.9.2 ΤΟ ΕΝΕΡΓΟ ΠΟΡΩΔΕΣ (Sy) – ΕΙΔΙΚΗ ΚΑΤΑΚΡΑΤΗΣΗ (Sr)

Επειδή δεν είναι όλο το νερό που αποθηκεύεται στα κενά των πόρων διαθέσιμο για να γίνει μέρος των υπόγειων νερών καθορίστηκαν οι όροι του «ενεργού πορώδους» και της «ειδικής κατακράτησης».

Το ενεργό πορώδες (effective porosity) είναι το πορώδες το οποίο είναι διαθέσιμο για να κινηθεί το νερό ενώ η ειδική απόδοση (Specific yield) είναι η αναλογία του όγκου του νερού που στραγγίζεται ελεύθερα από ένα κορεσμένο σχηματισμό με την βαρύτητα προς τον συνολικό όγκο του σχηματισμού. Στους κορεσμένους υδροφορείς η ειδική απόδοση ταυτίζεται με το ενεργό πορώδες.

Ακριβώς όπως το νερό προσκολλάται σε ένα γυαλί, το νερό μπορεί να προσκολλάται και στα μόρια του εδάφους λόγω της επιφανειακής τάσης ή λόγω των δυνάμεων συνοχής και προσκόλλησης. Διαμορφώνεται κατά αυτόν τον τρόπο μια λεπτή ταινία περίπου όσο το μέγεθος ενός μορίου. Με βάση τα παραπάνω εξηγείται γιατί η ειδική απόδοση είναι πάντα μικρότερη από το πορώδες.

Αντίθετα από το πορώδες, η ειδική απόδοση επηρεάζεται από το μέγεθος των κόκκων. Εάν δύο εδαφολογικά δείγματα έχουν το ίδιο πορώδες αλλά διαφορετικά μεγέθη κόκκων (π.χ. άργιλος και άμμος) το δείγμα με τα μικρότερα μεγέθη κόκκων θα είναι αυτό με την μικρότερη ειδική απόδοση. Η άργιλος έχει μια μεγαλύτερη περιοχή επιφάνειας από ότι η άμμος επομένως περισσότερο νερό θα παραμείνει μέσα στο δείγμα λόγω της προσκόλλησης του στις επιφάνειες των μορίων της αργίλου.

Πιν.2: Τιμές Ειδικής απόδοσης, Johnson (1967) όπως αναφέρεται από τον Fetter, 2001

Α/Α	ΥΛΙΚΟ	ΕΙΔΙΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ Sr (%)		
		ΜΕΓΙΣΤΗ	ΕΛΑΧΙΣΤΗ	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ
1	ΑΔΡΟΚΟΚΚΑ ΧΑΛΙΚΙΑ	26	12	22
2	ΜΕΣΟΚΟΚΚΑ ΧΑΛΙΚΙΑ	26	13	23
3	ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΑ ΧΑΛΙΚΙΑ	35	21	25
4	ΑΜΜΟΣ ΜΕ ΧΑΛΙΚΙΑ	35	20	25
5	ΑΔΡΟΚΟΚΚΗ ΑΜΜΟΣ	35	20	27
6	ΜΕΣΟΚΟΚΚΗ ΑΜΜΟΣ	32	15	26
7	ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΗ ΑΜΜΟΣ	28	10	21
8	ΙΛΥΣ	19	3	18
9	ΑΡΓΙΛΟΣ ΜΕ ΑΜΜΟ	12	3	7
10	ΑΡΓΙΛΟΣ ΜΕ ΑΜΜΟ	5	0	2

Πιν. 3: Τιμές Ειδικής Απόδοσης (SPECIFIC YIELD %))

a/a	ΕΙΔΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ	Sr	ΕΙΔΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ	Sr	ΕΙΔΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ	Sr	ΕΙΔΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ	Sr
1	ADOBE	0.03	CHALK ROCK	0.05	CALICHE	0.1	COBBLES & GRAVEL	0.14
2	BOULDERS IN CLAY	0.03	CLAY & GRAVEL	0.05	CEMENTED BOULDERS	0.1	COARSE GRAVEL	0.14
3	CEMENTED CLAY	0.03	CLAYEY SAND	0.05	CEMENTED GRAVEL	0.1	BOULDERS	0.14
4	CLAY	0.03	CLAYEY SILT	0.05	CEMENTED SAND	0.1	BROKEN ROCKS	0.14
5	CLAYEY LOAM	0.03	CONGLOMERATE	0.05	CEMENTED SAND & GRAVEL	0.1	GRAVEL & BOULDERS	0.14
6	DECOMPOSED SHALE	0.03	DECOMPOSED GRANITE	0.05	DEAD GRAVEL	0.1	HEAVING GRAVEL	0.14
7	GRANITE CLAY	0.03	GRAVELLY CLAY	0.05	DEAD SAND	0.1	HEAVY GRAVEL	0.14
8	HARD CLAY	0.03	LOAM	0.05	DIRTY PACK SAND	0.1	LARGE GRAVEL	0.14
9	HARD PAN	0.03	ROTTEN CONGLOMERATE	0.05	HARD GRAVEL	0.1	ROCKS	0.14
10	HARD SANDY SHALE	0.03	ROTTEN GRANITE	0.05	HARD SAND	0.1	SAND & GRAVEL, SILTY	0.14
11	HARD SHELL	0.03	SAND & CLAY	0.05	HEAVY ROCKS	0.1	SILTY SAND	0.14
12	MUCK	0.03	SAND & SILT	0.05	SOFT SANDSTONE	0.1	TIGHT FINE GRAVEL	0.14
13	SHALE	0.03	SAND ROCK	0.05	TIGHT BOULDERS	0.1	TIGHT MEDIUM GRAVEL	0.14
14	SHALEY CLAY	0.03	SANDSTONE	0.05	TIGHT COARSE GRAVEL	0.1	MUDDY SAND	0.14
15	SHELL ROCK	0.03	SANDY CLAY	0.05				
16	SILTY CLAY LOAM	0.03	SANDY SILT	0.05				
17	SOAPSTONE	0.03	SEDIMENT	0.05				
18			SHALEY GRAVEL	0.05	FINE SAND	0.2	DRY GRAVEL	0.21-0.23
19			SILT	0.05	HEAVING SAND	0.2	LOOSE GRAVEL	0.21-0.23
20	COARSE SAND	0.26	SILTY CLAY	0.05	QUICKSAND	0.2	GRAVELLY SAND	0.21-0.23
21	FINE GRAVEL	0.26	SILTY LOAM	0.05	SAND & BOULDERS	0.2	MEDIUM GRAVEL	0.21-0.23
22	MEDIUM SAND	0.26	SILTY SAND	0.05	SAND, GRAVEL & BOULDERS	0.2	SAND	0.21-0.23
23			SOIL	0.05	TIGHT SAND	0.2	WATER GRAVEL	0.21-0.23

ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ DEPARTMENT OF WATER RESOURCES, SOUTHERN DISTRICT, WATER RESOURCES OF THE ARROYO GRANDE – NIPOMO MESA AREA, 2002

1.10 ΚΑΤΕΙΣΔΥΣΗ

Η κατείσδυση (infiltration) είναι η μετακίνηση – κάθοδος του νερού από την επιφάνεια του εδάφους στην ακόρεστη ζώνη και η κίνηση του προς την κορεσμένη, σε αντιδιαστολή με τον όρο «διήθηση» όπου εννοούμε την κίνηση του νερού μέσα στην ακόρεστη ζώνη (Καλλέργης, 1999). Το ποσοστό του νερού που αντιπροσωπεύει την κατείσδυση είναι αυτό που συμπληρώνει αρχικά το έλλειμμα της εδαφικής υγρασίας και το πλεόνασμα του «διηθείται» προς τους βαθύτερους ορίζοντες. Επομένως η κατάσταση της επιφάνειας του εδάφους από την οποία ξεκινάει η κίνηση του νερού έχει μεγάλη σημασία. Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την κατείσδυση είναι: η υφή του εδάφους, η δομή του, η κλίση του και η αρχική περιεκτικότητα του σε νερό.

Η ικανότητα ενός εδάφους να «απορροφά» το νερό της βροχής δηλαδή ο βαθμός με τον οποίο επιδέχεται την κατείσδυση εκφράζεται με το «δυναμικό κατείσδυσης (ολικής)» F . Το δυναμικό κατείσδυσης εκφράζεται σε mm/h ή mm/min. Αν μία βροχή έχει ένταση P_i μεγαλύτερη από το δυναμικό F , τότε η διαφορά $P_i - F$ απορρέει επιφανειακά εφόσον προηγουμένως γέμισε τυχόν υπάρχοντα τοπικά εδαφικά κοιλάματα – μικροκοιλώματα (Σούλιος, 1996).

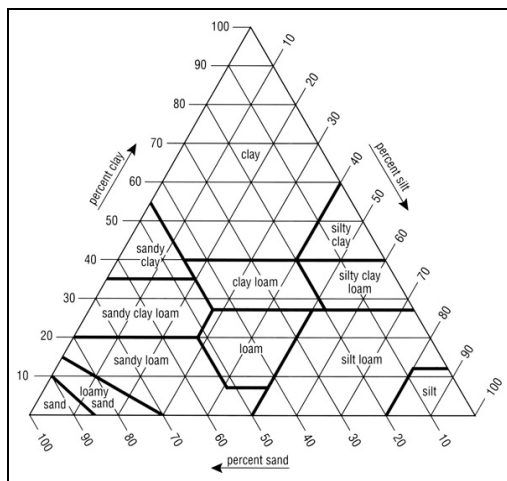
1.10.1 ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΚΑΤΕΙΣΔΥΣΗΣ

Η αβεβαιότητα στην κατείσδυση είναι ανάλογη με την αβεβαιότητα για την σύσταση των επιφανειακών εδαφών. Διακυμάνσεις στα ποσοστά των λεπτόκοκκων υλικών μπορούν να τροποποιήσουν τις τιμές κατείσδυσης από 0.01 έως 0.02 m/έτος ή και παραπάνω. Παραδείγματος χάρη μια αύξηση του λεπτόκοκκου κλάσματος από 1% σε 7% μειώνει την προβλεπόμενη κατείσδυση περίπου στο 1/3 δηλαδή από τα 0.79 m/έτος στα 0.28 m/έτος (Gee and Ward, 2001).

1.10.2 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΣΥΣΤΑΣΗΣ ΤΩΝ ΕΔΑΦΩΝ ΣΤΗΝ ΚΑΤΕΙΣΔΥΣΗ

Είναι γνωστό ότι με την αργή διείσδυση του νερού μέσω ενός εδάφους που αποτελείται από λεπτόκοκκο υλικό αυξάνεται η δυνατότητα για διάφορες φυσικές, χημικές και βιολογικές αντιδράσεις.

Η υφή του εδάφους καθορίζεται κατά την διάρκεια κοκκομετρικών αναλύσεων από τις σχετικές αναλογίες άμμου, ιλύος και αργίλου.



Πίνακας 4: Αντιπροσωπευτικές ταχύτητες κατείσδυσης για διάφορους σχηματισμούς (Carrow, 1985)

ΡΥΘΜΟΣ ΚΑΤΕΙΣΔΥΣΗΣ			
A/A	ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ	Inches/hr	cm/hr
1	ΑΔΡΟΚΟΚΚΗ ΑΜΜΟΣ	1.00 - 8.00	2.50 - 20.00
2	ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΗ ΑΜΜΟΣ	0.50 - 3.10	1.25 - 8.00
3	ΑΜΜΟΥΧΟΣ ΠΗΛΟΣ	0.40 - 2.60	1.00 - 6.50
4	ΠΗΛΟΣ	0.08 - 1.00	0.20 - 2.50
5	ΑΡΓΙΛΟΥΧΟΣ ΠΗΛΟΣ	0.04 - 0.60	0.10 - 1.50
6	ΑΡΓΙΛΟΣ	0.01 - 0.10	0.02 - 0.25

ΕΙΚ.1: Τριγωνικό διάγραμμα σύστασης εδαφών (<http://soils.usda.gov/technical/manual/images/fig3>)

Οι επιφανειακές συνθήκες μπορούν να μεταβάλλουν τις παραπάνω τιμές για αυτό και οι τιμές αυτές είναι κατά προσέγγιση. Οι ταχύτητες κατείσδυσης μπορούν να ποικίλουν ευρέως ανάλογα με τις συνθήκες επιφάνειας και την περιεκτικότητα σε νερό.

- Τα αμμώδη εδάφη μπορούν να έχουν ταχύτητες κατείσδυσης μεγαλύτερες από 1,0 ίντσα ανά ώρα ενώ στα αργιλώδη εδάφη είναι συχνά μικρότερες από μία 0,1 ίντσα ανά ώρα (πίνακας 4).
- Ένα καλά ταξινομημένο έδαφος παρέχει μεγάλους μακροπόρους για την κατείσδυση (macropores > 0,10 mm που είναι πόροι διαμέτρων > 0,10 mm και αποκαλούνται και ως μη-τριχοειδείς πόροι ή πόροι αερισμού), το αντίθετο παρατηρείται στην συμπυκνωμένη άργιλο ή στο συμπαγές χώμα με λίγους μακροπόρους.
- Η οργανική ουσία συχνά βοηθά την κατείσδυση καθώς λειτουργεί ως βελτιωτικό της σύστασης του εδάφους.
- Οι ρωγμές που εμφανίζονται από την ξήρανση μπορούν να αυξήσουν σημαντικά τις αρχικές ταχύτητες διήθησης μετά από την άρδευση. Αυτές είναι ιδιαίτερα ευεργετικές στα βαριά εδάφη αργίλου.

- Μια κεκλιμένη επιφάνεια θα παρουσιάσει μια πολύ χαμηλότερη ταχύτητα κατείδυσης που περιπλέκει την άρδευση σε ζώνες και τον σχεδιασμό της (ιδιαίτερα σε εκτάσεις με διαδοχικά υψώματα και βαθουλώματα όπως στα γήπεδα του γκολφ).
- Τα «καλύμματα» του εδάφους με οργανικό υλικό μπορούν να ενεργήσουν αντίθετα και να μειώσουν την κατείδυση εάν μέσα στη φύση γίνουν υδροφοβικά. Σε αυτήν την περίπτωση όχι μόνο δεν αφήνουν το νερό να διαπεράσει ένα έδαφος αλλά αντίθετα το «αποκρούουν». Οι χρήστες τύρφης έχουν επισημάνει αρκετές φορές την παρουσία υδροφοβικών άμμων με πολύ χαμηλές ταχύτητες κατείδυσης. Τα φαινόμενα αυτά είναι δυνατόν να προκληθούν από τα οργανικά επιστρώματα πάνω στα μόρια της άμμου που απωθούν τα μόρια του νερού.
- Όταν το νερό διοχετεύεται σε ένα ξηρό (ή μερικώς ξηρό) έδαφος, η αρχική ταχύτητα διήθησης είναι υψηλή και έπειτα βαθμιαία μειώνεται καθώς η περιεκτικότητα σε νερό αυξάνεται.

Η παρουσία οργανικής ουσίας μπορεί να βελτιώσει τις ικανότητες των άμμων να περιέχουν νερό (water-holding capacities). Συχνά τα εδάφη με πολύ υψηλά ποσοστά άμμου ή η ζώνη ανάπτυξης του ριζικού συστήματος των φυτών βελτιώνονται σημαντικά με την προσθήκη 5 έως 15 τοις εκατό από τον όγκο μίας καλά αποσυντεθειμένης και τροποποιημένης οργανικής ουσίας. Ωστόσο πολύ υψηλά ποσοστά οργανικού υλικού μπορεί να είναι καταστρεπτικά για το έδαφος μειώνοντας τον αερισμό από την υπερβολική κατακράτηση της υγρασίας στην οργανική ουσία και δημιουργώντας υγρά και λασπωμένα εδάφη (soggy soils, Carrow, 1985).

1.10.3 ΠΑΧΟΣ ΡΟΗΣ

Μελετώντας τα αποτελέσματα δοκιμαστικών αντλήσεων (slug tests) σε υδροφορείς εντός των σχηματισμών με εναλλαγές ιλυόλιθων και ψαμιτιών (Van Tonder et al., 2005) φαίνεται ότι οι κατ' εκτίμηση τιμές της υδροπερατότητας (K) εξαρτώνται άμεσα από το πάχος της ροής. Ειδικότερα εάν υπάρχουν στον σχηματισμό στρώματα ρηγματωμένα τότε η υδροπερατότητα η οποία είναι αντιπροσωπευτική για τον σχηματισμό πλησιάζει περισσότερο με την K τιμή υδροπερατότητας της ζώνης σπασίματος.

Πίνακας 5: Από Van Tonder and Vermeulen, 2005

Υπολογισμένες τιμές της K με την μέθοδο Bouwer & Rice 1976 για διάφορα πάχη ροής.		
ΔΙΑΘΕΣΙΜΟ ΠΑΧΟΣ ΡΟΗΣ	ΥΔΡΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ K (m/d)	ΜΕΤΑΒΙΒΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ T (m ² /d)
30	12	360
20	17	340
10	32	320
1	231	231
0.16	541	80
0.001	3600	3.6

Η ισορροπία των υπόγειων νερών επηρεάζεται από πλήθος παραγόντων για αυτό είναι μία ιδιαίτερα σύνθετη διαδικασία. Η ισορροπία αυτή μπορεί να εξεταστεί από τρεις απόψεις:

- α) της ροής μέσα στο ίδιο το σώμα των υπόγειων νερών
- β) στις κάθετες επαναφορτίσεις και απώλειες δηλαδή την διήθηση, την εξάτμιση και τη διαπνοή, οι οποίες είναι μετακινήσεις υγρασίας κατά την κάθετη κατεύθυνση στην ακόρεστη ζώνη και
- γ) στην οριζόντια επαναφόρτιση και απώλειες, δηλαδή στην κάτω από την επιφάνεια εισροή και εκροή.

Οι ροές στα υπόγεια νερά μπορούν να είναι διαδικασίες διήθησης:

- α) **σταθερού χαρακτήρα:** κάτω από την επιφάνεια εισροή (subsurface inflow), καθυστερημένη ενδοεπιφανειακή απορροή, βαθιά διείσδυση, απορροή υπόγειων νερών κ.α. και
- β) **ασταθούς χαρακτήρα:** συνήθως κοντά στους ποταμούς και τα κανάλια κάτω από την επίδραση των διακυμάνσεων της στάθμης του νερού όπως η γρήγορη κάτω από την επιφάνεια απορροή, το νερό που αποθηκεύεται στις όχθες των ποταμών ή το νερό που διαφεύγει της αποθήκευσης του στις όχθες (Bell, ?).

2

Εφαρμογή Συστημάτων

Γεωγραφικών Πληροφοριών

Τα ΣΓΠ αποτελούν ένα αναλυτικό εργαλείο πληροφορικής με κύρια λειτουργία την χωρική συσχέτιση των γεωγραφικών οντοτήτων. Η αποθήκευση των χαρτών δεν γίνεται με την συμβατική έννοια, ούτε με την αποθήκευση μιας συγκεκριμένης εικόνας ή άποψης του γεωγραφικού χώρου. Αντίθετα η αποθήκευση των δεδομένων γίνεται κατά τέτοιον τρόπο ώστε να μπορεί να σχεδιαστεί μία θεματική ενότητα που θα χρησιμεύσει σε συγκεκριμένους σκοπούς.

Στην παρούσα διπλωματική χρησιμοποιήθηκε η έκδοση ArcGISDesktop 9.1 που παρέχει πολυάριθμες εφαρμογές όσον αφορά τον προσδιορισμό γεωγραφικών και περιγραφικών δεδομένων και ειδικότερα εφαρμογών σχετικά με την υδρολογία.

Το ArcMap δίνει τη δυνατότητα να δημιουργηθούν χάρτες από επίπεδα χωρικής πληροφορίας, να αναλυθούν χωρικές σχέσεις και να επιλεγούν μέσα από αναζητήσεις χωρικά και μη χωρικά στοιχεία (Κουτσόπουλος, 2005). Το υδρογραφικό δίκτυο και οι υδρολογικές λεκάνες μπορούν να παραχθούν αυτόματα από ένα ψηφιακό μοντέλο εδάφους (ΨΜΕ).

Κάθε έκδοση του ArcGIS Desktop περιέχει τις εξής τρεις βασικές εφαρμογές:

Arc Map

Arc Catalog

Geoprocessing Arc Toolbox & Model – Builder

καθώς και μία σειρά από προαιρετικά προϊόντα όπως:

Spatial Analyst

3D Analyst

Geostatistical Analysis

Arc Press

Τα αρχεία που δημιουργεί το ArcMap έχουν επέκταση του ονόματος mxd.

Τα ΨΜΕ μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δεδομένο εισόδου από το οποίο προκύπτουν:

- οι λεκάνες απορροής
- το υδρογραφικό δίκτυο
- οι κλίσεις των πρανών
- τα υψόμετρα

με βάση τα παραπάνω μπορούν στη συνέχεια να προσδιοριστούν οι περιοχές στις οποίες έχουν εκδηλωθεί φαινόμενα κατολισθήσεων, να προβλεφθούν οι περιοχές με λιμνάζοντα νερά ή να χαραχθούν οι αντιπλημμυρικές ζώνες.

Για τον υπολογισμό των μορφολογικών κλίσεων και για την δημιουργία του Μοντέλου Σκίασης (όπως παρουσιάζεται παρακάτω) και τον υπολογισμό του υψομέτρου είναι απαραίτητη ή ύπαρξη του raster αρχείου του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους (DEM).

Με τη βοήθεια των ΣΓΠ οριοθετήθηκαν οι λεκάνες απορροής με παράλληλο υπολογισμό των βασικών χαρακτηριστικών τους.

Υπολογίστηκαν το Εμβαδόν, η Περίμετρος της συνολική λεκάνης αλλά και των υπολεκανών τους όπου αυτές εξετάστηκαν, το μήκος των βασικών υδατορευμάτων, το ποσοστό των γεωλογικών σχηματισμών που τις συνθέτουν και το ποσοστό των υδατορευμάτων που διέρχονται από κάθε γεωλογικό σχηματισμό ξεχωριστά.

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν και προστέθηκαν ως θεματικά επίπεδα τα εξής αρχεία:

- Rivers.shp
- Basins.shp
- Geological.shp

Τα πολυγωνικά επίπεδα (basins) τοποθετούνται στα κατώτερα τμήματα του πίνακα περιεχομένων για να μην προηγούνται των σημειακών (θέσεις υδρομετρικών σταθμών) και γραμμικών επιπέδων (ποτάμια) και τα επικαλύπτουν.

2.1 ΟΡΙΟΘΕΤΗΣΗ ΛΕΚΑΝΩΝ – ΥΔΑΤΟΡΕΥΜΑΤΩΝ

Για να απομονωθούν οι συγκεκριμένες λεκάνες στις οποίες εφαρμόστηκε το μοντέλο από τις γειτονικές τους και να εμφανίζονται μόνο τα υδατορεύματα και οι γεωλογικοί σχηματισμοί που αυτές εσωκλείουν χρησιμοποιήθηκε η εντολή Clip του ArcToolBox. Το ArcToolBox: αποτελεί μία πρώτη εφαρμογή του Geoprocessing που συμπληρώνει τις άλλες δυο εφαρμογές του ArcGIS (Arc Catalog και Arc Map)

ArcToolBox → Εργαλεία Ανάλυσης
→ Extract
→ Clip

Με τη διαδικασία επιλογής του Clip εμφανίζεται η περιοχή έτσι όπως την οριοθετήσαμε και πληρεί όλα τα κριτήρια εκτός από το κριτήριο του Εμβαδού.

Για αυτό το λόγο ο πίνακας ιδιοτήτων, Attribute Table, του θεματικού επιπέδου των γεωλογικών σχηματισμών χρειάζεται ενημέρωση και υπολογισμό του Εμβαδού καθενός σχηματισμού με βάση την εντολή: Area

Για τον καθορισμό υπολεκανών εντός των κυριότερων λεκανών - πολυγώνων όπως στην περίπτωση του Εύηνου, θέση Πόρος Ρηγανίου και στη θέση Τσιμόβου στον Άραχθο χρησιμοποιήθηκε το:

Εργαλείο Σχεδίασης → Cut Polygons στην εργαλειοθήκη του Editor

ή σε άλλες περιπτώσεις ψηφιοποιήθηκαν εκ νέου οι λεκάνες ανάντη των υδρομετρικών σταθμών όπως έγινε για την λεκάνη ανάντη του υδρομετρικού σταθμού των Κρεμαστών στον Αχελώο και τη λεκάνη Κομποτάδων του Σπερχειού.

Τα υδατορεύματα τροποποιήθηκαν με βάση το εργαλείο σχεδίασης Trim features

Εργαλείο Σχεδίασης → Extend / Trim features στην εργαλειοθήκη του Editor.

2.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΚΤΑΣΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ

Από τον Πίνακα Ιδιοτήτων του θεματικού επιπέδου Geological.shp, στο πεδίο που θα καταγραφούν τα Εμβαδά των σχηματισμών (σε m²) και δεξί κλικ

→ Calculate values

→ Field Calculator



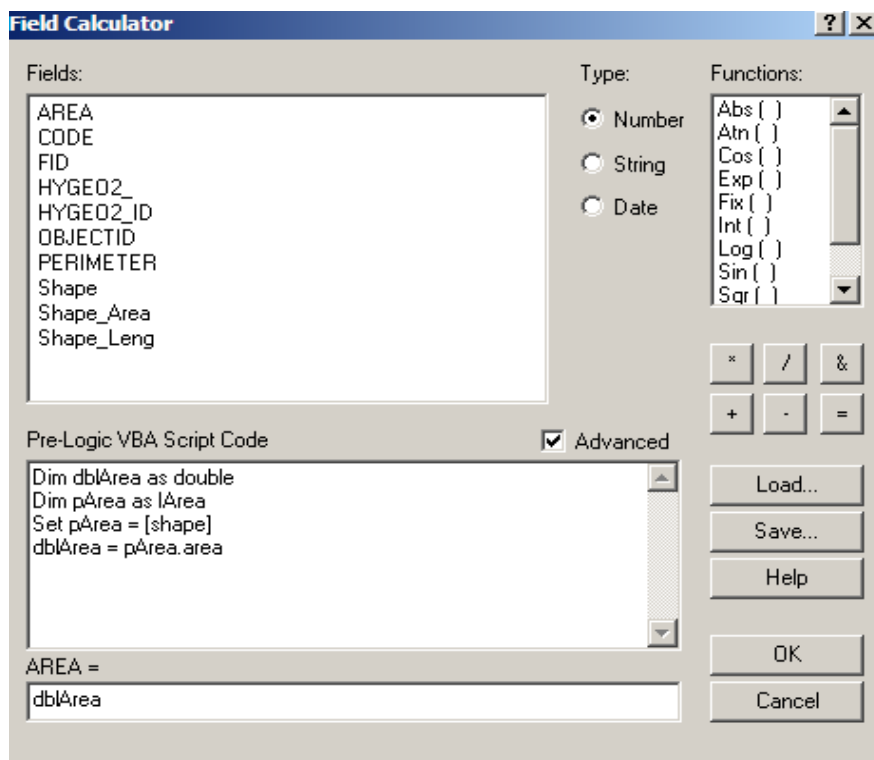
Γράφουμε τον παρακάτω κώδικα στο νέο πεδίο Pre – Logic VBA Script Code που εμφανίζεται:

```
Dim dblArea as double  
Dim pArea as IArea  
Set pArea = [shape]  
dblArea = pArea.area
```

και στο πεδίο AREA την μεταβλητή που θέλουμε να υπολογίσουμε

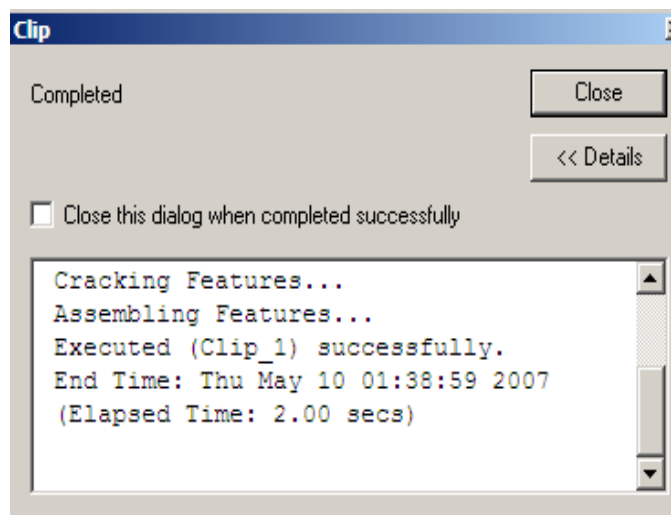
→ Area = dblArea

→ OK



Σχήμα 1: Υπολογισμός Εμβαδού και Ενημέρωση του Πίνακα Ιδιοτήτων

Εμφανίζεται μία οθόνη διαλόγου η οποία μας πληροφορεί για την πορεία της διαδικασίας και με την ολοκλήρωση της εμφανίζονται οι τιμές των εμβαδών στον πίνακα ιδιοτήτων, στο πεδίο που ορίσαμε για την αναγραφή των Εμβαδών των σχηματισμών.



Σχήμα 2: Οθόνη διαλόγου για την πορεία που ακολουθείται

Με τον ίδιο τρόπο και για τα θεματικά επίπεδα των ποταμών και των υδρολογικών λεκανών υπολογίστηκαν στα πεδία των LENGTH και PERIMETER των πινάκων χαρακτηριστικών τους, η περίμετρος για κάθε ψηφιοποιημένη υδρολογική λεκάνη και το μήκος των επίσης ψηφιοποιημένων υδατορευμάτων.

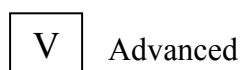
2.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΕΡΙΜΕΤΡΟΥ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ

Για τον υπολογισμό της περιμέτρου κάθε λεκάνης τα βήματα που ακολουθήθηκαν είναι τα εξής:

Από τον Πίνακα Ιδιοτήτων του θεματικού επιπέδου Basins.shp, στο πεδίο που θα καταγραφεί η περίμετρος κάθε λεκάνης και των υπολεκανών της και δεξί κλικ

→ Calculate values

→ Field Calculator



Γράφουμε τον παρακάτω κώδικα στο νέο πεδίο Pre – Logic VBA Script Code που εμφανίζεται:

```
Dim dblPerimeter as double
Dim pCurve as ICurve
Set pCurve = [shape]
dblPerimeter = pCurve.Length
```

και στο πεδίο PERIMETER την μεταβλητή που θέλουμε να υπολογίσουμε

→ Area = dbPerimeter

→ OK

2.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΗΚΟΥΣ ΥΔΑΤΟΡΕΥΜΑΤΩΝ

Το μήκος του κυρίου υδατορεύματος αποτελεί ένα από τα βασικότερα φυσιογραφικά χαρακτηριστικά της λεκάνης και σχετίζεται εμπειρικά με τον χρόνο συγκέντρωσης της λεκάνης. Συνήθως προτιμάται ο κλάδος με την μεγαλύτερη τάξη και το μεγαλύτερο μήκος. Η αναγνώριση του κυρίου υδατορεύματος ή αλλιώς της κύριας μισγάγκειας της λεκάνης είναι εύκολη στο χαμηλό τελευταίο τμήμα της λεκάνης όπου συνήθως υπερέχει σαφώς από άποψη διαστάσεων και παροχής αλλά έχει και την μεγαλύτερη τάξη (Κουτσογιάννης, 1999).

Για τον υπολογισμό του μήκους των υδατορευμάτων που υπάρχουν σε κάθε λεκάνη τα βήματα που ακολουθήθηκαν είναι τα εξής:

Από τον Πίνακα Ιδιοτήτων του θεματικού επιπέδου River.shp, στο πεδίο που θα καταγραφούν τα μήκη των υδατορευμάτων και δεξί κλικ

→ Calculate values

→ Field Calculator



Γράφουμε τον παρακάτω κώδικα στο νέο πεδίο Pre – Logic VBA Script Code που εμφανίζεται:

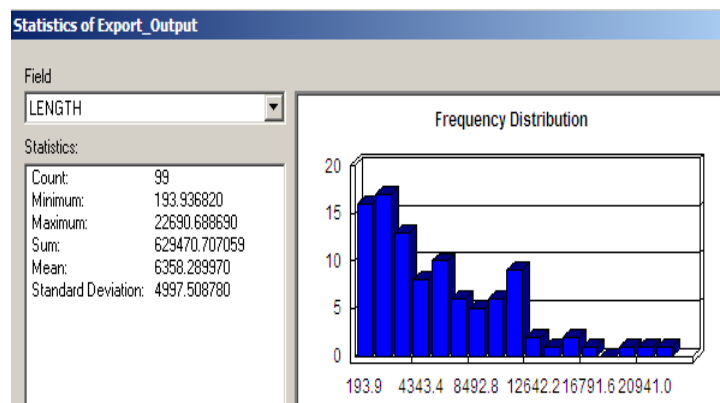
```
Dim dblLength as double  
Dim pCurve as ICurve  
Set pCurve = [shape]  
dblLength = pCurve.Length
```

και στο πεδίο LENGTH την μεταβλητή που θέλουμε να υπολογίσουμε

→ Length = dblLength

→ OK

Για κάθε οντότητα υπολογίζονται αυτόματα οι βασικοί στατιστικοί δείκτες και το διάγραμμα κατανομής συχνοτήτων όπως παρακάτω:



Σχήμα 3: Βασικοί στατιστικοί δείκτες και διάγραμμα κατανομής συχνοτήτων για την οντότητα των υδατορευμάτων.

2.5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΛΙΣΕΩΝ ΕΔΑΦΟΥΣ

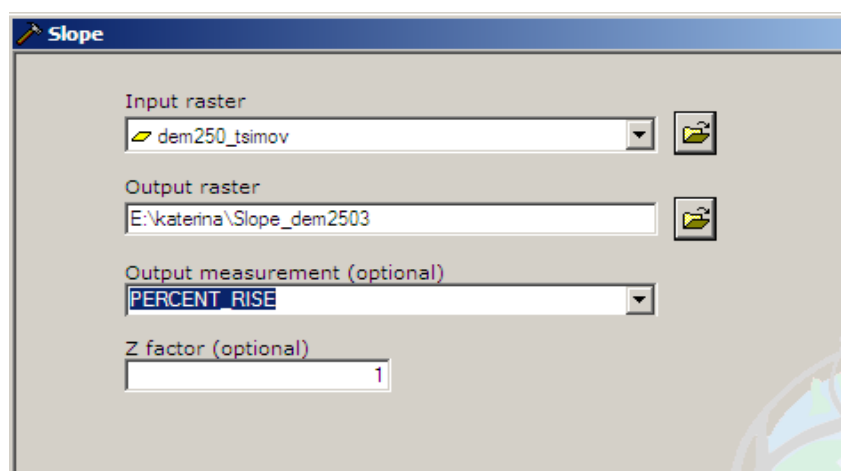
Από το Menu → ArcToolBox → 3D Analyst Tools
→ Raster Surface
→ Slope

Εμφανίζεται το παράθυρο Slope και σε αυτό ορίζεται:

Input raster: το ΨΜΕ (DEM) που θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε

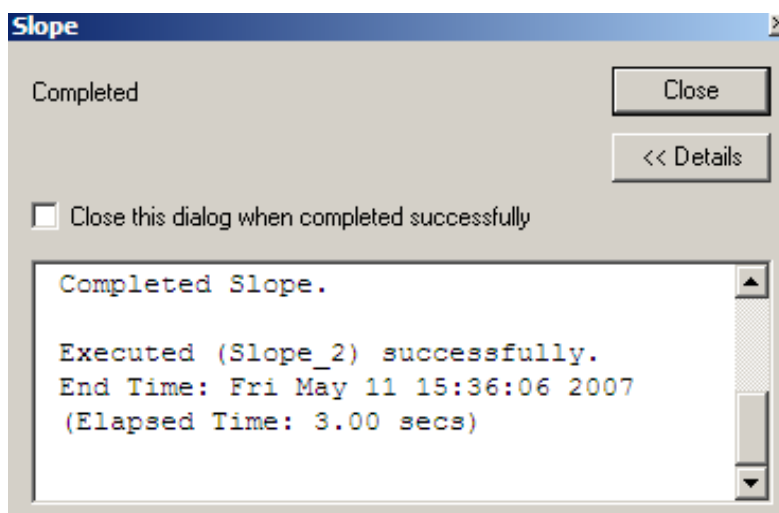
Output raster: το όνομα του νέου αρχείου, στο οποίο θα είναι υπολογισμένες οι κλίσεις του εδάφους.

Τέλος επιλέγεται OK και το καινούριο grid εισάγεται στον χάρτη.



Σχήμα 4: Παράθυρο διαλόγου υπολογισμού των μορφολογικών κλίσεων.

Εμφανίζεται μία οθόνη διαλόγου η οποία μας πληροφορεί για την πορεία της διαδικασίας και με την ολοκλήρωση της εμφανίζονται οι τιμές των κλίσεων.



Σχήμα 5: Οθόνη διαλόγου για την πορεία της διαδικασίας.

2.6 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΣΚΙΑΣΗΣ ΤΟΥ ΨΜΕ

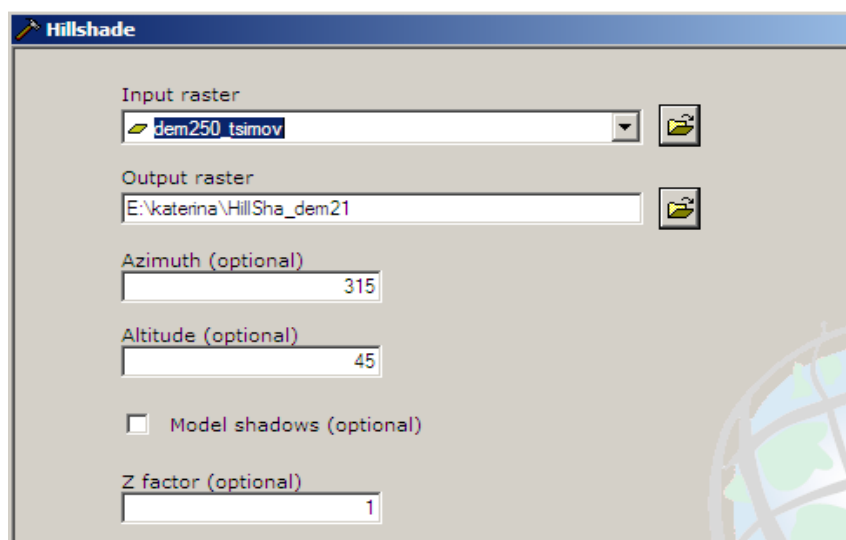
Από το Menu → ArcToolBox → 3D Analyst Tools
→ Raster Surface
→ Hill Shade

Εμφανίζεται το παράθυρο Hill shade και σε αυτό ορίζεται:

Input raster: το ΨΜΕ (DEM) που θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε

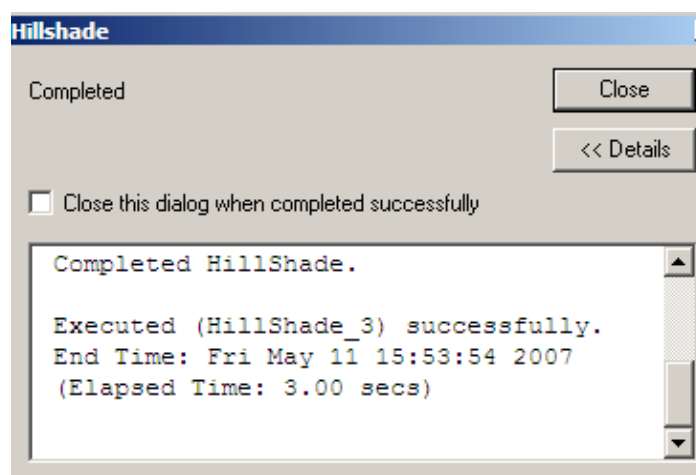
Output raster: το όνομα του νέου αρχείου

Τέλος επιλέγεται OK και το καινούριο grid εισάγεται στον χάρτη.



Σχήμα 6: Παράθυρο διαλόγου για τον υπολογισμό μοντέλου σκίασης ΨΜΕ
Ορισμός παραμέτρων

Εμφανίζεται μία οθόνη διαλόγου η οποία μας πληροφορεί για την πορεία της διαδικασίας και με την ολοκλήρωση της εμφανίζεται η σκίαση του ΨΜΕ.



Σχήμα 7: Οθόνη διαλόγου για την πορεία της διαδικασίας σκίασης του ΨΜΕ

2.7 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΥΨΟΜΕΤΡΟΥ

Από το Menu → ArcToolBox → 3D Analyst Tools
→ Raster Surface
→ Contour

Εμφανίζεται το παράθυρο Contour και σε αυτό ορίζεται:

Input raster: το ΨΜΕ (DEM) που θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε

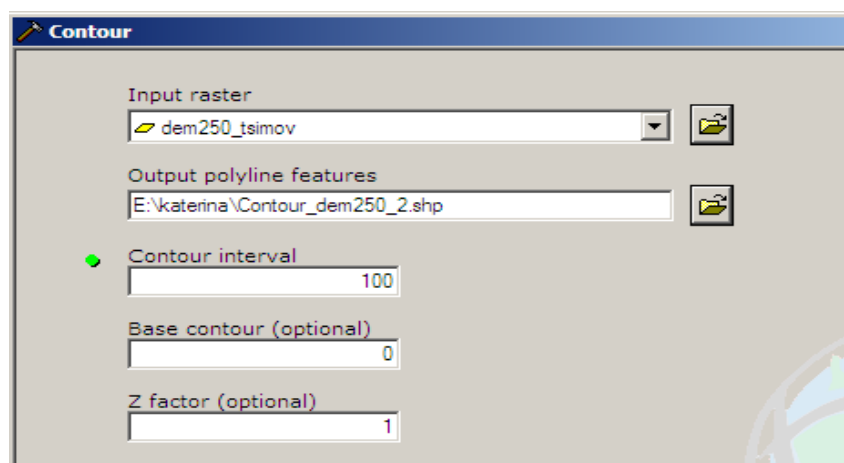
Output raster: το όνομα του νέου αρχείου

Contour interval: 100

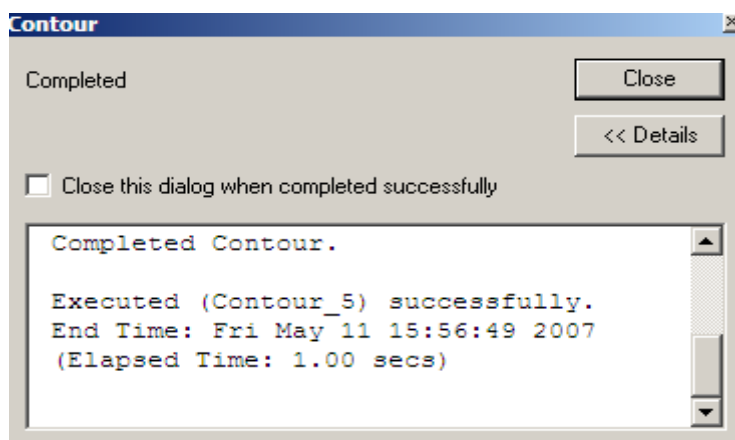
Base contour: 0

Z factor: 1 (default)

Τέλος επιλέγεται OK και εμφανίζεται ένα καινούριο θεματικό επίπεδο με τις υψομετρικές καμπύλες. Από τον Πίνακα Ιδιοτήτων μπορούν να υπολογιστούν διάφορα στατιστικά χαρακτηριστικά για το υψόμετρο.



Σχήμα 8: Παράθυρο διαλόγου για τον υπολογισμό υψομέτρου της υδρολογικής λεκάνης. Ορισμός παραμέτρων.



Σχήμα 9: Οθόνη διαλόγου πορείας υπολογισμού του υψομέτρου.

3

Μοντέλο Ζυγός

Περιγραφή και Εφαρμογή

Το μοντέλο ΖΥΓΟΣ αποτελεί μία τροποποιημένη εκδοχή του μοντέλου Thornthwaite όπως περιγράφεται παρακάτω και σχεδιάστηκε για να προσομοιώνει τόσο τις επιφανειακές διεργασίες της λεκάνης όσο και τις υπόγειες.

3.1 ΤΟ ΑΠΛΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟ THORNTHTHWAITE

Το μοντέλο αυτό εξομοιώνει την λειτουργία της λεκάνης απορροής με την λειτουργία μιας απλής δεξαμενής. Το απόθεμα της δεξαμενής αναπαριστά την αποθήκευση της εδαφικής υγρασίας S . Η δεξαμενή υπερχειλίζει όταν το απόθεμα υπερβεί την χωρητικότητα της δεξαμενής και η υπερχειλίση της αναπαριστά την επιφανειακή απορροή. Σύμφωνα επομένως με αυτό το μοντέλο, επιφανειακή απορροή πραγματοποιείται μόνο όταν γεμίσει η δεξαμενή ή αλλιώς όταν κορεστεί το έδαφος από υγρασία. Για την υπολογιστική λειτουργία του μοντέλου, θεωρείται γνωστή σε κάθε χρονική περίοδο n η βροχόπτωση P_n και η δυνητική εξατμισοδιαπνοή E_{pn} , καθώς και η αποθήκευση στο τέλος της προηγούμενης περιόδου S_{n-1} . Αυτά που προκύπτουν από το μοντέλο είναι η πραγματική εξατμισοδιαπνοή E_n , η επιφανειακή απορροή Q_n καθώς και η αποθήκευση στο τέλος της τρέχουσας περιόδου S_n .

Συμπερασματικά, το απλό μοντέλο Thornthwaite με δεδομένα εισόδου τη βροχόπτωση και τη δυνητική εξατμισοδιαπνοή δίνει ως εξόδους την απορροή και την πραγματική εξατμισοδιαπνοή, χρησιμοποιώντας μία μόνο παράμετρο, την χωρητικότητα της εδαφικής δεξαμενής K (100 - 200 mm). Εάν υπάρχουν δεδομένα απορροής, η παράμετρος K μπορεί να εκτιμηθεί σε τρόπο ώστε η σειρά τιμών της επιφανειακής απορροής που εξάγεται από το μοντέλο να συμφωνεί κατά το δυνατό με την μετρούμενη σειρά απορροής. Το μοντέλο λειτουργεί σε μηνιαία κλίμακα και είναι κατάλληλο μόνο για «απλές» λεκάνες δηλαδή για λεκάνες χειμαρρικής δίαιτας χωρίς θερινές απορροές αλλά και χιονοπτώσεις, ωστόσο μπορεί να τροποποιηθεί ώστε να καλύπτει και λεκάνες όπου παρατηρούνται χιονοπτώσεις (Κουτσογιάννης, Ξανθόπουλος, 1999).

3.2 ΑΔΡΟΜΕΡΕΣ ΜΟΝΤΕΛΟ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ – ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΖΥΓΟΣ

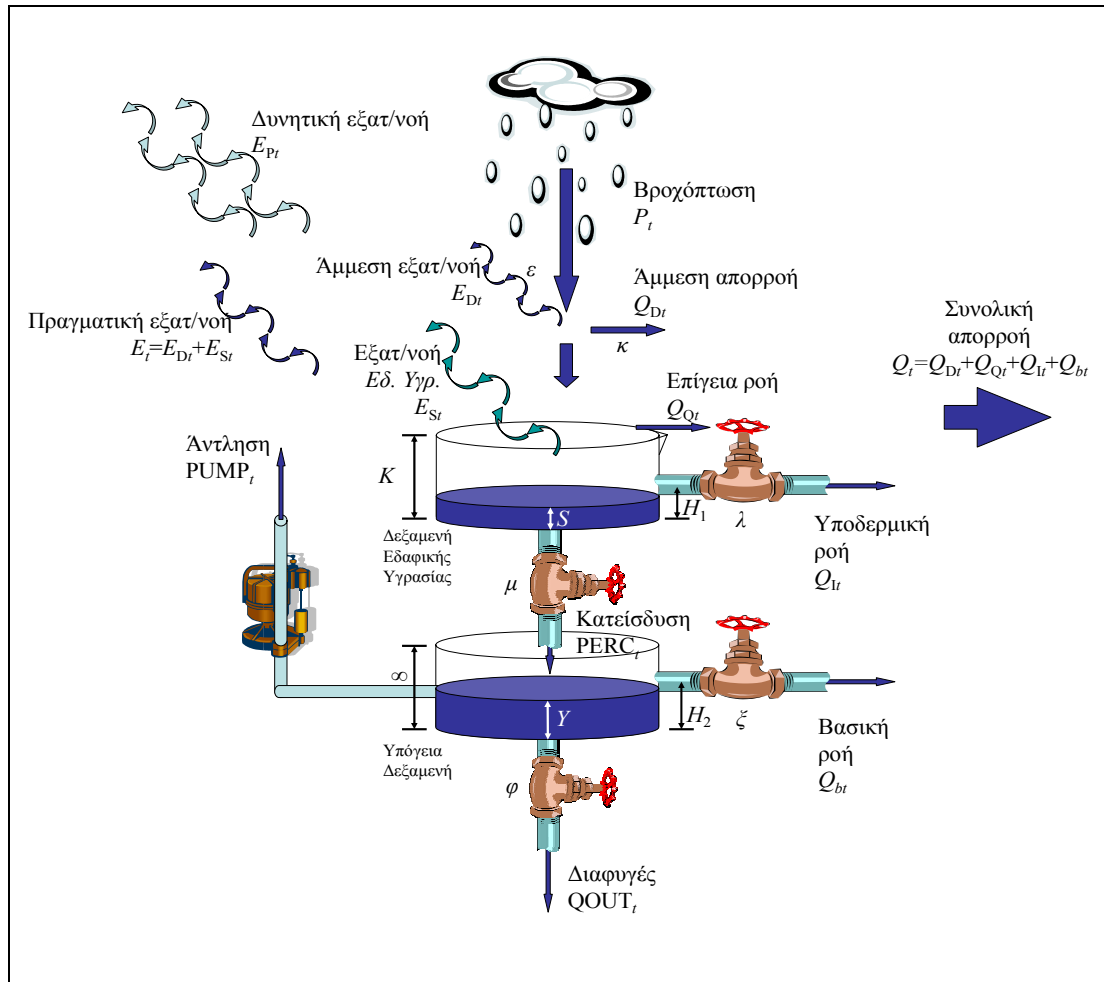
- Αδρομερές
- Ημικατανεμημένο
- Συγκεντρωτικό Εννοιολογικό Μοντέλο

Το μοντέλο Ζυγός είναι ένα επιπρόσθετο εργαλείο του λογισμικού Υδρογνώμων που αναπαριστά τις κύριες υδρολογικές διεργασίες μιας λεκάνης απορροής και του υποκείμενου υδροφορέα (παρόμοια υπολογιστικά συστήματα είναι αυτά της ΚΑΣΤΑΛΙΑ: για την στοχαστική προσομοίωση των υδρολογικών διεργασιών, της ΠΥΘΙΑΣ: στατιστική ανάλυση υδρολογικών χρονοσειρών, του ΟΜΒΡΟΣ: κατασκευή όμβριων καμπυλών, το ΔΙΨΟΣ: εκτίμηση υδάτινων αναγκών, το ΑΛΣ: ανάλυση παράκτιων υδροφορέων κ.α.).

Στην παρούσα Διπλωματική εργασία έγινε προσπάθεια να συσχετιστούν οι παράμετροι του μοντέλου υδατικού ισοζυγίου ΖΥΓΟΣ, στο σύνολο τους 9 – έξι για τις επιφανειακές διεργασίες και τρεις για τις υπόγειες - με βάση τα χαρακτηριστικά των λεκανών και να δοθεί μία ερμηνεία των μεταβολών και των τιμών τους. Οι παράμετροι S_0 και Y_0 που είναι τα αντίστοιχα αρχικά αποθέματα των δεξαμενών Εδαφικής και Υπόγειας Υγρασίας (mm) ουσιαστικά είναι αρχικές συνθήκες του μοντέλου.

Το μοντέλο Ζυγός βασίζεται σε χρονοσειρές οι οποίες πρέπει να έχουν σταθερό χρονικό βήμα, θα πρέπει δηλαδή να είναι ημερήσιες, μηνιαίες ή ετήσιες. Οι χρονοσειρές αυτές μπορούν να εισαχθούν με copy – paste από ένα αρχείο Excel και ο τρόπος που θα είναι γραμμένη η ημερομηνία τους είναι καθορισμένη (1980/10, 1980/11, 1980/12 κοκ).

Για το Υδατικό Ισοζύγιο απαιτούνται 1-3 χρονοσειρές για την επίλυση και μία ακόμα χρονοσειρά απορροής (Runoff), ανηγμένη σε χιλιοστά, για τη ρύθμισή του. Συνήθως είναι απαραίτητες 2 χρονοσειρές, αυτή της βροχόπτωσης και της δυνητικής εξατμοδιαπνοής (εκφρασμένες σε mm). Η τρίτη χρονοσειρά αφορά τις υπόγειες υδρολογικές διεργασίες και μπορεί να είναι μία χρονοσειρά αντλήσεων από τον υπόγειο ορίζοντα, επίσης σε mm. Χρονοσειρά **αντλήσεων** υπήρξε διαθέσιμη και χρησιμοποιήθηκε μόνο στην περίπτωση του **Βοιωτικού Κηφισού** για 10 υδρολογικά έτη (1984 – 1994).



Εικ. 1: Αναπαράσταση των υδρολογικών διεργασιών σε μία λεκάνη απορροής με βάση το μοντέλο Ζυγός (Κοζάνης κ.α., 2005)

Ουσιαστικά το μοντέλο Ζυγός αποτελείται από δύο μεγάλες δεξαμενές εκ των οποίων η πρώτη η «ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ» έχει 7 μεταβλητές ελέγχου – παραμέτρους.

Οι παράμετροι αυτοί είναι:

ε = Ποσοστό βροχόπτωσης που διατίθεται για την ικανοποίηση της άμεσης εξατμοδιαπνοής

κ = Ποσοστό της περίσσειας βροχόπτωσης που εμφανίζεται ως άμεση απορροή (ταυτίζεται με το Ποσοστό άμεσης απορροής (Q_d) που οφείλεται στην ύπαρξη αδιαπέρατων σχηματισμών, μέσω των οποίων το ποσοστό της βροχής μετατρέπεται άμεσα σε απορροή). Ουσιαστικά είναι το ποσοστό της

αδιαπέρατης επιφάνειας και εκφράζει το ποσοστό που απορρέει άμεσα χωρίς να διεισδύσει στο έδαφος.

K = Η Χωρητικότητα της Δεξαμενής Εδαφικής Υγρασίας που εκφράζει την μέγιστη αποθηκευτική ικανότητα του εδάφους (mm).

S_0 = Αρχικό απόθεμα της δεξαμενής Εδαφικής Υγρασίας (mm).

λ = Ρυθμός εκφόρτισης Δεξαμενής Εδαφικής Υγρασίας για παραγωγή υποδερμικής ροής και εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του εδάφους.

H_1 = Κατώφλι αποθέματος Δεξαμενής Εδαφικής Υγρασίας για παραγωγή υποδερμικής ροής (mm). Επίσης εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά εδάφους.

μ = Ρυθμός εκφόρτισης Δεξαμενής Εδαφικής Υγρασίας για παραγωγή κατείσδυσης. Δηλαδή ο ρυθμός που το νερό ρέει από την ακόρεστη προς την κορεσμένη ζώνη του εδάφους.

Η δεύτερη δεξαμενή, η «ΥΠΟΓΕΙΑ ΔΕΞΑΜΕΝΗ» υπόκειται της πρώτης δεξαμενής και αναπαριστά έναν υπόγειο υδροφορέα άπειρης χωρητικότητας. Η δεξαμενή αυτή έχει 4 μεταβλητές ελέγχου – παραμέτρους, οι οποίοι είναι:

Y_0 = Αρχικό απόθεμα υπόγειας δεξαμενής (mm)

ζ = Ρυθμός εκφόρτισης Δεξαμενής Υπόγειου Νερού για την παραγωγή βασικής ροής και εξαρτάται από τα υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά του υδροφορέα.

H_2 = Κατώφλι αποθέματος Δεξαμενής Υπόγειου Νερού για παραγωγή βασικής ροής (mm)

ϕ = Ρυθμός εκφόρτισης Δεξαμενής Υπόγειου Νερού για παραγωγή υπόγειας διαφυγής.

Αρχικά από το μοντέλο εκτιμάται η άμεση εξατμοδιαπνοή από την σχέση:

$$ED = \min (\varepsilon P_t, E_{Pt})$$

Στην συνέχεια η περίσσεια της βροχόπτωσης πέρα από το ποσοστό που δαπανείται για την κάλυψη της άμεσης εξατμοδιαπνοής μετατρέπεται κατά ένα άλλο ποσοστό σε άμεση απορροή

$$Q_{Dt} = \kappa (P_t - E_{Dt})$$

Η παράμετρος κ που εκφράζει το ποσοστό της αδιαπέρατης επιφάνειας δεν θα πρέπει να υπεισέρχεται στην εδαφική δεξαμενή αλλά θα πρέπει να είναι ανεξάρτητη από

αυτή. Η άμεση απορροή που προέρχεται από τους αδιαπέρατους σχηματισμούς είναι μια διαδικασία που προηγείται χρονικά της διήθησης στο έδαφος.

Στη συνέχεια η διαθέσιμη εδαφική υγρασία που είναι ίση με το άθροισμα της αποθηκευμένης εδαφικής υγρασίας και της περίσσειας της βροχόπτωσης όταν ξεπεράσει την χωρητικότητα της δεξαμενής εδαφικής υγρασίας K θα απορρεύσει ως επίγεια ροή Q_{Qt} : $Q_{Qt} = \max(0, S_{init} - K)$.

Μετά και την πραγματοποίηση της εδαφικής εξατμοδιαπνοής ακολουθεί η πραγματοποίηση της υποδερμικής ροής

$$Q_{It} = \max(0, \lambda (S_{init} - H_1))$$

και η κατείδδυση στον υπόγειο υδροφόρα

$$PERC_t = \max(0, \mu S_{init})$$

Όσον αφορά τις διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στην Υπόγεια Δεξαμενή: η δεξαμενή αυτή δέχεται ένα ποσοστό νερού από την κατείδδυση ενώ άλλο ένα ποσοστό αφαιρείται μέσω των αντλήσεων, συνεπώς το νερό που πλέον είναι διαθέσιμο για άλλες διεργασίες είναι ίσο με:

$$Y_{init} = Y_{t-1} + PERC_t - PUMP_t$$

Η βασική ροή Q_{Bt} δημιουργείται όταν το διαθέσιμο απόθεμα νερού υπερβεί το κατώφλι H_2

$$Q_{Bt} = \max(0, \xi (Y_{init} - H_2))$$

Ως τελευταία διεργασία είναι οι διαφυγές εκτός της λεκάνης:

$$Q_{OUT_t} = \phi Y_{init}$$

Κάθε δεξαμενή αναπαριστά μια στοιχειώδη φυσική διεργασία που πραγματοποιείται κατά τη διαδρομή του νερού μέσα στη λεκάνη απορροής.

Στη δεξαμενή εδαφικής υγρασίας εισέρχεται η ποσότητα του νερού από την βροχόπτωση που διηθείται στο έδαφος. Η δεξαμενή έχει ως εξόδους την πραγματική εξατμοδιαπνοή, την άμεση απορροή, την υποδερμική ροή και την τροφοδοσία της δεξαμενής υπόγειου νερού. Η πλημμυρική απορροή συμβαίνει όταν υπερχειλίσει η εδαφική δεξαμενή δηλαδή όταν η καθαρή εισροή ξεπεράσει τη χωρητικότητά της.

Η δεξαμενή υπόγειου νερού περιέχει την ποσότητα του νερού που διηθείται από τη υπερκείμενη δεξαμενή εδαφικής υγρασίας και έχει ως εξόδους τη βασική απορροή που απορρέει στο υδατόρευμα και τις διαφυγές. Με το όρο διαφυγές περιλαμβάνεται η ποσότητα του νερού που τροφοδοτεί κατάντη υδροφόρα στρώματα και στη συνέχεια είτε διατηρείται εκεί, είτε καταλήγει σε πηγές και στη θάλασσα.

3.3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Η επιλογή των περιοχών για την εφαρμογή του μοντέλου έγινε με βάση την ύπαρξη αξιόπιστων και χρονικά επαρκών πρωτογενών και δευτερογενών δεδομένων.

Επιλέχθηκαν κύρια ποτάμια, μη διακρατικά σε όλη σχεδόν την περιοχή του ελλαδικού χώρου με σκοπό την καλύτερη σύγκριση των αποτελεσμάτων και την πιο εύστοχη εκτίμηση των ορίων παραμετροποίησης του μοντέλου.

Οι περισσότερες λεκάνες υπήρχαν ψηφιοποιημένες ωστόσο για κάποιες χρειάστηκε να χαραχθούν τα όρια τους όπως για την λεκάνη του Τσιμόβου στον Άραχθο, των Κομποτάδων στον Σπερχειό, τη λεκάνη των Κρεμαστών στον Αχελώο, τη λεκάνη Πόρου Ρηγανίου στον Εύηνο και τη λεκάνη Σκοπιάς στον Ενιπέα και ανάλογα να υπολογιστούν εκ νέου τα χαρακτηριστικά τους.

Οι λεκάνες παρατίθενται πρώτα με αυτές του Αχελώου και του Αράχθου και στη συνέχεια με αυτές του Σπερχειού, Εύηνου, Μόρνου, Βοιωτικού Κηφισού και τη λεκάνη Αποσελέμη στην Κρήτη για την οποία το μοντέλο εφαρμόστηκε για διάφορα σενάρια σχετικά με την πιθανή τροφοδοσία της από το Οροπέδιο Λασιθίου και τέλος το μοντέλο εφαρμόστηκε στη λεκάνη του Πηνειού.

Χρησιμοποιήθηκαν έτοιμες μηνιαίες τιμές Εξάτμισης, Βροχόπτωσης και Απορροής. Όπου δεν υπήρχαν διαθέσιμες οι μηνιαίες τιμές, αθροίστηκαν από τις ημερήσιες τιμές και έγινε ανάκτηση των απορροών σε mm από δεδομένα παροχών (m^3/sec) ή από στοιχεία διαθέσιμου όγκου παροχών από ταμειυτήρες (hm^3).

Το μοντέλο Υδατικού Ισοζυγίου όπως προαναφέρθηκε, λειτουργεί σε μηνιαία βάση και για τον προσδιορισμό της απορροής χρησιμοποιεί ως μεταβλητές εισόδου την κατακρήμνιση P και την εξάτμιση E. Για κάθε μήνα από το μοντέλο υπολογίζεται η απορροή.

Από το κύριο menu του μοντέλου:

Βήμα 1: Χρονοσειρά → νέο → καθορισμός ιδιοτήτων χρονοσειράς

Καθορίζεται μέσω της παρακάτω φόρμας: το χρονικό βήμα (Time step), η χρονική απόκλιση από τις καταμήσεις του χρόνου (Data offset), ο τύπος της μεταβλητής (Variable type), η μονάδα μέτρησης (Unit: περιγραφικό πεδίο), ο τίτλος της χρονοσειράς (Display title) και η αριθμητική ακρίβεια (Precision).

Στην συνέχεια εισάγονται στο μοντέλο οι χρονοσειρές της Εξάτμισης, Βροχόπτωσης και Απορροής σε μηναίο βήμα και χιλιοστά.

Πίνακας 1: Εισαγωγή των απαραίτητων χρονοσειρών για την εφαρμογή του μοντέλου

The screenshot shows the 'Υδρογνώμων' software interface. At the top, there is a menu bar with options: Χρονοσειρά, Επεξεργασία, Προβολή, Εργαλεία, Επιλογές, Βοήθεια. Below the menu is a toolbar with icons for 'Από βάση', 'Στη βάση', 'Από αρχ.', 'Σε αρχ.', 'Κλείσιμο', 'Φίλτρο', and 'Σημ.'. The main area displays a table of time series data. The table has columns for year/month (e.g., 1976/10), and three data series: 'rain (Τροπον...', 'evap (Τροπον...', and 'disc (Τροπον...'. The values are numerical, with some in bold. Overlaid on the table is a dialog box titled 'Ιδιότητες χρονοσειράς'. The dialog box contains the following fields: 'Βήμα:' (Monthly), 'Τίτλος:' (Eripeas_rain), 'Χρ. μετατόπιση (λεπτά):' (empty), 'Τύπος μεταβλητής:' (Αθροιστική), 'Μονάδα:' (mm), 'Ακρίβεια:' (2), and 'Σχόλια:' (Θεσσαλία, Υπολεκάνη Ερινέα, 1976/10 - 1984/10). There are 'OK' and 'Άκυρο' buttons at the bottom of the dialog.

	rain (Τροπον...	evap (Τροπον...	disc (Τροπον...
1976/10	22.80	64.50	2.15
1976/11	69.80	28.50	3.41
1976/12	39.10	16.00	2.25
1977/01	14.40	20.90	
1977/02	19.50	48.70	
1977/03	23.40	72.80	
1977/04	19.80	121.10	
1977/05	28.10	176.60	
1977/06	57.20	216.40	
1977/07	11.80	237.50	
1977/08	3.60	198.90	
1977/09	40.90	124.10	
1977/10	42.30	63.00	0.51
1977/11	21.50	28.40	0.51
1977/12	116.00	14.50	3.66
1978/01	180.30	20.20	30.06
1978/02	135.60	42.60	31.13
1978/03	37.60	74.90	10.36
1978/04	35.60	102.50	12.50
1978/05	50.60	157.70	7.32
1978/06	14.70	227.30	1.70

Σχήμα 1: Καθορισμός ιδιοτήτων της καθεμίας χρονοσειράς ξεχωριστά

Βήμα 2:

Εργαλεία → Υδρολογία → προσομοίωση λεκάνης → καθορισμός θέσεων χρονοσειρών

→ Potential Evapotranspiration = Enipeas_evap

→ Rainfall timeseries = Enipeas_rain

→ Measured runoff = Enipeas_disc

→ Calculate

- Αργή απορροή
- Κατείσδυση
- Βασική ροή
- Διαφυγές

Εικ. 2: Επιλογή των διεργασιών που θα ακολουθήσει το μοντέλο και ρύθμιση των παραμέτρων του

Βήμα 3:

Προκύπτει έτσι η υπολογισμένη χρονοσειρά απορροών και η οποία αντικαθίσταται στο πίνακα του Excel για τον υπολογισμό του Συντελεστή Nash.

Πίνακας 2: Υπολογισμός απορροών με βάση τις διεργασίες και τις παραμέτρους που επιλέχθηκαν

Υδρογνώμων				
Χρονοσειρά Επεξεργασία Προβολή Εργαλεία Επιλογές Βοήθεια				
Δεδομένα χρονοσειρών				
Από βάση Στη βάση Από αρχ. Σε αρχ. Κλείσιμο Φίλτρο Σημείες Προηγ. Επόμεν.				
	rain (Τροπονισμός)	evap (Τροπονισμός)	disc (Τροπονισμός)	disc (Τροπονισμός)
1979/10	74.40	52.20	19.70	19.99
1979/11	159.00	27.30	35.11	120.78
1979/12	76.60	14.50	26.27	69.00
1980/01	96.50	18.40	35.49	76.53
1980/02	38.80	40.10	30.69	7.78
1980/03	106.50	62.60	74.89	39.55
1980/04	57.80	106.10	28.67	4.32
1980/05	31.60	135.40	16.80	
1980/06	28.40	204.40	5.18	
1980/07	17.10	233.60	3.54	
1980/08	4.30	185.70	2.90	
1980/09	2.40	127.70	2.78	
1980/10	121.60	65.60	33.15	
1980/11	67.80	29.20	12.44	
1980/12	44.40	13.30	22.61	
1981/01	167.50	17.70	50.77	
1981/02	20.60	37.70	54.30	
1981/03	22.20	71.60	60.49	
1981/04	33.30	114.90	39.91	
1981/05	13.40	147.30	19.57	0.00
1981/06	5.30	223.00	8.27	0.00

Για την εφαρμογή του μοντέλου γίνονται κάποιες εικασίες ως προς την αρχική εδαφική υγρασία του εδάφους S0 και την μέγιστη χωρητικότητα του εδάφους K. Η αρχική εδαφική υγρασία θεωρείται ότι έχει μηδενική τιμή καθώς τα δεδομένα της εξάτμισης, της απορροής και της βροχόπτωσης εισάγονται ξεκινώντας από τον μήνα Οκτώβριο (αρχή υδρολογικού έτους). Μπορεί συνεπώς να θεωρηθεί ότι εφόσον έχει προηγηθεί Καλοκαίρι όπου η εξάτμιση λόγω των υψηλών θερμοκρασιών είναι μεγάλη, ότι η αρχική εδαφική υγρασία είναι ίση με 0. Η μέγιστη εδαφική υγρασία ανηγμένη σε ισοδύναμο ύψος (ή αλλιώς εδαφική χωρητικότητα σύμφωνα με το μοντέλο) όπου συμβολίζεται με K συνήθως στις περισσότερες μελέτες θεωρείται ίση

με 100 mm. Η εκτιμημένη απορροή από το μοντέλο στη συνέχεια συγκρίνεται με την υπάρχουσα μετρημένη χρονοσειρά απορροών και αξιολογείται η ικανότητα προσομοίωσης του μοντέλου.

3.4 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ NASH

Προκειμένου να εκτιμηθεί η ικανότητα προσομοίωσης των υδρολογικών μοντέλων μερικά από τα κριτήρια αξιολόγησης τους είναι:

- Ο Συντελεστής Nash – Sutcliffe που ορίζεται ως εξής:

$$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2}$$

O_i = η παρατηρημένη απορροή

P_i = η απορροή που εκτιμήθηκε από το μοντέλο

\bar{O} = η μέση τιμή των παρατηρημένων απορροών

N = ο συνολικός αριθμός των παρατηρήσεων

- Το Μέσο Τετραγωνικό Σφάλμα RMSE (Root Mean Square Error)

$$RMSE_{(q)} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (O_t - X_t(\theta))^2}$$

q = είναι η απορροή

O_t = η παρατηρημένη απορροή

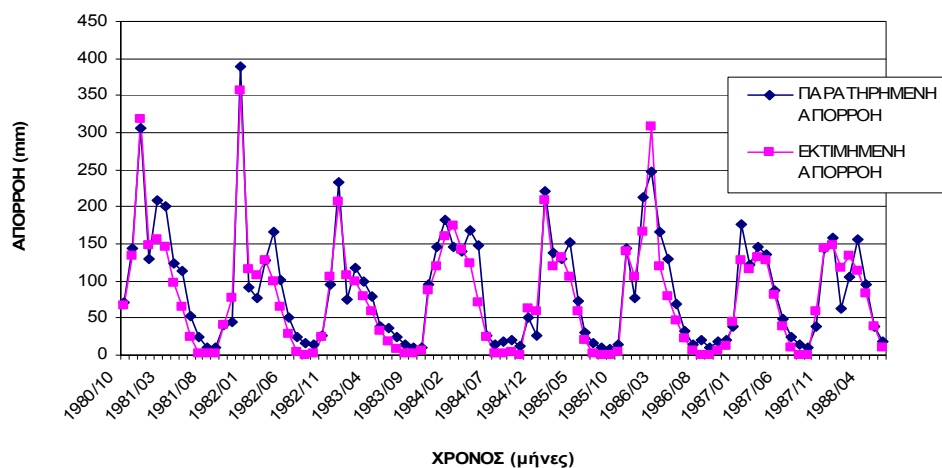
X_t = η προσομοιωμένη απορροή στο χρονικό βήμα t

θ = είναι το σύνολο των παραμέτρων του μοντέλου

n = ο συνολικός αριθμός των παρατηρημένων τιμών απορροής

(http://en.wikipedia.org/wiki/Nash-Sutcliffe_efficiency, Meixner and Gupta, 2002)

Το κριτήριο που χρησιμοποιήθηκε για την αξιολόγηση του Ζυγού είναι ο συντελεστής Nash και ένα παράδειγμα υπολογισμού του παρουσιάζεται παρακάτω.



Σχήμα 2: Παράδειγμα προσαρμογής του μοντέλου Ζυγός στην λεκάνη των Κρεμαστών με κριτήριο τον συντελεστή Nash: $R=0.87654$

Πίνακας 3: Παρατηρημένες και εκτιμημένες απορροές για την λεκάνη Κρεμαστών.

ΕΤΟΣ	ΠΑΡΑΤΗΡΗΜΕΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗ	ΕΚΤΙΜΗΜΕΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗ	ΕΤΟΣ	ΠΑΡΑΤΗΡΗΜΕΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗ	ΕΚΤΙΜΗΜΕΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗ
1980/10	71.9	66.64	1983/04	79.8	58.3
1980/11	143.8	133.67	1983/05	38.8	32.26
1980/12	305.7	318.73	1983/06	36.8	18.16
1981/01	129.7	147.09	1983/07	25.1	7.67
1981/02	208.8	155.71	1983/08	14.4	1.07
1981/03	200	145.42	1983/09	10.5	1.4
1981/04	123.5	97.64	1983/10	9.2	5.43
1981/05	112.7	64.62	1983/11	96.1	86.45
1981/06	51.7	24.88	1983/12	146	119.32
1981/07	25.3	2.6	1984/01	183.2	160.33
1981/08	9.2	1.45	1984/02	146	174.88
1981/09	9.6	2.25	1984/03	139.7	142.07
1981/10	40	40.61	1984/04	168.6	123.55
1981/11	44.8	76.52	1984/05	148.8	70.98
1981/12	389.5	357.6	1984/06	26.3	25.16
1982/01	91.6	114.83	1984/07	13.8	2.42
1982/02	76.2	107.97	1984/08	18.7	2.83
1982/03	127.7	127.56	1984/09	19.9	3.17
1982/04	166.6	98.82	1984/10	12.2	0.34
1982/05	101.2	65.71	1984/11	51.2	62.28
1982/06	51.6	28.14	1984/12	26.4	59.63
1982/07	24.5	3.31	1985/01	221.4	208.58
1982/08	15.3	0.37	1985/02	138.7	119.71
1982/09	14	1.98	1985/03	129.5	131.37
1982/10	25.9	25.29	1985/04	152.2	106.17
1982/11	95.5	106.24	1985/05	73.1	58.63
1982/12	233.1	206.06	1985/06	30.4	19.72
1983/01	74.4	107.64	1985/07	16.1	1.63
1983/02	117.2	98.87	1985/08	10.2	0.31
1983/03	99.4	78.9	1985/09	8.9	0.2

4

Υδρολογικές λεκάνες

Εφαρμογή του μοντέλου

Στο κεφάλαιο αυτό παρατίθενται αναλυτικά οι υδρολογικές λεκάνες στις οποίες εφαρμόστηκε το μοντέλο υδατικού ισοζυγίου Ζυγός.

Για κάθε λεκάνη ξεχωριστά δίνεται η θέση της και διάφορα γεωγραφικά στοιχεία της. Ακολουθούν τα δεδομένα που αφορούν την υδρολογία της περιοχής και περιγράφεται η γεωλογία – υδρογεωλογία της. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα εφαρμογής του μοντέλου σε μορφή πινάκων και διαγραμμάτων παρατηρημένων τιμών απορροής συναρτήσει των εκτιμημένων (με βάση το μοντέλο) απορροών.

Στο τέλος κάθε λεκάνης σχολιάζονται τα αποτελέσματα εφαρμογής του Ζυγού και αναλύεται κάθε παράμετρος του που ρυθμίστηκε αναλυτικά δίνοντας:

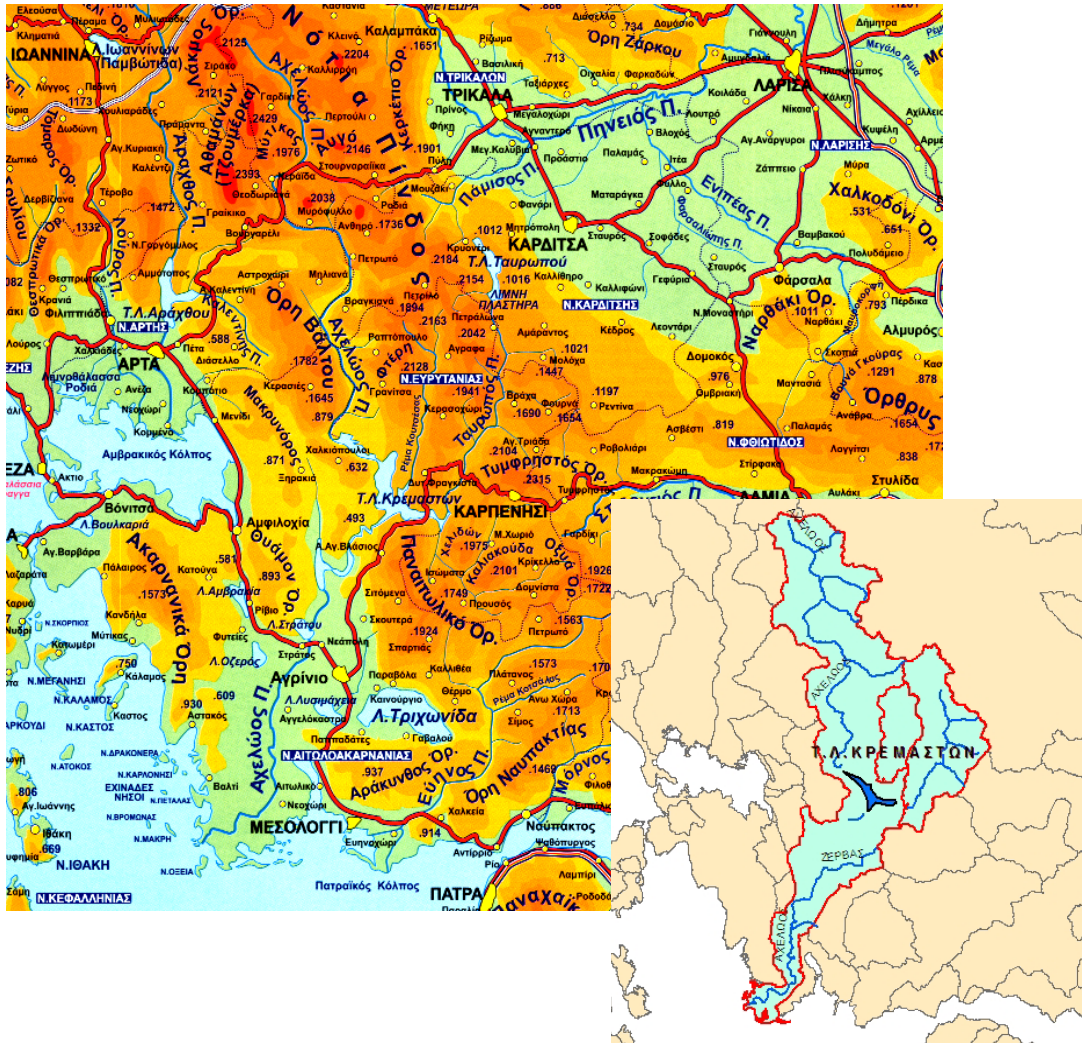
- μία περιγραφή της ευαισθησίας του συντελεστή Nash, που επιλέχθηκε ως κριτήριο αξιολόγησης του μοντέλου, στις μεταβολές των τιμών των παραμέτρων του και
- μία ερμηνεία για τις τιμές των παραμέτρων που βελτιστοποιούν το συντελεστή.

Οι λεκάνες εφαρμογής του μοντέλου είναι οι εξής:

1. **Αχελώος:** λεκάνη ανάντη υδρομετρικού σταθμού Κρεμαστών
2. **Άραχθος:** λεκάνη ανάντη υδρομετρικών σταθμών Τσιμόβου και Άρτας
3. **Σπερχειός:** λεκάνη ανάντη υδρομετρικού σταθμού Κομποτάδων
4. **Εύηνος:** λεκάνη ανάντη υδρομετρικού σταθμού Πόρου Ρηγανίου
5. **Μόρνος:** λεκάνη ανάντη ταμιευτήρα φράγματος Μόρνου
6. **Βοιωτικός Κηφισός:** λεκάνη ανάντη σήραγγας Καρδίτσας
7. **Χείμαρρος Αποσελέμη:** - με τροφοδοσία 0% από το οροπέδιο Λασιθίου
- με τροφοδοσία 30% από το οροπέδιο Λασιθίου
- με τροφοδοσία 50% από το οροπέδιο Λασιθίου
8. **Πηνειός:** λεκάνη ανάντη υδρομετρικού σταθμού Αλή Εφέντη και Σκοπιάς.

4.1 ΔΕΚΑΝΗ ΑΧΕΛΩΟΥ

4.1.1 ΘΕΣΗ – ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ



Εικ.1, 2: Γεωγραφική θέση Αχελώου και Λίμνης Κρεμαστών

Ο Αχελώος πηγάζει από το όρος Λάκμος (Περιστερί) του Μετσόβου σε υψόμετρο 2.000 μ στην κεντρική Πίνδο, διανύει μία διαδρομή 255 km και εκβάλλει στο Ιόνιο Πέλαγος έχοντας σχηματίσει με τις προσχώσεις του τα νησιά Εχινάδες. Το μήκος φτάνει τα 225 km (δεύτερος σε μήκος ποταμός της Ελλάδας). Την ονομασία του σε Ασπροπόταμο την οφείλει στη λευκή λάσπη που μεταφέρει από τη ζώνη του φλύσχη έως τις εκβολές του.

Τροφοδοτείται από τα νερά των ρεμάτων και ποταμών Άσπρος, Λεπενίτσα, Ξεροπλατάνια, Κομαϊτικό, Βακαριώτη, Βασαλάκα, Καπραλία, Νέγκρη, Κούτσορο, Καλή Πηγή, Παφρώνη, Βατακιάδα, Καμπουργιανίτικο, Πλατανιάς, Αγραφιώτη,

Μέγδοβα, Λεπιανίτη, Γρανιτσιώτη, Ζαμπατορέματος και Ίναχο. Επιπλέον δέχεται τα πλεονάζοντα νερά των λιμνών Τριχονίδας και Λυσιμάχιας. Η περιοχή της Λίμνης των Κρεμαστών είναι ενταγμένη στο πρόγραμμα Natura, 2001.

4.1.2. ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

- η λεκάνη απορροής του Αχελώου καλύπτει έκταση 5.572 km^2
- το ύψος της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης του είναι **1.620 mm**. Στο Δέλτα του Αχελώου το ύψος βροχής κυμαίνεται περίπου στα 700 mm ετησίως
- ο μέσος ετήσιος όγκος υετού **$8.860 \cdot 10^6 \text{ m}^3$**
- η μέση ετήσια απορροή του εκτιμάται σε **$7.800 \cdot 10^6 \text{ m}^3$** και από τα νερά του ποταμού αρδεύονται περίπου **370.000** στρέμματα γεωργικής γης.

- Ο Αχελώος έχει υποστεί ουσιαστικές αλλοιώσεις από την κατασκευή των 4 Υδροηλεκτρικών φραγμάτων για την παραγωγή ενέργειας:
 - Φράγμα Κρεμαστών ($4.700 \cdot 10^6 \text{ m}^3$)
 - Φράγμα Ταυρωπού ($400 \cdot 10^6 \text{ m}^3$)
 - και φράγμα Στράτου ($150 \cdot 10^6 \text{ m}^3$)και για την άρδευση άλλων περιοχών όπως:
 - το Φράγμα της Μεσοχώρας με ωφέλιμη χωρητικότητα $228 \cdot 10^6 \text{ m}^3$
 - το Φράγμα της Συκιάς με $502 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ από το οποίο και προβλέπεται να γίνει η εκτροπή μέσω σήραγγας $600 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ νερού προς τη Θεσσαλία.

Το υδροηλεκτρικό φράγμα Κρεμαστών κατασκευάστηκε το 1969 και δημιούργησε την μεγαλύτερη τεχνητή λίμνη στην Ελλάδα, θεωρείται έως το μεγαλύτερο γαϊόφραγμα της Ευρώπης, με ύψος στάθμης νερού 153 μ. και πλάτος 500 μ. Συγκεντρώνει τα νερά του Αχελώου, Αγραφιώτη και Ταυρωπού δημιουργώντας μία μεγάλη τεχνητή λίμνη υδροχωρητικότητας 4.700.000.000 κυβικών μέτρων.

Όσον αφορά την εκτροπή του Αχελώου στη Θεσσαλία είναι ένα θέμα που έχει απασχολήσει τη ΔΕΗ, τους τεχνικούς κύκλους της χώρας και το Θεσσαλικό λαό πολλές δεκαετίες. Η μερική εκτροπή του ποταμού Αχελώου αποτελεί ένα σύνθετο τεχνικό έργο και οι μελέτες για την κατασκευή του χρονολογούνται από τριακονταετίας. Ο αρχικός σχεδιασμός έργου περιλάμβανε τα εξής επί μέρους έργα:

- Δύο φράγματα με τους αντίστοιχους ταμιευτήρες στις θέσεις Μεσοχώρα του νομού Τρικάλων και Συκιά στα σύνορα των νομών Άρτας και Καρδίτσας, καθώς και τους αντίστοιχους υδροηλεκτρικούς σταθμούς στις θέσεις Γλύστρα και στον πόδα του φράγματος Συκιάς.
- Σήραγγα εκτροπής του ποταμού Αχελώου προς Θεσσαλία, μήκους 17,5 χλμ., για την διοχέτευση προς τη Θεσσαλία συνολικής ποσότητας νερού ίσης με 1100 εκ. κυβικά μέτρα ετησίως καθώς και τον υπαίθριο υδροηλεκτρικό σταθμό Πευκόφυτου στην έξοδο της σήραγγας εκτροπής.
- Δύο φράγματα με τους αντίστοιχους ταμιευτήρες και τη συνδετήρια σήραγγα στην περιοχή υποδοχής των υδάτων στη Θεσσαλία, στις θέσεις Πύλη του νομού Τρικάλων και Μουζακίου του νομού Καρδίτσας καθώς και τον υδροηλεκτρικό σταθμό Μουζακίου.
- Την αναρρυθμιστική δεξαμενή Μαυροματίου και τον υδροηλεκτρικό σταθμό Μαυροματίου.

Στη συνέχεια εκπονήθηκε από το ΥΠΕΧΩΔΕ το 1995 νέα συλλογική μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων για την εκτροπή του Αχελώου προς τη Θεσσαλία με την οποία τροποποιήθηκε ο αρχικός σχεδιασμός και μειώθηκε η ποσότητα νερού που θα εκτρέπονταν (από τα 1.100 εκ. κυβικά μέτρα σε 600 εκ. κυβικά μέτρα).

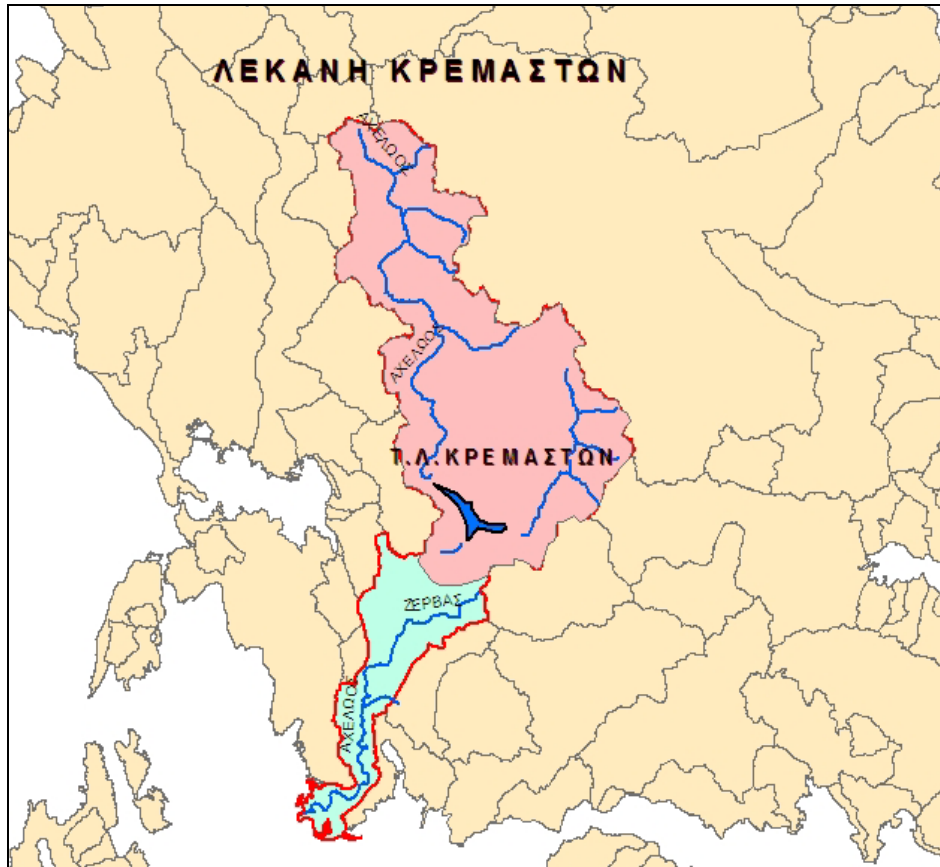
Σήμερα αυτά που ισχύουν για την εκτροπή είναι τα εξής:

- Το φράγμα Συκιάς και ο ομώνυμος Υδροηλεκτρικός Σταθμός
- Η σήραγγα εκτροπής του ποταμού Αχελώου προς Θεσσαλία μήκους 17,5 χλμ. με υδροληψία στον Ταμιευτήρα Συκιάς.
- Ο υδροηλεκτρικός Σταθμός Πευκόφυτου στην έξοδο της Σήραγγας Εκτροπής
- Αναρρυθμιστικό έργο Μαυροματίου.

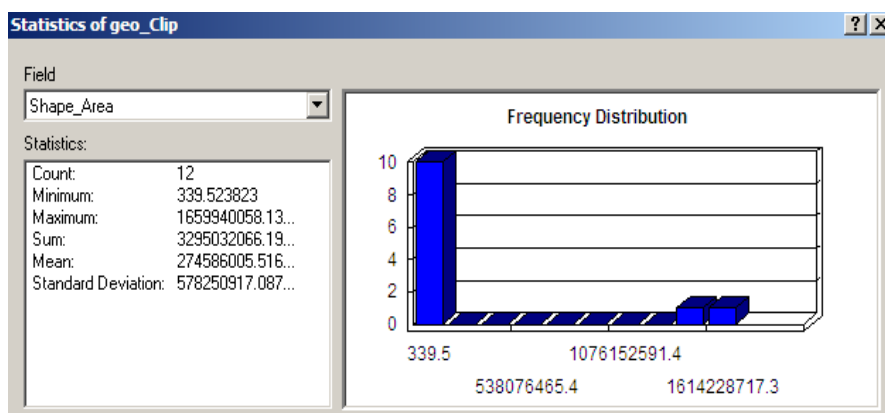
Επίσης στην αρμοδιότητα της ΔΕΗ εμπίπτει ο υδροηλεκτρικός σταθμός της Συκιάς και του Πευκόφυτου στην έξοδο της σήραγγα εκτροπής καθώς και ο υδροηλεκτρικός σταθμός της Μεσοχώρας. Ειδικότερα, το φράγμα και ο ταμιευτήρας Μεσοχώρας κατασκευάστηκαν πλησίον του ομώνυμου οικισμού, μέρος του οποίου θα κατακλυσθεί μετά την πλήρωση του ταμιευτήρα. Από τον ταμιευτήρα Μεσοχώρας ξεκινά η σήραγγα προσαγωγής Μεσοχώρας - Γλύστρας, η οποία θα παροχετεύει τις ποσότητες νερού που θα χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ενέργειας στον ΥΗΣ

Γλύστρας. Κατάντη του ΥΗΣ Γλύστρας θα κατασκευαστεί το φράγμα Συκιάς και ο αντίστοιχος ΥΗΣ στον πόδα του φράγματος. Από τον ταμιευτήρα Συκιάς που θα δημιουργηθεί, θα ξεκινά η σήραγγα εκτροπής του Αχελώου προς τη Θεσσαλία.

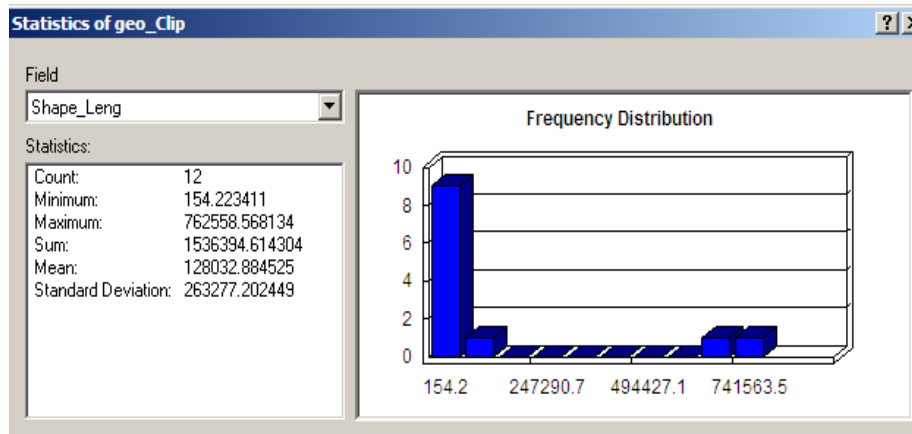
ΛΕΚΑΝΗ ΚΡΕΜΑΣΤΩΝ



Εικ. 3: Θέση υδρολογικής λεκάνης Κρεμαστών



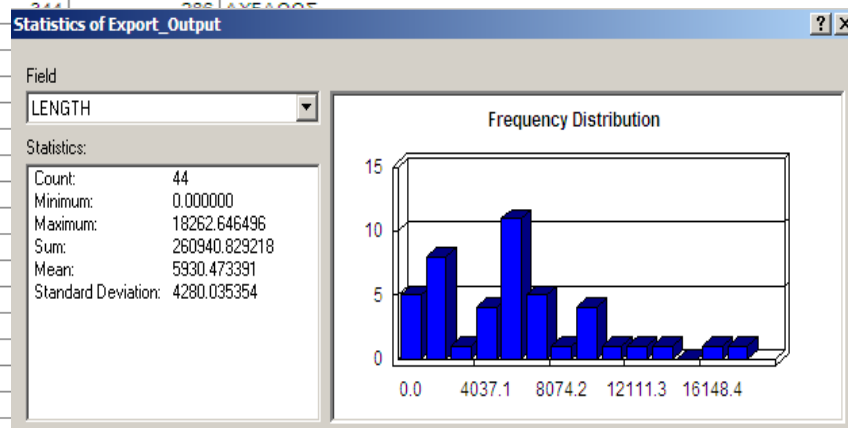
Σχήμα 1: Έκταση λεκάνης Κρεμαστών 3295 Km²



Σχήμα 2: Περίμετρος λεκάνης Κρεμαστών 1536 Km

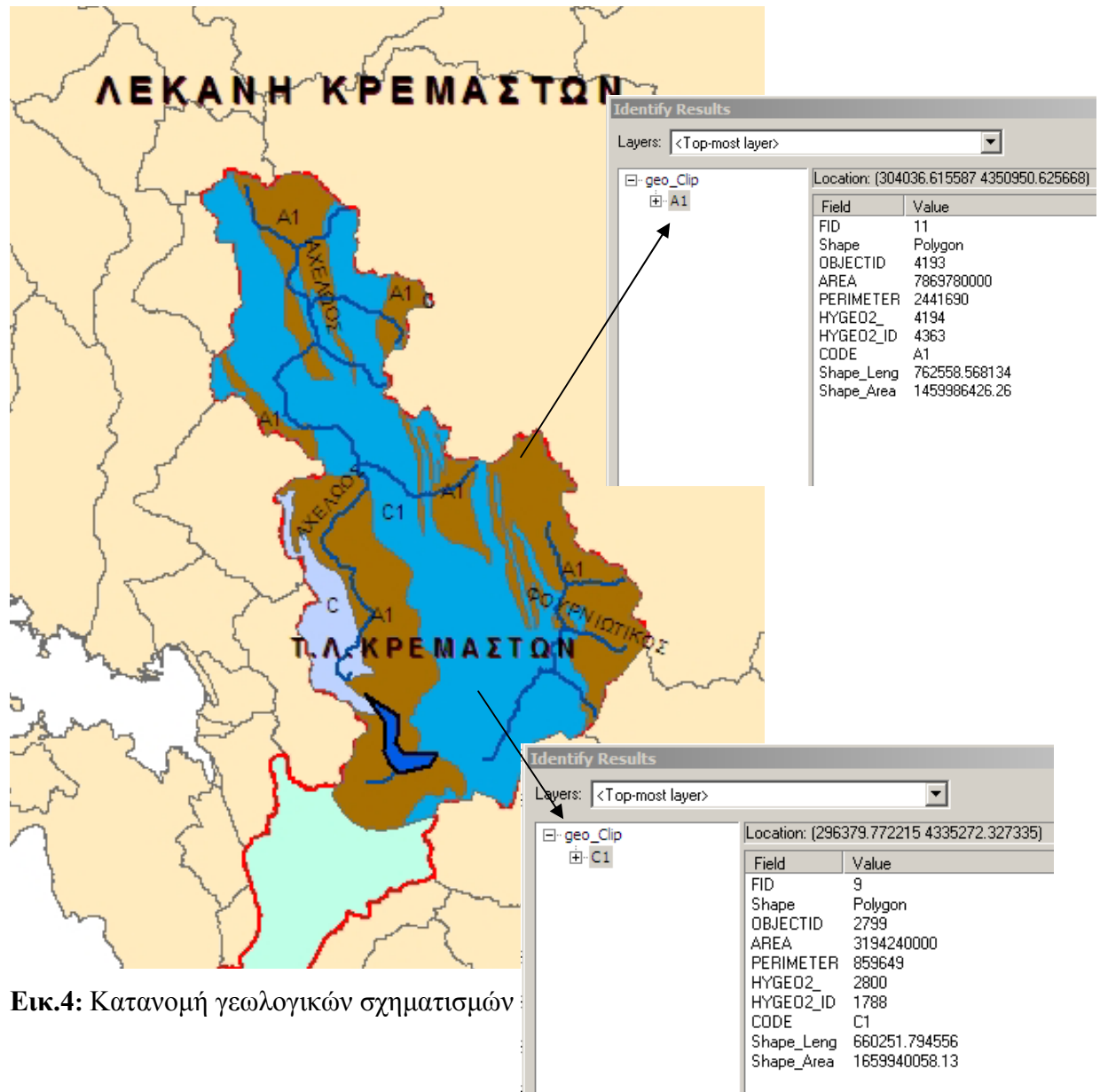
Πίνακας 1: Υπολογισμός μήκους των κυριότερων κλάδων του ποταμού στην λεκάνη

LENGTH	SRIVERS_	SRIVERS_ID	NAM
18262.646496	499	392	ΑΧΕΛΩΟΣ
263.976737	500	391	ΑΧΕΛΩΟΣ
1544.456736	506	408	ΑΧΕΛΩΟΣ
781.868167	507	1744	
4472.301286	508	393	ΤΑΥΡΩΠΟΣ
2018.190426	512	388	ΑΧΕΛΩΟΣ
2375.768362	516	404	ΑΧΕΛΩΟΣ
1541.992319	519	389	ΑΧΕΛΩΟΣ
1435.306152	522	393	ΤΑΥΡΩΠΟΣ
1832.498281	523	795	
705.814567	524	388	ΑΧΕΛΩΟΣ
5879.834826			
4640.492452			
6788.679575			
2159.290384			
6091.730723			
1853.631969			
8219.901531			
8030.494764			
5904.419224			
5002.210553			
131.738782			
5616.329668			
6621.465065			
16251.026793			
5851.646879			
5925.127514			
13409.816393	1029	299	ΑΧΕΛΩΟΣ
7011.507428	1039	300	ΑΧΕΛΩΟΣ
10414.435960	1044	301	
5736.886219	1060	1681	ΑΧΕΛΩΟΣ
11715.337491	1068	162	ΑΧΕΛΩΟΣ
5481.507770	1070	393	ΑΧΕΛΩΟΣ
13923.470986	1074	399	
4248.439566	1076	400	
6739.527373	1082	520	
2909.223494	1086	789	
5691.153948	1088	786	



Σχήμα 3: Το συνολικό μήκος των κυριότερων υδατορευμάτων στην λεκάνη των Κρεμαστών είναι ίσο με $L = 260940$ m

4.1.3 ΓΕΩΛΟΓΙΑ – ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ



Εικ.4: Κατανομή γεωλογικών σχηματισμών

Υπόμνημα υδρογεωλογικού χάρτη:

- | | |
|----|--|
| A1 | Φλύσης, γενικά αδιαπέρατος σχηματισμός |
|----|--|

- | | |
|---|--|
| C | Ασβεστόλιθοι και μάρμαρα εκτεταμένης ανάπτυξης, μέτριας έως υψηλής υδροπερατότητας |
|---|--|

- | | |
|----|---|
| C1 | Ασβεστόλιθοι και μάρμαρα περιορισμένης ανάπτυξης κυμαινόμενης υδροπερατότητας |
|----|---|

Η λεκάνη των Κρεμαστών αποτελείται σε ένα μεγάλο μέρος της από πετρώματα του Φλύσχη της Ζώνης Γαβρόβου όπου επικρατούν εναλλαγές κυανών μαργών με ψαμμίτες, πλακώδεις ψαμμιτικούς ασβεστολίθους και κροκαλοπαγή. Σε ένα μικρότερο ποσοστό συναντώνται οι Α.Κρητιδικοί ασβεστόλιθοι της ίδιας ζώνης στα δυτικά όρια της λεκάνης. Το υπόλοιπο και μεγαλύτερο ποσοστό της λεκάνης των Κρεμαστών καλύπτεται από πελαγικούς ασβεστόλιθους κυρίως βιομικρίτες της Ζώνης της Πίνδου. Οι ασβεστόλιθοι αυτοί είναι λεπτοπλακώδεις με εναλλαγές πηλιτών, ραδιολαριτών, κερατολίθων και φλύσχη του Μεσοζωικού της Ζώνης της Πίνδου και είναι διατεταγμένοι υπό μορφή επάλληλων λεπιώσεων.

Οι περιοχές που καλύπτονται από φλύσχη είναι από υδρογεωλογικής άποψης φτωχές σε υπόγειο νερό (λόγω της φύσεως του εδάφους - φλύσχης) και η ύδρευση αρκετών χωριών (όπως του Δήμου Αχελώου, Παπαπέτρος, 2003) γίνεται αποκλειστικά από έναν μεγάλο αριθμό πηγών, οι οποίες είναι ως επί το πλείστον, μικρής έως ασήμαντης παροχής. Οι πηγές αυτές είναι πηγές επαφής και εκδηλώνονται σε επίπεδα εναλλαγών του φλύσχη της Ζώνης Γαβρόβου δηλαδή σε θέσεις όπου το αδρόκοκκο υλικό (ψαμμίτες, κροκαλοπαγή κλπ) συναντά το λεπτόκοκκο υλικό του φλύσχη (μαργαϊκό υλικό). Στα πετρώματα της Ζώνης Ωλονού – Πίνδου (όρος Ασήμι) εκδηλώνονται πηγές ικανοποιητικής παροχής και από αυτές υδρεύονται χωρίς προβλήματα ο Μάραθος και τα Βραγκιανά (πηγές παροχών 24 m³/ημέρα, 20 m³/ημέρα και 9 m³/ημέρα).

Η περιοχή του φράγματος και του ταμιευτήρα δομείται από τους ιζηματογενείς σχηματισμούς του φλύσχη του Γαβρόβου με επικράτηση κατά περιοχές άλλοτε κροκαλοπαγών, άλλοτε ψαμμιτών κυρίως όμως των ιλυολίθων, χωρίς ιδιαίτερα προβλήματα στεγανότητας.

Η υδροπερατότητα των σχηματισμών στην ίδια θέση του φράγματος και ιδιαίτερα των κροκαλοπαγών ήταν ψηλή και οφείλονταν στην κίνηση του νερού μέσα από τεκτονικές ασυνέχειες (ρήγματα, διακλάσεις) αλλά κυρίως από την ύπαρξη του ψευδοκάρστ. Κατά την πλήρωση του ταμιευτήρα σημαντικές διαρροές εμφανίστηκαν στα κατάντη αντερείσματα του φράγματος με την εκδήλωση πολυάριθμων πηγών σημαντικών παροχών. Οι ιλύολιθοι αντίθετα εμφανίστηκαν στεγανοί και μόνο κατά μήκος ορισμένων ρηγμάτων επέτρεπαν την κίνηση του υπόγειου νερού.

Οι υγιείς ιλυόλιθοι παρουσιάζουν μεγαλύτερη ανθεκτικότητα στη διάβρωση από αυτή των ιλυολίθων στη γειτονική ζώνη της Ιονίου. Πετρογραφική ανάλυση έδειξε την παρουσία ιλλίτη και άλλων αργιλικών στοιχείων.

Από δοκιμές εισπίεσεων που πραγματοποιήθηκαν η τιμή του συντελεστή υδροπερατότητας «K» των ιλυολίθων υπολογίστηκε για το βάθος 10-30 m ίση με $K = 1.10^{-4} - 1.10^{-5} \text{ cm/sec}$, για το βάθος των 40 - 80 m ίση με $K = 1.10^{-5} - 1.10^{-6} \text{ cm/sec}$ και για το βάθος των 80 - 120 m ίση με $K = 1.10^{-6} - 1.10^{-7} \text{ cm/sec}$.

Ιδιαίτερο γνώρισμα των κροκαλοπαγών είναι η εσωτερική διάβρωση που έχουν υποστεί και η οποία έχει συντελέσει στη διεύρυνση των ρωγμών των τεκτονικών ασυνεχειών με αποτέλεσμα τη δημιουργία κενών χώρων (εγκοίλων), διαστάσεων ολίγων εκατοστών έως και μερικών μέτρων. Τα μεγαλύτερα από αυτά τα εγκοίλα κατά το 1/3 περίπου του όγκου περιέχουν υδαρές ιλυοαμμώδες υλικό.

Στα κροκαλοπαγή ο συντελεστής υδροπερατότητας «K» μέχρι του βάθους 80 – 90 m περίπου κυμαίνεται σταθερά από $K = 1.10^{-3} - 1.10^{-4} \text{ cm/sec}$, ενώ κάτω από το βάθος αυτό οι τιμές του «K» φαίνεται ότι ελαφρά μετατοπίζονται προς τις τιμές μικρότερης υδροπερατότητας. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι υδροπερατότητα των κροκαλοπαγών παρουσιάζει τάσεις μείωσης της τιμής της, όσο οι αποστάσεις των δοκιμών μεγαλώνουν από τα ελεύθερα πρηνή και εκτελούνται προς τα «ανοικτά» αυτών ή όσο χαμηλότερα βρίσκονται στην κοίτη του ποταμού.

Κατά μήκος ορισμένων ρηγμάτων ανέβλυζαν θερμές θειούχες πηγές, οι οποίες πρόχειρα αξιοποιήσιμες αποτέλεσαν τα γνωστά «Λουτρά Κρεμαστών».

Το τεκτονικό καθεστώς της περιοχής χαρακτηρίζεται από από μία σειρά σχεδόν παράλληλων ρηγμάτων που τέμνουν τα στρώματα του φλύσχη κατά διεύθυνση ΒΔ – ΝΑ (Λιακούρης, 1995).

Οι ασβεστόλιθοι της Πίνδου δεν παρουσιάζουν μονοτονία ανάπτυξης για πολλά μέτρα πάχους (όπως στις Ζώνες Γαβρόβου και Ιονίου), διότι η συνέχεια τους στο σύνολο του πακέτου των γεωλογικών σχηματισμών, διακόπτεται από ορίζοντες ή διαστρώσεις κερατολίθων, 1^{ου} φλύσχη και αργιλικών σχιστολίθων, που επηρεάζουν σημαντικά την μηχανική συμπεριφορά τους, το υπόγειο υδραυλικό καθεστώς, αλλά και το τεκτονικό, έτσι ώστε τους κάνουν να ξεχωρίζουν από τους ασβεστόλιθους των άλλων ζωνών.

Αντιπροσωπεύουν το 50-53% περίπου, κατά μέσο όρο, του συνόλου των γεωλογικών σχηματισμών του πακέτου της ζώνης της Πίνδου και από αυτούς το 23% περίπου είναι Άνω – Κρητιδικοί που παρεμβάλλονται μεταξύ 1^{ου} και νεότερου φλύσχη της Πίνδου. Οι ποσοστιαίες αυτές αναλογίες αναφέρονται στην συγκεκριμένη αλλά αντιπροσωπευτική περιοχή που ορίζεται από τους άξονες Συκιάς, Αγ. Γεωργίου, Μεσοχώρας και Συκιάς, σήραγγα εκτροπής Αχελώου προς τη Θεσσαλία, Πευκόφυτου Καρδίτσας, διότι είναι γνωστό ότι υπάρχουν αποκλίσεις από τη μία περιοχή στην άλλη, με πλευρικές μεταβάσεις και διαφοροποιήσεις της ποσοστιαίας συμμετοχής των ασβεστολίθων, στο σύνολο του πακέτου.

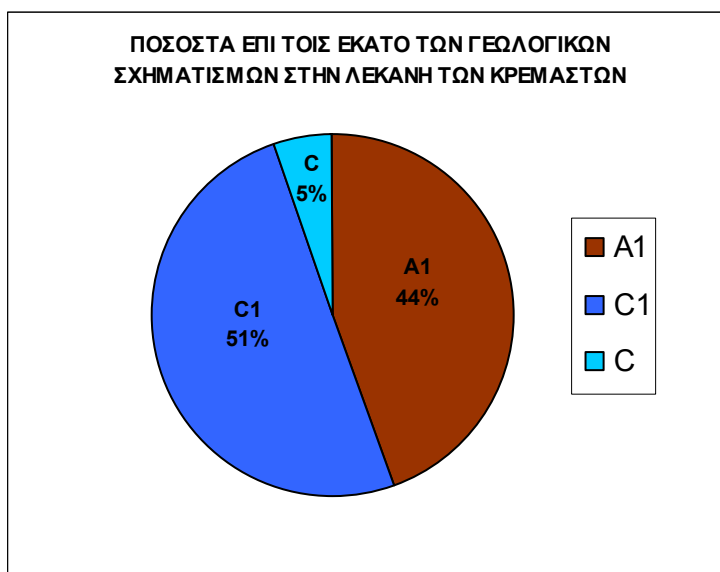
Οι ασβεστόλιθοι επειδή είναι σχεδόν πάντοτε εγκλωβισμένοι μεταξύ στεγανών οριζόντων όπως είναι ο πρώτος φλύσχη, ο νεότερος φλύσχη, οι αργιλικοί σχιστόλιθοι και οι κερατόλιθοι δε δημιουργούν συνθήκες σοβαρών διαρροών τόσο στην κλίμακα των ταμιευτήρων όσο και στην κλίμακα των φραγμάτων. Ενδεικτικές τιμές διαπερατότητας των ασβεστολίθων Πίνδου για το βάθος των 100 – 110 μέτρων κυμαίνονται μεταξύ των $K = 1.10^{-4} - 1.10^{-5} \text{ cm/sec}$ και κάτω του βάθους των 25 - 30 m οι τιμές του συντελεστή K που επικρατούν είναι $K = 1.10^{-5} - 1.10^{-6} \text{ cm/sec}$ (Λιακούρης, 1995).

Στην περιοχή Δέλτα του Αχελώου παρατηρούνται τα εξής: διήθηση προς αποστραγγιστικές τάφρους 150 – 400 m³/ h, διήθηση προς λιμνοθάλασσα 50 – 150 m³/ h, διήθηση προς υποκείμενους ασβεστόλιθους 50 – 150 m³/ h. Σύμφωνα με την βιβλιογραφία το 1/3 περίπου των ποσοτήτων νερού που χρησιμοποιείται για άρδευση επιστρέφει στο επιφανειακό δίκτυο αποστράγγισης ή τροφοδοτεί τον υποκείμενο υδροφόρο (Καλέργης, σελ 8 – 32). Η ποσότητα αυτή αντιστοιχεί περίπου σε $8 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Από τους σχηματισμούς του υποβάθρου, οι μεν Νεογενείς παρουσιάζουν μικρή έως ελάχιστη συνολική υδροπερατότητα, οι δε ασβεστόλιθοι και τα τριαδικά λατυποπαγή είναι περατοί σχηματισμοί. Ποσότητες διηθήσεων 200 – 750 m³/ h. Οι ενεργά υπόγειες υδροφορίες νερού δεν μπορεί να ξεπερνούν τα 200 - 300 m³/ h (Νικολάου κ.α., 1993).

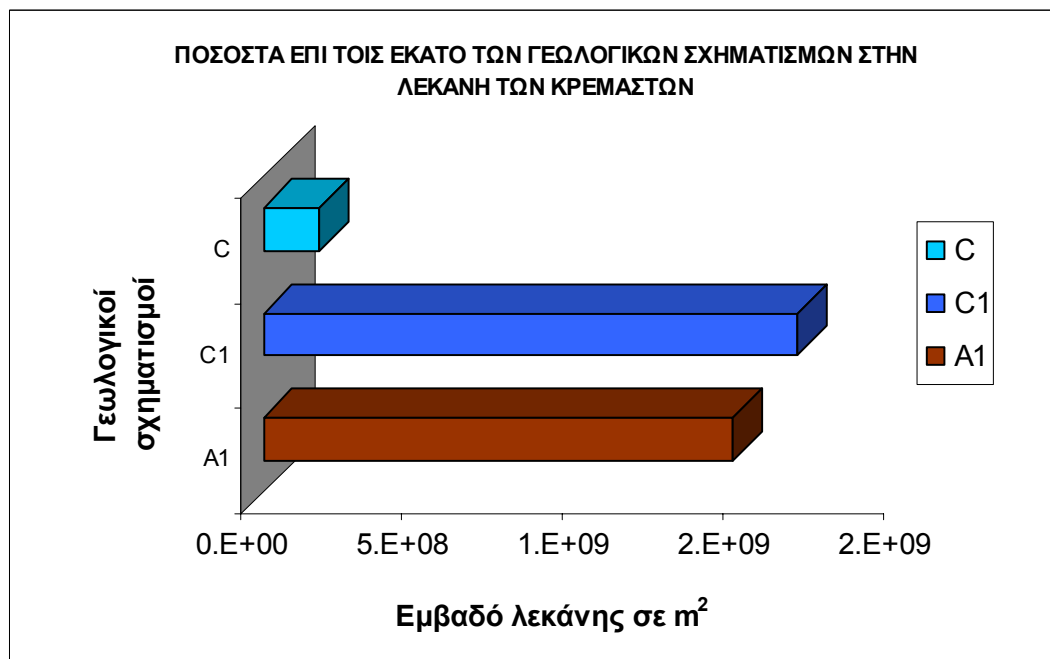
ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ

Πίνακας 2: Υπολογισμός έκτασης γεωλογικών σχηματισμών στη λεκάνη

Σχηματισμοί	Ποσοστό συμμετοχής στη λεκάνη των Κρεμαστών σε m ²	Ποσοστό συμμετοχής στη λεκάνη των Κρεμαστών σε Km ²
A1	1459986426.2600	1459.986
C1	1659940058	1659.940
C	175089101.8170	175.0891
SUM	3295015586.207	3295.016



Σχήμα 4: Κυκλικό διάγραμμα με τα ποσοστά επί τοις % συμμετοχής των γεωλογικών σχηματισμών στη λεκάνη

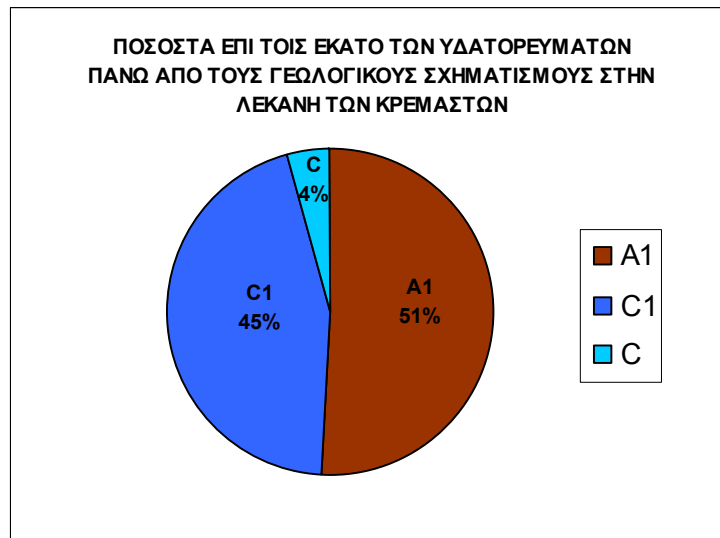


Σχήμα 5: Ραβδόγραμμα με τα ποσοστά συμμετοχής των γεωλογικών σχηματισμών στη λεκάνη

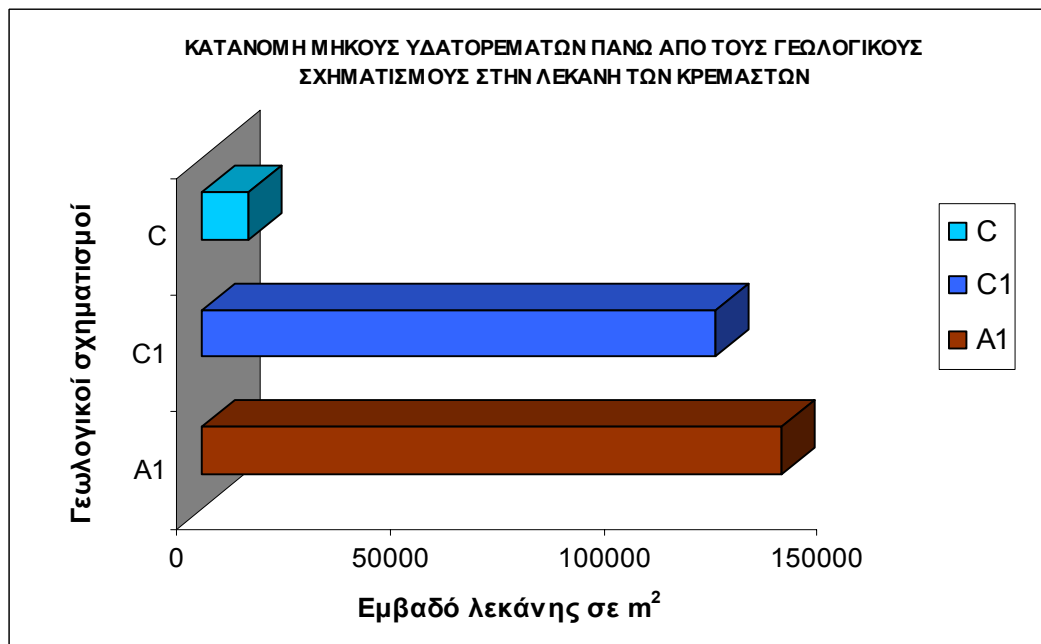
ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΥΔΑΤΟΡΕΥΜΑΤΩΝ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΤΩΝ ΚΡΕΜΑΣΤΩΝ

Πίνακας 3: Υπολογισμός μήκους υδατορευμάτων που διατρέχουν τους γεωλογικούς σχηματισμούς της λεκάνης

Σχηματισμοί	Μήκος υδατορευμάτων που περνάνε πάνω από τους σχηματισμούς σε m
A1	135868.894
C1	120148.505
C	11110.723
SUM	267128.122



Σχήμα 6: Κυκλικό διάγραμμα με τα ποσοστά επί τοις % του μήκους των υδατορευμάτων που διατρέχουν τους αντίστοιχους σχηματισμούς της λεκάνης



Σχήμα 7: Ραβδόγραμμα με τα ποσοστά του μήκους των υδατορευμάτων που διατρέχουν τους σχηματισμούς στη λεκάνη

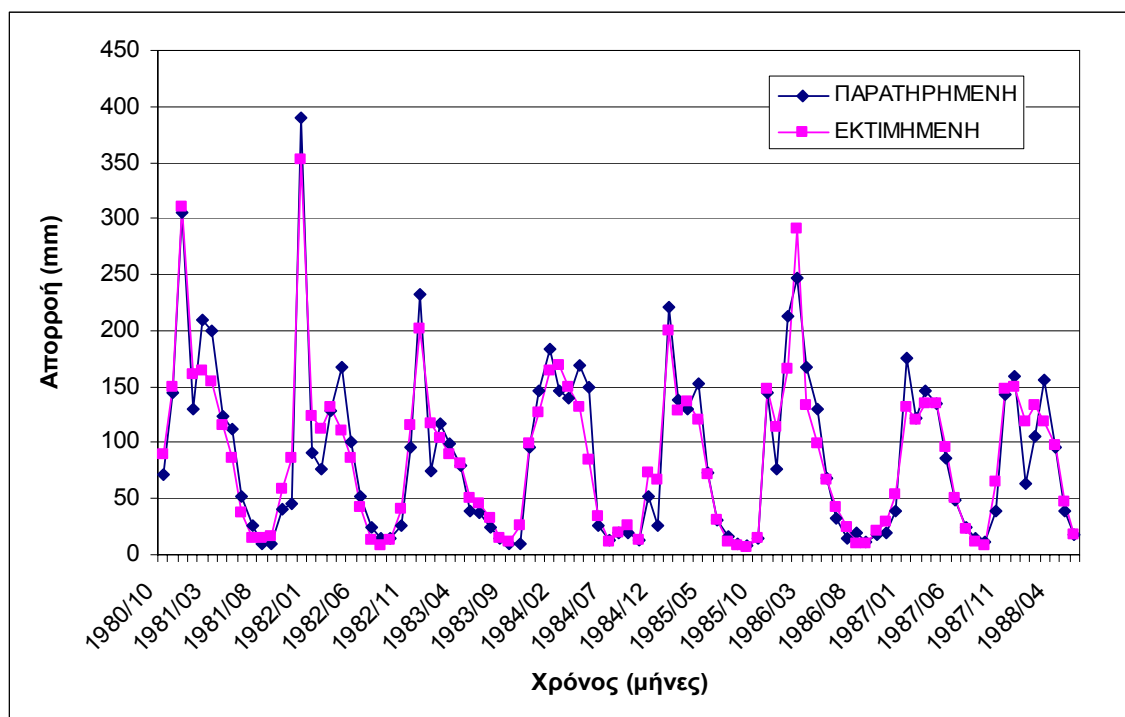
4. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Πίνακας 4: Προσδιορισμός παραμέτρων για την υδρολογική λεκάνη των Κρεμαστών

K	330	215	245.5	300	330	264.5	330
ε	0.8	0.2	0.2	0.7	0.8	0.2	0.2
κ	0.2	0.45	0.2	0.2	0.2	0.2	0.19
So	0	0	0	0	0	0	0
λ	0.051	0.1	0.075	0.05	0.049	0.066	0.049
H1	160	100	47	91	64	47	64
μ	0	0	0	0	0	0	0.006
ξ	0	0	0	0	0	0	0.033
φ	0	0	0	0	0	0	0.0001
H2	0	0	0	0	0	0	180
Yo	0	0	0	0	0	0	265
Nash	0.803	0.806	0.8592	0.8544	0.8765	0.8788	0.9083

Παρατηρούμε ότι επιτυγχάνεται ο ίδιος συντελεστής Nash για διαφορετικό συνδυασμό παραμέτρων. Ενδεικτικά στην δεύτερη στήλη για $\varepsilon = 0.8$ και στην τρίτη για 0.2 και με χωρητικότητα της Εδαφικής Δεξαμενής $K = 330$ mm και 215 αντίστοιχα, ο Nash παραμένει 0.80 .

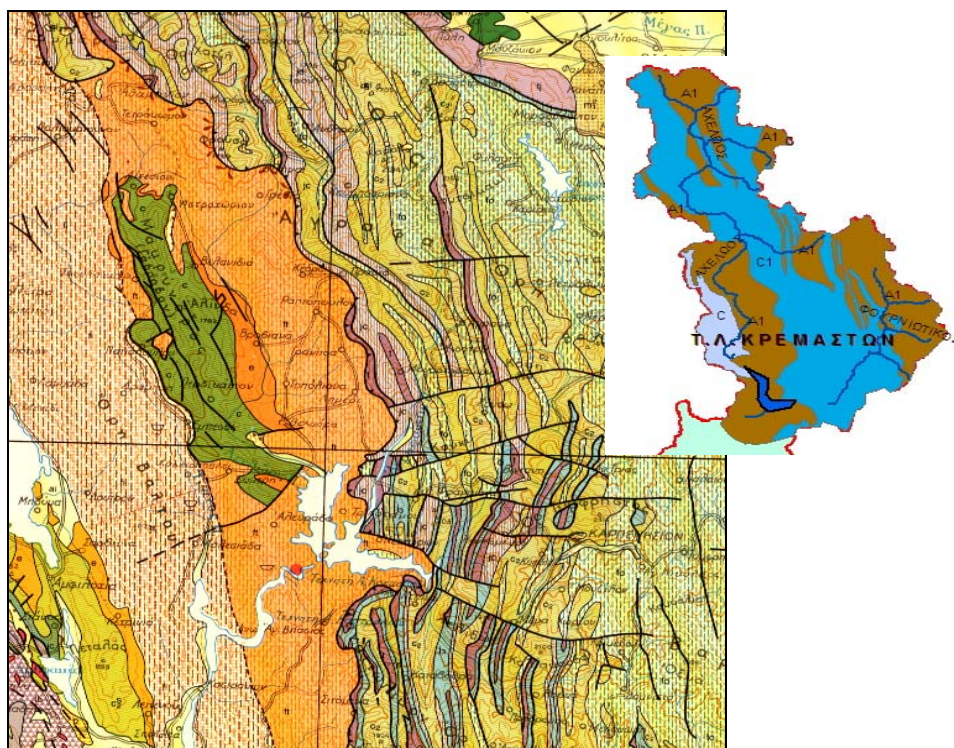
Βέλτιστος Nash



Σχήμα 8: Διάγραμμα παρατηρημένων απορροών και εκτιμημένων από το μοντέλο Ζυγός Βέλτιστος Συντελεστής Nash λεκάνης Κρεμαστών = 0.908355

(τιμές παραμέτρων $K = 330$, $\varepsilon = 0.2$, $\kappa = 0.19$, $\lambda = 0.049$, $H1 = 64$, $\mu = 0.006$ και υπόγεια δεξαμενή $Y_o = 265$, $H2 = 180$, $\xi = 0.033$ και $\varphi = 0.0001$)

4.1.5 ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ



Εικ. 4: Γεωλογικός χάρτης ΙΓΜΕ της ευρύτερης περιοχής της Λίμνης Κρεμαστών

1. Στο μοντέλο χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα βροχόπτωσης, εξάτμισης και απορροής από τη λεκάνη ανάντη του υδρομετρικού σταθμού των Κρεμαστών.

Η συσχέτιση των παρατηρημένων τιμών απορροής και των εκτιμημένων είναι πάρα πολύ καλή και από τις υψηλότερες που έχουν επιτευχθεί σε αυτήν την εργασία καθώς ο συντελεστής Nash της λεκάνης Κρεμαστών έχει υπολογιστεί ίσος με $R = 0.908355$. Αυτό σημαίνει ότι οι παραδοχές που έγιναν για τον προσδιορισμό των τιμών των παραμέτρων είναι πολύ ικανοποιητικές και βρίσκονται κοντά στις πραγματικές τους τιμές.

2. Το ποσοστό της περίσσειας της βροχής που εμφανίζεται ως άμεση απορροή και οφείλεται στην ύπαρξη αδιαπέρατων σχηματισμών είναι υψηλό και ίσο με $\kappa = 0.19$. Τιμές που δόθηκαν και ήταν μεγαλύτερες του 0.2 δε φαίνεται από τις διακυμάνσεις του συντελεστή Nash να έχουν μεγάλη επίδραση στη τροποποίηση του συντελεστή. Διατηρώντας τις τιμές των παραμέτρων του βέλτιστου Nash σταθερές και δίνοντας διαφορετικές τιμές στο ποσοστό της άμεσης απορροής ο συντελεστής παραμένει υψηλός όπως φαίνεται παρακάτω. Με σταθερές τιμές στις παραμέτρους έχουμε :

$K = 330$, $\varepsilon = 0.2$, $\lambda = 0.049$, $H1 = 64$, $\mu = 0.006$, $Y_0 = 265$, $H2 = 180$, $\xi = 0.33$ και $\varphi = 0.0001$ και μεταβάλλοντας το κ έχουμε: για $\kappa = 0.19 \rightarrow$ συντελεστής Nash = 0.908355, για $\kappa = 0.09 \rightarrow$ συντελεστής Nash = 0.905101, για $\kappa = 0.29 \rightarrow$ συντελεστής Nash = 0.9017 και για $\kappa = 0.41 \rightarrow$ συντελεστής Nash = 0.87211. Κρίθηκε ως καλύτερη τιμή η πρώτη ($\kappa = 0.19$) που πέτυχε την καλύτερη τιμή βελτιστοποίησης αλλά και δείχνει ότι το ποσοστό της άμεσης απορροής σε μια λεκάνη που αποτελείται κατά **44% από φλύσχη** (που στο σύνολο του είναι αδιαπέρατος σχηματισμός και το 51% του μήκους των υδατορευμάτων διέρχεται πάνω από αυτόν) είναι υψηλό.

3. Ο ρυθμός εκφόρτισης της δεξαμενής εδαφικής υγρασίας για τη παραγωγή υπόγειας ροής έχει σημαντικό ρόλο στην διαμόρφωση του συντελεστή Nash καθώς ο συντελεστής βελτιστοποιείται σημαντικά όταν ο ρυθμός εκφόρτισης είναι χαμηλός, αλλά όχι μηδενικός. Από τον πίνακα 4 φαίνεται ότι το μοντέλο δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα για μηδενικές τιμές του κ ($R=0.803$, $R=0.8592$, $R=0.8765$), ο βέλτιστος ωστόσο προκύπτει αν θεωρηθεί ένας μικρός ρυθμός εκφόρτισης της δεξαμενής της εδαφικής υγρασίας ίσος με: $\mu = 0.006$. Τιμές μεγαλύτερες του 0.006 οδηγούν σε σημαντική μείωση του συντελεστή που δείχνει ότι αν και η λεκάνη αποτελείται κατά **56% από ασβεστολίθους** (51% από μάρμαρα περιορισμένης ανάπτυξης κυμαινόμενης υδροπερατότητας και 5% από μάρμαρα μέτριας ως υψηλής διαπερατότητας) μικρό μόνο ποσοστό νερού καταφέρνει να διεισδύσει και να εμπλουτίσει τα υπόγεια νερά της περιοχής. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι το 55% των ασβεστολίθων ανήκουν στην ενότητα της Πίνδου (λεπτοπλακώδεις και πολυπτυχωμένοι) που σχεδόν πάντοτε εναλλάσσονται με στεγανούς ορίζοντες άλλων σχηματισμών όπως είναι ο πρώτος φλύσχης, οι αργιλικοί σχιστόλιθοι και οι κερατόλιθοι με αποτέλεσμα η υδροπερατότητα τους να είναι χαμηλή. Με σταθερές τιμές στις παραμέτρους $K = 330$, $\varepsilon = 0.2$, $\lambda = 0.049$, $H1 = 64$, $\kappa = 0.19$, $Y_0 = 265$, $H2 = 180$ και $\varphi = 0.0001$ και μεταβάλλοντας το μ έχουμε:

για $\mu = 0.06 \rightarrow$ συντελεστής Nash = 0.908355, για $\mu = 0.02 \rightarrow$ συντελεστής Nash = 0.885615, για $\mu = 0.2 \rightarrow$ συντελεστής Nash = 0.69837 και με $\mu = 0.2$ και αυξάνοντας τις διαφυγές από 0.0001 σε 0.005 \rightarrow συντελεστής Nash = 0.885615.

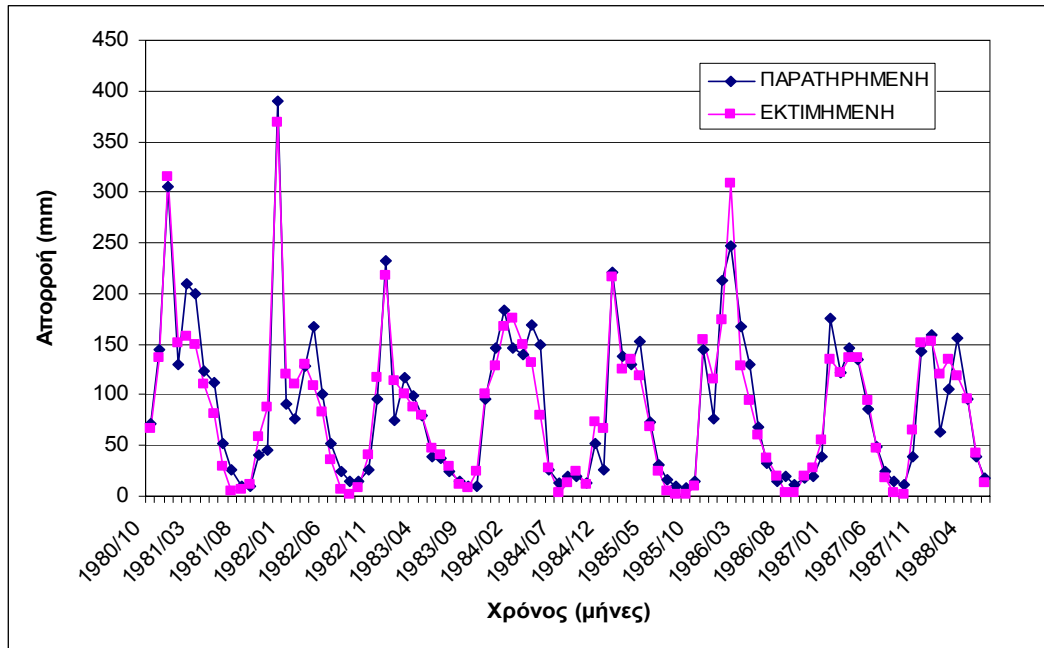
4. Το ποσοστό της εξατμοδιαπνοής ε είναι ίσο με **0.2** είναι χαμηλό γεγονός που δικαιολογείται καθώς η λεκάνη βρίσκεται υψηλά γεωγραφικά, με υψηλό ετήσιο

μέσος ύψος βροχής 1.620 mm (συνολική λεκάνη Αχελώου, στη λεκάνη των Κρεμαστών είναι ακόμα μεγαλύτερο) και χαμηλές θερμοκρασίες.

5. Ο ρυθμός εκφόρτισης της εδαφικής δεξαμενής για την παραγωγή υποδερμικής ροής επηρεάζει σε μικρό βαθμό τα αποτελέσματα όπως και ο ρυθμός εκφόρτισης της υπόγειας δεξαμενής για την παραγωγή βασικής ροής. Ο συντελεστής Nash φαίνεται να έχει την ίδια ευαισθησία στην μεταβολή και των δύο αυτών παραμέτρων (για μεταβολή του $\lambda = 0.06 \rightarrow 0.048$ έχουμε $R = 0.8987 \rightarrow 0.9084$ και για μεταβολή του $\xi = 0.043 \rightarrow 0.03$, $R = 0.9052 \rightarrow 0.906119$).

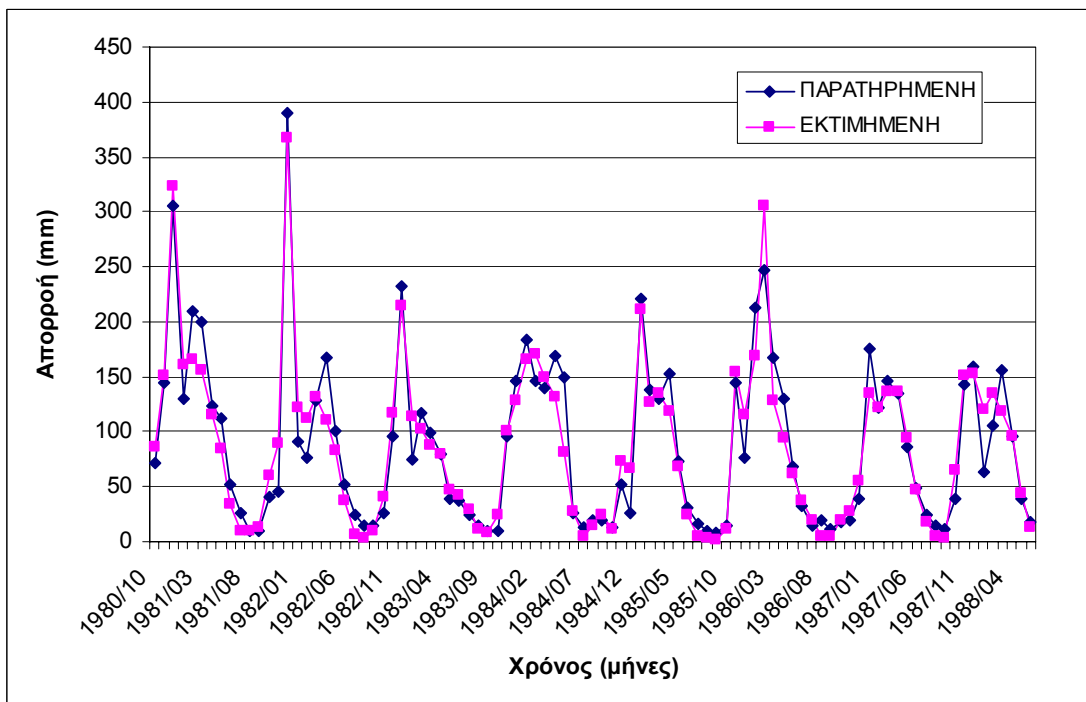
6. Οι παράμετροι K , Y_0 που είναι οι χωρητικότητες της εδαφικής και υπόγειας δεξαμενής έχουν προσδιοριστεί σε 330 mm και 265 mm αλλά η μεταβολή τους επηρεάζει πολύ λίγο τις εκτιμημένες απορροές. Εκείνο που φαίνεται να επηρεάζει τα αποτελέσματα, αλλά επίσης σε μικρό βαθμό είναι οι λόγοι K / H_1 και Y_0 / H_2 όπου H_1 είναι το κατώφλι αποθέματος της εδαφικής δεξαμενής για παραγωγή υποδερμικής ροής και H_2 το κατώφλι της δεξαμενής υπόγειου νερού για την παραγωγή βασικής ροής. Στη λεκάνη των Κρεμαστών κατά τη διάρκεια των δοκιμών η παράμετρος K μεταβάλλονταν μεταξύ των τιμών 245 – 330 mm και η τιμή της παραμέτρου H_1 μεταξύ 47 - 64 mm. Αντίστοιχα για την υπόγεια δεξαμενή η παράμετρος Y_0 βρισκόταν μεταξύ των τιμών 290 - 220 mm και το H_2 μεταξύ 180 - 140 mm.

7. Ο ρυθμός των υπόγειων διαφυγών είναι πολύ μικρός και πολύ μικρή αύξηση του μειώνει αρκετά τον συντελεστή Nash (για μεταβολή του ϕ από 0.0001 σε 0.005 ο συντελεστής Nash μειώνεται από 0.90733 σε 0.88912). Η ύπαρξη μερικών αλλά μικρών πηγών στην λεκάνη και οι απολήψεις νερού από τον ταμιευτήρα του φράγματος για την κάλυψη υδρευτικών και αρδευτικών αναγκών και για την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας δικαιολογούν τη ρύθμιση της παραμέτρου αυτής της υπόγειας δεξαμενής.



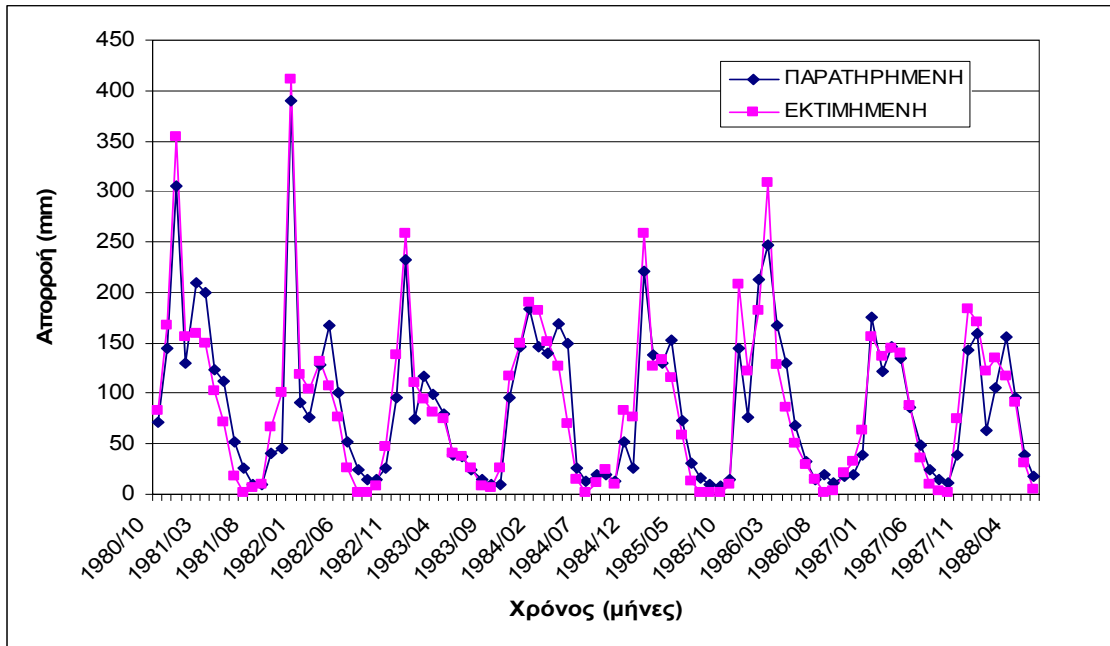
Σχήμα 9: Διάγραμμα παρατηρημένων απορορών και εκτιμημένων από το μοντέλο Ζυγός Συντελεστής Nash λεκάνης Κρεμαστών = 0.9031

(τιμές παραμέτρων $K = 330$, $\varepsilon = 0.2$, $\kappa = 0.2$, $\lambda = 0.051$, $H1 = 64$ και υπόλοιπες τιμές παραμέτρων μηδενικές).



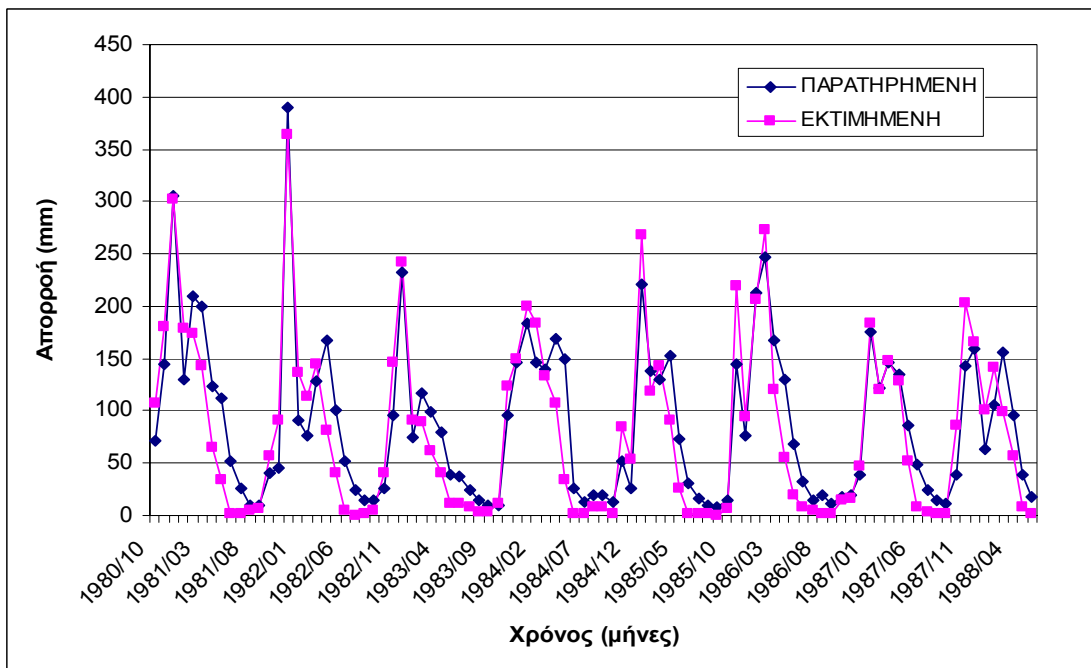
Σχήμα 10: Διάγραμμα παρατηρημένων απορορών και εκτιμημένων από το μοντέλο Ζυγός Συντελεστής Nash λεκάνης Κρεμαστών = 0.905353

(τιμές παραμέτρων $K = 330$, $\varepsilon = 0.2$, $\kappa = 0.2$, $\lambda = 0.051$, $H1 = 64$, $\mu = 0.005$ και υπόγειας δεξαμενής $Y_0 = 280$, $H2 = 180$, $\xi = 0.02$ και $\varphi = 0.0001$).



Σχήμα 11: Διάγραμμα παρατηρημένων απορροών και εκτιμημένων από το μοντέλο Ζυγός
 Συντελεστής Nash λεκάνης Κρεμαστών = 0.859204

(τιμές παραμέτρων $K = 245.5$, $\varepsilon = 0.2$, $\kappa = 0.2$, $\lambda = 0.075$, $H1 = 64$ και υπόλοιπες τιμές παραμέτρων μηδενικές).



Σχήμα 12: Διάγραμμα παρατηρημένων απορροών και εκτιμημένων από το μοντέλο Ζυγός
 Συντελεστής Nash λεκάνης Κρεμαστών = 0.76957

(τιμές παραμέτρων $K = 289$, $\varepsilon = 0.75$, $\kappa = 0.45$, $\lambda = 0.1$, $H1 = 100$ και υπόλοιπες τιμές παραμέτρων μηδενικές).

4.2 ΛΕΚΑΝΗ ΑΡΑΧΘΟΥ

4.2.1 ΘΕΣΗ – ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ



Εικ. 1, 2: Γεωγραφική θέση και λεκάνη ποταμού Αράχθου

Ο Αραχθος είναι ο ποταμός της Άρτας στην Ήπειρο. Ξεκινά από το βουνό Λάκμων και από την περιοχή Οξιά του Δεσπότη. Δημιουργείται από τη συμβολή των ποταμών κυρίως τεσσάρων παραποτάμων που είναι: ο Μετσοβίτικος και ο Ζαγορίτικος (στον άνω ρου), ο Καλαρίτικος (στον μέσο ρου), ο Σαραντάπορος και ο Καλεντίνης (στον κάτω ρου) και ο Βάρδας.

Ως Αραχθος παίρνει το όνομα του μετά την ένωση του με τον ποταμό Διπόταμο ενώ αρχικά καθώς απορρέει κοντά στην περιοχή του Μετσόβου έχει την ονομασία Μετσοβίτικος. Εκβάλλει στον Αμβρακικό κόλπο και έχει μήκος περίπου 140 Km (μήκος κύριου υδατορεύματος) και πλάτος 80 m.

4.2.2 ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

- Το ετήσιο ύψος των κατακρημνισμάτων κυμαίνεται από **1.000 mm** στο πεδινό τμήμα (Άρτα, Πρέβεζα, Κόνιτσα) έως τα **1.800 mm** στους ορεινούς όγκους της Πίνδου και στις άλλες οροσειρές (Τζουμέρκα, Σμόλικας, Μουργκάνια).
- Στην τριετία 1988 – 1991 τα κατακρημνίσματα υπήρξαν ιδιαίτερος χαμηλά
- Στο βόρειο τμήμα της λεκάνης το ύψος των βροχοπτώσεων είναι συγκριτικά χαμηλότερο από ότι στο μέσον της λεκάνης.
- Ο Άραχθος έχει συνολική επιφάνεια λεκάνης απορροής 2.160 Km² και αποστραγγίζει κατά κύριο λόγο τους ορεινούς όγκους του Λάκμου και των Τζουμέρκων (Αθαμανίων).
- το σύνολο εξάτμιση – απορροή κυμαίνεται μεταξύ **400 – 500 mm** ή γενικά σαν ποσοστό επί των κατακρημνισμάτων 46 – 55% (τα ποσοστά διαφέρουν σημαντικά κατά περιοχή).
- στους γεωλογικούς σχηματισμούς η κατείδυση κυμαίνεται από **40% - 56%**
- το μέσο θερμοκρασιακό εύρος είναι **16 °C** και **18 °C**.
- στην περιοχή επικρατούν άνεμοι κυρίως ΒΔ και Α και στη συνέχεια ΒΑ, Ν και ΝΔ
- Ο ποταμός σχηματίζει μαιάνδρους, παράλληλες κοίτες, νησίδες και προσωρινές λίμνες. Έχει μικρές κατά μήκος κλίσεις μεταξύ 1.5% και 2%.
- Τα αποθέματα νερού του διαμερίσματος της Ηπείρου αντιπροσωπεύουν το 15% των συνολικών αποθεμάτων της χώρας και η εκμετάλλευση του δυναμικού της είναι μόνο σε ποσοστό 20% (Νικολάου et al., 2001).
- στα επιφανειακά νερά της περιοχής εντάσσεται εκτός από τον ποταμό Άραθθο και ο ποταμός Λούρος στα δυτικά του Αράχθου και ο ποταμός Βωβός στα ανατολικά του κατώτερου τμήματος του Άραχθου (Λαγκαδινού, 2003).

Τα αρδευτικά έργα στον Άραθθο είναι:

- α) το αρδευτικό έργο Γλυκόριζο κοντά στην Άρτα (αρδευόμενες εκτάσεις 1000 στρέμματα)
- β) το αρδευτικό έργο Ζώνης Α. Πεδιάδας Άρτας (αρδευόμενες εκτάσεις 39.000 στρέμματα)
- γ) το αρδευτικό έργο Γραμενίτσας (αρδευόμενες εκτάσεις 5.5000 στρέμματα)
- δ) το αρδευτικό έργο Βλαχέρνας (αρδευόμενες εκτάσεις 10000 στρέμματα).

Ο Άραχθος συνδέεται με τον Λούρο μέσω του αποστραγγιστικού συστήματος της πεδιάδας Άρτας – Πρέβεζας ενώ επικοινωνεί με τον Αώο μέσω της σήραγγας προσαγωγής του Υδροηλεκτρικού Έργου Πηγών Αωού. Όσον αφορά τη δεύτερη περίπτωση αναλυτικότερα: μετά την κατασκευή του ταμιευτήρα των πηγών Αωού το νερό εκτρέπεται μέσω της σήραγγας Χρυσοβίτσας στο ομώνυμο Υ/Σ και στη συνέχεια απορρέει στον Μετσοβίτικο (παραπόταμό του Αράχθου). Γίνεται φανερό από τα παραπάνω ότι η λεκάνη απορροής (συλλογής) του ταμιευτήρα των πηγών Αωού αποτελεί τεχνητά πλέον (και με την έννοια του υδρολογικού ισοζυγίου) μέρος της λεκάνης του Αράχθου (Νικολάου et al., 2001).

Στην περιοχή λειτουργούν 2 φράγματα της ΔΕΗ στις θέσεις Πουρνάρι Ι και Πουρνάρι ΙΙ (αναρρυθμιστικό) τα οποία επηρεάζουν την δίαιτα των παροχών του ποταμού. Το Υδροηλεκτρικό Έργο Πουρναρίου Ι κατασκευάστηκε για την κάλυψη κυρίως ενεργειακών αναγκών αιχμής αλλά και για τον έλεγχο των πλημμυρών ενώ το Υδροηλεκτρικό Έργο Πουρναρίου ΙΙ παίζει κυρίως αναρρυθμιστικό ρόλο για την άρδευση των εγγειοβελτιωτικών έργων της πεδιάδας Άρτας – Πρέβεζας.

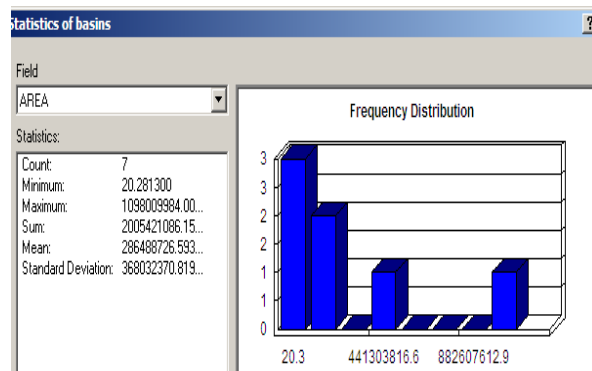
Λαμβάνει χώρα υπόγειος ροή με την οποία γίνεται εμπλουτισμός των υπόγειων υδροφόρων στρωμάτων της πεδιάδας από το τμήμα του Άραχθου μεταξύ Πουρναρίου και Γέφυρα Άρτας και αποφόρτιση αυτών εντός του τμήματος από την Γέφυρα μέχρι των εκβολών του (η παροχή του ποταμού ελαττώνεται μεταξύ της θέσης Πουρνάρι και της Γέφυρας της Άρτας, ενώ αυξάνεται μεταξύ της γέφυρας και της εκβολής του). Σημειώνονται δε σημαντικές απώλειες του αρδευτικού νερού κυρίως λόγω της κακής συντήρησης των αρδευτικών δικτύων και της κακής διαχείρισής τους.

Το νερό που εξέρχεται από τα φράγματα (Πουρνάρι Ι και ΙΙ) έχει μεγαλύτερη διαβρωτική ικανότητα από ότι είχε πριν και έτσι με βάση Μελέτη του ΥΠΕΧΩΔΕ περί αντιπλημμυρικών έργων (1996) έχουν προταθεί έργα για τον εγκιβωτισμό της κοίτης του ποταμού κατάντη των φραγμάτων μέχρι της εκβολές του στον Αμβρακικό Κόλπο. Η μέση ετήσια απορροή από το Πουρνάρι Ι εκτιμάται στα $1.400 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ νερού. Επιπλέον με την κατασκευή των φραγμάτων επηρεάστηκαν αρνητικά τα υδροσημεία κατάντη των φραγμάτων δεδομένου ότι επήλθε στείρευση του ποταμού στο κατάντη τμήμα έως τον Αμβρακικό Κόλπο και πρόβλημα στην τροφοδοσία των

υπόγειων υδροφορέων του Κάμπου της Άρτας από την έλλειψη μόνιμης παροχής στην κοίτη του ποταμού.

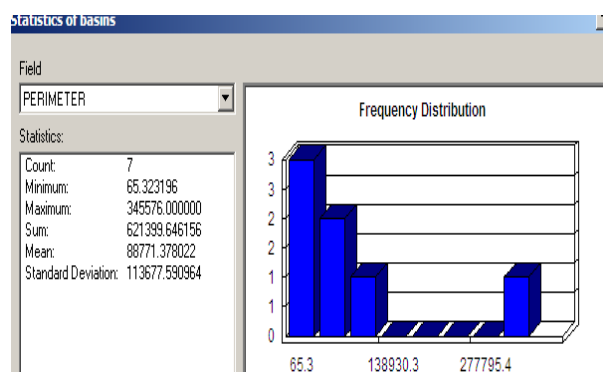
Οι δραστηριότητες που υπάρχουν στην λεκάνη απορροής του ποταμού και ιδιαίτερα στο κατάντη τμήμα, συμβάλλουν στη ρύπανση του Αμβρακικού Κόλπου. Το φαινόμενο αυτό σήμερα έχει περιοριστεί σε μεγάλο βαθμό με την κατασκευή εγχειοβελτιωτικών έργων και ιδιαίτερα με την κατασκευή των αναχωμάτων κατά μήκος της κοίτης του Άραχθου τα οποία περιορίζουν την εισροή ρυπαντικών φορτίων στην κοίτη (κυρίως από τις γεωργικές καλλιέργειες της πεδιάδας της Άρτας).

Ιδιαίτερα στην πεδιάδα της Άρτας – Πρέβεζας, το καθεστώς της ανεξέλεγκτης εκμετάλλευσης των υδατικών πόρων έχει οδηγήσει στην ανόρυξη περισσότερων από 5.000 γεωτρήσεων που υδρομαστεύουν το σύνολο των υδροφόρων οριζόντων μέχρι βάθους 300 m. Οι εκμεταλλεύσιμες παροχές των γεωτρήσεων της ενότητας του κάμπου της Άρτας κυμαίνονται από 20 – 40 m³/h για τον φρεάτιο ορίζοντα και φθάνουν τα 200 m³/h στους υπό πίεση υδροφόρους.



Έκταση λεκάνης = 2.005 Km²

Σχήμα 1



Περίμετρος λεκάνης = 621.399 m

Σχήμα 2

Πίνακας 1: Υπολογισμός μήκους των κυριότερων κλάδων του ποταμού στην λεκάνη

f Araxthos_river			
LENGTH	SRIVERS_	SRIVERS_ID	NAME
4438.649615	481	1714	
1628.564901	482	206	ΚΑΛΕΝΤΙΝΗΣ
4015.568186	485	164	ΚΑΛΕΝΤΙΝΗΣ
401.562817	486	165	
5120.832623	491	167	ΚΑΛΕΝΤΙΝΗΣ
1154.761082	493	168	
8742.522699	494	1712	
481.655432	497	388	
2316.396148	498	387	
1267.626374	505	390	
1627.921209	509	391	
644.825365	292	310	
4486.168840	307	69	
3891.942982	313	68	
1484.896253	315	314	
2016.654951	325	67	
4649.025592	342	66	
582.273013	451	1713	
5493.557596	467	395	
7694.658155	476	1712	
9488.726381	528	205	
20424.194311	997	70	
8917.569371	1010	67	ΖΑΓΟΡΙΤΙΚΟΣ
23535.946792	1015	76	ΜΕΤΣΟΒΗΤΙΚΟΣ
14382.381953	1018	66	ΑΡΑΧΘΟΣ
5238.487866	1031	318	
8354.815391	1035	161	ΑΡΑΧΘΟΣ
13561.158519	1040	89	ΚΑΛΑΡΠΙΚΟΣ
11342.717255	1053	161	ΑΡΑΧΘΟΣ
11042.187711	1062	209	ΑΡΑΧΘΟΣ
12733.740471	1077	165	
19251.694836	1084	204	ΑΡΑΧΘΟΣ
3991.240885	1085	169	ΚΑΛΕΝΤΙΝΗΣ
3034.686078	1206	210	ΑΡΑΧΘΟΣ

Statistics of Export_Output	
Field	Statistics:
LENGTH	Count: 34
	Minimum: 401.562817
	Maximum: 23535.946792
	Sum: 227439.611653
	Mean: 6689.400343
	Standard Deviation: 5993.870605

Σχήμα 3: Το συνολικό μήκος των κυριότερων υδατορευμάτων είναι ίσο με:

$$L = 227439 \text{ m}$$

4.2.3 ΓΕΩΛΟΓΙΑ – ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ

Το γενικό χαρακτηριστικό των υδρογεωλογικών δομών της Ηπείρου είναι η επαλληλία των μεγάλων ανθρακικών αντικλίνων (υδροφόρων συστημάτων) με φλυσικά σύγκλινα (μη υδροφόρες ενότητες). Η γενική διεύθυνση αξόνων των συγκλίνων και αντικλίνων είναι ΒΔ – ΝΑ (Πινδική διεύθυνση) και με αυτήν σχεδόν παραλληλίζεται η ακτογραμμή του Ιονίου γεγονός που καθιστά την όλη υδρογεωλογικά δομή ευνοϊκή σε ότι αφορά την διείσδυση της θάλασσας (Νικολάου κ.α., 2001).

Ο τύπος της τεκτονικής διεργασίας και η λιθολογική σύσταση των πετρωμάτων συντέλεσαν πολλές φορές στη δημιουργία στενών φαραγγιών κυρίως στα ασβεστολιθικά αντίκλινα, που προσφέρονται για την κατασκευή φραγμάτων (Αγ. Βαρβάρα στο Σαραντάπορο, του Στενού στον Άραχθο, του Καλαρύτικου στον ομώνυμο παραπόταμο του Αράχθου κοντά στο χωριό Μιχαλίτσι, της Βροσίνας και Σουλόπουλο στον Καλαμά κλπ). Το σύγκλινο που ξεχωρίζει από το πλήθος των υπολοίπων είναι εκείνο Ηπείρου – Ακαρνανίας που αναπτύσσεται σε όλο το μήκος της λεκάνης του Αράχθου. Αποτελεί ένα εκτεταμένο μονόκλινο με παχειά σειρά ιζημάτων του φλύσχη πάνω στο οποίο έχει επωθηθεί η Πινδική σειρά. Χαρακτηριστικό του συγκλινόριου αυτού είναι ότι το δυτικό σκέλος είναι ανεστραμμένο και έτσι το αξονικό επίπεδο κλίνει προς τα δυτικά.

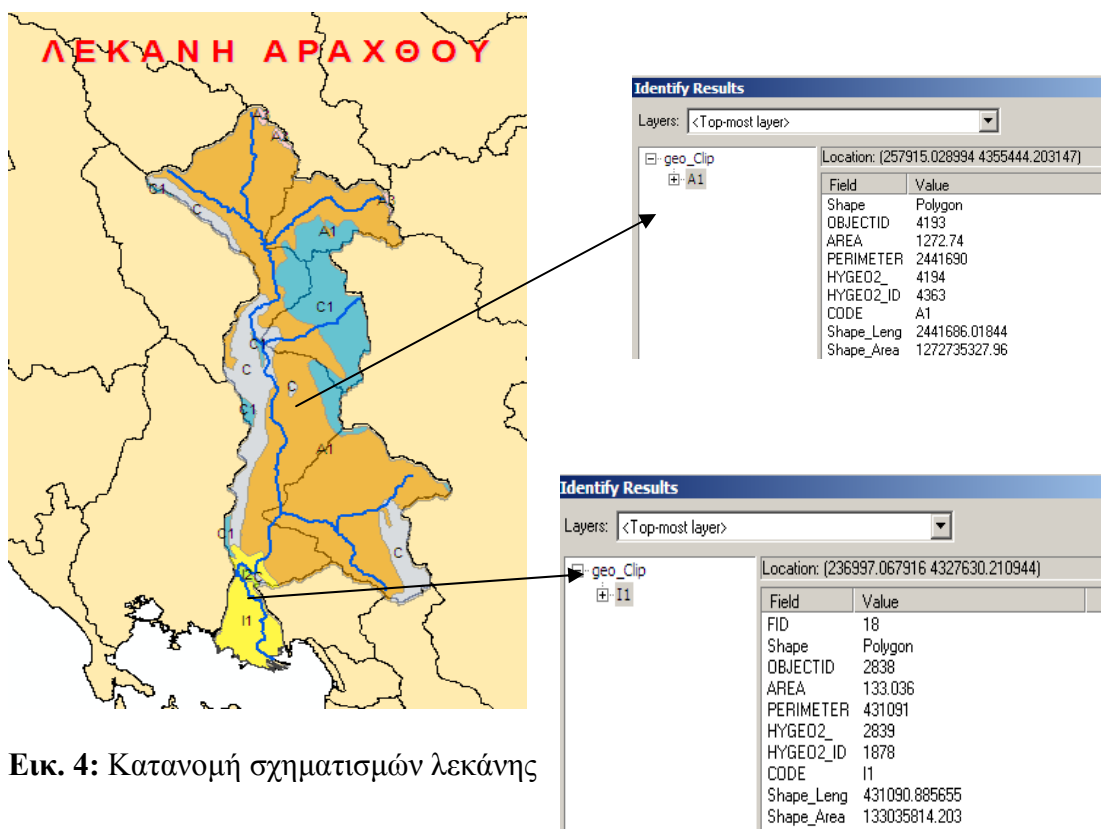
Η πεδιάδα της Άρτας έχει έδαφος με ιδιαίτερα μικρή κλίση, υψηλό ορίζοντα υπόγειων υδάτων και καρστικές πηγές με πολύ μεγάλες παροχές. Οι μεγάλες πλημμυρικές παροχές του ποταμού λόγω της υψηλής διαβρωτικής ικανότητας που έχουν οδηγούν στην αλλαγή της κλίσης του ποταμού και τη δημιουργία μαιάνδρων. Η στρωματογραφική διάρθρωση των προσχωσιγενών της αποθέσεων της ευνοεί την ανάπτυξη σημαντικών υδροφόρων σε διαφορετικά βάθη με τροφοδοσία τόσο από τον ποταμό Άραχθο όσο και από πλευρικές διηθήσεις των καρστικών υδροφόρων των ασβεστολιθικών σχηματισμών.



Εικ. 3: Γεωλογικοί σχηματισμοί που δομούν την υδρολογική λεκάνη του Αράχθου

Υπόμνημα υδρογεωλογικού χάρτη:

A1	Φλύσχης, γενικά αδιαπέρατος σχηματισμός
A3	Πλουτώνια και ηφαιστειακά πετρώματα, γενικά αδιαπέρατοι με μικρή έως πολύ μικρή υδροπερατότητα
C	Ασβεστόλιθοι και μάρμαρα εκτεταμένης ανάπτυξης, μέτριας έως υψηλής υδροπερατότητας
C1	Ασβεστόλιθοι και μάρμαρα περιορισμένης ανάπτυξης κυμαινόμενης υδροπερατότητας
I1	Κοκκώδεις προσχωματικές αποθέσεις κυμαινόμενης υδροπερατότητας
I2	Κοκκώδεις μη προσχωματικές αποθέσεις μέτριας έως πολύ μικρής υδροπερατότητας



Εικ. 4: Κατανομή σχηματισμών λεκάνης

Η λεκάνη του Αράχθου περιλαμβάνει τις υδρογεωλογικές ενότητες των προσχώσεων στις πεδιάδες Άρτας – Πρέβεζας, το δέλτα του ποταμού και τις ασβεστολιθικές σειρές της Ιονίου ζώνης, που καταλαμβάνουν τμήματα του δυτικού περιθωρίου της λεκάνης του Αράχθου. Τα υπόγεια νερά των ασβεστολίθων αυτών εκφορτίζονται στην περιοχή Καλετζίου στο μέσο Άραχθο (πηγή Κλίφτη με παροχή 0,15 m³/sec) και Ανάβυστο κοντά στο φαράγγι της Πλάκας, ή καταλήγουν στο υδρολογικό σύστημα του Λούρου και ρυθμίζουν την διαίτα του ποταμού αυτού.

Τα σπουδαιότερα καρστικά συστήματα της λεκάνης είναι αυτά του Βορείου Βάλτου, της Βαλάωρας, του Κοκκινόλακα, των Νότιων Τζουμέρκων, του Λάκμου (Περιστέρι), Μασσουκίου, Κλίφκης και της Πλατανούσας.

Σαν ποσοστά συμμετοχής στην επιφάνεια της λεκάνης, η δυτικά του ποταμού περιοχή αποτελεί μόλις το 15% του συνόλου της λεκάνης. Καθοριστικό ρόλο σε αυτήν την κατανομή έχει η λιθολογική σύσταση και η τεκτονική δραστηριότητα δεδομένου ότι στη δυτική πλευρά του Αράχθου αναπτύσσονται κυρίως ανθρακικοί

σηματισμοί της Ιονίου, στους οποίους υπερτερεί η κατείσδυση και η επιφανειακή απορροή είναι μικρή (Νικολάου κ.α., 2001).

Τα φράγματα Πουρνάρι I και II έχουν κατασκευαστεί στους γεωλογικούς σχηματισμούς της Ζώνης της Ιονίου (όπως και τα φράγματα Λούρου, Καστρακίου και Στράτου) η οποία εμφανίζει μία μάλλον εύκαμπτη τεκτονική με μέτριες ή ασθενείς επιπτώσεις προς τα δυτικά που διευκολύνθηκαν από τους εβαπορίτες.

Στον φλύσχη Ιονίου ζώνης (επικρατούν οι ιλυόλιθοι, ακολουθούν οι ψαμμίτες ενώ η συμμετοχή των κροκαλοπαγών είναι περιορισμένη) οι ακόλουθοι παράμετροι περιορίζουν σημαντικά την υδροπερατότητα σε σχέση με εκείνη που παρουσιάζει ο φλύσχη της Πίνδου και κυρίως ο φλύσχη του Γαβρόβου.

α) Η μικρότερη τεκτονική καταπόνηση που έχει υποστεί ο Ιόνιος Φλύσχη σε σχέση με εκείνη του φλύσχη των άλλων ζωνών.

β) Η επικράτηση σε μεγάλο ποσοστό των ιλυόλιθων, στη μάζα των οποίων τα συστήματα διακλάσεων είναι συνήθως κλειστά και ο εγκλωβισμός των ψαμμιτών ή κροκαλοπαγών από τους σχηματισμούς των ιλυολίθων. Εξαίρεση αποτελούν ορισμένοι στενωποί των γραμμών διάβρωσης, όπου κυριαρχούν οι ψαμμίτες (εδώ οι διακλάσεις είναι συνήθως ανοικτές και τα συστήματα καταλήγουν στα ελεύθερα πρανή των κοιλάδων με αποτέλεσμα η υδροπερατότητα να παρουσιάζεται τοπικά αισθητά αυξημένη (Λιακούρης, 1995).

- Φλύσχη της Ιονίου ζώνης και φλύσχη της Πίνδου. Ο φλύσχη σαν ενότητα αποτελεί αδιαπέρατο σχηματισμό. Σε πολλές περιοχές όμως, στον αποσαθρωμένο μανδύα του, αναπτύσσονται ασθενείς υδροφόροι. Σε ορισμένες περιπτώσεις, υδροφορία παρουσιάζεται και στις ψαμμιτικές στρώσεις του φλύσχη.

Στον άνω ρου του Αράχθου στην περιοχή Πολιτισιές Μετσόβου – Γρεβενίτη μεγάλης υδρογεωλογικής σημασίας είναι οι ψαμμίτες του φλύσχη της Πίνδου. Η έντονη καταπόνηση των μεγάλων ψαμμιτικών μαζών της περιοχής έχει συντελέσει στην ανάπτυξη ενός πολύ καλού δευτερογενούς πορώδους. Η περιοχή Ζαγορίου στον Ζαγορικό παραπόταμο του Αράχθου αποτελεί μια φλύσχική λεκάνη που συγκρατεί τις επιφανειακές απορροές (Νικολάου, 2001). Το γεγονός ότι ο Αραχθός απορρέει

στον αδιαπέρατο σχηματισμό του φλύσχη οδηγεί σε σημαντική διαφοροποίηση της παροχής του.

- Οι ασβεστόλιθοι της Ιονίου ζώνης εισέρχονται στην λεκάνη του Άραχθου με το αντίκλινο Ξηροβουνίου, στις ανατολικές κλιθείς του οποίου έχουν επιλεγεί οι θέσεις των φραγμάτων Στενού και Καλαρυτικού, που έχουν μελετηθεί σε στάδιο προμελέτης. Οι ασβεστόλιθοι αυτοί δεν επηρεάζουν την στεγανότητα των ταμιευτήρων των φραγμάτων διότι καλύπτονται από σχηματισμούς του φλύσχη.

- Τα υπόγεια νερά που αναπτύσσονται στους ασβεστολίθους είναι πολύ πιθανόν να επικοινωνούν με ορισμένες καταβόθρες του λεκανοπεδίου Ιωαννίνων, με επικρατέστερες τις καταβόθρες Βοϊνίκου στο ΝΑ, άκρο της λίμνης και κάτω από το σύγκλινο του φλύσχη που παρεμβάλλεται ενδιάμεσα (Λιακούρης, 1995).

- Στις ζώνες υψηλού ανάγλυφου που τοποθετούνται στα βόρεια και ανατολικά του κάμπου της Άρτας κυριαρχούν οι ασβεστολιθικοί σχηματισμοί και τα φλυσχικά πετρώματα. Οι ασβεστόλιθοι αυτοί συγκροτούν τις μεγάλες αντικλινικές δομές των ορεινών συγκροτημάτων του Ξηροβουνίου και των Θεσπρωτικών στις οποίες αναπτύσσονται καρστικά συστήματα που εκφορτίζονται σε μεγάλες πηγές και τροφοδοτούν τα υδροφόρα των προσχωσιγενών αποθέσεων του κάμπου της Άρτας. Στα βόρεια και νότια, στην περιοχή της Στρογγυλής και Βίγλας ανυψώνεται επιμήκης ασβεστολιθική δομή από ασβεστολίθους Ηωκαίνου και Κρητιδικού οι οποίοι βρίσκονται από τη δυτική πλευρά σε άμεση επικοινωνία με τη Λιμνοθάλασσα της Ροδιάς. Η τοποθέτηση των λεπτομερών οριζόντων προς τη μεριά της θάλασσας ευνοεί την αποτροπή φαινομένων υφαλμύρινσης και ταυτόχρονα την ανάπτυξη υδροφόρων υπό πίεση (αρτεσιανοί υδροφόροι). Σήμερα το μεγαλύτερο μέρος του κάμπου υδρεύεται από τον Λούρο ποταμό και από γεωτρήσεις.

- Ο Σαραντάπορος αναπτύσσεται κατά κύριο λόγο σε αδιαπέρατους σχηματισμούς φλύσχη και οφιολίθους και χαρακτηρίζεται από ένα πυκνό υδρογραφικό δίκτυο που φανερώνει μεγάλο συντελεστή επιφανειακής απορροής και σχετικά μικρή κατείσδυση. Παρουσιάζει μία σημαντική διακύμανση της παροχής του στο τελικό σημείο παρακολούθησης (Γέφυρα προς Αμάραντο). Το υδρογράφημα της παροχής

είναι άμεσα επηρεασμένο από το καθεστώς της διαίτας της βροχόπτωσης και της επιφανειακής απορροής της λεκάνης.

Πίνακας 2: Αποθέματα νερού υπόγειων υδροφόρων συστημάτων Άραχθου (Νικολάου κ.α., ΙΓΜΕ, 1999)

Καρστικό σύστημα	Επιφάνεια Km ²	Μέση παροχή εκφόρτισης (m ³ /s)	T (m ² /s)	K (m/s)	S (%)	Ρυθμιστικά αποθέματα	Δυναμικά αποθέματα
ΒΟΡΕΙΟΥ ΒΑΛΤΟΥ	65	0,1	3,7*10 ⁻³	3*10 ⁻⁴	2,9	39	3
ΜΑΤΣΟΥΚΙΟΥ	25	0,5	5*10 ⁻⁶	7,2*10 ⁻⁴	3,0	13	16
ΚΛΙΦΚΗΣ	23	0,44 0,08	6,7*10 ⁻² 5,7*10 ⁻²	9,7*10 ⁻⁴ 8,45*10 ⁻⁴	2,83 3,0	8,2	16
ΠΛΑΤΑΝΟΥΣΑ	16	0,22	1,2*10 ⁻²	5,4*10 ⁻⁴	3,0	5,7	7

Τα ρυθμιστικά αποθέματα υπολογίζονται ως το γινόμενο της ετήσιας μεταβολής του όγκου του νερού (ξηρή – υγρή περίοδο) επί τον συντελεστή υδροχωρητικότητας S του σχηματισμού.

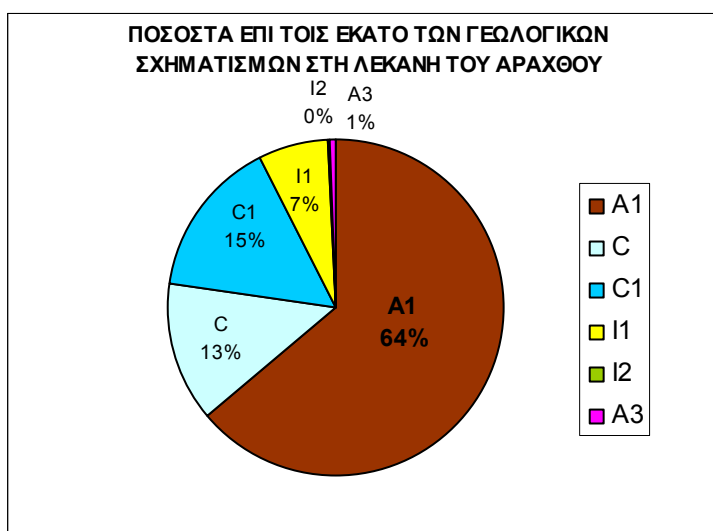
Το γεγονός ότι η λεκάνη απορροής εμφανίζει μεγάλη επιφανειακή ανάπτυξη του φλύσχη έχει σαν συνέπεια η απορροή να χαρακτηρίζεται από μεγάλα εύρη ακραίων τιμών με χαμηλές σχετικά θερινές παροχές και υψηλές πλημμυρικές αιχμές.

Από μελέτες γεωτρήσεων στην χερσόνησο της Πρέβεζας και σε ορισμένα φρεάτια της περιοχής των εκβολών του Αράχθου έχουν διαπιστωθεί φαινόμενα υφαλμύρισης λόγω της υπεράντλησης των υδροφόρων. Ωστόσο, κατά γενική εικόνα, η στρωματογραφική δομή στην παράκτια περιοχή της Ηπείρου δεν επιτρέπει φαινόμενα εκτεταμένης σε βάθος προέλασης των μετώπων υφαλμύρισης.

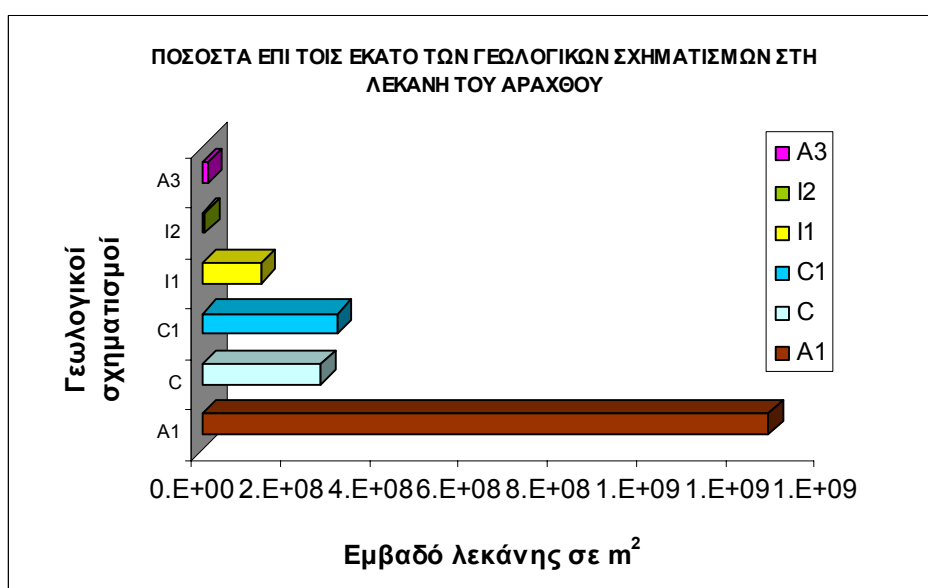
4.2.3 Α) ΛΕΚΑΝΗ ΑΝΑΝΤΗ ΥΔΡ. ΣΤΑΘΜΟΥ ΑΡΤΑΣ

Πίνακας 3: Υπολογισμός έκτασης γεωλογικών σχηματισμών στη λεκάνη

Σχηματισμοί	Ποσοστό συμμετοχής στην λεκάνη του Άραχθου σε m ²	Ποσοστό συμμετοχής στην λεκάνη του Άραχθου σε Km ²
A1	1274136423.000	1274.136
C	267617635.400	267.618
C1	304979179.500	304.979
I1	133035814.203	133.036
I2	5447838.852	5.448
A3	11411364.93	11.4113
SUM	1996628255.885	1996.628



Σχήμα 4: Κυκλικό διάγραμμα με τα ποσοστά επί τοις % συμμετοχής των γεωλογικών σχηματισμών στη λεκάνη

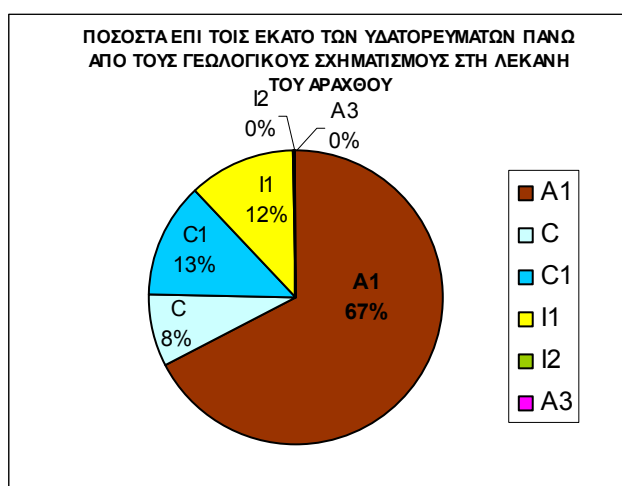


Σχήμα 5: Ραβδόγραμμα με τα ποσοστά συμμετοχής των γεωλογικών σχηματισμών στη λεκάνη

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΥΔΑΤΟΡΕΥΜΑΤΩΝ – ΛΕΚΑΝΗ ΑΡΤΑΣ

Πίνακας 4: Υπολογισμός μήκους υδατορευμάτων που διατρέχουν τους γεωλογικούς σχηματισμούς της λεκάνη

Σχηματισμοί	Μήκος υδατορευμάτων που περνάνε πάνω από τους σχηματισμούς σε m
A1	156960.014
C	19053.990
C1	29598.110
I1	27222.870
I2	836.884
A3	0.000
SUM	233671.868

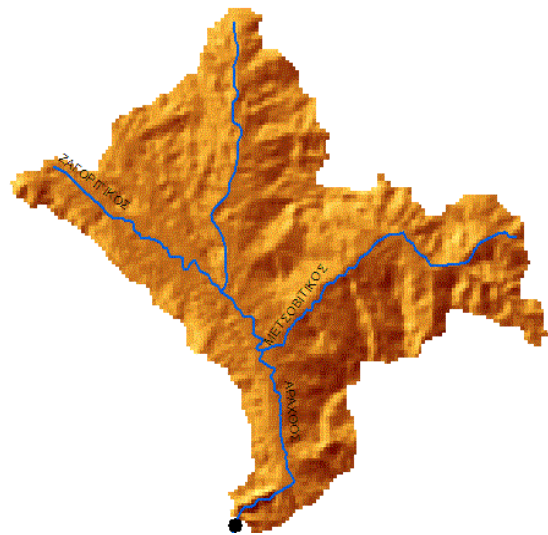
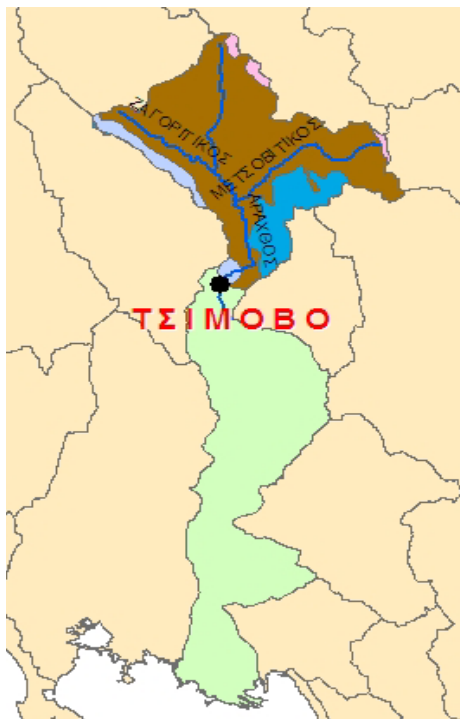


Σχήμα 6: Κυκλικό διάγραμμα με τα ποσοστά επί τοις % του μήκους των υδατορευμάτων που διατρέχουν τους αντίστοιχους σχηματισμούς της λεκάνη



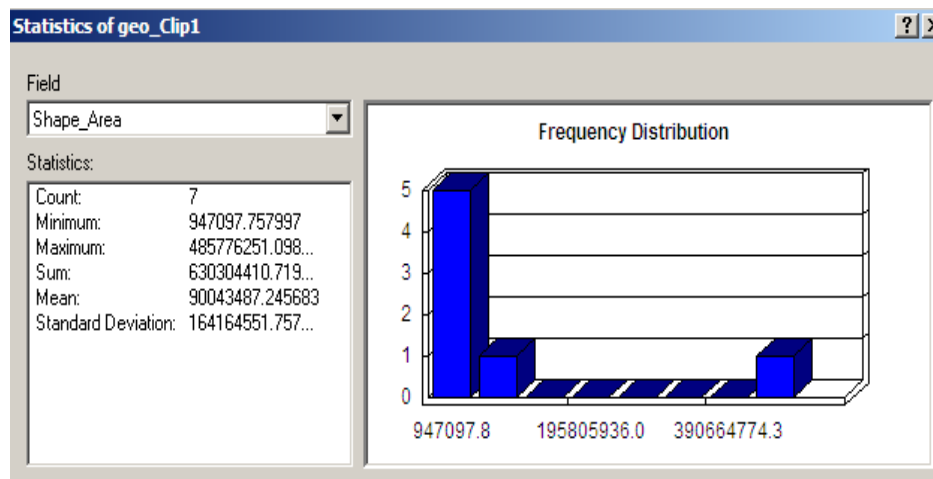
Σχήμα 7: Ραβδόγραμμα με τα ποσοστά του μήκους των υδατορευμάτων που διατρέχουν τους σχηματισμούς στη λεκάνη

4.2.3 Β) ΛΕΚΑΝΗ ΑΝΑΝΤΗ ΥΔΡ. ΣΤΑΘΜΟΥ ΤΣΙΜΟΒΟΥ



Εικ. 5: Μοντέλο σκίασης του ΨΜΕ

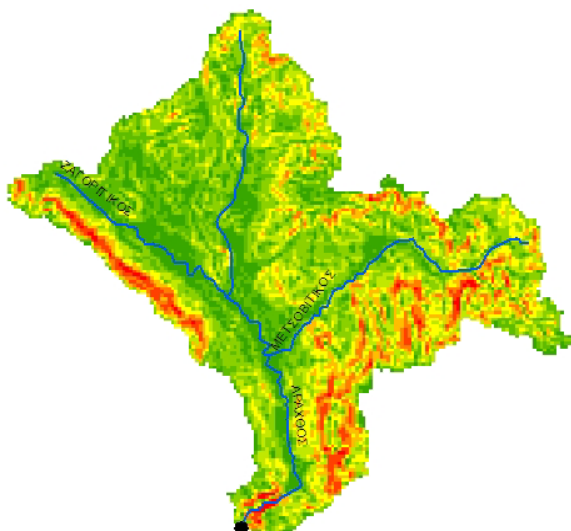
Εικ. 6: Γεωλογικοί σχηματισμοί που δομούν την υδρολογική λεκάνη ανάντη του υδρομετρικού σταθμού του Τσιμόβου



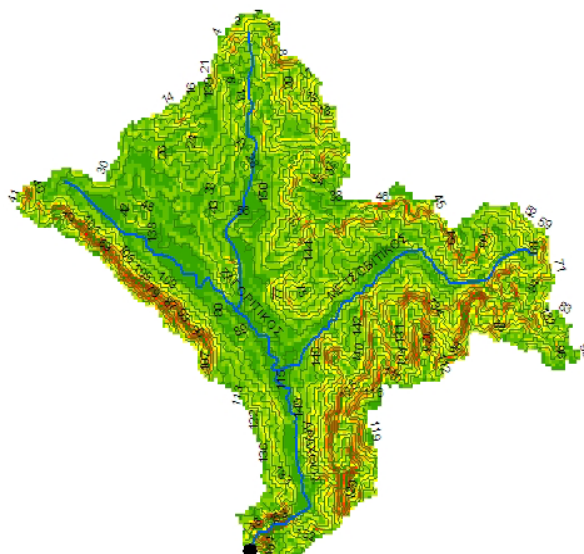
Σχήμα 8: Η λεκάνη έχει Έκταση: 630 Km^2
και Περίμετρο: 149394 m

Το συνολικό μήκος κύριων κλάδων υδατορευμάτων είναι:

$$L = 92788 \text{ m}$$



Εικ. 7: Κατανομή κλίσεων του εδάφους

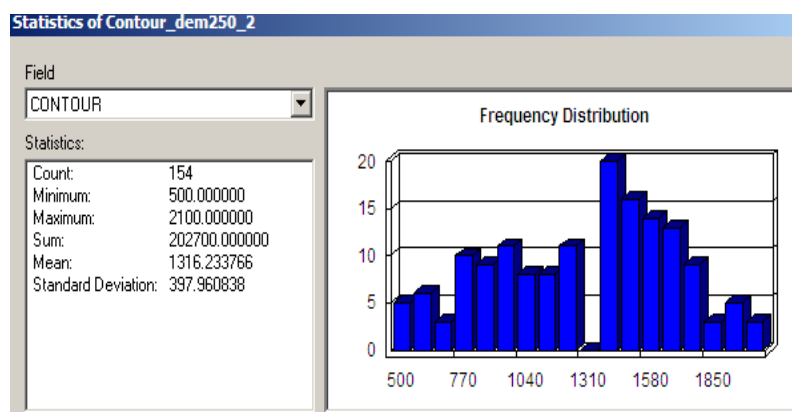


Εικ. 8: Υψομετρικές Καμπύλες

Η μέση κλίση της λεκάνης του Τσιμόβου είναι 23,15% ενώ η μέγιστη 97,37 %.

Πίνακας 5: Υπολογισμός μορφολογικών κλίσεων λεκάνης Τσιμόβου

Property	Value
Datum	D_GRS_1980
Statistics	
<input checked="" type="checkbox"/> Slope_dem2503	
Build Parameters	skipped columns:1, rows:1, ignored value:
Min	0
Max	97.37052154541016
Mean	23.15996961967301
Std dev.	13.96079533691083
Classes	0

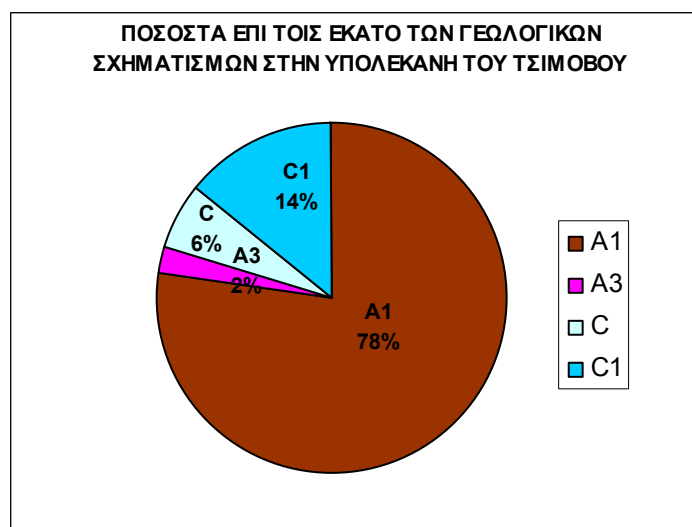


Σχήμα 9: Υπολογισμός υψομέτρου και διάγραμμα κατανομής συχνότητας
 Το μέσο υψόμετρο της υδρολογικής λεκάνης ανάντη του σταθμού είναι **1.316 m**
 και το μέγιστο **2.100 m**

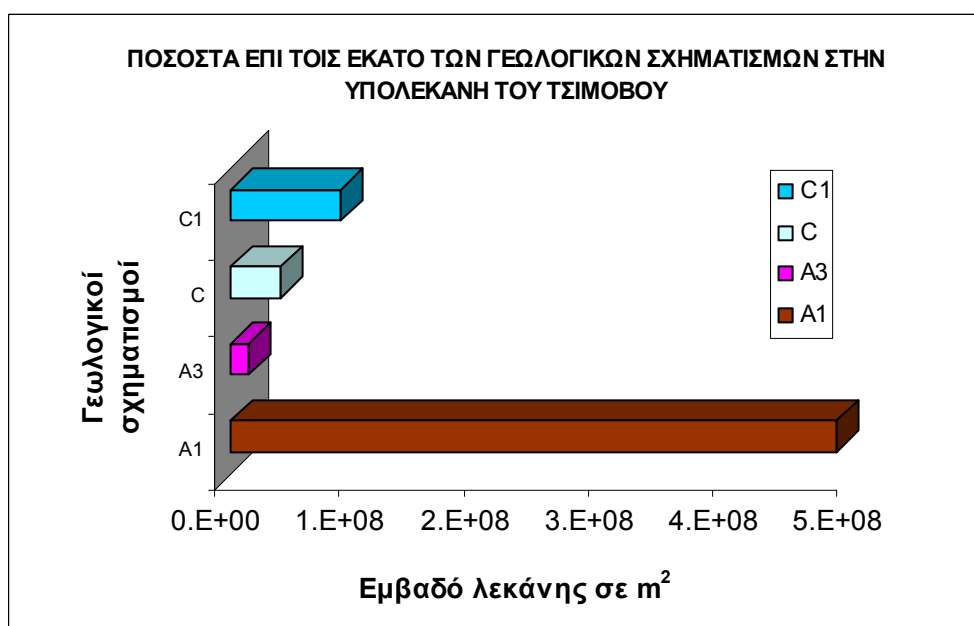
ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ – ΤΣΙΜΟΒΟ

Πίνακας 6: Υπολογισμός έκτασης γεωλογικών σχηματισμών στη λεκάνη

Σχηματισμοί	Ποσοστό συμμετοχής στην λεκάνη του ΤΣΙΜΟΒΟΥ σε m ²	Ποσοστό συμμετοχής στην λεκάνη του ΤΣΙΜΟΒΟΥ σε Km ²
A1	487177346.959	487.177
A3	14462099.663	14.462
C	39895711.605	39.896
C1	88769252.492	88.769
SUM	630304410.720	630.304



Σχήμα 10: Κυκλικό διάγραμμα με τα ποσοστά επί τοις % συμμετοχής των γεωλογικών σχηματισμών στη λεκάνη.

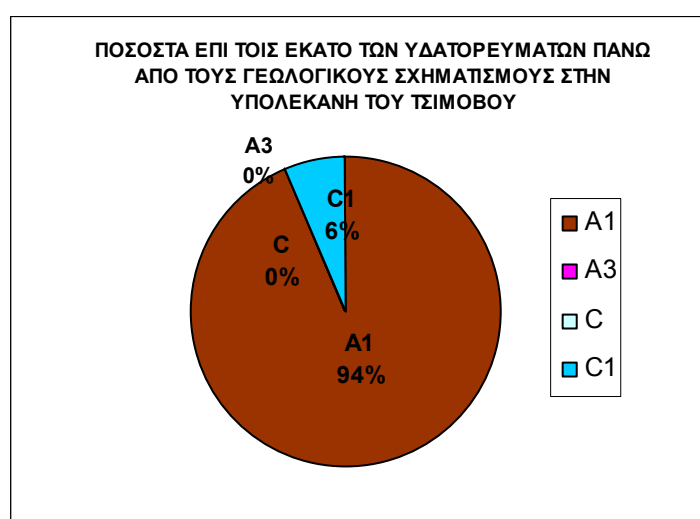


Σχήμα 11: Ραβδόγραμμα με τα ποσοστά συμμετοχής των γεωλογικών σχηματισμών στη λεκάνη

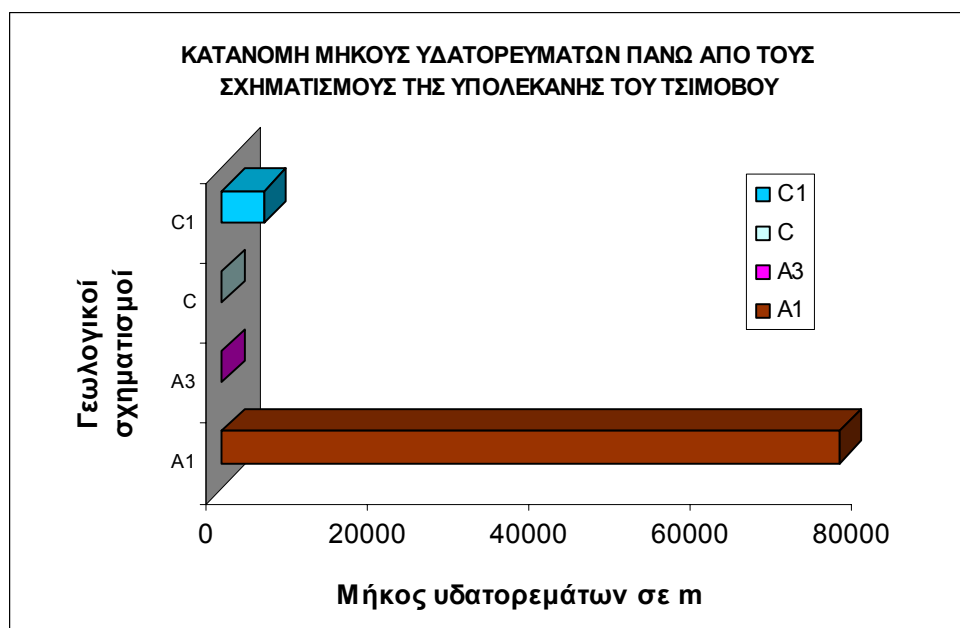
ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΥΔΑΤΟΡΕΥΜΑΤΩΝ – ΤΣΙΜΟΒΟ

Πίνακας 7: Υπολογισμός μήκους υδατορευμάτων που διατρέχουν τους γεωλογικούς σχηματισμούς της λεκάνης

Σχηματισμοί	Μήκος υδατορευμάτων που περνάνε πάνω από τους σχηματισμούς σε m
A1	76417.461
A3	0.000
C	0.000
C1	5131.012
SUM	81548.473



Σχήμα 12: Κυκλικό διάγραμμα με τα ποσοστά επί τοις % του μήκους των υδατορευμάτων που διατρέχουν τους σχηματισμούς της λεκάνης



Σχήμα 13: Ραβδόγραμμα με τα ποσοστά του μήκους των υδατορευμάτων που διατρέχουν τους σχηματισμούς στη λεκάνη

4.2.4 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

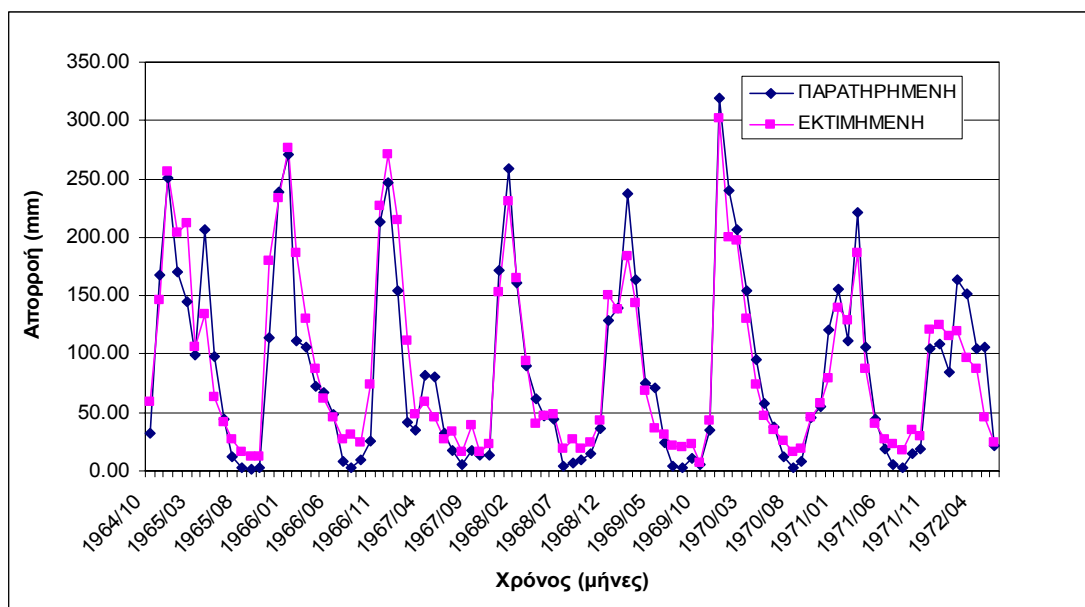
4.2.4 Α) ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΛΕΚΑΝΗ ΑΡΑΧΘΟΥ

Τα δεδομένα βροχοπτώσεων για ολόκληρη τη λεκάνη του Αράχθου βασίστηκαν σε 5 βροχομετρικούς σταθμούς: Ελατοχώρι, Πράμαντα, Πουρνάρι, Άνω Καλεντίνη και Σκουληκαριά και για 12 υδρολογικά έτη (1964 – 1976). Οι απορροές προήλθαν από τις καταγραφές του υδρομετρικού σταθμού της Άρτας.

Πίνακας 8: Προσδιορισμός παραμέτρων για τη συνολική λεκάνη του Αραχθού

K	268	268	268	285	362
ε	0.2	0.23	0.23	0.23	0.23
κ	0.2	0.2	0.23	0.23	0.23
So	0	0	0	0	0
λ	0.05	0.05	0.078	0.078	0.078
H1	77	77	77	73	77
μ	0.002	0.026	0	0.037	0.028
ξ	0.003	0.003	0	0.03	0.03
φ	0.0001	0.0001	0	0.006	0.006
H2	141	141	0	151	141
Yo	268	268	0	268	270
Nash	0.78200	0.82971	0.79387	0.87409	0.87450

→ Βέλτιστος Nash



Σχήμα 14: Διάγραμμα παρατηρημένων απορροών και εκτιμημένων από το μοντέλο Ζυγός Βέλτιστος Συντελεστής Nash της συνολικής λεκάνης του Αράχθου= 0.87450

(τιμές παραμέτρων **K** = 362, **ε** = 0.23, **κ** = 0.23, **λ** = 0.078, **H1** = 77, **μ** = 0.028 και υπόγειας δεξαμενής **Yo** = 270, **H2** = 141, **ξ** = 0.03 και **φ** = 0.006).

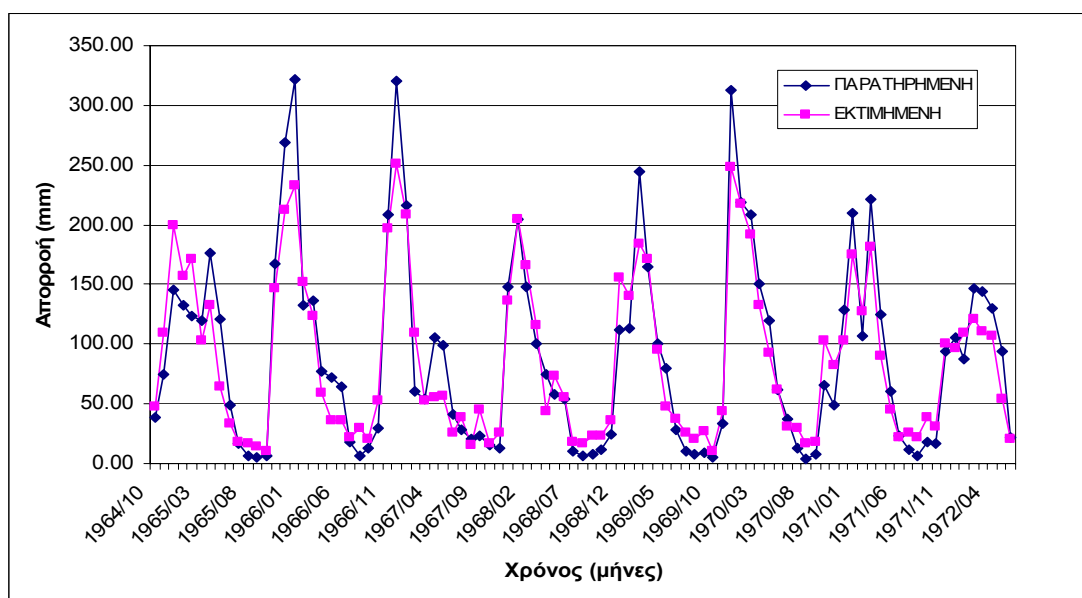
4.2.4.B) ΛΕΚΑΝΗ ΤΣΙΜΟΒΟΥ

Τα δεδομένα βροχοπτώσεων για την λεκάνη του Τσιμόβου βασίστηκαν καταγραφές του βροχομετρικού σταθμού του Ελατοχωρίου για τα υδρολογικά έτη 1964 - 1980 (16 έτη) και οι απορροές από τον ομώνυμο υδρομετρικό σταθμό του Τσιμόβου. Τα δεδομένα του βροχομετρικού σταθμού της Χρυσοβίτσας δεν χρησιμοποιήθηκαν γιατί ήτανε ελλιπή για τα έτη 1964 – 1980 για τα οποία υπήρχαν οι αντίστοιχες απορροές.

Πίνακας 9: Προσδιορισμός παραμέτρων για τη λεκάνη του Τσιμόβου.

K	355	362	362	355	355
ε	0.2	0.44	0.23	0.2	0.2
κ	0.25	0.23	0.23	0.25	0.28
So	0	0	0	0	0
λ	0.068	0.078	0.078	0.068	0.068
H1	72	77	77	72	72
μ	0.021	0.028	0.028	0.021	0.021
ξ	0.002	0.03	0.03	0.026	0.041
φ	0.001	0.006	0.006	0.001	0.001
H2	141	141	141	144	176
Yo	270	270	270	270	255
Nash	0.743568	0.75738	0.80589	0.82596	0.835357

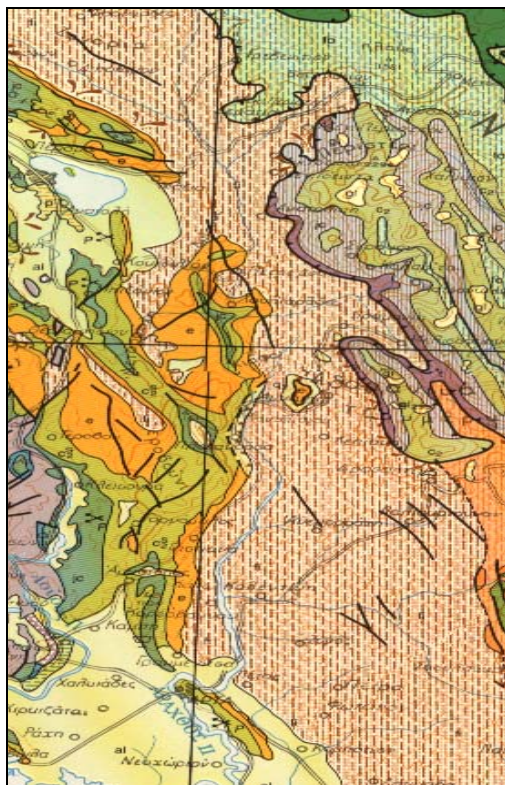
Βέλτιστος Nash



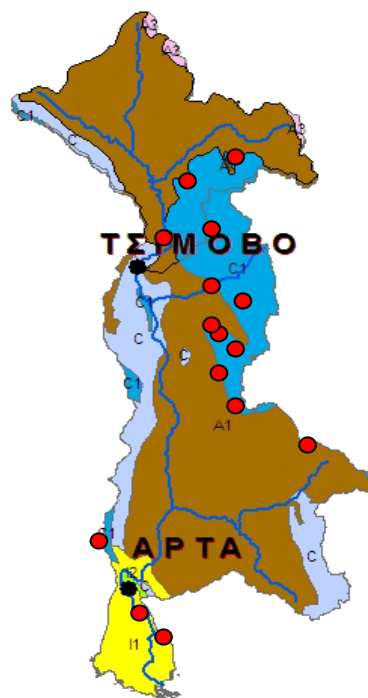
Σχήμα 15: Διάγραμμα παρατηρημένων απορροών και εκτιμημένων από το μοντέλο Ζυγός Βέλτιστος Συντελεστής Nash της συνολικής λεκάνης Τσιμόβου = 0.835357

(τιμές παραμέτρων $K = 355$, $\varepsilon = 0.2$, $\kappa = 0.28$, $\lambda = 0.068$, $H1 = 72$, $\mu = 0.021$ και υπόγειας δεξαμενής $Y_o = 255$, $H2 = 176$, $\xi = 0.041$ και $\varphi = 0.001$).

4.2.5 ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ



Εικ. 9: Γεωλογικός χάρτης περιοχής Αράχθου, ΙΓΜΕ



Εικ. 10: Οι κυριότερες καρστικές πηγές στη λεκάνη

ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΛΕΚΑΝΗ ΑΡΑΧΘΟΥ

1. Η συσχέτιση των παρατηρημένων τιμών απορροής και των εκτιμημένων είναι πάρα πολύ καλή καθώς η τιμή του συντελεστή Nash έφτασε ως $R = 0.87450$.

2. Το **64%** της λεκάνης δομούν σχηματισμοί του **φλύσχη** (πρακτικά αδιαπέρατος σχηματισμός) και το **28% ασβεστόλιθοι**. Από τους τελευταίους το 13% είναι Ασβεστόλιθοι και μάρμαρα εκτεταμένης ανάπτυξης, μέτριας έως υψηλής υδροπερατότητας της Ιόνιου Ζώνης, με πολύ λίγους ασβεστόλιθους της Ζώνης Γαβρόβου και το 15% είναι Ασβεστόλιθοι και μάρμαρα περιορισμένης ανάπτυξης κυμαινόμενης υδροπερατότητας της ζώνης της Πίνδου). Το υψηλό ποσοστό αδιαπέρατης επιφάνειας επηρεάζει άμεσα το ποσοστό της περίσσειας της βροχής που εμφανίζεται ως άμεση απορροή και είναι από τα υψηλότερα που σημειωθήκαν κατά την εφαρμογή του μοντέλου $k = 0.23$. Με σταθερές τιμές στις παραμέτρους $K = 268$, $\varepsilon = 0.23$, $\lambda = 0.078$, $H1 = 77$, $\mu = 0.023$ $Y_0 = 268$, $H2 = 141$, $\xi = 0.03$ και $\varphi = 0.0001$ και μεταβάλλοντας το k έχουμε:

για $\kappa = 0.18 \rightarrow$ συντελεστής Nash = 0.8499, για $\kappa = 0.25 \rightarrow$ συντελεστής Nash = 0.8505 και για $\kappa = 0.45 \rightarrow$ συντελεστής Nash = 0.8127. Τιμές μεγαλύτερες του 0.25 (0.028, 0.033 βελτιώνουν σε μικρό μόνο ποσοστό τον συντελεστή ενώ από ένα σημείο και μετά παρουσιάζεται σημαντική απόκλιση όπως για $\kappa = 0.45$). Με τιμές μικρότερες του 0.2 ο συντελεστής σταδιακά μειώνεται.

3. Τη μεγαλύτερη ευαισθησία ο συντελεστής Nash την παρουσίασε με τη μεταβολή της μ παραμέτρου που εκφράζει τον ρυθμό εκφόρτισης της εδαφικής δεξαμενής. Με σταθερές τιμές στις παραμέτρους $K = 268$, $\varepsilon = 0.23$, $\lambda = 0.05$, $H1 = 77$, $\kappa = 0.02$, $Y_0 = 268$, $H2 = 141$, $\xi = 0.03$ και $\varphi = 0.0001$ και μεταβάλλοντας το μ έχουμε: για $\mu = 0.003 \rightarrow$ συντελεστής Nash = 0.7872, για $\mu = 0.012 \rightarrow$ συντελεστής Nash = 0.8206 και για $\mu = 0.026 \rightarrow$ συντελεστής Nash = 0.8297. Αυξάνοντας την παράμετρο μ σημειώνεται σημαντική βελτίωση του συντελεστή (0.7872 \rightarrow 0.8206).

4. Στη λεκάνη εμφανίζονται σημαντικές καρστικές πηγές και υπάρχει τροφοδοσία των αβεστολίθων κυρίως στο δυτικό της τμήμα που δικαιολογεί το σχετικά υψηλό ρυθμός εκφόρτισης της δεξαμενής εδαφικής υγρασίας που εμπλουτίζει τον υπόγειο υδροφόρο $\mu = 0.028$, αλλά και τον υψηλό ρυθμό των υπόγειων διαφυγών $\varphi = 0,006$. Επιπλέον συμφωνεί με τη διαπίστωση ότι κατά θέσεις λαμβάνει χώρα υπόγειος ροή με την οποία γίνεται εμπλουτισμός των υπόγειων υδροφόρων στρωμάτων της πεδιάδας της Άρτας.

ΛΕΚΑΝΗ ΤΣΙΜΟΒΟΥ

1. Εισάγοντας τις ίδιες τιμές παραμέτρων με τις οποίες επιτεύχθηκε ο καλύτερος συντελεστής Nash για τη συνολική λεκάνη του Αράχθου, $K = 362$, $\varepsilon = 0.23$, $\kappa = 0.23$, $\lambda = 0.078$, $H1 = 77$, $\mu = 0.028$, $Y_0 = 265$, $H2 = 180$, $\xi = 0.03$ και $\varphi = 0.006$, ο νέος συντελεστής που προκύπτει για τη λεκάνη του Τσιμόβου είναι μειωμένος κατά 7% ($R = 0.87450 \rightarrow 0.80589$) και ρυθμίζονται εκ νέου οι τιμές των παραμέτρων για την επίτευξη καλύτερων τιμών του συντελεστή.

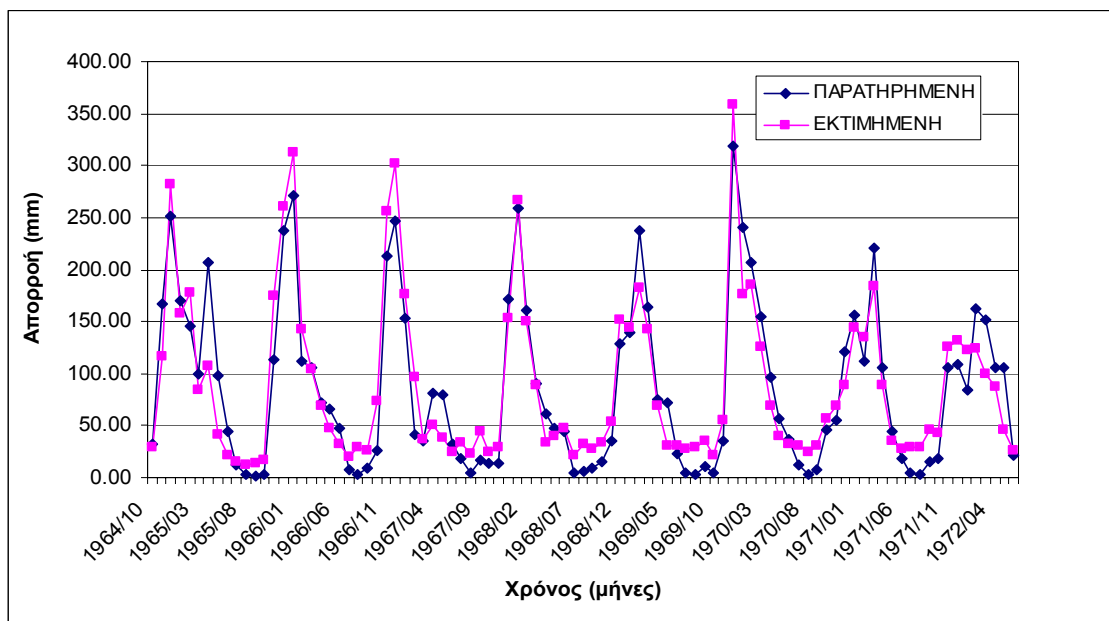
2. Ο συντελεστής Nash αυξάνεται σημαντικά όσο μειώνεται η εξάτμιση. Η βέλτιστη τιμή για την περίπτωση του Τσιμόβου φαίνεται να είναι αυτή του $\varepsilon = 0.2$ που είναι μικρότερη από την τιμή εξάτμισης ($\varepsilon = 0.23$) για τη συνολική λεκάνη. Η διαφορά αυτή αναμένονταν εφόσον η λεκάνη του Τσιμόβου βρίσκεται υψηλότερα υψομετρικά με μεγαλύτερο ετήσιο ύψος κατακρημνισμάτων και χαμηλότερες

θερμοκρασίες καθώς και με μεγαλύτερες κλίσεις (μέσο υψόμετρο λεκάνης Τσιμόβου 1316 m ενώ το μέσο υψόμετρο της συνολικής λεκάνης του Αράχθου είναι 781,12 m). Με σταθερές τιμές στις παραμέτρους $K=362$, $\kappa = 0.23$, $\lambda = 0.078$, $H1 = 77$, $\mu = 0.028$, $Y_0 = 270$, $H2 = 141$, $\xi = 0.03$ και $\varphi = 0.006$ και μεταβάλλοντας το ε έχουμε: για $\varepsilon = 0.44 \rightarrow$ συντελεστής Nash = 0.75738, για $\kappa = 0.32 \rightarrow$ συντελεστής Nash = 0.7867 και για $\kappa = 0.2 \rightarrow$ συντελεστής Nash = 0.8110.

3. Το ποσοστό **αδιαπέρατης** επιφάνειας φτάνει το **78%** (έναντι 64% στη συνολική λεκάνη) και το υπόλοιπο **22%** καλύπτεται από **ασβεστολίθους** (28 % στη συνολική λεκάνη) γεγονός που δικαιολογεί την **υψηλή τιμή του κ** (από 0.23 έως 0.33). Παρατηρούμε όμως ότι ο συντελεστής Nash ελαφρώς μόνο αυξάνεται με αύξηση του ποσοστού της βροχής που μετατρέπεται σε άμεση απορροή από την τιμή του 0.2 και άνω. Με σταθερές τιμές στις παραμέτρους $K=362$, $\varepsilon = 0.2$, $\lambda = 0.078$, $H1 = 77$, $\mu = 0.028$, $Y_0 = 270$, $H2 = 141$, $\xi = 0.03$ και $\varphi = 0.006$ και μεταβάλλοντας το κ έχουμε: για $\kappa = 0.23 \rightarrow$ συντελεστής Nash = 0.811, για $\kappa = 0.25 \rightarrow$ συντελεστής Nash = 0.8132 και για $\kappa = 0.33 \rightarrow$ συντελεστής Nash = 0.8166.

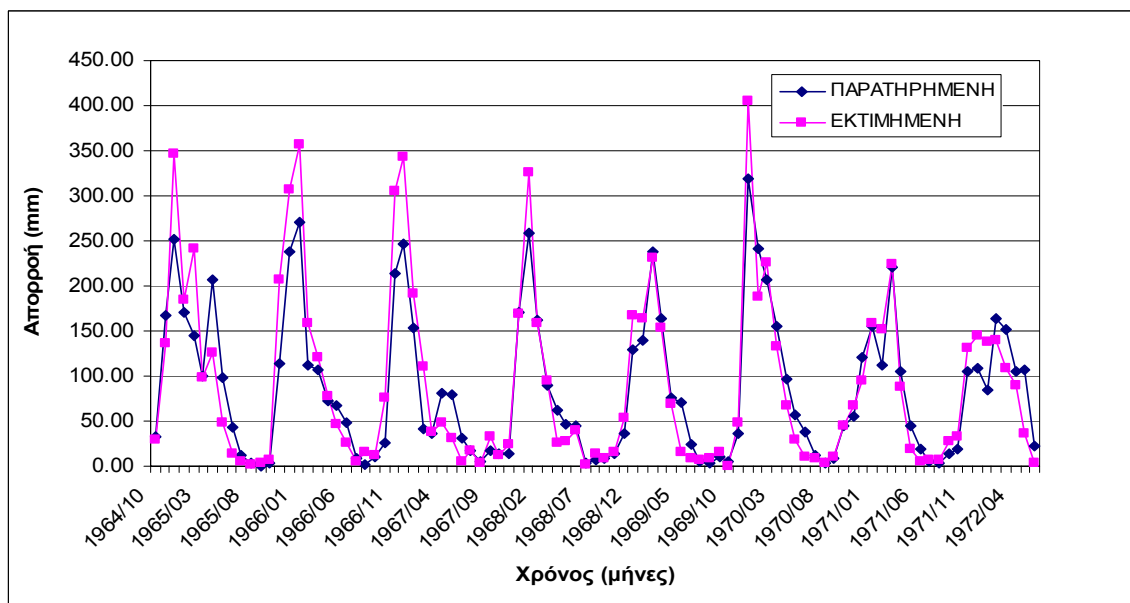
Συγκρίνοντας και το ποσοστό των υδατορευμάτων που διέρχονται πάνω από τους σχηματισμούς της λεκάνης: στη λεκάνη του Τσιμόβου ο ποταμός περνάει μέσα από σχηματισμούς του φλύσχη κατά 94% και κατά 6% από ασβεστολίθους της Πίνδου ενώ στη συνολική λεκάνη ποταμός διασχίζει κατά 67% σχηματισμούς φλύσχη, 21% ασβεστολίθους και 12% κοκκώδεις τεταρτογενής προσχώσεις. Η λεκάνη του Τσιμόβου αποτελείται σε μεγαλύτερο ποσοστό από αδιαπέρατους σχηματισμούς και παρουσιάζει πιο αυξημένες τιμές του κ ($\kappa = 0.28$) και λίγο μικρότερη ευαισθησία του συντελεστή Nash στις διακυμάνσεις του ρυθμού εκφόρτισης της εδαφικής δεξαμενής.

4. Παραπέρα βελτίωση του συντελεστή επιτυγχάνεται μειώνοντας το ρυθμό εκφόρτισης της εδαφικής δεξαμενής (σε μικρό όμως ποσοστό) και μειώνοντας τις διαφυγές. Στις μεταβολές των τιμών των διαφυγών, φ , ο συντελεστής παρουσιάζει μεγαλύτερη ευαισθησία από ότι στις μεταβολές του ρυθμού εκφόρτισης της υπόγειας δεξαμενής, μ . **Οι διαφυγές είναι μειωμένες** (0.006 \rightarrow 0.001) λόγω του υψηλότερου ποσοστό αδιαπέρατης επιφάνειας, των λιγότερων απολήψεων νερού για την κάλυψη αναγκών και του μικρότερου αριθμού πηγών.



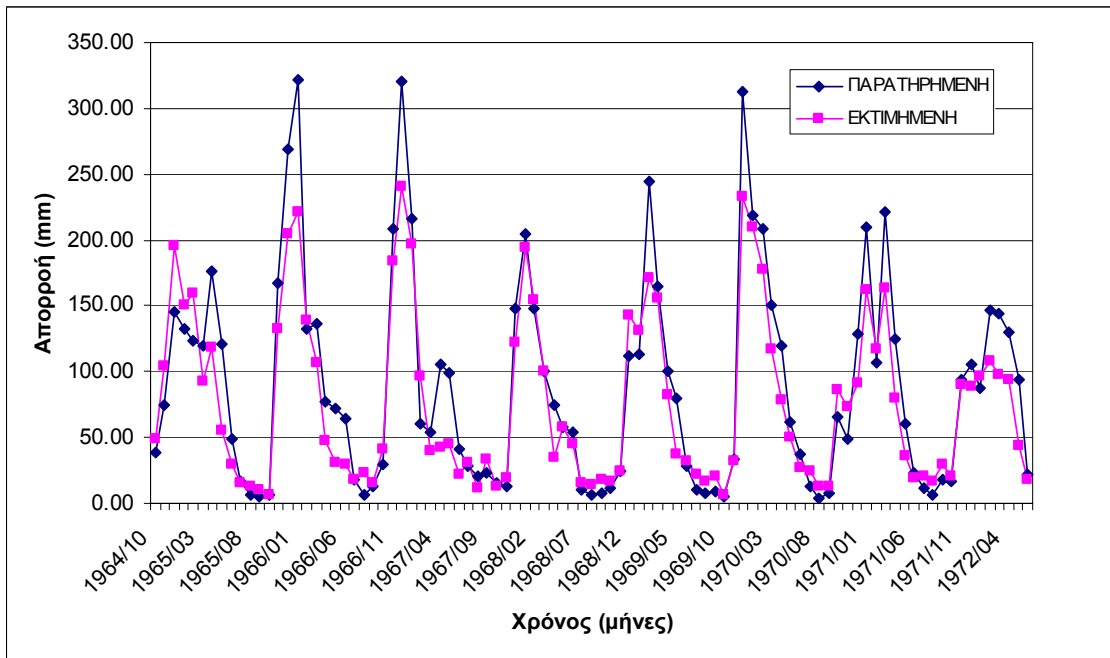
Σχήμα 16: Διάγραμμα παρατηρημένων απορροών και εκτιμημένων από το μοντέλο Ζυγός Συντελεστής Nash της συνολικής λεκάνης του Αράχθου= 0.848871

(τιμές παραμέτρων $K = 268$, $\varepsilon = 0.23$, $\kappa = 0.23$, $\lambda = 0.078$, $H1 = 77$, $\mu = 0.023$ και υπόγεια δεξαμενής $Y_0 = 268$, $H2 = 141$, $\xi = 0.003$ και $\varphi = 0.0001$).



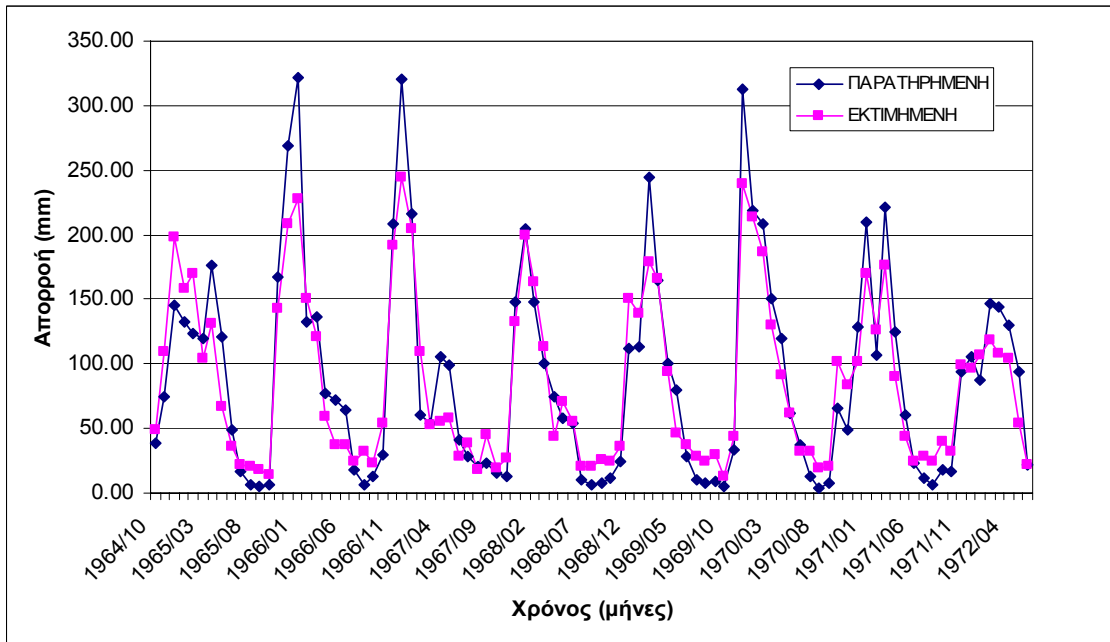
Σχήμα 17: Διάγραμμα παρατηρημένων απορροών και εκτιμημένων από το μοντέλο Ζυγός Συντελεστής Nash της συνολικής λεκάνης του Αράχθου= 0.87450

(τιμές παραμέτρων $K = 362$, $\varepsilon = 0.23$, $\kappa = 0.23$, $\lambda = 0.078$, $H1 = 77$, $\mu = 0.028$ και υπόλοιπες τιμές παραμέτρων μηδενικές).



Σχήμα 18: Διάγραμμα παρατηρημένων απορροών και εκτιμημένων από το μοντέλο Ζυγός Συντελεστής Nash της λεκάνης του Τσιμόβου = 0.805859

(τιμές παραμέτρων $K = 362$, $\varepsilon = 0.23$, $\kappa = 0.23$, $\lambda = 0.078$, $H1 = 77$, $\mu = 0.028$ και υπόγειας δεξαμενής $Y_0 = 270$, $H2 = 141$, $\xi = 0.03$ και $\varphi = 0.006$).



Σχήμα 19: Διάγραμμα παρατηρημένων απορροών και εκτιμημένων από το μοντέλο Ζυγός Συντελεστής Nash της λεκάνης του Τσιμόβου = 0.825964

(τιμές παραμέτρων $K = 355$, $\varepsilon = 0.2$, $\kappa = 0.25$, $\lambda = 0.078$, $H1 = 77$, $\mu = 0.068$ και υπόγειας δεξαμενής $Y_0 = 270$, $H2 = 141$, $\xi = 0.026$ και $\varphi = 0.001$).

4.3 ΛΕΚΑΝΗ ΣΠΕΡΧΕΙΟΥ

4.3.1 ΘΕΣΗ – ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ



Εικ. 1, 2: Γεωγραφική θέση και λεκάνη ποταμού Σπερχειού

Η λεκάνη του Σπερχειού (Σπερχειός ή Αλαμάνια) πηγάζει από τον Τυμφρηστό και εκβάλλει στον Μαλιακό Κόλπο. Περιβάλλεται από τις τρεις πλευρές της από ορεινούς όγκους: βόρεια από το όρος Όρθρυς, δυτικά από το όρος Τυμφρηστός και νότια από τα όρη Βαρδούσια, Οίτη και Καλλίδρομμο. Ανατολικά η λεκάνη είναι ανοιχτή προς τη θάλασσα και οριοθετείται από τον Μαλιακό Κόλπο. Τα σπουδαιότερα υδρορεύματα είναι: ο Ρουστιανίτης, η Βιστρίτσα, ο Ξερίας, ο Γοργοπόταμος, ο Ασωπός και ο Ξηριάς Λαμίας. Η κοιλάδα του Σπερχειού ποταμού έχει πολύ μεγάλο ενδιαφέρον τόσο από άποψη τεκτονικής όσο και γεωθερμικής (θερμές πηγές Υπάτης, Λουτρά Θερμοπυλών και Πλατυστόμου). Το μήκος του (μήκος κύριου υδατορεύματος) φτάνει τα 82 περίπου Km.

4.3.2. ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

- Η Μέση Ετήσια Βροχόπτωση στο σύνολο της λεκάνης του Σπερχειού υπερβαίνει τα **925 mm**.

- Ο Ετήσιος Συντελεστής Απορροής κυμαίνεται από **0.19** μέχρι **0.33**.

- Το επιφανειακό υδατικό δυναμικό του συνόλου της λεκάνης υπερβαίνει τα **650 hm³** πράγμα που την κατατάσσει πρώτη ανάμεσα στις λεκάνες του υδατικού διαμερίσματος της Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας (Κουτσογιάννης, Τσακαλιάς, 1995). Το επιφανειακό υδατικό δυναμικό της γειτονικής λεκάνης του Βοιωτικού Κηφισού, η οποία έχει παρόμοια (ελαφρά μεγαλύτερη) έκταση είναι υποδιπλάσιο της παραπάνω τιμής 333hm³ (Μαμάσης, 1990).

- Η λεκάνη του Σπερχειού έχει ολική έκταση 1907,2 Km² και αποτελείται από δύο μικρότερες υπολεκάνες. Την λεκάνη ανάντη του υδρομετρικού σταθμού του Καστριού, με έκταση 889,8 Km² και την λεκάνη ανάντη του υδρομετρικού σταθμού των Κομποτάδων με έκταση 1168.9 Km².

- Οι εκτιμήσεις των πλημμυρών είναι σημαντικά μεγαλύτερες από ανάλογες εκτιμήσεις στη γειτονική λεκάνη του Βοιωτικού Κηφισού. Η διαφοροποίηση αυτή εξηγείται από το γεγονός ότι στην λεκάνη του Βοιωτικού Κηφισού για την ίδια έκταση λεκάνης παρατηρούνται αισθητά μεγαλύτερα μήκη και σημαντικά μικρότερες κλίσεις (περίπου υποδιπλάσιες). Επιπλέον στην λεκάνη του Βοιωτικού Κηφισού, παρόλο που οι εντάσεις βροχής έχουν περίπου ίδιο μέγεθος, εμφανίζονται μικρότεροι συντελεστές απορροής (περίπου υποδιπλάσιοι σε ετήσια βάση, Κουτσογιάννης κ.α., 1995).

- Η βασική ροή υπολογίζεται ότι κυμαίνεται από 10 m³/sec στο Καστρί μέχρι 20 m³/sec στην εκβολή του στον Μαλιακό Κόλπο.

Ανάντη λεκάνης Κομποτάδων έχουν εκτιμηθεί τα παρακάτω (Κουτσογιάννης, Τσακαλιάς, 1995):

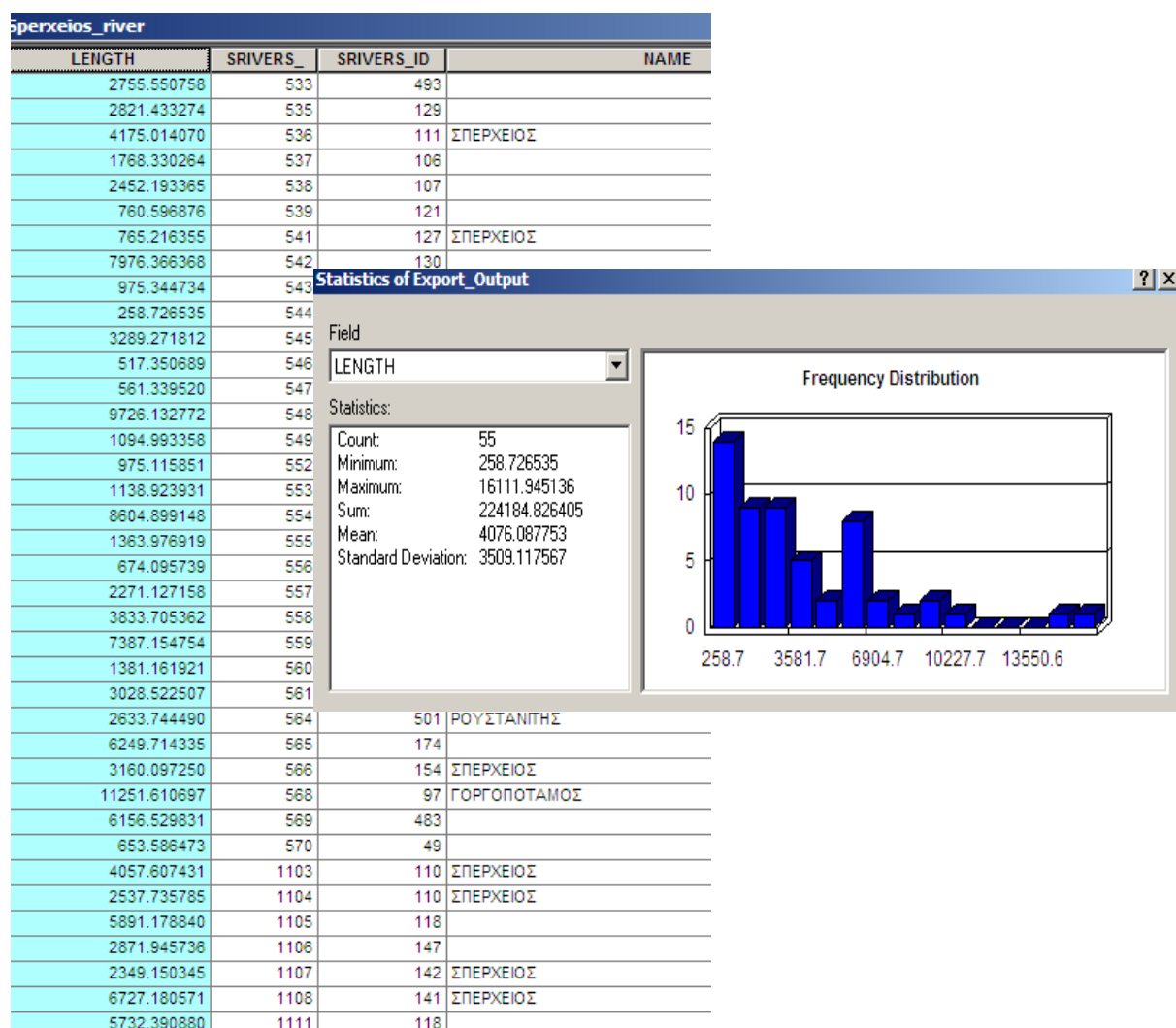
- Μέση ετήσια βροχόπτωση = **1037,7 (mm)**

- Μέση ετήσια απορροή = **414,8 (mm)**

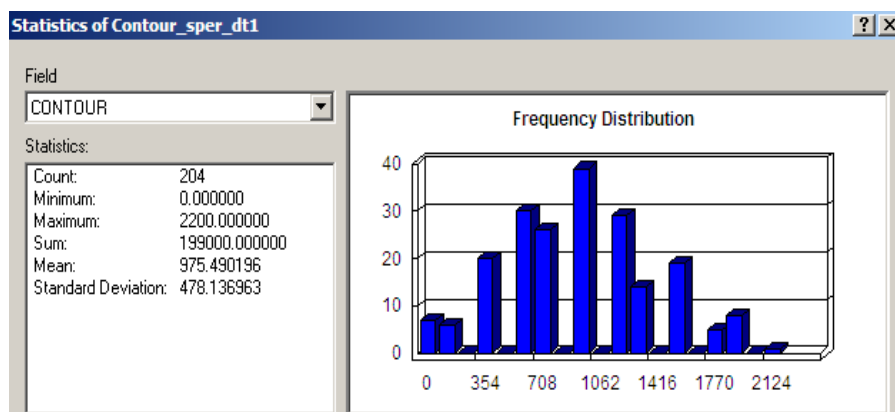
- Μέσος ετήσιος συντελεστής απορροής = **0.40**

- Ελάχιστη και μέγιστη τιμή συντελεστή απορροής = **0.25 – 0.60**

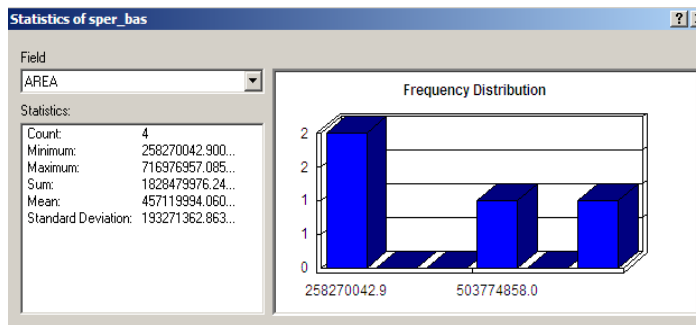
Πίνακας 1: Υπολογισμός μήκους των κυριότερων κλάδων του ποταμού στην λεκάνη



Σχήμα 2: Το συνολικό μήκος κύριου των κυριότερων κλάδων του Σπερχειού είναι ίσο με: $L = 224184,826 \text{ m}$

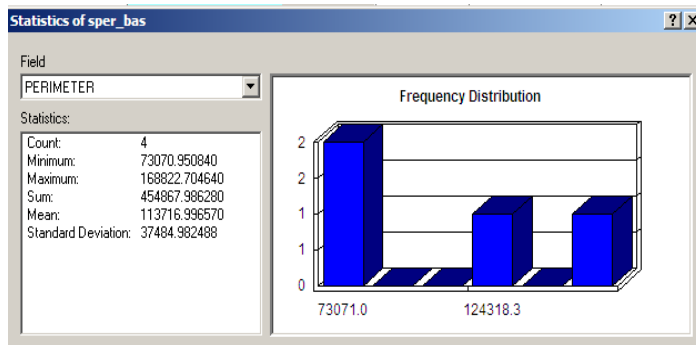


Σχήμα 3: Το μέσο υψόμετρο της λεκάνης είναι **975 m** και το μέγιστο **2.200 m**



Έκταση λεκάνης Σπερχειού:
18284 Km²

Σχήμα 4



Περίμετρος λεκάνης Σπερχειού:
454868 m

Σχήμα 5

Πίνακας 2: Υπολογισμός μορφολογικών κλίσεων συνολικής λεκάνης του Σπερχειού

Property	Value
Angular Unit	
<input checked="" type="checkbox"/> Statistics	
<input checked="" type="checkbox"/> Slope_sper_d2	
Build Parameters	skipped columns:1, rows:1, ignored value:
Min	0
Max	54.68547821044922
Mean	9.952278015515628
Std dev.	7.894320446042315
Classes	0

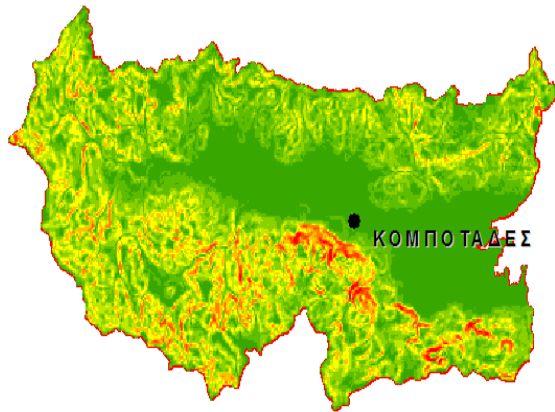
Η μέση κλίση της λεκάνης είναι 9.95% ενώ η μέγιστη 54 %

Το μεγαλύτερο μέρος της ευρύτερης περιοχής τις Οίτης απορρέει στην υδρολογική λεκάνη του Σπερχειού ,που σύμφωνα με την υδατική διαίρεση της Ελλάδας ανήκει στο υδατικό διαμέρισμα Παρνασσού. Σημαντικό επίσης τμήμα της εμπίπτει στη λεκάνη του Μόρνου και συμβάλει στον ομώνυμο ταμιευτήρα που υδροδοτεί την Αττική. Τέλος ένα μικρό τμήμα ανήκει στην υδρολογική λεκάνη του Βοιωτικού Κηφισού.

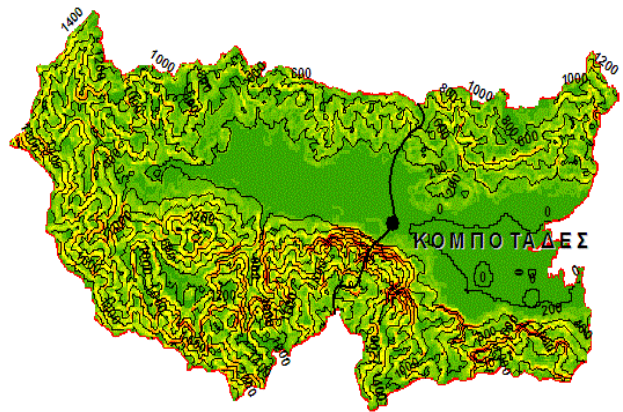
ΛΕΚΑΝΗ ΑΝΑΝΤΗ ΥΔΡ. ΣΤΑΘ. ΚΟΜΠΟΤΑΔΩΝ



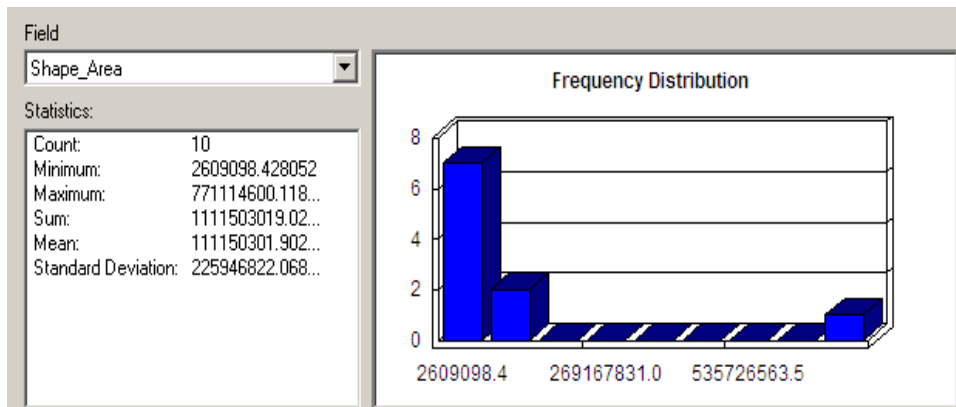
Εικ. 3: Υδρολογική λεκάνη ανάντη του υδρομετρικού σταθμού των Κομποτάδων



Εικ. 4: Κατανομή κλίσεων του εδάφους



Εικ. 5: Υψομετρικές Καμπύλες ανά 200 m

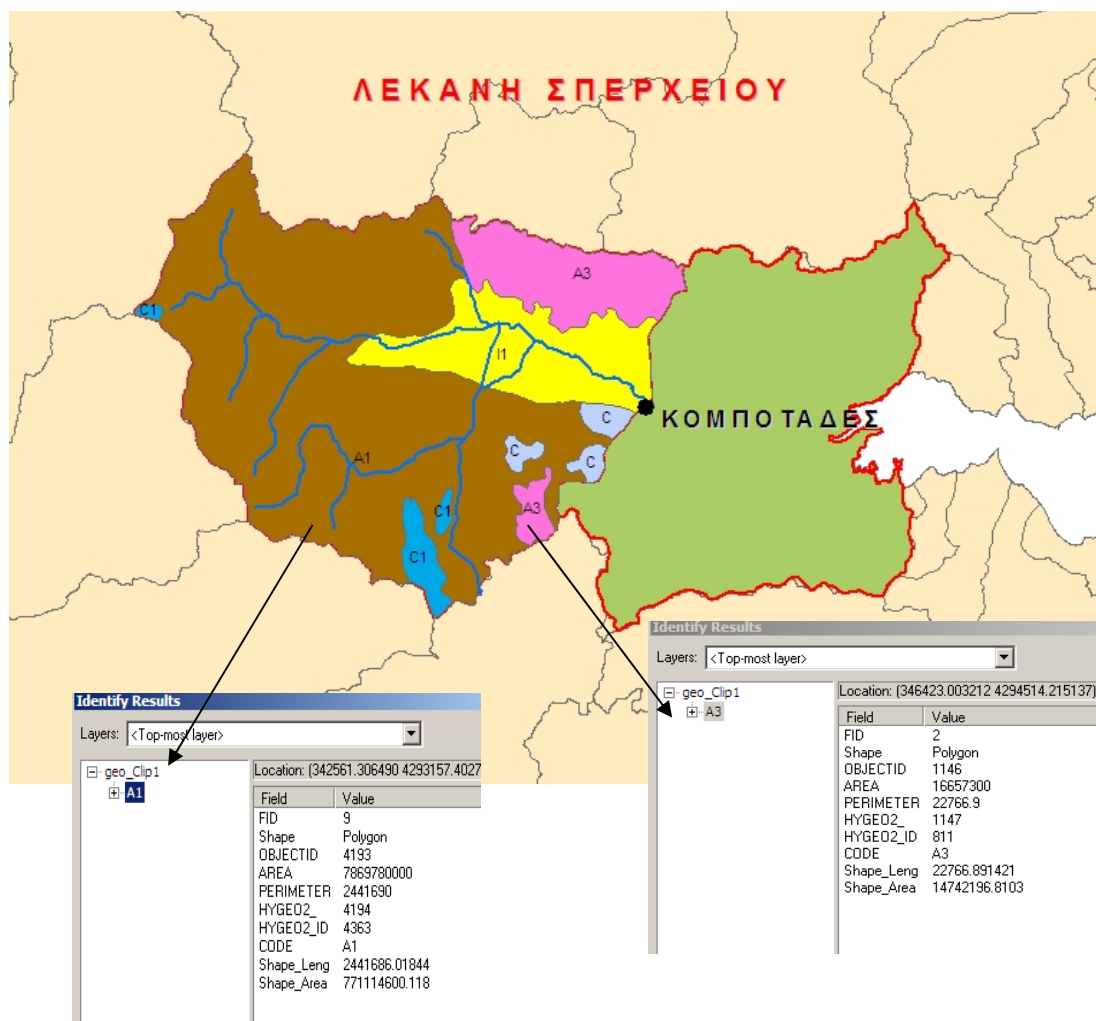


Η λεκάνη των Κομποτάδων έχει Έκταση: $1.111,5 \text{ Km}^2$

Το συνολικό μήκος κύριων κλάδων υδατορευμάτων είναι:

$$L = 159500 \text{ m}$$

4.3.3 ΓΕΩΛΟΓΙΑ – ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ



Υπόμνημα υδρογεωλογικού χάρτη:

- I1
 Κοκκώδεις προσχωματικές αποθέσεις κυμαινόμενης υδροπερατότητας
- C
 Ασβεστόλιθοι και μάρμαρα εκτεταμένης ανάπτυξης, μέτριας έως υψηλής υδροπερατότητας
- C1
 Ασβεστόλιθοι και μάρμαρα περιορισμένης ανάπτυξης κυμαινόμενης υδροπερατότητας.
- A1
 Φλύσχης, γενικά αδιαπέρατος σχηματισμός
- A3
 Πλουτώνια και ηφαιστειακά πετρώματα, γενικά αδιαπέρατοι με μικρή έως πολύ μικρή υδροπερατότητα

Η παρουσία των διαφορετικών γεωλογικών ζωνών και κυρίως της Ζώνης Παρνασσού – Γκιώνας που φιλοξενεί βωξιτικά κοιτάσματα, η έντονη κατακόρυφη ρηγματογενής τεκτονική που παρουσιάζει **άλματα πάνω από 1000 μ.** και είναι η αιτία της δημιουργίας της λεκάνης του Σπερχειού, οι υδρογεωλογικές συνθήκες των κλαστικών ιζημάτων που πληρούν τη λεκάνη και το πλήθος των θερμών πηγών που εμφανίζονται στην περιοχή (πχ τα λουτρά Υπάτης) προξένησαν το ενδιαφέρον πολλών μελετητών (Παπαδέας, 1992).

Προς ευκολία της μελέτης της λεκάνης του Σπερχειού, η περιοχή χωρίζεται σε δυο τμήματα, σε αυτό της «Μέσα Κοιλιάδας» που είναι η κοιλάδα που εκτείνεται από την Σπερχειάδα δυτικά έως τους Κομποτάδες ανατολικά και στο δεύτερο τμήμα που περιλαμβάνει το Δέλτα που εκτείνεται από τους Κομποτάδες δυτικά έως τον Μαλιακό Κόλπο Ανατολικά. Το Νότιο τμήμα της «Μέσας Κοιλιάδας» υπόκειται σε έντονο τεκτονισμό και το αποτέλεσμα είναι η δημιουργία μιας τάφρου μεγάλου βάθους (700 – 1000 m). Αυτή η τάφρος οροθετείται στο νότο από το ρήγμα της Οίτης και στο Βορρά από ένα ρήγμα κατά μήκος της κοιλάδας (Α – Δ), στο κεντρικό τμήμα της. Στην πραγματικότητα το ρήγμα της Οίτης είναι μία διαδοχή ρηγμάτων που καθορίζουν τεμάχη που βυθίζονται προς Βορρά. Τα θερμά νερά που ευρίσκονται στους ασβεστολιθικούς σχηματισμούς κάτω από τον φλύσχη βρίσκουν διέξοδο προς την επιφάνεια δια μέσου των ρηγμάτων στο φλύσχη. Ένα τέτοιο ρήγμα με διεύθυνση Β – Ν κάτω από τα Λουτρά Υπάτης είναι ο γεωθερμικός υδροφορέας των Θερμών Λουτρών. Δύο ακόμη εντοπισθέντα ρήγματα στην περιοχή Σπερχειάδας και Πλατυστόμου ίσως να είναι υπεύθυνα για τη γεωθερμική δραστηριότητα στις περιοχές αυτές.

Οι περιοχές παρουσία του οφιολίθου, όπως η εμφάνιση προς νότο στο βόρειο κεντρικό μέρος της κοιλάδας του Σπερχειού, οριοθετούνται από την παρουσία ρηγμάτων

Το μεγάλο πάχος του αδρομερούς υλικού στην ευρύτερη περιοχή του ποταμού Βιστρίτσα υποδηλώνει μεγάλο βαθμό ποτάμιας απόθεσης των υλικών αυτών και έτσι ωθείται η κοίτη του ποταμού Σπερχειού προς Βορρά. Η μεγάλη βύθιση του υποβάθρου στην περιοχή νότια του Λειανοκλαδίου επηρεάζει τη ροή του ποταμού και την ωθεί προς Νότο. Στο κεντρικό τμήμα του Δέλτα υπάρχουν τρία διαδοχικά ρήγματα που καθορίζουν μεγάλα τεμάχη που βυθίζονται προς Νότο. Στο Νότιο μέρος

του Δέλτα υπάρχει το ρήγμα του Καλλιδρομίου που ουσιαστικά είναι ένα σύνολο διαδοχικών ρηγμάτων που καθορίζουν μικρότερα των προηγούμενων τεμάχια που βυθίζονται προς το Βορρά.

Ο τεκτονισμός και το ανάγλυφο του υποβάθρου επηρεάζουν τη ροή του ποταμού και την ωθούν προς Νότο (Αποστολόπουλος, 1993).

Στην δυτική περιοχή υπάρχει το ομώνυμο ενεργό ρήγμα των Κομποτάδων που αναπτύσσεται μέσα στην τάφρο του Σπερχειού και έχει μήκος 20 Km. Άλλα σημαντικά ρήγματα μέσα στην τάφρο είναι από τα ανατολικά προς τα δυτικά στις εξής περιοχές: στην Αρκίτσα, στα Καμμένα Βούρλα, στις Θερμοπύλες και στην Σπερχειάδα. Το ρήγμα των Κομποτάδων φέρνει σε επαφή τον φλύσχη, δυτικά με τους Μεσοζωικούς ασβεστόλιθους που ανήκουν στην Ζώνη του Παρνασσού, στα ανατολικά (Zonolis, Konstantinidis, 2004).

Η γεωλογική δομή της περιφέρειας και του υποβάθρου της λεκάνης αποτελείται από σχιστόλιθους, ασβεστόλιθους, δολομίτες, οφιολίθους, σχιστο - κερατόλιθους και από ιζήματα φλύσχη. Η υδρογεωλογική συμπεριφορά των παραπάνω σχηματισμών εξαρτάται κυρίως από το βαθμό της τεκτονικής καταπόνησης και τον πετρογραφικό χαρακτήρα του πετρώματος.

Τα πετρώματα της περιφέρειας και του υποβάθρου της λεκάνης διαχωρίζονται υδρογεωλογικά σε περατούς σχηματισμούς (ασβεστόλιθοι – δολομίτες), ημιπερατούς (ιζήματα φλύσχη) και αδιαπέρατους (σχιστόλιθοι – οφιολίθοι – σχιστοκερατόλιθοι).

Τα κλαστικά ιζήματα που πληρούν την λεκάνη λόγω της διαφορετικής προέλευσης τους με εναλλασσόμενες διαφορετικές κλιματολογικές συνθήκες, παρουσιάζουν από περιοχή σε περιοχή διαφορετική κοκκομετρία με συνέπεια τη διαφορετική κατά τόπους υδρογεωλογική συμπεριφορά).

Στο δυτικό τμήμα της λεκάνης παρουσιάζεται η ενότητα της Πίνδου όπου επικρατούν οι Άνω Κρητιδικοί ασβεστόλιθοι, ο Ηωκαινικός φλύσχος και ο Κάτω Κρητιδικός κλαστικός σχηματισμός της Πίνδου (γνωστός παλαιότερα σαν «πρώτος φλύσχος»). Οι Άνω Κρητιδικοί ασβεστόλιθοι είναι μεσό-πλακώδεις έως λεπτοπλακώδεις με πυριτιολίθους και εξελίσσονται (κατά το Μαιστρίχτιο) σε μεταβατικά στρώματα προς το φλύσχη, τα οποία με τη σειρά τους αποτελούνται από εναλλαγές ασβεστο-μαργαϊκών οριζόντων και πηλιτών.

Πίνακας 3: Ενδεικτικές τιμές υδραυλικών παραμέτρων από αντλήσεις σε διάφορους γεωλογικούς μετασχηματισμούς της περιοχής του Σπερχειού (Κακαβάς, ΠΓΜΕ, 1985).

Α/Α	ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ ΣΕ	ΣΥΝΤ/ΣΤΗΣ ΥΔΑΤΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ T (m ² /sec)	ΣΥΝΤ/ΣΤΗΣ ΥΔΡΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ K (m/sec)	ΣΥΝΤ/ΣΤΗΣ ΥΔΡΟΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (S)
1	Παλιές & σύγχρονες αναβαθμίδες	0.94 - 3.66*10 ⁻²	0.15 - 1.22*10 ⁻³	0.13 - 6.8%
2	Ρηπίδια & κώνοι κορημάτων	1.83 - 10.59*10 ⁻²	0.27 - 1.84*10 ⁻³	4.7 - 18.2%
3	Προσχώσεις	2.7*10 ⁻³	8.05*10 ⁻⁵	3.16%
4	Ανθρακικοί σχηματισμοί	1.3 - 1.84*10 ⁻²	2.12*10 ⁻²	-

ΠΕΡΑΤΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ.

Ασβεστόλιθοι Παρνασσού - Γκιώνας: εμφανίζονται στα νότια περιθώρια της δυτικής υπολεκάνης με πάχος περίπου 400 m εξαιτίας της έντονης τεκτονικής καταπόνησης με συχνές διακλάσεις (άνοιγμα διακλάσεων 15 mm) έχουν διαμορφωθεί σε έναν σημαντικό υδροπερατό σχηματισμό. Οι ασβεστόλιθοι αυτοί τροφοδοτούν με νερό πλευρικά την λεκάνη του Σπερχειού σε όλη τη διάρκεια του έτους. Και εδώ στα πρηνή τους παρουσιάζονται πολυάριθμες πηγές.

Οι ασβεστόλιθοι - δολομίτες του Ιουρασικού και άνω Κρητιδικού εξαιτίας της έντονης μεταλλικής ρηματογενούς τεκτονικής και αποκάρσωσης έχουν δημιουργήσει ικανοποιητικές υδρογεωλογικές συνθήκες για τη διαμόρφωση καρστικών ταμιευτήρων υπόγειου νερού μεγάλης δυναμικότητας. Τα υπόγεια νερά διακινούνται μέσω των διακλάσεων, ρωγμών, ρηγμάτων, καρστικών αγωγών ή μέσω των διαχωριστικών επιφανειών των ασβεστολιθικών ενστρώσεων.

ΗΜΙΠΕΡΑΤΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ.

Τα ιζήματα του φλύσχη με πάχος από 100 έως 4.000 m είναι κατά τόπους διαφορετικής ορυκτολογικής και κοκκομετρικής σύστασης συνήθως συνεκτικά συνδεδεμένα μεταξύ τους. Οι διακλάσεις που παρατηρούνται στα ιζήματα του φλύσχη παρουσιάζουν έντονη συχνότητα κοντά στις ρηματογενείς ζώνες.

Η υδροπερατότητα που παρατηρείται στην περιοχή των ιζημάτων του φλύσχη είναι

περιορισμένη συνήθως σε εξαλλοιωμένες ζώνες ή σε θέσεις με έντονη τεκτονική καταπόνηση. Οι θερμές πηγές του Πλατυστόμου και της Παλαιόβραχας αποδίδονται σε ρηματογενείς ζώνες.

ΜΗ ΠΕΡΑΤΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ.

Τα σχιστολιθικά πετρώματα κοντά στο Παλιούρη αντιπροσωπεύουν τον κατώτερο σχηματισμό της περιοχής. Η μεγάλη έκταση που καταλαμβάνουν οι οφιόλιθοι στα περιθώρια και στο υπόβαθρο της λεκάνης σχηματίζουν ένα στεγανό υπόβαθρο για τους υποκείμενους ασβεστολίθους – δολομίτες. Οι έντονες διακλάσεις που παρατηρούνται στους σχιστοκερατολίθους περιορίζονται μόνο στην επιφάνεια χωρίς να δημιουργούν προϋποθέσεις βαθιάς υδροφορίας (Παπαδέα, 1992).

Η λεκάνη δέχεται από τις περιοχές που καταλαμβάνουν τα ημιπερατά ιζήματα του φλύσχη και οι μη περατοί σχηματισμοί των οφιολίθων το μεγαλύτερο ποσοστό της επιφανειακής απορροής τους. Η χειμαρρώδης απορροή των νερών της περιφέρειας προς τη λεκάνη που δημιουργήθηκε εξαιτίας του έντονου μορφολογικού ανάγλυφου μεταφέροντας μαζί ογκολίθους, λατυποπαγή, κροκαλοπαγή κ.α κλαστικά υλικά, τα απόθεσε στα πρηνή δημιουργώντας μεγάλους και πολυάριθμους κώνους κορημάτων.

Ο Σπερχειός ποταμός αποτελεί έναν σημαντικό παράγοντα στην μεταφορά και απόθεση κλαστικών υλικών κυρίως στο εσωτερικό τμήμα της λεκάνης. Οι αποθέσεις των κλαστικών υλικών των ιζημάτων έχουν άμεση εξάρτηση με τις εκάστοτε κλιματολογικές συνθήκες. Μεγάλη συμμετοχή αδρομερών υλικών από τις αποθέσεις του ποταμού παρατηρείται στην δυτική υπολεκάνη, σε αντίθεση με την ανατολική, όπου έχουν μεταφερθεί λεπτομερή κυρίως υλικά.

Η δυτική υπολεκάνη παρουσιάζει **μεγάλη συμμετοχή σε κλαστικά ιζήματα** που προήλθαν από το φλύσχη των δυτικών ζωνών. Το πάχος των ιζημάτων της είναι διαφορετικό από περιοχή σε περιοχή. Ξεκινώντας με μικρά πάχη στις παρυφές των βουνών ή υβωμάτων που την περιβάλλουν, υπερβαίνει τα **200 m** στις κεντρικές περιοχές της λεκάνης. Η κοκκομετρία των κλαστικών ιζημάτων στο εσωτερικό της δυτικής υπολεκάνης διαμορφώθηκε ανάλογα με την ταχύτητα της ροής των εισερχόμενων νερών. Συνήθως η κοκκομετρία των κλαστικών ιζημάτων μεταβαίνει προς το εσωτερικό των λεκανών σε λεπτομερέστερα υλικά.

Πίνακας 4: Αποτελέσματα δοκιμών άντλησης της δυτικής υπολεκάνης Σπερχειού
(Παπαδέας, 1992).

A/A	ΠΑΡΟΧΗ (m ³ /h)	ΕΙΔΙΚΗ ΠΑΡΟΧΗ (m ³ / h/m)	ΜΕΤΑΒΙΒΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ T (m ² /h)	ΣΥΝΤ/ΣΤΗΣ ΕΝΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ	ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ (cm/sec)
1	102	13	13	0.35	3.6 * 10 ⁻⁵
2	80	10	28.4	6.4 * 10 ⁻³	1.3 * 10 ⁻⁴
3	70	2.7	4.8	5.9 * 10 ⁻⁴	6.5 * 10 ⁻⁴
4	82	22.8	17.3		7.5 * 10 ⁻⁵
5	120	10.5	24.9		1.3 * 10 ⁻⁴

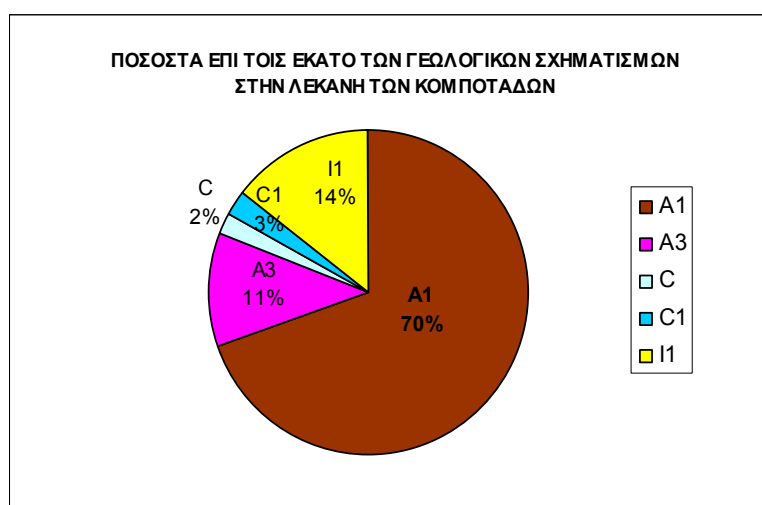
Η μεγάλη συμμετοχή των αδρομερών υλικών στη δυτική υπολεκάνη παρουσιάζει αξιόλογο υδρογεωλογικό ενδιαφέρον. Η τοπική κοκκομετρική διαφοροποίηση σε διαπερατούς και μη διαπερατούς σχηματισμούς δημιουργεί σε ορισμένες περιοχές της δυτικής υπολεκάνης έναν εποχιακό αρτεσιανισμό. Τα υπόγεια και επιφανειακά νερά της δυτικής υπολεκάνης διέρχονται από την στενή περιοχή του οφιολιθικού υβώματος μεταξύ Καλυβίων και Κωσταλέξη και απορρέουν στην ανατολική υπολεκάνη.

Η ρηγματογενής τεκτονική που εμφανίζεται στη λεκάνη του Σπερχειού σε συνδυασμό με την ύπαρξη των υδροπερατών και μη υδροπερατών σχηματισμών δημιούργησαν κατάλληλες συνθήκες για ένα ενεργό γεωθερμικό σύστημα. Οι κυριότερες γεωθερμικές ανωμαλίες παρατηρήθηκαν σε έντονα ρηγματογενείς περιοχές των σχηματισμών του υποβάθρου. Τα ρευστά διακινούνται στον κατώτερο υδροφόρο καρστικό ορίζοντα του Τριαδικού της ανατολικής Ελλάδας που καταλαμβάνει τη μεγαλύτερη έκταση στη λεκάνη του Σπερχειού. Οι ενδιάμεσοι οφιολιθικοί – σχιστοκερατόλιθοι της ανατολικής Ελλάδας δημιούργησαν ένα στεγανό ορίζοντα – κάλυμμα – εξασφαλίζοντας στους υποκείμενους ασβεστολίθους ιδανικές θερμικές παγίδες. Τόσο στην ανατολική, όσο και στη δυτική υπολεκάνη, οι Ιουρασικοί ασβεστόλιθοι – δολομίτες τροφοδοτούν μέσω των ρηγμάτων τον ανώτερο υδροφόρο καρστικό ορίζοντα του άνω Κρητιδικού όπου διαμορφώνουν ένα δεύτερο, υπερκείμενο των οφιολίθων υδροθερμικό ορίζοντα. Οι επιφανειακές εκδηλώσεις θερμότητας εμφανίζονται κατά μήκος ρηγμάτων στις περιοχές Καμμένων Βούρλων, των Θερμοπυλών, στα Ψωρονέρια, στην Υπάτη, στο Πλατύστομο, την Παλαιοβράχα κ.α. (Παπαδέας, 1996).

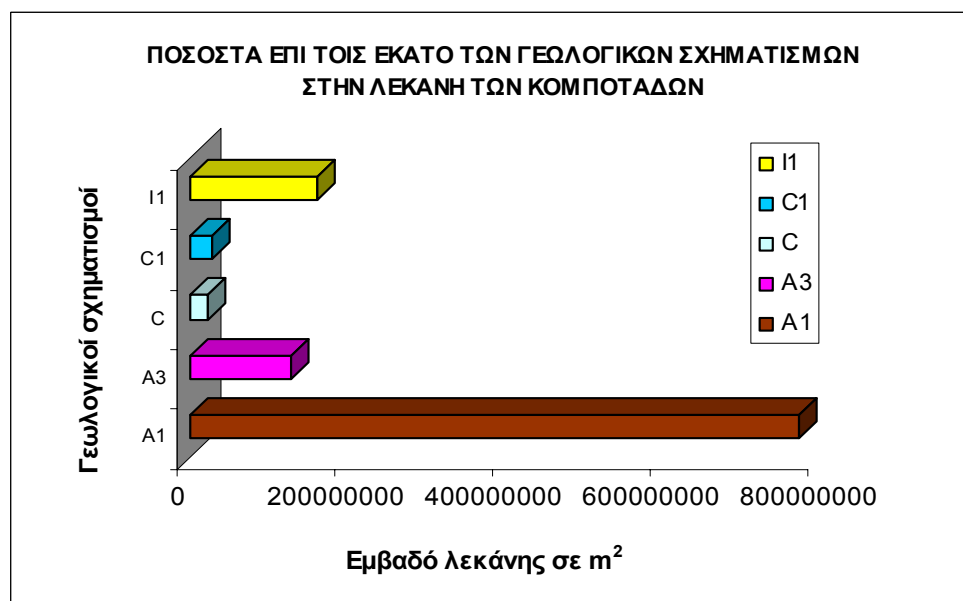
ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ – ΚΟΜΠΟΤΑΔΕΣ

Πίνακας 6: Υπολογισμός έκτασης γεωλογικών σχηματισμών στη λεκάνη

Σχηματισμοί	Ποσοστό συμμετοχής στην λεκάνη των ΚΟΜΠΟΤΑΔΩΝ σε m ²	Ποσοστό συμμετοχής στην λεκάνη των ΚΟΜΠΟΤΑΔΩΝ σε Km ²
A1	771114600.118	771.115
A3	127816330.874	127.816
C	23171210.684	23.171
C1	28974644.232	28.975
I1	160426233.115	160.426
SUM	1111503019.023	1111.503



Σχήμα 6: Κυκλικό διάγραμμα με τα ποσοστά επί τοις % συμμετοχής των γεωλογικών σχηματισμών στη λεκάνη

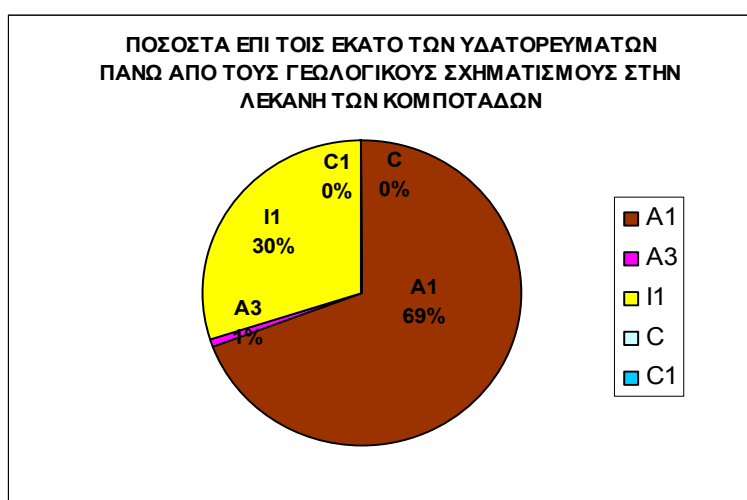


Σχήμα 7: Ραβδόγραμμα με τα ποσοστά συμμετοχής των γεωλογικών σχηματισμών στη λεκάνη

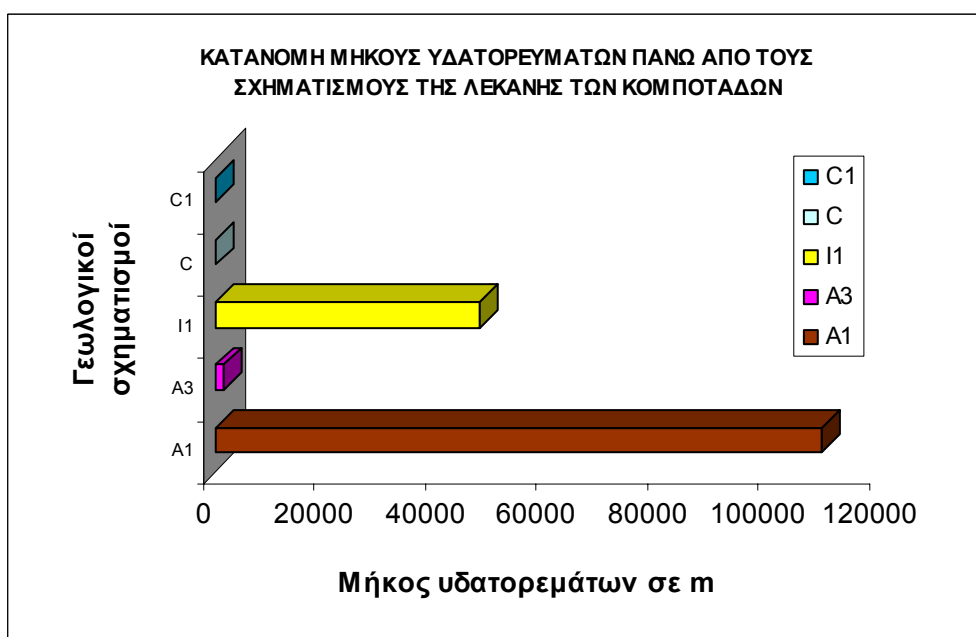
ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΥΔΑΤΟΡΕΥΜΑΤΩΝ – ΚΟΜΠΟΤΑΔΕΣ

Πίνακας 7: Υπολογισμός μήκους υδατορευμάτων που διατρέχουν τους γεωλογικούς σχηματισμούς της λεκάνης ανάντη της θέσεως Κομποτάδων

Σχηματισμοί	Μήκος υδατορευμάτων που περνάνε πάνω από τους σχηματισμούς σε m
A1	109266.076
A3	1325.785
I1	47604.687
C	0.000
C1	0.000



Σχήμα 8: Κυκλικό διάγραμμα με τα ποσοστά επί τοις % του μήκους των υδατορευμάτων που διατρέχουν τους αντίστοιχους σχηματισμούς της λεκάνης



Σχήμα 9: Ραβδόγραμμα με τα ποσοστά του μήκους των υδατορευμάτων που διατρέχουν τους αντίστοιχους σχηματισμούς της λεκάνης

4. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

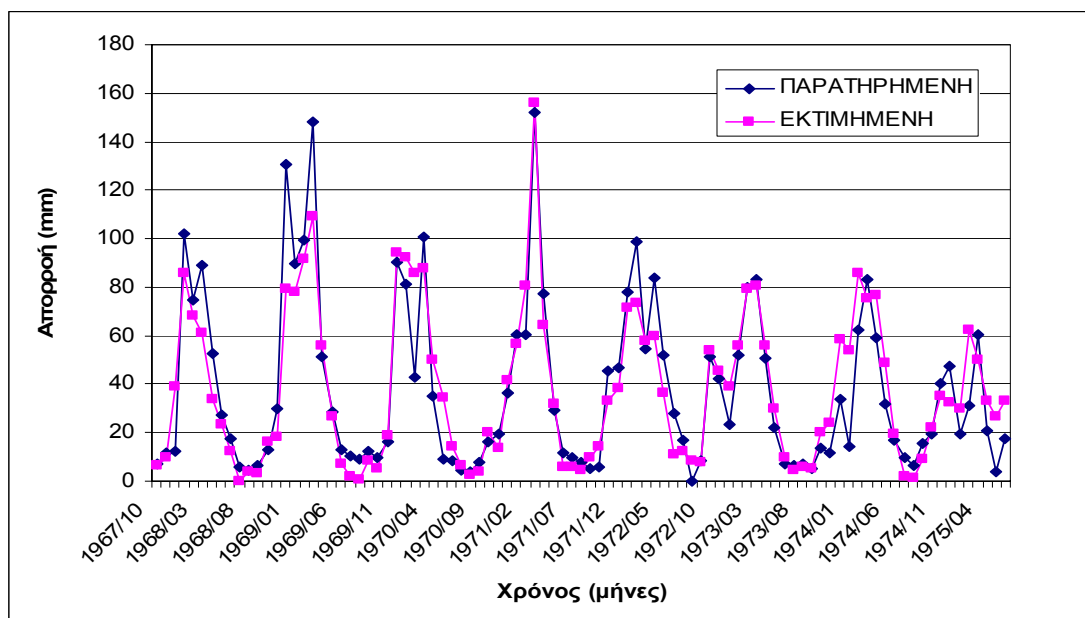
Για την εκτίμηση της επιφανειακής απορροής χρησιμοποιήθηκε ο υδρομετρικός σταθμός στην Γέφυρα Κομποτάδων που λειτουργεί με ευθύνη του ΥΠΕΧΩΔΕ. Οι χρονοσειρές των βροχοπτώσεων, της εξατμοδιαπνοής και απορροής καλύπτουν τα έτη 1967 – 1980.

Πίνακας 8: προσδιορισμός παραμέτρων για την υδρολογική λεκάνη Κομποτάδων

K	320	326	441	341	348	348	348	441
ε	0.8	0.8	0.2	0.8	0.8	0.8	0.8	0.25
κ	0.16	0.16	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
So	0	0	0	0	0	0	0	0
λ	0.038	0.032	0.028	0.029	0.027	0.027	0.027	0.027
H1	68	93	192	93	98	98	98	192
μ	0	0	0	0	0.0001	0	0.0001	0.0001
ξ	0	0	0	0	0.022	0.022	0.022	0.022
φ	0	0	0	0	0.012	0.012	0	0.0001
H2	0	0	0	0	216	216	216	216
Yo	0	0	0	0	305	305	305	305
Nash	0.7387	0.7719	0.81377	0.8009	0.80605	0.80571	0.8048	0.82012

Οι παράμετροι των υπόγειων διεργασιών πολύ λίγο επηρεάζουν τις εκτιμημένες απορροές.

↓
Βέλτιστος Nash



Σχήμα 10: Διάγραμμα παρατηρημένων απορροών και εκτιμημένων από το μοντέλο Ζυγός Βέλτιστος Συντελεστής Nash λεκάνης Κομποτάδων = 0.820712

(τιμές παραμέτρων **K** = 441, **ε** = 0.25, **κ** = 0.2, **λ** = 0.027, **H1** = 192 και υπόλοιπες και υπόγειας δεξαμενής **Yo** = 305, **H2** = 226, **ξ** = 0.022 και **φ** = 0.0001).

τον πολύ μικρό ρυθμό εκφόρτισης της εδαφικής δεξαμενής για παραγωγή υπόγειας ροής ($\mu = 0.0001$) που είναι και ο μικρότερος ρυθμός που έχει σημειωθεί από την μελέτη και των δέκα λεκανών.

2. Η δυτική περιοχή της λεκάνης του Σπερχειού, λεκάνη ανάντη του υδρομετρικού σταθμού των Κομποτάδων καλύπτεται από **70% από φλύσχη, 14% από προσχωματικές αποθέσεις** κυμαινόμενης υδροπερατότητας και 11% πλουτώνια και ηφαιστειακά πετρώματα, γενικά αδιαπέρατοι με μικρή έως πολύ μικρή υδροπερατότητα. Ο ποταμός διέρχεται πάνω από το φλύσχη σε ποσοστό 69% και πάνω από τις προσχώσεις σε ποσοστό 30% ενώ δεν έρχεται σε επαφή με τα ηφαιστειακά, 0% ποσοστό. Η μεγάλη έκταση και το ποσοστό συμμετοχής των αδιαπέρατων σχηματισμών στη λεκάνη έχουν σαν αποτέλεσμα της υψηλής τιμής του ποσοστού περίσσειας της βροχής που εμφανίζεται ως άμεση απορροή ίσο με $\kappa = 0.2$.

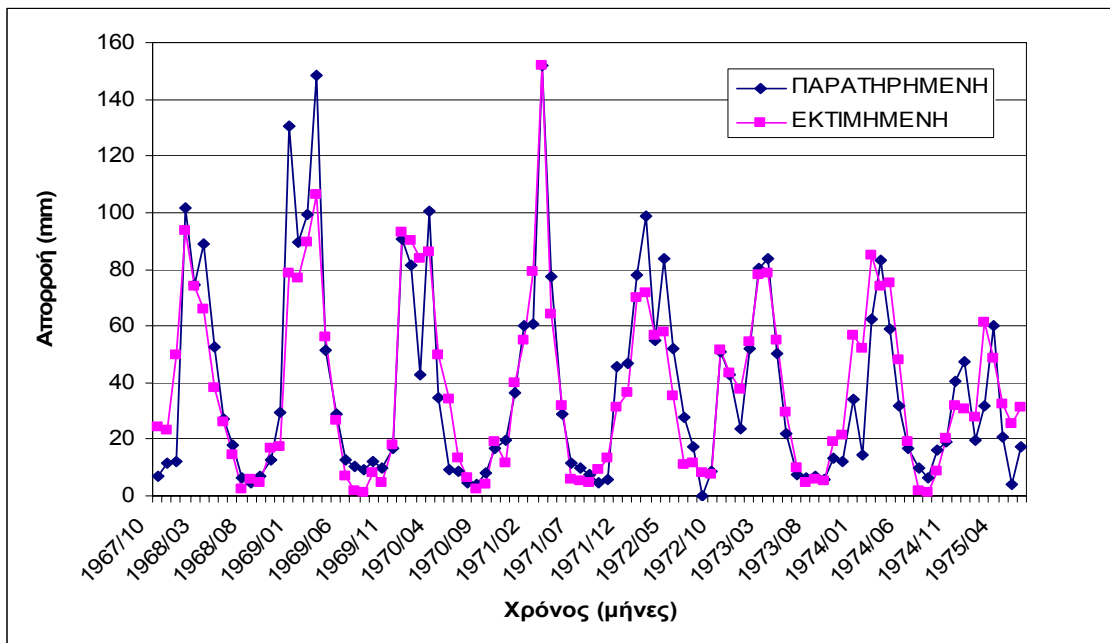
3. Η εξάτμιση σαν παράμετρος επηρεάζει τα αποτελέσματα και συγκεκριμένα αρχικά ο συντελεστής Nash φαίνεται να βελτιώνεται με μείωση της εξάτμισης. Με σταθερές τιμές στις παραμέτρους $K = 326$, $\kappa = 0.2$, $\lambda = 0.032$, $H1 = 93$, $\mu = 0.005$ και $Y_0 = 290$, $H2 = 172$, $\phi = 0.0001$ και μεταβάλλοντας το ε έχουμε: για $\varepsilon = 0.2 \rightarrow$ συντελεστής Nash = 0.66412, για $\varepsilon = 0.45 \rightarrow$ συντελεστής Nash = 0.7332, για $\mu = 0.6 \rightarrow$ συντελεστής Nash = 0.75189 και με $\varepsilon = 0.8 \rightarrow$ συντελεστής Nash = 0.7638. Τελικά ο συντελεστής Nash βελτιστοποιήθηκε με $\varepsilon = 0.2$.

4. Λίγο περισσότερο σε σχέση με τις υπόλοιπες λεκάνες η ευαισθησία του συντελεστή εξαρτάται από τη χωρητικότητα της εδαφικής δεξαμενής και το κατώφλι για την παραγωγή υποδερμικής ροής και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι σχεδόν μηδενίζονται οι παράμετροι των υπόγειων διεργασιών οπότε η σημαντικότητα των υπολοίπων παραμέτρων στα τελικά αποτελέσματα θα είναι μεγαλύτερη.

5. Ο συντελεστής Nash έχει μία αυξημένη ευαισθησία στην μεταβολή του ρυθμού υποδερμικής ροής και συγκεκριμένα διατηρώντας σταθερές τις τιμές των παραμέτρων μεταβάλλεται ως εξής: για $K = 341$, $\varepsilon = 0.8$, $\kappa = 0.2$, $H1 = 93$, $\mu = 0.001$, $Y_0 = 290$, $H2 = 172$ και $\phi = 0.012$ και μεταβάλλοντας το κ έχουμε: για $\lambda = 0.042 \rightarrow$ συντελεστής Nash = 0.7273, για $\lambda = 0.021 \rightarrow$ συντελεστής Nash = 0.77743, για $\lambda = 0.32 \rightarrow$ συντελεστής Nash = 0.7875 και για $\kappa = 0.27 \rightarrow$ συντελεστής Nash = 0.80328.

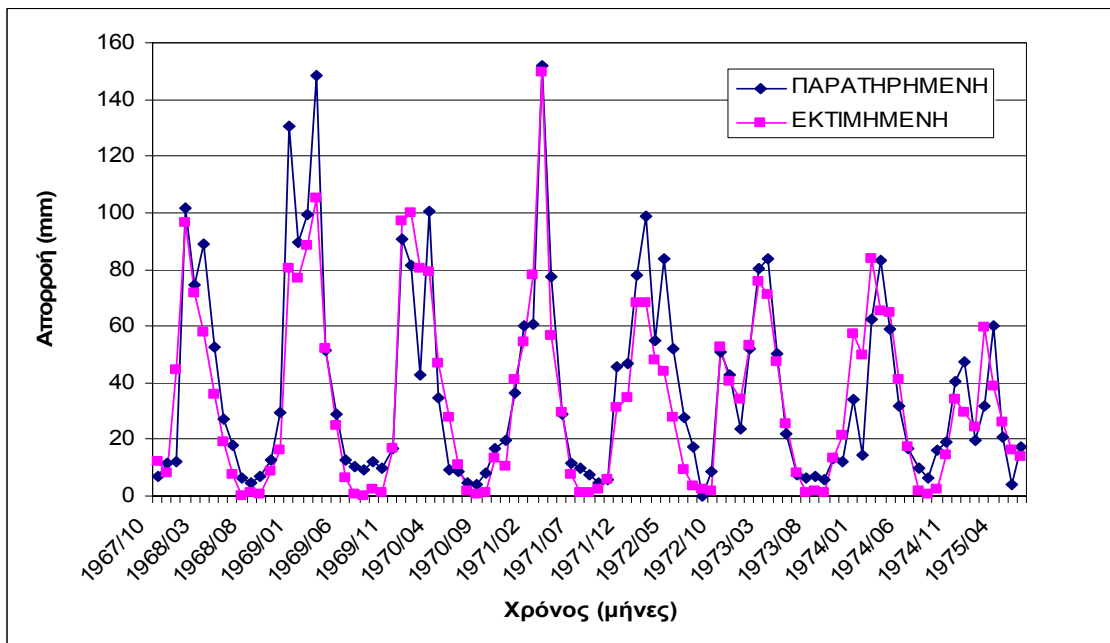
Πιθανότατα αυτή η ευαισθησία να οφείλεται στο μεγάλο πάχος των κλαστικών ίζημάτων (που προήλθαν από την διάβρωση του φλύσχη των δυτικών ζωνών) και το οποίο στις κεντρικές περιοχές της λεκάνης υπερβαίνει τα 200 m. Επιπλέον η λεκάνη του Σπερχειού εμφανίζει και τις υψηλότερες τιμές χωρητικότητας της εδαφικής δεξαμενής και του αντίστοιχου κατώφλιου της για παραγωγή υποδερμικής ροής που έχουν προσδιοριστεί στην παρούσα εργασία, $K = 441\text{mm}$ και $H1 = 192\text{mm}$ αντίστοιχα.

6. Και εδώ όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις του Αχελώου και του Αραχθού υπάρχει μία εξάρτηση του K και του $H1$. Αυξάνοντας τη χωρητικότητα της εδαφικής δεξαμενής K αυξάνεται ανάλογα και το $H1$ που είναι το κατώφλι αποθέματος της εδαφικής δεξαμενής για παραγωγή υποδερμικής ροής. Συγκεκριμένα: για $K = 320 \rightarrow 326 \text{ mm}$, $H1 = 68 \rightarrow 93 \text{ mm}$, για $K = 320 \rightarrow 341 \text{ mm}$, $H1 = 93 \rightarrow 125 \text{ mm}$ και για $K = 341 \rightarrow 428 \text{ mm}$ το κατώφλι αποθέματος της εδαφικής δεξαμενής γίνεται $H1 = 93 \rightarrow 185 \text{ mm}$. Παρόλα αυτά γενικότερα η μεταβολή των παραμέτρων K και Y_0 που είναι οι χωρητικότητες της εδαφικής και υπόγειας δεξαμενής και των αντίστοιχων κατωφλίων τους για παραγωγή υποδερμικής και βασικής ροής, επηρεάζει πολύ λίγο τις εκτιμημένες απορροές.



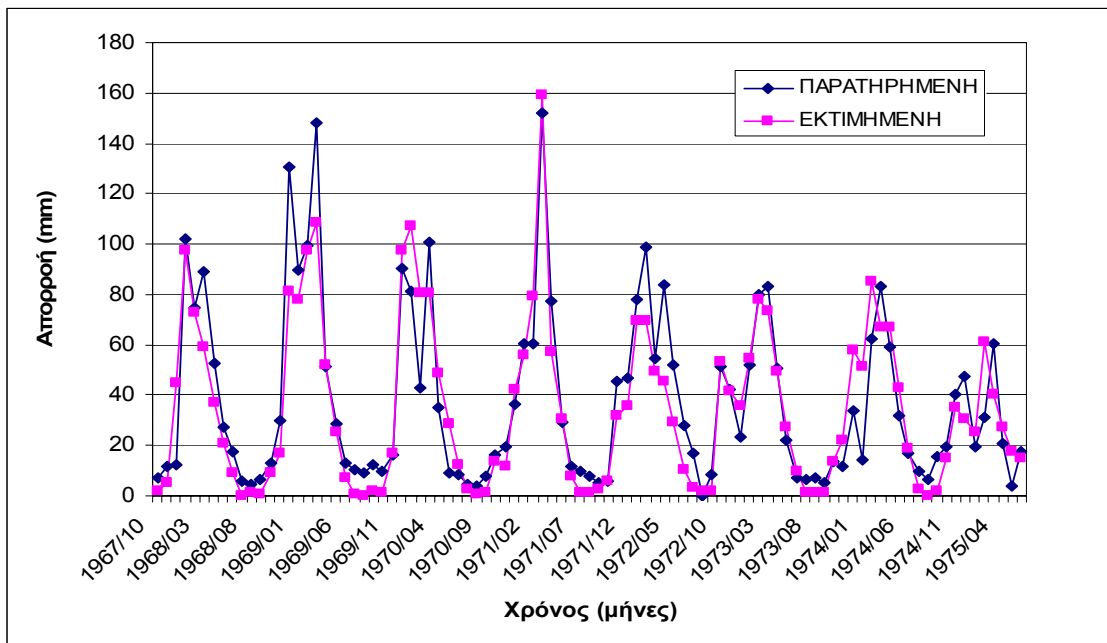
Σχήμα 11: Διάγραμμα παρατηρημένων απορροών και εκτιμημένων από το μοντέλο Ζυγός Συντελεστής Nash λεκάνης Κομποτάδων = 0.81724

(τιμές παραμέτρων $K = 441$, $\varepsilon = 0.25$, $\kappa = 0.2$, $\lambda = 0.028$, $H1 = 192$, $\mu = 0.0001$ και υπόγειας δεξαμενής $Y_0 = 305$, $H2 = 216$, $\xi = 0.022$ και $\varphi = 0.0001$).



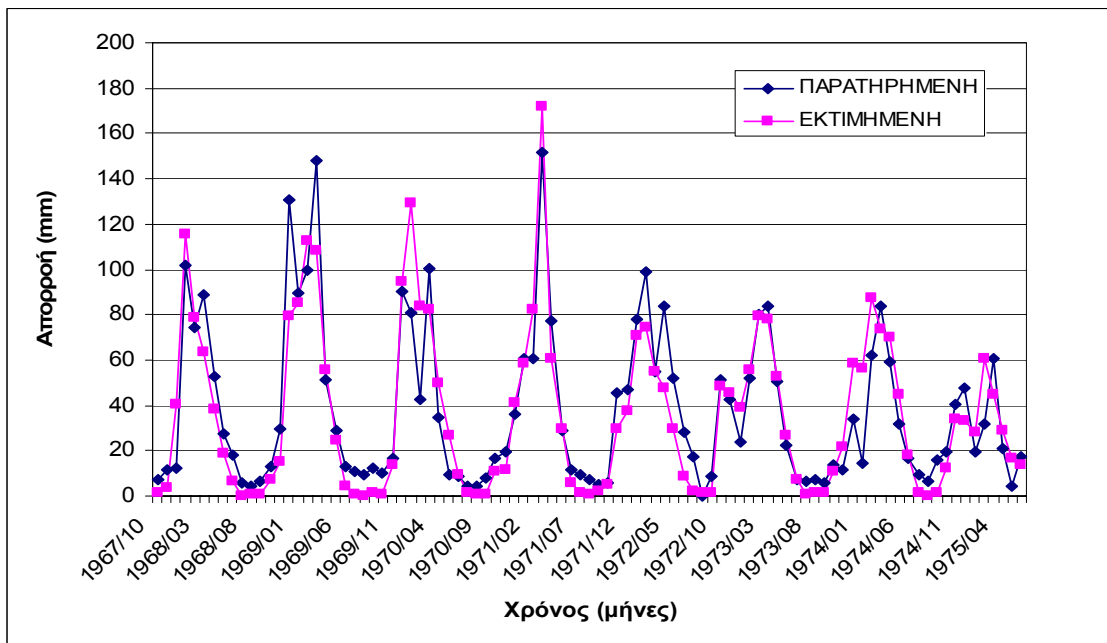
Σχήμα 12: Διάγραμμα παρατηρημένων απορροών και εκτιμημένων από το μοντέλο Ζυγός Συντελεστής Nash λεκάνης Κομποτάδων = 0.807161

(τιμές παραμέτρων $K = 348$, $\varepsilon = 0.8$, $\kappa = 0.2$, $S_0 = 0$, $\lambda = 0.027$, $H1 = 98$, $\mu = 0.001$ και υπόγειας δεξαμενής $Y_0 = 290$, $H2 = 216$, $\xi = 0.019$ και $\varphi = 0.012$).



Σχήμα 13: Διάγραμμα παρατηρημένων απορροών και εκτιμημένων από το μοντέλο Ζυγός Συντελεστής Nash λεκάνης Κομοταάδων = 0.807161

(τιμές παραμέτρων $K = 348$, $\varepsilon = 0.8$, $\kappa = 0.2$, $S_0 = 0$, $\lambda = 0.027$, $H1 = 98$, $\mu = 0$ και υπόλοιπες τιμές παραμέτρων μηδενικές).

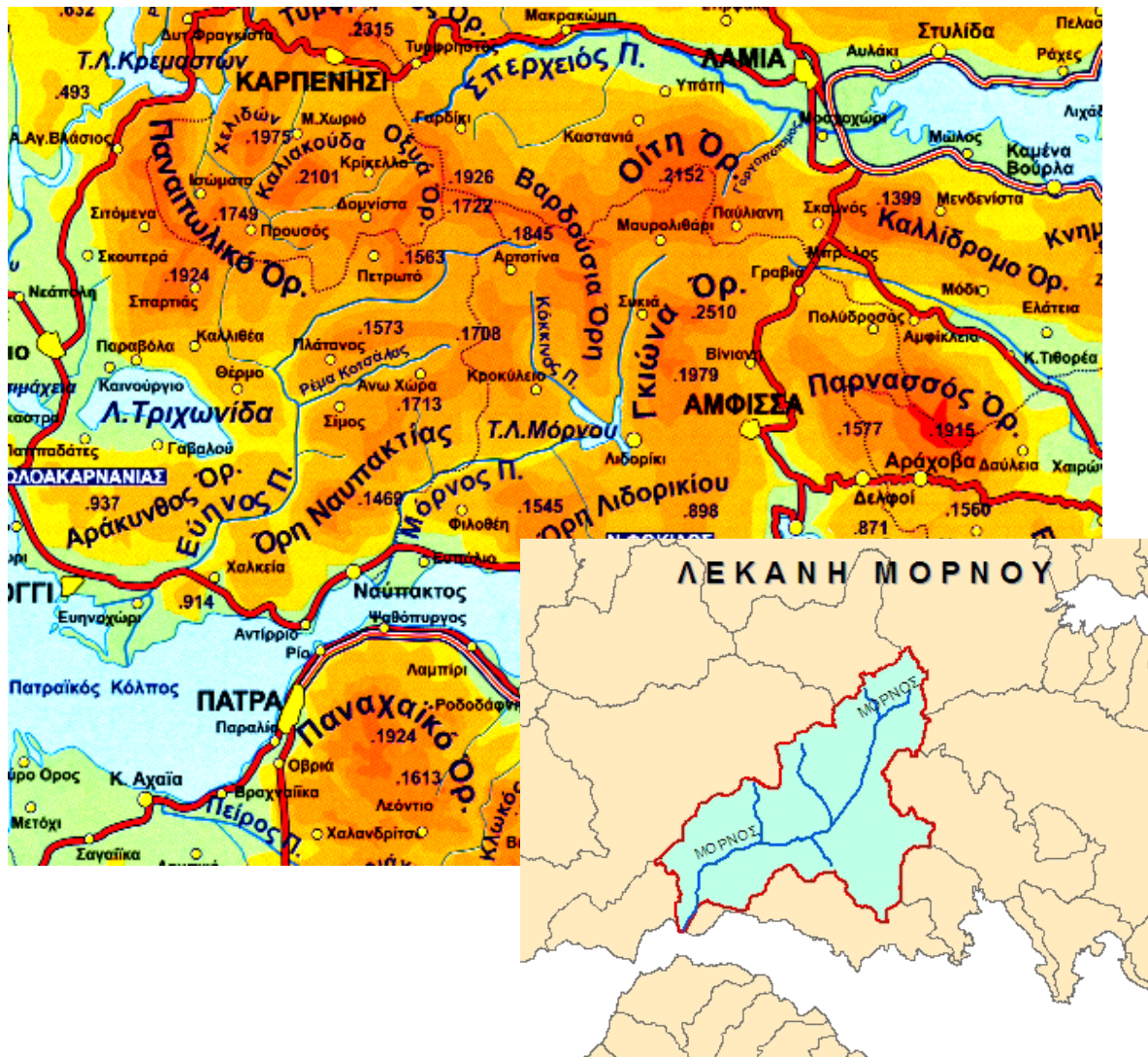


Σχήμα 14: Διάγραμμα παρατηρημένων απορροών και εκτιμημένων από το μοντέλο Ζυγός Συντελεστής Nash λεκάνης Κομοταάδων = 0.77197

(τιμές παραμέτρων $K = 326$, $\varepsilon = 0.8$, $\kappa = 0.16$, $S_0 = 0$, $\lambda = 0.032$, $H1 = 98$, $\mu = 0$ και υπόλοιπες τιμές παραμέτρων μηδενικές).

4.4 ΛΕΚΑΝΗ ΜΟΡΝΟΥ

4.4.1 ΘΕΣΗ – ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ



Εικ. 1, 2: Γεωγραφική θέση και λεκάνη ποταμού Μόρνου

Ο Μόρνος (η Δαφνούς) που διαχωρίζει την επαρχία Ναυπακτίας από την επαρχία Φωκίδας πηγάζει από τις νότιες πλαγιές της Οίτης και μεταφέρει νερά πολλών χειμάρρων της Β. Δωρίδας και της ΒΔ Παρνασσίδας. Χύνεται Δ της Ναυπάκτου, στα όρια του Κορινθιακού και του Πατραϊκού Κόλπου και σχηματίζει με τις προσχώσεις του την ομώνυμη εύφορη πεδιάδα που συνεχώς επεκτείνεται.

Έχει μήκος 70 km και λεκάνη απορροής 974 km² συνολικά και 557 km² ανάντη του φράγματος.

4.4.2 ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

- Μέσος όρος ετήσιου ύψους νετού Δαφνού (ΥΠΔΕ) = **1353,8 mm**
- Μέσος όρος ετήσιου ύψους νετού Λιδορικού (ΕΜΥ) = **980,9 mm**
- Το ύψος της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης στη συνολική λεκάνη είναι **1.000 mm**
- Ο μέσος ετήσιος όγκος νετού ανέρχεται σε **1.180*10⁶ m³**
- Η μέση συνολική ετήσια απορροή εκτιμάται σε **1000*10⁶ m³** νερού.

Τον Μάιο του 1971 το ΥΠΔΕ διενήργησε διεθνή διαγωνισμό μεταξύ 15 Τεχνικών Ειδικών Οίκων, προς επιλογή Τεχνικού Συμβούλου, για την κατασκευή του Φράγματος Μόρνου. Ο Τεχνικός Σύμβουλος θα ανέλαμβανε επίσης, εντός ανέκκλητης προθεσμίας 6 μηνών από την εγκατάστασή του, να συμπληρώσει ή να τροποποιήσει τις Τεχνικές Προδιαγραφές – Προϋπολογισμούς – Συγγραφή Υποχρεώσεων, της μελέτης «ΥΔΡΟΜΗΧΑΝΙΚΗ». Δύο από τους προσκληθέντες οίκους, οι διεθνώς γνωστοί «BECHTEL INCORPORATED – ENGINEERS CONSTRUCTORS» και «BINNIE AND PARTNERS – CHARTERED ENGINEERS» με επιστολές προς το ΥΠΔΕ, εξήγησαν ότι δεν θα μετείχαν στο διαγωνισμό γιατί η καθορισμένη εξάμηνη προθεσμία σε σχέση με τα υπάρχοντα στοιχεία και τα τεθέντα προβλήματα ήταν ανεπαρκής.

Ειδικότερα ο οίκος «BINNIE AND PARTNERS» χαρακτηριστικά μεταξύ άλλων ανέφερε:

«Διαθέτουμε μεγάλη εμπειρία στην μελέτη και κατασκευή χωμάτινων και λιθόρριπτων φραγμάτων σε ιζηματογενείς σχηματισμούς όμοιους προς τον φλύσχη. Οποσδήποτε όμως, δεν έχουμε ποτέ δει μία θέση φράγματος τόσο δύσκολη από γεωλογικής απόψεως, όπως η θέση του Μόρνου»

Με συμπληρωματική Σύμβαση (Απρίλιος 1973), ανατέθηκε στον τεχνικό σύμβουλο «LI-TETPAKTYΣ» η ριζική αναθεώρηση, η ανασύνταξη της μελέτης του Φράγματος και των συναφών έργων του, σε επίπεδο μελετών εφαρμογής. Επίσης του ανατέθηκε η σύνταξη των μελετών (α) στεγανοποίησεως της περιοχής Πύρνου (β) ευστάθειας πρανών του ταμιευτήρα. Όσον αφορά τον Διοχετευτικό Αγωγό ο γαλλικός οργανισμός GERSAR πρότεινε ριζικές μεταβολές κατά τη λειτουργία του υδαταγωγού που ήταν:

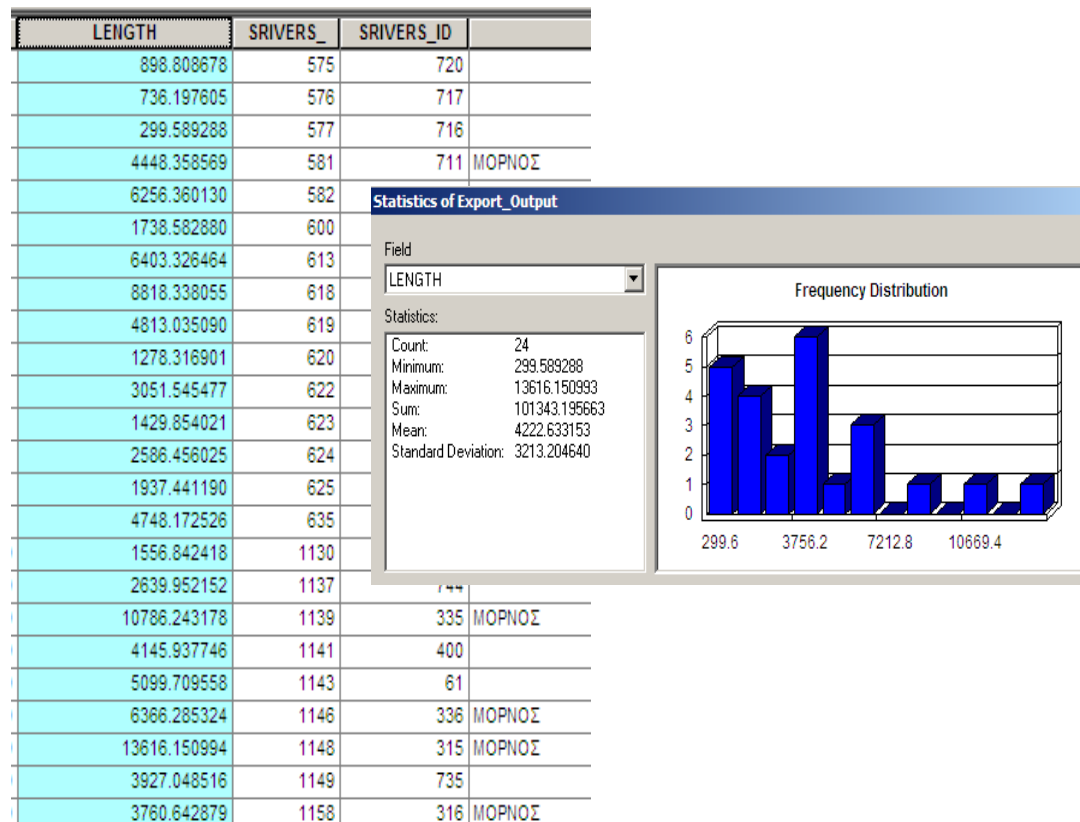
- Εφαρμογή δυναμικής λειτουργίας, κατασκευή ειδικών έργων ρυθμίσεως της ροής του υδαταγωγού με συνέπεια την βελτίωση της λειτουργικότητας του και δυνατότητα εφαρμογής τηλεχειρισμού.

- Βελτίωση της χαράξεως του υδαταγωγού σε καθορισμένα τμήματα, με την αντικατάσταση των προβλεπόμενων από την μελέτη «ΥΔΡΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ» επενδεδυμένων διωρύγων τραπεζοειδούς διατομής με «αυτοευσταθείς» από οπλισμένο σκυρόδεμα, που επιτρέπουν αύξηση της παροχетеυτικότητας από 11,3 μ³/δευτ. σε 23μ³/δευτ., δηλαδή όση είναι η απαιτούμενη παροχή για το δεύτερο στάδιο λειτουργίας του Μόρνου (Παντελόπουλος, 1990).

Η κατασκευή του φράγματος έγινε κατά τα έτη 1972 – 1979. Ο τύπος φράγματος είναι χωμάτινο με αδιαπέρατο πυρήνα, έχει επιφάνεια ταμιευτήρα 18.5 km² και ολική χωρητικότητα ταμιευτήρα 780*10⁶ m³.

Στη λεκάνη του Μόρνου υπάρχουν δυο μετεωρολογικοί σταθμοί στο φράγμα και στο Λιδορίκι.

Πίνακας 1: Υπολογισμός μήκους των κυριότερων κλάδων του ποταμού Μόρνου



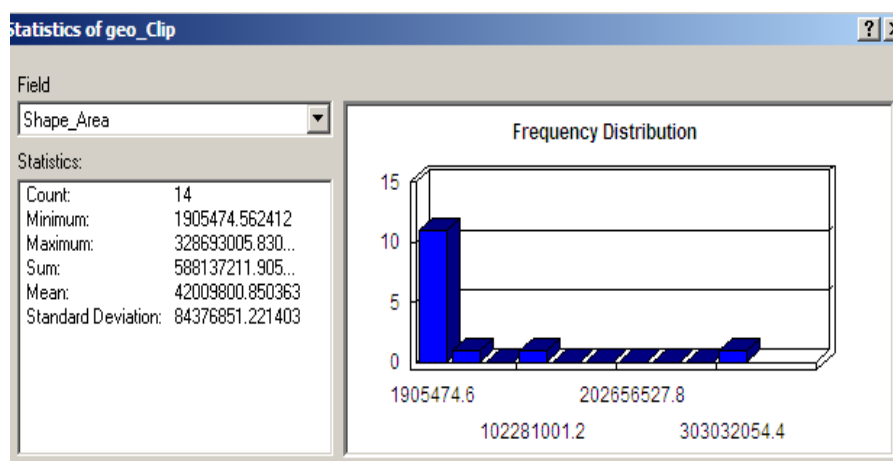
Σχήμα 2: Το συνολικό των κυριότερων κλάδων του ποταμού Μόρνου είναι ίσο με:
L = 101343 m.

Έκταση συνολικής λεκάνης Μόρνου = 974 Km²

Περίμετρος λεκάνης Μόρνου = 211.717 m.



Εικ. 3: Θέση φράγματος Μόρνου και ανάντη υδρολογικής λεκάνης

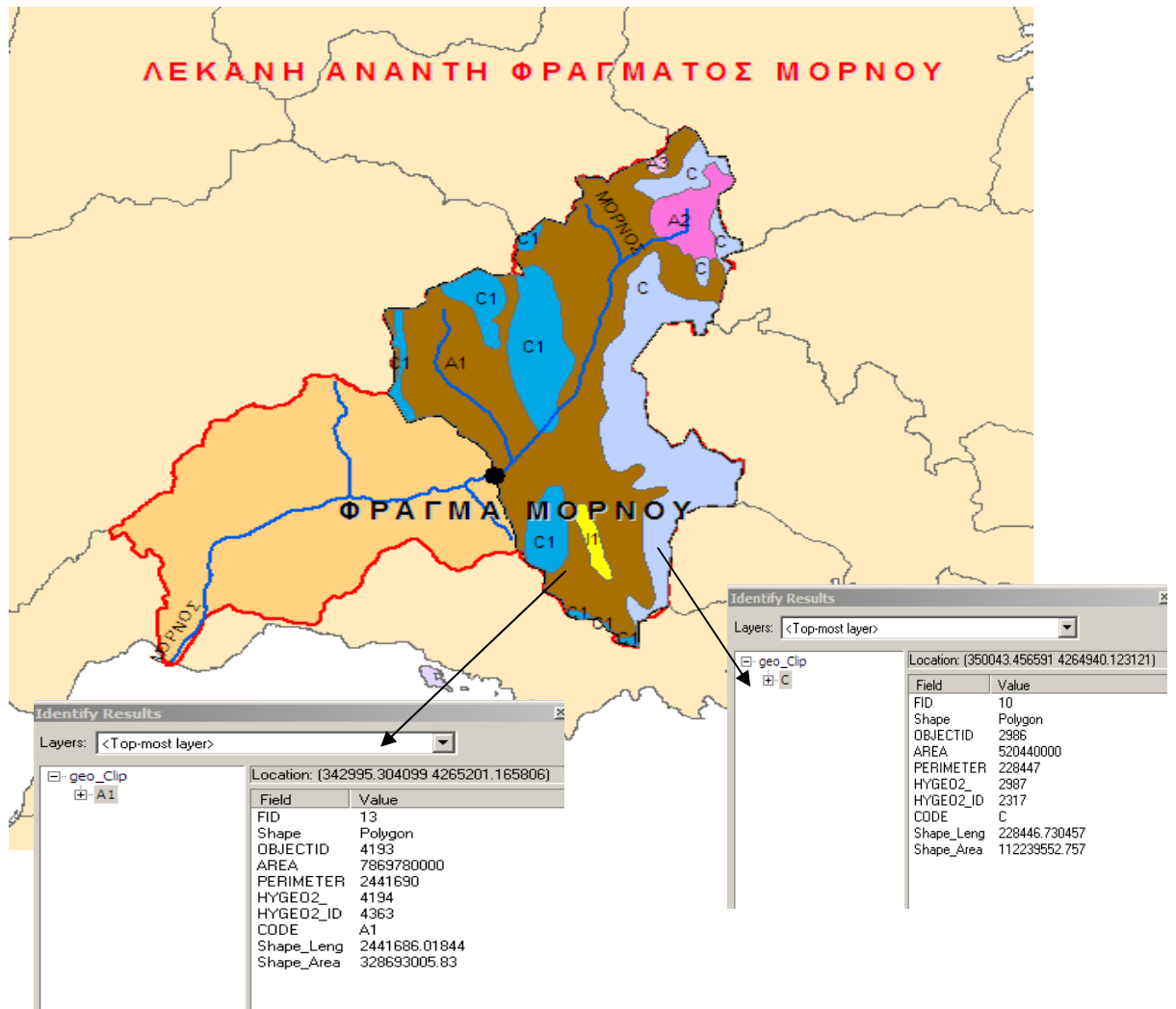


Σχήμα 3: Υπολογισμός έκτασης υδρολογικής λεκάνης ανάντη φράγματος Μόρνου

Η λεκάνη έχει Έκταση 588 Km²

και Περίμετρο 143287 m

4.4.3 ΓΕΩΛΟΓΙΑ – ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ



Υπόμνημα υδρογεωλογικού χάρτη:

- | |
|----|
| II |
|----|

 Κοκκώδεις προσχωματικές αποθέσεις κυμαινόμενης υδροπερατότητας
- | |
|---|
| C |
|---|

 Ασβεστόλιθοι και μάρμαρα εκτεταμένης ανάπτυξης, μέτριας έως υψηλής υδροπερατότητας
- | |
|----|
| C1 |
|----|

 Ασβεστόλιθοι και μάρμαρα περιορισμένης ανάπτυξης κυμαινόμενης υδροπερατότητας
- | |
|----|
| A1 |
|----|

 Φλύσχης, γενικά αδιαπέρατος σχηματισμός
- | |
|----|
| A2 |
|----|

 Μεταμορφωμένα πετρώματα, γενικά αδιαπέρατοι σχηματισμοί, με μικρή έως πολύ μικρή υδροπερατότητα
- | |
|----|
| A3 |
|----|

 Πλουτώνια και ηφαιστειακά πετρώματα, γενικά αδιαπέρατοι με μικρή έως πολύ μικρή υδροπερατότητα

Κυρίως δυο σχηματισμοί συνθέτουν τη λεκάνη οι ασβεστόλιθοι και ο φλύσχη. Οι σχηματισμοί αυτοί καλύπτονται κατά τόπους από νεότερες τεταρτογενείς αποθέσεις. Στο βόρειο τμήμα της λεκάνης υπάρχουν μικρές εμφανίσεις Ιουρασικών οφιόλιθων της Πελαγονικής Ζώνης, μικρής έως πολύ μικρής διαπερατότητας. Ανατολικά οι ασβεστόλιθοι της Ζώνης Παρνασσού-Γκιώνας επωθούνται πάνω στον φλύσχη της Ζώνης της Πίνδου. Η τεκτονική επαφή έχει διεύθυνση Β-Ν και περνάει κοντά από τις περιοχές Παλαιοκάστρου, Λιδορικού, Λευκαδίτη, Συκιάς κ.α. Η αποθήκη νερού του φράγματος πέρα από το φλύσχη της Πίνδου καλύπτει περιοχές των Ζωνών Βαρδουσίων και υποβαρδουσίων και πλησιάζει πολύ την επώθηση της ζώνης Παρνασσού – Γκιώνας στο σύμπλεγμα Βαρδουσίων.

Ειδικότερα οι κυριότεροι σχηματισμοί που εμφανίζονται στη λεκάνη είναι:

- ο Φλύσχη (γενικά αδιαπέρατος και ασβεστόλιθοι της Πίνδου - μεταβαλλόμενης διαπερατότητας)
- οι ασβεστόλιθοι και ραδιολαρίτες της μεταβατικής ζώνης των Βαρδουσίων (μεταβαλλόμενης διαπερατότητας)
- και οι ασβεστόλιθοι της Ζώνης Παρνασσού – Γκιώνας (μέτριας έως υψηλής διαπερατότητας).

Μέσα στα συμπλέγματα Βαρδουσίων και υποβαρδουσίων εμφανίζονται επιφανειακά σε αρκετές περιοχές ισχυρά καρστικοποιημένοι ασβεστόλιθοι, που κόβονται κατά θέσεις από πλατιές ρωγμές και σπήλαια πλάτους μέχρι λίγα εκατοστά. Οι ισχυρά ανεστραμμένες και επωθημένες μάζες των υποβαρδουσίων από άποψης τεχνικής γεωλογίας έχουν αναπτυχθεί σαν κεχωρισμένες υδρογεωλογικά μονάδες. Επομένως δεν υπάρχουν απώλειες νερού μέσω αυτών των μεμονωμένων μονάδων. Αντίθετα στη ζώνη των Βαρδουσίων οι ασβεστόλιθοι (Πύρνος) σφραγίστηκαν (SCHETELG KURT, 1978). Χαμηλά της λεκάνης του Μόρνου, στην περιοχή της Ερατεινής εκδηλώνονται σημαντικές καρστικές πηγές που εκφορτίζονται στον Κορινθιακό Κόλπο.

Το φράγμα τοποθετήθηκε στις πρώτες στενές περιοχές από τις οποίες διέρχεται ο Μόρνος μέσα στον φλύσχη της Ζ. Πίνδου. Το μεγαλύτερο μέρος του ταμειυτήρα αποτελείται από σχηματισμούς φλύσχη οι οποίοι γενικά έχουν ικανοποιητική στεγανότητα. Παρόλα αυτά μέσα στον ταμειυτήρα έχουν αναδυθεί, λόγω τεκτονικών κινήσεων, δυο καρστικοποιημένες ζώνες ασβεστολίθων, Στενού

Στόχοβας και Πύρνου, που θα διαβρέχονται μέχρι το υψόμετρο +435, όπου η μέγιστη στάθμη λειτουργίας.

- Η ζώνη του Στενού Στόχοβας φαίνεται απομονωμένη και διαχωρίζεται από τη ζώνη του Πύρνου, με ικανό πάχος αδιαπέρατου φλύσχη.

- Η ζώνη Πύρνου αρχίζει από το ΝΑ τμήμα του ταμιευτήρα και καταλήγει εκφορτιζόμενη στον Κορινθιακό Κόλπο. Αυτό διαπιστώθηκε από τα αποτελέσματα ικανού αριθμού πιεζομετρικών γεωτρήσεων, που έγιναν επί τόπου παρουσία των Καθηγητών BARNIER (Grenoble), συμβούλου της «ΥΔΡΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ Α.Ε» και HEITFELD (Aachen) συμβούλου της «LI – T».

Πράγματι η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα των γεωτρήσεων ζώνης Στενού – Στόχοβας ήταν υψηλότερη από την κοίτη του Μόρνου, γεγονός που αποδεικνύει ροή προς την κοιλάδα και εξασφαλισμένη της στεγανότητας. Αντίθετα στις γεωτρήσεις της Ζώνης Πύρνου ο υδροφόρος ορίζοντας ήταν 140 μ. χαμηλότερα από την κοίτη του παρακείμενου ρέματος της Μπελεσίτσας. Κατά τη γνώμη του καθηγητή BARNIER από τους ασβεστολιθικούς σχηματισμούς, μόνο οι ρουδιστικοί ασβεστόλιθοι, που βρίσκονταν στα μεγαλύτερα υψόμετρα των κλιτύων του Πύρνου, είναι καρστικοί, ενώ χαμηλότερα οι πλαγιές καλυπτότανε από φλύσχη και μη διαπερατούς Ιουρασικούς ασβεστολίθους.

Λεπτομερέστερες γεωλογικές χαρτογραφήσεις υπό κλίμακες 1:1000 και 1:500 σε συνδυασμό με μικροτεκτονικές αναλύσεις, γεωτεχνικές γεωτρήσεις και επί τόπου ορύγματα, απέδειξαν ότι η κατάσταση ήταν περισσότερο σύνθετη από ότι είχε αρχικά οριστεί. Πολλοί Ιουρασικοί ασβεστόλιθοι βρέθηκαν καρστικοποιημένοι, ενώ τουλάχιστον δυο ενδιάμεσες ζώνες από ασβεστολιθικά λατυποπαγή, βρέθηκαν επίσης διαπερατές παρά την αντίθετη αρχική άποψη.

Αμφότερες οι ασβεστολιθικές περιοχές έχουν ισχυρώς επηρεαστεί από διακλάσεις, που διασχίζουν και τις αποθέσεις του φλύσχη. Με βάση αυτά τα στοιχεία ο τεχνικός σύμβουλος «LI – T» εισηγήθηκε ότι ήταν αναγκαία η κάλυψη με ειδικό έργο στεγανώσεως, μιας εκτεταμένης μάλλον περιοχής, που εκτείνεται στην χαμηλότερη ΒΑ πλαγία του Πύρνου και αργότερα πρότεινε την προέκτασή της.

Τον Μάρτιο του 1974 διαπιστώθηκε η παρουσία φυσικού καύσιμου αερίου στις υπόγειες στοές τσιμεντενέσεων του φράγματος Μόρνου. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων έδειξαν ότι επρόκειτο για μείγμα μεθανίου – υδρόθειου. Ο τεχνικός

σύμβουλος «LI – T», θεώρησε τότε απαραίτητο να διερευνηθεί η παρουσία κοιτάσματος φυσικού αερίου κάτω από τον ταμιευτήρα. Η πιθανή ύπαρξη διαπερατών σχηματισμών στους οποίους συγκεντρώνεται το φυσικό αέριο, όπως είναι οι καρστικοί ασβεστόλιθοι και μάλιστα σε μικρά βάθη πλησιέστερα προς το έδαφος, θα μεγιστοποιούσε τον κίνδυνο διαρροών από τον ταμιευτήρα.

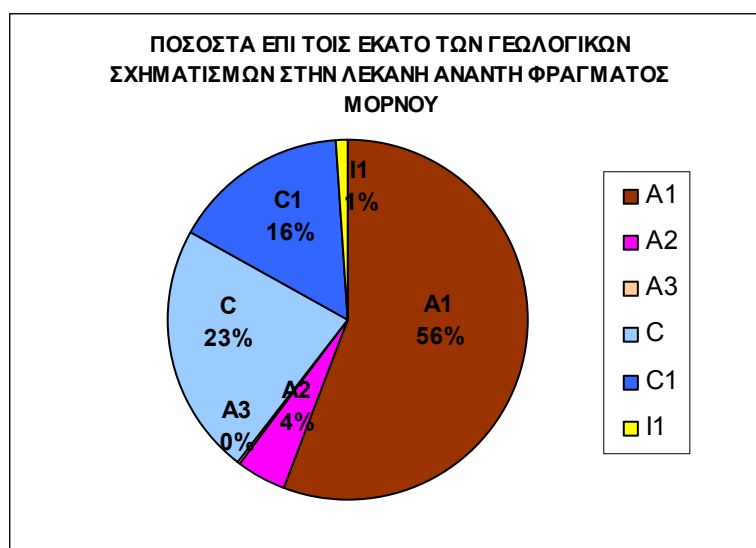
Αποτελέσματα ερευνητικών γεωτρήσεων σε βάθη περίπου 180 μ. που έγιναν στην περιοχή του φράγματος σύμφωνα με τις υποδείξεις του Σ.Ε, συνάντησαν στρώματα ισχυρώς τεκτονισμένου και αδιαπέρατου φλύσχη, πάχους 60 – 70 μ., που εξασφαλίζουν τη στεγανότητα του ταμιευτήρα.

Το φράγμα του Μόρνου αντιπροσωπεύει μία κατασκευή που μπορεί να αντέξει πολύ μεγάλα φορτία και περιπτώσεις σπάνιων φορτίων συμπεριλαμβάνοντας τους πιο ισχυρούς σεισμούς που μπορεί κανείς να υποθέσει ότι συμβαίνουν με συχνότητα που ξεπερνά τα 1.000 χρόνια.

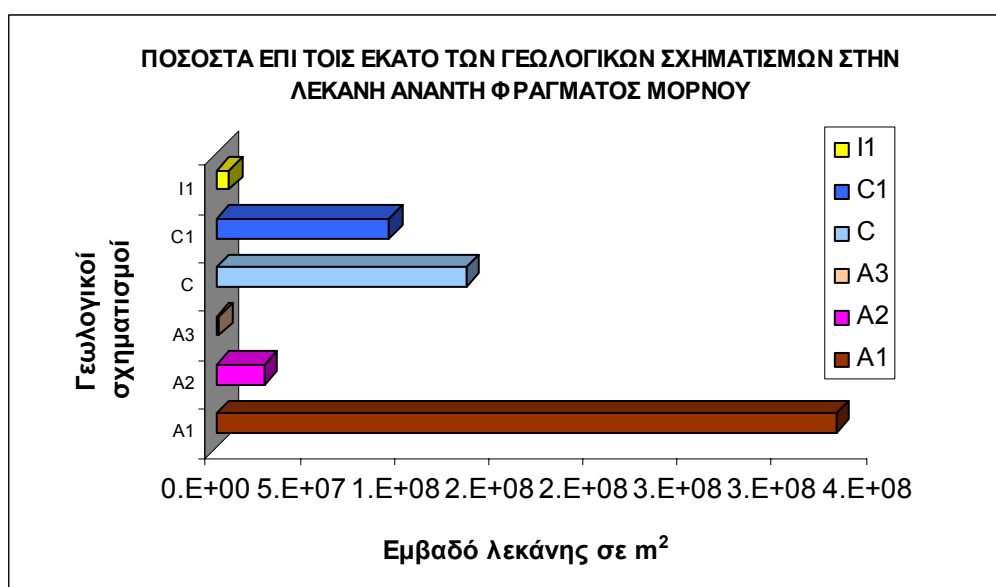
ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ

Πίνακας 2: Υπολογισμός έκτασης γεωλογικών σχηματισμών στη λεκάνη

Σχηματισμοί	Ποσοστό συμμετοχής στην λεκάνη ανάτη φράγματος ΜΟΡΝΟΥ σε m ²	Ποσοστό συμμετοχής στην λεκάνη ανάτη φράγματος ΜΟΡΝΟΥ σε Km ²
A1	328693005.8	328.693
A2	25520083.69	25.520
A3	1905474.562	1.905
C	132695241.777	132.695
C1	92009259.131	92.009
I1	7314146.915	7.314
SUM	588137211.905	588.137



Σχήμα 3: Κυκλικό διάγραμμα με τα ποσοστά επί τοις % συμμετοχής των γεωλογικών σχηματισμών στη λεκάνη

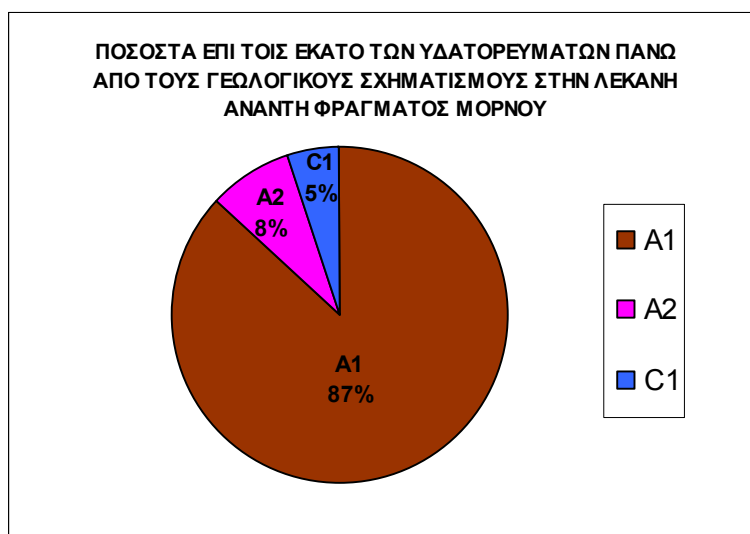


Σχήμα 4: Ραβδόγραμμα με τα ποσοστά συμμετοχής των γεωλογικών σχηματισμών στη λεκάνη

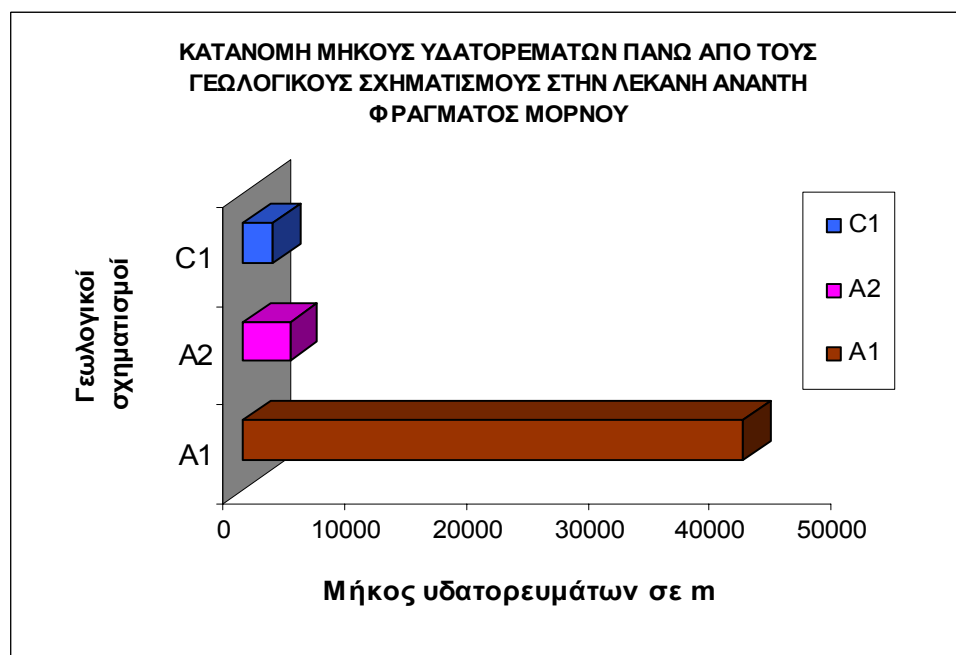
ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΥΔΑΤΟΡΕΥΜΑΤΩΝ

Πίνακας 3: Υπολογισμός μήκους υδατορευμάτων που διατρέχουν τους γεωλογικούς σχηματισμούς της λεκάνης

Σχηματισμοί	Μήκος υδατορευμάτων που περνάνε πάνω από τους σχηματισμούς σε m
A1	41102.603
A2	3842.419
C1	2396.588
SUM	47341.610



Σχήμα 5: Κυκλικό διάγραμμα με τα ποσοστά επί τοις % του μήκους των υδατορευμάτων που διατρέχουν τους σχηματισμούς της λεκάνης



Σχήμα 6: Ραβδόγραμμα με τα ποσοστά του μήκους των υδατορευμάτων που διατρέχουν τους σχηματισμούς στη λεκάνη

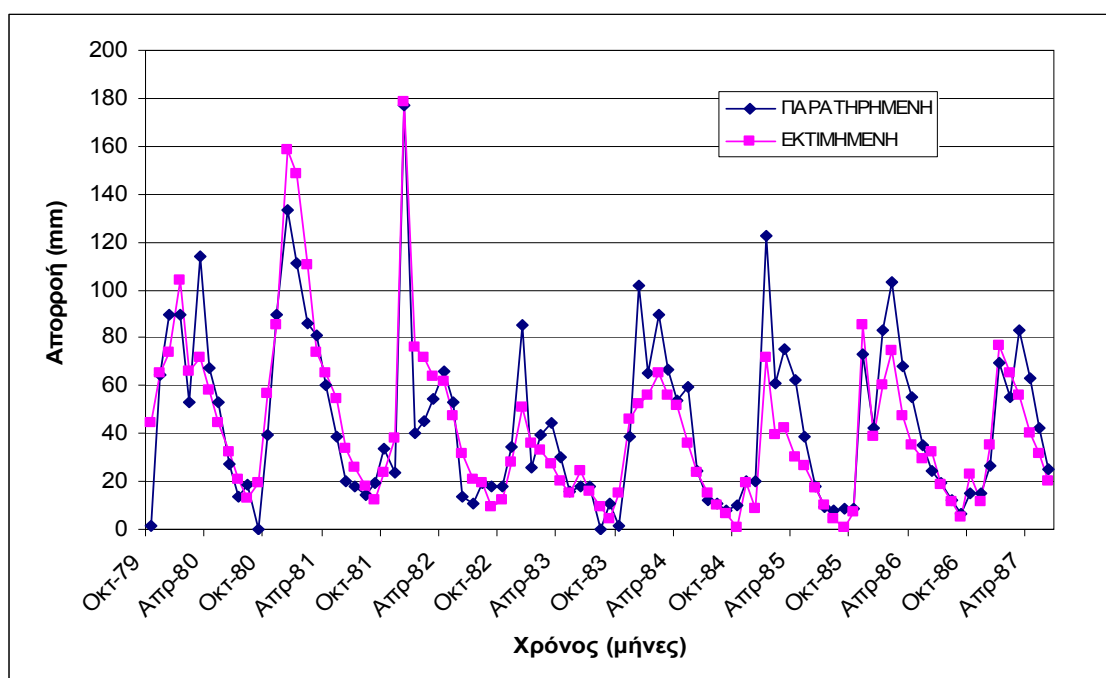
4.4.4 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Για την εφαρμογή του μοντέλου χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα βροχόπτωσης και αποροής από τον υδρομετεωρολογικό σταθμό ανάντη του φράγματος του Μόρνου για 16 υδρολογικά έτη: 1979 – 1994. Τα μηνιαία ύψη εξάτμισης που ήτανε ανηγμένα στην μέση στάθμη του ταμιευτήρα πολλαπλασιάστηκαν με 0.07 (συντελεστής εδαφικής καλλιέργειας).

Πίνακας 4: Προσδιορισμός παραμέτρων για τη λεκάνη ανάντη φράγματος Μόρνου.

K	283	283	283	283	283	283	283
ε	0.3	0.3	0.62	0.3	0.3	0.3	0.3
κ	0.185	0.195	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
So	0	0	0	0	0	0	0
λ	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025
H1	78	78	73	73	73	73	73
μ	0.064	0.064	0.061	0.061	0.042	0.062	0.061
ξ	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023
φ	0.008	0.008	0.008	0.008	0.007	0.007	0.008
H2	180	180	206	206	206	206	206
Yo	280	280	271	271	271	271	271
Nash	0.7960	0.7979	0.7580	0.8010	0.7761	0.8023	0.80304

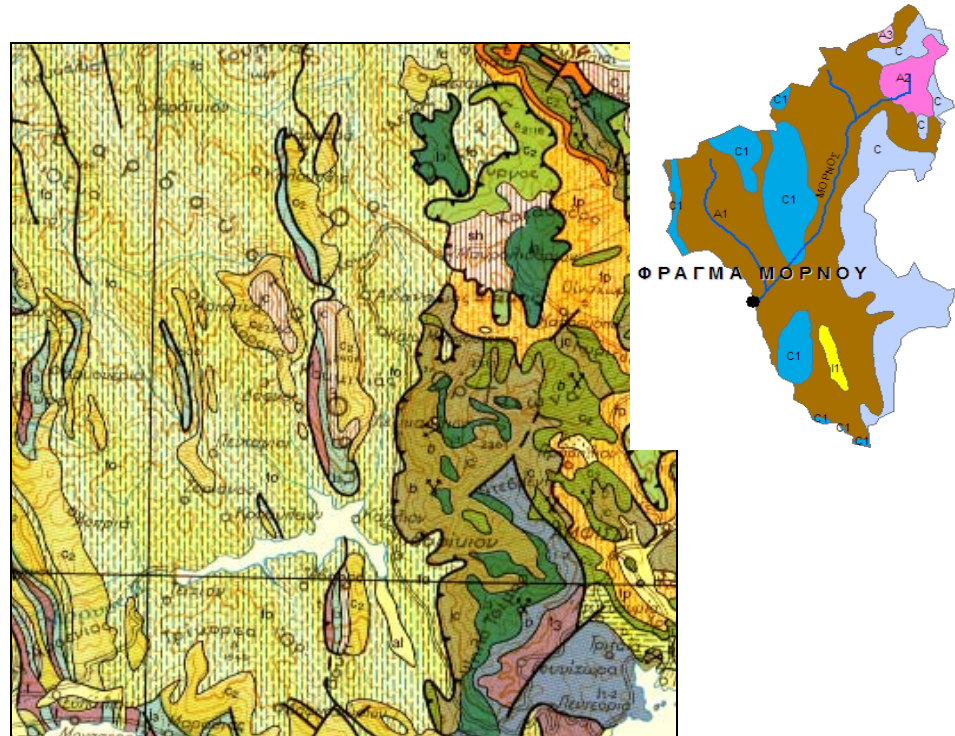
Βέλτιστος Nash



Σχήμα 7: Διάγραμμα παρατηρημένων αποροών και εκτιμημένων από το μοντέλο Ζυγός Βέλτιστος Συντελεστής Nash λεκάνης ανάντη φράγματος Μόρνου = 0.80304

(τιμές παραμέτρων $K=283$, $\varepsilon = 0.3$, $\kappa = 0.2$, $\lambda=0.025$, $H1 = 73$, $\mu = 0.061$ και υπόγειας δεξαμενής $Y_0 = 271$, $H2 = 206$, $\xi = 0.023$ και $\varphi = 0.008$).

4.4.5 ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ



Εικ. 4: Γεωλογικός χάρτης ΙΓΜΕ της ευρύτερης περιοχής φράγματος Μόρνου

1. Η συσχέτιση των παρατηρημένων τιμών απορροής και των εκτιμημένων είναι πολύ καλή καθώς η τιμή του συντελεστή Nash έφτασε ως το **R = 0.80304**.

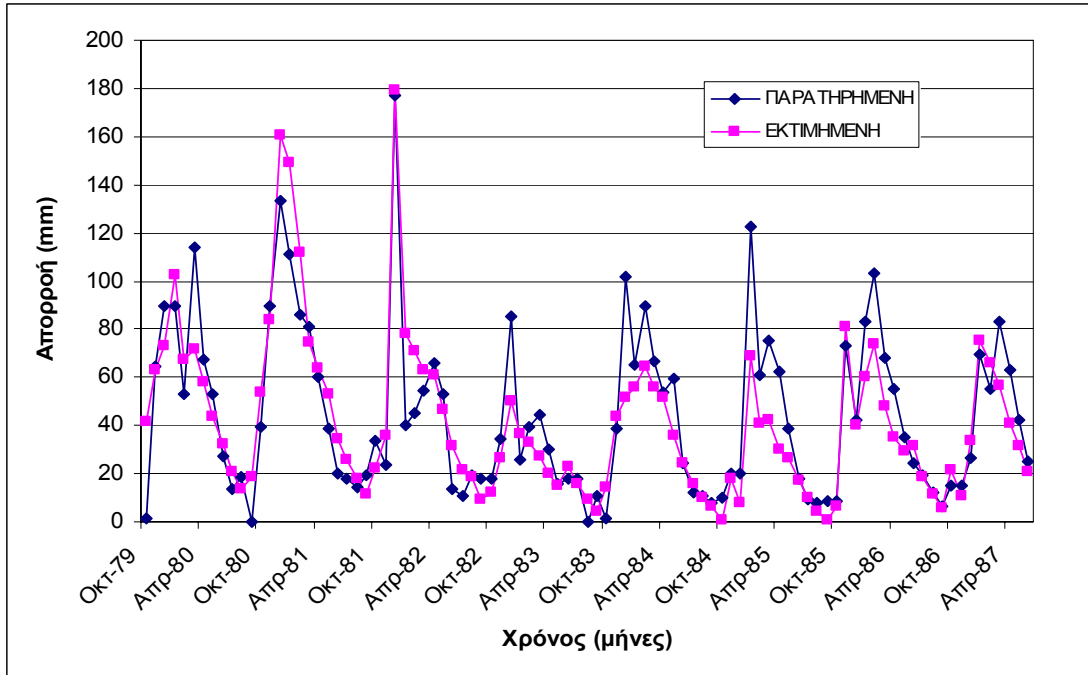
2. Η μεταβολή της παραμέτρου της εξατμισοδιαπνοής μεταβάλλει σημαντικά τις εκτιμημένες απορροές και η καλύτερη τιμή της βρέθηκε να είναι ίση με $\epsilon = 0.3$ για την επίτευξη του βέλτιστου συντελεστή Nash. Ο συντελεστής από τις πρώτες κιάλας δοκιμές φαίνεται να βελτιώνεται σημαντικά όσο η εξάτμιση μειώνεται ($R = 0.75738 \rightarrow 0.8110$). Με σταθερές τιμές στις παραμέτρους $K=283$, $\kappa = 0.2$, $\lambda = 0.025$, $H1 = 73$, $\mu = 0.061$, $\xi = 0.023$, $Y_0 = 270$, $H2 = 141$ και $\phi = 0.006$ και μεταβάλλοντας το ϵ έχουμε: για $\epsilon = 0.44 \rightarrow$ συντελεστής Nash = 0.75738, για $\kappa = 0.32 \rightarrow$ συντελεστής Nash = 0.7867 και για $\kappa = 0.2 \rightarrow$ συντελεστής Nash = 0.8110.

3. Το **56%** της λεκάνης δομούν σχηματισμοί του **φλύσχη** (πρακτικά αδιαπέρατος σχηματισμός) και το **39% ασβεστόλιθοι**. Από τους τελευταίους το 16% είναι Ασβεστόλιθοι και μάρμαρα εκτεταμένης ανάπτυξης, μέτριας έως υψηλής υδροπερατότητας της Ζώνης Παρνασσού - Γκιόνας. Το υψηλό ποσοστό αδιαπέρατης επιφάνειας επηρεάζει, όχι όμως ιδιαίτερα (δεν εμφανίζει μεγάλες διακυμάνσεις ο

συντελεστής Nash με μεταβολή των τιμών της κ παραμέτρου) το ποσοστό της περίσσειας της βροχής που εμφανίζεται ως άμεση απορροή και το οποίο είναι υψηλό $\kappa = 0.18 - 0.2$. Ο συντελεστής Nash παρουσιάζει μία ελαφρά βελτίωση στην τιμή του όσο οι τιμές του κ αυξάνονται αλλά δεν είναι πολύ σημαντική η μεταξύ τους διαφορά και έτσι προτείνεται ως καλύτερη λύση για την εφαρμογή του μοντέλου το εύρος των τιμών $0.18 - 0.2$ (σε αυτό το εύρος τιμών ο συντελεστής ανάλογα κυμαίνεται: $R = 0.7974, 0.7988, 0.80097, 0.8011$).

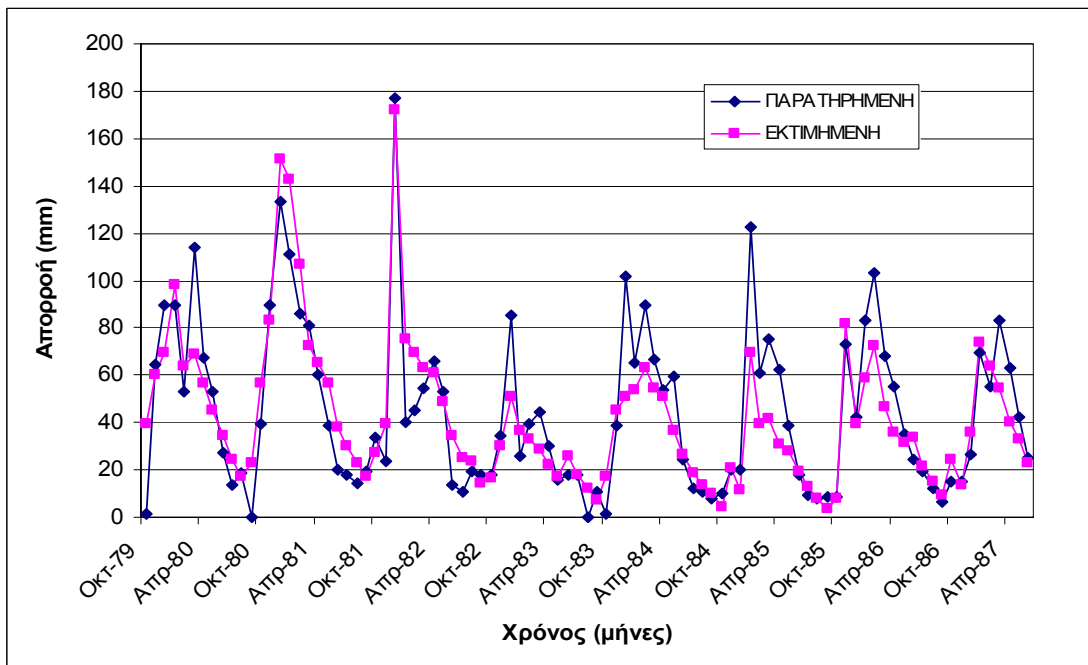
4. Ο ρυθμός εκφόρτισης της δεξαμενής εδαφικής υγρασίας για παραγωγή υπόγειας ροής είναι αυξημένος (39% ασβεστόλιθοι και πιθανώς λόγω τεκτονικού κατακερματισμού του αδιαπέρατου φλύσχη που τον καθιστά δευτερογενώς περατό). Η βέλτιστη τιμή του συντελεστή Nash γίνεται όταν η παράμετρος μ είναι ίση με $\mu = 0.061$ και ο συντελεστής βελτιώνεται αξιόλογα όσο αυξάνεται σταδιακά από την μηδενική του τιμή έως την τιμή 0.052 που δίνει συντελεστή Nash πολύ κοντά στον βέλτιστο (0.07983) όπως φαίνεται παρακάτω: με σταθερές τιμές στις παραμέτρους $K = 283, \varepsilon = 0.3, \lambda = 0.025, H1 = 73, \kappa = 0.2, Y_0 = 271, H2 = 206, \xi = 0.023$ και $\varphi = 0.007$ και μεταβάλλοντας το μ έχουμε : για $\mu = 0.029 \rightarrow$ συντελεστής Nash = 0.7068, για $\mu = 0.042 \rightarrow$ συντελεστής Nash = 0.7761 και για $\mu = 0.061 \rightarrow$ συντελεστής Nash = 0.8024. Αυξάνοντας την παράμετρο του μ σημειώνεται σημαντική βελτίωση του συντελεστή (0.7872 \rightarrow 0.8206). Η παράμετρος μ συνεπώς παίρνει τις καλύτερες τιμές της στο εύρος $\mu = 0.052 - 0.065$.

5. Το μεγαλύτερο ποσοστό των υδατορευμάτων, **87 %** περνάνε πάνω από τον γενικά αδιαπέρατο **φλύσχη** και ένα μικρό ποσοστό **5%**, πάνω από τους **ασβεστόλιθους** της λεκάνης συνεπώς ο ρυθμός εκφόρτισης της υπόγειας δεξαμενής για παραγωγή βασικής ροής αναμένεται να είναι μικρός (από τον αποσαθρωμένο φλύσχη). Όντως ο βέλτιστος συντελεστής Nash επιτεύχθηκε με $\xi = 0.023$. Η ευαισθησία του συντελεστή Nash στις μεταβολές της αντίστοιχης παραμέτρου του μοντέλου, ξ , είναι αρκετά μεγάλη ($R = 0.6839 \rightarrow 0.7934$ με αντίστοιχη μεταβολή $\xi = 0.007 \rightarrow 0.023$): μεταβάλλοντας την παράμετρο ξ έχουμε : για $\xi = 0.007 \rightarrow$ συντελεστής Nash = 0.6839, για $\xi = 0.015 \rightarrow$ συντελεστής Nash = 0.7747 και για $\xi = 0.023 \rightarrow$ συντελεστής Nash = 0.7934, διατηρώντας τις υπόλοιπες παραμέτρους ως εξής: $K = 283, \varepsilon = 0.3, \kappa = 0.185, \lambda = 0.035, H1 = 78, \mu = 0.03, Y_0 = 280, H2 = 180$ και $\varphi = 0.007$.



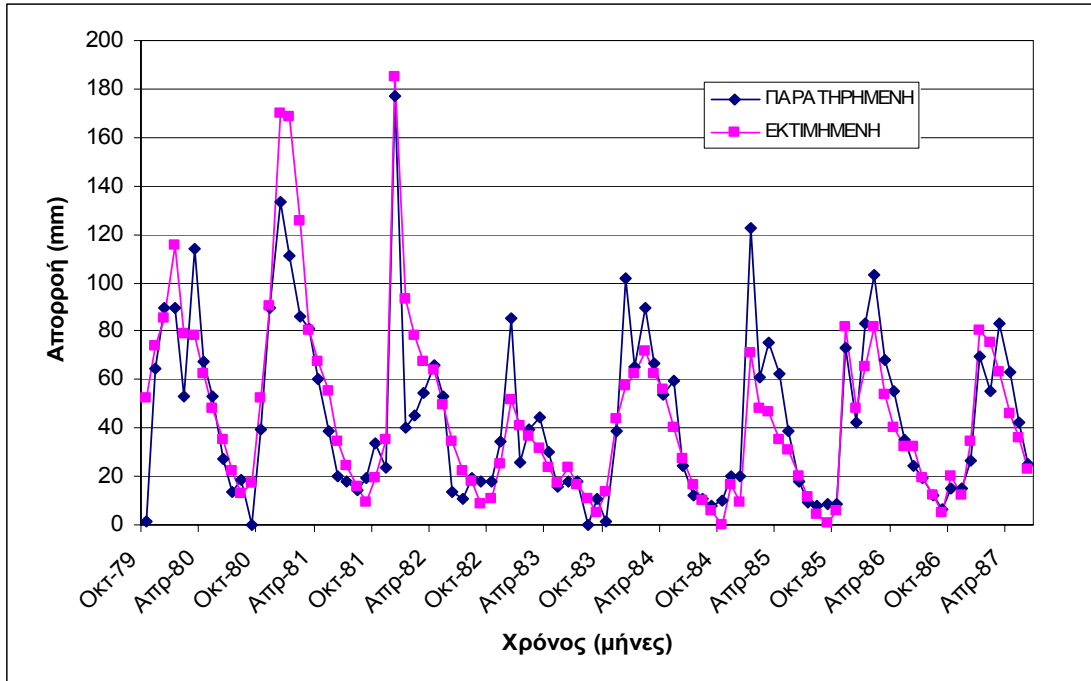
Σχήμα 8: Διάγραμμα παρατηρημένων απορροών και εκτιμημένων από το μοντέλο Ζυγός Συντελεστής Nash λεκάνης ανάντη φράγματος Μόρνου = 0.8008

(τιμές παραμέτρων $K = 283$, $\varepsilon = 0.3$, $\kappa = 0.2$, $\lambda = 0.027$, $H1 = 73$, $\mu = 0.061$ και υπόγειας δεξαμενής $Y_0 = 271$, $H2 = 206$, $\xi = 0.023$ και $\varphi = 0.008$).



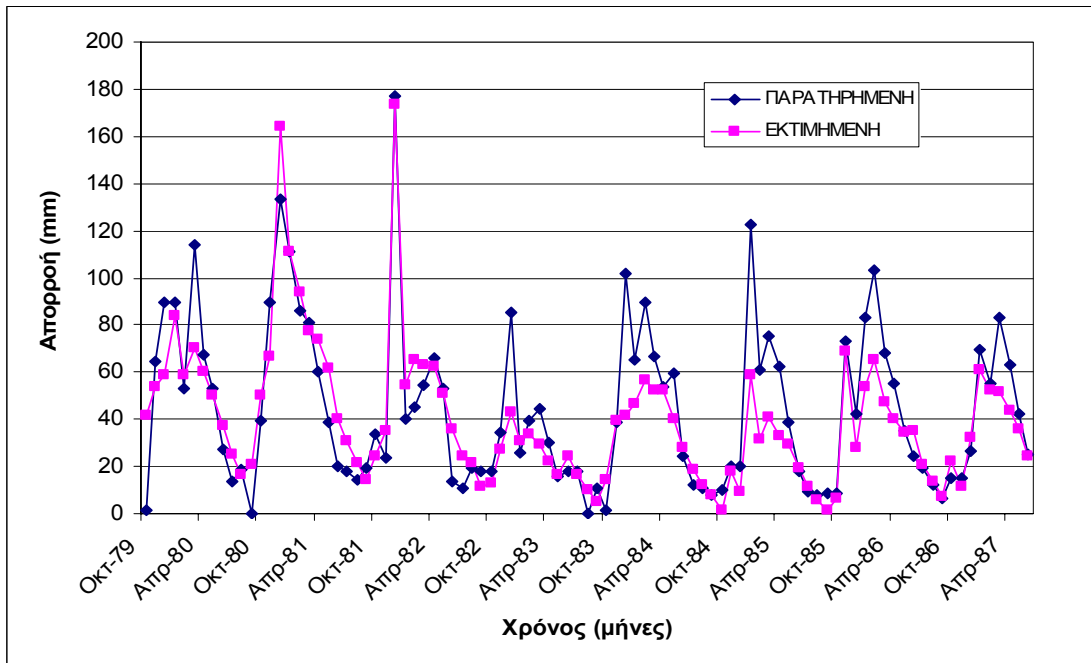
Σχήμα 9: Διάγραμμα παρατηρημένων απορροών και εκτιμημένων από το μοντέλο Ζυγός Συντελεστής Nash λεκάνης ανάντη φράγματος Μόρνου = 0.7951

(τιμές παραμέτρων $K = 283$, $\varepsilon = 0.3$, $\kappa = 0.2$, $\lambda = 0.025$, $H1 = 73$, $\mu = 0.065$ και υπόγειας δεξαμενής $Y_0 = 271$, $H2 = 206$, $\xi = 0.019$ και $\varphi = 0.007$).



Σχήμα 10: Διάγραμμα παρατηρημένων απορροών και εκτιμημένων από το μοντέλο Ζυγός Συντελεστής Nash λεκάνης ανάντη φράγματος Μόρνου = 0.78433

(τιμές παραμέτρων $K=280$, $\varepsilon = 0.3$, $\kappa = 0.185$, $\lambda=0.035$, $H1 = 78$, $\mu = 0.03$ και υπόγειας δεξαμενής $Y_0 = 280$, $H2 = 180$, $\xi = 0.03$ και $\varphi = 0.007$).



Σχήμα 11: Διάγραμμα παρατηρημένων απορροών και εκτιμημένων από το μοντέλο Ζυγός Συντελεστής Nash λεκάνης ανάντη φράγματος Μόρνου = 0.7642

(τιμές παραμέτρων $K = 283$, $\varepsilon = 0.3$, $\kappa = 0.2$, $\lambda=0.004$, $H1 = 73$, $\mu = 0.061$ και υπόγειας δεξαμενής $Y_0= 271$, $H2 = 206$, $\xi = 0.023$ και $\varphi = 0.008$).

4.5 ΛΕΚΑΝΗ ΕΥΗΝΟΥ

4.5.1 ΘΕΣΗ – ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ



Εικ. 1, 2: Γεωγραφική θέση και λεκάνη ποταμού Ευήνου

Ο Εύηνος (ή Φίδαρης) αποτελεί έναν από τους κυριότερους ποταμούς της Στερεάς Ελλάδας με μήκος περίπου 40 km. Πηγάζει από τα Βαρδούσια και εκβάλλει στον Πατραϊκό Κόλπο.

Έκταση λεκάνης Ευήνου: 1.163,330 Km²

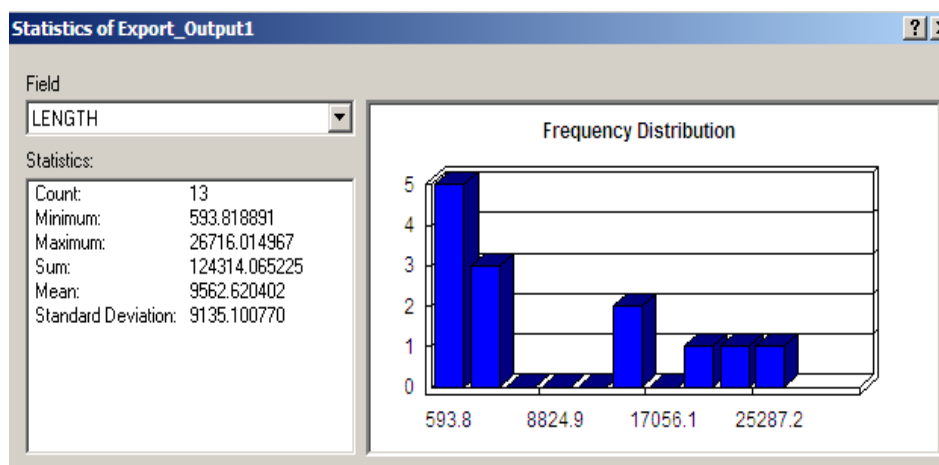
Περίμετρος λεκάνης Ευήνου: 255,880 Km

4.5.2 ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Οι περιοχές που αποτελούν τα ανώτερα τμήματα της υδρογραφικής λεκάνης του Εύηνου ποταμού (πχ δήμος Αποδοτίας με έδρα την Άνω Χώρα της Ορεινής Ναυπακτίας και είναι περιοχές με υψηλές βροχοπτώσεις και μείωση πληθυσμού, παρουσιάζουν προβλήματα ανεπάρκειας νερού ύδρευσης κατά τη θερινή περίοδο. Το πρόβλημα φαίνεται να είναι διαχειριστικό καθώς στην ευρύτερη περιοχή εμφανίζονται πολλές μικροπηγές. Οι περιοχές αυτές δομούνται κυρίως από το φλύσχη της Πίνδου.

Γενικότερα όσον αφορά το νομό Αιτωλοακαρνανίας (Αχελώος, Μόρνος, Εύηνος) :

- Περιοχές που βρίσκονται σε μικρά υψόμετρα, έχουν χαμηλές, σε σχέση με το σύνολο του νομού, βροχοπτώσεις και πλήρη επάρκεια νερού αν και βρίσκονται σε δυσμενέστερο γεωλογικό περιβάλλον.
- Στις περιοχές με χαμηλό υψόμετρο, χαμηλές βροχοπτώσεις και ανεπάρκεια ύδατος ύδρευσης όλο το χρόνο, τα προβλήματα ανεπάρκειας νερού σχετίζονται κυρίως με τη γεωλογία (Ιόνιος ενότητα – εβαπορίτες). Οι περισσότερες περιοχές που παρουσιάζουν πλήρη επάρκεια βρίσκονται σε χαμηλές περιοχές και δομούνται από τις αποθέσεις του ενιαίου φλύσχη Ηπείρου – Ακαρνανίας. Η ίδια μελέτη έδειξε ότι η ανεπάρκεια ύδατος όλο το χρόνο ή η ανεπάρκεια κατά τη θερινή περίοδο προκύπτει κυρίως από την κακή ή ανύπαρκτη διαχείριση των υδάτινων πόρων και δευτερευόντως στο γεωλογικό υπόβαθρο (Μαριολάκος κ.α., 2001).



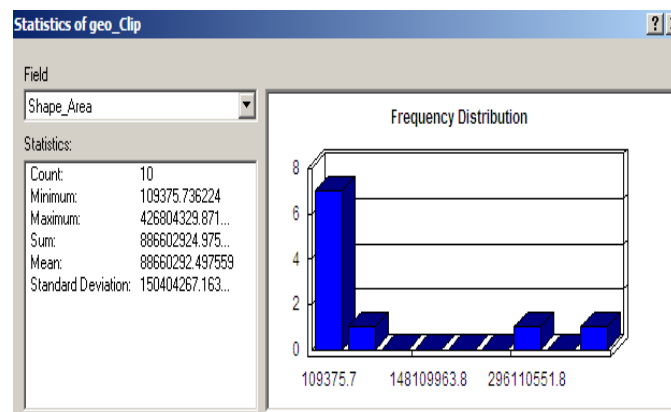
Σχήμα 1: Το συνολικό μήκος των κυριότερων κλάδων του Εύηνου είναι ίσο με:

$$L = 124314,065 \text{ m}$$

ΘΕΣΗ ΠΟΡΟΣ ΡΗΓΑΝΙΟΥ



Εικ. 3: Θέση υδρολογικής λεκάνης ανάντη του υδρομετεωρολογικού σταθμού Πόρου Ρηγανίου



Σχήμα 2: Υπολογισμός έκτασης λεκάνης ανάντη Πόρου Ρηγανίου

Στη λεκάνη του Εύηνου ο πιο αξιόλογος σταθμός είναι αυτός του Πόρου Ρηγανίου, οποίος βρίσκεται 35 km ανάντη των εκβολών του ποταμού, είναι σε συνεχή λειτουργία από το 1960 και ο οποίος μάλιστα διαθέτει και σταθμηγράφο. Ενδιαφέρον επίσης παρουσιάζει και ο σταθμός Αγίου Δημητρίου (Νεοχωρίου) ο οποίος λειτούργησε από το 1970 μέχρι την έναρξη της κατασκευής του φράγματος (Κουτσογιάννης κ.α., 2000).

- Μέση ετήσια βροχόπτωση = **1268.1 mm**

- Υψόμετρο σταθμού = **150 m**

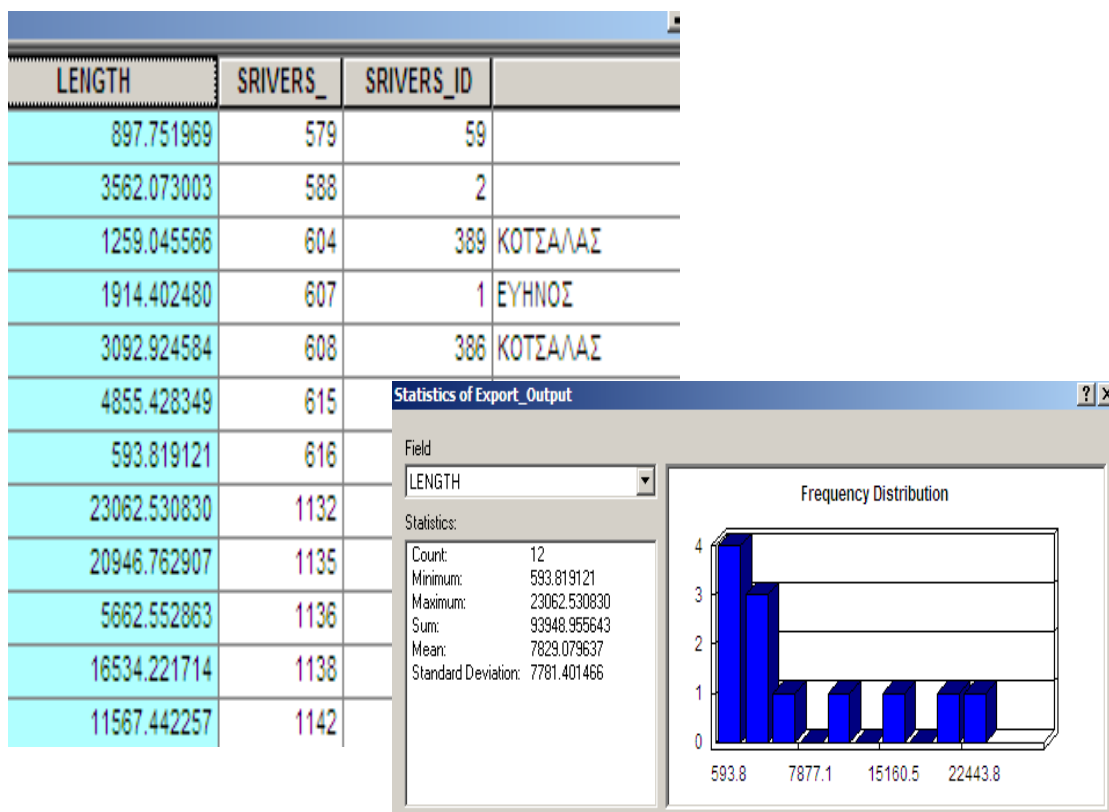
Πίνακας 1: Υπολογισμός περιμέτρου υδρολογικής λεκάνης ανάντη του σταθμού Πόρου Ρηγανίου

Attributes of POROS_RIGANIOU				
OBJECTID	AREA	PERIMETER	BASINS_	BASINS_
268	886603000	165218	269	

Η λεκάνη έχει Έκταση: 886.603 Km²

και Περίμετρο: 165.218 m

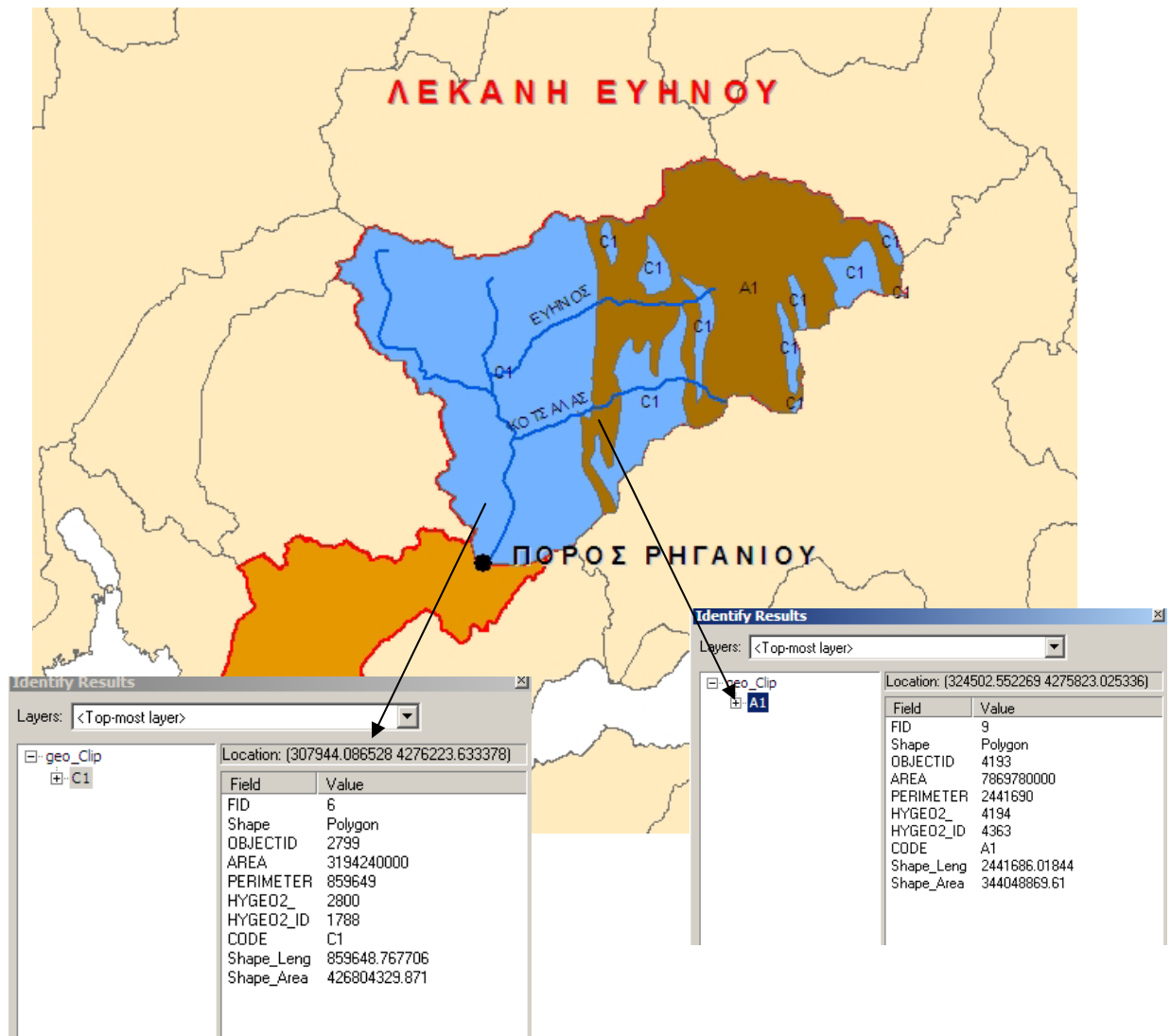
Πίνακας 2: Υπολογισμός μήκους των κυριότερων κλάδων του ποταμού στην λεκάνη



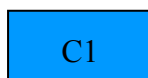
Σχήμα 3: Το συνολικό μήκος των κυριότερων κλάδων του ποταμού στην λεκάνη του Πόρου Ρηγανίου είναι: $L = 93948,96 \text{ m}$

(στατιστικά χαρακτηριστικά και διάγραμμα κατανομής συχνοτήτων)

4.5.3 ΓΕΩΛΟΓΙΑ – ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ

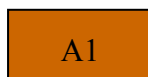


Υπόμνημα υδρογεωλογικού χάρτη:



C1

Ασβεστόλιθοι και μάρμαρα περιορισμένης ανάπτυξης κυμαινόμενης υδροπερατότητας



A1

Φλύσης, γενικά αδιαπέρατος σχηματισμός

Η ευρύτερη περιοχή του ταμιευτήρα του Α. Δημητρίου ανήκει στην ζώνη Ωλονού – Πίνδου. Χαρακτηριστικό γνώρισμα της γεωτεκτονικής αυτής ενότητας είναι ο έντονος τεκτονισμός που έχουν υποστεί οι σχηματισμοί που τη δομούν.

Συγκεκριμένα στην περιοχή συναντώνται από τους παλαιότερους προς τους νεότερους οι εξής σχηματισμοί:

- α) κερατόλιθοι (Α. Ιουρασικό – Κ. Κρητιδικό),
- β) ασβεστόλιθοι (Τουρώνιο – Μαιστρίχτιο)
- γ) ορίζοντες μεταβατικών σχηματισμών (Μαιστρίχτιο – Παλαιόκαινο) και
- δ) φλύσχης (Παλαιόκαινο – Ηώκαινο) που συνίσταται από εναλλαγές ψαμμιτών και ιλυολίθων (χαοτική φάση) και από παχυστρωματώδεις μικρού πάχους ενστρώσεις ασβεστολίθων και ιλυολίθων (ψαμμιτική φάση).

Τα τεκτονικά στοιχεία της είναι επιπεύσεις, ρήγματα, πτυχές και διάρρηξη των σχηματισμών από πυκνό δίκτυο διακλάσεων. Οι επιπεύσεις αναπτύσσονται με γενική διεύθυνση ΒΒΔ/κή – ΝΝΑ/κή. Όσον αφορά τα ρήγματα, επικρατούν οι διευθύνσεις ΒΑ/κή – ΝΔ/κή και ΒΔ/κή – ΝΑ/κή. Τα ΒΑ/κής διεύθυνσης ρήγματα εκτείνονται σε σημαντικό μήκος και σε πολλές θέσεις ρήγματα αυτής της διεύθυνσης διαμορφώνουν την κοίτη του Εύηνου ποταμού. Κατά μήκος του άξονα του φράγματος και στα πρηνή της κοίτης Εύηνου επικρατούν οι παχυστρωματώδεις ψαμμίτες με αραιές και λεπτές ενστρώσεις αργιλικών σχιστολίθων και τοπικά παρεμβολές λεπτοπλακωδών ασβεστολίθων. Σημειώνεται ότι η θέση του φράγματος εντοπίζεται στα ιζήματα του φλύσχη.

Όσον αφορά τα χαρακτηριστικά των σχηματισμών πιο συγκεκριμένα:

- Οι ασβεστόλιθοι (Τουρώνιο – Μαιστρίχτιο): είναι ποικιλόχρωμοι λεπτοπλακώδεις έως μεσοστρωματώδεις μικριτικοί ασβεστόλιθοι με παρεμβολές τυριτιολίθων.
- Ο ορίζοντας των μεταβατικών σχηματισμών (Μαιστρίχτιο – Παλαιόκαινο) αποτελείται από εναλλαγές ανωκρητιδικών ασβεστολίθων, με κλαστικούς και μαργαϊκούς ασβεστόλιθους, ψαμμίτες, μάργες και αργιλικούς σχιστολίθους με συνεχή μείωση προς τα πάνω του ανθρακικού υλικού και μείωση του κλαστικού.
- Ο φλύσχης (Παλαιόκαινο – Ηώκαινο) συνίσταται κυρίως από ψαμμίτες λεπτο – μεσοστρωματώδεις λεπτόκοκκους έως μεσόκοκκους, πηλίτες που περιλαμβάνουν

λεπτομερή ιζήματα αργιλικής σύστασης και από παχυστρωματώδεις ψαμμίτες. Σπάνια παρατηρούνται στο φλύσχη ενστρώσεις ασβεστολίθων μικρού πάχους και κροκαλοπαγών. Οι εναλλαγές ψαμμιτών με ιλυόλιθους (χαοτική φάση του φλύσχη) που παρουσιάζουν έντονη τεκτονική καταπόνηση λόγω πτυχώσεων, λεπιώσεων κλπ, χαρακτηρίζονται από χαμηλή έως μέτρια δευτερογενή υδροπερατότητα ($K = 10^{-4}-10^{-6}$ cm/sec). Από την άλλη πλευρά οι παχυστρωματώδεις ψαμμίτες του φλύσχη, επίσης ισχυρά πτυχωμένοι έχουν μέτρια δευτερογενή (λόγω τεκτονισμού) υδροπερατότητα και ικανοποιητικές τιμές γεωτεχνικών παραμέτρων ($K = 10^{-4}-10^{-5}$ cm/sec).

Από υδρογεωλογικής πλευράς στην περιοχή του άξονα του φράγματος βάσει των δοκιμών υδροπερατότητας προκύπτει ότι οι σχηματισμοί του φλύσχη έχουν τιμές του συντελεστή υδροπερατότητας ίσες με $K = 10^{-5}$ cm/sec (που είναι ικανοποιητικές). Εξαιρέση αποτελούν θέσεις έντονης αποσάθρωσης και μικρού πάχους ζώνες ισχυρής τεκτονικής καταπόνησης. Η στεγανότητα της λεκάνης στο τμήμα που καλύπτεται από τον φλύσχη είναι εξασφαλισμένη. Όσον αφορά τους ασβεστολιθικούς όγκους με παρεμβολές ιλυολίθων και ψαμμιτών, από τα αποτελέσματα των δοκιμών υδροπερατότητας και από τις μετρήσεις της στάθμης των πιεζομετρικών γεωτρήσεων που εκτελέστηκαν εκεί προκύπτει ότι η υδραυλική κλίση έχει διεύθυνση και φορά προς τον ποταμό Εύηνο και επομένως η ασβεστολιθική μάζα τροφοδοτεί με νερό τον ποταμό (Τζιτσίρας κ.α, 1991).

Οι Τεταρτογενείς αποθέσεις στην περιοχή περιλαμβάνουν μανδύα αποσάθρωσης του φλύσχη, αποθέσεις της κοίτης του ποταμού και υλικά ποτάμιων αναβαθμίδων. Για τα υλικά φίλτρων για το σώμα του φράγματος η ίδια μελέτη έδειξε ότι είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν οι αποθέσεις κοίτης του ποταμού Εύηνου και του χειμάρρου Κλινοβίτη. Τα υλικά αυτά αποτελούνται από κροκάλες και χάλικες ποικίλων διαστάσεων και σύστασης καθώς επίσης και από άμμο σε μικρότερο ποσοστό, το μέγιστο πάχος τους κυμαίνεται από 15 – 20 m και οι διαστάσεις των αδρομερών στοιχείων τους φτάνουν μέχρι 60 - 80 εκ. Σε περίπτωση που αυτά τα υλικά δεν επαρκούσαν ήταν δυνατή η χρησιμοποίηση υλικών από την κοίτη του Εύηνου κατάντη του χωριού Περδικόβρυση.

Αποτελέσματα γεωφυσικών ερευνών στην ευρύτερη περιοχή θεμελίωσης του φράγματος και κατά μήκος της σήραγγας εκτροπής Εύηνου – Μόρνου έδειξαν τα παρακάτω (Αγγελόπουλος, 1991):

- Σε όλες τις τομές των γεωηλεκτρικών βυθοσκοπήσεων βόρεια της θέσης θεμελίωσης του φράγματος το υπόβαθρο των ποτάμιων αποθέσεων αποτελεί η πηλιτική φάση του φλύσχη που το πάχος της στην χειρότερη περίπτωση είναι της τάξης των 50 μέτρων, ενώ ακολουθεί η ψαμμιτική φάση του φλύσχη.

- Οι τομές στη θέση Παλαιοχώρι και τα γεωλογικά δεδομένα της περιοχής δίνουν τη δυνατότητα να υποτεθεί ότι το υπόβαθρο των ποτάμιων αποθέσεων είναι ο κατακερματισμένος ασβεστόλιθος που είναι πληρωμένος με νερό μέχρι το βάθος των 100 m περίπου. Εάν αυτό δεν ισχύει τότε πιθανώς και σε αυτή την περίπτωση ο πυθμένας είναι πηλιτικός ενώ στο βάθος των 100 περίπου μέτρων συνίσταται ασβεστόλιθος.

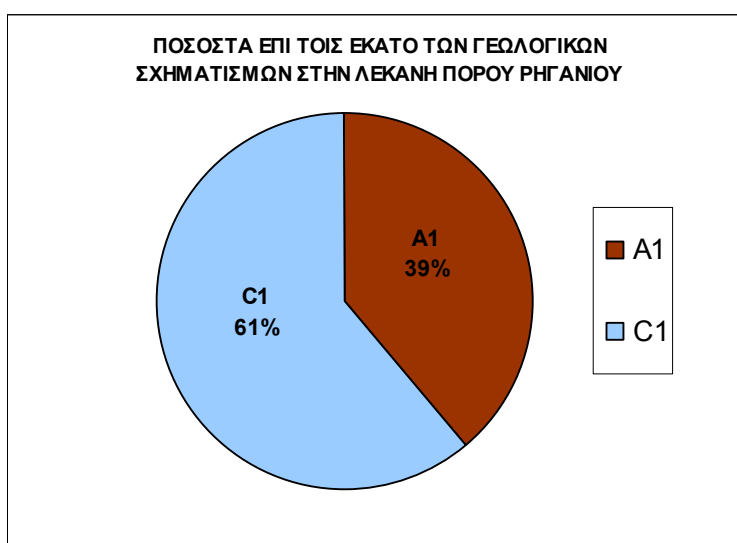
- στην περιοχή Αμπελακιώτισας τομές που έγιναν πάνω στους πηλίτες του φλύσχη δείχνουν μία ακολουθία εναλλαγών σχηματισμών χαμηλών γενικά αντιστάσεων ενώ στα βάθη των 90 με 135 μέτρων παρατηρείται μετάβαση σε ασβεστόλιθους. Στην ίδια περιοχή αποτελέσματα βυθοσκοπήσεων πάνω στους ασβεστόλιθους έδειξαν ότι η καρστικοποίηση φτάνει μέχρι το βάθος των 90 περίπου μέτρων ενώ μεταξύ των 34 και 90 μέτρων πρέπει να είναι πληρωμένος με νερό. Μέχρι το βάθος διερεύνησης περίπου 240 μέτρα δεν παρατηρείται άλλος καρστικός ορίζοντας.

- οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή της Άνω Χώρας πάνω σε φλύσχη και τον διερεύνησαν μέχρι το βάθος των 200 μέτρων, έδειξαν ότι μέχρι το βάθος των 196 μέτρων παρατηρούνται εναλλαγές πηλιτών και ψαμμιτών με επικράτηση των πηλιτών και στη συνέχεια παρατηρείται μετάβαση από παχυστρωματώδεις ψαμμίτες σε ψαμμίτες.

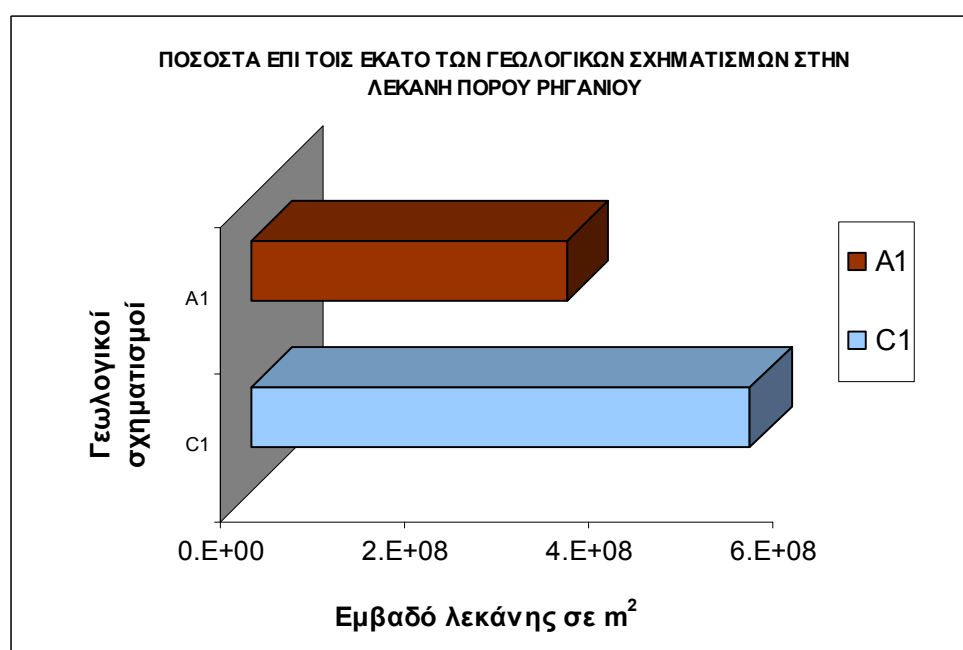
ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΠΟΡΟΥ ΡΗΓΑΝΙΟΥ

Πίνακας 2: Υπολογισμός έκτασης γεωλογικών σχηματισμών στη λεκάνη ανάντη του υδρομετεωρολογικού σταθμού Πόρου Ρηγανίου

Σχηματισμοί	Ποσοστό συμμετοχής στην λεκάνη ΠΟΡΟΥ ΡΗΓΑΝΙΟΥ σε m ²	Ποσοστό συμμετοχής στην λεκάνη ΠΟΡΟΥ ΡΗΓΑΝΙΟΥ σε Km ²
A1	344048869.610	344.048
C1	542554055.366	542.554
SUM	886602924.976	886.602



Σχήμα 4: Κυκλικό διάγραμμα με τα ποσοστά επί τοις % συμμετοχής των γεωλογικών σχηματισμών στη λεκάνη

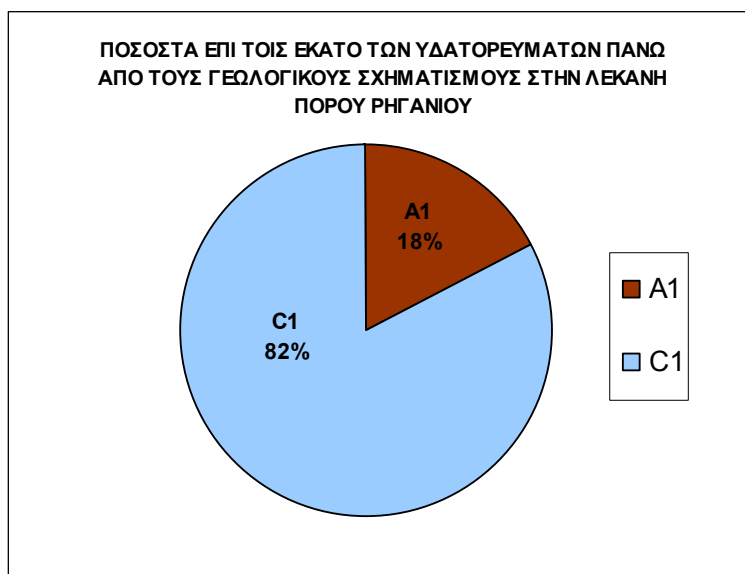


Σχήμα 5: Ραβδόγραμμα με τα ποσοστά συμμετοχής των γεωλογικών σχηματισμών στη λεκάνη

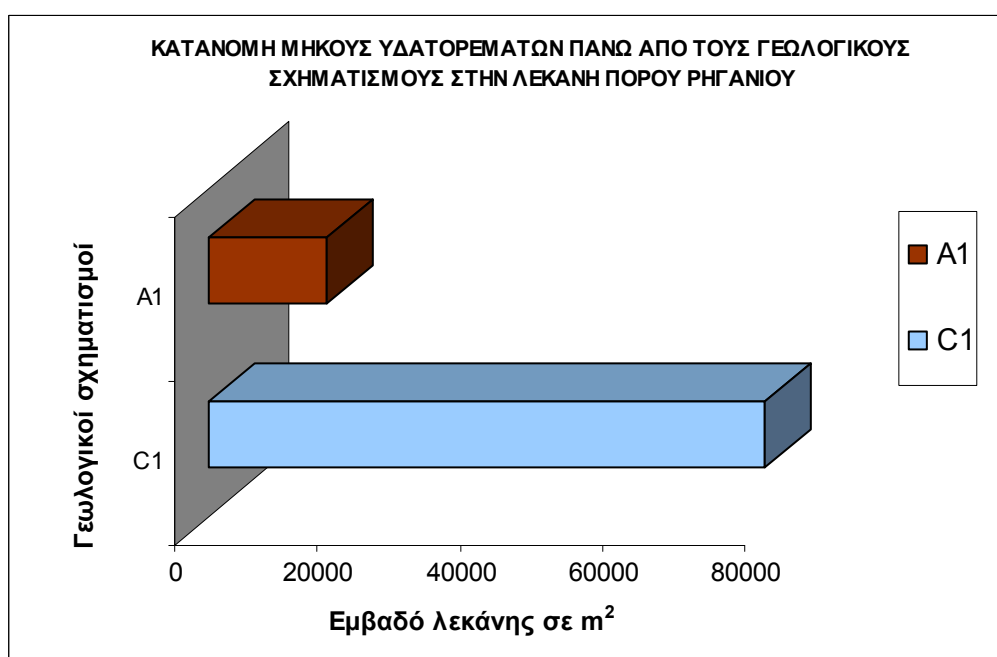
ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΥΔΑΤΟΡΕΥΜΑΤΩΝ

Πίνακας 3: Υπολογισμός μήκους υδατορευμάτων πάνω από τους γεωλογικούς σχηματισμούς στη λεκάνη ανάντη του υδρομετρικού σταθμού Πόρου Ρηγαίου

Σχηματισμοί	Μήκος υδατορευμάτων που περνάνε πάνω από τους σχηματισμούς σε m
A1	16657.110
C1	77911.412



Σχήμα 6: Κυκλικό διάγραμμα με τα ποσοστά επί τοις % του μήκους των υδατορευμάτων πάνω από τους σχηματισμούς της λεκάνης



Σχήμα 7: Ραβδόγραμμα με τα ποσοστά του μήκους των υδατορευμάτων πάνω από τους σχηματισμούς στη λεκάνη

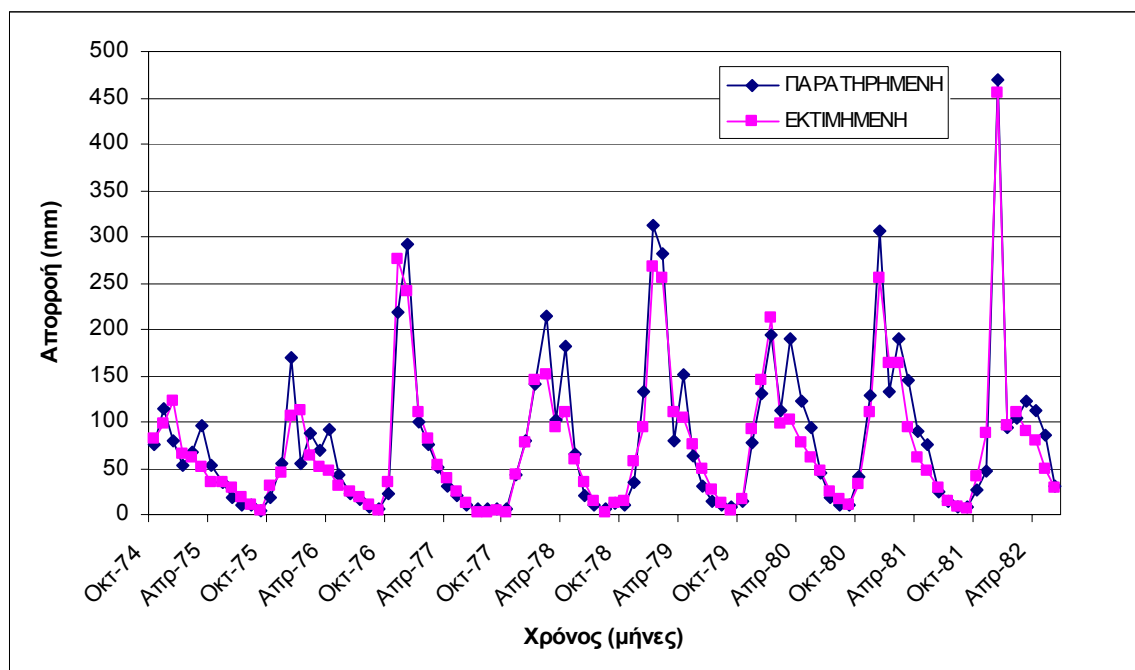
4.5.4 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Οι μετρημένες απορροές προήλθαν από τον υδρομετρικό σταθμό Πόρο Ρηγανίου για 16 υδρολογικά έτη (1974 – 1990).

Πίνακας 4: Προσδιορισμός παραμέτρων για τη λεκάνη Πόρου Ρηγανίου

K	300	300	300	300	300	249	202
ε	0.37	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41
κ	0.13	0.13	0.152	0.175	0.175	0.175	0.175
So	0	0	0	0	0	0	0
λ	0.035	0.035	0.035	0.063	0.095	0.095	0.095
H1	76	76	76	118	118	118	126
μ	0.052	0.052	0.052	0.052	0.044	0.044	0.044
ξ	0.076	0.076	0.088	0.092	0.092	0.092	0.092
φ	0.0045	0.0045	0.0045	0.0045	0.0045	0.0045	0.0045
H2	193	193	193	193	193	162	162
Yo	253	253	253	255	253	253	238
Nash	0.7298	0.7743	0.7866	0.81622	0.8339	0.8492	0.8717

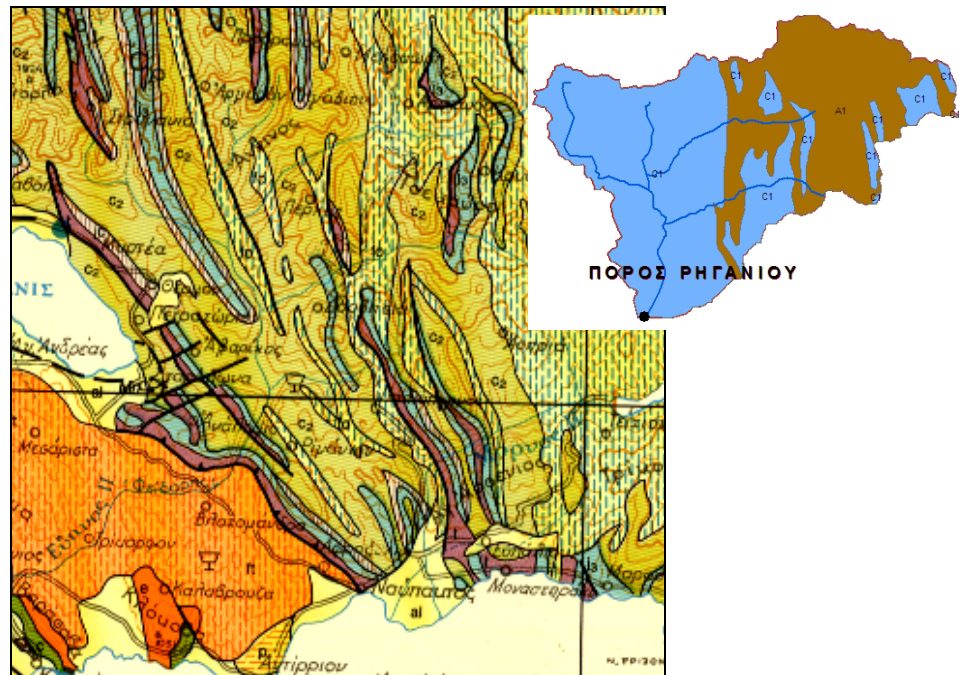
Βέλτιστος Nash



Σχήμα 8: Διάγραμμα παρατηρημένων απορροών και εκτιμημένων από το μοντέλο Ζυγός Βέλτιστος Συντελεστής Nash λεκάνης Πόρου Ρηγανίου = 0.8717

(τιμές παραμέτρων **K=202**, **ε = 0.41**, **κ = 0.175**, **λ=0.095**, **H1 = 126**, **μ = 0.044** και υπόγειας δεξαμενής **Yo= 238**, **H2 = 162**, **ξ = 0.092** και **φ = 0.0045**).

4.5.5 ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ



Εικ 4: Γεωλογικός χάρτης ΙΓΜΕ της ευρύτερης περιοχής της θέσεως Πόρου Ρηγανίου

1. Στο μοντέλο χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα βροχόπτωσης, εξάτμισης και απορροής από την λεκάνη ανάντη του υδρομετρικού σταθμού Πόρου Ρηγανίου.

Η συσχέτιση των παρατηρημένων τιμών απορροής και των εκτιμημένων είναι πάρα πολύ καλή και από τις υψηλότερες που έχουν επιτευχθεί σε αυτήν την εργασία καθώς ο βέλτιστος συντελεστής Nash της λεκάνης είναι ίσος με **R = 0.8717**.

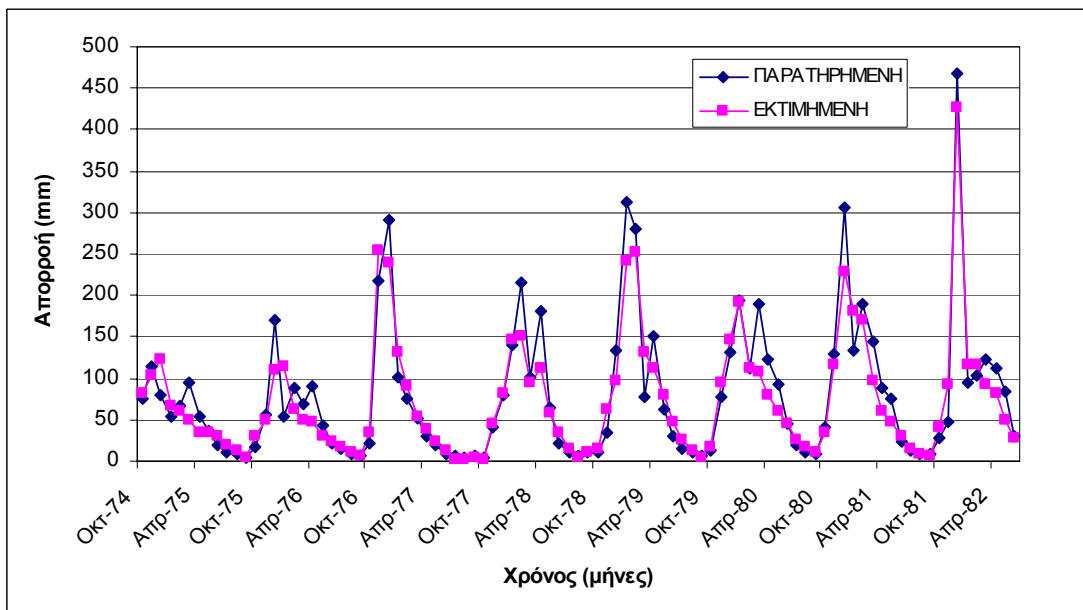
2. Το ποσοστό της εξατμοδιαπνοής είναι ίσο με **$\epsilon = 0.41$** , που είναι σχετικά υψηλό γεγονός και δικαιολογείται από το ότι η λεκάνη βρίσκεται σε γεωγραφικό πλάτος: $38^{\circ} 40'$, με μέσο υψόμετρο και ετήσιο μέσο ύψος βροχής 1.268 mm. Ο συντελεστής Nash αυξάνεται 2% από $R = 0.6561 \rightarrow 0.6755$ με $\epsilon = 0.2 \rightarrow 0.41$ και διατηρώντας σταθερές τις παραμέτρους $K = 300$, $\kappa = 0.13$, $\lambda = 0.035$, $H1 = 76$, $\mu = 0.092$, $Y_0 = 253$, $H2 = 193$, $\xi = 0.04$ και $\varphi = 0.002$.

3. Η λεκάνη αποτελείται σε ποσοστό **39 %** από **φλύσχη** της Πίνδου και από **61 %** από **ασβεστολίθους** κυμαινόμενης υδροδιαπερατότητας. Η περατότητα του φλύσχη είναι πολύ μικρή $K=10^{-5}$ cm/sec ($K=10^{-4}-10^{-5}$ cm/sec για τους παχυστρωματώδεις, ισχυρά πτυχωμένους ψαμμίτες του φλύσχη, με δευτερογενή λόγω κατακερματισμού υδροπερατότητα και $K=10^{-4}-10^{-6}$ cm/sec για τις εναλλαγές

ψαμμιτών και ιλυολίθων) και η υδροπερατότητα των ασβεστολίθων είναι μειωμένη κατά θέσεις λόγω των παρεμβολών ιλυόλιθων και ψαμμιτών και του υψηλού βαθμού πτυχώσεως τους. Η ευαισθησία του συντελεστή Nash στις μεταβολές του ρυθμού εκφόρτισης της εδαφικής δεξαμενής για την παραγωγή άμεσης απορροής δεν ήταν ιδιαίτερα αισθητή και έτσι αν και επιλέχθηκε ως η καλύτερη τιμή $\kappa = 0.175$ σχεδόν τα ίδια αποτελέσματα δίνει και οποιαδήποτε άλλη τιμή μεταξύ του **0.152 – 0.175** ($R = 0.870413$, $R = 0.8705$, $R = 0.87664$ κ.α) με τις υπόλοιπες παραμέτρους να παίρνουν τιμές: $K = 330$, $\varepsilon = 0.41$, $\lambda = 0.035$, $H1 = 76$, $\mu = 0.052$, $Y_0 = 253$, $H2 = 193$, $\xi = 0.092$ και $\varphi = 0.0045$. Ομοίως την ίδια συμπεριφορά ο συντελεστής παρουσιάζει και για τις διακυμάνσεις του ρυθμού εκφόρτισης της εδαφική δεξαμενής για παραγωγή υπόγειας ροής με την ελαφρά καλύτερη βελτίωση με $\mu = 0.044$. Παραπλήσια αποτελέσματα δίνουν όλες οι τιμές μεταξύ του **0.022 – 0.052** ($R = 0.8327$, $R = 0.8354$, $R = 0.8339$ κ.α) με τις υπόλοιπες άλλες παραμέτρους να παίρνουν τιμές: $K=300$, $\varepsilon = 0.41$, $\lambda=0.095$, $H1 = 118$, $\mu = 0.044$, $Y_0= 253$, $H2 = 193$, $\xi=0.092$ και $\varphi = 0.0045$.

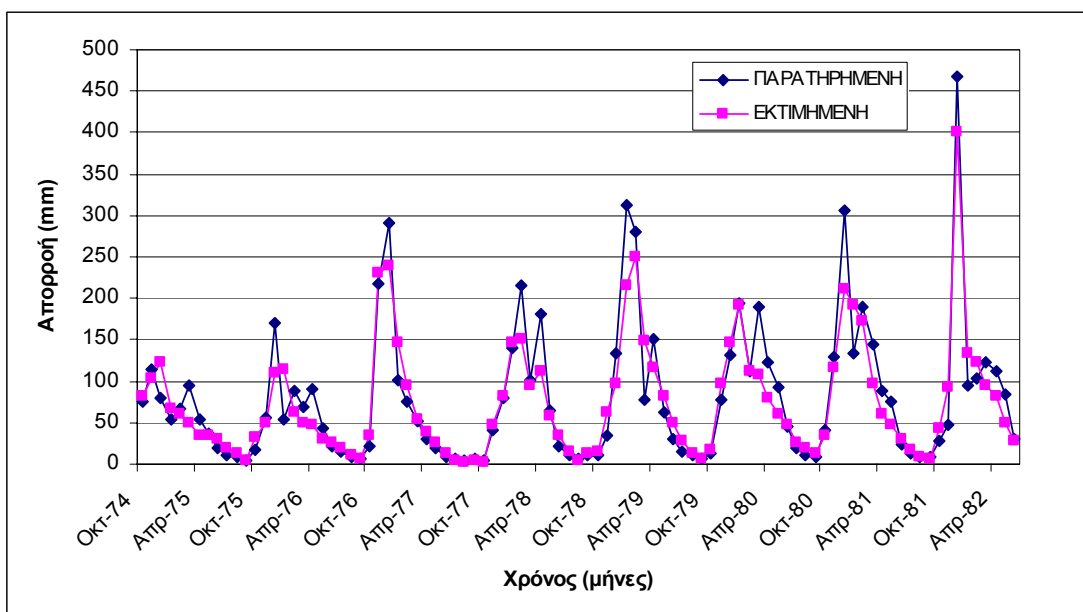
4. Ο συντελεστής Nash αυξάνεται σημαντικά με $R = 0.7298 \rightarrow 0.7743$ καθώς ρυθμίζεται η παράμετρος ξ η οποία εκφράζει το ρυθμό εκφόρτισης της υπόγειας δεξαμενής για παραγωγή βασικής ροής. Μελέτες έδειξαν ότι η υδραυλική κλίση στην ευρύτερη περιοχή του φράγματος έχει διεύθυνση και φορά προς τον ποταμό Εύηνο και επομένως η ασβεστολιθική μάζα τροφοδοτεί με νερό τον ποταμό, έτσι είναι φυσικό να εμφανίζει **αυξημένη βασική ροή**, $\xi = 0.092$ (το **82%** του ποταμού περνάει πάνω από **ασβεστόλιθους** και μόνο το 18% από φλύσχη). Διατηρώντας σταθερές τις παραμέτρους $K=330$, $\varepsilon=0.41$, $\kappa = 0.13$, $\lambda=0.035$, $H1 = 76$, $\mu = 0.052$, $Y_0 = 253$, $H2 = 193$ και $\varphi = 0.0045$, μεταβάλλοντας τις τιμές ξ έχουμε: για $\xi = 0.04 \rightarrow$ συντελεστής Nash = 0.7292, για $\xi = 0.046 \rightarrow$ συντελεστής Nash = 0.7562, για $\xi = 0.062 \rightarrow$ συντελεστής Nash = 0.7603 και για $\xi = 0.076 \rightarrow$ συντελεστής Nash = 0.7743.

5. Μια ιδιαίτερη ευαισθησία στις μεταβολές του εμφανίζει ο συντελεστής Nash με τη μεταβολή της χωρητικότητας της εδαφικής δεξαμενής $K = 300 \rightarrow 202$ (και πολύ λίγο του κατωφλίου της $H1$) αυξάνεται με $R = 0.8353 \rightarrow 0.8694$ διατηρώντας σταθερές τις παραμέτρους, $\varepsilon = 0.41$, $\kappa = 0.175$, $\lambda = 0.095$, $H1 = 118$, $\mu = 0.044$, $Y_0 = 238$, $H2 = 162$, $\xi = 0.092$ και $\varphi = 0.0045$.



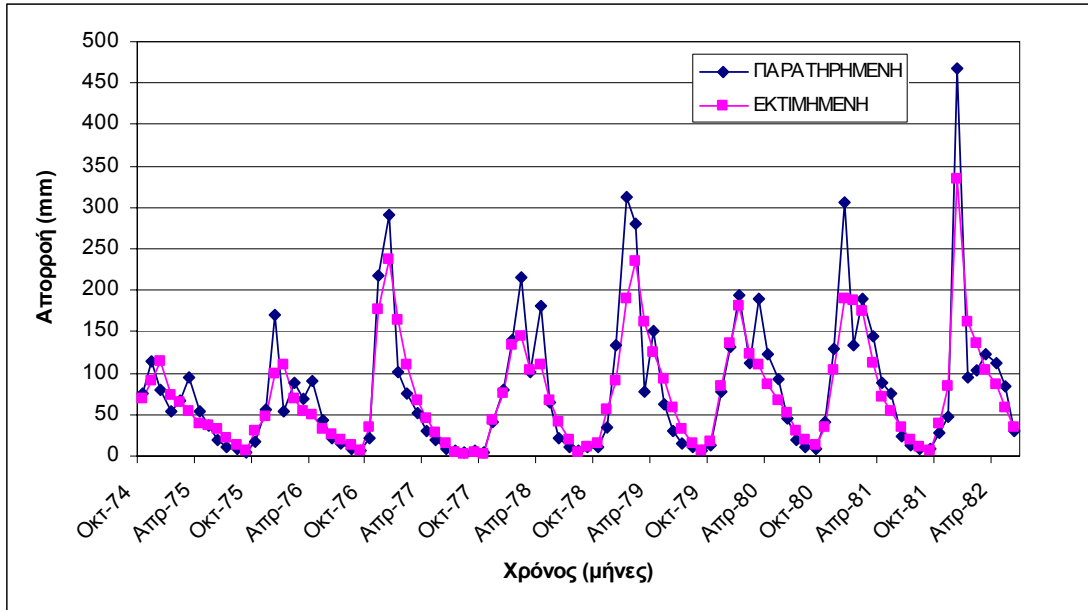
Σχήμα 9: Διάγραμμα παρατηρημένων απορροών και εκτιμημένων από το μοντέλο Ζυγός Συντελεστής Nash λεκάνης Πόρου Ρηγανίου = 0.86475

(τιμές παραμέτρων $K = 224$, $\varepsilon = 0.41$, $\kappa = 0.175$, $\lambda = 0.095$, $H1 = 118$, $\mu = 0.044$ και υπόγειας δεξαμενής $Y_0 = 238$, $H2 = 162$, $\xi = 0.092$ και $\varphi = 0.0045$).



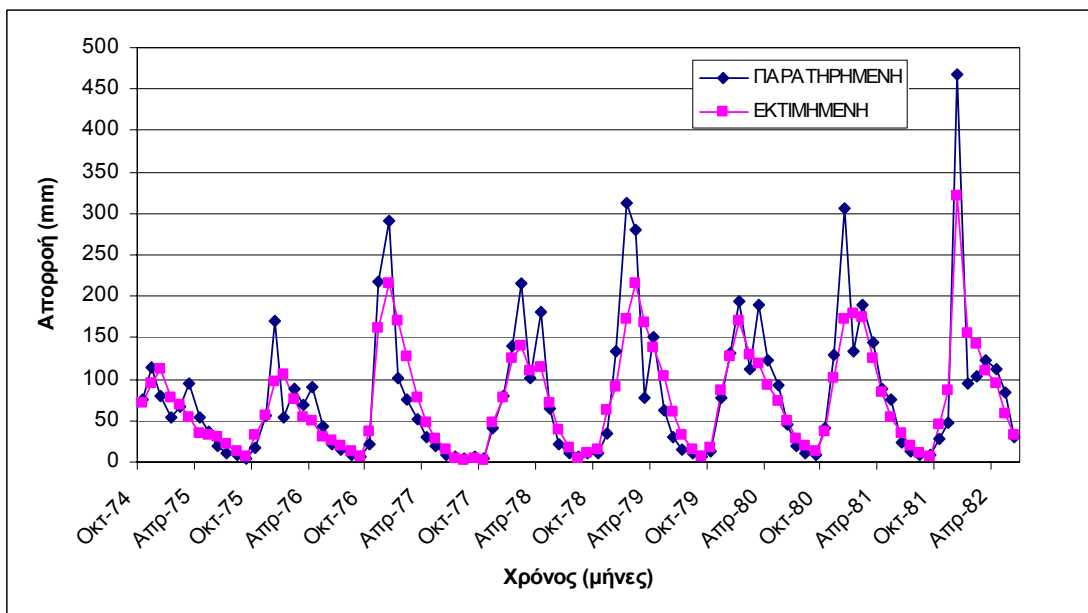
Σχήμα 10: Διάγραμμα παρατηρημένων απορροών και εκτιμημένων από το μοντέλο Ζυγός Συντελεστής Nash λεκάνης Πόρου Ρηγανίου = 0.84925

(τιμές παραμέτρων $K = 249$, $\varepsilon = 0.41$, $\kappa = 0.175$, $\lambda = 0.095$, $H1 = 118$, $\mu = 0.044$ και υπόγειας δεξαμενής $Y_0 = 238$, $H2 = 162$, $\xi = 0.092$ και $\varphi = 0.0045$).



Σχήμα 11: Διάγραμμα παρατηρημένων απορροών και εκτιμημένων από το μοντέλο Ζυγός Συντελεστής Nash λεκάνης Πόρου Ρηγαίου = 0.812085

(τιμές παραμέτρων $K=300$, $\varepsilon = 0.41$, $\kappa = 0.152$, $\lambda=0.063$, $H1 = 118$, $\mu = 0.052$ και υπόγειας δεξαμενής $Y_0 = 253$, $H2 = 193$, $\xi = 0.092$ και $\varphi = 0.0045$).



Σχήμα 12: Διάγραμμα παρατηρημένων απορροών και εκτιμημένων από το μοντέλο Ζυγός Συντελεστής Nash λεκάνης Πόρου Ρηγαίου = 0.7867

(τιμές παραμέτρων $K=300$, $\varepsilon = 0.41$, $\kappa = 0.152$, $\lambda=0.035$, $H1 = 76$, $\mu = 0.052$ και υπόγειας δεξαμενής $Y_0 = 253$, $H2 = 193$, $\xi = 0.088$ και $\varphi = 0.0045$).

4.6 ΛΕΚΑΝΗ ΒΟΙΩΤΙΚΟΥ ΚΗΦΙΣΣΟΥ

4.6.1 ΘΕΣΗ – ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ



Εικ. 1, 2: Γεωγραφική θέση και λεκάνη ποταμού Βοιωτικού Κηφισσού

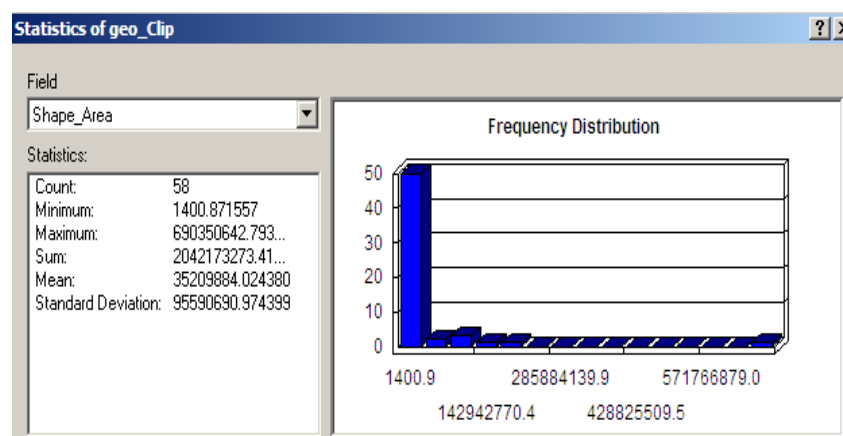
Στην περιοχή του Βοιωτικού Κηφισσού διακρίνονται τρεις χαρακτηριστικές μορφολογικές ενότητες: τα ορεινά συγκροτήματα Παρνασσού – Ελικώνα και Καλλιδρόμου – Χλωμού - Οίτη στο ΝΔ και Β τμήμα αντίστοιχα καθώς και το βύθισμα του Βοιωτικού Κηφισσού μεταξύ των ορεινών αυτών συγκροτημάτων.

4.6.2 ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

- Η λεκάνη δέχεται κατά μέσο όρο **878 mm** βροχή το χρόνο, που αναλογεί σε **$1,65 \cdot 10^9 \text{ m}^3$** νερό. Οι μέγιστες βροχοπτώσεις παρατηρούνται τους μήνες Δεκέμβριο και Ιανουάριο και οι χαμηλότερες το χρονικό διάστημα Απρίλιος - Σεπτέμβριος.
- Η επιφανειακή απορροή, μετρημένη στη σήραγγα της Καρδίτσας, εκτιμήθηκε σε **$375 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{έτος}$** .
- Η εξατμοδιαπνοή υπολογίστηκε κατά Turc στα **460 mm (57%)**, που αναλογεί σε **$938 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{έτος}$** (Παγούνης κ.α., 1994).

Εμβαδόν λεκάνης (με Λ.Υλίκης) = 2.403,2 Km²

Περίμετρος λεκάνης (με Λ.Υλίκης) = 364713 m



Σχήμα 1: Υπολογισμός έκτασης λεκάνης χωρίς την λίμνη Υλίκης.

Εμβαδόν λεκάνης (χωρίς Λ.Υλίκης) = 2042,17 Km²

Περίμετρος λεκάνης (χωρίς Λ.Υλίκης) = 295943 m

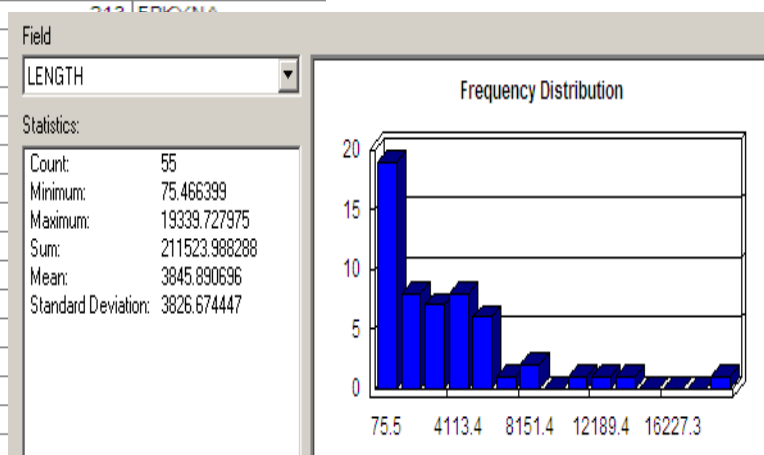
- Το υδατικό δυναμικό των λεκανών του Βοιωτικού Κηφισσού και Ασωπού υπερβαίνει τα **$800 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{έτος}$**
- Σημαντικές ποσότητες νερού (**$7,9 \text{ m}^3/\text{έτος}$**) του Βοιωτικού Κηφισσού διαφεύγουν σε διπλανές λεκάνες.
- Υπολογίζεται ότι από την περιοχή του Βοιωτικού Κηφισσού μπορούν να εξασφαλιστούν **$280 \cdot 10^6 \text{ m}^3$** το χρόνο για την ύδρευση της Πρωτεύουσας και **$270 \cdot 10^6 \text{ m}^3$** το πεντάμηνο Μάιος – Σεπτέμβριος για την άρδευση της Κωπαΐδας.
- Με βάση τα δεδομένα αυτά θα μπορούσε να εντατικοποιηθεί η αξιοποίηση των υπόγειων νερών που διαφεύγουν σε διπλανές λεκάνες, προκειμένου να ομαλοποιηθεί

η υδρολογική κατάσταση των λεκανών του Μόρνου και του Βοιωτικού Κηφισού (Παγούνης κ.α., 1993).

Από τη λεκάνη του Βοιωτικού Κηφισού γίνεται η κύρια τροφοδοσία της Υλίκης μέσω της Συγκεντρωτικής Διώρυγας Καρδίτσας και στη συνέχεια της Σήραγγας Καρδίτσας.

Πίνακας 1: Υπολογισμός μήκους των κυριότερων κλάδων του ποταμού στην λεκάνη

LENGTH	SRIVERS_	SRIVERS_ID	
5059.631776	606	173	ΚΗΦΙΣΟΣ
871.194622	610	414	ΚΗΦΙΣΟΣ
1028.458566	611	170	ΚΗΦΙΣΟΣ
263.206565	612	246	
1866.211089	614	415	ΚΗΦΙΣΟΣ
3747.368561	617	245	ΚΗΦΙΣΟΣ
277.407134	621	1725	
4862.327596	626	196	
1058.866498	627	193	ΚΗΦΙΣΟΣ
347.507186	628	1724	
2694.583538	629	239	
2068.832804	631	212	ΕΡΚΥΝΑ
2945.160181	632		
753.483293	633		
5118.098340	634		
13870.261208	1133		
4528.222371	1140		
4964.545209	1144		
8291.259313	1145		
1374.712152	1147		
3427.596270	1150		
4903.414826	1151		
11030.578832	1152		
3342.915881	1153		
3587.469384	1154		
13254.172092	1155		
2043.579758	1156		
19339.727975	1157	212	ΚΗΦΙΣΟΣ
6468.410236	1159	2	ΚΗΦΙΣΟΣ
2917.525567	1160	230	ΚΗΦΙΣΟΣ
103.905955	1210	531	
163.619118	1211	531	
6803.018700	1212	212	ΕΡΚΥΝΑ
6396.064836	1242	760	
75.466399	1243	194	



Σχήμα 2: Το συνολικό μήκος των κυριότερων κλάδων του ποταμού είναι:

$$L = 211523,988 \text{ m}$$

4.6.3 ΓΕΩΛΟΓΙΑ – ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ

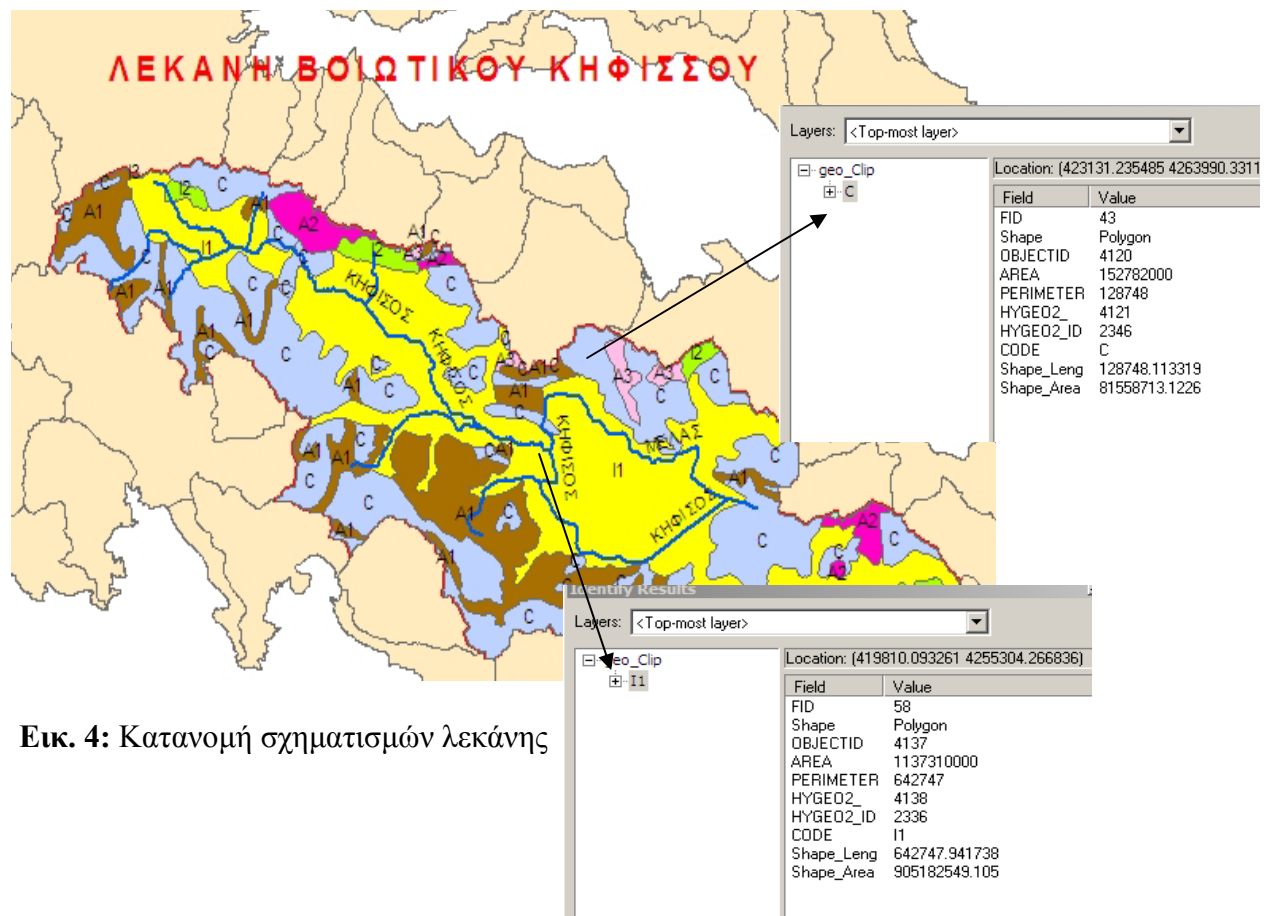


Εικ. 3: Υδρογεωλογικός χάρτης λεκάνης Βοιωτικού Κηφισσού

Υπόμνημα υδρογεωλογικού χάρτη:

I1	Κοκκώδεις προσχωματικές αποθέσεις κυμαινόμενης υδροπερατότητας
I2	Κοκκώδεις μη προσχωματικές αποθέσεις μέτριας έως πολύ μικρής υδροπερατότητας
I3	Κοκκώδεις μολασσικές αποθέσεις σχετικά μικρής υδροπερατότητας
C	Ασβεστόλιθοι και μάρμαρα εκτεταμένης ανάπτυξης, μέτριας έως υψηλής υδροπερατότητας
A1	Φλύσχης, γενικά αδιαπέρατος σχηματισμός
A2	Μεταμορφωμένα πετρώματα, γενικά αδιαπέρατοι σχηματισμοί, με μικρή έως πολύ μικρή υδροπερατότητα
A3	Πλουτώνια και ηφαιστειακά πετρώματα, γενικά αδιαπέρατοι με μικρή έως πολύ μικρή υδροπερατότητα

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ



Η περιοχή αποτελείται από τρία συστήματα πετρωμάτων, τα οποία ανήκουν στις γεωτεκτονικές ενότητες της Ανατολικής Ελλάδας (Υποπελαγονική), Παρνασσού – Γκιώνας και Βοιωτίας (Βοιωτικού φλύσχη). Διαφέρουν μεταξύ τους τόσο από πλευράς στρωματογραφίας όσο και από πετρολογικής σύστασης και τεκτονικής δομής.

Οι ασβεστόλιθοι αποτελούν τον κύριο γεωλογικό σχηματισμό της λεκάνης (40% της έκτασης), μέσα στον οποίο διαμορφώνονται υδροφόροι ορίζοντες και υδρογεωλογικές ενότητες. Οι καρστικοί υδροφόροι ορίζοντες με τα μεγάλα αποθέματα νερού αναπτύσσονται στους Κρητιδικούς και Ιουρασικούς ασβεστολίθους των ζωνών Ανατολικής Ελλάδος και Παρνασσού – Γκιώνας στον άνω και μέσο ρου του Βοιωτικού Κηφισσού καθώς και στις ασβεστολιθικές μάζες στη γύρω από τις λίμνες Υλίκη και Παραλίμνη περιοχή. Το γέμισμα (προσχώσεις) της Κωπαΐδας αποτελείται από σύγχρονες λιμναίες και ποταμοχειμαρρώδεις αποθέσεις, οι οποίες έχουν διαβρωθεί σε ελάχιστο βαθμό λόγω της νεαρής τους ηλικίας και δημιουργούν μία επίπεδη επιφάνεια εδάφους που είναι γνωστή σαν Κωπαϊδικό πεδίο.

Στη γεωμορφολογική διαμόρφωση της περιοχής σημαντικό ρόλο έπαιξε η έντονη και πολύπλοκη τεκτονική του Τεταρτογενούς, η οποία προκάλεσε τον κατακερματισμό της και τη δημιουργία ανανεωμένου ανάγλυφου, που ήταν εκτεθειμένο σε μια ιδιαίτερα έντονη διάβρωση, τα προϊόντα της οποίας παρατηρούνται σε διάφορες θέσεις με μορφή κορημάτων και ριπιδίων χειμάρρων. Χαρακτηριστικοί είναι οι κώνοι της Τιθορέας και του Πολύδροσου στις βόρειες κλιτύεις του Παρνασσού και οι αναβαθμίδες απόθεσης, αντιπροσωπευτικές γεωμορφολογικές μορφές του τύπου αυτού. Τεκτονικά και γεωφυσικά δεδομένα που προέκυψαν δείχνουν ότι τα πετρώματα του υποβάθρου τέμνονται από μεγάλο αριθμό ρηγμάτων, στην επίδραση των οποίων οφείλεται η δημιουργία τεκτονικών τάφρων και κεράτων, χαρακτηριστικών της σημερινής δομής της περιοχής. Μια λεπτομερέστερη εξέταση του υδρογραφικού δικτύου από τεκτονική πλευρά οδηγεί στο συμπέρασμα, ότι η δημιουργία του συνδέεται άμεσα με την τεκτονική δομή και εξέλιξη της περιοχής (Παγούνης κ.α., 1994).

Λόγω επομένως τεκτονικών γεγονότων η λεκάνη του Βοιωτικού Κηφισσού κατανέμεται σε τρεις υπολεκάνες, οι οποίες συμπίπτουν με τον άνω, μέσο και κάτω ρου. Η κλιμακωτή διάρθρωση της λεκάνης του ποταμού και οι πολλαπλές παρεμβολές των υδατοστεγανών σχηματισμών στα ασβεστολιθικά τεμάχια είχαν σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία ποικίλων γεωμορφολογικών δομών και ειδικότερα τη διαμόρφωση πολλαπλών υδρογεωλογικών ενοτήτων, οι οποίες μπορεί να είναι ανεξάρτητες ή να επικοινωνούν μεταξύ τους. Χαρακτηριστικό γνώρισμα των τριών παραπάνω υπολεκανών του είναι οι **μεταγγίσεις, διηθήσεις και επαναβλύσεις** του ίδιου νερού κατά μήκος του άξονα της κοιλάδας του Βοιωτικού Κηφισσού, με κατάληξη στις πηγές του Μέλανα και Πολύγυρα και σε συνέχεια στις λίμνες Υλίκη-Παραλίμνη και τον Ευβοϊκό Κόλπο. Τα ρυθμιστικά αποθέματα των καρστικών συστημάτων του Βοιωτικού Κηφισσού υπολογίζονται σε $450 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{έτος}$, και της Υλίκης και Παραλίμνης σε $40 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{έτος}$, στα οποία δεν συμπεριλαμβάνεται η τροφοδοσία τους από τις διαφυγές των λιμνών ($180 - 200 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{έτος}$).

Στη λεκάνη επίσης υπάρχει μεγάλος αριθμός καρστικών πηγών (περίπου 120). Οι μικρές παροχές είναι χαρακτηριστικές για τις πηγές των ορεινών τμημάτων της περιοχής, όπου οι λεκάνες τροφοδοσίας τους έχουν περιορισμένες διαστάσεις. Αντίθετα στα κράσπεδα της Κοπαΐδας και των άλλων πεδινών εκτάσεων

εντοπίζονται οι μεγαλύτερες πηγές της περιοχής οι οποίες εκφορτίζουν τους ορεινούς όγκους με μορφή μετώπων αναβλύσεων νερού. Γενικά οι παροχές των πηγών παρουσιάζουν μεγάλες διακυμάνσεις κατά τη διάρκεια του υδρολογικού έτους. Σε περιόδους παρατεταμένης ανομβρίας μερικές πηγές στερεύουν εντελώς. Οι σπουδαιότερες από αυτές είναι: πηγή Νερομάνας Επταλόφου, μέτωπο πηγών Αγ. Ελεούσας Πολυδρόσου – Λιλαίας, πηγές Δαύλειας, πηγές Προφ. Ηλία και Σελχίου Σφάκας, πηγές Μαυρονερίου, Μέλανα Πολύγυρας.

Περιοχή του Άνω Ρου του Βοιωτικού Κηφισσού: Η περιοχή αυτή περιλαμβάνει το κεντρικό τμήμα του καρστικού συστήματος του βόρειου Παρνασσού, ένα μικρό τμήμα της ανατολικής βουνοπλαγιάς της Γκιώνας και της Οίτης, το νοτιοανατολικό τμήμα του Καλλιδρόμου καθώς και την πεδινή περιοχή Μπράλου-Γραβιάς-Αμφίκλειας, με συνολική επιφάνεια 593 Km^3 .

Η μέση ετήσια μεταβολή της υδροστατικής στάθμης (ΔH_m) ανέρχεται στα 9,2m. Οι μέσες τιμές των συντελεστών μεταβιβασιμότητας (T_m) και αποθηκευτικότητας (S_m) έχουν ως εξής: $T_m = 4,9 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{sec}$, $S_m = 0,047$.

Ετήσια ρυθμιστικά αποθέματα: ύψους $256 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ νερό (από τη σχέση $W = \Delta H_m S$).

Περιοχή του Μέσου Ρου του Βοιωτικού Κηφισσού: Η λεκάνη αυτή αναπτύσσεται ανάντη των πηγών του Μαυρονερίου, Ακοντίου και Πολυγύρας. Καλύπτει μια έκταση 459 Km^2 . Η μέση ετήσια μεταβολή της πιεζομετρικής επιφάνειας (ΔH_m) κυμαίνεται γύρω στα 7,75 m. Οι υδρογεωλογικές παράμετροι έχουν τις ακόλουθες τιμές: $T_m = 1,6 \cdot 10^{-1} \text{ m}^2/\text{sec}$, $S_m = 0,052$.

Η μέση υδραυλική κλίση της πιεζομετρικής επιφάνειας (I_m) κυμαίνεται από 1,5-3‰. Μέσα ετήσια ρυθμιστικά αποθέματα: ύψους $185 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ ($W = \Delta H_m S$).

Περιοχή του Κάτω Ρου του Βοιωτικού Κηφισσού: α) Η περιοχή αυτή καταλαμβάνει το ΒΑ τμήμα του Ελικώνα και καλύπτει μια επιφάνεια 108 Km^2 . Ο καρστικός υδροφόρος είναι υπό πίεση και τροφοδοτεί ένα μέτωπο υπόθερμων πηγών που αναβλύζουν μεταξύ Λαφύστη και Αγ. Γεώργιο. Η μέση ετήσια μεταβολή της πιεζομετρικής επιφάνειας είναι 5,3 m. Οι υδρογεωλογικές παράμετροι του υδροφόρου έχουν τις εξής τιμές: $T_m = 1,27 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{sec}$, $S_m = 0,12$ και ρυθμιστικά ετήσια αποθέματα ύψους $68 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ νερό. β) Ο καρστικός υδροφόρος που αναπτύσσεται ανατολικά της Κοινότητας Παύλου, καλύπτει μια έκταση 105 Km^2 .

Η μέση ετήσια διακύμανση της στάθμης του υδροφόρου εκτιμάται γύρω στα 5,6 m. Με μια μέση τιμή του συντελεστή αποθηκευτικότητας $S_m=8\%$ προέκυψαν ρυθμιστικά αποθέματα ύψους $47 \cdot 10^6 \text{ m}^3$.

Στους κάμπους της Θήβας και των Βαγίων κατά την αρδευτική περίοδο, λειτουργούν γύρω στις 350 γεωτρήσεις, με μέση παροχή $60 \text{ m}^3/\text{h}$. Η αντλούμενη ποσότητα νερού την αρδευτική περίοδο διάρκειας 150 ημερών υπολογίζεται ότι ανέρχεται περίπου σε $31,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ (με 10 ώρες κατά μέσο όρο ημερησίως λειτουργίας των γεωτρήσεων).

Το μεγαλύτερο ποσοστό του νερού που κατεισδύει στα ορεινά συγκροτήματα του Παρνασσού-Ελικώνα και Καλλιδρόμου-Χλωμού, καταλήγει στη λεκάνη του Βοιωτικού Κηφισού παρουσιάζοντας γενικά δύο κύριες διευθύνσεις υπόγειας ροής, μια βορειοανατολική ως ανατολική και μια νοτιοανατολική.

Κατά μήκος της κύριας ζώνης αποστράγγισης του συστήματος παρατηρούνται αλληπάλληλες αναβλύσεις νερού (πηγές Πολύδροσου-Λιλαίας, Μαυρονερίου, Μέλανα Πολυγύρας, Λάρυμνας κλπ) και αλληπάλληλες, επίσης κατεισδύσεις μεταξύ των αναφερομένων πηγών στις περιοχές Αμφίκλεια – Μόδι – Βασιλικά – Μαυρονέρι – Ορχομενός, Πύργος – Κάστρο, με οριστική κατάληξη στον Ευβοϊκό κόλπο.

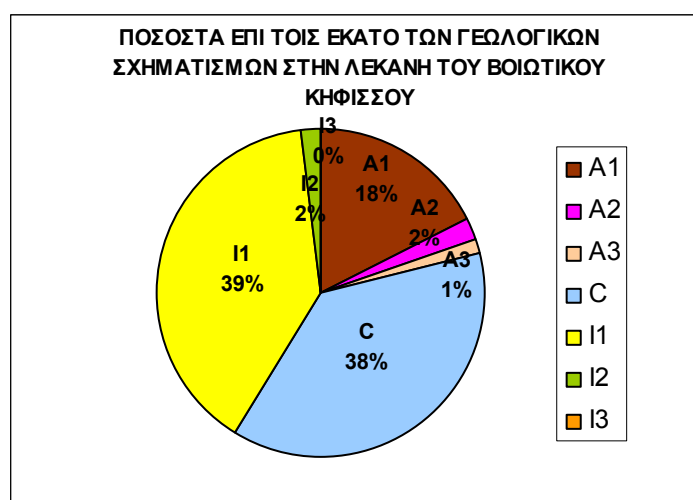
Στην περιοχή των βουνών Καλλιδρόμου (Μόδι-Ελάτια) και Χλωμού (Κολάκα-Πύργος) τα νερά εκφορτίζονται και προς βορειοανατολικά, για να καταλήξουν προφανώς στις πηγές των Καμμένων Βούρλων, της Τραγάνας κλπ στις παράκτιες περιοχές του Ευβοϊκού κόλπου. Διαφυγές νερού από τα όρια της λεκάνης του Βοιωτικού Κηφισού εκδηλώνονται επίσης προς τον Κορινθιακό κόλπο (πηγές Κίρρας, Αγ. Ισιδώρου, Λιβαδόστρας κλπ). Κατά τις πρόσφατες εκτιμήσεις του ΙΓΜΕ οι διαφυγές αυτές ανέρχονται σε $7,0 \text{ m}^3/\text{sec}$. Εκτός από τις πηγές αποστράγγισης βάσης στη μεταξύ Ορχομενού και Λειβαδιάς περιοχή εντοπίζεται ευρύ μέτωπο διέλευσης υπόγειου νερού προς την Κωπαΐδα, μέσω αλληπάλληλων στρωμάτων άμμων και κροκαλών.

Οι διαφυγές νερού από τους επιφανειακούς ταμιευτήρες της Υλίκης και Παραλίμνης είναι ένα ακόμα φαινόμενο, χαρακτηριστικό για τις υδρολογικές συνθήκες στη λεκάνη του Βοιωτικού Κηφισού (Παγούνης κ.α., 1994).

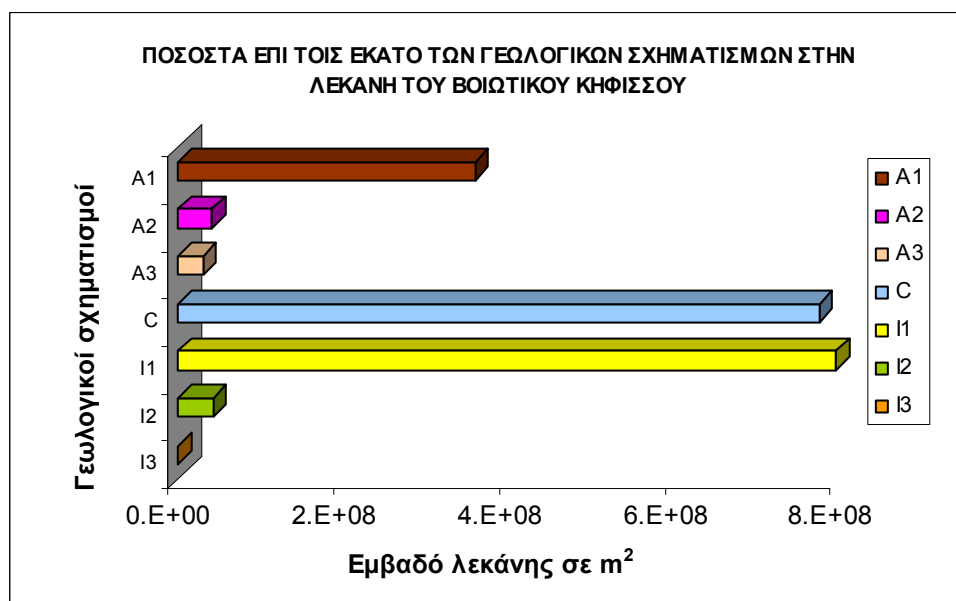
ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ

Πίνακας 2: Υπολογισμός έκτασης γεωλογικών σχηματισμών στη λεκάνη

Σχηματισμοί	Ποσοστό συμμετοχής στην λεκάνη του Βοιωτικού Κηφισσού σε m ²	Ποσοστό συμμετοχής στην λεκάνη του Βοιωτικού Κηφισσού σε Km ²
A1	359371460.762	359.371
A2	40954684.557	40.954
A3	30033353.620	30.033
C	774378885.260	774.378
I1	795140098.469	795.140
I2	42078040.082	42.078
I3	216750.665	216.750
SUM	2042173273.414	2042.173



Σχήμα 3: Κυκλικό διάγραμμα με τα ποσοστά επί τοις % συμμετοχής των γεωλογικών σχηματισμών στη λεκάνη

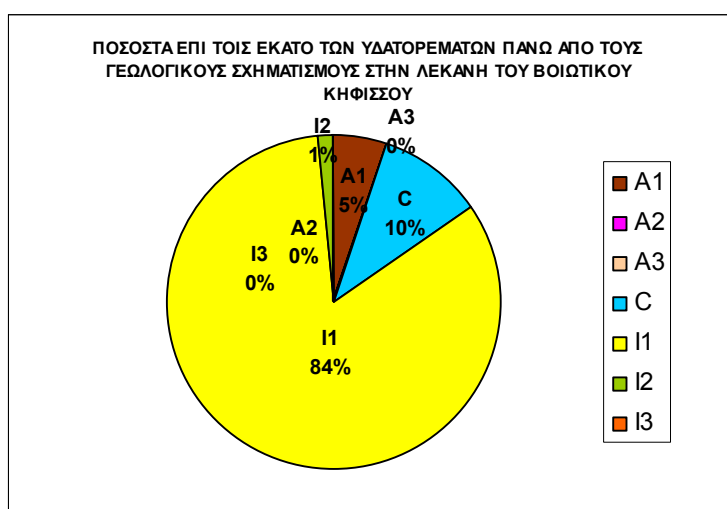


Σχήμα 4: Ραβδόγραμμα με τα ποσοστά συμμετοχής των γεωλογικών σχηματισμών στη λεκάνη

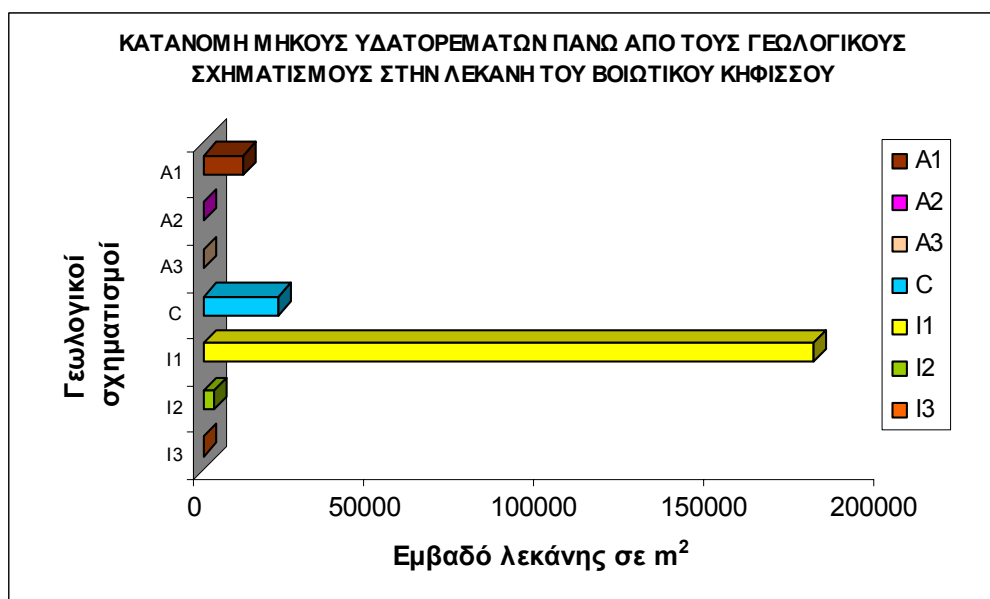
ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΥΔΑΤΟΡΕΥΜΑΤΩΝ

Πίνακας 3: Υπολογισμός μήκους υδατορευμάτων που διατρέχουν τους γεωλογικούς σχηματισμούς της λεκάνης Βοιωτικού Κηφισσού

Σχηματισμοί	Μήκος υδατορευμάτων που περνάνε πάνω από τους σχηματισμούς σε m
A1	11619.980
A2	0.000
A3	0.000
C	21821.909
I1	179566.212
I2	2788.930
I3	0.000
SUM	215797.031



Σχήμα 5: Κυκλικό διάγραμμα με τα ποσοστά επί τοις % του μήκους των υδατορευμάτων που διατρέχουν τους σχηματισμούς της λεκάνης



Σχήμα 6: Ραβδόγραμμα με τα ποσοστά του μήκους των υδατορευμάτων που διατρέχουν τους σχηματισμούς στη λεκάνη

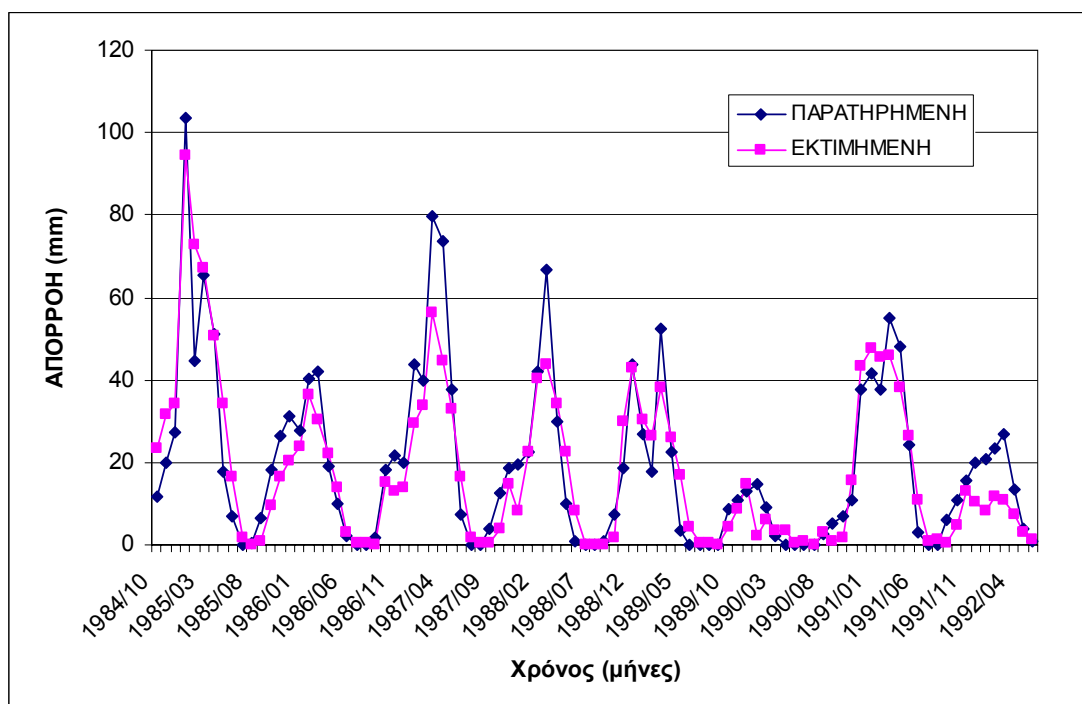
4.6.4 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Για το μοντέλο χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα βροχόπτωσης, εξατμοδιαπνοής και απορροής για 10 υδρολογικά έτη, 1984 – 1994, εδώ υπήρχαν για την ίδια δεκαετία και δεδομένα αντλήσεων.

Πίνακας 4: Προσδιορισμός παραμέτρων για τη λεκάνη Βοιωτικού Κηφισού.

K	307	248	248	248	248	248
ε	0.2	0.46	0.55	0.8	0.8	0.8
κ	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.14
So	0	0	0	0	0	0
λ	0.037	0.038	0.038	0.038	0.038	0.041
H1	76	68	68	68	68	68
μ	0.086	0.15	0.15	0.062	0.12	0.15
ξ	0.04	0.028	0.028	0.04	0.04	0.028
φ	0.011	0.005	0.005	0.005	0.05	0.005
H2	193	185	185	185	185	285
Yo	253	285	285	285	285	185
Nash	0.8056	0.7527	0.7818	0.7614	0.7858	0.8076

→ Βέλτιστος Nash



Σχήμα 7: Διάγραμμα παρατηρημένων απορροών και εκτιμημένων από το μοντέλο Ζυγός Βέλτιστος Συντελεστής Nash λεκάνης Βοιωτικού Κηφισού = 0.80768

(τιμές παραμέτρων $K=248$, $\varepsilon=0.8$, $\kappa=0.14$, $\lambda=0.041$, $H1=68$, $\mu=0.15$ και υπόγειας δεξαμενής $Y_o=285$, $H2=185$, $\xi=0.028$ και $\varphi=0.005$).

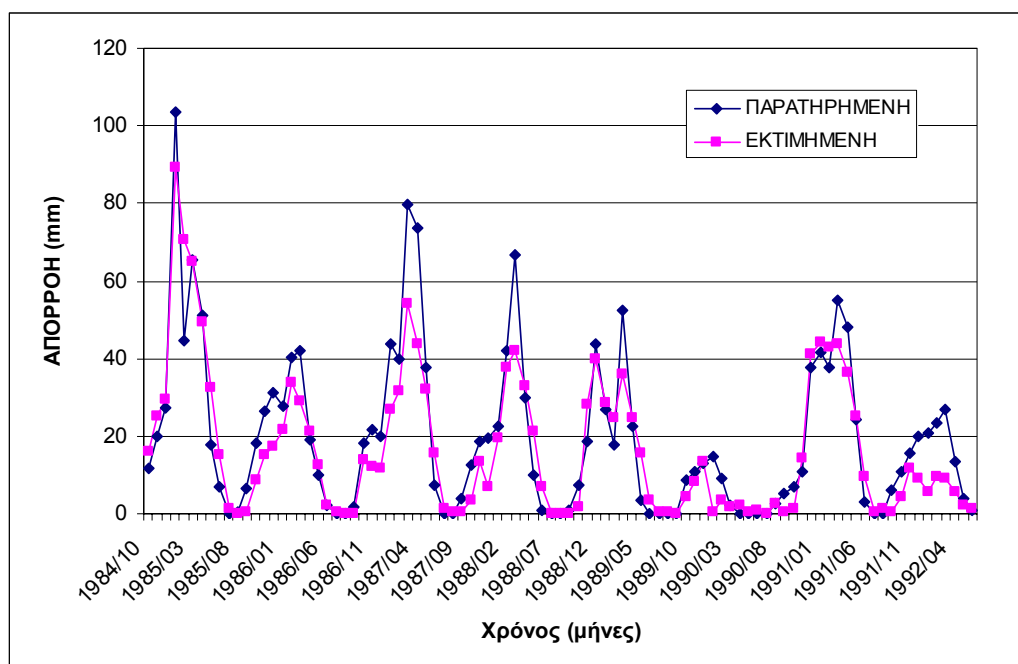
βαθμός διήθησης στη λεκάνη του Βοιωτικού Κηφισσού κατά μέσο όρο είναι μεγάλος. Ο συντελεστής Nash έδειξε σημαντική ευαισθησία στις μεταβολές της παραμέτρου μ που εκφράζει τον ρυθμό εκφόρτισης της εδαφικής δεξαμενής για παραγωγή υπόγειας ροής. Σταδιακά αυξάνεται μέχρι την τιμή του $\mu = 0.12$ ($R = 0.07858$) και από την τιμή αυτή και πάνω παρουσιάζει μία ελαφρά πτώση με εξίσου όμως ικανοποιητικά αποτελέσματα (για $\mu = 0.15 \rightarrow R = 0.07858$, για $\mu = 0.18 \rightarrow R = 0.07843$). Οι καλύτερες επομένως τιμές της παραμέτρου μ θεωρούνται ότι βρίσκονται μεταξύ του **0.12 – 0.19**. Οι τιμές αυτές του ρυθμού εκφόρτισης της εδαφικής δεξαμενής θεωρούνται **ιδιαίτερα υψηλές** και είναι από τις υψηλότερες που έχουν σημειωθεί στην υπάρχουσα εργασία (εδώ στην περίπτωση του Βοιωτικού Κηφισσού και στη λεκάνη του Αποσελέμη) και συμφωνεί με τις **υψηλές τιμές διήθησης** που καταγράφονται στη λεκάνη. Κάτω από την τιμή του 0.12 ο συντελεστής Nash μειώνεται σταδιακά πχ για δοκιμές με σταθερές τις τιμές των υπόλοιπων παραμέτρων και με μείωση του μ έχουμε για $\mu = 0.12 \rightarrow$ συντελεστής Nash = 0.7817, για $\mu = 0,087 \rightarrow$ συντελεστής Nash = 0.7752, για $\mu = 0,073 \rightarrow$ συντελεστής Nash = 0.7694 και για $\mu = 0,05 \rightarrow$ συντελεστής Nash = 0.7426 (οι υπόλοιποι παράμετροι έχουν τιμές $K = 248$, $\varepsilon = 0.8$, $\kappa = 0.13$, $\lambda = 0.038$, $H=68$, $\xi = 0.04$, $\varphi = 0.005$, $H2 = 185$, $Y_0 = 285$).

5. Επίσης υψηλός είναι και ο ρυθμός των διαφυγών του Βοιωτικού Κηφισσού (χωρίς την λίμνη της Υλίκης) ο συντελεστής Nash βελτιστοποιείται με $\varphi = 0.005$. Οι διαφυγές οφείλονται στην τροφοδοσία γειτονικών λεκανών και στις μεγάλες απολήψεις νερού για την κάλυψη υδρευτικών και αρδευτικών αναγκών.

6. Το μεγαλύτερο ποσοστό των υδατορευμάτων, **84%** διατρέχει **προσχωματικές αποθέσεις** κυμαινόμενης υδροπερατότητας και ένα μικρό ποσοστό, της λεκάνης, **5%**, από τους **ασβεστόλιθους** υψηλής έως μέτριας υδροπερατότητας. Ο ρυθμός εκφόρτισης της υπόγειας δεξαμενής για παραγωγή βασικής ροής είναι μέτριος $\xi=0.028$ αλλά στις μεταβολές του ο συντελεστής Nash εμφανίζει αυξημένη ευαισθησία ($R = 0.7023 \rightarrow 0.8030$ με αντίστοιχη μεταβολή του $\xi = 0.013 \rightarrow 0.019$). Ειδικότερα μεταβάλλοντας την παράμετρο ξ έχουμε: για $\xi = 0.013 \rightarrow$ συντελεστής Nash = 0.7023, για $\xi = 0.019 \rightarrow$ συντελεστής Nash = 0.7748 και για $\xi = 0.025 \rightarrow$ συντελεστής Nash = 0.8030, διατηρώντας τις υπόλοιπες παραμέτρους ως εξής: $K=248$, $\varepsilon=0.8$, $\kappa=0.13$, $\lambda=0.038$, $H1=68$, $\mu=0.15$, $Y_0 = 285$, $H2 = 185$ και $\varphi = 0.005$).

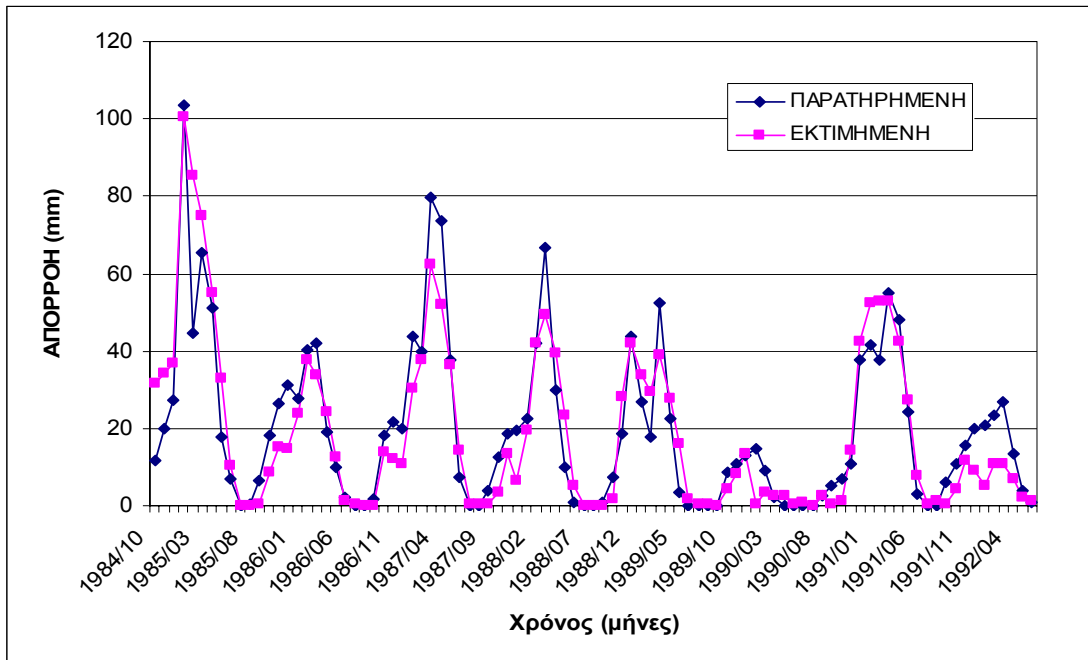
7. Η λεκάνη του Βοιωτικού Κηφισσού εμφανίζει τα πιο ασαφή αποτελέσματα όσον αφορά τον ρυθμό εκφόρτισης της εδαφικής δεξαμενής για την παραγωγή άμεσης απορροής γιατί η παράμετρος αυτή, κ , είχε πολύ μικρή επίδραση στη μεταβολή του συντελεστή Nash. Αναλυτικότερα: για $\kappa = 0.18 \rightarrow$ συντελεστής Nash = 0.7956, για $\kappa = 0.15 \rightarrow$ συντελεστής Nash = 0.8069, για $\kappa = 0.13 \rightarrow$ συντελεστής Nash = 0.8048 και για $\kappa=0.11 \rightarrow$ συντελεστής Nash = 0.801, διατηρώντας τις υπόλοιπες παραμέτρους ως εξής: $K=248$, $\varepsilon = 0.8$, $\lambda = 0.038$, $H1 = 68$, $\mu = 0.15$, $Y_0 = 285$, $H2 = 185$, $\xi = 0.028$ και $\varphi = 0.005$).

8. Οι μεταβολές των τιμών των υπόλοιπων παραμέτρων: της χωρητικότητας της εδαφικής και υπόγειας δεξαμενής, K και Y_0 , των αντίστοιχων κατωφλίων τους, $H1$ και $H2$ για παραγωγή βασικής και υποδερμικής ροής καθώς και ο ρυθμός εκφόρτισης της εδαφικής δεξαμενής για την παραγωγή της υποδερμικής ροής επηρεάζουν ελάχιστα τον συντελεστή Nash και δεν θεωρείται σκόπιμο να σχολιαστούν περαιτέρω.



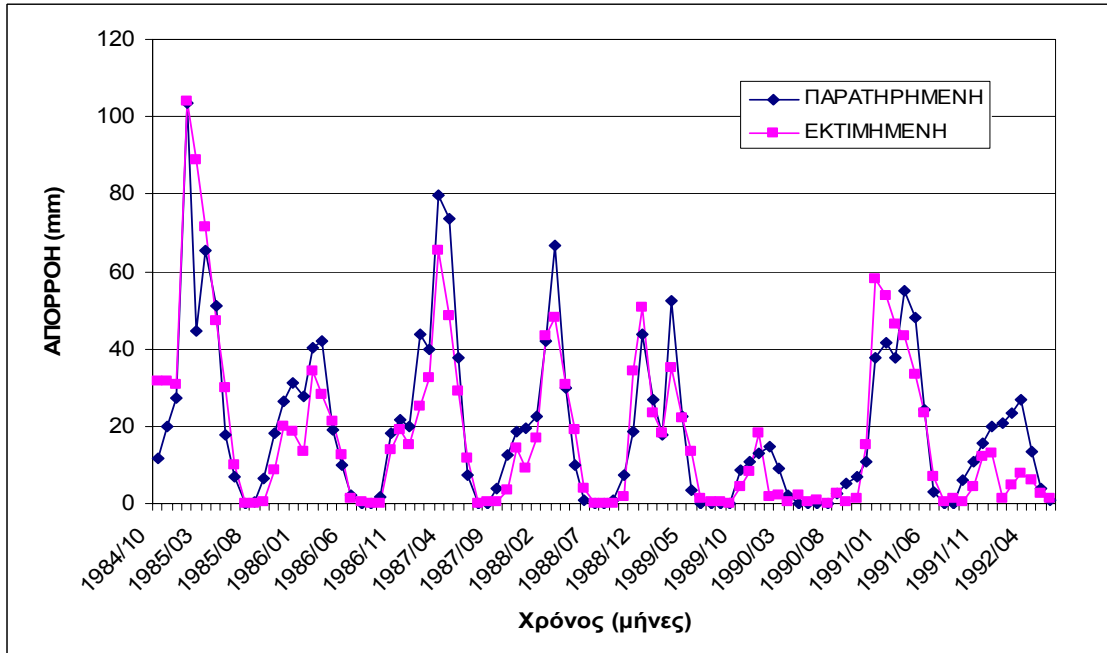
Σχήμα 8: Διάγραμμα παρατηρημένων απορροών και εκτιμημένων από το μοντέλο Ζυγός Συντελεστής Nash λεκάνης Βοιωτικού Κηφισσού = 0.80192

(τιμές παραμέτρων $K=248$, $\varepsilon = 0.8$, $\kappa = 0.13$, $\lambda=0.038$, $H1 = 68$, $\mu = 0.15$ και υπόγειας δεξαμενής $Y_0= 285$, $H2 = 185$, $\xi = 0.028$ και $\varphi = 0.005$).



Σχήμα 9: Διάγραμμα παρατηρημένων απορροών και εκτιμημένων από το μοντέλο Ζυγός Συντελεστής Nash λεκάνης Βοιωτικού Κηφισσού = 0.7858

(τιμές παραμέτρων $K=248$, $\varepsilon = 0.8$, $\kappa = 0.13$, $\lambda=0.038$, $H1 = 68$, $\mu = 0.12$ και υπόγεια δεξαμενής $Y_0 = 285$, $H2 = 185$, $\xi = 0.04$ και $\varphi = 0.005$).



Σχήμα 10: Διάγραμμα παρατηρημένων απορροών και εκτιμημένων από το μοντέλο Ζυγός Συντελεστής Nash λεκάνης Βοιωτικού Κηφισσού = 0.7614

(τιμές παραμέτρων $K=248$, $\varepsilon = 0.8$, $\kappa = 0.13$, $\lambda=0.038$, $H1 = 68$, $\mu = 0.062$ και υπόγεια δεξαμενής $Y_0 = 285$, $H2 = 185$, $\xi = 0.028$ και $\varphi = 0.005$).

4.7 ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΣΕΛΕΜΗ

4.7.1 ΘΕΣΗ – ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ



Εικ. 1, 2: Γεωγραφική θέση και λεκάνη χειμάρρου Αποσελέμη

Ο χειμάρρος του Αποσελέμη διασχίζει την πεδιάδα της Λαγάδας που περιλαμβάνει τα χωριά Ποταμιές, Σφεντύλι, Αβδού και Γωνιές και εκβάλει στον κόλπο των Μαλιών ανάμεσα στον Δήμο Γουβών και τον Δήμο Χερσονήσου.

Οι εκβολές του Αποσελέμη είναι υδροβιότοπος διεθνώς καταγεγραμμένος με τον κωδικό 431395000 αλλά αρκετά υποβαθμισμένος (www.ecocrete.gr/index.php).

4.7.2 ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

- Η υδρολογική λεκάνη ανάντη του φράγματος Αποσελέμη έχει έκταση **62,4 km²**
- η μέση ετήσια επιφανειακή απορροή του Οροπεδίου Λασιθίου στη θέση του υδρομετεωρολογικού σταθμού Κάτω Μετοχίου (ΥΕΒ) είναι **16,7 hm³** και ο μέσος ετήσιος όγκος βροχής είναι **169,2 hm³**
- η μέση ετήσια επιφανειακή απορροή της λεκάνης του Αποσελέμη στη θέση του υδρομετεωρολογικού σταθμού Ποταμιές (ΥΕΒ) είναι **11,5 hm³** και ο μέσος ετήσιος όγκος βροχής είναι **76,7 hm³**.

- Η τροφοδοσία του ταμιευτήρα Αποσελέμη προέρχεται από την απορροή της ανάντη του φράγματος υδρολογικής λεκάνης καθώς και από τις επιφανειακές απορροές της υδρολογικής λεκάνης του Οροπεδίου Λασιθίου.
- Υπάρχουν ενδείξεις ότι και σήμερα (χωρίς να έχει κατασκευαστεί σήραγγα εκτροπής) ένα μέρος των επιφανειακών απορροών της λεκάνης του Οροπεδίου Λασιθίου που κατεισδύουν στο Χώνο καταλήγει και πάλι στη λεκάνη του Αποσελέμη, αφού εκφορτιστεί επιφανειακά, κατά μεγάλη πιθανότητα στις αποκαλούμενες πηγές Κασταμονίτσας. Οι πηγές αυτές αναβλύζουν σε απόσταση περίπου 2.5 km δυτικά των καταβοθρών του Χώνου Οροπεδίου Λασιθίου και 2.5 km ΝΔ από το χωριό Αβδού. Αναπτύσσονται επί μήκους ενός χιλιομέτρου του ανάντη νοτιοδυτικού κλάδου του χειμάρρου Αποσελέμη, σε υψόμετρο + 480 m. Λειτουργούν περιοδικά, εμφανίζοντας πολύ μεγάλες παροχές αποκλειστικά και μόνο κατά τη διάρκεια πλημμυρών.
- από την ανάλυση πλημμυρογραφημάτων τεκμηριώνεται εμπειρικά η ύπαρξη διαύλου επικοινωνίας μεταξύ των δυο λεκανών.
- Δεδομένα υδρομετρήσεων επιβεβαιώνουν ότι οι πηγές Κασταμονίτσας λειτουργούν μόνο όταν πραγματοποιούνται έντονα πλημμυρικά επεισόδια στο Οροπέδιο Λασιθίου και εκφορτίζονται πάρα πολύ γρήγορα μετά τη διακοπή των βροχοπτώσεων (Κουτσογιάννης κ.α., 2003).
- Από το Δήμο Χερσονήσου αντί της κατασκευής του φράγματος προτείνεται ο τεχνητός εμπλουτισμός των υπόγειων νερών στις κοιλάδες του Καστελίου και της Λαγκάδας με ήπιες επεμβάσεις. Ακόμη προτείνεται η κατασκευή μικρού συστήματος φραγμάτων για τη συγκράτηση των πλημμυρικών νερών της λεκάνης του Αποσελέμη που μπορεί να παίξει σημαντικό ρόλο στη βελτίωση των συνθηκών για το περιβάλλον, την οικονομία και τη ζωή των κατοίκων.

Με βάση την παρατήρηση των χαρακτηριστικών των ιστορικών υδρογραφημάτων τα κύρια συμπεράσματα που προκύπτουν είναι:

1. στη λεκάνη Αποσελέμη παρατηρούνται ισχυρά επεισόδια βροχής, συχνά με μικρή ή και ανύπαρκτη επιφανειακή απορροή (γεγονός που οφείλεται στη μεγάλη διαπερατότητα των πετρωμάτων της περιοχής).

2. τα υδρογραφήματα της λεκάνης Αποσελέμη στη θέση Ποταμιές παρουσιάζουν πολύ μεγάλη ομοιότητα με τα αντίστοιχα στην έξοδο του Οροπεδίου Λασιθίου (τα πλημμυρικά επεισόδια των δυο λεκανών σχεδόν πάντα ταυτίζονται)

3. αν και γενικά φαίνεται ότι όταν το Οροπέδιο Λασιθίου πλημμυρίζει είναι πολύ πιθανό όλη σχεδόν η παροχή να καταλήξει στον Αποσελέμη υπάρχουν και ορισμένες περιπτώσεις που αυτό δε συμβαίνει (π.χ κατά τη διάρκεια πλημμυρικού επεισοδίου στο Οροπέδιο στις 5/2/83, η παροχή του Αποσελέμη διατηρήθηκε σχεδόν μηδενική, Κουτσογιάννης κ.α., 2003).

Σήμερα τα κύρια έργα που σχεδιάζονται εκεί είναι:

- α) Έργα προσαγωγής των νερών του οροπεδίου Λασιθίου στον ταμιευτήρα του Αποσελέμη.
- β) Το φράγμα και ο ταμιευτήρας Αποσελέμη και τα συναφή έργα.
- γ) Ο αγωγός μεταφοράς νερού από το φράγμα μέχρι την εγκατάσταση καθαρισμού νερού
- δ) Η εγκατάσταση καθαρισμού και διύλιση του νερού.
- ε) Ο κύριος αγωγός μεταφοράς νερού από την εγκατάσταση καθαρισμού στο Ηράκλειο.
- στ) Ο κύριος αγωγός μεταφοράς νερού από την εγκατάσταση καθαρισμού μέχρι τον Άγιο Νικόλαο.
- ζ) Τα έργα ενισχύσεως ταμιευτήρα Αποσελέμη από το οροπέδιο Λασιθίου: 1) Έργα απομονώσεως καταβόθρων (περιοχή Χώνος) και διευθέτηση προσαγωγών τάφρων προς την σήραγγα εκτροπής και 2) Έργα εισόδου σήραγγας εκτροπής.

Όσον αφορά το φράγμα στη θέση Σφενδυλίου:

- Οι παροχές εισροής στο σχεδιασμένο ταμιευτήρα όπως έχει σχεδιαστεί είναι μη ρεαλιστικές (αντί των 27.8 Mm³ εισροής αναμένονται περίπου 18.5 Mm³).

- Η εγγυημένη απόληψη από το έργο είναι μικρότερη και από τα 13.5 Mm³ που είχε υποστηριχθεί το 2002. Από αυτή την απόληψη πρέπει να εξυπηρετηθούν οι πόλεις του Ηρακλείου και του Αγ. Νικολάου καθώς και η Βόρεια Παραλιακή ζώνη
- Με βάση τη χρηματοοικονομική ανάλυση το έργο όπως προωθείται, αλλά και με την αναμενόμενη ρεαλιστική απόληψη, είναι ιδιαίτερα αντιοικονομικό
- Το σύστημα των έργων αδικεί κατάφορα το Οροπέδιο από πλευράς ανάπτυξης, αφού δεσμεύει όλους τους επιφανειακούς υδατικούς πόρους και θέτει σε κίνδυνο το υδατικό ισοζύγιο της περιοχής και ευρύτερα το περιβάλλον
- Ο κίνδυνος για τον οικισμό Ποταμιές από το ενδεχόμενο θραύσης του φράγματος είναι μεγάλος, επομένως απαιτείται η μετεγκατάσταση τμήματος του οικισμού σε μεγαλύτερο υψόμετρο
- Το έργο όπως σχεδιάζεται να υλοποιηθεί μόνο κατ' ευφημισμό μπορεί να θεωρηθεί περιβαλλοντικό, όπως έχει χαρακτηριστεί (Τσακίρης, 2005).



Εικ. 2: Θέση υδρολογικής λεκάνης Αποσελέμη (κίτρινο χρώμα) και λεκάνης Οροπεδίου του Λασιθίου (ρόζ χρώμα).

ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΑΝΑΝΤΗ ΥΔΡ.ΣΤΑΘΜΟΥ ΠΟΤΑΜΙΕΣ

Η λεκάνη έχει έκταση 76,6 km²

Το μέσο υψόμετρο της λεκάνης είναι 547,8 m

Για τον υπολογισμό της μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης χρησιμοποιούνται τα δεδομένα 4 βροχομετρικών σταθμών των οποίων το μέσο υψόμετρο είναι 301,5 m και βρίσκονται στις περιοχές Αβδού, Τζερμιάδο και Αρμάχα.

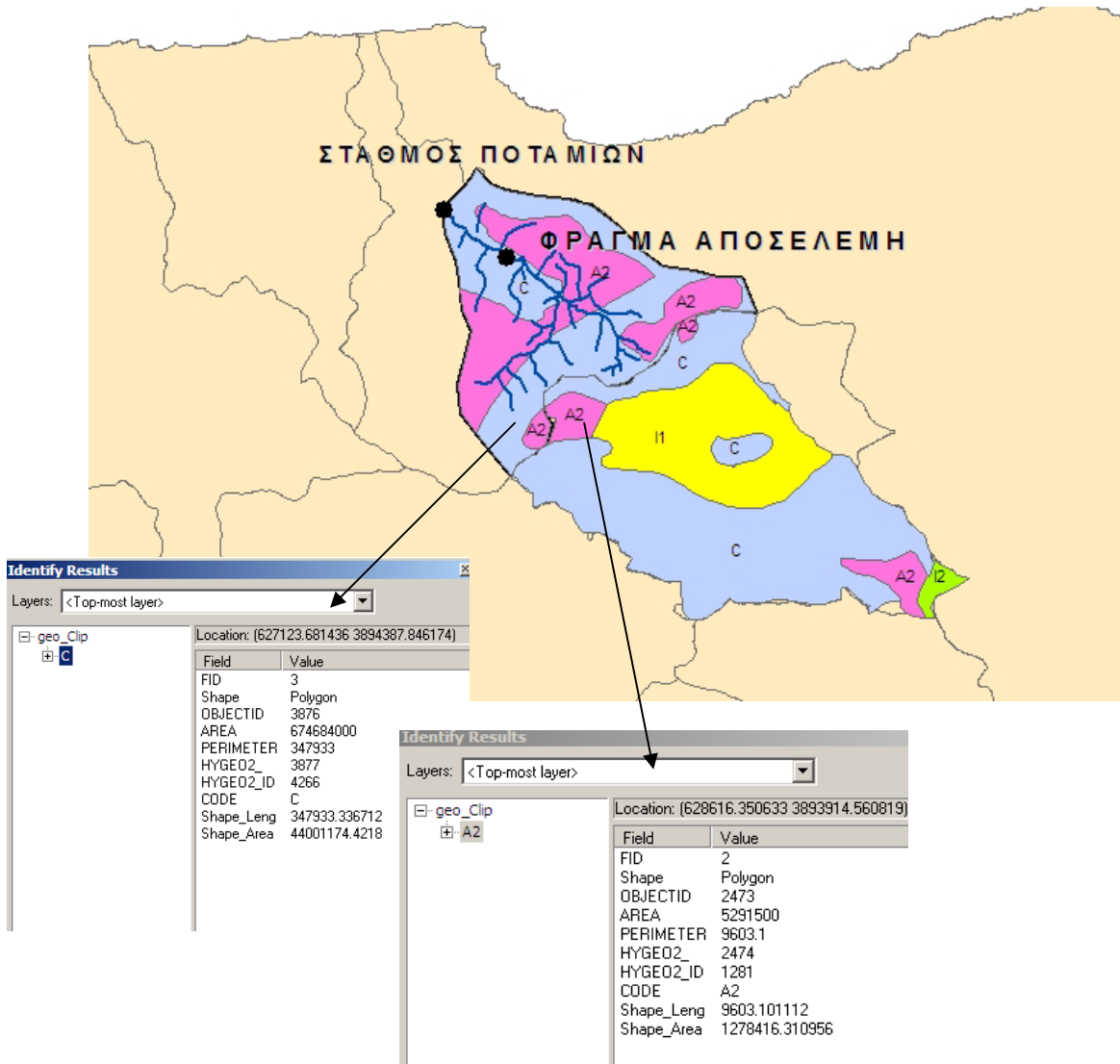
ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΟΡΟΠΕΔΙΟΥ ΛΑΣΙΘΙΟΥ

Η λεκάνη έχει έκταση 130,1 km²



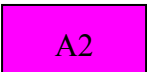

Το μέσο υψόμετρο της λεκάνης είναι 1114,6 m

Για τον υπολογισμό της μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης χρησιμοποιούνται τα δεδομένα 5 βροχομετρικών σταθμών των οποίων το μέσο υψόμετρο είναι 791,8 m και βρίσκονται στις περιοχές Αγ. Γεωργίου, Αβδού, Τζερμιάδο, Έξω Ποταμοί και Αρμάχα.

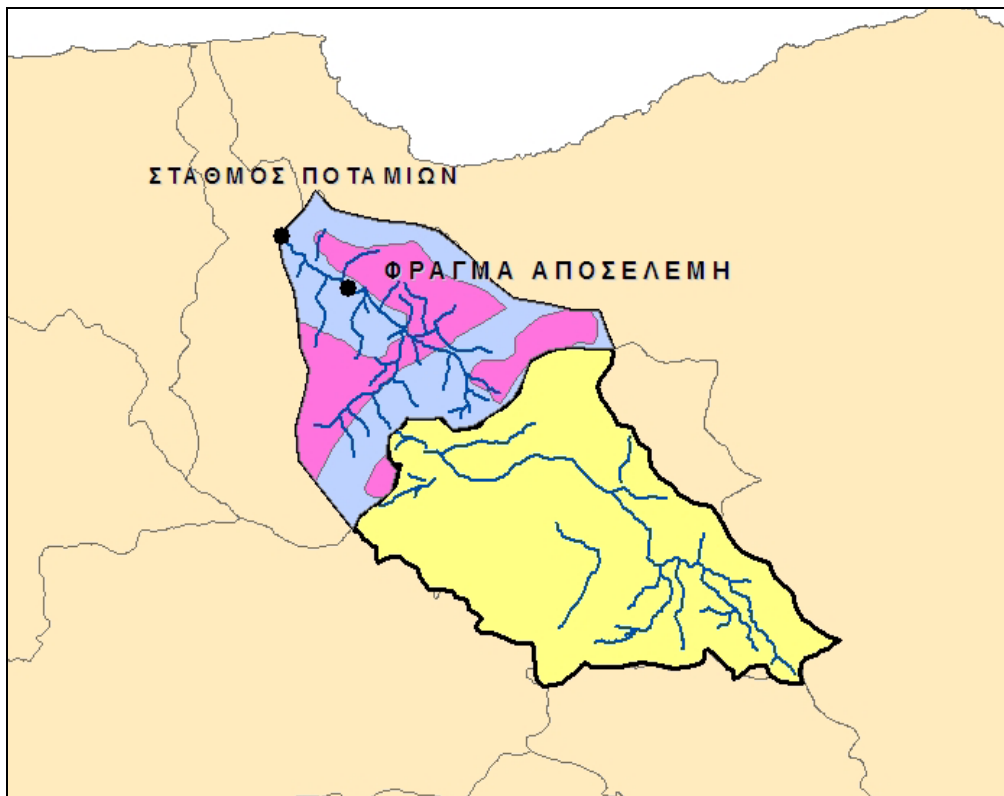
4.7.3 ΓΕΩΛΟΓΙΑ – ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ



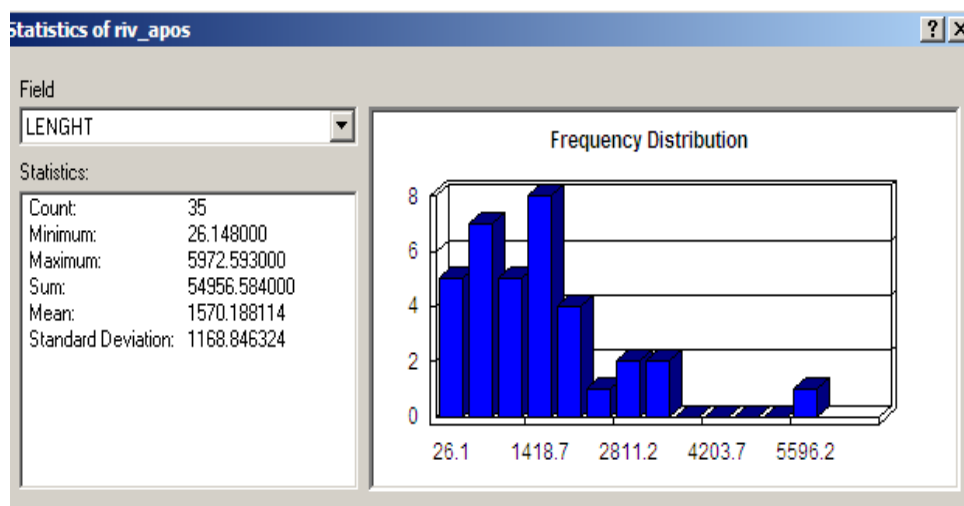
Υπόμνημα υδρογεωλογικού χάρτη:

- 
Κοκκώδεις προσχωματικές αποθέσεις κυμαινόμενης υδροπερατότητας
- 
Ασβεστόλιθοι και μάρμαρα εκτεταμένης ανάπτυξης, μέτριας έως υψηλής υδροπερατότητας
- 
Μεταμορφωμένα πετρώματα, γενικά αδιαπέρατοι σχηματισμοί, με μικρή έως πολύ μικρή υδροπερατότητα
- 
Κοκκώδεις μη προσχωματικές αποθέσεις μέτριας έως πολύ μικρής υδροπερατότητας

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ



Εικ. 3: Θέση υδρολογικής λεκάνης ανάντη του υδρομετρικού σταθμού Ποταμιών και οι γεωλογικοί σχηματισμοί που τη δομούν



Σχήμα 1: Το συνολικό μήκος των κυριότερων κλάδων του Αποσελέμη είναι ίσο με $L = 54956,584$ m

Από γεωλογικής άποψης, το ορεινό συγκρότημα της Δίκτης αποτελείται από μια μεγάλη ποικιλία γεωλογικών σχηματισμών που ανήκουν σε διαφορετικές γεωτεκτονικές ενότητες-ζώνες και οι οποίες έχουν υποστεί τη δράση αλληπαλλήλων πτυχογόνων και ρηγματογόνων τεκτονικών διεργασιών. Κάθε γεωτεκτονική ενότητα συγκροτείται από συγκεκριμένες λιθολογίες που, άλλες εξ αυτών είναι υδροπερατές (π.χ. ανθρακικά πετρώματα) και άλλες αδιαπέρατες (π.χ. φλύσχης ή φυλλίτες). Οι ενότητες που απαντούν στην ορεινή μάζα της Δίκτης, από κάτω προς τα επάνω, είναι: i) η ενότητα Κρήτης – Μάνης ή ενότητα των Πλακωδών ασβεστολίθων, ii) η ενότητα των Φυλλιτών – Χαλαζιτών, iii) η ενότητα της Τρίπολης, iv) η ενότητα της Πίνδου και v) οι ενότητες των ανώτερων τεκτονικών καλυμμάτων. Χαρακτηριστικό γνώρισμα της δομής των λασιθιώτικων ορέων είναι η λεπιοειδής διάταξη των προαναφερθέντων γεωτεκτονικών ενοτήτων, αποτέλεσμα των αλπικών πτυχώσεων, οι οποίες κορυφώθηκαν πριν από 25-30 εκατομμύρια χρόνια.

Ιδιαίτερη σημασία για τη διαμόρφωση των υδρογεωλογικών συνθηκών του συγκροτήματος της Δείκτης έχουν i) οι γεωλογικοί σχηματισμοί των ενοτήτων Κρήτης-Μάνης, Φυλλιτών –Χαλαζιτών και Τρίπολης, που έχουν μεγάλη επιφανειακή ανάπτυξη ii) η λεπιοειδής διάταξη των γεωτεκτονικών ενοτήτων iii) ο ρηγματογόνος τεκτονισμός και iv) οι πάσης φύσεως ασυνέχειες που κατατέμνουν τα υδροπερατά πετρώματα. Η λεπιοειδής διάταξη και ο ρηγματογόνος τεκτονισμός έχουν ως αποτέλεσμα ή την υπέρθεση υδροπερατών σχηματισμών πάνω από αδιαπέρατους σχηματισμούς, ή την υδραυλική επικοινωνία υδροπερατών σχηματισμών που ανήκουν σε διαφορετικές γεωτεκτονικές ενότητες. Οι πάσης φύσεως ασυνέχειες, που κατατέμνουν τα υδροπερατά πετρώματα των ενοτήτων και ιδιαίτερα τα ανθρακικά, ελέγχουν και καθορίζουν την ανάπτυξη και εξέλιξη των διαφόρων επιφανειακών καρστικών μορφών και επηρεάζουν την κατείσδυση του νερού της βροχής στα πετρώματα. Η ανάπτυξη υπόγειων καρστικών μορφών (πχ. σπηλαίων) και η “τύχη” των νερών που κατεισδύουν στα πετρώματα καθορίζεται στη συνέχεια από τη σχέση των τεκτονικών ενοτήτων μεταξύ τους, η οποία είναι ιδιαίτερα πολύπλοκη (Α. Αλεξόπουλος, 2005).

Στην ευρύτερη περιοχή απαντούν μεταξύ άλλων δυο κύριες υδρολογικές και ταυτόχρονα υδρογεωλογικές ενότητες: η λεκάνη του Αποσελέμη και η λεκάνη του οροπέδιου του Λασιθίου. Η δεύτερη τροφοδοτεί, μέσω καταβοθρών, τόσο τη λεκάνη του Αποσελέμη, όσο και υδρογεωλογικά συστήματα έξω από τα υδρολογικά της όρια.

Ειδικότερα, από τη μελέτη των γεωλογικών και υδρογεωλογικών συνθηκών του ορεινού συγκροτήματος «Δίκτυ» έχει προκύψει ότι το τελευταίο, μαζί με τους νεότερους γεωλογικούς σχηματισμούς αλλά και το χείμαρρο «Αποσελέμη», αποτελεί ένα ενιαίο υδραυλικό σύστημα, στο οποίο επιφανειακά και υπόγεια νερά βρίσκονται σε άμεση αλληλεξάρτηση. Οποιαδήποτε παρέμβαση στα μεν επηρεάζει άμεσα τα δε.

Το οροπέδιο, και ιδιαίτερα μέσω της καταβόθρας του Χώνου, συμβάλλει ουσιωδώς στην τροφοδοσία τόσο των υδροφόρων συστημάτων αλλά και των πηγών (π.χ. πηγές Κασταμονίτσας) της ευρύτερης περιοχής, όσο και του Αποσελέμη, όπως άλλωστε απέδειξε πρόσφατη πειραματική έρευνα του ΙΓΜΕ (Καλλέργης, 1995).

- Η απορροή στη λεκάνη του Αποσελέμη κυμαίνεται σε πολύ μεγάλα όρια, για αρκετά δε συνεχόμενα χρόνια είναι μηδενική. Θα μπορούσε να εκτιμηθεί ότι η μέση υπερετήσια απορροή της είναι της τάξης των 9,5-11 εκατ. κ.μ. χωρίς αυτό να σημαίνει ότι αυτές θα είναι οι μέσες ετήσιες εισροές στη μελλοντική τεχνητή λίμνη μια και κατά περιόδους αυτές θα μηδενίζονται. Επισημαίνεται ότι στην απορροή του Αποσελέμη περιλαμβάνεται και μέρος της απορροής του οροπεδίου που εισέρχεται στις καταβόθρες, ενώ η προαναφερθείσα μέση απορροή δεν μπορεί να δεσμευθεί ολόκληρη, δοθέντος ότι θα πρέπει να συντηρηθεί ο προστατευόμενος υδροβιότοπος των εκβολών του Αποσελέμη.

- Δεν πρέπει να συγχέεται ο μεγάλος όγκος των βροχοπτώσεων που δέχεται το οροπέδιο, με τον ωφέλιμο όγκο επιφανειακής και υπόγειας απορροής, ο οποίος είναι μικρό μόνο κλάσμα του πρώτου, με βάση τα μέχρι τώρα γνωστά στοιχεία, λόγω των ειδικών γεωλογικών, γεωμορφολογικών και υδρογεωλογικών συνθηκών του οροπεδίου.

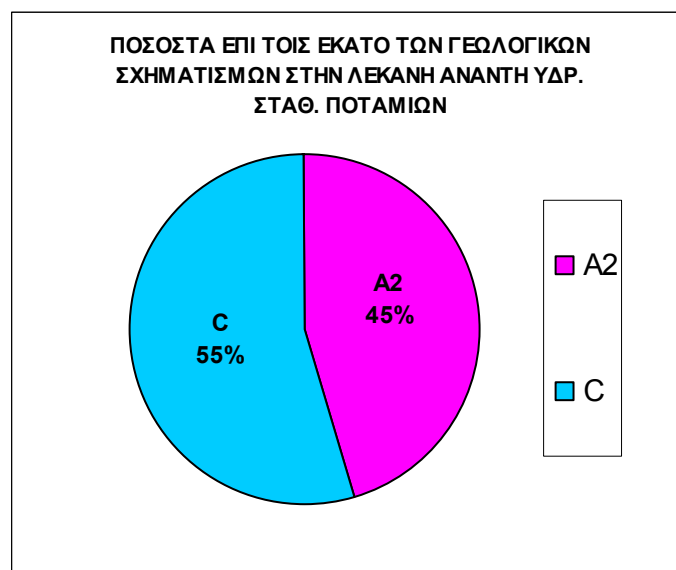
- Η απορροή του οροπεδίου, που ενδεχομένως σκοπείται να δεσμευθεί προκειμένου να ενισχυθεί ο μελλοντικός ταμιευτήρας, θα αποστερήσει σημαντικό μέρος της τροφοδοσίας των καρστικών συστημάτων των πλακωδών ασβεστολίθων και των ασβεστολίθων της σειράς της Τρίπολης. Τις συνέπειες θα υποστούν οι πηγές περιμετρικά του όρους Δίκτυ, οι πηγές Αγ. Γεωργίου-Κασταμονίτσας, τα καρστικά συστήματα Καστελλίου-Γερακίου-Νιπηδητού, Παναγιάς, Εμπάρου, Βιάννου, Μαλλίων, Γουβών καθώς και ο προσχωματικός υδροφόρος Γουβών. Δηλαδή ο μελλοντικός ταμιευτήρας θα κληθεί να καλύψει το έλλειμμα που θα δημιουργηθεί από την δημιουργία του ταμιευτήρα σε μια σειρά από Δήμους, το οποίο όμως έλλειμμα δεν είναι γνωστό ποσοτικά.

- Από την άλλη μεριά δεν πρέπει να παραμείνουν αναξιοποίητες οι όποιες χειμαρικές απορροές της λεκάνης του Αποσελέμη. Απεναντίας θα πρέπει να αξιοποιηθούν πλήρως, με μια σειρά ρεαλιστικών μικρής κλίμακας έργων τα οποία περιγράφονται στη μελέτη του Πανεπιστημίου Πατρών, που εκτελέστηκε για λογαριασμό του Αναπτυξιακού Συνδέσμου «Νότια Πεδιάδα» (Καλλέργης ειδική μελέτη για λογαριασμό του Αναπτυξιακού Συνδέσμου «Νότια Πεδιάδα», 1995 αναφορικά με τις επιπτώσεις πάνω στο υδρογεωλογικό καθεστώς της ευρύτερης περιοχής, από την κατασκευή του φράγματος Αποσελέμη, στη θέση Σφενδύλι, ([www. avdou.8m. com](http://www.avdou.8m.com))).
- Δεσμεύοντας δε τα νερά του Χώνου αφαιρείται σημαντική ποσότητα νερού από την απορροή του Αποσελέμη η οποία όμως έχει υπολογιστεί ότι θα ταμιευτεί στο φράγμα (δηλαδή υπολογίζεται δυο φορές).
- Πέρα όμως από τα πιο πάνω θα υπάρξουν εξαιρετικά δυσμενείς επιπτώσεις στα παράκτια οικοσυστήματα του Αποσελέμη αλλά και θα μειωθεί σημαντικά η τροφοδοσία των υδροφόρων κατόντη του Σφενδυλίου (Καλλέργης, 2005).

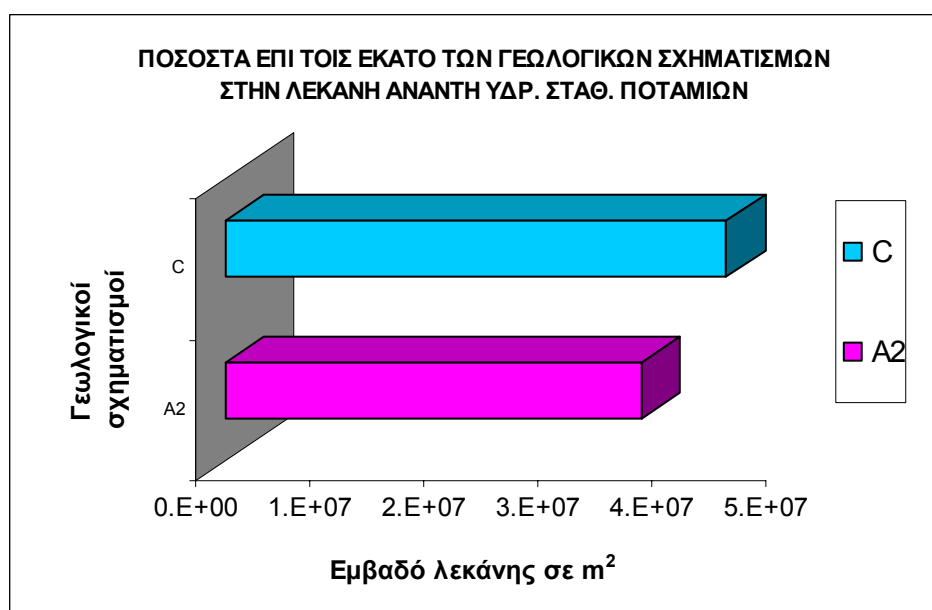
ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ

Πίνακας 1: Υπολογισμός έκτασης γεωλογικών σχηματισμών στην λεκάνη ανάντη του υδρομετρικού σταθμού Ποταμιών

Σχηματισμοί	Ποσοστό συμμετοχής στην λεκάνη ανάντη υδρ. σταθ. ΠΟΤΑΜΙΩΝ σε m ²	Ποσοστό συμμετοχής στην λεκάνη ανάντη υδρ. σταθ. ΠΟΤΑΜΙΩΝ σε Km ²
A2	36487274.415	36.487
C	44001174.42	44.001



Σχήμα 2: Κυκλικό διάγραμμα με τα ποσοστά επί τοις % συμμετοχής των γεωλογικών σχηματισμών στην λεκάνη

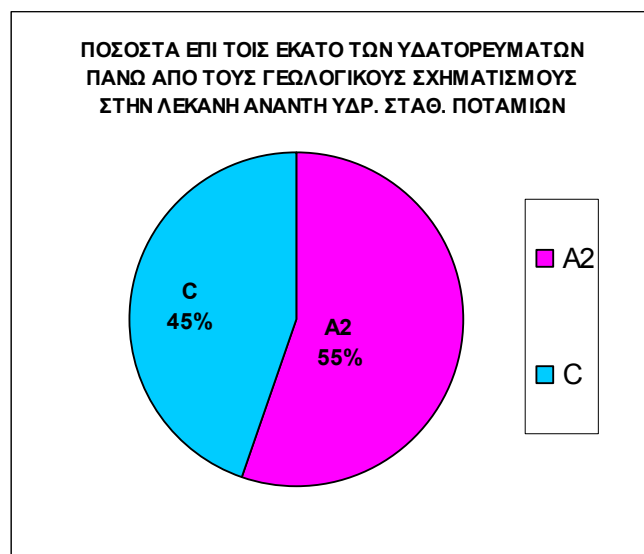


Σχήμα 3: Ραβδόγραμμα με τα ποσοστά συμμετοχής των γεωλογικών σχηματισμών στη λεκάνη

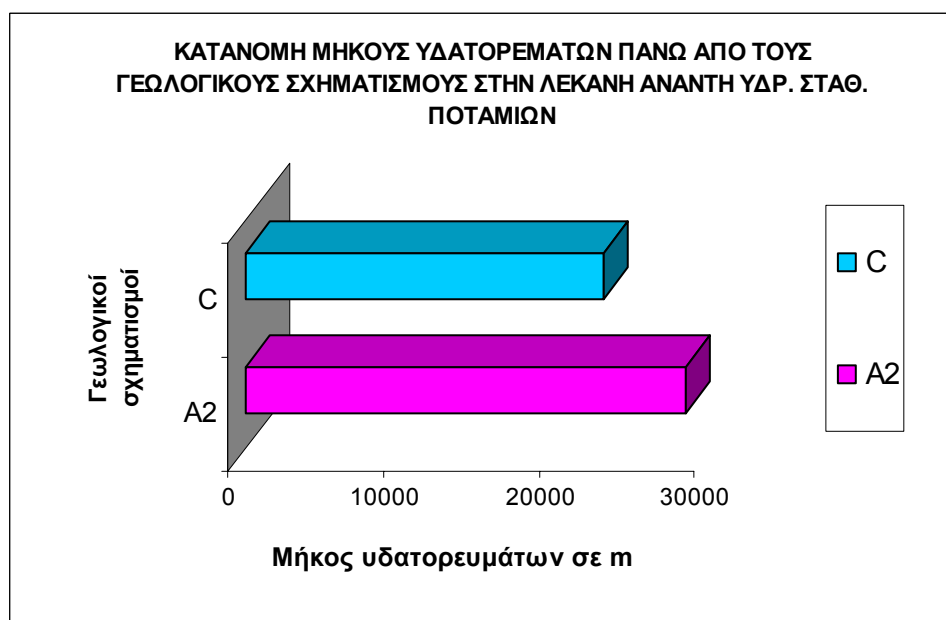
ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΥΔΑΤΟΡΕΥΜΑΤΩΝ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΠΟΤΑΜΙΩΝ

Πίνακας 2: Υπολογισμός μήκους υδατορευμάτων που διατρέχουν τους γεωλογικούς σχηματισμούς της λεκάνης ανάντη του υδρομετρικού σταθμού Ποταμιών

Σχηματισμοί	Μήκος υδατορευμάτων που περνάνε πάνω από τους σχηματισμούς σε m
A2	28256.313
C	22951.142



Σχήμα 4: Κυκλικό διάγραμμα με τα ποσοστά επί τοις % του μήκους των υδατορευμάτων που διατρέχουν τους σχηματισμούς της λεκάνης



Σχήμα 5: Ραβδόγραμμα με τα ποσοστά του μήκους των υδατορευμάτων που διατρέχουν τους σχηματισμούς στη λεκάνη

4.7.4 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Για την περίπτωση του Αποσελέμη χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα βροχόπτωσης, εξατμισοδιαπνοής και απορροής από την επικαιροποιημένη υδρολογική μελέτη λειτουργίας του ταμιευτήρα των Κουτσογιάννη κ.α., 2003. Η όλη διερεύνηση σχετικά με την υδραυλική επικοινωνία της λεκάνης Αποσελέμη με τη λεκάνη Οροπεδίου Λασιθίου, σύμφωνα με τη ίδια μελέτη, είχε γίνει με τη μορφή 3 σεναρίων ως προς τη μέση συνεισφορά του Οροπεδίου στο επιφανειακό υδατικό δυναμικό της λεκάνης του Αποσελέμη (0% τροφοδοσία, 30%τροφοδοσία και 50% τροφοδοσία). Η εφαρμογή του μοντέλου έγινε και για τα 3 αυτά σενάρια και τα αποτελέσματα της παρουσιάζονται παρακάτω.

Πίνακας 3: Προσδιορισμός παραμέτρων για τη λεκάνη του Αποσελέμη

	0 % ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ			30 % ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ			50 % ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ		
K	307	317	307	317	317	317	280	317	317
ε	0.77	0.77	0.77	0.71	0.71	0.77	0.8	0.77	0.7
κ	0.079	0.051	0.079	0.065	0.051	0.051	0.051	0.051	0.051
So	0	0	0	0	0	0	0	0	0
λ	0.15	0.021	0.1	0.041	0.041	0.021	0.041	0.021	0.021
H1	106	106	106	78	78	106	78	106	106
μ	0.2	0.19	0.2	0.19	0.19	0.19	0.22	0.19	0.19
ξ	0.076	0.056	0.076	0.056	0.056	0.056	0.033	0.056	0.056
φ	0.043	0.055	0.043	0.063	0.058	0.058	0.063	0.058	0.058
H2	185	173	185	260	260	173	170	173	173
Yo	224	238	224	170	170	238	260	238	238
Nash	0.5529	0.4347	0.5493	0.5104	0.5311	0.5550	0.5000	0.5550	0.5566

Πίνακας 4: Οι καλύτεροι συντελεστές για κάθε σενάριο τροφοδοσίας στην λεκάνη

ΛΕΚ. ΑΠΟΣΕΛΕΜΗ	K	ε	κ	So	λ	H1	μ	ξ	φ	H2	Yo
0 % ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ Nash = 5493	307	0.77	0.079	0	0.1	106	0.2	0.076	0.043	185	224
30 % ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ Nash = 0.5544	317	0.8	0.051	0	0.021	106	0.19	0.056	0.058	173	238
50 % ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ Nash = 0.4144	343	0.77	0.034	0	0.015	106	0.18	0.056	0.075	173	238

αιχμές απορροής. Το μοντέλο του Ζυγού ήταν πολύ δύσκολο να προσεγγίσει τις υψηλές αυτές αιχμές και έτσι αν και οι συντελεστές Nash που προσδιορίστηκαν για τα τρία σενάρια τροφοδοσίας θεωρούνται μέτριοι έως χαμηλοί είναι πολύ ικανοποιητικοί (Nash = 0.5493, 0.5544 και 0.4144).

4. Τέλος παρατηρούμε ότι όσο αυξάνεται η τροφοδοσία από το Οροπέδιο αυξάνονται και οι διαφυγές του μοντέλου.

Για κάθε σενάριο οι διακυμάνσεις του συντελεστή και κάποιες παρατηρήσεις δίνονται ξεχωριστά και είναι οι εξής:

- με 30 % τροφοδοσία:

ο συντελεστής Nash αρχικά παρουσίαζε αρνητικές τιμές και με συνεχή αύξηση του ρυθμού εκφόρτισης της υπόγειας δεξαμενής για την παραγωγή διαφυγών παρουσίαζε σημαντική βελτίωση μέχρι την τιμή $\varphi = 0.058$, στη συνέχεια με μεγαλύτερες τιμές διαφυγών μειωνόταν (για αύξηση ρυθμού διαφυγών από $\varphi = 0.06 \rightarrow 0.069$ με αντίστοιχη μεταβολή του $R = 0.5468 \rightarrow 0.5120$). Ομοίως μεγάλη ευαισθησία έδειξε και με την αύξηση του ρυθμού εκφόρτισης της εδαφικής δεξαμενής για παραγωγή υπόγειας ροής μέχρι την τιμή $\mu = 0.19$.

Οι υπόλοιπες παράμετροι ελάχιστα επηρέασαν το συντελεστή Nash με λίγο περισσότερο τον ρυθμό εκφόρτισης της υπόγειας δεξαμενής για παραγωγή βασικής ροής. Όσο ο ρυθμός ξ μειώνονταν και ο συντελεστής Nash σημείωνε άνοδο. Συγκεκριμένα με μεταβολή των τιμών της παραμέτρου $\xi = 0.076 \rightarrow 0.056$ έχουμε αύξηση του συντελεστής Nash = $0.5069 \rightarrow 0.5242$.

- με 0 % τροφοδοσία:

Κατά τη διάρκεια δοκιμών για τη ρύθμιση του μοντέλου, ο συντελεστής Nash αυξάνονταν σημαντικά όσο αυξάνονταν ο ρυθμός εκφόρτισης της υπόγειας δεξαμενής για την παραγωγή διαφυγών: $\varphi = 0.022 \rightarrow 0.043$ με αντίστοιχη μεταβολή του $R = 0.2320 \rightarrow 0.4746$ και με τις υπόλοιπες παραμέτρους ως εξής: $K=317$, $\varepsilon = 0.77$, $\kappa = 0.051$, $\lambda = 0.021$, $H1 = 106$, $\mu = 0.19$, $\xi = 0.056$, $Y_0 = 238$, $H2 = 173$.

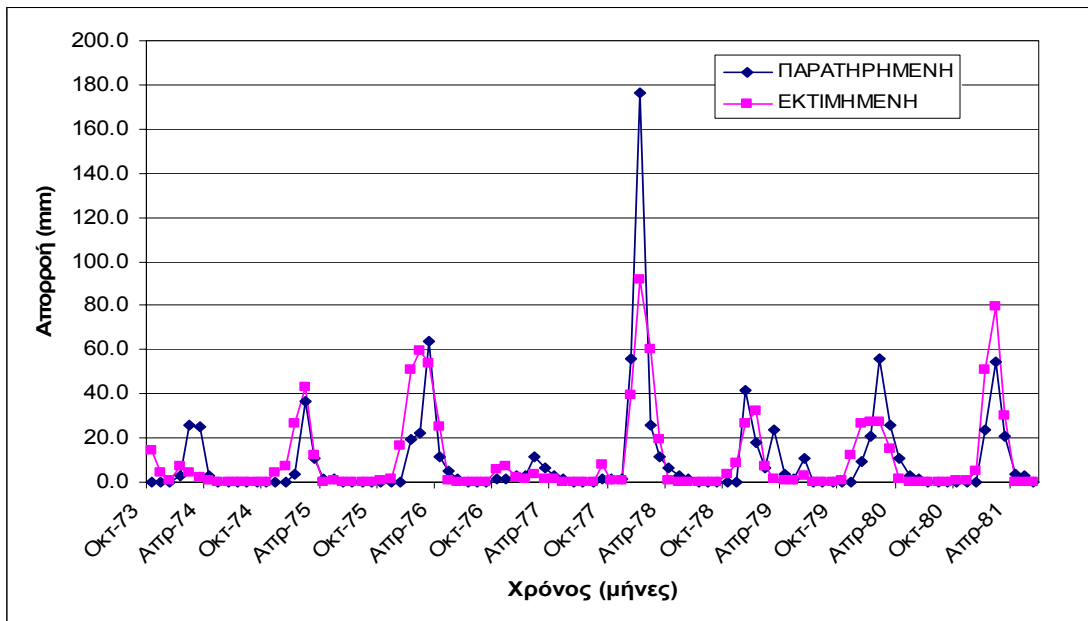
Επίσης σημαντική αύξηση παρουσίαζε όσο αυξάνονταν ο βαθμός εκφόρτισης της εδαφικής δεξαμενής για παραγωγή υπόγειας ροής μέχρι την τιμή $\mu = 0.2$. Μετά ο

συντελεστής Nash συνέχιζε να σημειώνει μία πολύ μικρή αύξηση για μεγάλες τιμές του μ που θεωρήθηκε δυσανάλογη και δεν συνεχίστηκαν περαιτέρω δοκιμές. Οι υπόλοιπες παράμετροι ελάχιστα επηρέασαν το συντελεστή Nash με εξαίρεση τον ρυθμό εκφόρτισης της εδαφικής δεξαμενής για παραγωγή υποδερμικής ροής. Όσο ο ρυθμός λ , αυξάνονταν και ο συντελεστής Nash σημείωνε άνοδο. Με μεταβολή της παραμέτρου $\lambda=0.044 \rightarrow 0.11$ έχουμε αύξηση του συντελεστής Nash = $0.5157 \rightarrow 0.5493$.

- με 50% τροφοδοσία:

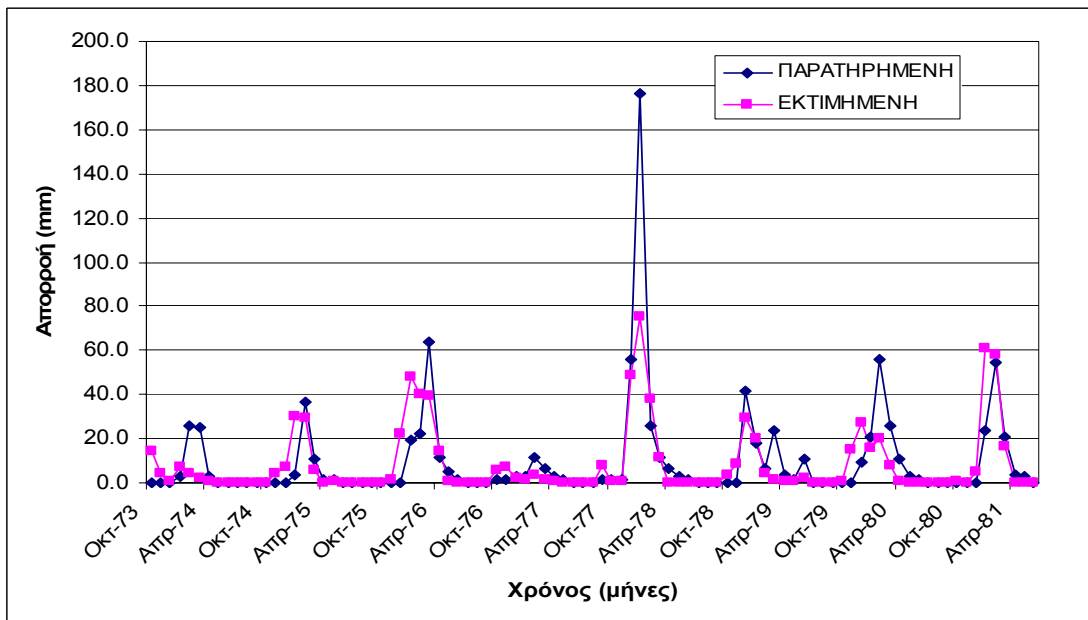
Ομοίως όπως και στις δυο προηγούμενες περιπτώσεις ο συντελεστής Nash παρουσίασε μεγάλη ευαισθησία με τις μεταβολές των ρυθμών εκφόρτισης των δύο δεξαμενών (εδαφικής και υπόγειας). Οι υπόλοιπες παράμετροι πολύ λίγο συμμετείχαν στη διαμόρφωση του συντελεστή. Είναι ο χαμηλότερος συντελεστής εκ των τριών σεναρίων τροφοδοσίας της λεκάνης του Αποσελέμη.

ΑΠΟΣΕΛΕΜΗ 30 % ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ ΑΠΟ ΟΡΟΠΕΔΙΟ ΛΑΣΙΘΙΟΥ



Σχήμα 6: Διάγραμμα παρατηρημένων απορροών και εκτιμημένων από το μοντέλο Ζυγός Βέλτιστος Nash λεκάνης Αποσελέμη (30% τροφοδοσία) = 0.55664

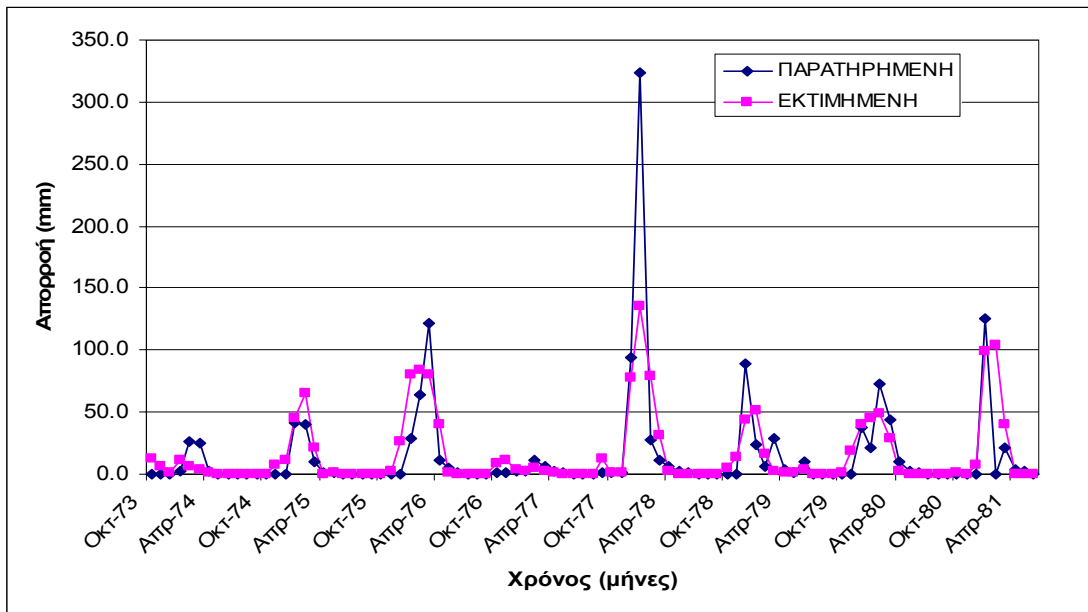
(τιμές παραμέτρων $K=317$, $\varepsilon = 0.7$, $\kappa = 0.051$, $\lambda=0.021$, $H1 = 106$, $\mu = 0.19$ και υπόγειας δεξαμενής $Y_0= 238$, $H2 = 173$, $\xi = 0.056$ και $\varphi = 0.058$).



Σχήμα 7: Διάγραμμα παρατηρημένων απορροών και εκτιμημένων από το μοντέλο Ζυγός Συντελεστής Nash λεκάνης Αποσελέμη (30% τροφοδοσία) = 0.500019

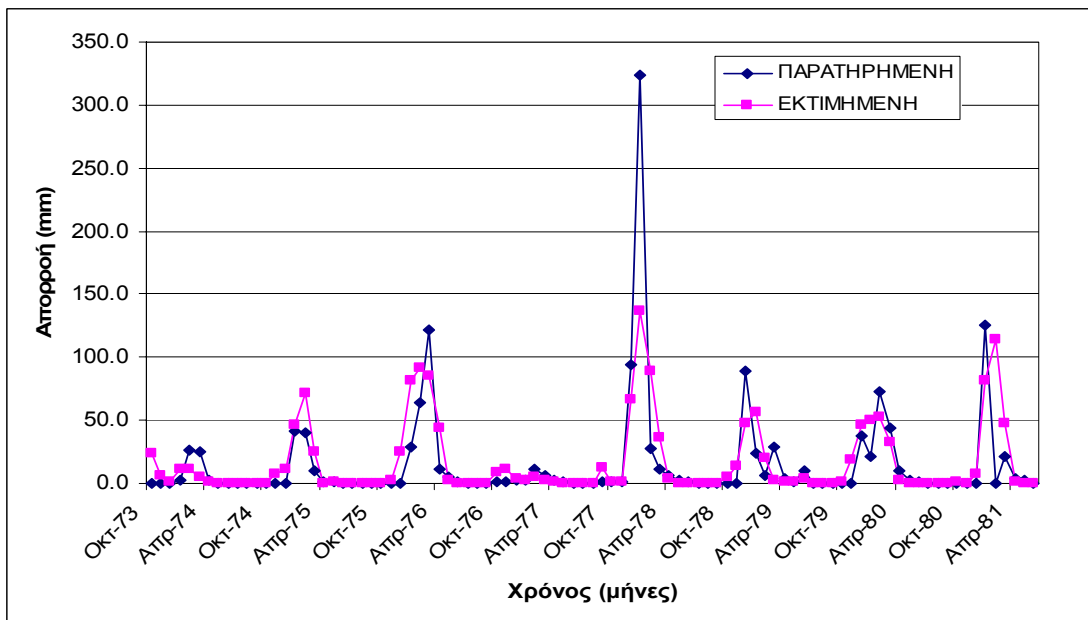
(τιμές παραμέτρων $K=280$, $\varepsilon = 0.8$, $\kappa = 0.051$, $\lambda=0.041$, $H1 = 78$, $\mu = 0.22$ και υπόγειας δεξαμενής $Y_0= 260$, $H2 = 170$, $\xi = 0.033$ και $\varphi = 0.063$).

ΑΠΟΣΕΛΕΜΗ 0 % ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ ΑΠΟ ΟΡΟΠΕΔΙΟ ΛΑΣΙΘΙΟΥ



Σχήμα 8: Διάγραμμα παρατηρημένων απορροών και εκτιμημένων από το μοντέλο Ζυγός Συντελεστή Nash λεκάνης Αποσελέμη (0% τροφοδοσία) = 0.5493

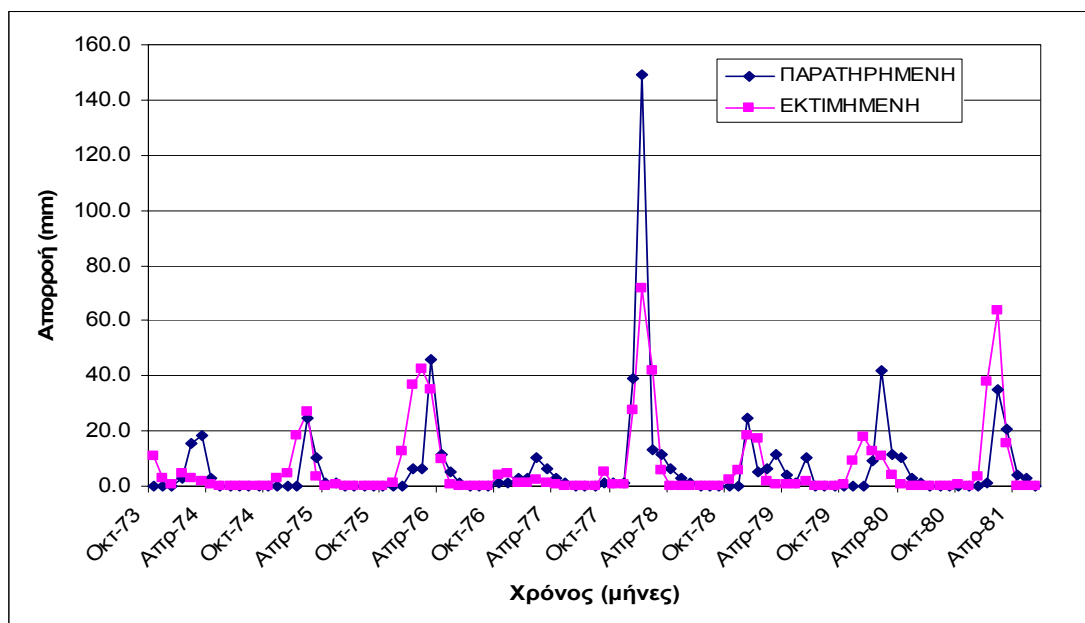
(τιμές παραμέτρων $K=307$, $\varepsilon = 0.77$, $\kappa = 0.079$, $\lambda=0.1$, $H1 = 106$, $\mu = 0.2$ και υπόγειας δεξαμενής $Y_0= 224$, $H2 = 185$, $\xi = 0.076$ και $\varphi = 0.043$).



Σχήμα 9: Διάγραμμα παρατηρημένων απορροών και εκτιμημένων από το μοντέλο Ζυγός Συντελεστή Nash λεκάνης Αποσελέμη (0% τροφοδοσία) = 0.5157

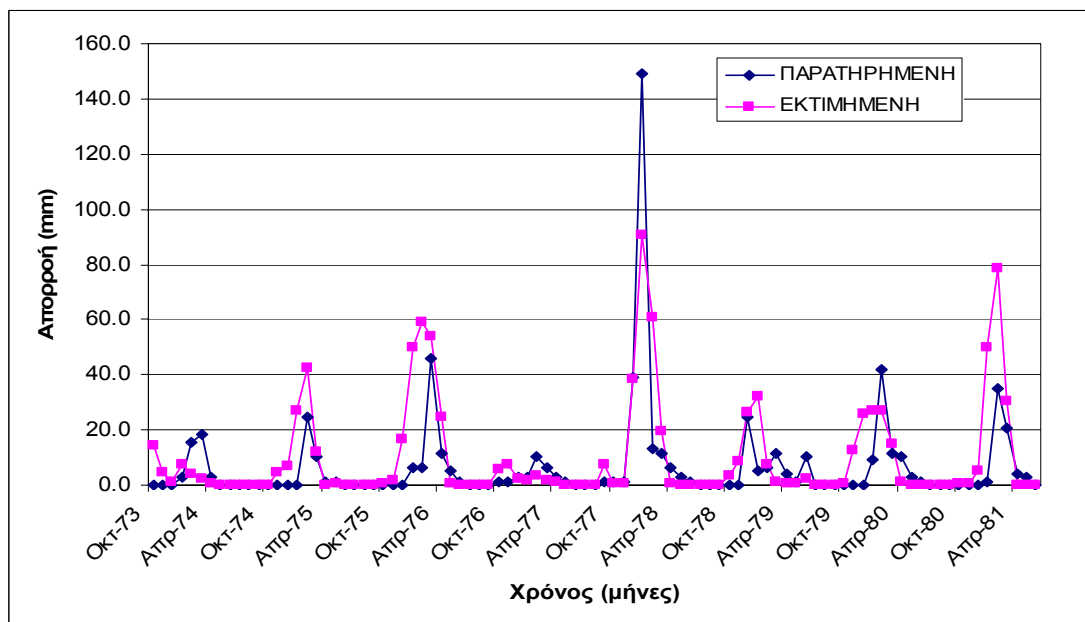
(τιμές παραμέτρων $K=307$, $\varepsilon = 0.77$, $\kappa = 0.079$, $\lambda=0.1$, $H1 = 106$, $\mu = 0.2$ και υπόγειας δεξαμενής $Y_0= 224$, $H2 = 185$, $\xi = 0.076$ και $\varphi = 0.043$).

ΑΠΟΣΕΛΕΜΗ 50 % ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ ΑΠΟ ΟΡΟΠΕΔΙΟ ΛΑΣΙΘΙΟΥ



Σχήμα 10: Διάγραμμα παρατηρημένων απορροών και εκτιμημένων από το μοντέλο Ζυγός Συντελεστής Nash λεκάνης Αποσελέμη (50% τροφοδοσία) = 0.4144

(τιμές παραμέτρων $K=343$, $\varepsilon = 0.77$, $\kappa = 0.034$, $\lambda=0.015$, $H1 = 92$, $\mu = 0.18$ και υπόγειας δεξαμενής $Y_0= 238$, $H2 = 173$, $\xi = 0.056$ και $\varphi = 0.075$).

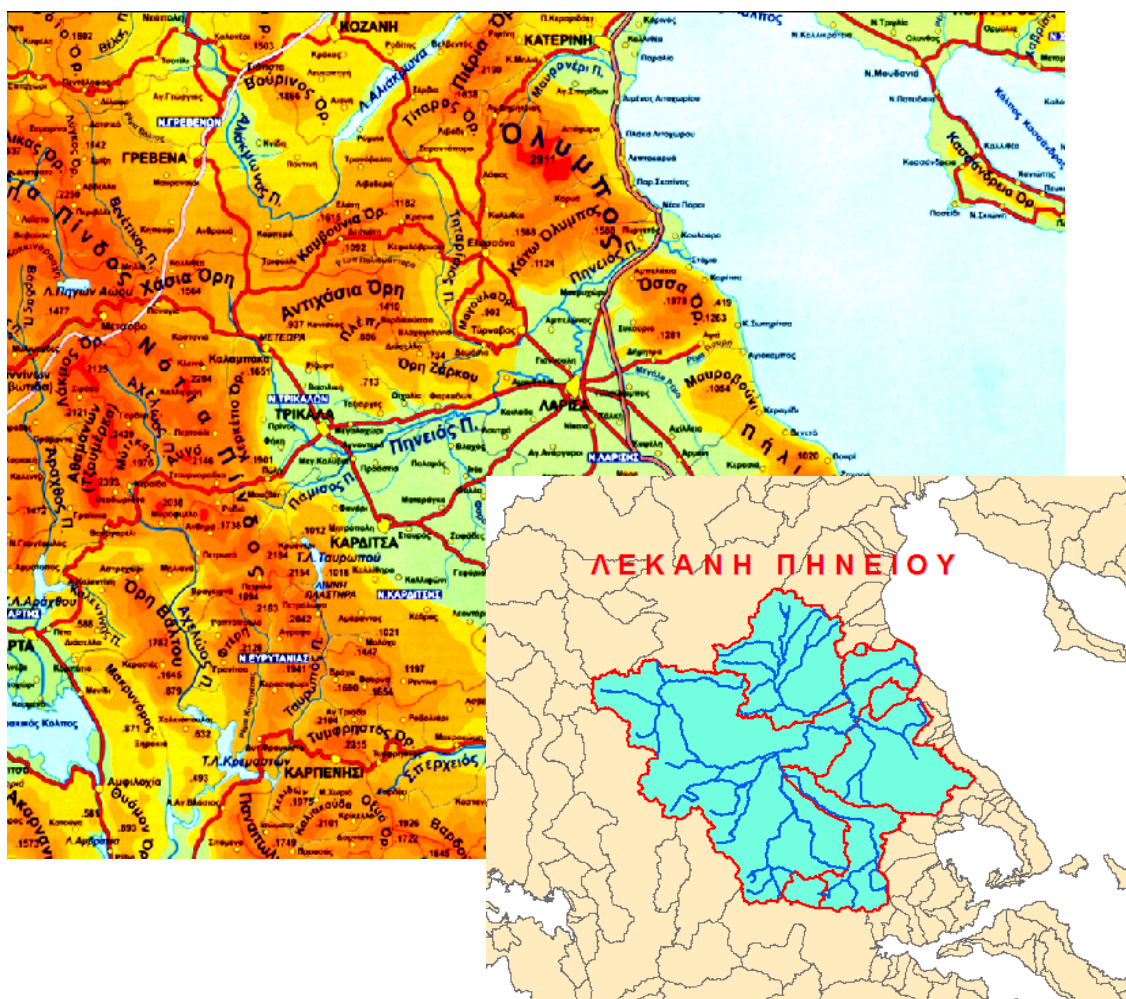


Σχήμα 11: Διάγραμμα παρατηρημένων απορροών και εκτιμημένων από το μοντέλο Ζυγός Συντελεστής Nash λεκάνης Αποσελέμη (50% τροφοδοσία) = 0.3546

(τιμές παραμέτρων $K = 343$, $\varepsilon = 0.77$, $\kappa = 0.051$, $\lambda=0.021$, $H1 = 92$, $\mu = 0.18$ και υπόγειας δεξαμενής $Y_0= 238$, $H2 = 173$, $\xi = 0.056$ και $\varphi = 0.058$).

4.8 ΛΕΚΑΝΗ ΠΗΝΕΙΟΥ (ΘΕΣΣΑΛΙΑ)

4.8.1 ΘΕΣΗ – ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ



Εικ. 1, 2: Γεωγραφική θέση και λεκάνη ποταμού Πηνειού

Ο Πηνειός πηγάζει από την Πίνδο, στα νότια του Ζυγού Μετσόβου και έχει μήκος περίπου 205 Km (μήκος κύριου υδατορεύματος). Στη λεκάνη της Θεσσαλίας εισέρχεται από την περιοχή της Καλαμπάκας, διασχίζει την κοιλάδα των Τεμπών και εκβάλλει στον Θερμαϊκό κόλπο, κοντά στον Πλαταμόνα.

Οι κυριότεροι παραπόταμοι του Πηνειού είναι: στο νότιο μέρος της λεκάνης ο Ενιπέας, ο Φαρσαλιώτης, ο Σοφαδίτης και ο Καλέντζης, στο δυτικό και νοτιοδυτικό μέρος ο Πλιούρης (ή Πάμισος) ο Πορταϊκός και το Μουργκάνι, στο βόρειο μέρος ο Ληθιαίος, ο Νεοχωρίτης και ο Τιταρήσιος (περιλαμβάνει διάφορους κλάδους με σημαντικότερους τον Σαραντάπορο και τον Ελασσονίτικο).

Το υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας αποτελείται από την ορεινή και την πεδινή Θεσσαλία. Η ορεινή Θεσσαλία περιβάλλει από όλες τις πλευρές την πεδινή με τις οροσειρές:

- Στο ανατολικό τμήμα: της Όσσας, του Μαυροβουνίου και του Πηλίου.
- Στο ΒΑ/κό τμήμα: του Κάτω Ολύμπου, του Άνω Ολύμπου και του Τίταρου
- Στο βόρειο και ΒΔ/κό τμήμα: των Καρβουνίων
- Στο ΒΔ/κό τμήμα: των Αντιχασίων και τμήμα των Χασίων
- Στο δυτικό τμήμα: της ΝΑ/κής Πίνδου και
- Στο Νότιο τμήμα: της Όρθους και της Νότιας Πίνδου.

Στο κέντρο της πεδινής Θεσσαλίας δημιουργείται μια επιμήκης ράχη από τα όρη Ζάρκου, Τιτάνου, Φυλλήϊου και Χαλκοαδόνιου η οποία την διαιρεί σε ανατολική (λεκάνη Λάρισας) και δυτική (λεκάνη Τρικάλων – Καρδίτσας).

4.8.2 ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η υδρολογική λεκάνη του Πηνειού έχει έκταση 10.763,15 Km² και καταλαμβάνει το 81,94% του υδατικού διαμερίσματος της Θεσσαλίας. Το μέγιστο υψόμετρο της λεκάνης ανέρχεται σε 2.698 m και το ελάχιστο σε 1m. Ένα μέρος της λεκάνης αυτής, η υπολεκάνη Κάρλας, έκτασης 1.053,35 Km² αποστραγγίζεται σήμερα, λόγω των τεχνικών έργων που έχουν εκτελεστεί για την αποξήρανση της Λίμνης Κάρλας, μέσω σήραγγας στον Παγασητικό Κόλπο. Το ίδιο συμβαίνει και με την υπολεκάνη του Αλμυρού, έκτασης 816,72 Km² η οποία αποτελείται από 5 μικρότερες υδρολογικές λεκάνες και οι οποίες όλες αποστραγγίζονται στον Παγασητικό Κόλπο. Η αποστράγγιση επιτελείται από τα ρέματα Λαχανόρεμα, Χολόρεμα, Ξηριά, Πλατανόρεμα και Ξηλόρεμα (Παπαπέτρος, 2002).

- Η μέση θερμοκρασία κυμαίνεται από 10 °C (δυτική περιοχή) έως 17 °C (κεντρική και παράκτια περιοχή). Το ετήσιο θερμοκρασιακό εύρος είναι γύρω στους 20 °C. Οι πιο θερμοί μήνες είναι ο Ιούλιος και ο Αύγουστος και οι πιο ψυχροί ο Δεκέμβριος, ο Ιανουάριος και ο Φεβρουάριος.

- Ενδεικτικές τιμές της ετήσιας βροχόπτωσης είναι 1640 mm στην Ελάτη, 555 mm στην Λάρισα, 695 mm στα Τρίκαλα και 455 mm στο Βόλο. Οι πιο βροχεροί μήνες είναι ο Νοέμβριος και ο Δεκέμβριος, ενώ οι πιο ξηροί ο Ιούλιος και ο Αύγουστος.

- Οι χιονοπτώσεις είναι συνηθισμένες, ιδιαίτερα στα ορεινά του διαμερίσματος και παρατηρούνται τους μήνες Ιανουάριο και Φεβρουάριο.
- Από τα στοιχεία των σταθμών των Τρικάλων και Λάρισας που αφορούν τις μηνιαίες τιμές της εξάτμισης φαίνεται ότι η μέγιστη μέση μηνιαία εξάτμιση παρατηρείται τον μήνα Ιούλιο: **213,4mm** στο σταθμό των Τρικάλων και **295,8mm** στο σταθμό Λάρισας) η δε ελάχιστη μέση μηνιαία τον Ιανουάριο: **36,3mm** στο σταθμό Τρικάλων και **17,2mm** στο σταθμό Λάρισας (Παπαπέτρος, 2002).
- το κλάσμα ηλιοφάνειας υπολογίζεται σε 0.57 για την Αγχίαλο και 0.56 για Λάρισα.
- η μέση ετήσια σχετική υγρασία στους διάφορους μετεωρολογικούς σταθμούς κυμαίνεται από 60% μέχρι 70% (Κουτσογιάννης κ.α, 1997).
- η μέση ετήσια απορροή του Πηνειού, μετρημένη στη γέφυρα των Τεμπών υπολογίζεται σε **3.970,6*10⁶ m³** με το μεγαλύτερο όγκο της (82,01%) να απορρέει κατά τον Χειμώνα και την Άνοιξη.
- η επαναπλήρωση (recharge) του υπόγειου υδροφορέα επιτυγχάνεται με τη διήθηση του νερού της βροχόπτωσης και με τη διήθηση του νερού των επιφανειακών υδροφορέων. Στοιχεία για την ακριβή επαναπλήρωση του υπόγειου υδροφορέα δεν υπάρχουν, έχει όμως θεωρηθεί (για τη δυτική περιοχή) για διάφορα μοντέλα ότι η επαναπλήρωση του υδροφορέα αποτελεί το 40% της μέσης ετήσιας επιφανειακής βροχόπτωσης (Καρκαλέτση, 2002).

Οι εκτάσεις των κυριότερων λεκανών του Πηνειού, ανάντη των φραγμάτων είναι:

Λεκάνη Ενιπέα, ανάντη του φράγματος Παλιοδερλί: 427.6 km².

Λεκάνη Σοφαδίτη, ανάντη του φράγματος Σμοκόβου: 382.0 km².

Λεκάνη Πλιούρη (Παμίσου), ανάντη του φράγματος Μουζακίου: 146.8 km².

Λεκάνη Πορταϊκού, ανάντη του φράγματος Πύλη: 133.8 km².

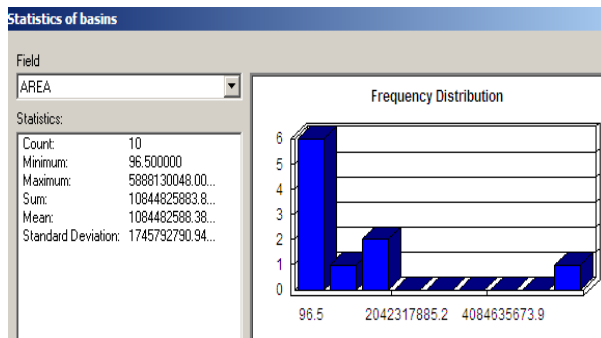
Λεκάνη Πηνειού, ανάντη του φράγματος Κρύας Βρύσης: 952.7 km².

Λεκάνη Ληθαίου, ανάντη του φράγματος Θεόπετρας: 127.8 km².

Λεκάνη Νεοχωρίτη, ανάντη του φράγματος Νεοχωρίου: 170.7 km².

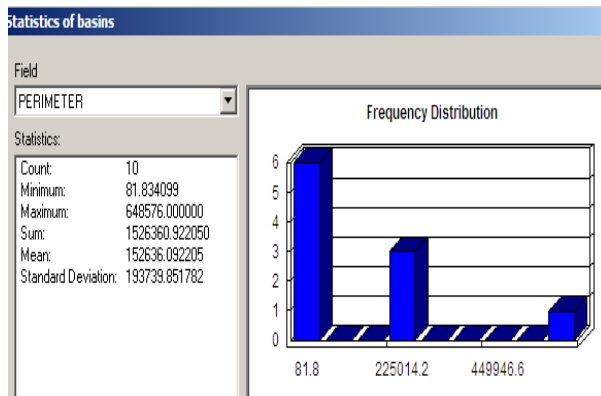
Λεκάνη Τιταρήσιου, ανάντη του φράγματος Καλούδας: 466.5 km².

Λεκάνη Ελασσονίτικου, ανάντη του φράγματος Παλιομονάστηρο: 209.8 km².



Εμβαδόν λεκάνης 10844 Km²

Σχήμα 1

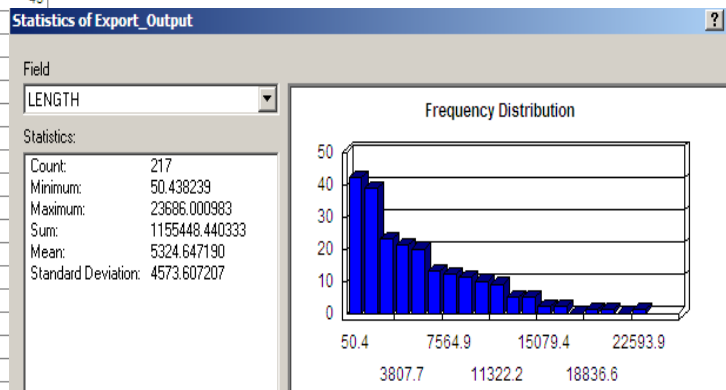


Περίμετρος λεκάνης 1526,36 Km

Σχήμα 2

Πίνακας 1: Υπολογισμός μήκους των κυριότερων κλάδων

RPOLY_	LENGTH	SRIVERS_	SRIVERS_ID
-1	3138.030674	514	436
-1	2292.086188	515	437 ΣΟΦΑΔΠΙΚΟΣ
-1	8398.185235	517	68
-1	10224.655997	518	436
-1	4264.250414	520	439
-1	4700.229068	521	42 ΕΝΠΕΥΣ
-1	5500.680019	524	23
-1	7948.855562	525	582
-1	6926.303753	526	43
-1	6348.664611	277	
-1	13663.885389	280	
-1	7112.790655	283	
-1	2447.560300	284	
-1	3203.829031	286	
-1	13930.740091	287	
-1	1235.110732	288	
-1	7180.746866	289	
-1	2524.997829	290	
-1	4111.767827	291	
-1	1435.758481	293	
-1	276.638007	294	
-1	9506.973966	295	
-1	6300.834069	297	
-1	15863.934848	298	
-1	1418.024418	302	
-1	10348.998311	303	
-1	794.304899	304	245 ΜΟΥΡΓΑΝΙ
-1	3981.785650	305	632
-1	1728.004394	306	248
-1	2152.246789	308	192
-1	1371.792030	310	241 ΜΑΛΑΚΑΣΙΩΤΙΚΟ
-1	50.438239	311	235
-1	64.652018	312	237
-1	3794.117610	314	241 ΜΑΛΑΚΑΣΙΩΤΙΚΟ
-1	192.296070	316	193 ΤΙΤΑΡΗΣΙΟΣ



Σχήμα 3: Συνολικό μήκος κύριων κλάδων υδατορευμάτων: $L = 1155448$ m

4.8.3 ΓΕΩΛΟΓΙΑ – ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ

Η Θεσσαλική πεδιάδα αποτελείται από πλούσιους φρεάτιους και επάλληλους υπό πίεση υδροφόρους ορίζοντες. Διακρίνεται μορφολογικά και υδρογεωλογικά σε ανατολικό και δυτικό τμήμα που παρουσιάζει και το μεγαλύτερο υδάτινο δυναμικό.

Η βασική τροφοδοσία των υδροφόρων οριζόντων εξασφαλίζεται :

- κυρίως από διηθήσεις της απορροής των ποταμών στα ανάντη τμήματα τους
- σε δεύτερο βαθμό από την κατευθείαν κατείσδυση από τις βροχοπτώσεις
- και πολύ λιγότερο από πλευρικές μεταγγίσεις (Μαρίνος, Περγλέρος, 1990).

- Όσον αφορά την περιοχή που ενώνει τη λεκάνη του Πάμισου με το Μουζάκι και την ευρύτερη περιοχή του φράγματος Μουζακίου (ΝΑ τμήμα της λεκάνης Αλή Εφέντη) η γεωλογία έχει ως εξής:

Στην περιοχή αυτή απαντούν αλπικοί σχηματισμοί, που δομούν τους ορεινούς όγκους και τα παρυφές τους προς τον Πάμισο ποταμό και μεταλλικές αποθέσεις που αποτελούνται από πλευρικά κορήματα και αποθέσεις του ποταμού. Οι αλπικοί σχηματισμοί είναι έντονα πτυχωμένοι και τεκτονισμένοι και αναλύονται σε τρεις ενότητες σχηματισμών που βρίσκονται σε τεκτονική σχέση μεταξύ τους. Οι ενότητες αυτές από κάτω προς τα πάνω, είναι οι ακόλουθες:

- α) Ενότητα των σχηματισμών της Ζώνης Πίνδου
- β) Ενότητα σχηματισμών Βοιωτικής Ζώνης και
- γ) Ενότητα του Κόζιακα.

Αναλυτικότερα η ενότητα του Κόζιακα βρίσκεται επωθημένη επάνω στην Βοιωτική και στη συνέχεια και οι δυο μαζί επάνω στο φλύσχη της Ζώνης Πίνδου.

Η ενότητα σχηματισμών της Βοιωτικής Ζώνης απαντά προς τη λεκάνη του Πάμισου και αποτελείται από αργιλλοψαμμιτικούς κυρίως σχηματισμούς μέσα στους οποίους απαντούν ασβεστόλιθοι, μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι, κερατόλιθοι και πολύμικτα κροκαλολατυποπαγή. Η ενότητα του Κόζιακα αποτελεί μία σύνθετη γεωλογική ενότητα που δομείται κυρίως από ασβεστόλιθους (λεπτοπλακώδεις, μεσο-στρωματώδεις έως άστρωτους) εντός των οποίων απαντούν παρεμβολές και ορίζοντες αργιλομαργαϊκών σχηματισμών κυρίως σε μορφή αργιλικών σχιστολίθων και κερατόλιθοι. Οι μεταλλικές αποθέσεις που απαντούν στην περιοχή αυτή διακρίνονται κυρίως σε: α) πλευρικά κορήματα και κώνους κορημάτων κυρίως από ασβεστολιθικές και λιγότερο κερατολιθικές λατύπες ποικίλου μεγέθους β) αποθέσεις

κοίτης και αναβαθμών του Πάμισου ποταμού από κροκαλολατύπες, άμμους και αργιλοχωμάτων.

Η ρηγματογόνος τεκτονική στην περιοχή εκδηλώνεται με δυο κύρια συστήματα ρηγμάτων ΒΑ/κής και ΒΔ/κής διεύθυνσης αντίστοιχα (Τσελέντης κ.α, 1985).

Όσον αφορά την υδρογεωλογία της ευρύτερης λεκάνης του Πηνειού:

Οι μεγάλες ανθρακικές και οφιολιθικές μάζες που αναπτύσσονται τόσο περιμετρικά όσο και στο κέντρο της Θεσσαλικής πεδιάδας αποτελούν ανεξάρτητες υδρογεωλογικές ενότητες οι οποίες δύναται να ταξινομηθούν σε επιμέρους ενιαία καρστικά υδροφόρα συστήματα. Τα υδροφόρα αυτά συστήματα αποστραγγίζονται, κατά κύριο λόγο, από πηγές οι οποίες εκδηλώνονται στα χαμηλότερα υψομετρικά τμήματα αυτών, κατά δεύτερο δε λόγο και εφόσον οι τοπικές συνθήκες και η εποχή του έτους το επιτρέπουν, μεταγγίζονται ή εμπλουτίζονται υπογείως προς ή από τις υδροφορίες που αναπτύσσονται στις Τεταρτογενείς αποθέσεις του πεδινού τμήματος, γενικά δηλαδή οι δύο αυτές υδροφορίες βρίσκονται υπό άμεση και στενή αλληλοεπίδραση.

ΥΔΡΟΠΕΡΑΤΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ: Στους σχηματισμούς αυτούς περιλαμβάνονται τα ανθρακικά γενικώς πετρώματα που απαντούν στην περιοχή δηλαδή τα μάρμαρα, οι κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι και οι ασβεστόλιθοι. Τα μάρμαρα και οι κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι είναι τα πλέον υδροπερατά πετρώματα λόγω του έντονου κατακερματισμού που έχουν υποστεί. Η κατείσδυση στους σχηματισμούς αυτούς, δοθέντος ότι δεν υφίσταται στην επιφάνεια τους και σημαντική βλάστηση, εκτιμάται σε 65 – 70% των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων. Αποτέλεσμα της μεγάλης υδροπερατότητας είναι και η δημιουργία πηγών πολύ μεγάλης παροχής. Οι ασβεστόλιθοι είναι και αυτοί πολύ υδροπερατοί σχηματισμοί και ο συντελεστής κατείσδυσης εδώ εκτιμάται σε 55 – 60% των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων που πίπτουν στην επιφάνεια τους. Η μικρότερη υδροπερατότητα αυτών, εν σχέση με τα μάρμαρα και τους κρυσταλλικούς ασβεστολίθους, οφείλεται αφενός μεν στο νεαρό της ηλικίας τους με όλα τα επακόλουθα αυτού δηλαδή ασθενέστερος κατακερματισμός, βραχύτερη περίοδος χέρσου κλπ και αφετέρου στο ότι συχνά αναπτύσσεται στην επιφάνεια τους σημαντική βλάστηση.

ΗΜΙΠΕΡΑΤΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ: Οι οφιόλιθοι μέχρι πρότεινος θεωρούνταν υδατοστεγανείς αδιαπέρατοι σχηματισμοί. Η πρόσφατη όμως υδρογεωλογική ερευνητική εμπειρία (Παπαπέτρος, 2002) τους κατατάσσει στους ημιπερατούς σχηματισμούς με τα χαρακτηριστικά της ασυνεχούς και περιορισμένης υδροφορίας η οποία οφείλεται στην παρουσία ενεργού ρωγματογενούς πορώδους διάφορου βαθμού ανάπτυξης.

Συμπεράσματα μελετών συγκεκριμένων περιοχών της λεκάνης Α.Εφέντη είναι τα εξής:

- Στην περιοχή Μουζακίου Καρδίτσας εμφανίζονται πηγές σημαντικών παροχών όπως η Πηγή Καραϊσκάκη και η πηγή Μεγάλη Βρύση. Η περιοχή συνίσταται από πετρώματα της Ζ. Πίνδου και της Ενότητας Κόζιακα (Βοιωτική Ζώνη). Η πρώτη πηγή είναι πηγή επαφής των υπερκείμενων ανακρυσταλλωμένων ασβεστολίθων και των παρεμβαλλομένων ασβεστιτικών σχιστολίθων και φυλλιτών και η δεύτερη πηγή είναι πηγή επαφής – υπερχειλίσεως (Δημητρόπουλος, 1991).

- Η περιοχή του Δήμου Πύλης αποτελείται από: αλλουβιακές αποθέσεις, ποτάμιες αναβαθμίδες και κώνους κορημάτων, επικλυσιογενείς ωολιθικούς ασβεστόλιθους, αργιλοπυριτικούς και οφιολιθικούς σχηματισμούς και από εναλλαγές κερατολίθων και λεπτοπλακωδών ασβεστόλιθων. Οι ποτάμιες αναβαθμίδες του Πορταϊκού ποταμού, κατά μήκος του ομώνυμου ποταμού που αποτελούνται από εναλλαγές στρώσεων κροκαλών και άμμων είναι άκρως υδροπερατές. Μέσα από τα υλικά τους διέρχεται σημαντικός όγκος νερών του ισχυρότατου φρεατίου υδροφόρου ορίζοντα της περιοχής. Ο υδροφόρος αυτός ορίζοντας πέραν του ότι είναι μεγάλης δυναμικότητας, τροφοδοτεί βαθείς υπό πίεση ορίζοντες της περιοχής Τρικάλων.

- Η περιοχή Λιβάδια πετρολογικά δομείται από αλλουβιακές αποθέσεις πάχους 1-3 m, δηλαδή από σύγχρονες προσχώσεις αποτελούμενες από μικρές ασβεστολιθικές και πυριτικές κροκάλες, άμμους και αργίλους. Τα υλικά αυτά καλύπτουν το μητρικό πέτρωμα της περιοχής που είναι εναλλαγές κερατολίθων και λεπτόκοκκων ασβεστολίθων. Το σύστημα αυτό των κερατολίθων – ασβεστολίθων αποτελεί ενιαία υδρογεωλογική ενότητα και λόγω του ανύπαρκτου δευτερογενούς πορώδους του θεωρείται πρακτικά στεγανός στο νερό σχηματισμός. Έτσι το σύστημα αυτό βοηθούμενο και από τις τεκτονικές ασυνέχειες της περιοχής εμφανίζεται υδραυλικά τελείως απομονωμένο, δηλαδή χωρίς καμμία υδραυλική επαφή με τους υδροφόρους

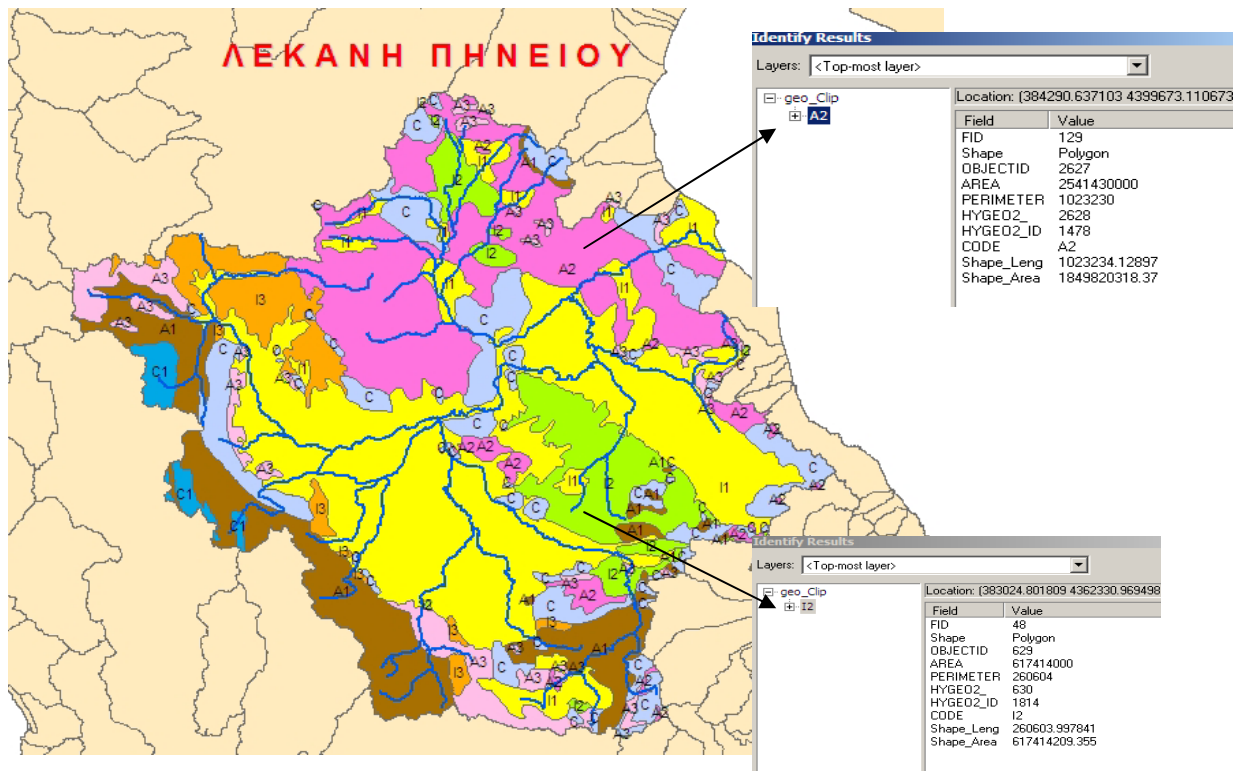
σηματισμούς. Δέχεται μόνον στην επιφάνεια του ασήμαντες ποσότητες νερού του ασθενούς υδροφόρου ορίζοντα των αλλουβιακών αποθέσεων.

- Η ευρύτερη περιοχή του Συνδέσμου Κοινοτήτων Χαλκιδαίων δομείται από: σύγχρονες προσχώσεις, σύγχρονα και παλαιά κορήματα, φλύσχη Ολωνού – Πίνδου, πελαγικούς ασβεστόλιθους, κερατόλιθους με τράπεζες ασβεστόλιθων. Πετρολογικά ο φλύσχη συνίσταται από εναλλαγές ασβεστιτικών ψαμιτών και τεφρών μαρμαρυγιούχων πηλιτών και κροκαλοπαγών, σχηματισμοί που εξεταζόμενοι υδρογεωλογικά σαν ενιαίο σύστημα είναι πρακτικώς αδιαπέρατοι στο νερό σχηματισμοί. Κύριο χαρακτηριστικό του φλύσχη εδώ είναι η απουσία εκτεταμένων ή μικρής έκτασης υδροφόρων οριζόντων και ως εκ τούτου η πλήρης απουσία πηγών, φρεάτων και γεωτρήσεων (Τάσιος, 1990).

Στο μεγαλύτερο μέρος της Θεσσαλίας υπάρχει μία συστηματική ταπείνωση της στάθμης των υπόγειων υδάτων. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην μικρή υδαταγωγιμότητα (διαβιβαστικότητα) των υπό πίεση υδροφόρων οριζόντων καθώς και στην ακατάστατη διανομή τους. Έτσι δεν είναι επιτρεπτή η πλήρης αναπλήρωση των αντλούμενων ποσοτήτων, διαμέσου των διηθήσεων στις ζώνες τροφοδοσίας με αποτέλεσμα την υπερεκμετάλλευση των υδροφοριών (Λαζαρίδης, Καλαούζης κ.α.).

- Από την έρευνα της πιεζομετρίας σε διάφορες εποχές και διάφορα έτη, αποδεικνύεται ότι η καρστική υδροφορία συμπεριφέρεται ως ενιαίο σύνολο με δυναμική αλληλεξάρτηση των υδρογεωλογικών λεκανών. Το αποτέλεσμα είναι μετακινήσεις του υπόγειου υδροκρίτη ανάλογα με τη δυναμική επέμβαση που δέχεται ο υδροφορέας (εκκένωση στις πηγές, αντλήσεις).

- Η σχέση (του Πηνειού) με τον Τιταρήσιο ποταμό είναι πάντα σχέση τροφοδοσίας προς τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα. Αντίθετα υπάρχει ροή του υπόγειου νερού κατά θέσεις, ενώ αλλού η σχέση με τον Πηνειό δεν είναι άμεση, ακόμα και σε ορισμένες περιόδους η στάθμη του καρστικού υδροφορέα κατέρχεται κάτω από την στάθμη του Πηνειού. Οι διακινούμενες ποσότητες με φυσική ροή ξεπερνούν τα $90 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{χρόνο}$ σε όλη την μάζα. Οι ποσότητες αυτές που εξέρχονταν παλαιότερα κατά το μέγιστο ποσοστό τους από τις πηγές (πηγή Μάτι Τυρνάβου, πηγή Αμυγδαλιάς) σήμερα αφαιρούνται και ενδιάμεσα από αντλήσεις. Οι τροφοδοσίες από την κατείδυση των νερών των βροχοπτώσεων εκτιμώνται περίπου σε $70 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{χρόνο}$. Συνεπώς οι διηθήσεις από τον Τιταρήσιο έχουν μεγέθη πολύ μεγαλύτερα από $20 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{χρόνο}$ (Μαρίνος, Περγλέρος 1990).



Εικ. 3: Γεωλογικοί σχηματισμοί που δομούν την λεκάνη του Πηνειού.

Υπόμνημα υδρογεωλογικού χάρτη:

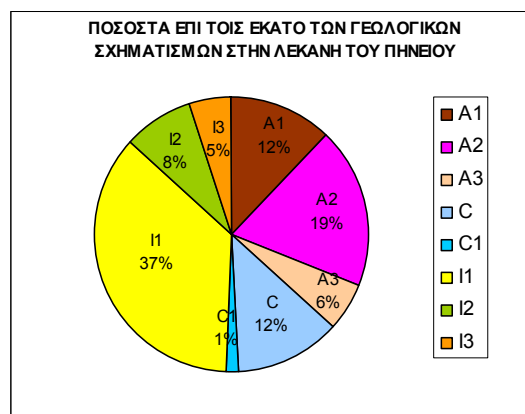
I1	Κοκκώδεις προσχωματικές αποθέσεις κυμαινόμενης υδροπερατότητας
I3	Κοκκώδεις μολασσικές αποθέσεις σχετικά μικρής υδροπερατότητας
I2	Κοκκώδεις μη προσχωματικές αποθέσεις μέτριας έως πολύ μικρής υδροπερατότητας
C	Ασβεστόλιθοι και μάρμαρα εκτεταμένης ανάπτυξης, μέτριας έως υψηλής υδροπερατότητας
C1	Ασβεστόλιθοι και μάρμαρα περιορισμένης ανάπτυξης κυμαινόμενης υδροπερατότητας
A1	Φλύσχης, γενικά αδιαπέρατος σχηματισμός
A2	Μεταμορφωμένα πετρώματα, γενικά αδιαπέρατοι σχηματισμοί, με μικρή έως πολύ μικρή υδροπερατότητα
A3	Πλουτώνια και ηφαιστειακά πετρώματα, γενικά αδιαπέρατοι με μικρή έως πολύ μικρή υδροπερατότητα

Στην περιοχή του Δαμασίου – Τιρνάβου η μέση πτώση στάθμης στις υδρογεωτρήσεις για τα έτη 1980-98 είναι 3-4 μέτρα έως 11 ή και περισσότερα μέτρα. Στην Πηνειάδα είναι της τάξης των 12 μέτρων, στον Πλατύκαμπο ξεπερνά τα 36 μέτρα και στο Ριζόμυλο είναι της τάξης των 20 μέτρων. Αυτό οφείλεται στο ότι οι περιοχές Δαμασίου και Τιρνάβου βρίσκονται στο δυτικό τμήμα της λεκάνης και η υδροφορία τους επηρεάζεται άμεσα από τον Τιταρρήσιο που έρχεται από την περιοχή της Ελασσόνας καθώς και από το ότι αναπτύσσεται καρστικός υδροφορέας στην περιοχή μεταξύ Δαμασίου και Τιρνάβου (Μαριολάκος κ.α., 2003).

Πίνακας 2:

Υπολογισμός έκτασης γεωλογικών σχηματισμών

Σχηματισμοί	Ποσοστό συμμετοχής στην λεκάνη του Πηνειού σε m ²	Ποσοστό συμμετοχής στην λεκάνη του Πηνειού σε Km ²
A1	1322829138.993	1322829.139
A2	2050182837.931	2050182.838
A3	611967418.266	611967.4183
C	1347717369.238	1347717.369
C1	153885872.368	153885.8724
I1	3903109653.012	3903109.653
I2	910372751.919	910372.7519
I3	544746456.250	544746.4562
SUM	10844811497.976	10844811.498

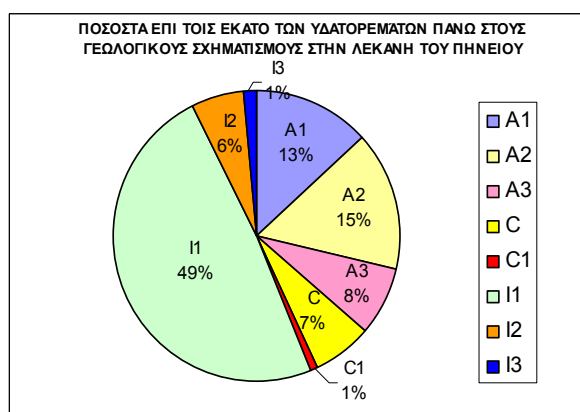


Σχήμα 4: Κυκλικό διάγραμμα με τα ποσοστά επί τοις % συμμετοχής των γεωλογικών σχηματισμών στη συνολική λεκάνη του Πηνειού

Πίνακας 3:

Υπολογισμός μήκους υδατορευμάτων πάνω από τους γεωλογικούς σχηματισμούς στην λεκάνη

Σχηματισμοί	Μήκος υδατορευμάτων που περνάνε πάνω από τους σχηματισμούς σε m.
A1	140369.329
A2	164817.137
A3	83214.331
C	71634.577
C1	10868.665
I1	519657.780
I2	66154.268
I3	14394.930



Σχήμα 5: Κυκλικό διάγραμμα με τα ποσοστά επί τοις % του μήκους των υδατορευμάτων που διατρέχουν τους σχηματισμούς της λεκάνης

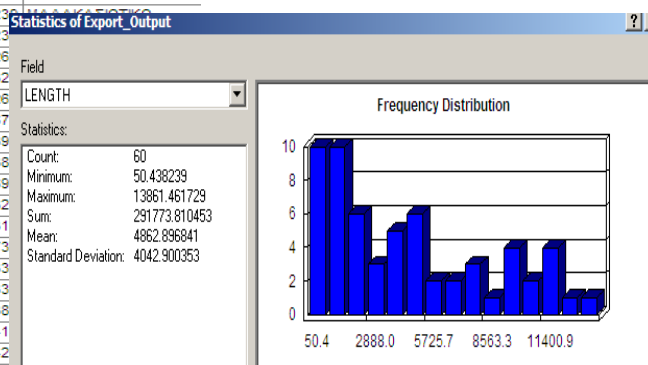
ΛΕΚΑΝΗ ΑΛΗ ΕΦΕΝΤΗ



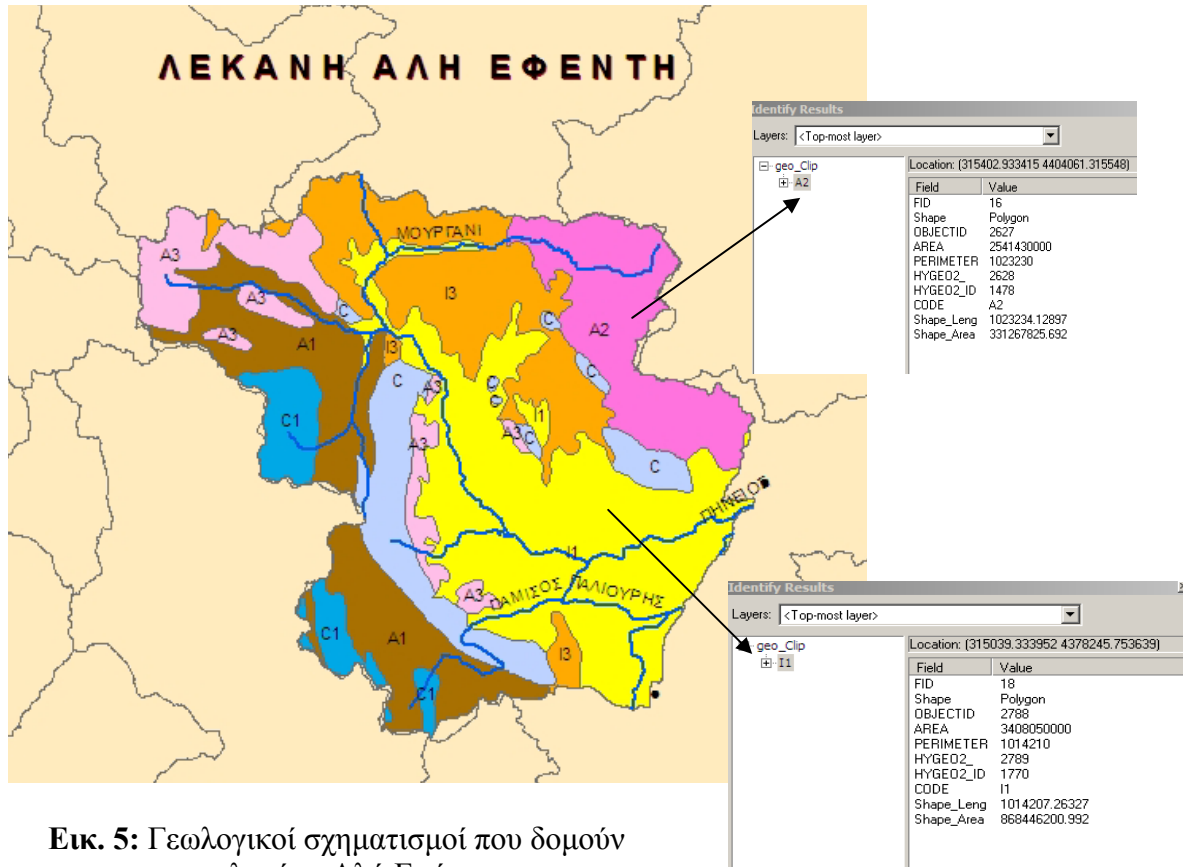
Εικ. 4: Η λεκάνη του Αλή Εφέντη έχει Εμβαδόν: 2792 Km²
και Περίμετρο: 397700 m

Πίνακας 4: Υπολογισμός μήκους των κυριότερων κλάδων

LENGTH	SRIVERS_	SRIVERS_ID
1418.024418	302	249
10348.998311	303	234
794.304899	304	245 ΜΟΥΡΓΑΝΙ
1728.004394	306	248
1371.792030	310	241 ΜΑΛΑΚΑΣΙΩΤΙΚΟ
50.438239	311	235
64.652018	312	237
3794.117610	314	241 ΜΑΛΑΚΑΣΙΩΤΙΚΟ
7641.855071	322	256
1978.264420	324	235 ΜΑΛΑΚΑΣΙΩΤΙΚΟ
3206.339040	326	23
1025.629861	328	26
1721.462135	334	32
9634.619432	363	26
2309.165200	389	67
6100.078804	391	39
220.420955	392	38
1442.030831	398	69
11005.104610	399	32
4740.836135	400	31
136.539951	401	173
366.768359	403	33
135.938914	404	33
4552.880269	406	38
1956.144357	416	41
12101.384597	418	42
1635.848645	420	422 ΠΑΛΙΟΥΡΗΣ
5617.703525	421	422 ΠΑΛΙΟΥΡΗΣ
5239.408068	424	423
91.550098	427	408
154.673798	428	741
1722.321834	433	405
4713.651152	436	739




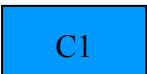
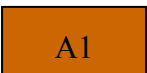
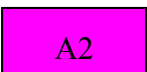
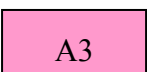


Σχήμα 6: Το συνολικό μήκος των κυριότερων κλάδων υδατορευμάτων είναι:
 $L = 291773 \text{ m}$



Εικ. 5: Γεωλογικοί σχηματισμοί που δομούν τη λεκάνη Αλή Εφέντη

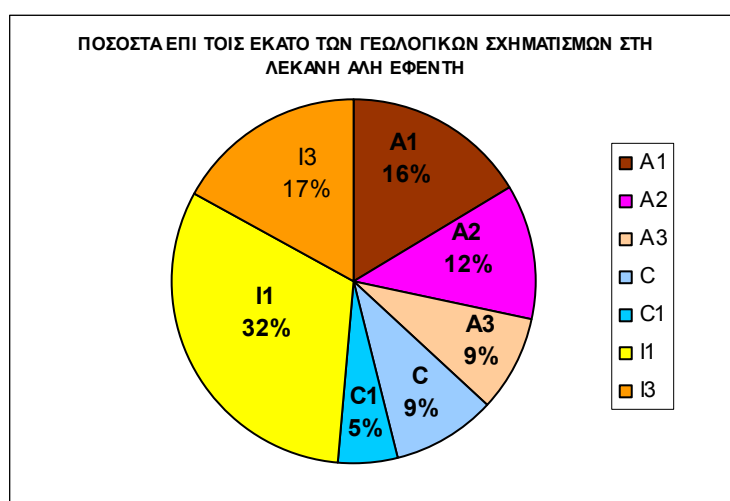
Υπόμνημα υδρογεωλογικού χάρτη:

-  Κοκκώδεις προσχωματικές αποθέσεις κυμαινόμενης υδροπερατότητας
-  Κοκκώδεις μολασικές αποθέσεις σχετικά μικρής υδροπερατότητας
-  Ασβεστόλιθοι και μάρμαρα εκτεταμένης ανάπτυξης, μέτριας έως υψηλής υδροπερατότητας
-  Ασβεστόλιθοι και μάρμαρα περιορισμένης ανάπτυξης κυμαινόμενης υδροπερατότητας
-  Φλύσχης, γενικά αδιαπέρατος σχηματισμός
-  Μεταμορφωμένα πετρώματα, γενικά αδιαπέρατοι σχηματισμοί, με μικρή έως πολύ μικρή υδροπερατότητα
-  Πλουτώνια και ηφαιστειακά πετρώματα, γενικά αδιαπέρατοι με μικρή έως πολύ μικρή υδροπερατότητα

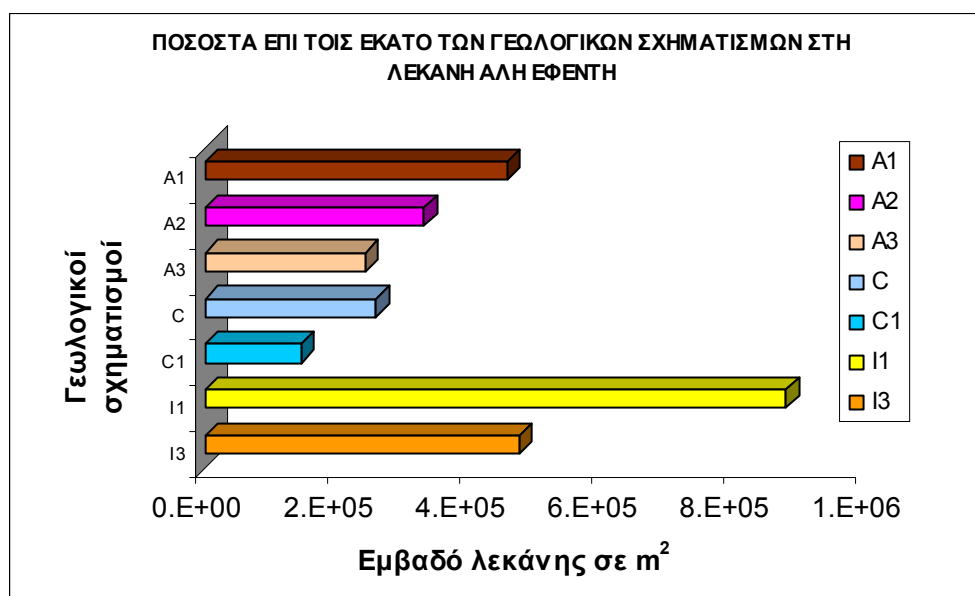
ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΛΗ ΕΦΕΝΤΗ

Πίνακας 5: Υπολογισμός έκτασης γεωλογικών σχηματισμών στη λεκάνη

Σχηματισμοί	Ποσοστό συμμετοχής στη λεκάνη Αλή Εφέντη σε m ²	Ποσοστό συμμετοχής στη λεκάνη Αλή Εφέντη σε Km ²
A1	458468	458.467584
A2	331268	331.267825
A3	241500	241.500319
C	259221	259.220839
C1	145208	145.208402
I1	881028	881.02798
I3	475458	475.458096
SUM	2792151	2792.151



Σχήμα 7: Κυκλικό διάγραμμα με τα ποσοστά επί τοις % συμμετοχής των γεωλογικών σχηματισμών στη λεκάνη

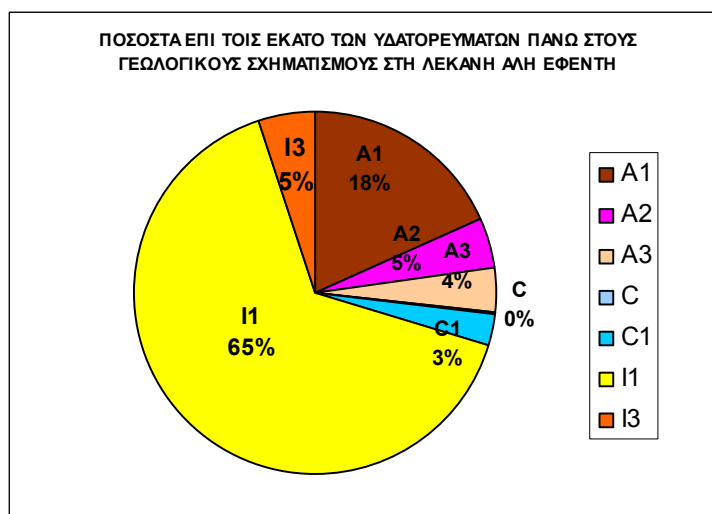


Σχήμα 8: Ραβδόγραμμα με τα ποσοστά συμμετοχής των γεωλογικών σχηματισμών στη λεκάνη

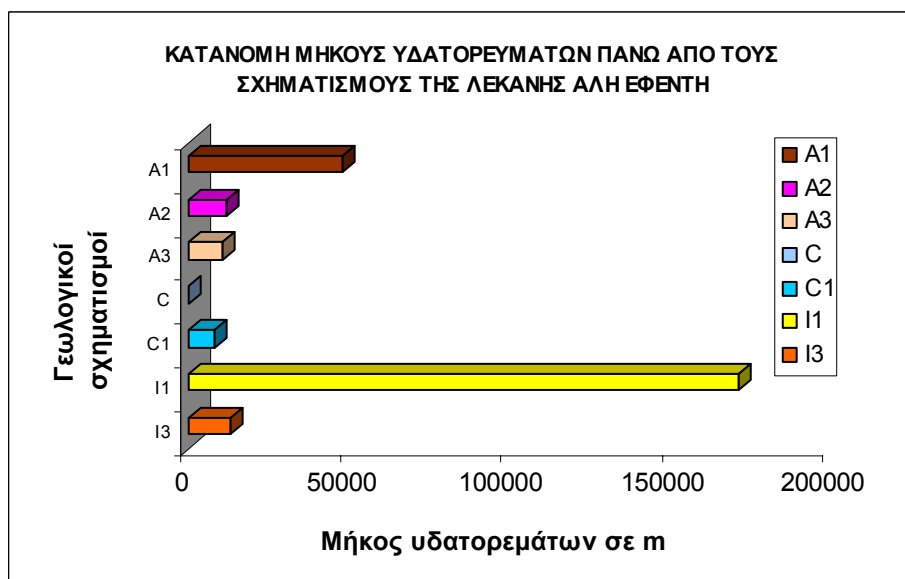
ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΥΔΑΤΟΡΕΥΜΑΤΩΝ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΑΛΗ ΕΦΕΝΤΗ

Πίνακας 5: Υπολογισμός μήκους υδατορευμάτων πάνω από τους γεωλογικούς σχηματισμούς στην λεκάνη

Σχηματισμοί	Μήκος υδατορευμάτων που περνάνε πάνω από τους σχηματισμούς σε m
A1	47885.644
A2	11933.034
A3	10545.613
C	16.288
C1	7947.42
I1	171103.452
I3	13091.618

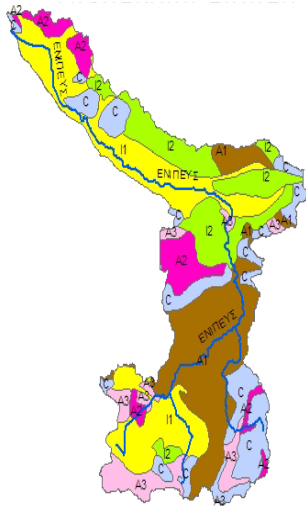


Σχήμα 9: Κυκλικό διάγραμμα με τα ποσοστά επί τοις % του μήκους των υδατορευμάτων που διατρέχουν τους σχηματισμούς της λεκάνης



Σχήμα 10: Ραβδόγραμμα με τα ποσοστά μήκους των υδατορευμάτων που διατρέχουν τους σχηματισμούς στη λεκάνη

ΛΕΚΑΝΗ ΕΝΙΠΕΑ – ΘΕΣΗ ΣΚΟΠΙΑ



Στη συνολική λεκάνη του Ενιπέα:

- Το συνολικό μήκος των κυριότερων κλάδων υδατορευμάτων είναι:

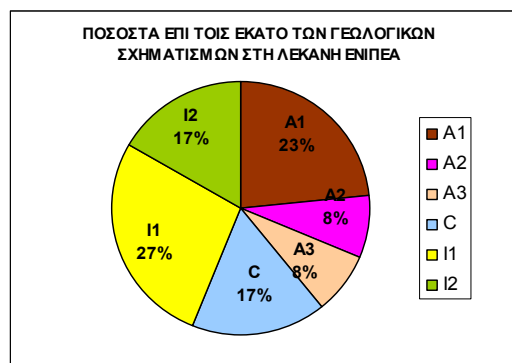
$$L = 132956 \text{ m}$$

- Η λεκάνη έχει έκταση: 1044 Km² και
- Περίμετρο: 254606 m

Εικ.6: Κατανομή γεωλογικών σχηματισμών

Πίνακας 6: Υπολογισμός έκτασης γεωλογικών σχηματισμών στη συνολική λεκάνη του Ενιπέα

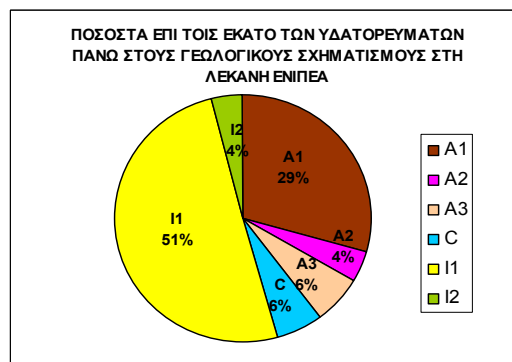
Σχηματισμοί	Ποσοστό συμμετοχής στη λεκάνη Ενιπέα σε Km ²
A1	244.334795
A2	82.825138
A3	82.983028
C	175.267063
I1	285.11479
I2	174.293863
SUM	1044.819



Σχήμα 11: Κυκλικό διάγραμμα με τα ποσοστά επί τοις % συμμετοχής των γεωλογικών σχηματισμών στη συνολική λεκάνη του Ενιπέα

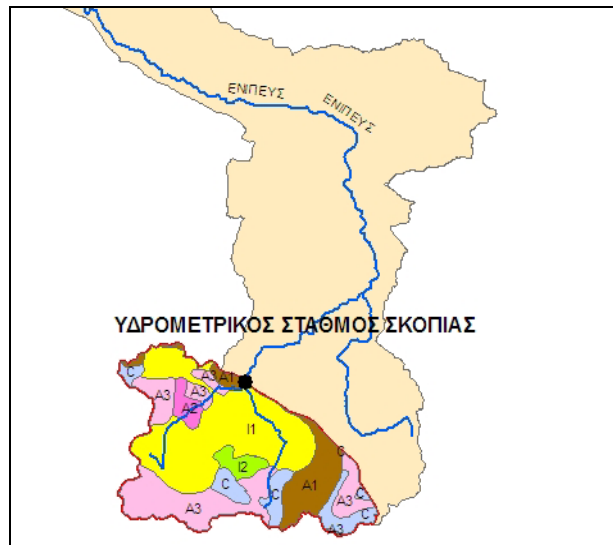
Πίνακας 7: Υπολογισμός μήκους υδατορευμάτων πάνω από τους γεωλογικούς σχηματισμούς στη λεκάνη

Σχηματισμοί	Μήκος υδατορευμάτων που περνάει πάνω από τους σχηματισμούς σε m
A1	39229.215
A2	5321.330
A3	8540.188
C	7573.528
I1	67496.385
I2	5193.130
SUM	133353.776



Σχήμα 12: Κυκλικό διάγραμμα με τα ποσοστά επί τοις % του μήκους των υδατορευμάτων που διατρέχουν τους σχηματισμούς της λεκάνης

ΛΕΚΑΝΗ ΑΝΑΝΤΗ ΥΔΡΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΣΚΟΠΙΑΣ



Εικ.7: Θέση λεκάνης ανάντη υδρομετρικού σταθμού Σκοπιάς

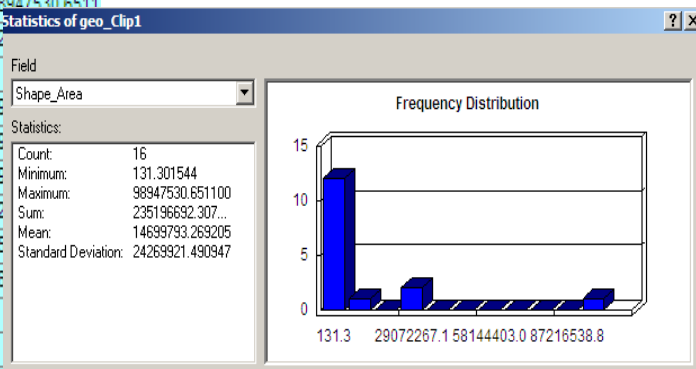
Attributes of BASIN_ΣΚΟΠΙΑ				
FID	Shape*	Id	PERIMETER	AREA
0	Polygon	0	80331.933	235196692.34

Σχήμα 13: Η λεκάνη Σκοπιάς έχει Εμβαδόν: 235 Km² και Περίμετρο: 80331 m

Το συνολικό μήκος των κυριότερων υδατορευμάτων είναι: L = 27992 m.

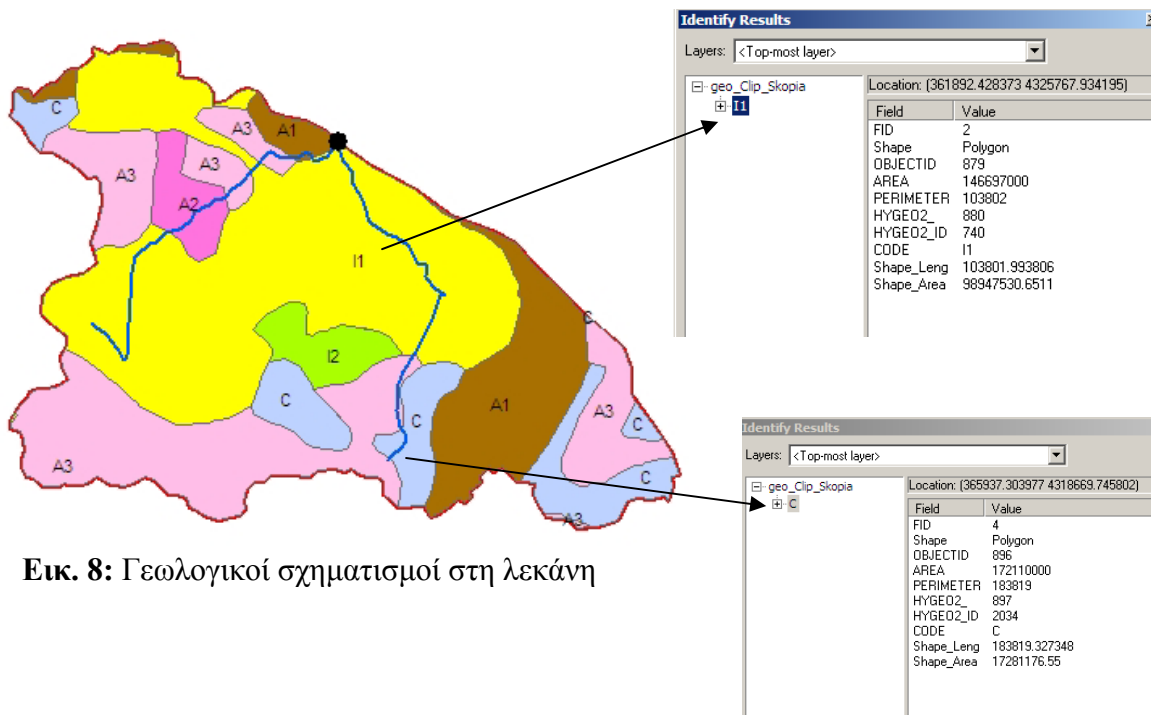
Πίνακας 8: Υπολογισμός εκτάσεως των γεωλογικών σχηματισμών

GEO2_ID	CODE	Shape_Leng	Shape_Area
1934	A1	165949.332127	30825273.7494
737	C	34165.348370	2553844.341676
740	I1	103801.993806	98947530.6511
742	C	29369.416941	2
2034	C	183819.327348	
746	A3	21981.873040	959
747	A2	12490.935568	719
748	A3	8435.996956	349
754	A3	28314.586538	952
755	I2	14268.652658	775
758	C	10592.981031	616
759		67.280042	
760		240.930168	
764	A3	18347.156094	212685.930838
1941	A3	170016.136326	38485626.2287
745	A3	8827.867656	3137481.093105



Σχήμα 14: Διάγραμμα κατανομή των σχηματισμών στη λεκάνη

ΛΕΚΑΝΗ ΣΚΟΠΙΑΣ



Εικ. 8: Γεωλογικοί σχηματισμοί στη λεκάνη

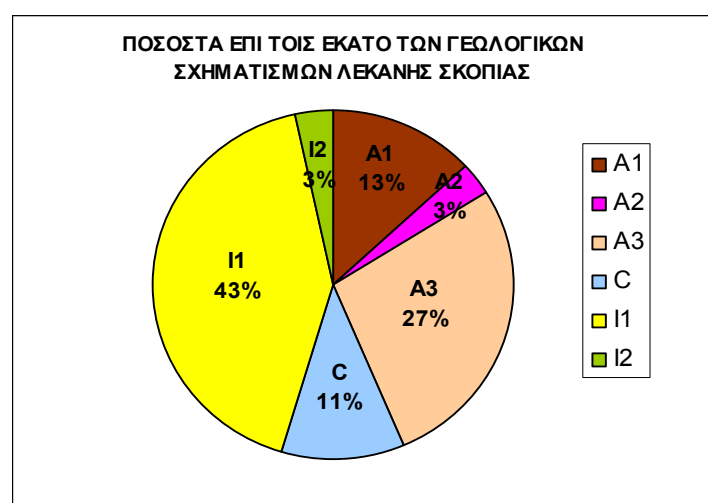
Υπόμνημα υδρογεωλογικού χάρτη:

I1	Κοκκώδεις προσχωματικές αποθέσεις κυμαινόμενης υδροπερατότητας
I2	Κοκκώδεις μη προσχωματικές αποθέσεις μέτριας έως πολύ μικρής υδροπερατότητας
C	Ασβεστόλιθοι και μάρμαρα εκτεταμένης ανάπτυξης, μέτριας έως υψηλής υδροπερατότητας
C1	Ασβεστόλιθοι και μάρμαρα περιορισμένης ανάπτυξης κυμαινόμενης υδροπερατότητας
A1	Φλύσχης, γενικά αδιαπέρατος σχηματισμός
A2	Μεταμορφωμένα πετρώματα, γενικά αδιαπέρατοι σχηματισμοί, με μικρή έως πολύ μικρή υδροπερατότητα
A3	Πλουτώνια και ηφαιστειακά πετρώματα, γενικά αδιαπέρατοι με μικρή έως πολύ μικρή υδροπερατότητα

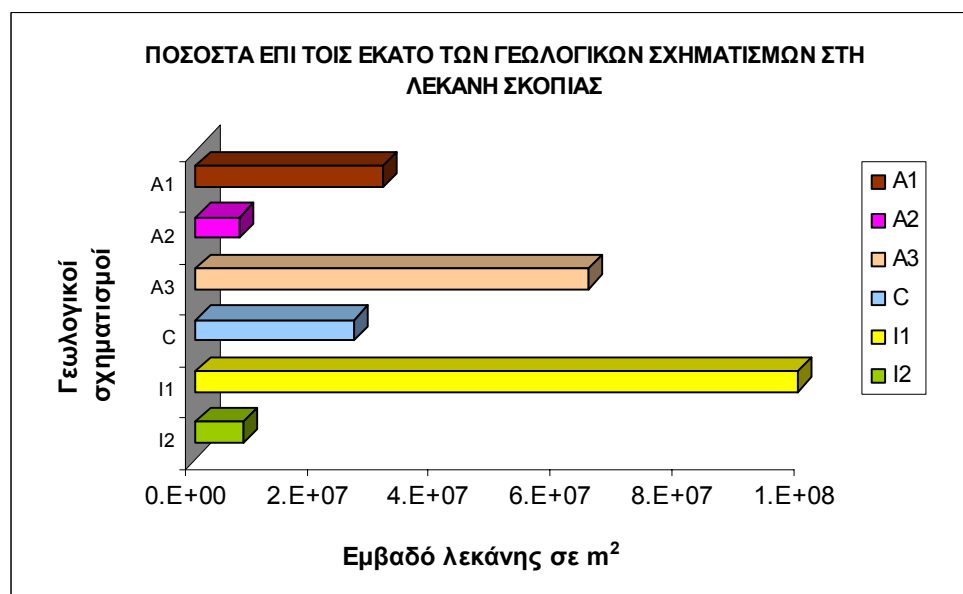
ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ – ΘΕΣΗ ΣΚΟΠΙΑΣ

Πίνακας 9: Υπολογισμός έκτασης γεωλογικών σχηματισμών στη λεκάνη

Σχηματισμοί	Ποσοστό συμμετοχής στη λεκάνη Σκοπιάς σε m ²	Ποσοστό συμμετοχής στη λεκάνη Σκοπιάς σε Km ²
A1	30825273.749	30.82527375
A2	7190159.905	7.190159905
A3	64451460.498	64.4514605
C	26026965.892	26.02696589
I1	98947530.651	98.94753065
I2	7753653.486	7.753653486
SUM	235195044.181	235.195



Σχήμα 15: Κυκλικό διάγραμμα με τα ποσοστά επί τοις % συμμετοχής των γεωλογικών σχηματισμών στη λεκάνη



Σχήμα 16: Ραβδόγραμμα με τα ποσοστά συμμετοχής των γεωλογικών σχηματισμών στη λεκάνη

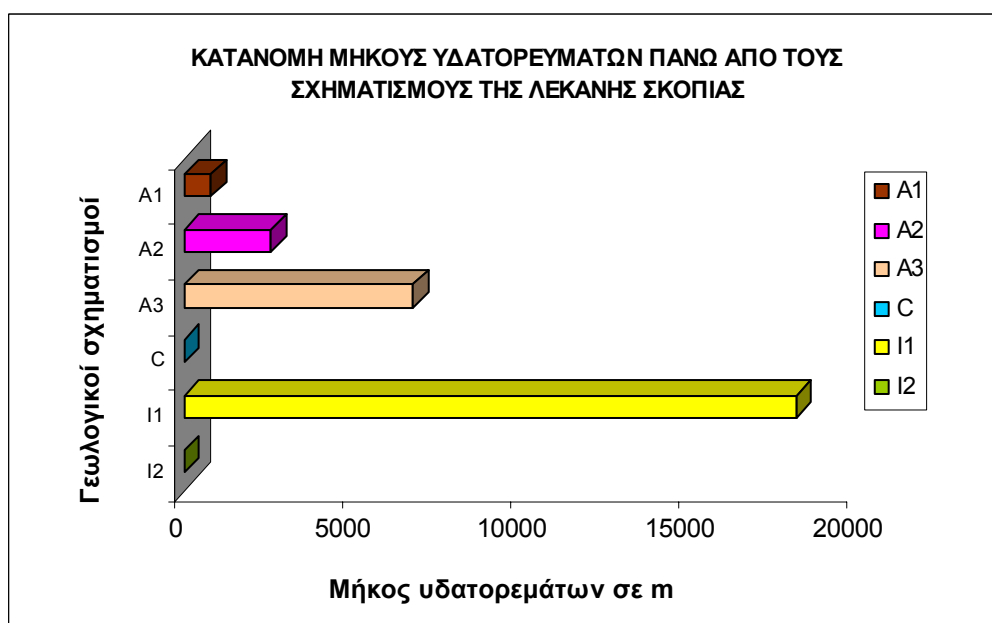
ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΥΔΑΤΟΡΕΥΜΑΤΩΝ – ΘΕΣΗ ΣΚΟΠΙΑΣ

Πίνακας 10: Υπολογισμός μήκους υδατορευμάτων που διατρέχουν τους γεωλογικούς σχηματισμούς της λεκάνης

Σχηματισμοί	Μήκος υδατορευμάτων που περνάνε πάνω από τους σχηματισμούς σε m
A1	785.124
A2	2575.296
A3	6797.358
C	0.000
I1	18163.026
I2	0.000



Σχήμα 17: Κυκλικό διάγραμμα με τα ποσοστά επί τοις % του μήκους των υδατορευμάτων που διατρέχουν τους σχηματισμούς της λεκάνης



Σχήμα 18: Ραβδόγραμμα με τα ποσοστά μήκους των υδατορευμάτων που διατρέχουν τους σχηματισμούς στη λεκάνη

4.8.5 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Για την λεκάνη ανάντη του υδρομετρικού σταθμού Αλή Εφέντη το μοντέλο εφαρμόστηκε για 24 υδρολογικά έτη. Η έκταση λεκάνης απορροής του σταθμού είναι 2868,61 km². Η μέση υπερετήσια απορροή του σταθμού είναι: 39,05 m³/s και ο μέσος υπερετήσιος συντελεστής απορροής είναι ίσος με: 0.428. Η βροχόπτωση υπολογίστηκε με βάση τα δεδομένα των βροχομετρικών σταθμών: Αγιόφυλλο, Δρακότρυπα, Ελάτη, Φαρκαδόνα, Μ. Κερασιά, Στουρναρέικα, Τρίκαλα, Χρυσομηλιά, Μαλακάσιο, Μετέωρα, Μουζάκι, Καρδίτσα και Βερδικούσα.

Ο υδρομετρικός σταθμός Αλή Εφέντη είναι από τους πιο αξιόπιστους σταθμούς και έχει υποδειγματική λειτουργία. Είναι εγκατεστημένος στη γέφυρα του δρόμου Φαρκαδόνας – Παλαμά και είναι ο πρώτος στον πεδινό ρου του Πηνειού οπότε είναι σημαντικός για την ακριβή εκτίμηση των υδατικών πόρων ενός πολύ σημαντικού ποσοστού της ορεινής λεκάνης του Πηνειού (πλην των υπολεκανών απορροής του Ενιπέα και Τιταρήσιου, Κουτσογιάννης, 1997).

- το μέσο υψόμετρο της λεκάνης ανάντη του σταθμού είναι: **539,73 m** και
- η μέση ετήσια βροχόπτωση: **933,3 mm**

Για την λεκάνη του Ενιπέα υπήρχαν μετρημένες παροχές από 2 σταθμούς : τον υδρομετρικό σταθμό Σκοπιάς και τον υδρομετρικό σταθμό Αμπελιάς. Χρησιμοποιήθηκαν οι παροχές του πρώτου και με βάση την έκταση λεκάνης απορροής 410.50 km² λήφθηκαν οι αντίστοιχες παροχές. Ο σταθμός της Σκοπιάς ανήκει στο ΥΠΓΕ, η έκταση λεκάνης απορροής του σταθμού είναι 410,50 km² και βρίσκεται σε υψόμετρο 450 m. Η μέση υπερετήσια απορροή του σταθμού είναι: 1.95 m³/s και ο μέσος υπερετήσιος συντελεστής απορροής: 0.205. Θεωρείται αξιόπιστος υδρομετρικός σταθμός με μειονέκτημα όμως ότι δεν είναι εφικτή η μέτρηση υψηλών παροχών καθώς ο σταθμός δεν είναι εγκατεστημένος σε γέφυρα αλλά σε σημείο τομής αγροτικού δρόμου με τον Ενιπέα. Η μέγιστη μετρημένη παροχή είναι 7.733 m³/s για στάθμη 0.76 m.

- το μέσο υψόμετρο της λεκάνης ανάντη του σταθμού είναι: **644,32 m** και
- η μέση ετήσια βροχόπτωση: **652,7 mm** (Κουτσογιάννης, 1997).

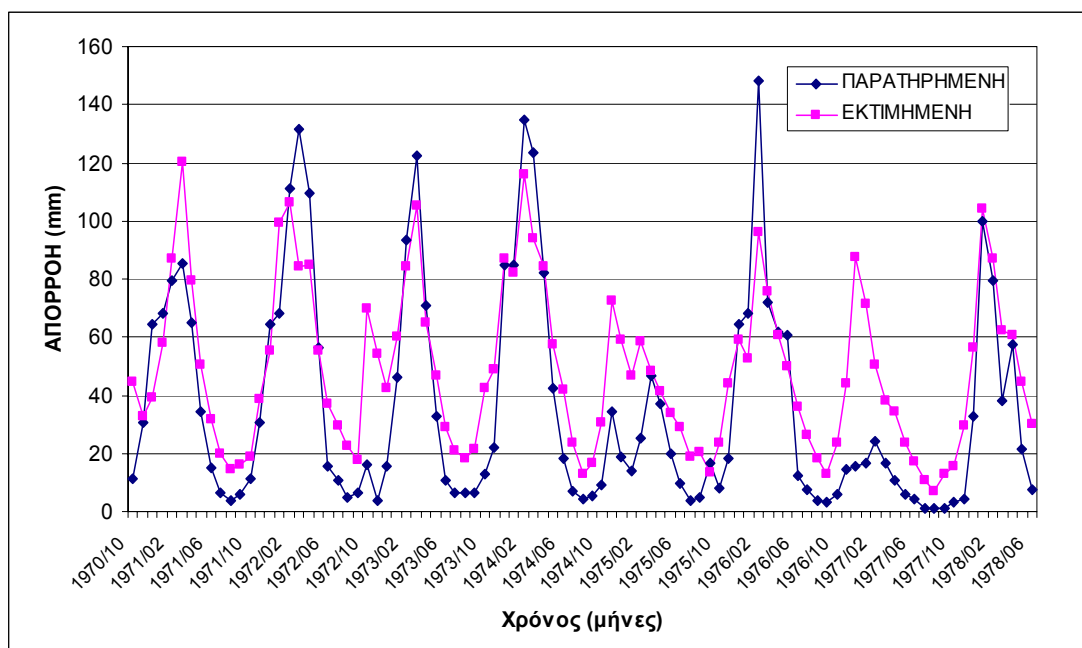
Α) ΛΕΚΑΝΗ ΑΛΗ ΕΦΕΝΤΗ

Τα δεδομένα βροχόπτωσης, εξάτμισης και απορροής καλύπτουν 24 υδρολογικά έτη (1970 – 1974).

Πίνακας 11: Προσδιορισμός παραμέτρων για τη λεκάνη Αλή Εφέντη

K	217	217	217	217	217	217	217
ε	0.35	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
κ	0.175	0.175	0.153	0.153	0.128	0.153	0.153
So	0	0	0	0	0	0	0
λ	0.068	0.068	0.055	0.055	0.055	0.046	0.055
H1	67	67	67	67	67	67	67
μ	0.071	0.071	0.001	0.033	0.071	0.071	0.071
ξ	0.065	0.065	0.065	0.065	0.065	0.065	0.065
φ	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
H2	100	100	113	113	113	113	113
Yo	150	150	175	175	175	154	154
Nash	0.6479	0.6819	0.6380	0.6851	0.6836	0.6844	0.6852

Βέλτιστος Nash



Σχήμα 19: Διάγραμμα παρατηρημένων απορροών και εκτιμημένων από το μοντέλο Ζυγός Βέλτιστος Συντελεστής Nash λεκάνης Αλή Εφέντη = 0.6852

(τιμές παραμέτρων $K=217$, $\varepsilon = 0.8$, $\kappa = 0.153$, $\lambda=0.055$, $H1 = 67$, $\mu =0.071$ και υπόγειας δεξαμενής $Y_0= 154$, $H2 = 113$, $\xi = 0.065$ και $\varphi = 0.002$).

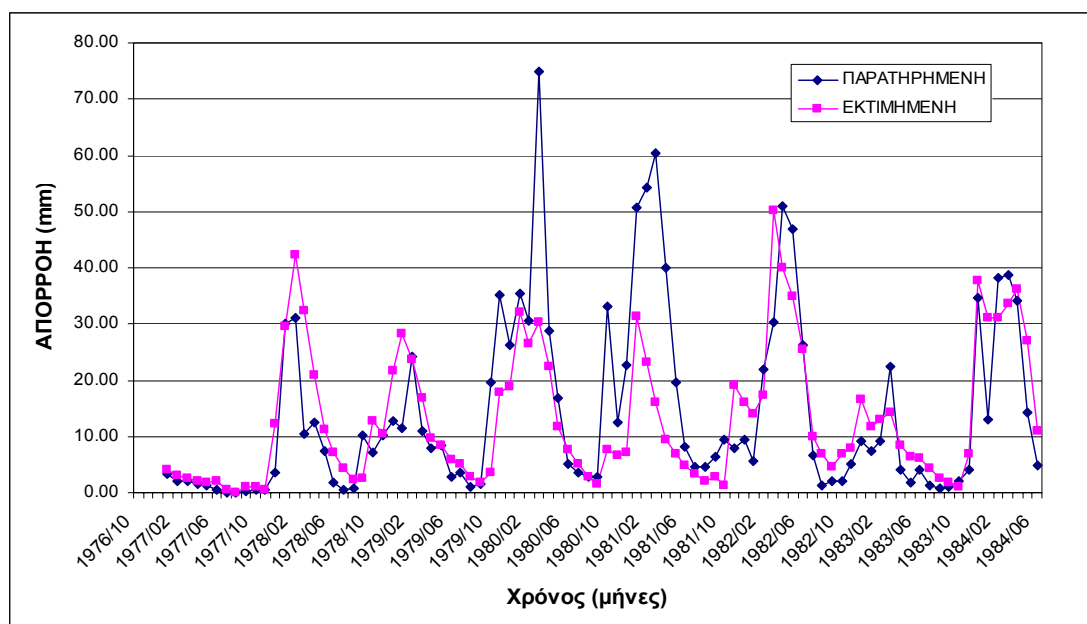
Β) ΛΕΚΑΝΗ ΑΝΑΝΤΗ ΥΔΡ. ΣΤΑΘΜΟΥ ΣΚΟΠΙΑΣ

Τα δεδομένα βροχόπτωσης, εξάτμισης και απορροής καλύπτουν 9 υδρολογικά έτη (1976 – 1985).

Πίνακας 12: Προσδιορισμός παραμέτρων για τη λεκάνη Σκοπιάς

K	408	408	371	392	392	424
ε	0.65	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
κ	0.118	0.118	0.118	0.118	0.118	0.118
So	0	0	0	0	0	0
λ	0.023	0.023	0.021	0.021	0.021	0.021
H1	161	161	161	161	161	161
μ	0.0055	0.0055	0.0075	0.0055	0.0055	0.0055
ξ	0.075	0.075	0.075	0.055	0.087	0.087
φ	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
H2	121	121	121	121	121	121
Yo	190	190	190	190	190	190
Nash	0.4808	0.50951	0.5247	0.52353	0.5311	0.5371

Βέλτιστος Nash

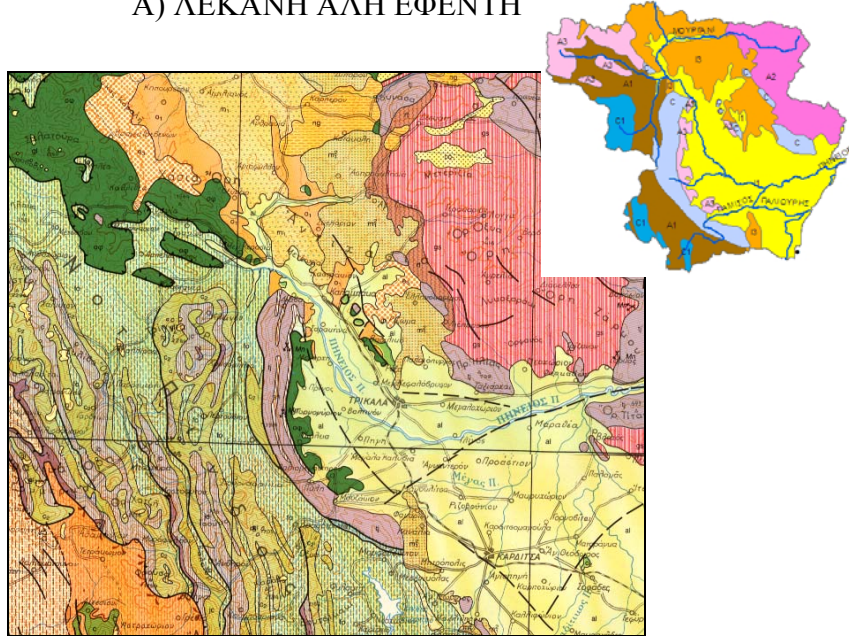


Σχήμα 20: Διάγραμμα παρατηρημένων απορροών και εκτιμημένων από το μοντέλο Ζυγός Βέλτιστος Συντελεστής Nash λεκάνης Σκοπιάς = 0.53719

(τιμές παραμέτρων $K=424$, $\varepsilon = 0.8$, $\kappa = 0.118$, $\lambda=0.055$, $H1 = 151$, $\mu = 0.0055$ και υπόγειας δεξαμενής $Y_o = 190$, $H2 = 121$, $\xi = 0.087$ και $\phi = 0.001$).

4.8.5 ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

A) ΛΕΚΑΝΗ ΑΛΗ ΕΦΕΝΤΗ



Εικ. 9: Γεωλογικός χάρτης ΙΓΜΕ της περιοχής Υδρ. Σταθμού Αλή Εφέντη

1. Στο μοντέλο χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα βροχόπτωσης, εξάτμισης και απορροής από την λεκάνη ανάντη του υδρομετρικού σταθμού Αλή Εφέντη.

Η συσχέτιση των παρατηρημένων τιμών απορροής και των εκτιμημένων είναι σχετικά καλή με τον βέλτιστο συντελεστή Nash της λεκάνης είναι ίσος με **R = 0.6852**.

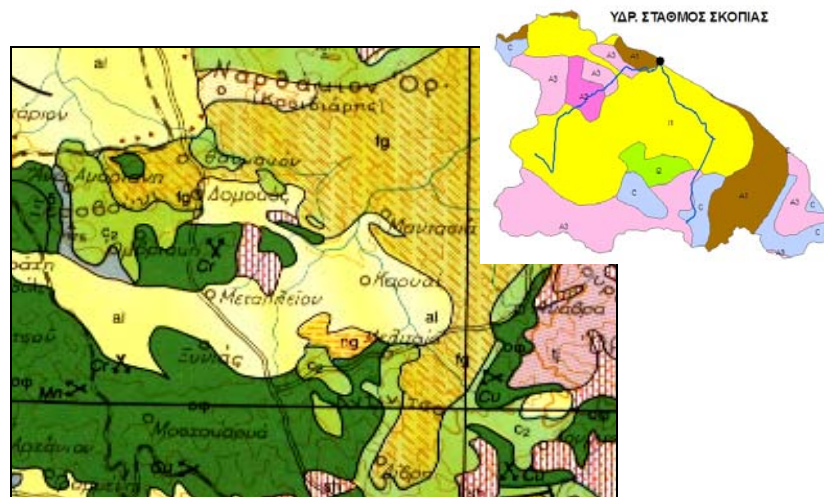
2. Το ποσοστό της εξατμοδιαπνοής είναι ίσο με $\epsilon = 0.8 (0.76 - 0.8)$, και είναι από τα υψηλότερα που έχουν επιτευχθεί σε αυτήν την εργασία γεγονός και δικαιολογείται από το ότι η λεκάνη έχει χαμηλό μέσο υψόμετρο (539,73 m και ο σταθμός βρίσκεται σε υψόμετρο 507,31 m). Ο συντελεστής Nash αυξάνεται αρκετά από $R = 0.6479 \rightarrow 0.6819$ με ανάλογη αύξηση των τιμών της παραμέτρου $\epsilon = 0.35 \rightarrow 0.76$ διατηρώντας σταθερές τις υπόλοιπες παραμέτρους $K=217$, $\kappa = 0.175$, $\lambda=0.068$, $H1 = 67$, $\mu = 0.071$, $Y_0 = 150$, $H2 = 100$, $\xi = 0.065$ και $\phi = 0.002$.

3. Με την αύξηση της τιμής των διαφυγών της υπόγειας δεξαμενής ο συντελεστής Nash παρουσιάζει πολύ μικρή αύξηση μέχρι την τιμή $\phi = 0.002$. Με τιμές μεγαλύτερες του 0.002 μειωνότανε οι τιμές του συντελεστή και έτσι θεωρήθηκε ότι οι καλύτερες δυνατές τιμές των διαφυγών είναι μεταξύ του 0.0005 – 0.002 ($\phi = 0.005, 0.0082, 0.01 \rightarrow R = 0.6711, 0.6438, 0.6222$).

4. Ο συντελεστής Nash βελτιώνεται επίσης με την αύξηση του ρυθμού εκφόρτισης της εδαφικής δεξαμενής για παραγωγή υπόγειας ροής. Συγκεκριμένα με μεταβολή του $\mu = 0.001 \rightarrow 0.036$ ο συντελεστής Nash από 0.6380 γίνεται 0.6823. Στη συνέχεια το πλήθος δοκιμών μεταξύ των τιμών $\mu = 0.036 - 0.078$ έδινε παραπλήσιους συντελεστές Nash (για $\mu=0.033, 0.052, 0.078$ έχουμε $R = 0.6851, 0.6845, 0.6830$) και έτσι δεν μπόρεσε να προσδιοριστεί μία μόνο τιμή για να είναι η βέλτιστη.

5. Η λεκάνη αποτελείται σε ποσοστό **49%** από **κοκκώδεις αποθέσεις** κυμαινόμενης διαπερατότητας, 14 % ασβεστολίθους (εκ των οποίων το 9% μέτρια έως υψηλής υδροπερατότητας) και σε ποσοστό περίπου 37% από αδιαπέρατους γενικά σχηματισμούς (φλύσχης, μεταμορφωμένα και ηφαιστειακά). Η ευαισθησία του συντελεστή Nash στις μεταβολές του ρυθμού εκφόρτισης της εδαφικής δεξαμενής για την παραγωγή άμεσης απορροής **δεν ήτανε αισθητή** και σχεδόν τα ίδια αποτελέσματα δίνει και οποιαδήποτε άλλη τιμή μεταξύ του **0.12– 0.19**. Συγκεκριμένα οι εκτιμημένες απορροές φαίνεται να μην επηρεάζονται σχεδόν καθόλου από τις τιμές της παραμέτρου κ . Για τιμές $\kappa = 0.125, 0.135, 0.146, 0.155, 0.168, 0.175$ ο συντελεστής Nash παίρνει τιμές που ελάχιστα διαφέρουν μεταξύ τους: $R = 0.68345, 0.68349, 0.6844, 0.6845, 0.68451$ και 0.68447 με τις υπόλοιπες παραμέτρους να παίρνουν τιμές: $K = 217, \varepsilon = 0.8, \lambda = 0.055, H1 = 67, \mu = 0.071, Y_0 = 175, H2 = 113, \xi = 0.065$ και $\varphi = 0.002$.

B) ΛΕΚΑΝΗ ΣΚΟΠΙΑΣ



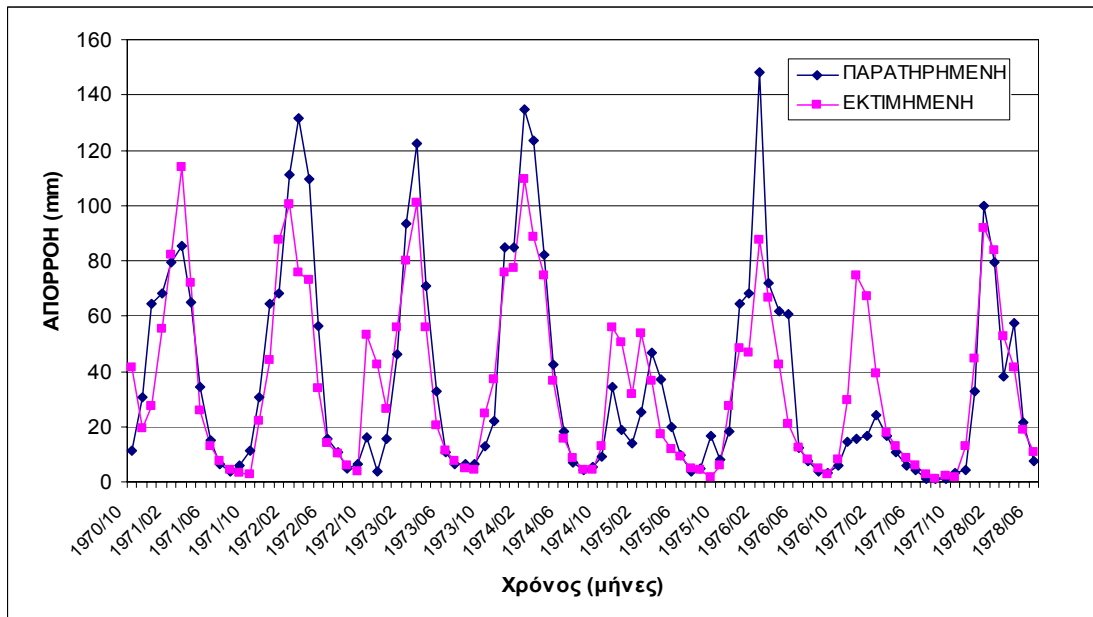
Εικ. 10: Γεωλογικός χάρτης, ΙΓΜΕ ανάντη Υδρ. Σταθμού Σκοπιάς.

1. Στα υδρογράμματα παρατηρούμε ότι οι μετρημένες απορροές παρουσιάζουν αιχμές τις οποίες το μοντέλο δεν μπορεί να προσεγγίσει. Ιδιαίτερα προβληματικές είναι οι τρεις πρώτες μετρημένες τιμές απορροής και από τα υδρογράμματα των σχημάτων 23 και 24 που δίδονται παρακάτω φαίνεται ότι αφαιρώντας αυτές τις τιμές και διατηρώντας τις υπόλοιπες παραμέτρους σταθερές, ο συντελεστής Nash βελτιώνεται σημαντικά από την τιμή 0.4633 → στην τιμή 0.53086. Το γεγονός αυτό μας οδηγεί σε **αμφιβολίες σχετικά με την αξιοπιστία των μετρήσεων** του υδρομετρικού σταθμού της Σκοπιάς και σε αυτό θα πρέπει να οφείλεται και ο χαμηλός συντελεστής Nash ($R = 0.53719$).

2. Παρόλο αυτά ο συντελεστής βελτιώνεται σταθερά αυξάνοντας το ποσοστό της εξατμοδιαπνοής που βρέθηκε ίσο με $\varepsilon = 0.8$ και όπως και στην περίπτωση της λεκάνης Αλή Εφέντη είναι από τις υψηλότερες τιμές της παραμέτρου σε αυτήν την εργασία γεγονός και δικαιολογείται από το ότι η λεκάνη έχει χαμηλό μέσο υψόμετρο και ήπιες κλίσεις. Ο συντελεστής Nash αυξάνεται σημαντικά από $R = 0.2127 \rightarrow 0.5095$ με $\varepsilon = 0.21 \rightarrow 0.8$ διατηρώντας σταθερές τις υπόλοιπες παραμέτρους $K=408$, $\kappa=0.118$, $\lambda=0.021$, $H1=161$, $\mu = 0.0055$, $Y_0 = 190$, $H2 = 121$, $\xi = 0.075$ και $\phi = 0.001$.

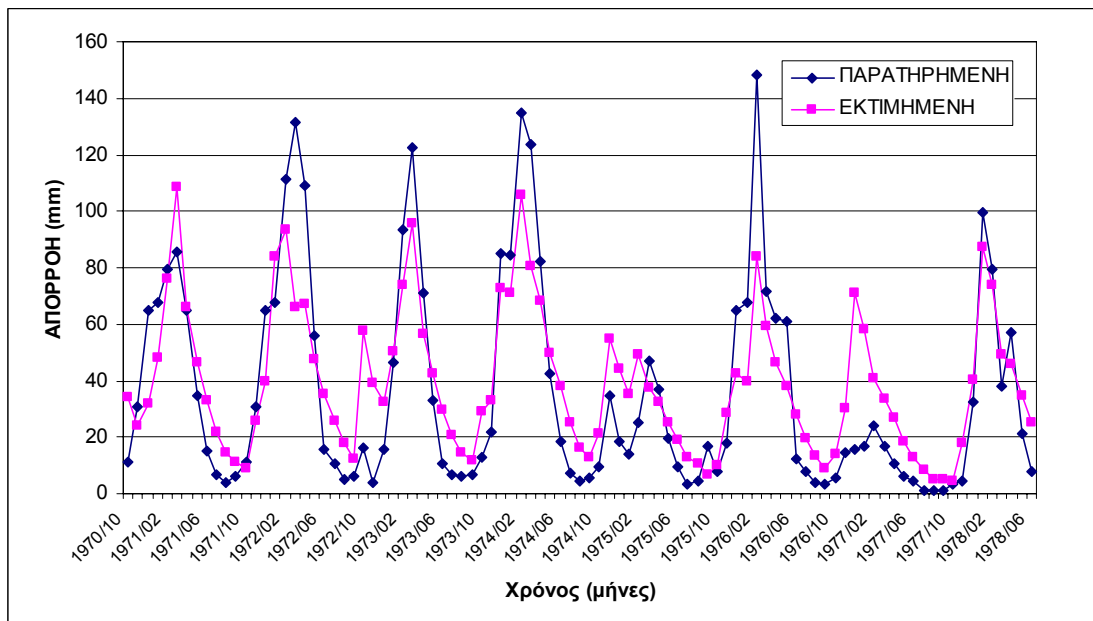
3. Επιπλέον ο συντελεστής αυξάνεται με μείωση του ποσοστού βροχόπτωσης που απορρέει άμεσα $\kappa=0.118$ και οφείλεται στο ότι η λεκάνη σε ποσοστό 54% αποτελείται από προσχωματικές αποθέσεις και ασβεστόλιθους. Επιπλέον σε ποσοστό 27% αποτελείται από πλουτώνια και ηφαιστειακά πετρώματα που λόγω τεκτονισμού κατατάσσονται στους ημιπερατούς σχηματισμούς (αύξηση της κατεΐσδυσης).

ΛΕΚΑΝΗ ΑΛΗ ΕΦΕΝΤΗ



Σχήμα 21: Διάγραμμα παρατηρημένων απορροών και εκτιμημένων από το μοντέλο Ζυγός Συντελεστής Nash λεκάνης Αλή Εφέντη = 0.6763

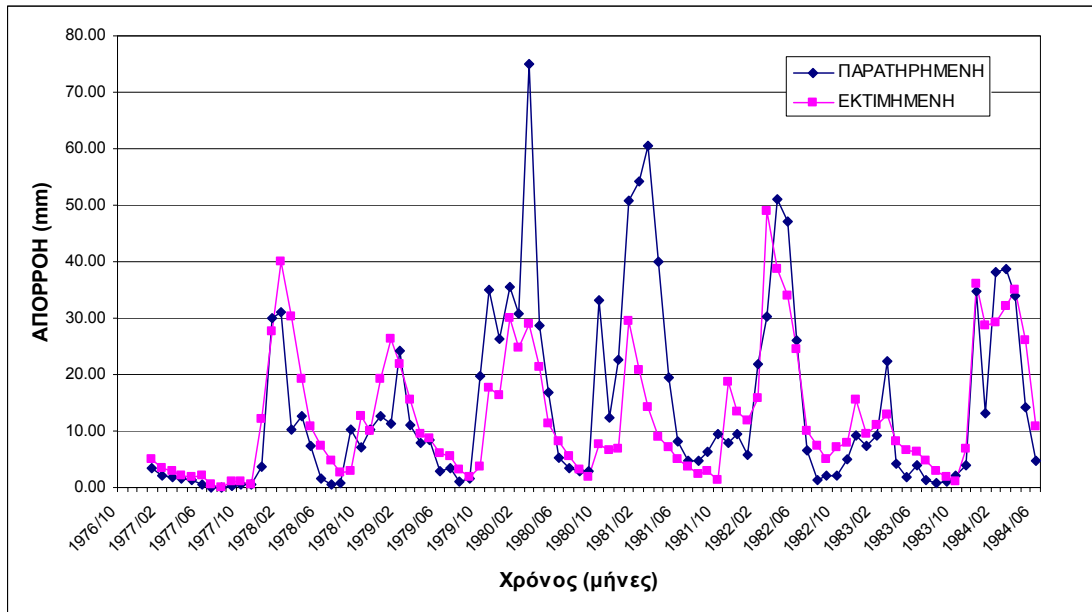
(τιμές παραμέτρων $K=217$, $\varepsilon = 0.8$, $\kappa = 0.153$, $\lambda=0.055$, $H1 = 67$, $\mu = 0.017$ και υπόγειας δεξαμενής $Y_0 = 175$, $H2 = 113$, $\xi = 0.065$ και $\varphi = 0.002$).



Σχήμα 22: Διάγραμμα παρατηρημένων απορροών και εκτιμημένων από το μοντέλο Ζυγός Συντελεστής Nash λεκάνης Αλή Εφέντη = 0.6550

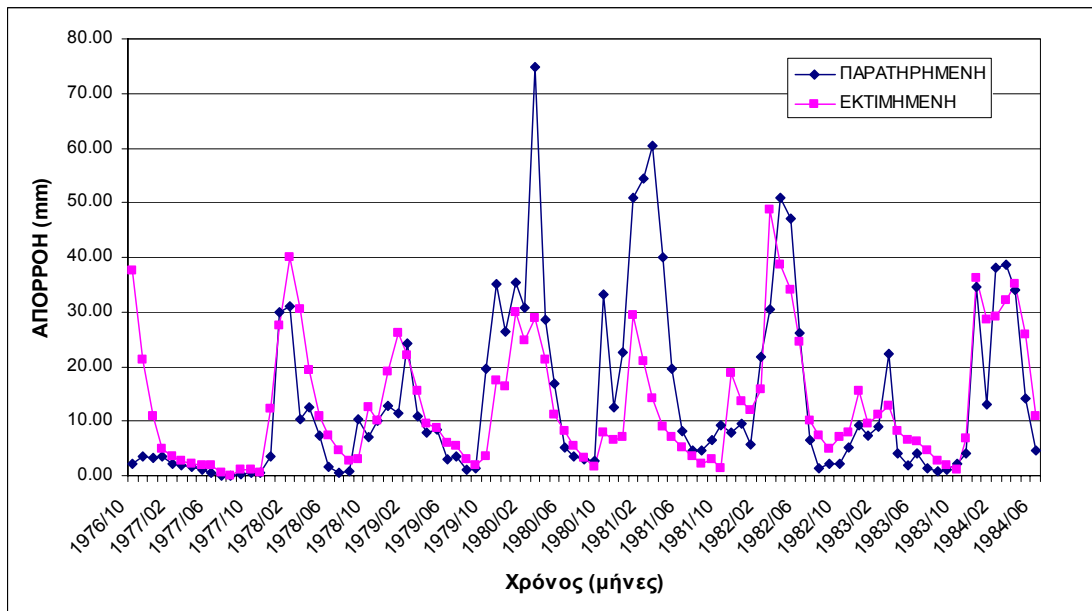
(τιμές παραμέτρων $K=217$, $\varepsilon = 0.8$, $\kappa = 0.153$, $\lambda=0.068$, $H1 = 67$, $\mu = 0.071$ και υπόγειας δεξαμενής $Y_0 = 175$, $H2 = 113$, $\xi = 0.041$ και $\varphi = 0.002$).

ΛΕΚΑΝΗ ΕΝΙΠΕΑ



Σχήμα 23: Διάγραμμα παρατηρημένων απορροών και εκτιμημένων από το μοντέλο Ζυγός Συντελεστής Nash λεκάνης Ενιπέα = 0.53086

(τιμές παραμέτρων $K=408$, $\varepsilon = 0.8$, $\kappa = 0.118$, $\lambda=0.033$, $H1 = 187$, $\mu =0.0055$ και υπόγειας δεξαμενής $Y_0=190$, $H2 = 121$, $\xi = 0.075$ και $\varphi = 0.001$).



Σχήμα 24: Διάγραμμα παρατηρημένων απορροών και εκτιμημένων από το μοντέλο Ζυγός Συντελεστής Nash λεκάνης Ενιπέα = 0.463385

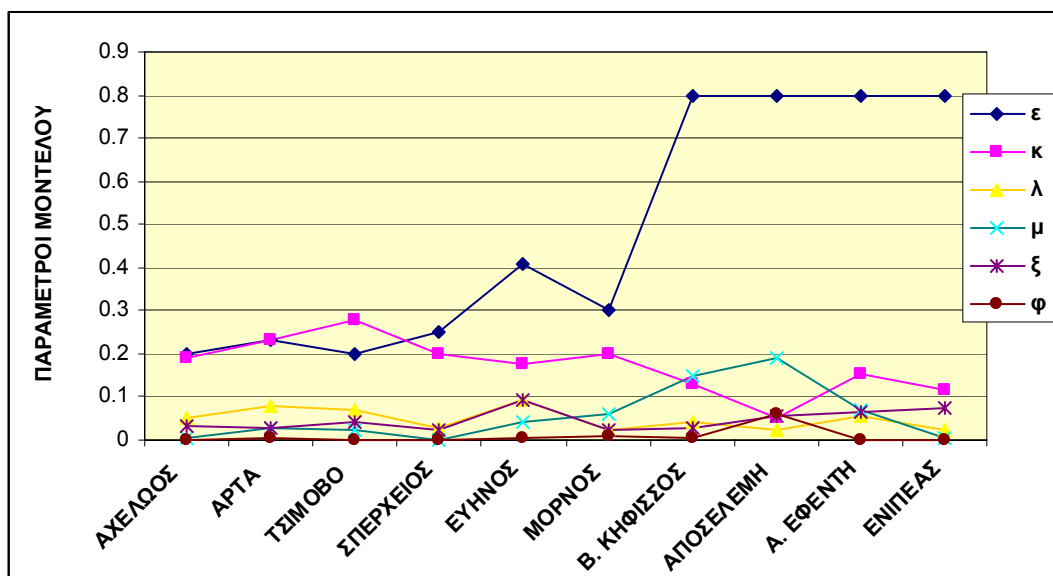
(τιμές παραμέτρων $K=408$, $\varepsilon = 0.8$, $\kappa = 0.118$, $\lambda=0.033$, $H1 = 187$, $\mu =0.0055$ και υπόγειας δεξαμενής $Y_0=190$, $H2 = 121$, $\xi = 0.075$ και $\varphi = 0.001$).

4.9 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΛΕΚΑΝΩΝ

Για το σύνολο των 10 λεκανών που μελετήθηκαν στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία ακολουθούν πίνακες με τις βέλτιστες τιμές των παραμέτρων τους και στη συνέχεια δίνεται ένας συνολικός σχολιασμός και ένα εύρος διακύμανσης τους.

Πίνακας 1: Βέλτιστες τιμές παραμέτρων για κάθε λεκάνη

ΛΕΚΑΝΕΣ	Κ	ε	κ	λ	H1	μ	ξ	φ	H2	Υο
ΑΧΕΛΩΟΣ Nash (0.9083)	330	0.2	0.19	0.049	64	0.006	0.033	0.0001	180	265
ΑΡΤΑ Nash (0.8741)	362	0.23	0.23	0.078	77	0.028	0.03	0.006	141	270
ΤΣΙΜΟΒΟ Nash (0.8353)	355	0.2	0.28	0.068	72	0.021	0.041	0.001	176	255
ΣΠΕΡΧΕΙΟΣ Nash (0.8201)	441	0.25	0.2	0.027	192	0.0001	0.022	0.0001	216	305
ΕΥΗΝΟΣ Nash (0.8717)	202	0.41	0.175	0.095	126	0.044	0.092	0.0045	162	238
ΜΟΡΝΟΣ Nash (0.8030)	283	0.3	0.2	0.025	73	0.061	0.023	0.008	206	271
ΒΟΙΩΤΙΚΟΣ Nash (0.8076)	211	0.8	0.13	0.041	68	0.15	0.028	0.005	185	285
ΑΠΟΣΕΛ. (0%) Nash (0.5493)	307	0.77	0.079	0.1	106	0.2	0.076	0.043	185	224
ΑΠΟΣΕΛ. (30%) Nash (0.5544)	317	0.8	0.051	0.021	106	0.19	0.056	0.058	173	238
ΑΠΟΣΕΛ. (50%) Nash (0.4144)	343	0.77	0.034	0.015	92	0.18	0.056	0.075	173	238
Α. ΕΦΕΝΤΗ Nash (0.6852)	217	0.8	0.153	0.055	67	0.071	0.065	0.002	113	175
ΕΝΙΠΕΑΣ Nash (0.5308)	424	0.8	0.118	0.021	161	0.0055	0.075	0.001	121	190



Σχήμα 1: Διάγραμμα παραμέτρων ρύθμισης ε (ποσοστό βροχόπτωσης για την κάλυψη αναγκών εξατμοδιαπνοής), κ (ποσοστό άμεσης απορροής), λ (ρυθμός παραγωγής υποδερμικής ροής), μ (ρυθμός παραγωγής υπόγειας ροής), ξ (ρυθμός παραγωγής βασικής ροής) και φ (ρυθμός διαφυγών), συναρτήσεϊ των λεκανών.

Πίνακας 2: Ποσοστά γεωλογικών σχηματισμών και παράμετροι μοντέλου κ και μ.

ΛΕΚΑΝΗ		ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ								ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	
		A1	A2	A3	I1	I2	I3	C	C1	κ	μ
ΑΧΕΛΩΟΣ	Σχηματισμοί	44%						5%	51%	0.19	0.006
	Υδατορεύματα	51%						4%	45%		
ΑΡΤΑ	Σχηματισμοί	64%			7%			13%	15%	0.23	0.028
	Υδατορεύματα	67%			12%			8%	13%		
ΤΣΙΜΟΒΟ	Σχηματισμοί	44%		2%				6%	14%	0.2	0.021
	Υδατορεύματα	94%							6%		
ΣΠΕΡΧΕΙΟΣ	Σχηματισμοί	70%		11%	14%			2%	3%	0.2	0.0001
	Υδατορεύματα	69%		1%	30%						
ΕΥΗΝΟΣ	Σχηματισμοί	39%							61%	0.175	0.044
	Υδατορεύματα	18%							82%		
ΜΟΡΝΟΣ	Σχηματισμοί	56%	4%		1%			23%	16%	0.2	0.061
	Υδατορεύματα	87%	8%						5%		
ΒΟΙΩΤΙΚΟΣ ΚΗΦΙΣΣΟΣ	Σχηματισμοί	18%	2%	1%	39%	2%		38%		0.13	0.15
	Υδατορεύματα	5%			84%	1%		10%			
ΑΠΟΣΕΛΕΜΗ	Σχηματισμοί	45%						55%		0,079 (0%)	0,079 (0%)
	Υδατορεύματα	55%						45%		0,034 (30%)	0,19 (30%)
ΑΛΗ ΕΦΕΝΤΗ	Σχηματισμοί	16%	12%	9%	32%		17%	9%	5%	0.153	0.071
	Υδατορεύματα	18%	5%	4%	65%		5%		3%		
ΕΝΙΠΕΑΣ	Σχηματισμοί	13%	3%	27%	43%			11%		0.118	0.0055
	Υδατορεύματα	3%	9%	24%	64%			0%			

Τα μεγαλύτερα ποσοστά κάλυψης των αναγκών εξατμοδιαπνοής εμφανίζουν οι λεκάνες των οποίων το μέσο υψόμετρο είναι χαμηλό, έχουν ήπιες μορφολογικές κλίσεις και υψηλές μηνιαίες θερμοκρασίες όπως οι λεκάνες Αποσελέμη – θέση Ποταμιές, Βοιωτικού Κηφισσού και Ενιπέα – θέση Σκοπιάς. Τις μικρότερες τιμές της παραμέτρου εμφανίζουν οι ορεινές λεκάνες των Κομποτάδων, Τσιμόβου και των Κρεμαστών. Το εύρος τιμών της παραμέτρου είναι: $\varepsilon = 0.2 - 0.85$.

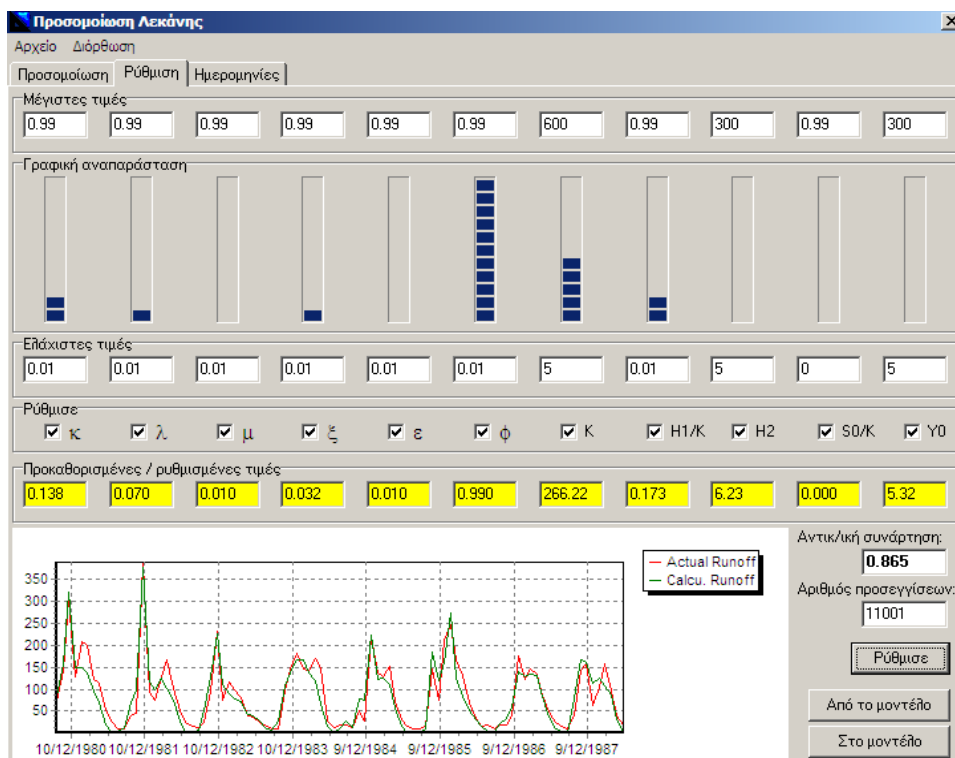
Το ποσοστό βροχόπτωσης που απορρέει άμεσα συνδέεται με τα ποσοστά διαπερατών και αδιαπέρατων σχηματισμών μιας λεκάνης. Η ευαισθησία του συντελεστή Nash στις μεταβολές της παραμέτρου είναι μεγαλύτερη όταν η λεκάνη αποτελείται σε υψηλό ποσοστό από αδιαπέρατους σχηματισμούς. Σε λεκάνες με υψηλό ποσοστό προσχώσεων και ασβεστολίθων, δηλαδή υδροπερατών σχηματισμών η ευαισθησία του συντελεστή είναι μειωμένη και η ρύθμιση της παραμέτρου γίνεται πολύ δύσκολη όπως στις λεκάνες Αλή Εφέντη, Σκοπιάς και Αποσελέμη. Αντίθετα στις λεκάνες όπως της Άρτας και του Τσιμόβου είναι πιο εύκολος ο προσδιορισμός της. Το εύρος τιμών της παραμέτρου βρέθηκε να κυμαίνεται μεταξύ: $\kappa = 0.034 - 0.28$.

Ο ρυθμός εκφόρτισης της εδαφικής δεξαμενής για παραγωγή υπόγειας ροής εμφανίζει τις μεγαλύτερες τιμές του στις λεκάνες Βοιωτικού Κηφισσού και Αποσελέμη και ακολούθως στις λεκάνες Μόρνου και Αλή Εφέντη, γεγονός που δικαιολογείται από το υψηλό ποσοστό διαπερατών σχηματισμών που δομούν τη λεκάνη και τον υψηλό βαθμό καρστικοποίησης των ανθρακικών πετρωμάτων. Το εύρος τιμών αυτή της παραμέτρου είναι: $\mu = 0.0001 - 0.2$. Σχεδόν το ίδιο παρατηρείται και με τις τιμές του ρυθμού των διαφυγών εκτός λεκάνης, το εύρος τιμών της παραμέτρου κυμαίνεται μεταξύ: $\phi = 0.0001 - 0.075$.

Τέλος ο ρυθμός παραγωγής βασικής ροής μπορεί να ξεκαθαρίσει τις σχέσεις επικοινωνίας γειτονικών σχηματισμών. Τους υψηλότερους ρυθμούς παραγωγής της παρουσιάζουν οι λεκάνες Εύηνου και Άρτας, στην πρώτη περίπτωση λόγω του ότι υπάρχει υψηλή τροφοδοσία των ασβεστολίθων προς τον ποταμό και στη δεύτερη λόγω της τροφοδοσίας του ποταμού από τις προσχώσεις. Το εύρος τιμών της παραμέτρου είναι: $\xi = 0.022 - 0.095$.

4.10 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΧΕΙΡΟΚΙΝΗΤΗΣ ΚΑΙ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΖΥΓΟΣ

Ως μέθοδος αυτόματης βαθμονόμησης το λογισμικό «Υδρογνώμων», του οποίου πρόσθετο εργαλείο αποτελεί ο Ζυγός, υποστηρίζει τον εξελικτικό αλγόριθμο ανόπτησης-απλόκου, που είναι μία ισχυρή μέθοδος μη γραμμικής βελτιστοποίησης και η οποία έχει αναπτυχθεί από την ερευνητική ομάδα του ΕΜΠ (Ευστρατιάδης κ.α., 2001).



Σχήμα 1: Αυτόματη βαθμονόμηση μοντέλου Ζυγού

Κατά τη διαδικασία της αυτόματης βαθμονόμησης ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης μπορεί είτε:

α) να δώσει βέλτιστες καλές τιμές ρύθμισης των παραμέτρων του μοντέλου που θα έχουν κάποια φυσική ερμηνεία με βάση τα χαρακτηριστικά της λεκάνης τα οποία επηρεάζουν τις υδρολογικές διεργασίες

β) να δώσει βέλτιστες τιμές ρύθμισης των παραμέτρων του μοντέλου που θα οδηγούν στον προσδιορισμό ενός υψηλού συντελεστή Nash αλλά που δεν θα έχουν κάποια φυσική ερμηνεία πχ. ένα εξαιρετικά υψηλό ποσοστό βροχόπτωσης για την

κάλυψη της άμεσης εξατμοδιαπνοής (παράμετρος $\varepsilon = 1.2$) ή έναν υπερβολικά υψηλό ρυθμό διαφυγών νερού εκτός λεκάνης (παράμετρος $\varphi = 0.99$).

γ) Τέλος ο αλγόριθμος είναι δυνατόν να «εγκλωβιστεί» και να μην δώσει καλές, βέλτιστες τιμές στις παραμέτρους του μοντέλου και επομένως έναν υψηλό συντελεστή Nash. Συνήθως αυτό συμβαίνει σε υδρολογικές λεκάνες με ελλιπή ή ανακριβή υδρολογικά δεδομένα.

Παρακάτω παρουσιάζονται και συγκρίνονται οι τιμές ρύθμισης των παραμέτρων του μοντέλου κατά την χειροκίνητη και αυτόματη βαθμονόμηση του μοντέλου.

➤ ΑΧΕΛΩΟΣ – ΘΕΣΗ ΚΡΕΜΑΣΤΑ

Πιν. 1: Παράμετροι ρύθμισης μοντέλου με χειροκίνητη και αυτόματη βαθμονόμηση του μοντέλου για τη λεκάνη του Αχελώου – θέση Κρεμαστά

ΑΧΕΛΩΟΣ	Κ	ε	κ	λ	μ	ξ	φ	H2	Yο	Συντ.Nash
Χειροκίνητη βαθμονόμηση	330	0.2	0.19	0.049	0.006	0.033	0.0001	180	256	0.9083
Αυτόματη βαθμονόμηση	266.2	0.01	0.138	0.07	0.01	0.032	0.99	6.23	5.32	0.865

Παρατηρούμε ότι οι τιμές ρύθμισης των παραμέτρων με την αυτόματη βαθμονόμηση δίνουν έναν υψηλό συντελεστή Nash αλλά δεν έχουν φυσική σημασία. Το ποσοστό βροχόπτωσης για την κάλυψη των αναγκών άμεσης εξατμοδιαπνοής είναι εξαιρετικά χαμηλό και ο ρυθμός των διαφυγών πάρα πολύ υψηλός για την συγκεκριμένη λεκάνη. Επιπλέον οι παράμετροι της υπόγειας δεξαμενής $H2 = 6.23$ και $Yο = 5.32$, που είναι η χωρητικότητα και το κατώφλι της για την παραγωγή βασικής ροής, δεν ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα. Η χειροκίνητη βαθμονόμηση εδώ δίνει καλύτερα αποτελέσματα όσον αφορά τόσο τον συντελεστή Nash όσο και τη φυσική ερμηνεία των τιμών των παραμέτρων.

➤ ΑΡΑΧΘΟΣ – ΘΕΣΗ ΑΡΤΑ

Πιν. 2: Παράμετροι ρύθμισης μοντέλου με χειροκίνητη και αυτόματη βαθμονόμηση του μοντέλου για τη λεκάνη του Αραχθού – θέση Άρτα

ΑΡΤΑ	Κ	ε	κ	λ	μ	ξ	φ	H2	Yο	Συντ.Nash
Χειροκίνητη βαθμονόμηση	362	0.23	0.23	0.078	0.028	0.03	0.006	141	270	0.8741
Αυτόματη βαθμονόμηση	600	0.02	0.231	0.087	0.011	0.983	0.984	300	299	0.878

Και με τις δύο μεθόδους, την χειροκίνητη και την αυτόνομη βαθμονόμηση, οι συντελεστές Nash που προκύπτουν είναι παραπλήσιοι και πολύ υψηλοί. Ωστόσο η

αυτόματη βαθμονόμηση δίνει πολύ χαμηλό ποσοστό βροχόπτωσης για την κάλυψη των αναγκών άμεσης εξατμοδιαπνοής και δύο υπερβολικά υψηλούς ρυθμούς διαφυγών $\phi = 0.984$ και παραγωγής βασικής ροής $\xi = 0.983$.

➤ ΑΡΑΧΘΟΣ – ΘΕΣΗ ΤΣΙΜΟΒΟ

Πιν. 3: Παράμετροι ρύθμισης μοντέλου με χειροκίνητη και αυτόματη βαθμονόμηση του μοντέλου για τη λεκάνη του Άραχθου – θέση Τσίμοβο

ΤΣΙΜΟΒΟ	K	ε	κ	λ	μ	ξ	φ	H2	Yo	Συντ.Nash
Χειροκίνητη βαθμονόμηση	355	0.2	0.28	0.068	0.021	0.041	0.001	176	255	0.8353
Αυτόματη βαθμονόμηση	600	0.01	0.25	0.109	0.01	0.989	0.428	252	258	0.808

Ομοίως με την περίπτωση της Άρτας και οι δυο συντελεστές Nash που προκύπτουν είναι παραπλήσιοι και πολύ υψηλοί αλλά στην περίπτωση της αυτόματης βαθμονόμησης για τις παραμέτρους της εξάτμισης, των διαφυγών και της παραγωγής βασικής ροής οι τιμές δεν συμβαδίζουν με τα φυσικά χαρακτηριστικά της λεκάνης.

➤ ΣΠΕΡΧΕΙΟΣ – ΘΕΣΗ ΚΟΜΠΟΤΑΔΕΣ

Πιν. 4: Παράμετροι ρύθμισης μοντέλου με χειροκίνητη και αυτόματη βαθμονόμηση του μοντέλου για τη λεκάνη του Σπερχειού – θέση Κομποτάδες.

ΣΠΕΡΧΕΙΟΣ	K	ε	κ	λ	μ	ξ	φ	H2	Yo	Συντ.Nash
Χειροκίνητη βαθμονόμηση	441	0.25	0.2	0.027	0.0001	0.022	0.0001	216	305	0.82012
Αυτόματη βαθμονόμηση	600	0.13	0.127	0.055	0.01	0.029	0.828	245	32	0.785

Η αυτόματη βαθμονόμηση δίνει μικρότερο συντελεστή Nash σε σχέση με τον αντίστοιχο συντελεστή στην περίπτωση της χειροκίνητης βαθμονόμησης. Επιπλέον ο ρυθμός παραγωγής των διαφυγών από την υπόγεια δεξαμενή είναι εξαιρετικά υψηλός και δεν συμβαδίζει με τα φυσικά χαρακτηριστικά της λεκάνης.

➤ ΕΥΗΝΟΣ – ΘΕΣΗ ΠΟΡΟΣ ΡΗΓΑΝΙΟΥ

Πιν. 5: Παράμετροι ρύθμισης μοντέλου με χειροκίνητη και αυτόματη βαθμονόμηση του μοντέλου για τη λεκάνη του Εύηνου – θέση Πόρος Ρηγανίου

ΕΥΗΝΟΣ	K	ε	κ	λ	μ	ξ	φ	H2	Yo	Συντ.Nash
Χειροκίνητη βαθμονόμηση	202	0.41	0.175	0.095	0.044	0.092	0.0045	162	238	0.8717
Αυτόματη βαθμονόμηση	229	0.23	0.101	0.057	0.01	0.159	0.982	187	132	0.833

Οι τιμές των παραμέτρων με την διαδικασία της αυτόματης βαθμονόμησης επίσης ξεφεύγουν από τη φυσική τους σημασία και ιδιαίτερα οι παράμετροι των ρυθμών παραγωγής βασικής ροής και διαφυγών.

➤ **ΜΟΡΝΟΣ – ΘΕΣΗ ΑΝΑΝΤΗ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΜΟΡΝΟΥ**

Πιν. 6: Παράμετροι ρύθμισης μοντέλου με χειροκίνητη και αυτόματη βαθμονόμηση του μοντέλου για τη λεκάνη του Μόρνου – θέση ανάντη φράγματος

ΜΟΡΝΟΣ	Κ	ε	κ	λ	μ	ξ	φ	H2	Υο	Συντ.Nash
Χειροκίνητη βαθμονόμηση	283	0.3	0.2	0.025	0.061	0.023	0.008	206	271	0.803
Αυτόματη βαθμονόμηση	298.7	0.29	0.28	0.72	0.012	0.759	0.743	170	153	0.585

Η αυτόματη βαθμονόμηση στην περίπτωση της λεκάνης του Μόρνου δεν δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα. Ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης έχει εγκλωβιστεί και οι τιμές των ρυθμών παραγωγής υποδερμικής ροής, βασικής ροής και διαφυγών δεν ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα. Η χειροκίνητη βαθμονόμηση εδώ είναι πολύ πιο αποτελεσματική.

➤ **ΒΟΙΩΤΙΚΟΣ ΚΗΦΙΣΣΟΣ – ΘΕΣΗ ΣΗΡΑΓΓΑ ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ**

Πιν. 7: Παράμετροι ρύθμισης μοντέλου με χειροκίνητη και αυτόματη βαθμονόμηση του μοντέλου για τη λεκάνη του Β. Κηφισσού– θέση σήραγγας Καρδίτσας

Β. ΚΗΦΙΣΣΟΣ	Κ	ε	κ	λ	μ	ξ	φ	H2	Υο	Συντ.Nash
Χειροκίνητη βαθμονόμηση	211	0.8	0.13	0.041	0.15	0.028	0.005	185	285	0.8076
Αυτόματη βαθμονόμηση	356.6	0.09	0.097	0.053	0.984	0.043	0.011	300	182	0.856

Στην περίπτωση του Βοιωτικού Κηφισσού αν και ο συντελεστή Nash που προκύπτει με την διαδικασία της αυτόματης βαθμονόμησης είναι καλύτερος, οι τιμές των παραμέτρων επίσης ξεφεύγουν από τη φυσική τους σημασία. Ιδιαίτερα αυτό παρατηρείται στην παράμετρο του ρυθμού παραγωγής υπόγειας ροής που είναι υπερβολικά υψηλή ακόμα και για τη συγκεκριμένη λεκάνη (με χαρακτηριστικό τις μεταγίσεις και διηθήσεις νερού) όπως επίσης και στην παράμετρο της εξατμισοδιαπνοής η τιμή της οποίας είναι πολύ χαμηλή για μία τόσο πεδινή λεκάνη.

➤ **ΧΕΙΜΑΡΡΟΣ ΑΠΟΣΕΛΕΜΗ – ΘΕΣΗ ΠΟΤΑΜΙΕΣ**

Πιν. 8: Παράμετροι ρύθμισης μοντέλου με χειροκίνητη και αυτόματη βαθμονόμηση του μοντέλου για τη λεκάνη του Αποσελέμη (με 30% τροφοδοσία από το Οροπέδιο Λασιθίου) – θέση Ποταμίες

ΑΠΟΣΕΛΕΜΗ (30%)	Κ	ε	κ	λ	μ	ξ	φ	H2	Υο	Συντ.Nash
Χειροκίνητη βαθμονόμηση	317	0.8	0.051	0.021	0.19	0.056	0.058	173	238	0.5544
Αυτόματη βαθμονόμηση	550	0.01	0.013	0.023	0.017	0.929	0.99	273	7.48	0.781

Η αυτόνομη βαθμονόμηση δίνει πολύ υψηλότερο συντελεστή Nash και εδώ όμως οι τιμές των παραμέτρων ε , ξ και φ δεν συμβαδίζουν με τα φυσικά χαρακτηριστικά της λεκάνης. Επιπλέον η τιμή της παραμέτρου μ που αναμένονταν να είναι πολύ υψηλή λόγω της μεγάλης περατότητας των πετρωμάτων της λεκάνης (τα οποία είναι έντονα καρστικοποιημένα, τεκτονισμένα και παραμορφωμένα), είναι πάρα πολύ χαμηλή και δεν ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα.

➤ ΠΗΝΕΙΟΣ – ΘΕΣΗ ΑΛΗ ΕΦΕΝΤΗ

Πιν. 9: Παράμετροι ρύθμισης μοντέλου με χειροκίνητη και αυτόματη βαθμονόμηση του μοντέλου για τη λεκάνη του Πηνειού – θέση Αλή Εφέντη

A. ΕΦΕΝΤΗ	K	ε	κ	λ	μ	ξ	φ	H2	Yo	Συντ.Nash
Χειροκίνητη βαθμονόμηση	217	0.8	0.153	0.055	0.071	0.065	0.002	113	175	0.6852
Αυτόματη βαθμονόμηση	600	0.01	0.084	0.089	0.01	0.83	0.01	126	118	0.672

Και με τις δύο μεθόδους, την χειροκίνητη και την αυτόνομη βαθμονόμηση, οι συντελεστές Nash που προκύπτουν είναι παραπλήσιοι και αρκετά υψηλοί. Υπερβολικά υψηλές ωστόσο είναι στη δεύτερη περίπτωση οι τιμές της χωρητικότητας της εδαφικής δεξαμενής, του κατώφλιου παραγωγής της βασικής ροής και του ρυθμού παραγωγής της βασικής ροής. Επιπλέον η τιμή της παραμέτρου της εξατμισοδιαπνοής είναι πολύ χαμηλή καθώς και ο ρυθμός παραγωγής της υπόγειας ροής και δεν ανταποκρίνονται στα χαρακτηριστικά της λεκάνης.

➤ ΕΝΙΠΕΑΣ – ΘΕΣΗ ΣΚΟΠΙΑ

Πιν. 10: Παράμετροι ρύθμισης μοντέλου με χειροκίνητη και αυτόματη βαθμονόμηση του μοντέλου για τη λεκάνη του Πηνειού – θέση Σκοπιά

ΕΝΙΠΕΑΣ	K	ε	κ	λ	μ	ξ	φ	H2	Yo	Συντ.Nash
Χειροκίνητη βαθμονόμηση	424	0.8	0.118	0.021	0.0055	0.075	0.001	121	190	0.5308
Αυτόματη βαθμονόμηση	596	0.01	0.021	0.051	0.01	0.654	0.01	155	5	0.478

Οι συντελεστές Nash και με τις δύο διαδικασίες βαθμονόμησης είναι μέτριοι. Οι χαμηλές τιμές τους οφείλονται στην ποιότητα των δεδομένων του υδρομετρικού σταθμού της Σκοπιάς που δεν είναι καλή. Παρόλα αυτά τα αποτελέσματα της χειροκίνητης βαθμονόμησης είναι καλύτερα όσον αφορά τον συντελεστή Nash και τη φυσική ερμηνεία των τιμών των παραμέτρων.

Τα συμπεράσματα που εξάγονται από τη σύγκριση και των δύο παραπάνω διαδικασιών βαθμονόμησης συνοψίζονται στα εξής:

1. και με τις δυο διαδικασίες είναι δυνατόν με **διαφορετικό συνδυασμό των τιμών των παραμέτρων** να προκύψουν παρόμοιες τιμές του συντελεστή Nash («equifinality», Ευστρατιάδης, 2004). Παρόλο αυτά στην περίπτωση της αυτόματης βαθμονόμησης οι τιμές των παραμέτρων αν και δίνουν ένα ικανοποιητικό ή ακόμα και πολύ υψηλό αποτέλεσμα βελτιστοποίησης (υψηλό συντελεστής Nash) συνήθως δεν έχουν κάποια φυσική σημασία για τις λεκάνες.

2. Στις υδρολογικές λεκάνες του Αχελώου – θέση Κρεμαστά και του Σπερχειού – θέση Κομποτάδες τα αποτελέσματα χειροκίνητης βαθμονόμησης είναι ικανοποιητικά και ο συντελεστής Nash μπορεί να πάρει υψηλές τιμές και με τη ρύθμιση μικρότερου αριθμού παραμέτρων δηλαδή και με τον μηδενισμό των υπόγειων υδρολογικών διεργασιών. Συνήθως ο **περιορισμός των μεταβλητών ελέγχου** στον ελάχιστο δυνατό, σε αυτού του είδους τα μοντέλα με απλοποίηση της δομής του μοντέλου, είναι μία διαδικασία που βοηθάει στην καλύτερη προσέγγιση των προσομοιωμένων τιμών των υδρολογικών διεργασιών – στην παρούσα εργασία της απορροής - με τις πραγματικές μετρημένες τιμές τους. Ωστόσο η πολυπλοκότητα της δομής και εξέλιξης του Ελλαδικού χώρου και κατά επέκταση των λεκανών του δεν ενδείκνυται για έναν τέτοιον περιορισμό. Η περίπτωση του Αχελώου και του Σπερχειού οδηγεί σε υψηλά αποτελέσματα βελτιστοποίησης και με μηδενισμό των υπόγειων διεργασιών διότι ούτως ή άλλως οι τιμές των αντίστοιχων παραμέτρων είναι πολύ μικρές.

3. Με βάση τους παραπάνω πίνακες σύγκρισης των δύο μεθόδων για το σύνολο των δέκα λεκανών γίνεται κατανοητό ότι η χειροκίνητη βαθμονόμηση του μοντέλου που συνδυάζει την **εμπειρία του χρήστη** και τις πληροφορίες σχετικά με τα **χαρακτηριστικά των λεκανών** οδηγεί σε πολύ καλύτερα αποτελέσματα τόσο από άποψη συντελεστών Nash όσο και φυσικής ερμηνείας των τιμών των παραμέτρων. Παρόλο αυτά η αυτόματη βαθμονόμηση είναι ένας πολύ γρήγορος τρόπος για την απόκτηση μίας **πρώτης εικόνας** σχετικά με τη διακύμανση και τις τιμές των παραμέτρων στην λεκάνη μελέτης καθώς μπορεί να κάνει χιλιάδες προσεγγίσεις μέσα σε λίγα δευτερόλεπτα. Μπορεί να συνδυαστεί με την χειροκίνητη βαθμονόμηση ούτως ώστε η δεύτερη να γίνει **λιγότερο χρονοβόρα** αλλά και οι τιμές των παραμέτρων της πρώτης (αυτόματης) να μη ξεφεύγουν από τα λογικά τους όρια.

5

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Προτάσεις

Η απορροή (συντελεστής απορροής) σε μία υδρολογική λεκάνη εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως: από τη γεωλογία της περιοχής (διαπερατότητα των σχηματισμών), τη μορφολογία της λεκάνης (μέση κλίση, γεωμετρία υδρογραφικού δικτύου, βλάστηση, επεμβάσεις του ανθρώπου) και τη βροχόπτωση (ένταση, διάρκεια και κατανομή στη λεκάνη απορροής). Στην παρούσα διπλωματική εξετάστηκε κυρίως ο ρόλος της γεωλογίας και ιδιαίτερα **του είδους και του ποσοστού εμφάνισης** (συμμετοχής) των γεωλογικών – υδρογεωλογικών σχηματισμών στη λεκάνη.

Η **χωρική κατανομή** των γεωλογικών σχηματισμών των λεκανών προκειμένου να εφαρμοστεί το μοντέλο (χρήση Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών) κρίνεται απαραίτητη και μάλιστα η όσο το δυνατόν καλύτερη ανάλυση και λεπτομερέστερη χαρτογράφηση τους.

Η έκταση των γεωλογικών σχηματισμών και το ποσοστό συμμετοχής τους στη λεκάνη παίζουν σημαντικό ρόλο στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων του μοντέλου και των τιμών των παραμέτρων του. Επίσης εξαιρετικά χρήσιμο είναι να προσδιορίζεται και το ποσοστό των σχηματισμών **πάνω από τους οποίους διέρχεται το υδατόρευμα**, κυρίως για την ερμηνεία των τιμών της παραμέτρου ξ , που εκφράζει τον ρυθμό εκφόρτισης της υπόγειας δεξαμενής για παραγωγή βασικής ροής και λιγότερο των τιμών των διαφυγών της υπόγειας δεξαμενής, ϕ .

Το μοντέλο Ζυγός είναι ένα μοντέλο που μπορεί να λειτουργήσει πολύ ικανοποιητικά σε μια λεκάνη απορροής προσδιορίζοντας όμως μέσα σε ορισμένα λογικά πλαίσια τις παραμέτρους του. Είναι **εύχρηστο** και **απλό** ως προς τον τρόπο λειτουργίας του και αφήνει **περιθώρια επιλογής** στον χρήστη ως προς τις διεργασίες που θα ακολουθήσει κατά την εφαρμογή του (μπορούν να μηδενιστούν οι υπόγειες διεργασίες ή οι παράμετροι τόσο των επιφανειακών όσο και των υπόγειων διεργασιών, να προστεθεί χρονοσειρά αντλήσεων εφόσον υπάρχει διαθέσιμη κ.α).

Στις περισσότερες λεκάνες ο συντελεστής Nash βελτιστοποιήθηκε θεωρώντας ότι υπάρχει ένας ρυθμός εκφόρτισης της εδαφικής δεξαμενής που κατεισδύει και τροφοδοτεί τα στρώματα που υπόκεινται. Παρόλο αυτά αρχικά με το άνοιγμα της υπόγεια δεξαμενής και έχοντας ήδη ρυθμίσει ικανοποιητικά τις παραμέτρους της εδαφικής δεξαμενής ο συντελεστής Nash **μπορεί απότομα να μειωθεί**. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι δεν έχει επιτευχθεί ακόμη ρύθμιση μεταξύ των παραμέτρων της υπόγεια δεξαμενής και δε θα πρέπει να αποτρέπει τη περαιτέρω προσπάθεια για προσδιορισμό των παραμέτρων των υπόγειων διεργασιών. Στην πορεία και κυρίως ρυθμίζοντας τις διαφυγές (ϕ) και το ρυθμό εκφόρτισης της εδαφικής δεξαμενής (μ) και έπειτα σε μικρότερο βαθμό το ρυθμό παραγωγής βασικής ροής, το κατώφλι για την παραγωγή της και τη χωρητικότητα της υπόγειας δεξαμενής ο συντελεστής βελτιώνεται σημαντικά και φτάνει τη βέλτιστη τιμή του.

Το σωστότερο κατά τη λειτουργία του μοντέλου είναι **να ρυθμίζονται οι παράμετροι της εδαφικής και της υπόγειας δεξαμενής παράλληλα**.

Ιδιαίτερη αξία έχουν τα αποτελέσματα του μοντέλου όταν συγκρίνονται για **ένα πλήθος λεκανών**. Με αυτόν τρόπο φαίνεται ότι οι τιμές των παραμέτρων για τη βελτιστοποίηση του συντελεστή Nash δεν είναι τυχαίες αλλά έχουν μία φυσική σημασία.

Για τα αποτελέσματα του μοντέλου, κατά πόσο είναι σωστά και κοντά στις πραγματικές τους τιμές, το κριτήριο που χρησιμοποιήθηκε είναι ο συντελεστής Nash. Ανάλογα με τη λεκάνη το είδος και ο βαθμός των παραμέτρων που επηρεάζουν, αυξάνουν ή μειώνουν, τον συντελεστή Nash διαφέρει. Στις περισσότερες λεκάνες ο συντελεστής Nash είναι καλός έως πάρα πολύ καλός με εξαίρεση τις λεκάνες Αποσελέμη και Πηνειού στις οποίες ο συντελεστής Nash είναι μέτριος.

Είναι δυνατό με διαφορετικούς συνδυασμούς παραμέτρων να προκύψουν παρόμοιες τιμές του συντελεστή Nash. Πρόκειται για ένα γνωστό πρόβλημα των υδρολογικών μοντέλων που στη διεθνή βιβλιογραφία αναφέρεται με τον όρο «**equifinality**» παρόλα αυτά λαμβάνοντας υπόψη τα υδρολογικά, μορφολογικά και υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά της λεκάνης για την οποία εφαρμόζεται το μοντέλο, είναι εύκολο οι περισσότεροι από αυτούς τους συνδυασμούς να απορριφθούν και να προσδιοριστούν οι βέλτιστες λογικές τιμές ρύθμισης. Η βελτιστοποίηση γενικότερα

ως μηχανική εργασία δεν λύνει το πρόβλημα του προσδιορισμού των παραμέτρων των υδρολογικών διεργασιών αλλά είναι απαραίτητο να συνδυάζεται με την **εμπειρία** και με τη **συνολική εκτίμηση** των χαρακτηριστικών της λεκάνης για την επιλογή της **πιο κατάλληλης** και **αντιπροσωπευτικής** τιμής της παραμέτρου κατά την χειροκίνητη ρύθμιση του μοντέλου.

Οι μεγαλύτερες δυσκολίες παρουσιάστηκαν στον προσδιορισμό των παραμέτρων:

μ = ρυθμός εκφόρτισης εδαφικής δεξαμενής για την παραγωγή κατείδυσης και στη πρόβλεψη τυχόν διαφυγών **ϕ** . Οι δυσκολίες αυτές οφείλονται στο γεγονός ότι με πολύ μικρές μεταβολές των τιμών τους ο συντελεστής Nash μπορεί πολύ εύκολα να μειωθεί ακόμα και να πάρει αρνητικές τιμές.

Γενικότερα ο προσδιορισμός των παραμέτρων υπήρξε δύσκολος λόγω της συνθετότητας που εμφανίζουν οι αλληλεπιδράσεις των υδρολογικών παραμέτρων (τύποι εδαφών, παράμετροι διήθησης, τροφοδοσία από ή σε γειτονικούς υδροφορείς κ.α.).

Στην παρούσα εργασία η **ευαισθησία** του συντελεστή Nash **δόθηκε περιγραφικά** και όσο το δυνατόν λεπτομερέστερα κατά τις μεταβολές και των εννέα παραμέτρων, **K , ε , κ , λ , μ , ξ , ϕ , Y_0 και H_1** του μοντέλου. Ωστόσο η ευαισθησία αυτή δεν ποσοτικοποιήθηκε, ούτε και ορίστηκε μια κλίμακα που να δίνει τη διαβάθμιση της στις μεταβολές των παραμέτρων του μοντέλου.

Για να περιοριστεί όσο το δυνατόν ο υποκειμενικός παράγοντας στην ρύθμιση των παραμέτρων είναι αναγκαίο να υπάρξει **ένα κριτήριο που να ορίζει την ευαισθησία** του συντελεστή στις μεταβολές των τιμών της κάθε παραμέτρου. Μέσω αυτού του κριτηρίου θα μπορούσαν να καθοριστούν τα όρια ευαισθησίας του συντελεστή Nash και να γίνει μια κατηγοριοποίηση της σε μεγάλη, μικρή και μέτριου βαθμού ευαισθησία του συντελεστή Nash δείχνοντας στον χρήστη αν είναι ωφέλιμο να συνεχίζει ή όχι τη ρύθμιση της αντίστοιχης μεταβλητής.

Όσον αφορά την ρύθμιση των παραμέτρων ανά υδρολογική λεκάνη τα κυριότερα συμπεράσματα συνοψίζονται στα εξής :

✚ ΑΧΕΛΩΟΣ – ΘΕΣΗ ΚΡΕΜΑΣΤΑ

Η συσχέτιση παρατηρημένων τιμών απορροής και εκτιμημένων είναι από τις υψηλότερες αυτής της εργασίας με $R = 0.90835$. Δομείται σε ποσοστό 44% από πετρώματα του φλύσχη Ζ. Γαβρόβου και σε ποσοστό 51% από ασβεστόλιθους της Ζ. Πίνδου. Εμφανίζει υψηλό ποσοστό άμεσης απορροής, $K = 0.19$, που δικαιολογείται από το μεγάλο ποσοστό αδιαπέρατων σχηματισμών στη λεκάνη και παράλληλα ένα χαμηλό ρυθμό εκφόρτισης της εδαφικής δεξαμενής για παραγωγή υπόγειας ροής, $\mu = 0.006$. Αυτό δείχνει ότι αν και αποτελείται σε ποσοστό 56% από ασβεστόλιθους φαίνεται τελικά ότι ένα μόνο μικρό ποσοστό νερού καταφέρνει να εμπλουτίσει τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα πιθανότατα λόγω του ότι οι ασβεστόλιθοι εναλλάσσονται με στεγανούς ορίζοντες των σχηματισμών του φλύσχη. Ο ρυθμός παραγωγής βασικής ροής είναι σχετικά χαμηλός ($\xi = 0.033$) και ο ρυθμός διαφυγών εκτός λεκάνης επίσης πολύ χαμηλός ($\varphi = 0.0001$).

✚ ΑΡΑΧΘΟΣ – ΘΕΣΕΙΣ ΤΣΙΜΟΒΟΥ ΚΑΙ ΑΡΤΑΣ

Και οι δύο λεκάνες παρουσιάζουν πολύ υψηλό ποσοστό άμεσης απορροής, τα υψηλότερα σε σύγκριση με όλες τις λεκάνες, αφού δομούνται σε ποσοστά 64% (Άρτα) και 78% (Τσίμοβο) από φλύσχη κυρίως της Ζ. Ιονίου, $\kappa = 0.23$ και $\kappa = 0.28$ αντίστοιχα. Το ποσοστό για την κάλυψη αναγκών εξατμοδιαπνοής είναι χαμηλό, $\varepsilon = 0.2$, με λίγο υψηλότερο της λεκάνης της Άρτας της οποίας το μέσο υψόμετρο είναι μικρότερο και οι μορφολογικές της κλίσεις είναι επίσης μικρότερες. Ο ρυθμός διαφυγών στη λεκάνη της Άρτας, $\varphi = 0.006$, είναι πολλαπλάσιος του ρυθμού διαφυγών από της λεκάνης του Τσίμοβου, $\varphi = 0.001$. Το ίδιο συμβαίνει και με τον ρυθμό εκφόρτισης της εδαφικής δεξαμενής για παραγωγή υπόγειας ροής λόγω της μεγαλύτερης συμμετοχής ασβεστολίθων, την εμφάνιση περισσότερων καρστικών πηγών και των σχέσεων πλευρικής τροφοδοσίας των σχηματισμών της καθώς και λόγω των μεγαλύτερων απολήψεων όγκου νερού για την κάλυψη αρδευτικών και υδροηλεκτρικών αναγκών στην πεδιάδα της Άρτας.

✚ ΣΠΕΡΧΕΙΟΣ – ΘΕΣΗ ΚΟΜΠΟΤΑΔΕΣ

Ο Σπερχειός σε ποσοστό 81% καλύπτεται από γενικά αδιαπέρατους σχηματισμούς (70% φλύσχη Z. Πίνδου και 11% πλουτώνια και ηφαιστειακά). Η μεγάλη έκταση και το ποσοστό συμμετοχής των αδιαπέρατων σχηματισμών στη λεκάνη έχουν σαν αποτέλεσμα την υψηλή τιμή του ποσοστού περίσσειας της βροχής που εμφανίζεται ως άμεση απορροή, $\kappa = 0.2$, αλλά και τις ελάχιστες έως μηδενικές τιμές των ρυθμών εκφόρτισης της εδαφικής, $\mu = 0.0001$ και υπόγειας δεξαμενής, $\varphi = 0.0001$, για την παραγωγή υπόγειας ροής και διαφυγών εκτός λεκάνης. Η αυξημένη ευαισθησία του συντελεστή Nash στις μεταβολές της παραμέτρου λ , που εκφράζει το ρυθμό εκφόρτισης της εδαφικής δεξαμενής για την παραγωγή υποδερμικής ροής και οι υψηλές τιμές χωρητικότητας της εδαφικής δεξαμενής και του κατωφλίου της για την παραγωγή αυτής της ροής θα πρέπει να σχετίζονται με το μεγάλο πάχος των κλαστικών ιζημάτων στη λεκάνη (ξεπερνούν τα 200 m στο κεντρικό της τμήμα).

✚ ΜΟΡΝΟΣ – ΘΕΣΗ ΑΝΑΝΤΗ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ

Σημαντικός είναι ο ρυθμός εκφόρτισης της εδαφικής δεξαμενής για την παραγωγή υπόγειας ροής, $\mu=0.061$, λόγω του υψηλού βαθμού συμμετοχής των καρστικοποιημένων ασβεστολίθων και του τεκτονικά κατακεραματισμένου αδιαπέρατου φλύσχη, όπως υψηλός είναι και ο ρυθμός των διαφυγών εκτός λεκάνης, $\varphi = 0.008$. Η λεκάνη καλύπτεται σε ποσοστό 56% από φλύσχη της Z. Πίνδου και σε ποσοστό 39% από ασβεστόλιθους οι οποίοι κατά θέσεις εμφανίζονται έντονα καρστικοποιημένοι (16% μάρμαρα μέτριας έως υψηλής υδροπερατότητας). Μόνο 5% του ποσοστού των υδατορευμάτων περνάνε πάνω από ασβεστολιθικούς σχηματισμούς και ο ρυθμός παραγωγής της βασικής ροής είναι μικρός.

Η παράμετρος της εξατμοδιαπνοής όσο μειώνεται μεταβάλλει αρκετά τον συντελεστή Nash. Ο συντελεστής Nash δεν εμφανίζει κάποια ιδιαίτερη ευαισθησία με τις μεταβολές του ποσοστού περίσσειας της βροχής που εμφανίζεται ως άμεση απορροή για αυτό και η παράμετρος αυτή, κ , δίνεται με ένα εύρος τιμών, $\kappa = 0.18 - 0.2$. Γενικά ο συντελεστής παρουσιάζει μία ελαφριά βελτίωση όσο οι τιμές του κ αυξάνονται.

✚ ΕΥΗΝΟΣ – ΘΕΣΗ ΠΟΡΟΣ ΡΗΓΑΝΙΟΥ

Ο συντελεστής Nash εμφανίζει αυξημένη ευαισθησία στις μεταβολές της παραμέτρου ξ η οποία εκφράζει το ρυθμό εκφόρτισης της υπόγειας δεξαμενής για παραγωγή βασικής ροής, $\xi = 0.092$. Ο ποταμός είναι αναμενόμενο να εμφανίζει αυξημένους ρυθμούς παραγωγής βασικής ροής γιατί το 82% των υδατορευμάτων του περνάνε πάνω από ασβεστολίθους με υδραυλική κλίση προς τον ποταμό και οι οποίοι επομένως τον τροφοδοτούν.

Το ποσοστό εξατμοδιαπνοής είναι σχετικά υψηλό, $\varepsilon = 0.41$, λόγω του χαμηλού μέσου υψομέτρου της λεκάνης (περίπου 450 m) και των ήπιων μορφολογικών κλίσεων σε σχέση με τις υπόλοιπες περιοχές που εξετάστηκαν. Η λεκάνη αποτελείται από 39% φλύσχη Ζ. Πίνδου και 61% ασβεστόλιθους με δευτερογενή λόγω κατακερματισμού υδροπερατότητα και έτσι εμφανίζει αυξημένους ρυθμούς εκφόρτισης της εδαφικής δεξαμενής για παραγωγή υπόγειας ροής, $\mu = 0.044$. Η ευαισθησία του συντελεστή Nash στις μεταβολές του ρυθμού εκφόρτισης της εδαφικής δεξαμενής για την παραγωγή άμεσης απορροής δεν ήτανε ιδιαίτερα αισθητή και έτσι επιλέχθηκε ένα εύρος τιμών: $\kappa = 0.152 - 0.175$.

✚ ΒΟΙΩΤΙΚΟΣ ΚΗΦΙΣΣΟΣ – ΘΕΣΗ ΑΝΑΝΤΗ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ

Είναι η υδρολογική λεκάνη στην οποία η παράμετρος του ρυθμού εκφόρτισης της εδαφικής δεξαμενής έχει ρυθμιστεί με την μεγαλύτερη τιμή (μετά από τη λεκάνη Αποσελέμη), $\mu = 0.15$. Η πολύ υψηλή τιμή αυτή οφείλεται στον υψηλό βαθμό καρστικοποίησης των ασβεστολίθων και στην υψηλή υδροπερατότητα των προσχώσεων κατά μήκος του άξονα των οποίων είναι χαρακτηριστικά τα φαινόμενα των μεταγίσεων, διηθήσεων και επαναβλύσεων του ίδιου νερού. Η λεκάνη αποτελείται στο μεγαλύτερο μέρος της από ασβεστόλιθους και κοκκώδεις προσχωματικές αποθέσεις (σε ποσοστό 38% και 39% αντίστοιχα) και αν και έχει επιτευχθεί ένας βέλτιστος συντελεστής Nash με ποσοστό της βροχόπτωσης που απορρέει άμεσα $\kappa = 0.13$, οι μεταβολές της παραμέτρου ελάχιστα επηρρέαζαν τις εκτιμημένες απορροές και έτσι ο καθορισμός της ήτανε εξαιρετικά δύσκολος. Τέλος υψηλός είναι και ο ρυθμός των διαφυγών εκτός λεκάνης που οφείλονται την τροφοδοσία γειτονικών υδροφορέων και στις απολήψεις νερού για την κάλυψη υδρευτικών και αρδευτικών αναγκών.

✚ ΧΕΙΜΑΡΡΟΣ ΑΠΟΣΕΛΕΜΗ – ΘΕΣΗ ΠΟΤΑΜΙΕΣ

Το ποσοστό βροχόπτωσης που διατίθεται για την παραγωγή άμεσης απορροής και στις τρεις περιπτώσεις που εξετάστηκαν με την υπόθεση της 0%, 30% και 50% τροφοδοσίας της λεκάνης από το οροπέδιο Λασιθίου είναι πάρα πολύ μικρή με τιμές αντίστοιχα: $\kappa = 0.079, 0.051$ και 0.034 . Το γεγονός αυτό οφείλεται στη μεγάλη διαπερατότητα των πετρωμάτων της περιοχής, το 55% της λεκάνης αποτελείται από καρστικοποιημένους ασβεστολίθους και το 45% από μεταμορφωμένα πετρώματα (κυρίως φυλλίτες), τα οποία είναι έντονα τεκτονισμένα και παραμορφωμένα. Για τους ίδιους λόγους η λεκάνη παρουσιάζει τους μεγαλύτερους ρυθμούς εκφόρτισης της εδαφικής δεξαμενής και στις τρεις περιπτώσεις τροφοδοσίας, $\mu = 0.2, 0.19$ και 0.18 και την μεγαλύτερη ευαισθησία του συντελεστή Nash στις μεταβολές της παραμέτρου μ . Τα υδρογράμματα, λόγω της ύπαρξης πολυάριθμων υπόγειων καρστικών συστημάτων και της υπόγειας επικοινωνίας της λεκάνης με το Οροπέδιο, εμφανίζουν τεράστιες αιχμές απορροών τις οποίες το μοντέλο ήταν πολύ δύσκολο να προσεγγίσει για αυτό και οι βέλτιστοι συντελεστές Nash που υπολογίστηκαν και για τα τρία σενάρια τροφοδοσίας αν και χαμηλοί είναι πολύ ικανοποιητικοί ($R=0.5493, 0.5544$ και 0.4144).

✚ ΠΗΝΕΙΟΣ – ΘΕΣΕΙΣ ΑΛΗ ΕΦΕΝΤΗ ΚΑΙ ΣΚΟΠΙΑ

Τόσο η λεκάνη Αλή Εφέντη όσο και η λεκάνη της Σκοπιάς παρουσιάζουν υψηλές τιμές της παραμέτρου ε , που εκφράζει το ποσοστό βροχόπτωσης που διατίθεται για την άμεση εξατμοδιαπνοή λόγω του χαμηλού υψομέτρου και των ήπιων μορφολογικών κλίσεων τους ($\varepsilon = 0.76 - 0.8$ για τη λεκάνη Αλή Εφέντη και $\varepsilon = 0.8$ για τη λεκάνη Σκοπιάς). Το μεγαλύτερο μέρος της λεκάνη Αλή Εφέντη αποτελείται από προσχωματικές και μολασσικές αποθέσεις (49%) και ασβεστόλιθους (14%). Η υδροπερατότητα των σχηματισμών είναι μεγάλη και το μεγαλύτερο μέρος της βροχόπτωσης διηθείται ($\mu = 0.036 - 0.078$) παρά απορρέει άμεσα ($\kappa = 0.153$).

Οι μετρήσεις παροχών στη θέση Σκοπιάς είναι προβληματικές και για αυτό το λόγο υπάρχει δυσκολία στην εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τις τιμές των παραμέτρων του μοντέλου. Σε αυτό το γεγονός θα πρέπει να οφείλεται και ο χαμηλός συντελεστής Nash που προσδιορίστηκε ($R = 0.5308$).

ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Είναι βέβαιο ότι με μία λεπτομερέστερη χαρτογραφική απεικόνιση των σχηματισμών στις λεκάνες εφαρμογής του μοντέλου θα μπορέσουν να συσχετιστούν και να ερμηνευτούν καλύτερα τα αποτελέσματα του μοντέλου. Η λεπτομερέστερη υδρογεωλογική χαρτογράφηση τους κρίνεται αναγκαία όπως και η εφαρμογή του μοντέλου σε μικρότερης έκτασης λεκάνες προκειμένου να εξεταστεί αν οι τιμές των παραμέτρων είναι δυνατόν να ερμηνευτούν ή να δείξουν κάποια ευαισθησία σε τοπικές διαφοροποιήσεις και ιδιαιτερότητες των υδρολογικών χαρακτηριστικών τους.

Ο προσδιορισμός των υδρογεωλογικών ορίων (υπόγειων υδροκριτών) των υδρολογικών λεκανών, των καρστικών συστημάτων ή υδροφόρων ενοτήτων ή και της περιοχή τροφοδοσίας των μεγάλων πηγών κρίνεται απαραίτητη τόσο για τη σωστότερη εφαρμογή του μοντέλου (προσδιορισμός διαφυγών, ρυθμού εκφόρτισης της εδαφικής δεξαμενής) όσο και για την ορθολογικότερη εκμετάλλευση του συνολικού, υπόγειου και επιφανειακού υδάτινου δυναμικού της λεκάνης. Σημαντική βοήθεια προς σε αυτήν την κατεύθυνση είναι οι ισοτοπικές έρευνες και οι ιχνηθετήσεις, η υδροχημική έρευνα και η εφαρμογή ανάλογων μοντέλων.

Για την καλύτερη προσομοίωση της διαδικασίας της βροχής σε απορροή επιπλέον παράμετροι θα ήταν χρήσιμο να εισέλθουν στο υδρολογικό μοντέλο του Ζυγού όπως πχ ο βαθμός αποσάθρωσης των εδαφικών σχηματισμών, ο βαθμός καρστικοποίησης των ασβεστολιθικών μαζών και παράμετροι που θα αφορούν, την τροφοδοσία της λεκάνης από ή προς τους γειτονικούς υδροφορείς, τις χρήσεις γης και την ύπαρξη τεχνικών έργων στη λεκάνη εφαρμογής του. Επιπλέον μία ακόμη αδυναμία του μοντέλου είναι ότι ταυτίζει τα όρια της υδρολογικής λεκάνης με αυτά της υδρογεωλογικής.

Η αποτελεσματικότητα και η αξιοπιστία του μοντέλου ως προς τα αποτελέσματα του, δηλαδή στη συγκεκριμένη περίπτωση τις εκτιμημένες απορροές είναι απόλυτα συνδεδεμένη με την ορθότητα και την εγκυρότητα των δεδομένων που εισάγονται σε αυτό. Η σωστή επομένως λειτουργία και υδρομετεωρολογικών σταθμών, η αύξηση του αριθμού τους και ο εκσυγχρονισμός του εξοπλισμού τους θα

βοηθούσε δραστικά κάθε είδους μελέτη υδρολογικού, περιβαλλοντικού ή υδρογεωλογικού χαρακτήρα.

Παραπέρα μελέτη και μετρήσεις των ταχυτήτων των υδατορευμάτων ούτως ώστε να μελετηθούν καλύτερα οι αλληλεπιδράσεις της διαπερατότητας των λεκανών με τις κλίσεις των πλαγιών και τις χρήσεις του νερού σε κάθε μία από αυτές (για αρδευτικές ή υδρευτικές ανάγκες).

Δειγματοληψίες νερού και δημιουργία πιεζομετρικών χαρτών με υδραυλικές κλίσεις που θα οδηγούν σε συμπεράσματα ύπαρξης επικοινωνίας ή μη επικοινωνίας μεταξύ ασβεστολίθων ή ασβεστολίθων και Ολοκαινικών αποθέσεων. Με βάση τις υδραυλικές κλίσεις θα εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά με την υδαταγωγιμότητα T των σχηματισμών. Η εγκατάσταση δικτύου παρακολούθησης εξέλιξης της πιεζομετρικής στάθμης (όπως και στην περίπτωση χημισμού) των υπόγειων νερών αρχικά μπορεί να γίνει με συμβατικές μεθόδους και προοδευτικά με την εγκατάσταση αυτογραφικών δικτύων.

Η τεκτονική εξέλιξη της περιοχής είναι απαραίτητο να είναι γνωστή με ακρίβεια ώστε να μπορεί να παρέχει τις πληροφορίες που χρειάζεται η υδρογεωλογία. Κάνοντας γνωστή την υπόγεια δομή – διάταξη των στρωμάτων γίνεται δυνατή η πρόβλεψη της κίνησης του υπόγειου νερού στην ευρύτερη περιοχή και μπορεί να διαπιστωθεί η υδραυλική ή μη επικοινωνία μεταξύ γειτονικών σχηματισμών ή λεκανών.

Τα αποτελέσματα του Ζυγού θα μπορούσαν να συσχετιστούν και να συγκριθούν με αποτελέσματα άλλων παρόμοιων μοντέλων και να εξαχθούν συμπεράσματα για την ακρίβεια και την ορθότητα τους.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

CARROW ROBERT N. AND DR. CLINT WALTZ, 1985: Turfgrass Soil & Water Relationships, Adapted from R. N. Carrow. Soil/water relationships in turfgrass. In. V. A. Gibeault and S. T. Cockerham (eds.). Turfgrass Water Conservation. Univ. Calif. Pub. No21405.

DRECOURT J. P., MADSEN H., 2002: Uncertainty estimation in groundwater modeling using kalman filtering. In Proc. 4th International Conference on Calibration and Reliability in Groundwater modeling. Praga Czech Republic. Acta Univesitatis Carolinae- Geologica2002 46(2/3), 306-309.

FETTER C. W., 2001: Applied Hydrogeology, 4th Edition Prentice Hall.

LERNER D.N., A.S. ISSAR, I. SIMMERS, 1990: Groundwater Recharge. A guide to understanding and estimating natural recharge. Int. contributions to hydrogeology Int. Assoc. of Hydrogeologists, Vol.8.

MEIXNER T., L. A. BASTIDAS, H. V. GUPTA AND R. C. BALES, 2002: Multicriteria parameter estimation for models of stream chemical composition, WATER RESOURCES RESEARCH, VOL. 38, NO. 3, 1027, 10.1029/ 2000 WR000112.

MEYER P. D., G. W. GEE, 1999: Information on Hydrologic Conceptual Models, Parameters, Uncertainty Analysis, and Data Sources for Dose, Assessments at Decommissioning Sites, NUREG/CR-6656 - PNNL-13091.

MINAMI, M., 2000: Using ArcMap ,GIS by ESRI, ESRI.

MURRAY C.J., D. G. HORTON, A. L. WARD, AND G. W. GEE, 2003: Hydrogeologic Influence of Clastic Dikes on Vadose Zone Transport, PNNL-13487, Annual Environmental Report.

PALMER A.N., M.V. PALMER AND I.D. SASOWSKY, (eds.) re-published, 1999: Conceptual models for karstic aquifers, Karst Modeling: Special Publication 5, The Karst Waters Institute, Charles Town, West Virginia (USA), 11-16.

SCHETELG KURT, 1978: Μερικά τεχνικά γεωλογικά προβλήματα του φράγματος Μόρνου (Ελλάδα), Πολυτεχνείο Darmstadt, Γερμανία, μετάφραση Β. ΑΥΔΗΣ, ΙΓΜΕ.

SHEPPARD D.S., W.J. MCCABE AND M. BURGESS: Subsurface transport from contaminated sites, Part 2 – groundwater.

SCOTT W. PHILLIPS, MICHAEL J. FOCAZIO, L. JOSEPH BACHMAN: Discharge, Nitrate Load, and Residence Time of Ground Water in the Chesapeake Bay Watershed, USGS Fact Sheet FS-150-99.

TAPIA SILVA, F.O., FRANZ EDUARDO MORA FLORES (2003?): The application of spatial analysis in the implementation of a qualitative infiltration model to evaluate the aquifer's potential recharge for conservation areas of Mexico City.

UBELL, K.: Principles on Network Design and Basics data to study groundwater balance, Research Institute for Water Resources, Budapest, Hungary.

VAN TONDER G.J. AND P.D. VERMEULEN, 2005: The applicability of slug tests in fractured-rock formations, ISSN 0378-4738, Water SA Vol. 31 No. 2 April.

ZOVOLIS E., KONSTANTINIDIS E. AND KOUKOUVELAS I., 2004: Tectonic, geomorphology of escarpments : the case of Kompotades and Nea Angialos Faults, 10th GSG Congress, 15-14 April, Thessaloniki, Greece.

ΑΓΓΕΛΟΠΟΥΛΟΣ Α., 1991: Γεωφυσική έρευνα περιοχής θεμελίωσης φράγματος Αγ. Δημητρίου – Ναυπακτίας και αγωγού Ευήνου – Μόρνου, ΙΓΜΕ.

ΑΛΕΞΟΠΟΥΛΟΣ ΑΠ. Ι., 2001: Υδρογεωλογία και Υδρογεωτρήσεις, Τομέας Δυναμικής – Τεκτονικής και Εφαρμοσμένης Γεωλογίας, Εθνικό Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο, Αθηνών.

ΑΛΕΞΟΠΟΥΛΟΣ ΑΠ. Ι., 2005: Το υδρογεωλογικό καθεστώς του ορεινού συγκροτήματος της Δίκτης ως αποτέλεσμα της γεωλογικής του δομής, Επιστημονική ημερίδα για το φράγμα στον Αποσελέμη, Ηράκλειο Κρήτης.

ΑΠΟΣΤΟΛΟΠΟΥΛΟΣ Γ., 1993: Γεωφυσικές έρευνες στην λεκάνη του Σπερχειού ποταμού, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.

ΓΕΩΡΓΙΟΥ Α.Ε., 2005: Υδρολογική Διερεύνηση και Ανάλυση της λεκάνης του ποταμού Αραχθού, Μεταπτυχιακή Εργασία, ΕΜΠ.

ΔΗΜΗΤΡΟΠΟΥΛΟΣ Δ., 1991: Υδρογεωλογική αναγνώριση των Πηγών Μουζακίου Καρδίτσας, ΙΓΜΕ.

ΕΥΣΤΡΑΤΙΑΔΗΣ Α., Δ. ΚΟΥΤΣΟΓΙΑΝΝΗΣ, 2007: Μη γραμμικές μέθοδοι βελτιστοποίησης - Εξελικτικοί και γενετικοί αλγόριθμοι, Σημειώσεις μαθήματος, Διεπιστημονικό – Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών, Τομέας Υδάτινων Πόρων, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Εθν. Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

ΚΑΒΒΑΔΑΣ Μ., 2001: Στοιχεία Εδαφομηχανικής, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

ΚΑΛΛΕΡΓΗΣ Γ.Α., 1999: Εφαρμοσμένη Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία, τομ.Α, ΤΕΕ.

ΚΑΛΛΕΡΓΗΣ Γ.Α., 2000: Εφαρμοσμένη Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία, τομ.Β, ΤΕΕ

ΚΑΛΛΕΡΓΗΣ Γ.Α., 2001: Εφαρμοσμένη Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία, τομ.Γ, ΤΕΕ.

ΚΑΛΛΕΡΓΗΣ Γ. Α., 2005: Αλληλεπίδραση υδροφόρων συστημάτων του ορεινού συγκροτήματος Δίκτυ και του χειμάρρου Αποσελέμη. Επιπτώσεις από την δέσμευση των νερών του Χώνου στην ύδρευση της ευρύτερης περιοχής, Επιστημονική ημερίδα για το φράγμα στον Αποσελέμη, Ηράκλειο Κρήτης.

ΚΑΡΚΑΛΕΤΣΗ Σ., 2002: Ανάλυση ευαισθησίας του Visual ModFlow στην προσομοίωση της υπόγειας ροής, Διπλωματική εργασία, ΕΜΠ.

ΚΟΥΜΑΝΤΑΚΗΣ Ι. Ε., 2006: Σημειώσεις μαθήματος Προχωρημένης Υδρογεωλογίας, Διεπιστημονικό – Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών

Σπουδών, Τομέας Υδάτινων Πόρων, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Εθν. Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

ΚΟΥΤΣΟΓΙΑΝΝΗΣ Δ., Θ. ΞΑΝΘΟΠΟΥΛΟΣ, 1999: Τεχνική Υδρολογία, Τομέας Υδάτινων Πόρων, Τμήμα Πολ. Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

ΚΟΥΤΣΟΓΙΑΝΝΗΣ Δ., Γ. ΤΣΑΚΑΛΙΑΣ, 1995: Υδρολογικά χαρακτηριστικά της λεκάνης Σπερχειού, Τομέας Υδάτινων Πόρων, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

ΚΟΥΤΣΟΓΙΑΝΝΗΣ Δ., Γ. ΤΣΑΚΑΛΙΑΣ, Ν. ΜΑΜΑΣΗΣ, Α. ΚΟΥΚΟΥΒΙΝΟΣ, 1995: Παράρτημα Επιφανειακών Υδατικών Πόρων (ΕΥΠ), Τομέας Υδάτινων Πόρων, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

ΚΟΥΤΣΟΓΙΑΝΝΗΣ Δ, Α. ΕΥΣΤΡΑΤΙΑΔΗΣ, Ι. ΝΑΛΜΠΙΑΝΤΗΣ, Ν. ΜΑΜΑΣΗΣ, 2005: Εκσυγχρονισμός της εποπτείας και διαχείρισης του συστήματος των υδάτινων πόρων ύδρευσης της Αθήνας, Εταιρεία Ύδρευσης και Αποχέτευσης Πρωτεύουσας, ΕΜΠ.

ΚΟΥΤΣΟΓΙΑΝΝΗΣ, Δ., Α. ΕΥΣΤΡΑΤΙΑΔΗΣ, Ν. ΜΑΜΑΣΗΣ, Ι. ΝΑΛΜΠΙΑΝΤΗΣ, ΚΑΙ Α. ΛΑΖΑΡΙΔΗΣ, 2001: Υδρολογική μελέτη λειτουργίας του ταμιευτήρα, Τεχνικός Σύμβουλος για το έργο "Ύδρευση Ηρακλείου και Αγίου Νικολάου από το φράγμα Αποσελέμη", Εργοδότης: Υπουργείο Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημόσιων Έργων, Ανάδοχος: Κοινοπραξία Αποσελέμη, Αθήνα.

ΚΟΥΤΣΟΓΙΑΝΝΗΣ Δ. et al., 2003: Υδρολογική μελέτη λειτουργίας του ταμιευτήρα Αποσελέμη, Επικαιροποιημένη Έκδοση.

ΚΟΥΤΣΟΠΟΥΛΟΣ Κ., Ν. ΑΝΔΡΟΥΛΑΚΑΚΗΣ, 2005: Εφαρμογές του Λογισμικού ArcGIS9x, Εκδ. Παπασωτηρίου.

ΚΩΤΣΟΠΟΥΛΟΣ, Ι. Σ., 2006: Υδρολογία, Εκδ. ΊΩΝ

ΛΑΓΚΑΔΙΝΟΥ Ε., 2003: Διερεύνηση των επιπτώσεων της κατασκευής ταμιευτήρων στο μικροκλίμα, Διπλωματική εργασία, ΕΜΠ.

ΛΑΖΑΡΙΔΗΣ Λ., Γ. ΚΑΛΛΑΟΥΖΗΣ, Δ. ΚΟΥΤΣΟΓΙΑΝΝΗΣ, Π. ΜΑΡΙΝΟΣ: Βασικά τεχνικά και οικονομικά μεγέθη σχετικά με τη διαχείριση των υδάτινων πόρων στη Θεσσαλία.

ΛΙΑΚΟΥΡΗΣ Δ.Ε., 1995: Η γεωλογία και τα φράγματα της ΔΕΗ, ΙΓΜΕ.

ΛΕΚΚΑΣ Σ. Π., Α. Ι. ΑΛΕΞΟΠΟΥΛΟΣ, 1999: Σημειώσεις από τις παραδόσεις μαθήματος Εισαγωγή στην Εφαρμοσμένη Γεωλογία, Τομέας Δυναμικής – Τεκτονικής και Εφαρμοσμένης Γεωλογίας, Εθνικό Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο, Αθηνών.

ΛΕΟΝΤΙΑΔΗΣ Ι., Ε. ΝΙΚΟΛΑΟΥ, 2001: Ισοτοπική υδρολογική έρευνα Βορείου τμήματος υδατικού διαμερίσματος Ηπείρου, ΙΓΜΕ.

ΜΑΡΙΝΟΣ Π., Μ. ΚΑΒΒΑΔΑΣ, Β. ΠΕΡΛΕΡΟΣ, Δ.ΡΟΖΟΣ, Ε. ΝΙΚΟΛΑΟΥ, Ν. ΝΙΚΟΛΑΟΥ ΚΑΙ Ι. ΧΑΤΖΗΝΑΚΟΣ, 1994: Υδρογεωλογικές συνθήκες στο Δέλτα του Αχελώου με έμφαση στις σχέσεις του ποταμού με τα υπόγεια νερά και τους υγρότοπους, Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας, τομ. XXX/2.

ΜΑΡΙΝΟΣ Π., Β. ΠΕΡΛΕΡΟΣ, 1991: Σχέσεις καρστικής υδροφορίας κεντρικής Θεσσαλίας με Πηνειό και Τιταρήσιο, Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας, τομ. XXV/4, 233-253.

ΜΑΡΙΟΛΑΚΟΣ Η., Ι. ΦΟΥΝΤΟΥΛΗΣ, Δ. ΘΕΟΧΑΡΗΣ, 2001: Διαχείριση υδρευτικών και αρδευτικών αναγκών του νομού Αιτωλοκαρνανίας με τη χρήση Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών, Πρακτικά 9^{ου} Συνεδρίου Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας, Δελτίο Ελλην Γεωλ. Ετ., τ. XXXIV/5 σελ.1841-1842.

ΜΑΡΙΟΛΑΚΟΣ Η., Ι. ΦΟΥΝΤΟΥΛΗΣ, Ε. ΣΠΥΡΙΔΩΝΟΣ, ΕΜ. ΑΝΔΡΕΑΔΑΚΗΣ, Ε. ΚΑΠΟΥΡΑΝΗ, 2003: Το πρόβλημα του νερού στη Θεσσαλία και προτάσεις για την αντιμετώπιση του στα πλαίσια της αειφόρου ανάπτυξης. Πρακτικά 3^{ου} Συνεδρίου Ανάπτυξης της Θεσσαλίας, τομ.Α, σελ 4.

ΜΕΤΖΑΦΟΥ Α., 2004: Υδρογεωλογικό καθεστώς Λεκάνης Αλμυρού Βόλου, Μεταπτυχιακή Εργασία, ΕΜΠ.

ΜΙΜΙΚΟΥ Μ. Α., Ε.Α. ΜΠΑΛΤΑΣ, 2003: Τεχνική Υδρολογία, Τομέας Υδάτινων Πόρων, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ Δ. Ι., 1995: Γεωλογία της Ελλάδας, Εκδόσεις Επιστημονικών Βιβλίων και Περιοδικών, Θεσσαλονίκη.

ΝΑΝΟΥ – ΓΙΑΝΝΑΡΟΥ ΑΙΚ., 2003: Εισαγωγή στα υπόγεια νερά, Τομέας Υδάτινων Πόρων, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

ΝΙΚΟΛΑΟΥ Ε., Π. ΠΑΡΑΣΚΕΥΟΠΟΥΛΟΥ, Κ. ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΣ, Ε. ΒΑΣΙΛΕΙΑΔΗΣ, Χ. ΤΖΟΥΛΗ, 1999: Δίαιτα Υπόγειων Υδροφόρων Συστημάτων Ηπείρου. Λεκάνες Αωού, Λούρου, Καλαμά, Αχέροντα, Άρτας, Λ.Ιωαννίνων, ΙΓΜΕ.

ΝΙΚΟΛΑΟΥ Σ.Ν., 1999: Οι υδρογεωλογικές συνθήκες στο Δέλτα Αχελώου, ΙΓΜΕ, Πρέβεζα.

ΞΑΝΘΟΠΟΥΛΟΣ Θ., 1988: Ερευνητικό Έργο, Υδρολογική Διερεύνηση Υδατικού Διαμερίσματος Θεσσαλίας, Επεξεργασία Υδρομετεωρολογικών Δεδομένων σε μηνιαία βάση. Τεύχος 6, Κύριοι Ερευνητές: Δ. Κουτσογιάννης, Σ. Ρώτη, Ι.Τζεράνης, Αθήνα.

ΞΑΝΘΟΠΟΥΛΟΥ Ν., Ν. ΜΑΜΑΣΗΣ, Π. ΑΝΑΣΤΑΣΟΠΟΥΛΟΥ, Κ. ΑΛΕΞΟΠΟΥΛΟΥ, 1997: Επικαιροποίηση Υδρομετεωρολογικών Δεδομένων, Τεύχος 1, Ερευνητικό έργο αναβάθμισης και επικαιροποίησης της υδρολογικής πληροφορίας της Θεσσαλίας, Επιστημονικός Υπεύθυνος Δ. Κουτσογιάννης, ΥΠΕΧΩΔΕ., ΕΜΠ, Αθήνα.

ΠΑΓΟΥΝΗΣ Μ., Θ. ΓΚΕΡΤΣΟΣ, Α. ΓΚΑΤΖΟΓΙΑΝΝΗΣ, 1994: Υδρογεωλογική Έρευνα λεκάνης Βοιωτικού Κηφισού, ΙΓΜΕ.

ΠΑΓΟΥΝΗΣ Μ., 1993: Αποτελέσματα και συμπεράσματα από τη λειτουργία των γεωτρήσεων ύδρευσης της πρωτεύουσας στην περιοχή Βοιωτίας – Βοιωτικού Κηφισού, ΙΓΜΕ.

ΠΑΓΟΥΝΗΣ Μ., 1990-1993: Αποτελέσματα Υδρογεωλογικής Έρευνας στην περιοχή Βοιωτίας – Βοιωτικού Κηφισού, ΙΓΜΕ.

ΠΑΝΑΓΟΥΛΙΑ Δ., 2006: Σημειώσεις μαθήματος Διάβρωση, Μεταφορά & Απόθεση Φερτών Υλικών, Διεπιστημονικό – Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών

Σπουδών, Τομέας Υδάτινων Πόρων, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

ΠΑΠΑΔΕΑΣ Γ. Δ., 1992: Γεωλογική, τεκτονική, υδροχημική, γεωθερμική έρευνα, στη λεκάνη του Σπερχειού Φθιώτιδας, ΙΓΜΕ.

ΠΑΠΑΔΕΑΣ Γ. Δ., 1996: Γεωλογική και γεωθερμική έρευνα, στη λεκάνη του Σπερχειού Φθιώτιδας, ΙΓΜΕ.

ΠΑΠΑΠΕΤΡΟΣ Π., 2003: Έκθεση υδρογεωλογικής αναγνώρισης περιοχής του δήμου Αχελώου Ν. Καρδίτσας, ΙΓΜΕ.

ΠΑΠΑΠΕΤΡΟΣ Π., 2003: Υδρογεωλογική έρευνα ανθρακικών και οφιολιθικών μαζών Δυτικής και Ανατολικής Θεσσαλίας, Τομές υδρογεωλογίας, Δ/ΣΗ υδρογεωλογίας Β. Ελλάδας.

ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ Δ. Ι., 1996: Γεωλογία της Ελλάδας, Σημειώσεις του μαθήματος «Γεωλογία της Ελλάδας» του 5^{ου} Εξαμήνου του Τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Τομέας Δυναμικής – Τεκτονικής και Εφαρμοσμένης Γεωλογίας, Εθνικό Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.

ΠΑΝΤΕΛΟΠΟΥΛΟΣ Π., 1990: Η ύδρευση της πρωτεύουσας από τον Μόρνο, MINERAL WEALTH 65/1990.

ΣΟΥΛΙΟΣ, Γ. Χ., 1996: Γενική Υδρογεωλογία. Τομ. Α, Εκδόσεις Επιστημονικών Βιβλίων και Περιοδικών, Θεσσαλονίκη.

ΤΑΣΣΙΟΣ Ν., 1990: Υδρογεωλογική έρευνα περιοχών Δ. Πύλης, Συνδέσμου Κοινοτήτων Χαλκιαδαίων και Οιχαλίας για την εξερεύνηση χώρων αποθήσεως των απορριμμάτων των, ΙΓΜΕ.

ΤΖΙΤΖΙΡΑΣ Α., Δ. ΡΟΖΟΣ, Ν. ΝΙΚΟΛΑΟΥ, Ε. ΠΑΓΙΑΤΖΗ, Ε. ΑΠΟΣΤΟΛΙΔΗ, 1991: Γεωτεχνική μελέτη φράγματος Αγ. Δημητρίου Ευήνου, ΙΓΜΕ.

ΤΣΑΚΙΡΗΣ Γ., 1995: Τεχνική υδρολογία, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα.

ΤΣΑΚΙΡΗΣ Γ., 2005: Παράμετροι σχεδιασμού και επικινδυνότητα του φράγματος στον Αποσελέμη, Επιστημονική ημερίδα για το φράγμα στον Αποσελέμη, Ηράκλειο Κρήτης.

ΤΣΕΛΕΝΤΗΣ Γ., ΑΙΚ. ΛΑΖΟΥ, 1985: Γεωφυσική έρευνα για το έργο: εκτροπή Αχελώου, ΙΓΜΕ.

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΙΣ

<http://cru.cahe.wsu.edu/CEPublications>

<http://www.ees.nmt.edu>

[http:// www.esri.com](http://www.esri.com)

<http://www.eydap.gr>

<http://www.geography.syrvey.ntua.gr>

<http://www.itia.ntua.gr>

[http:// www.labtect.geol.uoa.gr/pages/](http://www.labtect.geol.uoa.gr/pages/)

[http:// www.Geo – Hydrology.com](http://www.Geo-Hydrology.com)

[http:// www.twdb.state.tx.us](http://www.twdb.state.tx.us) – Groundwater Availability Model for the central part of Carrizo-Wilcox aquifer in Texas

http://www.twdb.state.tx.us/gam/czwx_c/CZWX_c_Part1_97_Finalrev2c

http://www.maf.govt.nz/mafnet/schools/activities/swi/swi-04.htm#P628_15997

<http://www.soil.ncsu.edu/publications/Soilfacts/AG-439-09/TheNature>

<http://www.soils.usda.gov/technical/manual/images/fig3>

http://en.wikipedia.org/wiki/Nash-Sutcliffe_efficiency_coefficient

<http://www.ecocrete.gr/index.php?option=content&task=view&id=982>

<http://www.mesogios.gr/arxeio/2001/02/06/b01.htm>

<http://www.avdou.8m.com/lagada/news1p1.htm>

http://www.evrytan.gr/up0/Potamia_1.html

<http://www.ergotaxiaka.gr/printArticle.php?ID=70>

<http://www.minagric.gr/greel/2.9.3.html>

<http://www.geo.auth.gr>

<http://www.ndbhmi.chi.civil.ntua.gr>

<http://contamsites.landcareresearch.co.nz/SubPart1.pdf>

Παράρτημα

ΥΠΟΜΝΗΜΑ ΥΔΡΟΛΙΘΙΚΟΥ ΧΑΡΤΗ

ΠΟΡΩΔΕΙΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ

11

- Κοκκώδεις προσχωματικές αποθέσεις κυμαινόμενης υδροπερατότητας

Περιλαμβάνονται οι σύγχρονες προσχώσεις κοιλάδων, πεδιάδων και ακτών του Ολοκαίνου, οι λιμναίες, χερσαίες και θαλάσσιες αποθέσεις του Πλειστοκαίνου και οι αδιαίρετοι χερσαίοι και θαλάσσιοι σχηματισμοί του Τεταρτογενούς. Η υδροπερατότητα τους κυμαίνεται από πολύ μεγάλη έως πολύ μικρή, ανάλογα με τη λιθολογική τους σύσταση. Στην ενότητα αυτή περιλαμβάνονται:

- Σχηματισμοί με μεγάλη υδροπερατότητα.

* Κροκαλοπαγή (Βόρεια και Δυτική Πελοπόννησος)

* Εκτεταμένοι κώνοι κορημάτων και αλλουβιακά ριπίδια

* Αδρόκοκκες αποθέσεις (περιοχές Δέλτα Μόρνου και Ευήνου, Καλυβίων – Αγρινίου, Δυτικής Θεσσαλίας, Τιταρήσιου Ανατολικής Θεσσαλίας, λεκάνη Κατερίνης, Μέσος Ρούς Σπερχειού κλπ.)

- Σχηματισμοί με μεγάλη έως μικρή υδροπερατότητα.

* Αδρόκοκκες έως λεπτόκοκκες αποθέσεις κροκαλών, χαλίκων, άμμου, ιλύος, που απαντώνται στις εσωτερικές περιοχές πεδιάδων και τις παράκτιες δελταϊκές περιοχές (Μόρνος, Ευήνος, Αλιάκμονας, Αξιός, Γαλλικός, Νέστος, Έβρος, Άραχθος, Πηνειός Ηλείας, Αλφειός, Δυτική Θεσσαλία κλπ.)

- Σχηματισμοί με μικρή έως πολύ μικρή υδροπερατότητα

* Λεπτόκοκκες αποθέσεις άμμων, ιλύος και αργιλοίλυος (κεντρικές περιοχές πεδιάδων Κωπαΐδας, Ιωαννίνων, Τρίπολης, Δέλτα κάτω Αχελώου, Ανατολική Θεσσαλία κλπ.)

Γενικά τις Τεταρτογενείς αποθέσεις διαρρέουν μεγάλα ποτάμια και χειμάρροι, που τροφοδοτούν τους ελεύθερους υδροφορείς. Οι αποθέσεις αυτές αναπτύσσονται, κυρίως, κατά τη ροή των ποταμών και των χειμάρρων. Συνήθως κατά τη διαδρομή των ποταμών από το εσωτερικό πεδινό τμήμα προς το δέλτα τους οι ελεύθεροι υδροφορείς, που αναπτύσσονται στις Τεταρτογενείς αποθέσεις μεταπίπτουν σε μερικώς υπό πίεση και τελικώς σε υπό πίεση. Η τροφοδοσία των υδροφορέων που αναπτύσσονται στις τεταρτογενείς αποθέσεις εξαρτάται και από τη λιθογονική τους σύσταση.

Ειδικότερα, για τα συνεκτικά κροκαλοπαγή και τους παλιούς κώνους κορημάτων, που αναπτύσσονται στις υπώρειες των ανθρακικών ορεινών όγκων, η τροφοδοσία τους γίνεται τόσο από άμεση κατεύθυνση, όσο και από πλευρικές μεταγίσεις των καρστικών υδροφόρων συστημάτων, με τα οποία σε πολλές περιπτώσεις αποτελούν ενιαίο υδρογεωλογικό σύνολο.

12

- Κοκκώδεις μη προσχωματικές αποθέσεις μέτριας έως πολύ μικρής υδροπερατότητας.

Περιλαμβάνουν πλειο-πλειστοκαινικές αποθέσεις και τριτογενείς γεωλογικούς σχηματισμούς, που συνίστανται από εναλλαγές άμμων, μαργών, αργίλων, κροκαλοπαγών, μαργαϊκών ασβεστολίθων και ψαμμιτών. Τοπικά εμφανίζονται στρώματα λιγνιτών και γύψων.

Οι ανωτέρω σχηματισμοί εμφανίζουν γενικά μέτρια έως μικρή υδροπερατότητα, ανάλογα με την συμμετοχή χονδρόκοκκου ή λεπτομερούς υλικού. Στις πλειοκαινικές και νεογενείς αποθέσεις αναπτύσσονται κυρίως επάλληλοι υπό πίεση υδροφορείς.

- Κοκκώδεις μολασσικές αποθέσεις μικρής υδροπερατότητας.

Περιλαμβάνουν κυρίως τις αποθέσεις της Μεσοελληνικής Αύλακας (περιοχή Βοΐου ορους – Τρικάλων) που συνίστανται από μάργες, ψαμμίτες και κροκαλοπαγή.

Στην Δυτική Ελλάδα, Θράκη και τοπικά στην Ρόδο, Λήμνο και άλλα νησιά οι μολασσικές συνίστανται από μάργες, με παρεμβολές λιγνιτών, ψαμμούχων και μαργαϊκών ασβεστολίθων.

Η συχνή παρουσία κροκαλοπαγών, κυρίως στις αποθέσεις της Μεσοελληνικής Αύλακας, δημιουργεί ευνοϊκές συνθήκες για την ανάπτυξη τοπικών υδροφόρων οριζόντων, ελεύθερων ή υπό πίεση. Η υδροπερατότητά τους εξαρτάται τόσο από τη μικρή παρουσία αργίλων στη σύστασή τους, όσο και από το μικρό, σχετικά βαθμό διαγένεσής τους.

ΚΑΡΣΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ

- Ασβεστόλιθοι και μάρμαρα εκτεταμένης ανάπτυξης, μέτριας έως υψηλής υδροπερατότητας.

Περιλαμβάνονται οι ακόλουθοι ανθρακικοί σχηματισμοί των διαφόρων γεωτεκτονικών ζωνών, σειρών και ενοτήτων:

- Ασβεστόλιθοι, δολομίτες του Ηωκαίνου – Κρητιδικού, Λιασίου – Τριαδικού των ζωνών Παξών και Ιονίου.
- Ασβεστόλιθοι πλακώδεις του Ηωκαίνου – Σενωνίου, ασβεστόλιθοι άστρωτοι του Ιουρασικού – Τριαδικού, ασβεστόλιθοι Πλακώδεις του Ηωκαίνου – Ιουρασικού της ημμεταμορφωμένης σειράς Πελοποννήσου – Κρήτης.
- Ασβεστόλιθοι, δολομίτες του Ηωκαίνου – Μεσοζωικού της ζώνης Γαβρόβου – Τριπόλεως.
- Μάρμαρα, δολομίτες του Μεσοζωικού της ενότητας Όσσας.
- Ασβεστόλιθοι του Κρητιδικού της ζώνης της Πίνδου, εκεί όπου εμφανίζουν μεγάλη επιφανειακή ανάπτυξη (περιοχές κεντρικής Πελοποννήσου).
- Ασβεστόλιθοι, δολομίτες του Ηωκαίνου – Μεσοζωικού της ζώνης Παρνασσού – Γκιώνας.
- Ασβεστόλιθοι, δολομίτες και μάρμαρα του Μεσοζωικού της Πελαγονικής ζώνης.
- Ασβεστόλιθοι του Κρητιδικού, ασβεστόλιθοι και μάρμαρα του Ιουρασικού – Τριαδικού των ζωνών Αξίου και Περιροδοπικής.
- Μάρμαρα, κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι των μαζών Ροδόπης, Σερβομακεδονικής και Κυκλάδων.

Οι παραπάνω ανθρακικοί σχηματισμοί παρουσιάζουν γενικά έντονη καρστικοποίηση, λόγω της χημικής διάβρωσής τους, που ποικίλλει μεταξύ ασβεστολίθων και δολομιτών. Η συνήθως μεγάλη επιφανειακή τους ανάπτυξη, η έντονη τεκτονική τους καταπόνηση, η λιθολογική τους σύσταση και η στρωματογραφική τους δομή συντελούν στην ανάπτυξη πορώδους ρωγμών και ασυνεχειών (δευτερογενές πορώδες), με αποτέλεσμα η υδροπερατότητά τους να κυμαίνεται από μέτρια ως υψηλή.

Η μεγάλη επιφανειακή τους εξάπλωση ευνοεί την ανάπτυξη εκτεταμένων καρστικών συστημάτων. Ανάλογα με την τεκτονική δομή των καρστικών συστημάτων δημιουργούνται επιμέρους υδρογεωλογικές ενότητες, που μπορεί να εκφορτίζονται σε διαφορετικά επίπεδα. Σε πολλές περιπτώσεις τα καρστικά συστήματα εκφορτίζονται με πηγές υπερπλήρωσης (εσωτερικές λεκάνες) ή με παράκτιες και υποθαλάσσιες πηγές

C1**- Ασβεστόλιθοι και μάρμαρα περιορισμένης ανάπτυξης, κυμαινόμενης υδροπερατότητας.**

Περιλαμβάνονται οι ακόλουθοι ανθρακικοί σχηματισμοί των διαφόρων γεωτεκτονικών ζωνών, σειρών, μαζών και ενοτήτων που εναλλάσσονται με ημιπερατούς ή αδιαπέρατους σχηματισμούς.

- Ασβεστόλιθοι πλακώδεις, με εναλλαγές πυριτόλιθων και σχιστολίθων του Κατώτερου Κρητιδικού – Ανώτερου Ιουρασικού των ζωνών Παζών και Ιονίου.
- Ασβεστόλιθοι πλακώδεις με εναλλαγές πυριτολίθων και σχιστολίθων του Κατώτερου Κρητιδικού – Ανώτερου Ιουρασικού της ημιμεταμορφωμένης σειράς Πελοποννήσου – Κρήτης.
- Ασβεστόλιθοι λεπτοπλακώδεις με εναλλαγές πηλιτών, ραδιολαριτών, κερατόλιθων και φλύσχη του Μεσοζωικού της ζώνης της Πίνδου. Οι σχηματισμοί αυτοί είναι διατεταγμένοι υπό μορφή επάλληλων λεπίσεων.
- Ασβεστόλιθοι και μάρμαρα με εναλλαγές σχιστολίθων, πυριτολίθων, πηλιτών, ψαμμιτών και φυλλιτών του Μεσοζωικού των ζωνών Αξιού και Περιροδοπικής.
- Μάρμαρα και σιπολίτες με εναλλαγές γνευσίων και σχιστολίθων των μαζών Ροδόπης, Σερβομακεδονικής, Πελαγονικής και Κυκλάδων.

Οι παραπάνω ανθρακικοί σχηματισμοί παρουσιάζουν μέτρια καρστικοποίηση λόγω της χημικής διάβρωσής τους, που περιορίζεται εξαιτίας των εναλλαγών με ημιπερατούς και αδιαπέρατους σχηματισμούς. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η ροή του υπόγειου νερού να ελέγχεται από τις παρεμβολές των αδιαπέρατων σχηματισμών (φλύσχη, σχιστόλιθοι, κερατόλιθοι) και από τις μεγάλες τεκτονικές γραμμές (εφιπτεύσεις, λεπίσεις).

Χαρακτηριστικό των περιοχών με ανάπτυξη αυτού του τύπου καρστικών σχηματισμών είναι η ανάπτυξη επιμηκών υδρογεωλογικών λεκανών με εμφάνιση πολλών πηγών, κυρίως επαφής, σε διαφορετικά υψόμετρα και η ανάπτυξη υπό πίεση υδροφορέων λόγω της τεκτονικής δομής τους, με αποτέλεσμα να παρατηρούνται διαφοροποιήσεις στην κίνηση του υπόγειου νερού.

C1'**- Τριαδικά ασβεστολιθικά λατυποπαγή της Ιονίου ζώνης, μικρής έως μέτριας υδροπερατότητας.**

Αναπτύσσονται στη Δυτική Ελλάδα και στα νησιά του Ιονίου. Η υδροπερατότητα τους εξαρτάται από την περιεκτικότητα σε μάργες, γύψους, ανυδρίτες και ασβεστολιθικά λατυποπαγή. Σε πολλές περιπτώσεις οι σχηματισμοί εμφανίζουν πορώδες κόκκων. Τα νερά, που προέρχονται από τους σχηματισμούς αυτούς, παρουσιάζουν υψηλή περιεκτικότητα σε θειικά άλατα.

ΑΔΙΑΠΕΡΑΤΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ

A1

- Φλύσχης.

Είναι γενικά αδιαπέρατος σχηματισμός.
Τοπικά, όπου επικρατούν οι ψαμμίτες και τα κροκαλοπαγή, εμφανίζει μικρή έως μέτρια υδροπερατότητα, με αποτέλεσμα την ανάπτυξη περιορισμένης έκτασης υδροφορέων.

A2

- Μεταμορφωμένα πετρώματα.

Είναι γενικά αδιαπέρατοι σχηματισμοί με μικρή έως πολύ μικρή υδροπερατότητα. Περιλαμβάνουν:

- Τη σχιστοκερατολιθική διάπλαση του Ιουρασικού με κερατόλιθους, ψαμμίτες, πηλίτες, διαβάσες και φακούς οφιολίθων της Πελαγονικής ζώνης.
- Τους Ιουρασικούς φυλλίτες, μάργες και κερατόλιθους των ζωνών Αξιού και Περιοδοπικής.
- Τα μεταμορφωμένα πετρώματα των ζωνών Ροδόπης, Σερβομακεδονικής, Πελαγονικής και ενότητας Κυκλάδων, που αποτελούνται από γνεύσιους, σχιστόλιθους, αμφιβολίτες, και σιπολίτες.
- Τις προαλπικές σειρές, που αποτελούνται:
 - * Από τη φυλλιτική σειρά και τα στρώματα Τυρού στην Πελοπόννησο και Κρήτη.
 - * Ασβεστόλιθους, γραουβάκες, σχιστόλιθους, ηφαιστίτες, χαλαζίτες και κροκαλοπαγή του Περμοτριάδικού, κυρίως στα νησιά του Ανατολικού Αιγαίου, τη Βόρεια Εύβοια και Θεσσαλία.
 - * Τα στρώματα σχιστολίθων, φυλλιτών, γραουβάκη και κροκαλοπαγών, όπως επίσης και τα κλασσικά πετρώματα με παρεμβολές διαβασικών και ηφαιστειακών τόφων, του Παλαιοζωικού, κυρίως στα νησιά του Ανατολικού Αιγαίου, την Εύβοια και Μαγνησία.

Στους ανωτέρω αδιαπέρατους σχηματισμούς παρεμβάλλονται τοπικά ασβεστόλιθοι και μάρμαρα, όπου συχνά αναπτύσσονται καρστικοί υδροφορείς.

A3

- Πλουτώνια και ηφαιστειακά πετρώματα.

Είναι γενικώς αδιαπέρατοι σχηματισμοί με μικρή έως πολύ μικρή υδροπερατότητα. Περιλαμβάνουν:

Τα πλουτώνια πετρώματα: γρανίτες, γρανοδιορίτες, μονζονίτες, γαβροπιλίτες, περιδοτίτες, δουνίτες, πυροξενίτες και παλαιοζωικοί σερπεντινίτες που εμφανίζονται κυρίως στην Βόρεια Ελλάδα.
Τα ηφαιστειακά πετρώματα: Ρυόλιθοι, ρυοδακίτες, δακίτες, ανδεσίτες, τραχειανδεσίτες, τραχείτες, τόφοι και βασάλτες.
Στους ανωτέρω σχηματισμούς και ειδικότερα στους γρανίτες και περιδοτίτες, αναπτύσσονται τοπικά υδροφορείς σε ζώνες έντονης διάρρηξης. Στις ηφαιστειακές τόφους της Κεντρικής Μακεδονίας αναπτύσσονται αξιόλογοι ελεύθεροι και υπό πίεση υδροφορείς. Η υδροπερατότητα τους κυμαίνεται στις ζώνες αυτές από μικρή έως μέτρια.

Γενικά σε όλους τους αδιαπέρατους σχηματισμούς αναπτύσσονται τοπικά περιορισμένοι, ελεύθεροι υδροφορείς στο ανώτερο αποσαθρωμένο τμήμα τους, ιδιαίτερα στις περιοχές με έντονη φυτοκάλυψη. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την ανάπτυξη πολλών μικρών πηγών σε διαφορετικά υψόμετρα με κυμαινόμενες παροχές (Πήλιο, Ταΰγετος, Οσσα, Πάρνωνας κλπ.)

ΛΕΚΑΝΗ ΑΧΕΛΩΟΥ – ΘΕΣΗ ΚΡΕΜΑΣΤΑ

Πίνακας 1: Τιμές παραμέτρων του μοντέλου και αντίστοιχοι συντελεστές Nash.

A/A	Συντελεστής Nash	K	ε	κ	So	λ	H1	μ	ξ	φ	H2	Yo
1	0.7695	298	0.75	0.45	0	0.1	100	0	0	0	0	0
2	0.7976	285	0.5	0.45	0	0.1	100	0	0	0	0	0
3	0.82513	285	0.25	0.45	0	0.1	100	0	0	0	0	0
4	0.82	285	0.2	0.45	0	0.1	100	0	0	0	0	0
5	0.80601	215	0.2	0.45	0	0.1	100	0	0	0	0	0
6	0.74126	180	0.2	0.45	0	0.1	100	0	0	0	0	0
7	0.824797	315	0.2	0.45	0	0.1	100	0	0	0	0	0
8	0.82334	346	0.2	0.45	0	0.1	100	0	0	0	0	0
9	0.82429	327.5	0.2	0.45	0	0.1	100	0	0	0	0	0
10	0.8249	309	0.2	0.45	0	0.1	100	0	0	0	0	0
11	0.8269	287.5	0.2	0.45	0	0.1	100	0	0	0	0	0
12	0.83004	245.5	0.2	0.45	0	0.1	100	0	0	0	0	0
13	0.83348	245.5	0.2	0.35	0	0.1	100	0	0	0	0	0
14	0.83474	245.5	0.2	0.2	0	0.1	62	0	0	0	0	0
15	0.834748	245.5	0.2	0.2	0	0.1	62	0	0	0	0	0
16	0.833947	245.5	0.2	0.2	0	0.1	62	0	0	0	0	0
17	0.859204	245	0.2	0.2	0	0.075	47	0	0	0	0	0
18	0.8025	245	0.2	0.2	0	0.035	47	0	0	0	0	0
19	0.862622	245	0.2	0.2	0	0.067	47	0	0	0	0	0
20	0.86187	245	0.2	0.2	0	0.071	47	0	0	0	0	0
21	0.86218	245	0.2	0.2	0	0.063	47	0	0	0	0	0
22	0.86268	245	0.2	0.2	0	0.066	47	0	0	0	0	0
23	0.8626	245.5	0.2	0.2	0	0.066	47	0	0	0	0	0
24	0.86094	245.5	0.31	0.2	0	0.066	47	0	0	0	0	0
25	0.86822	251	0.2	0.2	0	0.066	47	0	0	0	0	0
26	0.87887	264.5	0.2	0.2	0	0.066	47	0	0	0	0	0
27	0.8808	269	0.2	0.2	0	0.066	47	0	0	0	0	0
28	0.88184	272	0.2	0.2	0	0.066	47	0	0	0	0	0
29	0.8874	286	0.2	0.2	0	0.066	47	0	0	0	0	0
30	0.8862	317	0.2	0.2	0	0.066	47	0	0	0	0	0
31	0.8849	303	0.2	0.2	0	0.66	47	0	0	0	0	0
32	0.8257	237	0.2	0.45	0	0.1	100	0	0	0	0	0
33	0.8334	245.5	0.2	0.35	0	0.1	100	0	0	0	0	0
34	0.81477	245.5	0.2	0.19	0	0.1	100	0	0	0	0	0
35	0.8167	245.5	0.2	0.2	0	0.1	100	0	0	0	0	0
36	0.798	245.5	0.2	0.11	0	0.1	100	0	0	0	0	0
37	0.81673	245.5	0.2	0.2	0	0.1	100	0	0	0	0	0
38	0.729	245.5	0.2	0.2	0	0.1	157	0	0	0	0	0
39	0.82066	245.5	0.2	0.2	0	0.1	93	0	0	0	0	0
40	0.8248	245.5	0.2	0.2	0	0.1	85	0	0	0	0	0
41	0.8347	245.5	0.2	0.2	0	0.1	62	0	0	0	0	0
42	0.7375	330	0.8	0.2	0	0.051	200	0	0	0	0	0
43	0.8185	330	0.8	0.2	0	0.051	150	0	0	0	0	0
44	0.8655	330	0.8	0.2	0	0.051	100	0	0	0	0	0
45	0.8789	330	0.8	0.2	0	0.051	55	0	0	0	0	0

ΛΕΚΑΝΗ ΑΧΕΛΩΟΥ – ΘΕΣΗ ΚΡΕΜΑΣΤΑ

Πίνακας 2: Τιμές παραμέτρων του μοντέλου και αντίστοιχοι συντελεστές Nash.

A/A	Συντελεστής Nash	K	ε	κ	So	λ	H1	μ	ξ	φ	H2	Υο
46	0.905353	330	0.2	0.2	0	0.051	64	0.001	0.02	0.001	180	280
47	0.906446	330	0.2	0.2	0	0.051	64	0.002	0.02	0.001	180	280
48	0.90688	330	0.2	0.2	0	0.051	64	0.005	0.02	0.001	180	280
49	0.905788	330	0.2	0.22	0	0.051	64	0.005	0.02	0.001	180	280
50	0.903611	330	0.2	0.25	0	0.051	64	0.005	0.02	0.001	180	280
51	0.907	330	0.2	0.19	0	0.051	64	0.005	0.02	0.001	180	280
52	0.907025	330	0.2	0.18	0	0.051	64	0.005	0.02	0.001	180	280
53	0.9058	330	0.2	0.19	0	0.051	64	0.005	0.02	0.001	180	280
54	0.9032	330	0.2	0.19	0	0.051	64	0.005	0.02	0.002	180	280
55	0.90611	330	0.2	0.19	0	0.051	64	0.005	0.03	0.001	180	280
56	0.9052	330	0.2	0.19	0	0.051	64	0.005	0.045	0.001	180	280
57	0.90613	330	0.2	0.19	0	0.051	64	0.005	0.033	0.001	180	280
58	0.9028	330	0.2	0.19	0	0.051	64	0.01	0.033	0.001	180	280
59	0.9062	330	0.2	0.19	0	0.051	64	0.006	0.033	0.001	180	280
60	0.90733	330	0.2	0.19	0	0.051	64	0.006	0.033	0.0001	180	280
61	0.907	330	0.2	0.19	0	0.051	64	0.006	0.033	0.0001	180	290
62	0.9076	330	0.2	0.19	0	0.051	64	0.006	0.033	0.0001	180	265
63	0.906	330	0.2	0.19	0	0.051	64	0.006	0.018	0.0001	180	265
64	0.9034	330	0.3	0.19	0	0.051	64	0.006	0.018	0.0001	180	265
65	0.9058	330	0.19	0.19	0	0.051	64	0.006	0.018	0.0001	180	265
66	0.8928	330	0.2	0.32	0	0.051	64	0.006	0.018	0.0001	180	265
67	0.8987	330	0.2	0.19	0	0.06	64	0.006	0.018	0.0001	180	265
68	0.9084	330	0.2	0.19	0	0.048	64	0.006	0.018	0.0001	180	265
69	0.9074	330	0.2	0.19	0	0.044	64	0.006	0.018	0.0001	180	265
70	0.9059	330	0.2	0.19	0	0.039	64	0.006	0.018	0.0001	180	265
71	0.90835	330	0.2	0.19	0	0.049	64	0.006	0.033	0.0001	180	265
72	0.90702	330	0.2	0.19	0	0.052	64	0.006	0.033	0.0001	180	265
73	0.9051	330	0.2	0.09	0	0.049	64	0.1	0.033	0.0001	180	265
74	0.747	330	0.2	0.41	0	0.049	64	0.1	0.033	0.0001	180	265
75	0.87211	330	0.2	0.29	0	0.049	64	0.1	0.033	0.0001	180	265
76	0.9017	330	0.2	0.29	0	0.049	64	0.2	0.033	0.0001	180	265
77	0.69837	330	0.2	0.29	0	0.049	64	0.2	0.033	0.005	180	265
78	0.742	330	0.2	0.29	0	0.049	64	0.2	0.033	0.0001	180	265
79	0.88561	330	0.2	0.29	0	0.049	64	0.2	0.033	0.0001	180	265
80	0.9074	330	0.2	0.29	0	0.049	64	0.2	0.033	0.0001	180	265
81	0.8751	330	0.2	0.2	0	0.051	64	0	0	0	0	0
82	0.87654	330	0.8	0.2	0	0.049	64	0	0	0	0	0
83	0.8789	330	0.8	0.2	0	0.051	68	0	0	0	0	0
84	0.8655	330	0.8	0.2	0	0.051	55	0	0	0	0	0
85	0.8185	330	0.8	0.2	0	0.051	100	0	0	0	0	0
86	0.8269	287.5	0.2	0.45	0	0.1	100	0	0	0	0	0
87	0.8249	309	0.2	0.45	0	0.1	100	0	0	0	0	0
88	0.803	330	0.8	0.2	0	0.051	166	0	0	0	0	0
89	0.80306	330	0.2	0.2	0	0.051	160	0	0	0	0	0
90	0.818	330	0.8	0.2	0	0.051	155	0	0	0	0	0

ΛΕΚΑΝΗ ΑΡΑΧΘΟΥ – ΘΕΣΗ ΑΡΤΑ

Πίνακας 3: Τιμές παραμέτρων του μοντέλου και αντίστοιχοι συντελεστές Nash.

A/A	Συντελεστής Nash	K	ε	κ	So	λ	H1	μ	ξ	φ	H2	Yo
1	0.85026	268	0.23	0.23	0	0.078	77	0.023	0.02	0.0001	141	268
2	0.85178	268	0.23	0.23	0	0.078	77	0.023	0.025	0.0001	141	268
3	0.85235	268	0.23	0.23	0	0.078	77	0.023	0.03	0.0001	141	268
4	0.8519	268	0.23	0.23	0	0.078	77	0.023	0.036	0.0001	141	268
5	0.85233	268	0.23	0.23	0	0.078	77	0.023	0.032	0.0001	141	268
6	0.858	268	0.23	0.23	0	0.078	77	0.023	0.03	0.001	141	268
7	0.86044	268	0.23	0.23	0	0.078	77	0.023	0.03	0.0015	141	268
8	0.8624	268	0.23	0.23	0	0.078	77	0.023	0.03	0.002	141	268
9	0.8652	268	0.23	0.23	0	0.078	77	0.023	0.03	0.003	141	268
10	0.8557	268	0.23	0.23	0	0.078	77	0.023	0.03	0.01	141	268
11	0.867	268	0.23	0.23	0	0.078	77	0.023	0.03	0.005	141	268
12	0.8662	268	0.23	0.23	0	0.078	77	0.023	0.03	0.006	141	268
13	0.87007	268	0.23	0.23	0	0.078	77	0.027	0.03	0.006	141	268
14	0.8718	268	0.23	0.23	0	0.078	77	0.031	0.03	0.006	141	268
15	0.8706	268	0.23	0.23	0	0.078	77	0.028	0.03	0.006	141	268
16	0.7938	268	0.23	0.23	0	0.078	77	0	0.03	0.006	141	268
17	0.8719	278	0.23	0.23	0	0.078	77	0.028	0.03	0.006	141	268
18	0.8727	285	0.23	0.23	0	0.078	77	0.028	0.03	0.006	141	268
19	0.8733	295	0.23	0.23	0	0.078	77	0.028	0.03	0.006	141	268
20	0.87397	324	0.23	0.23	0	0.078	77	0.028	0.03	0.006	141	268
21	0.874	345	0.23	0.23	0	0.078	77	0.028	0.03	0.006	141	268
22	0.8745	362	0.23	0.23	0	0.078	77	0.028	0.03	0.006	141	268
23	0.8749	379	0.23	0.23	0	0.078	77	0.028	0.03	0.006	141	268
24	0.8658	252	0.23	0.23	0	0.078	77	0.028	0.03	0.006	141	268
25	0.8731	285	0.23	0.23	0	0.078	73	0.028	0.03	0.006	141	268
26	0.8711	285	0.23	0.23	0	0.078	68	0.028	0.03	0.006	141	268
27	0.8722	285	0.23	0.23	0	0.078	81	0.028	0.03	0.006	141	268
28	0.8679	285	0.23	0.23	0	0.078	91	0.028	0.03	0.006	141	268
29	0.8707	285	0.23	0.23	0	0.078	73	0.028	0.03	0.006	131	268
30	0.8733	285	0.23	0.23	0	0.078	73	0.028	0.03	0.006	151	268
31	0.8728	285	0.23	0.23	0	0.078	73	0.028	0.03	0.006	161	268
32	0.87339	285	0.23	0.24	0	0.078	73	0.028	0.03	0.006	151	268
33	0.87336	285	0.23	0.25	0	0.078	73	0.028	0.03	0.006	151	268
34	0.8714	285	0.23	0.18	0	0.078	73	0.028	0.03	0.006	151	268
35	0.8739	285	0.23	0.18	0	0.078	73	0.03	0.03	0.006	151	268
36	0.87409	285	0.23	0.23	0	0.078	73	0.037	0.03	0.006	151	268
37	0.8727	285	0.25	0.23	0	0.078	73	0.03	0.03	0.006	151	268
38	0.8658	285	0.23	0.23	0	0.078	77	0.028	0.03	0.006	141	268
39	0.8731	285	0.23	0.23	0	0.078	73	0.028	0.03	0.006	141	268
40	0.8711	285	0.23	0.23	0	0.078	68	0.028	0.03	0.006	141	268
41	0.8722	285	0.23	0.23	0	0.078	81	0.028	0.03	0.006	141	268
42	0.8679	285	0.23	0.23	0	0.078	91	0.028	0.03	0.006	141	268
43	0.8707	285	0.23	0.23	0	0.078	73	0.028	0.03	0.006	131	268
44	0.8733	285	0.23	0.23	0	0.078	73	0.028	0.03	0.006	151	268
45	0.8728	285	0.23	0.23	0	0.078	73	0.028	0.03	0.006	161	268

ΛΕΚΑΝΗ ΑΡΑΧΘΟΥ – ΘΕΣΗ ΑΡΤΑ

Πίνακας 4: Τιμές παραμέτρων του μοντέλου και αντίστοιχοι συντελεστές Nash.

A/A	Συντελεστής Nash	K	ε	κ	So	λ	H1	μ	ξ	φ	H2	Yo
46	0.693	268	0.157	0.545	0	0.198	77	0.021	0	0.002	141	268
47	0.693	268	0.2	0.2	0	0.05	77	0.01	0.098	0.0001	141	268
48	0.5539	268	0.2	0.2	0	0.05	77	0.01	0.098	0.001	141	268
49	0.4866	268	0.2	0.2	0	0.05	77	0.01	0.098	0.005	141	268
50	0.782003	268	0.2	0.2	0	0.05	77	0.002	0.003	0.0001	141	268
51	0.85026	268	0.23	0.23	0	0.078	77	0.002	0.003	0.0001	141	268
52	0.7813	268	0.2	0.2	0	0.05	77	0.002	0.003	0.0001	141	268
53	0.7804	268	0.2	0.2	0	0.05	77	0.002	0.003	0.0005	141	268
54	0.7798	268	0.2	0.2	0	0.05	77	0.002	0.003	0.001	141	268
55	0.7813	268	0.2	0.2	0	0.05	77	0.002	0.003	0.008	141	268
56	0.7789	268	0.3	0.2	0	0.05	77	0.002	0.003	0.0001	141	268
57	0.77286	268	0.4	0.2	0	0.05	77	0.002	0.003	0.0001	141	268
58	0.78173	268	0.23	0.2	0	0.05	77	0.002	0.003	0.0001	141	268
59	0.7872	268	0.23	0.2	0	0.05	77	0.003	0.003	0.0001	141	268
60	0.804733	268	0.23	0.2	0	0.05	77	0.007	0.003	0.0001	141	268
61	0.82068	268	0.23	0.2	0	0.05	77	0.012	0.003	0.0001	141	268
62	0.8299	268	0.23	0.2	0	0.05	77	0.018	0.003	0.0001	141	268
63	0.83199	268	0.23	0.2	0	0.05	77	0.023	0.003	0.0001	141	268
64	0.8179	268	0.23	0.2	0	0.05	77	0.033	0.003	0.0001	141	268
65	0.8297	268	0.23	0.23	0	0.05	77	0.026	0.003	0.0001	141	268
66	0.8255	268	0.23	0.23	0	0.046	77	0.023	0.003	0.0001	141	268
67	0.84446	268	0.23	0.23	0	0.062	77	0.023	0.003	0.0001	141	268
68	0.848871	268	0.23	0.23	0	0.068	77	0.023	0.003	0.0001	141	268
69	0.85318	268	0.23	0.23	0	0.078	77	0.023	0.003	0.0001	141	268
70	0.85138	268	0.23	0.23	0	0.078	77	0.023	0.003	0.0001	141	268
71	0.845004	268	0.23	0.31	0	0.078	77	0.023	0.003	0.0001	141	268
72	0.8127	268	0.23	0.45	0	0.078	77	0.023	0.003	0.0001	141	268
73	0.8499	268	0.23	0.18	0	0.078	77	0.023	0.003	0.0001	141	268
74	0.8505	268	0.23	0.25	0	0.078	77	0.023	0.003	0.0001	141	268
75	0.8442	268	0.23	0.25	0	0.078	77	0.023	0.01	0.0001	141	268
76	0.85026	268	0.23	0.25	0	0.078	77	0.023	0.02	0.0001	141	268
77	0.87397	324	0.23	0.23	0	0.078	77	0.028	0.03	0.006	141	268
78	0.874	345	0.23	0.23	0	0.078	77	0.028	0.03	0.006	141	268
79	0.8745	362	0.23	0.23	0	0.079	77	0.028	0.03	0.006	141	268
80	0.8749	379	0.23	0.23	0	0.079	77	0.028	0.03	0.006	141	268
81	0.85026	268	0.23	0.23	0	0.078	77	0.023	0.02	0.0001	141	268
82	0.85178	268	0.23	0.23	0	0.078	77	0.023	0.025	0.0001	141	268
83	0.852353	268	0.23	0.23	0	0.078	77	0.023	0.03	0.0001	141	268
84	0.85192	268	0.23	0.23	0	0.078	77	0.023	0.036	0.0001	141	268
85	0.85233	268	0.23	0.23	0	0.078	77	0.023	0.032	0.0001	141	268
86	0.858	268	0.23	0.23	0	0.078	77	0.023	0.03	0.001	141	268
87	0.86044	268	0.23	0.23	0	0.078	77	0.023	0.03	0.0015	141	268
88	0.8624	268	0.23	0.23	0	0.078	77	0.023	0.03	0.002	141	268
89	0.8652	268	0.23	0.23	0	0.078	77	0.023	0.03	0.003	141	268
90	0.08557	268	0.23	0.23	0	0.078	77	0.023	0.03	0.01	141	268

ΛΕΚΑΝΗ ΑΡΑΧΘΟΥ – ΘΕΣΗ ΤΣΙΜΟΒΟ

Πίνακας 5: Τιμές παραμέτρων του μοντέλου και αντίστοιχοι συντελεστές Nash.

A/A	Συντελεστής Nash	K	ε	κ	So	λ	H1	μ	ξ	φ	H2	Yo
1	0.8058	362	0.23	0.23	0	0.078	77	0.028	0.03	0.006	141	270
2	0.7867	362	0.32	0.23	0	0.078	77	0.028	0.03	0.006	141	270
3	0.75738	362	0.44	0.23	0	0.078	77	0.028	0.03	0.006	141	270
4	0.811	362	0.2	0.23	0	0.078	77	0.028	0.03	0.006	141	270
5	0.8128	362	0.19	0.23	0	0.078	77	0.028	0.03	0.006	141	270
6	0.816133	362	0.17	0.23	0	0.078	77	0.028	0.03	0.006	141	270
7	0.813268	362	0.2	0.25	0	0.078	77	0.028	0.03	0.006	141	270
8	0.8155	362	0.2	0.28	0	0.078	77	0.028	0.03	0.006	141	270
9	0.8166	362	0.2	0.33	0	0.078	77	0.028	0.03	0.006	141	270
10	0.8176	362	0.2	0.33	0	0.078	77	0.021	0.03	0.006	141	270
11	0.8167	362	0.2	0.33	0	0.078	77	0.015	0.03	0.006	141	270
12	0.8123	362	0.2	0.33	0	0.078	77	0.01	0.03	0.006	141	270
13	0.824547	362	0.2	0.33	0	0.078	77	0.021	0.03	0.004	141	270
14	0.8281	362	0.2	0.33	0	0.078	77	0.021	0.03	0.001	141	270
15	0.8278	362	0.2	0.33	0	0.078	77	0.021	0.03	0.0007	141	270
16	0.8269	362	0.2	0.33	0	0.078	77	0.021	0.03	0.0001	141	270
17	0.8318	362	0.2	0.33	0	0.078	77	0.021	0.03	0.001	141	270
18	0.8322	362	0.2	0.33	0	0.078	77	0.021	0.03	0.001	141	270
19	0.83454	362	0.2	0.33	0	0.078	77	0.021	0.068	0.001	141	270
20	0.833	362	0.2	0.33	0	0.078	77	0.021	0.055	0.001	141	270
21	0.8305	362	0.2	0.25	0	0.061	77	0.021	0.061	0.001	141	270
22	0.829	362	0.2	0.25	0	0.068	77	0.021	0.068	0.001	141	270
23	0.8273	362	0.2	0.25	0	0.056	77	0.021	0.056	0.001	141	270
24	0.83247	351	0.2	0.25	0	0.068	77	0.021	0.068	0.001	141	270
25	0.831907	334	0.2	0.25	0	0.068	77	0.021	0.068	0.001	141	270
26	0.8322	346	0.2	0.25	0	0.068	77	0.021	0.068	0.001	141	270
27	0.83226	355	0.2	0.25	0	0.068	77	0.021	0.068	0.001	141	270
28	0.8321	355	0.2	0.25	0	0.068	64	0.021	0.068	0.001	141	270
29	0.8304	355	0.2	0.25	0	0.068	93	0.021	0.068	0.001	141	270
30	0.8327	355	0.2	0.25	0	0.068	72	0.021	0.068	0.001	141	270
31	0.7435	355	0.2	0.25	0	0.068	72	0.021	0.068	0.001	141	270
32	0.825964	355	0.2	0.25	0	0.068	72	0.021	0.026	0.001	141	270
33	0.83015	355	0.2	0.25	0	0.068	72	0.021	0.036	0.001	141	270
34	0.8324	355	0.2	0.25	0	0.068	72	0.021	0.048	0.001	141	270
35	0.8314	355	0.2	0.25	0	0.068	72	0.021	0.041	0.001	141	270
36	0.8322	355	0.2	0.25	0	0.068	72	0.021	0.041	0.001	158	270
37	0.833	355	0.2	0.25	0	0.068	72	0.021	0.041	0.001	176	270
38	0.8323	355	0.2	0.25	0	0.068	72	0.021	0.041	0.001	176	284
39	0.8336	355	0.2	0.25	0	0.068	72	0.021	0.041	0.001	176	255
40	0.8335	355	0.2	0.25	0	0.068	72	0.018	0.041	0.001	176	255
41	0.835357	355	0.2	0.28	0	0.068	72	0.021	0.041	0.001	176	255

ΛΕΚΑΝΗ ΣΠΕΡΧΕΙΟΥ – ΘΕΣΗ ΚΟΜΠΟΤΑΔΕΣ

Πίνακας 6: Τιμές παραμέτρων του μοντέλου και αντίστοιχοι συντελεστές Nash.

A/A	Συντελεστής Nash	K	ε	κ	So	λ	H1	μ	ξ	φ	H2	Υο
1	0.8032	341	0.8	0.2	0	0.027	93	0.001	0.019	0.012	172	290
2	0.797921	366	0.8	0.2	0	0.027	93	0.001	0.019	0.012	172	290
3	0.7792	321	0.8	0.2	0	0.027	93	0.001	0.019	0.012	172	290
4	0.757135	441	0.8	0.2	0	0.027	192	0.001	0.019	0.012	172	290
5	0.80399	348	0.8	0.2	0	0.027	93	0.001	0.019	0.012	172	290
6	0.8006	356	0.8	0.2	0	0.027	93	0.001	0.019	0.012	172	290
7	0.80418	348	0.8	0.2	0	0.027	104	0.001	0.019	0.012	172	290
8	0.8007	348	0.8	0.2	0	0.027	117	0.001	0.019	0.012	172	290
9	0.7972	348	0.8	0.2	0	0.027	83	0.001	0.019	0.012	172	290
10	0.8047	348	0.8	0.2	0	0.027	98	0.001	0.019	0.012	155	290
11	0.8032	348	0.8	0.2	0	0.027	98	0.001	0.019	0.012	185	290
12	0.8058	348	0.8	0.2	0	0.027	98	0.001	0.019	0.012	198	290
13	0.8066	348	0.8	0.2	0	0.027	98	0.001	0.019	0.012	216	290
14	0.807161	348	0.8	0.2	0	0.027	98	0.001	0.019	0.012	216	305
15	0.8068	348	0.8	0.2	0	0.027	98	0.001	0.019	0.012	216	305
16	0.8004	348	0.8	0.22	0	0.027	98	0.001	0.019	0.012	216	305
17	0.8061	348	0.8	0.18	0	0.027	98	0.001	0.019	0.012	216	305
18	0.800568	348	0.8	0.16	0	0.027	98	0.001	0.019	0.012	216	305
19	0.7952	348	0.8	0.2	0	0.027	98	0.001	0.067	0.012	216	305
20	0.8061	348	0.8	0.2	0	0.027	98	0.0001	0.019	0.012	216	305
21	0.8057	348	0.8	0.2	0	0.027	98	0	0	0	0	0
22	0.806047	348	0.8	0.2	0	0.027	98	0.0001	0.022	0.012	216	305
23	0.805711	348	0.8	0.2	0	0.027	98	0	0	0	0	0
24	0.8048	348	0.8	0.2	0	0.027	98	0.0001	0.022	0	0	0
25	0.81377	441	0.2	0.2	0	0.028	192	0	0	0	0	0
26	0.771927	326	0.8	0.16	0	0.032	93	0	0	0	0	0
27	0.7389	320	0.8	0.16	0	0.038	68	0	0	0	0	0
28	0.80099	341	0.8	0.2	0	0.029	93	0	0	0	0	0
29	0.78868	428	0.8	0.2	0	0.031	185	0	0	0	0	0
30	0.750025	326	0.8	0.16	0	0.032	93	0.0001	0.055	0.0001	172	290
31	0.75463	326	0.8	0.16	0	0.032	93	0.0005	0.055	0.0001	172	290
32	0.76387	326	0.8	0.2	0	0.032	93	0.0005	0.055	0.0001	172	290
33	0.744587	326	0.8	0.25	0	0.032	93	0.0005	0.055	0.0001	172	290
34	0.7584	326	0.7	0.2	0	0.032	93	0.0005	0.055	0.0001	172	290
35	0.75189	326	0.6	0.2	0	0.032	93	0.0005	0.055	0.0001	172	290
36	0.7332	326	0.45	0.2	0	0.032	93	0.0005	0.055	0.0001	172	290
37	0.664121	326	0.2	0.2	0	0.032	93	0.0005	0.055	0.0001	172	290
38	0.7797	341	0.8	0.2	0	0.029	93	0.0005	0.055	0.0001	172	290
39	0.78024	341	0.8	0.2	0	0.029	93	0.0005	0.055	0.001	172	290
40	0.7813	341	0.8	0.2	0	0.029	93	0.0005	0.055	0.002	172	290
41	0.789393	341	0.8	0.2	0	0.029	93	0.0005	0.055	0.008	172	290
42	0.792544	341	0.8	0.2	0	0.029	93	0.0005	0.055	0.012	172	290
43	0.8032	341	0.8	0.2	0	0.027	93	0.001	0.019	0.012	172	290
44	0.8026	341	0.8	0.2	0	0.026	93	0.001	0.019	0.012	172	290
45	0.8021	341	0.8	0.2	0	0.028	93	0.001	0.019	0.012	172	290

ΛΕΚΑΝΗ ΕΥΗΝΟΥ – ΘΕΣΗ ΠΟΡΟΣ ΡΗΓΑΝΙΟΥ

Πίνακας 7: Τιμές παραμέτρων του μοντέλου και αντίστοιχοι συντελεστές Nash.

A/A	Συντελεστής Nash	K	ε	κ	So	λ	H1	μ	ξ	φ	H2	Yo
1	0.7881	300	0.41	0.152	0	0.035	76	0.052	0.092	0.0045	193	253
2	0.7967	300	0.41	0.152	0	0.044	76	0.052	0.092	0.0045	193	253
3	0.80352	300	0.41	0.152	0	0.056	76	0.052	0.092	0.0045	193	253
4	0.8067	300	0.41	0.152	0	0.068	76	0.052	0.092	0.0045	193	253
5	0.8074	300	0.41	0.152	0	0.076	76	0.052	0.092	0.0045	193	253
6	0.8057	300	0.41	0.152	0	0.063	76	0.052	0.092	0.0045	193	253
7	0.80934	300	0.41	0.152	0	0.063	88	0.052	0.092	0.0045	193	253
8	0.8119	300	0.41	0.152	0	0.063	103	0.052	0.092	0.0045	193	253
9	0.81208	300	0.41	0.152	0	0.063	118	0.052	0.092	0.0045	193	253
10	0.8113	300	0.45	0.152	0	0.063	118	0.052	0.092	0.0045	193	253
11	0.8139	300	0.41	0.162	0	0.063	118	0.052	0.092	0.0045	193	253
12	0.81622	300	0.41	0.175	0	0.063	118	0.052	0.092	0.0045	193	253
13	0.8243	300	0.41	0.175	0	0.078	118	0.052	0.092	0.0045	193	253
14	0.8297	300	0.41	0.175	0	0.092	118	0.052	0.092	0.0045	193	253
15	0.7726	300	0.41	0.175	0	0.012	118	0.052	0.092	0.0045	193	253
16	0.830708	300	0.41	0.175	0	0.095	118	0.052	0.092	0.0045	193	253
17	0.83107	300	0.41	0.175	0	0.095	118	0.052	0.1	0.0045	193	253
18	0.8339	300	0.41	0.175	0	0.095	118	0.044	0.092	0.0045	193	253
19	0.8354	300	0.41	0.175	0	0.095	118	0.032	0.092	0.0045	193	253
20	0.8327	300	0.41	0.175	0	0.095	118	0.022	0.092	0.0045	193	253
21	0.8349	300	0.41	0.175	0	0.095	118	0.044	0.092	0.0045	172	253
22	0.8351	300	0.41	0.175	0	0.095	118	0.044	0.092	0.0045	162	253
23	0.8353	300	0.41	0.175	0	0.095	118	0.044	0.092	0.0045	162	238
24	0.8294	316	0.41	0.175	0	0.095	118	0.044	0.092	0.0045	162	238
25	0.84214	279	0.41	0.175	0	0.095	118	0.044	0.092	0.0045	162	238
26	0.846071	264	0.41	0.175	0	0.095	118	0.044	0.092	0.0045	162	238
27	0.849253	249	0.41	0.175	0	0.095	118	0.044	0.092	0.0045	162	238
28	0.8647	224	0.41	0.175	0	0.095	118	0.044	0.092	0.0045	162	238
29	0.8687	212	0.41	0.175	0	0.095	118	0.044	0.092	0.0045	162	238
30	0.8694	202	0.41	0.175	0	0.095	118	0.044	0.092	0.0045	162	238
31	0.869	198	0.41	0.175	0	0.095	118	0.044	0.092	0.0045	162	238
32	0.8676	192	0.41	0.175	0	0.095	118	0.044	0.092	0.0045	162	238
33	0.8694	202	0.41	0.175	0	0.095	118	0.044	0.092	0.0045	162	238
34	0.8586	202	0.41	0.175	0	0.095	97	0.044	0.092	0.0045	162	238
35	0.8717	202	0.41	0.175	0	0.095	126	0.044	0.092	0.0045	162	238
36	0.8715	202	0.41	0.175	0	0.095	137	0.044	0.092	0.0045	162	238
37	0.8703	202	0.41	0.175	0	0.095	126	0.044	0.092	0.0045	162	238
38	0.8705	202	0.41	0.152	0	0.095	126	0.044	0.092	0.0045	162	238
39	0.870664	202	0.41	0.164	0	0.095	126	0.044	0.092	0.0045	162	238
40	0.672696	300	0.41	0.13	0	0.035	76	0.11	0.04	0.0045	193	253
41	0.68724	300	0.41	0.13	0	0.035	76	0.086	0.04	0.0045	193	253
42	0.693025	300	0.41	0.13	0	0.035	76	0.081	0.04	0.0045	193	253
43	0.702561	300	0.41	0.13	0	0.035	76	0.073	0.04	0.0045	193	253
44	0.7292	300	0.41	0.13	0	0.035	76	0.052	0.04	0.0045	193	253
45	0.774309	300	0.41	0.13	0	0.035	76	0.052	0.067	0.0045	193	253

ΛΕΚΑΝΗ ΑΝΑΝΤΗ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΜΟΡΝΟΥ

Πίνακας 8: Τιμές παραμέτρων του μοντέλου και αντίστοιχοι συντελεστές Nash.

A/A	Συντελεστής Nash	K	ε	κ	So	λ	H1	μ	ξ	φ	H2	Yo
1	0.800378	283	0.3	0.2	0	0.022	73	0.061	0.023	0.008	206	271
2	0.800864	283	0.3	0.2	0	0.027	73	0.061	0.023	0.008	206	271
3	0.8005	283	0.3	0.2	0	0.025	73	0.061	0.023	0.008	206	271
4	0.75035	283	0.3	0.2	0	0.025	73	0.061	0.023	0.011	206	271
5	0.7737	283	0.3	0.2	0	0.025	73	0.061	0.023	0.005	206	271
6	0.5187	283	0.3	0.2	0	0.025	73	0.061	0.023	0.001	206	271
7	0.8024	283	0.3	0.2	0	0.025	73	0.061	0.023	0.007	206	271
8	0.793985	283	0.3	0.2	0	0.025	73	0.061	0.023	0.006	206	271
9	0.7909	283	0.3	0.2	0	0.025	73	0.061	0.023	0.009	206	271
10	0.7983	283	0.3	0.2	0	0.025	73	0.052	0.023	0.007	206	271
11	0.7761	283	0.3	0.2	0	0.025	73	0.042	0.023	0.007	206	271
12	0.802308	283	0.3	0.2	0	0.025	73	0.062	0.023	0.007	206	271
13	0.799356	283	0.3	0.2	0	0.025	73	0.068	0.023	0.007	206	271
14	0.801136	283	0.3	0.2	0	0.025	73	0.065	0.023	0.007	206	271
15	0.791742	283	0.3	0.2	0	0.025	73	0.065	0.032	0.007	206	271
16	0.745796	283	0.3	0.2	0	0.025	73	0.065	0.046	0.007	206	271
17	0.795089	283	0.3	0.2	0	0.025	73	0.065	0.019	0.007	206	271
18	0.74214	283	0.3	0.2	0	0.025	183	0.065	0.019	0.007	206	271
19	0.7399	283	0.3	0.2	0	0.025	204	0.065	0.019	0.007	206	271
20	0.79888	283	0.3	0.2	0	0.025	66	0.065	0.019	0.007	206	271
21	0.800973	283	0.3	0.19	0	0.025	73	0.061	0.023	0.007	206	271
22	0.798872	283	0.3	0.18	0	0.025	73	0.061	0.023	0.007	206	271
23	0.125902	283	0.3	0.2	0	0.025	73	0	0	0	0	0
24	0.390348	283	0.3	0.2	0	0.025	73	0.061	0.023	0	0	0
25	0.706815	283	0.3	0.3	0	0.025	73	0.029	0.023	0.007	206	271
26	0.764183	283	0.3	0.3	0	0.004	73	0.061	0.23	0.008	206	271
27	0.769938	283	0.3	0.3	0	0.006	73	0.061	0.23	0.008	206	271
28	0.7754	283	0.3	0.3	0	0.007	73	0.061	0.23	0.008	206	271
29	0.7788	283	0.3	0.3	0	0.008	73	0.061	0.23	0.008	206	271
30	0.7919	283	0.3	0.3	0	0.028	73	0.061	0.23	0.008	206	271
31	0.79537	283	0.3	0.3	0	0.035	73	0.061	0.23	0.008	206	271
32	0.7859	283	0.3	0.3	0	0.042	73	0.061	0.23	0.008	206	271
33	0.796048	283	0.3	0.185	0	0.025	78	0.064	0.023	0.008	180	280
34	0.7934	289	0.3	0.185	0	0.025	78	0.064	0.023	0.008	180	280
35	0.7927	296	0.3	0.185	0	0.025	78	0.064	0.023	0.008	180	280
36	0.7967	283	0.25	0.185	0	0.025	78	0.064	0.023	0.008	180	280
37	0.799597	283	0.3	0.22	0	0.025	78	0.064	0.023	0.008	180	280
38	0.7905	283	0.3	0.27	0	0.025	78	0.064	0.023	0.008	180	280
39	0.7979	283	0.3	0.195	0	0.025	78	0.064	0.023	0.008	180	280
40	0.7985	283	0.3	0.25	0	0.025	78	0.064	0.023	0.008	180	280
41	0.7964	283	0.3	0.22	0	0.025	78	0.071	0.023	0.008	180	280
42	0.7984	283	0.3	0.22	0	0.025	78	0.067	0.023	0.008	180	280
43	0.7999	283	0.3	0.22	0	0.025	78	0.058	0.023	0.008	180	280
44	0.7959	283	0.3	0.22	0	0.025	78	0.052	0.023	0.008	180	280
45	0.80039	283	0.3	0.22	0	0.025	78	0.061	0.023	0.008	180	280

ΛΕΚΑΝΗ ΑΝΑΝΤΗ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΜΟΡΝΟΥ

Πίνακας 9: Τιμές παραμέτρων του μοντέλου και αντίστοιχοι συντελεστές Nash.

A/A	Συντελεστής Nash	K	ε	κ	So	λ	H1	μ	ξ	φ	H2	Yo
46	0.796048	283	0.3	0.185	0	0.025	78	0.064	0.023	0.008	180	280
47	0.7934	289	0.3	0.185	0	0.025	78	0.064	0.023	0.008	180	280
48	0.7927	296	0.3	0.185	0	0.025	78	0.064	0.023	0.008	180	280
49	0.7967	283	0.25	0.185	0	0.025	78	0.064	0.023	0.008	180	280
50	0.799597	283	0.3	0.22	0	0.025	78	0.064	0.023	0.008	180	280
51	0.7905	283	0.3	0.27	0	0.025	78	0.064	0.023	0.008	180	280
52	0.7979	283	0.3	0.195	0	0.025	78	0.064	0.023	0.008	180	280
53	0.7958	283	0.3	0.25	0	0.025	78	0.064	0.023	0.008	180	280
54	0.7964	283	0.3	0.22	0	0.025	78	0.071	0.023	0.008	180	280
55	0.7984	283	0.3	0.22	0	0.025	78	0.067	0.023	0.008	180	280
56	0.7999	283	0.3	0.22	0	0.025	78	0.058	0.023	0.008	180	280
57	0.7959	283	0.3	0.22	0	0.025	78	0.052	0.023	0.008	180	280
58	0.505281	280	0.4	0.14	0	0.035	78	0.03	0.04	0.001	180	280
59	0.42322	280	0.35	0.14	0	0.035	78	0.03	0.04	0.001	180	280
60	0.467902	280	0.3	0.14	0	0.035	78	0.03	0.04	0.001	180	280
61	0.52272	280	0.3	0.14	0	0.035	78	0.03	0.04	0.002	180	280
62	0.56553	280	0.3	0.14	0	0.035	78	0.03	0.04	0.003	180	280
63	0.620779	280	0.3	0.14	0	0.035	78	0.03	0.04	0.005	180	280
64	0.643845	280	0.3	0.14	0	0.035	78	0.03	0.04	0.007	180	280
65	0.675428	280	0.3	0.14	0	0.035	78	0.035	0.04	0.08	180	280
66	0.70342	280	0.3	0.14	0	0.035	78	0.042	0.04	0.08	180	280
67	0.729885	280	0.3	0.14	0	0.035	78	0.056	0.04	0.08	180	280
68	0.730708	280	0.3	0.14	0	0.035	78	0.064	0.04	0.08	180	280
69	0.73288	280	0.3	0.15	0	0.035	78	0.064	0.04	0.08	180	280
70	0.73452	280	0.3	0.16	0	0.035	78	0.064	0.04	0.08	180	280
71	0.736121	280	0.3	0.185	0	0.035	78	0.064	0.04	0.08	180	280
72	0.7444	280	0.3	0.185	0	0.035	78	0.064	0.04	0.08	180	280
73	0.7082	280	0.3	0.185	0	0.035	78	0.064	0.05	0.08	180	280
74	0.784334	280	0.3	0.185	0	0.035	78	0.03	0.03	0.007	180	280
75	0.791247	280	0.3	0.185	0	0.035	78	0.03	0.02	0.007	180	280
76	0.6839	280	0.3	0.185	0	0.035	78	0.03	0.007	0.007	180	280
77	0.7747	280	0.3	0.185	0	0.035	78	0.03	0.015	0.007	180	280
78	0.7934	280	0.3	0.185	0	0.035	78	0.03	0.023	0.007	180	280
79	0.7916	280	0.3	0.185	0	0.035	78	0.03	0.026	0.007	180	280
80	0.7909	280	0.3	0.185	0	0.035	78	0.03	0.023	0.009	180	280
81	0.7938	280	0.3	0.185	0	0.2	78	0.03	0.023	0.008	180	280
82	0.7645	280	0.3	0.185	0	0.005	78	0.03	0.023	0.008	180	280
83	0.7962	280	0.3	0.185	0	0.025	78	0.03	0.023	0.008	180	280
84	0.796	280	0.3	0.185	0	0.03	78	0.03	0.023	0.008	180	280
85	0.7954	280	0.3	0.185	0	0.025	78	0.03	0.023	0.008	180	280
86	0.78665	313	0.3	0.185	0	0.025	78	0.03	0.023	0.008	180	280
87	0.7942	267	0.3	0.185	0	0.025	78	0.03	0.023	0.008	180	280
88	0.7875	255	0.3	0.185	0	0.025	78	0.03	0.023	0.008	180	280
89	0.7959	274	0.3	0.185	0	0.025	78	0.03	0.023	0.008	180	280
90	0.7399	283	0.3	0.2	0	0.025	73	0.065	0.023	0.007	206	271

ΛΕΚΑΝΗ ΒΟΙΩΤΙΚΟΥ ΚΗΦΙΣΣΟΥ

Πίνακας 10: Τιμές παραμέτρων του μοντέλου και αντίστοιχοι συντελεστές Nash.

A/A	Συντελεστής Nash	K	ε	κ	So	λ	H1	μ	ξ	φ	H2	Υο
1	0.7426	248	0.8	0.13	0	0.038	68	0.05	0.04	0.005	185	285
2	0.784	248	0.8	0.13	0	0.038	68	0.15	0.04	0.005	185	285
3	0.7358	248	0.8	0.13	0	0.038	68	0.15	0.051	0.005	185	285
4	0.793002	248	0.8	0.13	0	0.038	68	0.15	0.022	0.005	185	285
5	0.702325	248	0.8	0.13	0	0.038	68	0.15	0.013	0.005	185	285
6	0.7748	248	0.8	0.13	0	0.038	68	0.15	0.019	0.005	185	285
7	0.803057	248	0.8	0.13	0	0.038	68	0.15	0.025	0.005	185	285
8	0.806919	248	0.8	0.13	0	0.038	68	0.15	0.028	0.005	185	285
9	0.8016	248	0.8	0.13	0	0.038	68	0.15	0.034	0.005	185	285
10	0.8066	248	0.8	0.13	0	0.045	68	0.15	0.028	0.005	185	285
11	0.803802	248	0.8	0.13	0	0.062	68	0.15	0.028	0.005	185	285
12	0.8064	248	0.8	0.13	0	0.029	68	0.15	0.028	0.005	185	285
13	0.8069	248	0.8	0.15	0	0.038	68	0.15	0.028	0.005	185	285
14	0.7956	248	0.8	0.18	0	0.038	68	0.15	0.028	0.005	185	285
15	0.801	248	0.8	0.11	0	0.038	68	0.15	0.028	0.005	185	285
16	0.8048	248	0.7	0.13	0	0.038	68	0.15	0.028	0.005	185	285
17	0.78178	248	0.55	0.13	0	0.038	68	0.15	0.028	0.005	185	285
18	0.7527	248	0.46	0.13	0	0.038	68	0.15	0.028	0.005	185	285
19	0.6443	248	0.3	0.13	0	0.038	68	0.15	0.028	0.005	185	285
20	0.5343	248	0.2	0.13	0	0.038	68	0.15	0.028	0.005	185	285
21	0.8068	264	0.8	0.13	0	0.038	68	0.15	0.028	0.005	185	285
22	0.806836	285	0.8	0.13	0	0.038	68	0.15	0.028	0.005	185	285
23	0.8038	285	0.8	0.13	0	0.038	89	0.15	0.028	0.005	185	285
24	0.8042	285	0.8	0.13	0	0.038	56	0.15	0.028	0.005	185	285
25	0.8043	248	0.8	0.13	0	0.038	56	0.15	0.028	0.005	185	285
26	0.8014	248	0.8	0.13	0	0.038	68	0.15	0.028	0.005	185	285
27	0.801921	248	0.8	0.13	0	0.038	68	0.15	0.028	0.005	167	285
28	0.7997	248	0.65	0.13	0	0.038	68	0.15	0.028	0.005	214	285
29	0.7902	248	0.6	0.13	0	0.038	68	0.15	0.028	0.005	185	285
30	0.7947	211	0.6	0.13	0	0.038	68	0.15	0.028	0.005	185	285
31	0.806969	211	0.8	0.13	0	0.038	68	0.15	0.028	0.005	185	285
32	0.80691	248	0.8	0.13	0	0.038	68	0.15	0.028	0.005	185	285
33	0.76183	300	0.25	0.13	0	0.005	91	0.086	0.04	0.01	180	280
34	0.7382	300	0.25	0.13	0	0.005	91	0.086	0.04	0.009	180	280
35	0.765371	300	0.25	0.13	0	0.005	91	0.086	0.04	0.011	180	280
36	0.74942	300	0.25	0.13	0	0.005	91	0.086	0.04	0.013	180	280
37	0.7716	300	0.25	0.13	0	0.01	91	0.086	0.04	0.011	180	280
38	0.7824	300	0.25	0.13	0	0.025	91	0.086	0.04	0.011	180	280
39	0.7845	300	0.25	0.13	0	0.037	91	0.086	0.04	0.011	180	280
40	0.7834	300	0.25	0.13	0	0.046	91	0.086	0.04	0.011	180	280
41	0.77917	300	0.25	0.13	0	0.058	91	0.086	0.04	0.011	180	280
42	0.7644	300	0.25	0.13	0	0.081	91	0.086	0.04	0.011	180	280
43	0.7809	300	0.25	0.13	0	0.031	91	0.086	0.04	0.011	180	280
44	0.7843	300	0.25	0.13	0	0.041	91	0.086	0.04	0.011	180	280
45	0.7845	300	0.25	0.13	0	0.039	91	0.086	0.04	0.011	180	280

ΛΕΚΑΝΗ ΒΟΙΩΤΙΚΟΥ ΚΗΦΙΣΣΟΥ

Πίνακας 11: Τιμές παραμέτρων του μοντέλου και αντίστοιχοι συντελεστές Nash.

A/A	Συντελεστής Nash	K	ε	κ	So	λ	H1	μ	ξ	φ	H2	Yo
46	0.59725	298	0.8	0.2	0	0.038	68	0.05	0.04	0	285	165
47	0.618022	300	0.8	0.2	0	0.005	91	0.05	0.04	0	280	180
48	0.5663	300	0.8	0.2	0	0.05	91	0.05	0.04	0	280	180
49	0.667327	300	0.8	0.19	0	0.005	91	0.05	0.04	0	280	180
50	0.66279	300	0.8	0.18	0	0.005	91	0.05	0.04	0	280	180
51	0.6706	300	0.8	0.21	0	0.005	91	0.05	0.04	0	280	180
52	0.61211	300	0.8	0.13	0	0.005	91	0.05	0.04	0	280	180
53	0.5598	300	0.8	0.13	0	0.005	91	0.05	0.067	0	280	180
54	0.597082	300	0.8	0.13	0	0.005	91	0.05	0.04	0.01	280	180
55	0.017	300	0.8	0.13	0	0.005	91	0.05	0.04	0.05	280	180
56	-0.038	300	0.8	0.13	0	0.005	91	0.11	0.04	0.05	280	180
57	0.4354	300	0.8	0.13	0	0.005	91	0.05	0.04	0.015	280	180
58	0.6128	300	0.7	0.13	0	0.005	91	0.05	0.04	0.01	280	180
59	0.6209	300	0.65	0.13	0	0.005	91	0.05	0.04	0.01	280	180
60	0.6553	300	0.47	0.13	0	0.005	91	0.05	0.04	0.01	280	180
61	-1.22	300	0.21	0.13	0	0.005	91	0.05	0.04	0.01	280	180
62	0.6601	300	0.45	0.13	0	0.005	91	0.05	0.04	0.01	280	180
63	0.670082	300	0.41	0.13	0	0.005	91	0.05	0.04	0.01	280	180
64	0.681432	300	0.37	0.13	0	0.005	91	0.05	0.04	0.01	280	180
65	0.69794	300	0.31	0.13	0	0.005	91	0.05	0.04	0.01	280	180
66	0.7184	300	0.25	0.13	0	0.005	91	0.05	0.04	0.01	280	180
67	0.748	300	0.25	0.13	0	0.005	91	0.065	0.04	0.01	280	180
68	0.75537	300	0.25	0.13	0	0.005	91	0.073	0.04	0.01	280	180
69	0.76183	300	0.25	0.13	0	0.005	91	0.086	0.04	0.01	280	180
70	0.76637	300	0.25	0.13	0	0.005	91	0.112	0.04	0.01	280	180
71	0.764763	300	0.25	0.13	0	0.005	91	0.097	0.04	0.01	280	180
72	0.7664	300	0.25	0.13	0	0.005	91	0.127	0.04	0.01	280	180
73	0.7452	300	0.25	0.13	0	0.005	91	0.086	0.053	0.01	280	180
74	0.61	300	0.25	0.13	0	0.005	91	0.086	0.103	0.01	280	180
75	0.76068	300	0.25	0.13	0	0.005	91	0.086	0.04	0.012	280	180
76	0.087	300	0.25	0.13	0	0.005	91	0.127	0.04	0.053	280	180
77	0.7845	300	0.25	0.13	0	0.035	91	0.086	0.04	0.011	280	180
78	0.7843	307	0.25	0.13	0	0.037	91	0.086	0.04	0.011	280	180
79	0.7837	322	0.25	0.13	0	0.037	91	0.086	0.04	0.011	280	180
80	0.785	287	0.25	0.13	0	0.037	91	0.086	0.04	0.011	280	180
81	0.7853	276	0.25	0.13	0	0.037	91	0.086	0.04	0.011	280	180
82	0.7861	307	0.25	0.14	0	0.037	91	0.086	0.04	0.011	280	180
83	0.7864	307	0.2	0.152	0	0.037	91	0.086	0.04	0.011	280	180
84	0.781	307	0.2	0.12	0	0.037	91	0.086	0.04	0.011	280	180
85	0.7835	307	0.2	0.13	0	0.037	91	0.086	0.04	0.011	280	180
86	0.785	307	0.2	0.13	0	0.037	83	0.086	0.04	0.011	280	180
87	0.7861	307	0.2	0.13	0	0.037	76	0.086	0.04	0.011	280	180
88	0.7941	307	0.2	0.13	0	0.037	76	0.086	0.04	0.011	280	180
89	0.7893	307	0.2	0.13	0	0.037	76	0.086	0.04	0.011	280	180
90	0.7979	307	0.2	0.13	0	0.037	76	0.086	0.04	0.011	280	180

ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΣΕΛΕΜΗ (0% ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ)

Πίνακας 12: Τιμές παραμέτρων του μοντέλου και αντίστοιχοι συντελεστές Nash.

A/A	Συντελεστής Nash	K	ε	κ	So	λ	H1	μ	ξ	φ	H2	Yo
1	0.4975	317	0.77	0.079	0	0.021	106	0.2	0.056	0.043	173	238
2	0.4816	317	0.77	0.079	0	0.021	106	0.2	0.067	0.043	173	238
3	0.4994	317	0.77	0.079	0	0.021	106	0.2	0.08	0.043	173	238
4	0.4954	317	0.77	0.079	0	0.021	106	0.2	0.095	0.043	173	238
5	0.499563	317	0.77	0.079	0	0.021	106	0.2	0.074	0.043	173	238
6	0.4996	317	0.77	0.079	0	0.021	106	0.2	0.076	0.043	173	238
7	0.4829	317	0.77	0.079	0	0.021	106	0.2	0.049	0.043	173	238
8	0.4947	317	0.77	0.079	0	0.015	106	0.2	0.076	0.043	173	238
9	0.505689	317	0.77	0.079	0	0.029	106	0.2	0.076	0.043	173	238
10	0.509908	317	0.77	0.079	0	0.035	106	0.2	0.076	0.043	173	238
11	0.5157	317	0.77	0.079	0	0.044	106	0.2	0.076	0.043	173	238
12	0.5227	317	0.77	0.079	0	0.056	106	0.2	0.076	0.043	173	238
13	0.5287	317	0.77	0.079	0	0.068	106	0.2	0.076	0.043	173	238
14	0.5361	317	0.77	0.079	0	0.085	106	0.2	0.076	0.043	173	238
15	0.5443	317	0.77	0.079	0	0.11	106	0.2	0.076	0.043	173	238
16	0.5529	317	0.77	0.079	0	0.15	106	0.2	0.076	0.043	173	238
17	0.5442	317	0.8	0.079	0	0.11	106	0.2	0.076	0.043	173	238
18	0.54428	286	0.8	0.079	0	0.11	106	0.2	0.076	0.043	173	238
19	0.544297	255	0.8	0.079	0	0.11	106	0.2	0.076	0.043	144	238
20	0.488	255	0.8	0.079	0	0.11	106	0.2	0.076	0.043	185	238
21	0.5512	255	0.8	0.079	0	0.11	106	0.2	0.076	0.043	207	238
22	0.5453	255	0.8	0.079	0	0.11	106	0.2	0.076	0.043	185	238
23	0.4928	255	0.2	0.079	0	0.11	106	0.2	0.076	0.043	185	238
24	0.5447	255	0.7	0.079	0	0.11	106	0.2	0.076	0.043	185	238
25	0.5443	255	0.55	0.079	0	0.11	106	0.2	0.076	0.043	185	238
26	0.3973	255	0.2	0.079	0	0.11	106	0.2	0.076	0.043	185	238
27	0.5496	255	0.77	0.079	0	0.11	106	0.2	0.076	0.043	185	260
28	0.55241	307	0.77	0.079	0	0.11	106	0.2	0.076	0.043	185	224
29	0.5493	307	0.77	0.079	0	0.11	106	0.2	0.076	0.043	185	224
30	0.419026	317	0.77	0.051	0	0.021	106	0.19	0.056	0.058	173	238
31	0.3593	317	0.77	0.051	0	0.021	106	0.19	0.056	0.069	173	238
32	0.4347	317	0.77	0.051	0	0.021	106	0.19	0.056	0.055	173	238
33	0.4567	317	0.77	0.051	0	0.021	106	0.19	0.056	0.05	173	238
34	0.4746	317	0.77	0.051	0	0.021	106	0.19	0.056	0.043	173	238
35	0.46486	317	0.77	0.051	0	0.021	106	0.19	0.056	0.036	173	238
36	0.4144	317	0.77	0.051	0	0.021	106	0.19	0.056	0.03	173	238
37	-0.00835	317	0.77	0.051	0	0.021	106	0.19	0.056	0.017	173	238
38	0.232	317	0.77	0.051	0	0.021	106	0.19	0.056	0.022	173	238
39	0.4725	317	0.77	0.051	0	0.021	106	0.17	0.056	0.043	173	238
40	0.4701	317	0.77	0.051	0	0.021	106	0.14	0.056	0.043	173	238
41	0.4641	317	0.77	0.051	0	0.021	106	0.11	0.056	0.043	173	238
42	0.4668	317	0.77	0.051	0	0.021	106	0.13	0.056	0.043	173	238
43	0.4577	317	0.77	0.051	0	0.021	106	0.09	0.056	0.043	173	238
44	0.473635	317	0.77	0.051	0	0.021	106	0.18	0.056	0.043	173	238
45	0.4742	317	0.77	0.051	0	0.021	106	0.19	0.056	0.043	173	238

ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΣΕΛΕΜΗ (30% ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ)

Πίνακας 13: Τιμές παραμέτρων του μοντέλου και αντίστοιχοι συντελεστές Nash.

A/A	Συντελεστής Nash	K	ε	κ	So	λ	H1	μ	ξ	φ	H2	Υο
46	0.554434	317	0.8	0.051	0	0.021	106	0.19	0.056	0.058	173	238
47	0.555	317	0.77	0.051	0	0.021	106	0.19	0.056	0.058	173	238
48	0.55664	317	0.7	0.051	0	0.021	106	0.19	0.056	0.058	173	238
49	0.560088	317	0.5	0.051	0	0.021	106	0.19	0.056	0.058	173	238
50	0.512	317	0.77	0.051	0	0.021	106	0.19	0.056	0.069	173	238
51	0.55049	317	0.77	0.051	0	0.021	106	0.19	0.056	0.06	173	238
52	0.546805	317	0.77	0.051	0	0.021	106	0.19	0.056	0.051	173	238
53	0.5588	317	0.77	0.051	0	0.033	106	0.19	0.056	0.058	173	238
54	0.5597	317	0.77	0.051	0	0.048	106	0.19	0.056	0.058	173	238
55	0.5364	317	0.77	0.051	0	0.1	106	0.19	0.056	0.058	173	238
56	-0.066	280	0.8	0.2	0	0.035	78	0.22	0.033	0.4	170	260
57	0.019	280	0.8	0.2	0	0.035	78	0.22	0.033	0.054	170	260
58	0.029	280	0.8	0.2	0	0.035	78	0.22	0.033	0.058	170	260
59	0.032	280	0.8	0.2	0	0.035	78	0.22	0.033	0.063	170	260
60	-0.355	280	0.8	0.2	0	0.035	78	0.22	0.033	0.063	170	260
61	0.299038	280	0.8	0.25	0	0.035	78	0.22	0.033	0.063	170	260
62	0.43059	280	0.8	0.15	0	0.035	78	0.22	0.033	0.063	170	260
63	0.4702	280	0.8	0.11	0	0.035	78	0.22	0.033	0.063	170	260
64	0.489	280	0.8	0.09	0	0.035	78	0.22	0.033	0.063	170	260
65	0.4999	280	0.8	0.075	0	0.035	78	0.22	0.033	0.063	170	260
66	0.4938	280	0.8	0.051	0	0.02	78	0.22	0.033	0.063	170	260
67	0.500019	280	0.8	0.051	0	0.041	78	0.22	0.033	0.063	170	260
68	0.49738	280	0.8	0.051	0	0.041	78	0.24	0.033	0.063	170	260
69	0.50128	280	0.8	0.051	0	0.041	78	0.19	0.033	0.063	170	260
70	0.51913	280	0.8	0.051	0	0.041	78	0.19	0.043	0.063	170	260
71	0.523652	280	0.8	0.051	0	0.041	78	0.19	0.058	0.063	170	260
72	0.517528	280	0.8	0.051	0	0.041	78	0.19	0.067	0.063	170	260
73	0.5069	280	0.8	0.051	0	0.041	78	0.19	0.076	0.063	170	260
74	0.5222	280	0.8	0.051	0	0.041	78	0.19	0.061	0.063	170	260
75	0.52422	280	0.8	0.051	0	0.041	78	0.19	0.056	0.063	170	260
76	0.5244	280	0.8	0.051	0	0.041	78	0.19	0.052	0.063	170	260
77	0.52422	280	0.8	0.051	0	0.041	78	0.19	0.056	0.063	170	260
78	0.524257	290	0.8	0.051	0	0.041	78	0.19	0.056	0.063	170	260
79	0.52432	298	0.8	0.051	0	0.041	78	0.19	0.056	0.063	170	260
80	0.524423	317	0.8	0.051	0	0.041	78	0.19	0.056	0.063	170	260
81	0.524495	317	0.8	0.051	0	0.041	78	0.19	0.056	0.063	170	260
82	0.5235	317	0.85	0.051	0	0.041	78	0.19	0.056	0.063	170	260
83	0.5253	317	0.75	0.051	0	0.041	78	0.19	0.056	0.063	170	260
84	0.5261	317	0.71	0.051	0	0.041	78	0.19	0.056	0.058	170	260
85	0.51044	317	0.8	0.065	0	0.041	78	0.19	0.056	0.053	170	260
86	0.53115	317	0.8	0.051	0	0.041	78	0.19	0.056	0.056	170	260
87	0.5188	317	0.8	0.051	0	0.041	78	0.19	0.056	0.061	170	260
88	0.5288	317	0.8	0.051	0	0.041	78	0.19	0.056	0.058	170	260
89	0.52	317	0.8	0.051	0	0.041	78	0.19	0.056	0.058	170	260
90	0.5454	317	0.8	0.051	0	0.01	78	0.19	0.056	0.058	170	260

ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΣΕΛΕΜΗ (50% ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ)

Πίνακας 13: Τιμές παραμέτρων του μοντέλου και αντίστοιχοι συντελεστές Nash.

A/A	Συντελεστής Nash	K	ε	κ	So	λ	H1	μ	ξ	φ	H2	Yo
1	0.035088	317	0.77	0.051	0	0.021	106	0.19	0.056	0.058	173	238
2	0.3509	343	0.77	0.051	0	0.021	106	0.19	0.056	0.058	173	238
3	0.350912	343	0.77	0.051	0	0.021	92	0.19	0.056	0.058	173	238
4	0.3307	343	0.77	0.051	0	0.021	92	0.21	0.056	0.058	173	238
5	0.300189	343	0.77	0.051	0	0.021	92	0.29	0.056	0.058	173	238
6	0.3355	343	0.77	0.051	0	0.021	92	0.17	0.056	0.058	173	238
7	0.3072	343	0.77	0.051	0	0.021	92	0.11	0.056	0.058	173	238
8	0.069	343	0.77	0.051	0	0.021	92	0.05	0.056	0.058	173	238
9	0.3546	343	0.77	0.051	0	0.021	92	0.18	0.056	0.058	173	238
10	0.1931	343	0.77	0.051	0	0.021	92	0.18	0.056	0.05	173	238
11	0.3851	343	0.77	0.051	0	0.021	92	0.18	0.056	0.065	173	238
12	0.3986	343	0.77	0.051	0	0.021	92	0.18	0.056	0.077	173	238
13	0.3839	343	0.77	0.051	0	0.021	92	0.18	0.056	0.089	173	238
14	0.369	343	0.77	0.051	0	0.021	92	0.18	0.056	0.095	173	238
15	0.3962	343	0.77	0.051	0	0.021	92	0.18	0.056	0.08	173	238
16	0.3991	343	0.77	0.051	0	0.021	92	0.18	0.056	0.073	173	238
17	0.398	343	0.77	0.051	0	0.021	92	0.18	0.056	0.071	173	238
18	0.3995	343	0.77	0.051	0	0.021	92	0.18	0.056	0.074	173	238
19	0.399546	343	0.77	0.051	0	0.021	92	0.18	0.056	0.075	173	238
20	0.3991	343	0.77	0.051	0	0.021	92	0.18	0.056	0.076	173	238
21	0.4088	343	0.77	0.042	0	0.021	92	0.18	0.056	0.075	173	238
22	0.412285	343	0.77	0.034	0	0.021	92	0.18	0.056	0.075	173	238
23	0.40915	343	0.77	0.022	0	0.021	92	0.18	0.056	0.075	173	238
24	0.412113	343	0.77	0.029	0	0.021	92	0.18	0.056	0.075	173	238
25	0.4118	343	0.77	0.036	0	0.021	92	0.18	0.056	0.075	173	238
26	0.4122	343	0.77	0.034	0	0.021	92	0.18	0.056	0.075	173	238
27	0.4022	343	0.77	0.034	0	0.021	92	0.18	0.071	0.075	173	238
28	0.4096	343	0.77	0.034	0	0.021	92	0.18	0.047	0.075	173	238
29	0.4117	343	0.77	0.034	0	0.021	92	0.18	0.051	0.075	173	238
30	0.4115	343	0.77	0.034	0	0.021	92	0.18	0.059	0.075	173	238
31	0.359	343	0.77	0.034	0	0.021	92	0.18	0.025	0.075	173	238
32	0.3674	343	0.77	0.034	0	0.021	92	0.18	0.093	0.075	173	238
33	0.412285	343	0.77	0.034	0	0.021	92	0.18	0.093	0.075	173	238
34	0.40249	343	0.77	0.034	0	0.033	92	0.18	0.093	0.075	173	238
35	0.3796	343	0.77	0.034	0	0.045	92	0.18	0.093	0.075	173	238
36	0.4144	343	0.77	0.034	0	0.011	92	0.18	0.093	0.075	173	238
37	0.41313	343	0.77	0.034	0	0.007	92	0.18	0.093	0.075	173	238
38	0.414488	343	0.77	0.034	0	0.015	92	0.18	0.093	0.075	173	238
39	0.4168	343	0.7	0.034	0	0.021	92	0.18	0.093	0.075	173	238
40	0.4195	343	0.62	0.034	0	0.021	92	0.18	0.093	0.075	173	238

ΛΕΚΑΝΗ ΑΛΗ ΕΦΕΝΤΗ

Πίνακας 14: Τιμές παραμέτρων του μοντέλου και αντίστοιχοι συντελεστές Nash.

A/A	Συντελεστής Nash	K	ε	κ	So	λ	H1	μ	ξ	φ	H2	Yo
1	0.663	182	0.69	0.195	0	0.068	89	0.071	0.065	0.0001	200	100
2	0.6671	182	0.69	0.195	0	0.068	84	0.071	0.065	0.0001	200	100
3	0.6676	182	0.69	0.195	0	0.068	79	0.071	0.065	0.0001	200	100
4	0.6683	182	0.69	0.195	0	0.068	75	0.071	0.065	0.0001	200	100
5	0.6687	182	0.69	0.181	0	0.068	67	0.071	0.065	0.0001	200	100
6	0.6694	182	0.69	0.176	0	0.068	67	0.071	0.065	0.0001	200	100
7	0.6698	182	0.69	0.168	0	0.068	67	0.071	0.065	0.0001	200	100
8	0.6668	182	0.65	0.168	0	0.068	67	0.071	0.065	0.0001	200	100
9	0.6737	182	0.74	0.168	0	0.068	67	0.071	0.065	0.0001	200	100
10	0.676	182	0.76	0.168	0	0.068	67	0.071	0.065	0.0001	200	100
11	0.6754	182	0.76	0.168	0	0.035	67	0.071	0.065	0.0001	200	100
12	0.67044	182	0.76	0.168	0	0.088	67	0.071	0.065	0.0001	200	100
13	0.674	182	0.76	0.168	0	0.068	67	0.071	0.065	0.0001	200	100
14	0.672	182	0.76	0.168	0	0.068	67	0.071	0.065	0.0001	200	150
15	0.673	182	0.76	0.168	0	0.068	67	0.071	0.065	0.0001	200	224
16	0.674	182	0.76	0.168	0	0.068	67	0.071	0.065	0.0001	200	150
17	0.668	182	0.69	0.168	0	0.068	67	0.071	0.065	0.0001	200	150
18	0.674	182	0.76	0.175	0	0.068	67	0.071	0.065	0.0001	200	150
19	0.673	182	0.76	0.183	0	0.068	67	0.071	0.065	0.0001	200	150
20	0.6756	175	0.76	0.175	0	0.068	67	0.071	0.065	0.0001	200	150
21	0.6751	167	0.76	0.175	0	0.068	67	0.071	0.065	0.0001	200	150
22	0.6537	320	0.76	0.175	0	0.068	100	0.071	0.065	0.0001	200	150
23	0.6328	320	0.76	0.175	0	0.068	165	0.071	0.065	0.0001	200	150
24	0.669024	258	0.76	0.175	0	0.068	67	0.071	0.065	0.0001	150	100
25	0.6715	279	0.76	0.175	0	0.068	67	0.071	0.065	0.0001	150	100
26	0.6701	217	0.76	0.175	0	0.068	67	0.071	0.078	0.0001	150	100
27	0.672	217	0.76	0.175	0	0.068	67	0.071	0.065	0.0001	150	50
28	0.6752	217	0.76	0.175	0	0.068	67	0.071	0.065	0.0001	150	100
29	0.67926	217	0.76	0.175	0	0.068	67	0.071	0.065	0.0001	150	100
30	0.68053	217	0.76	0.175	0	0.068	67	0.071	0.065	0.0005	150	100
31	0.6815	217	0.76	0.175	0	0.068	67	0.071	0.065	0.001	150	100
32	0.6819	217	0.76	0.175	0	0.068	67	0.071	0.065	0.002	150	100
33	0.64381	217	0.76	0.175	0	0.068	67	0.071	0.065	0.0082	150	100
34	0.62226	217	0.76	0.175	0	0.068	67	0.071	0.065	0.01	150	100
35	0.6711	217	0.76	0.175	0	0.068	67	0.071	0.065	0.005	150	100
36	0.6819	217	0.76	0.175	0	0.068	67	0.071	0.065	0.005	150	100
37	0.6829	217	0.8	0.175	0	0.068	67	0.071	0.065	0.005	150	100
38	0.6678	217	0.61	0.175	0	0.068	67	0.071	0.065	0.005	150	100
39	0.6629	217	0.45	0.175	0	0.068	67	0.071	0.065	0.005	150	100
40	0.6834	217	0.8	0.165	0	0.068	67	0.071	0.065	0.005	150	100
41	0.6837	217	0.8	0.153	0	0.068	67	0.071	0.065	0.005	150	100
42	0.6838	217	0.8	0.148	0	0.068	67	0.071	0.065	0.005	150	100
43	0.6845	217	0.8	0.153	0	0.068	67	0.066	0.065	0.005	150	100
44	0.684599	217	0.8	0.153	0	0.068	67	0.052	0.065	0.005	150	100
45	0.6745	217	0.8	0.153	0	0.068	67	0.11	0.065	0.005	150	100

ΛΕΚΑΝΗ ΑΛΗ ΕΦΕΝΤΗ

Πίνακας 15: Τιμές παραμέτρων του μοντέλου και αντίστοιχοι συντελεστές Nash.

A/A	Συντελεστής Nash	K	ε	κ	So	λ	H1	μ	ξ	φ	H2	Yo
46	0.6823	217	0.8	0.153	0	0.068	67	0.076	0.065	0.002	100	150
47	0.6824	217	0.8	0.153	0	0.068	67	0.071	0.065	0.002	100	175
48	0.6807	217	0.8	0.153	0	0.068	67	0.071	0.065	0.002	100	197
49	0.6812	217	0.8	0.153	0	0.068	67	0.071	0.065	0.002	83	175
50	0.6838	217	0.8	0.153	0	0.068	67	0.071	0.065	0.002	113	175
51	0.68338	217	0.8	0.153	0	0.068	67	0.071	0.065	0.002	125	175
52	0.6831	217	0.8	0.153	0	0.068	67	0.071	0.069	0.002	113	175
53	0.6816	217	0.8	0.153	0	0.068	67	0.071	0.076	0.002	113	175
54	0.6784	217	0.8	0.153	0	0.068	67	0.071	0.055	0.002	113	175
55	0.655039	217	0.8	0.153	0	0.068	67	0.071	0.041	0.002	113	175
56	0.62339	217	0.8	0.153	0	0.068	67	0.071	0.032	0.002	113	175
57	0.6814	217	0.8	0.153	0	0.076	67	0.071	0.065	0.002	113	175
58	0.6779	217	0.8	0.153	0	0.089	67	0.071	0.065	0.002	113	175
59	0.6852	217	0.8	0.153	0	0.055	67	0.071	0.065	0.002	113	175
60	0.6844	217	0.8	0.153	0	0.046	67	0.071	0.065	0.002	113	175
61	0.6777	217	0.8	0.153	0	0.023	67	0.071	0.065	0.002	113	175
62	0.65918	217	0.8	0.153	0	0.005	67	0.071	0.065	0.002	113	175
63	0.6843	217	0.8	0.153	0	0.059	67	0.071	0.065	0.002	113	175
64	0.6846	217	0.8	0.153	0	0.051	67	0.071	0.065	0.002	113	175
65	0.6795	217	0.8	0.153	0	0.055	67	0.071	0.065	0.002	113	175
66	0.65924	217	0.8	0.153	0	0.055	67	0.071	0.065	0.002	113	175
67	0.6554	217	0.8	0.153	0	0.055	67	0.071	0.065	0.002	113	175
68	0.6845	217	0.8	0.153	0	0.055	67	0.071	0.065	0.002	113	154
69	0.68528	217	0.8	0.153	0	0.055	67	0.071	0.065	0.002	113	175
70	0.673558	217	0.8	0.05	0	0.055	67	0.071	0.065	0.002	113	175
71	0.68228	217	0.8	0.11	0	0.055	67	0.071	0.065	0.002	113	175
72	0.68345	217	0.8	0.125	0	0.055	67	0.071	0.065	0.002	113	175
73	0.6836	217	0.8	0.128	0	0.055	67	0.071	0.065	0.002	113	175
74	0.683496	217	0.8	0.135	0	0.055	67	0.071	0.065	0.002	113	175
75	0.6844	217	0.8	0.146	0	0.055	67	0.071	0.065	0.002	113	175
76	0.6845	217	0.8	0.155	0	0.055	67	0.071	0.065	0.002	113	175
77	0.68451	217	0.8	0.15	0	0.055	67	0.071	0.065	0.002	113	175
78	0.6846	217	0.8	0.168	0	0.055	67	0.071	0.065	0.002	113	175
79	0.68447	217	0.8	0.175	0	0.055	67	0.071	0.065	0.002	113	175
80	0.684182	217	0.8	0.184	0	0.055	67	0.071	0.065	0.002	113	175
81	0.6838	217	0.8	0.19	0	0.055	67	0.071	0.065	0.002	113	175
82	0.6832	217	0.8	0.2	0	0.055	67	0.071	0.065	0.002	113	175
83	0.6845	217	0.8	0.153	0	0.055	67	0.052	0.065	0.002	113	175
84	0.6851	217	0.8	0.153	0	0.055	67	0.033	0.065	0.002	113	175
85	0.68514	217	0.8	0.153	0	0.055	67	0.021	0.065	0.002	113	175
86	0.6558	217	0.8	0.153	0	0.055	67	0.008	0.065	0.002	113	175
87	0.6726	217	0.8	0.153	0	0.055	67	0.12	0.065	0.002	113	175
88	0.6685	217	0.8	0.153	0	0.055	67	0.14	0.065	0.002	113	175
89	0.66424	217	0.8	0.153	0	0.055	67	0.17	0.065	0.002	113	175
90	0.673	217	0.8	0.153	0	0.055	67	0.017	0.065	0.002	113	175

ΛΕΚΑΝΗ ΕΝΙΠΕΑ – ΘΕΣΗ ΣΚΟΠΙΑΣ

Πίνακας 16: Τιμές παραμέτρων του μοντέλου και αντίστοιχοι συντελεστές Nash.

A/A	Συντελεστής Nash	K	ε	κ	So	λ	H1	μ	ξ	φ	H2	Υο
1	0.338908	408	0.8	0.118	0	0.033	161	0.005	0.078	0.075	121	190
2	0.506528	408	0.8	0.118	0	0.033	161	0.0055	0.078	0.0005	121	190
3	0.509556	408	0.8	0.118	0	0.033	161	0.0055	0.078	0.0012	121	190
4	0.53127	408	0.8	0.118	0	0.021	161	0.0055	0.075	0.001	121	190
5	0.528447	408	0.8	0.118	0	0.019	161	0.0055	0.075	0.001	121	190
6	0.524978	408	0.8	0.118	0	0.018	161	0.0055	0.075	0.001	121	190
7	0.5297	408	0.8	0.118	0	0.025	161	0.0055	0.075	0.001	121	190
8	0.5145	408	0.8	0.118	0	0.03	161	0.0055	0.075	0.001	121	190
9	0.532103	408	0.8	0.118	0	0.021	161	0.0055	0.081	0.001	121	190
10	0.53311	408	0.8	0.118	0	0.021	161	0.0055	0.087	0.001	121	190
11	0.533559	408	0.8	0.118	0	0.021	161	0.0055	0.091	0.001	121	190
12	0.534185	408	0.8	0.118	0	0.021	161	0.0055	0.098	0.001	121	190
13	0.52353	408	0.8	0.118	0	0.021	161	0.0055	0.055	0.001	121	190
14	0.531109	392	0.8	0.118	0	0.021	161	0.0055	0.087	0.001	121	190
15	0.527026	371	0.8	0.118	0	0.021	161	0.0055	0.091	0.001	121	190
16	0.524553	352	0.8	0.118	0	0.021	161	0.0055	0.098	0.001	121	190
17	0.5346	424	0.8	0.118	0	0.021	161	0.0055	0.055	0.001	121	190
18	0.5357	437	0.8	0.118	0	0.021	161	0.0055	0.087	0.001	121	190
19	0.5373	465	0.8	0.118	0	0.021	161	0.0055	0.087	0.001	121	190
20	0.53705	424	0.8	0.118	0	0.021	146	0.0055	0.087	0.001	121	190
21	0.529337	424	0.8	0.118	0	0.021	129	0.0055	0.087	0.001	121	190
22	0.5067	424	0.8	0.118	0	0.021	110	0.0055	0.087	0.001	121	190
23	0.5245	424	0.8	0.118	0	0.021	175	0.0055	0.087	0.001	121	190
24	0.5368	424	0.8	0.118	0	0.021	154	0.0055	0.087	0.001	121	190
25	0.53719	424	0.8	0.118	0	0.021	151	0.0055	0.087	0.001	121	190
26	0.538	424	0.8	0.11	0	0.021	151	0.0055	0.087	0.001	121	190
27	0.457	424	0.8	0.008	0	0.021	151	0.0055	0.087	0.001	121	190
28	0.3813	424	0.8	0.005	0	0.021	151	0.0055	0.087	0.001	121	190
29	0.5322	424	0.8	0.135	0	0.021	151	0.0055	0.087	0.001	121	190
30	0.5369	424	0.8	0.135	0	0.021	151	0.0055	0.087	0.001	121	225
31	0.5351	424	0.8	0.135	0	0.021	151	0.0055	0.087	0.001	121	339
32	0.53714	424	0.8	0.135	0	0.021	151	0.0055	0.087	0.001	132	190
33	0.186	408	0.74	0.2	0	0.033	187	0.0053	0.05	0	100	250
34	0.1883	408	0.74	0.2	0	0.033	187	0.0053	0.05	0.0001	100	250
35	0.1962	408	0.74	0.2	0	0.033	187	0.0053	0.05	0.0005	100	250
36	0.2	408	0.74	0.2	0	0.033	187	0.0053	0.05	0.001	100	250
37	0.21207	408	0.74	0.2	0	0.033	187	0.0053	0.05	0.002	100	250
38	0.2115	408	0.74	0.2	0	0.033	187	0.0053	0.05	0.003	100	250
39	0.1959	408	0.74	0.2	0	0.033	187	0.0087	0.05	0.002	100	250
40	0.1674	408	0.74	0.2	0	0.033	187	0.011	0.05	0.002	100	250
41	0.1857	408	0.74	0.2	0	0.033	187	0.002	0.05	0.002	100	250
42	0.23863	408	0.74	0.2	0	0.033	187	0.0053	0.05	0.002	100	250
43	0.2496	408	0.74	0.2	0	0.033	187	0.0053	0.05	0.002	100	250
44	0.2635	408	0.74	0.2	0	0.033	187	0.0053	0.05	0.002	100	250
45	0.2745	408	0.74	0.2	0	0.033	187	0.0053	0.05	0.002	100	250

ΛΕΚΑΝΗ ΕΝΙΠΕΑ – ΘΕΣΗ ΣΚΟΠΙΑΣ

Πίνακας 17: Τιμές παραμέτρων του μοντέλου και αντίστοιχοι συντελεστές Nash.

A/A	Συντελεστής Nash	K	ε	κ	So	λ	H1	μ	ξ	φ	H2	Υο
46	0.48746	408	0.8	0.118	0	0.033	187	0.0053	0.05	0.002	100	250
47	0.4888	408	0.8	0.118	0	0.033	187	0.0053	0.05	0.002	100	250
48	0.4823	385	0.8	0.118	0	0.033	187	0.0053	0.05	0.002	100	250
49	0.5061	408	0.8	0.118	0	0.033	187	0.0053	0.05	0.002	100	250
50	0.4955	408	0.8	0.118	0	0.033	187	0.0053	0.05	0.002	100	250
51	0.3355	408	0.8	0.118	0	0.033	187	0.0053	0.05	0.002	100	250
52	0.3724	408	0.8	0.118	0	0.033	187	0.0053	0.05	0.002	100	250
53	0.444	408	0.8	0.118	0	0.033	187	0.0053	0.05	0.002	100	250
54	0.5074	408	0.8	0.118	0	0.033	187	0.0053	0.05	0.002	100	250
55	0.5035	408	0.8	0.118	0	0.033	187	0.0053	0.05	0.002	100	250
56	0.5086	408	0.8	0.118	0	0.033	187	0.0053	0.05	0.002	100	250
57	0.50927	408	0.8	0.118	0	0.033	187	0.0053	0.05	0.002	100	250
58	0.5096	408	0.8	0.118	0	0.033	161	0.0053	0.062	0.002	100	250
59	0.509717	408	0.8	0.118	0	0.033	161	0.0053	0.062	0.002	100	250
60	0.51015	408	0.8	0.118	0	0.033	161	0.0053	0.075	0.002	100	250
61	0.3948	408	0.8	0.118	0	0.057	161	0.0053	0.075	0.002	100	250
62	0.5194	408	0.8	0.118	0	0.021	161	0.0053	0.075	0.002	100	250
63	0.4116	408	0.8	0.118	0	0.007	161	0.0053	0.075	0.002	100	250
64	0.5019	408	0.8	0.118	0	0.016	161	0.0053	0.075	0.002	100	250
65	0.508	408	0.8	0.118	0	0.024	161	0.0053	0.075	0.002	100	250
66	0.5308	408	0.8	0.118	0	0.021	161	0.0053	0.075	0.001	100	250
67	0.53086	408	0.8	0.118	0	0.021	161	0.0055	0.075	0.0005	100	250
68	0.5247	408	0.7	0.118	0	0.021	161	0.004	0.075	0.001	100	250
69	0.5305	408	0.65	0.118	0	0.021	161	0.0075	0.075	0.001	100	250
70	0.53086	408	0.42	0.118	0	0.023	161	0.0061	0.075	0.001	100	250
71	0.509513	408	0.35	0.118	0	0.023	161	0.0055	0.075	0.001	100	250
72	0.491955	408	0.21	0.118	0	0.023	161	0.0055	0.075	0.001	100	250
73	0.480812	408	0.8	0.118	0	0.023	161	0.0055	0.075	0.001	100	250
74	0.394933	408	0.8	0.118	0	0.023	161	0.0055	0.075	0.001	100	250
75	0.355192	408	0.8	0.118	0	0.023	161	0.0055	0.075	0.001	100	250
76	0.212714	408	0.8	0.118	0	0.023	161	0.0055	0.075	0.001	100	250
77	-0.22166	408	0.8	0.118	0	0.023	161	0.05	0.075	0.001	100	250
78	0.45687	408	0.8	0.118	0	0.023	161	0.01	0.075	0.001	100	250
79	0.487517	408	0.8	0.118	0	0.023	161	0.009	0.075	0.001	100	250
80	0.495163	408	0.8	0.118	0	0.023	161	0.0081	0.075	0.001	100	250
81	0.50318	408	0.8	0.118	0	0.023	161	0.007	0.075	0.001	100	250
82	0.506468	408	0.8	0.118	0	0.023	161	0.0064	0.075	0.001	100	250
83	0.504631	408	0.8	0.118	0	0.023	161	0.0058	0.075	0.001	100	250
84	0.5102	408	0.8	0.118	0	0.023	161	0.005	0.075	0.001	100	250
85	0.50904	408	0.8	0.118	0	0.023	161	0.004	0.075	0.001	100	250
86	0.501223	408	0.8	0.118	0	0.023	161	0.0023	0.075	0.001	100	250
87	0.486816	408	0.8	0.118	0	0.023	161	0.0011	0.075	0.001	100	250
88	0.5098	408	0.8	0.118	0	0.023	161	0.005	0.075	0.0008	100	250
89	0.5095	408	0.8	0.118	0	0.023	161	0.005	0.075	0.0007	100	250
90	0.3889	408	0.8	0.118	0	0.023	161	0.005	0.075	0.0065	100	250