



**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΓΕΝΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ
«ΘΕΤΙΚΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ ΣΤΗΝ ΓΕΩΠΟΝΙΑ»
ΚΛΑΔΟΣ: ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ & ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ
ΓΙΑ ΤΟΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΜΕ ΤΙΤΛΟ:

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΡΟΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΧΥΣΗΣ ΡΥΠΩΝ ΣΤΟ
ΦΡΕΑΤΙΟ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΩΝ ΨΑΧΝΩΝ (ΚΕΝΤΡΙΚΗ
ΕΥΒΟΙΑ) ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ MODFLOW.**

**ΓΥΦΤΟΥΛΑΣ ΑΓΓΕΛΟΣ
ΓΕΩΛΟΓΟΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΣΤΑΜΑΤΗΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Γ.Π.Α**

ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2014

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΜΕ ΤΙΤΛΟ:

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΡΟΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΧΥΣΗΣ ΡΥΠΩΝ ΣΤΟ
ΦΡΕΑΤΙΟ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΩΝ ΨΑΧΝΩΝ (ΚΕΝΤΡΙΚΗ
ΕΥΒΟΙΑ) ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ MODFLOW.**

**του: ΓΥΦΤΟΥΛΑ ΑΓΓΕΛΟΥ
ΓΕΩΛΟΓΟΥ**

Ορισμός θέματος και Επιβλέποντα Καθηγητή: Γ.Σ. Γενικού Τμήματος 11/03/2014

Επιβλέπων Καθηγητής: Γεώργιος Σταμάτης, Καθηγητής Γ.Π.Α

Ορισμός Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής: Γ.Σ. Γενικού Τμήματος 11/03/2014

1. Γεώργιος Σταμάτης, Καθηγητής Γ.Π.Α (επιβλέπων Καθηγητής)
2. Κωνσταντίνος Σερέλης, Επίκουρος Καθηγητής Γ.Π.Α
3. Ιωάννης Παπανικολάου, Επίκουρος Καθηγητής Γ.Π.Α

Παρουσίαση Μελέτης και Εξέταση: 30/10/2014

Περίληψη

Στην περιοχή του κάμπου των Ψαχνών όπου οι καλλιέργειες οπωροκηπευτικών βρίθουν οι ανάγκες για αρδευτικό νερό καλής ποιότητας είναι αυξημένες. Η γειτνίαση του φρεατίου υδροφόρου του κάμπου με την θάλασσα και τα χαμηλά υψόμετρα της περιοχής δημιουργούν συνθήκες πολύ ευνοϊκές για την υφαλμύριση. Η εντατικοποιημένη αγροτική καλλιέργεια του κάμπου και τα ανύπαρκτα αποχετευτικά συστήματα απλά επιβαρύνουν με ρύπους έδαφος και υπόγειο νερό.

Στην παρούσα εργασία επιχειρείται ο προσδιορισμός των υδραυλικών παραμέτρων του υδροφόρου μέσω προσομοίωσης του φρεατίου υδροφόρου του κάμπου στο δημοφιλές υπολογιστικό πακέτο MODFLOW του Αμερικανικού Γεωλογικού Ινστιτούτου Ερευνών USGS, στην παραθυρική έκδοση PMWIN. Διερευνάται επίσης, ποιοτικά, μέσω του μοντέλου MT3D-MS διάχυσης ρύπων, με δεδομένα πεδίου ροής και ρυπογόνου φορτίου, η επιδεκτικότητα ορισμένων περιοχών στις αυξημένες συγκεντρώσεις ρύπων στον υδροφόρο, καθώς και η διάχυση και διασπορά νιτρικών ρυπογόνων φορτίων σε συγκεκριμένες περιοχές.

Λόγω των λιγοστών και διάσπαρτων δεδομένων πραγματοποιήθηκαν 4 διαφορετικά «σενάρια» προσομοίωσης που συνολικά παρέχουν ένα εύρος τιμών για τις ζητούμενες υδραυλικές παραμέτρους. Για τις ανάγκες της εργασίας μετρήθηκαν στάθμες από 50 φρέατα, διεξήχθη δοκιμαστική άντληση, υπολογίστηκε συνεχής χρονοσειρά βροχόπτωσης διάρκειας 27 χρόνων για την περιοχή του κάμπου Ψαχνών και προσδιορίστηκαν οι αντλούμενες ποσότητες ύδατος.

Λέξεις κλειδιά: προσομοίωση, υδροφόρο, Ψαχνά, νιτρικά, στάθμη, άντληση, Εύβοια, διάχυση, διασπορά, ρύπος

Abstract

In the area of Psachna (Centre Evia prefecture) land fields where vegetable agriculture is growing, the need for good quality irrigation water is always a prime issue. The proximity of the unconfined aquifer to the sea and low topographic profile of the area leave the area subjected to salinisation. Exceeded irrigation and fertilizing methods along with unorganized sewage infrastructure provide extra contamination threat for the aquifer.

In this Thesis we estimate the hydraulic parameters and behavior of the aquifer system through the mathematical simulation of the unconfined aquifer, using the popular MODFLOW application, of the American Geological Survey Institute (USGS), in its windows free version of PMWIN. A qualitative investigation through nitrate fate and transport model, is also taking place, using MT3D-MS.

Due to lack of data, data from four different time periods are treated as four different simulation scenarios, providing in unison a range of values for each hydraulic parameter, producing quantitative prediction in a large part of the study area. Finally, the qualitative investigation through nitrogen fate and transport model explains why increased concentrations of nitrates appear in specific areas. For the needs of this thesis, hydraulic head of 50 wells were measured, a pumping test was conducted, a 27 year time-series of rainfall for the area of interest was produced and estimates of pumping rates for irrigation were made.

Key words: Evia, aquifer, simulation, MODFLOW, hydraulic head, MT3D-MS, transport, nitrate, pumping test

Πρόλογος

“..ξεκινήσαμε μπερδεμένοι για να καταλήξουμε μπερδεμένοι σε υψηλότερο βαθμό.”

Το παραπάνω γνωμικό πάντα το έβρισκα εξαιρετικά γοητευτικό. Συμβολίζει την πορεία μια κουβέντας, μίας συζήτησης, ενός προβληματισμού φιλοσοφικής αλλά και επιστημονικής φύσης τελικά. Μπορεί άραγε ένα μαθηματικό μοντέλο να δώσει μονοσήμαντες απαντήσεις σε ερωτήματα όπως, ποιές είναι οι υδραυλικές παράμετροι ενός υδροφόρου όταν μελετάται για πάνω από 20 χρόνια ή μπορώ να προβλέψω την κίνηση του μετώπου της υφαλμύρισης ; Με τέτοιου είδους ερωτήματα ξεκίνησε η παρούσα διπλωματική εργασία και μέχρι να γραφτούν τα συμπεράσματα δεν μπορούσε να τις απαντήσει.

Σε καμία περίπτωση δεν θα μπορούσε καν να αρχίσει ή να εξελιχθεί, πόσο δε να φτάσει στα συμπεράσματα αν δεν υπήρχαν οι άνθρωποι που στήριζαν αυτήν την προσπάθεια.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή κ. Σταμάτη Γ. για την καθοδήγηση και το ενδιαφέρον που επέδειξε σαν επιβλέπωντας της διπλωματικής αυτής και τα υπόλοιπα δύο μέλη της τριμελούς επιτροπής αξιολόγησης, τους Επίκουρους Καθηγητές κ. Σερέλη Κ.. και κ. Παπανικολάου Ι. για την κριτική ανάγνωσή της.

Οφείλω πολλά ευχαριστώ στα άτομα που με συντρόφευαν στην εργασία υπαίθρου: τον συνάδελφο στο παρόν μεταπτυχιακό γεωλόγο Μανώλη Μελά και τον Μηχανικό και φίλο Ανδρέα Τριανταφυλλόπουλο, τον Μηχανικό και φίλο Παναγιώτη Αλεξάκη που χάρις τον εξοπλισμό που διέθετε χωροσταθήσαμε τα πηγάδια. Ευχαριστώ επίσης τον γεωπόνο του Δήμου Ψαχνών Θανάση Τσομόκο για τις πολύτιμες πληροφορίες, κατευθύνσεις και γνωριμίες του. Τον κ. Σίνα Γιώργο που με άφησε να διεξάγω την δοκιμαστική άντληση και φυσικά ένα τεράστιο ευχαριστώ στον φίλο και συνάδελφο γεωλόγο Υποψήφιο Διδάκτορα του ΕΜΠ Κοψιάτη Γιώργο για τις πολύτιμες συμβουλές και τον χρόνο που μου διέθεσε για την επίλυση σφαλμάτων και προβληματισμών μου γύρω από τα μαθηματικά ομοιώματα MODFLOW και MT3D-MS. Χωρίς την πολύτιμη συνδρομή τους, η εργασία αυτή θα ήταν αδύνατη.

Τέλος, ευχαριστώ την οικογένεια μου για την υποστήριξη που μου παρέχει και την υπομονή που πάντα υποδείχνει σε περιόδους «κρίσης» και μη. Επίσης ζητώ συγνώμη στους φίλους που λησμόνησα κατά την πολύ πιεστική περίοδο συγγραφής της παρούσας εργασίας.

Περιεχόμενα

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	9
1.1. ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΚΑΙ ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	9
1.2. ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	10
2. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	11
2.1. ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ - ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ	13
2.2. ΓΕΩΛΟΓΙΑ - ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ	15
2.2.1. Γεωλογική δομή της περιοχής	15
2.2.2. Τεκτονική εξέλιξη της περιοχής.....	17
2.2.3. Υδρογεωλογία.....	18
2.2.4. Ενότητες υδροφόρων ευρείας περιοχής.....	19
3. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΡΟΣΧΩΜΑΤΙΚΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΟΥ ΤΟΥ ΚΑΜΠΟΥ ΨΑΧΝΩΝ	20
3.1. ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΟΜΗ ΠΡΟΣΧΩΜΑΤΙΚΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΟΥ.....	21
3.2. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΠΡΟΣΧΩΜΑΤΙΚΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΟΥ	21
4. ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΜΕΛΕΤΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ	22
5. ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΥΠΑΙΘΡΟΥ	24
5.1. ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΗΣ ΆΝΤΛΗΣΗΣ	25
5.2. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΑΘΜΗΣ - ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΙΑ ΦΡΕΑΤΙΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΟΥ	29
6. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ MODFLOW.....	33
6.1. ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΠΑΚΕΤΟ MODFLOW.....	33
6.2. ΚΑΤΑΣΤΡΩΣΗ ΕΝΝΟΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ.....	36
6.2.1. Γεωμετρία του υδροφόρου	37
6.2.2. Οριακές συνθήκες του μοντέλου.....	37
6.2.3. Υδρολογικά χαρακτηριστικά και χρονικό βήμα της προσομοίωσης.....	39
6.2.4. Περίοδος προσομοίωσης.....	39
7. ΥΔΑΤΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ	41
7.1. ΑΝΑΛΥΣΗ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ	42
7.1.1. Μεθοδολογία εκτίμησης βροχόπτωσης στην περιοχή του μοντέλου.....	44
7.1.2. Παρατηρήσεις	50
7.2. ΑΝΑΛΥΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ	51
7.3. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗΣ	53
7.4. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΑΝΤΛΗΣΕΩΝ	55

7.4.1.	Ομοιομορφία άρδευσης.....	56
7.4.2.	Προσδιορισμός ενεργής επιφάνειας άρδευσης.....	58
7.4.3.	Υπολογισμός με βάση τις αρδευτικές ανάγκες των καλλιεργειών.....	59
7.4.4.	Συμπεράσματα.....	61
7.5.	ΛΟΙΠΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ	62
8.	ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΡΜΩΝ.....	63
8.1.	ΓΕΝΙΚΑ.....	63
8.1.1.	Ρύθμιση σταθερής κατάστασης (<i>Steady State</i>)	63
8.1.2.	Ρύθμιση σε δυναμικές συνθήκες ροής (<i>Transient State</i>)	64
8.2.	ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΥΔΡΟΦΟΡΟΥ ΚΑΜΠΟΥ ΨΑΧΝΩΝ	65
8.2.1.	Υδραυλικές παράμετροι υδροφόρου.....	65
8.2.2.	Πλευρικές εισροές.....	66
8.3.	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΡΥΘΜΙΣΗΣ	68
8.3.1.	Σενάριο 1	68
8.3.2.	Σενάριο 2	70
8.3.3.	Σενάριο 3	72
8.3.4.	Σενάριο 4	74
8.3.5.	Γενικές παρατηρήσεις ρύθμισης.....	76
8.4.	ΕΠΙΛΟΓΗ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ ΡΥΘΜΙΣΗΣ	77
8.5.	ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΟΜΟΙΩΜΑΤΟΣ.....	79
9.	ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΔΙΑΧΥΣΗΣ ΡΥΠΩΝ.....	83
9.1.	ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΡΥΠΩΝ ΣΤΑ ΠΛΑΙΣΙΑ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	84
9.2.	ΜΟΝΤΕΛΟ ΔΙΑΧΥΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ ΡΥΠΩΝ MT3D-MS.....	85
9.3.	ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΠΗΓΩΝ ΝΙΤΡΟΥΡΥΠΑΝΣΗΣ.....	86
9.3.1.	Υπολογισμός σημειακών ρυπαντικών φορτίων (<i>σηπτικές δεξαμενές</i>).....	87
9.3.2.	Υπολογισμός επιφανειακών ρυπαντικών φορτίων (<i>αγροτική λίπανση</i>).....	88
9.3.3.	Υπόλοιπες πηγές ρυπαντικού φορτίου.....	89
9.3.4.	Παράμετροι μοντέλου διάχυσης και διασποράς MT3D-MS.....	89
9.3.5.	Αποτελέσματα προσομοίωσης μοντέλου διάχυσης νιτρικών ρύπων.....	90
10.	ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΕΡΓΑΣΙΩΝ.....	92
11.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	94
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	96
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	102

Κατάλογος εικόνων, πινάκων και σχημάτων.

Εικόνες

Εικόνα 1 - Γεωγραφική θέση περιοχής μελέτης. (πηγή: Google maps)	11
Εικόνα 2 - Τοπογραφία λεκάνης απορροής Ψαχνών (Μεσάπιου)	12
Εικόνα 3 - Απλοποιημένος γεωλογικός χάρτης περιοχής μελέτης από την σύνθεση του φύλλου χάρτη Ψαχνά του ΙΓΜΕ (Κατσικάτσος, κ.α ΙΓΜΕ, 1981) και το γεωλογικό χάρτη του διαμερίσματος όπως εμφανίζεται στην μελέτη των Δάνδολος & Ζώραπας (ΙΓΜΕ 2010)	16
Εικόνα 4 - Υδρολιθολογικός χάρτης λεκάνης Ψαχνών (Μεσάπιου) Εύβοιας	18
Εικόνα 5 - Τοπογραφία περιοχής κάμπου Ψαχνών - περιοχής εφαρμογής του μοντέλου και των απογραφέντων υδροσημείων	20
Εικόνα 6 - Χωρική κατανομή μετεωρολογικών σταθμών στην ευρύτερη περιοχή μελέτης	43
Εικόνα 7 - Επίδραση μετεωρολογικών σταθμών στην περιοχή του μοντέλου με βάση την μεθοδολογία των πολυγώνων Thiessen.	50
Εικόνα 8 - Διαγράμματα αποτελέσματος «μοντέλου» βροχής απορροής Thornthwaite	54
Εικόνα 9 - Χάρτης Κατηγοριών Αρδευτικών Αναγκών	60
Εικόνα 11 - Αναπαράσταση γραμμών ροής και μεταφοράς ρύπου στο ομοίωμα (περίοδος: 25 χρόνια)	84
Εικόνα 12 - Χαρτογράφηση του απόλυτου σφάλματος	93

Πίνακες

Πίνακας 1 - Δημογραφικά στοιχεία οικισμών	13
Πίνακας 2 - Μετεωρολογικοί σταθμοί ευρύτερης περιοχής μελέτης	42
Πίνακας 3 - Υδρευτικές ανάγκες καλλιεργειών	60
Πίνακας 4 - Πίνακας κοινών στοιχείων σεναρίων	66
Πίνακας 5 - Δεδομένα σεναρίων	67
Πίνακας 6 - Αποτελέσματα σεναρίου 1	68
Πίνακας 7 - Αποτελέσματα σεναρίου 2	70
Πίνακας 8 - Αποτελέσματα σεναρίου 3	72
Πίνακας 9 - Αποτελέσματα σεναρίου 4	74
Πίνακας 10 - Στατιστικές παράμετροι ρύθμισης προσομοίωσης για κάθε σενάριο	77
Πίνακας 11 - Συγκέντρωση ρύπων σε μέσης ισχύος αστικό λύμα (Metcaf & Eddy 1991),	88
Πίνακας 12 - Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίων	92

Σχήματα

Σχήμα 1 - Κλιματικά διαγράμματα σταθμού Χαλκίδας	13
Σχήμα 2 - Ομβροθερμικό διάγραμμα σταθμού Χαλκίδας	14
Σχήμα 3 - Διάγραμμα πτώσης στάθμης δοκιμαστικής άντλησης	27
Σχήμα 4 - Διάγραμμα επανόδου στάθμης δοκιμαστικής άντλησης	28

Σχήμα 5 - Χωρικά διαγράμματα πιεζομετρίας (α)	31
Σχήμα 6 - Χωρικά διαγράμματα πιεζομετρίας (8)	32
Σχήμα 7 - Τυπική μορφή κανάβου πεπερασμένων διαφορών (πηγή εικόνας: Λατινόπουλος & Θεοδοσίου, 2007)	34
Σχήμα 8 - Οριακές συνθήκες ομοιώματος	38
Σχήμα 9 - Κατανομή της μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης στους σταθμούς της περιοχής	42
Σχήμα 10 - Βροχοβαθμίδα περιοχής μελέτης όλων των σταθμών	44
Σχήμα 11 - Βροχοβαθμίδα περιοχής μελέτης 4 σταθμών	45
Σχήμα 12 - Διάγραμμα κατανομής βροχόπτωσης κοινής περιόδου σταθμών Κάτω Στενής και Χαλκίδας	46
Σχήμα 13 - Διάγραμμα γραμμικής συσχέτισης σταθμού Χαλκίδας και Κάτω Στενής	47
Σχήμα 14 - Διάγραμμα χρονικής κατανομής βροχόπτωσης σταθμού Χαλκίδας μετά την συμπλήρωση δεδομένων	48
Σχήμα 15 - Διάγραμμα κατανομής βροχόπτωσης του εικονικού σταθμού στα Ψαχνά σε σχέση με τον σταθμό Χαλκίδα	49
Σχήμα 16 - Πορεία μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών στους Μ.Σ. της περιοχής μελέτης	51
Σχήμα 17 - Διάγραμμα θερμοβαθμίδας περιοχής μελέτης	52
Σχήμα 18 - Διάγραμμα γραμμικής συσχέτισης μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών σταθμών Χαλκίδας - Θεολόγου	52
Σχήμα 19 - Διάγραμμα λειτουργίας μοντέλου Thornthwaite (πηγή φωτ: USGS, McCabe & Markstrom, 2007)	54
Σχήμα 20 - Διερεύνηση σχέσης ψεκαστήρων και μονάδας επιφάνειας	56
Σχήμα 21 - Γραμμική σχέση μεταξύ ψεκαστήρων και μονάδας επιφάνειας καλλιέργειας	57
Σχήμα 22 - Στατιστική ανάλυση χρόνου μέτρησης	57
Σχήμα 23 - Οριακές συνθήκες προσομοίωσης	65
Σχήμα 24 - Κοινή αρχική πιεζομετρία στην ρύθμιση	67
Σχήμα 25 - Μορφή της πιεζομετρίας του Σεναρίου 1 μετά την ρύθμιση σε σταθερή κατάσταση.	68
Σχήμα 26 - Σχέση παρατηρούμενων και προσομοιωμένων στάθμεων κατά την ρύθμιση σε δυναμική κατάσταση Σεναρίου 1.	69
Σχήμα 27 - Προσομοιωμένη πιεζομετρία Οκτ 1982	69
Σχήμα 28 - Προσομοιωμένη πιεζομετρία Οκτ 1983	69
Σχήμα 29 - Μορφή της πιεζομετρίας του Σεναρίου 2 μετά την ρύθμιση σε σταθερή κατάσταση.	70
Σχήμα 30 - Σχέση παρατηρούμενων και προσομοιωμένων στάθμεων κατά την ρύθμιση σε δυναμική κατάσταση σεναρίου 2.	70
Σχήμα 31 - Προσομοιωμένη πιεζομετρία Οκτ 1989	71
Σχήμα 32 - Προσομοιωμένη πιεζομετρία Οκτ 1990	71
Σχήμα 33 - Μορφή της πιεζομετρίας του Σεναρίου 3 μετά την ρύθμιση σε σταθερή κατάσταση.	72
Σχήμα 34 - Σχέση παρατηρούμενων και προσομοιωμένων στάθμεων κατά την ρύθμιση σε δυναμική κατάσταση Σεναρίου 3.	72
Σχήμα 35 - Προσομοιωμένη πιεζομετρία Οκτ 2002	73
Σχήμα 36 - Προσομοιωμένη πιεζομετρία Μαί 2003	73
Σχήμα 37 - Μορφή της πιεζομετρίας του Σεναρίου 4 μετά την ρύθμιση σε σταθερή κατάσταση.	74
Σχήμα 38 - Σχέση παρατηρούμενων και προσομοιωμένων στάθμεων κατά την ρύθμιση σε δυναμική κατάσταση Σεναρίου 4.	74
Σχήμα 39 - Προσομοιωμένη πιεζομετρία Μαρ 2014	75
Σχήμα 40 - Προσομοιωμένη πιεζομετρία Αυγ 2014	75
Σχήμα 41 - Μεταβολές που προκαλεί η τιμή υδραυλικής αγωγιμότητας	79

Σχήμα 42 - Μεταβολές που προκαλεί η τιμή ειδικής παροχής	80
Σχήμα 43 - Μεταβολές που προκαλεί η τιμή πλευρικών εισροών	80
Σχήμα 44 - Μεταβολές που προκαλεί η τιμή άντλησης	81
Σχήμα 45 - Μεταβολές που προκαλεί η τιμή βροχόπτωσης	81
Σχήμα 46 - Συνθετικό διάγραμμα Ανάλυσης Ευαισθησίας των παραμέτρων του μοντέλου	82
Σχήμα 47 - Σχηματικό διάγραμμα διαδικασιών ρύπανσης υπογείων υδάτων	86
Σχήμα 48 - Ο κύκλος του αζώτου (πηγή: http://taylorgeoservices.com)	87
Σχήμα 49 - Ισοχημικές καμπύλες συγκέντρωσης σε kg/m^3	90
Σχήμα 50 - Σύγκριση προσομοιωμένης με πραγματική κατάσταση	91

Περιεχόμενα Παραρτήματος

Φωτογραφίες

- Πίνακας I :** Πίνακας φρεάτων απογραφής και στάθμες αυτών την περίοδο Μαρ 2014 - Αυγ 2014
- Πίνακας II :** Μετρήσεις δοκιμαστικής άντλησης
- Πίνακας III :** Στατιστική ανάλυση γραμμικής παλινδρόμησης μεταξύ των μηνιαίων τιμών βροχόπτωσης των Μ.Σ. Χαλκίδα και Κάτω Στενή
- Πίνακας IV :** Πρακτικό λίπανσης ανά καλλιέργεια
- Πίνακας V :** Αποτελέσματα Γεωγραφικά Σταθμισμένης Παλινδρόμησης εικονικού σταθμού V_Psachna
- Πίνακας VI :** Πίνακας βροχοπτώσεων μετεωρολογικών σταθμών
- Πίνακας VIIα :** Πίνακας αποτελεσμάτων μοντέλου Thornthwaite εικονικού σταθμού V-Psachna (mm)
- Πίνακας VIIβ :** Πίνακας αποτελεσμάτων μοντέλου Thornthwaite σταθμού Χαλκίδα (meteo.gr)
- Πίνακας VIII :** Κατηγορίες καλλιεργειών ανά φυτικό συντελεστή, K
- Πίνακας IX :** Όρια εφαρμογής αρδευτικού νερού ανά m^3 /στρέμμα/μήνα σύμφωνα με την ΚΥΑ Φ.16/6631/2.6.1989 (ΦΕΚ Β 428) για το Υδατικό διαμέρισμα Ανατολικής Στερεάς (ΥΔ 07)
- Πίνακας X :** Υπολογισμοί ως προς τις καλλιεργούμενες εκτάσεις
- Πίνακας XI :** Κατανομή τιμών άντλησης στο μοντέλο
- Πίνακας XII :** Υπολογισμός ποσοτήτων αρδευτικών αναγκών
- Πίνακας XIII :** Πίνακας στατιστικών μεγεθών των παραμέτρων και των οριακών συνθηκών του μοντέλου.

1. Εισαγωγή

1.1. Αντικείμενο και Σκοπός της εργασίας

Η υφαλμύριση είναι ένα φαινόμενο έντονο στην χώρα μας το οποίο ενισχύεται σε άνυδρες περιόδους και σε περιόδους υπερεντατικής καλλιέργειας σε παράκτιους υδροφορείς. Τα τελευταία χρόνια μεγάλο τμήμα των παραλιακών ζωνών της χώρας έχει υποπέσει και στις δύο περιπτώσεις. Ή μήπως όχι;

Το ερώτημα αυτό μπορεί να απαντηθεί με αριθμούς που βασίζονται σε μετρήσεις και σε προβλέψεις του τύπου «αναμένεται να μην εκπληρώσει τους σκοπούς της οδηγίας 2000/60». Το φαινόμενο όμως της υφαλμύρισης είναι πολύπλοκο και απαιτείται ακριβής γνώση των υδρογεωλογικών παραμέτρων και του υδατικού ισοζυγίου. Σε πρώτη φάση θα πρέπει να αναζητηθούν τα στοιχεία αυτά που θα επιτρέψουν την τριβή με πολυπλοκότερες παραμέτρους, όπως είναι η διάχυση ρύπων κλπ. Στην περιοχή του κάμπου των Ψαχνών όπου οι καλλιέργειες οπωροκηπευτικών βρίθουν οι ανάγκες για αρδευτικό νερό καλής ποιότητας είναι αυξημένες. Η γειτνίαση όμως του κάμπου με την θάλασσα και τα χαμηλά υψόμετρα (<5μ.) δημιουργούν συνθήκες πολύ ευνοϊκές για την υφαλμύριση. Επίσης οι ρυπογόνες εστίες όπως τα φυτοφάρμακα και οι «στεγανοί» βόθροι επιβαρύνουν την κατάσταση.

Σκοπός της παρούσας Μεταπτυχιακής Ερευνητικής Διατριβής είναι η διερεύνηση της υπόγειας ροής και διασποράς ρύπου μέσω της προσομοίωσης του φρεάτιου υδροφόρου του κάμπου των Ψαχνών Ευβοίας σε μαθηματικό ομοίωμα. Αυτή πραγματοποιείται με το λογισμικό PMWIN που αποτελεί την παραθυρική έκδοση του προγράμματος MODFLOW του Αμερικάνικου Γεωλογικού Ινστιτούτου Ερευνών (USGS). Η προσομοίωση αυτή έχει άμεσο στόχο τον προσδιορισμό των υδραυλικών χαρακτηριστικών του υδροφόρου συστήματος και άρα της υδραυλικής του συμπεριφοράς, προκειμένου να προσομοιωθεί υπό μορφή σεναρίου η διάχυση πιθανού ρύπου. Σε κατοπινό δε στάδιο προβλέπεται η προσομοίωση του πολυπλοκότερου φαινομένου της υφαλμύρισης που παρουσιάζεται έντονο στην περιοχή.

Η συνήθης διαδικασία προσομοίωσης μοντέλου είναι η εξής: 1) Περίοδος προσομοίωσης, 2) Ρύθμιση μοντέλου - Αξιολόγηση ρύθμισης, 3) Εξέταση διαφόρων σεναρίων (πχ διάχυση ρύπου), 4) Επέκταση χρονικής περιόδου για πολλά χρόνια και 5) Αξιολόγηση μοντέλου.

Προκειμένου κανείς να φτάσει στην 5^η διαδικασία χρειάζεται παλαιότερα συνεχή και πλήρη στοιχεία για τα στάδια 1,2,3 και νεότερα για το 5ο. Στην παρούσα εργασία αξιολογούνται τα υπάρχοντα δεδομένα, διορθώνονται και συμπληρώνονται, συλλέγονται και επινοούνται νέα, προκειμένου να ακολουθηθεί η παραπάνω τυπική διαδικασία προσομοίωσης μοντέλου. Με αυτό το σκεπτικό «καταστρώθηκε» η παρούσα εργασία.

1.2. Διάρθρωση της εργασίας

Αρχικά, στο κεφάλαιο 2 γίνεται μια παρουσίαση της ευρύτερης περιοχής μελέτης που αφορά φυσικογεωγραφικούς, γεωλογικούς και, υδρογεωλογικούς παράγοντες. Στο κεφάλαιο 3 παρουσιάζονται τα ίδια αυτά χαρακτηριστικά εστιασμένα στην υπό εξέταση περιοχή, τον κάμπο Ψαχνών.

Στο κεφάλαιο 4 παρουσιάζεται ένα σύντομο μελετητικό ιστορικό της περιοχής προκειμένου να γίνει κατανοητό το ένα από τα βασικά ερεθίσματα αυτής της εργασίας που είναι η αναμονή της ύπαρξης στοιχείων το οποίο όπως θα φανεί και σε επόμενα κεφάλαια δεν ισχύει.

Στο κεφάλαιο 5 παρουσιάζονται οι εργασίες προετοιμασίας συγκέντρωσης στοιχείων για το μοντέλο. Δηλαδή, παρουσιάζονται οι εκτελεσθείσες εργασίες υπαίθρου και τα αποτελέσματά τους καθώς και οι αξιολόγηση των στοιχείων από την βιβλιογραφία.

Στο κεφαλαίο 6 παρουσιάζεται εν συντομία η θεωρία πίσω από το μοντέλο και καταστρώνεται το εννοιολογικό μοντέλο. Παράλληλα αντιμετωπίζεται το πρόβλημα της έλλειψης στοιχείων που διαπιστώθηκε στο κεφ.3 και 4.

Στο κεφάλαιο 7 προσδιορίζεται το υδατικό ισοζύγιο, τα αποτελέσματα του οποίου θα εισαχθούν στον μοντέλο. Ύβροχπτώσεις, εξατμισοδιαπνοή, αντλήσεις και λοιπά στοιχεία προσδιορίζονται για την κατοπινή εφαρμογή στο κεφαλαίο 7.

Στο κεφαλαίο 8, αρχικά εξηγείται πως ο χρήστης ρυθμίζει το μοντέλο σε 2 στάδια και κατόπιν παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ρύθμισης. Επίσης στο τέλος του κεφαλαίου γίνεται η ανάλυση ευαισθησίας της τελικής ρύθμισης. Αυτό αποτελεί ένα από τα βασικότερα στοιχεία αξιολόγησης (ποσοτικής) των αποτελεσμάτων του μοντέλου και κατέχει ιδιαίτερη βαρύτητα όμοια με αυτή του εννοιολογικού μοντέλου στην αρχή.

Στο κεφάλαιο 9 παρουσιάζονται οι απαραίτητες παράμετροι για την εφαρμογή και ρύθμιση του μοντέλου MT3D-MS, διάχυσης ρύπων και καταστρώνεται το μοντέλο. Γίνεται διερεύνηση της ικανότητας μεταφοράς του ρύπου από το πεδίο ροής, προσδιορίζεται το ισοζύγιο του αζώτου στην περιοχή του κάμπου προκειμένου να προσομοιωθεί η διάχυση νιτρικών αλάτων στον υδροφόρο και τέλος παρουσιάζονται τα ποιοτικά αποτελέσματα της προσομοίωσης διάχυσης νιτρορύπου.

Τέλος, το κεφάλαιο 10 αποτελεί μια σύντομη αποτίμηση των εργασιών και των αποτελεσμάτων τους και το κεφάλαιο 11 είναι τα συμπεράσματα της εργασίας.



Εικόνα 2 - Τοπογραφία λεκάνης απορροής Ψαχνών (Μεσάπιο)

Το υδρογραφικό δίκτυο της ευρύτερης περιοχής είναι αρκετά ανεπτυγμένο. Οι κύριες υδρολογικές λεκάνες (5^{ης} τάξης) είναι του χειμάρρου Βαϊλελέκα και χειμάρρου Μαντάνια που ενώνονται και σχηματίζουν το Μεσάπιο ποταμό (ρέμα) ο οποίος εκβάλλει στο Β. Ευβοϊκό Κόλπο κοντά στα Ψαχνά (Εικ. 4).

Δημογραφικά χαρακτηριστικά.

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται εντός των ορίων του δήμου Διρφύων – Μεσσαπίων, με έδρα την πόλη των Ψαχνών και καλύπτει μόνο μια μικρή βαλτώδη περιοχή έκτασης 5,4 km² από τον δήμο Χαλκιδέων (περιοχή υδροβιότοπου Κολοβρέχτη). Εντός του δήμου Διρφύων - Μεσσαπίων, η περιοχή καταλαμβάνει κυρίως εκτάσεις του δημοτικού διαμερίσματος Μεσσαπίων, με εξαίρεση μια ακατοίκητη περιοχή με έκταση 44,9 km² που ανήκει στο δημοτικό διαμέρισμα Διρφύων. Οι οικισμοί που βρίσκονται εντός των ορίων της περιοχής μελέτης είναι οι οικισμοί του παρακάτω πίνακα (πιν. 1) (πηγή: Ελληνική Στατιστική Αρχή 2012):

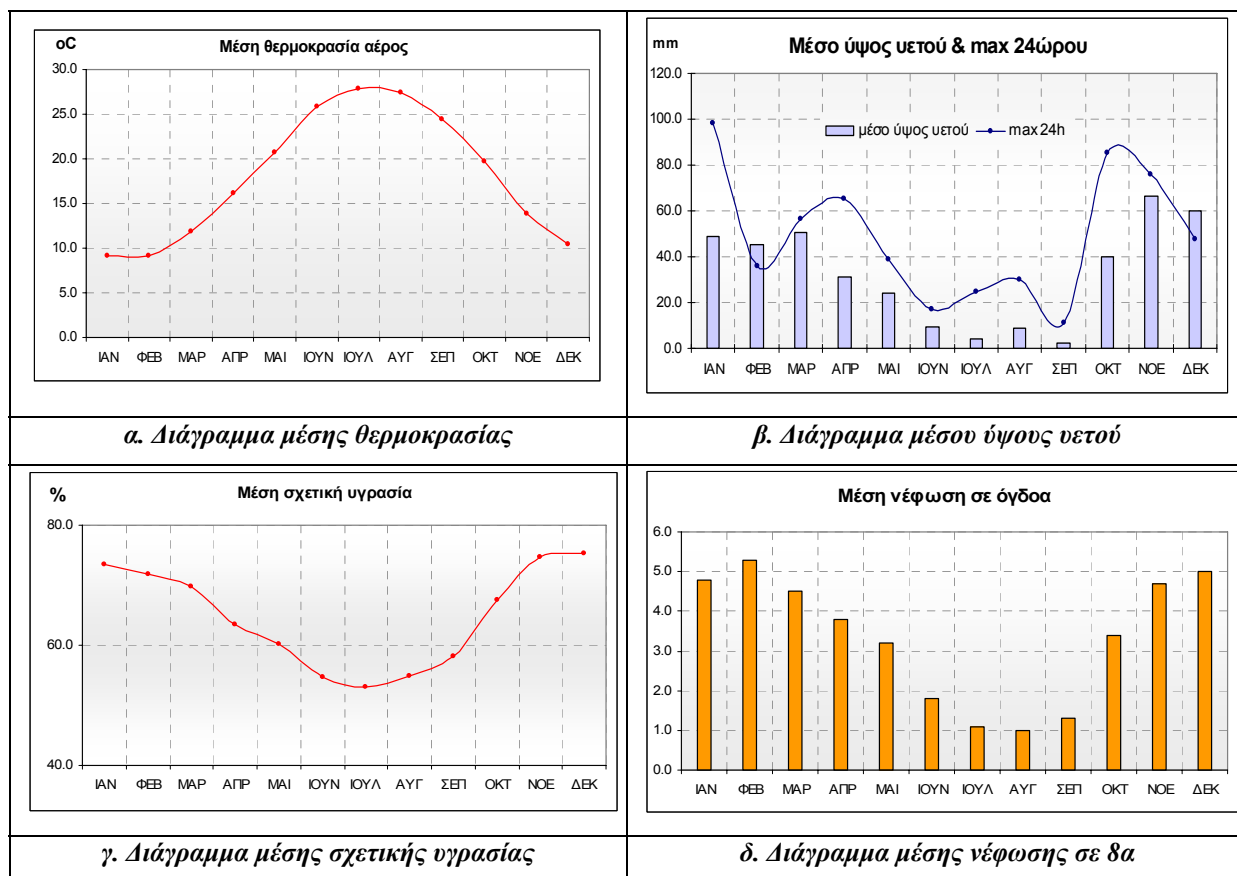
Πίνακας 1 - Δημογραφικά στοιχεία οικισμών

Οικισμός	Μόνιμος πληθυσμός
Άγιος Αθανάσιος	330
Άτταλη	391
Καστέλλα	1271
Μακρυκάπα	903
Μακρυμμάλη	223
Παλιούρας	602
Πλατάνια	93
Τριάδα	1060
Ψαχνά	5827

Ο μόνιμος πληθυσμός στην περιοχή υπό εξέταση, κατά το 2011 ήταν 10.709 άτομα (Ελληνική Στατιστική Αρχή, 2012). Με στοιχεία του 2001 (Δήμος Διρφύων - Μεσσαπίων, 2011) έφτανε τους 13.756 κάτοικους,

2.1. Κλιματικές συνθήκες - Κλιματική ταξινόμηση

Για την εκτίμηση του κλίματος της περιοχής μελέτης χρησιμοποιήθηκαν τα κλιματικά στοιχεία των μετεωρολογικών σταθμών της ΕΜΥ στην Χαλκίδα (γεωγραφικού πλάτους $38^{\circ}28'$, γεωγραφικού μήκους $24^{\circ}36'$, υψομέτρου 5μ. και χρονικής περιόδου (1974 - 1994), από την επεξεργασία των οποίων προέκυψαν τα παρακάτω διαγράμματα (σχ. 1 α,β,γ,δ) όπου φαίνεται ότι οι ετήσιες πορείες των κλιματικών παραμέτρων είναι κανονικές.

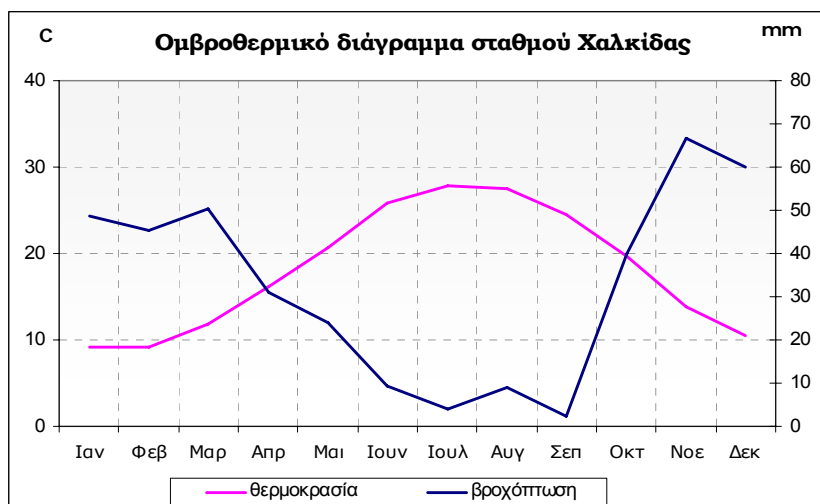


Σχήμα 1 - Κλιματικά διαγράμματα σταθμού Χαλκίδας

Από τα κλιματικά δεδομένα των μηνιαίων τιμών της θερμοκρασίας αέρος και του ύψους ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων προσδιορίστηκε ο κλιματικός τύπος της περιοχής μελέτης σύμφωνα με την κλιματική ταξινόμηση **κατά Köppen**, λαμβάνοντας επιπλέον υπόψη τις ετήσιες τιμές των παραμέτρων αυτών, το ύψος των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων για τις περιόδους Απριλίου - Σεπτεμβρίου και Οκτωβρίου-Μαρτίου, τα αντίστοιχα ύψη για τον ξηρότερο και υγρότερο μήνα του έτους καθώς επίσης και τις μηνιαίες τιμές της θερμοκρασίας αέρος για το θερμότερο και ψυχρότερο μήνα του έτους. Αυτός είναι τύπος **Csa, χερσαίος μεσογειακός** με πολύ θερμό και ξηρό θέρος. Με θερμοκρασία θερμότερου μήνα μεγαλύτερη των 18 °C και του ψυχρότερου μικρότερη των -3 °C, με ξηρή περίοδο το θέρος.

Για την υδρολογική ανάλυση του κλίματος μιας περιοχής έχει σημασία η διάρκεια της ξηρής περιόδου. Η επιτροπή Unesco-FAO δέχεται ως ξηρό ένα μήνα όταν το άθροισμα των βροχοπτώσεων του μήνα είναι μικρότερο από το διπλάσιο της μέσης θερμοκρασίας. ($P \text{ mm} < 2T \text{ }^{\circ}\text{C}$).

Ανάλογη παραδοχή κάνουν και οι Bagnoulis & Gaussen (1957) οι οποίοι απεικονίζουν σε ένα διάγραμμα που καλείται ομβροθερμικό διάγραμμα την πορεία μήνα προς μήνα της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας σε °C και του μέσου μηνιαίου ύψους βροχής σε mm (Τρίγκας 2003). Για την καμπύλη της θερμοκρασίας παίρνουμε μια κλίμακα διπλάσια από εκείνης των βροχοπτώσεων. Η περίοδος κατά την οποία η καμπύλη των βροχοπτώσεων βρίσκεται χαμηλότερα από την καμπύλη της θερμοκρασίας θεωρείται ως ξηρή περίοδος.



Σχήμα 2 - Ομβροθερμικό διάγραμμα σταθμού Χαλκίδας

Εξετάζοντας το ομβροθερμικό διαγράμματα του Μ.Σ. Χαλκίδας (σχ.2) παρατηρούμε τα εξής: Η ξηρή περίοδος ξεκινά από τα μέσα Απριλίου και διαρκεί μέχρι τα μέσα Οκτωβρίου (6 μήνες). Το εμβαδόν στο ομβροθερμικό διάγραμμα που περικλείεται μεταξύ των καμπυλών, την ξηρή περίοδο είναι μεγαλύτερο σε σχέση με το εμβαδόν της υγρής περιόδου. Αυτό σημαίνει ότι κανείς αναμένει ξηρό κλίμα με ελάχιστη απορροή.

2.2. Γεωλογία - Τεκτονική

2.2.1. Γεωλογική δομή της περιοχής

Η περιοχή ενδιαφέροντος γεωτεκτονικά ανήκει στην ενότητα της Ανατολικής Ελλάδος και ειδικότερα της Υποπελαγονικής ζώνης. Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που συναντώνται στην ευρύτερη περιοχή από τους νεότερους προς τους παλαιότερους είναι (Κατσιακάτσος, κ.α ΙΓΜΕ, 1981):

Τεταρτογενείς σχηματισμοί

Αλλουβιακές αποθέσεις: Αποτελούνται από κροκάλες, λατύπες, άμμους και αργίλους σε ποικίλουσα αναλογία. Ανάλογα με τον τρόπο σχηματισμού τους διακρίνονται σε ποτάμιες και χειμαρρικές αποθέσεις, σε αναβαθμίδες χειμάρρων, σε ελλουβιακούς μανδύες κλπ. Το πάχος τους είναι συνήθως μικρό με εξαίρεση τα δέλτα του Μεσάπιου και του Λίλαντα ποταμού.

Πλειστοκαινικές αποθέσεις: Πρόκειται για αδρομερείς σχηματισμούς που συνίστανται από κροκαλολατυποπαγή στους οποίους κατά θέσεις παρεμβάλλονται πηλοί, αργιλόχοι ψαμμίτες και ψαμμίτες, με ερυθροκάστανο χρώμα. Έχουν γενικά μικρό πάχος, αλλά σε μερικές περιοχές αποκτούν σημαντικές διαστάσεις.

Νεογενείς σχηματισμοί

Λιμναίες-Θαλάσσιες αποθέσεις: Αποτελούνται από πετρώματα ποικίλης συστάσεως. Οι κατώτεροι ορίζοντες που είναι εξ ολοκλήρου λιμναίοι, αποτελούνται από εναλλαγές στρωμάτων αργίλων, μαργών, ψαμμιτών, μαργαϊκών ασβεστόλιθων και κροκαλοπαγών. Οι ανώτεροι ορίζοντες αποτελούνται από εναλλασσόμενες αποθέσεις λιμναίων και θαλάσσιων ιζημάτων, όπως κροκαλοπαγή και ψαμμίτες που εναλλάσσονται με μάργες και μαργαϊκούς ασβεστόλιθους.

Υποπελαγονική ζώνη

Φλύσχη (Μαιστρίχτιο – Ηώκαινο;): Ο σχηματισμός αποτελείται από στρώματα αργιλικών σχιστολίθων και ψαμμιτών σε εναλλαγές με παρεμβολές φακοειδών ενστρώσεων μαργαϊκού ασβεστόλιθου. Το μέγιστο πάχος του φλύσχη είναι 300m.

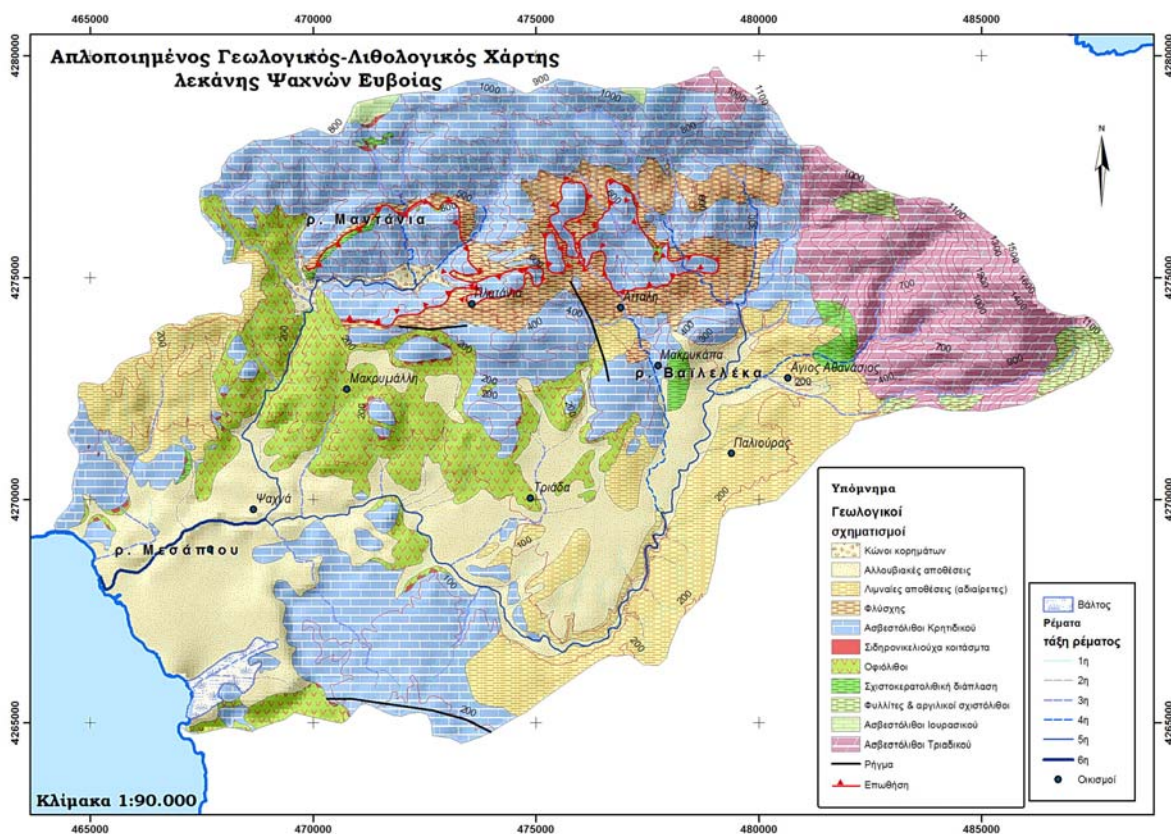
Ανωκρητιδικοί ασβεστόλιθοι: Πρόκειται για μαργαϊκούς μεσοστρωματώδεις ασβεστόλιθους μικρού πάχους, οι οποίοι προς τα ανώτερα στρώματά τους γίνονται παχυστρωματώδεις, έντονα καρστικοποιημένοι με μέγιστο πάχος 250 m περίπου. Κατά θέσεις καλύπτουν σιδηρονικελιούχα κοιτάσματα.

Σχιστοκερατολιθική διάπλαση - Φυλλίτες - Οφιόλιθοι (Αν. Ιουρασικό– Κ. Κρητιδικό): Αποτελεί σχηματισμό ωκεάνιου φλοιού και συνίσταται από ιζήματα βαθιάς θάλασσας (ραδιολαρίτες, πηλίτες και μικριτικούς ασβεστόλιθους με διαστρώσεις πυριτιόλιθου) και οφιόλιθους. Το παραπάνω

σύμπλεγμα πετρωμάτων αποτελεί τεκτονικό κάλυμμα των τριαδικών – ιουρασικών ασβεστόλιθους. Στην περιοχή μελέτης από τους σχηματισμούς του συμπλέγματος κυριαρχούν οι οφιόλιθοι.

Ασβεστόλιθοι και Δολομίτες (Τριαδικό – Ιουρασικό): Στους βαθύτερους στρωματογραφικούς ορίζοντες του σχηματισμού κυριαρχούν παχυστρωματώδεις έως άστρωτοι ασβεστόλιθοι. Λευκοί έως λευκότεφροι, οι οποίοι κατά περιοχές μεταπίπτουν σε δολομιτικούς ασβεστόλιθους ή τυπικούς δολομίτες. Στους παραπάνω ασβεστόλιθους επικάθονται τεφροί έως μελανότεφροι ασβεστόλιθοι, πλακώδεις με παρεμβολές κερατολιθικών κονδύλων ή κερατολιθικών ενστρώσεων. Πρόκειται για έντονα κερματισμένο και καρστικοποιημένο ασβεστολιθικό σύστημα. Το συνολικό πάχος του σχηματισμού υπερβαίνει τα 600m.

Ο απλοποιημένος γεωλογικός χάρτης όπως προέκυψε από την ψηφιοποίηση του φύλλου χάρτη Ψαχνά του ΙΓΜΕ (Κατσικάτσος, κ.α ΙΓΜΕ, 1981) και από τον ενοποιημένο γεωλογικό χάρτη Ευβοίας από τους Δάνδολο & Ζώραπας (ΙΓΜΕ 2010) παρουσιάζεται στην εικόνα 3.



Εικόνα 3 - Απλοποιημένος γεωλογικός χάρτης περιοχής μελέτης από την σύνθεση του φύλλου χάρτη Ψαχνά του ΙΓΜΕ (Κατσικάτσος, κ.α ΙΓΜΕ, 1981) και το γεωλογικό χάρτη του διαμερίσματος όπως εμφανίζεται στην μελέτη των Δάνδολος & Ζώραπας (ΙΓΜΕ 2010)

2.2.2. Τεκτονική εξέλιξη της περιοχής

Το χαρακτηριστικό της ενότητας σχηματισμών Ανατολικής Ελλάδας είναι η ύπαρξη δύο διαφορετικών γεωτεκτονικών φάσεων (Παπανικολάου 1986). Η μία αφορά διαφορετικούς χώρους με συνεχή ιζηματογένεση από το Τριαδικό έως το ανώτερο Ιουρασικό και την πρώιμη αλπική ορογένεση των εσωτερικών ελληνίδων (γεωτεκτονικών) ζωνών. Η άλλη αφορά έναν ενιαίο χώρο (ενοποίηση όλων των διαφορετικών χώρων) υπό το καθεστώς νέας ιζηματογένεσης μέχρι το ανώτερο Κρητιδικό, εισαγωγή στην τάφρο του ορογενετικού τόξου και την «απόθεση» του φλύσχη και τελικά την αλπική ορογένεση. Η Υποπελαγονική ζώνη που ανήκουν οι σχηματισμοί των Τριαδικο-ιουρασικών ασβεστόλιθων της περιοχής μελέτης, ανήκει στις εσωτερικές ελληνίδες ζώνες οι οποίες πτυχώνονται κατά την πρώιμη ορογένεση στο ανώτερο Ιουρασικό και δέχονται τα ιζήματα της σχιστοψαμμιτοκερατολιθικής διάπλασης και τους οφιόλιθους.

Μετά από επίκληση της θάλασσας (Τιθόνιο) ξεκινάει απόθεση ασβεστολιθικών πετρωμάτων οι οποίοι καλύπτουν κατά περιοχές σιδηρονικελιούχα κοιτάσματα, τα οποία δημιουργήθηκαν από λατεριτική αποσάθρωση των οφιολίθων.

Οι Κρητιδικοί ασβεστόλιθοι της περιοχής μελέτης (μαζί με το υπόβαθρο τους) ανήκουν στον ενοποιημένο πλέον χώρο της ζώνης Ανατολικής Ελλάδας ο οποίος υφίσταται την αλπική ορογένεση στο Ηώκαινο. Το διάστημα μεταξύ Μαιστριχτίου – Ηώκαινου αποτίθεται φλύσχη και μετά την νέα ορογενετική κίνηση, η περιοχή πτυχώνεται και χερσεύει. Κατά το διάστημα αυτό πραγματοποιείται και η παρατηρούμενη καλυμματική τεκτονική μαζών ανωκρητιδικών ασβεστόλιθων πάνω στην σχιστοψαμμιτοκερατολιθική διάπλαση (οφιόλιθους,) και στον φλύσχη, (αυτό διαπιστώνεται εύκολα από την μορφή των επαφών των ανωκρητιδικών ασβεστόλιθων οι οποίες είναι παράλληλες στις ισοϋψείς και εκδηλώνονται και πηγές επαφής).

Ας σημειωθεί ότι κατά διάφορους μελετητές (Μπεζες, 2006) ο αποκαλούμενος φλύσχη της περιοχής αντιστοιχεί σε πρακτικά σε μια σχιστοψαμμιτική φάση της διάπλασης. Οπότε εύστοχα λύνεται το θέμα της εφίπευσης των Άνω-Κρητιδικών ασβεστόλιθων στον «φλύσχη» τους. Η άποψη αυτή έχει υιοθετηθεί παρακάτω κατά υδρογεωλογική ερμηνεία της περιοχής μελέτης.

Μετά το τέλος αυτού του κύκλου της αλπικής ορογένεσης, ακολουθεί περίοδος χαλάρωσης των τεκτονικών πιέσεων και αποτίθενται οι σχηματισμοί του νεογενούς στα σχηματισμένα από την ορογένεση τεκτονικά βυθίσματα. Η τεκτονική δραστηριότητα συνεχίζεται ακόμα και σήμερα (Τεταρτογενές) με την διάνοιξη της τάφρου του Β. Ευβοϊκού κόλπου με κανονική ρηγματογόνο τεκτονική γενικής διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ. Το σημερινό ανάγλυφο είναι το αποτέλεσμα των τεκτονικών αυτών κινήσεων και των διεργασιών διάβρωσης και αποσάθρωσης.

2.2.3. Υδρογεωλογία

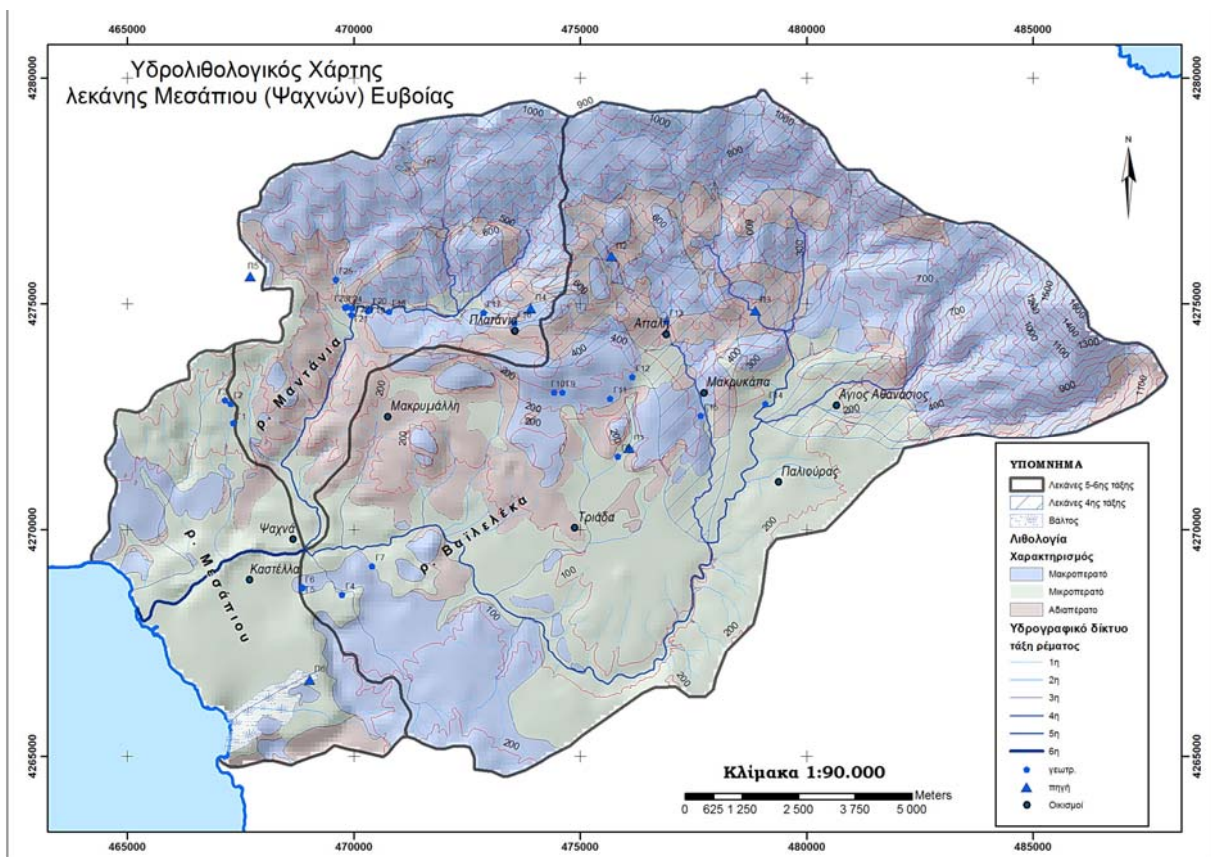
Με βάση την υδρογεωλογική τους συμπεριφορά και τον τρόπο που κινείται το νερό στην μάζα του πετρώματος οι σχηματισμοί της περιοχής μελέτης διακρίνονται σε υδροπερατούς (μακροπερατοί, μικροπερατοί), και πρακτικά υδατοστεγανούς σχηματισμούς.

Στους **μικροπερατούς σχηματισμούς** οι αλλουβιακές αποθέσεις του Τεταρτογενούς, οι ψαμμίτες του Νεογενούς, τα κροκαλοπαγή, και γενικά τα πλειστοκαινικά λιμναία ιζήματα που απαντώνται στην περιοχή της λεκάνης.

Στους **μακροπερατούς σχηματισμούς** ανήκουν ως επί το πλείστον οι ασβεστολιθικές μάζες στις οποίες το νερό διακινείται μέσω των ασυνεχειών του πετρώματος και του καρστ.

Τέλος στους **υδροστεγανούς σχηματισμούς** ανήκουν τα νεογενή ιζήματα αργιλικής σύστασης, ο φλύσχος και η σχιστοκερατολιθική διάπλαση. Στις περιοχές όπου ο φλύσχος και η σχιστοκερατολιθική διάπλαση με οφιόλιθους παρουσιάζουν έντονη διάρρηξη, χαρακτηρίζονται ημιπερατοί έως υδροστεγανοί σχηματισμοί.

Με βάση την παραπάνω διάκριση στους γεωλογικούς σχηματισμούς της λεκάνης προέκυψε ο παρακάτω υδρολιθολογικός χάρτης (εικ. 4).



Εικόνα 4 - Υδρολιθολογικός χάρτης λεκάνης Ψαχνών (Μεσάπιου) Εύβοιας

Στον οποίο διακρίνονται ξεκάθαρα οι διάφορες υδατικές σχέσεις μεταξύ των σχηματισμών. Πιο συγκεκριμένα φαίνεται ότι τα ασβεστολιθικά «καπέλα» του βόρειου τμήματος έρχονται σε άμεση επικοινωνία (αποστραγγίζονται) με τους μικροπερατούς νεογενής και αλλούβιους σχηματισμούς τροφοδοτώντας τους με υπόγεια και επιφανειακά νερά. Οι πηγές παρατηρούνται στα όρια αδιαπέρατων-περατών σχηματισμών, στα όρια της επώθησης των Κρητιδικών ασβεστόλιθων πάνω στους οφιόλιθους ή και την διάπλαση, και το όλο σύστημα κλίνει προς τα νότια και ανατολικά τροφοδοτώντας το ρέμα Βαϊλελέκα. Μικρότερης έκτασης ασβεστόλιθοι σε στενότερες διαβάσεις δημιουργούν όμοιες αποστραγγιστικές συνθήκες, μικρότερης όμως κλίμακας στα βόρεια, στην λεκάνη του ρέματος Μαντάνια. Τελικά όλο το σύστημα διαμέσου του κάμπου των Ψαχνών αποφορτίζεται στην θάλασσα.

2.2.4. Ενόητες υδροφόρων ευρείας περιοχής

Υδροφόροι Προσχωματικών Αποθέσεων

Οι υδροφόροι των προσχωματικών αποθέσεων αναπτύσσονται στην ευρύτερη περιοχή του δέλτα του ρέματος Μεσάπιου. Στις τεταρτογενείς αποθέσεις που συναντώνται σε μεγάλα υψόμετρα και έχουν ως υπόβαθρο υδροστεγανούς σχηματισμούς διαμορφώνονται ορίζοντες μικρής δυναμικότητας λόγω των μικρών διαστάσεων και της συστάσεως. Οι υδροφόροι που αναπτύσσονται στις τεταρτογενείς αποθέσεις είναι ελεύθεροι και μόνο στα κατώτερα μόνο τμήματα του δέλτα του ρέματος Μεσάπιου μεταπίπτουν κατά τόπους σε υπό πίεση λόγω της παρουσίας αργιλικών υλικών.

Υδροφόροι Συνεκτικών Πετρωμάτων του Νεογενούς

Στα αδρομερή μέλη του Νεογενούς που αποτελούνται από ψαμμίτες, κροκαλοπαγή και μαργαϊκούς ασβεστόλιθους και τα οποία εναλλάσσονται με υδροστεγανά πετρώματα, όπως μάργες, αργίλους και αποσαθρώματα φλύσχη και οφιολιθικών πετρωμάτων, αναπτύσσονται επάλληλοι υπό πίεση υδροφόροι ορίζοντες μικρής έως μέτριας δυναμικότητας.

Υδροφόροι ορίζοντες σχιστοκερατολιθικής διάπλασης με οφιόλιθους.

Το σύμπλεγμα της σχιστοκερατολιθικής διάπλασης ιδιαίτερα σε περιοχές όπου κυριαρχούν οφιόλιθοι, μπορεί να αποτελέσει υδροφορέα μικρής έως μέτριας δυναμικότητας, όταν ο σχηματισμός παρουσιάζει έντονη διάρρηξη και λεπτούς μανδύες αποσάθρωσης.

Καρστικοί Υδροφόροι

Πρόκειται για πετρώματα υψηλής υδροπερατότητας, έντονα καρστικοποιημένα. Οι ασβεστόλιθοι λόγω της μεγάλης επιφανειακής τους έκτασης και της υψηλής υδροπερατότητας τους αποτελούν υπόγειους υδροφορείς μεγάλης δυναμικότητας.

3. Γενικά στοιχεία προσχωματικού υδροφόρου του κάμπου Ψαχνών

Ο προσχωματικός υδροφόρος ανήκει στην παράκτια ζώνη της υδρολογικής λεκάνης του Μεσάπιου ποταμού, έχει μέσο υψόμετρο 13 m και η έκτασή του είναι 21km² (Εικ.5).



Εικόνα 5 - Τοπογραφία περιοχής κάμπου Ψαχνών - περιοχής εφαρμογής του μοντέλου και των απογραφέντων υδροσημείων

Η περιοχή του κάμπου είναι σχεδόν επίπεδη με κατάληξη στην θάλασσα στα ΝΔ. Είναι κατά βάση αγροτική περιοχή και εντός της βρίσκονται ο οικισμός Ψαχνά και το προάστιο του η Καστέλλα. Την περιοχή διαρρέει η εγκλιβωτισμένη κοίτη του ποταμού Μεσάπιου, ο οποίος είναι χειμαρρικού χαρακτήρα με απορροές μόνο κατά τις περιόδους με υψηλές βροχοπτώσεις. Γεωμορφολογικά ο κάμπος αποτελεί το δέλτα του ποταμού. Περιφερειακά του κάμπου αναπτύσσονται διάφορα υψώματα με μέγιστο ύψος αυτό των 200μ.

Η επιλογή της προσχωματικής λεκάνης Ψαχνών για την εφαρμογή υδρογεωλογικού μοντέλου βασίστηκε κυρίως στη σημασία του προσχωματικού υδροφορέα, όσον αφορά τις σημερινές και μελλοντικές συνθήκες προσφοράς και ζήτησης υπόγειων νερών, στην έκταση που καλύπτει και στη γεωγραφική θέση της. Πρόκειται για μια περιοχή υπερεντατικής καλλιέργειας, κυρίως οπωροκηπευτικών, με μεγάλες απαιτήσεις σε αρδευτικό νερό.

3.1. Γεωλογική δομή προσχωματικού υδροφόρου

Ο προσχωματικός υδροφόρος του κάμπου Ψαχνών δομείται από αλλούβια Τεταρτογενούς ηλικίας ιζήματα που προέρχονται από την διάβρωση των ανάντη πετρωμάτων (λιμναίες πλειστοκαινικές αποθέσεις, οφιόλιθοι, ασβεστόλιθοι). Αποτελούνται από κροκάλες, λατύπες, άμμους και αργίλους σε ποικίλουσα αναλογία και σύσταση. Ανάλογα με τον τρόπο σχηματισμού τους διακρίνονται σε ποτάμιες και χειμαρρικές αποθέσεις, σε αναβαθμίδες χειμάρρων και σε ελλουβιακούς μανδύες. Το πάχος τους δεν ξεπερνά τα 35μ. και μειώνεται προς τα ανάντη.

3.2. Υδρογεωλογικές συνθήκες προσχωματικού υδροφόρου

Οι τεταρτογενείς αποθέσεις που καλύπτουν την περιοχή των Ψαχνών, όπως ήδη προαναφέρθηκε, παρουσιάζουν μέτρια έως υψηλή υδροπερατότητα. Εντός των αποθέσεων αναπτύσσεται ο φρεάτιος προσχωματικός υδροφόρος. Αυτός είναι δυνατόν να μεταπίπτει μόνο στα κατώτερα τμήματα του δέλτα του ρέματος Μεσάπιου σε υπό πίεση λόγω της παρουσίας αργιλικών υλικών.

Η κύρια τροφοδοσία του προσχωματικού υδροφόρου της λεκάνης των Ψαχνών γίνεται από τις βροχοπτώσεις και από πλευρικές μεταγίσεις υπογείου νερού από τους ανωκρητιδικούς ασβεστόλιθους των περιθωρίων της λεκάνης που βρίσκονται στο βόρειο και νοτιοανατολικό τμήμα του προσχωματικού υδροφόρου. Η επιφανειακή απορροή κατέχει δευτερεύοντα ρόλο στην τροφοδοσία του συστήματος. Η κοίτη του Μεσάπιου σπάνια μεταφέρει νερό και αυτό συνήθως συμβαίνει σε πολύ υψηλές τιμές βροχόπτωσης και χιονιού μέσω του ρέματος Βαϊλέλεκα.

Στις προσχωσιγενείς αποθέσεις έχουν ανορυχθεί πολυάριθμα πηγάδια και γεωτρήσεις (υπολογίζονται να ξεπερνούν τα 150). Η μακροχρόνια υπεράντληση των υπόγειων νερών στη λεκάνη των Ψαχνών είχε ως αποτέλεσμα την πτώση της πιεζομετρικής στάθμης και τη διείσδυση της θάλασσας, με αποτέλεσμα τη δημιουργία μετώπου υφαλμύρινσης και την υποβάθμιση της ποιότητας του υπόγειου νερού.

4. Ιστορικό μελετών στην περιοχή

Με τον προσχωματικό υδροφόρο του κάμπου Ψαχνών έχουν ασχοληθεί διάφοροι μελετητές από την δεκαετία του 1980. Παρατίθεται εδώ ένα σύντομο ιστορικό για να διευκρινισθεί η πηγή των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία, αλλά και το ερέθισμα για να πραγματοποιηθεί.

Το 1982 η εταιρεία Υδροέρευνα αναλαμβάνει την Υδρογεωλογική μελέτη περιοχής Κεντρικής Εύβοιας για λογαριασμό του ΥΠ.Γ.Ε. την οποία και παραδίδει 10 χρόνια μετά, 1992. Κατά την μελέτη αυτή προσδιορίζεται το υδρολογικό ισοζύγιο για το σύνολο της λεκάνης απορροής, για το έτος 1989-90 για τους επιμέρους γεωλογικούς σχηματισμούς. Συλλέγονται στάθμες από 22¹ υδροσημεία και διεξάγονται χημικές αναλύσεις. Οι στάθμες αυτές συλλέγονται με την λογική υψηλή και χαμηλή στάθμη.

Το 1985 το ΙΓΜΕ (Κοντογιαννάκος κ.α 1985) αναλαμβάνει το έργο «Υδρογεωλογική και Υδροχημική έρευνα υπόγειων και επιφανειακών νερών κεντρικής Εύβοιας» για λογαριασμό του τότε ΥΧΟΠ (πρώην ΥΠΕΧΩΔΕ). Συλλέγονται στοιχεία παροχής φρεάτων και πηγών για την περιοχή που μας απασχολεί καθώς και στοιχεία χημικής κατάστασης. Τα στοιχεία αυτά δεν χρησιμοποιούνται παρακάτω στην εργασία καθώς είναι εντελώς αποσπασματικά.

Δέκα χρόνια αργότερα το ΙΓΜΕ (Τσιούμας 1998), επαναδραστηριοποιείται στην περιοχή διεξάγοντας έρευνα για την διάνοιξη γεωτρήσεων ύδρευσης και άρδευσης στην ευρύτερη περιοχή Ψαχνών προκειμένου να καλυφθούν κυρίως οι ανάγκες του πληθυσμού. Παράλληλα σημειώνεται αύξηση των αναγκών σε νερό και τα παλιά αβαθή (max 10m βάθους) πηγάδια μετατρέπονται σταδιακά σε βαθύτερες γεωτρήσεις. Η αύξηση των αντλούμενων ποσοτήτων προκαλεί εμφανώς προβλήματα υφαλμύρινσης και το 2004 το ΙΓΜΕ (Τσιούμας, Ζόραπας 2004) διεξάγει μελέτη στην περιοχή για τον εντοπισμό των αιτιών. Κατά την μελέτη αυτή συλλέγονται στάθμες από 38 υδροσημεία στην περιοχή του μοντέλου από τον Απρ 2002 έως τον Μαρ 2003, σε 7 διαφορετικούς μήνες, απογράφονται πάνω από 150 υδροσημεία με το αντίστοιχο ιδιοκτησιακό καθεστώς και αντιστοιχίζονται σε εκτάσεις άρδευσης. Επίσης, συλλέγονται δείγματα νερού για χημικές αναλύσεις. Τα σημεία σταθμημετρήσεων δεν ταυτίζονται απαραίτητα με αυτά των παλαιότερων μελετών. Τέλος παρουσιάζονται ισοχημικοί χάρτες (αγωγιμότητα, ιόντα χλωρίου) που αφορούν την κατάδειξη του προβλήματος της υφαλμύρινσης.

Το 2006 στα πλαίσια εναρμόνισης της Ελλάδας με την ευρωπαϊκή νομοθεσία ξεκινά η διεξαγωγή διαχειριστικών μελετών σε επίπεδο διαμερίσματος. Στα πλαίσια των προεργασιών των διαχειριστικών μελετών κατά την «Ανάπτυξη συστημάτων και εργαλείων Διαχείρισης Υδατικών Πόρων Υδατικού

¹ οι μετρήσεις αυτές δεν είναι πλήρεις για τις τέσσερις περιόδους μετρήσεων.

Διαμερίσματος Ανατολικής Στερεάς (07)» (Καραβοκύρης 2007) εφαρμόζεται μοντέλο πεπερασμένων διαφορών (MIKE SHE) στον προσχωματικό υδροφορέα της περιοχής, με σκοπό την διαχείριση των υδάτων. Τα στοιχεία είναι λιγιστά και η προσομοίωση οριακά επιτυχής. Επρόκειτο εξ' άλλου για αδρομερές μοντέλο σε επίπεδο υδατικού διαμερίσματος.

Τέλος, το 2010 οι Δάνδολος & Ζόραπας από το ΙΓΜΕ συγκεντρώνουν τα αποτελέσματα της δουλειάς τους σε ένα συνοπτικό τεύχος σε επίπεδο νήσου (Καταγραφή και αποτίμηση των υπόγειων υδροφόρων συστημάτων λεκάνης Βοιωτικού Κηφισού και υπολεκανών νομού Βοιωτίας - Εύβοιας).

Παράλληλα με τις μελέτες της πιεζομετρίας από τους διάφορους δημόσιους φορείς πραγματοποιούνται διατριβές με θέματα κυρίως γύρω από την χημική κατάσταση του φρεάτιου υδροφόρου.

Η παρούσα διπλωματική εργασία συλλέγει και αξιολογεί, τις διάσπαρτες πληροφορίες για δεδομένα στάθμης, που έχουν συγκεντρωθεί τα τελευταία 30 χρόνια από τους διάφορους μελετητές.

Ας σημειωθεί ότι κατά τις εργασίες υπαίθρου που πραγματοποιήθηκαν καταγράφηκε και μια άλλη ιστορική πορεία της περιοχής. Αυτή των ολοένα και αυξανόμενων αντλήσεων.

Στον κάμπο των Ψαχνών ανάμεσα στα πολυάριθμα υδροσημεία μπορεί κανείς να περιηγηθεί στον χρόνο όσον αφορά την βελτίωση των συνθηκών (τεχνολογίας) άντλησης. Υπάρχουν πηγάδια πολύ παλαιά με το σύστημα των κυλιόμενων δοχείων, έως σύγχρονες γεωτρήσεις εντός των φρεάτων ή δίπλα από αυτά με σύγχρονα συστήματα φίλτρων για την εισαγωγή λιπαντικών καλλιεργειών. Στο τέλος του παραρτήματος παρατίθενται οι σχετικές φωτογραφίες.

5. Εργασίες Υπαίθρου

Οι εργασίες υπαίθρου που εκτελέστηκαν για τους σκοπούς της διπλωματικής αυτής εργασίας είναι οι παρακάτω:

- ❖ Απογραφή υδροσημείων για την διεξαγωγή μετρήσεων στάθμης
- ❖ Μηνιαίες μετρήσεις στάθμης στα επιλεγμένα από την απογραφή υδροσημεία
- ❖ Χωροθέτηση υδροσημείων παρατήρησης
- ❖ Διεξαγωγή δοκιμαστικής άντλησης
- ❖ Δειγματοληπτικές υδρομετρήσεις ψεκαστήρων
- ❖ Συλλογή δειγμάτων νερού για ανάλυση
- ❖ Γεωλογική - υδρογεωλογική επισκόπηση της περιοχής
- ❖ Συναντήσεις με τοπικούς φορείς και καλλιεργητές

Κατά της παραπάνω εργασίες:

- ❖ Απογράφηκαν 60 υδροσημεία, φρέατα και γεωτρήσεις
- ❖ Επιλέχθηκαν τα 53 για την διεξαγωγή μετρήσεων
- ❖ Τα οποία και χωροθετήθηκαν με ακρίβεια υψομέτρου 10cm
- ❖ Πραγματοποιήθηκαν σε μηνιαίο βήμα μετρήσεις στάθμης από τον Μάρτιο του 2014 έως και τον Αύγουστο 2014 (5 περίοδοι μετρήσεων πλην του Ιουνίου 2014)
- ❖ Συλλέχτηκαν 21 δείγματα νερού
- ❖ Διεξήχθη δοκιμαστική άντληση σε φρέαρ.

Οι απογραφές των υδροσημείων πραγματοποιήθηκαν με φορητό GPS της εταιρείας Garmin, το μοντέλο Colorado 300 σε συντεταγμένες ΕΓΣΑ 87. Οι μετρήσεις στάθμης πραγματοποιούνταν με ηλεκτρικό σταθμήμετρο μήκους 30 m, της εταιρίας GEONSENSE, μοντέλο DIP 30. Η χωροθέτηση πραγματοποιήθηκε με διαφορικό GPS Topcon Hiper SR (δέκτης) & Topcon FC-336 (χειριστήριο). Τα δείγματα συλλέχθηκαν σε πλαστικά μπουκάλια 1,5l.

Στον Πίνακα I φρεάτων απογραφής του παραρτήματος παρουσιάζονται οι συντεταγμένες του κάθε υδροσημείου, το υψόμετρο του και οι μηνιαίες μετρήσεις στάθμης. Σε ορισμένες περιπτώσεις, όπου η μέτρηση δεν πραγματοποιήθηκε για διάφορους λόγους (πχ άντληση), η τιμή έχει συμπληρωθεί με βάση είτε την αναμενόμενη από την πορεία πτώσης στάθμης του, είτε από παρεμβολή με κάποιο διπλανό γνωστό υψόμετρο. Τα αποτελέσματα της πιεζομετρίας παρουσιάζονται σε επόμενα κεφάλαια.

Τα αποτελέσματα της δοκιμαστικής άντλησης και η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την εύρεση των υδραυλικών χαρακτηριστικών του φρεάτος αναλύονται σε επόμενο κεφάλαιο. Τέλος, οι χημικές

αναλύσεις των δειγμάτων που διεξήχθησαν από τον συνάδελφο Μανώλη Μελά (Μελάς 2014) σχολιάζονται σε επόμενα κεφάλαια.

5.1. Εκτέλεση Δοκιμαστικής Άντλησης

Η **μεταβιβαστικότητα** (transmissivity) T του υδροφόρου ορίζοντα είναι το γινόμενο της περατότητας k επί το πάχος του υδροφόρου στρώματος D

$$T = k \times D \text{ (m}^2\text{/s)}$$

Η μεταβιβαστικότητα εκφράζει την ταχύτητα μεταβίβασης των φορτίων ή της κυκλοφορίας του νερού υπό την επίδραση των δυνάμεων βαρύτητας μέσα στον υδροφόρο ορίζοντα. Συνήθως εκφράζεται σε μονάδες m^2/s . Μεγάλες σχετικώς τιμές, μεγαλύτερες από $1 \cdot 10^{-2} m^2/s$ αντιστοιχούν σε στρώματα με μεγάλη σχετικώς περατότητα και πάχος, που συνήθως δίνουν υψηλές παροχές με μικρή πτώση στάθμης.

Ο **συντελεστής εναποθήκευσης** (storage coefficient) S είναι ένα αδιάστατο μέγεθος που εκφράζει την ποσότητα του νερού (σε m^3) που απελευθερώνεται από μια κολώνα του υδροφόρου ορίζοντα διατομής $1 m^2$, όταν το φορτίο ή η στάθμη του νερού μέσα στον υδροφόρο ορίζοντα (στην κολώνα) υποβιβασθεί κατά $1 m$. Στους ελεύθερους υδροφόρους ορίζοντες ισοδυναμεί με το ενεργό πορώδες του πετρώματος. Στους υπό πίεση υδροφόρους ορίζοντες αντιστοιχεί στο νερό που απελευθερώνεται από την αποσυμπίεση του μέσου (νερού των πόρων και στερεάς μάζας του πετρώματος). Δεχόμαστε ότι το όριο μεταξύ ελεύθερων και υπό πίεση υδροφόρων οριζόντων αντιστοιχεί σε τιμή $S = 1 \times 10^{-3}$.

Οι δοκιμαστικές αντλήσεις που πραγματοποιούνται στις γεωτρήσεις δίνουν την δυνατότητα υπολογισμού των υδραυλικών χαρακτηριστικών του υδροφόρου ορίζοντα T και S , ώστε να είναι δυνατός ο σχεδιασμός των νέων έργων και η πρόβλεψη της συμπεριφοράς τους.

Συνήθως, για την ερμηνεία των δοκιμαστικών αντλήσεων χρησιμοποιείται η μέθοδος **Cooper-Jacob (1964)**, σύμφωνα με την οποία κατασκευάζεται ένα διάγραμμα της στάθμης ή της πτώσης στάθμης (στον άξονα Y , σε αριθμητική κλίμακα), συναρτήσεως του χρόνου άντλησης (σε λογαριθμική κλίμακα στον άξονα X του διαγράμματος). Θεωρητικά, τα σημεία των μετρήσεων θα πρέπει να διατάσσονται επί μιας ευθείας, η κλίση της οποίας (ως προς το άξονα X) μας επιτρέπει να υπολογίσουμε την μεταβιβαστικότητα T .

Ο υπολογισμός της μεταβιβαστικότητας T και του συντελεστή εναποθήκευσης S γίνεται σύμφωνα με τις παρακάτω εξισώσεις:

$$T = \frac{0,183Q}{\Delta\delta} \quad (m^2/s) \quad S = \frac{2,25Tt_0}{x^2}$$

όπου το $\Delta\delta$ αντιστοιχεί στην κλίση της ευθείας του γραφήματος και το $x=R$ αντιστοιχεί στην απόσταση επίδρασης της γεώτρησης ή την απόσταση του πιεζόμετρου.

Η παραπάνω μέθοδος έχει εφαρμογή, όταν η παροχή διατηρείται σταθερή σε όλη την διάρκεια της άντλησης και ο χρόνος είναι σχετικά μεγάλος. (Βουδούρης 2011)

Η απόσταση R μπορεί να υπολογίζεται σε κάθε βήμα της δοκιμαστικής άντλησης από την σχέση:

$$R = 1,5\sqrt{\frac{Tt}{S}} \quad (m)$$

(με σφάλμα καθώς δεν ισχύει το πρότυπο Jacob).

Ο υπολογισμός των υδραυλικών παραμέτρων μπορεί να γίνει και από την ανάλυση του υδρογραφήματος της επαναφοράς ή επανόδου της στάθμης μετά την διακοπή της άντλησης στην γεώτρηση. Γραφικά, αν t' ο χρόνος έναρξης της επαναφοράς της στάθμης, τότε όπως και προηγουμένα σε ημιλογαριθμικό χαρτί παρίσταται στον κάθετο άξονα η πτώση στάθμης και στον οριζόντιο ο λογάριθμος του χρόνου ($\log [(t+t')/t']$), όπου t ο χρόνο έναρξης της άντλησης. Ομοίως, όπως και κατά την άντληση η κλίση της «ευθείας» που προκύπτει μας επιτρέπει να υπολογίσουμε την μεταβιβαστικότητα T σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο:

$$T = \frac{0,183Q}{\Delta\delta'} \quad (m^2/s)$$

όπου το $\Delta\delta'$ αντιστοιχεί στην κλίση της ευθείας του γραφήματος επαναφοράς στάθμης. Ας σημειωθεί ότι κατά την επάνοδο της στάθμης δεν μπορεί να υπολογισθεί ο συντελεστής εναποθήκευσης S .

Προκειμένου να προσδιορισθούν τα υδραυλικά χαρακτηριστικά του υδροφόρου απαιτούνται δεδομένα δοκιμαστικών αντλήσεων, τα οποία δεν υπάρχουν στην βιβλιογραφία. Διενεργήθηκε μια δοκιμαστική άντληση στην περιοχή μελέτης, αν και αρχικά είχαν κανονιστεί δύο και σε διαφορετικές περιοχές.

Η δοκιμαστική άντληση έλαβε χώρα στο πηγάδι που διαθέτει το κτήμα του κ. Σίνα Γιώργου εντός της περιοχής του μοντέλου στην περιοχή Καστέλα Ψαχνών. Η δοκιμαστική άντληση διήρκησε 2,5 ώρες (αποκαλύφθηκε επικίνδυνα η αντλία) και η παροχή μετρούνταν με έμμεσο τρόπο ανά διαστήματα καθώς η αντλία δεν είχε υδρομέτρη. Δηλαδή, αποσυνδεόταν ο σωλήνας από το σύστημα και

κατευθύνονταν τα νερά σε δεξαμενή μικρής χωρητικότητας, $0,2 \text{ m}^3$, όπου και καταμετρούταν ο χρόνος για να γεμίσει.

Παράλληλα με τις μετρήσεις πτώσεις στάθμης καταγραφόταν η αγωγιμότητα ανά διαστήματα καθώς η έξοδος του νερού δεν ήταν μακριά. Ο πίνακας II μετρήσεων δοκιμαστικής άντλησης του παραρτήματος περιέχει όλες τις μετρήσεις στάθμης (λεπτού, 5λέπτου, 10λέπτου) κατά την άντληση και την επαναφορά στάθμης.

Προκειμένου να κατασκευασθούν τα ανωτέρω από την θεωρία διαγράμματα υπολογίστηκε η μέση παροχή άντλησης, αφού ακολουθήθηκαν τα εξής βήματα:

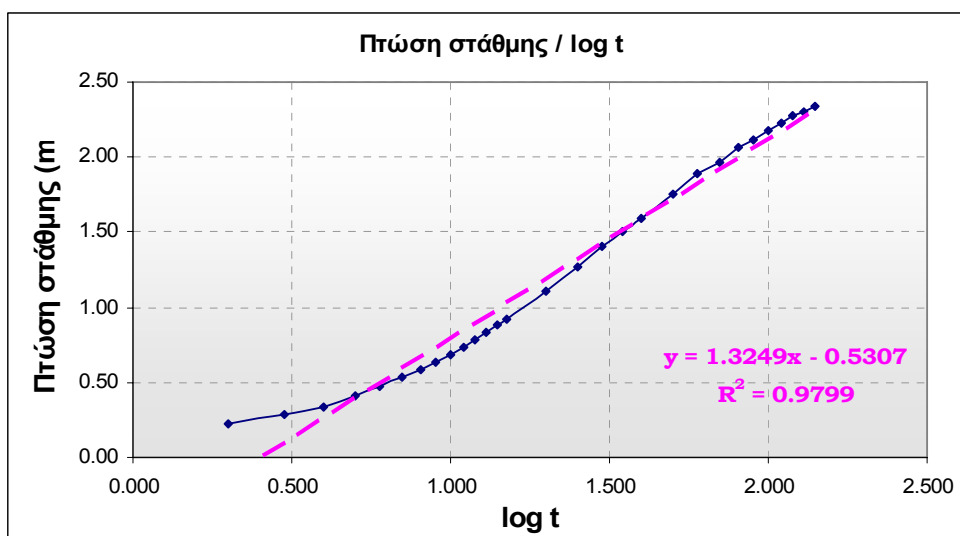
Υπολογίστηκε η μέση παροχή από τις επιμέρους μετρήσεις: $26,57 \text{ m}^3/\text{h}$

Υπολογίστηκε ο αντλούμενος όγκος νερού: $26,57 \times 2,3\text{h} = 61,12 \text{ m}^3$

Από την ακτίνα ($0,91\text{m}$) του πηγαδιού και την συνολική πτώση στάθμης ($2,33\text{m}$) υπολογίστηκε ο όγκος νερού του πηγαδιού: $\pi \times 0,91^2 \times 2,33 = 6,06 \text{ m}^3$

Από τον συνολικό όγκο αφαιρέθηκε ο όγκος του νερού του πηγαδιού και από την διάρκεια υπολογίστηκε η πραγματική μέση παροχή: $Q = 23,94 \text{ m}^3/\text{h}$ ή $Q = 0,006655 \text{ m}^3/\text{sec}$

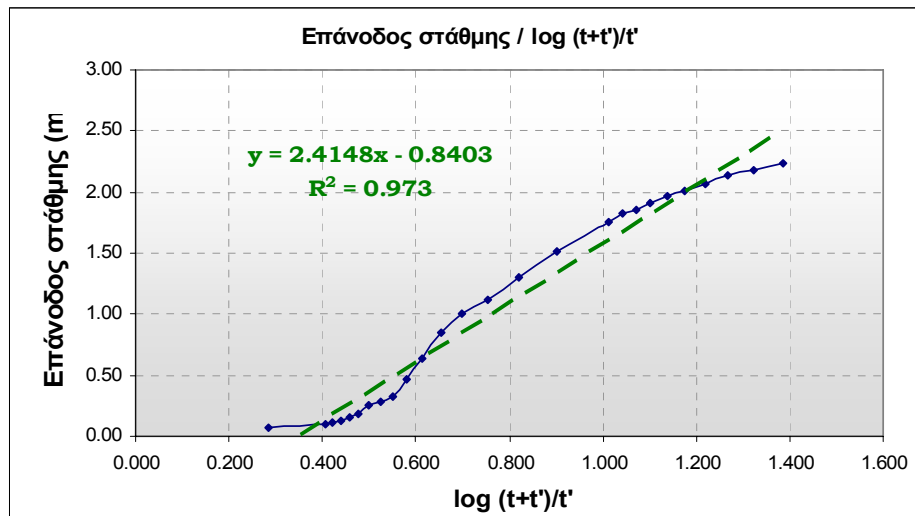
Κατασκευάστηκαν τα διαγράμματα πτώσης στάθμης (σχ. 3) και επανόδου (σχ. 4) και από την κλίση της ευθείας προσδιορίστηκε η μέση τιμή της μεταβιβαστικότητας T και ο συντελεστής εναποθήκευσης S .



Σχήμα 3 - Διάγραμμα πτώσης στάθμης δοκιμαστικής άντλησης

$$T = (0.183 Q) / \Delta\delta = (0.183 \times 23.94) / 1.3249 = 9,19 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{sec}$$

$$S = 2,25 * T * t_0 / r^2 = 7,35 \times 10^{-4}$$



Σχήμα 4 - Διάγραμμα επανόδου στάθμης δοκιμαστικής άντλησης

$$T' = (0.183 Q) / \delta' * \log (t/t') = 5 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{sec}$$

$$T = (T+T')/2 = 7 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{sec}$$

Η μέση τιμή λοιπόν της μεταβιβαστικότητα είναι $7 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{sec}$.

Η τιμή αυτή προσεγγίζει τις τιμές καρστικών υδροφόρων, μεσαίας δυναμικότητας και όχι προσχωματικό όπως στην παρούσα περίπτωση. Αυτό μπορεί να οφείλεται είτε στις πραγματικά καλές ιδιότητες από πλευράς δυναμικής του υδροφόρου είτε σε αδυναμία προσδιορισμού λόγω μοναδικότητας του πειράματος.

Ας σημειωθεί ότι το φρέαρ της άντλησης δεν διαπερνούσε πλήρως το αναμενόμενο πάχος (30μ.) του υδροφόρου, αλλά ένα μέρος του. Τα αποτελέσματα των δοκιμαστικών αντλήσεων είναι πιο αποτελεσματικά όταν καλύπτουν όλο το πάχος του υδροφόρου στρώματος. Αυτό φυσικά δεν είναι πάντα δυνατό ή απαραίτητο να συμβαίνει σε μια περιοχή.

Οι παραπάνω τιμές αποτελούν όμως μια καλή τάξη μεγέθους, αν σκεφτεί κανείς τις πρακτικές υπεράντλησης από μικρού βάθους γεωτρήσεις που πραγματοποιούνται στον κάμπο των Ψαχνών.

5.2. Μετρήσεις στάθμης - Πιεζομετρία φρεάτιου υδροφόρου

Στο στάδιο συλλογής στοιχείων και βιβλιογραφίας εντοπίστηκαν στάθμες φρεάτων στην περιοχή μελέτης (εντός ορίων της περιοχής εφαρμογής του μοντέλου) και αξιολογήθηκαν προκειμένου να αποκομιστούν στοιχεία για την εφαρμογή του MODFLOW, αλλά και για την γενικότερη κατανόηση της πιεζομετρίας της περιοχής.

Τα στοιχεία αυτά προέρχονται από τις προηγούμενες μελέτες που έχουν διεξαχθεί στην περιοχή ενδιαφέροντος από το ΙΓΜΕ και από το Υπ. Γεωργίας. Πιο συγκεκριμένα:

- ο στάθμες περιόδου: Απρίλιος 1982 έως Οκτώβριος 1983 (Υδροέρευνα 1991)
- ο στάθμες περιόδου: Οκτώβριος 1989 έως Μάιος 1991 (Υδροέρευνα 1991)
- ο στάθμες περιόδου: Απρίλιος 2002 έως Μάρτιος 2003 (Τσιούμας, Ζόραπας 2004)

Οι στάθμες αυτές, μαζί με αυτές που συλλέχθηκαν, αντί να παρουσιαστούν σε διάγραμμα θα παρουσιαστούν υπό την μορφή μικρών χαρτών², προκειμένου να γίνει αντιληπτή η γενική πορεία της πιεζομετρίας η οποία αφορά και την προσομοίωση (Σχ. 5 & 6). Ας σημειωθεί, ότι για λόγους κοινής ανάγνωσης των σχημάτων, κάθε χρώμα αντιπροσωπεύει την ίδια τιμή απόλυτης στάθμης σε κάθε σχήμα (πχ το έντονο γαλάζιο συμβολίζει τιμές 4-5μ. απόλυτου υψομέτρου στάθμης).

Από τις μετρήσεις υπαίθρου έγινε γνωστό ότι η στάθμη σε περιοχές στον κάμπο είναι αρνητική, και μάλιστα αποκαλύπτεται ήδη από τον Μάρτιο. Αυτό παρατηρείται στις στάθμες της ξηρής περιόδου και από άλλους μελετητές. Η αρνητική μηνιαία στάθμη αυτή εξαπλώνεται όσο προχωράει η ξηρά περίοδος, καταλαμβάνοντας μεγαλύτερη έκταση. Παρόλα αυτά, τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων κάποιων δειγμάτων (Μελάς 2014) στις περιοχές αυτές παρουσιάζουν σχετικά καλύτερη ποιοτική σύσταση, σε σύγκριση με δείγματα που προέρχονται ενδοχωρική περιοχή, όπου η υφαλμύριση τους, λόγω διείσδυσης της θάλασσας είναι εμφανής.

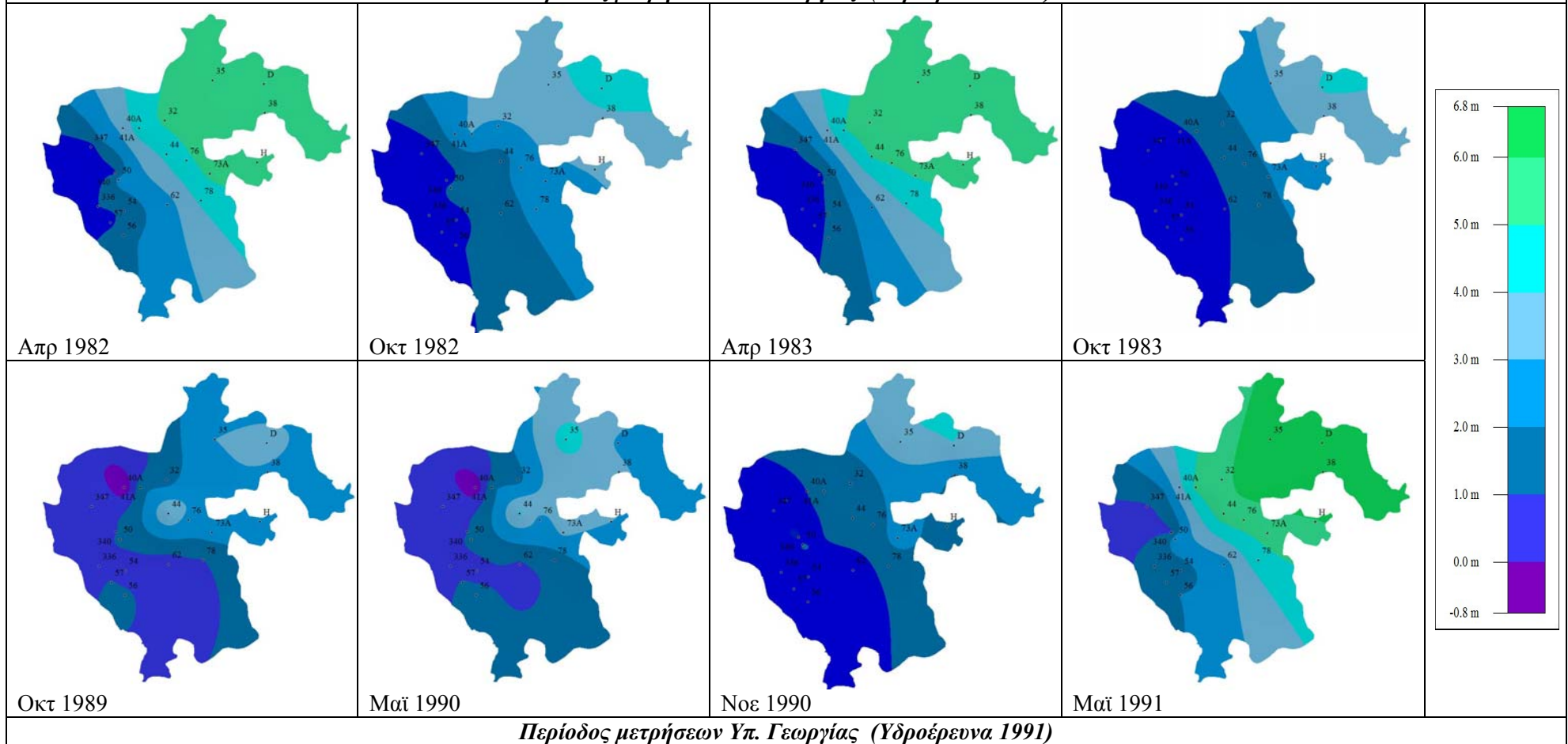
Θα ανέμενε κανείς, στα εσωτερικότερα τμήματα του κάμπου να εντοπίζονται υπόγεια νερά, αν όχι ίδια, τουλάχιστον καλύτερης ποιοτικής σύστασης. Η κατάσταση αυτή συνδυάζεται με τις διευθύνσεις των υπογείων ροών που επηρεάζονται από την υπερεκμετάλλευση του υδροφορέα και προφανώς και από την ανάπτυξη του καρστικού συστήματος της πηγής του Κολοβρέχτη (βάλτος).

² Οι «χάρτες» αυτοί προέκυψαν κατόπιν παρεμβολής με το λογισμικό Surfer 8 και την ρουτίνα Simple Krigging. Συνήθως, η μεθοδολογία παρεμβολής που ακολουθείται, είναι με μέσω του αντιστρόφου τετραγώνου της απόστασης (inverse distance weighting - IDW) ή της μεθόδου του πλησιέστερου σημείου (nearest neighbour). Επιλέχθηκε η μέθοδος Simple Krigging με δεδομένες τιμές που πρότεινε το λογισμικό, μόνο και μόνο για λόγους καλύτερης παρουσίασης των αποτελεσμάτων. Οι χάρτες αυτοί παρουσιάζουν κάποια προβλήματα, εκεί όπου τα δεδομένα εκλείπουν, αλλά αυτό δεν αλλάζει την γενική εικόνα όπως θα δούμε αμέσως μετά. Κατά την ανάγνωση εξάλλου, κανείς αντιλαμβάνεται που βρίσκονται τα προβλήματα αυτά - ουράνια τόξα.

Σε κάθε περίπτωση όπως φαίνεται από τα παρακάτω χωρικά γραφήματα όλοι σχεδόν οι μελετητές συναντούν την αρνητική πιεζομετρία.

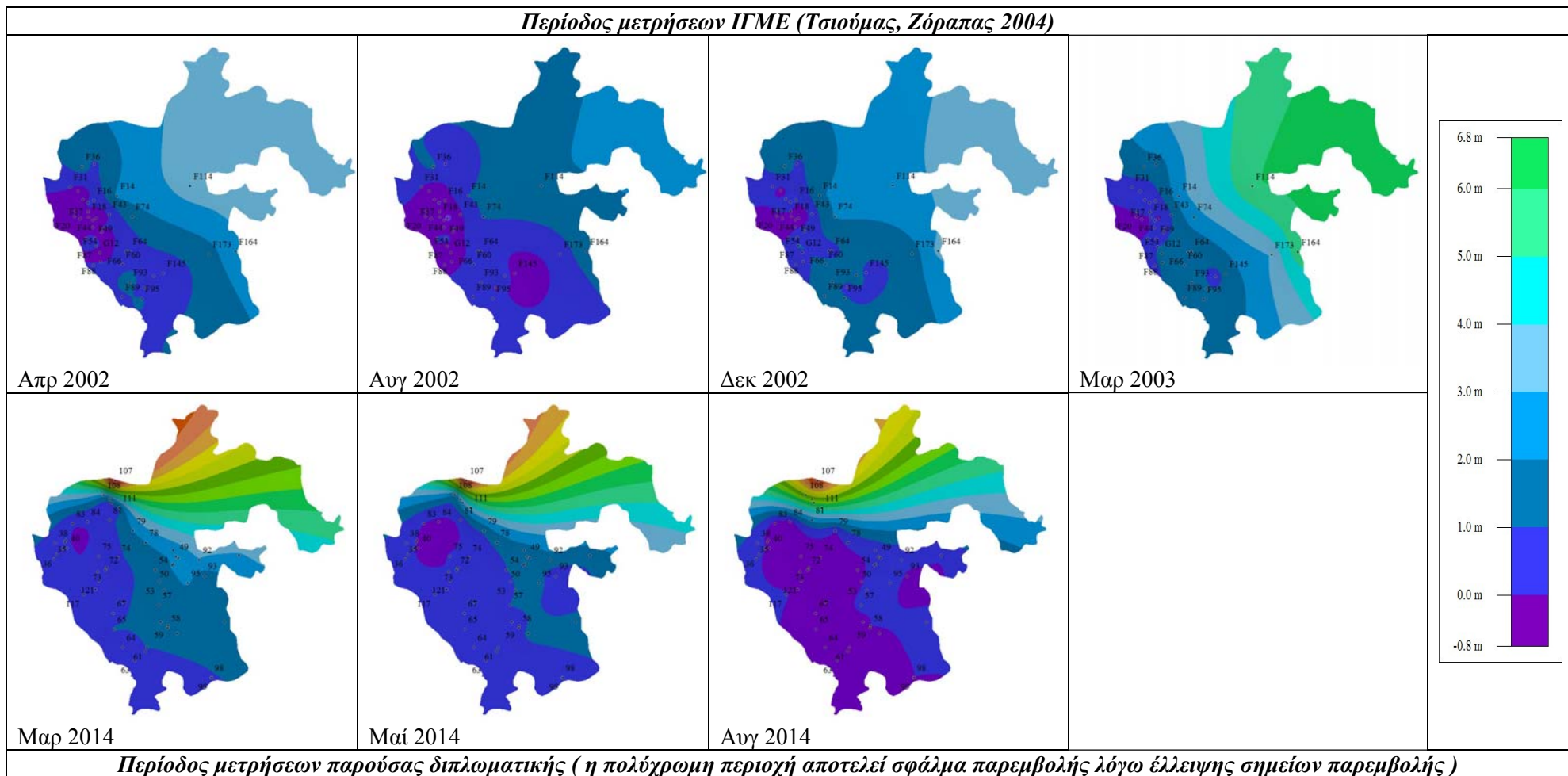
Η αναπλήρωση του συστήματός ενίοτε αργεί (περίοδος 2002-2003) και αυτό μάλλον οφείλεται στην παρατεταμένη αντλητική περίοδο λόγω της παρατεταμένης άνυδρης περιόδου (καθυστέρηση των βροχοπτώσεων). Τέλος τα χαμηλά πιεζομετρικά επίπεδα στα δυτικά της περιοχής οφείλονται στα χαμηλά υψόμετρα που έχει διαμορφώσει η κοίτη του Μεσάπιου καθώς και σε συγκέντρωση βιομηχανιών (μεγάλων καταναλωτών) στην περιοχή αυτή.

Περίοδος μετρήσεων Υπ. Γεωργίας (Υδροέρευνα 1991)



Περίοδος μετρήσεων Υπ. Γεωργίας (Υδροέρευνα 1991)

Σχήμα 5 - Χωρικά διαγράμματα πιεζομετρίας (α)



Σχήμα 6 - Χωρικά διαγράμματα πιεζομετρίας (8)

6. Εισαγωγή στο πρόγραμμα MODFLOW

6.1. Λογισμικό πακέτο MODFLOW.

Το MODFLOW αποτελεί ένα «πρόγραμμα» που περιλαμβάνει ανεξάρτητα υπολογιστικά πακέτα που δύναται να εκτελέσουν τις απαραίτητες λειτουργίες προσομοίωσης, οι οποίες στηρίζονται στη μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών.

Αποτελεί ένα πρόγραμμα προσομοίωσης υδροφόρων συστημάτων και για την ορθή εφαρμογή του, είναι απαραίτητη η πλήρης γνώση των υδρολογικών, υδρογεωλογικών και υδραυλικών χαρακτηριστικών των υπό μελέτη υδροφόρων συστημάτων.

Αποτελεί το πιο διαδεδομένο μοντέλο προσομοίωσης της ροής σε ένα πορώδες μέσο και βασίζεται στην αριθμητική επίλυση της διαφορικής εξίσωσης, που προκύπτει από την εφαρμογή του νόμου του Darcy και παράλληλα από τη χρήση της εξίσωσης διατήρησης της μάζας. Η ολοκληρωμένη έκφραση του ονόματος του υπολογιστικού πακέτου είναι Modular three dimensional finite difference ground water flow model.

Στη γενική περίπτωση που το μέσο είναι ανομοιογενές και ανισότροπο, η κίνηση του υπόγειου νερού περιγράφεται από την παρακάτω τρισδιάστατη εξίσωση με μερικές παραγώγους (Bear 1972)

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) - W = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (1)$$

όπου:

K_{xx} , K_{yy} , K_{zz} : οι τιμές της υδραυλικής αγωγιμότητας κατά μήκος των αξόνων X, Y, Z, αντίστοιχα, σε μονάδες $[LT^{-1}]$,

h: το πιεζομετρικό φορτίο σε [L],

W: οι εξωτερικές εισροές ή εκροές νερού ανά μονάδα όγκου $[T^{-1}]$,

S_s : η ειδική αποθηκευτικότητα του πορώδους μέσου $[L^{-1}]$ ή το αποτελεσματικό πορώδες ανά μέτρο βάθους του υδροφορέα,

t: ο χρόνος [T].

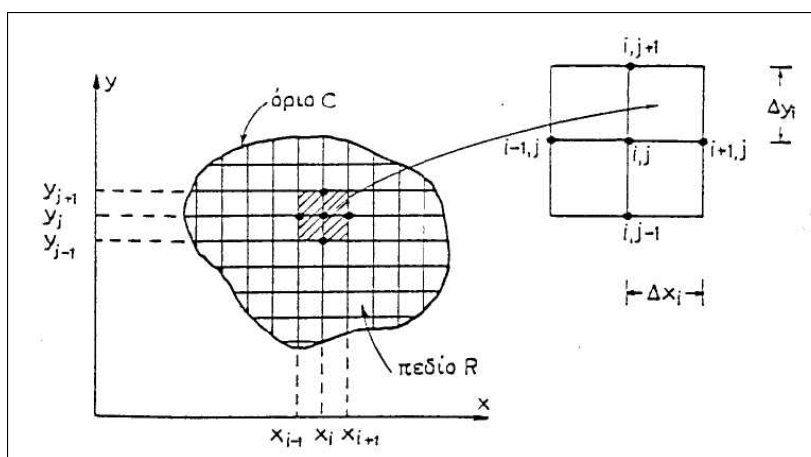
Η παραπάνω εξίσωση (1) ισχύει υπό την προϋπόθεση ότι οι κύριοι άξονες της υδραυλικής αγωγιμότητας ταυτίζονται με τους άξονες του καρτεσιανού συστήματος συντεταγμένων (X, Y, Z) και είναι η εξίσωση στην οποία στηρίζεται το πρόγραμμα.

Η εφαρμογή λαμβάνει χώρα στο κέντρο των κυψελίδων (κελιών), προσχηματισμένου από τον χρήστη κάναβου. Η παραπάνω διαδικασία προσομοιώνει την κίνηση του υπόγειου νερού σε πορώδες μέσο και η προσομοίωση πραγματοποιείται στην κορεσμένη ζώνη του πορώδους μέσου (Chiang, 2005).

Ο βασικός στόχος των μεθόδων πεπερασμένων διαφορών είναι να προσεγγισθούν οι μερικές παράγωγοι στη διαφορική εξίσωση που επιλύεται από αντίστοιχους όρους διαφορών. Η εξίσωση διαφορών, που προκύπτει με τον τρόπο αυτό, γράφεται για έναν πεπερασμένο αριθμό χαρακτηριστικών σημείων του πεδίου, καταλήγοντας έτσι σε ένα σύστημα αλγεβρικών εξισώσεων που είναι δυνατό να λυθούν πιο εύκολα απ' ό,τι η αρχική διαφορική εξίσωση.

Για να υλοποιηθεί η αριθμητική διακριτοποίηση της διαφορικής εξίσωσης πρέπει κατ' αρχήν να διακριτοποιηθεί το πεδίο ροής. Αν λοιπόν στο επίπεδο x-y ορισθεί το πεδίο ροής, R, με το όριο του, C, η διακριτοποίηση γίνεται χαράζοντας ένα ορθογωνικό δίκτυο γραμμών, παράλληλων προς τους δύο άξονες x και y, που ονομάζεται κάναβος (σχ. 6). Οι άξονες αυτοί τοποθετούνται συνήθως παράλληλα προς τις δύο κύριες διευθύνσεις της ροής ώστε να υπάρχει η δυνατότητα απλοποίησης των όρων των διαφορικών εξισώσεων.

Ο κάναβος που χαράζεται δεν πρέπει υποχρεωτικά να είναι τετραγωνικός, να ισχύει δηλαδή η σχέση $\Delta x_i = \Delta y_i$ για κάθε i (σχ. 7), ούτε είναι απαραίτητο να παραμένουν σταθερές οι ισοδιαστάσεις Δx_i και Δy_i σε όλη την έκταση του πεδίου. Τέλος, για μη μόνιμα προβλήματα, το συνολικό χρονικό διάστημα μελέτης του προβλήματος διακριτοποιείται σε χρονικά βήματα, Δt , που επίσης δεν είναι απαραίτητο να είναι ίσα μεταξύ τους. (Λατινόπουλος & Θεοδοσίου, 2007)



Σχήμα 7 - Τοπική μορφή κανάβου πεπερασμένων διαφορών (πηγή εικόνας: Λατινόπουλος & Θεοδοσίου, 2007)

Η βασική εξίσωση πεπερασμένης διαφοράς που χρησιμοποιεί το MODFLOW θεωρώντας ότι η πυκνότητα του υγρού παραμένει σταθερή είναι:

$$\sum Q_i = S_s \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \Delta V \quad (2)$$

Όπου:

S_s: η ειδική αποθηκευτικότητα του πορώδους υλικού (m⁻¹).

Q_i: ο συνολικός ρυθμός παροχής σε κάθε κυψελίδα (m³/s).

ΔV: ο όγκος της κυψελίδας (m³).

ΔΦ: η μεταβολή του υδραυλικού φορτίου για χρονικό διάστημα Δt (m).

Τα αποτελέσματα που παρέχει το πρόγραμμα είναι καναβικής μορφής τιμές υδραυλικού φορτίου (ή χημικής συγκέντρωσης) σε κάθε χρονικό βήμα που έχει επιλέξει ο χρήστης. Επίσης κάθε προσομοίωση συνοδεύεται από ένα αρχείο με στοιχεία υδατικού ισοζυγίου για το σύνολο των ενεργών κελιών.

Τέλος, το πρόγραμμα διαθέτει μια ρουτίνα ρύθμισης (calibration). Η ρουτίνα αυτή καλείται PEST (Parameter Estimation) και αφορά μια διαδικασία γνωστή ως «Αντίστροφο πρόβλημα» (inverse modeling). Πρόκειται για μια διαδικασία που βασίζεται και αυτή στην μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών, η οποία διεξάγει στατιστικά τεστ σε ένα εύρος τιμών που του ορίζει ο χρήστης για μία παράμετρο ή για ένα γκρουπ παραμέτρων. Η ρουτίνα αυτή για δεδομένες τελικές συνθήκες (σημεία ελέγχου) προσδιορίζει την βέλτιστη στατιστικά αποδεκτή τιμή παραμέτρου, η οποία μπορεί να έχει αρχικές συνθήκες αυτές που του έχει δώσει ο χρήστης. Η διαδικασία μοιάζει πολύ με την διαδικασία δοκιμή-λάθος-δοκιμή, απλά σε κάθε βήμα διεξάγεται στατιστικός έλεγχος αποτελεσμάτων. Τελικά προκύπτει μια τιμή αποδεκτή από την ρουτίνα με διαστήματα εμπιστοσύνης και συντελεστή συσχέτισης.

Περισσότερες τεχνικές λεπτομέρειες, σχετικά με το πρόγραμμα MODFLOW και την ρουτίνα PEST μπορεί κανείς να διαβάσει στο τεχνικό εγχειρίδιο του προγράμματος (Michael G et al. 1984), αλλά και σε πλήθος ανακοινώσεων σχετικές με την μέθοδο ή το πρόγραμμα.

Το μοντέλο παρέχει πολλά πλεονεκτήματα, υποστηρίζεται και από το Αμερικάνικο Γεωλογικό Ινστιτούτο, ενώ συνοδεύεται από πλήρη εγχειρίδιο χρήσης από το 1983. Η χρήση του είναι διαδεδομένη παγκοσμίως καθιστώντας το αξιόπιστο (δεδομένου της ορθής χρήσης) και τέλος, διατίθενται δωρεάν εκδόσεις του σε παραθυρικό περιβάλλον windows. Μια τέτοια εφαρμόζεται και στην παρούσα εργασία. Το πακέτο PMWIN (Processing MODFLOW Windows) στην έκδοση 5.3 (Chiang, W. et al. 1998).

Σχετικά με τα μειονεκτήματα της χρήσης του μοντέλου, θα πρέπει να αναφερθεί αρχικά, πως η αξιοπιστία της προσομοίωσης με τη χρήση του MODFLOW, κατά βάση εξαρτάται από την ομοιογένεια του υδροφόρου συστήματος το οποίο προσομοιώνεται καθώς επίσης και από την αξιοπιστία των εισαγόμενων στοιχείων στο υπολογιστικό πακέτο. Οι υδρολογικές και υδραυλικές παράμετροι, το εισαγόμενο υδραυλικό φορτίο, και οριακές συνθήκες, διαδραματίζουν κατά συνέπεια σημαντικό ρόλο στην εξαγωγή αξιόπιστων αποτελεσμάτων και αντικειμενικά αποδεκτών λύσεων στην περίπτωση επίλυσης προβλημάτων ρύπανσης ή προβλημάτων σταδιακής μεταβολής των υδρολογικών παραμέτρων. Ως αποτέλεσμα των προαναφερθέντων, η ενδεχόμενη αναξιόπιστία ενός εισαγόμενου στοιχείου δύναται να επηρεάσει σε σημαντικό βαθμό το τελικό αποτέλεσμα της προσομοίωσης και είναι αρκετή να καταστήσει αναξιόπιστη ολόκληρη τη διαδικασία. Επίσης οι τιμές των ρυθμίσεων μπορεί να μην έχουν καμία σχέση με την πραγματικότητα, καθώς πρόκειται για μια «μαθηματική» επίλυση η οποία μόνο για τον χρήστη συμβολίζει κάτι, πχ. τιμές ενεργού πορώδους ίσον με ένα..

Ο χρήστης καλείται να δώσει μεγάλη σημασία σε όλα τα παραπάνω στοιχεία πραγματοποιώντας πριν την προσομοίωση μια διαδικασία που στην γλώσσα των μοντελιστών καλείται Κατάστρωση Εννοιολογικού Μοντέλου.

6.2. Κατάστρωση εννοιολογικού μοντέλου

Προκειμένου να προσομοιωθεί με το καλύτερο τρόπο ένα υδατικό σύστημα καταστρώνεται το εννοιολογικό μοντέλο. Αυτό γενικά, έχει την έννοια της αντιστοίχισης μιας παραμέτρου του υδατικού συστήματος σε όρους μαθηματικούς και σε όρους λογισμικού. Έχει ιδιαίτερη σημασία η κατασκευή του, καθώς δεν μπορεί να μοντελοποιηθεί σε πλήρη κλίμακα η πολυπλοκότητα της πραγματικής κατάστασης του συστήματος.

Η μετατροπή των γεωμετρικών, υδρολογικών, υδρογεωλογικών και γεωλογικών χαρακτηριστικών του υπό μελέτη συστήματος σε μαθηματική μορφή, αποδεκτή από το λογισμικό πακέτο MODFLOW, αποτελεί το βασικό στόχο υλοποίησης του συγκεκριμένου εννοιολογικού μοντέλου.

Τα υδρολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής περιλαμβάνουν παραμέτρους, όπως η βροχόπτωση, η κατείδυση υδάτων επιφανειακής απορροής, η πλευρική είσοδος υδάτων από γειτονικές λεκάνες και οι αντλήσεις. Τα υδρογεωλογικά και γεωλογικά χαρακτηριστικά περιλαμβάνουν παραμέτρους, όπως υδραυλική αγωγιμότητα, υδροπερατότητα, στάθμες υπόγειου υδροφόρου κλπ.

6.2.1. Γεωμετρία του υδροφόρου

Αρχικά λοιπόν δημιουργήθηκε μια περιοχή 7,5 x 7,5 km, η οποία περικλείει το όριο του προσχωματικού υδροφόρου έκτασης περίπου 21 km² του κάμπου των Ψαχνών. Η περιοχή αυτή χωρίζεται σε τετραγωνικό κάναβο, διάστασης κελιού ίση με 50m., 150 σειρές (rows) x 150 κολόνες (columns). Η διάσταση αυτή του κελιού επιλέχθηκε για λόγους καλύτερης διακριτοποίησης, παρόλο που στην συνέχεια είναι δυνατή η περαιτέρω διακριτοποίηση του αρχικού κανάβου (αλλά η τελευταία δεν κρίθηκε αναγκαία). Η διάσταση των 50m είναι βολική γιατί είναι λίγο μικρότερη από την μικρότερη κατεγραμμένη απόσταση υδροσημείων στην περιοχή.

Από δεδομένα του τοπογραφικού ανάγλυφου (χάρτες ΓΥΣ 1/5.000) δημιουργήθηκε το υψομετρικό ανάγλυφο της περιοχής σε κάναβο 50m το οποίο και χρησιμοποιήθηκε στο μοντέλο αν και δεν συνεισφέρει πολλά στους υπολογισμούς.³

Από μαρτυρίες καλλιεργητών της περιοχής έγινε γνωστό ότι το πάχος του υδροφόρου στρώματος είναι περίπου 35m, οπότε στο μοντέλο εισήχθηκε η τιμή -30m στα παραλιακά τμήματα (μεγάλο μέρος του μοντέλου βρίσκεται στην παραλιακή ζώνη όπου τα υψόμετρα δεν ξεπερνούν τα 5μ.), -25m στο κεντρικό τμήμα και -20m στα BBA τμήματα. Δόθηκε δηλαδή μια μικρή κλίση η οποία στο μοντέλο ερμηνεύεται σαν ομοιόμορφο πάχος υδροφόρου στρώματος, ενώ παράλληλα προσομοιώνει την πραγματική συνθήκη, κατά την οποία συνηθίζεται να παρατηρείται αύξηση του πάχους των προσχώσεων στα χαμηλότερα υψόμετρα.

Η περιοχή καλύπτεται από αλλούβια ιζήματα (προσχώσεις) Τεταρτογενούς ηλικίας σε όλη την έκταση προσομοίωσης (ή τουλάχιστον έτσι θεωρείται), εντός των οποίων αναπτύσσεται η φρεατία υδροφορία. Επιλέχθηκε η προσομοίωση ενός στρώματος ισότροπου φρεατίου ορίζοντα (1 layer unconfined) με ομοιόμορφη τιμή μεταβιβαστικότητας (transmissivity) που ορίζεται από τον χρήστη (αν και στην πραγματικότητα η μεταβιβαστικότητα μπορεί να διαφοροποιείται στον χώρο, σε όρους μοντέλου, η διαδικασία αυξάνει την πολυπλοκότητα για το επίπεδο της παρούσας εργασίας).

6.2.2. Οριακές συνθήκες του μοντέλου

Στα περιθώρια της περιοχής προσομοίωσης οι προσχώσεις έρχονται σε επαφή με τους Κρητιδικούς ασβεστόλιθους (NΔ και Β), τους οφιόλιθους και τελικά με την θάλασσα (Σχ.8)

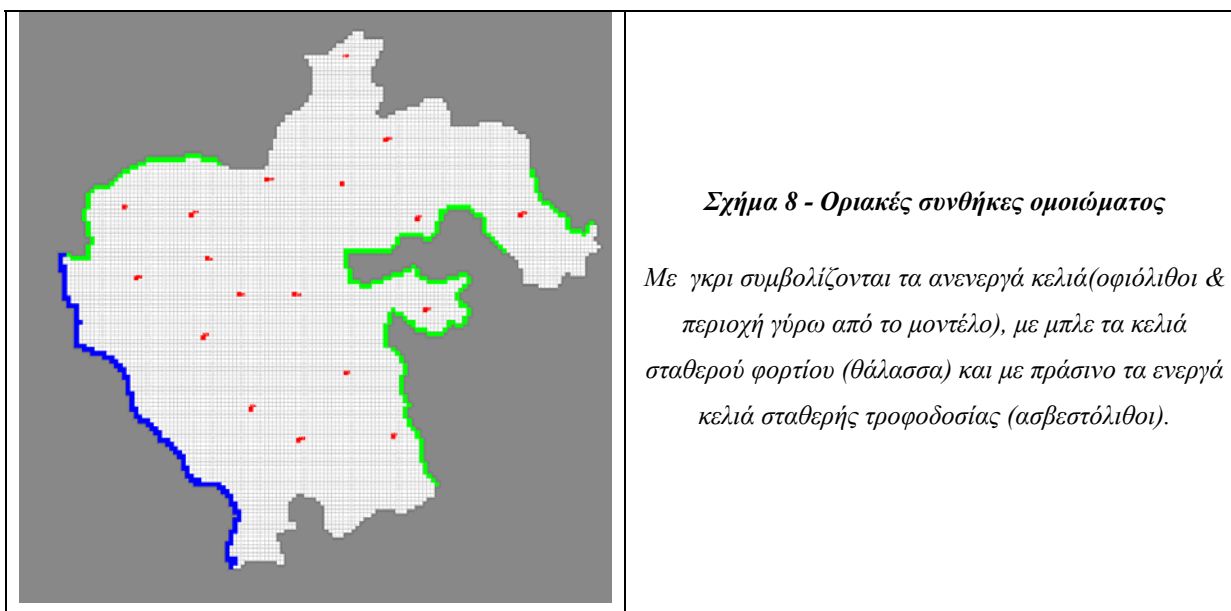
Οι οριακές συνθήκες ρυθμίζουν τις ανταλλαγές ύδατος του μοντέλου με το περιβάλλον. Στον προσχωματικό υδροφόρο των Ψαχνών, οι ανταλλαγές αυτές θεωρείται ότι λαμβάνουν χώρα α) στην

³ Η τοπογραφική επιφάνεια συνεισφέρει στην περίπτωση όπου η τιμή της μεταβιβαστικότητας (transmissivity) του υδροφόρου δεν εισάγεται από τον χρήστη αλλά υπολογίζεται από το λογισμικό (ως γινόμενο του κορεσμένου πάχους του υδροφόρου επί την υδραυλική αγωγιμότητα,) κάτι που δεν επιλέχθηκε στην παρούσα προσομοίωση.

περιφέρεια του ομοιώματος, από τους ασβεστολιθικούς σχηματισμούς, και τη θάλασσα και β) στην επιφάνεια του ομοιώματος όπου καθορίζεται το ποσοστό των κατακρημνισμάτων που τροφοδοτεί τον υδροφόρο.

Για την προσομοίωση τους χρησιμοποιήθηκαν δύο (2) τύποι οριακών συνθηκών (Flow Boundary Conditions), οι οποίοι τοποθετούνται σύμφωνα με τις υδρογεωλογικές συνθήκες που επικρατούν στην ευρύτερη υδρολογική λεκάνη και την υδρογεωλογική συμπεριφορά των γεωλογικών σχηματισμών.

- Τα όρια με τους ασβεστόλιθους ορίστηκαν σαν ενεργά όρια με σταθερή τροφοδοσία (well recharge rate⁴)
- τα όρια με τους οφιόλιθους ορίστηκαν σαν ανενεργά όρια (inactive flux) ενώ,
- τα όρια με την θάλασσα ορίστηκαν σαν ενεργά κελιά (active) με καθορισμένη τιμή σταθερού φορτίου (=μηδέν).



Ας σημειωθεί ότι στην περιοχή εισέρχεται ο τελικός κλάδος του ρέματος Μεσσάπιος, το οποίο όμως είναι ξερό στην αντίστοιχη εποχιακή περίοδο του έτους και έχει χειμναρικό γενικά χαρακτήρα, με αποτέλεσμα να ρέει μόνο όταν παρατηρούνται πολύ υψηλές βροχοπτώσεις. Επίσης, στα ΝΑ υπάρχει ένα βάλτος. Και τα δύο υδρολογικά στοιχεία αυτά δεν συμπεριλήφθηκαν στον μοντέλο, λόγω έλλειψης στοιχείων (μετρήσεις παροχής ρέματος, στάθμη βάλτου κλπ).

⁴ ας σημειωθεί ότι το MODFLOW προσομοιώνει τέτοιου τύπου ροές σαν πηγάδια εισπίεσης

6.2.3. Υδρολογικά χαρακτηριστικά και χρονικό βήμα της προσομοίωσης

Στα υδρολογικά χαρακτηριστικά ανήκουν οι βροχοπτώσεις, πλευρικές εισροές και οι αντλήσεις. Οι ποσότητες αυτές μπορούν να εισαχθούν σαν χρονοσειρές ή σαν διαιρεμένες ετήσιες τιμές στο χρονικό βήμα που επιλέγει ο χρήστης. Για παράδειγμα τα 30mm βροχόπτωσης του Νοεμβρίου μπορούν να εισαχθούν σαν ημερήσια βροχόπτωση 1mm με ημερήσια χρονική μονάδα σε μηνιαίο χρονικό βήμα ή σαν 30 mm με χρονική μονάδα διάρκειας 30 ημερών, αρκεί κάποιος να διαθέτει για πολλούς μήνες όλα τα στοιχεία !!

Συνήθως επιλέγεται ημερήσια χρονική μονάδα με μηνιαίο χρονικό βήμα (διάρκειας 30 μονάδων) και οι περίοδοι (υγρές-ξηρές) αποτελούνται από έναν αριθμό χρονικών βημάτων. Οι πράξεις δηλαδή γίνονται σε ημερήσια βάση, αλλά τα αποτελέσματα παρουσιάζονται σε μηνιαία (30 ημερών). Αυτός ο κανόνας τηρήθηκε και στην παρούσα εργασία.

Οι βροχοπτώσεις εισάγονται στο μοντέλο σαν αναπλήρωση (recharge flux $-m/d^{-5}$), με ενιαία τιμή για κάθε χρονική μονάδα μιας χρονικής περιόδου εφαρμογής (stress period), πχ υγρή περίοδος, και αντιστοιχεί η ίδια τιμή σε κάθε κελί. Ο υπολογισμός της αναπλήρωσης πραγματοποιείται σε επόμενο κεφάλαιο .

Όσον αφορά τις αντλήσεις, οι τιμές για κάθε υδροσημείο που διεξάγει την άντληση εισάγονται σε μονάδες m/d και μπορεί να είναι χρονοσειρές ή μια μέση τιμή για κάθε χρονικό βήμα μιας περιόδου (stress period), πχ. ξηρή περίοδος. Οι ποσότητες των αντλήσεων που εισάγονται στο μοντέλο προσδιορίζονται με μεθοδολογία που αναπτύσσεται σε επόμενο κεφάλαιο.

6.2.4. Περίοδος προσομοίωσης

Από το σύντομο ιστορικό της περιοχής φαίνεται ότι μπορεί κανείς, ανάλογα με ποία δεδομένα θα χρησιμοποιήσει, να επιλέξει για περίοδο προσομοίωσης μια από τις ακόλουθες τρεις:

- Απρίλιος 1982 - Οκτώβριος 1983 (3 περίοδοι φόρτισης [(stress period), ξηρή-υγρή-ξηρή])
- Οκτώβριος 1989 - Μάιος 1991 (3 περίοδοι φόρτισης και ψιλά, υγρή-ξηρή-υγρή)
- Απρίλιος 2002 - Μάρτιος 2003 (2 περίοδοι φόρτισης, ξηρή -υγρή)
- Σεπτέμβριος 2013 - Αύγουστος 2014 (2 περίοδοι φόρτισης, υγρή-ξηρή)

Η συνήθης διαδικασία προσομοίωσης μοντέλου, όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή, είναι η εξής:

⁵ Ας σημειωθεί ότι όλες οι μονάδες είναι ανηγμένες στην κλίμακα της μέρας επειδή αυτό έχει επιλεγεί για χρονικό βήμα.

1. Περίοδος προσομοίωσης
2. Ρύθμιση μοντέλου - Αξιολόγηση ρύθμισης
3. Εξέταση διαφόρων σεναρίων (πχ διάχυση ρύπων, αυξομείωση αντλήσεων, κλπ)
4. Επέκταση χρονικής περιόδου για πολλά χρόνια
5. Αξιολόγηση μοντέλου

Έτσι, ενώ φαινομενικά διατίθενται δεδομένα για το στάδιο 5. επέκτασης του μοντέλου, στην πραγματικότητα πολλά δεδομένα από τις παραπάνω περιόδους εκλείπουν, είναι λιγοστά ή και αμφισβητείται η ακρίβειά τους. Αποτελεί, όπως θα φανεί και στην συνέχεια, η κάθε περίοδος ένα αυτούσιο σενάριο προς εξέταση.

Για αυτούς τους λόγους θα προσομοιωθούν **4 διαφορετικές περιόδοι** χωρίς κοινά διαστήματα. Στην συνέχεια, από τον έλεγχο των αποτελεσμάτων της κάθε μίας προσομοίωσης (πιεζομετρία, προσδιορισμός παραμέτρων: μεταβιβαστικότητα, υδραυλική αγωγιμότητα, ειδική παροχή) θα επιλεγεί μία από αυτές για αξιολόγηση ρύθμισης.

Έτσι:

- ✓ Η περίοδος Απρ 1982 - Οκτ 1983 είναι το Σενάριο 1.
- ✓ Η περίοδος Οκτ 1989 - Μάι 1991 είναι το Σενάριο 2.
- ✓ Η περίοδος Απρ 2002 - Μαρ 2003 είναι το Σενάριο 3.
- ✓ Η περίοδος Σεπ 2013 - Αυγ 2014 είναι το Σενάριο 4.

Προκύπτει δηλαδή το παράδοξο μεν σχήμα, «εξέταση προσομοιώσεων για τα διάφορα σενάρια» αλλά θα αυξηθεί η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων. Πρακτικά επειδή και στις τρεις προσομοιώσεις το εννοιολογικό μοντέλο είναι το ίδιο, αναμένεται όμοιας γενικής μορφής πιεζομετρία απλά με διαφορετική απόκριση στις περιόδους φόρτισης. Αυτή τελικά θα καθορίσει και τις τελικές τιμές (μέσες ή συγκεκριμένες) των υδραυλικών παραμέτρων.

Αναγκαίο στοιχείο, πριν ξεκινήσει η προσομοίωση, είναι η κατάστρωση του υδατικού ισοζυγίου της περιοχής του μοντέλου, τα αποτελέσματα του οποίου θα αξιοποιηθούν για την προσομοίωση.

7. Υδατικό Ισοζύγιο

Η γενική μορφή του υδρολογικού ισοζυγίου εκφράζει την ισότητα εισροών και εκροών σε μια λεκάνη απορροής (υδρολογική ή υδρογεωλογική) (Καλλέργης 1999):

$$P = E + R + I \quad (3)$$

όπου:

P = η βροχόπτωση

E = η εξατμισοδιαπνόμενη

R = η επιφανειακή απορροή

I = η κατείσδυση προς τους υπόγειους υδροφόρους

Η παραπάνω γενική μορφή μπορεί να πάρει την ειδική μορφή:

$$P = E + R + I + dw \pm q \quad (4)$$

όπου:

dw = η μεταβολή του όγκου ταμείευσης (θετική ή αρνητική)

q = διάφορες εισροές στην λεκάνη (αντλήσεις, πλαιινές μεταγγίσεις κλπ)

δίνοντας έτσι μια πραγματική εικόνα σχετικά με της πολύπλοκες διαδικασίες που συντελούνται σε μια λεκάνη απορροής όπου νερό μπορεί και αποταμιεύεται και να αντλείται.

Η γενική εξίσωση μπορεί να γραφτεί και ως εξής:

$$P - E = R + I \quad \text{ή} \quad P - E = R + I + dw \pm q \quad (5)$$

Η βροχόπτωση είναι ο μοναδικός τροφοδότης εισροών στην λεκάνη απορροής, για αυτό και στην γενική μορφή του ισοζυγίου ξεχωρίζει από τους υπόλοιπους παράγοντες. Η εξατμισοδιαπνόμενη από την άλλη αφαιρεί νερό από το σύστημα της λεκάνης. Οι υπόλοιποι παράγοντες δηλαδή, κατά μια έννοια αφορούν διαχείριση του ύδατος εντός της λεκάνης.

Έτσι, ο παράγοντας $P - E$ είναι σημαντικός γιατί δηλώνει την διαθέσιμη ποσότητα του νερού προς διαχείριση. Αποτελεί δηλαδή την «ενεργή βροχόπτωση» ή την στα διάφορα υδρολογικά εγχειρίδια «αναπλήρωση» (**recharge**). Αποτελεί την μέγιστη ωφέλιμη ποσότητα ύδατος που διαθέτει ένας υδροφόρος.

Προκειμένου λοιπόν να υπολογιστεί η ποσότητα αυτή (η οποία είναι απαραίτητη στο μοντέλο προσομοίωσης) αρκεί να είναι γνωστή η βροχόπτωση και η εξατμισοδιαπνόμενη. Στα επόμενα κεφάλαια αναπτύσσεται αναλυτικά η μεθοδολογία προσδιορισμού όλων των παραπάνω παραμέτρων του ισοζυγίου της εξίσωσης (5) που απαιτούνται από το μοντέλο προσομοίωσης.

7.1. Ανάλυση βροχόπτωσης

Η ανάλυση των βροχοπτώσεων είναι, ίσως, το σημαντικότερο κεφάλαιο της υδρολογίας, διότι οι βροχοπτώσεις είναι το μόνο στοιχείο προσφοράς νερού στο υδρολογικό ισοζύγιο μιας περιοχής και είναι απαραίτητες για την δημιουργία χρονοσειράς «ενεργής βροχόπτωσης» (recharge) στα σενάρια του μοντέλου.

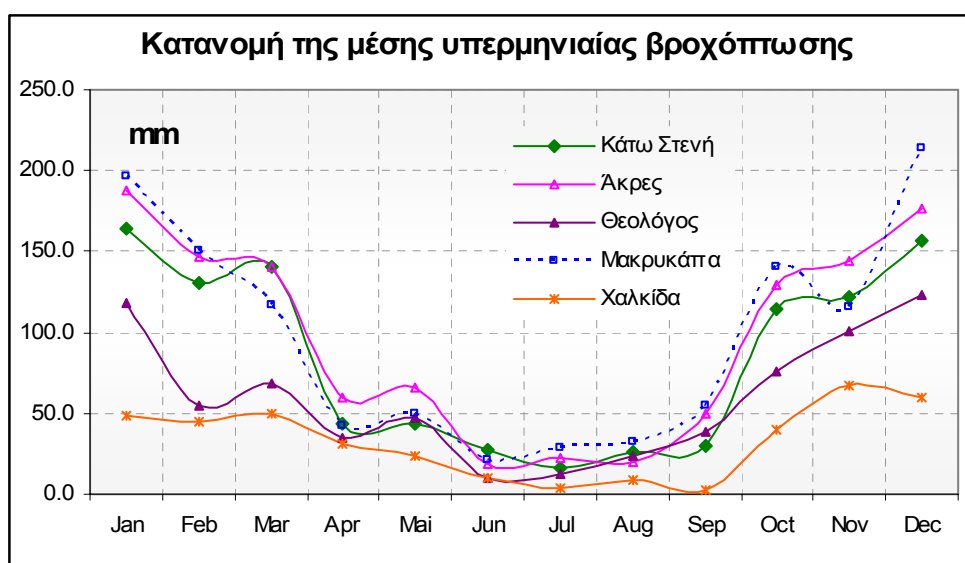
Στην ευρύτερη περιοχή μελέτης βρέθηκαν δεδομένα για 5 σταθμούς παρατήρησης (Υδροέρυνα 1991), των οποίων τα υψόμετρα και η μέση ετήσια βροχόπτωση παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (πίν.2).

Πίνακας 2 - Μετεωρολογικοί σταθμοί ευρύτερης περιοχής μελέτης

Όνομα σταθμού	Υψόμετρο (m)	Μέση υπερετήσια βροχόπτωση (mm)	Φορέας	Έτη λειτουργίας
Κάτω Στενή *	240	1017.0	ΥΠΕΧΩΔΕ	1961 - 2011
Άκρες *	290	1163.6	ΥΠΓΕ	1990 - 2007
Θεολόγος *	170	709.4	ΥΠΓΕ	1990 - 2007
Μακρυκάπα *	490	1163.7	ΥΠΓΕ	1970 - 2007 ~
Χαλκίδα	5	390.2	ΕΜΥ	1931- 1994 ~

* για τα έτη 1981-2001 χρησιμοποιήθηκαν οι συμπληρωμένες και διορθωμένες χρονοσειρές των Μελετών Διαχειριστικών Εργαλείων (Καραβοκύρης κ.α. 2007)

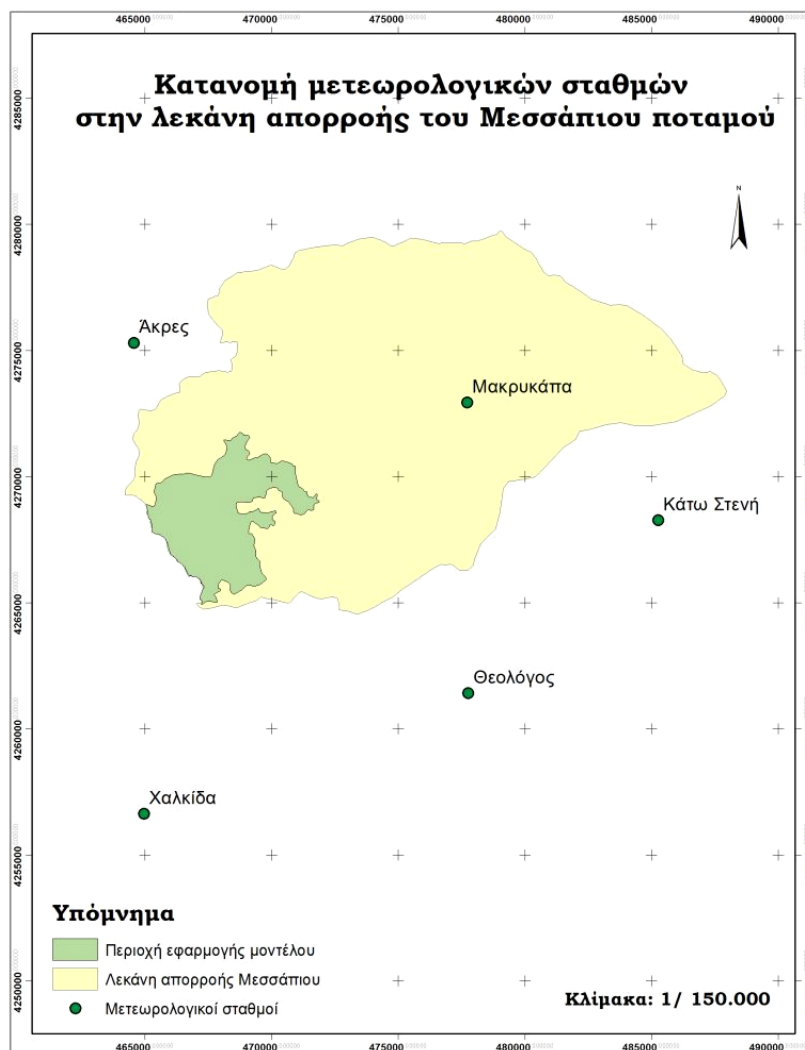
Η βασική κατανομή της βροχόπτωσης των παραπάνω σταθμών στον χρόνο παρουσιάζεται στο επόμενο γράφημα (σχ. 9).



Σχήμα 9 - Κατανομή της μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης στους σταθμούς της περιοχής

Η κατανομή φαίνεται να είναι σταθερή σε όλη την έκταση μιας περιοχής, αφού οι βασικοί μετεωρολογικοί παράγοντες που προκαλούν τις βροχοπτώσεις επιδρούν ομοιόμορφα πάνω σε ολόκληρη την έκταση της περιοχής αυτής.

Η θέση των σταθμών αυτών σε σχέση με την περιοχή του μοντέλου και της ευρύτερης λεκάνης απορροής της περιοχής μελέτης φαίνεται στην παρακάτω εικόνα (εικ.6)



Εικόνα 6 - Χωρική κατανομή μετεωρολογικών σταθμών στην ευρύτερη περιοχή μελέτης

Φαίνεται, ότι εντός της περιοχής του μοντέλου δεν παρατηρείται σταθμός βροχόπτωσης. Δεδομένου λοιπόν, ότι ο κάμπος των Ψαχνών βρίσκεται κοντά στην Χαλκίδα και διατηρεί όμοια κλιματικά χαρακτηριστικά με αυτά της Χαλκίδας (παραθαλάσσια περιοχή χαμηλού υψομέτρου με παρόμοιο προσανατολισμό) και ότι δεν παρεμβάλλεται ανάμεσά τους κάποιος ορεινός όγκος, ο οποίος μπορεί να διαφοροποιεί τις κλιματικές συνθήκες, μπορεί να θεωρηθεί ότι οι μέσες κλιματικές συνθήκες των δύο περιοχών είναι παρόμοιες και το μόνο που μπορεί να διαφέρει είναι η διασπορά των τιμών αυτών.

7.1.1. Μεθοδολογία εκτίμησης βροχόπτωσης στην περιοχή του μοντέλου

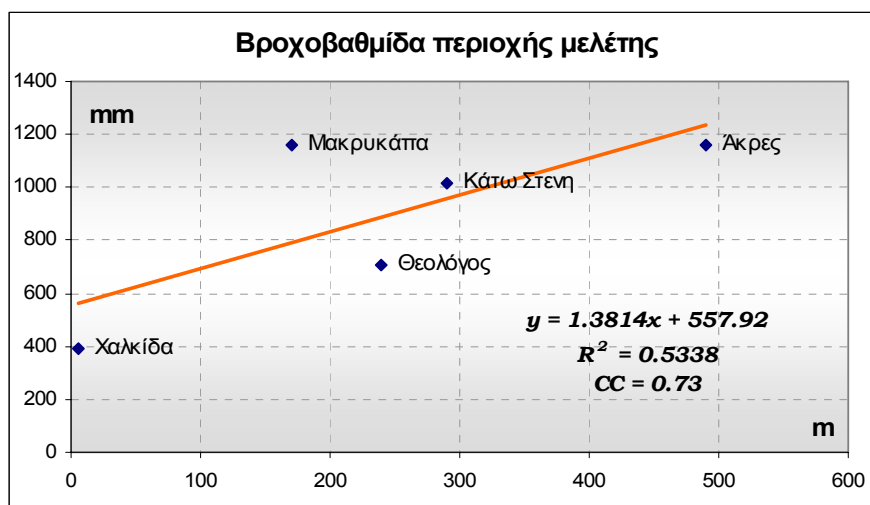
7.1.1.1. Γενικά

Προκειμένου λοιπόν να εκτιμηθούν οι βροχοπτώσεις εντός της περιοχής του μοντέλου προσομοίωσης, ακολουθήθηκε η μέθοδος της κατανομής της βροχόπτωσης με την μέθοδο της Γεωγραφικά Σταθμισμένης Παλινδρόμησης.(Geographical Weighted Regression Analysis – GWR). Πρόκειται ουσιαστικά για εξέλιξη της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων ή της απλής γραμμικής παλινδρόμησης με την διαφορά ότι διαθέτει την χωρική διάσταση σαν δεδομένη μεταβλητή. Με την μέθοδο αυτή μπορεί να προβλεφθεί η τιμή μιας μεταβλητής σε κάποιο σημείο στον χώρο με δεδομένη την κατανομή στον ίδιο χώρο μιας άλλης/άλλων μεταβλητής/ων. Παρέχεται σε πακέτα λογισμικού γεωγραφικών πληροφοριακών συστημάτων (ArcMap) και απαιτεί το λιγότερο 4 παρατηρήσεις. Εν προκειμένω η γνωστή κατανομή είναι τα υψόμετρα (τα γεωγραφικά μήκη και πλάτη απαραίτητα) και η εξαρτημένη μεταβλητή είναι η βροχόπτωση. Αυτό μπορεί να γίνει σε οποιοδήποτε βήμα χρονικό επιθυμεί ο χρήστης. Η μεθοδολογία αυτή, είναι μια διαφοροποιημένη μέθοδος της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης για την ολοκλήρωση -κατανομής στον χώρο- των βροχοπτώσεων και έγινε γνωστή από την βιβλιογραφία (Μπεζές 1993, 2003).

7.1.1.2. Βροχοβαθμίδα

Προκειμένου όμως να εφαρμοσθεί η παραπάνω μέθοδος έγινε ανάλυση της βροχοβαθμίδας για να διαπιστωθεί ποία είναι η συσχέτιση της βροχόπτωσης με το υψόμετρο στην περιοχή μελέτης.

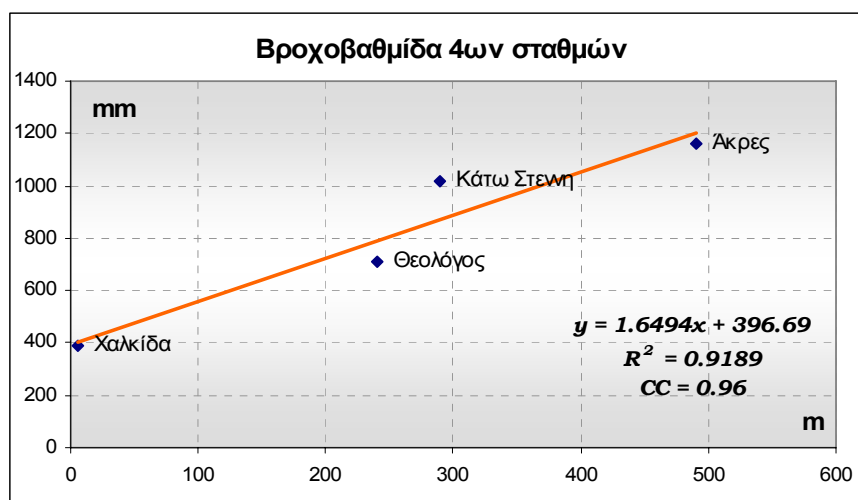
Από τις στήλες του πίν.2, «υψόμετρο σταθμού» και «μέση ετήσια βροχόπτωση» προέκυψε το παρακάτω γράφημα μέσης υπερειρήσιας βροχοβαθμίδας που παριστάνει την μέση ετήσια μεταβολή της βροχής καθ' ύψος.



Σχήμα 10 - Βροχοβαθμίδα περιοχής μελέτης όλων των σταθμών

Από το παραπάνω γράφημα (σχ.10) γίνεται γνωστό ότι η συσχέτιση της βροχόπτωσης μεταξύ του υψομέτρου των μετεωρολογικών σταθμών της ευρύτερης περιοχής μελέτης είναι καλή με συντελεστή συσχέτισης (CC = correlation coefficient) 73% και η προβαλλόμενη εξίσωση μπορεί να περιγράψει **μόνον** το (R^2) 53% των παρατηρήσεων του δείγματος. Ως προς την βροχοβαθμίδα, παρατηρείται ότι ο σταθμός της Μακρυκάπας δέχεται πολλά κατακρημνίσματα σε σχέση με το υψόμετρο που βρίσκεται. Αυτό έχει σαν συνέπεια ότι για $x=5$ (υψόμετρο σταθμού Χαλκίδας), $y= 565$ (μέση υπερετήσια βροχόπτωση). Αυτό όμως αποτελεί **σφάλμα μεγαλύτερο του 25%** καθώς από τις χρονοσειρές του σταθμού της Χαλκίδα μόνο κάθε 10 περίπου χρόνια η ετήσια βροχόπτωση ξεπερνά τα 500 mm.

Για τους παραπάνω λόγους απορρίφθηκε ο σταθμός της Μακρυκάπας και η βροχοβαθμίδα υπολογίστηκε από τους υπόλοιπους 4 σταθμούς (σχ.11). Έτσι, η συσχέτιση γίνεται εξαιρετικά ισχυρή (συντελεστής συσχέτισης = 96%). Η προβαλλόμενη στο διάγραμμα εξίσωση της βροχοβαθμίδας εξηγεί το 92% των παρατηρήσεων στο δείγμα, και προβλέπεται για $x=5$ $y= 404$ mm στον σταθμό της Χαλκίδας. Επίσης προβλέπεται αύξηση της βροχόπτωσης στην ευρύτερη περιοχή κατά 160mm κάθε 100μ



Σχήμα 11 - Βροχοβαθμίδα περιοχής μελέτης 4 σταθμών

7.1.1.3. Επεξεργασία χρονοσειρών

Προκειμένου να εφαρμοσθεί η μέθοδος της Γεωγραφικά Σταθμισμένης Παλινδρόμησης, όπως αναφέρθηκε χρειάζονται, τουλάχιστον 4 χρονοσειρές συνεχών δεδομένων. Αυτές είναι οι χρονοσειρές των μετεωρολογικών σταθμών που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση της βροχοβαθμίδας.

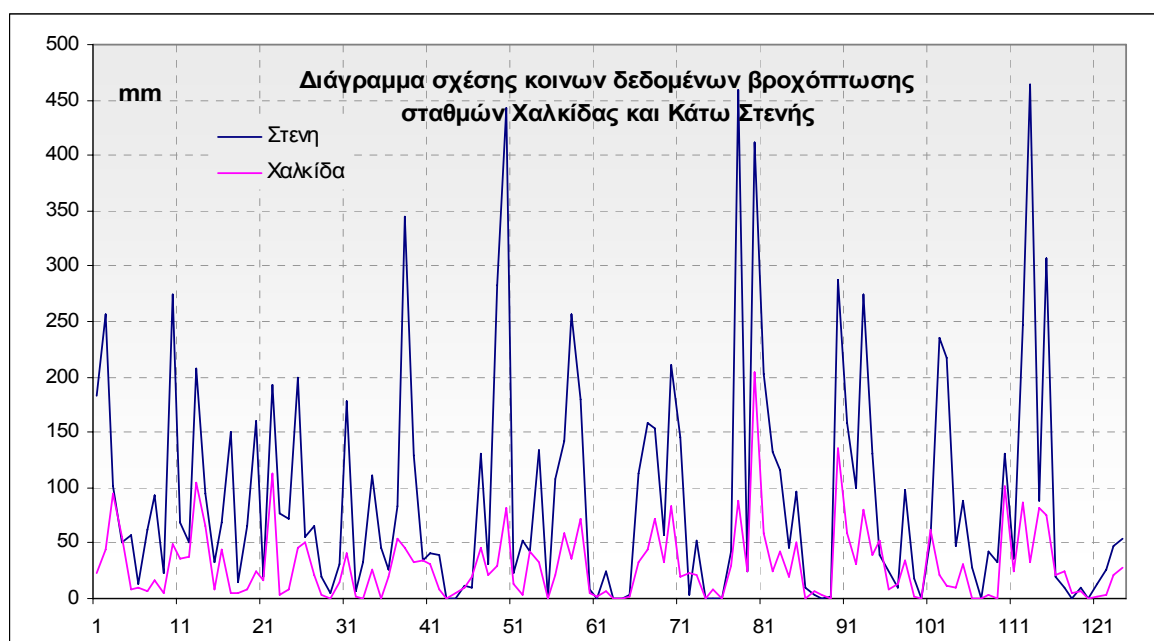
Οι χρονοσειρές των σταθμών αυτών περιέχουν κενά και σφάλματα, οπότε χρειάστηκε συμπλήρωση και διόρθωση αυτών. Η μεθοδολογία συμπλήρωσης περιέλαβε τον έλεγχο καλύτερης γραμμικής συσχέτισης των χρονοσειρών ανά δύο, και κατόπιν συμπλήρωση δεδομένων με βάση τον καλύτερο συντελεστή συσχέτισης από την σύγκριση (Κουτσογιάννης 1997,1999). Η μεθοδολογία διόρθωσης έγινε εμπειρικά με σύγκριση των τιμών των τεσσάρων σταθμών σε σχέση πάντα με την βροχοβαθμίδα

και τους παραπάνω συντελεστές συσχέτισης (πχ μηδενίζονταν οι τιμές ξηρής περιόδου του σταθμού Χαλκίδα επειδή λόγω της εξίσωσης παλινδρόμησης δεν έδιναν ποτέ την τιμή μηδέν).

Το χρονικό διάστημα επεξεργασίας είναι 1980-2007. Για το διάστημα 1980-2001 χρησιμοποιήθηκαν οι συμπληρωμένες και διορθωμένες τιμές των σταθμών Κάτω Στενή, Θεολόγος και Άκρες από την Μελέτη Διαχειριστικών Εργαλείων» (Καραβοκύρης κα 2007), προκειμένου να συμπληρωθεί και να επεκταθεί ο σταθμός Χαλκίδα. Για το διάστημα 2001-2007 χρησιμοποιήθηκαν οι πραγματικές τιμές των σταθμών Θεολόγος, Άκρες και Κάτω Στενή όπως συλλέχθηκαν από τις αντίστοιχες δημόσιες υπηρεσίες (Υπ.Γε., Υδροσκόπιο).

7.1.1.3.1. Συμπλήρωση και επέκταση τιμών σταθμού Χαλκίδας

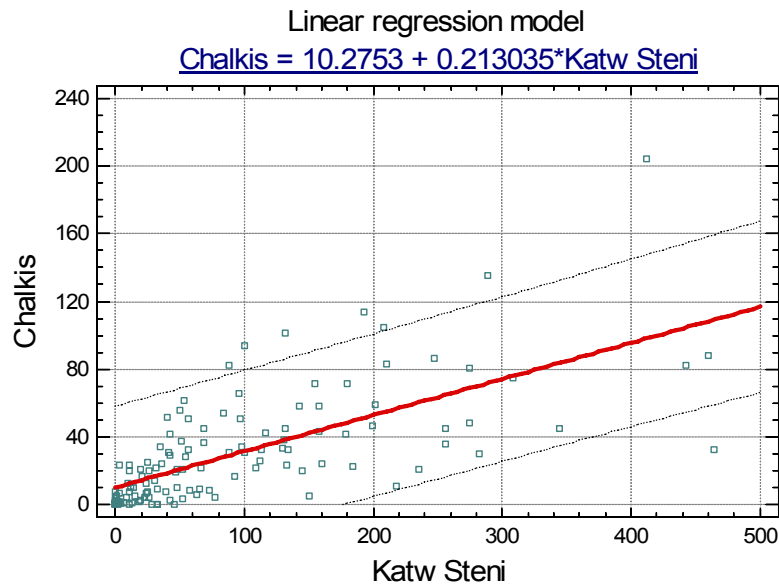
Εξετάστηκε η ύπαρξη κοινών περιόδων τιμών βροχόπτωσης των σταθμών Χαλκίδα, Κάτω Στενή, Θεολόγος και Άκρες. Ο σταθμός Κάτω Στενή βρέθηκε ότι είχε την μεγαλύτερη κοινή περίοδο με τον σταθμό Χαλκίδα. Προέκυψαν 124 τιμές για τον κάθε σταθμό και παρουσιάζονται με χρονολογική σειρά στο παρακάτω διάγραμμα (σχ.12).



Σχήμα 12 - Διάγραμμα κατανομής βροχόπτωσης κοινής περιόδου σταθμών Κάτω Στενής και Χαλκίδας⁶

Φαίνεται να υπάρχει σχέση μεταξύ των δύο σταθμών η οποία διερευνάται στην συνέχεια με την μέθοδο της γραμμικής παλινδρόμησης (linear regression). Η γραμμική σχέση λοιπόν των κοινών δεδομένων των 2 σταθμών παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα (σχ.13):

⁶ Ο άξονας x παρουσιάζει τον αύξοντα αριθμό των 124 κοινών τιμών σε χρονολογική σειρά. Οι τιμές αυτές δεν είναι συνεχόμενες.



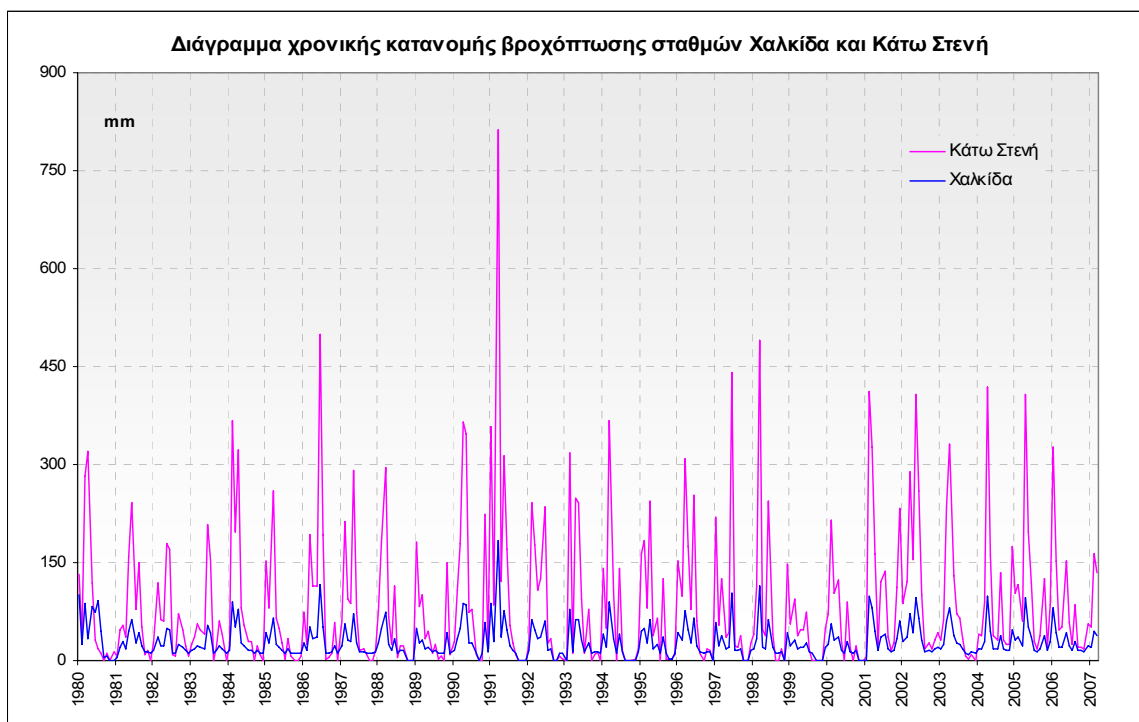
Σχήμα 13 - Διάγραμμα γραμμικής συσχέτισης σταθμού Χαλκίδας και Κάτω Στενής

Τα στατιστικά αποτελέσματα της παλινδρόμησης βρίσκονται στον πιν.ΙΙΙ του Παρατήματος. Φαίνεται ότι οι 2 σταθμοί μπορούν να σχετιστούν με σχετικά καλή συσχέτιση 68%, με εξίσωση γραμμικής παλινδρόμησης που φαίνεται στο παραπάνω διάγραμμα (σχ.7.5).

$$\text{Chalkis} = 10.2753 + 0.213035 \cdot \text{Steni} \quad (6)$$

Η περιοχή που ορίζουν οι διακεκομμένες εκατέρωθεν της ευθείας παλινδρόμησης αποτελούν τα όρια πρόβλεψης του «μοντέλου», αυτό δηλαδή που διαπιστώνει κανείς από το ίδιο το διάγραμμα. Ότι δηλαδή στις υψηλές τιμές βροχόπτωσης του σταθμού Κάτω Στενή η πρόβλεψη είναι δύσκολη (στην Χαλκίδα σπάνια χιονίζει εξ' άλλου). Αυτό φανερώνει και το μέτριο ποσοστό ($R^2 = 46\%$) του συντελεστή μεταβλητότητας. Παρόλα αυτά, τα στατιστικά τεστ (πιν.ΙΙΙ του Παρατήματος) υποδεικνύουν την σημαντικότητα του μοντέλου.

Τα αποτελέσματα της επέκτασης και συμπλήρωσης παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα (σχ.14):

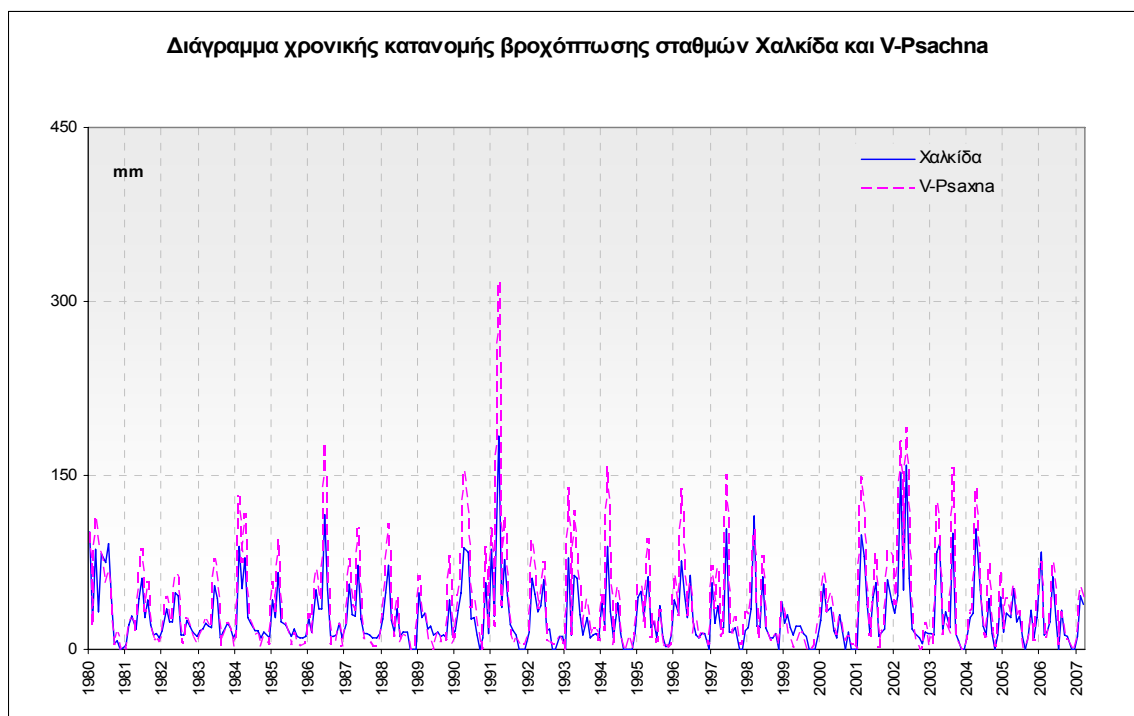


Σχήμα 14 - Διάγραμμα χρονικής κατανομής βροχόπτωσης σταθμού Χαλκίδας μετά την συμπλήρωση δεδομένων

7.1.1.3.2. Εφαρμογή της μεθόδου της Γεωγραφικά Σταθμισμένης Παλινδρόμησης (GWR)

Προκειμένου να εφαρμοσθεί η μέθοδος της Γεωγραφικά Σταθμισμένης Παλινδρόμησης (GWR) χρησιμοποιήθηκε από το λογισμικό Arc Map 10.1 η ρουτίνα της εργαλειοθήκης GWR, αφού αρχικά τροποποιήθηκε (δημιουργία αυτόματου σεναρίου εφαρμογής για κάθε διαφορετική καταγραφή εισαγωγής – στήλη τιμών βροχόπτωσης των 4 σταθμών-) για να αυτοματοποιηθεί η διαδικασία προκειμένου να αναζητηθεί η γεωγραφική συσχέτιση για 327 εγγραφές μηνιαίας βροχόπτωσης (10/1980 – 12/2007).

Πρόέκυψε έτσι μια χρονοσειρά βροχοπτώσεων στον εικονικό σταθμό V-Psachna με υψόμετρο ίσο με το μέσο υψόμετρο της περιοχής του μοντέλου προσομοίωσης, 13μ. η κατανομή της οποίας μετά τις απαραίτητες διορθώσεις (αρνητικές τιμές) απεικονίζεται στο παρακάτω διάγραμμα: (σχ.15)



Σχήμα 15 - Διάγραμμα κατανομής βροχόπτωσης του εικονικού σταθμού στα Ψαχνά σε σχέση με τον σταθμό Χαλκίδα

Η μέση υπερετήσια βροχόπτωση του εικονικού σταθμού V-Psachna είναι ίση με 406,3 mm, ενώ του πραγματικού σταθμού της Χαλκίδας 390,2 mm. Σε γενικές γραμμές δηλαδή, ο νέος σταθμός επιβεβαιώνει τις αρχικές παραδοχές (ταύτιση μέσου κλίματος περιοχής Χαλκίδας – Ψαχνών).

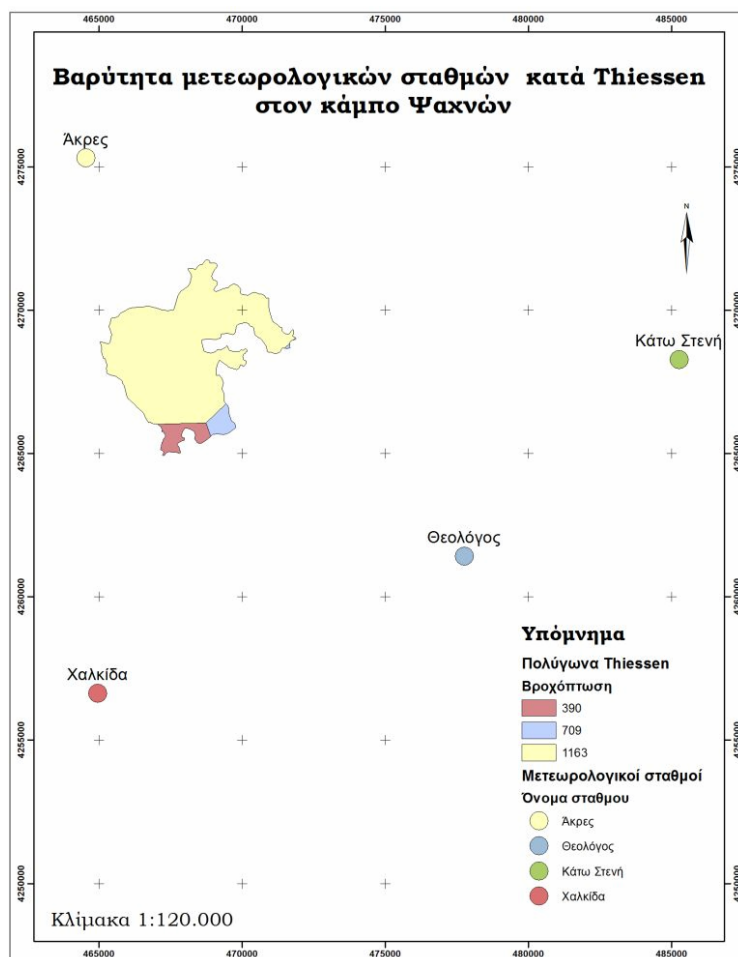
Ας σημειωθεί ότι οι συντελεστές συσχέτισης των μηνιαίων τιμών βροχόπτωσης, όπως προέκυψαν από την εφαρμογή της μεθόδου της Γεωγραφικά Σταθμισμένης Παλινδρόμησης, δεν είναι πάντα καλοί. Το 40% των συντελεστών μεταβλητότητας (R^2) είναι μεγαλύτεροι του 0,7, το 60% > 0,5 ενώ το 22% > 0,3. Στις περιπτώσεις πολύ χαμηλών συντελεστών μεταβλητότητας δεν σημαίνει πως η μέθοδος αποτυγχάνει, απλά υποδεικνύει το τυχαίο της κατανομής της βροχόπτωσης στον χώρο. Αυτό είναι ως ένα βαθμό αναμενόμενο, καθώς οι θερινές χαμηλές και ανομοιόμορφες βροχοπτώσεις και οι υψηλές τιμές χιονόπτωσης στα ορεινά κατά τους χειμερινούς μήνες, στατιστικά μπορεί να φανούν σαν ακραίες τιμές και να βγουν από την διαδικασία πρόβλεψης. Υδρολογικά όμως είναι απαραίτητες, οπότε και διατηρήθηκαν κατά τους υπολογισμούς.

Οι πίνακες αποτελεσμάτων της Γεωγραφικά Σταθμισμένης Παλινδρόμησης με τις υπολογισμένες τιμές βροχόπτωσης του εικονικού σταθμού καθώς και οι τιμές των σταθμών που χρησιμοποιήθηκαν για τις επεξεργασίες βρίσκονται στους πίνακες πιν. V και πιν. VI του παραρτήματος.

Οι τιμές του σταθμού V-Psachna χρησιμοποιούνται στην συνέχεια για τον υπολογισμό της «ενεργής βροχόπτωσης», η οποία αποτελεί παράμετρο του μοντέλου MODFLOW.

7.1.2. Παρατηρήσεις

Κάποιος μπορεί να ισχυρισθεί ότι, κατόπιν της εύρεσης βροχοβαθμίδας και της επεξεργασίας των χρονοσειρών των μετεωρολογικών σταθμών, η κλασική υδρολογική μέθοδος των πολυγώνων Thiessen είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό του όγκου των βροχοπτώσεων στην περιοχή του μοντέλου.

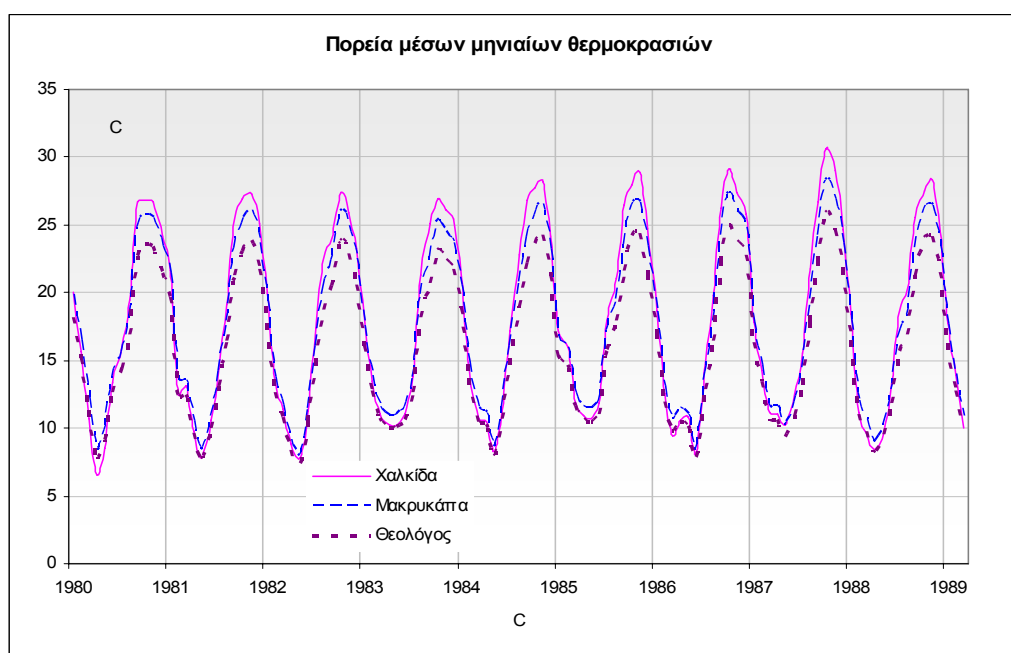


Εικόνα 7 - Επίδραση μετεωρολογικών σταθμών στην περιοχή του μοντέλου με βάση την μεθοδολογία των πολυγώνων Thiessen.

Ο παραπάνω χάρτης (εικ.7) αποτελεί το αποτέλεσμα της δοκιμής προσαρμογής των πολυγώνων Thiessen στην περιοχή του μοντέλου. Φαίνεται όμως, ότι προβλέπεται για το μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής εφαρμογής του προβλέπει συντελεστή πολύ μεγάλο που εξαρτάται από τον σταθμό Άκρες. Αυτό οδηγεί σε υπερεκτίμηση της αναμενόμενης βροχόπτωσης με βάση τις εύλογες αρχικές παραδοχές (παρόμοιες κλιματικές συνθήκες με την Χαλκίδα). Επίσης τα πολύγωνα Thiessen υπολογίζουν όγκους νερού, βοηθώντας την κατασκευή βροχομετρικών χαρτών κυρίως και όχι συνεχείς σειρές βροχοπτώσεων με διακυμάνσεις. Ενώ με μεθόδους παλινδρόμησης (Μπεζές 2006), όπως η GWR επιτυγχάνεται η κατανομή της βροχόπτωσης όχι μόνον καθ' ύψος αλλά και κατά την οριζόντια διάσταση.

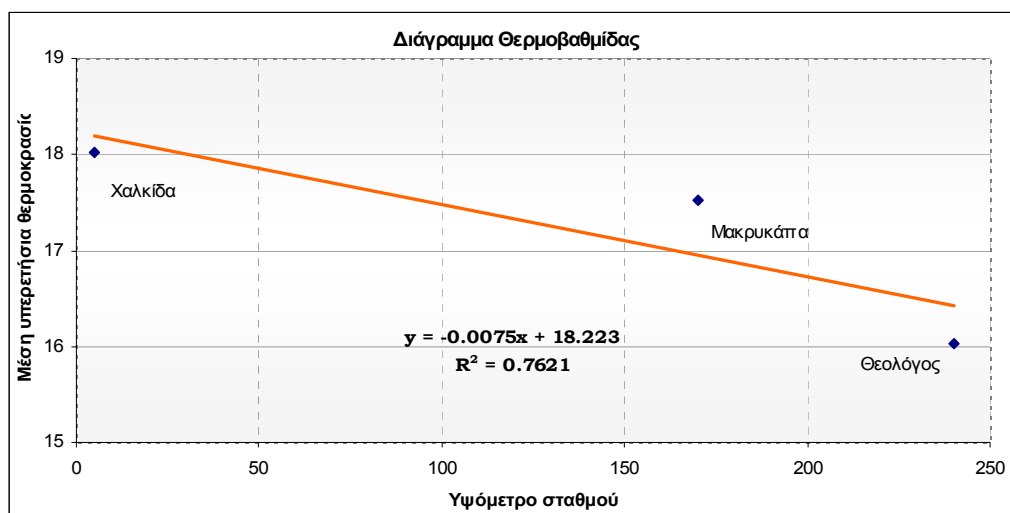
7.2. Ανάλυση Θερμοκρασίας

Συλλέχθηκαν από την βιβλιογραφία οι μέσες μηνιαίες τιμές θερμοκρασιών των μετεωρολογικών σταθμών, Μακρυκάπα, Θεολόγος και Χαλκίδα. Για τους σταθμούς Μακρυκάπα και Θεολόγος τα στοιχεία προέρχονται από τα παραδοτέα της μελέτης Διαχειριστικών Εργαλείων του Υδατικού Διαμερίσματος Αν. Στερεάς Ελλάδας (ΥΔ 07) για τα έτη 1981-2001 και για τον σταθμό Χαλκίδα από την «Οριστική υδρογεωλογική μελέτη περιοχής Κεντρικής Εύβοιας» (Υδροέρευνα 1991) για τα έτη 1974-1990. Κοινή περίοδος είναι η περίοδος 1981-1989. Η πορεία της θερμοκρασίας λοιπόν, για το κοινό διάστημα αναπαρίσταται στο παρακάτω διάγραμμα (σχ.16):



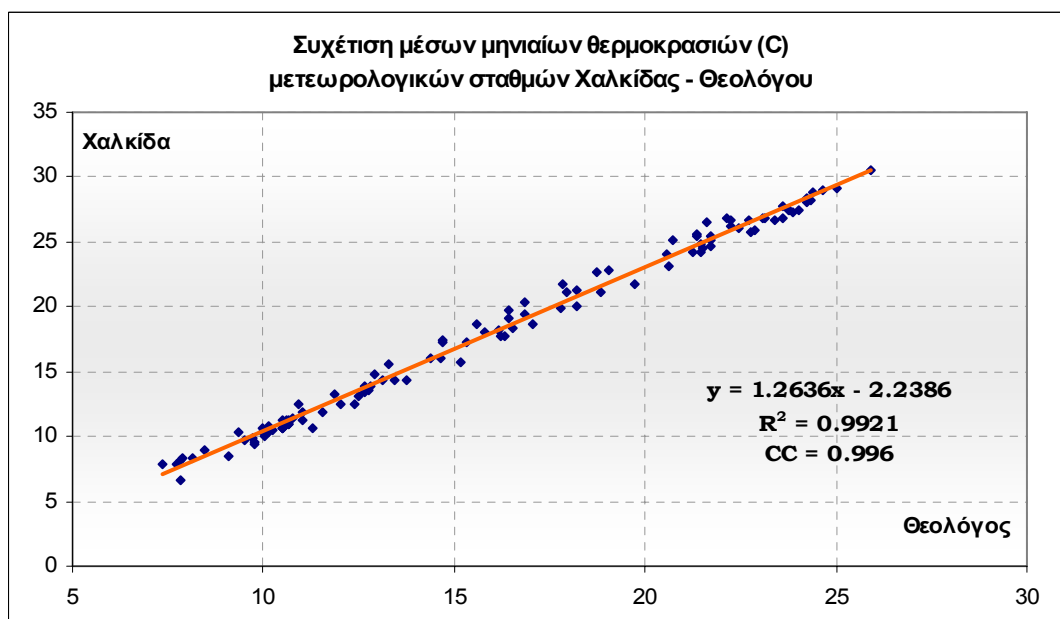
Σχήμα 16 - Πορεία μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών στους Μ.Σ. της περιοχής μελέτης

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, συγκρίθηκαν οι τιμές των σταθμών της κοινής περιόδου προκειμένου να ελεγχθεί η συσχέτιση τους με αυτόν της Χαλκίδας για να συμπληρωθεί η σειρά του σταθμού της Χαλκίδας μέχρι το 2001, όπου διαθέτουμε χρονοσειρές, με κριτήριο την θερμοβαθμίδα. Η θερμοβαθμίδα της ευρύτερης περιοχής μελέτης, όπως φαίνεται και από το παρακάτω διάγραμμα (σχ.17) αντιστοιχεί σε μείωση ενός βαθμού περίπου (1 C°) αυξανόμενου υψομέτρου κατά 100μ.



Σχήμα 17 - Διάγραμμα θερμοβαθμίδας περιοχής μελέτης

Από την σύγκριση της συσχέτισης μεταξύ των κοινών τιμών θερμοκρασιών μεταξύ του σταθμού της Χαλκίδας και των υπολοίπων προέκυψε ο ίδιος ακριβώς συντελεστής συσχέτισης (99,6%) και ο ίδιος συντελεστής μεταβλητότητας (99,2%). Επιλέχθηκε τελικά η εξίσωση της συσχέτισης μεταξύ των σταθμών Θεολόγου και Χαλκίδας: $y = 1.2636x - 2.2386$ (7). Στο παρακάτω σχήμα (σχ.18), παρουσιάζεται γραφικά η γραμμική αυτή συσχέτιση.



Σχήμα 18 - Διάγραμμα γραμμικής συσχέτισης μέσω μηνιαίων θερμοκρασιών σταθμών Χαλκίδας - Θεολόγου

Η χρονοσειρά θερμοκρασίας που προέκυψε καλύπτει τελικά το χρονικό διάστημα 1980 - 2001. Επειδή όμως είναι απαραίτητο η χρονοσειρά να επεκταθεί μέχρι το 2007, στατιστικά δεν δημιουργούνται σφάλματα αν απλά επαναληφθεί μια εκτεταμένη χρονικά χρονοσειρά όπως αυτή που περιγράφεται. Έτσι μετά το 2001 επαναλήφθηκε η ίδια (1980-2001). Αυτή παρουσιάζεται στην τελευταία στήλη του πιν. IV του Παραρτήματος.

7.3. Προσδιορισμός της Εξατμισοδιαπνοής

Η χρησιμοποίηση των μετρήσεων εξατμίσεως από εξατμισόμετρα για τον προσδιορισμό της δυνητικής και πραγματικής εξατμισοδιαπνοής που ενδιαφέρει τις υδρογεωλογικές μελέτες είναι πολύπλοκη διαδικασία, δεδομένου ότι γενικά εκλείπουν πραγματικές απ' ευθείας μετρήσεις της εξατμισοδιαπνοής, για να γίνουν οι απαραίτητες συγκρίσεις και βαθμονομήσεις των οργάνων. Στην πράξη, για το προσδιορισμό της **εξατμισοδιαπνοής** χρησιμοποιούνται υπολογιστικές μέθοδοι, όπως οι μέθοδοι Thornthwaite, Turc, Penman, FAO, Penman-Monteith κλπ. που βασίζονται στον προσδιορισμό της **δυνητικής εξατμισοδιαπνοής** σαν ένα ενδιάμεσο στάδιο της όλης διαδικασίας που έχει σαν στόχο τον προσδιορισμό της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιείται η μέθοδος Thornthwaite, επειδή δίνει καλά αποτελέσματα και επειδή απαιτεί την γνώση λίγων μετεωρολογικών παραμέτρων (βροχόπτωση και θερμοκρασία), σε σχέση με την κοινά χρησιμοποιούμενη μέθοδο από τους Υδραυλικούς Μηχανικούς Penman-Monteith η οποία απαιτεί εκτός των αναφερομένων μετεωρολογικών παραμέτρων την γνώση της διάρκειας ηλιοφάνειας και την σχετική υγρασία.

Για τον προσδιορισμό λοιπόν την πραγματικής εξατμισοδιαπνοής χρησιμοποιήθηκε ένα ελεύθερης άδειας λογισμικό εφαρμογής της μεθόδου του Thornthwaite, του Αμερικανικού Γεωλογικού Ινστιτούτου (USGS): **Thornthwaite monthly water-balance program** (McCabe & Markstrom, 2007) με χρονοσειρές εισαγωγής την βροχόπτωση του σταθμού V-Psachna και την διπλή χρονοσειρά θερμοκρασιών του σταθμού Χαλκίδα.

Πρόκειται για μια πολύ απλή εφαρμογή υδατικού ισοζυγίου τύπου Thornthwaite το οποίο υπολογίζει την πραγματική εξατμισοδιαπνοή (AE) μέσω του προσδιορισμού της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής (PET). Για τον προσδιορισμό της τελευταίας στο μοντέλο χρησιμοποιείται η εξίσωση του Hamon (1961) (από McCabe & Markstrom, 2007) ως εξής:

$$PET_{Hamon} = 13.97 \times d \times D^2 \times W_t \quad W_t = \frac{4.95 \times e^{0.062 \times T}}{100} \quad (8)$$

όπου: PET_{Hamon} : είναι η δυνητική εξατμισοδιαπνοή σε mm

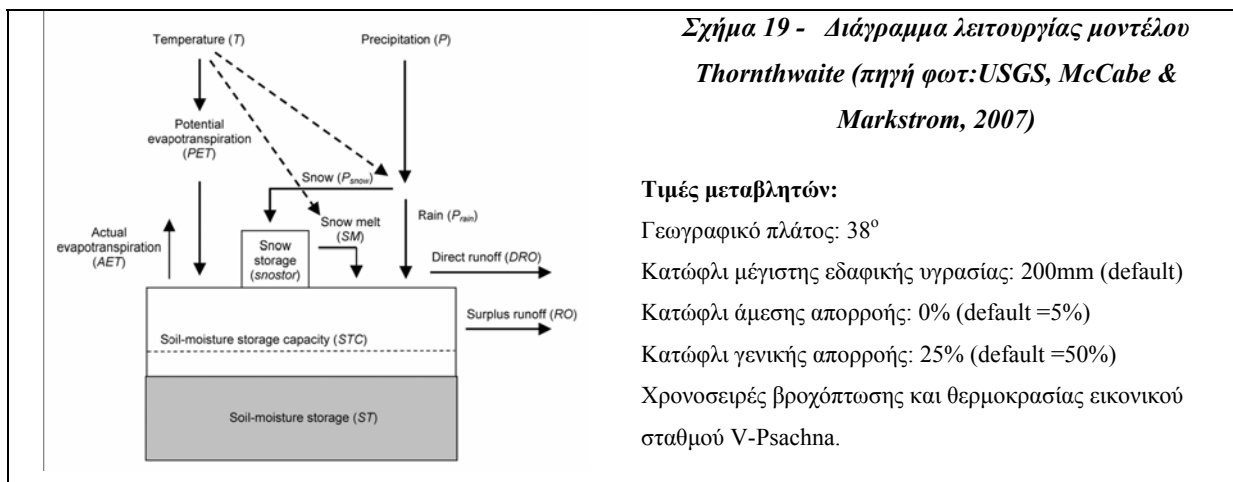
d : ο αριθμός των μέσων ωρών της μέρας του μήνα

D : ο μέσος αριθμός ωρών ηλιοφάνειας του μήνα (σε 12ωρη βάση)

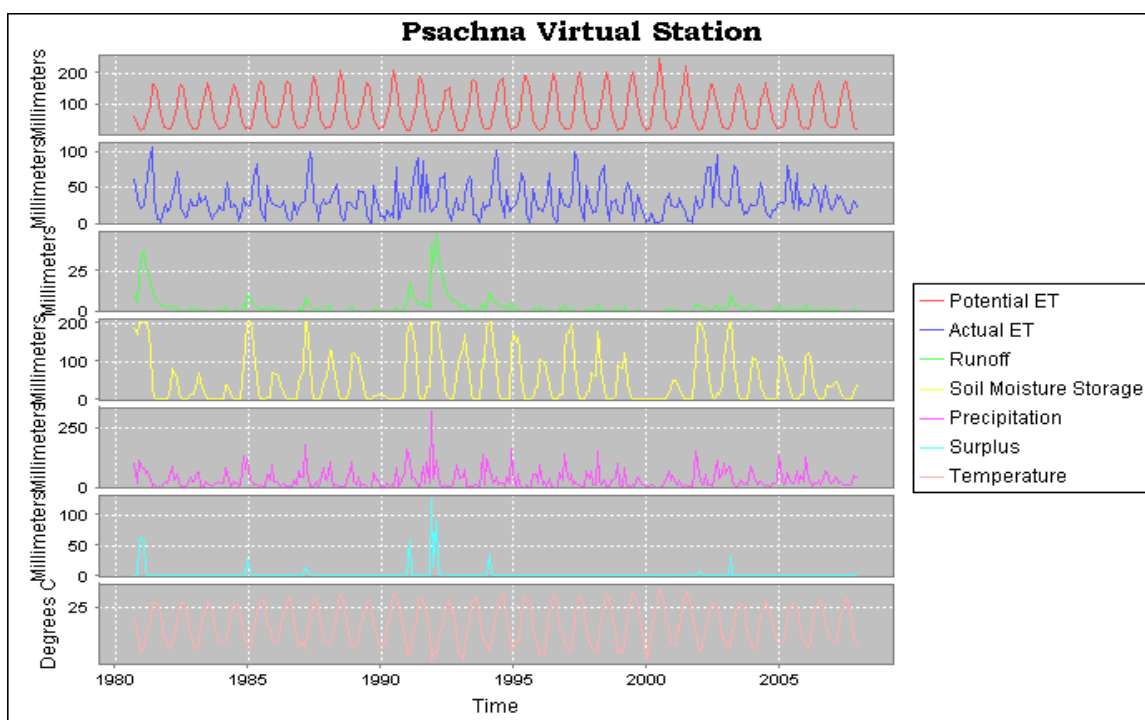
W_t : αντιστοιχεί στην πυκνότητα κορεσμένων υδρατμών νερού σε gr/m^3

T : η μέση μηνιαία θερμοκρασία του μήνα

Σχηματικά στο παρακάτω διάγραμμα (σχ.19) απεικονίζονται οι πράξεις της απλής αυτής εφαρμογής που δεν διαφέρουν και πολύ από την κλασσική μεθοδολογία υπολογισμού της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής του Thornthwaite.



Οι τιμές των μεταβλητών (κατώφλι γενικής απορροής, κατώφλι άμεσης απορροής) που επιλέχθηκαν έναντι των προτεινόμενων στο μοντέλο δεν αλλάζουν τελικά την αποδιδόμενη από το μοντέλο χρονοσειρά της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής παραπάνω από 1-2% στο σύνολο (άθροισμα). Στην παρακάτω εικόνα διαγράμματος (εικ.7.3) μπορεί κανείς να δει τα αποτελέσματα της εφαρμογής αυτής:



Εικόνα 8 - Διαγράμματα αποτελέσματος «μοντέλου» βροχής απορροής Thornthwaite

Η παραγόμενη χρονοσειρές της εφαρμογής αυτές βρίσκονται στον πιν. VII του παραρτήματος. Επιπλέον έχει προστεθεί μια έξτρα κολώνα **P-AE** η οποία εκφράζει την ενεργή (ωφέλιμη) βροχόπτωση⁷.

⁷ Ας σημειωθεί ότι η ποσότητα **P-AE** της «ενεργής βροχόπτωσης» τους θερινούς μήνες παίρνει αρνητικές τιμές και στην παρούσα εφαρμογή θεωρείται μηδενική. Πρακτικά, οι αρνητικές τιμές εκφράζουν την απώλεια ύδατος από την «εδαφική υγρασία» ή από τα μόνιμα αποθέματα. Η διαδικασία της εξάτμισης δεν σταματά επειδή δεν υπάρχει βροχόπτωση απλά αποκτά άλλο χαρακτήρα και άλλους ρυθμούς. Συνεπώς η διαθέσιμη ποσότητα για να κατείσδυσει ή να κινηθεί επιφανειακά το αποθηκευμένο υπεδαφικό νερό, συνεχώς μειώνεται απλά με άλλους ρυθμούς. Ο υπολογισμός της ποσότητας **P-AE** επαρκεί για τις ανάγκες της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Αν κάποιος όμως θέλει να αντιμετωπίσει την πραγματικά το «πρόβλημα» θα πρέπει να χρησιμοποιήσει ένα πολυπλοκότερο από το ανωτέρω «μοντέλο» βροχής-απορροής.

7.4. Προσδιορισμός των αντλήσεων

Από την μεν βιβλιογραφία έγινε γνωστό ότι δεν υπάρχουν στοιχεία σχετικά με τις ποσότητες αντλήσεων στον κάμπο (χρονοσειρές), ενώ από την εργασία υπαίθρου διαπιστώθηκε η αδυναμία εκτίμησης των ποσοτήτων άντλησης καθώς στις διάφορες αντλίες δεν υπάρχουν παροχόμετρα. Η δε συσχέτιση των καταναλώσεων ρεύματος (όπου υπήρχε ή ήταν προσβάσιμος ο μετρητής της ΔΕΗ) με την απόδοση των αντλιών και τελικά την αντλούμενη παροχή είναι μια επίπονη διαδικασία που απαιτεί χρόνο καταγραφής και επεξεργασίας μεγαλύτερο του διαθέσιμου, για την παρούσα εργασία.

Για τους παραπάνω λόγους έγινε έμμεσος προσδιορισμός των αντλούμενων ποσοτήτων υπογείου ύδατος. Η μεθοδολογία για τον προσδιορισμό των αντλούμενων ποσοτήτων νερού σε κάθε διαφορετική προσομοίωση που ακολουθήθηκε, περιγράφεται παρακάτω:

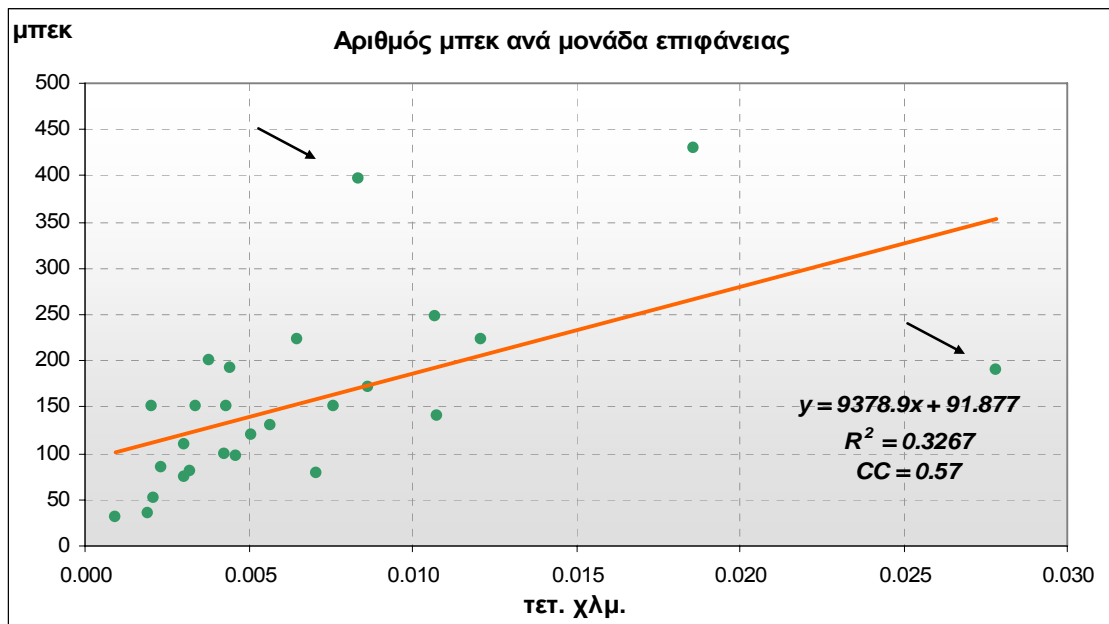
Αναγωγή από την συλλογή σύγχρονων πληροφοριών

Από την εργασία υπαίθρου, μαρτυρίες κατοίκων και του Γεωπόνου της Δημοτικής Αρχής, κ. Θανάση Τσομόκο, τον οποίο και ευχαριστώ, έγιναν γνωστά τα εξής:

- Οι περισσότεροι καλλιεργητές ποτίζουν με όμοιο τρόπο, χρησιμοποιώντας συστήματα όμοιων ψεκαστήρων (μπεκ). Αυτά έχουν μια μέγιστη απόδοση 300 l/h. Οπότε από τον αριθμό των μπεκ σε μια έκταση μπορεί κανείς να υπολογίσει την παροχή και την αντλούμενη ποσότητα ύδατος.
- Οι περισσότεροι καλλιεργητές ποτίζουν 4-6 ώρες την μέρα 3-5 φορές την εβδομάδα την ξηρή περίοδο και την υγρή εντελώς τυχαία και ακανόνιστα.
- Οι περισσότερες αντλίες είναι ίδιου τύπου και χρησιμοποιούν ίδιας σχεδόν διαμέτρου σωλήνες.
- Μεγάλο ποσοστό των καλλιεργειών είναι τα λαχανικά-οπωροκηπευτικά προϊόντα τα οποία δεν διατηρούνται σταθερά στην διάρκεια του έτους σε ένα χωράφι. Αυτό σημαίνει ότι για παράδειγμα τον ένα μήνα παρατηρείται καλλιέργεια πχ. κολοκύθι, τον μεθεπόμενο το χωράφι παρατηρείται χέρσο και ετοιμάζεται για νέα καλλιέργεια, και τον επόμενο παρατηρείται καλλιέργεια σκόρδου. Αυτό σημαίνει ότι αν κανείς θεωρήσει όλη την έκταση του κάμπου καλλιεργήσιμη θα υποπέσει σε μεγάλο αναγωγικό σφάλμα.
- Υπάρχει μια άνιση κατανομή όσον αφορά τις καλλιέργειες. Στα περιφερειακά πρηνή των υψωμάτων παρατηρούνται καλλιέργειες ελαιώνων οι οποίες δεν παρατηρούνται στον κάμπο όπου επικρατούν οι καλλιέργειες λαχανικών. Επίσης, πολλές γεωτρήσεις χρησιμοποιούνται για την άντληση εκτάσεων ελαιώνων εκτός της έκτασης που καταλαμβάνει το μοντέλο.
- Από τα στοιχεία της δοκιμαστικής άντλησης μπορεί κανείς να πει ενδεικτικά ότι αναμένει παροχές της τάξης των 25 m³/h.
- Και τέλος, από το ιστορικό της περιοχής όπως προαναφέρθηκε αναμένεται οι ποσότητες των αντλήσεων να αυξάνουν με την πάροδο του χρόνου με τις υψηλότερες την σημερινή εποχή.

7.4.1. Ομοιομορφία άρδευσης

Αρχικά λοιπόν, έγινε προσπάθεια να υπολογισθεί ο μέσος αριθμός ψεκαστών (μπεκ) ανά μονάδα επιφάνειας, θεωρώντας ότι υπάρχει **ομοιομορφία ποτίσματος** (όμοιος τύπος μπεκ με όμοια διασπορά ανά επιφάνεια ανεξαρτήτως της καλλιέργειας). Μετρήθηκαν λοιπόν από 26 τυχαία χωράφια ο αριθμός των ψεκαστών τους. Η συσχέτιση του παρουσιάζεται στην συνέχεια στο παρακάτω διάγραμμα (σχ.20):



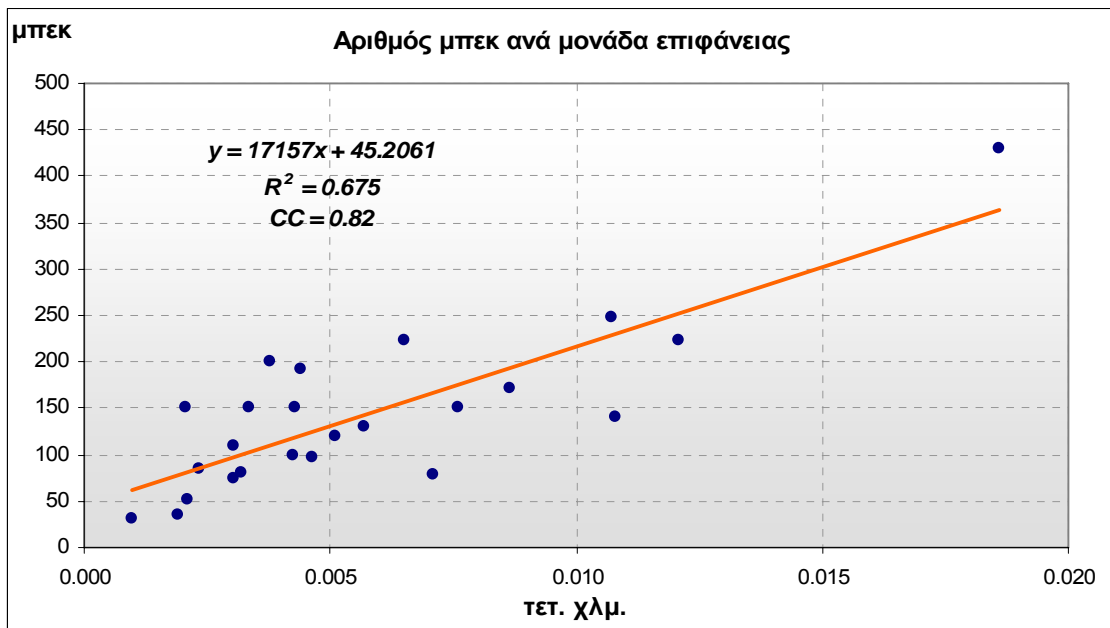
Σχήμα 20 - Διερεύνηση σχέσης. ψεκαστών και μονάδας επιφάνειας

Όπως φαίνεται από το διάγραμμα (σχ. 20) παρουσιάζεται κάποια συσχέτιση (Correlation Coefficient=0,57) αλλά η προβαλλόμενη εξίσωση γραμμικής παλινδρόμησης εξηγεί μόλις το 0,32 % (R^2) του δείγματος.

Αν όμως αφαιρεθούν οι τιμές που φαίνονται στο διάγραμμα με τα βέλη, οι οποίες θεωρούνται ακραίες (εξαιρετικά μεγάλος ή εξαιρετικά μικρός αριθμός μπεκ ανά μονάδα έκτασης), προκύπτει πολύ καλή συσχέτιση (82%) μεταξύ ψεκαστών και έκτασης (σχ.21). Η εξίσωση:

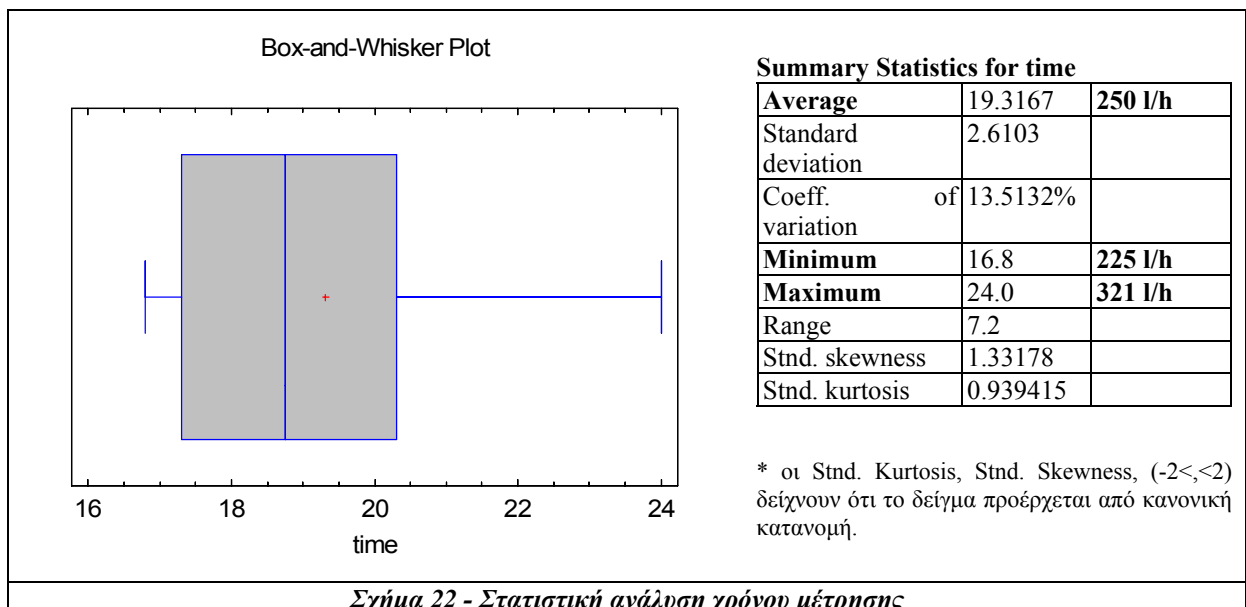
$$\text{Αριθμός μπεκ} = 45.2061 + 17157 \times \text{έκταση (km}^2\text{)} \quad (9)$$

εξηγεί το 67,5% της μεταβλητότητας του δείγματος, που είναι ποσοστό αρκετά σημαντικό.



Σχήμα 21 - Γραμμική σχέση μεταξύ ψεκαστών και μονάδας επιφάνειας καλλιέργειας

Παράλληλα με την καταμέτρηση των ψεκαστών, κατά την εργασία υπαίθρου πραγματοποιήθηκαν και τυχαίες υδρομετρήσεις στους ψεκαστές σε διάφορα αγροτεμάχια. Πραγματοποιήθηκαν χρονομετρήσεις μέχρι το μπεκάκι να γεμίσει ένα τυπικό μπουκάλι νερού 1,5 l και κατόπιν ανάχθηκε σε παροχή σε l/h.



Φαίνεται λοιπόν ότι παρά τις προδιαγραφές η τιμή παροχής στους ψεκαστές κυμαίνεται από 225 l/h σε 321 l/h. Για τους υπολογισμούς παρακάτω θα χρησιμοποιηθεί η τιμή 250 l/h η οποία αποτελεί την μέση τιμή του δείγματος.

7.4.2. Προσδιορισμός ενεργής επιφάνειας άρδευσης

Στην συνέχεια προκειμένου να προσδιορισθεί η «ενεργή» επιφάνεια ποτίσματος/αντλήσεων χρησιμοποιούνται τα δεδομένα (δηλωμένες εκτάσεις) του ΟΠΕΚΕΠΕ από τις αιτήσεις επιδότησης, τα οποία παρελήφθησαν κατόπιν αίτησης σε ηλεκτρονική μορφή. Πρόκειται για εκτάσεις (αγροτεμάχια) με διάφορες καλλιεργητικές χρήσεις που ποικίλουν (σιτάρι, ελιές, οπωροκηπευτικά, μεικτές, κλπ). **Το σύνολο των καλλιεργούμενων αυτών εκτάσεων είναι 6,11 km² (εικ.8)**⁸.

Αντικαθιστώντας στην εξίσωση (1) την έκταση και κάνοντας κάποιες πράξεις προκύπτει η τιμή **6,61 x 10⁶ m³ το έτος (ή 18109,6 m³/d, σε όρους μοντέλου)**⁹.

Από τα στοιχεία της μελέτης «Οριστική υδρογεωλογική μελέτη περιοχής Κεντρικής Εύβοιας» (Υδρορέυνα 1991) γίνεται γνωστό ότι η ετήσια ποσότητα των αντλήσεων υπογείου νερού (έμμεσος προσδιορισμός) από τον προσχωματικό υδροφόρο είναι ίση με **2,75 x 10⁶ m³**.¹⁰

Από την σύγκριση των δύο τιμών, ετήσιων ποσοτήτων των αντλήσεων του υπογείου νερού, δεν μπορεί κανείς να βγάλει ασφαλές συμπέρασμα για την ορθότητα της εκτίμησης για καμία τους, καθώς η υπερεκτίμηση της 2^{ης} μπορεί απλά να οφείλεται σε υποεκτίμηση της 1^{ης}.

Ας υποθέσουμε αρχικά, ότι και οι δύο είναι σωστές με την παραδοχή ότι έχουν αυξηθεί οι ποσότητες είτε λόγω εκβάθυνσης υφιστάμενων φρεάτων/γεωτρήσεων (όπως έχει αναφερθεί στο ιστορικό της περιοχής), είτε και λόγω εντατικοποίησης των καλλιεργειών. **Προκειμένου να κατανεμηθούν οι ποσότητες αυτές στο μοντέλο** μπορεί κανείς να ακολουθήσει κάποιες από τις παρακάτω τακτικές:

- Ομοιόμορφη ή ανομοιόμορφη κατανομή των ποσοτήτων των αντλήσεων στο μοντέλο
- Ομοιόμορφη ή ανομοιόμορφη κατανομή των υδροσημείων άντλησης.
- Τυχαίες κατανομές.

⁸ Ας σημειωθεί ότι στο σύνολο των εκτάσεων αυτών έχουν προσμετρηθεί και οι «Εκτάσεις δικαιωμάτων αγρανάπανσης» καθώς και οι εκτάσεις που με όνομα Χη στις οποίες καταμετρήθηκε ο αριθμός των ψεκαστήρων. Το τελευταίο δηλώνει αυτό ακριβώς που υποψιάζονταν ο γράφοντας, ότι οι δηλωμένες εκτάσεις του ΟΠΕΚΕΠΕ δεν αποτελούν απαραίτητα το σύνολο των καλλιεργούμενων εκτάσεων στον κάμπο των Ψαχνών αλλά όπως θα φανεί έπειτα αποτελούν μια πολύ καλή εκτίμηση της τάξης μεγέθους των καλλιεργούμενων εκτάσεων (που μάλλον δεν διαφέρουν πολύ) και μια πρώτης τάξης παραδοχή.

⁹ Από την εξίσωση (1) αντικαθιστώντας το 6,11 βρίσκει κανείς τον αριθμό ψεκαστήρων, επί την μέση παροχή αυτών (0,25 m³/h), επί 4 (ελάχιστες ώρες / μέρα), επί 3 (ελάχιστος αριθμός ημερών ποτίσματος την βδομάδα), επί 21 (βδομάδες -> 6 μήνες ξηρής περιόδου) καταλήγει στο νούμερο 6,607 x 10⁶ m³/y. Η αναγωγή αυτής της τιμής στην κλίμακα της ημέρας είναι 18109,6 m³/d.

¹⁰ Στην μελέτη αναφέρεται η τιμή **3,604 x 10⁶ m³ το έτος** (ή 9874 m³/d). Το νούμερο αυτό αντιστοιχεί σε 8.010 στρέμματα σε όλη την έκταση των προσχώσεων. Στην παρούσα εργασία γίνεται κατάτμηση στα στρέμματα που είναι γνωστά θεωρώντας ότι δε έχει αλλάξει και πολύ το χαμηλότερο τμήμα του κάμπου που αφορά το μοντέλο όσον αφορά τις εκτάσεις. Έτσι, στα 6.110 αντιστοιχεί η τιμή **2,75 x 10⁶ m³**.

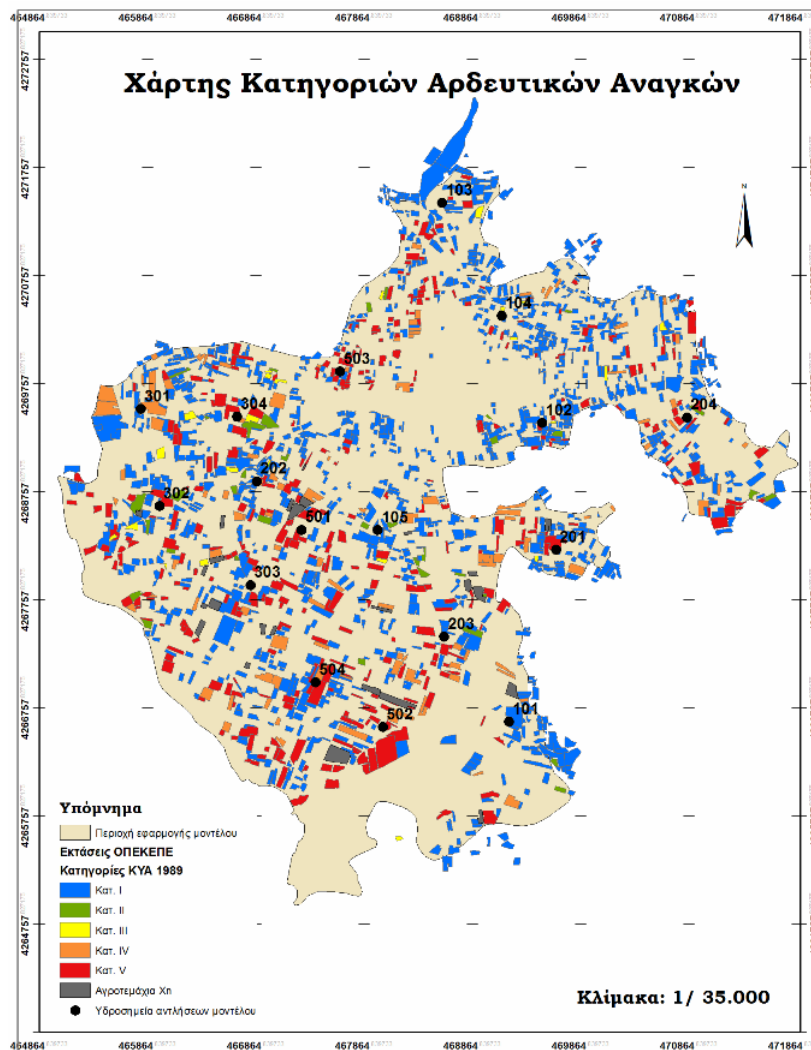
Λόγω της **ανομοιόμορφης κατανομής των καλλιεργητικών χρήσεων**, όπως αναφέρθηκε στην αρχή του κεφαλαίου, η οποία προφανώς αντιστοιχεί και στην αντίστοιχη ανομοιόμορφη **κατανομή των υδατικών αναγκών των καλλιεργειών**, έγινε προσπάθεια προσδιορισμού τοποθέτησης των υδροσημείων και των παροχών άντλησής τους, που κατά το δυνατόν ικανοποιούν τις παραπάνω παρατηρήσεις.

7.4.3. Υπολογισμός με βάση τις αρδευτικές ανάγκες των καλλιεργειών

Για τον υπολογισμό των αναγκών των καλλιεργειών σε νερό έχει εκδοθεί η ΚΥΑ Φ.16/6631/2.6.1989 (ΦΕΚ Β 428), με την οποία σε κάθε καλλιέργεια έχει αποδοθεί ένας φυτικός συντελεστής, *K*. Υπάρχουν 8 κατηγορίες φυτικού συντελεστή, εκτός των ξηρικών καλλιεργειών. Στον πιν. VIII του Παραρτήματος παρουσιάζονται οι κατηγορίες καλλιεργειών ανά φυτικό συντελεστή, όπως υιοθετήθηκαν στην παρούσα εργασία. Επιπλέον, η ίδια ΚΥΑ έχει ορίσει τα όρια για τη χρήση αρδευτικού νερού ανά κατηγορία καλλιεργειών και ανά υδατικό διαμέρισμα (σε m^3 /στρέμμα/μήνα) για κάθε δεδομένο μήνα της αρδευτικής περιόδου από τον Απρίλιο έως το Σεπτέμβριο. Οι τιμές αυτές χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των αναγκών των καλλιεργειών σε νερό και παρουσιάζονται στον πιν. IX του Παραρτήματος

Με βάση τον πιν. VIII του Παραρτήματος της ΚΥΑ Φ.16/6631/2.6.1989 (ΦΕΚ Β 428) κατηγοριοποιήθηκαν κατά φυτικό συντελεστή, *K* οι εκτάσεις του ΟΠΕΚΕΠΕ και παρουσιάζονται στον πιν. X του Παραρτήματος. Επίσης στον χάρτη που ακολουθεί μπορεί κανείς να δει την κατανομή αυτή των διαφόρων φυτικών συντελεστών στην περιοχή του μοντέλου. (εικ.9)

Με βάση, ότι η κατηγορία I έχει τις μικρότερες υδατικές ανάγκες, η κατηγορία V έχει την μεγαλύτερη που παρουσιάζεται στην περιοχή, μπορεί κανείς να τοποθετήσει υδροσημεία τα οποία θα αντλούν μεγαλύτερες ποσότητες σε εκτάσεις που αντιστοιχούν υψηλότερες απαιτήσεις σε νερό και υδροσημεία που θα αντλούν μικρότερες ποσότητες σε περιοχές με μικρότερες απαιτήσεις. Επίσης σε ανάμεικτες περιοχές μπορούν να τοποθετηθούν υδροσημεία ενδιάμεσων απαιτήσεων. Με βάση τις παραπάνω εύλογες υποθέσεις **τοποθετήθηκαν 17 υδροσημεία** (εικ.9) που καλύπτουν σχετικά ομοιόμορφα την περιοχή έκτασης του μοντέλου, και στα οποία δόθηκαν συντελεστές βαρύτητας ανάλογα με το ποια κατηγορία υδατικής ανάγκης εκπροσωπούν. Τα σημεία με κωδικό όνομα 101-105 εκπροσωπούν την κατ. I, τα 201-204 την κατ. II, τα 301-304 την κατ. III και τα 501-503 την κατ. V. Ο πίνακας συντεταγμένων και συντελεστών βαρύτητας (weights) των σημείων βρίσκεται στον πιν. XI του Παραρτήματος.



Εικόνα 9 - Χάρτης Κατηγοριών Αρδευτικών Αναγκών

Από τον πιν. ΙΧ του Παραρτήματος των υδρευτικών αναγκών και από την συνολική έκταση που καταλαμβάνουν οι περιοχές των ταξινομημένων κατηγοριών φυτικού συντελεστή Κ (κατ. I έως V) μπορεί κανείς να υπολογίσει για τους 6 μήνες της ξηράς περιόδου τις αντίστοιχες υδατικές ανάγκες για τις περιπτώσεις ελάχιστης, μέσης και μέγιστης υδατικής ανάγκης της κάθε κατηγορίας.

Κοινώς, μπορεί κανείς να υπολογίσει υδρευτικές ανάγκες σε τρεις «στάθμες» τιμών για κάθε κατηγορία φυτ. συντελεστή. Η διαδικασία αυτή ακολουθήθηκε για την μέση υδρευτική ανάγκη κάθε καλλιέργειας και προέκυψε ο πιν. ΧΙΙ του Παραρτήματος. Από αυτόν βλέπουμε ότι η ετήσια ποσότητα μέσης υδρευτικής ανάγκης των καλλιεργειών στην περιοχή του μοντέλου είναι $3.807 \times 10^6 \text{ m}^3$ το έτος. Με όμοια διαδικασία για της μέσες και ελάχιστες ανάγκες υπολογίζονται και οι παρακάτω τιμές του πίνακα (πίν.3):

Πίνακας 3 - Υδρευτικές ανάγκες καλλιεργειών

4.160×10^6	max
3.807×10^6	mean
3.455×10^6	min

7.4.4. Συμπεράσματα

Φαίνεται δηλαδή ότι η τιμή $2,75 \times 10^6 \text{ m}^3$ το έτος που είχε υπολογισθεί κατά την μελέτη του 1991 στην πραγματικότητα αποτελεί μια εκτίμηση κατώτερης της ελάχιστης υδρευτικής ανάγκης των καλλιεργειών στην περιοχή του μοντέλου, ή αλλιώς μια υποεκτίμηση της κατάστασης με βάση όμως τις σημερινές υπολογισμένες εκτάσεις. Αυτό, μαζί με την αποδοχή της πρακτικής της υπεράντλησης μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η εκτίμηση που έγινε με βάση την κατανομή των ψεκαστήρων κινείται στα όρια του αποδεκτού.

Τα μέγιστα όρια του παραπάνω πίν. 3 θα χρησιμοποιηθούν για την προσομοίωση των στάθμεων του σεναρίου 3 που βασίζεται στην μελέτη του ΙΓΜΕ (Τσιούμας, Ζόραπας 2004) επειδή ευλόγως αποτελεί την ενδιάμεση τιμή στην ενδιάμεση προσομοίωση.

Η τιμή $2,75 \times 10^6 \text{ m}^3$ το έτος θα χρησιμοποιηθεί για την προσομοίωση των Σεναρίων 1 & 2 που βασίζονται στην μελέτη του 1992. Και η τιμή $6,61 \times 10^6 \text{ m}^3$ το έτος θα χρησιμοποιηθεί για το Σενάριο 4.

Τέλος, αυτό που παραμένει κοινό και στα 4 σενάρια είναι η κατανομή των υδροσημείων άντλησης με τους αντίστοιχους συντελεστές βαρύτητας. Αυτό συμβαίνει γιατί δεν υπάρχει κάποια φανερή αιτία που να υπαγορεύει στον γράφοντα την αλλαγή κατανομής ή την αλλαγή των συντελεστών βαρύτητας. Έτσι στον πιν. XI του Παραρτήματος οι τρεις τελευταίες στήλες περιέχουν την παροχή άντλησης του κάθε υδροσημείου με βάση τον συντελεστή βαρύτητας και την αντίστοιχη ετήσια ποσότητα κατανεμημένη στο χρονικό βήμα ημέρας (των 6 μηνών της ξηράς περιόδου) για το κάθε σενάριο προσομοίωσης.

7.5. Λοιπά Στοιχεία Ισοζυγίου

Από την εξίσωση (3) του ισοζυγίου δεν έχει προσδιορισθεί η επιφανειακή απορροή και οι πλευρικές μεταγγίσεις. Η κατείδυση είναι η ποσότητα που εισάγεται στο μοντέλο προσομοίωσης, μέσω της αναπλήρωσης ενώ η μεταβολή στον όγκο νερού του «ταμιευτήρα» υπολογίζεται από αυτό.

Όσον αφορά την **επιφανειακή απορροή** αυτή θεωρείται πρακτικά αμελητέα, αφού αυτή πραγματοποιείται μόνο σε πολύ υψηλές τιμές της βροχόπτωσης και πολύ μικρό χρονικό διάστημα. (οι μέσες βροχοπτώσεις στην περιοχή του μοντέλου είναι ~400μμ) Δεν αναμένεται εξάλλου να υπερβαίνει το 5% της ενεργής βροχόπτωσης. Η εφαρμογή μαθηματικού μοντέλου υδατικού ισοζυγίου για τον προσδιορισμό του ελάχιστου αυτού ποσοστού στην περιοχή μελέτης ξεφεύγει των ορίων της παρούσας εργασίας.

Οι **πλευρικές μεταγγίσεις**, όπως έχει αναφερθεί, αφορούν τις μεταγγίσεις από του ασβεστόλιθους περιφερειακά του μοντέλου. Για να υπολογισθούν ξεχωριστά για κάθε έτος απαιτείται εφαρμογή μοντέλου λεκάνης απορροής για το σύνολο της υδρολογικής λεκάνης (ή και των υπολεκανών αυτής) το οποίο ξεφεύγει των ορίων της παρούσας εργασίας. Γι' αυτό παρακάτω χρησιμοποιείται ποσοστό της τιμής $9,846 \times 10^6 \text{ m}^3$ το έτος (για το υδρολογικό έτος 1990-91), όπως υπολογίσθηκε από την μελέτη της «ΥΔΡΟΕΡΕΥΝΑ α.ε.» (1991) του Υπ.Γε.

Η παραπάνω τιμή ($9,846 \times 10^6 \text{ m}^3$ το έτος) αντιστοιχεί στις πλευρικές μεταγγίσεις και επιφανειακές εισροές από τις ασβεστολιθικές μάζες της περιοχής στο σύνολο των τεταρτογενών και νεογενών σχηματισμών της λεκάνης απορροής του Μεσάπιου. Το ποσοστό της έκτασης του μοντέλου προσομοίωσης ως προς το ποσοστό έκτασης των τεταρτογενών και νεογενών σχηματισμών στην περιοχή της λεκάνης του Μεσάπιου είναι **28,7%**. Το ποσοστό του μήκους των ορίων των ασβεστολιθικών μαζών που βρίσκονται πλευρικά της έκτασης προσομοίωσης σε σχέση με το συνολικό μήκος ορίων επαφής ασβεστόλιθοι - κλαστικοί σχηματισμοί (νεογενείς και τεταρτογενείς) είναι ίσο με **24,4%**. Χρησιμοποιώντας τον μέσο όρο των δύο αυτών ποσοστών, **26,55%**, στην τιμή πλευρικών μεταγγίσεων προσδιορίζεται η τιμή **$2,614 \times 10^6 \text{ m}^3$ το έτος** η οποία χρησιμοποιείται τελικά για τις προσομοιώσεις (λόγω έλλειψης άλλων στοιχείων).

Ας σημειωθεί, ότι με βάση τους μελετητές (Υδροέρευνα 1991) αυτή η τιμή αντιπροσωπεύει μια μέση τιμή κρίνοντας από τα μέσα μηνιαία ύψη βροχής.

8. Εφαρμογή του μοντέλου Προσομοίωσης PMWIN

Αφού υπολογίσθηκαν παραπάνω οι παράμετροι της εξίσωσης (7) του υδατικού ισοζυγίου μπορεί να πραγματοποιηθεί η προσομοίωση.

8.1. Γενικά

8.1.1. Ρύθμιση σταθερής κατάστασης (Steady State)

Σε πρώτο στάδιο (της κάθε προσομοίωσης) αφού εισαχθούν τα δεδομένα το μοντέλο τρέχει σε μη μεταβλητές συνθήκες όγκου ταμίευσης (steady state). Αυτή διαδικασία παράγει τον μέσο όρο των αποτελεσμάτων, θα έλεγε κανείς, αφού προσομοιώνεται η περιοχή ενδιαφέροντος σαν να έχει πάντα τον μέσο όρο των τιμών πιεζομετρίας χωρίς να συμβαίνουν μεταβολές στον αποθηκευμένο όγκο του νερού. Προκύπτουν τιμές στάθμεων σε κάθε κελί που αντιπροσωπεύουν την μέση κατάσταση πιεζομετρίας.

Η προσομοίωση γίνεται με την χρήση της εξίσωσης :

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) - Q = 0 \quad (10)$$

όπου h : στάθμη υπογείου νερού

x,y,z : μήκος κατά τον κατακόρυφο(z) και τους οριζόντιους άξονες συντεταγμένων (x,y)

K_{xx}, K_{yy}, K_{zz} : υδραυλική αγωγιμότητα κατά μήκος των αξόνων x,y,z

Q : όρος που αντιπροσωπεύει πηγές ή απώλειες νερού

Σε αυτή την φάση μπορεί ο χρήστης με την διαδικασία δοκιμή-λάθος να αλλάξει τις αρχικές τιμές υδραυλικών παραμέτρων μέχρι να «φέρει» την μορφή της πιεζομετρίας εκεί όπου την φαντάζεται. Κατόπιν μπορεί να καλέσει την ρουτίνα ρύθμισης η οποία αναλόγως την μορφή του υδροφόρου (υπό πίεση, ελεύθερος) δύναται να υπολογίζει την στατιστικά βέλτιστη τιμή παραμέτρου(ων) με βάση τα σημεία παρατήρησης. Αυτή η τιμή (ες) κρίνονται και αξιολογούνται αντίστοιχα από τον χρήστη.

Στο επόμενο στάδιο η τιμή αυτή αντικαθιστά ή όχι την αρχική και συνεχίζει στην προσομοίωση και ρύθμιση του μοντέλου σε δυναμικές συνθήκες (Transient).

8.1.2. Ρύθμιση σε δυναμικές συνθήκες ροής (Transient State)

Για τις ανάγκες της ρύθμισης στις συγκεκριμένες συνθήκες η προσομοίωση γίνεται με τη χρήση της εξίσωσης που περιλαμβάνει την μεταβολή της ταμίευσης σε σχέση με τον χρόνο:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) - Q = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (11)$$

όπου h : στάθμη υπογείου νερού
 x, y, z : μήκος κατά τον κατακόρυφο(z) και τους οριζόντιους άξονες συντεταγμένων (x,y)
 K_{xx}, K_{yy}, K_{zz} : υδραυλική αγωγιμότητα κατά μήκος των αξόνων x,y,z
 Q : όρος που αντιπροσωπεύει πηγές ή απώλειες νερού
 S_s : ταμίευση στον υδροφόρο

Σε αυτό το στάδιο το σύστημα του υδροφόρου λειτουργεί προσομοιώνοντας τις πραγματικές συνθήκες διακύμανσης εισροών-εκροών με αποτέλεσμα και την πιθανή μεταβολή του αποθηκευμένου όγκου νερού. Η πιεζομετρία αλλάζει με το χρονικό βήμα (time step) και με την περίοδο φόρτισης (stress period).

Η μέθοδος δοκιμή-λάθος από τον χρήστη γίνεται επίπονη διαδικασία, καθώς δεν έχει ένα χρονικό βήμα να ελέγξει αλλά όσο έχει επιλέξει. Συνήθως επιλέγεται ένα διάστημα προσομοίωσης 1-2 χρόνια με 2-4 περιόδους φόρτισης αντίστοιχα και 6-24 χρονικά βήματα αντίστοιχα. Η ρύθμιση γίνεται, όπως και προηγουμένως, με την διαφορά ότι ανάλογα το είδος του υδροφόρου είναι δυνατόν να ρυθμιστεί διαφορετική παράμετρος από την ρύθμιση της σταθερής κατάστασης.

Τελικά, τα αποτελέσματα και των 2 παραπάνω σταδίων ρυθμίσεων αξιολογούνται από τον χρήστη βελτιώνοντας το μοντέλο του, επιλέγοντας ή όχι τις προτεινόμενες τιμές. Οι υπολογισμένες τιμές σε σημεία παρατήρησης, η σχέση των διαφορών μεταξύ υπολογισμένων από το μοντέλο τιμών και τιμών μετρήσεων καθορίζουν, καθώς και η μορφή της γενικής πιεζομετρίας στα διάφορα χρονικά βήματα καθορίζουν τελικά τον χαρακτηρισμό καλής ή κακής ρύθμισης.

Στην περίπτωση της προσομοίωσης του φρεατίου (ελεύθερου) υδροφόρου κάμπου Ψαχνών οι δυνατότητες κατά το στάδιο της ρύθμισης της σταθερής κατάστασης είναι η ρύθμιση της μεταβιβαστικότητας T (transmissivity), ενώ κατά την ρύθμιση σε δυναμικές συνθήκες είναι η υδραυλική αγωγιμότητα K (Hydraulic Conductivity) και η ειδική παροχή S_y (Specific Yield).¹¹

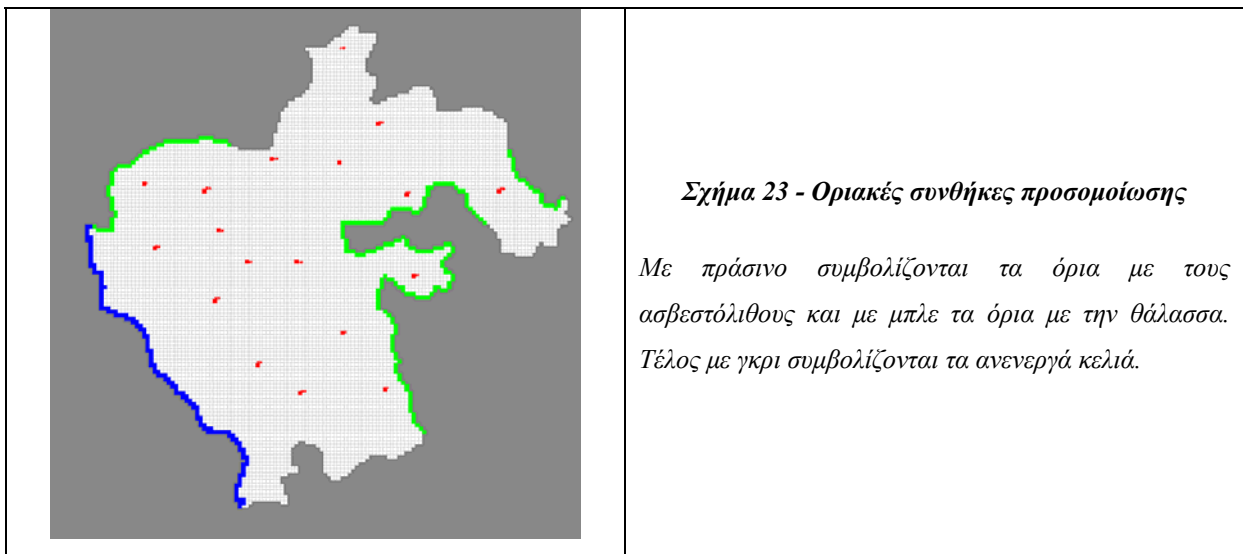
Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την προσομοίωση και ρύθμιση του μοντέλου της περιοχής μελέτης.

¹¹ αυτά καθορίζονται από την λειτουργία του κώδικα MODFLOW ανάλογα με τον τύπο υδροφόρου

8.2. Δεδομένα προσομοίωσης υδροφόρου κάμπου Ψαχνών

Όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο θα πραγματοποιηθούν 4 προσομοιώσεις (σενάρια) και θα αξιοποιηθούν τα αποτελέσματα τους, όσον αφορά την πιεζομετρία και τις υδραυλικές παραμέτρους T (transmissivity), K (Hydraulic Conductivity), Sy (Specific Yield) του υδροφόρου.

Κοινό στοιχείο και στις 4 προσομοιώσεις είναι η γεωμετρία του υδροφόρου, οι οριακές συνθήκες (σχ. 23), οι αρχικές τιμές υδραυλικών παραμέτρων καθώς και οι πλευρικές εισροές από τους ασβεστόλιθους.



8.2.1. Υδραυλικές παράμετροι υδροφόρου

Από την δοκιμαστική άντληση που διεξήχθη στην περιοχή, έγινε γνωστό ότι ο η τιμή της μεταβιαστικότητας (transmissivity) είναι ίση περίπου με $7 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 / \text{sec}$. Αυτό αντιστοιχεί σε τιμή $60,5 \text{ m}^2 / \text{d}$ το οποίο και χρησιμοποιήθηκε αρχικά στο μοντέλο. Επίσης από την βιβλιογραφία, αλλά και από τα δεδομένα της δοκιμαστικής άντλησης, υπολογίστηκε ένα μέγεθος Υδραυλικής αγωγιμότητας (Hydraulic conductivity) $2 \cdot 10^{-4} \text{ m/sec}$ που αντιστοιχεί σε $1,5 \text{ m/d}$ και αυτό εισήχθη αρχικά στο μοντέλο. Για τιμή ειδικής απόδοσης (specific yield) χρησιμοποιήθηκε η αρχική τιμή του μοντέλου 0,1, ομοίως και για το ενεργό πορώδες (effective porosity) η τιμή 0,25.

Οι τιμές υδραυλικών χαρακτηριστικών μπορούν να είναι ομοιόμορφες (ίδιες για κάθε κελί) ή ανομοιόμορφες. Επιλέχθηκε η ομοιομορφία για λόγους απλότητας και ανυπαρξίας στοιχείων.

8.2.2. Πλευρικές εισροές

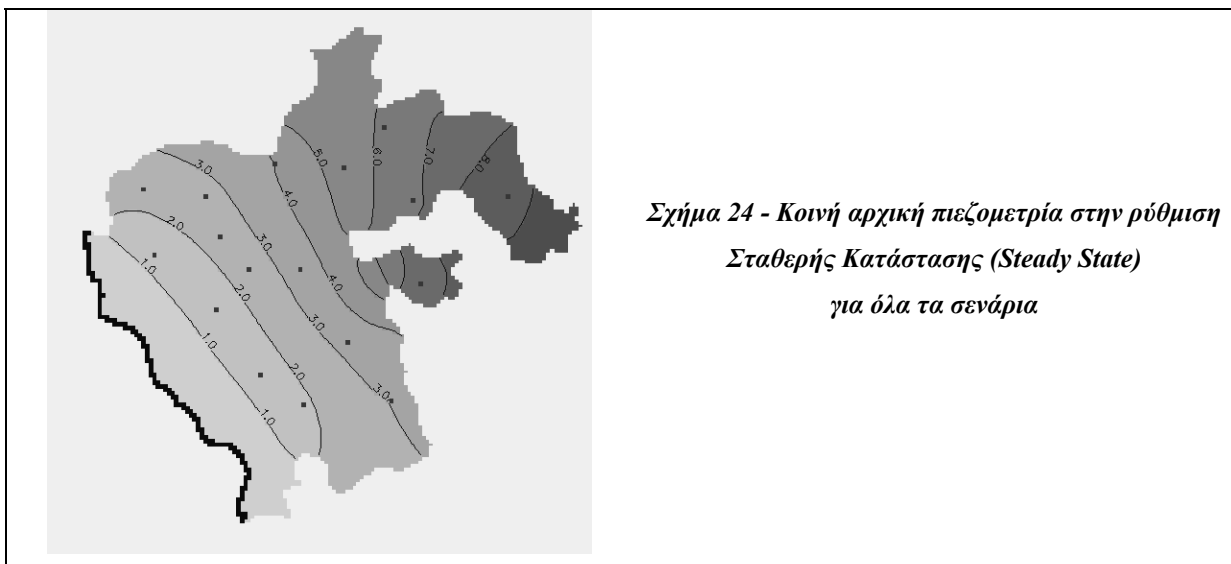
Για την τιμή της ροής που αποδίδουν οι ασβεστόλιθοι (fixed-head flux) ελλείπει ισοζυγίου χρησιμοποιήθηκε το 26,55% της τιμής της ποσότητας των πλευρικών εισροών στον προσχωματικό υδροφόρο για το υδρολογικό έτος 1991-92 από τα στοιχεία της μελέτης «Οριστική υδρογεωλογική μελέτη περιοχής Κεντρικής Εύβοιας», δηλαδή: $2,614 \times 10^6 \text{ m}^3$ το έτος (Υδροέρευνα 1991). Η τελευταία αντιστοιχεί σε $7161,73 \text{ m}^3/\text{d}$. Η ποσότητα αυτή όμως αντιστοιχεί στο σύνολο του ορίου, δηλαδή στον συνολικό αριθμό κελιών. Διαιρώντας λοιπόν τον παραπάνω αριθμό με τον αριθμό 245 των κελιών που απαρτίζουν τα όρια του ασβεστόλιθου προκύπτει ο αριθμός $29,23 \text{ m}^3/\text{d}$ για κάθε κελί. Η ποσότητα αυτή εισέρχεται καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.

Η μεθοδολογία υπολογισμού του ποσοστού αυτού αναλύθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο.

Πίνακας 4 - Πίνακας κοινών στοιχείων σεναρίων

Πίνακας κοινών στοιχείων σεναρίων	
Παράμετρος	Τιμή παραμέτρου (ανά κελί)
Επιφάνεια υδροφόρου	Τιμή που αντιστοιχεί στο DEM
Πάχος υδροφόρου	30 m
Μεταβιβαστικότητα (transmissivity) T	$60,5 \text{ m}^2/\text{d}$
Υδραυλική αγωγιμότητα (Hydraulic conductivity) K	$2 \text{ m}/\text{d}$
Ειδική απόδοση (specific yield) Sy	0,1
Ενεργό πορώδες (effective porosity)	0,25
Πλευρικές εισροές(wf)	$29,23 \text{ m}^3/\text{d}$
Χρονική μονάδα (time unit)	1 d
Χρονικό βήμα (time step)	30 d

Σαν αρχικό φορτίο σταθερής κατάστασης (**initial hydraulic head**) καθορίστηκε ύστερα από αλληπάλληλες εφαρμογές μια θεωρητικά κοινή αναμενόμενη πιεζομετρία (σχ.24) του υδροφόρου, η οποία χρησιμοποιήθηκε σε όλα τα σενάρια



Τα υπόλοιπα στοιχεία εισαγωγής διαφέρουν και γι' αυτό το λόγω παρατίθεται ο παρακάτω πίν. 5:

Πίνακας 5 - Δεδομένα σεναρίων

	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3	Σενάριο 4
Χρονική περίοδος προσομοίωσης	Απρ 1982 Οκτ 1983	Οκτ 1989 Μαΐ 1991	Απρ 2002 Μαΐ 2003	Σεπ 2013 Αυγ 2014
Διαδοχή χρονικών βημάτων (stress period)	Ξηρή -Υγρή - Ξηρή	Υγρή -Ξηρή - Υγρή	Ξηρή -Υγρή	Ξηρή -Υγρή
Αρχικές στάθμες στην προσομοίωσης transient state (initial hydraulic head)	Στάθμες Απριλίου 1982	Στάθμες Οκτωβρίου 1989	Στάθμες Απριλίου 2002	Στάθμες Μαρτίου 2014
Αναπλήρωση (recharge) m/d 12μηνο/6μηνο¹²	$2,13 \times 10^{-4}$ $4,62 \times 10^{-4}$	$5 \times 10^{-4} =$ $1,5 \times 10^{-3} +$ $9,7 \times 10^{-5}$	$6,8 \times 10^{-4}$ $13,5 \times 10^{-4}$	$1,33 \times 10^{-4}$ $2,65 \times 10^{-4}$
Ποσότητα άντλησης ανά υδροσημείο (pumping flux) m³/d 12μηνο/6μηνο	886,382 443,191	886,382 443,191	1340,854 670,427	2130,54 1065,27
Αριθμός σημείων παρατήρησης (observation points)	20	18	38	47
Χρονικού σημείο παρατήρησης	Οκτ 1982	Μαΐ 1991	Μαΐ 2003	Ιουλ 2014

¹² Αναφέρονται 2 τιμές καθώς στην ρύθμιση μεταβλητής κατάστασης θεωρείται ότι οι βροχοπτώσεις λαμβάνουν χώρα μόνον κατά την υγρή περίοδο (6 μήνες) ενώ οι αντλήσεις την ξηρή περίοδο (6 μήνες). Σε αντίθετη περίπτωση, στην ρύθμιση σταθερής κατάστασης λαμβάνεται ο μέσος όρος των τιμών αυτών δηλαδή σαν να πρόκειται για ένα 12μηνο.

8.3. Αποτελέσματα ρύθμισης

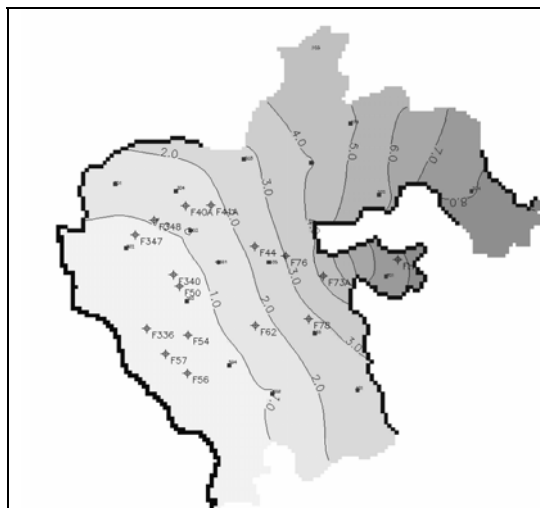
Αφού ακολουθήθηκε η διαδικασία που περιγράφηκε στην αρχή του κεφαλαίου αυτού προέκυψαν τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται παρακάτω για κάθε σενάριο ξεχωριστά. Πιο συγκεκριμένα παρουσιάζονται:

- ο τα αποτελέσματα των τιμών παραμέτρων σε πίνακες για κάθε σενάριο
- ο οι πιεζομετρικές καμπύλες υπό μορφή σχήματος για την περίοδο ενδιαφέροντος για κάθε σενάριο
- ο ένα γράφημα σύγκρισης υπολειπόμενων στάθμεων ως προς της παρατηρούμενες (όσο πιο κοντά βρίσκονται τα σημεία από την ευθεία σύγκλισης τόσο καλύτερο το αποτέλεσμα της προσομοίωσης)

8.3.1. Σενάριο 1

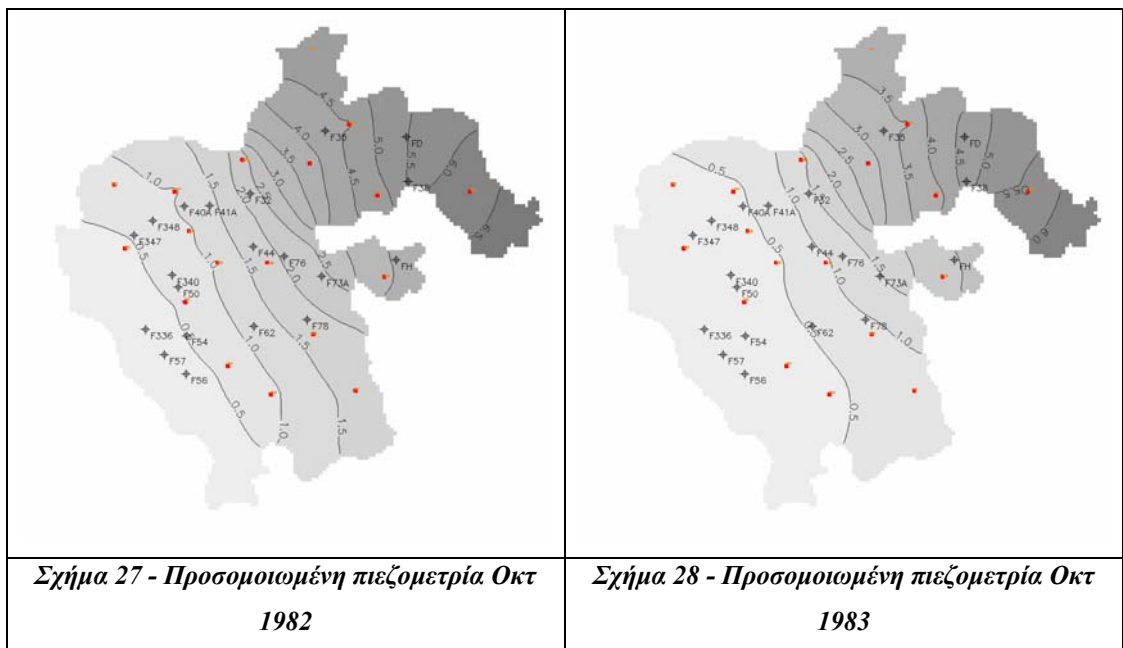
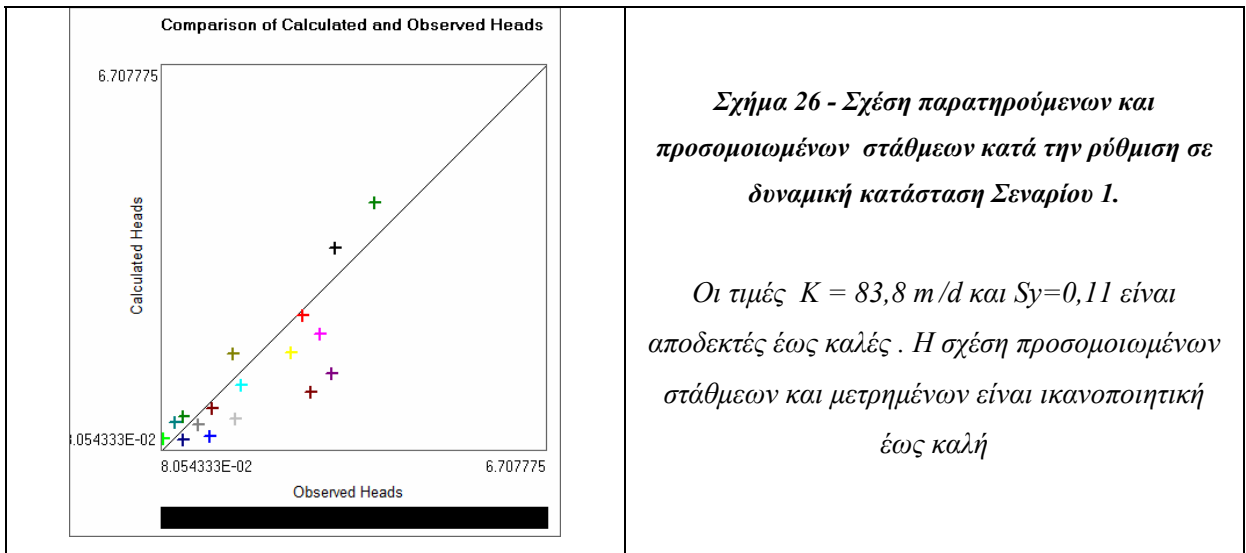
Πίνακας 6 - Αποτελέσματα σεναρίου 1

Ρύθμιση κατά την προσομοίωση	Παράμετρος	Τιμή παραμέτρου	Διάστημα εμπιστοσύνης		Συντελεστής συσχέτισης
			κατώτερο	ανώτερο	
Steady state	T	679,459	488,020	870,898	0,7840
Transient state	K*	83,796	76,095	91,497	0,8364
	Sy*	0,111	0,09872	0,1242	0,8433



Σχήμα 25 - Μορφή της πιεζομετρίας του Σεναρίου 1 μετά την ρύθμιση σε σταθερή κατάσταση.

Η τιμή του T θεωρήθηκε υπερβολική και για αυτό προτιμήθηκε η αρχική τιμή $60,5 \text{ m}^2/\text{d}$. Η μορφή της πιεζομετρίας είναι αυτή των αρχικών συνθηκών.

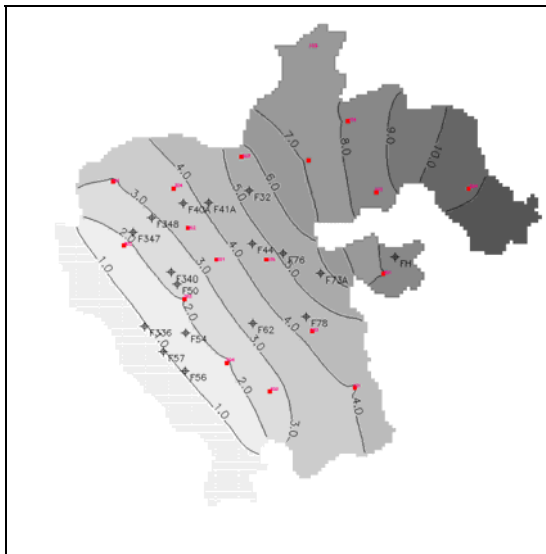


Η προσομοιωμένη πιεζομετρία στο τέλος ξηρής περιόδου του Οκτ 1983 ταιριάζει πολύ καλά την πραγματική πιεζομετρία (σχ. 5) σε αντίθεση με αυτήν του Οκτ 1982 που ταιριάζει πολύ λιγότερο. Σε αυτό μπορεί να οφείλεται η υπερεκτίμηση των πλευρικών μεταγγίσεων όπου την 2^η περίοδο πιθανά πλησιάζει τις πραγματικές τιμές σε αντίθεση με την 1^η περίοδο. Ας σημειωθεί ότι οι υγρές περιόδους συνήθως έχουν όμοια πιεζομετρία με λίγες αποκλίσεις αφού τότε πρακτικά «γεμίζει» ο ταμιευτήρας.

8.3.2. Σενάριο 2

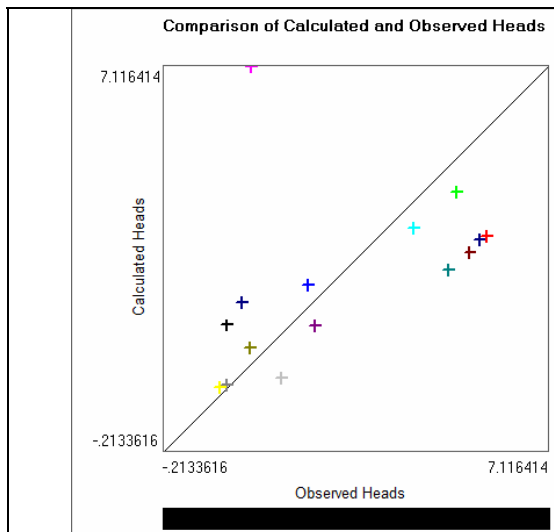
Πίνακας 7 - Αποτελέσματα σεναρίου 2

Ρύθμιση κατά την προσομοίωση	Παράμετρος	Τιμή παραμέτρου	Διάστημα εμπιστοσύνης		Συντελεστής συσχέτισης
			κατώτερο	ανώτερο	
Steady state	T	1000	943,581	1056,42	-
Transient state	K	35,344	18,986	51,7025	0,3306
	Sy	0,0998	0,043	0,1567	



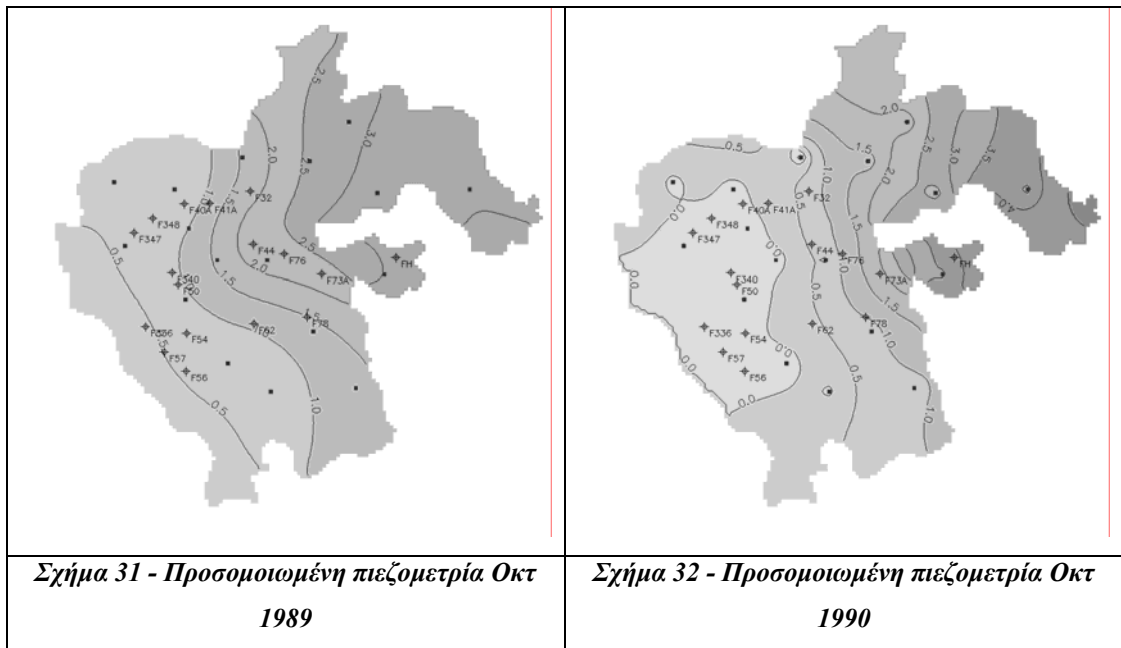
Σχήμα 29 - Μορφή της πιεζομετρίας του Σεναρίου 2 μετά την ρύθμιση σε σταθερή κατάσταση.

Η τιμή του T θεωρήθηκε υπερβολική και για αυτό προτιμήθηκε η αρχική τιμή $60,5 \text{ m}^2/\text{d}$. Η μορφή της πιεζομετρίας είναι αυτή των αρχικών συνθηκών.



Σχήμα 30 - Σχέση παρατηρούμενων και προσομοιωμένων στάθμεων κατά την ρύθμιση σε δυναμική κατάσταση σεναρίου 2.

Οι τιμές $K = 35,34 \text{ m/d}$ είναι καλή ενώ η τιμή της Sy ταυτίζεται με την αρχική Η σχέση προσομοιωμένων στάθμεων και μετρημένων είναι μετριότητα.

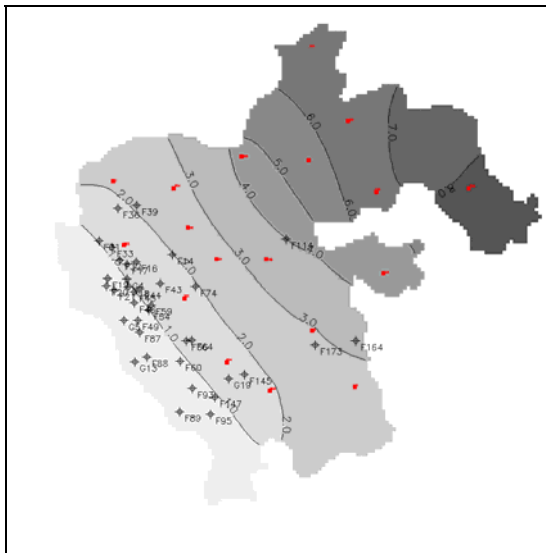


Η προσομοιωμένη πιεζομετρία στο τέλος της κάθε ξηρής περιόδου ταιριάζει πολύ καλά με αυτήν των πραγματικών συνθηκών (σχ. 5).

8.3.3. Σενάριο 3

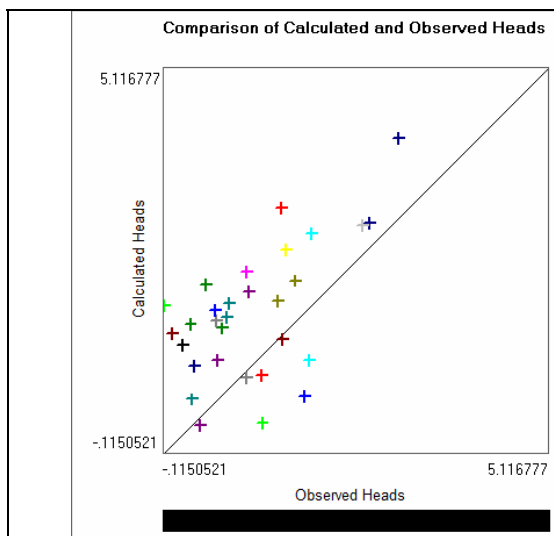
Πίνακας 8 - Αποτελέσματα σεναρίου 3

Ρύθμιση κατά την προσομοίωση	Παράμετρος	Τιμή παραμέτρου	Διάστημα εμπιστοσύνης		Συντελεστής συσχέτισης
			κατώτερο	ανώτερο	
Steady state	T	3518,27	2712,66	4323,87	0,7752
Transient state	K*	85,04	64,963	105,118	0,5762
	Sy	0,98	0,3811	1,578	0,8519



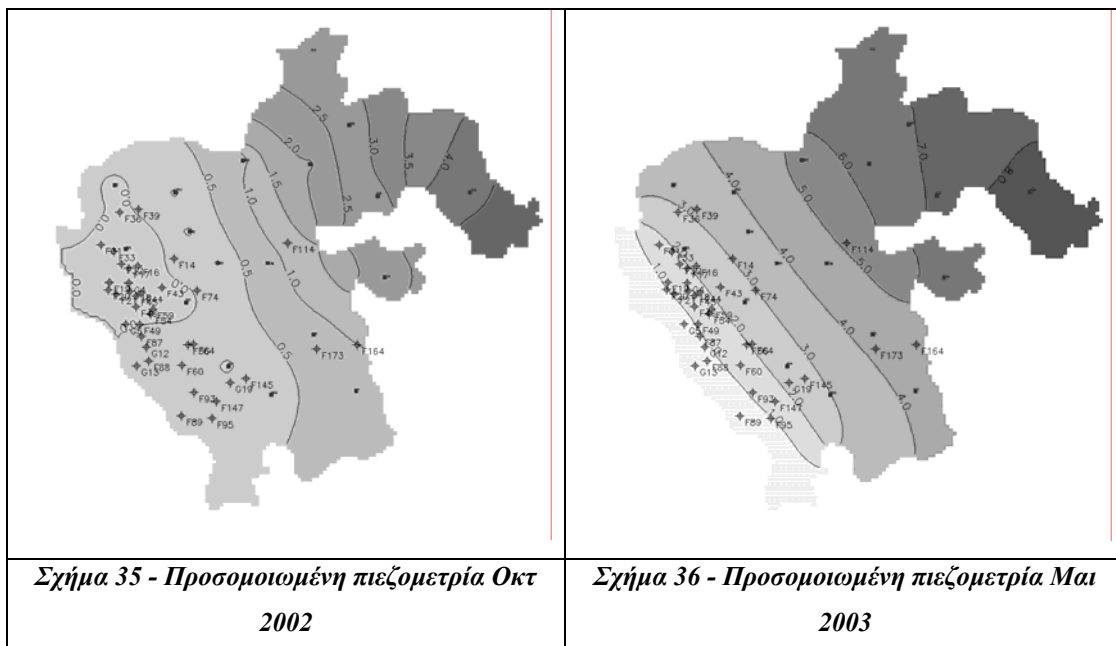
Σχήμα 33 - Μορφή της πιεζομετρίας του Σεναρίου 3 μετά την ρύθμιση σε σταθερή κατάσταση.

Η τιμή του T θεωρήθηκε υπερβολική και για αυτό προτιμήθηκε η αρχική τιμή $60,5 \text{ m}^2/\text{d}$.



Σχήμα 34 - Σχέση παρατηρούμενων και προσομοιωμένων στάθμεων κατά την ρύθμιση σε δυναμική κατάσταση Σεναρίου 3.

Οι τιμές $K = 85 \text{ m/d}$ είναι καλή ενώ η τιμή Sy είναι πολύ υψηλή και γι' αυτό διατηρείται η αρχική $Sy=0,1$. Η σχέση προσομοιωμένων στάθμεων και μετρημένων είναι σχετικά καλή ως προς την κλίμακα.

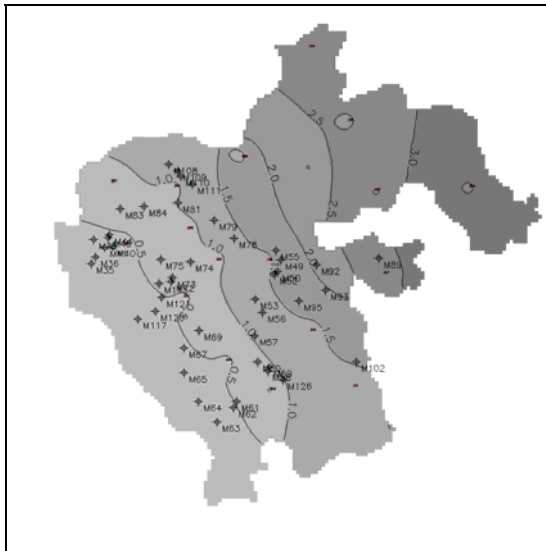


Όπως φαίνεται από την μορφή της πιεζομετρίας η τιμή του K προσομοιάζει καλά τις πραγματικές συνθήκες (σχ. 6) κατά την ξηρή περίοδο και την αναπλήρωση στις υψηλές στάθμες.

8.3.4. Σενάριο 4

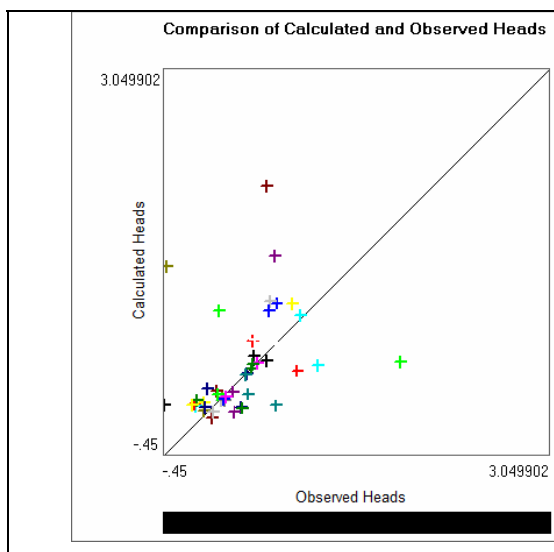
Πίνακας 9 - Αποτελέσματα σεναρίου 4

Ρύθμιση κατά την προσομοίωση	Παράμετρος	Τιμή παραμέτρου	Διάστημα εμπιστοσύνης		Συντελεστής συσχέτισης
			κατώτερο	ανώτερο	
Steady state	T	1000,0	899,83	1100,17	-
Transient state	K	1000	665,9	1334,1	0,2046
	Sy*	0,246	0,217	0,275	0,309



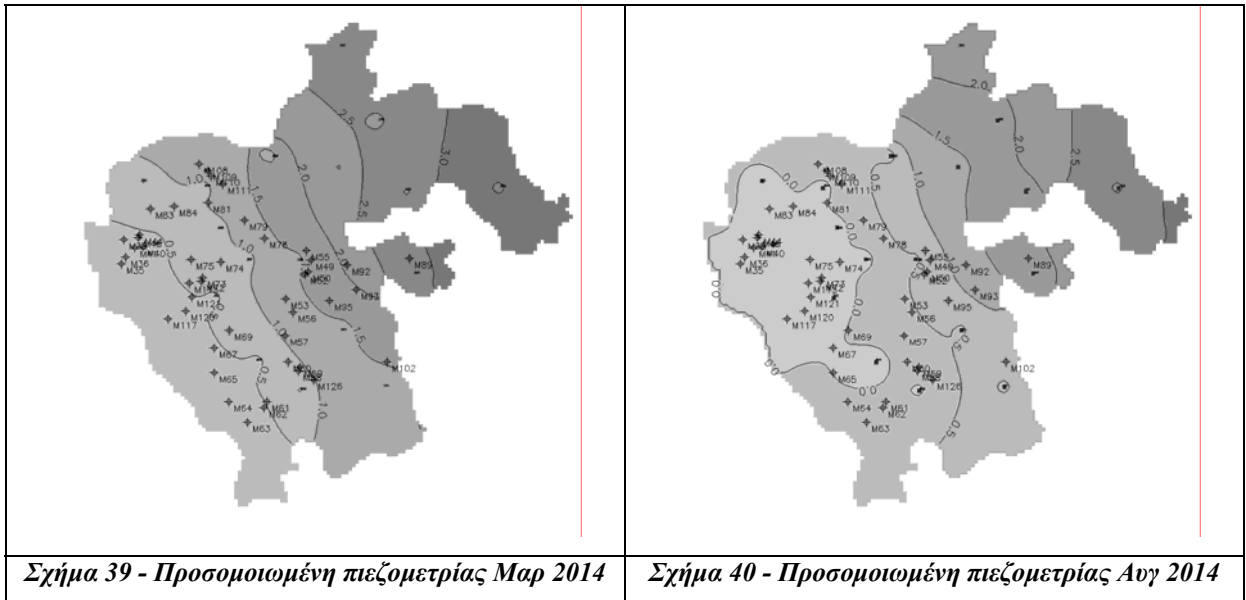
Σχήμα 37 - Μορφή της πιεζομετρίας του Σεναρίου 4 μετά την ρύθμιση σε σταθερή κατάσταση.

Η τιμή του T θεωρήθηκε υπερβολική και για αυτό προτιμήθηκε η αρχική τιμή $60,5 \text{ m}^2/\text{d} (K=95)$



Σχήμα 38 - Σχέση παρατηρούμενων και προσομοιωμένων στάθμεων κατά την ρύθμιση σε δυναμική κατάσταση Σεναρίου 4.

Το αποτέλεσμα για την υδραυλική αγωγιμότητα ήταν απαράδεκτο οπότε και δοκιμάστηκαν διάφορες τιμές. Προέκυψε η τιμή $K = 95 \text{ m/d}$. Η τιμή της ειδικής παροχής 0,24 διατηρήθηκε. Η σχέση μεταξύ παρατηρούμενων προσομοιωμένων στάθμεων χαρακτηρίζεται από ως αρκετά ικανοποιητικό έως αρκετά καλό.



Η προσομοίωση της πιεζομετρίας σε δυναμική κατάσταση χαρακτηρίζεται ως πολύ αρκετά καλή σε σχέση με την πραγματική (σχ. 6) στο τέλος της ξηρής περιόδου ενώ κατά την αρχή της δεν είναι απαραίτητα καλή.

8.3.5. Γενικές παρατηρήσεις ρύθμισης

Σε γενικές γραμμές μπορούν να παρατηρηθούν πολλά κοινά χαρακτηριστικά στα 4 σενάρια και πολλές ιδιαιτερότητες.

- Η μορφή των καμπυλών στάθμης και στα 4 σενάρια είναι σε γενικές γραμμές ίδιες. Δηλαδή:
 - Στο όριο με την θάλασσα τείνουν να είναι παράλληλες
 - Στα όρια μηδενικής ροής, βόρεια και νότια, όπου ο υδροφόρος έρχεται σε επαφή με τους οφιόλιθους, οι ισοπιεζομετρικές καμπύλες πλησιάζουν κάθετα.
 - Οι ισοπιεζομετρικές κατά την υγρή περίοδο είναι παράλληλες μεταξύ τους και παράλληλες πάντα στο ανοιχτό όριο της θάλασσας.
 - Σε όλες της προσομοιώσεις κατά την υγρή περίοδο παρατηρείται σχεδόν ίδια πιεζομετρία.
- Η ισοπιεζομετρική του μηδέν καθορίζεται πλήρως από τις αντλήσεις οι οποίες ανάλογα το σενάριο δημιουργούν συνθήκες πιεζομετρικής στάθμης κάτω από το μηδέν σε διαφορετικό σημείο στον κάμπο
- Σε καμία σχεδόν περίπτωση δεν ήταν δυνατός ο προσδιορισμός της μεταβιβαστικότητας T από την ρύθμιση. Οι τιμές ήταν πάντα πολύ μεγαλύτερες από την τιμή που προσδιορίστηκε στην δοκιμαστική άντληση.
 - Από τις διάφορες δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν στην τιμή του T, φάνηκε ότι το μοντέλο δεν είναι καθόλου ευαίσθητο σε αυτό.
- Η ρύθμιση σε δυναμικές συνθήκες, όπου ήταν επιτυχής, δεν προσομοίωσε το σύνολο των παρατηρήσεων, είτε αυτές ήταν 18, είτε 50, παρά μόνον ένα τμήμα τους, μεγάλο ή μικρό. (ευαίσθητες παρατηρήσεις)
- Η συμεταβλητότητα υδραυλικής αγωγιμότητας και ειδικής παροχής πολλές φορές κατέληγε σε εξωπραγματικά αποτελέσματα, πχ τιμές ειδικής παροχής ίσες με την μονάδα.
- Οι συντελεστές συσχέτισης της ρύθμισης δεν ανταποκρίνονταν πάντα στο αποτέλεσμα αυτής.

Πολλά από τα παραπάνω οφείλονται στο κοινό για όλα τα σενάρια εννοιολογικό μοντέλο. Επίσης, η αστοχία προσδιορισμού του T οφείλεται στο MODFLOW¹³ κυρίως, επειδή ο υδροφόρος προσομοιώθηκε ως φρεάτιος με ένα στρώμα.

Τέλος, σε κάποια σενάρια τα αποτελέσματα της προσομοίωσης όσον αφορά τον ποιοτικό έλεγχο της πιεζομετρίας ήταν κατά το ήμισυ καλά. Αυτό οφείλεται στην σταθερή τιμή των πλευρικών μεταγίσεων που διατηρήθηκε κοινή για όλα τα σενάρια.

¹³ Κατά τα άλλα, το λογισμικό δεν έχει κάποιο άλλου είδους περιορισμό που να επηρεάζει τα αποτελέσματα ή την προσομοίωση, πέραν αυτών την ορθής πρακτικής από τον χρήστη, όπου έγινε αναφορά στο κεφάλαιο 6.1.

8.4. Επιλογή βέλτιστου σεναρίου ρύθμισης

Πέραν του ποιοτικού ελέγχου που έγινε παραπάνω απαιτείται και ποσοτικός έλεγχος προκειμένου να κρίνει κανείς τα αποτελέσματα της προσομοίωσης. Για τον σκοπό αυτό η συνήθης τεχνική είναι η αξιολόγηση των ακόλουθων στατιστικών μεγεθών:

- i. Μέση τιμή Σφάλματος (Mean Error)
- ii. Εύρος Στάθμης (Head Range) :
- iii. Τυπική Απόκλιση Σφάλματος (Error Standard Deviation):
- iv. Άθροισμα Τετραγώνων Σφάλματος (Error Sum of Squares):
- v. Απόλυτη Τιμή Σφάλματος (Absolute Errors)
- vi. Μέση Απόλυτη Τιμή Σφάλματος (Mean Absolute Error)
- vii. Σχετικό Σφάλμα (Relative Error)
- viii. Μέση Τιμή Σχετικού Σφάλματος (Mean Relative Error)
- ix. Ρίζα της μέσης τιμής τετραγώνων σφάλματος (RMSE)

Στον παρακάτω πίνακα (πιν.10) δίδονται οι τιμές των παραπάνω μεγεθών όπως προκύπτουν από τις διαφορές παρατηρούμενων μείων υπολογισμένων φορτίων στα σημεία παρατήρησης για το κάθε σενάριο.

Πίνακας 10 - Στατιστικές παράμετροι ρύθμισης προσομοίωσης για κάθε σενάριο

	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3	Σενάριο 4
Μέση τιμή σφάλματος (Mean Error)	0.13	-1.26	-0.69	-0.13
Απόλυτη τιμή σφάλματος (Absolute Errors)	10.50	25.34	36.14	13.28
Εύρος Στάθμης (head range)	4.17	5.70	5.07	1.26
Τυπική Απόκλιση Σφάλματος (error standard deviation)	0.74	1.27	0.88	0.47
Μέση Τιμή Απόλυτου Σφάλματος (mean absolute error)	0.58	1.49	0.98	0.36
Άθροισμα Τετραγώνων Σφάλματος (error sum of squares)	9.62	52.86	45.60	10.45
Ρίζα της μέσης τιμής τετραγώνων σφάλματος (RMSE)	0.73	1.76	1.11	0.53
Σχετικό Σφάλμα (relative error)	13.86	52.63	-140.60	23.41
Μέση Τιμή Σχετικού Σφάλματος (mean relative error)	0.77	3.10	-3.80	0.63

Στον παραπάνω πιν.10 έχει σημειωθεί με έντονα γράμματα για κάθε στατιστικό κριτήριο η χαμηλότερες τιμές σφαλμάτων και έχει χρωματισθεί η χαμηλότερη.

Από τον παραπάνω πίνακα (πιν. 10) διαπιστώνει κανείς ότι στο Σενάριο 4 πραγματοποιούνται τα λιγότερα σφάλματα προσδιορισμού στάθμης κατά την προσομοίωση και ακολουθεί το Σενάριο 1. Οι τιμές αυτές αντιστοιχούν σε μέτρα. Έτσι ένα σφάλμα της τάξης του 0,2 αντιστοιχεί σε 20 εκατοστά που μοιάζει πολύ μικρό. Και είναι αρκεί το εύρος στάθμης να είναι $>2\mu$. ώστε το 0,2 να αντιστοιχεί σε ένα ποσοστό 10% λόγου χάρη. Όποτε αναλογικά με το εύρος στάθμης φαίνεται ότι το Σενάριο 1 έχει μικρότερες τιμές λαθών (πχ το Σ1 έχει μέση τιμή σφάλματος 13 εκατ. στα 4,17 μ ενώ το Σ4 έχει 13 εκατ. στο 1,26 μ .)

Σε κάθε περίπτωση επιλέγεται ως καλύτερη ρύθμιση αυτή του Σεναρίου 1. Στην επόμενη παράγραφο επιχειρείται ο προσδιορισμός της ευαισθησίας του ομοιώματος αυτού στις παραμέτρους K και Sy καθώς και στις τιμές οριακών συνθηκών (αντλήσεις, αναπλήρωσης, πλευρικές μεταγγίσεις).

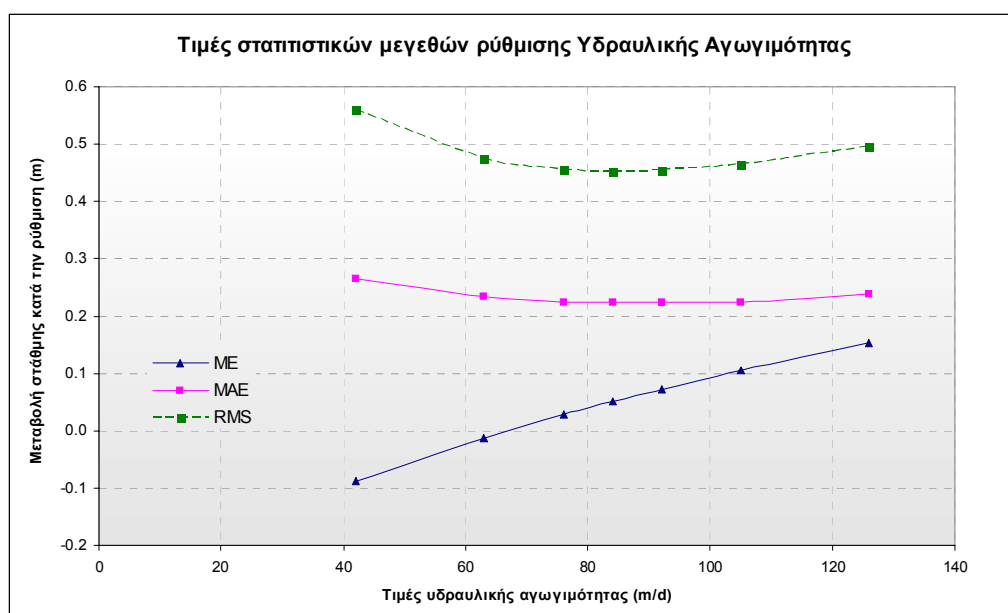
8.5. Ανάλυση ευαισθησίας ομοιώματος

Η ανάλυση ευαισθησίας του ομοιώματος διεξάγεται προκειμένου να γίνει κατανοητό πόσο τυχαία είναι κάποια τιμή παραμέτρου που εισάγεται στο μοντέλο. Αποτελεί μια διαδικασία ποσοτικοποίησης της αβεβαιότητας, η οποία οφείλεται στην αβεβαιότητα στους υπολογισμούς των παραμέτρων του υδροφόρου και των οριακών συνθηκών (Anderson, Woessner 1991). Η διαδικασία είναι απλή, αλλά εξαιρετικά επίπονη. Δοκιμάζονται διάφορες τιμές της παραμέτρου στο μοντέλο τι αποτελέσματα επιφέρουν στο υδραυλικό φορτίο. Σαν μέτρο για τον έλεγχο αυτό λαμβάνονται υπ' όψιν τα ακόλουθα στατιστικά μεγέθη:

- Μέση τιμή Σφάλματος (ME)
- Μέσο απόλυτο σφάλμα (MAE)
- Ρίζα της μέσης τιμής τετραγώνων σφάλματος (RMSE)
- Απόλυτη τιμή μέσου σφάλματος (AME)

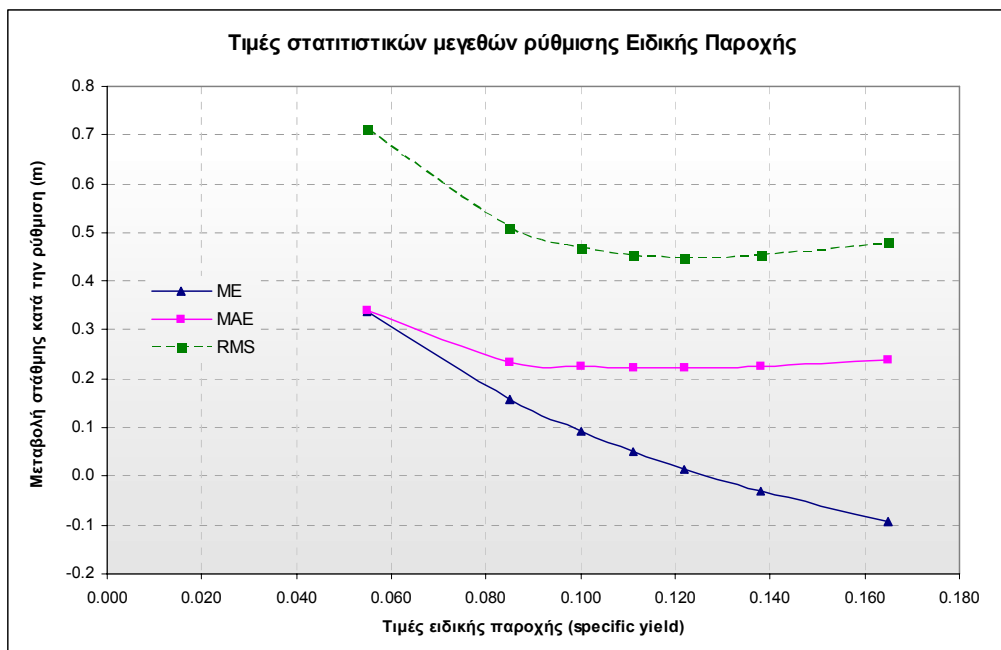
Στην περίπτωση του μοντέλου του κάμπου των Ψαχνών προσδιορίστηκε η ευαισθησία της Υδραυλικής Αγωγιμότητας (K), της Ειδικής παροχής (Sy), των πλευρικών μεταγγίσεων, της βροχόπτωσης και των αντλήσεων. Οι τιμές των στατιστικών μεγεθών των παραπάνω παραμέτρων και οριακών συνθηκών που εξετάζονται στην ανάλυση ευαισθησίας βρίσκεται στο παράρτημα στον πίν.ΧΙΙΙ.

Τα αποτελέσματα αυτά παρίστανται υπό μορφή γραφημάτων στα σχήματα (41-46) που ακολουθούν:



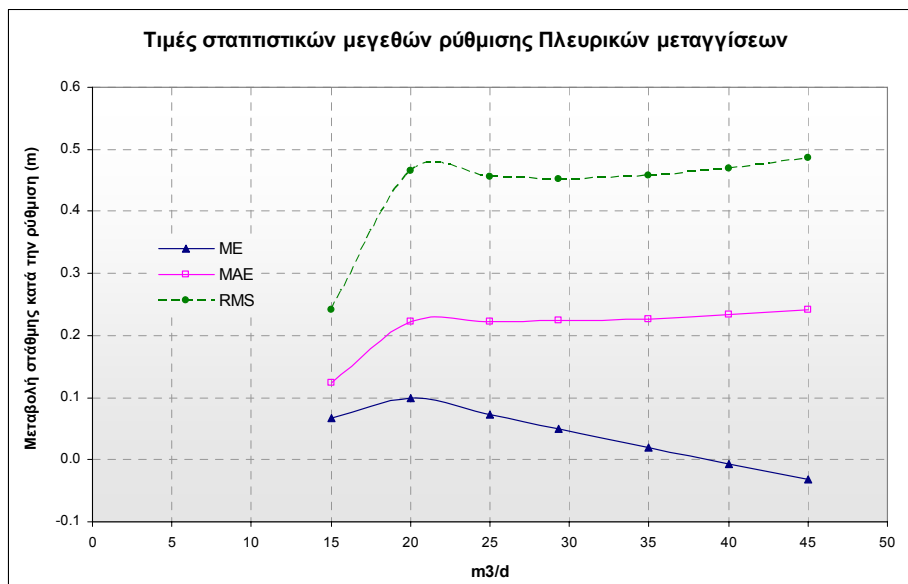
Σχήμα 41 - Μεταβολές που προκαλεί η τιμή υδραυλικής αγωγιμότητας

Όπως φαίνεται από το παραπάνω γράφημα (σχ. 41) για τιμές K γύρω από την τιμή ρύθμισης 83,8 προκαλούνται τα λιγότερα σφάλματα.



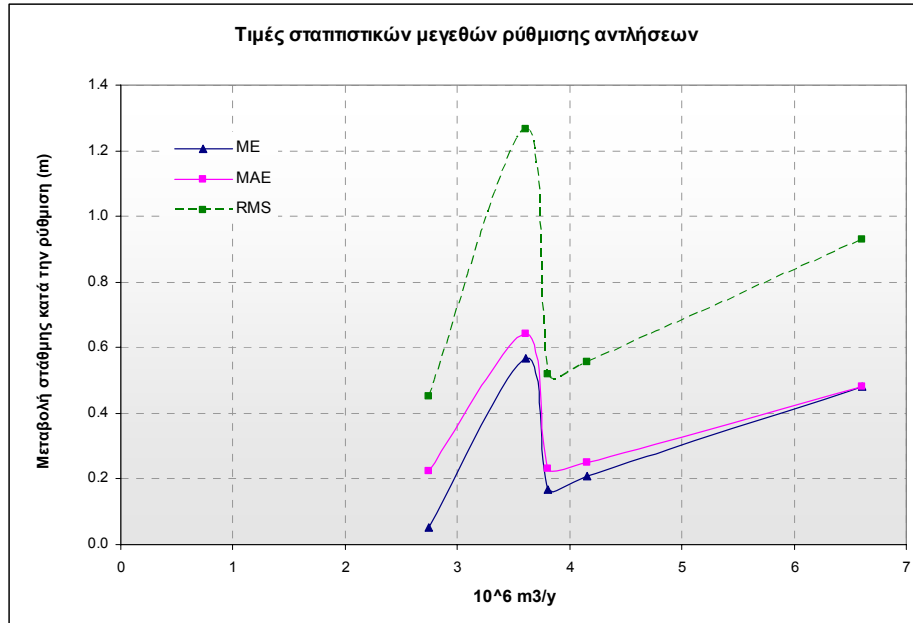
Σχήμα 42 - Μεταβολές που προκαλεί η τιμή ειδικής παροχής

Ομοίως όπως για την Υδραυλική αγωγιμότητα έτσι και για την Ειδική παροχή (σχ. 42), για τιμές γύρω από την τιμή ρύθμισης, μεταξύ 0,1 και 0,12 προκαλούνται τα λιγότερα σφάλματα



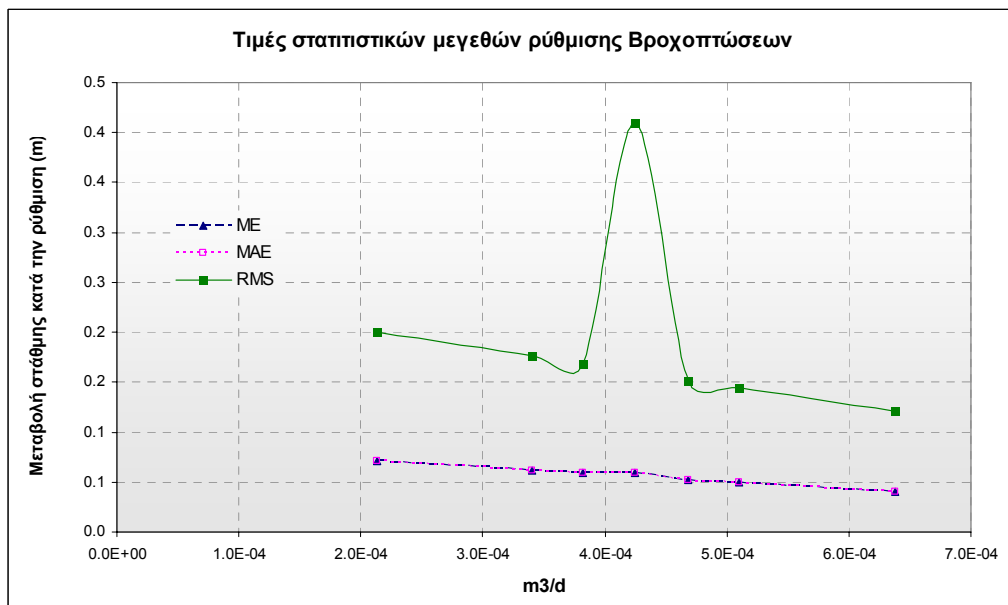
Σχήμα 43 - Μεταβολές που προκαλεί η τιμή πλευρικών εισροών

Οι τιμές πλευρικών μεταγίσεων όπως φαίνεται και από το παραπάνω διάγραμμα (σχ. 43) προκαλούν σταθερά σχεδόν σφάλματα από την τιμή 25 και μετά. Δηλαδή, το ομοίωμα είναι ευαίσθητο σε χαμηλότερες τιμές μεταξύ 10 και 25.



Σχήμα 44 - Μεταβολές που προκαλεί η τιμή άντλησης

Όπως φαίνεται από το παραπάνω γράφημα (σχ. 44) το ομοίωμα είναι ευαίσθητο σε τιμές άντλησεων μικρότερες $4 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{y}$. Από εκεί και πάνω το σφάλμα είναι σταθερά αυξανόμενο. Στην περίπτωση του ομοιώματος η επιλεγμένη τιμή προκαλεί τα μικρότερα σφάλματα (όμοια σφάλματα θα προκαλούσε αν είχε επιλεγεί τιμή $3.8 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{y}$).



Σχήμα 45 - Μεταβολές που προκαλεί η τιμή βροχόπτωσης

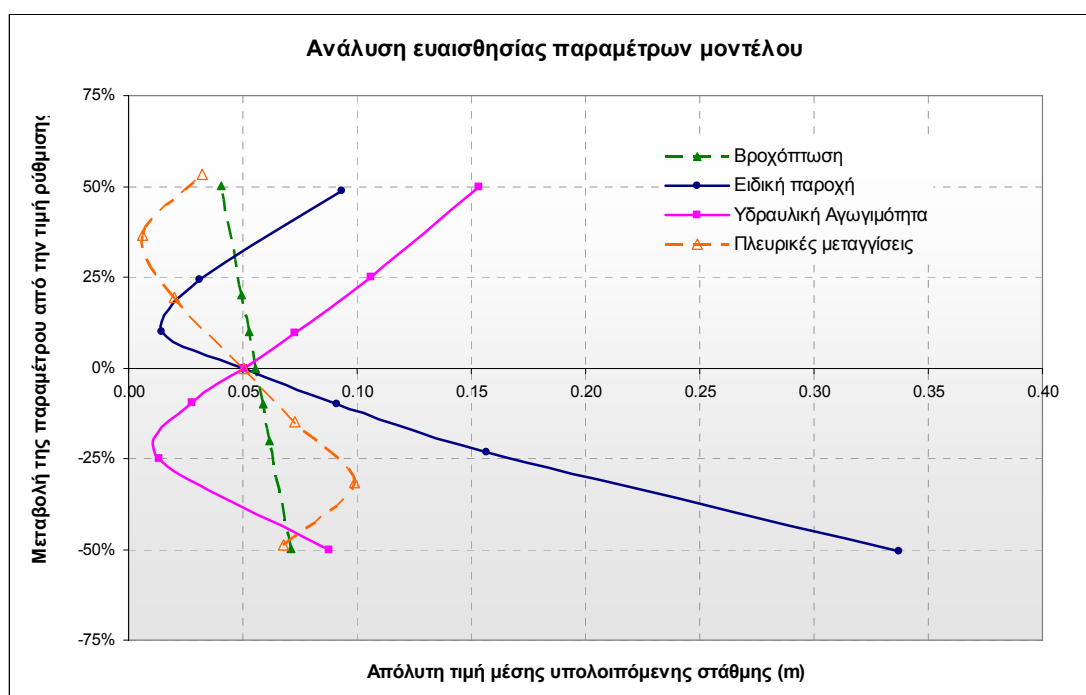
Από το παραπάνω γράφημα (σχ. 45) φαίνεται ότι η τιμή ρύθμισης της βροχόπτωσης βρίσκεται σε ευαίσθητη περιοχή του μοντέλου προκαλώντας υψηλές τιμές σφαλμάτων (φαινομενικά τουλάχιστον). Πρέπει όμως να λάβει κανείς υπ' όψιν ότι κατά την ανάλυση ευαισθησίας της βροχόπτωσης δεν

χρησιμοποιήθηκαν οι 17 παρατηρήσεις που χρησιμοποιήθηκαν κατά την ανάλυση των άλλων μεγεθών, αλλά 7 (προφανώς στα ίδια σημεία παρατήρησης) σε άλλη χρονική περίοδο παρατήρησης. Όπως θα δούμε παρακάτω το ομοίωμα δεν είναι τόσο ευαίσθητο την τιμή ρύθμισης τελικά

Τέλος παρατίθεται το παρακάτω συνθετικό διάγραμμα (σχ.46) μεταβολών των σφαλμάτων που προκαλούνται από την αντίστοιχη ποσοστιαία μεταβολή των παραμέτρων. Οι παράμετροι δεν έχουν λάβει την τιμή που προκαλεί το ελάχιστο σφάλμα αλλά προφανώς την τιμή σύγκλισης. Στο μοντέλο προκαλούνται λιγότερα λάθη όταν οι πλευρικές μεταγίσεις αυξηθούν κατά ~30-35% της τιμής ρύθμισης, η ειδική παροχή αυξηθεί κατά ~10% της τιμής ρύθμισης και η υδραυλική αγωγιμότητα μειωθεί κατά 25%. Όλες όμως μαζί, οι παράμετροι προκαλούν το μικρότερο σφάλμα στην τιμή ρύθμισης.

Παρατηρεί επίσης κανείς, την σταθερότητα μεταβολής που προκαλεί η βροχόπτωση (αναπλήρωση) και τον ανομοιόμορφο τρόπο που επιδρούν με το ομοίωμα οι πλευρικές μεταγίσεις. Παρά όμως την περίεργη αυτή μεταβολή, οι πλευρικές μεταγίσεις δεν φαίνεται να προκαλούν απόλυτα σφάλματα στις τιμές φορτίου μεγαλύτερες από την τιμή 0,1.

Σε αντίθεση με τις τιμές υδραυλικής αγωγιμότητας ή της ειδικής παροχής, των οποίων η μεταβολή προκαλεί σημαντικά σφάλματα. Έτσι, γίνεται φανερό, ότι ήταν σχεδόν εξ' αρχής αναμενόμενο, ότι το μοντέλο είναι ευαίσθητο στην μεταβολή της τιμής της Υδραυλικής Αγωγιμότητας και της τιμής της Ειδικής Παροχής. Και ιδιαίτερος ευαίσθητο στην μείωση της τιμής της Ειδικής Παροχής.



Σχήμα 46 - Συνθετικό διάγραμμα Ανάλυσης Ευαισθησίας των παραμέτρων του μοντέλου

9. Εφαρμογή μοντέλου διάχυσης ρύπων

Προκειμένου να εφαρμοσθεί μοντέλο προσομοίωσης διάχυσης ρύπου, τα στοιχεία που χρειάζονται είναι όμοια με αυτά της προσομοίωσης πιεζομετρικού φορτίου. Δηλαδή:

- ο Απαιτούνται τουλάχιστον 2 περίοδοι (αρχή και τέλος της προσομοίωσης) μετρήσεων συγκέντρωσης του ρύπου που πρόκειται να προσομοιωθεί, για την προσομοίωση σε συνθήκες σταθερής ταμίευσης (steady state)
- ο Μία χρονοσειρά μετρήσεων της συγκέντρωσης (πχ μηνιαίες μετρήσεις) για την προσομοίωση σε μεταβλητές συνθήκες (transient state)
- ο Και τέλος, τουλάχιστον σειρά χημικών αναλύσεων σε κατοπινό στάδιο για τον έλεγχο. Αυτό μπορεί και να παραληφθεί αφού η απόσταση ελέγχου της διασποράς πρέπει να είναι της τάξης των 20 ετών.

Συνήθως, προσομοιώνεται η παρούσα κατάσταση πολύ καλά (ετήσια καμπύλη μεταβολής συγκέντρωσης ρύπου) και πρακτικά «τρέχει» ένα μελλοντικό σενάριο όπου πλέον αφορά την περιβαλλοντική διαχείριση (μέτρα, κατευθύνσεις κλπ).

Στην περίπτωση μας, διαθέτουμε μόνο μία περίοδο μετρήσεων συγκέντρωσης ρύπου (Μελάς 2014)¹⁴, την ξηρά περίοδο, οπότε η προσομοίωση διάχυσης ρύπου θα παρέχει μόνον ποιοτικά αποτελέσματα.

Για την προσομοίωση επιλέχτηκε ο ρύπος των νιτρικών αλάτων (NO_3) κατόπιν παρότρυνσης από τον επιβλέποντα, αλλά και διότι υπάρχει πλούσια βιβλιογραφία, ελληνική και ξενόγλωσση, γύρω από το θέμα της προσομοίωσης νιτρικών ρύπων.

Για την προσομοίωση, αρχικά, χρησιμοποιήθηκε η ρουτίνα PMPATH του λογισμικού MODFLOW για την προσομοίωση και κατανόηση του φαινομένου της μεταφοράς ρύπου λόγω ροής (οριζόντιας μεταφοράς - advection) και έπειτα, το ενσωματωμένο στο MODFLOW μοντέλο προσομοίωσης διάχυσης MT3D-MS.

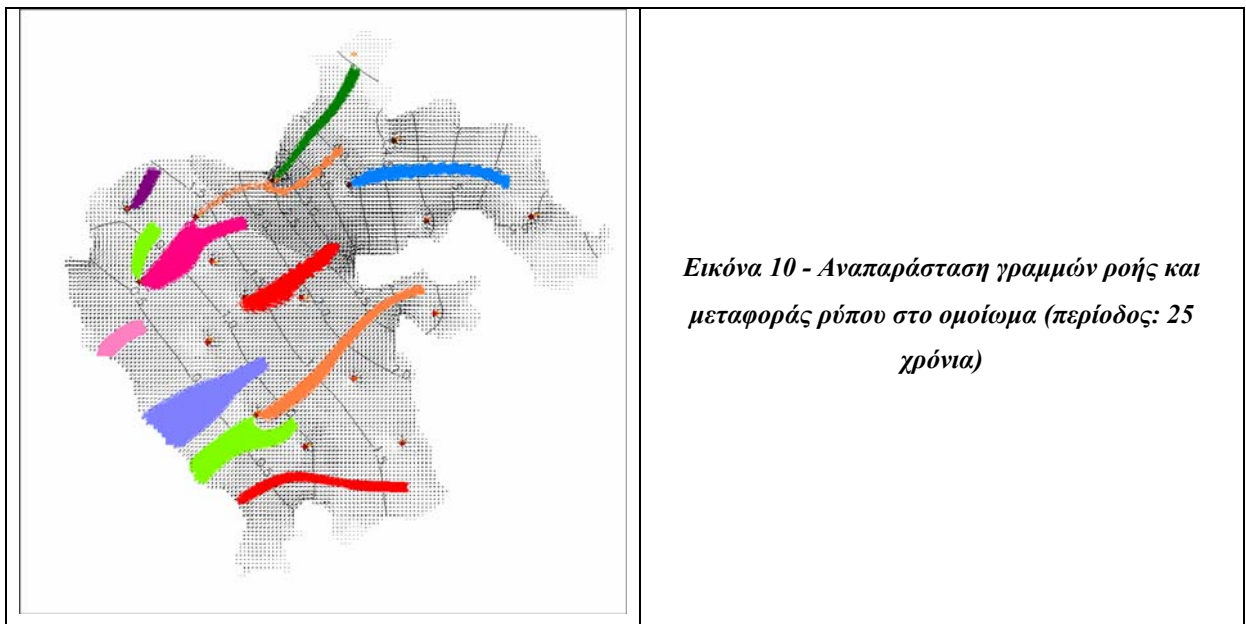
¹⁴ Παλαιότερες υδροχημικές μελέτες και εργασίες διαθέτουν από μία περίοδο μετρήσεις οπότε κρίθηκε σκόπιμο να χρησιμοποιηθεί η σύγχρονη πληροφορία η οποία στα μάτια του γράφοντα είναι και πιο αξιόπιστη.

9.1. Μεταφορά ρύπων στα πλαίσια της προσομοίωσης

Το λογισμικό πακέτο MODFLOW παρέχει στον χρήστη και ένα «εργαλείο» προσομοίωσης μεταφοράς ρύπου, το εργαλείο PMPATH. Αυτό διέπεται από την ίδια περίπου λογική που διέπεται και το υπόλοιπο λογισμικό. Στην προκειμένη ο χρήστης εισάγει σωματίδια (particles) σε κάποιο κελί του έτοιμου ομοιώματος (εικονικά σωματίδια ρύπου), και στην συνέχεια αναλόγως του χρονικού βήματος υπολογίζεται η μεταφορά του σωματιδίου με όρους ταχύτητας στα διπλανά κελιά μέσω επίλυσης εξισώσεων γραμμικής παλινδρόμησης και στις τρεις διαστάσεις (Pollock, 1988, 1989 από Chiang & Kinzelbach 1998). Περισσότερες λεπτομέρειες μπορεί κανείς να βρει στο αναλυτικό εγχειρίδιο του λογισμικού (Chiang, & Kinzelbach 1998).

Με την παραπάνω μεθοδολογία μπορεί κανείς πριν ασχοληθεί με την διάχυση ρύπου, υφαλμύριση κλπ (δίχως δηλαδή το χημικό κομμάτι) και ενδεικτικά, με βάση το πεδίο ροής του ομοιώματος, να βρει χρόνους ή και βάθη μεταφοράς ρύπου.

Το εργαλείο αυτό εφαρμόστηκε για την επιλεγμένη προσομοίωση για διαστήματα 5, 10 και 25 χρόνια. Τοποθετήθηκαν σωματίδια σε διάφορες περιοχές (διαφορετικά χρώματα), εντός της έκτασης του μοντέλου προκειμένου να δοθεί μια εικόνα της μεταφοράς αυτών των σωματιδίων στο πεδίο ροής που προέκυψε από την βασική προσομοίωση.



Στην παραπάνω εικόνα (εικ.10), τα διάφορα χρώματα δηλώνουν διαφορετικές περιοχές εκκίνησης σωματιδίου. Στο ίδιο χρονικό διάστημα, διαμορφώνονται διαφορετικού μήκους και πλάτους πορείες σωματιδίων. Οι μακριές γραμμές δηλώνουν μεγάλη διανυόμενη πορεία ενώ οι φαρδιές γραμμές δηλώνουν χαμηλή ταχύτητα με παράλληλη κατά πλάτος ανάπτυξη. Φαίνεται δηλαδή ότι, διατηρείται

σε υπερετήσια βάση μια καλή υδραυλική κλίση προς την θάλασσα, ενώ όσο πλησιάζει το σωματίδιο στην θάλασσα, οι ταχύτητες μειώνονται και ενισχύεται η «διασπορά».

Οι μεγάλες ταχύτητες μεταφοράς παρατηρούνται στα νότια και στα βόρεια του ομοιώματος. Κεντρικά παρατηρείται μια τάση για «διασπορά» και συγκέντρωση του εικονικού ρύπου από τις γεωτρήσεις, καθώς και σχετικά μέτριες ταχύτητες. Τέλος, στα βόρεια και δυτικά, παρατηρούνται οι χαμηλότερες ταχύτητες και τάση για έντονη «διασπορά». Αυτό ίσως να οφείλεται στις πλευρικές μεταγίσεις που διαθέτει που ωθούν κάθετα στην βασική προς την θάλασσα υδραυλική κλίση.

9.2. Μοντέλο διάχυσης και διασποράς ρύπων MT3D-MS

Όπως και το MODFLOW, με όμοιο τρόπο, το MT3D-MS, επιλύει την τρισδιάστατη εξίσωση (12) διάχυσης ρύπου (Zheng & Bennett 1995) με την μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών.

$$R \frac{\partial(\theta C)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(D_{ij} \frac{\partial C}{\partial x_j} \right) - \frac{\partial}{\partial x_i} (v_i C) + \frac{q_s}{\theta} C_s - \lambda \left(C + \frac{\rho_b}{\theta} \bar{C} \right) \quad (12)$$

όπου: (L, T, M αντιστοιχούν στις μονάδες μήκους, χρόνου, μάζας)

C: συγκέντρωση της διαλυμένης ουσίας (M/L³)

C⁻: η απορροφημένη συγκέντρωση (M/M)

t: ο χρόνος (T)

D_{ij}: ο συντελεστής υδροδυναμικής διασποράς (L²/T)

v_i: η ταχύτητα νερού των πόρων (L/T)

q_s: δείκτης που εκφράζει την ταχύτητα στον υδροφόρο ανά μονάδα όγκου (1/T)

C_s: η συγκέντρωση του ύδατος (M/L³)

λ: ο συντελεστής αντίδρασης (1/T)

R: δείκτης επιβράδυνσης (L)

ρ_b: η πυκνότητα του μέσου (M/L³)

θ: το πορώδες

Όπως φαίνεται από την παραπάνω εξίσωση και τις μεταβλητές είναι απαραίτητο το πεδίο ροής προκειμένου κάποιες από αυτές να λάβουν τιμές. Η ρουτίνα MT3D-MS εφαρμόζεται πάντα αφού έχει εφαρμοσθεί η βασική ρουτίνα ροής από το MODFLOW. Ας σημειωθεί, ότι ο τέταρτος όρος στην δεξιά πλευρά της εξίσωσης, ο οποίος συμβολίζει τις χημικές διαδικασίες (απονιτροποίηση, κλπ), μπορεί να παραληφθεί, αφού τα νιτρικά άλατα θεωρούνται συντηρητικός ρύπος (Siorpas et al 2013) δηλαδή δεν αντιδρά με τα συστατικά του εδάφους ή αντιδρά ελάχιστα ώστε να μπορεί να θεωρηθεί αμελητέο (Almasri & Kaluarachchi 2007, Siorpas et al 2013).

Περισσότερες τεχνικές λεπτομέρειες μπορεί κανείς να βρει στο εγχειρίδιο χρήσης του μοντέλου (Zheng, Wang 1999), και στην ιστοσελίδα του Αμερικανικού Γεωλογικού Ινστιτούτου Ερευνών (USGS). Στο τελευταίο, μπορεί κανείς να βρει πολυάριθμα παραδείγματα εφαρμογής του μοντέλου MT3D-MS για νιτρορύπανση.

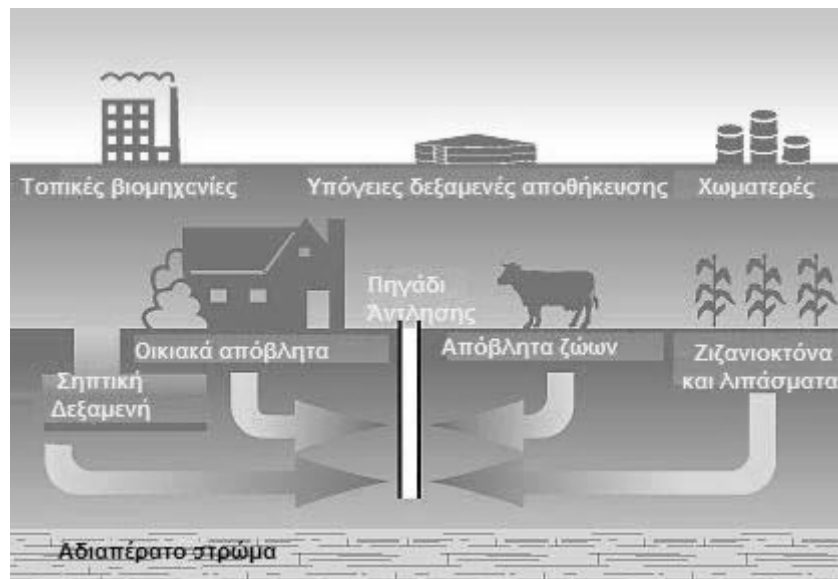
9.3. Προσδιορισμός πηγών νιτρορύπανσης

Γενικά

Οι πηγές των ρύπων στα υπόγεια ύδατα, μπορεί να είναι είτε σημειακές, είτε επιφανειακές πηγές.

- Οι σημειακές πηγές ρυπαίνουν τα υπόγεια ύδατα διαμέσου μιας μικρής επιφάνειας σε σχέση με την επιφάνεια ή τον όγκο του υδροφόρου στρώματος που δέχεται τον ρύπο. Παραδείγματα σημειακών πηγών είναι η εκροή από εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων, ελαιοτριβεία, χημικές βιομηχανίες, κ.λ.π.
- Οι επιφανειακές πηγές (διάχυτες) εισάγουν ρυπογόνους παράγοντες στα υδροφόρα στρώματα διαμέσου μεγαλύτερης επιφάνειας συγκριτικά με τις σημειακές πηγές ή μπορεί να αποτελούνται από πολυάριθμες, κοντινές σημειακές πηγές. Παραδείγματα μη σημειακών πηγών είναι οι ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις (πχ όξινη βροχή), η χρήση φυτοφαρμάκων σε καλλιεργούμενες περιοχές, κ.λ.π.

Στο παρακάτω σχήμα (σχ.47) γίνεται κατανοητό πως εισάγονται οι ρύποι στο υπόγειο υδατικό σύστημα.

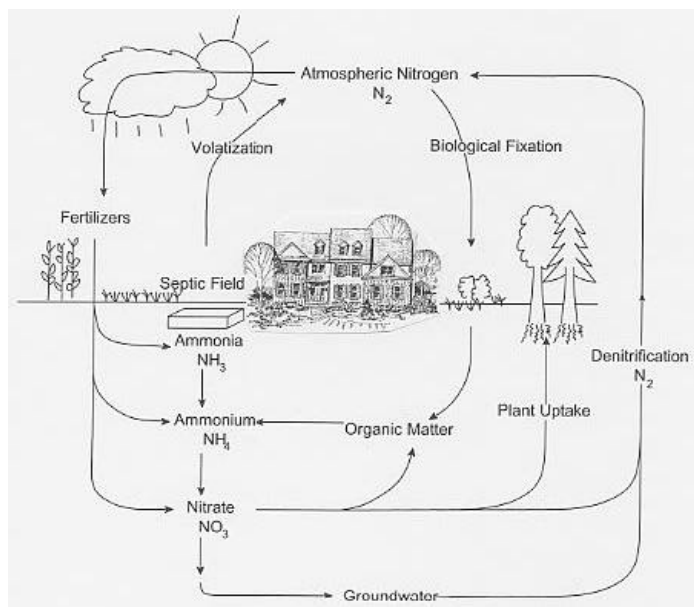


Σχήμα 47 - Σχηματικό διάγραμμα διαδικασιών ρύπανσης υπογείων υδάτων (www.energycouncil.org)

Ο Κύκλος του Αζώτου

Το άζωτο παρουσιάζεται στο περιβάλλον με διάφορες μορφές. Η αμμωνία (NH_3), η αμμωνιακή ρίζα (NH_4^+), το αέριο μοριακό άζωτο (N_2), η νιτρώδης ρίζα (NO_2^-) η νιτρική ρίζα (NO_3^-) και το οργανικό άζωτο είναι οι συνήθεις μορφές του αζώτου σε υδατικό και χερσαίο περιβάλλον. Στο παρακάτω σχήμα (σχ. 48), παρουσιάζονται οι διαδικασίες μετασχηματισμού του αζώτου (δέσμευση μοριακού αζώτου (N_2), αμμωνιοποίηση (NH_4^+), νιτροποίηση (NO_2^- , NO_3^-), απονιτροποίηση, φυτική δέσμευση

κ.λ.π.), από διάφορες πηγές (ατμόσφαιρα, σηπτικές δεξαμενές, φυτοφάρμακα) οι οποίες καταλήγουν σε νιτρικά άλατα στο υπόγειο νερό.



Σχήμα 48 - Ο κύκλος του αζώτου (πηγή: <http://taylorgeoservices.com>)

Στην περίπτωση του κάμπου των Ψαχνών σαν σημειακές πηγές ρύπανσης θεωρούνται οι σηπτικές δεξαμενές στους οικισμούς Ψαχνά και Καστέλα, που βρίσκονται στην έκταση του μοντέλου, και σαν επιφανειακές πηγές ρυπαντικού φορτίου θεωρούνται τα λιπάσματα και τα φυτοφάρμακα αγροτικής προέλευσης. Επίσης, συνεκτιμήθηκαν στην μοντελοποίηση οι συγκεντρώσεις νιτρικού φορτίου από τις πλευρικές μεταγγίσεις ύδατος, καθώς και οι συγκεντρώσεις αζώτου της βροχόπτωσης.

Το γεωμετρικό σχήμα της ζώνης ρύπανσης ονομάζεται πλούμιο ή θύσανος (plume) και η εξάπλωσή του εξαρτάται από τα υδραυλικά χαρακτηριστικά του υδροφόρου (πορώδες, συντελεστής υδροπερατότητας), από τα γεωλογικά του χαρακτηριστικά (παρουσία αργιλικών φακών) κ.λ.π

9.3.1. Υπολογισμός σημειακών ρυπαντικών φορτίων (σηπτικές δεξαμενές)

Από τα δημογραφικά στοιχεία της ΕΛ.ΣΤΑΤ. του πιν.1 γίνεται γνωστό ότι στα Ψαχνά διαμένουν μόνιμα 5827 κάτοικοι και στην Καστέλλα 1271. Με βάση την εκτίμηση ότι κάθε κάτοικος αναλώνει 250l/d σε νερό, και τα στοιχεία του παρακάτω πίνακα (πιν.11), υπολογίστηκαν οι ποσότητες αστικού λύματος από σηπτικές δεξαμενές (βόθρους) για τους δύο οικισμούς.

Πίνακας 11 - Συγκέντρωση ρύπων σε μέση ισχύος αστικό λύμα (Metcalf & Eddy 1991),

Είδος ρύπου	Συγκέντρωση (kg/m ³)
Ολικό άζωτο	0.040
Οργανικό άζωτο	0.015
Ελεύθερη αμμωνία	0.025
Νιτρώδη	0.000
Νιτρικά	0.000
Ολικός φώσφορος	0.008

Πιο συγκεκριμένα, για τα Ψαχνά υπολογίστηκε **58,27 kg/d** και για την Καστέλλα **12,71kg/d** ποσότητα ολικού αζώτου η οποία εισάγεται στο έδαφος (και αργά η γρήγορα στον υδροφόρο).

Οι ποσότητες αυτές κατανέμονται στο μοντέλο σε 20 κελιά για τα Ψαχνά (**2,9135 kg/d** έκαστο) και 10 για την Καστέλλα (**1,271 kg/d** έκαστο).

9.3.2. Υπολογισμός επιφανειακών ρυπαντικών φορτίων (αγροτική λίπανση)

Για τον υπολογισμό των επιφανειακών ρυπαντικών φορτίων γεωργικής προέλευσης ακολουθείται η παρακάτω τυπική διαδικασία:

- Υπολογισμός έκτασης ανά χρήση γης (καλλιέργειας)
- Προσδιορισμός τυπικών ποσοτήτων αζώτου λίπανσης ανά καλλιέργεια
- Προσδιορισμός ποσοστού μη-απορροφημένου αζώτου από την καλλιέργεια
- Πολ/σιασμός έκτασης καλλιέργειας επί του ποσοστού μη-απορρόφησης

Στην περίπτωση του κάμπου Ψαχνών η έκταση ανά καλλιέργεια έχει υπολογισθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο (παρ. 7.4.2) από τις δηλωμένες εκτάσεις του ΟΠΕΚΕΠΕ (Πίνακας X του Παραρτήματος).

Ο προσδιορισμός της ποσότητας αζώτου για την λίπανση των φυτικών ειδών της καλλιέργειας, καθώς και το ποσοστό μη-απορρόφησης προέκυψαν από το Πρακτικό Λίπανσης του «Κώδικα Ορθής Γεωργικής Πρακτικής» του Υπ. Γεωργίας (1994) (Πίνακας IV του Παραρτήματος).

Η τιμή που προκύπτει από τον πολ/σιασμό του ποσοστού μη-απορρόφησης του αζώτου επί την έκταση της καλλιέργειας, ανά καλλιέργεια σε κιλά/στρέμμα/έτος, παρουσιάζεται στον Πίνακα X του Παραρτήματος στην στήλη **NO₃ Kg/hm/y**.

Τελικά, προκύπτει ότι στο σύνολο της έκτασης του μοντέλου (κάμπου Ψαχνών) το επιφανειακό φορτίο αζώτου γεωργικής προέλευσης είναι ίσο **26725,3 Kg/y**.

Στο μοντέλο η ποσότητα αυτή κατανέμεται ομοιόμορφα σε 100 κελιά σε μονάδες Kg/d. Δηλαδή, **0,7322 Kg/d ανά κελί**.

9.3.3. Υπόλοιπες πηγές ρυπαντικού φορτίου

Από την βιβλιογραφία (Almasri & Kaluarachchi 2007, Siorpas et al 2013), έγινε γνωστό ότι η ποσότητα αζώτου στο νερό της βροχόπτωσης είναι ίση με 3-10mg/l. Η **0,003 Kg/d**.

Όσον αφορά τις πλευρικές μεταγγίσεις, γνωρίζουμε από την υδρογεωλογική ανάλυση της παρ. 2.2.3 ότι ο κάμπος των Ψαχνών αποτελεί την απόληξη όλης της λεκάνης απορροής, συνεπώς και του ρυπαντικού της φορτίου σε άζωτο. Από τα Σχέδια Διαχείρισης του ΥΠΕΚΑ (NAMMA ΑΕ. κ.α 2012), του Υδατικού Διαμερίσματος Ανατολικής Στερεάς γίνεται γνωστό ότι, το ρυπαντικό φορτίο αζώτου στις ανάντη λεκάνες του κάμπου των Ψαχνών (με όμοια μεθοδολογία) εκτιμάται να είναι της τάξης των 15 mg/m³. Στο μοντέλο, για κάθε κελί πλευρικής μετάγγισης, εισήχθη η συντηρητική τιμή συγκέντρωσης αζώτου των 10mg/l ή (**0,01 Kg/d**) σαν τυπική τιμή συγκέντρωσης αζώτου του περιβάλλοντος πετρώματος (Rosen et al 2006).

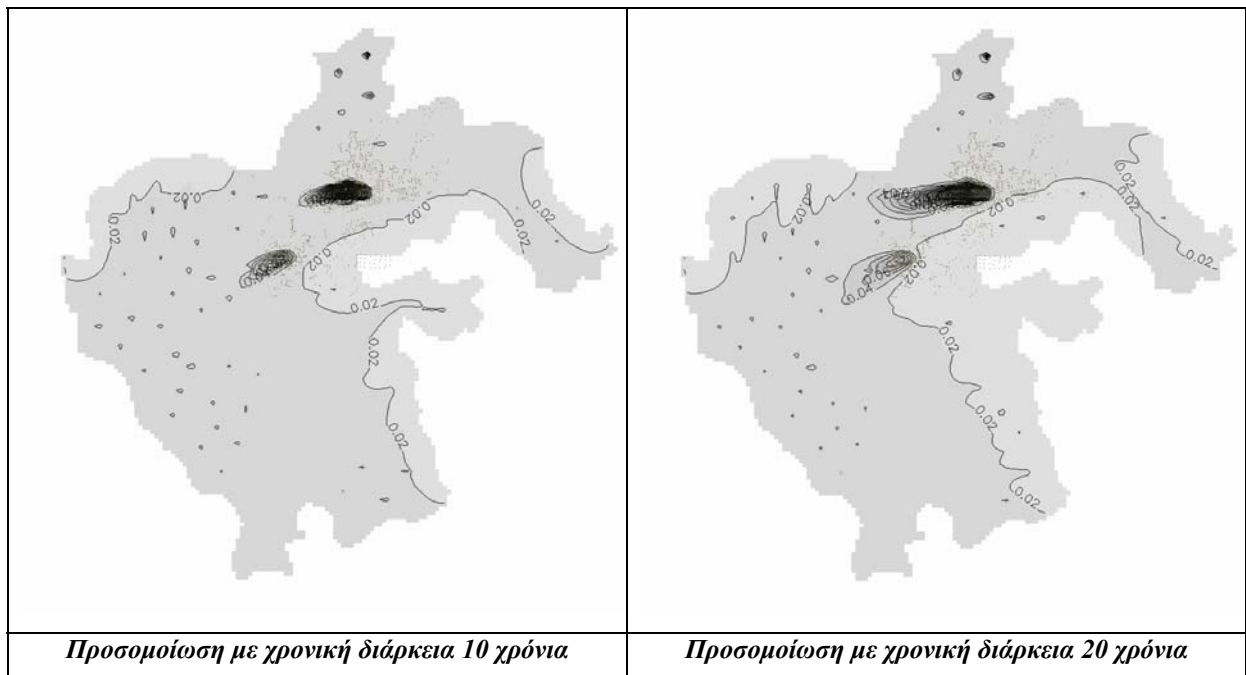
9.3.4. Παράμετροι μοντέλου διάχυσης και διασποράς MT3D-MS

Από την βιβλιογραφία (Almasri & Kaluarachchi 2007, Siorpas et al 2013), έγινε γνωστό ότι η τιμή η τιμή διασποράς είναι 25m και ο συντελεστής εγκάρσια προς διαμήκη διασπορά είναι ίσος με 0,1. Επίσης ο συντελεστής παρακμής των νιτρικών θεωρήθηκε ίσος με 0,0008.

Για αρχική τιμή (ελλείπει άλλων στοιχείων χωρικής κατανομής νιτρικών αλάτων), επιλέχτηκε η ενιαία τιμή 25mg/κελί όπως υπολογίστηκε από τα Σχέδια Διαχείρισης. Ας σημειωθεί ότι όπως ακριβώς το MODFLOW έτσι και το MT3D-MS, είναι ευαίσθητο στις αρχικές συνθήκες συγκέντρωσης, οπότε η χρήση των δεδομένων του 2014 για δεδομένα αρχικής κατάστασης δεν συνίσταται. Η προσομοίωση σε σταθερή κατάσταση απαιτεί εξ' άλλου μέσες τιμές συγκέντρωσης (ή πιεζομετρικού φορτίου ανάλογα την ρουτίνα) και όχι τις υψηλές τιμές που καταγράφηκαν την ξηρή περίοδο του 2014.

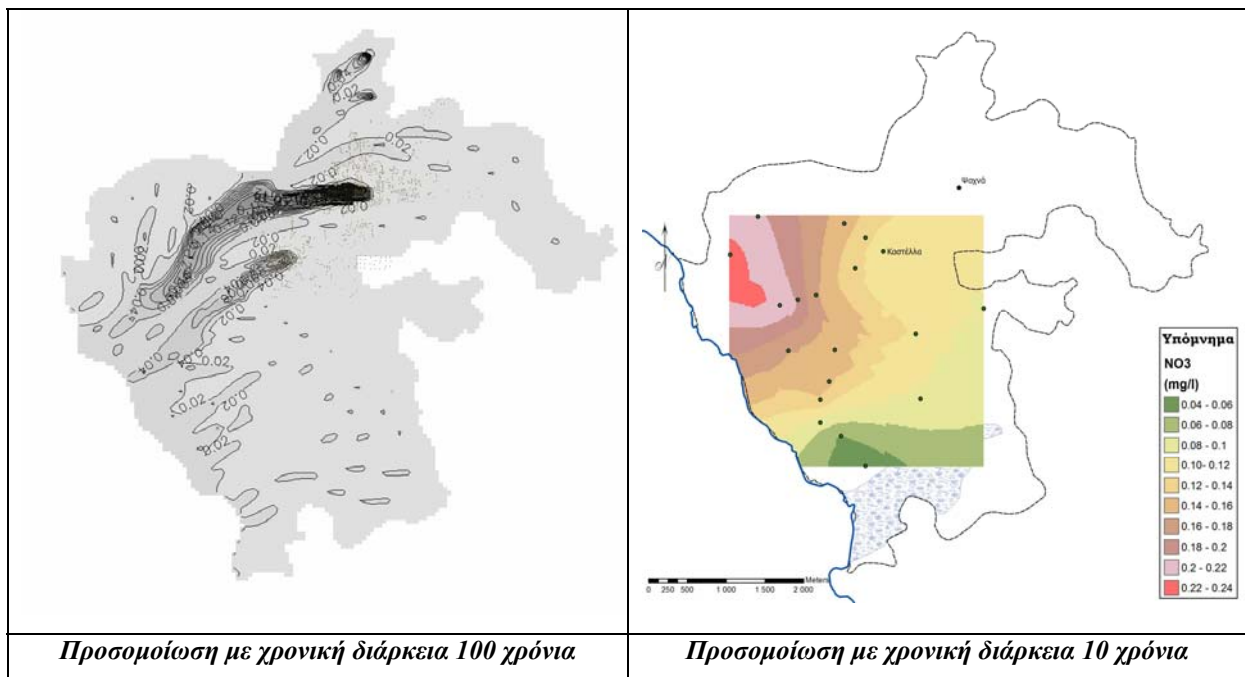
Τέλος, το μοντέλο έτρεξε για τρεις χρονικές περιόδους (στο πεδίο ροής του Σεναρίου 1), 10, 20 και 100 χρόνια. Επιλέχτηκε το χρονικό διάστημα των 100 χρόνων, αφενός γιατί η αρχική συγκέντρωση (25mg/κελί), πρακτικά αναπαριστά ελάχιστη ανθρώπινη παρέμβαση και φυσικά για πειραματικούς λόγους.

9.3.5. Αποτελέσματα προσομοίωσης μοντέλου διάχυσης νιτρικών ρύπων



Σχήμα 49 - Ισοημικές καμπύλες συγκέντρωσης σε kg/m^3

Όπως φαίνεται από το παραπάνω σχήμα (σχ.49), έχουν σχηματισθεί 2 θύσανοι ρύπανσης στους οικισμούς Ψαχνά και Καστέλλα και κάποιοι πολύ μικροί στην βόρεια πλευρά του ομοιώματος και στην βόρεια παράκτια περιοχή από τις προσομοιωμένες αγροτικές λιπάνσεις. Στο νότιο τμήμα όπου η ταχύτητα ροής είναι μεγαλύτερη η συγκέντρωση δεν ξεπερνά τα $0.02 kg/m^3$ ή $20 mg/l$. Κατόπιν 20 χρόνια απλά οι θύσανοι εξαπλώνονται προς την ακτή. Προφανώς η συγκέντρωση νιτρικών στους θυσάνους ξεπερνά τα $300 mg/l$.



Σχήμα 50 - Σύγκριση προσομοιωμένης με πραγματική κατάσταση

Όπως αναφέρθηκε και στην αρχή του κεφαλαίου, λόγω έλλειψης διπλής περιόδου δεδομένων η προσομοίωση έχει ποιοτικό χαρακτήρα αποτελεσμάτων.

Στο παραπάνω σχήμα (σχ.50) απεικονίζονται σε παράθεση, οι ισοχημικές καμπύλες του μοντέλου μετά από 100 χρόνια (αριστερά) και δεξιά, τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων, σε νιτρικά άλατα, του 2014 (Μελάς 2014). Μπορεί κανείς να παρατηρήσει ότι, η πιο επιβαρημένη περιοχή είναι η περιοχή όπου οι θύσανοι ρύπων από τις σηπτικές δεξαμενές καταλήγουν στην θάλασσα.

Βάσει των αποτελεσμάτων του μοντέλου διάχυσης ρύπων, αναμένονται συγκεντρώσεις άνω των 120 mg/l στην περιοχή όπου οι χημικές αναλύσεις φανερώνουν συγκεντρώσεις νιτρικών αλάτων λίγο μικρότερες των 200 mg/l (κεραμιδί χρώμα κοντά στην ακτή). Σαφώς η πραγματική εικόνα διαφέρει από αυτήν του μοντέλου, αφού φανερώνει αυξημένες συγκεντρώσεις, της τάξης των 80-100 mg/l, σε όλη σχεδόν την έκταση του κάμπου.

Συμπερασματικά, μπορεί κανείς να πει ότι η διασπορά των νιτρικών αλάτων είναι αυξημένη στην έκταση των αγροτικών καλλιεργειών, καθώς οι σημειακές εξάρσεις του μοντέλου δεν ταυτίζονται με την πραγματική εικόνα. Επίσης, οι υψηλές συγκεντρώσεις στα βόρεια και δυτικά του κάμπου οφείλονται κατά πολύ μεγάλο λόγο στην διάχυση νιτρορύπανσης από τα αστικά λύματα. Τέλος, η περιοχή του βάλτου (πηγής Κολοβρέχτη), αποτελεί περιοχή χαμηλής συγκέντρωσης νιτρικών αλάτων, και αυτό οφείλεται στην υψηλή ταχύτητα του πεδίου ροής.

10. Αποτίμηση εργασιών

Η παρούσα Μεταπτυχιακή Ερευνητική Διατριβή είχε σαν αρχικό στόχο την ολοκληρωμένη μαθηματική προσομοίωση του υδροφόρου του κάμπου Ψαχνών που θα περιελάμβανε τα εξής στάδια: Το «στήσιμο» του μοντέλου (ομοιώματος), την ρύθμιση του, την επέκτασή και επαλήθευση του με σύγχρονα δεδομένα και τελικά την προσομοίωση διάχυσης ρύπων, καθώς και την δημιουργία σεναρίων βασισμένα στα αποτελέσματα της διάχυσης. Ενώ τα αρχικά δεδομένα φαινονταν ικανά να καλύψουν τα παραπάνω στάδια, κάτι τέτοιο δεν συνέβαινε.

Πραγματοποιήθηκε μια αξιολογή προσπάθεια κάλυψης των «κενών» των δεδομένων και από την αρχική προσδοκία της μονοσήμαντης απάντησης στο αρχικό ερώτημα για το ποιές είναι οι τιμές των υδραυλικών παραμέτρων, οδηγηθήκαμε τουλάχιστον σε ένα εύρος τιμών.

Το εύρος τιμών των υδραυλικών παραμέτρων του υδροφόρου παρατίθεται στον επόμενο πίνακα (πιν.11) από τα αποτελέσματα των διαφόρων σεναρίων προσομοίωσης:

Πίνακας 12 - Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίων

	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3	Σενάριο 4
Μεταβιβαστικότητα (T)	60,5	60,5	60,5	60,5
Υδραυλική αγωγιμότητα (K)	83,8	35,34	85,04	95,0
Ειδική παροχή (Sy)	0,111	0,1	0,1	0,246

Η τιμή της υδραυλικής αγωγιμότητας (K) υπολογίζεται να είναι μεταξύ:

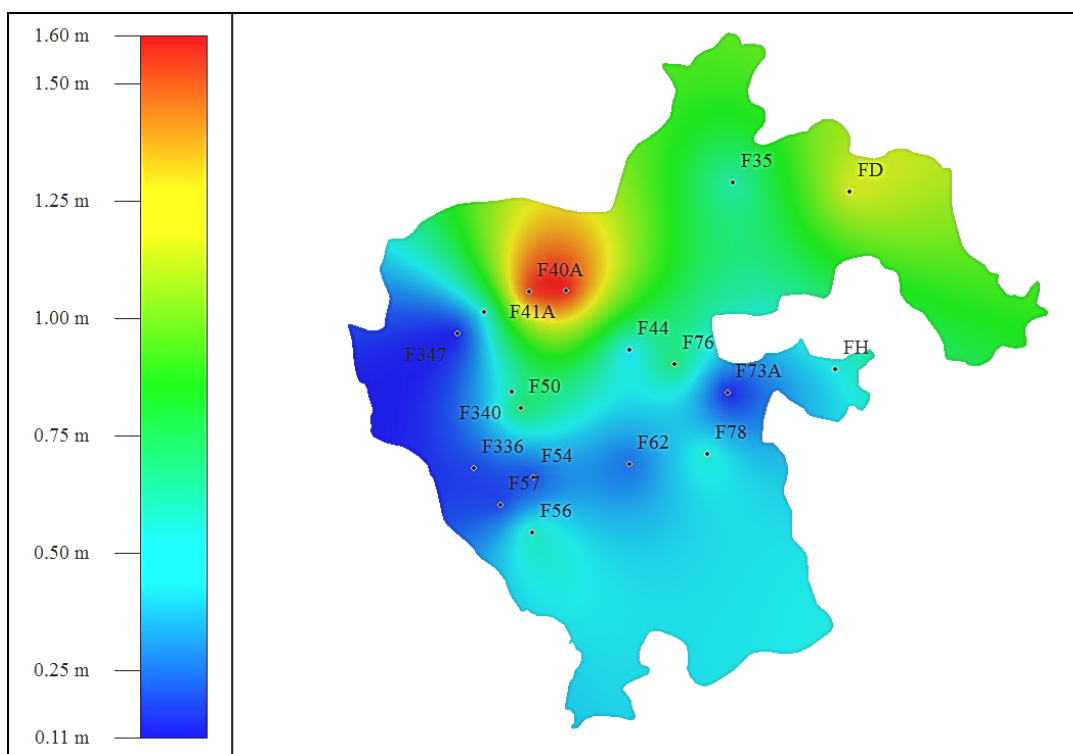
$$35,34 - 95,0 \text{ m/d } \text{ ή } 4,09 \cdot 10^{-4} - 1,1 \cdot 10^{-3} \text{ m/sec}$$

Η τιμή της ειδικής παροχής (Sy) υπολογίζεται να είναι μεταξύ: **0,1 - 0,246** και

Η τιμή της μεταβιβαστικότητας (T) δεν ήταν δυνατό να υπολογιστεί από το μοντέλο αλλά από την δοκιμαστική άντληση και είναι ίση με: **60,5 m²/d ή 7 x 10⁻⁴ m²/sec**

Η τελική ρύθμιση που επιλέχθηκε (Σενάριο 1) μπορεί κανείς να πει ότι δίνει καλά αποτέλεσμα στον κάμπο των Ψαχνών κοντά στην θάλασσα με χαμηλά σφάλματα ενώ βαθύτερα προς τα Ψαχνά και ειδικά βόρεια τα αποτελέσματα δεν είναι πολύ καλά. (εικ.11) Εξάλλου και τα σημεία παρατήρησης είναι λιγότερα.

Τοποθετώντας τα απόλυτα σφάλματα των παρατηρήσεων σε χάρτη προκύπτει η παρακάτω ενδιαφέρουσα εικόνα (εικ.11):



Εικόνα 11 - Χαρτογράφηση του απόλυτου σφάλματος

Από την ανάλυση της πιεζομετρίας σε προηγούμενο κεφάλαιο και της παραπάνω εικόνας, φαίνεται ότι, οι περιοχές γύρω από τα σημεία FD και F40A είναι πολύ ευαίσθητες στις αλλαγές της υδραυλικής κλίσης (πιεζομετρίες 1989, 2014 - σχ.5 & 6).

Γενικά όπου έχει πυκνά σημεία παρατήρησης το μοντέλο προβλέπει καλύτερα.

Το μοντέλο διάχυσης ρύπων με τα λίγα δεδομένα κάλυψε ποιοτικά την διερεύνηση πιέσεων λόγω νιτρορύπανσης, στην περιοχή του κάμπου. Αν και ο κάμπος υφίσταται υπερεντατική γεωργική εκμετάλλευση ο μεγαλύτερος κίνδυνος υπεραυξημένης νιτρορύπανσης, όπως φανερώνει το μοντέλο διάχυσης, οφείλεται στην διάχυση αστικών λυμάτων από σηπτικές δεξαμενές (βόθρους).

Η αριθμητική επαλήθευση των αποτελεσμάτων μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνον κατόπιν διεξαγωγής προγράμματος περιοδικών μετρήσεων στάθμης, δειγματοληψίας & χημικών αναλύσεων υπογείων υδάτων από τα διάφορα υδροσημεία και προγράμματος δοκιμαστικών αντλήσεων σε διάφορα σημεία του υδροφόρου.

11. Συμπεράσματα - Προτάσεις

Στην παρούσα εργασία έγινε προσπάθεια προσομοίωσης του φρεάτιου υδροφόρου του κάμπου Ψαχνών με το λογισμικό PMWIN που αποτελεί εφαρμογή του διάσημου και δημοφιλή κώδικα MODFLOW του Αμερικάνικου Ινστιτούτου Γεωλογικών Ερευνών (USGS).

Στα πλαίσια των εργασιών για την προσομοίωση αυτή:

- ✓ Μετρήθηκαν οι στάθμες από 52 υδροσημεία της περιοχής για χρονικό διάστημα 5 μηνών και βρέθηκε η στάθμη στο κάμπο Ψαχνών κυμαίνεται σε αρνητικά υψόμετρα για μεγάλο διάστημα κατά την ξηρά περίοδο. Αυτό επαληθεύτηκε και από τα δεδομένα πιεζομετρίας της βιβλιογραφίας.
- ✓ Έγινε χωροστάθμιση 52 υδροσημείων με διαφορικό GPS με σφάλμα στον άξονα Z ≤ 10 εκατ.
- ✓ Πραγματοποιήθηκε δοκιμαστική άντληση σε πηγάδι στην περιοχή και έδωσε τιμή **μεταβιβαστικότητας (T) ίση με $7 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{sec}$ και συντελεστή εναποθήκευσης (S) ίσο με $7,35 \times 10^{-4}$.**
- ✓ Επινοήθηκε επιτυχώς εικονικός βροχομετρικός σταθμός στα Ψαχνά με συνεχή χρονοσειρά μηνιαίων τιμών βροχόπτωσης για 27 χρόνια με την μέθοδο της Γεωγραφικά Σταθμισμένης Παλινδρόμησης (GWR) με εφαρμογή της για κάθε μήνα. Αυτός έχει μέση υπερετήσια βροχόπτωση 406mm να αντιστοιχεί στο μέσο υψόμετρο 13μ. του κάμπου.
- ✓ Υπολογίστηκαν ότι οι αντλούμενες ποσότητες για την σημερινή εποχή είναι περίπου **$6,61 \times 10^6$ κυβ. μ. / έτος**. Ενώ το 1989 είχαν υπολογισθεί στο μισό περίπου της ποσότητας αυτής.
- ✓ Το εννοιολογικό μοντέλο αν και απλουστευμένο (ομοιομορφία και ισοτροπία υδραυλικών παραμέτρων) κάλυψε επαρκώς τις ανάγκες της παρούσας εργασίας και έδωσε ικανοποιητικά αποτελέσματα.
- ✓ Το μοντέλο προσομοίωσης κάλυψε 4 περιόδους προσομοίωσης με σχετική επιτυχία στην πρόβλεψη της πιεζομετρίας της ξηρής περιόδου και για τις 4 περιόδους προσομοίωσης.
- ✓ Από τα αποτελέσματα και των τεσσάρων προσομοιώσεων δεν βγαίνει μονοσήμαντο αποτέλεσμα για τη υδραυλική αγωγιμότητα (K) αλλά εύρος τιμών : **$35,34 - 95,0 \text{ m/d}$ ή $4,09 \times 10^{-4} - 1,1 \times 10^{-3} \text{ m/sec}$** . Ομοίως και για την τιμή της ειδικής παροχής (sy) : **0,1 - 0,246**
- ✓ Το μοντέλο αποδείχτηκε, όπως ήταν αναμενόμενο, ευαίσθητο σε ένα εύρος τιμών της υδραυλικής αγωγιμότητας (K) και ιδιαίτερα ευαίσθητο στην μεταβολή της τιμής της ειδικής παροχής (S-specific yield). Οι τιμές ποσοτήτων άντλησης και πλευρικών μεταγγίσεων καθορίζουν σημαντικό ποσοστό των σφαλμάτων
- ✓ Από τις διαδοχικές προσομοιώσεις η καλύτερη μπορεί και προσομοιώνει με ελαχιστοποιημένο σφάλμα την κεντρική περιοχή του κάμπου των Ψαχνών η οποία αποτελεί και την πιο ευαίσθητη στην υφαλμύριση (Τσιούμας 2004, Μελάς 2014).

- ✓ Οι αποκλίσεις του μοντέλου οφείλονται κυρίως στην πραγματική ανισοτροπία του υδροφόρου (όπου υπάρχει έντονη παρουσία αργιλικού υλικού δημιουργεί τοπικές συνθήκες υπό πίεση υδροφόρου με δικό του K και T) και στην έλλειψη δεδομένων υδατικών ισοζυγίων των πλευρικών υδρογεωλογικών λεκανών που τροφοδοτούν τον κάμπο.
- ✓ Με βάση την ποιοτική διερεύνηση διάχυσης ρύπου με «εργαλεία» ροής φάνηκε ότι πιο επιρρεπής σε ρύπανση είναι η περιοχή έως και 1χλμ μακριά από την θάλασσα και η ΒΒΔ πλευρά του κάμπου.
- ✓ Οι επιβαρύνσεις σε νιτρικά άλατα στην βόρεια και δυτική πλευρά του κάμπου και στην κεντρική παράκτια περιοχή οφείλονται, κατά μεγάλο μέρος, στην πίεση που ασκείται από την έλλειψη αποχετευτικών δικτύων. Στις υπόλοιπες περιοχές οφείλεται στην ανεξέλεγκτη χρήση λιπασμάτων.
- ✓ Ο υδρότοπος (βάλτος) της πηγής Κολοβρέχτη δεν φαίνεται να διατρέχει άμεσο κίνδυνο από νιτρορύπανση αφού οι ταχύτητες του πεδίου ροής αρκούν για να απομακρύνουν τους πιθανούς ρύπους..

Από την εφαρμογή του μοντέλου φάνηκε ότι ο σημαντικότερος παράγοντας που συνεισφέρει στην αναπλήρωση των υπόγειων αποθεμάτων ύδατος είναι οι πλευρικές μεταγγίσεις. Προκειμένου να βελτιστοποιηθούν τα αποτελέσματα, ώστε το μοντέλο να ελαχιστοποιεί το σφάλμα του σε όλη την έκταση, είναι απαραίτητη η εφαρμογή επί μέρους μοντέλων λεκανών απορροής για τις πλευρικές υδρογεωλογικές λεκάνες των ασβεστολιθικών μαζών, που τροφοδοτούν τον φρεάτιο υδροφόρο για τον προσδιορισμό της τιμής παροχής των πλευρικών μεταγγίσεων (αριθμητική τιμή και προσδιορισμός καμπύλης στείρευσης). Καθώς επίσης και η επέκταση του δικτύου μετρήσεων προς τα ανάντη του μοντέλου.

Προκειμένου να επεκταθεί η εφαρμογή σε όλο το φάσμα των 30 χρόνων που καλύπτουν οι αποσπασματικές μετρήσεις στάθμεων, είναι απαραίτητη η παραπάνω προϋπόθεση, μοντέλων λεκανών απορροής, στην ευρύτερη λεκάνη απορροής του Μεσσάπιου. Επίσης, κρίνεται απαραίτητη η συνέχιση των εργασιών υπαίθρου, όπως: μετρήσεων στάθμης, επανάληψη της δοκιμαστικής άντλησης σε άλλες περιοχή προς διερεύνηση της ισοτροπίας των υδραυλικών παραμέτρων του φρεάτιου υδροφόρου και τέλος, η συστηματική δειγματοληψία και χημική ανάλυση δειγμάτων υπογείου νερού καθ' όλη την διάρκεια του έτους, για την σωστή μοντελοποίηση της καμπύλης στείρευσης (διακύμανση) των χημικών συγκεντρώσεων των πιθανών ρύπων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική

Βαλουγεώργης Δ., (2005), *Υπολογιστικές Μέθοδοι, Σημειώσεις μαθήματος, Τμήμα Μηχανολόγων-Μηχανικών Βιομηχανίας, Εργαστήριο Φυσικών και Χημικών Διεργασιών, Πολυτεχνική Σχολή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος.*

Βουδούρης Κ. (2011), *Εκμετάλλευση και διαχείριση υπογείου νερού - Δοκιμαστικές αντλήσεις, Διδακτικές σημειώσεις, Εργαστήριο τεχνικής υδρολογίας και υδρογεωλογίας, Αριστοτέλειο Παν/μιο Θεσ/νικης, Θεσ/νικη.*

Γ.Υ.Σ. (1971). *Φύλλο Ψαχνά. Τοπογραφικός Χάρτης Ελλάδας κλίμακα 1/50.000 .*

Δάνδολος, Η., & Ζώραπας, Β. (2010). *Καταγραφή και αποτίμηση των υπόγειων υδροφόρων συστημάτων λεκάνης Βοιωτικού Κηφισσού και υπολεκανών νομού Βοιωτίας - Εύβοιας / Τελική έκθεση. Αθήνα: Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών.*

Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία. (1999). *Κλιματικά στοιχεία των σταθμών της Ε.Μ.Υ (Τόμ. 1). Αθήνα: Ε.Μ.Υ.*

Ερευνητική ομάδα «ΙΤΙΑ», (2010), *Θεωρητική Τεκμηρίωση για το λογισμικό Υδρογνώμων - Έκδοση 4., Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.*

Καλλέργης Γ.Α., (1999), *Εφαρμοσμένη Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία, Τομ. Α, ΤΕΕ, Αθήνα..*

Καραβοκύρης Γ. και Συνεργάτες Σύμβουλοι Μηχανικοί Α.Ε., Ζ&Α Π. Αντωναρόπουλος και Συνεργάτες Α.Μ.Ε., ΕΠΕΜ Α.Ε. και Ξενοφών Σταυρόπουλος, (2007). *Ανάπτυξη συστημάτων και εργαλείων Διαχείρισης Υδατικών Πόρων Υδατικού Διαμέρισματος Ανατολικής Στερεάς (07) Υπουργείο Ανάπτυξης, Γενική Γραμματεία Ανάπτυξης, Δ/ση Υδατικού Δυναμικού, Αθήνα.*

Κατσικάτσος, Γ., Κούκης, Γ., Φυτίκας, Μ., Αναστασόπουλος, Ι., & Κανάρης, Ι. (1981). *Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας. Φύλλο χάρτη Ψαχνά - Πήλιον κλίμακα 1/50.000. Ι.Γ.Μ.Ε. Αθήνα.*

Κοντογιαννάκος Ι., Οξενκιούμ Μ., Λιοδάκης Ε. Γάκης Δ., Κακαβάς Ν.(1985), *Υδρογεωλογική και Υδροχημική έρευνα υπόγειων και επιφανειακών νερών κεντρικής Εύβοιας-ΥΧΟΠ (ΥΠΕΧΩΔΕ) ΕΡΓΟ*

7975702, ΚΑ31 (1983), Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο –Τμ.Χημικών Μηχανικών / Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών-Δ/νση Υδρογεωλογίας”, Αθήνα..

Κοψιάντης Γ., (2005), Προσομοίωση παράκτιων υδροφορέων με τρισδιάστατα μοντέλα μεταβλητής πυκνότητας - εφαρμογή σε υδροφορέα της Ν. Θήρας, Μεταπτυχιακή διατριβή, Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών « Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων», Ε.Μ.Π. Αθήνα.

Κουτσογιάννης Δ., (1997) Στατιστική Υδρολογία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Κουτσογιάννης Δ., (1999), Σημειώσεις Προχωρημένης Υδρολογίας - Μέρος Α, , Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Κουτσογιάννης Δ. και Ξανθόπουλος Α.(1998), Τεχνική Υδρολογία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Λατινόπουλος Π. και Θεοδοσίου Ν., (2007), Εκμετάλλευση και προστασία των υπόγειων υδατικών πόρων, Διδακτικές σημειώσεις, Τομέας Υδραυλικής και Τεχνικής Περιβάλλοντος, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Α.Π.Θ.

Μαυρομάτης Γ. (1978), Χάρτης Βλάστησης Ελλάδας, ΥΠΓΕ, Ίδρυμα Δασικών Ερευνών Αθηνών, Τομέας Δασικής Σταθμολογίας, Αθήνα

Μελάς Μ., (2014), Διερεύνηση των υδρογεωλογικών συνθηκών της λεκάνης Μεσάπιου με έμφαση στην υποβάθμιση των υπογείων νερών από φυσικούς και ανθρωπογενείς παράγοντες, Μεταπτυχιακή διατριβή, Γεωπονικό Παν/μιο Αθηνών, Αθήνα.

Μπεζές Κ., (1987), Μία μέθοδος υπολογισμού του υδατικού ισοζυγίου στην καρστική λεκάνη του Ορνού Όρους (Αν. Κρήτη): Πρακτικά του 3ου Πανελληνίου Συνεδρίου της Ελληνικής Υδροτεχνικής Ένωσης, ΥΔΡΟΤΕΧΝΙΚΑ, τόμος 3, σελ. 677-686.

Μπεζές Κ., (1993), Κατασκευή του μοντέλου στρωμάτωσης της βροχής TRENDMHN για τον υπολογισμό της μέσης βροχόπτωσης υδρολογικής λεκάνης: Πρακτικά του 2ου Υδρογεωλογικού Συνεδρίου, Πάτρα.

Μπεζές Κ., (2003),. Μεθοδολογία υπολογισμού ψηφιακών βροχομετρικών μοντέλων στις υδρολογικές λεκάνες των νησιών των Κυκλάδων. Πρακτικά του 9ου Πανελληνίου Συνεδρίου της Ελληνικής Υδροτεχνικής Ένωσης, Θεσσαλονίκη.

Μπεζές Κ., (2006), *Υδρογεωλογική Μελέτη Καρστικών Συστημάτων ΝΑ Φωκίδας, Υπ. Γεωργίας , Αθήνα*

Μουντράκης, Δ. (1985). *Γεωλογία της Ελλάδας.* Θεσσαλονίκη: University studio press.

NAMA ΑΕ , SPEED ΑΕ , ΓΑΜΜΑ4 ΕΠΕ, Σίδερης Ν., Περγαντής Φ., Ντάσκακας Α. Γιαννέλης Γ., Χρήστου Ν., Μπιτσακάκη Α, Χατζηκόστας Ε., (2012). *Σχέδιο Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Ποταμών Υδατικού Διαμερίσματος Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας (GR07), Κείμενα Τεκμηρίωσης, Παραδοτέο Νο.8, Ανάλυση Ανθρωπογενών Πιέσεων και των Επιπτώσεων τους στα Επιφανειακά και στα Υπόγεια Υδατικά Συστήματα, ΥΠΕΚΑ, Ειδική Γραμματεία Υδάτων, Αθήνα*

Παπανικολάου Δ., (1986). *Γεωλογία της Ελλάδας.* Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα.

Τρίγκας Παν., (2003) *Συμβολή στην μελέτη ενδημισμού της χλωρίδας της Εύβοιας, Διδακτορική διατριβή, Παν/μιο Πατρών, Τμήμα Βιολογίας, Τομέας Βιολογίας Φυτών, Πάτρα.*

Τσιούμας, Β. (1998), *Υδρογεωλογική αναγνώριση - γεωτρητικό πρόγραμμα στην ευρύτερη περιοχή του δήμου Ψαχνών Ν.Ευβοίας,* Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, Αθήνα.

Τσιούμας Β., Ζόραπας Β. (2004), *Μελέτη για τον εντοπισμό των αιτιών υφαλμύρωσης των υπογείων νερών του δυτικού τμήματος του κάμπου Ψαχνών Ν. Εύβοιας* Ι.Γ.Μ.Ε., Αθήνα.

Υδροέρρευνα α.ε. (1991), *Οριστική υδρογεωλογική μελέτη περιοχής Κεντρικής Εύβοιας.* ΥΠ. ΓΕΩΡΓΙΑΣ, Αθήνα.

Υπουργείο Γεωργίας, (1994), *Κώδικας ορθής γεωργικής πρακτικής για την προστασία των νερών από τη νιτρορύπανση γεωργικής προέλευσης,* Αθήνα.

Ξεπόλωση

Almasri M.N. and Kaluarachchi J.J. (2007) *Modeling nitrate contamination of groundwater in agricultural watersheds*, Journal of Hydrology, 343, pp. 211-229.

Anderson P. M., Woesessner W. W., (1991), *Applied Groundwater Modeling - Simulation of flow and advective transport.*, Academic Press Inc. California,

Arlen W. Harbaugh, Edward R. Banta, Mary C. Hill, Michael G. McDonald, (2000), *MODFLOW-2000—User Guide to Modularization Concepts and the Ground -Water Flow Process*, U.S. Geological Survey Open-File report 00-92.

Bear J., (1972), *Dynamics of fluids in porous media*, American Elsevier p.c.

Burton M, A. (2007), *Application of a nitrate fate and transport model to the Abbotsford Sumaw aquifer, Whatcom Country, Wahington.*, Master Thesis, Western Washington University, USA.

Chiang, W.-H. (2005). *3D – Groundwater modeling with PMWIN*. Springer, Irvine, California, U.S.A.

Chiang, W.-H. and W. Kinzelbach (1998). *Processing Modflow - A Simulation System for Modeling Groundwater Flow and Pollution*.

McCabe, G.J., and Markstrom, S.L., (2007), *A monthly water-balance model driven by a graphical user interface*: U.S. Geological Survey Open-File report 2007-1088.

Metcaf & Eddy, (1991), *Wastewater Engineering, Treatment, Disposal and Reuse*, Third Edition, McGraw – Hill Book Company, New York.

Michael G. McDonald, Arlen W. Harbaugh, (1984) *MODFLOW, A modular three-dimensional finite-difference ground water flow model.*, U.S. Geological Survey Open-File report 83-875.

Rosen M. R., Kropf C., and Thomas K. A.(2006), *Quantification of the Contribution of Nitrogen from Septic Tanks to Ground Water in Spanish Springs Valley, Nevada*, Washoe County Department of Water Resources, USGS, Scientific Investigations Report 2006–5206, September 2006

Siarkos I., Kovaritaki D., Charcharidou A., Theodossiou N. (2013), *Modelling the effect of agricultural activities on groundwater quality in the aquifer of N.Moudania, Greece*, 13th International Conference on Environmental Science and Technology, Athens.

Zheng, C., Bennett, G.D. (1995), *Applied Contaminant Transport Modeling: Theory and Practice*. Van Nostrand Reinhold, New York, 440p.

Zheng C., Wang P.P. (1999), *MT3DMS, A Modular Three-Dimensional Multispecies Transport Model, Documentation and User's Guide*, University of Alabama, Tuscaloosa, Alabama, USA.

,

Ιστοσελίδες

Ιστοσελίδα θέασης ορθοφωτοχαρτών google

maps.google.com

Ιστοσελίδα λογισμικού PMWIN

<http://www.pmwin.net>

Ιστοσελίδα του Αμερικάνικου Γεωλογικού Ινστιτούτου (κατασκευαστής του κώδικα MODFLOW)

<http://water.usgs.gov/ogw/modflow/MODFLOW.html>

Ιστοσελίδα του ΑΠΘ (διδασκτικές σημειώσεις)

<http://www.geo.auth.gr/763/>

Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, Διδασκτικές σημειώσεις,

http://www.mie.uth.gr/n_ekp_yliko.asp?id=39

Ιστοσελίδα κτηματολογίου θέασης και παροχής ορθοφωτοχαρτών

<http://gis.ktimanet.gr/wms/ktbasemap/>

Εθνική Τράπεζα Υδρολογικής και Μετεωρολογικής πληροφορίας

<http://www.hydroscope.gr/>

Ιστοσελίδα Παν/μίου της Φλόριδας (Florida State University) σχετικά με το ArcNLET, πρόσθετο εργαλείο υπολογισμού φορτίου νιτρικών του λογισμικού ArcMap

<http://people.sc.fsu.edu/~mye/ArcNLET/>

Ιστοσελίδες Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών σχετικά με τα δεδομένα του δικτύου των αυτόματων μετεωρολογικών σταθμών

<http://www.meteo.gr>

<http://penteli.meteo.gr/meteosearch/>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Πίνακας II :
Μετρήσεις δοκιμαστικής άντλησης

Πίνακας μετρήσεων δοκιμαστικής άντλησης						
t (min)	logt	h (m)	δ (m)	R (m)	salinity/ conductivity	Q (m ³ /h)
0		8.62	0.00			27.7
1	0.000	8.75	0.13	7.3	0.70 / 1480	
2	0.301	8.84	0.22	10.3		
3	0.477	8.90	0.28	12.6		
4	0.602	8.96	0.34	14.6		
5	0.699	9.03	0.41	16.3		
6	0.778	9.09	0.47	17.8		
7	0.845	9.15	0.53	19.3		
8	0.903	9.20	0.58	20.6		
9	0.954	9.25	0.63	21.8		
10	1.000	9.31	0.69	23.0		
11	1.041	9.36	0.74	24.1		
12	1.079	9.40	0.78	25.2		
13	1.114	9.45	0.83	26.2		
14	1.146	9.50	0.88	27.2		
15	1.176	9.54	0.92	28.2		
20	1.301	9.73	1.11	32.6	0.70 / 1460	
25	1.398	9.89	1.27	36.4		
30	1.477	10.02	1.40	39.9		
35	1.544	10.12	1.50	43.1		
40	1.602	10.21	1.59	46.0		
50	1.699	10.37	1.75	51.5		
60	1.778	10.51	1.89	56.4		28.8
70	1.845	10.59	1.97	60.9		
80	1.903	10.68	2.06	65.1		
90	1.954	10.74	2.12	69.1	0.76 / 1610	
100	2.000	10.80	2.18	72.8		
110	2.041	10.85	2.23	76.3		
120	2.079	10.89	2.27	79.7	0.79 / 1605	
130	2.114	10.92	2.30	83.0		
140	2.146	10.96	2.34	86.1	0.79 / 1615	23.22

Πίνακας μετρήσεων κατά την επάνοδο στάθμης			
t' (min)	log (t+t'/t')	h (m)	δ (m)
6	1.386	10.86	2.24
7	1.322	10.80	2.18
8	1.267	10.75	2.13
9	1.219	10.68	2.06
10	1.176	10.63	2.01
11	1.138	10.58	1.96
12	1.103	10.53	1.91
13	1.071	10.48	1.86
14	1.041	10.44	1.82
15	1.014	10.38	1.76
20	0.903	10.14	1.52
25	0.820	9.92	1.30
30	0.753	9.74	1.12
35	0.699	9.62	1.00
40	0.653	9.47	0.85
45	0.614	9.26	0.64
50	0.580	9.08	0.46
55	0.550	8.94	0.32
60	0.523	8.90	0.28
65	0.499	8.87	0.25
70	0.477	8.80	0.18
75	0.457	8.78	0.16
80	0.439	8.75	0.13
85	0.423	8.74	0.12
90	0.407	8.72	0.10
150	0.286	8.69	0.07

Πίνακας III:
Στατιστική ανάλυση γραμμικής παλινδρόμησης
μεταξύ των μηνιαίων τιμών βροχόπτωσης των Μ.Σ. Χαλκίδα και Κάτω Στενή

Simple Regression - Chalkis vs. Katw Steni

Dependent variable: Chalkis
 Independent variable: Katw Steni
 Linear model: $Y = a + b \cdot X$

Coefficients

	<i>Least Squares</i>	<i>Standard</i>	<i>T</i>	
<i>Parameter</i>	<i>Estimate</i>	<i>Error</i>	<i>Statistic</i>	<i>P-Value</i>
Intercept	10.2753	2.89308	3.55169	0.0005
Slope	0.213035	0.020765	10.2593	0.0000

Analysis of Variance

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Model	60889.8	1	60889.8	105.25	0.0000
Residual	70577.4	122	578.503		
Total (Corr.)	131467.	123			

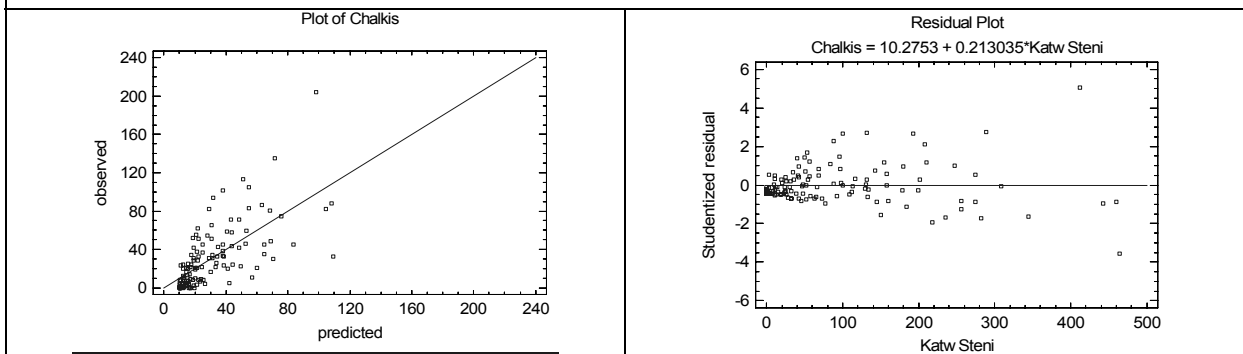
Correlation Coefficient = 0.680555
 R-squared = 46.3156 percent
 R-squared (adjusted for d.f.) = 45.8755 percent
 Standard Error of Est. = 24.0521
 Mean absolute error = 16.807
 Durbin-Watson statistic = 2.06292 (P=0.6362)
 Lag 1 residual autocorrelation = -0.0368401

Chalkis = 10.2753 + 0.213035*Katw Steni

Since the P-value in the ANOVA table is less than 0.05, **there is a statistically significant relationship between Chalkis and Katw Steni at the 95.0% confidence level.**

The R-Squared statistic indicates that the model as fitted explains 46.3156% of the variability in Chalkis. The correlation coefficient equals 0.680555, indicating a moderately strong relationship between the variables. The standard error of the estimate shows the standard deviation of the residuals to be 24.0521.

The mean absolute error (MAE) of 16.807 is the average value of the residuals. The Durbin-Watson (DW) statistic tests the residuals to determine if there is any significant correlation based on the order in which they occur in your data file. Since the P-value is greater than 0.05, there is no indication of serial autocorrelation in the residuals at the 95.0% confidence level



Πίνακας IV :
Πρακτικό λίπανσης ανά καλλιέργεια

Καλλιέργεια	ΔΙΠΑΣΜΑΤΑ (tn/y/hm)			ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ (%)			ΠΛΕΟΝΑΣΜΑ (%)			NO ₃ Load
	N	P	K	N	P	K	N	P	K	tn/y/hm
Σιτιρά	12			0.4			0.6			7.2
Βρώμη	14	4	0	0.37	0.37	0.37	0.63	0.63	0.63	8.82
Σίκαλη	16	4	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	8
Καλαμπόκι χωρίς συγκαλλιέργεια	35	8	5	0.7	0.4	0.65	0.3	0.6	0.35	10.5
Καλαμπόκι που συγκαλλιεργείται με φασόλια και άλλα είδη	31	4	1	0.7	0.7	0.7	0.3	0.3	0.3	9.3
Φασόλια χωρίς συγκαλλιέργεια	2.5	5	0	0.18	0.18	0.18	0.82	0.82	0.82	2.05
Φασόλια που συγκαλλιεργούνται με καλαμπόκι και άλλα είδη	2.5	5	0	0.7	0.7	0.7	0.3	0.3	0.3	0.75
Κουκιά	8	7	7	0.33	0.33	0.33	0.67	0.67	0.67	5.36
Μπιζέλια	8	7	7	0.33	0.33	0.33	0.67	0.67	0.67	5.36
Κριθάρι για σανό	9	4	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	4.5
Βρώμη για σανό	1	5	0	0.37	0.37	0.37	0.63	0.63	0.63	0.63
Βίκος για σανό	1	5	0	0.37	0.37	0.37	0.63	0.63	0.63	0.63
Μηδική (πολυετές τριφύλλι) 0	0	10	0	0.9	0.9	0.9	0.1	0.1	0.1	0
Καλαμπόκι χλωρό	35	8	5	0.7	0.4	0.65	0.3	0.6	0.35	10.5
Κριθάρι για γρασίδια	6	4	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	3
Βρώμη για γρασίδια	1	5	0	0.37	0.37	0.37	0.63	0.63	0.63	0.63
Βίκος για γρασίδια	1	5	0	0.37	0.37	0.37	0.63	0.63	0.63	0.63
Καρπούζια (μυοστάνικα)	16	20	23	0.6	0.6	0.6	0.4	0.4	0.4	6.4
Πεπόνια (μυοστάνικα) 20	20	15	24	0.6	0.6	0.6	0.4	0.4	0.4	8
Πατάτες ανοίξεως (ξηρική)	23	20	38	0.6	0.6	0.6	0.4	0.4	0.4	9.2
Πατάτες καλοκαιρινές (ποτιστική)	23	20	38	0.6	0.6	0.6	0.4	0.4	0.4	9.2
Πατάτες φθινοπώρου και χειμώνα (ξηρική)	23	20	38	0.6	0.6	0.6	0.4	0.4	0.4	9.2
Λαχανοκομικά είδη	21	18	18	0.6	0.6	0.6	0.4	0.4	0.4	8.4
Φυτώρια παραγωγής μόνο φυταρίων λαχανικών για μεταφύτευση	21	18	18	0.6	0.6	0.6	0.4	0.4	0.4	8.4
Φυτώρια καρποφόρων δέντρων για μεταφύτευση	0.5	0.5	1.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.25
Θερμοκήπια κάθε είδους για λαχανικά	21	18	18	0.6	0.6	0.6	0.4	0.4	0.4	8.4
Θερμοκήπια κάθε είδους για άνθη	21	18	18	0.6	0.6	0.6	0.4	0.4	0.4	8.4
Λάχανα	21	18	18	0.6	0.6	0.6	0.4	0.4	0.4	8.4
Κουνουπίδια	21	18	18	0.6	0.6	0.6	0.4	0.4	0.4	8.4
Σπανάκι	21	18	18	0.6	0.6	0.6	0.4	0.4	0.4	8.4
Πράσα	21	18	18	0.6	0.6	0.6	0.4	0.4	0.4	8.4
Κρεμμυδάκια χλωρά	21	18	18	0.6	0.6	0.6	0.4	0.4	0.4	8.4
Κρεμμυδάκια ξερά	21	18	18	0.6	0.6	0.6	0.4	0.4	0.4	8.4
Σέλινα	21	18	18	0.6	0.6	0.6	0.4	0.4	0.4	8.4
Σκόρδα (α) χλωρά	21	18	18	0.6	0.6	0.6	0.4	0.4	0.4	8.4
(β) ξερά	21	18	18	0.6	0.6	0.6	0.4	0.4	0.4	8.4
Μπιζέλια χλωρά	8	7	7	0.33	0.33	0.33	0.67	0.67	0.67	5.36
Ραπανάκια	21	18	18	0.6	0.6	0.6	0.4	0.4	0.4	8.4
Αρακάς χλωρός	8	7	7	0.33	0.33	0.33	0.67	0.67	0.67	5.36
Αρακάς ξερός	8	7	7	0.33	0.33	0.33	0.67	0.67	0.67	5.36
Παντζάρια	21	18	18	0.6	0.6	0.6	0.4	0.4	0.4	8.4

Μαρούλια	21	18	18	0.6	0.6	0.6	0.4	0.4	0.4	8.4
Αντίδια και ραδίκια	21	18	18	0.6	0.6	0.6	0.4	0.4	0.4	8.4
Κοκκάρι	21	18	18	0.6	0.6	0.6	0.4	0.4	0.4	8.4
Σέσκουλα - σινάπια	1	5	0	0.6	0.6	0.6	0.4	0.4	0.4	0.4
Καρότα	21	18	18	0.6	0.6	0.6	0.4	0.4	0.4	8.4
Τομάτες επιτραπέζιες για νοπή χρήση. υπαίθρου	25	14	14	0.27	0.27	0.27	0.73	0.73	0.73	18.25
Τομάτες επιτραπέζιες για νοπή χρήση. θερμοκήπια	16	40	30	0.27	0.27	0.27	0.73	0.73	0.73	11.68
Φασολάκια χλωρά	2.5	5	0	0.18	0.18	0.18	0.82	0.82	0.82	2.05
Μπάμιες ποτιστικές	21	18	18	0.6	0.6	0.6	0.4	0.4	0.4	8.4
Μπάμιες ξερικές	21	18	18	0.6	0.6	0.6	0.4	0.4	0.4	8.4
Κολοκυθάκια	21	18	18	0.6	0.6	0.6	0.4	0.4	0.4	8.4
Αγγούρια υπαίθρου	21	18	18	0.6	0.6	0.6	0.4	0.4	0.4	8.4
Κολοκύθες	21	18	18	0.6	0.6	0.6	0.4	0.4	0.4	8.4
Μελιτζάνες υπαίθρου	21	18	18	0.6	0.6	0.6	0.4	0.4	0.4	8.4
Πιπεριές χλωρές	18	16	16	0.6	0.6	0.6	0.4	0.4	0.4	7.2
Αγκινάρες	21	18	18	0.6	0.6	0.6	0.4	0.4	0.4	8.4
ΣΥΓΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ ΜΕΣΑ ΣΕ ΚΑΝΟΝΙΚΟΥΣ ΔΕΝΔΡΩΝΕΣ										
1. Φυτά των αρότραίων καλλιέργειών	1	5	0	0.9	0.9	0.9	0.1	0.1	0.1	0.1
2. Φυτά των λαχανοκομικών ειδών	21	18	18	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	10.5
Λεμονιές	1.3	0.7	1.5	0.9	0.9	0.9	0.1	0.1	0.1	0.13
Πορτοκαλιές	1.3	0.7	1.5	0.9	0.9	0.9	0.1	0.1	0.1	0.13
Μανταρινιές	1.3	0.7	1.5	0.9	0.9	0.9	0.1	0.1	0.1	0.13
Περγαμοντιές	1.3	0.7	1.5	0.9	0.9	0.9	0.1	0.1	0.1	0.13
Αχλαδιές	1	1	3	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Μηλιές	1	1	3	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Βερικοκιές	1	1	3	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Ροδακινιές	1	1	3	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Κερασιες	1	1	3	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Βυssινιές	1	1	3	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Κυδωνιές	1.3	0.7	1.5	0.9	0.9	0.9	0.1	0.1	0.1	0.13
Κορομηλιές	1	1	3	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Συκιές για νοπά σύκα	1	1	3	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Δαμασκηγιές για νοπά δαμάσκηνα	1	1	3	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Αμυγδαλιές	1	1	3	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Καρυδιές	1	1	3	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Καστανιές ήμερες	1	1	3	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Ελαιόδεντρα (α) για βρώσιμες ελιές	1.3	0.7	0.7	0.9	0.9	0.9	0.1	0.1	0.1	0.13
(β) για ελιές ελαιοποίησης	1	0.7	0.7	0.9	0.9	0.9	0.1	0.1	0.1	0.1
Ροδιές	1	1	3	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Μεσπιλιές (μουσμουλιές)	1	1	3	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Αμπελοι κυρίως για οινοπαραγωγή (στρέμματα)	17	7	19	0.4	0.4	0.4	0.6	0.6	0.6	10.2
Αμπελοι κυρίως για επιτραπέζια σταφύλια (στρέμματα)	17	7	19	0.4	0.4	0.4	0.6	0.6	0.6	10.2
Σταφίδα σουλτανίνα (στρέμματα)	17	7	19	0.4	0.4	0.4	0.6	0.6	0.6	10.2

Πίνακας V - Αποτελέσματα Γεωγραφικά Σταθμισμένης Παλινδρόμησης εικονικού σταθμού V-Psachna								
	Cond	Local R2	Predicted	Intercept	C1 ELEVATI	Std Error	StdErr Int	StdErrC1 E
Οκτ-80	3.27	0.87	101.00	98.64	0.18	14.92	15.46	0.05
Νοε-80	3.27	0.87	20.24	19.17	0.08	6.67	6.91	0.02
Δεκ-80	3.27	0.06	114.67	113.12	0.12	95.97	99.42	0.32
Ιαν-81	3.27	0.77	86.34	78.67	0.59	68.19	70.64	0.23
Φεβ-81	3.27	0.48	81.43	80.54	0.07	15.16	15.71	0.05
Μαρ-81	3.27	0.07	57.93	58.29	-0.03	21.82	22.60	0.07
Απρ-81	3.27	0.19	68.19	69.09	-0.07	30.41	31.50	0.10
Μαΐ-81	3.27	0.00	30.34	30.26	0.01	19.52	20.22	0.07
Ιουν-81	3.27	0.56	-1.55	-2.64	0.08	15.50	16.06	0.05
Ιουλ-81	3.27	0.72	2.45	1.40	0.08	10.69	11.07	0.04
Αυγ-81	3.27	0.59	-4.23	-5.97	0.13	23.53	24.37	0.08
Σεπ-81	3.27	0.79	-1.61	-3.09	0.11	12.49	12.94	0.04
Οκτ-81	3.27	0.63	0.01	-1.67	0.13	21.01	21.76	0.07
Νοε-81	3.27	0.88	21.12	19.19	0.15	11.37	11.78	0.04
Δεκ-81	3.27	0.98	27.39	26.16	0.09	2.95	3.05	0.01
Ιαν-82	3.27	0.90	16.15	14.69	0.11	7.92	8.20	0.03
Φεβ-82	3.27	0.69	60.69	57.96	0.21	29.67	30.73	0.10
Μαρ-82	3.27	0.12	87.59	85.78	0.14	81.57	84.50	0.27
Απρ-82	3.27	0.90	32.76	29.89	0.22	15.74	16.30	0.05
Μαΐ-82	3.27	0.91	59.10	55.34	0.29	18.71	19.38	0.06
Ιουν-82	3.27	0.68	20.88	19.98	0.07	10.14	10.50	0.03
Ιουλ-82	3.27	0.59	6.84	5.52	0.10	17.77	18.41	0.06
Αυγ-82	3.27	0.70	8.50	7.43	0.08	11.45	11.86	0.04
Σεπ-82	3.27	0.47	6.15	2.89	0.25	56.43	58.45	0.19
Οκτ-82	3.27	0.78	12.76	11.29	0.11	12.55	13.00	0.04
Νοε-82	3.27	0.75	45.73	43.60	0.16	19.96	20.68	0.07
Δεκ-82	3.27	1.00	25.18	23.57	0.12	1.64	1.69	0.01
Ιαν-83	3.27	0.83	24.38	23.19	0.09	8.78	9.09	0.03
Φεβ-83	3.27	0.13	65.75	64.34	0.11	59.65	61.79	0.20
Μαρ-83	3.27	0.19	63.00	61.43	0.12	53.10	55.00	0.18
Απρ-83	3.27	0.58	5.75	4.80	0.07	13.19	13.66	0.04
Μαΐ-83	3.27	0.57	5.62	4.61	0.08	14.08	14.58	0.05
Ιουν-83	3.27	0.65	27.72	26.57	0.09	13.83	14.33	0.05
Ιουλ-83	3.27	0.99	19.64	18.26	0.11	2.07	2.14	0.01
Αυγ-83	3.27	0.81	10.63	9.65	0.07	7.59	7.86	0.03
Σεπ-83	3.27	0.54	4.96	4.04	0.07	13.72	14.21	0.05
Οκτ-83	3.27	0.77	12.45	10.98	0.11	13.04	13.50	0.04
Νοε-83	3.27	0.75	17.29	15.13	0.17	20.02	20.74	0.07
Δεκ-83	3.27	0.67	26.30	22.36	0.30	44.45	46.04	0.15
Ιαν-84	3.27	0.94	20.12	18.41	0.13	7.16	7.42	0.02
Φεβ-84	3.27	0.67	19.67	16.63	0.23	34.77	36.01	0.12
Μαρ-84	3.27	0.77	78.97	75.01	0.30	35.36	36.63	0.12
Απρ-84	3.27	0.56	58.38	56.06	0.18	33.30	34.49	0.11
Μαΐ-84	3.27	0.48	3.27	2.05	0.09	20.72	21.47	0.07
Ιουν-84	3.27	0.69	10.76	9.21	0.12	16.81	17.41	0.06
Ιουλ-84	3.27	0.73	23.77	22.70	0.08	10.60	10.98	0.04
Αυγ-84	3.27	0.97	17.09	15.91	0.09	3.17	3.28	0.01
Σεπ-84	3.27	0.46	2.97	1.99	0.08	17.23	17.85	0.06
Οκτ-84	3.27	0.81	10.54	9.62	0.07	7.21	7.47	0.02
Νοε-84	3.27	0.07	132.36	130.06	0.18	132.53	137.28	0.44
Δεκ-84	3.27	0.85	75.58	71.29	0.33	28.78	29.81	0.10
Ιαν-85	3.27	0.17	117.01	114.17	0.22	102.40	106.07	0.34
Φεβ-85	3.27	0.81	31.32	29.81	0.12	11.67	12.09	0.04
Μαρ-85	3.27	0.95	23.16	21.26	0.15	7.08	7.33	0.02
Απρ-85	3.27	0.88	12.66	11.71	0.07	5.58	5.78	0.02
Μαΐ-85	3.27	0.90	13.22	12.23	0.08	5.32	5.51	0.02
Ιουν-85	3.27	0.46	2.88	1.95	0.07	16.49	17.08	0.06
Ιουλ-85	3.27	0.82	10.84	9.85	0.08	7.57	7.84	0.03
Αυγ-85	3.27	0.58	5.79	4.88	0.07	12.54	12.99	0.04
Σεπ-85	3.27	0.47	3.26	2.06	0.09	20.47	21.20	0.07
Οκτ-85	3.27	0.87	59.19	55.89	0.25	20.79	21.54	0.07
Νοε-85	3.27	0.97	32.57	30.20	0.18	7.03	7.28	0.02
Δεκ-85	3.27	0.11	94.40	92.47	0.15	88.55	91.73	0.30
Ιαν-86	3.27	0.89	25.76	24.42	0.10	7.49	7.76	0.03
Φεβ-86	3.27	0.86	21.87	19.68	0.17	14.62	15.15	0.05
Μαρ-86	3.27	0.85	12.59	11.37	0.09	8.46	8.76	0.03

	Cond	Local R2	Predicted	Intercept	C1 ELEVATI	Std Error	StdErr Int	StdErrC1 E
Απρ-86	3.27	0.49	3.57	2.54	0.08	17.31	17.93	0.06
Μαί-86	3.27	0.88	15.38	13.92	0.11	8.70	9.01	0.03
Ιουν-86	3.27	0.55	5.69	4.37	0.10	19.46	20.16	0.07
Ιουλ-86	3.27	0.47	3.09	2.05	0.08	17.99	18.63	0.06
Αυγ-86	3.27	0.48	3.54	2.15	0.11	23.57	24.41	0.08
Σεπ-86	3.27	0.56	5.37	4.40	0.07	14.00	14.50	0.05
Οκτ-86	3.27	0.97	30.76	28.50	0.17	6.50	6.73	0.02
Νοε-86	3.27	0.74	12.41	10.83	0.12	15.15	15.70	0.05
Δεκ-86	3.27	0.10	70.54	69.16	0.11	66.74	69.13	0.22
Ιαν-87	3.27	0.79	43.72	41.62	0.16	17.76	18.40	0.06
Φεβ-87	3.27	0.76	44.32	42.24	0.16	18.85	19.53	0.06
Μαρ-87	3.27	0.07	179.12	176.04	0.24	181.15	187.65	0.61
Απρ-87	3.27	0.43	71.49	68.96	0.19	47.12	48.81	0.16
Μαί-87	3.27	0.50	3.96	2.74	0.09	19.92	20.64	0.07
Ιουν-87	3.27	0.52	5.07	3.55	0.12	23.71	24.56	0.08
Ιουλ-87	3.27	0.62	6.60	5.69	0.07	11.59	12.01	0.04
Αυγ-87	3.27	0.76	22.95	21.90	0.08	9.67	10.01	0.03
Σεπ-87	3.27	0.46	2.88	1.95	0.07	16.49	17.08	0.06
Οκτ-87	3.27	0.98	25.11	23.20	0.15	4.93	5.11	0.02
Νοε-87	3.27	0.35	79.02	76.46	0.20	56.69	58.72	0.19
Δεκ-87	3.27	0.93	37.40	35.30	0.16	9.71	10.05	0.03
Ιαν-88	3.27	0.66	33.55	32.13	0.11	16.40	16.99	0.05
Φεβ-88	3.27	0.11	105.03	102.92	0.16	99.41	102.97	0.33
Μαρ-88	3.27	0.99	30.44	28.41	0.16	3.86	4.00	0.01
Απρ-88	3.27	0.67	8.78	7.48	0.10	14.89	15.43	0.05
Μαί-88	3.27	0.75	9.51	8.48	0.08	9.55	9.89	0.03
Ιουν-88	3.27	0.59	6.25	5.13	0.09	15.15	15.69	0.05
Ιουλ-88	3.27	0.46	2.93	1.96	0.08	17.15	17.77	0.06
Αυγ-88	3.27	0.46	2.88	1.95	0.07	16.49	17.08	0.06
Σεπ-88	3.27	0.70	8.20	7.30	0.07	9.49	9.83	0.03
Οκτ-88	3.27	0.94	30.46	28.77	0.13	7.15	7.40	0.02
Νοε-88	3.27	0.23	67.14	65.32	0.14	54.01	55.94	0.18
Δεκ-88	3.27	0.41	109.11	105.27	0.30	74.89	77.58	0.25
Ιαν-89	3.27	0.36	25.92	25.08	0.06	17.93	18.57	0.06
Φεβ-89	3.27	0.84	11.23	10.25	0.08	7.03	7.28	0.02
Μαρ-89	3.27	0.92	46.00	42.43	0.27	17.41	18.03	0.06
Απρ-89	3.27	0.53	4.67	3.67	0.08	15.16	15.71	0.05
Μαί-89	3.27	0.68	12.11	10.27	0.14	20.51	21.24	0.07
Ιουν-89	3.27	0.82	10.74	9.80	0.07	7.22	7.48	0.02
Ιουλ-89	3.27	0.60	-4.49	-6.07	0.12	20.74	21.48	0.07
Αυγ-89	3.27	0.64	-4.98	-6.19	0.09	14.81	15.34	0.05
Σεπ-89	3.27	0.64	-4.98	-6.19	0.09	14.81	15.34	0.05
Οκτ-89	3.27	0.54	63.84	61.04	0.22	41.73	43.22	0.14
Νοε-89	3.27	0.98	29.87	26.95	0.22	7.27	7.53	0.02
Δεκ-89	3.27	0.98	31.17	27.28	0.30	9.29	9.62	0.03
Ιαν-90	3.27	0.81	8.00	6.10	0.15	14.68	15.21	0.05
Φεβ-90	3.27	0.78	8.90	7.07	0.14	15.99	16.57	0.05
Μαρ-90	3.27	0.52	0.02	-1.07	0.08	17.07	17.69	0.06
Απρ-90	3.27	0.61	15.69	15.45	0.02	3.14	3.26	0.01
Μαί-90	3.27	0.05	6.64	6.71	-0.01	5.22	5.41	0.02
Ιουν-90	3.27	0.94	11.34	11.49	-0.01	0.63	0.65	0.00
Ιουλ-90	3.27	0.29	6.88	7.05	-0.01	4.33	4.48	0.01
Αυγ-90	3.27	0.01	81.43	81.89	-0.03	63.01	65.27	0.21
Σεπ-90	3.27	0.46	4.83	4.25	0.04	10.16	10.53	0.03
Οκτ-90	3.27	0.68	9.68	8.70	0.08	10.92	11.31	0.04
Νοε-90	3.27	0.45	47.61	46.27	0.10	23.85	24.71	0.08
Δεκ-90	3.27	0.68	62.18	59.04	0.24	35.07	36.33	0.12
Ιαν-91	3.27	0.00	155.49	155.03	0.04	143.65	148.80	0.48
Φεβ-91	3.27	0.17	115.98	112.75	0.25	116.16	120.32	0.39
Μαρ-91	3.27	0.79	36.79	35.09	0.13	14.19	14.70	0.05
Απρ-91	3.27	0.18	42.00	41.39	0.05	21.03	21.78	0.07
Μαί-91	3.27	0.16	18.66	18.04	0.05	22.96	23.78	0.08
Ιουν-91	3.27	0.34	3.42	3.47	0.00	1.11	1.15	0.00
Ιουλ-91	3.27	0.33	0.15	-0.46	0.05	14.19	14.70	0.05
Αυγ-91	3.27	0.02	89.05	88.26	0.06	83.77	86.77	0.28
Σεπ-91	3.27	0.45	17.43	17.77	-0.03	6.17	6.39	0.02
Οκτ-91	3.27	0.46	104.96	99.38	0.43	97.74	101.24	0.33
Νοε-91	3.27	0.95	20.22	16.50	0.29	14.34	14.86	0.05

	Cond	Local R2	Predicted	Intercept	C1 ELEVATI	Std Error	StdErr Int	StdErrC1 E
Δεκ-91	3.27	0.00	317.41	316.80	0.05	342.73	355.02	1.15
Ιαν-92	3.27	0.37	37.06	35.34	0.13	36.64	37.95	0.12
Φεβ-92	3.27	0.04	115.34	113.81	0.12	118.16	122.40	0.40
Μαρ-92	3.27	0.74	55.46	52.12	0.26	32.04	33.19	0.11
Απρ-92	3.27	0.88	12.05	9.09	0.23	17.95	18.60	0.06
Μαϊ-92	3.27	0.76	4.96	2.94	0.15	18.35	19.01	0.06
Ιουν-92	3.27	0.56	-9.06	-11.17	0.16	30.05	31.13	0.10
Ιουλ-92	3.27	0.34	3.42	3.47	0.00	1.11	1.15	0.00
Αυγ-92	3.27	0.34	3.42	3.47	0.00	1.11	1.15	0.00
Σεπ-92	3.27	0.34	3.42	3.47	0.00	1.11	1.15	0.00
Οκτ-92	3.27	0.56	17.92	17.69	0.02	3.34	3.46	0.01
Νοε-92	3.27	0.05	95.31	94.11	0.09	85.89	88.97	0.29
Δεκ-92	3.27	0.46	60.47	57.91	0.20	44.60	46.20	0.15
Ιαν-93	3.27	0.21	35.31	34.17	0.09	36.11	37.41	0.12
Φεβ-93	3.27	0.44	42.73	40.96	0.14	32.79	33.97	0.11
Μαρ-93	3.27	0.10	75.73	73.95	0.14	89.18	92.38	0.30
Απρ-93	3.27	0.77	6.98	4.89	0.16	18.55	19.21	0.06
Μαϊ-93	3.27	0.81	6.61	4.32	0.18	18.25	18.91	0.06
Ιουν-93	3.27	0.34	3.42	3.47	0.00	1.11	1.15	0.00
Ιουλ-93	3.27	0.34	3.42	3.47	0.00	1.11	1.15	0.00
Αυγ-93	3.27	0.85	10.67	10.97	-0.02	2.09	2.16	0.01
Σεπ-93	3.27	0.01	6.12	6.15	0.00	5.80	6.01	0.02
Οκτ-93	3.27	0.63	-3.65	-4.09	0.03	5.47	5.67	0.02
Νοε-93	3.27	0.11	139.64	137.38	0.17	101.73	105.38	0.34
Δεκ-93	3.27	0.63	-16.18	-19.71	0.27	44.06	45.64	0.15
Ιαν-94	3.27	0.38	120.00	116.52	0.27	71.49	74.06	0.24
Φεβ-94	3.27	0.37	69.44	65.97	0.27	73.97	76.62	0.25
Μαρ-94	3.27	0.00	49.77	49.72	0.00	33.16	34.35	0.11
Απρ-94	3.27	0.03	17.30	17.39	-0.01	8.01	8.29	0.03
Μαϊ-94	3.27	0.02	43.81	44.04	-0.02	30.05	31.12	0.10
Ιουν-94	3.27	0.03	11.91	11.75	0.01	13.12	13.60	0.04
Ιουλ-94	3.27	0.02	16.90	16.80	0.01	11.97	12.40	0.04
Αυγ-94	3.27	0.44	17.93	18.27	-0.03	6.30	6.53	0.02
Σεπ-94	3.27	0.67	7.91	8.17	-0.02	2.93	3.04	0.01
Οκτ-94	3.27	0.99	47.05	42.88	0.32	5.72	5.93	0.02
Νοε-94	3.27	0.89	16.32	13.79	0.20	14.36	14.88	0.05
Δεκ-94	3.27	0.02	157.70	156.44	0.10	134.47	139.29	0.45
Ιαν-95	3.27	0.44	64.41	61.55	0.22	52.80	54.69	0.18
Φεβ-95	3.27	0.46	2.15	1.24	0.07	16.15	16.73	0.05
Μαρ-95	3.27	0.58	55.27	53.13	0.16	29.57	30.63	0.10
Απρ-95	3.27	0.73	12.61	12.44	0.01	1.70	1.76	0.01
Μαϊ-95	3.27	0.48	0.31	0.19	0.01	2.03	2.11	0.01
Ιουν-95	3.27	0.33	0.39	0.35	0.00	1.08	1.12	0.00
Ιουλ-95	3.27	0.01	12.76	12.87	-0.01	22.15	22.94	0.07
Αυγ-95	3.27	0.00	1.70	1.70	0.00	2.26	2.34	0.01
Σεπ-95	3.27	0.33	12.89	12.77	0.01	2.79	2.89	0.01
Οκτ-95	3.27	0.65	56.77	53.96	0.22	33.14	34.33	0.11
Νοε-95	3.27	0.77	57.23	53.41	0.29	33.54	34.74	0.11
Δεκ-95	3.27	0.80	18.13	11.83	0.48	50.74	52.56	0.17
Ιαν-96	3.27	0.45	95.66	92.40	0.25	58.85	60.96	0.20
Φεβ-96	3.27	0.69	10.02	5.57	0.34	48.09	49.82	0.16
Μαρ-96	3.27	0.67	26.92	25.88	0.08	11.84	12.27	0.04
Απρ-96	3.27	0.22	6.58	6.27	0.02	9.21	9.54	0.03
Μαϊ-96	3.27	0.97	34.88	30.99	0.30	10.43	10.80	0.03
Ιουν-96	3.27	0.36	1.35	0.75	0.05	13.12	13.59	0.04
Ιουλ-96	3.27	0.09	3.93	3.99	0.00	2.83	2.93	0.01
Αυγ-96	3.27	0.63	-0.40	-0.99	0.05	7.40	7.67	0.02
Σεπ-96	3.27	0.60	3.70	2.58	0.09	14.88	15.41	0.05
Οκτ-96	3.27	0.81	65.22	61.77	0.27	26.99	27.96	0.09
Νοε-96	3.27	0.28	28.72	27.38	0.10	34.82	36.06	0.12
Δεκ-96	3.27	0.13	138.69	136.33	0.18	97.17	100.66	0.33
Ιαν-97	3.27	0.54	74.01	71.45	0.20	38.12	39.48	0.13
Φεβ-97	3.27	0.29	28.72	27.81	0.07	22.91	23.73	0.08
Μαρ-97	3.27	0.47	58.45	53.78	0.36	81.34	84.25	0.27
Απρ-97	3.27	0.90	13.84	11.08	0.21	14.65	15.17	0.05
Μαϊ-97	3.27	0.07	26.45	26.85	-0.03	23.58	24.42	0.08
Ιουν-97	3.27	0.84	9.94	10.23	-0.02	2.07	2.14	0.01
Ιουλ-97	3.27	0.36	14.66	14.92	-0.02	5.51	5.71	0.02

	Cond	Local R2	Predicted	Intercept	C1 ELEVATI	Std Error	StdErr Int	StdErrC1 E
Αυγ-97	3.27	0.69	8.18	7.40	0.06	8.39	8.69	0.03
Σεπ-97	3.27	0.34	3.42	3.47	0.00	1.11	1.15	0.00
Οκτ-97	3.27	0.39	72.42	69.42	0.23	60.64	62.81	0.20
Νοε-97	3.27	0.50	34.74	33.43	0.10	21.06	21.82	0.07
Δεκ-97	3.27	0.46	71.33	68.52	0.22	49.55	51.33	0.17
Ιαν-98	3.27	0.86	11.24	9.71	0.12	9.91	10.26	0.03
Φεβ-98	3.27	0.87	13.75	12.36	0.11	8.69	9.00	0.03
Μαρ-98	3.27	0.48	151.84	145.42	0.49	107.90	111.77	0.36
Απρ-98	3.27	0.17	22.20	22.47	-0.02	9.89	10.24	0.03
Μαϊ-98	3.27	0.57	14.29	11.99	0.18	32.32	33.48	0.11
Ιουν-98	3.27	0.01	29.26	29.36	-0.01	14.23	14.74	0.05
Ιουλ-98	3.27	0.34	3.42	3.47	0.00	1.11	1.15	0.00
Αυγ-98	3.27	0.34	3.42	3.47	0.00	1.11	1.15	0.00
Σεπ-98	3.27	0.09	31.97	32.40	-0.03	21.77	22.55	0.07
Οκτ-98	3.27	0.10	30.38	30.05	0.02	15.67	16.24	0.05
Νοε-98	3.27	0.89	43.33	38.70	0.36	26.95	27.92	0.09
Δεκ-98	3.27	0.64	103.36	92.30	0.85	134.05	138.85	0.45
Ιαν-99	3.27	0.90	13.26	11.20	0.16	11.16	11.56	0.04
Φεβ-99	3.27	0.83	8.47	6.00	0.19	18.43	19.09	0.06
Μαρ-99	3.27	0.43	80.69	77.25	0.26	64.59	66.91	0.22
Απρ-99	3.27	0.99	18.41	17.28	0.09	1.80	1.87	0.01
Μαϊ-99	3.27	0.18	7.37	7.10	0.02	9.20	9.53	0.03
Ιουν-99	3.27	0.03	6.90	6.83	0.01	6.24	6.47	0.02
Ιουλ-99	3.27	0.14	13.35	13.30	0.00	2.29	2.37	0.01
Αυγ-99	3.27	0.34	3.42	3.47	0.00	1.11	1.15	0.00
Σεπ-99	3.27	0.65	41.02	38.01	0.23	36.10	37.39	0.12
Οκτ-99	3.27	0.70	31.50	29.55	0.15	20.68	21.42	0.07
Νοε-99	3.27	0.88	14.34	8.40	0.46	35.35	36.62	0.12
Δεκ-99	3.27	0.71	10.45	6.41	0.31	41.76	43.25	0.14
Ιαν-00	3.27	0.80	1.58	-2.03	0.28	29.46	30.52	0.10
Φεβ-00	3.27	0.75	4.08	1.57	0.19	23.52	24.36	0.08
Μαρ-00	3.27	0.80	15.09	12.53	0.20	20.50	21.23	0.07
Απρ-00	3.27	0.63	9.57	9.09	0.04	5.89	6.10	0.02
Μαϊ-00	3.27	0.33	0.31	-0.30	0.05	14.01	14.52	0.05
Ιουν-00	3.27	0.54	1.28	1.31	0.00	0.39	0.40	0.00
Ιουλ-00	3.27	0.00	0.61	0.60	0.00	0.79	0.82	0.00
Αυγ-00	3.27	0.34	3.42	3.47	0.00	1.11	1.15	0.00
Σεπ-00	3.27	0.07	25.84	26.24	-0.03	23.44	24.28	0.08
Οκτ-00	3.27	0.78	31.81	30.61	0.09	10.48	10.86	0.04
Νοε-00	3.27	0.93	67.14	61.78	0.41	24.12	24.98	0.08
Δεκ-00	3.27	0.26	32.51	31.24	0.10	34.52	35.76	0.12
Ιαν-01	3.27	0.84	-1.80	-10.01	0.63	57.56	59.63	0.19
Φεβ-01	3.27	0.67	-12.51	-16.16	0.28	41.52	43.01	0.14
Μαρ-01	3.27	0.53	-13.61	-15.92	0.18	35.01	36.26	0.12
Απρ-01	3.27	0.81	29.29	27.30	0.15	15.68	16.25	0.05
Μαϊ-01	3.27	0.83	12.19	11.73	0.04	3.37	3.49	0.01
Ιουν-01	3.27	0.57	7.69	7.92	-0.02	3.26	3.38	0.01
Ιουλ-01	3.27	0.01	12.27	12.21	0.00	10.24	10.61	0.03
Αυγ-01	3.27	0.34	3.42	3.47	0.00	1.11	1.15	0.00
Σεπ-01	3.27	0.34	3.42	3.47	0.00	1.11	1.15	0.00
Οκτ-01	3.27	0.59	-0.29	-0.41	0.01	1.67	1.73	0.01
Νοε-01	3.27	0.90	149.23	138.36	0.84	57.91	59.98	0.19
Δεκ-01	3.27	0.05	447.73	440.67	0.54	518.92	537.53	1.74
Ιαν-02	3.27	0.66	38.69	35.91	0.21	32.38	33.54	0.11
Φεβ-02	3.27	0.55	-10.86	-13.05	0.17	32.42	33.58	0.11
Μαρ-02	3.27	0.98	39.42	32.82	0.51	14.54	15.06	0.05
Απρ-02	3.27	0.14	82.84	81.06	0.14	71.65	74.21	0.24
Μαϊ-02	3.27	0.56	1.32	0.12	0.09	17.19	17.80	0.06
Ιουν-02	3.27	0.25	14.96	15.29	-0.03	9.10	9.42	0.03
Ιουλ-02	3.27	0.64	-0.88	-3.28	0.18	29.45	30.51	0.10
Αυγ-02	3.27	0.33	86.03	83.31	0.21	62.88	65.14	0.21
Σεπ-02	3.27	0.37	81.80	79.18	0.20	55.71	57.71	0.19
Οκτ-02	3.27	0.90	38.60	36.54	0.16	11.01	11.41	0.04
Νοε-02	3.27	0.77	72.99	69.30	0.28	32.49	33.65	0.11
Δεκ-02	3.27	0.22	230.83	224.09	0.52	207.08	214.51	0.69
Ιαν-03	3.27	0.70	69.53	66.11	0.26	36.29	37.60	0.12
Φεβ-03	3.27	0.40	191.19	180.59	0.82	209.87	217.40	0.70
Μαρ-03	3.27	0.80	98.23	92.82	0.42	44.47	46.07	0.15

	Cond	Local R2	Predicted	Intercept	C1 ELEVATI	Std Error	StdErr Int	StdErrC1 E
Απρ-03	3.27	0.02	25.81	25.72	0.01	11.24	11.65	0.04
Μαί-03	3.27	0.64	8.45	7.82	0.05	7.59	7.87	0.03
Ιουν-03	3.27	0.45	-3.50	-4.61	0.09	19.99	20.70	0.07
Ιουλ-03	3.27	0.37	-0.73	-1.10	0.03	7.97	8.26	0.03
Αυγ-03	3.27	0.00	24.02	24.04	0.00	15.31	15.86	0.05
Σεπ-03	3.27	0.67	2.70	1.19	0.12	16.96	17.57	0.06
Οκτ-03	3.27	0.72	11.17	10.36	0.06	8.06	8.35	0.03
Νοε-03	3.27	0.56	-3.67	-5.24	0.12	22.69	23.51	0.08
Δεκ-03	3.27	0.63	127.99	122.24	0.44	71.11	73.66	0.24
Ιαν-04	3.27	0.95	89.70	78.05	0.90	42.31	43.83	0.14
Φεβ-04	3.27	0.70	-11.19	-15.41	0.32	44.41	46.00	0.15
Μαρ-04	3.27	0.84	22.87	19.51	0.26	24.04	24.90	0.08
Απρ-04	3.27	0.88	14.31	12.20	0.16	12.44	12.89	0.04
Μαί-04	3.27	0.00	157.85	158.19	-0.03	192.87	199.79	0.65
Ιουν-04	3.27	0.07	12.44	12.51	-0.01	4.09	4.24	0.01
Ιουλ-04	3.27	0.01	5.19	5.17	0.00	3.80	3.94	0.01
Αυγ-04	3.27	0.96	0.25	0.17	0.01	0.27	0.28	0.00
Σεπ-04	3.27	0.93	-0.26	-0.37	0.01	0.47	0.49	0.00
Οκτ-04	3.27	0.55	9.28	8.24	0.08	15.19	15.74	0.05
Νοε-04	3.27	0.97	32.64	30.67	0.15	5.98	6.19	0.02
Δεκ-04	3.27	0.88	35.34	30.57	0.37	28.84	29.87	0.10
Ιαν-05	3.27	0.71	140.01	131.59	0.65	86.42	89.52	0.29
Φεβ-05	3.27	0.97	41.88	34.92	0.54	19.99	20.71	0.07
Μαρ-05	3.27	0.86	12.34	10.73	0.12	10.70	11.08	0.04
Απρ-05	3.27	0.03	10.23	10.29	0.00	5.16	5.34	0.02
Μαί-05	3.27	0.62	73.66	70.75	0.22	36.67	37.98	0.12
Ιουν-05	3.27	0.06	16.57	16.48	0.01	6.21	6.43	0.02
Ιουλ-05	3.27	0.00	2.55	2.57	0.00	4.76	4.93	0.02
Αυγ-05	3.27	0.48	12.68	12.75	-0.01	1.21	1.25	0.00
Σεπ-05	3.27	0.83	68.05	64.26	0.29	27.57	28.56	0.09
Οκτ-05	3.27	0.65	-8.51	-11.34	0.22	33.65	34.86	0.11
Νοε-05	3.27	0.81	44.56	41.22	0.26	26.51	27.46	0.09
Δεκ-05	3.27	1.00	28.55	26.07	0.19	1.29	1.34	0.00
Ιαν-06	3.27	0.91	56.84	51.67	0.40	26.15	27.09	0.09
Φεβ-06	3.27	0.64	-30.21	-36.04	0.45	70.79	73.33	0.24
Μαρ-06	3.27	0.67	-14.97	-19.93	0.38	56.95	58.99	0.19
Απρ-06	3.27	0.57	0.69	-0.78	0.11	20.72	21.46	0.07
Μαί-06	3.27	0.00	2.41	2.42	0.00	4.49	4.66	0.02
Ιουν-06	3.27	0.33	7.00	6.70	0.02	6.98	7.23	0.02
Ιουλ-06	3.27	0.91	27.65	24.32	0.26	17.27	17.89	0.06
Αυγ-06	3.27	0.71	7.86	8.14	-0.02	2.95	3.06	0.01
Σεπ-06	3.27	0.61	41.43	40.14	0.10	16.69	17.29	0.06
Οκτ-06	3.27	0.96	76.75	65.50	0.87	37.90	39.26	0.13
Νοε-06	3.27	0.46	10.44	9.22	0.09	21.30	22.06	0.07
Δεκ-06	3.27	0.76	9.87	9.13	0.06	6.72	6.96	0.02
Ιαν-07	3.27	0.75	21.70	20.28	0.11	13.26	13.73	0.04
Φεβ-07	3.27	0.49	76.44	72.65	0.29	62.87	65.13	0.21
Μαρ-07	3.27	0.26	49.11	48.19	0.07	25.44	26.36	0.09
Απρ-07	3.27	0.09	4.24	4.03	0.02	11.02	11.41	0.04
Μαί-07	3.27	0.99	32.08	27.92	0.32	7.20	7.46	0.02
Ιουν-07	3.27	0.59	9.63	9.18	0.03	6.08	6.29	0.02
Ιουλ-07	3.27	0.54	8.13	8.34	-0.02	3.19	3.31	0.01
Αυγ-07	3.27	0.62	-1.03	-1.32	0.02	3.74	3.87	0.01
Σεπ-07	3.27	0.62	-13.20	-14.73	0.12	19.41	20.11	0.07
Οκτ-07	3.27	0.40	11.02	9.52	0.12	29.90	30.97	0.10
Νοε-07	3.27	0.97	54.90	50.42	0.34	13.39	13.87	0.04
Δεκ-07	3.27	0.78	42.44	39.59	0.22	24.25	25.12	0.08

Πίνακας VI - Πίνακας βροχοπτώσεων μετεωρολογικών σταθμών

	Μακρυκάπα	Θεολόγος	Άκρες	Κάτω Στενή	Χαλκίδα	V- Psachna		Θεολόγος	V- Psachna
	mm	mm	mm	mm	mm	mm		οC	οC
Οκτ-80	123.0	154.5	193.4	131.1	101.5	101.0		18.2	20.0
Νοε-80	45.7	36.7	65.3	35.2	24.0	20.2		15.2	15.7
Δεκ-80	244.9	86.3	119.3	282.4	86.8	114.7		11.3	10.7
Ιαν-81	488.9	259.6	307.8	320.0	32.5	86.3		7.8	6.6
Φεβ-81	112.5	79.8	112.2	118.1	82.5	81.4		9.1	8.5
Μαρ-81	42.1	35.5	64.0	30.8	74.5	57.9		12.7	13.4
Απρ-81	32.5	33.8	62.2	18.8	90.9	68.2		14.4	16.0
Μαϊ-81	25.6	22.9	50.3	10.3	43.8	30.3		16.9	19.4
Ιουν-81	17.3	21.7	49.0	0.0	4.5	4.0		22.7	26.7
Ιουλ-81	25.6	21.7	49.0	10.3	7.3	15.0		23.6	26.8
Αυγ-81	17.3	41.9	70.9	0.0	0.0	0.0		23.4	26.7
Σεπ-81	27.4	31.5	59.7	12.5	1.0	5.0		21.4	24.2
Οκτ-81	22.5	43.0	72.2	6.5	4.0	0.0		19.7	21.7
Νοε-81	55.3	64.8	95.9	47.1	21.0	21.1		12.4	12.5
Δεκ-81	60.9	44.7	74.0	54.1	28.5	27.4		12.5	13.1
Ιαν-82	46.5	45.3	74.7	36.2	18.0	16.2		9.7	9.8
Φεβ-82	145.9	104.5	139.0	159.5	44.3	60.7		7.7	7.8
Μαρ-82	211.6	75.8	107.8	241.0	61.6	87.6		10.0	10.6
Απρ-82	80.5	103.0	137.4	78.4	27.0	32.8		13.1	14.4
Μαϊ-82	139.0	143.0	180.9	151.0	42.4	59.1		16.4	19.1
Ιουν-82	59.2	25.2	52.8	52.0	21.4	20.9		21.4	25.5
Ιουλ-82	25.3	37.5	66.2	9.9	12.4	6.8		23.1	26.9
Αυγ-82	30.0	28.6	56.5	15.8	13.6	8.5		23.9	27.3
Σεπ-82	17.3	111.4	146.5	0.0	10.3	6.1		21.7	25.1
Οκτ-82	38.6	44.7	74.0	26.4	15.9	12.8		17.8	19.9
Νοε-82	113.1	77.8	110.0	118.9	35.6	45.7		12.7	13.5
Δεκ-82	67.0	53.0	83.0	61.7	23.4	25.2		10.8	11.4
Ιαν-83	66.5	36.7	65.3	61.0	23.3	24.4		8.4	8.9
Φεβ-83	233.0	55.4	85.6	179.6	48.5	65.8		7.4	7.8
Μαρ-83	160.0	60.5	91.2	171.0	46.7	63.0		10.5	11.3
Απρ-83	24.0	23.5	50.9	8.3	12.0	5.8		14.7	17.4
Μαϊ-83	23.5	25.2	52.8	7.7	11.9	5.6		18.8	22.6
Ιουν-83	74.4	36.1	64.7	70.8	25.4	27.7		20.5	24.0
Ιουλ-83	55.0	42.9	72.1	46.7	20.2	19.6		23.8	27.4
Αυγ-83	35.3	25.2	52.8	22.3	15.0	10.6		22.9	25.9
Σεπ-83	22.1	21.8	49.1	6.0	11.6	5.0		20.6	23.2
Οκτ-83	37.9	44.8	74.1	25.5	15.7	12.5		16.2	18.2
Νοε-83	46.8	72.3	104.0	36.6	18.1	17.3		12.7	13.5
Δεκ-83	62.1	142.1	180.0	55.6	22.1	26.3		10.7	11.0
Ιαν-84	55.0	55.6	85.9	46.8	20.2	20.1		10.0	10.3
Φεβ-84	49.5	106.6	141.3	39.9	18.8	19.7		10.1	10.3
Μαρ-84	184.5	155.6	194.7	207.4	54.5	79.0		10.6	11.1
Απρ-84	141.9	88.4	121.5	154.6	43.2	58.4		12.7	13.8
Μαϊ-84	17.3	32.7	61.0	0.0	10.3	3.3		18.2	21.3
Ιουν-84	33.6	47.4	76.9	20.2	14.6	10.8		20.7	25.1
Ιουλ-84	65.6	31.8	60.0	59.9	23.0	23.8		23.2	26.9
Αυγ-84	49.7	34.7	63.2	40.2	18.8	17.1		22.4	26.1
Σεπ-84	17.3	23.8	51.2	0.0	10.3	3.0		21.7	25.4
Οκτ-84	35.2	23.2	50.6	22.2	15.0	10.5		18.8	21.2
Νοε-84	314.1	105.5	140.1	368.2	88.7	132.4		13.7	14.4
Δεκ-84	175.5	167.7	207.8	196.3	52.1	75.6		10.5	10.7
Ιαν-85	276.6	122.0	158.0	321.7	78.8	117.0		10.2	10.5
Φεβ-85	81.6	50.5	80.3	79.7	27.3	31.3		7.9	8.3
Μαρ-85	61.5	63.6	94.6	54.8	21.9	23.2		10.7	11.3
Απρ-85	40.0	24.8	52.4	28.2	16.3	12.7		14.7	17.2
Μαϊ-85	41.2	26.5	54.2	29.6	16.6	13.2		19.0	22.8
Ιουν-85	17.3	21.7	49.0	0.0	10.3	2.9		22.2	26.8
Ιουλ-85	35.7	26.1	53.7	22.8	15.1	10.8		23.6	27.8
Αυγ-85	24.2	21.7	49.0	8.5	12.1	5.8		24.3	28.2
Σεπ-85	17.3	32.1	60.3	0.0	10.3	3.3		21.3	24.2
Οκτ-85	140.6	125.7	162.2	153.0	42.9	59.2		15.3	17.2
Νοε-85	81.8	84.0	116.8	80.0	27.3	32.6		14.6	16.0
Δεκ-85	227.0	81.9	114.5	260.2	65.7	94.4		11.6	11.9
Ιαν-86	69.3	43.0	72.2	64.5	24.0	25.8		10.7	10.9
Φεβ-86	57.4	74.3	106.2	49.7	20.9	21.9		10.5	10.7
Μαρ-86	39.1	35.1	63.6	27.0	16.0	12.6		11.0	11.9

	Μακρυκάπα	Θεολόγος	Άκρες	Κάτω Στενή	Χαλκίδα	V- Psachna	Θεολόγος	V- Psachna
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	οC	οC
Απρ-86	18.6	26.1	53.7	1.6	10.6	3.6	15.8	18.0
Μαϊ-86	44.8	44.7	74.0	34.1	17.5	15.4	17.9	21.1
Ιουν-86	22.5	37.5	66.2	6.5	11.7	5.7	21.6	26.5
Ιουλ-86	17.5	26.1	53.7	0.2	10.3	3.1	24.2	28.0
Αυγ-86	17.3	39.6	68.4	0.0	10.3	3.5	24.4	28.9
Σεπ-86	23.0	24.0	51.5	7.0	11.8	5.4	21.4	24.8
Οκτ-86	77.8	79.4	111.7	75.0	26.3	30.8	17.0	18.7
Νοε-86	37.3	48.9	78.5	24.8	15.6	12.4	12.0	12.5
Δεκ-86	173.4	55.2	85.5	193.6	51.5	70.5	9.8	9.4
Ιαν-87	108.6	76.3	108.4	113.2	34.4	43.7	10.5	10.6
Φεβ-87	109.9	75.6	107.6	114.9	34.8	44.3	10.1	10.8
Μαρ-87	980.6	146.2	184.4	500.0	116.8	179.1	7.8	8.2
Απρ-87	171.8	99.4	133.5	191.6	51.1	71.5	12.9	14.8
Μαϊ-87	18.9	33.2	61.5	2.0	10.7	4.0	16.4	19.8
Ιουν-87	20.6	44.7	74.0	4.1	11.1	5.1	22.3	26.2
Ιουλ-87	26.0	22.0	49.3	10.8	12.6	6.6	25.0	29.1
Αυγ-87	63.7	31.4	59.5	57.5	22.5	23.0	23.8	27.4
Σεπ-87	17.3	21.7	49.0	0.0	10.3	2.9	22.8	25.8
Οκτ-87	65.9	64.3	95.3	60.3	23.1	25.1	16.3	17.8
Νοε-87	189.2	102.2	136.6	213.3	55.7	79.0	13.5	14.3
Δεκ-87	93.9	75.0	107.0	95.0	30.5	37.4	10.6	11.2
Ιαν-88	87.1	47.7	77.2	86.6	28.7	33.5	10.6	11.0
Φεβ-88	251.1	91.4	124.8	290.0	72.1	105.0	9.3	10.3
Μαρ-88	77.8	70.5	102.0	75.0	26.3	30.4	10.9	12.5
Απρ-88	29.8	37.3	65.9	15.5	13.6	8.8	13.3	15.6
Μαϊ-88	32.5	26.9	54.7	18.8	14.3	9.5	17.9	21.8
Ιουν-88	24.6	29.8	57.8	9.0	12.2	6.3	22.3	26.7
Ιουλ-88	17.3	23.5	51.0	0.0	10.3	2.9	25.9	30.6
Αυγ-88	17.3	21.7	49.0	0.0	10.3	2.9	24.7	29.0
Σεπ-88	29.8	21.7	49.0	15.5	13.6	8.2	21.7	24.6
Οκτ-88	79.0	57.4	87.8	76.5	26.6	30.5	16.5	18.4
Νοε-88	164.0	71.2	102.8	182.0	49.0	67.1	11.0	11.2
Δεκ-88	255.1	158.2	197.5	295.0	73.1	109.1	9.8	9.6
Ιαν-89	71.3	23.6	51.0	67.0	24.5	25.9	8.2	8.4
Φεβ-89	36.7	25.5	53.2	24.0	15.4	11.2	9.5	9.7
Μαρ-89	109.1	133.0	170.0	113.9	34.5	46.0	11.8	13.3
Απρ-89	21.3	24.7	52.2	5.0	11.3	4.7	15.6	18.7
Μαϊ-89	35.8	58.7	89.2	22.9	15.2	12.1	16.9	20.3
Ιουν-89	35.6	24.2	51.7	22.7	15.1	10.7	21.4	25.6
Ιουλ-89	17.3	35.6	64.2	0.0	0.0	0.0	24.0	27.5
Αυγ-89	17.3	21.7	49.0	0.0	0.0	0.0	24.2	28.3
Σεπ-89	17.3	21.7	49.0	0.0	0.0	2.0	21.5	24.5
Οκτ-89	169.2	91.1	142.7	182.3	49.1	63.8	16.2	17.7
Νοε-89	113.6	88.3	138.8	83.0	28.0	29.9	12.8	13.9
Δεκ-89	141.3	103.7	179.4	101.0	31.8	31.2	10.0	10.0
Ιαν-90	31.3	33.2	90.6	33.0	17.3	8.0	8.6	8.6
Φεβ-90	20.0	21.2	88.0	43.8	19.6	8.9	9.9	10.2
Μαρ-90	21.2	4.1	54.8	10.2	12.4	0.0	10.6	11.2
Απρ-90	22.2	16.7	23.9	24.8	15.6	15.7	15.0	16.7
Μαϊ-90	2.8	0.0	8.3	2.0	10.7	6.6	18.2	20.8
Ιουν-90	8.5	7.8	6.0	7.8	11.9	11.3	23.4	27.3
Ιουλ-90	3.5	0.0	4.3	0.0	10.3	6.9	26.2	30.9
Αυγ-90	94.9	87.7	12.1	150.0	42.2	81.4	24.6	28.8
Σεπ-90	24.0	6.5	35.0	9.0	12.2	4.8	23.4	27.3
Οκτ-90	32.0	12.3	52.8	30.1	16.7	9.7	19.1	21.9
Νοε-90	175.0	72.6	77.6	107.3	33.1	47.6	15.8	17.7
Δεκ-90	113.0	100.7	156.3	178.5	48.3	62.2	11.5	12.3
Ιαν-91	375.0	135.7	69.5	363.9	87.8	155.5	6.5	6.0
Φεβ-91	183.0	100.2	174.2	347.3	84.3	116.0	5.9	5.2
Μαρ-91	71.0	85.3	89.8	73.3	25.9	36.8	11.5	12.3
Απρ-91	78.0	62.6	46.3	78.4	27.0	42.0	13.6	15.0
Μαϊ-91	67.0	59.0	40.3	9.5	12.3	18.7	17.0	19.2
Ιουν-91	0.0	1.0	3.0	2.0	0.0	3.4	23.8	27.8
Ιουλ-91	1.5	1.1	35.3	0.0	10.3	0.2	24.9	29.2
Αυγ-91	69.0	68.0	66.0	224.0	58.0	89.1	24.3	28.5
Σεπ-91	34.0	11.6	0.0	18.3	14.2	17.4	21.4	24.8
Οκτ-91	295.0	125.4	269.0	357.1	86.4	105.0	18.6	21.3
Νοε-91	98.0	75.7	169.4	85.7	28.5	20.2	12.6	13.7

	Μακρυκάπα	Θεολόγος	Άκρες	Κάτω Στενή	Χαλκίδα	V- Psachna	Θεολόγος	V- Psachna
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	οC	οC
Δεκ-91	521.0	202.7	118.1	812.2	183.3	317.4	4.4	3.3
Ιαν-92	47.0	30.3	90.5	120.0	35.8	37.1	6.6	6.1
Φεβ-92	102.5	81.2	103.1	314.2	77.2	115.3	6.4	5.8
Μαρ-92	121.0	91.4	163.0	171.1	46.7	55.5	9.8	10.1
Απρ-92	14.0	59.4	135.9	53.1	21.6	12.1	14.0	15.5
Μαϊ-92	29.0	33.7	94.5	26.2	15.9	5.0	15.2	17.0
Ιουν-92	8.0	6.5	94.7	8.0	12.0	10.0	21.3	24.7
Ιουλ-92	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.4	21.5	24.9
Αυγ-92	0.0	1.0	3.0	2.0	0.0	3.4	24.2	28.3
Σεπ-92	0.0	1.0	3.0	2.0	0.0	3.4	19.5	22.4
Οκτ-92	20.0	26.1	24.0	23.8	15.3	17.9	20.5	23.7
Νοε-92	146.0	83.4	84.6	241.8	61.8	95.3	13.5	14.8
Δεκ-92	284.0	76.5	131.6	177.2	48.0	60.5	6.6	6.1
Ιαν-93	112.0	21.0	66.4	106.5	33.0	35.3	6.8	6.4
Φεβ-93	90.0	47.3	94.4	125.0	36.9	42.7	4.8	3.8
Μαρ-93	87.0	37.2	103.4	235.4	60.4	75.7	9.1	9.3
Απρ-93	23.5	43.1	98.2	26.9	16.0	7.0	13.2	14.4
Μαϊ-93	68.5	39.3	106.6	34.6	17.6	6.6	17.6	20.0
Ιουν-93	0.0	1.0	3.0	2.0	0.0	3.4	23.8	27.8
Ιουλ-93	0.0	1.0	3.0	2.0	0.0	3.4	24.3	28.5
Αυγ-93	2.0	2.6	0.0	6.0	11.6	10.7	25.3	29.7
Σεπ-93	2.0	0.0	10.0	1.7	10.6	6.1	21.5	24.9
Οκτ-93	1.0	0.0	17.3	0.0	0.0	0.0	19.8	22.8
Νοε-93	265.0	190.7	139.8	318.9	78.2	139.6	10.6	11.2
Δεκ-93	26.5	23.2	152.0	11.5	12.7	12.0	10.5	11.0
Ιαν-94	200.0	243.5	185.5	248.3	63.2	120.0	8.9	9.0
Φεβ-94	204.2	63.3	172.2	241.1	61.6	69.4	7.6	7.4
Μαρ-94	64.5	54.4	24.8	93.7	30.2	49.8	11.5	12.3
Απρ-94	15.8	27.1	10.6	12.1	12.9	17.3	14.3	15.8
Μαϊ-94	83.3	41.0	11.4	78.4	27.0	43.8	19.7	22.7
Ιουν-94	24.6	29.6	19.1	0.0	10.3	11.9	23.0	26.8
Ιουλ-94	6.1	35.1	18.4	9.7	12.3	16.9	24.0	28.1
Αυγ-94	19.0	18.4	0.0	14.2	13.3	17.9	26.4	31.1
Σεπ-94	0.0	0.0	0.0	0.0	10.3	7.9	24.5	28.7
Οκτ-94	191.7	125.0	195.0	140.0	40.1	47.1	19.1	21.9
Νοε-94	108.3	64.5	119.2	50.3	21.0	16.3	11.6	12.4
Δεκ-94	285.9	166.0	103.2	367.6	88.6	157.7	7.7	7.5
Ιαν-95	336.6	188.8	145.0	104.9	32.6	64.4	8.0	7.9
Φεβ-95	27.3	18.5	48.2	0.0	10.3	2.2	10.5	11.0
Μαρ-95	96.3	86.0	113.1	142.0	40.5	55.3	10.2	10.7
Απρ-95	40.7	13.4	20.1	16.2	13.7	12.6	12.0	12.9
Μαϊ-95	4.5	3.2	6.0	0.0	0.0	0.3	18.5	21.1
Ιουν-95	3.3	1.1	3.0	0.0	0.0	0.4	25.2	29.6
Ιουλ-95	24.8	42.3	0.0	0.1	0.0	12.8	24.5	28.7
Αυγ-95	1.3	4.4	0.0	2.5	0.0	1.7	24.0	28.1
Σεπ-95	12.9	11.1	18.0	17.4	14.0	12.9	22.0	25.6
Οκτ-95	299.6	88.0	141.0	163.2	45.0	56.8	14.5	16.1
Νοε-95	116.1	97.7	183.0	184.3	49.5	57.2	10.2	10.7
Δεκ-95	113.4	159.0	276.0	81.3	27.6	18.1	9.6	9.9
Ιαν-96	255.1	150.2	170.0	244.2	62.3	95.7	6.3	5.7
Φεβ-96	131.2	119.8	197.0	37.9	18.3	10.0	7.2	6.9
Μαρ-96	37.9	36.2	60.0	65.4	24.2	26.9	6.3	5.7
Απρ-96	20.1	14.6	24.0	0.2	10.3	6.6	11.8	12.7
Μαϊ-96	114.0	88.2	180.0	125.0	36.9	34.9	20.5	23.7
Ιουν-96	13.0	2.2	35.0	2.4	10.8	1.3	22.8	26.6
Ιουλ-96	9.0	6.7	0.0	2.8	2.0	3.9	25.4	29.9
Αυγ-96	16.3	12.9	26.0	1.8	2.0	1.0	25.2	29.6
Σεπ-96	13.7	20.6	57.0	8.7	12.1	3.7	22.0	25.6
Οκτ-96	227.2	155.4	170.0	151.3	42.5	65.2	14.7	16.3
Νοε-96	16.0	13.1	73.0	98.3	31.2	28.7	13.1	14.3
Δεκ-96	230.7	202.1	144.0	309.5	76.2	138.7	10.0	10.4
Ιαν-97	77.5	131.2	135.0	173.6	47.3	74.0	8.7	8.8
Φεβ-97	67.1	23.2	55.0	78.0	26.9	28.7	7.3	7.0
Μαρ-97	330.8	47.8	219.0	252.8	64.1	58.4	7.8	7.6
Απρ-97	57.0	49.7	128.0	61.1	23.3	13.8	10.0	10.4
Μαϊ-97	51.5	52.6	0.0	10.7	12.6	26.5	19.0	21.8
Ιουν-97	20.7	6.7	0.0	0.0	10.3	9.9	24.0	28.1
Ιουλ-97	22.0	6.0	3.0	16.8	13.9	14.7	25.7	30.2

	Μακρυκάπα	Θεολόγος	Άκρες	Κάτω Στενή	Χαλκίδα	V- Psachna	Θεολόγος	V- Psachna
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	οC	οC
Αυγ-97	25.3	17.1	44.0	15.9	13.7	8.2	22.9	26.7
Σεπ-97	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.4	18.9	21.6
Οκτ-97	176.3	83.4	153.0	220.5	57.2	72.4	15.7	17.6
Νοε-97	54.0	87.3	73.0	54.6	21.9	34.7	11.2	11.9
Δεκ-97	155.2	188.3	145.0	125.4	37.0	71.3	8.2	8.1
Ιαν-98	53.0	30.0	76.0	35.5	17.8	11.2	7.8	7.6
Φεβ-98	45.0	27.0	71.0	41.9	19.2	13.8	8.2	8.1
Μαρ-98	630.7	228.2	316.0	440.0	104.0	151.8	6.9	6.5
Απρ-98	24.8	28.1	4.0	21.3	14.8	22.2	14.7	16.3
Μαϊ-98	107.6	84.5	109.0	21.1	14.8	14.3	17.2	19.5
Ιουν-98	21.5	39.3	13.0	38.5	18.5	29.3	23.0	26.8
Ιουλ-98	4.5	0.0	0.0	0.0	0.0	3.4	25.7	30.2
Αυγ-98	0.0	1.0	3.0	2.0	0.0	3.4	25.2	29.6
Σεπ-98	40.9	51.4	0.0	27.9	16.2	32.0	20.6	23.8
Οκτ-98	51.3	55.9	31.0	40.0	18.8	30.4	17.5	19.9
Νοε-98	190.2	157.7	213.0	114.0	34.6	43.3	12.4	13.4
Δεκ-98	568.0	139.9	496.0	490.7	114.8	103.4	6.4	5.8
Ιαν-99	78.5	42.0	98.9	46.5	20.2	13.3	7.5	7.3
Φεβ-99	84.7	47.8	114.5	38.1	18.4	8.5	7.3	7.0
Μαρ-99	256.3	100.3	173.8	244.4	62.3	80.7	9.6	9.9
Απρ-99	47.5	36.5	61.6	41.4	19.1	18.4	14.7	16.3
Μαϊ-99	18.0	16.3	22.5	0.0	10.3	7.4	19.5	22.4
Ιουν-99	8.6	8.0	14.2	0.0	10.3	6.9	24.9	29.2
Ιουλ-99	8.7	11.4	15.5	16.8	13.9	13.4	25.9	30.5
Αυγ-99	1.5	1.0	3.0	2.0	0.0	3.4	26.0	30.6
Σεπ-99	165.7	53.8	145.0	148.2	41.8	41.0	22.3	25.9
Οκτ-99	75.0	93.9	99.0	56.9	22.4	31.5	19.5	22.4
Νοε-99	143.8	117.4	260.0	94.0	30.3	14.3	12.2	13.2
Δεκ-99	257.3	107.3	180.0	38.1	18.4	10.4	11.0	11.7
Ιαν-00	62.3	48.5	160.0	7.6	11.9	1.6	4.7	3.7
Φεβ-00	30.1	21.2	115.0	47.7	20.4	4.1	8.3	8.2
Μαρ-00	47.7	31.2	120.0	44.7	19.8	15.1	11.0	11.7
Απρ-00	15.1	11.8	32.0	16.4	13.8	9.6	16.0	18.0
Μαϊ-00	0.2	1.4	35.0	5	11.3	0.3	20.4	23.5
Ιουν-00	1.3	1.2	0.0	0	0.0	1.3	23.5	27.5
Ιουλ-00	1.5	1.5	0.0	0	0.0	0.6	28.3	33.5
Αυγ-00	1.0	0.0	3.0	2	0.0	3.4	25.4	29.9
Σεπ-00	1.0	3.0	4.0	5	11.3	25.8	23.4	27.3
Οκτ-00	63.0	52.4	68.0	71.6	25.5	31.8	16.1	18.1
Νοε-00	157.3	148.5	250.0	215.4	56.2	67.1	15.8	17.7
Δεκ-00	71.0	19.3	71.0	102.8	32.2	32.5	10.3	10.8
Ιαν-01	175.5	97.3	350.0	123.1	36.5	50.0	9.5	9.8
Φεβ-01	61.5	19.5	158.0	29.1	16.5	20.0	9.5	9.8
Μαρ-01	19.1	6.0	102.0	0	10.3	12.0	15.0	16.7
Απρ-01	149.7	46.5	100.0	90.2	29.5	29.3	14.0	15.5
Μαϊ-01	8.7	17.0	32.0	19.8	14.5	12.2	18.6	21.3
Ιουν-01	0.7	1.0	3.0	2	0.0	7.7	24.3	28.5
Ιουλ-01	10.5	0.0	15.5	23.2	15.2	12.3	27.0	31.9
Αυγ-01	1.0	1.0	3.0	0	0.0	3.4	25.7	30.2
Σεπ-01	0.0	1.0	3.0	2	0.0	3.4	22.4	26.1
Οκτ-01	0.0	3.0	5.0	0	0.0	0	18.2	20.0
Νοε-01	340.0	400.0	500.0	412.4	98.1	149.2	15.2	15.7
Δεκ-01	225.2	280.0	420.0	327.4	80.0	110.0	11.3	10.7
Ιαν-02	209.7	51.5	135.0	136.5	39.4	38.7	7.8	6.6
Φεβ-02	13.0	12.5	98.0	10	12.4	11.0	9.1	8.5
Μαρ-02	151.2	150.0	294.0	162.7	44.9	39.4	12.7	13.4
Απρ-02	173.7	80.2	105.0	221.6	57.5	82.8	14.4	16.0
Μαϊ-02	26.9	17.7	60.0	6	11.6	1.3	16.9	19.4
Ιουν-02	1.0	1.0	0.0	20	14.5	15.0	22.7	26.7
Ιουλ-02	16.3	44.5	109.0	35	17.7	20.0	23.6	26.8
Αυγ-02	136.7	110.5	145.0	232.3	59.8	86.0	23.4	26.7
Σεπ-02	310.1	200.3	140.0	142.6	40.7	81.8	21.4	24.2
Οκτ-02	102.4	75.5	105.0	96.6	30.9	38.6	19.7	21.7
Νοε-02	149.8	173.2	182.0	167.1	45.9	73.0	12.4	12.5
Δεκ-02	390.0	260.0	350.0	666.2	152.2	180.0	12.5	13.1
Ιαν-03	198.9	120.0	170.0	193.04	51.4	69.5	9.7	9.8
Φεβ-03	558.7	200.0	500.0	699.4	159.3	191.2	7.7	7.8
Μαρ-03	348.7	240.0	260.0	237.1	60.8	98.2	10.0	10.6

	Μακρυκάπα	Θεολόγος	Άκρες	Κάτω Στενή	Χαλκίδα	V- Psachna	Θεολόγος	V- Psachna
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	οC	οC
Απρ-03	45.0	40.0	20.0	32.6	17.2	25.8	13.1	14.4
Μαϊ-03	16.0	12.0	38.0	17	13.9	8.4	16.4	19.1
Ιουν-03	15.5	4.0	55.0	0	10.3	0.0	21.4	25.5
Ιουλ-03	2.0	0.0	20.0	0	5.0	0.0	23.1	26.9
Αυγ-03	22.5	45.0	15.0	20	14.5	24.0	23.9	27.3
Σεπ-03	38.6	17.0	73.0	19.2	14.4	2.7	21.7	25.1
Οκτ-03	22.6	28.0	46.0	17	13.9	11.2	17.8	19.9
Νοε-03	68.2	6.0	74.0	10.5	12.5	4.0	12.7	13.5
Δεκ-03	312.8	234.0	282.0	343.3	83.4	128.0	10.8	11.4
Ιαν-04	449.2	240.5	517.0	381.9	91.6	89.7	8.4	8.9
Φεβ-04	163.6	46.0	182.0	27.1	16.0	12.0	7.4	7.8
Μαρ-04	80.9	47.5	155.0	107	33.1	22.9	10.5	11.3
Απρ-04	70.5	52.5	101.0	42.3	19.3	14.3	14.7	17.4
Μαϊ-04	26.2	47.5	37.0	422	100.2	157.9	18.8	22.6
Ιουν-04	9.0	6.0	10.0	15	13.5	12.4	20.5	24.0
Ιουλ-04	2.0	1.0	9.0	4.7	8.0	5.2	23.8	27.4
Αυγ-04	1.0	2.0	3.0	2	0.0	0.2	22.9	25.9
Σεπ-04	1.0	1.0	4.0	2	0.0	0.0	20.6	23.2
Οκτ-04	24.0	37.0	55.0	10.1	12.4	9.3	16.2	18.2
Νοε-04	85.0	68.0	100.0	82.2	27.8	32.6	12.7	13.5
Δεκ-04	104.5	148.5	217.0	101.1	31.8	35.3	10.7	11.0
Ιαν-05	574.7	249.0	396.0	441.2	104.3	140.0	10.0	10.3
Φεβ-05	206.8	136.5	310.0	191.4	51.1	41.9	10.1	10.3
Μαρ-05	31.2	28.0	80.0	43	19.4	12.3	10.6	11.1
Απρ-05	21.7	2.0	10.0	12	12.8	10.2	12.7	13.8
Μαϊ-05	168.9	162.5	150.0	156.7	43.7	73.7	18.2	21.3
Ιουν-05	21.0	27.0	18.0	15	13.5	16.6	20.7	25.1
Ιουλ-05	13.8	9.0	0.0	0	0.0	2.5	23.2	26.9
Αυγ-05	11.5	13.0	10.0	10	12.4	12.7	22.4	26.1
Σεπ-05	226.2	165.0	185.0	161.5	44.7	68.1	21.7	25.4
Οκτ-05	124.2	15.0	125.0	22.7	15.1	17.0	18.8	21.2
Νοε-05	143.3	139.8	160.0	97.5	31.0	44.6	13.7	14.4
Δεκ-05	100.0	70.0	120.0	82	27.7	28.5	10.5	10.7
Ιαν-06	560.0	121.5	239.0	200.4	53.0	56.8	10.2	10.5
Φεβ-06	257.0	50.5	244.0	65	24.1	28.0	7.9	8.3
Μαρ-06	147.3	71.0	212.0	87	28.8	34.0	10.7	11.3
Απρ-06	18.0	26.0	71.0	4.6	11.3	0.7	14.7	17.2
Μαϊ-06	2.0	8.5	0.0	0	0.0	2.4	19.0	22.8
Ιουν-06	32.8	10.0	24.0	5.1	11.4	7.0	22.2	26.8
Ιουλ-06	156.5	61.5	155.0	109.4	33.6	27.6	23.6	27.8
Αυγ-06	7.5	0.0	0.0	0	10.3	7.9	24.3	28.2
Σεπ-06	98.0	76.5	74.0	83.6	28.1	41.4	21.3	24.2
Οκτ-06	443.4	221.5	497.0	346.6	84.1	76.8	15.3	17.2
Νοε-06	194.5	50.0	63.0	7.9	12.0	10.4	14.6	16.0
Δεκ-06	44.2	17.5	43.0	20	14.5	9.9	11.6	11.9
Ιαν-07	50.6	29.5	74.0	65	24.1	21.7	10.7	10.9
Φεβ-07	195.7	96.5	187.0	243.8	62.2	76.4	10.5	10.7
Μαρ-07	60.2	87.5	61.0	88.3	29.1	49.1	11.0	11.9
Απρ-07	13.8	23.0	10.0	0	0.0	4.2	15.8	18.0
Μαϊ-07	99.5	103.0	191.0	112	34.1	32.1	17.9	21.1
Ιουν-07	7.0	17.5	31.0	11.2	12.7	9.6	21.6	26.5
Ιουλ-07	6.0	1.0	3.0	2	10.7	8.1	24.2	28.0
Αυγ-07	3.0	6.0	12.0	0	0.0	0.0	24.4	28.9
Σεπ-07	56.2	1.5	60.0	0	0.0	0.0	21.4	24.8
Οκτ-07	49.3	66.0	75.0	4.5	11.2	11.0	17.0	18.7
Νοε-07	211.2	129.5	210.0	169	46.3	54.9	12.0	12.5
Δεκ-07	170.4	70.0	139.0	135	39.0	42.4	9.8	9.4

Πίνακας VIIα - Πίνακας αποτελεσμάτων μοντέλου Thornthwaite εικονικού σταθμού V-Psaxna (mm)

	P	PET	P-PET	Moisture	AET	Storage	Surplus	ROtotal	P - AET
Οκτ-80	61.8	101.0	36.2	186.2	61.8	0.0	0.0	9.4	39.2
Νοε-80	37.3	20.2	-17.7	169.7	36.1	0.0	0.0	5.4	0
Δεκ-80	25.5	114.7	85.7	200.0	25.5	0.0	55.4	20.9	89.2
Ιαν-81	21.0	86.3	62.7	200.0	21.0	0.0	62.7	31.3	65.3
Φεβ-81	25.6	81.4	53.4	200.0	25.6	0.0	53.4	37.3	55.8
Μαρ-81	47.2	57.9	9.0	200.0	47.2	0.0	9.0	30.2	10.7
Απρ-81	65.9	68.2	0.3	200.0	65.9	0.0	0.3	23.4	2.3
Μαϊ-81	98.0	30.3	-68.6	131.4	98.0	0.0	0.0	16.9	0
Ιουν-81	160.8	4.0	-156.9	28.3	107.0	0.0	0.0	12.2	0
Ιουλ-81	161.4	15.0	-146.9	7.5	35.3	0.0	0.0	9.5	0
Αυγ-81	140.4	0.0	-140.4	2.2	5.3	0.0	0.0	6.8	0
Σεπ-81	95.9	5.0	-91.1	1.2	5.9	0.0	0.0	5.2	0
Οκτ-81	68.6	0.0	-68.6	0.8	0.4	0.0	0.0	3.8	0
Νοε-81	30.6	21.1	-10.2	0.8	20.5	0.0	0.0	3.5	0.6
Δεκ-81	29.6	27.4	-3.0	0.7	26.6	0.0	0.0	3.0	0.8
Ιαν-82	25.6	16.2	-9.9	0.7	15.8	0.0	0.0	2.1	0.4
Φεβ-82	24.5	60.7	34.4	35.1	24.5	0.0	0.0	3.0	36.2
Μαρ-82	39.7	87.6	45.3	80.4	39.7	0.0	0.0	3.5	47.9
Απρ-82	59.7	32.8	-27.8	69.2	43.0	0.0	0.0	1.7	0
Μαϊ-82	96.2	59.1	-38.9	55.8	70.8	0.0	0.0	2.3	0
Ιουν-82	149.3	20.9	-129.0	19.8	56.2	0.0	0.0	1.0	0
Ιουλ-82	162.4	6.8	-155.8	4.4	22.0	0.0	0.0	0.5	0
Αυγ-82	145.7	8.5	-137.5	1.4	11.3	0.0	0.0	0.5	0
Σεπ-82	101.4	6.1	-95.5	0.7	6.6	0.0	0.0	0.3	0
Οκτ-82	61.4	12.8	-49.0	0.5	12.6	0.0	0.0	0.5	0.2
Νοε-82	32.6	45.7	11.8	12.3	32.6	0.0	0.0	1.5	13.1
Δεκ-82	26.6	25.2	-2.2	12.2	24.6	0.0	0.0	0.8	0.6
Ιαν-83	24.2	24.4	-0.6	12.1	23.7	0.0	0.0	0.8	0.7
Φεβ-83	24.5	65.8	39.3	51.5	24.5	0.0	0.0	2.0	41.3
Μαρ-83	41.4	63.0	19.7	71.2	41.4	0.0	0.0	1.9	21.6
Απρ-83	71.8	5.8	-66.2	47.6	29.2	0.0	0.0	0.2	0
Μαϊ-83	119.5	5.6	-114.1	20.4	32.6	0.0	0.0	0.2	0
Ιουν-83	136.0	27.7	-109.2	9.3	38.0	0.0	0.0	0.8	0
Ιουλ-83	167.5	19.6	-148.5	2.4	25.9	0.0	0.0	0.6	0
Αυγ-83	133.6	10.6	-123.3	0.9	11.8	0.0	0.0	0.3	0
Σεπ-83	90.2	5.0	-85.3	0.5	5.2	0.0	0.0	0.2	0
Οκτ-83	55.3	12.5	-43.1	0.4	12.2	0.0	0.0	0.4	0.3
Νοε-83	32.6	17.3	-15.8	0.4	16.8	0.0	0.0	0.5	0.5
Δεκ-83	26.0	26.3	-0.5	0.4	25.5	0.0	0.0	0.8	0.8
Ιαν-84	26.4	20.1	-6.9	0.4	19.5	0.0	0.0	0.6	0.6
Φεβ-84	28.6	19.7	-9.5	0.3	19.1	0.0	0.0	0.6	0.6
Μαρ-84	40.9	79.0	35.7	36.1	40.9	0.0	0.0	2.4	38.1
Απρ-84	57.5	58.4	-0.8	35.9	56.8	0.0	0.0	1.8	1.6
Μαϊ-84	110.3	3.3	-107.1	16.7	22.4	0.0	0.0	0.1	0
Ιουν-84	145.6	10.8	-135.1	5.4	21.8	0.0	0.0	0.3	0
Ιουλ-84	162.4	23.8	-139.3	1.6	26.9	0.0	0.0	0.7	0
Αυγ-84	135.3	17.1	-118.7	0.7	17.6	0.0	0.0	0.5	0
Σεπ-84	103.3	3.0	-100.4	0.3	3.2	0.0	0.0	0.1	0
Οκτ-84	66.6	10.5	-56.4	0.2	10.3	0.0	0.0	0.3	0.2
Νοε-84	34.4	132.4	94.0	94.2	34.4	0.0	0.0	4.0	98
Δεκ-84	25.5	75.6	47.8	142.0	25.5	0.0	0.0	2.3	50.1
Ιαν-85	26.8	117.0	86.7	200.0	26.8	0.0	28.8	10.7	90.2
Φεβ-85	25.3	31.3	5.1	200.0	25.3	0.0	5.1	7.6	6
Μαρ-85	41.4	23.2	-18.9	181.1	41.4	0.0	0.0	5.7	0
Απρ-85	71.0	12.7	-58.6	128.0	65.4	0.0	0.0	4.1	0
Μαϊ-85	121.0	13.2	-108.2	58.7	82.1	0.0	0.0	3.2	0
Ιουν-85	161.8	2.9	-159.0	12.0	49.5	0.0	0.0	2.2	0
Ιουλ-85	171.7	10.8	-161.3	2.3	20.2	0.0	0.0	1.9	0
Αυγ-85	154.1	5.8	-148.5	0.6	7.4	0.0	0.0	1.4	0
Σεπ-85	95.9	3.3	-92.7	0.3	3.5	0.0	0.0	1.0	0
Οκτ-85	51.9	59.2	5.5	5.8	51.9	0.0	0.0	2.4	7.3
Νοε-85	38.0	32.6	-6.4	5.6	31.8	0.0	0.0	1.5	0.8
Δεκ-85	27.5	94.4	64.1	69.7	27.5	0.0	0.0	3.2	66.9
Ιαν-86	27.4	25.8	-2.4	68.9	25.9	0.0	0.0	1.1	0
Φεβ-86	29.3	21.9	-8.1	66.1	24.0	0.0	0.0	0.9	0
Μαρ-86	43.0	12.6	-30.8	55.9	22.4	0.0	0.0	0.5	0
Απρ-86	74.6	3.6	-71.1	36.0	23.4	0.0	0.0	0.2	0
Μαϊ-86	108.9	15.4	-94.0	19.1	31.9	0.0	0.0	0.6	0
Ιουν-86	158.8	5.7	-153.3	4.5	20.2	0.0	0.0	0.2	0

	P	PET	P-PET	Moisture	AET	Storage	Surplus	ROtotal	P - AET
Ιουλ-86	173.9	3.1	-170.9	0.6	6.8	0.0	0.0	0.1	0
Αυγ-86	160.9	3.5	-157.5	0.1	3.9	0.0	0.0	0.1	0
Σεπ-86	99.6	5.4	-94.3	0.1	5.3	0.0	0.0	0.2	0.1
Οκτ-86	57.0	30.8	-27.1	0.1	29.9	0.0	0.0	0.9	0.9
Νοε-86	30.6	12.4	-18.6	0.1	12.0	0.0	0.0	0.4	0.4
Δεκ-86	23.5	70.5	44.8	44.9	23.5	0.0	0.0	2.1	47
Ιαν-87	26.9	43.7	15.4	60.4	26.9	0.0	0.0	1.3	16.8
Φεβ-87	29.5	44.3	13.5	73.8	29.5	0.0	0.0	1.3	14.8
Μαρ-87	34.2	179.1	139.6	200.0	34.2	0.0	13.4	8.7	144.9
Απρ-87	61.2	71.5	8.2	200.0	61.2	0.0	8.2	6.7	10.3
Μαϊ-87	100.5	4.0	-96.6	103.4	100.5	0.0	0.0	3.5	0
Ιουν-87	155.9	5.1	-151.0	25.4	83.0	0.0	0.0	2.7	0
Ιουλ-87	186.2	6.6	-179.8	2.6	29.2	0.0	0.0	2.1	0
Αυγ-87	146.6	23.0	-124.3	1.0	23.9	0.0	0.0	2.1	0
Σεπ-87	105.9	2.9	-103.1	0.5	3.3	0.0	0.0	1.2	0
Οκτ-87	53.9	25.1	-29.6	0.4	24.4	0.0	0.0	1.6	0.7
Νοε-87	34.2	79.0	42.4	42.8	34.2	0.0	0.0	3.0	44.8
Δεκ-87	26.3	37.4	10.0	52.8	26.3	0.0	0.0	1.6	11.1
Ιαν-88	27.6	33.5	4.9	57.6	27.6	0.0	0.0	1.3	5.9
Φεβ-88	28.6	105.0	73.3	130.9	28.6	0.0	0.0	3.4	76.4
Μαρ-88	44.6	30.4	-15.1	121.0	39.4	0.0	0.0	1.1	0
Απρ-88	64.3	8.8	-55.7	87.3	42.2	0.0	0.0	0.4	0
Μαϊ-88	113.8	9.5	-104.5	41.7	54.8	0.0	0.0	0.4	0
Ιουν-88	160.8	6.3	-154.7	9.4	38.3	0.0	0.0	0.3	0
Ιουλ-88	204.3	2.9	-201.5	0.0	12.2	0.0	0.0	0.1	0
Αυγ-88	161.9	2.9	-159.1	0.0	2.8	0.0	0.0	0.1	0.1
Σεπ-88	98.3	8.2	-90.4	0.0	8.0	0.0	0.0	0.3	0.2
Οκτ-88	55.9	30.5	-26.4	0.0	29.6	0.0	0.0	0.9	0.9
Νοε-88	28.2	67.1	36.8	36.8	28.2	0.0	0.0	2.0	38.9
Δεκ-88	23.8	109.1	82.0	118.8	23.8	0.0	0.0	3.3	85.3
Ιαν-89	23.5	25.9	1.6	120.5	23.5	0.0	0.0	0.8	2.4
Φεβ-89	27.6	11.2	-16.7	110.4	20.9	0.0	0.0	0.3	0
Μαρ-89	46.9	46.0	-2.3	109.2	45.9	0.0	0.0	1.4	0.1
Απρ-89	77.9	4.7	-73.3	69.1	44.6	0.0	0.0	0.1	0
Μαϊ-89	103.6	12.1	-91.9	37.4	43.5	0.0	0.0	0.4	0
Ιουν-89	150.2	10.7	-139.8	11.2	36.5	0.0	0.0	0.3	0
Ιουλ-89	168.6	0.0	-168.6	1.8	9.5	0.0	0.0	0.0	0
Αυγ-89	155.0	0.0	-155.0	0.4	1.4	0.0	0.0	0.0	0
Σεπ-89	97.7	2.0	-95.8	0.2	2.1	0.0	0.0	0.1	0
Οκτ-89	53.6	63.8	8.3	8.5	53.6	0.0	0.0	1.9	10.2
Νοε-89	33.4	29.9	-4.4	8.3	29.2	0.0	0.0	0.9	0.7
Δεκ-89	24.4	31.2	5.8	14.2	24.4	0.0	0.0	0.9	6.8
Ιαν-90	23.8	8.0	-16.0	13.0	8.9	0.0	0.0	0.2	0
Φεβ-90	28.4	8.9	-19.8	11.7	9.9	0.0	0.0	0.3	0
Μαρ-90	41.2	0.0	-41.2	9.3	2.4	0.0	0.0	0.0	0
Απρ-90	68.8	15.7	-53.6	6.8	17.7	0.0	0.0	0.5	0
Μαϊ-90	106.9	6.6	-100.5	3.4	9.8	0.0	0.0	0.2	0
Ιουν-90	166.9	11.3	-155.9	0.7	13.6	0.0	0.0	0.3	0
Ιουλ-90	208.1	6.9	-201.4	0.0	7.4	0.0	0.0	0.2	0
Αυγ-90	159.9	81.4	-81.0	0.0	79.0	0.0	0.0	2.4	2.4
Σεπ-90	116.3	4.8	-111.6	0.0	4.7	0.0	0.0	0.1	0.1
Οκτ-90	69.5	9.7	-60.1	0.0	9.4	0.0	0.0	0.3	0.3
Νοε-90	42.3	47.6	3.9	3.9	42.3	0.0	0.0	1.4	5.3
Δεκ-90	28.2	62.2	32.2	36.1	28.2	0.0	0.0	1.9	34
Ιαν-91	20.3	155.5	130.6	166.6	20.3	0.0	0.0	4.7	135.2
Φεβ-91	20.8	116.0	91.7	200.0	20.8	0.0	58.3	18.1	95.2
Μαρ-91	44.1	36.8	-8.4	191.6	44.1	0.0	0.0	12.0	0
Απρ-91	61.9	42.0	-21.2	171.3	61.0	0.0	0.0	9.5	0
Μαϊ-91	96.8	18.7	-78.7	103.9	85.5	0.0	0.0	6.7	0
Ιουν-91	172.2	3.4	-168.9	16.2	91.1	0.0	0.0	4.7	0
Ιουλ-91	187.3	0.2	-187.1	1.0	15.3	0.0	0.0	3.5	0
Αυγ-91	157.0	89.1	-70.5	0.7	86.8	0.0	0.0	5.3	2.3
Σεπ-91	99.6	17.4	-82.7	0.4	17.2	0.0	0.0	2.5	0.2
Οκτ-91	67.0	105.0	34.9	35.3	67.0	0.0	0.0	4.6	38
Νοε-91	33.0	20.2	-13.4	32.9	22.0	0.0	0.0	1.7	0
Δεκ-91	16.1	317.4	291.8	200.0	16.1	0.0	124.7	41.5	301.3
Ιαν-92	20.4	37.1	15.6	200.0	20.4	0.0	15.6	29.0	16.7
Φεβ-92	21.6	115.3	90.2	200.0	21.6	0.0	90.2	46.9	93.7
Μαρ-92	38.4	55.5	15.4	200.0	38.4	0.0	15.4	38.1	17.1
Απρ-92	63.9	12.1	-52.1	147.9	63.9	0.0	0.0	27.7	0
Μαϊ-92	84.5	5.0	-79.6	89.0	63.7	0.0	0.0	20.7	0

	P	PET	P-PET	Moisture	AET	Storage	Surplus	ROtotal	P - AET
Ιουν-92	142.1	10.0	-132.4	30.1	68.6	0.0	0.0	15.7	0
Ιουλ-92	143.5	3.4	-140.2	9.0	24.4	0.0	0.0	11.6	0
Αυγ-92	155.0	3.4	-151.7	2.2	10.1	0.0	0.0	8.8	0
Σεπ-92	85.8	3.4	-82.5	1.3	4.2	0.0	0.0	6.6	0
Οκτ-92	77.7	17.9	-60.3	0.9	17.7	0.0	0.0	5.4	0.2
Νοε-92	35.3	95.3	57.1	58.0	35.3	0.0	0.0	6.5	60
Δεκ-92	19.2	60.5	39.5	97.5	19.2	0.0	0.0	4.6	41.3
Ιαν-93	20.8	35.3	13.5	111.0	20.8	0.0	0.0	3.1	14.5
Φεβ-93	19.1	42.7	22.3	133.3	19.1	0.0	0.0	2.8	23.6
Μαρ-93	36.6	75.7	36.8	170.1	36.6	0.0	0.0	3.4	39.1
Απρ-93	59.7	7.0	-52.9	125.2	51.8	0.0	0.0	1.1	0
Μαί-93	101.7	6.6	-95.3	65.5	66.1	0.0	0.0	0.8	0
Ιουν-93	172.2	3.4	-168.9	10.2	58.6	0.0	0.0	0.6	0
Ιουλ-93	179.4	3.4	-176.1	1.2	12.3	0.0	0.0	0.5	0
Αυγ-93	169.1	10.7	-158.7	0.3	11.3	0.0	0.0	0.6	0
Σεπ-93	100.2	6.1	-94.3	0.1	6.0	0.0	0.0	0.4	0.1
Οκτ-93	73.5	0.0	-73.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.2	0
Νοε-93	28.2	139.6	107.2	107.2	28.2	0.0	0.0	4.3	111.4
Δεκ-93	26.0	12.0	-14.4	99.6	19.3	0.0	0.0	0.4	0
Ιαν-94	24.4	120.0	92.0	191.6	24.4	0.0	0.0	3.7	95.6
Φεβ-94	23.9	69.4	43.4	200.0	23.9	0.0	35.0	10.9	45.5
Μαρ-94	44.1	49.8	4.2	200.0	44.1	0.0	4.2	9.1	5.7
Απρ-94	65.1	17.3	-48.3	151.7	65.1	0.0	0.0	6.3	0
Μαί-94	120.3	43.8	-77.8	92.7	101.5	0.0	0.0	5.6	0
Ιουν-94	161.8	11.9	-150.3	23.1	81.2	0.0	0.0	3.6	0
Ιουλ-94	175.0	16.9	-158.6	4.8	34.7	0.0	0.0	2.9	0
Αυγ-94	184.4	17.9	-167.1	0.8	21.4	0.0	0.0	2.4	0
Σεπ-94	126.8	7.9	-119.1	0.3	8.1	0.0	0.0	1.6	0
Οκτ-94	69.5	47.1	-23.8	0.3	45.7	0.0	0.0	2.4	1.4
Νοε-94	30.4	16.3	-14.6	0.3	15.8	0.0	0.0	1.3	0.5
Δεκ-94	20.9	157.7	132.0	132.3	20.9	0.0	0.0	5.3	136.8
Ιαν-95	22.8	64.4	39.7	172.0	22.8	0.0	0.0	2.4	41.6
Φεβ-95	29.9	2.2	-27.7	148.1	26.0	0.0	0.0	0.4	0
Μαρ-95	39.9	55.3	13.7	161.9	39.9	0.0	0.0	1.9	15.4
Απρ-95	54.4	12.6	-42.1	127.8	46.3	0.0	0.0	0.6	0
Μαί-95	108.9	0.3	-108.6	58.4	69.7	0.0	0.0	0.1	0
Ιουν-95	192.5	0.4	-192.1	2.3	56.5	0.0	0.0	0.1	0
Ιουλ-95	181.6	12.8	-169.2	0.4	14.4	0.0	0.0	0.5	0
Αυγ-95	153.1	1.7	-151.5	0.1	1.9	0.0	0.0	0.1	0
Σεπ-95	104.6	12.9	-92.1	0.0	12.6	0.0	0.0	0.4	0.3
Οκτ-95	48.5	56.8	6.6	6.6	48.5	0.0	0.0	1.7	8.3
Νοε-95	27.4	57.2	28.1	34.7	27.4	0.0	0.0	1.7	29.8
Δεκ-95	24.3	18.1	-6.7	33.6	18.7	0.0	0.0	0.6	0
Ιαν-96	19.9	95.7	72.9	106.5	19.9	0.0	0.0	2.9	75.8
Φεβ-96	23.2	10.0	-13.5	99.3	16.9	0.0	0.0	0.3	0
Μαρ-96	29.3	26.9	-3.2	97.8	27.7	0.0	0.0	0.8	0
Απρ-96	53.7	6.6	-47.3	74.7	29.5	0.0	0.0	0.2	0
Μαί-96	128.0	34.9	-94.1	39.5	69.0	0.0	0.0	1.1	0
Ιουν-96	159.8	1.3	-158.6	8.2	32.6	0.0	0.0	0.0	0
Ιουλ-96	195.6	3.9	-191.8	0.3	11.6	0.0	0.0	0.1	0
Αυγ-96	168.0	1.0	-167.1	0.1	1.2	0.0	0.0	0.0	0
Σεπ-96	104.6	3.7	-101.0	0.0	3.6	0.0	0.0	0.1	0.1
Οκτ-96	49.1	65.2	14.1	14.2	49.1	0.0	0.0	2.0	16.1
Νοε-96	34.2	28.7	-6.4	13.7	28.3	0.0	0.0	0.9	0.4
Δεκ-96	25.0	138.7	109.5	123.2	25.0	0.0	0.0	4.2	113.7
Ιαν-97	24.1	74.0	47.7	170.9	24.1	0.0	0.0	2.2	49.9
Φεβ-97	23.3	28.7	4.5	175.4	23.3	0.0	0.0	0.9	5.4
Μαρ-97	32.9	58.4	23.7	199.1	32.9	0.0	0.0	1.8	25.5
Απρ-97	46.6	13.8	-33.2	166.1	46.4	0.0	0.0	0.4	0
Μαί-97	113.8	26.5	-88.0	93.0	98.8	0.0	0.0	0.8	0
Ιουν-97	175.4	9.9	-165.8	15.9	86.7	0.0	0.0	0.3	0
Ιουλ-97	199.3	14.7	-185.0	1.2	29.0	0.0	0.0	0.4	0
Αυγ-97	140.4	8.2	-132.4	0.4	8.7	0.0	0.0	0.2	0
Σεπ-97	81.7	3.4	-78.4	0.2	3.5	0.0	0.0	0.1	0
Οκτ-97	53.2	72.4	17.0	17.2	53.2	0.0	0.0	2.2	19.2
Νοε-97	29.5	34.7	4.2	21.4	29.5	0.0	0.0	1.0	5.2
Δεκ-97	21.7	71.3	47.4	68.8	21.7	0.0	0.0	2.1	49.6
Ιαν-98	22.4	11.2	-11.5	64.9	14.8	0.0	0.0	0.3	0
Φεβ-98	24.9	13.8	-11.6	61.1	17.1	0.0	0.0	0.4	0
Μαρ-98	30.8	151.8	116.5	177.6	30.8	0.0	0.0	4.6	121
Απρ-98	67.1	22.2	-45.6	137.1	62.0	0.0	0.0	0.7	0

	P	PET	P-PET	Moisture	AET	Storage	Surplus	ROtotal	P - AET
Μαϊ-98	98.6	14.3	-84.8	79.0	72.0	0.0	0.0	0.4	0
Ιουν-98	161.8	29.3	-133.4	26.3	81.1	0.0	0.0	0.9	0
Ιουλ-98	199.3	3.4	-196.0	0.5	29.1	0.0	0.0	0.1	0
Αυγ-98	168.0	3.4	-164.7	0.1	3.7	0.0	0.0	0.1	0
Σεπ-98	93.6	32.0	-62.5	0.1	31.1	0.0	0.0	1.0	0.9
Οκτ-98	61.4	30.4	-31.9	0.1	29.5	0.0	0.0	0.9	0.9
Νοε-98	32.4	43.3	9.6	9.7	32.4	0.0	0.0	1.3	10.9
Δεκ-98	18.8	103.4	81.5	91.1	18.8	0.0	0.0	3.1	84.6
Ιαν-99	22.0	13.3	-9.1	87.0	17.0	0.0	0.0	0.4	0
Φεβ-99	23.3	8.5	-15.1	80.5	14.8	0.0	0.0	0.3	0
Μαρ-99	38.0	80.7	40.3	120.8	38.0	0.0	0.0	2.4	42.7
Απρ-99	67.1	18.4	-49.3	91.0	47.6	0.0	0.0	0.6	0
Μαϊ-99	118.1	7.4	-110.9	40.6	57.6	0.0	0.0	0.2	0
Ιουν-99	187.8	6.9	-181.1	3.8	43.4	0.0	0.0	0.2	0
Ιουλ-99	203.0	13.4	-190.0	0.2	16.6	0.0	0.0	0.4	0
Αυγ-99	178.8	3.4	-175.5	0.0	3.5	0.0	0.0	0.1	0
Σεπ-99	106.6	41.0	-66.8	0.0	39.8	0.0	0.0	1.2	1.2
Οκτ-99	71.7	31.5	-41.1	0.0	30.6	0.0	0.0	0.9	0.9
Νοε-99	32.0	14.3	-18.1	0.0	13.9	0.0	0.0	0.4	0.4
Δεκ-99	27.1	10.4	-17.1	0.0	10.1	0.0	0.0	0.3	0.3
Ιαν-00	17.6	1.6	-16.0	0.0	1.6	0.0	0.0	0.0	0
Φεβ-00	25.1	4.1	-21.1	0.0	4.0	0.0	0.0	0.1	0.1
Μαρ-00	42.5	15.1	-27.8	0.0	14.6	0.0	0.0	0.5	0.5
Απρ-00	74.6	9.6	-65.3	0.0	9.3	0.0	0.0	0.3	0.3
Μαϊ-00	126.4	0.3	-126.1	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0
Ιουν-00	169.0	1.3	-167.7	0.0	1.3	0.0	0.0	0.0	0
Ιουλ-00	244.5	0.6	-244.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0
Αυγ-00	171.2	3.4	-167.9	0.0	3.3	0.0	0.0	0.1	0.1
Σεπ-00	116.3	25.8	-91.2	0.0	25.0	0.0	0.0	0.8	0.8
Οκτ-00	54.9	31.8	-24.1	0.0	30.8	0.0	0.0	1.0	1
Νοε-00	42.3	67.1	22.8	22.8	42.3	0.0	0.0	2.0	24.8
Δεκ-00	25.7	32.5	5.9	28.7	25.7	0.0	0.0	1.0	6.8
Ιαν-01	25.6	50.0	22.9	51.5	25.6	0.0	0.0	1.5	24.4
Φεβ-01	27.7	20.0	-8.3	49.4	21.5	0.0	0.0	0.6	0
Μαρ-01	57.9	12.0	-46.2	38.0	23.1	0.0	0.0	0.4	0
Απρ-01	63.9	29.3	-35.4	31.2	35.1	0.0	0.0	0.9	0
Μαϊ-01	110.3	12.2	-98.4	15.9	27.2	0.0	0.0	0.4	0
Ιουν-01	179.8	7.7	-172.3	2.2	21.1	0.0	0.0	0.2	0
Ιουλ-01	221.4	12.3	-209.5	0.0	14.1	0.0	0.0	0.4	0
Αυγ-01	174.4	3.4	-171.1	0.0	3.3	0.0	0.0	0.1	0.1
Σεπ-01	107.9	3.4	-104.6	0.0	3.3	0.0	0.0	0.1	0.1
Οκτ-01	61.8	0.0	-61.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0
Νοε-01	37.3	149.2	107.4	107.4	37.3	0.0	0.0	4.5	111.9
Δεκ-01	25.5	110.0	81.2	188.6	25.5	0.0	0.0	3.3	84.5
Ιαν-02	21.0	38.7	16.5	200.0	21.0	0.0	5.1	2.4	17.7
Φεβ-02	25.6	11.0	-14.9	185.1	25.6	0.0	0.0	1.3	0
Μαρ-02	47.2	39.4	-9.0	176.8	46.5	0.0	0.0	1.9	0
Απρ-02	65.9	82.8	14.4	191.2	65.9	0.0	0.0	3.0	16.9
Μαϊ-02	98.0	1.3	-96.8	98.7	93.8	0.0	0.0	0.4	0
Ιουν-02	160.8	15.0	-146.3	26.5	86.7	0.0	0.0	0.8	0
Ιουλ-02	161.4	20.0	-142.0	7.7	38.2	0.0	0.0	0.8	0
Αυγ-02	140.4	86.0	-57.0	5.5	85.6	0.0	0.0	2.7	0.4
Σεπ-02	95.9	81.8	-16.6	5.0	79.8	0.0	0.0	2.6	2
Οκτ-02	68.6	38.6	-31.2	4.3	38.2	0.0	0.0	1.3	0.4
Νοε-02	30.6	73.0	40.2	44.4	30.6	0.0	0.0	2.3	42.4
Δεκ-02	29.6	180.0	145.0	189.4	29.6	0.0	0.0	5.5	150.4
Ιαν-03	25.6	69.5	41.8	200.0	25.6	0.0	31.2	9.9	43.9
Φεβ-03	24.5	191.2	161.0	200.0	24.5	0.0	161.0	51.9	166.7
Μαρ-03	39.7	98.2	55.6	200.0	39.7	0.0	55.6	51.4	58.5
Απρ-03	59.7	25.8	-34.6	165.4	59.7	0.0	0.0	37.1	0
Μαϊ-03	96.2	8.4	-88.1	92.6	81.0	0.0	0.0	27.5	0
Ιουν-03	149.3	0.0	-149.3	23.5	69.1	0.0	0.0	20.5	0
Ιουλ-03	162.4	0.0	-162.4	4.4	19.1	0.0	0.0	15.3	0
Αυγ-03	145.7	24.0	-122.4	1.7	26.0	0.0	0.0	12.2	0
Σεπ-03	101.4	2.7	-98.8	0.9	3.5	0.0	0.0	8.7	0
Οκτ-03	61.4	11.2	-50.5	0.6	11.1	0.0	0.0	6.8	0.1
Νοε-03	32.6	4.0	-28.7	0.6	4.0	0.0	0.0	5.0	0
Δεκ-03	26.6	128.0	97.5	98.1	26.6	0.0	0.0	7.5	101.4
Ιαν-04	24.2	89.7	62.8	160.8	24.2	0.0	0.0	5.4	65.5
Φεβ-04	24.5	12.0	-12.8	150.5	22.0	0.0	0.0	2.4	0
Μαρ-04	41.4	22.9	-19.2	136.0	36.7	0.0	0.0	2.2	0

	P	PET	P-PET	Moisture	AET	Storage	Surplus	ROtotal	P - AET
Απρ-04	71.8	14.3	-58.0	96.6	53.3	0.0	0.0	1.6	0
Μαί-04	119.5	157.9	33.6	130.2	119.5	0.0	0.0	5.6	38.4
Ιουν-04	136.0	12.4	-124.0	49.5	92.8	0.0	0.0	1.0	0
Ιουλ-04	167.5	5.2	-162.5	9.3	45.3	0.0	0.0	0.6	0
Αυγ-04	133.6	0.2	-133.4	3.1	6.4	0.0	0.0	0.4	0
Σεπ-04	90.2	0.0	-90.2	1.7	1.4	0.0	0.0	0.3	0
Οκτ-04	55.3	9.3	-46.2	1.3	9.4	0.0	0.0	0.5	0
Νοε-04	32.6	32.6	-1.0	1.3	31.6	0.0	0.0	1.1	1
Δεκ-04	26.0	35.3	8.2	9.5	26.0	0.0	0.0	1.2	9.3
Ιαν-05	26.4	140.0	109.4	118.9	26.4	0.0	0.0	4.3	113.6
Φεβ-05	28.6	41.9	12.0	130.9	28.6	0.0	0.0	1.3	13.3
Μαρ-05	40.9	12.3	-29.0	112.0	30.9	0.0	0.0	0.4	0
Απρ-05	57.5	10.2	-47.6	85.3	36.5	0.0	0.0	0.3	0
Μαί-05	110.3	73.7	-38.8	68.8	88.0	0.0	0.0	2.2	0
Ιουν-05	145.6	16.6	-129.5	24.2	60.6	0.0	0.0	0.5	0
Ιουλ-05	162.4	2.5	-160.0	4.8	21.8	0.0	0.0	0.1	0
Αυγ-05	135.3	12.7	-122.9	1.9	15.3	0.0	0.0	0.4	0
Σεπ-05	103.3	68.1	-37.3	1.5	66.4	0.0	0.0	2.1	1.7
Οκτ-05	66.6	17.0	-50.1	1.1	16.9	0.0	0.0	0.5	0.1
Νοε-05	34.4	44.6	8.8	10.0	34.4	0.0	0.0	1.3	10.2
Δεκ-05	25.5	28.5	2.1	12.1	25.5	0.0	0.0	0.9	3
Ιαν-06	26.8	56.8	28.3	40.4	26.8	0.0	0.0	1.7	30
Φεβ-06	25.3	28.0	1.9	42.3	25.3	0.0	0.0	0.8	2.7
Μαρ-06	41.4	34.0	-8.4	40.5	34.8	0.0	0.0	1.0	0
Απρ-06	71.0	0.7	-70.3	26.3	14.9	0.0	0.0	0.0	0
Μαί-06	121.0	2.4	-118.7	10.7	17.9	0.0	0.0	0.1	0
Ιουν-06	161.8	7.0	-155.0	2.4	15.1	0.0	0.0	0.2	0
Ιουλ-06	171.7	27.6	-145.0	0.7	28.5	0.0	0.0	0.8	0
Αυγ-06	154.1	7.9	-146.4	0.2	8.1	0.0	0.0	0.2	0
Σεπ-06	95.9	41.4	-55.8	0.1	40.2	0.0	0.0	1.2	1.2
Οκτ-06	51.9	76.8	22.6	22.7	51.9	0.0	0.0	2.3	24.9
Νοε-06	38.0	10.4	-28.0	19.5	13.3	0.0	0.0	0.3	0
Δεκ-06	27.5	9.9	-17.9	17.8	11.3	0.0	0.0	0.3	0
Ιαν-07	27.4	21.7	-6.4	17.2	21.6	0.0	0.0	0.7	0.1
Φεβ-07	29.3	76.4	44.8	62.0	29.3	0.0	0.0	2.3	47.1
Μαρ-07	43.0	49.1	4.6	66.6	43.0	0.0	0.0	1.5	6.1
Απρ-07	74.6	4.2	-70.5	43.2	27.6	0.0	0.0	0.1	0
Μαί-07	108.9	32.1	-77.8	26.4	47.9	0.0	0.0	1.0	0
Ιουν-07	158.8	9.6	-149.5	6.7	29.0	0.0	0.0	0.3	0
Ιουλ-07	173.9	8.1	-166.0	1.1	13.4	0.0	0.0	0.2	0
Αυγ-07	160.9	0.0	-160.9	0.2	0.9	0.0	0.0	0.0	0
Σεπ-07	99.6	0.0	-99.6	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0
Οκτ-07	57.0	11.0	-46.3	0.1	10.7	0.0	0.0	0.3	0.3
Νοε-07	30.6	54.9	22.6	22.7	30.6	0.0	0.0	1.6	24.3
Δεκ-07	23.5	42.4	17.6	40.3	23.5	0.0	0.0	1.3	18.9

Πίνακας VIIβ - Πίνακας αποτελεσμάτων μοντέλου Thornthwaite σταθμού Χαλκίδα

Σεπ-13	8.2	135.8	-128.0	54.0	103.8	0.0	0.0	6.8	0
Οκτ-13	8.2	70.4	-62.6	37.1	24.7	0.0	0.0	5.2	0
Νοε-13	59.2	44.4	11.8	48.9	44.4	0.0	0.0	6.5	14.8
Δεκ-13	52.4	27.5	22.3	71.2	27.5	0.0	0.0	5.3	24.9
Ιαν-14	36.8	28.1	6.8	78.1	28.1	0.0	0.0	3.8	8.7
Φεβ-14	9.6	31.6	-22.5	69.3	17.9	0.0	0.0	2.0	0.0
Μαρ-14	36.8	44.6	-9.7	66.0	38.3	0.0	0.0	3.0	0.0
Απρ-14	29.2	64.7	-36.9	53.8	39.9	0.0	0.0	2.3	0.0
Μαί-14	5.2	103.6	-98.7	27.2	31.5	0.0	0.0	0.9	0.0
Ιουν-14	21.0	142.9	-123.0	10.5	36.7	0.0	0.0	1.5	0.0
Ιουλ-14	1.4	166.5	-165.2	1.8	10.0	0.0	0.0	0.4	0.0
Αυγ-14	8.6	149.4	-141.2	0.5	9.5	0.0	0.0	0.7	0.0

Πίνακας VIII:

Κατηγορίες καλλιεργειών ανά φυτικό συντελεστή, *K*.

Κατηγορία I K = 0,55	Κατηγορία II K = 0,60	Κατηγορία III K = 0,65	Κατηγορία IV K = 0,70
Εσπεριδοειδή Εληές Αμπέλια κλπ	Σανός Ρόβι κ.τ.λ Πρωτενιούχοι σπόροι	Οπωροφόρα Ακρόδρυα Όσπρια Βαμβάκι Φράουλες Άνθη κ.τ.λ	Καπνά δυτ. τύπ. Κηπευτικά, Σόργο Μποστανικά Πατάτες Ζαχαρότευτλα Ηλιάνθος Αραχίδα

Κατηγορία V K = 0,75	Κατηγορία VI K = 0,80	Κατηγορία VII K = 0,85	Κατηγορία VIII K = 1,20
Καλαμπόκι Γρασίδια Λεύκες Σιτιρά κλπ	Τριφύλλι Ακτινίδιο Τεχν. λειμώνες	Μηδική	Ρύζι

Πίνακας ΙΧ:

Όρια εφαρμογής αρδευτικού νερού ανά m³/στρέμμα/μήνα σύμφωνα με την ΚΥΑ Φ.16/6631/2.6.1989
(ΦΕΚ Β 428) για το Υδατικό διαμέρισμα Ανατολικής Στερεάς (ΥΔ 07)

Υ. Δ.	07	Απρίλιος	Μάιος	Ιούνιος	Ιούλιος	Αύγουστος	Σεπτέμβριος
I	Min	58	80	91	104	96	71
	Max	69	96	110	124	115	88
	M.O.	64	88	101	114	106	80
II	Min	63	87	99	114	105	78
	Max	75	105	120	135	126	96
	M.O.	69	96	110	125	116	87
III	Min	68	94	107	123	114	85
	Max	81	114	130	146	136	104
	M.O.	75	104	119	135	125	95
IV	Min	73	101	115	133	122	91
	Max	87	122	140	157	147	112
	M.O.	80	112	128	145	135	102
V	Min	79	109	124	142	131	97
	Max	94	131	150	169	157	120
	M.O.	87	120	137	156	144	109
VI	Min	84	116	132	152	140	104
	Max	100	140	160	180	168	128
	M.O.	92	128	146	166	154	116
VII	Min	89	123	140	161	149	110
	Max	106	149	170	191	178	136
	M.O.	98	136	155	176	164	123
VIII	Min	126	174	198	228	210	156
	Max	150	210	240	270	252	192
	M.O.	138	192	219	249	231	174

Πίνακας Χ:

Υπολογισμοί ως προς τις καλλιεργούμενες εκτάσεις

ΟΠΕΚΕΠΕ code	ΟΠΕΚΕΠΕ name	Έκταση (sq m2)	%	NO ₃ load	NO ₃ Kg/hm/y	Κατηγορία φυτικού συντελεστή
1.1	ΣΙΤΑΡΙ ΣΚΛΗΡΟ	65125.4	1.07	7.2	468.90	Κατ. V
1.2	ΣΙΤΑΡΙ ΣΚΛΗΡΟ ΠΟΙΟΤΙΚΟ	294294.4	4.82	7.2	2118.92	Κατ. V
2	ΛΟΙΠΑ ΣΙΤΗΡΑ	1130829.4	18.50	7.2	8141.97	Κατ. V
5	ΠΡΩΤΕΙΝΟΥΧΟΙ ΣΠΟΡΟΙ	53398.3	0.87	8.5	453.89	Κατ. II
6	ΕΚΤΑΣΕΙΣ ΔΙΚΑΙΩΜΑΤΩΝ ΑΓΡΑΝΑΠΛΥΣΗΣ	2026.9	0.03	0.0	0.00	Κατ. IV
11	ΟΣΠΡΙΟΕΙΔΗ	14022.6	0.23	2.0	28.05	Κατ. III
15	ΕΛΑΙΩΝΕΣ	1858202.4	30.40	0.13	241.57	Κατ. I
19	ΕΣΠΕΡΙΔΟΕΙΔΗ ΠΡΟΣ ΜΕΤΑΠΟΙΗΣΗ	10402.0	0.17	0.5	5.20	Κατ. I
21	ΚΑΡΠΟΙ ΜΕ ΚΕΛΥΦΟΣ	160197.3	2.62	0.5	80.10	Κατ. I
26	ΕΚΤΑΣΕΙΣ ΣΕ ΚΑΛΗ ΓΕΩΡΓΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΠΟΥ ΠΡΟΣΜΕΤΡΟΥΝΤΑΙ ΣΤΑ ΕΚΤΑΤΙΚΑ ΔΙΚΑΙΩΜΑΤΑ	1502448.1	24.58	5.0	7512.24	Κατ. I
38.1	ΚΗΠΕΥΤΙΚΑ ΜΑΚΡΑΣ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ	598929.1	9.80	8.4	5031.00	Κατ. IV
36.2	ΛΟΙΠΟΙ ΑΜΠΕΛΩΝΕΣ ΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΟΙΝΟΥ	36047.3	0.59	10.2	367.68	Κατ. I
36.3	ΛΟΙΠΟΙ ΑΜΠΕΛΩΝΕΣ ΓΙΑ ΕΠΙΤΡΑΠΕΖΙΑ ΧΡΗΣΗ	18806.8	0.31	10.2	191.83	Κατ. I
45.2	ΛΟΙΠΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ - ΔΕΝΔΡΩΔΕΙΣ	998.4	0.02	0.5	0.50	Κατ. III
SUM a		5745728.4			24641.85	
	(ΜΕΙΚΤΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ)					
38.1, 15		5106.6		6	30.64	Κατ. III
5, 11		16500.8		10.5	173.26	Κατ. II
26, 15		15404.2		0.15	2.31	Κατ. I
2, 15		47881.2		4.0	191.52	Κατ. III
15, 38.1		3301.7		5.0	16.51	Κατ. II
15, 2		2993.4		4.0	11.97	Κατ. III
15, 11		8000.2		7.0	56.00	Κατ. II
11, 21		12002.2		1.5	18.00	Κατ. II
11, 15		73945.7		1.0	73.95	Κατ. II
1.2, 38.1		2010.0		11	22.11	Κατ. V
1.2, 15		6503.9		6.0	39.02	Κατ. III
SUM b		193649.8	3.17			
Χωράφια Χη		172400.0	2.82	8.4	1448.16	Κατ. V
SUM c		366049.8	5.99		2083.50	
SUM TOTAL		6111778.2	100.00		26725.3	

Πίνακας XI:

Κατανομή τιμών άντλησης στο μοντέλο

code	x	y	weights	Παροχή Σενάριο 1 & 2	Παροχή Σενάριο 3	Παροχή Σενάριο 3
101	469202.57	4266626.97	0.84	372.280	563.159	894.83
102	469509.56	4269394.42	0.84	372.280	563.159	894.83
103	468587.09	4271429.72	0.84	372.280	563.159	894.83
104	469134.76	4270382.99	0.84	372.280	563.159	894.83
105	467991.36	4268403.09	0.84	372.280	563.159	894.83
201	469637.51	4268219.00	0.90	398.872	603.384	958.74
202	466872.91	4268852.29	0.90	398.872	603.384	958.74
203	468604.57	4267415.88	0.90	398.872	603.384	958.74
204	470847.11	4269443.98	0.90	398.872	603.384	958.74
301	465802.89	4269520.7	1.10	487.510	737.470	1171.80
302	465976.23	4268624.98	1.10	487.510	737.470	1171.80
303	466816.19	4267893.33	1.10	487.510	737.470	1171.80
304	466689.53	4269450.96	1.10	487.510	737.470	1171.80
501	467285.09	4268404.59	1.20	531.829	804.512	1278.32
502	468038.04	4266579.16	1.20	531.829	804.512	1278.32
503	467643.32	4269867.99	1.20	531.829	804.512	1278.32
504	467417.17	4266994.32	1.20	531.829	804.512	1278.32
sum			17	9874.0 m3/d	11397.3 m3/d	18109.6 m3/d

Πίνακας XII:

Υπολογισμός ποσοτήτων αρδευτικών αναγκών

Κατηγορίες φυτικού συντελεστή Κ	Έκταση σε m ²	Αναγωγή σε στρέμ.	Ποσότητες αρδευτικών αναγκών ανά μήνα με βάση την μέση τιμή (m ³)						Σύνολο (m ³ x 10 ⁶)
			Απρ	Μαι	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	
Κατ. I	3601508.07	3601.51	228695.8	316932.7	361951.6	410571.9	379959.1	286319.9	1.984
Κατ. II	167148.98	167.15	11533.3	16046.3	18302.8	20810.0	19305.7	14542.0	0.101
Κατ. III	77506.01	77.51	5774.2	8254.4	9184.5	10424.6	9688.3	7324.3	0.051
Κατ. IV	600956.04	600.96	48076.5	67006.6	76621.9	87138.6	80828.6	60997.0	0.421
Κατ. V	1664659.15	1664.66	143993.0	199759.1	228058.3	258854.5	239710.9	180615.5	1.251
Σύνολο (m ³ x 10 ⁶)	6.11	6111	0.438	0.608	0.694	0.788	0.729	0.550	3.807

Πίνακας XIII

Πίνακας στατιστικών μεγεθών των παραμέτρων και των οριακών συνθηκών του μοντέλου.

%	Hydraulic conductivity	ME	MAE	RMS	ABS MEAN ME
-0.50	42	-0.088	0.266	0.560	0.088
-0.25	63	-0.013	0.235	0.476	0.013
-0.10	76	0.028	0.225	0.456	0.028
0.00	84	0.050	0.224	0.452	0.050
0.10	92	0.073	0.223	0.454	0.073
0.25	105	0.106	0.223	0.465	0.106
0.50	126	0.153	0.238	0.495	0.153

%	Specific yield	ME	MAE	RMS	ABS MEAN ME
-0.50	0.055	0.337	0.340	0.711	0.337
-0.23	0.085	0.157	0.233	0.510	0.157
-0.10	0.100	0.091	0.226	0.468	0.091
0.00	0.111	0.050	0.224	0.452	0.050
0.10	0.122	0.014	0.222	0.448	0.014
0.24	0.138	-0.031	0.226	0.453	0.031
0.49	0.165	-0.093	0.238	0.480	0.093

%	Rain flux	ME	MAE	RMS	ABS MEAN ME
-0.50	2.13E-04	0.071	0.071	0.200	0.071
-0.20	3.40E-04	0.062	0.062	0.176	0.062
-0.10	3.82E-04	0.059	0.059	0.168	0.059
0.00	4.25E-04	0.059	0.059	0.410	0.056
0.10	4.68E-04	0.053	0.053	0.152	0.053
0.20	5.10E-04	0.050	0.050	0.144	0.050
0.50	6.38E-04	0.041	0.041	0.121	0.041

%	Side flux	ME	MAE	RMS	ABS MEAN ME
-0.49	15.0	0.068	0.123	0.242	0.068
-0.32	20.0	0.099	0.223	0.465	0.099
-0.15	25.0	0.073	0.222	0.455	0.073
0.00	29.3	0.050	0.224	0.452	0.050
0.19	35.0	0.020	0.227	0.457	0.020
0.36	40.0	-0.006	0.234	0.469	0.006
0.53	45.0	-0.032	0.242	0.486	0.032

%	pumping	ME	MAE	RMS	ABS MEAN ME
0.00	2.75	0.050	0.224	0.452	0.050
0.31	3.60	0.568	0.643	1.267	0.568
0.38	3.81	0.169	0.233	0.518	0.169
0.51	4.16	0.208	0.252	0.557	0.208
1.40	6.61	0.482	0.482	0.930	0.482

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ



Παλιό πηγάδι με σύστημα κυλιόμενων δοχείων



Σύγχρονη γεώτρηση εντός του πηγαδιού με κωνικό φίλτρο για το εφαρμογή λίπανσης