

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ



**ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ**

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ & ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

**ΑΝΘΗ Α.ΚΑΡΑΜΟΥΧΤΑΡΗ
ΓΕΩΛΟΓΟΣ**

**«Η ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ & Η ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΝΕΡΩΝ
ΤΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΩΝ ΣΤΡΩΜΑΤΩΝ
ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΥΡΝΑΒΟΥ (Ν.ΛΑΡΙΣΑΣ)»**

ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών του Τμήματος Γεωλογίας
Ειδίκευση «Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωλογία»

Επιβλέπων Καθηγητής: κ. Γ. ΣΟΥΛΙΟΣ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ, 2006

ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

«Η ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ & Η ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΩΝ
ΝΕΡΩΝ ΤΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΩΝ ΣΤΡΩΜΑΤΩΝ
ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΥΡΝΑΒΟΥ (Ν.ΛΑΡΙΣΑΣ)»

ΑΝΘΗ Α.ΚΑΡΑΜΟΥΧΤΑΡΗ
ΓΕΩΛΟΓΟΣ

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΣΥΜΒΟΥΛΕΥΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Επιβλέπων: Καθηγητής Γεώργιος Σούλιος

Μέλος: Καθηγητής Γεώργιος Δημόπουλος

Μέλος: Λέκτορας Κωνσταντίνος Βουδούρης

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	5
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	7
1. ΓΕΝΙΚΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ & ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΕΛΕΤΟΥΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ.....	8
1.1 Γεωγραφική Θέση.....	8
1.1.1 Δημογραφικά στοιχεία.....	9
1.1.2 Χρήσεις νερού.....	11
1.2 Γεωμορφολογία περιοχής μελέτης.....	12
1.2.1 Γενικά.....	12
1.2.2 Μορφολογικές Παράμετροι.....	13
2. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ.....	14
2.1 Μεταλπικοί σχηματισμοί.....	14
2.1.1 Τεταρτογενείς αποθέσεις.....	14
2.1.2 Νεογενείς αποθέσεις (6).....	17
2.2 Σχηματισμοί του υποβάθρου.....	17
2.3. Τεκτο-ορογενετική Εξέλιξη.....	19
2.4. Παρατηρήσεις για τη στρωματογραφία της περιοχής.....	20
3. ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΑ – ΥΔΡΟΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	23
3.1 Γενικά.....	23
3.2 Θερμοκρασία.....	24
3.3. Ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα.....	26
3.4 Σχετική υγρασία αέρα %.....	29
4. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	30
4.1 Σχηματισμοί του υποβάθρου.....	30
4.2 Αλλουβιακές αποθέσεις.....	31
4.3 Υδρογραφικό δίκτυο περιοχής.....	32
4.3.1. Πηνειός ποταμός.....	32
4.3.2. Τιταρήσιος ποταμός.....	33
5. ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΤΗΣ ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΤΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΩΝ ΣΤΡΩΜΑΤΩΝ.....	35
5.1 Γενικά.....	35
5.1.1 Κατακρημνίσματα.....	35
5.1.2 Σχέσεις απορροής και πιεζομετρικής στάθμης στα υδρορέματα.....	36
5.1.3 Διακύμανση της πιεζομετρικής στάθμης των υδροφόρων λόγω ανθρωπογενούς επίδρασης.....	37
5.2 Πιεζομετρία στην περιοχή ενδιαφέροντος.....	39
5.2.1 Γενικά.....	39

5.2.2 Πιεζομετρικά δεδομένα της περιοχής μελέτης.....	40
5.3.1 Ενδοετήσια - υπερετήσια διακύμανση στάθμης.....	42
5.3.2 Υπερετήσια μεταβολή της ανώτερης ετήσιας στάθμης των υπόγειων νερών στην περιοχή μελέτης.....	48
5.4 Χάρτες μεταβολής ανώτερης ετήσιας στάθμης.....	56
5.5 Η μέση άνοδος της στάθμης κατά την περίοδο Οκτωβρίου - Απριλίου σε σχέση με τη βροχόπτωση	63
6. ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ – ΧΗΜΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ.....	68
6.1 Γενικά.....	68
6.2 Δειγματοληψία του υπόγειου νερού της περιοχής.....	70
6.2.1 Μετρήσεις υπαίθρου και αποτελέσματα εργαστηριακών αναλύσεων.....	71
6.3 Αξιολόγηση των φυσικο-χημικών στοιχείων.....	74
6.3.1 Γενικά	74
6.3.2 Ηλεκτρική αγωγιμότητα E.C.....	75
6.3.3 Σύνολο Διαλυμένων Αλάτων (T.D.S.) των νερών της περιοχής μελέτης	78
6.4 Χωρική κατανομή ιόντων στην περιοχή ενδιαφέροντος.....	82
6.5 Ιοντικοί λόγοι.....	88
6.6 Συσχετιστικά Διαγράμματα μεταξύ ιόντων.....	95
6.7 Υδροχημικά διαγράμματα & ταξινόμηση υπόγειου νερού	98
6.7.1 Διάγραμμα Durov	100
6.7.2 Διάγραμμα Piper	100
6.7.3 Διάγραμμα Schoeller.....	102
6.7.4 Διάγραμμα κατάταξης αρδευτικών νερών με βάση το δείκτη S.A.R. (Δείκτης προσρόφησης Na^+)	103
6.7.5 Διάγραμμα Wilcox	104
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	106
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	108

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διατριβή ειδίκευσης εκπονήθηκε στα πλαίσια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών του Τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης στον κλάδο ειδίκευσης «Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωλογία». Η ανάθεση του Θέματος έγινε από το Τμήμα Γεωλογίας με πρόταση από τον Καθηγητή του Α.Π.Θ. κ.Γ.Σούλιο, ο οποίος ήταν και ο κύριος επιβλέπων αυτής. Τα άλλα δύο μέλη της τριμελούς επιτροπής ήταν ο Καθηγητής κ.Γ.Δημόπουλος και ο Λέκτορας κ. Κ.Βουδούρης.

Τίτλος της εργασίας αυτής, είναι «*Η ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ & Η ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΝΕΡΩΝ ΤΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΩΝ ΣΤΡΩΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΥΡΝΑΒΟΥ (Ν.ΛΑΡΙΣΑΣ)*».

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η συγκέντρωση και αξιοποίηση βροχομετρικών και πιεζομετρικών στοιχείων της περιοχής μελέτης κατά τη τελευταία τριακονταετία για την επιστημονική διερεύνηση μεταβολής της πιεζομετρικής στάθμης. Επιπρόσθετα πραγματοποιήθηκε γεωλογική, στρωματογραφική και υδρολιθολογική διερεύνηση της περιοχής.

Πιεζομετρικά στοιχεία συλλέχθηκαν από το αρχείο του Τοπικού Οργανισμού Εγγείων Βελτιώσεων (Τ.Ο.Ε.Β.) Νομού Λάρισας, τα οποία επεξεργάστηκαν κατάλληλα για την εξαγωγή συμπερασμάτων σ' ότι αφορά την εξέλιξη του υπόγειου υδατικού δυναμικού της περιοχής.

Στη συνέχεια ελήφθησαν δείγματα νερού από γεωτρήσεις της περιοχής μελέτης για την εκτέλεση φυσικο-χημικών αναλύσεων, στο εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας του Α.Π.Θ.

Μετά από την ολοκλήρωση της διατριβής ειδίκευσης αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω όλους όσους συνέβαλαν στην διεκπεραίωση της με οποιοδήποτε τρόπο.

Η ανάθεση του θέματος της διδακτορικής διατριβής έγινε από τον επιβλέπων Καθηγητή κ. Γεώργιο Σούλιο, τον οποίο εκτιμώ βαθύτατα και ευχαριστώ θερμά από καρδιάς για την συνεχή καθοδήγηση του σε όλα τα στάδια εκτέλεσης της διατριβής, καθώς επίσης για το ενδιαφέρον και την εμπιστοσύνη που έδειξε απέναντί μου.

Τον Καθηγητή κ. Γεώργιο Δημόπουλο ευχαριστώ για τη συμμετοχή του στην τριμελή συμβουλευτική επιτροπή και για την συμπαράστασή του.

Ευχαριστώ τον Λέκτορα κ. Κώστα Βουδούρη για την πολύτιμη βοήθεια του, και την εποικοδομητική κριτική του πάνω στο κείμενο καθώς και την συμμετοχή του στην τριμελή συμβουλευτική επιτροπή.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω και να εκφράσω την εκτίμησή μου στους καθηγητές μου κ. Β.Χρηστάρα και κ. Μ.Φυτίκα για την συνεργασία και την βοήθειά τους καθ' όλη την διάρκεια των μεταπτυχιακών σπουδών μου.

Ακόμη θα ήθελα να ευχαριστήσω την Διεύθυνση Εγγείων βελτιώσεων Λάρισας και ιδιαίτερα τον κ. Α.Ευαγγελόπουλο για τη διάθεση στοιχείων, δίχως τα οποία θα ήταν αδύνατη η συγγραφή της εργασίας αυτής.

Τις θερμές ευχαριστίες μου στον συνάδελφο μεταπτυχιακό, υποψήφιο διδάκτορα και φίλο Αθανάσιο Παύλου για την πολύτιμη βοήθειά του κατά το στάδιο της υπαίθρου.

Ακόμη θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους φίλους μου που μου συμπαραστάθηκαν ηθικά κατά την διάρκεια των μεταπτυχιακών σπουδών μου.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον σύζυγο μου Κωνσταντίνο και την οικογένειά μου για την ηθική υποστήριξη, την κατανόηση και την συμπαράσταση που έδειξαν καθ' όλη την διάρκεια των μεταπτυχιακών σπουδών μου.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η γεωργία αποτελεί ένα από τα κύρια στοιχεία της Ελληνικής οικονομίας και η παραγωγικότητα των καλλιεργειών βασίζεται στην άρδευση του υπόγειου νερού. Η μεγαλύτερη γεωργική δραστηριότητα συγκεντρώνεται στις Τεταρτογενείς αλλούβιες τάφρους της Ελλάδας.

Εξ' αιτίας της κοινωνικό-οικονομικής ανάπτυξης της χώρας, σε σχέση με τις αλλαγές στις κλιματικές συνθήκες από τα τέλη του 1980, η εκμετάλλευση των πόρων του υπογείου νερού στις τάφρους αυτές αυξήθηκε σημαντικά με αποτέλεσμα την υπερβολική πτώση της πιεζομετρικής επιφάνειας των αλλούβιων υδροφόρων στρωμάτων και τη μείωση των αποθεμάτων υπόγειου νερού.

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται ανάμεσα στην πόλη της Λάρισας και την κωμόπολη του Τυρνάβου, και διασχίζεται από δύο ποταμούς τον Πηνειό και τον Τιταρήσιο.

Ο Πηνειός ανήκει στην ομάδα των μεγαλύτερων ποταμών της χώρας μας, ενώ ο Τιταρήσιος (Ξερίας) είναι ένας από τους πιο σημαντικούς παραποτάμους του Πηνειού ποταμού και πηγάζει από τις δυτικές κλιτύες του Ολύμπου και των Πιερίων και κατευθυνόμενος δυτικά, νοτιοδυτικά συμβάλλει με τον Πηνειό ποταμό.

Σύμφωνα με το σύστημα ταξινόμησης τύπων υγροτόπων της Συνθήκης Ραμσάρ που εγκρίθηκε στην 4η Συνάντηση των Συμβαλλόμενων Μελών στο Montreux το 1999, ο Τιταρήσιος ποταμός υπάγεται στην κατηγορία των εσωτερικών υγροτόπων και χαρακτηρίζεται ως ποταμός συνεχούς ροής, παρά το γεγονός ότι συχνά, μετά την έξοδό του νοτιοδυτικά της κωμόπολης του Τυρνάβου, δεν εμφανίζει συνεχή ροή.

Στον υγρότοπο έχουν επέλθει δραστικές αλλοιώσεις όσον αφορά τα γνωρίσματά του (αβιοτικά και βιοτικά) με κύρια αίτια την κατασκευή έργων διευθέτησης της ροής των υδάτων καθώς και τις υπεραντλήσεις τόσο των νερών του ποταμού όσο και του νερού του υπογείου υδροφόρου ορίζοντα, ο οποίος εμπλουτίζεται και από τα ύδατα του ποταμού.

1. ΓΕΝΙΚΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ & ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΟΥΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

1.1 Γεωγραφική Θέση

Η περιοχή μελέτης εκτείνεται σε μία εύφορη πεδιάδα, η οποία βρίσκεται βορειοδυτικά της πόλης της Λάρισας και νοτιοανατολικά της πόλης του Τυρνάβου καλύπτοντας έκταση περίπου 125 km².

Ο Θεσσαλικός κάμπος γενικότερα αποτελεί την μεγαλύτερη αλλουβιακή λεκάνη της χώρας και διαχωρίζεται στην δυτική πεδιάδα της Καρδίτσας και στην ανατολική πεδιάδα της Λάρισας όπως απεικονίζεται στο χάρτη του Σχήματος 1.1. Οι πεδιάδες οριοθετούνται βόρεια από τα όρη Αντιχάσια και το Νότιο τμήμα του Ολύμπου, δυτικά από την βουνοσειρά της Πίνδου, νότια από το όρος Όρθυς και ανατολικά από τα όρη του Πηλίου και της Όσσας.



Σχήμα 1.1.: Γεωμορφολογικός χάρτης προσανατολισμού της ευρύτερης περιοχής ενδιαφέροντος

Η αλλούβια περιοχή νοτιοανατολικά του Τυρνάβου αποτελεί το βορειοανατολικό μέρος της πεδιάδας της Θεσσαλίας και περιέχει σημαντικής ποσότητας υπόγεια νερά. Είναι μια τάφρος στην οποία έχουν αποθεθεί τα χονδρόκοκκα αλλούβια του ποταμού Τιταρήσιου.

Η περιοχή μελέτης βόρεια οριοθετείται από το κρυσταλλικό σχιστολιθικό υπόβαθρο και δυτικά από το καρστικό σύστημα του Τυρνάβου, το οποίο είναι σε ισχυρή υδραυλική επαφή με την αλλουβιακή λεκάνη. Νότια και ανατολικά ο Πηνειός ποταμός διαμορφώνει ένα υδραυλικό όριο στη λεκάνη (Panagoulas, 1995).

1.1.1 Δημογραφικά στοιχεία

Διοικητικά η περιοχή μελέτης υπάγεται στο νομό Λάρισας και στους Δήμους Αμπελώνα, Τυρνάβου και Γιάννουλη.

Η πόλη της Λάρισας αποτελεί μεγάλο αστικό κέντρο και αριθμεί 124.394 περίπου κατοίκους σύμφωνα με την απογραφή του 2001.

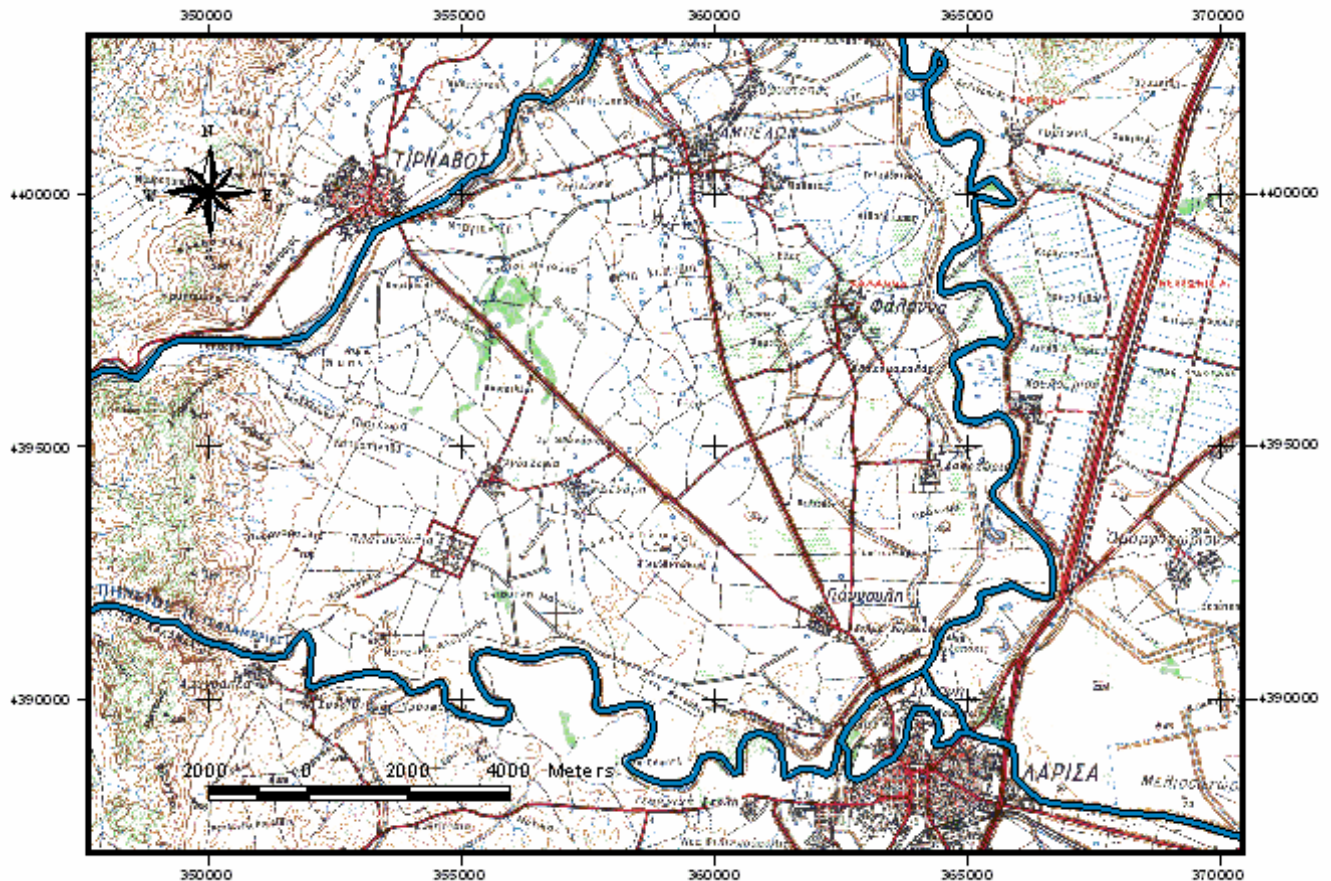
Η κωμόπολη του Τυρνάβου αριθμεί σήμερα περίπου 11.116 κατοίκους. Είναι κτισμένη στις παρυφές της Μελούνας, στο γνωστό «Λουσφάκι» σε υψόμετρο 80m και απέχει από την πόλη της Λάρισας 7 χλμ. Νοτιοανατολικά της πόλης διέρχεται ο Τιταρήσιος ποταμός ή Ξεριάς.

Στον παρακάτω Πίνακα 1.1.1 φαίνονται αναλυτικά τα πληθυσμιακά στοιχεία για κάθε Δημοτικό Διαμέρισμα της περιοχής, ενώ στο Χάρτη 1.1.1 απεικονίζεται απόσπασμα Τοπογραφικού Χάρτη της Γ.Υ.Σ. σε αρχική κλίμακα 1:50.000, όπου φαίνεται η γεωγραφική θέση της περιοχής μελέτης.

Πίνακας 1.1.1: Πληθυσμιακά στοιχεία για την περιοχή μελέτης.

ΝΟΜΟΣ ΛΑΡΙΣΑΣ	ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ ΑΠΟΓΡΑΦΗ 2001
ΠΟΛΗ ΛΑΡΙΣΑΣ	124.394
ΔΗΜΟΣ ΑΜΠΕΛΩΝΑ	8.407
 Δ/Δ ΑΜΠΕΛΩΝΑ  Δ/Δ ΔΕΛΕΡΙΑ	5.920 866
ΔΗΜΟΣ ΓΙΑΝΝΟΥΛΗΣ	10.022
 Δ/Δ ΓΙΑΝΝΟΥΛΗΣ  Δ/Δ ΦΑΛΑΝΝΗΣ ▪ ΦΑΛΑΝΝΗ ▪ ΔΑΣΟΧΩΡΙ	5.997 4.025 3.327 698

ΔΗΜΟΣ ΤΥΡΝΑΒΟΥ	16.900
- Δ/Δ ΤΥΡΝΑΒΟΥ - ΤΥΡΝΑΒΟΣ - Δ/Δ ΔΕΝΔΡΩΝ - ΔΕΝΔΡΑ - ΠΛΑΤΑΝΟΥΛΙΑ - ΑΓ. ΣΟΦΙΑ	11.116 1.072 491 529 52



Χάρτης 1.1.1: Τοπογραφικός Χάρτης Προσανατολισμού της Γ.Υ.Σ.

Τα χωριά της περιοχής είναι πολλά (Αμπελώνας, Φαλάννη, Δασοχώρι, Δένδρα, Γιάννουλη, Αγ. Σοφία και Πλατανούλια), ενώ η ίδια η περιοχή είναι πολύ πλούσια αφού καλύπτεται από οπωρώνες, αμπέλια και λαχανόκηπους. Η γεωργία, λοιπόν, που αποτελεί την κύρια ενασχόληση των κατοίκων, στηρίζεται επικρατέστερα στην άρδευση από τις γεωτρήσεις και σε μικρό βαθμό από τον Πηνειό ποταμό. Η παραγωγικότητα της περιοχής είναι μεταξύ των υψηλότερων στην χώρα και έχει ζωτική σημασία για την οικονομία.

1.1.2 Χρήσεις νερού

Σήμερα η χρήση του αρδευτικού νερού ελέγχεται από τους Τοπικούς Οργανισμούς Εγγείων Βελτιώσεων (ΤΟΕΒ), που λειτουργούν υπό την επίβλεψη των Υπηρεσιών Εγγείων Βελτιώσεων (ΥΕΒ) του κράτους. Οι εγκαταστάσεις των ΤΟΕΒ καλύπτουν σε μεγάλο ποσοστό τις απαιτήσεις για άρδευση είτε μέσω των γεωτρήσεων, είτε σε μικρότερο βαθμό από το επιφανειακό νερό του Πηνειού με ένα πυκνό δίκτυο ευθυγραμμισμένων καναλιών.

Στις περιοχές όμως που δεν υποστηρίζονται από τις εγκαταστάσεις νερού του ΤΟΕΒ, η αρδευτική ζήτηση καλύπτεται από τις ιδιωτικές και δημοτικές γεωτρήσεις και σε ένα μικρό βαθμό από το νερό που αντλείται από τον Πηνειό.

Η ίδρυση των περισσότερων ΤΟΕΒ του Ν.Λάρισας έγινε στα μέσα της δεκαετίας 1972-1982, μετά την κατασκευή των αρδευτικών γεωτρήσεων στα πλαίσια του Προγράμματος Ανάπτυξης Υπογείων Υδάτων Θεσσαλίας (ΠΑΥΥΘ, 1972-1981).

Πρόκειται για τους:

-  Τ.Ο.Ε.Β. Ενιππέα Φαρσάλων
-  Τ.Ο.Ε.Β. Ταουσάνης
-  Τ.Ο.Ε.Β. Αγίας Σοφίας
-  Τ.Ο.Ε.Β. Τυρνάβου
-  Τ.Ο.Ε.Β. Δαμασίου και αργότερα ο
-  Τ.Ο.Ε.Β. Μακρυχωρίου

Προϋπήρχαν αυτών οι:

-  Τ.Ο.Ε.Β. Πηνειού
-  Τ.Ο.Ε.Β. Μάτι Τυρνάβου
-  Τ.Ο.Ε.Β. Δαμασίου – Τυρνάβου

Αυτοί διαχειρίζονται τα επιφανειακά νερά του Πηνειού ποταμού, τα νερά των πηγών Μάτι Τυρνάβου και της υπόγειας ανάβλυσης του Τιταρήσιου στη Μπάρα Δαμασούλι.

Στη συνέχεια και μέχρι σήμερα:

- η αλματώδης εκμηχάνιση της γεωργίας
- οι οικονομικές ενισχύσεις υπό μορφή επιδοτήσεων στις υδροβόρες καλλιέργειες (βαμβάκι, καλαμπόκι, τεύτλα κλπ).

- οι επιχορηγήσεις στα πλαίσια των σχεδίων βελτίωσης (ανόρυξης γεωτρήσεων εγκατάσταση αρδευτικού δικτύου κλπ)

λειτουργήσαν ενισχυτικά στη ζήτηση αρδευτικού νερού. Η ζήτηση αυτή στράφηκε στο υπόγειο υδάτινο δυναμικό, διότι η γεώτρηση αποτελεί λύση άμεσης απόδοσης αρδευτικού νερού και ήταν μονόδρομος, αφού δεν υπήρξε άλλη εναλλακτική λύση από επιφανειακά νερά στις περισσότερες υδατικές περιοχές του Ν.Λάρισας.

Συνέπεια των παραπάνω και με σύμμαχο:

- τις μειωμένες βροχοπτώσεις της 20ετίας 1982-2001 έως και 30% από τις κανονικές και
- τα έντονα ξηρά έτη 1977, 1989, 1990, 1992, 2000, 2001 και
- την μη ορθολογική διαχείριση του νερού

προέκυψε η ανάγκη να κατασκευασθεί ένας μεγάλος αριθμός αρδευτικών γεωτρήσεων, κυρίως ιδιωτικών, νόμιμων και παράνομων σε όλη την επικράτεια του νομού.

Η αλόγιστη εκμετάλλευση του νερού και κατάχρηση των υπογείων αποθεμάτων νερού επηρέασαν αρνητικά την υδροοικονομία της ευρύτερης περιοχής.

1.2 Γεωμορφολογία περιοχής μελέτης

1.2.1 Γενικά

Η γεωμορφολογική εικόνα μίας περιοχής είναι αποτέλεσμα της λιθολογικής σύστασης και της δράσης δύο ανταγωνιστικών παραγόντων, των τεκτονικών δυνάμεων από την μία και της αποσάθρωσης – διάβρωσης και απόθεσης υλικών από την άλλη. Αποτέλεσμα της δράσης του πρώτου παράγοντα είναι η δημιουργία του αναγλύφου, ενώ με τη δράση του δεύτερου το αποτέλεσμα είναι μία τάση ισοπέδωσης των μορφών που σχηματίστηκαν από την πρώτη περίπτωση.

Η σημερινή εικόνα του αναγλύφου μίας περιοχής είναι αποτέλεσμα της υπεροχής του ενός από τους δύο παράγοντες σε συνδυασμό πάντα με τη λιθολογική σύσταση.

1.2.2 Μορφολογικές Παράμετροι

Η περιοχή μελέτης (Χάρτης 1.1.1) καταλαμβάνει το ΒΔ τμήμα της Ανατολικής Θεσσαλικής λεκάνης με όριο τον Πηνειό και τον Τιταρήσιο ποταμό και έχει έκταση περίπου 125 km². Είναι μία λεκάνη στην οποία έχουν αποθεθεί στα ανώτερα της τμήματα τα χονδρόκοκκα και μη υλικά των διερχόμενων ποταμών.

Η περιοχή μελέτης στα βόρεια οριοθετείται από το κρυσταλλικό σχιστολιθικό υπόβαθρο, ενώ δυτικά της περιοχής βρίσκονται οι ενδιάμεσοι Θεσσαλικοί λόφοι (καρστικό σύστημα του Τυρνάβου), που αποτελούνται από κρυσταλλικό ασβεστόλιθο και το υψόμετρο τους κυμαίνεται μεταξύ 600-800m.

Στα νότια και ανατολικά ο Πηνειός ποταμός σχηματίζει ένα υδραυλικό όριο στην λεκάνη.

Η περιοχή χαρακτηρίζεται πεδινή καθώς το ελάχιστο υψόμετρο h_{min} ανατολικά της περιοχής μελέτης είναι 67m, ενώ το μέγιστο υψόμετρο h_{max} δυτικά δεν ξεπερνά τα 170m. Πρόκειται ουσιαστικά για μια περιοχή με ομαλό ανάγλυφο που παρουσιάζει κλίσεις μικρότερες του 1%, ενώ στο δυτικό - βορειοδυτικό τμήμα της περιοχής το ανάγλυφο γίνεται λοφώδες και οι κλίσεις στα πρηνή φτάνουν το 5%.

Αναφορικά με το υδρογραφικό δίκτυο της ευρύτερης περιοχής μελέτης εμφανίζεται πολύ καλά αναπτυγμένο στο ημιλοφώδες δυτικό - βορειοδυτικό τμήμα της περιοχής. Είναι δενδριτικής μορφής και η πολύ καλή ανάπτυξη του οφείλεται στην μικρή περατότητα των νεογενών ιζημάτων και στην μικρή σχετικά κλίση των πρηνών. Οι περισσότεροι κλάδοι του υδρογραφικού δικτύου χαρακτηρίζονται από μη συνεχή ροή νερού.

2. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Η περιοχή μελέτης ανήκει γεωτεκτονικά στην Πελαγονική ζώνη. Καθ' όλη τη διάρκεια του Μεσοζωικού, η Πελαγονική ζώνη χαρακτηρίζεται από ανθρακική, καθαρά νηριτική ιζηματογένεση, ενώ σε μερικές περιοχές εμφανίζονται πελαγικά ιζήματα μαζί με οφειολιθικές μάζες.

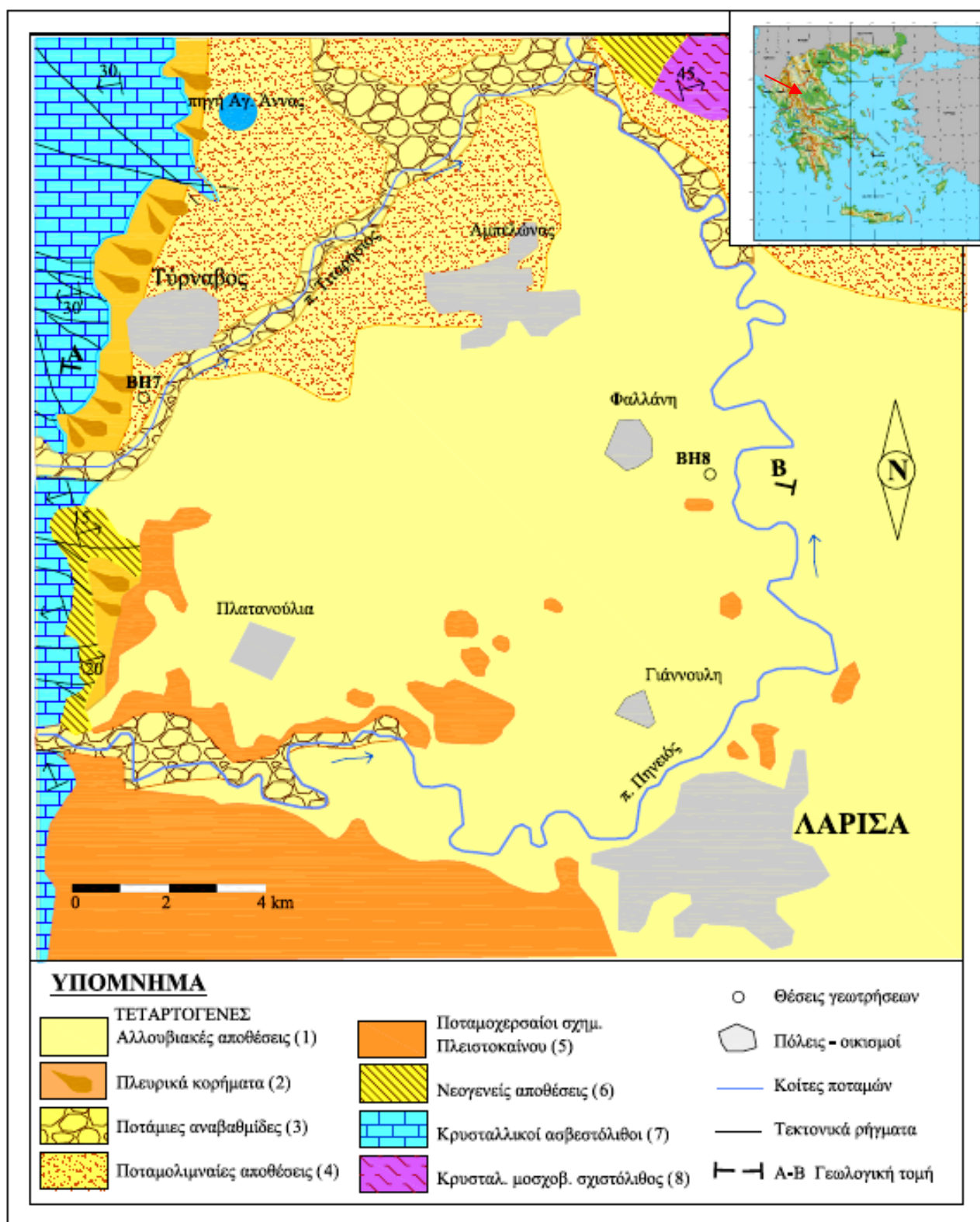
Η ζώνη έχει διεύθυνση ΒΒΔ – ΝΝΑ και εκτείνεται από τη πρώην Γιουγκοσλαβία προς τους ορεινούς όγκους της βόρειας και κεντρικής Ελλάδας, του Βόρρα, του Βερμίου, των Πιερίων, τις παρυφές του Ολύμπου, της Όσσας, του Πηλίου και της βόρειας Εύβοιας, έπειτα κάμπτεται προς τις Σποράδες, συμπεριλαμβάνοντας τα νησιά Σκιάθος, Σκόπελος, Σκύρος και πιθανότατα η ζώνη προεκτείνεται μέχρι την Μικρά Ασία. (Μουντράκης, 1985).

Στο Σχήμα 2.1 δίνεται αναλυτικός Γεωλογικός Χάρτης της περιοχής μελέτης τον οποίο ψηφιοποιήσαμε και επεξεργαστήκαμε στο πρόγραμμα Autocad Prof. Στην περιοχή μελέτης έγινε χαρτογράφηση της περιοχής καθώς επίσης χρησιμοποιήσαμε στοιχεία από τον Γεωλογικό Χάρτη του Ι.Γ.Μ.Ε. της περιοχής, Φύλλο Λάρισας, κλ.1:50.000.

2.1 Μεταλικοί σχηματισμοί

2.1.1 Τεταρτογενείς αποθέσεις

Το μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής μελέτης καλύπτεται από τις Τεταρτογενείς αποθέσεις. Πρόκειται για ασύνδετα υλικά από άμμους, αργίλους, κροκαλολατύπες και ποταμολιμναία υλικά, που αποτέθηκαν στην λεκάνη της Λάρισας και που εναλλάσσονται μεταξύ τους. Το πάχος των αλλουβιακών αποθέσεων είναι αρκετά μεγάλο ενώ στα δυτικά περιθώρια της λεκάνης, κοντά στην καρστική περιοχή, εμφανίζονται αδρομερέστεροι σχηματισμοί – πλευρικά κορήματα και αναβαθμίδες στις χαραδρώσεις.



Σχήμα 2.1: Γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης ανασχεδιασμένος από το Γεωλογικό χάρτη Ι.Γ.Μ.Ε. Φύλλο Λάρισα.

Αναλυτικότερα οι σχηματισμοί που απαντώνται στην περιοχή μελέτης είναι οι ακόλουθοι με σειρά από τους νεότερους στους παλαιότερους (Panagoroulos, 1995, Γεωλογικός χάρτης Ι.Γ.Μ.Ε. Φύλλο Λάρισα):

Αλλουβιακές αποθέσεις (1), ηλικίας Ολόκαινου, οι οποίες εμφανίζονται στο μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής μελέτης. Αποτελούνται από ανοιχτόχρωμα ασύνδετα υλικά από αργίλους, άμμους, κροκαλολατύπες και ποταμοχειμαρολιμναία υλικά που αποτέθηκαν στην λεκάνη της Λάρισας ενώ προς το κέντρο βαθμιαία γίνονται λεπτομερέστερα.

Πλευρικά κορήματα (2), αποτελούνται από ασύνδετες λατύπες ποικίλου μεγέθους και λιθολογικής σύστασης με λεπτομερές υλικό ανάμεσά τους. Αναπτύσσονται στα κράσπεδα της λεκάνης και καταλήγουν μέσα στις αποθέσεις όπου και επικρατούν τα λεπτομερή αλλουβιακά ασύνδετα υλικά. Εμφανίζονται στο ανατολικό πρηνές της καρστικής περιοχής νοτίως του Τυρνάβου.

Ποτάμιες αναβαθμίδες (3), με κροκαλολατύπες διαφορετικής σύστασης και ποικίλου μεγέθους συγκολλημένες μεταξύ τους με ανθρακικό κυρίως υλικό και ύψος περίπου 20m. Εμφανίζονται κυρίως στην νότια όχθη του Πηνειού ποταμού βόρεια του συνοικισμού Προσφύγων.

Ποταμολιμναίες αποθέσεις (4), ηλικίας Πλειστοκαίνου, οι οποίες εμφανίζονται βόρεια της περιοχής μελέτης στους οικισμούς Τυρνάβου και Αμπελώνα και αποτελούνται κυρίως από αργίλους και άμμους με παρεμβολές στρωμάτων υλικών ποικίλου πάχους.

Ποταμοχερσαίοι σχηματισμοί (5), οι οποίοι αποτελούνται από αργιλοαμμώδη υλικά και πηλούς με διάσπαρτες κροκαλολατύπες διαφόρου προέλευσης με παρεμβολές χαλαρών/ημιχαλαρών κροκαλολατυποπαγών. Ο σχηματισμός είναι πλούσιος σε λιμναία μεγαλοαπολιθώματα οστρακώδη κ.α. Το ορατό πάχος του σχηματισμού ανέρχεται σε 300m περίπου. Στην περιοχή μελέτης ο σχηματισμός εμφανίζεται κατά τόπους αλλά κυρίως αναπτύσσεται νότια της κοίτης του Πηνειού.

2.1.2 Νεογενείς αποθέσεις (6)

Οι νεογενείς αποθέσεις εμφανίζονται επιφανειακά στο δυτικό τμήμα της ευρύτερης περιοχής μελέτης (νότια του Τυρνάβου), ενώ το υπόλοιπο τμήμα της περιοχής καλύπτεται από τις νεότερες αποθέσεις του Τεταρτογενούς. Τα παλαιότερα από τα Νεογενή ιζήματα είναι μάργες και μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι που αποτέθηκαν σε λιμναίο έως υφάλμυρο περιβάλλον κατά το Μειόκαινο και σταδιακά μεταπίπτουν προς τα πάνω σε παχυστρωματώδεις μικρολατυποπαγείς τεφρούς ασβεστόλιθους.

Στα νεότερα και ανώτερα στρώματα των νεογενών αποθέσεων εμφανίζονται χερσοποτάμιοι σχηματισμοί που αποτέθηκαν κατά την περίοδο υποχώρησης των νερών της αρχικής λίμνης και στις αρχές του Τεταρτογενούς. Το ορατό πάχος των νεογενών αποθέσεων είναι περίπου 100m (Panagopoulos, 1995, Γεωλογικός χάρτης Ι.Γ.Μ.Ε. Φύλλο Λάρισα).

2.2 Σχηματισμοί του υποβάθρου

Η ευρύτερη περιοχή μελέτης αποτελείται από ποικίλους σχηματισμούς της Πελαγονικής ζώνης. Οι σχηματισμοί του υποβάθρου που εμφανίζονται στην περιοχή είναι οι εξής, (Panagopoulos, 1995, Γεωλογικός Χάρτης Ι.Γ.Μ.Ε. Φύλλο Λάρισα):

Μάρμαρα – Κρυσταλλικός ασβεστόλιθος (7)

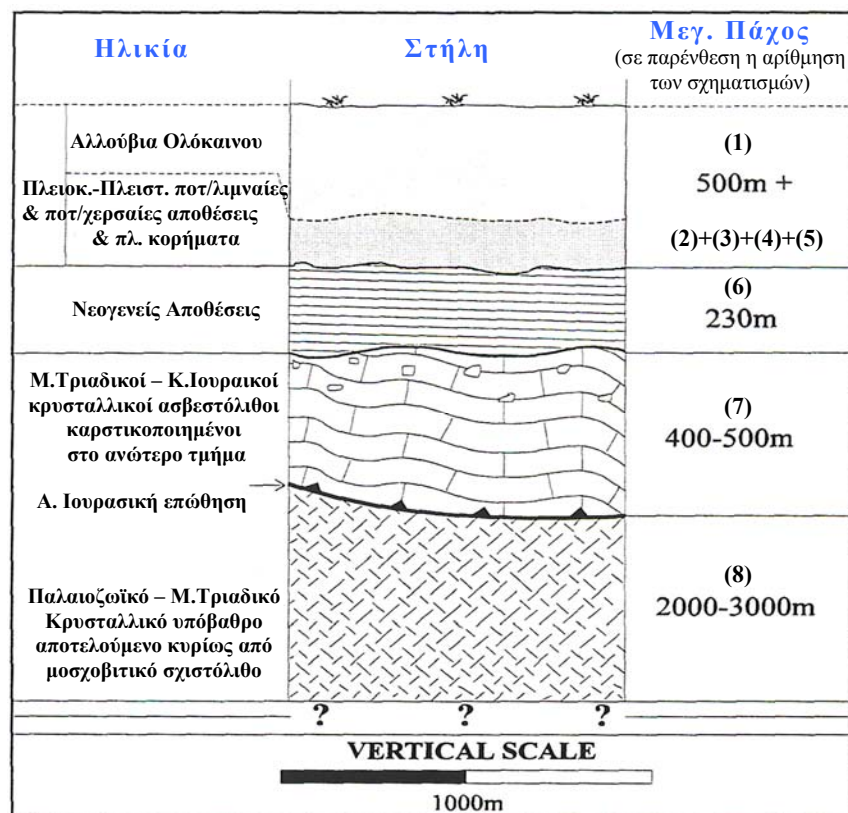
Είναι χονδρόκοκκος – μεσόκοκκος σχηματισμός χρώματος λευκού – υπόλευκου και τοπικά ροδόλευκου. Ο σχηματισμός είναι Μ.Τριαδικής – Ιουρασικής ηλικίας και παρουσιάζει νηριτικό χαρακτήρα. Το ανθρακικό κάλυμμα συνίσταται από ανακρυσταλλωμένο ασβεστόλιθο, μάρμαρα, σιπολίνες και δολομίτες καθώς επίσης έχει υποστεί μεταμόρφωση πρσινοσχιστολιθικής φάσης. Το μέγιστο πάχος του σχηματισμού υπολογίζεται 400-500m.

Λιθολογικές έρευνες δειγματοληπτικών γεωτρήσεων στον κρυσταλλικό ασβεστόλιθο έδειξαν ότι ο σχηματισμός είναι έντονα καρστικοποιημένος μέχρι το βάθος των 40m, ενώ στα 70m η καρστικοποίηση σταματάει. Θεωρείται ότι αιτία της βαθμιαίας καρστικοποίησης είναι η έντονη τεκτονική δραστηριότητα της περιοχής. Ο κρυσταλλικός ασβεστόλιθος εκτείνεται δυτικά της περιοχής ενδιαφέροντος

και αποτελεί καρστικό σύστημα ζωτικής σημασίας για την υδροοικονομία της περιοχής καθώς είναι έντονα υδροπερατός σχηματισμός με αυξημένη υδροπερατότητα της τάξης 10^{-4} – 10^{-5} m/sec, (Panagoroulos, 1995).

Κρυσταλλικός μοσχοβιτικός σχιστόλιθος (8)

Εντάσσεται στο σύστημα των κρυσταλλικών σχιστόλιθων. Ο σχηματισμός αποτελείται από γνευσιακό και μοσχοβιτικό σχιστόλιθο καθώς και ενστρώσεις χαλαζιτών και μαρμάρων. Καθ' όλη την εμφάνιση του ο σχηματισμός παρουσιάζει ισχυρή κατακόρυφη και οριζόντια ποικιλοτυπία (Caruto, 1990). Παρουσιάζει γρανοβλαστικό – λεπιδοβλαστικό ιστό και έντονα μικροπτυχωμένη υφή με δύο επίπεδα πτυχώσεων. Κύρια ορυκτολογική παραγένεση είναι: Χαλαζίας – αλβίτης – μοσχοβίτης και λίγος βιοτίτης, ορυκτά που υποδηλώνουν τη διενέργεια της πρασινοσχιστολιθικής φάσης. Το πάχος του μοσχοβιτικού σχιστολίθου κυμαίνεται από λίγες εκατοντάδες μέτρα έως 2.000-3.000m. Στην περιοχή μελέτης, ο εν λόγω σχηματισμός δεν εμφανίζεται επιφανειακά αλλά η ύπαρξη του γνωστοποιείται από δειγματοληπτικές γεωτρήσεις της περιοχής.



Σχήμα 2.2: Σχηματική στρωματογραφική στήλη των γεωλογικών σχηματισμών της περιοχής μελέτης (ανασχεδιασμένο από Panagoroulo, 1995)

2.3. Τεκτο-ορογενετική Εξέλιξη

Τα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα του υποβάθρου κρυσταλλώθηκαν κατά το Παλαιοζωικό αιώνα και έχουν πολύ μεγάλη εξάπλωση στο χώρο της Πελαγονικής ζώνης καθώς αποτελούν το κύριο δομικό στοιχείο της (Panagoroulos, 1995).

Στην ορογενετική περίοδο Α.Ιουρασικού – Κ.Κρητιδικού έγινε η καταστροφή των δύο ωκεάνιων περιοχών Αξιού και Υποπελαγονικής – Πίνδου εκατέρωθεν της Πελαγονικής ηπειρωτικής μάζας, αποτέλεσμα της οποίας ήταν ο ισχυρός τεκτονισμός των πετρωμάτων και η επώθηση των οφειολιθικών μαζών με τα συνοδεύοντα αυτούς ιζήματα βαθιάς θάλασσας πάνω στα ηπειρωτικά περιθώρια της Πελαγονικής. Κατά τη διάρκεια της ορογενετικής περιόδου έγινε η δεύτερη αλπική μεταμόρφωση των σχηματισμών της Πελαγονικής. Επίσης με την ορογενετική αυτή δράση αναδύθηκε η Πελαγονική όπως και όλες οι εσωτερικές ζώνες και χέρσευσε μέχρι τη Μ.- Α. Κρητιδική επίκλυση.

Η οριστική ανάδυση της Πελαγονικής Ζώνης έγινε μετά το τέλος του Κρητιδικού και πριν το Μ.Ηώκαινο καθώς δημιουργήθηκαν μεγάλες πτυχές αξονικής διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ (CT1) και ΒΑ-ΝΔ (CT2). Στην περίοδο Ολιγοκαίνου – Μειοκαίνου έγινε η τελική παραμόρφωση (CT3) των σχηματισμών προκαλώντας πτυχές κάμψης πολύ ανοικτές αξονικής διεύθυνσης Β-Ν, (Μουντράκης, 1985).

Τέλος, ένα εφελκυστικό πεδίο κατά το Μ.Πλειστόκαινο δραστηριοποίησε στην περιοχή κανονικά μεταπτωτικά ρήγματα που είχαν ως αποτέλεσμα την ταπείνωση του Θεσσαλικού κάμπου και τη δημιουργία δύο λεκανών που διαχωρίζονται από τους Μέσους Θεσσαλικούς λόφους (Doutsos, 1980). Βασιζόμενος στη γεωμορφολογία της περιοχής ο Demitrac (1986) συμπέρανε ότι η ταπείνωση της ανατολικής Θεσσαλικής λεκάνης είναι μεγαλύτερη στο ΝΑ τμήμα, όπου το πάχος του αλλουβιακού καλύμματος είναι μεγαλύτερο. Ο μέσος όρος ποσοστού ταπείνωσης της τεκτονικά ενεργής λεκάνης του Τυρνάβου για τα τελευταία 210.000 χρόνια είναι 1,5m/1.000 χρόνια (Demitrac, 1986).

Η διαφοροποίηση ταπείνωσης της ανατολικής λεκάνης συνέβαλε στην προς ανατολάς ροή του Πηνειού ποταμού και στην απότομη αλλαγή πορείας που παρατηρείται προς τα βόρεια.

Οι κρυσταλλοσχιστώδεις ασβεστόλιθοι εμφανίζονται έντονα ρηγματωμένοι και πτυχωμένοι από τα τεκτονικά γεγονότα που επέδρασαν στην περιοχή κατά το γεωλογικό παρελθόν. Η γεωλογική χαρτογράφηση αποδεικνύει την ύπαρξη ενός ευρέως συστήματος ρηγμάτων με διεύθυνση ΒΒΔ-ΝΝΑ και ΑΝΑ-ΔΒΔ. Τα ρήγματα του Τυρνάβου και της Λάρισας θεωρούνται δύο απ' τα πιο σημαντικά της περιοχής με διεύθυνση ΑΝΑ-ΔΒΔ, τα οποία θα λέγαμε τέμνουν κατά μήκος τους ποταμούς Τιταρίσιο και Πηνειό καθώς ανατολικότερα δεν γίνονται αντιληπτά μέσα στα πλημμυρικά ιζήματα των ποταμών στην πεδιάδα της Λάρισας.

2.4. Παρατηρήσεις για τη στρωματογραφία της περιοχής

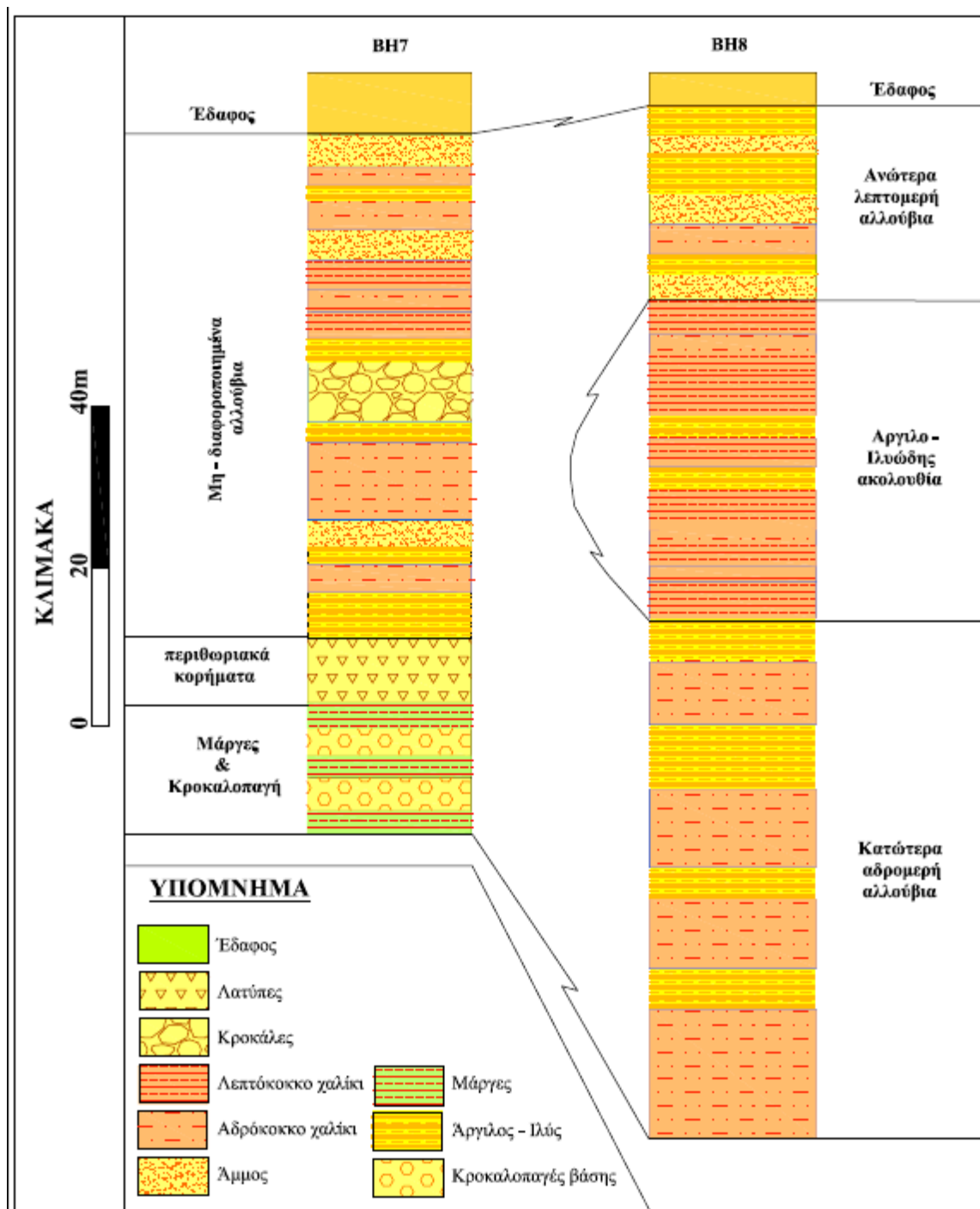
Οι αλλουβιακές αποθέσεις της λεκάνης έχουν ποταμολιμναία και χερσαία προέλευση. Αποδεικνύεται ότι η ιζηματογένεση των αποθέσεων στην λεκάνη ενδιαφέροντος εξαρτάται από (3) τρεις κύριους συντελεστές:

- α) Κλιματολογικές συνθήκες
- β) Γεωτεκτονική εξέλιξη
- γ) Ανθρωπογενείς παρεμβάσεις στην βλάστηση από την Νεολιθική εποχή

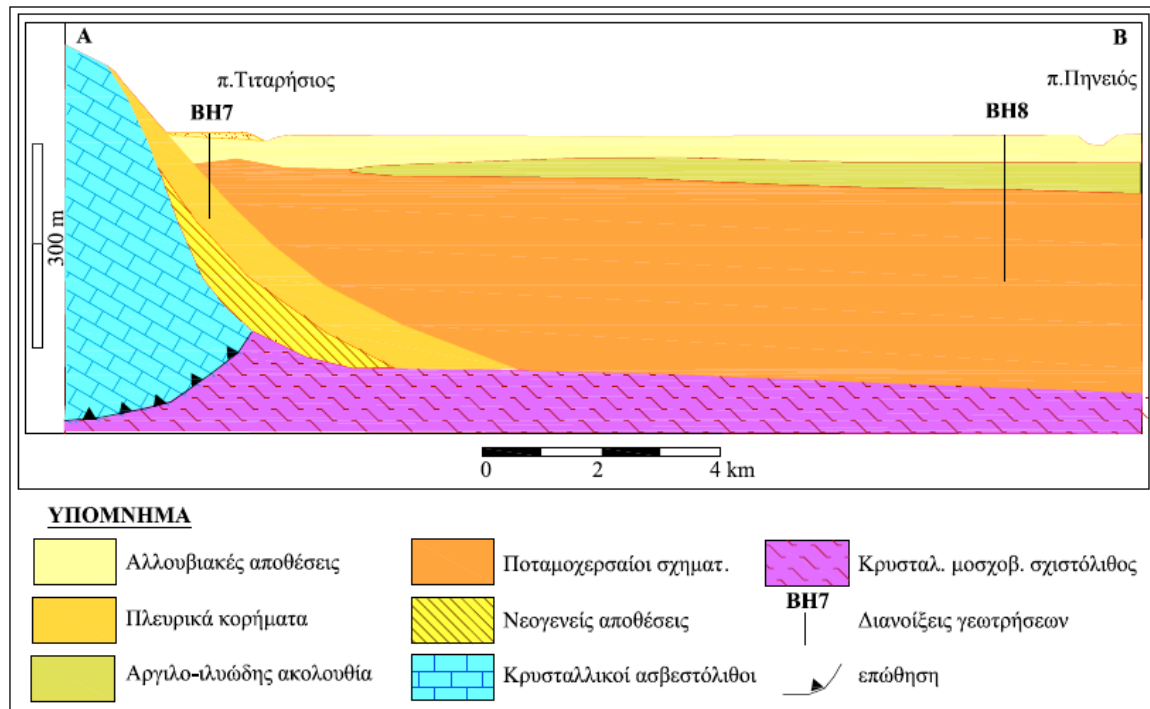
Γεωηλεκτρική έρευνα που έγινε στην περιοχή της λεκάνης απέδωσε χαμηλή ηλεκτρική ειδική αντίσταση νότια του ποταμού Πηνειού καθώς και μέσα στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης υποδηλώνοντας την ύπαρξη λεπτής αργίλου και ιλύος, (Panagopoulos, 1995 - Compagnie generale de geophysique, 1972,).

Δύο τυπικές στρωματογραφικές τομές, οι ΒΗ7 και ΒΗ8 απεικονίζονται στο Σχήμα 2.4. Η ΒΗ7 βρίσκεται στο δυτικό τμήμα (περιθώριο) της λεκάνης και η ΒΗ8 στο κεντρικό τμήμα της περιοχής μελέτης όπως φαίνεται και στο Χάρτη 2.1. Παρότι υπάρχουν ομοιότητες μεταξύ των δύο στηλών στρωματογραφικά και λιθολογικά παρατηρείται ότι η ΒΗ7, η οποία εκπροσωπεί το δυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης χαρακτηρίζεται από αδρομερείς σχηματισμούς σε σύγκριση με τη ΒΗ8, η οποία καλύπτει το κεντρικό τμήμα μελέτης και αποτελείται από λεπτομερέστερους σχηματισμούς.

Από δειγματοληπτικές γεωτρήσεις στην περιοχή μελέτης συνάγουμε σχηματικά τη γεωλογική τομή ΑΒ στο Σχήμα 2.5.



Σχήμα 2.4 Τυπικές Στρωματογραφικές στήλες της περιοχής μελέτης
Οι ακριβείς θέσεις των γεωτρήσεων απεικονίζονται στον Χάρτη 2.1.
(ανασχεδιασμένος από Panagoroulo, 1995 και τη συγγραφέα).



Σχήμα 2.5 : Γεωλογική τομή περιοχής μελέτης κατά μήκος της λεκάνης του Τύρναβου.

Οι ακριβείς θέσεις των γεωτρήσεων απεικονίζονται στον Χάρτη 2.1.,

(ανασχεδιασμός από Panagoroulo, 1995 και τη συγγραφέα).

Στην πρότυπη γεωλογική τομή παρατηρούμε το υπόβαθρο που αποτελείται από κρυσταλλικό μοσχοβιτικό σχιστόλιθο, τις νεογενείς μάργες, τα ριπίδια στα περιθώρια της λεκάνης και δυτικά το κάρστ που επωθείται πάνω στο υπόβαθρο.

Το πάχος των Τεταρτογενών αλλούβιων αποθέσεων ξεπερνάει τα 300m και διαχωρίζονται σε τρεις κατηγορίες:

1. Ανώτερα λεπτομερή αλλούβια: αποτελούνται από λεπτόκοκκη άργιλο με στρώματα λεπτόκοκκης και χονδρόκοκκης άμμου.
2. Άργιλο-ιλυώδης ακολουθία: αποτελείται από λεπτή άργιλο και στρώματα ιλύος. Το πάχος της ακολουθίας είναι μέγιστο στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης όπου φτάνει και τα 50m ενώ στα περιθώρια ελαττώνεται.
3. Κατώτερα αδρομερή αλλούβια: αποτελούνται από ποταμοχερσαίες αποθέσεις και το πάχος του στρώματος κυμαίνεται στα 350-400m. Διαχωρίζεται με τα ανώτερα λεπτομερή αλλούβια από την άργιλο-ιλυώδη ακολουθία, αλλά στα περιθώρια έρχονται σε επαφή μεταξύ τους καθώς η αργιλο-ιλυώδης ακολουθία αποσφηνώνεται.

3. ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΑ – ΥΔΡΟΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

3.1 Γενικά

Τα κλιματικά στοιχεία μιας περιοχής αποτελούν ουσιαστικούς παράγοντες διαμόρφωσης του υδρολογικού ισοζυγίου γι' αυτό απαιτείται λεπτομερής ανάλυση ορισμένων κλιματικών παραγόντων. Στα πλαίσια αυτής της διατριβής συγκεντρώθηκαν στοιχεία που αφορούν τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, τη θερμοκρασία και τη σχετική υγρασία.

Στη περιοχή μελέτης το κλίμα χαρακτηρίζεται από ηπειρωτικό έως ημίξηρο με ψυχρό - υγρό χειμώνα και θερμό - ξηρό καλοκαίρι. Το κλίμα προς το νότο μεταβατικά χαρακτηρίζεται ως Μεσογειακό λόγω της επιρροής των υποτροπικών αντικυκλώνων, οι οποίοι διαμορφώνουν πιο ήπια κλίματα.

Ο ορεινός όγκος της Πίνδου με ΒΔ-ΝΑ διάταξη δημιουργεί ένα φυσικό εμπόδιο στα κλιματικά φαινόμενα που προέρχονται από δυσμάς, με αποτέλεσμα στη δυτική ηπειρωτική χώρα να έχουμε υψηλές βροχοπτώσεις της τάξης των 1.200mm/y ενώ ανατολικά, όπως και στην περιοχή μελέτης, έχουμε βροχές σε ποσοστό 35% της ανωτέρω τιμής.

Σύμφωνα με την κλιματική κατάταξη του Korpen (1936) το κλίμα της περιοχής μελέτης χαρακτηρίζεται από τον τύπο Csa, όπου:

Το C υποδηλώνει κλίμα υγρό με ήπιους χειμώνες, με κριτήριο ότι για τον θερμότερο μήνα η θερμοκρασία είναι σε $^{\circ}\text{C}$, $T_{\theta} > 10^{\circ}\text{C}$ και για τον ψυχρότερο μήνα η θερμοκρασία κυμαίνεται από $-3^{\circ}\text{C} < T_{\psi} < 18^{\circ}\text{C}$.

Το s υποδηλώνει ξηρό καλοκαίρι με κριτήριο ότι τα κατακρημνίσματα του ξηρότερου μήνα της καλοκαιρινής περιόδου σε mm είναι $R_{\xi\theta} < 40\text{mm}$ και ότι ισχύει $R_{\xi\theta} < R_{\psi\psi}$, όπου $R_{\psi\psi}$ είναι τα κατακρημνίσματα του υγρότερου μήνα της χειμερινής περιόδου σε mm.

Το a υποδηλώνει μακρόχρονο και θερμό Καλοκαίρι, με κριτήριο ότι η θερμοκρασία του θερμότερου μήνα σε $^{\circ}\text{C}$ είναι $T_{\mu} > 10^{\circ}\text{C}$ για τουλάχιστον τέσσερις μήνες το χρόνο.

Τα μετεωρολογικά στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διατριβή προέρχονται εξολοκλήρου από τον Μ.Σ. Λάρισας. Ο αμέσως πλησιέστερος Μ.Σ. της ευρύτερης περιοχής είναι ο Μ.Σ. του Τυρνάβου, ο οποίος δε λήφθηκε υπόψη καθώς τα μηνιαία στοιχεία του δεν καλύπτουν το χρονικό διάστημα που απαιτεί η παρούσα εργασία.

Αναλυτικότερα, τα βροχομετρικά στοιχεία του Μ.Σ. Τύρναβου είναι διαθέσιμα από το 1974 έως το 1995, ενώ τα στοιχεία του Μ.Σ. Λάρισας από το 1972 έως το 2005. Η έλλειψη στοιχείων για τη δεκαετία 1995-2005 δεν επιτρέπει ακριβή συσχέτιση των δύο σταθμών. Επίσης, το υψόμετρο του Μ.Σ. Λάρισας είναι 72m ενώ του Μ.Σ. Τύρναβου 130m και τα βροχομετρικά δεδομένα του τελευταίου επηρεάζονται από τη μορφολογία της περιοχής καθώς δυτικά του σταθμού υπάρχει λοφοσειρά που φτάνει τα 800m και επηρεάζει τις κλιματολογικές συνθήκες. Συνεπώς ενδεχόμενη συσχέτιση των δύο σταθμών δε θα ήταν απολύτως αξιόπιστη καθώς ο συντελεστής συσχέτισης των δύο σταθμών είναι μόλις 0,63 ενώ το επιτρεπτό όριο για αξιόπιστα αποτελέσματα απαιτεί τιμή συντελεστή συσχέτισης $>0,8$.

Παρακάτω αναλύονται τα μετεωρολογικά δεδομένα του Σταθμού Λάρισας καθώς είναι τα πιο αξιόπιστα και αντιπροσωπευτικά για την περιοχή μελέτης με την πιο μακρά χρονική διάρκεια λειτουργίας.

3.2 Θερμοκρασία

Η γνώση της κατανομής της θερμοκρασίας συμβάλλει στην καλύτερη μελέτη της υδρογεωλογίας μιας περιοχής, δεδομένου ότι επιδρά στην εξατμισοδιαπνοή, (Καλλέργης, 1986).

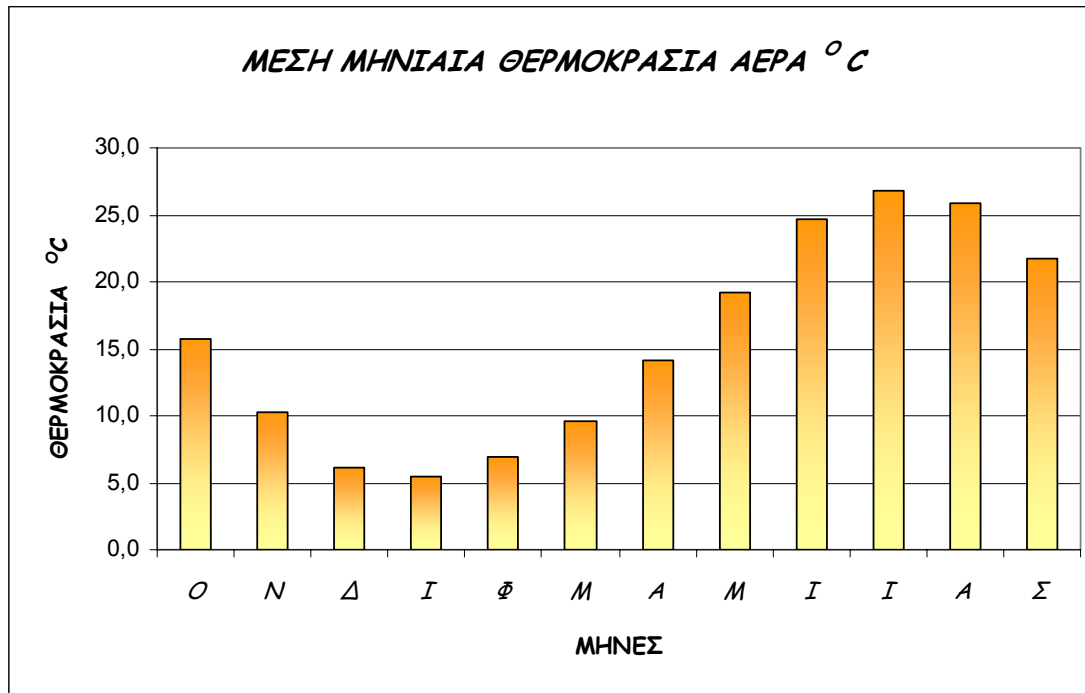
Στον παρακάτω Πίνακα 3.2 δίνονται οι μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες αέρα του Μ.Σ της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (Ε.Μ.Υ.) στη Λάρισα για την περίοδο 1970 – 2005.

- Η μέση ετήσια θερμοκρασία υπολογίστηκε 14,73 °C.
- Ο ψυχρότερος μήνας είναι ο Ιανουάριος και ο θερμότερος είναι ο Ιούλιος.
- Τον Ιούλιο του 1988 η μέση μηνιαία θερμοκρασία ξεπέρασε τους 30 °C ενώ τον Ιανουάριο του 1981 ήταν μόλις 2.1 °C.

Θερμοκρασία αέρα °C													
Μ.Σ. της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (Ε.Μ.Υ.) στη Λάρισα													
°C	Ο	Ν	Δ	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Μ.Ο.
1970	15,4	10,8	5,8	8,1	8,5	10,1	16,0	18,2	24,4	27,2	26,8	22,2	16,1
1971	14,3	10,6	6,2	8,0	6,1	8,5	13,3	20,7	25,2	25,4	26,1	20,3	15,4
1972	13,0	10,4	5,7	6,6	7,0	9,5	15,1	19,8	26,0	26,3	25,3	20,6	15,4
1973	16,4	8,9	5,3	4,5	7,3	7,3	13,9	21,3	24,5	28,0	25,2	22,4	15,4
1974	17,6	10,6	5,4	6,0	8,1	9,5	11,9	18,5	24,3	27,4	26,3	21,9	15,6
1975	16,0	10,5	5,6	4,3	5,4	11,2	14,8	20,5	24,4	26,9	24,7	23,3	15,6
1976	17,0	11,3	6,8	5,4	5,7	8,9	14,3	18,6	23,5	25,7	22,9	20,7	15,1
1977	14,8	12,0	4,9	6,0	10,1	10,2	14,3	21,1	25,5	28,5	26,6	21,0	16,3
1978	4,8	7,6	8,8	4,7	8,8	10,8	13,5	19,4	26,0	27,4	25,1	19,9	14,7
1979	14,9	11,3	7,0	4,9	7,8	11,1	12,5	19,1	25,7	26,3	25,4	21,2	15,6
1980	17,0	12,2	6,2	3,9	5,9	9,3	12,5	17,2	23,9	27,6	25,6	21,4	15,2
1981	18,7	7,8	7,7	2,1	5,9	11,2	13,5	17,7	26,5	26,4	25,1	22,1	15,4
1982	16,5	8,8	7,4	11,1	10,5	9,9	11,8	17,7	25,2	25,9	25,6	22,3	16,1
1983	15,4	9,6	6,3	4,8	4,3	9,0	15,7	21,1	22,9	26,9	24,7	21,2	15,2
1984	18,6	11,1	6,0	6,2	7,1	8,5	11,5	19,3	24,1	26,2	24,0	22,4	15,4
1985	14,4	11,8	8,0	6,0	3,9	9,1	15,8	22,0	25,6	26,9	26,9	21,9	16,0
1986	15,7	9,1	3,4	6,7	7,1	9,3	15,1	19,5	25,5	26,5	27,0	22,2	15,6
1987	14,9	10,3	6,6	6,3	7,7	4,6	13,0	17,8	25,1	28,3	25,5	23,8	15,3
1988	15,5	6,7	2,9	7,3	6,6	8,9	12,8	20,2	26,2	30,3	27,3	22,9	15,6
1989	14,6	10,2	5,1	3,3	7,3	11,3	16,0	18,7	23,7	26,3	26,2	22,2	15,4
1990	16,8	12,3	6,9	3,7	8,1	11,7	15,8	20,0	25,9	27,8	25,3	21,6	16,3
1991	17,1	11,1	2,5	3,6	5,6	10,3	12,7	16,7	25,4	25,7	24,9	21,4	14,8
1992	19,0	11,2	5,3	4,1	5,5	9,8	14,5	18,0	24,5	25,3	27,5	21,4	15,5
1993	19,2	9,2	8,5	4,0	3,6	9,3	14,5	19,7	23,7	26,0	26,9	22,1	15,6
1994	14,8	8,9	7,8	6,2	6,5	10,5	12,6	20,5	14,5	26,8	26,5	22,8	14,9
1995	15,4	10,9	7,6	4,8	5,2	8,9	14,2	19,8	24,5	25,8	26,8	21,3	15,4
1996	14,8	11,4	5,5	5,9	6,2	9,3	13,8	18,8	23,4	26,4	25,5	21,1	15,2
1997	17,5	10,6	8,4	6,5	8,1	11,2	14,2	17,6	25,6	27,3	26,2	20,9	16,2
1998	16,1	10,2	5,4	4,7	7,5	10,8	12,9	19,0	25,1	26,3	26,5	22,3	15,6
1999	14,6	9,5	6,7	7,2	6,4	8,6	14,0	19,6	24,8	27,7	25,8	22,0	15,6
2000	16,8	10,4	6,9	6,3	6,2	9,7	14,8	20,2	25,2	25,6	26,0	21,8	15,8
2001	15,4	9,1	5,1	5,4	8,9	9,3	15,7	19,1	24,9	27,9	26,1	22,7	15,8
2002	15,2	11,2	4,6	5,2	7,5	11,2	16,9	18,5	25,8	26,7	25,2	21,2	15,8
2003	16,9	11,0	6,5	3,8	6,5	9,7	14,4	17,8	26,0	26,2	26,5	20,6	15,5
2004	15,8	9,8	7,0	4,6	8,2	8,5	14,7	18,6	25,4	27,1	27,3	20,8	15,7
2005	15,7	10,2	6,0	5,2	6,8	9,6	13,9	19,3	24,9	26,8	25,7	21,7	15,5
Μ.Ο.	15,7	10,2	6,2	5,5	6,9	9,6	14,1	19,2	24,7	26,8	25,9	21,7	15,5
Τ.Α.	2,4	1,3	1,5	1,7	1,5	1,3	1,3	1,3	1,9	1,0	1,0	0,9	1,4

Πίνακας 3.2: Μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες αέρα (°C) για την περίοδο 1970 – 2005
του Μ.Σ της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (Ε.Μ.Υ.) στη Λάρισα.

Παρακάτω στο Σχήμα 3.2 δίνεται η ενδοετήσια μεταβολή της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας αέρα.



Σχήμα 3.2: Διάγραμμα της ενδοετήσιας μεταβολής της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας αέρα από στοιχεία του Μ.Σ. της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (Ε.Μ.Υ.) στη Λάρισα για την περίοδο 1970 – 2005

3.3. Ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα

Στα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα περιλαμβάνονται γενικά οι διάφορες μορφές (βροχή, χαλάζι, χιόνι, ομίχλη ή δρόσος) με τις οποίες το νερό φτάνει στην επιφάνεια του εδάφους. Τα κατακρημνίσματα στην περιοχή προκαλούνται κατά κύριο λόγο από την μηχανική ανύψωση και αδιαβατική ψύξη του αέρα υγρών ανέμων από τους ορεινούς όγκους που παρεμβάλλονται στη διεύθυνση της κίνησης τους.

Το ύψος του χιονιού έχει μετατραπεί σε ισοδύναμο νερό, δηλ. σε ύψος του υδάτινου στρώματος που θα παρήγετο από την τήξη του χιονιού. Στην εργασία αυτή στον όρο βροχόπτωση αντιστοιχούν τα συνολικά ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα (βροχή, χιόνι, χαλάζι).

Η βροχόπτωση κατέχει ουσιαστικό ρόλο στην υδρογεωλογική έρευνα της περιοχής οι μετρήσεις πρέπει να είναι αξιόπιστες και να προκύπτουν από συνεχείς ημερήσιες μετρήσεις.

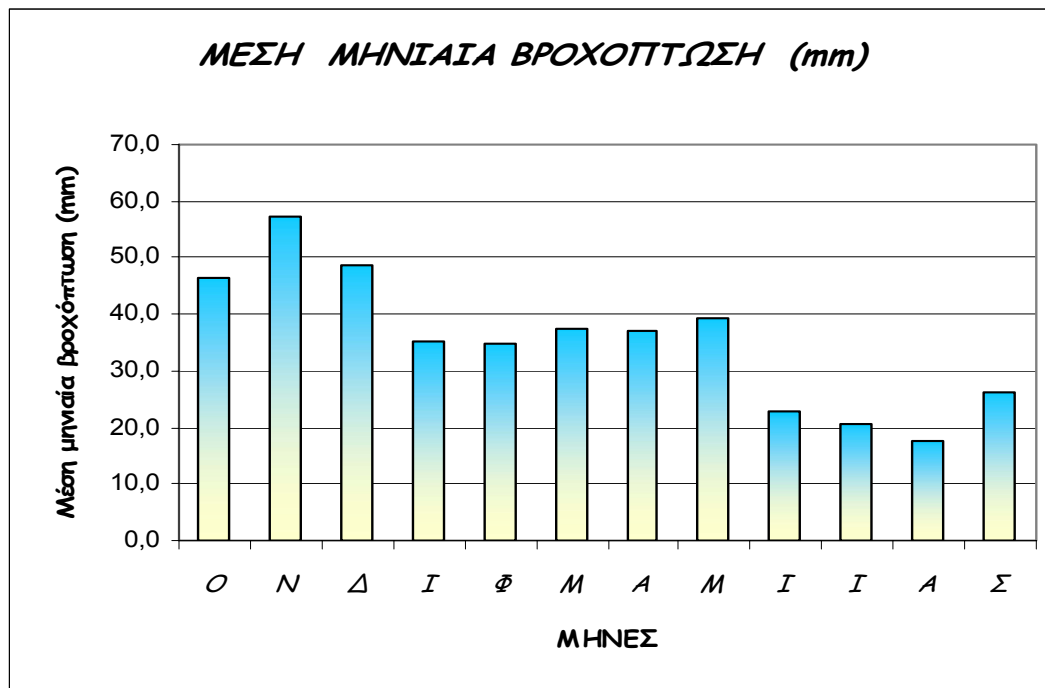
Παρακάτω στον Πίνακα 3.3 δίνονται οι μηνιαίες τιμές ύψους ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων του Μ.Σ Λάρισας για την περίοδο 1970-2005 απ' όπου προέκυψε και το διάγραμμα μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης, Σχήμα 3.3. Οι υψηλότερες τιμές ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων παρατηρούνται κατά μέσο όρο τους χειμερινούς μήνες Νοέμβριο, Δεκέμβριο, Ιανουάριο, Φεβρουάριο και Μάρτιο.

ΜΗΝΙΑΙΑ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ (mm) Μ.Σ ΛΑΡΙΣΑΣ													
	Ο	Ν	Δ	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Συν.
1970	4,2	2,2	33,9	27,0	51,2	21,1	2,4	28,6	27,6	7,0	0,2	5,9	211,3
1971	49,3	10,6	35,5	14,9	60,5	57,0	15,3	42,0	18,8	59,1	13,9	30,9	407,8
1972	76,4	19,9	4,3	19,7	72,0	48,4	75,8	46,8	20,6	131,8	21,0	12,9	549,6
1973	74,4	41,5	53,6	79,0	36,7	54,8	12,1	4,2	2,2	22,8	7,8	53,7	442,8
1974	32,3	63,5	51,3	79,0	37,4	44,8	36,5	23,5	50,1	2,0	0,8	13,0	434,2
1975	27,6	53,6	48,2	5,8	35,5	23,2	22,1	26,7	106,0	0,3	55,1	37,6	441,7
1976	23,2	73,7	11,7	22,1	58,3	30,8	57,9	84,7	7,3	38,3	46,3	15,8	470,1
1977	9,2	26,4	30,6	11,5	47,4	24,8	17,2	23,4	15,6	9,6	3,4	28,4	247,5
1978	60,8	26,1	55,4	66,0	26,7	48,1	49,9	31,8	8,2	0,0	0,6	240,5	614,1
1979	74,5	153,7	43,0	49,6	44,8	16,1	37,5	55,4	3,2	2,3	7,4	19,9	507,4
1980	90,4	56,6	43,1	61,7	11,5	46,9	29,1	44,5	17,2	0,0	9,1	15,4	425,5
1981	75,0	57,7	39,6	75,7	30,1	8,9	26,8	30,6	9,5	8,6	18,9	10,4	391,8
1982	74,8	92,2	30,6	9,0	121,9	35,8	130,3	128,8	26,4	13,6	40,9	7,3	711,6
1983	21,2	40,5	156,4	5,8	29,8	9,9	11,8	22,1	51,5	77,0	11,4	3,2	440,6
1984	26,9	54,8	30,7	25,9	25,7	42,8	74,8	13,1	17,3	2,2	53,8	6,0	374,0
1985	47,8	154,0	14,9	30,2	10,9	55,0	13,6	11,4	9,6	2,8	0,0	2,2	352,4
1986	116,8	62,8	8,2	16,2	65,7	29,7	3,8	23,2	40,2	7,2	10,2	8,0	392,0
1987	60,9	76,2	35,8	28,0	42,5	116,4	74,1	33,4	1,9	2,4	10,0	7,0	488,6
1988	33,9	122,6	96,9	37,8	26,2	25,9	29,4	6,9	9,0	0,9	1,6	9,8	400,9
1989	22,4	43,1	76,1	1,8	5,4	34,9	11,0	29,4	35,0	31,5	29,9	2,3	322,8
1990	30,7	71,1	73,6	1,2	6,9	10,2	16,4	53,9	6,0	50,3	64,1	6,5	390,9
1991	25,7	47,6	2,9	30,8	17,3	51,4	90,5	59,0	24,6	42,5	56,4	40,8	489,5
1992	39,3	62,0	25,4	5,8	9,2	10,4	88,3	54,9	74,2	13,8	0,0	0,0	383,3
1993	9,1	148,7	24,6	15,4	29,8	25,3	12,4	76,0	3,9	1,4	3,2	6,9	356,7
1994	85,9	49,9	61,5	71,4	35,7	21,5	61,9	26,7	1,3	24,2	8,2	0,0	448,2
1995	7,8	22,5	92,7	56,8	5,9	31,7	30,0	32,3	34,4	31,0	10,8	24,0	379,9
1996	70,0	31,6	49,7	73,6	55,8	61,9	23,5	9,0	0,3	14,7	30,5	63,5	484,1
1997	61,5	18,1	67,7	31,4	14,3	20,8	53,4	17,6	30,7	1,4	30,6	1,4	348,9
1998	17,6	155,0	52,9	17,1	57,1	32,6	4,5	131,5	7,1	0,3	0,7	37,1	513,5
1999	57,4	63,5	61,7	45,4	55,8	80,5	29,9	5,4	4,0	0,0	7,1	23,9	434,6
2000	40,8	26,6	17,0	14,1	37,9	24,7	13,0	25,7	16,0	0,8	3,6	9,6	229,8
2001	2,0	14,0	44,0	25,0	17,0	45,0	49,0	78,0	11,0	60,0	26,0	0,0	371,0
2002	88,0	31,0	130,0	13,0	15,0	45,0	58,0	6,0	0,0	35,0	36,0	122,0	579,0
2003	75,0	7,0	50,0	89,0	17,0	21,0	26,0	44,0	34,0	29,0	4,0	21,0	417,0
2004	52,0	25,0	32,0	87,0	7,0	31,0	42,0	56,0	92,0	6,0	0,0	18,0	448,0
2005	9,0	56,0	62,0	24,0	34,0	59,0	5,0	25,0	4,0	15,0	16,0	44,0	353,0
Μ.Ο.	46,5	57,3	48,5	35,2	34,9	37,4	37,1	39,2	22,8	20,7	17,8	26,4	

Πίνακας 3.3 Μηνιαίες τιμές ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων (mm) από στοιχεία της (Ε.Μ.Υ.) στη Λάρισα, για την περίοδο 1970-2005.

Παρατηρείται ότι οι πλέον ξηροί μήνες είναι ο Ιούλιος και ο Αύγουστος, ενώ αντίθετα οι μέγιστες τιμές βροχόπτωσης εμφανίζονται στους μήνες Νοέμβριο και Δεκέμβριο.

Εν μέρει οι αυξημένες τιμές βροχόπτωσης οφείλονται σε έντονες καταρρακτώδεις βροχές που συνέβησαν σε μεμονωμένα έτη, οι οποίες αύξησαν το συνολικό μέσο όρο της μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης. Συγκεκριμένα, το μήνα Απρίλιο κατά τα έτη 1982, 1991 και 1992 είχαμε αντίστοιχα 130, 90 και 88 (mm), ενώ το μήνα Μάιο κατά τα έτη 1982 και 1998 είχαμε βροχοπτώσεις ύψους 128(mm) και 131(mm) αντίστοιχα.



Σχήμα 3.3: Διάγραμμα ενδοετήσιας κατανομής της μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης από στοιχεία της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (Ε.Μ.Υ.) στη Λάρισα για την περίοδο 1970 – 2005

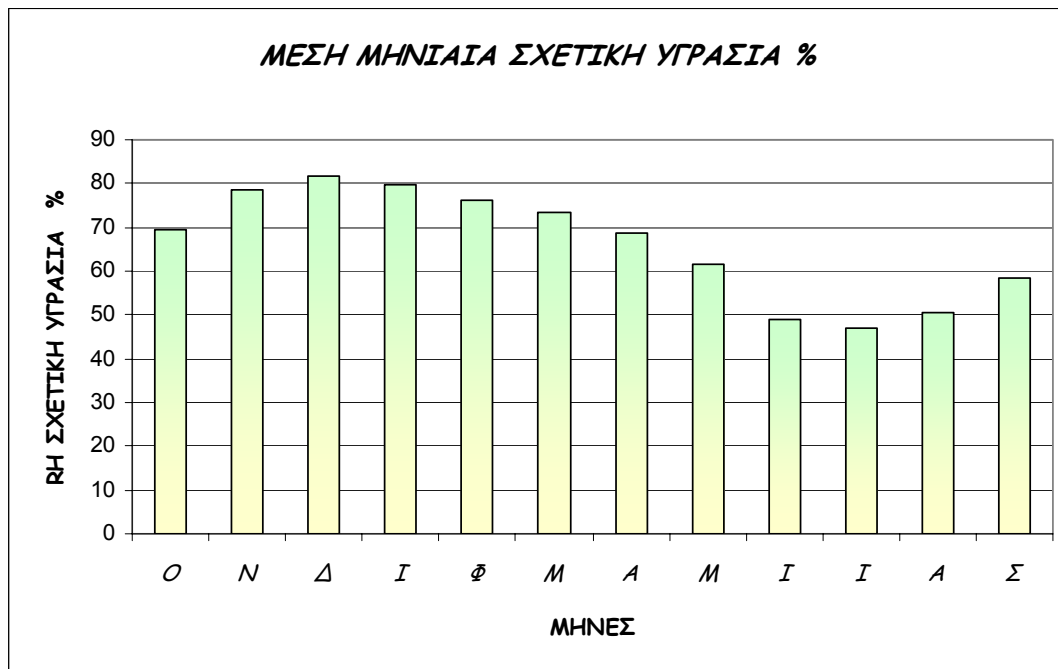
Σύμφωνα με τις τα βροχομετρικά δεδομένα του Μ.Σ. Λάρισας την 20ετία 1982-2001 έχουμε μειωμένες βροχοπτώσεις έως και 30% από τις κανονικές και έντονα ξηρά έτη 1989, 1990, 1993, 2000 και 2001, ενώ το υδρολογικό έτος 2002 είχαμε μια ανάκαμψη με ετήσιο βροχομετρικό ύψος 579(mm).

3.4 Σχετική υγρασία αέρα %

Σχετική υγρασία (RH) είναι η επί τοις εκατό αναλογία της ποσότητας των υδρατμών που υπάρχουν σε κάποιο χώρο, προς την ποσότητα υδρατμών που ο χώρος αυτός θα μπορούσε να συγκρατήσει σε συνθήκες κορεσμού στην ίδια θερμοκρασία.

Ο ατμοσφαιρικός αέρας περιέχει πάντα κάποια ποσότητα υδρατμών οι οποίοι αποτελούν την ατμοσφαιρική υγρασία. Αυτή ασκεί αποφασιστική επίδραση στην πορεία του υδρολογικού κύκλου, γιατί αποτελεί την πηγή τροφοδοσίας όλων των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων. Επί πλέον επιδρά στην εξάτμιση και τη διαπνοή τω φυτών, (Βουδούρης, 1995).

Σύμφωνα με τα στοιχεία μέσης μηνιαίας σχετικής υγρασίας για το διάστημα 1970-2005, η μέση μηνιαία τιμή της παραμέτρου είναι 66,19%. Οι υψηλές τιμές εμφανίζονται κατά τους χειμερινούς μήνες, (Δεκέμβριος 1990, 90%) ενώ οι χαμηλότερες κατά τους θερινούς μήνες (Ιούλιος 1974, 38%). Παρακάτω στο Σχήμα 3.4 δίνεται το διάγραμμα μέσης μηνιαίας Σχετικής Υγρασίας από στοιχεία της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (Ε.Μ.Υ.) στη Λάρισα για την περίοδο 1970 – 2005.



Σχήμα 3.4: Διάγραμμα ενδοετήσιας κατανομής της μέσης μηνιαίας σχετικής υγρασίας αέρα % από στοιχεία της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (Ε.Μ.Υ.) στη Λάρισα για την περίοδο 1970 – 2005

4. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Οι σχηματισμοί της ευρύτερης περιοχής μελέτης παρουσιάζουν διαφορετική υδρογεωλογική συμπεριφορά καθώς χαρακτηρίζονται από διαφορετικές ιδιότητες. Οι αλλουβιακές αποθέσεις της λεκάνης αποτελούν έναν εκτεταμένο υδροφόρα, ο οποίος υδραυλικά βρίσκεται σε άμεση επικοινωνία με τους καρστικοποιημένους ασβεστόλιθους που εμφανίζονται στο δυτικό περιθώριο της περιοχής. Επίσης σημειώνεται με έμφαση η υδραυλική επικοινωνία μεταξύ του αλλουβιακού υδροφόρα και των ποταμών που τον διαβρέχουν, (Panagopoulos, 1995).

Παρακάτω αναφέρονται τα υδρολιθολογικά χαρακτηριστικά των σχηματισμών, οι οποίοι διαχωρίζονται στους σχηματισμούς του υποβάθρου (κρυσταλλικός μοσχοβιτικός σχιστόλιθος και ασβεστόλιθος) και στις Νεογενείς – Τεταρτογενείς αποθέσεις, (Panagopoulos, 1995).

4.1 Σχηματισμοί του υποβάθρου

Το υπόβαθρο της περιοχής όπως προαναφέραμε αποτελείται από το κρυσταλλικό μοσχοβιτικό σχιστόλιθο, ο οποίος χαρακτηρίζεται σχεδόν αδιαπέρατος σχηματισμός, καθώς δεν παρουσιάζει πρωτογενές πορώδες λόγω υψηλού βαθμού διαγένεσης που έχει υποστεί, αλλά ούτε και δευτερογενές πορώδες (Constandinidis, 1978). Έτσι, παρόλο που διαπιστώνονται πολλές ασυνέχειες στο σχηματισμό λόγω του έντονου τεκτονισμού της περιοχής, οι επιφάνειες των ασυνεχειών έχουν αποφραχθεί από τη διεργασία εξαλλοίωσης των ορυκτών όπως άστριοι και μαρμαρυγίες. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το υπόβαθρο να χαρακτηρίζεται πρακτικά αδιαπέρατο και υδατοστεγανό διαμορφώνοντας ιδανικές συνθήκες για τον υπερκείμενο υδροφόρα.

Ο καρστικοποιημένος ασβεστόλιθος (κάρστ), στο δυτικό περιθώριο της αλλουβιακής περιοχής, έχει πάχος που κυμαίνεται στα 400-500m. Ο συντελεστής διαπερατότητας του ασβεστόλιθου είναι μεγάλος καθώς εμφανίζεται ισχυρά κατακερματισμένος και έντονα καρστικοποιημένος. Η επιφάνεια του στην ευρύτερη περιοχή ξεπερνάει τα 117 km² και αποτελεί ζώνη εμπλουτισμού της αλλουβιακής λεκάνης, όπως θα αποδειχθεί σε επόμενο κεφάλαιο.

Δύο μεγάλες πηγές το «Μάτι» και της «Αγ. Άννας» που εμφανίζονται βόρεια της πόλης του Τυρνάβου σε απόσταση 7km και 4km αντίστοιχα και αποφορτίζουν το υπόγειο υδατικό δυναμικό του κάρστ. Ο συντελεστής κατείσδυσης του νερού εκτιμάται ότι είναι υψηλός καθώς δεν υπάρχει επιφανειακό κάλυμμα εδάφους ή βλάστηση. Τέλος, στον καρστικοποιημένο ασβεστόλιθο δεν εμφανίζονται σπηλιές ή μεγάλα έγκοιλα που να υποδηλώνουν τυχόν ανομοιογένεια του σχηματισμού και την ύπαρξη καρστικών καναλιών, (Panagoroulos, 1995).

4.2 Αλλουβιακές αποθέσεις

Όπως έχουμε προαναφέρει οι αλλουβιακές αποθέσεις εμφανίζονται στο μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής μελέτης. Αποτελούνται από ανοιχτόχρωμα ασύνδετα υλικά από αργίλους, άμμους, κροκαλολατύπες και ποταμο-χειμαρο-λιμναία υλικά που αποτέθηκαν στην λεκάνη της Λάρισας ενώ προς το κέντρο βαθμιαία γίνονται λεπτομερέστερα

Επίσης έχει αναφερθεί ότι μπορούν να διακριθούν δύο υδροφόρα στρώματα διαχωριζόμενα από ένα υδατοστεγές στρώμα πάχους περίπου 50m, τα οποία περιγράφονται αναλυτικότερα παρακάτω (Panagoroulos, 1995):

Κατώτερος υδροφόρας: Οι περισσότερες γεωτρήσεις στην περιοχή μελέτης δεν ξεπερνούν τα 200m κι έτσι δεν πλησιάζουν το υπόβαθρο. Ο σχηματισμός αποτελείται από αδρομερή αλλούβια και συγκεκριμένα από ποταμοχερσαίες αποθέσεις. Βασιζόμενοι στα αποτελέσματα της γεωφυσικής έρευνας που διεξάχθηκε από την Εταιρεία Generale de Geophysique (1972), το πάχος του εν λόγω υδροφορέα ξεπερνάει τα 300μ στο ΝΔυτικό τμήμα της περιοχής έρευνας, ενώ λεπταίνει στα περιθώρια της λεκάνης. Έτσι, οι περισσότερες παραγωγικές αρδευτικές και υδρευτικές γεωτρήσεις εμφανίζονται σε αυτήν την περιοχή, όπου η απόδοσή τους κρίνεται υψηλότερη, (Panagoroulos, 1995).

Αδιαπέρατο στρώμα: Πρόκειται για την αργιλο-ιλυώδη ακολουθία που αποτελείται από λεπτή άργιλο και στρώματα ιλύος. Το πάχος της ακολουθίας είναι μέγιστο στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης όπου φτάνει και τα 50m, ενώ στα περιθώρια ελαττώνεται μέχρι που χάνεται τελείως. Ο

ρόλος αυτού του ενδιάμεσου αδιαπέρατου στρώματος είναι σημαντικός καθώς επηρεάζει την υδραυλική επικοινωνία του συστήματος.

Ανώτερος υδροφορέας: Η λιθολογία της ενότητας αυτής είναι λεπτομερέστερη από του κατώτερου υδροφορέα. Λόγω του περιορισμένου πάχους του σχηματισμού, ο οποίος δεν ξεπερνάει τα 70m, τα αποθέματα του υδροφορέα είναι περιορισμένα και ευάλωτα σε επιφανειακούς παράγοντες ρύπανσης. Οι κοίτες των ποταμών, οι απώλειες από τα αρδευτικά κανάλια και το αρδευόμενο νερό στις καλλιέργειες εμπλουτίζουν τον επιφανειακό υδροφορέα, φιλτράρονται και διοχετεύονται στο κυρίως σύστημα. Συνεπώς αν και το υδραυλικό δυναμικό του επιφανειακού υδροφορέα δεν είναι ιδιαίτερα παραγωγικό, παρόλα αυτά έχει σημαντικό ρόλο για τη λειτουργία όλου του συστήματος, (Panagopoulos, 1995).

Τα δύο υδροφόρα στρώματα συναντώνται στα περιθώρια της λεκάνης όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.5.

4.3 Υδρογραφικό δίκτυο περιοχής

Δύο μεγάλοι ποταμοί ρέουν περιμετρικά της περιοχής μελέτης όπως φαίνεται στο Χάρτη 1.2, ο Πηνειός και ο Τιταρήσιος ποταμός.

Ο Πηνειός παρουσιάζει συνεχή ροή καθ' όλο το υδρολογικό έτος και αποδεικνύεται ότι συμβάλει στο υπόγειο δυναμικό της περιοχής μελέτης.

Ο Τιταρήσιος ποταμός παρουσιάζει χειμαρρώδη χαρακτήρα και συνεισφέρει σημαντικά στον εμπλουτισμό της αλλουβιακής λεκάνης, (Ευαγγελόπουλος, 1974). Παρακάτω γίνεται αναλυτική περιγραφή.

4.3.1. Πηνειός ποταμός

Ο ποταμός Πηνειός σχηματίζεται από τη συμβολή του Μαλακασιώτικου ρέματος που πηγάζει από το βουνό Λάκμος και του ρέματος Μουργκάνι, που πηγάζει από τα Αντιχάσια. Το μήκος του φθάνει τα 205 km και είναι ο 3ος σε μήκος ποταμός της Χώρας. Η λεκάνη απορροής του καλύπτει έκταση 10.700 km² και η μέση ετήσια απορροή εκτιμάται σε $3.500 \times 10^6 \text{ m}^3$, (Panagopoulos, 1995).

Διαρρέει τη Θεσσαλική πεδιάδα και τροφοδοτείται από τα νερά των παραποτάμων: Ληθαίου, Πορταϊκού, Παμίσου, Σοφαδίτικου, Ενιπέα και

Τιταρησίου. Μετά τη Λάρισα δημιουργεί έντονους μαιανδρισμούς, διέρχεται την κοιλάδα των Τεμπών και εκβάλλει στο Αιγαίο σχηματίζοντας μικρό Δέλτα. Παρουσιάζει ήρεμη ροή, η οποία δημιουργεί προσχώσεις και συχνά προκαλεί πλημμύρες κυρίως στις περιοχές Ζάρκου και Γόνων. Με τα νερά του αρδεύονται εκτάσεις περί τα 80.000 στρέμματα.

Παλαιότερα με τα πλημμυρικά νερά του ετροφοδοτείτο η λίμνη Κάρλα, της οποίας η έκταση έφθανε μέχρι 180 km². Μετά τη δημιουργία του αναχώματος στην κοίτη του Πηνειού, η Κάρλα απέκτησε τη δική της υδρολογική λεκάνη, (Panagopoulos, 1995).

Ο Πηνειός δέχεται σημαντική ρύπανση από αστικά και βιομηχανικά απόβλητα καθώς και από την εντατική γεωργική και κτηνοτροφική δραστηριότητα που χαρακτηρίζει τη Θεσσαλική πεδιάδα. Έχει υποστεί σημαντικές αλλοιώσεις από τον εγκιβωτισμό της κοίτης του, την κατασκευή αρδευτικών δικτύων, των προσωρινών φραγμάτων και τις υπεραντλήσεις. Κατά τους θερινούς μήνες, που οι απαιτήσεις σε νερό είναι μεγάλες και υπάρχει μείωση της ροής του ποταμού, οι συνέπειες από τη ρύπανση είναι πλέον εμφανείς και έντονες, (Ευαγγελόπουλος, 1974).

4.3.2. Τιταρήσιος ποταμός

Ο Τιταρήσιος (Ξεριάς) είναι ένας από τους πιο σημαντικούς παραπόταμους του Πηνειού ποταμού. Ο ποταμός Τιταρήσιος πηγάζει από τις δυτικές κλιτύες του Ολύμπου και των Πιερίων και κατευθυνόμενος δυτικά - νοτιοδυτικά συμβάλλει με τον Πηνειό ποταμό. Βρίσκεται δε 70m άνω της επιφάνειας της θάλασσας. Το συνολικό μήκος του ποταμού είναι 70km, (Panagopoulos, 1995).

Ο ποταμός από την ονομασία του, Ξεριάς (=ξερός), υποδηλώνει ότι είναι μη συνεχούς ροής με χειμαρρώδη χαρακτήρα που παρουσιάζει ροή μόνο μετά από χειμαρρώδεις και καταρρακτώδεις βροχές.

Στον υγρότοπο έχουν επέλθει δραστικές αλλοιώσεις όσον αφορά τα γνωρίσματά του (αβιοτικά και βιοτικά) με κύρια αίτια την κατασκευή έργων διευθέτησης της ροής των υδάτων καθώς και των υπεραντλήσεων κατά το παρελθόν, τόσο του ποταμού όσο και του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα, ο οποίος εμπλουτίζεται σε μεγάλο βαθμό από τα ύδατα του ποταμού.

Τη δεκαετία του 1960 εκτελέστηκε έρευνα για την υδροπερατότητα των σχηματισμών κατά μήκος της κοίτης του Τιταρήσιου (Electrowatt Engineering Services, 1967). Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι η υδροπερατότητα στην κοίτη του ποταμού μεταβάλλεται σημαντικά από $K=5 \cdot 10^{-2} \text{m/sec}$ στους κώνους κορημάτων στην είσοδο της λεκάνης νότια του Τυρνάβου έως $K=1 \cdot 10^{-3} \text{m/sec}$ στο βορειότερο τμήμα κατάντη της κοίτης, όπου διαπερνά ποτάμια και ποταμοχερσαία χονδροκλαστικά υλικά. Βλέπουμε ότι ακόμη και η χαμηλότερη τιμή εύρους της υδροπερατότητας είναι υψηλή.

Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι ο Τιταρήσιος ποταμός έχει άμεση υδραυλική επικοινωνία με τον επιφανειακό υδροφορέα, ο οποίος φορτίζεται εφόσον και όταν υπάρχει ροή στην κοίτη του ποταμού, (Panagourios, 1995).

Χωρίς υπερβολή θα λέγαμε ότι η αλλουβιακή λεκάνη οφείλει τον πλούτο της στα υπόγεια νερά και στον Τιταρήσιο ποταμό. Ο αλλουβιακός υδροφόρος ορίζοντας δέχεται κατά τη διάρκεια του χειμώνα άφθονη τροφοδοσία, εντοπισμένη κυρίως στα ανάντη του ποταμού. Το διηθούμενο νερό γεμίζει καταρχήν τον φρεάτιο ορίζοντα αλλά παίζει ρόλο ενδιάμεσης δεξαμενής και ρυθμίζει την παροχή αφού διηθείται προς τα βαθύτερα στρώματα. Τα περιεχόμενα εντός των αλλουβίων ύδατα ρέουν κατά ακτινωτή κατεύθυνση με κέντρο τη ζώνη διήθησης (Ευαγγελόπουλος, 1974).

Ο υγρότοπος του Τιταρήσιου ποταμού υφίσταται μέσου βαθμού επιβάρυνση από τη ρίψη υγρών και στερεών αποβλήτων των παρόχθειων οικισμών. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η ύπαρξη ανεξέλεγκτων χώρων ρίψης στερεών αποβλήτων των δημοτικών διαμερισμάτων Ροδιάς, Βρυοτόπου, Δελερίων καθώς και μπάζων εντός της κοίτης του ποταμού μέχρι πρόσφατα.

5. ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΤΗΣ ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΤΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΩΝ ΣΤΡΩΜΑΤΩΝ

5.1 Γενικά

Η πιεζομετρική στάθμη των υδροφόρων στρωμάτων δε βρίσκεται σε στατική ισορροπία αλλά σε δυναμική και μεταβάλλεται συνεχώς με το χρόνο. Η μεταβολή της στάθμης του υπόγειου νερού, είτε πρόκειται για ελεύθερους είτε για αρτεσιανούς υδροφόρους, αντικατροπτίζει τις αλλαγές της διαίτας τους, (Καλλέργης, 1986).

Οι κύριοι παράγοντες μεταβολής της πιεζομετρικής στάθμης του υπόγειου νερού στην περιοχή μελέτης είναι:

- το ύψος των κατακρημνισμάτων
- η διακύμανση της απορροής στα υδρορέματα
- η υπεράντληση του υπόγειου νερού
- η υπεράρδευση & στράγγιση

5.1.1 Κατακρημνίσματα

Ο χρόνος που θα χρειαστεί το νερό της βροχής να φτάσει στον υδροφορέα μπορεί να κυμαίνεται από μερικά λεπτά στους ρηχούς υδροφόρους που βρίσκονται κάτω από περατούς σχηματισμούς, μέχρι μερικούς μήνες ή μερικά χρόνια για βαθείς υδροφόρους που βρίσκονται κάτω από σχηματισμούς μικρής υδροπερατότητας.

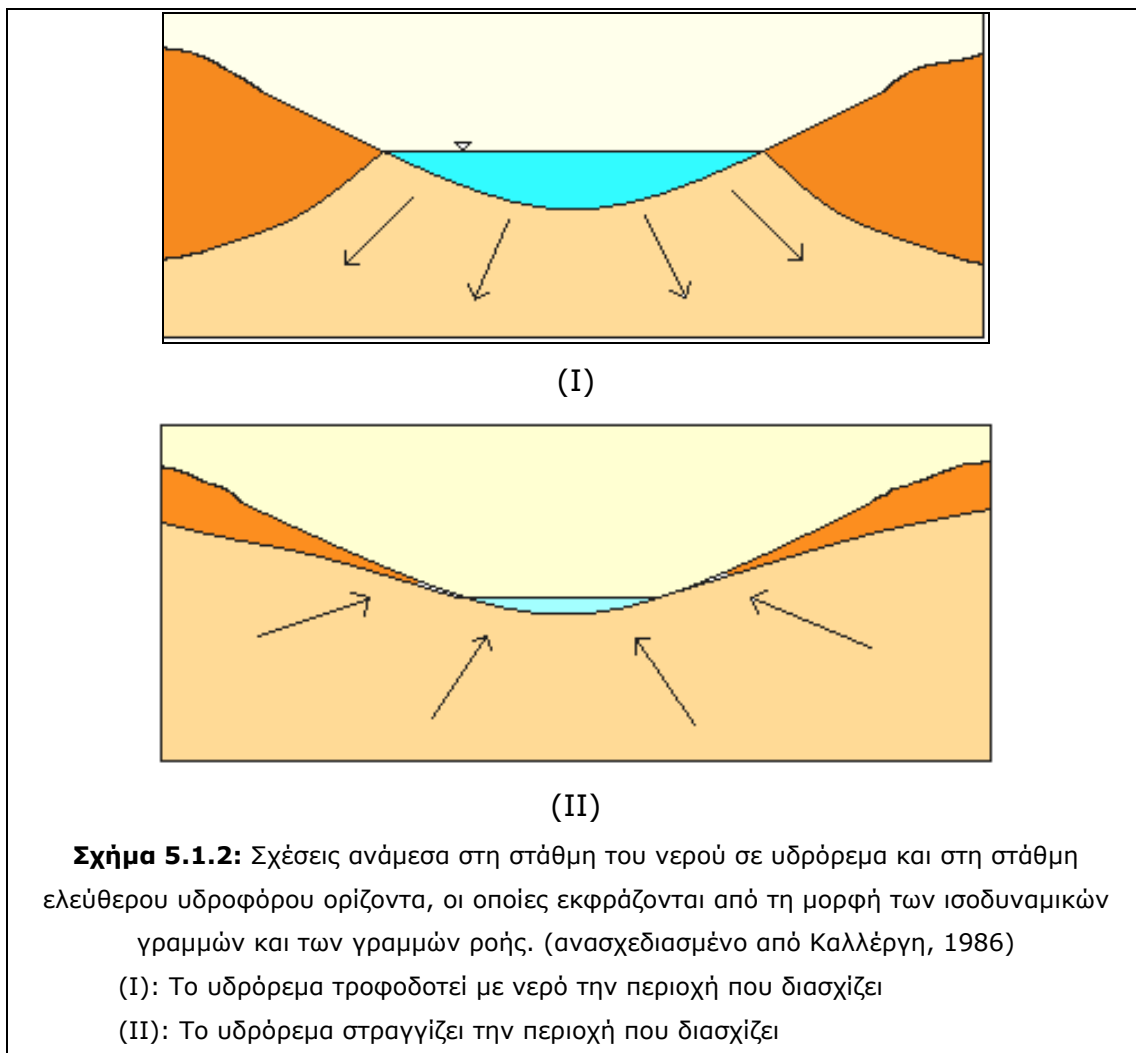
Στις ξηρές και ημίξηρες περιοχές ο εμπλουτισμός από βροχή μπορεί να είναι μηδενικός. Οι ρηχοί ελεύθεροι υδροφόροι αντιδρούν στη βροχόπτωση όταν η ακόρεστη ζώνη πάνω από την υδροστατική επιφάνεια έχει έλλειμμα υγρασίας και η υδροστατική επιφάνεια δεν αντιδρά στην τροφοδοσία από τη βροχόπτωση, μέχρις ότου συμπληρωθεί το έλλειμμα υγρασίας.

Παρατηρούμε ότι στους πολύ ρηχούς υδροφόρους η αντίδραση της υδροστατικής επιφάνειας που παρατηρείται σε πιεζόμετρα ή πηγάδια είναι άμεση. Αυτό εξηγείται από την αύξηση της πίεσης του αέρα, που είναι εγκλωβισμένος στη ζώνη αερισμού, όταν η βροχή κλείσει τους επιφανειακούς πόρους και το νερό που κατεισδύει συμπιέζει τον υποκείμενο αέρα. Η αντίδραση της υδροστατικής επιφάνειας είναι άμεση

και γρήγορη στους καρστικούς υδροφόρους, λόγω της πολύ μεγάλης ικανότητας διήθησης που παρατηρείται σε αυτούς (Καλλέργης, 2001).

5.1.2 Σχέσεις απορροής και πιεζομετρικής στάθμης στα υδρορέματα

Όταν ένα υδρορέμα βρίσκεται σε άμεση επαφή με έναν ελεύθερο υδροφόρο, το υδρορέμα κατά περίπτωση τροφοδοτεί ή τροφοδοτείται απ' αυτόν ανάλογα αν η στάθμη του νερού στο υδρορέμα βρίσκεται αντίστοιχα πάνω ή κάτω από τη στάθμη του υδροφόρου (Καλλέργης, 1986).



Οι ρόλοι αντιστρέφονται όταν αλλάξουν οι στάθμες. Δεν είναι σπάνιο το φαινόμενο σε μια εποχή το υδρόρεμα να τροφοδοτεί τον υδροφόρο, ενώ σε μια άλλη εποχή το ίδιο υδρόρεμα να τροφοδοτείται από τον ίδιο υδροφόρο, (Καλλέργης, 1986).

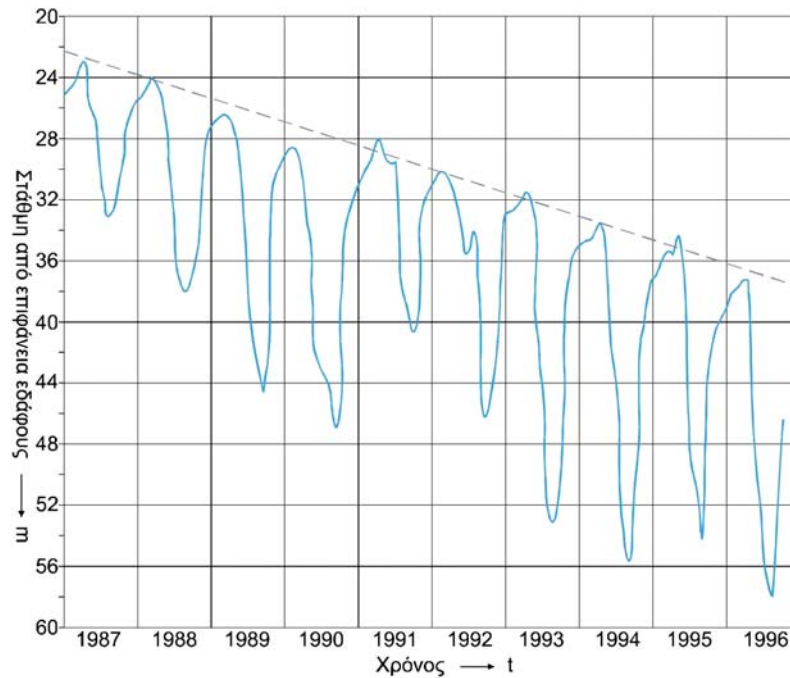
Ο ποταμός Πηνειός παρουσιάζει συνεχή ροή καθ' όλο το έτος. Οι αποθέσεις υλικών στην κοίτη του αποτελούνται κυρίως από λεπτόκοκκα ιζήματα, κυρίως λεπτόκοκκη άμμο, ιλύ και άργιλο με αποτέλεσμα η υδροπερατότητα της κοίτης να είναι μικρή, (Panagopoulos, 1995).

Αντίθετα, η υδροπερατότητα της κοίτης του Τιταρήσιου ποταμού είναι υψηλή καθώς διαπερνά ποτάμια και ποταμοχερσαία χονδροκλαστικά υλικά. Ο ποταμός τροφοδοτεί τον ανώτερο αλλουβιακό υδροφορέα εφόσον και όταν υπάρχει ροή στην κοίτη του ποταμού ή κατά τη διάρκεια καταρρακτωδών γεγονότων, Σχήμα 5.1.2(I), ενώ κατά την θερινή περίοδο όπου η ξηρασία είναι έντονη, ο Τιταρήσιος ποταμός είναι άνυδρος, (Panagopoulos, 1995).

5.1.3 Διακύμανση της πιεζομετρικής στάθμης των υδροφόρων λόγω ανθρωπογενούς επίδρασης

Η υπεράντληση των υδροφόρων στρωμάτων και η υπεράρδευση των καλλιεργειών επιδρούν στη μεταβολή της στάθμης στην περιοχή μελέτης. Αναλυτικότερα:

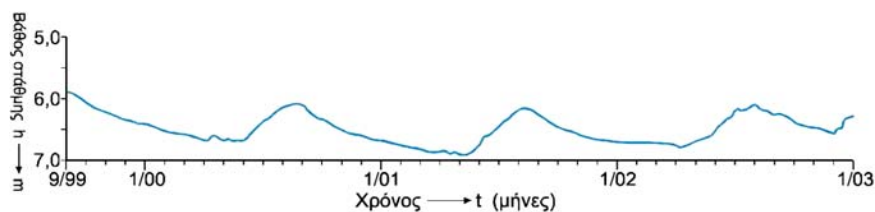
ι) Υπεράντληση υδροφόρων: Η υπεράντληση των υδροφόρων, για υδρευτικούς και αρδευτικούς σκοπούς, εντοπίζεται κυρίως κατά την ξηρή περίοδο των καλοκαιρινών μηνών και έχει ως αποτέλεσμα τη μόνιμη υποχώρηση της στάθμης που είναι τόσο πιο μεγάλη, όσο πιο έντονη και μακροχρόνια είναι η υπεράντληση. Γίνεται άντληση όχι μόνο των εκμεταλλεύσιμων αλλά και μέρους των μονίμων αποθεμάτων (αποθήκες νερού), τα οποία δεν είναι αναπληρώσιμα παρά μόνο σε πλούσια υδρολογικά έτη. Έτσι τα φυσικά αποθέματα μειώνονται συνεχώς. Παρακάτω στο Σχήμα 5.1.3.1 απεικονίζεται η φθίνουσα πορεία της διακύμανσης της στάθμης ελεύθερου υδροφόρου ορίζοντα στην περιοχή Κάρλας (Θεσσαλία).



Σχ. 5.1.3.1: Φθίνουσα πορεία της διακύμανσης της στάθμης ελεύθερου υδροφόρου ορίζοντα στην περιοχή Κάρλας (Θεσσαλία), (από Σούλιο 2004).

ii) Υπεράρδευση των καλλιεργειών: Όταν η άρδευση των καλλιεργειών γίνεται με επιφανειακό νερό ποταμών (αρδευτικό δίκτυο, κανάλια) έχει ως αποτέλεσμα την επανατροφοδοσία των υδροφόρων στρωμάτων και την άνοδο της στάθμης τους. Έχει υπολογιστεί ότι περίπου το 10% ως 30% του αρδευόμενου νερού καταλήγει στον υποκείμενο υδροφόρο. Το ποσό εμπλουτισμού εξαρτάται από το ρυθμό άρδευσης, το βάθος της στάθμης και την περατότητα του επικαλύμματος του υδροφόρου στρώματος. Όσο πιο αβαθές είναι το υδροφόρο στρώμα τόσο πιο εύκολα γίνεται η επανατροφοδοσία του (Panagoroulis, 1995).

Στο Σχήμα 5.1.3 έχουμε τη διακύμανση της στάθμης ενός ελεύθερου υδροφόρου στρώματος στην περιοχή του ποταμού Άρδα, στην Ορεστιάδα. Παρατηρούμε ότι κατά την ξηρή περίοδο η στάθμη λόγω υπεράρδευσης, βρίσκεται στο ανώτερο επίπεδο της, ενώ κατά την υγρή περίοδο στο κατώτερο (Σούλιος, 2004).

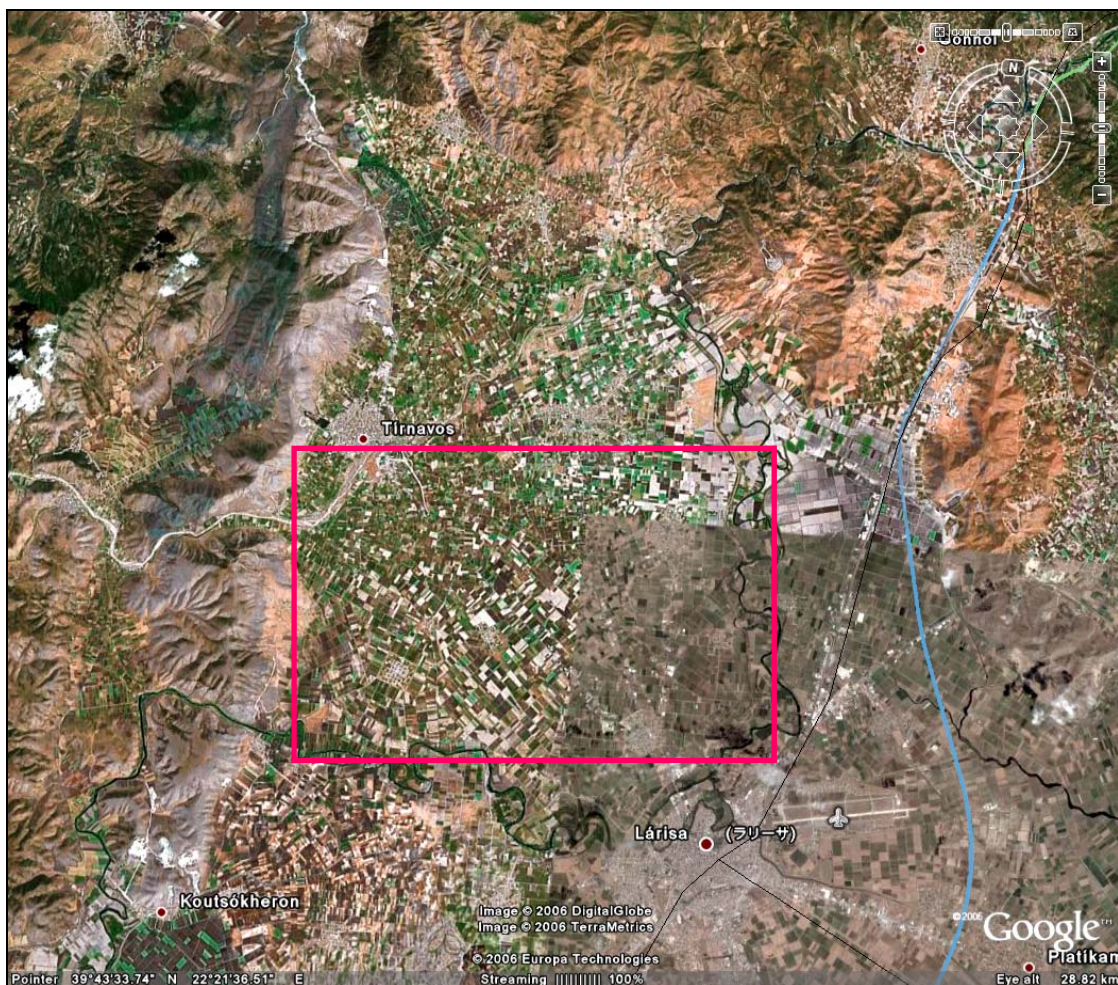


Σχήμα 5.1.3.2: Διακύμανση στάθμης γεώτρησης στην περιοχή Ορεστιάδας Έβρου (από Σούλιο, 2004).

5.2 Πιεζομετρία στην περιοχή ενδιαφέροντος

5.2.1 Γενικά

Η περιοχή ενδιαφέροντος χαρακτηρίζεται από έντονη καλλιεργητική δραστηριότητα, καθώς αποτελεί μία από τις πιο εύφορες και παραγωγικές περιοχές της Ελλάδας. Οι καλλιέργειες είναι αμπελώνες, ροδακινιές, αχλαδιές, καλαμπόκι, δημητριακά, σιτηρά, βαμβάκι κ.α. και η κύρια ασχολία των κατοίκων είναι η γεωργία. Στο Σχήμα 5.2.1 απεικονίζεται δορυφορική εικόνα της ευρύτερης περιοχής όπου διακρίνουμε το εύρος της καλλιεργήσιμης γης (από Googlearth).



Σχήμα 5.2.1: Δορυφορική εικόνα (από Googlearth).

Περιοχή μελέτης

Τις τελευταίες δεκαετίες, οι αυξημένες ανάγκες νερού για την άρδευση των καλλιεργειών έχουν οδηγήσει στην υπερεκμετάλλευση των υπόγειων αποθεμάτων νερού. Κατά τους θερινούς μήνες, Ιούνιο – Ιούλιο –

Αύγουστο, όπου οι βροχοπτώσεις είναι ελάχιστες και ενίοτε μηδενικές και οι καλλιέργειες έχουν αυξημένες ανάγκες σε νερό, η υπεράντληση έχει ως αποτέλεσμα την πτώση της στάθμης σε μεγάλο βάθος ώστε την επόμενη περίοδο αυτή να μην επανέρχεται στο αρχικό της επίπεδο.

Εκατέρωθεν της κοίτης του Πηνειού ποταμού, ανατολικά και νότια της περιοχής μελέτης, τεχνητά αρδευτικά κανάλια τροφοδοτούν τις πλησιέστερες περιοχές βοηθώντας στην επιτροφοδοσία των υδροφόρων στρωμάτων από το νερό, συμβάλλοντας δραστικά στην επάνοδο της στάθμης, ενώ ο Τιταρήσιος ποταμός που άλλοτε τροφοδοτούσε την λεκάνη, σήμερα είναι άνυδρος.

5.2.2 Πιεζομετρικά δεδομένα της περιοχής μελέτης

Για τη μελέτη της εξέλιξης της πιεζομετρικής στάθμης των υδροφόρων στρωμάτων στην περιοχή χρησιμοποιήθηκαν μετρήσεις στάθμης γεωτρήσεων που μας παραχωρήθηκαν από τη Διεύθυνση Εγγείων Βελτιώσεων (ΔΕΒ) της Λάρισας.

Τα στοιχεία αυτά αφορούν τις μηνιαίες τιμές της στάθμης σε 10 γεωτρήσεις της περιοχής ενδιαφέροντος για περίοδο 30 χρόνων. Χρησιμοποιήθηκαν όσα στοιχεία ήταν διαθέσιμα, τα οποία είναι αντιπροσωπευτικά της περιοχής και αξιόπιστα σε ότι αφορά την ακρίβεια τους. Στο Σχήμα 5.2.2.1 απεικονίζεται ο Χάρτης των θέσεων των γεωτρήσεων που έχουν μετρηθεί οι στάθμες για το χρονικό διάστημα 1970-2005.

Τα στοιχεία παραχωρήθηκαν σε έντυπη μορφή, καταχωρήθηκαν σε ηλεκτρονική στο πρόγραμμα Excel και επεξεργάστηκαν κατάλληλα για την σύνταξη χαρτών στο πρόγραμμα Mapinfo και Surfer.

Στο Σχήμα 5.2.2.2 δίνεται διάγραμμα με τη διάρκεια συλλογής των μετρήσεων στάθμης που έγινε για τις γεωτρήσεις της περιοχής μελέτης, από στοιχεία της ΔΕΒ Λάρισας.

Σχήμα 5.2.2.2 Διάγραμμα διαθέσιμων μετρήσεων στάθμης για τις γεωτρήσεις της περιοχής μελέτης
(από στοιχεία της ΔΕΒ Λάρισας)

	2005	2004	2003	2002	2001	2000	1999	1998	1997	1996	1995	1994	1993	1992	1991	1990	1989	1988	1987	1986	1985	1984	1983	1982	1981	1980	1979	1978	1977	1976	1975	1974	1973	1972
AD5																																		
AG8																																		
LB273																																		
75A																																		
AD6																																		
PzT2																																		
LB76																																		
LB99																																		
PzT3a																																		
PzT1																																		

5.3 Διακύμανση της στάθμης των υπόγειων νερών στην περιοχή μελέτης

5.3.1 Ενδοετήσια - υπερετήσια διακύμανση στάθμης

Κατά κανόνα οι στάθμες των υδροφόρων παρουσιάζουν εποχική διακύμανση. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι, οι βροχοπτώσεις και οι αντλήσεις του νερού, κατά την αρδευτική περίοδο, ακολουθούν καθορισμένους εποχικούς κύκλους (Καλλέργης, 1986).

Στην Ελλάδα και γενικά στη βόρεια εύκρατη ζώνη, η υγρή περίοδος αρχίζει τον Οκτώβριο, όπου τα κατακρημνίσματα υπερέχουν της εξατμισοδιαπνοής. Έτσι, από το τέλος του Οκτωβρίου αρχίζει η άνοδος της στάθμης των υδροφόρων, η οποία εντείνεται κυρίως κατά τους μήνες Ιανουάριο – Μάρτιο και φτάνει στο ετήσιο μέγιστο ύψος της κατά τον Μάιο. Έπειτα αρχίζει η ξηρή περίοδος κατά την οποία η εξατμισοδιαπνοή είναι μεγαλύτερη από τα κατακρημνίσματα. Κατά την ξηρή περίοδο, με λίγες εξαιρέσεις δεν παρατηρείται τροφοδοσία των υδροφόρων στρωμάτων, αλλά εκφόρτιση τους από τις πηγές και τις αναβλύσεις ή από μετάγγιση προς γειτονικά ή υποκείμενα υδροφόρα. Έτσι λοιπόν κατά την ξηρή περίοδο η στάθμη των υδροφόρων στρωμάτων υποχωρεί βαθμιαία μέχρι να φτάσει στο ετήσιο ελάχιστο στο τέλος περίπου του Οκτωβρίου, όπου αρχίζει η επόμενη υγρή περίοδος (Σούλιος, 2004).

Για τη μελέτη της διακύμανσης στάθμης στην περιοχή ενδιαφέροντος χρησιμοποιήθηκαν πιεζομετρικά δεδομένα γεωτρήσεων για το χρονικό διάστημα 1970-2005, (βλ. Σχήμα 5.2.2.1 και Σχήμα 5.2.2.2).

Γνωρίζουμε ότι οι μήνες άρδευσης είναι από τον Απρίλιο έως τον Σεπτέμβριο και οι αρδευτικές ανάγκες των καλλιεργειών εμφανίζουν τις μέγιστες απαιτήσεις τους σε νερό κατά τον μήνα Ιούλιο.

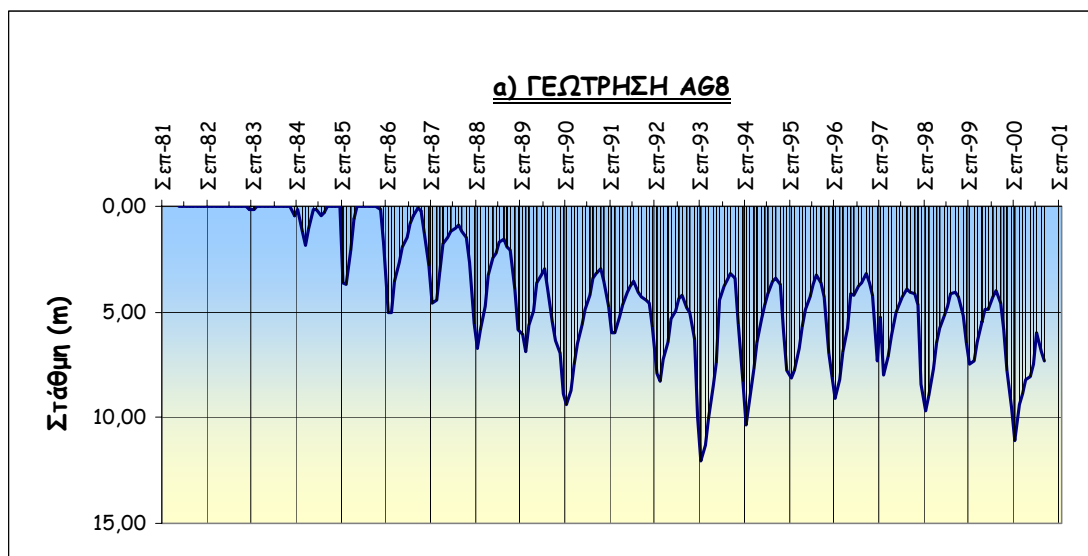
Έχει παρατηρηθεί, ότι η ενδοετήσια διακύμανση της στάθμης στην περιοχή μελέτης ακολουθεί ανοδική πορεία από το μήνα Οκτώβριο και παρουσιάζει τη μέγιστη τιμή της κατά τους εαρινούς μήνες Μάρτιο-Απρίλιο, ενώ υποχωρεί κατά τους θερινούς μήνες (ξηρή περίοδος). Κατά την ξηρή περίοδο η στάθμη υποχωρεί βαθμιαία μέχρι να φθάσει στο ετήσιο ελάχιστο τον Σεπτέμβριο – Οκτώβριο, όπου αρχίζει η επόμενη υγρή περίοδος.

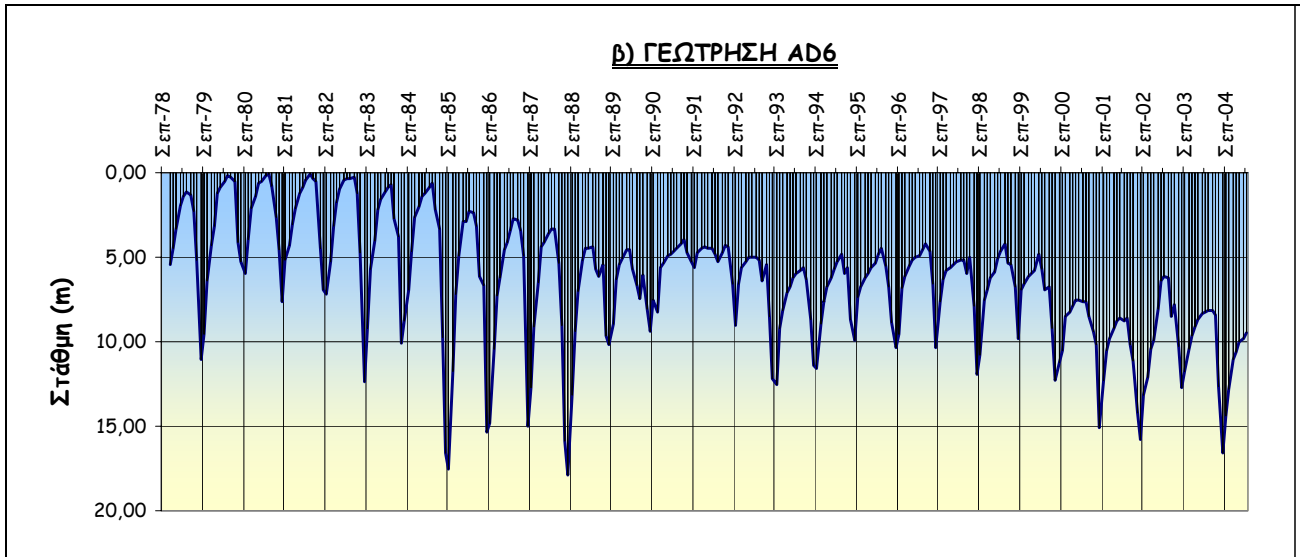
Τα μηνιαία διαγράμματα διακύμανσης της στάθμης σε κάθε γεώτρηση παρουσιάζουν διαφορετικότητα ανάλογα με το βαθμό εκμετάλλευσης των υπογείων νερών και τον τρόπο άρδευσης των καλλιεργειών.

Στο ΒΔυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης η διακύμανση της στάθμης είναι μικρότερη απ' ότι στις άλλες περιοχές λόγω της υπόγειας επιτροφοδοσίας από τη καρστική περιοχή. Επίσης εκατέρωθεν της κοίτης του ποταμού Πηνειού η στάθμη δεν παρουσιάζει μεγάλη διακύμανση καθώς η άρδευση των καλλιεργειών γίνεται εκτός από τις γεωτρήσεις και από το αρδευτικό δίκτυο του ποταμού, με αποτέλεσμα τον συνεχή εμπλουτισμό του υδροφόρου από το αρδευτικό νερό, αλλά και από διήθηση από την κοίτη του.

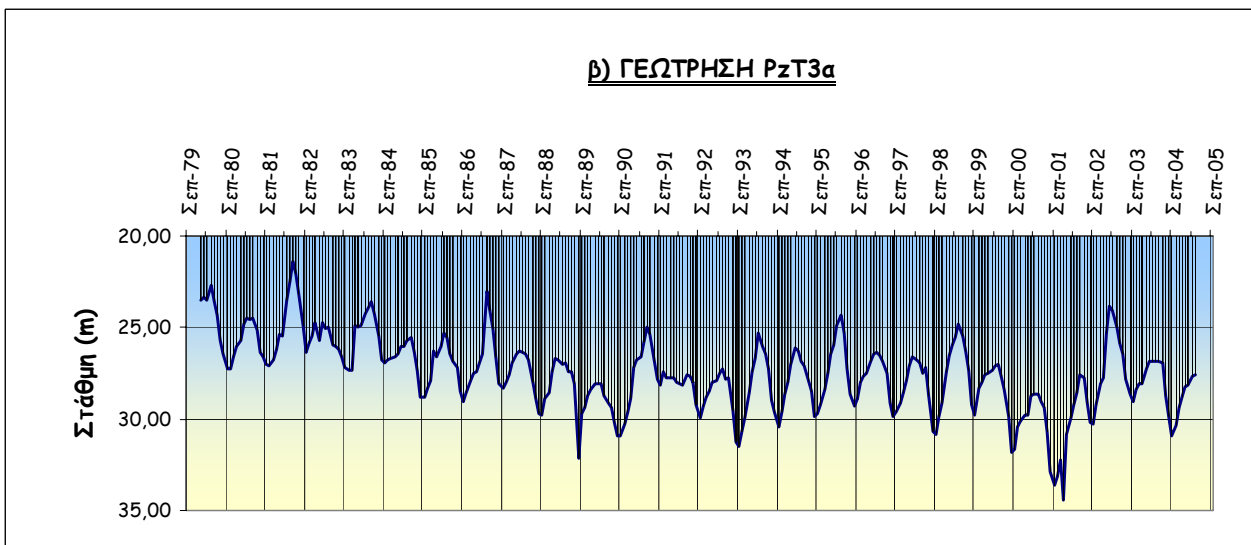
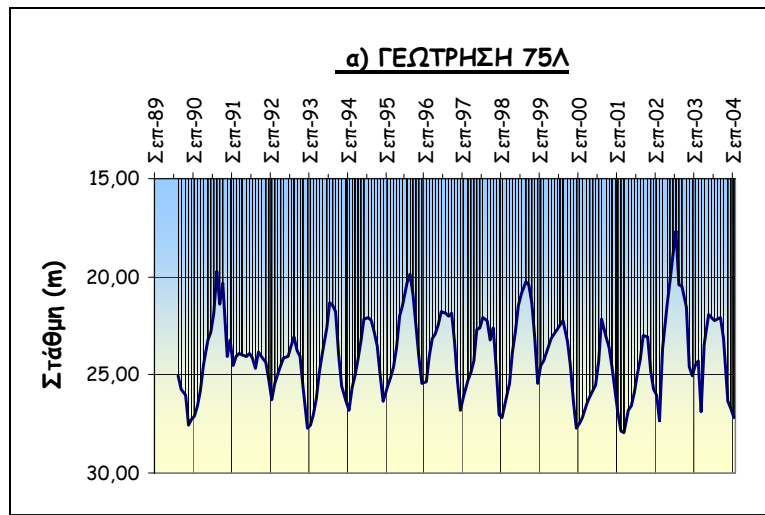
Παρακάτω δίνονται τα διαγράμματα μηνιαίας διακύμανσης στάθμης για κάθε γεώτρηση.

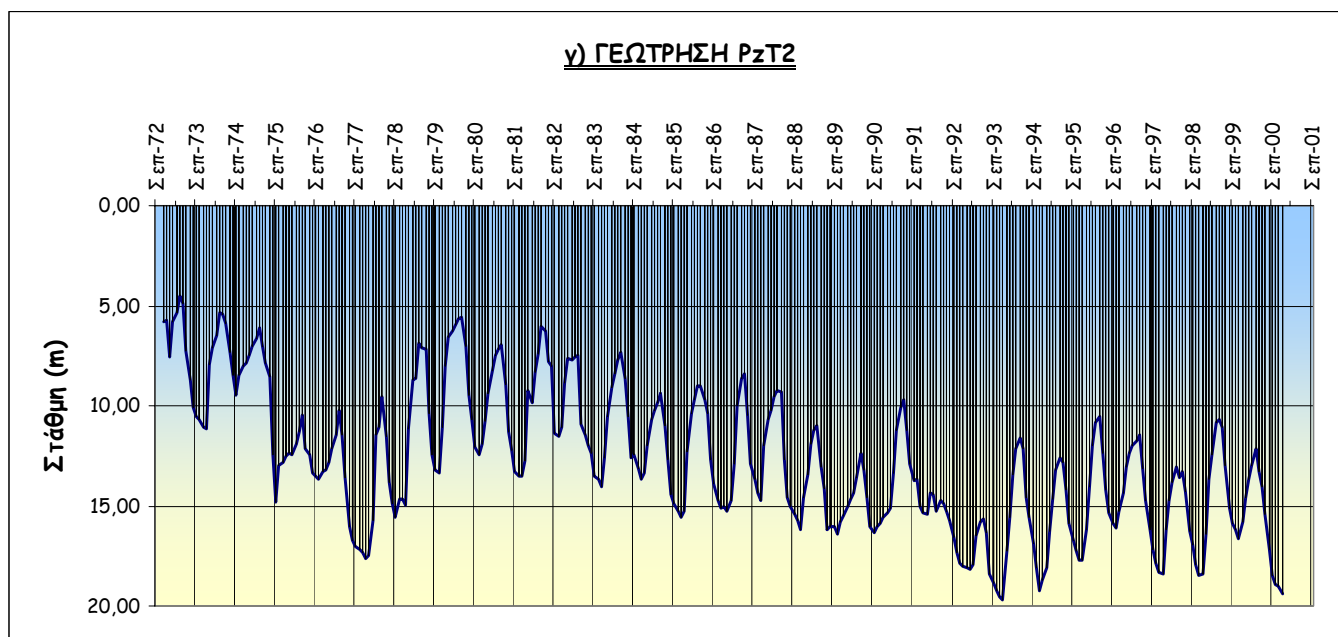
Σχήμα 5.3.1.1: Μηνιαία διακύμανση στάθμης των γεωτρήσεων που βρίσκονται στο ανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης & πλησίον του π. Πηνειού, (α. Γεώτρηση AG8, β. Γεώτρηση AD6)



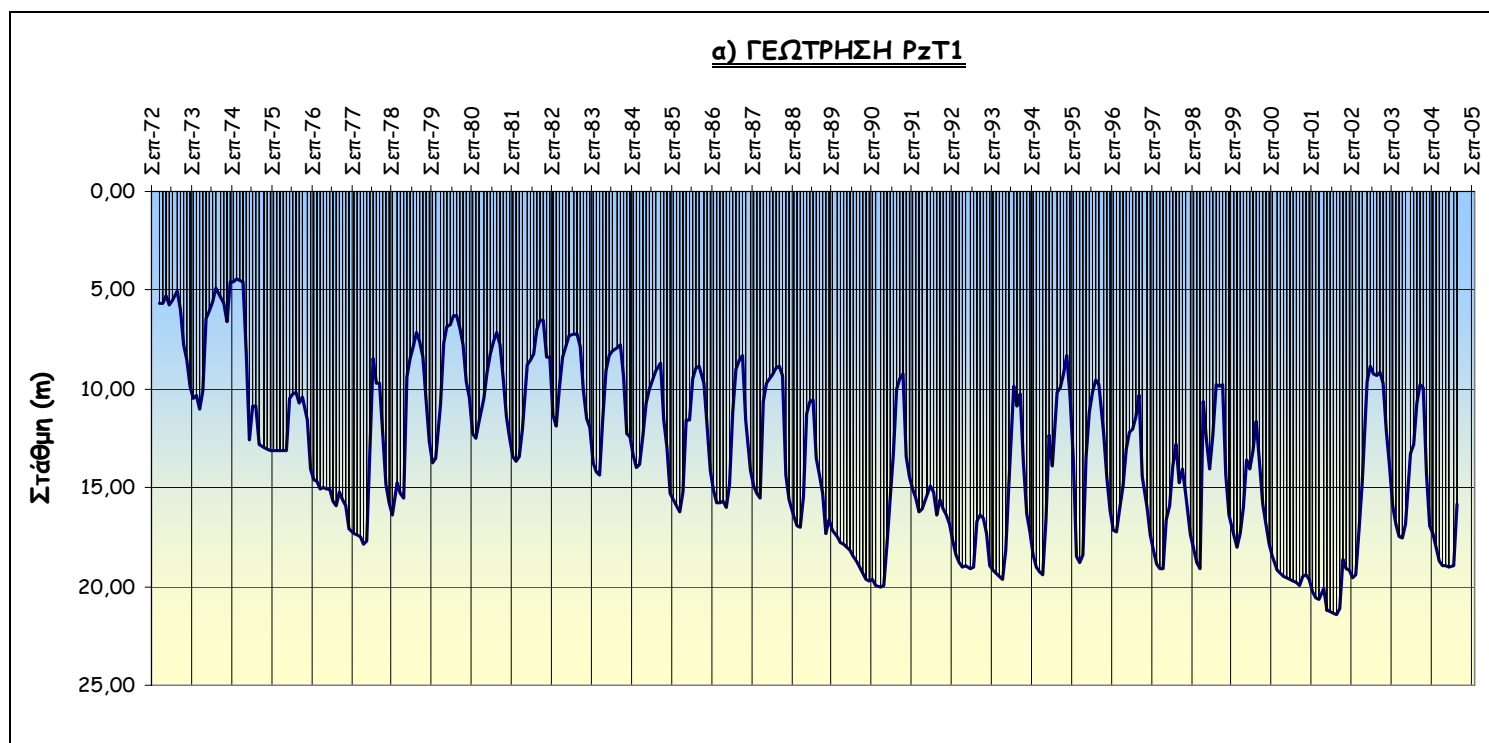


Σχήμα 5.3.1.2: Μηνιαία διακύμανση στάθμης των γεωτρήσεων που βρίσκονται στο βορειοδυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης, νότια της κωμόπολης του Τυρνάβου & πλησίον του π. Τιταρίσιου, (α. Γεώτρηση 75Λ, β. Γεώτρηση ΡzT3α, γ. Γεώτρηση ΡzT2).

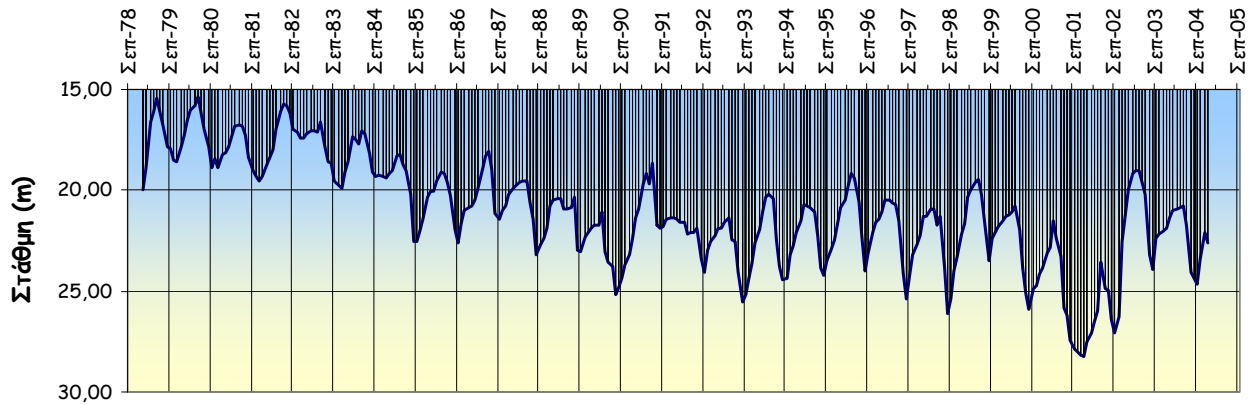




Σχήμα 5.3.1.3: Μηνιαία διακύμανση στάθμης των γεωτρήσεων που βρίσκονται
στο νοτιοδυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης,
(α. Γεώτρηση PzT1, β. Γεώτρηση LB76).

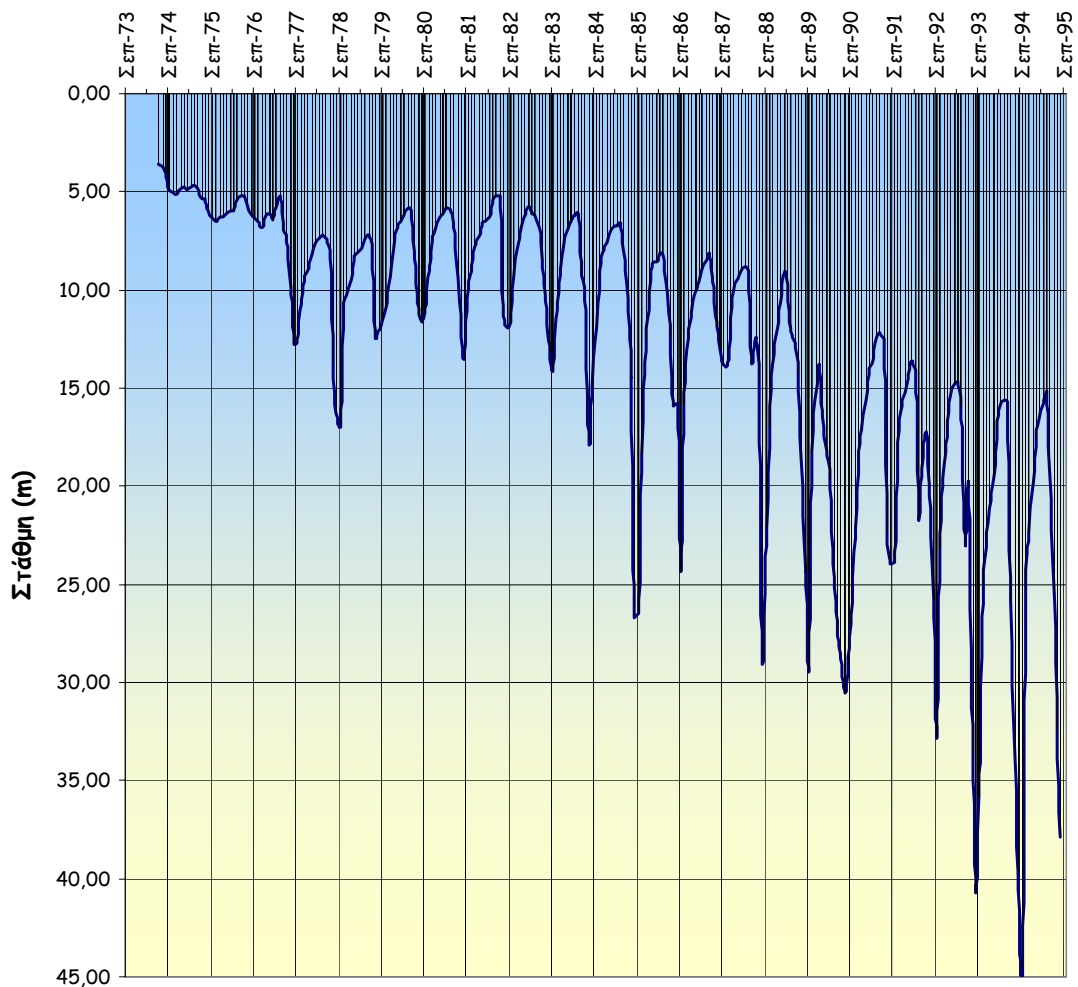


β) ΓΕΩΤΡΗΣΗ LB76

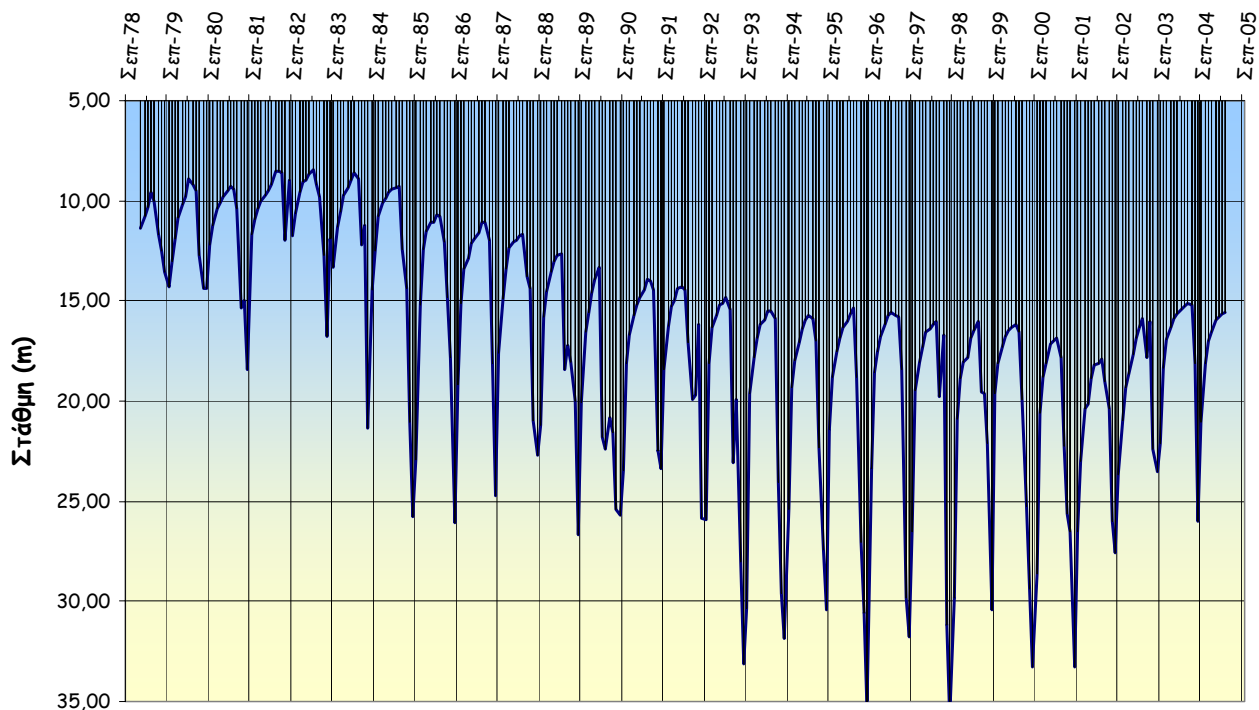


Σχήμα 5.3.1.4: Μηνιαία διακύμανση στάθμης των γεωτρήσεων που βρίσκονται στο κεντρικό τμήμα της περιοχής μελέτης, (α. Γεώτρηση AD5, β. Γεώτρηση LB99, γ. Γεώτρηση LB273).

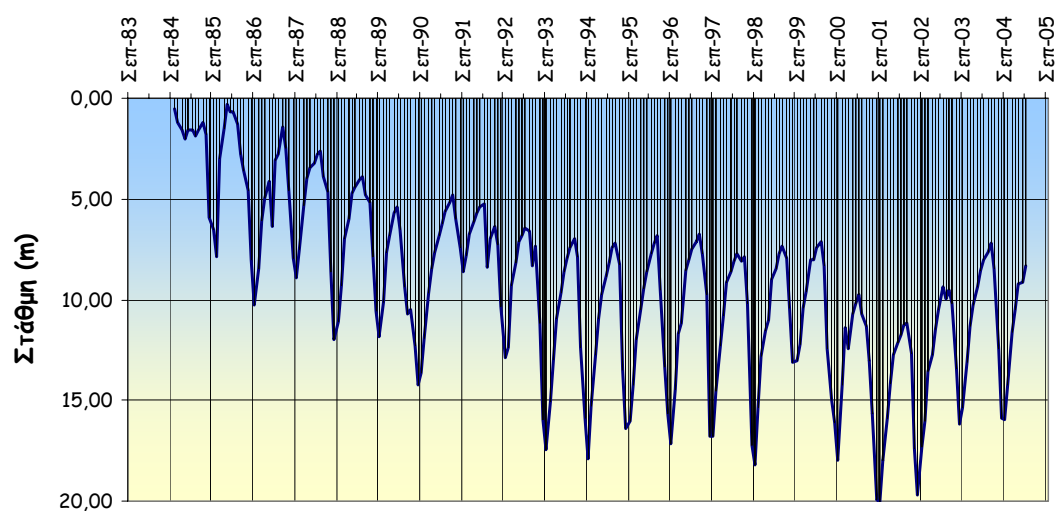
α) ΓΕΩΤΡΗΣΗ AD5



δ) ΓΕΩΤΡΗΣΗ LB99



ε) ΓΕΩΤΡΗΣΗ LB273



5.3.2 Υπερετήσια μεταβολή της ανώτερης ετήσιας στάθμης των υπόγειων νερών στην περιοχή μελέτης

Οι εναλλαγές υγρών και ξηρών ετών, όπου το ύψος των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων βρίσκεται πάνω ή κάτω από το μέσο ύψος, προκαλούν μεταβολές της ανώτερης ετήσιας στάθμης των υπόγειων νερών για περιόδους μερικών τουλάχιστον χρόνων.

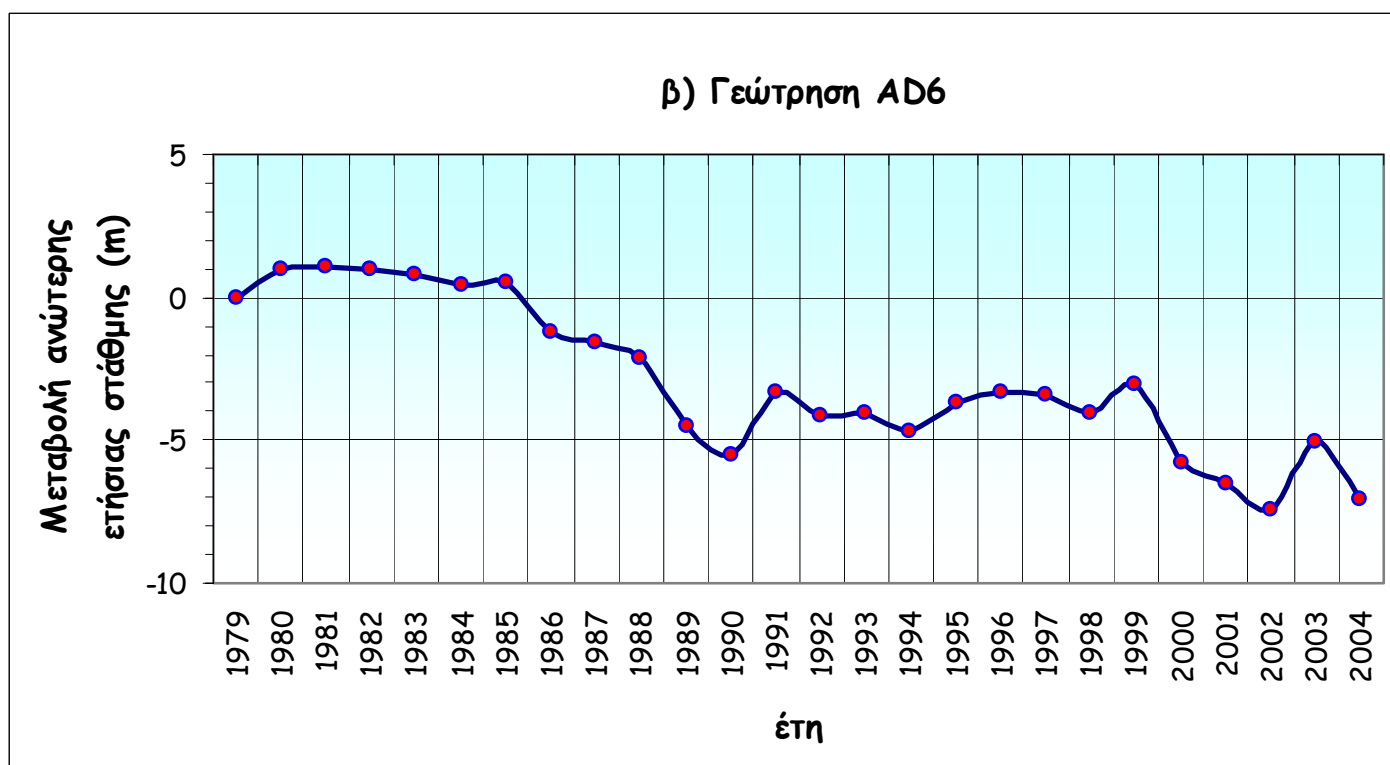
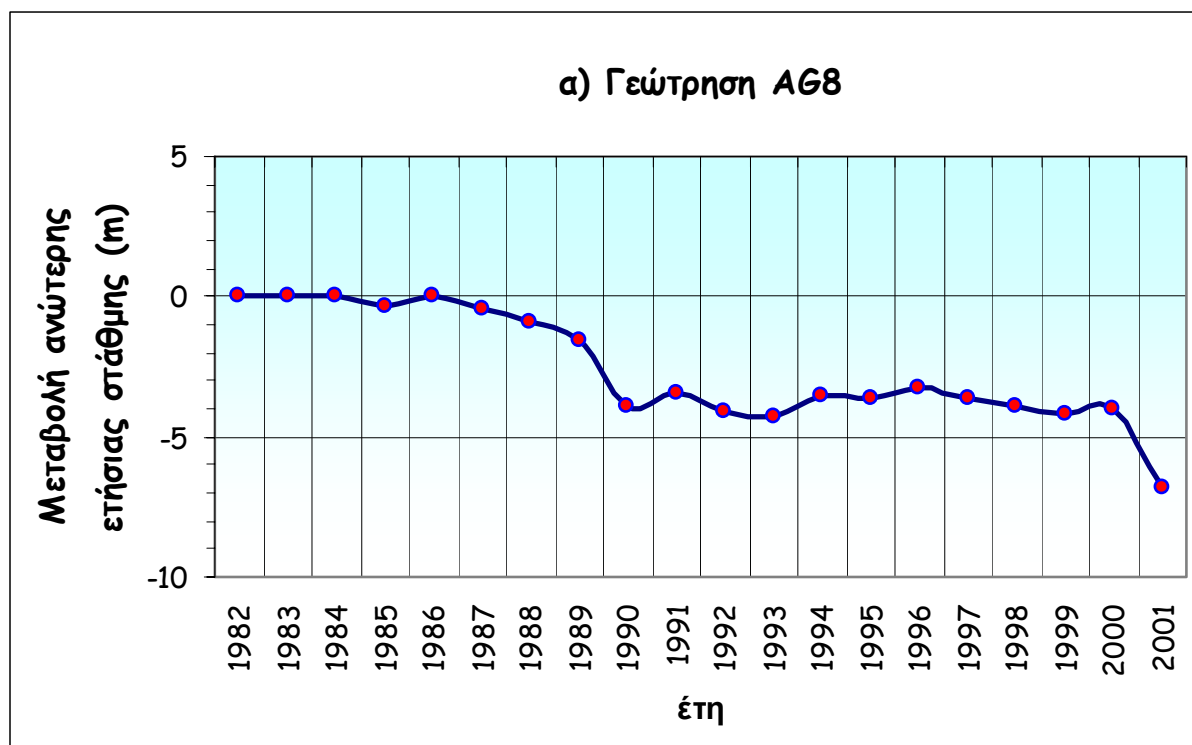
Η εξέλιξη της ανώτερης ετήσιας στάθμης των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης, για το χρονικό διάστημα 1975-2005, απεικονίζεται με τα διαγράμματα μεταβολής της ανώτερης ετήσιας στάθμης του υπόγειου νερού, λαμβάνοντας ως σημείο αναφοράς την ανώτατη στάθμη (Απρίλιο) του πρώτου έτους των διαθέσιμων δεδομένων στάθμης αντίστοιχα για κάθε μία γεώτρηση. Παρακάτω δίνεται ο Πίνακας 5.3.2 με τη μεταβολή ανώτερης ετήσιας στάθμης για κάθε γεώτρηση.

Πίνακας 5.3.2 Μεταβολή ανώτερης ετήσιας στάθμης για κάθε γεώτρηση

	AD5	AD6	AG8	PzT1	PzT2	PzT3	LB76	LB99	LB273	75Λ	M.O.
1975	0			5,89	1,59						3,74
1976	0,75			5,15	6,81						4,24
1977	0,55			10,93	5,73						5,74
1978	2,47			4,69	6,54						4,57
1979	2,74	0		2,15	2,36		0	0		0	2,42
1980	1,10	-0,94		1,25	1,15	0	0,31	-0,36		-1,89	0,09
1981	1,20	-1,09		2,14	2,69	1,87	1,33	-0,18		-0,31	0,96
1982	0,70	-1,02	0	1,99	2,89	-0,23	1,53	-1,08		-1,61	0,35
1983	1,52	-0,79	0	2,19	2,94	2,26	1,63	-0,37		0,49	1,10
1984	1,46	-0,46	0	2,88	3,19	1,16	2,22	-0,71		0,27	1,11
1985	1,86	-0,49	0,32	4,04	5,35	2,97	2,75	-0,30	0	3,44	2,22
1986	3,50	1,26	0	3,91	4,53	2,80	3,60	1,17	-0,26	-5,21	1,53
1987	3,80	1,54	0,43	3,98	5,52	0,32	3,49	1,48	1,24	-1,01	2,08
1988	4,34	2,16	0,90	3,93	4,73	3,73	4,06	2,06	1,10	1,77	2,88
1989	7,40	4,53	1,52	8,49	6,51	4,21	5,46	8,84	2,36	3,52	5,28
1990	20,45	5,55	3,88	13,70	9,04	6,03	7,61	12,85	7,83	4,62	9,16
1991	7,66	3,35	3,43	5,02	6,71	3,05	3,69	4,32	4,05	-0,71	4,06
1992	16,85	4,13	4,07	11,34	10,74	5,40	6,70	7,47	6,88	4,29	7,79
1993	11,25	4,01	4,24	11,70	11,95	4,53	5,90	5,84	5,04	2,66	6,71
1994	10,93	4,69	3,50	5,83	7,66	3,28	4,70	5,95	5,88	1,09	5,35
1995	10,50	3,67	3,58	5,14	8,73	4,08	5,40	6,30	5,86	1,84	5,51
1996		3,29	3,22	4,54	6,30	1,59	3,73	5,74	5,62	-0,56	3,72
1997		3,44	3,62	6,40	7,23	3,81	5,20	6,14	5,59	1,59	4,78
1998		4,04	3,89	7,78	8,55	4,19	5,46	6,47	6,16	1,80	5,37
1999		3,07	4,15	4,80	6,30	2,04	4,13	6,43	6,16	-0,13	4,11
2000		5,77	4,00	6,61	7,64	4,30	5,33	6,94	5,61	1,82	5,34
2001		6,51	6,85	14,79		5,92	6,89	8,27	9,19	1,74	7,52
2002		7,48		16,39		5,85	10,48	8,32	9,66	3,80	8,85
2003		5,06		4,29		2,27	3,53	6,32	8,43	-0,04	4,27
2004		7,04		5,67		4,11	5,38	5,66	6,08	1,74	5,10
2005				10,86		4,87		6,02	6,46		7,05

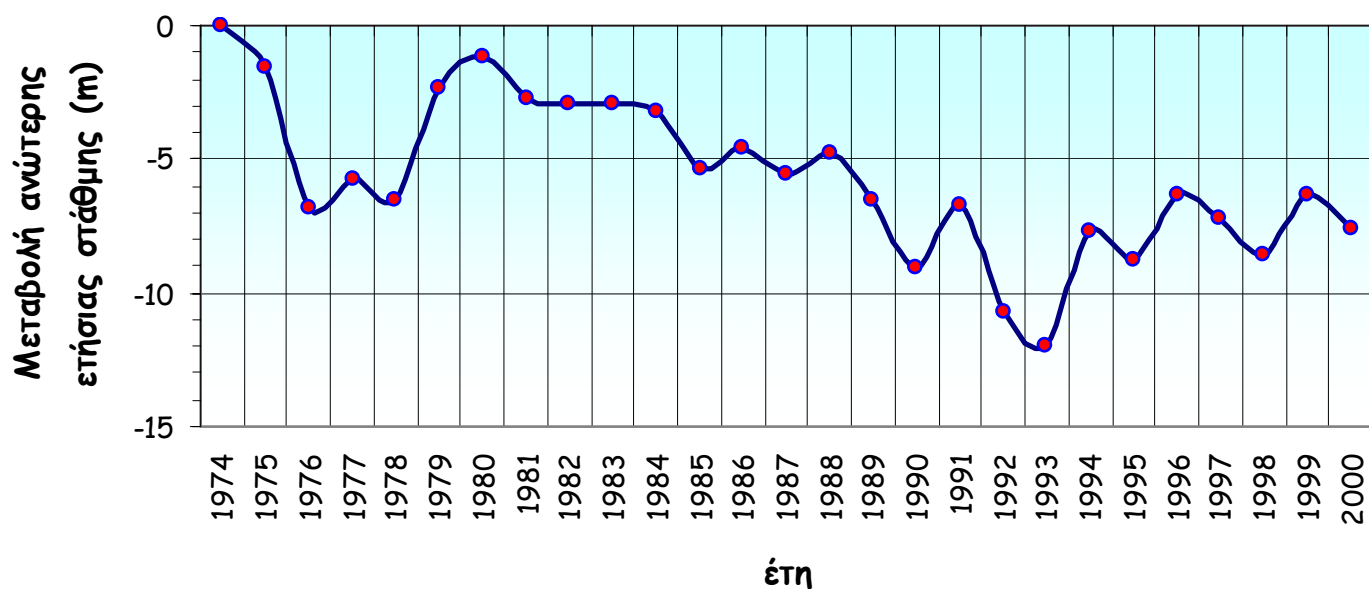
Παρακάτω δίνονται τα διαγράμματα μεταβολής της ανώτερης ετήσιας στάθμης για κάθε γεώτρηση στην περιοχή μελέτης.

Σχήμα 5.3.2.1: Καμπύλη μεταβολής της ανώτερης ετήσιας στάθμης των γεωτρήσεων που βρίσκονται στο ανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης & πλησίον του π. Πηνειού, (α. Γεώτρηση AG8, β. Γεώτρηση AD6)

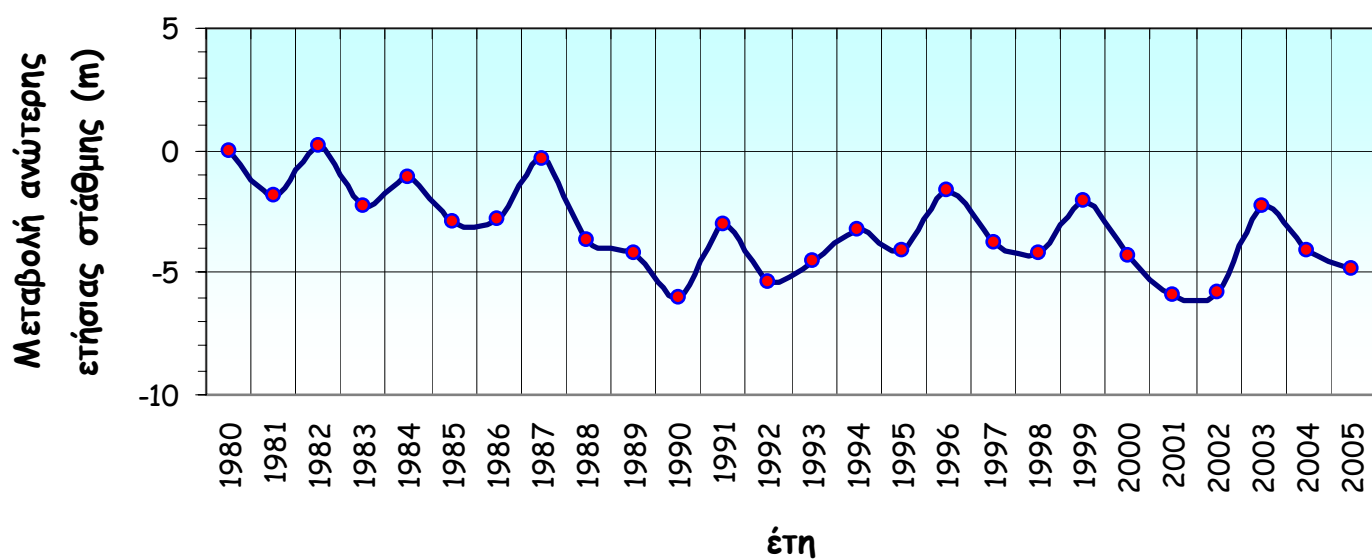


Σχήμα 5.3.2.2: Καμπύλη μεταβολής της ανώτερης ετήσιας στάθμης των γεωτρήσεων που βρίσκονται βορειοδυτικά της περιοχής μελέτης, νότια της κωμόπολης του Τυρνάβου & πλησίον του π. Τιταρίσιου, (α. Γεώτρηση PzT2, β. Γεώτρηση PzT3α, γ. Γεώτρηση 75Λ).

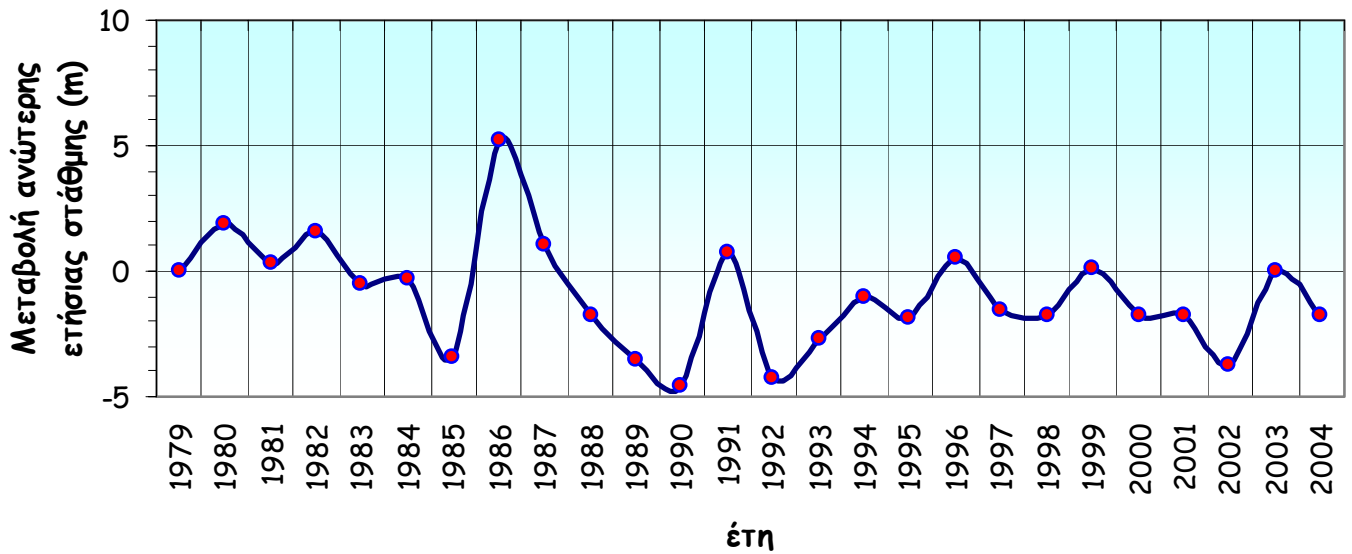
α) Γεώτρηση PzT2



β) Γεώτρηση PzT3α

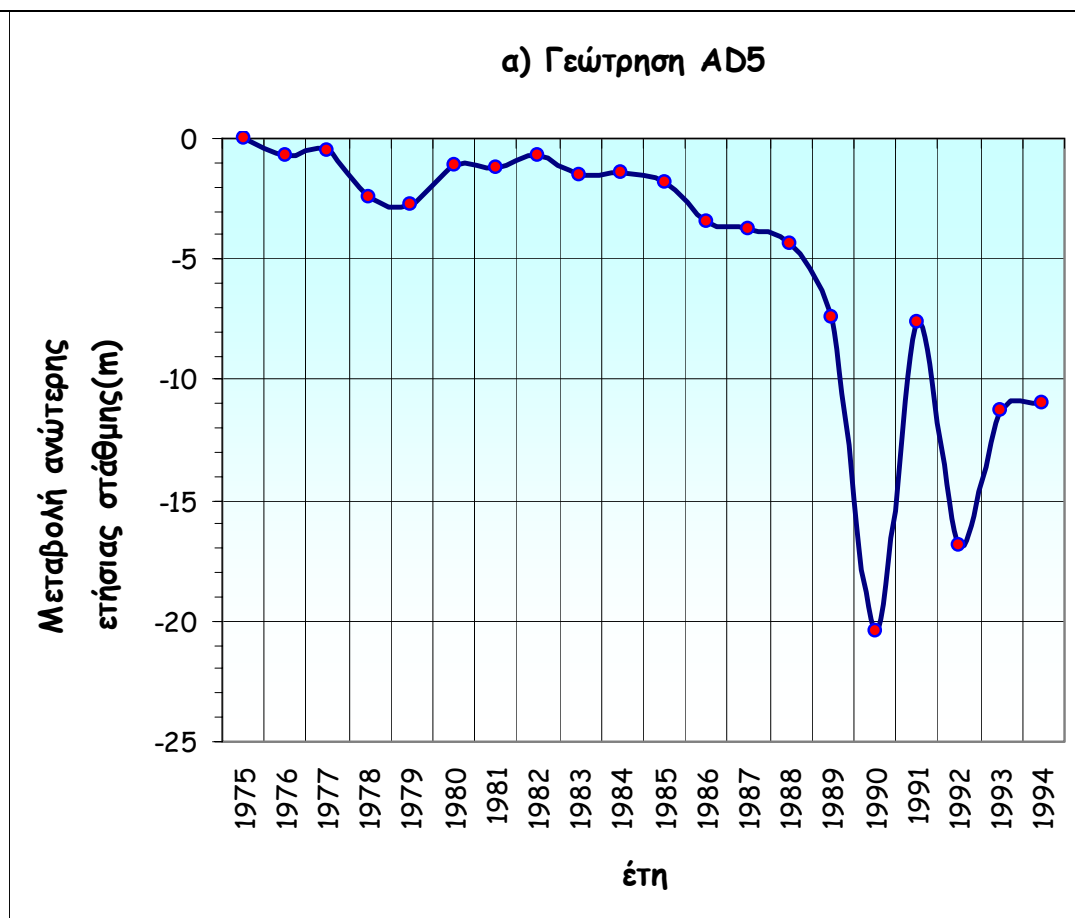


γ) Γεώτρηση 75Λ

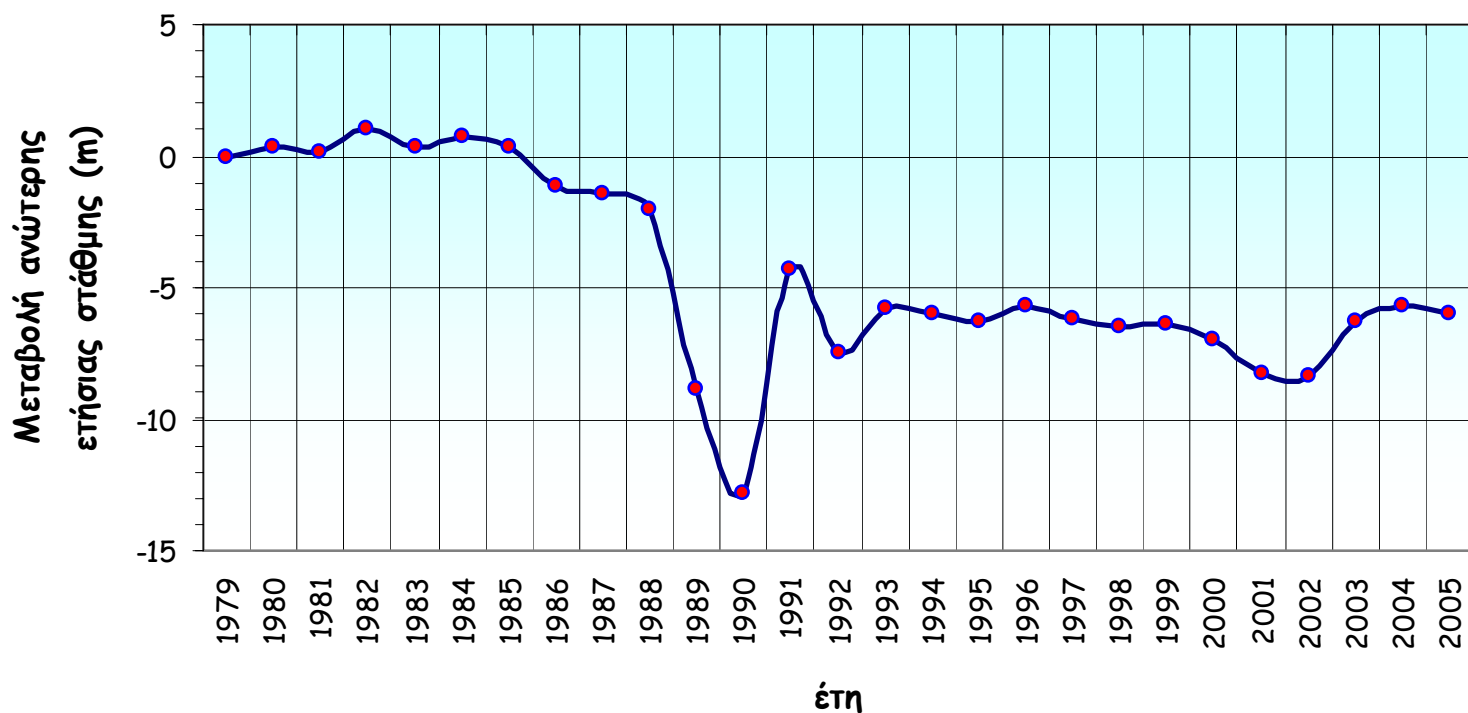


Σχήμα 5.3.2.3: Καμπύλη μεταβολής της ανώτερης ετήσιας στάθμης των γεωτρήσεων που βρίσκονται στο κεντρικό τμήμα της περιοχής μελέτης, (α. Γεώτρηση AD5, β. Γεώτρηση LB99, γ. Γεώτρηση LB273).

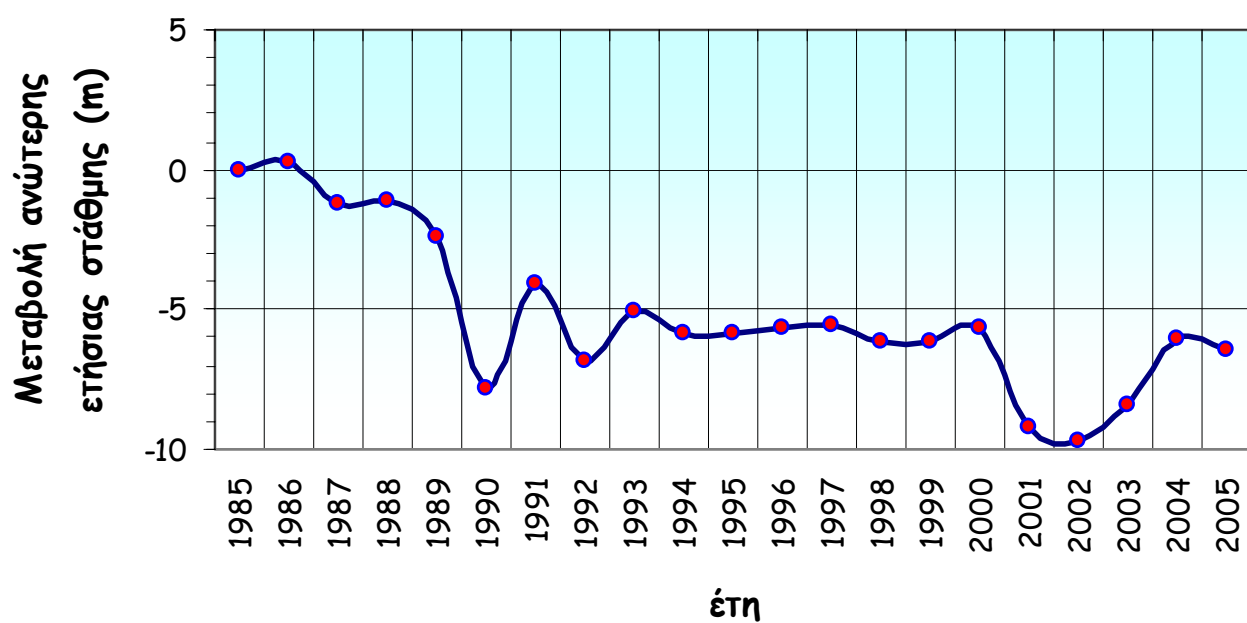
α) Γεώτρηση AD5



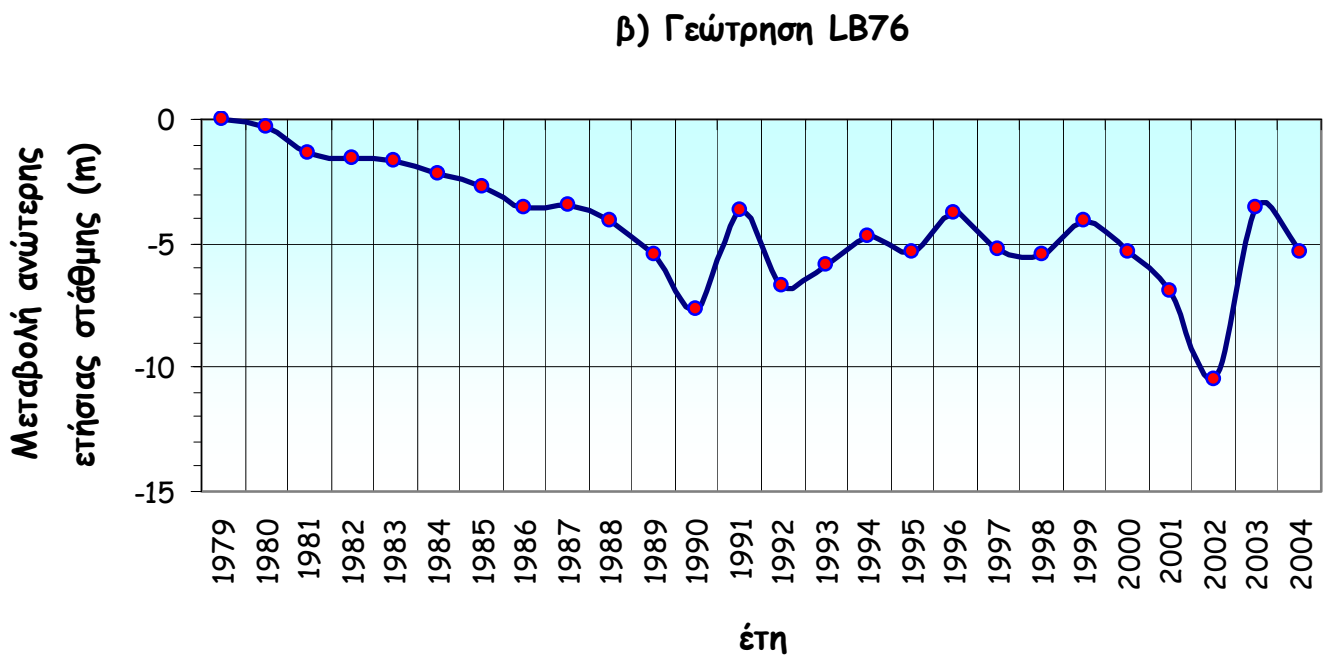
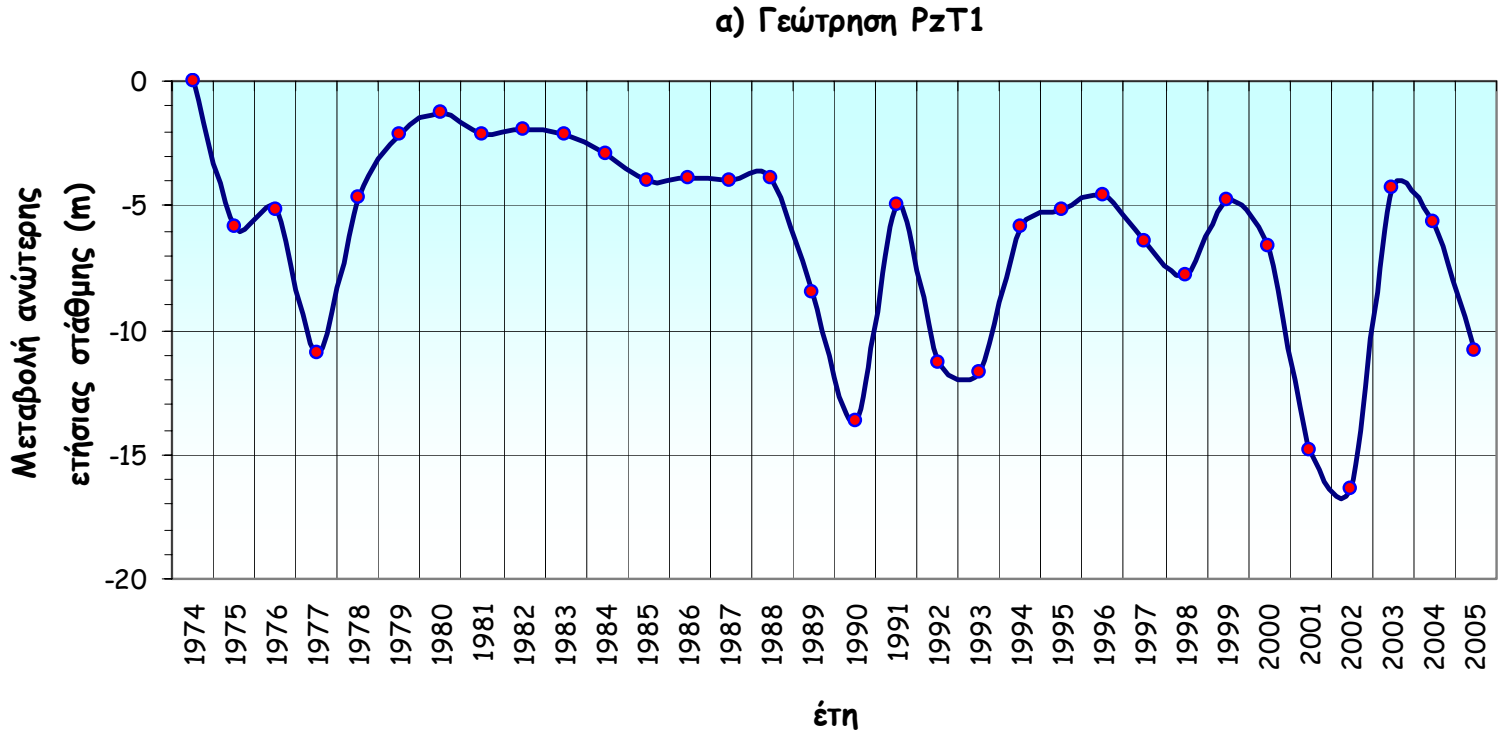
β) Γεώτρηση LB99



γ) Γεώτρηση LB273



Σχήμα 5.3.2.4: Καμπύλη μεταβολής της ανώτερης ετήσιας στάθμης των γεωτρήσεων που βρίσκονται στο νοτιοδυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης, (α. Γεώτρηση PzT1, β. Γεώτρηση LB76).



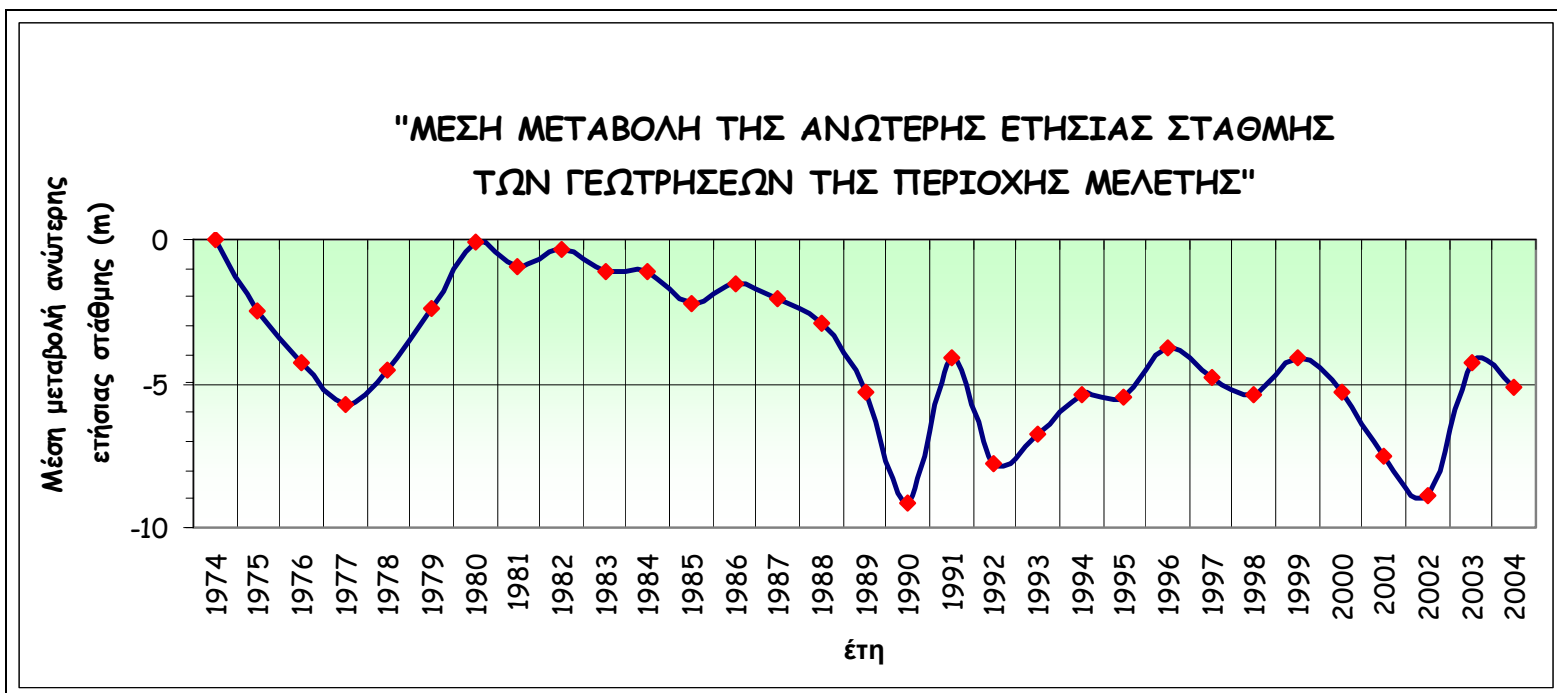
Στο Σχήμα 5.3.2.1 απεικονίζονται οι καμπύλες μεταβολής της ανώτερης ετήσιας στάθμης των γεωτρήσεων (α. AG8 και β. AD6), που βρίσκονται στο ανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης & πλησίον του π. Πηνειού. Παρατηρούμε μια κοινή μεταβολή της ανώτερης ετήσιας στάθμης και στις δύο γεωτρήσεις. Κατά το έτος 1990 λόγω έντονης ξηρασίας η πτώση στάθμης έφτασε τα 5m, καθώς επίσης κατά τη χρονική περίοδο 2000-2002 παρουσιάστηκε πτώση στάθμης στα 7,5m. Παρόλ' αυτά οι μεταβολές της ανώτερης ετήσιας στάθμης δεν είναι ιδιαίτερα μεγάλες. Σε περιόδους ξηρασίας η πτώση στάθμης παρατηρήθηκε να είναι μικρότερη από την αναμενόμενη, καθώς ο αλλουβιακός υδροφορέας εμπλουτίζεται επιφανειακά από το αρδευτικό δίκτυο πλησίον του ποταμού.

Στο Σχήμα 5.3.2.2 η μεταβολή της ανώτερης ετήσιας στάθμης των γεωτρήσεων (α. PzT2, β. PzT3a και γ. 75Λ), που βρίσκονται βορειοδυτικά της περιοχής μελέτης, νότια της κωμόπολης του Τυρνάβου & πλησίον του π. Τιταρίσιου, παρουσιάζει πολλές διακυμάνσεις πιθανώς λόγω της υψηλής υδροπερατότητας που παρουσιάζει η κοίτη του ποταμού και της μη συνεχούς ροής του. Στην περιοχή αυτή οι ποτάμιες αναβαθμίδες και οι ποταμολιμναίες αποθέσεις επιτροφοδοτούνται από τη κοίτη του Τιταρίσιου ιδιαίτερα μετά από έντονες βροχοπτώσεις εμπλουτίζοντας άμεσα τον αλλουβιακό υδροφορέα.

Στο Σχήμα 5.3.2.3 απεικονίζονται οι καμπύλες μεταβολής της ανώτερης ετήσιας στάθμης των γεωτρήσεων (α. AD5, β. LB99 και γ. LB273) που βρίσκονται στο κεντρικό τμήμα της περιοχής μελέτης. Η μέγιστη πτώση στάθμης που παρατηρήθηκε στην περιοχή μελέτης παρουσιάστηκε κατά το χρονικό διάστημα 1989-1990 στην γεώτρηση AD5, ξεπερνώντας τα 20m, ενώ το 1991 είχαμε μια σημαντική ανάκαμψη ζωτικής σημασίας στην ισορροπία του συστήματος στα 7,5m. Το 1992 ακολούθησε επίσης μεγάλη πτώση στάθμης που έφτασε τα 17m και έπειτα ακολούθησε μικρή άνοδος στάθμης που δεν ξεπέρασε τα 5m. Παρατηρούμε ότι ο αλλουβιακός υδροφορέας στο κεντρικό τμήμα της περιοχής μελέτης παρουσιάζει τις μεγαλύτερες μεταβολές ανώτερης ετήσιας στάθμης, καθώς δεν υπάρχει επιτροφοδοσία από κοίτη ποταμού ή υδατορέματος όπως στις γύρω περιοχές.

Τέλος, στο Σχήμα 5.3.2.4 απεικονίζονται οι καμπύλες μεταβολής της ανώτερης ετήσιας στάθμης των γεωτρήσεων (α. ΡzT1, β. LB76) που βρίσκονται στο νοτιοδυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης, στον πόδα του πρανούς του κάρστ. Οι θέσεις των γεωτρήσεων βρίσκονται σε ποταμοχερσαίους σχηματισμούς, οι οποίοι τροφοδοτούνται πλευρικά από το κάρστ, που αποτελεί ζώνη εμπλουτισμού για την αλλουβιακή λεκάνη. Παρατηρούμε μία πτώση στάθμης κατά το έτος 1990 (13,5m) λόγω έντονης ξηρασίας, ανάκαμψη το επόμενο έτος (5m) και ξανά πτώση στάθμης το 1992 φτάνοντας τα 13m. Κατά το χρονικό διάστημα 2001-2002 η πτώση στάθμης ξεπέρασε τα 16m, ενώ το 2003 η ανάκαμψη της ανώτερης ετήσιας στάθμης είναι σημαντική.

Στο Σχήμα 5.3.2.5 που ακολουθεί απεικονίζεται η μέση μεταβολή της ανώτερης ετήσιας στάθμης των γεωτρήσεων της περιοχής μελέτης για το χρονικό διάστημα 1975-2005.



Σχήμα 5.3.2.5 Μέση μεταβολή της ανώτερης ετήσιας στάθμης των γεωτρήσεων της περιοχής μελέτης για το χρονικό διάστημα 1975-2005

Κατά το έτος 1977 λόγω έντονης ξηρασίας (ετήσιο ύψος βροχής= 247mm) η πτώση της μέσης ετήσιας ανώτερης στάθμης πλησίασε τα 6m. Ακολούθησαν πλούσιες βροχομετρικά χρονιές, οι οποίες κατάφεραν να εμπλουτίσουν σημαντικά τον υδροφόρο και κατά το έτος 1980, όπου

είχαμε ετήσιο ύψος βροχής=425mm), παρουσιάστηκε η μεγαλύτερη άνοδος της στάθμης στην περιοχή μελέτης.

Στην επόμενη δεκαετία ακολούθησε σταδιακή πτώση της ανώτερης ετήσιας στάθμης με μεγαλύτερη του 1989-1990 που πλησίασε τα 10m. Η χρονιά 1990 χαρακτηρίστηκε ως ιδιαίτερα ξηρή, με ετήσιο ύψος βροχής μόλις 340mm.

Ακολούθησε μία πλούσια βροχομετρικά χρονιά (1991), με ετήσιο ύψος βροχής 490mm, και η μέση ανώτερη ετήσια στάθμη ανήλθε στα 4m.

Το 1992 η πτώση ανώτερης ετήσιας στάθμης πλησίασε τα 8m καθώς το ετήσιο ύψος βροχής ήταν 380mm και οι ξηροί μήνες Ιούλιος - Αύγουστος - Σεπτέμβριος ήταν άνομβροι.

Κατά το χρονικό διάστημα 1994-1999 η μέση ανώτερη ετήσια στάθμη δεν παρουσίασε μεγάλες μεταβολές και η τιμή της κυμάνθηκε στα 5m. Στη συνέχεια κατά το χρονικό διάστημα 2000-2002, το ετήσιο ύψος βροχής ήταν μόλις 370mm, και η πτώση της ανώτερης ετήσιας στάθμης πλησίασε τα 9m. Ακολούθησε μία πλούσια βροχομετρικά χρονιά (2003, ετήσιο ύψος βροχής=420mm) και επήλθε σημαντική άνοδος της ανώτερης ετήσιας στάθμης του υδροφόρου.

Συνοψίζοντας, όπως θα αναφέρουμε και παρακάτω η 20ετία 1982-2001 παρουσίασε μειωμένες βροχοπτώσεις έως και 30% από τις κανονικές και τα υδρολογικά έτη 1977, 1989, 1990, 1992, 2000, και 2001 χαρακτηρίζονται έντονα ξηρά.

Η έντονη ξηρασία καθώς επίσης η κακή διαχείριση και η αλόγιστη ανόρυξη αρδευτικών και υδρευτικών γεωτρήσεων κυρίως ιδιωτικών, νόμιμων και παράνομων σε όλη την επικράτεια του νομού, επέφεραν μεγάλη πτώση στάθμης του υπόγειου νερού.

5.4 Χάρτες μεταβολής ανώτερης ετήσιας στάθμης

Η εξέλιξη της πορείας της ανώτερης ετήσιας στάθμης των υπόγειων νερών (στάθμη υγρής περιόδου) κατά τη διάρκεια 1975-2005 παρουσιάζει μεταβολές όπως αναλύσαμε στην τελευταία παράγραφο. Η χωρική μεταβολή της απεικονίζεται στους χάρτες μεταβολής ανώτερης ετήσιας στάθμης.

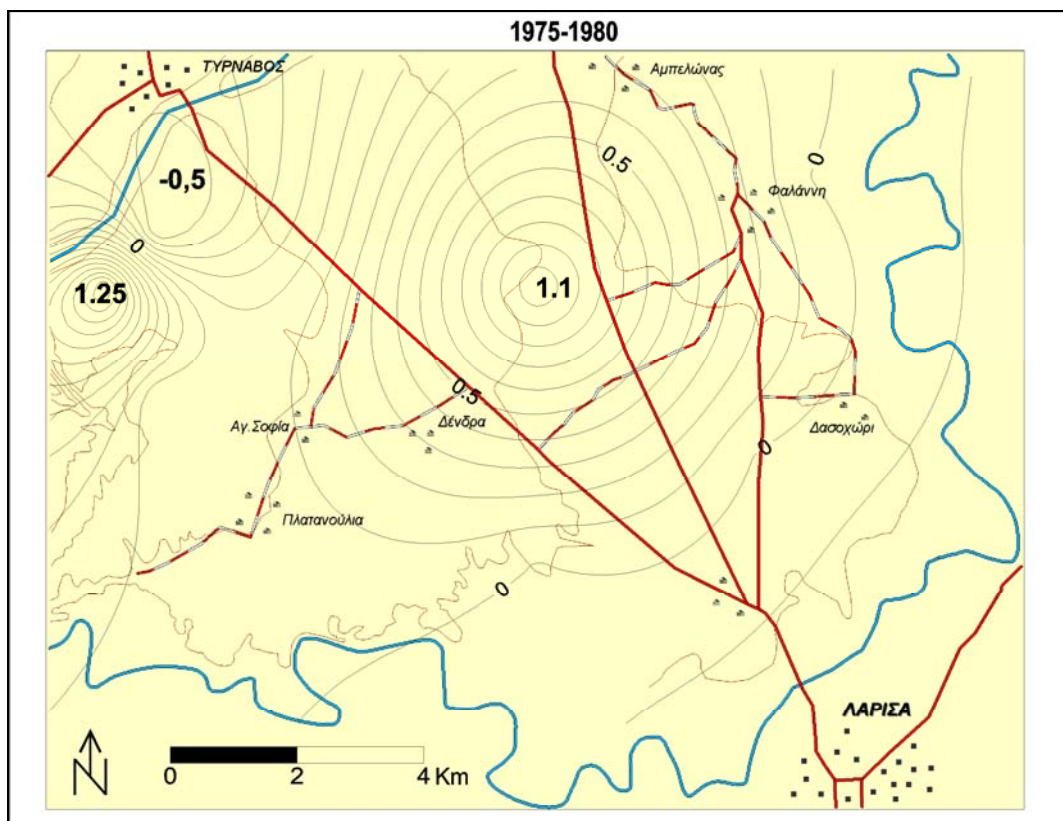
Για το χρονικό διάστημα 1972-2005 κατασκευάστηκαν οι χάρτες μεταβολής ανώτερης ετήσιας στάθμης, με καμπύλες πτώσης στάθμης ανά πενταετία (1980, 1985, 1990, 1995, 2000 & 2005), λαμβάνοντας ως σημείο αναφοράς την ανώτερη στάθμη (υγρής περιόδου) του υπόγειου νερού κατά το μήνα Απρίλιο του έτους 1975, Σχήματα 5.4 α), β), γ), δ), ε), ζ).

Οι καμπύλες μεταβολής της δείχνουν πύκνωση ή αραιώση, η οποία οφείλεται σε πολλούς παράγοντες, όπως είναι η περατότητα του υδροφορέα, το πάχος του υδροφόρου στρώματος, η μορφολογική κλίση του εδάφους, η παροχή του υδροφόρου ορίζοντα και κυρίως οι αντλήσεις.

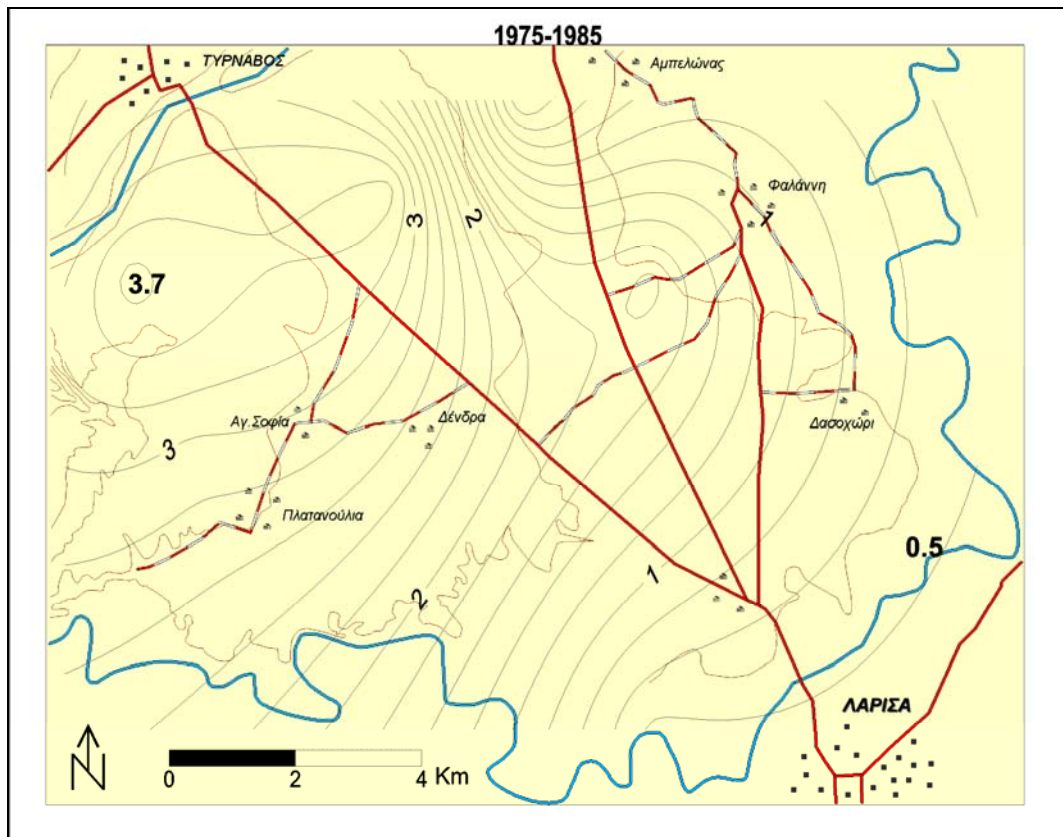
Για την κατασκευή των χαρτών χρησιμοποιήθηκαν τα προγράμματα MapInfo Professional 6.5 και Surfer 8.0.

Τέλος, ακολουθεί χάρτης συνολικής δίχρωμης απεικόνισης της πτώσης στάθμης στην περιοχή μελέτης, Σχήμα 5.4.1.

Στο χάρτη του Σχήματος 5.4 α), με τη μεταβολή της περιόδου 1975-1980, παρατηρούμε μια μικρή πτώση στάθμης που δεν ξεπερνάει το 1,5m ενώ νότια της πόλης του Τυρνάβου ο Τιταρήσιος ποταμός φαίνεται ότι εμπλουτίζει σημαντικά τον υδροφορέα.



Σχήμα 5.4.α) Χάρτης μεταβολής της ανώτερης ετήσιας στάθμης για τη περίοδο α)1975-1980



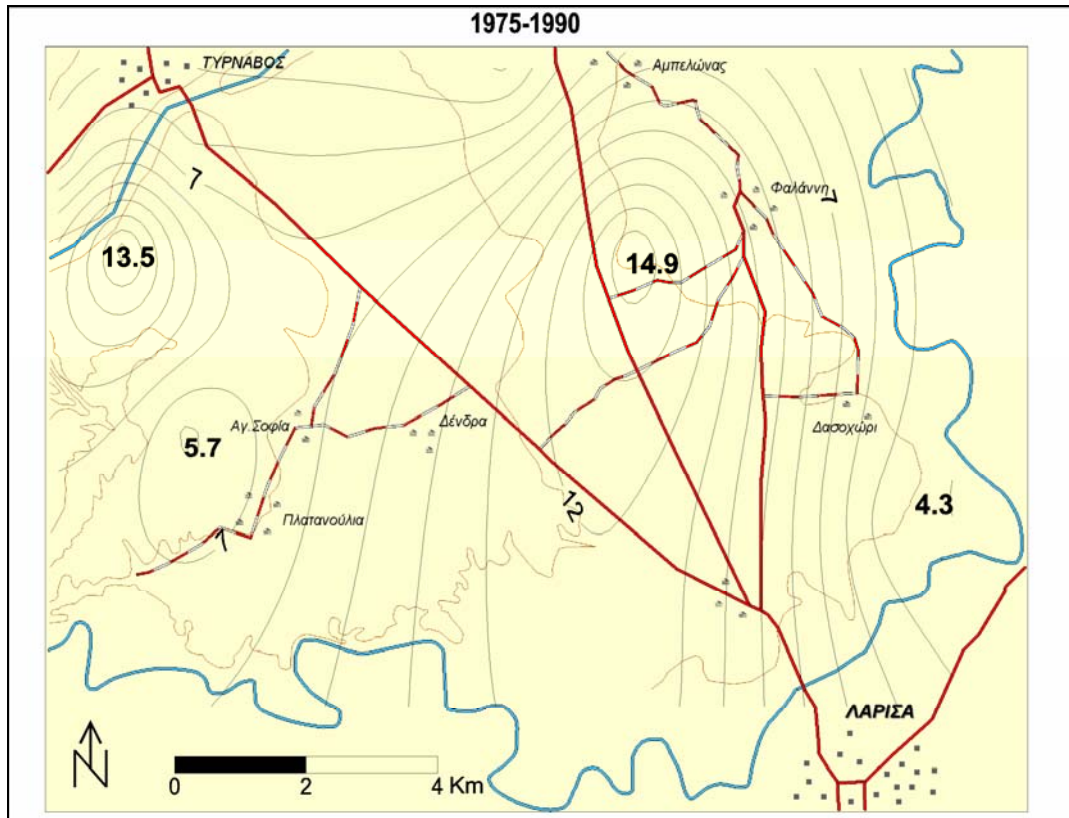
Σχήμα 5.4.β) Χάρτης μεταβολής της ανώτερης ετήσιας στάθμης
της περιοχής μελέτης για τη περίοδο β)1975-1985

Στο χάρτη του Σχήματος 5.4 β) με τη μεταβολή της περιόδου 1975-1985, είναι εμφανής μια πτώση στάθμης της τάξης των 3,7m, η οποία είναι εντονότερη στο δυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης ενώ ανατολικά παρατηρείται μικρή άνοδος στάθμης, η οποία πιθανώς οφείλεται στις υψηλές τιμές των κατακρημνισμάτων των προηγούμενων ετών 1980-1984.

Στο χάρτη του Σχήματος 5.4 γ) με τη μεταβολή της περιόδου 1975-1990, παρατηρήθηκε η μέγιστη πτώση στάθμης που πλησίασε τα 15m, στο κεντρικό τμήμα της περιοχής μελέτης και νοτιοδυτικά του οικισμού Φαλάννης, καθώς επίσης νότια του οικισμού Τυρνάβου πλησίον του Τιταρίσιου ποταμού η πτώση στάθμης έφτασε τα 13,5m. Η έντονη πτώση στάθμης του υδροφόρου που παρουσιάστηκε την περίοδο 1975-1990 οφείλετο κυρίως:

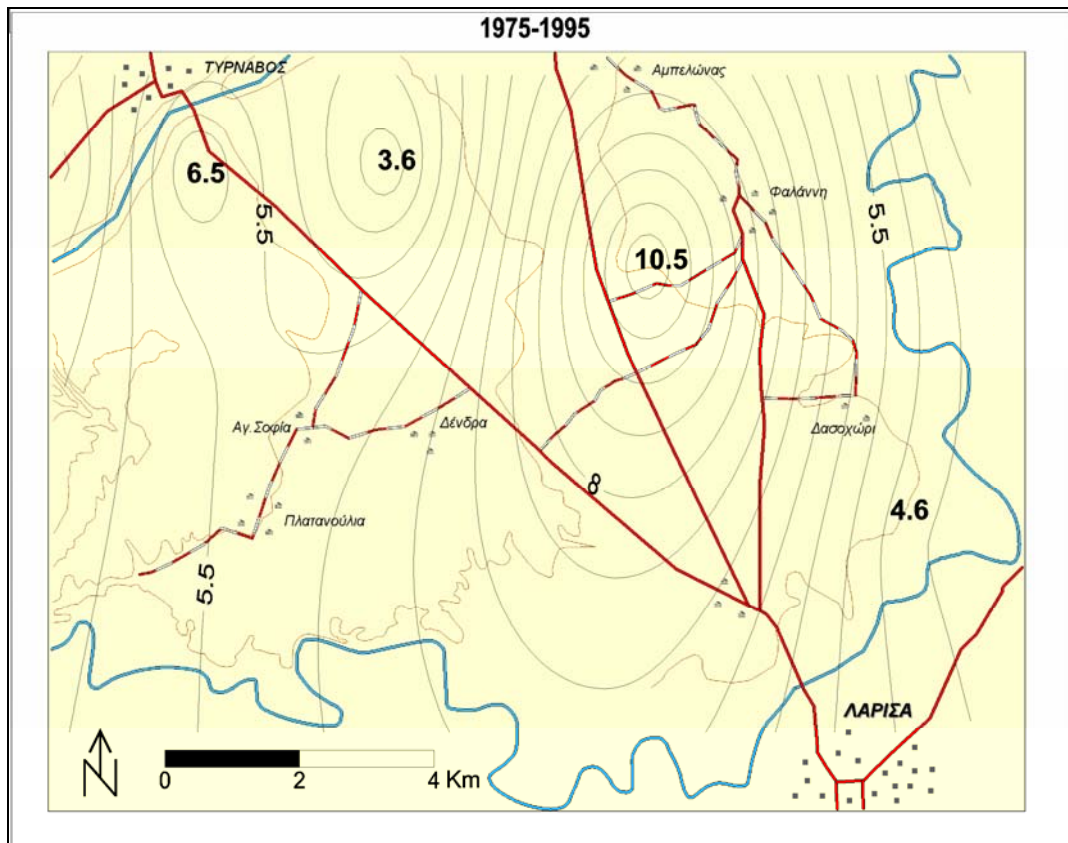
- Στην έντονη ξηρασία των ετών 1989 και 1990 (ετήσιο ύψος βροχής του 1990=340mm)
- Στην άρση των απαγορευτικών μέτρων ανόρυξης γεωτρήσεων (1987-1988) με συνέπεια την κατασκευή πολλών ιδιωτικών γεωτρήσεων.

- Στην κατασκευή νέων συλλογικών γεωτρήσεων πέραν των αρχικά προγραμματισμένων δικαιοδοσίας Τ.Ο.Ε.Β. υπό καθεστώς σπασμωδικών κινήσεων για αντιμετώπιση προβλημάτων σε ξηρικές χρονιές
- Στην εφαρμογή προγραμμάτων λειτουργίας των γεωτρήσεων υπό συνεχή άντληση με αρνητικά αποτελέσματα στην βιωσιμότητά τους.



Σχήμα 5.4.γ) Χάρτης μεταβολής της ανώτερης ετήσιας στάθμης της περιοχής μελέτης για τη περίοδο γ)1975-1990

Στο Χάρτη 5.4 δ) με τη μεταβολή της περιόδου 1975-1995, παρατηρούμε μια άνοδο της στάθμης της τάξης του 30% στο κεντρικό τμήμα της περιοχής μελέτης, ενώ δυτικά η άνοδος της στάθμης είναι ακόμη μεγαλύτερη, της τάξης του 50%. Συμπεραίνουμε ότι κάποιες πλούσιες βροχομετρικά χρονιές (1991 και 1994) και η ορθολογικότερη διαχείριση από την πολιτεία επανέφεραν σε μικρό βαθμό τη διαταραγμένη ισορροπία του υπόγειου δυναμικού, χωρίς όμως αυτή να μπορέσει να επανέλθει στα αρχικά επίπεδα.

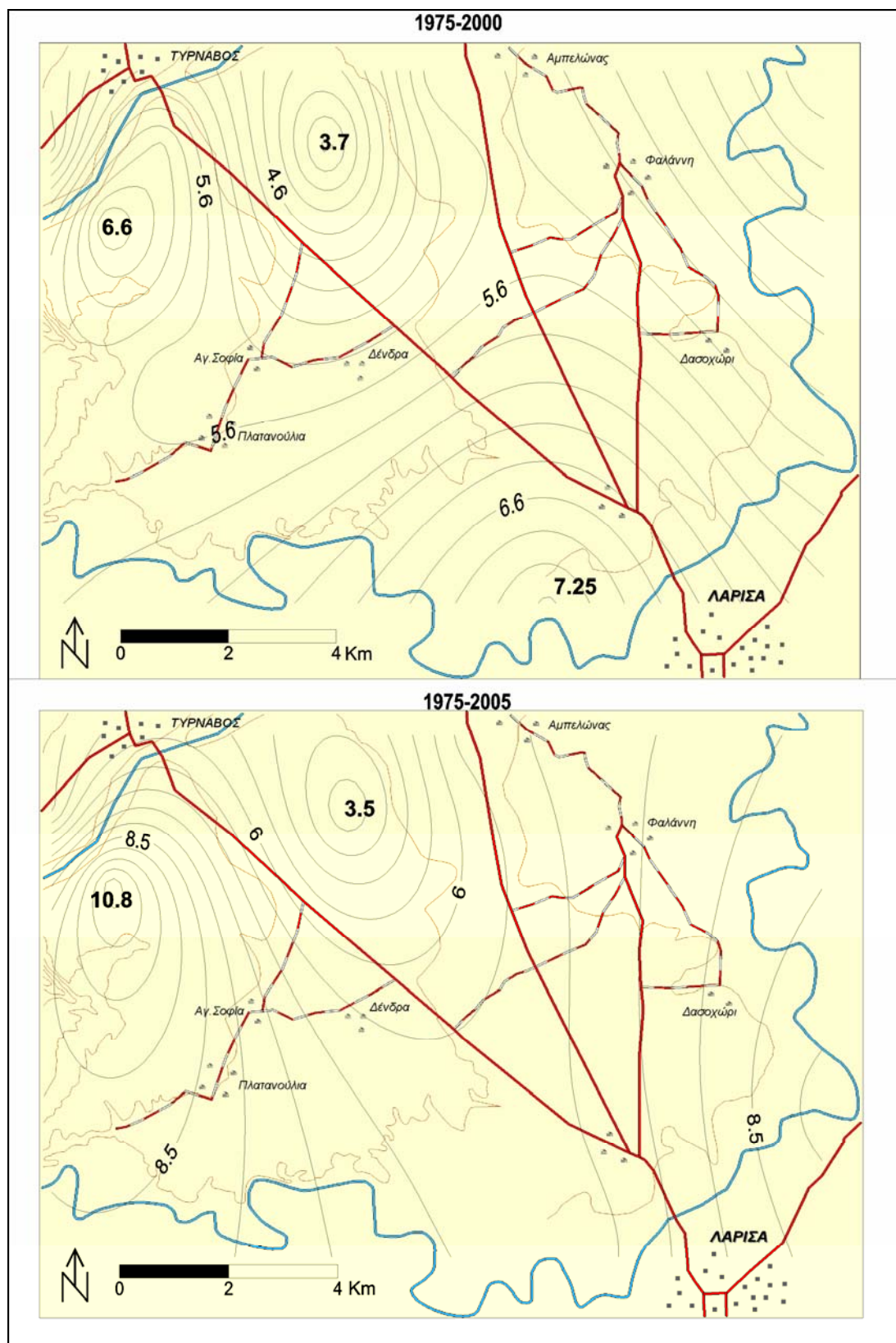


Σχήμα 5.4.δ) Χάρτης μεταβολής της ανώτερης ετήσιας στάθμης
της περιοχής μελέτης για τη περίοδο δ)1975-1995

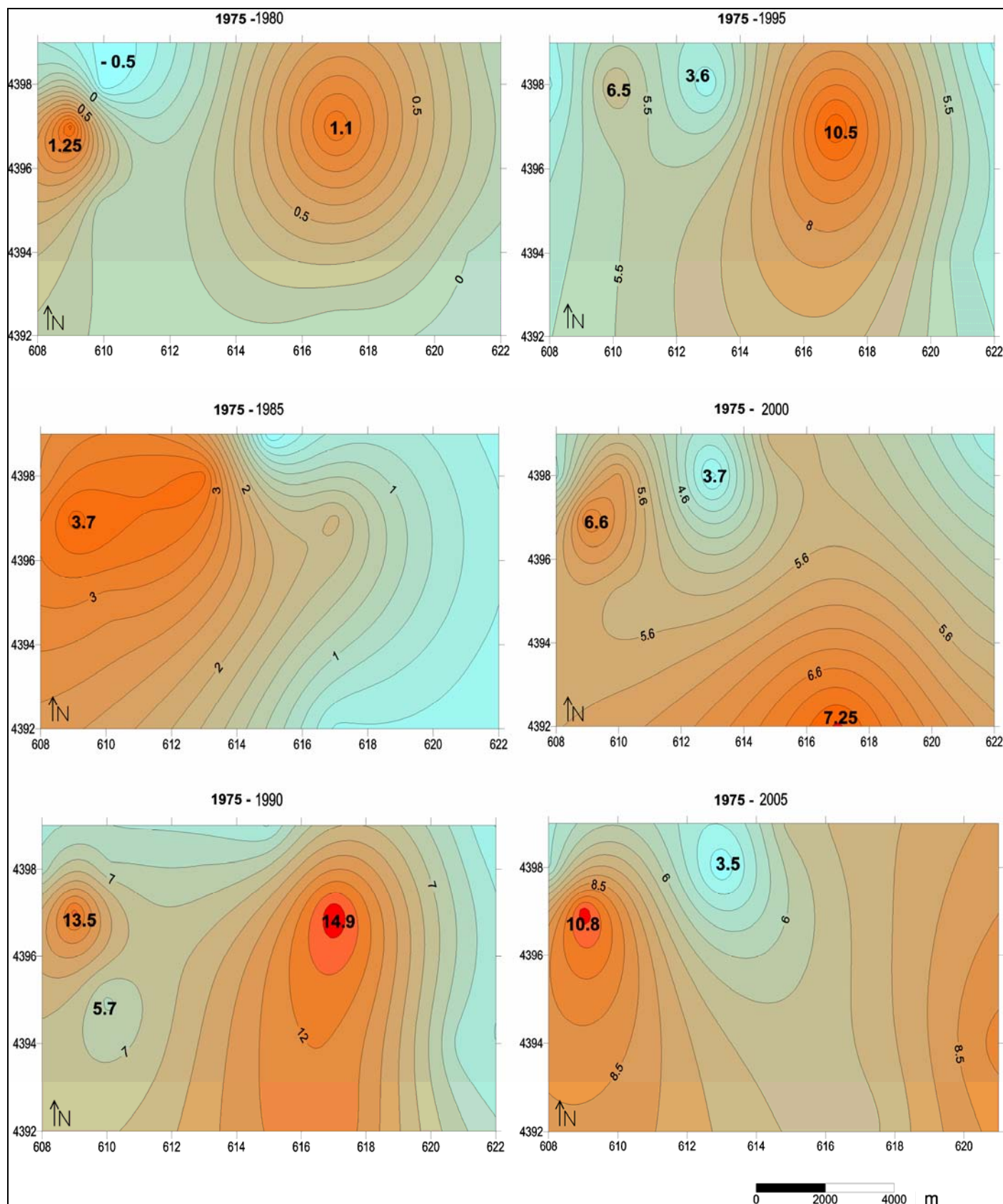
Στους χάρτες των Σχημάτων 5.4 ε) και 5.4 ζ) με τη μεταβολή των περιόδων 1975-2000 & 1975-2005, παρατηρούνται συνεχώς αυξανόμενες τιμές πτώσης στάθμης στο δυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης που ξεπερνούν τα 10m.

Συνοψίζοντας, οι μεγαλύτερες τιμές πτώσης στάθμης παρατηρούνται στο κεντρικό τμήμα της περιοχής μελέτης όπου δεν υπάρχει επιτροφοδοσία από υδρογραφικό δίκτυο και η άρδευση των καλλιεργειών γίνεται εξολοκλήρου με πολυάριθμες αρδευτικές γεωτρήσεις.

Επίσης, νότια της κωμόπολης του Τυρνάβου, βόρεια της όχθης του Τιταρίσιου ποταμού, τα πιεζομετρικά στοιχεία της γεώτρησης PzT1, απεικονίζουν μια σημαντική πτώση στάθμης κωνοειδούς μορφής. Αυτή η εμφανής κάμψη της πιεζομετρικής επιφάνειας θα μπορούσε να ερμηνευτεί ως αποτέλεσμα της στείρευσης της κοίτης του Τιταρήσιου ποταμού, ο οποίος παλαιότερα τροφοδοτούσε και εμπλούτιζε σε νερό την περιοχή.



Σχήμα 5.4.ε),ζ): Χάρτες μεταβολής της ανώτερης ετήσιας στάθμης της περιοχής μελέτης για τις περιόδους ε)1975-2000 και ζ)1975-2005



Σχήμα 5.4.1): Χάρτες συνολικής απεικόνισης της μεταβολής της ανώτερης ετήσιας στάθμης στην περιοχή μελέτης

5.5 Η μέση άνοδος της στάθμης κατά την περίοδο Οκτωβρίου - Απριλίου σε σχέση με τη βροχόπτωση

Τα διαγράμματα μεταβολής της στάθμης αποδεικνύουν πως ο ρόλος του βροχομετρικού ύψους, της γεωλογικής σύστασης του υδροφορέα και του υπερκείμενου στρώματος, είναι πολύ σημαντικός. Η αντίδραση της στάθμης του υπόγειου νερού μετά από βροχοπτώσεις είναι πιο άμεση και έντονη στα καρστικά πετρώματα, και λιγότερη στα ρηχά αλλουβιακά και ακόμη λιγότερη στα βαθιά υδροφόρα στρώματα με αδιαπέρατο επικάλυμμα. Σύμφωνα με έρευνες που έγιναν σε περιόδους ξηρασίας στην Ελλάδα το 1989 και 1990, η υποχώρηση της στάθμης των υδροφόρων ακολουθεί εκθετική καμπύλη της μορφής (Σούλιος, 2004):

$$h = h_0 \cdot e^{-at}$$

όπου, h_0 = η αρχική στάθμη κατά την έναρξη της περιόδου ξηρασίας

t = ο χρόνος σε ημέρες από την στιγμή t_0 έναρξης της ξηρασίας

h = η στάθμη μετά την παρέλευση t ημερών από την στιγμή t_0

a = ο συντελεστής αποστράγγισης

Η επαναφόρτιση του υπόγειου υδροφορέα συντελείται κατά την υγρή περίοδο (Οκτώβριος – Απριλίου) του υδρολογικού έτους. Τα υψηλά μηνιαία κατακρημνίσματα συμβάλλουν ουσιαστικά στην επάνοδο της στάθμης του υδροφόρου και αναπληρώνουν το χαμένο υδραυλικό φορτίο της ξηράς περιόδου συμβάλλοντας στην υδρολογική ισορροπία.

Για κάθε υδρολογικό έτος ξεχωριστά, από τις μηνιαίες τιμές της στάθμης του υπόγειου νερού στις γεωτρήσεις της περιοχής μελέτης, υπολογίστηκε η άνοδος της στάθμης κατά την υγρή περίοδο (Οκτωβρίου – Απριλίου). Αυτήν την άνοδο της στάθμης προσπαθήσαμε να τη συσχετίσουμε με την αντίστοιχη βροχόπτωση της ίδιας χρονικής περιόδου, έτσι ώστε να υπολογίσουμε το βαθμό που τα κατακρημνίσματα επηρεάζουν την επαναφόρτιση του υδροφορέα.

Παρακάτω στον Πίνακα 5.5.1 δίνονται οι τιμές της ανόδου της στάθμης γεωτρήσεων κατά την περίοδο από Οκτώβριο έως Απρίλιο, όπως αυτή μετρήθηκε στις γεωτρήσεις της περιοχής για κάθε έτος ξεχωριστά. Με αρνητικό πρόσημο απεικονίζονται οι τιμές όπου παρατηρήθηκε περεταίρω πτώση της στάθμης, προφανώς λόγω φτωχών βροχομετρικά ετών.

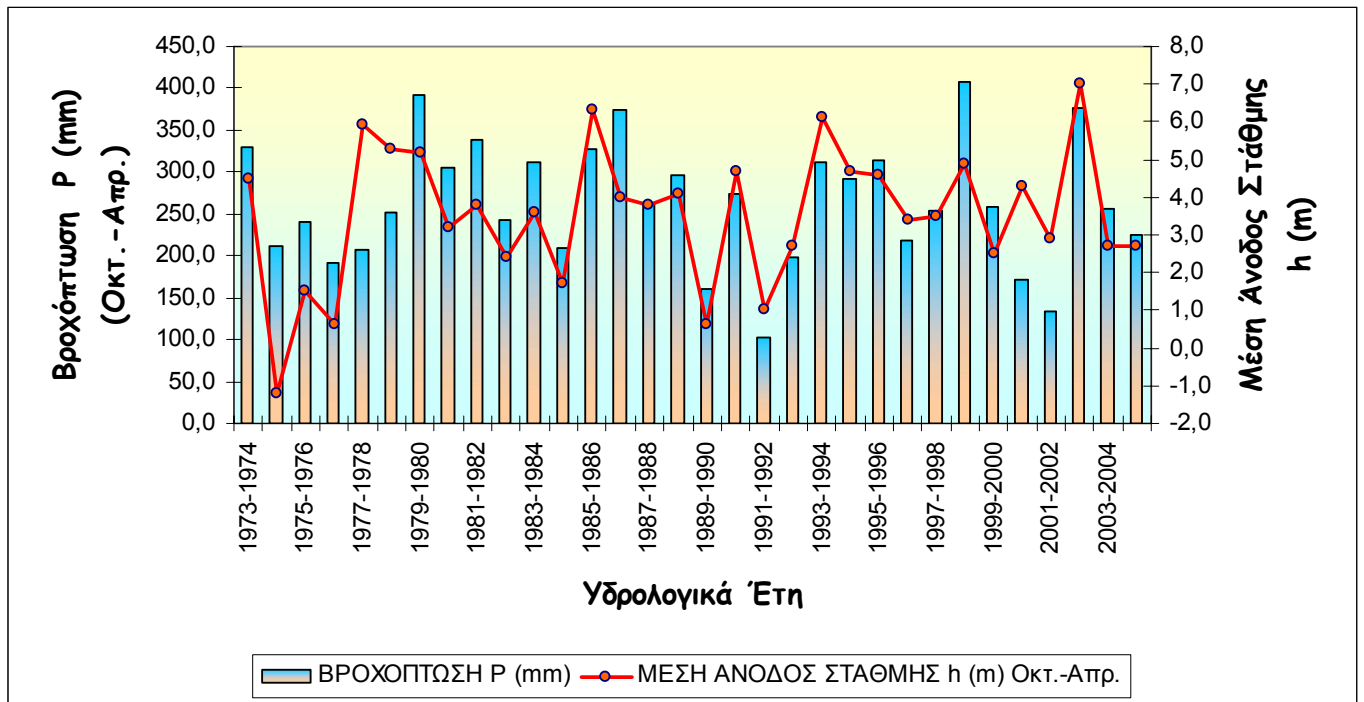
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.5.1

ΑΝΟΔΟΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ-ΑΠΡΙΛΙΟΥ											Μ.Ο.
	AD5	AD6	AG8	PzT1	PzT2	PzT3	LB76	LB99	LB273	75Λ	
1973-1974				4,8	4,2						4,5
1974-1975	0,7			-6,1	1,8						-1,2
1975-1976	0,5			2,9	1,1						1,5
1976-1977	0,6			-1,0	2,2						0,6
1977-1978	3,1			8,8	5,8						5,9
1978-1979	2,7	5,5		6,9	6,1						5,3
1979-1980	4,8	5,8		7,2	7,4		2,4	4,1		4,4	5,2
1980-1981	2,9	3,8		4,9	4,9	2,7	1,1	2,0		3,1	3,2
1981-1982	2,7	3,8		5,4	5,2	3,6	1,3	1,7		6,4	3,8
1982-1983	3,2	4,9	0,0	4,6	4,0	0,8	0,1	2,2		1,6	2,4
1983-1984	4,4	4,8	0,0	6,1	5,3	3,1	2,3	2,7		3,4	3,6
1984-1985	2,7	3,8	0,7	4,4	2,9	0,7	0,9	1,5	-1,0	0,4	1,7
1985-1986	10,2	9,5	3,7	6,4	5,5	3,0	2,5	4,5	7,2	10,1	6,3
1986-1987	6,9	7,0	4,3	4,6	1,8	2,1	1,7	3,6	5,4	2,3	4,0
1987-1988	5,1	5,8	3,4	6,1	4,8	1,6	1,4	3,2	4,7	1,7	3,8
1988-1989	6,8	4,9	4,1	6,3	4,4	1,9	1,9	3,2	5,3	2,3	4,1
1989-1990	-1,3	0,7	3,9	-1,0	2,1	1,2	1,3	-5,2	3,6	0,5	0,6
1990-1991	8,3	3,5	4,5	6,6	2,6	3,7	4,0	3,6	5,7	4,7	4,7
1991-1992	4,5	-0,1	2,4	0,4	-0,8	-0,6	-0,1	1,8	2,5	-0,2	1,0
1992-1993	8,5	1,6	3,9	-0,6	-0,6	1,8	1,4	3,3	5,9	1,9	2,7
1993-1994	9,0	3,2	7,5	9,5	5,8	5,4	4,0	4,1	7,1	5,6	6,1
1994-1995	9,5	3,7	5,1	5,1	3,5	3,3	2,5	3,6	7,1	3,5	4,7
1995-1996		1,9	4,1	8,3	5,2	4,3	3,1	3,1	6,5	4,8	4,6
1996-1997		1,9	4,4	5,2	4,0	1,6	1,6	2,9	6,9	2,2	3,4
1997-1998		1,1	3,7	4,9	4,0	2,4	2,2	3,2	6,4	3,2	3,5
1998-1999		2,9	4,2	6,4	5,5	4,3	4,0	4,5	6,9	5,2	4,9
1999-2000		0,9	3,0	4,9	3,2	1,2	1,0	2,0	4,7	1,8	2,5
2000-2001		0,9	3,4	-0,5	18,9	1,8	3,2	3,7	4,4	2,9	4,3
2001-2002		1,8		-0,7		3,9	1,5	4,9	6,2	2,9	2,9
2002-2003		5,9		10,1		5,2	7,2	4,7	6,6	9,6	7,0
2003-2004		2,1		4,0		1,5	1,3	2,9	5,1	2,0	2,7
2004-2005		3,4		-0,9		2,7		2,5	5,9		2,7
Μ.Ο.	4,6	3,5	3,5	4,2	4,3	2,5	2,2	2,9	5,4	3,5	

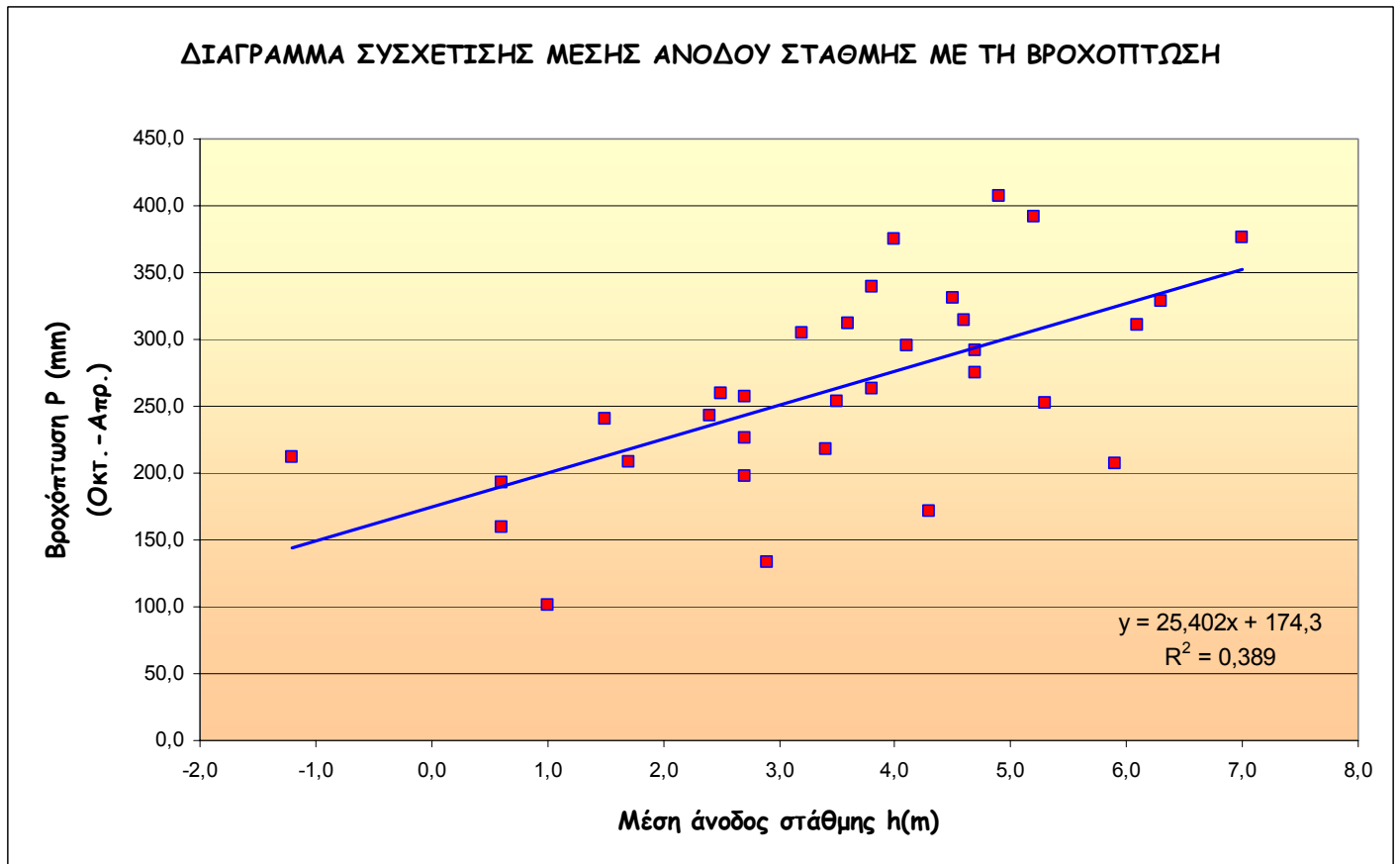
Στον Πίνακα 5.5.2 δίνεται η μέση άνοδος της στάθμης της υγρής περιόδου (Οκτώβριος – Απριλίου) καθώς και η αντίστοιχη βροχόπτωση για κάθε υδρολογικό έτος όπως αυτή μετρήθηκε από τον μετεωρολογικό σταθμό της Λάρισας.

Πίνακας 5.5.2: Μέση άνοδος της στάθμης της υγρής περιόδου & η αντίστοιχη βροχόπτωση		
Υδρολογικό έτος	Βροχόπτωση P(mm) Οκτ.-Απρ.	Μέση Άνοδος Στάθμης h (m) Οκτ.-Απρ.
1973-1974	330,7	4,5
1974-1975	211,6	-1,2
1975-1976	240,6	1,5
1976-1977	192,3	0,6
1977-1978	207,0	5,9
1978-1979	252,8	5,3
1979-1980	391,3	5,2
1980-1981	304,8	3,2
1981-1982	339,0	3,8
1982-1983	243,1	2,4
1983-1984	312,5	3,6
1984-1985	208,5	1,7
1985-1986	328,3	6,3
1986-1987	374,7	4,0
1987-1988	262,8	3,8
1988-1989	295,5	4,1
1989-1990	159,9	0,6
1990-1991	274,9	4,7
1991-1992	101,6	1,0
1992-1993	197,2	2,7
1993-1994	311,0	6,1
1994-1995	291,7	4,7
1995-1996	314,3	4,6
1996-1997	217,8	3,4
1997-1998	254,1	3,5
1998-1999	407,2	4,9
1999-2000	259,3	2,5
2000-2001	171,4	4,3
2001-2002	133,0	2,9
2002-2003	376,0	7,0
2003-2004	257,0	2,7
2004-2005	226,0	2,7

Παρακάτω στο Σχήμα 5.5.1 δίνεται το διάγραμμα διακύμανσης της μέσης ανόδου στάθμης (h) των γεωτρήσεων, για την περίοδο Οκτ.-Απρ., και του αντίστοιχου ύψους βροχόπτωσης (P) για κάθε υδρολογικό έτος σε συνάρτηση με το χρόνο, για τη χρονική περίοδο 1973-2005. Στο Σχήμα 5.5.2 δίνεται το διάγραμμα συσχέτισης της μέσης ανόδου στάθμης (h) με το αντίστοιχο ύψος βροχόπτωσης (P) για την χρονική περίοδο 1973-2005.



Σχήμα 5.5.1 Διάγραμμα διακύμανσης της μέσης ανόδου της στάθμης των γεωτρήσεων, για την περίοδο Οκτ.-Απρ., και της αντίστοιχης βροχόπτωσης για κάθε υδρολογικό έτος σε συνάρτηση με το χρόνο, για τη χρονική περίοδο 1973 έως το 2005.



Σχήμα 5.5.2: Διάγραμμα συσχέτισης της μέσης ανόδου της στάθμης των γεωτρήσεων με το αντίστοιχο ύψος βροχόπτωσης (P), για την χρονική περίοδο 1973-2005.

Παρατηρούμε ότι η μέση άνοδος στάθμης στα περισσότερα υδρολογικά έτη συσχετίζεται με τη βροχόπτωση. Συνεπώς μια υψηλή τιμή κατακρημνισμάτων δίνει μια μεγάλη τιμή ανόδου της στάθμης. Ο υδροφόρος ανταποκρίνεται ικανοποιητικά στην ενεργή κατείσδυση των κατακρημνισμάτων πράγμα που πιστοποιεί την επαναπλήρωση του υδροφόρου της περιοχής μελέτης.

Ένα ευρύτατα χρησιμοποιούμενο μέτρο συσχέτισης μεταξύ δύο μεταβλητών είναι ο συντελεστής απλής γραμμικής συσχέτισης κατά Pearson, ο οποίος απλά είναι ένα μέτρο που δείχνει πόσο ικανοποιητικά μια μεταβλητή προβλέπει μια άλλη. Το συντελεστή αυτόν θα χρησιμοποιήσουμε για τον καθορισμό της συσχέτισης μεταξύ των μεταβλητών: Ύψος βροχής (y) – Μέση Άνοδος στάθμης (x).

Το γραμμικό μοντέλο γραμμικής συσχέτισης ανάμεσα στις δύο μεταβλητές περιγράφεται από την εξίσωση:

$$y = 25,402 x + 174,3$$

- ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης είναι $R=0,623$, δηλ. 62,3%

Η συσχέτιση των δυο μεταβλητών θεωρείται μέτρια. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το ύψος της βροχόπτωσης δεν αποτελεί μοναδική ένδειξη του εμπλουτισμού των υδροφόρων αλλά υπεισέρχονται και άλλοι παράγοντες (υπόγειες ροές, ένταση - κατανομή κατακρημνισμάτων κ.λ.π.).

Πρέπει να επισημάνουμε ότι το κεντρικό τμήμα της λεκάνης γεωλογικά παρουσιάζει ομοιομορφία στους γεωλογικούς σχηματισμούς, συνεπώς η συμπεριφορά του υδροφορέα θεωρείται ότι είναι ισότροπη στη βροχόπτωση. Συνεπώς η όχι ικανοποιητική συσχέτιση της βροχόπτωσης με τη μέση άνοδο της στάθμης αντανάκλα πιθανώς τη ρήξη ισορροπίας του υδρολογικού συστήματος που προκάλεσε η ανθρωπογενής παρέμβαση και η υπεράντληση, (Panagoroulos, 2004).

6. ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ – ΧΗΜΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ

6.1 Γενικά

Το νερό της βροχής, που φτάνει στην επιφάνεια του εδάφους, περιέχει πολύ μικρές ποσότητες διαλυμένων αλάτων. Όταν φτάσει στην επιφάνεια, το νερό αντιδρά με το έδαφος και με τα πετρώματα, με τα οποία έρχεται σε επαφή. Η ποσότητα και ο τύπος των υλικών που διαλύονται εξαρτώνται από τη χημική σύσταση και τη δομή των πετρωμάτων, από το pH και το δυναμικό οξειδοαναγωγής EC του νερού. Έτσι το υπόγειο νερό εμπλουτίζεται σε άλατα, τα οποία προέρχονται από τα διαλυτά συστατικά των πετρωμάτων μέσα από τα οποία κινείται (Καλλέργης, 1986).

Οι ανθρωπογενείς επιδράσεις από την επιφάνεια του εδάφους είναι οι πιο σημαντικές και επικίνδυνες για την υγεία του ανθρώπου. Παρουσιάζονται ύστερα από μεταβολές της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα, από την επιφανειακή λίπανση των καλλιεργειών, την ανεξέλεγκτη απόθεση υγρών και στερεών αποβλήτων και άλλων, όπου τα διαλυμένα και αιωρημένα συστατικά μπορούν να εισέρχονται δια μέσου επιφανειακών στρωμάτων και να καταλήγουν στο υπόγειο νερό.

Για την ποιοτική εξέταση του νερού απαιτούνται χημικές αναλύσεις, από τις οποίες θα εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά με τις συνέπειες που έχει υποστεί το υπόγειο νερό από ενδογενείς και εξωγενείς παράγοντες.

Από τα αποτελέσματα μιας χημικής ανάλυσης ενός δείγματος νερού μπορούμε να συμπεράνουμε για την καταλληλότητα του για διάφορες χρήσεις, ενδεχόμενα και για την υπόγεια διαδρομή του και για τη διέλευση του από ορισμένους γεωλογικούς σχηματισμούς. Για χημικές αναλύσεις από δεκάδες δείγματα νερού, οι οποίες είναι δύσκολο να συγκριθούν εποπτικά, απαιτείται επεξεργασία των αριθμητικών τους δεδομένων με βάση ορισμένα διαγράμματα που επιτρέπουν συγκρίσεις, κατατάξεις, χαρακτηρισμούς και γενικά συναγωγή συμπερασμάτων (Σούλιος, 2006).

Όπως προαναφέραμε η χημική σύσταση των κατακρημνισμάτων διαφέρει από αυτήν του υπόγειου νερού καθώς αυτό διαπερνά τα στρώματα εδάφους και τα φιλτράρει αποσπώντας ιόντα που στη συνέχεια θα το χαρακτηρίζουν.

Χαρακτηριστικό του εδάφους της μελετούμενης περιοχής είναι η υψηλή συγκέντρωση νιτρικών ιόντων λόγω νιτρορύπανσης γεωργικής προέλευσης (χρήση λιπασμάτων). Τα πορώδη πετρώματα που αποτελούν τους διάφορους υδροφόρους ορίζοντες έχουν και διαφορετική χημική σύσταση. Οι μικρές περιεκτικότητες σε Ca^{2+} και Mg^{2+} αυξάνονται με το βάθος. Επίσης πρέπει να αναφέρουμε ότι κατά τη διάρκεια των περιόδων της έντονης εξατμισοδιαπνοής ενδέχεται να μεταβληθούν οι συγκεντρώσεις των ιόντων στο υπέδαφος και στο υπόγειο νερό. Έχει αποδειχθεί ότι το Φθινόπωρο με τις νέες βροχές παρουσιάζεται μια ελάττωση των ιόντων Cl^- και η σχέση $(\text{Na}^+ + \text{K}^+)/(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$ ελαττώνεται με το βάθος ενώ το Μάιο αυξάνεται. Επίσης παρατηρούνται υψηλότερες συγκεντρώσεις HCO_3^- ιόντων στα νερά της ανώτερης ζώνης διήθησης απ' ότι στο υπόγειο νερό. (Δημόπουλος, 1983).

Ένα βασικό φυσικοχημικό μέγεθος για το χαρακτηρισμό της ποιότητας του νερού αποτελεί η τιμή του pH, η οποία σε υπόγεια νερά κυμαίνεται συνήθως μεταξύ των τιμών 4 και 8. Ένα επίσης σημαντικό φυσικοχημικό μέγεθος αποτελεί η ηλεκτρική αγωγιμότητα E.C. εκφρασμένη σε $\mu\text{S}/\text{cm}$ που αποτελεί ένα γρήγορο προσδιορισμό του συνόλου των διαλυμένων στερεών (T.D.S.).

Παρακάτω ακολουθεί ο Πίνακας 6.1 με τις υψηλότερες επιτρεπόμενες οριακές τιμές που προβλέπει η Ευρωπαϊκή Ένωση για το πόσιμο νερό.

Οι Davis-DeWiest (1966), ανάλογα με την ποσότητα με την οποία βρίσκονται τα διαλυμένα στερεά στο πόσιμο νερό (τυπική συγκέντρωση), τα διέκριναν σε:

Κύρια συστατικά (1,0-1000mg/l): Νάτριο, κάλιο, ασβέστιο, μαγνήσιο, δισανθρακική ρίζα, χλωριόντα, θειικά και νιτρικά.

Δευτερεύοντα συστατικά (0,01-10,0 mg/l): Σίδηρος, στρόντιο, κάλιο, ανθρακική ρίζα, φθόριο, βόριο.

Ολιγοσυστατικά (0,001-0,1 mg/l): Αντιμόνιο, αργίλιο, αρσενικό, βάριο, βρώμιο, χρώμιο, μαγγάνιο, νικέλιο, φωσφορική ρίζα, σελίνιο, τιτάνιο, ουράνιο, ψευδάργυρος.

Ιχνοσυστατικά (<0,001 mg/l): Βηρύλλιο, βισμούθιο, γάλιο, χρυσός, λευκόχρυσος κ.α.

Πίνακας 6.1: Ενδεικτικά ανώτατα επίπεδα τιμών συγκεντρώσεων των κυριότερων συστατικών του πόσιμου νερού από την Ευρωπαϊκή Ένωση

α/α	Παράμετροι	Μονάδες μέτρησης	Ενδεικτικό Επίπεδο	Ανώτατη Αποδεκτή συγκέντρωση
1	[H ⁺]	pH	6,5 έως 8,5	
2	Αγωγιμότητα E.C.	μS/cm έως 20 °C	500	
3	Χλώριο	mg/l Cl ⁻	25	250
4	Θειικά	mg/l SO ₄ ⁻²	25	250
5	Ασβέστιο	mg/l Ca ²⁺	100	
6	Μαγνήσιο	mg/l Mg ²⁺	30	50
7	Νάτριο	mg/l Na ⁺	20	200
8	Κάλιο	mg/l K ⁺	10	12
9	Νιτρικά	mg/l NO ₃ ⁻	25	50
10	Νιτρώδη	mg/l NO ₂ ⁻		0,1
11	Αμμώνιο	mg/l NH ₄ ⁺	0,05	0,5
12	Σίδηρος	μg/l Fe ²⁺	50	200
13	Μαγγάνιο	μg/l Mn ²⁺	20	50
14	Αρσενικό	μg/l As		10
15	Βόριο	μg/l Bo		1,0

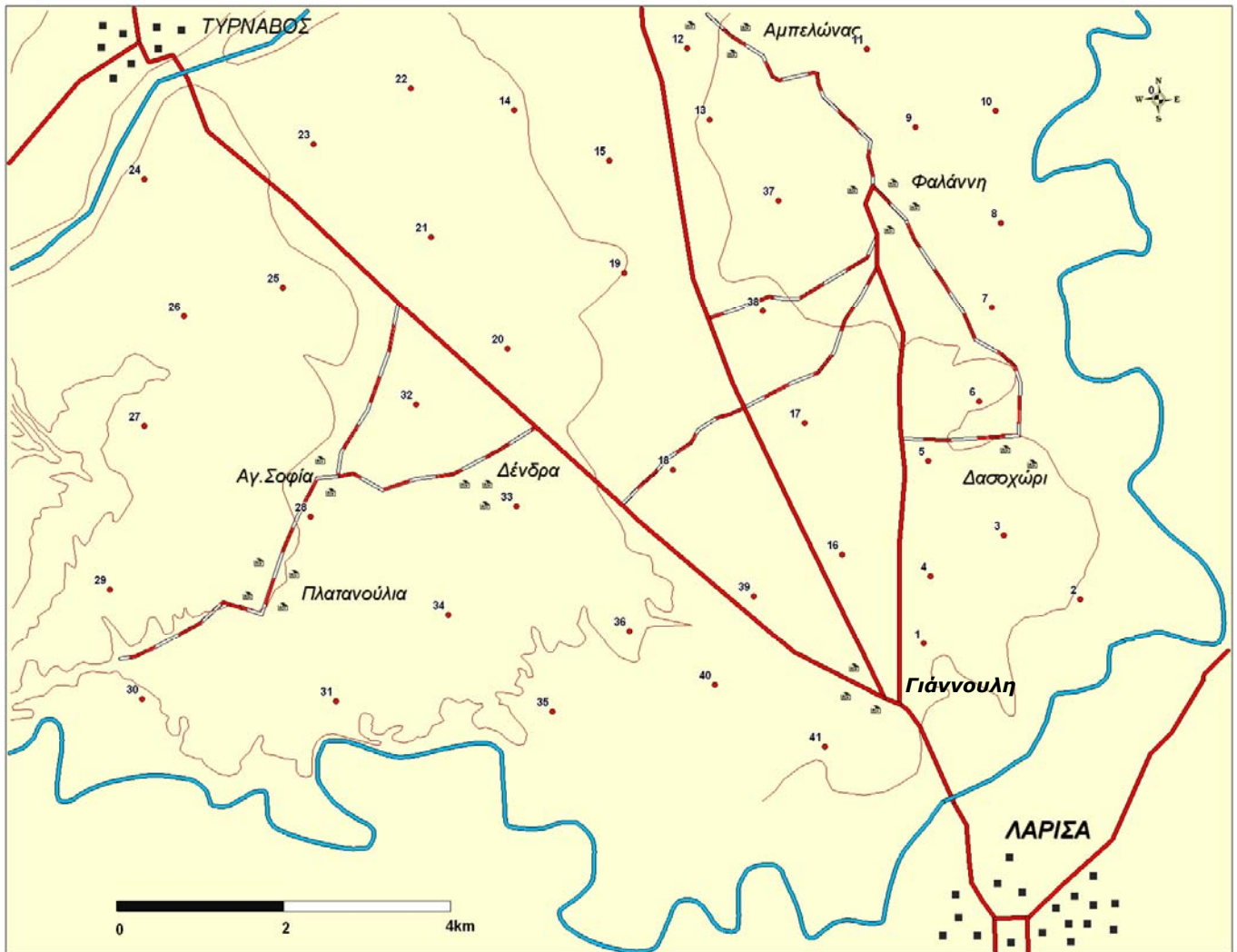
6.2 Δειγματοληψία του υπόγειου νερού της περιοχής

Στα πλαίσια της υδροχημικής έρευνας των υπογείων νερών της περιοχής έρευνας πραγματοποιήθηκε μία δειγματοληψία κατά τη διάρκεια της χαμηλής στάθμης των υπογείων νερών (Σεπτέμβριος 2005).

Η δειγματοληψία έγινε σε ιδιωτικές αρδευτικές και κοινοτικές υδρευτικές γεωτρήσεις για την κάλυψη της περιοχής έρευνας μ' ένα όσο το δυνατόν αντιπροσωπευτικό δίκτυο.

Το δίκτυο περιλαμβάνει 41 σημεία δειγματοληψίας στα οποία τα βάθη διάτρησης των γεωτρήσεων κυμαίνονταν από 40m έως 260m. Τα δείγματα πάρθηκαν τουλάχιστον 15' λεπτά της ώρας μετά από την έναρξη της άντλησης, ώστε το δείγμα να είναι αντιπροσωπευτικό. Η συλλογή των δειγμάτων έγινε σε δοχεία του 1,5 λίτρου από πολυαιθυλένιο.

Παρακάτω στο Σχήμα 6.2 απεικονίζεται ο χάρτης με τις θέσεις των σημείων δειγματοληψίας του υπόγειου νερού.



Σχήμα 6.2 Χάρτης με τις θέσεις των σημείων δειγματοληψίας του υπόγειου νερού από γεωτρήσεις της περιοχής μελέτης.

6.2.1 Μετρήσεις υπαίθρου και αποτελέσματα εργαστηριακών αναλύσεων

Για τις μετρήσεις υπαίθρου και τις εργαστηριακές αναλύσεις χρησιμοποιήθηκε ο εξοπλισμός του Εργαστηρίου Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας του Τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ.

Μετά τη δειγματοληψία έγιναν επί τόπου μετρήσεις :

- Ηλεκτρικής αγωγιμότητας E.C. με τη συσκευή Jenway 4071,
- pH με το πεχάμετρο Hanna Instruments HI 9024,

- Τα ανθρακικά ιόντα δεν ανιχνεύθηκαν σε κανένα δείγμα επειδή η τιμή του pH δεν υπερέβη την τιμή 8.3, ώστε να καταστεί δυνατή αυτή.

Για τον προσδιορισμό της περιεκτικότητας των ιόντων στα δείγματα ακολούθησαν χημικές αναλύσεις

- Με τη μέθοδο τιτλοδότησης της HACH προσδιορίστηκαν τα ιόντα Cl^- , Ca^{+2} και HCO_3^- .
- Με τη βοήθεια φασματοφωτόμετρου προσδιορίστηκε η περιεκτικότητα των SO_4^{-2} και NO_3^- ,
- Τα ιόντα K^+ και Na^+ προσδιορίστηκαν με τη βοήθεια φλογοφωτόμετρου
- Ο προσδιορισμός των ιόντων Mg^{2+} έγινε μέσω της ολικής σκληρότητας.

Ο έλεγχος τω αποτελεσμάτων έγινε με το ισοζύγιο ιόντων. Αν το σφάλμα υπερέβαινε κατά πολύ το 5% η ανάλυση επαναλαμβανόταν εκ νέου. Το σφάλμα εκφράζεται από τη διαφορά των σαν ποσοστό επί τοις εκατό (Λαμπράκης, 1991) δηλαδή:

$$\text{Σφάλμα ισοζυγίου} = \frac{\sum \text{κατιόντων} - \sum \text{ανιόντων}}{\sum \text{κατιόντων} + \sum \text{ανιόντων}} \times 100$$

Παρακάτω στον Πίνακα 6.2.1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων. Συγκεκριμένα δίνονται οι συγκεντρώσεις των διάφορων ιόντων (mg/l), το pH, η ηλεκτρική αγωγιμότητα E.C. σε ($\mu\text{S}/\text{cm}$), το σύνολο των διαλυμένων στερεών σωμάτων (T.D.S.) και τέλος η τυπική απόκλιση (Standard Deviation) της ηλεκτρικής αγωγιμότητας με το T.D.S.

Πίνακας 6.2.1 : Φυσικο-χημικά χαρακτηριστικά των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης
(Δειγματοληψία Σεπτ. 2005).

Γεωτρ	pH	E.C. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-	SO_4^{-2}	HCO_3^-	NO_3^-	T.D.S.
Γ1	7,5	802	42	2,1	58,0	38,6	65	160	333	37,0	736
Γ2	8,1	316	24	2,6	34,8	15,9	33	22	174	8,4	315
Γ3	8,0	340	25	1,2	30,0	24,9	41	23	191	7,9	344
Γ4	7,9	418	31	2,7	38,0	31,0	26	26	244	4,0	403
Γ5	8,0	596	52	2,0	36,8	50,5	29	51	337	5,3	564
Γ6	7,9	355	30	2,1	31,2	25,2	13	46	172	8,8	328
Γ7	8,0	323	23	1,1	28,8	23,4	12	8	228	7,5	332
Γ8	8,0	334	17	1,0	24,4	24,7	47	14	218	6,6	353
Γ9	7,9	297	71	1,3	34,0	16,8	23	3	176	11,0	336
Γ10	7,7	991	86	3,5	60,4	33,7	61	105	414	61,2	825
Γ11	7,9	995	95	3,4	64,4	39,6	59	120	460	23,3	865
Γ12	8,2	406	15	1,8	70,4	15,1	18	26	232	24,2	403
Γ13	8,0	409	14	1,7	48,0	25,6	24	34	226	23,8	397
Γ14	7,0	503	16	2,0	78,0	20,3	33	36	265	21,1	471
Γ15	7,9	263	12	1,4	48,8	7,3	22	5	181	13,2	291
Γ16	7,8	614	38	2,0	42,8	49,6	36	57	326	4,4	556
Γ17	7,9	430	22	2,4	50,4	23,2	82	16	278	5,7	480
Γ18	8,0	267	13	1,4	52,8	4,6	52	8	192	16,3	340
Γ19	7,8	512	16	2,2	58,4	29,8	39	33	271	40,9	490
Γ20	7,8	518	18	2,1	54,8	28,8	41	39	278	43,1	505
Γ21	7,8	442	13	1,7	70,0	17,6	24	32	259	34,8	452
Γ22	7,9	458	14	1,8	90,0	2,9	21	36	223	43,6	432
Γ23	7,8	461	15	1,9	87,6	2,0	18	42	218	48,0	433
Γ24	7,5	526	14	1,8	82,0	9,3	23	54	231	42,2	457
Γ25	7,7	512	13	1,7	85,6	3,7	19	48	217	43,1	431
Γ26	7,9	279	12	1,4	46,4	11,0	9	8	194	13,2	295
Γ27	7,9	276	13	1,4	38,8	15,1	7	7	182	14,1	278
Γ28	7,8	522	16	1,9	86,0	20,3	26	18	286	52,8	507
Γ29	7,5	499	18	1,7	78,8	19,0	20	21	274	62,9	495
Γ30	7,5	502	20	1,8	82,0	16,6	24	12	231	66,0	453
Γ31	7,6	505	18	1,7	79,2	15,4	24	12	239	69,1	458
Γ32	7,6	477	21	2,2	64,8	27,8	26	24	238	51,0	455
Γ33	7,6	474	20	1,9	78,4	15,1	37	24	231	43,1	451
Γ34	8,0	388	23	1,8	61,2	13,9	33	68	161	22,4	384
Γ35	8,0	392	24	1,9	65,6	15,6	38	74	172	26,0	417
Γ36	7,9	401	22	1,8	64,4	14,7	19	12	165	19,8	319
Γ37	8,1	343	20	1,6	52,8	15,6	17	10	192	15,0	324
Γ38	7,9	285	19	1,7	40,8	11,2	14	4	156	13,6	260
Γ39	7,7	548	35	1,9	62,0	32,7	35	57	282	35,6	541
Γ40	7,8	535	34	1,8	59,6	30,3	31	51	268	38,3	514
Γ41	7,7	638	47	2,5	66,8	38,8	23	164	231	18,5	592
M.O.	7,8	467	27	1,9	58,2	21,4	30	39	240	28,0	446
Τυπική απόκλιση	0,2	167	19	0,5	18,5	11,8	16	38	65	19	134

6.3 Αξιολόγηση των φυσικο-χημικών στοιχείων

6.3.1 Γενικά

Το υπόγειο νερό ακόμη και αυτό που βρίσκεται μέσα στο ίδιο υδροφόρο στρώμα που έχει την ίδια λιθολογική σύσταση, δεν παρουσιάζει τις ίδιες συγκεντρώσεις ιόντων σε όλα τα σημεία δειγματοληψίας.

Η χημική σύσταση μεταβάλλεται χωρικά λόγω πρόσμιξης με νερά που έρχονται από γειτονικά στρώματα, αλλά και χρονικά, καθώς όσο πιο πολύ παραμένει το νερό στο υπέδαφος τόσο περισσότερο φορτίζεται σε ιόντα. Επομένως ακολουθώντας τη γραμμή ροής του, θα είναι περισσότερο φορτισμένο σε ιόντα, δηλ. θα έχει μεγαλύτερη τιμή συγκέντρωσης T.D.S. προς κατάντι ως προς τη ροή τμήματα του υδροφορέα.

Πολύ περισσότερο μπορεί να μεταβάλλεται, σχεδόν να αλλάζει την χημική σύσταση του, όταν ρέει σε διαφορετικούς γεωλογικούς σχηματισμούς, διατηρώντας όμως ορισμένες «αναμνήσεις» από τη διέλευση στον προηγούμενο σχηματισμό (Panagoroulos, 1995).

Όταν έχουμε αναλύσεις δειγμάτων νερού που πάρθηκαν περίπου ταυτόχρονα από πολλά διαφορετικά σημεία μίας περιοχής, η ποιότητα και γενικά τα χημικά χαρακτηριστικά του υπόγειου νερού απεικονίζονται με τους υδροχημικούς χάρτες, οι οποίοι δίνουν τη χωρική κατανομή των διαφόρων ιόντων με τις ισοχημικές καμπύλες, δηλ. τις καμπύλες που αντιστοιχούν σε σημεία ίσης περιεκτικότητας στο υπόψη ιόν, (π.χ. το Ca, το Mg, το Cl κ.λ.π.). Έτσι, για κάθε ιόν ή για κάθε φυσικοχημική παράμετρο (pH, E.C. κ.λ.π.) γίνεται ένας αντίστοιχος χάρτης. Είναι οι θεματικοί υδροχημικοί χάρτες.

Επιπρόσθετα, κατασκευάζουμε τα διαγράμματα συσχέτισης ιόντων, όταν θέλουμε να συγκρίνουμε αν η μεταβολή σε κάποιο ιόν συσχετίζεται με αντίστοιχη μεταβολή κάποιου άλλου ιόντος από δειγματοληψία της ίδιας χρονικής περιόδου και λαμβάνουμε υπόψη το βαθμό εμπιστοσύνης R^2 , ο οποίος είναι ικανοποιητικός για τιμές >90-95%.

Επιπλέον, αν διαιρέσουμε την τιμή κάποιου ιόντος (σε meq/l) προς αυτή κάποιου άλλου ιόντος από το ίδιο δείγμα νερού, το πηλίκο που θα προκύψει είναι ο αντίστοιχος ιοντικός λόγος. Οι τιμές λοιπόν ορισμένων ιοντικών λόγων δίνουν πληροφορίες για την προέλευση, την υπόγεια διαδρομή κ.λ.π. του δείγματος νερού που αναλύθηκε. Οι ιοντικοί λόγοι

διαμορφώνονται ανάλογα με το γεωλογικό περιβάλλον, την τροφοδοσία των υδροφορέων, την ανάμιξη με θαλασσινό νερό κ.λ.π. γι' αυτό είναι χρήσιμες παράμετροι για την υδροχημική μελέτη το υπόγειου νερού.

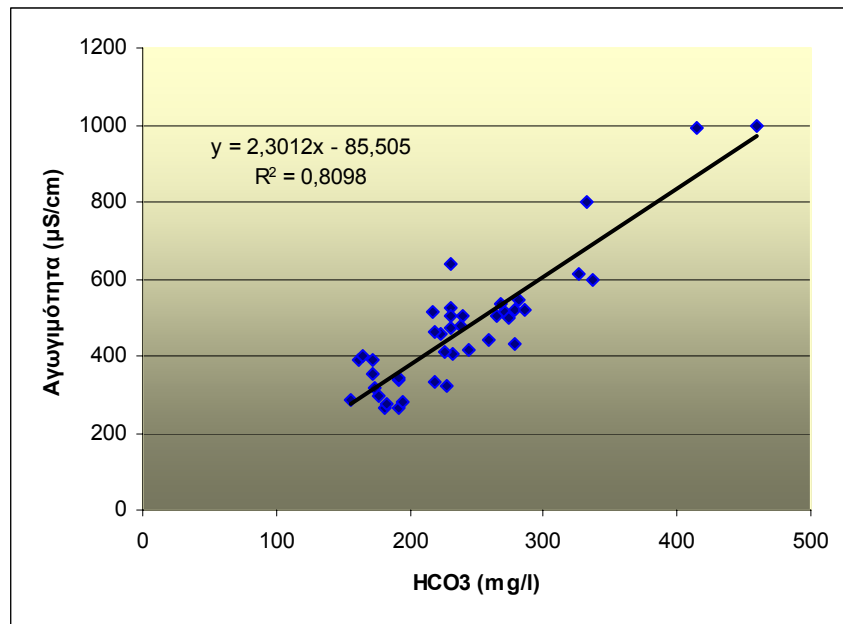
Πολλές φορές όταν διαθέτουμε αριθμητικά δεδομένα πολλών χημικών αναλύσεων, αυτά από μόνα τους δεν επιτρέπουν μία άμεση σύγκριση και εικόνα, αν και για το κάθε δείγμα χωριστά είναι διαφωτιστικά. Τα υδροχημικά διαγράμματα επιτρέπουν τη σύγκριση και την ταξινόμηση των αναλυθέντων δειγμάτων νερού και δίνουν πληροφορίες για την υδροχημική φάση τους. Λεπτομερέστερη αναφορά θα γίνει σε παρακάτω παράγραφο.

6.3.2 Ηλεκτρική αγωγιμότητα E.C.

Όπως αναφέρθηκε η ηλεκτρική αγωγιμότητα συνδέεται με την ποσότητα και τη φύση των διαλυμένων ηλεκτρολυτών. Οι τιμές της κυμαίνονται κατά περιοχή και απεικονίζουν το σύνολο των διαλυμένων αλάτων.

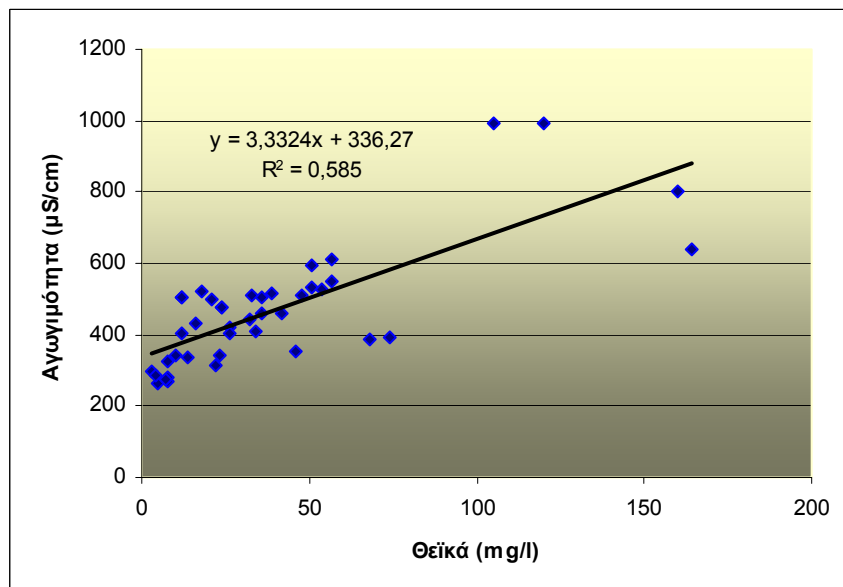
Επιλεκτικά παρακάτω απεικονίζονται τα διαγράμματα συσχέτισης ηλεκτρικής αγωγιμότητας με τις συγκεντρώσεις ιόντων HCO_3 και SO_4 που παρουσιάζουν συγκριτικά τον μεγαλύτερο βαθμό συσχέτισης.

Στο Σχήμα 6.3.2α) παρουσιάζεται το διάγραμμα ηλεκτρικής αγωγιμότητας ($\mu\text{S}/\text{cm}$) και όξινων ανθρακικών (mg/l) όπου δείχνει υψηλή συσχέτιση μεταξύ των δύο παραμέτρων. Η πλειονότητα των σημείων βρίσκεται στη περιοχή αγωγιμότητας 240-580 $\mu\text{S}/\text{cm}$ με συγκέντρωση HCO_3 160-290 mg/l . Ο συντελεστής συσχέτισης είναι υψηλός, $R=90\%$.



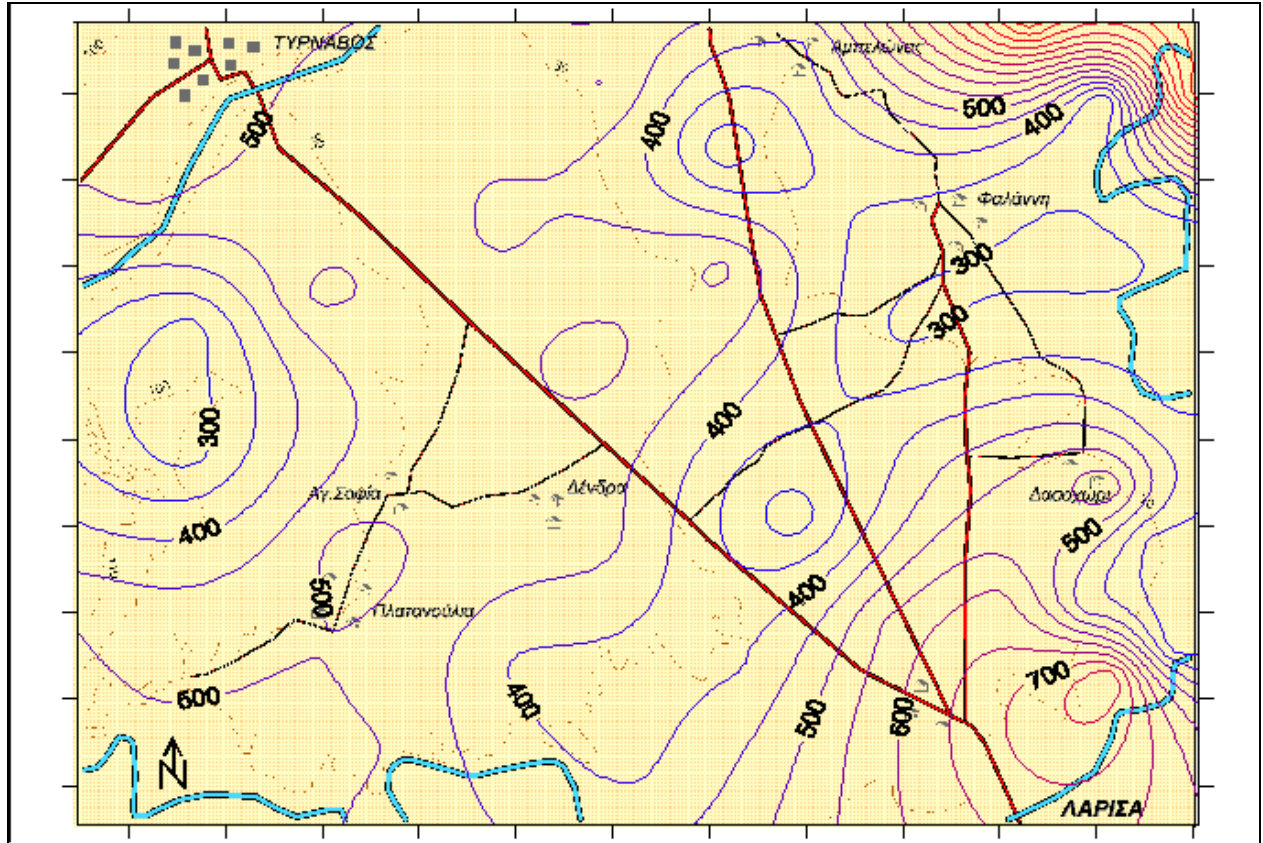
Σχήμα 6.3.2α Διάγραμμα ηλεκτρικής αγωγιμότητας ($\mu\text{S}/\text{cm}$) σε συνάρτηση με τα HCO_3 (mg/l) όλων των δειγμάτων του υπόγειου νερού.

Στο παρακάτω Σχήμα 6.3.2β δίνεται το διάγραμμα ηλεκτρικής αγωγιμότητας σε συνάρτηση με την περιεκτικότητα σε θειικά ιόντα (mg/l). Από αυτό προκύπτει μια εμφανής αναλογική σχέση των δύο παραμέτρων στα περισσότερα δείγματα υπόγειου νερού. Ο συντελεστής συσχέτισης υπολογίζεται $R=76\%$.



Σχήμα 6.3.2β Διάγραμμα ηλεκτρικής αγωγιμότητας ($\mu\text{S}/\text{cm}$) σε συνάρτηση με τα SO_4 (mg/l) όλων των δειγμάτων του υπόγειου νερού.

Για τη καλύτερη μελέτη της κατανομής της ηλεκτρικής αγωγιμότητας κατασκευάστηκε χάρτης καμπυλών ίσης ηλεκτρικής αγωγιμότητας E.C. ($\mu\text{S}/\text{cm}$) για την περιοχή έρευνας, Σχήμα 6.3.2γ.



Σχήμα 6.3.2γ: Χάρτης καμπυλών ίσης ηλεκτρικής αγωγιμότητας E.C. ($\mu\text{S}/\text{cm}$) στα υπόγεια νερά της περιοχής μελέτης (Δειγματοληψία Σεπτ. 2005)

Από τη μελέτη των καμπυλών ίσης αγωγιμότητας στη λεκάνη του Τυρνάβου κατά την περίοδο Σεπτεμβρίου 2005, προκύπτουν τα εξής:

- Οι τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας κυμαίνονται από 267-995 $\mu\text{S}/\text{cm}$.
- Παρατηρούμε δύο ζώνες αυξημένης αγωγιμότητας που εντοπίζονται βορειοανατολικά και νοτιοανατολικά της περιοχής μελέτης.
- Νοτιοανατολικά πλησίον της αστικής περιοχής της Λάρισας η αυξημένη E.C. οφείλεται σε ανθρωπογενή επίδραση (αστικοποίηση).
- Βορειοανατολικά οι αυξημένες τιμές E.C. μπορούν να αποδοθούν σε φακοειδή παγίδευση υπόγειων υφάλμυρων νερών στο στάδιο της ιζηματογένεσης κατά το γεωλογικό παρελθόν. Επίσης είναι σημαντικό να λάβουμε υπόψη τη στατιστική εφαρμογή της μεθόδου που κάνει αναγωγή σε περιοχές έλλειψης δεδομένων διαμορφώνοντας το τελικό αποτέλεσμα.

6.3.3 Σύνολο Διαλυμένων Αλάτων (T.D.S.) των νερών της περιοχής μελέτης

Το σύνολο των διαλυμένων στερεών (T.D.S.) όπως προαναφέραμε είναι η συνολική συγκέντρωση διαλυμένων αλάτων στο νερό, η οποία είναι συνήθως μικρότερη από 500 mg/l, κυμαίνεται δε σημαντικά μεταξύ 100 mg/l και 100.000 mg/l. Το T.D.S αποτελεί ασφαλή δείκτη της μεταλλικότητας των υπόγειων νερών, (δεν περιλαμβάνει τα αιωρημένα υλικά, τα κολλοειδή και τα μη διαλυμένα αέρια).

Διάφορες ταξινομήσεις έχουν προταθεί ανάλογα με την περιεκτικότητα των υπόγειων νερών σε T.D.S. επικρατέστερη των οποίων είναι η ταξινόμηση κατά Hem (1970):

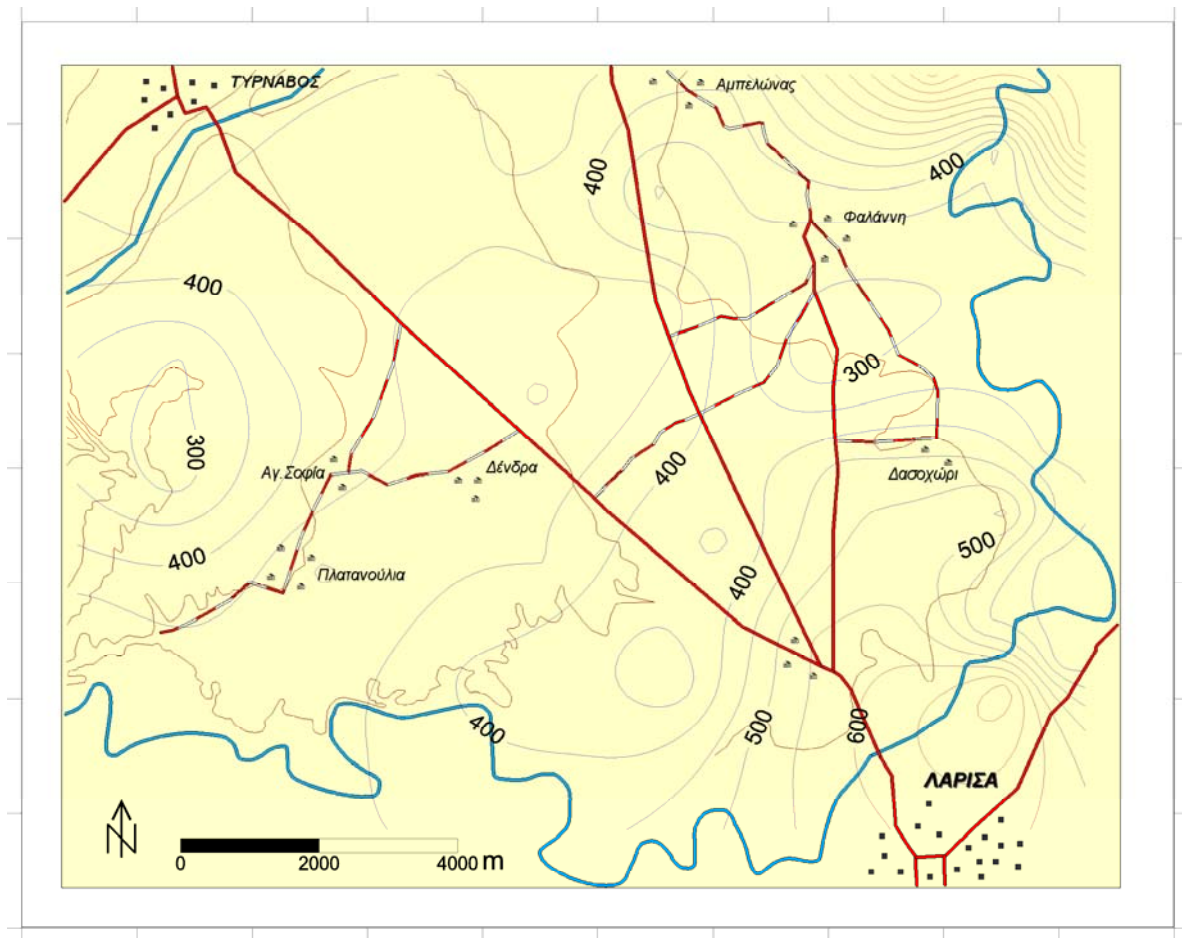
Ταξινόμηση κατά Hem (1970):

- Γλυκό νερό (fresh): TDS<1000 mg/l
- Μέτρια αλατούχο νερό: TDS 3.000-10.000 mg/l
- Πολύ αλατούχο: TDS 10.000 35.000 mg/l
- Υπεραλμυρό νερό: TDS >35.000 mg/l

Σύμφωνα με τα παραπάνω τα δείγματα υπόγειου νερού της περιοχής μελέτης κατατάσσονται στα γλυκά νερά, καθώς το εύρος τιμών T.D.S. κυμαίνεται μεταξύ 278 και 865.

Στο χάρτη του Σχήματος 6.3.3.1, απεικονίζεται η χωρική κατανομή του ίσου συνόλου διαλυμένων αλάτων (T.D.S.) σε mg/l των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης, όπως αυτή προέκυψε από τη δειγματοληψία κατά το Σεπτέμβριο του 2005.

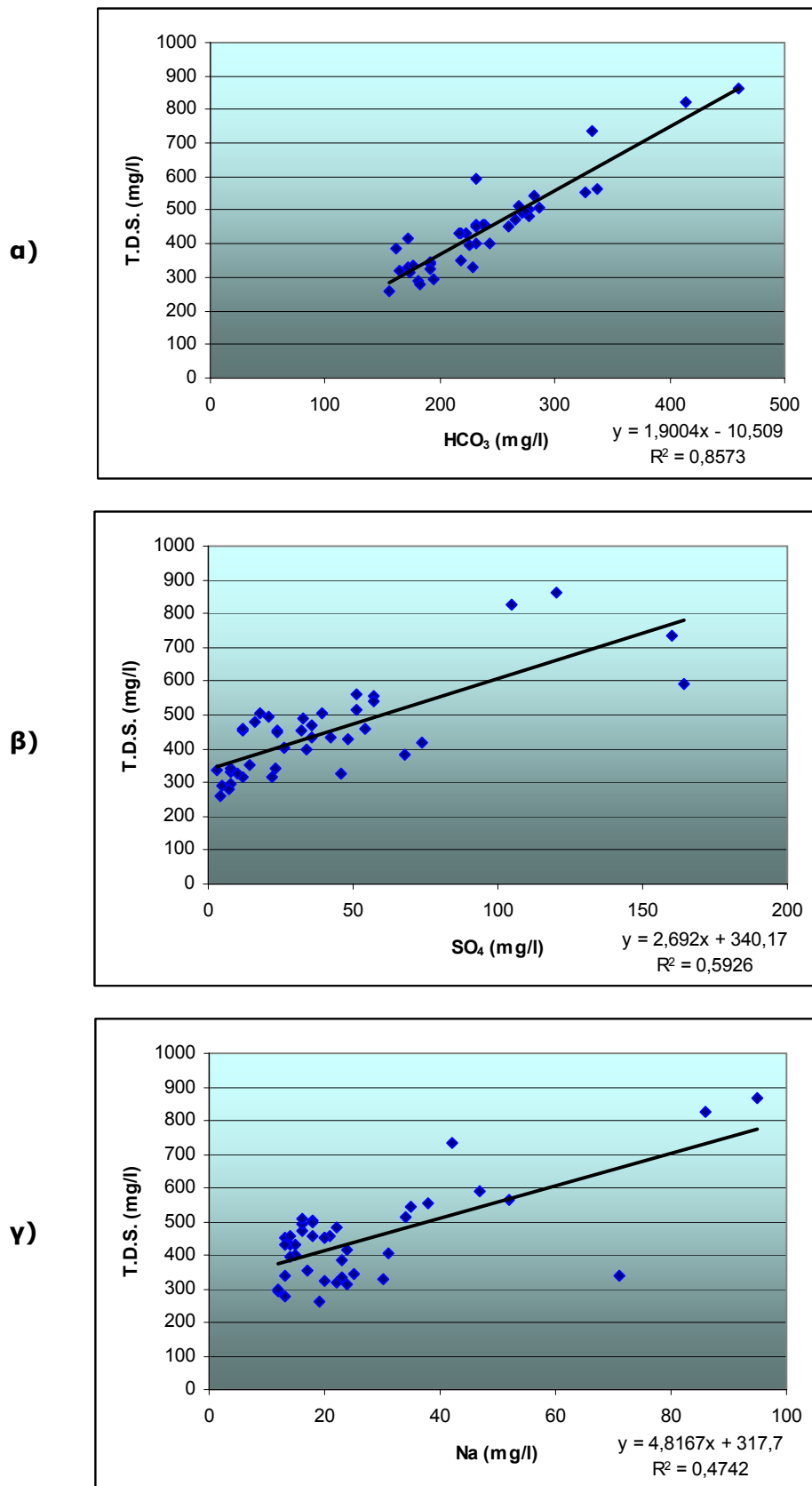
Οι υψηλότερες τιμές εμφανίζονται στο βορειοανατολικό και νοτιοανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης. Συγκεκριμένα βορειοανατολικά του οικισμού Φαλάννη οι υψηλές τιμές υποδηλώνουν εγκλωβισμένα υφάλμυρα νερά κατά το στάδιο της ιζηματογένεσης ενώ πλησίον του αστικού κέντρου της Λάρισας παρουσιάζουν ιδιαίτερα αυξημένες τιμές διαλυμένων λόγω ανθρωπογενούς παρέμβασης.



Σχήμα 6.3.3.1: Χάρτης καμπυλών ίσου συνόλου διαλυμένων αλάτων T.D.S. σε mg/l στα υπόγεια νερά της περιοχής μελέτης (Δειγματοληψία Σεπτ. 2005)

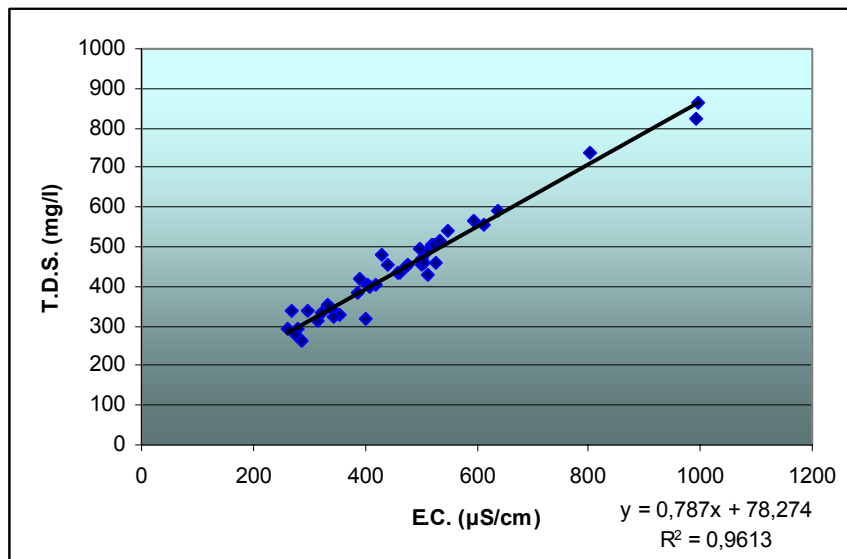
Παρακάτω στο Σχήμα 6.3.3.α,β,γ απεικονίζονται αντίστοιχα τα διαγράμματα συσχέτισης μεταξύ των ιόντων HCO_3^- , SO_4^{2-} , Na^+ σε σχέση με τις τιμές των στερεών διαλυμένων αλάτων T.D.S., για την περίοδο Σεπτεμβρίου 2005.

Όπως προκύπτει την υψηλότερη συσχέτιση με το T.D.S. παρουσιάζουν τα όξινα ανθρακικά HCO_3^- με βαθμό συσχέτισης 92% ($R^2=0,85$), ενώ αμέσως μικρότερη συσχέτιση παρουσιάζουν τα SO_4^{2-} και Na^+ με βαθμό συσχέτισης 77% και 68% αντίστοιχα. Αντιθέτως, δεν προέκυψε συσχέτιση του T.D.S. με τα υπόλοιπα ιόντα γι' αυτό και δεν έγινε εκτενέστερη αναφορά.



Σχήμα 6.3.3 Διαγράμματα συσχέτισης του T.D.S. (mg/l) με τις συγκεντρώσεις των ιόντων
α) HCO_3^- (mg/l), **β)** SO_4 (mg/l) και **γ)** Na^+ (mg/l)

Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι η αύξηση της τιμής του T.D.S. επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από την αύξηση της συγκέντρωσης των όξινων ανθρακικών. Η παρουσία των όξινων ανθρακικών προφανώς οφείλεται στην απόπλυση των ασβεστολιθικών πετρωμάτων, (κάρστ) δυτικά της περιοχής μελέτης, που εμπλουτίζουν τους υπόγειους υδροφορείς και επηρεάζουν την αλατότητα του αλλά και από ανθρακικές ουσίες που περιέχουν οι ανθρακικές αλλουβιακές αποθέσεις.



Σχήμα 6.3.3.1 : Διάγραμμα συσχέτισης του T.D.S.(mg/l) με την ηλεκτρική αγωγιμότητα (μS/cm)

Στο Σχήμα 6.3.3.1, δίνεται το διάγραμμα συσχέτισης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας σε σχέση με το σύνολο διαλυμένων αλάτων T.D.S. και ως αναμενόμενο παρουσιάζει ιδιαίτερα υψηλό βαθμό συσχέτισης $R=98\%$, ($R^2=0,96$).

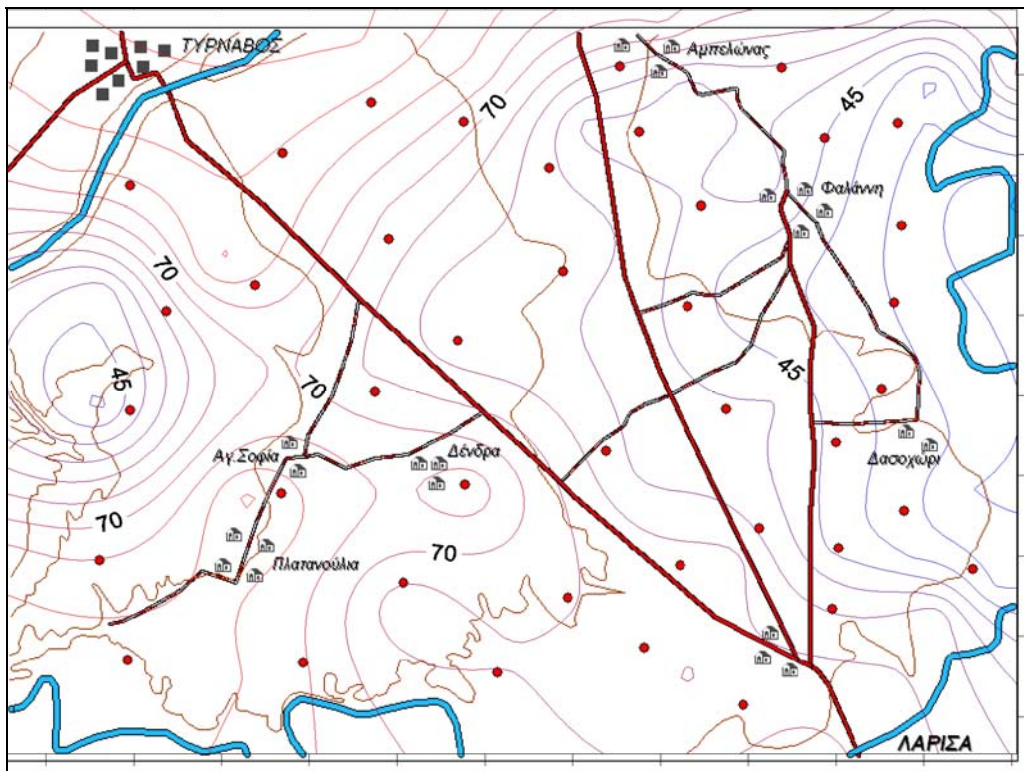
Αξιοσημείωτο, αλλά φυσικά αναμενόμενο σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία, είναι ότι ανάμεσα στο T.D.S. και στην ηλεκτρική αγωγιμότητα (E.C.) υπάρχει μια γραμμική σχέση (τουλάχιστον μέχρι την τιμή $E.C.=2000 \mu S/cm$). Κατά τον Matthess,G.,(1973), αν πολλαπλασιάσουμε την E.C. (σε $\mu S/cm$) επί 0,65 θα βρούμε την τιμή του T.D.S. (σε mg/l). Η γραμμή συσχέτισης σε αυτή τη περίπτωση διέρχεται από την αρχή των αξόνων με εξίσωση $y=0.65x$. Στην περιοχή μελέτης παρατηρούμε μια απόκλιση της εξίσωσης στο διάγραμμα συσχέτισης του T.D.S. με την ηλεκτρική αγωγιμότητα, η οποία πιθανώς να οφείλεται στην χημική ανάλυση μόνο των κύριων συστατικών του υπόγειου νερού, (όχι και των δευτερευόντων συστατικών, ολιγοσυστατικών, ιχνοσυστατικών).

6.4 Χωρική κατανομή ιόντων στην περιοχή ενδιαφέροντος

Η μελέτη των θεματικών υδροχημικών χαρτών πρέπει να γίνεται σε συνάρτηση με τη γεωλογική - λιθολογική σύσταση της αντίστοιχης περιοχής. Η μελέτη αυτή θα δείξει σαφώς τη συσχέτιση της χημικής σύστασης του υπόγειου νερού και της γεωλογικής-λιθολογικής σύστασης του υπεδάφους της αντίστοιχης περιοχής και βέβαια θα εξηγήσει ή θα δικαιολογήσει τις χωρικές μεταβολές.

Ακολουθούν οι θεματικοί υδροχημικοί χάρτες για τα ιόντα Ca^{+2} , Mg^{2+} , Na^+ , Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , και όπου απεικονίζεται η κατανομή των ιόντων στο χώρο.

Στο Σχήμα 6.4α απεικονίζεται η συγκέντρωση ιόντων Ca^{+2} στην περιοχή μελέτης.

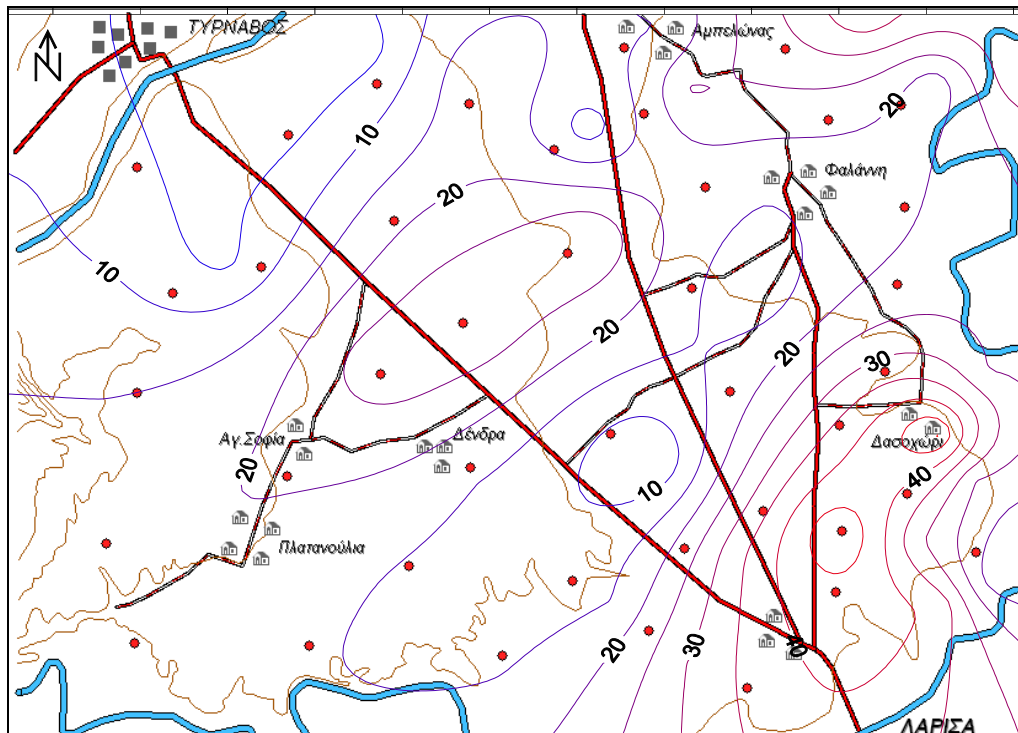


Σχήμα 6.4α: Χάρτης καμπυλών ίσης περιεκτικότητας σε Ca^{2+} στην περιοχή μελέτης σε (mg/l), (Δειγματοληψία Σεπτ. 2005).

Παρατηρούμε μια ιδιαίτερη αυξημένη συγκέντρωση ιόντων Ca^{+2} στο βορειοδυτικό τμήμα της μελέτης, νότια της κωμόπολης του Τυρνάβου, και λίγο νοτιότερα στους οικισμούς Δένδρα και Πλατανούλια. Αυτή η υψηλή περιεκτικότητα του υπόγειου νερού σε Ca^{+2} είναι αναμενόμενη και οφείλεται στην παρουσία μικροκρυσταλλικού ασβεστόλιθου (κάρστ) δυτικά

της περιοχής μελέτης, ο οποίος αποτελεί ζώνη επιτροφοδοσίας της αλλουβιακής λεκάνης και εμπλουτίζει το υπόγειο νερό με ιόντα Ca^{+2} .

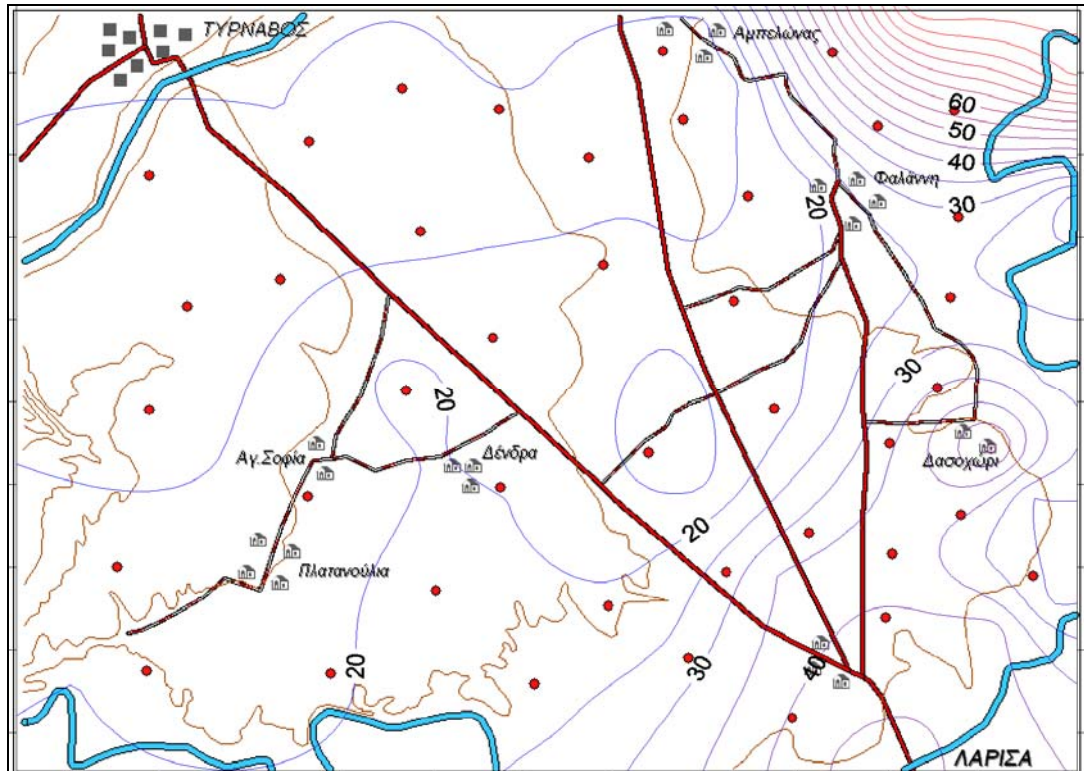
Στο Σχήμα 6.4β απεικονίζεται η συγκέντρωση ιόντων Mg^{+2} στην περιοχή μελέτης.



Σχήμα 6.4.β: Χάρτης καμπυλών ίσης περιεκτικότητας σε Mg^{2+} σε (mg/l) στην περιοχή μελέτης, (Δειγματοληψία Σεπτ. 2005).

Παρατηρήθηκαν υψηλές τιμές συγκέντρωσης σε Mg^{2+} στο νοτιοανατολικό τμήμα της μελέτης, πιθανώς λόγω ανθρωπογενούς επίδρασης, πλησίον του αστικού κέντρου της Λάρισας, οι οποίες ξεπέρασαν σε Mg^{2+} τα 45 mg/l.

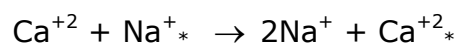
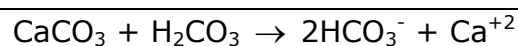
Στο Σχήμα 6.4γ απεικονίζεται η συγκέντρωση ιόντων Na^{+} στην περιοχή μελέτης.



Σχήμα 6.4γ : Χάρτης καμπυλών ίσης περιεκτικότητας σε Na^+ στην περιοχή μελέτης σε (mg/l), (Δειγματοληψία Σεπτ. 2005).

Παρατηρήθηκε ιδιαίτερη αυξημένη συγκέντρωση ιόντων Na^+ στην βορειοανατολική περιοχή μελέτης, βόρεια του οικισμού Φαλάννη και ανατολικά του οικισμού Αμπελώνα, που ξεπέρασε σε Na^+ τα 60mg/l. Καθώς η ακτή της θάλασσας είναι σε μεγάλη απόσταση αυτή η υψηλή περιεκτικότητα του υδροφόρου σε Na^+ δεν εξηγείται με το φαινόμενο διείσδυσης της θάλασσας καθώς ούτε με εξωγενείς ανθρωπογενείς παράγοντες. Πιθανώς να οφείλεται στη στατιστική εφαρμογή της μεθόδου που κάνει αναγωγή σε περιοχές έλλειψης δεδομένων διαμορφώνοντας το τελικό αποτέλεσμα στα περιθώρια της περιοχής.

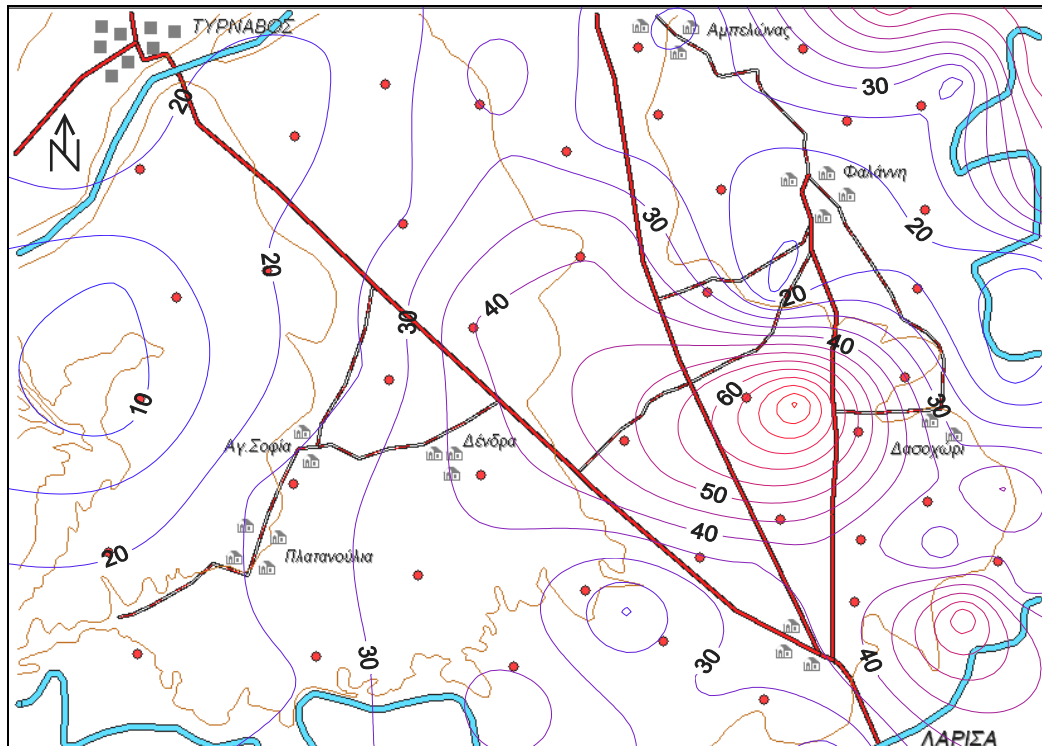
Επίσης, τα νερά της περιοχής μελέτης με τις αυξημένες συγκεντρώσεις ιόντων Na^+ δημιουργούνται από τη συνδυασμένη δράση της υδρόλυσης ασβεστίτη και της ιοντικής ανταλλαγής Ca^{+2} με Na^+ , κατά τις αντιδράσεις (Freeze and Cherry, 1979, Καλλέργης, 1986):



* : κατιόντα απορροφημένα από αργίλους

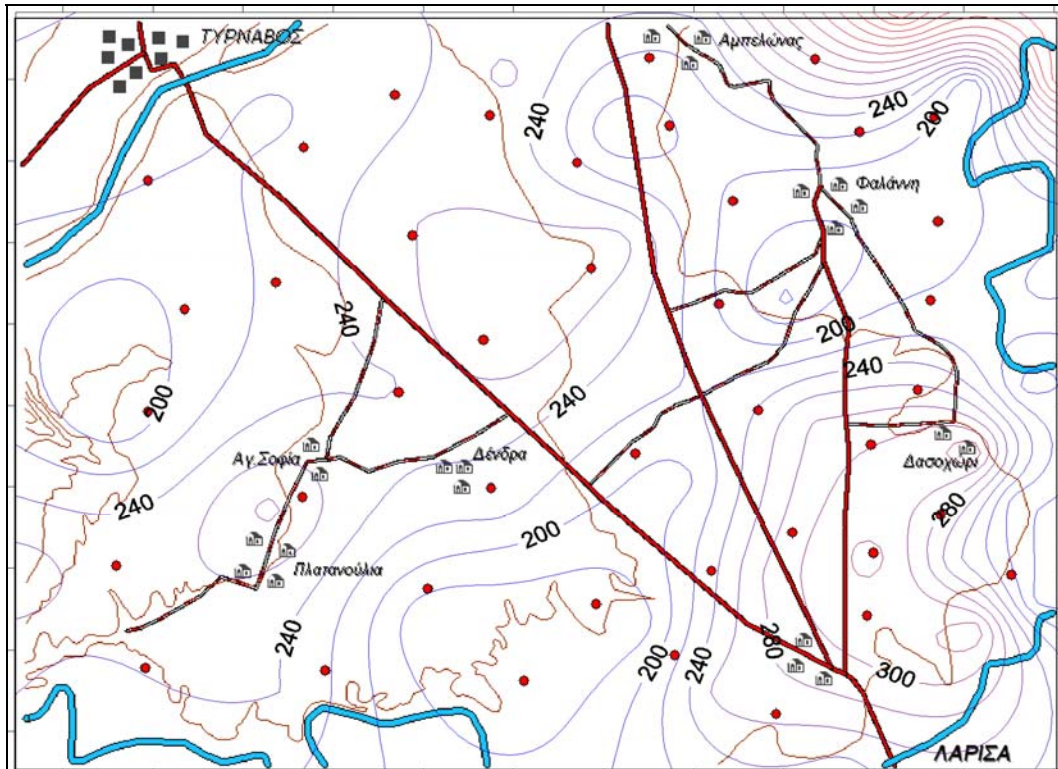
Η αυξημένη συγκέντρωση ιόντων Na^+ συνεπώς μπορεί να αποδοθεί σε φαινόμενα ιοντοανταλλαγής. Προς την άποψη αυτή συνηγορεί και η μικρή συγκέντρωση ιόντων K^+ στα νερά αυτά παρά την αυξημένη περιεκτικότητά τους σε άλατα.

Παρακάτω στο Σχήμα 6.4δ δίνεται ο χάρτης καμπυλών ίσης περιεκτικότητας σε Cl^- σε mg/l στην περιοχή μελέτης.



Σχήμα 6.4.δ: Χάρτης καμπυλών ίσης περιεκτικότητας σε Cl^- σε (mg/l) στην περιοχή μελέτης, (Δειγματοληψία Σεπτ. 2005).

Στο ανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης, δυτικά του οικισμού Δασοχώρι, παρατηρήθηκε υψηλή συγκέντρωση σε Cl^- , τα οποία πιθανώς να οφείλονται σε υπολειμματικά υφάλμυρα νερά κατά το στάδιο της ιζηματογένεσης.

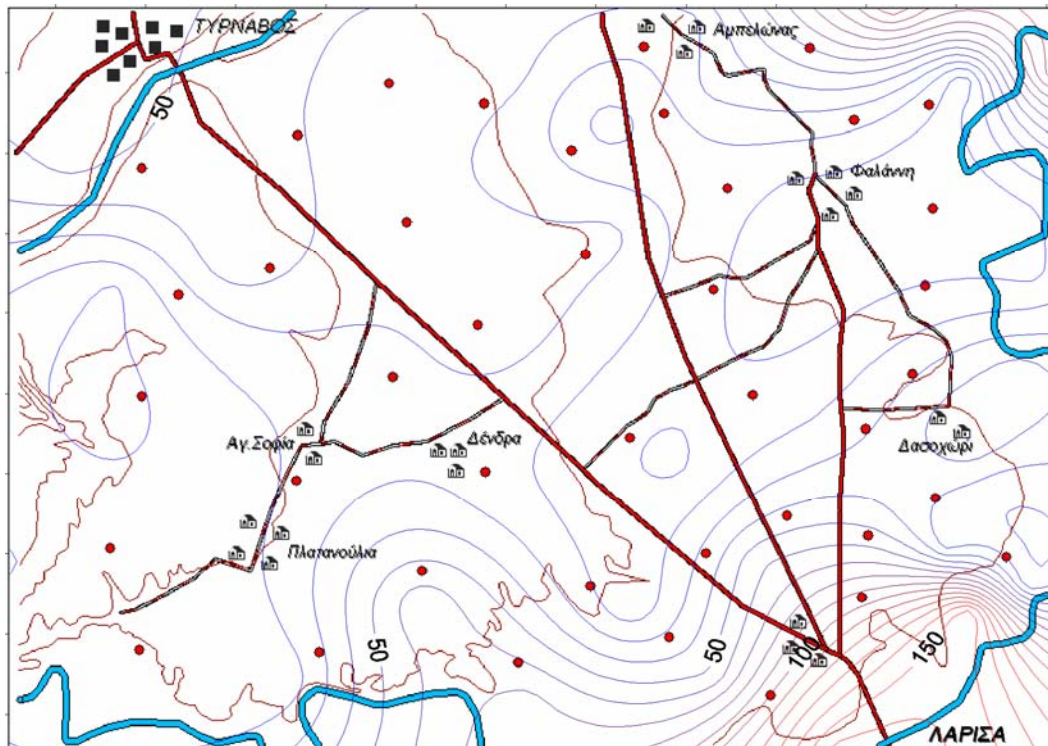


Σχήμα 6.4ε: Χάρτης καμπυλών ίσης περιεκτικότητας σε HCO_3^- σε (mg/l) στην περιοχή μελέτης, (Δειγματοληψία Σεπτ. 2005).

Ανατολικά της περιοχής μελέτης και βόρεια της πόλης της Λάρισας παρατηρήθηκε πολύ υψηλή συγκέντρωση σε HCO_3^- στο υπόγειο νερό. Αυτό εξηγείται με την υπόγεια ροή του νερού, που έχει διεύθυνση από δυσμάς προς ανατολάς, καθώς αποφορτίζεται από τον ασβεστολιθικό όγκο του κάρστ και εμπλουτίζει την αλλουβιακή λεκάνη.

Ακολουθεί ο χάρτης του Σχήματος 6.4στ με τις καμπύλες ίσης περιεκτικότητας σε SO_4^{-2} , όπου βόρεια της πόλης της Λάρισας καθώς και βορειοανατολικά της περιοχής μελέτης, οι συγκεντρώσεις σε SO_4^{-2} είναι υψηλές χωρίς όμως να ξεπερνούν τα επιτρεπτά όρια.

Ο Λαμπράκης (1994) όσον αφορά τις υψηλές συγκεντρώσεις των SO_4^{-2} αναφέρει ότι τα νερά που έρχονται σε επαφή με αργιλικά πετρώματα – αργιλομαργαϊκά ιζήματα, όπως αυτά της περιοχής μελέτης, είναι περισσότερο φορτισμένα σε SO_4^{-2} και Cl^- . Επίσης οι υψηλές τιμές είναι δυνατόν να οφείλονται στην υπέρμετρη χρήση λιπασμάτων αλλά και σε ανθρωπογενείς επεμβάσεις.

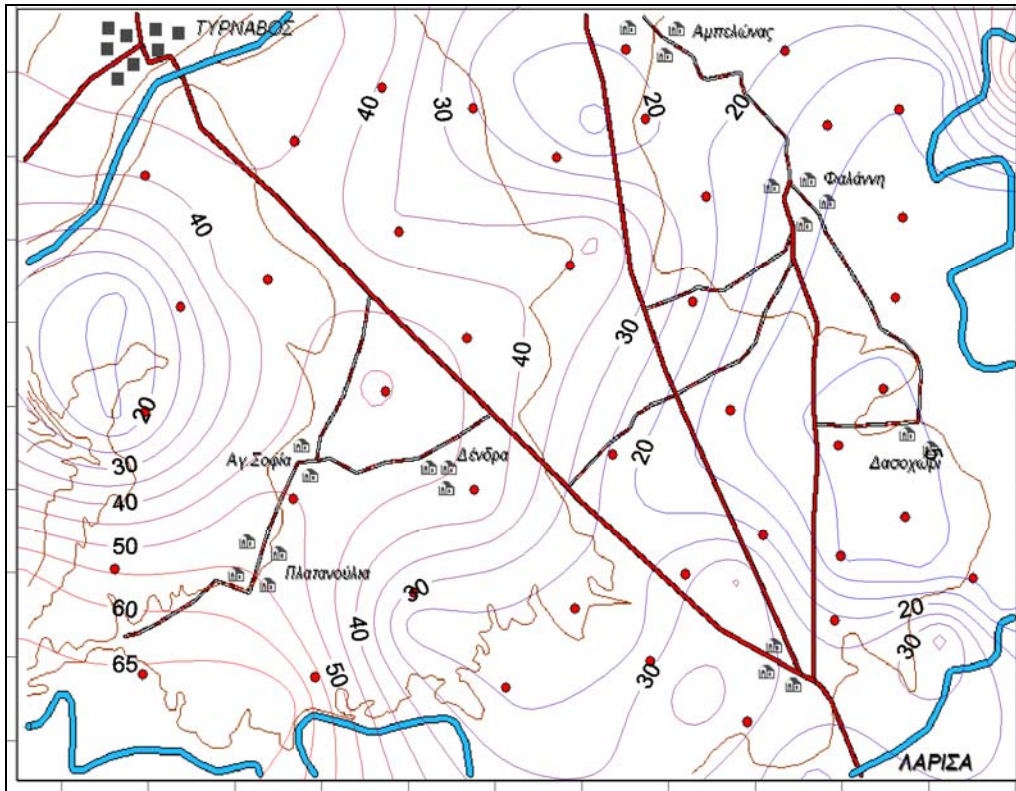


Σχήμα 6.4στ: Χάρτης καμπυλών ίσης περιεκτικότητας σε SO_4^{-2} σε (mg/l) στην περιοχή μελέτης, (Δειγματοληψία Σεπτ. 2005).

Στη συνέχεια ακολουθεί ο χάρτης καμπυλών ίσης περιεκτικότητας σε NO_3^- , του Σχήματος 6.4.ζ, τα οποία παρουσιάζονται γενικότερα στην ευρύτερη περιοχή αυξημένα. Όπως προαναφέραμε το ενδεικτικό ποσοστό συγκέντρωσης νιτρικών είναι περίπου 25 mg/l, ενώ το ανώτατο όριο ποσιμότητας του νερού ανέρχεται σε 50 mg/l. Παρατηρούμε ότι στην περιοχή μελέτης η μέση συγκέντρωση νιτρικών υπολογίζεται στα 40 mg/l, αρκετά υψηλή τιμή, ενώ στο νοτιοδυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης, στον οικισμό Πλατανούλια, οι τιμές ξεπερνούν κατά πολύ το ανώτατο όριο και φτάνουν μέχρι και τα 69 mg/l.

Τα νιτρικά ιόντα αποτελούν δείκτες ανθρώπινης δραστηριότητας και προέρχονται τόσο από την ατμόσφαιρα όσο και από υπολείμματα χλωρίδας, ζωικά περιττώματα (Καλλέργης, 1986) και κυρίως από την χρήση λιπασμάτων

Το φαινόμενο της νιτρορύπανσης είναι υπαρκτό όπως γνωρίζουμε σε κάμπους όπου οι καλλιέργειες γίνονται δυναμικότερες με τη χρήση φυτοφαρμάκων και λιπασμάτων. Στην περιοχή μελέτης οι υψηλότερες τιμές νιτρικών εμφανίζονται νοτιοδυτικά στα δείγματα Γ30 και Γ31 με τιμές συγκέντρωσης NO_3^- 66 και 69 αντίστοιχα.



Σχήμα 6.4.ζ: Χάρτης καμπυλών ίσης περιεκτικότητας σε NO_3^- σε (mg/l)
στην περιοχή μελέτης, (Δειγματοληψία Σεπτ. 2005).

6.5 Ιοντικοί λόγοι

Ο λόγος της περιεκτικότητας του υπογείου νερού σε ένα ορισμένο ιόν, ως προς την περιεκτικότητα σε κάποιο άλλο επίσης συγκεκριμένο ιόν, με άλλα λόγια ο *ιοντικός λόγος* παίρνει τιμές που σχετίζονται με τα πετρώματα μέσα στα οποία φιλοξενείται το νερό, ή μέσα από τα οποία πέρασε, ή που σχετίζονται με το βαθμό ανανέωσης του ή την ανάμιξή του με θαλασσινό νερό κλπ.

Η ισορροπία των διαφόρων ιόντων μέσα στο νερό, η ιοντική ισορροπία που εκφράζεται με τους ιοντικούς λόγους είναι δηλωτική, για πολλά πράγματα από την υπόγεια πορεία του νερού, το χρόνο παραμονής του, την ανάμειξή του ιδίως με θαλασσινό νερό κλπ. Έτσι οι Ιοντικοί λόγοι δίνουν συχνά ενδιαφέρουσες υδρογεωχημικές πληροφορίες. Οι κυριότεροι ιοντικοί λόγοι είναι οι εξής: Na/K , Mg/Ca , $(\text{Ca}+\text{Mg})/(\text{K}+\text{Na})$, Cl/SO_4 , Na/Cl και του συντελεστή Revelle, (Σούλιος, 2006).

Πίνακας 6.5: Τιμές διαφόρων ιοντικών λόγων και συντελεστή Revelle
στην περιοχή μελέτης (meq/l)

Γεωτρήσεις	Na K	Mg Ca	(Ca+Mg) (K+Na)	Cl SO4	Na Cl	Revelle
Γ1	34,015	1,097	3,228	0,550	0,996	0,336
Γ2	15,699	0,753	2,742	2,033	1,121	0,326
Γ3	35,432	1,368	3,171	2,415	0,940	0,369
Γ4	19,527	1,345	3,137	1,355	1,839	0,183
Γ5	44,219	2,262	2,590	0,770	2,765	0,148
Γ6	24,296	1,332	2,672	0,383	3,558	0,130
Γ7	35,561	1,340	3,269	2,033	2,955	0,091
Γ8	28,913	1,669	4,248	4,549	0,558	0,371
Γ9	92,887	0,815	0,986	10,388	4,760	0,225
Γ10	41,790	0,920	1,511	0,787	2,174	0,254
Γ11	47,521	1,014	1,534	0,666	2,483	0,221
Γ12	14,173	0,354	6,808	0,938	1,285	0,134
Γ13	14,006	0,879	6,899	0,956	0,899	0,183
Γ14	13,606	0,429	7,445	1,242	0,748	0,214
Γ15	14,578	0,247	5,443	5,962	0,841	0,209
Γ16	32,314	1,911	3,648	0,856	1,628	0,190
Γ17	15,590	0,759	4,344	6,944	0,414	0,508
Γ18	15,793	0,144	5,011	8,808	0,385	0,466
Γ19	12,369	0,841	7,133	1,601	0,633	0,248
Γ20	14,578	0,866	6,100	1,424	0,677	0,254
Γ21	13,006	0,415	8,114	1,016	0,835	0,160
Γ22	13,228	0,053	7,221	0,790	1,028	0,162
Γ23	13,427	0,038	6,470	0,581	1,285	0,142
Γ24	13,228	0,187	7,415	0,577	0,939	0,171
Γ25	13,006	0,071	7,514	0,536	1,055	0,151
Γ26	14,578	0,391	5,774	1,524	2,056	0,080
Γ27	15,793	0,642	5,286	1,355	2,864	0,066
Γ28	14,322	0,389	8,007	1,957	0,949	0,156
Γ29	18,008	0,398	6,649	1,290	1,388	0,126
Γ30	18,897	0,334	5,958	2,710	1,285	0,179
Γ31	18,008	0,321	6,315	2,710	1,156	0,173
Γ32	16,234	0,707	5,693	1,468	1,245	0,188
Γ33	17,903	0,318	5,612	2,089	0,833	0,276
Γ34	21,732	0,374	4,011	0,658	1,075	0,353
Γ35	21,483	0,392	4,171	0,696	0,974	0,380
Γ36	20,787	0,376	4,410	2,145	1,785	0,198
Γ37	21,259	0,487	4,302	2,304	1,814	0,152
Γ38	19,008	0,453	3,400	4,743	2,093	0,154
Γ39	31,329	0,870	3,682	0,832	1,542	0,214
Γ40	32,125	0,838	3,585	0,824	1,691	0,199
Γ41	31,974	0,958	3,095	0,190	3,151	0,171

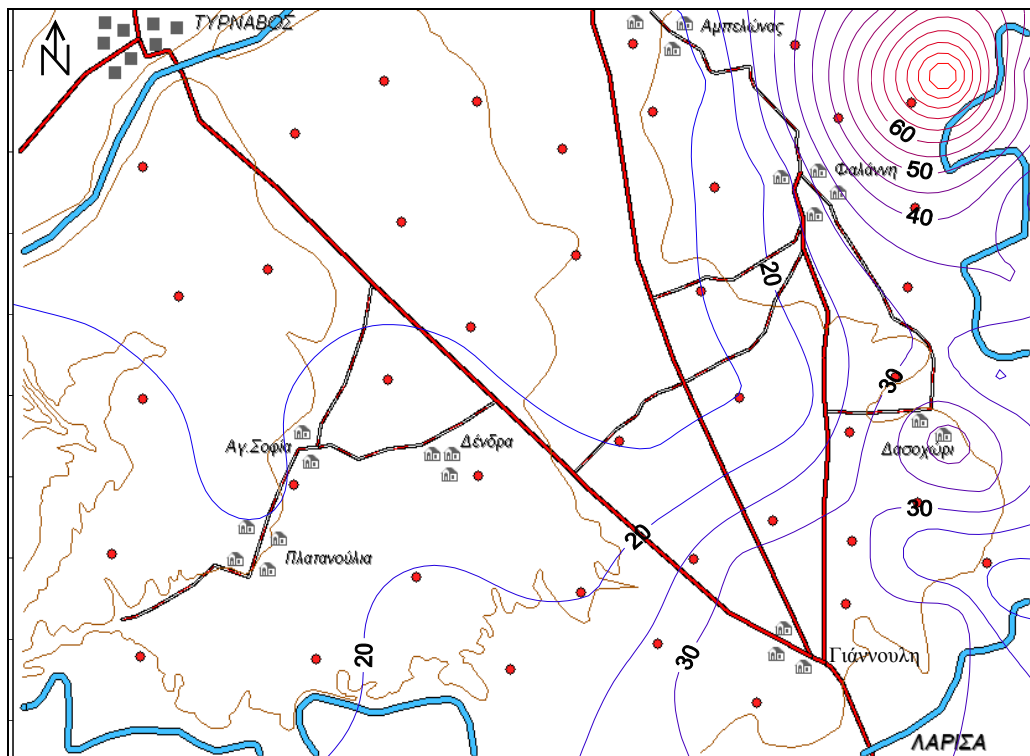
➤ **Ιοντικός λόγος Na^+/K^+**

Σχετίζεται με το αν το νερό είναι θαλασσινό ή βρόχινο ή αν υπάρχει περιοχή εμπλουτισμού υδροφορέων. Έτσι τιμές:

- $\text{Na}^+/\text{K}^+=47$ σημαίνει θαλασσινό νερό
- $\text{Na}^+/\text{K}^+=10$ βρόχινο νερό
- $\text{Na}^+/\text{K}^+=15-25$ νερό σε περιοχή εμπλουτισμού υδροφορέων
- $\text{Na}^+/\text{K}^+=50-70$ νερό σε κατάντι τμήμα του υδροφορέα σε σχέση με τη διεύθυνση ροής λόγω προσρόφησης ιόντων Na^+ .

Στην περιοχή μελέτης Σχήμα 6.5.α ο λόγος Na^+/K^+ εμφανίζει τις εξής τιμές. Βορειοανατολικά του οικισμού Φαλάννη οι τιμές ξεπερνούν την τιμή 40 και φτάνουν μέχρι και 92, η οποία είναι και η μέγιστη όλης της περιοχής και είναι ένδειξη ότι στα γεωλογικά στρώματα υπάρχουν υπολειμματικά άλατα, που μπορούν να αποδοθούν σε φακοειδή παγίδευση υπόγειων υφάλμυρων νερών στο στάδιο της ιζηματογένεσης κατά το γεωλογικό παρελθόν.

Επίσης, παρατηρούμε χαμηλές τιμές στο δυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης οι οποίες αυξάνονται προς τα ανατολικά και υποδηλώνουν ότι η περιοχή του κάρστ αποτελεί ζώνη εμπλουτισμού της αλλουβιακής λεκάνης.



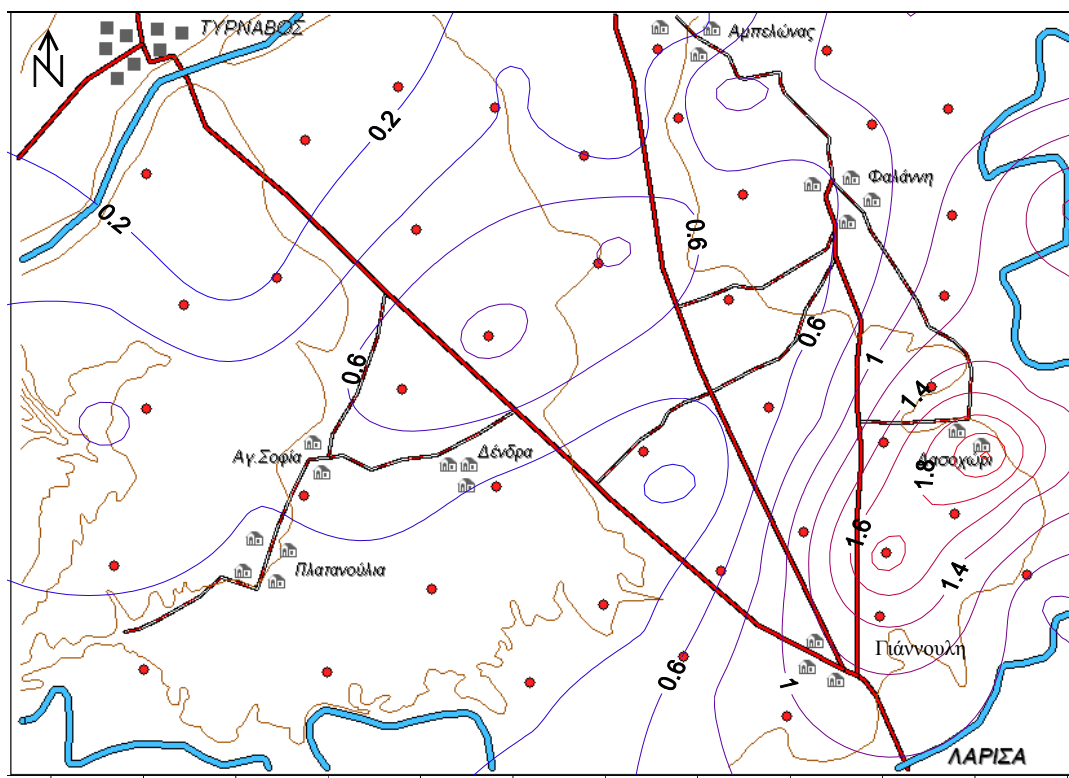
Σχήμα 6.5.α: Χάρτης καμπυλών ιοντικού λόγου Na^+/K^+ σε (mg/l) στην περιοχή μελέτης, (Δειγματοληψία Σεπτ. 2005).

➤ **Ιοντικός λόγος Mg^{2+}/Ca^{2+}**

Ο λόγος αυτός δείχνει αν το νερό προέρχεται από ασβεστολιθικά ή μαγνησιούχα πετρώματα. Έτσι τιμές αυτού:

- $Mg^{2+}/Ca^{2+}=0,5-0,7$ αντιστοιχούν σε νερό από ασβεστολιθικά υδροφόρα (ή αντίστοιχα μεταμορφωμένα).
- $Mg^{2+}/Ca^{2+}=0,7-0,9$ αντιστοιχούν σε δολομιτικά (ή αντίστοιχα μεταμορφωμένα) υδροφόρα στρώματα.
- $Mg^{2+}/Ca^{2+}>0,9$ αντιστοιχούν σε υδροφόρους οφειολιθικούς σχηματισμούς ή γενικά πυριτικούς πλούσιους σε Mg.

Στην περιοχή μελέτης, Σχήμα 6.5.β, ο λόγος Mg^{2+}/Ca^{2+} εμφανίζει εύρος τιμών 0,071-2,262. Στο ανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης, πλησίον του οικισμού Δασοχωρίου, οι τιμές του ιοντικού λόγου Mg^{2+}/Ca^{2+} είναι ιδιαίτερα αυξημένες $>0,9$, ενώ στο δυτικό τμήμα όπου υπάρχει το κάρστ οι τιμές κυμαίνονται $<0,5$. Αυτή η χωρική κατανομή υποδηλώνει ότι το νερό που τροφοδοτεί την αλλουβιακή λεκάνη προέρχεται από το κάρστ.



Σχήμα 6.5.β: Χάρτης καμπυλών ιοντικού λόγου Mg^{2+}/Ca^{2+} σε (mg/l) στην περιοχή μελέτης, (Δειγματοληψία Σεπτ. 2005).

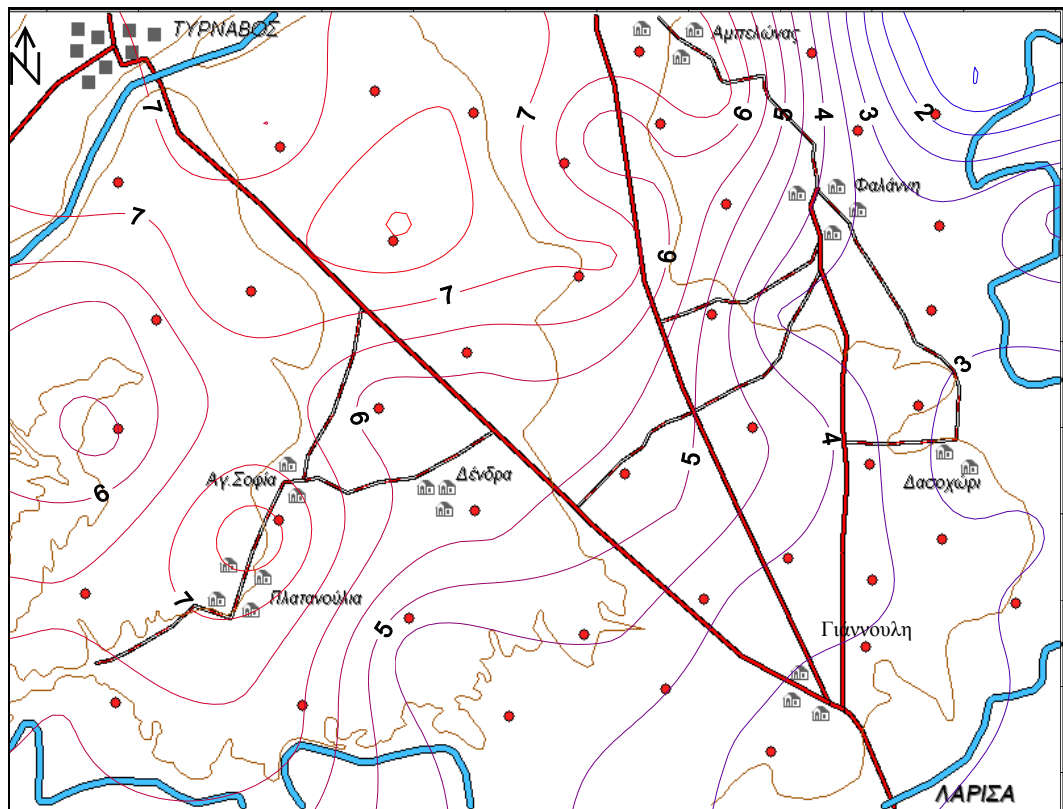
➤ **Ιοντικός λόγος $(Ca^{2+}+Mg^{2+})/(K^{+}+Na^{+})$**

Ο λόγος αυτός σχετίζεται με την τροφοδοσία του υπόγειου νερού.
Έτσι τιμές αυτού:

- $(Ca^{2+}+Mg^{2+})/(K^{+}+Na^{+}) > 1$ υδροφόρο στρώμα με συνεχή τροφοδοσία
- $(Ca^{2+}+Mg^{2+})/(K^{+}+Na^{+}) < 1$ παλιό νερό στα κατάντι τμήματα (ως προς τη διεύθυνση ροής) του υδροφορέα.

Στο δυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης, Σχήμα 6.5.γ, ο ιοντικός λόγος $(Ca^{2+}+Mg^{2+})/(K^{+}+Na^{+})$ εμφανίζει ιδιαίτερα υψηλές τιμές (έως και 8), υποδηλώνοντας τη συνεχή τροφοδοσία του υπόγειου νερού με μεγάλη ταχύτητα από το καρστικό σχηματισμό προς την αλλουβιακή λεκάνη.

Στο ανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης οι τιμές ελαττώνονται σταδιακά και κατά μέσο όρο είναι στο 3,2.



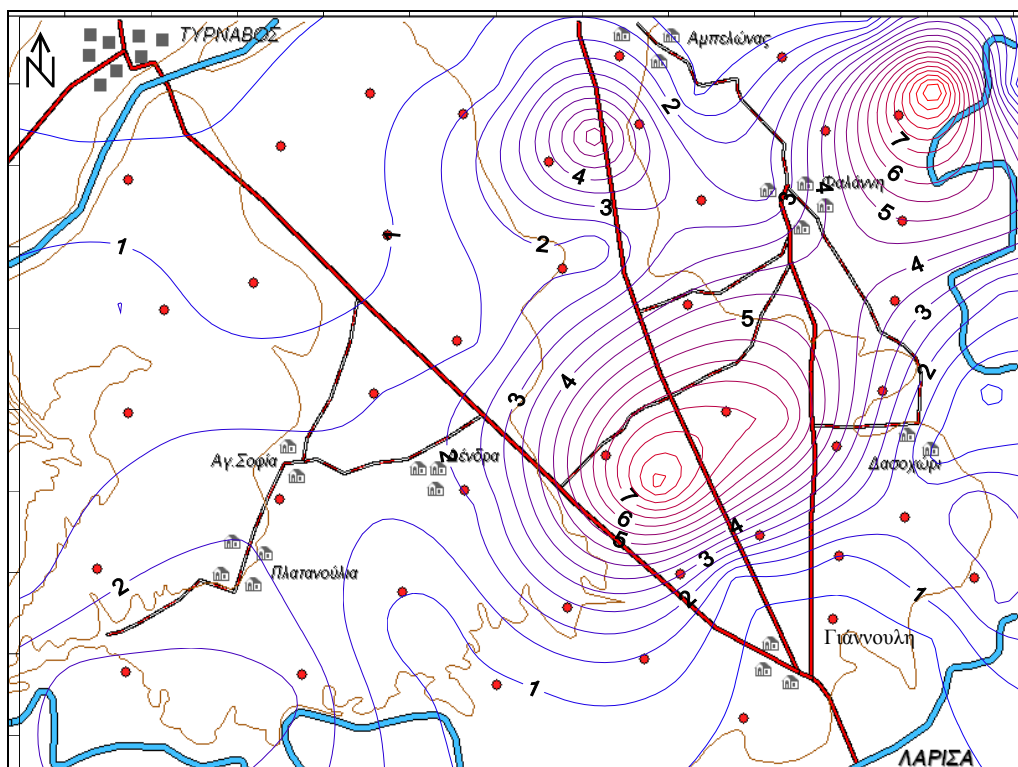
Σχήμα 6.5.γ: Χάρτης καμπυλών ιοντικού λόγου $(Ca^{2+}+Mg^{2+})/(K^{+}+Na^{+})$ σε (mg/l) στην περιοχή μελέτης, (Δειγματοληψία Σεπτ. 2005).

➤ **Ιοντικός λόγος $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{-2}$**

Ο λόγος αυτός έχει σχέση με την υφαλμύρωση και την ύπαρξη υπολειμματικών αλάτων στους υδροφορείς. Έτσι τιμές αυτού:

- $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{-2} = 10$ θαλασσινό νερό
- $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{-2} > 5$ νερό χλωριούχο
- $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{-2} = 1-5$ νερό χλωροθειούχο
- $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{-2} = 0,2-1$ νερό θειούχο - χλωριούχο
- $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{-2} < 0,2$ νερό θειούχο

Στο Σχήμα 6.5.δ παρατηρούμε ότι βορειοανατολικά της περιοχής μελέτης, ο ιοντικός λόγος έχει ιδιαίτερα υψηλές τιμές, οι οποίες μπορούν να αποδοθούν σε φακοειδή παγίδευση υπόγειων υφάλμυρων νερών στο στάδιο της ιζηματογένεσης κατά το γεωλογικό παρελθόν και στον εμποτισμό των γεωλογικών στρωμάτων από υπολειμματικά άλατα.



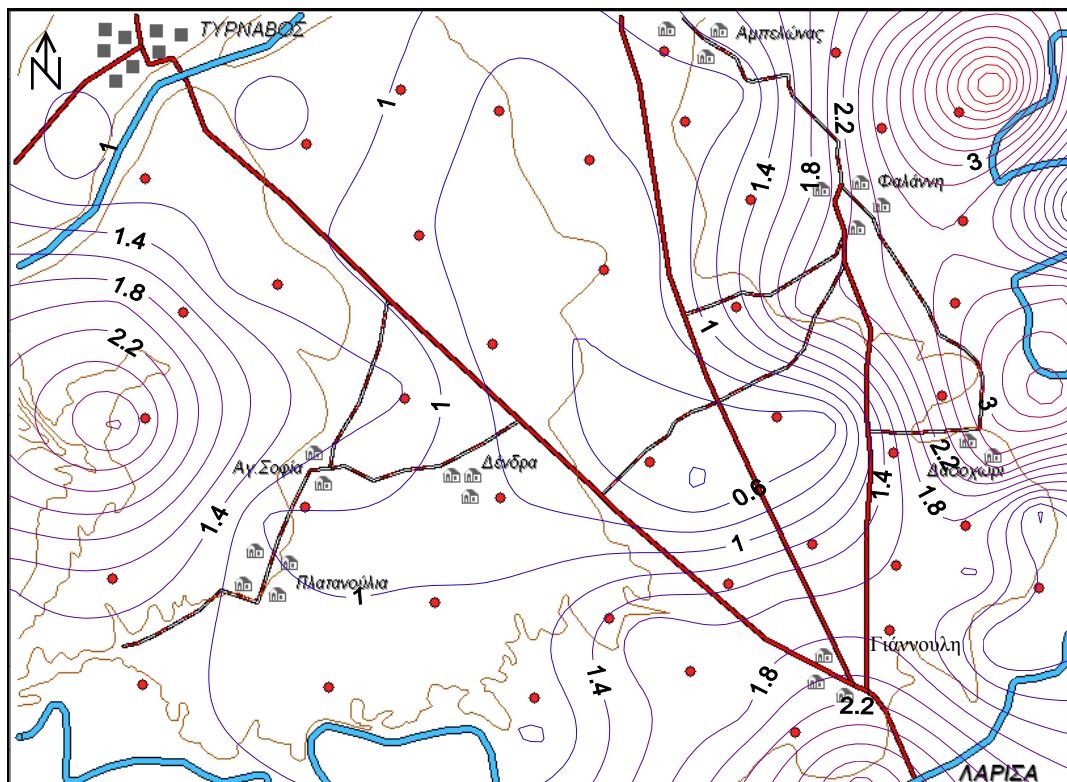
Σχήμα 6.5.δ: Χάρτης καμπυλών ιοντικού λόγου $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{-2}$ σε (mg/l) στην περιοχή μελέτης, (Δειγματοληψία Σεπτ. 2005).

➤ Ιοντικός λόγος Na/Cl

Ο λόγος αυτός σχετίζεται με την υφαλμύρωση και γενικά τη διείσδυση του θαλασσινού νερού ή με υδροφόρα μέσα στα οποία υπήρξαν υπολείμματα θαλασσιών αλάτων. Έτσι, ανάλογα με τις τιμές αυτού έχουμε:

- $\text{Na/Cl} = 0.876 \pm 10\%$ κανονικό υπόγειο νερό.
- $\text{Na/Cl} > 1$ νερό από αλκαλικά πυριγενή ή μεταμορφωμένα πετρώματα
- $\text{Na/Cl} < 0.876 \pm 10\%$ σημαίνει υφαλμύρωση υδροφορέα (διείσδυση της θάλασσας ή υπολείμματα κλπ.)

Στην περιοχή μελέτης, Σχήμα 7.5.ε, οι τιμές όλες είναι >1 και σηματοδοτούν το φαινόμενο της ιοντοανταλλαγής Ca^{+2} και Mg^{+2} με Na^{+} .



Σχήμα 6.5.ε: Χάρτης καμπυλών ιοντικού λόγου Na/Cl σε (mg/l)
στην περιοχή μελέτης, (Δειγματοληψία Σεπτ. 2005).

➤ Συντελεστής Revelle

Ο δείκτης Revelle προσδιορίζει τη συνεισφορά της διείσδυσης της θάλασσας στην αύξηση της συγκέντρωσης χλωριόντων στο υπόγειο νερό και εκφράζεται από τη σχέση:

$$R = \frac{rCl^-}{rCO_3^{2-} + rHCO_3^-}$$

Τιμές του δείκτη Revelle μεγαλύτερες του 1 υποδηλώνουν ρύπανση του υπόγειου νερού από διείσδυση της θάλασσας.

Στην περιοχή μελέτης όλα τα δείγματα υπόγειου νερού έδειξαν τιμές <1, συνεπώς δεν υφίσταται περίπτωση διείσδυσης της θάλασσας.

Τέλος, συμπεραίνουμε ότι οι ιοντικοί λόγοι είναι πολύ χρήσιμοι για τον καθορισμό της προέλευσης του νερού (Λαμπράκης, 1994).

6.6 Συσχετιστικά Διαγράμματα μεταξύ ιόντων

Οι τιμές περιεκτικότητας του υπόγειου νερού σε διάφορα ιόντα κύρια ή δευτερεύοντα, εξεταζόμενα ανά ορισμένα ζεύγη, αυξάνονται ή μειώνονται παράλληλα, διατηρώντας μια περίπου σταθερή σχέση μεταξύ τους, κυρίως όταν εκφράζονται σε meq/l. Σε πολλά ζεύγη ιόντων, η συσχέτιση είναι συνήθης, ενώ σε άλλα συγκυριακή. Η συσχέτιση συνδέεται με τη χημική συγγένεια και τις ιδιότητες των ιόντων αυτών, αλλά και με τη λιθολογία του αντίστοιχου υδροφορέα (Γ.Σούλιος, 2006).

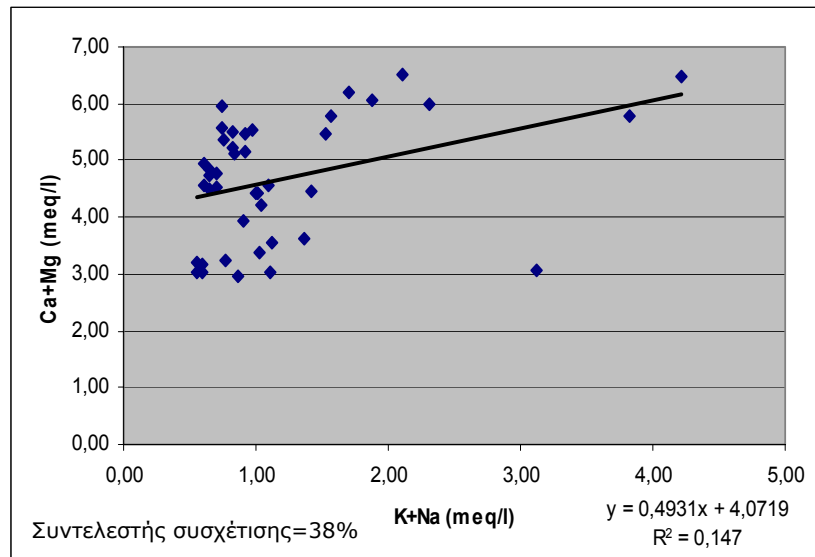
Δίνεται ο Πίνακας 6.6 συσχέτισεων ιόντων της περιοχής μελέτης όπου φαίνονται όλοι οι συντελεστές συσχέτισης και παρατηρούμε ότι δεν υπάρχει ισχυρή συσχέτιση μεταξύ των ιόντων, καθώς υπάρχουν και περιπτώσεις όπου εμφανίζεται αρνητικός συντελεστής συσχέτισης.

Πίνακας 6.6: Πίνακας συσχέτισης ιόντων (meq/l)

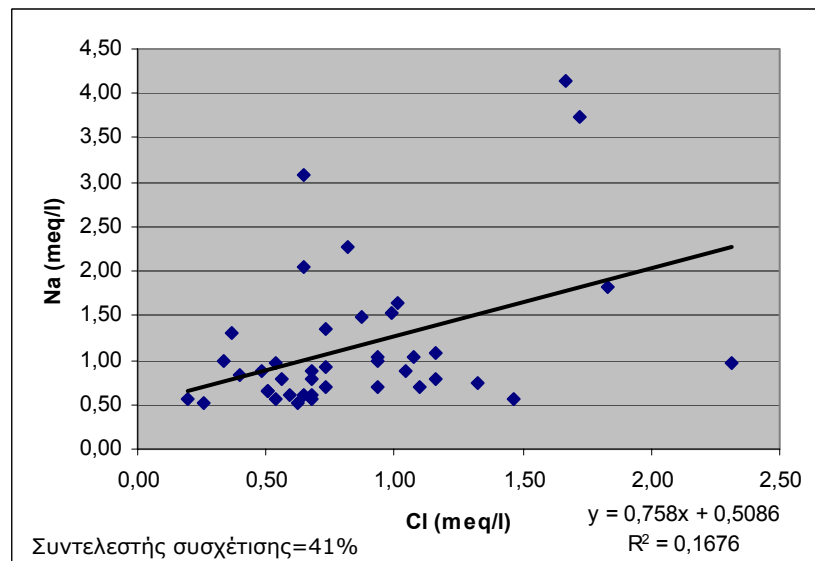
		Na	K	Ca	Mg	Cl	SO₄	HCO₃	NO₃	TDS
Na	Pearson Correlation	1,000	,616	-,186	,599	,409	,573	,642	-,064	,729
K	Pearson Correlation		1,000	,178	,459	,463	,586	,652	,184	,730
Ca	Pearson Correlation			1,000	-,348	-,060	,183	,179	,784	,282
Mg	Pearson Correlation				1,000	,392	,527	,670	-,178	,685
Cl	Pearson Correlation					1,000	,407	,559	,000	,582
SO₄	Pearson Correlation						1,000	,539	,121	,787
HCO₃	Pearson Correlation							1,000	,283	,910
NO₃	Pearson Correlation								1,000	,345
TDS	Pearson Correlation									1,000

Παρακάτω στο Σχήμα 6.6.α,β,γ,δ,ε δίνονται επιλεκτικά τα Διαγράμματα συσχέτισης αντίστοιχα των ιόντων $(Ca^{+2}+Mg^{+2})-(K^{+}+Na^{+})$, $Na^{+}-Cl^{-}$, $Cl^{-}-SO_4^{-2}$, $Na^{+}-HCO_3^{-}$ και $Cl^{-}-HCO_3^{-}$ σε (meq/l), παρατηρούμε ότι δεν υπάρχει συσχέτιση όπως προαναφέραμε.

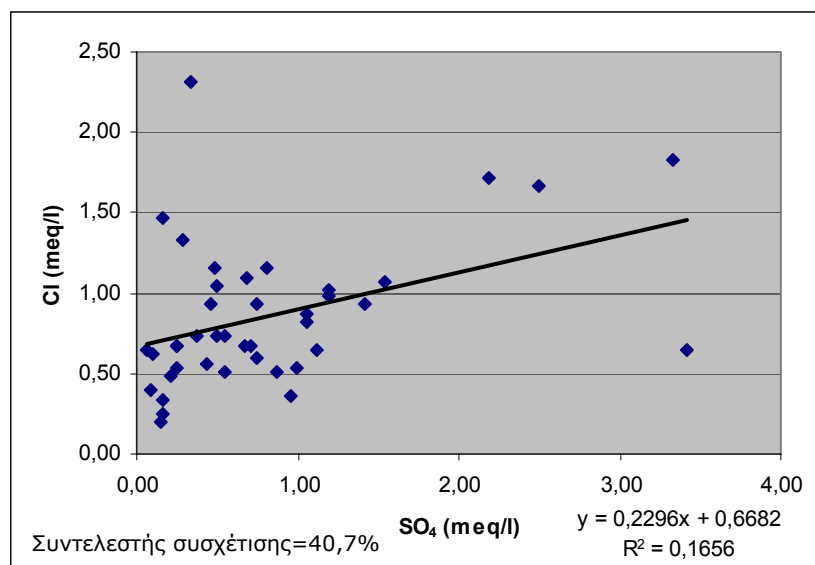
α)



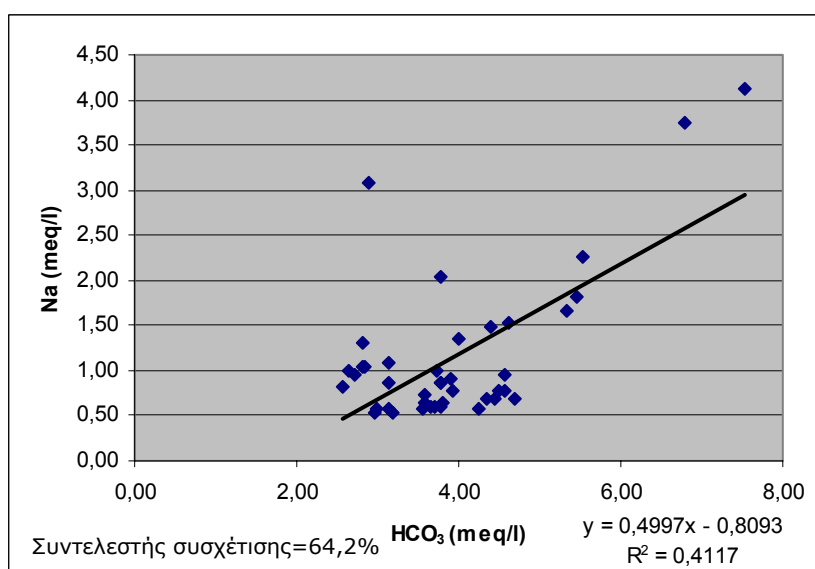
β)



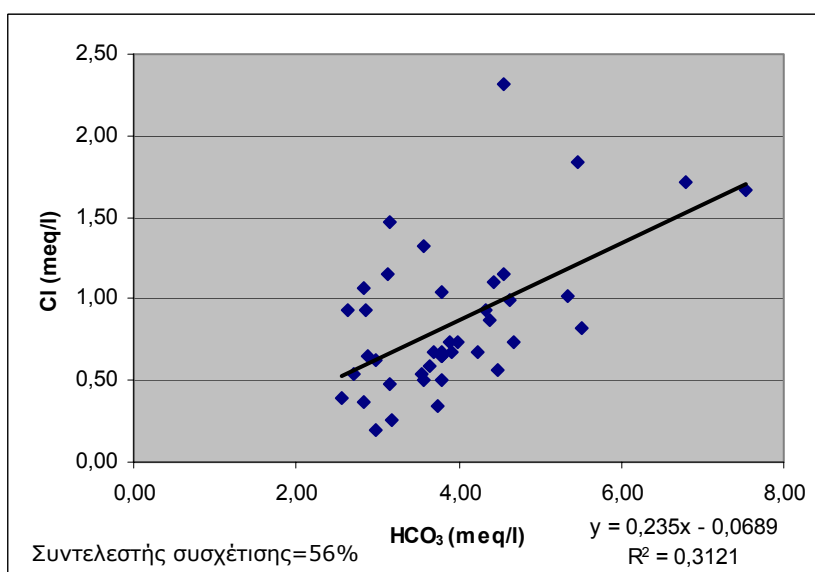
γ)



δ)



ε)



6.7 Υδροχημικά διαγράμματα & ταξινόμηση υπόγειου νερού

Πολλές φορές όταν διαθέτουμε αριθμητικά δεδομένα πολλών χημικών αναλύσεων, αυτά από μόνα τους δεν επιτρέπουν μία άμεση σύγκριση ή μια εποπτική σύγκριση και εικόνα, αν και για το κάθε δείγμα χωριστά είναι διαφωτιστικά. Αυτό μπορεί να γίνει με τα διάφορα *Υδροχημικά διαγράμματα* που πέρα από αυτή τη σύγκριση επιτρέπουν και την ταξινόμηση των αναλυθέντων δειγμάτων νερού και δίνουν πληροφορίες για την υδροχημική φάση τους.

Έχουν επινοηθεί πάρα πολλά είδη διαγραμμάτων, ορισμένα από τα οποία χρησιμοποιούνται ελάχιστα, ενώ άλλα πολύ συχνά γιατί είναι διαφωτιστικά. Επίσης πολλά από αυτά έχουν τροποποιηθεί πολλές φορές και χρησιμοποιούνται διάφορες παραλλαγές τους. Παραθέτουμε στη συνέχεια τα πιο γνωστά υδροχημικά διαγράμματα που χρησιμοποιούνται στη βιβλιογραφία. (Σούλιος, 2006).

Για τη εφαρμογή των διαγραμμάτων χρησιμοποιούνται μονάδες meq/l και μάλιστα η εκατοστιαία αναλογία τους στα κατιόντα και ανιόντα χωριστά. Παρακάτω δίνεται ο Πίνακας 6.7 των τιμών που προκύπτουν.

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.7: Εκατοστιαία αναλογία κατιόντων και ανιόντων σε meq/l

Γεώτρηση	K+Na%	Mg %	Ca %	SO4 %	HCO3 %	Cl %
Γ1	23,65	39,94	36,40	31,36	51,38	17,26
Γ2	26,72	31,48	41,79	10,80	67,25	21,95
Γ3	23,98	43,93	32,10	10,05	65,68	24,27
Γ4	24,17	43,49	32,34	10,26	75,83	13,91
Γ5	27,85	50,03	22,11	14,34	74,61	11,05
Γ6	27,23	41,56	31,21	23,11	68,03	8,85
Γ7	23,43	43,84	32,73	3,93	88,09	7,98
Γ8	19,06	50,62	30,33	5,62	68,84	25,55
Γ9	50,35	22,29	27,36	1,74	80,22	18,04
Γ10	39,83	28,83	31,34	20,45	63,46	16,09
Γ11	39,47	30,47	30,06	21,35	64,43	14,22
Γ12	12,81	22,78	64,41	11,16	78,38	10,47
Γ13	12,66	40,87	46,47	13,91	72,79	13,30
Γ14	11,84	26,47	61,69	12,44	72,10	15,46
Γ15	15,52	16,71	67,77	2,82	80,37	16,81
Γ16	21,51	51,52	26,96	15,73	70,81	13,46
Γ17	18,71	35,07	46,21	4,62	63,26	32,12
Γ18	16,64	10,47	72,89	3,48	65,83	30,69
Γ19	12,30	40,07	47,63	11,03	71,31	17,66
Γ20	14,08	39,88	46,03	12,44	69,83	17,73
Γ21	10,97	26,09	62,94	11,92	75,96	12,12
Γ22	12,16	4,43	83,40	15,00	73,14	11,86
Γ23	13,39	3,14	83,47	17,65	72,10	10,25
Γ24	11,88	13,88	74,24	20,22	68,10	11,67
Γ25	11,74	5,87	82,38	19,63	69,85	10,53
Γ26	14,76	23,95	61,28	4,63	88,32	7,05
Γ27	15,91	32,87	51,22	4,38	89,68	5,94
Γ28	11,10	24,90	63,99	6,47	80,88	12,66
Γ29	13,07	24,73	62,20	7,96	81,77	10,27
Γ30	14,37	21,43	64,20	5,30	80,33	14,37
Γ31	13,67	20,96	65,37	5,16	80,86	13,98
Γ32	14,94	35,24	49,82	9,73	75,98	14,29
Γ33	15,12	20,46	64,42	9,38	71,04	19,59
Γ34	19,96	21,81	58,24	28,40	52,93	18,67
Γ35	19,34	22,72	57,94	28,36	51,90	19,74
Γ36	18,48	22,29	59,23	7,16	77,48	15,36
Γ37	18,86	26,58	54,56	5,43	82,06	12,51
Γ38	22,73	24,08	53,20	2,74	84,24	13,01
Γ39	21,36	36,58	42,06	17,46	68,01	14,53
Γ40	21,81	35,65	42,54	16,78	69,40	13,82
Γ41	24,42	36,97	38,61	43,50	48,23	8,27

6.7.1 Διάγραμμα Durov

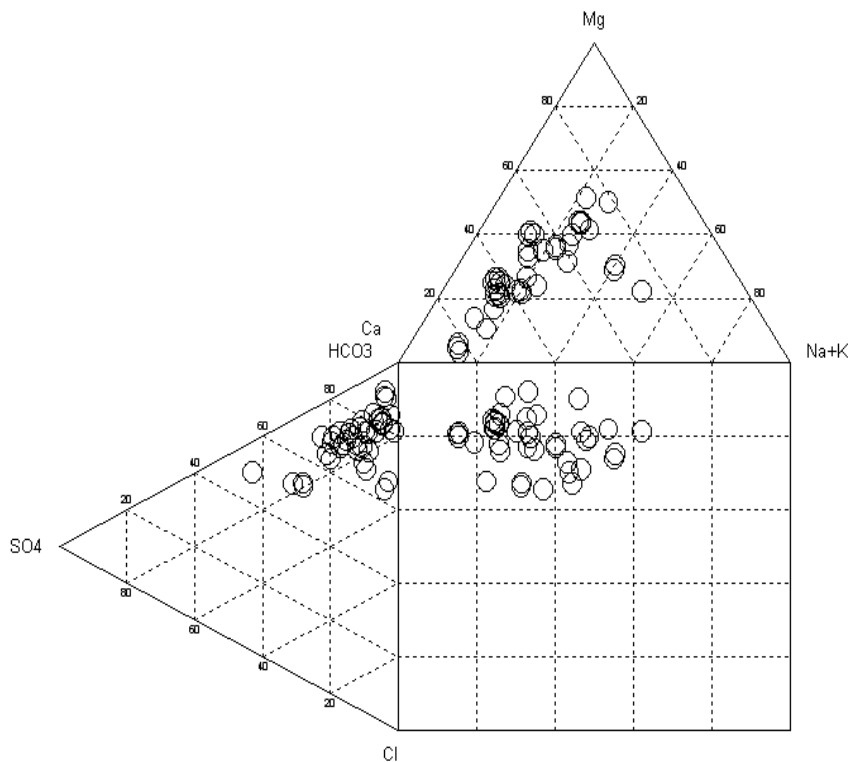
Πρωτοεισήχθηκε από τον Durov, S.A. (1948) και τροποποιήθηκε κυρίως από τον Zarogozec, A. (1972), όπως και από τον Hem, J.D. (1970).

Η πιο εύχρηστη παραλλαγή του είναι αυτή με δύο τριγωνικά διαγράμματα, ένα για τα ανιόντα και ένα για τα κατιόντα που συνδέονται με ένα τετραγωνικό.

Στο Σχήμα 6.7.1 απεικονίζεται το διάγραμμα Durov για τα δείγματα υπόγειου νερού της περιοχής μελέτης.

Παρατηρούμε ότι ο χαρακτήρας τους είναι σαφής και είναι:

Ca-Mg-HCO₃: Ασβεστούχος – Μαγνησιούχος – Οξυανθρακικός, με ελάχιστα δείγματα αναμεμιγμένων νερών.



Σχήμα 6.7.1 : Διάγραμμα Durov για το υπόγειο νερό της περιοχής μελέτης

6.7.2 Διάγραμμα Piper

Πρωτοεισήχθηκε από τον Piper, M. (1944) και συμπληρώθηκε από του Davis, S. – De Wist, R. (1967) και του Fetter, C.W. (1994) και χρησιμοποιείται ευρύτατα στη σύγχρονη βιβλιογραφία.

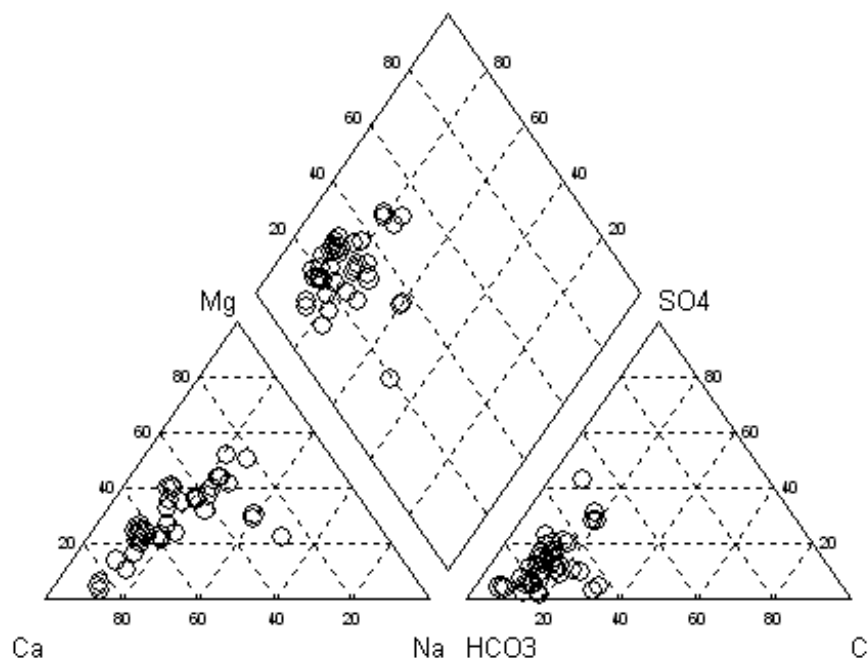
Παρουσιάζει το πλεονέκτημα ότι είναι άμεση η αναγνώριση των ομοιοτήτων και των διαφορών που παρουσιάζουν διάφορα δείγματα νερού, καθώς και της ανάμειξης δύο διαφορετικών νερών (Καλλέργης, 1986).

Αποτελείται από δύο τριγωνικά διαγράμματα, ένα για τα ανιόντα και ένα για τα κατιόντα και ένα ενδιάμεσο ρομβικό που στο σύνολό που στο σύνολο συνιστούν ένα τρίγωνο. Η θέση του αντίστοιχου δείγματος νερού το κατατάσσει σε μία κατηγορία, τόσο ως προς τα κατιόντα ή ανιόντα όσο και στο σύνολο, δίνοντας την υδροχημική φάση του δείγματος.

Για την εφαρμογή του διαγράμματος Piper χρησιμοποιούνται meq/l σε εκατοστιαία συμμετοχή κάθε ιόντος χωριστά για κατιόντα και για ανιόντα. Είναι σαφές ότι το διάγραμμα επιτρέπει τόσο την άμεση, εποπτική σύγκριση διαφόρων δειγμάτων νερού, όσο και την ταξινόμηση τους σε κατηγορίες (φάσεις) ακόμα και όταν έχουμε πολλά και διαφορετικά δείγματα νερού, όπως και συμβαίνει στην περιοχή μελέτης.

Με βάση λοιπόν τις χημικές αναλύσεις των στοιχείων κατασκευάστηκε το διάγραμμα Piper του Σχήματος 6.7.2 . Όπως προκύπτει από το διάγραμμα εμφανίζεται κυρίως ο υδροχημικός τύπος:

Ca-Mg-HCO₃: Ασβεστούχος – Μαγνησιούχος – Οξυανθρακικός



Σχήμα 6.7.2 : Διάγραμμα Piper δειγμάτων υπόγειου νερού της περιοχής μελέτης

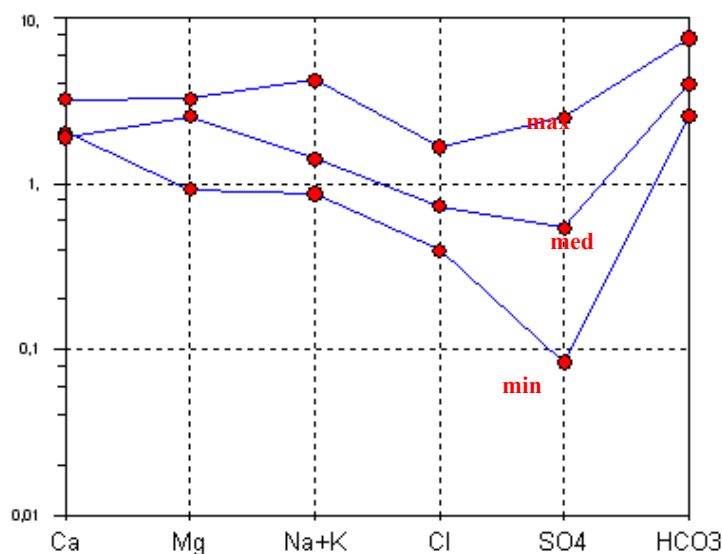
6.7.3 Διάγραμμα Schoeller

Πρωτοεισήχθηκε από τον Schoeller, H. (1955) και εφαρμόζεται ευρέως στη βιβλιογραφία με μικρές παραλλαγές του γιατί επιτυγχάνει να απεικονίσει με σαφή τρόπο τους διάφορους τύπους υπόγειου νερού καθώς επίσης γιατί καθιστά εύκολη την σύγκριση των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων.

Τα ημιλογαριθμικά διαγράμματα Schoeller χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της ποσιμότητας του νερού. Πρόκειται για ένα διάγραμμα που στον κατακόρυφο άξονα έχει τιμές διαφόρων ιόντων σε meq/l και στον οριζόντιο τα διάφορα ιόντα με την εξής σειρά: Ca^{+2} , Mg^{+2} , $\text{Na}^{+}+\text{K}^{+}$, Cl^{-} , SO_4^{-2} , $\text{HCO}_3^{-}(\text{+CO}_3^{-})$. Υπάρχει μικρή παραλλαγή στη σειρά των ιόντων. Όταν η καμπύλη έχει κυρτό μέρος προς τα επάνω έχουμε υφάλμυρο νερό, ενώ όταν έχουμε το κοίλο είναι γλυκό νερό. Ακόμη όσο πιο πάνω βρίσκεται η καμπύλη τόσο πιο μεγάλη είναι η περιεκτικότητα του νερού σε ιόντα, δηλαδή το T.D.S..

Στο Σχήμα 6.7.3 δίνεται η εφαρμογή του διαγράμματος για τα δείγματα με τη μέγιστη, ελάχιστη και μέση τιμή συνόλου διαλυμένων αλάτων T.D.S..

Από το διάγραμμα συμπεραίνουμε ότι υπάρχει μεγάλο εύρος τιμών για τα ιόντα του SO_4^{-2} , Mg^{+2} , Cl^{-} και $\text{Na}^{+}+\text{K}^{+}$. Από πλευρά ποσιμότητας το νερό είναι γλυκό και εξαιρετικής ποιότητας αν λάβουμε υπόψη την μέση τάση που επικρατεί στις τιμές.



Σχήμα 6.7.3: Διάγραμμα Schoeller δειγμάτων υπόγειου νερού της περιοχής μελέτης

6.7.4 Διάγραμμα κατάταξης αρδευτικών νερών με βάση το δείκτη S.A.R. (Δείκτης προσρόφησης Na^+)

Ο Wilcox, L.V. (1950), εισήγαγε ένα διάγραμμα για τον έλεγχο της καταλληλότητας του αρδευτικού νερού σε σχέση με τη φύση και τις ιδιότητες των καλλιεργούμενων εδαφών. Χρησιμοποίησε ως παράγοντες καταλληλότητας, το δείκτη S.A.R. και την ηλεκτρική αγωγιμότητα E.C.

α) Δείκτης προσρόφησης Na^+ (S.A.R.)

Το Na^+ δημιουργεί αποκροκίδωση του εδάφους, κατά την ανταλλαγή ιόντων του με ιόντα Ca^{+2} , και έτσι προκαλεί έμμεσα μείωση του αερισμού και της περατότητας του εδάφους. Η έκταση της ανταλλαγής ιόντων μπορεί να προσδιοριστεί βάση του δείκτη προσρόφησης Na^+ (S.A.R.), ο οποίος δίνεται από τον τύπο:

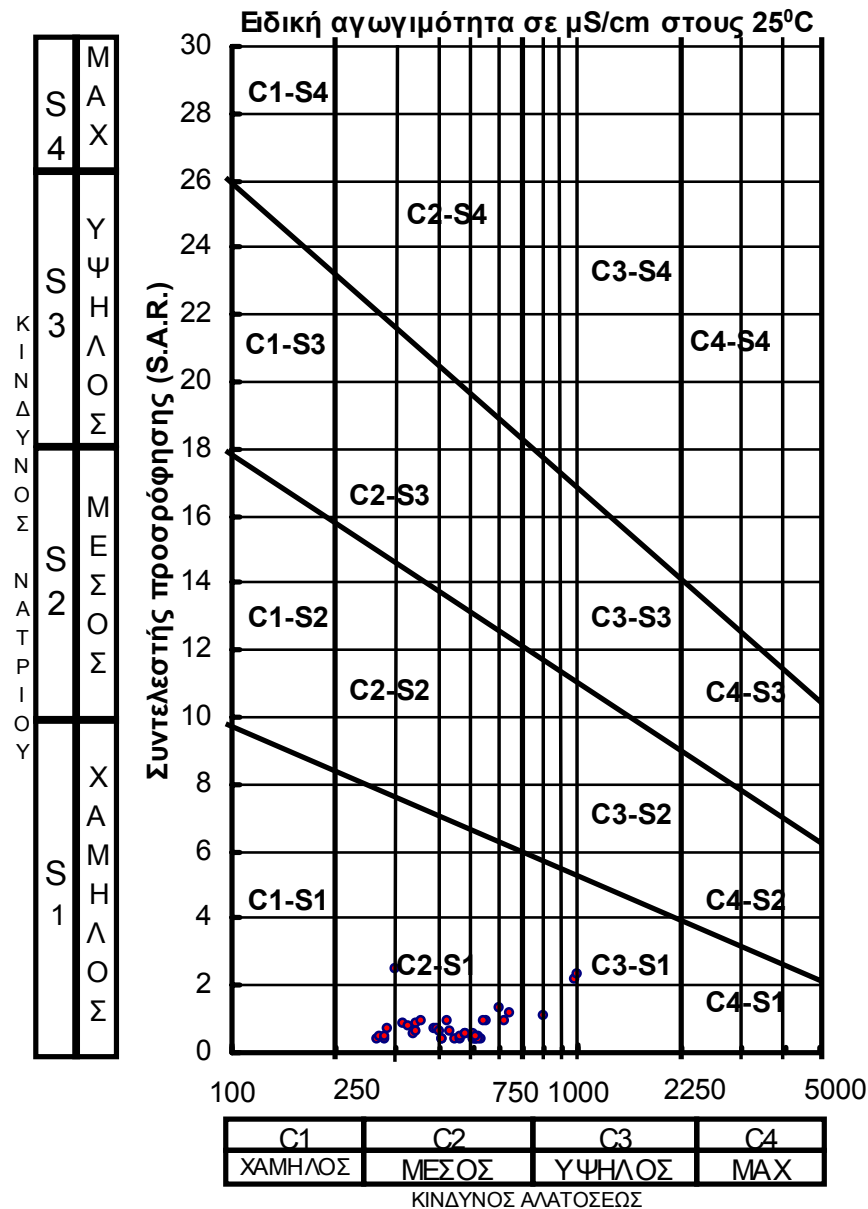
$$S.A.R. = \frac{rNa^+}{\sqrt{\frac{r(Ca^{+2} + Mg^{+2})}{2}}}$$

β) Ηλεκτρική αγωγιμότητα

Σε εδάφη που κυριαρχούν τα αργιλικά υλικά, η δυνατότητα απόπλυσης των αλάτων που υπάρχουν σε περίσσεια είναι μειωμένη λόγω της μικρής περατότητας και της χαμηλής δυνατότητας αποστράγγισης. Ο κίνδυνος αλατότητας μπορεί να εκτιμηθεί από την ηλεκτρική αγωγιμότητα.

Με βάση το διάγραμμα μπορούμε να διακρίνουμε της εξής κατηγορίες αρδευτικού νερού. Σχεδόν το σύνολο των δειγμάτων του υπόγειου νερού της λεκάνης της περιοχής μελέτης ανήκουν στην κατηγορία C2-S1, δηλαδή είναι νερά με μέσο κίνδυνο αλατόσεως και μικρό κίνδυνο – συντελεστή προσρόφησης Na^+ . Τα νερά αυτά θα πρέπει να χρησιμοποιούνται με υπο συνεχή παρακολούθηση σε εδάφη που δεν αποστραγγίζονται καλά και για ευαίσθητα φυτά.

Τρία δείγματα ανήκουν στην κατηγορία C3-S1, μεγάλου κινδύνου αλατόσεως και μικρό συντελεστή προσρόφησης Na^+ , και προέρχονται από την βορειοανατολική περιοχή της περιοχής μελέτης ανατολικά του οικισμού Αμπελώνα.

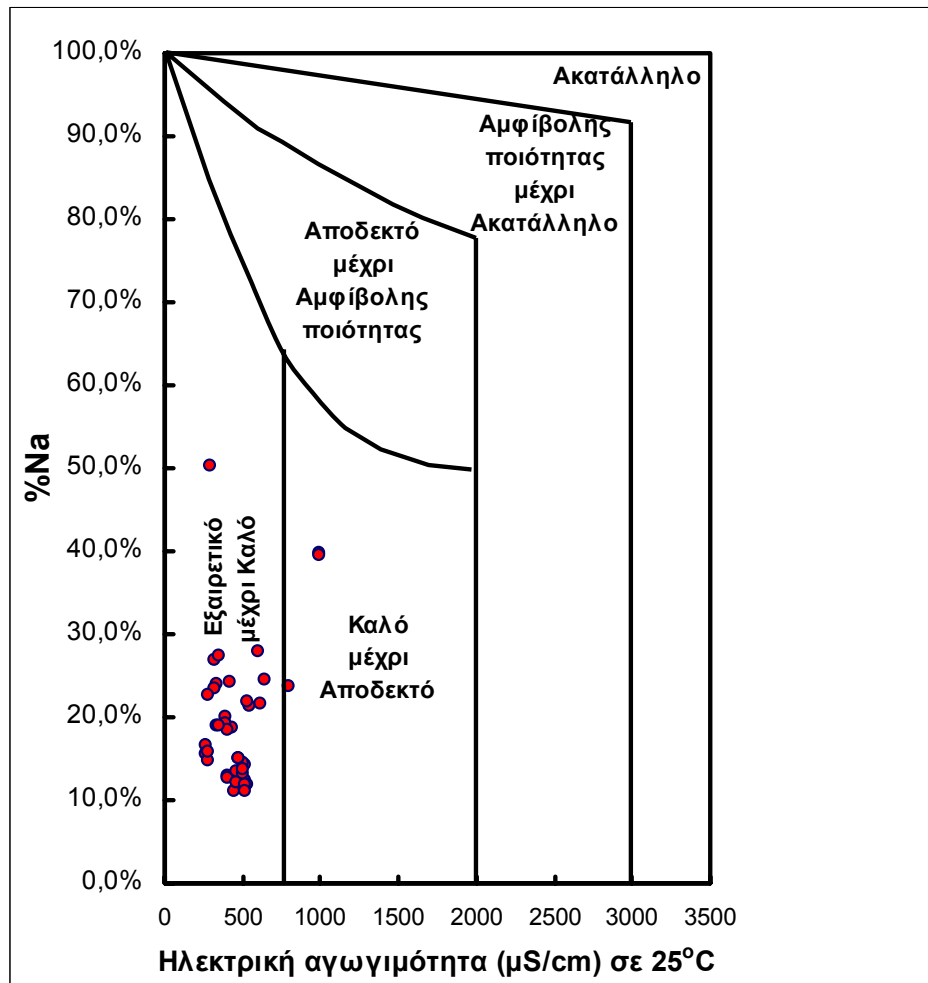


Σχήμα 6.7.4 : Κατάταξη των νερών άρδευσης της περιοχής Τυρνάβου συναρτήσει της ειδικής αγωγιμότητας και της σχέσης S.A.R.

6.7.5 Διάγραμμα Wilcox

Το διάγραμμα Wilcox (1955) χρησιμοποιείται συμπληρωματικά για την ταξινόμηση του αρδευτικού νερού. Κύριοι παράγοντες που καθορίζουν την διαγραμματική απεικόνιση του είναι η ηλεκτρική αγωγιμότητα του νερού E.C. ($\mu\text{C}/\text{cm}$) και η επί τοις εκατό περιεκτικότητα του Na^+ σε σχέση με το σύνολο των αλκαλίων.

Παρακάτω στο Σχήμα 6.7.5 απεικονίζεται διαγραμματικά η εφαρμογή κατάταξης των υπόγειων υδάτων της περιοχής κατά Wilcox.



Σχήμα 6.7.5 : Κατάταξη των νερών άρδευσης της περιοχής μελέτης κατά Wilcox.

Παρατηρούμε ότι το νερό των περισσότερων δειγμάτων υπόγειου νερού της περιοχής μελέτης, χαρακτηρίζεται συνολικά ως εξαιρετικό μέχρι καλό και μόνο δύο δείγματα χαρακτηρίζονται ως καλά μέχρι αποδεκτά.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σκοπός της παρούσας διατριβής ήταν η μελέτη της διακύμανσης της στάθμης και η ανάλυση της ποιότητας των νερών των υδροφόρων στρωμάτων της περιοχής Τυρνάβου όπως αυτή διαμορφώθηκε κατά τα τελευταία 30 χρόνια. Τα κυριότερα συμπεράσματα που προέκυψαν συνοψίζονται παρακάτω.

Η περιοχή μελέτης καταλαμβάνει το ΒΔ τμήμα της Ανατολικής Θεσσαλικής λεκάνης με όριο τον Πηνειό και τον Τιταρήσιο ποταμό και έχει έκταση περίπου 125 km². Είναι μία τάφρος στην οποία έχουν αποτεθεί τα χονδρόκοκκα αλλούβια των διερχόμενων ποταμών.

Όπως προκύπτει από τη γεωλογική τομή της περιοχής οι Τεταρτογενείς αποθέσεις διαχωρίζονται σε τρεις κατηγορίες διαμορφώνοντας δύο υδροφόρους τον ανώτερο και τον κατώτερο, οι οποίοι διαχωρίζονται από λεπτό στρώμα αργιλο-ιλυώδους ακολουθίας. Ενώ στα δυτικά περιθώρια της λεκάνης το κάρστ επωθείται πάνω στο υπόβαθρο.

Χρησιμοποιήθηκαν μετεωρολογικά στοιχεία από τον Μ.Σ. Λάρισας. Παρατηρήθηκε μετατόπιση της υγρής περιόδου σε θερμότερους μήνες πράγμα που συνεπάγεται απώλεια του διαθέσιμου νερού της ενεργούς κατεΐσδυσης λόγω αυξημένης εξατμισοδιαπνοής.

Ακόμη, την τελευταία 20ετία 1982-2001 παρουσιάστηκαν μειωμένες βροχοπτώσεις έως και 30% από τις κανονικές και έντονα ξηρά έτη (1989, 1990, 1993, 2000 και 2001), ενώ το υδρολογικό έτος 2002 είχαμε μια ανάκαμψη με ετήσιο βροχομετρικό ύψος 579 (mm).

Σύμφωνα με τα υδρογεωλογικά στοιχεία των σχηματισμών συμπεραίνουμε ότι το υπόβαθρο χαρακτηρίζεται πρακτικά αδιαπέρατο και υδατοστεγανό διαμορφώνοντας ιδανικές συνθήκες για τον υπερκείμενο υδροφορέα, ενώ ο συντελεστής διαπερατότητας του καρστικοποιημένου ασβεστόλιθου είναι μεγάλος καθώς εμφανίζεται ισχυρά κατακερματισμένος.

Όσον αφορά την εξέλιξη της στάθμης των υδροφόρων στρωμάτων είναι γεγονός ότι τις τελευταίες δεκαετίες, οι αυξημένες ανάγκες νερού για την άρδευση των καλλιεργειών έχουν οδηγήσει στην υπερεκμετάλλευση των υπόγειων αποθεμάτων νερού.

Η επεξεργασία πιεζομετρικών δεδομένων γεωτρήσεων από το 1970-2005, που συγκεντρώθηκαν από το αρχείο της Διεύθυνσης Εγγείων

Βελτιώσεων Λάρισας οδήγησε στο συμπέρασμα ότι στο ΒΔυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης η πτώση στάθμης είναι μικρότερη απ' ότι στις άλλες περιοχές λόγω της υπόγειας τροφοδοσίας από τη ζώνη εμπλουτισμού του κάρστ. Η ροή των υπόγειων υδάτων είναι συνεχής και έχει διεύθυνση από δυτικά (ζώνη εμπλουτισμού του κάρστ) προς τα ανατολικά κατάντη στην αλλουβιακή λεκάνη.

Επίσης εκατέρωθεν της κοίτης του ποταμού Πηνειού η πτώση στάθμης δεν παρουσιάζει μεγάλη διακύμανση, καθώς η άρδευση των καλλιεργειών γίνεται εκτός από τις γεωτρήσεις και από το αρδευτικό δίκτυο του ποταμού με αποτέλεσμα τον συνεχή εμπλουτισμό του υδροφόρου.

Ερμηνεύοντας τα διαγράμματα εξέλιξης της πορείας της ανώτερης πτώσης στάθμης των γεωτρήσεων, παρατηρούμε μια γενικότερη πτώση της στάθμης, η οποία γίνεται αισθητά εντονότερη κατά την πενταετία 1985-1990, λόγω έντονης ξηρασίας.

Στα πλαίσια της υδροχημικής έρευνας των υπογείων νερών της περιοχής έρευνας πραγματοποιήθηκε μία δειγματοληψία κατά την διάρκεια της χαμηλής στάθμης των υπόγειων νερών (Σεπτέμβριος 2005).

Βορειοανατολικά της περιοχής μελέτης, βόρεια του οικισμού Φαλάννη και ανατολικά του οικισμού Αμπελώνα, παρατηρήθηκε μια ιδιαίτερη αυξημένη συγκέντρωση ιόντων Na^+ , η οποία μπορεί να αποδοθεί αφενός σε φαινόμενα ιοντοανταλλαγής αφετέρου σε εγκλωβισμένα υφάλμυρα νερά από την εποχή της ιζηματογένεσης.

Στην περιοχή μελέτης η μέση συγκέντρωση νιτρικών υπολογίζεται στα 40 mg/l, αρκετά υψηλή τιμή, ενώ στο νοτιοδυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης, στον οικισμό Πλατανούλια, οι τιμές ξεπερνούν κατά πολύ το ανώτατο όριο και φτάνουν μέχρι και τα 69 mg/l.

Από την ταξινόμηση των υπόγειων υδάτων της περιοχής με τα διαγράμματα Durov και Piper τα νερά χαρακτηρίζονται ως: Ca-Mg-HCO₃: Ασβεστούχα – Μαγνησιούχα – Οξυανθρακικά, με ελάχιστη τάση για ανάμειξη νερών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- **Aubouin, J.,** (1957): Contribution a l' etude geologique de la Grece septentrionale: les confins de l' Epire et de la Thessalie », Ann. Geol. Des Pays Hell. Vol. X Athenes, 1-484
- **Βουδούρης, Κ.,**(2004): Στατιστική ανάλυση δεδομένων στην Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωλογία, Εκδόσεις Εργαστηρίου Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας, Α.Π.Θ.
- **Βουδούρης, Κ.,**(1995): Υδρογεωλογικές συνθήκες του ΒΔ/κού τμήματος του Ν.Αχαΐας , Διδ.διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών.
- **Brunn, J.,**(1956) : Contribution al' etude geologique du Pinde septentrional et d' une partie de la Macedoine occidentale, Ann. Geol. Des Pays Hell.
- **Caputo, R.,** (1990), Geological and structural study of the recent and brittle deformation of the Neogene – Quaternary basins of Thessaly (Central Greece), Ph.D. dissertation: Thessaloniki, Aristotle University of Thessaloniki.
- **Compagnie generale de geophysique,** (1972), Reconnaissance par prospection electriques dans la plaine de Thessalie (Grece): France, CGG.
- **Constandinidis, D.,** (1978): Hydrodynamique d' un systeme aquifere heterogene de la Thessalie orientale, These d' etat, Univ. de Grenoble.
- **Cooper, H.H,** et al, The response of well aquifer systems to seismic waves, Jour. Geophysical Research, v.70, pp.3315-3926,1965
- **Davis, S. N., R. J. M. De Wiest,** Hydrogeology, John Wiley & Sons, New York, 463pp. 1966.
- **Demitrack, A.,**(1986), The late quaternary geologic history of the Larissa plain Thessaly, Greece, Ph.D. dissertation: Stanford, Stanford University.
- **Δημόπουλος, Γ.,** (1983): «Εφαρμοσμένη Γεωλογία», Τόμος 1^{ος}, Υδρογεωλογία, Θεσσαλονίκη, σελ 428.
- **Doutsos. T.,** (1980), Postalpine geodynamic Thessaliens (Griechenland): Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft, V.131, no.1, pp.685-698.
- **Durov, S.A.,** (1948): Natural water and graphical representation of their composition, Dokl. Akad. Nauk. U.S.S.R., v. 59, p.87-90.
- **Εθνική Στατιστική Υπηρεσία,** (2001), Στοιχεία απογραφής πληθυσμού 2001, Αθήνα.

- **Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία Ελλάδας**, (2006), Κλιματολογικά στοιχεία Μ.Σ. Λάρισας.
- **Electrowatt engineering services**, 1967, Preliminary results: Athens, Ministry of Public Works, Development of the Thessaly plain, preliminary study and feasibility report.
- **Ευαγγελόπουλος, Α.**, (2001): «Διαχειριστική μελέτη του υπόγειου υδατικού δυναμικού περιοχών δικαιοδοσίας των Τοπικών Οργανισμών Εγγείων Βελτιώσεων (Τ.Ο.Ε.Β.) Νομού Λάρισας, ΔΕΒ Λάρισας.
- **Ευαγγελόπουλος, Α.**, (1974): «Υδρογεωλογική κατάσταση λεκανών Ν. Λάρισας», Απρίλιος, Λάρισα.
- **European Climate Assessment & Dataset – Daily data**, (2006), <http://eca.knmi.nl>.
- **Hem, J.D.**, (1970), Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water, 2nd ed., U.S Geological Survey Water-Supply Paper 1473, 363 pp.,.
- **Freeze, R.A.**, & Cherry J., (1979): Groundwater, Prentice- Hall Inc. Englewood Cliffs, pp.383-462.
- **Καλλέργης, Γ.**, (1986): Εφαρμοσμένη Υδρογεωλογία, Τόμος Α, Τ.Ε.Ε., Αθήνα.
- **Koppen, W., Geiger, R.**, (1936): Handbuch der Klimatologie, Berlin.
- **Λαμπράκης, Ν.**, (1991): Εισαγωγή στην Υδροχημεία. Πανεπιστήμιο Πατρών.
- **Matthess, G.**, (1973): Die Beschaffenheitdes Grundwassers., Εκδόσεις Gebruder Borntraeger, Berlin, Stuttgart, 324p.
- **Μουντράκης, Δ.**, (1985): Γεωλογία Ελλάδος, University Studio Press, Θεσσαλονίκη.
- **Panagopoulos, A.**, (1995): A methodology for groundwater resources management of a typical alluvial aquifer system in Greece. University of Birmingham, December.
- **Robinsosn, J.W.**, (1939): Tides in confined well-aquifer systems., Geophys.Res., v.76, p.1857-1869.
- **Piper, M.**, (1944): A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analysis, Trans. Amer. Geophysical Union, V. 25, p. 914-928.

- **Schneider, R.**, (1961): Correlation of ground-water levels and air temperatures in the winter and spring in Minnesota, U-S., Geological Survey Water-Supply Paper 1539-D, 14pp.
- **Schoeller, H.**, (1955): Geochimie des eaux souterraines, Application aux des gisements de petrole, Revue de l' Institute Francais du Petrole et Annales de Combustibles Liquuides, Paris, V. 10, p.230-244
- **Σούλιος, Γ.**, (2006): Ποιότητα υπόγειου νερού, Ρύπανση - Μόλυνση υπόγειου νερού, Τέταρτος τόμος, University Studio Press, Θεσσαλονίκη
- **Σούλιος, Γ.**, (2004): Εκμετάλλευση και διαχείριση υπόγειου νερού, Τρίτος τόμος, University Studio Press, Θεσσαλονίκη.
- **Σούλιος, Γ.**, (1986): Γενική Υδρογεωλογία, Πρώτος Τόμος, University Studio Press, Θεσσαλονίκη.
- **Todd, D.K.**, (1980): Groundwater Hydrology, John Wiley, 2nd ed., New York, 535p.
- **Wilcox, L.V.**, (1955): Classification and use of irrigation waters, U.S. Depart. Agric. Circ. 969, Washington, pp19.
- **Zaporozec, A.**, (1972): A graphical interpretation of water quality data. Groundwater, V.10, p.32-43.