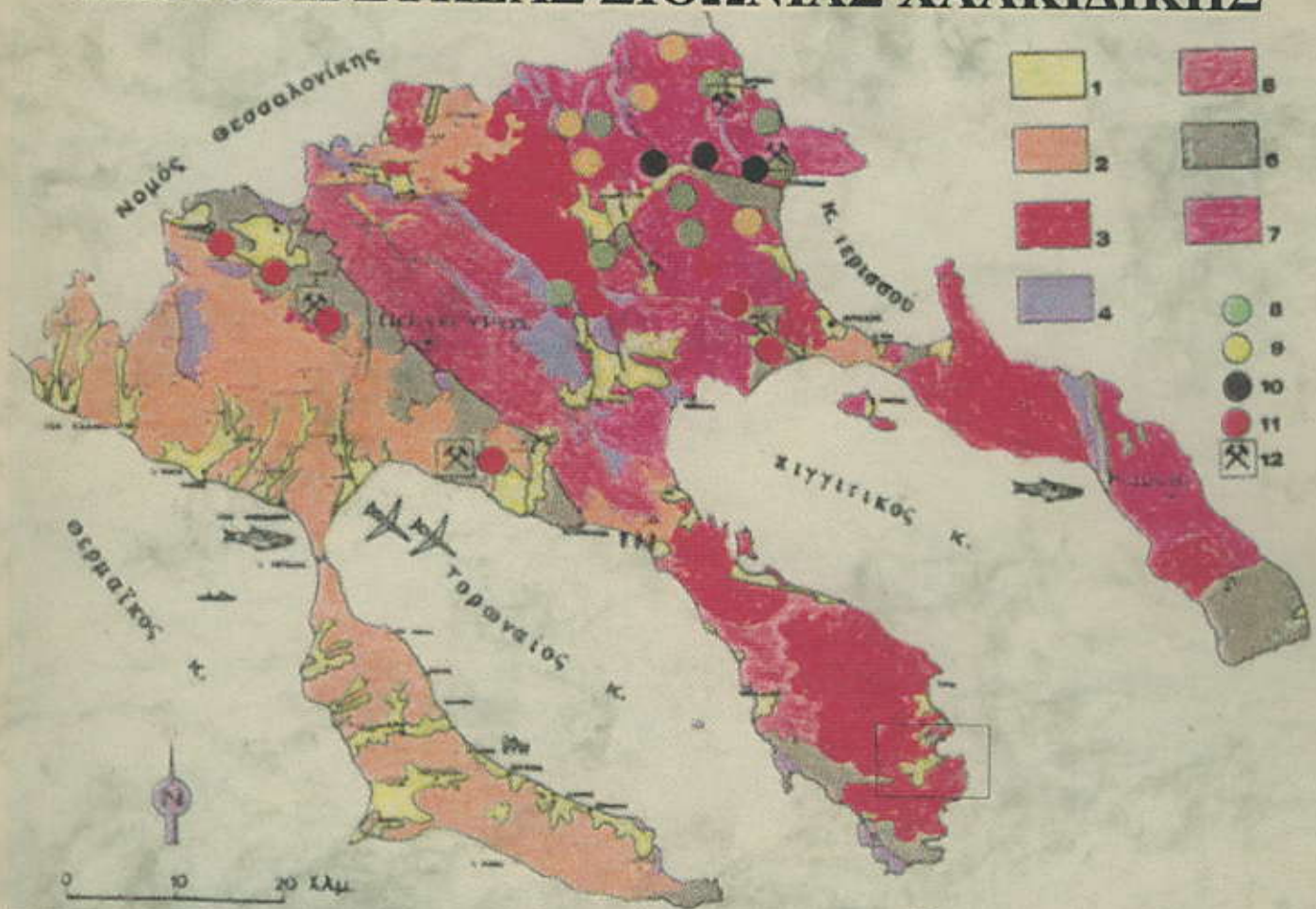


ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ

ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ - ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΣΤΗΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ ΣΥΚΕΑΣ ΣΙΘΩΝΙΑΣ ΧΑΛΚΙΔΙΚΗΣ



ΚΑΤΙΡΤΖΟΓΛΟΥ ΚΙΚΗ

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
ΔΗΜΟΠΟΥΛΟΣ

ΙΟΥΝΙΟΣ 2000

GB
1003.2
.K3
2000
C 1
ΔΙΠ.



0 0 6 9 9 0 5 0 3
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

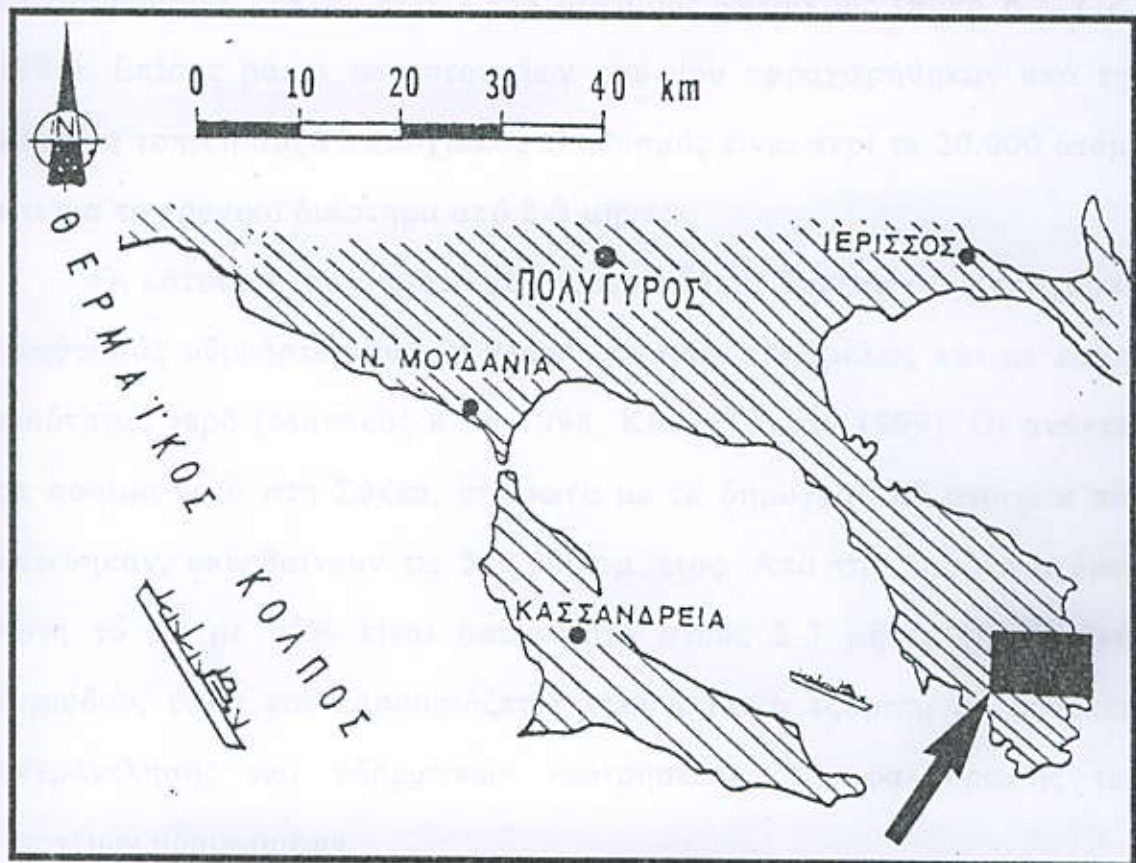
990503

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟ
ΒΙΒΛΙΟΘΗ

1. ΓΕΝΙΚΑ	1
2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	3
2.1 Γεωτεκτονική τοποθέτηση της περιοχής	3
2.2 Λιθολογία	4
2.2.1 Μεταμορφωμένοι σχηματισμοί	5
2.2.2 Γρανодиόριτης	6
2.2.3 Χαλαρές Εναποθέσεις	7
2.2.4 Τεκτονικά στοιχεία	7
2.2.5 Υδρολιθολογική συμπεριφορά σχηματισμών	9
3. ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	10
3.1 Γενικά	10
3.2 Μορφομετρικοί παράμετροι	12
4. ΜΕΤΡΗΣΗ ΠΑΡΟΧΩΝ	13
5. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ	16
5.1 Υπολογισμός συντελεστή διαπερατότητας, υδραυλικής αγωγιμότητας και ειδικής παροχής γεωτρήσεων στην λεκάνη	20
5.1.1 Ρυθμιστικά αποθέματα	21
5.1.2 Μόνιμα αποθέματα	22
5.2 Υδατικά αποθέματα λεκάνης	23
5.3 Υδρολογικό ισοζύγιο λεκάνης	32
6. ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΝΕΡΟΥ	40
6.1 Δειγματοληψία	40
6.2 Φυσικοχημικές ιδιότητες	41
6.3 Ποιοτική κατάσταση (ύδρευση-άρδευση)	42
6.4 Καμπύλες χημικών στοιχείων στην εξεταζόμενη περιοχή	51
6.4.1 Καμπύλες ίσων τιμών Ca^{++} (mg/l)	52
6.4.2 Καμπύλες ίσων τιμών Cl^- (mg/l)	53
6.4.3 Καμπύλες ίσων τιμών σκληρότητας (γαλλικού βαθμού)	54
6.4.4 Καμπύλες ίσων τιμών Fe^{++} (mg/l)	55
6.4.5 Καμπύλες ίσων τιμών HCO_3^- (mg/l)	56
6.4.6 Καμπύλες ίσων τιμών K^+ (mg/l)	57
6.4.7 Καμπύλες ίσων τιμών Mg^{++} (mg/l)	58
6.4.8 Καμπύλες ίσων τιμών Na^{++} (mg/l)	59
6.4.9 Καμπύλες ίσων τιμών NH_4^+ (mg/l)	60
6.4.10 Καμπύλες ίσων τιμών NO_2^- (mg/l)	61
6.4.11 Καμπύλες ίσων τιμών NO_3^- (mg/l)	62
6.4.12 Καμπύλες ίσων τιμών pH	63
6.4.13 Καμπύλες ίσων τιμών PO_4^{---} (mg/l)	64
6.4.14 Καμπύλες ίσων τιμών Αγωγιμότητας ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	65
6.4.15 Καμπύλες ίσων τιμών SO_4^{--} (mg/l)	66
6.4.16 Καμπύλες ίσων τιμών SAR	67
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	68

1. ΓΕΝΙΚΑ

Η περιοχή της Συκέας που μου ανατέθηκε για υδρογεωλογική μελέτη από τον καθηγητή κύριο Δημόπουλο του Γεωλογικού τμήματος βρίσκεται στο νομό Χαλκιδικής, στη χερσόνησο Σιθωνίας και συγκεκριμένα στο νότιο ανατολικό άκρο της, καταλαμβάνοντας μια έκταση 70 τ.χλμ. περίπου (Σχ.1). Από την έκταση αυτή μόνο τα 6-7 τ.χλμ. αποτελούν το πεδινό τμήμα και το υπόλοιπο το ορεινό.



Σχήμα 1. Γεωγραφική θέση της ερευνούμενης περιοχής.

Η γεωργική ανάπτυξη στην περιοχή είναι σχετικά μικρή έως ανύπαρκτη, περιορίζεται στο πεδινό της τμήμα με συνήθεις καλλιέργειες τα ελαιόδενδρα. Με τα ίδια περίπου χαρακτηριστικά, παρουσιάζεται και η

κτηνοτροφία. Φυσικό γνώρισμα του δημοτικού διαμερίσματος είναι τα παραθαλάσσια φυσικά κάλη της, με τους κολπίσκους, τις αμμουδιές κατά μήκος των ακτογραμμών και φυσικά το φρέσκο ψάρι.

Η περιοχή ανήκει διοικητικά στο Δήμο Τορώνης που έχει έδρα το Δημοτικό Διαμέρισμα Συκέας. Στο Διαμέρισμα αυτό υπάγονται οι παραθαλάσσιοι οικισμοί Καλαμιτσίου, Πόρτο Κουφό και Τορώνης, οι οποίοι τη θερινή περίοδο παρουσιάζουν μια πληθυσμιακή έξαρση που οφείλεται στον εποχιακό πληθυσμό. Σύμφωνα με την απογραφή τον 1991 το Διαμέρισμα Συκέας έχει 2.933 μόνιμους κατοίκους (πηγή Ε.Σ.Υ.Ε., 1991). Επίσης βάσει των στοιχείων που μου παραχωρήθηκαν από την αρμόδια τοπική αρχή ο εποχιακός πληθυσμός είναι περί τα 20.000 άτομα και για το χρονικό διάστημα από 2-3 μήνες.

Οι κάτοικοι του Δημοτικού Διαμερίσματος Συκέας και ο εποχιακός πληθυσμός υδροδοτούνται τη θερινή περίοδο πλημμελώς και με κακής ποιότητας νερό (Μανάκος κ. ά. 1998, Κατιρτζόγλου 1999). Οι ανάγκες σε πόσιμο νερό στη Συκέα, σύμφωνα με τα δημογραφικά στοιχεία που εκτέθηκαν, υπερβαίνουν τις 500.000κ.μ./έτος. Από την ποσότητα όμως αυτή το 60 με 65% είναι απαραίτητο στους 2-3 μήνες της θερινής περιόδου, όπου και παρουσιάζεται πληθυσμιακή έξαρση, με συνέπεια υπεράντλησης των υδρευτικών γεωτρήσεων και υφαλμύρωσης των υπόγειων υδροφορέων.

Αρκετά πρωτογενή στοιχεία που χρησιμοποιούνται στη μελέτη αυτή μου έχουν παραχωρηθεί από το Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (Ι.Γ.Μ.Ε.) και ένα μεγάλο μέρος της υπαίθριας εργασίας μου έγινε κατά τις θερινές περιόδους των προηγούμενων ετών, περίοδος κατά την οποία προσλαμβάνει το Ι.Γ.Μ.Ε. φοιτητές για

πρακτική εξάσκηση.

Επιθυμώ να ευχαριστήσω όλους όσους με βοήθησαν στην πραγματοποίηση της εργασίας αυτής, ιδιαίτερα δε αισθάνομαι υποχρέωση να εκφράσω ευχαριστίες:

- στον καθηγητή μου κ. Δημόπουλο, ο οποίος μου ανάθεσε και προέτρεψε στην εκπόνηση της Διπλωματικής αυτής εργασίας καθώς και για το αμείωτο του ενδιαφέρον σ' όλη τη διάρκεια πραγματοποίησής της.
- στους γεωλόγους του Ι.Γ.Μ.Ε. κ. Μανάκο Δρ., Π. Τσόμπο Δρ., ΑΘ. Χατζηκύρκου και Κ. Κατιρτζόγλου για την παραχώρηση των πρωτογενών υδρογεωλογικών, στοιχείων και τις πολύτιμες συζητήσεις και πολλαπλή βοήθειά τους.

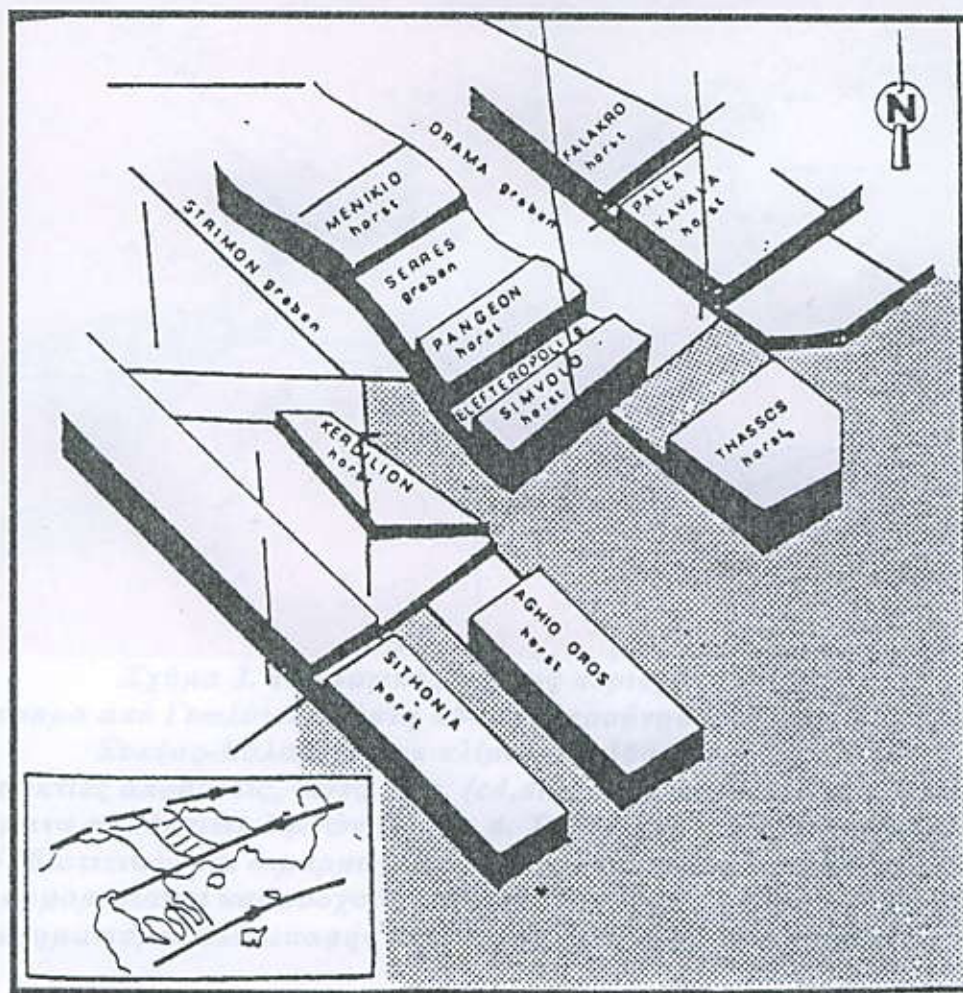
2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

2.1. Γεωτεκτονική τοποθέτηση της περιοχής

Η ερευνούμενη περιοχή της Συκέας τοποθετείται γεωτεκτονικά στη Σερβομακεδονική Μάζα, δυτικά της οποίας στον ευρύτερο χώρο και προς το Δημοτικό Διαμέρισμα Νέου Μαρμαρά, αναπτύσσεται η Περιοδοπική ζώνη. Η επαφή της εν λόγω Μάζας με την Περιοδοπική είναι τεκτονική και παρουσιάζει στρωματογραφικό κενό (Kockel et al. 1977). Ανατολικά της Σερβομακεδονικής στον ερευνούμενο χώρο ο κατακερματισμός του Αιγαίου εμποδίζει τον ακριβή προσδιορισμό της επέκτασής της.

Πρόσφατες εργασίες που πραγματοποιήθηκαν στην ευρύτερη περιοχή της χερσονήσου Σιθωνίας, όπως αναφέρουν οι Μανάκος κ.ά. 1998, αυτή θεωρείται ως ένα τεκτονικό ύβωμα (Σχ.2) με ΒΔ-ΝΑ

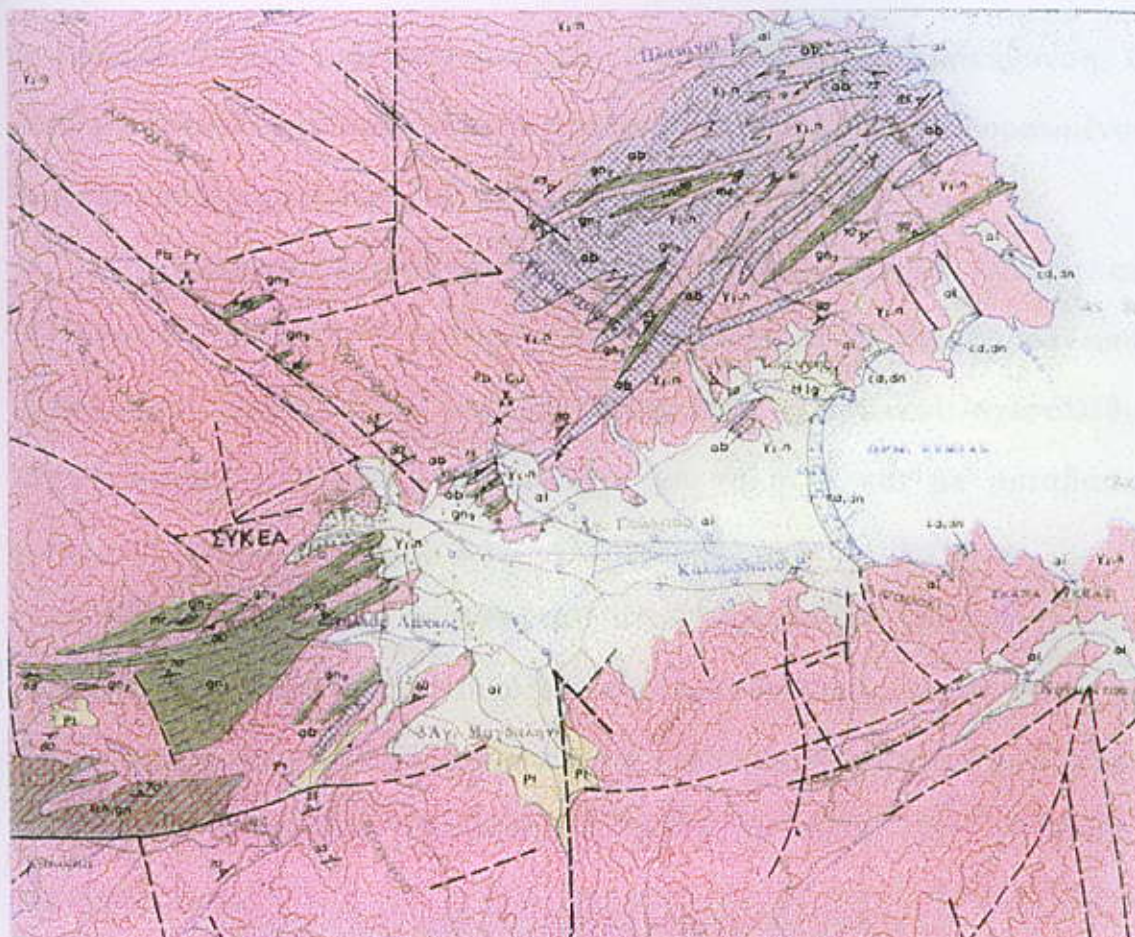
διεύθυνση, το οποίο δημιουργήθηκε στα πλαίσια των κινήσεων μιας μεγαλύτερης Ζώνης μετακίνησης (transposition zone), που διέπει την όλη περιοχή.



Σχήμα 2. Σχηματική απεικόνιση των τεκτονικών τεμάχων (υβήματα, τέφροι) της ευρύτερης περιοχής εργασιών (από την έκθεση των Μανάκος κ.ά. 1998).

2.2. Λιθολογία

Η περιοχή της Συκεάς δομείται από μεταμορφωμένα πετρώματα, το Γρανодиορίτη Σιθωνίας και τις χαλαρές εναποθέσεις τον Τεταρτογενούς (Σχ.3).



Σχήμα 3. Γεωλογικός χάρτης περιοχής Συκίας.
 Απόσπασμα από Γεωλογικό χάρτη «Φύλλο χερσόνησος Σιθωνίας ή Νικήτας-Συκίας-Καλαμιτσίου» κλίμακα 1:50000 του ΙΓΜΕ.

1. Παράκτιες αποθέσεις, θίνες, κλπ. (cd,dn), 2. Αλλουβιακές αποθέσεις (al), 3. Ιζήματα παράκτιων λιμνών (H.lg), 4. Συγκολλημένα πλευρικά κορήματα (Pt), 5. Βιοτιτικός και διμαρμαγιακός γρανοδιορίτης, τύπου Σιθωνίας (γi-n), 6. Διμαρμαρυγικοί και μοσχοβιτικοί γνεύσιοι (gn₂), 7. Πρασινοσχιστόλιθοι και σχηματισμοί άλω επαφής αντίστοιχα (sch, gn), 8. Αμφιβολίτες (ab).

2.2.1. Μεταμορφωμένοι σχηματισμοί

Οι μεταμορφωμένοι σχηματισμοί συνίστανται από τους διμαρμαρυγικούς και μοσχοβιτικούς γνευσίους, τους πρασινοσχιστόλιθους και τους αμφιβολίτες, όλοι σχηματισμοί της Σερβομακεδονικής Μάζας.

Οι διμαρμαρυγικοί και μοσχοβιτικοί γνεύσιοι, απατώνται στο νοτιοδυτικό και βορειοανατολικό τμήμα της ερευνούμενης περιοχής (Σχ.3) και συναντώνται υπό μορφή επιμηκυσμένων φακοειδών

αναπτύξεων εντός του γρανοδιορίτη με βορειοανατολική διεύθυνση. Οι γνεύσιοι τοπικά εξαλλοιώνονται σε πρασινοκάστανους απομεταμορφωμένους σερικιτικούς-χλωριτικούς σχιστόλιθους.

Οι πρασινοσχιστόλιθοι καταλαμβάνουν μια μικρή έκταση στο νοτιοδυτικό τμήμα του χάρτη, είναι σκουροπράσινοι και καστανωποί, λεπτό -έως μεσόκοκκοι, κυρίως επιδοτικοί- χλωριτικοί σχιστόλιθοι, κεροστιλβικοί -επιδοτικοί σχιστόλιθοι με χαλαζία και με μεταβάσεις προς ακτινολιθικούς-επιδοτικούς- χλωριτικούς σχιστόλιθους.

Οι αμφιβολίτες, απαντώνται στο βορειοανατολικό τμήμα της περιοχής σε φακοειδείς αναπτύξεις και ακανόνιστα σώματα εντός του γρανοδιορίτη. Είναι σκοτεινοπράσινοι ή μαύροι καλοστρωμένοι σε λεπτά στρώματα, λεπτό-έως μεσόκοκκοι, πολύ σκληροί, με ενστρώσεις μεταϊζημάτων.

2.2.2 Γρανοδιορίτης

Το μεγαλύτερο τμήμα της ερευνούμενης περιοχής (Σχ.3) καλύπτεται από τον γρανοδιορίτη, γνωστός ως γρανοδιορίτης τύπου Σιθωνίας. Είναι βιοτιτικός και διμαρμαρυγιακός, σχιστώδης, συνήθως μεσόκοκκος και τέμνεται από πολυάριθμες πηγματιτικές και χαλαζιακές φλέβες. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι κατά τόπους φιλοξενεί μεγάλες ποσότητες μεταϊζημάτων.

Η επαφή τον εν λόγω γρανοδιορίτη με τους μεταμορφωμένους σχηματισμούς σχηματίζει μια άλω επαφής που χαρακτηρίζεται από χαλαζιτίωση, ανακρυστάλλωση, νεοσχηματισμένο επίδοτο και γρανάτη. Οι διεισδύσεις των πηγματιτών είναι συχνά παράλληλες προς το επίπεδο S. Σημειώνεται ότι οι σχηματισμοί της άλω επαφής έχουν υποστεί

τεκτονική καταπόνηση, τόσο από την γρανοδιοριστική διείδυση, όσο και από νεώτερες τεκτονικές διεργασίες.

2.2.3 Χαλαρές Εναποθέσεις

Οι χαλαρές εναποθέσεις του Τεταρτογενούς συναντώνται στο τεκτονικό βύθισμα Συκέας, το οποίο αποτελεί και το πεδινό τμήμα της περιοχής. Σχηματίστηκαν κατά την εξέλιξη της ταφρογένεσης στον ευρύτερο χώρο Αξιού-Θερμαϊκού (Ψιλοβίκος κ.ά. 1988). Πρόκειται για χερσοποταμίες, δελταϊκές και λιμναίες αποθέσεις (Συρίδης 1990) που επικάθονται ασύμφωνα στα Προνεογενή πετρώματα.

Στις παράκτιες τοποθεσίες (Σχ.3) συναντώνται οι σύγχρονες παράκτιες αποθέσεις, όπως θίνες, κ.λ.π. Στο βορειοανατολικό τμήμα του πεδινού τμήματος απαντώνται ιζήματα παράκτιας λίμνης (λιμνοθάλασσα). Στο νοτιοδυτικό τμήμα της πεδινής περιοχής συναντάται σε μικρή έκταση το ανώτερο σύστημα αναβαθμίδων, συγκολλημένα πλευρικά κορήματα ερυθρού χρώματος και τεμαχισμένοι κώνοι κορημάτων.

Το μεγαλύτερο τμήμα του πεδινού τμήματος, από το Δημοτικό Διαμέρισμα Συκέας μέχρι και τον ομώνυμο όρμο καταλαμβάνεται από χαλαρές και σύγχρονες αποθέσεις όπως χάλικες, άμμους, +- αργίλους, προϊόντα που στην πλειοψηφία τους προέρχονται από την αποικοδόμηση του γρανοδιοριστικού σώματος.

2.2.4 Τεκτονικά στοιχεία

Τα μεταμορφωμένα πετρώματα της Σερβομακεδονικής Μάζας έχουν υποστεί τις διάφορες παραμορφώσεις που οφείλονται στον Αλπικό

κύκλο ορογένεσης. Παλαιότερες πτυχώσεις Παλαιοζωικής ηλικίας έχουν εντοπισθεί στους σχηματισμούς αυτούς σύμφωνα με τους Βεράνη και Μπίτζιο 1984, Echtler et al. 1987, Σακελάριο 1989, Σιδηρόπουλο 1991, κ.ά. Οι συγγραφείς αυτοί αναφέρουν έξι φάσεις παραμόρφωσης-μεταμόρφωσης που αρχίζουν από το Παλαιοζωικό και τελειώνουν στο Ολιγόκαινο.

Συγκεκριμένα η Σερβομακεδονική Μάζα, με βάση τα μέχρι σήμερα βιβλιογραφικά στοιχεία έχει υποστεί μια ορογενετική φάση, η οποία έχει λάβει χώρα κατά την Προ-Περμική περίοδο. Σε ραδιοχρονολογήσεις που έγιναν σε μοσχοβιτικούς σχιστόλιθους και πηγματίτες συνεπάγεται ότι η Μάζα αυτή καταπονήθηκε κατά την Ερκύνια ορογένεση και ότι η φάση αυτή του τεκτονισμού ήταν συμμεταμορφική. Βέβαια δεν γνωρίζουμε αν αυτός ο τεκτονισμός ήταν ο πρώτος ή αν ήταν μια φάση αναζωπύρωσης μιας παλαιότερης τεκτονικής φάσης Κάτω Παλαιοζωικής ή και Προκάμβριας ηλικίας.

Μια άλλη ορογενετική φάση που έθιξε τη Σερβομακεδονική Μάζα, είναι αυτή που έλαβε χώρα στο Ανώτερο Ιουρασικό. Στη φάση αυτή έχουμε μια δεύτερη ανάδρομη μεταμόρφωση σε συνθήκες πρασινοσχιστολιθικής φάσης (Μανάκος κ.ά. 1998). Η φάση αυτή συνοδεύεται και από την παρουσία ολοκρυσταλλικών πετρωμάτων.

Εκτός από τις προαναφερόμενες πτυχώσεις και παραμορφώσεις κατά τη διάρκεια του Τριτογενούς έλαβαν χώρα τρεις τεκτονικές φάσεις που προκάλεσαν στη Σερβομακεδονική Μάζα λεπιώσεις, εφιππεύσεις και κατά τόπους επωθήσεις και την αναστροφή των στρωμάτων του δυτικού περιθωρίου της και την τεκτονική τοποθέτησή τους πάνω στους σχηματισμούς της Περιοδοπικής Ζώνης.

Η περιοχή στα τέλη του Τριτογενούς έχει υποστεί έντονη νεο-τεκτονική και σεισμική δραστηριότητα, η οποία κυριάρχησε στον ευρύτερο χώρο του βόρειου Αιγαίου από το Μέσο-Ανώτερο Μειόκαινο και συνεχίζεται μέχρι σήμερα (Mercier 1981). Με την νεοτεκτονική αυτή σχετίζεται κατά πάσα πιθανότητα και το τεκτονικό βύθισμα της Συκέας, πεδινό τμήμα, το οποίο πληρώθηκε στη συνέχεια από προϊόντα αποικοδόμησης του εκεί γρανοδιορίτη.

2.2.5 Υδρολιθολογική συμπεριφορά σχηματισμών

Ο υδρολιθολογικός χαρακτηρισμός των γεωλογικών σχηματισμών γίνεται με βάση τους φυσικοχημικούς χαρακτήρες τους. Οι σπουδαιότεροι απ' αυτούς είναι το πορώδες, η υδροπερατότητα, οι τεκτονικές διαρρήξεις, η διάβρωση και η αποσάθρωση, η διαγένεση κ.λ.π. (Κακαβάς 1984, Σούλιος 1986, κ.ά.). Σύμφωνα μ' αυτά, γίνεται μια προσπάθεια κατάταξης των γεωλογικών σχηματισμών που αναφέρθηκαν στις παρακάτω τρεις κατηγορίες:

Α.Υδροπερατοί: σύγχρονες αποθέσεις, ιζήματα παράκτιας λίμνης και χαλαρές σύγχρονες αποθέσεις.

Β.Ημιπερατοί: συγκολλημένα πλευρικά κορήματα ερυθρού χρώματος, τεμαχισμένοι κώνοι κορημάτων, +-γρανοδιορίτης, +-σχηματισμοί της άλω επαφής.

Γ.Αδιαπέρατοι: γρανοδιορίτης, γνεύσιοι, σχηματισμοί της άλω επαφής, πρασινοσχιστόλιθοι και αμφιβολίτες.

Ο όρος αδιαπέρατος είναι σχετικός και πετρώματα τελείως αδιαπέρατα δεν υπάρχουν. Χρησιμοποιείται όμως για σχηματισμούς των οποίων η αδιαπερατότητα είναι ελάχιστη σε σχέση με τους σχηματισμούς

που βρίσκονται στις γύρω περιοχές.

Οι γρανοδιορίτες αλλά και ορισμένα μεταμορφωμένα πετρώματα που αναφέραμε σαν αδιαπέρατα ή ημιπερατά είναι πιθανόν μετά από μια λεπτομερή τεκτονικά ανάλυση να «μεταπηδούν» από μια κατηγορία στην άλλη λόγω τεκτονικής τους καταπόνησης. Ενδεικτικά αναφέρουμε τους σχηματισμούς της άλω επαφής (φυλλίτες-σχιστόλιθοι), οι οποίοι λόγω τεκτονικής καταπόνησής τους επικοινωνούν υδραυλικά με το γειτονικό γρανοδιοριτικό σώμα, με αποτέλεσμα σ' αυτή την περίπτωση να χαρακτηρίζονται σαν παραγωγική υδροφόρος ζώνη (Μανάκος κ.ά., 1998).

3. ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

3.1 Γενικά

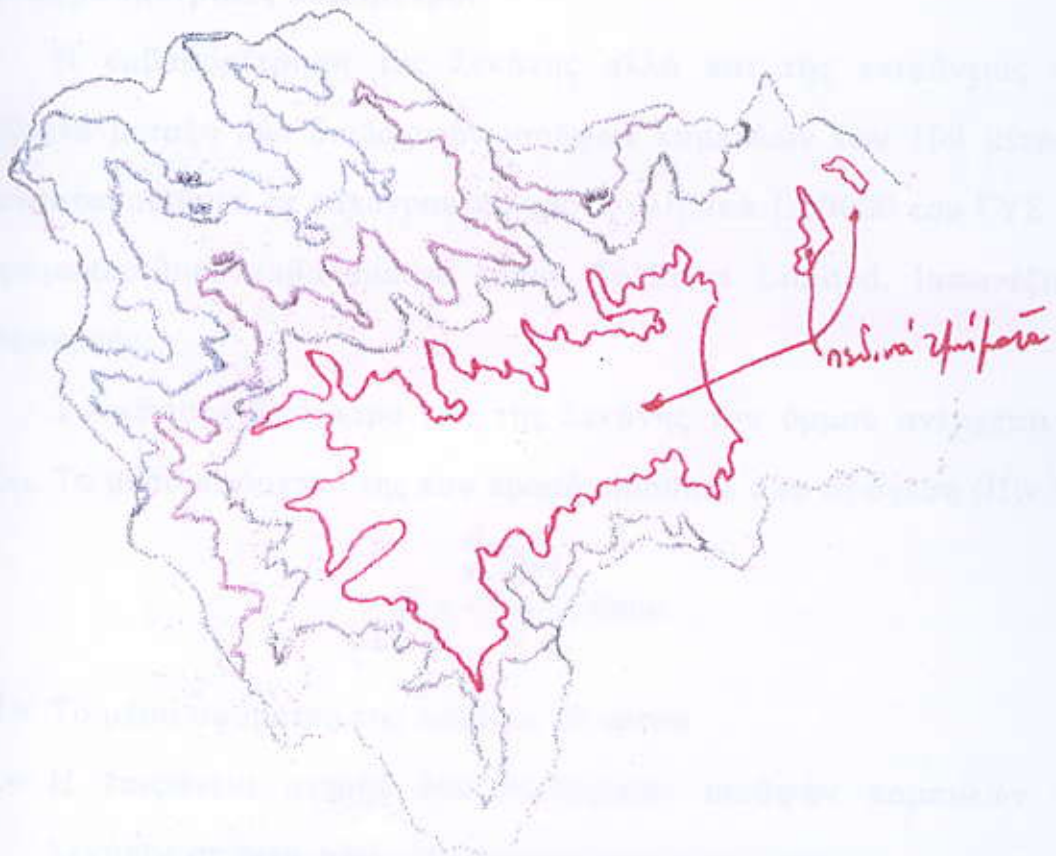
Μια λεκάνη απορροής είναι ένα "ανοικτό φυσικό σύστημα" με είσοδο μάζας και ενέργειας, όπως τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα και η ηλιακή ακτινοβολία και έξοδο πάλι μάζας και ενέργειας, όπως η επιφανειακή απορροή, η εξατμισιδιαπνοή και η ανακλώμενη ακτινοβολία (Lee 1964). Συγχρόνως όμως αποτελεί και ένα ανεξάρτητο γεωμορφολογικό σύστημα που περιλαμβάνει διάφορες μορφομετρικές παραμέτρους οι οποίες συνδυαζόμενες μεταξύ τους εκφράζουν τη μορφή του αναγλύφου και του υδρογραφικού δικτύου λεκάνης (Μελαδιώτης, 1984).

Η μορφολογική εικόνα την οποία παρουσιάζει μια λεκάνη απορροής είναι το αποτέλεσμα της ισορροπίας που διαμορφώνεται κατά τη δράση δύο αντιθέτως δρώντων παραγόντων, της αποσάθρωσης και

διάβρωσης από τη μια και της αντίδρασης των πετρωμάτων απέναντι στη διάβρωση, αλλά και στην κατείσδυση του νερού προς το εσωτερικό διάβρωση, τους από την άλλη.

Ένας άλλος επίσης βασικός παράγοντας που επηρεάζει τη μορφολογική ανάπτυξη της λεκάνης απορροής είναι η τεκτονική της δομή.

Γενικώς οι μακρομορφολογικοί χαρακτήρες μιας λεκάνης απορροής διαμορφώνονται από τεκτονικά αίτια, ενώ η λεπτομερέστερη μορφολογική της υφή ελέγχεται κυρίως από την πορεία των φαινομένων της διάβρωσης και αποσάθρωσης των πετρωμάτων της (Σχ.4).



Σχήμα 4. Λεκάνη Συκίας, νομού Χαλκιδικής.

Η λεκάνη απορροής του όρμου Συκίας καλύπτει μια έκταση

41Km², και ορίζεται ανατολικά από τον ομώνυμο όρμο, βόρεια από τη λεκάνη απορροής του όρμου Σάρτης, δυτικά και νότια από μικρές λεκάνες χειμάρρων των παράκτιων περιοχών Τορώνης και Καλαμιτσίου. Από την έκταση αυτή τα 6,5Km² αποτελούν το πεδινό τμήμα και τα υπόλοιπα 34,5Km² το ορεινό. Σημειώνεται ότι το πεδινό τμήμα διαγράφεται αρκετά ικανοποιητικό από την ισοϋψή καμπυλότητα των 50 μέτρων περίπου (πάνω από τη θάλασσα). Πάνω από το υψόμετρο αυτό αρχίζει ο ορεινός γρανοδιοριτικός όγκος και δεν μπορεί να χαρακτηριστεί σαν πεδινό τμήμα.

3.2 Μορφομετρικές παράμετροι

Η εμβαδομέτρηση της λεκάνης αλλά και της επιφάνειας του ορίζοντα μεταξύ δύο διαδοχικών ισοϋψών καμπυλών των 100 μέτρων, πραγματοποιήθηκε σε τοπογραφικό χάρτη κλίμακα 1:50000 του ΓΥΣ και χρησιμοποιήθηκε εμβαδόμετρο τύπου Sokkisha Limited, Ιαπωνέζικης κατασκευής.

Το μέγιστο υψόμετρο (H) της λεκάνης του όρμου ανέρχεται σε 520μ. Το μέσο υψόμετρό της που προσδιορίσθηκε από τη σχέση (Πίν.1).

$$\bar{H} = \frac{\sum (S\bar{h})}{A}, \text{ όπου}$$

$\bar{H}$ = Το μέσο υψόμετρο της λεκάνης σε μέτρα

S = Η επιφάνεια μεταξύ δύο διαδοχικών ισοϋψών καμπυλών της λεκάνης σε τετρ. χλμ.

$\bar{h}$ = Το μέσο υψόμετρο της επιφάνειας (S) σε μέτρα

A = Η συνολική επιφάνεια της λεκάνης απορροής σε τετρ. χλμ. Είναι 154,32 μέτρα.

Πίνακας 1. Κατανομή των επιφανειών του αναγλύφου της λεκάνης απορροής των χειμάρρων λεκάνης απορροής Συκιάς νομού Χαλκιδικής.

a/a	Διαδοχικές ισοϋψείς των 100μ. (α) - (β)	Επιφάνεια S μεταξύ δύο ισοϋψών καμπυλών Km ²	S%: Το επί τοις εκατό της επιφάνειας	E%: το επί τοις εκατό της συνολικής επιφ. που περιορίζεται από τη (β) ισοϋψή καμπύλη	$\bar{h}$: το μέσο υψόμετρο της επιφ. S σε μέτρα.	S $\bar{h}$
1	0 - 100	19,75	48,17	48,17	50	988
2	100 - 200	8,25	20,12	68,29	150	1238
3	200 - 300	6,75	16,46	84,75	250	1688
4	300 - 400	4,00	9,76	94,51	350	1400
5	400 - 500	2,25	5,49	100,00	450	1013
		$A = \sum_{i=1}^5 S =$ $= 41 \text{ Km}^2$				$\sum_{i=1}^5 (S\bar{h}) =$ $= 6.327$

4. ΜΕΤΡΗΣΗ ΠΑΡΟΧΩΝ

Η μέτρηση της ταχύτητας ροής σε ένα ορισμένο «σημείο» (που δεν μπορεί να είναι πραγματικά σημείο, αλλά το θεωρούμε σαν τέτοιο) γίνεται συνηθέστατα με ειδικό όργανο το μυλίσκο (Σχ.5). Ο μυλίσκος είναι όργανο με ατρακτοειδές σχήμα που φέρει μπροστά του μια έλικα (προπέλα) και είτε στηρίζεται σε διαβαθμιζόμενο στέλεχος, είτε αιωρείται κρεμάμενη από συρματόσχοινο συνδεδεμένο με τροχαλίες. Όταν αυτή βρεθεί σε ρεύμα νερού (προσανατολισμένη κάθετα προς τη διεύθυνση ροής) περιστρέφεται γύρω από τον άξονά της με συχνότητα

που είναι συνάρτηση της ταχύτητας ροής του υγρού. Η μέτρηση των στροφών που θα κάνει σε ορισμένο χρόνο η έλικα γίνεται με ειδικά όργανα, τα στροφόμετρα, κατάλληλα προσαρμοσμένα. Μαζί με κάθε μυλίσκο (κάθε έλικα ο κατασκευαστής δίνει και ένα πίνακα με τις ταχύτητες που αντιστοιχούν στις διάφορες συχνότητες. Μερικοί μυλίσκοι, εφοδιασμένοι με ειδικά όργανα, δίνουν κατευθείαν την ταχύτητα.



Σχήμα 5. Παραστατικό σχήμα μυλίσκου

Υπάρχει ολόκληρη σειρά μυλίσκων με μεγέθη από λίγα εκατοστά (για πολύ μικρά ρεύματα) μέχρι 2-3 μέτρα, το λεγόμενο «σολωμό» (για μεγάλα ποτάμια). Τέλος υπάρχουν διάφοροι τύποι μυλίσκων. Η χρήση των μυλίσκων απαιτεί ειδικές εγκαταστάσεις (συρματόσχοινα, τροχαλίες κλπ.), όταν πρόκειται για μεγάλα ρεύματα νερού.

Μέθοδος του μυλίσκου: Είναι η ευρύτετα χρησιμοποιούμενη: χωρίζουμε τη διατομή A σε νοητά τετραγωνίδια $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ τόσο πολυαριθμότερα όσο ανομοιογενέστερη είναι η κατανομή της ταχύτητας στη διατομή και φυσικά όσο ακριβέστερα αποτελέσματα θέλουμε. Συνήθως για μικρά ρεύματα σχηματίζουμε τετραγωνίδια με πλευρά 0,10-0,50m και για μεγάλα 0,50-5m. Στο κέντρο του κάθε ενός από αυτά τα τετραγωνίδια $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ βρίσκουμε με τον μυλίσκο τη σημειακή στιγμιαία ταχύτητα ροής $V_1, V_2, V_3, \dots, V_n$ αντίστοιχα. Τότε οι μερικές παροχές, δηλαδή οι παροχές του καθενός από αυτά τα τετραγωνίδια θα είναι $A_1V_1, A_2V_2, A_3V_3, \dots, A_nV_n$ αντίστοιχα και η ολική παροχή q θα είναι:

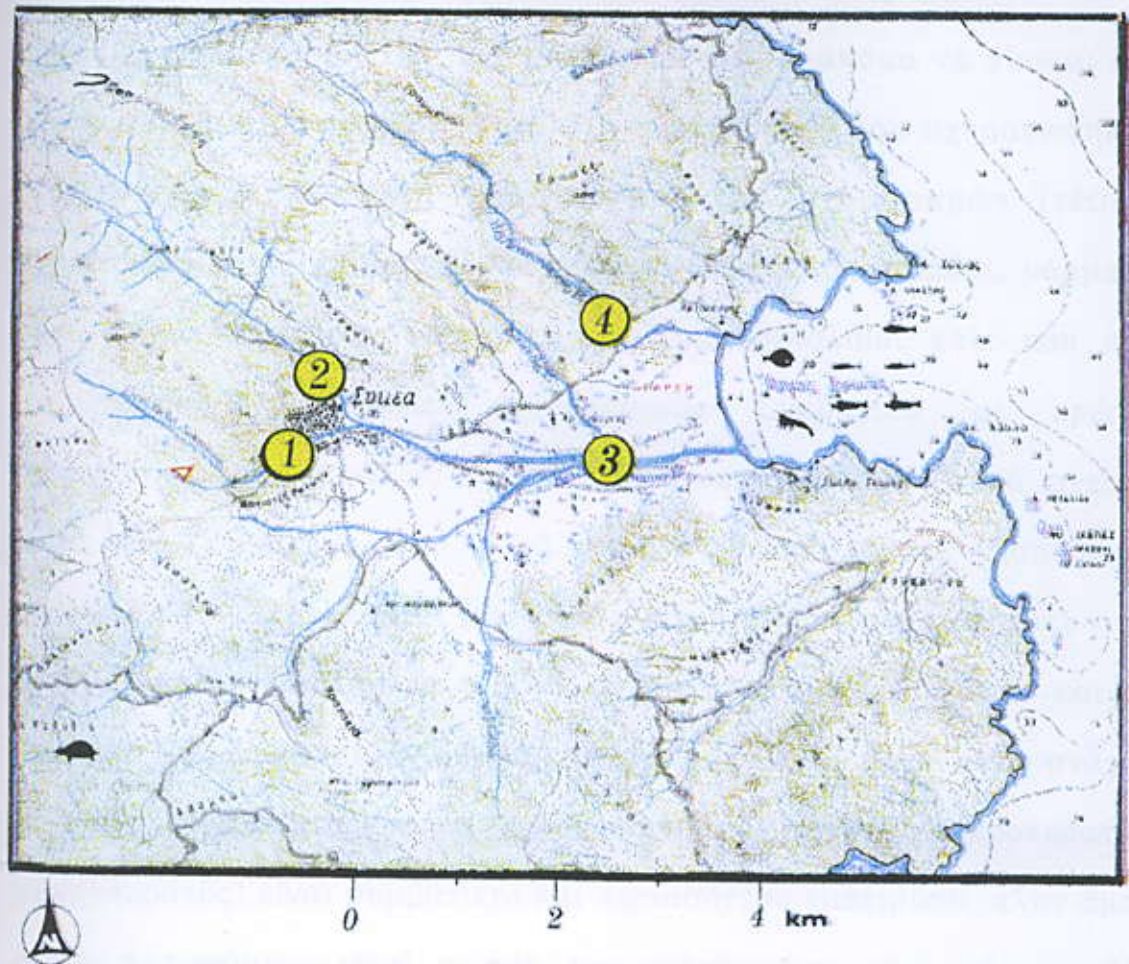
$$q = A_1V_1 + A_2V_2 + A_3V_3 + \dots + A_nV_n$$

Βέβαια για την πρακτική εφαρμογή της μεθόδου υπάρχουν λεπτομερείς κανόνες (νόρμες) για βάθος τοποθέτησης μυλίκου, αποστάσεις κλπ. Και είναι τυποποιημένοι η όλη εργασία (Σούλιος 1986).

Έτσι λοιπόν με βάση την μέθοδο αυτή μετρήθηκαν οι παροχές των υδρορευμάτων στην ερευνούμενη περιοχή (Πίν. 2), οι θέσεις των οποίων φαίνονται στο σχ.6.

**Πίνακας 2. Μετρήσεις παροχών υδρορευμάτων στην περιοχή Συκέας
(για τις θέσεις βλέπε σχήμα 6)**

Μήνας-Έτος	Θέση Μέτρησης Παροχής			
Οκτώβριος '96	1	2	3	4
Νοέμβριος '96	0	2	21	0
Δεκέμβριος '96	27	53	80	23
Ιανουάριος '97	19	0	65	16
Φεβρουάριος '97	7	9	33	10
Μάρτιος '97	10	24	52	14
Απρίλιος '97	8	22	126	3
Μάιος '97	4	13	97	2
Ιούνιος '97	0	0	0	0
Ιούλιος '97	0	0	0	0
Αύγουστος '97	0	0	0	0
Σεπτέμβριος '97	0	0	0	0
Οκτώβριος '97	0	0	0	0
Νοέμβριος '97	2	4	0	0
Δεκέμβριος '97	3	55	37	82
Ιανουάριος '98	10	19	47	13
Φεβρουάριος '98	12	32	90	16
Μάρτιος '98	6	32	36	15
Απρίλιος	5	15	22	4
Μάιος '98	46	80	134	9
Ιούνιος '98	3	7	13	4
Ιούλιος '98	0	0	0	0
Αύγουστος '98	0	0	0	0
Σεπτέμβριος '98	1	0	0	0



Σχήμα 6. Θέσεις υδρορευμάτων στην περιοχή Συκίας, νομού Χαλκιδικής.

5. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ

Περατότητα ή διαπερατότητα λέγεται η ιδιότητα των πετρωμάτων και σχηματισμών να επιτρέπουν την κίνηση των υγρών (των ρευστών γενικότερα) δια μέσου αυτών. Το νερό π.χ. μπορεί να ρέει δια μέσου του συστήματος αγωγών που δημιουργούν οι μικροί ή μεγάλοι πόροι και τα μικρά ή μεγάλα ενδιάκενα που πρωτογενώς, δηλ. από τη γένεση του είχε το πέτρωμα ή ο σχηματισμός (όπως π.χ. οι διάφορες προσχώσεις, οι ψαμμίτες, τα κροκαλοπαγή κλπ. που ήδη ονομάστηκαν κοκκώδεις ή

πορώδεις σχηματισμοί). Η ροή του νερού μπορεί ακόμα να γίνεται δια μέσου συστήματος ρωγμών ή σειράς εγκοίλων κλπ. που σχηματίστηκαν δευτερογενώς, δηλ. μετά την απόθεση των σχηματισμών (τέτοιοι σχηματισμοί είναι κυρίως οι ανθρακικοί, όπως ασβεστόλιθοι, μάρμαρα κλπ., αλλά και πυριγενείς, όπως γρανίτες, οφιόλιθοι κλπ. που ήδη ονομάσθηκαν ρωγμώδεις σχηματισμοί). Συμβατικά οι πρώτοι σχηματισμοί (οι κοκκώδεις ή πορώδεις) στους οποίους το νερό κινείται μέσα στα ενδιάκενα που κατά κανόνα έχουν μικρές διαστάσεις, ονομάσθηκαν μικροπερατοί (όχι κατ' ανάγκη μικρής περατότητας) γιατί έχουν μικρών διαστάσεων, αλλά συνήθως πυκνά ενδιάκενα και οι δεύτεροι (ρωγμώδεις) ονομάσθηκαν μακροπερατοί (όχι κατ' ανάγκη μεγάλης περατότητας) γιατί έχουν συνήθως ρωγμές (μικροπερατός, μακροπερατός) είναι συμβατικοί και περισσότερο εμπειρικοί, πλην όμως έχουν περιεχόμενο γιατί η ροή του νερού μέσα σε αυτές τις δύο κατηγορίες πετρωμάτων γίνεται κατά τρόπο βασικά διαφορετικό, όπως μπορεί κανείς να συμπεράνει από τα μέχρι τώρα εκτεθέντα (Σούλιος, 1986).

Μέτρο της περατότητας είναι ο συντελεστής περατότητας k ή ο συντελεστής του Darcy. Όπως είδαμε ο συντελεστής αυτός έχει διαστάσεις $[LT^{-1}]$ και μονάδες μέτρησης m/sec, cm/sec, 1 meizer, 1 darcy. Στην ευρωπαϊκή βιβλιογραφία χρησιμοποιείται συνήθως το m/sec. Ένα πέτρωμα με μεγάλο συντελεστή περατότητας παρουσιάζει μικρή σχετικά αντίσταση στη ροή του νερού δια μέσου αυτού και έτσι με μικρή σχετικά υδραυλική κλίση άρα με λίγες σχετικά απώλειες φορτίου είναι δυνατό να επιτρέπει μεγάλη ταχύτητα ροής διήθησης. Το αντίθετο ακριβώς συμβαίνει με ένα πέτρωμα που παρουσιάζει μικρή περατότητα,

δηλ. που έχει μικρό συντελεστή περατότητας: παρουσιάζει μεγάλη σχετικά αντίσταση στη ροή του νερού δια μέσου αυτού και με μεγάλη σχετικά υδραυλική κλίση (κατά συνέπεια πολλές σχετικά απώλειες φορτίου) είναι δυνατό να επιτρέπει μεγάλη ταχύτητα ροής διήθησης.

Συμπερασματικά μπορούμε να πούμε λοιπόν ότι για τη ροή του νερού δια μέσου ενός πετρώματος με μεγάλη περατότητα έχουμε λιγότερες απώλειες από ότι για τη ροή δια μέσου ενός πετρώματος με μικρή περατότητα. Και ακόμα για να επιτύχουμε την ίδια ταχύτητα ροής διήθησης έχουμε λιγότερες απώλειες μέσα σε πέτρωμα με μεγάλη περατότητα και περισσότερες μέσα σε πέτρωμα με μικρή περατότητα.

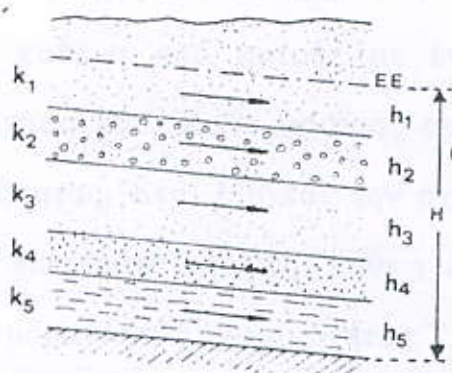
Έτσι με την έννοια που αναπτύχθηκε πιο πάνω η περατότητα, υπάρχουν πετρώματα (και σχηματισμοί) περισσότερο ή λιγότερο περατά, υπάρχει με άλλα λόγια μια πλήρης κλιμάκωση από πετρώματα με πολύ χαμηλό συντελεστή περατότητας (δηλ. ελάχιστα περατά) μέχρι πετρώματα με πολύ μεγάλο συντελεστή περατότητας (πολύ περατά). Πέτρωμα πραγματικά αδιαπέρατο με την αυστηρή έννοια του όρου, δηλ. πέτρωμα που έχει μηδενικό συντελεστή περατότητας ($k=0$) φαίνεται ότι δεν υπάρχει αφού, όπως αποδείχθηκε και πειραματικά, ακόμα και χάλυβας καλής ποιότητας κάτω από υπερπίεσεις είναι διαπερατός από αέρια. Παρ' όλα αυτά όμως εντελώς συμβατικά διακρίνουμε τα πετρώματα σε τρεις κατηγορίες:

- Διαπερατά όταν έχουν $k \geq 10^{-5} \text{ m/sec}$
- Ημιπερατά όταν έχουν $10^{-5} > k > 10^{-7} \text{ m/sec}$
- Αδιαπέρατα όταν έχουν $k \leq 10^{-7} \text{ m/sec}$.

Η διαίρεση αυτή είναι συμβατική και αυθαίρετη, αλλά είναι περίπου καθολικά αποδεκτή στη βιβλιογραφία και γίνεται για πρακτικούς λόγους.

Συμβαίνει πολλές φορές ένας περατός σχηματισμός να αποτελείται από αλληλοδιάδοχα στρώματα με διαφορετική περατότητα. Μπορούμε τότε να εξετάσουμε σφαιρικά αυτήν την αλληλουχία των στρωμάτων και να βρούμε μια «σφαιρική» περατότητα δηλ. την περατότητα που παρουσιάζει αυτή η αλληλουχία των στρωμάτων θεωρούμενη «σφαιρικά», στο σύνολό της.

Στην περίπτωση που οι γραμμές ροής είναι παράλληλες στη στρώση (οριζόντια περατότητα) ισχύει: Εδώ η υδραυλική κλίση i είναι ίδια σε όλα τα επιμέρους στρώματα (σχ.7).



Σχήμα 7. Ροή παράλληλη προς τις στρώσεις στρωσιγενούς υδροφορέα

Η ολική παροχή ανά μονάδα πλάτους του υδροφορέα θα είναι:

$$Q = q_1 + q_2 + \dots + q_n \quad (1)$$

όπου $q_1, q_2, \dots, q_n$ = παροχές των επιμέρους στρωμάτων.

Θα έχουμε επίσης

$$Q = (H \cdot l) k i \quad (2)$$

όπως ακόμα

$$q_1 = (h_1 \cdot l) k_1 i, q_2 = (h_2 \cdot l) k_2 i, \dots, q_n = (h_n \cdot l) k_n i \quad (3)$$

Από τις τρεις αυτές σχέσεις προκύπτει:

$$\begin{aligned} i(h_1 k_1 + h_2 k_2 + \dots + h_n k_n) &= H k i \Leftrightarrow \\ k &= \frac{h_1 k_1 + h_2 k_2 + \dots + h_n k_n}{H} \end{aligned} \quad (4)$$

Η τελευταία σχέση αυτή μας δίνει τη ζητούμενη ολική παράλληλη (οριζόντια) περατότητα που παρουσιάζει ο υδροφορέας σφαιρικά θεωρούμενος, σε συνάρτηση με τις μερικές περατότητες και τα πάχη των αλληπαλλήλων στρωμάτων.

5.1 Υπολογισμός συντελεστών διαπερατότητας, υδραυλικής αγωγιμότητας και ειδικής παροχής γεωτρήσεων στη λεκάνη.

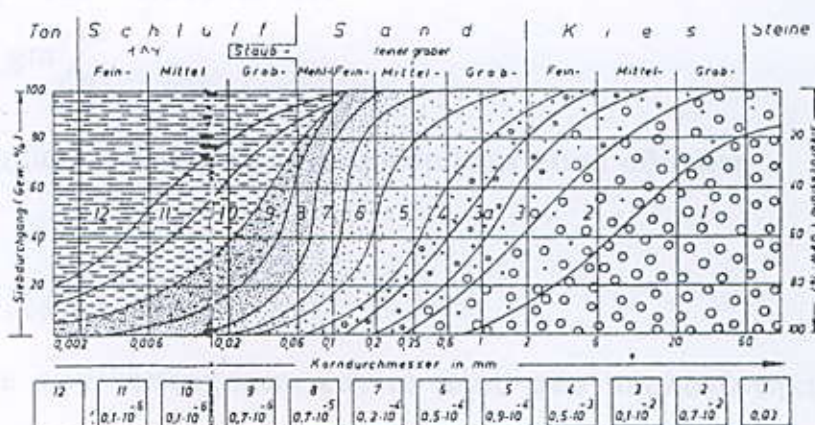
Με βάση το παρακάτω διάγραμμα (Σχ.8) και τις δύο γεωτρήσεις (Ι.Γ.Μ.Ε.) μπορούμε να υπολογίζουμε τα παραπάνω ζητούμενα ως εξής: καταρχήν μετράμε το πάχος κάθε σχηματισμού, και στη συνέχεια χαρακτηρίζουμε τον καθένα από αυτούς με έναν αριθμό από 1-12 ανάλογα με την σύστασή του. Κάθε αριθμός αντιστοιχεί και σε έναν συντελεστή διαπερατότητας. Έτσι έχοντας την σχέση (4) βρίσκουμε τον συνολικό συντελεστή διαπερατότητας της κάθε γεώτρησης σε m/sec.

Ο συντελεστής υδραυλικής αγωγιμότητας T , δίνεται από τη σχέση: $T=KH$ (5) και μετριέται σε m^2/sec .

Τέλος η ειδική παροχή δίνεται από τον τύπο: $C = Q/S$, όπου Q = παροχή σε m^3/h , S = πτώση στάθμης (Στάθμη άντλησης -Υδροστατική στάθμη) σε m και το C σε m^2/h .

Einteilung der Gesteinsarten
in 12 Korngrößenklassen,
dargestellt durch
Schwarz-Weiß-Signaturen

Σχήμα 8.



A. Γεώτρηση

a/a	Σχηματισμοί	Πάχος (m)	Αριθμός	K(m/sec)
1	Αργιλοαμμώδες	13	4	$0,5 \cdot 10^{-3}$
2	Άργιλος	2	10	$0,1 \cdot 10^{-6}$
3	Άμμος χονδρόκοκκος	11	3	$0,1 \cdot 10^{-2}$
4	Χάλικες με κροκάλες	3	2	$0,7 \cdot 10^{-2}$
5	Άμμος	5	6	$0,5 \cdot 10^{-4}$
6	Γρανодиορίτης	4	-	10^{-5}

Άρα $K=10^{-3}$ m/sec

$$T = KH = 10^{-3} \text{ m/sec} \cdot 38 \text{ m} = 0,038 \text{ m}^2/\text{sec}$$

$$C = \frac{Q}{S} = \frac{25 \text{ m}^3/\text{h}}{(17 - 2.9) \text{ m}} = 1.77 \text{ m}^2/\text{h}$$

B. Γεώτρηση

a/a	Σχηματισμοί	Πάχος (m)	Αριθμός	K(m/sec)
1	Άργιλος, άμμος	2	9	$0,7 \cdot 10^{-6}$
2	Άργιλος	8	10	$0,1 \cdot 10^{-6}$
3	Αργιλοαμμώδες	7	4	$0,5 \cdot 10^{-3}$
4	Άμμος (υδροφορον)	3	6	$0,5 \cdot 10^{-4}$
5	Αργιλοαμμώδες	8	4	$0,5 \cdot 10^{-3}$
6	Αργιλοαμμώδες	7.5	4	$0,5 \cdot 10^{-3}$
7	Γνεύσιος συμπαγής	4.5	-	10^{-6}

Άρα $K=0.285 \cdot 10^{-3}$ m/sec

$$T = KH = 0.285 \text{ m/sec} \cdot 40 \text{ m} = 0,0114 \text{ m}^2/\text{sec}$$

$$C = \frac{Q}{S} = \frac{9 \text{ m}^3/\text{h}}{(17 - 5) \text{ m}} = 1.8 \text{ m}^2/\text{h}$$

Λόγω έλλειψης στοιχείων η εξαγωγή συμπερασμάτων είναι αδύνατη.

5.1.1 Ρυθμιστικά αποθέματα

Από τα profile των γεωτρήσεων και το μέσο που υπολογίστηκε, μεταβαίνουμε ανάστροφα και βρίσκουμε σε ποιο χαλαρό πέτρωμα

αναλογεί το της κάθε γεώτρησης με βάση το διάγραμμα (Σχ.8). Στη συνέχεια από το βιβλίο «Γενική Υδρογεωλογία» (Σούλιος, 1986), χαρακτηρίζουμε το πέτρωμα με το αντίστοιχο ενεργό του πορώδες m_e .

Τα ρυθμιστικά αποθέματα υπολογίζονται με βάση τον τύπο

$W_R = E\Delta h m_e$, όπου E = εμβαδόν της λεκάνης, Δh = διαφορά στάθμης Σεπτεμβρίου-Μαΐου (Πίν.3) και m_e =ενεργό πορώδες.

Τα ρυθμιστικά αποθέματα για την Α γεώτρηση είναι:

$$W_{RA} = 41 \text{ Km}^2 \cdot (3674 - 2382) \text{ m} \cdot 0,2 = 41 \cdot 10^6 \text{ m}^2 \cdot 1292 \text{ m} \cdot 0,2 = 10,59 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

$$W_{RB} = 41 \cdot 10^6 \text{ m}^2 \cdot (3674 - 2382) \text{ m} \cdot 0,15 = 7,95 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

$$\text{Άρα: } W_R = W_{RA} + W_{RB} / 2 = 9,27 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

Πίνακας 3. Στάθμη υπόγειου υδροφορέα στους χαλαρούς τεταρτογενείς σχηματισμούς στη λεκάνη Συκέας νομού Χαλκιδικής

a/a	Σεπτέμβριος 1998	Μάιος 1999	Σεπτέμβριος 1999
1	4,31	3,70	4,53
2	5,53	4,82	5,69
3	3,85	2,10	3,65
4	3,40	1,49	3,12
5	3,41	1,68	3,15
6	3,42	2,44	3,35
7	2,25	1,22	2,13
8	3,31	2,01	3,25
9	3,59	1,98	3,16

5.1.2 Μόνιμα αποθέματα

Με τον ίδιο τρόπο και κρατώντας το ενεργό πορώδες σταθερό υπολογίζουμε τα μόνιμα αποθέματα. Με βάση τον τύπο: $W_p = EHm_e$, όπου E : εμβαδόν λεκάνης, H : πάχος υδροφόρων και m_e : ενεργό πορώδες.

Επομένως $W_{ρλ} = 4110^6 m^2 \times 38m \times 0,2 = 311,6 \cdot 10^6 m^2$

$$W_{ρβ} = 4110^6 m^2 \times 40m \times 0,15 = 246 \cdot 10^6 m^2$$

Αρα $W_ρ = W_{ρλ} + W_{ρβ} / 2 = 278,8 \cdot 10^6 m^2$

Συμπεράσματα: Το αποτέλεσμα των ρυθμιστικών αποθεμάτων W_R , που αποθηκεύονται μεταξύ ανώτερης και κατώτερης στάθμης και ρυθμίζουν την παροχή των πηγών, είναι ικανοποιητικό. Δεν είναι σταθερά από έτος σε έτος και η διακύμανσή τους είναι περίπου 50%-60% από την μέση τιμή. Τα μόνιμα αποθέματα $W_ρ$ είναι μεταξύ του υποβάθρου και της ελάχιστης ετήσιας στάθμης και δεν πρέπει να γίνεται κατανάλωση από αυτά γιατί έχει περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Βέβαια η εξαγωγή συμπερασμάτων δεν είναι δυνατή λόγω έλλειψης στοιχείων.

5.2 Υδατικά αποθέματα λεκάνης

Η μέγιστη ποσότητα νερού που είναι διαθέσιμη σε μια υδρογεωλογική λεκάνη καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου, περιορίζεται από τα δυνατά βλαβερά αποτελέσματα που μπορεί να προκληθούν με την υπεράντληση. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να μνημονεύονται από διάφορους ερευνητές διαφορετικές έννοιες για την απόδοση ή παροχή (yield) μιας λεκάνης.

Τη δεκαετία του 60 στην αγγλοσαξονική βιβλιογραφία είχε επικρατήσει η έννοια της "ασφαλούς απόδοσης" ("safe yield") και στην γαλλόφωνη η έννοια των "εκμεταλλεύσιμων αποθεμάτων" ("reserves exploitables"). Στη δεκαετία του 70 καθιερώθηκε, κατά περίπτωση, καθορισμένη έννοια απόδοσης ή παροχής. Η ασφαλής απόδοση (Todd, 1959), που βρίσκεται ακόμα σε χρήση στη διεθνή βιβλιογραφία, είναι η

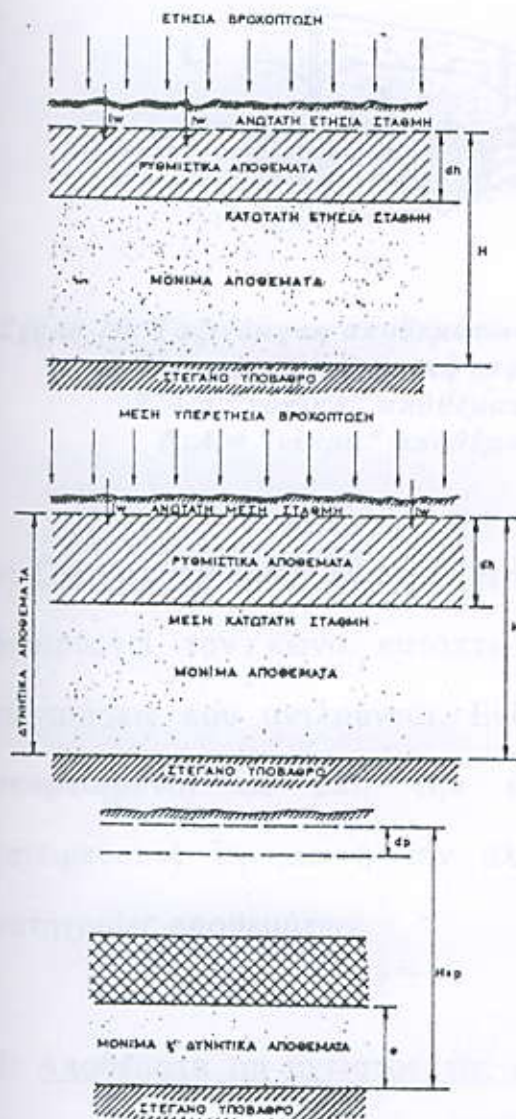
ποσότητα του υπόγειου νερού που μπορεί να αποληφθεί από μια λεκάνη, χωρίς να προκληθούν ανεπιθύμητα αποτελέσματα (πτώση στάθμης σε οικονομικά απαγορευμένα βάθη άντλησης, υποβάθμιση της ποιότητας του νερού κλπ.). Η ποσότητα αυτή που μπορεί να αποληφθεί, περιορίζεται στη μέση ετήσια αναπλήρωση της λεκάνης. Επειδή όμως μια αμετάβλητη ποσότητα διαθέσιμου νερού, που να εξαρτιέται μόνο από τις φυσικές πηγές νερού και μια ειδική κατανομή των πηγαδιών είναι στοιχειωδώς χωρίς νόημα (Todd, 1980), από υδρολογική άποψη η έννοια της "ασφαλούς απόδοσης", κατά τα πιο πάνω, έχει πλέον πάψει να είναι "κατανοητή". Το ίδιο συμβαίνει και με το Γαλλικό όρο "εκμεταλλεύσιμα αποθέματα" (Castany, 1963) που είναι απόρροια των απόψεων της Σοβιετικής Σχολής (Bogomolov et al. 1962, Plotnikof et al. 1962).

Τα εκμεταλλεύσιμα αποθέματα, είναι η ποσότητα νερού που αντιστοιχεί στα "ρυθμιστικά αποθέματα", σε εκείνα δηλαδή που περιλαμβάνονται ανάμεσα στη ψηλότερη και χαμηλότερη στάθμη κάθε υδρολογικού χρόνου, και σε κλάσμα των "γεωλογικών αποθεμάτων", εκείνων δηλαδή που περιλαμβάνονται κάτω από τη χαμηλότερη στάθμη του υδρολογικού χρόνου μέχρι τον πυθμένα του υδροφόρου ορίζοντα (Σχ.9).

Οι Mandel-Shiftan (1981) διακρίνουν τα αποθέματα του υπόγειου νερού σε:

α) Αποθέματα ενεργού αποθήκευσης (Reserves in live storage), τα οποία εξαντλούνται (αποχετεύονται) με φυσική στράγγιση και μπορούν να αποληφθούν με άντληση. Γενικά, τα αποθέματα αυτά -"ενεργά"- τα

οποία αντιστοιχούν στα "ρυθμιστικά" αποθέματα της Γαλλικής Σχολής, είναι εκείνα που βρίσκονται ψηλότερα από το σημείο φυσικής εκφόρτισης (Σχ.10). Στους παράκτιους υδροφόρους στα "ενεργά" αποθέματα ανήκει το γλυκό νερό που περιλαμβάνεται ανάμεσα στη διεπιφάνεια και τη στάθμη της θάλασσας.



(α)

$$R_r = dhSA$$

$$R_p = SA(H-dh)$$

$$R_\delta = HSA$$

(β)

$$R_r = dhSA$$

$$R_p = SA(H-dh)$$

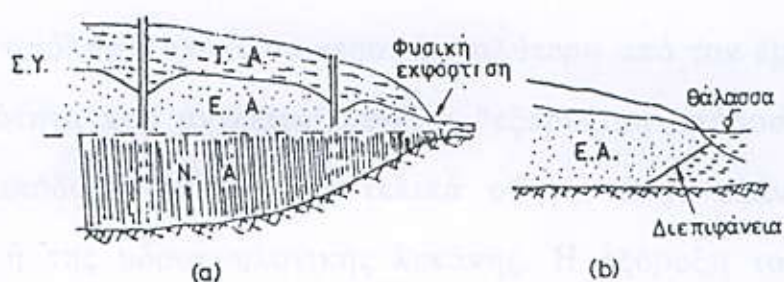
$$R_\delta = HSA$$

$$(γ) R_p = eAm_e$$

Σχήμα 9. Αποθέματα υπόγειου νερού (α) σε ελεύθερο υδροφόρο στο υδρολογικό έτος, (β) σε ελεύθερο υδροφόρο στο μέσο υδρολογικό έτος και (γ) σε αρτεσιανό υδροφόρο (CASTANY, 1968).

I_w = κατεύθυνση, R_r = ρυθμιστικά αποθέματα, R_p = μόνιμα αποθέματα, R_δ = δυνητικά αποθέματα, A = επιφάνεια υδροφόρου, d_p = μεταβολή της πίεσης, m_e = ενεργό πορώδες, S = συντελεστής αποθηκευτικότητας.

β) Αποθέματα νεκρής αποθήκευσης (Reserves in dead storage), είναι εκείνα που βρίσκονται χαμηλότερα από το σημείο φυσικής εκφόρτισης (Σχ.10). Τα αποθέματα αυτά μπορούν να αποληφθούν με άντληση μόνο, αφού εξαντληθούν τα "ενεργά" αποθέματα. Τα "νεκρά" αποθέματα πάντως δεν πρέπει να θεωρούνται σαν "στάσιμο νερό".



Σχήμα 10. Ταξινόμηση αποθεμάτων υπόγειου νερού (Mandel-Shiftan 1981).

α) Υδροφόρος με φυσική εκφόρτιση, β) παράκτιος υδροφόρος.

T.A. = "τοπικά" αποθέματα, E.A. = "ενεργά" αποθέματα,

N.A. = "νεκρά" αποθέματα, Σ.Υ. = στάθμη υδροφόρου

γ) Τοπικά αποθέματα (Local Reserves), είναι εκείνα που η άντλησή τους δημιουργεί τον κώνο κατάπτωσης, κοντά σε μια ή περισσότερες γεωτρήσεις που αντλούνται. Ενδεχόμενα όλοι οι κώνοι κατάπτωσης, σκορπισμένοι σε όλη την έκταση του υδροφόρου, εξαντλούν (στεριεύουν) τη μια ή την άλλη ή και τις δυο προαναφερθείσες κατηγορίες αποθεμάτων.

δ) Αποθέματα μη αντιστρεπτής αποθήκευσης (Reserves in irreversible storage). Απαντούν στα ημισυνεκτικά πετρώματα. Η άντληση νερού απ' αυτά οδηγεί σε μη αντιστρεπτή (μόνιμη) συμύκνωση και εκδίωξη του νερού από τα διάκενα. Η διεργασία αυτή οδηγεί σε καθίζηση του υδροφόρου και συχνά στην καταστροφή της ποιότητας του νερού, λόγω

ανάμιξης του υπόγειου νερού με συγγενικό νερό που προέρχεται από τα λεπτόκοκκα στρώματα.

Μια άλλη άποψη στον τομέα της ταξινόμησης των αποθεμάτων είναι η εξής (A.S.C.E. 1972, Domenico 1972, Todd 1980):

α) "Εξορύξιμη" απόδοση (Domenico, 1968).

Εάν γίνεται απόληψη υπόγειου νερού μεγαλύτερη από τον εμπλουτισμό, τότε η ποσότητα που αντλείται λέγεται "εξορύξιμη απόδοση" (mining yield). Η απόδοση όμως αυτή τελικά οδηγεί στην εξάντληση του υδροφόρου ή της υδρογεωλογικής λεκάνης. Η εξόρυξη του υπόγειου νερού οδήγησε στην καταστροφή των υδροφόρων οριζόντων στην Αργολική πεδιάδα. Παρά το γεγονός ότι η ιδέα της εξόρυξης του νερού θεωρείται όχι πολύ λογική υπάρχουν επιχειρήματα για το αντίθετο· οι υπέρμαχοι της ιδέας αυτής (Sasman-Schicht, 1918) ισχυρίζονται ότι το αποθηκευμένο στους υδροφόρους νερό δεν έχει αξία εκτός αν χρησιμοποιείται. Και τούτο αληθεύει για τις ξηρές περιοχές (Σαχάρα, Λιβύη κλπ.), όπου το υπόγειο νερό είναι η μόνη διαθέσιμη πηγή νερού και οποιαδήποτε ανάπτυξη των υπόγειων νερών αποτελεί στην πράξη "εξόρυξη" των αποθεμάτων υπόγειου νερού. Το βασικό πρόβλημα στην περίπτωση αυτή είναι η σωστή διαχείριση, ώστε μαζί με την προστασία του νερού η εξάντληση να γίνει το αργότερο δυνατόν, δηλαδή μετά από μερικές δεκαετίες μέχρι μερικούς αιώνες.

β) Διαρκής απόδοση ("Perennial Yield").

Είναι η ποσότητα νερού που μπορεί να αντλείται καθ' όλη τη διάρκεια του υδρολογικού χρόνου, κάτω από καθορισμένες λειτουργικές συνθήκες

χωρίς πρόκληση ανεπιθύμητων αποτελεσμάτων όπως (Todd 1980, Mann 1960, Young 1970):

- προοδευτική μείωση του υδατικού πόρου,
- δημιουργία αντριοικονομικών συνθηκών άντλησης,
- υποβάθμιση της ποιότητας του νερού,
- δημιουργία νομικών προβλημάτων,
- καθίζηση του εδάφους από την πτώση στάθμης στους υδροφόρους.

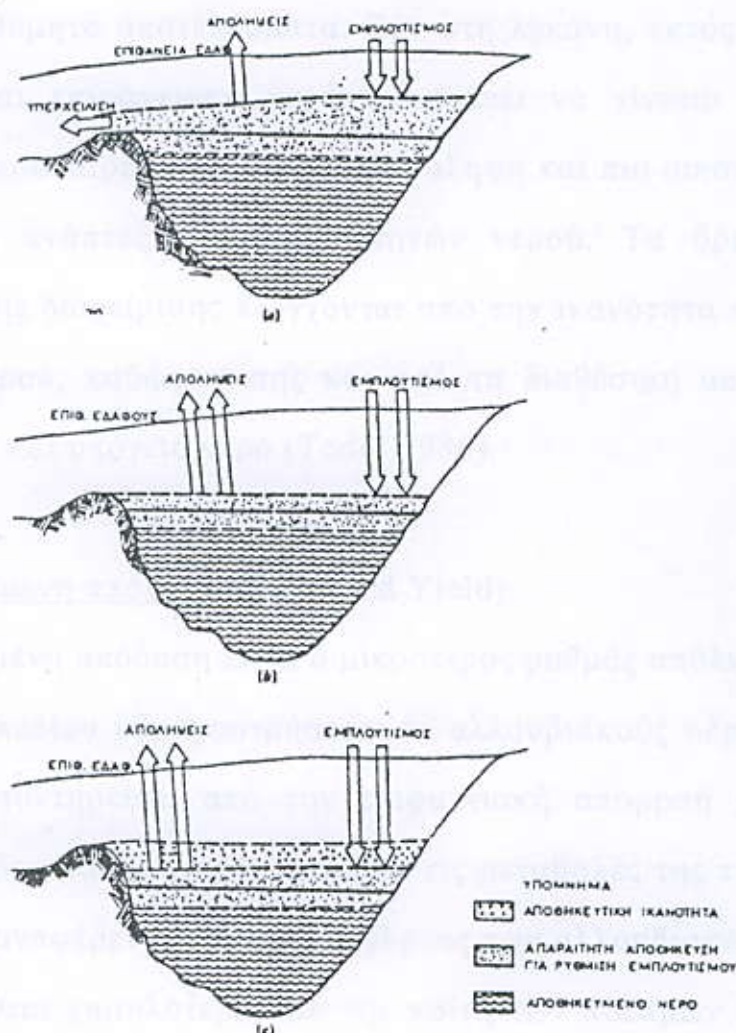
Οποιαδήποτε απόληψη μεγαλύτερη από τη διαρκή απόδοση θεωρείται σαν "υπεράντληση" ("overdraft"), η οποία όταν συνεχίζεται θα προκαλέσει σημαντικές αρνητικές επιπτώσεις πάνω στις περιβαλλοντικές, κοινωνικές και οικονομικές συνθήκες.

Το σχήμα 11(α) δείχνει σχηματικά μια υδρογεωλογική λεκάνη, όπου η απόληψη υπόγειου νερού υπολείπεται της διαρκής απόδοσης. Σ' αυτή την περίπτωση ένα μέρος της φυσικής αναπλήρωσης χάνεται σε υπόγεια εκροή. Το σχήμα 11(b) δείχνει την περίπτωση μιας ελάχιστης, διαρκής απόδοσης όπου οι απολήψεις είναι ίσες με την αναπλήρωση ώστε να μη χάνεται υπόγειο νερό.

β1) Μεταβαλλόμενη διαρκής απόδοση (Differed Perennial Yield).

Η μεταβαλλόμενη Διαρκής Απόδοση συνίσταται στην εφαρμογή δύο διαφορετικών παροχών άντλησης. Η αρχική παροχή ξεπερνά τη Διαρκή Απόδοση και προκαλεί έτσι μια κάποια πτώση της στάθμης στον υδροφόρο. Αυτή η άντληση παρέχει νερό με χαμηλό κόστος, χωρίς τη δημιουργία ανεπιθύμητων αποτελεσμάτων. Πράγματι η ελάττωση του αποθηκευμένου νερού ελαττώνει ή μηδενίζει τις υπόγειες απώλειες, καθώς και τις απώλειες με τη διαδικασία της εξατμισοδιαπνοής, από τις περιοχές στις οποίες η στάθμη του υδροφόρου βρίσκεται υψηλά. Όταν η

στάθμη του υδροφόρου κατέβει σε ένα προκαθορισμένο βάθος, τότε η παροχή άντλησης μειώνεται, ώστε να εξισωθεί με τη Διαρκή Απόδοση. Το αποτέλεσμα είναι να δημιουργηθεί ισορροπία ανάμεσα στις εισροές και εκροές στη λεκάνη. Από την άλλη μεριά η δημιουργία ελεύθερου αποθηκευτικού χώρου δίνει τη δυνατότητα για μεγαλύτερο εμπλουτισμό και αύξηση της Διαρκής Απόδοσης (Σχ.11c) .



Σχήμα 11. Σχηματικό διάγραμμα που απεικονίζει τη σχέση του αποθηκευμένου νερού σε υδροφόρο, για τρία στάδια ανάπτυξης (a) ανάπτυξη μικρότερη από τη διαρκή απόδοση, (b) ελάχιστη διαρκής απόδοση, (c) αυξημένη διαρκής απόδοση (Peters, 1972 από Todd, 1980).

β2) Μέγιστη Διαρκής Απόδοση (Maximum Perrenial Yield).

Η μέγιστη Διαρκής Απόδοση για να επιτευχθεί προϋποθέτει την ανάπτυξη στο μέγιστο δυνατό βαθμό του εμπλουτισμού και ο υδροφόρος πρέπει να υποστεί διαχείριση σαν μια ενότητα. Έτσι, η αποτελεσματική και οικονομική παραγωγή νερού προϋποθέτει ότι η άντληση, η εισαγωγή και διανομή του νερού γίνονται με τέτοιο τρόπο, ώστε να επιτευχθεί η μεγιστοποιημένη απόληψη νερού, με τον πιο οικονομικό τρόπο, και χωρίς ανεπιθύμητα αποτελέσματα. Εάν στη λεκάνη, εκτός από υπόγεια, υπάρχουν και επιφανειακά νερά θα πρέπει να γίνεται συνδυασμένη χρήση τους που παρέχει μεγαλύτερη απόληψη και πιο οικονομικά από τη μεμονωμένη ανάπτυξη των δύο πηγών νερού. Τα όρια αυτής της συνδυασμένης διαχείρισης ελέγχονται από την ικανότητα εισαγωγής και διανομής νερού, καθώς επίσης και από τη διαθέσιμη αποθήκη για το επιφανειακό και υπόγειο νερό (Todd, 1980).

γ) Παρατεταμένη απόδοση (Sustained Yield).

Η παρατεταμένη απόδοση είναι ο μικρότερος ρυθμός απόληξης υπόγειου νερού ενός πεδίου υδρογεωτρήσεων σε αλλουβιακούς υδροφόρους, που μπορεί να συντηρείται από την επιφανειακή απορροή με την οποία συνδέεται υδραυλικά, ανεξάρτητα από τις μεταβολές της τελευταίας. Με άλλα λόγια αναφέρεται στους υδροφόρους των αλλουβιακών αποθέσεων, που βρίσκονται χαμηλότερα από την κοίτη των ποταμών (Water-course aquifers κατά Thomas, 1951). Η παρατεταμένη απόδοση δεν είναι μια καθορισμένη ποσότητα υπόγειου νερού ακόμη και αν δεν υπάρχουν α τεχνητού εμπλουτισμού, μπορεί δε να θεωρηθεί σαν το μέτρο του επαγωγικού εμπλουτισμού υδρογεωτρήσεων, που υδρομαστεύουν τις

ποτάμιες ή ποταμοχειμαρρώδεις αποθέσεις ενός υδρορεύματος. Η Σοβιετική τέλος Σχολή διακρίνει πέντε κατηγορίες αποθεμάτων υπόγειου νερού.

δ) Βέλτιστη Απόδοση (Optimal Yield).

Ο Domenico (1972), αποδεχόμενος τον όρο της ασφαλούς απόδοσης σαν έννοια, αλλά απορρίπτοντας τις μεθόδους υπολογισμού της, προτείνει την βελτιστοποίηση στη διαχείριση των υπόγειων νερών σαν μέρος της ολοκληρωμένης διαχείρισης του συστήματος "επιφανειακά-υπόγεια νερά" μιας περιοχής. Η βασική αρχή για τον υπολογισμό της βέλτιστης απόδοσης επιβάλλει κανόνες λειτουργίες του συστήματος τέτοιους, ώστε αυτό να λειτουργεί με τον βέλτιστο τρόπο. Οι κανόνες αυτοί λειτουργίας περιλαμβάνουν πια και οικονομικούς και κοινωνικούς στόχους με αποτέλεσμα να εγκαταλείπεται η ασφαλής απόδοση, που στηρίζεται στις φυσικές μόνο παραμέτρους "εισροές-εκροές" στο σύστημα, οι οποίες όμως μεταβάλλονται στον χρόνο, όπως η ασφαλής απόδοση. Το κριτήριο της βέλτιστης απόδοσης, σκοπεύει πια στην ικανοποίηση των πιο πάνω κοινωνικοοικονομικών στόχων.

Η βελτιστοποίηση στη διαχείριση των υπογείων νερών, ενταγμένη στο ευρύτερο πλαίσιο της βελτιστοποίησης του προγραμματισμού, σχεδιασμού και διαχείρισης του συστήματος "επιφανειακά-υπόγεια νερά" απαιτεί ορθολογικές αποφάσεις που συνίστανται σε:

- Κωδικοποίηση των δυνατών εναλλακτικών λύσεων.
- Καθορισμό των συνεπειών που συνεπάγεται κάθε εναλλακτική λύση.
- Συγκριτική αξιολόγηση, των πιο πάνω συνεπειών από την άποψη της μεγιστοποίησης της ωφέλειας, η οποία και αυτή αποτελεί μια

εξαρτημένη μεταβλητή του συστήματος.

Σύμφωνα με τον Buras (1966), θα πρέπει ο υπεύθυνος για το σχέδιο διαχείρισης να επιλέξει:

- Την εναλλακτική λύση που θα ελαχιστοποιεί τη διάσταση (στο χωρόχρονο και στη ποιότητα) ανάμεσα στον εμπλουτισμό (φυσικό) και τις απαιτήσεις.
- Την έκταση κατά την οποία θα αναπτυχθεί το σύστημα των υδατικών πόρων και τον βαθμό εξυπηρέτησης των απαιτήσεων.
- Τον τρόπο λειτουργίας του συστήματος ώστε να επιτευχθούν με τον καλύτερο τρόπο οι προκαθορισμένοι ή μια σειρά προκαθορισμένων στόχων.

5.3 Υδρολογικό ισοζύγιο λεκάνης

Ένας αέναςος κύκλος του νερού διαγράφεται στη φύση καθώς αυτό μεταπηδά από πεδίο σε πεδίο επαναλαμβάνοντας συνεχώς την κίνησή του αυτή μέσα στον χρόνο.

Ο κύκλος αυτός μελετάται ιδιαίτερα από την Επιφανειακή Υδρολογία την επιστήμη δηλαδή εκείνη που μελετά το νερό από τη στιγμή που το τελευταίο φθάνει στην επιφάνεια της γης με οποιαδήποτε μορφή: βροχή, χιόνι, δροσιά κλπ. γνωστά στο σύνολό τους σαν "ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα" ή απλά "κατακρημνίσματα", συμβολιζόμενα με το γράμμα P.

Το νερό λοιπόν φθάνοντας στην επιφάνεια της γης σαν "κατακρημνίσματα" έχει να ακολουθήσει τρεις δρόμους:

1. Να διαπεράσει την επιφάνεια τον εδάφους και να κατέλθει στο υπέδαφος, στους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες, προστιθέμενο στο

υπόγειο νερό. Η ποσότητα αυτή συνιστά την κατείσδυση 1. Μπορεί, αφού κάνει ένα υπόγειο δρομολόγιο, να επανέλθει στο φως ύστερα από κάποιο χρόνο παραμονής στο υπέδαφος, και, με το υδρογραφικό σύστημα να οδηγηθεί στη θάλασσα από όπου επανεξατμίζεται για να επαναλάβει τον κύκλο.

2. Να ρεύσει επιφανειακά και παραλαμβανόμενο από το υδρογραφικό δίκτυο (τα ποτάμια συστήματα) να εκχυθεί τελικά στη θάλασσα (ή σπάνια σε λίμνη). Αυτή λοιπόν η ποσότητα που ρέει επιφανειακά και τελικά χύνεται στη θάλασσα συνιστά την επιφανειακή απορροή R που φυσικά και αυτή μπορεί τελικά να επανεξατμιστεί και να επανέλθει στην ατμόσφαιρα από όπου θα επαναλάβει τον κύκλο.

3. Να επανεξατμιστεί από την επιφάνεια των εδάφους, από την ελεύθερη επιφάνεια του υδρογραφικού συστήματος, από το υπέδαφος ή ακόμα να διαπνευστεί από τα φυτά που το αντλούν από το υπέδαφος.

Αυτή η ποσότητα συνιστά την εξατμισοδιαπνοή E , που επανέρχεται στην ατμόσφαιρα για να συνεχίσει τον κύκλο.

Από τα πιο πάνω έχουμε λοιπόν:

$$P=I+R+E \quad (1)$$

Η παραπάνω σχέση αποτελεί την εξίσωση του υδρολογικού ισοζυγίου που είναι χαρακτηριστική σε κάθε περιοχή και που καθορίζει την υδάτινη οικονομία της περιοχής (Σούλιος, Γ.).

Τα στοιχεία της (1) που τα λέμε και φάσεις του υδρολογικού ισοζυγίου μπορούν να εκφραστούν σε όγκο (m^3), σε ύψος νερού-βροχής, (mm) και ακόμα σε συντελεστές δηλαδή σε ποσοστό ως προς τα κατακρημνίσματα.

Το υδρολογικό ισοζύγιο όπως αναλύθηκε, εκφράστηκε με τους

παράγοντες P, I, R, E που ανταποκρίνονται φυσικά σε πραγματικές καταστάσεις, αλλά και στις απαιτήσεις της Υδρογεωλογίας που ενδιαφέρεται ιδιαίτερα για τον παράγοντα I , ο οποίος μπορεί να παραλειφθεί σε διαφορετική έκφραση του υδρολογικού ισοζυγίου ενωποιούμενος με άλλον. Για τη διαφορετική έκφρασή του μπορούμε να σκεφτούμε:

i. Εάν δεν υπάρχει μεταβολή dw των αποθεμάτων W , τότε για κάθε λεκάνη απορροής μπορούμε να έχουμε τα εξής στοιχεία (φάσεις):

- Την ολική απορροή Q που θα περιέχει την R και την IR που είναι το μέγιστο μέρος της I και που μπορεί ποσοτικά πολλές φορές να την προσεγγίζει ($I \sim IR$) και έτσι στην πράξη να μπορούμε να δεχθούμε την σχέση:

$$Q = R + I \quad (2)$$

που θα απέχει ελάχιστα ή έστω μόλις μη αμελητέα από την πραγματικότητα.

- Τη διαφορά $P - Q = D$ (όπου D : έλλειμμα απορροής) που ανταποκρίνεται στις ολικές απώλειες νερού από την εξάτμιση και την διαπνοή κατά οποιοδήποτε τρόπο και από οποιαδήποτε φάση και αν συνέβησαν στη θεωρούμενη λεκάνη και που όπως είδαμε οι απώλειες αυτές συνιστούν το έλλειμμα απορροής. Αν δεχθούμε ότι ισχύει η (2) έστω και προσεγγιστικά, τότε θα ισχύει, επίσης έστω και προσεγγιστικά, η σχέση:

$$D = E \quad (3)$$

Στην περίπτωση αυτή το υδρολογικό ισοζύγιο μπορεί να εκφραστεί με τη σχέση:

$$P = Q + E \quad (4)$$

Ή αν δεν ισχύει η (2), τότε θα έχουμε οπωσδήποτε και αν συμβαίνει:

$$P=Q+D \quad (5)$$

Η σχέση (4) και η πιο γενική, η (5), είναι η κάθε μία τους άλλη μορφή έκφρασης του υδρολογικού ισοζυγίου στην οποία εξετάζεται το τελικό αποτέλεσμα: ποιες ποσότητες νερού επανήλθαν από την λεκάνη στην ατμόσφαιρα και ποιες απέρρευσαν από αυτήν ως ποτάμι ανεξάρτητα από τον δρόμο που προηγούμενα ακολούθησαν στις δύο περιπτώσεις (και για την εξάτμιση και για την απορροή). Οι εκφράσεις αυτές, (4) και (5), που είναι απλούστερες στη διερεύνηση γιατί έχουν λιγότερους παράγοντες, δεν δίνουν όλους τους δρόμους που μπορεί να ακολουθεί το νερό.

ii. Αν υπάρχει μεταβολή dw των αποθεμάτων W , τότε η (5) γράφεται με τη γενικότερη μορφή της:

$$P=Q+D\pm dw \quad (6)$$

και στην περίπτωση που ισχύει η (3):

$$P=Q+E\pm dw \quad (7)$$

Για μια σειρά αρκετών ετών πρακτικά δεν υπάρχουν κατά μέσο όρο ετήσια μεταβολή dw των αποθεμάτων W . Είναι δηλαδή $dw \sim 0$ (γιατί τα ετήσια $+dw$ και $-dw$ αθροιζόμενα πλησιάζουν συνήθως το 0 υπό τον όρο ότι η κατανάλωση είναι σταθερή ή αμελητέα για τα υπόψη μεγέθη). Αντίθετα για μεμονωμένα έτη μπορεί να είναι $dw \neq 0$.

Τέλος όπως αναφέρθηκε η συνηθέστερη μορφή έκφρασης του υδρολογικού ισοζυγίου και αυτή που ενδιαφέρει κυρίως την Υδρογεωλογία είναι αυτή που δίνεται από την σχέση (1). Από τα πιο πάνω όμως φάνηκε ότι το ισοζύγιο μπορεί να εκφραστεί και με άλλες μορφές, στις οποίες συνενώνονται ή διαχωρίζονται ορισμένες φάσεις, δηλ. ορισμένοι δρόμοι τους οποίους ακολουθεί το νερό στη φύση.

Υπολογισμός Υδρολογικού Ισοζυγίου με τη μέθοδο

Thothnwaite & Mather 1955.

	I	Φ	M	A	M	I	I	A	Σ	O	N	Δ
P(mm)	80	31,65	44,15	40,5	53,25	28,25	8	1,55	18	13,35	65,9	35,6
T(°C)	8,1	8,5	9,9	13,8	18,5	22,7	24,8	24,4	21,2	16,1	12	8,4

$$\Sigma P = P = 420,2 \text{ mm}$$

$$i = \left(\frac{T}{5} \right)^{1,514}$$

$$I = \sum_{i=1}^{12} i = 71.93$$

$$\alpha = 0,49239 + 1792 \cdot 10^{-5} I - 7.71 \cdot 10^{-7} I^2 + 675 \cdot 10^{-9} I^3 =$$

$$= 0,49239 + 1,289 - 0,003989096 + 0,251 = 2.028$$

$$E_{\Delta} = 16(10 T/I)^{\alpha} \quad E'_{\Delta} = n E_{\Delta},$$

n: συντελεστής διόρθωσης της E_{Δ} που εξαρτάται από το γ.π.

α) Με δείκτη εδαφικής υγρασίας (ΔΕΥ) 100

	I	Φ	M	A	M	I	I	A	Σ	O	N	Δ
T	8,1	8,5	9,9	13,8	18,5	22,7	24,8	24,4	21,2	16,1	12	8,4
i	2,07	2,23	2,81	4,65	7,25	9,88	11,29	11,02	8,91	5,87	3,76	2,19
E_{Δ}	20,35	22,45	30,58	59,98	108,67	164,56	196,90	190,52	143,25	81,99	45,17	21,91
N	0,84	0,83	1,03	1,11	1,24	1,25	1,27	1,18	1,04	0,96	0,83	0,81
E'_{Δ}	17,09	18,6	31,49	66,58	134,75	205,7	250,06	224,81	148,98	78,71	37,49	17,75
P	80	34,65	44,15	40,5	53,25	28,25	8	1,55	18	13,35	65,9	35,6
ΔΕΥ	100	100	100	73,92	0	0	0	0	0	0	28,41	46,26
E_{Π}	17,09	18,6	31,49	66,58	127,17	28,25	8	1,55	18	13,35	37,49	17,75
Q	62,91	13,05	12,66	0	0	0	0	0	0	0	0	0

$$P = Q + E$$

Όμως προκύπτει ότι: $Q + E > P$

β) Με δείκτη εδαφικής υγρασίας (ΔΕΥ) 80.

	I	Φ	M	A	M	I	I	A	Σ	O	N	Δ	
T	8,1	8,5	9,9	13,8	18,5	22,7	24,8	24,4	21,2	16,1	12	8,4	
i	2,07	2,23	2,81	4,65	7,25	9,88	11,29	11,02	8,91	5,87	3,76	2,19	
E _Δ	20,35	22,45	30,58	59,98	108,67	164,56	196,90	190,52	143,25	81,99	45,17	21,91	
N	0,84	0,83	1,03	1,11	1,24	1,25	1,27	1,18	1,04	0,96	0,83	0,81	
E _Δ	17,09	18,6	31,49	66,58	134,75	205,7	250,06	224,81	148,98	78,71	37,49	17,75	
P	80	34,65	44,15	40,5	53,25	28,25	8	1,55	18	13,35	65,9	35,6	420,2
ΔΕΥ	80	80	80	53,92	0	0	0	0	0	0	28,41	46,26	
E _Π	17,09	18,6	31,49	66,58	119,83	28,25	8	1,55	18	13,35	37,49	17,75	360,23
Q	62,91	13,05	12,66	0	0	0	0	0	0	0	0	0	88,62

$$P=Q + E$$

Όμως προκύπτει ότι: $Q + E > P$

Συμπεράσματα: Οι παραπάνω υπολογισμοί δείχνουν έλλειψη συνεχών στοιχείων για συνεχόμενα υδρολογικά έτη και δεν μπορούν να βγουν σωστά συμπεράσματα. Η θερμοκρασία (T) προέρχεται από τον μέσο όρο έξι χρόνων από το 1970 μέχρι το 1975. Τα στοιχεία αυτά παραχωρήθηκαν από τον κ. Πέννα, του τομέα Μετεωρολογίας (Πίν.4). Το μηνιαίο ύψος βροχής (P) υπολογίστηκε με βάση τους 3 βροχομετρικούς σταθμούς, Συκιάς, Πυροφυλακίου και Παρθενώνα, (Πίν.5) οι θέσεις των οποίων φαίνονται στο σχ.12.

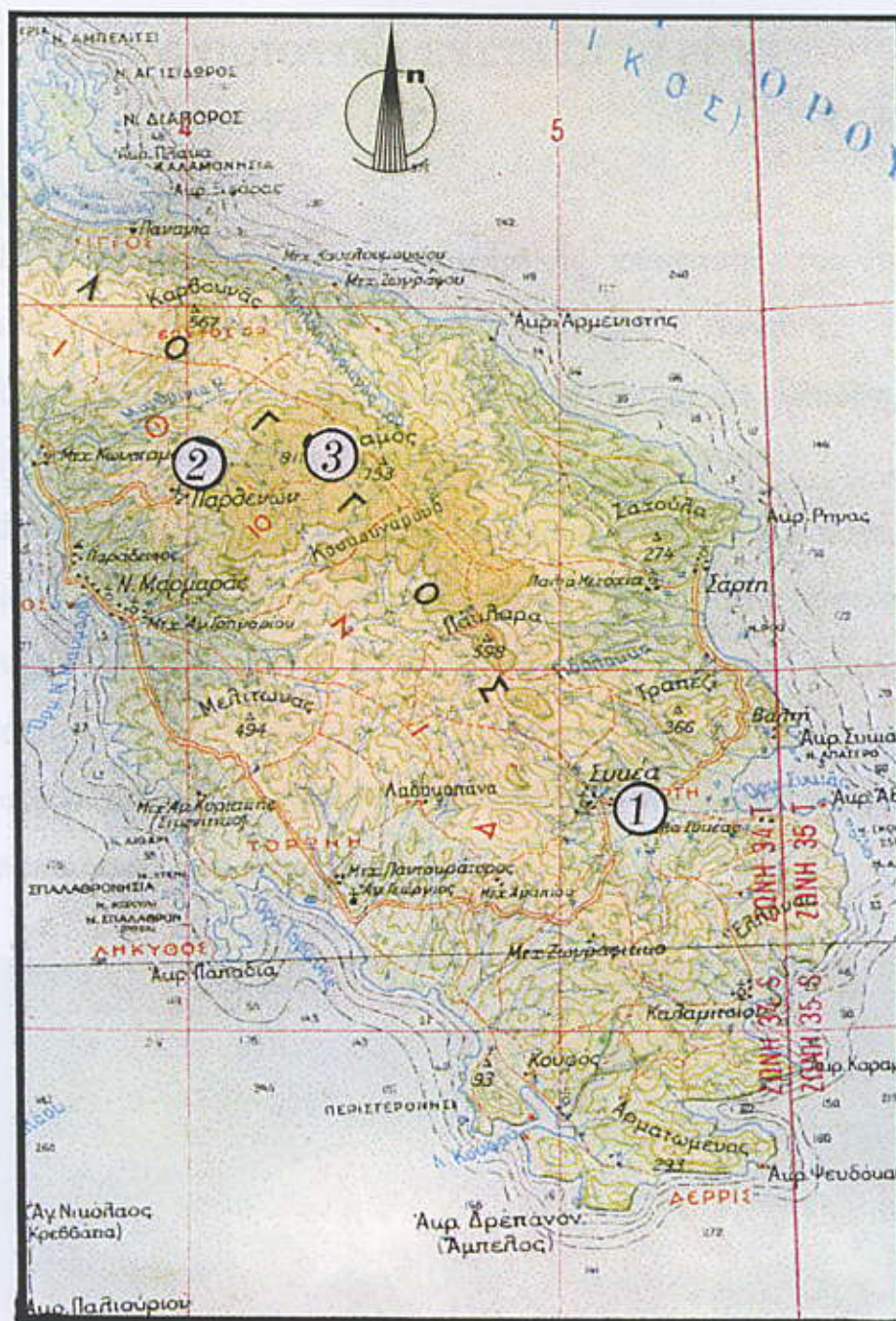
Παρατηρούμε πως οι βροχοπτώσεις είναι αρκετά περιορισμένες και σε συνδυασμό με τις υψηλές θερμοκρασίες της περιοχής έχουμε αυξημένη εξάτμιση, ιδίως τους καλοκαιρινούς μήνες, και γνωρίζοντας ότι στην περιοχή πραγματοποιούνται ανθρωπογενείς παρεμβάσεις (άρδευση, κτηνοτροφία), δεν μπορούν να εμπλουτιστούν οι υδροφόροι και με την πάροδο των χρόνων υποβαθμίζεται η ποιότητα του νερού και περιορίζονται τα αποθέματα τους.

Πίνακας 4.

Μήνας	Θερμοκρασία ($T_{70} + T_{71} + T_{72} + T_{73} + T_{74} + T_{75} / 6$)
I	$(7.54+6.84+6.80+7.70+9.88+9.88) / 6 = 8,1$
Φ	$(6.94+9.62+8.67+8.07+7.64+9.93) / 6 = 8,5$
M	$(12.50+9.66+7.54+9.76+9.60+10.50) / 6 = 9,9$
A	$(14.56+12.33+13.16+14.95+12.60+15.00) / 6 = 13,8$
M	$(19.47+17.89+19.20+18.62+19.07+16.56) / 6 = 18,5$
I	$(22.67+22.41+22.13+23.83+22.79+22.18) / 6 = 22,7$
I	$(25.02+24.64+25.68+25.02+23.51+25.20) / 6 = 24,8$
A	$(22.94+25.30+23.97+24.80+24.77+24.91) / 6 = 24,4$
Σ	$(22.44+21.85+21.67+20.56+20.21+20.68) / 6 = 21,2$
O	$(16.62+18.54+17.12+14.02+14.64+15.99) / 6 = 16,1$
N	$(11,66+12,51+10,82+12,64+12,22+12,36) / 6 = 12$
Δ	$(7.27+8.70+8.63+8.46+8.60+9.03) / 6 = 8,4$

Πίνακας 5. Ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα για δύο υδρογεωλογικά έτη σε τρεις βροχομετρικούς σταθμούς της χερσονήσου Σιθωνίας.

a/a	Μήνας	Μηνιαίο ύψος βροχής σε mm		
		Συκέα	Παρθενώνας	Πυροφυλάκιο
1	Οκτώβριος '96	24,2	75,1	105,2
2	Νοέμβριος '96	52,8	43,3	60,5
3	Δεκέμβριος '96	42,0	85,6	165,8
4	Ιανουάριος '97	75,5	136,7	103,9
5	Φεβρουάριος '97	1,3	14,3	14,2
6	Μάρτιος '97	44,8	113,3	61,4
7	Απρίλιος '97	42,0	95,8	117,8
8	Μάιος '97	32,5	25,5	42,0
9	Ιούνιος '97	5,5	5,4	5,8
10	Ιούλιος '97	12,0	15,1	29,4
11	Αύγουστος '97	3,1	43,4	54,4
12	Σεπτέμβριος '97	0,0	1,6	21,0
13	Οκτώβριος '97	2,5	2,4	5,8
14	Νοέμβριος '97	79,0	98,0	108,0
15	Δεκέμβριος '97	29,2	34,1	49,1
16	Ιανουάριος '98	84,5	110,0	111,0
17	Φεβρουάριος '98	62,0	62,3	81,5
18	Μάρτιος '98	43,5	49,0	50,0
19	Απρίλιος '98	39,0	18,9	15,0
20	Μάιος '98	74,0	93,5	88,9
21	Ιούνιος '98	51,0	45,5	54,3
22	Ιούλιος '98	4,0	10,5	12,4
23	Αύγουστος '98	0,0	0,0	0,0
24	Σεπτέμβριος '98	36,0	0,0	0,0



Σχήμα 12. Θέσεις βροχομέτρων του ΙΓΜΕ στη χερσόνησο Σιθωνία, νομού Χαλκιδικής.

6. ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΝΕΡΟΥ

6.1 Δειγματοληψία

Για τη μελέτη της φυσικοχημικής σύστασης του υπόγειου φρεάτιου υδροφορέα της υδρολογικής λεκάνης Συκεάς πραγματοποιήθηκαν δειγματοληψίες νερού σε εννέα υδροσημεία το Σεπτέμβριο του έτους 1998 και τον αντίστοιχο του 1999.

Συνολικά πάρθηκαν 18 δείγματα νερού τα οποία εξετάσθηκαν στα Χημεία του ΙΓΜΕ και έγιναν πάνω από 350 φυσικοχημικοί προσδιορισμοί. Επιπλέον πραγματοποιήθηκαν στην ύπαιθρο και προσδιορισμοί αγωγιμότητας και χλωρίου (Εικ.1), οι οποίοι δεν παρουσιάζονται στην εργασία, λόγω του ότι δεν παρουσιάζουν διαφοροποιήσεις από αυτές των χημικών.



Εικόνα 1. Υπαίθρια μέτρηση ιόντων χλωρίου σε πηγάδι της λεκάνης Συκεάς νομού Χαλκιδικής (Σεπτέμβριος 1998).

6.2 Φυσικοχημικές ιδιότητες

Ο χημισμός του νερού διαμορφώνεται από διάφορους παράγοντες που επιδρούν στην ποιότητά του. Μερικοί από αυτούς είναι:

- ❖ Ο βαθμός διαλυτότητας των ορυκτολογικών συστατικών του υδροφορέα.
- ❖ Η ταχύτητα εξαλλοίωσης των ορυκτολογικών συστατικών
- ❖ Το μέγεθος επιφανειών επαφής πετρώματος-νερού, η διάρκεια της επαφής (χρόνος παραμονής στον υδροφόρο)
- ❖ Το pH
- ❖ Το διαλυμένο διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) που υπάρχει τόσο στην ατμόσφαιρα όσο και στα οργανικά συστατικά του εδάφους.
- ❖ Το δυναμικό οξειδοαναγωγής Eh του νερού.
- ❖ Το βάθος του υδροφορέα
- ❖ Η υδροπερατότητα του υδροφορέα καθώς και των υπερκειμένων των στρωμάτων
- ❖ Το είδος και η ποσότητα του ρυπαντικού φορτίου φυσικής ή/και ανθρωπογενούς προέλευσης.

Οι παράμετροι ελέγχου της ποιότητας νερού που εξετάστηκαν είναι οι ακόλουθοι:

✓ Φυσικοχημικοί παράμετροι: pH, αγωγιμότητα, σκληρότητα (παροδική, μόνιμη, ολική), νάτριο, κάλιο, ασβέστιο, μαγνήσιο, χλώριο, θειικά ιόντα και όξινα ανθρακικά.

✓ Παράμετροι ρύπανσης: Ιόντα αμμωνίου, νιτρικά, νιτρώδη και φωσφορικά.

✓ Βαριά μέταλλα: Από αυτά προσδιορίστηκε μόνο ο σίδηρος.

6.3 Ποιοτική κατάσταση (ύδρευση-άρδευση)

Από τις φυσικοχημικές παραμέτρους που παρουσιάζονται στους Πίνακες 6 και 7, προκύπτουν μετρήσεις της ενεργούς οξύτητας -pH- που κυμαίνονται από 6,40 μέχρι 7,90. Το νερό του υδροσημείου νούμερο δύο έχει ενεργό οξύτητα από 6,40 μέχρι 6,50 δηλαδή τιμή χαμηλότερη του κατώτατου ενδεικτικού ορίου των 6,50 που προβλέπει η κείμενη νομοθεσία για το πόσιμο νερό και υποδηλώνει τον όξινο χαρακτήρα του. Αντίθετα ο βασικός χαρακτήρας του νερού υποδηλώνεται στα υδροσημεία οκτώ και εννέα.

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα, δηλαδή ο δείκτης συγκέντρωσης των αλάτων στο νερό, κυμαίνεται από 534 μέχρι 1722 $\mu\text{S}/\text{cm}$, με ενδεικτικό όριο ποσιμότητας τα 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία). Όμως στην Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων (1998) προτείνονται σαν ανώτατη επιτρεπτή τιμή για την αγωγιμότητα τα 2,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Σημειώνεται ότι και η χώρα μας θα πρέπει να εναρμονιστεί να προσέχει 1-2 χρόνια με τις υποδείξεις της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Η ολική σκληρότητα του υπόγειου νερού κυμαίνεται από 14,2 Γαλλικούς βαθμούς μέχρι 59,1. Σημειώνεται ότι οι υψηλές τιμές σκληρότητας αντιστοιχούν τις ψηλές αγωγιμότητες. Τα νερά χαρακτηρίζονται σύμφωνα με την σκληρότητά τους σε:

-Πολύ μαλακά	< 7° Γ°
-Μαλακά	7-14° Γ°
-Ημίσκληρα	14-21° Γ°
-Σχεδόν σκληρά	21-32° Γ°
-Σκληρά	32-54° Γ°
-Πολύ σκληρά	>54° Γ°

Έτσι το νερό στο υδροσημείο μας χαρακτηρίζεται σαν ημίσκληρο, τεσσάρων σαν σχεδόν σκληρό, δύο σαν σκληρό και το νερό ενός υδροσημείου (No9) σαν πολύ σκληρό.

Ενδεικτικές παράμετροι

Παράμετρος	Παραμετρική τιμή	Μονάδα	Σημειώσεις
Αργίλιο	200	μg/l	
Αμμώνιο	0,50	mg/l	
Χλωριούχα άλατα	250	mg/l	Σημείωση 1
Clostridium perfringens (συμπεριλαμβανομένων των σπορίων)	0		Σημείωση 2
Χρώμα	Αποδεκτό για τους καταναλωτές και άνευ ασυνήθους μεταβολής	αριθμός/100ml	
Αγωγιμότητα	2500	μS cm ⁻¹ στους 20°C	Σημείωση 1
Συγκέντρωση ιόντων υδρογόνου	≥6,5 και ≤9,5	Μονάδες pH	Σημειώσεις 1 και 3
Σίδηρος	200	μg/l	
Μαγγάνιο	50	μg/l	
Οσμή	Αποδεκτή στους καταναλωτές και άνευ ασυνήθους μεταβολής		
Οξειδωσιμότητα	5,0	mg/l O ₂	Σημείωση 4
Θειικά άλατα	250	mg/l	Σημείωση 1
Νάτριο	200	mg/l	
Γεύση	Αποδεκτή στους καταναλωτές και άνευ ασυνήθους μεταβολής		
Αριθμός αποικιών σε 22° C	Άνευ ασυνήθους μεταβολής		
Κολοβακτηριοειδή	0	αριθμός/100ml	Σημείωση 5
Ολικός οργανικός άνθρακας (TOC)	Άνευ ασυνήθους μεταβολής		Σημείωση 6
Θολότητα	Αποδεκτή στους καταναλωτές και άνευ ασυνήθους μεταβολής		Σημείωση 7

Π. 6 Φυσικοχημικές παράμετροι του υπόγειου νερού στους χαλαρούς Τεταρτογενείς σχηματισμούς της Λακάνης Συκής νομού Χαλκιδικής (Σεπτέμβριος 1998)											
α/α		Ανώνια επιπρεπτό όριο	1	2	3	4	5	6	7	8	9
pH		9,50	6,77	6,40	7,06	7,10	6,88	6,60	7,15	7,89	7,98
Αγωγιμότητα (μS/cm)			682	534	1680	860	919	949	898	981	1722
Παραδοική Μόνιμη Ολική Σκληρότητα	Γαλλικοί βαθμοί		14,8 6,4 21,2	4,5 9,7 14,2	13,6 34,0 47,6	13,0 11,0 24,0	9,1 19,1 28,2	9,0 17,8 26,8	17,6 10,0 27,6	16,5 13,1 29,6	17,3 40,7 58,0
Κατόνια	Na ⁺	175,00	(2,24) 51,49	(2,00) 45,98	(5,86) 134,71	(3,00) 68,96	(3,56) 81,84	(3,69) 84,83	(3,37) 77,47	(3,48) 80,00	(3,98) 91,49
	K ⁺	12,00	(0,03) 1,17	(0,05) 1,95	(0,06) 2,35	(0,03) 1,17	(0,06) 2,35	(0,07) 2,74	(0,25) 9,78	(0,02) 0,78	(0,25) 9,78
	Ca ⁺⁺		(3,40) 68,14	(1,92) 38,48	(5,40) 108,22	(3,40) 68,14	(3,36) 67,33	(3,60) 72,14	(3,72) 74,55	(3,28) 65,73	(6,60) 132,26
	Mg ⁺⁺	50,00	(0,84) 10,21	(0,92) 11,18	(4,12) 50,08	(1,40) 17,02	(2,28) 27,72	(1,76) 21,39	(1,80) 21,88	(2,64) 32,09	(5,00) 60,78
	NH ₄ ⁺	0,50	0,31	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,48
Σύνολο			131,32	97,61	295,36	155,28	179,24	181,1	183,68	178,6	294,79
Ανώνια	Cl ⁻	200,00	(1,70) 60,26	(2,60) 92,16	(7,25) 257,00	(4,00) 141,79	(4,50) 159,52	(4,40) 155,97	(4,30) 152,43	(3,90) 138,25	(9,20) 326,12
	SO ₄ ⁻	250,00	(1,35) 68,84	(1,22) 58,59	(4,87) 233,91	(1,30) 62,44	(2,90) 139,29	(2,79) 134,00	(1,26) 60,52	(2,10) 100,86	(5,13) 246,39
	NO ₃ ⁻	50,00	(0,30) 18,59	(0,11) 6,82	(0,57) 35,34	(0,06) 3,72	(0,03) 1,86	(0,03) 1,86	(0,03) 1,86	(0,06) 3,72	(0,03) 1,86
	NO ₂ ⁻	0,10	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
	HCO ₃ ⁻		(2,96) 180,59	(0,90) 54,91	(2,72) 165,95	(2,60) 158,63	(1,82) 111,04	(1,86) 109,82	(3,52) 214,76	(3,30) 201,34	(3,46) 211,10
Βαρέα Μέταλλα	PO ₄ ⁻⁻⁻	3,00*	0,71	0,87	0,95	1,12	2,45	1,09	1,70	0,36	0,10
	Σύνολο		329,01	213,37	693,16	367,72	414,17	402,75	431,29	444,55	785,59
	Fe	200	0,047	0,047	0,050	0,031	0,058	0,016	0,058	0,026	0,065
	Σύνολο διαλυμένων αλάτων σε ppm		364	283	910	427	495	508	481	527	943

Π.7 Φυσικοχημικές παράμετροι του υπόγειου νερού στους χαλαρούς Τεταρτογενείς σχηματισμούς της Λεκάνης Σκέας νομού Χαλκιδικής (Σεπτέμβριος 1999)										
α/α	Ανιωτικό επιπρεπτό όριο	1	2	3	4	5	6	7	8	9
pH	9,50	6,98	6,50	7,09	-6,99	6,88	6,58	7,34	7,80	7,69
Αγωγιμότητα (μS/cm)		540	595	1620	724	1465	938	902	950	1660
Παροδική		10,3	4,6	15,3	12,7	8,8	9,0	18,1	16	17
Μόνιμη		6,5	9,9	35,9	9,9	38,8	16,8	10,3	12,7	42,1
Ολική		16,8	14,5	51,2	22,6	47,6	25,8	28,4	28,7	59,1
Κατιόντα										
Na ⁺	175,00	(1,96) 45,06	(2,05) 47,12	(5,57) 128,05	(2,57) 59,08	(5,02) 115,40	(3,67) 84,37	(3,40) 78,16	(3,41) 78,39	(2,85) 65,52
K ⁺	12,00	(0,03) 1,17	(0,05) 1,95	(0,13) 5,08	(0,03) 1,17	(0,13) 5,08	(0,06) 2,35	(0,13) 5,08	(0,02) 0,78	(0,24) 9,39
Ca ⁺⁺		(1,96) 39,28	(1,97) 39,48	(5,16) 103,40	(2,32) 46,49	(5,28) 105,81	(3,55) 71,14	(3,40) 68,14	(3,20) 64,13	(6,65) 133,27
Mg ⁺⁺	50,00	(1,40) 17,02	(0,93) 11,30	(5,08) 61,75	(2,20) 26,74	(4,24) 51,54	(1,74) 21,15	(2,28) 27,72	(2,60) 31,60	(4,95) 60,17
NH ₄ ⁺	0,50	0,01	0,03	0,07	0,01	0,04	0,00	0,03	0,00	0,43
Σύνολο		102,54	99,88	298,35	133,49	277,87	179,01	179,138	174,9	268,78
Ανιόντα										
Cl ⁻	200,00	(2,00) 79,89	(2,61) 92,52	(8,50) 301,31	(3,60) 127,61	(9,00) 319,03	(4,38) 155,26	(4,20) 148,88	(3,80) 134,70	(9,10) 322,58
SO ₄ ⁻⁻	250,00	(1,35) 64,84	(1,23) 59,08	(4,37) 209,89	(1,24) 59,56	(4,03) 193,56	(2,72) 130,64	(1,54) 73,97	(2,05) 98,46	(5,05) 242,55
NO ₃ ⁻	50,00	(0,28) 17,36	(0,10) 6,20	(0,42) 26,04	(0,05) 3,09	(0,04) 2,48	(0,02) 1,24	(0,04) 2,48	(0,06) 3,72	(0,03) 1,86
NO ₂ ⁻	0,10	0,01	0,01	0,007	0,008	0,011	0,01	0,016	0,02	0,02
HCO ₃ ⁻	*	(2,06) 125,69	(0,93) 56,74	(3,06) 186,70	(2,54) 154,97	(1,76) 107,38	(1,81) 110,34	(3,62) 220,87	(3,15) 192,19	(3,40) 207,44
PO ₄ ⁻⁻⁻	3,00		0,86				1,07		0,35	0,09
Σύνολο			215,41				398,65		429,44	774,54
Fe	200									
Βαρέα Μέταλλα										
Σύνολο διαλυμένων αλάτων σε ppm		286	317	882	396	795	500	483	507	

Οι συγκεντρώσεις του νατρίου στο υπόγειο νερό που εξετάστηκε, κυμαίνονται από 45,06 μέχρι 134,71mg/l και αυτές του καλίου από 0,78 μέχρι 9,78. Οι συγκεντρώσεις τόσο του νατρίου όσο και του καλίου βρίσκονται σε φυσιολογικά επίπεδα σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία για το πόσιμο νερό. Οι συγκεντρώσεις του ασβεστίου κυμαίνονται από 38,48 μέχρι 133,27 mg/l και αυτές του μαγνησίου 10,21 μέχρι 61,75mg/l. Όπως φαίνεται και στους πίνακες χημικών αναλύσεων δεν υπάρχει ανώτατη επιτρεπτή συγκέντρωση για το ασβέστιο, μεγάλες όμως συγκεντρώσεις του δημιουργούν μεγάλα προβλήματα στα αρδευτικά δίκτυα. Οι συγκεντρώσεις μαγνησίου βρίσκονται σε φυσιολογικά επίπεδα, με εξαίρεση αυτές των δειγμάτων νούμερο τρία και εννέα που υπερβαίνουν την ανώτατη επιτρεπτή τιμή των 50mg/l. Εδώ θα πρέπει να σημειώσουμε ότι κάποια εμφιαλωμένα νερά έχουν συγκεντρώσεις μαγνησίου πάνω από το ανώτατο επιτρεπτό όριο και διαφημίζονται για την υπέρμετρη συγκέντρωσή τους.

Οι συγκεντρώσεις των ιόντων χλωρίου κυμαίνονται από 60,26 μέχρι 326,12mg/l και την θεική από 58,59 μέχρι 246,39mg/l. Υπερβάσεις στα ιόντα χλωρίου από την ανώτατη επιτρεπτή συγκέντρωση των 200mg/l παρατηρούνται σε τρία δείγματα νερού, νούμερα τρία, πέντε και εννέα, ενώ οι συγκεντρώσεις των θεικών βρίσκονται σε φυσιολογικά επίπεδα. Παρά ταύτα όμως οι μεγάλες τιμές των θεικών 193,56 (No5), 209,89(No3) και 242,55mg/l (No9) με τις αντίστοιχες αυξημένες συγκεντρώσεις των ανιόντων του χλωρίου, υποδηλώνουν την υφαλμύρωση των εκεί υπόγειων υδροφόρων οριζόντων. Οι συγκεντρώσεις των όξινων ανθρακικών βρίσκονται σε χαμηλά επίπεδα.

Οι παράμετροι ρύπανσης, αμμώνιο, νιτρικά, νιτρώδη και

φωσφορικά βρίσκονται σε φυσιολογικές συγκεντρώσεις. Παρ' όλα αυτά όμως θα πρέπει να τονιστεί η αυξημένη συγκέντρωση της ρίζας του αμμωνίου 0,48mg, με ανώτατη επιτρεπτή συγκέντρωση τα 0,50mg/l στο υδροσημείο νούμερο εννέα. Ομοίως θα πρέπει να σημειωθεί η αυξημένη συγκέντρωση των νιτρικών 35,34mg/l στο νερό του υδροσημείου νούμερο τρία και των φωσφορικών στο υδροσημείο νούμερο πέντε. Οι αυξημένες αυτές συγκεντρώσεις των παραμέτρων ρύπανσης οφείλονται κατά πάσα πιθανότητα σε ανθρωπογενείς δραστηριότητα.

Οι συγκεντρώσεις σιδήρου κυμαίνονται από 16 μέχρι 65mg/l και χαρακτηρίζονται σαν φυσιολογικές.

Έχοντας υπ' όψη όλα τα παραπάνω το νερό των υδροσημείων νούμερο ένα, δύο, τέσσερα, έξι, επτά και οκτώ, από χημική άποψη και για τα στοιχεία και ενώσεις που εξετάσθηκε κρίνεται κατάλληλο, για πόση. Επειδή όμως πρόκειται για τον φρεάτιο ορίζοντα και η ανθρωπογενής παρέμβαση είναι άμεση σ' αυτή, π.χ. με λιπάσματα, θα πρέπει να αποφεύγεται η πόση του.

Το νερό των εννέα υδροσημείων εκτός από την ποσιμότητα εξετάζεται στη συνέχεια και για την καταλληλότητά του για άρδευση. Χρησιμοποιούμε το συντελεστή προσρόφησης του νατρίου (SAR, Sodium Absorption Ratio), ο οποίος προσδιορίζεται από τις συγκεντρώσεις των κατιόντων του νατρίου, ασβεστίου και μαγνησίου:

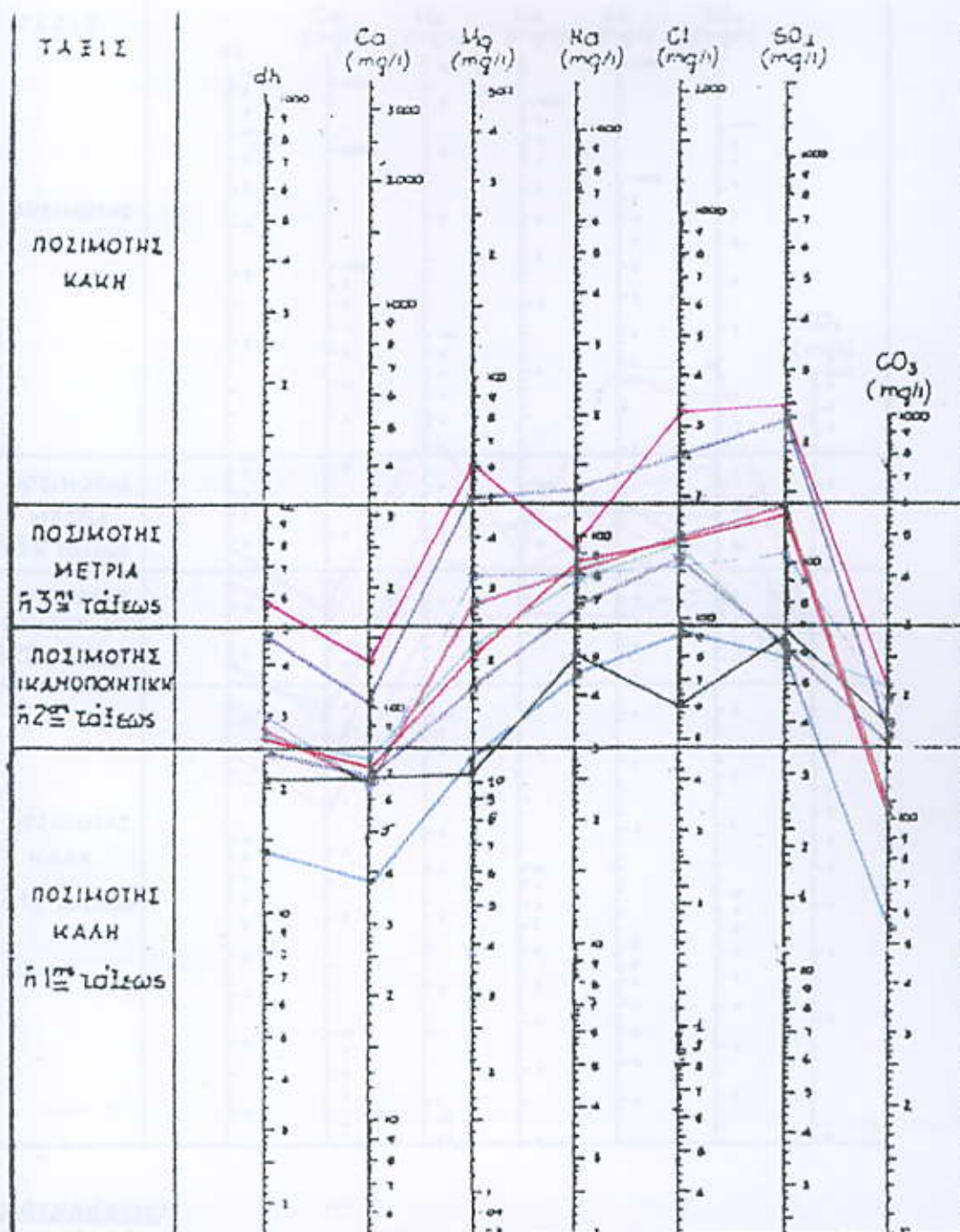
$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}}$$

Οι τιμές SAR (Πίν.8) που προσδιορίσθηκαν με βάση των εξίσωση αυτή (me/l) κυμαίνοντας από 1.183me/l μέχρι 2.686me/l και για το λόγο αυτό

τα υπόγεια νερά του φρεάτιου ορίζονται χαρακτηρίζονται σαν εξαιρετικά για αρδευτικούς σκοπούς. ($SAR \leq 10$ εξαιρετική ποιότητα, από 10-18 καλή, από 18-26 μέτρια και $SAR > 26$ κακή ποιότητα).

Πίνακας 8. Συντελεστής προσφόρησης Νατρίου (SAR, Sodium Absorption Ratio) Σεπτέμβριος 1998 και Σεπτέμβριος 1999.

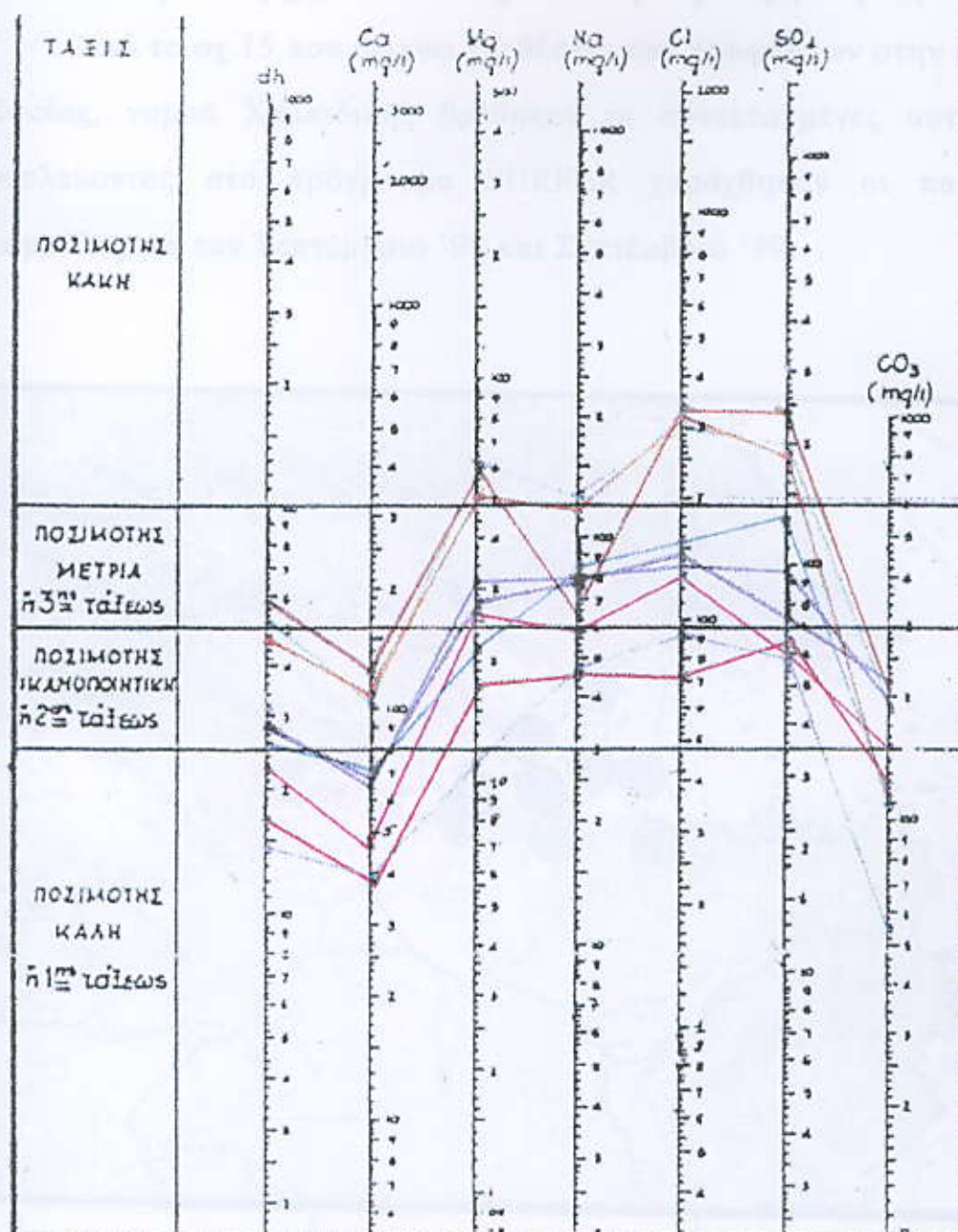
α/α	SAR(1998)	SAR(1999)
1	1.538	1.512
2	1.678	1.702
3	2.686	2.462
4	1.936	1.709
5	2.119	1.055
6	2.254	2.257
7	2.028	2.017
8	2.023	2.003
9	1.653	1.183



Παρατηρήσεις:

dh σκληρότητα σε γαλλικούς βαθμούς. Οι τιμές που προβάλλονται στο διάγραμμα είναι ο μέσος όρος των τιμών που προέκυψαν από τις αναλύσεις των νερών των φρεατίων και των ρεμάτων της περιοχής έρευνας.

Σχήμα 13. Χαρακτηρισμός νερών ως προς την ποσιμότητά τους (Σεπτέμβριος '98) για την περιοχή Συκέας νομού Χαλκιδικής.



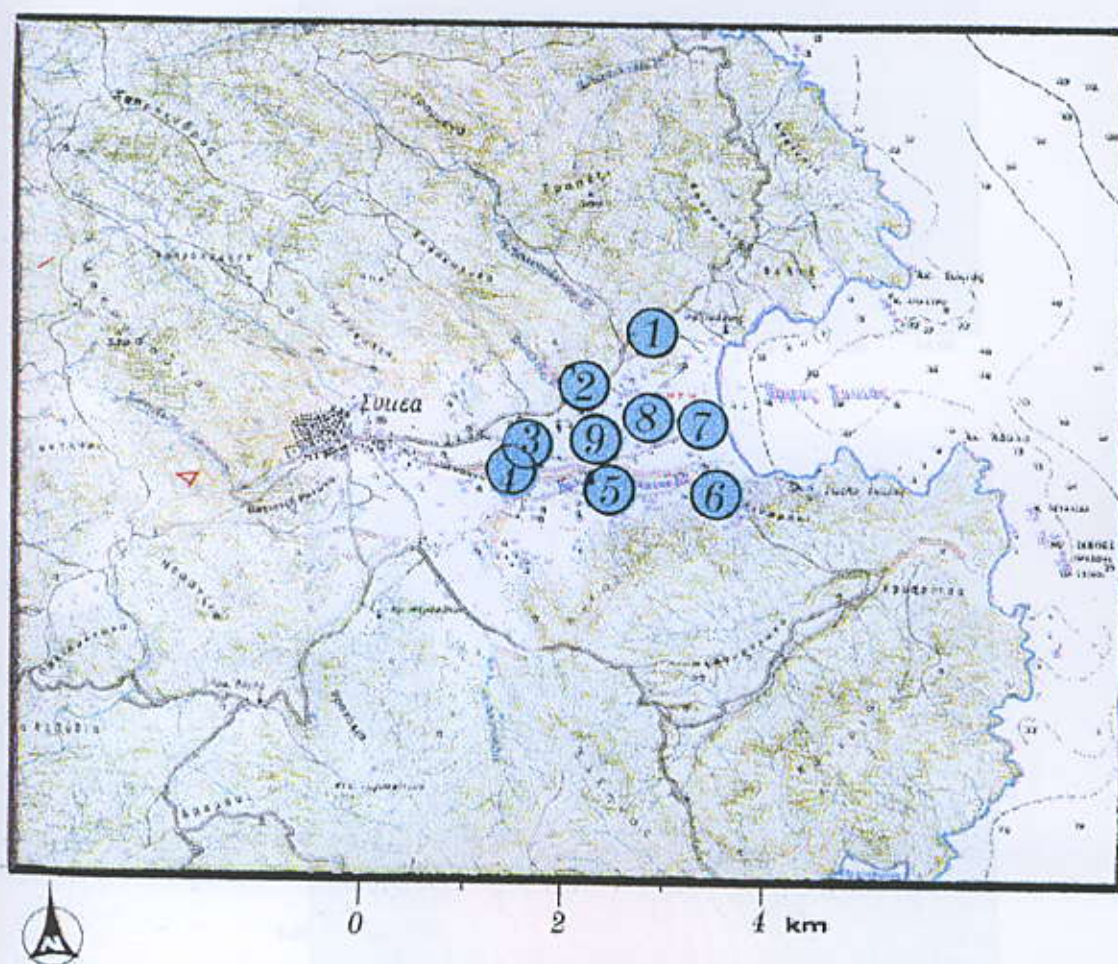
Παρατηρήσεις:

dh σκληρότητα σε γαλλικούς βαθμούς. Οι τιμές που προβάλλονται στο διάγραμμα είναι ο μέσος όρος των τιμών που προέκυψαν από τις αναλύσεις των νερών των φρεατίων και των ρεμάτων της περιοχής έρευνας.

Σχήμα 14. Χαρακτηρισμός νερών ως προς την ποσιμότητά τους (Σεπτέμβριος '99) για την περιοχή Συκέας νομού Χαλκιδικής.

6.4 Καμπύλες χημικών στοιχείων στην εξεταζόμενη περιοχή

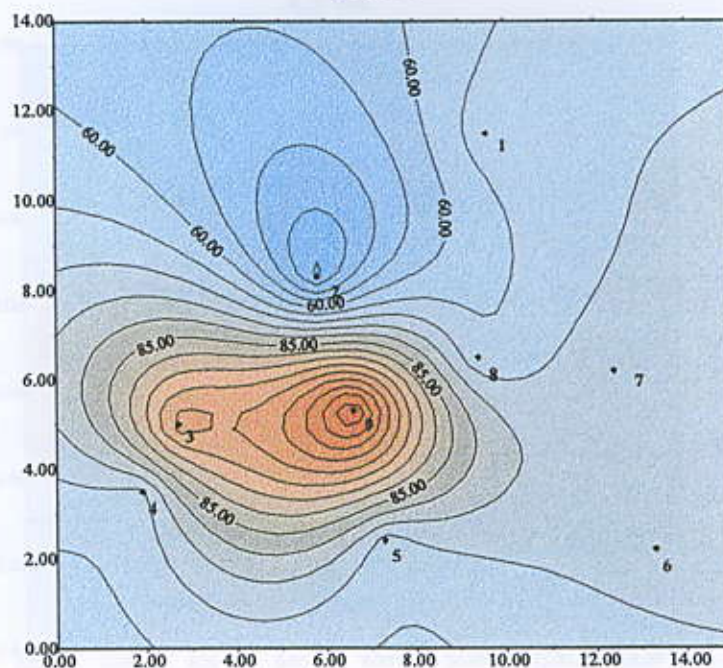
Από το σχ.15 που δείχνει τις θέσεις των γεωφήσεων στην περιοχή Συκέας, νομού Χαλκιδικής βρέθηκαν οι συντεταγμένες αυτών και δουλεύοντας στο πρόγραμμα SURFER χαράχθηκαν οι παρακάτω καμπύλες για τον Σεπτέμβριο '98 και Σεπτέμβριο '99:



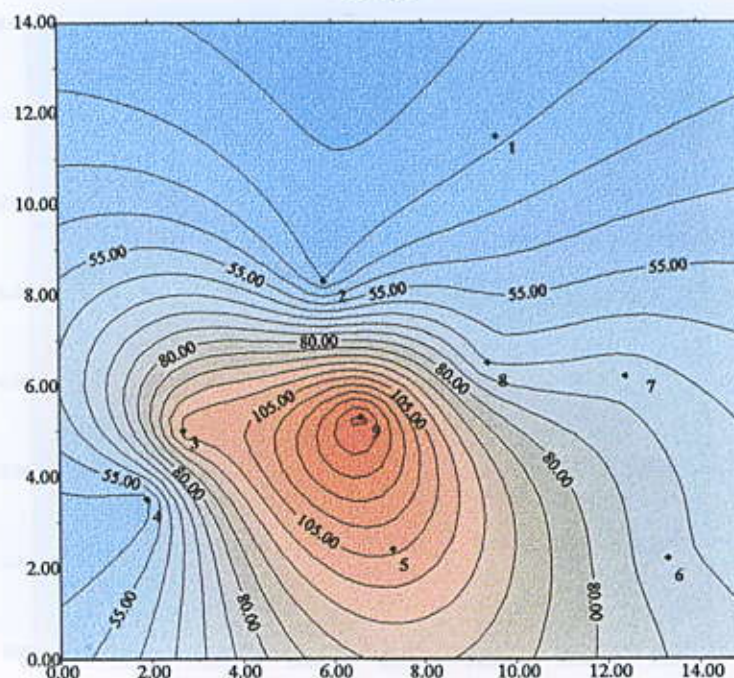
Σχήμα 15. Θέσεις γεωτρήσεων στην περιοχή Συκέας, νομού Χαλκιδικής.

6.4.1 Καμπύλες ίσων τιμών Ca^{++} (mg/l)

Ca 98



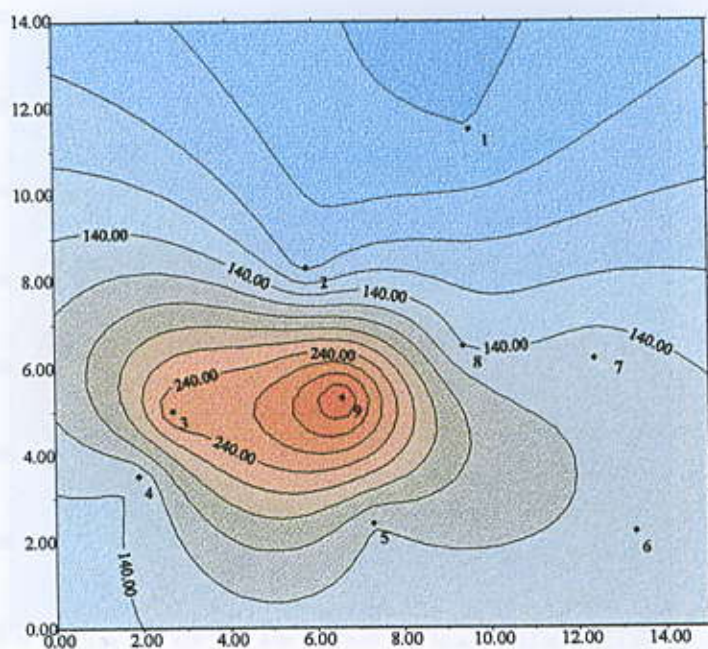
Ca 99



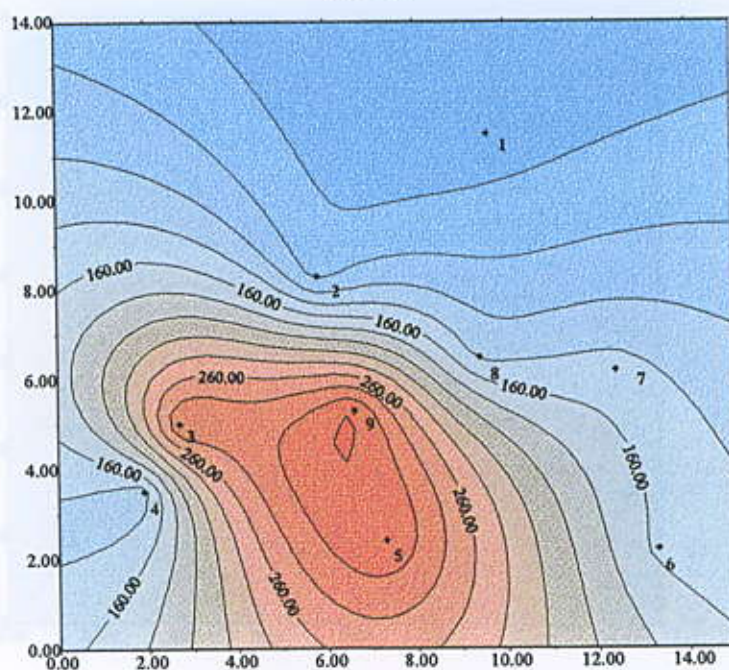
Παρατηρούμε ότι τον Σεπτέμβριο '98 οι μέγιστες τιμές (6,60mg/l) ήταν συγκεντρωμένες στο κέντρο, ενώ τον Σεπτέμβριο '99 έχουμε μια διασπορά με κατεύθυνση ΒΒΔ-ΝΝΑ (6,65mg/l).

6.4.2 Καμπύλες ίσων τιμών Cl^- (mg/l)

Cl 98



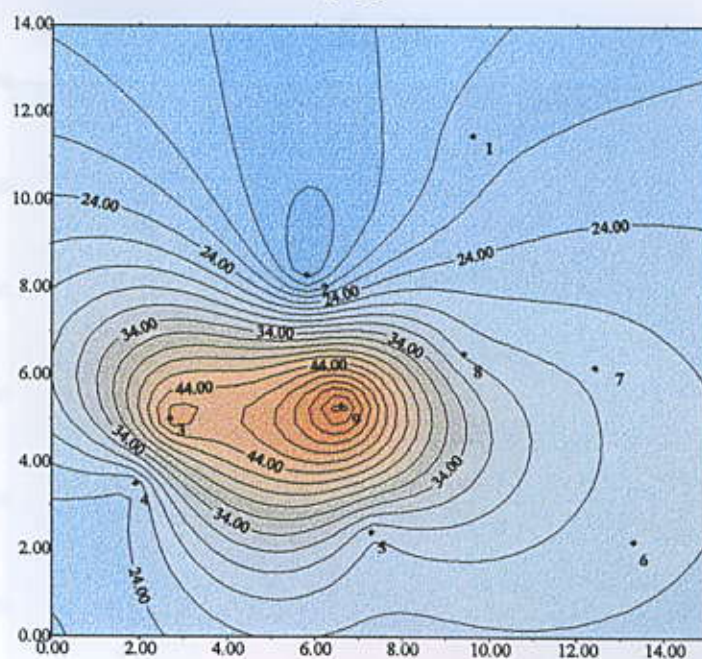
Cl 99



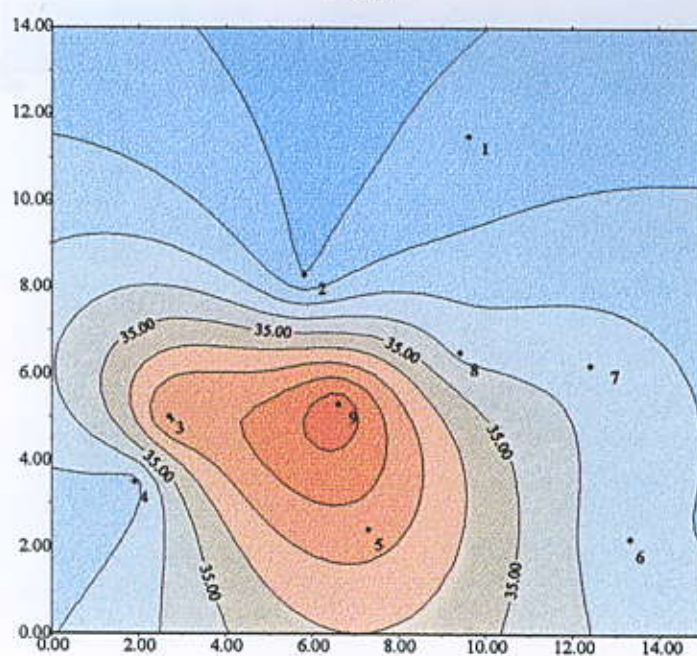
Βλέπουμε ότι μέσα σ' ένα χρόνο, οι μέγιστες τιμές (9,20mg/l) από το κέντρο μετακινήθηκαν προς τα νότια της λεκάνης (9,10mg/l).

6.4.3 Καμπύλες ίσων τιμών σκληρότητας (γαλλικοί βαθμοί)

F 98

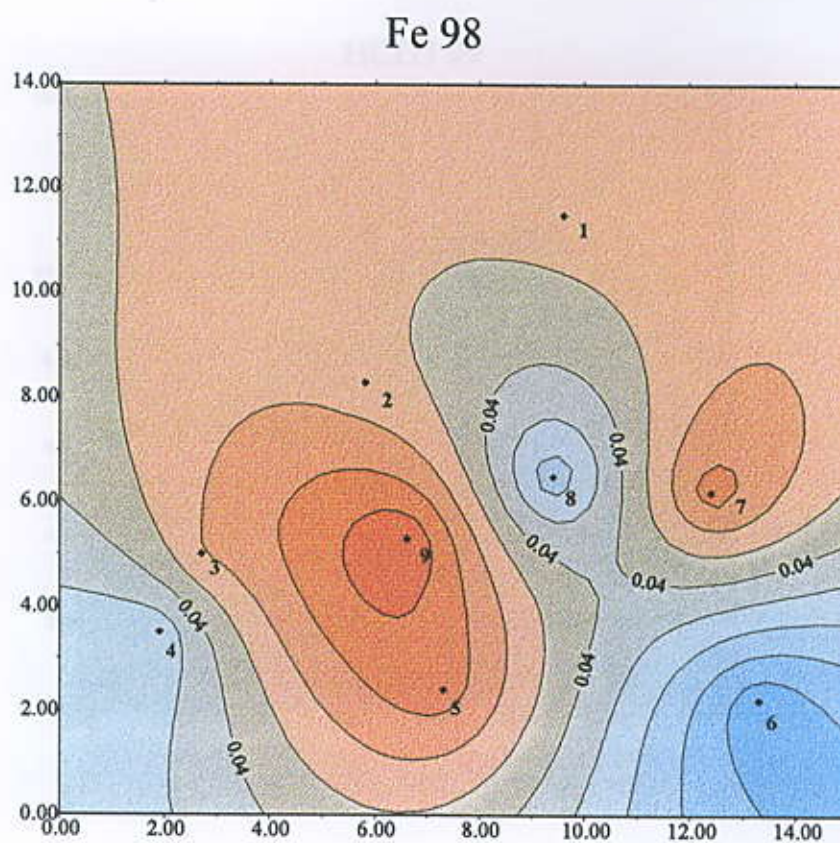


F 99



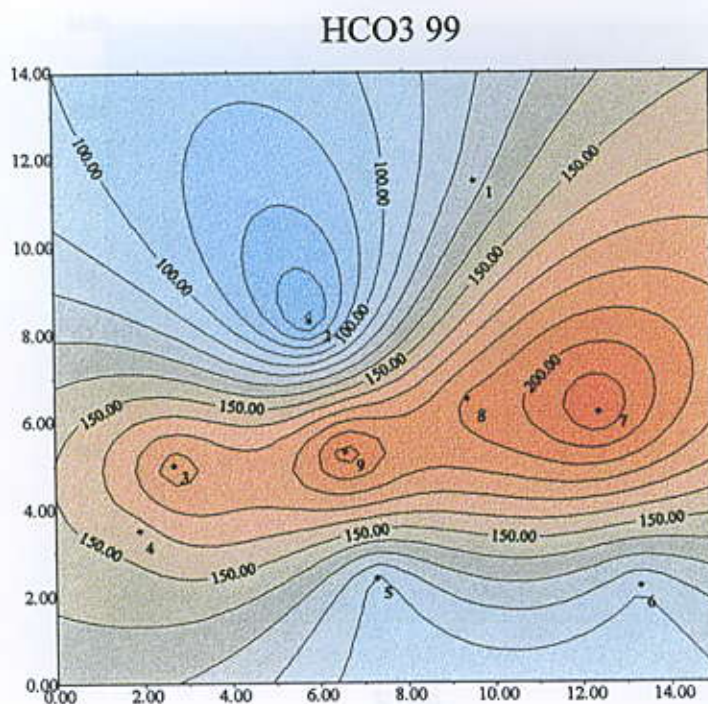
Παρατηρούμε ότι τον Σεπτέμβριο '98 οι μέγιστες τιμές (58,0) ήταν συγκεντρωμένες στο κέντρο και περιφερειακά προς τα δυτικά ενώ τον Σεπτέμβριο '99 βλέπουμε μία συγκέντρωση των μέγιστων τιμών (59,1) στο κέντρο.

6.4.4 Καμπύλες ίσων τιμών Fe^{++} (mg/l)



Εδώ παρατηρούμε δύο μέγιστα, στο κέντρο περίπου της περιοχής και ανατολικά (0,058mg/l και 0,065mg/l).

6.4.5 Καμπύλες ίσων τιμών HCO_3^- (mg/l)

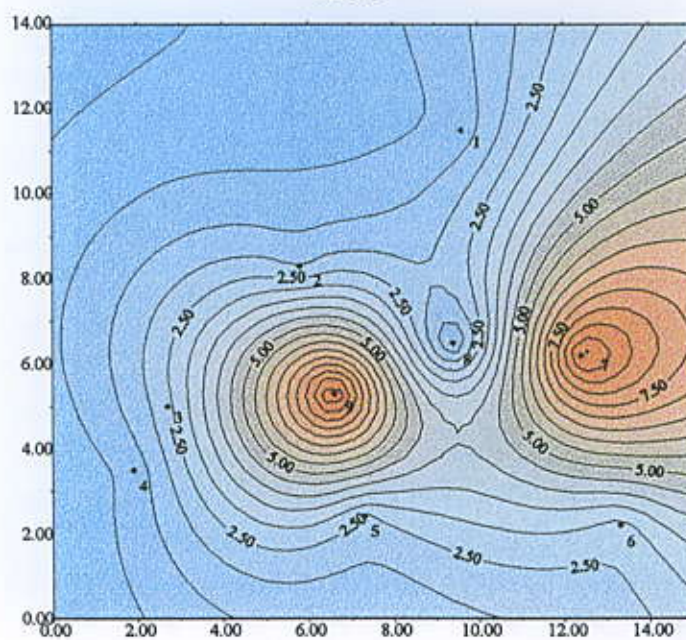


Παρατηρούμε ότι των Σαπυλάρια 99 έχουν μέγιστο στη κέντρο

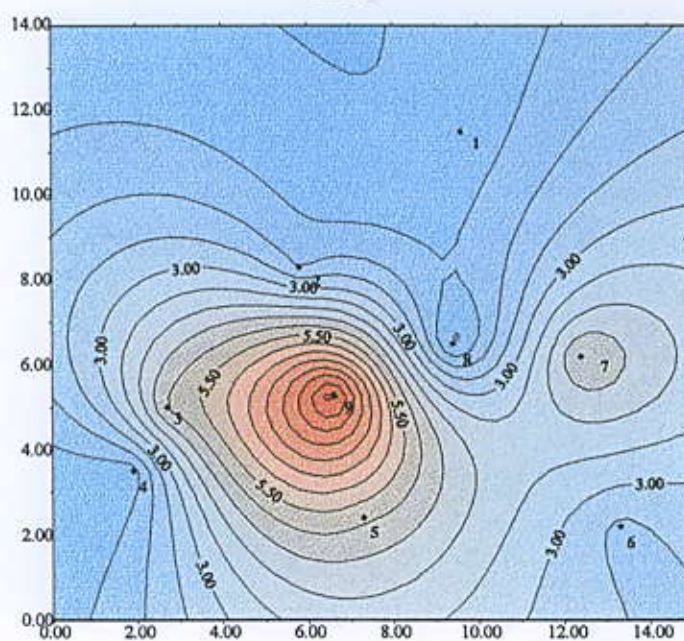
Βλέπουμε μια μετατόπιση των μέγιστων τιμών (3,52mg/l) από το ΒΑ τμήμα της περιοχής κυρίως προς το κέντρο και ανατολικά (3,62mg/l).

6.4.6 Καμπύλες ίσων τιμών K^+ (mg/l)

K 98

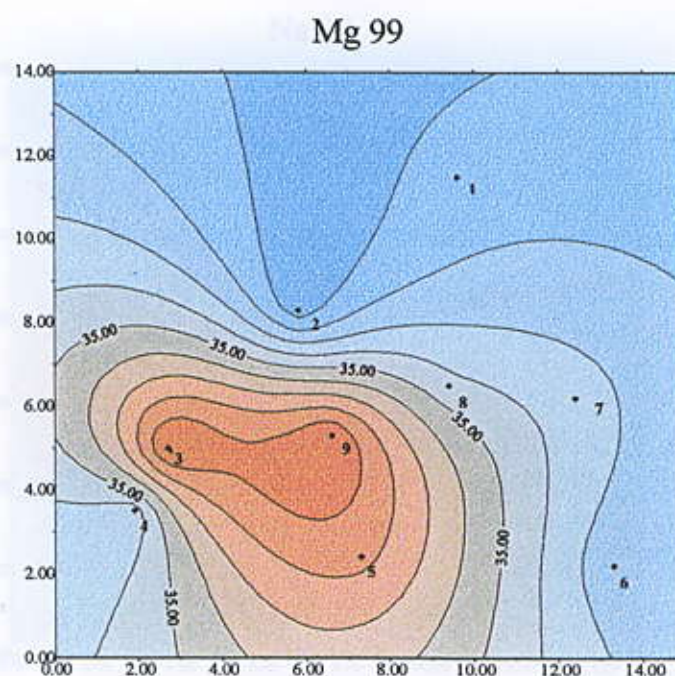
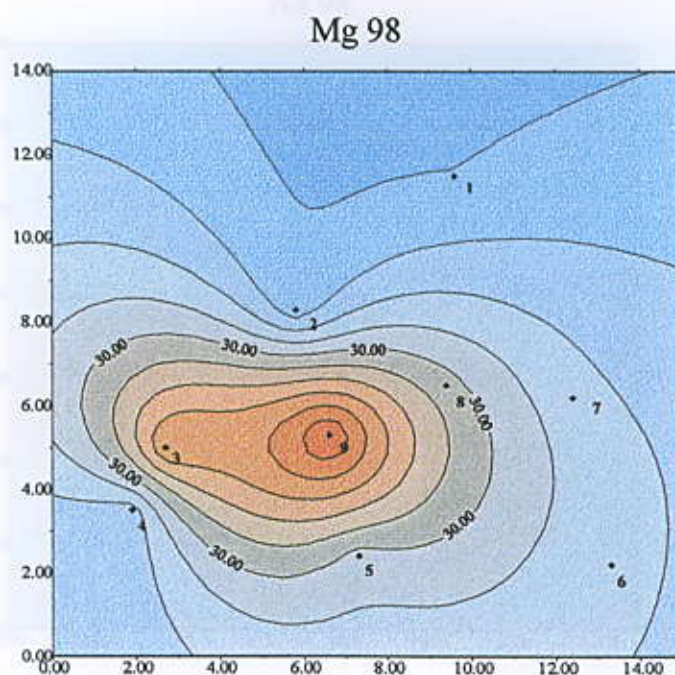


K 99



Παρατηρούμε ότι τον Σεπτέμβριο '98 έχουμε μέγιστα, στο κέντρο περίπου της περιοχής και ανατολικά, (0,25mg/l) ενώ τον Σεπτέμβριο '99 οι μέγιστες τιμές είναι συγκεντρωμένες στο κέντρο (0,24mg/l)

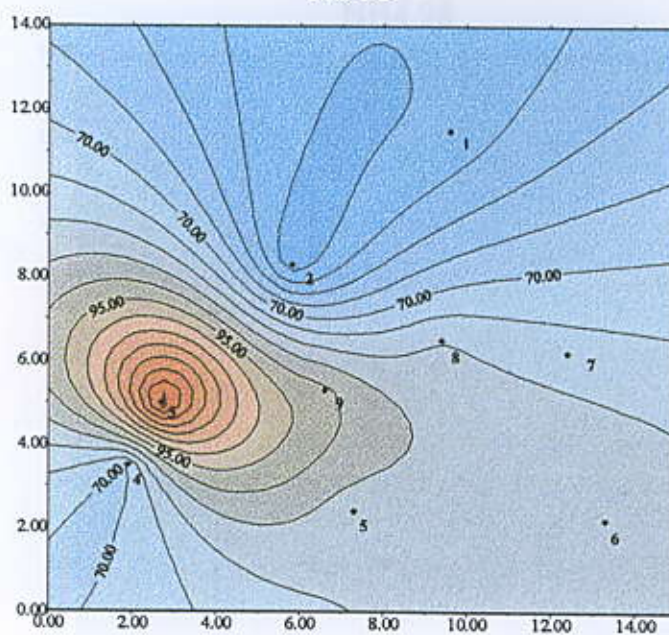
6.4.7 Καμπύλες ίσων τιμών Mg^{++} (mg/l)



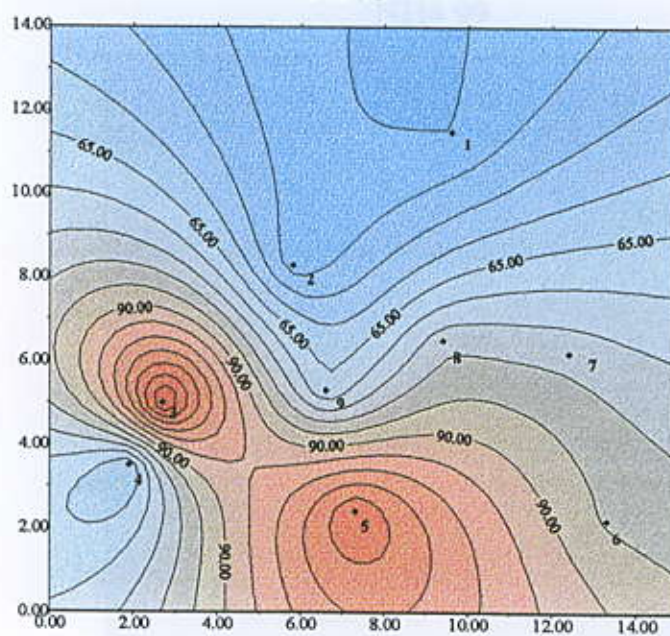
Βλέπουμε ότι μέσα σ' ένα χρόνο οι μέγιστες τιμές μετακινήθηκαν από το κέντρο (5mg/l) προς τα νότια της περιοχής (5,08mg/l).

6.4.8 Καμπύλες ίσων τιμών Na^{++} (mg/l)

Na 98

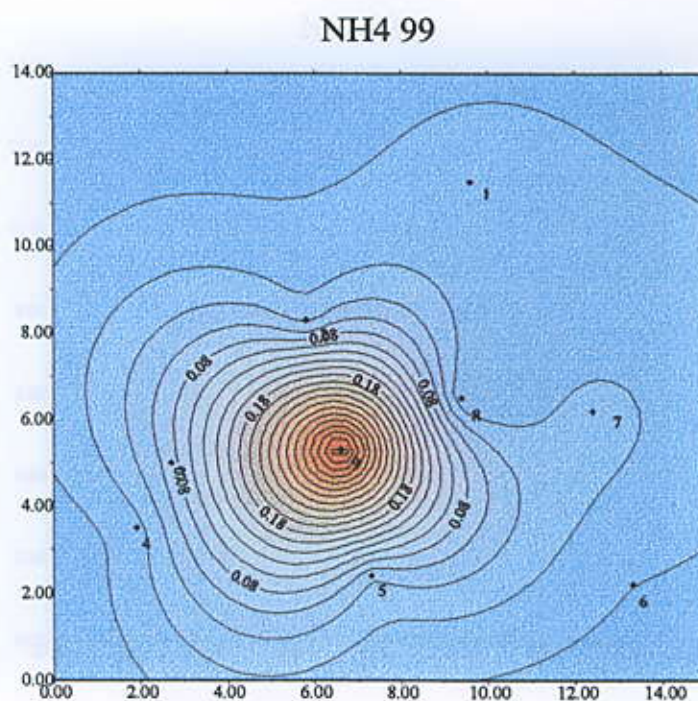
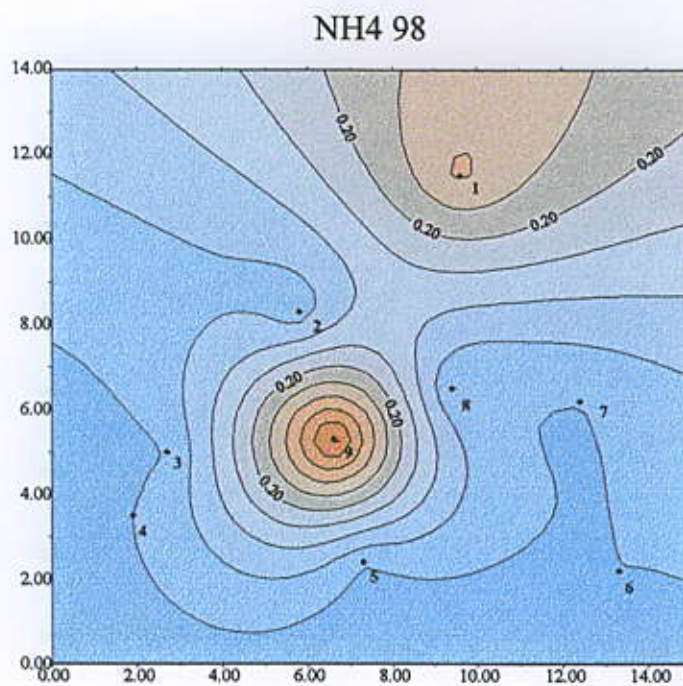


Na 99



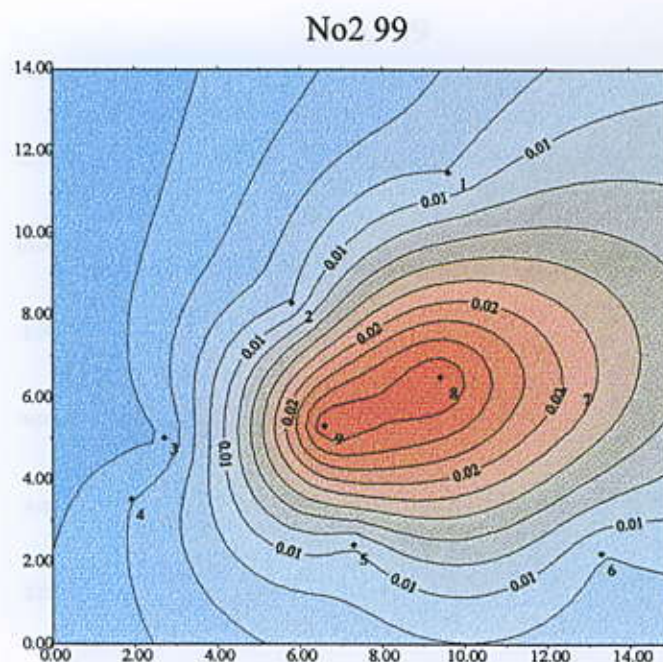
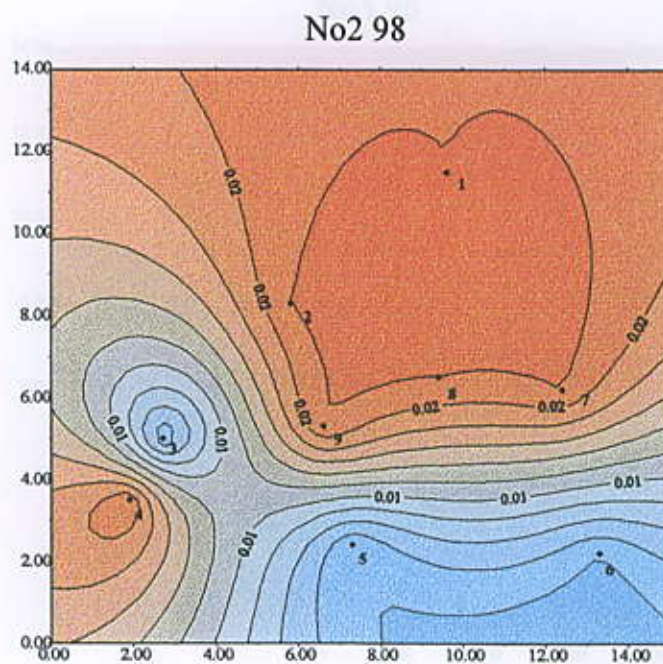
Παρατηρούμε ότι ενώ τον Σεπτέμβριο '98 οι μέγιστες τιμές (5,86mg/l) ήταν συγκεντρωμένες στο δυτικό τμήμα της περιοχής, τον Σεπτέμβριο '99 έχουμε μια μετακίνηση προς N-NNA (5,57mg/l).

6.4.9 Καμπύλες ίσων τιμών NH_4^+ (mg/l)



Δεν παρατηρούμε σημαντικές μεταβολές κατά τη διάρκεια του έτους (0,48mg/l)

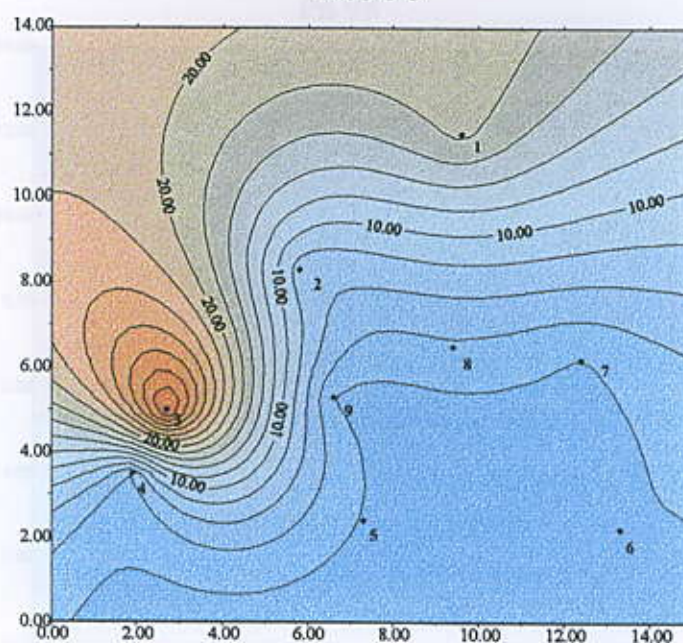
6.4.10 Καμπύλες ίσων τιμών NO_2^- (mg/l)



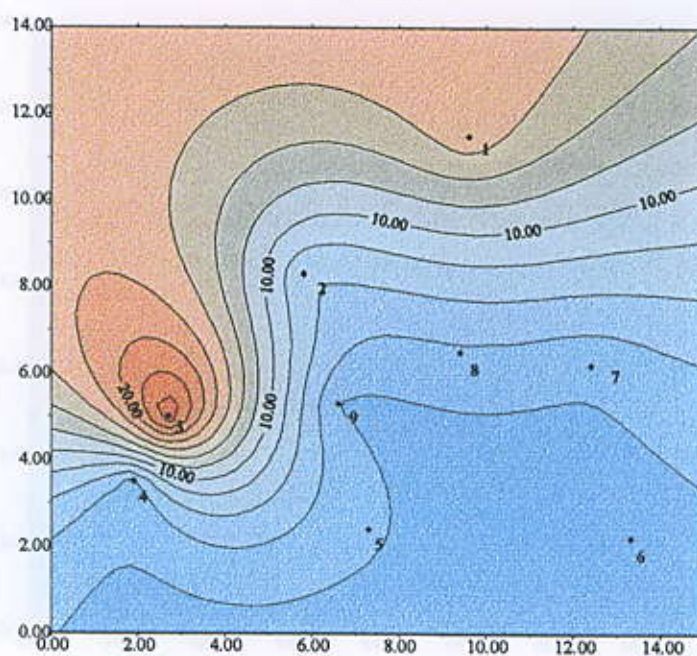
Βλέπουμε ότι τον Σεπτέμβριο '98 οι μέγιστες τιμές (0,02mg/l) είναι συγκεντρωμένες στο ΒΑ και ΝΔ τμήμα της περιοχής ενώ τον Σεπτέμβριο '99 μετακινούνται προς το κέντρο κυρίως της περιοχής (0,02mg/l).

6.4.11 Καμπύλες ίσων τιμών NO_3^- (mg/l)

No3 98



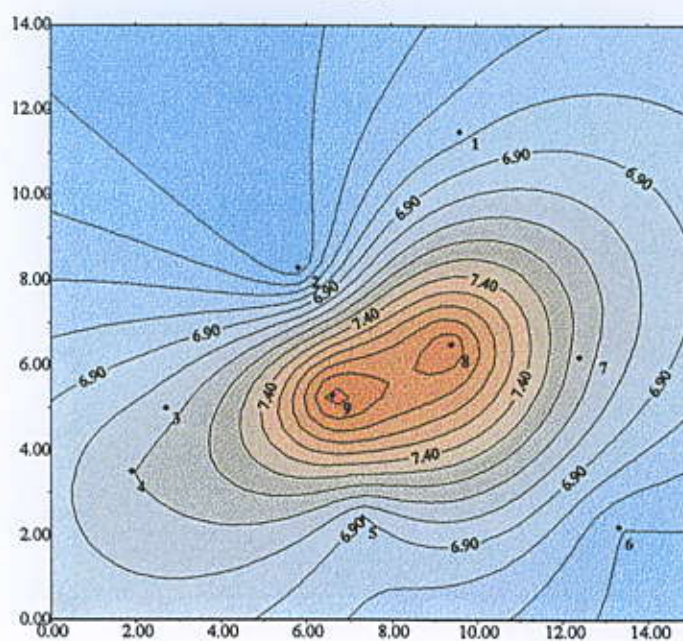
No3 99



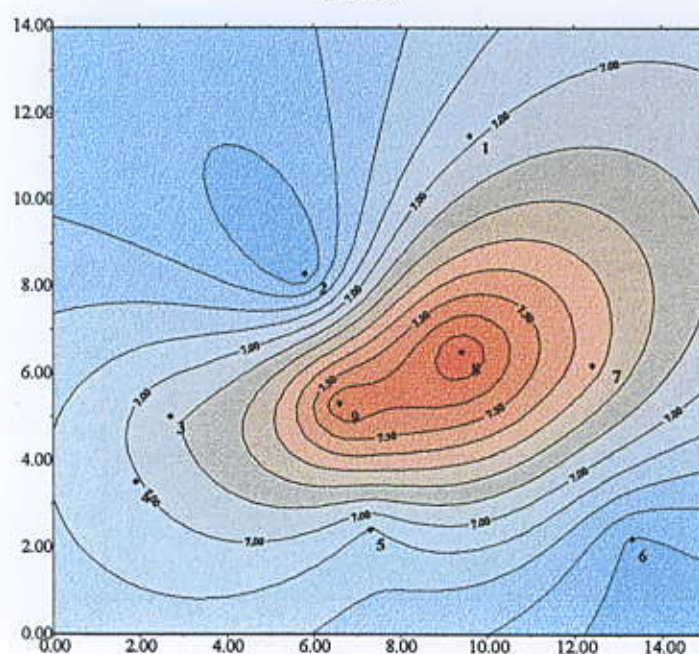
Δεν παρατηρούμε σημαντικές μεταβολές κατά τη διάρκεια του έτους (0,57mg/l).

6.4.12 Καμπύλες ίσων τιμών pH

Ph 98

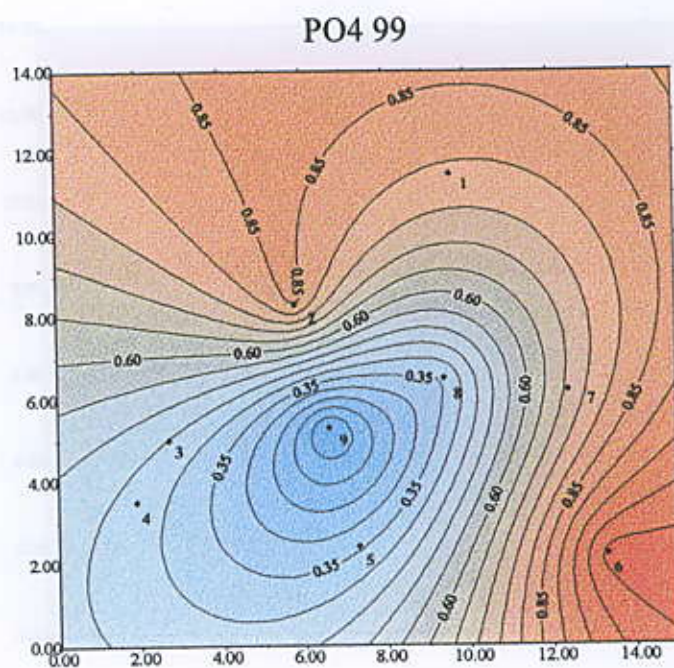
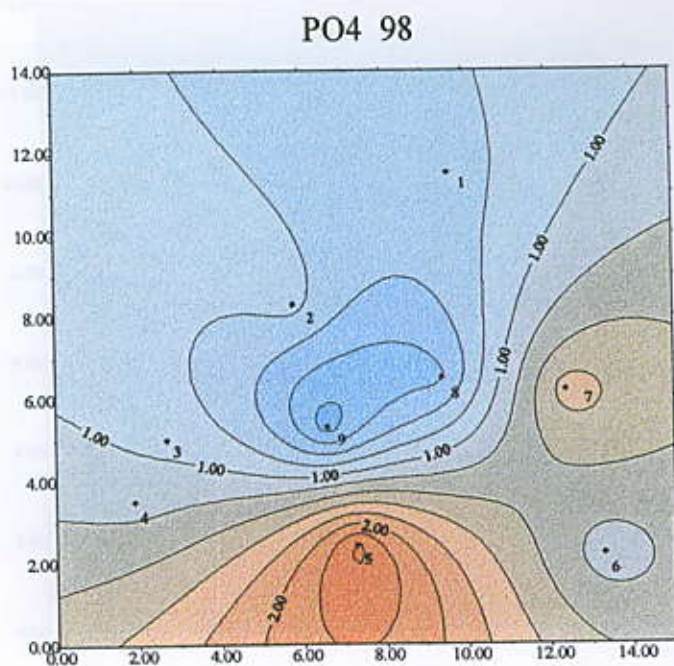


Ph 99



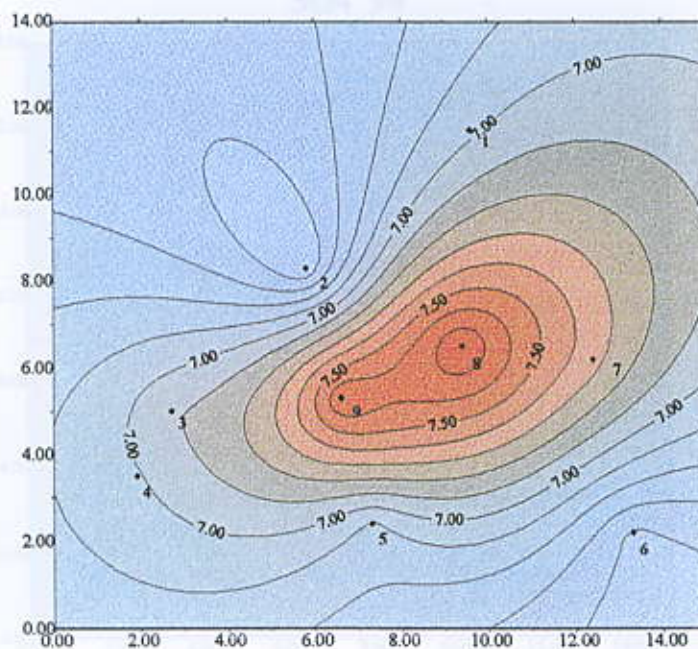
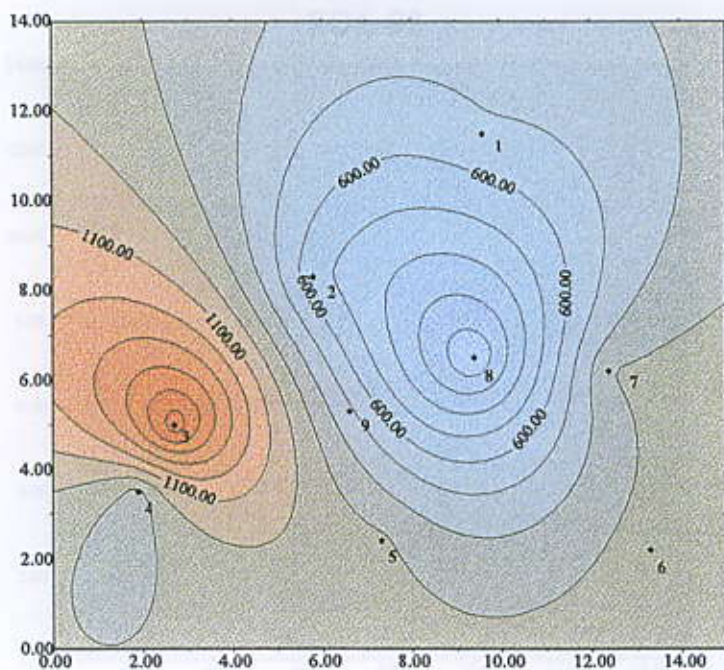
Δεν παρατηρούμε σημαντικές μεταβολές του pH κατά τη διάρκεια του έτους (7,98mg/l).

6.4.13 Καμπύλες ίσων τιμών PO_4^{---} (mg/l)



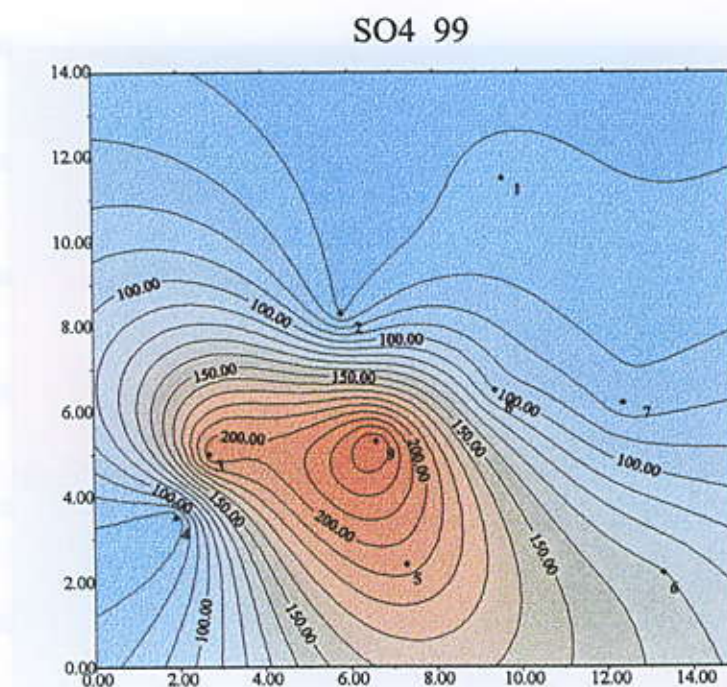
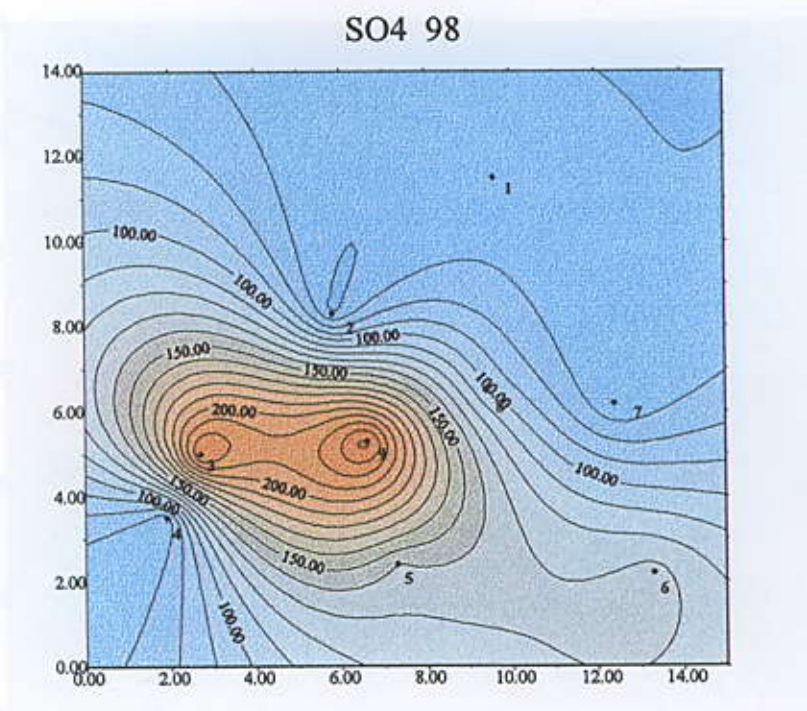
Βλέπουμε ότι κατά τη διάρκεια του έτους οι μέγιστες τιμές (2,45mg/l) μετακινήθηκαν από το νότιο τμήμα της περιοχής προς την περιφέρεια (1,07mg/l).

6.4.14 Καμπύλες ίσων τιμών Αγωγιμότητας ($\mu\text{S}/\text{cm}$)



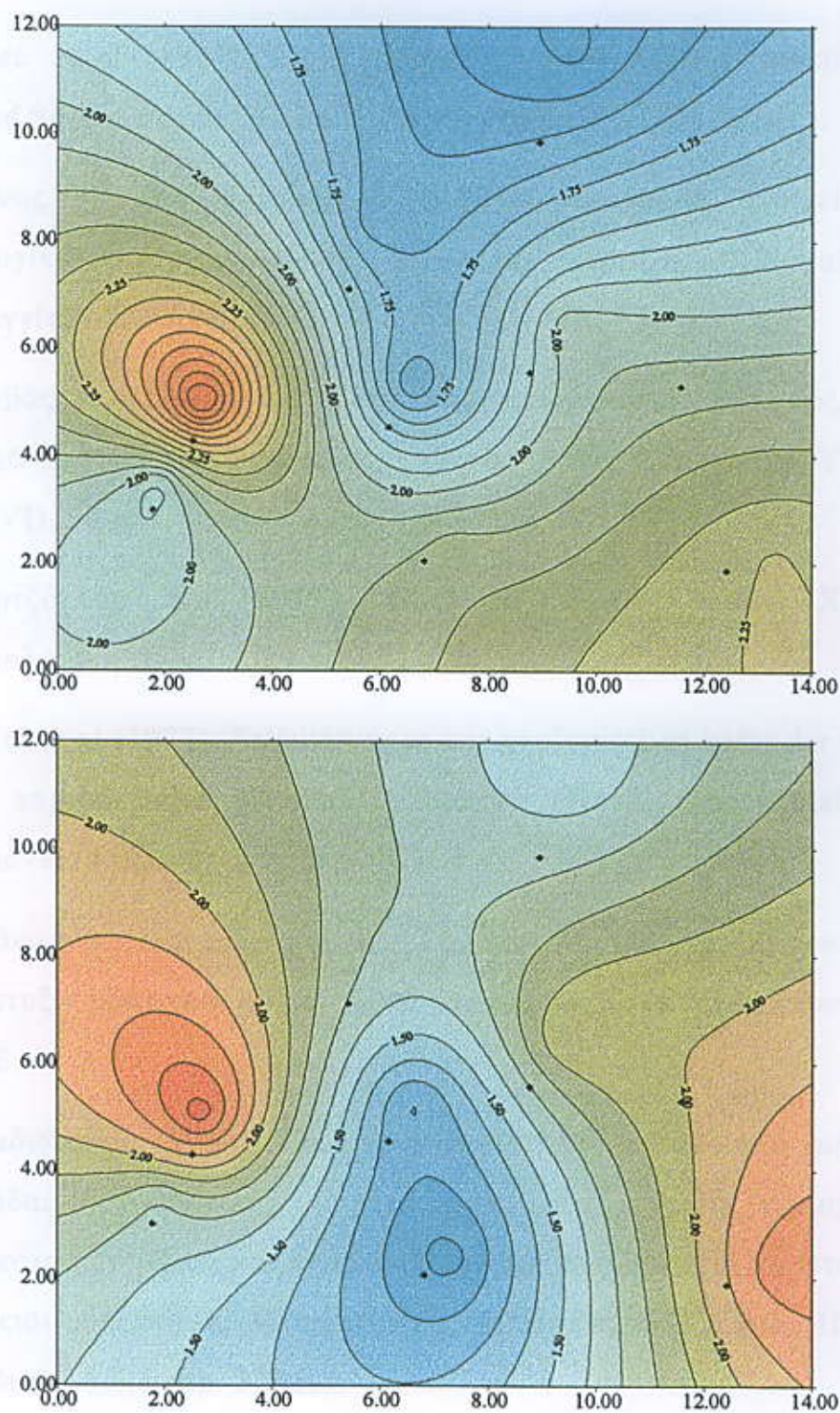
Παρατηρούμε ότι τον Σεπτέμβριο '98 οι μέγιστες τιμές ($1722\mu\text{S}/\text{cm}$) ήταν συγκεντρωμένες στο δυτικό τμήμα της περιοχής, ενώ τον Σεπτέμβριο '99 οι μέγιστες τιμές μετακινήθηκαν προς το κέντρο της περιοχής ($1660\mu\text{S}/\text{cm}$).

6.4.15 Καμπύλες ίσων τιμών SO_4^{--} (mg/l)



Βλέπουμε ότι τον Σεπτέμβριο '98 οι μέγιστες τιμές (5,13mg/l) ήταν συγκεντρωμένες στο κέντρο περίπου της περιοχής ενώ τον Σεπτέμβριο '99 έχουμε μια διασπορά με κατεύθυνση ΒΒΔ-ΝΝΑ (5,05mg/l).

6.4.16 Καμπύλες ίσων τιμών SAR



Παρατηρούμε ότι τον Σεπτέμβριο '98 οι μέγιστες τιμές (2,686 είναι συγκεντρωμένες στο δυτικό τμήμα της περιοχής, ενώ τον Σεπτέμβριο '99 μετατοπίζονται στο δυτικό και ανατολικό της τμήμα (2,462).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Echtlec et al (1987) : Large Southwest-ward ductile thrusting in the Alpine Serbomacedonian belt, Terra Cognita 7, p.106 (abstr.).

Βεράνης Ν. και Μπίτζιος Δ. (1984): Πρόδρομα στοιχεία για τα γεωλογικά-κοιτασματολογικά στοιχεία περιοχής Πυργαδικίων – Μεταγγίτσι- Σαλονικιού. Θεσσαλονίκη, ΙΓΜΕ, 75σελ.

Κακαβάς Ν. (1984): Απογραφή καρστικών πηγών Ελλάδος, Ανατολή Στερεά Ελλάδα (Ν. Φθιώτιδος). Αθήνα, ΙΓΜΕ, Υδρογ. Και Υδρολ. Ερ., Ν28(VI), 32 σελ.

Κατιρτζόγλου Κ. (1999): Ποιότητα νερών νομού Χαλκιδικής. Θεσσαλονίκη, ΙΓΜΕ, 324σελ.

Kockel et al (1977): Erlauterungen zur geologischen karte der Chalkidiki und angrenzender Gebiete 1:100000, Nord Griechenland, BGR, Hannover, 1195.

Μανάνος Α., Κατιρτζόγλου Κ., Τσόμπος Π. και Χατζηκύρκου (1998): Ανάπτυξη υδάτινων πόρων Σιθωνίας νομού Χαλκιδικής, Θεσσαλονίκη, ΙΓΜΕ.

Μελαδιώτης Ι. (1984): Γεωλογική μελέτη του ανατολικού τμήματος της πεδιάδας Θεσσαλονίκης-Γιαννιτσών και ειδικότερα της περιοχής μεταξύ των ποταμών Αξιού και Γαλλικού όπου αναπτύσσονται εκμεταλλεύσιμοι υπόγειοι υδροφορείς. Θεσσαλονίκη, ΑΠΘ, Επ. Πολ. Σχολ., Παρ. Αρ.23, Θ' τόμου, διδ.διατρ. 228σελ.

Mercier J. (1977): Principal results of a neotectonic study of the Aegean Arch and its location within the eastern Mediterranean. VI Col. Geol. Aeg. Reg. (Vol.III): 1281-1291.

Σακελάριος Δ.Θ., (1989): Παραμόρφωση και μεταμόρφωση των πετρωμάτων της Σερβομακεδονικής Μάζας στην ΒΑ Χαλκιδική. Δελ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρ., τομ. XXIII/1, 47-61.

Σιδηρόπουλος Ν. (1991): Ορυκτολογία, Γεωχημεία, Τεκτονική και Μεταμόρφωση του ΒΔ τμήματος της ομάδας Βερτίσκου. Η περιοχή του όρους Δύσωρο (Κρούσια) βόρεια από το Κιλκίς. Θεσσαλονίκη, ΑΠΘ, Διδακτ. Διατρ., 592σελ.

Σούλιος Γ. (1986).

Συρίδης (1990): Λιθοστρωματογραφική, βιοστρωματογραφική και παλαιογραφική μελέτη των Νεογενών-Τεταρτογενών, Τηματογενών σχηματισμών της χερσονήσου Χαλκιδικής, Θεσσαλονίκη, ΑΠΘ, διδ. διατρ., 243σελ.

Ψιλοβίκος Α., Συρίδης Γ. και Χαλαμίδου Ε. (1988): Παράκτια φαινόμενα στη χερσόνησο της Κασσάνδρας της Χαλκιδικής. Αθήνα, Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρ., XX, 325-339.

