

Πρακτικά		4ου Συνεδρίου		Μάιος 1988	
Δελτ. Ελλην. Γεωλ. Εταιρ.	Τομ. XXIII/3	σελ.	297-318	Αθήνα	1989
Bull. Geol. Soc. Greece	Vol.	pag.		Athens	

ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΣΤΑ ΠΛΑΙΣΙΑ ΤΗΣ ΜΙΚΡΟΖΩΝΙΚΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΤΗΣ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ

I. ΚΟΥΜΑΝΤΑΚΗ, Θ. ΜΙΜΙΔΗ, Ξ. ΣΤΑΥΡΟΠΟΥΛΟΥ *

Σ Υ Ν Ο Ψ Η

Ερευνούνται οι υδρογεωλογικές συνθήκες της πόλης της Καλαμάτας και της ευρύτερης προοχωματικής παραλιακής ζώνης.

Μελετάται η υδροδυναμική συμπεριφορά των υπόγειων υδροφόρων οριζόντων και συντάσσονται χάρτες ισοβαθών και ισοπιεζομετρικών καμπυλών.

Διερευνάται η ποιότητα των υπόγειων νερών και διαπιστώνεται ότι είναι ακατάλληλα για πόση και οικιακή χρήση, ενώ είναι καλά για αρδεύσεις. Διαπιστώνεται επίσης ότι προσβάλλουν τα μεταλλικά τμήματα και υλικά των κατασκευών που βρίσκονται σε επαφή με αυτά, άλλοτε διαβρώνοντάς τα και άλλοτε αποθέτοντας άλατα.

A B S T R A C T

The hydrogeological conditions of the town of Kalamata is investigated together with the wider coastal zonal area of alluvial deposits.

The hydrodynamic behaviour of the aquifers is studied and maps of equal depths and piezometric surfaces are constructed.

The water utilization for drinking and domestic purposes is not recommended, while for irrigation groundwaters satisfy the requirements or standards. Also it is found out that these waters have tendencies to form scale or corrode metallic parts or structure material in case they come in contact with them.

J. KOUmantAKIS, T. MIMIDES and X. STAVROPOULOS - Hydrogeological investigation of Kalamata area (Peloponnese, Greece)

* Nat. Tech. Univ., 42nd Milession Str., Athens 106 81
Ψηφιακή Βιβλιοθήκη "Θεόφραστος" - Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μετά από τους καταστρεπτικούς σεισμούς της Καλαμάτας το Σεπτέμβριο του 1986, ο Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας (Ο.Α.Σ.Π.) στην επιθυμία του να αποκτηθεί η καλύτερη δυνατή γνώση που θα επέτρεπε την ασφαλέστερη ανοικοδόμηση της πόλης, ζήτησε από τα Πανεπιστήμια και Πολυτεχνεία της χώρας, να συνδράμουν στην κατεύθυνση αυτή.

Σε σύσκεψη που προκάλεσε στις 6-10-1986 στα γραφεία του, γνωστοποιήθηκε το θέμα στους πανεπιστημιακούς, τόνισε το επείγον του χαρακτήρα του και ζητήθηκε να υποβληθούν σχετικές προτάσεις για χρηματοδότηση ερευνητικών προγραμμάτων, τα οποία θα είχαν σκοπό τη συγκέντρωση όλων των στοιχείων που θα χρειαζόταν για τη σύνταξη της Μικροζωνικής μελέτης της Καλαμάτας.

Τα Α.Ε.Ι. ανταποκρίθηκαν άμεσα και ανεξάρτητα από την έναρξη των χρηματοδοτήσεων άρχισαν να συγκεντρώνουν τα απαραίτητα στοιχεία με επί τόπου μεταβάσεις, δεδομένου ότι είχαν αναλάβει τη δέσμευση μέχρι το τέλος του 1986 να υποβάλλουν Προκαταρκτικές εκθέσεις.

Μέσα σ' αυτή την προσπάθεια, ύστερα από πρότασή μας, ο ΟΑΣΠ χρηματοδότησε ερευνητικό πρόγραμμα με τίτλο "Υδρογεωλογική έρευνα στα πλαίσια της μικροζωνικής της Καλαμάτας". Η προκαταρκτική έκθεση παραδόθηκε τον Δεκέμβριο του 1986 και η τελική τον Ιούλιο του 1987.

Τα στοιχεία που συγκεντρώσαμε και τα συμπεράσματα από την αξιολόγησή τους παραθέτουμε συνοπτικά στην εργασία αυτή. Αναλυτικότερα ο ενδιαφερόμενος μπορεί να τα αναζητήσει στον Ο.Α.Σ.Π. και στο Ε.Μ.Π. (Τομέας Γεωλογικών Επιστημών).

2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΚΑΙ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Η πεδινή παραλιακή ζώνη της Καλαμάτας καλύπτεται από αλλούβια, σημαντικού πάχους κατά θέσεις. Στην περιοχή του πολεοδομικού συγκροτήματος η αλλοβιακή αυτή ζώνη αποκτά το μεγαλύτερο πλάτος της και επεκτείνεται από μορφή γλώσσας προς το εσωτερικό εκατέρωθεν της κοίτης του ποταμού Νέδοντα. Σημαντικές αλλοβιακές αποθέσεις υπάρχουν επίσης εκατέρωθεν των μεγάλων χειμάρρων που κατεβαίνουν από την ανατολικά της πόλης ορεινή περιοχή.

Όλες αυτές οι αποθέσεις είναι χειμαρροποτάμιας προέλευσης με ποικίλη λιθολογική και κοκκομετρική σύνθεση, όπως λεπτομερέστερα αναφέρεται παρακάτω.

Υπόβαθρο τους αποτελούν, αλλού οι παλαιότερες τεταρτογενείς, χειμαρροποτάμιας επίσης προέλευσης, αποθέσεις και αλλού νεογενείς σχηματισμοί. Στον ανατολικότερο τομέα είναι πολύ πιθανόν υπόβαθρο των τεταρτογενών αποθέσεων να αποτελεί ο φλύσχης, η εξάπλωση του οποίου είναι σημαντική στην ορεινή ζώνη ΒΑ της Καλαμάτας.

Το γεωλογικό περιβάλλον στην ευρύτερη γειτονική έκταση διακρίνεται στον υδρολιθολογικό χάρτη του σχήματος 1.

Με βάση τις γεωλογικές παρατηρήσεις και πληροφορίες από γεωτεχνικές έρευνες (παλαιότερες για μελέτες θεμελιώσεων και πρόσφατες στα πλαίσια της Μικροζωνικής μελέτης) είναι δυνατόν, σε σχέση με τις υφιστάμενες υδρολιθολογικές συνθήκες της ευρείας περιοχής να αναφερθούν τα εξής :

α) Οι χειμαρροποτάμιας τεταρτογενείς αποθέσεις, διακρίνονται σε παλιές και νέες. Εξ αιτίας του τρόπου απόθεσής τους δεν χαρακτηρίζονται από μια ομαλή στρωματογραφική αλληλουχία, αλλά από μια ακαταστασία, που εκδηλώνεται με ποικιλία (σε μέγεθος και μορφή) φακών και αποσπασμένων ενστρώσεων υλικών ποικίλης κοκκομετρίας και λιθολογικής σύστασης. Υπ' αυτές τις συνθήκες είναι φυσικό να υπάρχουν σημαντικές διαφορές τιμών υδροπερατότητας, τόσο κατά την κατακόρυφη όσο και κατά την οριζόντια έννοια και επομένως μεγάλη ποικιλία τιμών υδαταγωγιμότητας από θέση σε θέση.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μετά από τους καταστρεπτικούς σεισμούς της Καλαμάτας το Σεπτέμβριο του 1986, ο Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας (Ο.Α.Σ.Π.) στην επιθυμία του να αποκτηθεί η καλύτερη δυνατή γνώση που θα επέτρεπε την ασφαλέστερη ανοικοδόμηση της πόλης, ζήτησε από τα Πανεπιστήμια και Πολυτεχνεία της χώρας, να συνδράμουν στην κατεύθυνση αυτή.

Σε σύσκεψη που προκάλεσε στις 6-10-1986 στα γραφεία του, γνωστοποιήθηκε το θέμα στους πανεπιστημιακούς, τόνισε το επείγον του χαρακτήρα του και ζητήθηκε να υποβληθούν σχετικές προτάσεις για χρηματοδότηση ερευνητικών προγραμμάτων, τα οποία θα είχαν σκοπό τη συγκέντρωση όλων των στοιχείων που θα χρειαζόταν για τη σύνταξη της Μικροζωνικής μελέτης της Καλαμάτας.

Τα Α.Ε.Ι. ανταποκρίθηκαν άμεσα και ανεξάρτητα από την έναρξη των χρηματοδοτήσεων άρχισαν να συγκεντρώνουν τα απαραίτητα στοιχεία με επί τόπου μεταβάσεις, δεδομένου ότι είχαν αναλάβει τη δέσμευση μέχρι το τέλος του 1986 να υποβάλλουν Προκαταρκτικές εκθέσεις.

Μέσα σ' αυτή την προσπάθεια, ύστερα από πρότασή μας, ο ΟΑΣΠ χρηματοδότησε ερευνητικό πρόγραμμα με τίτλο "Υδρογεωλογική έρευνα στα πλαίσια της μικροζωνικής της Καλαμάτας". Η προκαταρκτική έκθεση παραδόθηκε τον Δεκέμβριο του 1986 και η τελική τον Ιούλιο του 1987.

Τα στοιχεία που συγκεντρώσαμε και τα συμπεράσματα από την αξιολόγησή τους παραθέτομε συνοπτικά στην εργασία αυτή. Αναλυτικότερα ο ενδιαφερόμενος μπορεί να τα αναζητήσει στον Ο.Α.Σ.Π. και στο Ε.Μ.Π. (Τομέας Γεωλογικών Επιστημών).

2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΚΑΙ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Η πεδινή παραλιακή ζώνη της Καλαμάτας καλύπτεται από αλλούβια, σημαντικού πάχους κατά θέσεις. Στην περιοχή του πολεοδομικού συγκροτήματος η αλλοουβιακή αυτή ζώνη αποκτά το μεγαλύτερο πλάτος της και επεκτείνεται υπό μορφή γλώσσας προς το εσωτερικό εκατέρωθεν της κοίτης του ποταμού Νέδοντα. Σημαντικές αλλοουβιακές αποθέσεις υπάρχουν επίσης εκατέρωθεν των μεγάλων χειμάρρων που κατεβαίνουν από την ανατολικά της πόλης ορεινή περιοχή.

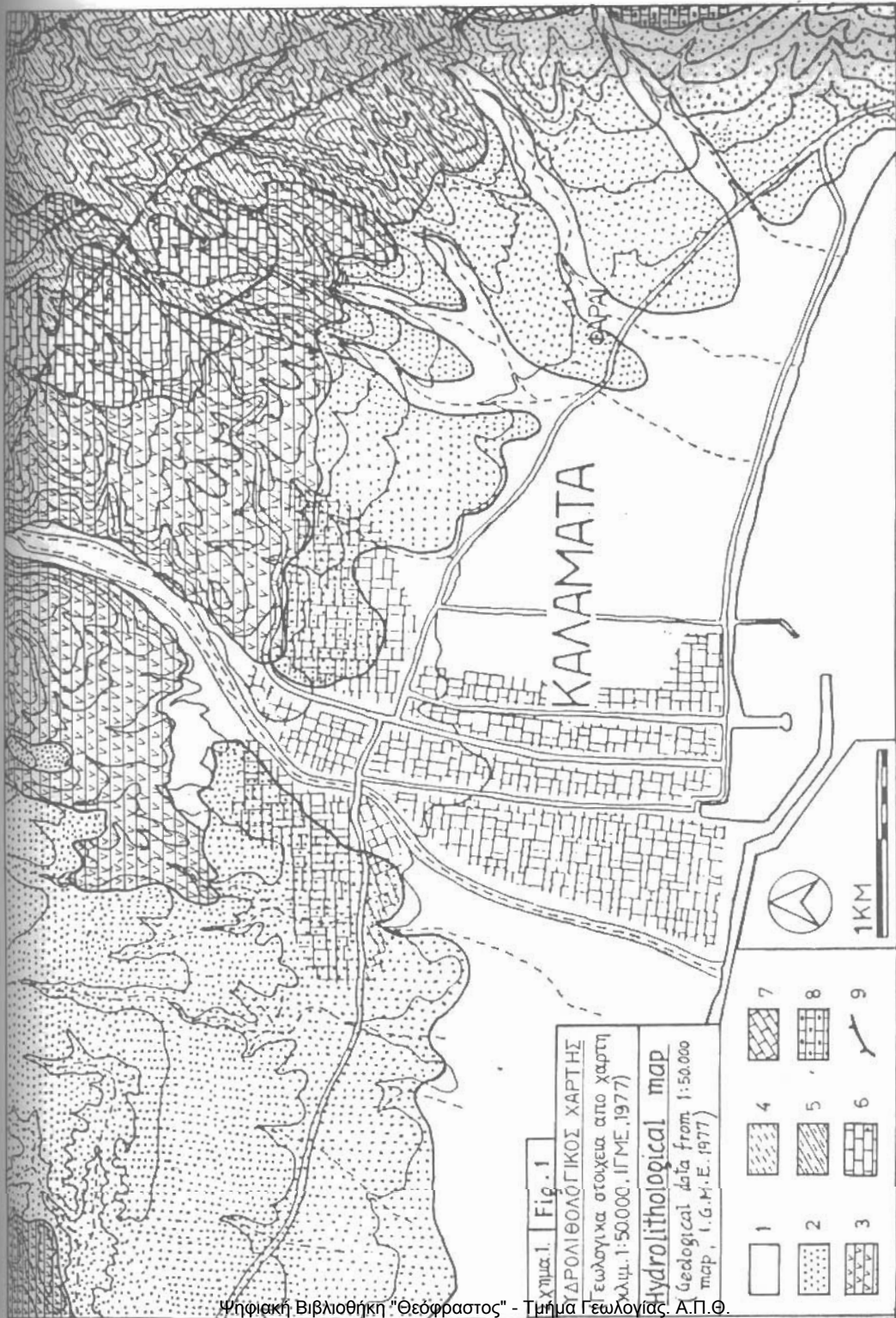
Όλες αυτές οι αποθέσεις είναι χειμαρροποτάμιας προέλευσης με ποικίλη λιθολογική και κοκκομετρική σύνθεση, όπως λεπτομερέστερα αναφέρεται παρακάτω.

Υπόβαθρό τους αποτελούν, αλλού οι παλαιότερες τεταρτογενείς, χειμαρροποτάμιας επίσης προέλευσης, αποθέσεις και αλλού νεογενείς σχηματισμοί. Στον ανατολικότερο τομέα είναι πολύ πιθανόν υπόβαθρο των τεταρτογενών αποθέσεων να αποτελεί ο φλύσχος, η εξάπλωση του οποίου είναι σημαντική στην ορεινή ζώνη ΒΑ της Καλαμάτας.

Το γεωλογικό περιβάλλον στην ευρύτερη γειτονική έκταση διακρίνεται στον υδρολιθολογικό χάρτη του σχήματος 1.

Με βάση τις γεωλογικές παρατηρήσεις και πληροφορίες από γεωτεχνικές έρευνες (παλαιότερες για μελέτες θεμελιώσεων και πρόσφατες στα πλαίσια της Μικροζωνικής μελέτης) είναι δυνατόν, σε σχέση με τις υφιστάμενες υδρολιθολογικές συνθήκες της ευρείας περιοχής να αναφερθούν τα εξής :

α) Οι χειμαρροποτάμιας τεταρτογενείς αποθέσεις, διακρίνονται σε παλιές και νέες. Εξ αιτίας του τρόπου απόθεσής τους δεν χαρακτηρίζονται από μια ομαλή στρωματογραφική αλληλουχία, αλλά από μια ακαταστασία, που εκδηλώνεται με ποικιλία (σε μέγεθος και μορφή) φακών και αποσφηνούμενων ενστρώσεων υλικών ποικίλης κοκκομετρίας και λιθολογικής σύστασης. Υπ' αυτές τις συνθήκες είναι φυσικό να υπάρχουν σημαντικές διαφορές τιμών υδροπερατότητας, τόσο κατά την κατακόρυφη όσο και κατά την οριζόντια έννοια και επομένως μεγάλη ποικιλία τιμών υδαταγωγιμότητας από θέση σε θέση.



Στις νεότερες χειμαρροποτάμιες αποθέσεις διακρίνονται δύο ενότητες : του τεφρού ιλυώδους Αμμοχάλικου, με λεπτές ενστρώσεις ή θήλακες αμμοίλλους και της τεφρής Αμμοίλλους. Το πάχος τους ποικίλλει, η δε απόθεσή τους έχει γίνει είτε πάνω σε παλιότερες χειμαρροποτάμιες αποθέσεις, είτε απ' ευθείας πάνω στους νεογενείς σχηματισμούς.

Στις παλαιότερες χειμαρροποτάμιες αποθέσεις πρόσφατη γεωτεχνική έρευνα (1) έχει διαπιστώσει επτά ενότητες, οι οποίες όμως από υδρογεωλογική άποψη μπορούν να ενοποιηθούν σε δύο : Η μία, με ψηλή υδροπερατότητα ταυτίζεται με την αριθ. 7 ενότητα, η οποία αποτελείται από κροκαλοπαγές και ψαμμιτοκροκαλοπαγές, με κατά θέσεις ενστρώσεις εύθρυπτων ψαμμιτών. Οι υπόλοιπες έξι, υδρογεωλογικά ενσωματώνονται σε μια, αποτελούμενη από ποικιλία υλικών (άργιλος, ιλύς, άμμος, κροκάλες, κλπ.) σε διάφορες προσμίξεις και σε φακούς και αποσφηνούμενες ενστρώσεις με ποικιλία μορφών και μεγεθών, επομένως και με ποικιλία τιμών υδροπερατότητας και υδαταγωγιμότητας.

β) Υδροστεγανό υπόβαθρο της περιοχής του πολεοδομικού συγκροτήματος της πόλης και της γύρω απ' αυτήν πεδινής έκτασης, αποτελούν οι νεογενείς μαργαϊκοί σχηματισμοί. Οι σχηματισμοί αυτοί αποτελούνται από μάργες, συνήθως αμμόδεις, λευκοκίτρινου-καστανοκίτρινου χρώματος ή τεφρού-τεφροκύανου, με ενστρώσεις και φακούς μαργαϊκής άμμου ή ιλύος. Κατά θέσεις παρατηρούνται διάσπαρτα χαλίκια και κροκάλες που εξελίσσονται σε αμμοχάλικα ή κροκαλοπαγή.

Αν και οι χονδρόκοκκες αυτές ενστρώσεις και φακοί είναι σχετικά υδροπερατά υλικά, εν τούτοις όλο το πακέτο των νεογενών στο οποίο, μέχρι το βάθος τουλάχιστο των 80 μ. που έχει διερευνηθεί, επικρατούν οι μάργες, συμπεριφέρονται σαν πρακτικά υδροστεγανό.

Το νεογενές εμφανίζεται στην επιφάνεια του εδάφους στο Κάστρο, στην περιοχή της Υπαπαντικής, στο βορειοανατολικό τμήμα της πόλης, και στις περιβάλλουσες λοφώδεις περιοχές, με καστανοκίτρινες αμμόδεις μάργες που περιέχουν ενστρώσεις και φακούς άμμου και κροκαλοπαγών. Προς τα νότια οι σχηματισμοί αυτοί "επεκτείνονται" κάτω από τις παλαιές και νέες χειμαρροποτάμιες αποθέσεις, σε διάφορα βάθη. Αυτό οφείλεται στο ανώμαλης μορφολογίας παλαιοανάγλυφο τους, πάνω στο οποίο αποτέθηκαν οι τεταρτογενείς σχηματισμοί.

3. ΥΔΡΟΦΟΡΟΙ ΟΡΙΖΟΝΤΕΣ ΚΑΙ ΥΠΟΓΕΙΑ ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗ

Οι περιγραφείσες υδρολιθολογικές συνθήκες και το γεγονός ότι οι υδροπερατές ενδιαστρώσεις και φακοί τροφοδοτούνται τόσο απευθείας από την επιφάνεια του εδάφους, όσο και από τις κοίτες των χειμάρρων, δημιουργούν τις απαραίτητες προϋποθέσεις για την ανάπτυξη υπόγειων υδροφόρων οριζόντων.

Οι υδροφόροι αυτοί ορίζοντες, αλλού είναι ελεύθεροι και αλλού υπό πίεση ή μερικής υπό πίεση. Λόγω των σχετικά πλούσιων βροχοπτώσεων στην περιοχή*, αναμένεται η τροφοδοσία τους να είναι ικανοποιητική.

Την ελεύθερη υπόγεια υδροφορία εκμεταλλεύονται πολυάριθμα αβαθή συνήθως πηγάδια, ενώ λίγες γεωτρήσεις και βαθύτερα πηγάδια έχουν συναντήσει την υπό πίεση υδροφορία. Σε μια μάλιστα θέση (αριθ. απογραφής 69) σε γεώτρηση βάθους περί τα 50 μ. είχε παρατηρηθεί πριν από λίγα χρόνια αρτεσιανή ροή στην επιφάνεια του εδάφους.

* Για την 10ετία 1960-69 οι μέσες μηνιαίες και η μέση ετήσια βροχόπτωση στην Καλαμάτα ήταν (σε χιλιοστά) :

Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ	ΕΤΟΣ
12,01	96,0	77,9	28,7	28,9	8,5	3,3	13,4	34,3	95,3	102,2	192,5	801,6

Για τη μελέτη της συμπεριφοράς των υπόγειων νερών, απογράψαμε περί τα 100 πηγάδια, καθώς και τις λίγες γεωτρήσεις που υπάρχουν στην περιοχή. Έγινε τοποθέτησή τους σε χάρτες κλίμακας 1:5.000 και πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις της υδροστατικής στάθμης σε 4 περιόδους : 25-27/10/1986, 6-8/12/1986, 22-4/2/1988 και 30/5-1/6/1988.

Με τη βοήθεια των μετρήσεων αυτών σχεδιάσαμε τέσσερις χάρτες ισοβαθών καμπύλων της υδροστατικής επιφάνειας των υπόγειων νερών, δύο από τους οποίους δίδουμε στις εικ. 2 και 3.

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την αξιολόγηση των στοιχείων όλων των μετρήσεων και των χαρτών είναι τα ακόλουθα :

α) Οι χαμηλότερες υδροστατικές στάθμες παρατηρήθηκαν το τέλος Οκτωβρίου. Εξαιρέση αποτελεί η παραλιακή ζώνη εκατέρωθεν των εκβολών του ποταμού Νέδοντα, στην οποία διαπιστώθηκε ότι η πτώση της στάθμης συνεχιζόταν μέχρι τις αρχές Δεκεμβρίου. Σε ένα μάλιστα πηγάδι της περιοχής αυτής διαπιστώθηκε πτώση και κατά τις τέσσερις μετρήσεις.

Ο υποβιβασμός της υδροστατικής στάθμης συνεχίστηκε ως το Δεκέμβριο και σε δύο μικρούς και φτωχούς υδροφορείς των βορειοδυτικών παρυφών της πόλης, ανεξάρτητους από τον μεγάλο παραλιακό υδροφόρο ορίζοντα.

β) Η στάθμη των υπόγειων νερών του Φεβρουαρίου σε σχέση με αυτήν του Δεκεμβρίου είναι υψηλότερη. Εξαιρέση αποτελεί το πηγάδι που αναφέρθηκε προηγουμένως, καθώς και ένα ακόμη (350 μ. δυτικά του π. Νέδοντα) για το οποίο υπάρχει πληροφορία ότι σε διπλανό του πηγάδι χάθηκε το νερό κατά το σεισμό. Αυτό πιθανότατα οφείλεται σε ρήγμα το οποίο έδωσε δυνατότητα απότομης εκτόνωσης του υδροφορέα.

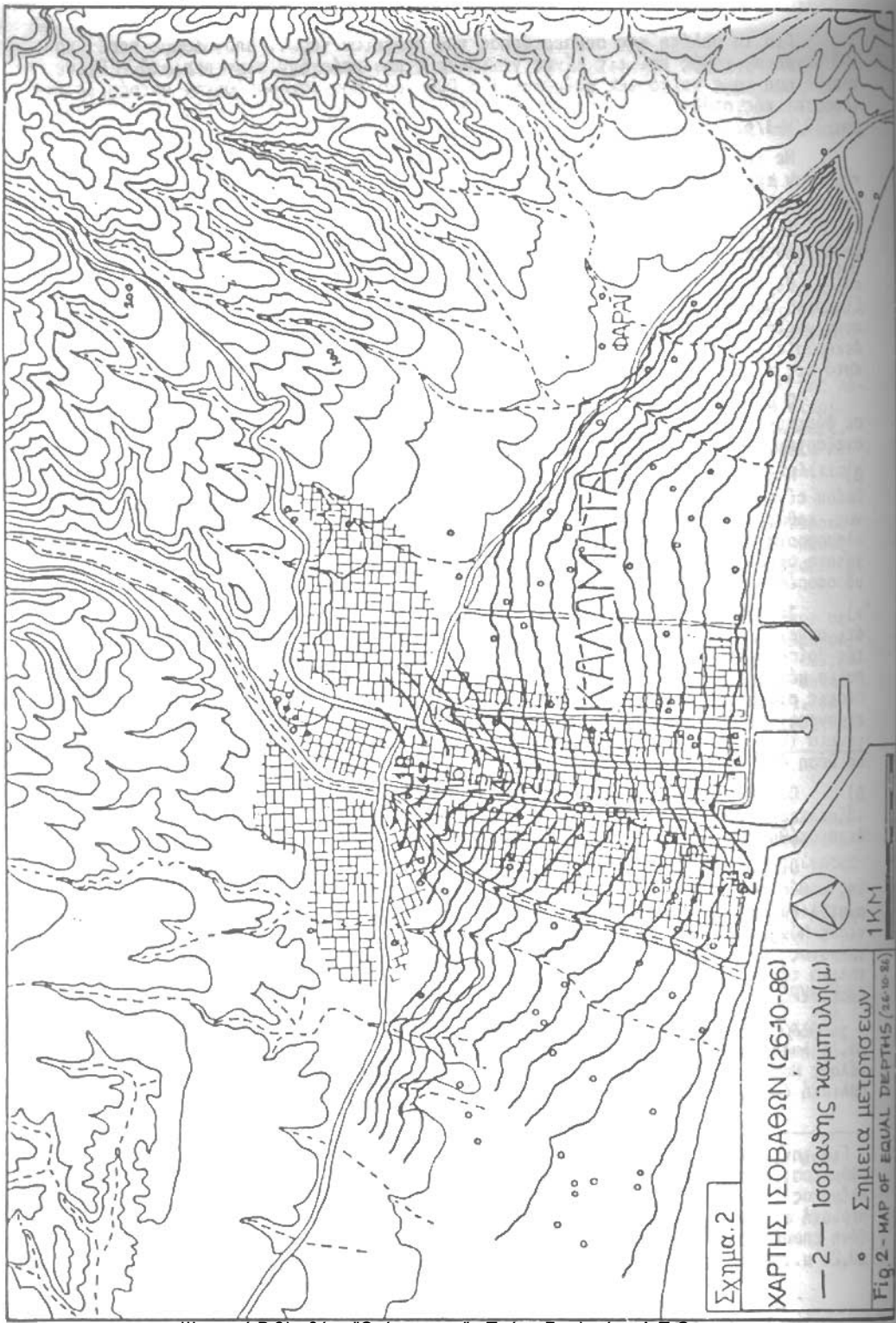
γ) Στο 40% των περιπτώσεων των μετρήσεων του τέλους Μαΐου, διαπιστώθηκε ότι συνεχίζεται η ανύψωση της στάθμης σε σχέση με το Φεβρουάριο. Οι θέσεις αυτές βρίσκονται όλες διάσπαρτες στη χαμηλή ζώνη, σε μέγιστη απόσταση από την παραλία μέχρι 1.500 μ. Η διασπορά αυτή και η παρουσία πηγαδίων σε παρακείμενες θέσεις στα οποία η στάθμη είχε υποβιβασθεί, η ύπαρξη δηλαδή ανομοιογενούς διακυμάνσης (πτώσης ή ανύψωσης) της υδροστατικής στάθμης, δηλώνει έντονη ανομοιογένεια του υδροφορέα, και διαφοροποίηση τόσο των συνθηκών τροφοδοσίας από θέση σε θέση όσο και των συνθηκών εκτόνωσης προς τη θάλασσα.

δ) Οι μέγιστες διακυμάνσεις στάθμης που παρατηρήθηκαν είναι συνήθως της τάξης του 0,5 έως 2 μ. Διακυμάνσεις μεγαλύτερες των 2 μ. (συνήθως 2 έως 5 μ.) διαπιστώθηκαν στο 23% των περιπτώσεων.

Οι μικρές διακυμάνσεις (0,5 έως 2 μ.) παρατηρήθηκαν στην παραλιακή ζώνη, καθώς και στην πλέον εσωτερική λοφώδη έκταση, ενώ οι μεγάλες σε μια ζώνη ανατολικά της πόλης, παράλληλη περίπου προς τον περιφερειακό δρόμο προς Μεσσηνιακή Μάνη. Η τελευταία αυτή ζώνη αποτελεί την κυρίως περιοχή τροφοδοσίας του τμήματος του φρεάτιου παραλιακού υδροφόρου ορίζοντα που βρίσκεται βορειοανατολικά του λιμανιού. Σ' αυτό συμφωνεί και η εικόνα που παρέχεται από τον πιεζομετρικό χάρτη (βλ. σχ. 4).

Χρησιμοποιώντας τις μετρήσεις στάθμης της περιόδου με τα χαμηλότερα νερά, δηλαδή της 26ης Οκτωβρίου 1986, λαμβάνοντας υπ' όψη και τις μετρήσεις του τέλους Μαΐου 1987 μπορούσαμε να σχεδιάσουμε ισοπιεζομετρικές καμπύλες* στην παραλιακή ζώνη, σε ένα τμήμα της υπόλοιπης πεδινής έκτασης, καθώς και στην εσω-

* Για την αναγωγή των μετρήσεων του βάθους της υδροστατικής στάθμης σε απόλυτα υψόμετρα, χρησιμοποιήσαμε τις δυνατότητες που παρέχει ο τοπογραφικός χάρτης κλίμακας 1:5.000. Στο χάρτη αυτό η ισοδιάσταση είναι 4 μ., στην πεδινή όμως περιοχή οι ισοψείς πυκνώνουν ανά 1 μ. ή ανά 0,5 μ. στην παραλιακή ζώνη. Στη ζώνη επομένως αυτή η ακρίβεια των υψομέτρων που εκτιμήσαμε έχουν ακρίβεια $\pm 0,25$ μ., ενώ στην υπόλοιπη πεδινή έκταση $\pm 0,5$ μ.



Σχημα. 2

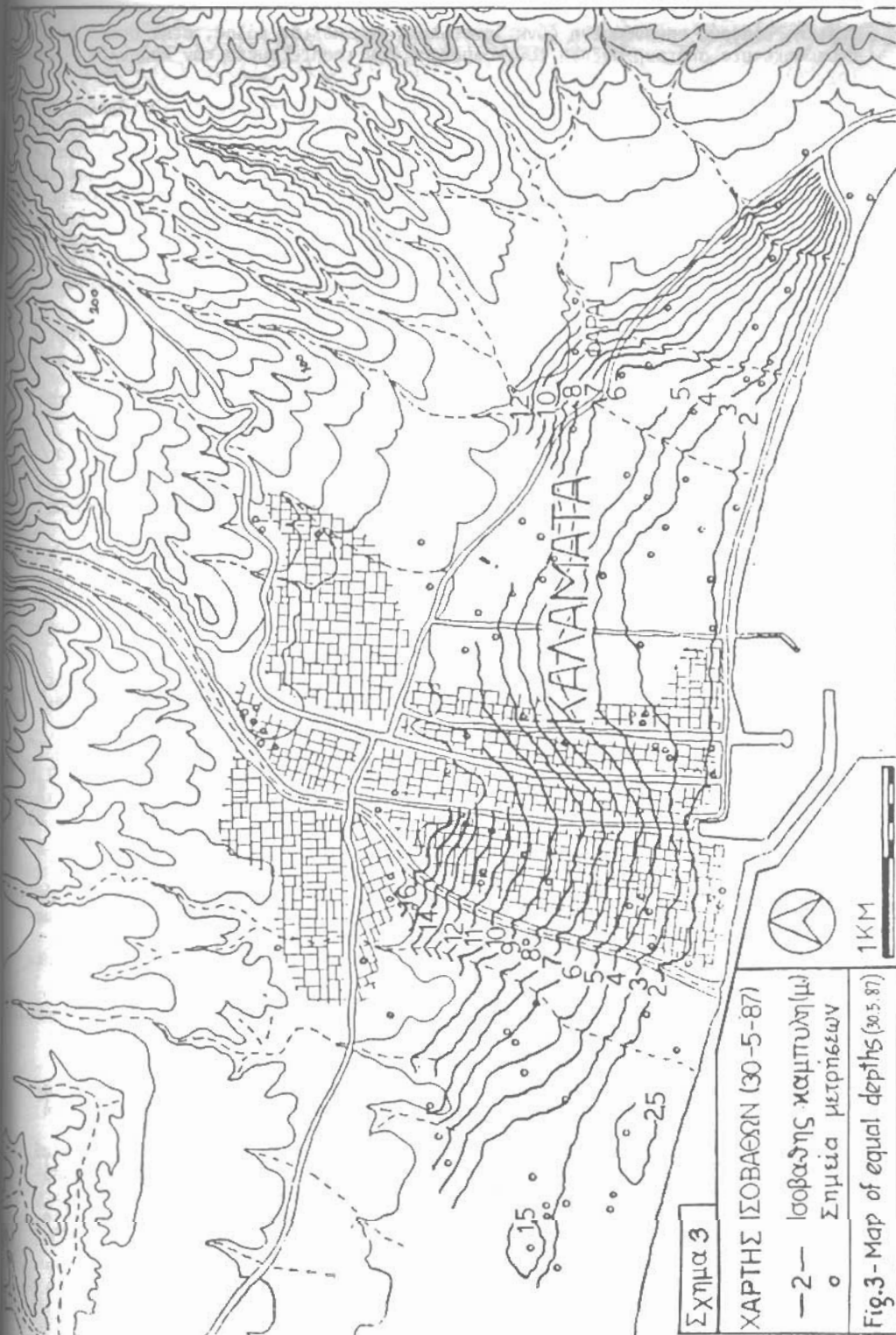
ΧΑΡΤΗΣ ΙΣΟΒΑΘΩΝ (26-10-86)

— 2 — Ισοβαθής καμπυλή(μ)

ο Σημεία μετρήσεων

Fig. 2 - MAP OF EQUAL DEPTHS (26-10-86)





Σχήμα 3

ΧΑΡΤΗΣ ΙΣΟΒΑΘΩΝ (30-5-87)

— 2 — Ισοβαθής καμπύλη (μ)

ο Σημεία μετρήσεων

Fig.3 - Map of equal depths (30.5.87)



1 KM

τερική, ελαφρώς υπερυψωμένη ζώνη, ανατολικά της παλιάς πόλης, στην οποία διαπιστώθηκε μια απότομη αύξηση των υψομέτρων των ισοπιεζομετρικών καμπυλών (σχ. 4).

Με τις υπάρχουσες όμως μετρήσεις δεν παρέχεται η δυνατότητα χάραξης ισοπιεζομετρικών καμπυλών ανεκτής αξιοπιστίας, στην ευρεία περιοχή που εκτείνεται εσωτερικότερα της πιεζομετρικής καμπύλης υψομέτρου +1 μ. Στη ζώνη αυτή διαπιστώνεται ανώμαλη πιεζομετρική εικόνα, που εκδηλώνεται με παρουσία υδροστατικής στάθμης σε απόλυτα υψόμετρα τόσο μεγαλύτερα του +1 μ., όπως αναμενόταν σε περίπτωση ομαλής πιεζομετρικής εικόνας, όσο και μικρότερα, σε ορισμένες μάλιστα θέσεις έως και αρνητικά. Η κατάσταση εμπλέκεται περισσότερο από το γεγονός ότι τα πηγάδια στα οποία διαπιστώθηκαν αυτές οι ανωμαλίες είναι άτακτα διεσπαρμένα στην περιοχή και η πυκνότητά τους δεν επιτρέπει τη σχεδίαση ισοπιεζομετρικών καμπυλών.

Τα παραπάνω οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η υπόγεια υδροφορία αναπτύσσεται σε γεωλογικούς σχηματισμούς έντονα ανομοιογενείς, τόσο κατά την οριζόντια ανάπτυξή τους, όσο και κατά την κατακόρυφη. Αυτό συνεπάγεται τη δημιουργία τοπικών υδροφόρων οριζόντων με ασθενή, εποχιακή ή και ανύπαρκτη υδραυλική σύνδεση με τη γενικότερη υπόγεια υδροφορία των αλλουβίων της παραλιακής ζώνης.

Εκτός από τα παραπάνω, από τη μελέτη της πιεζομετρίας προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα :

α) Η μορφολογία της πιεζομετρικής επιφάνειας ελέγχεται και επηρεάζεται σ' ένα βαθμό από τη μορφολογία της επιφάνειας του εδάφους.

β) Τα πιεζομετρικά φορτία είναι πολύ μικρά, με τιμές από αρνητικές έως 2 μ. σε όλη την έκταση νότια της νοητής γραμμής η οποία στο δυτικό τμήμα ταυτίζεται με τη αιθιοδορμική γραμμή και στον ανατολικό από τον επαρχιακό δρόμο που οδηγεί από Καλαμάτα προς Καρδαμήλη. Βόρεια της νοητής αυτής γραμμής τα πιεζομετρικά φορτία αυξάνουν απότομα.

Η γραμμή αυτή οριοθετεί δύο ευδιάκριτες περιοχές : Στη νότια το πάχος των προσχώσεων είναι σημαντικό, ενώ στη βόρεια το στεγανό υπόβαθρο βρίσκεται πολύ κοντά στην επιφάνεια του εδάφους.

γ) Στην παραλιακή ζώνη ανατολικά του λιμανιού διαπιστώθηκαν στάθμες ισορροπίας υπόγειων νερών χαμηλότερες από την επιφάνεια της θάλασσας μέχρι και 1,5 μ. Από την μελέτη της χημείας των υπόγειων νερών φαίνεται ότι η πιεζομετρική αυτή κατάσταση δεν οδήγησε σε διείσδυση της θάλασσας στο εσωτερικό τόσο όσο τα αρνητικά αυτά πιεζομετρικά φορτία επέβαλαν.

Βέβαια τιμές χλωριόντων των υπόγειων νερών από 150 έως και 500 mg/l, που διαπιστώθηκαν στη ζώνη αυτή, δηλώνουν ένα ασθενή έως σημαντικό επηρεασμό από τη θάλασσα. Όμως οι χαμηλότερες στάθμες σε σχέση με την επιφάνεια της θάλασσας, θα είχαν οδηγήσει σε μια πολύ πιο έντονη υφαλομύρση, αν στην παραλιακή ζώνη δεν αναπτυσσόταν και αργιλικό ή αργιλομιγείς σχηματισμοί μικρής υδροπερατότητας.

δ) Η συγκλίνουσα και αποκλίνουσα ακτινωτή μορφή πιεζομετρική επιφάνεια, δείχνει ότι οι κύριες ζώνες τροφοδοσίας είναι ο βορειοανατολικός τομέας (βλ. και σχ. 4) και ο Νέδοντας.

Ο εγκιβωτισμός του κατάντη τμήματος της κοίτης του Νέδοντα έχει προκαλέσει μεταβολές στις προηγούμενες συνθήκες τροφοδοσίας. Όμως η πιεζομετρική εικόνα δηλώνει ότι από την ανάντη περιοχή του ποταμού έξω από την Καλαμάτα, όπου η κοίτη δεν έχει επενδυθεί πραγματοποιούνται διηθήσεις από τα αμμοχάλικα της. Οι διηθήσεις αυτές τροφοδοτούν τους υπόγειους υδροφορείς, αλλά η ανταπόκριση, με ανύψωση της στάθμης στην παραλιακή ζώνη, καθυστερεί. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο στην παραλιακή ζώνη εκατέρωθεν της εκβολής του ποταμού η πτώση της στάθμης των υπόγειων νερών συνεχιζόταν και το Δεκέμβριο.

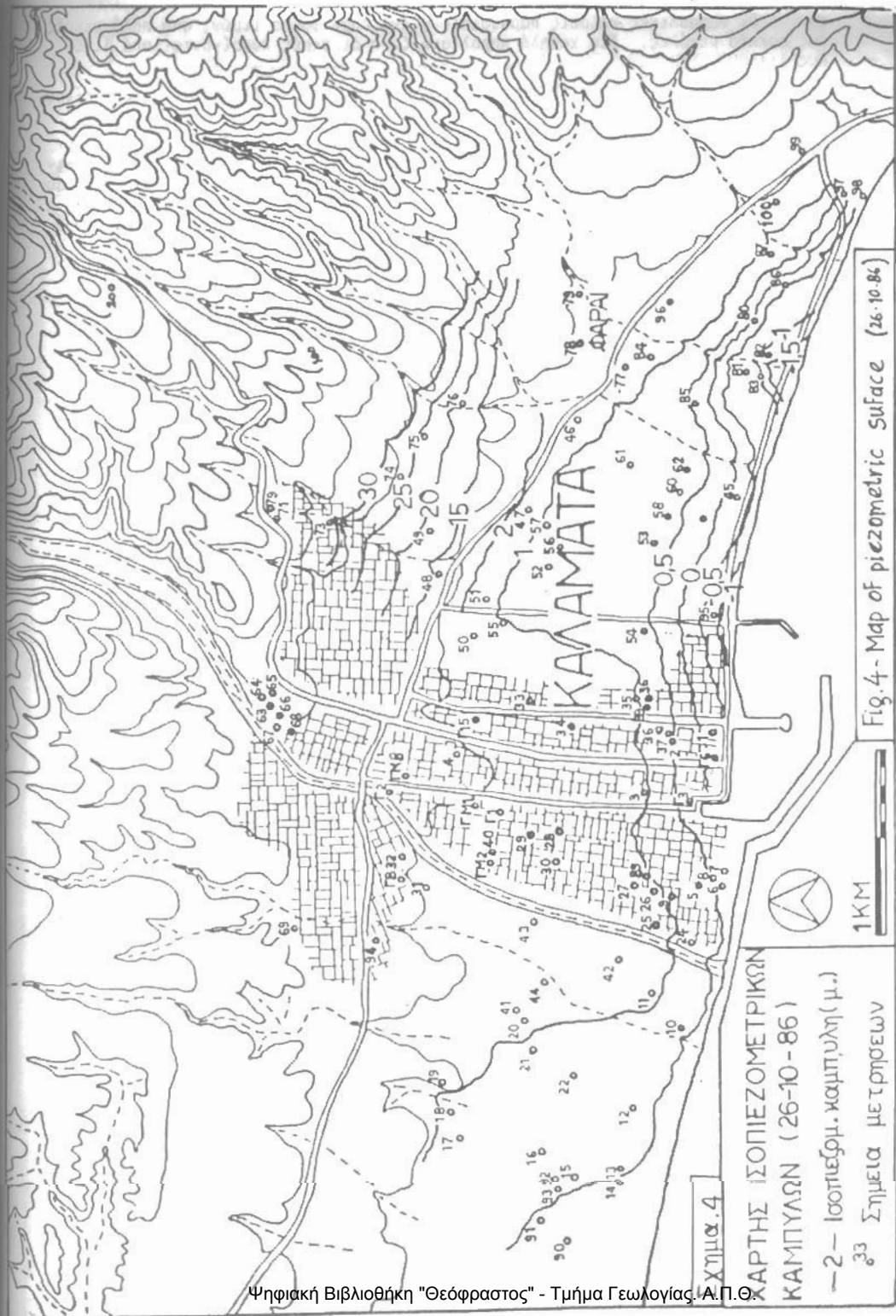


Fig.4- Map of piezometric surface (26-10-86)

Χημ. 4

ΧΑΡΤΗΣ ΙΣΟΠΙΕΖΟΜΕΤΡΙΚΩΝ
 ΚΑΜΠΥΛΩΝ (26-10-86)
 — 2 — Ισοπιεζομ. καμπύλη (μ.)
 33 Σημεία μετρήσεων

ε) Οι υδραυλικές κλίσεις παρουσιάζουν ένα ευρύ φάσμα τιμών, από πολύ μικρές έως αρκετά μεγάλες. Στη χαμηλή παραλιακή ζώνη οι τιμές κυμαίνονται από 1:150 έως 1:1500.

Στην πλέον εσωτερική ζώνη, βόρεια του Ινστιτούτου Ελαίας, οι τιμές είναι πολύ μεγαλύτερες, κυμαινόμενες από 1:20 έως 1:30.

Σαν κύρια αιτία για το ευρύ φάσμα τιμών υδραυλικών κλίσεων και για την "άτακτη" κατανομή τους στο χώρο, πρέπει να θεωρηθεί η μεγάλη διακύμανση των τιμών της υδροπερατότητας των λιθολογικών σχηματισμών του υδροφορέα. Για την εσωτερική ζώνη, στη διαμόρφωση των μεγάλων τιμών υδραυλικής κλίσης συμβάλλει και η ελάττωση της διατομής του υδροφόρου στρώματος, λόγω της ανύψωσης του στεγανού υποβάθρου.

4. ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΟΥ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΑ ΚΑΤΑ ΤΟ ΣΕΙΣΜΟ

Επειδή δεν υπάρχουν στοιχεία για το ποιά ήταν η κατάσταση πριν από τους σεισμούς, ώστε να γίνουν συσχετισμοί με την μετασεισμική κατάσταση και να διαπιστωθούν οι πιθανές επιπτώσεις των σεισμών στα υπόγεια νερά, θα καταγράψουμε απλώς τις πληροφορίες που συγκεντρώσαμε από τους κατοίκους της περιοχής.

Σύμφωνα λοιπόν μ' αυτές τις πληροφορίες :

- α) Σε πηγάδι παρακείμενο του υπ' αριθ. 44 χάθηκε το νερό κατά το σεισμό.
- β) Στο υπ' αριθ. 74 πηγάδι, βάθους 12 μ., επί μια εβδομάδα μετά τους σεισμούς αντλείτο θολό νερό.
- γ) Στο υπ' αριθ. 82 πηγάδι, ο πυθμένας του ανυψώθηκε κατά 0,50 μ. και ο ιδιοκτήτης αναγκάστηκε να ανασύρει την αντλία.
- δ) Στο πηγάδι υπ' αριθ. 79 η στάθμη του νερού ανυψώθηκε κατά 6 μ.
- ε) Στην κοίτη του χειμάρρου Φαρών παρατηρήθηκαν αναβλύσεις νερών.

5. ΥΔΡΟΓΕΩΧΗΜΕΙΑ

5.1. Εισαγωγή

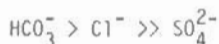
Η υδρογεωχημική μελέτη των υπόγειων νερών βασίζεται στα αποτελέσματα χημικών αναλύσεων 24 δειγμάτων τα οποία ελήφθησαν από πηγάδια της περιοχής κατά τη διάρκεια Οκτωβρίου 1986 - Φεβρουαρίου 1987. Στις περισσότερες περιπτώσεις τα δείγματα ήρθαν στην επιφάνεια με ειδικό δειγματολήπτη βάθους. Οι χημικές αναλύσεις έγιναν στα Εργαστήρια του Τομέα Γεωλογικών Επιστημών του Ε.Μ.Πολυτεχνείου. Τα στοιχεία απ' αυτές και μέρος της επεξεργασίας τους φαίνονται στον Πίνακα Ι.

Η παρουσίαση και ερμηνεία των αποτελεσμάτων γίνεται σε τρεις ενότητες :

- α) Γενικές παρατηρήσεις επί της υδροχημείας της περιοχής, β) Κατηγορίες και ταξινόμηση κατά Duron και γ) Επίδραση της ποιότητάς τους σε μεταλλικά υλικά και κατασκευές.

5.2. Γενικές παρατηρήσεις επί της υδροχημείας

Οι χημικές αναλύσεις έδωσαν τις παρακάτω αλληλουχίες ανιόντων και κατιόντων :



Ο χάρτης κατανομής των αγωγιμοτήτων δίνεται στο σχήμα 5, ενώ των χλωριόντων στο σχήμα 6. Η μέγιστη περιεκτικότητα χλωριόντων εμφανίζεται σε μια περιοχή κατά μήκος της παραλίας, ανατολικά του λιμανιού, με μορφή ανάμικτης λωρίδας που διευρύνεται στο ανατολικό τμήμα της και φθάνει εσωτερικά μέχρι τις

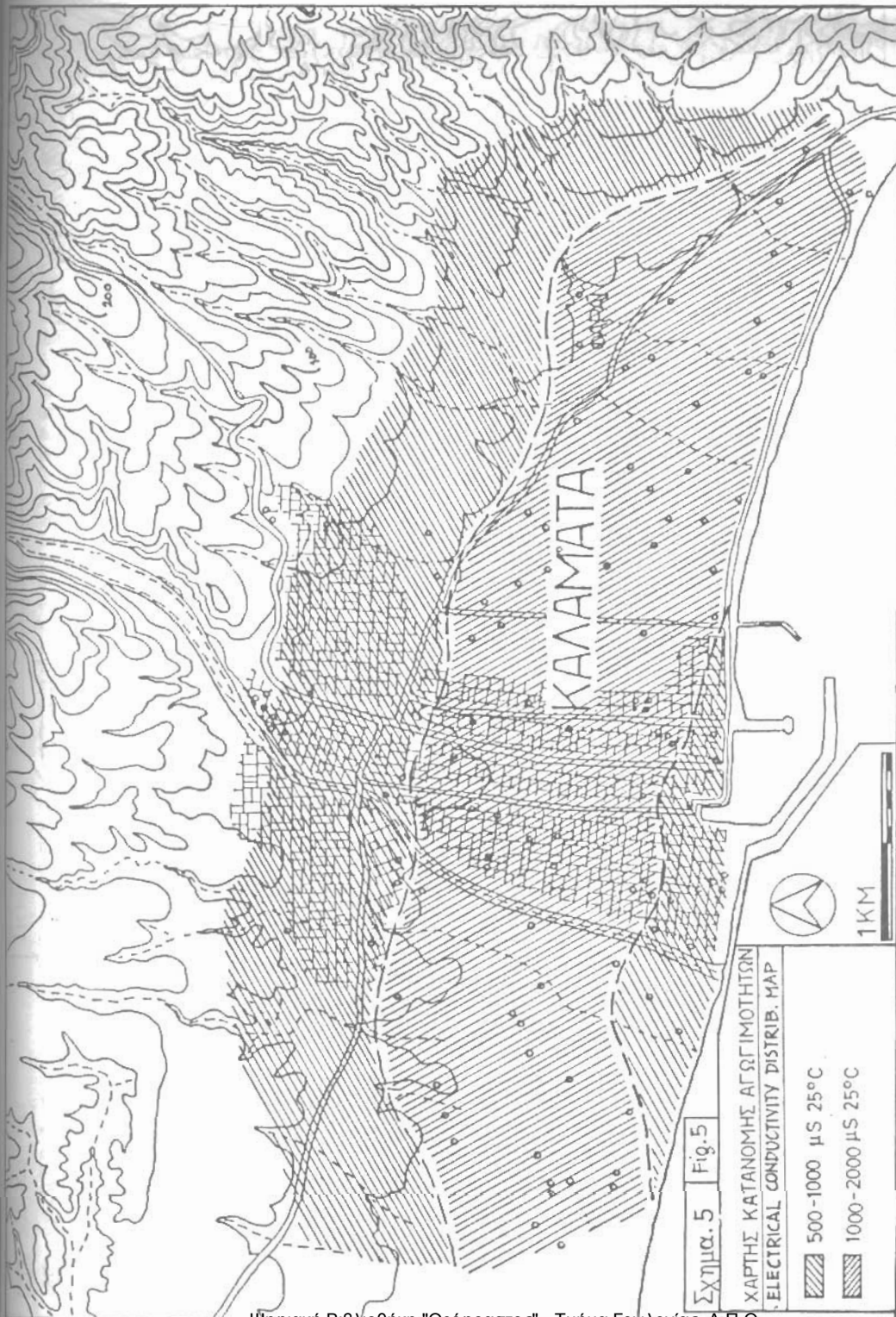
Πίνακας 1. Αποτελέσματα υδροχημικών αναλύσεων υπόγειων νερών Καλαμάτας κατά την περίοδο Οκτωβρίου 1986 - Φεβρουαρίου 1987 (σε mg/l εκτός αν αναφέρονται άλλες μονάδες μέτρησης).

Αξ. αριθμός	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Αρ. δείγματος	1	3	4	5	9	13	18	27	30	31	38	44
Βαθ. δειν. (m)	2,71	5,76	15,00	2,30	3,08	1,88	7,71	3,62	7,28	13,8	3,2	5,14
T°C	16,3	22,5	18,3	21,7	17,1	14,8	15,5	13,3	17,8	18,7	15,0	14,6
pH	7,08	6,83	5,78	7,70	7,55	7,64	7,65	7,71	5,43	7,48	5,95	7,52
Eh (mV)	159,0	-	274,0	-	-	229,0	231,0	241,0	262,0	228,0	238,0	229,0
EC (μS/cm, 25°C)	855,0	1041,0	1933,0	813,0	759,0	1108,0	2360,0	1593,0	1344,0	1284,0	1607,0	1002,0
D.O.	3,10	-	3,20	-	-	3,25	7,12	3,40	4,45	5,80	4,97	1,45
CO ₂	75,0	-	35,0	-	-	15,0	20,0	35,0	80,0	45,0	50,0	30,0
HCO ₃	475,0	284,3	444,4	351,5	277,6	208,6	190,6	465,0	422,5	449,7	506,9	357,9
SO ₄	79,0	80,0	110,4	54,5	46,3	95,0	165,8	91,7	67,8	67,5	88,3	68,0
Cl ⁻	131,0	85,0	200,0	79,6	41,3	95,7	154,3	154,6	85,6	175,5	191,6	79,8
NO ₃	36,9	25,0	167,2	4,1	17,2	97,2	204,6	12,5	105,6	35,0	30,0	21,3
Ca ²⁺	143,0	143,8	195,0	113,2	119,3	102,0	123,8	163,6	154,5	143,6	184,3	95,6
Mg ²⁺	4,1	3,9	4,0	4,1	3,5	2,9	4,7	4,7	3,9	5,0	3,4	3,3
Na ⁺	142,9	40,2	178,1	70,6	17,2	98,4	175,6	120,7	101,5	154,7	149,4	93,9
K ⁺	2,30	2,1	3,0	3,4	2,4	4,1	1,4	3,4	2,4	1,6	2,8	3,3
TDS	1015,1	664,1	1302,7	681,0	524,8	703,9	1020,8	1018,4	943,8	1032,6	1157,5	723,1
AIK	390,4	233,2	364,5	288,3	227,7	171,1	156,3	381,6	346,6	368,9	415,8	293,6
T.H	374,9	375,9	505,0	300,3	313,0	267,2	329,2	433,9	402,8	380,1	475,2	252,9
C.H	374,9	233,2	364,5	288,3	227,7	171,1	156,3	381,6	346,6	368,9	415,8	259,9
N.C.H	0,0	142,7	141,5	12,0	85,3	96,1	172,9	52,3	56,2	11,2	59,4	0,0
SIca	0,15	-0,15	-1,02	0,69	0,37	0,20	0,24	0,77	-1,48	0,58	-0,88	0,28
SIar	0,0	-0,28	-1,17	0,55	0,22	0,04	0,09	0,60	-1,63	0,43	-1,04	0,12
SIdo	-0,06	-0,57	-1,30	0,35	0,06	-0,03	0,12	0,63	-1,76	0,36	-1,13	0,10
SAR	3,22	0,90	3,45	1,78	0,42	2,62	4,22	2,52	2,20	3,46	2,99	2,57
SSP %	45,60	19,38	43,68	34,54	11,48	45,15	53,90	38,16	35,79	47,19	40,95	45,26
RSC meq/l	0,33	-2,84	-2,81	-0,22	-1,69	-1,91	-3,44	-1,03	-1,11	-0,21	-1,17	0,82
pH-pH _i	-1,60	-0,50	-2,65	+0,46	-0,07	-1,84	-1,86	-0,74	-3,25	-1,30	-2,32	-1,69

AIK = αλκαλικότητα, T.H. = ολ. σκληρότητα, C.H. = παρ. σκληρότητα, N.C.H. = μον. σκληρότητα

Πίνακας Ι (Συνέχεια)

Αξ. αριθμός	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Αρ. δείγματος	48	57	59	69	77	79	83	86	87	91	98	100
Βαθ. δειγμ. (m)	2,60	5,02	1,61	9,80	4,82	3,62	2,00	4,00	7,50	1,00	2,45	16,55
T°C	16,5	14,4	15,2	18,2	14,8	16,5	15,0	20,1	20,1	13,5	18,0	16,4
pH	7,11	6,35	6,62	7,62	7,47	7,15	7,02	7,27	7,34	7,44	7,87	7,53
Eh (mV)	274,0	248,0	272,0	268,0	221,0	261,0	251,0	-	-	226,0	-	239,0
EC (μS/cm, 25°C)	875,0	1410,0	1428,0	510,0	1833,0	1463,0	1028,0	1194,0	2250,0	1733,0	2650,0	1050,0
D.O.	1,55	3,90	5,93	4,89	3,75	5,53	4,78	-	-	6,59	-	7,50
CO ₂	30,0	35,0	60,0	51,0	35,0	30,0	60,0	-	-	65,0	-	20,0
HCO ₃ ⁻	338,8	249,5	359,0	277,9	345,2	262,9	384,3	349,1	281,0	358,8	258,0	254,9
SO ₄ ²⁻	44,4	51,5	120,8	21,0	92,5	71,8	66,7	65,0	68,3	150,6	83,0	42,3
Cl ⁻	58,0	110,4	112,6	40,0	305,7	210,5	151,3	158,7	462,3	180,6	510,5	314,0
NO ₃ ⁻	32,1	100,3	79,2	4,3	68,2	49,7	43,3	44,4	22,0	115,7	3,08	50,6
Ca ²⁺	86,3	87,3	145,3	83,2	160,0	85,6	121,4	185,1	191,3	186,3	111,3	75,6
Mg ²⁺	3,8	3,3	4,6	6,1	7,8	4,2	2,1	3,8	6,2	3,4	5,2	4,6
Na ⁺	90,8	118,2	118,4	33,6	195,4	180,4	144,1	59,0	208,6	147,1	325,7	242,5
K ⁺	2,4	2,1	2,7	2,7	2,7	1,3	2,4	2,9	4,7	1,8	2,5	1,9
TDS	656,6	722,6	942,6	468,8	1177,5	866,4	915,6	868,0	1244,6	1144,3	1300,0	986,4
AlK	277,9	204,7	294,5	228,0	283,2	215,7	315,2	286,4	230,7	294,3	212,1	209,1
T.H.	231,7	232,2	382,6	233,6	432,7	231,7	312,5	478,8	504,3	480,1	300,1	208,3
C.H.	231,7	204,7	294,5	228,0	283,2	215,7	342,5	286,4	230,7	294,3	212,1	108,3
N.C.H.	0,0	27,5	88,1	5,6	149,5	16,0	0,0	192,4	273,6	185,8	88,0	0,0
SiCa	-0,15	-1,09	-0,44	0,32	0,41	-0,24	-0,09	0,42	0,38	0,43	0,59	0,06
SiAr	-0,30	-1,25	-0,60	0,17	0,25	-0,40	-0,25	0,27	0,24	0,27	0,44	-0,10
SiDo	-0,33	-1,25	-0,62	0,17	0,37	-0,36	-0,40	0,03	0,15	0,21	0,49	0,01
SAR	2,60	3,38	2,64	0,96	4,09	5,16	3,55	1,17	4,05	2,92	8,19	7,32
SSP	46,5	52,89	40,62	24,70	49,84	63,06	50,39	21,66	47,76	40,23	70,41	71,86
RSC	0,93	-0,54	-1,74	-0,10	-2,97	-0,31	0,07	-3,83	-5,45	-3,70	-1,74	0,03
pH-pH ₁	-2,31	-3,21	+0,83	-1,80	-1,52	-2,21	-1,84	+0,28	+0,10	-1,30	+0,06	-2,14



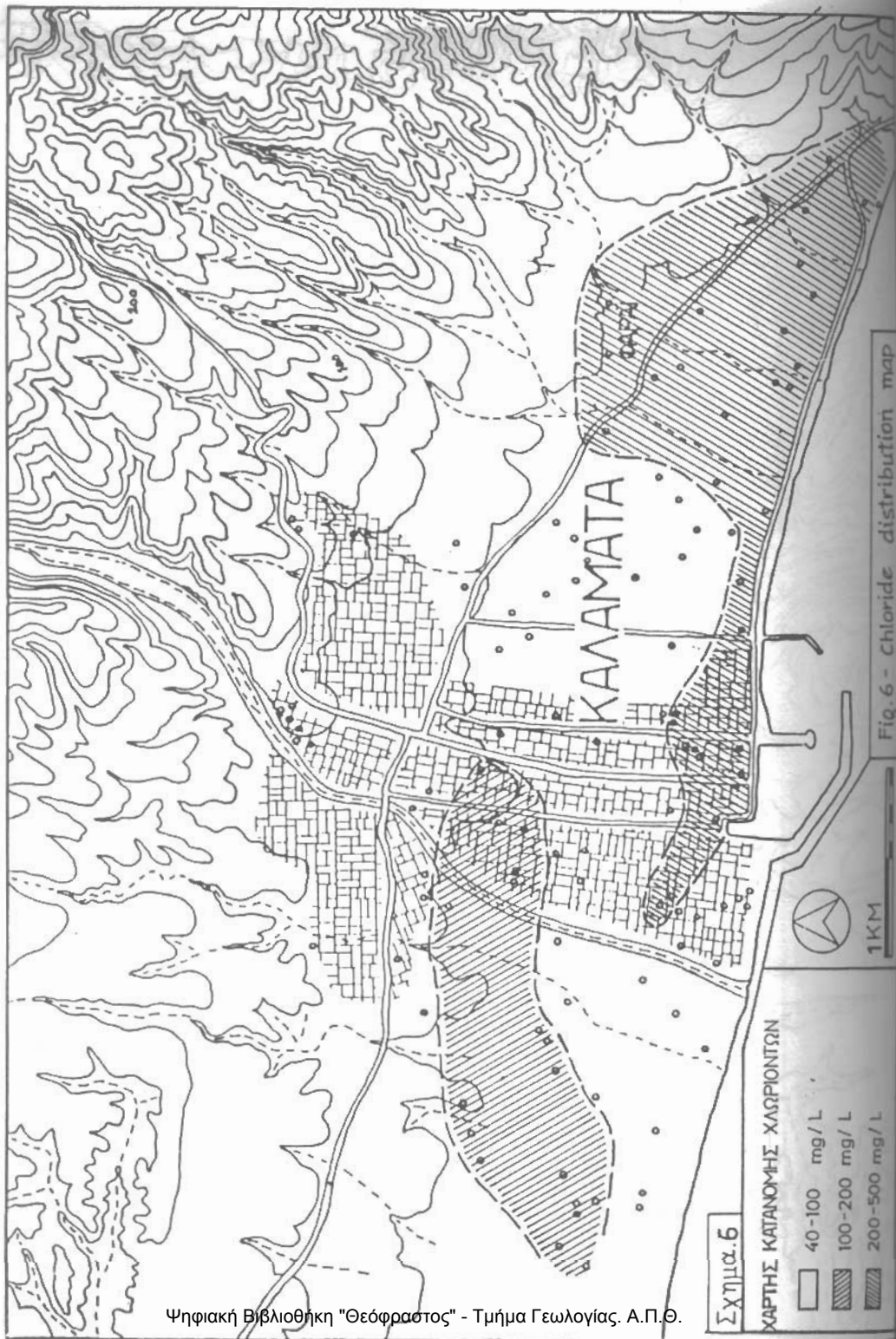


Fig.6 - Chloride distribution map

Ψηφιακή Βιβλιοθήκη "Θεόφραστος" - Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.

φαρές. Αυτό οφείλεται κυρίως στην σύσταση του υδροφορέα της παραλιακής αυτής ζώνης που επιτρέπει σχετικά εύκολη διείσδυση του θαλασσινού νερού. Αντίθετα ο δυτικός παραλιακός τομέας, όπου και οι περισσότερες καλλιεργήσιμες εκτάσεις, δεν εμφανίζει αυξημένα χλωρίδια (40-100) στην παραλιακή ζώνη. Από επιτόπιες παρατηρήσεις σε εκσκαφές διαπιστώθηκε ότι αυτό οφείλεται σε παρουσία στην παραλία γκρι-μπλε μαργών μεγάλου πάχους, οι οποίες δρουν σαν φράγμα-εμπόδιο στην αλμύριση των υπόγειων νερών από διείσδυση της θάλασσας.

Βόρεια της παραλιακής αυτής ζώνης παρατηρείται περιοχή με αυξημένη περιεκτικότητα σε χλωρίδια που κυμαίνονται από 100-200 mg/l. Στις τεταρτογενείς αποθέσεις της περιοχής αυτής η διείσδυση μπορεί να πραγματοποιείται από δυτικότερα κείμενη περιοχή, στην οποία οι υδροφόροι σχηματισμοί έρχονται σε απ' ευθείας επαφή με την θάλασσα χωρίς παρεμβολή μαργών. Πιθανόν επίσης, λόγω κακής αποστράγγισης των αρδευομένων αυτών εκτάσεων να πραγματοποιείται εμπλουτισμός σε άλατα.

Από τις τιμές Eh (δυναμικό οξειδοαναγωγής) και D.O. (διαλυμένο οξυγόνο) φαίνεται ότι τα νερά είναι νεαράς ηλικίας και τροφοδοτούνται με επιφανειακές απορροές περιοχών με ασβεστολίθους των υψηλότερων περιοχών. Γι' αυτό και στις παρυφές της πόλης τα υπόγεια νερά των κορημάτων και των κώνων των χειμάρρων παρουσιάζουν κατανομή ολικών σκληροτήτων (βλ. σχ. 7) γύρω στους 25 γαλλικούς βαθμούς, που θεωρείται τιμή τυπική φρέσκων νερών ασβεστολιθικών πετρωμάτων. Το εύρος της ζώνης αυτής εξαρτάται από την περιεκτικότητα του νερού σε CO_2 και από την υδροπερατότητα του σχηματισμού. Καθώς πλησιάζουμε προς την πόλη της Καλαμάτας προς το όριο των δύο ευδιάκριτων ζωνών σκληρότητας (εικ. 7), οι ολικές σκληρότητες μειώνονται στους 20 περίπου γαλλικούς βαθμούς (μείωση παρατηρείται και στις παροδικές και μόνιμες) γεγονός που σημαίνει ότι συντελείται μια απομάκρυνση Ca από το διάλυμα με ταυτόχρονο εμπλουτισμό του σε Na λόγω ιονταναλλαγής του από τα αργιλικά υλικά. Τέλος, στην παραλιακή ζώνη λόγω επιπρόσθετης φόρτισης του διαλύματος σε Na από διείσδυση της θάλασσας, το υπόγειο νερό έχει την τάση να διαλύει με μεγάλη ευχέρεια ασβεστίκο αμμόδες υλικά, μέχρις ότου επέλθει η επιθυμητή ισορροπία σε Ca. Αυτό ερμηνεύεται με αύξηση των ιόντων Ca και Mg με αποτέλεσμα να λαμβάνει η ολική σκληρότητα μεγαλύτερες τιμές. Μια άλλη παράμετρος που συνηγορεί γι' αυτή την ερμηνεία είναι οι δείκτες κορεσμού του ασβεστίτη (SI_{Ca}), αραγωνίτη (SI_{Ar}) και δολομίτη (SI_{Do}).

Ός προς την ποιότητα των υπόγειων νερών μπορούμε να πούμε ότι αυτά είναι κατά το μεγαλύτερο ποσοστό τους ακατάλληλα προς πόση καθώς και οικιακή χρήση, κύρια λόγω αυξημένων νιτρικών (οξειδωση αμμωνιακών και νιτρωδών που προέρχονται από διαρροές βόθρων, ελλειπές αποχετευτικό δίκτυο και λιπάσματα), ολικών διαλυμένων αλάτων (TDS) και χλωριόντων.

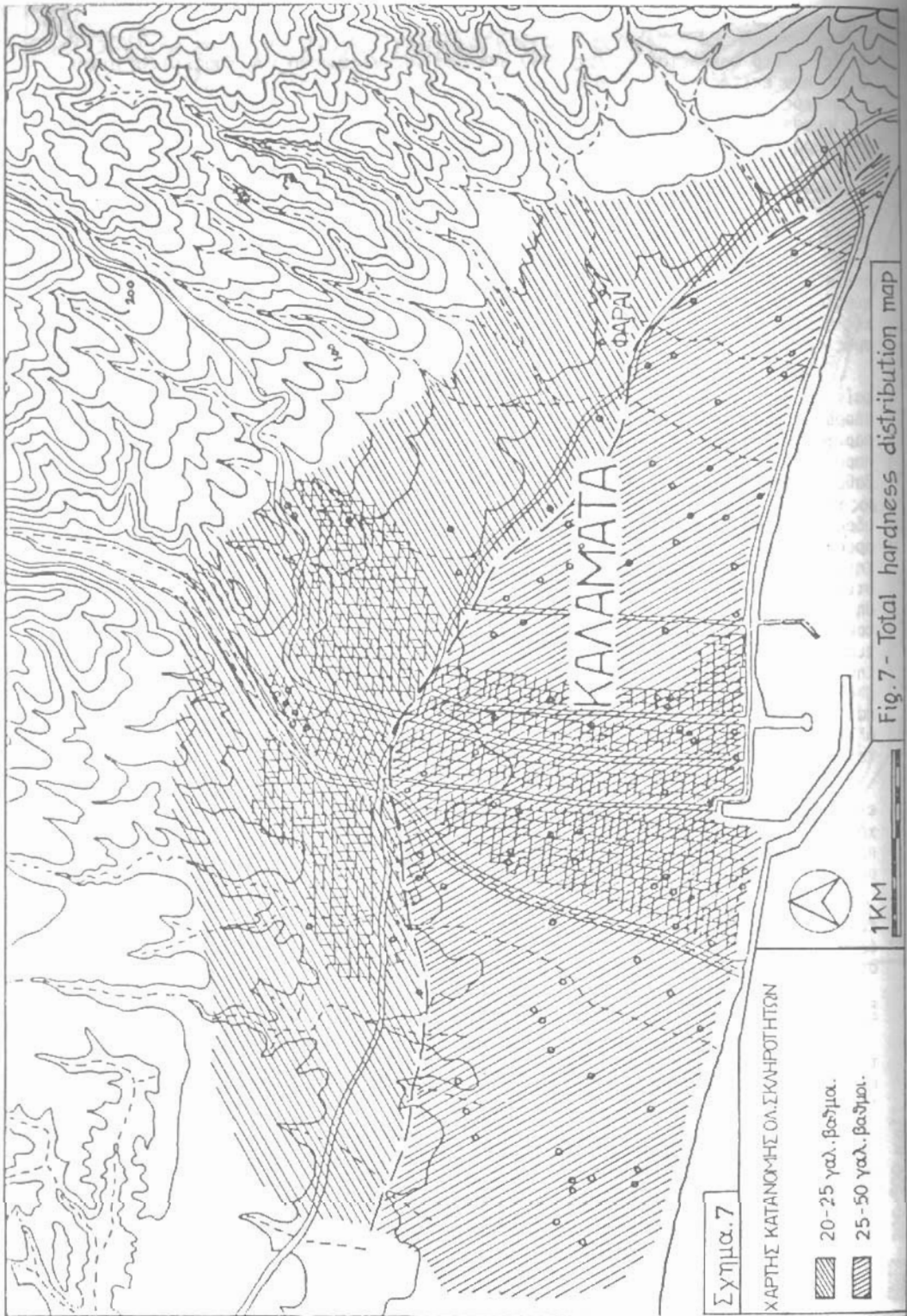
Από τους δείκτες SAR, SSP ($Na^+ + K^+ / Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+$ %), τα κατιόντα σε μονάδες meq/l και RSC ($CO_3^{2-} + HCO_3^- - (Ca^{2+} + Mg^{2+})$ σε meq/l), με όρια : SAR μέχρι και 18, SSP τιμές μεγαλύτερες του 15% και RSC τιμές με μέγιστο 2,5, μπορούμε να πούμε ότι όλα τα νερά είναι κατάλληλα για αρδεύσεις.

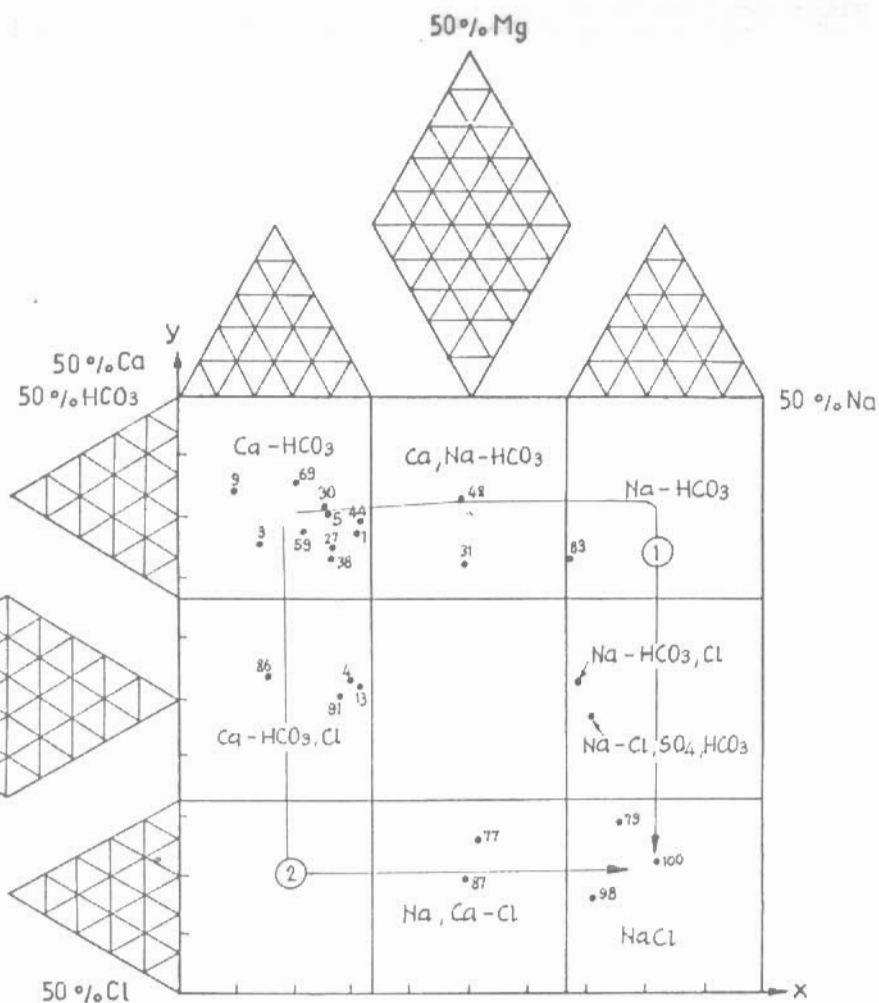
5.3. Κατηγορίες και ταξινόμηση κατά Duron

Στο σχήμα 8 φαίνονται οι διάφορες κατηγορίες νερών της Καλαμάτας και η ταξινόμησή τους κατά Duron. Όλα τα υπόγεια νερά τείνουν είτε δια της οδού 1 είτε δια της οδού 2 να εξελιχθούν σε νερά υποβαθμισμένης ποιότητας $NaCl$. Η κατηγορία Ca - HCO_3 περιλαμβάνει τα πιο φρέσκα.

Ο Πίνακας ΙΙ δίνει μια ταξινόμηση των νερών με βάση μερικές υδροχημικές ιδιότητές τους και τους λόγους ιόντων (οι συγκεντρώσεις εκφρασμένες σε meq/l). Με βάση αυτά έχουν προσδιορισθεί : $[Ca-HCO_3]$, $[Na, Ca-HCO_3, Cl]$ και $Na-Cl$. Ο λόγος Ca/Cl μειώνεται πολύ σημαντικά στην τρίτη κατηγορία λόγω εμπλουτισμού των νερών σε χλωρίδια. Για τον ίδιο λόγο αυξάνεται ο λόγος Cl/ HCO_3 .

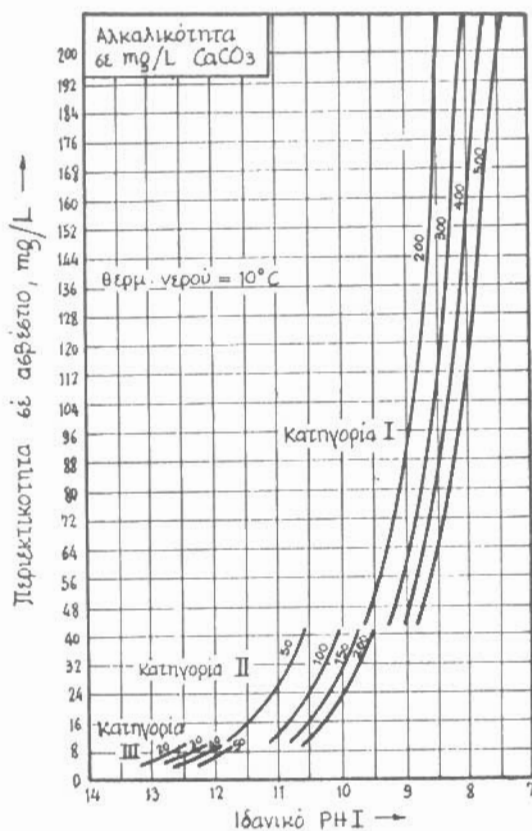
Στον υδρολογικό κύκλο του νερού ο λόγος Na/Cl κυμαίνεται από 0,86 - 1,00 (0,867 του θαλάσσιου νερού). Στις τρεις κατηγορίες νερών της Καλαμάτας ο λό-





Σχήμα 8. Διάγραμμα Durov και κατηγορίες υπόγειων νερών Καλαμάτας.

Fig. 8. Durov diagram and groundwaters categories of Kalamata.



Σχ.9. Το pH_I υπολογίζεται σαν συνάρτηση της κατηγορίας ταξινόμησης, της αλκαλικότητας και της περιεκτικότητας σε ασβέστιο του υπόγειου νερού.

Fig.9. The pH_I can be calculated as a function of the classified category, of alkalinity and of the content in Ca of the groundwater.

γος αυτός παρουσιάζει μια μέση τιμή μεγαλύτερη του 1,0 γεγονός που σημαίνει ότι σε όλες κυριαρχούν οι ιοντοανταλλακτικές διεργασίες που έχουν σαν αποτέλεσμα να ελευθερώνουν σημαντικές ποσότητες κατιόντων Na από το πλέγμα των αργίλων. Δηλαδή έχουμε μια επιπρόσθετη πηγή Na απ' αυτή της θάλασσας.

Πίνακας ΙΙ. Ταξινόμηση των υπόγειων νερών της Καλαμάτας σύμφωνα με τις υδροχημικές τους ιδιότητες

	Κατηγορία I (φρέσκα)	Κατηγορία II (μεικτά)	Κατηγορία III (βεβαρυμένα)
pH (μ. τιμή)	7,00	7,27	7,51
TDS (μ. τιμή)	814	1080	1050
Τύπος Νερού	Ca-HCO ₃	Na,Ca - HCO ₃ ,Cl	Na - Cl
Ca/Cl	1,44-5,11	0,73-2,63	0,38-0,71
Na/Cl	1,20-1,81	0,69-2,41	0,98-1,32
SO ₄ /HCO ₃	0,09-0,43	0,16-1,10	0,21-0,40
SO ₄ /Cl	0,28-0,93	0,10-0,79	0,10-0,34
Cl/HCO ₃	0,25-0,77	0,29-2,83	1,38-3,39

Τέλος, για την ερμηνεία των λόγων SO₄/HCO₃ και SO₄/Cl μπορούμε να παρατηρήσουμε τα εξής : Το θειϊκό ιόν στα υπόγεια νερά χαμηλής έως μεσαίας αλμυρότητας βρίσκεται σε χαμηλή περιεκτικότητα και ο δείκτης κορεσμού του CaSO₄ είναι αρνητικός. Επίσης σε μικρή απόσταση από τη ζώνη φυσικής τροφοδοσίας του υδροφόρου ορίζοντα, το Cl⁻ (το οποίο είναι το πιο ευδιάλυτο ιόν) αρχίζει σιγά-σιγά να αυξάνει και να υπερκελίζει το SO₄²⁻ και το HCO₃⁻ στα κατάντη. Θα περίμενε λοιπόν κανείς μείωση του SO₄/Cl και αύξηση του SO₄/HCO₃ προς τις περιοχές μικρότερης πιεζομετρίας. Στην υπό μελέτη περιοχή αυτό αληθεύει κατά μεγάλο ποσοστό για το λόγο SO₄/Cl. Οι τιμές όμως του λόγου SO₄/HCO₃ ενώ επαληθεύονται μέχρι και την κατηγορία II, στην κατηγορία III παρουσιάζεται μια απότομη μείωσή του λόγω επαναδιάλυσης του CaCO₃ όπως είδαμε στην παράγραφο για τις γενικές παρατηρήσεις επί της υδροχημείας της περιοχής.

5.4. Επίδραση της ποιότητας των υπόγειων νερών σε μεταλλικά υλικά

5.4.1. Δείκτες διαβρωσιμότητας ή απόθεσης

Οι πιο συνηθισμένοι δείκτες είναι του Langelier (1936) και του Ryznar (1944) οι οποίοι εκφράζουν την τάση του νερού για διάβρωση ή απόθεση. Μπορούμε να προσδιορίσουμε τους δείκτες αυτούς με την βοήθεια του pH κορεσμού του νερού σε CaCO₃ για συγκεκριμένη αλκαλικότητα και συγκέντρωση σε Ca. Η απόκλιση του πραγματικού pH από αυτό που υπολογίζεται σε κορεσμό, μας δίνει σημαντικές πληροφορίες για τη συμπεριφορά του νερού σε μεταλλικές κατασκευές, σωλήνες, οπλισμό σκυροδέματος και σιδερένιους πασσάλους.

Σ' αυτή τη μελέτη χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης σταθερότητας του Ryznar που βασίζεται εταν υπολογισμό ενός pH, γνωστού ως ιδανικό (pH_I).

Με τον όρο ιδανικό pH_I εννοούμε εκείνη την τιμή που παράγει δείκτη σταθερότητας Ryznar (R_{S1}) ίσο με 6,0. Δηλαδή από τον τύπο :

$$pH_I = 2pH_S - R_{S1}$$

όπου pH_S είναι το pH σε κορεσμό CaCO₃, για R_{S1}=6, μπορούμε να υπολογίσουμε το pH_I.

Συγκρίνοντας τέλος το pH_I με το πραγματικό (που μετράμε στην ύπαιθρο) παίρνουμε το αναζητούμενο αποτέλεσμα.

5.4.2. Ταξινόμηση νερών ως προς τη διαβρωτικότητα ή απόθεση αλάτων

Τα πιο συνηθισμένα επιφανειακά και υπόγεια νερά κατατάσσονται στις παρακάτω τρεις κατηγορίες (κατά Ryznar):

Κατηγορία	Αλκαλικότητα σε mg/l CaCO ₃	Λοβέστιο mg/l	Ολικά διαλ. άλατα mg/l
I	200-500	40-200	300-1.500
II	50-200	10- 40	100- 300
III	20- 50	4- 10	100

5.4.3. Σπουδαία χαρακτηριστικά

Τα χαρακτηριστικά που συνεισφέρουν στην διαβρωτικότητα του νερού ή στην τάση του για απόθεση είναι :

- α) Ολική αλκαλικότητα (HCO₃ + CO₃ + OH)
- β) Ca
- γ) pH
- δ) Θερμοκρασία
- ε) Ολικά διαλυμένα άλατα (TDS)

Από τους παραπάνω δείκτες μόνο τα ολικά διαλυμένα άλατα έχουν ελάχιστη επίδραση στην τάση για διάβρωση ή απόθεση. Αν όλες οι άλλες παράμετροι κρατηθούν σταθερές, ουσιώδης μόνο μεταβολή στην συγκέντρωση των TDS θα επιφέρει αξιόσημείωτη αλλαγή της συμπεριφοράς του νερού για διάβρωση ή απόθεση.

5.4.4. Ιδανικό pH_T

Για κάθε κατηγορία νερού, υπολογίσαμε τιμές pH_T για διάφορους συνδυασμούς σοβεστίου και αλκαλικότητας. Αυτές βασίστηκαν στις μέσες τιμές των TDS (κατηγορία I:900, II:200, και III:90 mg/l) και για θερμοκρασία 10°C, όπως φαίνεται στο σχήμα 9.

Απλά με γνώση μόνο των τιμών για το σοβέστιο και την αλκαλικότητα και επιλέγοντας την αντίστοιχη κατηγορία νερού, προσδιορίζουμε το pH_T. Η τιμή αυτή συγκρίνεται με το πραγματικό pH. Η προκύπτουσα ποιοτική ανάλυση από αυτές τις συγκρίσεις δίνεται στον Πίνακα III.

Πίνακας III. Βαθμός διαβρωτικότητας ανάλογα με το pH και pH_T.

Πραγματικό pH-pH _T	Βαθμός διαβρωτικότητας ή απόθεσης των νερών
0 έως 0,5	Μικρή ή μηδαμινή απόθεση
0,5 έως 1,0	" ή ελαφριά "
1,0 έως 2,0	" έως σημαντική απόθεση
Μεγαλύτερη από 2	Σημαντική έως βαριά "
0 έως -0,5	Μικρή ή μηδαμινή διάβρωση
-0,5 έως -1,0	" ως ελαφριά "
-1,0 έως -2,0	" έως σημαντική διάβρωση
Μικρότερη από -2,0	Σημαντική έως βαριά "

5.4.5. Διορθώσεις θερμοκρασίας

Αν η θερμοκρασία του νερού δεν είναι 10°C, το pH_T μπορεί να υπολογισθεί για οποιαδήποτε θερμοκρασία με χρήση του τύπου του Ryznar :

$$\Delta pH_T = -0,0167(1,8t + 22^\circ\text{C})$$

Η τιμή αυτή προστίθεται στην pH₁ που έχει προσδιορισθεί από το διάγραμμα του σχήματος 9. Όσο ψηλότερη η θερμοκρασία, τόσο χαμηλότερη η τιμή του pH₁ για δεδομένη ποιότητα νερού. Αν προκύψουν τιμές διαφορετικές από αυτές του σχήματος, προέκταση των καμπυλών λύνει το πρόβλημα.

5.4.6. Συνθήκες διαβρωτικότητας υπόγειων νερών Καλαμάτας

Στον Πίνακα I καταχωρούνται μαζί με τις αναλύσεις των υπόγειων νερών και οι τελικές τιμές pH-pH₁ για τα νερά της Καλαμάτας. Με βάση τις τιμές αυτές αναμένεται στις χαμηλές θερμοκρασίες διάβρωση, ενώ με την ανύψωση της θερμοκρασίας απόθεση αλάτων. Στις περιόδους των χαμηλών θερμοκρασιών, η διαβρωτική δράση αυξάνει λόγω χαμηλών τιμών pH, μέτριας έως υψηλής περιεκτικότητας σε διαλυμένο οξυγόνο και CO₂ και υψηλών τιμών Eh.

5.5. Συμπεράσματα υδροχημείας

- 1) Υδροχημικές παρατηρήσεις για την περιοχή έδωσαν για τα ανιόντα $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- \gg \text{SO}_4^{2-}$, ενώ για τα κατιόντα $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ + \text{K}^+ \gg \text{Mg}^{2+}$.
- 2) Ο χάρτης κατανομής των χλωριόντων έδωσε μέγιστη περιεκτικότητα σε μια ζώνη κατά μήκος της παραλιακής οδού που Α διευρύνεται και φθάνει μέχρι τις Φωρές.
- 3) Ο χάρτης κατανομής των σκληροτήτων έδωσε δύο ζώνες. Η πρώτη προς τις παρυφές της πόλης έχει σχετικά μαλακότερα νερά από την παραλιακή. Γενικά τα νερά είναι φρέσκα λόγω υψηλών τιμών Eh και D.O. και τροφοδοτούνται με επιφανειακές απορροές ασβεστολιθικών κυρίως περιοχών.
- 4) Η ταξινόμηση τους κατά Duron, έδωσε τις παρακάτω τρεις κατηγορίες υπόγειων νερών με διακεκριμένους κατά το μεγαλύτερο μέρος ιοντικούς λόγους:
 - α) Ca-HCO₃
 - β) Na, Ca-HCO₃, Cl
 - γ) Na-Cl
- 5) Υπολογίστηκαν οι δείκτες κορεσμού κατά Ryznar (pH-pH₁) και διαπιστώθηκε ότι τα υπόγεια νερά της Καλαμάτας προσβάλλουν τα μεταλλικά τμήματα ή υλικά των κατασκευών, διαβρώνοντάς τα σε περιόδους χαμηλών θερμοκρασιών ή αποθέτοντας άλατα σε περιόδους υψηλών θερμοκρασιών.
- 6) Η ποιότητά τους για ποσιμότητα και οικιακή χρήση θεωρείται ακτάλληλη σε πολλές περιοχές, κύρια λόγω υψηλών συγκεντρώσεων σε νιτρικά, TDS καθώς και χλωριόντων, ενώ θεωρούνται κατάλληλα για αρδεύσεις.

6. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Διερευνάται η υδροδυναμική συμπεριφορά και η ποιότητα των υπογείων νερών των τεταρτογενών αποθέσεων της πόλης της Καλαμάτας και της γειτονικής παραλιακής ζώνης.

Διαπιστώνεται ότι σε μία παραλιακή λωρίδα πλάτους μέχρι 1 χλμ. η υπόγεια υδροφορία ανεπτύσσεται σε βάθη μικρότερα των 5 μ., γεγονός που επηρεάζει αρνητικά την ποιότητα των εδαφοτεχνικών χαρακτηριστικών της ζώνης θεμελίωσης. Στη λωρίδα αυτή δημιουργούνται προβλήματα στεγανοποίησης των υπόγειων χώρων προς αποφυγή πλημμύρισής τους αλλά και θέμα ανύψωσης.

Γίνεται ερμηνεία των χαρτών κατανομής χλωριόντων και ολ. σκληροτήτων των υπόγειων νερών, ενώ η ταξινόμησή τους κατά Duron δίδει τρεις κατηγορίες με διακεκριμένους κατά το μεγαλύτερο μέρος ιοντικούς λόγους σε κάθε μια. Επίσης εξακριβώνεται ότι λόγω ποιότητας τα υπόγεια νερά προσβάλλουν τα μεταλλικά τμήματα ή υλικά των κατασκευών που βρίσκονται σε επαφή μ' αυτά, διαβρώνοντάς τα σε περιόδους χαμηλών θερμοκρασιών ή αποθέτοντας άλατα σε περιόδους υψηλών θερμοκρασιών. Από άποψη ποσιμότητας και οικιακής χρήσης είναι ακατάλληλα κυρίως λόγω αυξημένων νιτρικών, ολικών διαλυμένων αλάτων καθώς και χλωριόντων σε αρκετές περιοχές, ενώ θεωρούνται κατάλληλα για αρδεύσεις.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Δ/ση Ερευνών Εδαφών ΥΠΕΧΩΔΕ (1986). Γεωτεχνική έρευνα Καλαμάτας στα πλαίσια της Μικροζωνικής μελέτης.
2. Ι.Γ.Μ.Ε. (1977). Γεωλογικός χάρτης κλ. 1:50.000, φύλλο "Καλαμάτα".
3. Langelier W.F. (1936). "Analytical control of anticorrosion water treatment". J. Amer. Water Works Assoc., Vol. 28, No. 10, pp. 1501-1521.
4. Μαρλιαώκος Η., Σαμπώ Β., Αλεξόπουλος Α., Δανάμος Ι., Λέκκα Ε., Λόγος Ε., Λόζιος Σ., Μερτζάνης Α., Φουντούλης Ι. "Μικροζωνική μελέτη Καλαμάτας. Γεωλογία, Νεοτεκτονική, Γεωμορφολογία".
5. Ryznar J.W. (1944). "A new index for determining amount of calcium carbonate scale formed by a water". J. Amer. Water Works Assoc., Vol. 36, p. 472.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΥΠΟΜΝΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΥ ΧΑΡΤΗ

- 1 : Αλλουβιακές αποθέσεις χειμαρροποτάμιας προέλευσης (άμμοι, χαλίκια, ιλύς, άργιλοι). Υδροπερατότητα ποικίλουσα από θέση σε θέση.
- 2 : Πλειστοκαινικές χερσαίες αναβαθμίδες και πλευρικά κορήματα ποικίλης λιθολογικής και κοκκομετρικής σύνθεσης και κυμαινόμενης υδροπερατότητας.
- 3 : Πλειοκαινικοί θαλάσσιοι σχηματισμοί, αποτελούμενοι κυρίως από μάργες. Στη βάση μικρού πάχους κροκαλοπαγή και κατά θέσης μαργαϊκοί ή ψαμμιτικοί ασβεστόλιθοι. Πρακτικά στεγανός σχηματισμός.
- 4 : Πρώτος φλύσχης ζώνης Πίνδου (εναλλαγές αργιλομαργαϊκών στρωμάτων και ψαμμιτών). Πρακτικά στεγανός σχηματισμός.
- 5 : Φλύσχης ζώνης Τρίπολης (εναλλαγές μαργών, ψαμμιτών με ενστρώσεις ή φακούς ασβεστολίθων και κροκαλοπαγών). Σχηματισμός πρακτικά υδροστεγανός.
- 6 : Ανωκρητιδικοί ασβεστόλιθοι ζ. Πίνδου. Υδροπερατοί.
- 7 : Ασβεστόλιθοι Παλαιοκαίνου - Ανωτ. Ηκαίνου ζ. Τρίπολης. Υδροπερατοί.
- 8 : Ασβεστόλιθοι και δολομιτικοί ασβεστόλιθοι ζ. Τρίπολης. Υδροπερατοί.
- 9 : Επύθση.

LEGEND OF GEOLOGICAL MAP

- 1 : Alluvial deposits (sands, pebbles, silt and clays).
- 2 : Plio-Pleistocene terrestrial terraces and screes of miscellaneous lithological and grain : size composition and permeability of wide range.
- 3 : Pliocene marine formations consisting mainly of marls. At their base thin bedded conglomerates and at places marly to psammitic limestones. Practically an aquiclude.
- 4 : First flysch of Pindos (alterations of clayey-marly beds and sandstones). Practically an aquiclude.
- 5 : Flysch of Tripoli zone (alterations of marls, sandstones with intercalations or lenses of limestones and conglomerates). Practically an aquiclude.
- 6 : Upper Cretaceous limestones of Pindos zone. Permeable.
- 7 : Paleocene - upper Eocene limestones of Tripolis zone. Permeable.
- 8 : Limestones dolomitic limestones of Tripolis zone. Permeable.
- 9 : Overthrust.