

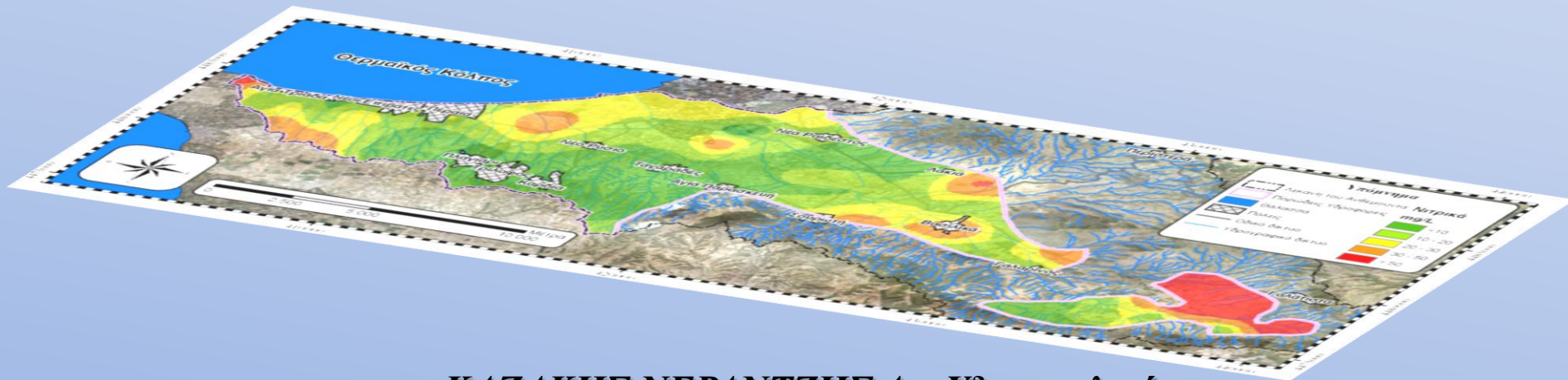


ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ  
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ & ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ



ΠΜΣ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑ  
Ειδίκευση: Τεχνική Γεωλογία - Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία

**ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ:**  
**-ΥΔΡΟΧΗΜΕΙΑ**  
**-ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΥΠΟΓΕΙΟΙ ΥΔΡΟΦΟΡΕΙΣ**



**ΚΑΖΑΚΗΣ ΝΕΡΑΝΤΖΗΣ Δρ. Υδρογεωλογίας**

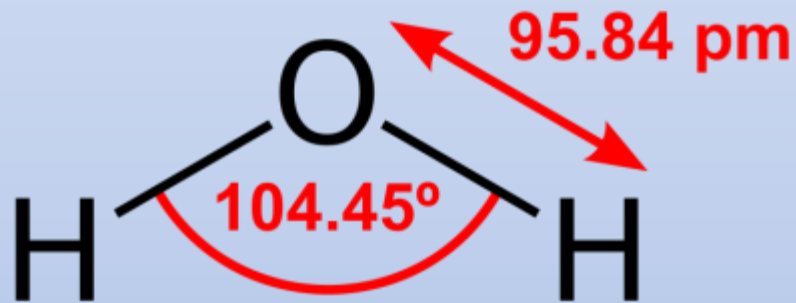
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2014

# Ποιότητα υπόγειων νερών

- Φυσικές ιδιότητες νερού
- Δειγματοληψία σε υπόγεια νερά
- Έλεγχος αναλύσεων
- Ποιοτικά χαρακτηριστικά υπόγειων νερών
- Υδροχημικά διαγράμματα
- Υδροχημικοί τύποι υπόγειων νερών
- Προέλευση ιόντων
- Παρουσίαση αποτελεσμάτων

# Φυσικές ιδιότητες νερού

## Φυσικές ιδιότητες νερού



- Το μόριο του νερού. Από: [el.wikipedia.org/wiki/Νερό](http://el.wikipedia.org/wiki/Νερό)

Ουσία άχρωμη, άοσμη, άγευστη, το νερό είναι η περισσότερο διαδεδομένη χημική ένωση στην επιφάνεια της Γης, καλύπτοντας το 70,9% του πλανήτη μας.

Το μόριο του νερού αποτελείται από δύο άτομα υδρογόνου (H) και ένα άτομο οξυγόνου (O), που συνδέονται μεταξύ τους με ομοιοπολικούς δεσμούς. Στον δεσμό O-H, γωνία είναι 104,5° και η απόσταση 95,84pm.

# Φυσικές ιδιότητες νερού

## Φυσικές ιδιότητες νερού

Λόγω της γωνιακής διάταξης του δεσμού O-H, το μόριο του νερού είναι ασύμμετρο και έχει υψηλή **διπολική ροπή**. Η πολικότητα του μορίου εξηγεί τη μεγάλη του διηλεκτρική σταθερά (78 στους 25 C) και πολλές άλλες ιδιότητές του, όπως η μεγάλη διαλυτική του ικανότητα. Διαλύει από απλά άλατα μέχρι ορυκτά και πετρώματα. Το νερό είναι σημαντικό σε πολλές γεωλογικές διεργασίες όπως το φαινόμενο της αποσάθρωσης όπου μαζί με φυσικές και χημικές διεργασίες στην επιφάνεια της Γης, συμβάλλει στο σχηματισμό εδαφών.

# Φυσικές ιδιότητες νερού

## Φυσικές ιδιότητες νερού

Η πυκνότητα του νερού είναι διαφορετική σε διάφορες θερμοκρασίες, με μέγιστη στους 4 C. Στους 0 C το νερό έχει μικρότερη πυκνότητα σε στερεή κατάσταση ( $0,9170\text{gr/cm}^3$ ) απ'ότι στην υγρή ( $0,9998\text{gr/cm}^3$ ) μ'όλες τις ευεργετικές συνέπειες που έχει αυτό για τη ζωή στον πλανήτη μας. Το νερό έχει μεγάλη **θερμοχωρητικότητα**. Για την μεταβολή της θερμοκρασίας 1Kg νερού κατά 1 C απαιτείται θερμότητα 4200J.

# Φυσικές ιδιότητες νερού

Φυσικές ιδιότητες νερού

Τέλος, το νερό:

- έχει μεγάλη επιφανειακή τάση
- έχει μικρή ηλεκτρική αγωγιμότητα, η οποία αυξάνει σημαντικά παρουσία διαλυμένων ιόντων
- δεν έχει μαγνητικές ιδιότητες, εκτός και αν περιέχει μαγνητικές ουσίες

Στην υπό μελέτη περιοχή θα πρέπει να καθορίζονται από πριν:

- ο αριθμός και η θέση των σημείων δειγματοληψίας
- ο αριθμός των δειγμάτων (κατά βάθος)
- η πυκνότητα των θέσεων δειγματοληψίας
- ο χρόνος και η συχνότητα δειγματοληψίας

Τα σημεία δειγματοληψίας θα πρέπει να επιλέγονται με βάση την συλλογή αντιπροσωπευτικού δείγματος, καλύπτοντας όλους τους υδροφορείς. Όσο πιο πολλά τα σημεία δειγματοληψίας τόσο πιο πολλές οι πληροφορίες που συγκεντρώνονται.

Στους πορώδεις υδροφορείς η πυκνότητα των θέσεων δειγματοληψίας ποικίλει από 25-40 δείγματα ανά 100Km<sup>2</sup>. Η ελάχιστη πυκνότητα είναι 1 θέση παρακολούθησης ανά 20Km<sup>2</sup> υδροφορέα. Υδροφορείς με υψηλό συντελεστή κατείσδυσης (καρστικοί) πρέπει να παρακολουθούνται συχνότερα, γιατί είναι πιο ευάλωτοι στην εξωτερική ρύπανση. Η ελάχιστη συχνότητα για τα υπόγεια νερά είναι 2 δείγματα το έτος από κάθε θέση δειγματοληψίας, ένα όταν η στάθμη είναι χαμηλή και ένα όταν η στάθμη είναι υψηλή.

(Βουδούρης Κ., ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ, 2009).



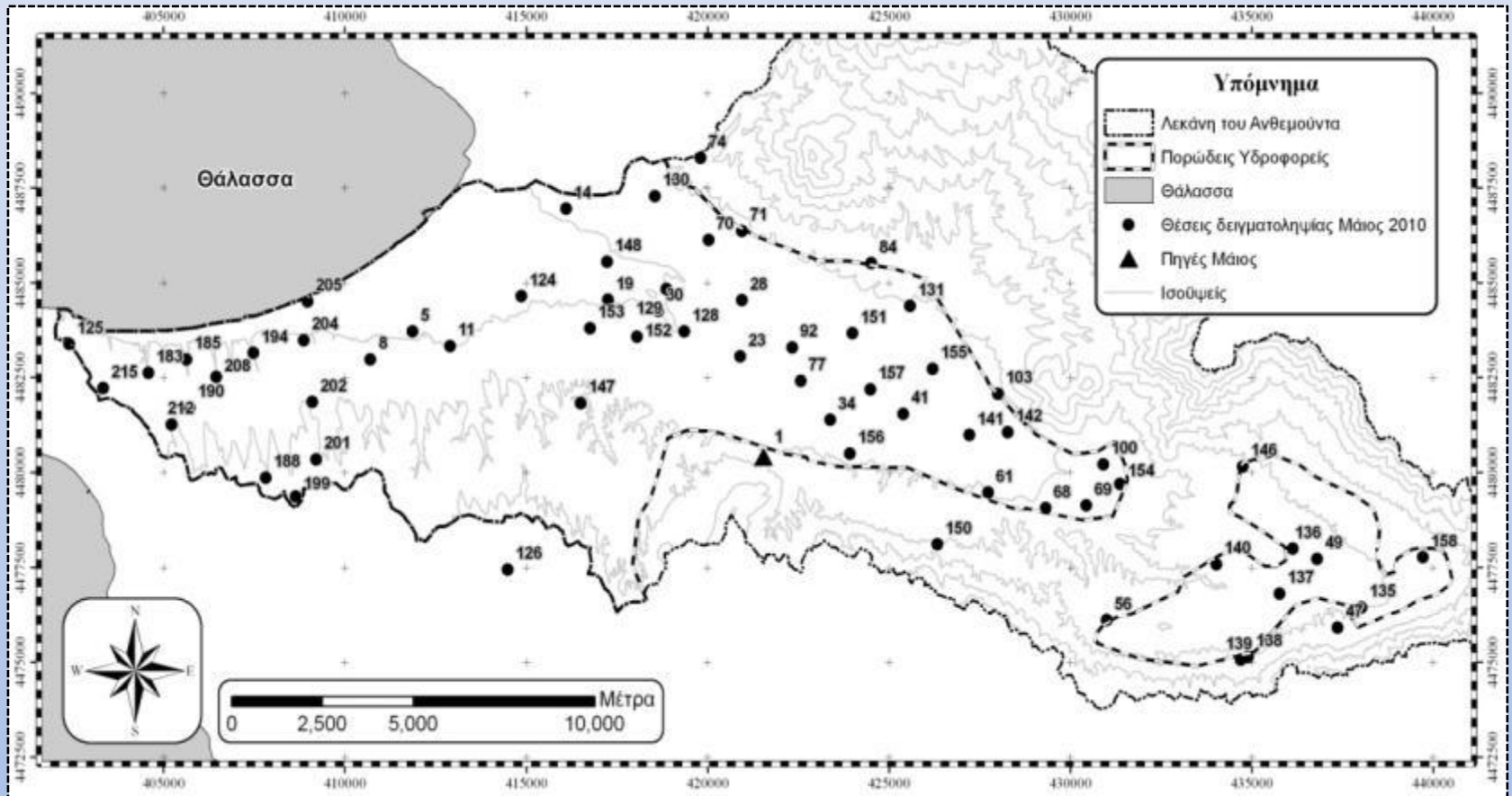
# Δειγματοληψία

## Δειγματοληψία

Το δείγμα του νερού για να είναι αντιπροσωπευτικό πρέπει να είναι φρέσκο. Αυτό εξασφαλίζεται, με άντληση για τον καθαρισμό της γεώτρησης και μέτρηση σε τακτικά χρονικά διαστήματα του pH και της αγωγιμότητας του νερού μέχρις ότου να σταθεροποιηθούν οι τιμές. Η συλλογή γίνεται σε πλαστικούς δειγματολήπτες χωρητικότητας 1½ lt, αφού ξεπλυθούν αρκετές φορές με το ίδιο νερό που θα αναλυθεί. Τα δείγματα φυλάσσονται σε θερμοκρασία 4 C στο ψυγείο και μεταφέρονται στο εργαστήριο για ανάλυση το συντομότερο δυνατόν για να εξασφαλιστεί η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων. Στο εργαστήριο, πριν την χημική ανάλυση, προηγείται η διήθηση του δείγματος από ηθμό 0,45μ για να απομακρυνθούν τυχόν αιωρούμενα σωματίδια μη ορατά στο γυμνό μάτι. Προκειμένου να αναλυθούν μέταλλα, μέρος του δείγματος οξινίζεται με προσθήκη 5ml HCL (0.5N) για να κρατηθούν τα μέταλλα σε αιώρηση.

# Δειγματοληψία

## Υδρογεωλογία

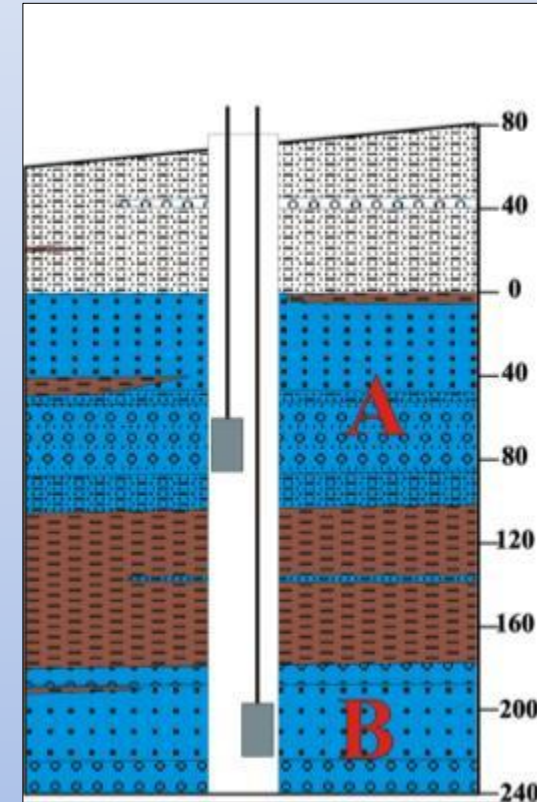


Θέσεις δειγματοληψίας του υπόγειου νερού στη λεκάνη του Ανθεμούντα.

[Καζάκης Ν. (2013). Εκτίμηση της της διακινδύνευσης του υπόγειου νερού στην εξωτερική ρύπανση στη Λεκάνη του Ανθεμούντα. Διδακτορική Διατριβή. Τμήμα Γεωλογίας. Α.Π.Θ.]

# Δειγματοληψία

## Γεωλογική



Επί τόπου μετρήσεις των φυσικοχημικών παραμέτρων (Αριστερά), δειγματοληψία κατά βάθος (Δεξιά).

[Καζάκης Ν. (2013). Εκτίμηση της της διακινδύνευσης του υπόγειου νερού στην εξωτερική ρύπανση στη Λεκάνη του Ανθεμούντα. Διδακτορική Διατριβή. Τμήμα Γεωλογίας. Α.Π.Θ.]

# Έλεγχος αναλύσεων

## Έλεγχος αλαγροεωλ

Για τον έλεγχο των χημικών αναλύσεων δειγμάτων νερού χρησιμοποιείται το σφάλμα ισοζυγίου ιόντων σε meq/L εκφρασμένο σε ποσοστό επί τοις εκατό.

Αν είναι μεγαλύτερο από 5% η χημική ανάλυση επαναλαμβάνεται.

$$\text{Σφάλμα ισοζυγίου ιόντων (\%)} = \frac{\Sigma_{\text{κατιόντων}} - \Sigma_{\text{ανιόντων}}}{\Sigma_{\text{κατιόντων}} + \Sigma_{\text{ανιόντων}}} \cdot 100$$

# Ποιοτικά χαρακτηριστικά υπόγειων νερών

Ποιοτικά Χαρακτηριστικά υπόγειων νερών

Η ποιότητα των υπόγειων νερών, καθορίζεται από πολλούς παράγοντες:

- Αποσάθρωση και διάλυση των πετρωμάτων
- Απόθεση ορυκτών
- Οργανική ύλη (έκλυση  $\text{CO}_2$ , αναγωγή  $\text{Fe}$ ,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{SO}_4$ , μεθανογένεση)
- Παρουσία βλάστησης (πρόσληψη καλίου, φωσφόρου, αερίων από την ατμόσφαιρα)
- Αντιδράσεις ιοντοανταλλαγής
- Ανθρώπινες δραστηριότητες (χρήση φυτοφαρμάκων, εντομοκτόνων και λιπασμάτων στη γεωργία, διάθεση αστικών λυμάτων και βιομηχανικών αποβλήτων στο έδαφος, διαρροές από χωματερές, διαφυγές ρυπαντών)

# Ποιοτικά χαρακτηριστικά υπόγειων νερών

Ποιοτικά Χαρακτηριστικά Υπόγειων Νερών

Από τις κυριότερες παραμέτρους του υπόγειου νερού που εξετάζονται είναι:

## Φυσικές

- **Θερμοκρασία.** Καθορίζεται κυρίως από τη θερμοκρασία των πετρωμάτων που τα περιβάλλουν αλλά επηρεάζεται και από τις μεταβολές της πιεζομετρικής επιφάνειας του υδροφόρου. Η μέτρηση γίνεται σε  $^{\circ}\text{C}$
- **Χρώμα.** Είναι ανεπιθύμητο όταν το νερό προορίζεται για πόσιμο. Μονάδες χρώματος σε κλίμακα Pt/Co.
- **Θολότητα.** Είναι η ιδιότητα του νερού να διαχέει και να απορροφάει το φως χωρίς να επιτρέπει την διέλευση του όταν περιέχει αιωρούμενα σωματίδια. Η μέτρηση γίνεται σε μονάδες θολότητας NTU (nephelometric turbidity unit).

### Χημικές

- Ενεργός οξύτητα (pH). Είναι τρόπος έκφρασης της συγκέντρωσης των κατιόντων  $\text{H}_3\text{O}^+$  στο υδατικό διάλυμα. Είναι καθαρός αριθμός και προσδιορίζεται είτε χρωματιμετρικά (χρήση δεικτών) είτε ηλεκτρομετρικά.
- Ηλεκτρική αγωγιμότητα. Συνδέεται άμεσα με την ποσότητα των διαλυμένων αλάτων, η οποία μεταβάλλεται ανάλογα με την θερμοκρασία, γι' αυτό και η μέτρησή της πρέπει να γίνεται στους 25 C (ή ανάγεται σε αυτή). Η ενδεικτική τιμή της αγωγιμότητας του πόσιμου νερού είναι 400  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Μετρώντας την αγωγιμότητα του νερού μπορούμε να γνωρίζουμε κατά προσέγγιση την σκληρότητα του νερού.
- Αλκαλικότητα. Αποτελεί μέτρο της ικανότητας του νερού να εξουδετερώνει υδρογονοκατιόντα εξαιτίας της παρουσίας ιόντων  $\text{OH}^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  και  $\text{HCO}_3^-$ . Ισχύει  $\text{Alk} = 0,81967\text{HCO}_3^-$  (mg/L)

# Ποιοτικά χαρακτηριστικά υπόγειων νερών

Ποιοτικά Χαρακτηριστικά Υπόγειων Νερών

- Σκληρότητα. Η παρουσία ιόντων  $\text{Ca}^{2+}$  και  $\text{Mg}^{2+}$  είναι η αιτία της σκληρότητας του νερού. Διακρίνεται σε:

## Παροδική ή ανθρακική

Οφείλεται στη διάλυση του ανθρακικού ασβεστίου ( $\text{CaCO}_3$ ) και του ανθρακικού μαγνησίου ( $\text{MgCO}_3$ ), που υπάρχουν στα διάφορα πετρώματα ή στο έδαφος μέσα από τα οποία διέρχεται το νερό.

## Μόνιμη ή μη ανθρακική

Προέρχεται από την παρουσία αλκαλικών γαιών, ενωμένων με το θειϊκό ιόν, το ιόν χλωρίου και το νιτρικό ιόν. Η κύρια πηγή των θειϊκών ιόντων είναι η οξείδωση του σιδηροπυρίτη, εκτός και αν συμβαίνει απόθεση εβαποριτών.

## Ολική

Είναι το άθροισμα ανθρακικής και μόνιμης σκληρότητας. Εκφράζεται σε  $\text{mg/L CaCO}_3$ ,  $\text{meq/L}$  και σε βαθμούς σκληρότητας. Ένας γαλλικός βαθμός ( f) ισούται με  $10\text{mg/L CaCO}_3$ , 1 γερμανικός βαθμός ( d) με  $17,9\text{mg/L Ca(HCO}_3)_2$  και 1 αγγλικός βαθμός ( e) με  $\text{Xmg/L Ca(HCO}_3)_2$ .



# Ποιοτικά χαρακτηριστικά υπόγειων νερών

Ποιοτικά Χαρακτηριστικά υπόγειων νερών

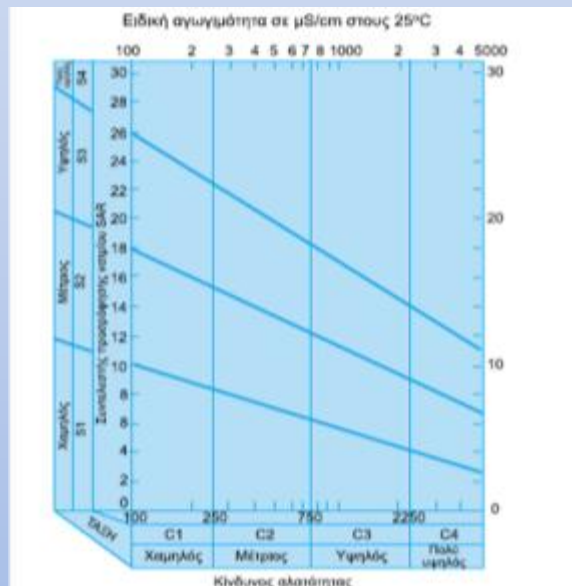
Όταν η αλκαλικότητα είναι μεγαλύτερη από την ολική σκληρότητα, η μόνιμη είναι μηδενική και η παροδική είναι με την ολική. Όταν είναι μικρότερη, η παροδική ισούται με την αλκαλικότητα και η μόνιμη με την διαφορά της παροδικής από την ολική.

- Συνολικά διαλυμένα στερεά (T.D.S). Εκφράζει τη συνολική συγκέντρωση διαλυμένων αλάτων στο νερό. Εξαιρούνται τα αιωρούμενα ιζήματα, τα κολλοειδή και τα διαλυμένα αέρια. Το T.D.S αποτελεί δείκτη αλατότητας. Τιμές T.D.S από 0-1000mg/L χαρακτηρίζουν το νερό γλυκό, 1000-10000mg/L υφάλμυρο, 10000-100000mg/L αλμυρό και πάνω από 100000mg/L υπεραλμυρό. Η αλατότητα αυξάνει με το βάθος, έτσι τα υπόγεια νερά είναι περισσότερο αλμυρά από τα επιφανειακά. Το αποσταγμένο νερό δεν περιέχει καθόλου διαλυμένα άλατα.

# Ποιοτικά χαρακτηριστικά υπόγειων νερών

## Ποιοτικά Χαρακτηριστικά Υπόγειων Νερών

- Συντελεστής προσρόφησης Na ή κίνδυνος Na (SAR). Αποτελεί βασικό κριτήριο για την καταλληλότητα ενός νερού για άρδευση. Ισούται με:  
$$SAR = Na / [(Ca+Mg)/2]^{1/2}$$
(συγκεντρώσεις ιόντων σε meq/L). Για EC ίσο με 750 $\mu$ S/cm και SAR < 6, ο κίνδυνος Na είναι μικρός, 6-12 μέσος, 12-18 μεγάλος και > 18 πολύ μεγάλος.



Διάγραμμα ταξινόμησης των αρδευτικών νερών με βάση τον SAR και τη EC.

[Βουδούρης Κ., ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ, 2009]

Η ποιότητα των αρδευτικών νερών ταξινομείται με βάση το διάγραμμα Richards ως εξής:

$C_1-S_1$ : καλή

$C_1-S_2, C_2-S_1$ : καλή έως μέτρια

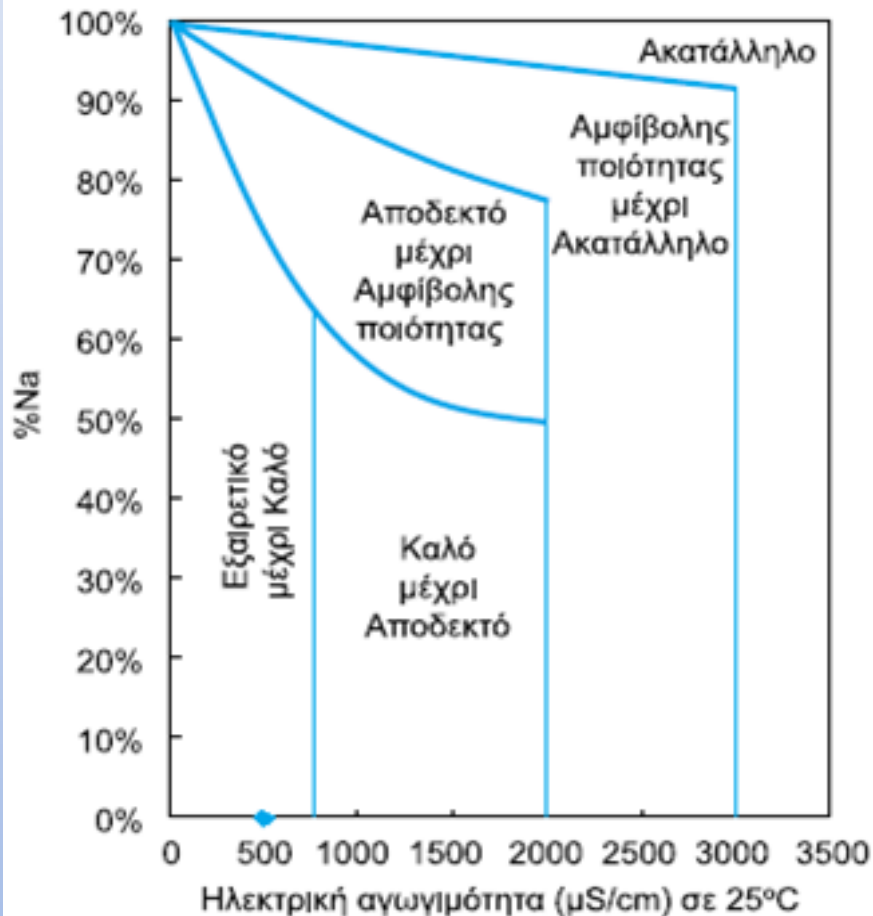
$C_1-S_3, C_2-S_2, C_3-S_1$ : μέτρια έως πολύ μέτρια

$C_1-S_4, C_2-S_3, C_3-S_2, C_4-S_1$ : πολύ μέτρια έως κακή

$C_3-S_4, C_4-S_3, C_4-S_4$ : πολύ κακή

# Ποιοτικά χαρακτηριστικά υπόγειων νερών

Ποιοτικά Χαρακτηριστικά Υπόγειων Νερών



Ο βαθμός αλκαλίωσης εκφράζει την περιεκτικότητα του Na σε % και δίνεται από την σχέση:

$$\%Na = (Na+K) \cdot 100 / (Ca+Mg+Na+K)$$

(συγκεντρώσεις ιόντων σε meq/L).

Διάγραμμα Wilcox. Ταξινόμηση των αρδευτικών νερών με βάση το βαθμό αλκαλίωσης. [Βουδούρης Κ., ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ, 2009]

# Ποιοτικά χαρακτηριστικά υπόγειων νερών

Ποιοτικά Χαρακτηριστικά Υπόγειων Νερών

- Κύρια ιόντα:  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$
- Δευτερεύοντα ιόντα:  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{Al}^{3+}$  κ.ά.
- Βαρέα μέταλλα: Pb, Cr, Hg, As, Cd κ.ά.
- Θρεπτικές ενώσεις του N, P

Πρωτεΐνες, οργανικές ενώσεις, Αέρια ( $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$ , ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CH}_4$ )

## Άλλα χαρακτηριστικά

- Θρεπτικά άλατα
- Οργανικές ουσίες
- Ραδιενέργεια
- Οσμή και Γεύση
- Ίνες αμιάντου

# Ποιοτικά χαρακτηριστικά υπόγειων νερών

Ποιοτικά Χαρακτηριστικά υπόγειων νερών

- Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD)-Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD). Είναι η ποσότητα του οξυγόνου που απαιτείται από τους οργανισμούς για τη βιοχημική αποδόμηση των οργανικών ουσιών που περιέχονται στα νερά. Εκφράζεται σε mg οξυγόνου που καταναλώνεται ανά λίτρο δείγματος σε 5 ημέρες στους 20 C.

Ο χρόνος των 5 ημερών είναι συμβατικός και χρησιμοποιείται διεθνώς γιατί μετρήθηκε ότι οι οργανικές ουσίες που υπάρχουν στα αστικά λύματα διασπώνται κατά 70-80% μέσα σε 5 ημέρες (Από: <http://kpe-kastor.kas.sch.gr/limnology/limnology/bod.htm>).

Σε περιπτώσεις όπου η βιολογική αποδόμηση είναι βραδεία, χρησιμοποιείται το COD, όπου ισχυρά οξειδωτικά μέσα οξειδώνουν όλο την οργανική ύλη του νερού.

# Υδροχημικοί τύποι υπόγειων νερών

Χημεικοί τύποι υπόγειων νερών

Η ταξινόμηση των υπόγειων νερών βασίζεται στην συγκέντρωση σε διάφορα ιόντα ή με την βοήθεια λόγων, όπως Cl/SO<sub>4</sub>, Na/K, Cl/Br, Mg/Ca. Οι επικρατέστεροι υδροχημικοί τύποι νερών υδροφορέων είναι:

**Ανθρακικά:** Ca<sup>2+</sup>>Mg<sup>2+</sup>>Na<sup>+</sup>

HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>>Cl<sup>-</sup>

**Χλωριούχα:** Na<sup>+</sup>>Ca<sup>2+</sup>>Mg<sup>2+</sup>

Cl<sup>-</sup>>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>

# Υδροχημικοί τύποι υπόγειων νερών

Χημειοκινητική τύποι υδροχημικών νερών

- Υπόγεια νερά που κινούνται από κρυσταλλικά πετρώματα ανήκουν στον Ca-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub> υδροχημικό τύπο.
- Υπόγεια νερά από ασβεστολιθικά πετρώματα ανήκουν στον Ca-HCO<sub>3</sub> υδροχημικό τύπο. Αν όμως αυτά περιέχουν γύψο, ο κυρίαρχος τύπος είναι Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub>.
- Υπόγεια νερά από εβαπορίτες ανήκουν στον Ca-Mg-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub> υδροχημικό τύπο.
- Υπόγεια νερά από μολασσιακά ιζήματα ανήκουν στην πλειοψηφία τους στον Ca-Mg-HCO<sub>3</sub> υδροχημικό τύπο.
- Υπόγεια νερά από φλύσχη ανήκουν στον Ca-HCO<sub>3</sub> ή Ca(Mg)-HCO<sub>3</sub> υδροχημικό τύπο.
- Υπόγεια νερά από αλλουβιακούς σχηματισμούς συνήθως ανήκουν στον Ca-HCO<sub>3</sub> υδροχημικό τύπο.
- Ο λόγος SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>/Cl<sup>-</sup> (meq/L) όταν παίρνει τιμές >0,2, το υπόγειο νερό χαρακτηρίζεται χλωριούχο. Όταν παίρνει τιμές <5, χαρακτηρίζεται θειούχο.

### Κατιόντα

- Ασβέστιο-Μαγνήσιο. Κύρια προέλευση του Ca στα υπόγεια νερά είναι οι ασβεστόλιθοι και τα μάρμαρα. Η προέλευση Mg συνδέεται με την παρουσία ολιβίνη, μαγνησίτη και δολομίτη που το περιέχουν στο πλέγμα τους αλλά και την παρουσία βιοτίτη και χλωρίτη στα μεταμορφωμένα πετρώματα.
- Νάτριο-Κάλιο. Κύρια προέλευση των αλκαλίων Na και K είναι οι άστριοι. Η παρουσία τους σχετίζεται επίσης με διείδυση της θάλασσας ή αερομεταφερόμενα σταγονίδια από την θάλασσα. Το K δε επιπρόσθετα συνδέεται με K-ούχα λιπάσματα.
- Ολικός σίδηρος. Συναντάται με τη δισθενή ( $Fe_{2+}$ ) και τρισθενή ( $Fe_{3+}$ ) μορφή, καλά όμως οξυγονωμένα επιφανειακά νερά δεν περιέχουν σχεδόν καθόλου διαλυμένο σίδηρο. Ο Fe απαντάται στα μαγματικά πετρώματα, σε οξείδια Fe όπως αιματίτης, λειμονίτης, μαγνητίτης, σουλφίδια Fe όπως σιδηροπυρίτης και στον σιδηρίτη.



### **Ανιόντα**

- Χλώριο. Προέρχεται από τα αργιλικά ορυκτά θαλάσσιας γένεσης στα ιζηματογενή πετρώματα, τους εβαπορίτες και τις θερμές πηγές. Σχετίζεται επίσης με διείδυση της θάλασσας ή αερομεταφερόμενα σταγονίδια από την θάλασσα.
- Όξινα ανθρακικά ιόντα. Υπερτερούν όλων των άλλων ανιόντων στα γλυκά υπόγεια νερά. Προέρχεται από το  $\text{CO}_2$  της ατμόσφαιρας ή ελευθερώνεται από το έδαφος ή εξαιτίας της διαλυτικής δράσης του νερού στα ανθρακικά πετρώματα.
- Νιτρικά ιόντα. Πιθανή προέλευση των  $\text{NO}_3^-$  είναι τα ζωικά περιττώματα και τα λιπάσματα.

# Προέλευση ιόντων

## Προέλευση ιόντων

- Νιτρώδες ανιόν. Αποτελεί ενδιάμεσο στάδιο οξείδωσης της αμμωνίας. Και τα δύο αποτελούν ένδειξη ρύπανσης.
- Θεϊκά ανιόντα. Προέρχονται κυρίως από την διάλυση της γύψου και του ανυδρίτη, την οξείδωση θειούχων ενώσεων που υπάρχουν στα αργιλικά πετρώματα και την χρήση θεϊκών λιπασμάτων.
- Φθόριο. Προέρχεται από τον απατίτη των ηφαιστειογενών πετρωμάτων.
- Φωσφορικά ιόντα. Η παρουσία τους στο υπόγειο νερό υποδηλώνει ρύπανση από λιπάσματα και αστικά λύματα.

# Προέλευση ιόντων

## Προέλευση ιόντων

Στον πίνακα δίνονται τυπικές περιεκτικότητες σε κύρια ιόντα του νερού της βροχής, της θάλασσας και διαφόρων τύπων υδροφορέων

Στοιχείο	Βροχή	Θάλασσα	Ανθρακικός	Αλλουβιακός	Γρανιτικός	Φλοσχικός
Ca <sup>2+</sup>	0,4-20,0	214	28-125	70-120	7-26	24-97
Mg <sup>2+</sup>	0,05-6,0	670	0,2-19	10-31	0,2-2	1,5-24
Na <sup>+</sup>	0,15-18	11.150	0,5-40	10-35	0,5-24	0,3-10
K <sup>+</sup>	0,25-0,78	414	<0,2-6,5	0,5-2	<0,2-3,2	<0,2-3
Cl <sup>-</sup>	0,16-44,5	20.000	1-50	4-25	1-17	<1-3,5
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,001-34	146	95-450	300-400	18-67	137-380
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,002-20	1.400	2-150	10-38	3-40	2,5-36
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,1-2,1	0,0003	<1-30	1-9	1-5	0,5-8

[Βουδούρης Κ., ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ, 2009.]

# Παρουσίαση αποτελεσμάτων

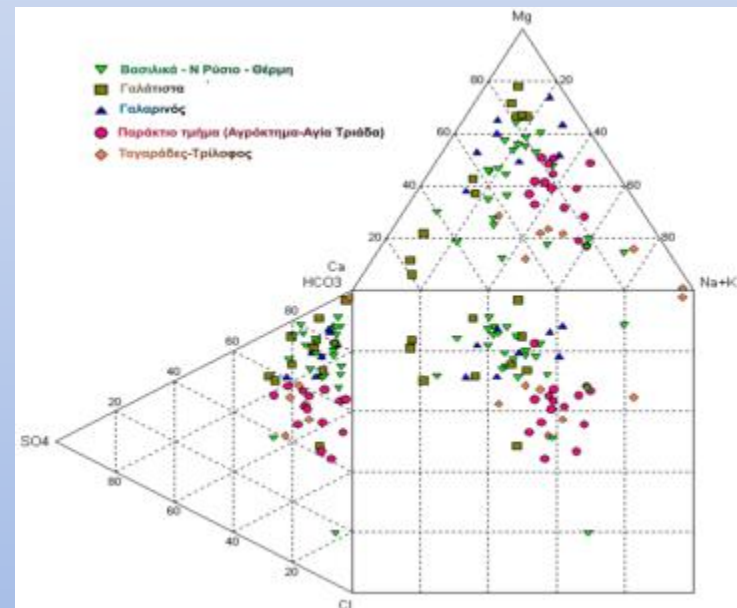
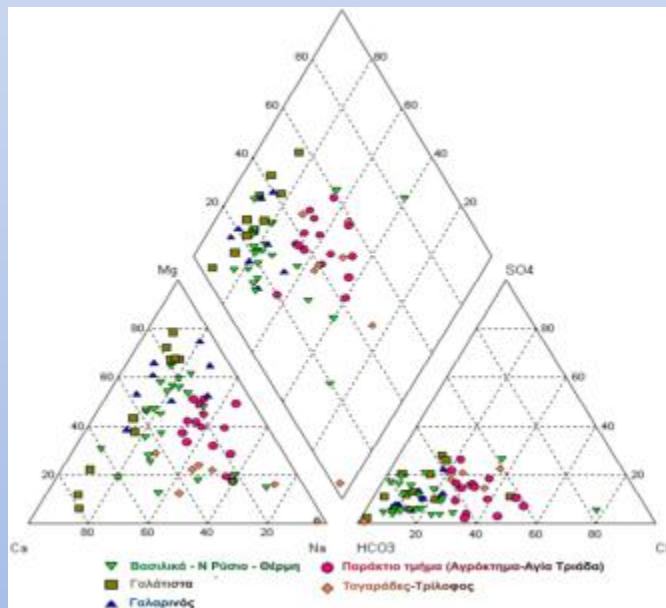
## Παρουσίαση αποτελεσμάτων

Στην υδρογεωλογική έρευνα τηρείται μητρώο δεδομένων με τα δεδομένα που συλλέγονται από την ύπαιθρο και το εργαστήριο. Τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων επιδέχονται στατιστικής επεξεργασίας για την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων. Η παρουσίασή τους γίνεται με την χρήση υδροχημικών διαγραμμάτων όπως ραβδοδιαγράμματα, κυκλικά, ιστογράμματα συχνότητας, ακτινικά, πολυγωνικά, ημιλογαριθμικά (κατά Schoeller), τετραγωνικά (κατά Langelier-Ludwig), διαγράμματα Stiff, τριγωνικά PIPER και DUROV κ.α. Επίσης, οι υδροχημικοί χάρτες είναι πολύ χρήσιμο εργαλείο στη μελέτη της ποιότητα του υπόγειου νερού. Δείχνουν την γεωγραφική κατανομή μιας παραμέτρου με καμπύλες ίσης συγκέντρωσης. Με παρόμοιες μεθόδους και τεχνικές κατασκευάζονται και οι υδροχημικές τομές.

# Υδροχημικά Διαγράμματα

## Χημικά Διαγράμματα

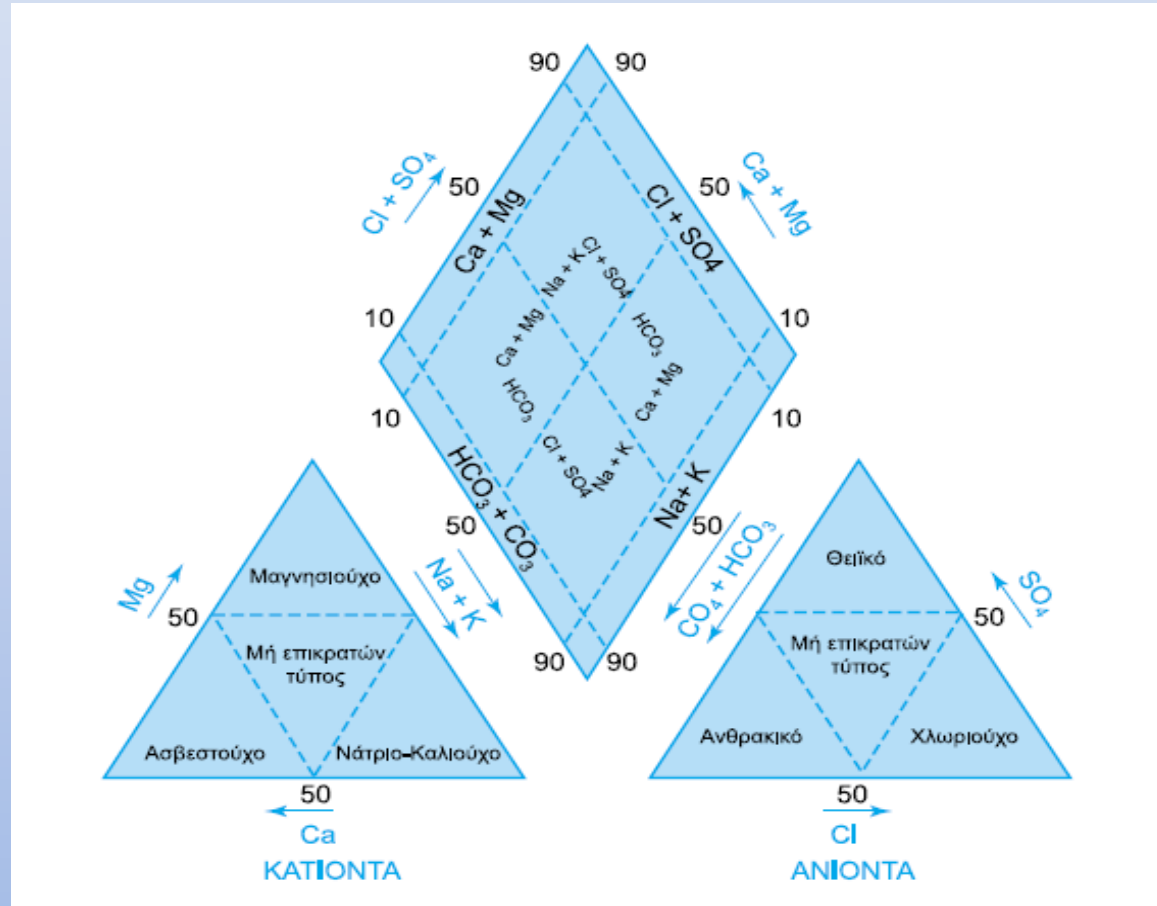
Τα τριγωνικά διαγράμματα προτάθηκαν από τον Piper το 1944 και ταξινομούν τα υπόγεια νερά σε διάφορους τύπους. Οι συγκεντρώσεις (meq/L) των ιόντων εκφράζονται σε % και προβάλλονται στα 2 τρίγωνα, ένα για κατιόντα και ένα για ανιόντα. Τα σημεία που προκύπτουν προβάλλονται και αυτά με την σειρά τους στο ρόμβο και η τομή των προβολών τους αντιπροσωπεύουν το δείγμα. Ο Durov τροποποίησε τα τριγωνικά διαγράμματα το 1950. Τα διαγράμματα Durov αποτελούνται από 2 τρίγωνα και ένα τετράγωνο, πάνω στο οποίο πραγματοποιείται η προβολή του δείγματος.



Διάγραμμα Durov (αριστερά) και Piper (δεξιά) σε πορώδεις υδροφορείς στη Λεκάνη του Ανθεμούντα. [Καζάκης Ν. (2013). Εκτίμηση της της διακινδύνευσης του υπόγειου νερού στην εξωτερική ρύπανση στη Λεκάνη του Ανθεμούντα. Διδακτορική Διατριβή. Τμήμα Γεωλογίας. Α.Π.Θ.]

# Υδροχημικά Διαγράμματα (τύποι υπόγειων νερών)

Χημειομετρικά Διαγράμματα (τύποι υπολειπών λεβωλ)



Κύριοι υδροχημικοί τύποι υπόγειων νερών στο διάγραμμα Piper.

[Βουδούρης Κ., ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ, 2009.]

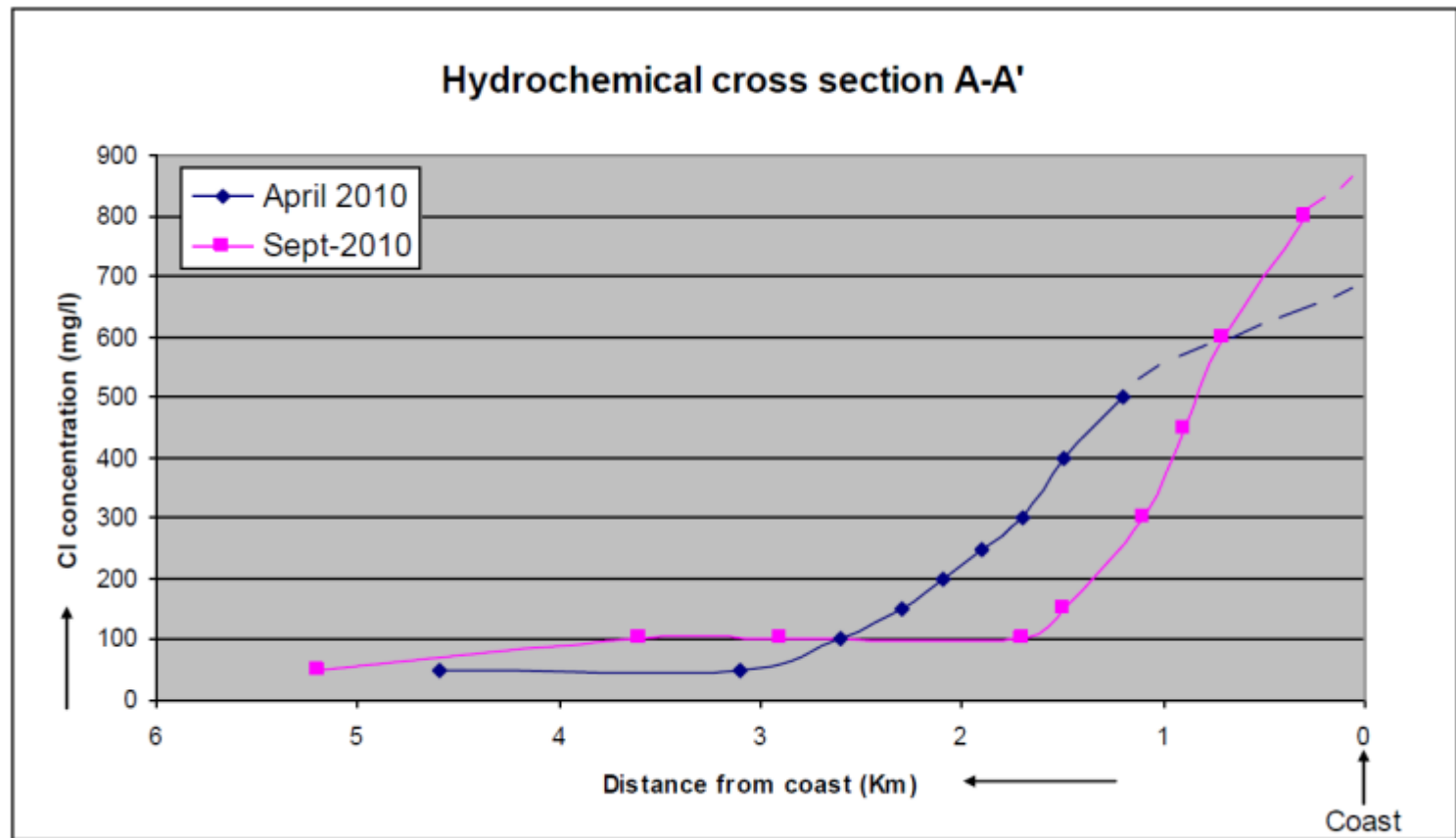


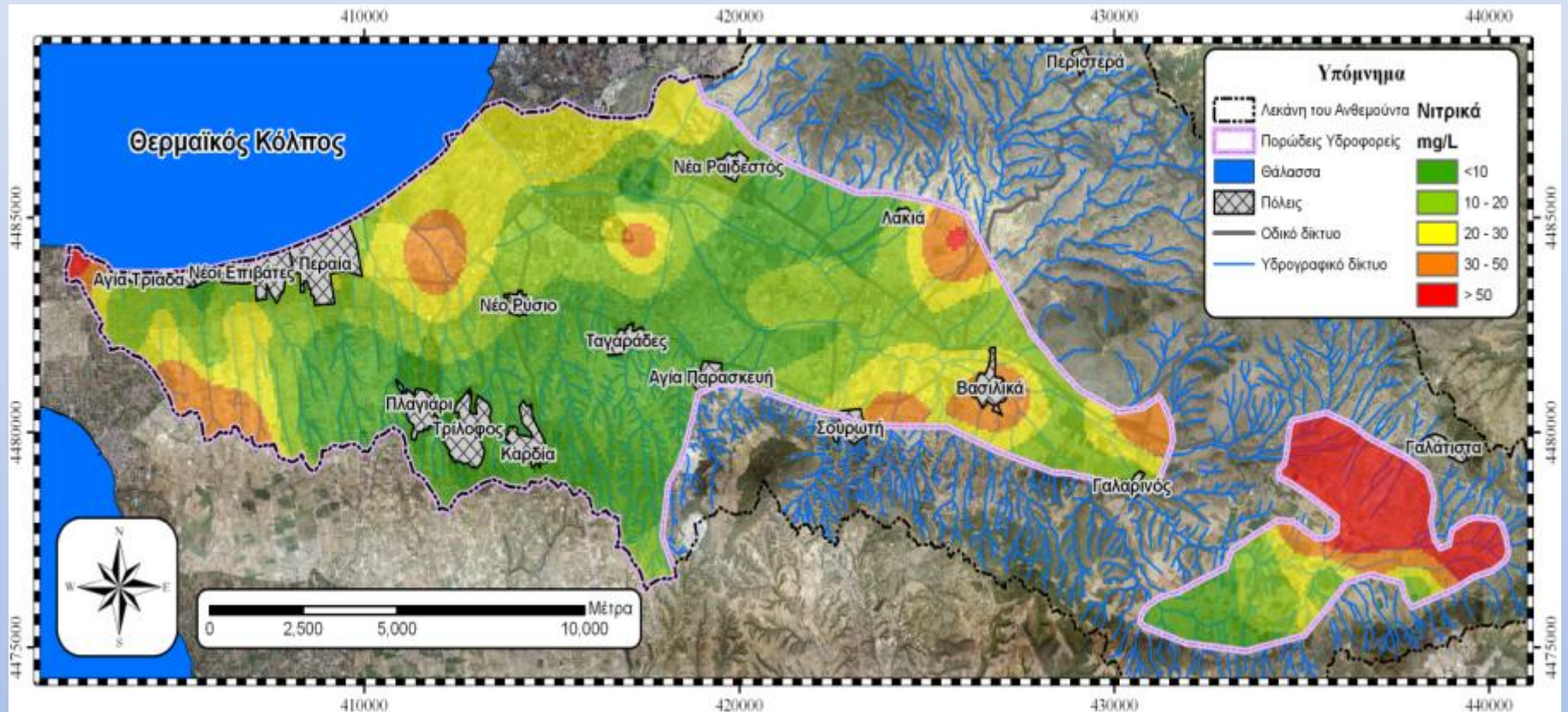
Figure 9 – Hydrochemical cross section (Cl<sup>-</sup> concentration)

Υδροχημική τομή δύο περιόδων χλωριόντων για τον παράκτιο υδροφόρο της Επανομής.

[A. Pavlou, G. Soulios, G. Dimopoulos, G. Tsokas, C. Mattas, N. Kazakis, K. Voudouris (2013). Groundwater quality of the coastal aquifers in the eastern part of Thermaikos gulf (from Aggelochori to Kallikrateia). Bulletin of the Geological Society of Greece, vol. XLVII ]

# Υδροχημικοί Χάρτες (Νιτρικά)

## Υδροχημικοί Χάρτες (Νιτρικά)

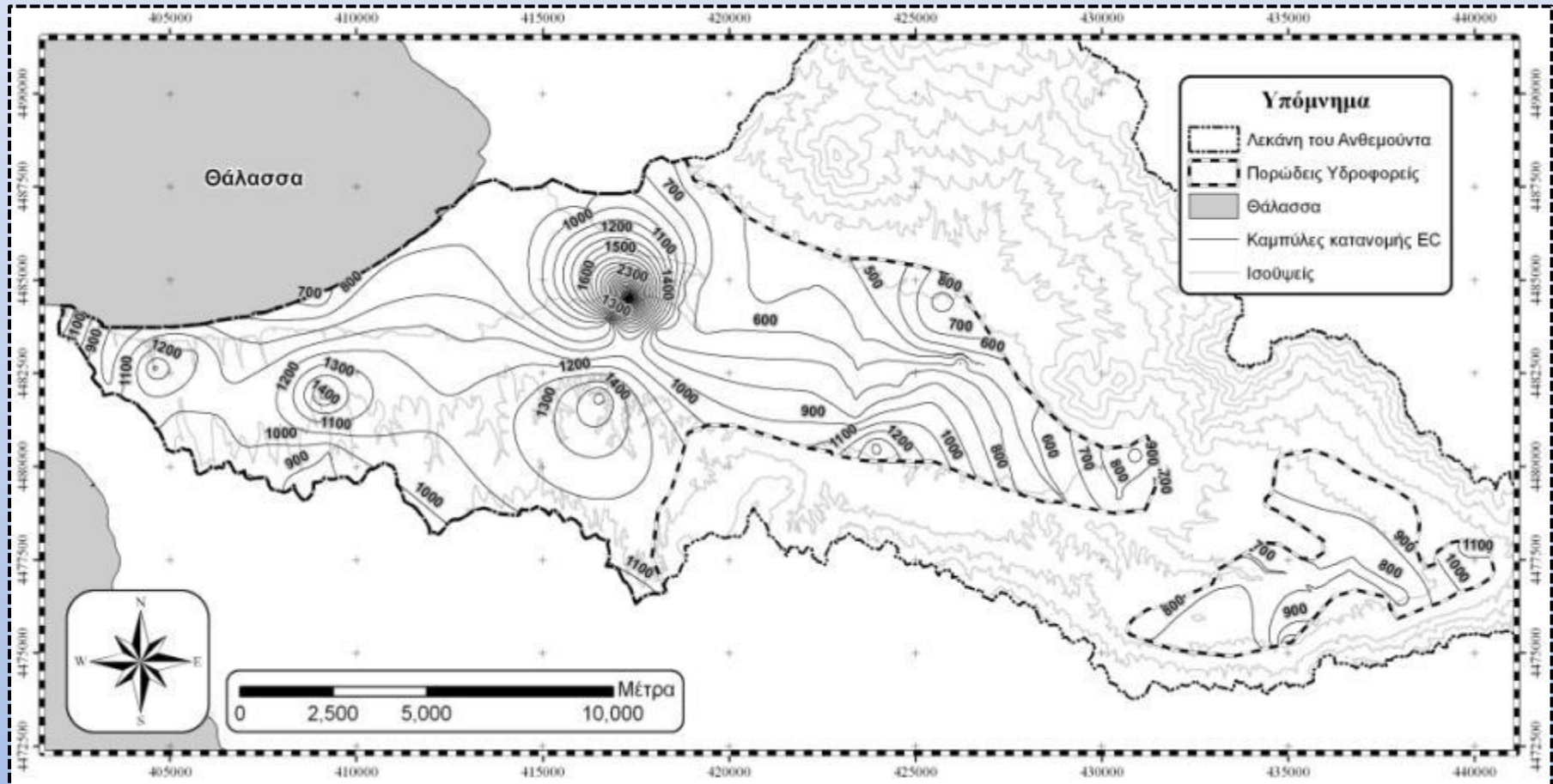


[Καζάκης Ν. (2013). Εκτίμηση της της διακινδύνευσης του υπόγειου νερού στην εξωτερική ρύπανση στη Λεκάνη του Ανθεμούντα. Διδακτορική Διατριβή. Τμήμα Γεωλογίας. Α.Π.Θ.]



# Υδροχημικοί Χάρτες (Ηλεκτρική αγωγιμότητα)

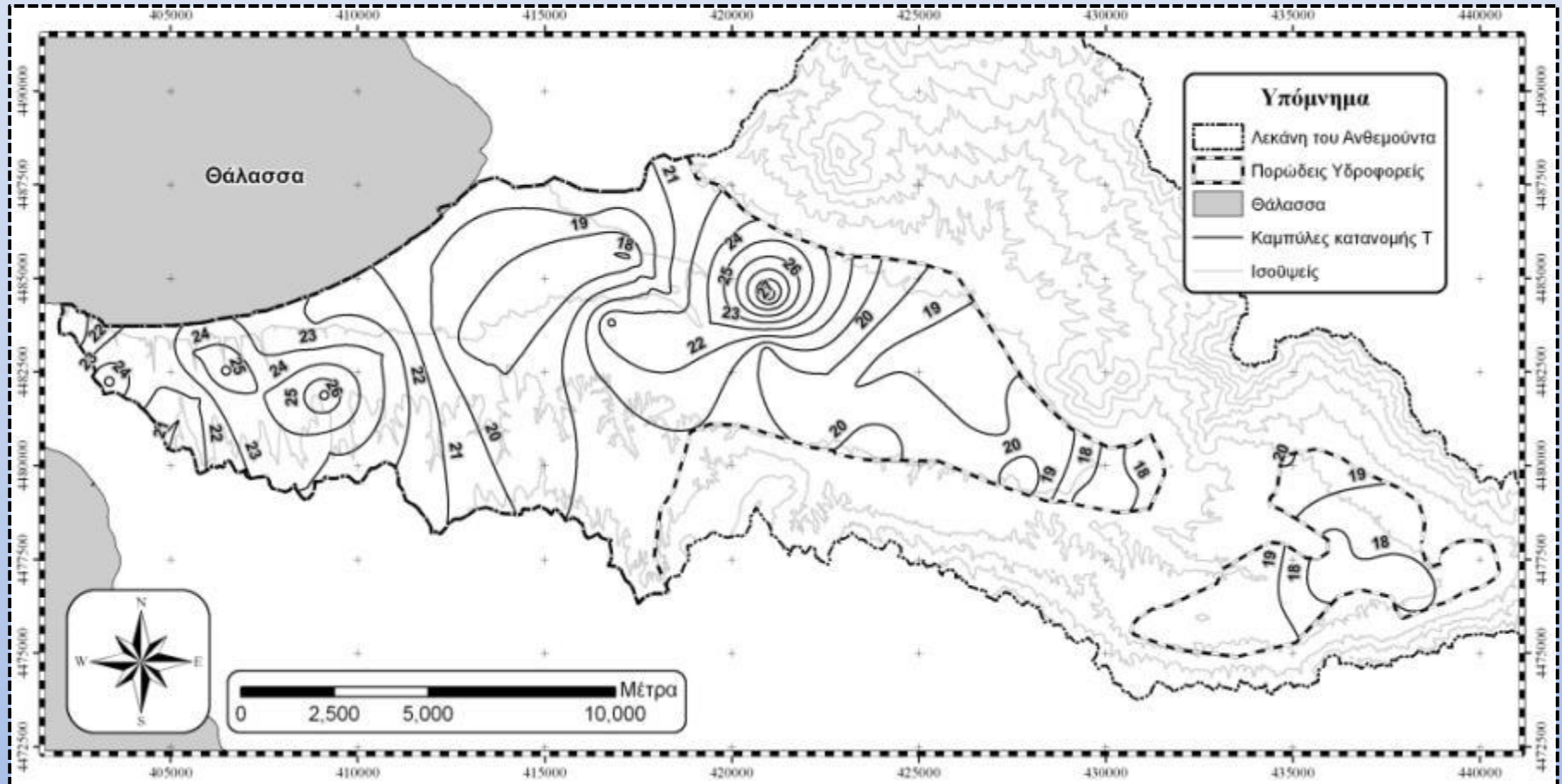
Χοροχρηστικοί χάρτες (Ηγεκτρική αλωπιότητα)



[Καζάκης Ν. (2013). Εκτίμηση της της διακινδύνευσης του υπόγειου νερού στην εξωτερική ρύπανση στη Λεκάνη του Ανθεμούντα. Διδακτορική Διατριβή. Τμήμα Γεωλογίας. Α.Π.Θ.]

# Υδροχημικοί Χάρτες (Θερμοκρασία)

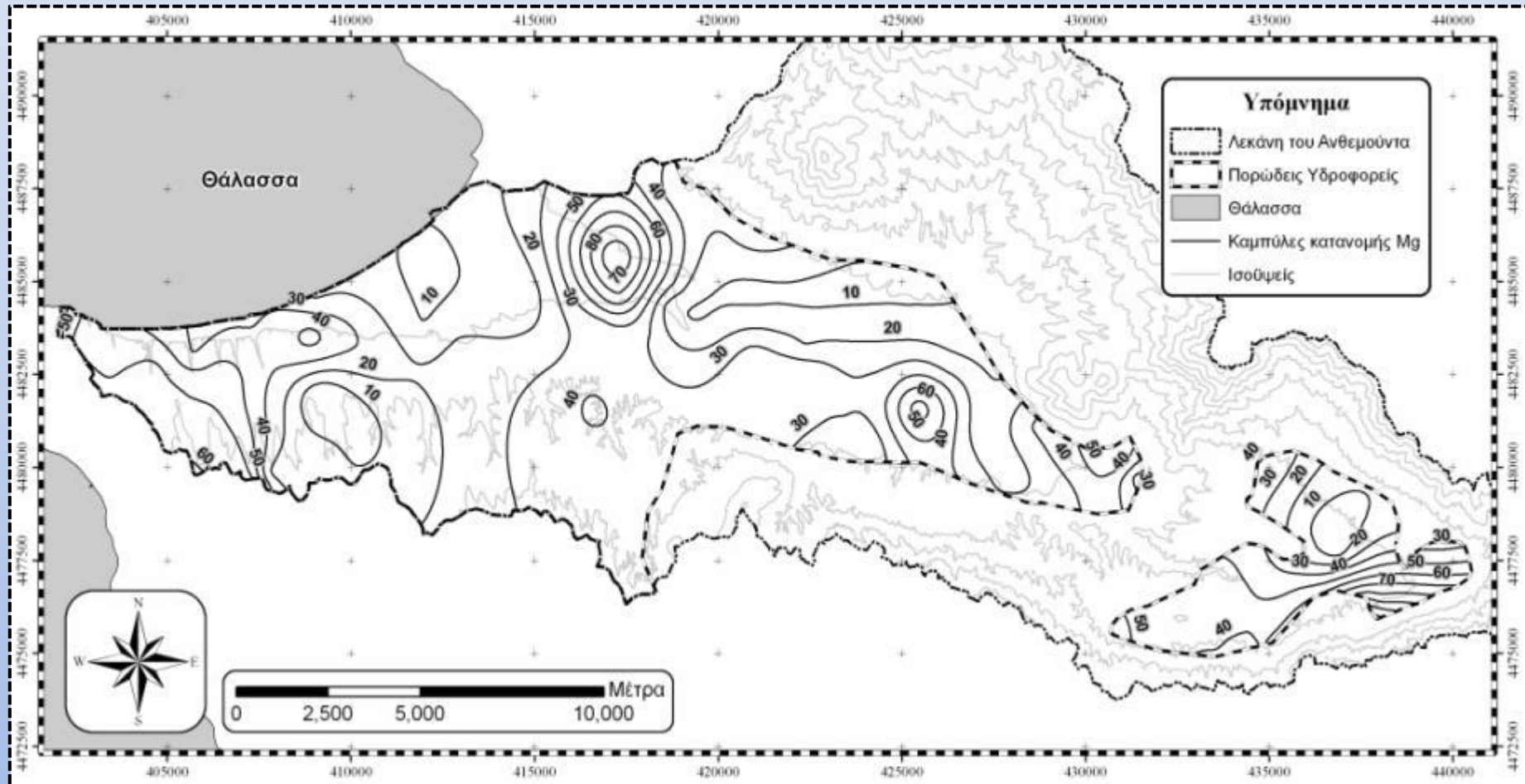
Χοροχημικοί χάρτες (Θερμοκρασία)



[Καζάκης Ν. (2013). Εκτίμηση της της διακινδύνευσης του υπόγειου νερού στην εξωτερική ρύπανση στη Λεκάνη του Ανθεμούντα. Διδακτορική Διατριβή. Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.]

# Υδροχημικοί Χάρτες (Mg)

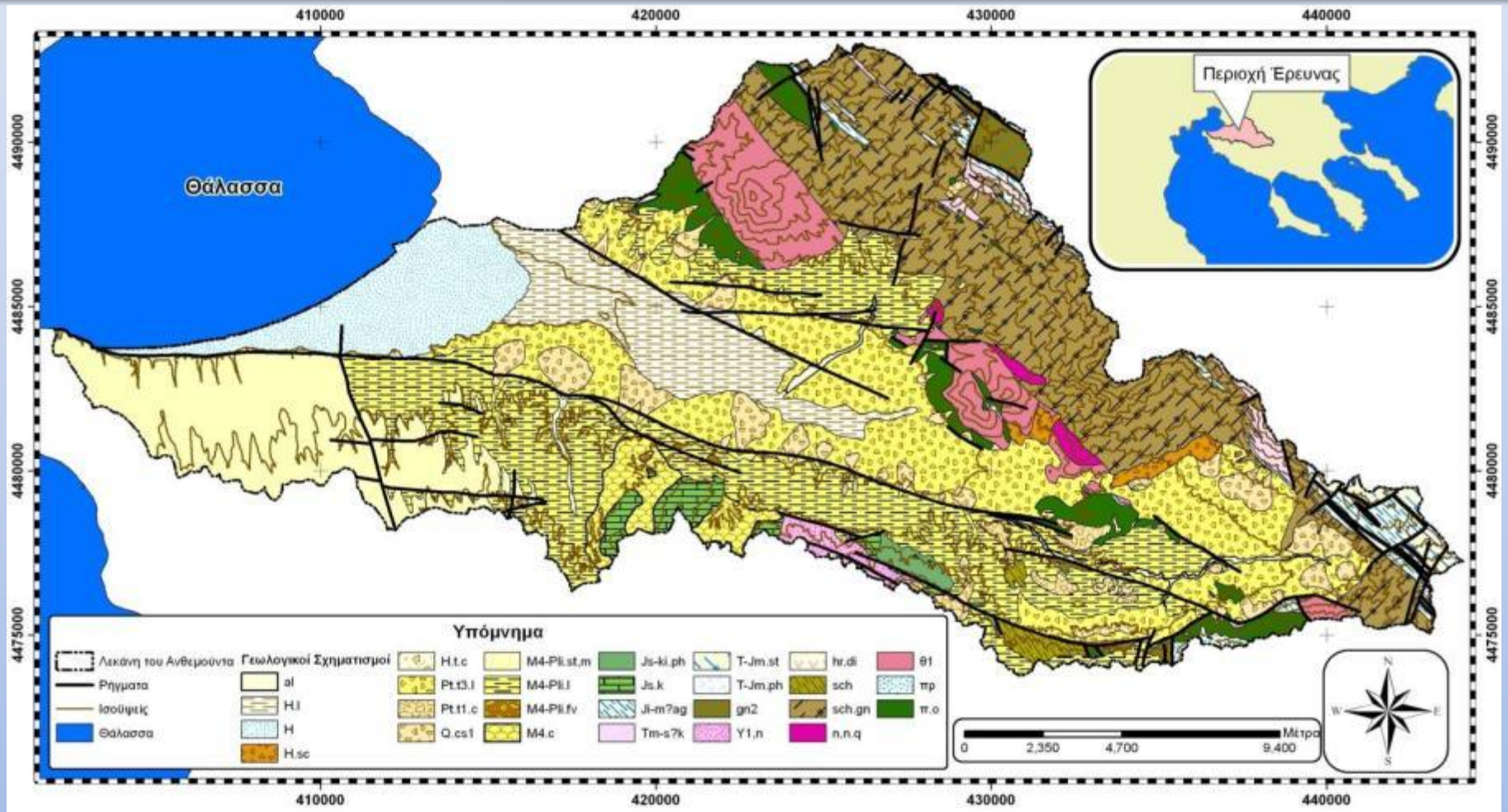
Χοροχημικοί Χάρτες (Mg)



[Καζάκης Ν. (2013). Εκτίμηση της της διακινδύνευσης του υπόγειου νερού στην εξωτερική ρύπανση στη Λεκάνη του Ανθεμούντα. Διδακτορική Διατριβή. Τμήμα Γεωλογίας. Α.Π.Θ.]

# Υδροχημικοί Χάρτες (σύγκριση με τη γεωλογία)

Χημεικοί χάρτες (αλληλεπίδραση με τη γεωλογία)

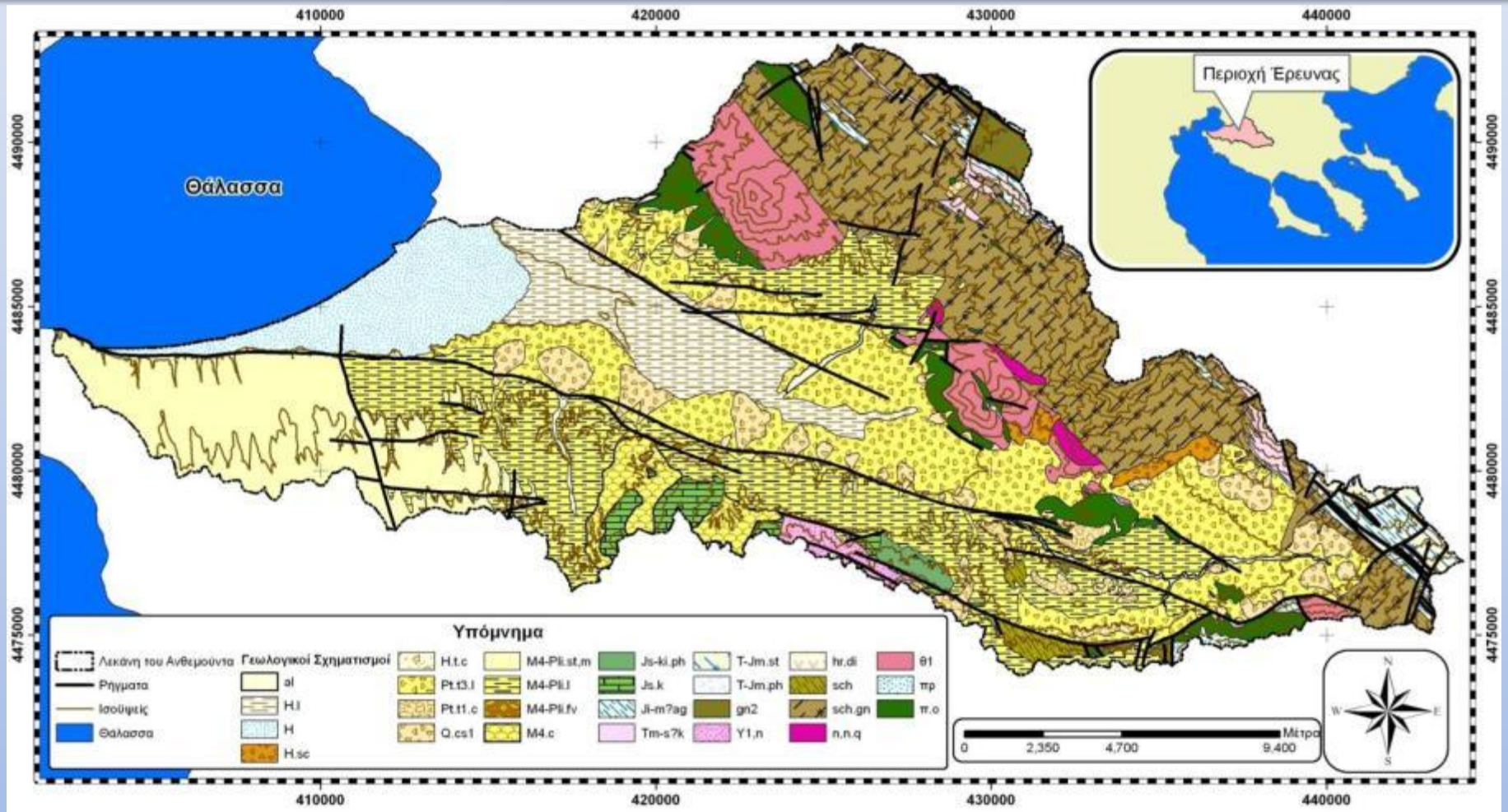


[Καζάκης Ν. (2013). Εκτίμηση της της διακινδύνευσης του υπόγειου νερού στην εξωτερική ρύπανση στη Λεκάνη του Ανθεμούντα. Διδακτορική Διατριβή. Τμήμα Γεωλογίας. Α.Π.Θ.]



# Υδροχημικοί Χάρτες (σύγκριση με τη γεωλογία)

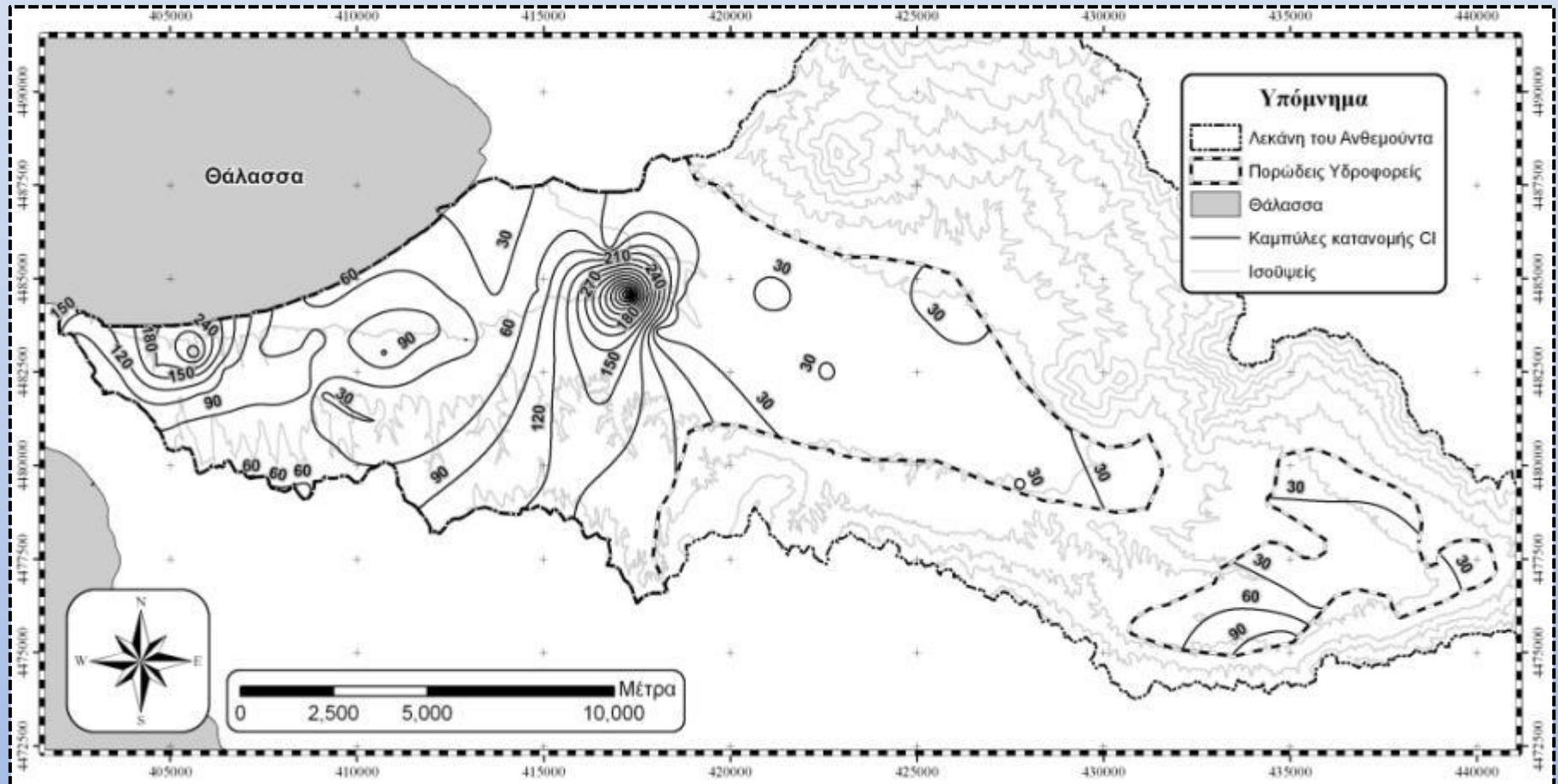
Χρονοχρηστικοί χάρτες (αλληλεπίδραση με τη γεωλογία)



[Καζάκης Ν. (2013). Εκτίμηση της της διακινδύνευσης του υπόγειου νερού στην εξωτερική ρύπανση στη Λεκάνη του Ανθεμούνητα. Διδακτορική Διατριβή. Τμήμα Γεωλογίας. Α.Π.Θ.]

# Υδροχημικοί Χάρτες (CI)

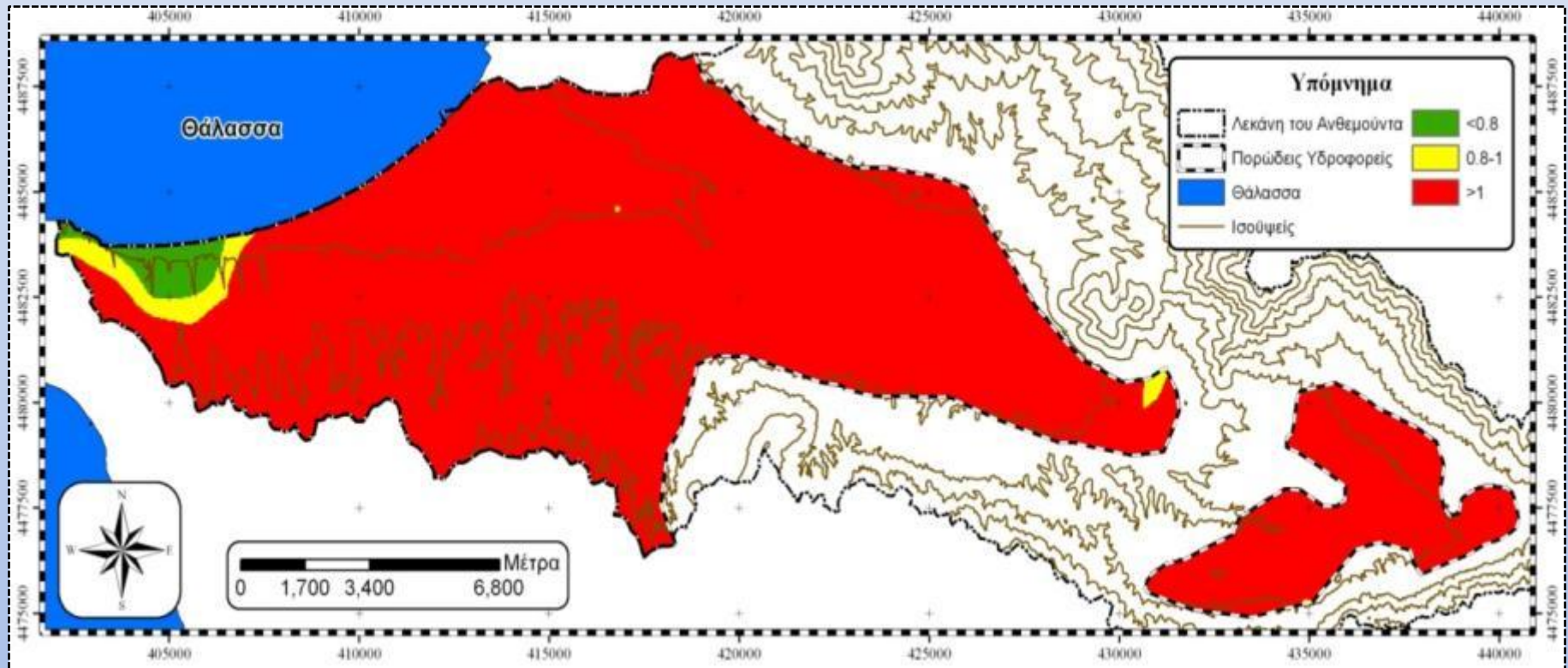
Χοροχημικοί Χάρτες (CI)



[Καζάκης Ν. (2013). Εκτίμηση της της διακινδύνευσης του υπόγειου νερού στην εξωτερική ρύπανση στη Λεκάνη του Ανθεμούντα. Διδακτορική Διατριβή. Τμήμα Γεωλογίας. Α.Π.Θ.]

# Υδροχημικοί Χάρτες ( $\text{Na}^+/\text{Cl}^-$ )

Χημειομετρικοί χάρτες ( $\text{Na}^+/\text{Cl}^-$ )



Κατανομή του λόγου  $\text{Na}^+/\text{Cl}^-$  στους πορώδεις υδροφορείς στη Λεκάνη του Ανθεμούντα

[Καζάκης Ν. (2013). Εκτίμηση της της διακινδύνευσης του υπόγειου νερού στην εξωτερική ρύπανση στη Λεκάνη του Ανθεμούντα. Διδακτορική Διατριβή. Τμήμα Γεωλογίας. Α.Π.Θ.]



# Οι Γεωλογικοί σχηματισμοί ως υπόγειοι υδροφορείς

Οι Γεωλογικοί σχηματισμοί ως υπόγειοι υδροφορείς

**Οι υδροφορείς μπορούν να διακριθούν με βάση το γεωλογικό σχηματισμό που φιλοξενούνται (Πετρογραφικός διαχωρισμός):**

- Πορώδεις υδροφορείς, που αναπτύσσονται σε ιζηματογενής κοκκώδεις σχηματισμούς (Νεογενής σχηματισμούς, αλλούβια, κορήματα, αναβαθμίδες )
- Καρστικοί (Karst), που αναπτύσσονται σε ανθρακικά πετρώματα.
- Υδροφορείς σκληρών-διερρηγμένων πετρωμάτων (hard-fissured rocks), που αναπτύσσονται σε πλουτωνικά και κρυσταλλικά πετρώματα μέσα σε ζώνες διάρρηξης και διακλάσεις.

# Καρστικοί υδροφορείς καρστικοί λοβοφορείς

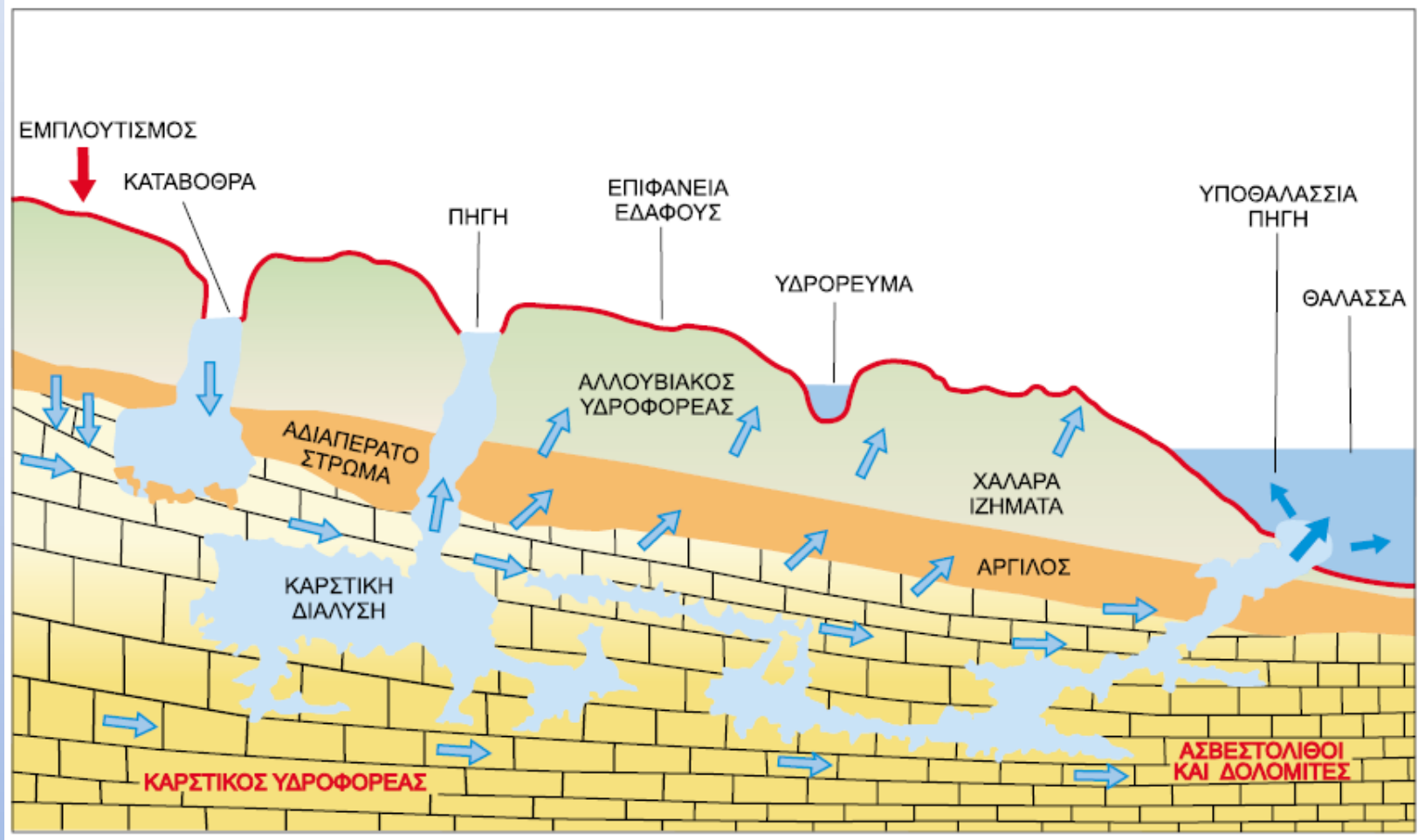


Καρστική δομή (επάνω), Καρστική πηγή (κάτω) [Καζάκης (2013)].



Καρστικοί υδροφορείς στον ελληνικό χώρο [Σούλιος (2004)].

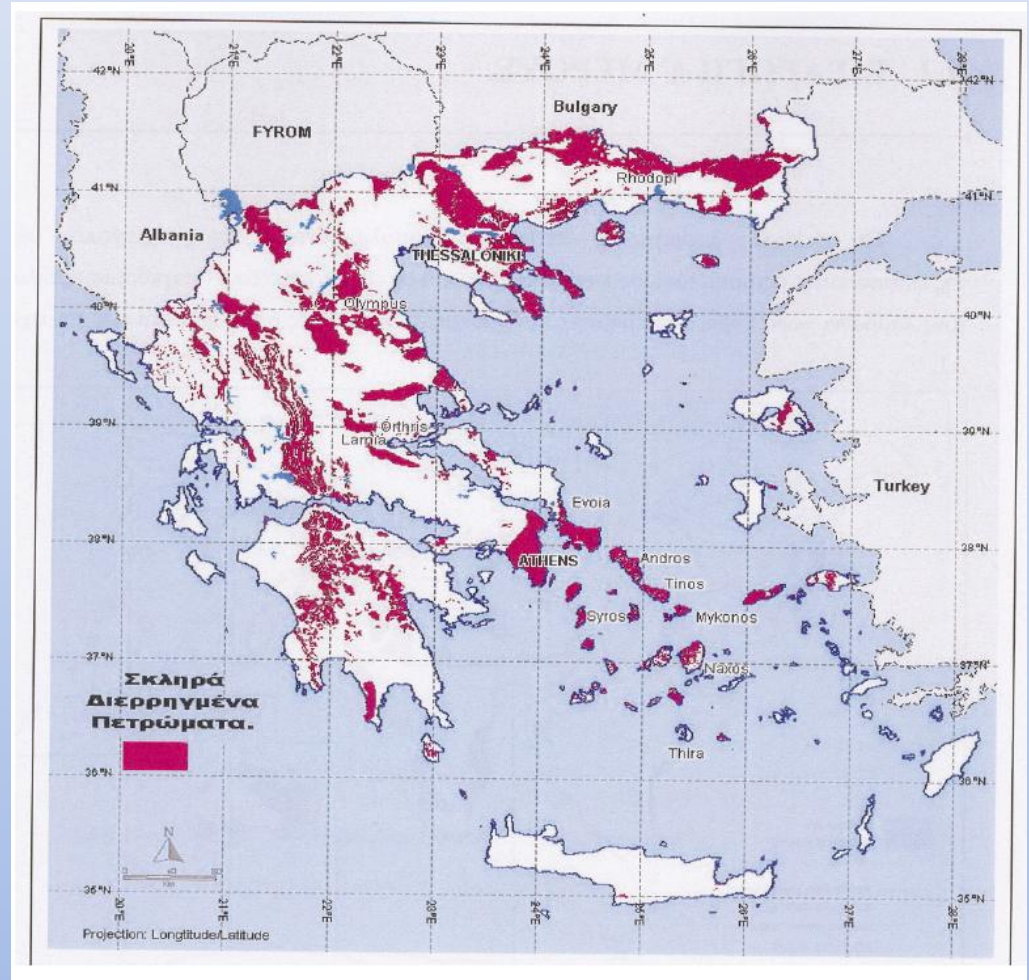
# Καρστικοί υδροφορείς καβατικοί υδροφορείς



Τυπική δομή και λειτουργία καρστικού συστήματος [Βουδούρης (2013)].

# Υδροφορείς διερρηγμένων πετρωμάτων

Υδροφορείς διερρηγμένων πετρωμάτων

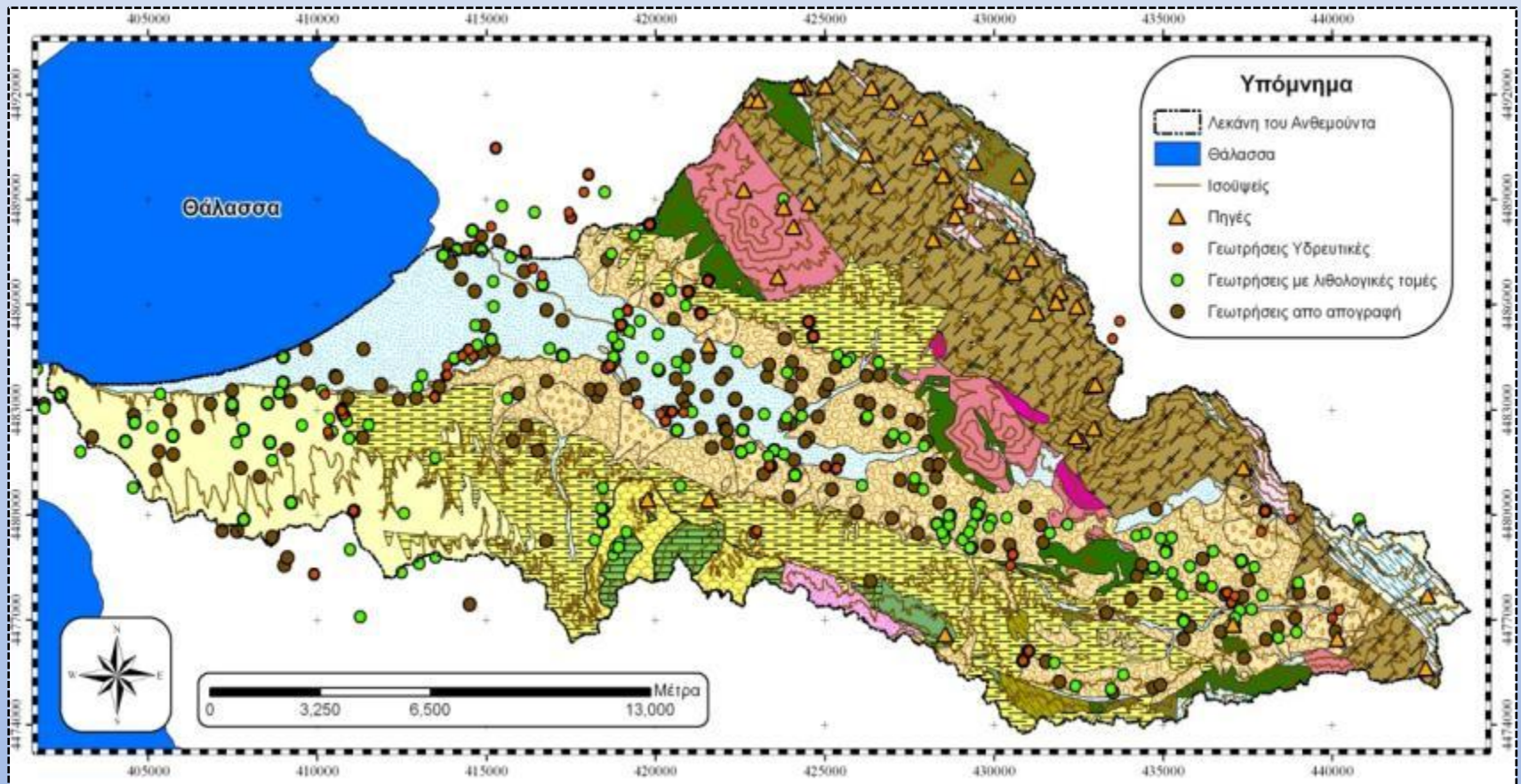


Διερρηγμένος σχηματισμός (επάνω),  
Πηγή σε διερρηγμένους σχηματισμούς  
(κάτω) [Καζάκης (2013)].

Υδροφορείς διερρηγμένων πετρωμάτων  
στον ελληνικό [Βουδούρης (2013)].

# Υλικά και μεθοδολογία – Χάρτες - Γεωτρήσεις

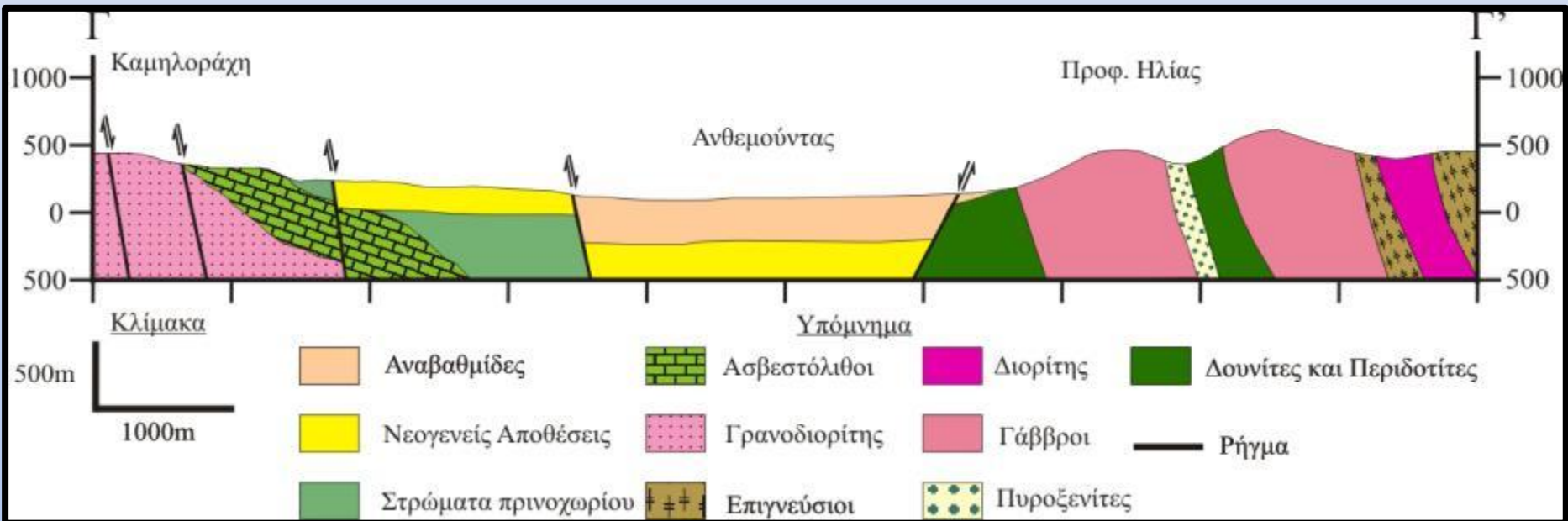
Υλικά και μεθοδολογία – Χάρτες - Γεωτρήσεις



[Καζάκης Ν. (2013). Εκτίμηση της της διακινδύνευσης του υπόγειου νερού στην εξωτερική ρύπανση στη Λεκάνη του Ανθεμούντα. Διδακτορική Διατριβή. Τμήμα Γεωλογίας. Α.Π.Θ.]

# Γεωλογική Τομή

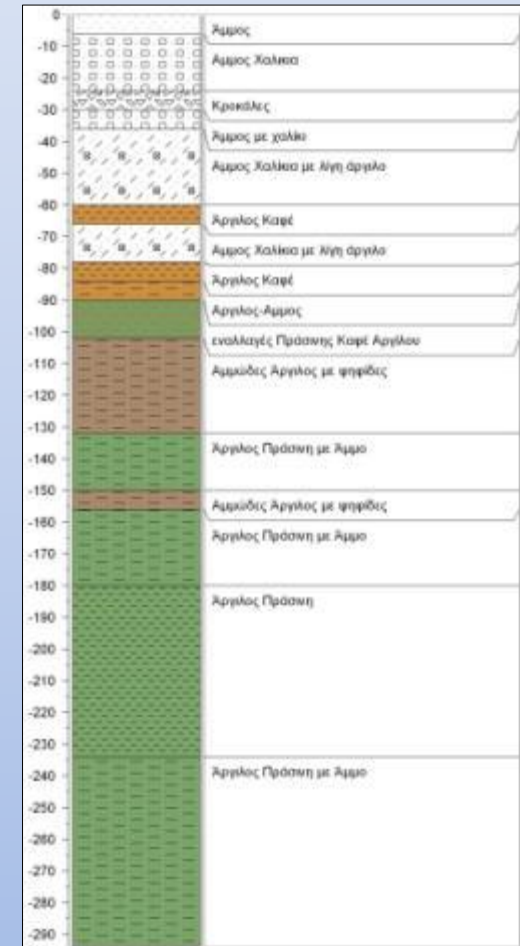
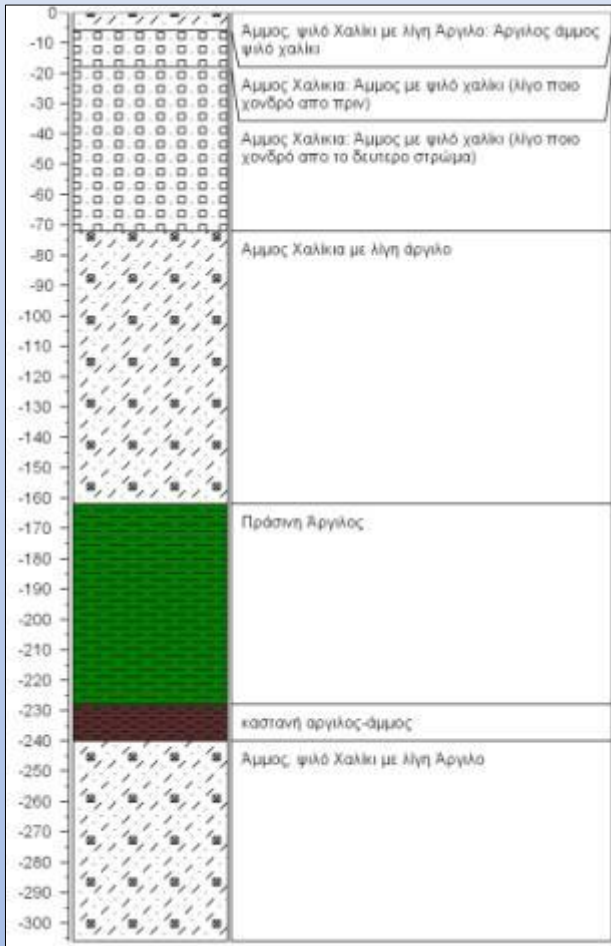
## Γεωλογική Τομή



[Καζάκης Ν. (2013). Εκτίμηση της της διακινδύνευσης του υπόγειου νερού στην εξωτερική ρύπανση στη Λεκάνη του Ανθεμόντα. Διδακτορική Διατριβή. Τμήμα Γεωλογίας. Α.Π.Θ.]

# Υλικά και μεθοδολογία – Λιθολογικές τομές

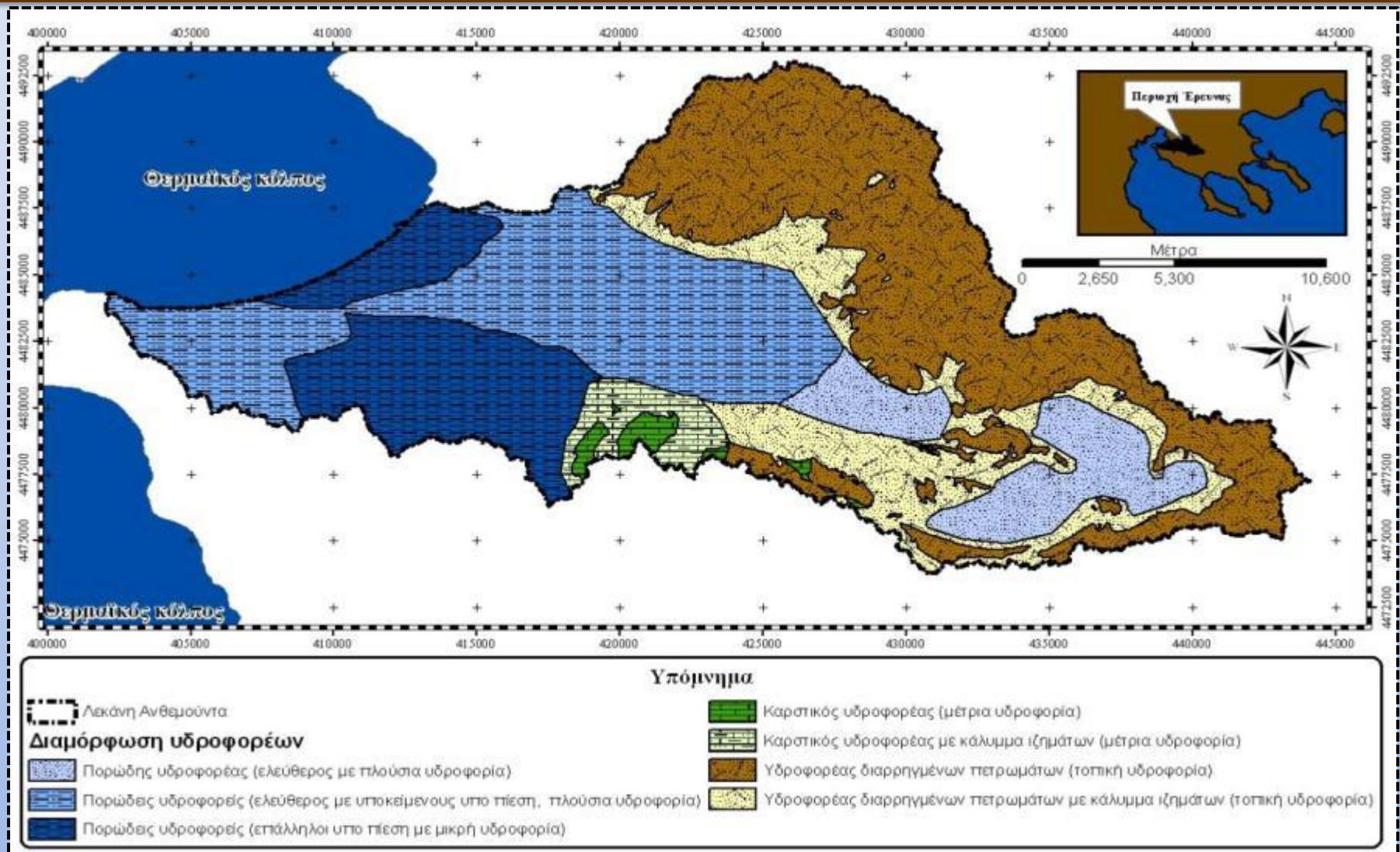
## Υλικά και μεθοδολογία – Λιθολογικές τομές



[Καζάκης Ν. (2013). Εκτίμηση της της διακινδύνευσης του υπόγειου νερού στην εξωτερική ρύπανση στη Λεκάνη του Ανθεμούντα. Διδακτορική Διατριβή. Τμήμα Γεωλογίας. Α.Π.Θ.]

# Διαμόρφωση Υδροφορέων

Γεωγραφική Χρονοσειρά



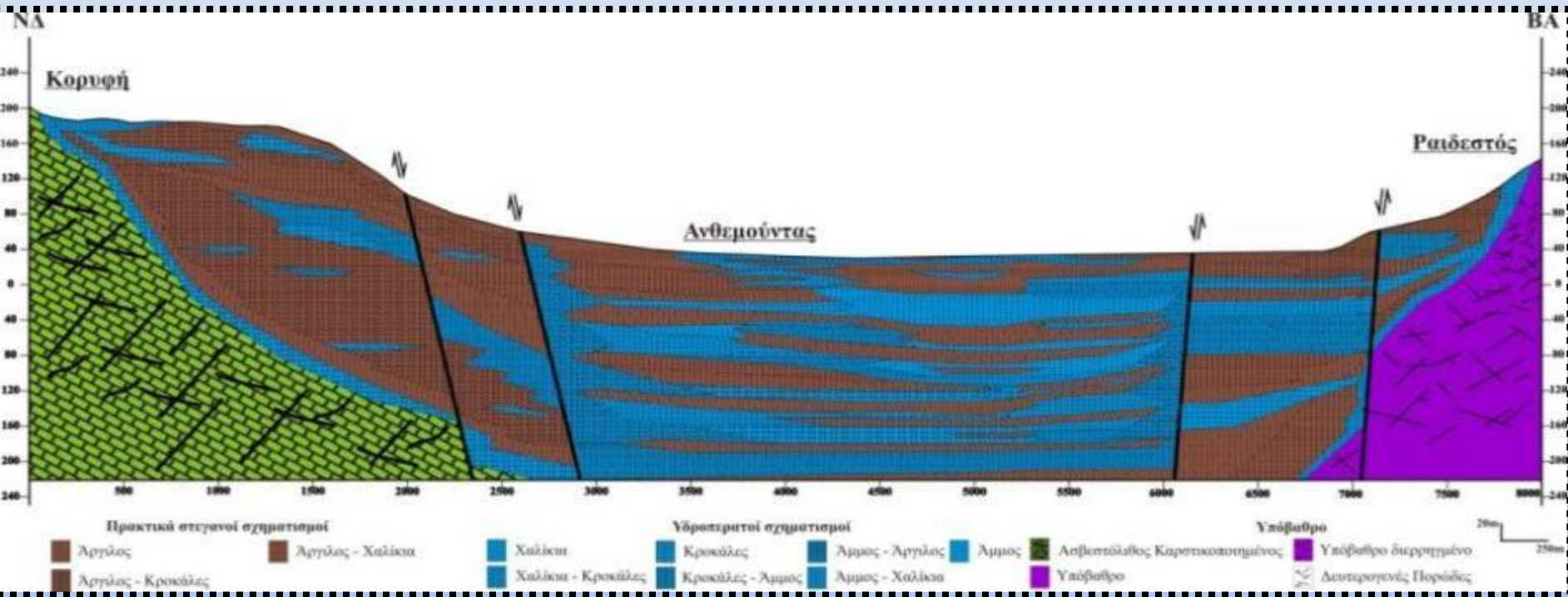
[Καζάκης Ν. (2013). Εκτίμηση της της διακινδύνευσης του υπόγειου νερού στην εξωτερική ρύπανση στη Λεκάνη του Ανθεμούντα. Διδακτορική Διατριβή. Τμήμα Γεωλογίας. Α.Π.Θ.]





# Υδρολιθολογικές τομές

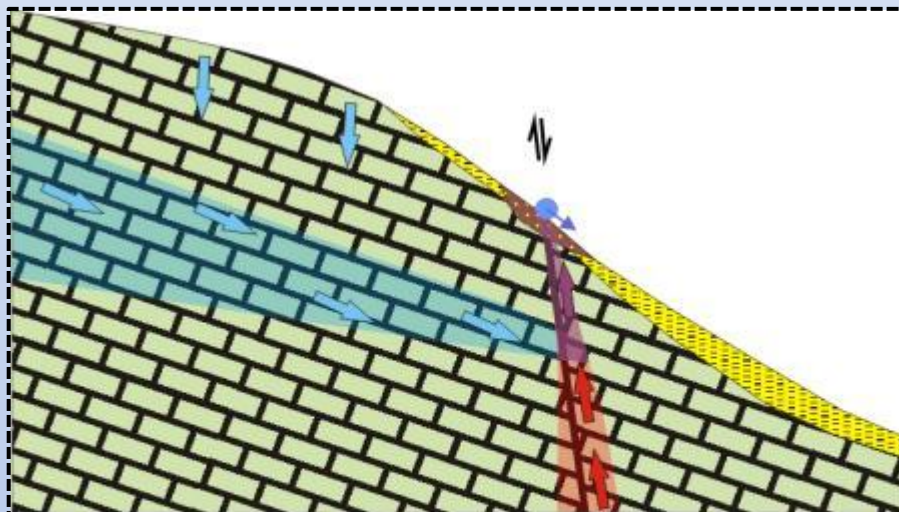
## Χορογεωλογικές τομές



[Καζάκης Ν. (2013). Εκτίμηση της της διακινδύνευσης του υπόγειου νερού στην εξωτερική ρύπανση στη Λεκάνη του Ανθεμόντας. Διδακτορική Διατριβή. Τμήμα Γεωλογίας. Α.Π.Θ.]

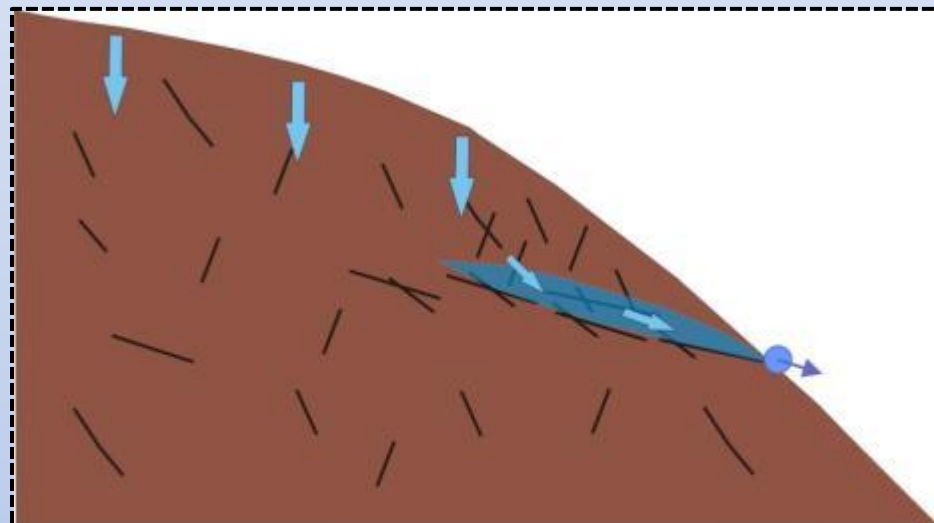
# Υδρολιθολογικές τομές

υδρολιθολογικές τομές



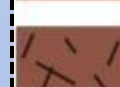



Υπόμνημα

- |                                                                                   |                       |                                                                                    |               |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
|   | Ασβεστόλιθος          |   | Ρήγμα         |
|   | Τραβερτίνης           |   | Πηγή          |
|  | Σειρά ερυθρών αργίλων |   | Ψυχρό Νερό    |
|                                                                                   |                       |   | Θερμό Νερό    |
|                                                                                   |                       |  | Νερό ανάμιξης |



Υπόμνημα

- |                                                                                     |                      |                                                                                      |                  |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
|   | Κρυσταλλοσχιτώδη     |   | Νερό κατείσδυσης |
|  | Δευτερογενές πορώδες |  | Πηγή             |

[Καζάκης Ν. (2013). Εκτίμηση της της διακινδύνευσης του υπόγειου νερού στην εξωτερική ρύπανση στη Λεκάνη του Ανθεμούντα. Διδακτορική Διατριβή. Τμήμα Γεωλογίας. Α.Π.Θ.]

# Υδρολιθολογικές τομές

Χημειωλογικές τομές

