

ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΑ ΡΕΥΣΤΑ

Τα ρευστά στην επιφάνεια αντανακλούν τις φυσικοχημικές και θερμικές συνθήκες του ταμιευτήρα

□ Ποιότητα Υπόγειου Νερού

□ Μεταβολή της ποιότητας

➤ Η αλλαγή της ποιότητας του υπόγειου νερού είναι μια συνεχής εξελικτική διαδικασία και εξαρτάται από

✓ το είδος των ορυκτών που έρχεται σε επαφή κατά τη διαδρομή του,

✓ την ταχύτητα ροής,

✓ τη θερμοκρασία και την πίεση του υπεδάφους

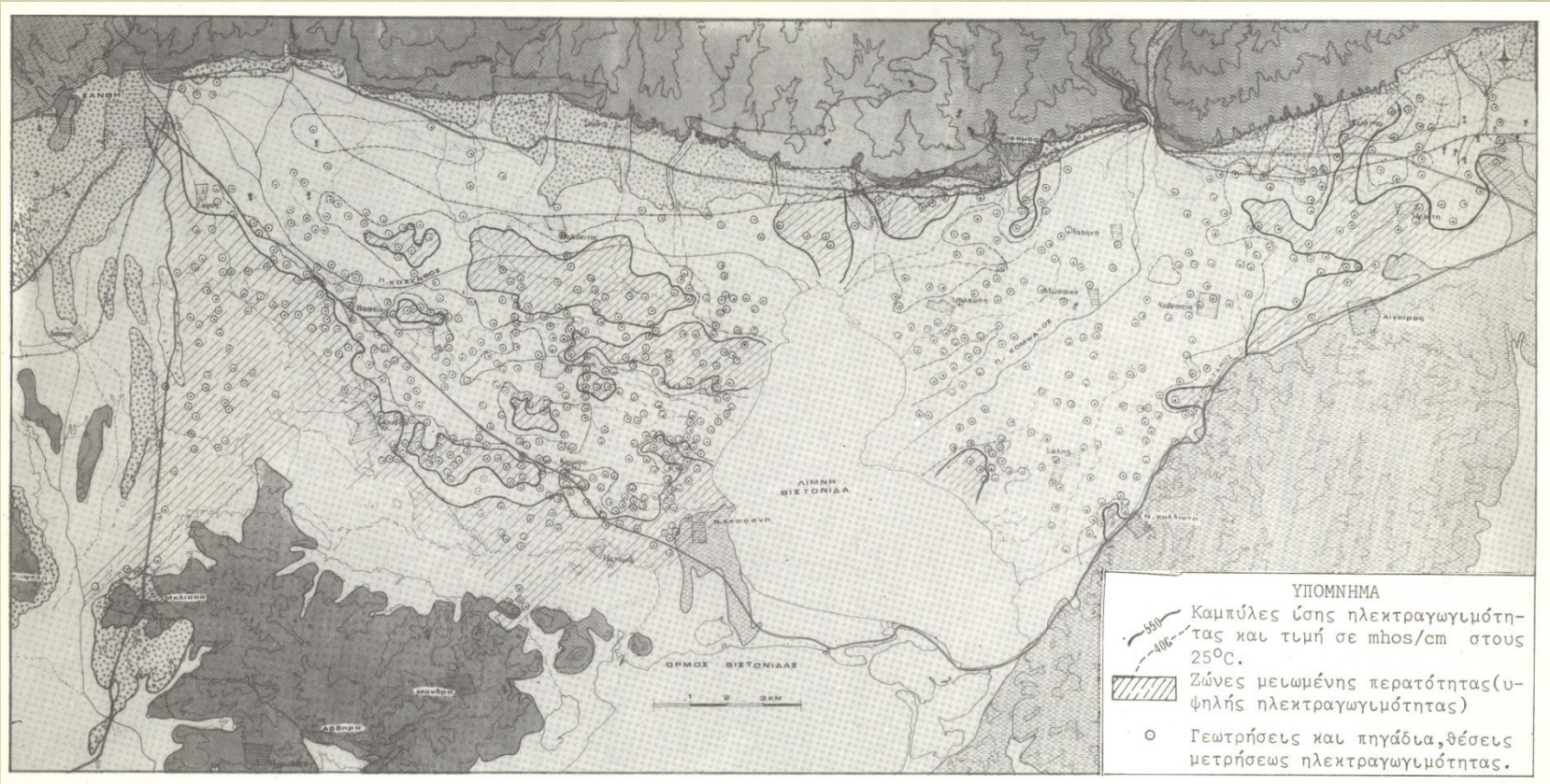
✓ Την απόσταση που διανύει

✓ Την υδραυλική αγωγιμότητα

✓ Τις κλιματολογικές συνθήκες

✓ Το τρόπο διαχείρισης εκμετάλλευσης των υπόγειων νερών

➤ Έτσι λοιπόν το νερό αποκτά ιδιότητες οι οποίες από χημική άποψη εξαρτώνται από την ποιότητα και την υδρογεωλογική συμπεριφορά των πετρωμάτων - εδάφους μέσα στο οποίο κατεισδύει, αποθηκεύεται και κινείται το νερό της βροχής,



Πεδινό τμήμα λεκάνης Βιστωνίδας (Ξάνθης - Κομοτηνής) Μετρήσεις ηλεκτραγωγιμότητας στο φρεάτιο υδροφόρο ορίζοντα - Κοινή τροφοδοσία - Διαφοροποίηση της ποιότητας του υπόγειου νερού.

ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΑ ΡΕΥΣΤΑ

Καμπύλες ηλεκτρικής αγωγιμότητας υπόγειων νερών Ανατολικού Δέλτα Νέστου- Ανομοιόμορφη κατανομή – ομοιόμορφη τροφοδοσία



Η βασική φιλοσοφία πίσω από την χρήση γεωχημικών μεθόδων στη γεωθερμική εξερεύνηση είναι ότι:



Τα ρευστά στην επιφάνεια αντανακλούν τις φυσικοχημικές και θερμικές συνθήκες του ταμιευτήρα



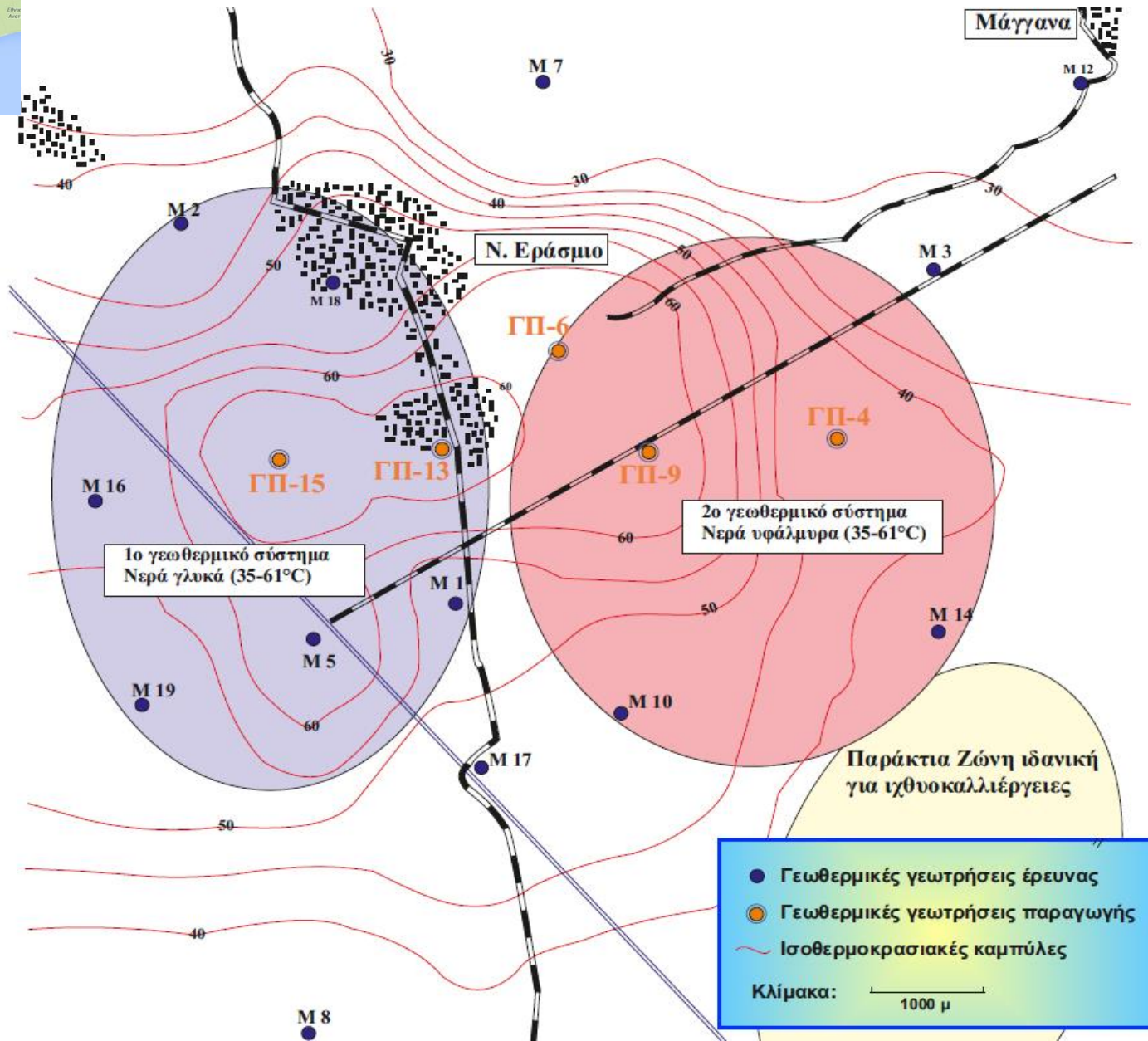
ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΑ ΡΕΥΣΤΑ

- ❖ Σχεδόν πάντα, τα γεωθερμικά νερά περιέχουν υψηλότερες συγκεντρώσεις διαλυμένων συστατικών, σε σχέση με τα κοινά υπόγεια νερά.
- ❖ Γενικά, η σύσταση των γεωθερμικών νερών (όπως και των αερίων) ποικίλλει σημαντικά από πεδίο σε πεδίο.
- ❖ Επίσης, η σύσταση των νερών μπορεί να είναι διαφορετική από γεώτρηση σε γεώτρηση στο ίδιο πεδίο,
- ❖ ή μπορεί να αλλάζει με το χρόνο λόγω των διαφόρων φυσικών διεργασιών που συμβαίνουν στη διάρκεια της εκμετάλλευσης (μεταφορά θερμότητας μεταξύ ρευστών και πετρωμάτων, αραίωση με άλλα νερά, διείσδυση θαλασσινού νερού, συμπύκνωση λόγω απώλειας ατμού κ.ά.).
- ❖ Η διαφοροποίηση της σύστασης με το χρόνο είναι τις περισσότερες φορές ποσοτική και όχι ποιοτική.



ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΑ ΡΕΥΣΤΑ

Διαφορά ποιότητας γεωθερμικών νερών στο γεωθερμικό πεδίο Ερασμίου - Μαγγάνων. Ανατολικό Δέλτα Νέστου



Skarðsmýrarfjall

High CO₂

Low Cl/B ratio and
high enthalpy

Hvítell
Highest qtz te

Low H₂ Sleggja

Hús

ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΑ ΡΕΥΣΤΑ

Σύσταση της υγρής φάσης

❖ Οι συγκεντρώσεις των διαφόρων συστατικών στα γεωθερμικά νερά κυμαίνονται σε ευρεία περιοχή και ελέγχονται

- από τη θερμοκρασία του συστήματος,
- το είδος του πετρώματος του ταμιευτήρα και τη διαλυτότητά του,
- την εστία θερμότητας,
- την ηλικία του υδροθερμικού συστήματος,
- την ύπαρξη ανάμιξης με ψυχρά νερά (μετεωρικά ή θαλασσινά),
- το pH κ.ά.

❖ Τα κυριότερα συστατικά που βρίσκονται στα γεωθερμικά νερά είναι:

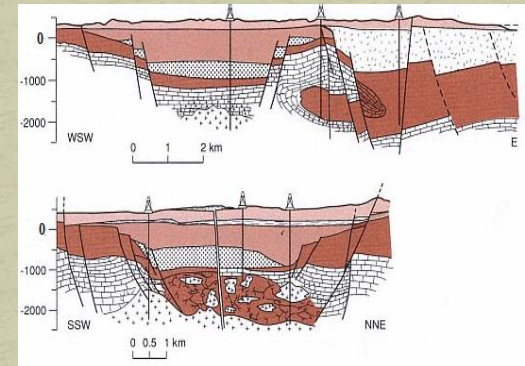
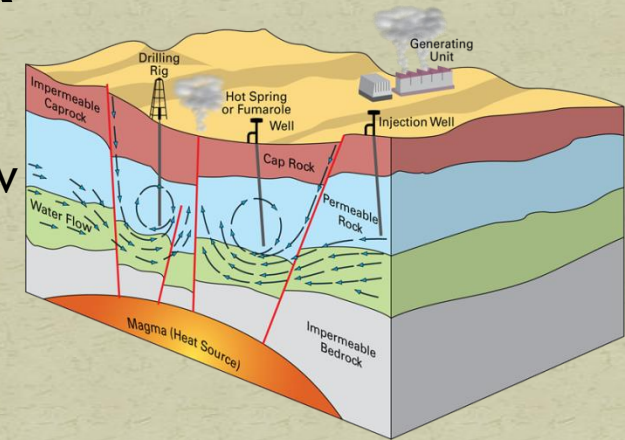
- Κατιόντα: Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Li^+ , Sr^+ , Mn^{2+} , Fe^{2+}
- Ανιόντα: Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} , F^- , ΒΓ
- Χωρίς φορτίο: SiO_2 , As, B, NH_3 , αέρια



ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΑ ΡΕΥΣΤΑ

- ❑ Τα γεωχημικά δεδομένα που συγκεντρώνονται βοηθούν
 - ✓ στον εντοπισμό του γεωθερμικού συστήματος,
 - ✓ στην εκτίμηση της θερμοκρασίας του ταμιευτήρα,
 - ✓ στον προσδιορισμό του χημικού χαρακτήρα των ρευστών
 - ✓ το μηχανισμό τροφοδοσίας του πεδίου,
 - ✓ στην εκτίμηση του πιθανού αξιοποιήσιμου δυναμικού κ.ά.

❑ Σχεδόν πάντα, τα γεωθερμικά νερά περιέχουν υψηλότερες συγκεντρώσεις διαλυμένων συστατικών, σε σχέση με τα κοινά υπόγεια νερά.



	<i>Μήλος (M2)</i>	<i>Νίσυρος</i>	<i>Πολιχνί- τος</i>	<i>Άγγιστρο Σερρών</i>	<i>Σιδηρό- καστρο</i>	<i>Νέα Κεσσάνη, Γ16</i>	<i>Σουσάκι, Σ-4</i>	<i>Νιγρίτα, ΤΗ-1</i>
pH	5,3	6,0	6,0	7,5	6,8	7,1	6,8	6,8
Θερμ., °C	230	250	90	40	54	80	76	59
ΣΔΑ (g/L)	112	82	12,3	0,26	1,0	4,6	46	2,5
Na	31500	22170	3310	36	234	1550	13760	529
K	9500	2200	198	3	43	132	1960	89
Ca	4380	7270	834	47	67	135	1120	160
Mg	4	67	24	5	23	19	720	105
Fe	19	15	-	0,3	0,5	0,5	0,5	1,1
Pb	2	-	-	-	-	0	0	0,1
Cl ⁻	65400	49400	6920	10	51	1630	25480	162
F ⁻	4	1,0	-	-	3	2,5	0,6	1,7
SO ₄ ²⁻	20	27	848	33	172	222	1300	130
HCO ₃ ⁻	25	-	270	190	702	1746	1531	2220
As	13	0,3	-	0	-	0,6	0,2	0,9
B	125	47	-	-	-	5	32	4,6
SiO ₂	1000	700	72	34	38	60	145	83

□ Η σύσταση των γεωθερμικών νερών αποτελεί αντανάκλαση των αντιδράσεων του θερμού νερού με τα πετρώματα που το φιλοξενούν ή με τα πετρώματα από τα οποία διήλθε προτού φτάσει στον ταμιευτήρα,

□ Οι διάφορες χημικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα επηρεάζονται από τη θερμοκρασία, την πίεση και την αλατότητα των νερών, καθώς και από τη σύσταση των πετρωμάτων

ΓΕΩΧΗΜΕΙΑ - ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΑ ΡΕΥΣΤΑ

□ Ο πρωταρχικός σκοπός ενός προγράμματος έρευνας και αποτίμησης σε μία γεωθερμική περιοχή είναι να προσδιορίσει
✓ ταχύτητα, αξιόπιστα και με το λιγότερο δυνατό κόστος

□ τα χαρακτηριστικά των γεωθερμικών ρευστών και την ικανότητα του πεδίου για την παραγωγή αξιοποιήσιμων ποσοτήτων ρευστών.

❖ Η γεωχημεία παίζει σημαντικό ρόλο στη γεωθερμική έρευνα και αναζήτηση, αφού μπορεί να απαντήσει σε μεγάλο αριθμό ερωτημάτων με τη μελέτη του χημισμού των γεωθερμικών ρευστών και των πετρωμάτων του ταμιευτήρα

❖ Η μελέτη της γεωχημείας των γεωθερμικών ρευστών (καθώς και των στερεών πετρωμάτων) αποτελεί την πλέον διαδεδομένη και αρκετά αξιόπιστη μέθοδο για την αναζήτηση και τη μελέτη των γεωθερμικών πεδίων.

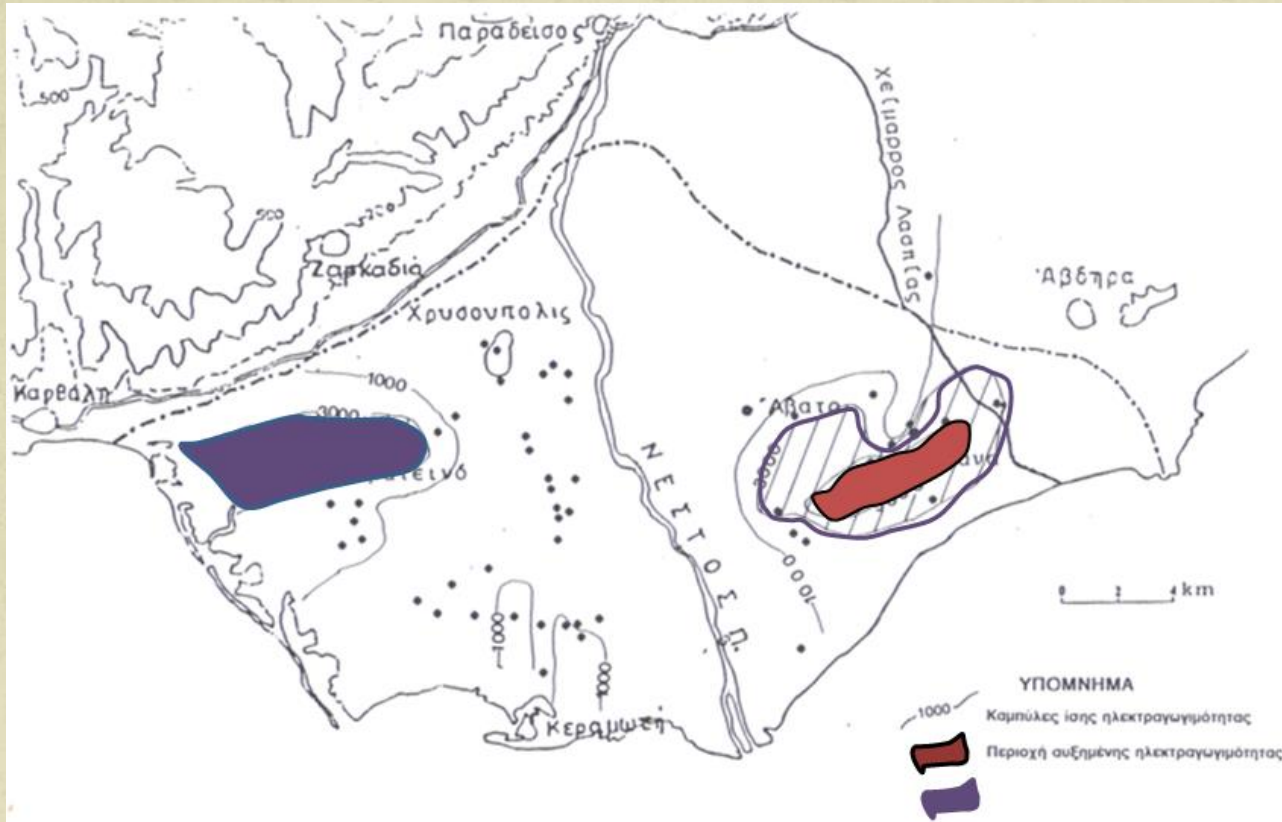
❖ Με την υπόγεια κυκλοφορία των θερμών ρευστών και διαλυμάτων δημιουργούνται συγκεκριμένες συνθήκες επίδρασης των ρευστών στα πετρώματα και εμπλουτισμός τους σε ορισμένα στοιχεία, αέρια κτλ.

❖ Σε κάποια φάση βέβαια μπορεί να υπάρξει και το αντίθετο φαινόμενο, δηλαδή η ελάττωση της περιεκτικότητας σε άλατα, εξαιτίας αποθέσεων τους κατά τη διαδρομή των ρευστών. Το συνηθέστερο φαινόμενο είναι ο σχηματισμός νέων υδροθερμικών ορυκτών και η εξαλλοίωση των αρχικών πετρωμάτων.

□. Η Γεωχημεία λοιπόν είναι εξειδικευμένη στη γεωθερμική έρευνα



□ Αυτά τα φαινόμενα δημιουργούν διαφοροποίηση του χημισμού τόσο των υπόγειων ρευστών, όσο και των γεωλογικών σχηματισμών, που έρχονται σε επαφή με τα θερμά ρευστά, και αποτελούν χαρακτηριστικά φαινόμενα των γεωθερμικών διεργασιών.



□ Επομένως, η μελέτη των γεωθερμικών ρευστών και των υδροθερμικών επιδράσεων σε επιφανειακούς γεωλογικούς σχηματισμούς ή σε σχηματισμούς μικρού βάθους, αποτελεί αξιόλογο εργαλείο για την κατανόηση της σημερινής ή της πρόσφατης γεωθερμικής κατάστασης στην ερευνούμενη περιοχή

Ταξινόμηση Γεωθερμικών Νερών

Συχνά τα γεωθερμικά νερά διαχωρίζονται (ταξινομούνται) σε σχέση με το κυρίαρχο ανιόν.

❖ *Νερά πλούσια σε χλωριόντα*

Στα γεωθερμικά συστήματα νερού ο συνηθέστερος τύπος που συναντάται σε κάποιο βάθος είναι τα χλωριούχα νερά, με κυριότερο διαλυμένο αέριο είναι το CO_2 .

❖ *Νερά πλούσια σε θειικά ιόντα*

Τα νερά αυτά σχηματίζονται συνήθως κοντά στην επιφάνεια, από τη συμπύκνωση γεωθερμικών αερίων σε υπόγεια νερά που περιέχουν οξυγόνο, με αποτέλεσμα την οξείδωση του H_2S σε θειικά ιόντα.

❖ *Νερά πλούσια σε ανθρακικά ιόντα*

Ονομάζονται νερά πλούσια σε CO_2 , και ο σχηματισμός τους είναι συνήθως αποτέλεσμα της αντίδρασης του διαλυμένου στα μετεωρικά νερά CO_2 με τα πετρώματα.

❖ *Νερά πλούσια σε θειικά ιόντα-χλωριόντα*

Αυτά τα νερά μπορούν να σχηματιστούν με διάφορες διεργασίες, από τις οποίες η σπουδαιότερη είναι η ανάμιξη χλωριούχων νερών με νερά πλούσια σε θειικά.

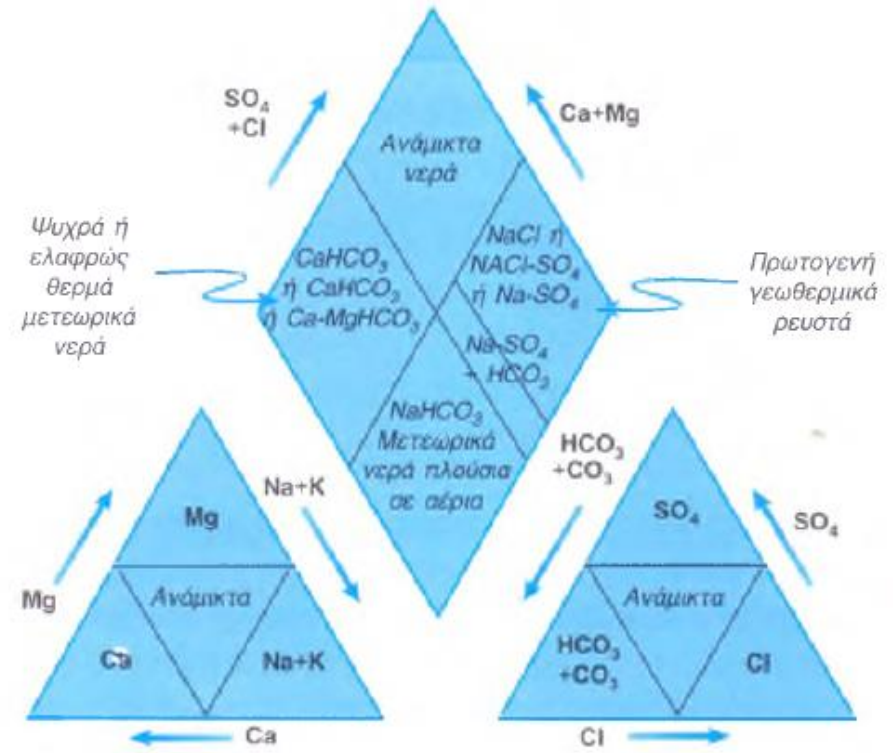
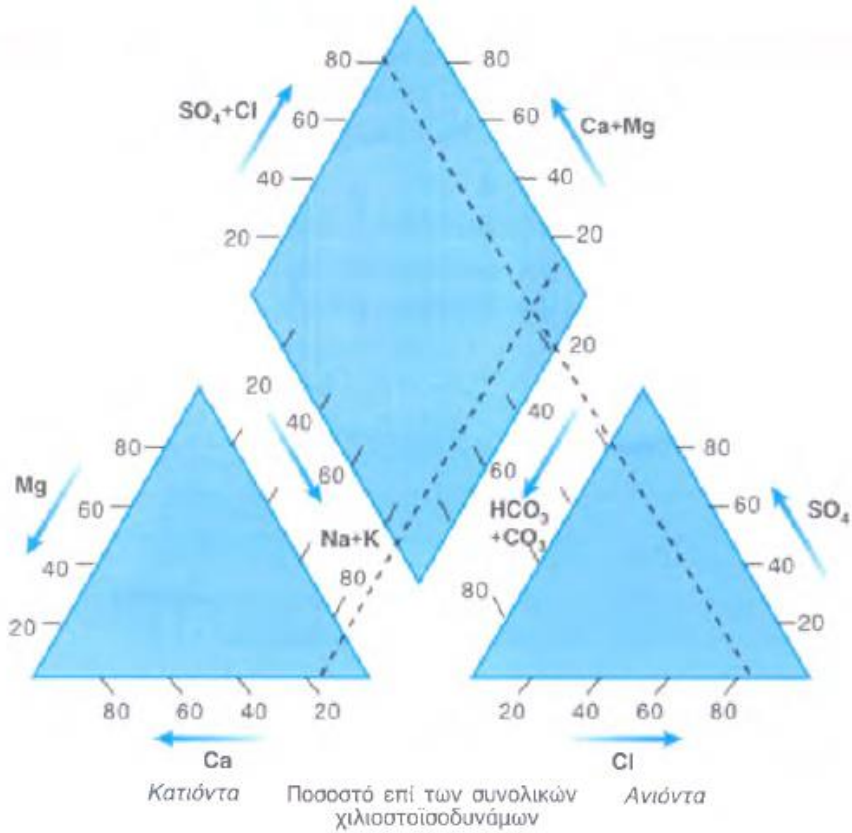
	Περιοχή pH	Κύρια ιόντα
Υπόγεια	6 - 7,5	λίγα HCO_3^-
Πλούσια σε χλωριόντα	4 - 9	Cl^- , λίγα HCO_3^-
Πλούσια σε χλωριόντα-ανθρακικά	7 - 8.5	Cl^- , HCO_3^-
Πλούσια σε θειικά ιόντα	1 - 3	SO_4^{2-} λίγα Cl^-
Πλούσια σε θειικά-χλωριόντα	1 - 5	Cl^- , SO_4^{2-}
Πλούσια σε όξινα ανθρακικά	5 - 7	HCO_3^-
Αραιά χλωριούχα	6.5 - 7,5	Cl^- , λίγα HCO_3^-

Τεχνικές ταξινόμησης Γεωθερμικών Νερών

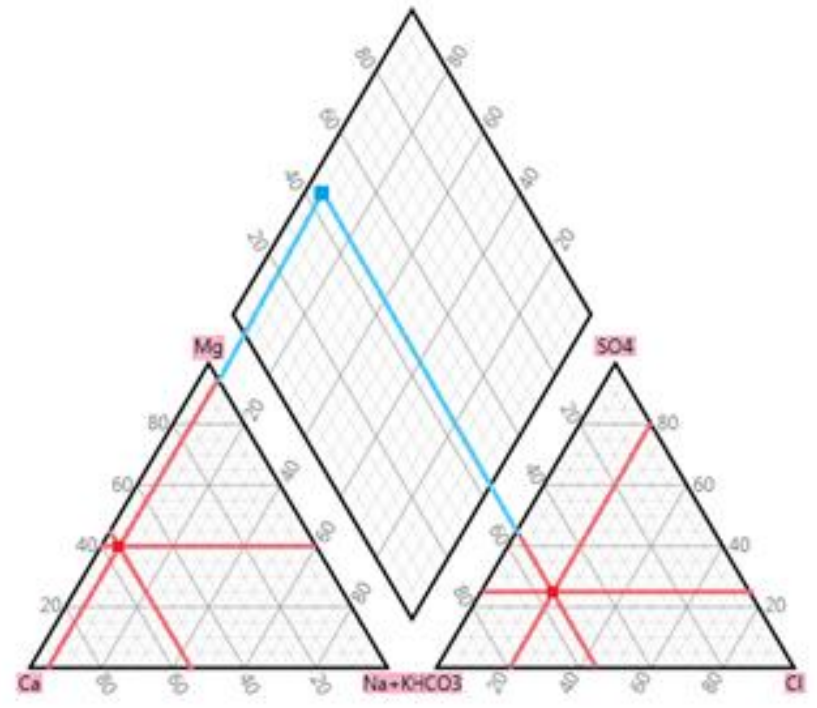
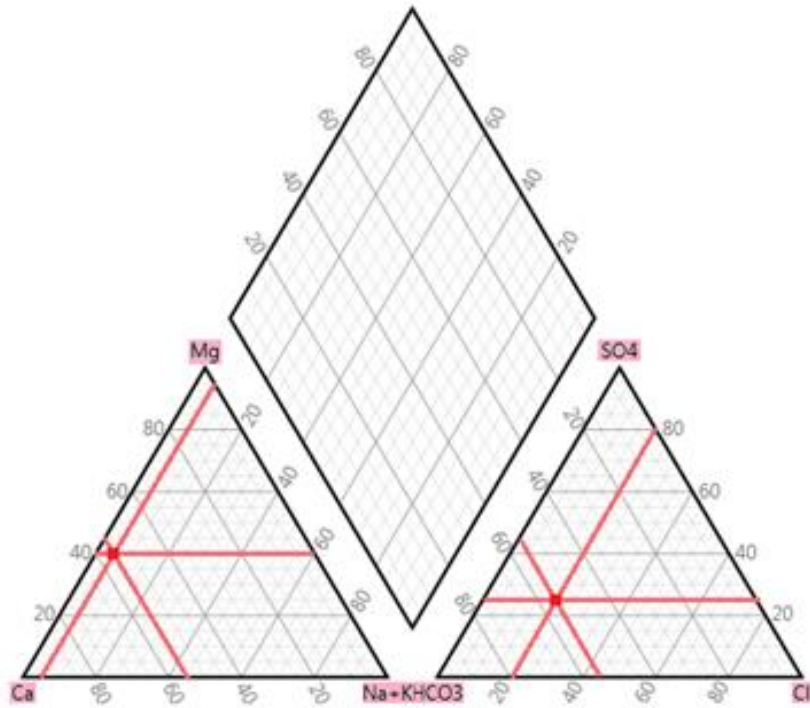
- Έχουν επινοηθεί διάφορα συστήματα για να παραστήσουν σχηματικά, με τη μορφή διαγραμμάτων, το χημισμό του νερού
- Οι τεχνικές αυτές αποβλέπουν στην ταξινόμηση πολλών δειγμάτων νερών σε ένα διάγραμμα και την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με ομοιότητες ή διαφορές των νερών, καθώς και ποια νερά αποτελούν προϊόντα ανάμιξης.
- Επίσης, μπορούν να χρησιμεύσουν στο χαρακτηρισμό των νερών ανάλογα με τα συστατικά που κυριαρχούν σε αυτά, π.χ. οξυανθρακούχα νερά, πλούσια σε θειικά κτλ.
 - Από τα πιο δημοφιλή συστήματα ταξινόμησης στη γεωθερμική και υδρογεωλογική έρευνα είναι η γραφική μέθοδος που έχει προταθεί από τον Piper ή όπως αλλιώς λέγεται **Τριγωνικό Διάγραμμα Piper**



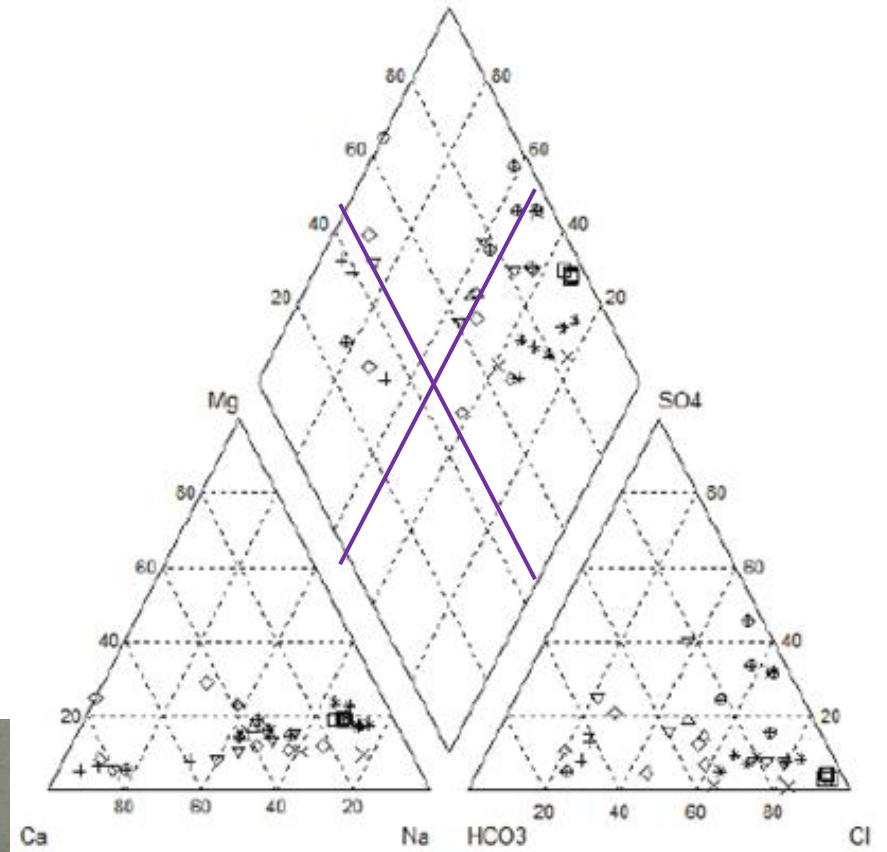
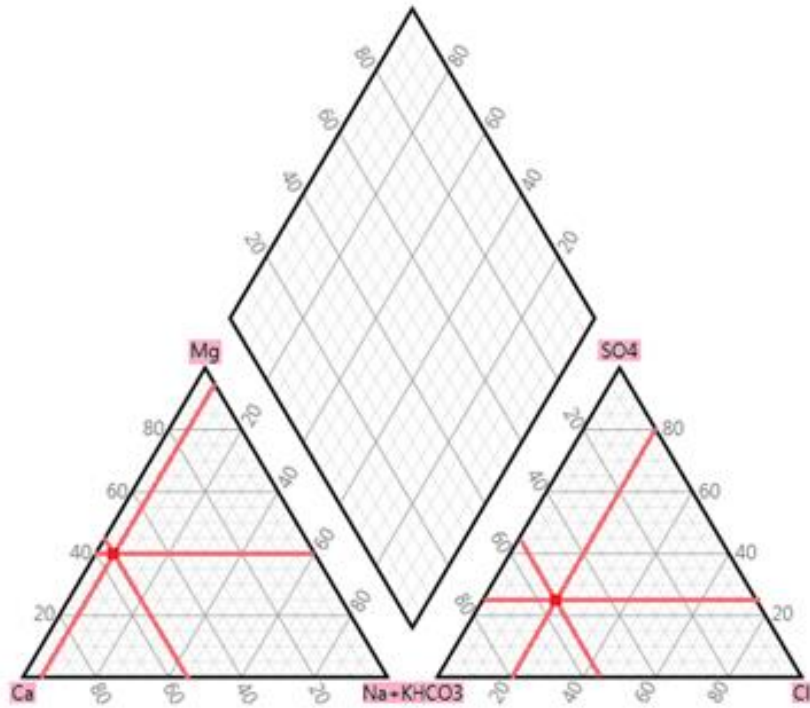
Τριγωνικό Διάγραμμα Piper



Τριγωνικό Διάγραμμα Piper



Τριγωνικό Διάγραμμα Piper



Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των γεωθερμικών νερών

✓ Οι δύο κυριότερες φυσικοχημικές παράμετροι που χρησιμοποιούνται για το χαρακτηρισμό ενός γεωθερμικού νερού είναι

Η περιεκτικότητά του σε άλατα και το pH.

- ✓ Τα γεωθερμικά νερά περιέχουν συνήθως μεγάλη ποικιλία και σημαντικές ποσότητες διαλυμένων συστατικών, τα οποία μαζί αποτελούν **το Σύνολο των Διαλυμένων Αλάτων (ΣΔΑ, Total dissolved solids-TDS)**.
- ✓ Τα γεωθερμικά ρευστά, εξαιτίας της αυξημένης θερμοκρασίας τους, έχουν και αυξημένη ικανότητα διαλυτοποίησης των πετρωμάτων μέσα στα οποία κυκλοφορούν.
- ✓ Συνήθως, τα γεωθερμικά ρευστά χαμηλής θερμοκρασίας έχουν μικρότερο ΣΔΑ από ό,τι τα ρευστά σε υψηλή θερμοκρασία, αν και υπάρχουν εξαιρέσεις αυτού του κανόνα.

Το ΣΔΑ εκφράζεται σε μονάδες mg/kg, mg/L (ή ppm) ή g/L

- Οι τιμές του ΣΔΑ των γεωθερμικών ρευστών κυμαίνονται από λίγες δεκάδες μέχρι και εκατοντάδες χιλιάδες mg/L, Για παράδειγμα, τα γεωθερμικά νερά
 - του Αγγίστρου Σερρών έχουν ΣΔΑ μόλις 260 mg/L,
 - του Λαγκαδά 800 mg/L,
 - της Ν. Κεσσάνης Ξάνθης 4600 mg/L,
 - του Σουσακίου Κορινθίας 46000 mg/L,
 - της Μήλου 112000 mg/L,
 - ενώ στο Salton Sea στην Καλιφόρνια, το ΣΔΑ των νερών μπορεί να προσεγγίσει τα 300,000 mg/L



pH

□ Το pH ενός ρευστού, δηλαδή το μέτρο οξύτητας ή αλκαλικότητάς του, μας δίνει σημαντικές πληροφορίες για την αρχική κατάσταση του ρευστού, ενώ επηρεάζει τη συμπεριφορά ορισμένων διαλυτών συστατικών, όπως του πυριτίου και του σιδήρου.

□ Το pH καθορίζεται βασικά από την απώλεια του διοξειδίου του άνθρακα, αποτέλεσμα του οποίου είναι το διάλυμα να γίνει περισσότερο αλκαλικό.

□ Το pH επηρεάζεται από την αλατότητα και τη θερμοκρασία του νερού, καθώς και από και τη ρυθμιστική ικανότητα των ορυκτών.

□ Το pH των γεωθερμικών νερών κυμαίνεται συνήθως από 5,5 μέχρι 8,5, αν και σε γεωθερμικές εκδηλώσεις στην Ελλάδα και αλλού, έχουν καταγραφεί τιμές pH πολύ χαμηλές

(μέχρι 2,2 σε θερμή πηγή στη Μήλο) ή πολύ υψηλές (μέχρι 11,0 στην Κεντρική Ελλάδα).



Σύσταση αέριας φάσης

Όλα τα γεωθερμικά ρευστά υψηλής ενθαλπίας περιέχουν πάντοτε σημαντικές ποσότητες διαλυμένων αερίων, τα οποία απελευθερώνονται μαζί με τον ατμό κατά τη διάρκεια της εκτόνωσης του ρευστού.

❖ Τα αέρια από μία γεωθερμική γεώτρηση ή από μία φυσική εκδήλωση αναφέρονται ως **μη συμπυκνώσιμα αέρια**, επειδή δε συμπυκνώνονται στις συνθήκες που εκπέμπονται ή στις συνθήκες λειτουργίας μιας γεωθερμικής μονάδας.

✓ Τα μη συμπυκνώσιμα αέρια αποτελούνται συνήθως κατά 60-100% από δύο αέρια,

➤ το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) και

➤ το υδρόθειο (H_2S).

❖ Τα υπόλοιπα αέρια, αποτελούνται από άζωτο (N_2), υδρογονάνθρακες (κυρίως μεθάνιο, αλλά και αιθάνιο), υδρογόνο (H_2), ευγενή αέρια (He , Kr , Ar και Xe), οξυγόνο (O_2) και αμμωνία (NH_3).

❖ Από αυτά η αμμωνία, μαζί με το CO_2 , το CH_4 , το N_2 , το H_2 και το H_2S , αποτελούν την ομάδα των λεγόμενων **Χημικά δραστικά αέρια**. επειδή συμμετέχουν στη χημική ισορροπία του συστήματος

❖ Τα αέρια αυτά μπορούν να δώσουν πληροφορίες για τις συνθήκες στον ταμιευτήρα, όπως π.χ. για τη θερμοκρασία

❖ Η συγκέντρωση των μη συμπυκνώσιμων αερίων στην αέρια φάση έχει ιδιαίτερη σημασία στην εκτίμηση και αξιολόγηση διαφόρων γεωθερμικών παραμέτρων, αλλά και στο σχεδιασμό των μονάδων εκμετάλλευσης της γεωθερμίας.