

ΠΛΑΤΦΟΡΜΑ ΠΡΟΗΓΜΕΝΩΝ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΚΑΙ
ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΛΥΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΠΕΔΙΩΝ ΣΕ
ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΕΣ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ
ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΙΑΤΡΙΚΗΣ

Παρουσίαση δεδομένων πεδίου: Υφαλμύριση παράκτιων υδροφορέων

Καρατζάς Γεώργιος (Καθηγητής)
Δόκου Ζωή (Μεταδιδακτορική ερευνήτρια)

Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος- Πολυτεχνείο Κρήτης



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ



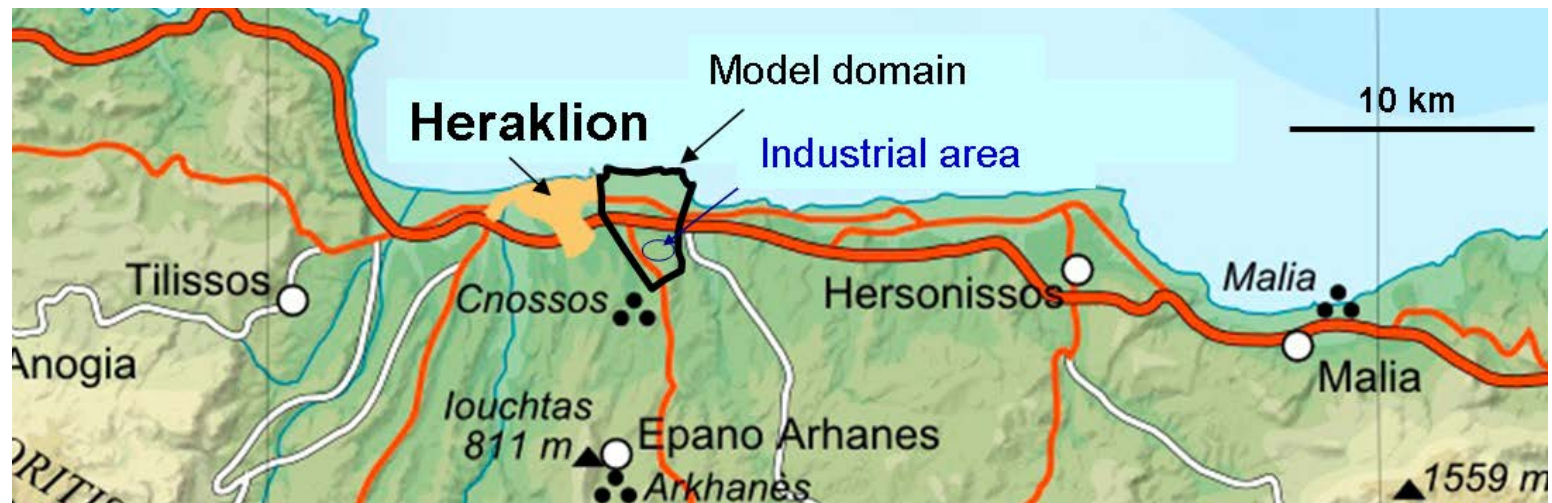
ΧΡΟΝΟΔΙΑΓΡΑΜΜΑ - ΠΑΡΑΔΟΤΕΑ

- Πακέτο εργασίας W.P. 4
- Εφαρμογή σε προβλήματα περιβαλλοντικής μηχανικής
- Διάρκεια: Ιανουάριος 2014 - Ιανουάριος 2016
- 1 Αναφορά (Report)
- 1 επιστημονικό άρθρο

ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Βιομηχανική Περιοχή (ΒΙ.ΠΕ) Ηρακλείου Κρήτης

Προσομοίωση του υπόγειου υδατικού φυσικού συστήματος
και μελέτη του φαινομένου υφαλμύρισης στην έντονα
καρστικοποιημένη παράκτια περιοχή

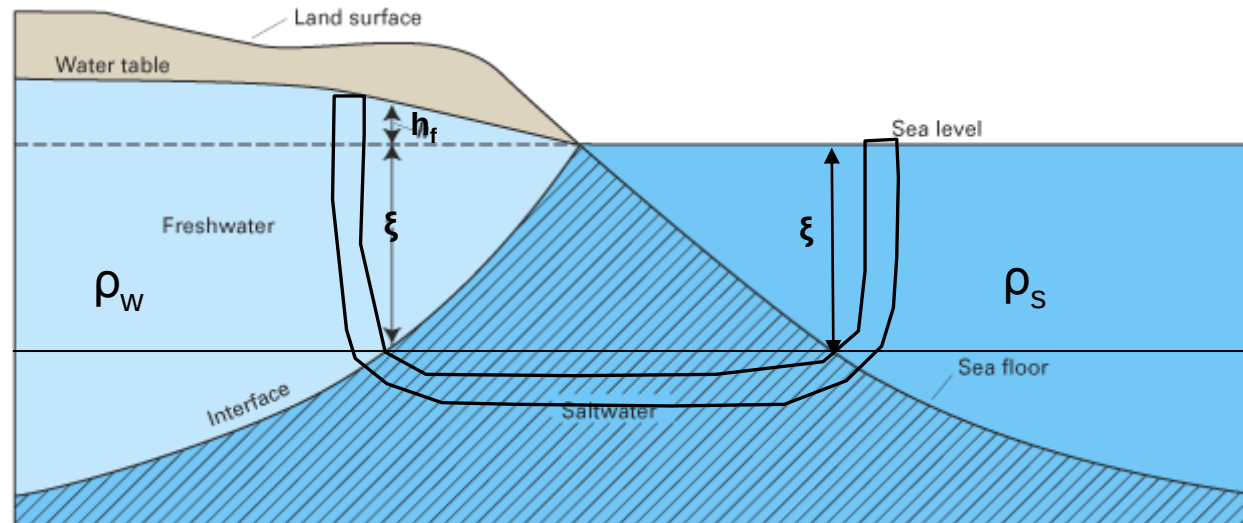


ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΥΦΑΛΜΥΡΙΝΣΗΣ

- Αυξημένες ανάγκες κατανάλωσης νερού για πόση, άρδευση, τουριστική και βιομηχανική χρήση → ανεξέλεγκτη άντληση φρέσκου νερού
- Αντιστροφή υδραυλικής κλίσης υπόγειου νερού
- Διείσδυση αλμυρού νερού στους παράκτιους υδροφορείς
- Αύξηση της συγκέντρωσης των ιόντων χλωρίου, μαγνησίου και ασβεστίου στα υπόγεια νερά.
- Υποβάθμιση της ποιότητας των υδάτων

ΘΕΩΡΗΤΙΚΕΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΤΗΣ ΥΦΑΛΜΥΡΩΣΗΣ

1. Θεώρηση απότομης διεπιφάνειας

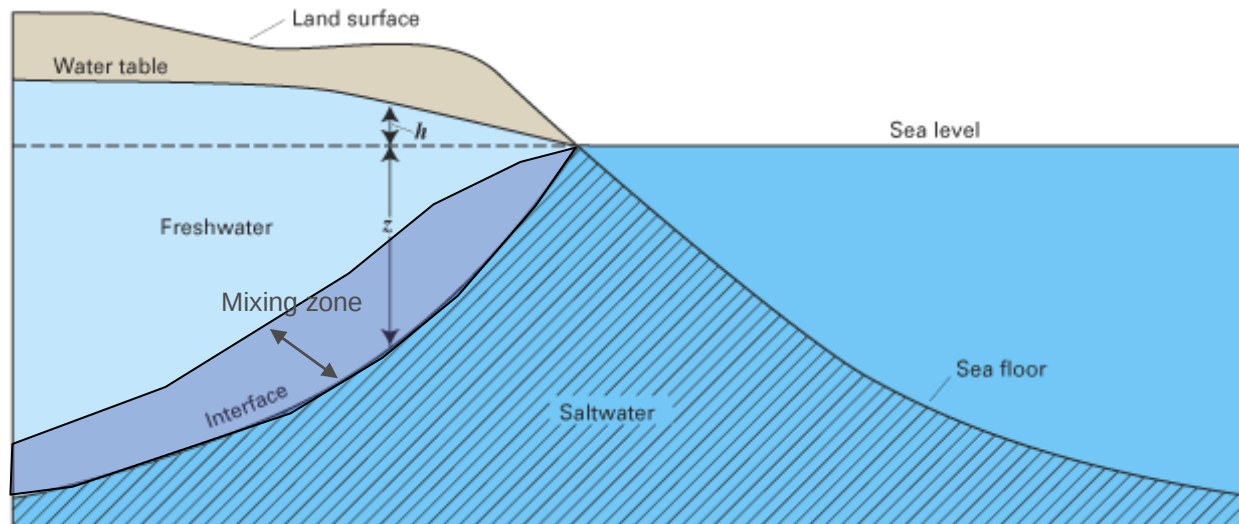


Νόμος **Ghyden – Herzberg**
για τον υπολογισμό της
θέσης της διεπιφάνειας

$$\xi = \frac{\rho_f}{\rho_s - \rho_f} h_f \approx 40 h_f$$

ΘΕΩΡΗΤΙΚΕΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΤΗΣ ΥΦΑΛΜΥΡΩΣΗΣ

2. Θεώρηση μεταβλητής πυκνότητας



$$\rho = \rho_f \left(1 + \alpha \frac{C}{C_s} \right), \quad \alpha = \frac{\rho_s - \rho_f}{\rho_f}$$

α = λόγος διαφοράς πυκνότητας

ρ_s = πυκνότητα αλμυρού νερού

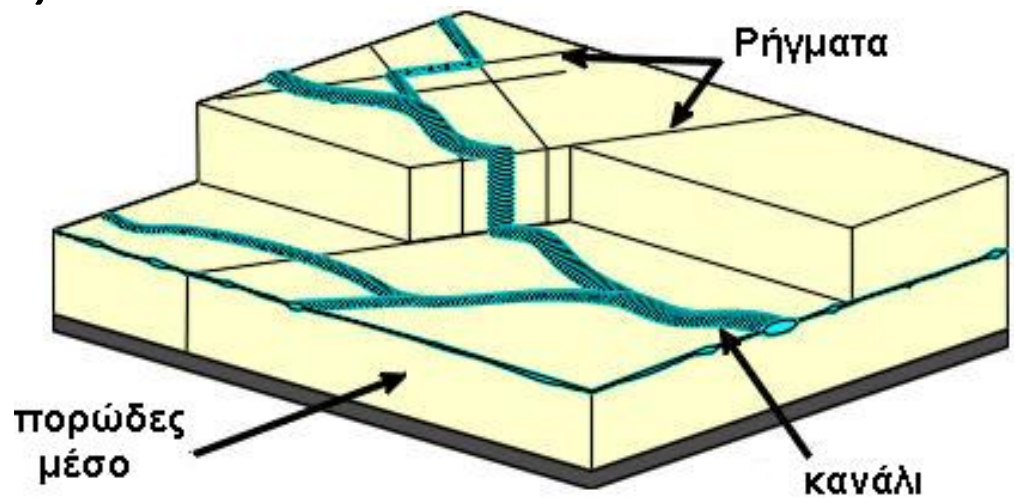
ρ_f = πυκνότητα γλυκού νερού

C = συγκέντρωση αλατιού

C_s = μέγιστη συγκέντρωση αλατιού

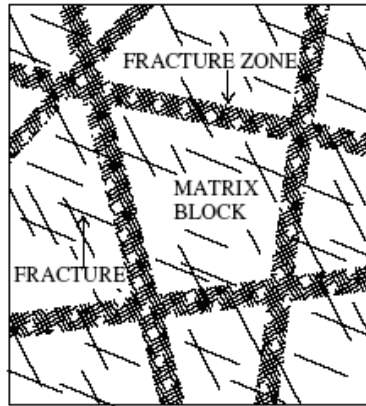
ΚΑΡΣΤΙΚΟΙ ΥΔΡΟΦΟΡΕΙΣ

- Ευνοϊκές συνθήκες για την εμφάνιση υφαλμύρισης
- Ροή μέσω ρηγμάτων, καναλιών και πορώδους μέσου



Εξισώσεις Manning-Strickler, Darcy, Hagen-Poiseuille

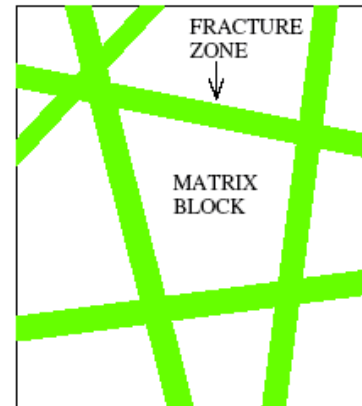
ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΙΣ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΡΣΤΙΚΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΕΩΝ



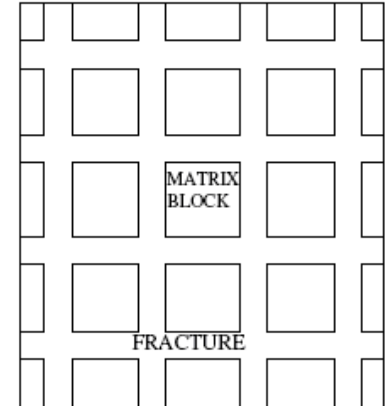
(α)



(β)



(γ)



(δ)

Συνδυασμός

(α) Ρηγματωμένο σύστημα

→ (β) μοντέλο ισοδύναμου μέσου (Equivalent Porosity Model)

→ (γ) μοντέλο διακριτών ρηγμάτων (Discrete Fracture Model)

(δ) μοντέλο διπλού πορώδους (Double Porosity Model)

ΜΟΝΤΕΛΟ FEFLOW (FINITE ELEMENT SUBSURFACE FLOW AND TRANSPORT SIMULATION SYSTEM)

Ανάλυση **πεπερασμένων στοιχείων** για την
επίλυση των εξίσωσης ροής και μεταφοράς
μάζας

Εξίσωση Ροής:
$$\frac{\partial q_i}{\partial x_i} + S_s \frac{\partial h}{\partial t} = Q_p$$

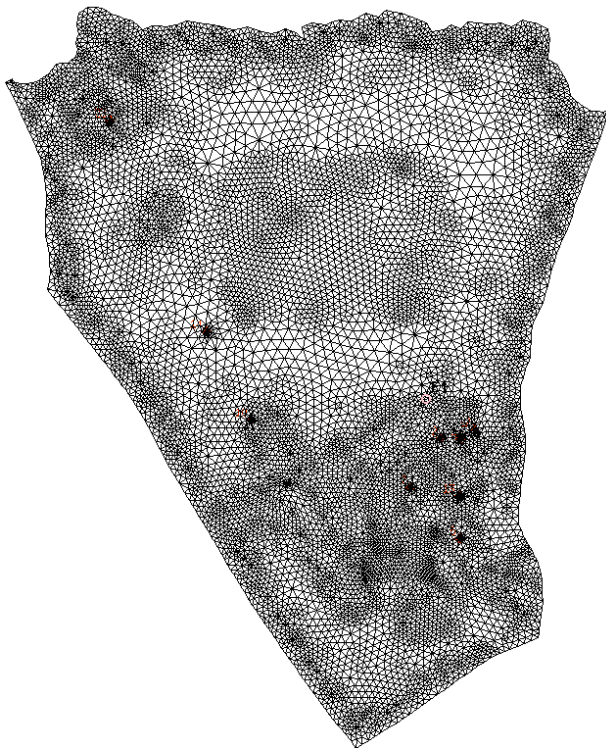
Εξίσωση Μεταφοράς
Μάζας:
$$\frac{\partial}{\partial t}(\phi C) + \frac{\partial}{\partial x_i} \left(q_i C - \phi D_{ij} \frac{\partial C}{\partial x_j} \right) - Q_c = 0$$

Νόμος Darcy:
$$q_i = -K_{ij} f_\mu \left(\frac{\partial h}{\partial x_i} + \alpha \eta_j \right) \quad i, j = 1, 2, 3$$

q_i = ταχύτητα Darcy's
 S_s = αποθηκευτικότητα
 h = υδραυλικό ύψος γλυκού νερού
 Q_p = παροχή πηγών/καταβόθρων
 α = λόγος διαφοράς πυκνότητας
 ϕ = πορώδες
 D_{ij} = υδροδυναμική διασπορά
 Q_c = παροχή μάζας
 K_{ij} = υδραυλική αγωγιμότητα
 f_μ = ιξώδες
 η_j = μοναδιαίο βαρυτικό διάνυσμα

ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

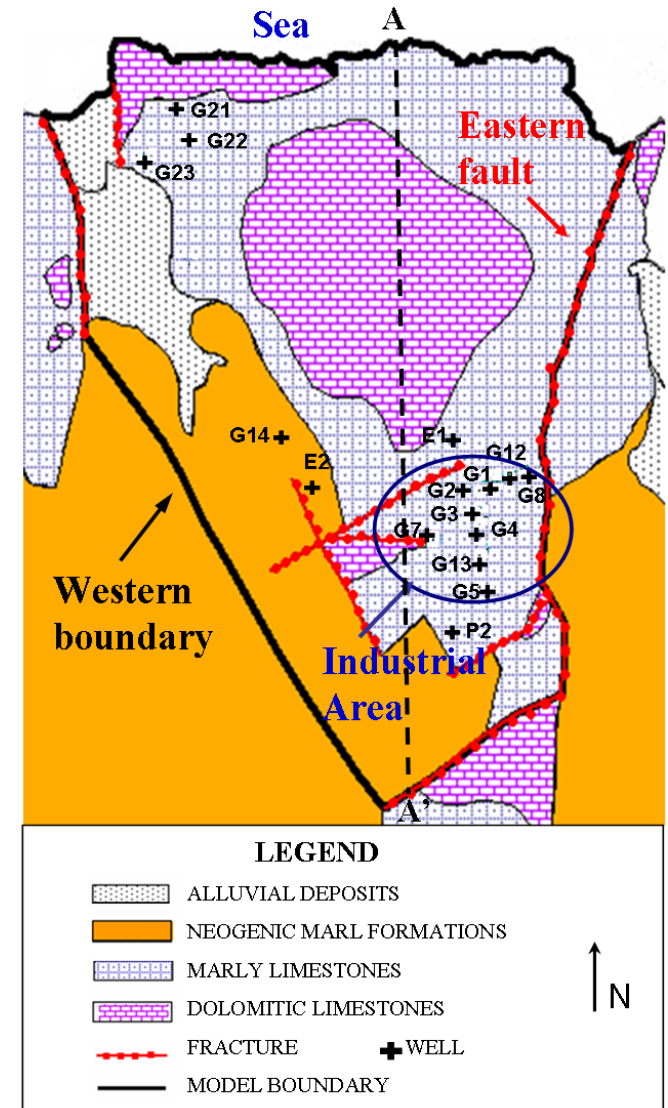
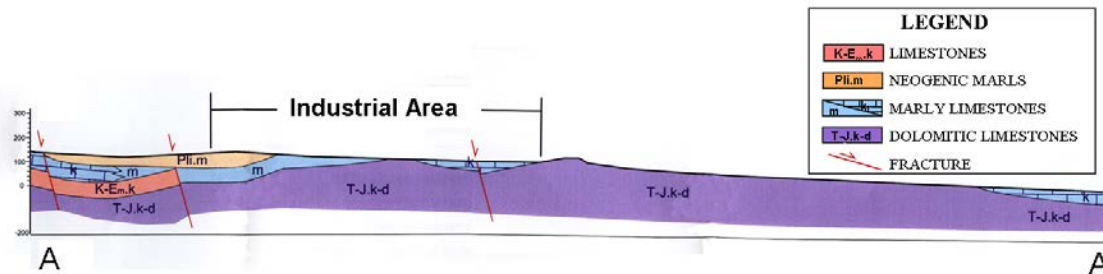
- 101.790 κόμβοι
- 180.018 τριγωνικά στοιχεία



Marls K=5 m/d	Tripolis Limestone K=10.5 m/d	Alluvial Deposits K=200 m/d	Layer 1	5 to 0 m
			Layer 2	-1 m
Tripolis Limestone - K=10.5 m/d			Layer 3	-10 m
Tripolis Limestone			Layer 4	-20 m
Tripolis Limestone			Layer 5	-30 m
Tripolis Limestone			Layer 6	-40 m
Tripolis Limestone			Layer 7	-50 m
Tripolis Limestone			Layer 8	-60 m
Tripolis Limestone			Layer 9	-70 m
Tripolis Limestone				-80 m

ΓΕΩΛΟΓΙΑ

- Καρστικοποιημένοι ασβεστόλιθοι
- Ανατολικό ρήγμα: κύριος μηχανισμός μεταφοράς υφάλμυρου νερού στη ΒΙΠΕ



ΟΡΙΑΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

ΡΟΗ

- 1^{ου} είδους (σταθερό **ισοδύναμο** υδραυλικό ύψος) στη θάλασσα
- 2^{ου} είδους (εισροή γλυκού νερού) στο δυτικό όριο
- 2^{ου} είδους (μεταβλητή παροχή) στα πηγάδια άντλησης και εμπλουτισμού
- Διήθηση λόγω βροχόπτωσης

ΜΑΖΑ

- 1^{ου} είδους (σταθερή συγκέντρωση) στη θάλασσα (18980 mg/l χλωριόντων)
- 1^{ου} είδους (σταθερή συγκέντρωση) στο ανατολικό ρήγμα (17500 mg/l χλωριόντων)

Well	Rate (m ³ /d)		Model Layer	Type	Duration
G2	28.57	Field info	L3	Pumping	Yearly
G3	900	Calibrated	L4	Injection	Yearly
G5	320	Field info	L2	Pumping	Yearly
G7	21.5	Field info	L3	Pumping	Winter
G12	28.57	Field info	L3	Pumping	Yearly
G13	1000	Calibrated	L3	Injection	Yearly
G14	350	Calibrated	L3	Pumping	Summer
G23	125	Calibrated	L2	Pumping	Summer
E1	225	Calibrated	L5	Pumping	Yearly
P2	315	Calibrated	L2	Pumping	Yearly

Πίνακας 1: Δεδομένα άντλησης

ΆΛΛΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ

- Πορώδες
- Συντελεστής μοριακής διάχυσης
- Συντελεστής διασποράς

ΡΗΓΜΑΤΑ

Νόμος Hagen – Poiseuille

Ροή

Πάχος, άνοιγμα, λόγος διαφοράς πυκνότητας (α)

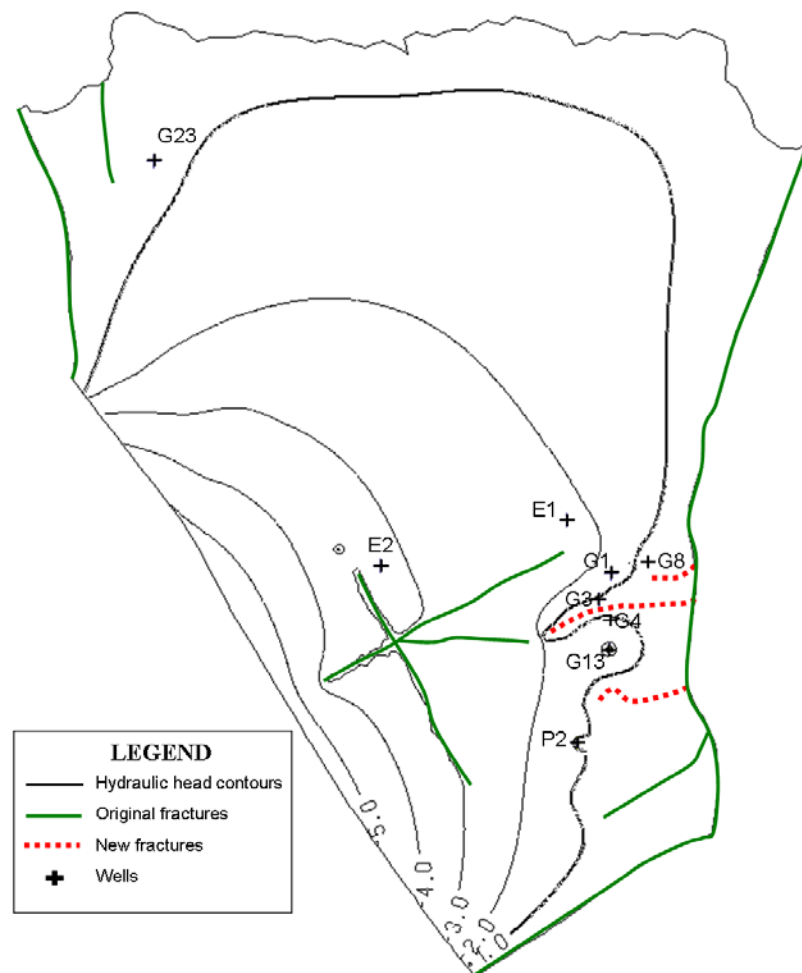
Μεταφορά μάζας

Συντελεστής μοριακής διάχυσης, συντελεστής διασποράς

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΟΝΤΕΛΟΥ (ΡΟΗ)

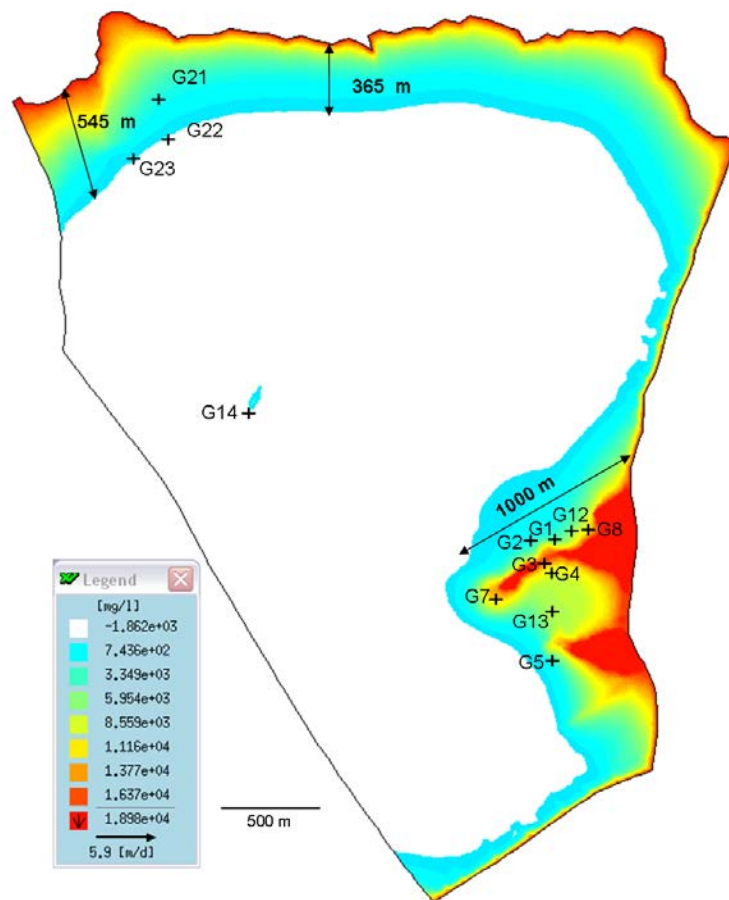
Γεώτρηση	Υδραυλικού ύψους αλμυρού νερού (m) (Δεδομένα)	Ισοδύναμο ύψος γλυκού νερού(m) (Δεδομένα πεδίου)	Ισοδύναμο ύψος γλυκού νερού (m) (Αποτελέσματα μοντέλου)
G1	2.13	2.15	1.44
G3	19.35	20.0	7.76
G4	0.5	1.13	1.16
G8	0.5	1.01	1.00
G13	35.1	35.68	11.10
G23	-1.84	-1.83	-1.90
E1	-0.1	0.5	0.54
E2	3.1	3.14	3.10
P2	-6.18	-6.05	-6.1

Πίνακας 2: Δεδομένα υδραυλικού ύψους και αποτελέσματα βαθμονόμησης ($R^2=0.875$)



ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΟΝΤΕΛΟΥ (ΜΑΖΑ)

Πηγάδι	Ημερομηνία	Δεδομένα πεδίου Cl ⁻ (mg/l)	Αποτελέσματα μοντέλου Cl ⁻ (mg/l)
G1	April 2005	670	3596
G2	April 2005	1070	1459
G3	April 2005	17300	16480
G4	November 2004	15763	15766
G5	November 2004	9360	9430
G7	November 2004	15000	14903
G8	November 2004	13950	13727
G12	November 2004	1110	4641
G13	November 2004	7800	7905
G14	April 2005	3880	3732
G21	November 2004	282	2840
G22	November 2004	313	362
G23	November 2004	532	547



Πίνακας 3: Δεδομένα συγκέντρωσης και αποτελέσματα βαθμονόμησης ($R^2=0.966$)

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΘΕΩΡΗΣΕΩΝ ΑΠΟΤΟΜΗΣ ΔΙΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ

ΑΠΟΤΟΜΗ ΔΙΕΠΙΦΑΝΕΙΑ

$$\xi = 80 \text{ m} \rightarrow hf = 2 \text{ m}$$

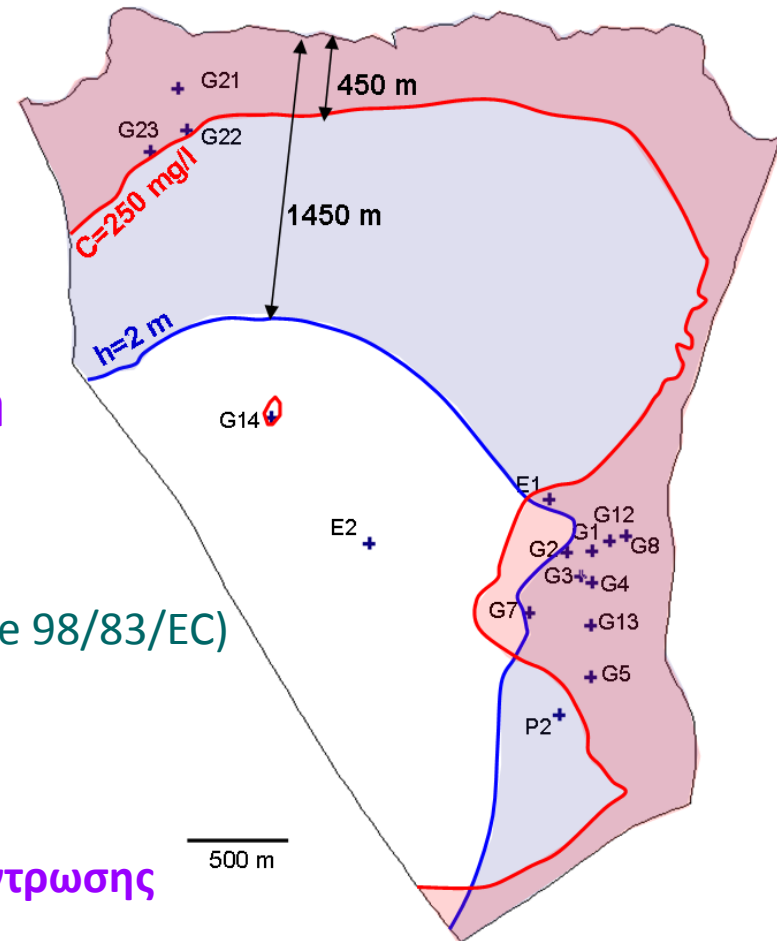
- Απαραίτητη η γνώση του βάθους του υδροφορέα με ακρίβεια
- Δεν δίνει πληροφορία για τη συγκέντρωση χλωριόντων στον υδροφορέα

ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ

Όριο για πόσιμο νερό (European Community Directive 98/83/EC)

$$C=250 \text{ mg/l}$$

- Πιο ακριβής μέθοδος
- Η βαθμονόμηση στηρίζεται σε μετρήσεις συγκέντρωσης
- Μεγαλύτερο κόστος



ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Υπάρχουσες μέθοδοι εκτίμησης της υφαλμύρισης
 - μικρής ακρίβειας - **απότομη διεπιφάνεια**
 - ακριβές (σε χρήματα και υπολογιστικό κόστος) – **μεταβλητή πυκνότητα**
- Μεγάλες διαφορές μεταξύ των εκτιμήσεων της κάθε μεθόδου
- Ανάγκη δημιουργίας **νέων μαθηματικών μεθόδων και εύχρηστου λογισμικού** για την επίλυση του προβλήματος