

**Παράδοση: 11 Νοεμβρίου, 2020**

1. Το Σχήμα 1 (βλέπε εκφώνηση) από άρθρο των Vaezihir et al. (2012) δίνει τις ισοδυναμικές καμπύλες στην περιοχή ενός διυλιστηρίου στο Ιράν. Το διυλιστήριο υπέστη ζημιές από αεροπορικούς βομβαρδισμούς στον πόλεμο Ιράκ-Ιράν (1980-1988) που είχαν σαν αποτέλεσμα, μεταξύ των άλλων, να διαρρεύσουν ποσότητες πετρελαίου στο υπέδαφος και να επηρεαστεί το υπόγειο νερό. Στο Σχήμα 1 ενδεικνύονται, μέσα σε έλλειψη, 6 διακριτές πηγές πετρελαίου (LNAPL) και, μέσα σε κύκλο, τα πηγάδια υδροληψίας (discharge well) στην περιοχή. Σας ζητείται να κάνετε μια χονδρική εκτίμηση του πόσο γρήγορα θα επηρεαστεί το πιθανώς πιο ευάλωτο πηγάδι υδροληψίας, υποθέτοντας ότι όλες οι διαρροές σημειώθηκαν ταυτόχρονα. Οι Vaezihir et al. (2012) αναφέρουν ότι η υδραυλική αγωγιμότητα κυμαίνεται από 0.22 έως 1.85 m/day και το πορώδες είναι ίσο με 0.3. Η απάντησή σας πρέπει απαραίτητα (α) να τεκμηριώνει το σκεπτικό με το οποίο αποφασίσατε ποιο είναι το πιο ευάλωτο πηγάδι και (β) να δείχνει την «τροχιά» ή τη «ροϊκή γραμμή» που θα ακολουθήσει ο ρύπος.

-----  
Σημείωση: από τις διαστάσεις του πλαισίου, βρίσκω κλίμακα περίπου 1:24 000

Πρώτα θα αποφασίσω για ποιο πηγάδι ανησυχώ πιο πολύ, εξετάζοντας ποια πηγάδια είναι κοντύτερα στα κατάντη διακριτών πηγών LNAPL. Προσοχή! Όχι πιο κοντά σε απόσταση προς οποιαδήποτε κατεύθυνση! Καλού-κακού θα χαράξω 2-3 εναλλακτικές ροϊκές γραμμές από πηγές που είναι κοντά (με την πιο πάνω έννοια) σε πηγάδια. Επιλέγω τις πηγές LNAPL2 και LNAPL3 σε σχέση με τα πηγάδια 9 (κυρίως) και 8.

Χαράζω την ροϊκή γραμμή που ξεκινάει από την πηγή LNAPL2 (που είναι πάνω στην ισοδυναμική καμπύλη 82m) και φτάνει κοντά στο πηγάδι 9, το οποίο είναι πάνω στην ισοδυναμική καμπύλη 60m. Το μήκος αυτού του τμήματος της ροϊκής γραμμής το ονομάζω  $L_{2_9}$  και με τη βοήθεια της κλίμακας (1:24 000) βρίσκω ότι  $L_{2_9} = 1370m$ . Τα παραπάνω φαίνονται στο Σχήμα 1Α. Η μέση υδραυλική κλίση γι' αυτό το μήκος ροής είναι:

$$i_{2_9} = (82-60)m/1370m = 0.0161 \text{ (μεγαλούτσικη!)}$$

Ομοίως, χαράζω την ροϊκή γραμμή που ξεκινάει από την πηγή LNAPL3 (που είναι πάνω στην ισοδυναμική καμπύλη 80m) και φτάνει κοντά στο πηγάδι 9, το οποίο είναι πάνω στην ισοδυναμική καμπύλη 60m, καθώς και κάπως κοντά στο πηγάδι 8, το οποίο εκτιμώ ότι είναι πάνω στην ισοδυναμική καμπύλη 59m. Με τη βοήθεια της κλίμακας, βρίσκω  $L_{3_9} = 1225m$  και  $L_{3_8} = 1295m$  (βλέπε Σχήμα 1Α) και υπολογίζω τις αντίστοιχες υδραυλικές κλίσεις:

$$i_{3_9} = (80-60)m/1225m = 0.0163$$

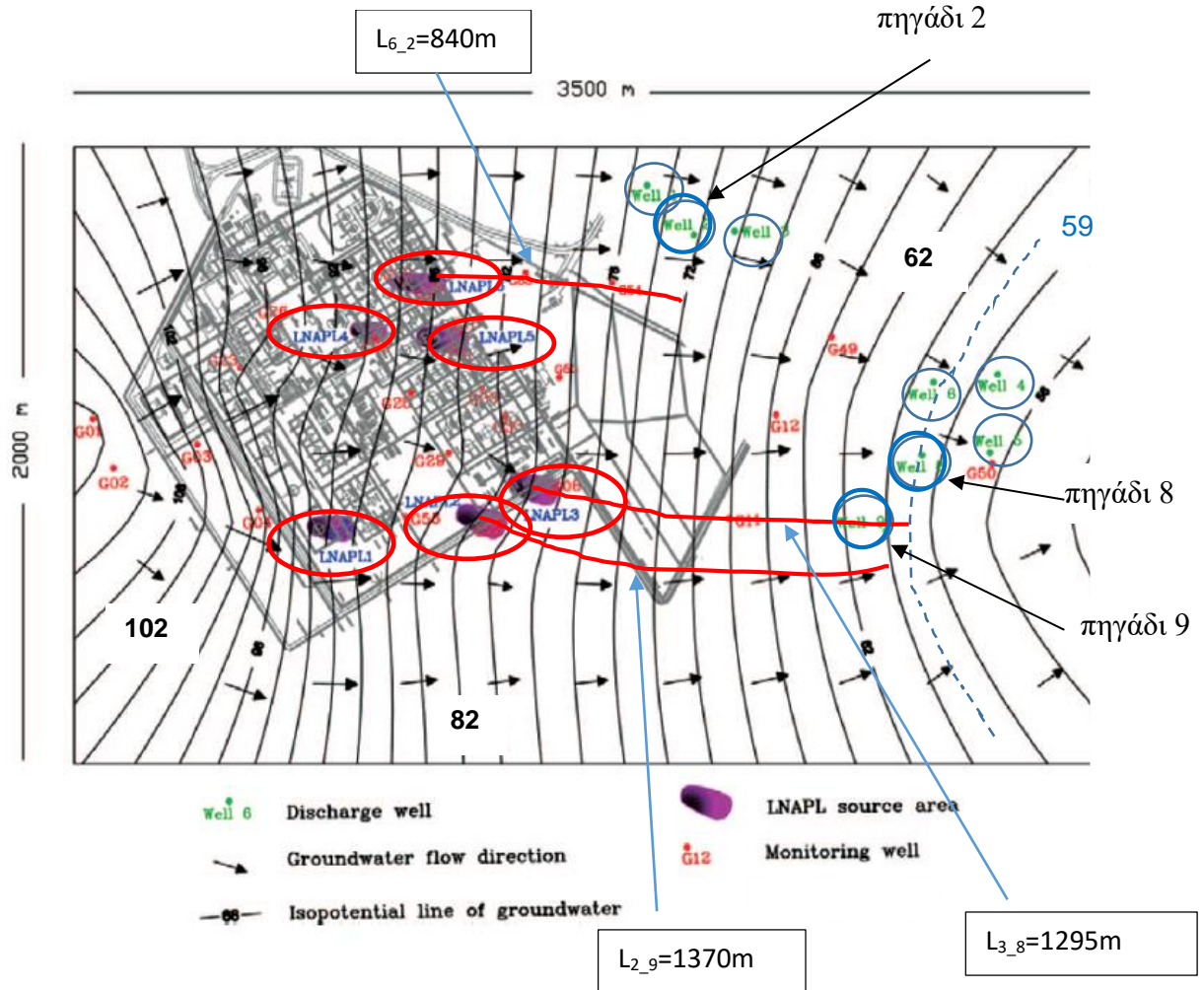
$$i_{2_8} = (80-59)m/1295m = 0.0162$$

Θα κάνω πρώτα τον πιο δυσμενή υπολογισμό, δηλ. με την μεγαλύτερη υδραυλική αγωγιμότητα,  $K = 1.85 \text{ m/day}$ .

Μέση ταχύτητα διήθησης (ή ταχύτητα μεταγωγής) μεταξύ πηγής 2 – **πηγαδιού 9**

$$v_s = ki/n = (1.85 \text{ m/d} \times 0.0161)/0.3 = 0.099 \text{ m/d}$$

$$T_{2,9} = (1370 \text{ m}) / 0.099 \text{ m/day} = \dots = \mathbf{38 \text{ years}}$$



**Σχήμα 1A:** Σχήμα 1 με την προσθήκη 3 ροϊκών γραμμών.

Μέση ταχύτητα διήθησης (ή ταχύτητα μεταγωγής) μεταξύ πηγής 3 – **πηγαδιού 9**

$$v_s = ki/n = (1.85 \text{ m/d} \times 0.0163)/0.3 = 0.101 \text{ m/d}$$

$$T_{2,9} = (1225 \text{ m}) / 0.101 \text{ m/day} = \dots = \mathbf{33.4 \text{ years}}$$

Μέση ταχύτητα διήθησης (ή ταχύτητα μεταγωγής) μεταξύ πηγής 3 – **πηγαδιού 8**

$$v_s = ki/n = (1.85 \text{ m/d} \times 0.0162)/0.3 = 0.0999 \text{ m/d}$$

$$T_{2,9} = (1295 \text{ m}) / 0.0999 \text{ m/day} = \dots = \mathbf{35.5 \text{ years}}$$

Σύμφωνα με τις παραπάνω παραδοχές, περιμένω να επηρεαστούν τα πιο κοντινά πηγάδια περίπου 35 χρόνια μετά την διαρροή NAPL: πρώτο θα επηρεαστεί το πηγάδι 9 από την πηγή LNAPL3 σε 33.4 χρόνια. Αν επαναληφθούν οι υπολογισμοί με την ελάχιστη υδραυλική αγωγιμότητα (0.22 m/d), οι χρόνοι αυξάνονται σε περίπου 280 χρόνια και 314 (για το πηγάδι 9). Η πραγματικότητα είναι κάπου ανάμεσα: οι Vaezihir et al. (2012) αναφέρουν ότι η διαρροή στις πηγές LNAPL2 και LNAPL3 ξεκίνησε περίπου το 1982 και σχεδόν 30 χρόνια αργότερα όταν γραφόταν το άρθρο (2011), κανένα πηγάδι δεν είχε επηρεαστεί.

Ξαναπερνώντας την απάντηση σε αυτήν την άσκηση ένα δεύτερο χέρι, συνειδητοποίησα ότι είχα ανησυχήσει για το πηγάδι 8, που δεν ήταν ακριβώς στα κατάντη από καμιά πηγή (δηλ. δεν ανήκε στην ίδια ροϊκή γραμμή με την πηγή LNAPL3) κι επίσης εξέτασα την επιρροή της πηγής LNAPL2 στο πηγάδι 9, χωρίς να ανήκουν στην ίδια ροϊκή γραμμή. Με αυτήν την λογική, πρέπει να ανησυχήσω και για άλλα πηγάδια που είναι «ξώφαλτσα» κατάντη από πηγές. Επαναλαμβάνω τους παραπάνω υπολογισμούς για την πηγή LNAPL6 και το πηγάδι 2 (βλέπε Σχήμα 1Α).

$$i_{6,2} = (86-72)m/840m = 0.017$$

Ξεκινώ από τον πιο δυσμενή υπολογισμό, δηλ. με την μεγαλύτερη υδραυλική αγωγιμότητα,  $K = 1.85 \text{ m/day}$ .

Μέση ταχύτητα διήθησης (ή ταχύτητα μεταγωγής) μεταξύ πηγής 6 – πηγαδιού 2

$$v_s = ki/n = (1.85 \text{ m/d} \times 0.017)/0.3 = 0.103 \text{ m/d}$$

$$T_{6,2} = (840 \text{ m}) / 0.103 \text{ m/day} = \dots = \mathbf{22.4 \text{ years}}$$

Με την ελάχιστη υδραυλική αγωγιμότητα,  $T_{6,2} = \mathbf{188 \text{ years}}$ . Αναρωτιέμαι ποιο θα επηρεαστεί πρώτο: το πηγάδι 2 που είναι «ξώφαλτσα» κατάντη της πηγής LNAPL6, ή το πηγάδι 9 που είναι στην ίδια ροϊκή γραμμή με την πηγή LNAPL3; Η απάντηση εξαρτάται από το πόσο μεγάλες είναι η διάχυση-διασπορά, δηλ. οι δύο μηχανισμοί που μπορούν να προκαλέσουν εξάπλωση του ρύπου εγκάρσια στην κίνηση του υπόγειου νερού.

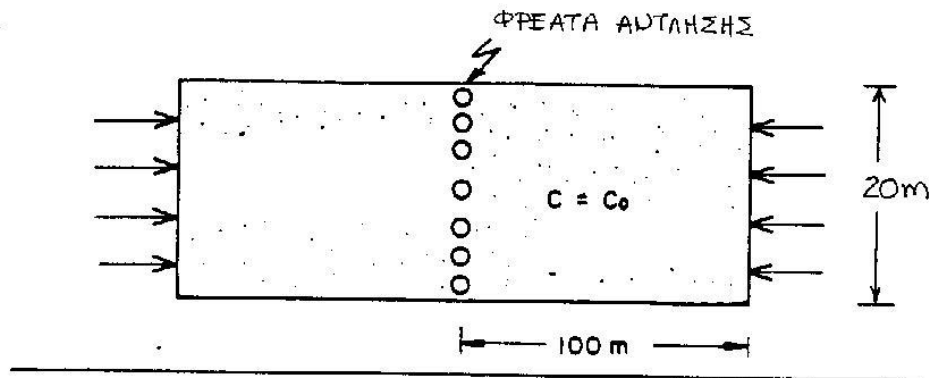
Βέβαια, διαβάζοντας τους Vaezihir et al. (2012) βλέπουμε ότι οι διαρροές δεν σημειώθηκαν ταυτόχρονα: η διαρροή LNAPL6 είναι η πιο καινούρια, δεν έχει σχέση με τις ζημιές από τον πόλεμο και ξεκίνησε μετά το 2002.

## Βιβλιογραφία

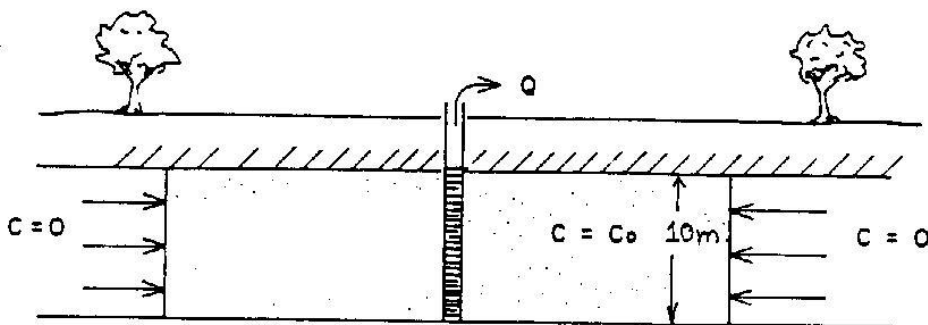
Vaezihir, A., M. Zare, E. Raeisi, J. Molson & J. Barker (2012). Field-Scale Modeling of Benzene, Toluene, Ethylbenzene, and Xylenes (BTEX) Released from Multiple Source Zones, *Bioremediation*, 16(3)156-176.

2. Το Σχήμα 2 δείχνει ένα υδροφορέα πάχους 10m ρυπασμένο σε μια έκταση 200m επί 20m με μια μέση συγκέντρωση  $C_0$ . Θεωρήστε ένα εκτεταμένο σύστημα φρεάτων άντλησης (η συμπεριφορά του οποίου μπορεί να προσεγγιστεί με μια συνεχή τάφρο άντλησης) και επεξεργασίας, που δημιουργεί μονοδιάστατη ροή με ταχύτητα Darcy ίση με  $v = 0.7$  m/ημέρα καθ' όλη την έκταση της ρυπασμένης περιοχής (πρόκειται για μια μέση τιμή, αφού κοντά στα πηγάδια η ταχύτητα θα είναι μεγαλύτερη, ενώ θα είναι μηδέν σε απόσταση που δεν επηρεάζεται από τα πηγάδια). Με αυτά τα δεδομένα υπολογίστε πόσος όγκος νερού θα έχει αντληθεί στη διάρκεια ενός έτους και εκφράστε αυτόν τον όγκο ως κλάσμα (αν είναι μικρότερος) ή πολλαπλάσιο (αν είναι μεγαλύτερος) του συνολικού όγκου (νερού) των πόρων του υδροφορέα (στην περιοχή της άντλησης) για πορώδες  $n = 0.35$ .

ΚΑΤΟΨΗ



ΤΟΜΗ



**Σχήμα 2.** Κάτοψη και τομή ρυπασμένης έκτασης και συστήματος άντλησης.

-----  
Όγκος αντλούμενου νερού

$$V_{αντλ} = Q t = 2 v A t = 2 \times 0.70 \text{ m/d} \times (20\text{m} \times 10\text{m}) \times 365 \text{ ημέρες} = 102\,200\text{m}^3$$

Σημ: στον υπολογισμό του  $V_{αντλ}$  πολλαπλασιάζω με 2 για να λάβω υπόψη μου τα δύο τμήματα του υδροφορέα, αριστερά και δεξιά από τα φρέατα άντλησης.

Όγκος νερού πόρων

$$V_w = V n = 200\text{m} \times 20\text{m} \times 10\text{m} \times 0.35 = 14\ 000\ \text{m}^3$$

Σε ένα χρόνο αντλούμε πολλαπλάσιο όγκο και συγκεκριμένα ίσο με 7.3 φορές το περιεχόμενο του υδροφορέα. Άρα αν, για να μειωθεί επαρκώς η συγκέντρωση, απαιτείται η άντληση να συνεχιστεί πολλά χρόνια, θα πρέπει να μπορώ να αντλήσω ένα ακόμα μεγαλύτερο πολλαπλάσιο που ενδέχεται να μην είναι διαθέσιμο, δηλ. να μην προλαβαίνει να επαναφορτιστεί, όπως λέμε, ο υδροφορέας.