

Ετήσια Τεχνική Έκθεση

Έτος 2014



ΘΑΛΗΣ – Πολυτεχνείο Κρήτης

Πλατφόρμα προηγμένων μαθηματικών μεθόδων
και λογισμικού για την επίλυση προβλημάτων
πολλαπλών πεδίων (multi physics, multidomain)
σε σύγχρονες υπολογιστικές αρχιτεκτονικές:
Εφαρμογή σε προβλήματα Περιβαλλοντικής
Μηχανικής και Ιατρικής (MATENVMED - MIS
379416)

Δράση 4.3

Επικύρωση Αποτελεσμάτων σε Προβλήματα
Περιβαλλοντικής Μηχανικής



Περιεχόμενα

1	Σκοπός	3
1.1	Βελτιστοποίηση διαδικασίας αντλήσεων σε παράκτιους υδροφορείς	3
1.2	Χρήση λογισμικού FEniCS για την επικύρωση αποτελεσμάτων αριθμητικών μεθόδων	4
2	Μεθοδολογία	4
2.1	Βελτιστοποίηση διαδικασίας αντλήσεων σε παράκτιους υδροφορείς	4
2.1.1	Διαδικασία στοχαστικής βελτιστοποίησης ALOPEX	5
2.1.2	Αριθμητικές προσομοιώσεις - Αποτελέσματα	8
2.2	Χρήση λογισμικού FEniCS για την επικύρωση αποτελεσμάτων αριθμητικών μεθόδων	11
3	Μελλοντικές Δράσεις	13
4	Παραδοτέα	14
5	Συνεργασίες	14

1 Σκοπός

Κεντρική επιδίωξη της παρούσας δράσης αποτελεί αφενός μεν η επικύρωση των αποτελεσμάτων μας (αποδοτικότητα μεθόδων και λογισμικού) με ένα σημαντικό περιβαλλοντικό πρόβλημα, αυτό της διείσδυσης αλμυρού νερού στο εσωτερικό υδροφορέων γνωστό ως φαινόμενο της υφαλμύρισης, αφετέρου δε την ανάπτυξη λογισμικού για τη μελέτη της βέλτιστης διαχείρισης του υδροφορέα με υψηλής ακρίβειας μεθόδους αλλά και αλγορίθμους βελτιστοποίησης.

Την τρέχουσα περίοδο αναπτύσσεται και μελετάται με επιτυχία μία νέα μορφή του στοχαστικού αλγορίθμου βελτιστοποίησης ALOPEX καθώς και ενός πλήρους συστήματος κυρώσεων για την επιβολή των περιοριστικών συνθηκών του προβλήματος. Η μελέτη της συμπεριφοράς του επιτυγχάνεται μέσω του αναλυτικού μοντέλου περιγραφής ορθογώνιων υδροφορέων, που έχουμε περιγράψει στην Τεχνική Έκθεση 2012 της αντίστοιχης δράσης, το οποίο προσομοιώνει τον υπόγειο υδροφορέα στο Βαθύ Καλύμνου. Μελετάμε και αναλύουμε πλήρως τη συμπεριφορά του του νέου αλγορίθμου τόσο στην παραγωγή βέλτιστων αντλήσεων από τις ενεργές γεωτρήσεις ενός υδροφορέα όσο και την ευαισθησία των παραγωμένων λύσεων στην προστασία των γεωτρήσεων από το φαινόμενο της υφαλμύρισης.

Παράλληλα επιτυγχάνεται η ψηφιοποίηση και η διακριτοποίηση του πεδίου, που αναφέρεται στον υπόγειο υδροφορέα της Χερσονήσου Ηρακλείου, καθώς και η επιτυχής εισαγωγή του προς χρήση από την πλατφόρμα λογισμικού FEniCS.

1.1 Βελτιστοποίηση διαδικασίας αντλήσεων σε παράκτιους υδροφορείς

Οι ερευνητικοί στόχοι της τρέχουσας περιόδου εξειδικεύονται ως εξής:

- Εισαγωγή μίας νέας αντικειμενικής συνάρτησης κόστους, ικανής να συνδυάζεται με διαδικασίες feedback, όπως αυτή του αλγορίθμου ALOPEX.
- Ανάπτυξη μίας νέας μορφής του αλγορίθμου ALOPEX με μεταβλητές παραμέτρους.
- Βελτιστοποίηση των παραμέτρων του αλγορίθμου ALOPEX ώστε να επιταχυνθεί η σύγκλισή του.
- Κατασκευή ενός αποτελεσματικού συστήματος *penalty* για τον έλεγχο εξέλιξης της διαδικασίας βελτιστοποίησης ALOPEX.
- Κατασκευή κριτηρίων τερματισμού της διαδικασίας βελτιστοποίησης.



Η συμπεριφορά και η αποδοτικότητα της νέας αυτής διαδικασίας βελτιστοποίησης διερευνώνται διεξοδικά μέσα από την εξέταση ενός πλήθους σεναρίων άντλησης και καιρικών συνθηκών, σε έναν υδροφόρα ορθογώνιας γεωμετρίας που προσομοιώνει έναν πραγματικό υδροφόρο ορίζοντα στην περιοχή Βαθύ Καλύμνου.

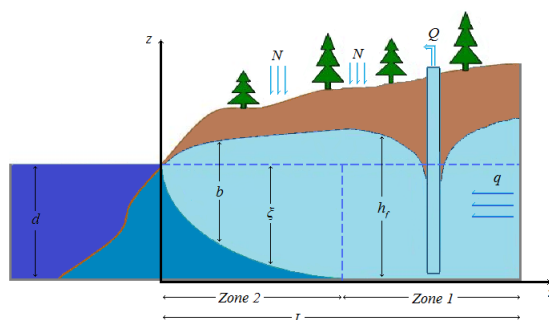
1.2 Χρήση λογισμικού FEniCS για την επικύρωση αποτελεσμάτων αριθμητικών μεθόδων

Με στόχο τη χρήση της πλατφόρμας λογισμικού FEniCS [23] για την επικύρωση των αποτελεσμάτων μας όσον αφορά το πρόβλημα της υφαλμύρισης υπόγειων παράκτιων υδροφορέων και ειδικότερα αυτού της περιοχής της Χερσονήσου Ηρακλείου, προχωρήσαμε στην ανάπτυξη αλγορίθμων και χρήση των εξειδικευμένων πακέτων λογισμικού για την ψηφιοποίηση και διακριτοποίηση του υπόγειου υδροφόρα Χερσονήσου.

2 Μεθοδολογία

2.1 Βελτιστοποίηση διαδικασίας αντλήσεων σε παράκτιους υδροφορείς

Το σύνθετο πρόβλημα της εισβολής αλμυρού νερού σε υπόγειους παράκτιους υδροφορείς καθώς και η μαθηματική περιγραφή απλοποιημένων μοντέλων που βασίζονται στην προσέγγιση Sharp Interface και στην εξίσωση των Ghyben-Herzberg (βλ. Σχ. 1), έχουν περιγραφεί αναλυτικά στην ΤΕ 2012.



Σχήμα 1: Παράκτιος υδροφορέας γλυκού νερού. Παράμετροι μοντελοποίησης.

Υπενθυμίζουμε ότι η βασική ΜΔΕ δυναμικού ροής του Strack γράφεται ως

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K \frac{\partial \phi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K \frac{\partial \phi}{\partial y} \right) + N - Q = 0, \quad (1)$$

η οποία στη περίπτωση ομογενών ορθογώνιων υδροφορέων επιδέχεται την αναλυτική λύση [2]:

$$\begin{aligned} \phi(x, y) = & \frac{q}{K}x + \frac{N}{K}x(L - \frac{x}{2}) + \sum_{k=1}^2 \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^M \frac{Q_j}{4\pi K} \ln \left(\frac{a_{i,j}(x) + b_{k,j}(y)}{a_{i+1,j}(x) + b_{k,j}(y)} \right) + \\ & + \sum_{n=1}^2 \sum_{k=3}^6 \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^M \frac{Q_j}{4\pi K} \ln \left(\frac{a_{i,j}(x) + b_{k,n,j}(y)}{a_{i+1,j}(x) + b_{k,n,j}(y)} \right) \end{aligned} \quad (2)$$

όπου

$$\begin{aligned} a_{1,j}(x) &:= (x - x_j)^2 & b_{1,j}(y) &:= (y - y_j)^2 \\ a_{2,j}(x) &:= (x + x_j)^2 & b_{2,j}(y) &:= (y + y_j)^2 \\ a_{3,j}(x) &:= (x - (2L - x_j))^2 & b_{3,n,j}(y) &:= (y - (2nB - y_j))^2 \\ a_{4,j}(x) &:= (x - (2L + x_j))^2 & b_{4,n,j}(y) &:= (y - (2nB + y_j))^2 \\ a_{5,j}(x) &:= (x + (2L + x_j))^2 & b_{5,n,j}(y) &:= (y + (2nB - y_j))^2 \\ a_{6,j}(x) &:= (x + (2L - x_j))^2 & b_{6,n,j}(y) &:= (y + (2nB + y_j))^2 \end{aligned} \quad (3)$$

Τα Q_j δηλώνουν ρυθμούς άντλησης (m^3/day) της j -th ενεργούς γεώτρησης w_j , $j = 1, \dots, M$, με συντεταγμένες (x_j, y_j) .

2.1.1 Διαδικασία στοχαστικής βελτιστοποίησης ALOPEX

Το πρόβλημα βελτιστοποίησης της διαδικασίας αντλήσεων, με την νέα εκθετικής μορφής συνάρτησης κόστους, λαμβάνει την ακόλουθη μορφή:

$$\begin{aligned} \max: & P \equiv P(Q) = e^{-[S(\bar{Q}) - S(Q)]^2 / S^2(\bar{Q})} \in [0, 1] \\ \text{s.t.}: & 0 \leq \underline{Q}_i \leq Q_i \leq \bar{Q}_i < Q_A \\ & S(Q) = \sum_{i=1}^M Q_i \leq Q_A \\ & x_{\tau,i} \leq x_i - d_s, \quad i = 1, \dots, M \end{aligned} \quad (4)$$

όπου P δηλώνει την αντικειμενική συνάρτηση, $\underline{Q}_i$ και $\bar{Q}_i$ είναι οι ελάχιστες και μέγιστες δυνατότητες αντλήσεως, αντίστοιχα, της i^{th} γεωτρήσεως, Q_A είναι η συνολική δυνατότητα αντλήσεως από ολόκληρο τον υδροφόρο, $x_{\tau,i}$ είναι η x -συντεταγμένη του υφάλμυρου μετώπου απέναντι από την i^{th} γεώτρηση και d_s μια προκαθορισμένη απόσταση ασφάλειας.

Ο νέος τροποποιημένος αλγόριθμος στοχαστικής βελτιστοποίησης ALOPEX V επιτρέπει διαφορετικές τιμές των ελεύθερων παραμέτρων του αλγορίθμου σε κάθε επανάληψη και έχει τη μορφή :

$$Q^{(k)} = Q^{(k-1)} + c_k \Delta P^{(k-1)} \Delta Q^{(k-1)} + g^{(k)}, \quad k = 2, 3, \dots \quad (5)$$

όπου

$$\begin{aligned}\Delta Q^{(k)} &= Q^{(k)} - Q^{(k-1)} \\ \Delta P^{(k)} &= P(Q^{(k)}) - P(Q^{(k-1)})\end{aligned}\quad (6)$$

για δεδομένες αρχικές τιμές των μεταβλητών ελέγχου $Q^{(k)}$, με $k = 0, 1$. Η πραγματική παράμετρος c_k ελέγχου το πλάτος του όρου feedback, ενώ η $g^{(k)}$ ελέγχει το πλάτος του όρου noise. Αποδείξαμε δε ότι για τις τιμές των παραμέτρων:

$$c_k = \frac{1}{|\Delta P^{(k-1)}|} \quad (7)$$

and

$$g_j^{(k)} = \gamma Q_j^{(k-1)} \mathcal{X}_j^{(k)}, \quad j = 1, \dots, M \quad (8)$$

όπου το γ αναφέρεται σε ένα μικρό ποσοστό 1% – 2% των $Q_j^{(k-1)}$, ενώ η $\mathcal{X}_j^{(k)}$ είναι μια τυχαία μεταβλητή με τιμές ομοιόμορφα κατανεμημένες στο διάστημα $(-0.5, 1)$ η μέθοδος επιτυγχάνει γρηγορότερη σύγκλιση στα πλαίσια βέβαια του πλάτους του θορύβου.

ALOPEX βελτιστοποίηση με χρήση περιορισμών

Σε κάθε επαναληπτικό βήμα του ALOPEX, μία κατάλληλα επιλεγμένη στρατηγική εφαρμογής κυρώσεων λαμβάνει χώρα, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η καθοδήγηση της όλης διαδικασίας προς την κατεύθυνση όπου μεγιστοποιείται η χρησιμοποιούμενη αντικειμενική συνάρτηση, λαμβάνοντας υπόψη τους σχετικούς φυσικούς περιορισμούς του προβλήματος. Πιο συγκεκριμένα, βλέπουμε τα παρακάτω:

Σε κάθε επανάληψη του ALOPEX μεταβάλλονται οι τιμές όλων των μεταβλητών ελέγχου Q_i , $i = 1, \dots, M$, χρησιμοποιώντας ένα σύστημα κυρώσεων ελέγχου 2 φάσεων, με τα εξής χαρακτηριστικά:

- Και στις δύο φάσεις εφαρμογής των κυρώσεων ελέγχου, οι τιμές εκείνων των Q_i οι οποίες χρειάζονται μεταβολή, μεταβάλλονται κατά ένα ποσοστό, όπου για τη συγκεκριμένη αναφορά ισούται με 5%. Αυτή είναι μια 5% ποσοτική, εφαρμοζόμενη μέσω της παραμέτρου $\delta = 0.05$.
- Στην πρώτη φάση, αρχικά, εάν η παρούσα άντληση $Q_i^{(k)}$ της i^{th} γεώτρησης, προτεινόμενη από τον ALOPEX, παραβιάζει τη μέγιστη ή την ελάχιστη δυνατή τιμή, δηλαδή $Q_i^{(k)} > \overline{Q}_i$ or $Q_i^{(k)} < \underline{Q}_i$, η τιμή της $Q_i^{(k)}$ τροποποιείται ως εξής:

$$Q_i^{(k)} = (1 - \delta)\overline{Q}_i \text{ or } Q_i^{(k)} = (1 + \delta)\underline{Q}_i \quad (9)$$

για $i = 1, \dots, M$.

Παραμένοντας στην πρώτη φάση, ορίζουμε τα αθροίσματα

$$\begin{aligned}S_{i-1}^{(k)} &:= \sum_{j=1}^{i-1} Q_j^{(k)} + \sum_{j=i}^M Q_j^{(k-1)} \\ \tilde{S} &:= S_{i-1}^{(k)} + \Delta Q_i^{(k)} - \overline{Q}_A\end{aligned}\quad (10)$$

με $S_0^{(k)} = S(Q_1^{(k-1)}, \dots, Q_M^{(k-1)})$, ενώ ο έλεγχος του συνολικού μεγίστου ακολουθεί. Έτσι, στην περίπτωση αυτή, εάν $\tilde{S} > 0$, η τιμή της $Q_i^{(k)}$ τροποποιείται ως εξής:

$$Q_i^{(k)} = Q_i^{(k)} - (1 + \delta)\tilde{S} \quad (11)$$

για $i = 1, \dots, M$.

- Στη δεύτερη φάση, η εφαρμογή του περιορισμού προσέγγισης επιτυγχάνεται σε δύο κύκλους. Στον πρώτο, μόνο οι τιμές άντλησης των ενεργών γεωτρήσεων σε κίνδυνο, δηλαδή $x_{\tau,i} > x_i - d_s$, τροποποιούνται, σύμφωνα με την εξίσωση:

$$Q_i^{(k)} = (1 - \delta)Q_i^{(k)}, \quad (12)$$

για $i = 1, \dots, M$.

Έπειτα, στο δεύτερο κύκλο, εάν οι τοπικές διορθώσεις άντλήσεων δεν κατάφεραν να περιορίσουν την επέλαση του υφάλμυρου μετώπου, εφαρμόζεται μία γενικευμένη τροποποίηση (βλέπε (12)) στις τιμές των άντλήσεων για όλες τις γεωτρήσεις.

ALOPEX βελτιστοποίηση: Κριτήριο Τερματισμού

Με στόχο τη δημιουργία ενός αποτελεσματικού κριτηρίου ολοκλήρωσης της διαδικασίας βελτιστοποίησης, χρησιμοποιούμε έναν συνδυασμό της τυπικής απόκλισης $\sigma_{\hat{k}}$ της αντικειμενικής συνάρτησης στις τελευταίες $\hat{k}$ επαναλήψεις (στην παρούσα αναφορά ορίζεται ότι $\hat{k} = 20$) και της διαφοράς των μέσων τιμών $\mu_{\hat{k}}$ της αντικειμενικής συνάρτησης στο διάστημα των τελευταίων $2\hat{k}$ επαναλήψεων. Ορίζουμε τη χρησιμοποιούμενες μέση τιμή $\mu_{\hat{k}}$ και τυπική απόκλιση $\sigma_{\hat{k}}$ ως εξής:

$$\begin{aligned} \mu_{\hat{k}} &= \frac{1}{\hat{k}} \sum_{i=k-\hat{k}}^k P(Q^{(i)}) \\ \sigma_{\hat{k}} &= \sqrt{\frac{1}{\hat{k}} \sum_{i=k-\hat{k}}^k (P(Q^{(i)}) - \mu_{\hat{k}})^2} \end{aligned} \quad (13)$$

όπου k είναι η τρέχουσα επανάληψη, με $k - 2\hat{k} > 0$. Τότε, η πραγματοποίηση του παρακάτω κριτηρίου:

$$(\sigma_{\hat{k}} < \epsilon_1) \wedge (|\mu_{\hat{k}} - \mu_{2\hat{k}}| < \epsilon_2) \quad (14)$$

για θετικές μικρές ανοχές ϵ_1 και ϵ_2 (στην παρούσα αναφορά και οι δύο ορίζονται να είναι ίσες με 10^{-2}), θεωρώντας επίσης ότι όλοι οι περιορισμοί ικανοποιούνται, τερματίζει τη διαδικασία βελτιστοποίησης.

2.1.2 Αριθμητικές προσομοιώσεις - Αποτελέσματα

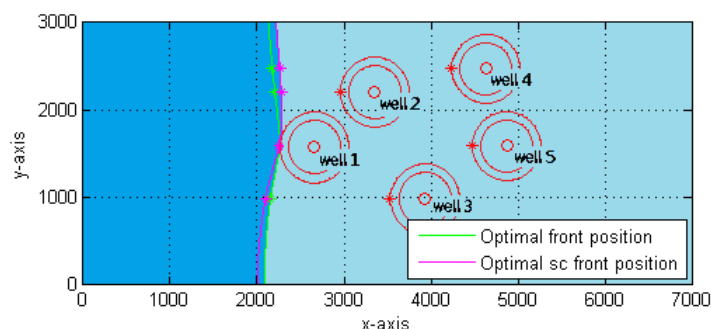
Ανάμεσα στο μεγάλο αριθμό προσομοιώσεων που πραγματοποιήθηκαν για την επικύρωση της στοχαστικής διαδικασίας διαχείρισης αντλήσεων που περιγράφεται στις προηγούμενες παραγράφους, στην ενότητα αυτή επιλέξαμε προς παρουσίαση μία από αυτές, θεωρώντας ότι απεικονίζει καλύτερα τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της διαδικασίας. Τα χαρακτηριστικά μεγέθη που προσομοιώνουν τον υπόγειο υδροφορέα στο Βαθύ Καλύμνου περιλαμβάνονται στον Πίνακα 1 που ακολουθεί.

Πίνακας 1: Χαρακτηριστικά υδροφορέα Καλύμνου.

<i>Aquifer characteristics</i>	<i>Well characteristics</i>
$L = 7000m$	$r_c = 300m$
$W = 3000m$	$d_s = 100m$
$K = 100m/day$	$\bar{Q}_A = 15000m^3/day$
$q = 1.23m^2/day$	$\bar{Q}_j = 2500m^3/day, j = 1, \dots, M$
$d = 25m$	$\bar{Q}_j = 200m^3/day, j = 1, \dots, M$
$N = 30mm/year$	M : number of aquifer wells.

Ο υδροφορέας διαθέτει 5 ενεργές γεωτρήσεις τοποθετημένες στις συντεταγμένες $(x_1, y_1) = (2657, 1572)$, $(x_2, y_2) = (3353, 2200)$, $(x_3, y_3) = (3932, 975)$, $(x_4, y_4) = (4632, 2470)$ και $(x_5, y_5) = (4873, 1586)$. Στη συνέχεια παρουσιάζουμε τις γραφικές παραστάσεις των αποτελεσμάτων ενός τυπικού ελέγχου 500 επαναλήψεων του ALOPEX, αλλά και τα αντίστοιχα αριθμητικά δεδομένα που τις τεκμηριώνουν.

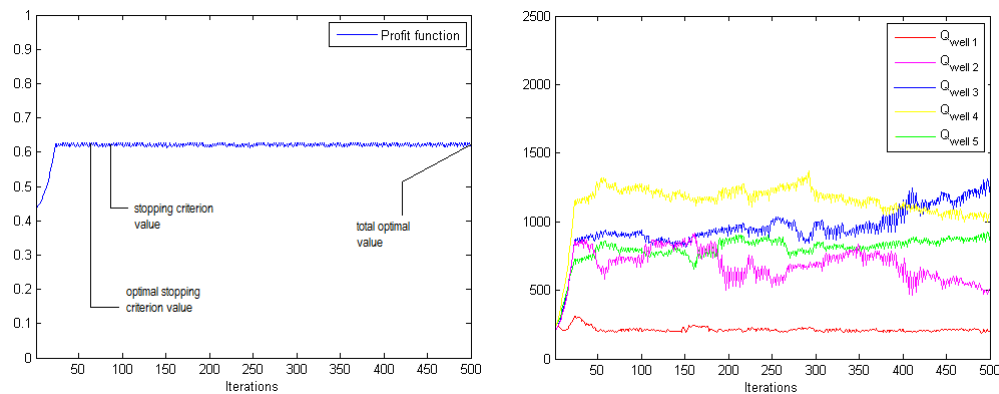
Χρησιμοποιώντας τις τιμές των ολικά βέλτιστων λύσεων, η τιμή του μετώπου της



Σχήμα 2: Βέλτιστη θέση του μετώπου της υφάλμυρης σφήνας.

υφάλμυρης σφήνας βρίσκεται σε μήκος $2260m$ στο εσωτερικό του υδροφορέα.

Μελετώντας το Σχήμα 3α', παρατηρούμε ότι ο ALOPEX οδηγεί την αντικειμενική συνάρτηση $P(Q)$ λαμβάνοντας υπόψη τους σχετικούς περιορισμούς, κοντά



(α') Objective function $P(Q)$ vs iterations. (β') Well pumping rates Q_j vs iterations.

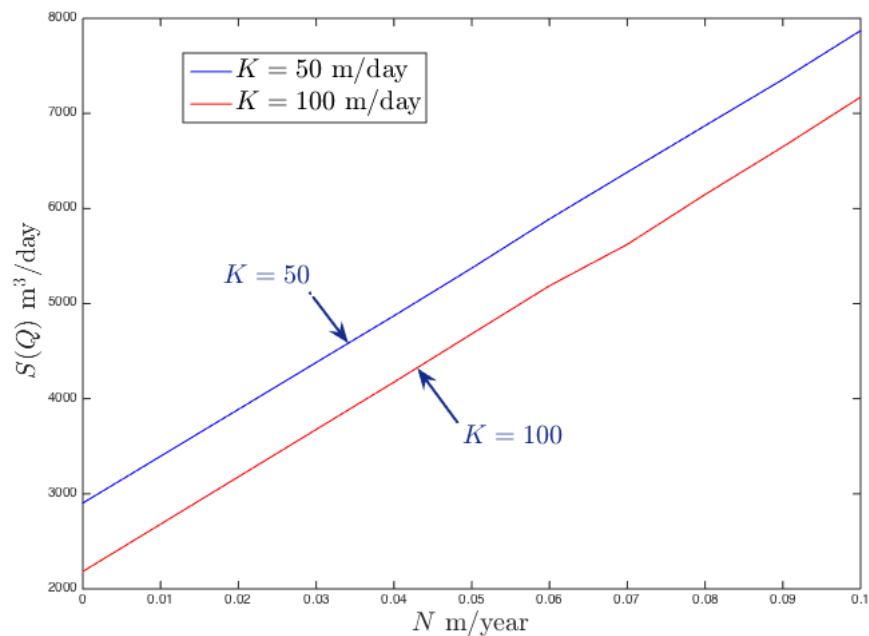
Σχήμα 3: Αντικειμενική συνάρτηση και αντλήσεις των ενεργών γεωτρήσεων στον υδροφόρα της Καλύμνου.

στη μέγιστη τιμή της έπειτα από λίγες σχετικά επαναλήψεις. Επιπλέον, παρατηρώντας τις στήλες 3 και 5 του πίνακα 2, είναι σαφές ότι η βέλτιστη συνολική ικανότητα άντλησης $S(Q)$ διαφέρει από τη βέλτιστη τιμή των $S(Q)$ μετά την εφαρμογή του κριτηρίου τερματισμού μόνο σε κυβικά μέτρα.

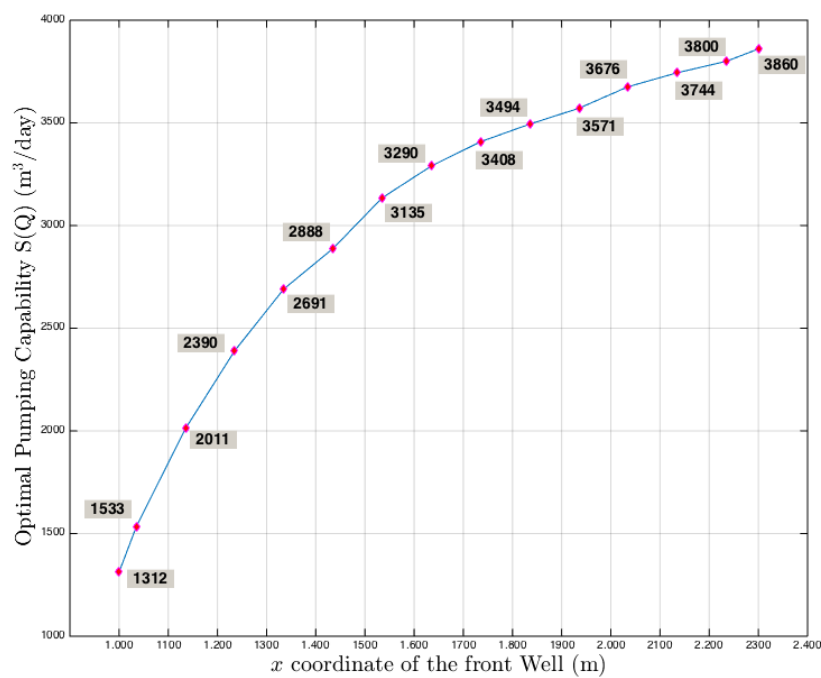
Πίνακας 2: Αριθμητικά αποτελέσματα στοχαστικού αλγορίθμου ALOPEX

ALOPEX Performance	Terminal Values	Total Optimal Values	Stopping Criterion (SC) Values	SC Optimal Values
k (# iter.)	500	500	84	63
$P(Q^{(k)})$	0.62769	0.62769	0.62467	0.62753
$Q_1^{(k)}$	202.27	202.27	214.30	206.41
$Q_2^{(k)}$	504.38	504.38	739.03	720.10
$Q_3^{(k)}$	1303.05	1303.05	911.41	923.57
$Q_4^{(k)}$	1047.07	1047.07	1254.90	1278.27
$Q_5^{(k)}$	912.85	912.85	805.97	838.96
$S(Q^{(k)})$	3969.62	3969.62	3925.60	3967.30
Time in secs	7.87		1.32	

Επίσης, με στόχο την περαιτέρω μελέτη της εξάρτησης των παραπάνω αποτελεσμάτων από τις τιμές των παραμέτρων της υδραυλικής αγωγιμότητας K και του ρυθμού ανατροφοδότησης N του υδροφόρα, παρουσιάζουμε το Σχήμα 4 και τον Πίνακα 3.



Σχήμα 4: Εξάρτηση βέλτιστων αντλήσεων $S(Q)$ από τις παραμέτρους K και N .



Σχήμα 5: Εξάρτηση βέλτιστων αντλήσεων με την απόσταση της γεώτρησης Νο 1 από την ακτογραμμή.

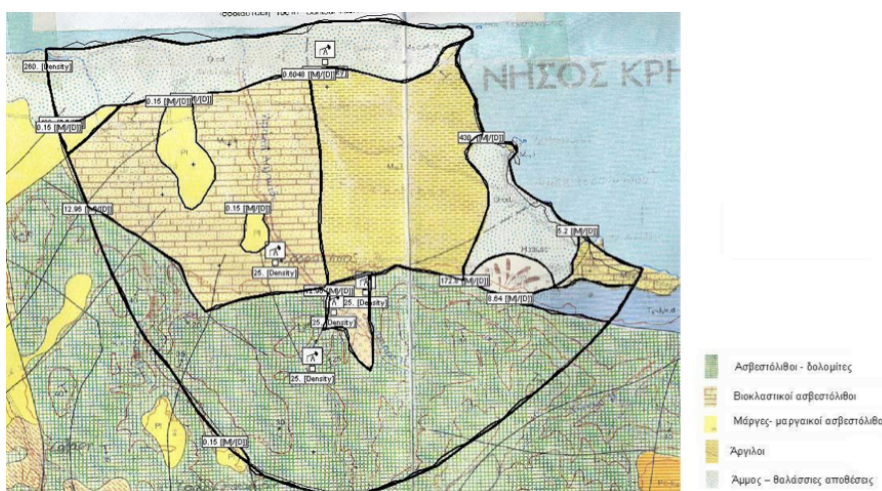
Πίνακας 3: Εξάρτηση απόδοσης του ALOPEX από τις παραμέτρους K και N .

ALOPEX Performance	$K = 50$		$K = 100$	
	$S(Q^{(k)})$	$P(Q^{(k)})$	$S(Q^{(k)})$	$P(Q^{(k)})$
$N = 0.00$	2902.60	0.44892	2183.10	0.42703
$N = 0.03$	4380.58	0.49323	3676.21	0.47213
$N = 0.04$	4871.44	0.50809	4173.95	0.48701
$N = 0.05$	5372.87	0.52340	4681.34	0.50232
$N = 0.06$	5890.08	0.53929	5187.68	0.51773
$N = 0.07$	6381.39	0.55447	5622.61	0.53106
$N = 0.08$	6871.31	0.56967	6147.20	0.54722
$N = 0.09$	7357.62	0.58480	6649.46	0.56278
$N = 0.10$	7871.11	0.60081	7172.13	0.57902

2.2 Χρήση λογισμικού FEniCS για την επικύρωση αποτελεσμάτων αριθμητικών μεθόδων

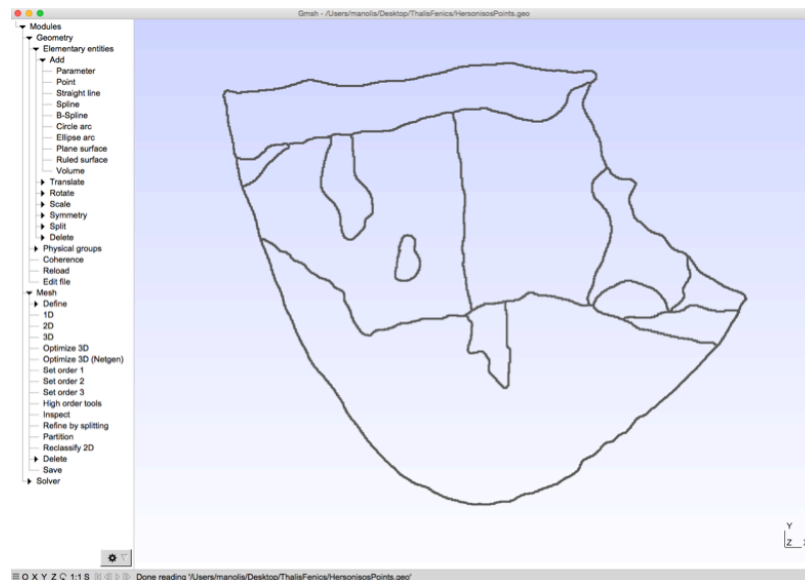
Με στόχο τη χρήση της πλατφόρμας λογισμικού FEniCS, το οποίο υλοποιεί αριθμητικές μεθόδους πετρερασμένων στοιχείων για την επίλυση των ΜΔΕ, για την επικύρωση μεθόδων και λογισμικού στο πρόβλημα εισβολής θαλασσινού ύδατος σε υπόγειους παράκτιους υδροφορείς γλυκών υδάτων, ψηφιοποιήθηκαν πραγματικά δεδομένα πεδίου που αφορούν στον υπόγειο υδροφορέα Χερσονήσου Ηρακλείου Κρήτης.

Για την συνοπτική περιγραφή της διαδικασίας παραθέτουμε κατ' αρχήν τον γεωλογικό χάρτη της περιοχής ενδιαφέροντος (βλέπε Σχήμα 6), όπου η θαλάσσια περιοχή βρίσκεται στο βόρειο και ανατολικό (άνω και δεξιό) τμήμα του.

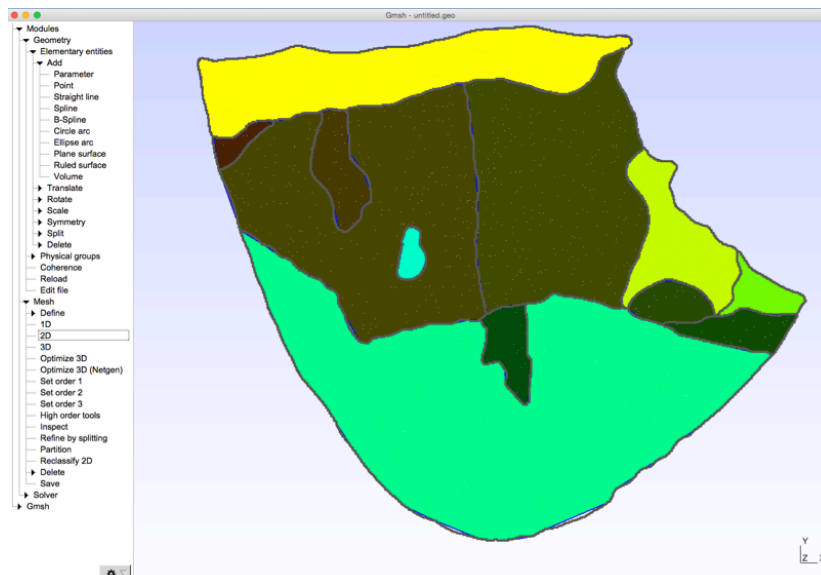


Σχήμα 6: Γεωλογικός χάρτης υδροφορέα της περιοχής Χερσονήσου

Ακολουθώντας μια διαδικασία παραπλήσια με αυτήν που περιγράφεται στη Δράση 4.2 με τη χρήση του Image Processing Toolbox του λογισμικού MatLab έγινε εφικτή η εισαγωγή στο λογισμικό GMSH των ορίων των περιοχών με ασυνέχειες. Στο Σχήμα 7 εμφανίζονται τα όρια διεπαφής των περιοχών ασυνέχειας, οι συντεταγμένες των οποίων δημιουργήθηκαν ψηφιακά από το λογισμικό MatLab και έχουν εισαχθεί κατάλληλα στο λογισμικό διακριτοποίησης GMSH.



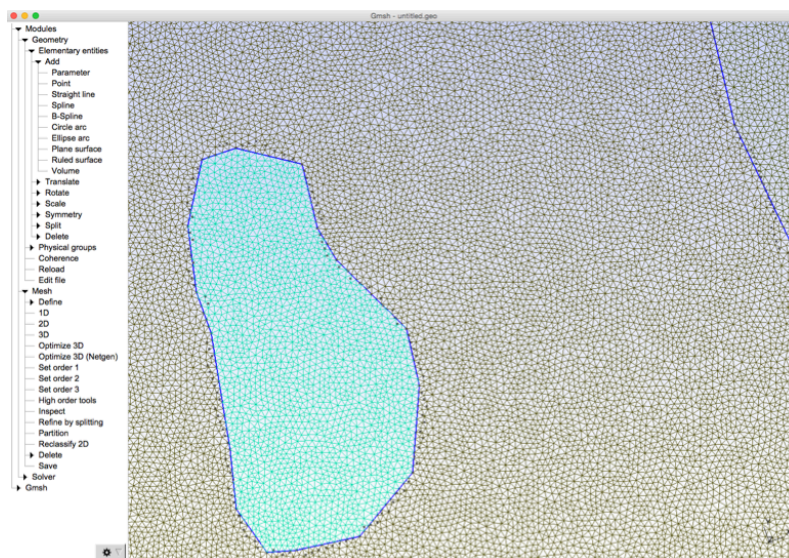
Σχήμα 7: Ορισμός γεωλογικών περιοχών υδροφορέα Χερσονήσου



Σχήμα 8: Διακριτοποίηση γεωλογικών περιοχών υδροφορέα Χερσονήσου

Επιλέγοντας τη χρήση splines έγινε δυνατός ο καθορισμός των συνόρων διαπαφής διαφορετικών περιοχών και, στη συνέχεια, η διακριτοποίησή τους. Στο Σχήμα 8 απεικονίζεται με διαφορετικό χρώμα η διακριτοποίηση κάθε περιοχής του συνολικού προβλήματος, ανάλογα με τα γεωλογικά χαρακτηριστικά (υδραυλική αγωγιμότητα) του υδροφορέα.

Στο Σχήμα 9 που ακολουθεί παρουσιάζουμε με λεπτομέρεια τη διακριτοποίηση με χρήση τριγωνικών πεπερασμένων στοιχείων σε ένα τμήμα του πεδίου.



Σχήμα 9: Λεπτομέρεια διακριτοποίησης υποπεριοχών υδροφορέα Χερσονήσου

Το πρόβλημα δοκιμών υφαλμύρισης του υδροφορέα Χερσονήσου έχει πλέον εισαχθεί με επιτυχία ψηφιακά στο λογισμικό FEniCS κι έτσι είναι εφικτή η επίλυση του με τη χρήση της αριθμητικής μεθόδου των Πεπερασμένων Στοιχείων.

3 Μελλοντικές Δράσεις

Τα ερευνητικά αποτελέσματα της τρέχουσας περιόδου οδηγούν στους εξής στόχους για το επόμενο διάστημα:

- Σύζευξη του νέου αλγορίθμου στοχαστικής βελτιστοποίησης ALOPEX με πλατφόρμες λογισμικού PTC και FEniCS για την επικύρωση των αποτελεσμάτων σε προβλήματα που περιλαμβάνουν ετερογενείς υπόγειους υδροφορείς με γενικευμένη γεωμετρία πεδίου (Βαθύ Καλύμνου και Χερσονήσου Ηρακλείου Κρήτης).

- Σύζευξη του νέου αλγορίθμου στοχαστικής βελτιστοποίησης ALOPEX με την μέθοδο dDHC, που αναπτύξαμε στα πλαίσια της Δράσης 2.1, για ετερογενείς ορθογώνιους υδροφορείς.
- Σύζευξη του νέου αλγορίθμου στοχαστικής βελτιστοποίησης ALOPEX με μεθόδους χαλάρωσης στις διεπαφές καθώς και υβριδικές μεθόδους, που αναπτύξαμε στα πλαίσια της Δράσης 2.2, 2.3 και 4.1, μέσω της πλατφόρμας λογισμικού FEniCS.
- Υβριδική εφαρμογή του νέου αλγορίθμου στοχαστικής βελτιστοποίησης ALOPEX με παράλληλες διαδικασίες που αναπτύχθηκαν στα πλαίσια της Δράσης 3.1.

4 Παραδοτέα

- Τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας παρουσιάστηκαν στο συνέδριο *NumAn2014, Conference in Numerical Analysis. Recent Approaches to Numerical Analysis. Theory, Methods and Applications*. September 2-5, 2014, Chania (διάλεξη και poster) και στο διεθνές συνέδριο CMA 2014, Kuwait, Nov. 2014
- Στο στάδιο της συγγραφής για το περιοδικό PLOSone βρίσκεται εργασία υπό τον τίτλο: P. Stratis, G. Karatzas, E. Papadopoulou, M. Zakynthinaki and Y. Saridakis, *Stochastic optimization for an analytical model of saltwater intrusion in coastal aquifers* (σε προετοιμασία).
- Η παρούσα Ετήσια Τεχνική Έκθεση του Προγράμματος που αφορά τη Δράση 4.3 για το έτος 2014.

5 Συνεργασίες

Η παρούσα εργασία όπως και οι δημοσιεύσεις της που ακολούθησαν, είναι προϊόν συνεργασίας των παρακάτω μελών του Πολυτεχνείου Κρήτης:

- Ι. Σαριδάκης, Καθηγητής, Σχολή Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, Πολυτεχνείο Κρήτης
- Ε. Μαθιουδάκης, Επίκουρος Καθηγητής, Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης
- Γ. Καρατζάς, Καθηγητής, Σχολή Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης



- Ε. Παπαδοπούλου, Καθηγήτρια, Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης
- Μ. Ζακυνθινάκη, Διδάκτορας, Σχολή Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, Πολυτεχνείο Κρήτης
- Π. Στρατής, Υποψήφιος Διδάκτορας, Σχολή Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, Πολυτεχνείο Κρήτης
- Ν. Βιλανάκης, Υποψήφιος Διδάκτορας, Σχολή Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, Πολυτεχνείο Κρήτης

Αναφορές

- [1] O. Strack, *Groundwater Mechanics*, Prentice Hall, 1989.
- [2] A. Mantoglou, *Pumping management of coastal aquifers using analytical models of salt water intrusion*, Water Resour Res, 39: 1335-1346, 2003.
- [3] A. Mantoglou, M. Papantoniou, P. Giannouloupoulos, *Management of coastal aquifers based on nonlinear optimization and evolutionary algorithms*. J Hydrol, 297: 209-228, 2004.
- [4] E. Harth, T. Kalogeropoulos, *Multiparameter optimization circuit*, U S Patent, 4: 912-624, 1990.
- [5] E. Harth, E. Tzanakou, *Alopex: A stochastic method for determining visual receptive fields*, Vision Research, 14: 1475-1482, 1974.
- [6] E. Tzanakou, R. Michalak, E. Harth, *The alopex process: Visual receptive fields by response feedback*, Biol Cybernet, 35: 161-174, 1979.
- [7] M. Zakynthinaki, *Stochastic optimization for adaptive correction of atmospheric distortions in astronomical observation*, PhD thesis (in Greek), Technical University of Crete, 2001.
- [8] T. Kalogeropoulos, Y. Saridakis, M. Zakynthinaki, *Improved stochastic optimization algorithms for adaptive optics*, Comp Phys Commun, 99: 255-269, 1997.
- [9] E. Micheli-Tzanakou, *Supervised and Unsupervised Pattern Recognition: Feature Extraction and Computational Intelligence*, CRC Press, 1999.
- [10] M. Zakynthinaki, Y. Saridakis, *Stochastic optimization for a tip-tilt adaptive correcting system*, Comp Phys Commun, 150: 274-292, 2003.

- [11] M. Zakynthinaki, R. Barakat, C.C. Martinez, J.S. Molinuevo, *Stochastic optimization for the detection of changes in maternal heart rate kinetics during pregnancy*, Comp Phys Commun, 182: 683-691, 2011.
- [12] Pandya A, Sen E, Hsu S, *Buffer allocation optimization in atm switching networks using alopex algorithm*, Neurocomput, 24: 1-11, 1999.
- [13] Pandya A, Venugopal K, *A stochastic parallel algorithm for supervised learning in neural networks*, IEICE Trans Inform Syst, E77-D: 376-384, 1994.
- [14] Shintani H, Akutagawa M, Nagashino H, Pandya AS, Kinouchi Y, *Optimization of mlp/bp for character recognition using a modified alopex algorithm*, KES, 11: 371-379, 2007.
- [15] Unnikrishnan A, Venugopal K, *Alopex: A correlation-based learning algorithm for feed-forward and recurrent neural networks*, Neural Comput, 6: 469-490, 1992.
- [16] Melissaratos L, Micheli-Tzanakou E, *A parallel implementation of the alopex process*, J Med Syst, 13: 243-252, 1989.
- [17] Stratis P, Saridakis Y, Zakynthinaki M, Papadopoulou E, *Alopex stochastic optimization for pumping management in fresh water coastal aquifers*, IOP Journal of Physics: Conference Series 490, 2014.
- [18] Cheng AD, Halhal D, Naji A, Ouazar D, *Pumping optimization in salt water-intruded coastal aquifers*, Water Resour Res, 36: 2155-2165, 2000.
- [19] Katsifarakis K, *Groundwater pumping cost minimization - an analytical approach*, Water Resources Management, 22: 1089-1099, 2007.
- [20] Mantoglou A, Papantoniou M, *Optimal design of pumping networks in coastal aquifers using sharp interface models*, J Hydrol, 361: 52-63, 2008.
- [21] Sidiropoulos E, Tolikas P, *Well locations and constraint handling in groundwater pumping cost minimization via genetic algorithms*, Water Air Soil Poll, 4: 227-239, 2004.
- [22] C.E. Houstis, E.N. Houstis, and J. Rice, *Pde computations: Methods and performance evaluation*, Par. Comp., 5: 141-163, 1997.
- [23] <http://www.fenicsproject.org>.
- [24] <http://geuz.org/gmsh/>.
- [25] <http://www.mathworks.com>.