

Ετήσια Τεχνική Έκθεση

Έτος 2013



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	Μελέτη στρατηγικών άντλησης σε υπόγειους υδροφορείς	3
2	Μεθοδολογία	3
2.1	Στοχαστικός αλγόριθμος βελτιστοποίησης ALOPEX II	3
2.2	Διαδικασία κυρώσεων ελέγχου	5
2.3	Αποτελέσματα αριθμητικής προσομοίωσης παράκτιου υδροφορέα περιοχής Βαθέως Καλύμνου	5
3	Μελλοντικές Δράσεις	9
4	Παραδοτέα	9
5	Συνεργασίες	9

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 υπαλμύρισης, αφετέρου δε την ανάπτυξη λογισμικού για τη μελέτη της βέλτιστης διαχείρισης του υδροφορέα με υψηλής ακρίβειας μεθόδους αλλά και αλγορίθμους βελτιστοποίησης.

Την τρέχουσα περίοδο μελετάται μία διαδικασία κυρώσεων ελέγχου η οποία πλαισιώνει τον στοχαστικό αλγόριθμο βελτιστοποίησης ALOPEX II. Η μελέτη της συμπεριφοράς της διεξάγεται 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.

1.1 Μελέτη στρατηγικών άντλησης σε υπόγειους υδροφορείς

Την τρέχουσα περίοδο χρησιμοποιούμε την αναλυτική λύση ενός κλασικού μοντέλου προσομοίωσης υπόγειας ροής νερού καθώς και τον αλγόριθμο στοχαστικής βελτιστοποίησης ALOPEX II, με σκοπό να δημιουργήσουμε ένα μοντέλο ελέγχου αντλήσεων γλυκού νερού σε παράκτιους υδροφορείς. Επιδίωξή μας είναι η μεγιστοποίηση της άντλησης πόσιμου ύδατος από τον υδροφορέα υπό μελέτη, εξασφαλίζοντας ταυτόχρονα την προστασία του από το φαινόμενο της υπαλμύρισης.

Προς τούτο, μελετάται η αποτελεσματικότητα ενός συστήματος ελέγχου, που συνδυάζεται με τον αλγόριθμο στοχαστικής βελτιστοποίησης ALOPEX II, και περιλαμβάνει την διαβαθμισμένη επίδραση των ενεργών πηγών άντλησης στην μετακίνηση του μετώπου διεπαφής μεταξύ του αλμυρού και γλυκού νερού.

Η συμπεριφορά της νέας αυτής διαδικασίας διαχείρισης των αντλήσεων αποτιμάται με την διενέργεια προσομοιώσεων που αφορούν ένα πλήθος σεναρίων άντλησης και καιρικών συνθηκών, σε έναν υδροφορέα ορθογώνιας γεωμετρίας που προσομοιώνει τον υπόγειο υδροφορέα στην περιοχή Βαθύ Καλύμνου.

2 Μεθοδολογία

2.1 Στοχαστικός αλγόριθμος βελτιστοποίησης ALOPEX II

Την τρέχουσα περίοδο χρησιμοποιούμε ένα γνωστό από τη βιβλιογραφία μαθηματικό μοντέλο, όπως αυτό παρουσιάζεται στα [2] και [3] και έχουμε περιγράψει αναλυτικά στην ΤΕ της παρούσας δράσης έτους 2012, μέσω του οποίου μο-



ντελοποιείται αριθμητικά και μελετάται η διαχείριση της άντλησης γλυκού νερού με μια διαδικασία στοχαστικής βελτιστοποίησης.

Το υπό μελέτη πρόβλημα έγκειται στον καθορισμό των μέγιστων τιμών αντλήσεων $Q(i), i = 1, \dots, n$, όπου n το πλήθος των πηγαδιών στο εσωτερικό του υδροφορέα, χωρίς όμως να διακινδυνεύσει καμία εκ των ενεργών πηγών άντλησης (πηγάδια/γεωτρήσεις) από εισβολή αλμυρού νερού και μόλυνσή της. Το αντίστοιχο πρόβλημα βελτιστοποίησης διατυπώνεται ως εξής:

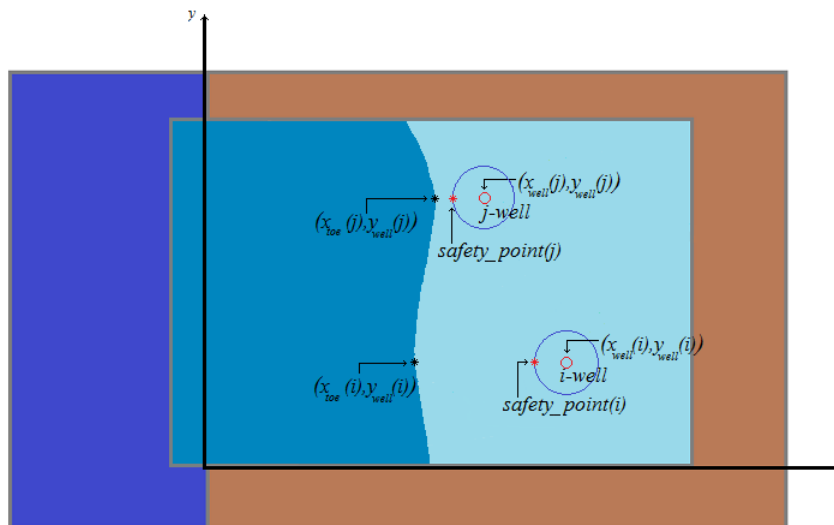
Maximize:

$$P(Q_1, \dots, Q_n) = \frac{\sum_{i=1}^n Q(i)}{\sum_{i=1}^n Q_{local}^{max}(i)} \tag{1}$$

under the constraints:

$$x_{well}(i) - x_{toe}(i) \geq D, \\ 0 \leq Q_{local}^{min}(i) \leq Q(i) \leq Q_{local}^{max}(i) \leq Q_{aquifer}^{total},$$

όπου $x_{toe}(i)$ δηλώνει την x-συντεταγμένη της υφάλμυρης διεπιφάνειας απέναντι από το i-πηγάδι του υδροφορέα και $D = x_{well}(i) - safety_point(i) \geq 0$ είναι μια απόσταση ασφαλείας (βλέπε σχήμα 1), ενώ $Q_{local}^{min}(i)$ και $Q_{local}^{max}(i)$ είναι αντίστοιχα η ελάχιστη και η μέγιστη δυνατή ποσότητα γλυκού νερού που μπορεί να αντληθεί από κάθε πηγάδι..



Σχήμα 1: Σημεία ασφαλείας μπροστά από κάθε πηγάδι στο εσωτερικό του υδροφορέα.

Οι νέες τιμές των ρυθμών άντλησης υπολογίζονται σε κάθε επαναληπτικό βήμα του αλγορίθμου ALOPEX II, χρησιμοποιώντας το παρακάτω σχήμα:

$$Q^{(k)}(i) = Q^{(k-1)}(i) + c[Q^{(k-1)}(i) - Q^{(k-2)}(i)][P^{(k-1)} - P^{(k-2)}] + g^{(k)}(i), \tag{2}$$



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

με c να συμβολίζει την ελεύθερη παράμετρο του όρου ανατροφοδότησης (feedback) και $g^{(k)}(i)$ τον θόρυβο.

2.2 Διαδικασία κυρώσεων ελέγχου

Με στόχο την προστασία των πηγαδιών του υδροφορέα από το φαινόμενο της υφαλμύρισης, κατάλληλα επιλεγμένες διαδικασίες κυρώσεων ελέγχου χρησιμοποιούνται σε κάθε επαναληπτικό βήμα του αλγορίθμου βελτιστοποίησης (βλέπε την Τεχνική Έκθεση έτους 2014 για μία αναλυτική περιγραφή ενός συστήματος κυρώσεων). Εμείς εδώ περιγράφουμε μία επιπλέον διαδικασία προστασίας των πηγαδιών, πέραν της βασικής η οποία μειώνει τις τιμές των αντλήσεων σε εκείνα τα πηγάδια όπου η υφάλμυρη σφήνα πλησιάζει τα σημεία ασφαλείας απέναντί τους.

Πιο συγκεκριμένα θεωρούμε ότι η βασική διαδικασία συνοδεύεται από μία επιπλέον διαδικασία κυρώσεων ελέγχου σχετική με την επίδραση του i -πηγαδιού στο j -πηγάδι στο εσωτερικό του υδροφορέα, σε κάθε επανάληψη. Για τον λόγο αυτό εισάγουμε την έννοια του $n \times n$ τετραγωνικού πίνακα *risk_to_each_other*, όπου κάθε στοιχείο του υπολογίζεται σύμφωνα με το ακόλουθο σχήμα:

$$\begin{aligned} & \text{if } i \neq j \text{ and } x_{well}(i) \geq x_{well}(j) \\ & \quad \text{risk_to_each_other}^{(k)}(i, j) = \frac{\sum_{i=1}^n Q_{local}^{max}(i) - Q^{(k)}(i)}{\sum_{i=1}^n Q_{local}^{max}(i)} * \frac{\text{safety_point}(i) - x_{toe}^{(k)}(i)}{L} * \\ & \quad * \frac{\sqrt{[x_{well}(i) - x_{well}(j)]^2 - [y_{well}(i) - y_{well}(j)]^2}}{\sqrt{L^2 + W^2}} \\ & \text{else} \\ & \quad \text{risk_to_each_other}^{(k)}(i, j) = 0, \text{ for } i, j \in \{1, 2, \dots, n\}, \text{ at } k \text{ iteration.} \end{aligned} \quad (3)$$

Τότε, οι διαδικασίες κυρώσεων ελέγχου *risk_penalties* ενεργοποιούνται για κάθε πηγάδι του υδροφορέα, σύμφωνα με το παρακάτω σχήμα:

$$\begin{aligned} & \text{if } \text{risk_to_each_other}^{(k)}(i, j) = 0 : \text{risk_penalty} = 1, \\ & \text{if } \text{risk_to_each_other}^{(k)}(i, j) \in (0, 0.020) : \text{risk_penalty} = 0.98, \\ & \text{if } \text{risk_to_each_other}^{(k)}(i, j) \in [0.020, 0.045) : \text{risk_penalty} = 0.96, \\ & \text{if } \text{risk_to_each_other}^{(k)}(i, j) \in [0.45, 0.070) : \text{risk_penalty} = 0.92, \\ & \text{if } \text{risk_to_each_other}^{(k)}(i, j) \in [0.070, 1] : \text{risk_penalty} = 0.88. \end{aligned} \quad (4)$$

2.3 Αποτελέσματα αριθμητικής προσομοίωσης παράκτιου υδροφορέα περιοχής Βαθέως Καλύμνου

Ο αλγόριθμος ALOPEX II, σε έναν τυπικό έλεγχο 300 επαναλήψεων, καλείται να υπολογίσει τις βέλτιστες αντλήσεις για όλα τα πηγάδια του υδροφορέα, χρησιμοποιώντας το σχήμα διαχείρισης των αντλήσεων που περιγράψαμε ανωτέρω.

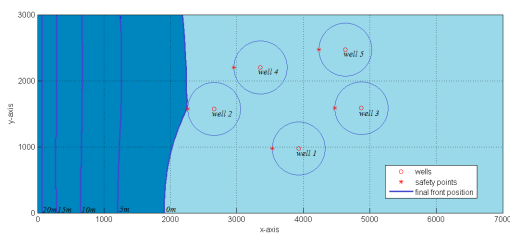


Αν και οι αρχικές τιμές εκκίνησης των αντλήσεων αντιστοιχούν σε μια χαμηλή τιμή της συνάρτησης κόστους, η συγκεκριμένη μέθοδος βελτιστοποίησης κατάφερε να συγκλίνει σε μια βέλτιστη λύση εντός ολίγων επαναλήψεων. Οι βέλτιστοι ρυθμοί άντλησης που επετεύχθησαν μέσω της διαδικασίας αυτής είναι οι ακόλουθοι:

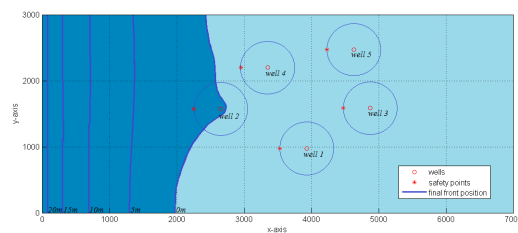
$$Q^{opt} = (762.90, 346.21, 1240.82, 1378.89, 206.12)m^3/day, \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^5 Q^{opt}(i) = 3934.95m^3/day.$$

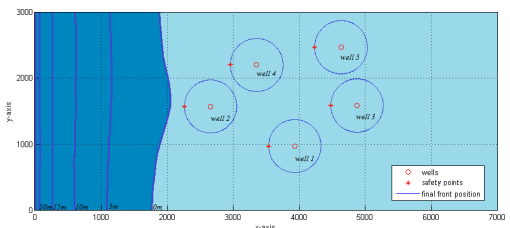
Όλα τα πηγάδια παρέμειναν ασφαλή από το φαινόμενο της υφαλμύρισης (βλέπε σχήμα 2α').



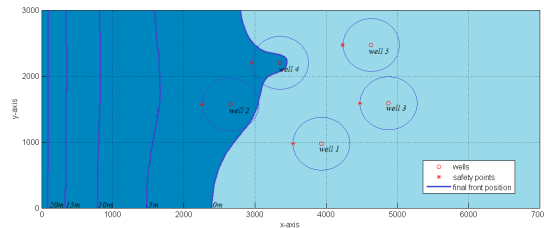
(α') Βασική περίπτωση: Όλα τα πηγάδια του υδροφορέα παραμένουν ασφαλή εξαιτίας της επιτυχούς εφαρμογής των κυρώσεων ελέγχου.



(β') Περίπτωση 1: Οι βέλτιστες αντλήσεις της βασικής περίπτωσης προσαυξημένες κατά 2% οδηγούν στην υφαλμύριση του πηγαδιού Νο2.



(γ') Περίπτωση 3: Με την απενεργοποίηση της διαδικασίας x_movement κυρώσεων ελέγχου ο συνολικός όγκος αντλούμενου νερού παραμένει μικρότερος από αυτόν της βασικής περίπτωσης.



(δ') Περίπτωση 4: Η απενεργοποίηση της διαδικασίας risk_to_each_other κυρώσεων ελέγχου οδηγεί πολύ σύντομα στην υφαλμύριση ενός ή και περισσότερων πηγαδιών του υδροφορέα.

Σχήμα 2: Εφαρμογή του αλγορίθμου βελτιστοποίησης ALOPEX II στην περίπτωση του υδροφορέα της περιοχής Βαθύ Καλύμνου.

Περίπτωση 1: Τεχνητή αύξηση των βέλτιστων ποσοτήτων άντλησης Προκειμένου να εξεταστεί η ευαισθησία της λύσης που παρουσιάζεται στην ανωτέρω προτεινόμενη βέλτιστη λύση (5), μελετήσαμε την επίδραση της αύξησης κατά 2% του βέλτιστου ρυθμού άντλησης σε όλα τα πηγάδια του συγκεκριμένου υδάτινου

υδροφορέα.

Το τροποποιημένο νέο σύστημα άντλησης έχει ως εξής:

$$\begin{aligned} Q^{opt} &= (778.16, 353.13, 1265.64, 1406.48, 210.24)m^3/day, \\ \sum_{i=1}^5 Q^{opt}(i) &= 4013.65m^3/day. \end{aligned} \quad (6)$$

Μελετώντας το σχήμα 2β', γίνεται φανερό ότι μια τέτοια αύξηση αντλήσεων έχει ως συνέπεια τη μόλυνση με αλμυρό νερό του πηγαδιού Νο2. Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η διαδικασία βελτιστοποίησης ALOPEX και το σύστημα ελέγχου κυρώσεων παρήγαγαν ικανοποιητικά αποτελέσματα αλλά ευαίσθητα σε μικρές διαταραχές. Συνεπώς μία μελέτη ευστάθειας των υπολογισμών είναι απολύτως απαραίτητη.

Περίπτωση 2: Τεχνητή αύξηση του συντελεστού βροχόπτωσης N Θεωρούμε σαν υπόθεση εργασίας την περίπτωση μιας 20% αύξηση της τιμής του συντελεστού βροχόπτωσης N σε ολόκληρη την επιφάνεια του υδροφορέα. Η νέα συνθήκη είναι $N = 1.20 * 30 = 33mm/year$ και ο αλγόριθμος ALOPEX II καλείται να υπολογίσει τις νέες βέλτιστες τιμές αντλήσεων. Διαπιστώνουμε λοιπόν μια αύξηση 7.72% στο συνολικό όγκο του αντλούμενου γλυκού νερού, ενώ όλα τα πηγάδια διατηρούνται ασφαλή από το φαινόμενο της υπαλμύρισης. Το σύστημα ελέγχου κυρώσεων παρέμεινε το ίδιο με αυτό που εφαρμόσαμε στον αρχικό έλεγχο του υδροφορέα και οι νέες αντλήσεις είναι οι ακόλουθες:

$$\begin{aligned} Q^{opt} &= (1449.21, 240.14, 946.72, 1380.36, 222.27)m^3/day, \\ \sum_{i=1}^5 Q^{opt}(i) &= 4238.69m^3/day. \end{aligned} \quad (7)$$

Περίπτωση 3: Απενεργοποίηση των x_movement κυρώσεων ελέγχου Οι x_movement κυρώσεις ελέγχου ενεργοποιούνται όταν το μέτωπο του υπαλμυρού νερού φτάνει τα σημεία ασφαλείας μπροστά από κάθε πηγάδι (βλέπε σχήμα 1). Πρόκειται για την πρώτη γραμμή άμυνας απέναντι στην προέλαση του υπαλμυρού νερού στο εσωτερικό του υδροφορέα. Με αυτόν τον τρόπο όταν ένα πηγάδι βρίσκεται σε κίνδυνο, το πρώτο μέτρο αντίδρασης είναι η μείωση του όγκου νερού που αντλείται από το συγκεκριμένο πηγάδι. Αυτό όμως σημαίνει ότι οι x_movement κυρώσεις ελέγχου έχουν μόνο τοπικές επιδράσεις στο συνολικό πλάνο αντλήσεων του υδροφορέα, με συνέπεια οι κυρώσεις αυτές να είναι ιδιαίτερα αποδοτικές στις μικροδιορθώσεις του συνολικού πλάνου αντλήσεων. Είναι επομένως σαφές ότι η έλλειψη ή η μη χρήση ανάλογων κυρώσεων οδηγεί σε μια επαναληπτική μέθοδο με έντονες διαφορές στις αντλήσεις από βήμα σε βήμα, δηλαδή δεν καθίσταται δυνατή η σύγκλιση της όλης διαδικασίας (βλέπε σχήμα 2γ'). Για την παρούσα μοντελοποίηση χρησιμοποιούμε το παρακάτω σχήμα διαχείρισης των αντλήσεων:



$$\begin{aligned} x_movement_penalty &= 1.00, \\ risk_penalties &= (1.00, 0.98, 0.96, 0.92, 0.88). \end{aligned} \quad (8)$$

Οι νέες βέλτιστες τιμές των αντλήσεων είναι οι ακόλουθες:

$$\begin{aligned} Q^{opt} &= (830.22, 843.38, 732.72, 713.35, 736.74)m^3/day, \\ \sum_{i=1}^5 Q^{opt}(i) &= 3856.41m^3/day. \end{aligned} \quad (9)$$

Περίπτωση 4: Απενεργοποίηση των risk_to_each_other κυρώσεων ελέγχου Με στόχο να αποδείξουμε την αναγκαιότητα ύπαρξης των risk_to_each_other κυρώσεων μέσα στη διαδικασία βελτιστοποίησης που περιγράφουμε, μελετάμε την περίπτωση απενεργοποίησης των κυρώσεων αυτών. Πιο συγκεκριμένα έχουμε ότι:

$$\begin{aligned} x_movement_penalty &= 0.95, \\ risk_penalties &= (1.00, 1.00, 1.00, 1.00, 1.00). \end{aligned} \quad (10)$$

Οι τιμές των βέλτιστων αντλήσεων έπειτα από λίγες μόλις επαναλήψεις είναι οι ακόλουθες:

$$\begin{aligned} Q^{opt} &= (724.34, 279.59, 1495.30, 292.26, 1449.60)m^3/day, \\ \sum_{i=1}^5 Q^{opt}(i) &= 4241.09m^3/day. \end{aligned} \quad (11)$$

Τα αποτελέσματα είναι καταστροφικά για τα πηγάδια No2 και No3 του υδροφορέα (βλέπε σχήμα 2δ'). Μέσα σε λίγες επαναλήψεις το υφάλμυρο νερό διεισδύει και στα δύο αυτά πηγάδια, παρά το γεγονός ότι οι αντλήσεις σε αυτά έπεσαν στις χαμηλότερες επιτρεπόμενες τιμές, εξαιτίας των διαρκών ενεργοποιήσεων των x_movement κυρώσεων ελέγχου. Ωστόσο, τα πηγάδια No3 και No5 παρέμειναν ασφαλή, έχοντας φτάσει τις μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές τους, προστατεύοντας έτσι το πηγάδι No1. Η ανάγκη για μια έντονη επέμβαση από εμάς είναι πιο επιτακτική από κάθε άλλη φορά.

Συμπερασματικά, η εφαρμογή του στοχαστικού αλγορίθμου βελτιστοποίησης ALOPEX II, σε συνδυασμό με το προτεινόμενο σύστημα ελέγχου κυρώσεων στην περίπτωση του υδροφορέα της Καλύμνου, έχει ως συνέπεια την κατασκευή ενός αποτελεσματικού αλλά ευαίσθητου πλάνου διαχείρισης των αντλήσεων του υδροφορέα. Οι τιμές των αντλήσεων τις οποίες προτείνει ως βέλτιστες ο παραπάνω αλγόριθμος, προσφέρουν ικανοποιητική ποσότητα πόσιμου νερού ισοδύναμο με αυτό που προτείνεται σε προηγούμενες έρευνες της βιβλιογραφίας, ενώ ταυτόχρονα διατηρούνται ασφαλείς οι τοπικές γεωτρήσεις από το φαινόμενο της υφαλμύρισης.



3 Μελλοντικές Δράσεις

Οι μελλοντικοί ερευνητικοί στόχοι 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 σύγκλιση του.
- Κατασκευή ενός αποτελεσματικού συστήματος *penalty* για τον έλεγχο εξέλιξης της διαδικασίας βελτιστοποίησης ALOPEX.
- Κατασκευή κριτηρίων τερματισμού της διαδικασίας βελτιστοποίησης.
- Μελέτη ευαισθησίας και ευστάθειας των υπολογισμών.

Επίσης, η επίλυση του συγκεκριμένου προβλήματος δοκιμής στο λογισμικό FEniCS θα βοηθήσει στην επικύρωση των αποτελεσμάτων επίλυσης των προβλημάτων πολλαπλών πεδίων.

4 Παραδοτέα

- Τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας παρουσιάστηκαν στο συνέδριο 5th International Conference on Mathematical Modeling in Physical Sciences, Prague, Czech Republic, September, 1-5, 2013. Στη συνέχεια δημοσιεύθηκαν στο Journal of Physics: Conference Series υπό τον τίτλο: P. Stratis, Y. Saridakis, E. Papadopoulou and M. Zakythinaki, *ALOPEX stochastic optimization for pumping management in freshwater coastal aquifers*, Journal of Physics: Conference Series, 490, 012112, 2014.
- Η παρούσα Ετήσια Τεχνική Έκθεση του Προγράμματος, που αφορά τη Δράση 4.3 για το έτος 2013.

5 Συνεργασίες

Η παρούσα εργασία όπως και η δημοσίευσή της που ακολούθησε, είναι προϊόν συνεργασίας των παρακάτω μελών του Πολυτεχνείου Κρήτης:



- Ι. Σαριδάκης, Καθηγητής, Σχολή Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, Πολυτεχνείο Κρήτης
- Γ. Καρατζάς, Καθηγητής, Σχολή Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης
- Ε. Μαθιουδάκης, Επίκουρος Καθηγητής, Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης
- Μ. Ζακυνθινάκη, Διδάκτορας, Σχολή Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, Πολυτεχνείο Κρήτης
- Ε. Παπαδοπούλου, Καθηγήτρια, Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης
- Π. Στρατής, Υποψήφιος Διδάκτορας, Σχολή Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, Πολυτεχνείο Κρήτης

Αναφορές

- [1] E. Harth, E. Tzanakou, *Alopex: A stochastic method for determining visual receptive fields*, Vision Research, 14, pp.1475, B1482, 1974.
- [2] A. Mantoglou, *Pumping management of coastal aquifers using analytical models of saltwater intrusion*, Water Resources Research, ISSN 0043-397, 39(12), 2003.
- [3] O.D.L. Strack, *Groundwater Mechanics*, Prentice Hall, 1989.
- [4] M. Zakynthinaki and Y. Saridakis, *Stochastic optimization for a tip-tilt adaptive correcting system*, Comp. Phys. Commun. 150(3) 274, 2003.

