



ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

Συνδυασμένη χρήση μοντέλων προσομοίωσης –
βελτιστοποίησης.

Η μέθοδος του μητρώου μοναδιαίας απόκρισης

Νικόλαος Θεοδοσίου- Αν. καθηγήτης
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο

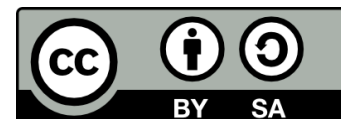


ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

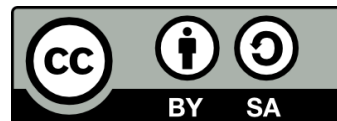


ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ



Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Εφαρμογές μαθηματικού προγραμματισμού στη διαχείριση των υδατικών πόρων

- Μαθηματικά μοντέλα διαχείρισης – διαμόρφωση προβλημάτων, δυνατότητες και περιορισμοί
- **Γραμμικοποίηση μη γραμμικών προβλημάτων – πίνακας μοναδιαίας απόκρισης**
- Απλές εφαρμογές μη γραμμικού προγραμματισμού – δυναμικός προγραμματισμός
- Σύγχρονες μεταευρετικές - στοχαστικές μέθοδοι – γενετικοί αλγόριθμοι, αναζήτηση μουσικής αρμονίας
- Σύνθετες εφαρμογές – συνδυαστικές αναλύσεις γραμμικού και μη γραμμικού προγραμματισμού



Συνδυασμένη χρήση μοντέλων προσομοίωσης - βελτιστοποίησης

Τα **μαθηματικά μοντέλα προσομοίωσης** της λειτουργίας υδατικών πόρων είναι απολύτως απαραίτητα εργαλεία για τη διαχείριση τους, αφού μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση των αποτελεσμάτων από την εφαρμογή διαφόρων διαχειριστικών σεναρίων.

Το μειονέκτημα στη χρήση μοντέλων προσομοίωσης για την αξιολόγηση διαχειριστικών σεναρίων, είναι το γεγονός ότι οι καλύτερες εναλλακτικές λύσεις προκύπτουν από μια διαδικασία επανάληψης - διόρθωσης.



Συνδυασμένη χρήση μοντέλων προσομοίωσης - βελτιστοποίησης

Η διαδικασία αυτή δεν μπορεί να εγγυηθεί τη μη ύπαρξη καλύτερων εναλλακτικών λύσεων. Η περιοχή εφαρμογής των μοντέλων προσομοίωσης περιορίζεται στην κατανόηση της λειτουργίας του υδατικού συστήματος και στην πρόβλεψη της απόκρισης του, και όχι στον προσδιορισμό των βέλτιστων διαχειριστικών σεναρίων λειτουργίας του.

Για τη διερεύνηση δυνατών εναλλακτικών διαχειριστικών προγραμμάτων, απαιτείται η ανάπτυξη **μαθηματικών μοντέλων διαχείρισης** τα οποία συνδυάζουν **μοντέλα προσομοίωσης με μεθόδους βελτιστοποίησης** και επιχειρησιακής έρευνας.



Συνδυασμένη χρήση μοντέλων προσομοίωσης - βελτιστοποίησης

Τα μοντέλα διαχείρισης, που συνδυάζουν μοντέλα προσομοίωσης και μοντέλα βελτιστοποίησης, μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες.

Οι κατηγορίες αυτές χαρακτηρίζονται από τη μέθοδο που χρησιμοποιήθηκε για τη σύνδεση των μοντέλων προσομοίωσης και βελτιστοποίησης.

- Η πρώτη μέθοδος ονομάζεται **μέθοδος ενσωμάτωσης** (embedding method) και
- η δεύτερη **μέθοδος του μητρώου μοναδιαίας απόκρισης** (response matrix method).



Συνδυασμένη χρήση μοντέλων προσομοίωσης - βελτιστοποίησης

Σύμφωνα με τη **μέθοδο ενσωμάτωσης**, οι εξισώσεις των αναλυτικών λύσεων ή οι προσεγγίσεις των εξισώσεων ροής με τις μεθόδους των πεπερασμένων διαφορών ή των πεπερασμένων στοιχείων, όπως αυτές περιγράφονται από το μοντέλο προσομοίωσης, αντιμετωπίζονται ως μέρος των περιορισμών στους οποίους υπόκειται το μοντέλο βελτιστοποίησης.

Μεταβλητές απόφασης του προβλήματος μπορεί να είναι η τιμή του υδραυλικού φορτίου σε κάθε κόμβο του δικτύου διακριτοποίησης, ή οι τοπικές φορτίσεις των στοιχείων, όπως π.χ. οι αντλήσεις ή οι φορτίσεις.

Όπως σημειώνεται, παρόλο που υπάρχουν αρκετά μοντέλα διαχείρισης που επιλύθηκαν με επιτυχία με τη μέθοδο ενσωμάτωσης, δεν έχουν αναφερθεί επιλύσεις προβλημάτων μεγάλης κλίμακας. Αυτό οφείλεται στις αριθμητικές δυσκολίες που πιθανότατα θα εμφανιστούν κατά τη χρησιμοποίηση εμπορικών προγραμμάτων επίλυσης προβλημάτων γραμμικού προγραμματισμού.



Μέθοδος ενσωμάτωσης

Παράδειγμα διαμόρφωσης προβλήματος με τη μέθοδο της ενσωμάτωσης.

Εάν ως περιορισμός ενός προβλήματος λειτουργίας υπόγειου υδροφορέα, τίθεται η μη υπέρβαση ενός επιτρεπόμενου ορίου πτώσης στάθμης (Δh_{limit}), τότε: Από την εξίσωση Boussinesq, η στάθμη του νερού σε υδροφορέα που λειτουργεί γεώτρηση με παροχή άντλησης Q , δίνεται από την εξίσωση:

$$H = h_0 + \frac{Q}{2\pi K\alpha} \ln \frac{r}{R_0}$$

Αντίστοιχα η πτώση στάθμης στον υδροφορέα, δίνεται από την:

$$\Delta h = H - h_0 = \frac{Q}{2\pi K\alpha} \ln \frac{r}{R_0}$$

Σύμφωνα με τα παραπάνω, ο περιορισμός πτώσης στάθμης στον υδροφορέα διαμορφώνεται ως:

$$\frac{Q}{2\pi K\alpha} \ln \frac{r}{R_0} \leq \Delta h_{\text{limit}}$$

Συνδυασμένη χρήση μοντέλων προσομοίωσης - βελτιστοποίησης

Η εναλλακτική μέθοδος του **μητρώου μοναδιαίας απόκρισης**, που επικράτησε τελικά ως μέθοδος σύνδεσης μοντέλων προσομοίωσης και βελτιστοποίησης, φαίνεται ότι είναι πιο πλεονεκτική για τα περισσότερα πρακτικά προβλήματα.

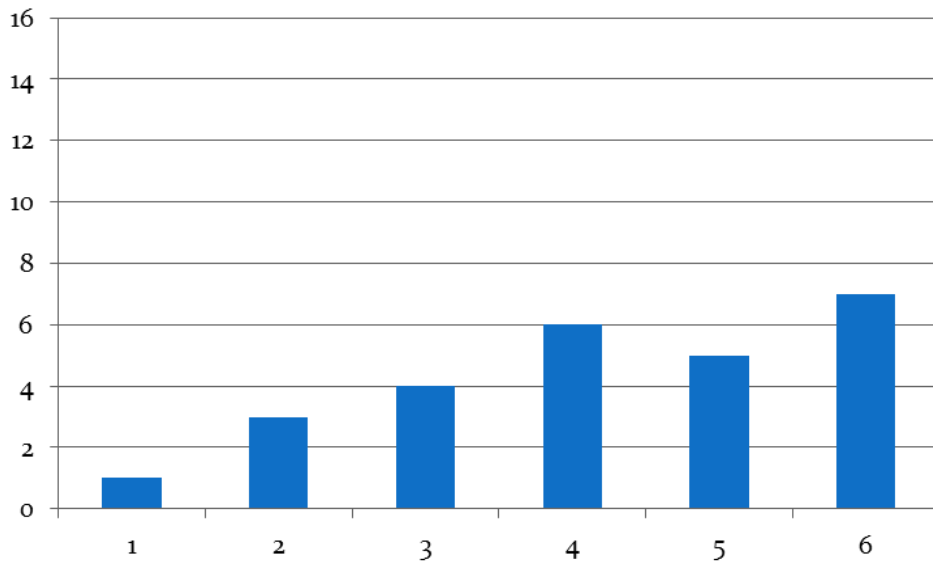
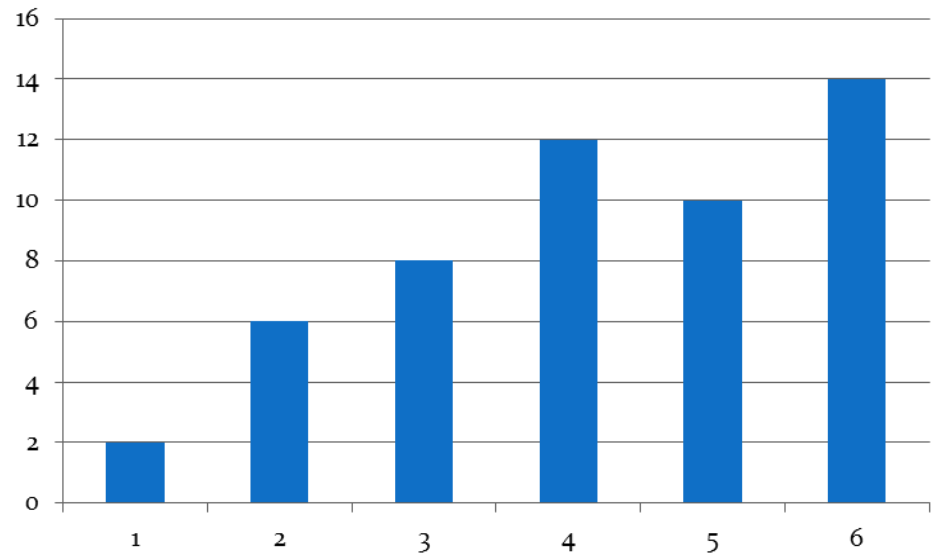
Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, ένα εξωτερικό μαθηματικό μοντέλο προσομοίωσης χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό συντελεστών, ο κάθε ένας από τους οποίους συσχετίζει μοναδιαίες τιμές των μεταβλητών απόφασης και των επιπτώσεων τους στο σύστημα, π.χ. της παροχής άντλησης σε ένα σημείο του υδροφορέα με πτώσεις στάθμης στα υπόλοιπα.

Το αποτέλεσμα της οργάνωσης όλων αυτών των συντελεστών, ονομάζεται **μητρώο μοναδιαίας απόκρισης**, και περιλαμβάνεται στο μοντέλο διαχείρισης ως υποκατάστατο του μοντέλου προσομοίωσης.

Αυτό βασίζεται στην υπόθεση ότι ισχύουν η **παραδοχές της χωρικής ή ακόμα και χρονικής γραμμικότητας και επαλληλίας** στον υδροφορέα.

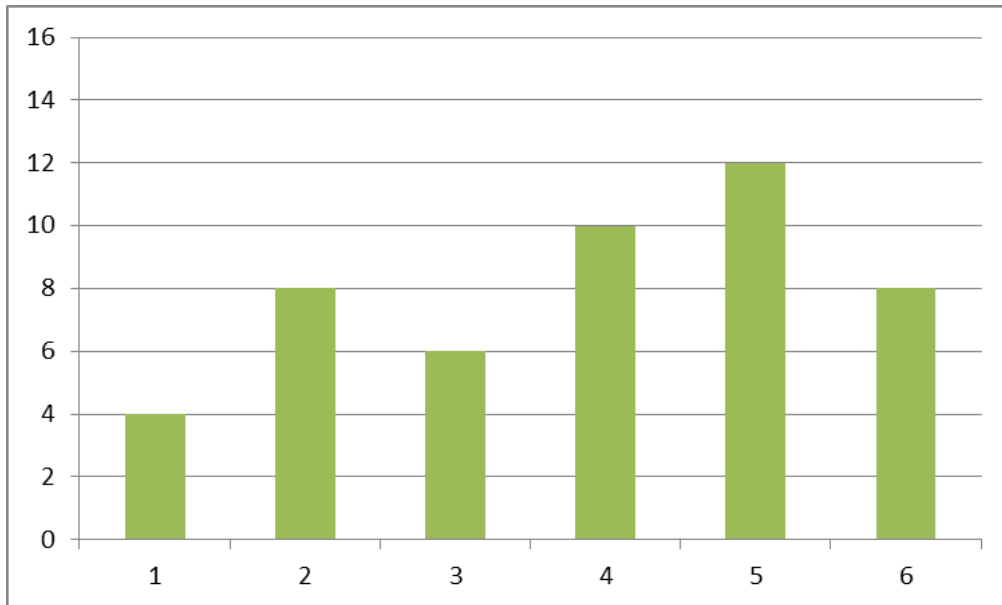
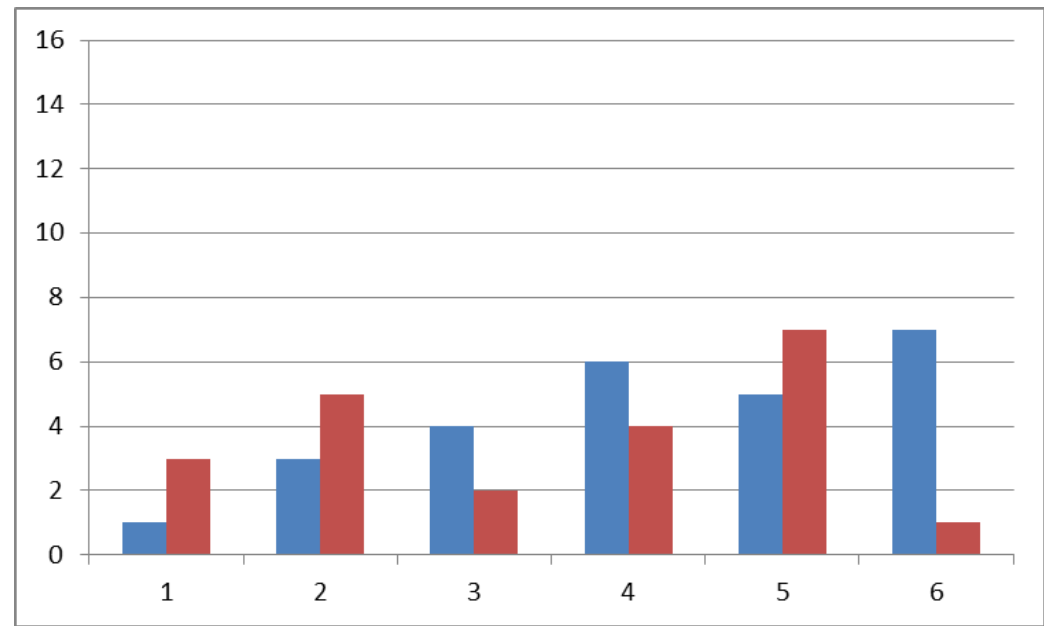


Η αρχή της γραμμικότητας:
Εάν μοναδιαία φόρτιση προκαλεί
συγκεκριμένες αντιδράσεις,
πολλαπλάσιες φορτίσεις προκαλούν,
ανάλογα πολλαπλάσιες αντιδράσεις.



Η αρχή της γραμμικής επαλληλίας:

Εάν, φορτίσεις από διαφορετικές πηγές προκαλούν στο ίδιο σημείο συγκεκριμένες αντιδράσεις, η τελική αντίδραση θα είναι το άθροισμα των επιμέρους.



Συνδυασμένη χρήση μοντέλων προσομοίωσης - βελτιστοποίησης

Τα **πλεονεκτήματα** της μεθόδου ενσωμάτωσης σε σχέση με τη μέθοδο του μητρώου μοναδιαίας απόκρισης, είναι:

- η μέθοδος ενσωμάτωσης είναι πιο απλή ως ιδέα αφού οι εξισώσεις που περιγράφουν τη ροή στον υδροφορέα αποτελούν και τους περιορισμούς του προβλήματος.
- το μοντέλο βελτιστοποίησης είναι πιο εύκολα επιβλέψιμο, για τον ίδιο λόγο.
- δεν βασίζεται στην αρχή της επαλληλίας και έτσι μπορεί να εφαρμοστεί και σε περιπτώσεις στις οποίες οι παραδοχές της μεθόδου του μητρώου μοναδιαίας απόκρισης δεν ισχύουν.
- πιο εύκολα μπορούν να γίνουν παρεμβάσεις και τροποποιήσεις στους διαχειριστικούς στόχους του προβλήματος, σε αντίθεση με τη δεύτερη μέθοδο στην οποία αλλαγή έστω και μίας μεταβλητής απόφασης σημαίνει επανάληψη της διαδικασίας δημιουργίας του μητρώου μοναδιαίας απόκρισης.



Συνδυασμένη χρήση μοντέλων προσομοίωσης - βελτιστοποίησης

Τα **μειονεκτήματα** της μεθόδου ενσωμάτωσης σε σχέση με τη μέθοδο του μητρώου μοναδιαίας απόκρισης είναι :

- το μοντέλο βελτιστοποίησης επιβαρύνεται με το σύνολο των εξισώσεων που περιγράφουν τη ροή στον υδροφορέα και μάλιστα τόσες φορές όσες και οι διαχειριστικές περίοδοι που εξετάζονται, ανεξάρτητα από το πλήθος των μεταβλητών απόφασης. Έτσι για ένα υδροφορέα που έχει διακριτοποιηθεί σε 1000 κόμβους και εξετάζεται για 5 διαχειριστικές περιόδους το μοντέλο βελτιστοποίησης περιλαμβάνει 5000 περιορισμούς. Αντίθετα οι διαστάσεις του πίνακα μοναδιαίας απόκρισης εξαρτώνται μόνο από το πλήθος των μεταβλητών απόφασης και των σημείων ελέγχου της απόκρισης του υδροφορέα (ούτε καν από το πλήθος των διαχειριστικών περιόδων).



Συνδυασμένη χρήση μοντέλων προσομοίωσης - βελτιστοποίησης

Τα **μειονεκτήματα** της μεθόδου ενσωμάτωσης σε σχέση με τη μέθοδο του μητρώου μοναδιαίας απόκρισης είναι :

- δεν μπορεί να αντιμετωπίσει πεπλεγμένα αριθμητικά σχήματα στην ανάλυση των εξισώσεων ροής αλλά μόνο ρητά αφού οι εξισώσεις κάθε κόμβου πρέπει να επιλύονται άμεσα.
- για τους παραπάνω λόγους οι εφαρμογές της μεθόδου ενσωμάτωσης περιορίζονται σε μικρά προβλήματα.



Μητρώο μοναδιαίας απόκρισης

Μέσα από μια αυτόματη (ή μη) υπολογιστική διαδικασία, κάθε μια από τις μεταβλητές απόφασης, μια όμως κάθε φορά, θεωρείται ότι έχει μοναδιαία τιμή.

Η τιμή της παροχής άντλησης για παράδειγμα από έναν υδροφορέα, δεν είναι ακριβώς «μοναδιαία», αλλά ίση με μια τιμή εμφανίζεται στον υδροφορέα, αφού:

- Η μοναδιαία τιμή της παροχής άντλησης (π.χ. $1 \text{ m}^3/\text{s}$) μπορεί να είναι πολύ μεγάλη ή πολύ μικρή για τα δεδομένα ενός υδροφορέα και θα οδηγούσε σε παραπλανητικά αποτελέσματα.
- Όσο πιο μικρή είναι η διαφορά μεταξύ «μοναδιαίας» παροχής και πραγματικής παροχής, τόσο πιο πολύ ενισχύεται η αποδοχή της γραμμικής επαλληλίας.



Μητρώο μοναδιαίας απόκρισης

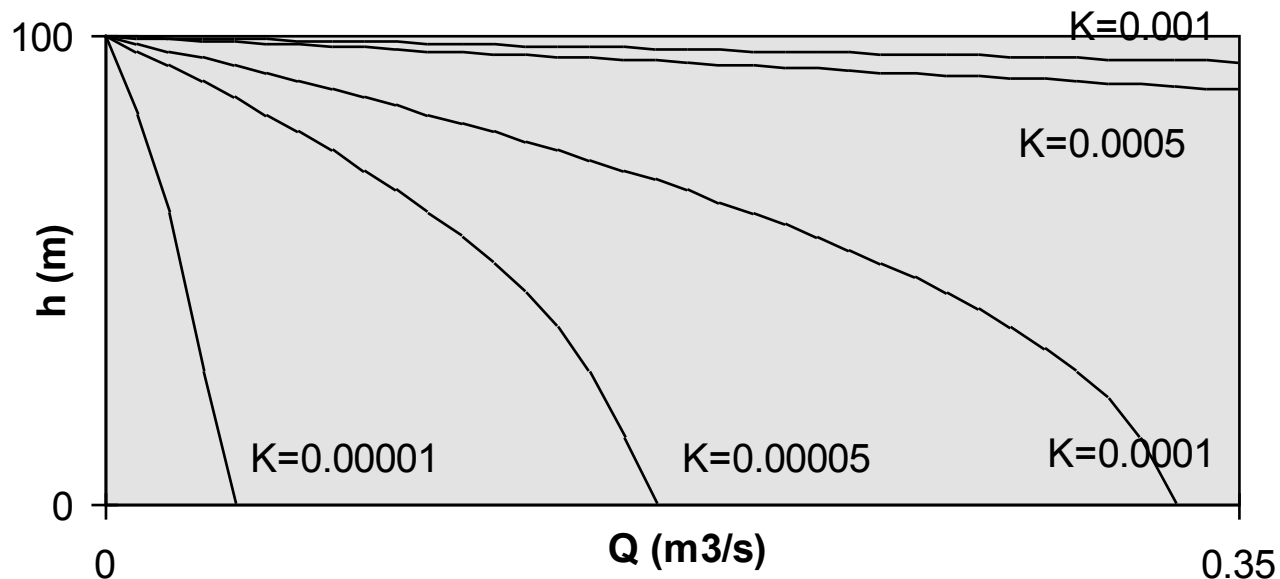
Το μοντέλο προσομοίωσης επιλύεται για αυτές τις συνθήκες φόρτισης, μοναδιαία δηλαδή παροχή άντλησης για κάθε μια μεταβλητή απόφασης, και τα αποτελέσματα που προκύπτουν συγκρίνονται με τα αποτελέσματα του μοντέλου προσομοίωσης που αφορούν στην περίπτωση μηδενικής φόρτισης.

Οι διαφορές τους καταγράφονται ως η απόκριση του υδροφορέα στην εφαρμογή μοναδιαίας φόρτισης στην υπο εξέταση μεταβλητή απόφασης.

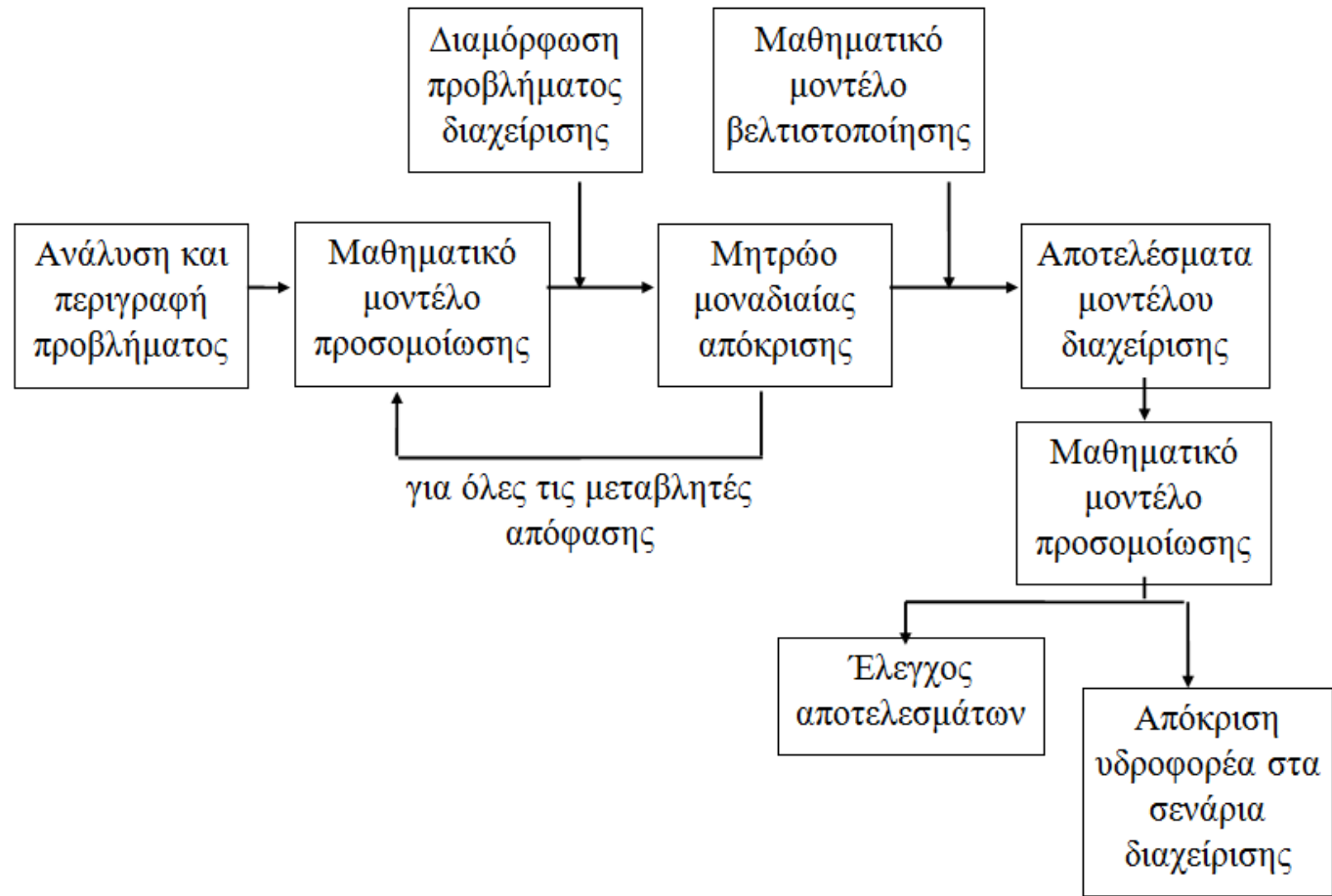


Μητρώο μοναδιαίας απόκρισης

Από το σχήμα αυτό φαίνεται ότι για μεγάλες τιμές του συντελεστή διαπερατότητας υπάρχει γραμμική σχέση μεταξύ παροχής και υδραυλικού φορτίου. Γραμμική σχέση υπάρχει ακόμα και σε μικρότερες τιμές του K για ορισμένα όμως διαστήματα μεταβολής της παροχής.



Μητρώο μοναδιαίας απόκρισης



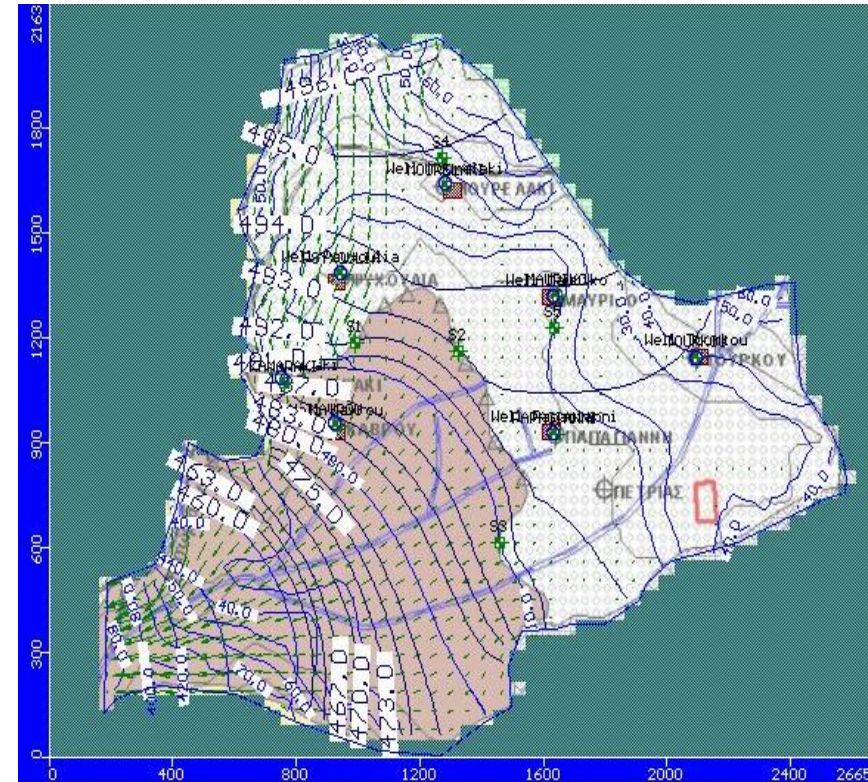
Διαδικασία εφαρμογής της μεθόδου του μητρώου μοναδιαίας απόκρισης




Μητρώο μοναδιαίας απόκρισης (παράδειγμα 1^ο).

Διαχείριση υδροφορέα

- Υδροφορέας με 7 γεωτρήσεις άντλησης.
- Ορίζονται ως σημεία παρατήρησης οι θέσεις των 7 γεωτρήσεων καθώς και 5 σημεία ενδιαφέροντος.
- Εφαρμόζεται το μαθηματικό μοντέλο προσομοίωσης θεωρώντας «μοναδιαία» παροχή άντλησης σε κάθε μια από τις 7 γεωτρήσεις και προσδιορίζονται οι πτώσεις στάθμης στα 12 σημεία ελέγχου.
- Καταγράφονται οι παρατηρήσεις στο μητρώο μοναδιαίας απόκρισης.
- Εφαρμόζεται το μοντέλο βελτιστοποίησης για το γραμμικό πρόβλημα της άντλησης της απαιτούμενης ποσότητας νερού με ταυτόχρονο έλεγχο της πτώσης στάθμης.
- Εφαρμόζονται τα αποτελέσματα στο μοντέλο προσομοίωσης για έλεγχο.



Μητρώο μοναδιαίας απόκρισης (παράδειγμα 1^ο). Διαχείριση υδροφορέα



Γεωτρήσεις Παρατήρησης	Υδραυλικό φορτίο	Υδραυλικό φορτίο	Πτώση στάθμης	Πτώση στάθμης ανά μονάδα παροχής (l/d)
Γ1	489.6	489.22	0.33	0.817
Γ2	486.4	484.94	1.44	3.516
Γ3	494	493.89	0.08	0.193
Γ4	494.8	494.68	0.17	0.403
Γ5	492.8	492.69	0.09	0.218
Γ6	493.9	493.44	0.49	1.193
Γ7	493	492.98	0.03	0.073
Π1	492.9	492.04	0.84	2.044
Π2	492.9	493.09	-0.19	-0.465
Π3	490.5	490.27	0.20	0.496
Π4	495	494.91	0.13	0.325
Π5	493.7	493.59	0.09	0.220

Βήμα 1: Εφαρμογή μαθηματικού μοντέλου με μηδενικές παροχές σε όλες τις γεωτρήσεις.

Βήμα 2: Καταγραφή της τιμής του υδραυλικού φορτίου σε όλες τις θέσεις ελέγχου.

Βήμα 3: Εφαρμογή μαθηματικού μοντέλου για «μοναδιαία» παροχή στη γεώτρηση Γ1.

Βήμα 4: Καταγραφή της τιμής του υδραυλικού φορτίου σε όλες τις θέσεις ελέγχου.

Βήμα 5: Καταγραφή της διαφοράς του υδραυλικού φορτίου των βημάτων 2 και 4 ως πτώσης στάθμης λόγω λειτουργίας της γεώτρησης Γ1

Βήμα 6: Διαίρεση της πτώσης στάθμης του βήματος 5 με την «μοναδιαία» παροχή για την αναγωγή της ως πτώση στάθμης ανα μονάδα παροχής

Μητρώο μοναδιαίας απόκρισης (παράδειγμα 1^ο). Διαχείριση υδροφορέα

Γεωρήσεις Παρατήρησης	Q=0		Γ1		Γ2		Γ3		Γ4		Γ5		Γ6		Γ7							
	Υδραυλικό φορτίο	Υδραυλικό φορτίο	Πτώση στάθμης	Πτώση στάθμης ανά μονάδα παροχής (l/d)	Υδραυλικό φορτίο	Πτώση στάθμης	Πτώση στάθμης ανά μονάδα παροχής (l/d)	Υδραυλικό φορτίο	Πτώση στάθμης	Πτώση στάθμης ανά μονάδα παροχής (l/d)	Υδραυλικό φορτίο	Πτώση στάθμης	Πτώση στάθμης ανά μονάδα παροχής (l/d)	Υδραυλικό φορτίο	Πτώση στάθμης	Πτώση στάθμης ανά μονάδα παροχής (l/d)						
Γ1	489.6	489.22	0.33	0.817	488.18	1.37	3.347	489.47	0.08	0.196	489.41	0.15	0.355	489.44	0.11	0.274	488.92	0.64	1.555	489.52	0.03	0.073
Γ2	486.4	484.94	1.44	3.516	482.73	3.65	8.919	486.28	0.10	0.235	486.25	0.13	0.308	486.21	0.17	0.413	484.32	2.05	5.022	486.33	0.05	0.110
Γ3	494	493.89	0.08	0.193	493.87	0.10	0.235	493.44	0.53	1.301	493.90	0.07	0.179	493.82	0.15	0.374	493.90	0.07	0.179	493.92	0.05	0.115
Γ4	494.8	494.68	0.17	0.403	494.81	0.04	0.088	494.85	-0.01	-0.015	494.55	0.29	0.712	494.87	-0.02	-0.051	494.65	0.19	0.467	494.90	-0.06	-0.135
Γ5	492.8	492.69	0.09	0.218	492.60	0.18	0.440	492.63	0.15	0.377	492.75	0.04	0.088	491.99	0.79	1.929	492.71	0.08	0.183	492.67	0.11	0.276
Γ6	493.9	493.44	0.49	1.193	493.71	0.22	0.536	494.04	-0.11	-0.262	493.76	0.17	0.416	493.86	0.07	0.181	493.29	0.64	1.560	494.09	-0.16	-0.391
Γ7	493	492.98	0.03	0.073	492.96	0.05	0.117	492.96	0.05	0.115	492.99	0.02	0.037	492.90	0.11	0.276	492.99	0.02	0.047	492.51	0.50	1.215
Π1	492.9	492.04	0.84	2.044	492.14	0.73	1.795	492.80	0.08	0.203	492.72	0.16	0.396	492.78	0.10	0.240	492.16	0.72	1.748	492.85	0.03	0.064
Π2	492.9	493.09	-0.19	-0.465	492.45	0.45	1.093	492.73	0.17	0.413	492.78	0.12	0.298	492.67	0.23	0.555	492.69	0.21	0.521	492.84	0.06	0.137
Π3	490.5	490.27	0.20	0.496	490.09	0.38	0.936	490.34	0.13	0.315	490.42	0.05	0.130	490.06	0.41	1.005	490.38	0.10	0.235	490.35	0.12	0.301
Π4	495	494.91	0.13	0.325	494.94	0.10	0.254	494.99	0.05	0.127	494.79	0.25	0.599	495.00	0.04	0.100	494.88	0.16	0.386	495.03	0.01	0.027
Π5	493.7	493.59	0.09	0.220	493.56	0.12	0.286	493.39	0.28	0.692	493.61	0.07	0.174	493.46	0.22	0.531	493.60	0.08	0.191	493.61	0.07	0.159


Αντικειμενική Συνάρτηση: $Q_1 + Q_2 + \dots + Q_7 = \text{minimum}$

12 περιορισμοί για τα 12 σημεία ελέγχου: $Q_1 \times H_1 + Q_2 \times H_2 + \dots + Q_7 \times H_7 < A$

π.χ. $0.817 \times Q_1 + 3.347 \times Q_2 + 0.196 \times Q_3 + \dots + 0.073 \times Q_7 < A$

Μητρώο μοναδιαίας απόκρισης (παράδειγμα 1^ο). Διαχείριση υδροφορέα

Form1


 Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών
 Τομέας Υδραυλικής και
 Τεχνικής Περιβάλλοντος
 Καθηγητής Δημήτρης Τσιόκας

Δεκαδικά ψηφία:
 Μεταβλητές:
 Περιορισμοί:

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	<>=	b
1	8166	33472	1956	3545	2738	1555	733	<	20000000
2	35159	89193	2347	3081	4132	5022	1100	<	40000000
3	1932	2347	13007	1785	3741	1785	1149	<	40000000
4	4034	880	-147	7115	-513	4670	-1345	<	10000000
5	2176	4401	3765	880	19291	1834	2763	<	60000000
6	11932	5355	-2616	4156	1809	15599	-3912	<	10000000
7	733	1174	1149	367	2763	465	12152	<	50000000
8	20440	17946	2029	3961	2396	17482	636	<	50000000

Αναζήτηση αρχείου δεδομένων Αποθήκευση δεδομένων σε αρχείο **ΓΡΑΜΜΙΚΟΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ** ΕΠΙΛΥΣΗ
 Διαγραφή προεπιλεγμένης σειράς Διαγραφή προεπιλεγμένης στήλης Παρεμβολή σειράς Παρεμβολή στήλης ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Αντικειμενική Συνάρτηση: $Q_1 + Q_2 + \dots + Q_7 = \text{minimum}$

12 περιορισμοί για τα 12 σημεία ελέγχου:

$$Q_1 \times H_1 + Q_2 \times H_2 + \dots + Q_7 \times H_7 < A$$

$$\text{π.χ. } 0.817 \times Q_1 + 3.347 \times Q_2 + 0.196 \times Q_3 + \dots + 0.073 \times Q_7 < A$$



Μητρώο μοναδιαίας απόκρισης (παράδειγμα 1^ο). Διαχείριση υδροφορέα

X2=	1577.66
X6=	377.94
X7=	906.98

Αποτελέσματα μεταβλητών απόφασης

X8=	82769
X10=	81290
X11=	53783
X12=	14220
X14=	62860
X15=	58320
X16=	86130
X17=	88270
X18=	10860
X19=	82210

Αποτελέσματα ψευδομεταβλητών



Μητρώο μοναδιαίας απόκρισης (παράδειγμα 2^ο). Προστασία – αποκατάσταση υδροφορέα

Εφαρμογή μοναδιαίας παροχής σε κάθε μια από τις τέσσερις γεωτρήσεις και διερεύνηση της πτώσης στάθμης στα σημεία ελέγχου

$$H^2 = h_0^2 \pm \frac{Q}{\pi K} \ln \frac{r}{R_0}$$

Περιορισμοί

για κάθε σημείο ελέγχου $k = 1, K$:

$$(H_k^{\text{εκτός}})^2 - (H_k^{\text{εντός}})^2 \geq 0$$

Για κάθε θέση γεώτρησης $m = 1, M$:

$$h_m \geq h_{\text{επιτρεπόμενο}}$$

Αντικειμενική συνάρτηση

$$\sum_{m=1}^M C_m q_m \Delta h_m = \text{minimum}$$

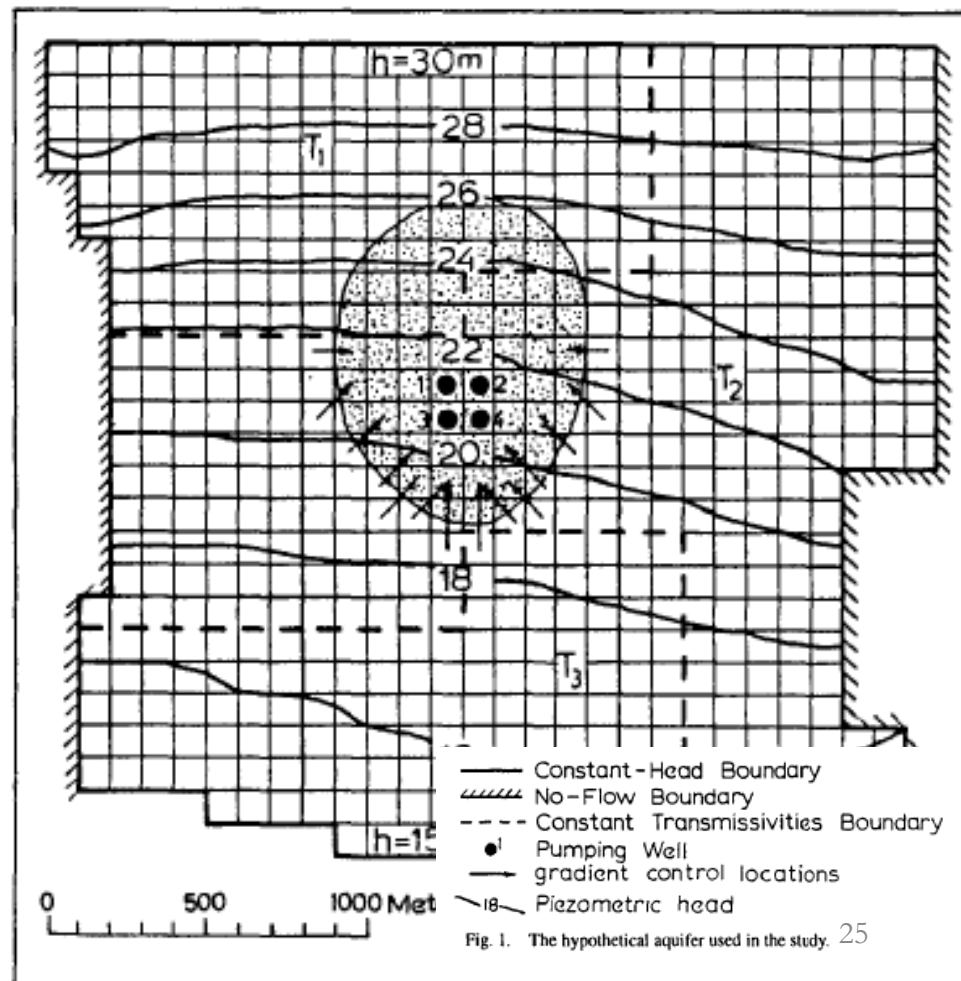
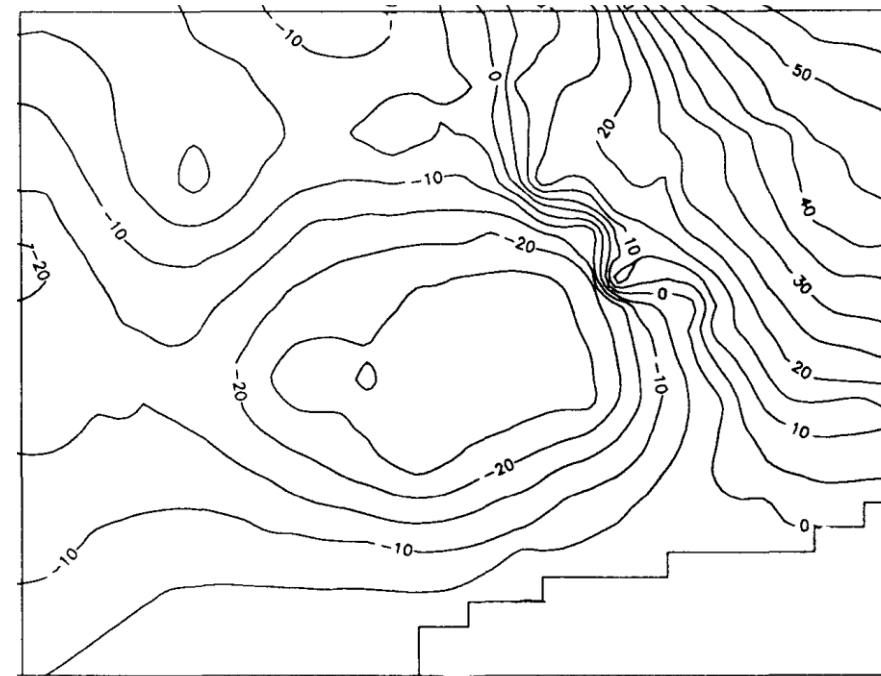


Fig. 1. The hypothetical aquifer used in the study. 25

Μητρώο μοναδιαίας απόκρισης (παράδειγμα 3^ο). Διαχείριση υδροφορέα

- Στον υδροφορέα διαστάσεων 9.0x7.0 km υπάρχουν 400 γεωτρήσεις.
- Εφαρμογή των αποτελεσμάτων στο μοντέλο προσομοίωσης για έλεγχο
- Εφαρμογή μαθηματικού μοντέλου προσομοίωσης αποδίδοντας μοναδιαία παροχή άντλησης σε κάθε μια από τις 400 γεωτρήσεις και προσδιορισμός της αντίστοιχης πτώσης στάθμης σε όλα τα σημεία ελέγχου.
- Καταγραφή του παρατηρήσεων στο μητρώο μοναδιαίας απόκρισης.
- Εφαρμογή του μοντέλου βελτιστοποίησης για το μη γραμμικό πρόβλημα της άντλησης της απαιτούμενης ποσότητας νερού με ταυτόχρονο έλεγχο της πτώσης στάθμης.





Τέλος Ενότητας

Επεξεργασία: Αλέξανδρος Π. Τσαούσογλου

Θεσσαλονίκη, 1.09.2015



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



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

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

