

Ε.Μ.Π – Τομέας Διαχείρισης Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος

Μάθημα: Διαχείριση Υδατικών Πόρων

9^ο εξάμηνο Πολιτικών Μηχανικών

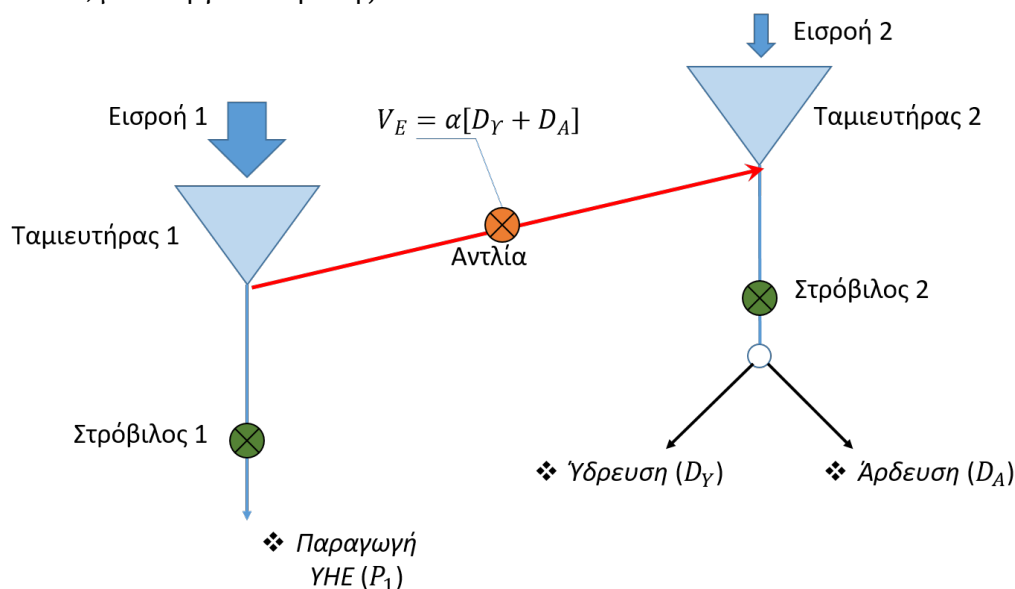
Διδάσκων: Χρήστος Μακρόπουλος

Προετοιμασία θέματος: Δ. Νικολόπουλος, Ι. Τσουκαλάς

Θέμα Εξαμήνου: Βέλτιστη Διαχείριση Πολλαπλών Ταμιευτήρων

Περιγραφή συστήματος

Στο παρόν θέμα εξαμήνου εξετάζεται η υποθετική περίπτωση δύο διασυνδεδεμένων ταμιευτήρων. Ο Ταμιευτήρας 1 βρίσκεται σε χαμηλότερο υψόμετρο και λειτουργεί αποκλειστικά ως ενεργειακό έργο βάσης, ενώ ο Ταμιευτήρας 2 σε υψηλότερο υψόμετρο και ικανοποιεί πολλαπλούς στόχους. Δεδομένου ότι η εισροή του Ταμιευτήρα 2 είναι σημαντικά μικρότερη από του Ταμιευτήρα 1 εκτρέπεται ποσότητα νερού από τον τελευταίο, μέσω έργου εκτροπής.



Σχήμα 1: Σύστημα δύο διασυνδεδεμένων ταμιευτήρων.

Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των δύο ταμιευτήρων και των συναφών έργων (συμπεριλαμβανομένων των τεχνικών χαρακτηριστικών των στροβίλων), δίνονται στον Πίνακα 1. Η καμπύλη στάθμης (Z) - αποθέματος (S) είναι μια εκθετική σχέση της μορφής $S = \kappa(Z - Z_{min})^\lambda$, όπου Z_{min} η ελάχιστη στάθμη. Οι ταμιευτήρες θεωρείται πως έχουν αμελητέες διαφυγές και για απλούστευση η εξάτμιση και η βροχόπτωση στην επιφάνεια των ταμιευτήρων αγνοούνται.

Όσον αφορά το Ταμιευτήρα 1, τίθεται ένας σταθερός μηνιαίος στόχος παραγωγής ΥΗΕ σε GWh (P_1). Η τιμή πώλησης της πρωτεύουσας και δευτερεύουσας ενέργειας καθώς και η ρήτρα ελλείμματος είναι 100 000 €, 50 000 € και 100 000 € ανά GWh αντίστοιχα.

Για τον Ταμιευτήρα 2, η ετήσια υδρευτική ζήτηση (D_γ) θεωρείται σταθερή και ομοιόμορφα κατανεμημένη στο χρόνο, ίση με 30 hm³. Η ετήσια αρδευτική ζήτηση (D_A) είναι ίση με 120 hm³ και η μηνιαία ποσοστιαία κατανομή της φαίνεται στον Πίνακα 2. Τέλος, επισημαίνεται πως οι απολήψεις για τις δύο χρήσεις πραγματοποιούνται διαμέσου της διώρυγας φυγής και του Στροβίλου 2, παράγοντας δευτερεύουσα ενέργεια με ίδια τιμή πώλησης με του Ταμιευτήρα 1.

Το έργο εκτροπής λειτουργεί μέσω άντλησης, και η μεταφορά νερού κοστίζει 75 000 €/hm³. Η εκτρεπόμενη ποσότητα εξαρτάται από τη συνολική ζήτηση νερού του εκάστοτε μήνα και διατυπώνεται μέσω του ακόλουθου κανόνα λειτουργίας: $V_E(t) = \alpha[D_Y(t) + D_A(t)]$. Η παράμετρος α εκφράζει ποσοστό. Στο Πίνακα 3 δίνονται τα οικονομικά στοιχεία του συστήματος για όλες τις χρήσεις.

Ερωτήματα

1. Για **δεδομένη** τιμή του ενεργειακού στόχου P_1 ίση με 20 GWh, υπολογίστε τον βέλτιστο κανόνα λειτουργίας του υδροσυστήματός - δηλαδή τη **βέλτιστη τιμή** της παραμέτρου α (%) για:
 - a. τη **μεγιστοποίηση του συνολικού κόστους - οφέλους**, χρησιμοποιώντας τα στοιχεία του Πίνακα 3.
 - b. την **ελαχιστοποίηση του έλλειμματος** της ύδρευσης
2. Για το 1.α και για το 1.β, υπολογίστε το συνολικό κόστος-όφελος, έλλειμμα ύδρευσης, αξιοπιστία ύδρευσης, ανθεκτικότητα ύδρευσης και ευαισθησίας άρδευσης και να παρουσιάσετε τα αποτελέσματα των δύο περιπτώσεων σε σχετικό πίνακα.
3. Βελτιστοποιείστε ταυτόχρονα την τιμή της παραμέτρου α (%) και του ενεργειακού στόχου P_1 για τη **μεγιστοποίηση του συνολικού κόστους - οφέλους**.
4. Κάντε μια **ανάλυση ευαισθησίας** της λύσης του ερωτήματος 3 με αβεβαιότητα $\pm 10\%$ στα εξής χαρακτηριστικά: παροχετευτικότητα του αγωγού πτώσης Ταμιευτήρα 1, στο κόστος μεταφοράς προς τον Ταμιευτήρα 2, στην παράμετρο ψ_1 , του Ταμιευτήρα 1 και στο αρχικό απόθεμα του Ταμιευτήρα 1. Δημιουργείστε ένα διάγραμμα tornado και σχολιάστε τα αποτελέσματα.
5. Επιλύστε ξανά το ερώτημα 3 θεωρώντας πως η **μηνιαία** ζήτηση για άρδευση ακολουθεί κανονική κατανομή με μέση τιμή $\mu = 10 \text{ hm}^3$ και τυπική απόκλιση $\sigma = 1 \text{ hm}^3$. Σχολιάστε τα αποτελέσματα συγκριτικά με το ερώτημα 3.
6. Για την βέλτιστη κατανομή των παραμέτρων που επιλέξατε στο ερώτημα 4, υπολογίστε τη **πιθανότητα αστοχίας ύδρευσης** και το **κόστος όφελος** για τη χρονική περίοδο μελέτης αν ισχύουν ταυτόχρονα τα κάτωθι:
 - a. στο Ταμιευτήρα 1 υπάρχει σε πρώτη προτεραιότητα η απαίτηση για ετήσια οικολογική παροχή ίση με το 5% της μέσης υπερετήσιας παροχής, κατανεμημένη ομοιόμορφα κάθε μήνα.
 - b. στο Ταμιευτήρα 2 υπάρχει σε πρώτη προτεραιότητα η απαίτηση για ετήσια οικολογική παροχή ίση με το 10% της μέσης υπερετήσιας παροχής, κατανεμημένη ομοιόμορφα κάθε μήνα.
7. Με βάση τα κριτήρια **παραγωγής μηνιαίας πρωτεύουσας ενέργειας** (θεωρώντας αξιοπιστία 95%) και **μέσης μηνιαίας απόληψης για ύδρευση** ($D_Y -$ Μέσο μηνιαίο έλλειμμα ύδρευσης) καταστρώστε ένα διάγραμμα **Pareto** για διάφορες τιμές βαρών των δύο κριτηρίων. Οι μεταβλητές ελέγχου του προβλήματος είναι ο στόχος μηνιαίας παραγωγής ενέργειας και κανόνας λειτουργίας α . Για κάθε επίλυση κρατείστε τις τιμές στόχου ενέργειας, κανόνα λειτουργίας α και συνολικού κόστους οφέλους και σχολιάστε.
8. [Bonus]Με ποιον τρόπο θα μπορούσατε να εξασφαλίσετε πολύ μεγάλη αξιοπιστία (100% για τα δεδομένα του προβλήματος) στην ικανοποίηση της ύδρευσης στον ταμιευτήρα 2 χωρίς εκτροπή; Σχολιάστε και υλοποιήστε μια λύση (Σημ.: οι **ζητήσεις** ύδρευσης και άρδευσης παραμένουν **αμετάβλητες**).

Πίνακας 1: Χαρακτηριστικά ταμιευτήρων

ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑΣ 1	
Κατώτατη στάθμη λειτουργίας	776.00
Ανώτατη στάθμη λειτουργίας	792.00
Στάθμη πυθμένα	770.00
Παραμετρος κ	8.55
Παράμετρος λ	1.21
Αρχική στάθμη (m)	782.00
Μηνιαία παροχευετικότητα αγωγού πτώσης 1 (hm ³)	53.00
Έξοδος Υ/Η σταθμού 1 (m)	200.00
Ειδική ενέργεια ψ1 (GWh/hm ⁴)	0.23
ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑΣ 2	
Κατώτατη στάθμη λειτουργίας	800.00
Ανώτατη στάθμη λειτουργίας	840.00
Στάθμη πυθμένα	790.00
Παράμετρος κ	5.00
Παράμετρος λ	0.84
Αρχική στάθμη (m)	820.00
Μηνιαία παροχευετικότητα αγωγού πτώσης 2 (hm ³)	70.00
Έξοδος Υ/Η σταθμού 2 (m)	470.00
Ειδική ενέργεια ψ2 (GWh/hm ⁴)	0.24

Πίνακας 2: Μηνιαία κατανομή της αρδευτικής ζήτησης

Απρίλιος	4.3%
Μάιος	10.0%
Ιούνιος	25.2%
Ιούλιος	30.0%
Αύγουστος	27.0%
Σεπτέμβριος	3.5%
Οκτώβριος	0.0%
Μάρτιος	-

Πίνακας 3: Οικονομικά στοιχεία

Τιμή πώλησης εγγυημένης ενέργειας (€/GWh)	€ 100,000
Τιμή πώλησης δευτερεύουσας ενέργειας (€/GWh)	€ 50,000
Ρήτρα ελλείμματος ενέργειας (€/GWh)	€ 100,000
Κέρδος Υδρ (€/hm ³)	€ 320,000
Ρήτρα Υδρ (€/hm ³)	€ 320,000

Κέρδος Αρδ (€/hm ³)	€ 180,000
Ρήτρα Αρδ (€/hm ³)	€ 180,000
Άντληση από T2 (€/hm ³)	€ 75,000