

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

Μάθημα: Διαχείριση Υδατικών Πόρων

9^ο εξαμήνο Πολιτικών Μηχανικών

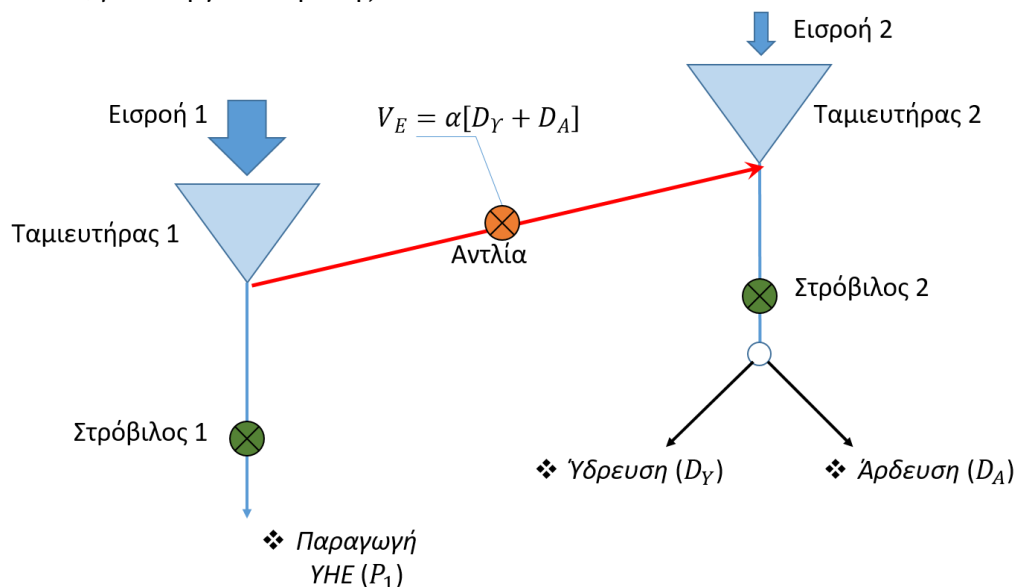
Διδάσκων: Χρήστος Μακρόπουλος

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 €, 55 000 € και 110 000 € 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 80 000 €/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 18 GWh, υπολογίστε τον βέλτιστο κανόνα λειτουργίας του υδροσυστήματός - δηλαδή τη **βέλτιστη τιμή** της παραμέτρου α (%) για 2 ξεχωριστές περιπτώσεις:
 - a. τη **μεγιστοποίηση του συνολικού κόστους - οφέλους**, χρησιμοποιώντας τα στοιχεία του Πίνακα 3.
 - b. την **ελαχιστοποίηση του ελλείμματος** της ύδρευσης
2. Για το 1.α και για το 1.β, υπολογίστε το συνολικό κόστος-όφελος, και τα μέτρα μέσο μηνιαίο έλλειμμα, αξιοπιστίας, ανθεκτικότητας και ευαισθησίας των χρήσεων ύδρευσης και άρδευσης και να παρουσιάσετε τα αποτελέσματα των δύο περιπτώσεων σε σχετικό πίνακα.
3. Ποια είναι η **εγγυημένη παραγωγή του συστήματος στο 95 και 99%** του χρόνου στην 1α περίπτωση; Κατασκευάστε τη καμπύλη διάρκειας ενέργειας.
4. Βελτιστοποιείστε ταυτόχρονα την τιμή των μεταβλητών α (%) και P_1 για τη **μεγιστοποίηση του συνολικού κόστους - οφέλους**.
5. Κάντε μια **ανάλυση ευαισθησίας** του συνολικού οφέλους που προκύπτει για τα α και P_1 του ερωτήματος 4 στο εύρος αβεβαιότητας $\pm 10\%$ για τις εξής παραμέτρους: παροχρητικότητα του αγωγού πτώσης Ταμιευτήρα 1, κόστος μεταφοράς προς τον Ταμιευτήρα 2, ειδική ενέργεια ψ_1 και αρχικό απόθεμα του Ταμιευτήρα 1. Δημιουργείστε ένα διάγραμμα tornado και σχολιάστε τα αποτελέσματα.
6. Επιλύστε ξανά το ερώτημα 4 θεωρώντας πως η **μηνιαία** ζήτηση για άρδευση ακολουθεί κανονική κατανομή με μέση τιμή $\mu = 10$ hm³ και τυπική απόκλιση $\sigma = 5$ hm³ (Κατασκευάστε μόνο μία χρονοσειρά). Σχολιάστε τα αποτελέσματα συγκριτικά με το ερώτημα 4.
7. Επιλύστε ξανά το ερώτημα 4 θεωρώντας πως η **μηνιαία** ζήτηση για άρδευση είναι σταθερή και ίση με 10 hm³. Σχολιάστε τα αποτελέσματα συγκριτικά με τα ερωτήματα 4 και 6.
8. Για την βέλτιστη κατανομή των μεταβλητών που επιλέξατε στο ερώτημα 4, υπολογίστε το **όφελος** για τη χρονική περίοδο μελέτης αν ισχύουν ταυτόχρονα οι κάτωθι αλλαγές στο σύστημα:
 - 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.
9. Επειδή το νερό του Ταμιευτήρα 1 μπορεί είτε να αξιοποιηθεί για παραγωγή ΥΗΕ είτε να μεταφερθεί στον Ταμιευτήρα 2 για την κάλυψη άλλων αναγκών, είναι προφανές πως οι στόχοι **παραγωγής μηνιαίας εγγυημένης πρωτεύουσας ενέργειας** (στο 95% του χρόνου) και **μέσης πραγματικής απόληψης ύδρευσης** είναι αντικρουόμενοι. Μάλιστα, επηρεάζονται από τις τιμές των μεταβλητών ελέγχου του προβλήματος α και P_1 . Καταστρώστε ένα διάγραμμα **Pareto** για διάφορες λύσεις που προκύπτουν από τις τιμές των δύο μεταβλητών και δείξτε τις κυριαρχούμενες και τις μη κυριαρχούμενες λύσεις.

10. [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)	783.00
Μηνιαία παροχετευτικότητα αγωγού πτώσης 1 (hm ³)	52.00
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)	819.00
Μηνιαία παροχετευτικότητα αγωγού πτώσης 2 (hm ³)	70.00
Έξοδος Υ/Η σταθμού 2 (m)	470.00
Ειδική ενέργεια ψ2 (GWh/hm ⁴)	0.235

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)	€ 55,000
Ρήτρα ελλείμματος ενέργειας (€/GWh)	€ 110,000
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)	€ 80,000