

ΙΕΡΑΡΧΗΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΣΕΝΑΡΙΩΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΤΩΝ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΟΥ ΣΥΜΒΙΒΑΣΤΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ

Γ. ΤΣΑΚΙΡΗΣ
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Κ. ΜΑΚΑΡΟΥΝΗΣ
Υποψ. Διδάκτορας Ε.Μ.Π.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σε συνθήκες έντονου ανταγωνισμού για τη χρήση περιορισμένων υδατικών πόρων οι μέθοδοι πολυκριτηριακής ανάλυσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ορθολογική διαχείριση των πόρων. Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται η μέθοδος του Συμβιβαστικού Προγραμματισμού που ανήκει στην κατηγορία των μεθόδων Πολυκριτηριακής Ανάλυσης για την επιλογή της καλύτερης δυνατής λύσης στη Στρατηγική Διαχείριση Υδατικών Πόρων. Η μέθοδος εφαρμόζεται σε παράκτια περιοχή στην οποία αξιολογούνται και ιεραχούνται τα εναλλακτικά σενάρια ανάπτυξης υδατικών πόρων, επιλέγεται το καλύτερο σενάριο και γίνεται ανάλυση ευαισθησίας της λύσης.

ABSTRACT

The method of Compromise Programming is used for ranking water resources development scenarios at a strategic level. A complete case-study is presented for a coastal area in Greece.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τελευταία χρόνια έχει γίνει κατανοητό ότι οι υδατικοί πόροι δεν είναι ανεξάντλητοι και διατρέχουν τον κίνδυνο ρύπανσης και υφαλμύρυνσης. Οι διαθέσιμοι υδατικοί πόροι παρουσιάζουν έντονη χωρική χρονική κατανομή. Παράλληλα οι ανάγκες σε νερό αντιμετωπίζονται χωρικά και χρονικά αλλά συγχρόνως ως προς την ποσότητα και ποιότητα. Η Διαχείριση των Υδατικών Πόρων (Δ.Υ.Π.) αποβλέπει στην οικονομική ανάπτυξη της Χώρας, στην ανάπτυξη της περιοχής όπου εφαρμόζεται, στην ισόρροπη ανάπτυξη των διάφορων περιοχών της Χώρας και στην προστασία και αναβάθμιση του περιβάλλοντος.

Η παραπάνω προσέγγιση ενός σχεδίου χαρακτηρίζεται ως πολυκριτηριακή ανάλυση ή ανάλυση πολλαπλών κριτηρίων (multicriteria analysis) (Τσακίρης, 1996). Πολλές φορές, για την επιλογή μεταξύ εναλλακτικών λύσεων χρησιμοποιούμε ένα

μόνο κριτήριο, όπως η Καθαρή Παρούσα Αξία, ο Συντελεστής Εσωτερικής Απόδοτικότητας, ο Λόγος Ωφελειών-Κόστους, η Καθαρή Ετήσια Αξία, το κόστος ανά μονάδα προϊόντος/αποτελέσματος, ο λόγος Ωφελειών-Κόστους σε ετήσια βάση. Ως μοναδικό κριτήριο επιλογής μπορεί να χρησιμοποιηθεί η αξιοπιστία του συστήματος, η ταχύτητα επαναφοράς του συστήματος σε ικανοποιητική κατάσταση μετά από αστοχία, οι συνέπειες λόγω αστοχιών. Η αξιολόγηση ενός σχεδίου με ένα κριτήριο χαρακτηρίζεται από δυσκολία ή και αδυναμία στην αποτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων, στην ποσοτικοποίηση ποιοτικών παραμέτρων (π.χ. ποιότητα νερού), στην αντικειμενικοποίηση υποκειμενικών αντιλήψεων και εκτιμήσεων στην ταυτόχρονη θεώρηση κοινωνικών-οικονομικών παραμέτρων (π.χ. ανεργία, συναλλαγματική διαθεσιμότητα, τεχνολογική ανάπτυξη, εθνική αυτάρκεια κ.λ.π.), στο συνυπολογισμό πολιτιστικών και εθνικών θεμάτων. Η δυσκολία αποτίμησης (αναγωγής) του κόστους και των ωφελειών σε χρηματικές και μόνο μονάδες μπορεί να ξεπεραστεί με τη χρήση της πολυκριτηριακής ανάλυσης, η οποία διακρίνεται από τη δυνατότητα να εφαρμοσθεί σε σύνθετα, πολύπλοκα και δυναμικά συστήματα.

Παρακάτω παρουσιάζεται μία μέθοδος προγραμματισμού με πολλά κριτήρια, ο Συμβιβαστικός Προγραμματισμός (Compromise Programming) και στη συνέχεια εφαρμόζεται σε κάποια παράκτια περιοχή.

2. ΣΥΜΒΙΒΑΣΤΙΚΟΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ

Στο Συμβιβαστικό Προγραμματισμό (Σ.Π.) εκτιμούμε πόσο μακριά βρίσκεται η εξεταζόμενη λύση από την ιδανική λύση ή μία πολύ καλή λύση (Benedini, Andah and Harbol, 1992), (Duckstein and Orlicouvic, 1980), (Simonovic, 1989), (Τσακίρης, 1996). Ένα μέτρο της απόστασης αυτής δίνεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$L_p(x_j) = \left[\sum_{i=1}^n a_i^p \left(\frac{|f_i^* - f_i(x_j)|}{|M_i - m_i|} \right)^p \right]^{1/p} \quad (1)$$

i κριτήριο, j επιλογή

για όλα τα j \rightarrow συνθήκες

όπου:

- n : το πλήθος των κριτηρίων
 i : ο δείκτης που αντιστοιχεί στο κριτήριο i
 $f_i(x_i)$: ο βαθμός του κριτηρίου i ως προς την εναλλακτική λύση x_i
 f_i^* : η τιμή της καλύτερης δυνατής λύσης ως προς το κριτήριο i . Η τιμή f_i^* είναι μία ελάχιστη τιμή εάν πρόκειται η $f_i(x)$ να ελαχιστοποιηθεί.
 a_i : βάρος που αντιστοιχεί στο κριτήριο i . Το βάρος κάθε κριτηρίου αντιπροσωπεύει τη σχετική του σημασία.
 p : Παράμετρος η οποία λαμβάνει ακέραιες θετικές τιμές
 f^* : (f_1^*, \dots, f_n^*) η καλύτερη δυνατή λύση
 $L_p(x_i)$: η τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης για την εναλλακτική λύση x_i (όσον το δυνατόν μικρότερη)

M_i, m_i : Είναι αντίστοιχα η καλύτερη και η χειρότερη τιμή της $f_i(x)$. Η διαδικασία εφαρμογής του Σ.Π. είναι η εξής:

- Προσδιορίζονται τα προβλήματα, οι ευκαιρίες, οι ελλείψεις σε σχέση με τις γενικές επιδιώξεις
- Κατανοείται η λειτουργία του συστήματος
- Παράγονται εναλλακτικά σχέδια (λύσεις)
- Προσδιορίζονται οι στόχοι και τα κριτήρια και ο τρόπος αποτίμησής τους. Επιλέγονται, επίσης, τα αντίστοιχα βάρη και η τιμή της παραμέτρου p . Αρχικά η p μπορεί να λάβει την τιμή 2 και στην ανάλυση ευαισθησίας και άλλες τιμές
- Για κάθε σχέδιο βαθμολογούνται όλα τα κριτήρια
- Υπολογίζονται οι διάφορες τιμές της αντικειμενικής συνάρτησης $L_p(x_i)$
- Πραγματοποιείται ανάλυση ευαισθησίας
- Επιλέγεται η καλύτερη και εξάγονται συμπεράσματα. Για την επιλογή της καλύτερης λαμβάνεται υπόψη το $\min L_p$ αλλά και η σταθερότητα των εναλλακτικών λύσεων.

Εάν η καλύτερη λύση δεν γίνεται αποδεκτή τότε συγκεντρώνονται περισσότερες πληροφορίες για την υπόψη περιοχή και επαναλαμβάνεται η διαδικασία από το βήμα i .

3. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΥ ΣΥΜΒΙΒΑΣΤΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ

Στο παράδειγμα που ακολουθεί εξετάζεται μία παράκτια περιοχή και στο πλαίσιο της Δ.Υ.Π. γίνεται εφαρμογή του Συμβιβαστικού Προγραμματισμού. Ακολουθούνται τα βήματα όπως περιγράφησαν προηγουμένως:

- Οι ανάγκες σε νερό αναφέρονται στον τομέα της ύδρευσης και περιλαμβάνουν αυτές των μόνιμων κατοίκων και των τουριστών. Το

πρόβλημα της ύδρευσης είναι το κυρίαρχο στην παρούσα εργασία. Ο τοπικός πληθυσμός πρέπει να συγκρατηθεί και να αυξηθεί το εισόδημά του κυρίως μέσω τουρισμού.

- Λεκάνες απορροής μπορούν να τροφοδοτήσουν ταμιευτήρες ή λιμνοδεξαμενές και η εκτίμηση του υδατικού δυναμικού γίνεται με χρήση υδρολογικών μοντέλων. Επίσης, ποταμός βρίσκεται σε μικρή απόσταση. Η παροχή του κρίνεται ικανοποιητική και για τη θερινή περίοδο. Η μεταφορά νερού από τον ποταμό στην πόλη μπορεί να γίνει μόνο με αντλιοστάσια.

- Η εναλλακτική λύση Α προβλέπει λιμνοδεξαμενή, η Β φράγμα και η Γ φράγμα σε διαφορετική θέση, η Δ υδροδότηση από τον ποταμό.

- Τα κριτήρια και ο τρόπος αποτίμησής τους είναι:
 - Ποσότητα νερού για ύδρευση (υποκειμενική)
 - Ποιότητα νερού για ύδρευση (υποκειμενική)
 - Κόστος (ετήσιο συνολικό) (δρχ.)
 - Ενέργεια (υποκειμενική)
 - Νερό για άρδευση (υποκειμενική)
 - Περιβάλλον-Αισθητική τοπίου (υποκειμενική)
 - Αντιπλημμυρική προστασία (υποκειμενική)

Στο κριτήριο της ποσότητας νερού για ύδρευση λαμβάνεται υπόψη και η αντιμετώπιση απρόοπτων γεγονότων και εξελίξεων και γι' αυτό έχουμε υποκειμενική αποτίμηση. Το ετήσιο συνολικό κόστος ισούται με το άθροισμα του λειτουργικού κόστους ανά έτος και του ετήσιου κόστους, το οποίο προκύπτει από τον επιμερισμό της αρχικής επένδυσης σε όλα τα έτη ζωής του έργου. Η υποκειμενική αποτίμηση για το κριτήριο ενέργειας σχετίζεται με την προσπάθεια εξοικονόμησης ενέργειας σε επίπεδο Χώρας. Το κριτήριο για το νερό για άρδευση υπάρχει για να δηλώσει την αύξηση της γεωργικής παραγωγής και έμμεσα του γεωργικού εισοδήματος. Η αντιπλημμυρική προστασία μπορεί να εκφρασθεί μερικώς σε χρηματικές μονάδες (μέσω πιθανοκρατικών μοντέλων) και μερικώς υπόκειται σε υποκειμενική θεώρηση. Για το κριτήριο της προστασίας και αναβάθμισης του υπόγειου υδροφορέα εκτιμήθηκε ότι οι συνέπειες είναι περίπου οι ίδιες για όλες τις εναλλακτικές λύσεις.

Τα βάρη επιλέγονται ως ακολούθως:

$a_1=10$, $a_2=10$, $a_3=7$, $a_4=4$, $a_5=6$, $a_6=8$, $a_7=9$ (ομάδα I βαρών)

Τα βάρη επιλέγονται με βάση την εμπειρία έτσι ώστε να λαμβάνονται υπόψη οι τεχνικές διαστάσεις, οι προτιμήσεις του τοπικού πληθυσμού και οι προτεραιότητες σε επίπεδο Χώρας. Επιλέγουμε $p=2$.

- Δίνουμε βαθμούς στα κριτήρια (Πίνακας 1):

Πιν. 1 Βαθμολογία Κριτηρίων

ΚΡΙΤΗΡΙΑ	ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΛΥΣΕΙΣ			
	A	B	Γ	Δ
1. Ποσότητα νερού για ύδρευση	5	4	4	3
2. Ποιότητα νερού για ύδρευση	4	5	5	3
3. Συνολικό ετήσιο κόστος (δρχ)	109	102	135	140
4. Ενέργεια	4	5	5	1
5. Νερό για άρδευση	2	2	2	1
6. Περιβάλλον-Αισθητική τοπίου	4	3	3	1
7. Μείωση του κινδύνου από πλημμύρες	3	5	5	1

$L_{100}(x_1)=5.0000013, L_{100}(x_2)=5, L_{100}(x_3)=7$
 Για $f^*=(5,5,100,5,5,5,5), M=(5,5,100,5,5,5,5),$
 $m=(1,1,140,1,1,1,1)$ (ομάδα IV M-m-f*) και για την
 ομάδα I βαρών προκύπτει:
 $L_1(x_1)=16.07, L_1(x_2)=11.35, L_1(x_3)=17.12$
 $L_2(x_1)=7.36, L_2(x_2)=6.53, L_2(x_3)=8.94$
 $L_{100}(x_1)=4.53, L_{100}(x_2)=4.5, L_{100}(x_3)=6.125$
 Και για την ομάδα II βαρών προκύπτει:
 $L_1(x_1)=15.05, L_1(x_2)=9.65, L_1(x_3)=16.25$
 $L_2(x_1)=6.86, L_2(x_2)=5.43, L_2(x_3)=8.85$
 $L_{100}(x_1)=4.5, L_{100}(x_2)=3.75, L_{100}(x_3)=7$

vii. Ως καλύτερη εναλλακτική λύση επιλέγεται η Β σε όλες τις περιπτώσεις. Σε όλα τα κριτήρια (εκτός από τα κριτήρια 1,6) έχει πάρει τον καλύτερο βαθμό σε σχέση με τις άλλες εναλλακτικές λύσεις. Στις περισσότερες περιπτώσεις η Α προηγείται της Γ. Η Δ είναι σαφέστατα η κατώτερη λύση και γι' αυτό δεν εξετάζεται.

Το f^* ισούται με το M

και $M=(5,5,102,5,2,4,5), m=(3,3,140,1,1,1,1)$ και $f^*=(5,54,102,5,2,4,5)$ (ομάδα I M-m-f*)

vi. Υπολογίζονται οι τιμές της αντικειμενικής συνάρτησης $L_p(x): L_2(x_1)=6.92, L_2(x_2)=5.67, L_2(x_3)=8.31$ (ομάδα I βαρών, ομάδα I M-m-f*). (Η x_1 αντιστοιχεί στην Α, η x_2 στη Β, η x_3 στη Γ).

vii. Στην ανάλυση ευαισθησίας δοκιμάζονται οι τιμές:

$\rho=1, \rho=100$ και έχουμε (ομάδα I βαρών, ομάδα I M-m-f*): $L_1(x_1)=11.79, L_1(x_2)=7.67, L_1(x_3)=13.75, L_{100}(x_1)=5.0000013, L_{100}(x_2)=5, L_{100}(x_3)=6.08$.

Για το βάρη δοκιμάζουμε τις τιμές: $\alpha_1=10, \alpha_2=10, \alpha_3=8, \alpha_4=4, \alpha_5=5, \alpha_6=6, \alpha_7=9$ (Ομάδα II βαρών)

Για την ομάδα II βαρών έχουμε (ομάδα I M-m-f*): $L_1(x_1)=11.97, L_1(x_2)=7, L_1(x_3)=13.95, L_2(x_1)=6.98, L_2(x_2)=5.57, L_2(x_3)=9.45$.

Για $f^*=(5,5,0,5,5,5,5)$, με $M=(5,5,0,5,5,5,5)$ και με $m=(3,3,140,1,1,1,1)$ (ομάδα II M-m-f*) και με την ομάδα I βαρών, προκύπτει:

$L_1(x_1)=22.45, L_1(x_2)=18.6, L_1(x_3)=20.25, L_2(x_1)=20.01, L_2(x_2)=9.34, L_2(x_3)=10.33, L_{100}(x_1)=5.45001, L_{100}(x_2)=5.11, L_{100}(x_3)=6.75$.

Για την ομάδα II M-m-f* και για την ομάδα II βαρών, προκύπτει:

$L_1(x_1)=21.98, L_1(x_2)=18.58, L_1(x_3)=20.96, L_2(x_1)=10.07, L_2(x_2)=9.44, L_2(x_3)=10.90, L_{100}(x_1)=6.23, L_{100}(x_2)=5.83, L_{100}(x_3)=7.71$.

Για $f^*=(5,5,100,5,5,5,5), M=(5,5,100,5,5,5,5), m=(3,3,140,1,1,1,1)$ (ομάδα III M-m-f*) και για την ομάδα I βαρών προκύπτει:

$L_1(x_1)=18.57, L_1(x_2)=13.85, L_1(x_3)=19.62, L_2(x_1)=8.54, L_2(x_2)=7.83, L_2(x_3)=9.94, L_{100}(x_1)=5.0000026, L_{100}(x_2)=5.0000013, L_{100}(x_3)=6.125$

Και για την ομάδα II βαρών προκύπτει:

$L_1(x_1)=17.55, L_1(x_2)=12.15, L_1(x_3)=18.75, L_2(x_1)=8.11, L_2(x_2)=6.94, L_2(x_3)=9.85$

Πιν. 2 Αποτελέσματα Ανάλυσης Ευαισθησίας

	ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗ ΛΥΣΗ	ΟΜΑΔΑ I ΒΑΡΩΝ			ΟΜΑΔΑ II ΒΑΡΩΝ		
		$\rho=1$	$\rho=2$	$\rho=100$	$\rho=1$	$\rho=2$	$\rho=100$
ΟΜΑΔΑ I M-m-f*	A	11.79	6.92	5.0000013	11.97	6.96	5.0000013
	B	7.67	5.67	5	7	5.57	5
	Γ	13.75	8.31	6.08	13.95	9.45	6.95
ΟΜΑΔΑ II M-m-f*	A	22.45	10.01	5.45	21.98	10.07	6.23
	B	18.6	9.34	5.11	18.52	9.44	5.83
	Γ	20.25	10.33	6.75	20.96	10.90	7.71
ΟΜΑΔΑ III M-m-f*	A	18.57	8.54	5.0000026	17.55	8.11	5.0000013
	B	13.85	7.83	5.0000013	12.15	6.94	5
	Γ	19.62	9.94	6.125	18.75	9.85	7
ΟΜΑΔΑ IV M-m-f*	A	16.07	7.36	4.53	15.05	6.86	4.5
	B	11.35	6.53	4.5	9.65	5.43	3.75
	Γ	17.12	8.94	6.125	16.25	8.85	7

4. ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παραπάνω ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν 4 ομάδες M-m-f* προκειμένου να εξεταστούν διαφορετικά ζεύγη $[f^*, m]$ $[M=f^*]$. Επίσης, χρησιμοποιήθηκαν 2 ομάδες βαρών και οι τιμές 1,2 και 100 για την παράμετρο ρ . Παρατηρούμε ότι όσο αυξάνει η τιμή της ρ , τόσο μικραίνουν οι τιμές της L_p και σε ορισμένες περιπτώσεις απαιτείται η διατήρηση αρκετών δεκαδικών ψηφίων. Όταν η ρ αυξάνει, τότε το L_p

$Z = \text{κριτήριο}$

$f = \text{επιλογή}$

τείνει στη μέγιστη ποσότητα $a_i | (f^* - f_i(x_i)) / (M_i - m_i) |$. Η μεταβολή της p επηρεάζει τη σειρά κατάταξης μεταξύ Α και Γ, όπου η Γ προηγείται της Α.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η βαθμολόγηση των βαρών και των κριτηρίων για κάθε εναλλακτική λύση απαιτεί γνώση, εμπειρία, υπευθυνότητα και συμμετοχή του τοπικού πληθυσμού στην λήψη των αποφάσεων. Όμως μία βασική συνιστώσα που δεν πρέπει να αγνοείται είναι η πληροφόρηση σε τοπικό, περιφερειακό και εθνικό επίπεδο. Η πληροφόρηση είναι αναγκαία για την εκτίμηση των τεχνικών, οικονομικών και περιβαλλοντικών επιπτώσεων, αλλά και για την παραγωγή περισσότερων εναλλακτικών λύσεων.

Τα πλεονεκτήματα της πολυκριτηριακής ανάλυσης αναφέρθηκαν στην εισαγωγή. Ένα μειονέκτημά της, με ιδιαίτερη σημασία, είναι η απαίτηση για πολλά και ακριβή δεδομένα και η ολοκληρωμένη εκτίμηση των συνεπειών. Η περισσότερο αναλυτική και ολοκληρωμένη προσέγγιση-τακτοποίηση ενός θέματος, απαιτεί περισσότερη και ακριβέστερη πληροφορία. Πολλές φορές, είναι δύσκολο αν όχι αδύνατο, να ικανοποιηθεί η απαίτηση αυτή. Έτσι, σε επόμενο στάδιο θα μπορούσε να γίνει καλύτερη συγκέντρωση δεδομένων και εκτίμηση ~~συνεπειών μόνο για τις εναλλακτικές λύσεις Α και Β~~ και να συγκριθούν αυτές από την αρχή.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Benedini M., Andah K., and Harboe R. (1992). Water Resources Management: Modern Decision Techniques. A.A. Balkema.
- Duckstein L., and Opricovic S. (1980). Multiobjective Optimization in River Basin Development, Water Resources Research, 16(1): 14-20
- Simonovic S. (1989). Application of Water Resources System Concept to the Formulation of a Water Master Plan, Water International, 14(1): 37-50.
- Τσακίρης Γ. (1995). Εισαγωγή στη διαχείριση Υδατικών Πόρων. Κεφ. 19, στο βιβλίο "Υδατικοί Πόροι": Ι. Τεχνική Υδρολογία", σελ. 657-671, Εκδόσεις Συμμετρία.
- Τσακίρης Γ. (1996). Διαχείριση Υδατικών Πόρων Μεγάλης Κλίμακας: Διεθνείς Εμπειρίες και Προοπτικές. Διεθνές Συνέδριο ΤΕΕ/Τ.Κέντρο και Δυτ. Θεσσαλίας, Λάρισα, Νοέμβριος 1996.
- Εργαστήριο Εγγειοβελτιωτικών έργων και Διαχείρισης Υδατικών Πόρων Ε.Μ.Π. και ΟΑΝΑΚ (1994). Ολοκληρωμένο Σύστημα

Διαχείρισης Υδατικών Πόρων Ανατ. Κρήτης
Τελική Έκθεση Προγράμματος (Επιστ. Υπευθ.
Γ. Τσακίρης), Τόμοι Ι, ΙΙ και ΙΙΙ.

Γ. ΤΣΑΚΙΡΗΣ, Κ. ΜΑΚΑΡΟΥΝΗΣ

Εργαστήριο Εγγειοβελτιωτικών Έργων και
Διαχείρισης Υδατικών Πόρων, Τμήμα Αγρονόμων &
Τοπογράφων Μηχανικών, Ε.Μ.Πολυτεχνείο, Ηρώων
Πολυτεχνείου 9, Ζωγράφου 157 73.

Μειονεκτήματα

πολυκριτηριακή ανάλυση.

Απαιτεί πολλά δεδομένα

λύση: Για τις περισσότερες

λύση της πολυκριτηριακής ανάλυσης

έχουν περισσότερες έρευνες...