

Πολύκριτήριακες μέθοδοι στη
ΔΥΠ (2)
more multicriteria...

Δρ Μ.Σπηλιώτης

Σημερινό μάθημα

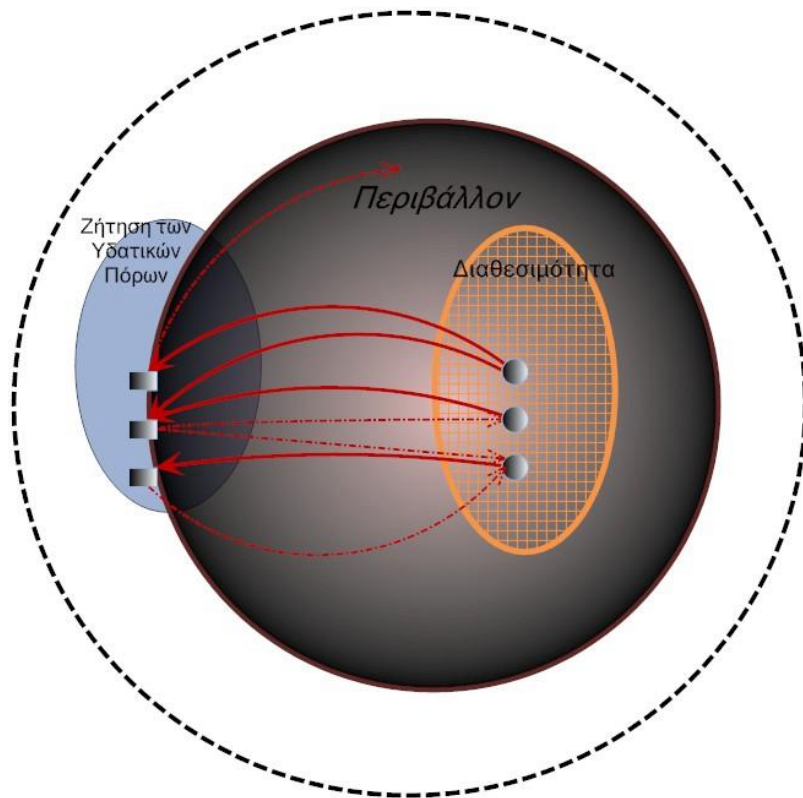
- Συστημική ανάλυση και πολλαπλά κριτήρια
- Διακριτά προβλήματα (υπάρχουσες εναλλακτικές)
- Εναλλακτικές
- Κριτήρια
- Συγκρισης εναλλακτικών, επιλογή μίας
- Vikor
- Παράδειγμα λειψυδρίας στο Κυκλαδικό χώρο
- Παράδειγμα Μεσαράς
- 0-1 programming
- Ταξινόμηση σε κατηγορίες
- Γαλλική σχολή των μεθόδων υπεροχής (διμερείς συγκρίσεις, κανόνας της αρνησικυρίας)

Σύστημα

- **γ' νόμος δράσης – αντίδρασης**
- Ο όρος «σύστημα» προέρχεται από το αρχαιοελληνικό ρήμα «συνίστημι» το οποίο σημαίνει «συγκροτώ, συνδυάζω, συνδέω, ενώνω» (Μηλάκης, 2006).
- Αντικείμενο μελέτης, το οποίο αποτελείται από ένα σύνολο συστατικών (αντικειμένων, ιδεών, ανθρώπων κ.λπ.), μέρος των οποίων ή και όλα συνδέονται ή **αλληλεπιδρούν** μεταξύ τους. Ορισμένα από τα συστατικά του συστήματος μπορεί επίσης να συνδέονται με άλλα συστήματα ή μόνο με ορισμένα συστατικά άλλων συστημάτων (Wilson, 1981). Οτιδήποτε βρίσκεται εκτός του συστήματος αποτελεί μέρος του περιβάλλοντός του, το οποίο με τη σειρά του αποτελεί ένα ακόμη σύστημα.

Συστημική θεώρηση στη ΣΔΥΠ

Βασικά χαρακτηριστικά συστήματος:
Ολότητα, Αλληλεπίδραση, Πολυπλοκότητα,
Σχέση με το περιβάλλον του



Κάθε έργο δημιουργεί στο περιβάλλον ένα σύνολο αντιδράσεων στο υδατικό σύστημα, στο περιβάλλον γενικότερα ☒ Συστημική προσέγγιση

Διαχείριση Υδατικών Πόρων είναι το σύνολο των ενεργειών (μέτρα, έργα, κανονιστικές διατάξεις, συμφωνίες κλπ.) για την αρμονική σχέση μεταξύ

- Υδατικών πόρων
- Κέντρων κατανάλωσης
- Περιβάλλοντος

τώρα αλλά και στο μέλλον με στόχο τη διατηρήσιμη ανάπτυξη

Συστημική προσέγγιση και πολλαπλά
κριτήρια:

Λαμβάνονται υπόψη όλες οι πτυχές
(υποσυστήματα κι αλληλεξαρτήσεις) του
συστήματος μέσω των κριτηρίων....

Λειψυδρία

| | Φυσικά Αίτια | Ανθρωπογενή Αίτια |
|---------------------|--------------------|--------------------------------------------------------|
| Προσωρινή κατάσταση | Ξηρασία (drought) | Έλλειμμα Νερού (water shortage) |
| Μόνιμη κατάσταση | Ξηρότητα (aridity) | Λειψυδρία Ερημοποίηση (Desertification) |

Λειψυδρία: μόνιμη ή περιστασιακή περίπτωση όπου η ζήτηση υπερβαίνει τους αξιοποιήσιμους υδατικούς πόρους. Αίτια:

- Ανθρωπογενή (αύξηση του πληθυσμού, η έλλειψη υποδομών κ.ά)
- Φυσικά
- Συνδυασμός

Ξηρασία: Το φαινόμενο κατά το οποίο οι ποσότητες εισερχόμενου διαθέσιμου νερού σε ένα σύστημα είναι **κάτω από τις κανονικές για μία σημαντική χρονική περίοδο** (Τσακίρης, 2013)



Πολυκριτηριακή ανάλυση με βάση τις μεθόδους υπεροχής

- Προβλήματα κατάταξης
- Μεικτά 0-1 προβλήματα με προβλήματα κατάταξης
- Ταξινόμηση σε:
 - Διατεταγμένες
 - Μη διατεταγμένες κατηγορίες
- Διμερείς συγκρίσεις συνήθως με βάση υπάρχουσες εναλλακτικές

Εφαρμογή ΔΥΠ σε πρόβλημα
λειψυδρίας στο νησιωτικό χώρο

Εναλλακτικές

- Διαμορφώνονται με βάση την εμπειρία, αποτελούν υποπρόβλημα
- Για παράδειγμα σε προβλήματα **λειψυδρίας** σε μικρό νησί. Εναλλακτικές:
 - Μεγάλο φράγμα σε θέση Α
 - Μικρό φράγμα σε θέση Α
 - **Λιμνοδεξαμενή**
 - Παράλληλη λειτουργία δεξαμενών
 - Ήπια εκμετάλλευση υπογείου ορίζοντα στη θέση Β
 - Εκμετάλλευση υπογείου ορίζοντα στη θέση Β
 - Αφαλάτωση (πιο γενικά, μη συμβατικοί υδατικοί πόροι)
 - Μεταφορά με πλοίο (σχόλιο με βάση την εμπειρία, δεν ενδείκνυται)(πιο γενικά μεταφορά νερού από άλλο υδατικό σύστημα)
 - Ήπιος περιορισμός της αρδευτικής ζήτησης νερού
 - Δραστικός περιορισμός της αρδευτικής ζήτησης νερού
 - Ήπιος περιορισμός της αστικής ζήτησης νερού
 - Και άλλες ανάλογα την περιοχή (π.χ. αλλού από ποταμό με αντλιοστάσιο)
 - Εκσυγχρονισμός δικτύων
 - Αυτοματισμοί
 - Αλλαγή τρόπου άρδευσης
 - Αλλαγή καλλιεργειών

11.3 ΛΙΜΝΟΔΕΞΑΜΕΝΕΣ

Μπέλλος, 2013

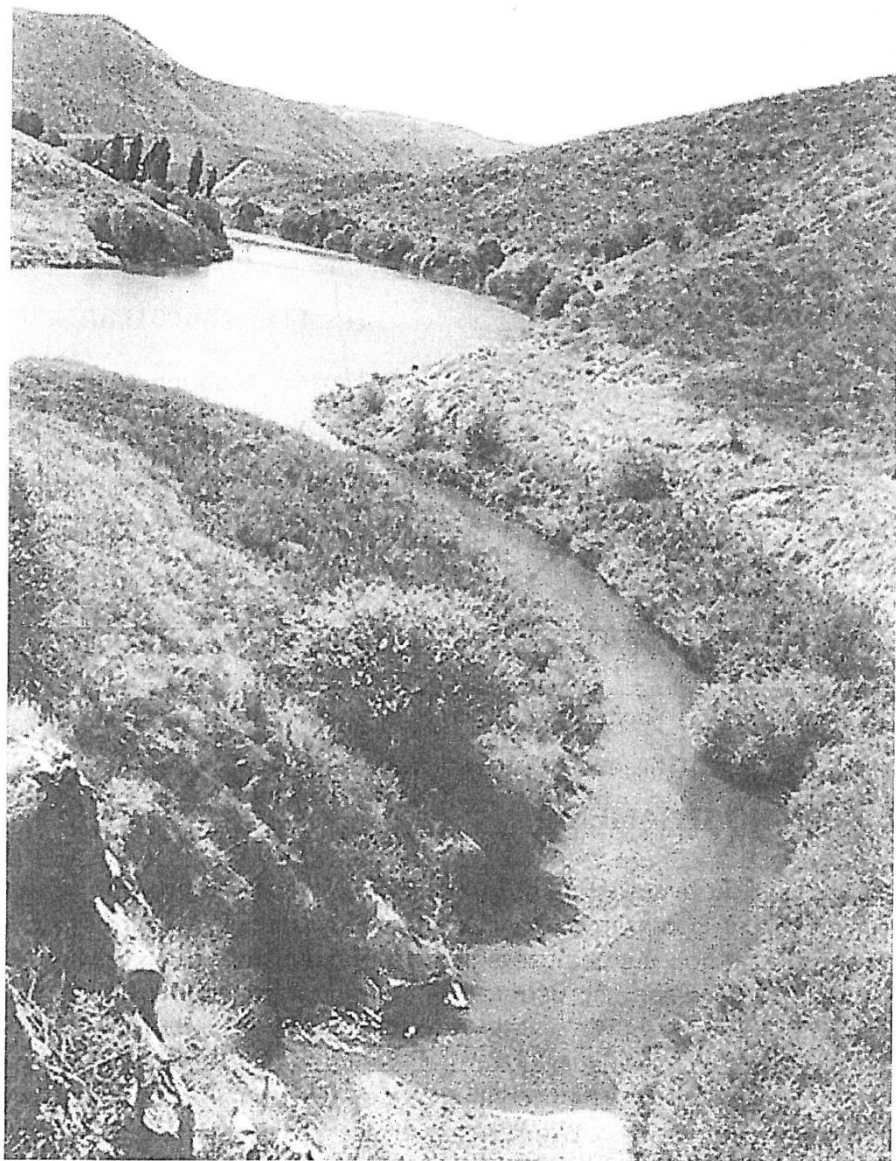
Σύμφωνα με όσα αναπτύχθηκαν στο πρώτο τμήμα του κεφαλαίου, η κατασκευή μεγάλων φραγμάτων τα τελευταία χρόνια τείνει να μειωθεί λόγω μειονεκτημάτων που παρουσιάζουν και του γεγονότος ότι στις ανεπτυγμένες χώρες οι πλεονεκτικές θέσεις των ποτάμιων συστημάτων έχουν ήδη αξιοποιηθεί.

Τα τελευταία χρόνια υπάρχει τάση αξιοποίηση των λεγομένων «ορεινών μικρών ταμιευτήρων» (Laghetti collinari) οι οποίοι παρουσιάζουν μικρότερα περιβαλλοντολογικά προβλήματα και αναφέρονται με την ονομασία λιμνοδεξαμενές (Καπλανίδης, 2008) (Εικόνα 11.3). Με τον όρο «λιμνοδεξαμενές» εννοούμε μικρούς ταμιευτήρες, με χωρητικότητα από 30.000 μέχρι 1.000.000 m³ περίπου, που δημιουργούνται με την κατασκευή αναχωμάτων σε κοίτες μικρών ποταμών ή χειμάρρων με ήπιο ανάγλυφο και μερικές φορές εκτός κοιτών με τη διαμόρφωση κατάλληλου χώρου (εξωποτάμιες λιμνοδεξαμενές). Στη δεύτερη περίπτωση η τροφοδοσία νερού γίνεται με κατάλληλα έργα υδροληψίας και μεταφοράς του νερού με προσαγωγό διώρυγα ή κλειστό αγωγό ανάλογα με τις ειδικές συνθήκες του έργου. Το νερό που αποθηκεύεται σ' αυτές προέρχεται συνήθως από χειμάρρους ή πηγές και χρησιμοποιείται για αρδευτικούς ή υδρευτικούς σκοπούς.

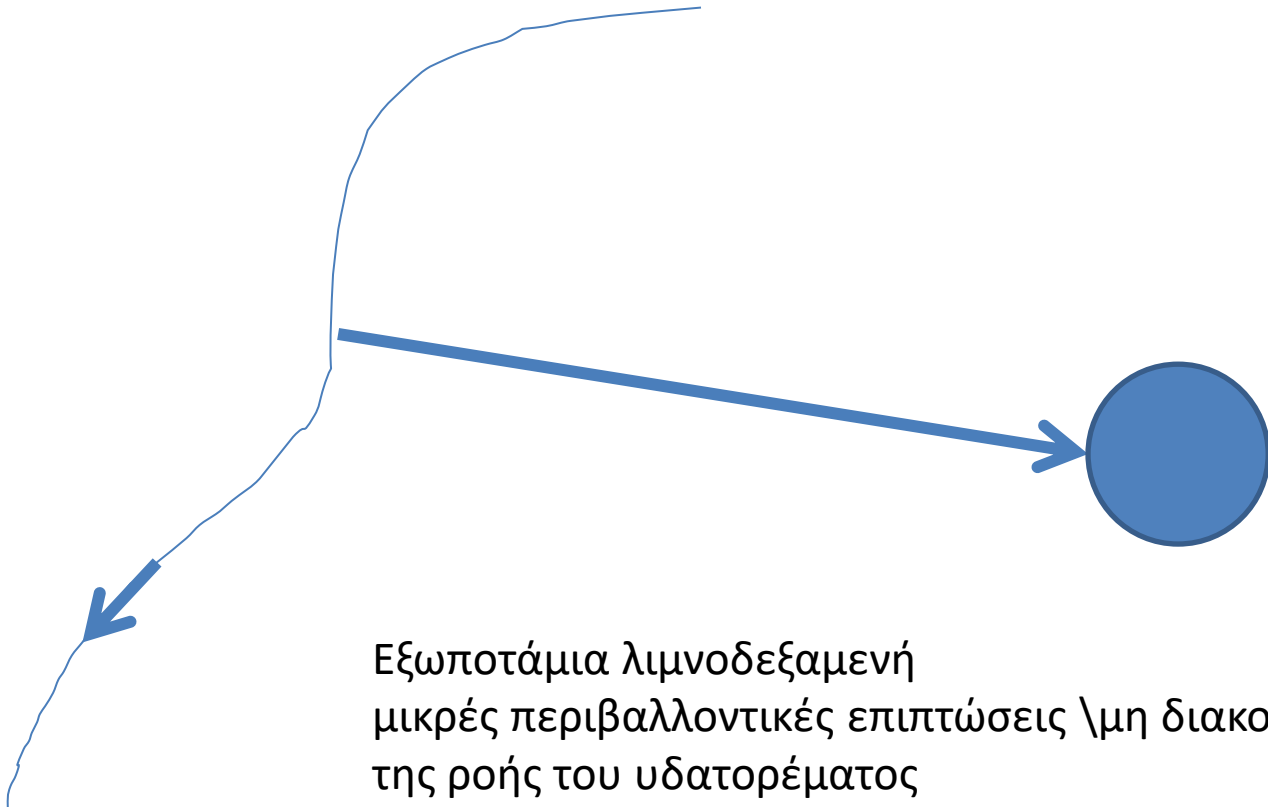
Οι λιμνοδεξαμενές δεν τοποθετούνται σε κοιλάδες όπου ρέει μεγάλο υδατόρρευμα ή σε περιοχές με έντονο ανάγλυφο. Κατασκευάζονται σε κατάλληλες θέσεις από τοπογραφική άποψη με την κατασκευή αναχώματος κατάλληλου ύψους και με εκσκαφές στα πρανή του υπόλοιπου χώρου. Η στεγανότητα των γεωλογικών σχηματισμών δεν είναι απαραίτητη λόγω της χρήσης στεγανοποιητικών μεμβρανών. Κριτήριο για τη διαμόρφωση του κόστους εκτός της στεγανότητας των σχηματισμών, είναι και η σκληρότητα του εδάφους και η ευκολία εκσκαφής.

Η τροφοδοσία των εξωποτάμιων δεξαμενών γίνεται με την κατασκευή φράγματος εκτροπής στην κοίτη του χειμάρρου τροφοδοσίας και επιδιώκεται η προσαγωγή της βασικής απορροής και όχι πλημμυρικών απορροών.

Λιμνοδεξαμενές: ήπιο έργο με μέτριες συνέπειες,
μικρότερο αρχικό κόστος, αλλά...
μεγαλύτερο κόστος ανά κυβικό



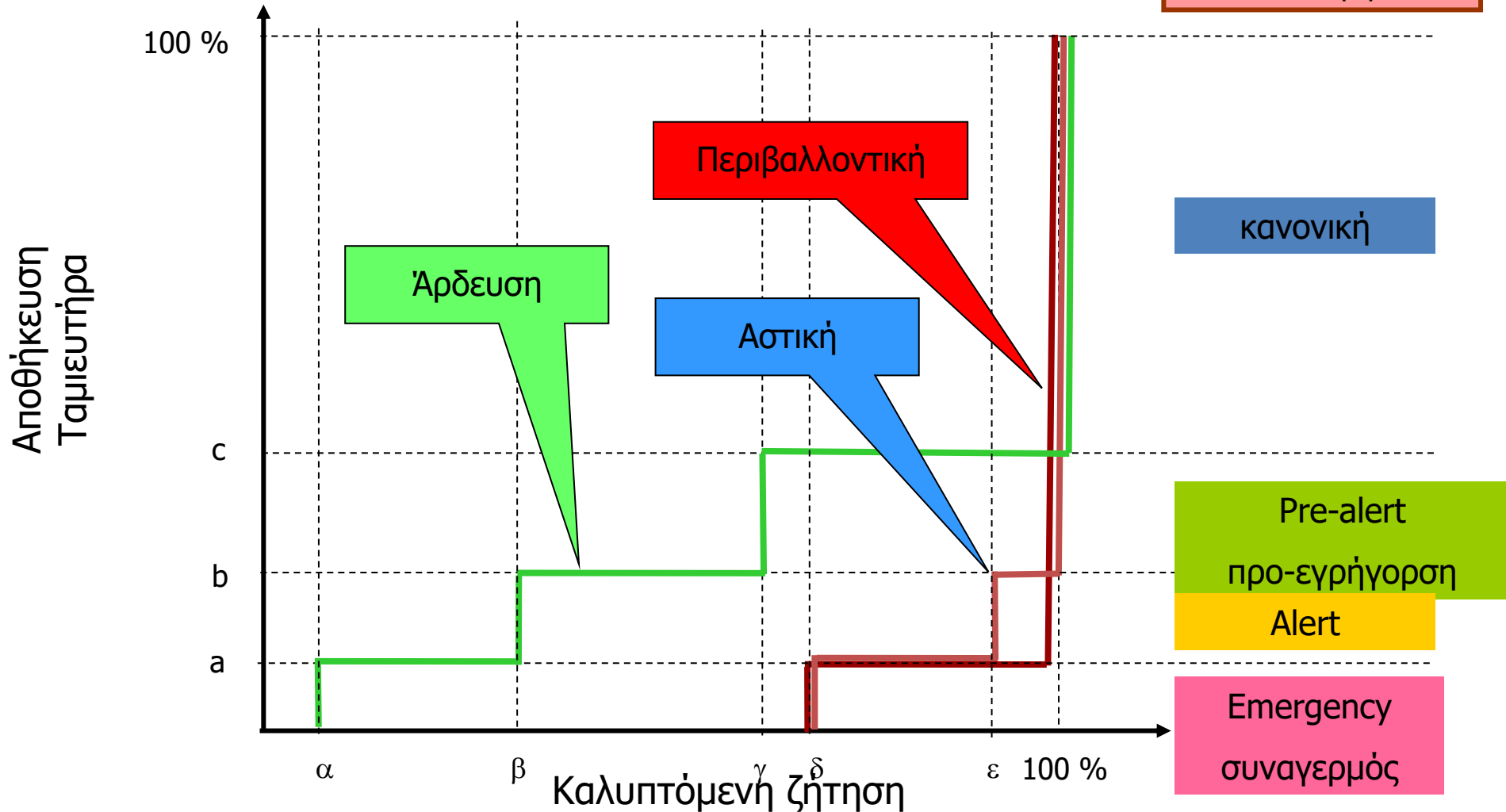
Εικ. 11.3: Λιμνοδεξαμενή σε λοφώδες ανάγλυφο.



Εναλλακτικές περιορισμού της ζήτησης

Αντισταθμιστικοί κανόνες

Για ένα μήνα



Do nothing εναλλακτική

- Η σημερινή κατάσταση ως έχει...
- Θα πρέπει να έχει χαμηλή σειρά κατάταξης και πάντως να μην επιλεγθεί.
- Ένας τρόπος να ελεγχθεί πρόχειρα το διαμορφούμενο σύστημα λήψης απόφασης.

Μη συμβατικές μέθοδοι/ υφάλμυρες πηγές

Σε περιπτώσεις υδατικού ελλείμματος:

Χρήση μη συμβατικών πηγών και πρακτικών:

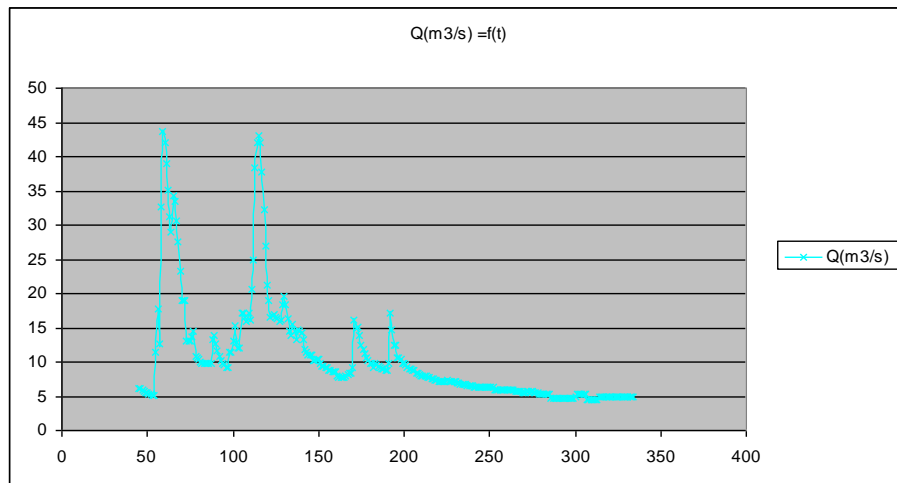
- Υφάλμυρες πηγές
- Αφαλάτωση
- Ανακτημένης ποιότητας νερά
- Ελλειμματική ή Υποβαθμισμένης ποιότητας άρδευση



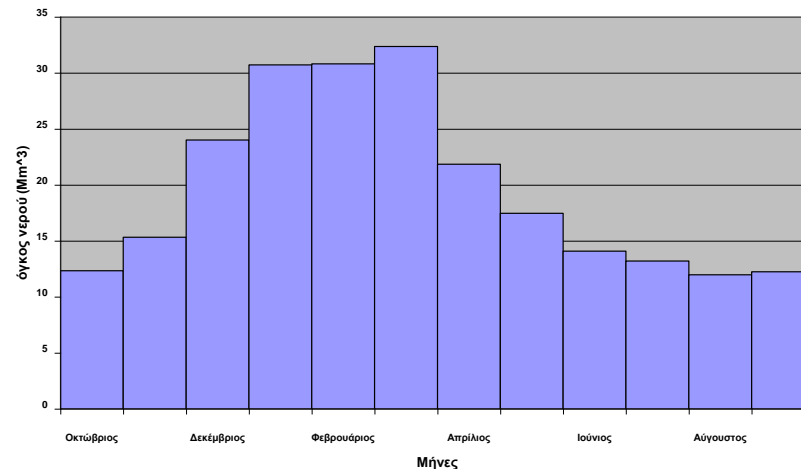
Η υφάλμυρη πηγή του Αλμυρού κείται 10 km δυτικά από το Ηράκλειο σε υψόμετρο 4m σε απόσταση 1 Km από τη θάλασσα .

- Περιοδικότητα στην ποιότητα.
- Παροχή: $4\text{m}^3/\text{s}$ έως $70\text{-}80\text{m}^3/\text{s}$
- Μέσες ετήσιες ποσότητες: $250 \times 10^6\text{m}^3$

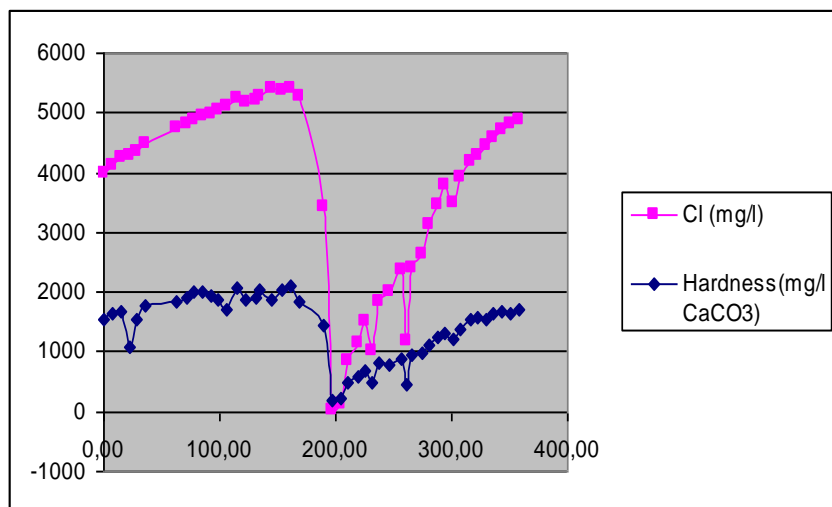
Μεταβολή παροχής μέσα στο έτος



Μέση μηνιαία παροχή



Μεταβολή ποιότητας στο έτος



21 $\times 10^6$ m³ ως πόσιμο για το έτος 1999 – 2000 (όσο περίπου οι ανάγκες ύδρευσης του Ηρακλείου...) αλλά σε reak, τεχνική δυσκολία, κλίσεις κλπ.

Κριτήρια

- Εξαρτώνται από τους στόχους
- Κριτήρια κόστους, προσοχή στη χρονική βάση, από πολλούς διαχωρίζονται τα κόστη σε ξεχωριστά κριτήρια (και όχι ενοποίηση με βάση τη διαχρονική αξία του χρήματος)
- Εναλλακτικά, **κριτήριο κόστους ανά κυβικό μέτρο νερό** που ενσωματώνει αναπτυξιακά κριτήρια (επομένως εμπεριέχεται και ένα όφελος) προκρίνει όμως μεγάλα έργα
- Κοινωνικές επιπτώσεις (π.χ. από κατάκλιση μιάς έκτασης)
- Περιβαλλοντικές επιπτώσεις (φράγμα αποτελεί μία μη ήπια παρέμβαση στο περιβάλλον), ωστόσο ενδέχεται να έχει και θετικές επιπτώσεις
- Οφέλη: π.χ. προστασία από πλημμύρα
- Κριτήρια τεχνικής εφικτότητας
- Κριτήρια ποιότητας νερού (πολύ σημαντικά για άρδευση)

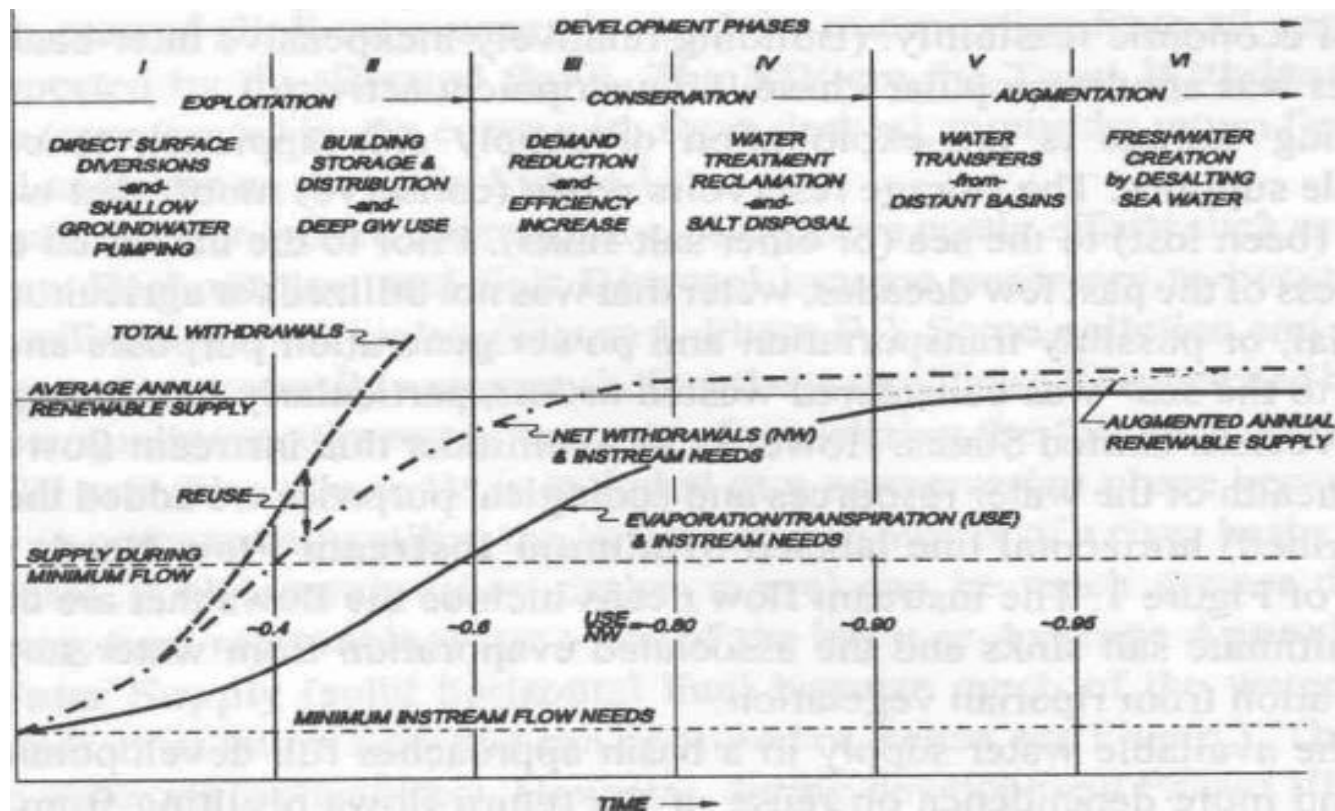
Κριτική της μεθόδου κόστους αποτελεσματικότητας

- Κατατείνει στην επιλογή μεγάλων υδραυλικών έργων που πολλές φορές δεν είναι φιλικά προς το περιβάλλον (Aulong et al., 2009).
- Δε λαμβάνει άμεσα υπόψη τις κοινωνικές, περιβαλλοντικές και ιδιαίτερες τεχνικές
- Αδύνατη η διάκριση όμοιων εναλλακτικών (π.χ. ήπια ή εντατική χρήση υπογείων νερών, Spiliotis, 2012).

Έννοια των φάσεων αξιοποίησης των υδατικών πόρων μιας λεκάνης απορροής και δείκτης καταλληλότητας μιας εναλλακτικής

Φάσης αξιοποίησης: Εκτός της περιβαλλοντικής διάστασης ενσωματώνουν και την εφικτότητα

Π.χ. Αφαλάτωση θα πρέπει να επιλεγεί πρωθύστερα από την ανάπτυξη λιμνοδεξαμενής στο στάδιο I ?



Φάση ανάπτυξης μιας λεκάνης απορροής και το κριτήριο κόστους αποτελεσματικότητας

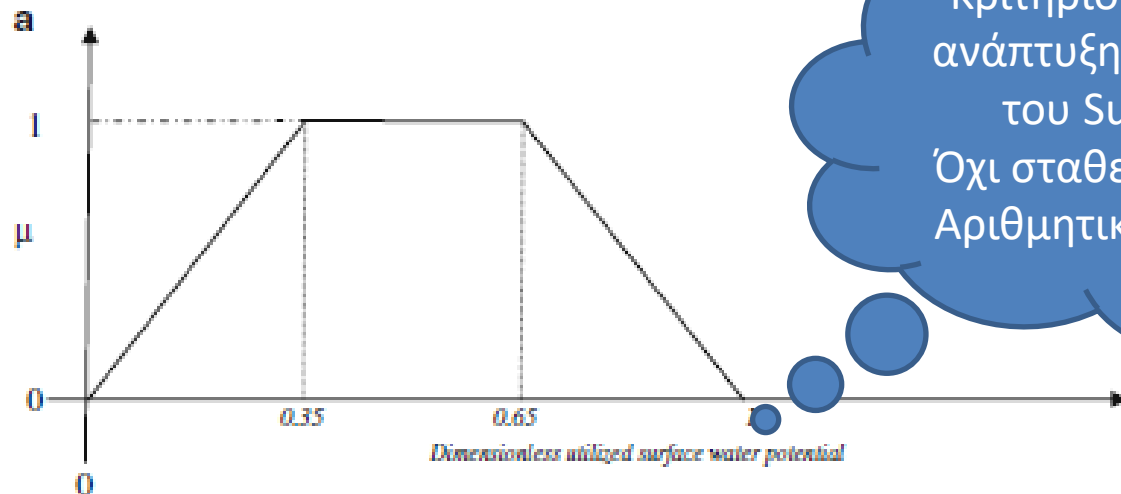
Κριτήρια / ποιοτική αξιολόγηση

- Περιβαλλοντικές επιπτώσεις
- Κοινωνικές επιπτώσεις
- Αξιολόγηση ποιοτικά από το ένα ως το τρία ή από το ένα έως το πέντε ή από το ένα ως το εννιά, ανάλογα από τη δυνατότητα βαθμωτής αξιολόγησης
- Εναλλακτικά, ασαφείς αριθμοί

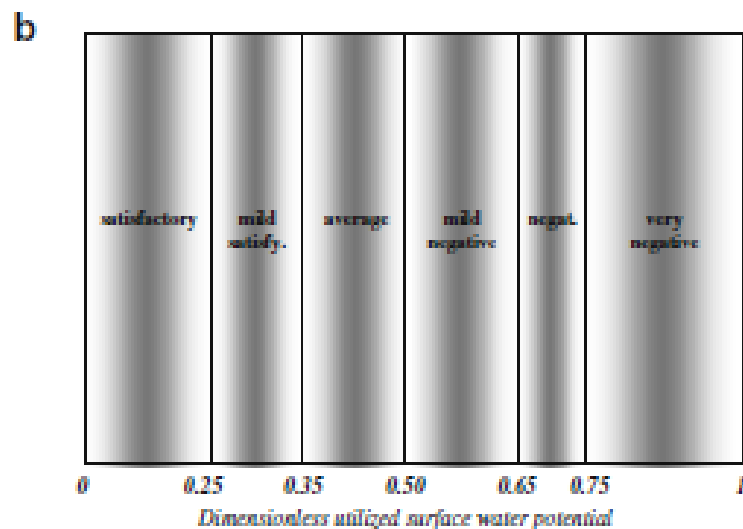
Κριτήρια/Δείκτες

- Πολλές φορές αντί μιας σύνθετης αποτίμησης των κριτηρίων χρησιμοποιείται μία ιδιότητα, ή έστω μία αλγεβρική πράξη (συνήθως απλή) μεταξύ διαφόρων ισοτήτων που χαρακτηρίζουν το κριτήριο. Έτσι, με ευθύνη του αναλυτή και για ένα φυσικό-τεχνικό πρόβλημα χρησιμοποιούνται δείκτες για την αποτίμηση του κριτηρίου.

Επιφανειακά νερά: Κριτήριο ορθολογικής ανάπτυξης πόρου
 και περιβαλλοντικό κριτήριο
 Tsakiris and Spiliotis, 2011



Κριτήριο ορθολογικής
 ανάπτυξης, συνάρτηση
 του Supply/MAR
 Όχι σταθερή μονοτονία
 Αριθμητική αξιολόγηση



Περιβαλλοντικό
 κριτήριο, συνάρτηση
 του Supply/MAR
 Σταθερή μονοτονία
 Όμως...
 Ποιοτική αξιολόγηση

Fig. 4 a The membership function of the rational water resources development criterion for projects of surface water exploitation. b The linguistic values of satisfaction of the environmental criterion of surface water exploitation

Υπόγεια νερά: Κριτήριο ορθολογικής
ανάπτυξης πόρου και περιβαλλοντικό
κριτήριο

Tsakiris and Spiliotis, 2011

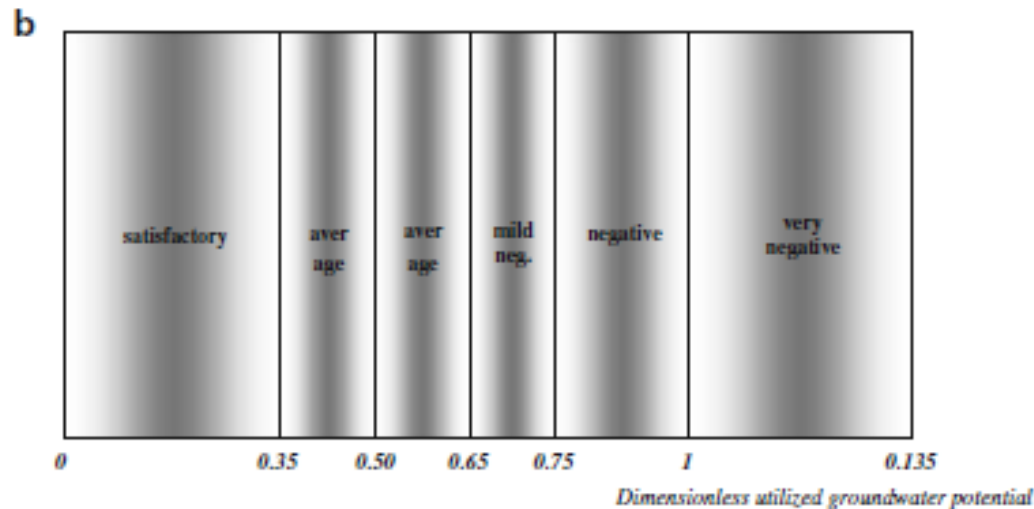
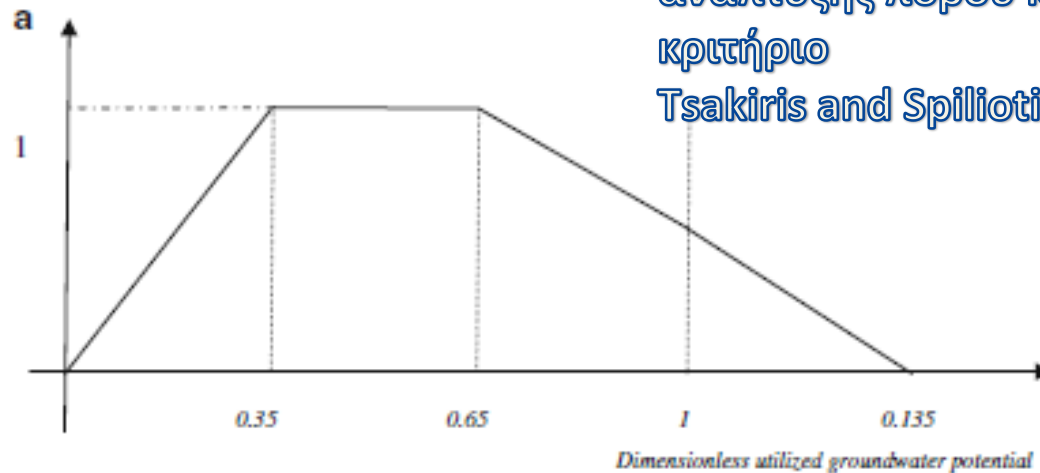


Fig. 5 a The membership function of the rational water resources development criterion for projects of exploitation of groundwater. b The linguistic values of satisfaction of the environmental criterion of surface water exploitation

Λίγο αυστηρό το
περιβαλλοντικό
κριτήριο, αλλά η
έντονη
διακύμανση της
στάθμης των
υπογείων νερών
καλό είναι να
αποφεύγεται
(Berbel)



Table 1 Estimation of the score of alternatives implemented up to 2011 ($j = 1$)

| Alternatives | Criteria | | | | | Water energy consumptions | Additional available annual volume of water (m ³) | Multicriteria (value of scoring function) ranking |
|----------------------------------|--------------|-----------------------------------|------------|----------------------|-------------------|---------------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| | Alternatives | Rational water development (veto) | Economic | Environmental (veto) | Project viability | | | |
| 2011 | | W1 = 0.3 | W2 = 0.175 | W3 = 0.175 | W4 = 0.175 | W5 = 0.175 | | |
| Dam of Faneromeni | | Existing | Existing | Existing | Existing | Existing | Available 1,100,000 (municipal) | - |
| Offstream reservoir of Eggares | | Existing | Existing | Existing | Existing | Existing | Available 500,000 (agricultural) 150,000 (municipal) | - |
| Groundwater 2 | | Existing | Existing | Existing | Existing | Existing | Available 350,000 (municipal) 200,000 (agricultural) | - |
| Reduction of demand | X_{1-1} | 0.000 | 1.000 | Satisfactory | Mild negative | 1 | 1,000,000 (agriculture) | -0.054 |
| Dam of Tsiggalario | X_{2-1} | 0.900 | 0.522 | Negative | Satisfactory | 1 | 2,200,000 (agriculture) | -0.093 |
| Eggares+Eggares 2+ Faneromeni | X_{3-1} | 1.000 | 0.475 | Average | Mild satisfactory | 0.4 | 500,000 (municipal) 150,000 (agricultural) | 0.158 |
| Faneromeni+ Faneromeni 2+Eggares | X_{4-1} | 1.000 | 0.454 | Average | Mild satisfactory | 0.4 | 500,000 (municipal) | 0.147 |

Project Viability

- Ωριμότητα έργου
- Κοινωνική αποδοχή
- Υπάρχουσα τεχνογνωσία / εμπειρία από το προσωπικό
- Συνυπολογισμός τοπικών δυσκολιών

ΔΕΙΚΤΗΣ ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑΣ

- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί όπου δεν υπάρχει ποιοτικό πρόβλημα για την αποτίμηση του κριτηρίου βιωσιμότητας.
- I_U , λόγος μεταξύ των μέσων ετησίων ποσοτήτων νερού που δεν χρησιμοποιούνται προς τιμές ετήσιες ποσότητες νερού (MAR)
- Χαμηλές τιμές: υψηλή χρήση του υπάρχοντος υδατικού δυναμικού. Σε υπερβάλλουσα ζήτηση ή ξηρασία αυτά τα συστήματα είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα.

$$I_U = \frac{Y - \sum_{i=1}^{i=K} S^i}{Y}$$

«νερό που δε χρησιμοποιείται»

Χαμηλές τιμές, συστήματα με μεγάλη ευαισθησία, δυσκολία εύρεσης λύσης με τους υπάρχοντες Υ.Π/

- Κατώφλι: 40%

Μεσαρα κρητης, παράδειγμα
λειψυδρίας (από Κριστωτακη Ανθη
διπλωματική)

Η μέχρι σήμερα πολιτική της Περιφέρειας Κρήτης, αλλά και γενικότερα η εθνική πολιτική, ήταν η αύξηση της προσφοράς νερού είτε με την εκμετάλλευση των υπόγειων νερών (γεωτρήσεις), είτε με την κατασκευή ταμιευτήρων.

Η πολιτική αυτή για την περιοχή εφαρμόζεται με σενάρια κάλυψης της ζήτησης

Σήμερα επιδιωκόμενο, τόσο από την οδηγία 2000/60/ΕΚ όσο και από την ορθολογική διαχείριση του νερού, είναι παράλληλα με την αύξηση της προσφοράς του νερού, η πολιτική να συμπεριλάβει τη διαχείριση της ζήτησης, την προστασία των οικοσυστημάτων και όλα αυτά υπό το πρίσμα των επιπτώσεων των αναμενόμενων κλιματικών αλλαγών.

Η παρούσα εργασία υιοθέτησε την πολιτική αυτή και μελέτησε τη διαχείριση των νερών της Μεσαράς συμπεριλαμβάνοντας την προσφορά νερού, τη διαχείριση της ζήτησης, την προστασία των οικοσυστημάτων και υδροφορέων, τις οικονομικές επιπτώσεις στην τοπική οικονομία σε δύο χρονικούς ορίζοντες 2021 και 2051 καθώς και τις αναμενόμενες επιπτώσεις των κλιματικών αλλαγών το 2051.

Επιλέχθηκε μέθοδος πολυκριτηριακής ανάλυσης- Πολυκριτηριακή μέθοδος Vikor

Η πολυκριτηριακή μέθοδος, η οποία εφαρμόσθηκε στην παρούσα μελέτη, περιλαμβάνει τα ακόλουθα τέσσερα βήματα:

- ✓ μία ομάδα εναλλακτικών λύσεων,
- ✓ μία ομάδα κριτηρίων αξιολόγησης,
- ✓ μία ομάδα πολυκριτηριακής αξιολόγησης των εναλλακτικών (βαθμούς κατάταξης που προκύπτουν όταν κάθε εναλλακτική αξιολογηθεί στη βάση κάθε κριτηρίου)
- ✓ λήψη απόφασης : βελτιστοποίηση αξιολόγησης των εναλλακτικών για την τελική επιλογή των λύσεων.

Ομάδα Εναλλακτικών Λύσεων (Π.Μ. Vikor)

Η διαμόρφωση των εναλλακτικών πραγματοποιήθηκε λαμβάνοντας υπ' όψιν:

- την υφιστάμενη κατάσταση,
- τις προτάσεις των Φορέων διαχείρισης υδάτων,
- τις προτάσεις μελετών και Ινστιτούτων.

Οι εναλλακτικές αυτές αναφέρονται στο δίπολο του ισοζυγίου προσφοράς-ζήτησης νερού, που επιφέρουν την ορθολογικότερη διαχείριση υδατικών πόρων καθώς και την περιβαλλοντική αποκατάσταση των υδατικών συστημάτων και των εξαρτώμενων οικοσυστημάτων.

Επιπλέον οι ίδιες υδατικές δράσεις, αφορούν εναλλακτικές για τα έτη 2021 (υφιστάμενη) και 2051, καθώς αποτελούν διαφορετικές εναλλακτικές.

Επίσης τονίζεται ότι η ανάλυση που πραγματοποιήθηκε αναφέρεται για το σύνολο της περιοχής μελέτης, όπως αυτή προσεγγίστηκε αναλυτικότερα, στους επιμέρους υδροφορείς, στα προηγούμενα κεφάλαια.

Ομάδα Εναλλακτικών Λύσεων (Π.Μ. Viktor)

X_{1-1} : Μείωση της αρδευτικής ζήτησης



Η εναλλακτική αυτή αφορά τον περιορισμό της αρδευτικής ζήτησης νερού, η οποία μπορεί να προέλθει από τη διαχείριση της ζήτησης στην περίπτωση των ελιών. Σύμφωνα με την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε, η ζήτηση υπολογίσθηκε με βάση συντελεστών της *Διεύθυνσης Υδάτων*. Στην περίπτωση των ελιών ο συντελεστής εκτιμήθηκε σε $280 \text{ m}^3/\text{στρ.}$, όμως μελέτη του Μεσογειακού Αγρονομικού Ινστιτούτο Χανίων (ΜΑΙΧ) υπολόγισαν ότι η βέλτιστη άρδευση με την εφαρμογή κατάλληλων μεθόδων (άρδευση με σταγόνες) ανέρχεται σε $190 \text{ m}^3/\text{στρ}$ ελιών (Μπερτάκη κα, 2000).

Στα θετικά της στάγδην άρδευσης συγκαταλέγονται ότι έχει χαμηλές πιέσεις, ποτίζουμε συνεχόμενα σε ένα μέρος, έχει μειωμένες ανάγκες εξατμισοδιαπνοής καθώς και καλύτερη απόδοση.

Επομένως, η μείωση της ζήτησης των ελιών κατά 20% θεωρείται ένα σενάριο ρεαλιστικό και μπορεί να εφαρμοσθεί άμεσα, με την ανάληψη κατάλληλων μέτρων διαχείρισης νερού και ενημέρωσης καλλιεργητών.

Ομάδα Εναλλακτικών Λύσεων (Π.Μ. Vikor)

X_{1-2} : Αναδιάρθρωση καλλιεργειών με καλλιέργειες περισσότερο υδροβόρες
(υπαίθρια κηπευτικά αντί ελιές)

X_{1-3} : Αναδιάρθρωση καλλιεργειών με καλλιέργειες λιγότερο υδροβόρες
(ελιές αντί υπαίθρια κηπευτικά).

X_{1-4} : Αύξηση της έκτασης άρδευσης όλων των καλλιεργειών κατά 20%

X_{1-5} : Αλλαγή χρήσης νερού από αρδευτική σε τουριστική

Ομάδα Εναλλακτικών Λύσεων (Π.Μ. Viktor)

X_{1-6} : Λειτουργία φράγματος Πλακιώτισσας

Το φράγμα έχει κατασκευασθεί, όμως η κατασκευή των δικτύων διανομής αρδευτικού νερού είναι υπό κατασκευή. Με την ολοκλήρωση κατασκευής των δικτύων θα υδατοπρομηθεύει την περιοχή μελέτης με 6 Mm^3

Το κόστος κατασκευής ανέρχεται σε $2,5 * 10^6$. €

Φωτο: κατασκευή Φράγματος Πλακιώτισσας

Η ολοκλήρωση του έργου (κατασκευή δικτύων και πλήρωση ταμιευτήρα) εκτιμάται σε 3 έτη

Το συνολικό κέρδος που θα προκύψει από την άρδευση των μη αρδευόμενων καλλιεργειών της περιοχής (Αμπέλια, Ελιές) είναι $2,8 * 10^6$ €



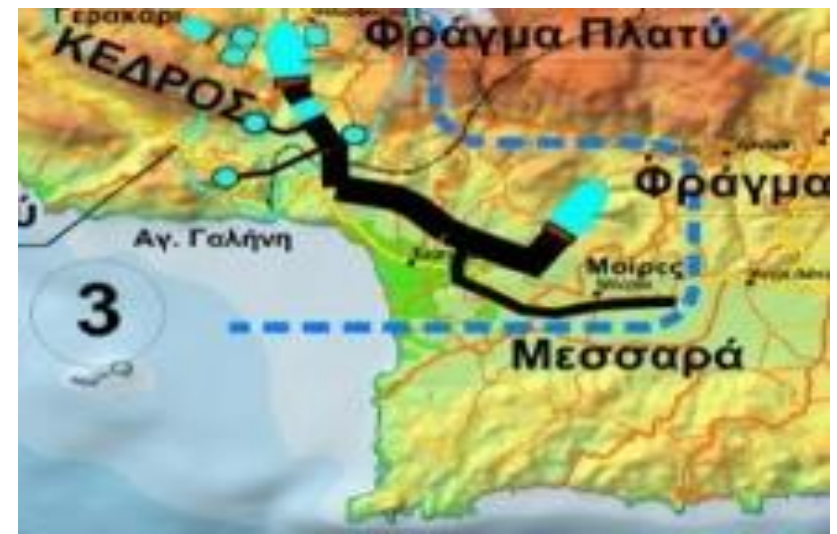
Ομάδα Εναλλακτικών Λύσεων (Π.Μ. Viktor)

X₁₋₇: Κατασκευή φράγματος και εκτροπή Πλατύ ποταμού- εμπλουτισμός φράγματος Φανερωμένης και υδροφορέα Μοιρών

Σύμφωνα με την τεχνική μελέτη του έργου και την περιβαλλοντική του αδειοδότηση, προβλέπεται η μεταφορά 17,9 Mm³ (αγωγός διαμ. 1200 mm) στο φράγμα Φανερωμένης και εμπλουτισμό της λεκάνης δυτικής Μεσαράς- Μοιρών, για την ενίσχυση του ελλειμματικού υδατικού ισοζυγίου της. Η προτεινόμενη ποσότητα των 17,9 Mm³ που θα μεταφερθεί στη Μεσαρά κατανέμεται αρχικά σε 10 Mm³ για εμπλουτισμό του φράγματος Φανερωμένης και 7,9 Mm³ για τον τεχνητό εμπλουτισμό του υδρογεωλογικού συστήματος της Μεσαράς- Μοιρών.

Το κόστος κατασκευής ανέρχεται σε 46 * 10⁶ €

Το κέρδος από τα παραπάνω αφορούν τα 10 Mm³ που θα αρδεύσει ελιές στην περιοχή Μοιρών και Τυμπακίου εκτιμάται σε 5,4 * 10⁶ €



Ομάδα Εναλλακτικών Λύσεων (Π.Μ. Viktor)

Χ₁₋₈: Εφαρμογή Ολοκληρωμένο δίκτυο Τηλεελέγχου, Τηλεχειρισμού και Τηλεμέτρησης αρδευτικών παροχών

Το δίκτυο αυτό θα είναι συζευγμένο με αντλιοστάσια, με σύστημα μέτρησης της δαπανώμενης ηλεκτρικής ενέργειας, και με δίκτυο Αγρομετεωρολογικών Σταθμών. Τα συστήματα αυτά προσφέρουν μεγάλη εξοικονόμηση, πάνω από 40%, τόσο του νερού, όσο και της ηλεκτρικής ενέργειας (δεδομένα από τον ΤΟΕΒ Ήρας – Κουρτακίου).

Με την ολοκλήρωση εγκατάστασης του ΟΔΤΤΤ θα εξοικονομηθεί ποσότητα νερού της τάξης των 7,8 Mm³

Το κόστος κατασκευής ανέρχεται σε 21 * 10⁶ € (εκτίμηση με συγκριτικά στοιχεία του ΤΟΕΒ Ήρας)

A screenshot of a software interface for irrigation system control. The interface is in Greek and includes the following elements:

- Όνομα: Πρόγραμμα πρώτης ζώνης
- Επιλεγμένοι: * Ενεργοποιημένη / Απενεργοποιημένη
- Καταβολές: Τύποι εκτέλεσης
- Ημέρα έναρξης: 27 Ιουν 2019 14:00
- Ημέρα τέλους: [empty field]
- Διάστημα επανάληψης:
 - Μη επαναλαμβανόμενη εκτέλεση
 - Συνεχόμενο
 - Ημερήσιο
 - Μέρη της εβδομάδας: [empty field]
 - Κόβει: [empty field] Ημέρες
- Παράμετροι διαστήματος επανάληψης:
 - Συντελεστής άνδρασης: 1.0
 - Κόβει ανά ημέρα: 1
 - Καθυστέρηση μεταξύ των κόβων: 0 h 0 m
- Επιπλέον μια φορά σε: [empty field]



Κριτήρια Αξιολόγησης Εναλλακτικών Λύσεων (Π.Μ. Vikor)

Τα κριτήρια με βάση τα οποία αξιολογήθηκαν οι εναλλακτικές είναι τα εξής:

- α) Το κόστος κατασκευής των υποδομών
- β) Το τοπικό κοινωνικό-οικονομικό κριτήριο
- γ) Η ωριμότητα του έργου
- δ) Η παραγωγή νερού (συμπεριλαμβάνοντας επιπτώσεις κλιματικών αλλαγών 2051)
- ε) Η εξοικονόμηση νερού
- στ) Το περιβαλλοντικό κριτήριο (σύμφωνα με τις ευρωπαϊκές οδηγίες)
- ζ) Το κόστος κατασκευής ανά m^3 παραγωγής νερού.

Πολυκριτηριακή μέθοδος VIKOR

ΜΕΘΟΔΟΣ VIKOR

- Διεύρυνση του συμβιβαστικού προγραμματισμού –S διαδικασία –**κανόνας της πλειοψηφίας – απόσταση από ιδεατή λύση**


$$S_i = \sum_{j=1}^n w_j \left| \frac{f_j^* - f_{ij}}{f_j^* - f_j^-} \right|, \quad i = 1, \dots, m$$



αντισταθμιστική λειτουργία

ΜΕΘΟΔΟΣ VIKOR

- R διαδικασία – κανόνας σεβασμού της μειοψηφίας

$$R_i = \max_j w_j \left| \frac{f_j^* - f_{ij}}{f_j^* - f_j^-} \right|, \quad i = 1, \dots, m$$


Περισσότερο
ισόρροπες
λύσεις

Μη αντισταθμιστική λειτουργία

Μεγαλώνει την απόσταση από την ιδεατή λύση
ακόμη και αν μόνο ένα κριτήριο έχει κακή
επίδοση

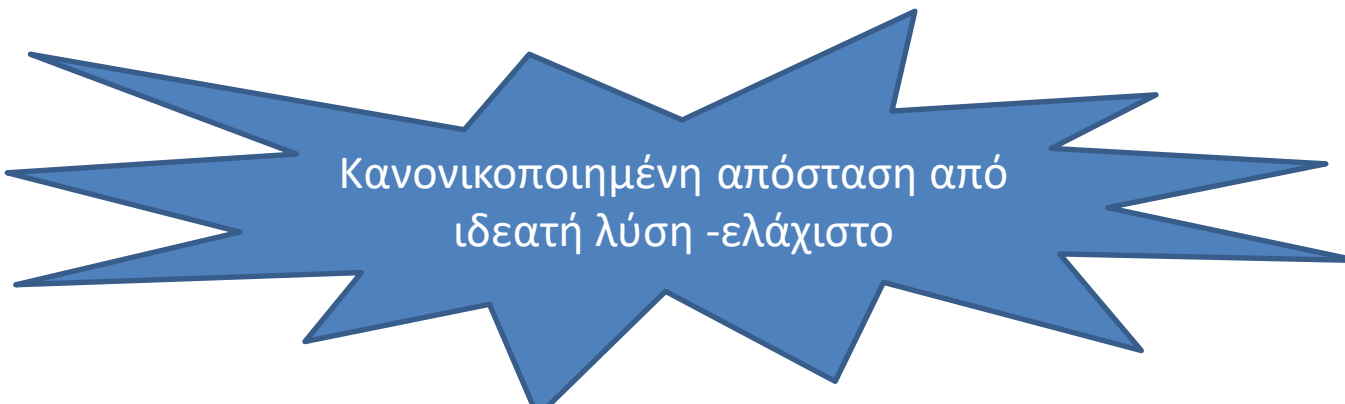
Σύνθεση των δύο μέτρων

- Σύνθεση S και R

$$Q_i = \nu \frac{S_i - S^*}{S^- - S^*} + (1 - \nu) \frac{R_i - R^*}{R^- - R^*}, \quad i = 1, \dots, m$$

$$S^* = \min_i S_i, \quad S^- = \max_i S_i$$

$$R^* = \min_i R_i, \quad R^- = \max_i R_i$$



Κανονικοποιημένη απόσταση από
ιδεατή λύση -ελάχιστο

- Επιλέγεται η λύση με το μικρότερο S και επιπλέον

- Συνθήκη C1 (*Συγκριτικό πλεονέκτημα*):

$$Q(A'') - Q(A') \geq DQ$$

όπου A'' είναι η αμέσως επόμενη καλύτερη εναλλακτική στην Q -λίστα και

$$DQ = \frac{1}{m-1}$$

- Συνθήκη C2 (*Ευστάθεια*): Η εναλλακτική A' είναι η καλύτερη (minimum) ως προς S ή/και R .

Συνήθης προσέγγιση: Επιλέγω μόνο μία
εναλλακτική:

Την πιο κατάλληλη με βάση την
αξιολόγηση με πολλαπλά κριτήρια (και
σε κάποιες μεθόδους με διμερείς
συγκρίσεις π.χ. Promethee II)

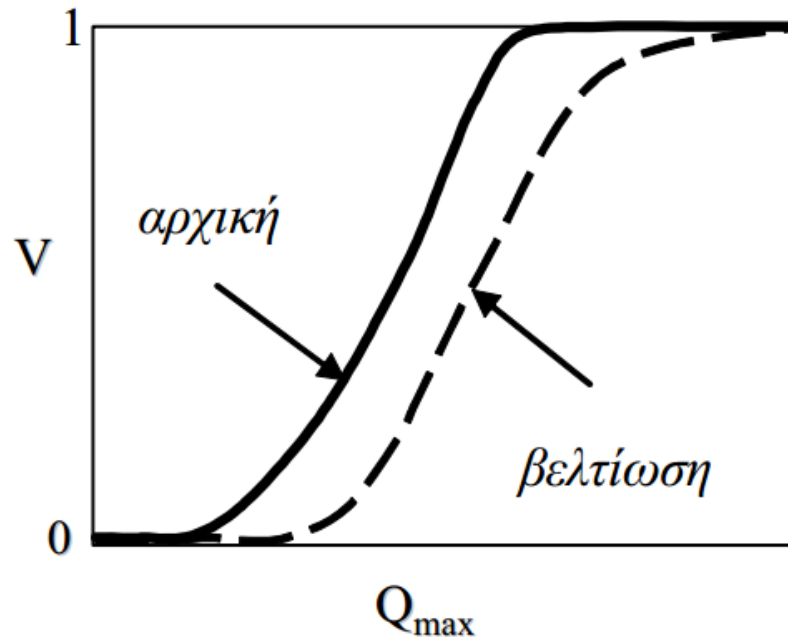
Τρωτότητα στη ξηρασία- πλημμυρα

Διακινδύνευση, R

- $\{R\} = \{H\} \times \{V\}$ ή $\{R\} = \{H\} \times \{V\} \times \{C\}$
- H : κίνδυνος, πιθανότητα ...αλλάζει με κλιματική αλλαγή
- V τρωτότητα, μεταβαλλόμενο μέγεθος χαρακτηρίζει το σύστημα Υ.Π.
- C κόστος, η άλλο μέγεθος με βάση τις χρ.μονάδες

Τρωτότητα
εξαρτάται από το σύστημα, υποδομή αλλά και
από τις ακολοθουμενες πολιτικές

Τρωτότητα – Μέγεθος φαινομένου



Συνιστώσες τρωτότητας

EXPOSURE
ΈΚΘΕΣΗ



Η φύση και ο βαθμός όπου ένα σύστημα αντιμετώπισε περιβαλλοντικά (π.χ. πλημμύρες) ζητήματα (ιστορική εμπειρία)
(Marshall et al., 2010, Jun et al., 2013).

SENSITIVITY
ΕΥΑΣΘΗΣΙΑ



Βαθμός που το σύστημα βλάπτεται από διαταραχές
(Weis et al., 2016).

ADAPTIVE
CAPACITY
ΠΡΟΣΑΡΜΟΣΤΙΚ
Ή ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ



Η ικανότητα ενός συστήματος να προσαρμόζεται στον φυσικό κίνδυνο και να επεκτείνει το εύρος μεταβλητότητας με το οποίο μπορεί να αντιμετωπίσει (Jun et al., 2013).

Πολυκριτηριακή σύνθεση δεικτών ή ακόμη και ταξινόμηση σε κατηγορίες

Proxy variables/ ενδεικτικές μεταβλητές

- Proxy variables (indexes), χρήση δεικτών για να περιγραφούν τα τρία μεγάλα κριτήρια (Jun et al., 2013).
- Αυτοί οι δείκτες απλουστεύουν ή απλά αναπαριστούν ένα αριθμό από σημαντικές ιδιότητες παρά μία ισορροπημένη αποτίμηση του όλου συστήματος (Seager, 2001).

Table 1. Description of proxy variables (modified by Jun et al.,2013).

| Vulnerability components | Criterion | Criterion description |
|--------------------------|-----------|--------------------------------------------------------------------------|
| Sensitivity | C1 | Areas with elevation < 100 m |
| | C2 | Settlements located in areas with elevation < 100 m |
| | C3 | Flooded areas for T=50 years |
| | C4 | Population density (persons/km ²) |
| | C5 | Total population |
| | C6 | Regional average slope (°) |
| | C7 | Percentage of road area (%) |
| Adaptive capacity | C8 | Financial independence (%) |
| | C9 | Number of civil servants per population (persons/10 ³ people) |
| | C10 | Number of civil servants related to water |
| Exposure | C11 | Daily maximum precipitation (mm) |
| | C12 | 5-day maximum rainfall (mm/5 days) |
| | C13 | Surface runoff (mm/day) |

Skouliakris et al.,
2020

Multiple
relation among
these three
components
(Weis et al., 2014)

Πολυκριτηριακή αξιολόγηση και 0/1 programming

- **Δεν επιλέγω μόνο μία αλλά πολλές εναλλακτικές**
- Πρώτο βήμα: Πολυκριτηριακή ανάλυση
- Δεύτερο βήμα: Τελική επιλογή εναλλακτικών. Με βάση το 0-1 προγραμματισμό.
- Προσοχή στους περιορισμούς αμοιβαίου αποκλεισμού.

0-1 προγραμματισμός

- Αντιμετώπιση λειψυδρίας
- Πολυκριτηριακή αξιολόγηση
- 0-1 programming για την επιλογή των εναλλακτικών

$$X_i = \begin{cases} 1 & \text{αν } a_i \text{ επιλεχθεί} \\ 0 & \text{αν } a_i \text{ δεν επιλεχθεί} \end{cases} \quad \max \left\{ \sum_{i=1}^N f(a_i) X_i \right\}$$

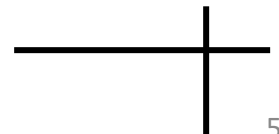
Περιορισμοί
αμοιβαίου
αποκλεισμού

$$\sum_{I(r)} X_i \leq 1$$

- Δυνατότητα διάρθρωσης της λύσης για διαφορετικούς χρονικούς ορίζοντες
- Λύση αρθρωτή και ευέλικτη σε αλλαγές

Υδατικές δράσεις και εναλλακτικές

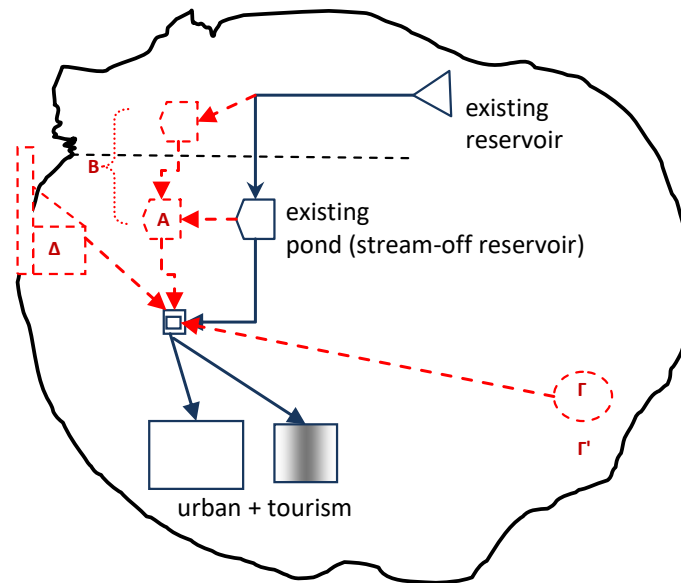
- Μία σημαντική διευκρίνιση είναι, ότι για την εφαρμογή της μεθόδου προϋποτίθεται η δημιουργία κατάλληλων εναλλακτικών.
- Η εναλλακτική είναι μια ή περισσότερες υδατικές δράσεις που θα πρέπει να αποτιμηθούν με έναν καθολικό τρόπο για την ορθολογική εκτίμηση των οικονομικών αλλά και των περιβαλλοντικών, κοινωνικών και τεχνικών επιπτώσεων (π.χ. σύστημα ταμιευτήρων σε μία λεκάνη απορροής).
- Δεν μπορεί να επιλεγούν δύο ή περισσότερες εναλλακτικές που περιέχουν ταυτόχρονα μία υδατική δράση
- Ίδια υδατική δράση σε άλλο χρονικό ορίζοντα αποτελεί διαφορετική εναλλακτική



Εύρος εφαρμογής της τροποποιημένης μεθόδου:

- ✓ προβλήματα αντιμετώπισης της λειψυδρίας
- ✓ μικρού έως μακρού χρονικού ορίζοντα,
- ✓ σε περιορισμένης έκτασης υδατικό σύστημα χωρίς μεγάλες περιπλοκότητες
- ✓ και με περιορισμένους υδατικούς και οικονομικούς πόρους, όπως συμβαίνει στην νησιωτική περιοχή του Αιγαίου.

$$\begin{cases} \min(1.2X_A + 1.2X_B + 0.36X_{\Gamma} + 0.36X_{\Gamma'} + 0.8X_{\Delta}) \\ \text{υ.π.} \\ X_{\Gamma} + X_{\Gamma'} \leq 1 \ \& \ X_A + X_B \leq 1 \\ 1,100,00 + 400,000 + 600,000X_A + 1,200,000X_B + 450,000X_{\Gamma} + 300,000X_{\Gamma'} + 1,000,000X_{\Delta} \geq 2,200,000 \ (2021) \\ 1,100,00 + 400,000 + 600,000X_A + 1,200,000X_B + 450,000X_{\Gamma} + 300,000X_{\Gamma'} + 1,000,000X_{\Delta} \leq 2,900,000 \ (2031 + 10\%) \end{cases} \quad (15)$$



Memorandum of Notations

- Possible future pipeline infrastructure
- existing pipeline infrastructure
- reservoir
- node of urban consumption
- node of tourism consumption
- desalination system
- facilities for potable water, tank etc.
- stream-off reservoir
- groundwater abstraction

Συνάρτηση χρησιμότητας (κατά άλλους συνάρτηση αξιών)

- Οποιασδήποτε άλλος τρόπος σύνθεσης συναρτήσεων στόχου ή κριτηρίων
- Εφαρμογή σε διακριτά προβλήματα ή προβλήματα βελτιστοποίησης
- **Αντί πολλά κριτήρια, ένα συνθετικό κριτήριο**
- **Στόχος: Συναινετική λύση**
- Δυνατότητα ενσωμάτωσης της αβεβαιότητας
- Έλεγχος να η λύση είναι μη κατώτερη

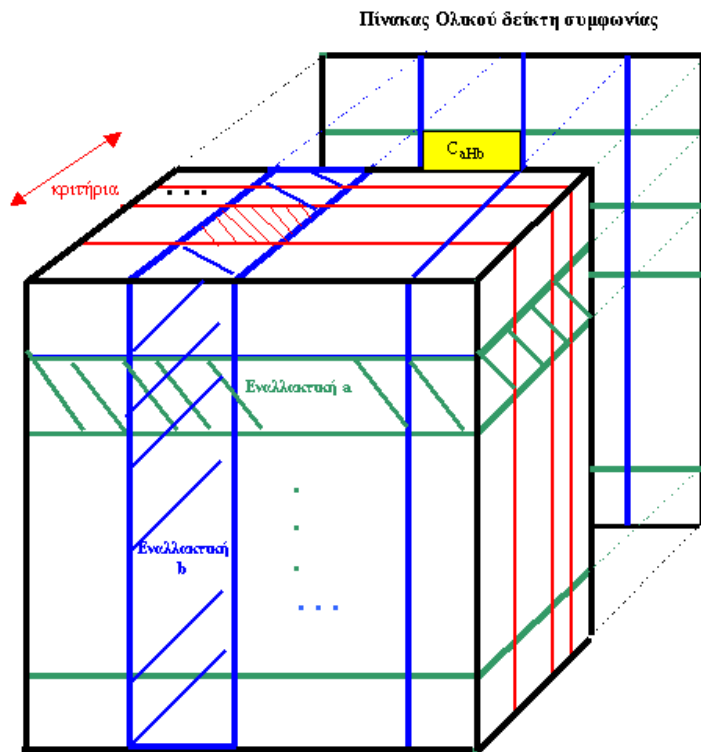
Μέθοδοι υπεροχής

- Διμερές συγκρίσεις, κατώφλι αδιαφορίας, δικαίωμα στην αρνησικυρία
- Σε αντίθεση με την πολυκριτηριακή θεωρία χρησιμότητας, στόχος της θεωρίας των σχέσεων υπεροχής δεν είναι η ανάπτυξη μιας συνάρτησης βαθμολόγησης των εναλλακτικών δραστηριοτήτων, όπως η συνάρτηση αξιών, αλλά η πραγματοποίηση διμερών συγκρίσεων μεταξύ των εναλλακτικών. Βασικό κύτταρο της μεθόδου αποτελεί η μονοκριτηριακή σύγκριση, δηλαδή η διμερές σύγκριση των εναλλακτικών για κάθε κριτήριο ξεχωριστά. Οι ενδοκριτηριακές προτιμήσεις του αποφασίζοντα αντανακλώνται στην επιλογή κατάλληλων κατωφλιών, όπως του κατωφλιού προτίμησης, ισοδυναμίας και αρνησικυρίας.

Γαλλική σχολή και Αμερικάνικη σχολής στα πολλαπλά κριτήρια

- Αμερικάνικη σχολή, έμφαση στη βελτιστοποίηση και στην προσαρμοστικότητα
- Γαλλική σχολή υπό τον Roy, διμερείς συγκρίσεις, έμφαση στις διμερείς συγκρίσεις και σε ισόρροπες λύσεις (με τη χρήση του κανόνα της αρνησικυρίας). Σημαντική μαθηματική θεμελίωση, χρήση της ασαφούς λογικής και συνόλων,

Πολυκριτηριακές μέθοδοι με διμερείς συγκρίσεις και με ασαφή λογική και σύνολα



- Διμερείς συγκρίσεις εναλλακτικών
-
- Αξιωματικός μονοκριτηριακός ορισμός των διμερών σχέσεων
- Ολική σύνθεση με βάση:
 - ο του κανόνα της πλειοψηφίας
 - ο του κανόνα σεβασμού στη μειοψηφία δηλαδή το δικαίωμα σε ένα κριτήριο να ασκήσει το δικαίωμα της αρνησιkurίας σε χαμηλή του επίδοση.

Κατώφλια με γκρίζες περιοχές

- **S**: Η πρόταση “ $\alpha S y^r$ ” σημαίνει “ α δεν είναι χειρότερο από y^r ” (b).
- **I** Η δήλωση $\alpha I y^r$ σημαίνει “ α και y^r είναι περίπου ισοδύναμες”.
Π.χ. μπορεί να υποθέσεις $\alpha I_j y^r$ ισχύει όταν $\alpha S_j y^r$ και $y^r S_j \alpha$ συμβαίνει ταυτόχρονα.
- **S** και **I** ασαφείς σχέσεις (ανήκουν στο κλειστό διάστημα 0,1)
- Κανόνας της πλειοψηφίας

$$C_I(\alpha, y^r) = \sum_{j=1}^n w_j I_j(\alpha, y^r), \quad \sum_{j=1}^n w_j = 1$$

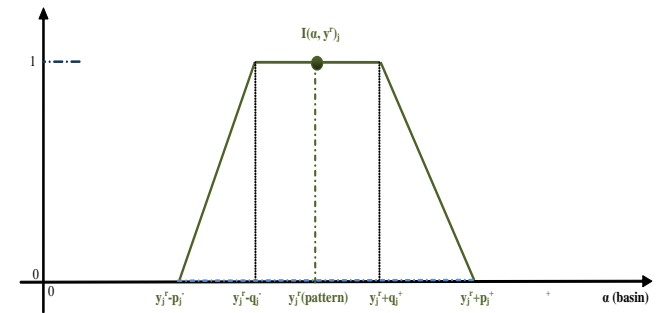


Fig. 2 Indifference relation and the corresponding discordance measure in order to express the neutral evaluation criterion of either the Demand Satisfaction or Reliability criterion.

$$I_j(a, y_j^r) = \min \left\{ \frac{p_j - \min \{y_j^r - a_j, p_j\}}{p_j - \min \{y_j^r - a_j, q_j\}}, \frac{p_j - \min \{a_j - y_j^r, p_j\}}{p_j - \min \{a_j - y_j^r, q_j\}} \right\}$$

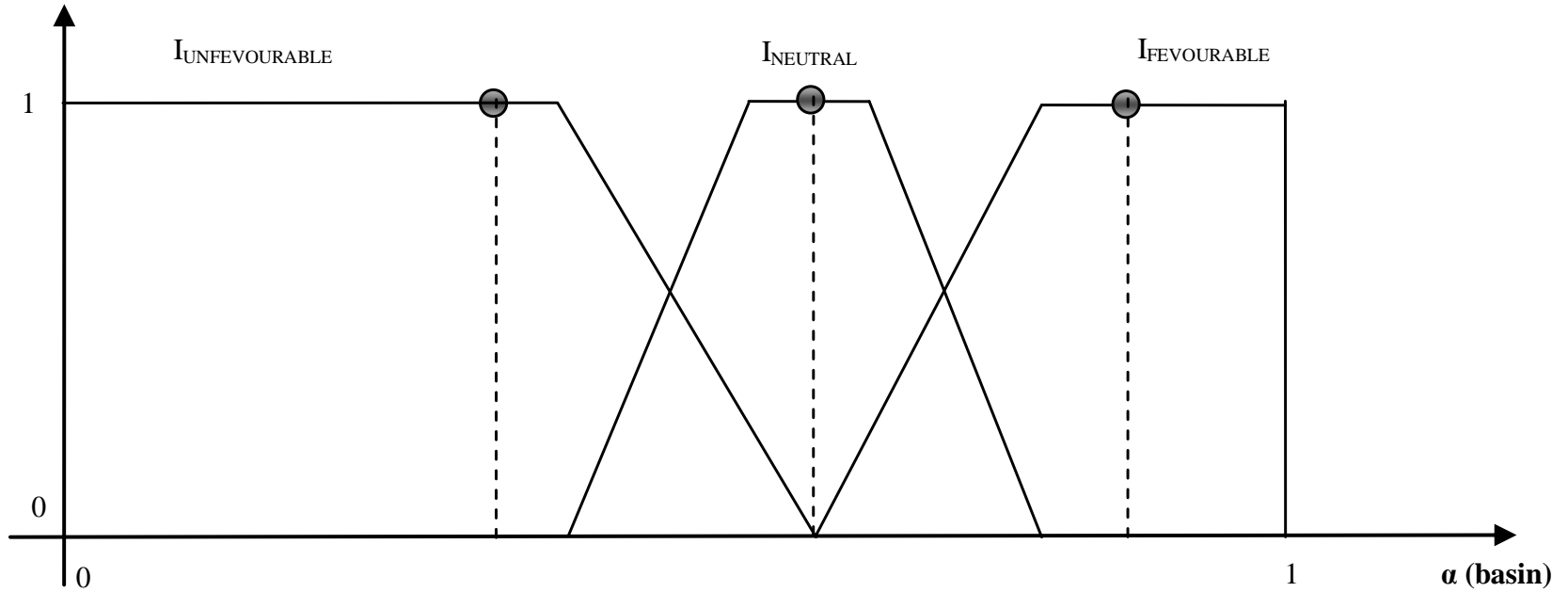


Fig. 3 Prototypes (cycles) and fuzzy categorization in case of Water Demand Satisfaction criterion

Advantage: We can deal with the grey regions between the categories

Veto principle (Respect of the minorities)

- Veto principle: (respect of minorities) For any criterion j , the veto threshold with respect to S is a real-valued function v_j defined on A_j such that, for any pair of alternatives a, b v_j is the maximal value of a score difference of type $y^r - a_j$ that could be compatible with the proposition $aS y^r$. The veto is characterized by the following condition (Tsakiris and Spiliotis, 2011):

$$\forall (\alpha, y^r) \in A \times A, (\exists j \in \{1, \dots, n\}, y^r - \alpha > v_j \Rightarrow \neg(\alpha S y^r))$$

- Veto principle in case of indifference relation:

$$D_{Ij}(a, y_j^r) = \max(D_{Sj}(a, y_j^r), D_{Sj}(y_j^r, a))$$

The discordance principle: avoid irrational compensation between the selected categories. Any significant divergence from the prototype can not be covered by compensation between the criteria.

Σύνθεση των κριτηρίων για διμερείς συγκρίσεις

- Κάθε κατηγορία: χαρακτηρίζεται από ένα υποσύνολο Y^r που εμπεριέχει αναφοράς, **πρωτότυπα** (Perny, 1998)
- Ένα επόμενο κρίσιμο ζήτημα είναι η κατασκευή μιας ολικής σχέσης αποτίμησης της πρότασης α/y^r με βάση τη συμφωνία και την άρνηση της ασυμφωνίας. Η παρακάτω πρόταση μπορεί να θεμελιώσει την ολική σχέση:
- *Μία πρόταση α/y^r ισχύει αν και μόνο αν η συμφωνία (coalition) των κριτηρίων στην πρόταση α/y^r είναι αρκετά ισχυρή και δεν υπάρχει σημαντική συμμαχία ασυμφωνίας των κριτηρίων στην παραπάνω πρόταση (Perny, 1998). Ο παραπάνω κανόνας μπορεί να εκφρασθεί από την παρακάτω λογική εξίσωση:*

$$I(\alpha, y^r) \equiv \left(C_I(\alpha, y^r) \wedge N(D_I(\alpha, y^r)) \right).$$

Ασαφής πολυκριτηριακή ταξινόμηση της λειψυδρίας σε ολοκληρωμένα υδατικά συστήματα

- Κατηγοριοποίηση της λειψυδρίας με βάση την πολυκριτηριακή θεωρία και την ασαφή λογική.
- Ως κριτήρια επιλέχθηκαν το κριτήριο της ικανοποίησης της ζήτησης, της αξιοπιστίας, της βιωσιμότητας από την αξιοποίηση των υδατικών πόρων και της υδατικής εφικτότητας
 - Προβλήματα μέσου χρονικού ορίζοντα
 - Οδικός χάρτης αντιμετώπισης **λειψυδρίας**

A Fuzzy Multicriteria Categorization of Water Scarcity in Complex Water Resources Systems

Mike Spiliotis · Francisco Martín-Carrasco ·
Luis Garrote

Received: 5 December 2013 / Accepted: 2 September 2014
© Springer Science+Business Media Dordrecht 2014

Abstract Although water scarcity is a well-understood concept, it is difficult to define it precisely and furthermore, to address the water scarcity which requires a complicated set of water actions. In this work, with the aim to face the complexity of water scarcity, we propose the establishment of several categories in order to characterize the water scarcity. These categories are guided by the corresponding roadmap so as to address the water scarcity. Consequently, the considered categories are used to characterize the scarcity are non-ordered. The methodology is based on a developed fuzzy multi-criteria filtering approach. The Water Demand Satisfaction, Water Reliability, Management Effectiveness and Water Sustainability, are selected as criteria. Each category is characterized by reference to a fictitious alternative, the prototype. The water scarcity categorization process is based on the fuzzy binary comparison between the water scarcity evaluation of the criteria in the watersheds and the prototype of each category. This binary comparison over all criteria consists of the concordance and non-discordance principle. The use of fuzzy analysis enables us to express the grey region of the monocriterion comparison between the basins and the prototypes and furthermore, to achieve a suitable aggregation of the achieved monocriterion comparison between the basins and the prototypes. Eventually, the use of the veto thresholds and discordance indices of the fuzzy aggregation allowing compensation, are to be avoided when criteria are strongly conflicting, which is a very useful property in classification problems. The described methodology was applied to the Ebro river basin, identifying the existing problems.

Βασική ιδέα

- **Διάγνωση λειψυδρίας:** πολλαπλές κατηγορίες.
 - Ένταση
 - Οδικός χάρτης για την αντιμετώπιση της
- **Μη – διατεταγμένες κατηγορίες**
- **Πολυκριτηριακή προσέγγιση**
- **Κριτήρια:**
 - ικανοποίησης της ζήτησης,
 - ικανοποίησης της αξιοπιστίας,
 - της βιωσιμότητας από την αξιοποίηση των υδατικών πόρων και
 - της υδατικής εφικτότητας
- **Ασαφής πολυκριτηριακή προσέγγιση**

Κατασκευάζοντας τις κατηγορίες...

- Εικονικές λεκάνες: περιγράφουν τα πρωτότυπα κάθε κατηγορίας
 - Τρωτά υδατικά συστήματα είναι αυτά όπου το έλλειμμα είναι μεγάλο συγκρινόμενο με τη ζήτηση νερού
 - Αναξιόπιστα υδατικά συστήματα: χαμηλή αξιοπιστία στην παροχή νερού
 - Μη βιώσιμα υδατικά συστήματα υπάρχει προσφορά που είναι μεγαλύτερη από ένα παραδεκτό όριο της μέσης ετήσιας παροχής
- Π.χ. Χαμηλός δείκτης βιωσιμότητας, διαχείριση της ζήτησης ή έργα μεταφοράς νερού ή αξιοποίησης μη συμβατικών πηγών νερού
- Κριτήριο εφικτότητας νερού

Σύνθεση των κριτηρίων για διμερείς συγκρίσεις

- Κάθε κατηγορία: χαρακτηρίζεται από ένα υποσύνολο Y^r που εμπεριέχει αναφοράς, **πρωτότυπα** (Perny, 1998)
- Ένα επόμενο κρίσιμο ζήτημα είναι η κατασκευή μιας ολικής σχέσης αποτίμησης της πρότασης α/y^r με βάση τη συμφωνία και την άρνηση της ασυμφωνίας. Η παρακάτω πρόταση μπορεί να θεμελιώσει την ολική σχέση:
- *Μία πρόταση α/y^r ισχύει αν και μόνο αν η συμφωνία (coalition) των κριτηρίων στην πρόταση α/y^r είναι αρκετά ισχυρή και δεν υπάρχει σημαντική συμμαχία ασυμφωνίας των κριτηρίων στην παραπάνω πρόταση (Perny, 1998). Ο παραπάνω κανόνας μπορεί να εκφρασθεί από την παρακάτω λογική εξίσωση:*

$$I(\alpha, y^r) \equiv \left(C_I(\alpha, y^r) \wedge N(D_I(\alpha, y^r)) \right).$$

$$I_j(a, y_j^r) = \min \left\{ \frac{p_j - \min \{ y_j^r - a_j, p_j \}}{p_j - \min \{ y_j^r - a_j, q_j \}}, \frac{p_j - \min \{ a_j - y_j^r, p_j \}}{p_j - \min \{ a_j - y_j^r, q_j \}} \right\}$$

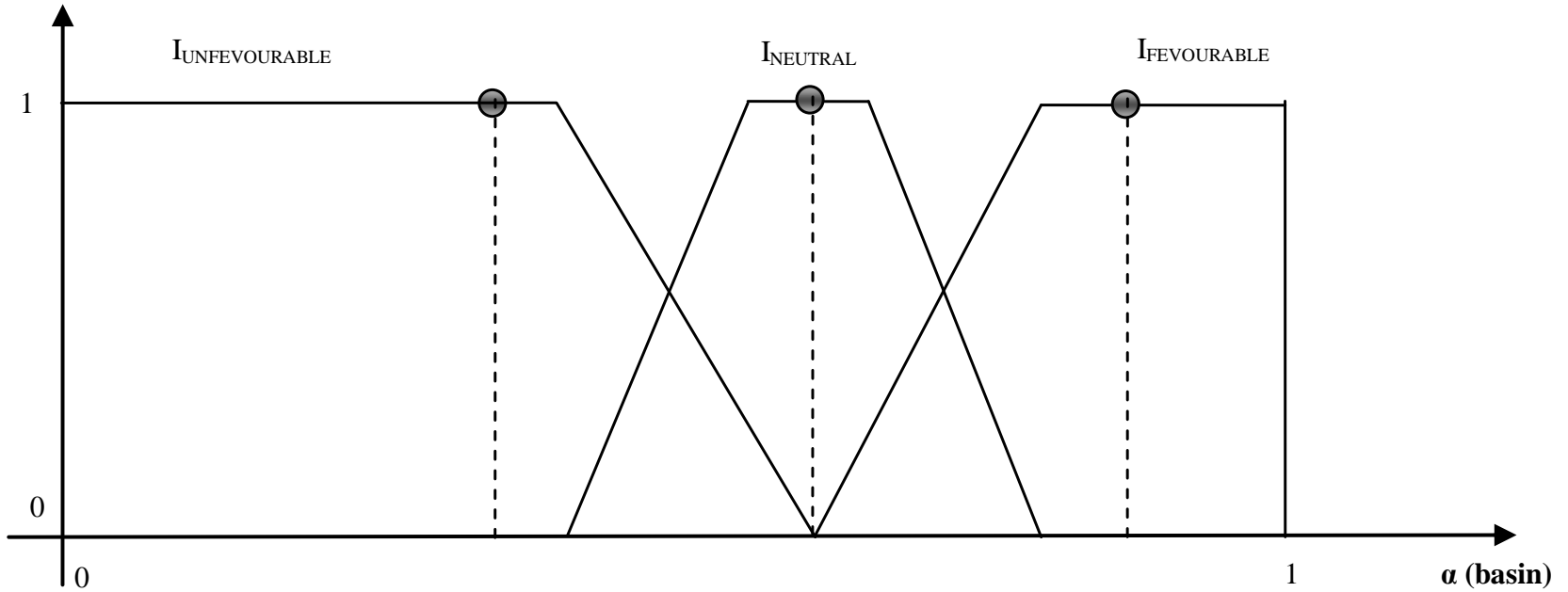
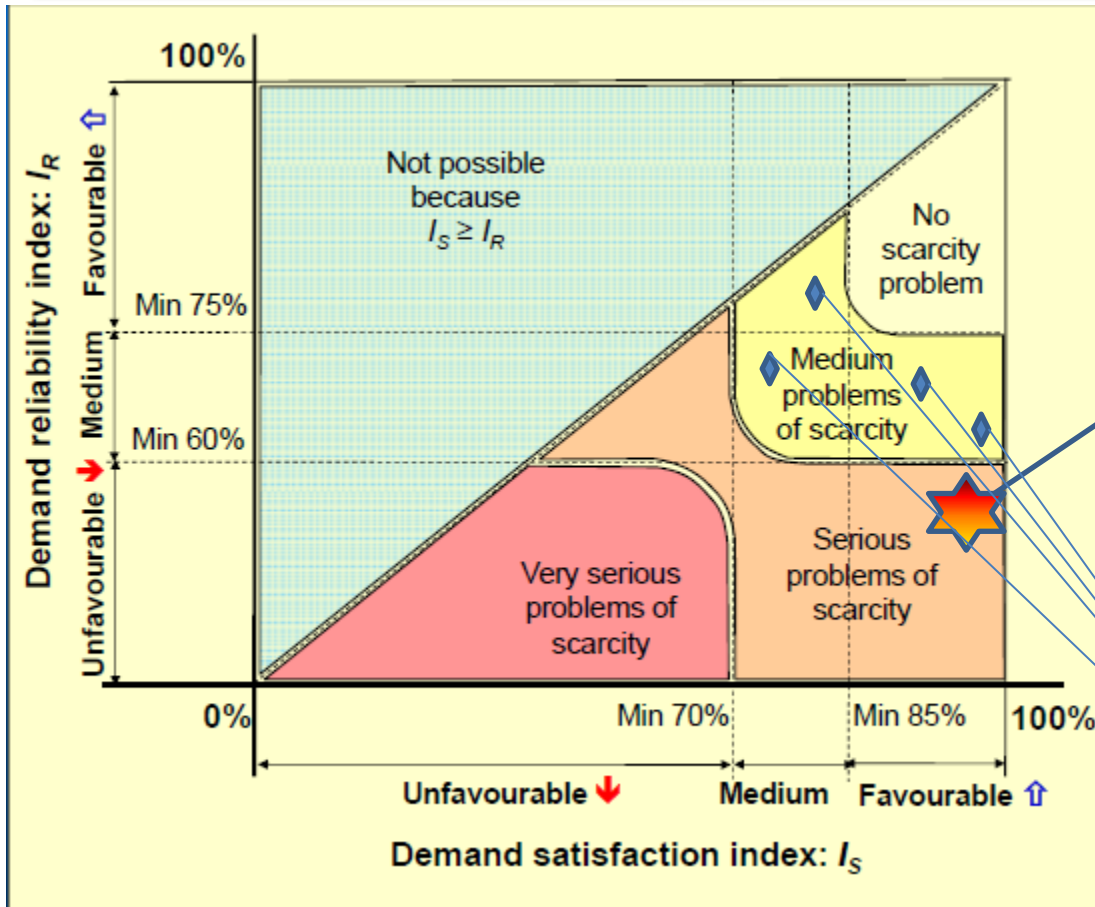


Fig. 3 Prototypes (cycles) and fuzzy categorization in case of Water Demand Satisfaction criterion

Πλεονέκτημα: Αντιμετώπιση γκριζων περιοχών
μεταξύ των κατηγοριών

Veto Principle



Κανόνας
Αρνησιkurίας:
Μέτρα ικανοποίηση
της αξιοπιστίας δεν
μπορεί να οδηγήσει
σε κατηγορία μη
προβλημάτων

Μη διατεταγμένες
κατηγορίες

Table 1 Systems characterisation as a function of index values.

| | | $I_S \uparrow$ | | $I_S =$ | | $I_S \downarrow$ | | |
|------------------|---------|----------------|------------|------------|-----------------------|------------------|----------------|-------------|
| | | Problem | Solution | Problem | Solution | Problem | Solution | |
| $I_R \uparrow$ | $I_U +$ | (1) | No | 1 (2) | B1 | 1 (4) | B2 - C1 | |
| | $I_U -$ | | Problem | 1 (3) | A - B1 | 1 - 3 (5) | A - B2 - C2 | |
| $I_R =$ | $I_U +$ | $I_M +$ | 2 (6) | D | 1 - 2 (8) | B1 | 1 - 2 (10) | B2 - C1 |
| | | $I_M -$ | 2 (7) | D | 1 - 2 (9) | B2 | 1 - 2 (11) | B3 - C1 |
| | $I_U -$ | $I_M +$ | 2 (12) | A - D | 1 - 2 (14) \uparrow | A - B1 | 1 - 2 - 3 (16) | A - B2 - C2 |
| | | $I_M -$ | 2 (13) | A - D | 1 - 2 (15) | A - B2 | 1 - 2 - 3 (17) | A - B3 - C2 |
| $I_R \downarrow$ | $I_U +$ | $I_M +$ | 2 (18) | B1 - D | 1 - 2 (20) | B2 - C1 | 1 - 2 (22) | B3 - C1 |
| | | $I_M -$ | 2 (19) | B1 - D | 1 - 2 (21) | B3 - C1 | 1 - 2 (23) | B3 - C1 |
| | $I_U -$ | $I_M +$ | 2 - 3 (24) | A - B1 - D | 1 - 2 - 3 (26) | A - B2 - C2 | 1 - 2 - 3 (28) | A - B3 - C2 |
| | | $I_M -$ | 2 - 3 (25) | A - B1 - D | 1 - 2 - 3 (27) | A - B3 - C2 | 1 - 2 - 3 (29) | A - B3 - C2 |

Index values: \uparrow favourable = neutral \downarrow unfavourable + high - low

Problems: 1. Vulnerable: water scarcity may produce important damages. 2. Unreliable: low intensity droughts may lead to water scarcity. 3. Excess of demand with respect to natural resources

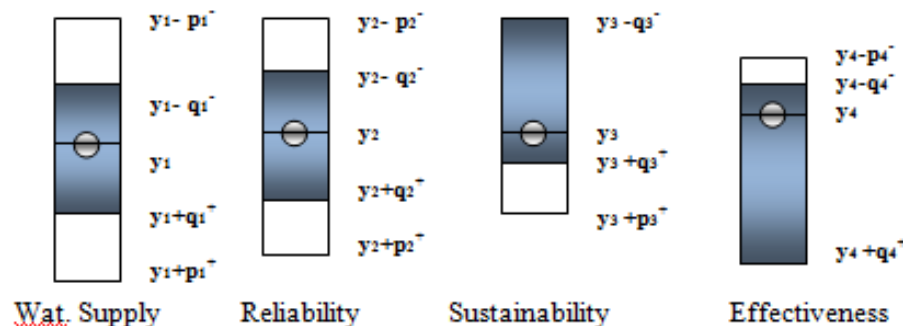
Solution

- A. Demand management
 B. Regulation works: 1 local within-year, 2 global within-year, 3 global over-year
 C. Water transfers: 1 internal, 2 external or complement. resources (groundwater, desalination, etc.)
 D. Non-structural actions to mitigate impacts

Problem intensity:

| | | | |
|------|--------|---------|--------------|
| None | Medium | Serious | Very serious |
|------|--------|---------|--------------|

A prototype for one category



$$I_j(a, y_j^r) = \min \left\{ \frac{p_j - \min \{ y_j^r - a_j, p_j \}}{p_j - \min \{ y_j^r - a_j, q_j \}}, \frac{p_j - \min \{ a_j - y_j^r, p_j \}}{p_j - \min \{ a_j - y_j^r, q_j \}} \right\}$$

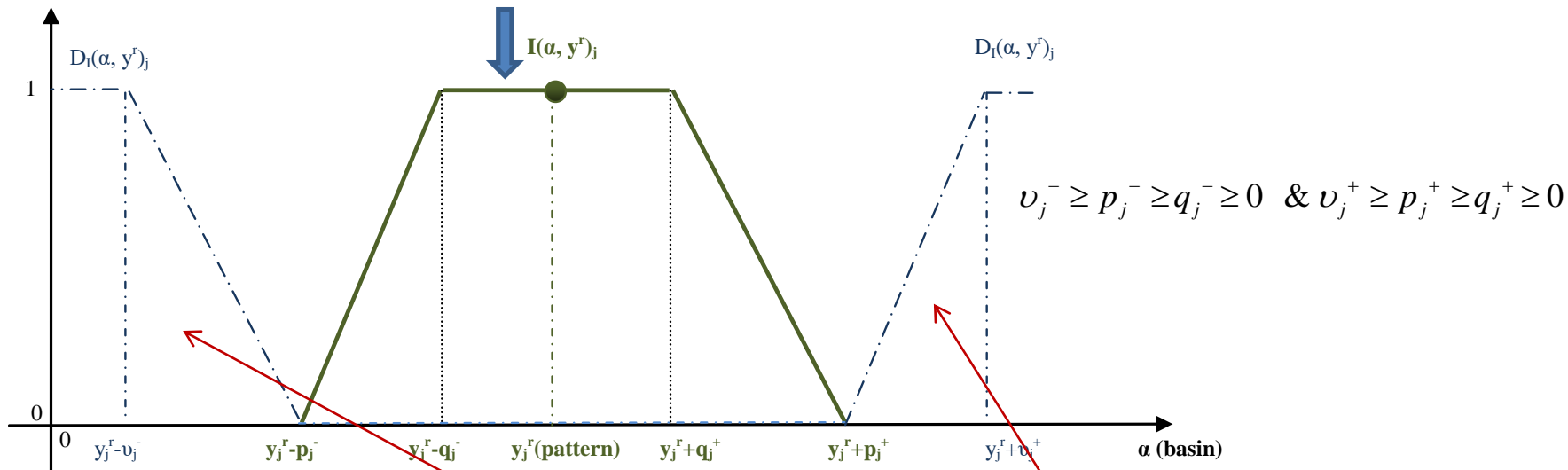


Fig. 2 Indifference relation and the corresponding discordance measure.

Ασαφής προσέγγιση:

1) Γκρίζες περιοχές μεταξύ των κατηγοριών

2) Πολυκριτηριακή σύνθεση, περισσότερη πιστότητα στα πρότυπα

$$D_{I_j}(a, y_j^r) = \max(D_{S_j}(a, y_j^r), D_{S_j}(y_j^r, a))$$

Veto principle

Περίπτωση Μελέτης: Συστήματα λεκανών απορροής του ποταμού Ebro

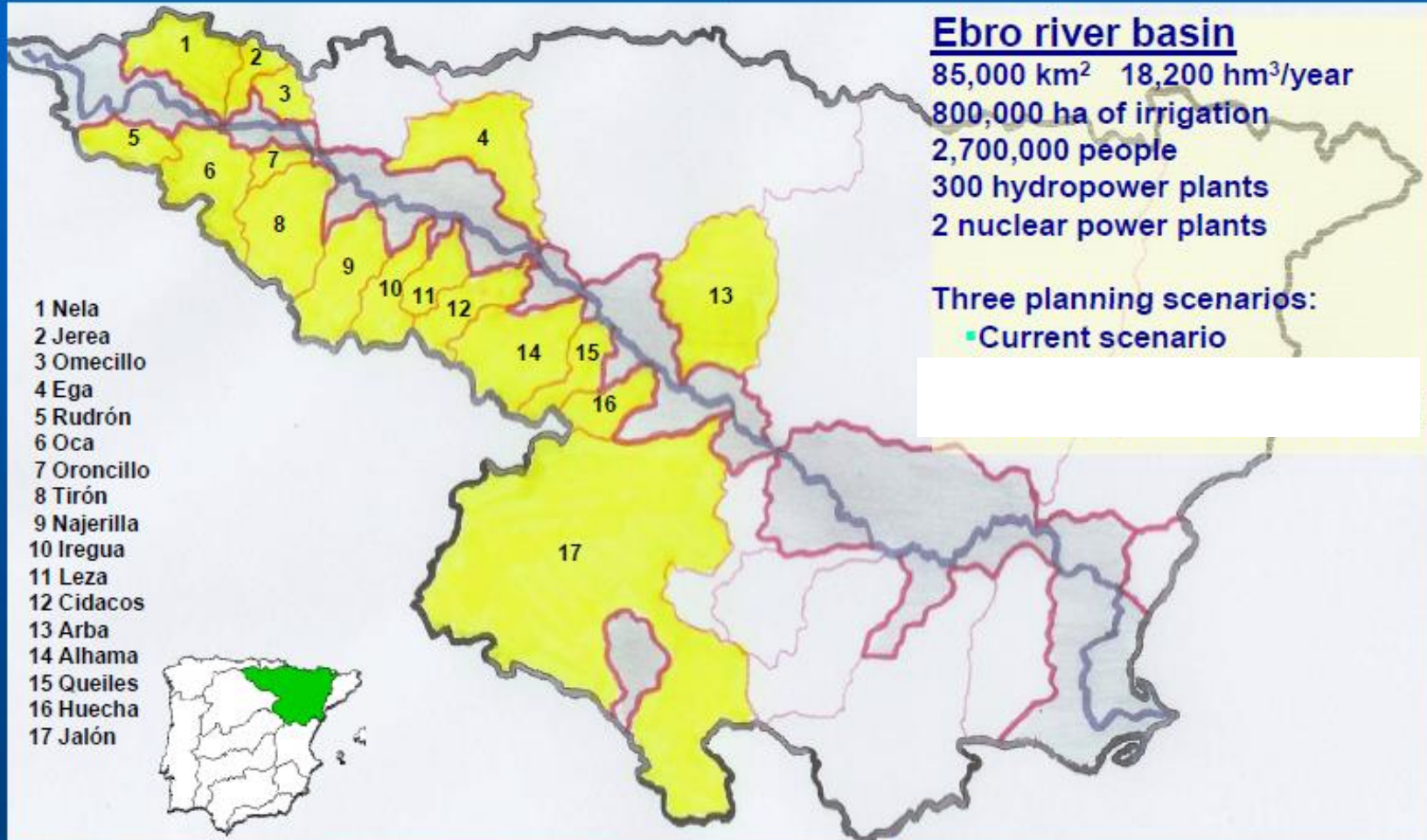


Table 2 Indices results for the water resources systems of the Case Study and the Fuzzy Categorization

| Water Resources System (α) | Y | I_S | I_R | I_U | I_M | Fuzzy Solution | | | | |
|-------------------------------------|-----------------|-------|--------|-------|---------|--------------------|--------------------|------------------|--------------|--|
| | Mm ³ | % | % | % | % | $C_1(\alpha, y^r)$ | $D_1(\alpha, y^r)$ | $I(\alpha, y^r)$ | Category (r) | |
| 1. Nela | 526.7 | 98 | 96 | 98 | - | 1.000 | 0.000 | 1.000 | 1 | |
| 2. Jerea | 127.8 | 100 | 100 | 100 | - | 1.000 | 0.000 | 1.000 | 1 | |
| 3. Omecillo | 139.6 | 95 | 71 | 97 | 2 | 1.000 | 0.000 | 1.000 | 7 | |
| 4. Ega | 492.5 | 85 | 57 | 93 | 0 | 1.000 | 0.000 | 1.000 | 21 | |
| 5. Rudrón | 112.6 | 100 | 100 | 100 | - | 1.000 | 0.000 | 1.000 | 1 | |
| 6. Oca | 155.2 | 97 | 81 | 98 | - | 1.000 | 0.000 | 1.000 | 1 | |
| 7. Oroncillo | 19.4 | 88 | 84 | 84 | - | 0.865 | 0.000 | 0.865 | 2 | |
| 8. Tirón | 286.1 | 93 | 64 | 87 | 0 | 0.925 | 0.000 | 0.925 | 19 | |
| 9. Najerilla | 402.4 | 93 | 89 | 83 | - | 1.000 | 0.000 | 1.000 | 1 | |
| 10. Iregua | 209.6 | 98 | 37 | 53 | 0 | 1.000 | 0.000 | 1.000 | 19 | |
| 11. Leza | 71.8 | 84 | 54 | 89 | 0 | 1.000 | 0.000 | 1.000 | 21 | |
| 12. Cidacos | 85.2 | 67 | 22 | 72 | 5 | 1.000 | 0.000 | 1.000 | 22 | |
| 13. Arba | 172.8 | 87 | 50 | 82 | 0 | 0.931 | 0.000 | 0.931 | 21 | |
| 14. Alhama | 134.8 | 59 | 7 | 58 | 2 | 1.000 | 0.000 | 1.000 | 23 | |
| 15. Queiles | 57.6 | 65 | 30 | 25 | 19 | 0.978 | 0.000 | 0.978 | 28 | |
| 16. Huecha | 22.8 | 40 | 0 | 39 | 0 | 0.950 | 0.000 | 0.950 | 23 | |
| 17. Jalón | 551.3 | 90 | 37 | 39 | 52 | 0.876 | 0.000 | 0.876 | 18 | |
| | | | | | | | | | | |
| Problem intensity | None | | Medium | | Serious | | Very serious | | | |

Table 1 Systems characterisation as a function of index values.

| | | $I_S \uparrow$ | | $I_S =$ | | $I_S \downarrow$ | | |
|------------------|---------|----------------|------------|------------|-----------------------|------------------|----------------|-------------|
| | | Problem | Solution | Problem | Solution | Problem | Solution | |
| $I_R \uparrow$ | $I_U +$ | (1) | No | 1 (2) | B1 | 1 (4) | B2 - C1 | |
| | $I_U -$ | | Problem | 1 (3) | A - B1 | 1 - 3 (5) | A - B2 - C2 | |
| $I_R =$ | $I_U +$ | $I_M +$ | 2 (6) | D | 1 - 2 (8) | B1 | 1 - 2 (10) | B2 - C1 |
| | | $I_M -$ | 2 (7) | D | 1 - 2 (9) | B2 | 1 - 2 (11) | B3 - C1 |
| | $I_U -$ | $I_M +$ | 2 (12) | A - D | 1 - 2 (14) \uparrow | A - B1 | 1 - 2 - 3 (16) | A - B2 - C2 |
| | | $I_M -$ | 2 (13) | A - D | 1 - 2 (15) | A - B2 | 1 - 2 - 3 (17) | A - B3 - C2 |
| $I_R \downarrow$ | $I_U +$ | $I_M +$ | 2 (18) | B1 - D | 1 - 2 (20) | B2 - C1 | 1 - 2 (22) | B3 - C1 |
| | | $I_M -$ | 2 (19) | B1 - D | 1 - 2 (21) | B3 - C1 | 1 - 2 (23) | B3 - C1 |
| | $I_U -$ | $I_M +$ | 2 - 3 (24) | A - B1 - D | 1 - 2 - 3 (26) | A - B2 - C2 | 1 - 2 - 3 (28) | A - B3 - C2 |
| | | $I_M -$ | 2 - 3 (25) | A - B1 - D | 1 - 2 - 3 (27) | A - B3 - C2 | 1 - 2 - 3 (29) | A - B3 - C2 |

Index values: \uparrow favourable = neutral \downarrow unfavourable + high - low

Problems: 1. Vulnerable: water scarcity may produce important damages. 2. Unreliable: low intensity droughts may lead to water scarcity. 3. Excess of demand with respect to natural resources

Solution

- A. Demand management
- B. Regulation works: 1 local within-year, 2 global within-year, 3 global over-year
- C. Water transfers: 1 internal, 2 external or complement resources (groundwater, desalination, etc.)
- D. Non-structural actions to mitigate impacts

Problem intensity:

| | | | |
|------|--------|---------|--------------|
| None | Medium | Serious | Very serious |
|------|--------|---------|--------------|

Spiliotis, Carrasco, Garrote, 2015

