

# Θεώρηση πολλαπλών κριτηρίων στη ΔΥΠ (2)

- Επιλογή κριτηρίων, διαμόρφωση  
εναλλακτικών, λήψη απόφασης σε συνθήκες  
λειψυδρίας

Δρ Μ.Σπηλιώτη

# Διαχείριση υδατικών πόρων

- Ανάγκη σύνθεσης επιστημών

## Επιστημονικές και τεχνολογικές περιοχές σχετικές με τη διαχείριση υδατικών πόρων

- ◆ Υδρολογία
- ◆ Υδραυλική
- ◆ Γεωλογία
- ◆ Υδρογεωλογία
- ◆ Εδαφολογία
- ◆ Μετεωρολογία
- ◆ Περιβαλλοντική τεχνολογία
- ◆ Ενεργειακή τεχνολογία
- ◆ Αγροτική τεχνολογία
- ◆ Δασοτεχνολογία
- ◆ Οικολογία

- ◆ Κοινωνιολογία
- ◆ Πολιτική επιστήμη
- ◆ Οικονομική
- ◆ Νομική
- ◆ Επιστήμη διεθνών σχέσεων

- ◆ Θεωρία πιθανοτήτων, στατιστική, θεωρία στοχαστικών ανελίξεων
- ◆ Επιχειρησιακή έρευνα, Ανάλυση συστημάτων
- ◆ Θεωρία ελέγχου
- ◆ Πληροφορική

Σημερινό μάθημα:  
έμφαση στη χρήση  
ενοιών και  
μεθόδων από την  
επιχειρησιακή  
έρευνα

# Μέθοδοι πολλαπλών κριτηρίων

- Οι πολυκριτηριακές μέθοδοι αποτελούν μια ομάδα μεθόδων αξιολόγησης σχεδίων, προγραμμάτων ανάπτυξης και πολιτικών αποφάσεων.
- Όλες οι πολυκριτηριακές μέθοδοι έχουν ως αντικείμενο τα στοιχεία ενός προβλήματος επιλογής, δηλαδή τον προσδιορισμό των καταλλήλων εναλλακτικών λύσεων, τον καθορισμό των κατάλληλων κριτηρίων αξιολόγησης, την εκτίμηση της αριθμητικής αξίας κάθε κριτηρίου για κάθε εναλλακτική (μέσω π.χ. μιας ανάλυσης επιπτώσεων), τη συλλογή των πρωταρχικών πληροφοριών, τον προσδιορισμό των καταλλήλων επιπέδων απόφασης για θεσμικές αποφάσεις (στις περιπτώσεις με πολλαπλά κέντρα αποφάσεων) και τέλος τον καθορισμό του κατάλληλου συστήματος μέτρησης για τη διαθέσιμη πληροφορία (Διακουλάκη 2006 και Nijkamp, 1986).

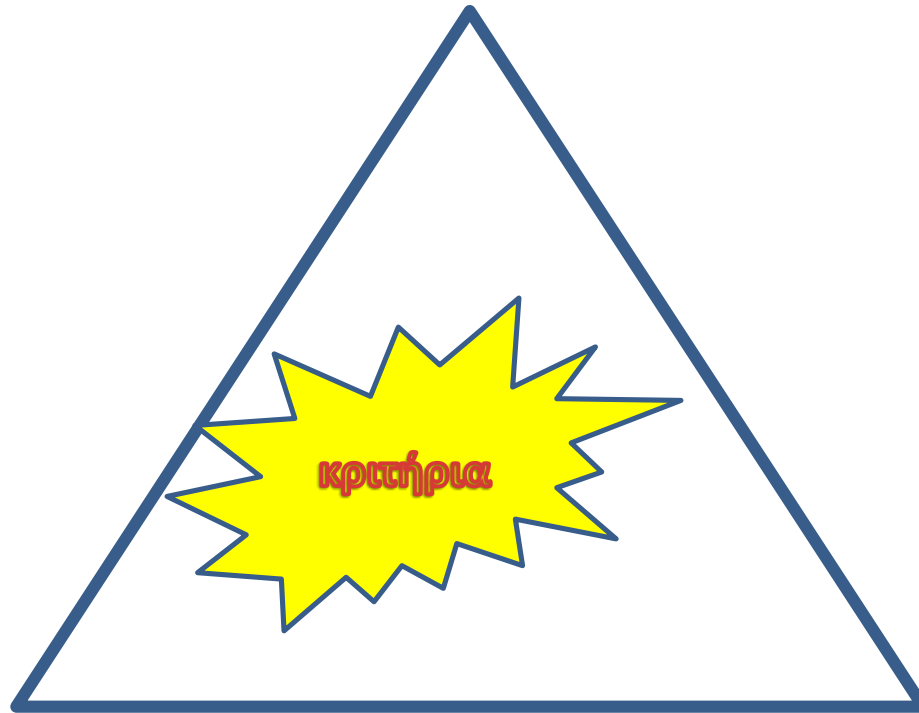
# Κριτήρια

*Κριτήρια.* Είναι οι άξονες αξιολόγησης ή κανόνες αξιολόγησης με βάση τους οποίους κρίνονται οι εναλλακτικές λύσεις. Στα κριτήρια εμπλέκονται οι προτιμήσεις του αποφασίζοντα. Το σύνολο των κριτηρίων θα πρέπει να παρουσιάζει τις εξής ιδιότητες:

- Πληρότητα, δηλαδή από το σύνολο των κριτηρίων να καλύπτονται όλες οι σημαντικές διαστάσεις αξιολόγησης.
- Μη επικάλυψη, δηλαδή να μην διπλομετρώνται κάποια χαρακτηριστικά.
- Συνάφεια. Να συνδέονται τα κριτήρια με τους βασικούς στόχους του αποφασίζοντα.
- Διαφάνεια, δηλαδή να είναι κατανοητή η κλίμακα και ο τρόπος μέτρησης των επιδόσεων (Διακουλάκη, 2007)

## Ολιστική προσέγγιση

Κοινωνική θεώρηση



Περιβαλλοντική θεώρηση

Οικονομική θεώρηση

Η εφικτότητα των λύσεων (τεχνολογία, μέσα, τοπικές τεχνικές συνθήκες) μπορεί να οριστεί στο κοινό τόπο ή ως ξεχωριστός άξονας

# Πολύκριτήριακες μέθοδοι στη λειψυδρία

Δρ Μ.Σπηλιώτης

Συστημική προσέγγιση και πολλαπλά  
κριτήρια:

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

# Αλλαγές στη ΔΥΠ

**ΠΙΝΑΚΑΣ 1.** Αλλαγές στα χαρακτηριστικά της ΔΥΠ

<b>ΠΑΛΙΕΣ</b>		<b>ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ</b>
Τομεακή	→	Ολοκληρωμένη
Μονοκριτηριακή	→	Πολυκριτηριακή
Περιοχή που επηρεάζεται	→	Υδατικό Σύστημα
Στατική	→	Διατηρήσιμη, προσαρμοστική
Χωρίς συμμετοχή ενδιαφερομένων	→	Ανοιχτή συμμετοχή ενδιαφερομένων
Συγκεντρωτική	→	Αποκεντρωμένη



Ολοκληρωμένη διαχείριση υδατικών πόρων (integrated water resources management), έμφαση στην εξέταση όλων των πτυχών της απόφασης, προσέγγιση με πολλαπλά κριτήρια, ισοτιμότητα και δημοκρατικές δομές διαβούλευσης) (Loucks et al., 2006)



**Figure 2.5.** Stakeholders involved in river basin planning and management, each having different goals and information needs (*Engineering News Record*, 20 September 1993, with permission).

# ΔΥΠ

Σήμερα ως Διαχείριση Υδατικών Πόρων θεωρείται η διαδικασία που περιλαμβάνει το σύνολο των συντονισμένων αποδοτικών αποφάσεων (coordinated cost-effective decisions), των μέτρων και των δράσεων (συμπεριλαμβανομένων των επενδύσεων, της νομοθεσίας, του προγραμματισμού, του συστήματος καταγραφής και της οργάνωσης), που λαμβάνονται δημοκρατικά, και που έχουν ως στόχο την επίτευξη μιας αρμονικής σχέσης μεταξύ όλων των αλληλοσχετιζόμενων στοιχείων του υδατικού συστήματος τώρα, και με διατηρήσιμο τρόπο σε μελλοντικούς χρονικούς ορίζοντες (Tsakiris 2015). Με τον όρο "αλληλοσχετιζόμενα στοιχεία" εννοούμε κυρίως τους τρεις πόλους του υδατικού συστήματος: πηγές διαθεσιμότητας νερού, κέντρα κατανάλωσης και περιβάλλον (κατάσταση υδατικών σωμάτων).

Τσακίρης, 2015

# Λειψυδρία

	Φυσικά Αίτια	Ανθρωπογενή Αίτια
Προσωρινή κατάσταση	Ξηρασία (drought)	Έλλειμμα Νερού (water shortage)
Μόνιμη κατάσταση	Ξηρότητα (aridity)	<b>Λειψυδρία Ερημοποίηση (Desertification)</b>

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)

# 2011

Water Resour Manage (2011) 25:1103–1129  
DOI 10.1007/s11269-010-9692-y

---

## **Planning Against Long Term Water Scarcity: A Fuzzy Multicriteria Approach**

George Tsakiris · Mike Spiliotis

Received: 18 February 2010 / Accepted: 21 June 2010 /  
Published online: 22 July 2010  
© Springer Science+Business Media B.V. 2010

**Abstract** The study presents a multicriteria method incorporating a fuzzy set approach and the 0/1 programming for selecting the most appropriate actions for facing long term water scarcity in a water system under a set of objectives and constraints. The proposed method includes also the right of veto which can be utilised under certain extreme conditions or for securing commensurate solutions. The proposed method is applied for devising the technical component of a rational preparedness plan against long term water scarcity in the island of Naxos, Cyclades (Greece).

**Keywords** Fuzzy sets · Multicriteria methods · Water resources management · Water scarcity · Preparedness plan

# Παράδειγμα προβλήματος

- Νησί με μειωμένη διαθεσιμότητα υδατικών πόρων, δεν επαρκούν για την κάλυψη της μέσης ζήτησης (ύδρευση + τουρισμός)
- Δίπλα στην υπάρχουσα υποδομή εξετάζεται η δημιουργία ενός συνόλου έργων για την κάλυψη της ζήτησης

# Προβληματική

- Ταξινόμηση εναλλακτικών που ο αναλυτής σε συνεργασία με τον αποφασίζοντα σχεδιάζει (ο σχεδιασμός εναλλακτικής είναι ένα υποπρόβλημα)
- Επιλογή μίας ή περισσότερων από αυτές
- Συνήθως σε προβλήματα της ΔΥΠ προτιμάται μία συνάρτηση αξιών (π.χ. μέθοδος των αποστάσεων) που συνθέτει όλα τα κριτήρια.
- Εναλλακτικά υπάρχουν μέθοδοι με διμερείς συγκρίσεις. Σε πρακτικά προβλήματα προτιμάται να καταλήγουμε για μία εναλλακτική σε μία τιμή που αντιπροσωπεύει όλες τις διμερείς συγκρίσεις με βάση όλα τα κριτήρια.

# Παγίδες

- Το ίδιο έργο (ως σύλληψη) με άλλο μέγεθος είναι μία άλλη και μάλιστα αμοιβαία αποκλειόμενη **εναλλακτική**
- Συνδυασμός δράσεων θα πρέπει να αποτελεί μία άλλη εναλλακτική (π.χ. άλλη η περιβαλλοντική επίπτωση από σχεδιασμό μίας ή δύο λιμνοδεξαμενών)
- Κριτήρια: ποσοτική η ποιοτική αξιολόγηση η ακόμη και με μορφή ασαφούς αριθμού.

# 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
- Δυνατότητα στην αρνησικυρία



Εναλλακτικές

# 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
  - 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 αστική ζήτησης νερού
  - Εκσυγχρονισμός δικτύων
  - Επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων
  - Και άλλες ανάλογα την περιοχή (π.χ. αλλού από ποταμό με αντλιοστάσιο)
  - (εκτός δημοσίευσης) καταμέτρηση ποιοτικών δεικτών
  - Αυστηροποίηση ποινών για μόλυνση υδάτων κλπ

## 11.3 ΛΙΜΝΟΔΕΞΑΜΕΝΕΣ

Μπέλλος, 2013

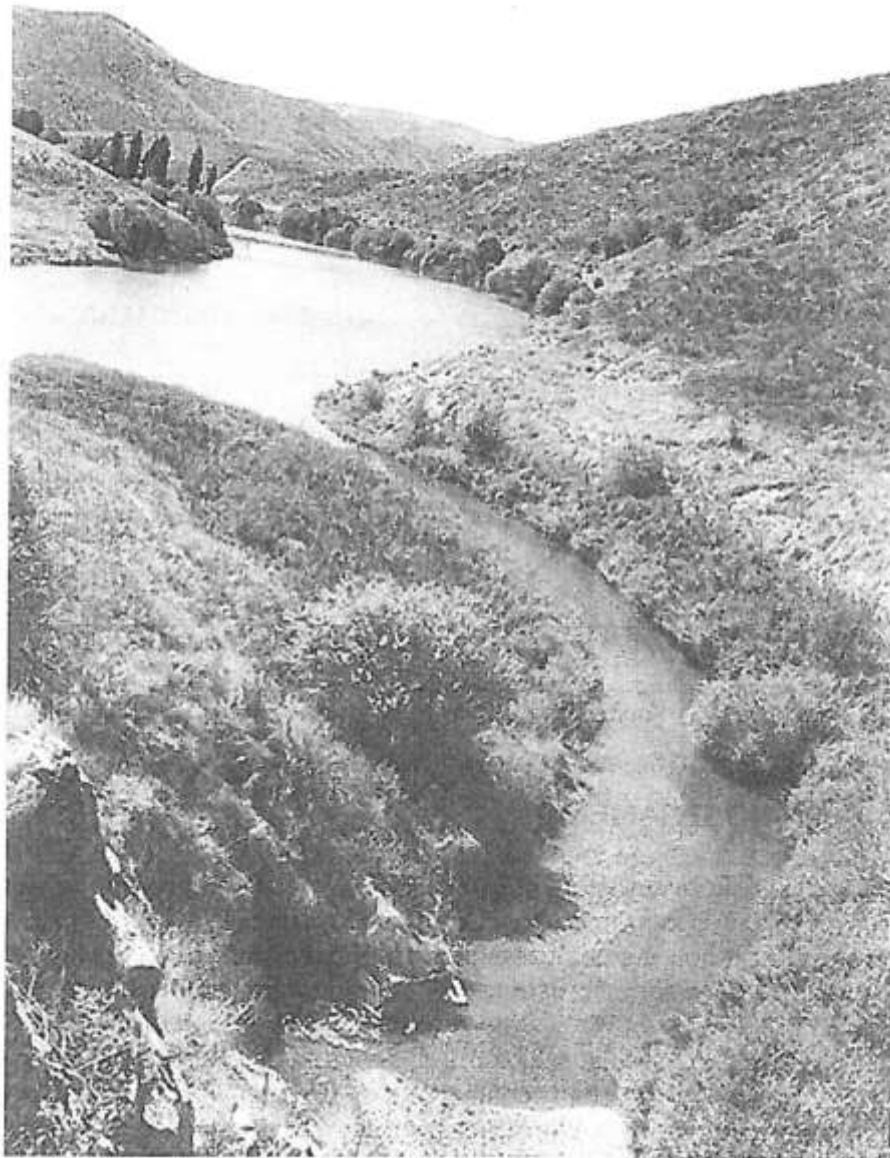
Σύμφωνα με όσα αναπτύχθηκαν στο πρώτο τμήμα του κεφαλαίου, η κατασκευή μεγάλων φραγμάτων τα τελευταία χρόνια τείνει να μειωθεί λόγω μειονεκτημάτων που παρουσιάζουν και του γεγονότος ότι στις ανεπτυγμένες χώρες οι πλεονεκτικές θέσεις των ποτάμιων συστημάτων έχουν ήδη αξιοποιηθεί.

Τα τελευταία χρόνια υπάρχει τάση αξιοποίηση των λεγομένων «ορεινών μικρών ταμιευτήρων» (*Laghetto 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 m<sup>3</sup> 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



Εξωποτάμια  
λιμνοδεξαμενή

Εικ. 11.3: Λιμνοδεξαμενή σε λοφώδες ανάγλυφο.

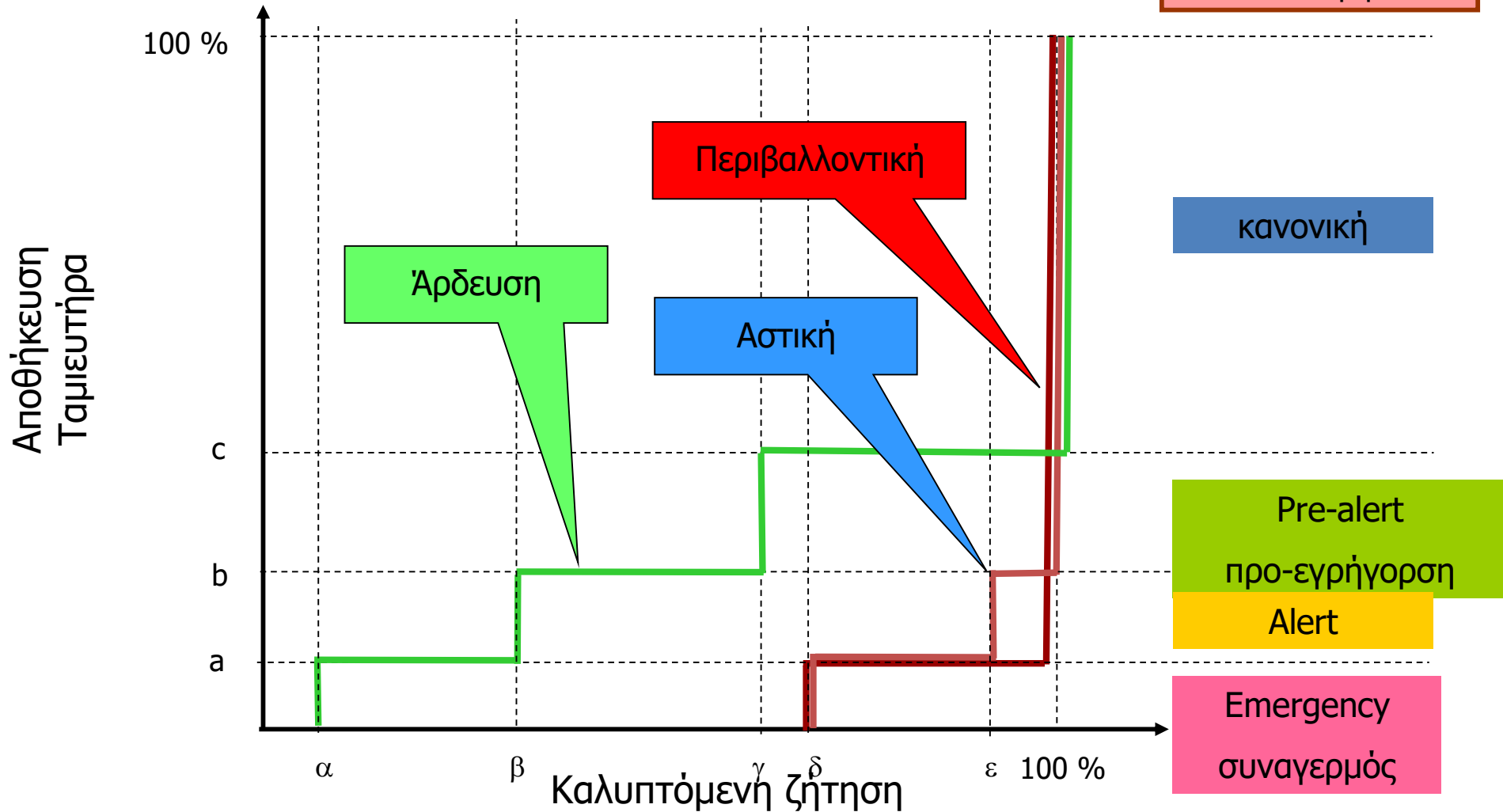
# Εναλλακτική: περιορισμός της ζήτησης

- Περιορισμός της πιο ελαστικής ζήτησης (π.χ. αγροτικής)
- Ζήτηση νερού: ( να μην συγχέεται με τις ανάγκες εξαρτάται από την τιμή του νερού ανά κυβικό)
- Διαφοροποίηση του βαθμού περιορισμού της ζήτησης σε συνθήκες ξηρασίας
- Προσαρμοστική διαχείριση

# 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.



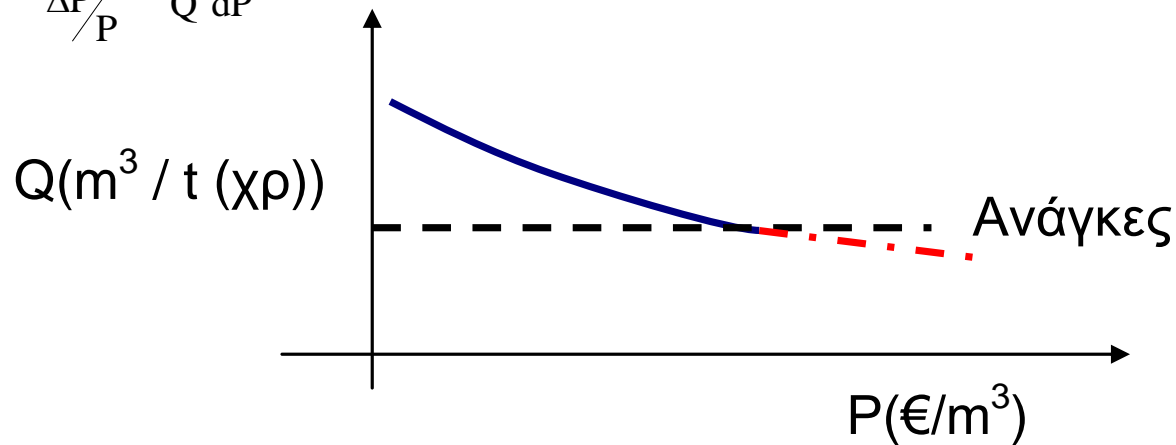
επανάληψη

### Ελαστικότητα της ζήτησης

Θεωρώντας στο παραπάνω μοντέλο ότι μία μεταβλητή X είναι η τιμή του νερού προκύπτει P:

Ελαστικότητα στην ζήτηση = (Ποσοστό αλλαγής στο Q)/(Ποσοστό αλλαγής στο P)=

$$PE = \frac{\frac{\Delta Q}{Q}}{\frac{\Delta P}{P}} = \frac{P}{Q} \frac{dQ}{dP}$$



Προφανώς η καμπύλη ζήτησης δεν πρέπει να είναι κάτω από την καμπύλη των αναγκών για κοινωνικούς λόγους.

Ζήτηση , οικονομικό μέγεθος

# Μη συμβατικές εναλλακτικές/ υφάλμυρες πηγές

Σε περιπτώσεις υδατικού ελλείμματος:  
Χρήση μη συμβατικών υδατικών πόρων και πρακτικών:

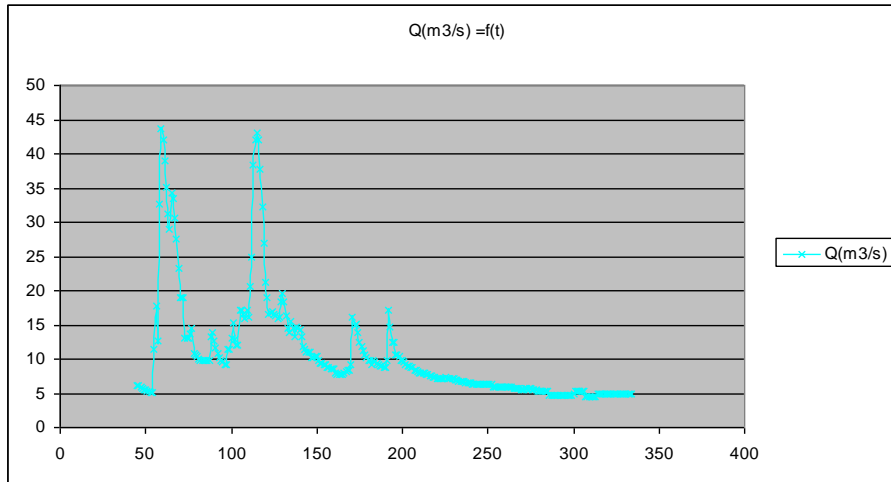
- Υφάλμυρες πηγές
- Αφαλάτωση
- Ανακτημένης ποιότητας νερά
- Ελλειμματική ή Υποβαθμισμένης ποιότητας άρδευση



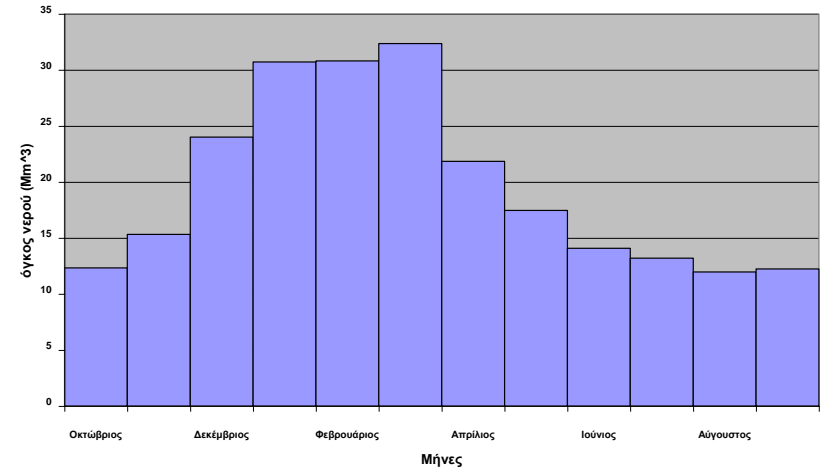
Η υφάλμυρη πηγή του Αλμυρού κείται 10 km δυτικά από το Ηράκλειο σε υψόμετρο 4m σε απόσταση 1 Km από τη θάλασσα .

- Περιοδικότητα στην ποιότητα.
- Παροχή: 4m<sup>3</sup>/s έως 70-80 m<sup>3</sup>/s
- Μέσες ετήσιες ποσότητες: 250x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>

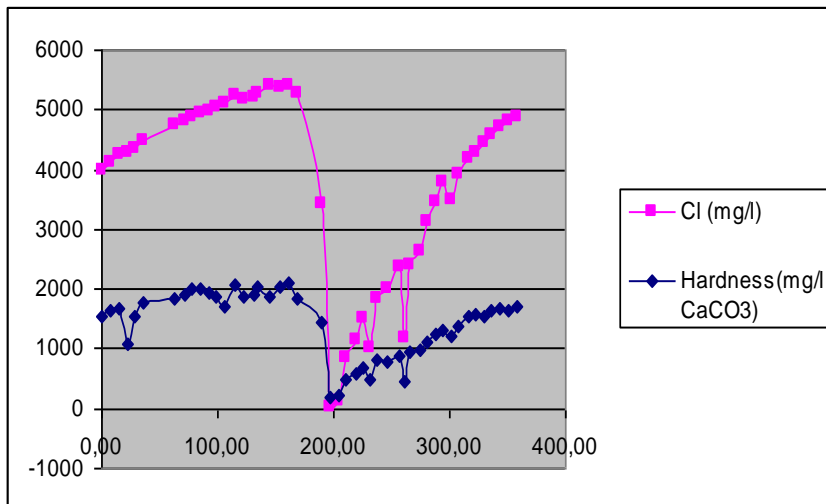
## Μεταβολή παροχής μέσα στο έτος



## Μέση μηνιαία παροχή



## Μεταβολή ποιότητας στο έτος



21 × 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> ως πόσιμο για το έτος 1999 – 2000 (όσο περίπου οι ανάγκες ύδρευσης του Ηρακλείου...) αλλά σε reak, τεχνική δυσκολία, κλίσεις κλπ.

Κριτήρια

# 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)

# Μέθοδος κόστους αποτελεσματικότητας

$$R = AEC / Effectiveness \quad (1)$$

όπου *AEC* είναι το ετήσιο ισοδύναμο κόστος προς τον όρο *Effectiveness* που αντιστοιχεί στην ποσοτική αλλαγή ή των επιπτώσεων ή των πιέσεων. Είναι προφανές ότι για τις ποσότητες που χρησιμοποιούνται στην παραπάνω σχέση, απαιτείται και μία διαδικασία επικαιροποίησης που απαιτείται για την μετατροπή των αρχικών δαπανών αλλά και των ετήσιων δαπανών λειτουργίας και συντήρησης σε κατάλληλες μονάδες. Δυστυχώς, το επιτόκιο επικαιροποίησης έχει αφηθεί ελεύθερο στις χώρες μέλη με αποτέλεσμα να είναι διαφορετικό σε κάθε χώρα. Για παράδειγμα η Ισπανία χρησιμοποιεί επιτόκιο 2%, η Δανία το 3% και η Ολλανδία το 4% (Berbel et al. 2011). Υπάρχει σκεπτικισμός που εστιάζεται στη μεροληψία της μεθόδου, που έχει την τάση να προκρίνει μεγάλης έκτασης μέτρα ή έργα (Aulong et al. 2009, Tsakiris et al. 2015) και για την

μονοκριτηριακή μεθοδολογία κυρίως νεοκλασικής προσέγγισης (Martin-Ortega 2012). Η μέθοδος αυτή, αν και κατά βάση μονοκριτηριακή, χρησιμοποιείται ευρύτατα αντί της πολλαπλά παρουσιαζόμενης στα κείμενα της κοινότητας πολυκριτηριακής ανάλυσης (Tsakiris and Spiliotis 2011).

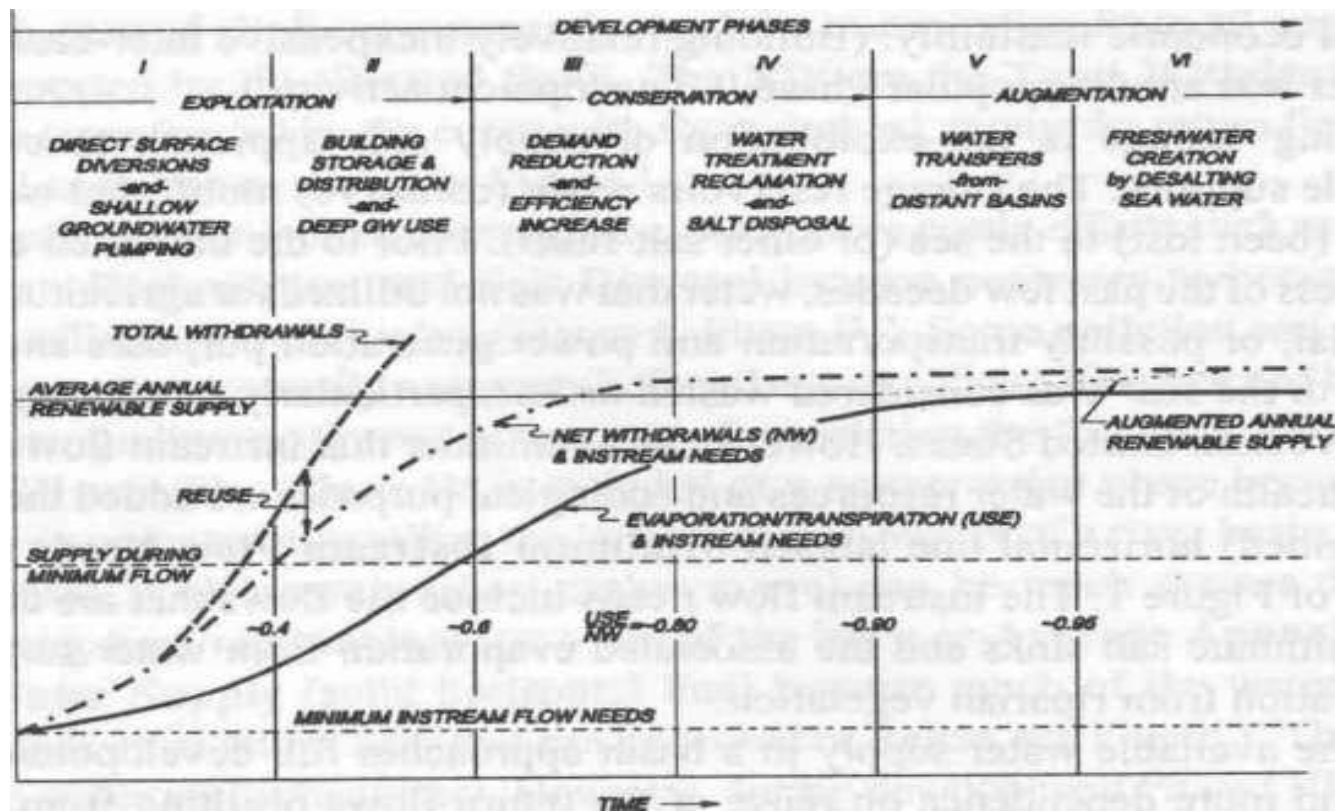
# Κριτική της μεθόδου κόστους αποτελεσματικότητας

- 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).
- Η Ε.Ε. προτείνει όπως αυτή τη μέθοδο, στην ουσία προκρίνει μία μετά μονοκριτηριακή μέθοδο θεωρώντας το περιβαλλοντικό κριτήριο ως απόλυτο περιορισμό.

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



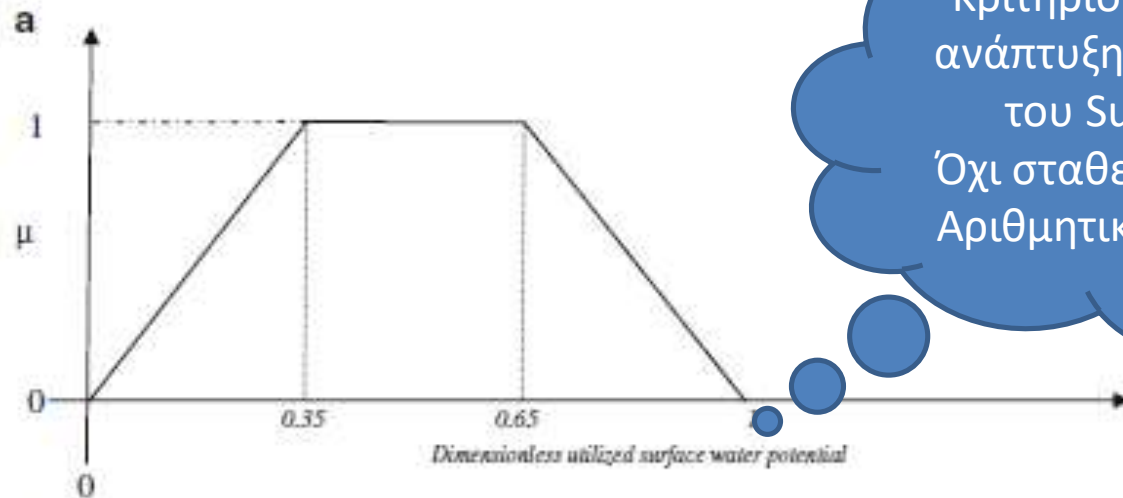
# Κριτήρια / ποιοτική αξιολόγηση

- 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

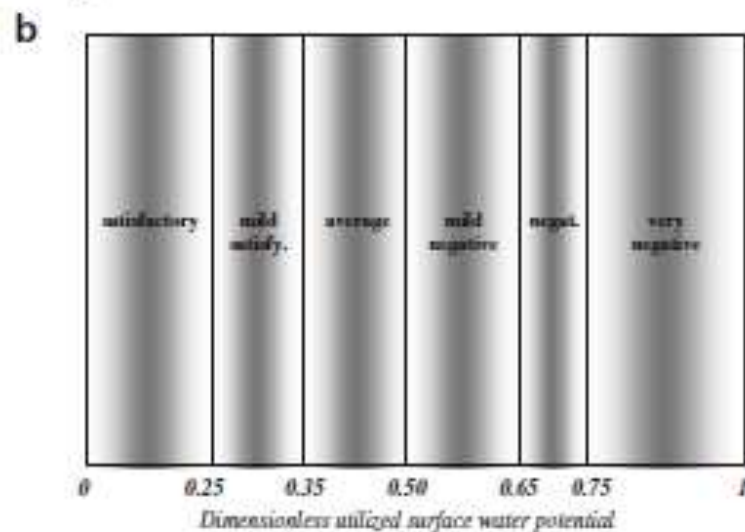
# Κριτήρια/Δείκτες

- 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

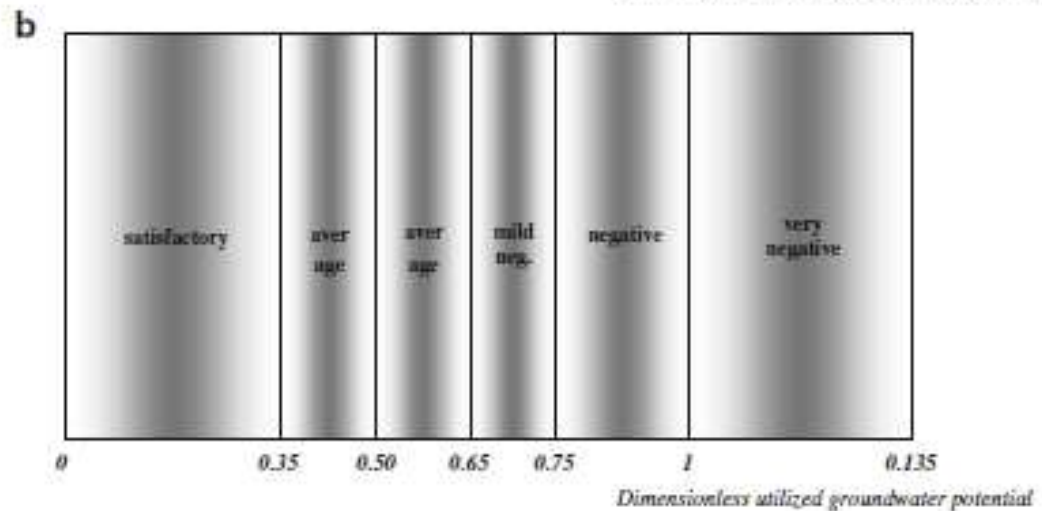
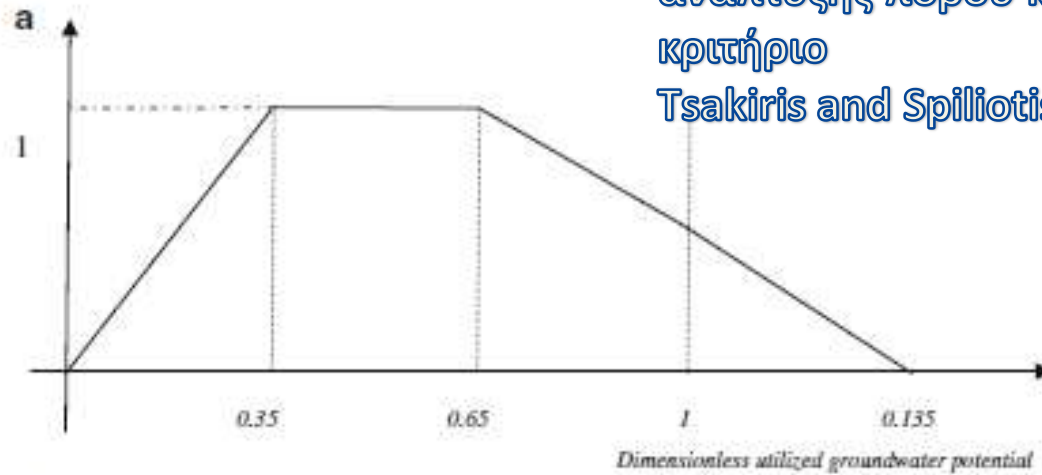


Περιβαλλοντικό κριτήριο, συνάρτηση του Supply/MAR  
 Σταθερή μονοτονία  
 Όμως...  
 Ποιοτική αξιολόγηση

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 2011	Criteria					Water energy consumptions	Additional available annual volume of water (m <sup>3</sup> )	Multicriteria (value of scoring function) ranking
	Alternatives	Rational water development (veto)	Economic	Environmental (veto)	Project viability			
		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 Tsigalario	$X_{2-1}$	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%

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)



Λήψη απόφασης-

# 2023



# Eye4Water

ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΤΗΣ ΟΡΘΟΛΟΓΙΚΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ  
ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ (ΣΤΗΝ Π-ΑΜΘ) ΜΕΣΩ  
ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΚΑΙΝΟΤΟΜΩΝ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΩΝ  
ΤΠΕ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΩΝ  
ΥΠΟΔΟΜΩΝ



Article

## Supporting Participatory Management Planning for Catchment Operationalization with Intuitionistic Fuzzy Sets—A Study in Laspis River, Thrace, Greece

Thomas Bakas, Christopher Papadopoulos, Dionissis Latinopoulos\*, Ifigenia Kagalou, Christos Akratos, Panagiotis Angelidis, Fotios-Konstantinos Pliakas and Mike Spiliotis\*

Department of Civil Engineering, Democritus University of Thrace, Kimmeria Campus, 67100 Xanthi, Greece; tbakas@civil.duth.gr (T.B.); cpapadp@civil.duth.gr (C.P.); ikagalou@civil.duth.gr (I.K.); zakrats@civil.duth.gr (C.A.); pangeld@civil.duth.gr (P.A.); fpliakas@civil.duth.gr (F.-K.P.);

\* Correspondence: dlatinop@civil.duth.gr (D.L.); mspiliot@civil.duth.gr (M.S.);

Tel: +30-2451079612 (D.L.); +30-2541079613 or +30-6951125783 (M.S.)

**Abstract:** Bottom-up management in a catchment scale is deemed the optimal way to avoid conflicts among water users through the participation of stakeholders, strategy co-shaping, and solutions co-creation. Water management cannot be one-dimensional; it demands cross sectoral cooperation. Usually, the difficulty lies in proper stakeholder training and inclusion of their opinions, which should be used in a quantifiable manner in water management. The Laspis River watershed occupies an area of 221.8 km<sup>2</sup> that includes the River Basin District of Thrace; it is characterized by intense agricultural and industrial activity. To comply with the augmented water needs and pollution loads this research aims to utilize a hybrid intuitionistic fuzzy multi-criteria-based methodology to address respectfully stakeholders' opinion, this research aims to utilize a hybrid intuitionistic fuzzy multi-criteria-based methodology. It is often difficult to manage planning water management measures as the problems include multiple (conflicting) criteria that are based on stakeholder's opinions, which are usually imprecise and in a rather qualitative form. This study provides the mathematical tools to reach comprehensive decisions with the public involvement offering a practical solution in an existing problem, that is the proper inclusion of stakeholders' opinion. The weights are produced based on a stakeholder's opinion. The alternatives' ranking is achieved based on the fuzzified intuitionistic version of the Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS), and a hierarchy of mitigation problems is achieved via this novel approach.

**Keywords:** intuitionistic fuzzy sets; TOPSIS; stakeholder's involvement; water resources management; Laspis river



Citation: Bakas, T.; Papadopoulos, C.; Latinopoulos, D.; Kagalou, I.; Akratos, C.; Angelidis, P.; Pliakas, F.-K.; Spiliotis, M. Supporting Participatory Management Planning for Catchment Operationalization with Intuitionistic Fuzzy Sets—A Study in Laspis River, Thrace, Greece. *Water* **2023**, *15*, 2928. <https://doi.org/10.3390/w15162928>

# Λασπίας: έντονα περιβαλλοντικά προβλήματα, περίπλοκο καθεστώς (εμπλουτισμός από στραγγιστικά Νέστου)

each individual.

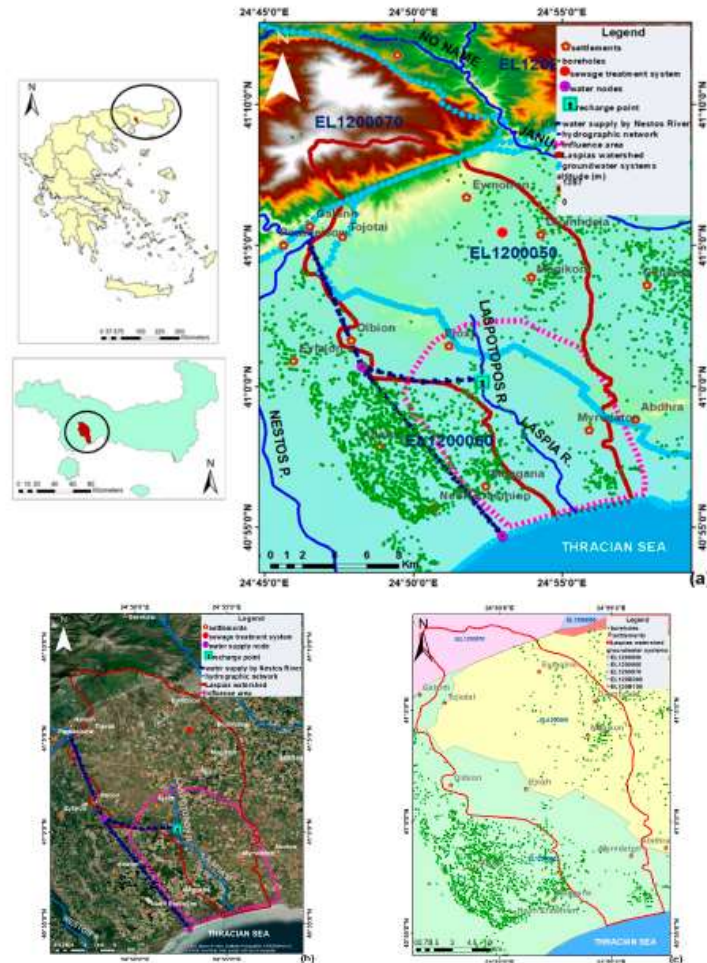
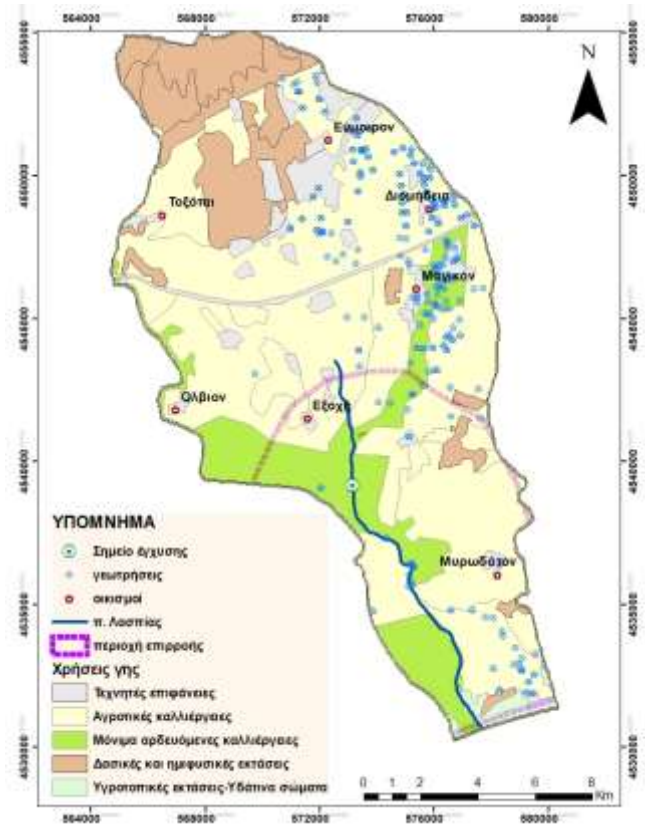


Figure 1. (a) Geomorphology of the Laspias watershed and groundwater systems; (b) Influence area of Laspias River for irrigation activities and the water supply pipeline by the Nestos River; (c) The Laspias watershed overlies three groundwater systems.



# Νέες τάσεις

- Ανάδειξη ποιοτικών προβλημάτων
- Συμμετοχή κοινού με ερωτηματολόγια
- Διαμόρφωση βαρών με βάση τη **συμμετοχή του κοινού (Π.Χ.ερωτηματολόγια)**
- Ειδικά μαθηματικά (διαισθητικά ασαφή σύνολα) για την κωδικοποίηση λεκτική πληροφορίας
- Περιβαλλοντικά προσαρμοσμένα κριτήρια
- Περιβαλλοντικές εναλλακτικές σε υψηλή ιεράρχηση
- Κοινοτική οδηγία για καλή περιβαλλοντική κατάσταση

# • Ερωτηματολόγιο



ΔΗΜΟΚΡΑΤΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΡΑΚΗΣ  
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ ΞΑΝΘΗΣ

## Ερωτηματολόγιο.

(Το ερωτηματολόγιο συμπληρώνεται από τους/τις παρόντες και χρήστες νερού της λεκάνης απορροής του π. Λασιπία.

Επωνυμία Φορέα/Όργανισμοί:
E-mail:
Ηλικία: <25 <input type="checkbox"/> 25-45 <input type="checkbox"/> 45-65 <input type="checkbox"/> >65 <input type="checkbox"/>
Επάγγελμα/Κατάρτιση/Εκπαίδευση: Νέος αγρότης <input type="checkbox"/> Έμπειρος αγρότης (>5 έτη) <input type="checkbox"/> Ικανός αγρότης (χρόνια καλλιέργητής και να έχει τελειώσει το λύκειο ή εξειδικευμένος σε συγκεκριμένου τύπου καλλιέργειας) <input type="checkbox"/> Ειδικός (σε οργανισμούς με σχετικό πτυχίο ΔΕΠ) <input type="checkbox"/> Κάτοχος σχετικού μεταπτυχιακού διπλώματος <input type="checkbox"/>
Μερφωτικό επίπεδο: Δημοτικό <input type="checkbox"/> Γυμνάσιο <input type="checkbox"/> Λύκειο <input type="checkbox"/> ΙΕΚ <input type="checkbox"/> Πτυχίο <input type="checkbox"/> Μεταπτυχιακό <input type="checkbox"/> Διδακτορικό <input type="checkbox"/>

### Ερώτηση 1

Ποια πιστεύετε ότι είναι τα βασικότερα προβλήματα του π. Λασιπία. Ιεραρχήστε από 1 έως 8 από το πιο βασικό έως το λιγότερο βασικό πρόβλημα.

- a) Πλημμυρικά φαινόμενα
- b) Προβλήματα στην ποιότητα του νερού από τον π. Λασιπία
- c) Προβλήματα επάρκειας νερού από τον π. Λασιπία
- d) Προβλήματα στην ποιότητα του νερού τους καλοκαιρινούς μήνες από τον π. Λασιπία
- e) Προβλήματα στην ποιότητα του νερού σε έτη με ξηρασία από τον π. Λασιπία
- f) Προβλήματα επάρκειας νερού από τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα
- g) Προβλήματα στην ποιότητα του νερού τους καλοκαιρινούς μήνες από τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα
- h) Προβλήματα στην ποιότητα του νερού σε έτη με ξηρασία από τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα

Αναφέρετε τυχόν άλλα προβλήματα σχετικά με τον π. Λασιπία ή τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα



### Ερώτηση 8

Πώς θα κρίνατε την σημαντικότητα των κριτηρίων για την ορθολογική και συνδυαστική διαχείριση υπογείων και επιφανειακών νερών στην λεκάνη απορροής του ποταμού Λασιπία?

Κριτήρια	Εξαιρετικά Χαμηλή	Πολύ Χαμηλή	Χαμηλή	Μέτρια Χαμηλή	Μέτρια	Μέτρια Υψηλή	Υψηλή	Πολύ Υψηλή	Εξαιρετικά Υψηλή
1. Οικονομικά									
2. Κοινωνικά									
3. Περιβαλλοντικά									
4. Κάλυψη υδατικών αναγκών									
5. Ανθεκτικότητα μέτρων στην κλιματική αλλαγή									
6. Τοπική αποδοχή & ύπαρξη τεχνογνωσίας σε επίπεδο νομού <sup>1</sup>									
7. Σημαντικότητα του μέτρου <sup>2</sup>									
8. Εξοικονόμηση νερού									
9. Συνέργεια με άλλα μέτρα									
10. Προσέλκυση νέων ανθρώπων στην ύπαιθρο για διαμονή και εργασία									

Αναφέρετε άλλα κριτήρια.

.....  
.....

<sup>1</sup> ωριμότητα έργου

<sup>2</sup> μέρος του υδάτινου σώματος που επηρεάζει

**Πίνακας** Σφάλμα! Δεν υπάρχει κείμενο καθορισμένου στυλ στο έγγραφο..1 Αντιστοίχιση λεκτικών τιμών με διαισθητικά ασαφείς τιμές IFV's

Λεκτικός Όρος	IFV (μ, ν, π)
Εξαιρετικά κακό / Εξαιρετικά χαμηλό	{0.1, 0.9, 0}
Πολύ κακό / Πολύ χαμηλό	{0.1, 0.75, 0.15}
Κακό / Χαμηλό	{0.25, 0.6, 0.15}
Μεσαία κακό / Μεσαία χαμηλό	{0.4, 0.5, 0.1}
Δίκαιο / Μεσαίο	{0.5, 0.4, 0.1}
Μεσαία καλό / Μεσαία υψηλό	{0.6, 0.3, 0.1}
Καλό / Υψηλό	{0.7, 0.2, 0.1}
Πολύ καλό / Πολύ Υψηλό	{0.8, 0.1, 0.1}
Εξαιρετικό / Εξαιρετικά Υψηλό	{0.9, 0, 0}

$$\begin{aligned}
 w_j &= IFWA(w_j^1, w_j^2, \dots, w_j^k, \dots, w_j^l) = \lambda_1 w_j^1 \oplus \lambda_2 w_j^2 \oplus \dots \oplus \lambda_k w_j^k \oplus \dots \oplus \lambda_l w_j^l \\
 &= \left[ 1 - \prod_{k=1}^l (1 - \mu_j^k)^{\lambda_k}, \right. \\
 &\quad \left. \prod_{k=1}^l (v_j^k)^{\lambda_k}, \prod_{k=1}^l (1 - \mu_j^k)^{\lambda_k} - \prod_{k=1}^l (v_j^k)^{\lambda_k}, \right]
 \end{aligned}
 \tag{5.2}$$

Αξιοποίηση  
λεκτικής  
πληροφορίας  
με ασαφή  
λογική



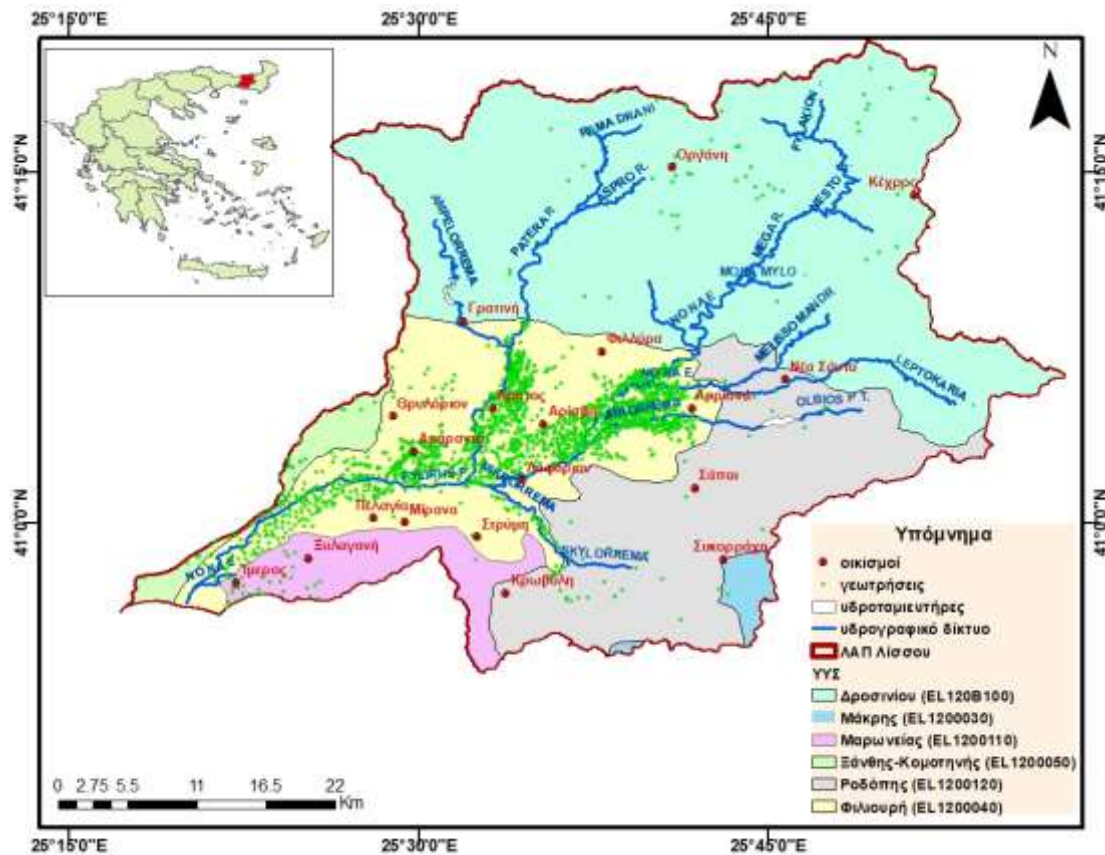
# Τα κριτήρια που επιλέχθηκαν

1. Οικονομικό κριτήριο.
2. Κοινωνικό κριτήριο.
3. Περιβαλλοντικό κριτήριο.
4. Κριτήριο κάλυψης υδατικών αναγκών.
5. Κριτήριο ανθεκτικότητας του μέτρου στην κλιματική αλλαγή.
6. Κριτήριο αποδοχής, και ύπαρξης τεχνογνωσίας σε επίπεδο νομού.
7. Κριτήριο σημαντικότητας του μέτρου.
8. Κριτήριο εξοικονόμησης νερού.
9. Κριτήριο Συνέργειας με άλλα μέτρα.
10. Κριτήριο προσέλκυσης νέων ανθρώπων στην ύπαιθρο για διαμονή

# Εναλλακτικές

**Πίνακας 6.2.** Τελικά αποτελέσματα χρησιμοποιώντας τη μέθοδο TOPSIS με Ευκλείδειες αποστάσεις με βάση τα βάρη IFWA.

Εναλλακτική λύση	$D_i^+$	$D_i^-$	Score (Ci)	Κατάταξη
Επαναχρησιμοποίηση λιμμάτων (A1)	0.2516	0.5894	0.7008	1
Εισροή στον ποταμό Λασπία από πλεόνασμα νερού των καναλιών (A2)	0.3274	0.4412	0.5740	12
Αλλαγή των καλλιεργειών σε λιγότερο υδροφόρους τύπους (A3)	0.3183	0.5229	0.6216	11
Δημιουργία κεντρικού αρδευτικού δικτύου (A4)	0.2900	0.5846	0.6684	6
Χορήγηση/χρήση αυτοματισμού στις αρδευτικές δραστηριότητες (A5)	0.2816	0.5532	0.6627	7
Τεχνητή αναπλήρωση υπόγειων υδάτων με χρήση περίσσειας νερού με βάση τη λεκάνη πλημμύρας (A6)	0.2856	0.4772	0.6256	10
Τεχνητή αναπλήρωση υπόγειων υδάτων με χρήση πλεονάζοντος νερού με βάση το δίκτυο τάφρων (A7)	0.2662	0.5031	0.6540	9
Εντατικοποίηση της άρδευσης (A8)	0.5443	0.3447	0.3877	13
Καμία αλλαγή (A9)	0.6571	0.2425	0.2695	14
Επανασχεδιασμός γραμμών παραγωγής και εσωτερική ανακύκλωση ροών νερού (A10)	0.2704	0.5622	0.6752	4
Αφαίρεση/απενεργοποίηση ρύπων (A11)	0.2798	0.5487	0.6623	8
Αυστηρή εφαρμογή της τιμολογιακής πολιτικής για τη χρήση του νερού (A12)	0.2761	0.5598	0.6697	5
Αυστηρή εφαρμογή της τιμολογιακής πολιτικής για τη ρύπανση (A13)	0.2483	0.5781	0.6996	2
Παρακολούθηση ρύπων του συστήματος (A14)	0.2580	0.5796	0.6919	3



# ΝΕΑ ΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΗ Λ.Α ΛΙΣΣΟΥ.



# Eye4Water

ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΤΗΣ ΟΡΘΟΛΟΓΙΚΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ  
ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ (ΣΤΗΝ Π-ΑΜΘ) ΜΕΣΩ  
ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΚΑΙΝΟΤΟΜΩΝ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΩΝ  
ΤΠΕ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΩΝ  
ΥΠΟΔΟΜΩΝ

# Συμμετοχή κοινού: Συνάντηση εργασίας



- Ο ευρύτερος στόχος από αυτή τη διαδικασία είναι η κάλυψη του κενού μεταξύ επιστήμης και υδροπολιτικής. Κατάφερε να προβληματίσει τους ενδιαφερόμενους αλλά και να πάρει ένα στιγμιότυπο από τις απόψεις των ενδιαφερομένων για τον ποταμό Λίσσο. Αξίζει να σημειωθεί ότι δεν υπήρχε σύμπτωση απόψεων, εκτός από τις δραστηριότητες που ασκούσαν πίεση στη λεκάνη απορροής.
- Η συμμετοχική διαδικασία διακρίθηκε σε δύο μέρη. Αρχικά πραγματοποιήθηκε επίσημη σύντομη ενημέρωση για τα έως τότε ευρήματα της έρευνας τόσο για την κατάσταση των επιφανειακών νερών όσο και για αυτήν των υπόγειων νερών. Στη συνέχεια οι συμμετέχοντες, αφού είχαν διακριτοποιηθεί σε τρεις ομάδες (αγρότες – farmers, ειδικοί – experts και διοικητικοί – administrative officers) με διαφορετικό χρώμα η κάθε ομάδα, παροτρύνθηκαν να συμμετάσχουν σε δύο ασκήσεις με ελεύθερο και ανοιχτό τρόπο με τη βοήθεια εννέα συντονιστών. Με τον τρόπο αυτό, ο κάθε συμμετέχων από οποιαδήποτε ομάδα συμπλήρωσε την απάντηση του βάσει των ερωτηματολογίων με διαφορετικό χρώμα του Post-it (Karasani, et al. 2023).

# Συμμετοχή κοινού

✓ Λίστα ενδιαφερομένων μελών, καταγραφή, ενημέρωση

✓ Τρεις προσκεκλημένες ομάδες: **1) αγρότες 2) διοικητικοί υπάλληλοι & 3) ειδικοί**

- Συνάντηση εργασία ✓ Δύο συνεδριάσεις:
  - A. Σύντομη ενημέρωση με παρουσίαση μετρήσεων
  - B. Συμμετοχή μελών σε δύο **ερωτηματολόγια** με ελεύθερο τρόπο και παροχή βοήθειας μόνο προς επεξήγηση

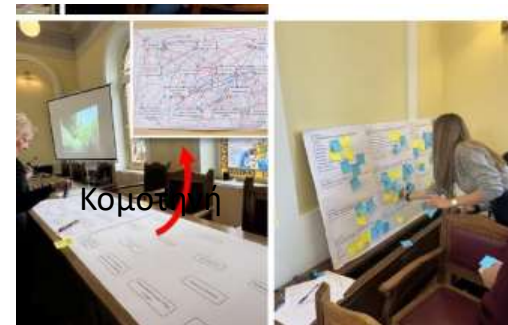
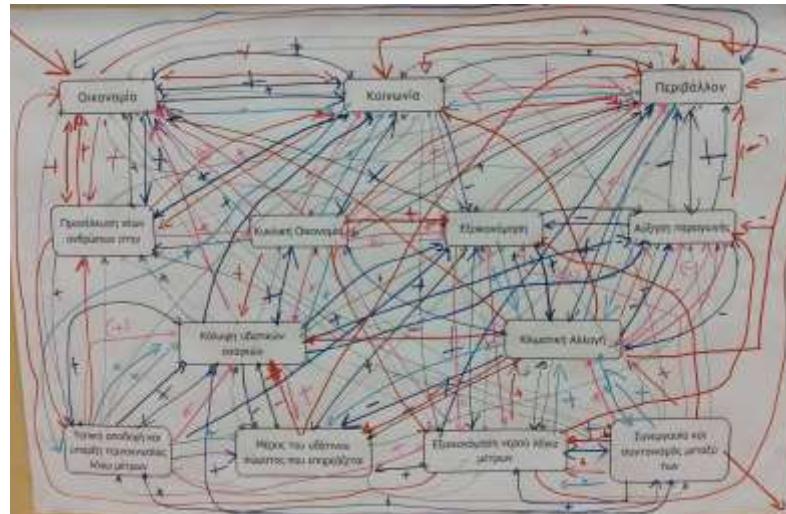


Figure 2.5. Stakeholders involved in river basin planning and management, each having different goals and information needs (Engineering News Record, 20 September 1993, with permission).

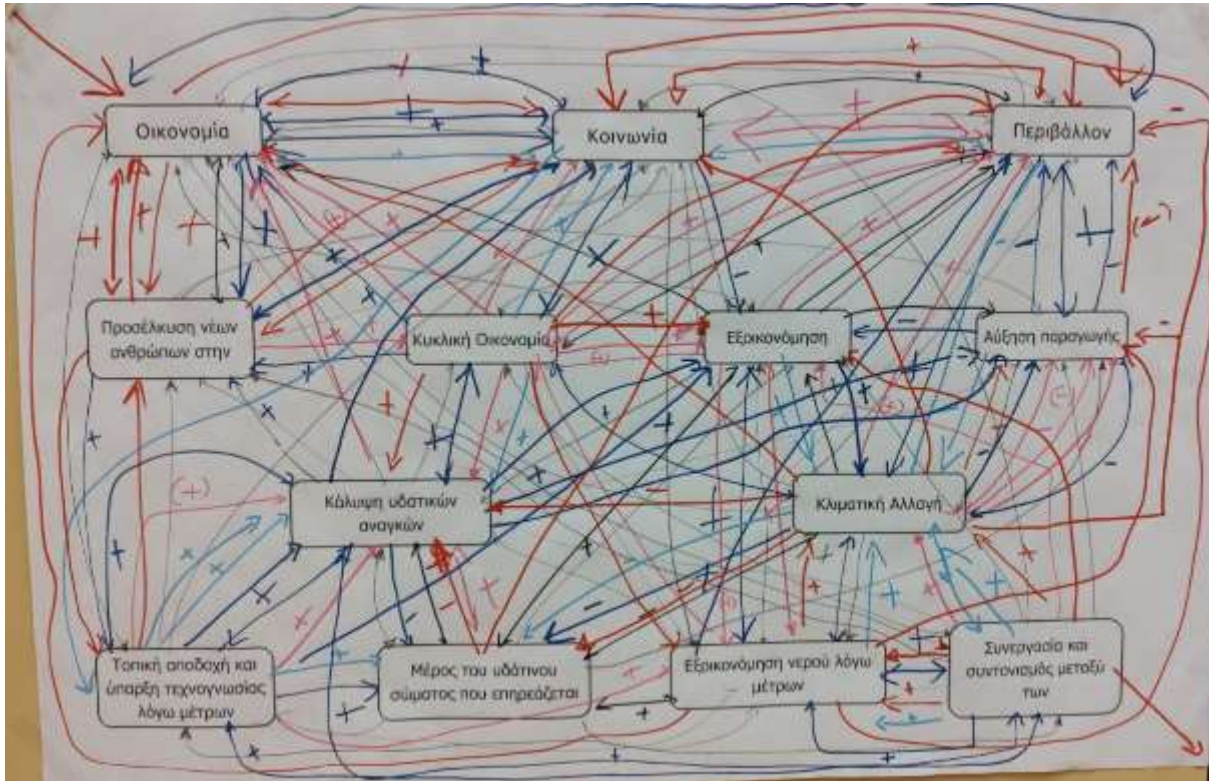
# Εφαρμογή της Dematel

- Βάρη με βάση την αιτιότητα



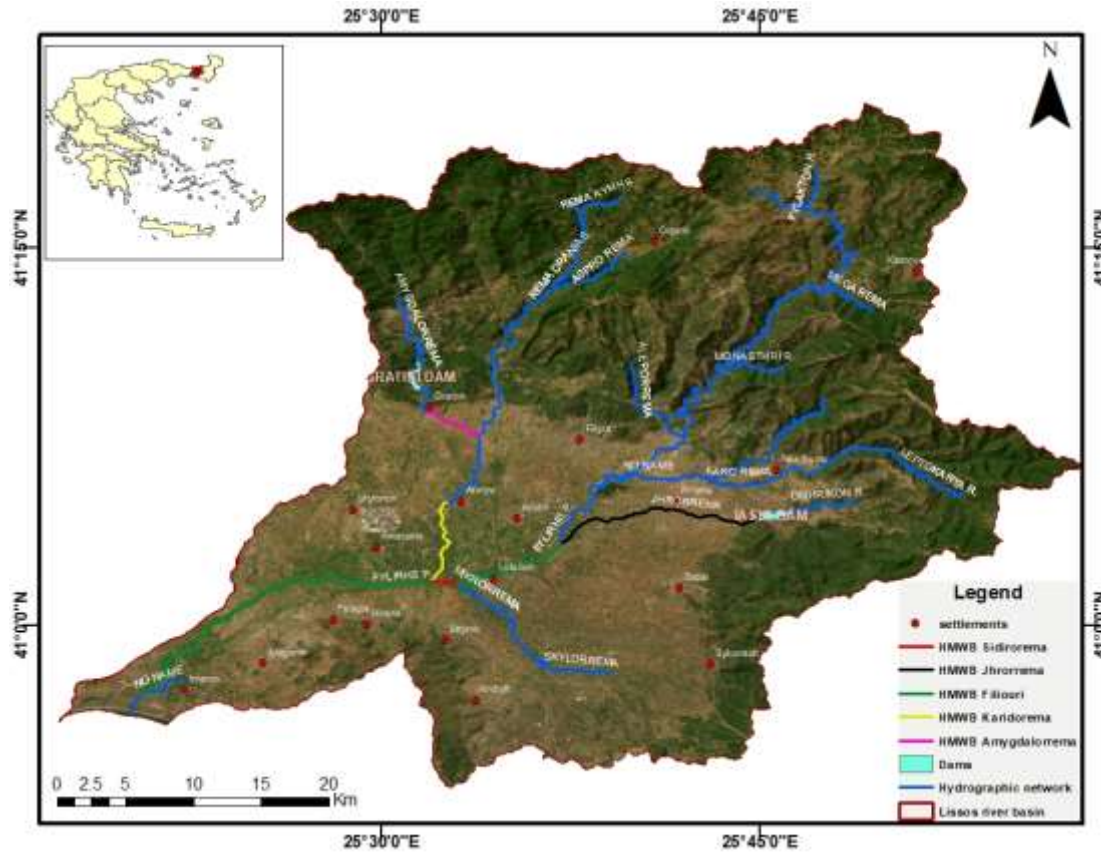
# Ταξινόμηση κριτηρίων

CRITERIA	RANK BASED ON IFWA	RANK BASED ON DEMATEL
➤ Finances	2	3
➤ Socially	11	2
➤ Environmental	4	1
➤ Covering water needs	3	4
➤ Resilience of measures to climate change	5	6
➤ Local acceptance & existence of know-how at prefecture level	10	9
➤ Significance of the measure	8	13
➤ Saving water	6	8
➤ Synergy with other measures	12	10
➤ Attracting new people to the countryside to live and work	7	12
➤ circular economy,	13	5
➤ energy saving	9	7
➤ increasing agro-food chain production	1	11





# Εικόνα Ιδιαίτερος Τροποποιημένα Υδάτινα Σώματα της ΛΑΠ Λίσσου.



# Υπόγεια Υδροφορία, αντλήσεις, καλλιεργούμενες εκτάσεις

