

# Διαχείριση Υδατικών Πόρων

Επαναληπτικό μάθημα

Δρ Μ.Σπηλιώτη

Λέκτορα ΔΠΘ

# 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) και έκταση

ΔΥΠ στο πλαίσιο της επιστήμης  
Λήψης Αποφάσεων

# **ΓΡΑΜΜΙΚΟΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ**

## Γραμμικός προγραμματισμός

Συνάρτηση στόχου } γραμμικές εξισώσεις  
Περιορισμοί }

- Συνάρτηση στόχου:  $Z = \sum_{i=1}^n c_i x_i$

$c_i$ : σταθεροί συντελεστές

$x_i$ : μεταβλητές απόφασης

- Περιορισμοί:  $\sum_{i=1}^n a_{ki} x_i \leq b_k \quad k=1, 2, \dots, m$

$m$  ανισότητες,  $n$  άγνωστοι

Χρυσάνθου, 2013

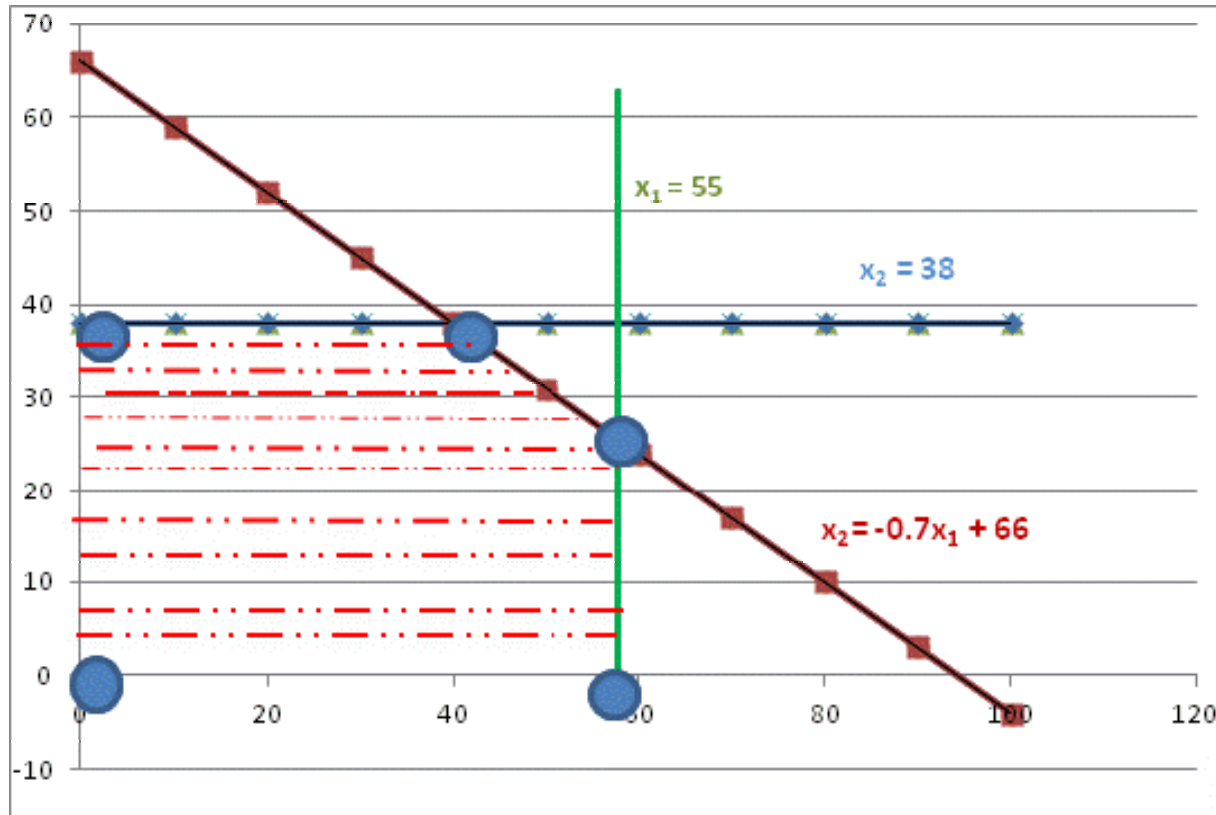
Συνθήκες προσημίου:  $x_i \geq 0 \quad i=1, 2, \dots, n$

(θετικές εισροές, αποθήκεύσεις κ.λπ.)

# Κατανόηση γραμμικού προγραμματισμού

- Συνάρτηση στόχου: π.χ. επιδιωκόμενο κέρδος (μία συνάρτηση συμμετοχής)
- Μεταβλητές απόφασης, π.χ. απολήψιμες ποσότητες νερού (μη αρνητικές ποσότητες)
- Περιορισμοί, περιορισμοί διαθεσιμότητας νερού
  - Υλικοί περιορισμοί
  - Περιορισμοί που εκφράζουν ένα ελάχιστο επίπεδο ικανοποίησης κάποιων στόχων
- Λύση εντός του εφικτού πεδίου (που θα είναι κυρτό)
- ....στα σύνορα και μάλιστα στις κορυφές (για γραμμικό προγραμματισμό)

# Κυρτό πεδίο ορισμού, γραμμικός προγραμματισμός λύση στις κορυφές



$$\max(x_1 + 1,5 \cdot x_2)$$

$$x_1 \leq 66$$

$$x_2 \leq 49$$

$$x_1 \leq 55$$

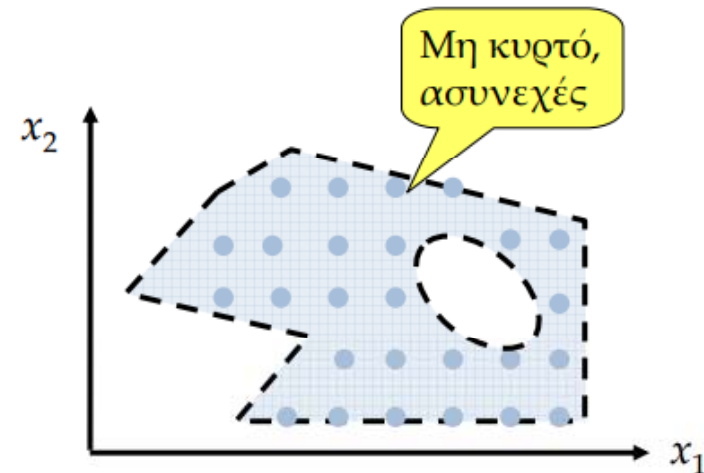
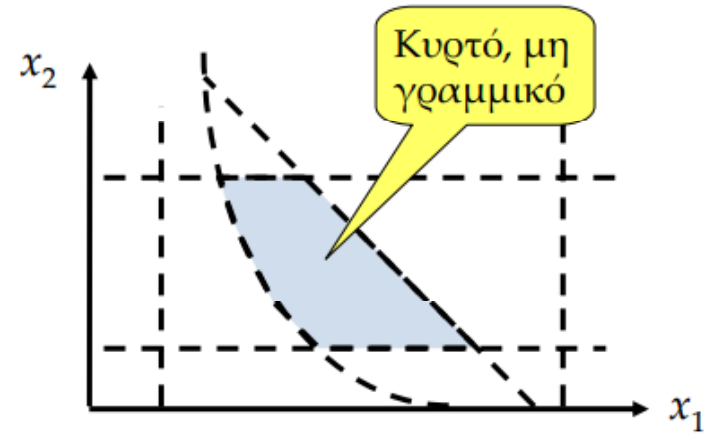
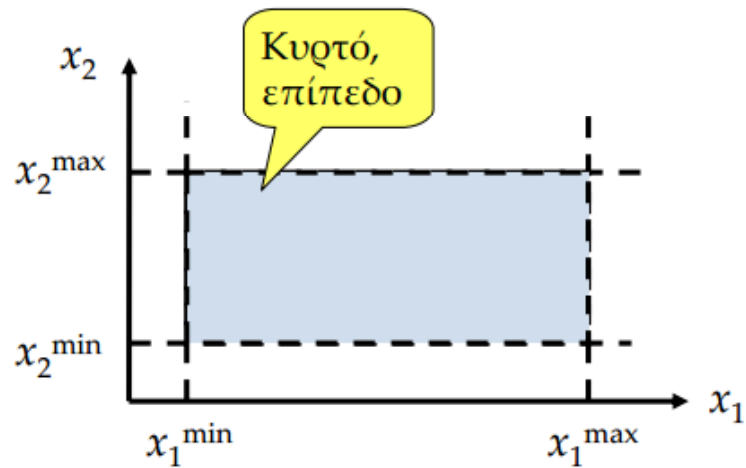
$$x_2 \leq 41$$

$$+0,7 \cdot x_1 + x_2 \leq 66$$

$$x_2 \leq 38$$

$$x_1, x_2 \geq 0$$

## Παραδείγματα περιορισμών – εφικτών πεδίων





# **ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΜΕ ΠΟΛΛΑΠΛΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ**

Βελτιστοποίηση: Ψάχνω να βρω την (τις)  
αποτελεσματικές λύσεις

Συνήθως υπό ένα σύνολο περιορισμών των πόρων

Οι πολλαπλές συναρτήσεις στόχου,  
αντιπροσωπεύουν τα (πολλαπλά) κριτήρια  
(δεν ταυτίζονται απόλυτα για τεχνικούς λόγους)

# Βελτιστοποίηση με πολλαπλά κριτήρια: Μη αποτελεσματικές λύσεις

Στα πολυκριτηριακά προβλήματα βελτιστοποίησης η έννοια της βέλτιστης λύσης αντικαθίσταται από την έννοια της αποτελεσματικής λύσης (!) (efficient solution), η οποία βασίζεται στην έννοια της κυριαρχίας (dominance) ( Δούμπος, 2004).

Στα πολυκριτηριακά προβλήματα βελτιστοποίησης η έννοια της βέλτιστης λύσης αντικαθίσταται από την έννοια της αποτελεσματικής λύσης (efficient solution), η οποία βασίζεται στην έννοια της κυριαρχίας (dominance) ( Δούμπος, 2004).

*Ορισμός (κυριαρχία):* Δεδομένων δύο εφικτών λύσεων  $x, y$  και ενός συνόλου συναρτήσεων:

$\{g_1(x), \dots, g_k(x)\}$  κριτηρίων, μία δυνατή λύση  $x$  κυριαρχεί έναντι μίας άλλης  $y$   $x \Delta y$ , αν και μόνο αν ισχύει:

$$x \Delta y \Leftrightarrow g_i(x) \geq g_i(y), \forall i \in K$$

και για έναν τουλάχιστον δείκτη  $i^*$  ισχύει:

$$g_{i^*}(x) > g_{i^*}(y) \tag{3.1}$$

*Ορισμός (αποτελεσματική λύση):* Μία δυνατή λύση  $x \in A$  ονομάζεται αποτελεσματική για την οικογένεια κριτηρίων  $\{g_1(x), \dots, g_k(x)\}$  αν και μόνο αν δεν υπάρχει δυνατή λύση  $y \in A$  η οποία να κυριαρχεί της  $x$ . Από πολλούς χρησιμοποιείται και η ονομασία μη κατώτερη λύση.

# Πολυκριτηριακή βελτιστοποίηση

- Πολλές συναρτήσεις στόχου (αντ. έμμεσα ή άμεσα, κριτήρια)
- Υπό ένα σύνολο περιορισμών
- Πρόβλημα ασθενώς ορισμένο
- Εύρεση λύσεων Pareto (μη κατώτερων λύσεων) αντί βέλτιστης λύσης

$$Z(x) = [Z_1(x), Z_2(x), \dots, Z_r(x)]$$

Υπό ένα σύνολο περιορισμών που καταλήγουν σε ένα πεδίο εφικτών λύσεων

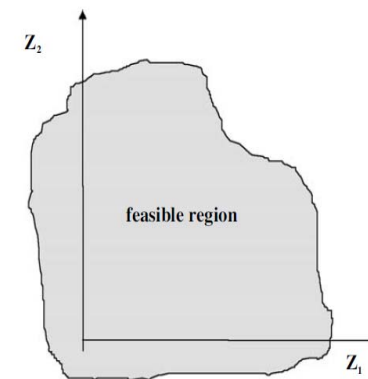


Figure 10.2 Feasible region of a multi-objective problem presented in the objective space

# Μέτωπο Pareto

- Μέτωπο Pareto: Το σύνολο όλων των μη κατώτερων λύσεων (παρατηρείστε ότι αν βελτιωθεί μία λύση ως προς ένα κριτήριο χειροτερεύει ως προς ένα άλλο)
- Η συμβιβαστική λύση(εις) πρέπει να ανήκει στο μέτωπο Pareto
- Παρατηρείστε ότι σε πολυκριτηριακά προβλήματα βελτιστοποίησης παριστάνουμε τις συναρτήσεις στόχου αντί των μεταβλητών απόφασης σε διαγράμματα.

## Μέθοδος πολυκριτηριακής ταξινόμησης με βάση τη συνάρτηση αξιών

Η μέθοδος πολυκριτηριακής ταξινόμησης με βάση τη συνάρτηση αξιών (value function) και εδράζεται στη σχέση ισχυρής προτίμησης ή αδιαφορίας ενώ αποκλείει τη μη συγκρησιμότητα (Single Synthesizing Criterion, Roy, 1996). Βασικό της γνώρισμα είναι ότι ανάγει ένα πολυκριτηριακό πρόβλημα σε μονοκριτηριακό ή βαθμωτό πρόβλημα.

Η συνήθης περίπτωση προβλημάτων απαρτίζεται από τις παρακάτω συνιστώσες:

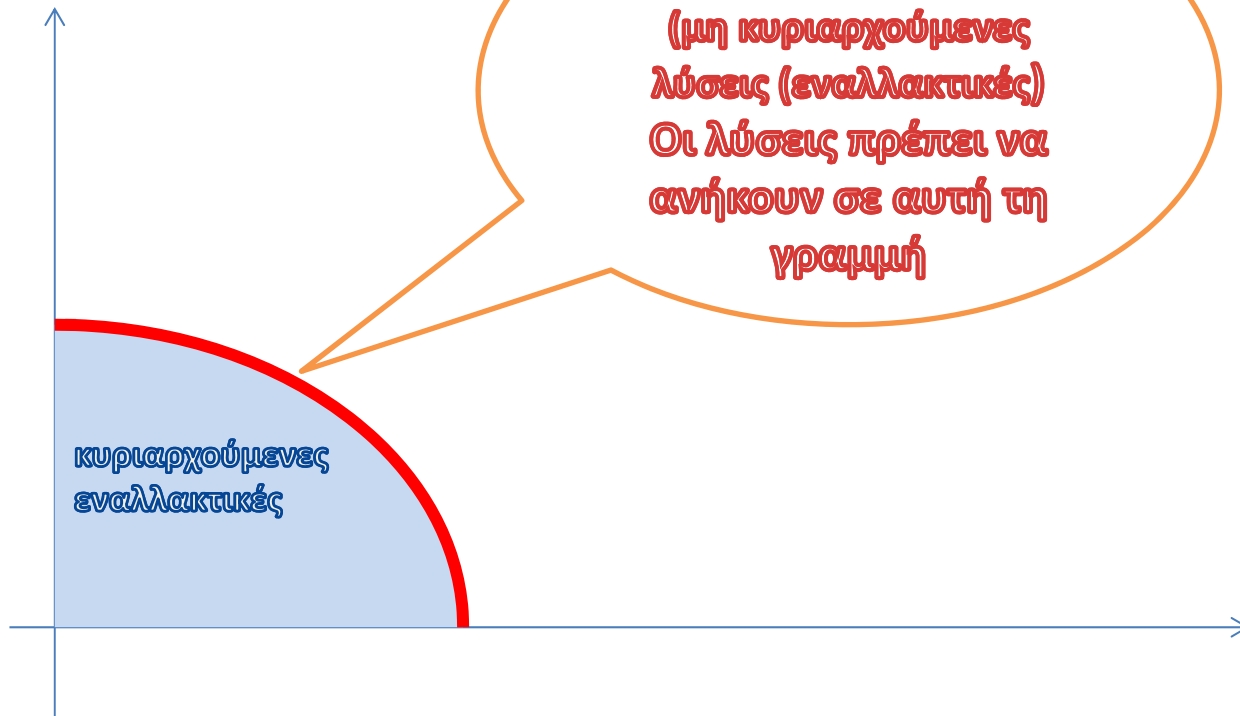
a) το σύνολο των δυνατών επιλογών  $A = a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_m$

b) τα κριτήρια  $g_1, g_2, \dots, g_j, \dots, g_n$

και επιπλέον ως  $g_j(a_i)$  συμβολίζεται η επίδοση (συνήθως πραγματικός αριθμός) μιας επιλογής  $a_i$  πάνω στο κριτήριο  $g_j$ .

Η μέθοδος ολικού κριτηρίου η οποία αποτελεί ένα ειδικό κριτήριο  $U$  ορισμένη σ' ένα σύνολο  $A$  μπορεί να γραφτεί a priori με την πιο κάτω γενική μορφή:

$$U(a) = U[g_1(a), g_2(a), \dots, g_j(a), \dots, g_n(a)]$$



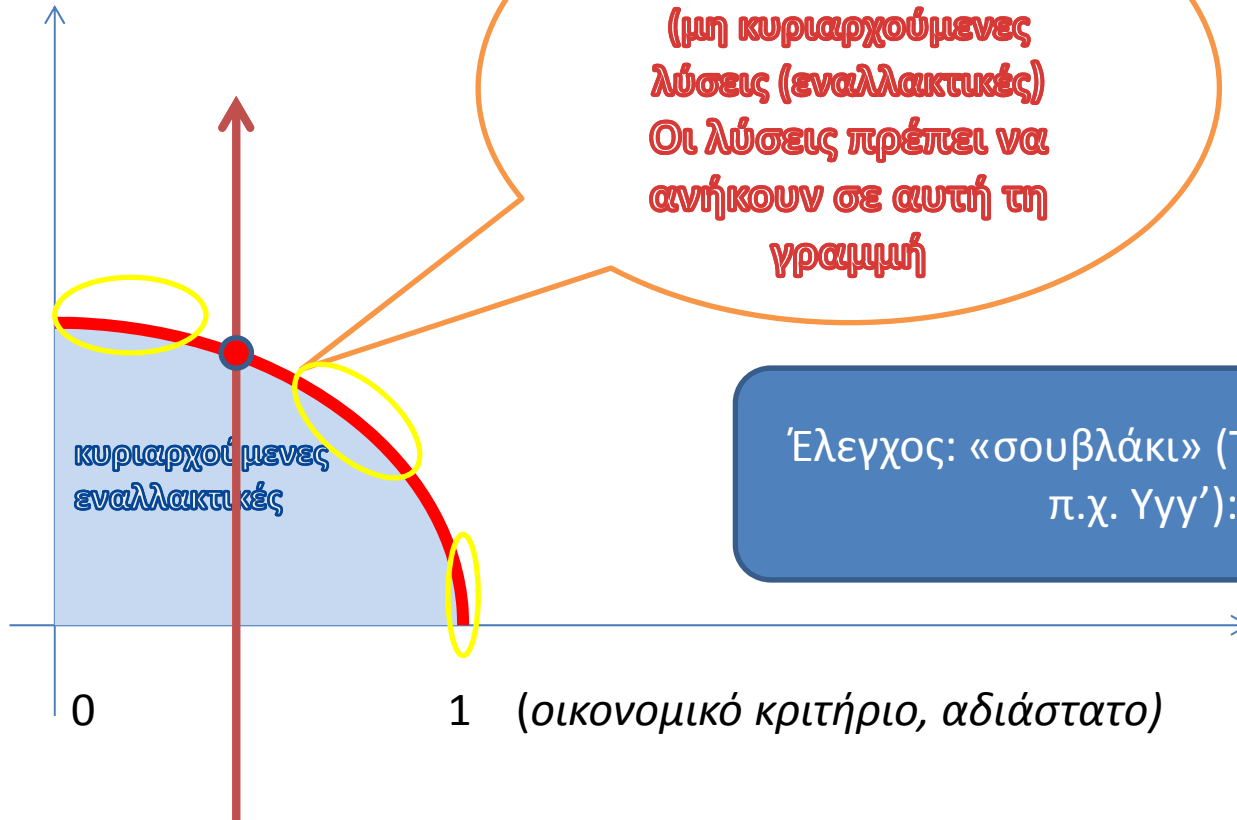


1 (περιβαλλοντικό κριτήριο, αδ.)



0

1 (περιβαλλοντικό κριτήριο, αδ.)



κυριαρχούμενες  
εναλλακτικές

Έλεγχος: «σουβλάκι» (Τομή ως προς π.χ. Υγγ'):

Η κόκκινη γραμμή είναι το μέτωπο Pareto (μη κυριαρχούμενες λύσεις (εναλλακτικές) Οι λύσεις πρέπει να ανήκουν σε αυτή τη γραμμή)

0

0

1 (οικονομικό κριτήριο, αδιάστατο)

# Συναινετική λύση

Συνήθως η ιδεατή λύση δεν είναι εφικτή κάτι που οφείλεται στην ανταγωνιστική φύση των κριτηρίων αλλά και πολλές φορές στους ίδιους τους περιορισμούς. Προκύπτει λοιπόν η ανάγκη για την παραγωγή συμβιβαστικών ή συναινετικών λύσεων με διάφορες τεχνικές. Για την παραγωγή συμβιβαστικής λύσης έχει ευρέως προταθεί η υιοθέτηση ενός μοντέλου ολικής προτίμησης (global evaluation model). Στο μοντέλο ολικής προτίμησης συνθέτονται όλα τα κριτήρια έτσι ώστε να επιτευχθεί ο στόχος της ανάλυσης ανάλογα με την προβληματική που έχει καθοριστεί.

**Προσοχή η συναινετική λύση πρέπει να είναι μη κατώτερη**

**Ορισμός (βέλτιστη συναινετική λύση):** Μία εφικτή λύση είναι βέλτιστη συναινετική λύση αν η εφικτή λύση  $x$  προτιμάται από τον αναλυτή σε σχέση με τις άλλες λύσεις λαμβάνοντας υπ' όψιν όλα τα κριτήρια. Πρέπει να επιδιώκεται μία βέλτιστη συναινετική λύση που να είναι αποτελεσματική λύση (Zimmermann, 1991) .

Υποκειμενικό στοιχείο

**Απόφαση με πολλαπλά κριτήρια:  
ταξινόμηση- επιλογή  
εναλλακτικών, ήδη  
διαμορφωμένων, ταξινόμηση  
(όχι βελτιστοποίηση)**

Οι μεθοδολογίες της ταξινόμησης εναλλακτικών με πολλαπλά κριτήρια μπορούν να εφαρμοσθούν και σε προβλήματα βελτιστοποίησης, ιδιαίτερα για τη διαμόρφωση της συναινετικής λύσης

**Εδώ, αναφερόμαστε σε προβλήματα που έχουμε ήδη διαμορφώσει τις εναλλακτικές και θέλουμε να τις ταξινομήσουμε**

(ενώ στη βελτιστοποίηση ψάχνουμε τις εναλλακτικές, κάθε πιθανή λύση στη βελτιστοποίηση περιγράφει μία εναλλακτική)

# 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
  - 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
  - Και άλλες ανάλογα την περιοχή (π.χ. αλλού από ποταμό με αντλιοστάσιο)
  - Εκσυγχρονισμός δικτύων

# Παράδειγμα τεχνικής λύσης (εναλλακτικής) με ήπιες επιπτώσεις για το περιβάλλον

Μπέλλος, 2013

## 11.3 ΛΙΜΝΟΔΕΞΑΜΕΝΕΣ

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 μικρών φραγμάτων εκτός κοιτών με τη διαμόρφωση κατάλληλου χώρου (εξωποτάμιας 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 πρηνή 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



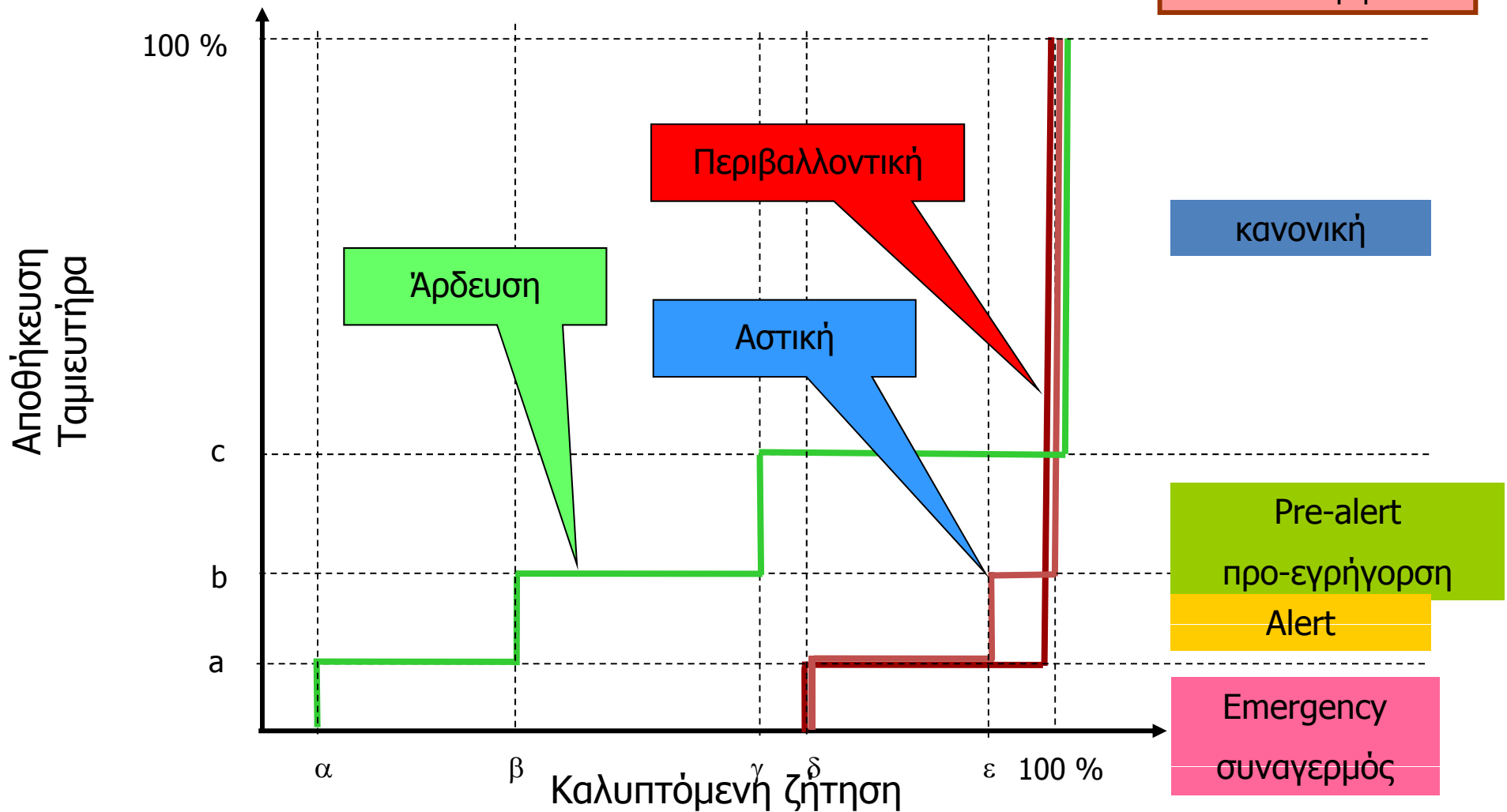


**Εικ. 11.3:** Λιμνοδεξαμενή σε λοφώδες ανάγλυφο.

# 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.

# Άλλη εναλλακτική: Μη συμβατικές μέθοδοι/ υφάλμυρες πηγές

Σε περιπτώσεις υδατικού ελλείμματος:  
Χρήση μη συμβατικών πηγών και  
πρακτικών:

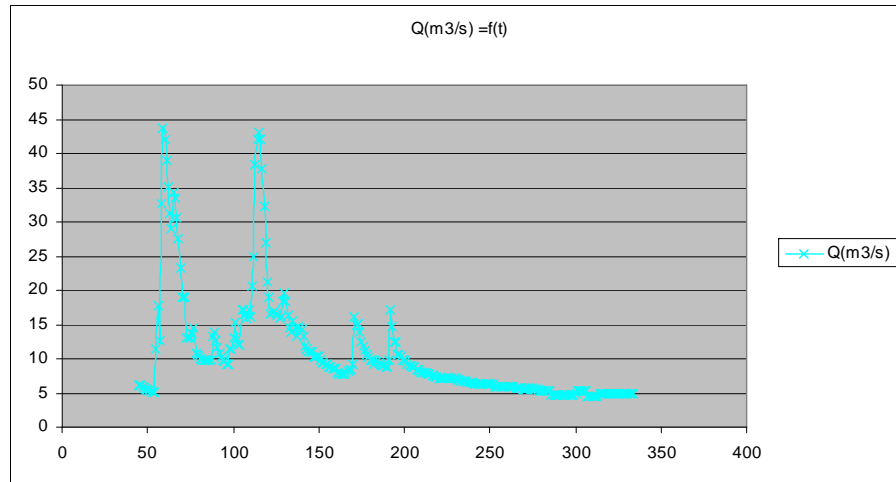
- Υφάλμυρες πηγές
- Αφαλάτωση
- Ανακτημένης ποιότητας νερά
- Ελλειμματική ή Υποβαθμισμένης ποιότητας άρδευση



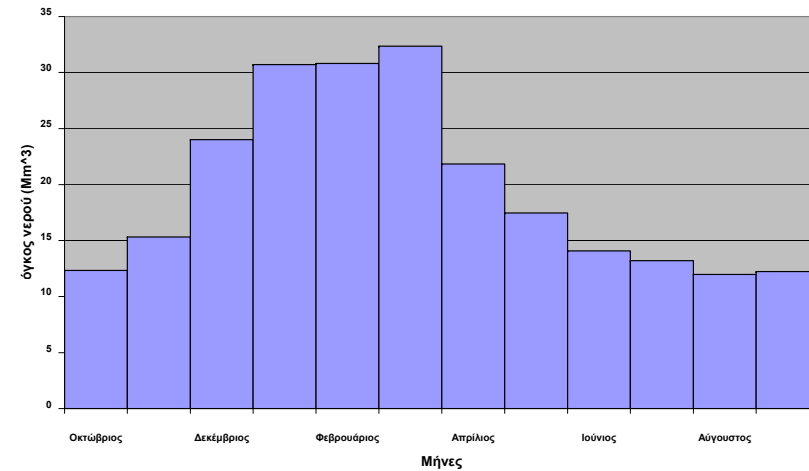
Η υφάλμυρη πηγή του Αλμυρού κείται 10 km δυτικά από το Ηράκλειο σε υψόμετρο 4m σε απόσταση 1 Km από τη θάλασσα .

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

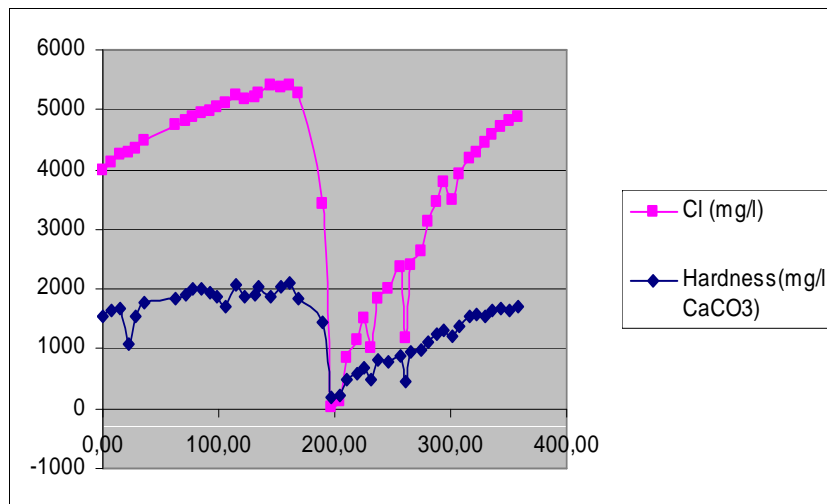
## Μεταβολή παροχής μέσα στο έτος



## Μέση μηνιαία παροχή



## Μεταβολή ποιότητας στο έτος

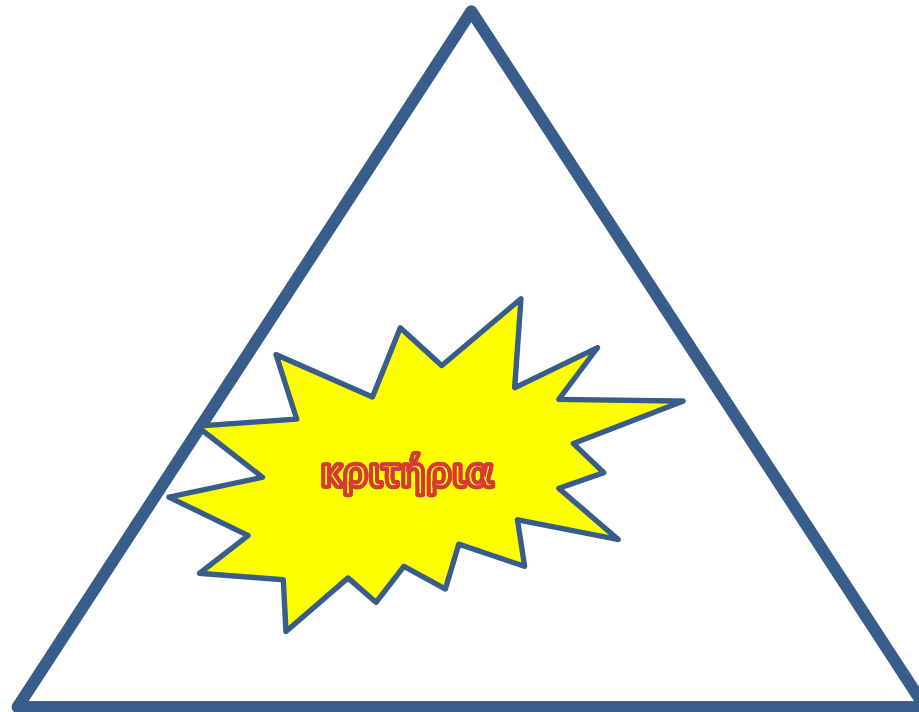


21 × 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> ως πόσιμο για το έτος 1999 – 2000 (όσο περίπου οι ανάγκες ύδρευσης του Ηρακλείου...) αλλά σε reak, τεχνική δυσκολία, κλίσεις κλπ.

Κριτήρια

## 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

# 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)



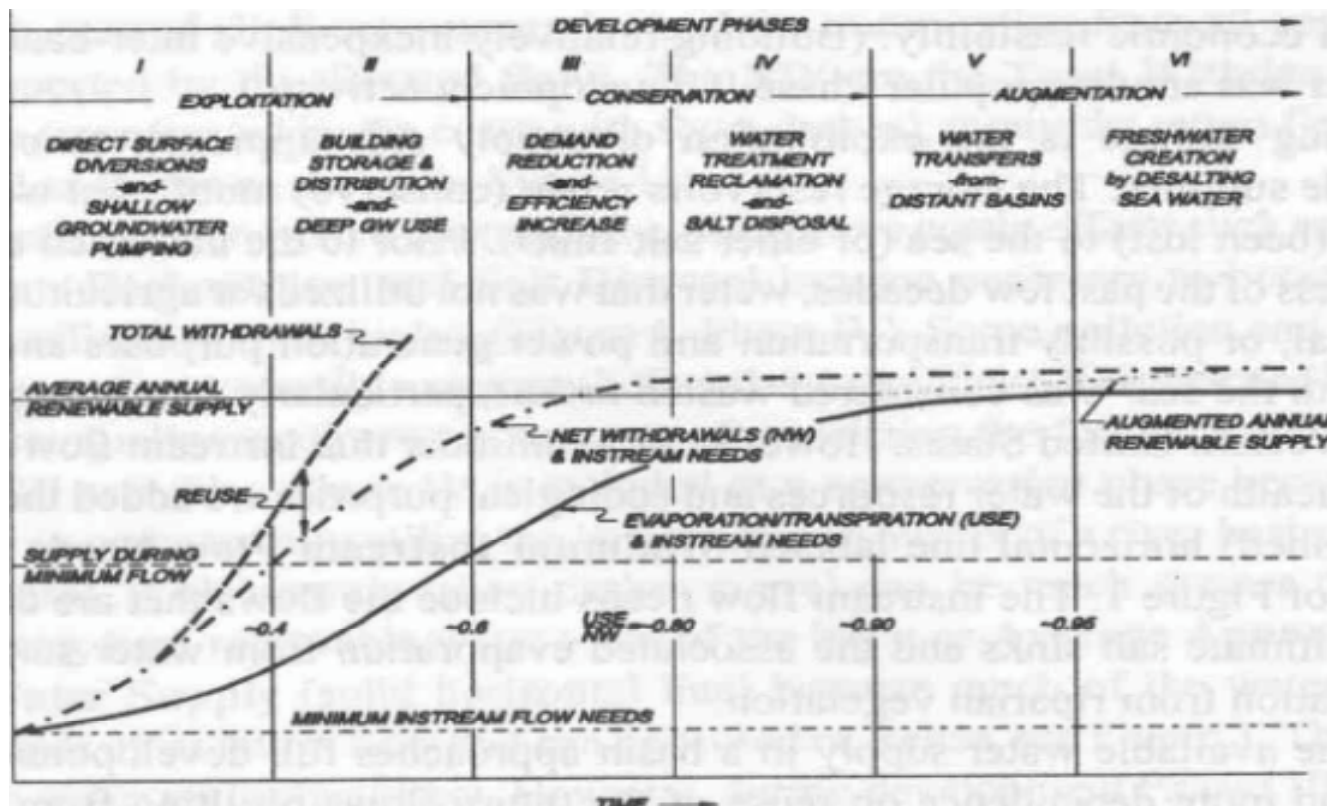
## Κριτική της μεθόδου κόστους αποτελεσματικότητας

- 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

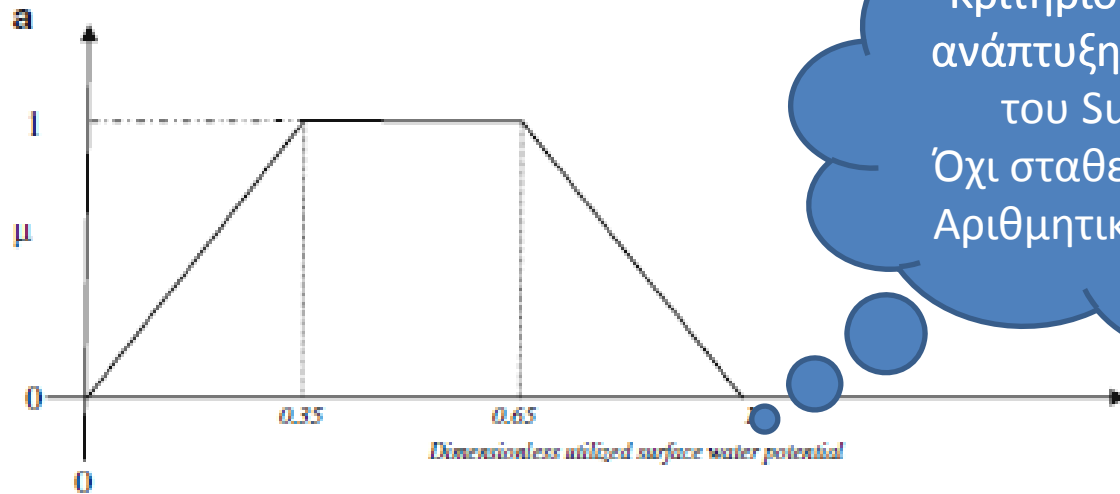
# Κριτήρια / ποιοτική αξιολόγηση

- 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

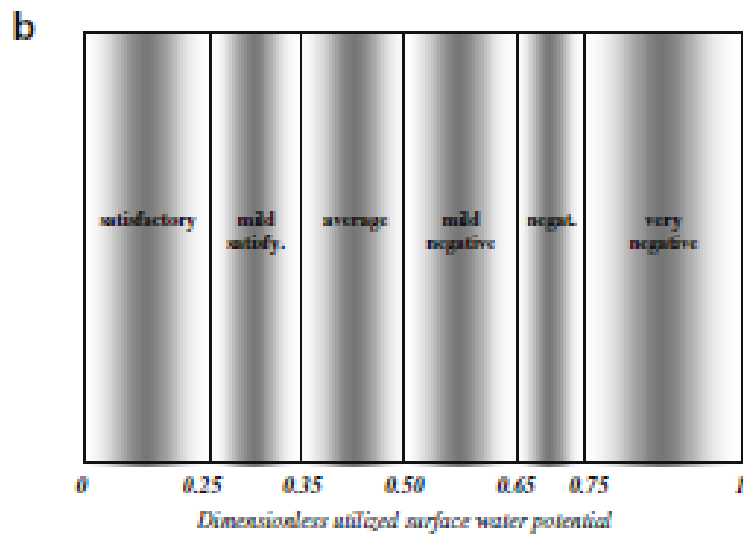
# Κριτήρια/Δείκτες

- 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



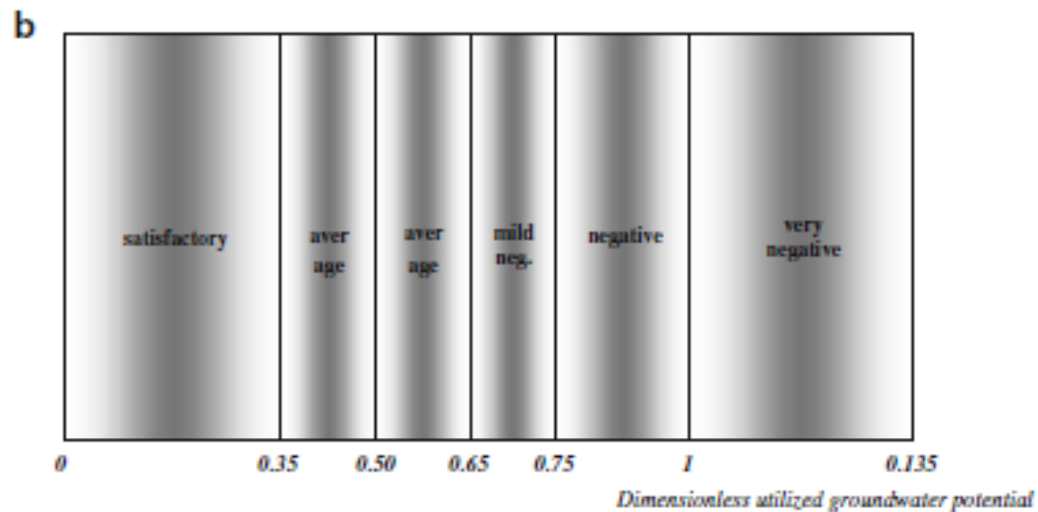
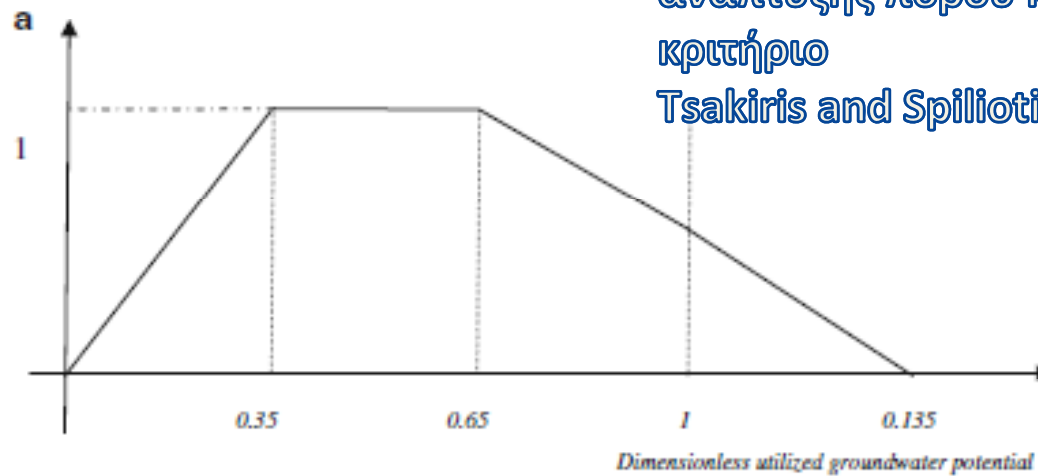
Κριτήριο ορθολογικής ανάπτυξης, συνάρτηση του Supply/MAR  
 Όχι σταθερή μονοτονία  
 Αριθμητική αξιολόγηση



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



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

**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



**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 <sup>3</sup> )	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	Existing	Available 1,000,000 (municipal)	-
Offstream reservoir of Eggares	Existing	Existing	Existing	Existing	Existing	Existing	Available 500,000 (agricultural), 150,000 (municipal)	-
Groundwater 2	Existing	Existing	Existing	Existing	Existing	Existing	Available 350,000 (municipal), 200,000 (agricultural)	-
Reduction of demand	$X_{j-1}$	0.00	1.00	Satisfactory	Mild negative	1	1,000,000 (agriculture)	-0.054
Dam of Tsiggalaro	$X_{j-1}$	0.90	0.52	Negative	Satisfactory	1	2,200,000 (agriculture)	-0.093
Eggares+ Eggares 2+ Faneromeni	$X_{j-1}$	1.00	0.45	Average	Mild satisfactory	0.4	500,000 (municipal), 150,000 (agricultural)	0.158
Faneromeni + Faneromeni 2+ Eggares	$X_{j-1}$	1.00	0.44	Average	Mild satisfactory	0.4	500,000 (municipal)	0.147

# Κριτήριο: ωριμότητα-βιωσιμότητα του έργου

## Project Viability

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



# ΔΕΙΚΤΗΣ ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑΣ (κριτήριο αειφορίας)

- 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  
χρησιμοποιεί  
ται»

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

- Κατώφλι: 40%

# Πίνακας πληρωμών

**Table 10.1** *Payoff matrix*

<b>Alternatives</b>		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>...</b>	<b>n</b>
<b>Criteria</b>	1	$v_{11}$	$v_{12}$	...	$v_{1n}$
	2	$v_{21}$	$v_{22}$	...	$v_{2n}$
	...				
	...				
	$m$	$v_{m1}$	$v_{m2}$	...	$v_{mn}$

- Μπορούμε να λύσουμε ξεχωριστά το πρόβλημα της βελτιστοποίησης ως προς κάθε κριτήριο ξεχωριστά και έτσι διαμορφώνοντα μονοκριτηριακές λύσεις.
- Σε περίπτωση διακριτού προβλήματος απλά χρησιμοποιώ τον παρακάτω πίνακα

# 4 βασικές προσεγγίσεις στα πολλαπλά κριτήρια

- Απλό αθροιστικό μοντέλο
- Μέθοδοι αποστάσεων (π.χ. συμβιβαστικός προγραμματισμός)
- Μέθοδος των  $\epsilon$ -περιορισμών

*Οι παραπάνω μέθοδοι εφαρμόζονται σε διακριτές εναλλακτικές ή προβλήματα πολ. βελτιστοποίησης*

- Μέθοδοι υπεροχής (στο επόμενο μάθημα)
- Αναλυτική συνθετική προσέγγιση (στο επόμενο μάθημα)

Πολικριτηριακη ταξινόμηση,  
μέθοδος αποστάσεων

# Μέθοδοι αποστάσεων

- Μία άλλη σημαντική κατηγορία μεθόδων που στην ουσία αποτελούν υποπερίπτωση της μεθόδου της συνάρτησης αξιών είναι οι μέθοδοι των αποκλίσεων (distance methods) που στηρίζονται στην έννοια της απόκλισης ή απόστασης από (θετικά) ιδεατή ή αντι – ιδεατή (ή αρνητικά ιδεατή) λύση. Η πλέον διαδεδομένη οικογένεια των μεθόδων αυτών είναι η TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity of Ideal Solution).
- Η βασική ιδέα των μεθόδων των αποστάσεων είναι ευρέως διαδεδομένη και εύκολη στη σύλληψή της. Βασική ιδέα αποτελεί ότι οι επιλεγμένες μεταβλητές θα πρέπει να έχουν την ελάχιστη απόσταση από την ιδεατή θετική λύση, που ορίζει ο αναλυτής σε συνεργασία με τον αποφασίζοντα, και τη μέγιστη απόσταση από την αρνητικά- ιδανική λύση κατά μία γεωμετρική έννοια (Triantaphyllou, 2000).
- Η εκτίμηση της αντί-ιδεατής λύσης δεν μπορεί εύκολα να τεκμηριωθεί ενώ επηρεάζει δραστικά τη λύση
- Εφαρμογή: Απόσταση (ελάχιστη) από την ιδεατή λύση

# Κανονικοποίηση στην αξιολόγηση των κριτηρίων, Βελτίωση μεθόδου

$$L_p(a) = \left[ \sum_{j=1}^J w_j^p |f_j^* - f_j(a)|^p \right]^{\frac{1}{p}}$$

Κριτήρια: διαφορετική φύση άρα και μονάδες, προβληματική η αθροιστική λειτουργία.

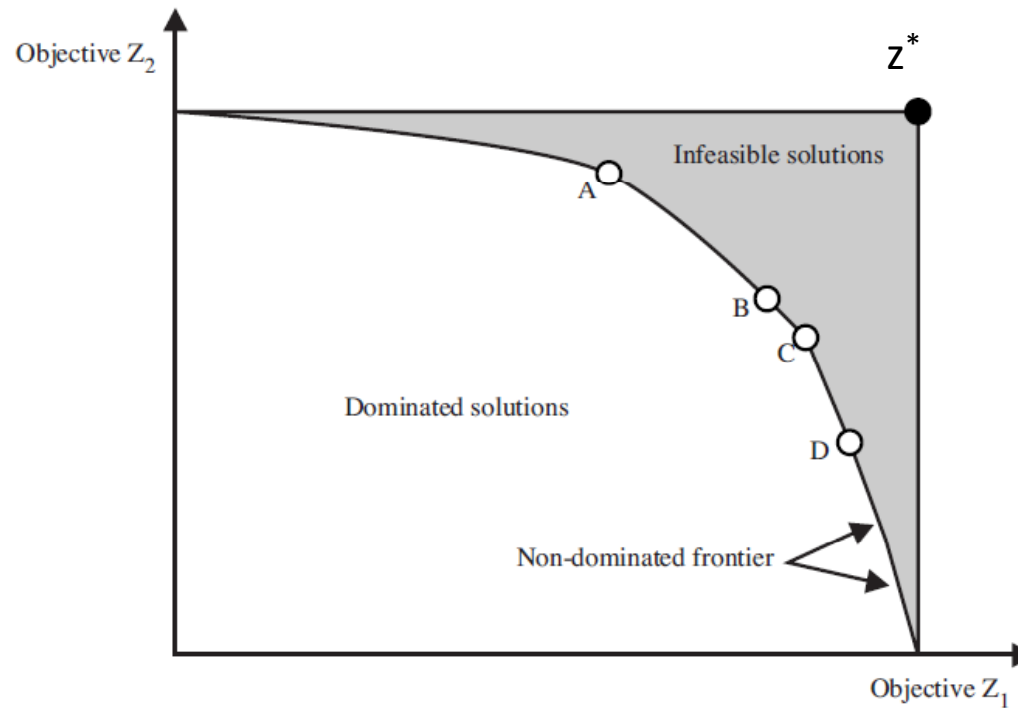
Κανονικοποίηση:

$$L_p(a) = \left[ \sum_{j=1}^J w_j^p \left| \frac{f_j^* - f_j(a)}{M_j - m_j} \right|^p \right]^{\frac{1}{p}}$$

Όπου  $g$  η  $f$  αναπαριστά την αξιολόγηση μίας εναλλακτικής ως προς ένα κριτήριο. Σε επόμενη έκδοση (φέτος πρώτη φορά) θα διορθωθεί

$$L_p(a) = \left[ \sum_{j=1}^J w_j^p \left| \frac{f_j^* - f_j(a)}{M_j - m_j} \right|^p \right]^{\frac{1}{p}}$$

Ελαχιστοποίηση  
απόστασης από  
βέλτιστη λύση,  $z^*$



**Figure 10.6** *Illustration of compromise solutions*

Εφαρμογή: Για τις παρακάτω εναλλακτικές να γίνει η κατάταξη των εναλλακτικών (διακριτό πρόβλημα) με βάση το συμβιβαστικό προγραμματισμό

Table 2

Crit.	Min or Max	Actions						Type of crit.	Param- eters
		$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$		
$f_1$	Min	80	65	83	40	52	94	II	$q = 10$
$f_2$	Max	90	58	60	80	72	96	III	$p = 30$
$f_3$	Min	6	2	4	10	6	7	V	$q = 0.5$ $p = 5$
$f_4$	Min	5.4	9.7	7.2	7.5	2.0	3.6	IV	$q = 1$ $p = 6$
$f_5$	Min	8	1	4	7	3	5	I	-
$f_6$	Max	5	1	7	10	8	6	VI	$\sigma = 5$

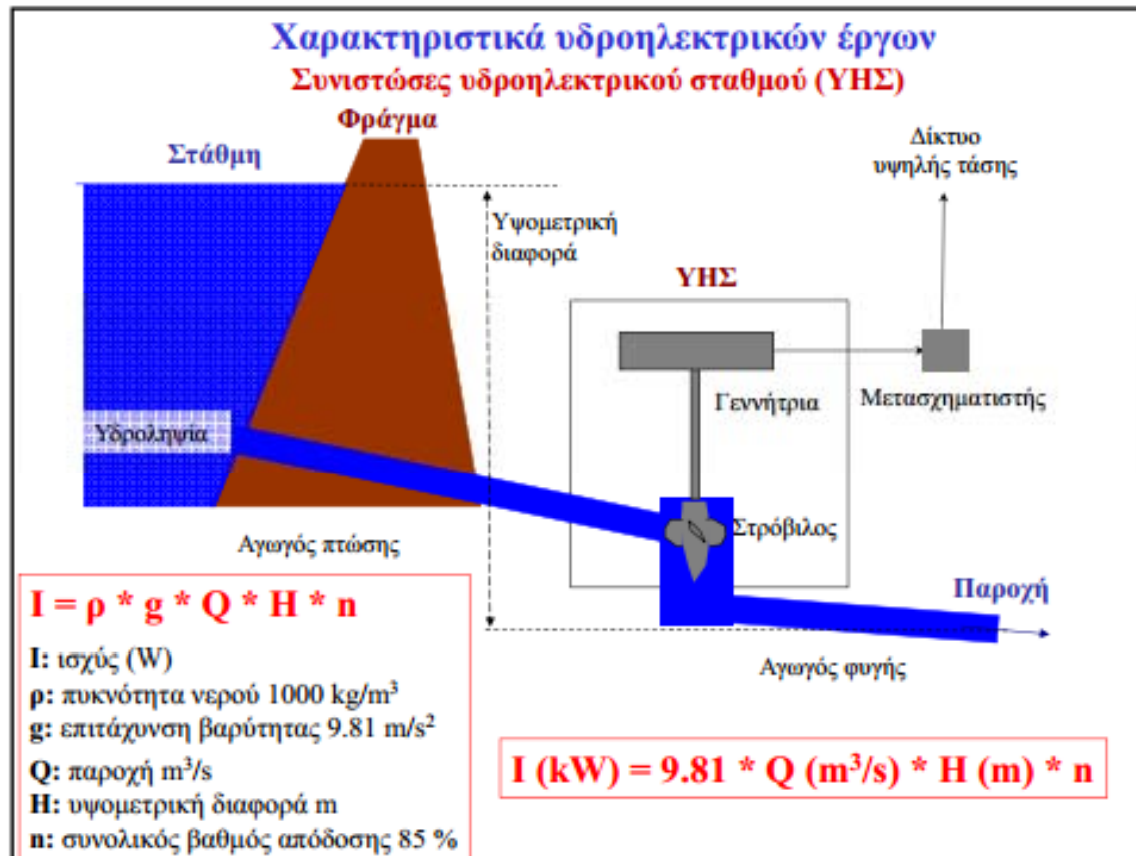
Brans and Vincle, 1986

Όπου  $g$  η  $f$   
αναπαριστά την  
αξιολόγηση μίας  
εναλλακτικής ως  
προς ένα κριτήριο  
Σε επόμενη  
έκδοση (φέτος  
πρώτη φορά) θα  
διορθωθεί

- $f_1$  εργατικό δυναμικό
- $f_2$  ισχύς
- $f_3$  Κόστος κατασκευής
- $f_4$  Κόστος συντήρησης
- $f_5$  Αριθμός χωριών που εκκενώνονται
- $f_6$  Βαθμός ασφάλειας

- $f_1$ : manpower,
- $f_2$ : power (MW),
- $f_3$ : construction cost ( $10^9$  \$),
- $f_4$ : maintenance cost ( $10^6$  \$),
- $f_5$ : number of villages to evacuate,
- $f_6$ : security level.





Μαμάσης, 2013

Ίδια μονοτονία....

Για να έχω στόχο παντού τη μεγιστοποίηση των κριτηρίων, όπου αυτό δε συμβαίνει αλλάζω το πρόσημο

Table 2. Transformed payoff matrix

Crit. \ Alt.	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>
A <sub>1</sub>	-80	90	-6	-5.4	-8.0	5
A <sub>2</sub>	-65	58	-2	-9.7	-1.0	1
A <sub>3</sub>	-83	60	-4	-7.2	-4.0	7
A <sub>4</sub>	-40	80	-10	-7.5	-7.0	10
A <sub>5</sub>	-52	72	-6	-2.0	-3.0	8
A <sub>6</sub>	-94	96	-7	-3.6	-5.0	6

Parameters required for each criterion	Notation	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>
Maximum value	$M_j$	-40.00	96.00	-2.00	-2.00	-1.00	10.00
Minimum value	$m_j$	-94.00	58.00	-10.00	-9.70	-8.00	1.00
Ideal value	$f_j^*$	-40.00	96.00	-2.00	-2.00	-1.00	10.00
Weights	$w_j$	1	1	1	1	1	1
Normalized* weights	$w_j$	0.1666	0.1666	0.1666	0.1666	0.1666	0.1666

Μέγιστες και ελάχιστες τιμές. Με βάση τις αξιολογήσεις των εναλλακτικών  
 Προσέγγιση ίσων βαρών. Άθροισμα βαρών ίσο με τη μονάδα.

$$L_p(a) = \left[ \sum_{j=1}^J w_j^p \left| \frac{f_j^* - f_j(a)}{M_j - m_j} \right|^p \right]^{\frac{1}{p}}$$

$$\text{Criterion } C_1 = \left[ 0.1666^p \left| \frac{(-40.00 - (-80.00))}{(-40.00 - (-94.00))} \right|^p \right] = 0.1234074^p$$

$$\text{Criterion } C_2 = \left[ 0.1666^p \left| \frac{(96.00 - 90.00)}{(96.00 - 58.00)} \right|^p \right] = 0.02630526^p$$

$$\text{Criterion } C_3 = \left[ 0.1666^p \left| \frac{(-2.00 - (-6.00))}{(-2.00 - (-10.00))} \right|^p \right] = 0.0833^p$$

$$\text{Criterion } C_4 = \left[ 0.1666^p \left| \frac{(-2.00 - (-5.4))}{(-2.00 - (-9.70))} \right|^p \right] = 0.07356364^p$$

$$\text{Criterion } C_5 = \left[ 0.1666^p \left| \frac{(-1.00 - (-8.00))}{(-1.00 - (-8.00))} \right|^p \right] = 0.1666^p$$

$$\text{Criterion } C_6 = \left[ 0.1666^p \left| \frac{(10.00 - 5.00)}{(10.00 - 1.00)} \right|^p \right] = 0.09255556^p$$

Πηγαίνω μία-μία  
εναλλακτική  
ξεχωριστά,  
κριτήριο,  
κριτήριο

Kummar, 2014

Αξιολόγηση για την A1 εναλλακτική με βάση το σύνολο των κριτηρίων για διάφορες τιμές του  $p$ .

$$\left[ .1234074^p + 0.02630526^p + 0.0833^p + 0.07356364^p + 0.1666^p + 0.09255556^p \right]^{\frac{1}{p}}$$

For  $p = 1$ ,  $L_1(A_1)$  is as follows:

$$\left[ .1234074 + 0.02630526 + 0.0833 + 0.07356364 + 0.1666 + 0.09255556 \right]^{\frac{1}{1}} = 0.56573$$

For  $p = 2$ ,  $L_2(A_1)$  is as follows:

$$\left[ .1234074^2 + 0.02630526^2 + 0.0833^2 + 0.07356364^2 + 0.1666^2 + 0.09255556^2 \right]^{\frac{1}{2}} = 0.25415$$

For  $p = 10$  (approximating for  $\infty$ ),  $L_{10}(A_1)$  is as follows:

$$\left[ .1234074^{10} + 0.02630526^{10} + 0.0833^{10} + 0.07356364^{10} + 0.1666^{10} + 0.09255556^{10} \right]^{\frac{1}{10}} = 0.16748$$

Table 4.  $L_p$  - metric values and corresponding ranking pattern

Alternative	$p = 1$	$p = 2$	$p = \infty$
$A_1$	0.56573 (4)	0.25415 (3)	0.16748 (4)
$A_2$	0.57693 (6)	0.29869 (6)	0.18595 (6)
$A_3$	0.57159 (5)	0.25512 (4)	0.16087 (2)
$A_4$	0.49855 (3)	0.25929 (5)	0.17034 (5)
$A_5$	0.31017 (1)	0.15171 (1)	0.10620 (1)
$A_6$	0.47459 (2)	0.23311 (2)	0.16682 (3)

Τελική αξιολόγηση,

Όσο το  $p$  αυξάνει οδηγούμαστε σε τελεστή της ένωσης

$$L_p(a) = \left[ \sum_{j=1}^J w_j^p \left| \frac{f_j^* - f_j(a)}{M_j - m_j} \right|^p \right]^{\frac{1}{p}}$$

Kummar, 2014

Σχόλιο: Από πολλούς το βάρος,  $w$  στην παραπάνω εξίσωση δεν υψώνεται σε δύναμη  $p$

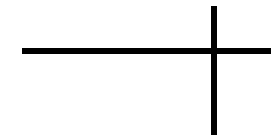
**Βαρη? Επιλογή?**  
**Ανάγκη ανάλυση ευαισθησίας**

Κριτική του προηγούμενου  
παραδείγματος: Δεν ενσωματώνει  
καθόλου την περιβαλλοντική  
διάσταση (έστω έμμεσα)



# 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



# Εναλλακτικές σε ένα νησί ημίξηρο με προβλήματα λειψυδρίας

- Do nothing (δεν πρέπει να προτιμηθεί)
- Εναλλακτικές αξιοποίησης υδατικού δυναμικού:
  - Μικρό φράγμα
  - Λιμνοδεξαμενή
  - Αξιοποίησης υπογείων νερών
- Περιορισμού της ζήτησης:
  - Εξορθολογισμού π.χ. με τιμολογιακή πολιτική
  - Δραστικής μείωσης (κοινωνικό κόστος)
- Μη συμβατικοί υδατικοί πόροι
  - Διπλό δίκτυο
  - Υφάλμυρες πηγές
  - Αφαλάτωση
- Υδροφόρα πλοία (μεγάλο κόστος ανά κυβικό)

1<sup>ο</sup>  
- Ξηρότητα κλίματος (aridity)

- Αναφέρεται στα μόνιμα μετεωρολογικά / υδρολογικά χαρακτηριστικά μιας περιοχής.

- Δείκτης Ξηρότητας : μέσο ετήσιο ύψος βροχής / μέσο ετήσιο ύψος δυναμικής εξατμισοδιαπνοής

υπερβολικά Ξηρό

$< 0.03$

Ξηρό

$0.03 - 0.20$

ημίξηρο

$0.20 - 0.50$

ύψυχρο

$0.50 - 0.75$

υγρό

$> 0.75$

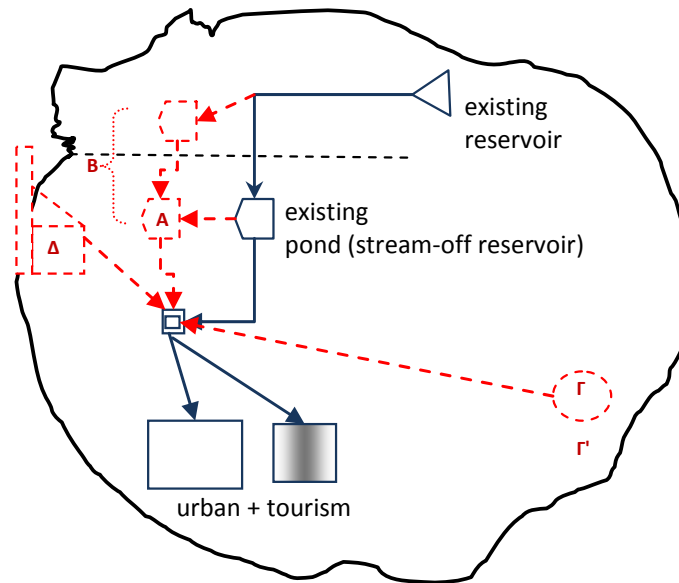
Προσοχή άλλο ξηρότητα (μόνιμη) και άλλο ξηρασία

Π.χ. υπάρχει δείκτης ξηρασίας που στηρίζεται στο λόγο Q αλλά με βάση την

απόκλιση από τις μέσες τιμές  $\frac{Q - \bar{Q}}{\sigma_Q}$

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

# Μέθοδοι υπεροχής

- Διμερής 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 διμερής σύγκριση των εναλλακτικών για κάθε κριτήριο ξεχωριστά. Οι ενδοκριτηριακές προτιμήσεις του αποφασίζοντα αντανakλώνται 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,

# Κατώφλια με γκρίζες περιοχές

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

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

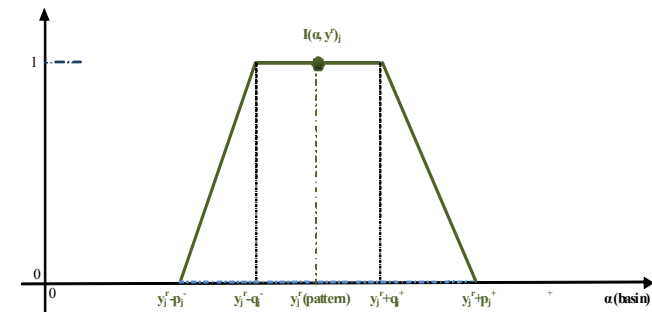
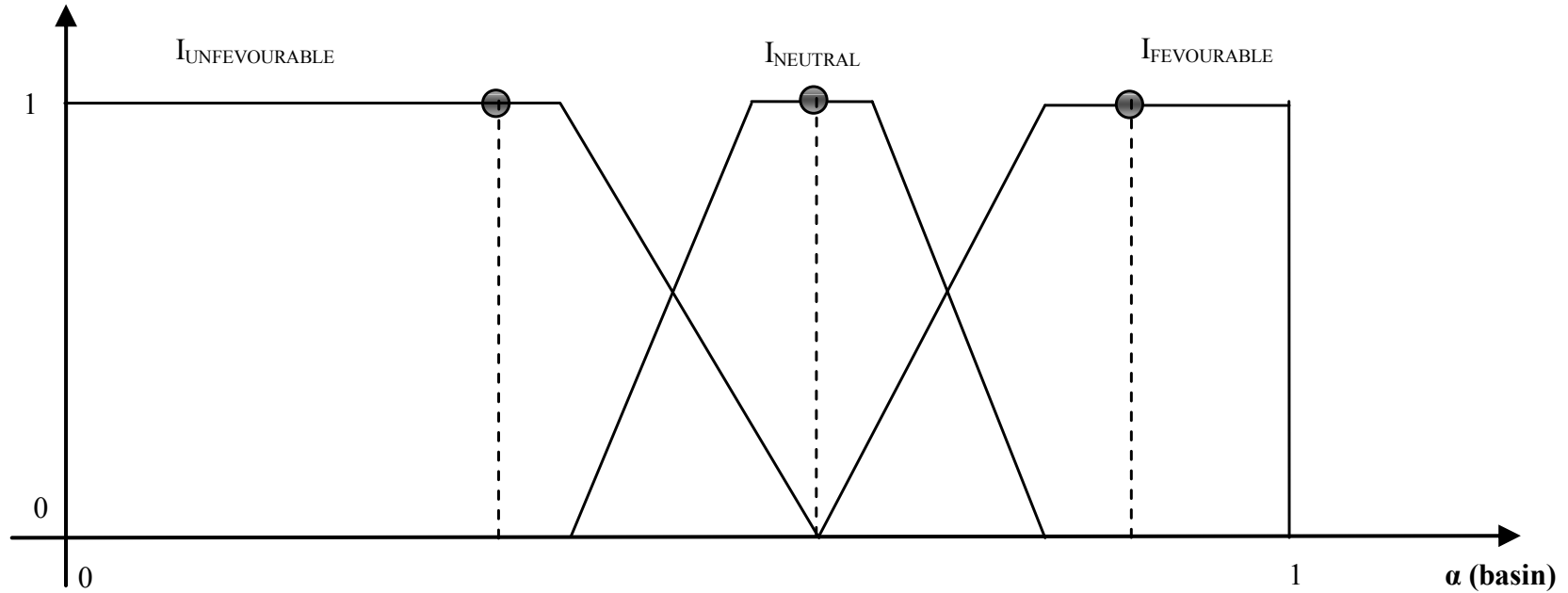


Fig. 2 Indifference relation and the corresponding discordance measure in order to express the neutral evaluation criterion of either the Demand Satisfaction or Reliability criterion.

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



**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):

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

- 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  $\alpha/y^r$  με βάση τη συμφωνία και την άρνηση της ασυμφωνίας. Η παρακάτω πρόταση μπορεί να θεμελιώσει την ολική σχέση:
- *Μία πρόταση  $\alpha/y^r$  ισχύει αν και μόνο αν η συμφωνία (coalition) των κριτηρίων στην πρόταση  $\alpha/y^r$  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:*

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

# Μέθοδοι Γαλλικής Σχολής+Ασάφεια

- Βαθμολόγηση κριτηρίων υπό αβεβαιότητα
- Λαμβάνουν υπόψη τις γκρίζες περιοχές στη σύγκριση των κριτηρίων. Με διάφορα κατώφλια. Η ασάφεια καθορίζει τα κατώφλια.
- Με τις διμερείς συγκρίσεις και το κατώφλια αρνησικυρίας (veto) αποφεύγεται η μη ισόρροπες λύσεις (π.χ. περιβαλλοντικά μη αποδεκτές)
- Ισορροπημένη σύνθεση μεταξύ του κανόνα της πλειοψηφίας (κριτήρια που υπερτερούν) και του σεβασμού στη μειοψηφία (ισόρροπη σύνθεση)
- Με τη λειτουργία του veto τα κριτήρια δεν είναι καθοριστικά όσο στις άλλες μεθόδους