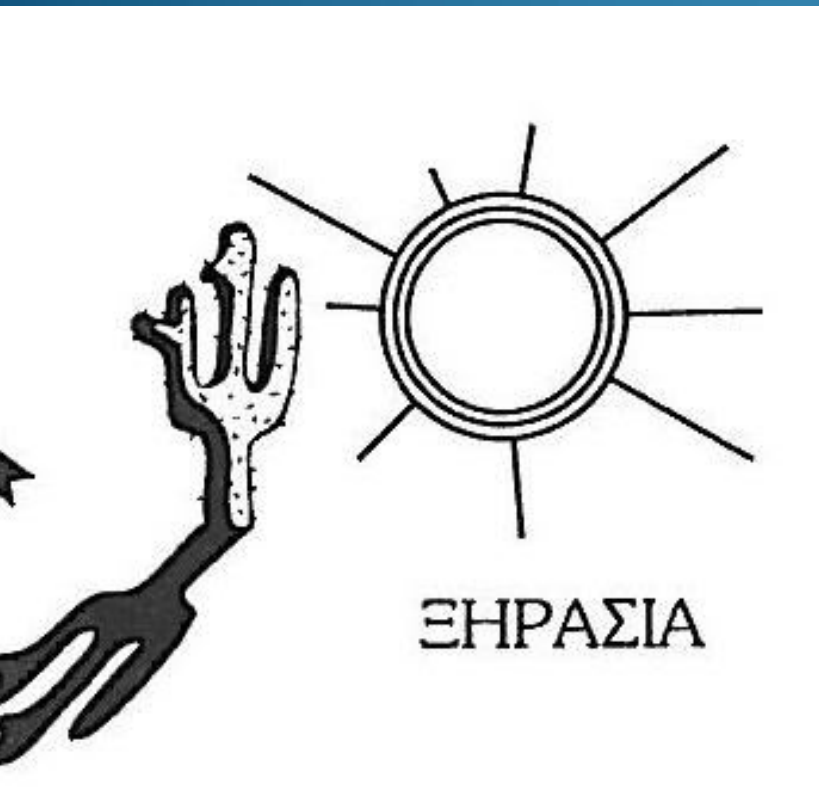


# Έννοιες από προηγούμενα μαθήματα (επανάληψη)

-Ξηρασία

Δρ Μ.Σπηλιώτη



# Λειψυδρία

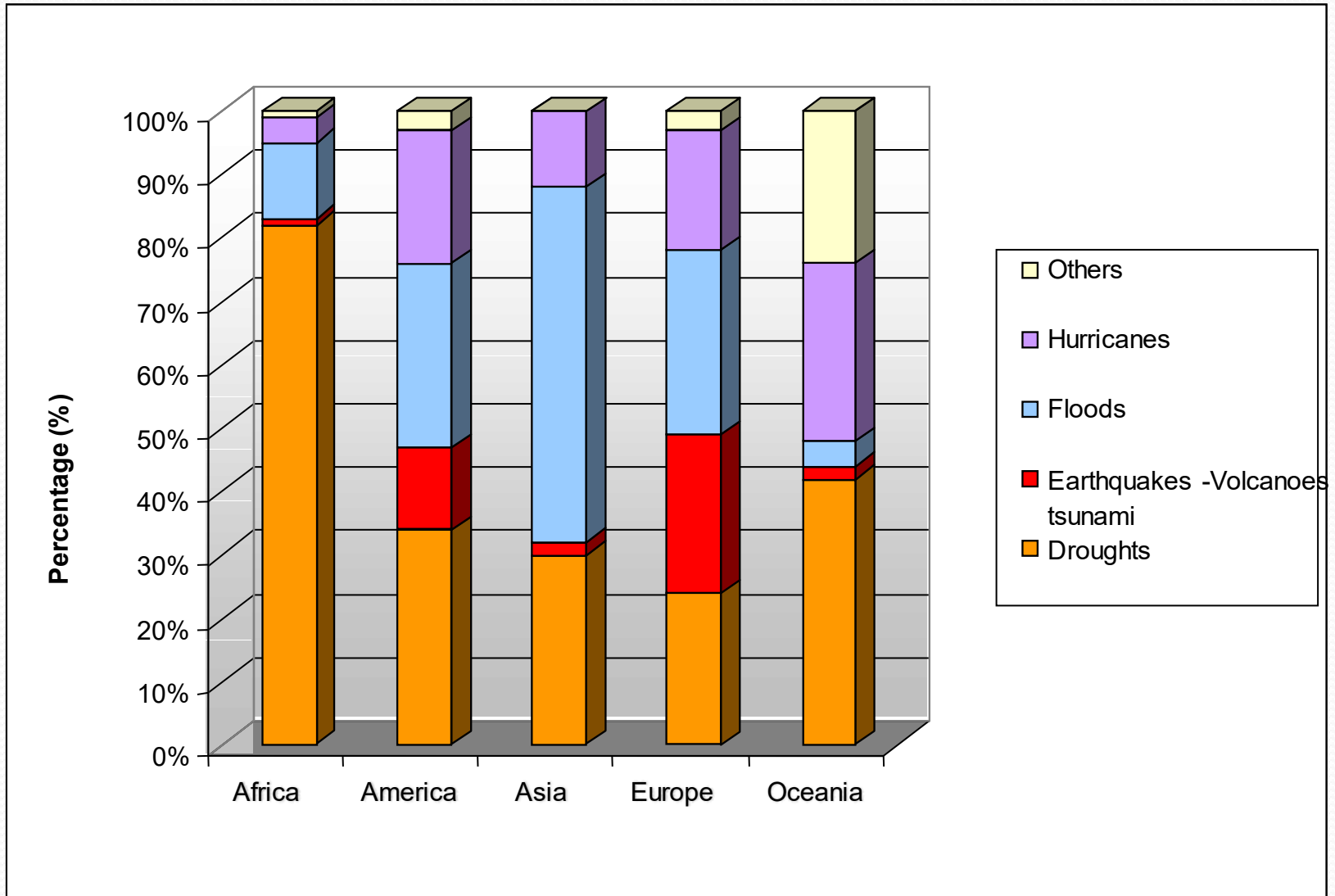
	Φυσικά Αίτια	Ανθρωπογενή Αίτια
Προσωρινή κατάσταση	Ξηρασία (drought)	Έλλειμμα Νερού (water shortage)
Μόνιμη κατάσταση	Ξηρότητα (aridity)	<b>Λειψυδρία Ερημοποίηση (Desertification)</b>

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

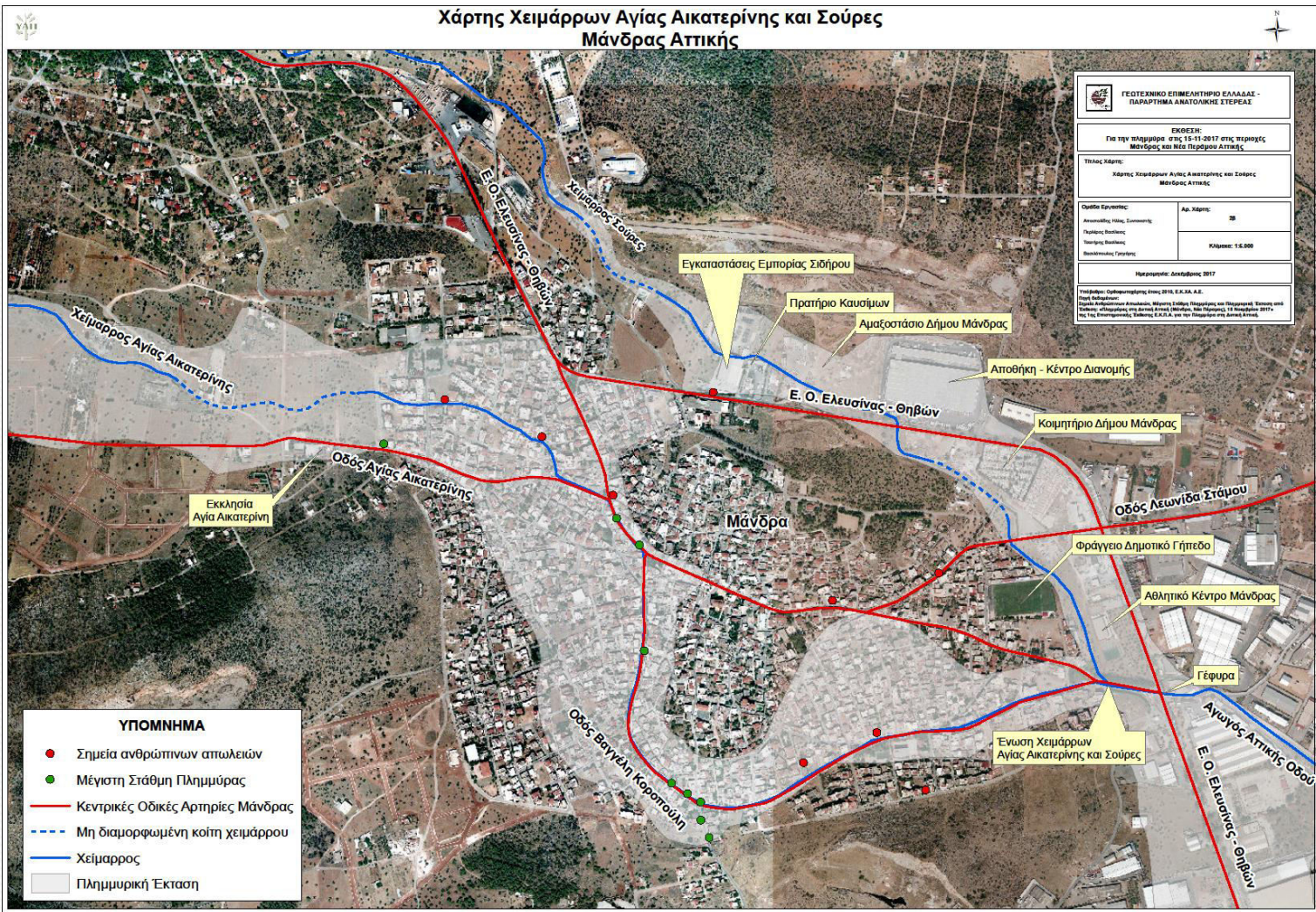
Ξηρασία: Το φαινόμενο κατά το οποίο οι ποσότητες εισερχόμενου διαθέσιμου νερού σε ένα σύστημα είναι **κάτω από τις κανονικές για μία σημαντική χρονική περίοδο και έκταση** (Τσακίρης, 2013)

# Natural Hazards





Mandra Attica  
15/11/17





# Droughts in Africa



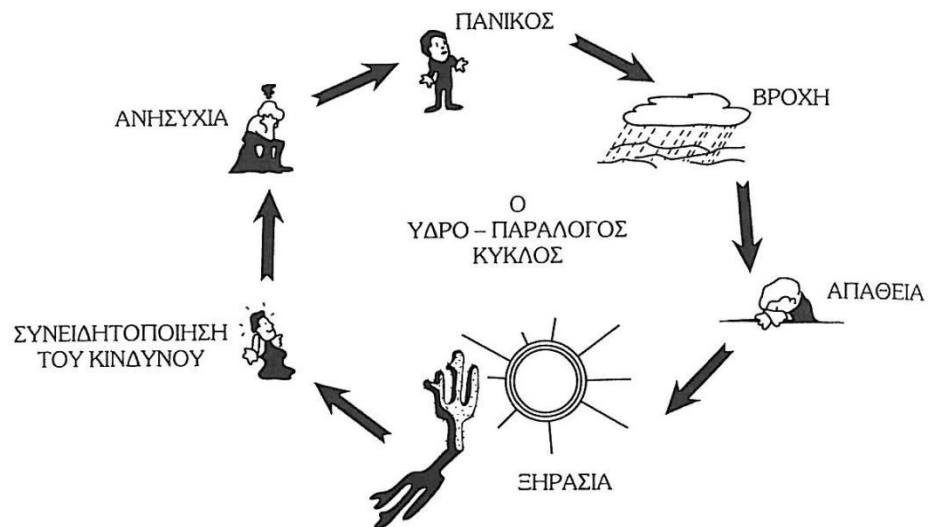


Το σπήλαιό απεικονίζει τον  
συνδυασμό της βιομηχανίας  
φορητών φίλτρων στην  
περιοχή Τούζα, στο  
Φεζ της Τυνησίας, το  
1978. Ανάμεσα με εδόν  
μιας προσπάθειας να ελ-  
πίουν λίγο νερό για  
τις οικογένειές τους.

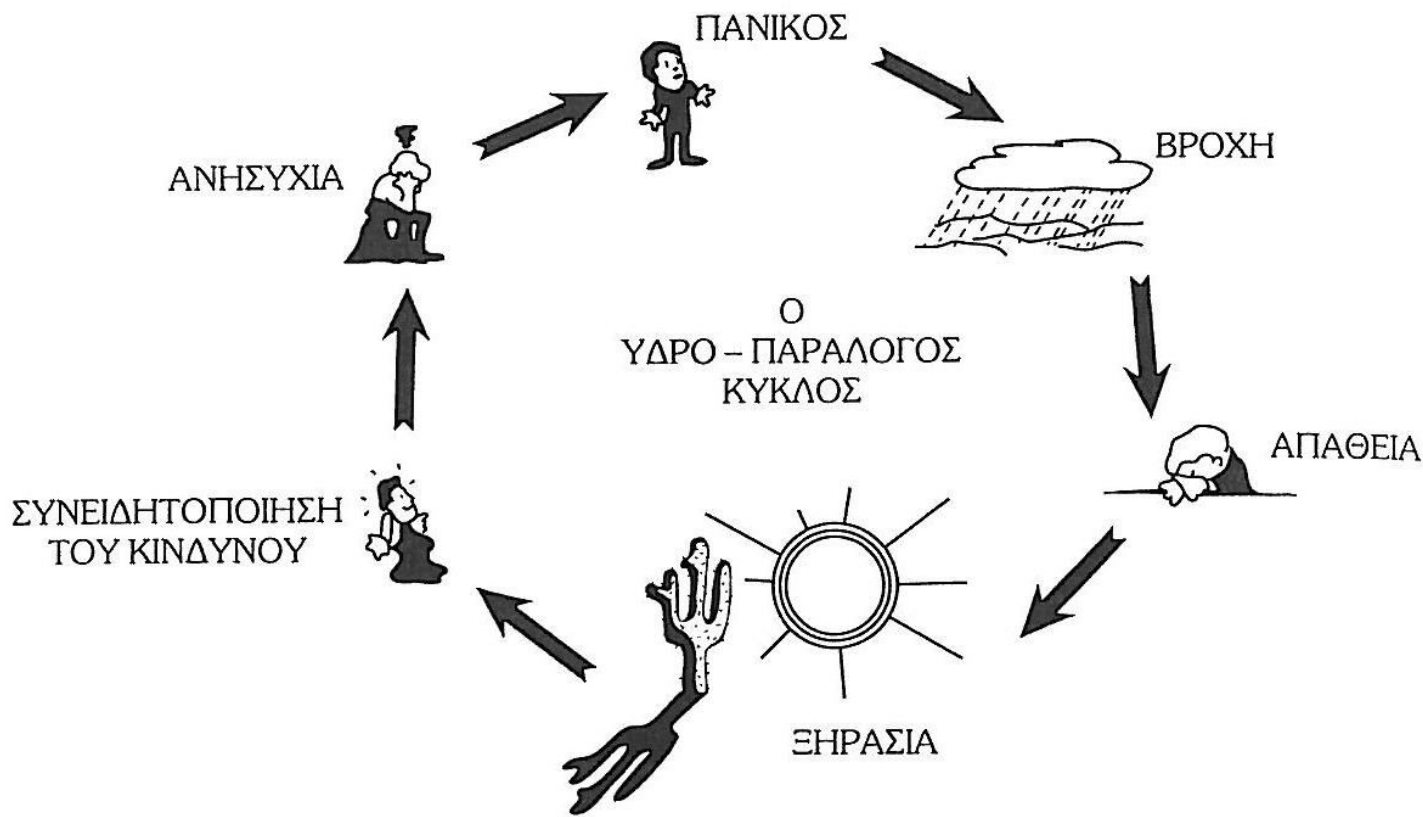


# Ξηρασία

Μ.Σπηλιώτη



Σχ. 13.1: Ο "υδρο-παράλογος" κύκλος της ξηρασίας.



**Σχ. 13.1:** Ο "υδρο-παράλογος" κύκλος της ξηρασίας.

Το φαινόμενο της ξηρασίας σε αντίθεση με άλλα ακραία γεγονότα όπως πλημμύρες, καταιγίδες κλπ, έχει συνήθως μεγάλη χρονική διάρκεια χωρίς εύκολα να διακρίνεται η αρχή και το τέλος της.



- Γενικός ορισμός Ξηρασίας (για ένα υδατικό σύστημα)

Φαινόμενο κατά τη διάρκεια εμφάνισης του οποίου το υδατικό σύστημα βρίσκεται κάτω από ένα κρίσιμο επίπεδο σε σχέση με την κανονική του λειτουργία.

για ένα κρίσιμο χρονικό διάστημα και έκταση...

- Συντελεί σε υδατικό έλλειμμα και άρα σε λειψυδρία
- Σε αντίθεση με τις πλημύρες καταλαμβάνει μεγάλη χρονική έκταση
- Μη πλήρως «αντιμετωπίσιμο» φαινόμενο, μετριασμός επιπτώσεων μείωση τρωτότητας

- 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

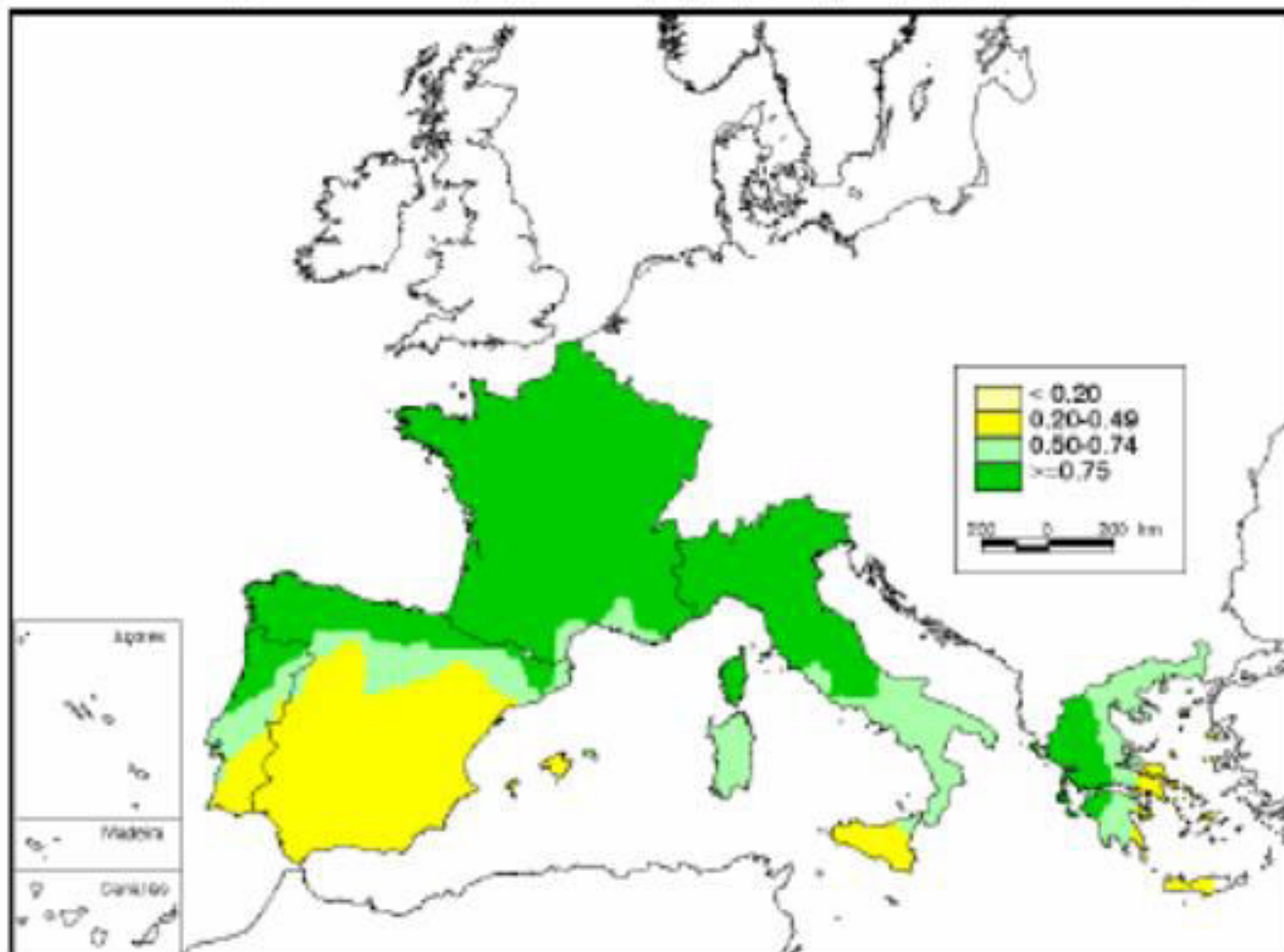
$> 0.75$

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  $\frac{Q - \bar{Q}}{\sigma_Q}$

## Δείκτης ξηρότητας της UNESCO στις Μεσογειακές χώρες της

Δείκτης UNESCO: Βροχόπτωση προς Δυνητική εξατμισοδιαπνοή



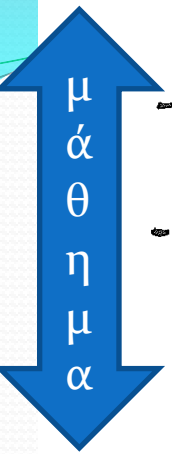
Πηγή: Στοιχεία της EUROSTAT επεξεργασμένα στην μελέτη της CEDEX, Οκτώβριος 2000



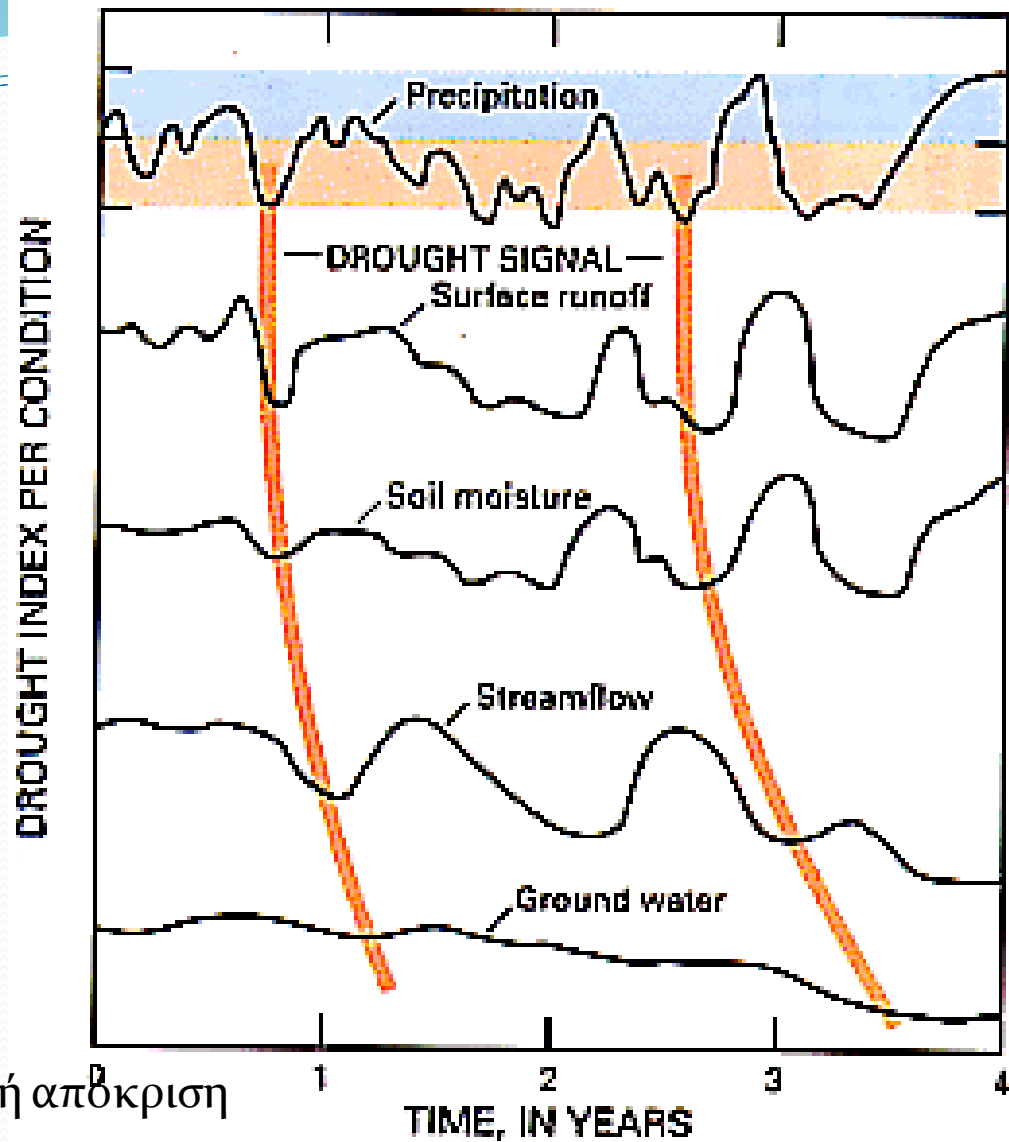
# Επίδραση δυναμικής εξατμισοδιαπνοής

- Έτσι αν πραγματοποιηθούν 400 mm ετήσιας βροχής σε ένα ζεστό κλίμα θα υποστηρίξουν μόνο αραιή βλάστηση αλλά σε ένα ψυχρό κλίμα μπορούν να συντηρήσουν ένα δάσος.
- Συγκεκριμένα, δάση κωνοφόρων (taiga) επιβιώνουν σε ψυχρές περιοχές (Καναδάς, Αλάσκα, Νορβηγία, Σιβηρία), οι οποίες βροχόπτωση μικρότερη από 500 mm ανά έτος.
- Βορειότερα, σε πολικές περιοχές με βροχόπτωση μικρότερη από 200 mm ανά έτος, συντηρείται η βλάστηση της τούνδρας που αποτελείται από φυτά με πολύ μικρή περίοδο ανάπτυξης, πολύ μικρά δένδρα και διασκορπισμένη ξυλώδη χαμηλή βλάστηση.
- Αντίθετα, σε θερμές περιοχές κοντά στην ισημερινό, η διατήρηση τροπικού δάσους απαιτεί βροχόπτωση μεγαλύτερη από 1500 mm ανά έτος, ενώ ακόμη και περιοχές με βλάστηση σαβάνας (χορτάρι, χαμηλά δένδρα) δέχονται περίπου 1000 mm ετήσιας βροχόπτωσης (Μαμάσης και Κουτσογιάννης, 2007).

# Ορισμοί της Ξηρασίας



- Μετεωρολογική Ξηρασία: Περίοδος χωρίς αρκετή βροχή.
- Υδρολογική Ξηρασία: Περίοδος υδρολογικού ελλείμματος (απορροή, αποθήκευση σε ταμιευτήρες, υπόγεια υδροφόρα στρώματα).
- Γεωργική Ξηρασία: Επίπεδα εδαφικής υγρασίας και επάρκειας του νερού για την ανάπτυξη των καλλιεργειών.
- Κοινωνικο-οικονομική Ξηρασία: Ελλείμματα υδατικών πόρων λόγω υπερκατανάλωσης, ανεπαρκούς υποδομής και προετοιμασίας.



**EXPLANATION**

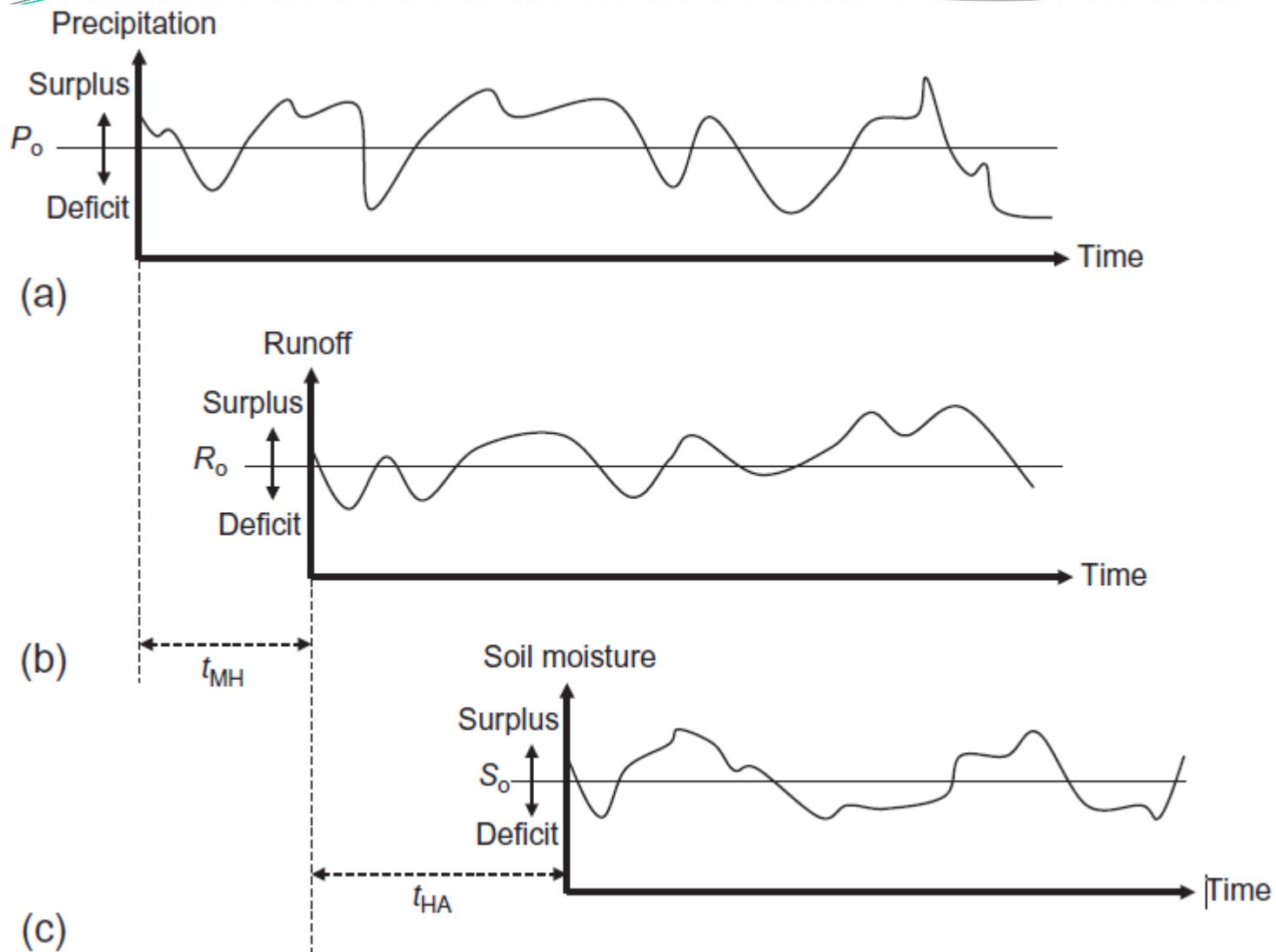
- Precipitation
- Above normal
- Below normal (deficit)

Διαφορετική χρονική απόκριση στη ξηρασία

Ανάλογα τη θέση του υδρολογικού κύκλου

<http://geochange.er.usgs.gov/s/w/changes/natural/drought/>





**FIG. 1.9** Drought types: (A) meteorological, (B) hydrological, (C) agricultural.

From Senaut Zekai, 2015. Applied Drought Modeling Prediction and Mitigation

## Επικινδυνότητα μιας Ξηρασίας (drought risk)

### Βαθμός επικινδυνότητας:

Πιθανότητα να συμβεί Ξηρασία σε οποιοδήποτε υδρολογικό έτος

$$P(H < h) = \frac{1}{T}$$

$P(H < h)$ : πιθανότητα μη υπέρβασης της τιμής  $h$

$H$ : ετήσιο ύψος βροχής

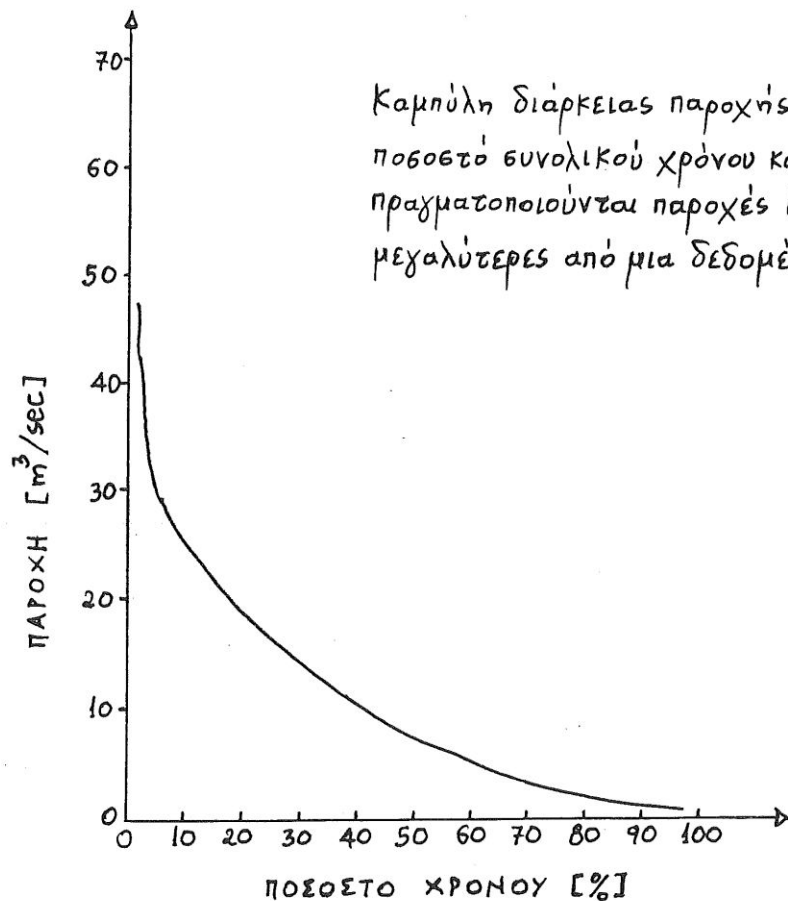
$T$ : περίοδος επαναφοράς σε έτη

Περίοδος επαναφοράς (ελαχίστων, εδώ ξηρασία): η περίοδος επαναφοράς ορίζεται ως ο μέσος αριθμός χρονικών διαστημάτων μέσα στο οποίο η τυχαία μεταβλητή (υδρολογικό μέγεθος, π.χ. απορροή) θα εμφανιστεί μία μόνο φορά με μέγεθος ίσο η μικρότερο μίας τιμής μία μόνο φορά. Πχ. Αν η παροχή  $20 \text{ m}^3/\text{s}$  αντιστοιχεί σε περίοδο επαναφοράς 50 ετών σημαίνει μεσολαβούν 50 έτη για την εμφάνιση αντίστοιχης παροχής μικρότερης ή ίση από  $20 \text{ m}^3/\text{s}$  («κάθε 20 χρόνια τόσο μικρή παροχή στο ποτάμι...»)

Αυστηρά μαθηματικά: Αδιάστατη παράμετρος

## Δείκτες Ξηρασίας με βάση τις χαμηλές απορροές

- Δείκτης υδρολογικής Ξηρασίας :  
απόκλιση από τη μέση τιμή της παροχής συγκεκριμένης διάρκειας
- Δείκτης Ξηρασίας με βάση την καμπύλη διάρκειας παροχής ενός ποταμού :  
π.χ. παροχή που ξεπερνιέται το 95% του χρόνου,  
ή το ποσοστό του χρόνου που το 1/4 της μέσης παροχής  
ξεπερνιέται.



Κατάταξη από μεγάλες  
σε μικρές παροχές

Εμπειρική πιθανότητα  
 $p/N$

Χρυσάνθου, 2013



- Σημειακή Ξηρασία: Χρονική περίοδος κατά την οποία το ύψος βροχής δεν υπερβαίνει την κρίσιμη τιμή του για το θεωρούμενο σταθμό.

Χρονικό διάστημα κατά το οποίο ο αποθηκευμένος όγκος νερού ε'έναν ταμιευτήρα δεν υπερβαίνει τον κρίσιμο.

- Ξηρασία συστήματος: Χρονικό διάστημα κατά το οποίο ο αριθμός ταμιευτήρων του συστήματος είναι μεγαλύτερος ή ίσος του κρίσιμου.

Οι υδρολογικοί δείκτες ξηρασίας εμπεριέχουν αναγκαστικά την έννοια του συστήματος. Για παράδειγμα ο SDI στηρίζεται σε παροχές επομένως υπάρχει μία υπολεκάνη που στραγγίζει το νερό στο εξεταζόμενο σημείο του υδατορέματος

# Ξηρασία

- Διάρκεια
- Ένταση
- Χωρική εξάπλωση

Στο σημερινό μάθημα επικεντρωθήκαμε σε απλούς αλγεβρικούς δείκτες ξηρασίας με βάση σημειακές μετρήσεις...

# Διαστάσεις ξηρασίας

## 1. ΈΝΤΑΣΗ (σφοδρότητα, Βαγγέλης, 2012)

Η ένταση αναφέρεται στο βαθμό του ελλείμματος βροχόπτωσης ή αντίστοιχα στη δριμύτητα των επιδράσεων λόγω της έλλειψης αυτής. Μπορεί να μετρηθεί με σημείο αναφοράς κάποια μέση ή συνήθη τιμή και συνδέεται με τη σφοδρότητα των επιπτώσεων. Ο πιο απλός αλλά και πιο διαδεδομένος δείκτης μέτρησής της είναι ένα επί της εκατό ποσοστό της συνήθους βροχόπτωσης για το διάστημα που εξετάζεται. Δηλαδή πόσο μικρότερο είναι το ύψος βροχόπτωσης κατά την περίοδο ανάπτυξης του φαινομένου της ξηρασίας σε σχέση με τη μέση ή την αναμενόμενη μέση τιμή του ύψους βροχόπτωσης για την περίοδο, που μπορεί να

# Διαστάσεις ξηρασίας

## 2. ΔΙΑΡΚΕΙΑ (Βαγγέλης, 2012)

Η διάρκεια, ορίζεται ως ο αριθμός των συνεχόμενων χρονικών περιόδων κατά τα οποία παρουσιάζεται το φαινόμενο της ξηρασίας. Η ξηρασία συνήθως χρειάζεται δύο με τρεις μήνες για να εγκατασταθεί, αλλά στη συνέχεια μπορεί να συνεχιστεί ακόμη και για αρκετά συνεχόμενα χρόνια. Η σπουδαιότητα των επιδράσεων της ξηρασίας έχει άμεση σχέση με τη χρονική στιγμή της έναρξης του φαινομένου, αλλά και τη χρονική κατανομή της μείωσης των βροχοπτώσεων. Διαφορετικό σημείο έναρξης και χρονική κατανομή μπορεί να οδηγήσει σε διαφορετικές επιπτώσεις και επομένως σε διαφορετικούς τύπους ξηρασίας. Για παράδειγμα ελάττωση της βροχόπτωσης αμέσως πριν την περίοδο των αρδεύσεων θα μπορούσε να οδηγήσει σε γεωργική ξηρασία, ενώ η ίδια ελάττωση σε κάποια άλλη χρονική στιγμή θα μπορούσε να θεωρηθεί μετεωρολογική ξηρασία. Αν και

# Διαστάσεις ξηρασίας

## 3. ΕΚΤΑΣΗ (Βαγγέλης, 2012)

Η χωρική έκταση της ξηρασίας είναι ένα ακόμη χαρακτηριστικό που διαφοροποιεί τις ξηρασίες. Τα φαινόμενα ξηρασίας που μπορούν να χαρακτηριστούν σημαντικά, συχνά αναπτύσσονται σε χωρικό επίπεδο σταδιακά με την πάροδο του χρόνου, με τις περιοχές μέγιστης ξηρασίας να διαφέρουν από εποχή σε εποχή. Σε χώρες με μεγάλη έκταση είναι πολύ δύσκολο οι περιοχές που πλήττονται από ξηρασία να περιλαμβάνουν ολόκληρη τη χώρα. Τέτοιες χώρες ωστόσο σχεδόν κάθε χρόνο αντιμετωπίζουν ξηρασίες σε μικρές οι μεγαλύτερες περιοχές. Αυτό οδηγεί τους υπεύθυνους των κρατών αυτών σε συνεχή εγρήγορση απέναντι στα φαινόμενα της ξηρασίας. Σε σχετικά μικρές χώρες, όπως και η Ελλάδα, είναι πιθανό ολόκληρη η χώρα να επηρεαστεί σε μια περίπτωση ακραίας ξηρασίας.





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

## ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΛΗΠΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΤΗΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

**ΧΑΡΙΛΑΟΥ ΒΑΓΓΕΛΗ**

Διπλωματούχου Αγρονόμου και Τοπογράφου Μηχανικού Ε.Μ.Π.  
Διπλωματούχου Δ.Π.Μ.Σ. «Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων» Ε.Μ.Π.

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:  
ΤΣΑΚΙΡΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, Ιανουάριος 2012



# Μετεωρολογική ξηρασία

- Κύρια σχολή με βάση την αθροιστική πιθανότητα βροχόπτωσης
- Συμπερίληψη της δυναμικής εξατμισοδιαπνοής για τη συμπερίληψη των απωλειών:
  - Αρχικά:

$$\alpha_k = \frac{\sum_{j=1}^k P_j}{\sum_{j=1}^k PET_j} \quad (13.1)$$

όπου  $P_j$  και  $PET_j$  η βροχόπτωση και η δυναμική εξατμισοδιαπνοή αντίστοιχα, του μήνα  $j$  του συγκεκριμένου υδρολογικού έτους. Επειδή το υδρολογικό έτος για τις Μεσογειακές συνθήκες θεωρείται ότι ξεκινά τον Οκτώβριο (για τις Μεσογειακές χώρες), η τιμή του  $k$  για τον μήνα Οκτώβριο είναι  $k = 1$ .

Ο Normalised RDI μπορεί να εκτιμηθεί από την ακόλουθη σχέση:

$$RDI_n(k) = \frac{a_k}{\bar{a}_k} - 1 \quad (13.2)$$

Ο Standardised RDI μπορεί να εκτιμηθεί από τη σχέση:

$$RDI_{st}(k) = \frac{y_k - \bar{y}_k}{\hat{\sigma}_k} \quad (13.3)$$

όπου  $y_k$  είναι ο  $\ln(a_k)$ ,  $\bar{y}_k$  είναι ο αριθμητικός μέσος όρος και  $\hat{\sigma}_k$  η τυπική απόκλιση.

Η εκτίμηση του τυποποιημένου RDI ( $RDI_{st}$ ) με βάση την προηγούμενη εξίσωση στηρίζεται στην υπόθεση ότι οι τιμές του  $a_k$  ακολουθούν τη λογαριθμοκανονική κατανομή, ενώ η διαδικασία υπολογισμού είναι ανάλογη με αυτή που ακολουθείται και για τον δείκτη SPI. Επειδή μάλιστα η γενι-

Τσακίρης, και Βαγγέλης, 2014

$$\frac{y_k - \bar{y}}{\hat{\sigma}_k} \leq -2 \rightarrow y_k \leq \bar{y} - 2\hat{\sigma}_k$$

**Πίν. 13.3:** Κατάταξη της ξηρασίας με βάση τις τιμές του δείκτη SPI

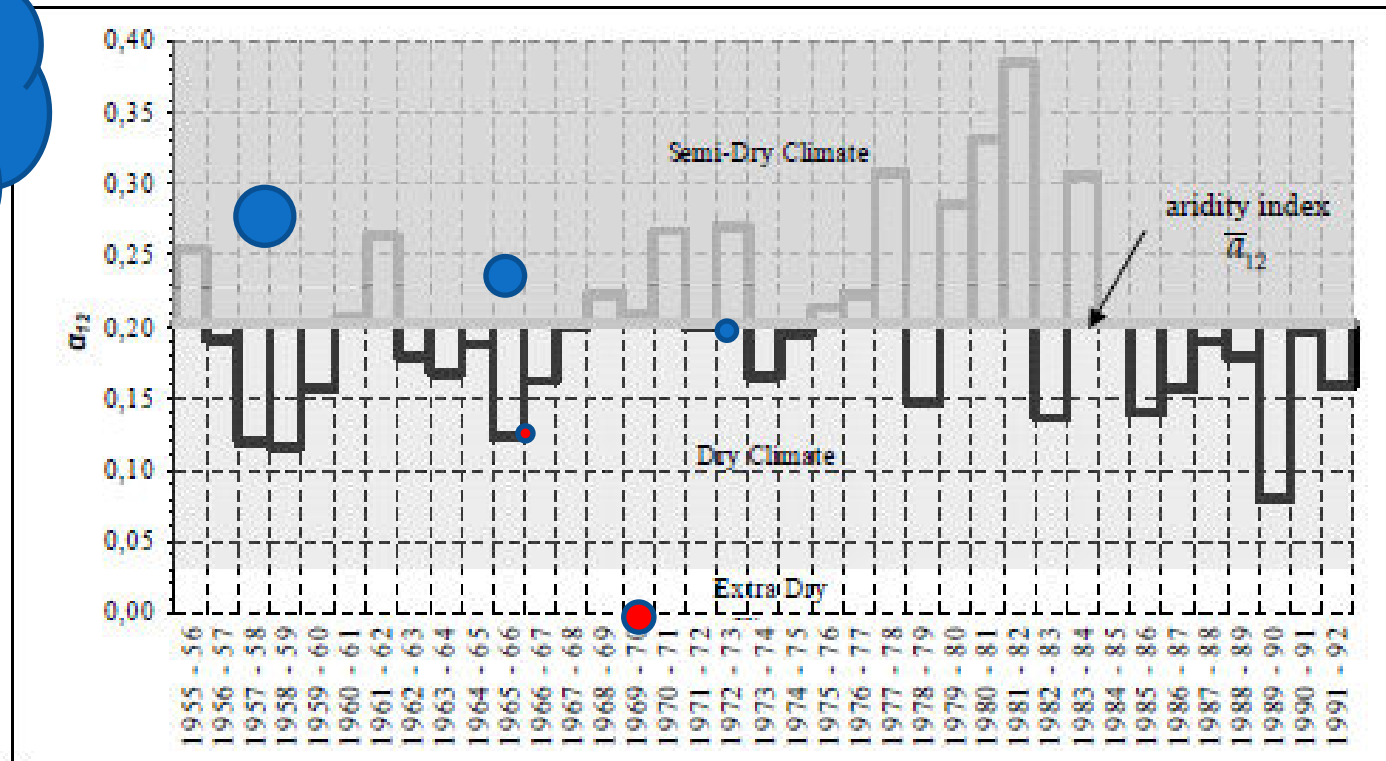
Τιμές SPI	Κατηγορία υγρασίας/ξηρασίας
> 2.0	ακραία υγρή
1.50 έως 1.99	σημαντικά υγρή
1.00 έως 1.49	μέτρια υγρή
-0.99 έως 0.99	κανονικές συνθήκες
-1.00 έως -1.49	μέτρια ξηρή
-1.50 έως -1.99	σημαντικά ξηρή
< -2.00	ακραία ξηρή

Χρήση και για RDI

Ο παραπάνω πίνακας χρ και στο RDI

Ο RDI μπορεί να υπολογιστεί για ένα υδρολογικό έτος για περιόδους αναφοράς 3, 6, 9 και 12 μηνών. Αυτό συνεπάγεται τη διαφορετική φύση του RDI σε σύγκριση με άλλους δείκτες ξηρασίας, δεδομένου ότι ο RDI υπολογίζεται για προκαθορισμένες περιόδους αναφοράς και όχι ως "κυλιόμενος" δείκτης σταθερής χρονικής περιόδου.

Μέση  
τιμή  
ξηρότητα  
(κανονικό  
τητα)



Σχήμα 3.4. Ετήσιος  $a_{12}$  σε σύγκριση με τον δείκτη ξηρότητας ( $\bar{a}_{12}$ ) στην περιοχή της Νάξου.

RDI, μετεωρολογική ξηρασία, ΒΑΓΓΕΛΗΣ Χ., Δ.Δ., ΕΜΠ, 2012

Κάτω από το κατώφλι ξηρότητας  
(κανονικότητα) για τον  
δεδεκάμηνο RDI → ΕΗΡΑΣΙΑ



# Υδρολογική ξηρασία

- Συνήθως, με βάση τις παροχές στα υδατορέματα
- Από πολλούς προτείνεται η διάκριση από τη ξηρασία στους υπόγειους υδατικούς πόρους και από άλλους όχι
- Οι επιφανειακοί υδατικοί πόροι είναι λιγότερο ανθεκτικοί στην περίπτωση ξηρασίας αλλά οι επιπτώσεις στους υπόγειους υδροφορείς έχουν μεγαλύτερο χρόνο απόκρισης

### 13.8.2 Ο Δείκτης υδρολογικής ξηρασίας SDI (Streamflow Drought Index)

Σύμφωνα με τους Nalbantis and Tsakiris (2009), αν είναι διαθέσιμη χρονοσειρά μηνιαίων όγκων απορροής  $Q_{i,j}$ , όπου  $i$  το υδρολογικό έτος και  $j$  ο μήνας του συγκεκριμένου υδρολογικού έτους (με  $j = 1$  για Οκτώβριο), τότε:

$$V_{i,k} = \sum_{j=1}^{3k} Q_{ij} \quad i = 1, 2, \dots \quad j = 1, 2, \dots, 12 \quad k = 1, 2, 3, 4$$

όπου  $V_{i,k}$  ο αθροιστικός όγκος απορροής για το υδρολογικό έτος  $i$  την περίοδο αναφοράς  $k$ , με  $k = 1$  για την περίοδο Οκτωβρίου-Δεκεμβρίου,  $k = 2$  για την περίοδο Οκτωβρίου-Μαρτίου,  $k = 3$  για την περίοδο Οκτωβρίου-Ιουνίου και  $k = 4$  για την περίοδο Οκτωβρίου-Σεπτεμβρίου.

Με βάση τους αθροιστικούς όγκους απορροής  $V_{i,k}$ , ο SDI ορίζεται για κάθε περίοδο αναφοράς  $k$  του υδρολογικού έτους  $i$  ως εξής:

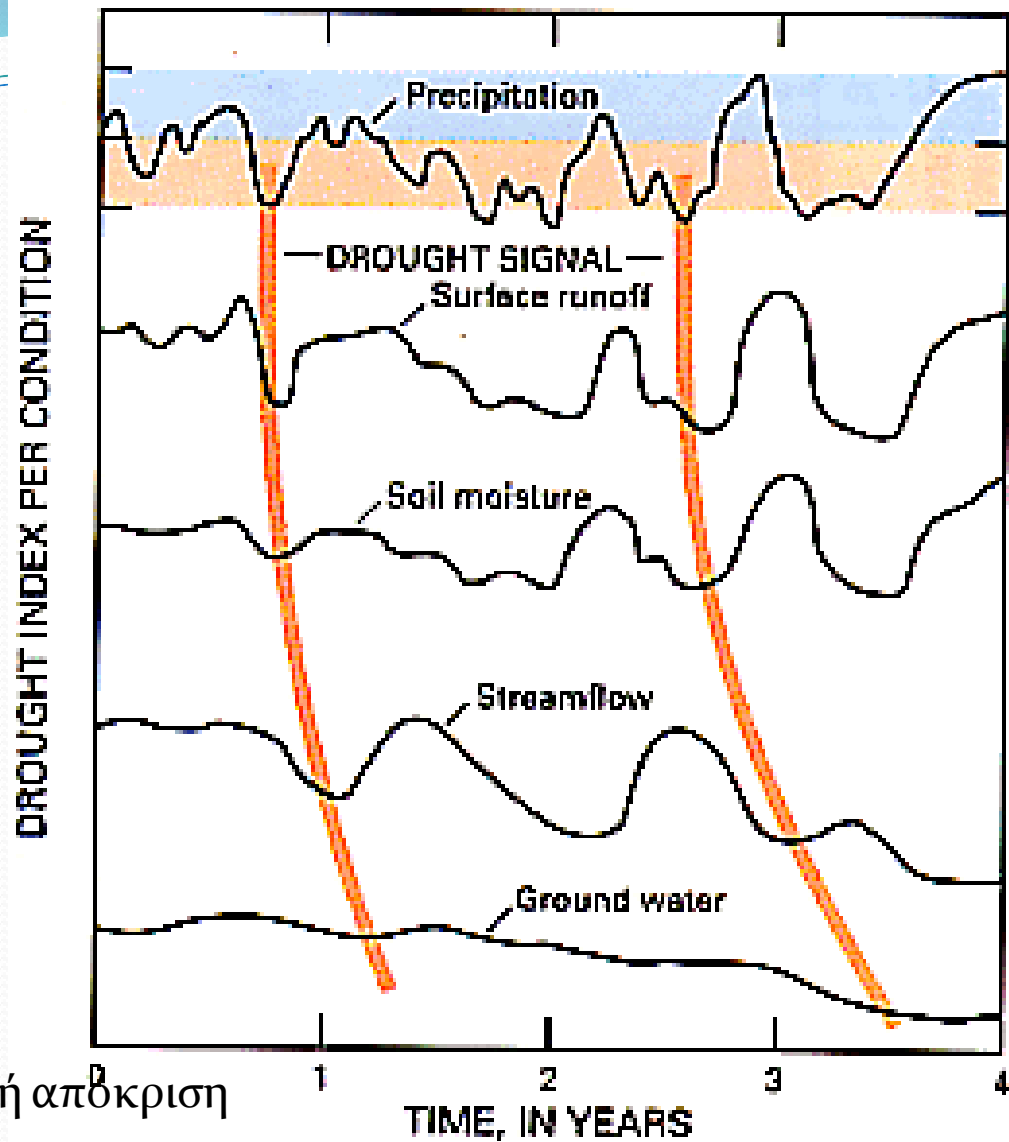
$$SDI_{i,k} = \frac{V_{i,k} - \bar{V}_k}{S_k} \quad i = 1, 2, \dots \quad k = 1, 2, 3, 4$$

Το πρόβλημα της αντιμετώπισης της διακοπόμενης ή εφήμερης ροής είναι πολύ σημαντικό, όταν πρόκειται για υδρολογικές ξηρασίες. Τρεις περιπτώσεις μπορούν να διακριθούν: (1) υδατόρευμα με μόνιμη ροή, (2) υδατόρευμα με εφήμερη ροή και όχι ολοκληρωτικά ξηρό καθ' όλη τη διάρκεια του υδρολογικού έτους, (3) υδατόρευμα χωρίς ροή σε ορισμένα υδρολογικά έτη. Σύμφωνα με τον ορισμό του SDI, η περίπτωση 2 δεν είναι αξιοποιήσιμη, δεδομένου ότι η αθροιστική απορροή θα λαμβάνει πάντα κάποια θετική τιμή. Παραμένει έτσι μόνο η περίπτωση των απολύτως ξηρών υδρολογικών ετών (περίπτωση 3), η οποία αυθαίρετα κατατάσσεται στην κατηγορία της ακραίας ξηρασίας (κατάσταση 4).

**Πίν. 13.4:** Ορισμός των καταστάσεων υδρολογικής ξηρασίας σύμφωνα με τον SDI

Κατάσταση	Περιγραφή	Κριτήριο
0	Χωρίς ξηρασία	$SDI \geq 0.0$
1	Ήπια ξηρασία	$-1.0 \leq SDI < 0.0$
2	Μέτρια ξηρασία	$-1.5 \leq SDI < -1.0$
3	Σημαντική ξηρασία	$-2.0 \leq SDI < -1.5$
4	Ακραία ξηρασία	$SDI < -2.0$

$$V_i \leq \bar{V} - 2$$



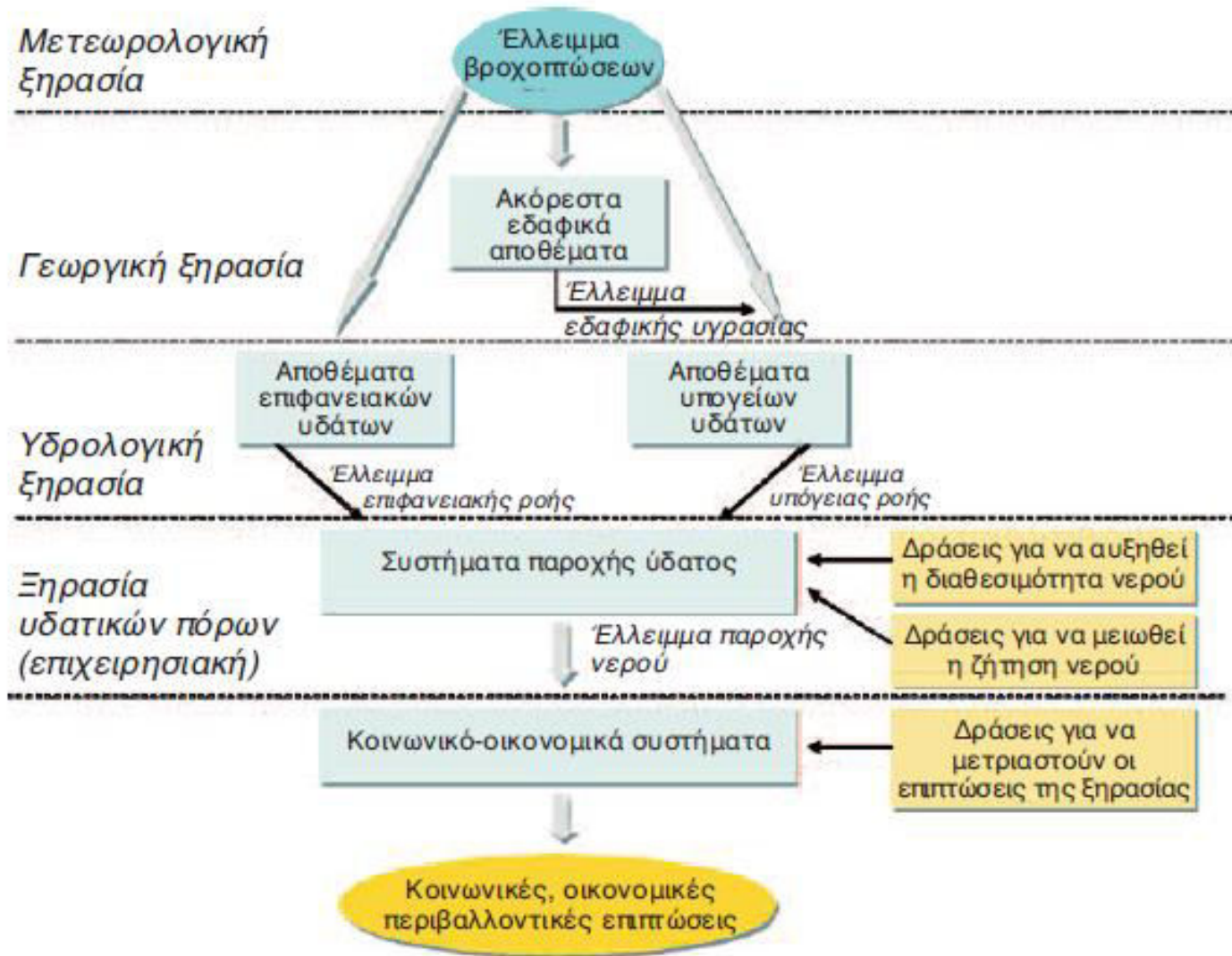
DROUGHT INDEX PER CONDITION

**EXPLANATION**

- Precipitation
- Above normal
- Below normal (deficit)

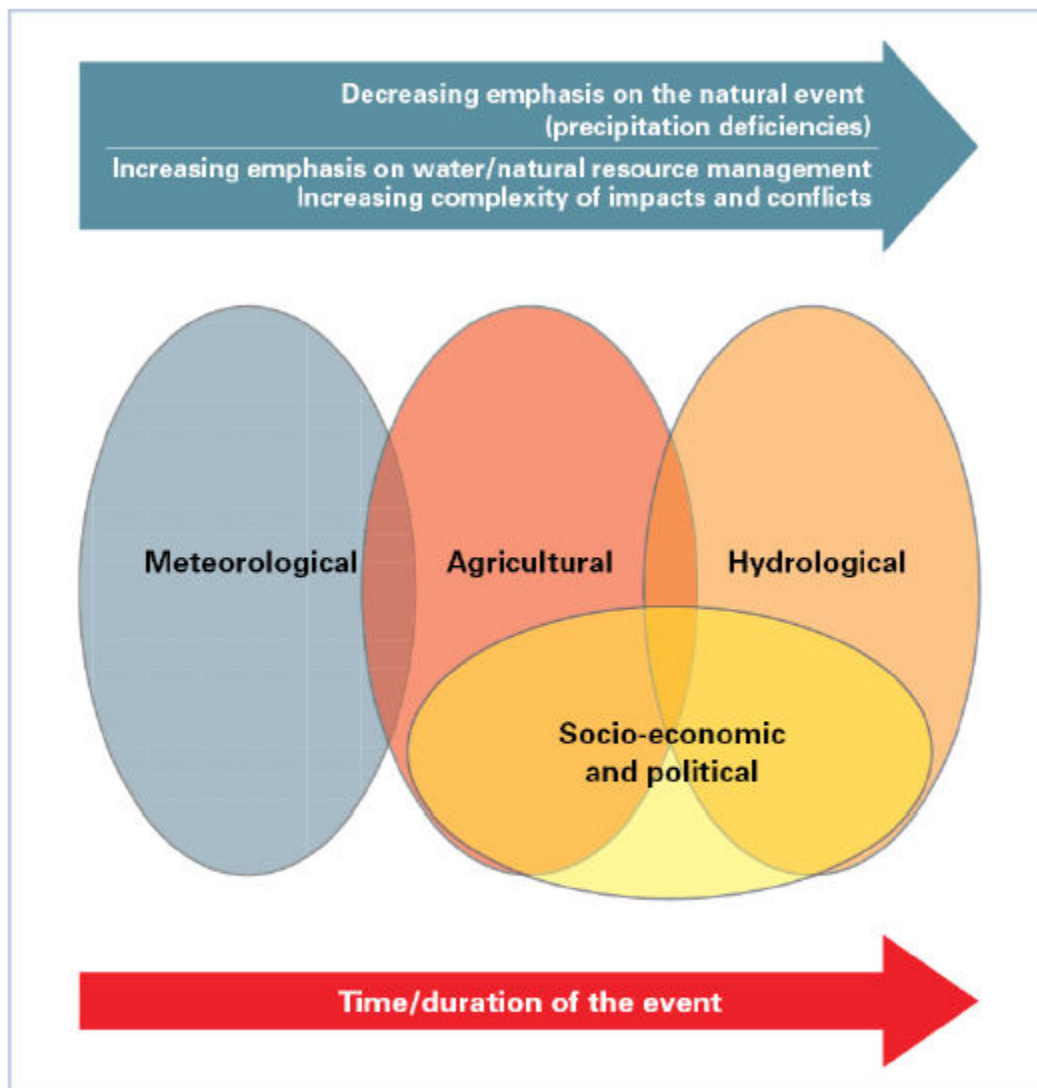
Διαφορετική χρονική απόκριση  
στη ξηρασία  
Ανάλογα τη θέση του  
υδρολογικού κύκλου  
<http://geochange.er.usgs.gov/s/w/changes/natural/drought/>





Σχήμα 5. Το φαινόμενο της Ξηρασίας και ο ρόλος των μέτρων περιορισμού της

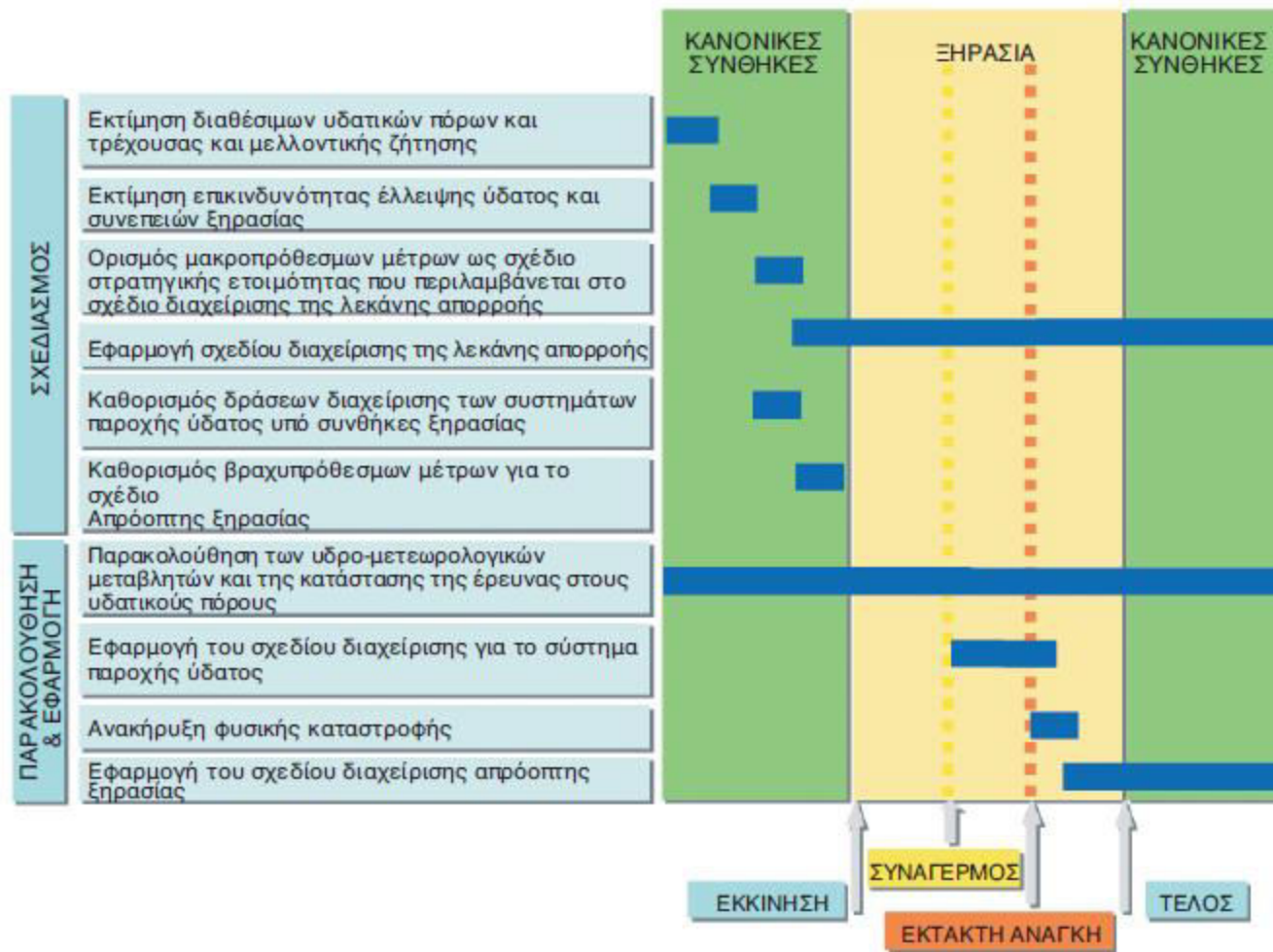




Σχήμα 1.3. Η αλληλεξάρτηση μεταξύ της μετεωρολογικής, της γεωργικής, της υδρολογικής και της κοινωνικο-οικονομικής ξηρασίας (Πηγή: [WMO, 2006](#)).

(WMO, 2006). Η αλληλεξάρτηση των διαφόρων τύπων της ξηρασίας παρουσιάζεται στο Σχήμα 1.3. Όπως φαίνεται στο Σχήμα, η άμεση σύνδεση μεταξύ των κύριων τύπων ξηρασίας και της έλλειψης βροχοπτώσεων επηρεάζεται από το πώς γίνεται η διαχείριση αυτών των συστημάτων. Αλλαγές στη διαχείριση των συστημάτων αυτών μπορούν είτε να μειώσουν είτε να επιδεινώσουν τις επιπτώσεις της ξηρασίας. Για παράδειγμα, η υιοθέτηση των κατάλληλων

Βαγγέλης, 2012, δ.δ., ΕΜΠ



Σχήμα 10. Διαδοχικά βήματα για την εφαρμογή των δράσεων διαχείρισης της Ξηρασίας.

MEDROPLAN, TSAKIRIS 2009, ωστόσο από άλλους προτείνονται προληπτικά μέτρα πριν το συναγερμό, ήπιας μορφής

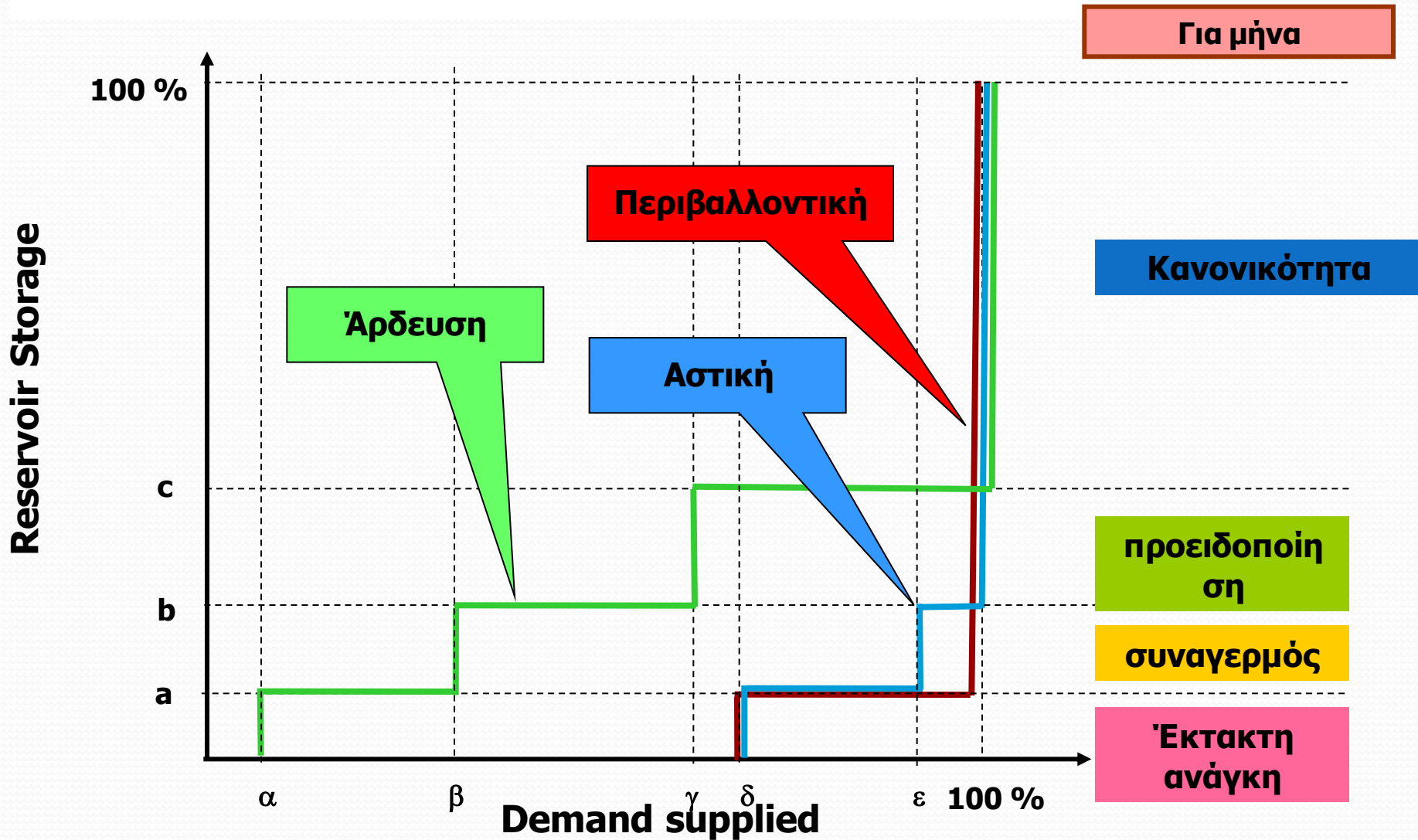


Σχήμα 9. Επίπεδα ορίων και ομάδες που πρέπει να λάβουν δράση

MEDROPLAN, TSAKIRIS 2009, ωστόσο από άλλους προτείνονται προληπτικά μέτρα πριν το συναγερμό, ήπιας μορφής

# Διαχείριση ταμιευτήρα

- We also need to define supply restrictions in each level





- Κατώφλια δράσεων με βάση τη χωρητικότητα του ταμιευτήρα
  - Ιεράρχηση χρήσεων
- Περιορισμός παροχής νερού κλιμακωτά

# Λήψη απόφασης

Risk: Διακινδύνευση, όχι μόνο πιθανότητα αλλά και μέσα από το φίλτρο των ζημιών

Risk????



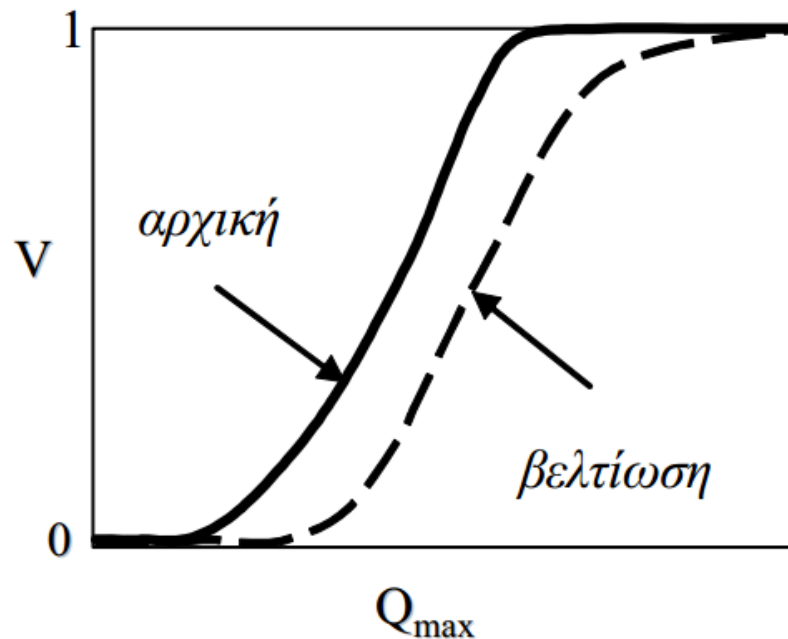
# Διακινδύνευση, R

- $\{R\} = \{H\} \times \{V\}$     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

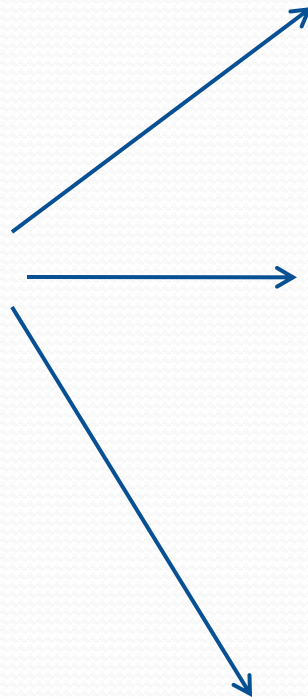
εξαρτάται από το σύστημα, υποδομή αλλά και από τις ακολοθούμενες πολιτικές

## Τρωτότητα – Μέγεθος φαινομένου





Τρωτότητα



Ευαισθησία

Προσαρμοστική  
ικανότητα

Έκθεση  
(ιστορική  
εμπειρία)

# Τρωτότητα

- Αλγεβρική ή πολυκριτηριακή σύνθεση των παραπάνω δεικτών
- Κριτήρια (βλπ, προηγούμενα)
- PROXY VARIABLES : δείκτες που περιγράφουν κάποιες ενδιαφέρουσες ιδιότητες όχι όμως και ισοατανεμημένα όλες τις πτυχές των κριτηρίων
- Πολυεπίπεδη σύνθεση των κριτηρίων

# Αβεβαιότητα

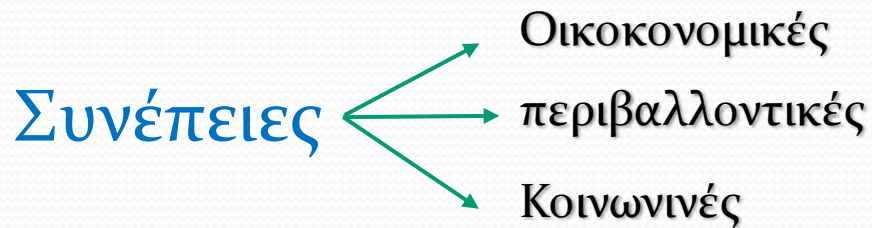


# Συνέπειες ξηρασίας

Κίνδυνος ξηρασίας

Τρωτότητα συστήματος

Διακινδύνευση συστήματος





**DPSIR**



# DPSIR framework

## **Driver:**

Δραστηριότητα που μπορεί να έχει αντίκτυπο (π.χ. βιομηχανία)

## **Pressure:**

Άμεσο αποτέλεσμα του driver (π.χ. μόλυνση του συστήματος)

## **State:**

Φυσική, χημική και βιολογική κατάσταση του συστήματος

## **Impact:**

Αποτέλεσμα από την πίεση (π.χ. θάνατος ψαριών)

## **Response:**

Μέτρα για την καλυτέρευση της κατάστασης

# DPSIR in Droughts

## Driver – Pressure – State – Impacts – Response

Driver	Pressure	State	Impacts
Μετεωρολογική ξηρασία	Υδρολογική ξηρασία	Χαμηλή αποθήκευση στα συστήματα διανομής νερού	Δυσκολίες (δήμοι) Λιγότερα έσοδα (Βιομηχανία- Τουρισμός Αρδευόμενη γεωργία)
	Αγροτική ξηρασία	Χαμηλή υγρασία στο ριζόστρωμα	Λιγότερη παραγωγή μείωση κέρδους για τους παραγωγούς (μη αρδευόμενη γεωργία)

# Response

- Αντίδραση: Εναλλακτικές σε ένα σχέδιο διαχείρισης
  - α. Εκτίμηση σφοδρότητας της ξηρασίας - Ενημέρωση
  - β. Μέτρα μείωσης της ζήτησης
  - γ. Βελτιώσεις του συστήματος
  - δ. Παροχή νερού έκτακτης ανάγκης
- Η αντίδραση ενός συστήματος μπορεί να μην είναι ορθολογική

# Εμπειρίες από την Ισπανία...

- Παρακολούθηση της ξηρασία on line
- Κλιμακωτοί κανόνες αναπροσαρμογής της ζήτησης
- Έλεγχος με βάση τα αποθέματα στον ταμιευτήρα
- Ιεράρχηση στην περικοπή της ζήτησης:
- Αρδευόμενη γεωργία < Αστική ζήτηση < Οικολογική παροχή

# Προσαρμογή σε συνθήκες ξηρασίας,

## Ισπανία

- Νομοθετικό πλαίσιο με βάση το ρίσκο
- Διάκριση σε 4 καταστάσεις
  - Κανονική
  - Πριν την εγρήγορση,  $\text{risk} > 10\%$ , μέτρα χαμηλού κόστους, ενημέρωση, μη κατασκευαστικά μέτρα
  - Εγρήγορση (alerta),  $\text{risk} > 30\%$ , μέτρα χαμηλού και μέσου κόστους, ενημέρωση, κυρίως μη κατασκευαστικά μέτρα, ειδοποίηση αγροτών, διαχείριση της ζήτησης, αποφυγή κατάστασης συναγερμού
  - Συναγερμού (emergencia), μέτρα υψηλού κόστους, και κατασκευαστικά μέτρα, περιορισμός της ζήτησης, εξασφάλιση πόσιμου νερού, μετριασμός επιπτώσεων
- 3 κατώφλια, καθορισμένα από το νόμο
- Περιορισμός της ζήτησης ανάλογα με την κατάσταση κινδύνου, περισσότερο στην αρδευόμενη γεωργία
- Χρήση Υπογείων Νερών
- On line παρακολούθηση...



- [Ir a Inicio](#)
- [El Ministro](#)
- [Funciones y estructura](#)
- [Planes y estrategias](#)
- [Actividad legislativa](#)
- [Formación y becas](#)
- [Archivos, Bibliotecas y Mediateca](#)
- [Campañas](#)
- [Proyectos de cooperación](#)
- [Premios](#)
- [Días mundiales y fechas destacadas](#)
- [Palacio de Fomento](#)
- Servicios**
  - [Servicios por área de actividad](#)
  - [Servicios de información](#)
  - [Análisis y Prospectiva](#)
  - [Empleo público](#)
  - [Participación pública](#)
  - [Sede electrónica](#)
  - [Ayudas y subvenciones](#)
  - [Cartografía y SIG](#)
  - [Estadísticas](#)
  - [Licitaciones](#)
  - Publicaciones**

## Informe-Resumen de Situación de la Sequía Hidrológica

 [Imprimir](#)



**Informe-Resumen de Situación de la Sequía Hidrológica**  
**Acrónimo:** SSR  
**ISSN:** NIPO: 280-12-024-5  
**Periodicidad:** Irregular  
**Año de inicio:** 2010  
**Editorial:** Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente  
**Página Web:** [www.magrama.es](http://www.magrama.es)

**Materias:** Datos meteorológicos; Desastres meteorológicos; Sequía

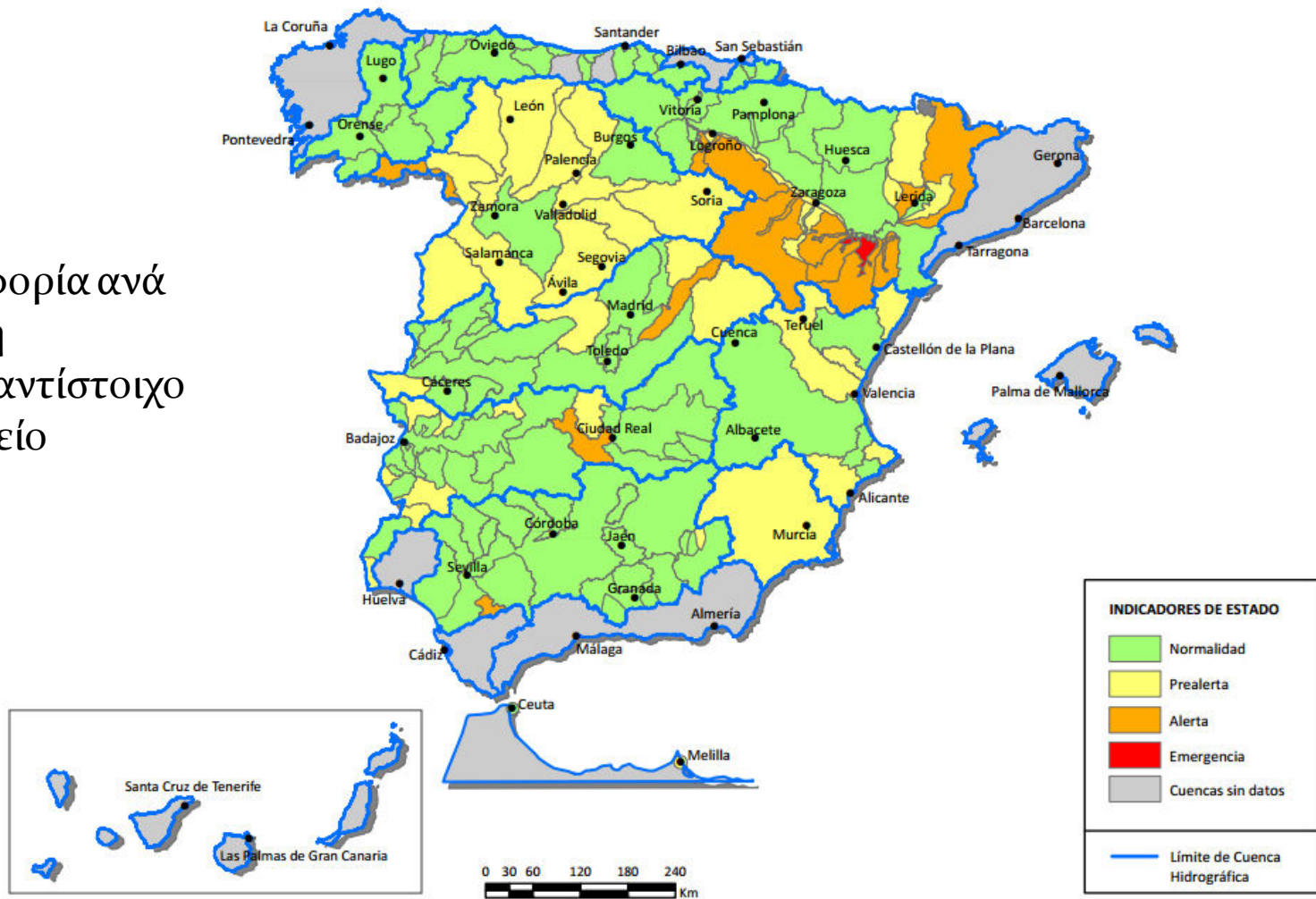
Desde el 10/03/2010 hasta el 25/01/2012 tit. de la revista: Situación de la Sequía : resumen ejecutivo. Desde esa fecha hasta 11/10/2012: Informe de Situación de la Sequía Este informe recoge la evolución de los indicadores hidrológicos: precipitación, reserva hidráulica, humedad del suelo y el índice de estado de la sequía con mapas que dan una visión global del estado de sistemas de explotación de todas las cuencas hidrográficas. Además, recoge la predicción estacional de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) de temperaturas y precipitaciones.

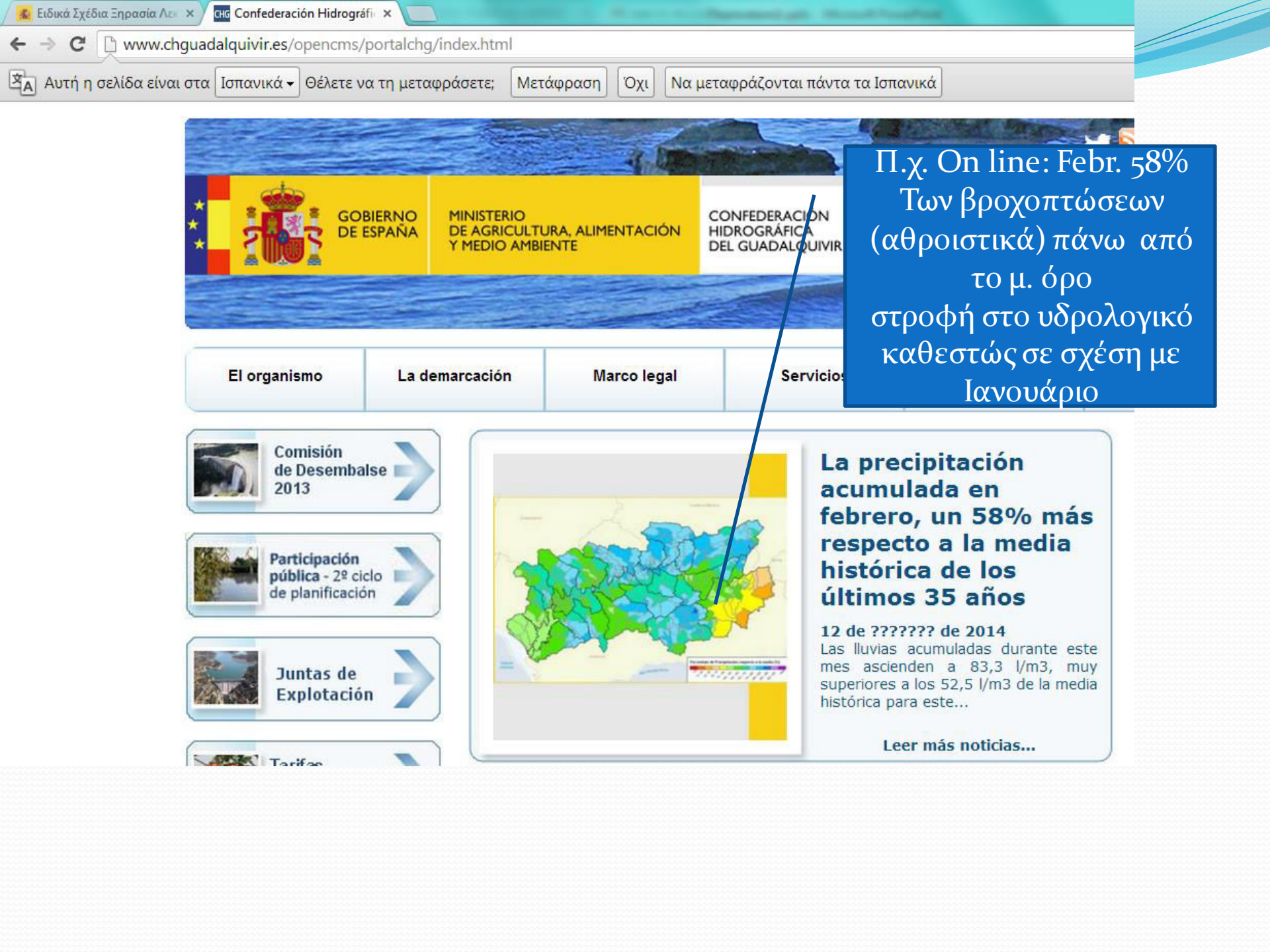
Año	Números
2013	<a href="#">1 (enero)</a> , <a href="#">2 (febrero)</a> , <a href="#">3 (marzo)</a> , <a href="#">4 (abril)</a> , <a href="#">5 (mayo)</a> , <a href="#">6 (junio)</a> , <a href="#">7 (julio)</a> , <a href="#">8 (agosto)</a> , <a href="#">9 (sept.)</a> , <a href="#">10 (octubre)</a> , <a href="#">11 (noviembre)</a>
2012	<a href="#">1 (enero)</a> , <a href="#">2 (febrero)</a> , <a href="#">3 (marzo)</a> , <a href="#">4 (abril)</a> , <a href="#">5 (mayo)</a> , <a href="#">6 (junio)</a> , <a href="#">7 (julio)</a> , <a href="#">8 (agosto)</a> , <a href="#">9 (sept.)</a> , <a href="#">10 (octubre)</a> , <a href="#">11 (noviembre)</a> , <a href="#">12 (diciembre)</a>
2011	<a href="#">1 (enero)</a> , <a href="#">2 (febrero)</a> , <a href="#">3 (marzo)</a> , <a href="#">4 (abril)</a> , <a href="#">5 (mayo)</a> , <a href="#">6 (junio)</a> , <a href="#">7 (julio)</a> , <a href="#">8 (agosto)</a> , <a href="#">9 (sept.)</a> , <a href="#">10 (octubre)</a> , <a href="#">11 (noviembre)</a> , <a href="#">12 (diciembre)</a>
2010	<a href="#">1 (marzo)</a> , <a href="#">2 (abril)</a> , <a href="#">3 (mayo)</a> , <a href="#">4 (junio)</a> , <a href="#">5 (julio)</a> , <a href="#">6 (agosto)</a> , <a href="#">7 (sept.)</a> , <a href="#">8 (octubre)</a> , <a href="#">9 (noviembre)</a> , <a href="#">10 (diciembre)</a>

1

[↑ Volver](#)

Online  
 πληροφορία ανά  
 περιοχή  
 από το αντίστοιχο  
 υπουργείο





Π.χ. On line: Febr. 58%  
Των βροχοπτώσεων  
(αθροιστικά) πάνω από  
το μ. όρο  
στροφή στο υδρολογικό  
καθεστώς σε σχέση με  
Ιανουάριο

### La precipitación acumulada en febrero, un 58% más respecto a la media histórica de los últimos 35 años

12 de ??????? de 2014  
Las lluvias acumuladas durante este mes ascienden a 83,3 l/m3, muy superiores a los 52,5 l/m3 de la media histórica para este...

[Leer más noticias...](#)



# Πρόκληση προσαρμογής: απόφαση στη λεκάνης απορροής

- Συμβούλια Υδατοπρομήθειας λεκάνης απορροής με μακρά παράδοση από το 1926
- Περισσότερη συμμετοχή χρηστών και εμπλοκή των τοπικών αυτοδιοικήσεων (“autonomias”), περισσότερη διαφάνεια και δημοκρατικότητα στη λήψη των αποφάσεων
- Εμπλοκή ομάδων χρηστών και ινστιτούτων
- Κατηγορίες για λόμπυ αγροτικής ζήτησης
- Προβλήματα μεταξύ των “autonomias”

**Table II** Summary of the drought management actions in the Mediterranean

Concept	Cyprus	Greece	Italy	Morocco	Tunisia	Spain
Water law	Includes drought	Includes drought	Includes drought	Includes drought	Includes drought	Includes drought
River basin authorities	Managed at central level Developed	Developed	Developed	Development	Partially developed	Developed
Relation among institutions	High	Low	Low	Medium	High	Medium
Public participation in water management	Low	Medium	High	Low	Low	High
Drought contingency plan	Developed	In development	Sub-national	In development	National	River basin
Drought monitoring system	Partially developed	Partially developed	River basin	National	National	River basin
Surface Water ownership	Public	Public	Public	Public	Public	Public
Groundwater ownership	Public	Public	Public	Partially private	Public	Partially private



# Λήψη απόφασης στη ξηρασία

Μικρού και μακρού χρονικού ορίζοντα

# Διαχείριση υδατικών πόρων

- Διάδοση 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).

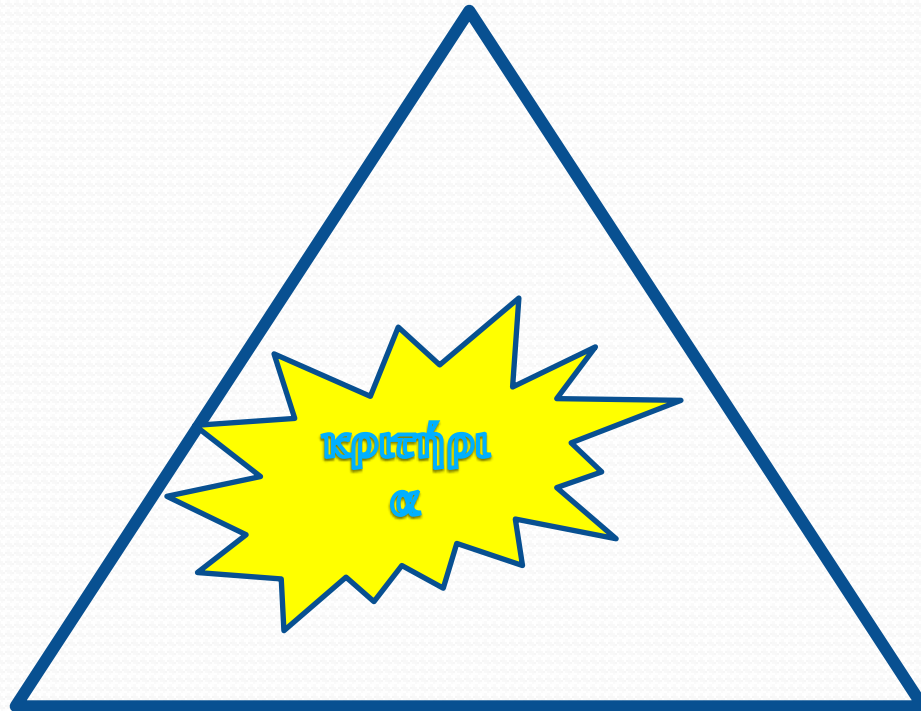
# Κριτήρια

*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

# Σύγκριση κριτηρίων

Τρία σημεία πρέπει να προσεχθούν κατά την ανάλυση, τα οποία είναι:

- A) Οι στόχοι και τα κριτήρια δεν εκφράζονται με τις ίδιες μονάδες.
  - B) Οι προτεραιότητες εξαρτώνται και διαμορφώνονται από την ειδική φύση του κάθε προβλήματος, τις επιδιώξεις, τους περιορισμούς που θα τεθούν και από τις εκάστοτε επικρατούσες συνθήκες (κοινωνικές, οικονομικές, περιβαλλοντικές κ.λ.π.)
  - Γ) Η παρουσία πολλών αντικρουόμενων στόχων και κριτηρίων, που δύναται να επηρεάσει το αποτέλεσμα.
- 
- Αντικρουόμενους στόχους έχουμε όταν η λύση ενός προβλήματος που ικανοποιεί ένα στόχο συνήθως είναι διαφορετική από αυτήν που ικανοποιεί έναν άλλο στόχο. Για παράδειγμα η ενέργεια σε έναν προγραμματισμό μπορεί να αποτελέσει από μόνη της ένα κριτήριο, ενώ ταυτόχρονα να επηρεάζει και το οικονομικό κριτήριο (Διακουλάκη, 2005).



# Ταξινόμηση μεθόδων με πολλαπλά κριτήρια

- Οι Pardalos et al. (1995) πρότειναν την ταξινόμηση των μεθόδων σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με τη μορφή του μοντέλου ολικής προτίμησης που χρησιμοποιούν αλλά και τη διαδικασία ανάπτυξης του μοντέλου. Βάσει αυτής της θεώρησης πρότειναν την ακόλουθη κατηγοριοποίηση:
- Πολυκριτηριακός μαθηματικός προγραμματισμός (multi mathematical programming) (βελτιστοποίηση με πολλαπλά κριτήρια)
- Πολυκριτηριακή θεωρία χρησιμότητας (multiattribute utility theory) (μία συνάρτηση αξιών για αξιολόγηση κριτηρίων)
- Θεωρία των σχέσεων υπεροχής (outranking relations theory) (διμερείς συγκρίσεις)
- Αναλυτική – συνθετική προσέγγιση (preference disaggregation approach) (μπορεί να ειπωθεί απλουστευτικά ως αντίστροφο πρόβλημα)

# Εναλλακτικές λύσεις

- *Εναλλακτικές λύσεις.* Η συνήθης ύπαρξη περισσότερων εναλλακτικών, δημιουργεί μια αβεβαιότητα ως προς τα ποια εναλλακτική είναι καλύτερη ή ποιες μεταβλητές ανήκουν σε μια ομάδα καλύτερης λύσης ή τέλος στην κατάταξη των εναλλακτικών. Οι εναλλακτικές μπορεί να είναι είτε διακριτές συνεχείς, οπότε προκύπτουν από την επίλυση κατάλληλα διαμορφωμένων προβλημάτων “βελτιστοποίησης”.

Κατηγορίες  
προβλημάτων  
λήψης αποφάσεων

Συνεχής

Διακριτή

Πολυκριτηριακός  
Μαθηματικός  
Προγραμματισμός

Πολυκριτήριακή  
θεωρία  
χρησιμότητας

Θεωρία  
των σχέσεων  
υπεροχής

Αναλυτική  
συνθετική  
προσέγγιση

Αλληλεπίδραση μεθόδων πολλαπλών κριτηρίων

## 2 σχολές στα πολλαπλά κριτήρια

- Αμερικανική, πιο πρακτική, έμφαση στ βελτιστοποίηση εύρεση μη κατώτερων λύσεων
- Γαλλική, πιο μαθηματική, έμφαση στη σύνθεση των κριτηρίων, διμερείς συγκρίσεις, έμφαση σε ισόροπες λύσεις

# Πίνακας πληρωμών

**Table 10.1** *Payoff matrix*

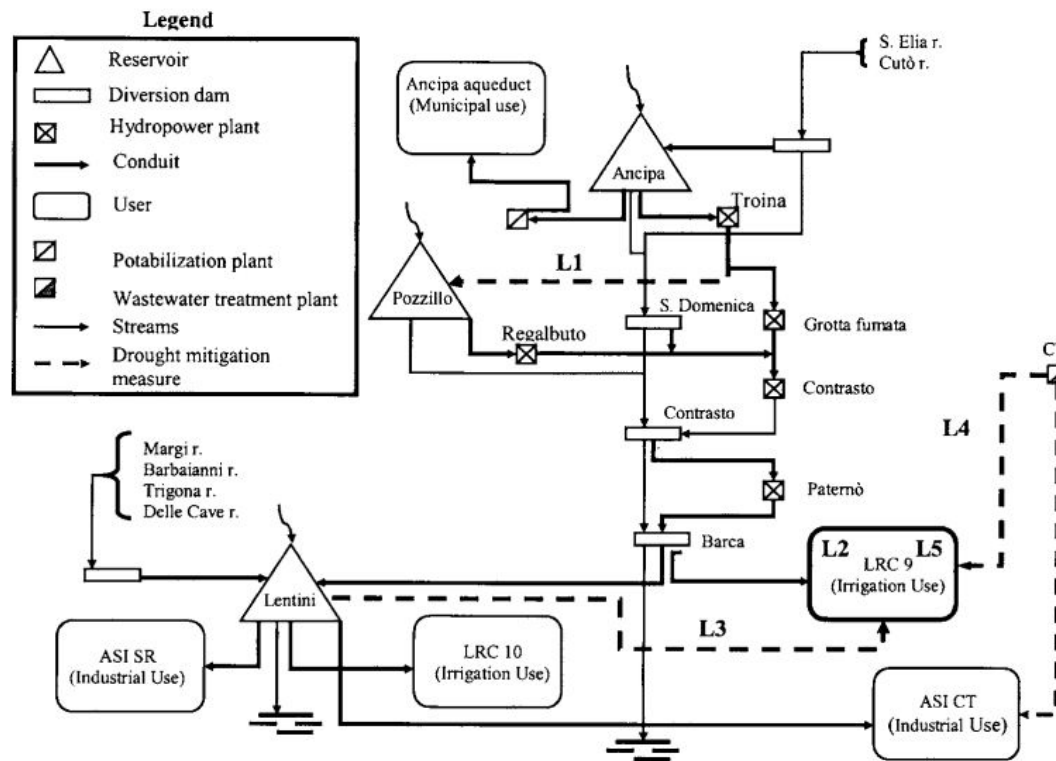
<b>Alternatives</b>		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>...</b>	<b>n</b>
<b>Criteria</b>	1	$v_{11}$	$v_{12}$	...	$v_{1n}$
	2	$v_{21}$	$v_{22}$	...	$v_{2n}$
	...				
	...				
	$m$	$v_{m1}$	$v_{m2}$	...	$v_{mn}$

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

# Γαλλική σχολή







**Fig. 2.** Scheme of Simeto water supply system with long-term measures

# Πίνακας Πληρωμών

Alternatives	Criteria											
	1a (10 <sup>6</sup> Euro)	1b (10 <sup>6</sup> Euro)	1c (10 <sup>6</sup> Euro)	1d (years)	2a (% months)	2b (% months)	2c (quality)	2d (quality)	3a (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ) <sup>2</sup>	3b (at)	3c (quality)	3d (quality)
A	0	0	142.5	6	4.1	29.7	EB	P	24,682	59.0	P	VB
B	10.119	7.837	55.9	4	13.3	16.2	B	VG	14,511	82.1	VG	MLG
C	81.978	73.616	22.4	1	13.2	5.6	G	G	4,660	94.9	VB	P
D	12.867	12.397	23.9	1	17.1	6.0	B	M	4,777	94.9	M	G
E	7.033	6.776	47.9	3	13.5	11.8	P	G	8,667	89.7	MLG	M
F	4.132	5.596	48.2	3	13.5	12.0	M	VB	8,777	89.7	G	MLB
G	22.986	20.234	23.9	1	17.1	6.0	MLB	MLB	4,777	94.9	M	VG
H	17.152	14.613	44.9	3	10.7	13.5	G	G	8,489	89.7	MLG	G

Note: EB=extremely bad; VB=very bad; B=bad; MLB=more or less bad; M=moderate; MLG=more or less good; G=good; VG=very good; and P=perfect.

# Γαλλική σχολή

- Κατάταξη εναλλακτικών με διμερείς συγκρίσεις
- Υιοθέτηση κατωφλιών προτίμησης και ισοδυναμίας για κάποια κριτήρια
- Αρχή της αρνησικυρίας
- Ισόρροπες αποφάσεις
- Υιοθέτηση, συμπληρωματικά, μεθόδων για την εύρεση των βαρών μεταξύ των κριτηρίων

# Αμερικανική σχολή

# Αμερικανική σχολή

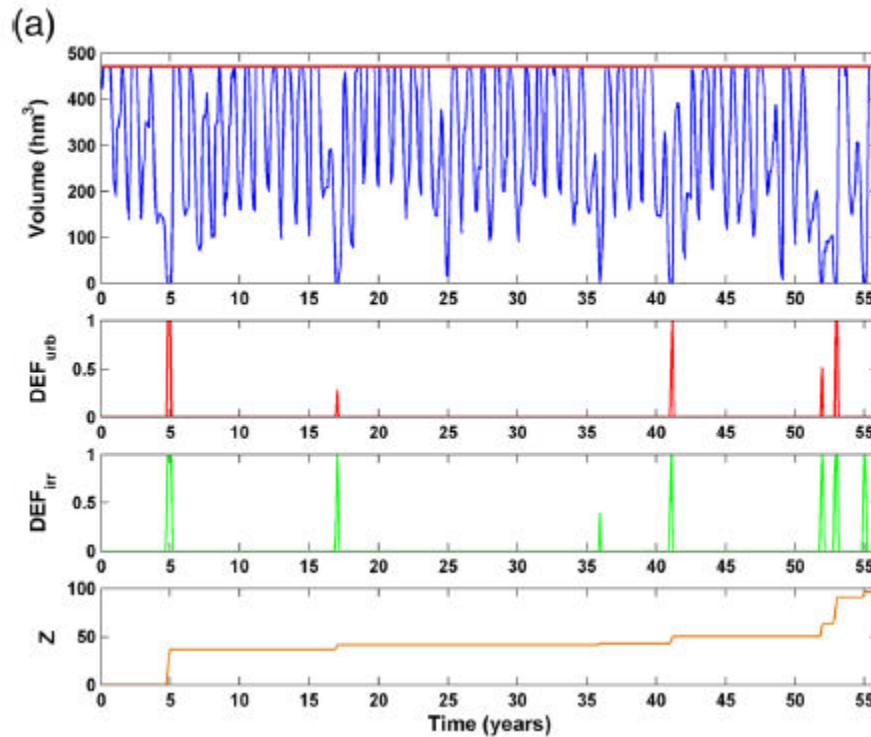
- **Βελτιστοποίηση**
- Μεγάλο βάρος στο έλλειμμα αστικού νερού μικρότερο στην άρδευση
- Απλή σύνθεση των δύο στόχων, έλλειμμα ύδρευσης π.χ. .. 10 φορές μεγαλύτερο βάρος
- Προσπάθεια το έλλειμμα να μοιραστεί σε πολλά χρόνια και όχι μόνο σε ένα χρόνο

min

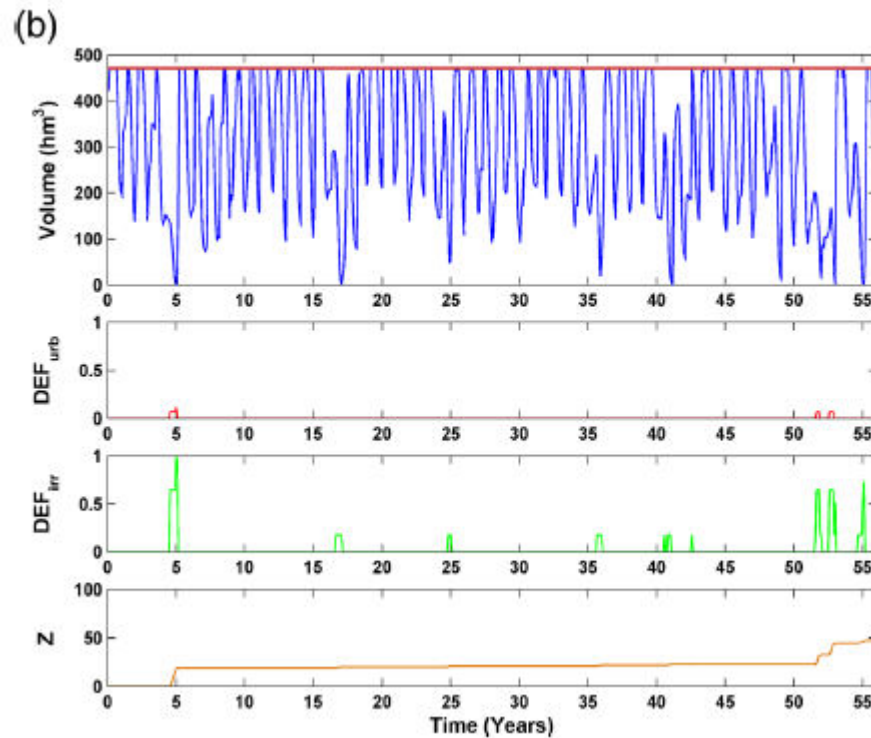
$$Z = \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K \beta_k D_k^{m(t)} \left( \frac{S_k^{m(t)} - D_k^{m(t)}}{D_k^{m(t)}} \right)^2$$



# Χωρίς κανόνες: ελλείμματα



# με κανόνες: ελλείμματα



Τρωτότητα

# Πολυκριτηριακή ανάλυση στην αξιολόγηση της τρωτότητας

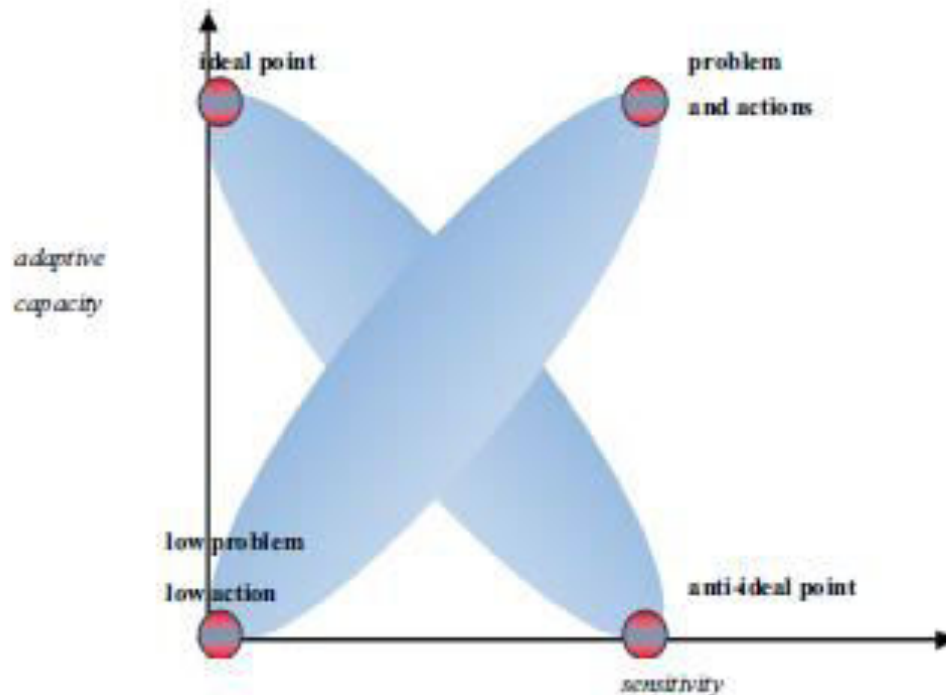


Fig.2 Synthesis between the sensitivity and the adaptive capacity and definition of the corresponding four (non ordered) categories