

# Διαχείριση Υδατικών Πόρων

Εισαγωγή-Βασικές Έννοιες-  
Μοντέλο Υδατικού Ισοζυγίου

Δρ Μ.Σπηλιώτη  
Λέκτορα ΔΠΘ

# Ιστορική αναδρομή

- Γεωργική επανάσταση
- Σημασία των υδραυλικών έργων (αρδευτικά δίκτυα) στους πρώτους πολιτισμούς στη Μεσοποταμία, το Νείλο και την Κίνα
- Καταστροφή του πολιτισμού των Μάγια από ξηρασίες
- Αριστοτέλης: μελέτη για τις συνιστώσες του υδρολογικού κύκλου
- Αρχαίες πόλεις και επίπεδο υγιεινής
- Μεγάλα υδραυλικά έργα από τους ρωμαίους, υψηλής ανθεκτικότητας
- Πτώση υγιεινής στη Δύση κατά το Μεσαίωνα και επιδημίες σε αστικούς πληθυσμούς
- Ανεπάρκεια γνώσεων και στασιμότητα
- Αναγέννηση

Ανάπτυξη κρατών και πολιτισμών είχαν ως προϋπόθεση την ανάπτυξη έργων και μέτρων διαχείρισης υδατικών πόρων

# Ρωμείο Υδραγωγείο - ιστορικές στρεβλώσεις



Επίσης,  
Μεγάλα  
Υδραυλικά  
έργα  
Αράβων



# Νεώτερη ώθηση

- Δημιουργία αποχετευτικών δικτύων στις Δυτικές μητροπόλεις
- Βιομηχανική επανάσταση
- Μεγάλη ώθηση της επιστήμης και της τεχνικής, Υδραυλικής
  - Χρήση αντλιών
  - Κατασκευή φραγμάτων
  - Επινόηση της Υδρολογίας
  - Εγκαταστάσεις υγιεινής
- Ανεπτυγμένες χώρες του Βορρά, υπερεπάρκεια υδατικού δυναμικού, πρόβλημα ποιότητας σε αντίθεση με το Νότο
- Επινόηση της συστημικής προσέγγισης, διαχείριση υδατικών πόρων
- Προκλήσεις
  - Κλιματική αλλαγή
  - Αύξηση πληθυσμού
  - Οικονομική ξηρασία
- Ολοκληρωμένη διαχείριση και προσαρμοστική διαχείριση

# Ο υδρολογικός κύκλος



## Εισαγωγή

- Αύξηση του πληθυσμού  $\Rightarrow$  διαρκώς αυξανόμενες ανάγκες σε νερό και τροφή
- Ανάπτυξη  $\Rightarrow$  δραστηριότητες  $\Rightarrow$  αύξηση των αναγκών νερού
- Επομένως, ανάγκη για όλο και μεγαλύτερη αξιοποίηση των υδατικών πόρων
- Εξαιρετικά περιορισμένη ποσότητα γλυκού νερού στον πλανήτη μας (περίπου 0.33% της συνολικά εκτιμώμενης ποσότητας νερού στη γη)
- Επιτακτική η ανάγκη ανάπτυξης συστημάτων ελέγχου και διαχείρισης, που αποβλέπουν στη βέλτιστη διάθεση των υδατικών πόρων.

# 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)

# ΔΥΠ / Ορισμοί (1)

- Υδατικός πόρος
- Υδατικό σύστημα
- Υδρολογική λεκάνη ή λεκάνη απορροής



## Υδατικός πόρος.

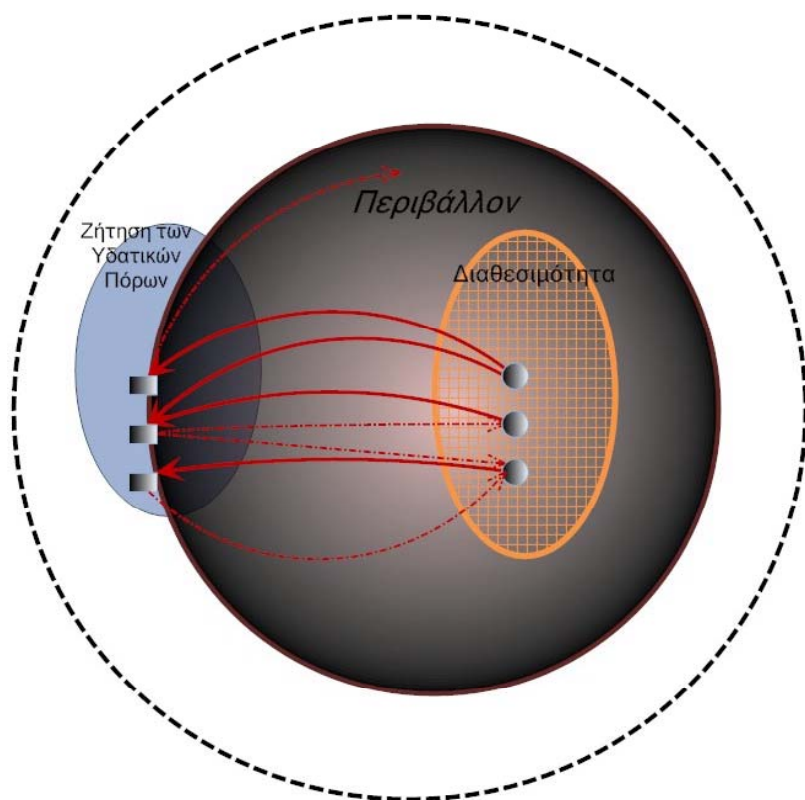
- *Αν και είναι δύσκολο να δοθεί ακριβής ορισμός στον όρο «υδατικός πόρος» γενικά θεωρείται η οποιαδήποτε θέση κυκλοφορίας του νερού στη φύση, όπου συναντάται σε τέτοια μορφή, ώστε να είναι δυνατή η χρησιμοποίησή του από τεχνική και οικονομική άποψη, χωρίς να δημιουργεί προβλήματα στο περιβάλλον (Τσακίρης,2007).*
- Μη συμβατικοί Υδατικοί πόροι

# Σύστημα

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

# Συστημική θεώρηση στη ΣΔΥΠ

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

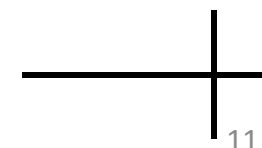


Κάθε έργο δημιουργεί στο περιβάλλον ένα σύνολο αντιδράσεων στο υδατικό σύστημα, στο περιβάλλον γενικότερα  $\Rightarrow$  Συστημική προσέγγιση

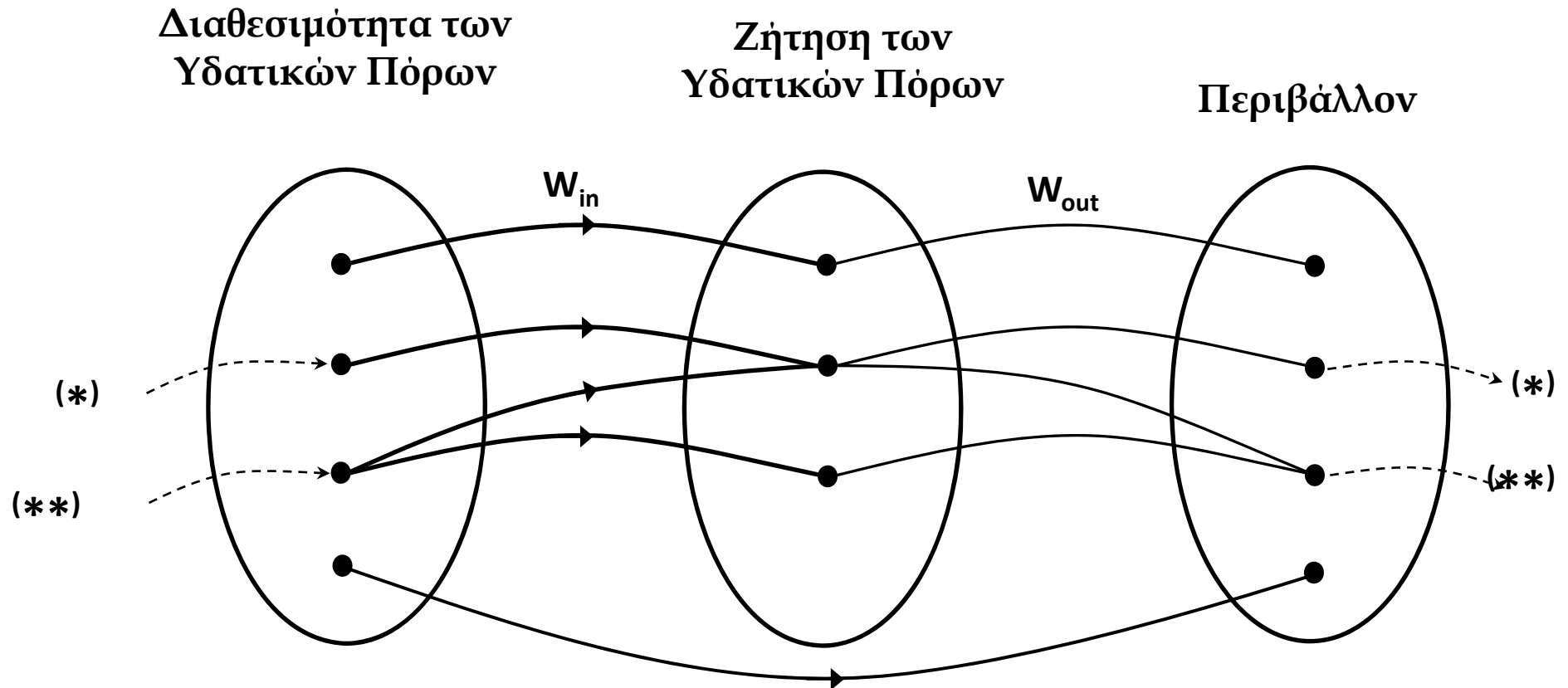
Διαχείριση Υδατικών Πόρων είναι το σύνολο των ενεργειών (μέτρα, έργα, κανονιστικές διατάξεις, συμφωνίες κλπ.) για την αρμονική σχέση μεταξύ

- Υδατικών πόρων
- Κέντρων κατανάλωσης
- Περιβάλλοντος

τώρα αλλά και στο μέλλον με στόχο τη διατηρήσιμη ανάπτυξη



# Διαγραμματική Παρουσίαση Υδατικού Συστήματος



# Αράλη

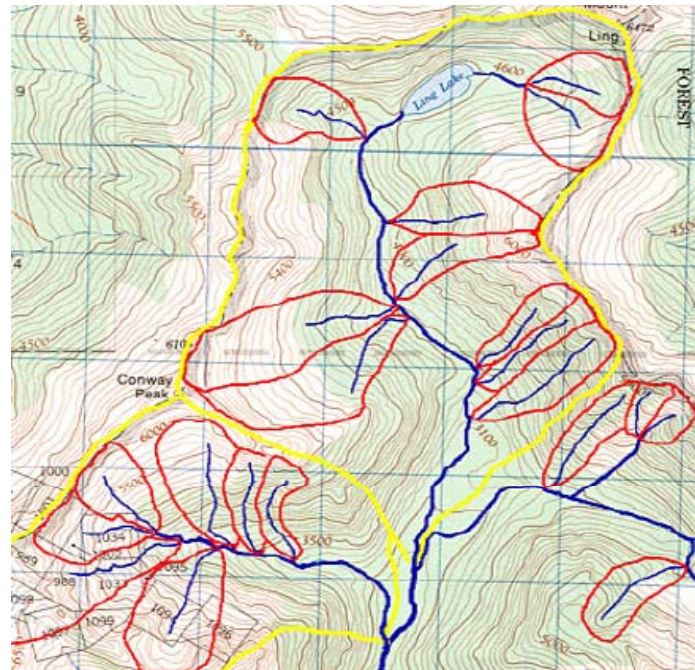
- Όγκος νερού το 1980 = 1/3 του 1960
- Εισροή το 1950 ~ 55km<sup>3</sup>/έτος
- 1980: ~ 10% της εισροής του 1950
- Πτώση στάθμης 1950-1980: 24m
- Παράλιες πόλεις
- Οικολογική καταστροφή (ακύρωση της αλειας / χαβιαρι)
- Προβλήματα υγείας για 40εκ ανθρώπους
- Οικονομική αδυναμία επανάκαμψης



Τσακίρης, 2011

# ΥΔΡΟΚΡΙΤΗΣ

- Η νοητή γραμμή που συνδέει τα ψηλότερα σημεία των υψωμάτων της επιφάνειας του εδάφους και διαχωρίζει τη ροή των όμβριων υδάτων.



# ΥΔΡΟΚΡΙΤΗΣ



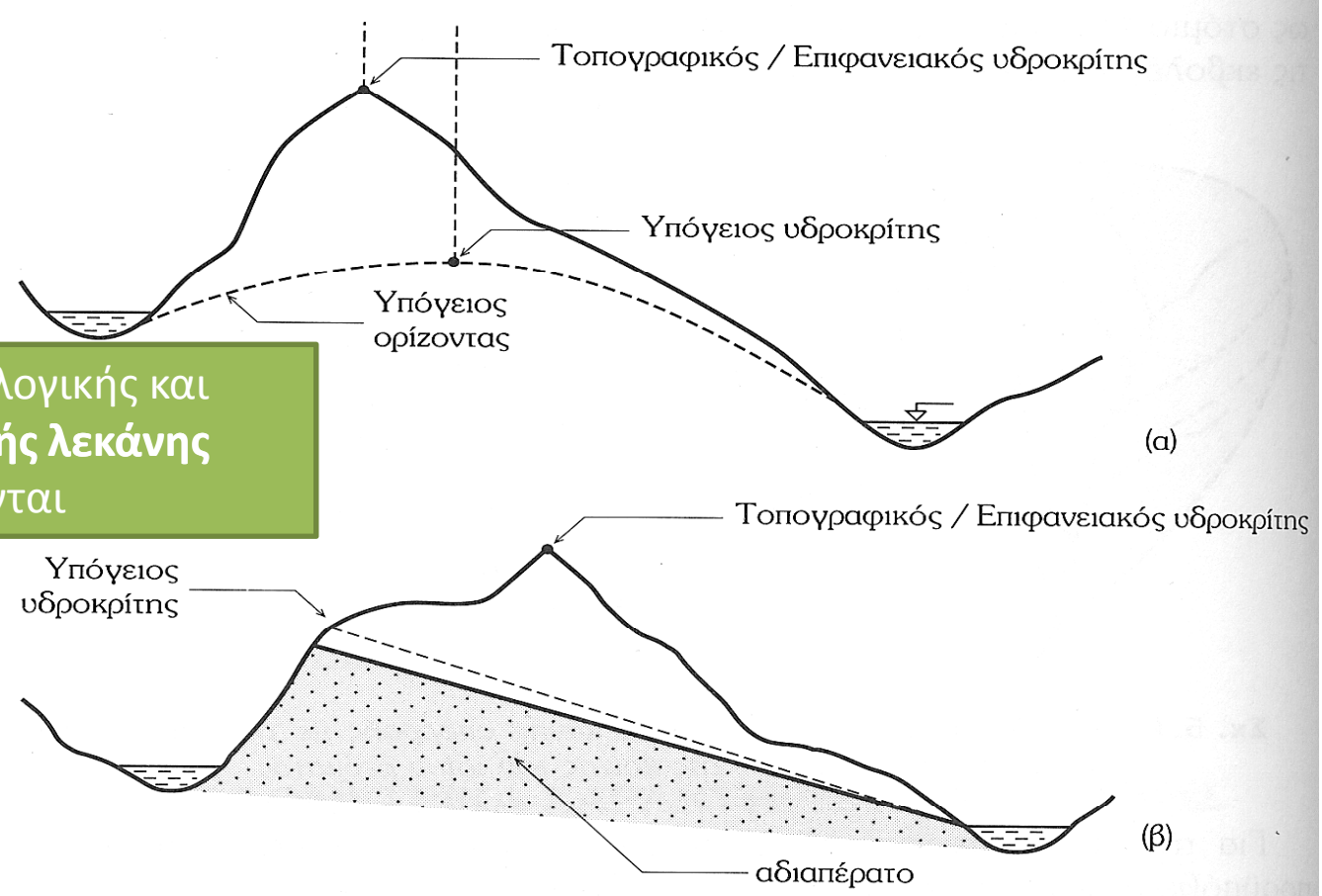
Κουτσογιάννης και Μαμάσης, 2013

## ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ

- Η περιοχή της επιφάνειας της γης που περικλείεται από τον υδροκρίτη
- Το όριο μεταξύ δύο γειτονικών λεκανών απορροής → υδροκρίτης
- Στην περιοχή αυτή συγκεντρώνονται τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, που στη συνέχεια καταλήγουν σε ένα κεντρικό σύστημα απομάκρυνσής τους. Το σύστημα αυτό μπορεί να είναι ένα ποτάμι, που καταλήγει στη θάλασσα, ένας χείμαρρος, μία καταβόθρα ή μία λίμνη όπου το νερό συγκεντρώνεται και εξατμίζεται ή απορροφάται από το έδαφος.
- Σε κάθε διατομή υδατορέματος αντιστοιχεί μία λεκάνη απορροής (ή υπολεκάνη για ακρίβεια)
- Για λόγους διευκόλυνσης (σε κατανεμημένα μοντέλα) → η λεκάνη υποδιαιρείται σε επιμέρους **υπολεκάνες**
- **2000/60/ΕΚ Διαχείριση σε επίπεδο λεκάνης απορροής (σύστημα)**



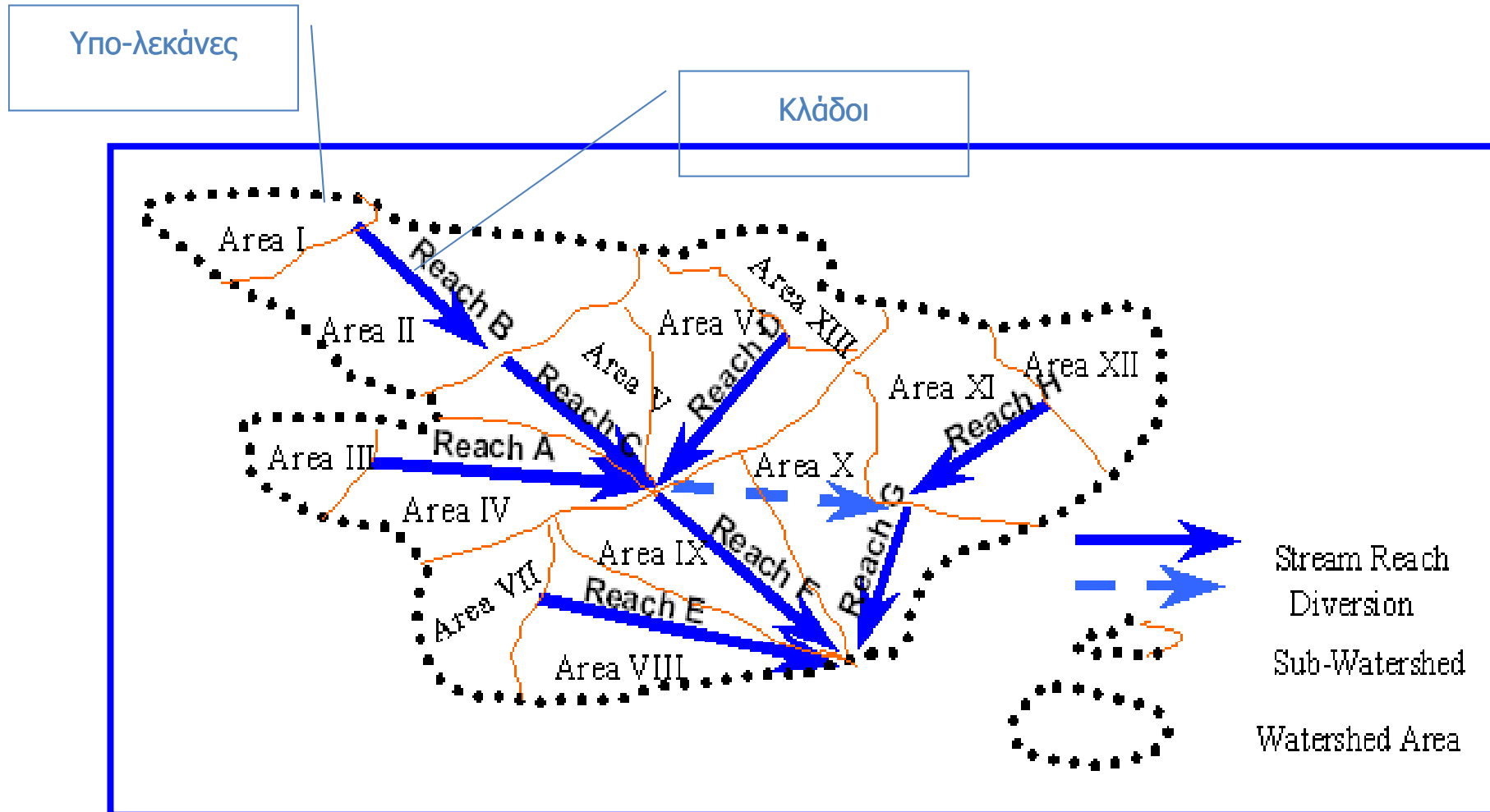
Διαφορά υδρολογικής και υδρογεωλογικής λεκάνης --- Δεν ταυτίζονται



**Σχ. 5.2:** Περιπτώσεις απόκλισης στην εκτίμηση της λεκάνης απορροής που γίνεται με βάση τον τοπογραφικό/επιφανειακό υδροκρίτη:

- α. Το ψηλότερο σημείο του υπόγειου ορίζοντα δεν συμπίπτει με τον τοπογραφικό υδροκρίτη.
- β. Η διάταξη των γεωλογικών σχηματισμών δημιουργεί συνθήκες κατάλληλες για τον υπόγειο υδροκρίτη να βρίσκεται σε διπλανή λεκάνη απορροής.

# ΣΧΗΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ



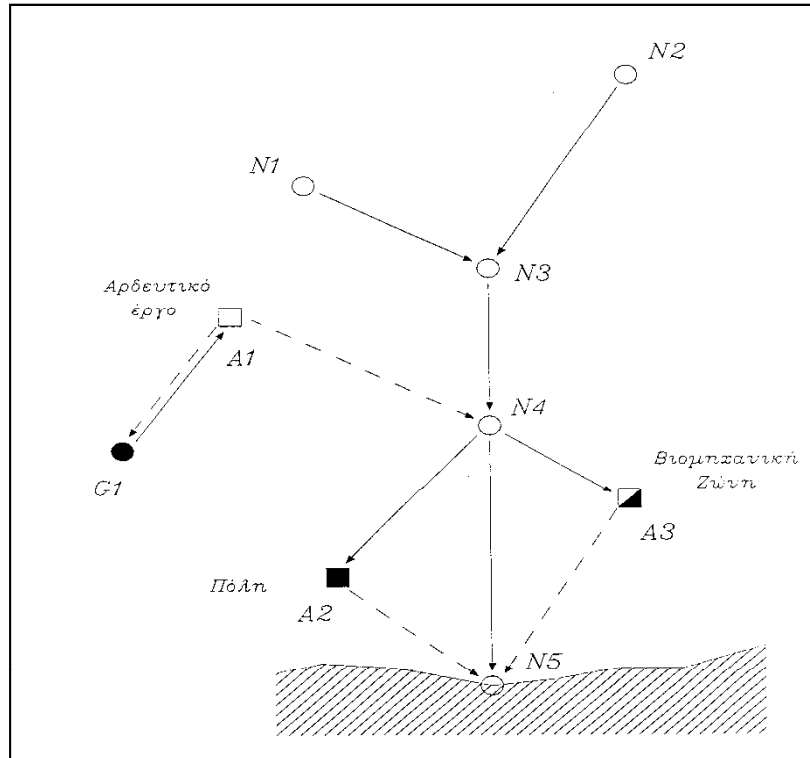
# ΕΝΝΟΙΕΣ

- Οι λεκάνες απορροής αναπαρίστανται από ένα σύστημα υπο-λεκανών και κλάδων
- Οι υπο-λεκάνες αποτελούν αυτόνομες περιοχές αποστράγγισης από τις οποίες παράγονται υδρογραφήματα τα οποία τροφοδοτούν το άνω άκρο του επόμενου κλάδου

# ΕΝΝΟΙΕΣ

- ❑ Κλάδοι υδατορεμάτων: αποτελούν τη βασική διαδρομή της παροχής μέσω της οποίας διοχετεύονται τα υδρογραφήματα εισροής και εκροής
- ➡ Διόδευση Πλημμύρας διαμέσου ταμιευτήρα (λίμνες, φράγματα, υγράτοποι)
- ➡ Διόδευση Πλημμύρας διαμέσου υδατορεύματος (χειμαρρικό ρεύμα ή ποτάμι).
- ❑ Όλες οι λεκάνες απορροής καταλήγουν στον τελικό κλάδο ο οποίος έχει μία έξοδο "Outlet"

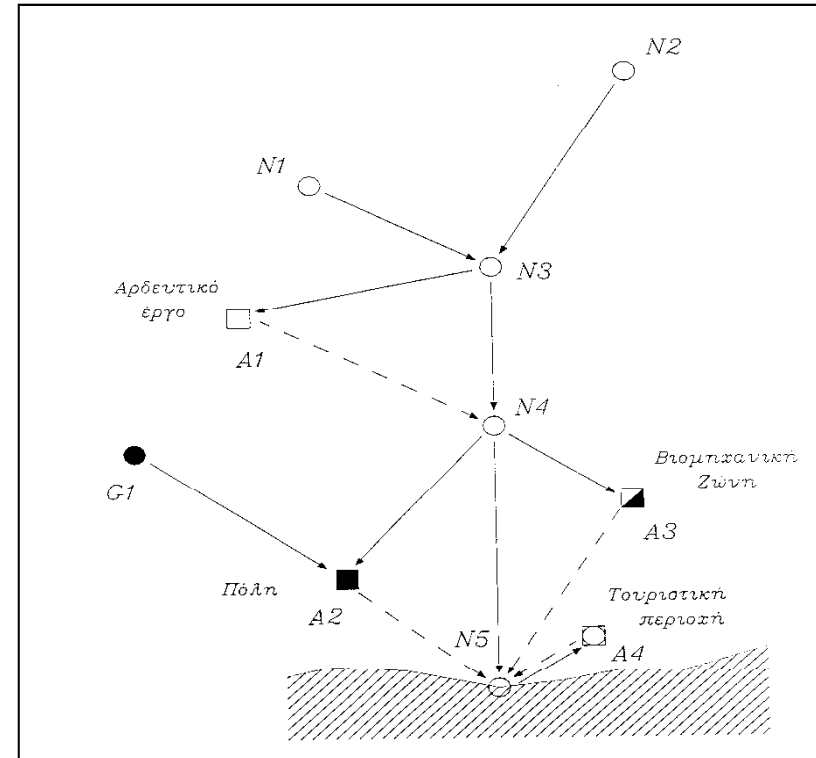
# Λεκάνη απορροής



## Υπάρχουσα κατάσταση

Σενάριο 1: Μέσες υδρολογικές συνθήκες

Σενάριο 2: Δυσμενείς υδρολογικές συνθήκες



## Μελλοντική κατάσταση με παράλληλη κατασκευή έργων

Σενάριο 1: Μέσες υδρολογικές συνθήκες

Σενάριο 2: Δυσμενείς υδρολογικές συνθήκες

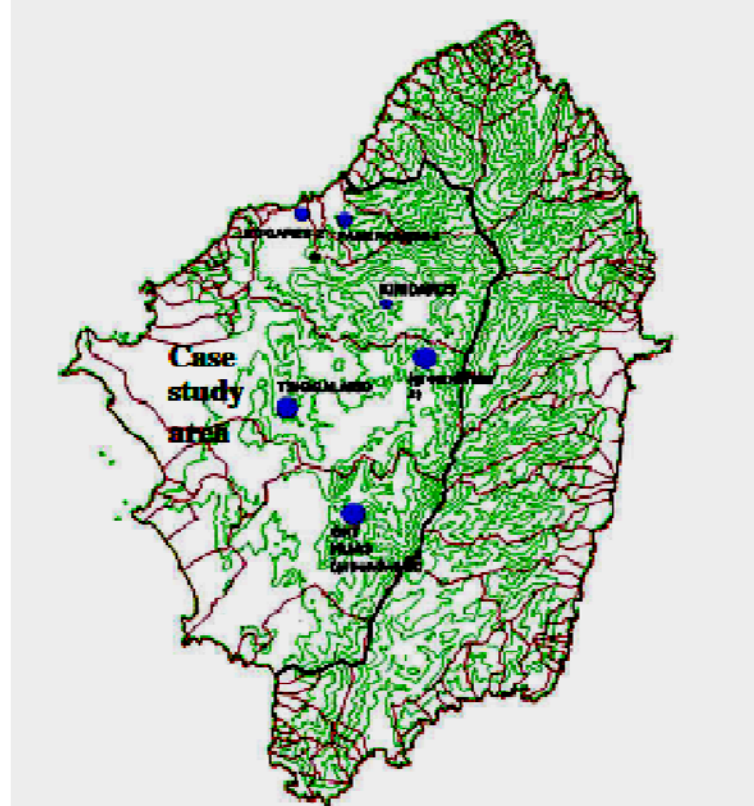
# ΔΥΠ στον Ελλάδικό χώρο

- Μικρές λεκάνες απορροής και πολλαπλό καθεστώς
- Υδατικά διαμερίσματα
- Μείζων λεκάνη απορροής
- Σχηματοποίηση υδατικού συστήματος με βάση συστημικές αρχές

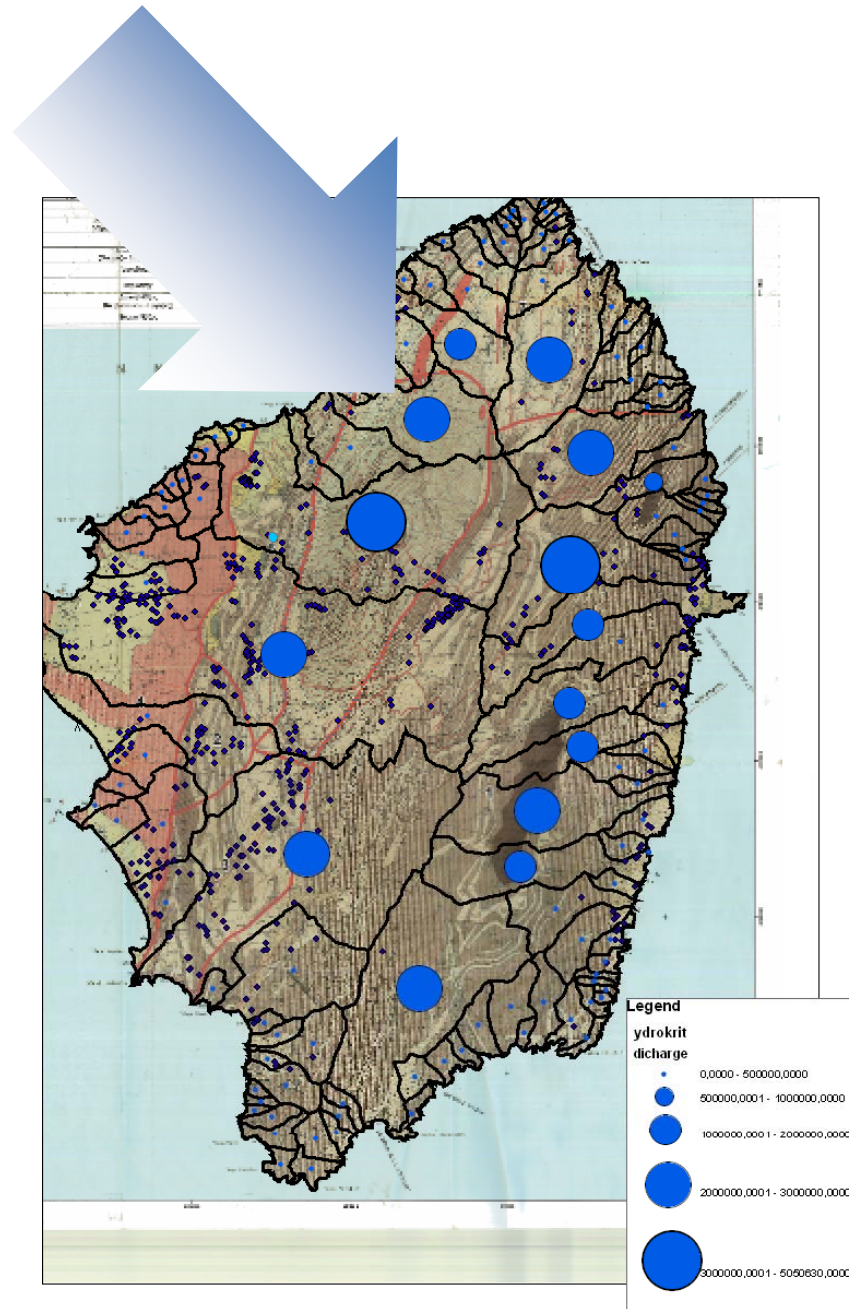
200/60/ΕΚ

Διαχείριση σε επίπεδο λεκάνης απορροής

Νάξος, μικρές λεκάνες απορροής  
Έννοια μείζονος λεκάνης απορροής  
Π.χ. όλη η Νάξος ή το δυτικό τμήμα



- Μέση βροχόπτωση και διασπορά
- Υψόμετρο λεκάνης απορροής
- Μέγεθος λεκάνης απορροής (με προσοχή)
- Γεωλογικοί σχηματισμοί στη λ.α.
- Κλίσεις λ.α και φυτοκάλυψη, σχήμα
- Ανθρωπογενείς δραστηριότητες
- Προσοχή στο καρστ!!!



# ΔΥΠ - Ορισμός

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

- Υδατικών πόρων
- Κέντρων κατανάλωσης
- Περιβάλλοντος

τώρα αλλά και στο μέλλον με στόχο τη διατηρήσιμη ανάπτυξη



# Ολοκληρωμένη ΔΥΠ

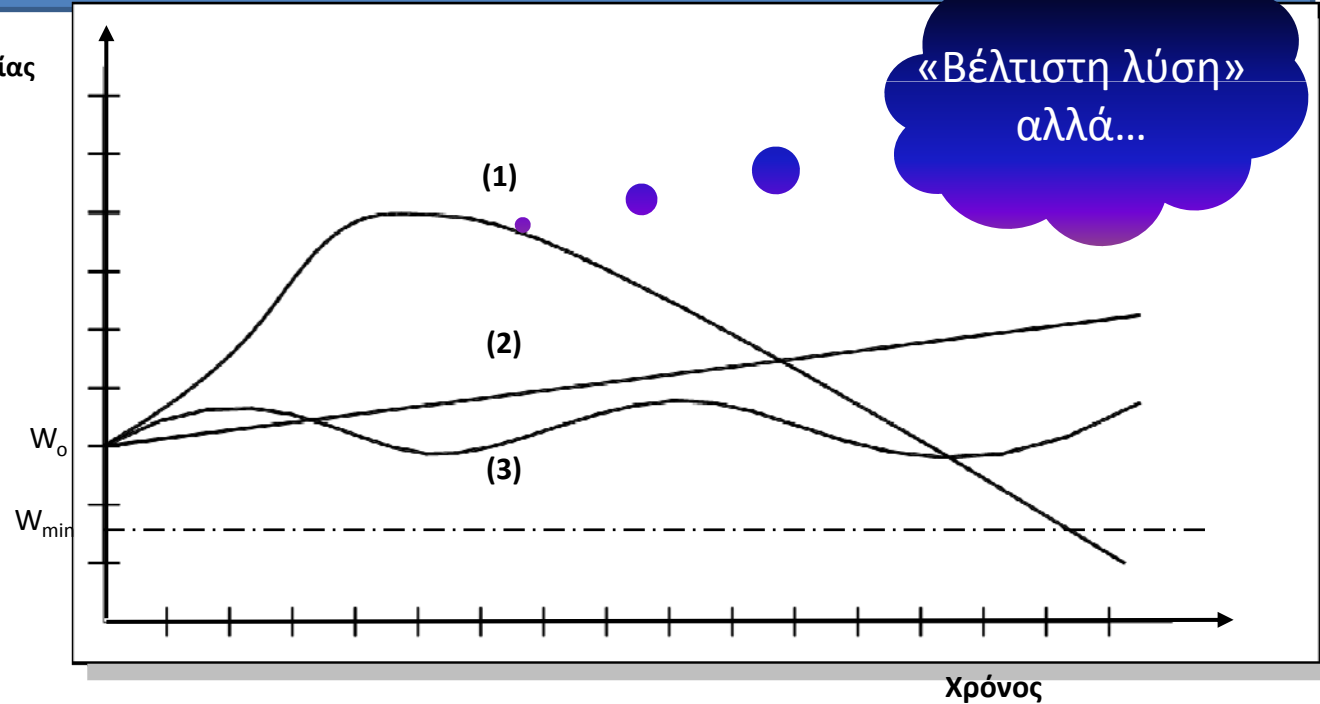


# Διατηρησιμότητα της Ανάπτυξης

Δείκτης  
Ευημερίας

Τιμές του δείκτη  
ευημερίας άνω του  
 $W_0$ , ανάπτυξη  
διατηρήσιμη

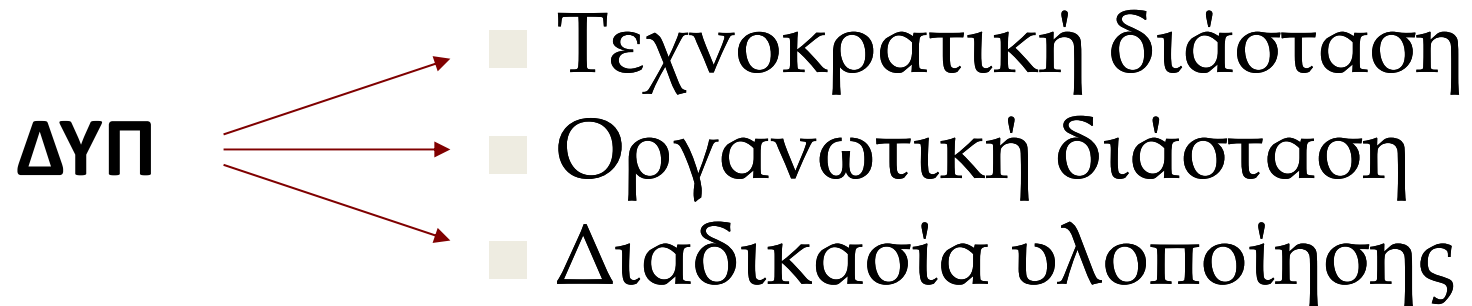
Τιμές του δείκτη  
ευημερίας κάτω του  
 $W_{min}$ , μη επιβίωση



που χαρακτηρίζεται:

- ★ Αποδοτικότητα, μη διατηρησιμότητα, μη επιβίωση
- ★ Όχι γρήγορη αποδοτικότητα, διατηρησιμότητα, επιβίωση
- ★ Μη αποδοτικότητα, μη διατηρησιμότητα, επιβίωση

# Άξονες / Διαστάσεις ΔΥΠ



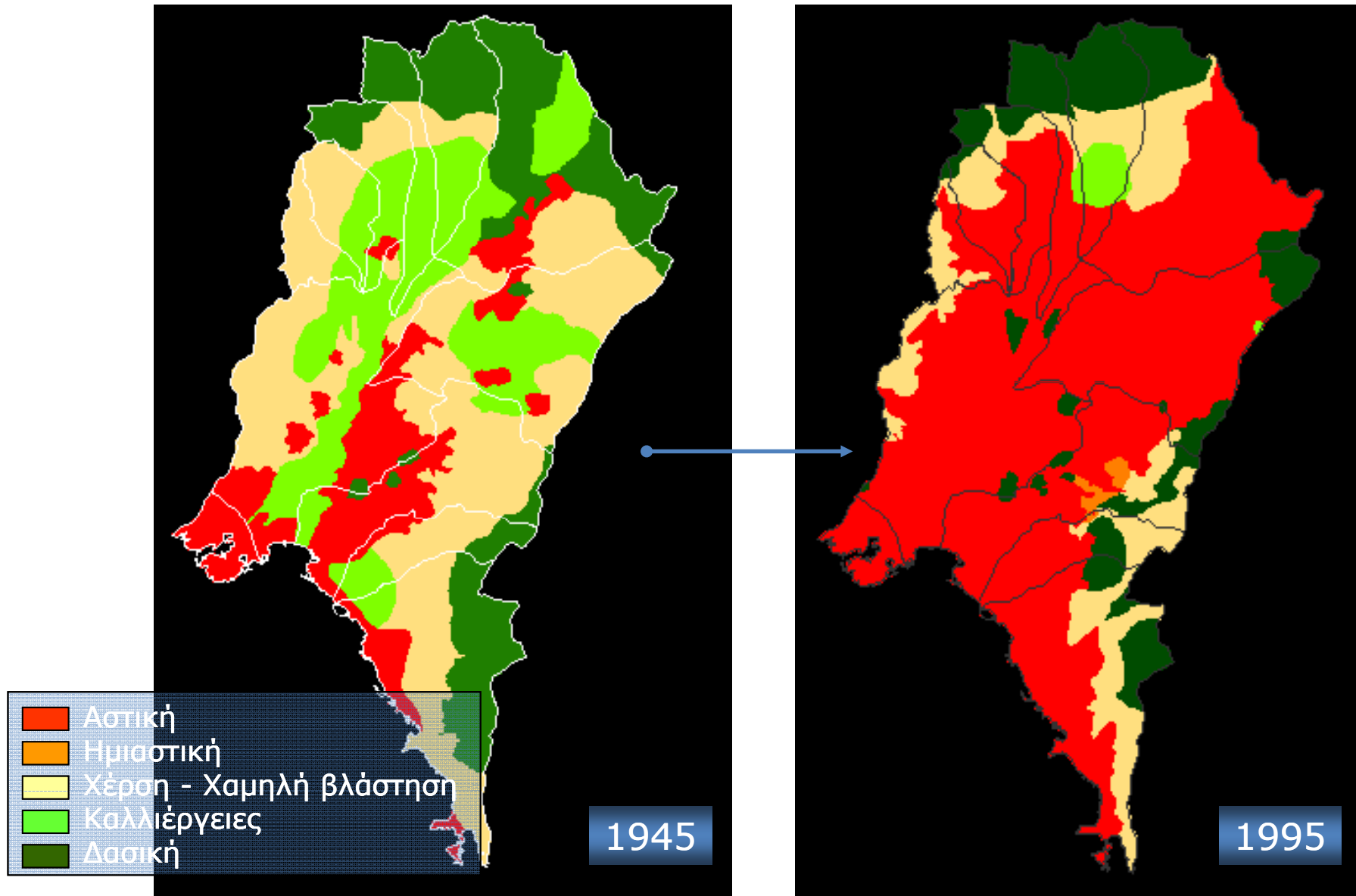
# ΔΥΠ – Διαστάσεις

- Χωρική διάσταση  
(Γεωγραφική / Χωροταξική)
- Γεωμορφολογία
- Χρήσεις γης
- Υδρολογική / Μετεωρολογική διάσταση
- Κοινωνικο-οικονομική διάσταση
- Αναπτυξιακή διάσταση
- Περιβαλλοντική διάσταση

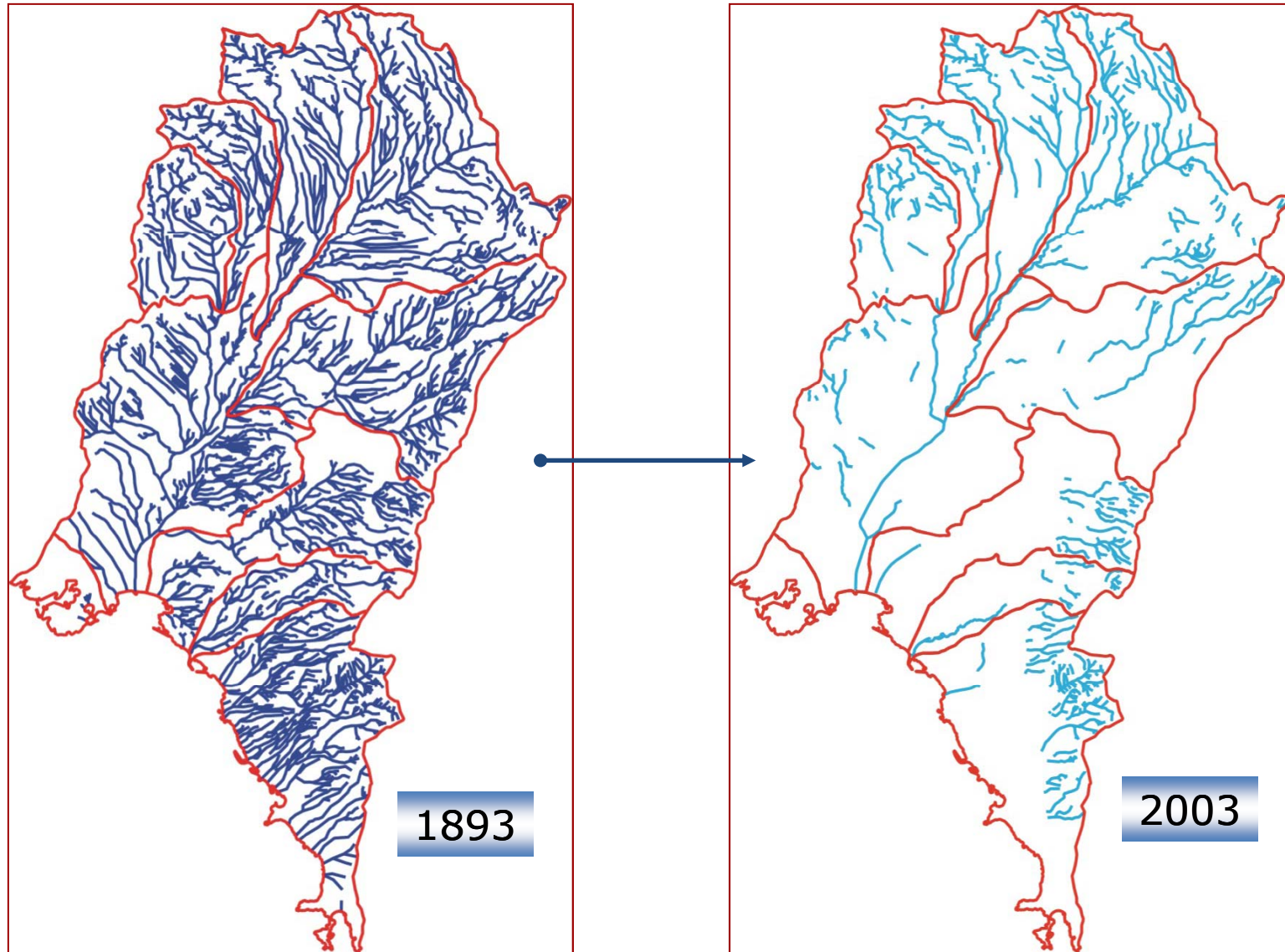
# ΔΥΠ – Δυναμική Παρακολούθηση- Προκλήσεις

- Αλλαγές στο περιβάλλον (φυσικές αλλαγές)
- Κλιματικές αλλαγές
- Ανθρωπογενείς αλλαγές
- Κοινωνικο-οικονομικές αλλαγές
- Τεχνολογικές αλλαγές

# Μεταβολή χρήσεων γης (1945 - 1995)



# Μεταβολή ρεμάτων (1893 - 2003)



# Αρχές ΔΥΠ

- ήπια εκμετάλλευση των υδατικών πόρων
- Ισομερής κάλυψη των αναγκών με αντικειμενικά κριτήρια
- έργα με το ελάχιστο περιβαλλοντικό και κοινωνικό κόστος
- προστασία των υδατικών πόρων και του περιβάλλοντος
- συμμετοχή όλων των ενδιαφερόμενων / θιγόμενων (επίτευξη της μέγιστης δυνατής συναίνεσης)
- Βιωσιμότητα της ανάπτυξης



# Στόχοι ΔΥΠ

- Παροχή πόσιμου νερού
- Κατά το δυνατόν κάλυψη της ζήτησης (επαρκή ποσότητα και ποιότητα)
- προστασία των υδατικών πόρων και του περιβάλλοντος
- Προστασία από ακραία υδρολογικά φαινόμενα

# Δυσχέρειες

- Πολλαπλές χρήσεις υδατικών πόρων
- Υποκειμενικός παράγοντας κατά τη λήψη απόφασης
- Θεσμικό κενό ή πολυαρχία
- Αβεβαιότητα υδρολογικού κύκλου
- Αβεβαιότητα στην αποτίμηση των επιπτώσεων αλλά και στη σύγκριση διαφορετικών κριτηρίων
- Ανάγκη διεπιστημονικός προσέγγισης κατά το στρατηγικό σχεδιασμό
- Ανάγκη συνεργασίας διαφορετικών ομάδων ενδιαφερομένων, υπηρεσιών αλλά δημοκρατικών θεσμών.

# Ορθολογική ΔΥΠ

Για την Ορθολογική Διαχείριση των Υδατικών Πόρων πρέπει να αποφεύγονται

- οι τομεακές λύσεις
- οι μονοκριτηριακές προσεγγίσεις

Σημείο εκκίνησης:

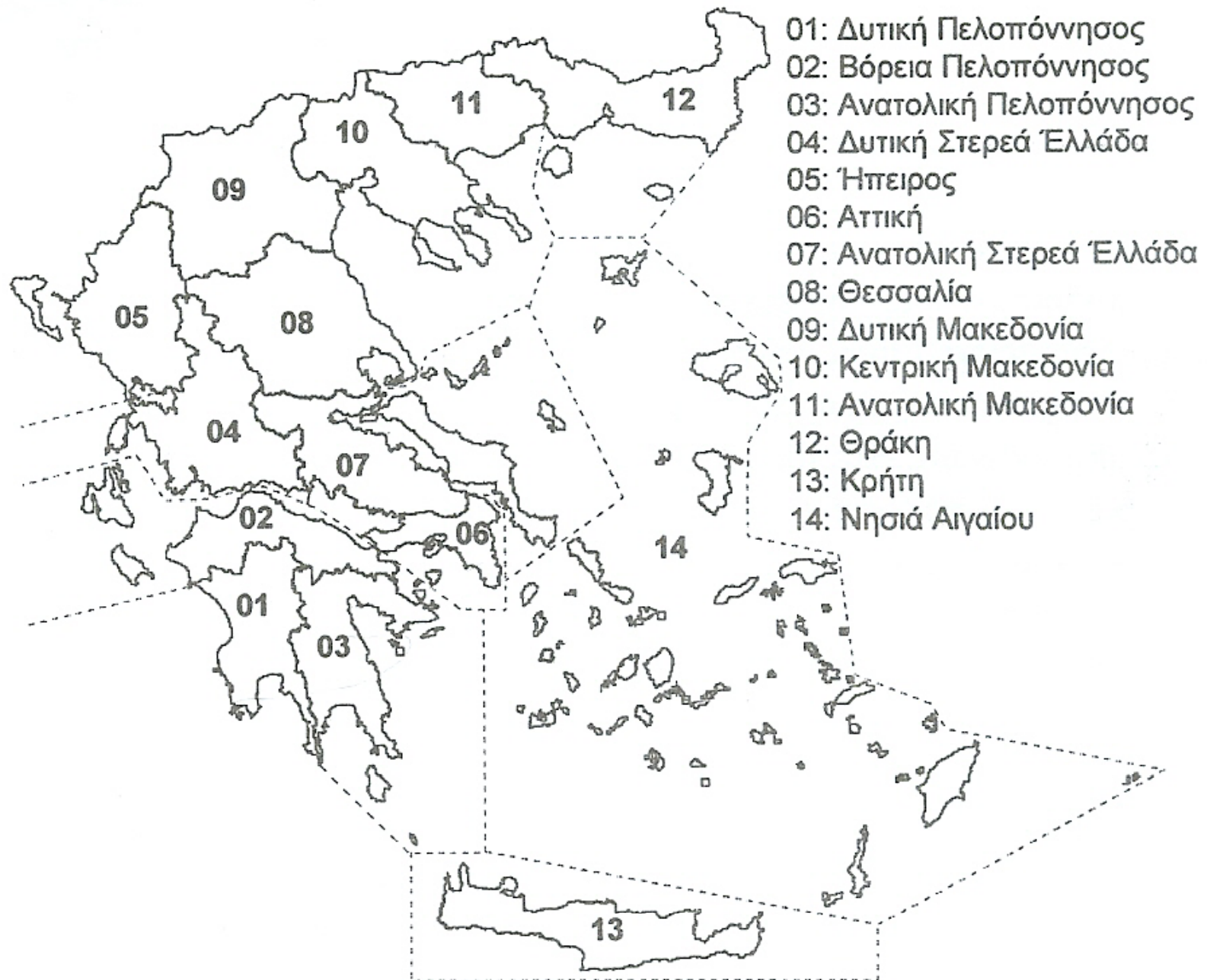
Το περιβάλλον με τους περιορισμούς και τις δυνατότητές του

# ΔΥΠ / Επίπεδα Ανάλυσης

- Μόνιμη κατάσταση
  - Μέση κατάσταση
  - Διακύμανση
- Μη μόνιμη κατάσταση
  - Ανθρωπογενείς αλλαγές
  - Φυσικές αλλαγές (Τσακίρης, 2011)

# Διαχείριση Υδατικών Πόρων στην Ελληνική Επικράτεια

- Λεκάνες απορροής μικρού μεγέθους- μεγάλη διαφοροποίηση στο υδρολογικό καθεστώς
- Διεθνή ποτάμια στο Βορρά
- Υδατικά Διαμερίσματα
- Προκλήσεις Διαχείρισης Υδατικών Πόρων στην Ελλάδα

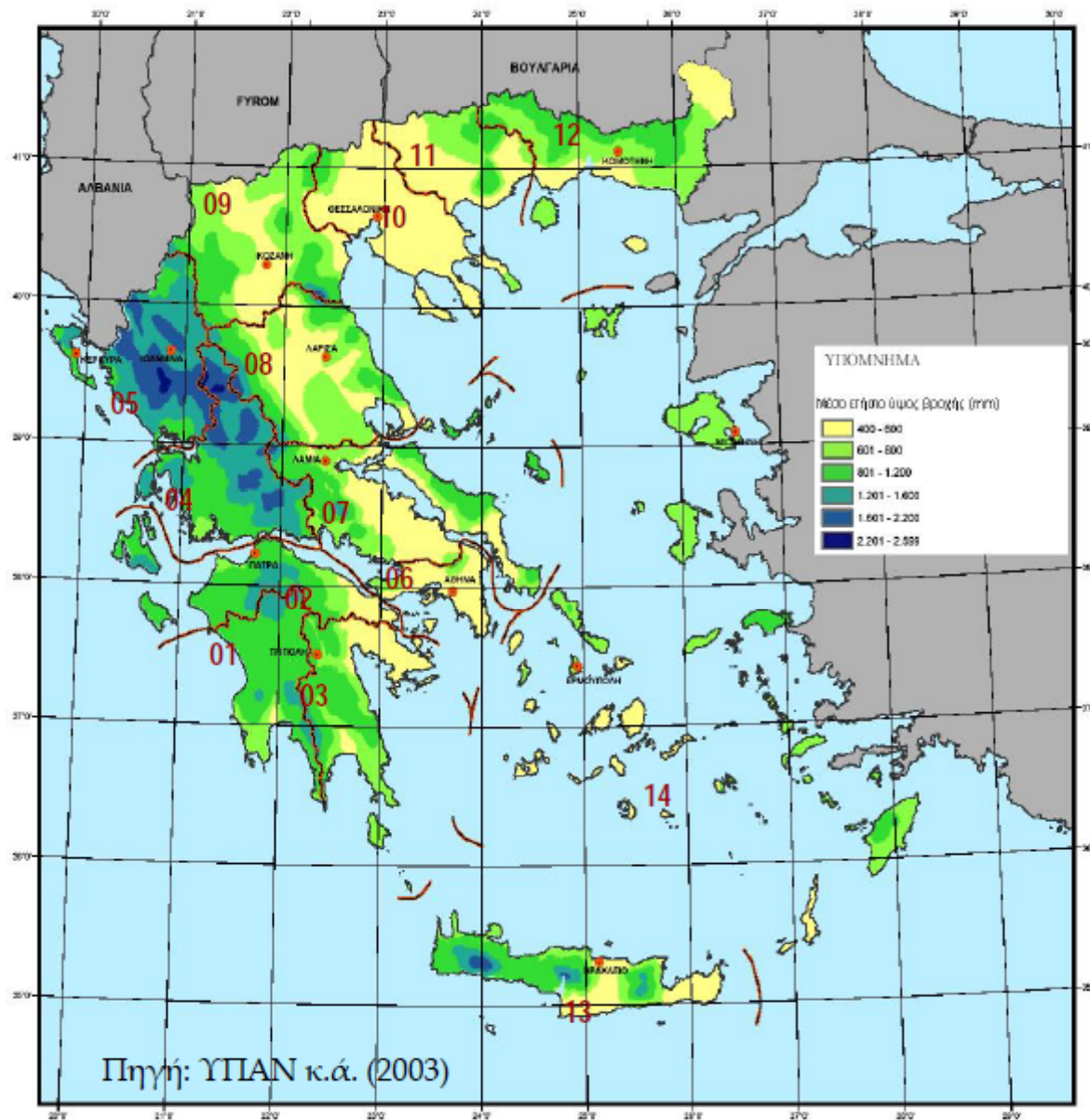


Σχ. 1.5 Διαμερισμός της Ελλάδας σε 14 υδατικά διαμερίσματα.

# Εισαγωγή στη Διαχείριση Υδατικών Πόρων στην Ελλάδα

## Υδατικά Διαμερίσματα

- 01: Δυτική Πελοπόννησος
- 02: Βόρεια Πελοπόννησος
- 03: Ανατολική Πελοπόννησος
- 04: Δυτική Στερεά Ελλάδα
- 05: Ηπειρος
- 06: Αττική
- 07: Ανατολική Στερεά Ελλάδα
- 08: Θεσσαλία
- 09: Δυτική Μακεδονία
- 10: Κεντρική Μακεδονία
- 11: Ανατολική Μακεδονία
- 12: Θράκη
- 13: Κρήτη
- 14: Νησιά Αιγαίου



## Πλαίσιο διαχείρισης υδατικών πόρων στην Ελλάδα

---

- ❑ Επάρκεια νερού στη χώρα, αλλά ανομοιόμορφη κατανομή των υδατικών πόρων στο χώρο και στο χρόνο – Συνέπεια οι ελλειμματικές περιοχές (Θεσσαλία, Ανατολική Πελοπόννησος, Νησιά Αιγαίου)
- ❑ Ανομοιόμορφη κατανομή της ζήτησης στο χώρο και το χρόνο, αναντίστοιχη με την κατανομή της προσφοράς – Απαίτηση περιφερειακών πολιτικών
- ❑ Πολύπλοκο και κατακερματισμένο ανάγλυφο – Συνέπεια μικρές κλίμακες υδρολογικών λεκανών και πολλά υδάτινα σώματα που απαιτούν παρακολούθηση και προστασία
- ❑ Εξάρτηση της βόρειας Ελλάδας από υδατικούς πόρους γειτονικών κρατών – Απαίτηση για διακρατικές συνεργασίες
- ❑ Κυριαρχία των προβλημάτων ποσότητας έναντι της ποιότητας – Αναξιοποίητα επιφανειακά νερά και υπεραντλημένα υπόγεια – Ανάγκη για νέα έργα (μεγάλης κλίμακας, πολλαπλού σκοπού)
- ❑ Ανάγκη συνολικού (διατομεακού) σχεδιασμού και προγραμματισμού για αειφορική ανάπτυξη

Πηγή: ΥΠΙΑΝ κ.ά. (2003)



# Διασυνοριακά ποτάμια

Περισσότερα από 150 ποτάμια και 50 μεγάλες λίμνες διεθνώς μοιράζονται από δύο ή περισσότερα κράτη



## Διακρατική Υδρολογική λεκάνη Νέστου

Ελλάδα GR

Βουλγαρία BG

Συνολικό μήκος 230km (130 GR, 100 BG)

Επιφάνεια (km<sup>2</sup>)    2.864 GR  
                                  3.412 BG

Πληθυσμός            41.958 GR  
                                  133.851 BG

Μέση ετήσια απορροή 2076 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>

# Υπόγειο νερό

- Λειτουργία του υπόγειου υδροφορέα ως μεγάλη δεξαμενή χωρίς εξάτμιση
- Άντληση μικρότερης ποσότητας από τη μέση υπηρετήσια
- Πτώση στάθμης σε πολλές περιοχές (π.χ. Θεσσαλία)
- Υφαλμύρηνση
- Ερημοποίηση: μη (ή δύσκολα) αντιστρεπτή υποβάθμιση εδάφους)
- Συνδυαστική χρήση επιφανειακών υπογείων νερών
- Χρήση καρστικών υδροφορέων για ύδρευση
- Προβλήματα ρύπανσης, δυσκολία καθαρισμού
- Δυσκολία αξιοποίησης καρστικών υδροφορέων στην Ελλάδα

## ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ ΜΕ ΥΦΑΛΜΥΡΙΝΣΗ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΛΟΓΩ ΥΠΕΡΑΝΤΛΗΣΕΩΝ

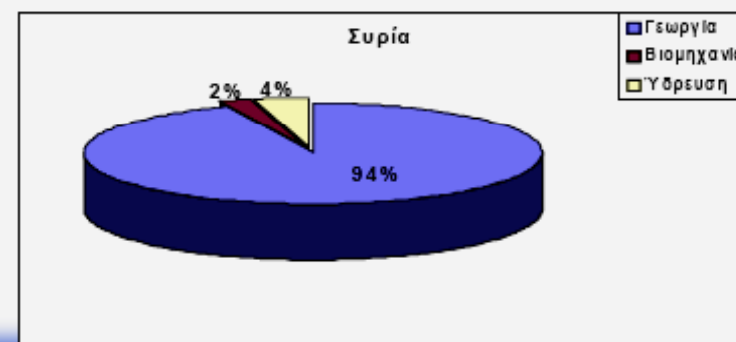
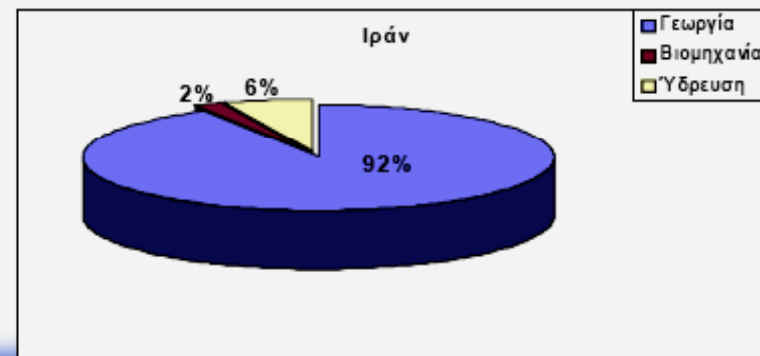
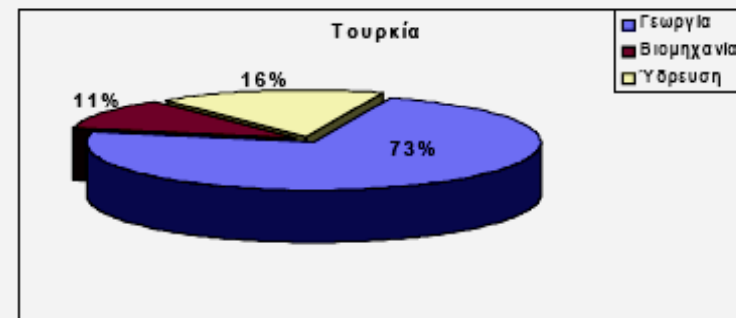
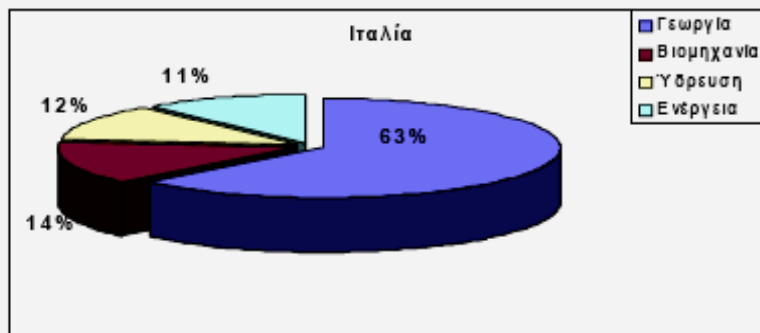
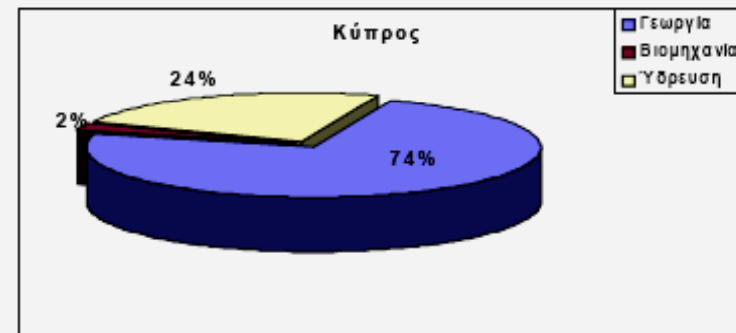
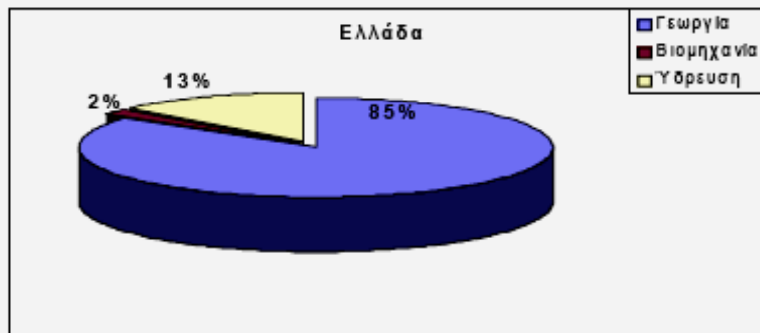
- Αργολικό Πεδίο
- Ανατολική Κορινθία
- Παραλιακή ζώνη Κορίνθου – Πατρών
- Κάμπος ΒΔ Αχαΐας
- Κάμπος Μαραθώνα
- Θριάσιο πεδίο
- Τμήμα πεδιάδας Μεγάρων
- ΝΑ/κό τμήμα Πεδιάδας Θεσσαλίας
- Πεδιάδα Ξάνθης – Κομοτηνής
- Πεδινά παραθαλάσσια τμήματα νησιών

Κουμαντάκης ,2013

# ΖΗΤΗΣΗ ΝΕΡΟΥ

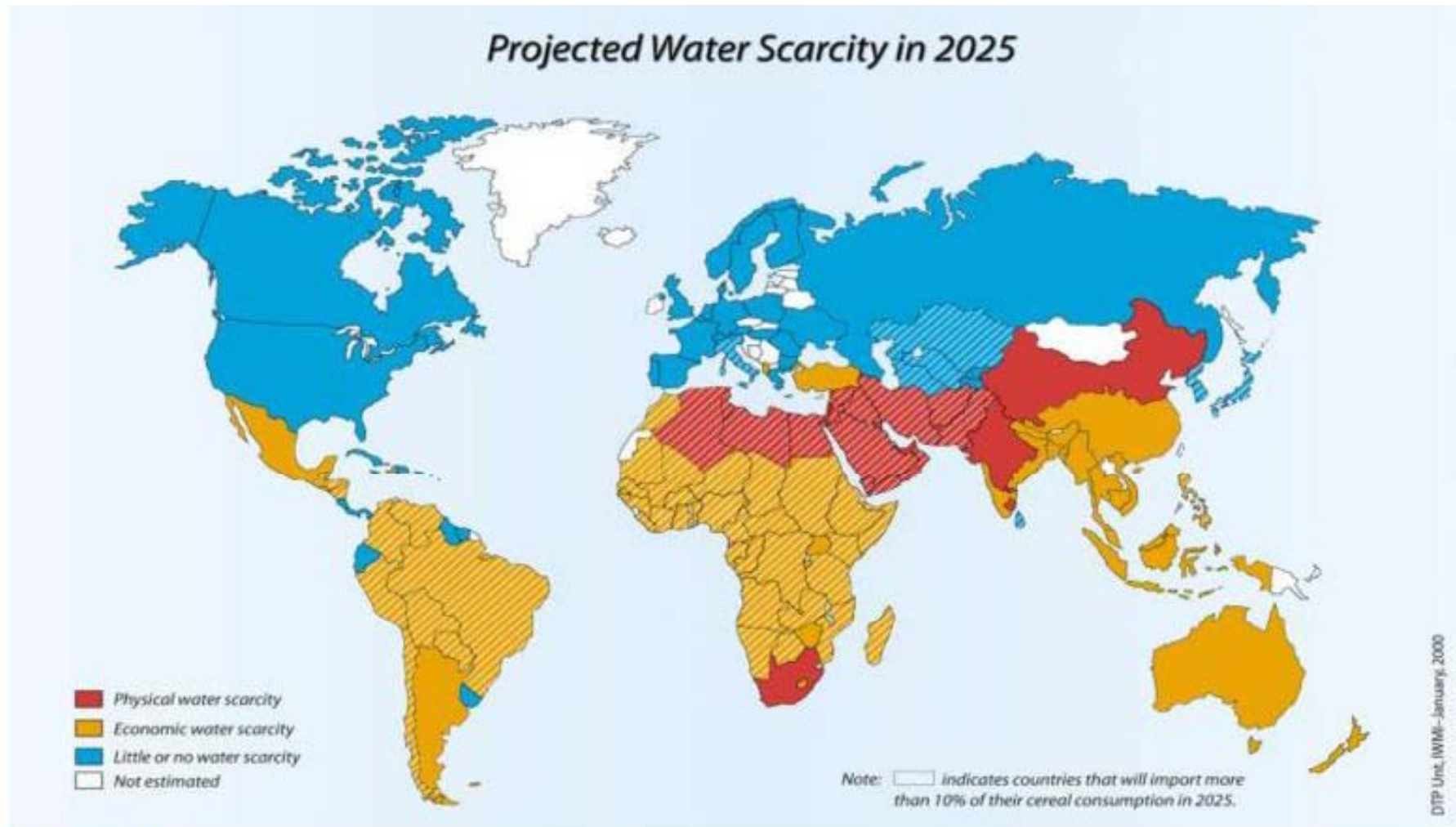
- Ζήτηση/ Ανάγκες
- Τομείς:
  - Ύδρευση
  - Τουρισμός
  - Βιομηχανία
  - Παραγωγή Ενέργειας
  - Γεωργία
  - Περιβάλλον
  - Αισθητική αναβάθμιση

# Ποσοστά κατανάλωσης νερού ανά χρήση



Country	Annual renewable water Resources km <sup>3</sup> yr <sup>-1</sup>	Total fresh Water withdrawal km <sup>3</sup> yr <sup>-1</sup>	Domestic use %	Industrial use %	Agricultural use %	Irrigated area 10 <sup>3</sup> ha
Algeria	14.3	4.5	25	15	60	555
Cyprus	0.9	0.21	24	2	74	40
Egypt	86.8	55.1	6	8	86	3,265
Libya	0.6	4.6	11	2	87	470
Morocco	30.0	11.04	5	3	92	1,258
Sudan	154.0	17.8	4	1	94	1,946
Tunisia	4.1	3.08	9	3	89	352
Bahrain	0.1	0.24	39	4	56	3
Gaza St.	0.06	0.12	40		60	12
Iran	137.5	70.03	6	2	92	7,264
Iraq	96.4	42.8	3	5	92	3,525
Israel	2.1	1.9	16	5	79	193
Jordan	0,9	0.98	22	3	75	73
Kuwait	0.0	0.54	37	2	60	5
Lebanon	4.8	1.29	28	4	68	88
Oman	1.0	1.22	5	2	94	62
Qatar	0.1	0.28	23	3	74	13
Saudi A.	2.4	17.02	9	1	90	1,473
Syria	46.1	14.41	4	2	94	1,082
Turkey	200.7	31.6	16	11	72	4,186
U.A.E	0.1	2.11	24	9	67	67
W. Bank	0.4	0.10	6.5		93.5	10.4
Yemen	4.1	2.93	7	1	92	481

# Μελλοντική ζήτηση νερού και διαθεσιμότητα του σε πλανητικό επίπεδο



# Έλλειψη υποδομών στο τρίτο κόσμο Οικονομική ξηρασία

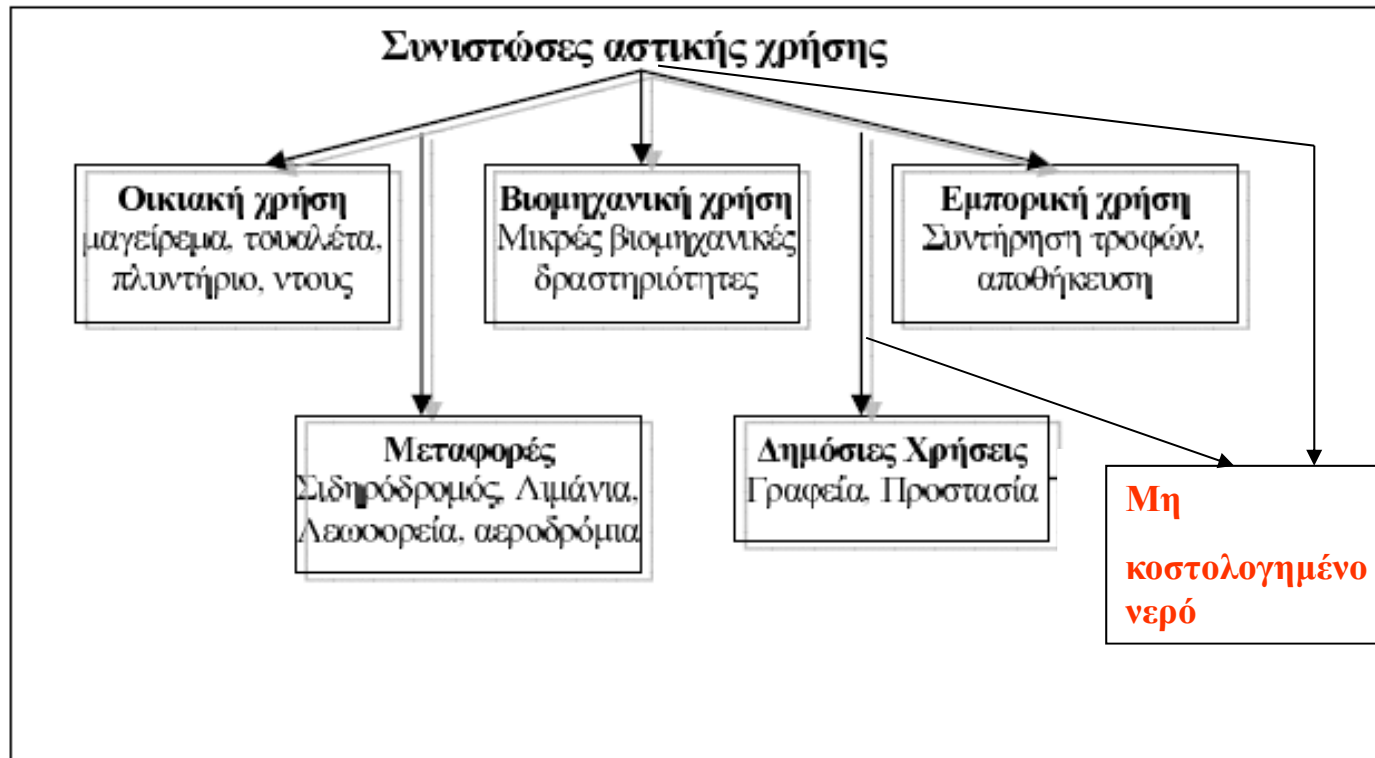




# Προκλήσεις....

- **Κατανομή ζήτησης στην Ελλάδα και στον κόσμο**
  - **Λόγοι Αύξησης της ζήτησης**
    - Αύξηση Πληθυσμού
    - Αύξηση Αρδευόμενων εκτάσεων
    - Αστικοποίηση και συγκέντρωση πληθυσμού στα αστικά κέντρα
    - Κλιματική αλλαγή
    - Ανάπτυξη
    - Άνοδος πολιτιστικού επιπέδου \ νέες ανάγκες
- Κλιματική αλλαγή: Ένταση ακραίων φαινομένων, μείωση βροχόπτωσης, αύξηση θερμοκρασίας στο ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΌ ΧΩΡΟ**
- Θεώρηση υδατικών σωμάτων, αναβάθμιση οικοσυστημάτων**

# Αστική χρήση νερού



# Οικιακή κατανάλωση

Δραστηριότητα	l/κατ. ημερ.
Πόση και μαγείρεμα	35
Πλύσιμο πιάτων	9
Ντους και λουτρό	87
WC	82
Διαρροές WC	15
Πλύσιμο ρούχων	64
	<hr/>
	292
	<hr/>

Παντοκράτορας, 2013

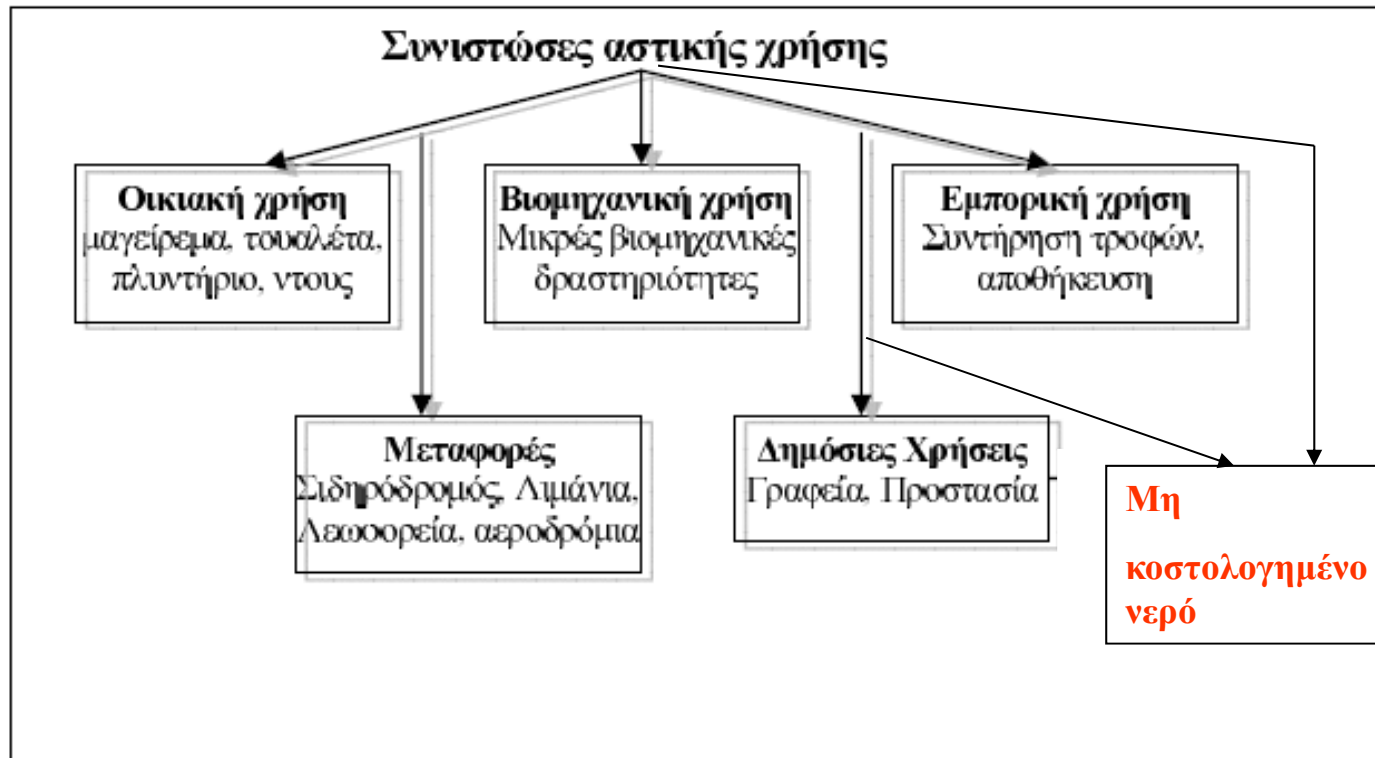
Πίνακας 2.12. Καταναλώσεις επιχειρήσεων [17].

Είδος επιχείρησης	Μονάδα	Απαιτούμενη ποσότητα νερού
1. Αρτοποιείο	1/υπαλ. ημερ.	150
2. Ζαχαροπλαστείο	1/υπαλ. ημερ.	200
3. Κρεοπωλείο	1/υπαλ. ημερ.	250
4. Κουρείο	1/υπαλ. ημερ.	250
5. Μικρές επιχειρήσεις με καθαρή παραγωγική διαδικασία	1/υπαλ. ημερ.	50
6. Μικρές επιχειρήσεις με βρώμικη παραγωγική διαδικασία	1/υπαλ. ημερ.	250
7. Εστιατόρια	1/(υπαλ. + πελ.) ημερ.	50
8. Ξενοδοχεία πολυτελείας με αναλογία υπαλλήλων προς πελάτες $\geq 1$	1/(υπαλ. + πελ.) ημερ.	600
9. Ξενοδοχεία μεσέας κατηγορίας με αναλογία υπαλλήλων προς πελάτες = 0.5	1/(υπαλ. + πελ.) ημερ.	300
10. Απλά Ξενοδοχεία με αναλογία υπαλλήλων προς πελάτες = 0.25	1/(υπαλ. + πελ.) ημερ.	200

Πίνακας 2.13. Απαιτούμενη ποσότητα νερού στην κτηνοτροφία [17].

Είδος	Μονάδα	Απαιτούμενη ποσότητα νερού
1. Μεγάλο ζώο	1/ζωο. ημερ.	50
2. Μεγάλο ζώο με ξέπλυμα κοπριάς χωρίς διάστρωση αχύρων	1/ζωο. ημερ.	60
3. Μεγάλο ζώο με ξέπλυμα κοπριάς και διάστρωση αχύρων	1/ζωο. ημερ.	70
4. Μικρό ζώο = 1/5 της ποσότητας του μεγάλου ζώου		
5. Σταθμός συγκέντρωσης γάλατος	1/1	1.5
6. Επαγγελματικοί κήποι οπωρολαχανικών	1/m <sup>2</sup>	0.8

# Αστική χρήση νερού



# Πρόβλεψη αύξησης πληθυσμού, ραγδαία στο Νότο της Μεσογείου

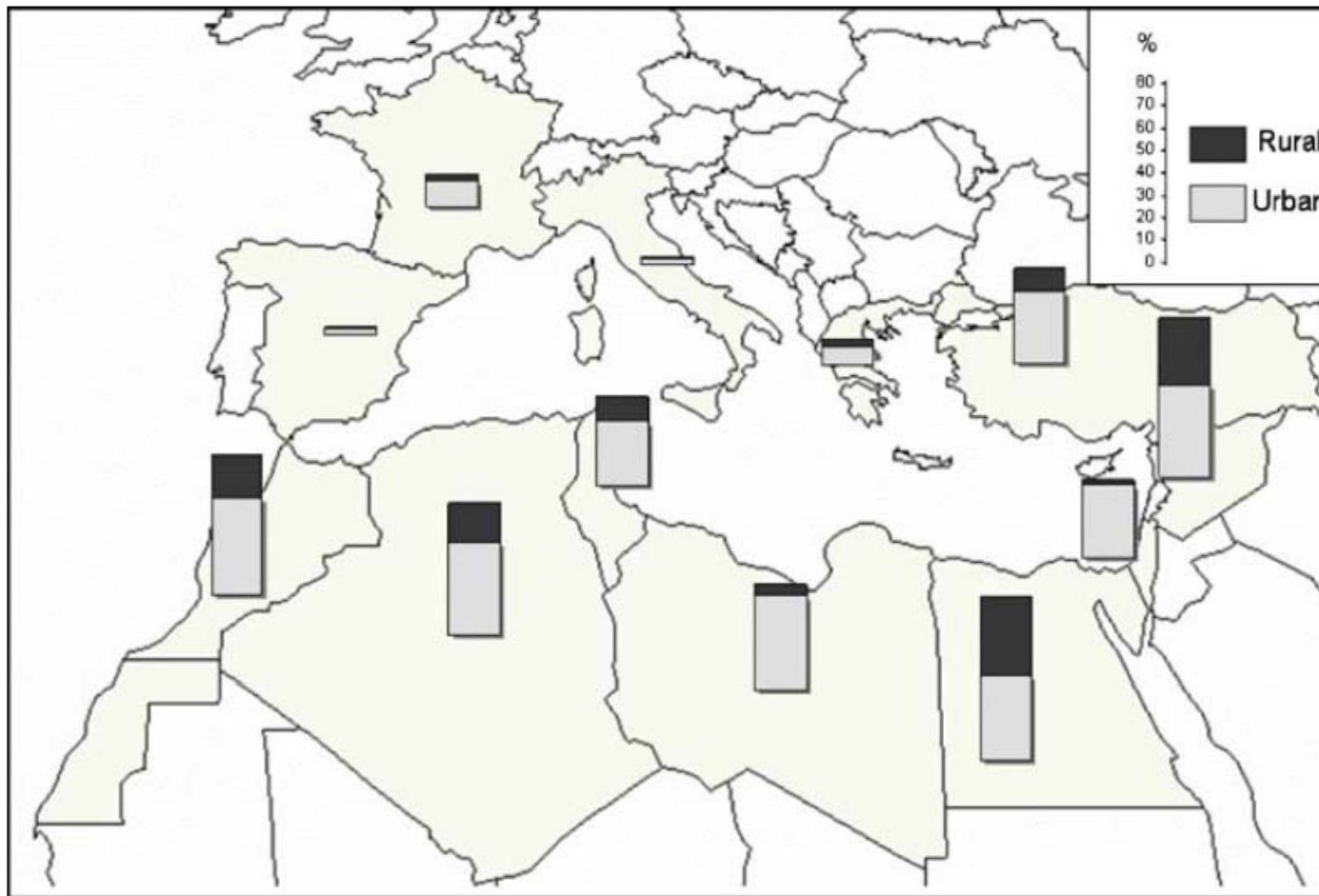


Figure 1 Mediterranean countries and population increase projections for 2025. Data source: FAO 2005.

# Εξατμισοδιαπνοή

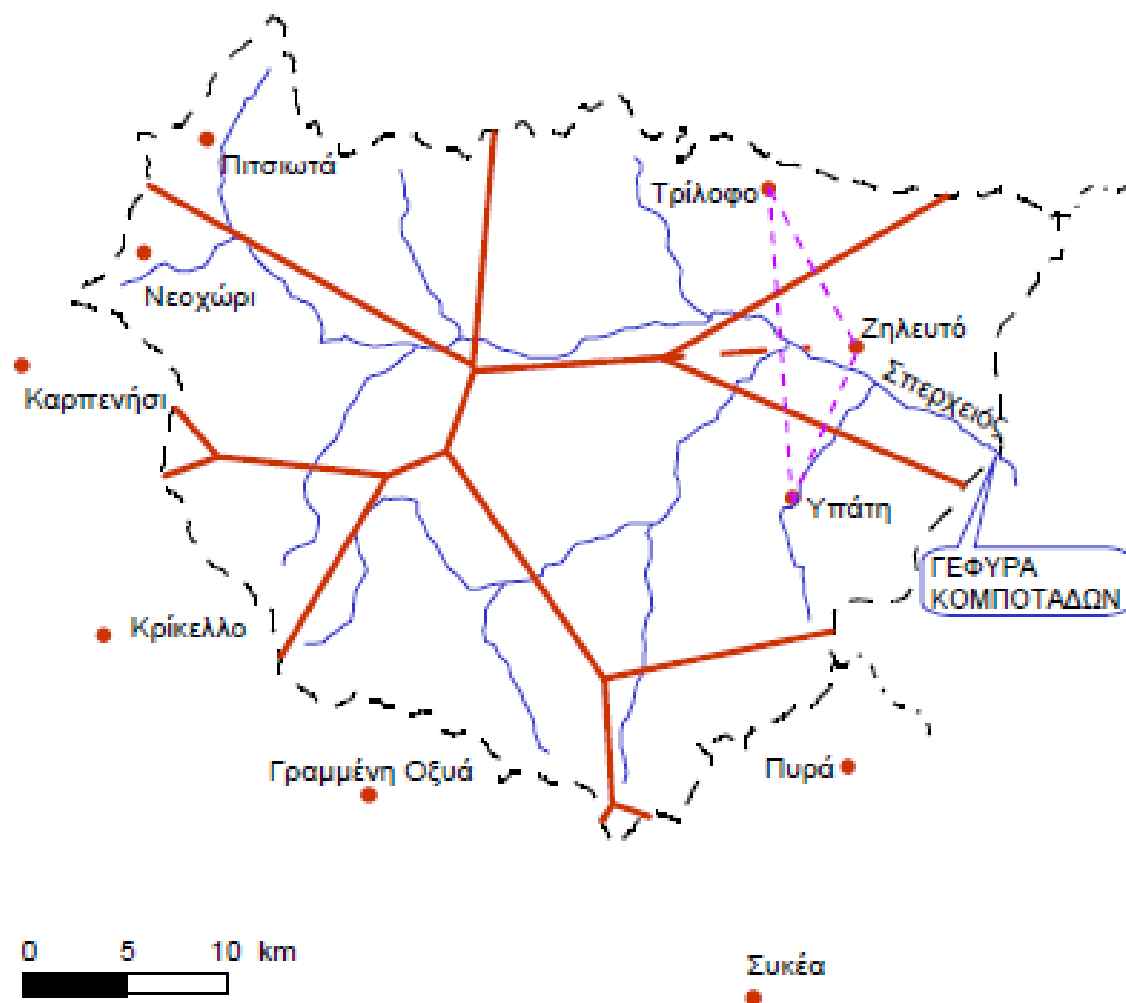
- Εξάτμιση: νερό από υγρή σε αέρια φάση (π.χ. ταμιευτήρας)
- Πραγματική εξατμισοδιαπνοή: μεταφορά νερό προς την ατμόσφαιρα από τη διαπνοή των φυτών και από την εξάτμιση από την επιφάνεια του εδάφους και των φύλλων όταν αυτά είναι υγρά
- **Δυνητική Εξατμισοδιαπνοή: εξατμισοδιαπνοή σε συνθήκες πλήρους διαθεσιμότητας νερού (κλιματικοί παράγοντες θερμοκρασία, μικροκλίμα κ.ά) (πιο γενικό, μοντέλα υδατικού ισοζυγίου)**
- Δυνητική Εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας αναφοράς: εξατμισοδιαπνοή σε συνθήκες πλήρους διαθεσιμότητας νερού για μία καλλιέργεια αναφοράς (π.χ. μηδική) που αναπτύσσεται δυναμικά (Παπαμηχαήλ, 2001)(αρδεύσεις)
- Δυνητική Εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας : υπολογισμός σε σχέση με τη Δυνητική Εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας αναφοράς
- Συνήθως η διαστασιολόγηση γίνεται με βάση τη δυναμική εξατμισοδιαπνοή, δυσκολία αποτίμησης της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής

# Χωρική ολοκλήρωση βροχόπτωσης

- Μέθοδοι άμεσης ολοκλήρωσης, εκτίμηση της επιφανειακής βροχόπτωσης ως γραμμικού συνδυασμού των σημειακών βροχοπτώσεων (όπου έχω μετρήσεις)
- Πολύγωνα Thiessen: Το βάρος είναι ο λόγος της επιφάνειας της λ.α. που αντιστοιχεί σε κάθε σταθμό προς τη συνολική έκταση της λ.α
- Η επιφάνεια που αντιστοιχεί σε κάθε σταθμό προσδιορίζεται από τη γεωμετρική κατασκευή των μεσοκαθέτων στα ευθύγραμμα τμήματα που συνδέουν τους σταθμούς

$$P = \sum_{i=1}^N \left( \frac{A_i}{A} \right) P_i$$





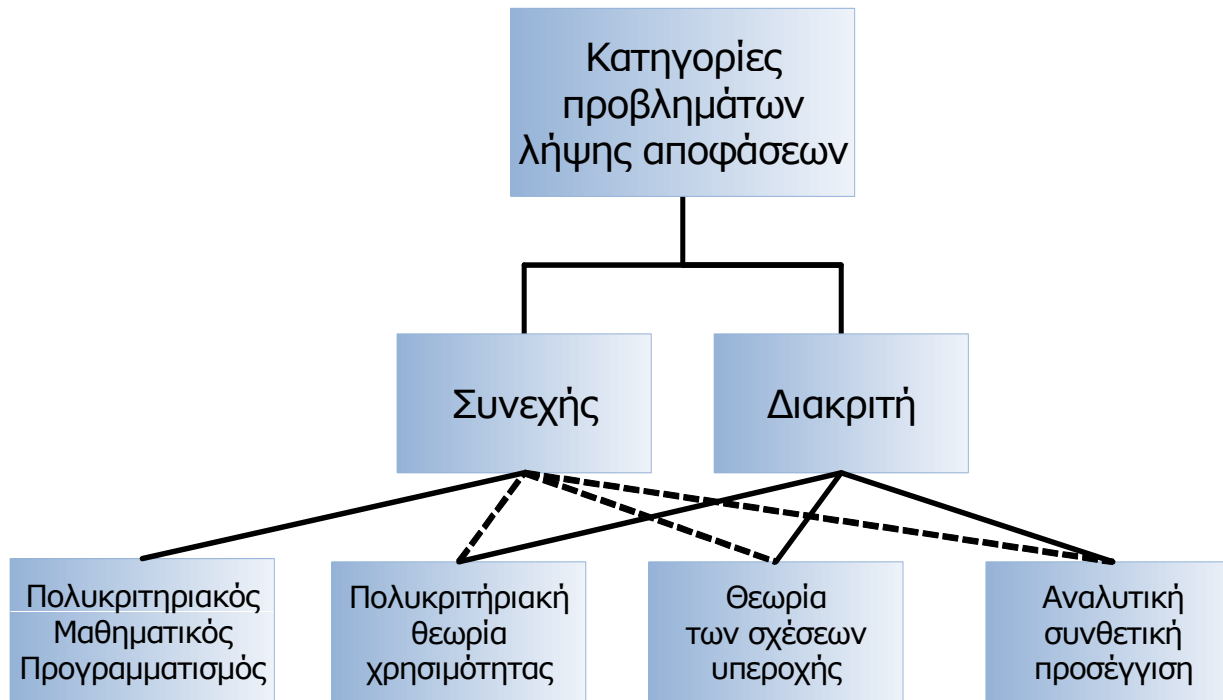
Σχ. 2.9 Πολύγωνα Thiessen της λεκάνης Σπερχειού ανάντη Κομποτάδων. Αναλυτικά, φαίνεται η χάραξη των ορίων των πολυγώνων στην περιοχή Τρίλοφο - Υπάτη - Ζηλευτό.

# Πολύκριτηριακή ανάλυση

- Πολλαπλά κριτήρια
- Δυσκολία σύνθεσης
- Υποκειμενικότητα στην απόφαση
- Δικαίωμα στην αρνησικυρία
- Συνεχές ή διακριτό πεδίο (η μείξη), μεταβλητές απόφασης
- Μία βασική έννοια της πολυκριτηριακής θεώρησης είναι η διάκριση μεταξύ των κατώτερων και μη κατώτερων ή μη κυριαρχούμενων (nondominated alternatives) ή αποτελεσματικών (efficient solutions) εναλλακτικών λύσεων. Σε όλες τις πολυκριτηριακές μεθόδους, το πρώτο βήμα είναι ο προσδιορισμός των «μη κατώτερων λύσεων» μέσω κάποιας μαθηματικής διαδικασίας. Οι μη κατώτερες λύσεις δεν αυξάνουν την ικανοποίηση κάποιου κριτηρίου χωρίς τη μείωση της ικανοποίησης κάποιου άλλου κριτηρίου. Η δυσκολία εστιάζεται στην επιλογή μιας από των μη κατώτερων λύσεων, ως τη βέλτιστη εξ' αυτών. Η επιλογή της βέλτιστης λύσης προϋποθέτει την εμπλοκή των αρμόδιων αρχών λόγω των αντικρουόμενων κριτηρίων, και τη διαφορετική κλίμακα των μονάδων των κριτηρίων.
- Αβεβαιότητα
- Ταξινόμηση (διατεταγμένες ή μη διατεγμένες κατηγορίες)

# Ρεύματα πολυκριτηριακής θεωρίας

Συστημική προσέγγιση και πολυκριτήρια



# Εκτίμηση Απορροών με βάση την υδρολογική λεκάνη απορροής

- Μοντέλο Υδατικού ισοζυγίου κατά Thornthwaite, 1948
- Χωρική μεταβλητότητα: Αδρομερές
- Είδος Εξισώσεων: Εννοιολογικό
- Μοντέλο δεξαμενής
- Συνεχές

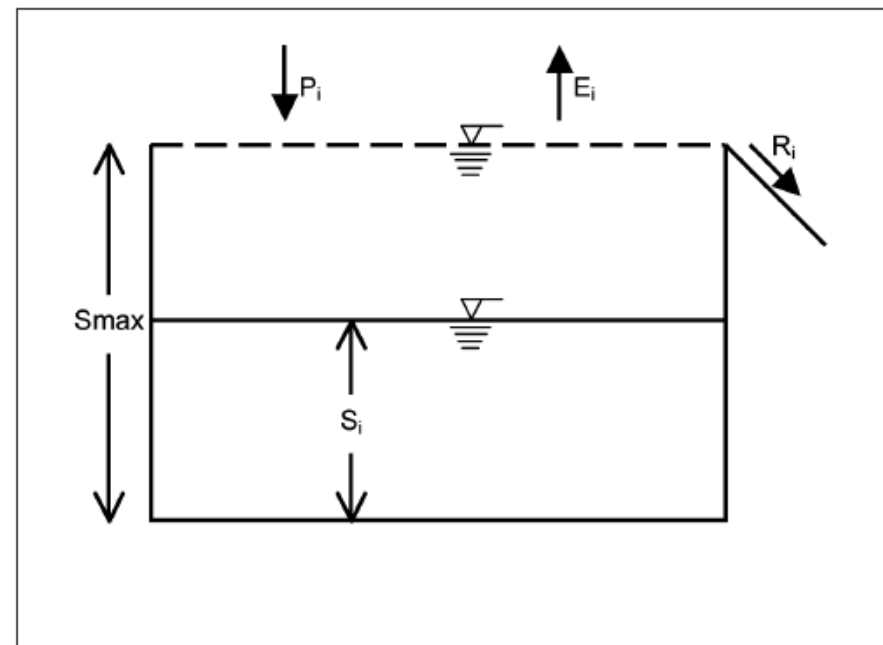


Fig. 2. Simplified Medbasin monthly water balance model.

## ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ (2)

- Μεταβλητή κατάστασης:  $S$ , απόθεμα εδαφικής υγρασίας
- Παράμετρος:  $S_{max}$  (εκτίμηση από HCS)

# ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΑΠΟΡΡΟΗ

Μέθοδος της SCS

Αριθμός καμπύλης CN

Εξαρτάται από:

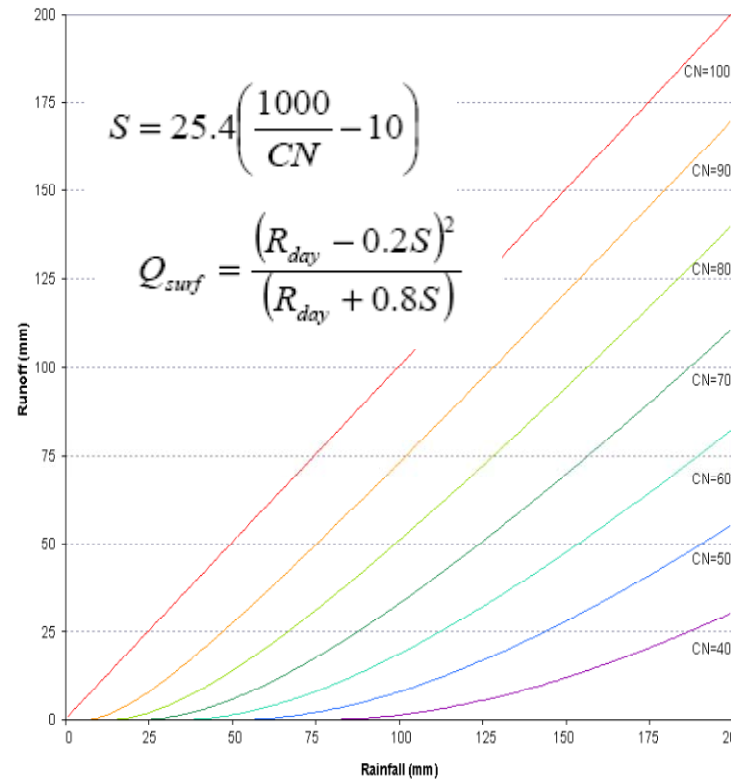
- Εδαφική Διαπερατότητα
- Εδαφοκάλυψη
- Συνθήκες Υγρασίας

SCS: Soil Conservation Service

S: max κατακράτηση εδάφους

Q<sub>surf</sub>: επιφανειακή απορροή

R<sub>day</sub>: βροχόπτωση



# Κατάταξη μοντέλου

- Εννοιολογικό μοντέλο
- Συνεχούς χρόνου
- Αδρομερή (θα μπορούσε να ήταν και ημικατανεμημένο)
- Ντετερμινιστικό μοντέλο

# Σύνοψη μοντέλου

- Προσομοίωση με ταμιευτήρα (εδαφική υγρασία)
- Ελέγχω αν η βροχόπτωση του μήνα είναι μεγαλύτερη από τη δυνητική εξατμισοδιαπνοή. Προφανώς, η πραγματική εξατμισοδιαπνοή είναι ίση με τη δυνητική.
  - Ο ταμιευτήρας αρχικά γεμίζει (αυξάνεται η υγρασία εδάφους)
  - Αφού γεμίσει ο ταμιευτήρας, τότε και μόνο τότε, η υπερχείλιση προσδίδει την απορροή.
- Αν βροχόπτωση του μήνα είναι μικρότερη από τη δυνητική εξατμισοδιαπνοή τότε ο ταμιευτήρας (εδαφική υγρασία) αδειάζει. Όλη η βροχόπτωση και ένα μέρος της εδαφικής υγρασίας θα γίνει εξατμισοδιαπνοή. Γενικά, η πραγματική εξατμισοδιαπνοή είναι μικρότερη της δυνητικής. Φυσικά, δεν υπάρχει απορροή.



# ΑΡΙΘΜΟΙ ΚΑΜΠΥΛΗΣ CN

Χρήση γης	Υδρολογική Κατάσταση	Κατηγορία εδάφους			
		A	B	C	D
Καλλιέργειες	Φτωχή	72	81	88	91
	Μέτρια	67	76	83	86
	Καλή	62	71	78	81
Βοσκότοπος	Φτωχή	68	79	86	89
	Μέτρια	49	69	79	84
	Καλή	39	61	74	80
Δάσος	Φτωχή	45	66	77	83
	Μέτρια	36	60	73	79
	Καλή	25	55	70	77
Δρόμος (χώμα)	-	72	82	87	89
Δρόμος (σκληρή επιφάνεια)	-	74	84	90	92

## Μοντέλο Υδατικού ισοζυγίου κατά Thornthwaite, 1948

### Διακρίνω περιπτώσεις:

1)  $P_i \geq EP_i$ , δηλαδή αν η βροχόπτωση είναι μεγαλύτερη της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής η πραγματική εξατμισοδιαπνοή είναι ίση με τη δυναμική εξατμισοδιαπνοή

$E_i = EP_i$  και υπάρχει περίσσειμα νερού:  $P_i - EP_i$  (Ξανα) Διακρίνω περιπτώσεις:

Βήμα  $i+1$   
Για  $S$

- Με βάση την εξίσωση κατάστασης για την υγρασία εδάφους:  
 $S_{i+1} = S_i + P_i - EP_i \leq S_{MAX}$  αυτό αποθηκεύεται εξ ολοκλήρου στο έδαφος επομένως η υγρασία εδάφους  $S_{i+1}$  θα είναι μικρότερη από  $S_{MAX}$  και δεν θα υπάρξει απορροή
- Διαφορετικά με βάση την εξίσωση κατάστασης για την υγρασία εδάφους με βάση την εξίσωση κατάστασης για την υγρασία εδάφους η υγρασία εδάφους  $S_{i+1}$  θα είναι ίση με  $S_{MAX}$  και η περίσσεια θα μετασχηματισθεί σε απορροή:

$$Q_i = S_i + P_i - EP_i - S_{MAX}$$

Συνοπτικά, οι δύο κανόνες μπορούν να μετασχηματιστούν ισοδύναμα στις παρακάτω δύο εξισώσεις:

$$S_{i+1} = \min(S_i + P_i - EP_i, S_{MAX})$$

$$Q_i = \max(S_i + P_i - EP_i - S_{MAX}, 0)$$

Πρώτα γεμίζει η δεξαμενή  
και μετά υπάρχει  
απορροή (υπερχείλιση)

2)  $P_i < EP_i$ , δηλαδή αν η βροχόπτωση είναι μικρότερη της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής τότε η πραγματική εξατμισοδιαπνοή είναι μικρότερη της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής και όλη η βροχόπτωση θα γίνει εξάτμιση.

ενώ η εδαφική υγρασία μικραίνει (θεωρείται ότι ρυθμός μείωσης της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής είναι ανάλογος της ζήτησης για εξατμισοδιαπνοή) ("η εδαφική δεξαμενή αδειάζει")

$$S_{i+1} = S_i \exp\left(-\frac{EP_i - P_i}{S_{MAX}}\right) \text{ (υπόθεση, αδειάζει λόγω συνεισφοράς στην εξατμισοδιαπνοή)}$$

Επομένως:

$$EP_i = P_i + \Delta S$$

υπόθεση για το άδειασμα της δεξαμενής

## Κριτήρια Βαθμονόμησης

- Μέσο τετραγωνικό σφάλμα (Mean Square Error, MSE)

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (Q_t - QE_t)^2$$

$Q_t$ : χρονοσειρά μετρημένης απορροής

$QE_t$ : χρονοσειρά συνθετικής (υπολογισμένης) απορροής

$t = 1, 2, \dots, n$  ( $t$ : χρόνος,  $n$ : συνολική χρονική διάρκεια)

- Οι τιμές των παραμέτρων που αντιστοιχούν στο ελάχιστο MSE, γίνονται δεκτές ως τιμές των παραμέτρων για την εξεταζόμενη λεκάνη.
- Εφαρμογή μεθόδου βελτιστοποίησης για την ελαχιστοποίηση του MSE

- Συντελεστής προσδιορισμού (coefficient of determination,  $R^2$ )

$$R^2 = 1 - \frac{MSE}{Var[Q]}$$

$$-\infty < R^2 < 1$$

- Υψηλή τιμή του  $R^2$ , κοντά στο 1  $\Rightarrow$  καλή προσαρμογή του μοντέλου
- Αρνητική τιμή του  $R^2 \Rightarrow$  μη αποδεκτό μοντέλο

$Var[Q]$ : διασπορά μετρημένων απορροών

- Μέση τιμή των απόλυτων τιμών του σφάλματος (Mean Absolute Error, MAE)

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |Q_t - QE_t|$$

- Μέγιστο σφάλμα

$$MAXE = \max(Q_t - QE_t)$$

# Υδατικό Δυναμικό

- Θεωρητικό Επιφανειακό Υδατικό δυναμικό: Με βάση την απορροή του κύριου υδατορεύματος, μέση ετήσια απορροή (MAR)
- Εκμεταλλεύσιμο Επιφανειακό Υδατικό δυναμικό. Διακρίνω περιπτώσεις:
  - Έργα χωρίς ταμίευση, πιθανοτική ανάλυση μικρή αξιοπιστία.
  - Έργα με ταμίευση. Προσομοίωση ταμιευτήρα. *Ακόμη και αν κατασκευάσω ταμιευτήρα ίσου όγκου με MAR και άνω, δεν θα έχω απόδοση αυτού του όγκου με την απαιτούμενη αξιοπιστία*

**Ξηρότητα:** Μόνιμο φαινόμενο:

$P/ET_p$

υπερβολικά ξηρό	$< 0.03$
ξηρό	$0.03 - 0.20$
ημίξηρο	$0.20 - 0.50$
ύψυχρο	$0.50 - 0.75$
υγρό	$> 0.75$

**Ξηρασία :** μη μόνιμο φαινόμενο που «σέρνεται»

- Πολλοί ορισμοί και δείκτες
- Δύσκολο να ορισθεί η αρχή της
- Π.χ. Δείκτης PDI
- (πλεονέκτημα λαμβάνει υπόψη και τη θερμοκρασία)
- Ξηρασία απόκλιση από τις κανονικές τιμές....
- Βήματα: Τριμηνιαίο, εξαμηνιαίο, εννεάμηνο, δωδεκάμηνο

Με τη δυναμική εξατμισδιαπνοή  
λαμβάνεται υπόψη περισσότεροι παράμετροι

$$\alpha_k = \frac{\sum_{j=1}^k P_j}{\sum_{j=1}^k ET_{p,j}}$$

$$RDI_n(k) = \frac{\alpha_k}{\bar{\alpha}_k} - 1$$

# 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)

# Μετάβαση στο επόμενο μάθημα...

- Είναι η μέση απορροή η ποσότητα επιφανειακού νερού που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε?
- Ακόμη και αν κατασκευάσουμε ένα φράγμα της αυτής χωρητικότητας?
- Εκμεταλλεύσιμο Υδατικό δυναμικό
- Αξιοπιστία και προσομοίωση ταμιευτήρα