



Μερικοί Δείκτες λειψυδρίας  
Αν Καθ: Μ Σπηλιώτης

# Τυπική αστική χρήση νερού

- 100-600L/άτομο/day (υψηλό εισόδημα)
- 50-100L/ άτομο /day (χαμηλό εισόδημα)
- 10-40L/ άτομο /day (σπανιότητα νερού)
  - Προσοχή, δεν χρησιμοποιώ τους πολλαπλασιαστικούς συντελεστές της ύδρευσης (υδραυλική, μέγιστη στιγμιαία)

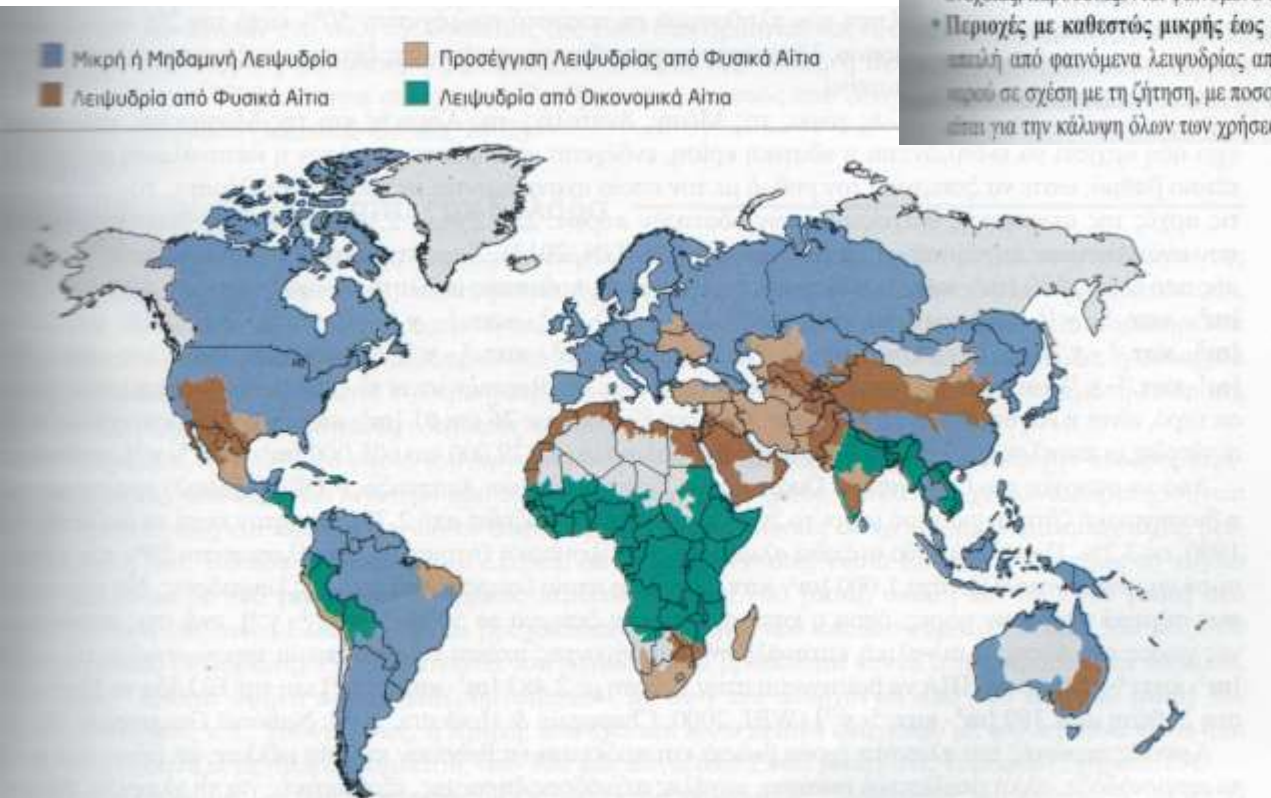


# Λειψυδρία

- Πρώτη αδρομερή εκτίμηση με βάση μέσες τιμές και την κατανάλωση κατ' άτομο.
- Αστική απαίτηση(?):
  - $100\text{L/person/day} = 40\text{m}^3/\text{person/year}$
  - $600\text{L/person/day} = 240\text{m}^3/\text{person/year}$
- Προσθέτω αγροτική ενεργειακή και βιομηχανική χρήση που αντιστοιχεί καθ' άτομο:
  - $20 \times 40\text{m}^3/\text{person/year} = 800\text{m}^3/\text{person/year}$
- Ολικές ανάγκες:
  - $840\text{m}^3/\text{person/year}$
  - $1040\text{m}^3/\text{person/year}$

Λειψυδρία από φυσικά ή οικονομικά  
αίτια =  
f(% χρησιμοποίησης επιφ. παροχής)

- **Περιοχές σε καθεστώς λειψυδρίας από φυσικά αίτια:** Η ανάπτυξη των υδατικών πόρων γίνεται με πολύ εντατικό τρόπο και έχει ξεπεράσει κατά πολύ τα όρια της αειφορικής διαχείρισης. Αυτό σημαίνει ότι πάνω από το 75% της επιφανειακής απορροής των ποταμών χρησιμοποιείται για τις ανάγκες των γεωργικών, βιομηχανικών και οικιακών χρήσεων, συμπεριλαμβανομένων και των ποσοτήτων νερού που προκύπτουν από επιστρεφόμενα νερά άρδευσης και ανακύκλωσης.
- **Περιοχές που προσεγγίζουν τη λειψυδρία από φυσικά αίτια:** Περισσότερο από το 60% της επιφανειακής απορροής των ποταμών, χρησιμοποιείται για τις παραπάνω αναφερόμενες χρήσεις. Οι λεκάνες αυτές, αναμένεται να βιώσουν λειψυδρία από φυσικά αίτια στο άμεσο μέλλον.
- **Περιοχές σε καθεστώς λειψυδρίας από οικονομικά αίτια:** Στις περιοχές αυτές, υπάρχει επαρκής διαθεσιμότητα νερού σε σχέση με τη ζήτηση, με ποσοστό λιγότερο του 25% της επιφανειακής απορροής να χρησιμοποιείται για την κάλυψη των ανθρώπινων χρήσεων. Παρά το γεγονός αυτό, οι οικονομικοί περιορισμοί στον δημόσιο και ιδιωτικό τομέα, περιορίζουν την πρόσβαση σε καθαρό νερό, ακόμη και αν δεν παρουσιάζονται φαινόμενα λειψυδρίας από φυσικά αίτια. Στις περιοχές αυτές, λόγω οικονομικής ανέχειας, παρουσιάζονται φαινόμενα υποσιτισμού, φτώχειας και εξαθλίωσης.
- **Περιοχές με καθεστώς μικρής έως μηδαμινής λειψυδρίας:** Στις περιοχές αυτές, δεν υπάρχει άμεσα απειλή από φαινόμενα λειψυδρίας από φυσικά και οικονομικά αίτια. Υπάρχει επαρκής διαθεσιμότητα νερού σε σχέση με τη ζήτηση, με ποσοστό λιγότερο του 25% της επιφανειακής απορροής να χρησιμοποιείται για την κάλυψη όλων των χρήσεων.



Εικόνα 2.12: Οι τέσσερις ζώνες της υδρογείου αναφορικά με τις περιπτώσεις λειψυδρίας (IOWMI, 2007)

Ψιλοβίκος, 2021

# Αφρική: σε κάποιες περιοχές οικονομική λειψυδρία



# Δείκτης Falkenmark

- Δείκτης F εκφράζει την πίεση που ασκεί ο πληθυσμός στους διαθέσιμους υδατικούς πόρους
- Η συνολική ποσότητα ανανεώσιμων υδατικών πόρων (επιφανειακών και υπόγειων) που εισέρχεται ετησίως σε μία περιοχή και είναι **δυνητικά διαθέσιμη** προς εκμετάλλευση για την κάλυψη των υδατικών αναγκών της, προς τον πληθυσμό της περιοχής αυτής.
- $\text{m}^3/\text{κατ}/\text{έτος}$
- Δείκτης λειψυδρίας

### Με βάση τις διαθέσιμες ποσότητες νερού

- **Water scarcity (Λειψυρία):**  $<1000 \text{ m}^3 / \text{person/year}$ 
  - Χρόνια και εκτεταμένης χωρικής έκτασης προβλήματα
- **Water stress:**  $<1700 \text{ m}^3 / \text{person/year}$ 
  - Τοπικά προβλήματα
- **Επάρκεια:**  $>1700 \text{ m}^3 / \text{person/year}$

# Τρόπος εκτίμησης ανανεώσιμων ποσοτήτων νερού ευρύτερα, **δυναμικά** προς εκμετάλλευση

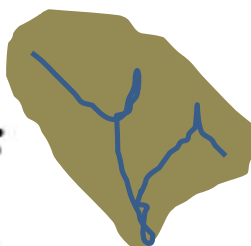
Κατακρημνίσματα + Εισροές = Εξατμισοδιαπνοή + **Μικτή Απορροή**

Όπου

- *Κατακρημνίσματα: Η μέση βροχόπτωση στη ΛΑΠ*
- *Εισροές: Οι επιπλέον ποσότητες νερού που εισάγονται στη ΛΑΠ από άλλες γειτονικές μέσω της εκφόρτισης των πηγών (π.χ. διασυνοριακά ποτάμια)*
- *(πραγματική) Εξατμισοδιαπνοή: Η ποσότητα του νερού που εξατμίζεται από το έδαφος και διαπνέεται από τα φυτά*
- *Μικτή Απορροή: Η μεικτή απορροή περιλαμβάνει:*
  - ☐ Την επιφανειακή απορροή: άμεση ή ενδιάμεση απορροή
  - ☐ Την υπόγεια απορροή (Ένα μέρος της ποσότητας αυτής επανατροφοδοτεί την επιφανειακή απορροή).
  - ☐ Τις διαφυγές νερού.

(ΣΤΑΘΑΤΟΥ , δδ 2017. ΕΜΠ)

- Θεωρητικό Επιφανειακό Υδατικό Δυναμικό (ΘΕΥΔ):  
Εκφράζεται από την απορροή του κύριου υδατορρεύματος της λεκάνης στο στόμιο εξόδου της.
- Εκμεταλλεύσιμο Επιφανειακό Υδατικό Δυναμικό (ΕΕΥΔ):  
Τμήμα του ΘΕΥΔ που είναι απολήψιμο για χρήσεις νερού, όταν ληφθούν υπόψη όλα τα έργα αξιοποίησης υδατικών πόρων που υφίστανται ή έχουν μελετηθεί στην εξεταζόμενη λεκάνη απορροής.
- Μέση ετήσια απορροή (MAR: Mean Annual Runoff):  
Μέσω αυτής εκφράζεται το ΘΕΥΔ.
- Για την εκτίμηση του ΘΕΥΔ απαιτείται χρονοσειρά μετρημένης απορροής. Συνήθως αυτή είναι μικρής διάρκειας (κάτω από 15 έως 20 υδρολογικά έτη) ή υπάρχει παντελής έλλειψη μετρήσεων.



Χρυσάνθου, 2013

## Οδηγίες υπολογισμού δείκτη Falkenmark

Είναι δείκτης που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της λειψυδρίας. Μετρά τη λειψυδρία ως την ποσότητα ανανεώσιμων πηγών γλυκού νερού που είναι διαθέσιμη ανά άτομο ανά έτος και προτείνει ένα όριο  $1700 \text{ m}^3$  ανά άτομο ετησίως για τον προσδιορισμό των περιοχών που υποφέρουν από υδατικές πιέσεις.

Ο υπολογισμός του δείκτη Falkenmark  $f$  δίνεται από την εξίσωση:

$$F = 1000 * \frac{(\bar{P}_t - \overline{ET}_\alpha) * A}{\text{αρ. κατοίκων}}, \quad (1)$$

όπου:

$\bar{P}_t$ : μέσα ετήσια συνολικά κατακρημνίσματα (L - mm)

$\overline{ET}_\alpha$ : μέση ετήσια πραγματική εξατμισοδιαπνοή κατά Turc (L - mm)

A: επιφάνεια υπό εξέταση περιοχής ( $\text{L}^2 - \text{Km}^2$ )

$f$ : δείκτης Falkenmark [ $\text{L}^3 \text{T}^{-1} - \text{m}^3/(\text{έτος} * \text{άτομο})$ ].

Ο όρος  $\bar{P}_t - \overline{ET}_\alpha$  (L - mm) αποτελεί το θεωρητικό υδατικό δυναμικό της υπό μελέτη περιοχής.

## Μέθοδος Τυτε

$$E = \frac{P}{\sqrt{0.90 + \left(\frac{P}{L}\right)^2}}$$

ΠΡΟΣΟΧΗ:  
Εξίσωση για εκτίμηση  
**πραγματικής**  
εξατμισδιαπνοής  
Σε ετήσια βάση

$E$  : μέσο ετήσιο έλλειμμα ροής (μέση ετησία πραγματική εξατμισο-  
διαπνοή) [mm]

$P$  : μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης [mm]

$L$  : συνάρτηση της θερμοκρασίας [mm]

$$L = 300 + 25T + 0.05T^3$$

$T$  : μέση ετησία θερμοκρασία αέρα [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$$E = (0.90 + H^2)^{-\frac{1}{2}}$$

$$E = \frac{E}{P}$$

$$H = \frac{P}{L}$$

αδιάστατη μορφή

- για  $H \geq 0.316 \Rightarrow E \leq 1$

- για  $H < 0.316 \Rightarrow E = 1$

Χρυσάνθου, 2013

# WEI

- Ο **Δείκτης Εκμετάλλευσης Ύδατος – (Water Exploitation Index - WEI)** ισούται με το λόγο των μέσων ετήσιων συνολικών απολήψεων υδατικών πόρων για την κάλυψη των αναγκών της ΛΑΠ (σύνολο απολήψεων από ίδιους πόρους και μεταφορά από άλλες ΛΑΠ) προς τη συνολική ποσότητα των ανανεώσιμων υδατικών πόρων στη ΛΑΠ (όπως υπολογίστηκαν για το δείκτη Falkenmark).

**= μέσες ετήσιες απολήψεις υδατικών πόρων / τη συνολική ποσότητα των ανανεώσιμων υδατικών πόρων στη ΛΑΠ**

- Ο λόγος των μέσων ετήσιων συνολικών απολήψεων υδατικών πόρων (επιφανειακών και υπόγειων) για την κάλυψη των αναγκών μίας περιοχής προς τα διαθέσιμα αποθέματα ανανεώσιμων υδατικών πόρων στην περιοχή αυτή.
- **Οριακή τιμή (threshold)** 40%
- Σύμφωνα με τα διαθέσιμα βιβλιογραφικά δεδομένα, το όριο εκμετάλλευσης υδάτων (η τιμή του δείκτη) που διακρίνει μια περιοχή που δεν βρίσκεται υπό πίεση από μια η οποία πιέζεται υδατικά, βρίσκεται στο 20%. Με βάση αυτό το όριο, η σημαντική υδατική πίεση καθορίζεται για τιμές του δείκτη > 40%, που υποδεικνύει ισχυρό ανταγωνισμό για τους διαθέσιμους πόρους, αλλά όχι απαραίτητα την εμφάνιση συχνών κρίσεων διαθεσιμότητας νερού. Ορισμένοι ειδικοί πιστεύουν ότι το όριο του 40% είναι πολύ χαμηλό και ότι η χρήση των υδατικών πόρων μπορεί να ανέλθει και στο 60%. Άλλοι πάλι θεωρούν ότι τα οικοσυστήματα που υποστηρίζονται από το νερό δεν δύνανται να παραμείνουν υγιή εάν τα ύδατα της οικείας τους λεκάνης υπόκεινται σε εκμετάλλευση μεγαλύτερη από αυτήν που υποδεικνύει το όριο του WEI > 40% (ΣΧΕΔΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ)

# WEI<sup>+gr</sup>

- Σε ετήσια βάση
- Προσέγγιση:
  - δε λαμβάνω υπόψη την ευεργετική επίδραση της ανακύκλωσης στον αριθμητή
  - Στον παρονομαστή στο θεωρητικό υδατικό δυναμικό, αφαιρώ την απαραίτητη οικολογική παροχή
  - Το θεωρητικό διαθέσιμο υδατικό δυναμικό είναι η βροχόπτωση μείον την πραγματική εξατμισοδιαπνοή – **WR** απαιτούμενο όγκος νερού για διατήρηση της καλής κατάστασης των υδάτινων σωμάτων σύμφωνα με την Οδηγία 2000/60/ΕΚ, την ναυσιπλοΐα, καθώς και για την εκπλήρωση διεθνών συνθηκών.
  - **= μέσες ετήσιες απολήσεις υδατικών πόρων / (τη συνολική ποσότητα των ανανεώσιμων υδατικών πόρων στη ΛΑΠ-WR)**
  - Προσθέτω τυχόν πλευρικές εισροές αν υπάρχουν

**Πίνακας 2.2. Υπολογισμός του δείκτη WEI<sup>GR</sup> στο Υ.Δ. 12**

| Υπολεκάνες                       | Νέστου<br>(GR07) | Ξάνθης-<br>Ξηρορέματος<br>(GR08) | Κομοτηνής -<br>Λουτρού<br>Έβρου<br>(GR09) | Έβρου<br>(GR10) | Θάσου και<br>Σαμοθράκης<br>(GR42) |
|----------------------------------|------------------|----------------------------------|-------------------------------------------|-----------------|-----------------------------------|
| Έκταση, km <sup>2</sup>          | 2974,81          | 1663,58                          | 1958,44                                   | 4079,88         | 563,71                            |
| D, hm <sup>3 (1)</sup>           | 692,00           | 406,00                           | 494,00                                    | 1064,00         | 109,00                            |
| I, hm <sup>3 (1)</sup>           | 939,00           | -                                | -                                         | 10895,00        | -                                 |
| Χρήσεις νερού (hm <sup>3</sup> ) |                  |                                  |                                           |                 |                                   |
| Άρδευση <sup>(2)</sup>           | 168,70           | 156,74                           | 152,08                                    | 301,34          | 13,33                             |
| Υδρευση <sup>(3)</sup>           | 8,06             | 7,59                             | 10,04                                     | 18,88           | 2,02                              |
| Βιομηχανία <sup>(3)</sup>        | 4,16             | 5,03                             | 9,37                                      | 7,34            | -                                 |
| Τουρισμός <sup>(3)</sup>         | 0,12             | 0,15                             | 0,14                                      | 0,30            | 0,23                              |
| Κτηνοτροφία <sup>(4)</sup>       | 1,88             | 1,05                             | 1,24                                      | 2,58            | 0,36                              |
| TWA, hm <sup>3</sup>             | 182,92           | 170,56                           | 172,87                                    | 330,43          | 15,94                             |
| WR, hm <sup>3</sup>              | 189,22           | 51,80 <sup>(5)</sup>             | 31,16 <sup>(6)</sup>                      | 2511,39         | 6,54                              |
| <b>Δείκτης WEI<sup>GR</sup></b>  | <b>0,1269</b>    | <b>0,4815</b>                    | <b>0,3735</b>                             | <b>0,0350</b>   | <b>0,1555</b>                     |

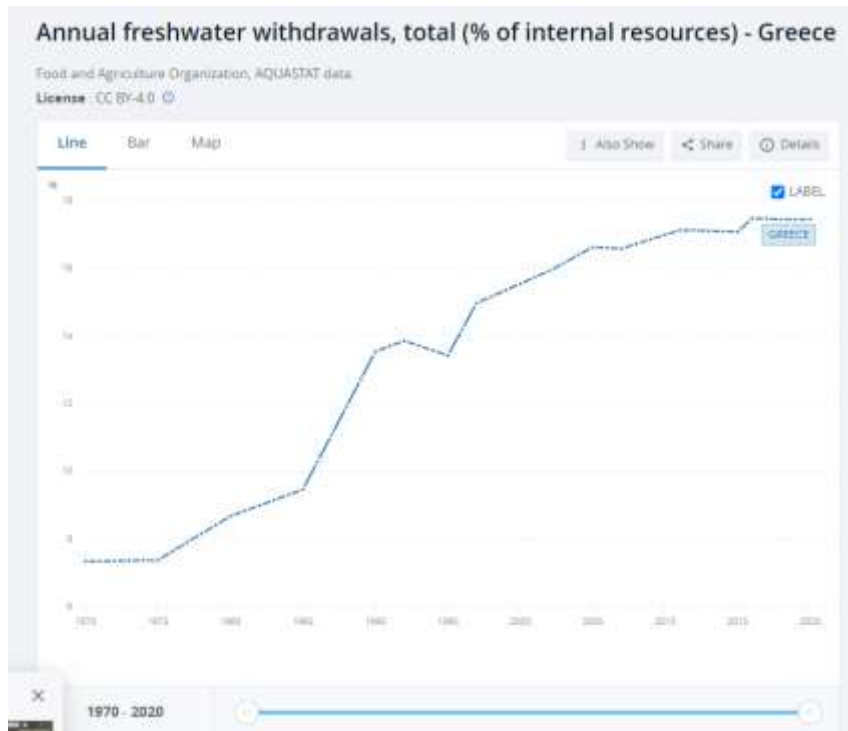
# όριο εκμετάλλευσης υδάτων

- το όριο εκμετάλλευσης υδάτων (η τιμή του δείκτη) που διακρίνει μια περιοχή που δεν βρίσκεται υπό πίεση από μια η οποία πιέζεται υδατικά, βρίσκεται στο 20%. **Με βάση αυτό το όριο, η σημαντική υδατική πίεση καθορίζεται για τιμές του δείκτη  $> 40\%$ , που υποδεικνύει ισχυρό ανταγωνισμό για τους διαθέσιμους πόρους, αλλά όχι απαραίτητα την εμφάνιση συχνών κρίσεων διαθεσιμότητας νερού.** Ορισμένοι ειδικοί πιστεύουν ότι το όριο του 40% είναι πολύ χαμηλό και ότι η χρήση των υδατικών πόρων μπορεί να ανέλθει και στο 60%. Άλλοι πάλι θεωρούν ότι τα οικοσυστήματα που υποστηρίζονται από το νερό δεν δύνανται να παραμείνουν υγιή εάν τα ύδατα της οικείας τους λεκάνης υπόκεινται σε εκμετάλλευση μεγαλύτερη από αυτήν που υποδεικνύει το όριο του  $WEI > 40\%$

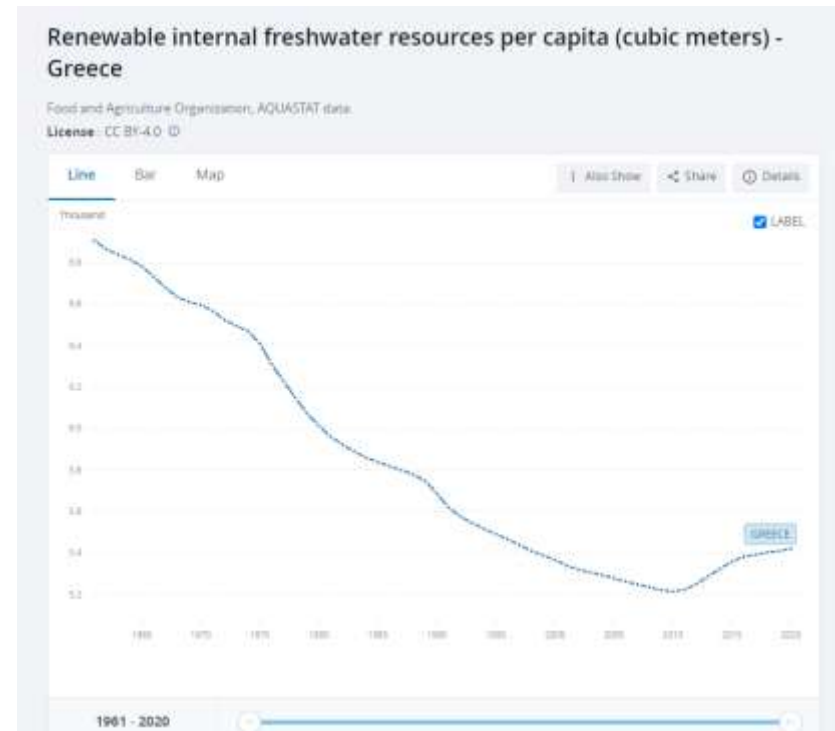
# Βάση δεδομένων

<https://data.worldbank.org/indicator/ER.H2O.FWTL.ZS?view=chart>

Ποσοστό απώληση νερού από εσωτερικές πηγές σε σχέση με τις υπερετήσιες ανανεώσιμες ποσότητες



Ποσότητες ανανεώσιμων ποσοτήτων νερού ανά κάτοικο



# Πρόβλημα με τους δείκτες

- Δεν ανταποκρίνονται στις χρονικές διαφοροποιήσεις (π.χ. αρδευτική περίοδος, έτη με ξηρασία κλπ)
- Χωρικές διαφορές (π.χ. Κυκλάδες στον Ελληνικό χώρο)
- Μη καταναλωτικές χρήσεις που δεσμεύουν ποσότητες νερού, ιδιαίτερα σε περιόδους ξηρασία π.χ. φράγμα Νέστου
- Τρόπος υπολογισμού ΘΥΔ αδρομερής δεν έχει χρονική μνήμη, παραπλανητικός όταν έχουμε πολύ μικρές λεκάνες απορροής όπως στα νησιά

Μεχρι το 2025 κοντά 2 δισ  
σε περιοχές με απόλυτες  
συνθήκες λειψυδρίας

# Μέλλον?

Όλη η νότια μεσόγειος..

