

Α. Επανάληψη και εμπλουτισμός  
εννοιών

Β. Ζήτηση νερού

Γ. Επιφανειακό Εκμεταλλεύσιμο  
Υδατικό Δυναμικό

# 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

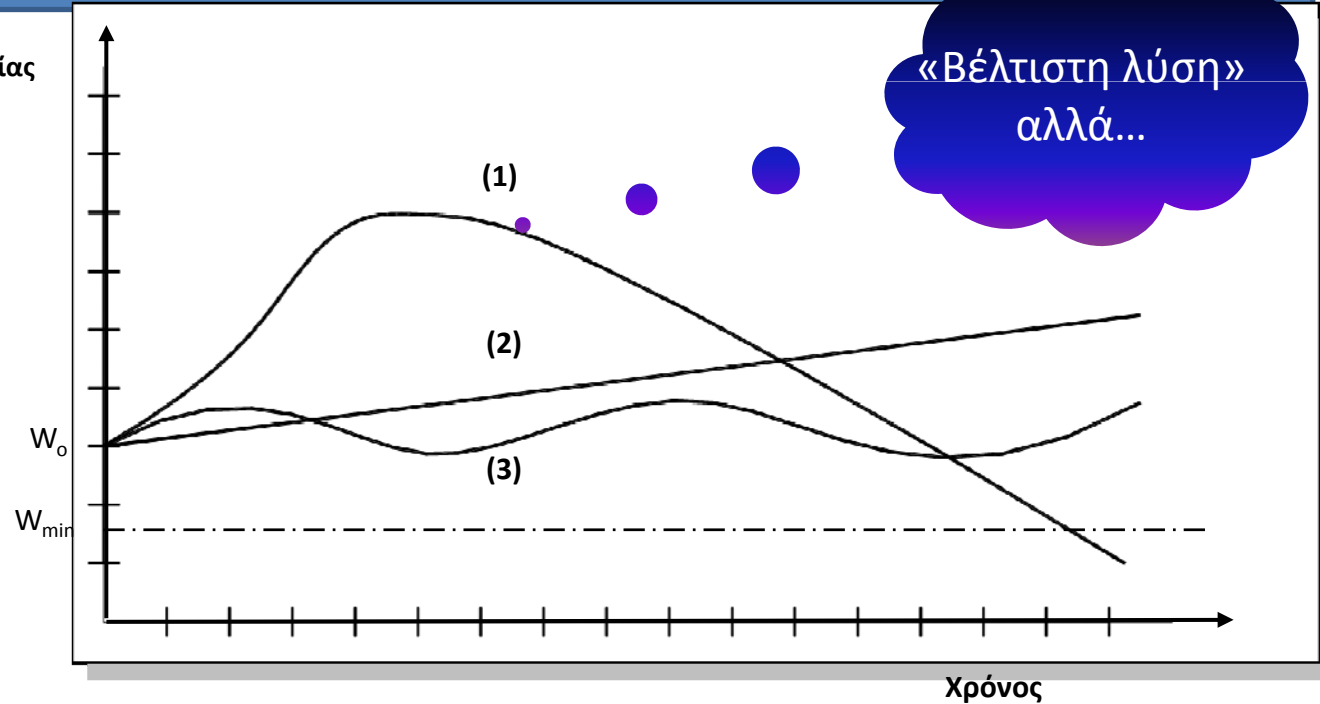
τώρα αλλά και στο μέλλον με στόχο τη διατηρήσιμη ανάπτυξη

# 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

# Βιωσιμότητα

- Φυσική διάσταση: νερό ανανεώσιμος πόρος
- Οικονομική διάσταση (π.χ. ένα φράγμα 3 φορές τη μέση ετήσια απορροή είναι οικονομικά μη βιώσιμο)
- Κοινωνική βιωσιμότητα (π.χ. αποφυγή συγκρούσεων)

# Δείκτης Λειψυδρίας (π.χ. ανά χώρα)

<b><math>m^3/c/y</math></b>	<b>Stress level</b>
>1700	No stress
1000 - 1700	Moderate stress
500 - 1000	High stress
<500	Extreme stress

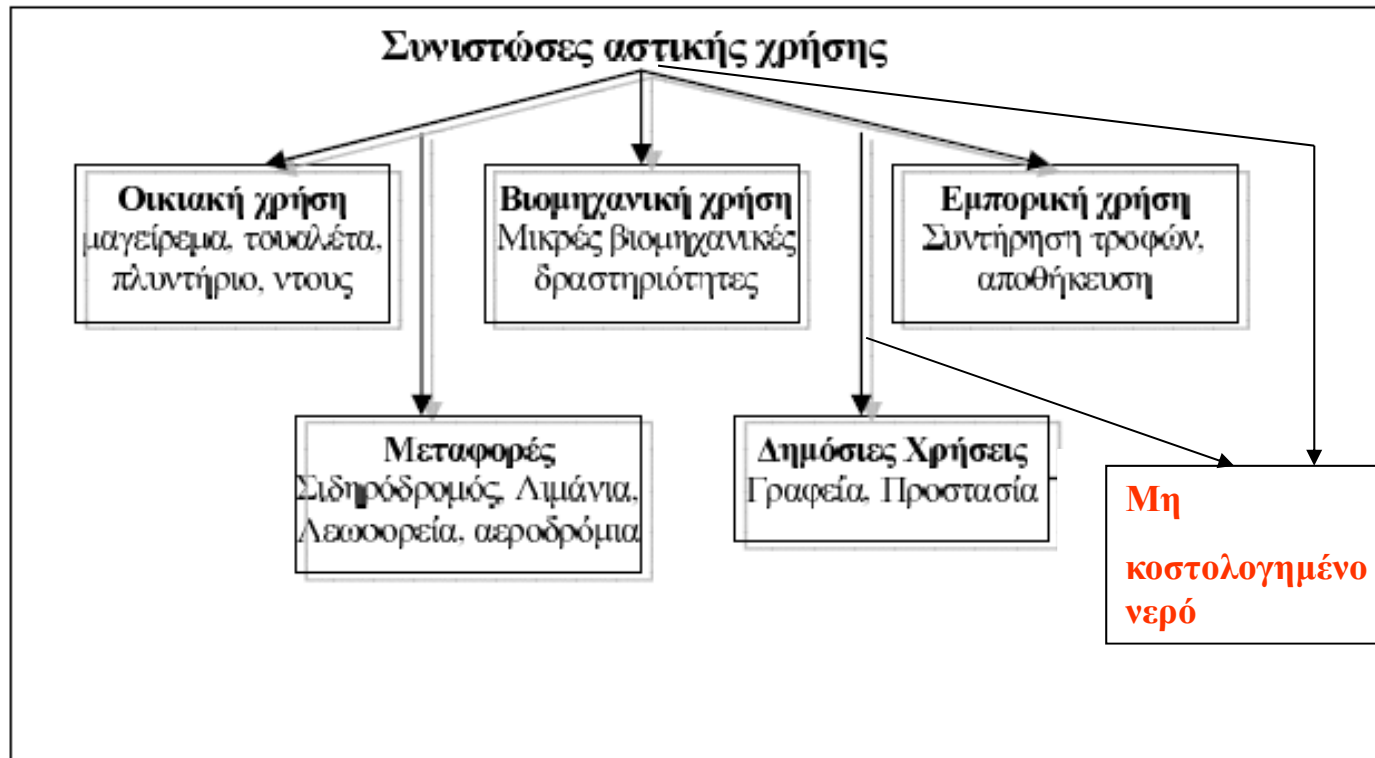
# ΖΗΤΗΣΗ ΝΕΡΟΥ

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

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

# Αστική χρήση νερού

Η μέση ειδική ημερήσια κατανάλωση ανά κάτοικο ανά ημέρα και οι συνακόλουθοι πολλαπλασιαστές συμπεριλαμβάνουν όλες τις παραπάνω χρήσεις





### Μη κοστολογημένο νερό:

- απώλειες από τα δίκτυα
- απώλειες δεξαμενών
- εξάτμιση
- διαρροές λόγω βλαβών (στην Αθήνα εκτιμώνται σε 35%-40%)
- καταναλώσεις μη μετρούμενων καταναλωτών (νοσοκομεία, σχολεία)
- παράνομες συνδέσεις με το δίκτυο
- χαλασμένοι μετρητές
- ζήτηση για κατάσβεση πυρκαγιών

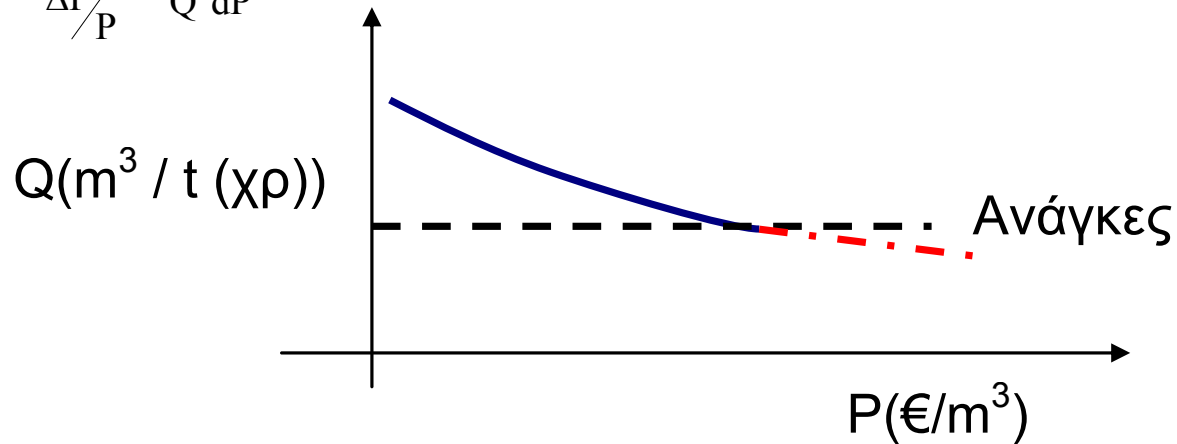
Παράδειγμα: Στη Σύμη μεταφέρονται 200.000 m<sup>3</sup> από τη Ρόδο ενώ εξοικονομούνται και άλλα 50.000 m<sup>3</sup> από πηγές του νησιού. Από τα συνολικά 250.000 m<sup>3</sup> μόνο τα 85.000 m<sup>3</sup> κοστολογούνται.

## Ελαστικότητα της ζήτησης

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

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

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

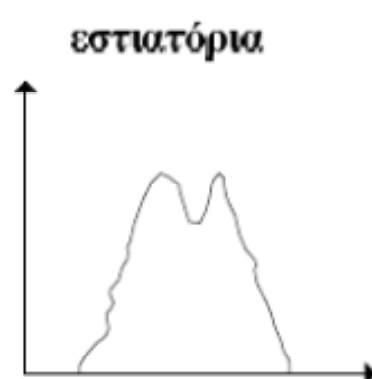
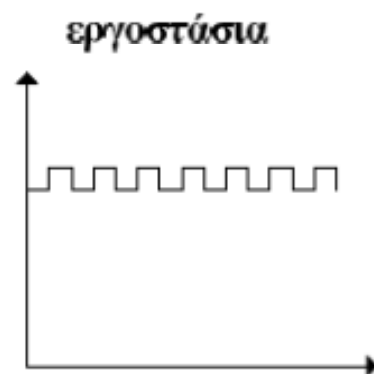
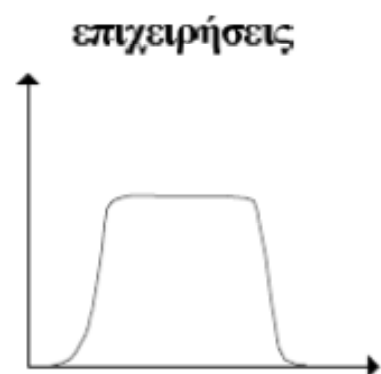


Προφανώς η καμπύλη ζήτησης δεν πρέπει να είναι κάτω από την καμπύλη των αναγκών για κοινωνικούς λόγους.

# Ελαστικότητα της αστικής ζήτησης νερού, παράδειγμα εφαρμογής

- Το πλέον πετυχημένο παράδειγμα διαχείρισης της ζήτησης σε μεγάλη κλίμακα στη χώρα μας προκύπτει από τη διαχείριση της επταετούς ξηρασίας που έπληξε το υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας στο τέλος της δεκαετίας του 1980 και το πρώτο μισό της επόμενης (Xenos et al., 2002). Με μια σειρά μέτρων, η μείωση της κατανάλωσης **έφτασε στο 1/3 της συνολικής**. Τα μέτρα αυτά ήταν οικονομικά (μεγάλη αύξηση των τιμών και κλιμάκωση του τιμολογίου με πολύ μεγάλες τιμές μονάδας στις μεγάλες καταναλώσεις), επικοινωνιακά (συνεχής και ειλικρινής ενημέρωση και ευαισθητοποίηση του πληθυσμού), νομοθετικά και διοικητικά (απαγόρευση ποτίσματος γκαζόν και επιβολή προστίμων για τις παραβάσεις), καθώς και τεχνολογικά (μείωση των διαρροών, χρησιμοποίηση νερού δεύτερης ποιότητας από γεωτρήσεις ή ανακύκλωση για πότισμα δημοτικών πάρκων) (Κουτσογιάννης, 2014).

Διακύμανση της ζήτησης/ ημέρα (παράδειγματα)



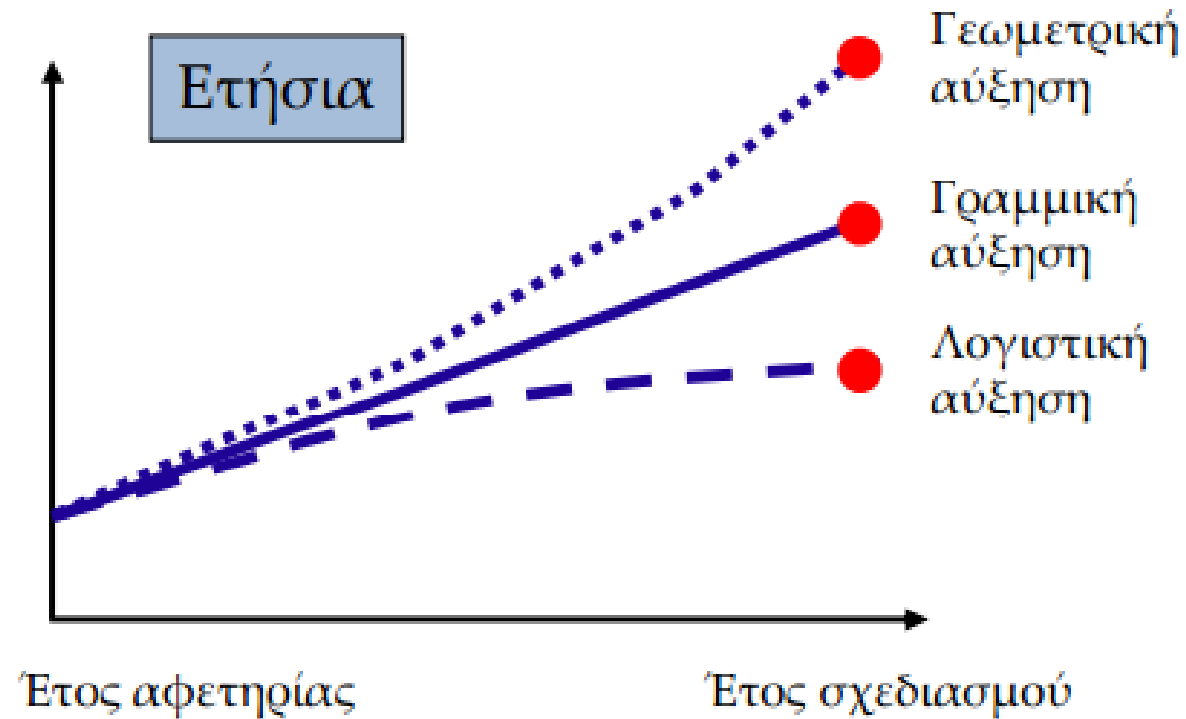
# Εκτίμηση αστικής ζήτησης νερού (1)

- Με βάση την πρόβλεψη του πληθυσμού και την κατανάλωση ανά άτομο
- Με βάση ένα μοντέλο πολλών μεταβλητών. Ζητούμενο η αστική ζήτηση νερού. Ανεξάρτητες μεταβλητές: π.χ. πληθυσμός (+), θερμοκρασία (+), τιμή (-), κ.ά και σενάρια για τις μελλοντικές τιμές των παραπάνω μεγεθών
- Αβεβαιότητα...

## Εκτίμηση αστικής ζήτησης νερού (2)

- Ζήτηση νερού, οικονομικό μέγεθος δεν ταυτίζεται κατ'ανάγκη με τις ανάγκες νερού
- Εξαρτάται από την τιμή του νερού και όχι μόνο
- Πρόβλεψη πληθυσμού, σενάρια
- Εξαγωγή συναρτησιακής σχέσης μεταξύ αστικής ζήτησης νερού (εξαρτημένη μεταβλητή) και άλλων μεταβλητών (π.χ. τιμή, πληθυσμός, υδρολογικά χαρακτηριστικά, οικονομικά χαρακτηριστικά κ.ά)
- Συνήθως: Μοντέλα γραμμικής παλινδρόμησης
- Προσδιορισμός της ζήτησης νερού με βάση το μοντέλο παλινδρόμησης και την πρόβλεψη του πληθυσμού
- Έμφυτη αβεβαιότητα στη διαδικασία.

# Σενάρια αύξησης πληθυσμού (Κουτσογιάννης και Ευστρατιάδης, 2014)



# Πρόβλεψη αστικής ζήτησης νερού

- *Μοντέλο της πολλαπλής παλινδρόμησης προκειμένου να προσδιορισθεί η ζήτηση νερού. Ακολουθούνται τα παρακάτω βήματα:*
  - *Ανάπτυξη σεναρίου (ή σενάρια) πρόβλεψης μελλοντικού πληθυσμού.*
  - *Ανάπτυξη μοντέλου πολλαπλής παλινδρόμησης για το συνολικό προσδιορισμό της ζήτησης νερού (Τσακίρης, 2005), έλεγχος συσχέτισης και στατιστικής υπόθεσης (Ναλμπάντης, 2007). Στο μοντέλο ο πληθυσμός είναι μία μεταβλητή όχι η μοναδική.*
  - *Για διάφορα σενάρια κλιματικών, κοινωνικο-οικονομικών εξελίξεων (π.χ. πληθυσμός, μέσο ετήσιο εισόδημα) αλλά και στρατηγικών διαχείρισης νερού (π.χ. τιμολόγηση νερού) προσδιορίζεται η ζήτηση νερού.*



- Modelling of demand

$$Q = f(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n) + u$$

Linear:  $Q = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 + \dots + a_nX_n + u$

Logarithmic:  $\ln Q = b_0 + b_1 \ln X_1 + b_2 \ln X_2 + b_3 \ln X_3 + \dots + b_n \ln X_n + u$

Semi-logarithmic:  $Q = c_0 + c_1 \ln X_1 + c_2 \ln X_2 + c_3 \ln X_3 + \dots + c_n \ln X_n + u$

Μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης  
(βελτιστοποίηση χωρίς περιορισμούς)

$$\begin{aligned}\text{Minimize } D &= \sum_{i=1}^n \epsilon_i^2 \\ \hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1, \dots, \hat{\beta}_k & \\ &= \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \\ &= \sum_{i=1}^n [y_i - (\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_{i1} + \dots + \hat{\beta}_k x_{ik})]^2\end{aligned}$$

(βελτιστοποίηση χωρίς περιορισμούς)  
Στο ακρότατο θα μηδενίζονται όλοι οι μερικοί παράγωγοι,  
μεταβλητές: οι συντελεστές παλινδρόμησης

$$\left[ \frac{\partial D}{\partial \beta_0} \right]_{\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1, \dots, \hat{\beta}_k} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{\beta}_0 - \hat{\beta}_1 x_{i1} - \dots - \hat{\beta}_k x_{ik}) = 0$$

$$\left[ \frac{\partial D}{\partial \beta_j} \right]_{\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1, \dots, \hat{\beta}_k} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{\beta}_0 - \hat{\beta}_1 x_{i1} - \dots - \hat{\beta}_k x_{ik}) x_{ij} = 0,$$

Επομένως καταλήγω στο παρακάτω σύστημα

$$\begin{array}{r}
 n\hat{\beta}_0 + \sum_{i=1}^n x_{i1}\hat{\beta}_1 + \sum_{i=1}^n x_{i2}\hat{\beta}_2 + \dots + \sum_{i=1}^n x_{ik}\hat{\beta}_k = \sum_{i=1}^n y_i \\
 \sum_{i=1}^n x_{i1}\hat{\beta}_0 + \sum_{i=1}^n x_{i1}^2\hat{\beta}_1 + \sum_{i=1}^n x_{i1}x_{i2}\hat{\beta}_2 + \dots + \sum_{i=1}^n x_{i1}x_{ik}\hat{\beta}_k = \sum_{i=1}^n y_i x_{i1} \\
 \vdots \\
 \sum_{i=1}^n x_{ik}\hat{\beta}_0 + \sum_{i=1}^n x_{ik}x_{i1}\hat{\beta}_1 + \sum_{i=1}^n x_{ik}x_{i2}\hat{\beta}_2 + \dots + \sum_{i=1}^n x_{ik}^2\hat{\beta}_k = \sum_{i=1}^n y_i x_{ik}
 \end{array}$$

Σε μητρωϊκή μορφή ορίζονται

$$y = X\beta + \epsilon$$

$$y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} \quad X = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1k} \\ 1 & x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2k} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nk} \end{bmatrix}$$

$$\beta = \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_k \end{bmatrix} \quad \epsilon = \begin{bmatrix} \epsilon_1 \\ \epsilon_2 \\ \vdots \\ \epsilon_n \end{bmatrix}$$

Επομένως καταλήγω στο παρακάτω σύστημα (Mays and Tung, 1992)

$i, j, \dots, k$  και  $j = 1, 2, \dots, k$ .

In matrix form, the normal equations (6.3.12) can be expressed as

$$(\mathbf{X}^T \mathbf{X}) \hat{\boldsymbol{\beta}} = \mathbf{X}^T \mathbf{y} \quad (6.3.13)$$

in which  $T$  indicates the transpose of a matrix or a vector. Equation (6.3.13) can be solved for  $\hat{\boldsymbol{\beta}}$  to obtain the following mathematical expression of the ordinary least square regression coefficients,

$$\hat{\boldsymbol{\beta}} = (\mathbf{X}^T \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{y} \quad (6.3.14)$$

in which  $\hat{\boldsymbol{\beta}} = (\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1, \dots, \hat{\beta}_k)^T$ . The  $(\mathbf{X}^T \mathbf{X})^{-1}$  is a square symmetric  $(k + 1) \times (k + 1)$  matrix whose inverse always exists if the independent variables are linearly independent; that is, no column of the  $\mathbf{X}$  matrix is a linear combination of the other columns.

# Αρδευτικές Ανάγκες σε νερό

- Με βάση τη (δυναμική) εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας (δλδ θεωρώντας απεριόριστη διαθεσιμότητα νερού),  $ET_c$  (mm/ημέρα)
- Εξατμισοδιαπνοή (δυναμική) καλλιέργειας αναφοράς: η δυναμική εξατμισοδιαπνοή (με επάρκεια νερού), ομοιόμορφο γρασίδι ύψους 8 έως 15 cm,  $ET_0$  (mm/ημέρα)
- $ET_c = K_c ET_0$
- $K_c$  φυτικός συντελεστής (πίνακες) ανά μήνα και για κάθε καλλιέργεια
- Βασικός παράγοντας: θερμοκρασία (και όχι μόνο)
- Υδατικό ισοζύγιο: Αφαιρείτε η ενεργός βροχόπτωση, για τη χώρα μας έχει μικρές τιμές στην αρδευτική περίοδο (η ενεργός βροχόπτωση effective rainfall- δηλαδή η ποσότητα βροχής που κατεισδύει και δε γίνεται επιφανειακή απορροή)
- Λαμβάνεται υπόψη η απόδοση των δικτύων

## «Ελαστικότητα της ζήτησης», συνθήκες ξηρασίας

- Μπορούν να αφήνονται ακαλλιέργητες γεωργικές εκτάσεις με μονοετείς καλλιέργειες (συνδυασμός με αγρανάπαυση) ή να καλλιεργούνται με ξηρικές καλλιέργειες, ενώ το διαθέσιμο νερό πρέπει να διατίθεται στις πολυετείς καλλιέργειες για την αποφυγή ζημιών μεγάλης κλίμακας. Είναι αυτονόητο ότι αυτού του τύπου οι διευθετήσεις πρέπει να συνδυάζονται με κατάλληλο σύστημα γεωργικών ασφαλίσεων και αποζημιώσεων (Κουτσογιάννης, 2014)



# Διαχείριση της Αρδευτικής ζήτησης

- Η αρδευτική ζήτηση εξαρτάται κύρια από την θερμοκρασία
- Επιλογή καλλιεργειών
- Εκσυγχρονισμός δικτύων και πρακτικών στις αρδεύσεις (π.χ. αυτοματισμοί)
- Τιμολόγηση νερού
- Συνθήκες ξηρασίας
- Χρήση μη συμβατικών υδατικών πόρων

# Παραγωγικότητα νερού

- Όφελος (ή φυσικές μονάδες) (ετήσιο) ανά  $m^3$  νερού (ετήσιο) NB/W, ( $\text{€}/ m^3$ ).
- Εξαρτάται:
  - είδος καλλιέργειας
  - συνθήκες εδάφους και κλίματος στην περιοχή
  - διαθεσιμότητα νερού
  - πρακτική αρδεύσεων
  - οικονομικές πρακτικές
- Διακύμανση παραγωγικότητας νερού ανά περιοχή, αντικειμενικές και υποκειμενικές συνθήκες

## Παραγωγικότητα του Νερού

- μεγαλύτερη παραγωγή με λιγότερο νερό ( More crop per drop)-

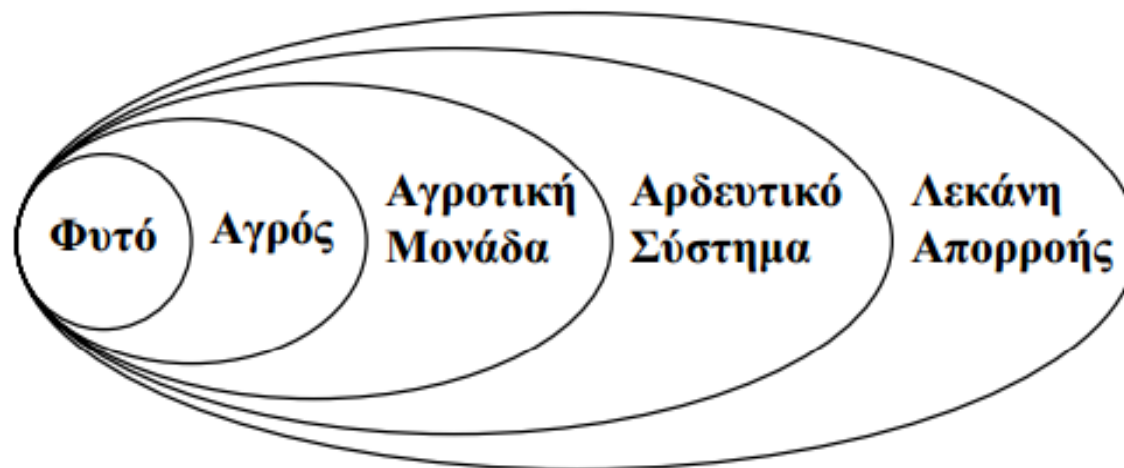
$$WP = \frac{\text{όφελος}}{\text{νερό}}$$

όφελος: σε φυσικούς ή οικονομικούς όρους

νερό: σε μονάδες όγκου νερού

Η κλίμακα επηρεάζει τον τρόπο υπολογισμού

- **Κλίμακες για τον υπολογισμό της παραγωγικότητας του νερού**



Τσακίρης, 2014

Τι πρέπει να γίνει στα αρδευτικά δίκτυα;

- μείωση απωλειών στα δίκτυα
- βελτίωση μεθόδων άρδευσης
- καλύτερα αποτελέσματα με επιστημονική υποστήριξη

Μείωση καταναλώσεων  
Αύξηση παραγωγικότητας

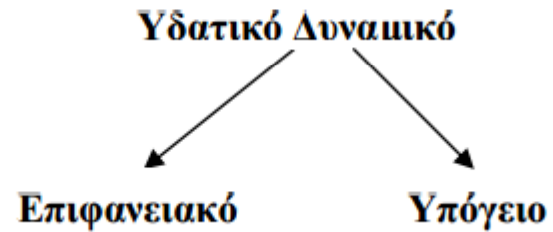
# Έπιες εναλλακτικές από περιβαλλοντική σκοπιά

**Μέτρα εξοικονόμησης νερού χωρίς άμεσο  
κοινωνικό και περιβαλλοντικό κόστος**

- Εκσυγχρονισμός δικτύων ύδρευσης-άρδευσης
- Επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων

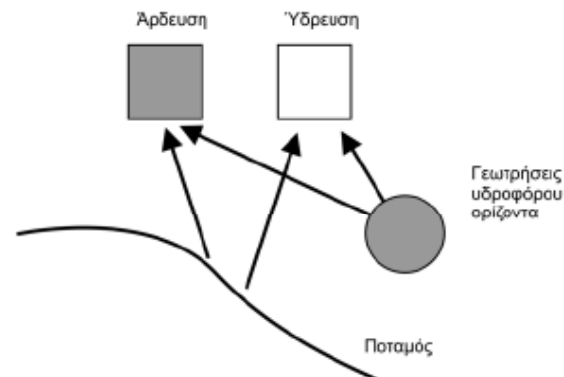
**Τιμολόγηση νερού**

## ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟ ΥΔΑΤΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ



Η σωστή εκτίμηση του υδατικού δυναμικού αποτελεί πολύ σημαντικό στοιχείο για μια επιτυχημένη διαχείριση. Πολλοί ακόμα νομίζουν ότι “διαχείριση” σημαίνει εκτίμηση του υδατικού δυναμικού.

Επίσης,  
Συνδυασμένη χρήση επιφανειακών και υπογείων νερών ιδιαίτερα σε συνθήκες λειψυδρίας



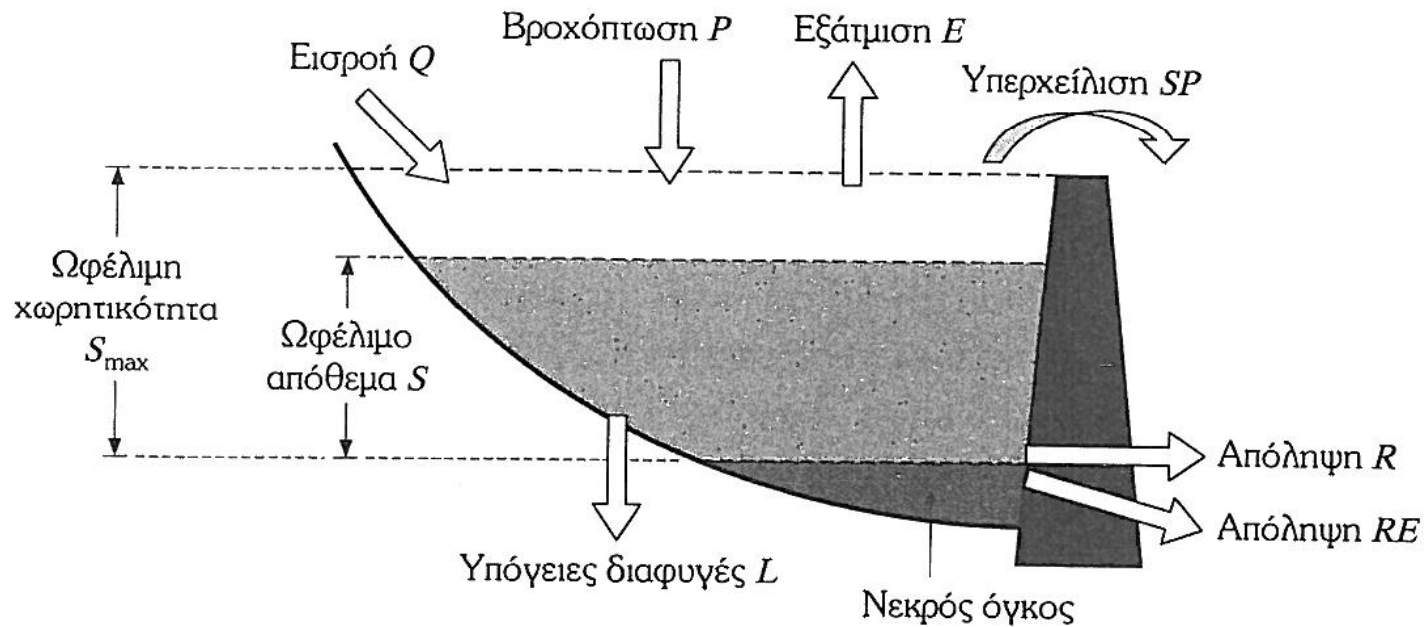
# Εκμεταλλεύσιμο Επιφανειακό Δυναμικό

- Θεωρητικό υδατικό δυναμικό λεκάνης απορροής: Με βάση την απορροή του κύριου υδατορεύματος στο στόμιο εξόδου της
- Εκμεταλλεύσιμο υδατικό δυναμικό: Το τμήμα του θεωρητικού επιφανειακού δυναμικού που είναι απολήψιμο
- Εκμεταλλεύσιμο υδατικό δυναμικό, προσμέτρηση της αξιοπιστίας, όχι κατά μέσο όρο

# Εκμεταλλεύσιμο Επιφανειακό Δυναμικό, με ταμίευση

- Προσομοίωση ταμιευτήρα
- Μετρημένες απορροές
- Σενάρια ζήτησης
- Πολλαπλού σκοπού ταμιευτήρας: Κανόνες λειτουργίας:
  - Πρώτα η ικανοποίηση της οικολογικής παροχής
  - Κατόπιν ικανοποίηση της ανάγκης σε ύδρευση
  - Κατόπιν οι απαιτήσεις της βιομηχανίας
  - Αρδευτικές ανάγκες

Ιδιαίτερη σημασία απέκτησε κατά τα τελευταία χρόνια η απαίτηση για διατήρηση του υδάτινου περιβάλλοντος του θέρωμένου υδατορεύματος. Η απαίτηση αυτή εκφράζεται συνήθως υπό τη μορφή της λεγόμενης «οικολογικής παροχής» που είναι η ελάχιστη απαιτούμενη ποσότητα νερού που εξασφαλίζει τη διατήρηση του οικοσυστήματος (αβιοτικού και βιοτικού) κατάντη του ταμιευτήρα σε καλή κατάσταση.\* Στο ίδιο πλαίσιο εγγράφεται και η σύγχρονη τάση για όσο το δυνατό ηπιότερη εκμετάλλευση των υδατικών πόρων και όσο το δυνατό μικρότερη διαταραχή της φυσικής διαίτας του νερού (π.χ., κατασκευή φραγμάτων μικρής χωρητικότητας).



**Σχ. 2.4:** Ταμιευτήρας και μεγέθη που υπεισέρχονται στην εκτίμηση του ΕΕΥΔ.



γ<sub>υπ</sub>.

### Εισροές

- Συνολική απορροή υδατορευμάτων που εισρέουν στον ταμιευτήρα  $Q_t$  σε όρους όγκου νερού στο διάστημα  $[t, t + \Delta t]$
- Βροχόπτωση πάνω στην επιφάνεια του νερού του ταμιευτήρα  $P_t$ , σε όρους ύψους νερού στο διάστημα  $[t, t + \Delta t]$ .

### Εκροές

- Εξάτμιση από την επιφάνεια του ταμιευτήρα  $E_t$ , σε όρους ύψους νερού στο διάστημα  $[t, t + \Delta t]$
- Υπόγεια διαφυγή  $L_t$ , σε όρους όγκου νερού στο διάστημα  $[t, t + \Delta t]$
- Παροχή διέλευσης  $RE_t$  για διατήρηση του κατόντη οικοσυστήματος σε όρους όγκου νερού στο διάστημα  $[t, t + \Delta t]$
- Απόληψη  $R_t$  για καταναλωτική χρήση σε όρους όγκου νερού στο διάστημα  $[t, t + \Delta t]$
- Υπερχειλίση  $SP_t$  σε όρους όγκου στο διάστημα  $[t, t + \Delta t]$ .

Ωφέλιμο απόθεμα νερού: 0.0 στην κατώτατη και  $S_{\max}$  στην ανώτατη στάθμη λειτουργίας (Ανώτατη κανονική στάθμη = Στάθμη στέψης του υπερχειλιστή)

- Στην αρχή του χρονικού διαστήματος  $[t, t + \Delta t]$ ,  $S_t$
- Στο τέλος του χρονικού διαστήματος  $[t, t + \Delta t]$ ,  $S_{t + \Delta t}$

Αγνοώντας τις υπόγειες διαφυγές η εξίσωση συνέχειας γράφεται

$$S_{t + \Delta t} = S_t + Q_t + \gamma P_t A_t - \gamma E_t A_t - R_t - RE_t - SP_t \quad (2.11)$$

όπου  $\gamma$  συντελεστής μετατροπής μονάδων και  $A_t$  είναι το εμβαδόν της επιφάνειας (καθρέφτη) του ταμιευτήρα στο χρόνο  $t$ . Στην εξίσωση αυτή υπάρχουν τέσσερα άγνωστα μεγέθη:  $S_{t + \Delta t}$ ,  $R_t$ ,  $RE_t$  και  $SP_t$ . Συνεπώς, απαιτούνται τρεις ακόμη εξισώσεις και, γι' αυτό, γίνονται παραδοχές. Πρώτα θεωρείται ότι εισέρχεται το υψόμετρο της απορροής και της βροχόπτωσης

(Ναλμπάντη και  
Τσακίρη, 2008)

# Προσωρινά διαθέσιμο νερό

- $SA_{i,j} = S_{i,j} + Q_{i,j} + \gamma_{i,j} A_{i,j} (P_{i,j} - E_{i,j})$

Κλιμακωτοί κανόνες:

- $QE_{i,j} = \min(SA_{i,j}, qe_j)$ , κάλυψη οικολογικής παροχής
- $QU_{i,j} = \min(SA_{i,j} - QE_{i,j}, qu_j)$ , κάλυψη ύδρευσης
- $QI_{i,j} = \min(SA_{i,j} - QE_{i,j} - QU_{i,j}, qi_j)$ , κάλυψη άρδευσης

# Υπερχείλιση και όγκος νερού στον ταμιευτήρα

- $R_{i,j} = \max(SA_{i,j} - QE_{i,j} - QU_{i,j} - QI_{i,j} - K_{MAX}, 0)$ ,  
ΥΠΕΡΧΕΙΛΙΣΗ, (ΚΑΙ ΑΥΤΗ ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΗ ΠΑΡΟΧΗ Η ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΑΤΑΝΤΗ)

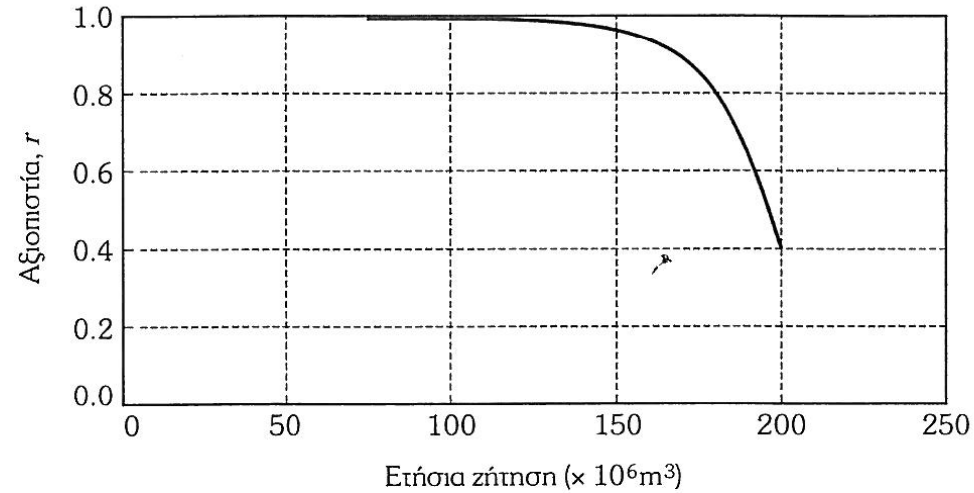
- $S_{i,j+1} = SA_{i,j} - QE_{i,j} - QU_{i,j} - QI_{i,j} - R_{i,j}$   
όγκος νερού στον ταμιευτήρα

# Εκμεταλλεύσιμο Επιφανειακό Δυναμικό, με ταμίευση

- Προσομοίωση ταμιευτήρα
- Μετρημένες απορροές
- Για δεδομένη ζήτηση και χωρητικότητα ταμιευτήρα  $K_{max}$
- Απλά: Τα έτη που καλύπτεται η ζήτηση προς τα συνολικά έτη προσομοίωσης αποτελούν προσομοίωση της αξιοπιστίας
- Τρέχω διάφορα σενάρια ζητήσεων. Η ζήτηση είναι αυτή που αντιστοιχεί σε αποδεκτή αξιοπιστία.
- Π.χ. Ενδεικτικά: ύδρευση 95-99% . Άρδευση: 80%

Για την εκτίμηση της αξιοπιστίας, προσομοιώνεται η λειτουργία του ταμιευτήρα (με βάση τις εξισώσεις 2.12, 2.13, 2.14, 2.15 και 2.16) για μια σειρά  $N$  υδρολογικών ετών και εντοπίζεται το πλήθος των ετών  $N'$  με πλήρη κάλυψη της ζήτησης. Η εκτίμηση της αξιοπιστίας  $\hat{r}$  είναι:\*

$$\hat{r} = \frac{N'}{N} \quad (2.20)$$



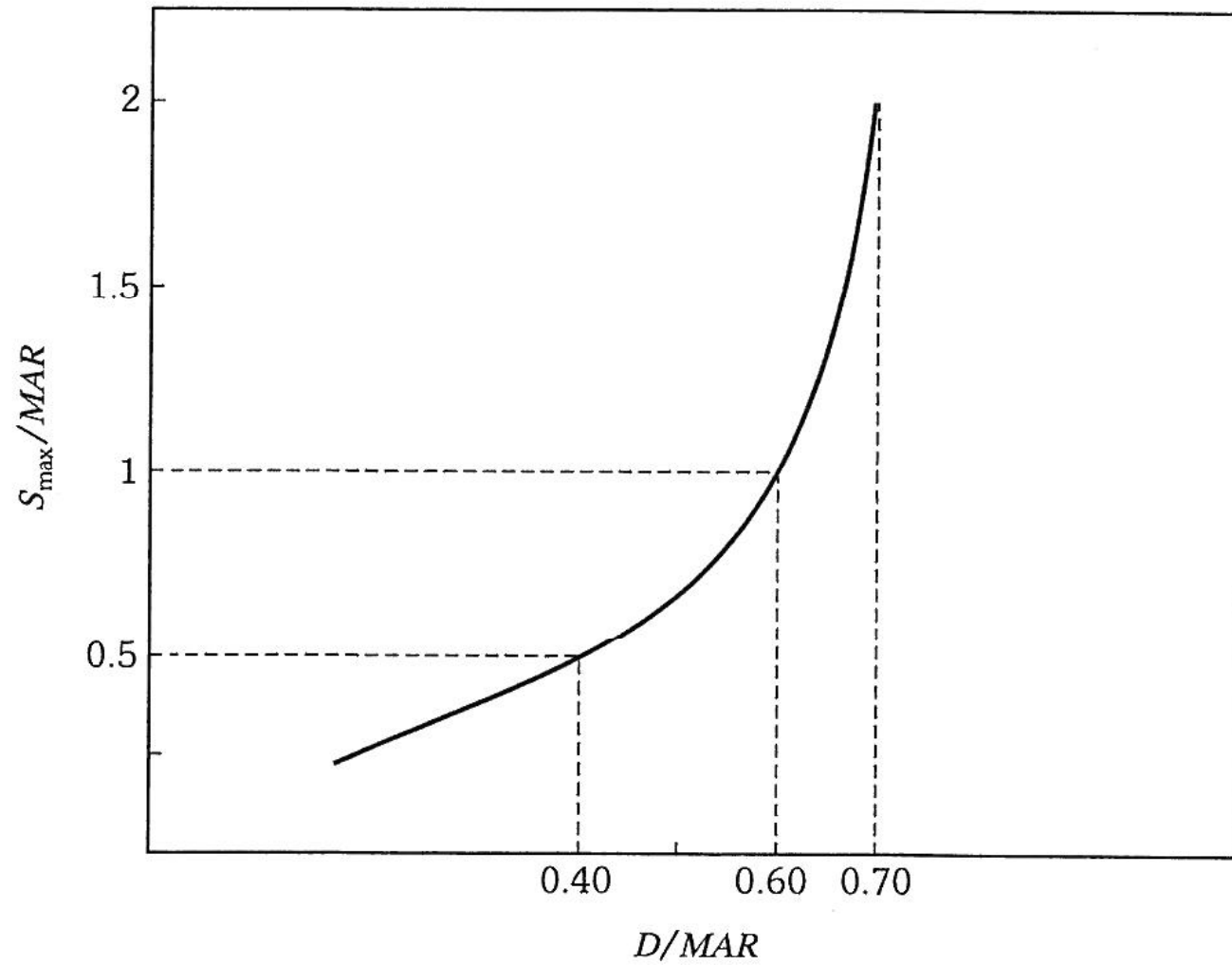
**Σχ. 2.5:** Παράδειγμα της σχέσης αξιοπιστίας - ζήτησης νερού σε μεμονωμένο ταμιευτήρα.

Σε κάθε τιμή ζήτησης νερού  $D$ , αντιστοιχεί μια τιμή της αξιοπιστίας  $r$ . Η σχέση  $r = r(D)$  είναι φθίνουσα όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.5. Η σχέση αυτή δίνει το εκμεταλλεύσιμο επιφανειακό υδατικό δυναμικό (ΕΕΥΔ) της λεκάνης. Συνήθως, όμως, το ΕΕΥΔ δεν δίνεται από την πλήρη σχέση  $r = r(D)$  αλλά μόνο ως μια μεμονωμένη τιμή  $D^*$  για μια συγκεκριμένη τιμή της αξιοπιστίας  $r^*$  (π.χ.,  $r^* = 0.95$ ). Συνεπώς, για δεδομένη επιθυμητή αξιοπιστία  $r^*$  είναι απαραίτητο να επιλυθεί η εξίσωση

$$r(D) - r^* = 0 \quad (2.21)$$

Αξίζει να σημειωθεί ότι για την όσο γίνεται μεγαλύτερη απόληψη (και επομένως το μέγιστο εκμεταλλεύσιμο υδατικό δυναμικό) απαιτείται όσο γίνεται μεγαλύτερη χωρητικότητα του ταμιευτήρα. Όμως από μια χωρητικότητα και πάνω η απόληψη με συγκεκριμένη πιθανότητα αστοχίας δεν αυξάνει παρά την αύξηση της χωρητικότητας. Η οριακή αυτή τιμή της απόληψης  $D$  αποτελεί το μέγιστο εκμεταλλεύσιμο δυναμικό για συγκεκριμένη πιθανότητα αστοχίας που αναφέρθηκε γενικά πιο πάνω. Στο Σχήμα 2.6 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα λεκάνης με ταμιευτήρα στην έξοδό της και η σχέση των αδιάστατων ποσοτήτων  $S_{\max}/MAR$  και  $D/MAR$  που αντιπροσωπεύουν τη χωρητικότητα του ταμιευτήρα / μέσου ετήσιου ύψους απορροής με την απόληψη από τον ταμιευτήρα / μέσου ετήσιου ύψους απορροής. Όπως φαίνεται από το παράδειγμα του σχήματος αλλά και πολλές εφαρμογές στον Ελλαδικό χώρο η μέγιστη απολήψιμη ποσότητα (δηλαδή το μέγιστο εκμεταλλεύσιμο δυναμικό) είναι τάξης μεγέθους 50-70% της

Ναλμπάντης και Τσακιρης, 2008, όπου  $S_{\max}$  είναι το  $K_{\max}$



**Σχ. 2.6:** Τυπική σχέση της «αδιάστατης» απόληψης  $D$  με την «αδιάστατη» χωρητικότητα  $S_{\max}$  του ταμιευτήρα.

# Αν κατασκευάσουμε ταμιευτήρα με χωρητικότητα ίση με τη μέση ετήσια απορροή μιας θέσης, θα έχουμε την ποσότητα αυτή ως μέση ετήσια απόληψη?

- Όχι. Θα πρέπει να γίνει προσομοίωση και να θεωρηθεί η αξιοπιστία της εξεταζόμενης ζήτησης.
- Συνήθως, για τα Ελληνικά δεδομένα, η μέγιστη απολήψιμη ποσότητα (D) είναι 50-70 % της μέσης ετήσιας απορροής (MAR)
- π.χ. για διπλάσιο όγκο ταμιευτήρα (KMAX) από τη μέση απορροή (MAR) μπορεί να προκύψει (όχι πάντα, δασκαλίστικη σημείωση) 70% απόληψη (D) της μέσης απορροής (MAR) (Ναμπάντης και Τσακίρης, 2008)
- Η κατασκευή ενός ταμιευτήρα που δεν θα αφήνει σταγόνα να υπερχειλίσει είναι οικονομικά και τεχνικά άτοπη και περιβαλλοντικά μη αποδεκτή