

Διαχείριση Υδατικών Πόρων

Επαναληπτικό μάθημα (1)

Δρ Μ.Σπηλιώτης

Λέκτορας ΔΠΘ

Βασικοί ορισμοί

Λειψυδρία

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

Λειψυδρία: μόνιμη ή περιστασιακή περίπτωση όπου η ζήτηση υπερβαίνει τους αξιοποιήσιμους υδατικούς πόρους. Αίτια:

- Ανθρωπογενή (αύξηση του πληθυσμού, η έλλειψη υποδομών κ.ά)
- Φυσικά
- Συνδυασμός

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

Υδατικός πόρος.

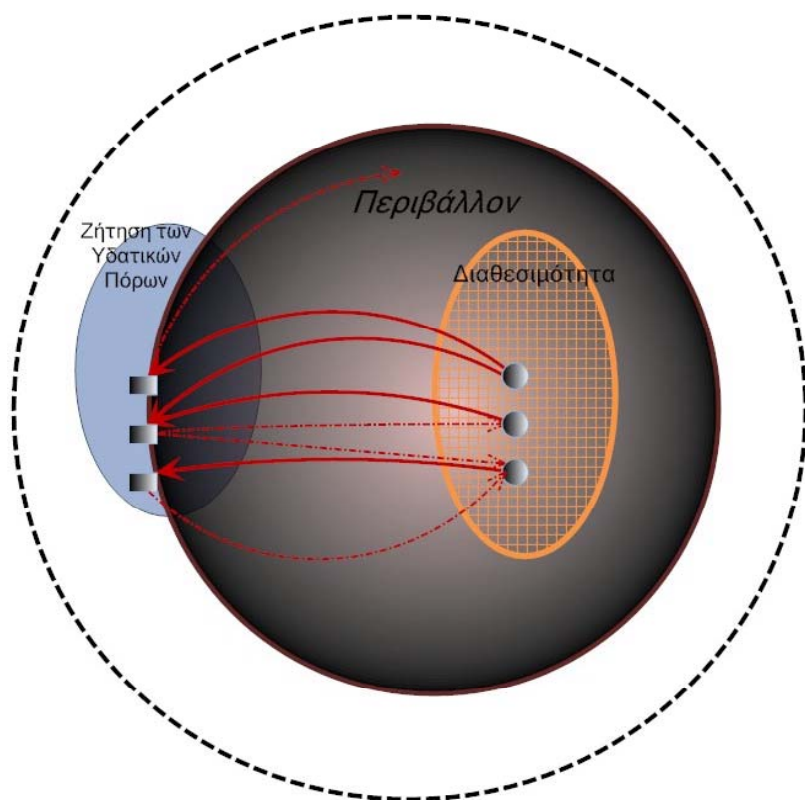
- *Αν και είναι δύσκολο να δοθεί ακριβής ορισμός στον όρο «υδατικός πόρος» γενικά θεωρείται η οποιαδήποτε θέση κυκλοφορίας του νερού στη φύση, όπου συναντάται σε τέτοια μορφή, ώστε να είναι δυνατή η χρησιμοποίησή του από τεχνική και οικονομική άποψη, χωρίς να δημιουργεί προβλήματα στο περιβάλλον (Τσακίρης,2007).*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

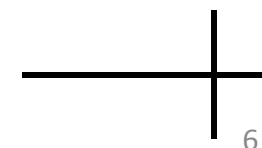


Κάθε έργο δημιουργεί στο περιβάλλον ένα σύνολο αντιδράσεων στο υδατικό σύστημα, στο περιβάλλον γενικότερα \Rightarrow Συστημική προσέγγιση

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



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

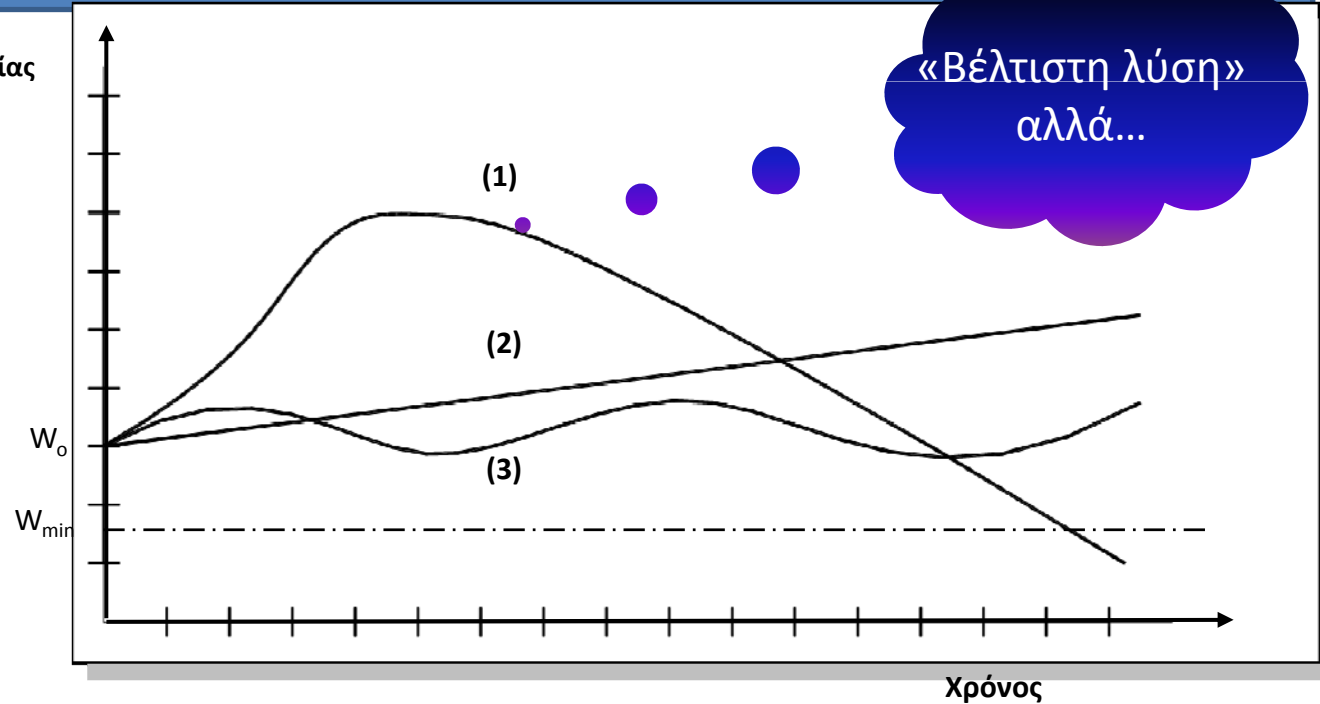


Διατηρησιμότητα της Ανάπτυξης

Τιμές του δείκτη ευημερίας άνω του W_0 , ανάπτυξη διατηρήσιμη

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

Δείκτης Ευημερίας



Ανάπτυξη που χαρακτηρίζεται:

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

Στόχοι ΔΥΠ

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

Κλίμακες διαχείρισης υ.π.

- (2000/60/ΕΚ:) Διαχείριση σε επίπεδο λεκάνης απορροής
- Ελληνική πραγματικότητα: μικρές λεκάνες απορροής, οπότε ορίζουμε τη μείζονα λεκάνη απορροής, πολλές λεκάνες απορροής εξεταζόμενες ως σύνολο, με κάποιο-α κοινά χαρακτηριστικά
- Υδατικό διαμέρισμα
- Χώρα

- Πιο γενικά: όπου μπορώ να καταστρώσω ένα σύστημα
 - ένα αγωγός δε μπορεί αν αποτελεί σύστημα, το σύστημα απαιτεί μέλη που αλληλεπιδρούν

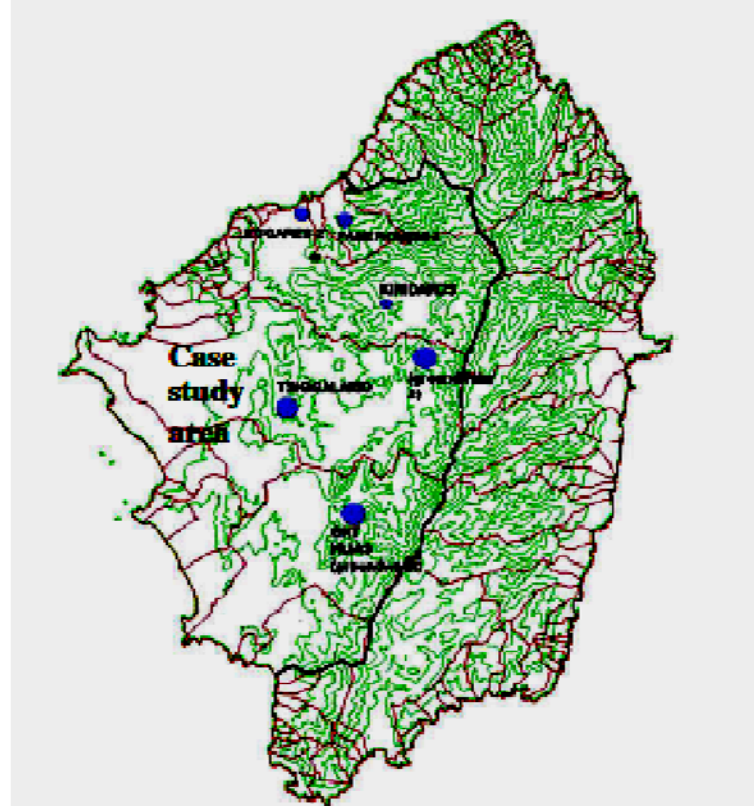
ΔΥΠ στον Ελλάδικό χώρο

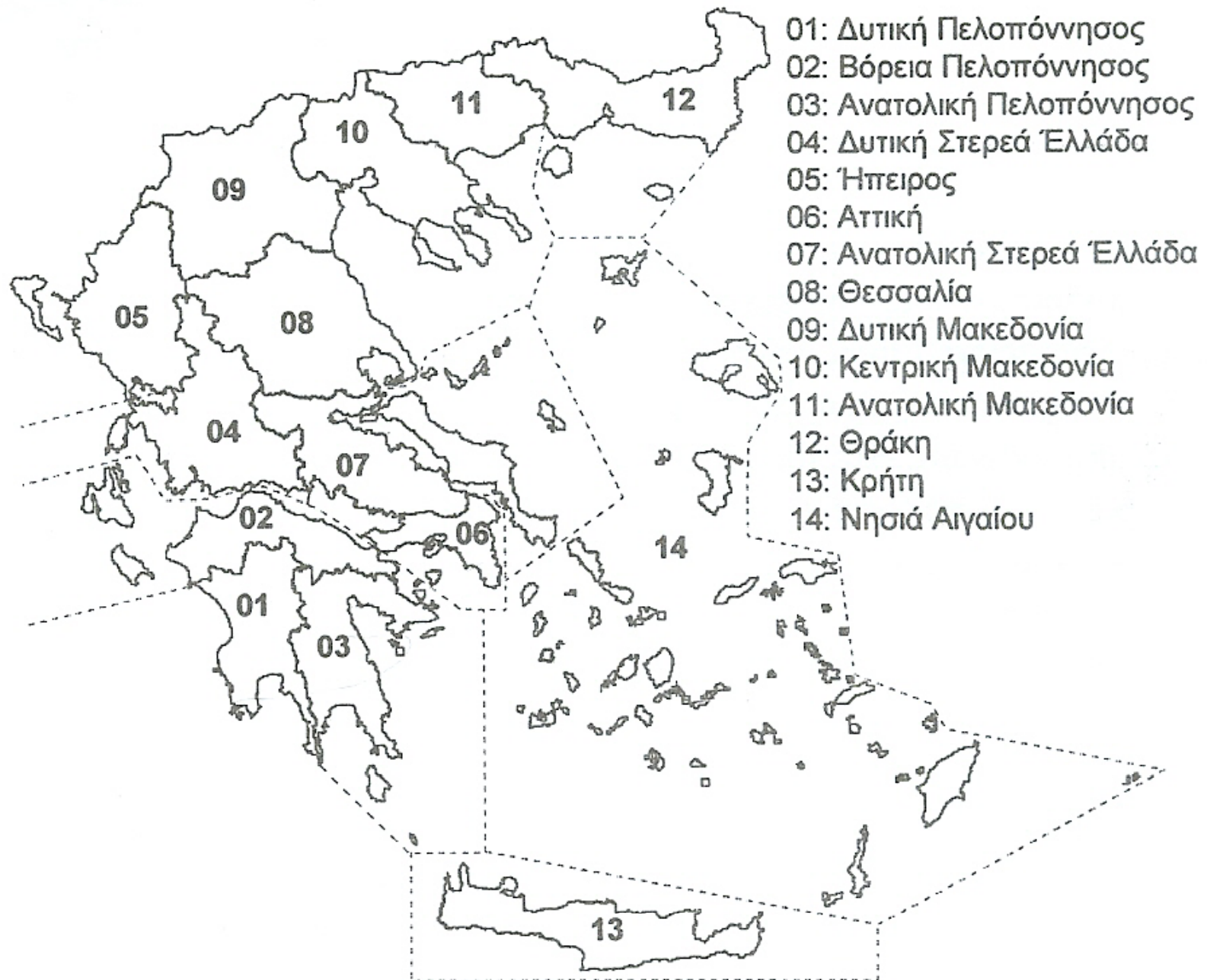
- Μικρές λεκάνες απορροής και πολλαπλό καθεστώς
- Υδατικά διαμερίσματα
- Μείζων λεκάνη απορροής
- Σχηματοποίηση υδατικού συστήματος με βάση συστημικές αρχές

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



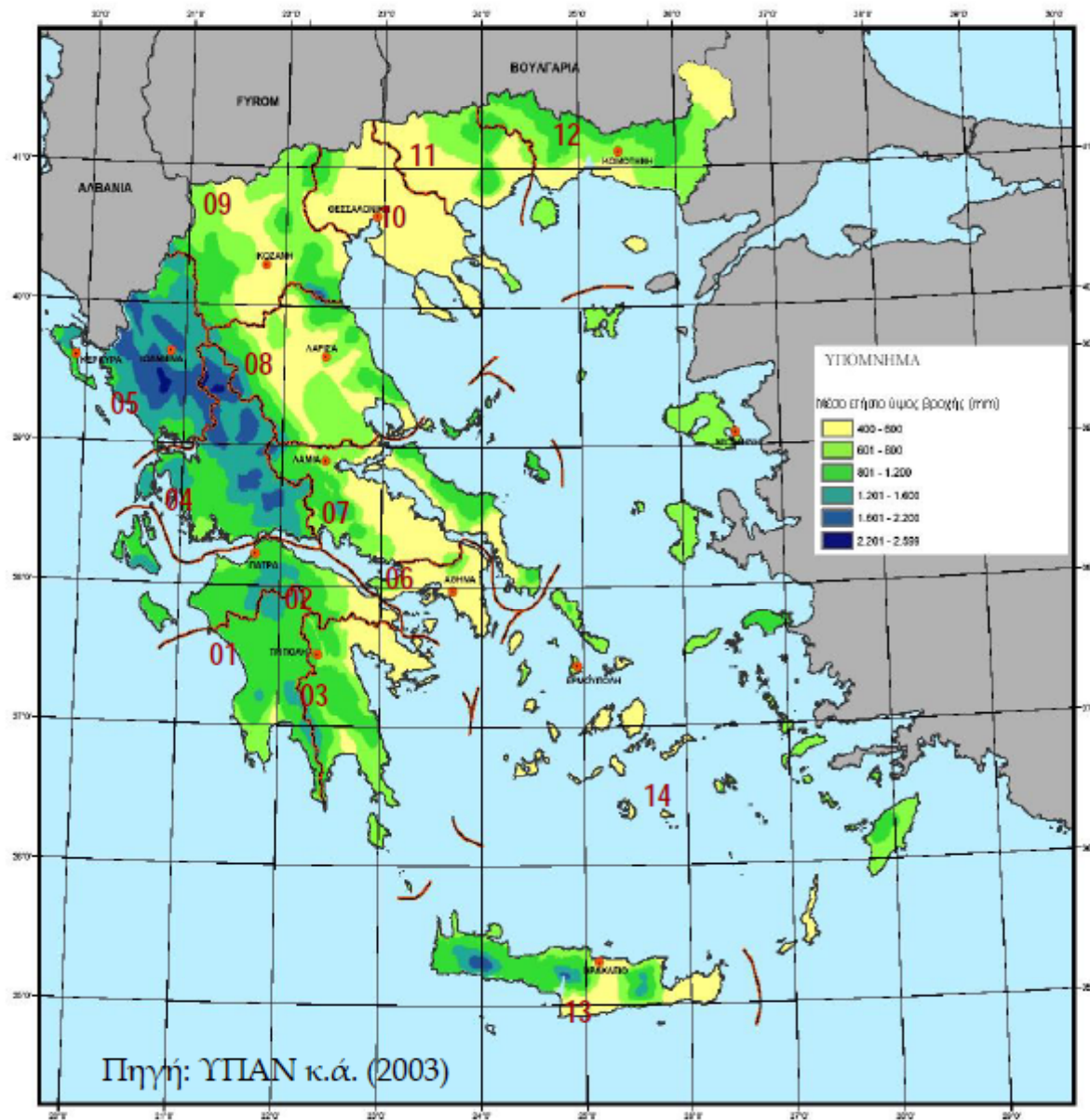


Σχ. 1.5 Διαμερισμός της Ελλάδας σε 14 υδατικά διαμερίσματα.

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)

Μοντέλο υδατικού ισοζυγίου λεκάνης απορροής

Πίνακας 6.1: Ταξινόμηση μοντέλων βροχόπτωσης – απορροής.

Κριτήριο	Κατηγορία	Περιγραφή
Χωρική μεταβλητότητα διεργασιών	Αδρομερή (lumped)	Η λεκάνη είναι μια χωρική ενότητα με ενιαία υδρολογικά μεγέθη και άλλα χαρακτηριστικά
	Κατανεμημένα (distributed)	Η λεκάνη διασπάται σε τμήματα με διαφορετικά υδρολογικά μεγέθη και άλλα χαρακτηριστικά
Είδος εξισώσεων	Μοντέλα “μαύρου κουτιού” (black box)	Σχέσεις της θεωρίας της ανάλυσης συστημάτων χωρίς θεώρηση φυσικών νόμων ούτε και εμπειρικών σχέσεων
	Εννοιολογικά μοντέλα (conceptual)	Μαθηματικές σχέσεις που έχουν καταρτιστεί με εμπειρικό τρόπο
	Μοντέλα φυσικής βάσης (physics – based)	Μαθηματικές σχέσεις που αναπαριστούν φυσικούς νόμους
Χειρισμός αβεβαιότητας	Αιτιοκρατικά (deterministic)	Τα υδρολογικά μεγέθη έχουν σταθερές τιμές χωρίς αβεβαιότητα
	Στοχαστικά (stochastic)	Ορισμένα εκ των υδρολογικών μεγεθών έχουν αβεβαιότητα
Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο	Μοντέλα υδρολογικού γεγονότος (event-based)	Λειτουργούν ανά πλημμυρικό γεγονός και αναπαράγουν μόνον τις κύριες φυσικές διεργασίες των πλημμυρών
	Μοντέλα συνεχούς χρόνου (continuous – time)	Αναπαριστούν την πλήρη χρονική εξέλιξη των υδρολογικών διεργασιών, (σε υγρές και σε ξηρές περιόδους)

Ταξινόμηση μοντέλων βροχόπτωσης απορροής Ναλμπάντης 2007

(5)

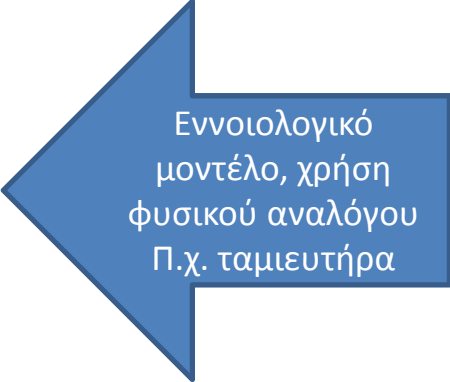
Ταξινόμηση μοντέλων βροχής-απορροής

Κριτήριο 1: Χωρική κατανομή των φυσικών διεργασιών μετασχηματισμού της βροχόπτωσης σε απορροή

- Αδρμερή (lumped): ενιαία λεκάνη απορροής
- Κατανεμημένα (distributed): η λεκάνη απορροής διασπάται σε στοιχειώδη τμήματα

Κριτήριο 2: Είδος μαθηματικών εξισώσεων και σχέσεων για την αναπαράσταση των φυσικών διεργασιών

- Μοντέλα "μαύρου κουτιού" (black box): οι φυσικές διεργασίες αναπαρίστανται από σχέσεις της γενικής θεωρίας της ανάλυσης συστημάτων χωρίς καμία δέωση των φυσικών νόμων και εμπειρικών σχέσεων της λεκάνης απορροής.
- Εννοιολογικά ή παραμετρικά μοντέλα (conceptual): οι φυσικές διεργασίες αναπαρίστανται με απλές εμπειρικές μαθηματικές σχέσεις, που περιλαμβάνουν άγνωστες παραμέτρους που εκτιμώνται με βαθμονόμηση (calibration).
- Μοντέλα φυσικής βάσης (physically-based): οι μαθηματικές σχέσεις αναπαριστούν τους φυσικούς νόμους που διέπουν το μετασχηματισμό της βροχόπτωσης σε απορροή.



Εννοιολογικό
μοντέλο, χρήση
φυσικού αναλόγου
Π.χ. ταμειυτήρα

Κριτήριο 3: Χειρισμός αβεβαιότητας των υδρολογικών μεθετών

- Αιτιοκρατικά (deterministic): τα υδρολογικά μεθετόν έχουν συγκεκριμένες τιμές (γνωστές ή όχι) χωρίς αβεβαιότητα.
- Στοχαστικά (stochastic): ορισμένα υδρολογικά μεθετόν περιέχουν αβεβαιότητα και συνήθως αναπαρίστανται ως στοχαστικές ανελίξεις (stochastic processes).

Κριτήριο 4: Λειτουργία μοντέλου σε σχέση με το χρόνο

- Μοντέλα υδρολογικού γεγονότος (event-based): για μεμονωμένα επεισόδια βροχής ή πλημμυρικά γεγονότα
- Μοντέλα συνεχούς χρόνου (continuous time): αναπαριστούν την πλήρη χρονική εξέλιξη των υδρολογικών διεργασιών, τόσο σε νηρές όσο και σε Ίηρές χρονικές περιόδους. Για την εκτίμηση του επιφανειακού υδατικού δυναμικού χρησιμοποιούνται αποκλειστικά τα μοντέλα συνεχούς χρόνου.

Βαθμονόμηση μοντέλων βροχής-απορροής

- Τα εννοιολογικά μοντέλα βροχής-απορροής, καθώς και τα μοντέλα "black box" περιέχουν άγνωστες παραμέτρους στις μαθηματικές σχέσεις τους.

- Οι παράμετροι αυτές ενσωματώνουν πληροφορίες σχετικά με
 - (α) τις φυσικές διεργασίες στη θεωρούμενη λεκάνη απορροής
 - (β) τις διεργασίες που δεν λαμβάνονται υπόψη
 - (γ) το βαθμό επηρεασμού της απορροής από την κάθε υδρολογική διεργασία
 - (δ) τα σφάλματα προσέγγισης των πραγματικών διεργασιών από το μοντέλο

Χρυσάνθου, 2013

- Απαιτείται εκτίμηση των τιμών των παραμέτρων για κάθε λεκάνη που εξετάζεται.

- Βαθμονόμηση (calibration): Εκτίμηση των παραμέτρων ενός μοντέλου βροχής-απορροής με βάση μετρήσεις των υδρολογικών μεγεθών εισόδου και εξόδου (δηλαδή της βροχής και της απορροής)

Τα εννοιολογικά μοντέλα έχουν λιγότερες παραμέτρους από τα μοντέλα μαύρου κουτιού (τα οποία χρειάζονται σημαντικό αριθμό δεδομένων).

Η απλοποίηση των εννοιολογικών μοντέλων επιτυγχάνεται με τη χρήση φυσικού αναλόγου

Εκτίμηση Απορροών με βάση την υδρολογική λεκάνη απορροής

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

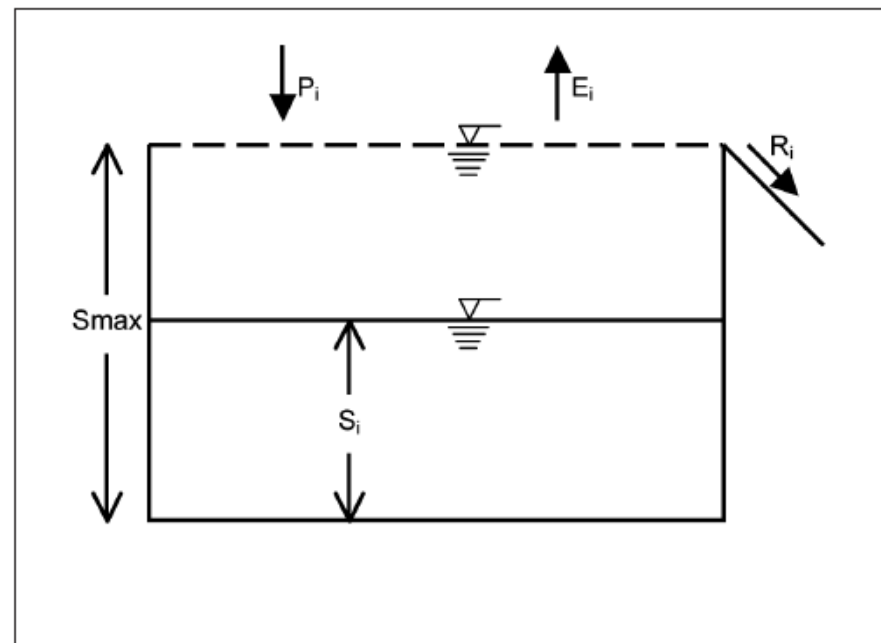


Fig. 2. Simplified Medbasin monthly water balance model.

ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ (2)

- Μεταβλητή κατάστασης: S , απόθεμα εδαφικής υγρασίας (θεωρείται όλος ο όγκος εδάφους της λεκάνης...)
- Παράμετρος: S_{max} (αρχική εκτίμηση από SCS και βαθμονόμηση, μέγιστη εδαφική υγρασία ανάλογο της χωρητικότητας του ταμιευτήρα)

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΑΠΟΡΡΟΗ

Μέθοδος της SCS

Αριθμός καμπύλης CN

Εξαρτάται από:

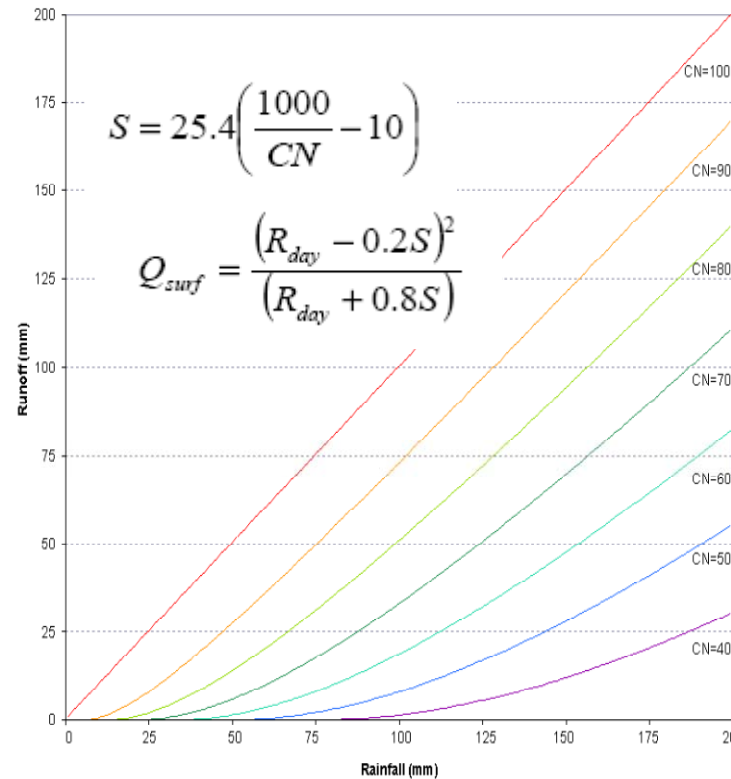
- Εδαφική Διαπερατότητα
- Εδαφοκάλυψη
- Συνθήκες Υγρασίας

SCS: Soil Conservation Service

S: max κατακράτηση εδάφους

Q_{surf}: επιφανειακή απορροή

R_{day}: βροχόπτωση



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 (υπερχειλίση)

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:

$$EP_i = P_i + \Delta S$$

όθεση 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

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

Κατάταξη εξεταζόμενου μοντέλου

- Εννοιολογικό μοντέλο (φυσικό ανάλογο ταμιευτήρα, απορροή υπάρχει αφού γεμίσει ο ταμιευτήρας)
- Συνεχούς χρόνου
- Αδρομερή (θα μπορούσε να ήταν και ημικατανεμημένο)(λεκάνη απορροής ως ένα σώμα)
- Ντετερμινιστικό μοντέλο (μη στοχαστικές μεταβλητές)

Σύνοψη μοντέλου

- Προσομοίωση με ταμιευτήρα (εδαφική υγρασία)
- Ελέγγω αν η βροχόπτωση του μήνα είναι μεγαλύτερη από τη δυνητική εξατμισοδιαπνοή του μήνα. 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.

Ταμειευτήρας, βασική εξίσωση

Βασική εξίσωση στον ταμιευτήρα χωρίς υπερχείλιση

- **Εξίσωση της μάζας**: (εισορές (I) μείον εκροές (Q) ίσον με μεταβολή στην αποθήκευση

$$(\Delta S/\Delta t): \quad \frac{\Delta S}{\Delta t} = I - Q$$

- Για διακριτό σταθερό βήμα Δt (π.χ. μήνας)

$$S_{i+1} = S_i + (I_i - Q_i)$$

- Απλούστευση για βελτιστοποίηση και μία πρώτη εκτίμηση: έστω εκροή (ζήτηση) και εισροή νερού από ανάντη λεκάνη

$$S_{i+1} = S_i + (I_i - Q_i)$$

$$Q_i = \sum_m x_{i,m}$$

Υπερχείλιση

- Περιορισμός μέγιστης χωρητικότητας.
Προφανώς:

$$S \leq S_{max}$$

- Αν $S < S_{MAX}$ τότε ο ταμιευτήρας δεν υπερχειλίζει
- Διαφορετικά, $S=S_{MAX}$ και η περίσσεια θα γίνει υπερχειλίση

$$R = S_i + I_i - Q_i - S_{MAX}$$

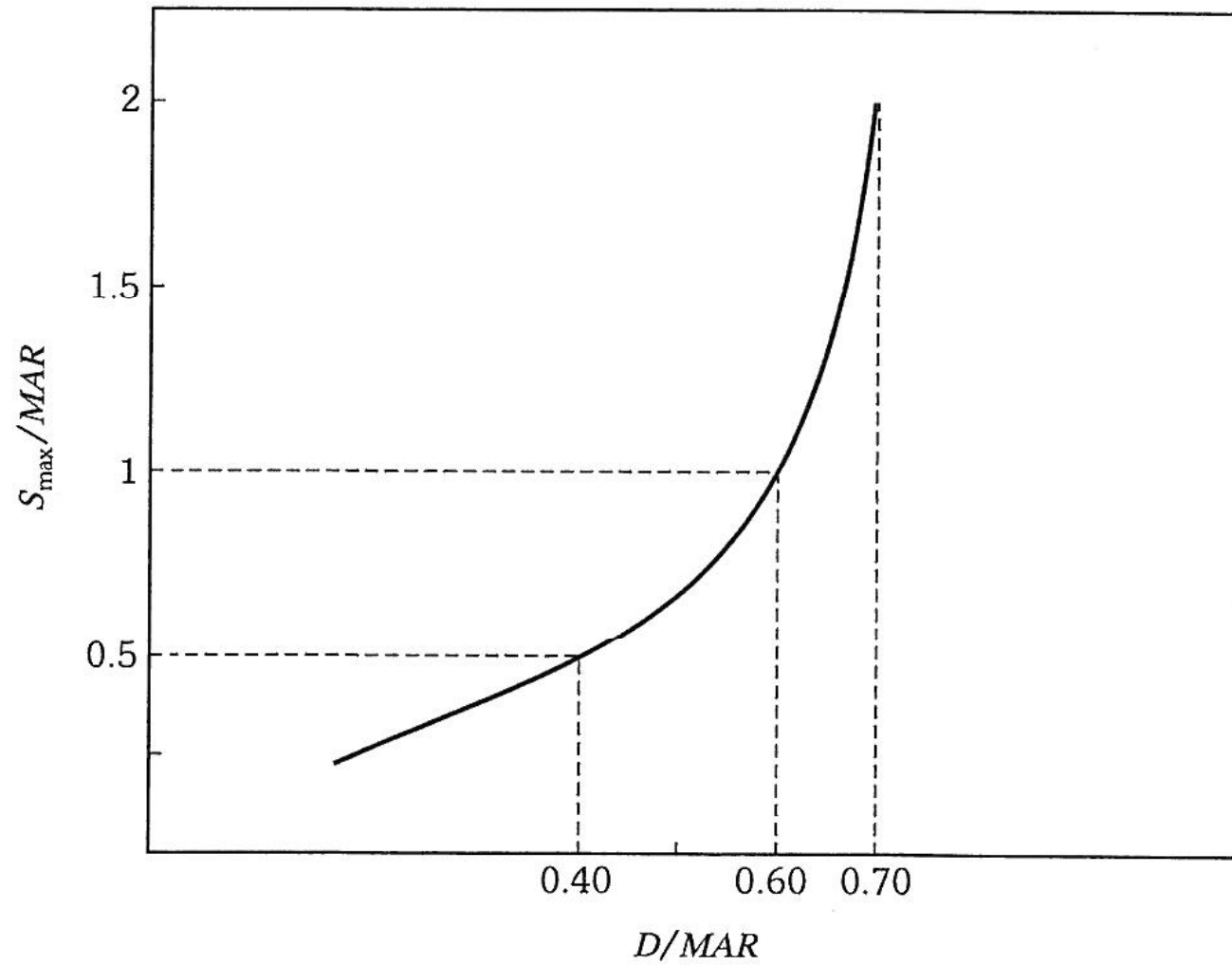
Εκμεταλλεύσιμο Επιφανειακό υδατικό Δυναμικό

Εκμεταλλεύσιμο Επιφανειακό Δυναμικό, με ταμίευση

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

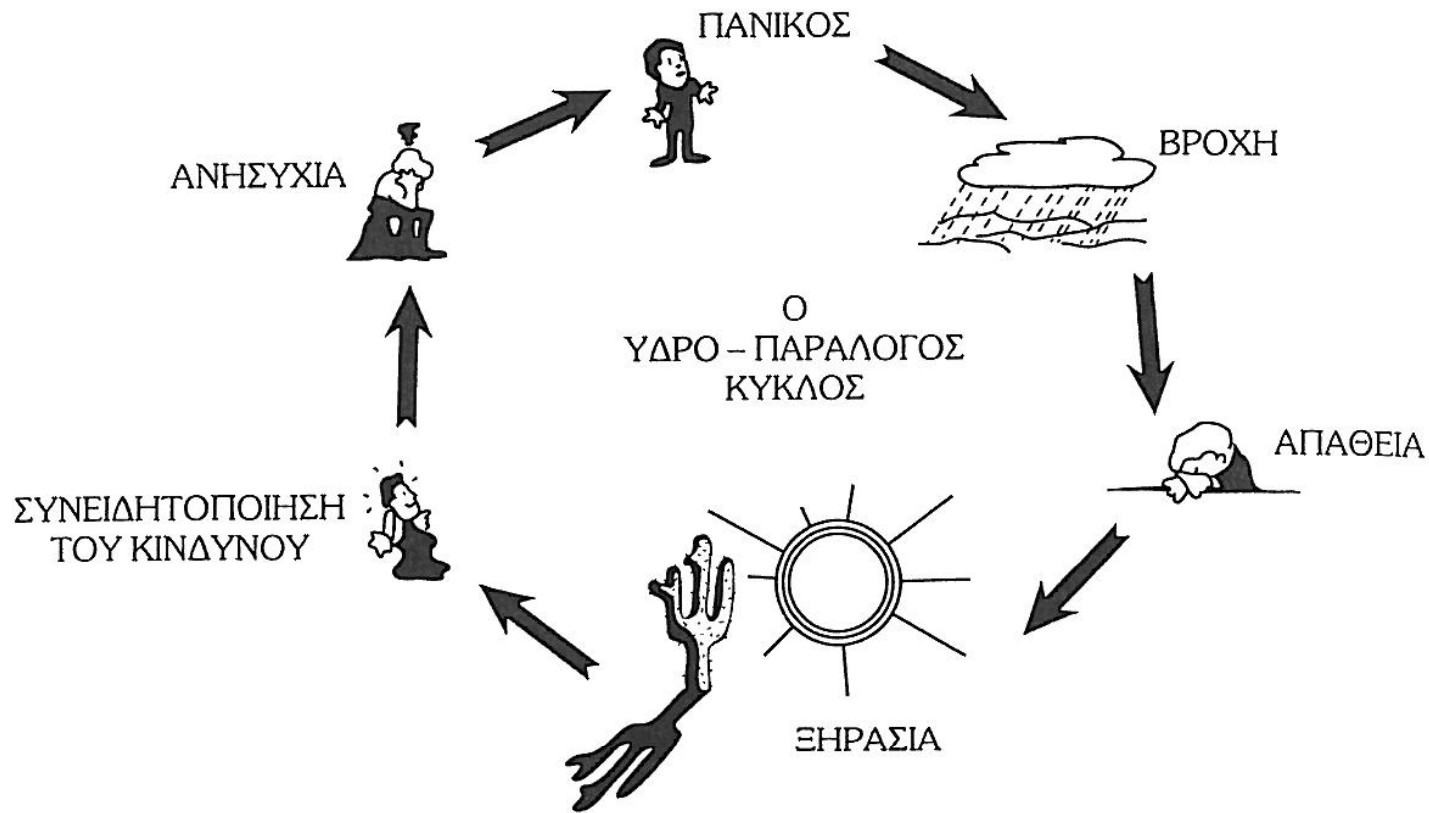
Αν κατασκευάσουμε ταμιευτήρα με χωρητικότητα ίση με τη μέση ετήσια απορροή μιας θέσης, θα έχουμε την ποσότητα αυτή ως μέση ετήσια απόληψη?

- 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



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

Ξηρασία



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.

ΞΗΡΑΣΙΑ

9

- Γενικός ορισμός Ξηρασίας (για ένα υδατικό σύστημα)

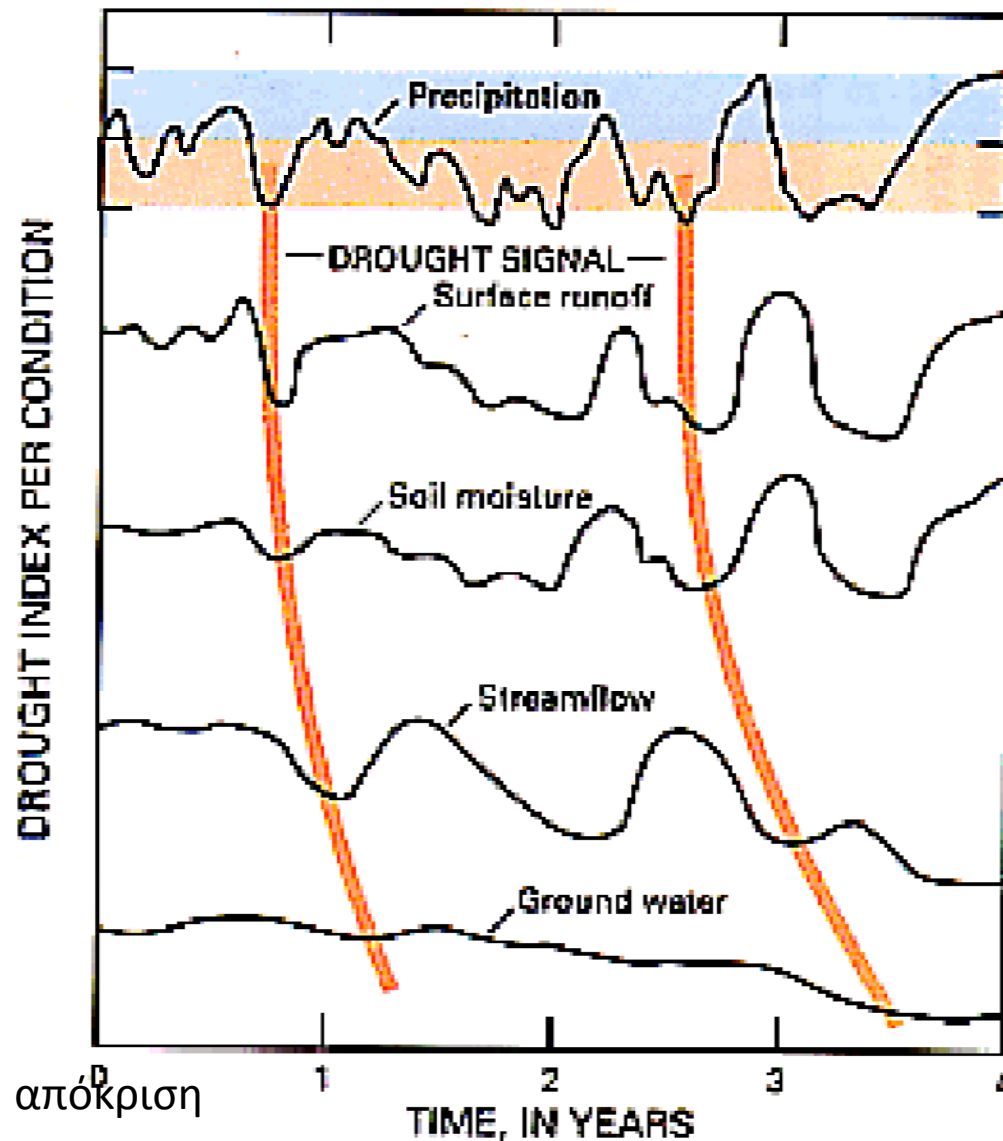
Φαινόμενο κατά τη διάρκεια εμφάνισης του οποίου το υδατικό σύστημα βρίσκεται κάτω από ένα κρίσιμο επίπεδο σε σχέση με την κανονική του λειτουργία.

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

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.



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

EXPLANATION

Precipitation



Above normal

Below normal (deficit)

Επικινδυνότητα μιας Ξηρασίας (drought risk)

Βαθμός επικινδυνότητας:

Πιθανότητα να συμβεί Ξηρασία σε οποιοδήποτε υδρολογικό έτος

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

$P(H \leq h)$: 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 (ετών) μέσα στο οποίο η τυχαία μεταβλητή (υδρολογικό μέγεθος, π.χ. απορροή) θα εμφανιστεί μία μόνο φορά με μέγεθος ίσο ή 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

- Επιφανειακή Ξηρασία:

- κρίσιμη τιμή του ύψους βροχής σε κάθε σταθμό
- κρίσιμη ελλειμματική επιφάνεια (ποσοστό της επιφάνειας της περιοχής μελέτης)
- Ελλειμματική επιφάνεια για κάποια χρονική περίοδο :
επιφάνεια επιρροής ενός σταθμού, όταν το ύψος βροχής στο σταθμό δεν υπερβαίνει μια κρίσιμη τιμή κατά τη διάρκεια της περιόδου αυτής.

- Όταν ε' έναν αριθμό σταθμών της περιοχής μελέτης τα ύψη βροχής δεν υπερβαίνουν τις κρίσιμες τιμές τους και η αντίστοιχη συνολική ελλειμματική επιφάνεια είναι μεγαλύτερη ή ίση της κρίσιμης, τότε υπάρχει επιφανειακή Ξηρασία στην υπόψη περιοχή.

Δείκτες ΞηρασίαςΣτιχμιαία ελλειμματική επιφάνεια A_s :

Μέρος της επιφάνειας μιας περιοχής, συνολικής έκτασης S , που πλήττεται από Ξηρασία

$$A_s(i) = \sum_{k=1}^n a_k I[h(i,k)]$$

$A_s(i)$: ελλειμματική επιφάνεια για την i περίοδο
(υδρολογικό έτος)

a_k : συντελεστής επιρροής του βροχομετρικού σταθμού k
($0 \leq a_k \leq 1$)

$$a_k = S_k / S$$

S_k : επιφάνεια που αντιστοιχεί στο βροχομετρικό σταθμό k
($k=1, 2, \dots, n$)

S : συνολική έκταση της μελετώμενης περιοχής

$h(i,k)$: βροχομετρικό ύψος του σταθμού k για το υδρολογικό έτος

Αν $h(i,k) < CL$, τότε $I[h(i,k)] = 1$

Αν $h(i,k) \geq CL$, τότε $I[h(i,k)] = 0$

CL : κρίσιμο ύψος βροχής (κατώφλι βροχής) για το βροχομετρικό σταθμό k

β) *Επιφανειακή Ξηρασία*

Ως επιφανειακή ξηρασία μπορεί να οριστεί το γεγονός κατά τη διάρκεια του οποίου, η στιγμιαία ελλειμματική επιφάνεια A_s , υπερβαίνει ή είναι ίση με μια κρίσιμη τιμή CA , που είναι χαρακτηριστική για την υπό μελέτη περιοχή, δηλαδή $A_s \geq CA$.

δ) *Στιγμιαίο Υδατικό Έλλειμμα, D_s*

Ο ποσοτικός αυτός δείκτης ορίζεται από την εξίσωση:

$$D_s(i) = \sum_{k=1}^n a_k [CL - h(i, k)] I[h(i, k)], \quad (13.6)$$

όπου οι μεταβλητές που εμφανίζονται στην εξίσωση αυτή, έχουν οριστεί προηγούμενα. Οι τιμές της ποσότητας $I[h(i, k)]$ είναι όπως στην Εξ. 13.4.

Το στιγμιαίο υδατικό έλλειμμα αντιπροσωπεύει την ένταση του φαινομένου της ξηρασίας.

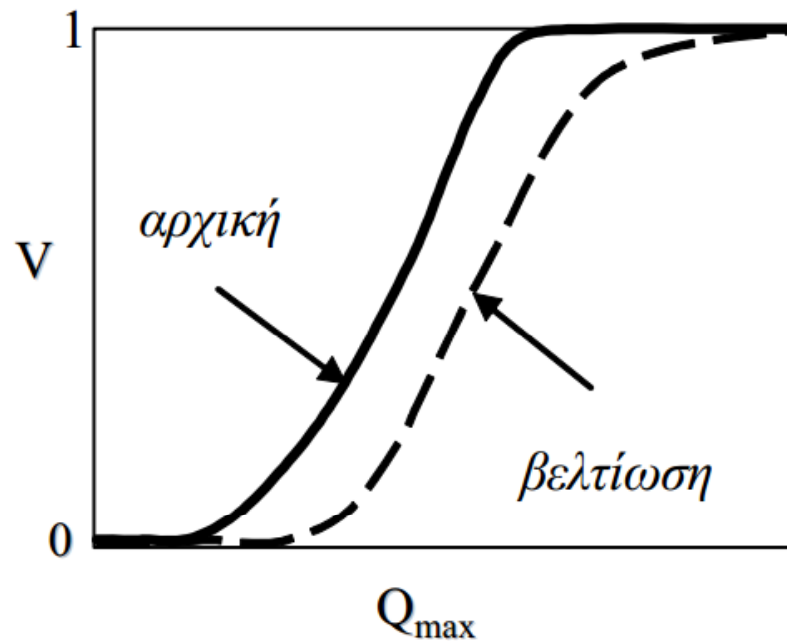
Διακινδύρευση

Διακινδύνευση, R

- $\{R\} = \{H\} \times \{V\}$ ή $\{R\} = \{H\} \times \{V\} \times \{C\}$
- H : κίνδυνος, πιθανότητααλλάζει 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 ακολοθουμενες πολιτικές

Τρωτότητα – Μέγεθος φαινομένου



Αβεβαιότητα



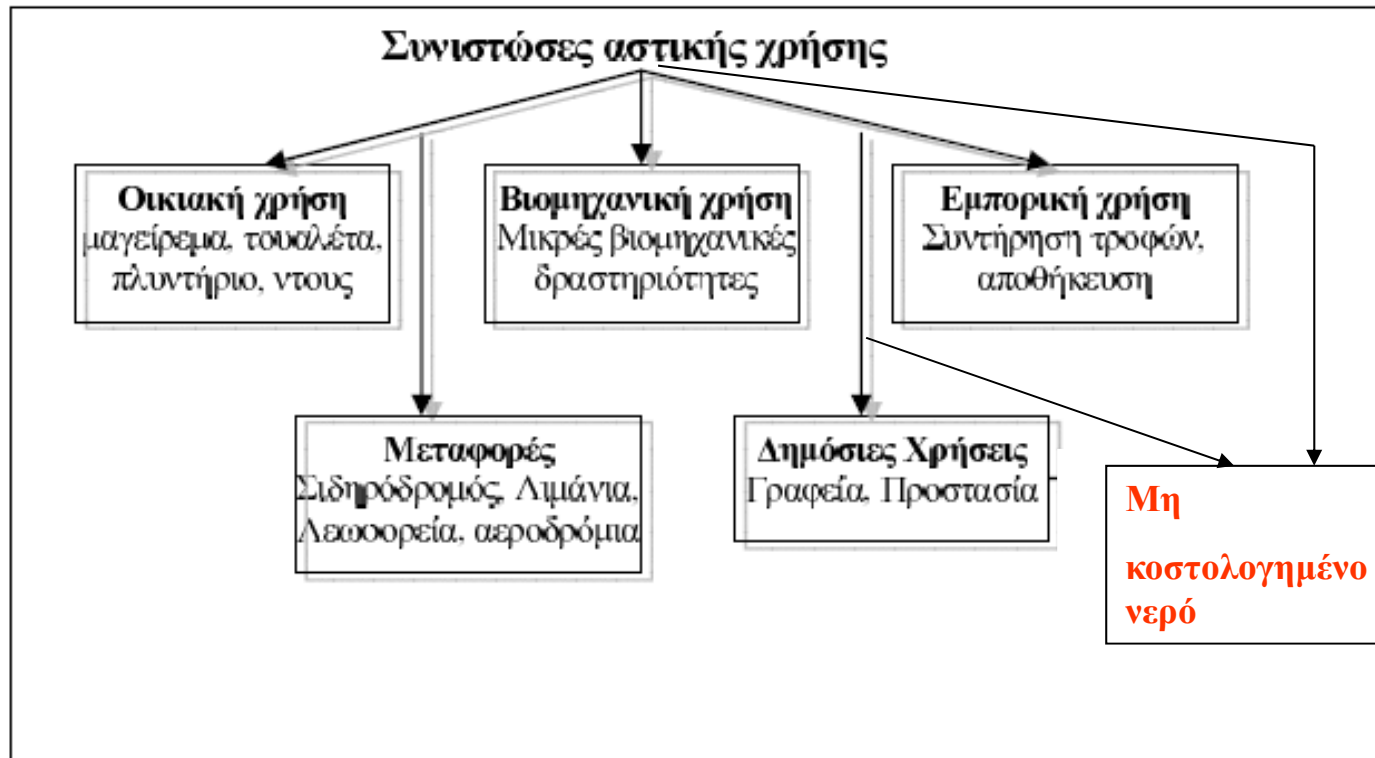
Ζήτηση νερού

ΖΗΤΗΣΗ ΝΕΡΟΥ

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

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

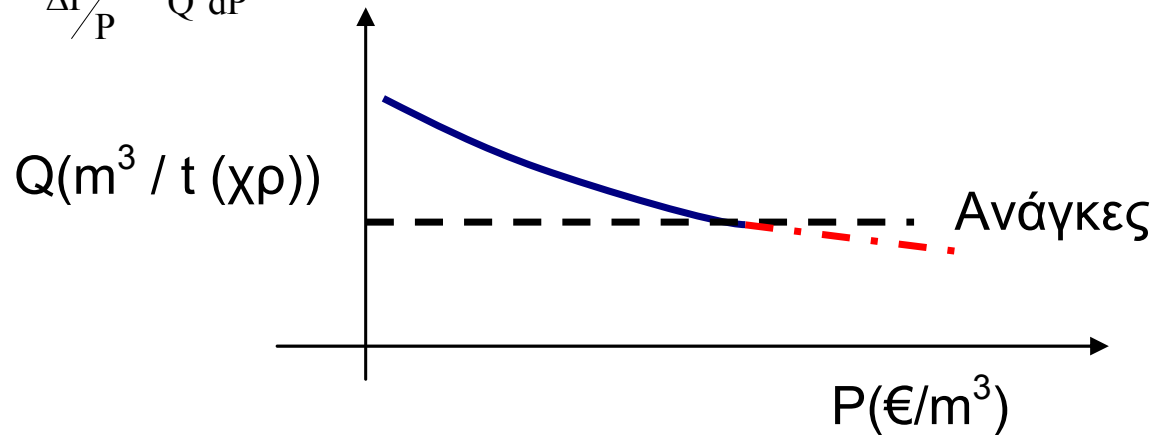
Παράδειγμα: Στη Σύμη μεταφέρονται 200.000 m³ από τη Ρόδο ενώ εξοικονομούνται και άλλα 50.000 m³ από πηγές του νησιού. Από τα συνολικά 250.000 m³ μόνο τα 85.000 m³ κοστολογούνται.

Ελαστικότητα της ζήτησης

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

Ελαστικότητα στην ζήτησης = (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.

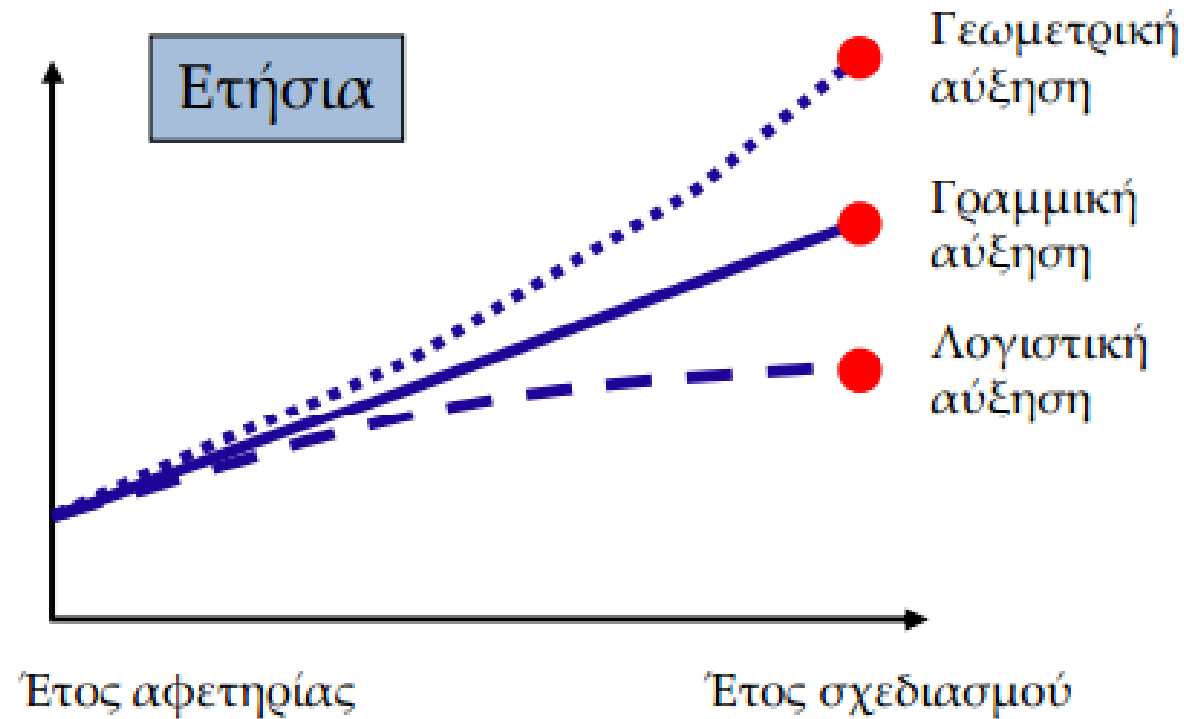
Εκτίμηση αστικής ζήτησης νερού (1)

- 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)



Αστική ζήτηση νερού-εκτίμηση

- Εξαρτάται από τον πληθυσμό, τιμή του νερού, μέσο εισόδημα, κλιματικές παράμετροι (θερμοκρασία, βροχόπτωση) κλπ
- Μεθοδολογία: Σενάρια εξέλιξης πληθυσμού και μοντέλα πολλαπλής παλινδρόμησης για τη συνολική ζήτηση.
- (υπερ) Απλούστευση: Σενάριο πρόβλεψης πληθυσμού και πολλαπλασιασμός από το εκτιμώμενη κατανάλωση ανά κάτοικο ανά ημέρα

Αρδευτικές Ανάγκες σε νερό

- Με βάση τη (δυναμική) εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας (δηλ η εξατμισοδιαπνοή 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

Παραγωγικότητα του Νερού

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

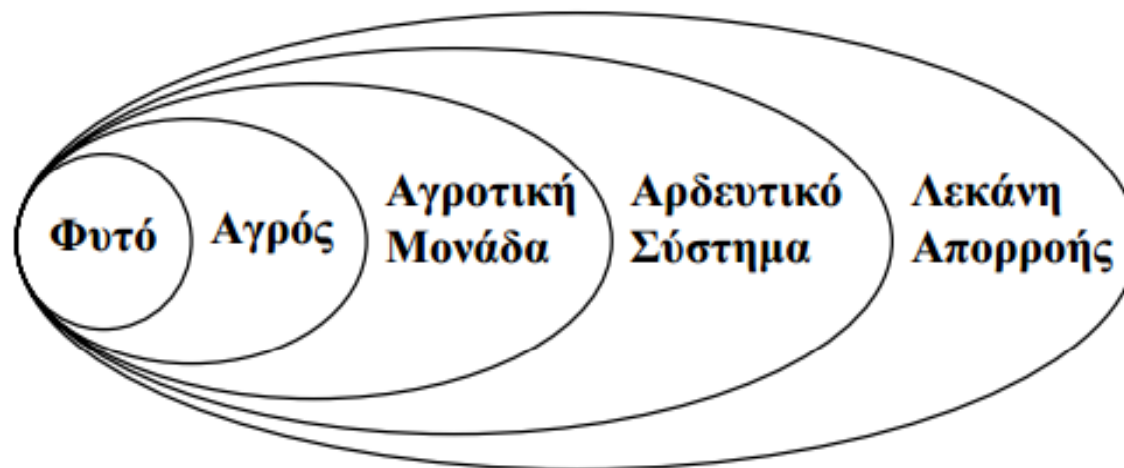
$$WP = \frac{\text{όφελος}}{\text{νερό}}$$

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

Ελαστικότητα της αστικής ζήτησης νερού (σε συνθήκες ξηρασίας), 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).

Ελαστικότητα της αγροτικής ζήτησης (σε 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)

Μεταβλητότητα στη
διαθεσιμότητα νερού

Ο μέσος όρος και η τυπική απόκλιση δεν είναι αρκετά για να εκτιμηθεί το υδατικό δυναμικό

Έστω ποταμός χωρίς ταμίευση και έστω οι δύο παρακάτω χρονοσειρές (π.χ. από μετρήσεις) που έχουν το ίδιο μέσο όριο και τυπική απόκλιση. Έστω ένα κατώφλι αξιοποίησης, π.χ. 20

Μονάδες όγκου ανά χρονικό βήμα (π.χ. έτος ή ετήσιο) (Loucks et al., 2006, (http://ecommons.library.cornell.edu/handle/1813/2804?mode=full&submit_simple>Show+full+item+record))

$$x = [10, 40, 0, 50, 80, 85, 90, 60, 30, 10] \text{ and } y = [80, 50, 90, 40, 10, 10, 0, 30, 60, 85].$$

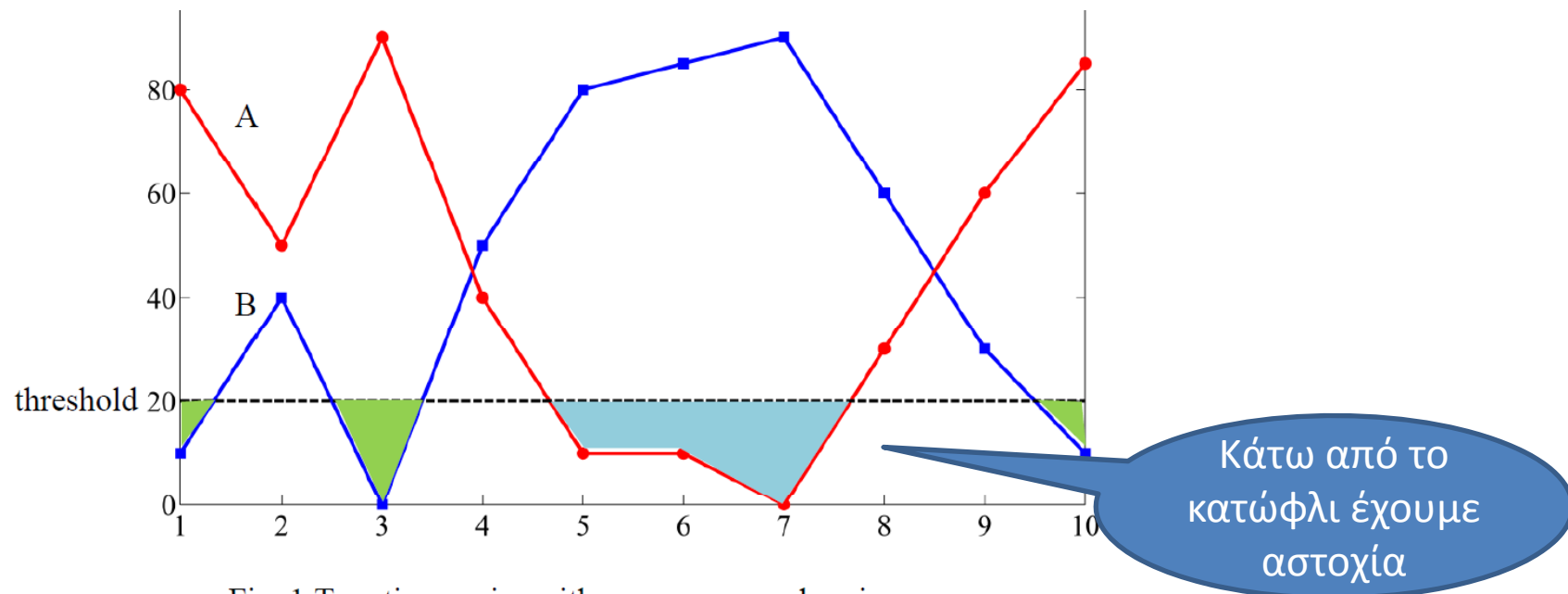


Fig. 1 Two time series with same mean and variance

Αξιοπιστία, R (Reliability)

- Κατανοητή έννοια χωρίς κοινά αποδεκτό ορισμό.
- Σε χρονοσειρές, έργα ταμίευσης κλπ
 - Πιθανότητα ότι το σύστημα θα είναι σε αποδεκτό επίπεδο ως προς το σκοπό του (π.χ. εδώ ως προς τη ζήτηση) (όχι γενικός ορισμός)
 - $R =$ Αριθμός ετών (η χρονικών βημάτων) που καλύπτεται η ζήτηση/ συνολικό αριθμό μελετώμενων ετών
- $R_A = 7/10, R_B = 7/10$

Ευκαμψία, Res (Resilience)

- Χαρακτηριστικό της ελαστικής περιοχής στην επιστήμη των υλικών.
- Η ικανότητα του συστήματος να επανακάμπτει μετά από μία αστοχία
- Σε χρονοσειρές, έργα ταμίευσης κλπ
 - Πόσο γρήγορα το σύστημα επανακάμπτει ...
 - Η πιθανότητα αν το σύστημα είναι σε μη ικανοποιητικό επίπεδο στο επόμενο χρονικό βήμα να είναι σε ικανοποιητικό
 - Res= Αριθμός όπου μετά από μία αστοχία, αμέσως μετά, το σύστημα είναι σε αποδεκτό επίπεδο/ συνολικό αριθμό αστοχιών
- $R_A = 1/3$, $R_B = 2/2$ (για την τελευταία μέτρηση στη χρονοσειρά Β δεν ξέρουμε πότε επανακάμπτει)

Τρωτότητα, V (Vulnerability αλλά με άλλο μέτρο από προηγούμενα)

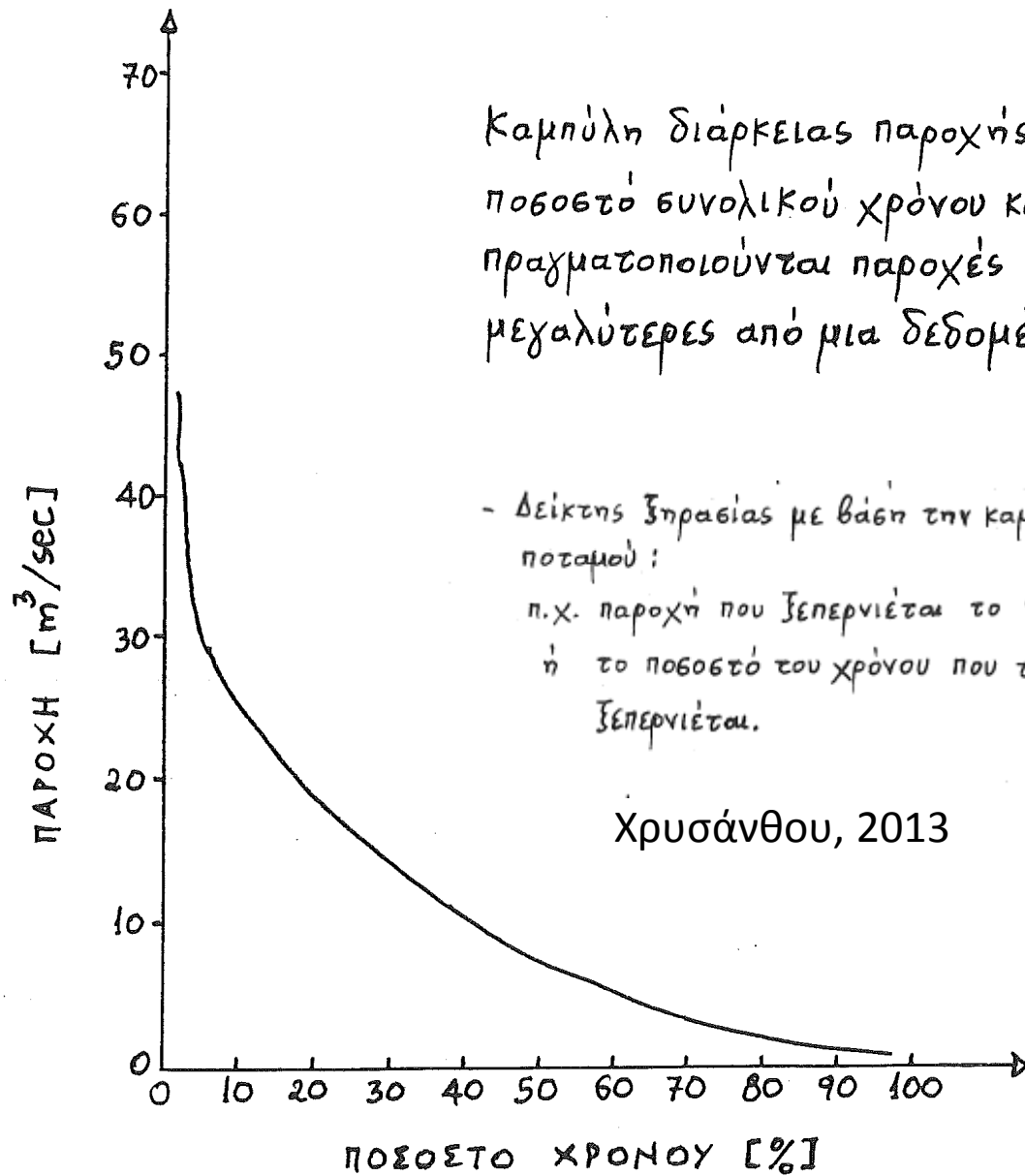
- Μέσο τιμή απωλειών (και όχι το αντιστοιχεί σε κάθε πιθανή έκθεση)(άρα συνδυάζει τρωτότητα και κίνδυνο (πιθανότητα))
- Πόσο σοβαρή είναι η μέση ζημιά, ανάγκη μέτρησης της διαφοράς από τι κατώφλι
- Σε χρονοσειρές, έργα ταμίευσης κλπ
 - $V = \text{άθροισμα διαφορών κατωφλίου μείον τις ποσότητες νερού (μόνο για την περίπτωση αστοχίας) / το συνολικό αριθμό αστοχίας.}$
- $R_A = [(20-10)+(20-10)+(20-0)]/3=13.33$
- $R_B = [(20-10)+(20-0) + (20-10)]/3=13.33$
- *Συνεπώς οι δύο χρονοσειρές έχουν ίδιο μέσο όρο και τυπική απόκλιση, ίσο μέτρο αξιοπιστίας και τρωτότητας αλλά διαφορετικό μέτρο ευκαμψίας. Η δεύτερη λοιπόν χρονοσειρά φαίνεται προτιμότερη γιατί έχει μεγαλύτερο μέτρο ευκαμψίας*
- *Βασική βιβλιογραφία: βλπ και HASHIMOTO ET AL., 1982 (<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/WR018i001p00014/pdf>)*

Καμπύλη διαρκείας παροχής

Είναι το διάγραμμα ενός διατεταγμένου υδραυλικού μεγέθους συναρτήσει του ποσοστού του χρόνου κατά τον οποίο το μέγεθος αυτό απαντάται με ίση ή μεγαλύτερη τιμή.

Για τον υπολογισμό του ποσοστού αυτού διατάσσονται οι τιμές παροχής κατά σειρά φθίνοντος μεγέθους και υπολογίζεται η αθροιστική συχνότητα υπέρβασης κάθε τιμής.

- Παραδείγματα αξιοποίησης:
 - Δείκτης ξηρασίας
 - Δείκτης συνεχούς ροής
 - Υδροδυναμικά έργα



Καμπύλη διάρκειας παροχής :
 ποσοστό ευνοϊκού χρόνου κατά το οποίο
 πραγματοποιούνται παροχές ίσες ή
 μεγαλύτερες από μια δεδομένη τιμή.

- Δείκτης Ξηρασίας με βάση την καμπύλη διάρκειας παροχής ενός ποταμού :

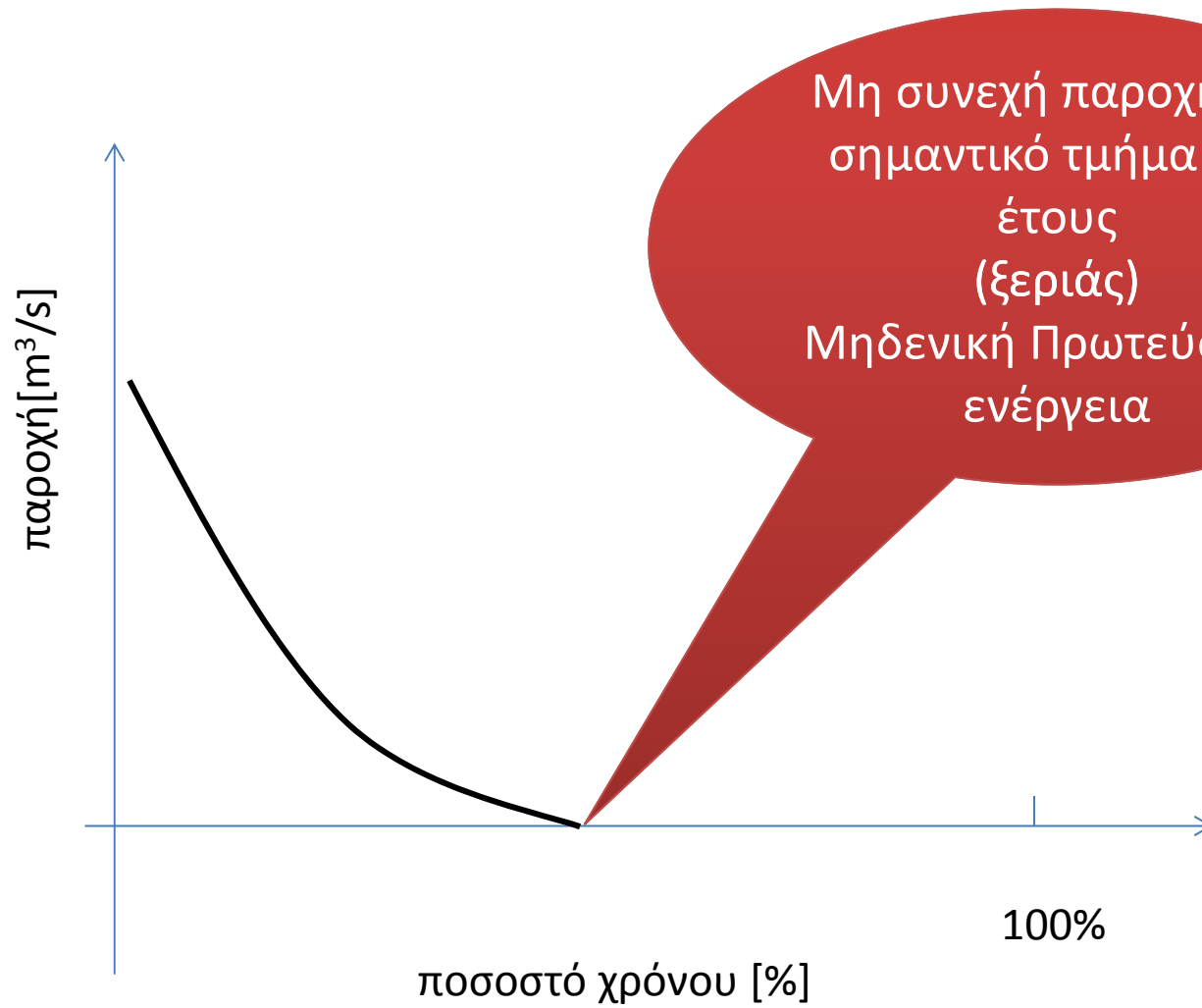
π.χ. παροχή που ξεπερνιέται το 95% του χρόνου,
 ή το ποσοστό του χρόνου που το 1/4 της μέγιστης παροχής
 ξεπερνιέται.

Χρυσάνθου, 2013

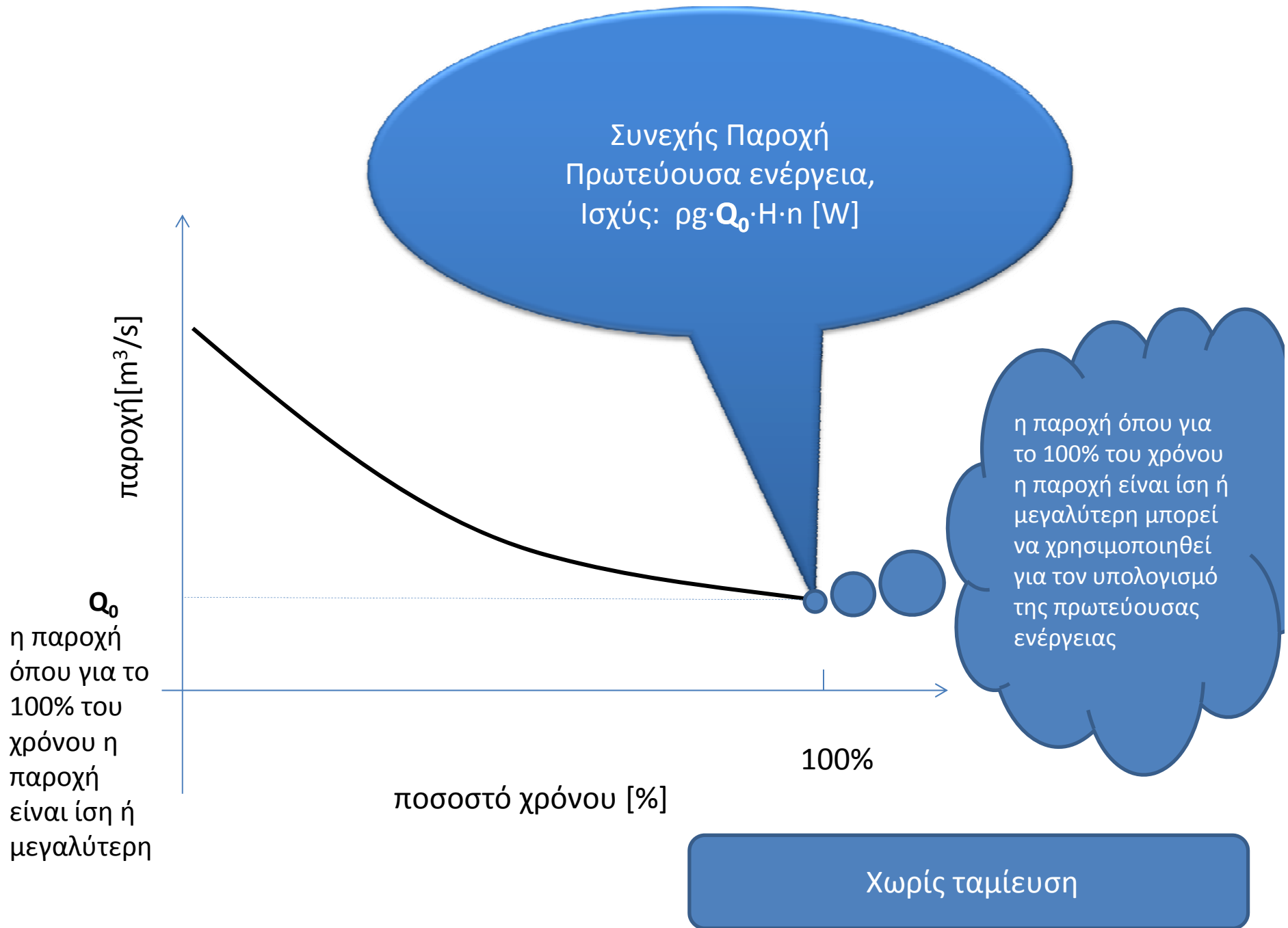
Καμπύλη διαρκείας παροχής

Δείκτης συνεχούς ροής (αν δεν τέμνει
τον άξονα x')

Πρωτεύουσα ενέργεια



Χωρίς ταμίευση



- Εγγυημένη ισχύς (firm power)
είναι η ικανότητα ανάληψης φορτίου κατά καθορισμένη χρονική στιγμή ή χρονική περίοδο σε σχέση με το φορτίο ζήτησεως του συστήματος.
Αυτή εξαρτάται από την ελάχιστη φυσική παροχή και τη ρύθμιση της φυσικής παροχής κατά την περίοδο του φορτίου αιχμής.
- Η εγγυημένη ισχύς μεταβάλλεται κατά την διάρκεια των εποχών του έτους και νοείται συνήθως κατά τον χρόνο εμφάνισης του φορτίου αιχμής του συστήματος.
- Πρωτεύουσα ενέργεια λέγεται η εξασφαλισμένη υδροηλεκτρική ενέργεια που μπορεί να παραχθεί με τις δυσμενέστερες υδρολογικές συνθήκες για την κάλυψη των αναγκών της κατανάλωσης.

Δευτερεύουσα ενέργεια είναι κάθε παραγόμενη υδροηλεκτρική ενέργεια επί πλέον της πρωτεύουσας.

Φορτίο καλείται η ισχύς η οποία αναφέρεται στην παραγωγή και κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σε κάποιο στιγμιαίο χρονικό διάστημα σε κάποιο σημείο του συστήματος κατανάλωσης.

Φορτίο αιχμής είναι το μέγιστο φορτίο κατανάλωσης για ορισμένη χρονική περίοδο.

Εφαρμογή 1

Σε θέση υδρομετρήσεων ενός ποταμού όπου πρόκειται να κατασκευασθεί φράγμα σημειώθηκαν οι εξής μέσες μηνιαίες παροχές ενός έτους:

Μήνας	Ο	Ν	Δ	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ
Παροχή (m ³ /s)	62	116	127	135	162	94	80	75	70	63	38	54

Λύση.

α. Κατατάσσονται οι παροχές κατά σειρά φθίνοντος μεγέθους και προσδιορίζονται η σχετική συχνότητα εμφάνισης κάθε τιμής και η συχνότητα υπερβάσεως της τιμής αυτής Πίνακας 11.1.

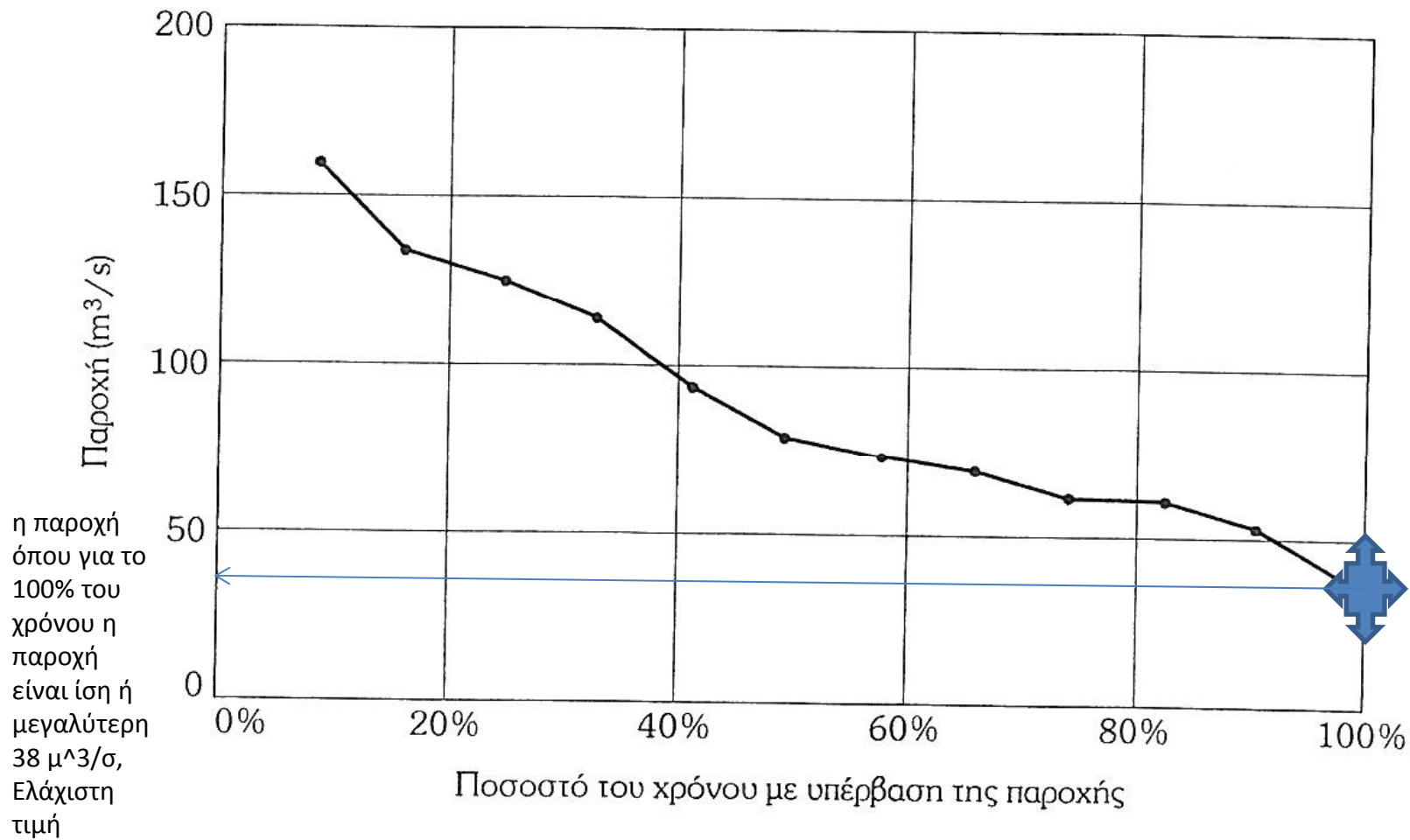
Η γραφική παράσταση της καμπύλης διάρκειας που προκύπτει φαίνεται στο Σχήμα 11.10.

Πίν. 11.1: Υπολογισμός συχνότητας υπέρβασης

α/α	$Q(m^3/s)$	Αριθμός Εμφάνισης	Σχετική Συχνότητα	Συχνότητα υπέρβασης $P(Q > q)\%$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
1	162	1	0.083	8.333
2	135	1	0.083	16.667
3	127	1	0.083	25.000
4	116	1	0.083	33.333
5	94	1	0.083	41.667
6	80	1	0.083	50.000
7	75	1	0.083	58.333
8	70	1	0.083	66.667
9	63	1	0.083	75.000
10	62	1	0.083	83.333
11	54	1	0.083	91.667
12	38	1	0.083	100.000



m/N



Σχ. 11.10: Καμπύλη διάρκειας της παροχής.

Μπέλλος, 2009

Γραμμικός προγραμματισμός

Γραμμικός προγραμματισμός

Συνάρτηση στόχου } γραμμικές εξισώσεις
Περιορισμοί }

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

c_i : σταθεροί συντελεστές

x_i : μεταβλητές απόφασης

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

m ανισότητες, n άγνωστοι

Χρυσάνθου, 2013

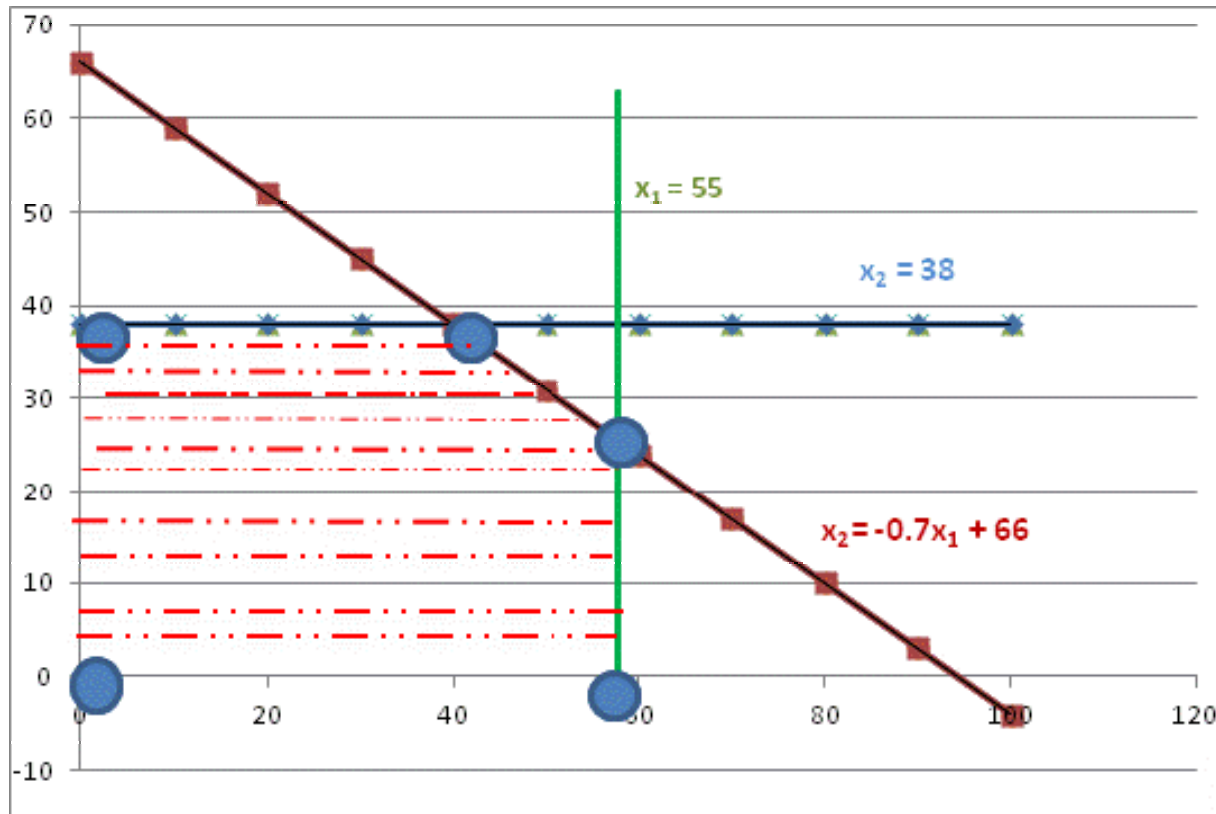
Συνθήκες προσημίου: $x_i \geq 0 \quad i=1, 2, \dots, n$

(θετικές εισροές, αποθήκεύσεις κ.λπ.)

Κατανόηση γραμμικού προγραμματισμού

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

Κυρτό πεδίο ορισμού, γραμμικός προγραμματισμός λύση στις κορυφές



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

$$x_1 \leq 66$$

$$x_2 \leq 49$$

$$x_1 \leq 55$$

$$x_2 \leq 41$$

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

$$x_2 \leq 38$$

$$x_1, x_2 \geq 0$$

Παραδείγματα περιορισμών – εφικτών πεδίων

