



Το παρόν έργο αδειοδοτείται υπό τους όρους της άδειας Creative Commons Αναφορά Δημιουργού - Μη Εμπορική Χρήση - Όχι Παράγωγα Έργα 4.0. Για να δείτε ένα αντίγραφο της άδειας αυτής επισκεφτείτε το σύνδεσμο: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ Ι

Βασικές αρχές υδρολογίας

Δρ. Βασίλης Μπέλλος

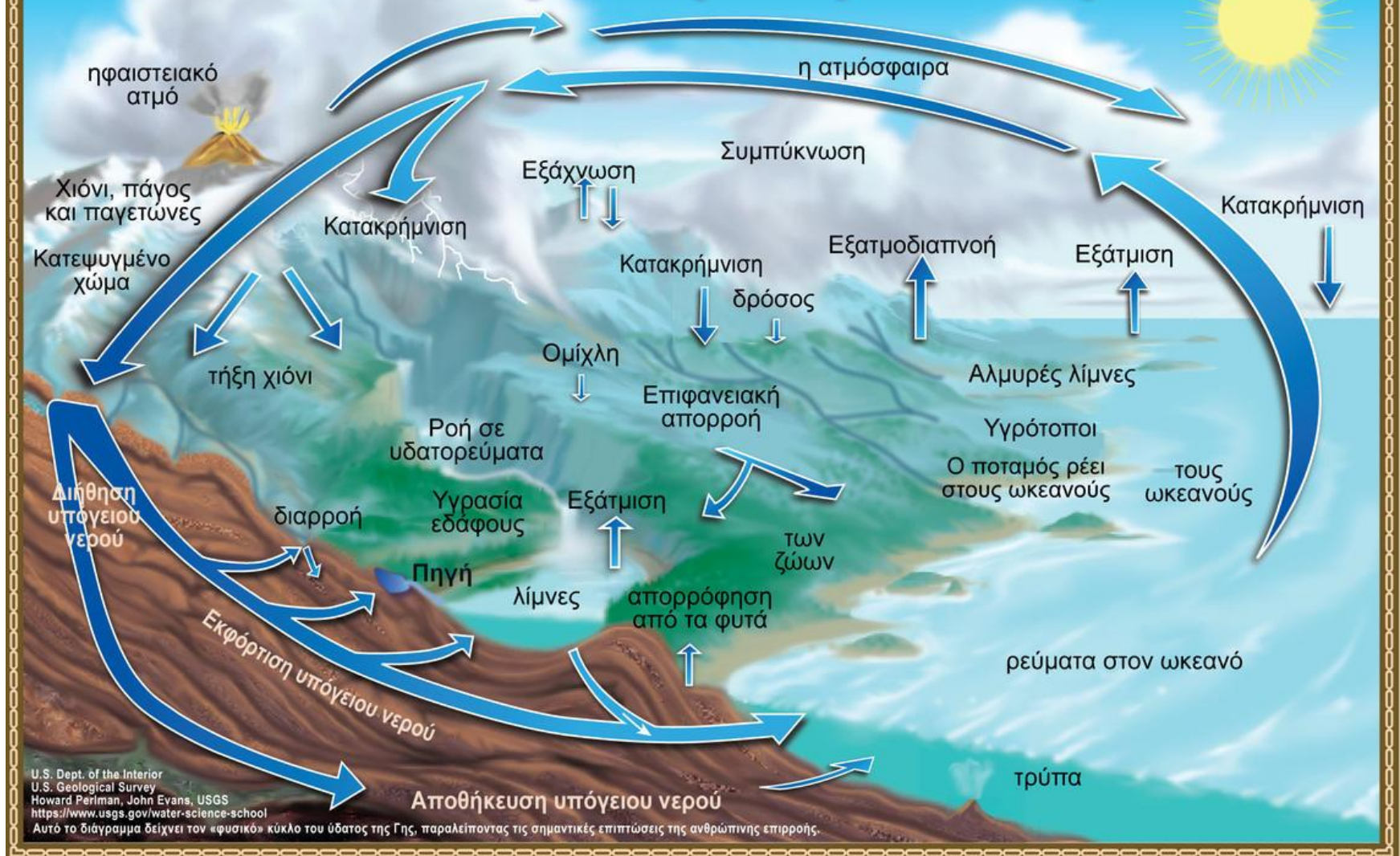
Εισαγωγή

Ορισμός

- **Υδρολογία**

- Η επιστήμη που ασχολείται με την παρουσία του νερού στη γη, την κυκλοφορία του, τις φυσικές και χημικές ιδιότητές του και την αλληλεπίδραση με το περιβάλλον
- Η επιστήμη η οποία περιγράφει την εμφάνιση, την κυκλοφορία και τη διανομή του νερού της γης, καθώς και την αλληλεπίδραση των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων με το περιβάλλον
- Η επιστήμη που ασχολείται με όλες τις διεργασίες που εντάσσονται στον υδρολογικό κύκλο ή στον κύκλο του νερού

Ο υδρολογικός κύκλος



U.S. Dept. of the Interior
U.S. Geological Survey
Howard Perlman, John Evans, USGS
<https://www.usgs.gov/water-science-school>
Αυτό το διάγραμμα δείχνει τον «φυσικό» κύκλο του ύδατος της Γης, παραλείποντας τις σημαντικές επιπτώσεις της ανθρώπινης επιρροής.

Υδρολογικές μεταβλητές

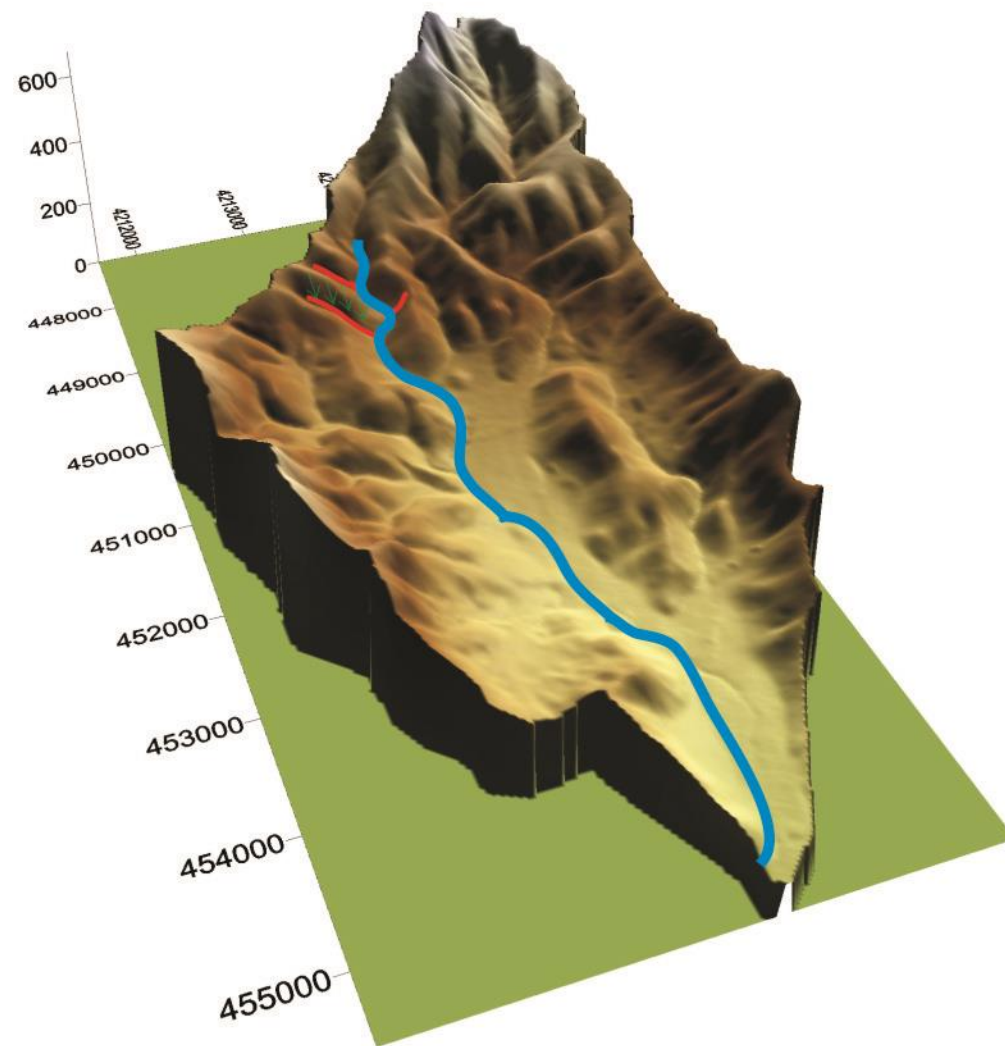
Μεταβλητή	Χαρακτηριστικά	Μονάδες
Κατακρήμνιση	Ύψος Ένταση Διάρκεια	mm mm/h h
Εξάτμιση	Ρυθμός Ύψος	mm/day, mm/month, mm/year mm
Διήθηση	Ρυθμός Ύψος	mm/h mm
Παρεμπόδιση	Ισοδύναμο ύψος	mm/time
Κατακράτηση	Ισοδύναμο ύψος	mm/time
Απορροή	Παροχή Όγκος Ισοδύναμο ύψος	m ³ /s m ³ mm

Υδρολογικές μεταβλητές

Μεταβλητή	Χαρακτηριστικά	Μονάδες
Είσοδος Κατακρήμνιση —	Ύψος Ένταση Διάρκεια	mm mm/h h
Εξάτμιση	Ρυθμός Ύψος	mm/day, mm/month, mm/year mm
Διήθηση ΑΠΩΛΕΙΕΣ	Ρυθμός Ύψος	mm/h mm
Παρεμπόδιση	Ισοδύναμο ύψος	mm/time
Κατακράτηση	Ισοδύναμο ύψος	mm/time
= Απορροή Έξοδος	Παροχή Όγκος Ισοδύναμο ύψος	m ³ /s m ³ mm

Λεκάνες απορροής

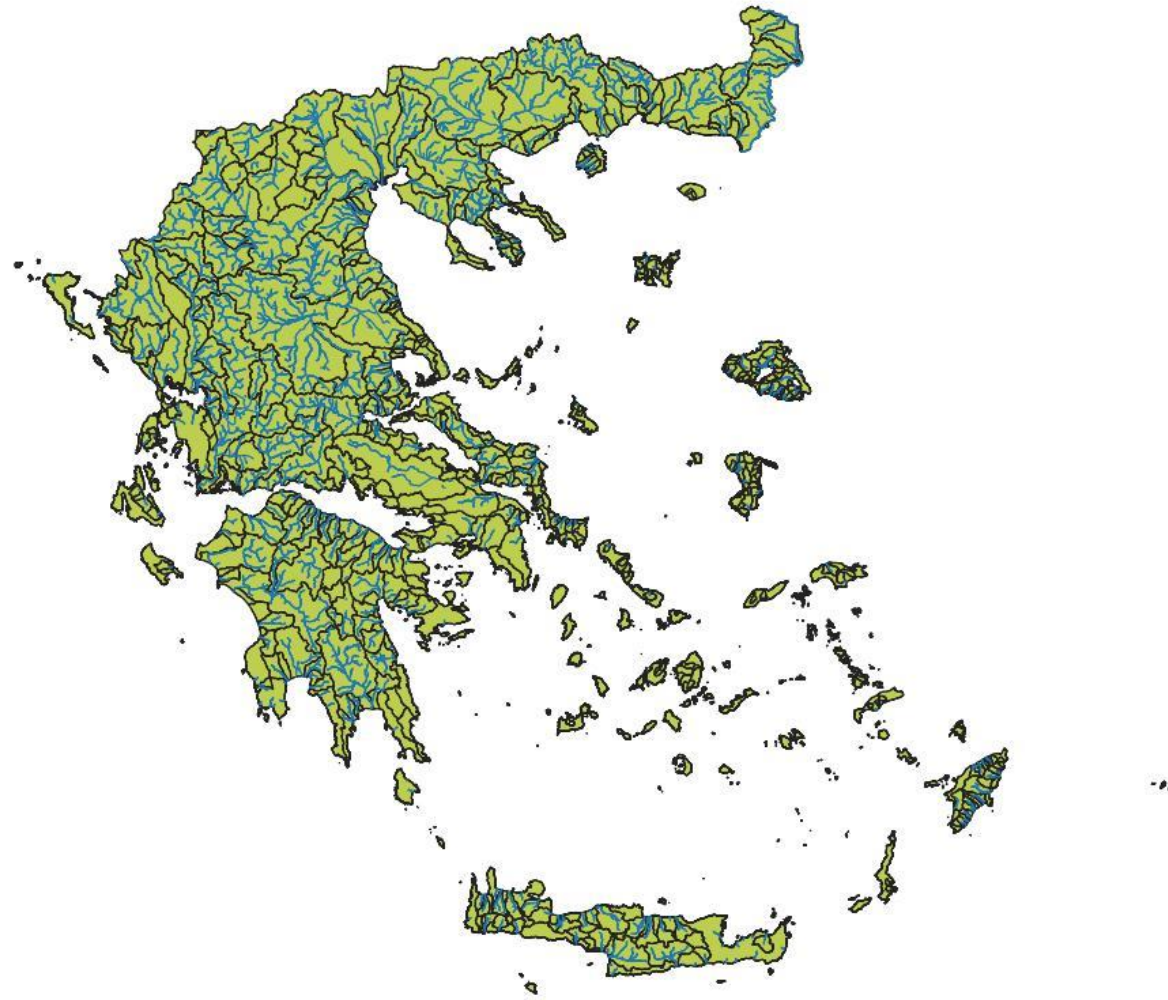
- **Μικρό μέγεθος**
 - Μέχρι 5~10 km²
- **Μεσαίο μέγεθος**
 - Μέχρι 100~5000 km²
- **Μεγάλο μέγεθος**
 - Μεγάλα ποτάμια συστήματα



Λεκάνες απορροής



Ποταμοί/υδατορέματα



Κατακρημνίσματα

Κατηγορίες κατακρημνισμάτων

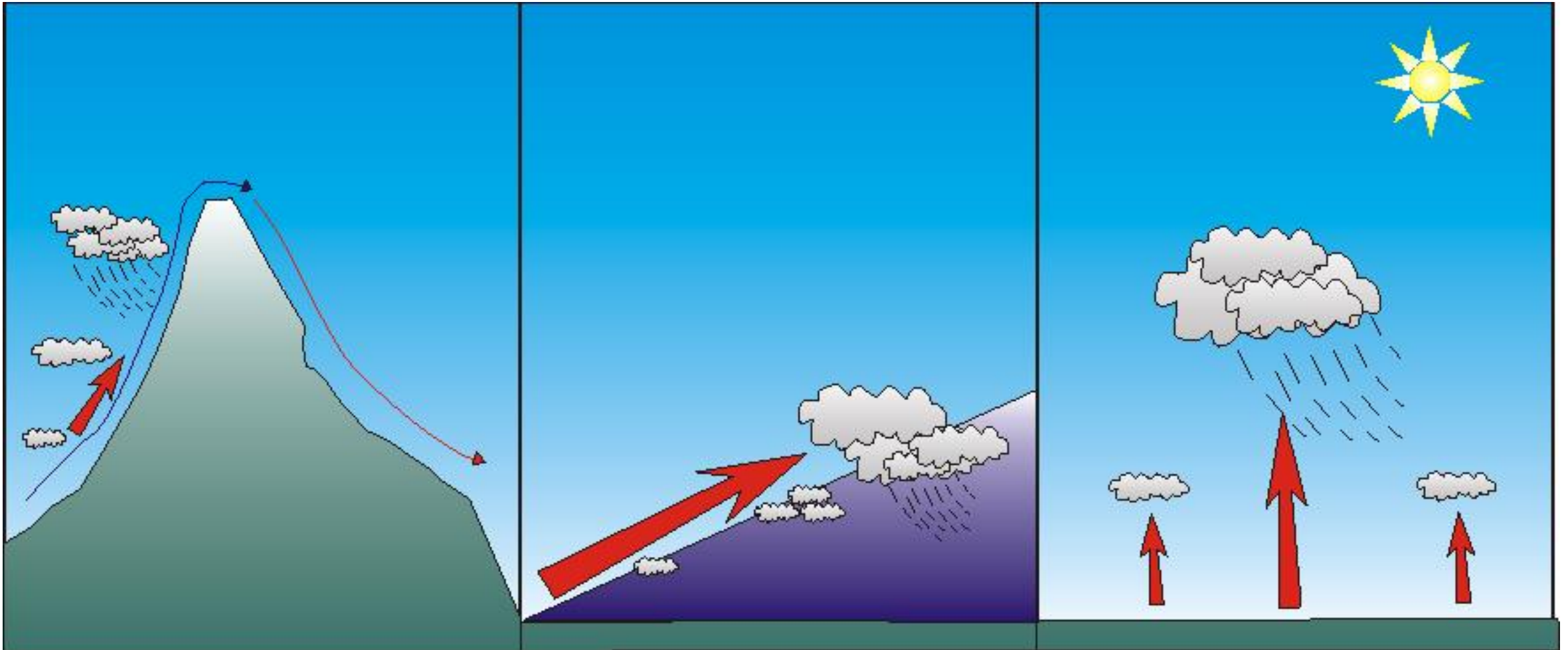
- **Κυκλωνικά ή μετωπικά κατακρημνίσματα**
 - Ανύψωση και ψύξη αέριων μαζών εξαιτίας της ύπαρξης θερμών και ψυχρών μετώπων
- **Ορογραφικά ή κατακρημνίσματα αναγλύφου**
 - Ανύψωση → ψύξη → υγροποίηση υδρατμών λόγω φυσικών εμποδίων
- **Κατακρημνίσματα ανοδικής μεταφοράς**
 - Όταν μία ψυχρή αέρια μάζα συναντήσει θερμή επιφάνεια εδάφους

Κατηγορίες κατακρημνισμάτων

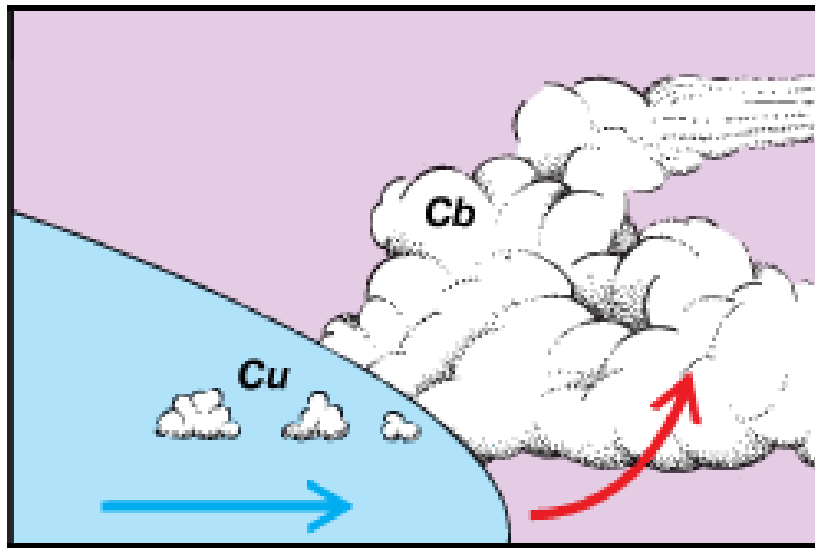
ορογραφικό φαινόμενο

μέτωπα

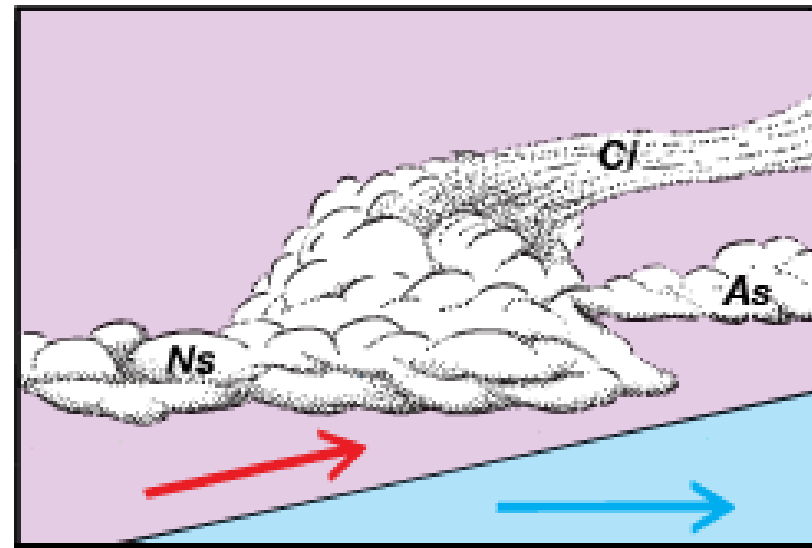
ανοδική μεταφορά



ΜÉTΩΠΑ

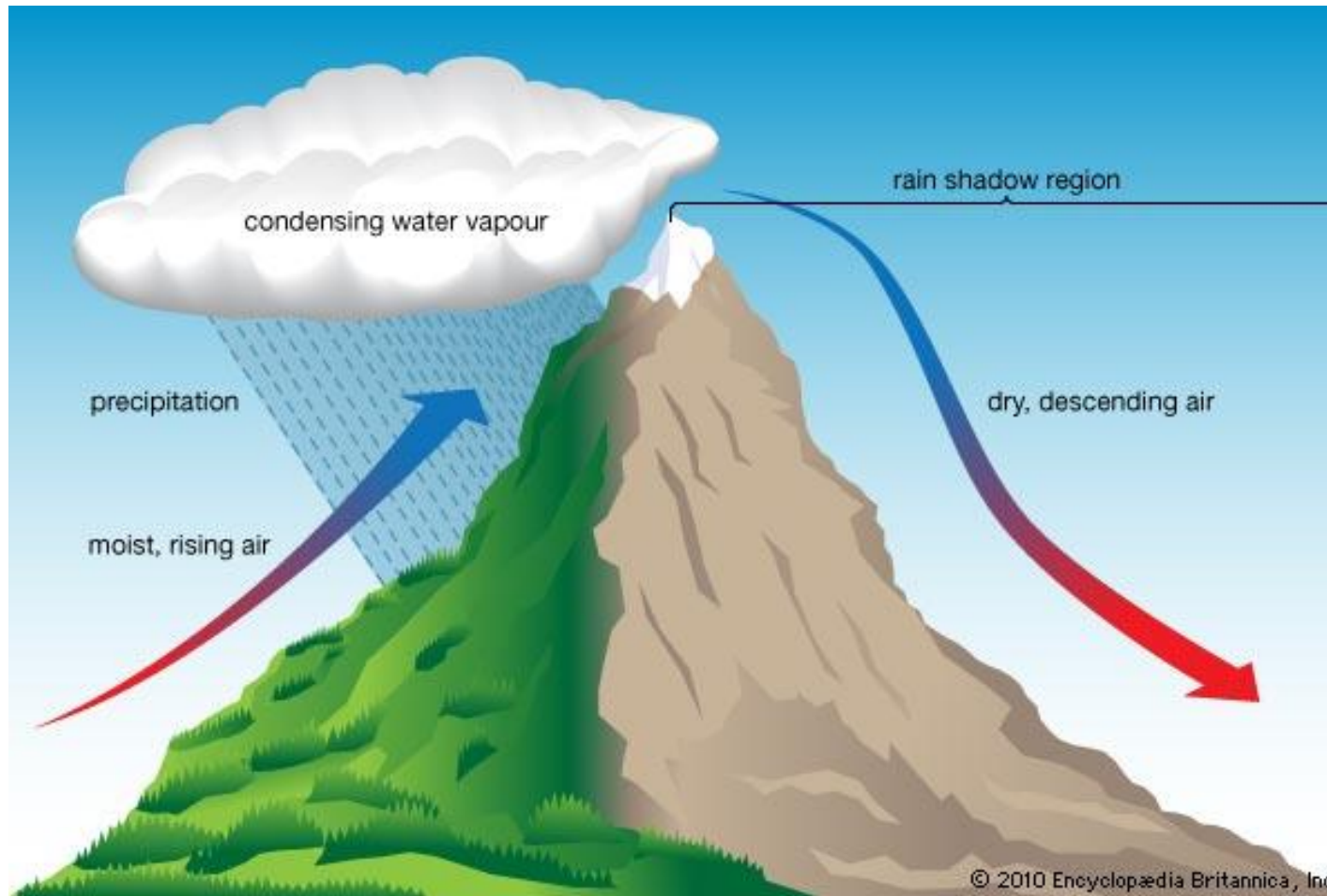


cold front

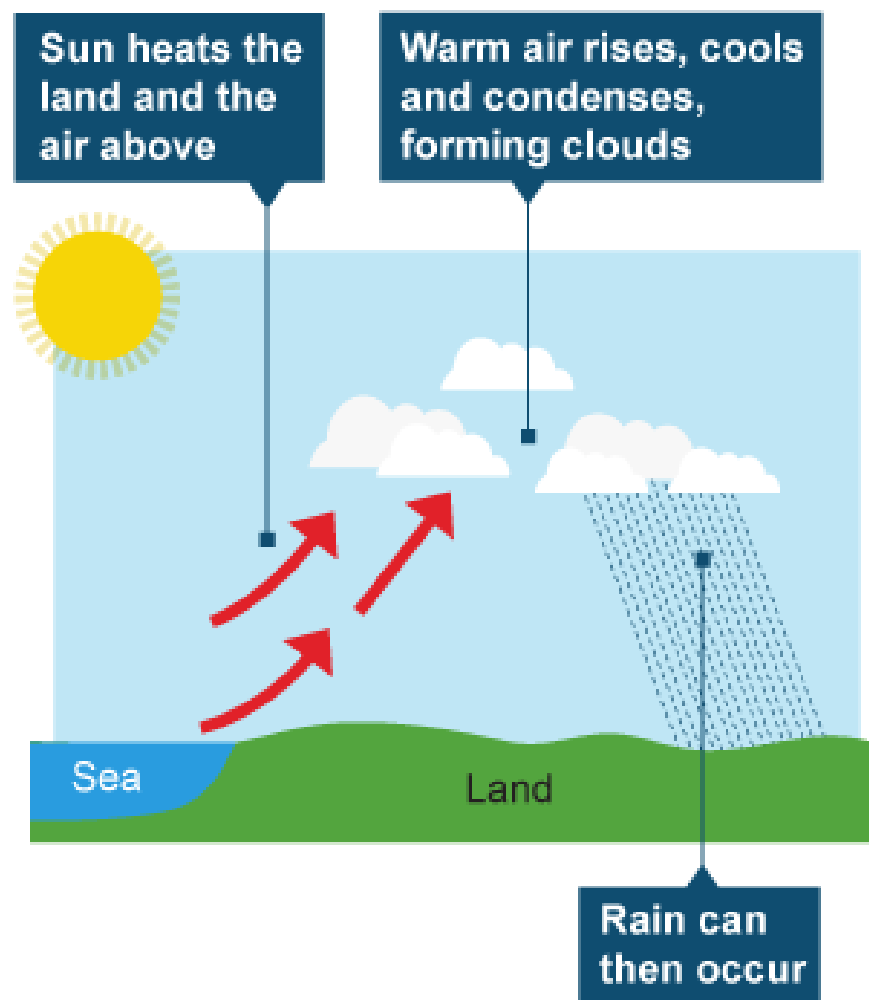


warm front

Ορογραφικό φαινόμενο



Ανοδική μεταφορά



Μορφές κατακρημνισμάτων

βροχή



Μορφές κατακρημνισμάτων

βροχή



χιόνι



Μορφές κατακρημνισμάτων

βροχή



χιόνι



χαλάζι



Μετρήσεις

- **Βροχόμετρο**

- Σημειακή μέτρηση βροχής (μεγάλο χρονικό βήμα)

- **Βροχογράφος**

- Σημειακή μέτρηση βροχής (μικρό χρονικό βήμα)

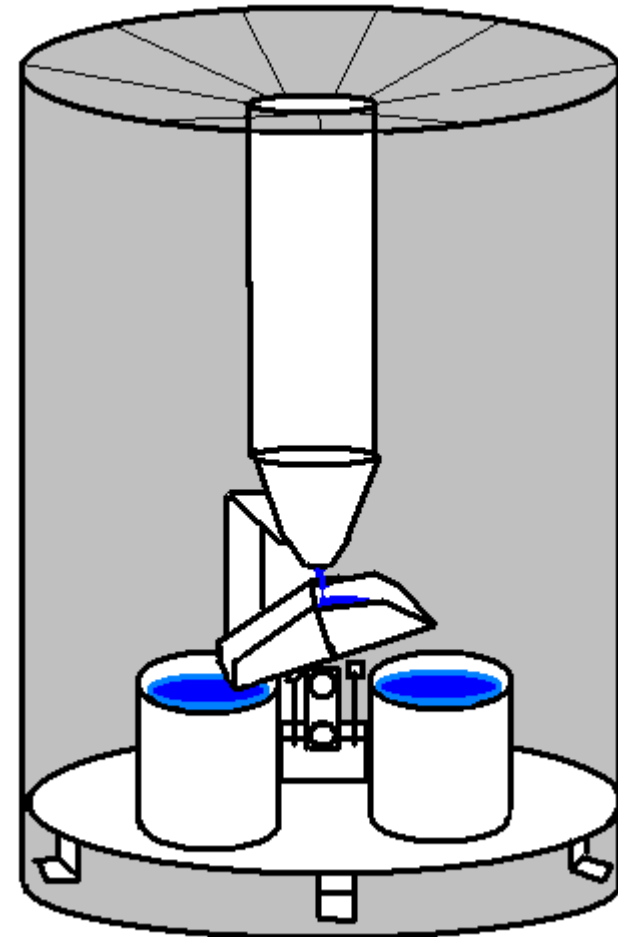
- **Ραντάρ**

- Χωρική κατανομή της βροχής (μικρό χωρικό βήμα)

- **Δορυφόρος**

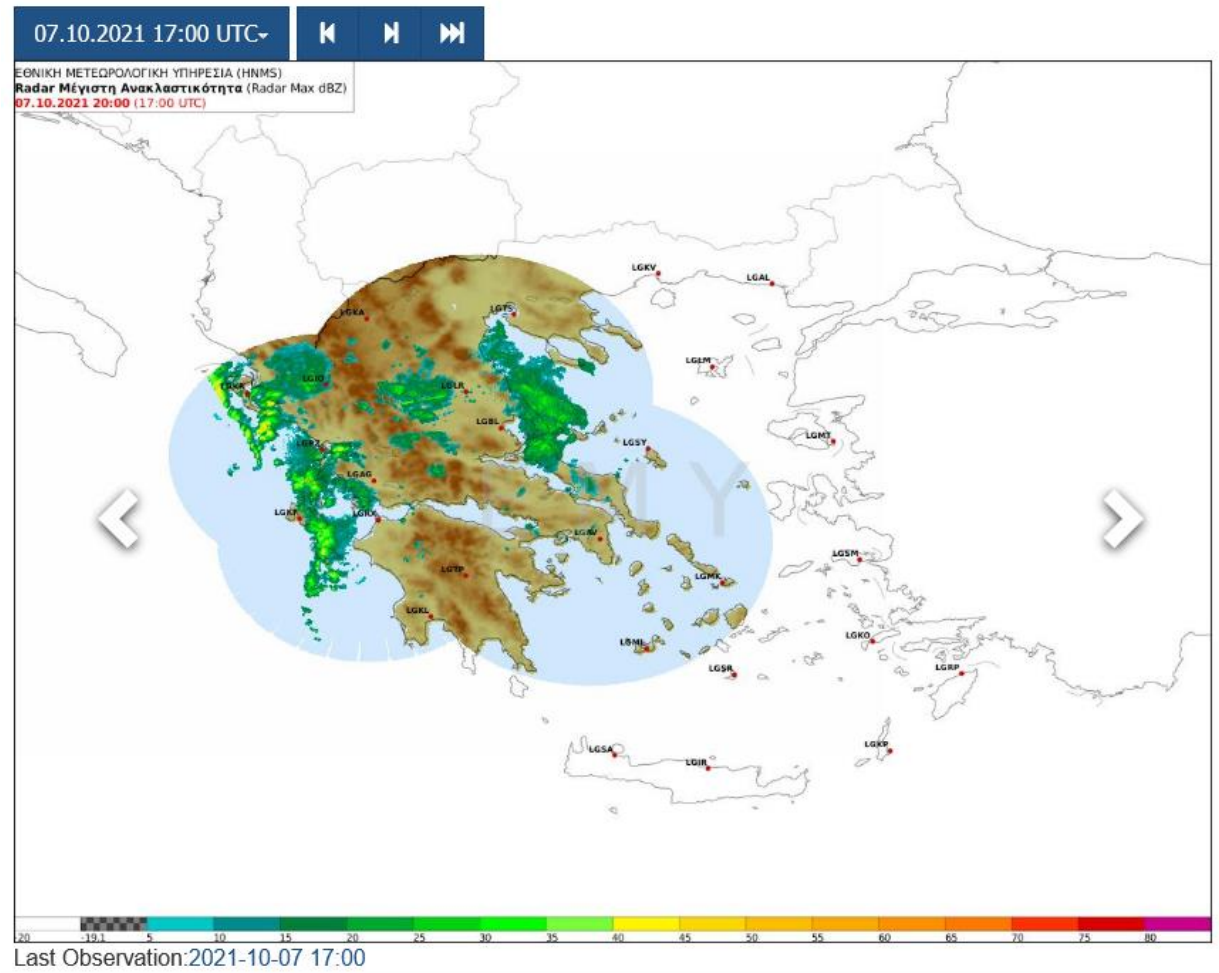
- Χωρική κατανομή της βροχής (μικρό χωρικό βήμα)

Βροχογράφος

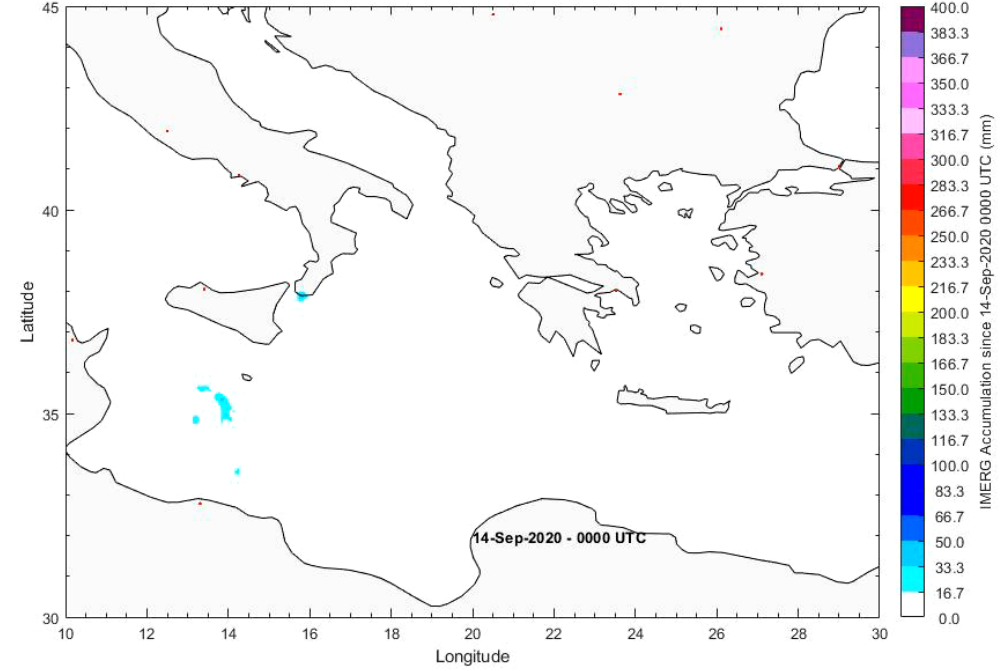
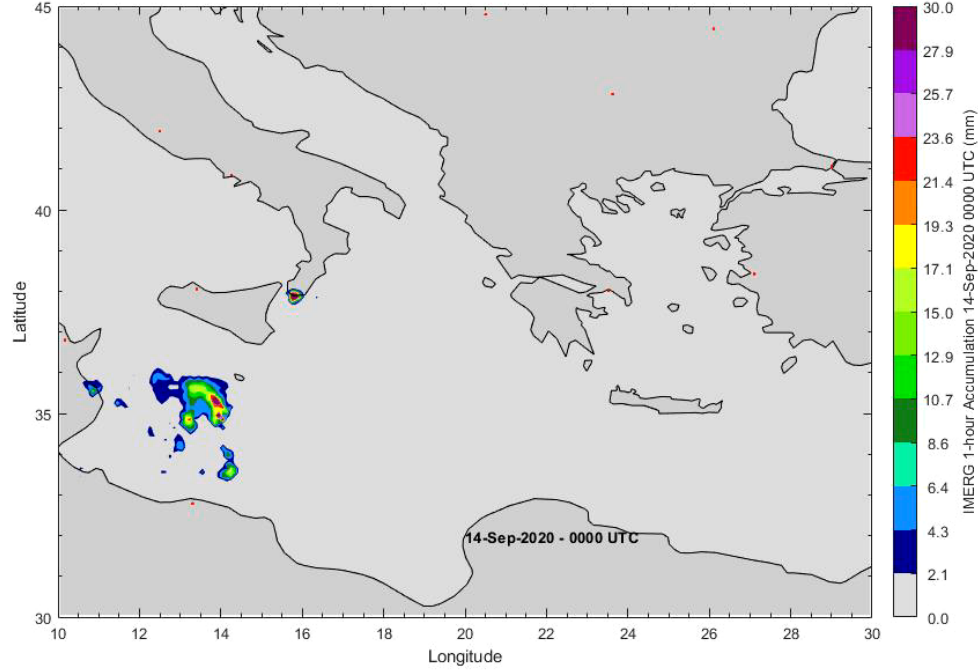


Ραντάρ

Radar Image: 07.10.2021 17:00 UTC



Δορυφόροι



ΑΠΩΛΕΙΕΣ

ΑΠΩΛΕΙΕΣ

- **Εξάτμιση**
- **Διαπνοή**
- **Απώλειες στο έδαφος**
 - Παρεμπόδιση
 - Κατακράτηση
 - Διήθηση

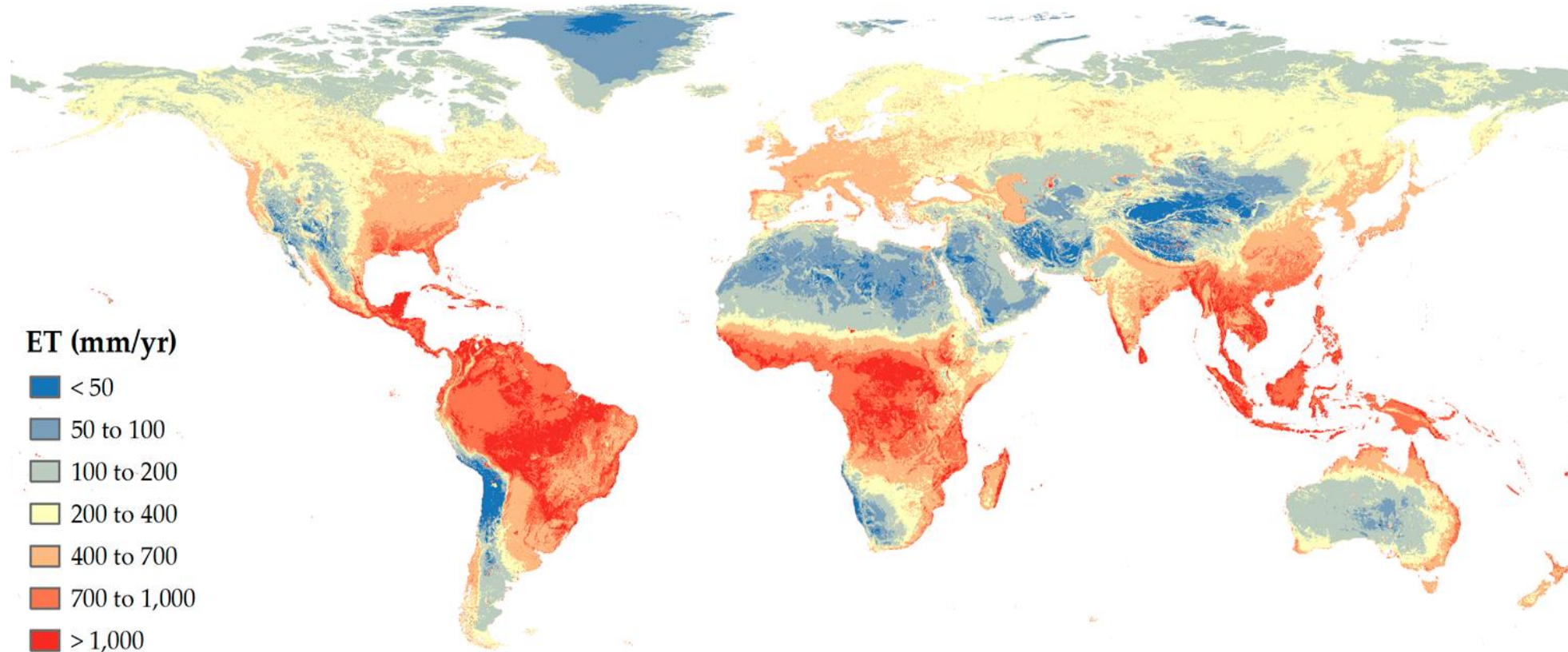
Χρονικές κλίμακες

- **Μεγάλες χρονικές κλίμακες (ετήσια, υπερετήσια)**
 - Εξατμισοδιαπνοή = Βροχόπτωση – Απορροή
 - Οι απώλειες στο έδαφος μετατρέπονται είτε σε εξατμισοδιαπνοή είτε σε απορροή (επιφανειακή ή υπόγεια)
- **Μικρές χρονικές κλίμακες (ώρες, ημέρες)**
 - Εξατμισοδιαπνοή → αμελητέα συνεισφορά
 - Απώλειες στο έδαφος → ο κυριότερος παράγοντας για τον υπολογισμό του περισσεύματος βροχής

Εξατμισοδιαπνοή

- **Εξάτμιση**
 - Υδάτινες μάζες → υδρατμοί
- **Διαπνοή**
 - Το νερό το οποίο χρησιμοποιείται από τα φυτά για το μεταβολισμό και την ανάπτυξή τους → υδρατμοί μέσω των στομάτων του φυλλώματος
- **Πραγματική Εξατμισοδιαπνοή**
 - Εξάτμιση + Διαπνοή (δύσκολο να διαχωριστούν)
- **Δυνητική Εξατμισοδιαπνοή**
 - Η εξατμισοδιαπνοή αν το νερό ήταν απεριόριστα διαθέσιμο

Παγκόσμια κατανομή εξατμισοδιαπνοής

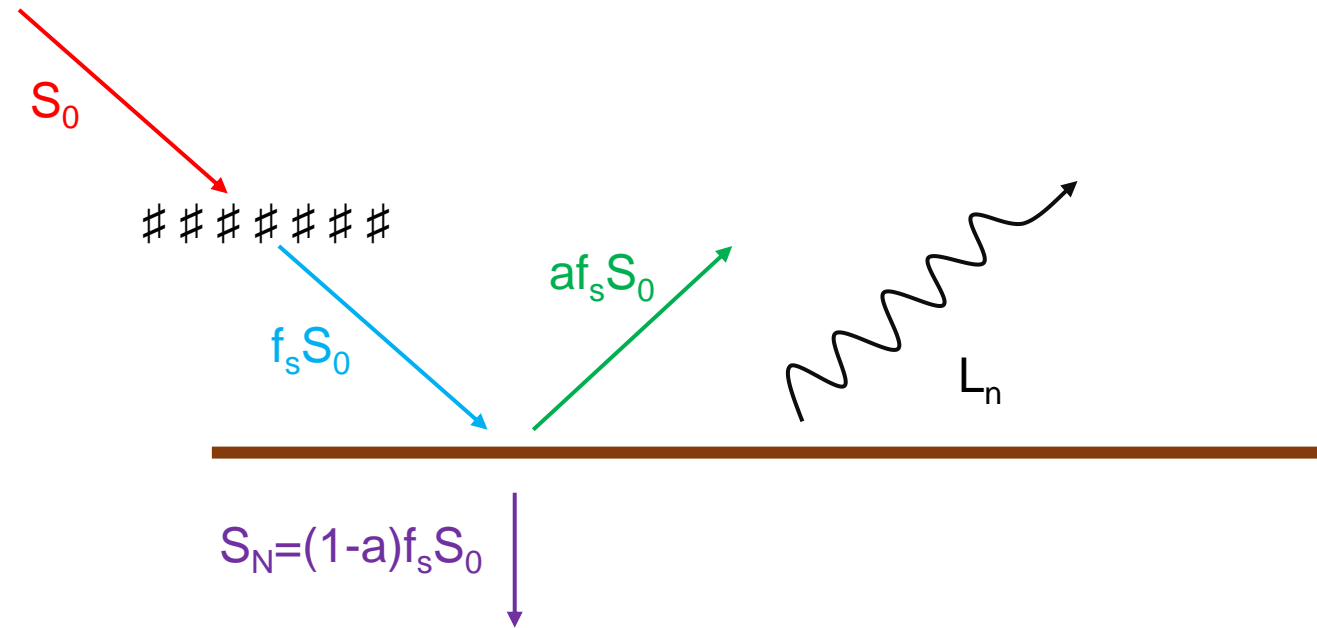


Πηγή: Raoufi, R.; Beighley, E. Estimating Daily Global Evapotranspiration Using Penman–Monteith Equation and Remotely Sensed Land Surface Temperature. *Remote Sens.* **2017**, *9*, 1138.

Ενέργεια

- **Εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία → απορρόφηση από τη γη και μετατροπή σε εσωτερική ενέργεια**
 - Ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος που επανεκπέμπεται
 - Μεταφορά αισθητής θερμότητας: Επιφάνεια ↔ Ατμόσφαιρα
 - Εξάτμιση
 - Μεταφορά θερμότητας στην επιφάνεια
- **Μεγάλη λανθάνουσα θερμότητα**
 - Μεταφορά και ανακατανομή σημαντικών ποσοτήτων ενέργειας
- **Εξατμισοδιαπνοή → συνδεδετικός κρίκος υδατικού και ενεργειακού ισοζυγίου**

Ηλιακή ακτινοβολία



Μέθοδος Thornthwaite

$$ET = 16 \left(\frac{n}{12} \right) \left(\frac{N_D}{30} \right) \left(\frac{10T}{I} \right)^{a_1}$$

- ET δυνητική εξατμισοδιαπνοή (mm/month)
- N πραγματικός αριθμός ωρών ηλιοφάνειας (h)
- N_D αριθμός ημερών του μήνα
- T μέση μηνιαία θερμοκρασία αέρα ($^{\circ}\text{C}$)
- I ετήσιος δείκτης θερμότητας $\Sigma(T_{\text{μήνα}}/5)^{1.514}$
- $a_1 = 6.75 \times 10^{-7} I^3 - 7.71 \times 10^{-5} I^2 + 1.79 \times 10^{-2} I + 0.49$

Μέθοδος Blaney-Criddle

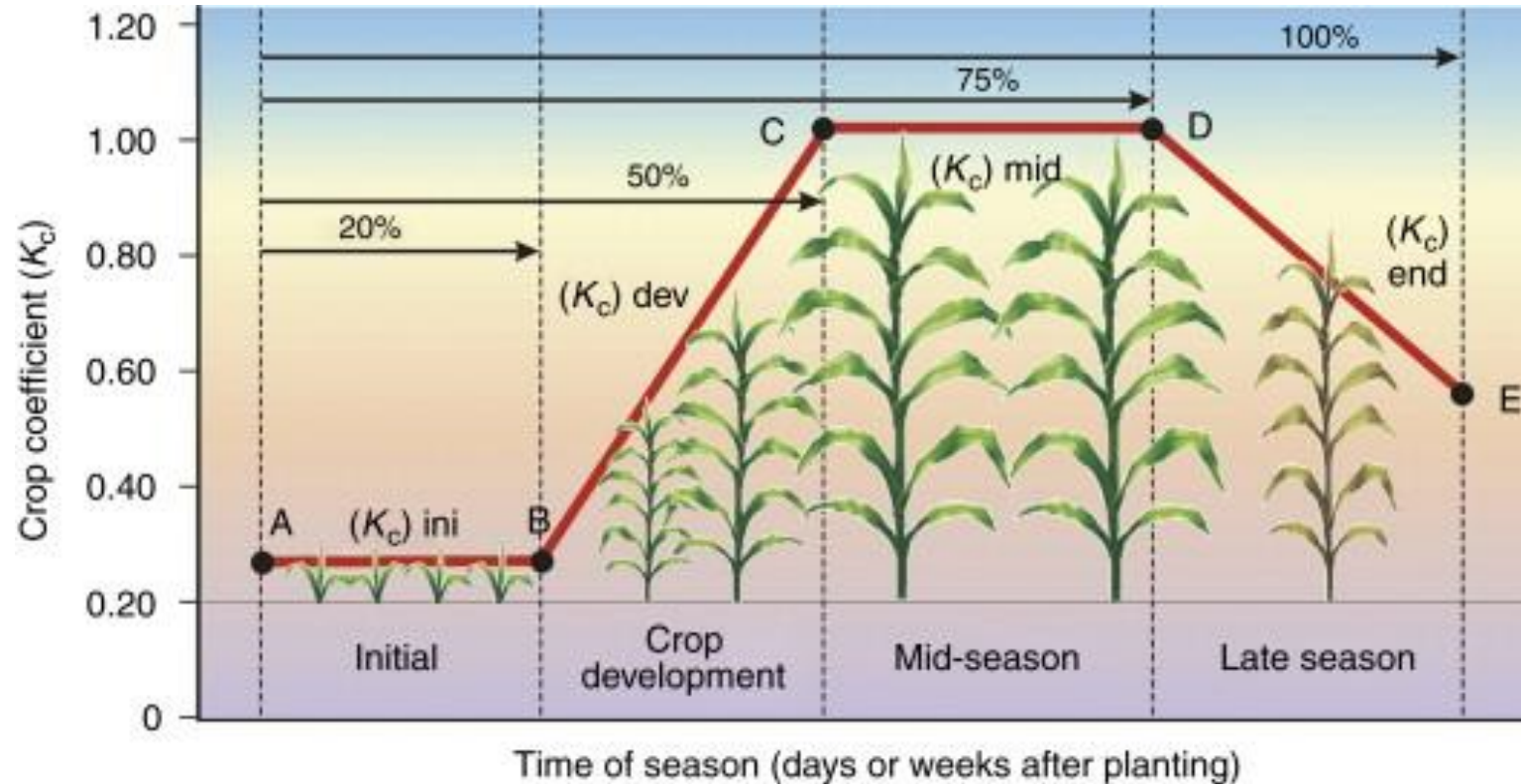
$$ET = k \left(\frac{1.8T + 32}{3.94} \right) p$$

- ET δυνητική εξατμισοδιαπνοή (mm/month)
- k εμπειρικός συντελεστής για κάθε καλλιέργεια
- T μέση μηνιαία θερμοκρασία αέρα (°C)
- p μηνιαίο ποσοστό των ωρών ημέρας ως προς τις συνολικές ετήσιες ώρες ημέρας

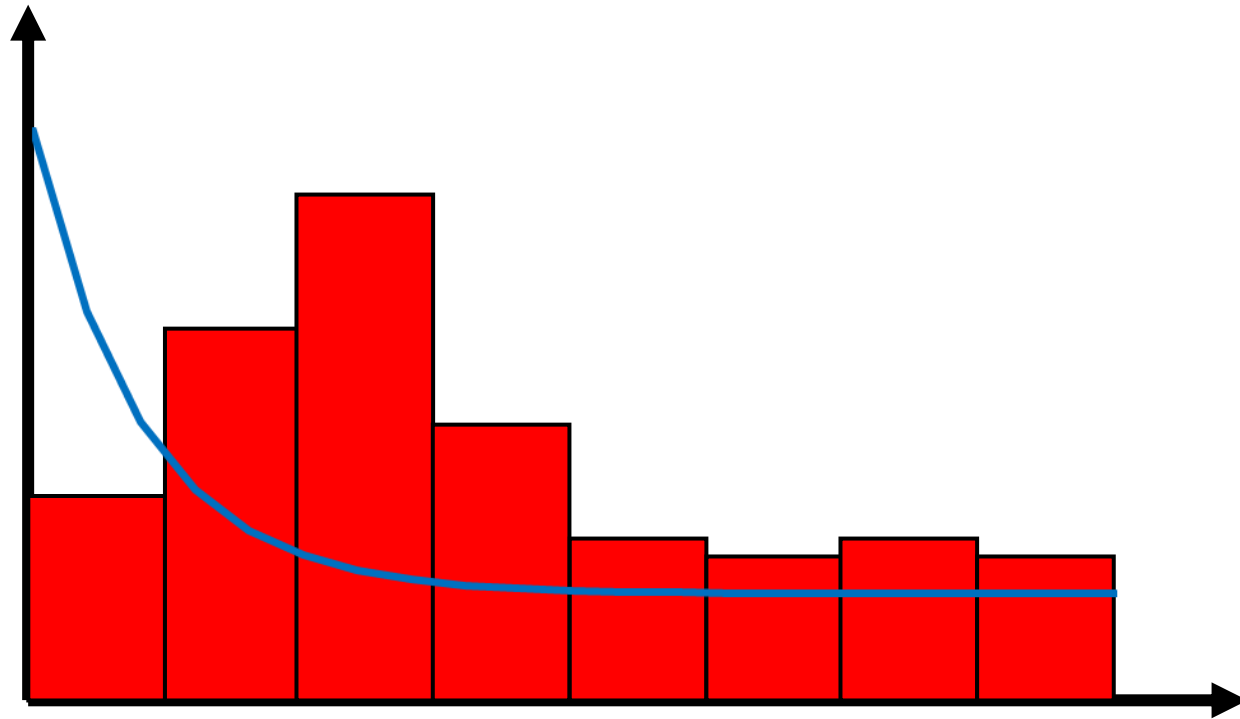
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ k

Καλλιέργεια	Διάρκεια βλαστικής περιόδου (month)	k
Μηδική	Μεταξύ παγετών	0.80-0.85
Αραβόσιτος	4	0.75-0.85
Βαμβάκι	7	0.60-0.70
Σιτηρά	3	0.75-0.85
Εσπεριδοειδή	12	0.45-0.55
Φυλλοβόλα Οπωροφόρα	Μεταξύ παγετών	0.60-0.70
Φυτικό λιβάδι	Μεταξύ παγετών	0.75-0.85
Πατάτα	3-5	0.65-0.75
Ρύζι	3-5	1.00-1.10
Ζαχαρότευτλα	6	0.65-0.75
Ντομάτα	4	0.65-0.70
Λαχανικά	2-4	0.60-0.70

Συντελεστής k

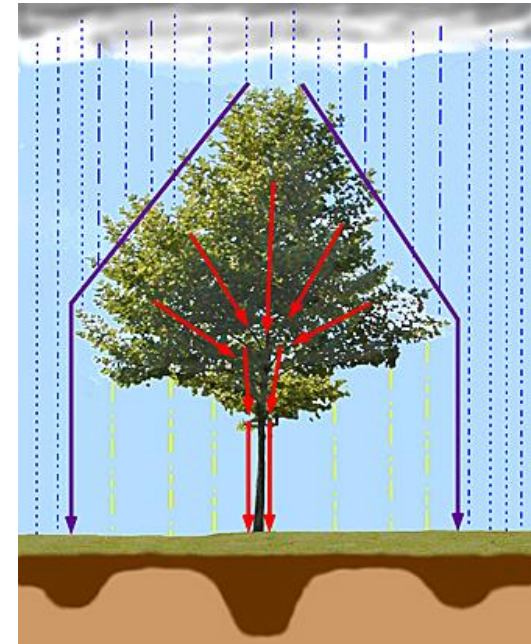


Γενική μορφή απωλειών στο έδαφος



Παρεμπόδιση

- Ανακοπή/ανάσχεση της πορείας νερού προς το έδαφος λόγω της βλάστησης
- Προσωρινή αποθήκευση → εξατμισοδιαπνοή σε μεγαλύτερες χρονικές κλίμακες
- ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ
 - Διάπτωση → ανάσχεση
 - Κορμοροή → ανάσχεση
 - Απώλεια παρεμπόδισης → ανακοπή



Κατακράτηση

- Ανακοπή/ανάσχεση βροχής προς την απορροή λόγω παγίδευσης του νερού σε κοιλότητες του αναγλύφου (σε διάφορες χωρικές κλίμακες)
- Σε μεγαλύτερες χρονικές κλίμακες
 - Διήθηση
 - Εξάτμιση
- Αριθμητικά μοντέλα
 - Linsey et al. (1975)

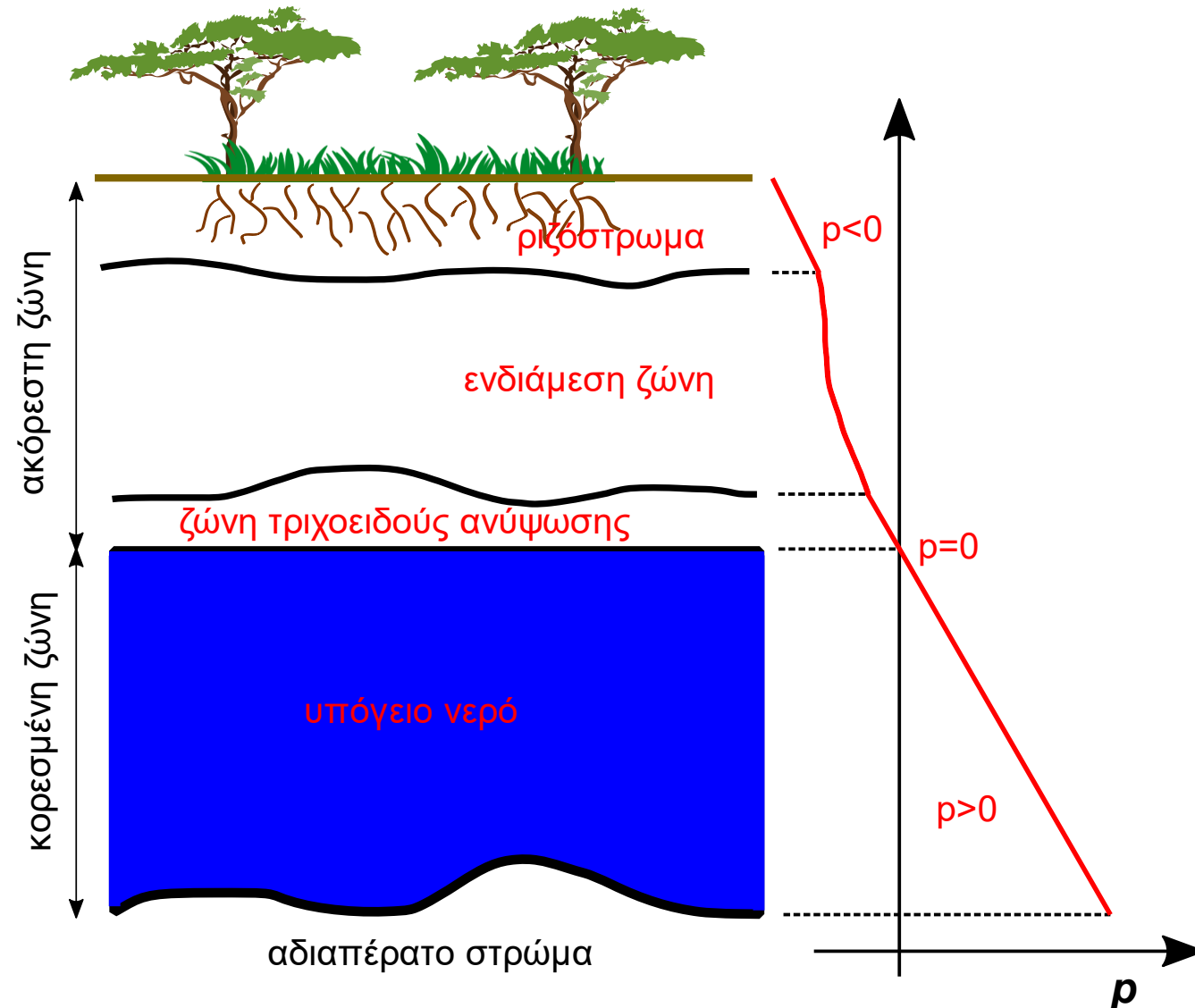
$$h = S_D \left[1 - \exp\left(-P/S_D\right) \right]$$

h	Κατακράτηση
S_D	Χωρητικότητα παγίδευσης (10-50 mm)
P	Βροχόπτωση

Διήθηση

- **Η διεργασία με την οποία το νερό διεισδύει μέσα στο έδαφος**
 - Βροχόπτωση
 - Τήξη χιονιού
 - Άρδευση
 - Υδάτινος όγκος ανάσχεσης λόγω απωλειών
- **Μεταβάλλεται χωρικά και χρονικά**

Ανοιχτός υδροφόρας

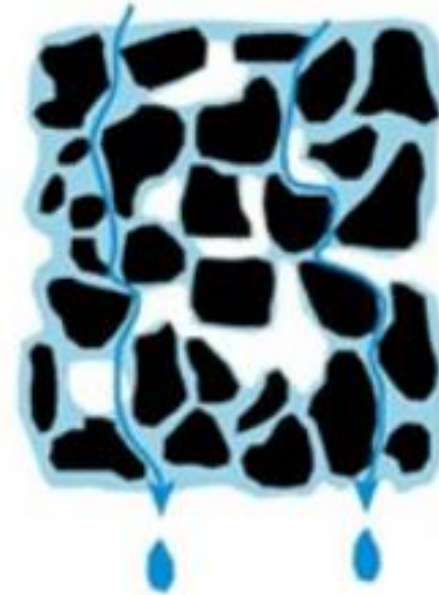


Κορεσμένη vs. Ακόρεστη ροή

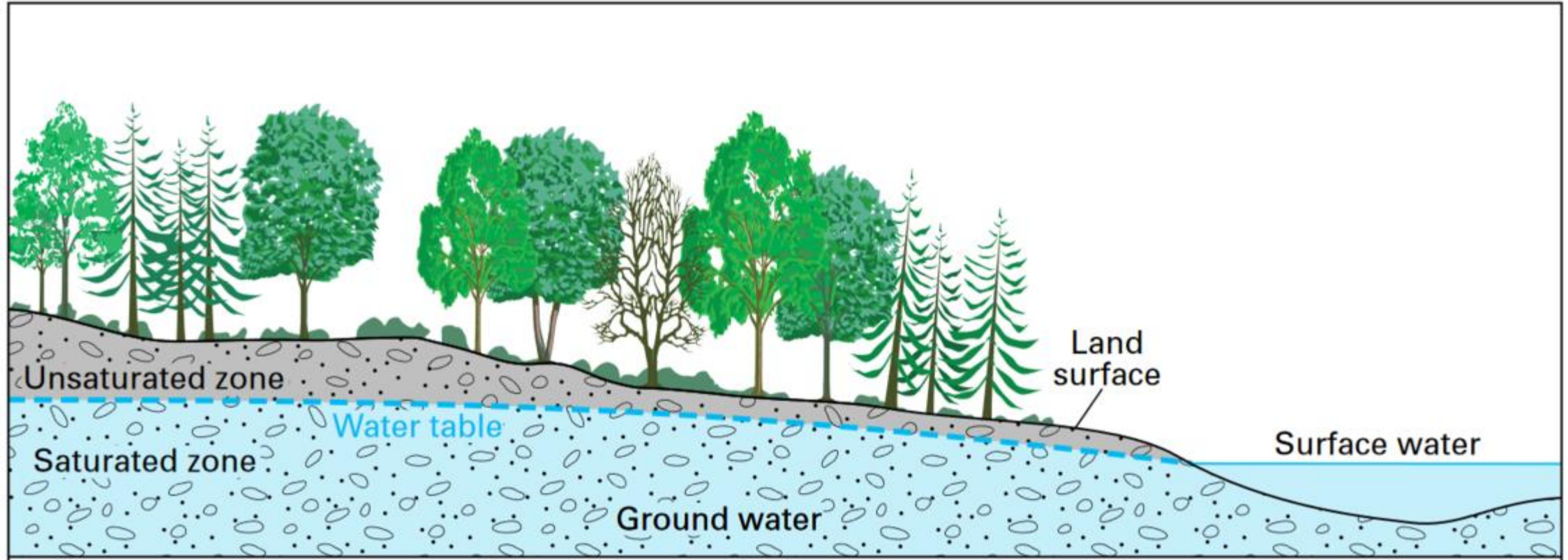
Κορεσμένη ροή



Ακόρεστη ροή



Ζώνες



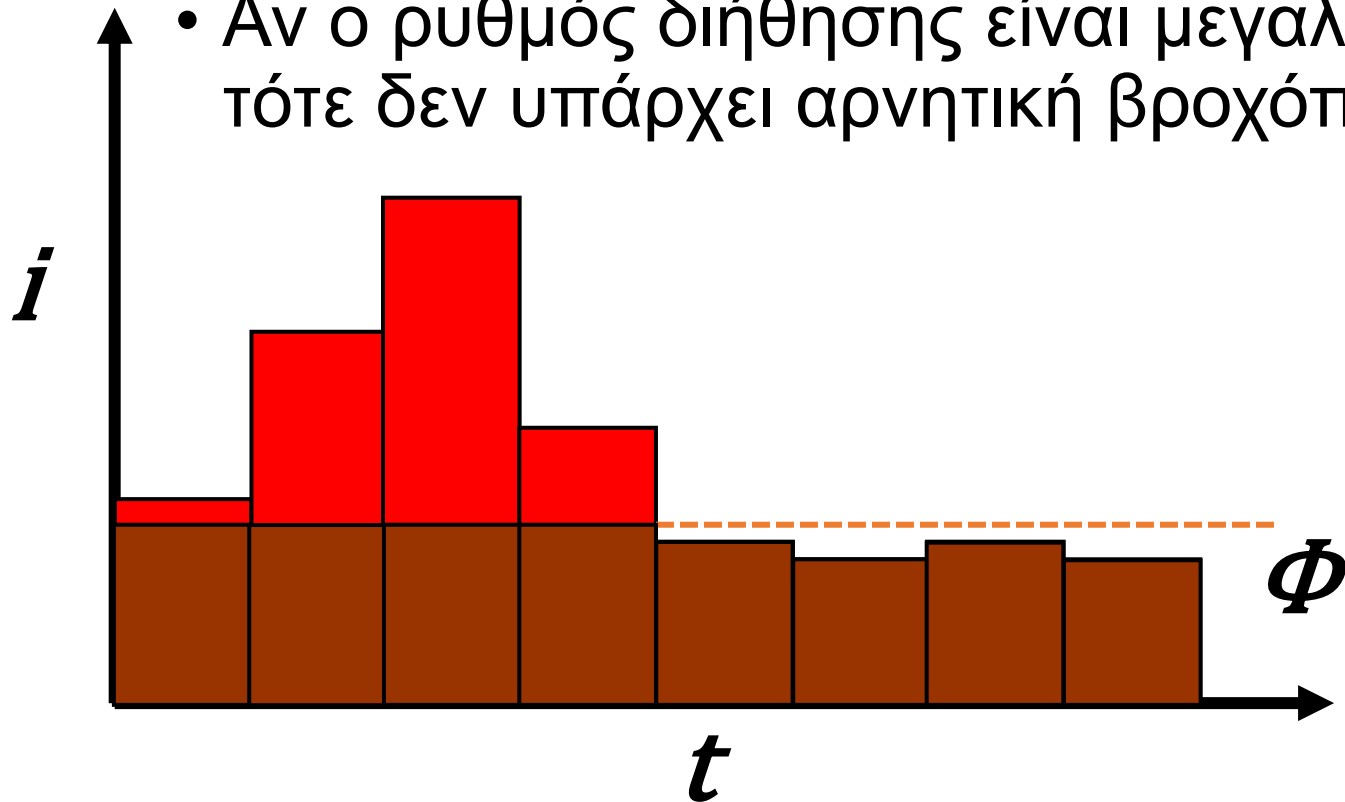
Δείκτης φ

- Σταθερός ρυθμός διήθησης
- Αν ο ρυθμός διήθησης είναι μεγαλύτερος από τη βροχόπτωση τότε δεν υπάρχει αρνητική βροχόπτωση!



Δείκτης ϕ

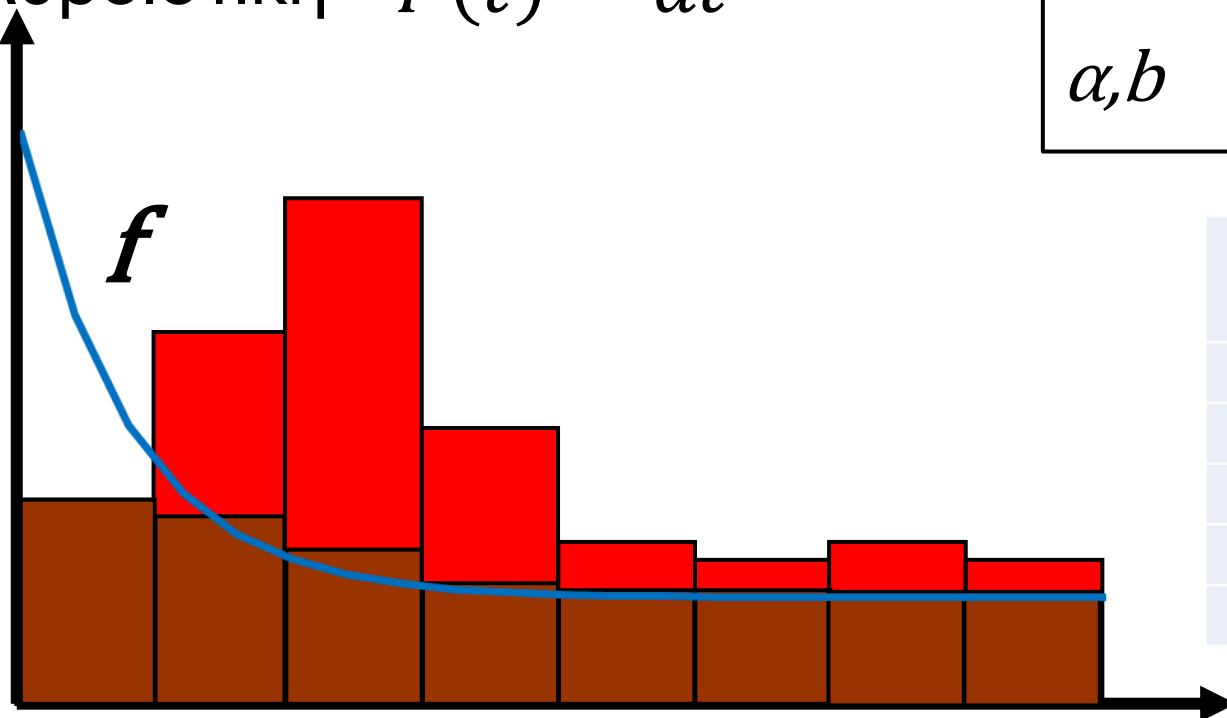
- Σταθερός ρυθμός διήθησης
- Αν ο ρυθμός διήθησης είναι μεγαλύτερος από τη βροχόπτωση τότε δεν υπάρχει αρνητική βροχόπτωση!



Kostiakov

- Ρυθμός $f(t) = abt^{b-1}$
- Αθροιστική $F(t) = at^b$

f	ικανότητα διήθησης [LT^{-1}]
F	αθροιστική διήθηση [L]
a, b	παράμετροι



Έδαφος	a (m/min ^b)	b
Άργιλος	0.00383	0.317
Αργιλώδης πηλός	0.00330	0.437
ΐλυο-πηλός	0.00320	0.503
Αμμώδης πηλός	0.00328	0.584
Άμμος	0.00361	0.642

SCS

- Έμμεσος υπολογισμός διήθησης → υπολογισμός περισσεύματος βροχόπτωσης

$$h_R = \begin{cases} 0 & h_r \leq 0.2S \\ \frac{(h_r - 0.2S)^2}{h_r + 0.8S} & h_r > 0.2S \end{cases} \quad S = 254 \left(\frac{100}{CN} - 1 \right)$$

h_R περίσσειμα βροχής (mm)

h_r βροχόπτωση (mm)

S αποθηκευτικότητα λεκάνης (mm)

CN αριθμός καμπύλης

Curve Number

Έδαφος	Κατηγορία
Υψηλός ρυθμός διήθησης	A
Μέτριος ρυθμός διήθησης	B
Χαμηλός ρυθμός διήθησης	C
Πολύ μικρός ρυθμός διήθησης	D

Συνθήκες εδαφικής υγρασίας	Κατάσταση
Στεγνά εδάφη	I
Μέση κατάσταση	II
Σχεδόν κορεσμένο έδαφος	III

Curve Number

Cover description		Curve numbers for hydrologic soil group			
Cover type	Hydrologic condition	A	B	C	D
Pasture, grassland, or range—continuous forage for grazing. ^A	Poor	68	79	86	89
	Fair	49	69	79	84
	Good	39	61	74	80
Meadow—continuous grass, protected from grazing and generally mowed for hay.	—	30	58	71	78
Brush—brush-weed-grass mixture with brush the major element. ^B	Poor	48	67	77	83
	Fair	35	56	70	77
	Good	30 ^C	48	65	73
Woods—grass combination (orchard or tree farm). ^D	Poor	57	73	82	86
	Fair	43	65	76	82
	Good	32	58	72	79
Woods. ^E	Poor	45	66	77	83
	Fair	36	60	73	79
	Good	30	55	70	77
Farmsteads—buildings, lanes, driveways, and surrounding lots.	—	59	74	82	86

Curve Number

Cover description		Curve numbers for hydrologic soil group			
		A	B	C	D
Open space (lawns, parks, golf courses, cemeteries, etc.)	Poor condition (grass cover <50%)	68	79	86	89
	Fair condition (grass cover 50 to 75%)	49	69	79	84
	Good condition (grass cover >75%)	39	61	74	80
Impervious areas	Paved parking lots, roofs, driveways, etc. (excluding right of way)	98	98	98	98
Streets and roads	Paved; curbs and storm sewers (excluding right-of-way)	98	98	98	98
	Paved; open ditches (including right-of-way)	83	89	92	93
	Gravel (including right of way)	76	85	89	91
	Dirt (including right-of-way)	72	82	87	89
Western desert urban areas	Natural desert landscaping (pervious area only)	63	77	85	88
	Artificial desert landscaping (impervious weed barrier, desert shrub with 1- to 2-inch sand or gravel mulch and basin borders)	96	96	96	96
Urban districts	Commercial and business (85% imp.)	89	92	94	95
	Industrial (72% imp.)	81	88	91	93
Residential districts by average lot size	1/8 acre or less (town houses) (65% imp.)	77	85	90	92
	1/4 acre (38% imp.)	61	75	83	87
	1/3 acre (30% imp.)	57	72	81	86
	1/2 acre (25% imp.)	54	70	80	85
	1 acre (20% imp.)	51	68	79	84
	2 acres (12% imp.)	46	65	77	82

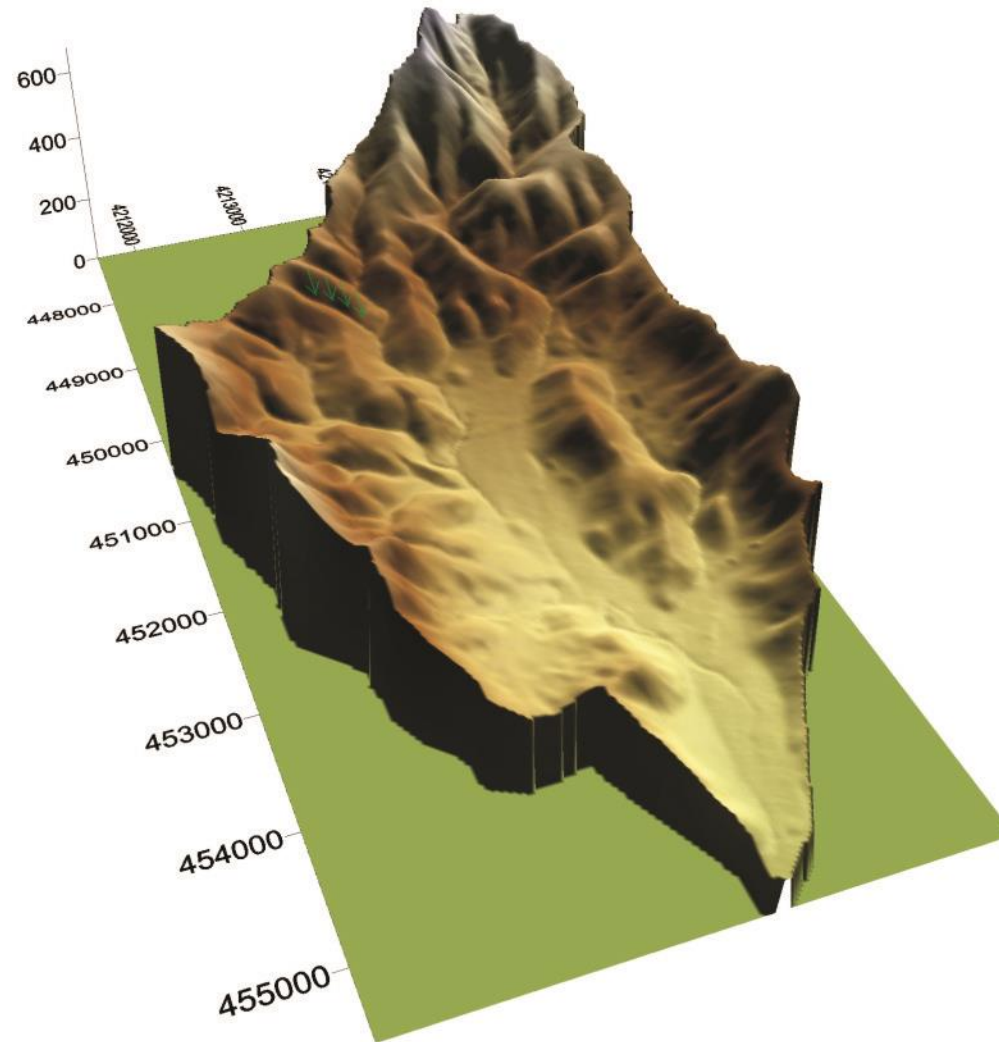
Απορροή

Χρόνος συγκέντρωσης

- Ο χρόνος που απαιτείται για να φτάσει η σταγόνα της βροχής από το πιο απομακρυσμένο σημείο της λεκάνης μέχρι την έξοδο αυτής
 - Επιφάνεια εδάφους
 - Μισγάγγεια
 - Υδατόρεμα

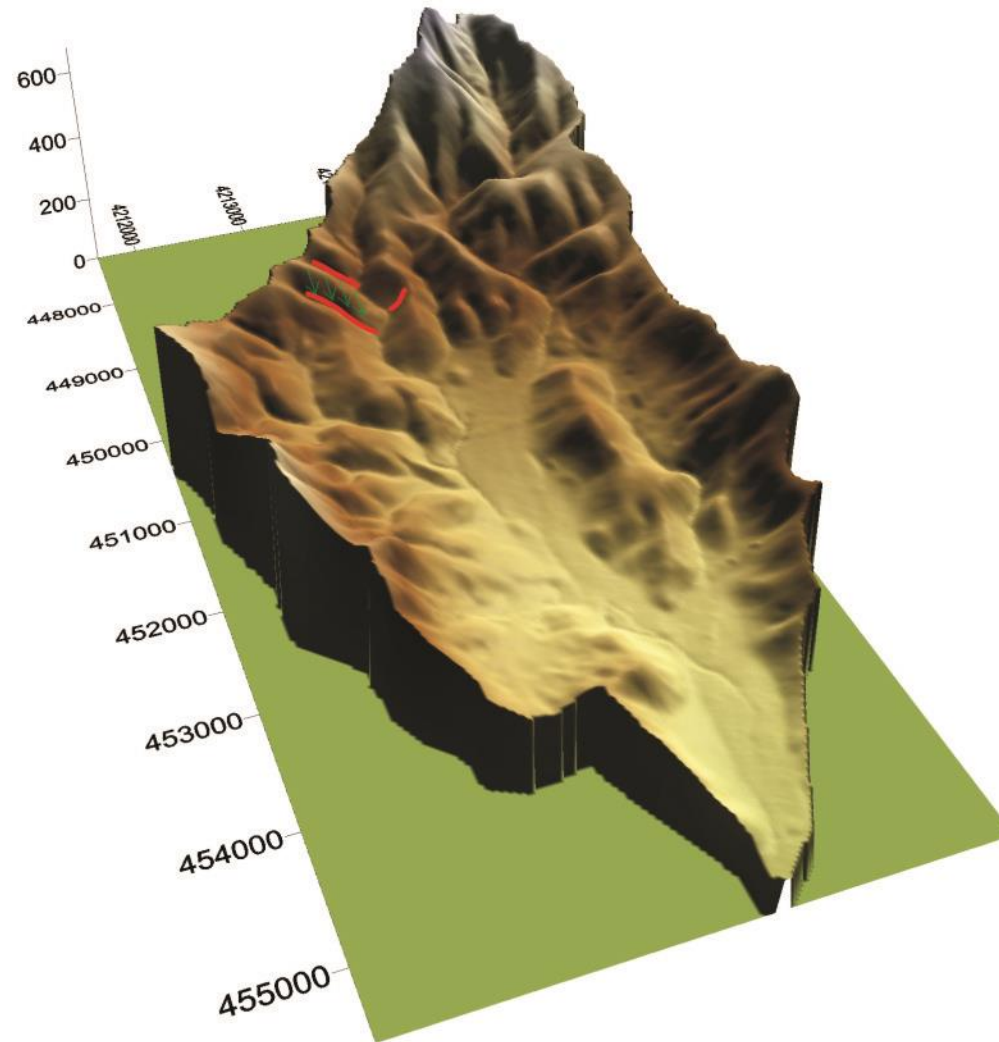
Διαδρομή νερού

- Έδαφος



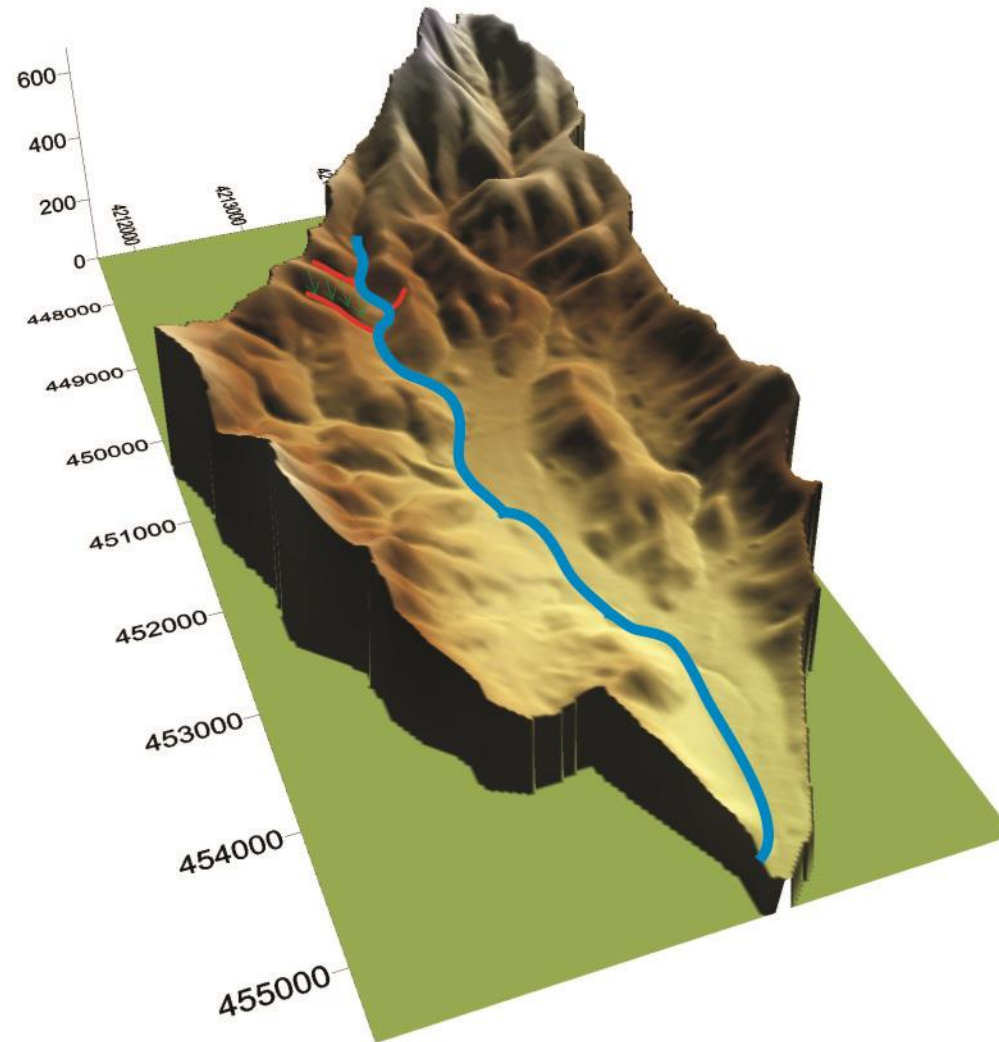
Διαδρομή νερού

- Έδαφος
- Μισγάγγεια



Διαδρομή νερού

- Έδαφος
- Μισγάγγεια
- Κυρίως ρέμα



Μισγάγγειες



Η γέννηση ενός υδατορέματος



Εμπειρικές σχέσεις

- **Kirpich (min)**

$$t_c = 0.02L^{0.77} S^{-0.385}$$

L	απόσταση κατά μήκος του κυρίου ρέματος από το πιο απομακρυσμένο σημείο μέχρι την έξοδο της λεκάνης (m)
S	μέση κλίση κατά μήκος της διαδρομής (m/m)

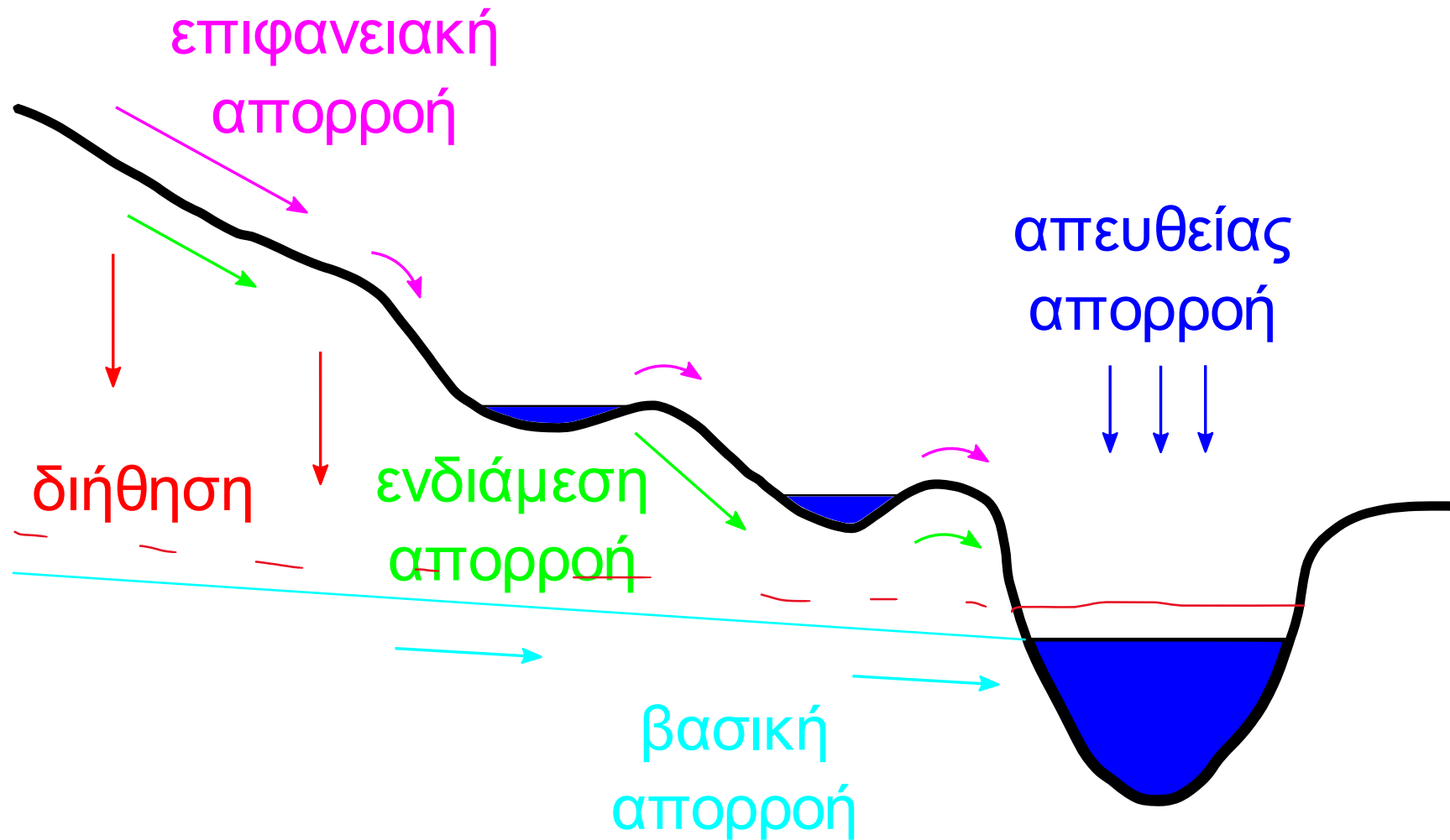
- **Giandotti (h)**

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{\Delta H}}$$

- ...

A	εμβαδόν λεκάνης απορροής (km ²)
L	μήκος κυρίου ρέματος (km)
ΔH	υψομετρική διαφορά μεταξύ μέσου υψομέτρου λεκάνης και της κοίτης του ρέματος στην έξοδο της λεκάνης (m)

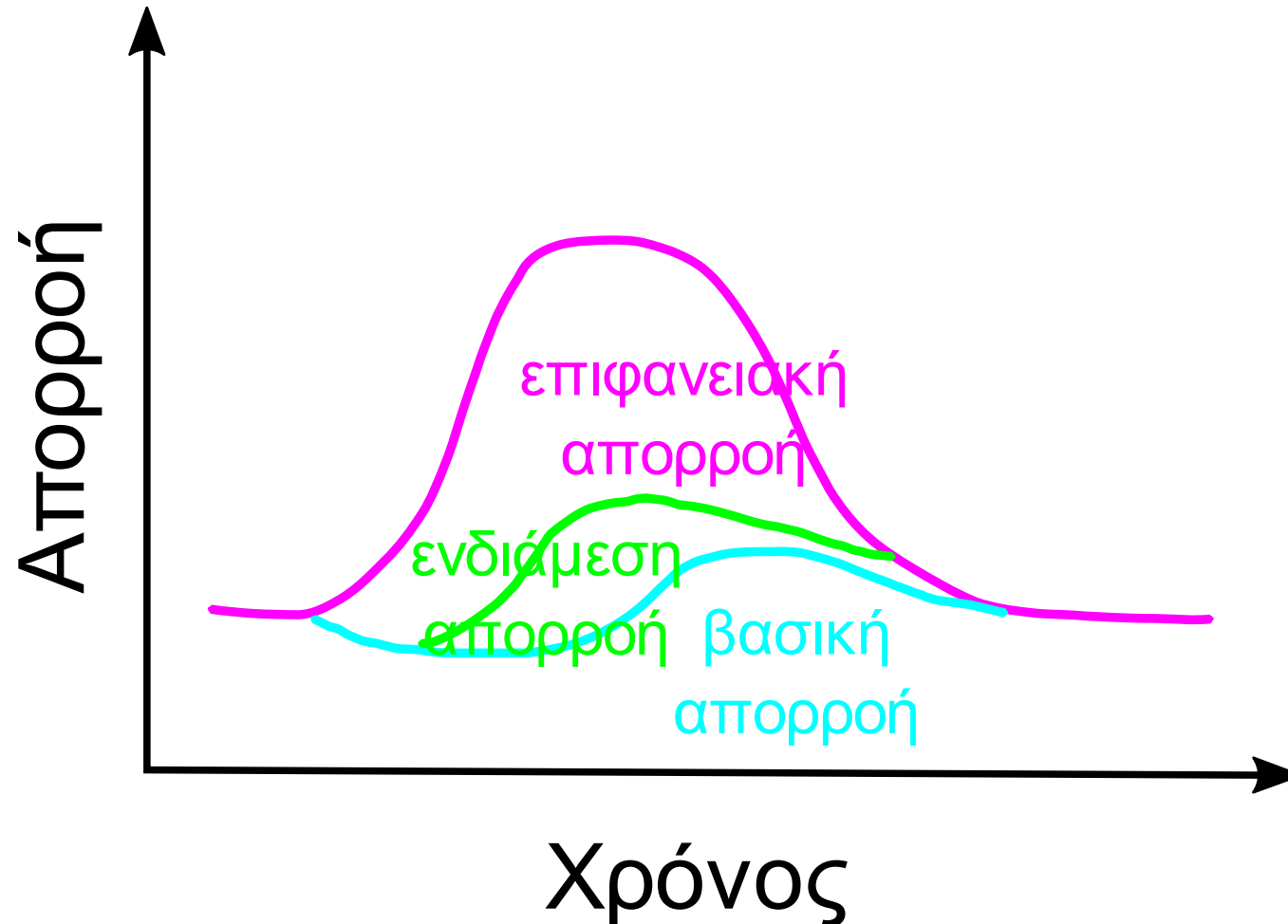
Απορροή



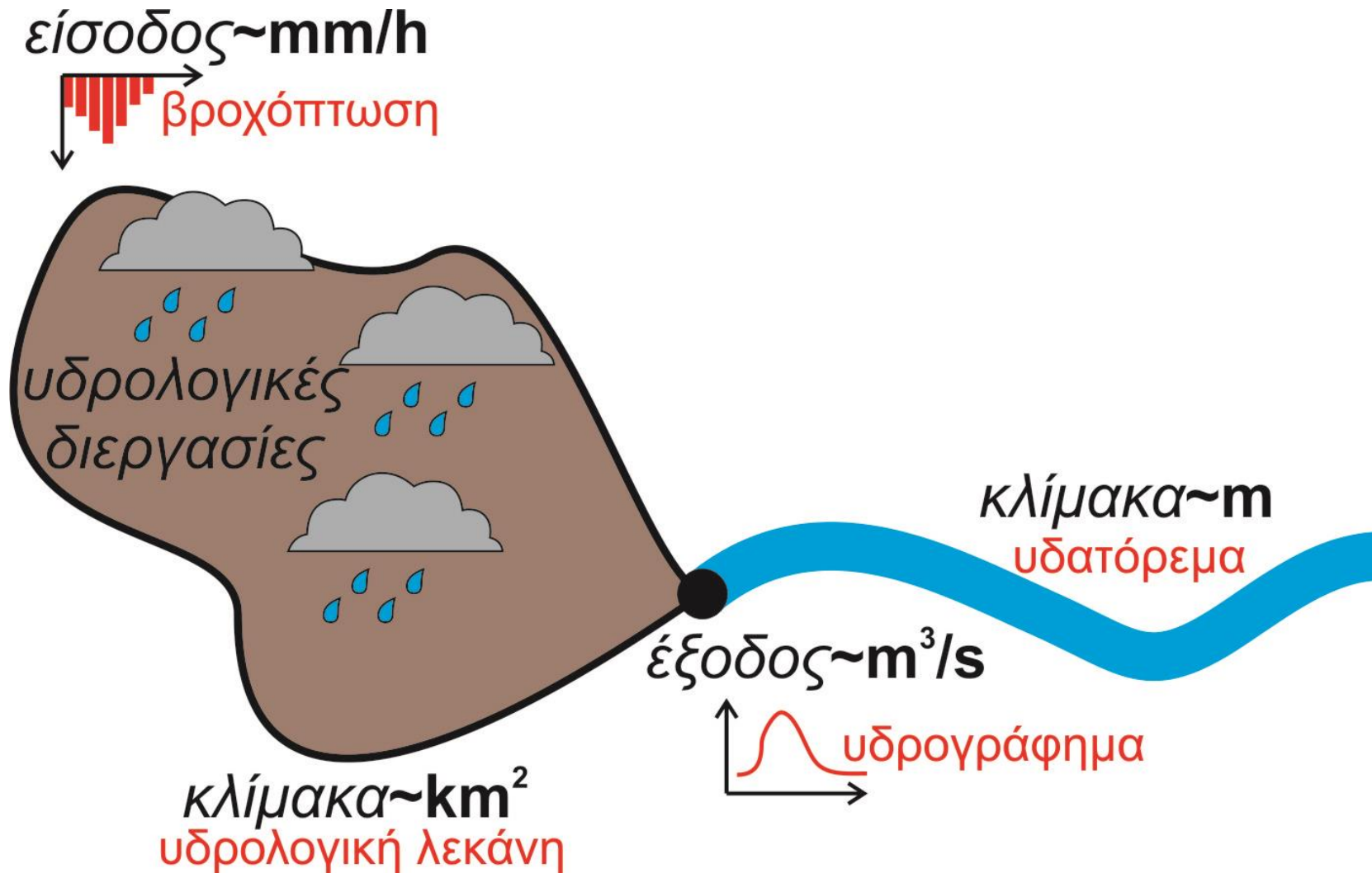
Υδρογράφημα

- Η βασική μονάδα μέτρησης της απορροής είναι η παροχή σε μία διατομή ενός υδατορέματος
- Θεμελιώδεις μονάδες $\rightarrow [L^3T^{-1}]$
- Συνήθεις μονάδες $\rightarrow m^3/s$ ή L/s
- Υδρογράφημα \rightarrow η μεταβολή της παροχής σε σχέση με το χρόνο

Συνιστώσες υδρογραφήματος



Κλίμακες



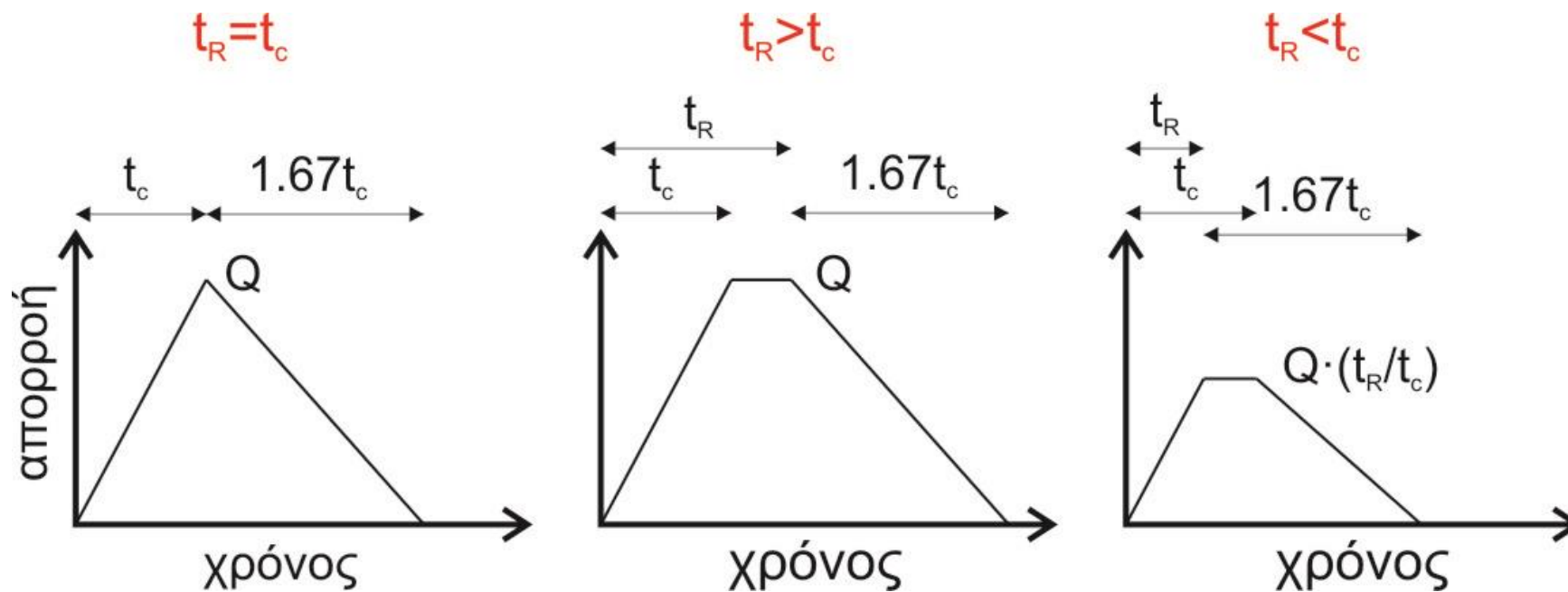
Μοντέλα βροχόπτωσης-απορροής

- **Ορθολογική μέθοδος → εμπειρικό μοντέλο**
 - Μόνο σε μικρές λεκάνες (<10 km²)
- **Μοναδιαίο Υδρογράφημα (ΜΥΓ) → εννοιολογικό μοντέλο**
 - Μετρήσεις
 - Συνθετικό ΜΥΓ
- **Μοντέλα φυσικής βάσης**
 - Κατανεμημένα
 - Λογισμικά

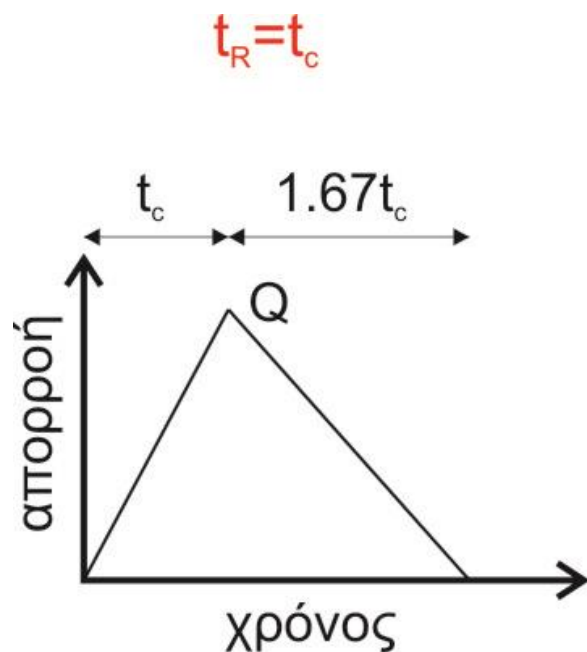
Εφαρμογή

	μικρές λεκάνες	μεσαίες λεκάνες	μεγάλες λεκάνες
ορθολογική μέθοδος	συνήθως	δεν εφαρμόζεται	δεν εφαρμόζεται
μοναδιαίο υδρογράφημα	δεν εφαρμόζεται	συνήθως	κατά περίπτωση
μοντέλα διόδευσης	κατά περίπτωση	κατά περίπτωση	συνήθως

Ορθολογική μέθοδος



Ορθολογική μέθοδος



$$Q = 0.278CiA$$

- $Q \rightarrow$ παροχή αιχμής (m^3/s)
- $C \rightarrow$ συντελεστής απορροής (-)
- $i \rightarrow$ ένταση βροχής (mm/h)
- $A \rightarrow$ εμβαδόν λεκάνης απορροής (km^2)

Συντελεστής απορροής

Τύπος επιφάνειας	C
Οδοστρώματα	0.70-0.95
Στέγες σπιτιών	0.75-0.95
Αμμώδη εδάφη (κλίση 0-2 %)	0.05-0.10
Αμμώδη εδάφη (κλίση 2-7 %)	0.10-0.15
Αμμώδη εδάφη (κλίση >7 %)	0.15-0.20
Βαριά εδάφη (κλίση 0-2 %)	0.13-0.17
Βαριά εδάφη (κλίση 2-7 %)	0.18-0.22
Βαριά εδάφη (κλίση >7 %)	0.25-0.35
Εμπορικές περιοχές (κέντρο πόλης)	0.70-0.95
Εμπορικές περιοχές (προάστιο)	0.50-0.70
Κατοικημένες περιοχές	0.30-0.70
Βιομηχανικές περιοχές	0.50-0.90
Πάρκα	0.10-0.25
Γήπεδα	0.20-0.35

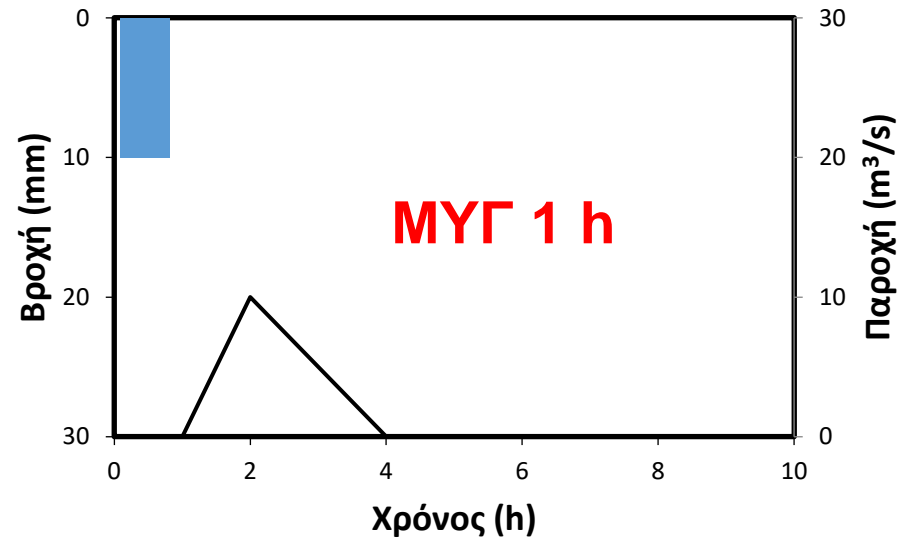
Μοναδιαίο Υδρογράφημα

- **Sherman 1932**
- **Χαρακτηριστικά βροχής**
 - Ομοιόμορφα κατανεμημένα στο χώρο
 - Ομοιόμορφη ένταση
- **Υδρογράφημα άμεσης απορροής για βροχή διάρκειας t και περισεύματος βροχής ύψους 1 cm**
 - ΜΥΓ 1 h
 - ΜΥΓ 2 h
 - ...

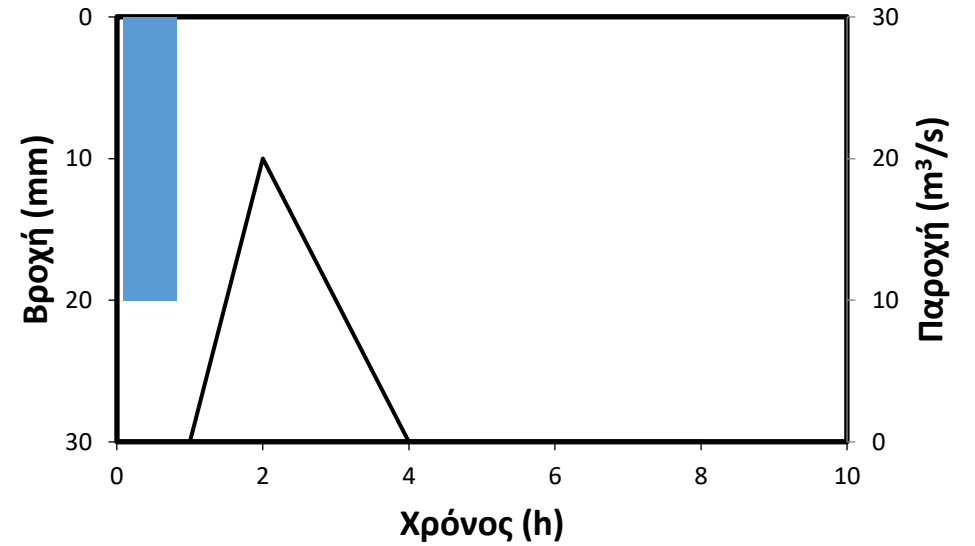
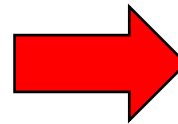
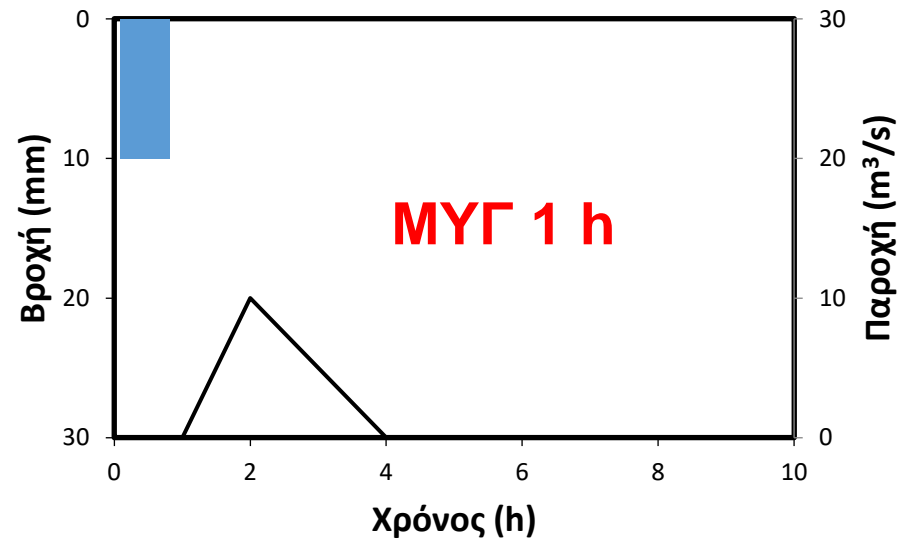
Παραδοχές ΜΥΓ για τη λεκάνη

- Οι βροχές ίσης διάρκειας δίνουν ίδιο τύπο υδρογραφήματος ανεξάρτητα από την ένταση βροχής
- Η άμεση απορροή που προκαλείται από μία βροχή είναι ανεξάρτητη από τις προηγούμενες ή τις επόμενες βροχές
- Η υδρολογική κατάσταση παραμένει αμετάβλητη

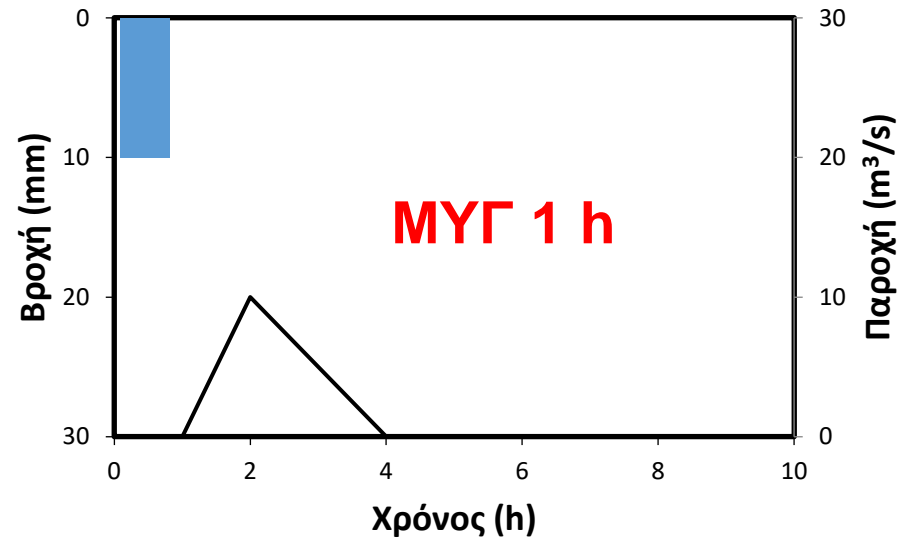
Αρχή της αναλογίας



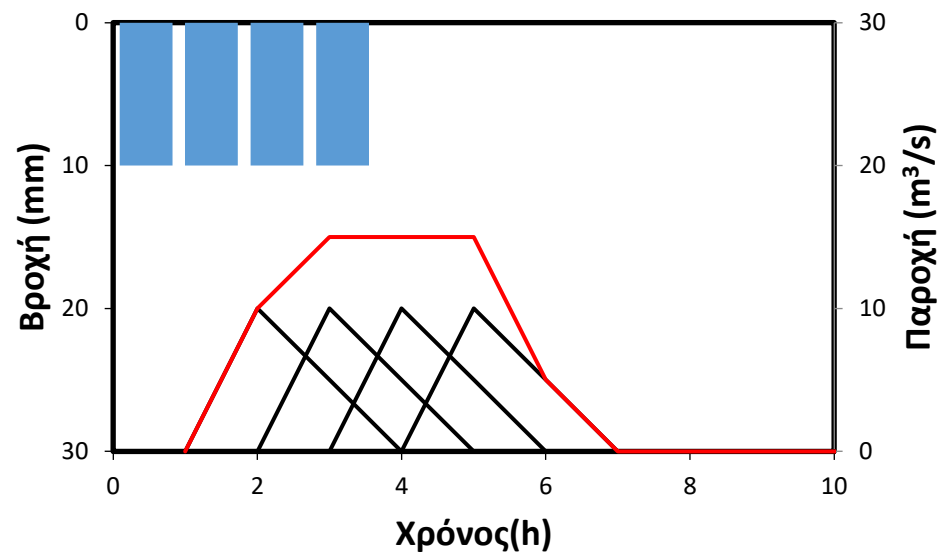
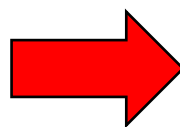
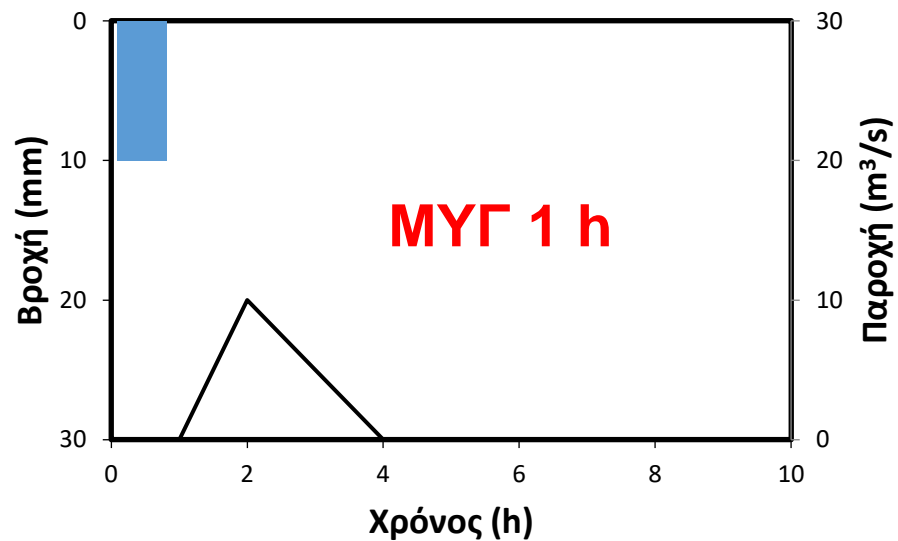
Αρχή της αναλογίας



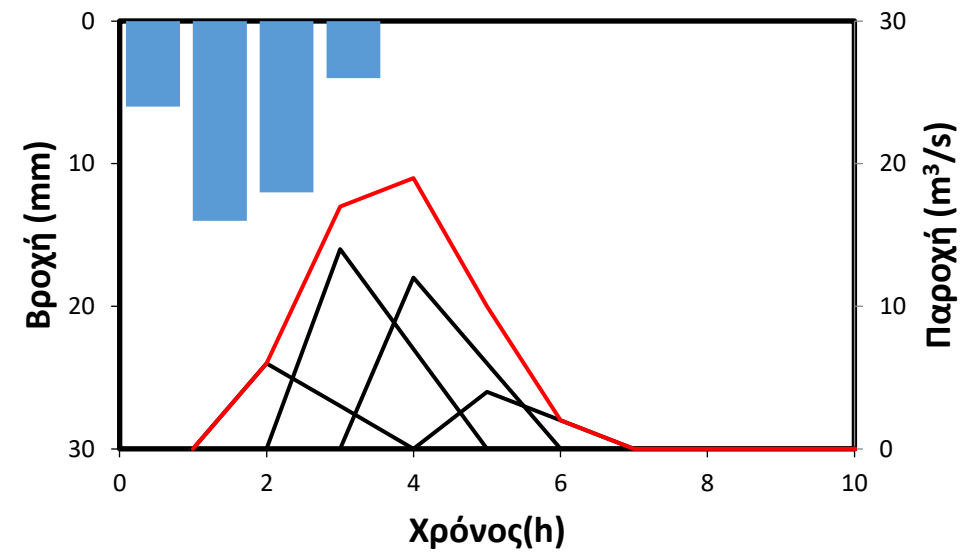
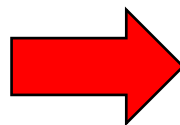
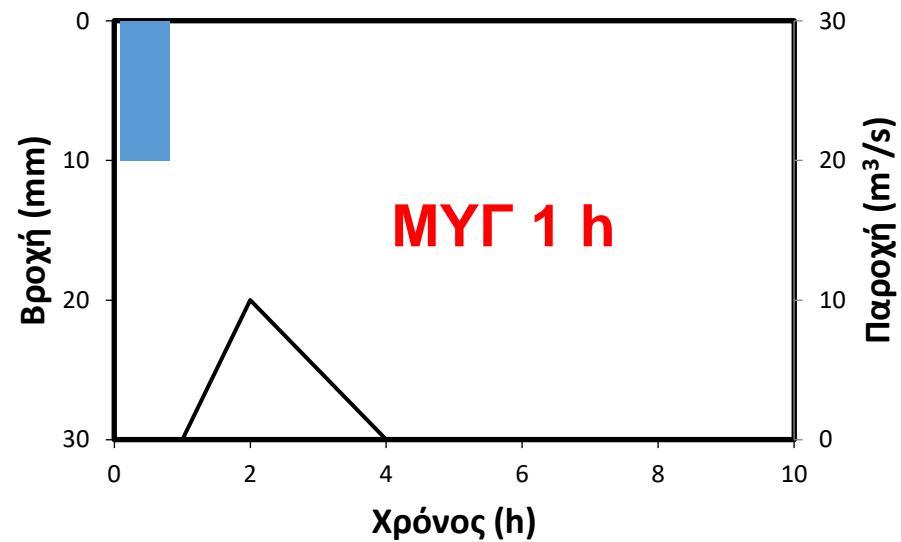
Αρχή της επαλληλίας



Αρχή της επαλληλίας



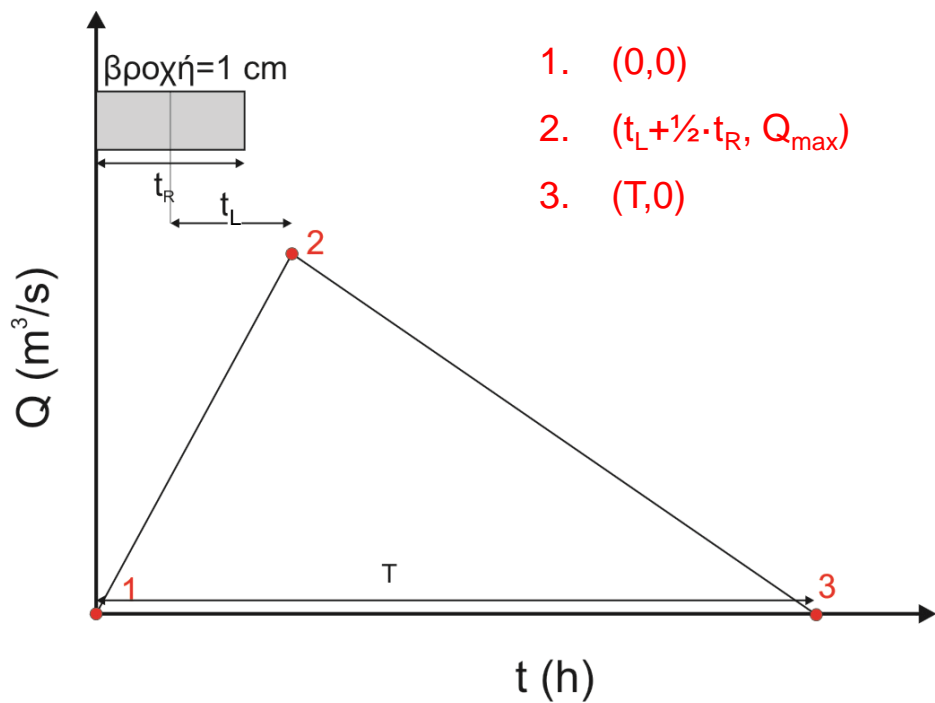
Σύνθετη βροχόπτωση



Εκτίμηση ΜΥΓ

- **Προσδιορισμός ΜΥΓ από μετρήσεις**
 - Μεμονωμένη ραγδαία βροχή
 - Σύνθετες ραγδαίες βροχές
- **Προσδιορισμός ΜΥΓ από ΜΥΓ άλλης διάρκειας**
- **Συνθετικά ΜΥΓ**
 - Snyder
 - SCS
 - British Hydrological Society
 - ...
- **Μοντέλα φυσικής βάσης**

ΣΥΝΘΕΤΙΚΟ ΜΥΓ SCS



$$t_L = 0.6t_c$$

$$Q_{max} = \frac{A}{0.18T}$$

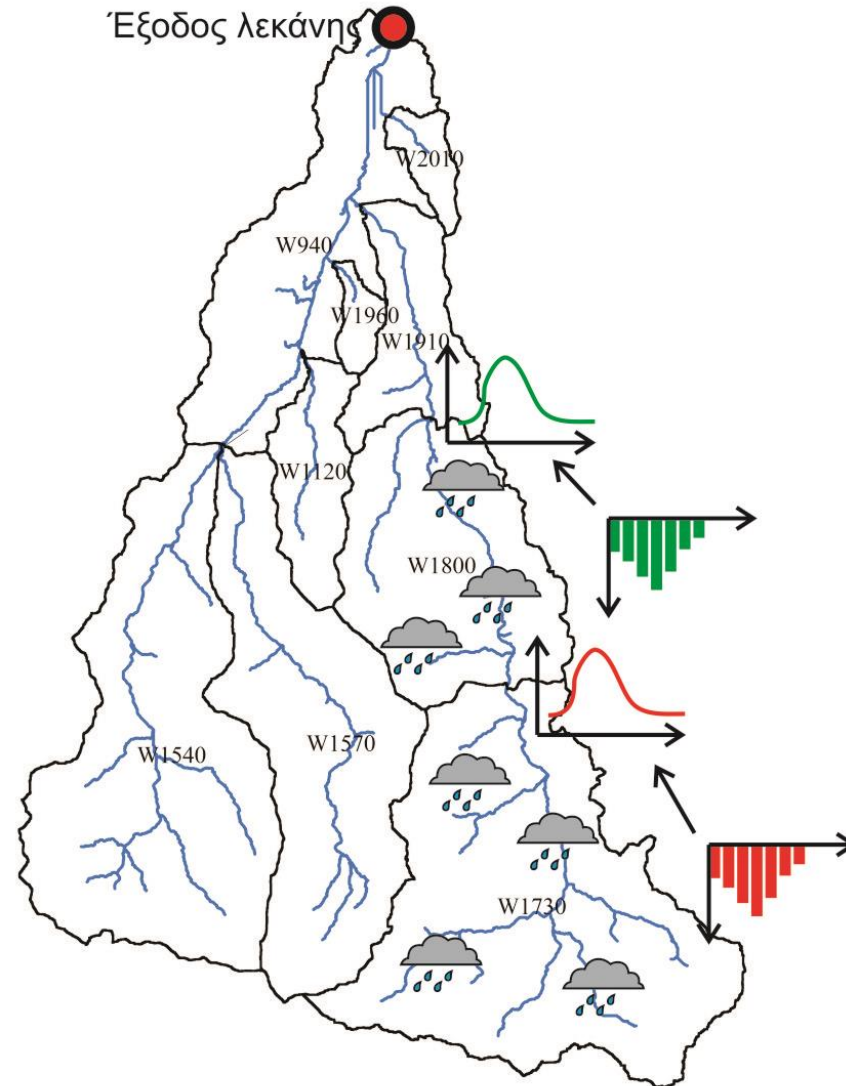
$$T = 2.67 \left(t_L + \frac{t_R}{2} \right)$$

- $A \rightarrow$ εμβαδόν λεκάνης (km^2)
- $t_c \rightarrow$ χρόνος συγκέντρωσης (h)

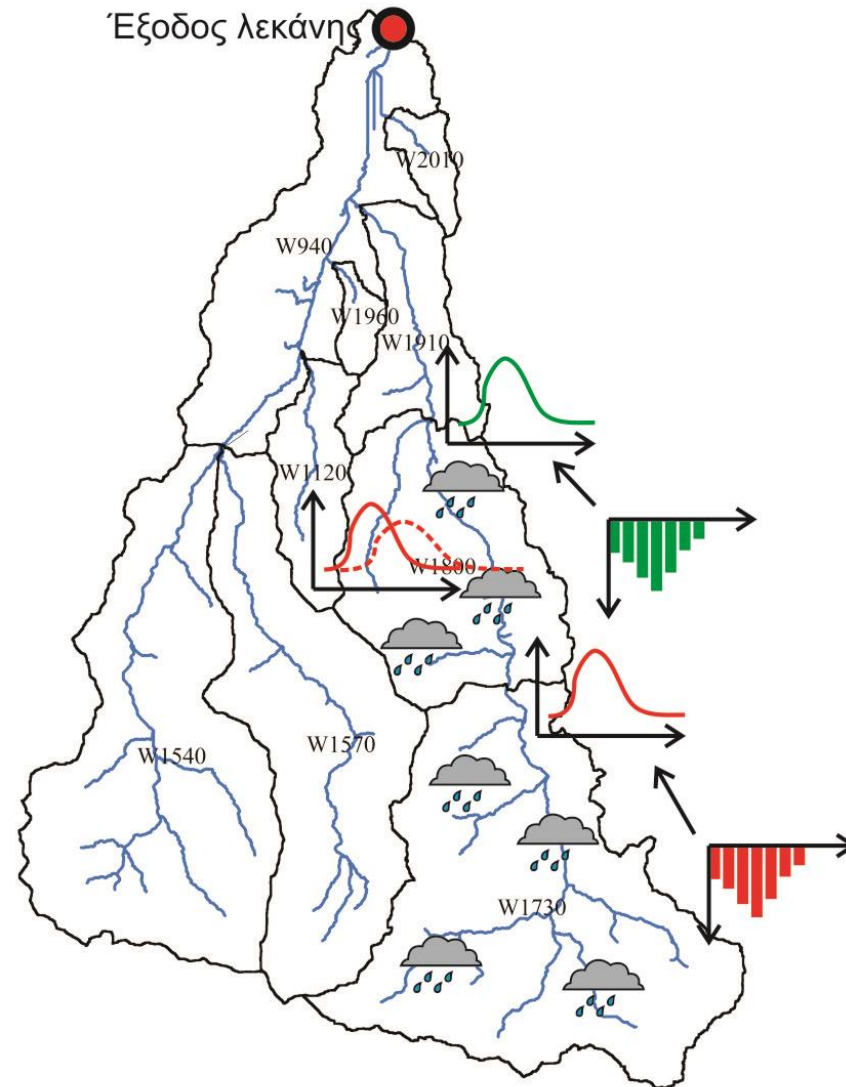
Υπολεκάνες

- Χωρισμός λεκάνης απορροής σε υπολεκάνες
- Σε κάθε υπολεκάνη → **μοντέλο βροχόπτωσης-απορροής**
- Διόδευση απορροής υπολεκάνης μέσω της κατάντη υπολεκάνης → **μοντέλα διόδευσης**
- **Μη ομογενές σύστημα**
 - Διαφορετική βροχόπτωση (είσοδος)
 - Διαφορετικές παράμετροι στο μοντέλο βροχόπτωσης-απορροής
 - Διαφορετικές παράμετροι στο μοντέλο διόδευσης

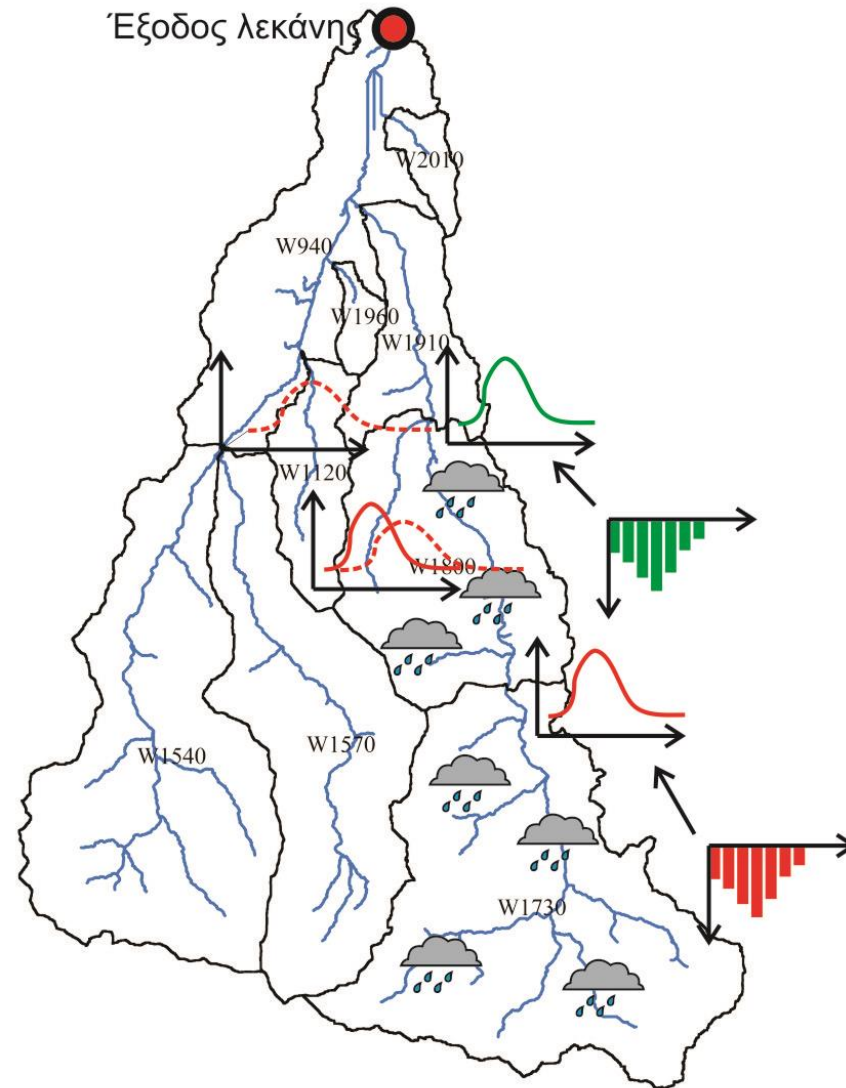
Υπολεκάνες



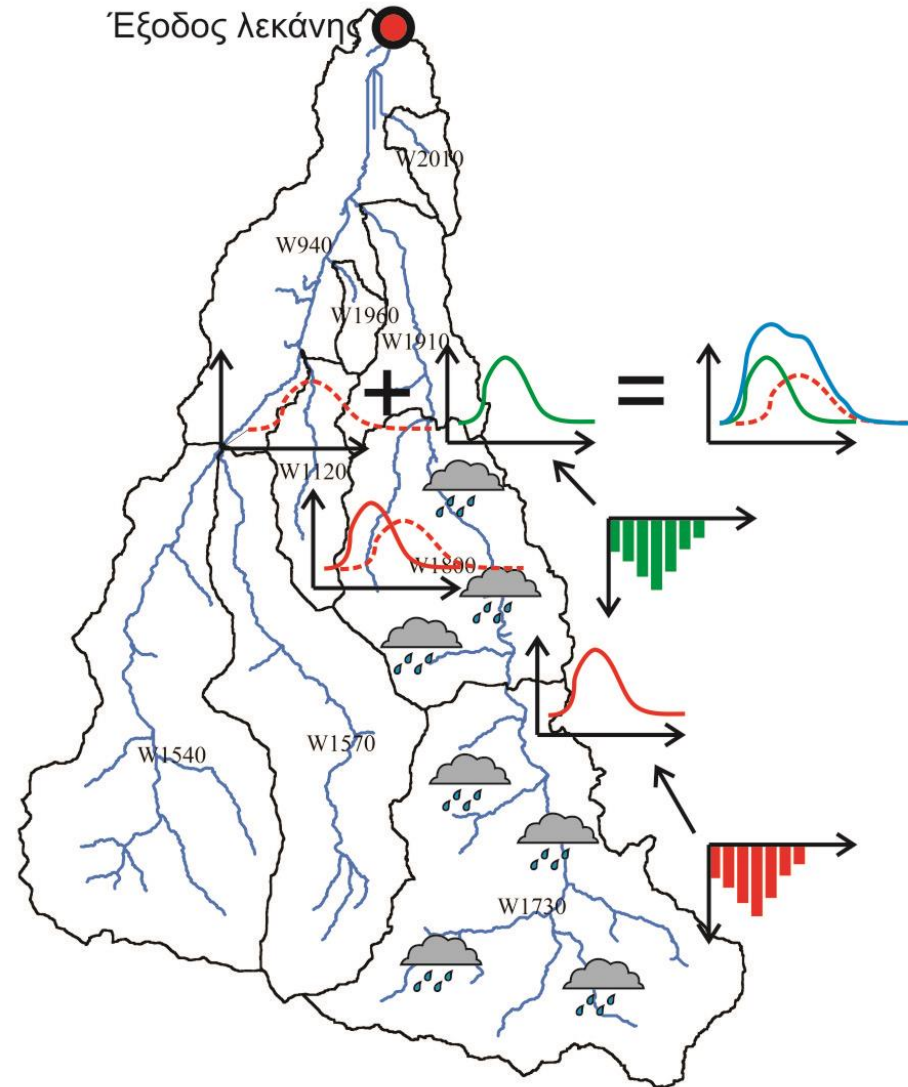
Διόδευση



Διόδευση



Σύνθεση



Μοντέλα διόδευσης

- Μοντέλα αποθήκευσης → **Συνήθης Διαφορική Εξίσωση**

$$\frac{dS}{dt} = I - O \quad S = K[XI + (1 - X)O]$$

→ παράμετρος K → μέσος χρόνος διαδρομής (μονάδες χρόνου)

- Μέθοδος Muskingum

→ παράμετρος X → βάρος συμμετοχής εισροής με τιμές $[0, 1]$ (αδιάστατη)

$$O_{i+1} = \frac{-KX + 0.5\Delta t}{K(1 - X) + 0.5\Delta t} I_{i+1} + \frac{KX + 0.5\Delta t}{K(1 - X) + 0.5\Delta t} I_i + \frac{K(1 - X) - 0.5\Delta t}{K(1 - X) + 0.5\Delta t} O_i$$

Στατιστική υδρολογία

Πιθανότητες και Στατιστική

- **Τύχη** → μη προβλεψιμότητα στα καιρικά φαινόμενα λόγω μη γραμμικότητας
 - Καταιγίδα → πλημμύρα
 - Ανομβρία → ξηρασία
- **Μετρήσεις**
 - Έλεγχος σφαλμάτων
 - Συμπλήρωση ελλείψεων
- **Τεχνικοοικονομικές αποφάσεις** → καθεστώς αβεβαιότητας

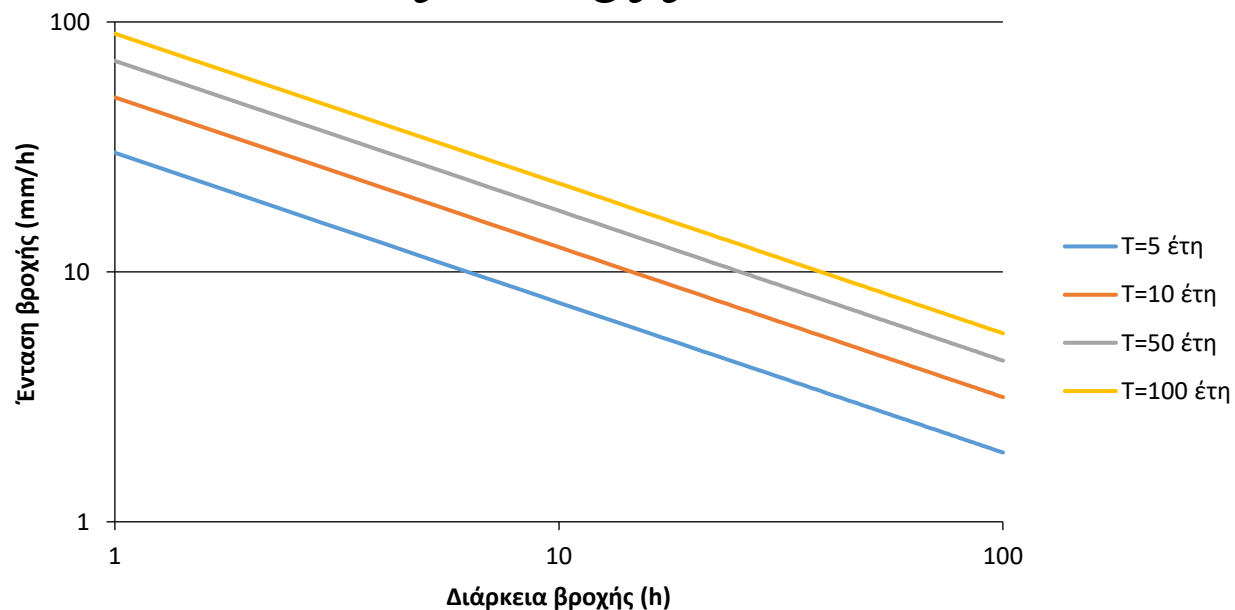
Σχεδιασμός έργων

- **Πώς σχεδιάζουμε ένα έργο;**
 - Βρίσκουμε το κρίσιμο μέγεθος → π.χ. μέγιστη παροχή
 - Χρησιμοποιούμε τα αριθμητικά μοντέλα
 - Ποια είναι η είσοδος (βροχή);
- **Πιθανοτικός σχεδιασμός**
 - Κάθε μέγεθος συνδέεται με την αντίστοιχη επικινδυνότητα
 - Κανονισμοί – νομοθεσίες – συνήθης πρακτική
- **Δεδομένα από μετρήσεις**

Όμβριες καμπύλες

- Σύνδεση έντασης-διάρκειας-περιόδου επαναφοράς
- Στατιστική επεξεργασία μετρήσεων

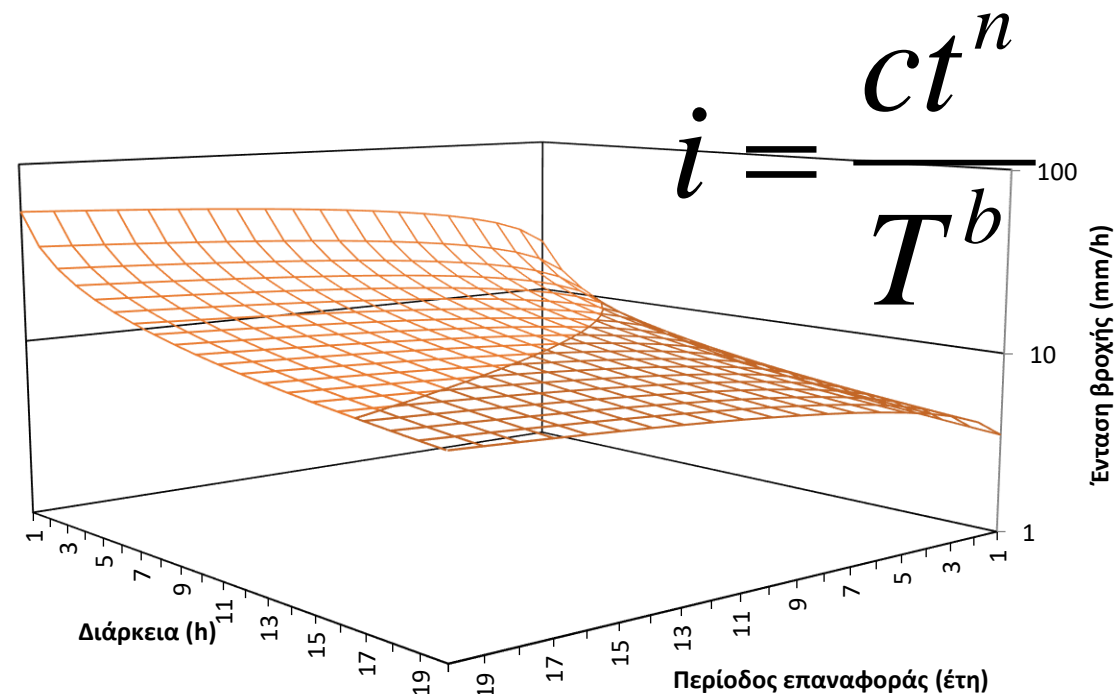
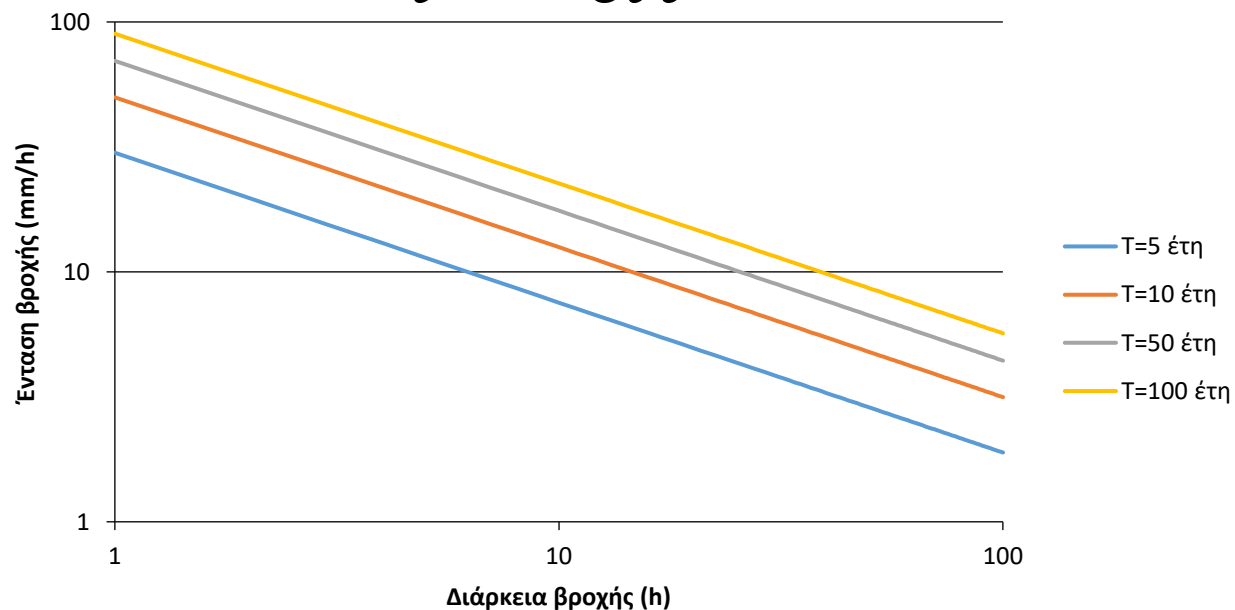
$$i = at^n$$



Όμβριες καμπύλες

- Σύνδεση έντασης-διάρκειας-περιόδου επαναφοράς
- Στατιστική επεξεργασία μετρήσεων

$$i = at^n$$



Ελληνική νομοθεσία

- Γενικευμένη σχέση με βάση τη ΓΑΤ → λ' , κ , ψ' , θ , η
- Οι παράμετροι υπάρχουν για σταθμούς σε όλη την Ελλάδα
- floods.ypeka.gr

$$i(t, T) = \frac{\lambda' (T^\kappa - \psi')}{\left(1 + \frac{t}{\theta}\right)^\eta}$$

Y	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	ΥΔ	ΚΩΔΙΚΟΣ	ΟΝΟΜΑ	X	Y	Z	κ	λ'	ψ'	θ	η				
2	GR01	1	ΑΜΥΓΔΑΛΙΑ	330744.3	4179447.1	804	0.057	930.4	0.837	0.089	0.724				
3	GR01	2	ΑΝΑΛΗΦΗ	319161.41	4098792	34.2	0.113	409	0.607	0.089	0.724				
4	GR01	3	ΑΝΟ ΚΑΡΥΕΣ	323111.69	4144855.75	977	0.113	431.8	0.52	0.089	0.724				
5	GR01	4	ΑΝΟ ΛΟΥΣΙΟΙ	336479.31	4207266	1082.3	0.057	714.2	0.8	0.089	0.724				
6	GR01	5	ΑΝΟ ΜΕΛΠΕΙΑ	318239.81	4133597.68	630	0.113	446	0.564	0.089	0.724				
7	GR01	6	ΑΡΑΧΑΜΙΤΕΣ	344470.5	4145094.75	744.8	0.113	474.4	0.75	0.089	0.724				
8	GR01	7	ΑΧΛΑΔΙΝΗ	303702.7	4177167.3	649.4	0.057	717	0.73	0.089	0.724				
9	GR01	8	ΒΑΣΙΛΑΚΙΟ	302188.5	4168749.5	256.9	0.113	427.2	0.52	0.089	0.724				
10	GR01	9	ΒΥΤΙΝΑ	340054.81	4170528	1010.9	0.057	618.3	0.717	0.089	0.724				
11	GR01	10	ΔΑΦΝΗ	347146	4136602.25	638.8	0.113	430.3	0.642	0.089	0.724				
12	GR01	11	ΔΑΦΝΗ	326082.81	4185713	582.7	0.057	983	0.863	0.089	0.724				
13	GR01	12	ΔΕΣΙΝΟ	323165.41	4199962	844.8	0.057	651.2	0.738	0.089	0.724				
14	GR01	13	ΔΙΑΒΟΛΙΤΣΙ	319604.7	4129633.6	97.5	0.113	520.6	0.684	0.089	0.724				
15	GR01	14	ΔΩΡΙΟ	309733.8	4128694	165.3	0.113	413.6	0.639	0.089	0.724				
16	GR01	15	ΖΑΤΟΥΝΑ	325474.59	4162010	900	0.057	905.7	0.806	0.089	0.724				
17	GR01	16	ΖΩΝΗ	333348.6	4147468.7	510	0.113	334.7	0.514	0.089	0.724				
18	GR01	17	ΚΑΛΑΜΑΤΑ	324055.8	4104082.2	6.3	0.113	436.7	0.682	0.089	0.724				
19	GR01	18	ΚΑΡΑΤΟΥΛΑ	339141	4147786	800	0.113	333.2	0.541	0.089	0.724				
20	GR01	19	ΚΑΡΚΑΛΟΥ	330947.09	4166888.25	985.9	0.057	1123.2	0.895	0.089	0.724				
21	GR01	20	ΚΑΡΥΤΑΙΝΑ	326644.5	4150203.75	498.4	0.113	279.5	0.405	0.089	0.724				
22	GR01	21	ΚΑΣΤΕΛΛΙΟ	328419.5	4197095	791.7	0.057	868.9	0.801	0.089	0.724				
23	GR01	22	ΚΕΝΤΡΙΚΟ	319997.41	4127572.5	81.1	0.113	341.1	0.547	0.089	0.724				
24	GR01	23	ΚΕΦΑΛΙΝΗΣ	309813.09	4118518.5	455.3	0.113	353.1	0.453	0.089	0.724				
25	GR01	24	ΚΡΕΜΜΥΔΙΑ	302792.8	4095997.1	341.5	0.113	404.7	0.61	0.089	0.724				
26	GR01	25	ΛΥΚΟΥΡΙΑ	342934	4192114	1100	0.057	641.1	0.855	0.089	0.724				
27	GR01	26	ΛΥΚΟΥΡΙΑ	342803	4191581.5	758.1	0.057	1017.9	0.89	0.089	0.724				
28	GR01	27	ΜΑΛΑΚΤΑ	338998	4140389	600	0.113	385.2	0.584	0.089	0.724				
29	GR01	28	ΜΑΤΕΣΙ	316394.3	4155585	486	0.113	255	0.7	0.089	0.724				
30	GR01	29	ΜΕΘΟΝΗ	295120.2	4077635.2	61.6	0.113	444.8	0.729	0.089	0.724				
31	GR01	30	ΜΟΥΖΑΚΙ	296559.1	4107504.2	461	0.113	398	0.57	0.089	0.724				
32	GR01	31	ΝΕΔΟΥΣΑ	342906	4112566	730	0.113	537.3	0.5	0.089	0.724				
33	GR01	32	ΝΕΟΧΩΡΙ ΜΑΝΤΙΝΕΙΑΣ	328795	4134800	690	0.113	392.7	0.552	0.089	0.724				
34	GR01	33	ΠΑΓΡΑΤΑΙΚΑ ΚΑΛΥΒΙΑ	336414.09	4187688	502.8	0.057	550.9	0.763	0.089	0.724				
35	GR01	34	ΠΑΝΑΓΙΤΣΑ	343176.3	4181658.8	509.3	0.057	595.5	0.794	0.089	0.724				
36	GR01	35	ΠΑΠΑΡΗΣ	346307	4136551	760	0.113	337.1	0.468	0.089	0.724				
37	GR01	36	ΠΕΡΔΙΚΟΝΕΡΙ	323026.69	4178096.25	836.6	0.057	721.7	0.757	0.089	0.724				
38	GR01	37	ΠΕΥΚΑΙ	295973.81	4171877	259.2	0.113	447	0.747	0.089	0.724				
39	GR01	38	ΠΗΔΗΜΜΑ	326197.31	4112429.75	36.3	0.113	473.2	0.687	0.089	0.724				

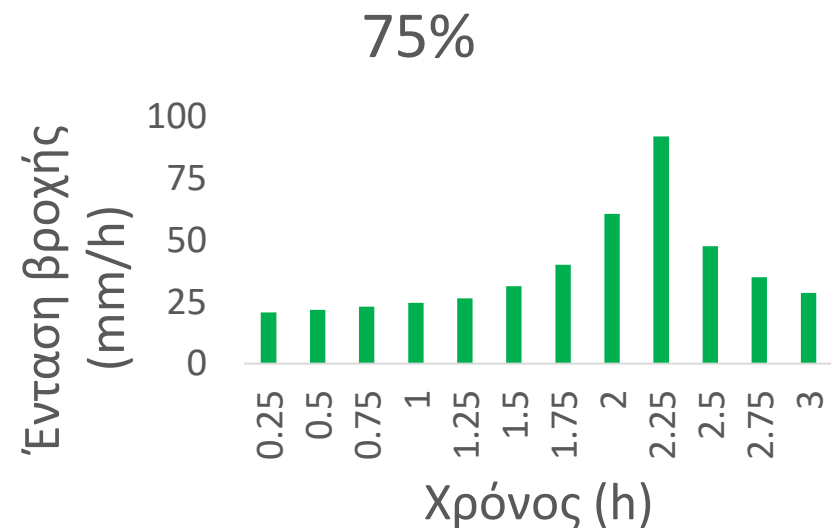
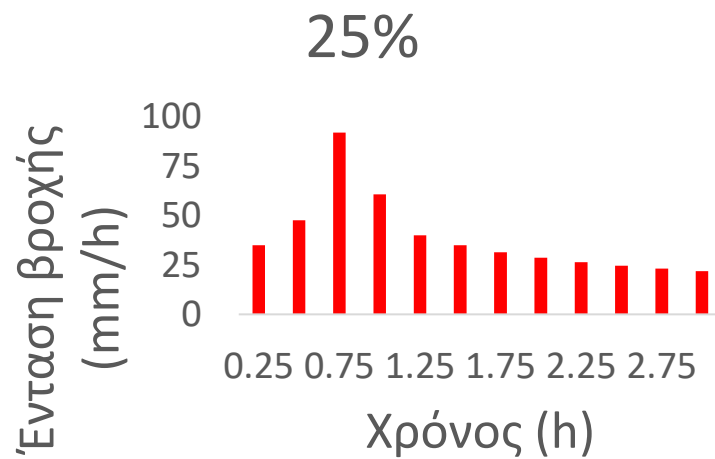
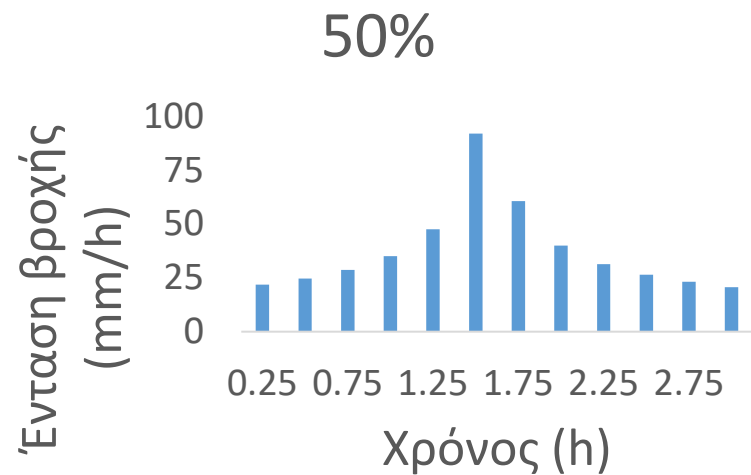
Περίοδοι επαναφοράς

- Αντιπλημμυρικά έργα $\rightarrow T=50-100$ έτη
- Δίκτυο ομβρίων $\rightarrow T=10-25$ έτη
- Οριοθέτηση ρέματος $\rightarrow T=50$ έτη
- Σχεδιασμός γέφυρας $\rightarrow T=500$ έτη
- Σχεδιασμός φράγματος (Κατηγορία 1) $\rightarrow T=10000$ έτη
- Σχεδιασμός φράγματος βαρύτητας (Κατηγορία 2) $\rightarrow T=1000$ έτη
- Σχεδιασμός γεωφράγματος (Κατηγορία 2) $\rightarrow T=5000$ έτη
- Σχεδιασμός φράγματος βαρύτητας (Κατηγορία 3) $\rightarrow T=200$ έτη
- Σχεδιασμός γεωφράγματος (Κατηγορία 2) $\rightarrow T=500$ έτη

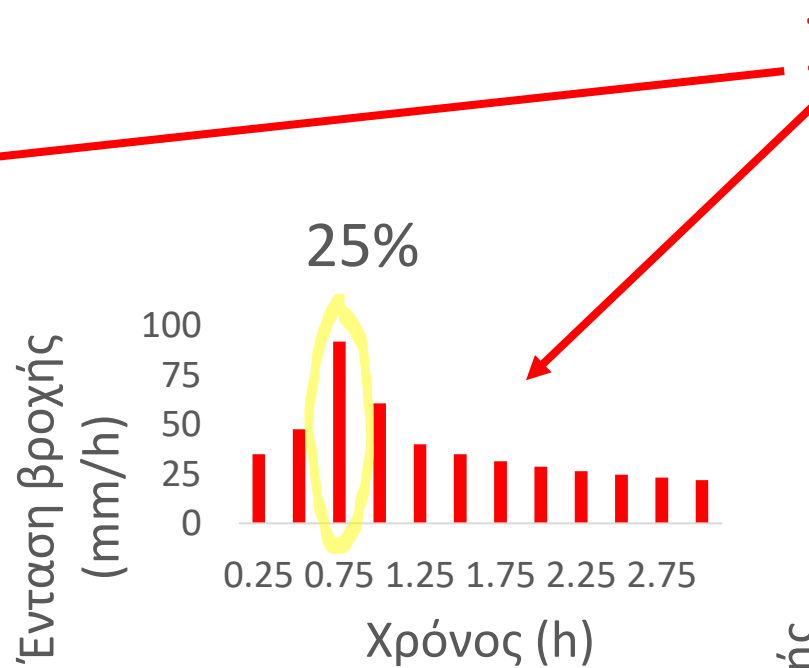
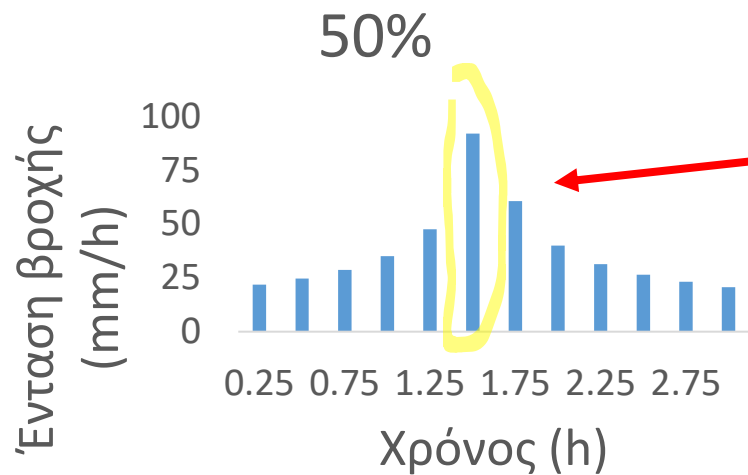
Κατανομή βροχής

- Η ένταση βρίσκεται θεωρώντας ότι η διάρκεια βροχής είναι ίση με το χρόνο συγκέντρωσης → ορθολογική μέθοδος
- Θεωρητικές κατανομές βροχής
- Μέθοδος εναλασσόμενων μπλοκ

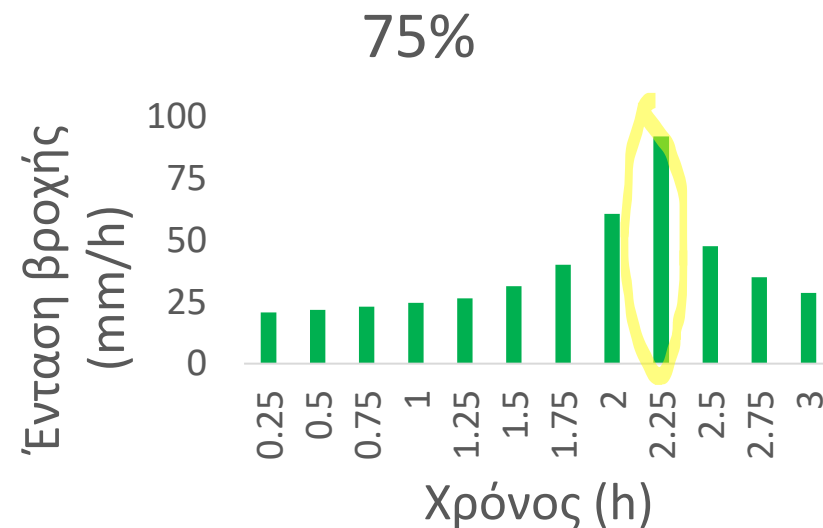
Εναλασσόμενα μπλοκ



Εναλασσόμενα μπλοκ



max



Πιθανοτικός σχεδιασμός

μικρές λεκάνες

- Μορφολογικά χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής
- Επιλογή περιόδου επαναφοράς
- Επιλογή σταθμού και όμβριας καμπύλης → *βροχόπτωση σχεδιασμού*
- Ορθολογική μέθοδος → *πλημμύρα σχεδιασμού*
- Σχεδιασμός

Πιθανοτικός σχεδιασμός

μεσαίες και μεγάλες λεκάνες

- Μορφολογικά χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής
- Επιλογή περιόδου επαναφοράς
- Επιλογή σταθμού και όμβριας καμπύλης
- Κατανομή βροχής
- Επιλογή μοντέλου απωλειών
- ΜΥΓ και μοντέλα διόδευσης
- Σχεδιασμός

βροχόπτωση σχεδιασμού

πλημμύρα σχεδιασμού

Κατανομή βροχής

μεσαίες και μεγάλες λεκάνες

- **Επιλέγεται η χρονική διάρκεια της βροχής σχεδιασμού**
 - 3 h
 - 6 h
 - 12 h
 - 24 h
- **Επιλέγεται η κατανομή της βροχής**
 - Εναλασσόμενα μπλοκ
 - Κατανομή Huff

Μοντέλα απωλειών

μεσαίες και μεγάλες λεκάνες

- Δείκτης φ
- Horton
- Kostiaakon
- Philip
- SCS
- Green-Ampt

Άσκηση

- Λεκάνη απορροής $A=5 \text{ km}^2$ με χρόνο συγκέντρωσης 1.25 h και μέ όμβρια καμπύλη

$$i(t, T) = \frac{467.5(T^{0.093} - 0.732)}{\left(1 + \frac{t}{0.082}\right)^{0.708}}$$

- Να βρεθεί το πλημμυρικό υδρογράφημα σχεδιασμού για $T=50$ έτη με την ορθολογική μέθοδο ($C=0.7$)
- Να βρεθεί πλημμυρικό υδρογράφημα για βροχή 6 ωρών και $T=50$ έτη με το συνθετικό ΜΥΓ 1h κατά SCS όταν $\varphi=2 \text{ mm/h}$