



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/>

# ΤΕΧΝΙΚΗ ΥΔΡΟΛΟΓΙΑ

## *Πιθανοτικός σχεδιασμός*

Δρ. Βασίλης Μπέλλος

# 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**

# Θεωρητικές κατανομές

- **Οι τιμές του φαινομένου είναι τυχαίες και ανεξάρτητες**
  - Ισχύει στη φύση; → εμμονή
- **Σχεδιασμός έργων → ακραίες τιμές**
- **Ασυμπτωματικές κατανομές**
  - Τύπος I → Αρχική κατανομή χωρίς όριο προς την κατεύθυνση της ακραίας τιμής
  - Τύπος II → Αρχική κατανομή χωρίς όριο προς τις δύο κατευθύνσεις
  - Τύπος III → Αρχική κατανομή με όριο προς την κατεύθυνση της ακραίας τιμής

# Κατανομή Gumbel

Ακραίων τιμών τύπου I

- PDF

$$p(y) = \exp[\bar{\Gamma}y - \exp(\bar{\Gamma}y)]dy$$

(+) *μεγιστα*, (-) *ελαχιστα*

ανηγμένη μεταβλητή

- CDF

$$y = \frac{x - \beta}{\alpha}$$

$$P(y) = \exp(-\exp(-y)) \quad \text{μεγιστα}$$

$$P(y) = 1 - \exp(-\exp(y)) \quad \text{ελαχιστα}$$

# Κατανομή Weibull

- PDF

$$f(x) = \begin{cases} \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{x}{\beta}\right)^{\alpha-1} e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha} & \text{για } x \geq 0 \\ 0 & \text{για } x < 0 \end{cases}$$

παράμετρος θέσης

παράμετρος κλίμακας

- CDF

$$F(x) = \begin{cases} 1 - e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha} & \text{για } x \geq 0 \\ 0 & \text{για } x < 0 \end{cases}$$

# Κατανομή ΓΑΤ

- PDF

$$f(x) = \frac{1}{\alpha} t(x)^{\gamma+1} e^{-t(x)} \text{ όπου } t(x) = \begin{cases} 1 + \gamma \left( \frac{x - \beta}{\alpha} \right) & \text{για } \gamma \neq 0 \\ e^{-\frac{x - \beta}{\alpha}} & \text{για } \gamma = 0 \end{cases}$$

παράμετρος θέσης

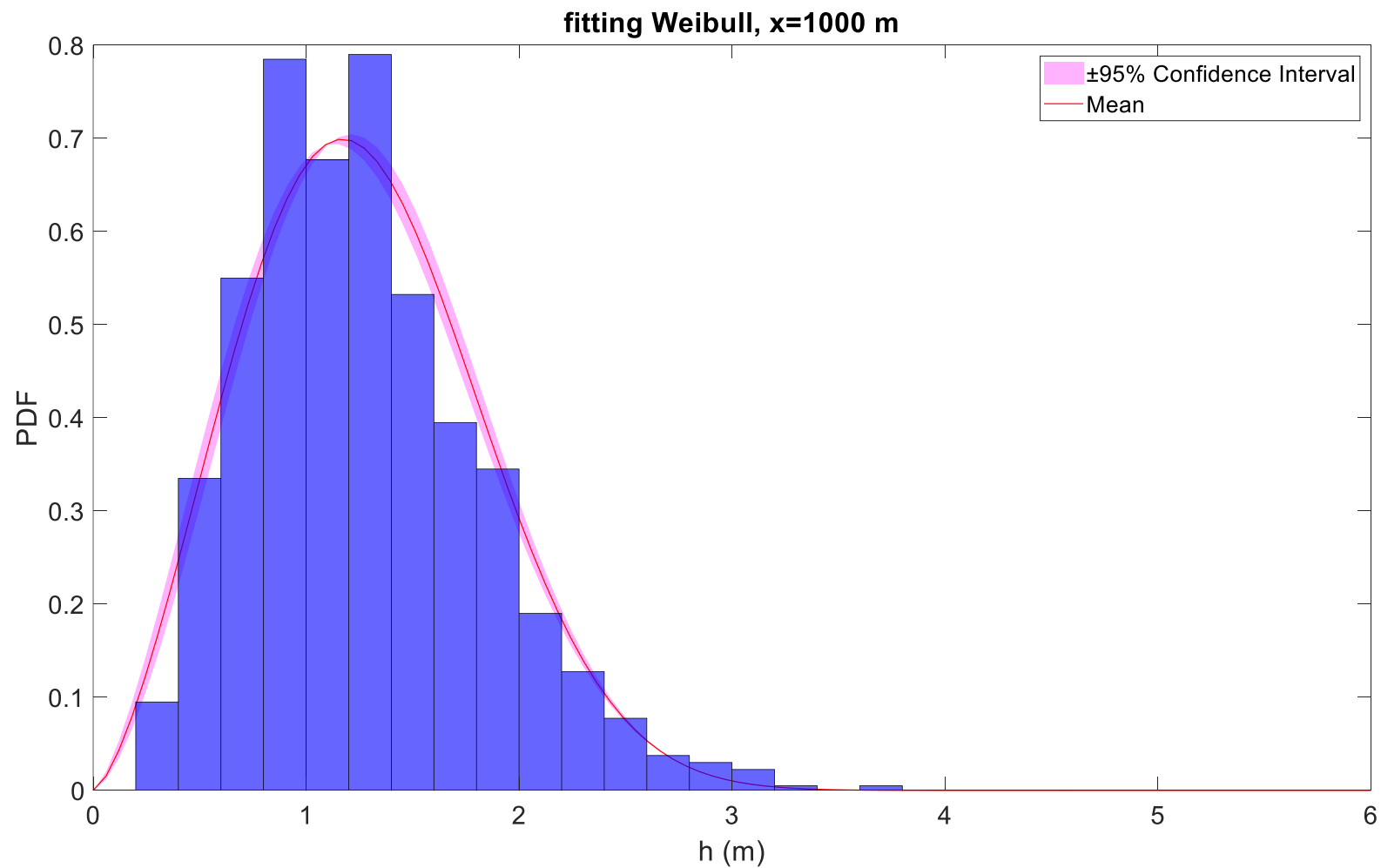
παράμετρος κλίμακας

παράμετρος σχήματος

- CDF

$$F(x) = e^{-t(x)}$$

# Προσαρμογή θεωρητικής κατανομής





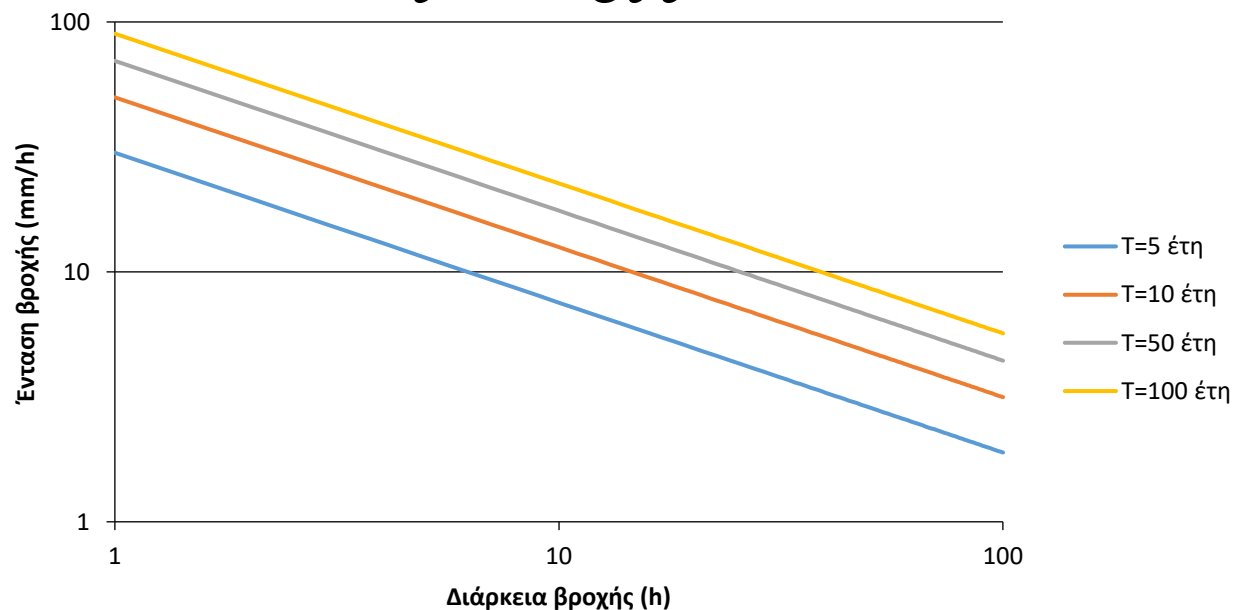
# Προσαρμογή θεωρητικής κατανομής

- Μπορούμε να προσαρμόσουμε μία θεωρητική κατανομή σε μία εμπειρική;
  - Μέθοδος ροπών
  - Μέθοδος μέγιστης πιθανοφάνειας
  - Μέθοδος ελαχίστων τετραγώνων
  - Μέθοδος ελαχίστου  $\chi^2$
  - Μέθοδος των έξι διαιρέσεων
  - Μέθοδος παράγοντα συχνότητας
  - ...

# Όμβριες καμπύλες

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

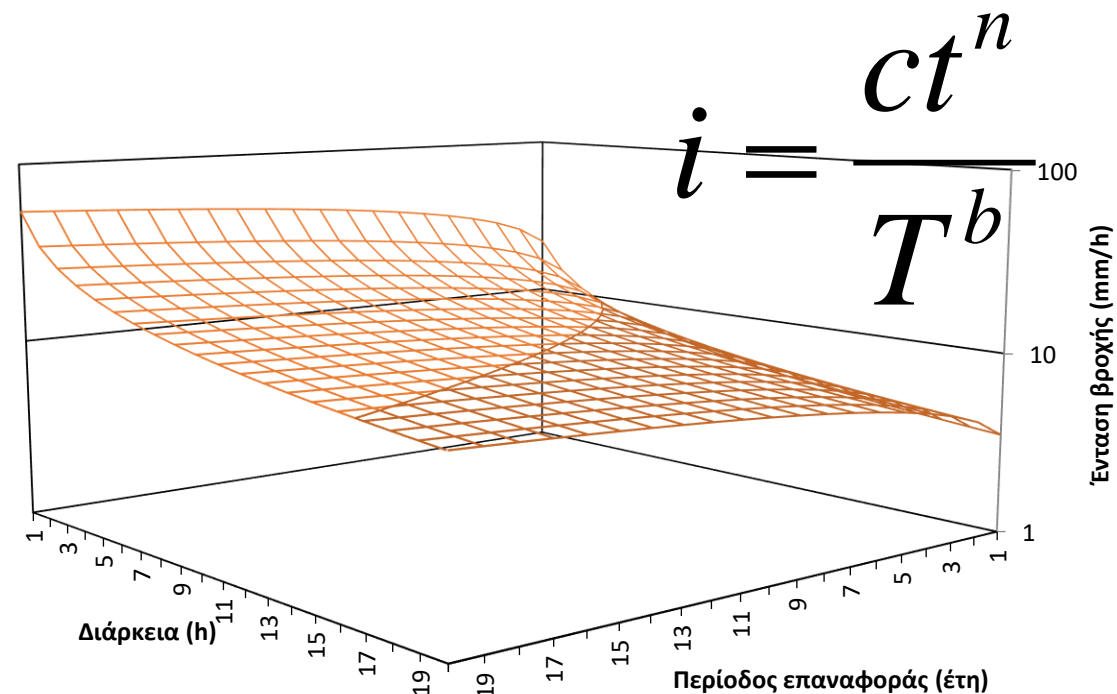
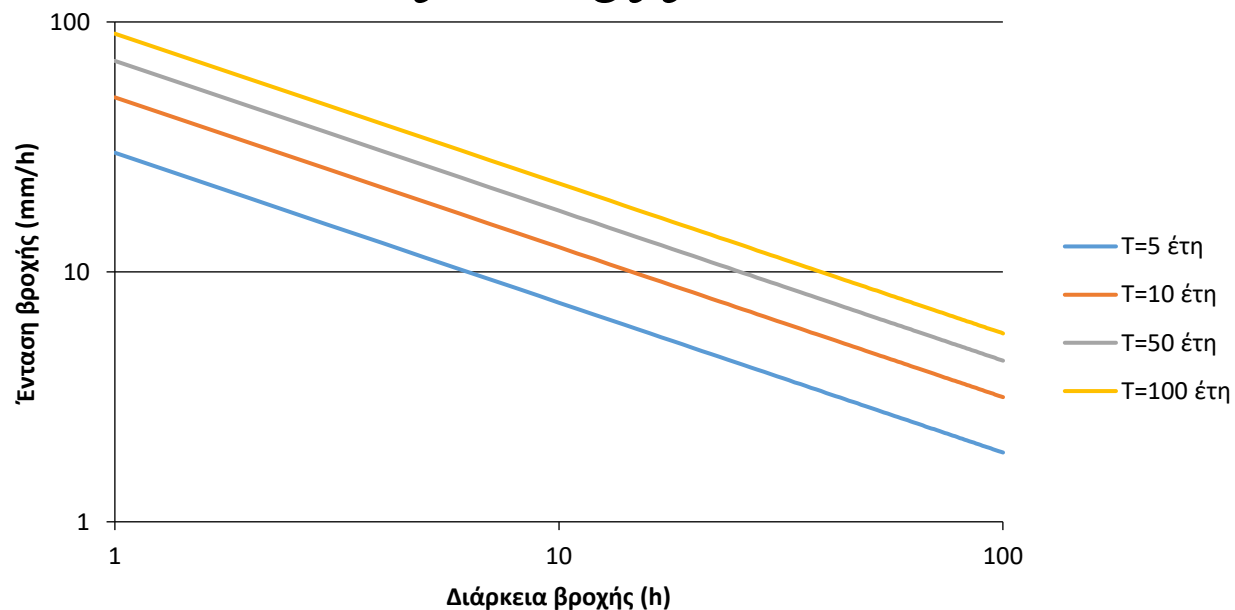
$$i = at^n$$



# Όμβριες καμπύλες

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

$$i = at^n$$



# Ελληνική νομοθεσία

- Γενικευμένη σχέση με βάση τη ΓΑΤ →  $\lambda'$ ,  $\kappa$ ,  $\psi'$ ,  $\theta$ ,  $\eta$
- Οι παράμετροι υπάρχουν για σταθμούς σε όλη την Ελλάδα
- [floods.ypeka.gr](http://floods.ypeka.gr)

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

ΥΔ	ΚΩΔΙΚΟΣ	ΟΝΟΜΑ	$\lambda'$	$\kappa$	$\psi'$	$\theta$	$\eta$
1	GR01	1 ΑΜΥΓΔΑΛΙΑ	330744.3	4179447.1	804	0.057	930.4
2	GR01	2 ΑΝΑΛΗΦΗ	319161.41	4098792	94.2	0.113	409
3	GR01	3 ΑΝΟ ΚΑΡΥΕΣ	323111.69	4144855.75	977	0.113	431.8
4	GR01	4 ΑΝΟ ΛΟΥΣΙΟΙ	336479.31	4207266	1082.3	0.057	714.2
5	GR01	5 ΑΝΟ ΜΕΛΠΕΙΑ	318239.81	4133597.68	630	0.113	446
6	GR01	6 ΑΡΑΧΑΜΙΤΕΣ	344470.5	4145094.75	744.8	0.113	474.4
7	GR01	7 ΑΧΛΑΔΙΝΗ	303702.7	4177167.3	649.4	0.057	717
8	GR01	8 ΒΑΣΙΛΑΚΙΟ	302188.5	4168749.5	256.9	0.113	427.2
9	GR01	9 ΒΥΤΙΝΑ	340054.81	4170528	1010.9	0.057	618.3
10	GR01	10 ΔΑΦΝΗ	347146	4136602.25	638.8	0.113	430.3
11	GR01	11 ΔΑΦΝΗ	326082.81	4185713	582.7	0.057	983
12	GR01	12 ΔΕΙΝΟ	323165.41	4199962	844.8	0.057	651.2
13	GR01	13 ΔΙΑΒΟΛΙΤΣΙ	319604.7	4129633.6	97.5	0.113	520.6
14	GR01	14 ΔΩΡΙΟ	309733.8	4128694	165.3	0.113	413.6
15	GR01	15 ΖΑΤΟΥΝΑ	325474.59	4162010	900	0.057	905.7
16	GR01	16 ΖΩΝΗ	333348.6	4147468.7	510	0.113	334.7
17	GR01	17 ΚΑΛΑΜΑΤΑ	324055.8	4104082.2	6.3	0.113	436.7
18	GR01	18 ΚΑΡΑΤΟΥΛΑ	339141	4147786	800	0.113	333.2
19	GR01	19 ΚΑΡΚΑΛΟΥ	330947.09	4166888.25	985.9	0.057	1123.2
20	GR01	20 ΚΑΡΥΤΑΙΝΑ	326644.5	4150203.75	498.4	0.113	279.5
21	GR01	21 ΚΑΣΤΕΛΛΙΟ	328419.5	4197095	791.7	0.057	868.9
22	GR01	22 ΚΕΝΤΡΙΚΟ	319997.41	4127572.5	81.1	0.113	341.1
23	GR01	23 ΚΕΦΑΛΙΝΗΣ	309813.09	4118518.5	455.3	0.113	353.1
24	GR01	24 ΚΡΕΜΜΥΔΙΑ	302792.8	4095997.1	341.5	0.113	404.7
25	GR01	25 ΛΥΚΟΥΡΙΑ	342934	4192114	1100	0.057	641.1
26	GR01	26 ΛΥΚΟΥΡΙΑ	342803	4191581.5	758.1	0.057	1017.9
27	GR01	27 ΜΑΛΑΤΑ	338998	4140389	600	0.113	385.2
28	GR01	28 ΜΑΤΕΣΙ	316394.3	4155585	486	0.113	255
29	GR01	29 ΜΕΘΟΝΗ	295120.2	4077635.2	61.6	0.113	444.8
30	GR01	30 ΜΟΥΖΑΚΙ	296559.1	4107504.2	461	0.113	398
31	GR01	31 ΝΕΔΟΥΣΑ	342906	4112566	730	0.113	537.3
32	GR01	32 ΝΕΟΧΩΡΙ ΜΑΝΤΙΝΕΙΑΣ	328795	4134800	690	0.113	392.7
33	GR01	33 ΠΑΓΡΑΤΑΙΚΑ ΚΑΛΥΒΙΑ	336414.09	4187688	502.8	0.057	550.9
34	GR01	34 ΠΑΝΑΓΙΤΣΑ	343176.3	4181658.8	509.3	0.057	595.5
35	GR01	35 ΠΑΠΑΡΗΣ	346307	4136551	760	0.113	337.1
36	GR01	36 ΠΕΡΔΙΚΟΝΕΡΙ	323026.69	4178096.25	836.6	0.057	721.7
37	GR01	37 ΠΕΥΚΑΙ	295973.81	4171877	259.2	0.113	447
38	GR01	38 ΠΗΔΗΜΜΑ	326197.31	4112429.75	36.3	0.113	473.2

# Περίοδος επαναφοράς

- **Ανάλογα το είδος του έργου επιλέγεται η περίοδος επαναφοράς**
  - Νομοθεσία
  - Συνήθης πρακτική
  - Εύλογη εκτίμηση με βάση τη σημαντικότητα του έργου

# Περίοδοι επαναφοράς

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

# Βροχή vs. Πλημμύρα

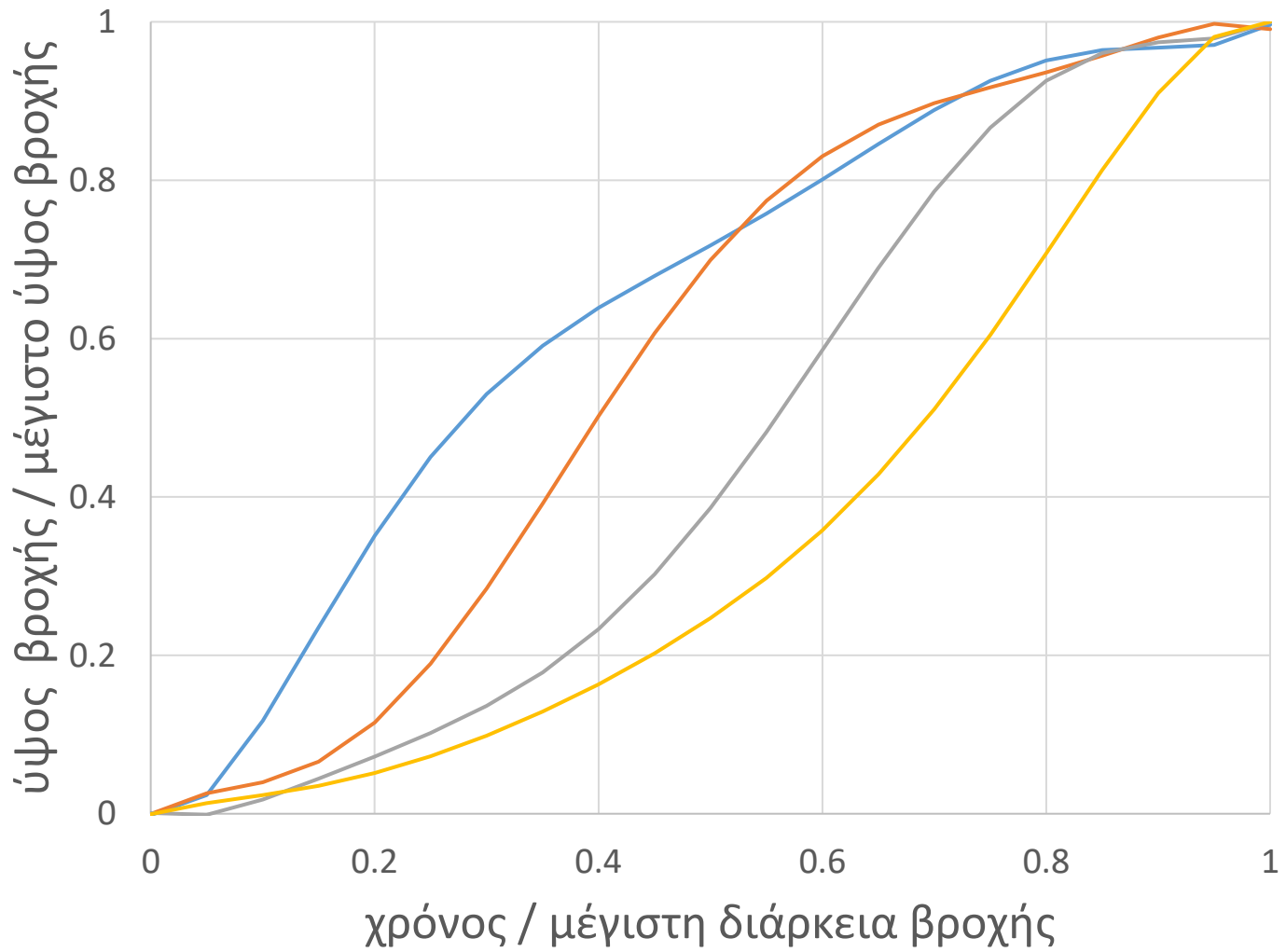
- Η περίοδος επαναφοράς αφορά τη βροχή και όχι την πλημμύρα  
→ δεν ταυτίζονται!
- Δεν υπάρχουν επαρκείς (και ασφαλείς) μετρήσεις παροχής για να γίνει η στατιστική ανάλυση για την πλημμύρα
- Το βροχομετρικό δίκτυο είναι πιο φθηνό, πιο αξιόπιστο και πιο πυκνό σε σχέση με το υδρομετρικό

# Κατανομή βροχής

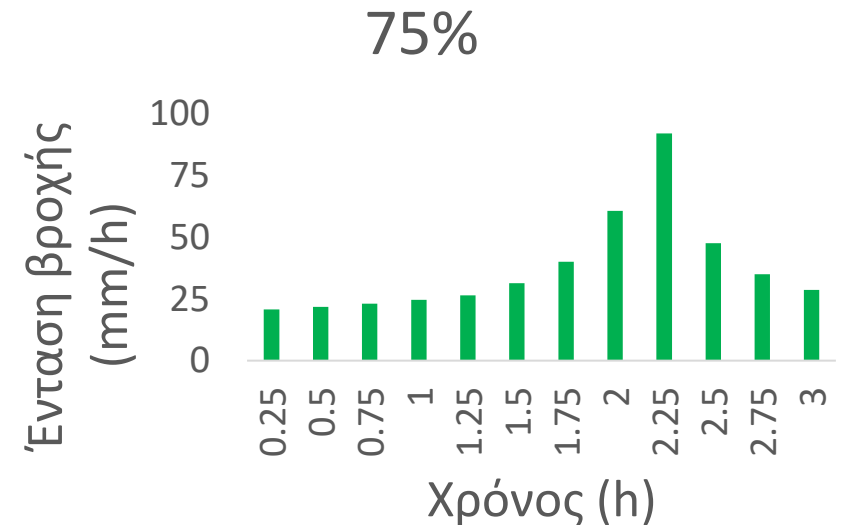
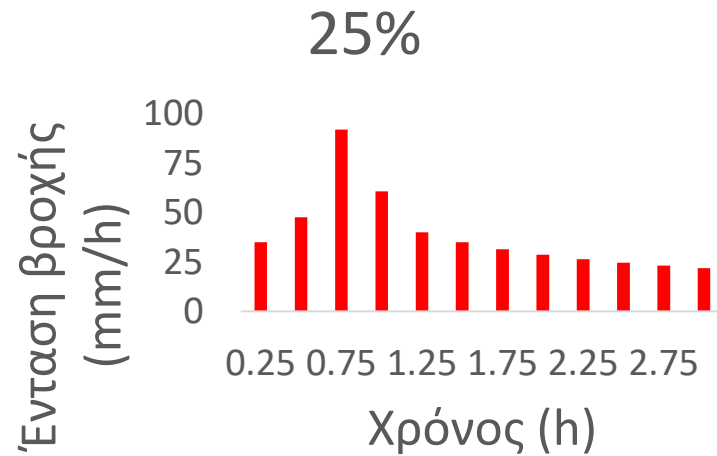
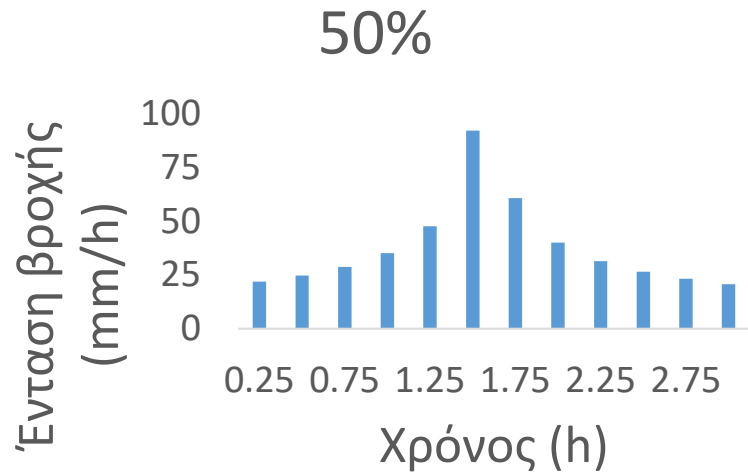
- Η ένταση βρίσκεται θεωρώντας ότι η διάρκεια βροχής είναι ίση με το χρόνο συγκέντρωσης → ορθολογική μέθοδος
- Θεωρητικές κατανομές βροχής
- Μέθοδος εναλασσόμενων μπλοκ



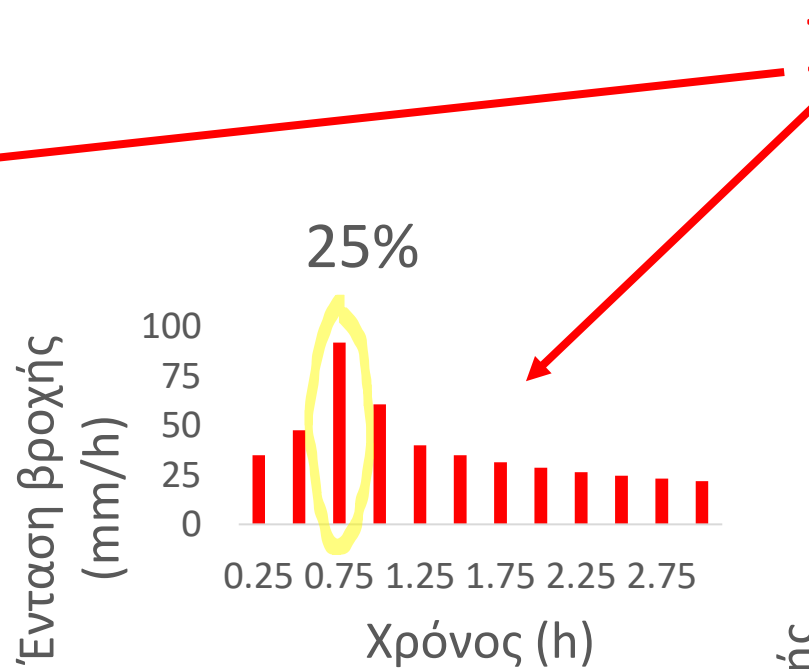
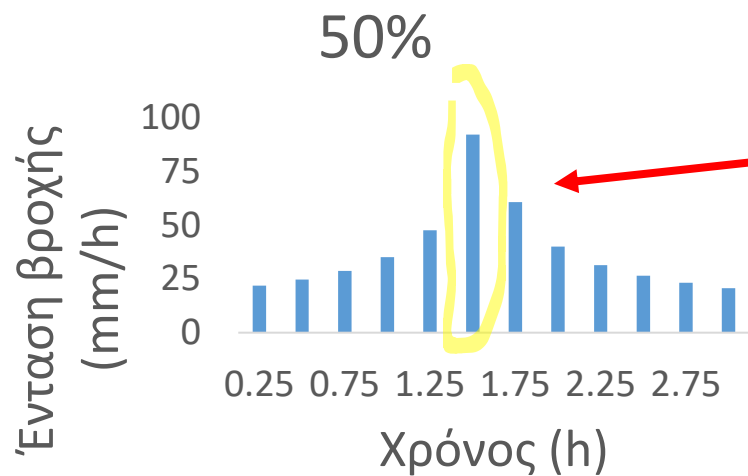
# Κατανομές Huff



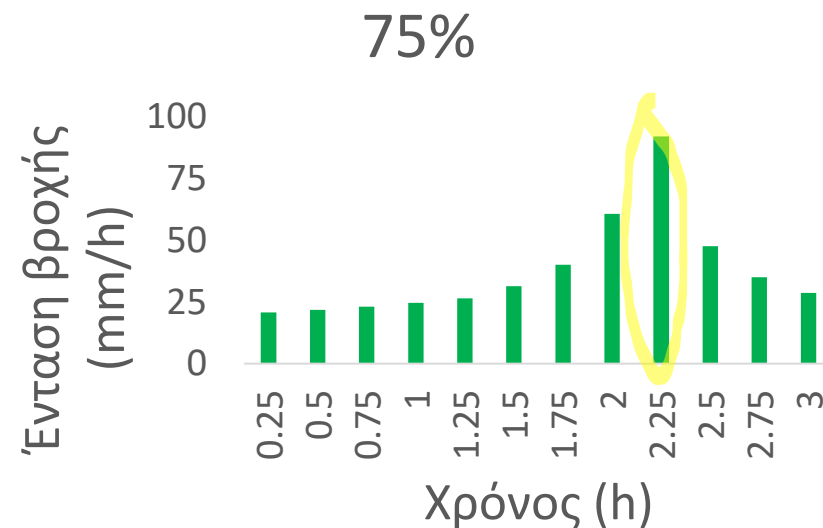
# Εναλασσόμενα μπλοκ



# 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  $\varphi$
- Horton
- Kostiaakon
- Philip
- SCS
- Green-Ampt

# Μορφολογικά χαρακτηριστικά

- Υδρογραφικό δίκτυο
- Κυρίως υδατόρεμα
- Υδροκρίτης
- Εμβαδόν λεκάνης
- Συντελεστής απορροής
- Μεγέθη για τον υπολογισμό του χρόνου συγκέντρωσης
- Χρόνος συγκέντρωσης



# Επιλογή σταθμού

- **Επιλέγεται ο κοντινότερος βροχομετρικός σταθμός στην περιοχή μελέτης**
  - Διόρθωση → υψομετρική αναγωγή
  - Διόρθωση → επιφανειακή αναγωγή
- **Επιλέγονται οι κοντινότεροι βροχομετρικοί σταθμοί στην περιοχή μελέτης**
  - Διόρθωση → υψομετρική αναγωγή
  - Διόρθωση → επιφανειακή ολοκλήρωση

# Σχεδιασμός

- Σχεδιάζεται το υδραυλικό έργο με βάση την πλημμυρική αιχμή
- Αβεβαιότητες στο σχεδιασμό
  - Αβεβαιότητες μοντέλου
  - Αβεβαιότητες στα δεδομένα εισόδου

# Άσκηση 1

- Μέγιστα ύψη βροχής (διάρκεια 15 min) με φθίνουσα σειρά (30 έτη)

26.1	17.0	12.2	6.0	4.5
21.1	14.7	10.0	6.0	4.5
20.1	14.3	9.0	6.0	4.0
19.1	14.0	9.0	5.4	4.0
18.8	13.5	8.0	5.2	3.8
18.5	13.0	7.0	5.0	3.5

- Να βρεθούν οι εντάσεις βροχής για  $T=5, 10, 20, 50, 100$  έτη αν θεωρηθεί ότι το δείγμα ακολουθεί την κατανομή Gumbel
- Να βρεθούν τα όρια εμπιστοσύνης για κάθε περίοδο επαναφοράς (επίπεδο εμπιστοσύνης 95%)

Κατά κύριο λόγο, η παρούσα διάλεξη άντλησε πληροφορίες από τα βιβλία «Τεχνική Υδρολογία» των Μ. Μιμίκου και Ε. Μπαλτά (2018, Εκδόσεις Παπασωτηρίου), «Υδατικοί Πόροι: Ι. Τεχνική Υδρολογία & Εισαγωγή στη Διαχείριση Υδατικών Πόρων» του Γ. Τσακίρη (2013, Εκδόσεις Συμμετρία), «Τεχνική Υδρολογία» των Δ. Κουτσογιάννη και Θ. Ξανθόπουλου - 4<sup>η</sup> έκδοση (2016, Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγγράμματα και Βοηθήματα), «Ποτάμια Υδραυλική και Τεχνικά Έργα» του Β. Χρυσάνθου (2015, Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγγράμματα και Βοηθήματα)