<u>Ημερίδα:</u> «Ολοκληρωμένος Σχεδιασμός Αντιπλημμυρικής Προστασίας: Η Πρόκληση για το Μέλλον», Παρασκευή 23 Απριλίου 2010

Απλές Μέθοδοι Εκτίμησης Ακραίων Γεγονότων Βροχής

Ανδρέας Λαγγούσης

Πολιτικός Μηχανικός, Ε.Μ.Π.
Μάστερ (M.Sc.) στους Πολ. Μηχ. και Μηχ. Περιβάλλοντος, MIT
Διδάκτωρ (Sc.D.) Πολ. Μηχ. και Μηχ. Περιβάλλοντος, MIT

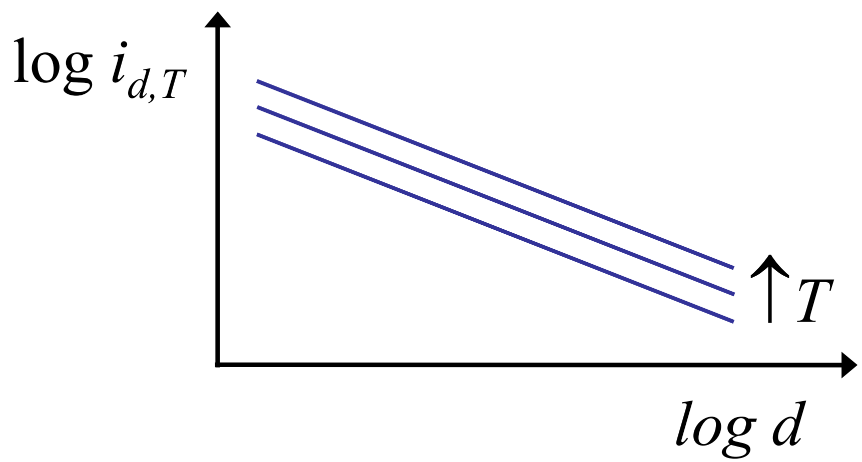
Όμβριες καμπύλες

$\boldsymbol{I(d)}$: μέση ένταση βροχής εντός χρονικής περιόδου διάρκειας d (yr)

$\boldsymbol{I_{yr}(d)}$:= $\max\{I_1(d), I_2(d),\ldots I_{1\mathrm{yr}/d}(d)\}$, ετήσιο μέγιστο του $I(d)$

$\boldsymbol{i_{d,T}}$: η τιμή του $I_{yr}(d)$ με πιθανότητα υπέρβασης $1\mathrm{yr}/T$

Όμβριες καμπύλες



Συνήθεις μέθοδοι εκτίμησης όμβριων καμπυλών

1) Από χρονοσειρές ετήσιων μεγίστων:

❖ **Μέθοδος χωρισμού των μεταβλητών …**

$$i_{d,T} = b(d)\ \alpha(T)$$

εμπειρική σχέση **π.χ. $(d+\eta)^{-\delta}$**

εμπειρική σχέση **π.χ. T^k, $\log T$**

από κατανομή $I_{yr}(d)$ Koutsoyiannis *et al.* (1998)

⇨ Εκτίμηση παραμέτρων από ετήσια μέγιστα βροχής

Μειονεκτήματα:

- *Χρήση τμήματος της ιστορικής πληροφορίας* (ετήσια μέγιστα)
- *Ευαισθησία σε εξωδειγματικά σημεία* (outliers)
- *Προκαθορισμένη συνάρτηση κατανομής της μεταβλητής* $I_{yr}(d)$
- *Μεγάλη μεταβλητότητα των παραμέτρων σχήματος*
- *Προβλήματα με μικρού μήκους χρονοσειρές* (π.χ. 5 έτη)

2) Από στοχαστικά μοντέλα βροχής:

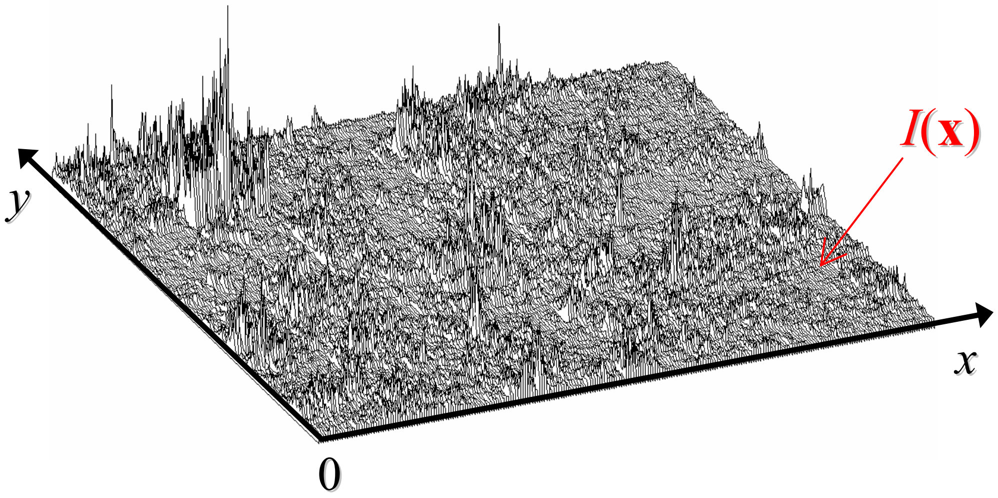
➢ Προσαρμογή μοντέλου με αξιοποίηση του συνόλου της υδρολογικής πληροφορίας

- Υψηλός αριθμός παραμέτρων
- ***Όμβριες καμπύλες*** ⇨ προσομοίωση MC (*υπολογιστικά απαιτητικό*)

Πολυκλασματικά (multifractal) μοντέλα βροχής

Πλεονεκτήματα:

- ✓ **Φειδωλά σε παραμέτρους**
- ✓ **Ρεαλιστικά πεδία βροχής**



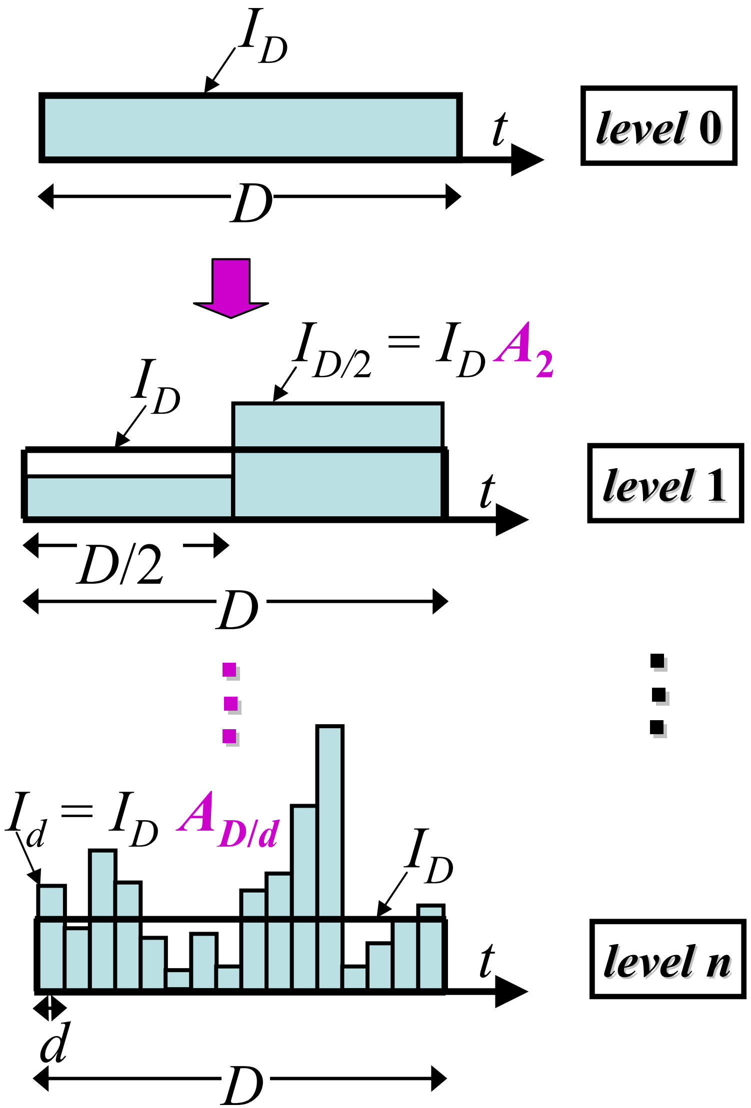
- ✓ Εκτίμηση όμβριων καμπυλών χωρίς προσομοίωση MC
- ✓ Αποφυγή παραδοχών
  - *χωρισμού των μεταβλητών **d** και **T***
  - *συνάρτησης κατανομής της μεταβλητής $\boldsymbol{I_{yr}(d)}$*
- ✓ Αξιοποίηση του συνόλου της υδρολογικής πληροφορίας (όχι μόνο ετήσια μέγιστα)
  - *Ακόμα και 5 χρόνια ιστορικών δεδομένων αρκούν*
  - *Μειωμένη ευαισθησία σε εξωδειγματικά σημεία* (outliers)

⇨ **Αναλυτικές προσεγγιστικές σχέσεις υψηλής ακρίβειας** (Langousis *et al.*, 2007)

...ακούγονται δύσκολα, αλλά είναι απλά και πρακτικά!

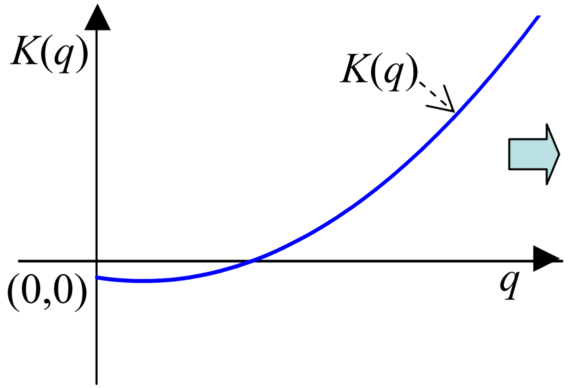
Multifractal για Μηχανικούς....

Κατασκευή:



Προϋπόθεση ➡ $A_{D/d} = \underbrace{A_{2,1},\ A_{2,2},\ \ldots,\ A_{2,n}}_{n=\log_2(D/d)\ \text{iid μεταβλητές}}$

Ιδιότητα ➡ $E[(A_{D/d})^q] \propto d^{\,-K(q)}$



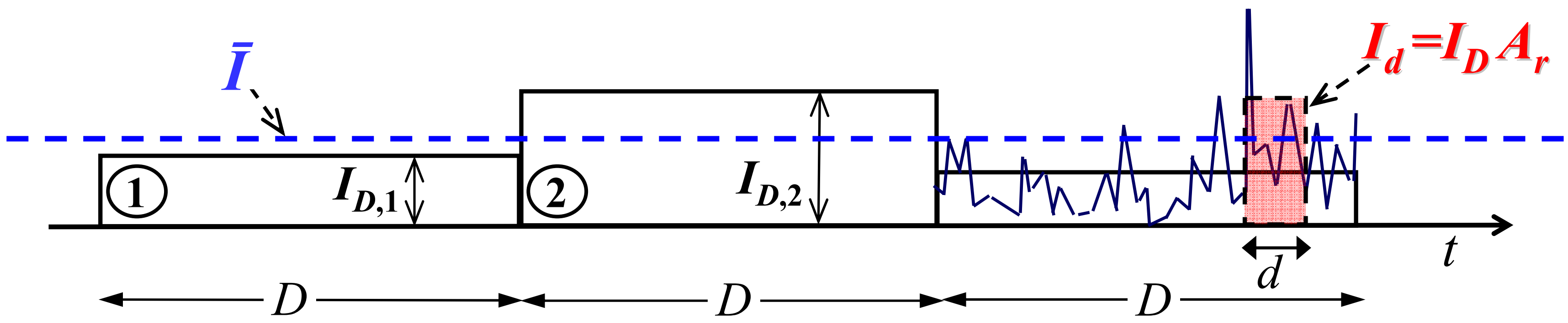
*...εκτίμηση **παραμέτρων** με προσαρμογή στα δεδομένα*

Δυσκολία $\left\{ \right.$ *...προσδιορισμός της κατανομής της τυχαίας μεταβλητής I_D*

.... προσεγγιστικές σχέσεις!

(Langousis and Veneziano, 2007)

Βροχή ως ακολουθία παλμών με δομή multifractal



$\bar{I}$: μέση ετήσια ένταση βροχής

$\boxed{\bar{I} = 1}$

D: μέση περίοδος επαναφοράς καταιγίδων (*απο δεδομένα*)

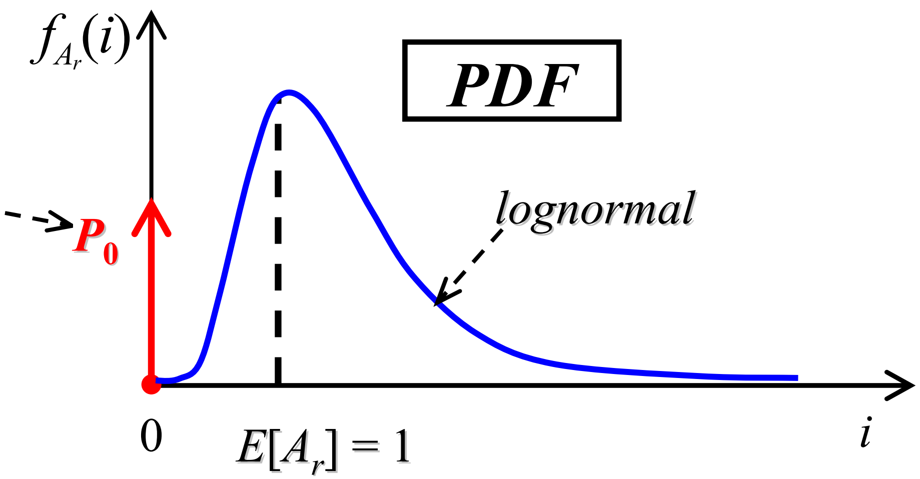
$\boxed{r = D/d}$

Τυχαία μεταβλητή $A_r \sim (\beta\text{-}LN)$

- $P[A_r = 0] = P_0 = 1 - r^{-C_\beta}$
- $(\ln A_r | A_r > 0) \sim \mathrm{N}[(C_\beta - C_{LN})\ln r,\ 2C_{LN}\ln r]$

C_β: ποσοστό ξηρών περιόδων εντός D

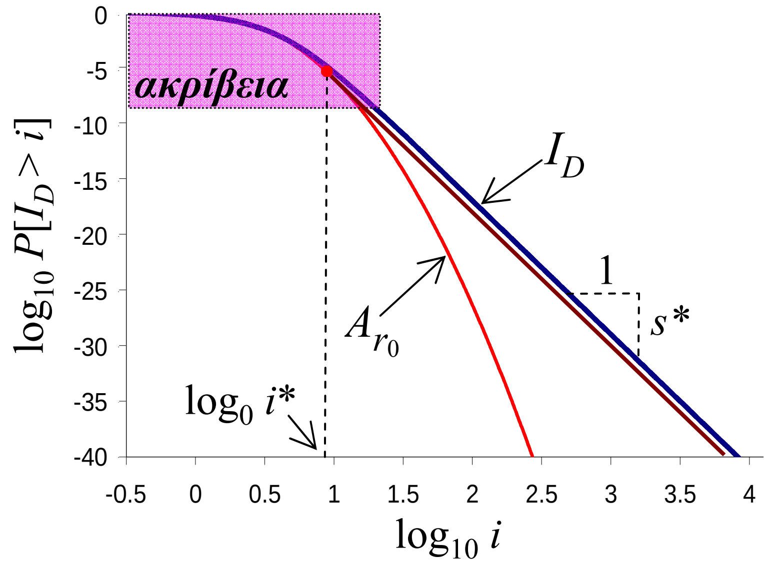
C_{LN}: ένταση διακυμάνσεων βροχής εντός υγρών περιόδων



Multifractal όμβριες καμπύλες για Μηχανικούς

⇨ $I_D \approx A_{r_0}$ + *σωστή ουρά*

- r_0 *τέτοιο ώστε να επιτυγχάνεται* ***συμφωνία*** *στο* ***σώμα*** *των κατανομών (ροπές τάξεως 2-3)*
- *προσαρμογή ουράς* ***αλγεβρικού τύπου*** *(ροπές μεγαλύτερης τάξεως)*



➢ *Αναλυτικές όμβριες καμπύλες $i_{d,T}$* (Langousis *et al*., 2007)

$$T_{r,\gamma} \approx \begin{cases} \dfrac{D}{r}\left[(2\pi)2C_{LN}\left(\dfrac{\gamma - C_\beta}{2C_{LN}}+\dfrac{1}{2}\right)^2 \ln(rr_0)\right]^{1/2} (rr_0)^{C_{LN}\left(\frac{\gamma - C_\beta}{2C_{LN}}+\frac{1}{2}\right)^2 + C_\beta} & , \gamma \leq 2 - C_\beta - C_{LN} \\ \dfrac{D}{r}\left[(2\pi)2\ln(rr_0)\dfrac{(1-C_\beta)^2}{C_{LN}}\right]^{1/2} (rr_0)^{[1+(\gamma-1)\frac{1-C_\beta}{C_{LN}}]} & , \gamma > 2 - C_\beta - C_{LN} \end{cases}$$

$$\boxed{r = D/d, \quad \gamma = \log_{rr_0}(i_{d,T})}$$

Υπολογισμός όμβριων καμπυλών (1)

1) *Εκτίμηση μέσης ετήσιας εντάσεως βροχής* $\bar{I}$ *απο δεδομένα.*

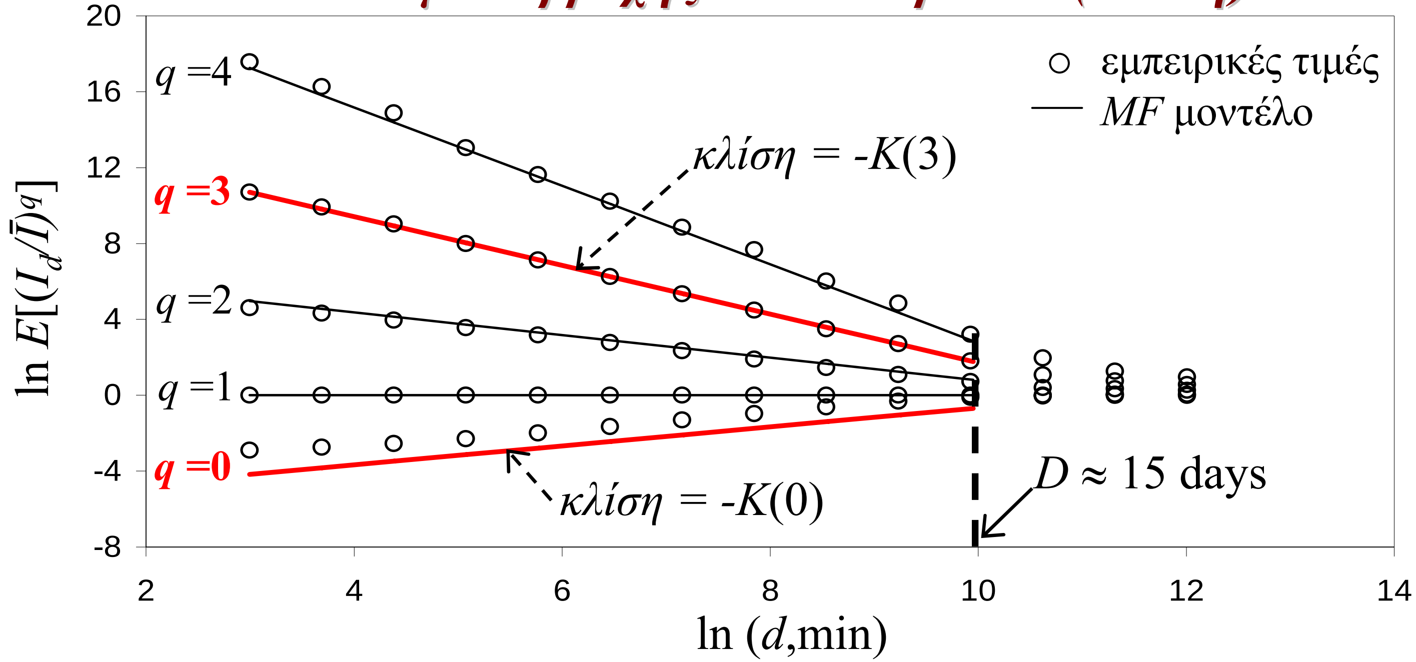
2) *Εκτίμηση* C_β *και* C_{LN} *από διάγραμμα ροπών* $E[(I_d/\bar{I})^q]$ *συναρτήσει της διάρκειας* d

- $C_\beta = -K(0)$
- $C_{LN} = [K(3)+2K(0)]/6$

3) $r_0(C_\beta, C_{LN})$ *από διάγραμμα* (*Langousis et al.* 2007)

4) Επιλογή D *έτσι ώστε* $E[I_D^3] = \bar{I}\, r_0^{K(3)}$

Δεδομένα βροχής από Φλωρεντία (23 έτη)



$$\left\{ \begin{array}{l} C_{LN}=0.06 \\ C_\beta=0.45 \\ r_0=4.65 \end{array} \right.$$

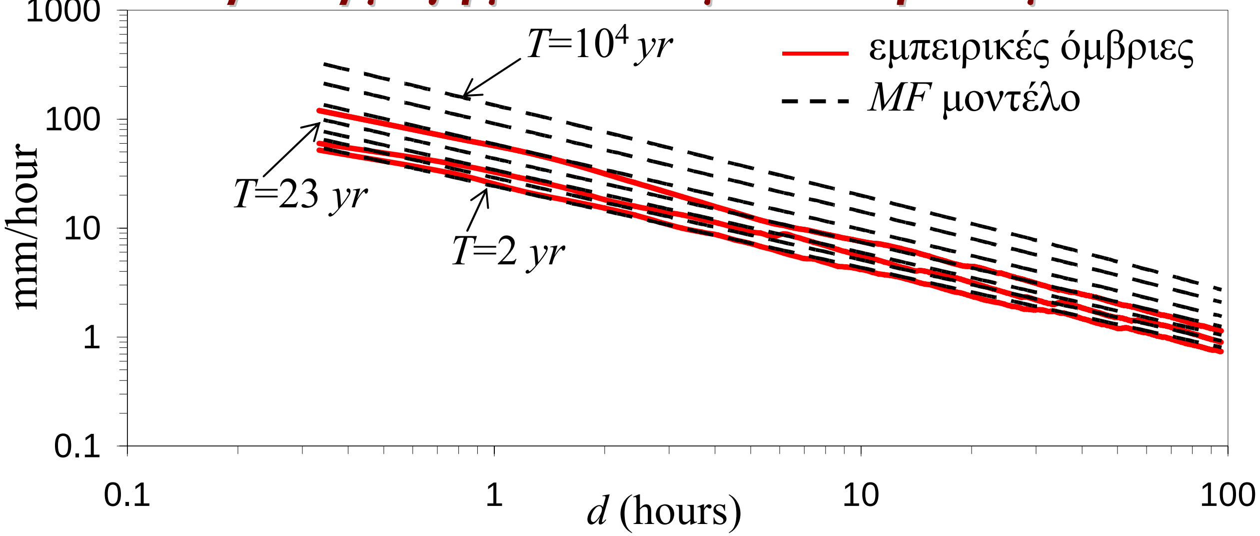
Υπολογισμός όμβριων καμπυλών (2)

5) *Υπολογισμός θεωρητικών τιμών* $\boldsymbol{i_{d,T}}$ *από* ***αναλυτικές σχέσεις*** (για $\bar{I}$ =1)

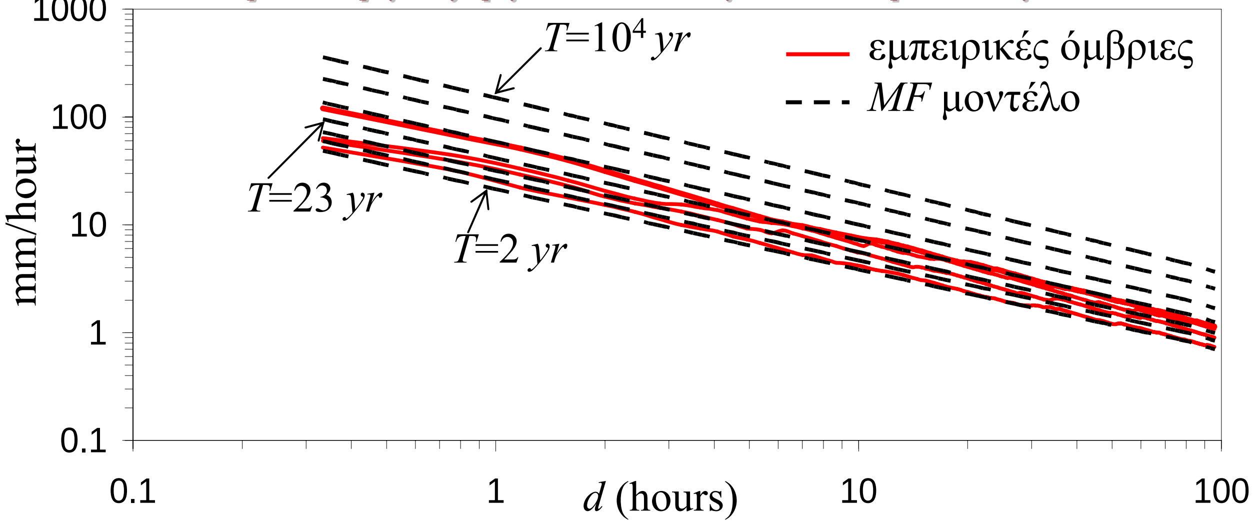
6) *Πολλαπλασιασμός των θεωρητικών τιμών* $\boldsymbol{i_{d,T}}$ *με τη μέση ετήσια ένταση βροχής* $\boldsymbol{\bar{I}}$

...ικανοποιητικά αποτελέσματα ακόμα και για 4 έτη!

...προσαρμογή μοντέλου με 23 έτη δεδομένων



...προσαρμογή μοντέλου με 4 έτη δεδομένων



Συμπεράσματα

- *Χρησιμοποιήσαμε τη θεωρία* ***πολυκλασματικής ομοιοθεσίας*** *(multifractal theory) για να αναπτύξουμε μία μεθοδολογία εκτίμησης* ***όμβριων καμπυλών***

απλή και πρακτική...

- αποφυγή προσομοίωσης MC
- αξιοποίηση του συνόλου της διαθέσιμης υδρολογικής πληροφορίας (*όχι μόνο ετήσια μέγιστα*)
- **φειδωλή** σε παραμέτρους (D, C_β, C_{LN})
- **αναλυτικές σχέσεις** για τις τιμές $i_{d,T}$

- *Εφαρμογή για τον υπολογισμό* ***θεωρητικών*** *τιμών* $\boldsymbol{i_{d,T}}$ *από δεδομένα βροχής +* ***σύγκριση με εμπειρικές όμβριες καμπύλες***

...με αρκετά πλεονεκτήματα

- **ευκολία** εκτίμησης παραμέτρων
- υψηλή **ακρίβεια** αποτελεσμάτων
- **μειωμένη ευαισθησία** (μήκος ιστορικού δείγματος + εξωδειγματικά σημεία)