



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Διπλωματική εργασία:


«Πλαίσιο στοχαστικής προσομοίωσης σε ψευδο-συνεχή χρόνο για την εκτίμηση πλημμυρικών παροχών»

Μουστάκης Ιωάννης

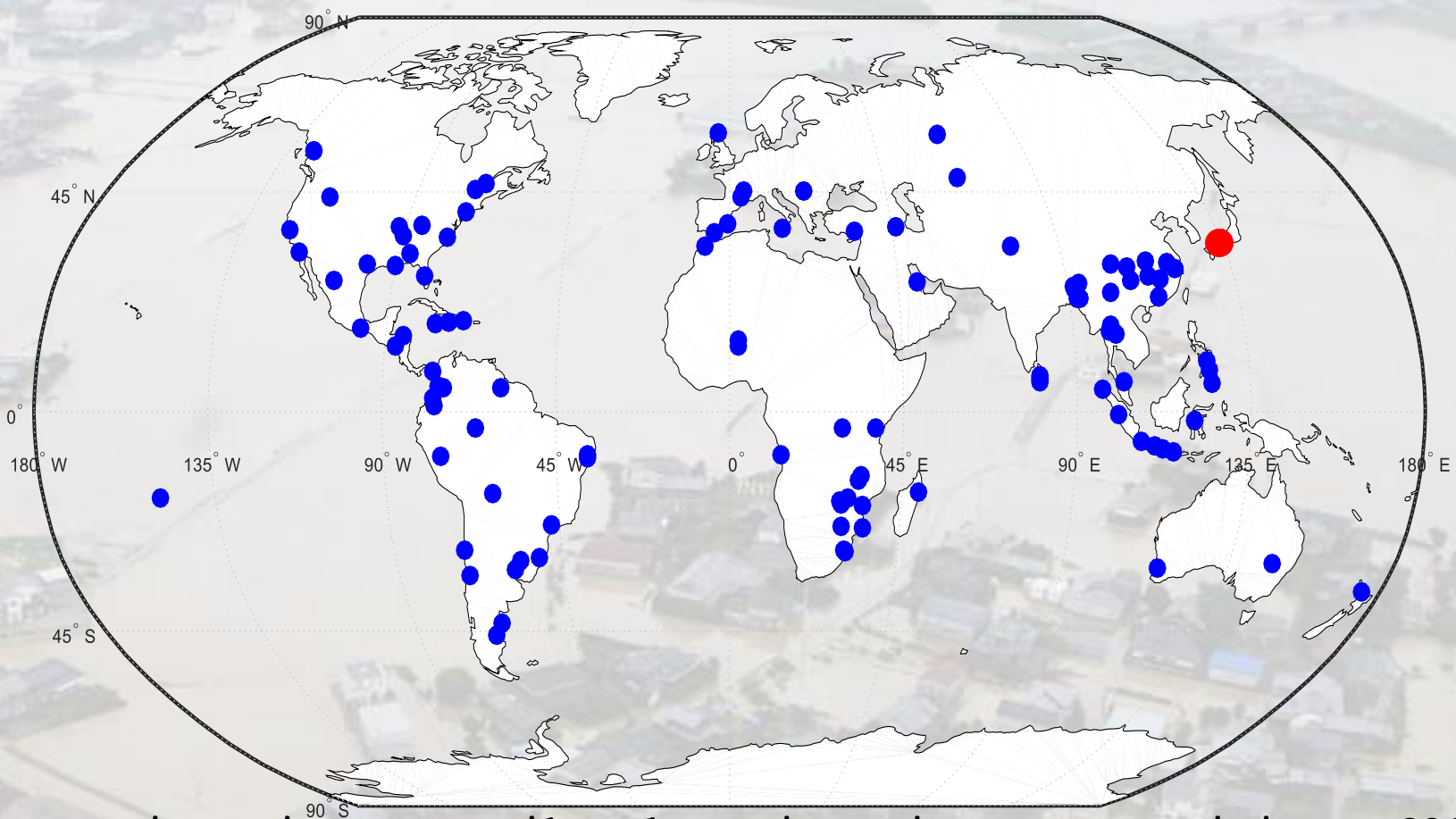
Επιβλέπων: Ευστρατιάδης Ανδρέας, Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, ΕΔΙΠ
ΕΜΠ

Υπεύθυνος Καθηγητής: Κουτσογιάννης Δημήτριος, Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Ιούλιος 2017

- 
- **Φουκουόκα, Ιαπωνία**
 - **500 mm βροχόπτωσης
σε 9 ώρες**
 - **22 θάνατοι**

05/07/2017



Γεωγραφική απεικόνιση των μεγάλων πλημμυρών που έχουν καταγραφεί μέσα στο 2017

- **Πάνω από 100 πλημμυρικά γεγονότα**
- **Περισσότεροι από 1 150 θάνατοι**

Παρά τη ραγδαία τεχνολογική και επιστημονική πρόοδο των τελευταίων δεκαετιών, ο άνθρωπος δεν έχει καταφέρει να ανταπεξέλθει στις προκλήσεις που του θέτει η φύση

Γιατί ο άνθρωπος δεν τα έχει καταφέρει; (1)

Ανθρώπινα λάθη και παραλείψεις

- Ραγδαία αστικοποίηση – αποψιλώσεις δασών
- Δόμηση στις πλημμυρικές κοίτες
- Κακή συντήρηση δικτύου ομβρίων
- Μπαζώματα ρεμάτων
- Ανετοιμότητα κρατικών μηχανισμών αντιμετώπισης ακραίων συνθηκών

Γιατί ο άνθρωπος δεν τα έχει καταφέρει; (2)

Η Υδρολογία ως μια σχετικά νέα επιστήμη

- Κυρίως εμπειρικά θεμελιωμένη
- Πολύπλοκοι μηχανισμοί καθορίζουν την απόκριση της λεκάνης → Η πραγματική φύση τους μας διαφεύγει
- Εγγενής αβεβαιότητα υδρομετεωρολογικών διεργασιών

! **Ακόμα και σε ένα πλήρως αιτιοκρατικό περιβάλλον, όπου η απόκριση μιας λεκάνης θα μπορούσε να περιγραφεί επακριβώς, ο μηχανικός θα έπρεπε να αποφασίσει τα επίπεδα του αποδεκτού ρίσκου. → αλλιώς απαίτηση για κολοσσιαία έργα**

Μοντέλα συνεχούς προσομοίωσης

Η τεχνολογική πρόοδος και οι δυνατότητες σε υπολογιστική ισχύ έχουν επιτρέψει τη δημιουργία μοντέλων που προσομοιώνουν τις βασικές υδρολογικές διεργασίες μιας λεκάνης σε συνεχή χρόνο και έχουν αποδειχθεί αξιόπιστα

Βασίζονται στην ύπαρξη μετρήσεων βροχής – απορροής

- Δεν είναι διαθέσιμες στην πλειονότητα των λεκανών
- Αμφισβητείται η ποιότητά τους
- Δύσκολη η διαδικασία της βαθμονόμησης

- Ύπαρξη πολλών παραμέτρων αυξάνει την αβεβαιότητα
- Υψηλές απαιτήσεις σε υπολογιστική ισχύ
- Πολύπλοκα – δύσκολα στη χρήση

(ακόμη και για λόγους κουλτούρας...)

Δεν έχει γίνει καθολική η χρήση τους από την κοινότητα των μηχανικών διεθνώς

Συνεχίζεται η χρήση απλοϊκών μοντέλων γεγονότος

Τυπικό πλαίσιο προσομοίωσης πλημμυρών (1)

- Καθορισμός καταιγίδας σχεδιασμού για την επιθυμητή περίοδο επαναφοράς και διάρκεια
 - Υπολογισμός υδρολογικών ελλειμμάτων
- Μετασχηματισμός ενεργού βροχόπτωσης σε πλημμυρογράφημα

Τυπικό πλαίσιο προσομοίωσης πλημμυρών (2)

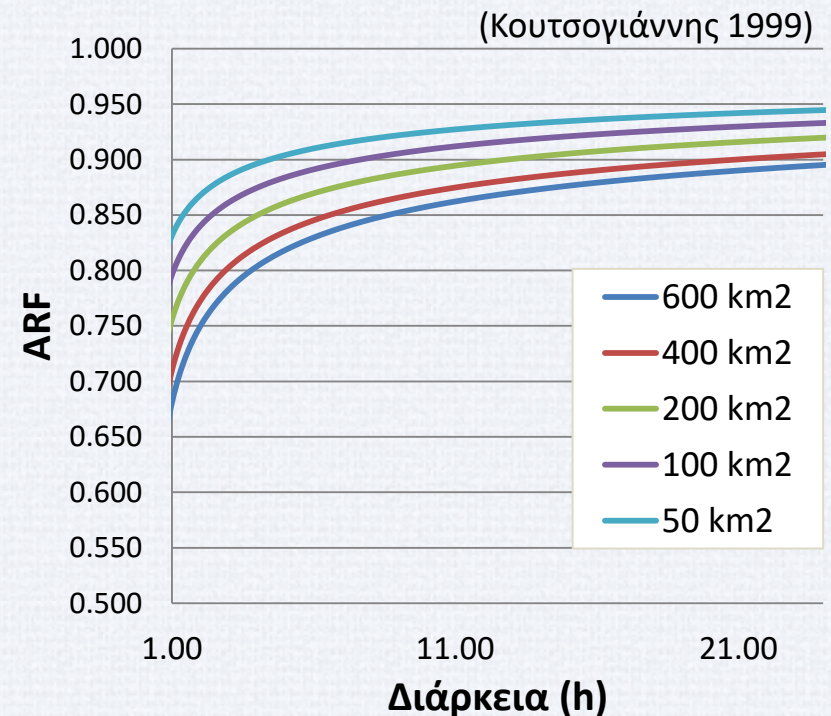
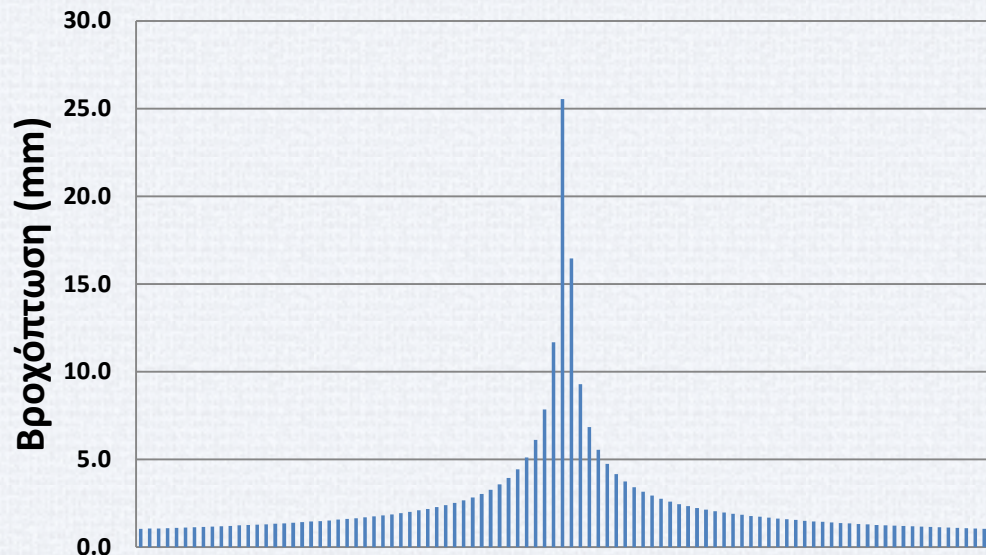
Καταιγίδα σχεδιασμού:

- Χρήση ομβρίων καμπυλών
- Επιμερισμός με τη μέθοδο των εναλλασσόμενων μπλοκ (alternating blocks)
- Επιφανειακή απομείωση βροχόπτωσης με το δείκτη φ (Aerial Reduction Factor)

$$i(d, T) = \frac{\lambda'(T^\kappa - \psi')}{(1 + d/\theta)^\eta} \quad (\text{Κουτσογιάννης 1998})$$

$$\varphi = 1 - \frac{0,048A^{0,36-0,01\ln A}}{d^{0,35}} \geq 0.25$$

Καταιγίδα σχεδιασμού



Τυπικό πλαίσιο προσομοίωσης πλημμυρών (3)

Υδρολογικά ελλείμματα:

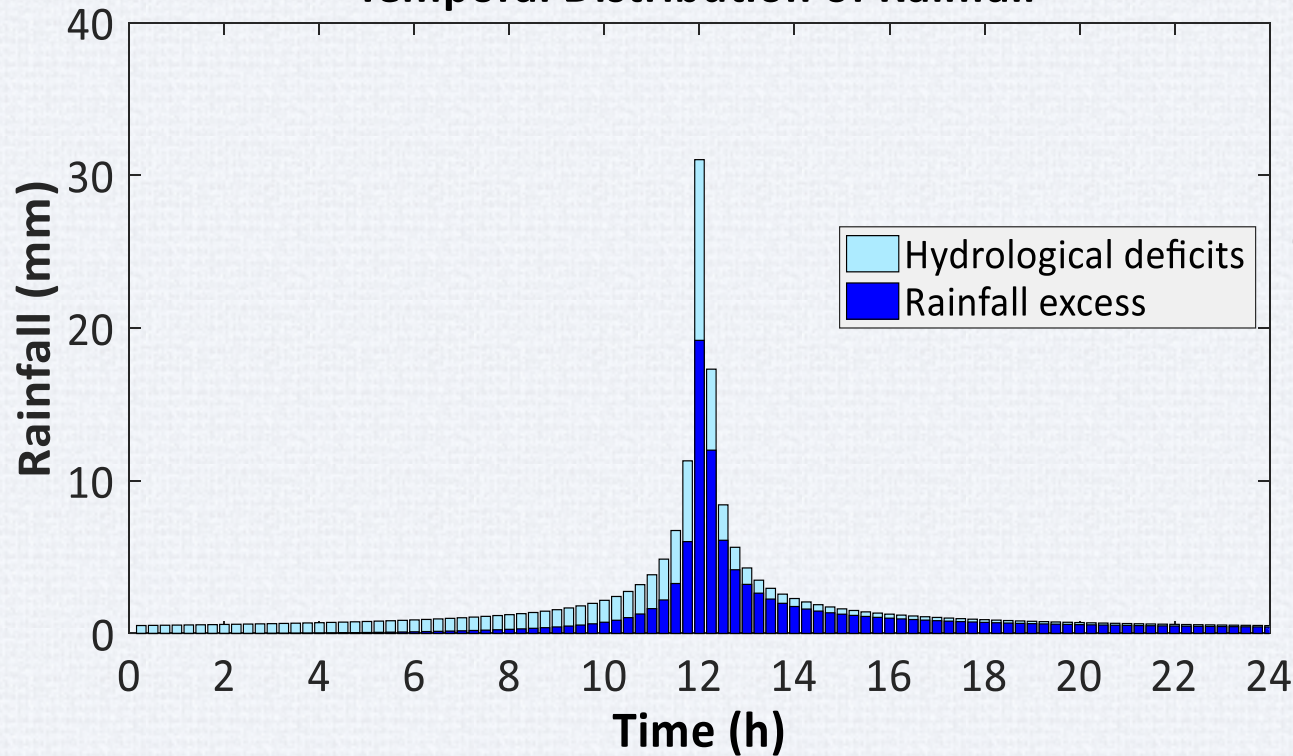
- Υπολογισμός με την ευρέως διαδεδομένη μέθοδο NRCS-CN (2004)
- Επιλογή συνθηκών υγρασίας (υγρές, μέσες, ξηρές) → Επιλογή υγρών χάρην ασφαλείας

$$CN_I = \frac{0.42CN_{II}}{1 - 0.0058CN_{II}}$$

$$CN_{II} = \frac{25400}{S + 254}$$

$$CN_{III} = \frac{2.3CN_{II}}{1 + 0.013CN_{II}}$$

Temporal Distribution of Rainfall



$$Q = \begin{cases} \frac{(P - I_a)^2}{S + P - I_a} & , P > I_a \\ 0 & P \leq I_a \end{cases}$$

$$I_a = \lambda S$$

Τυπικό πλαίσιο προσομοίωσης πλημμυρών (4)

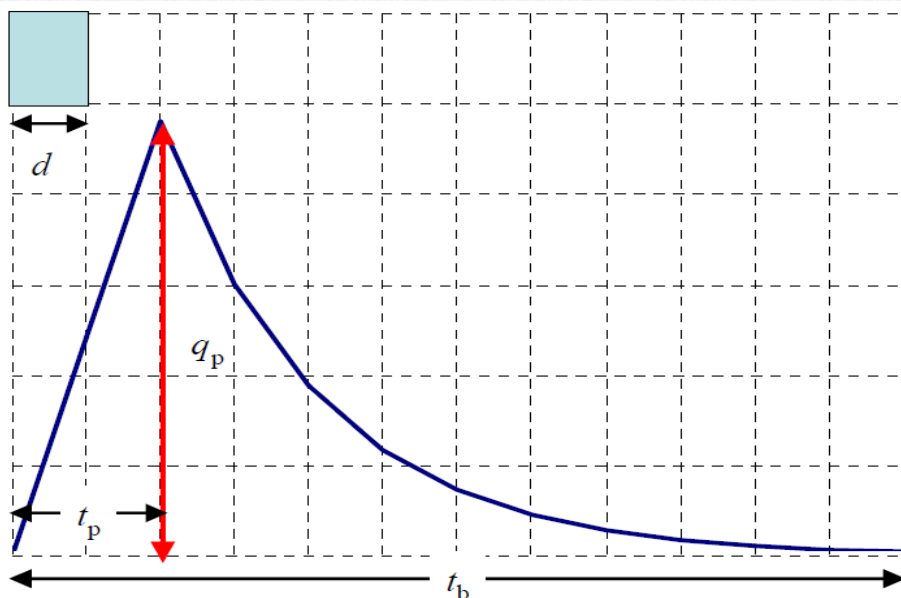
Μετασχηματισμός ενεργού βροχόπτωσης σε πλημμυρογράφημα:

- Χρήση του Μοναδιαίου Υδρογραφήματος (Δευκαλίων 2014)
- Υπολογισμός χρόνου συγκέντρωσης με τη γνωστή μέθοδο Giandotti – Θεωρείται σταθερά της λεκάνης

$$t_p = d/2 + \beta t_c \quad u(t) = q_p t/t_p \quad , t \leq t_p$$

$$t_b = d + \gamma t_c \quad u(t) = q_p \exp(-k t/t_b) \quad , t \geq t_p$$

$$k = -\ln(q_0/q_p)$$



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

L: Μήκος κύριας μισγάγγειας

ΔH : Διαφορά μέσου υψόμετρου λεκάνης από το υψόμετρο στην έξοδό της

Ασυνέπειες τυπικής μεθοδολογίας (1)

Περίοδος επαναφοράς, ως μοναδική πιθανοτική έκφραση του αποτελέσματος:

→ Η περίοδος επαναφοράς της βροχής ταυτίζεται με την περίοδο επαναφοράς της απορροής

Μοντέλα γεγονότος: Ισχυρή εξάρτηση από τον ορισμό των αρχικών συνθηκών!

→ Αυθαίρετη επιλογή συνθηκών εδαφικής υγρασίας

→ Αγνοείται το πραγματικό καθεστώς της εδαφικής υγρασίας στην περιοχή

→ Τρεις διακριτοί τύποι συνθηκών δεν μπορούν να περιγράψουν επαρκώς τις πιθανές καταστάσεις του εδάφους

Μέθοδος εναλλασσόμενων μπλοκ: Το ύψος βροχής σε κάθε χρονική περίοδο αντιστοιχεί στην ίδια περίοδο επαναφοράς

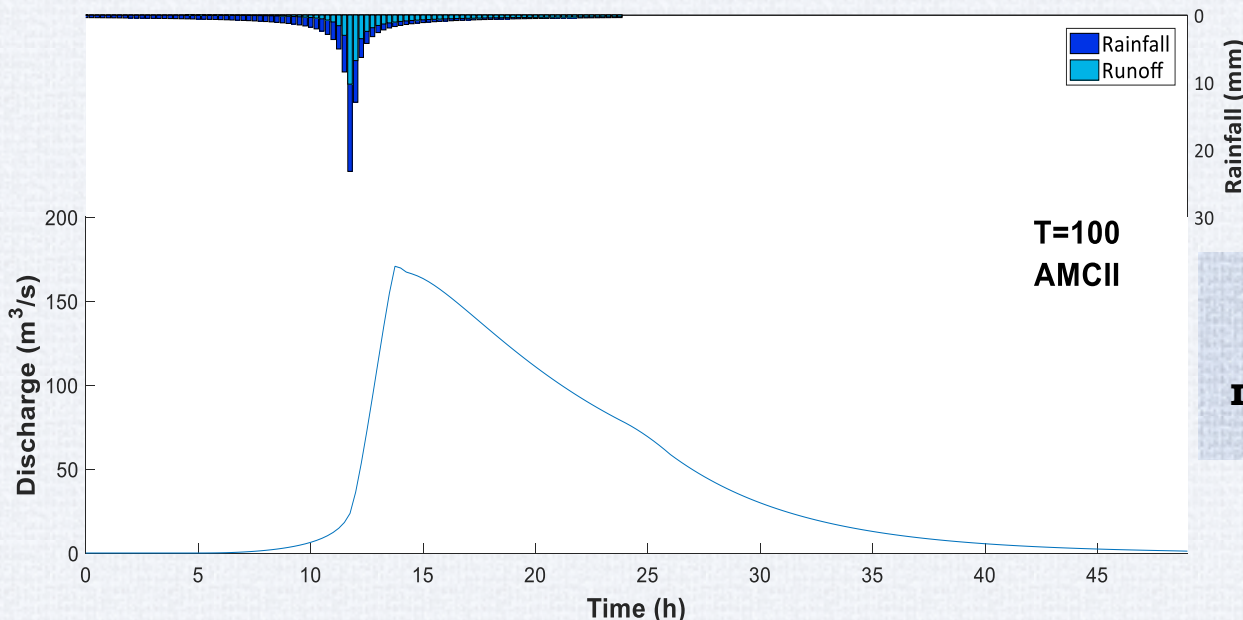
→ Απίθανα και μη ρεαλιστικά προφίλ βροχοπτώσεων

→ Αγνοούνται τα στατιστικά χαρακτηριστικά και η δομή αυτοσυσχέτισης της βροχόπτωσης

Ασυνέπειες τυπικής μεθοδολογίας (2)

Σταθερός χρόνος συγκέντρωσης – μέθοδος Giandotti:

- Η μέθοδος του Giandotti (ή άλλες αντίστοιχες σχέσεις) δεν μπορεί να έχει καθολική ισχύ
- Έχει καταδειχθεί ότι ο χρόνος συγκέντρωσης δεν είναι σταθερό χαρακτηριστικό μιας λεκάνης [Grimaldi (2012) & εμπειρία μηχανικών – κοινή λογική]
- Σχετίζεται με την παραγόμενη απορροή



**«Τυποποιημένα» μη
ρεαλιστικά
πλημμυρογραφήματα**

Ασυνέπειες τυπικής μεθοδολογίας (3)

Ντετερμινιστική προσέγγιση:

- Για κάθε περίοδο επαναφοράς λαμβάνεται μία καταιγίδα σχεδιασμού και ένα πλημμυρογράφημα
- Αγνοείται η εγγενής αβεβαιότητα των υδρομετεωρολογικών διεργασιών
- Δεν προσεγγίζεται πιθανοτικά το αποτέλεσμα

Σκοπός της εργασίας

Ανάπτυξη πλαισίου το οποίο θα είναι:

- Απλό στη δομή του
 - Φειδωλό
- Κατάλληλο για λεκάνες χωρίς μετρήσεις
- Πιο συνεπές από την τυπική μεθοδολογία
- Στοχαστικό: Θα λαμβάνει υπ' όψη του την εγγενή αβεβαιότητα των υδρολογικών μεταβλητών και θα επιτρέπει την πιθανοτική έκφραση των αποτελεσμάτων (προσδιορισμός ορίων εμπιστοσύνης)

Παράλληλοι στόχοι εργασίας:

- Κατάδειξη των σοβαρότατων ασυνεπειών των τυπικών μεθοδολογιών
- Συγκέντρωση της γνώσης που έχει συγκεντρωθεί στη Σχολή τα τελευταία χρόνια σε ένα ενιαίο πλαίσιο
- Ο έλεγχος των εργαλείων που χρησιμοποιούνται για πιθανές αδυναμίες
 - Ιδέες και προτάσεις για περαιτέρω έρευνα
- Εμπέδωση και εδραίωση της αντίληψης ότι δεν πρέπει να αγνοείται η αβεβαιότητα

Τι αντιπροτείνουμε;

Πλαίσιο στοχαστικής προσομοίωσης σε ψευδο-συνεχή χρόνο



Ενδιάμεση προσέγγιση μεταξύ των μοντέλων γεγονότος και των μοντέλων συνεχούς προσομοίωσης



- Χρήση απλοϊκής συνεχούς προσομοίωσης στην ημερήσια κλίμακα, για τον καθορισμό των αρχικών συνθηκών και τον υπολογισμό της απορροής
 - Επιλογή ετησίων μεγίστων
- Υπολογισμός πλημμυρογραφημάτων για τα επιλεγμένα γεγονότα
- Επανάληψη διαδικασίας σε ένα πλαίσιο Monte-Carlo προσομοίωσης

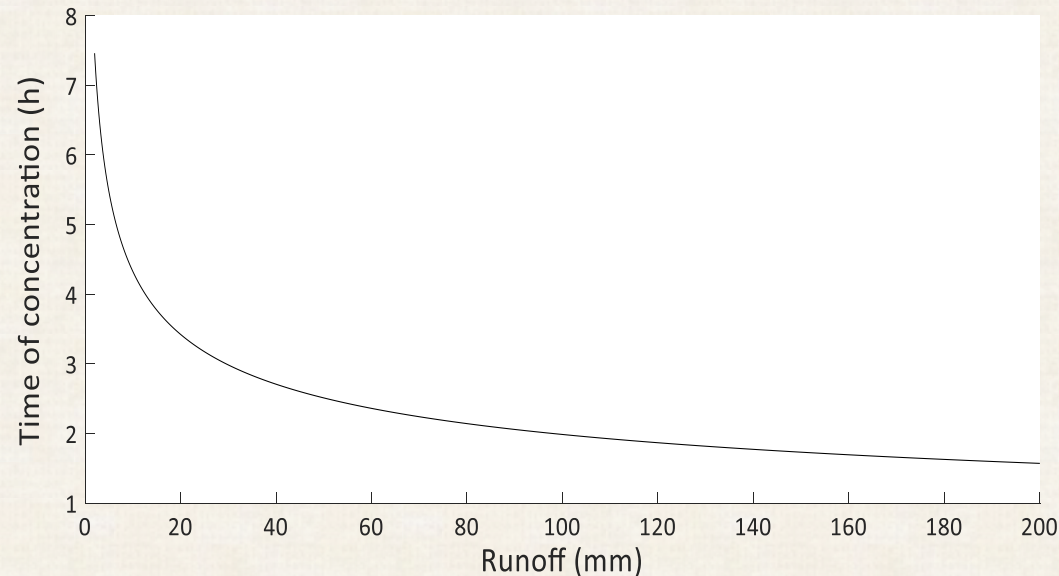
Το προτεινόμενο πλαίσιο (1)

Βήμα 1° : Μελετώνται τα φυσιογραφικά χαρακτηριστικά της λεκάνης και καθορίζεται η τιμή αναφοράς για την παράμετρο CN

Βήμα 2° : Με τη χρήση του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους υπολογίζονται οι παράμετροι a και b για τη σχέση χρόνου συγκέντρωσης - απορροής

Μεταβλητός χρόνος συγκέντρωσης (Αντωνιάδη 2016):

- Χρόνος συγκέντρωσης μεταβάλλεται και σχετίζεται με την απορροή
 - Εκθετική σχέση της μορφής $P=a t_c^{-b}$
- Υπολογίζεται με τη χρήση Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους



Το προτεινόμενο πλαίσιο (2)

Βήμα 3° :

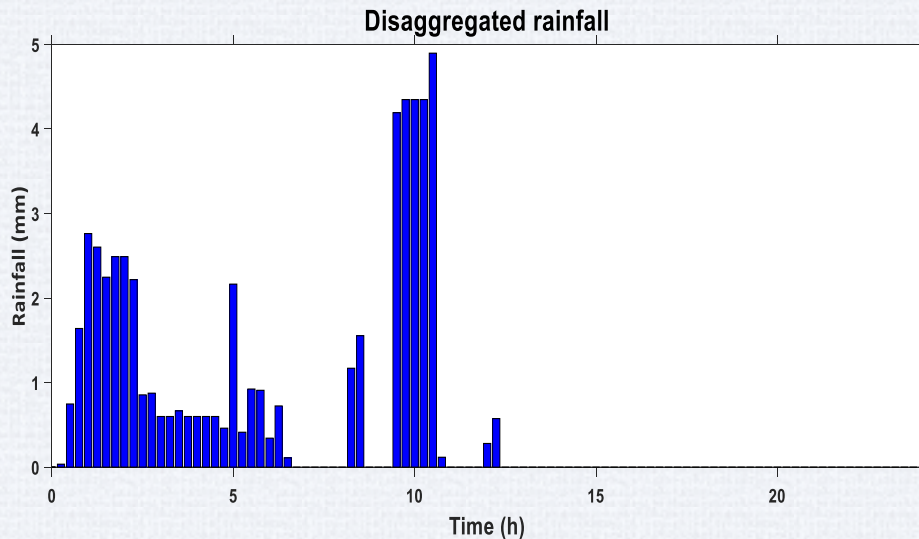
Καθορισμός παραμέτρων β και γ του παραμετρικού συνθετικού Μοναδιαίου Υδρογραφήματος \rightarrow Εκτίμηση χρόνου ανόδου, χρόνου βάσης και πλημμύρας αιχμής του Συνθετικού Μοναδιαίου Υδρογραφήματος

Βήμα 4° :

Επιλογή κατάλληλης ιστορικής χρονοσειράς βροχοπτώσεων

Βήμα 5° :

Βαθμονόμηση HyetosMinute με βάση την ιστορική χρονοσειρά



Πακέτο HyetosMinute (Kossieris et.al 2016)

- Στοχαστικός επιμερισμός της βροχόπτωσης σε λεπτότερες χρονικές κλίμακες
- Μοντέλο Barlett-Lewis Rectangular Pulse 7 παραμέτρων
- Διατηρεί στατιστικά χαρακτηριστικά και δομή αυτοσυσχέτισης βροχόπτωσης
 - Ρεαλιστικά προφίλ καταιγίδων

Το προτεινόμενο πλαίσιο (3)

Βήμα 6° : Παραγωγή συνθετικής ημερήσιας χρονοσειράς βροχοπτώσεων με τη χρήση του λογισμικού Castalia και επειφανειακή απομείωση με ARF

Βήμα 7° : Στοχαστικός επιμερισμός της συνθετικής χρονοσειράς σε λεπτότερες χρονικές κλίμακες (π.χ. 15 λεπτά) με τη χρήση του πακέτου HyetosMinute

Βήμα 8° : Υπολογισμός της εδαφικής υγρασίας (τιμή της παραμέτρου CN) για κάθε ημέρα με βάση την αθροιστική βροχή των προηγούμενων πέντε ημερών P_5

- **Ξηρές συνθήκες** → αντιστοιχίζονται στο χαμηλότερο 10% των P_5

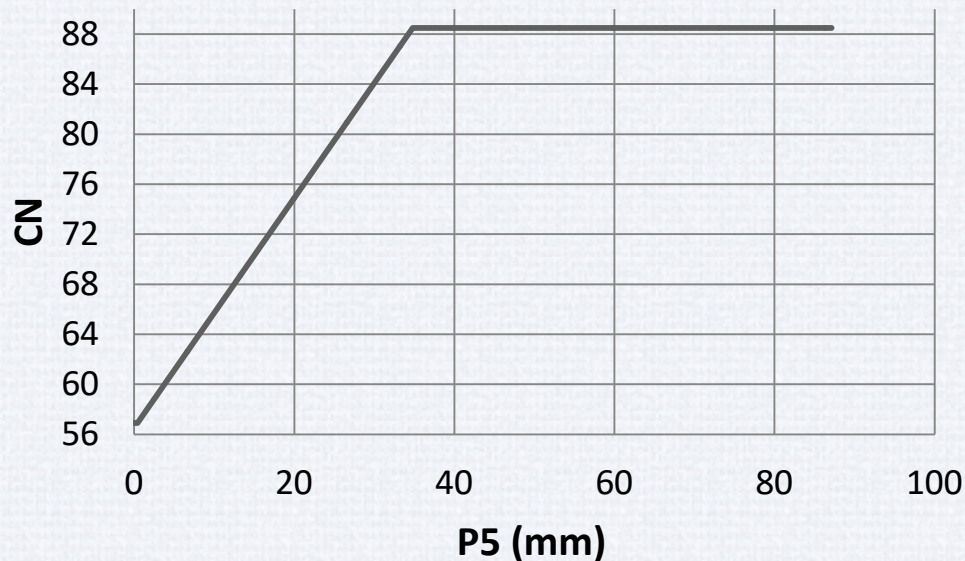
Ανατίθεται η τιμή $CN_I = \frac{0.42CN_{II}}{1 - 0.0058CN_{II}}$

- **Υγρές συνθήκες** → αντιστοιχίζονται στο υψηλότερο 10% των P_5

Ανατίθεται η τιμή $CN_{III} = \frac{2.3CN_{II}}{1 + 0.013CN_{II}}$

- **Ενδιάμεσες καταστάσεις** → Γραμμική παρεμβολή μεταξύ υγρών και ξηρών συνθηκών

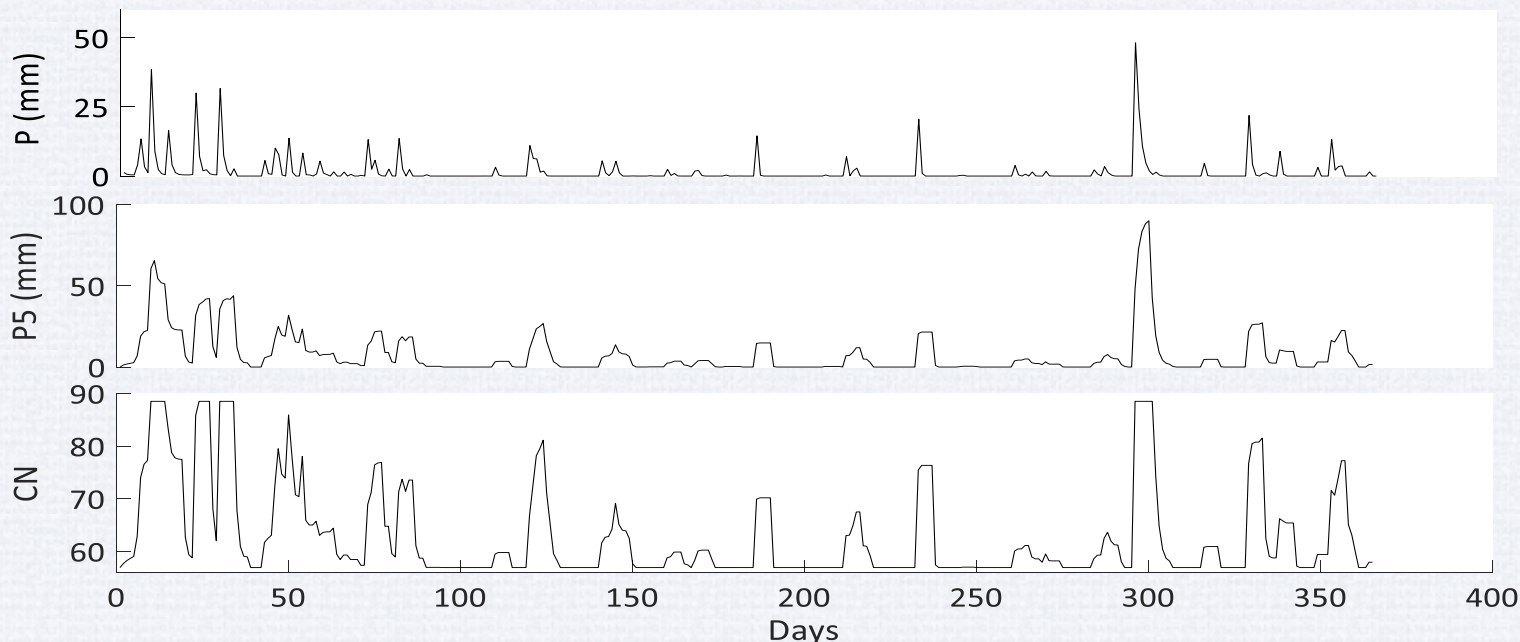
Το προτεινόμενο πλαίσιο (4)



$$\frac{P_5^i - P_5^{dry}}{P_5^{wet} - P_5^{dry}} = \frac{CN^i - CN^I}{CN^{III} - CN^I}, \quad \text{for } P_5^{dry} < P_5^i < P_5^{wet}$$

$$CN^i = CN^I, \quad \text{for } P_5^i \leq P_5^{dry}$$

$$CN^i = CN^{III}, \quad \text{for } P_5^i \geq P_5^{wet}$$



Το προτεινόμενο πλαίσιο (5)

- Βήμα 9^ο :** Υπολογισμός της ημερήσιας απορροής, με τη μέθοδο NRCS-CN, με βάση την τιμή του CN που υπολογίστηκε
- Βήμα 10^ο :** Επιλογή των ετησίων μεγίστων της απορροής
- Βήμα 11^ο :** Υπολογισμός χρόνου συγκέντρωσης για κάθε επεισόδιο, δεδομένης της απορροής και, άρα, του MY που προκύπτει
- Βήμα 12^ο :** Υπολογισμός της χρονικής εξέλιξης των υδρολογικών ελλειμμάτων με εφαρμογή της NRCS-CN στην κλίμακα του επεισοδίου και παραγωγή πλημμυρογραφημάτων
- Βήμα 13^ο :** Επανάληψη των βημάτων (1) έως (12) στα πλαίσια μίας προσομοίωσης Monte-Carlo, προκειμένου να εξαχθούν οι περιθώριες κατανομές των αποτελεσμάτων

Περιοχή Μελέτης

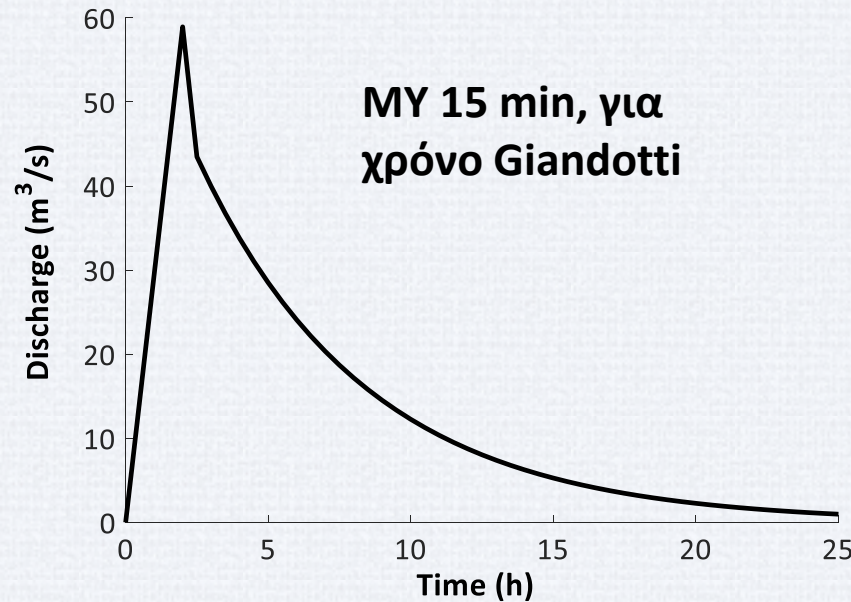
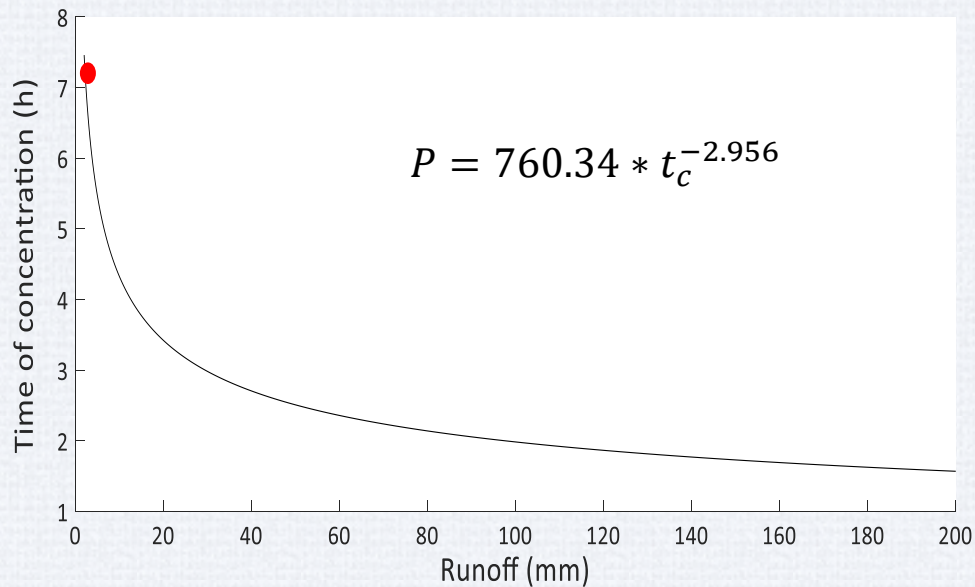
Λεκάνη απορροής του ρέματος Ραφήνας, Αττική

Παράμετροι NRCS-CN

- $A=123,3 \text{ km}^2$
- $CNII=60$
- $Ia=0.05*S$

Παράμετροι ΜΥ

- $\beta=0,3$
- $\gamma=5$



Αναλύσεις (1)

Οι αναλύσεις αφορούν κάθε πτυχή του προτεινόμενου πλαισίου, ενώ επικεντρώνονται:

- Στη σύγκριση των αποτελεσμάτων των δύο προσεγγίσεων
- Στη διερεύνηση των μηχανισμών του προτεινόμενου πλαισίου που αφορούν τον καθορισμό των συνθηκών υγρασίας
 - Στην εξέταση της επιρροής του χρόνου συγκέντρωσης
- Στην εξέταση της επιρροής του τρόπου επιμερισμού της βροχής

Εξετάστηκαν έξι διαφορετικές εκδοχές του μοντέλου, που διαφοροποιούνται:

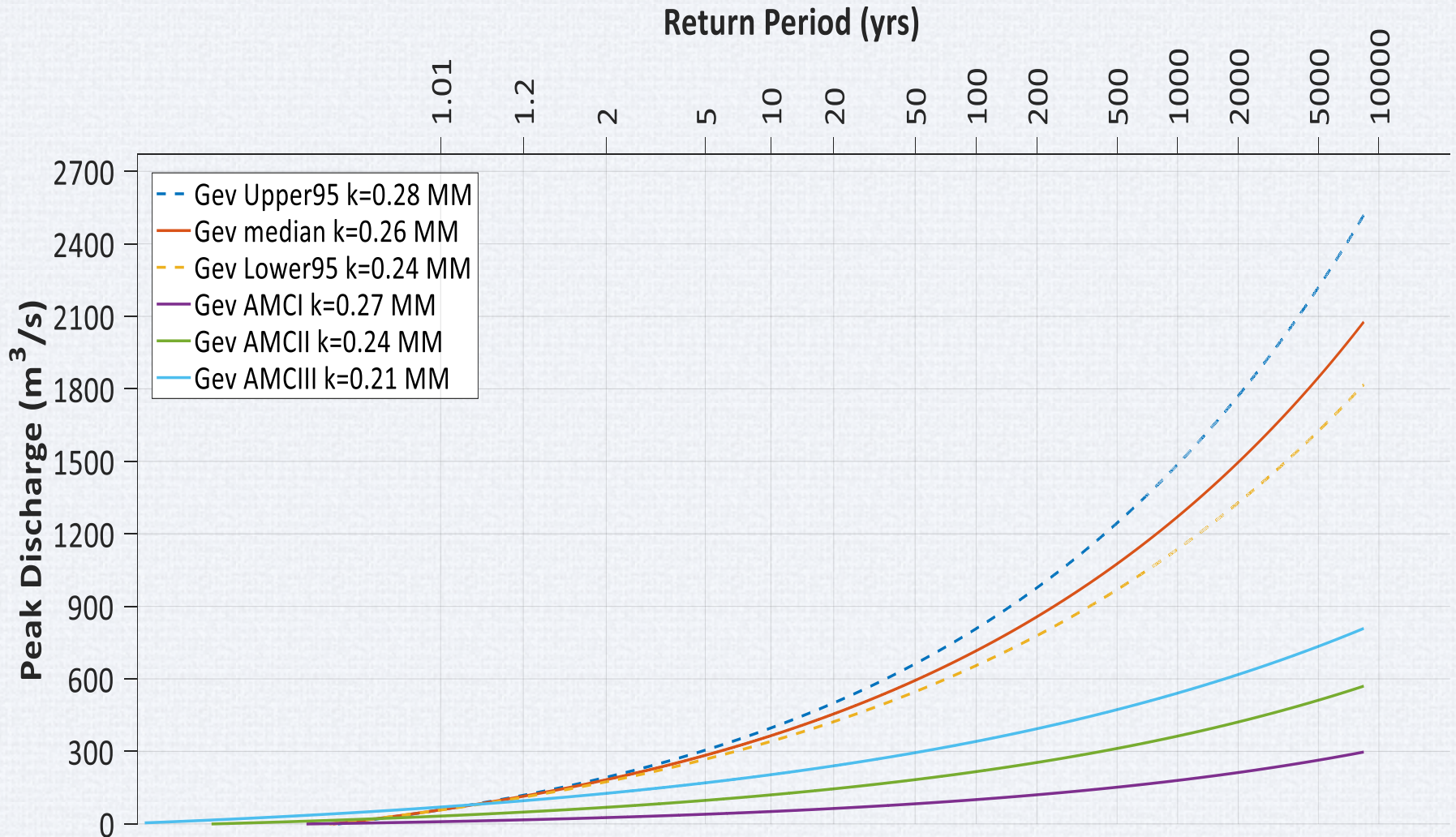
- Στον τρόπο επιμερισμού της βροχής
- Στον τρόπο αντιμετώπισης του χρόνου συγκέντρωσης

Οι αναλύσεις έγιναν με τη χρήση του λογισμικού Matlab®

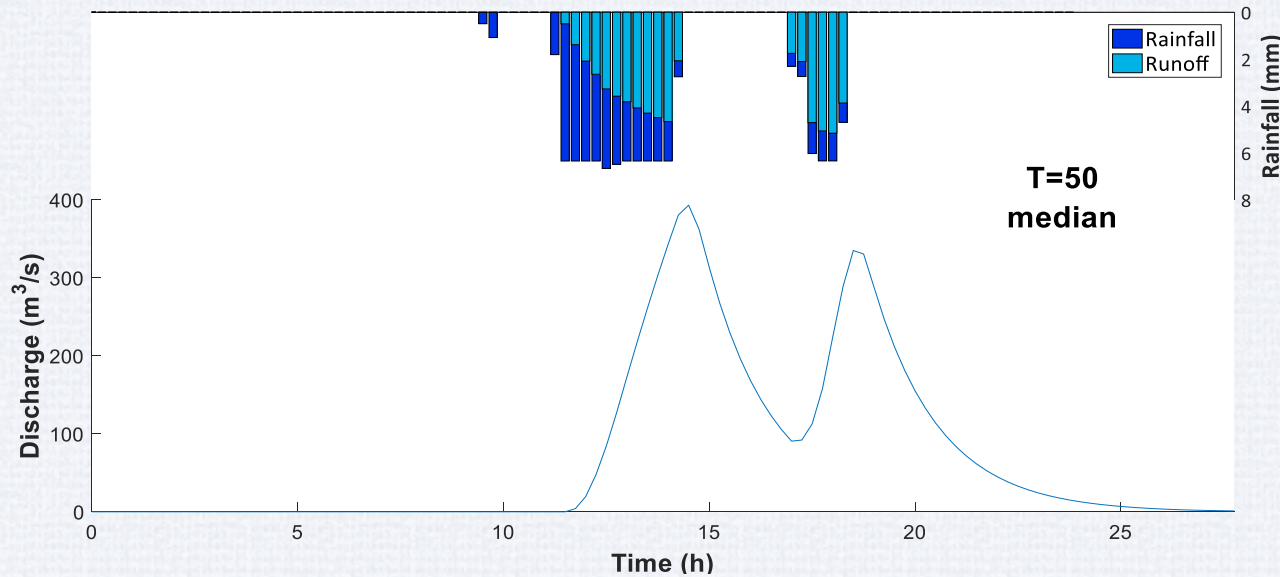
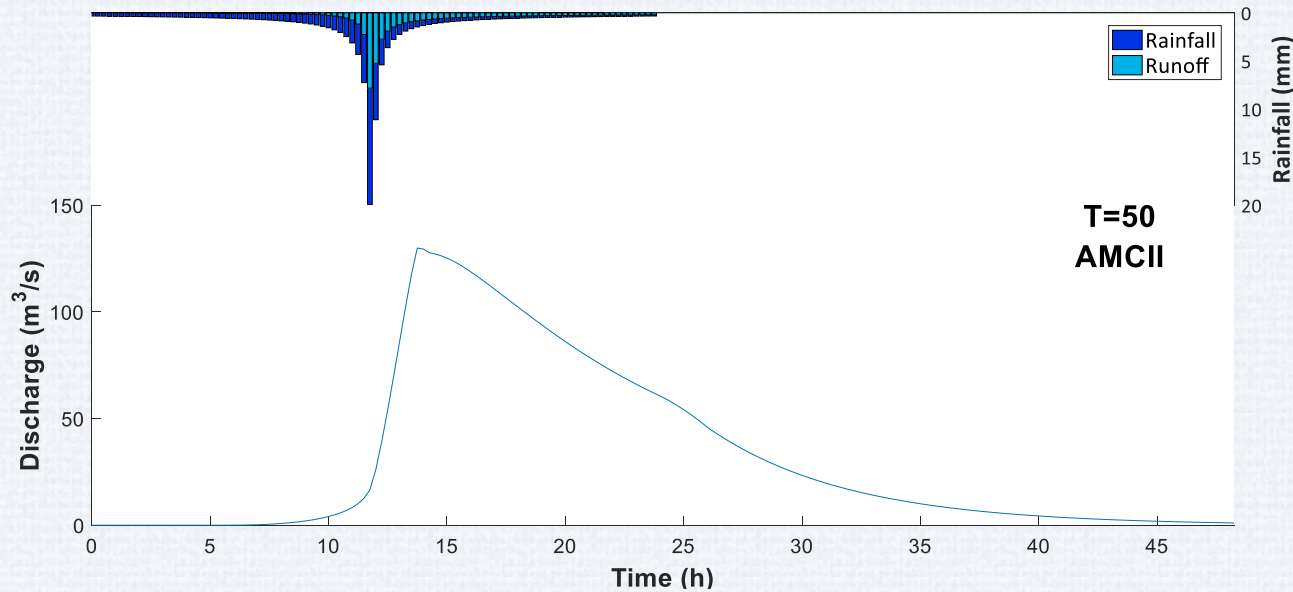
- Περισσότερα από 70 scripts και συναρτήσεις
- Περισσότερα από 50Gb πληροφορίας

Σύγκριση προσεγγίσεων (1)

20 προσομοιώσεις μήκους 10 000 ετών



Σύγκριση προσεγγίσεων (2)



Οι 2 αιχμές δεν μπορούν να αναπαραχθούν από το τυπικό πλαίσιο

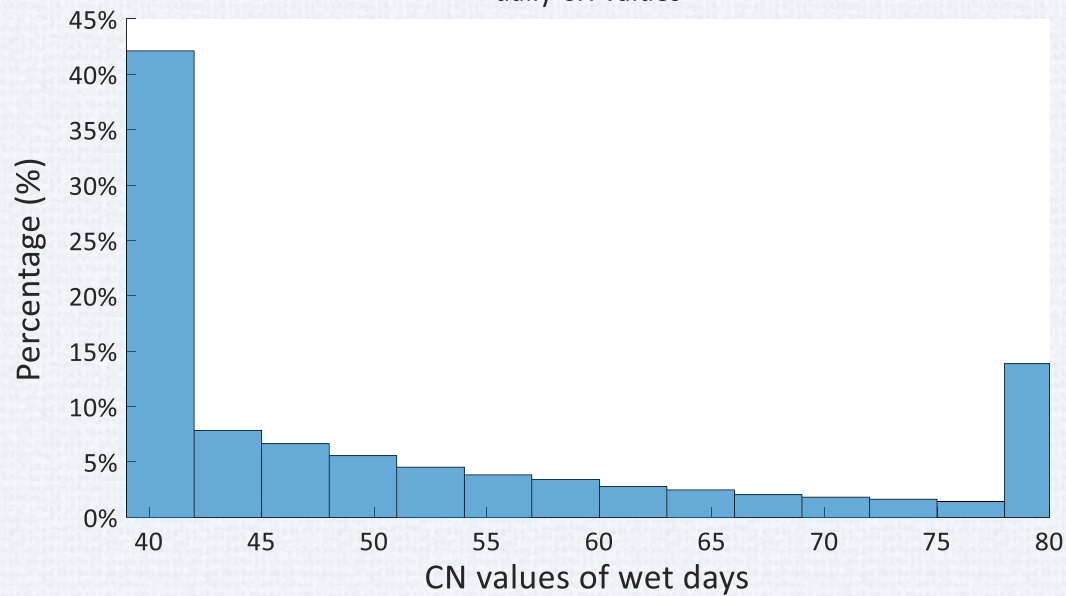
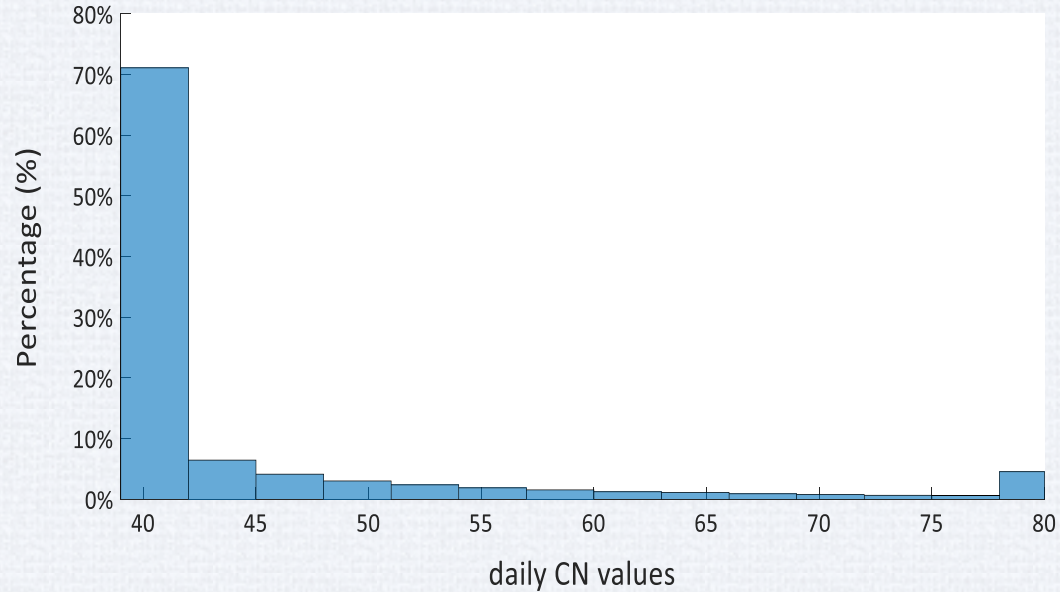
Παροχές αιχμής προτεινόμενου πλαισίου

Return Period (yrs)	Peak Discharges (m ³ /s)						
	95% Lower Bound	70% Lower Bound	50% Lower Bound	Median	50% Upper Bound	70% Upper Bound	95% Upper Bound
5	84.7	85.1	85.3	85.7	86.5	86.9	87.4
10	149.3	150.0	150.7	151.2	153.2	154.3	155.3
20	232.5	234.8	236.3	238.2	240.8	241.3	243.0
50	371.8	375.4	385.9	393.1	396.9	398.4	400.1
100	520.5	523.8	526.2	540.0	558.2	559.5	568.6
200	685.5	696.6	701.0	728.9	764.5	769.5	779.3
500	913.8	950.5	982.5	1020.3	1045.7	1070.4	1100.7
1000	1185.0	1206.2	1232.1	1286.4	1344.6	1358.0	1419.7

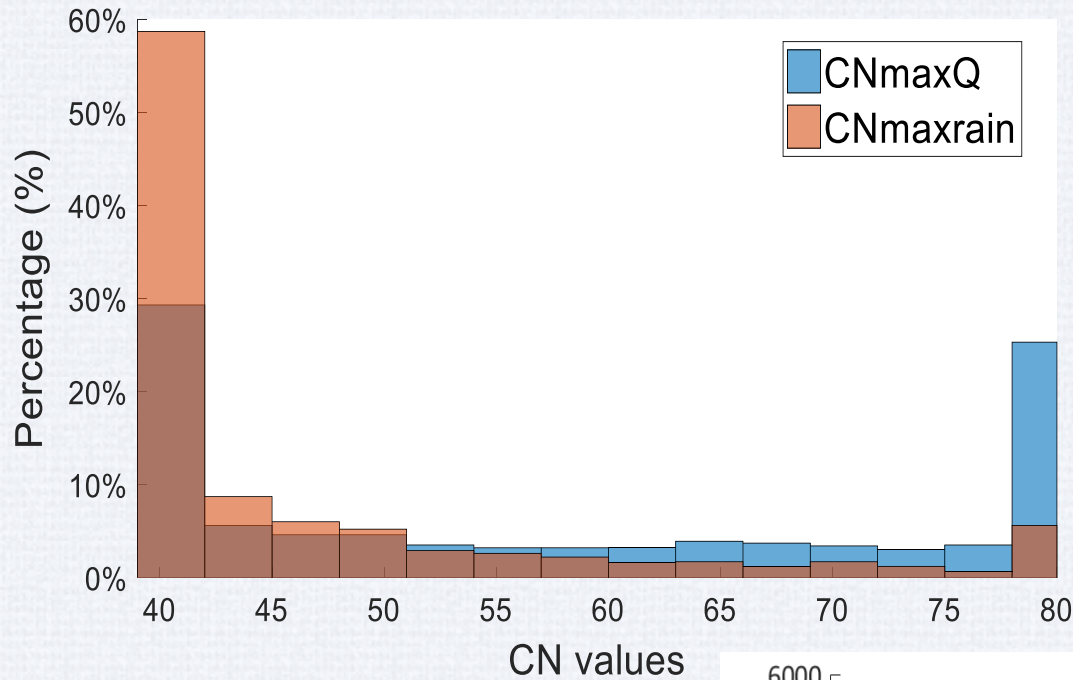
Η αβεβαιότητα αυξάνει καθώς αυξάνει η περίοδος επαναφοράς

Καταδεικνύεται η σημασία της Monte-Carlo προσομοίωσης

Καθεστώς εδαφικής υγρασίας (1)

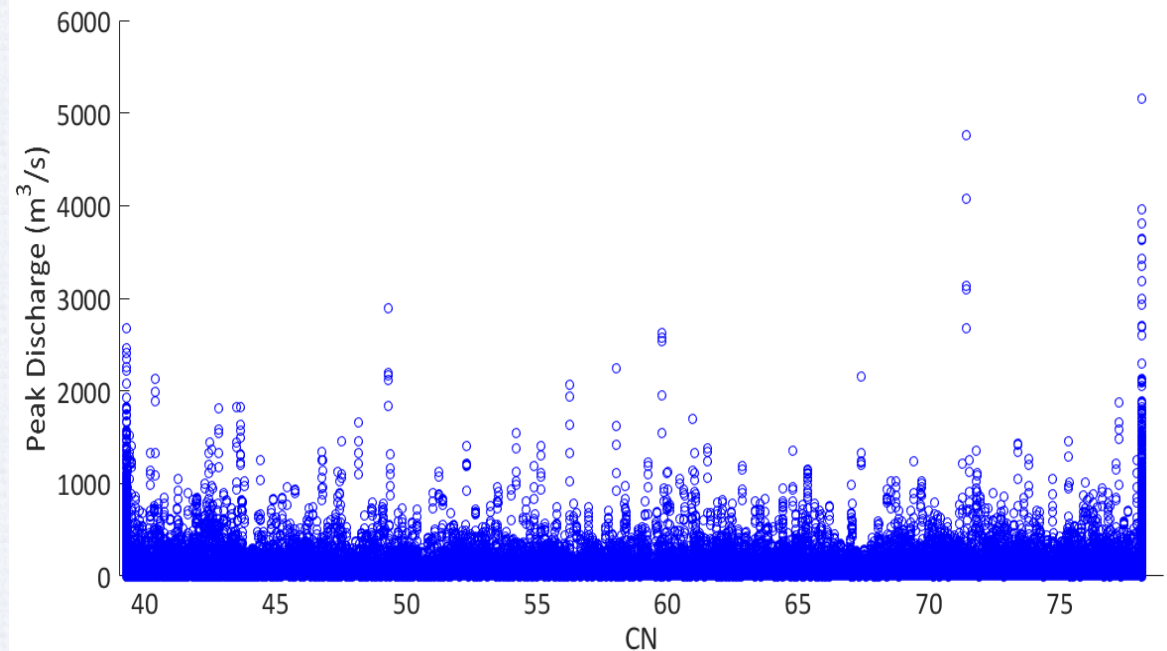


Καθεστώς εδαφικής υγρασίας (2)



**Οι μέγιστες βροχοπτώσεις
δεν πέφτουν απαραίτητα
υπό υγρές συνθήκες!**

**Μεγάλες πλημμύρες για
ξηρές και ενδιάμεσες
συνθήκες!**



Διαφοροποιήσεις πλαισίου (1)

Επιμερισμός βροχής:

- HyetosMinute
- Εναλλασσόμενα μπλοκ
- Ομοιόμορφη κατανομή

Συντόμευση:

H
A
U

Υπολογισμός χρόνου συγκέντρωσης:

- Μεταβαλλόμενος συναρτήσεως της απορροής
- Σταθερός – υπολογισμός με τη μέθοδο Giandotti

Συντόμευση:

DI
CG

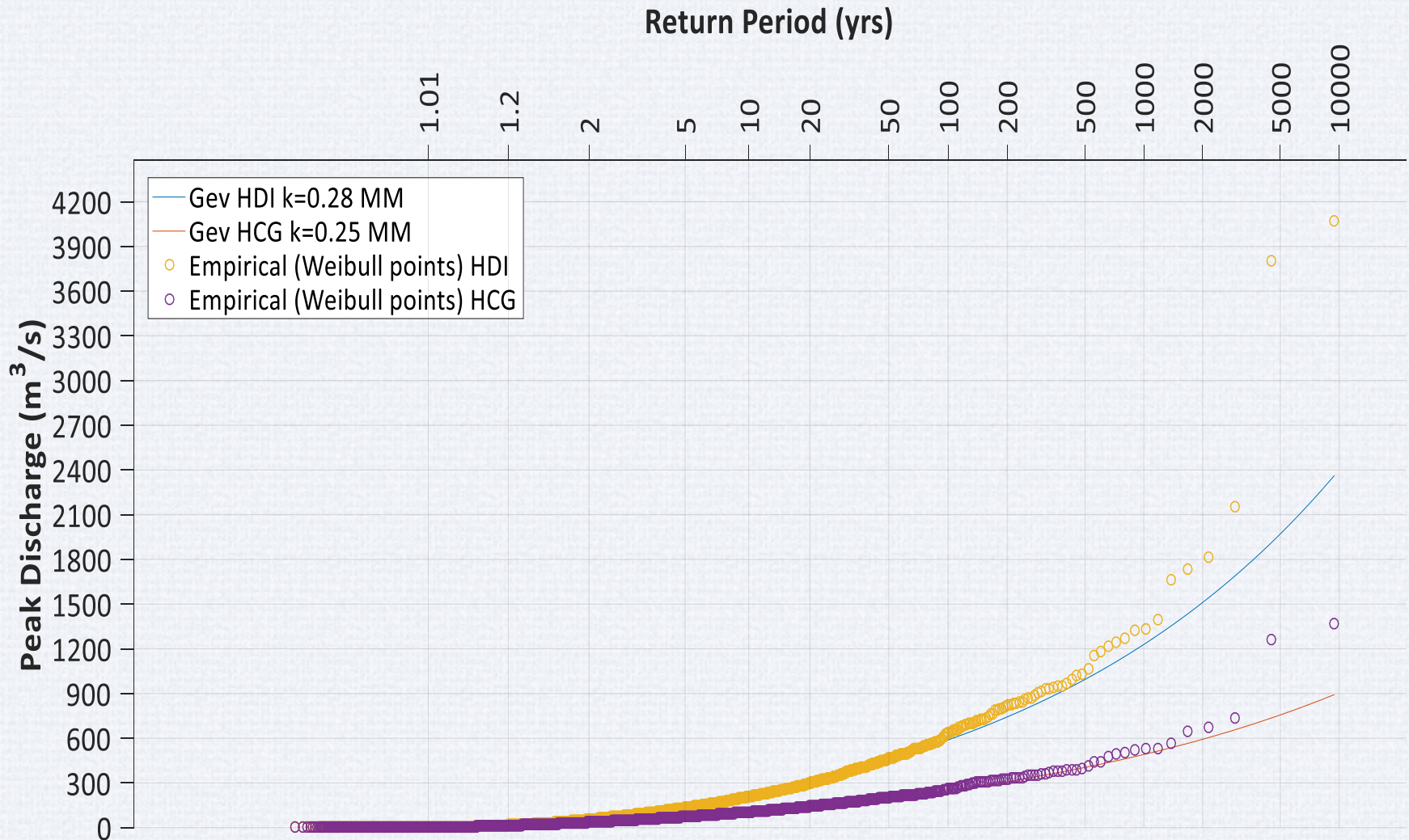
Μοντέλα που προκύπτουν:

- HDI
- HCG
- ADI
- ACG
- UDI
- UCG

Αναλύσεις για 1 προσομοίωση 10.000 ετών

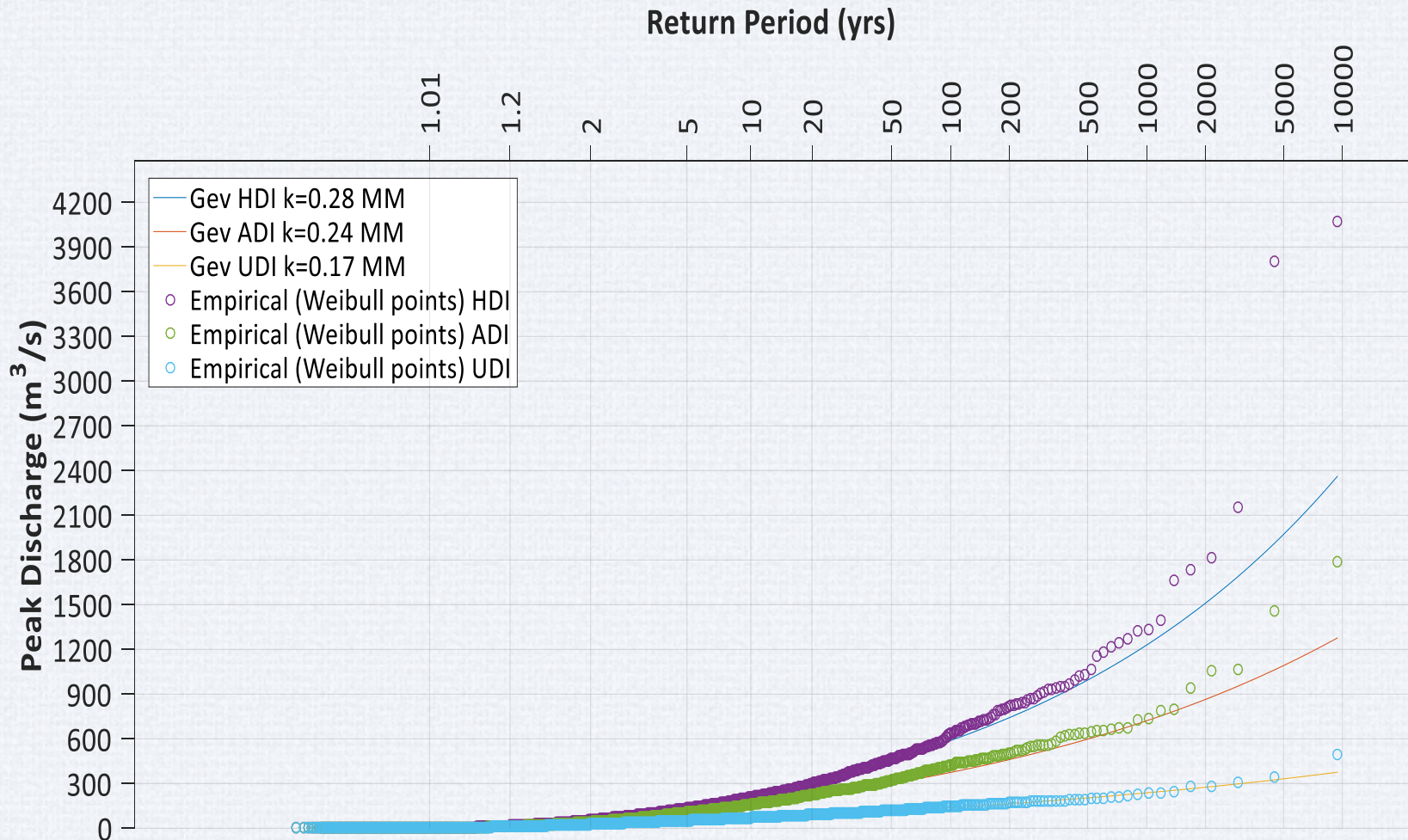
Διαφοροποιήσεις πλαισίου (2)

Επιρροή χρόνου συγκέντρωσης



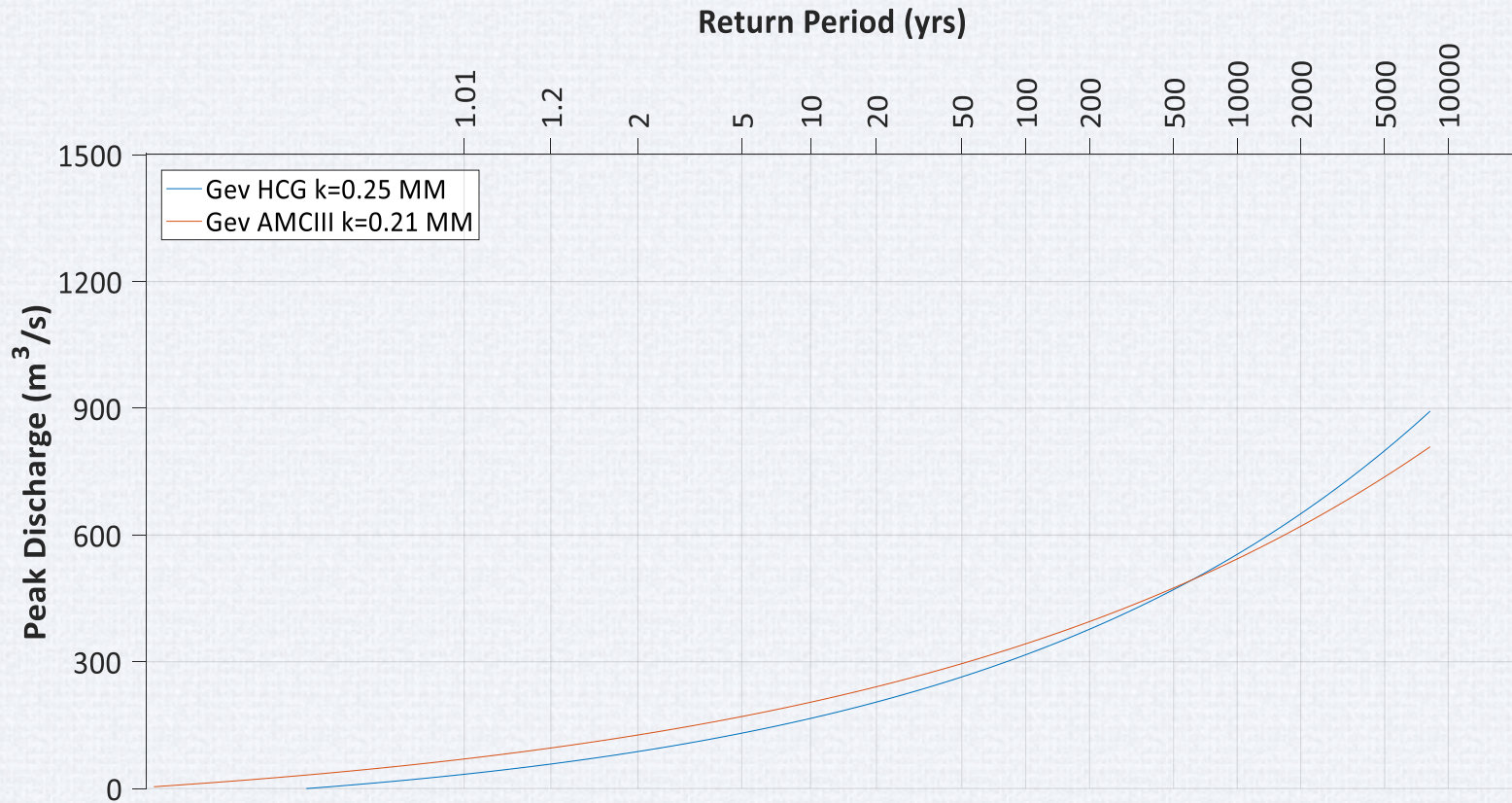
Διαφοροποιήσεις πλαισίου (3)

Επιρροή τρόπου επιμερισμού



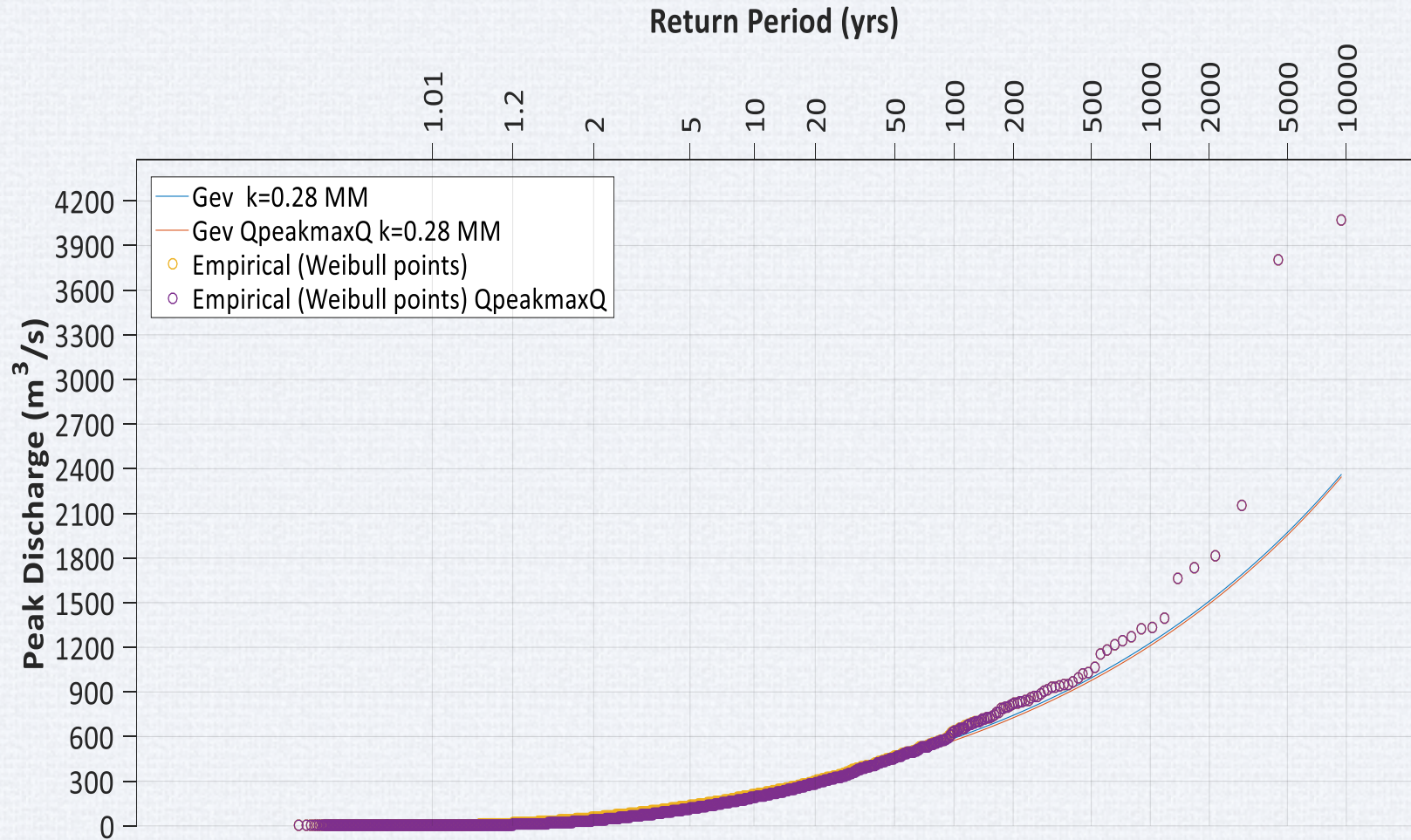
Διαφοροποιήσεις πλαισίου (6)

Σύγκριση μοντέλων HCG και τυπικής μεθοδολογίας για AMCIII

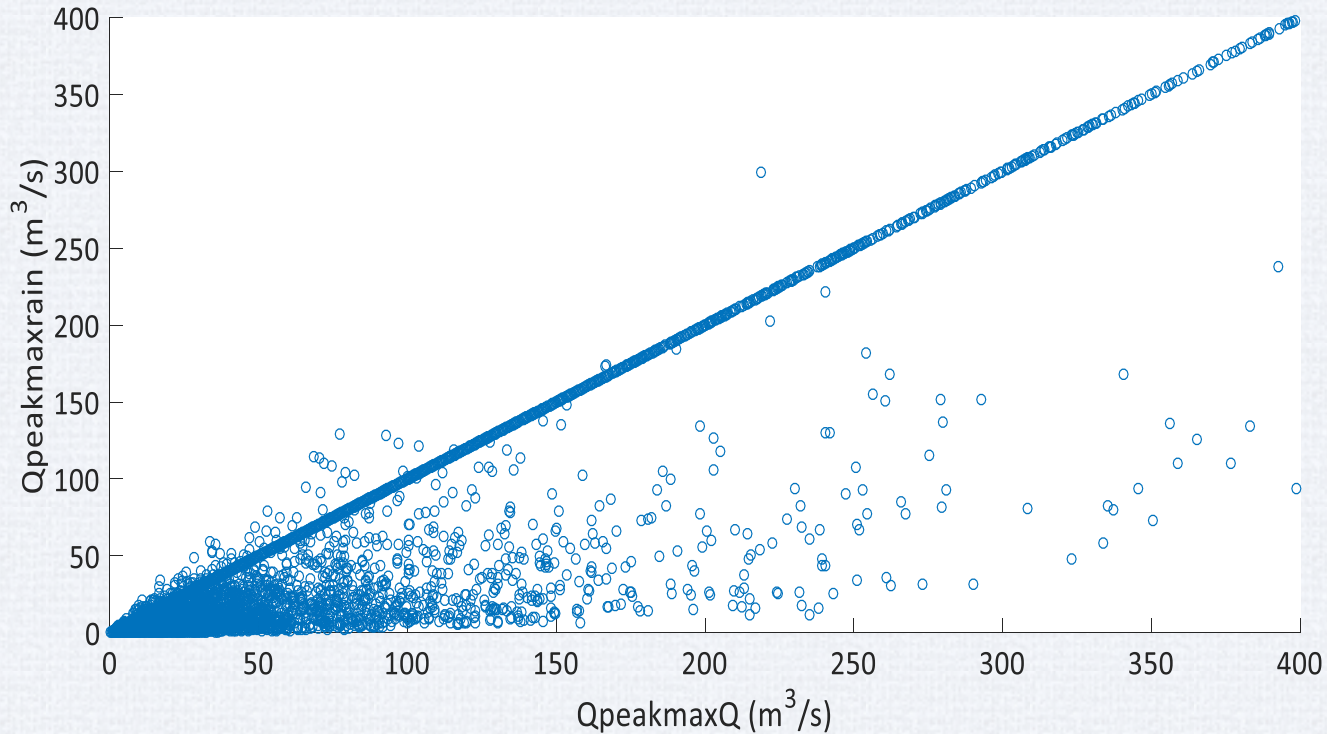


Μην ξεχνάμε: Έχει σημασία τα πλημμυρογραφήματα να είναι ρεαλιστικά, ιδιαίτερα όταν χρησιμοποιούνται ως δεδομένα εισόδου σε υδραυλικά μοντέλα

Μέγιστα βροχής ή μέγιστα απορροής; (1)



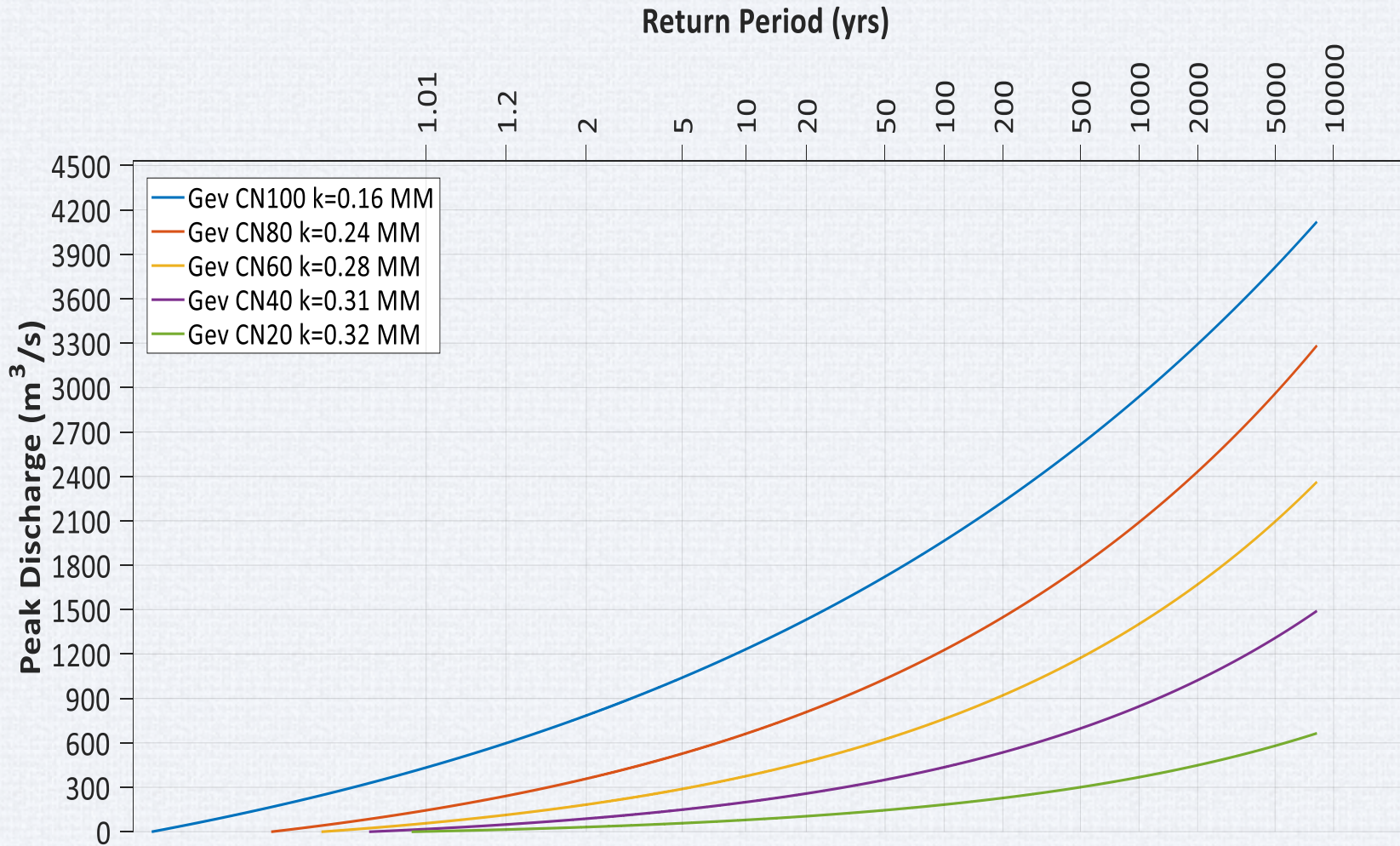
Μέγιστα βροχής ή μέγιστα απορροής; (2)



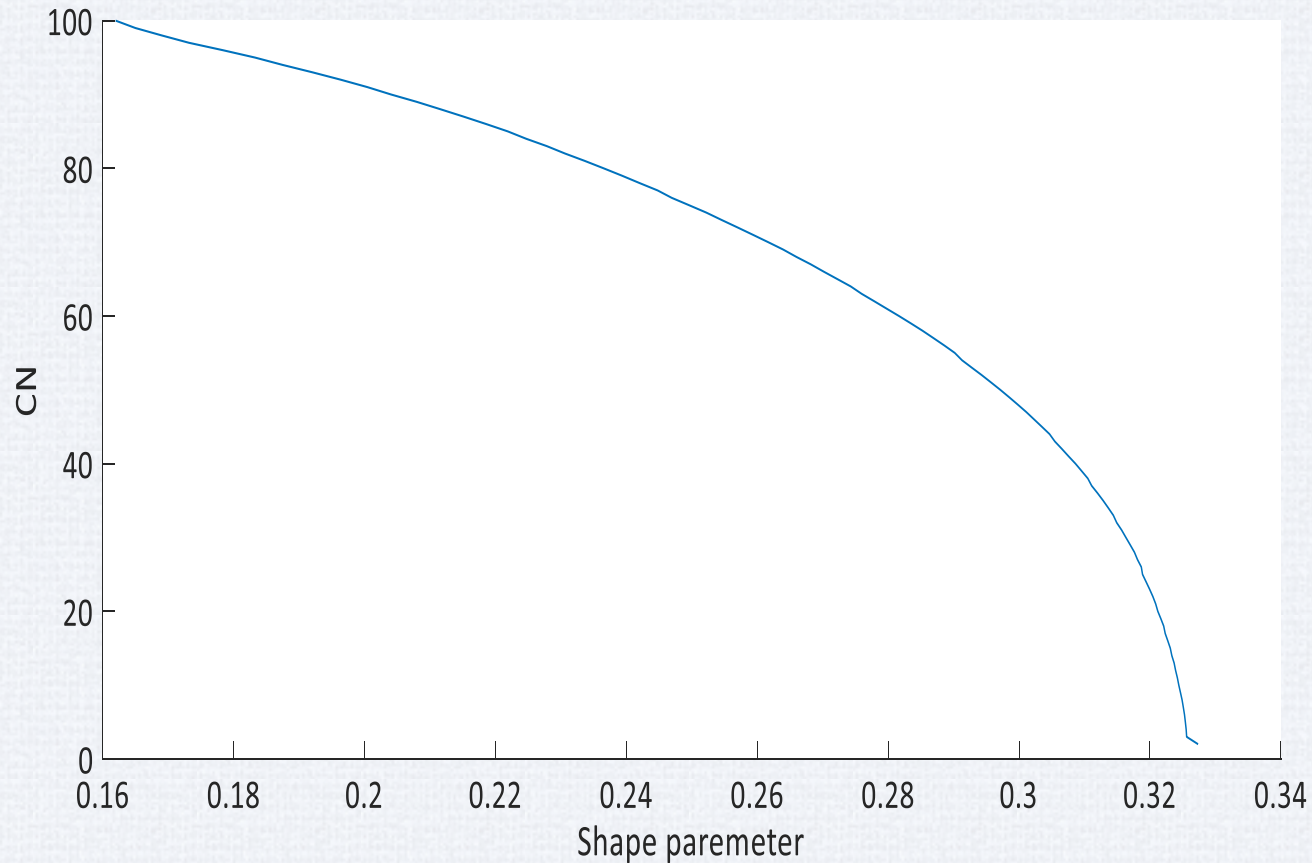
Οι δύο προσεγγίσεις διαφέρουν σημαντικά στις μικρές περιόδους επαναφοράς (μέχρι 50 έτη), ενώ συμπίπτουν για μεγαλύτερες περιόδους

Η περίοδος επαναφοράς της βροχόπτωσης και της απορροής δεν ταυτίζονται

Επιρροή παραμέτρου CN (1)

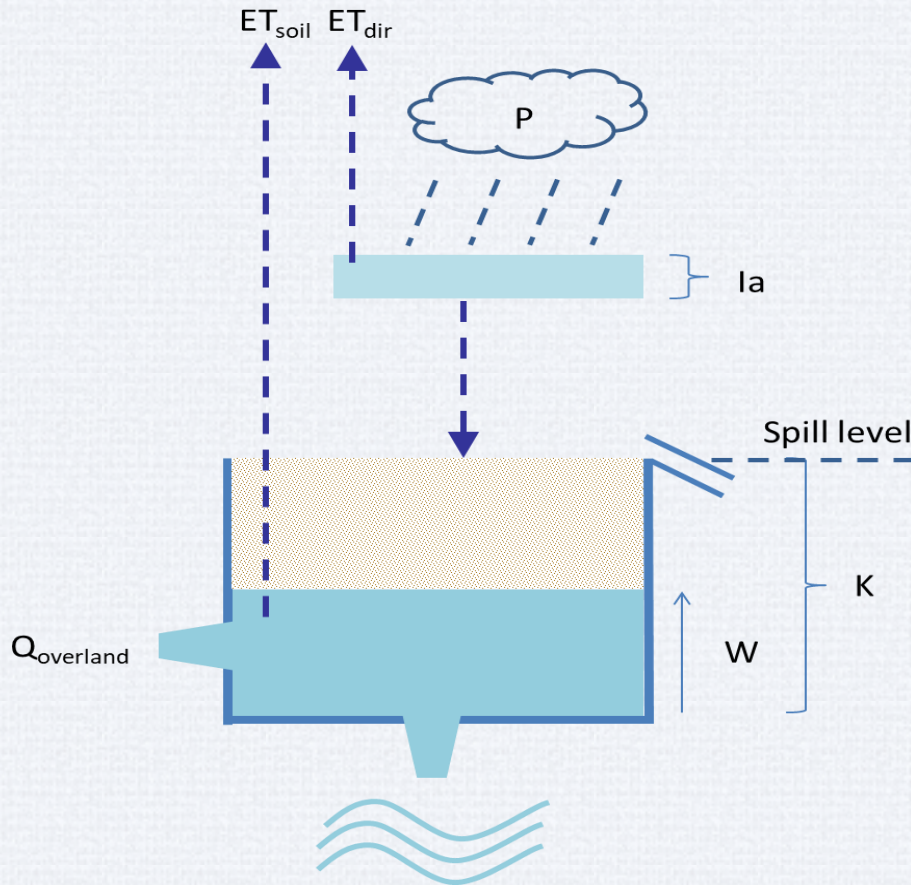


Επιρροή παραμέτρου CN (2)



Όσο το CN μειώνεται, το μοντέλο γίνεται περισσότερο μη-γραμμικό και η ουρά της κατανομής πιο απότομη

Annie-model



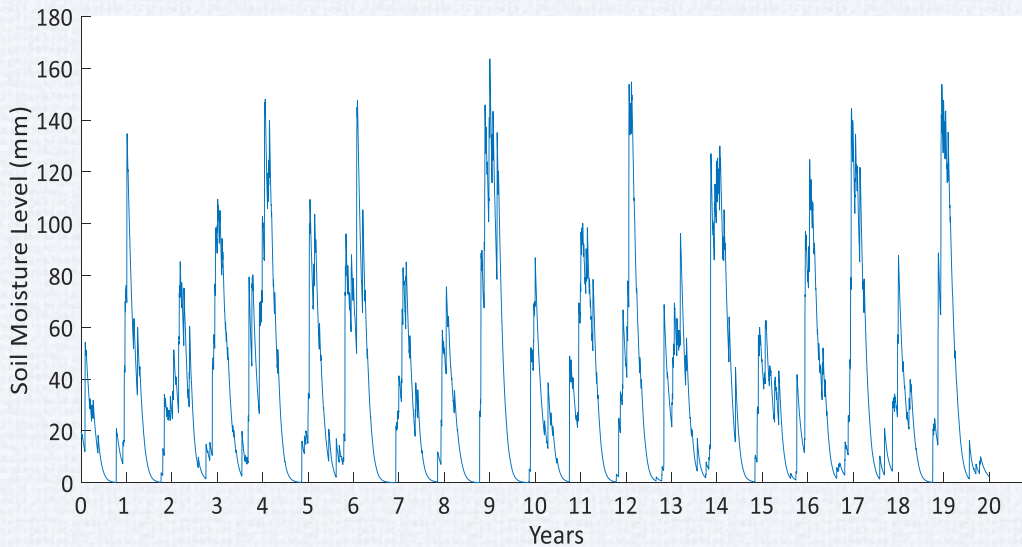
Παράμετρος	Τιμή
Αρχική παρεμπόδιση (I_a)	10 mm
Χωρητικότητα εδάφους (K)	300 mm
Ποσοστό απωλειών (a)	0.017

- Αναπτύχθηκε στα πλαίσια της συμμετοχής της Σοχλής στο συνέδριο της EGU 2017, με το μάθημα των «Στοχαστικών μεθόδων στους Υδατικούς Πόρους» (Paroulakos et. al 2017)
 - Απλό
 - Χρησιμοποιεί μόνο 3 παραμέτρους

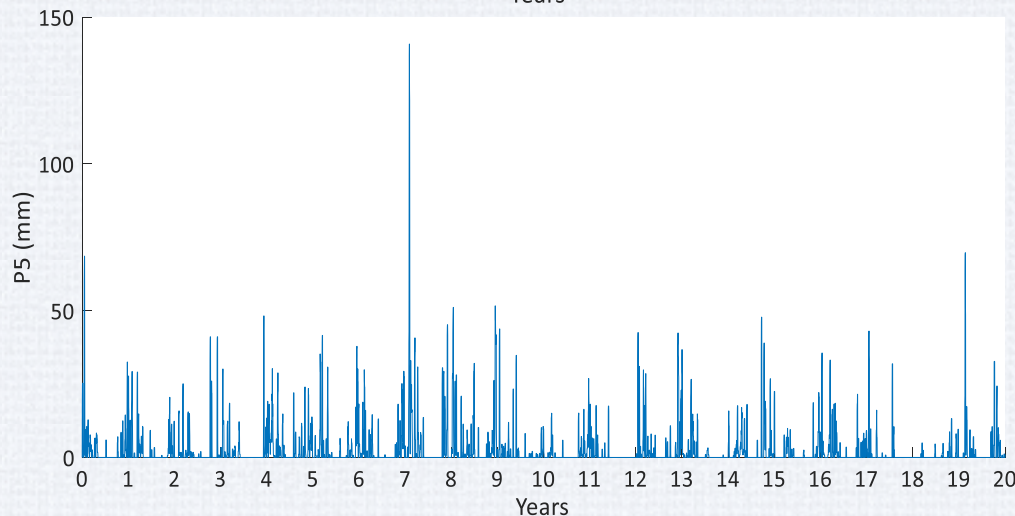
Κατά προτεραιότητα:

- Παράγεται έπιφανειακή απορροή (NRCS-CN)
 - Καλύπτονται οι ανάγκες σε εξατμισοδιαπνοή
 - Εμφανίζονται απώλειες στο υπέδαφος
- Παρατηρείται υπερχειλίση του πλεονάζοντος νερού

Διερεύνηση τρόπου υπολογισμού εδαφικής υγρασίας (1)



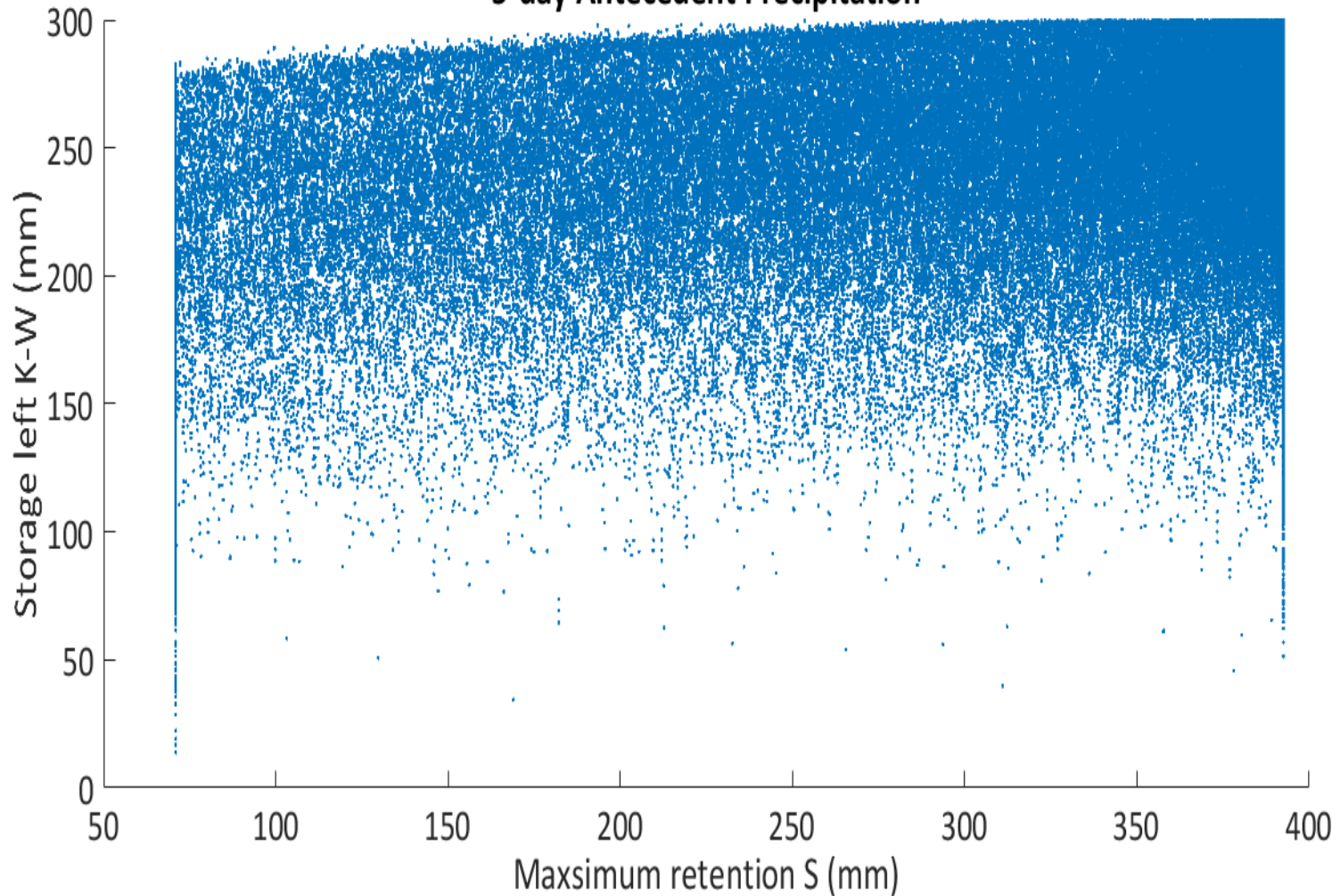
**Εδαφική υγρασία με
Annie-model**



**Εδαφική υγρασία με το
προτεινόμενο πλαίσιο,
βασισμένη στην
αθροιστική βροχή των
προηγούμενων 5 ημερών**

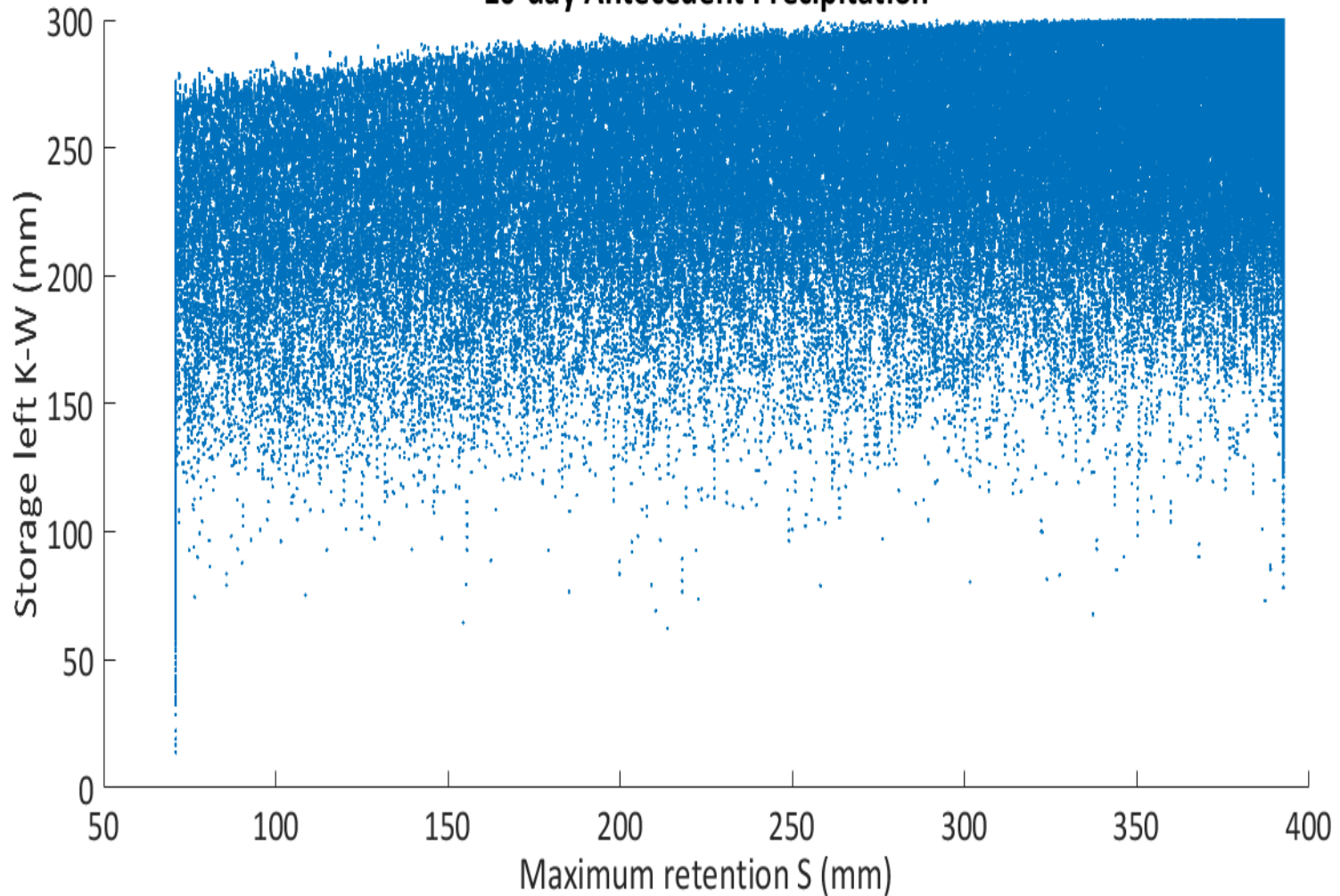
Διερεύνηση τρόπου υπολογισμού εδαφικής υγρασίας (2)

5-day Antecedent Precipitation



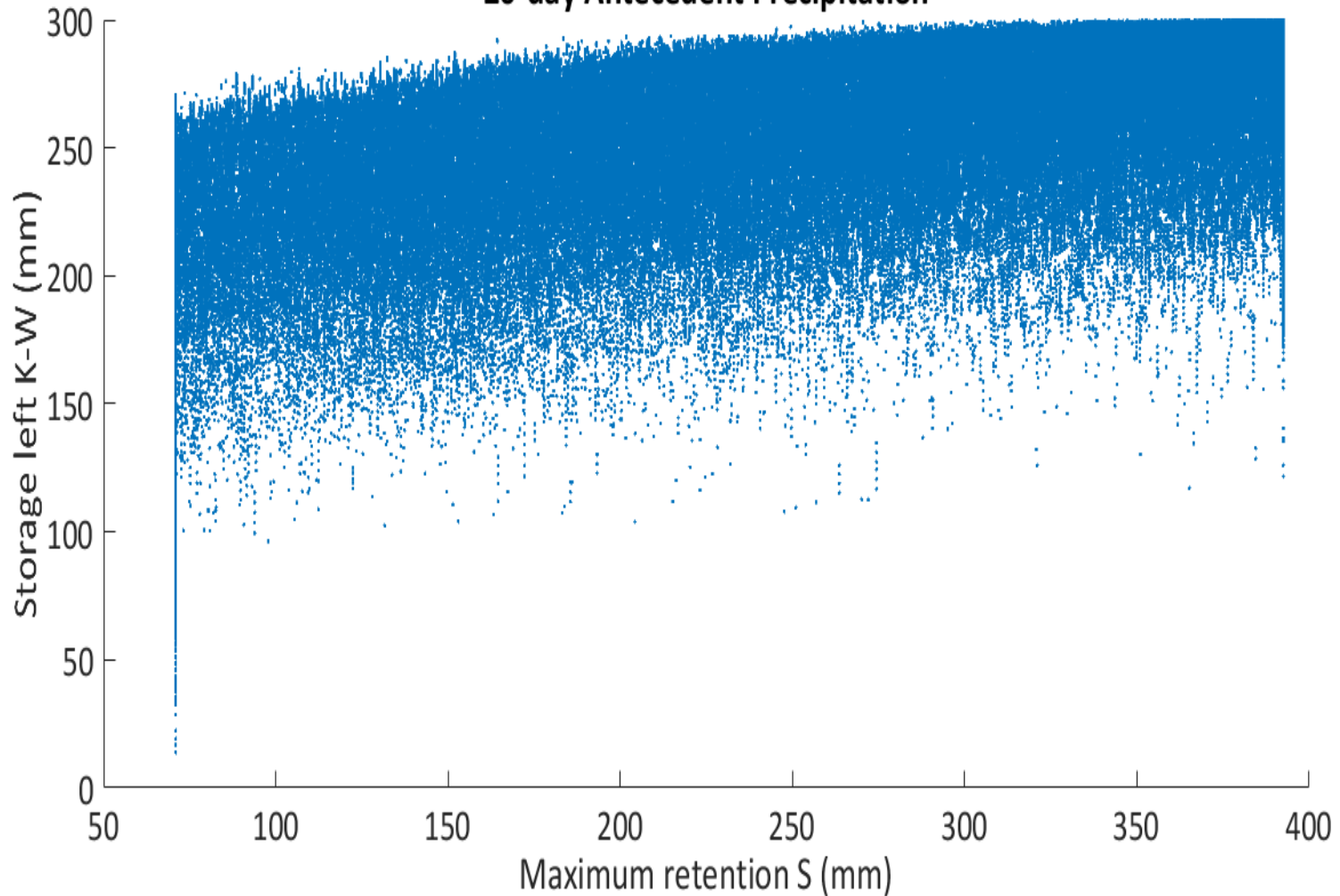
Διερεύνηση τρόπου υπολογισμού εδαφικής υγρασίας (3)

10-day Antecedent Precipitation



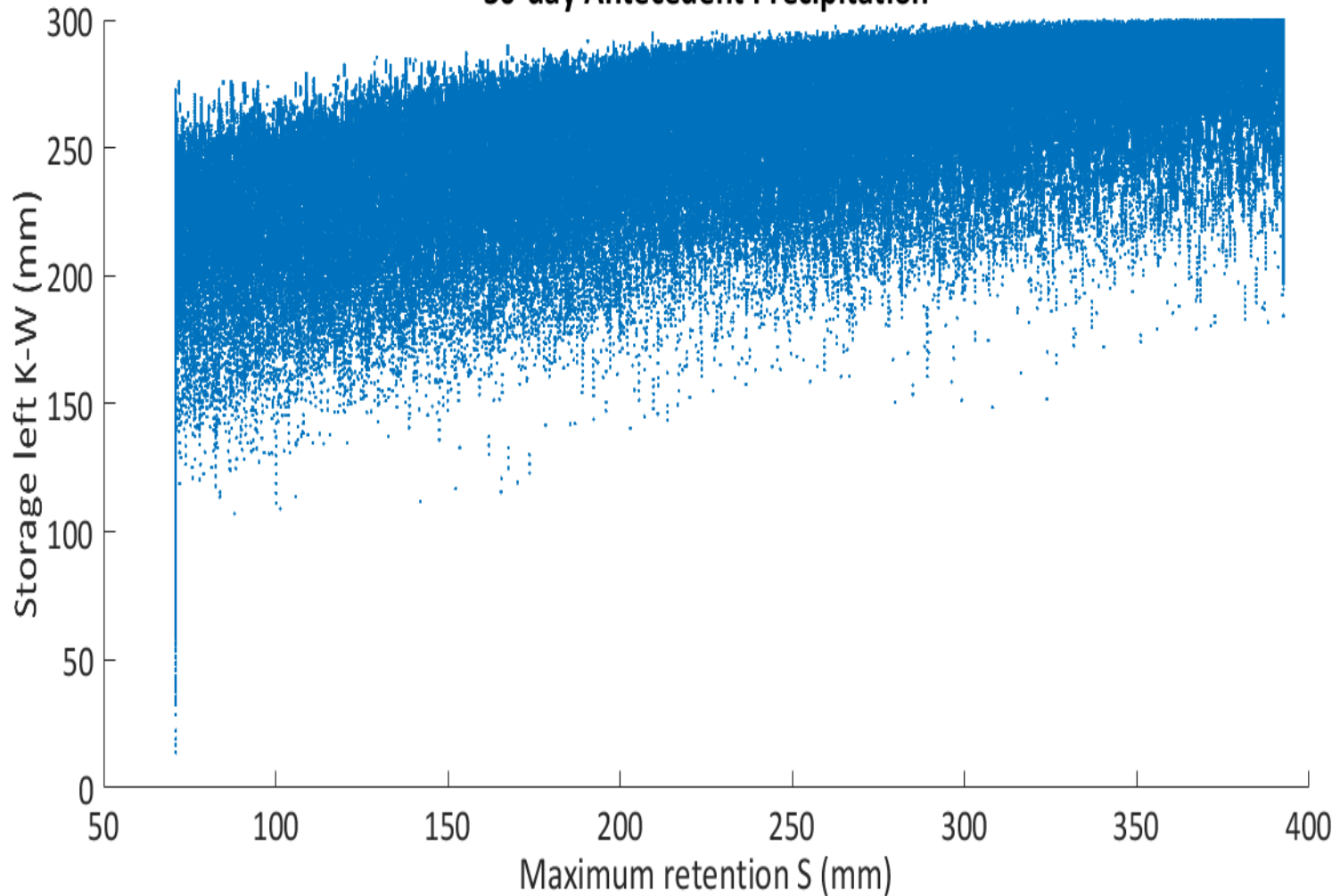
Διερεύνηση τρόπου υπολογισμού εδαφικής υγρασίας (4)

20-day Antecedent Precipitation



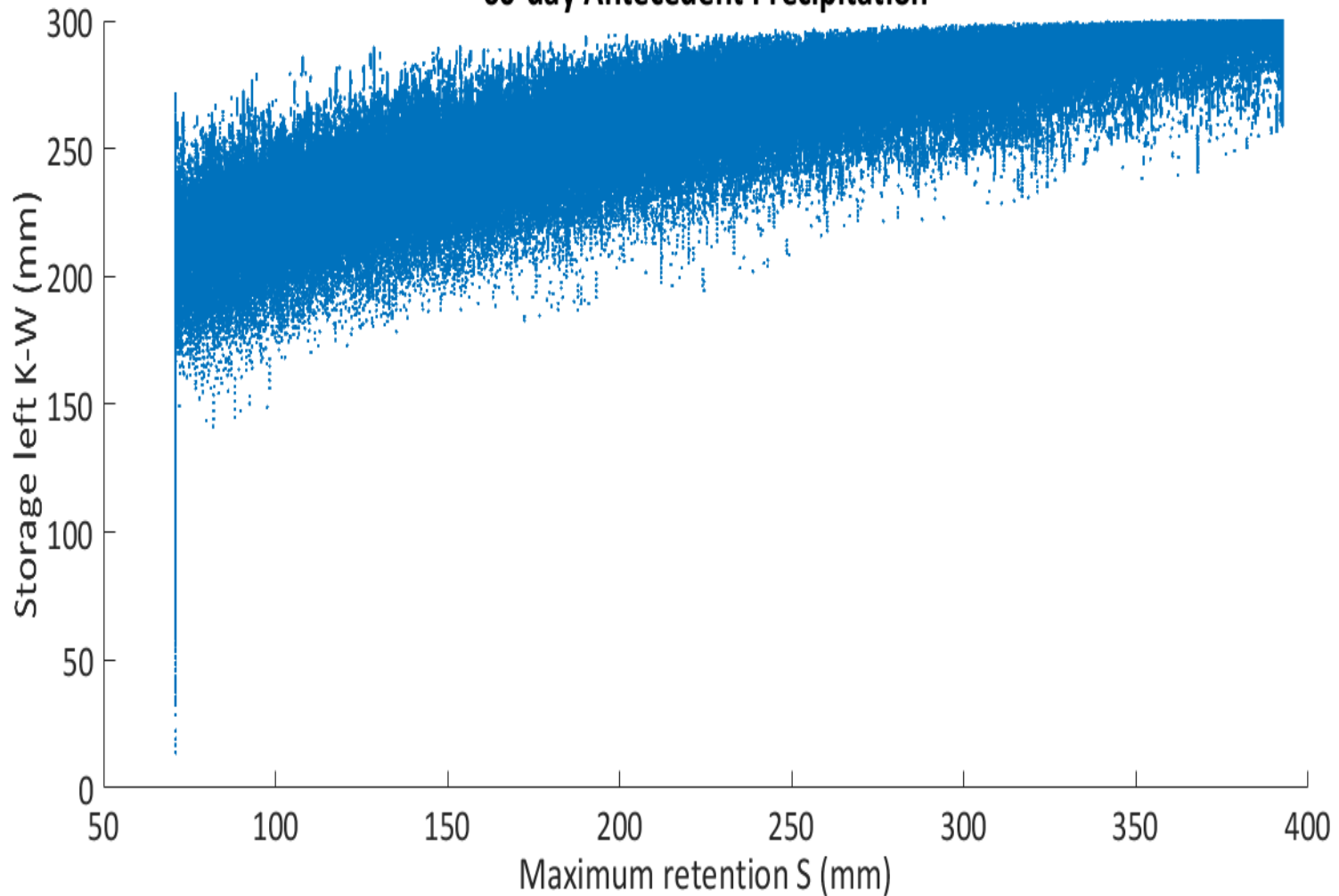
Διερεύνηση τρόπου υπολογισμού εδαφικής υγρασίας (5)

30-day Antecedent Precipitation



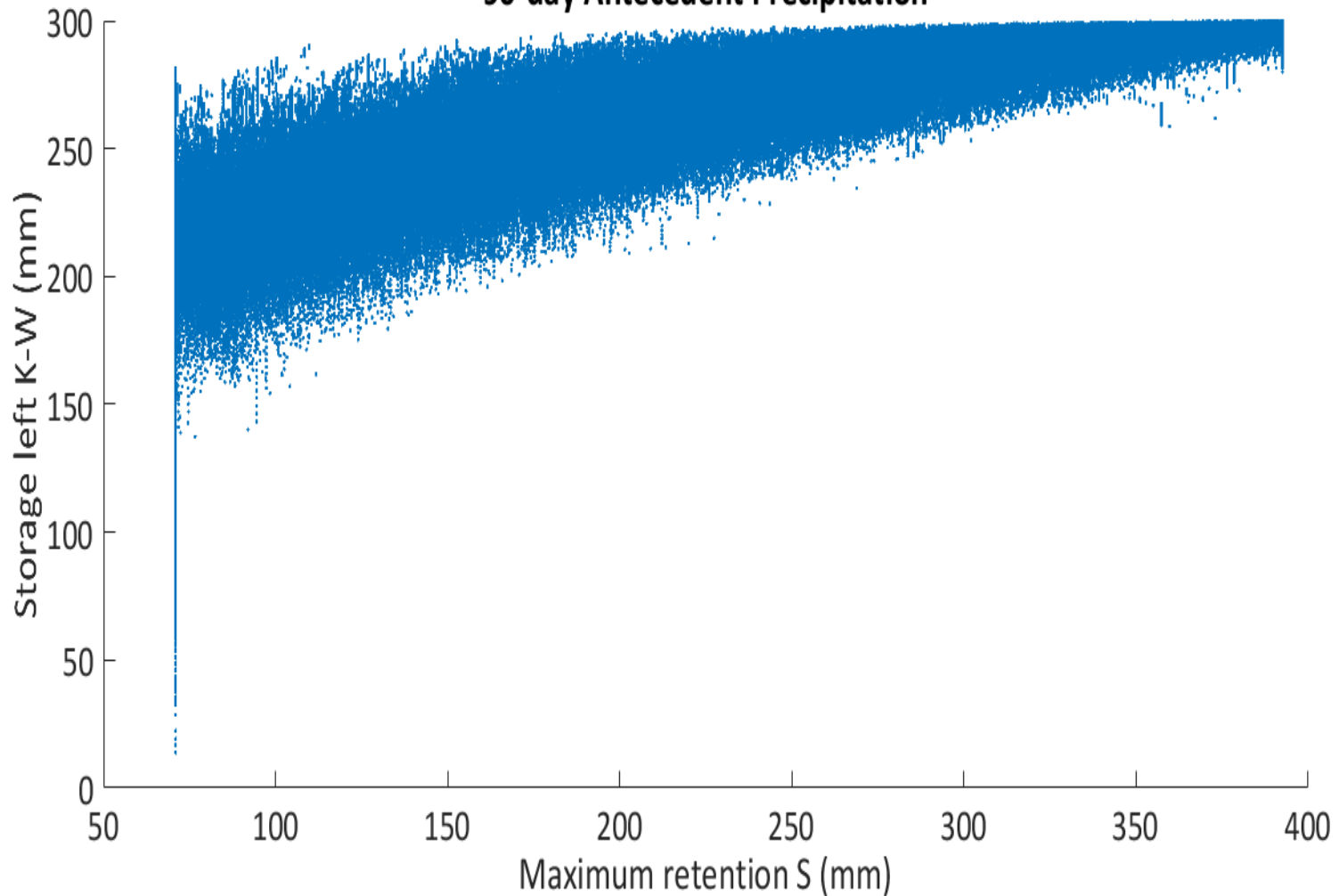
Διερεύνηση τρόπου υπολογισμού εδαφικής υγρασίας (6)

60-day Antecedent Precipitation



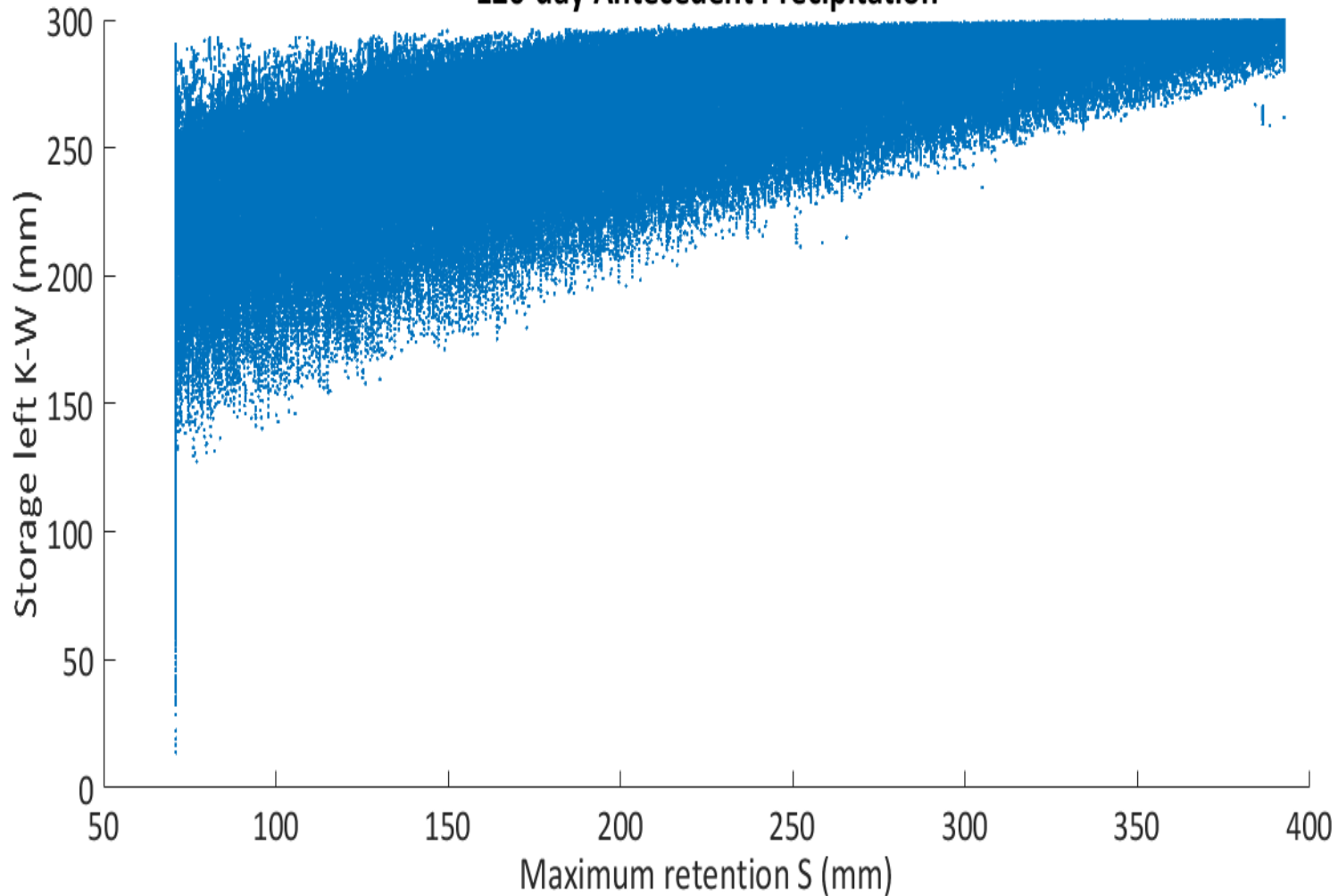
Διερεύνηση τρόπου υπολογισμού εδαφικής υγρασίας (7)

90-day Antecedent Precipitation

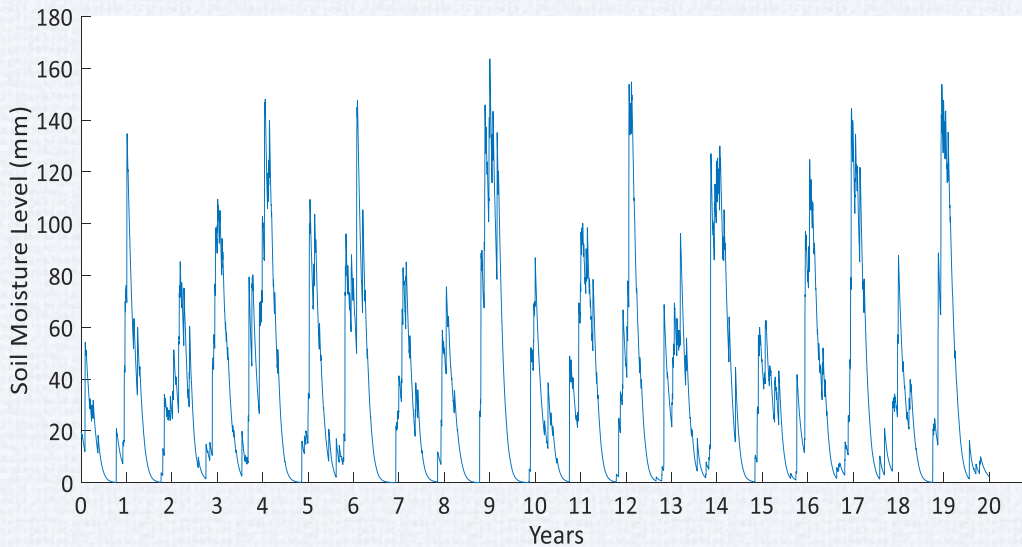


Διερεύνηση τρόπου υπολογισμού εδαφικής υγρασίας (8)

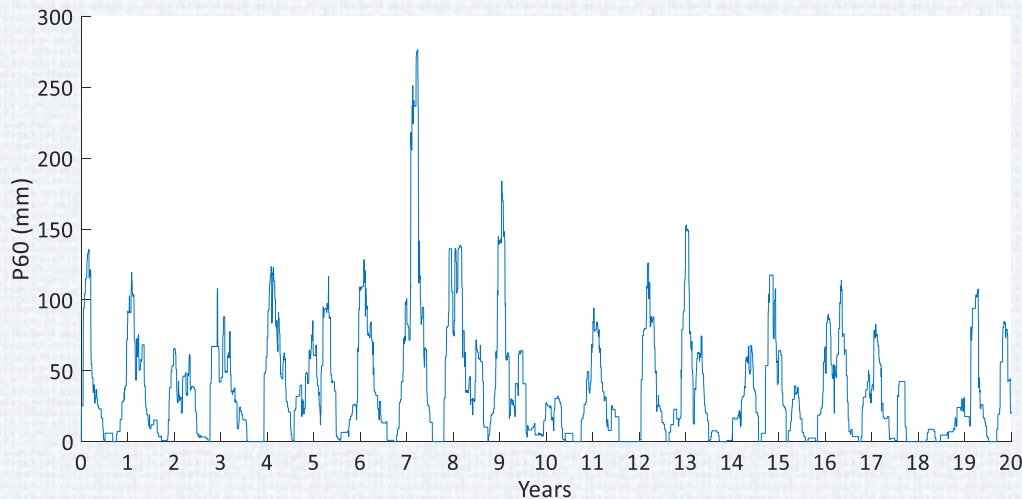
120-day Antecedent Precipitation



Διερεύνηση τρόπου υπολογισμού εδαφικής υγρασίας (9)



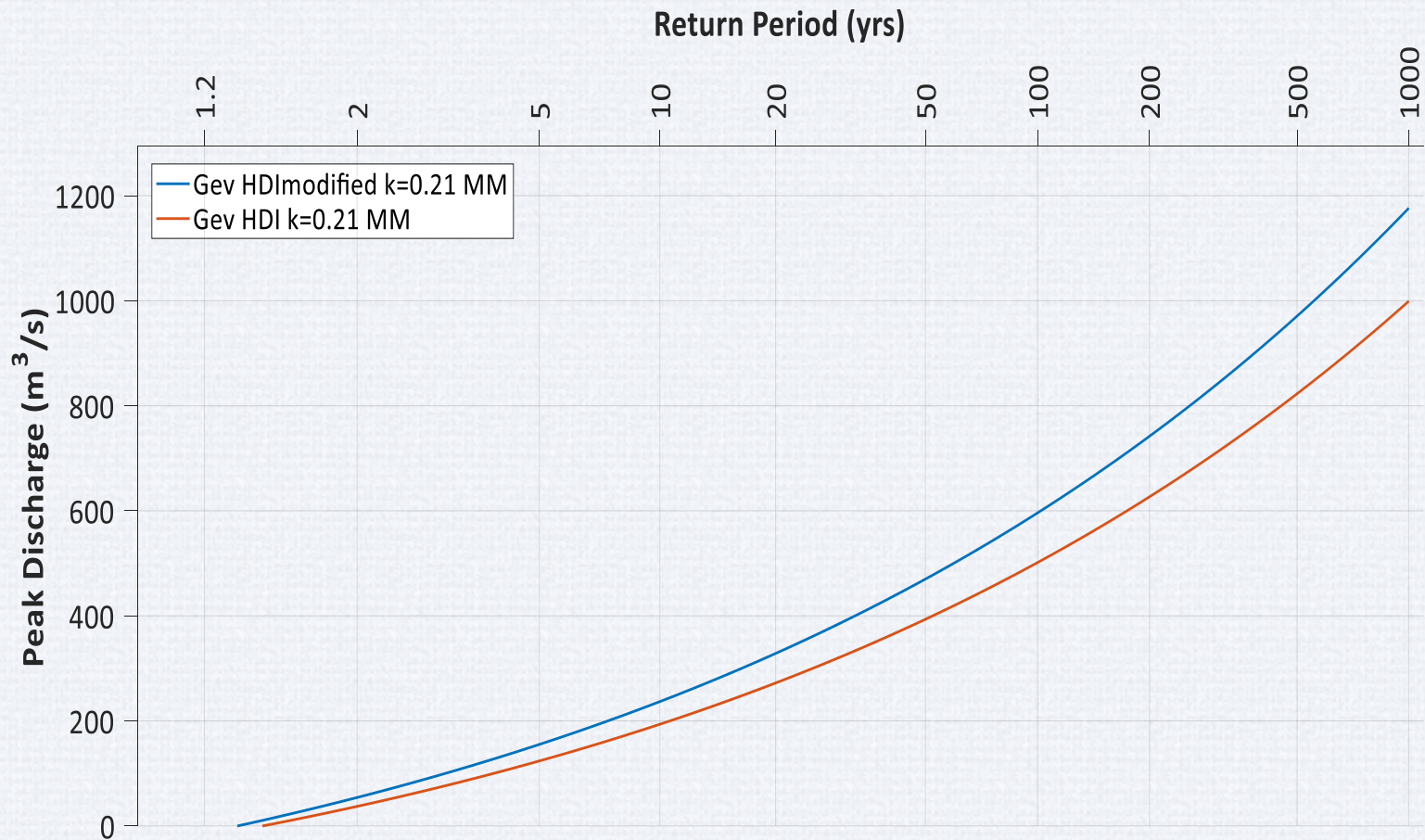
**Εδαφική υγρασία με
Annie-model**



**Εδαφική υγρασία με το
προτεινόμενο πλαίσιο,
βασισμένη στην
αθροιστική βροχή των
προηγούμενων 60 ημερών**

Μια πρώτη βελτίωση του πλαισίου

- Ια: σταθερό
- Αθροιστική βροχόπτωση των προηγούμενων 60 ημερών



Γενικά Συμπεράσματα

Το προτεινόμενο πλαίσιο:

- Υπερβαίνει τις θεμελιακές αδυναμίες της τυπικής μεθοδολογίας
 - Είναι συνεπές
 - Είναι απλό και εύκολα εφαρμόσιμο
 - Δεν απαιτεί μετρήσεις βροχής – απορροής
 - Παράγει ρεαλιστικά πλημμυρογραφήματα

Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

- Επέκταση προσομοίωσης Monte-Carlo ώστε να λαμβάνεται υπόψη η αβεβαιότητα των παραμέτρων
- Χρήση των παραγόμενων υδρογραφημάτων ως δεδομένα εισόδου σε υδραυλικό μοντέλο, ώστε να υπολογιστεί η συνδυασμένη πιθανότητα των πλημμυρών, δεδομένης της αβεβαιότητας των υδραυλικών παραμέτρων
- Περαιτέρω διερεύνηση της μεταβλητότητας του χρόνου συγκέντρωσης (ακόμα και σε κλίμακα επεισοδίου) (Μιχαηλίδη 2017)
- Περαιτέρω διερεύνηση του πακέτου HyetosMinute, καθώς τείνουν να εμφανίζονται έντονες συσσωματώσεις («overclustering») στα παραγόμενα προφίλ βροχής, που υπερεκτιμούν τις πλημμύρες
 - Διερεύνηση της φύσης του Ia → Εποχιακή μεταβλητότητα (?)
- Διερεύνηση σχετικά με την αθροιστική βροχή των προηγούμενων ημερών. Είναι τελικά ικανοποιητικές οι 60 ημέρες ;
 - Εφαρμογή του μοντέλου και σύγκριση με πραγματικές μετρήσεις, ώστε να διερευνηθεί η ορθότητά του
 - Ζητήματα που προκύπτουν σχετικά με την Castalia

Αναφορές

- **Antoniadi S.** Investigation of the river basin's response time variability [Article] // PostGraduate Thesis, Department of Water Resources and Environmental Engineering – National Technical University of Athens. - 2016.
- **Beven K.** Prophecy, reality and uncertainty in distributed hydrological modelling [Journal] // Advances in Water Resources. - [s.l.] : Elsevier, 1993.
- **Grimaldi S. [et al.]** Time of concentration: a paradox in modern hydrology. [Article] // Hydrological Sciences Journal. - 2012.
- **Kossieris P.[et al.]** A rainfall disaggregation scheme for sub-hourly time scales: Coupling a Barlett-Lewis based model with adjusting procedures [Article] // Journal of Hydrology. - 2016.
- **Koutsoyiannis D., Kozonis D. and Manetas A.** A mathematical framework for studying rainfall intensity -duration -frequency relationships [Article] // Journal of Hydrology. - [s.l.] : Elsevier, 1998.
- **Koutsoyiannis D.and Xanthopoulos T.** Engineering Hydrology [Book]. - Athens : National Technical University of Athens, 1999.
- **Koutsoyiannis D., Mamassis N. and Team Itia Research** Deukalion project- Assessment of flood flows in Greece under conditions of hydroclimatic variability: Development of physically-established conceptual-probabilistic framework and computational tools [Report]. - 2014.
- **Michaelidi E. [et al.]** Adaptation of the concept of varying time of concentration within flood modelling: Theoretical and empirical investigations across the Mediterranean [Conference] // EGU General Assembly. - Vienna : [s.n.], 2017.
- **NRCS United States Department of Agriculture - National Resources** Part 630: Hydrology [Book Section] // National Engineering Handbook. - 2004.
- **Papoulakos K. [et al.]** Simulation of water-energy fluxes through small-scale reservoir systems under limited data availability [Journal] // Energy Procedia. - [s.l.] : Elsevier, 2017.

Αντί επιλόγου....

Σημαντικά ζητήματα....

Ανεπαρκής
εμπειρία

Αμφισβητήσιμες
υποθέσεις &
παραδοχές

Αβεβαιότητα

Πού αρχίζει και πού τελειώνει
η ευθύνη του μηχανικού;

Επιτυχία/αποτυχία;

...Ο Κ. Beven (1993) χαρακτήρισε τις υδρολογικές προβλέψεις «προφητείες» και την αποδοχή τους «πράξη πίστωσης»....

Σας ευχαριστώ!