



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Διπλωματική εργασία:

«Αντίστροφη ανάλυση και εκτίμηση αβεβαιότητας μείζονων πλημμυρικών γεγονότων με ελλιπή δεδομένα: η περίπτωση της Δυτικής Αττικής, Νοέμβριος 2017»

Χαράλαμπος Ντιγκάκης

Επιβλέπων: Ευστρατιάδης Ανδρέας, Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, ΕΔΙΠ, ΕΜΠ
Υπεύθυνος καθηγητής: Μαμάσης Νίκος, Αν. Καθηγητής, ΕΜΠ

Αθήνα, Νοέμβριος 2018



Vilia



Mandra

Elefsina

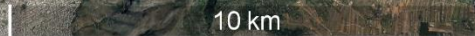
Nea Peramos

Salamina

Athens

Google Earth

Image © 2018 DigitalGlobe
Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO



Ιστορική αναδρομή

Σημαντικές πλημμύρες στη Δυτική Αττική:

Χρονολογία	Νεκροί
1953	0
1961	40
1963	1
1977	36
1978	0
1996	2
2003	0
2015	0
2017	24



Η πλημμύρα της 15/11/2017 (1/3)

Γενικά στοιχεία

- Ισχυρές βροχοπτώσεις την 14^η και 15^η Νοεμβρίου 2017
- Εκδήλωση αιφνίδιας πλημμύρας της πρωινές ώρες της 15^{ης} Νοεμβρίου
- Απολογισμός: 24 νεκροί και υλικές ζημιές σε Μάνδρα, Νέα Πέραμο, Μαγούλα και Ελευσίνα
- Χαρακτηρίζεται ως η τρίτη μεγαλύτερη πλημμύρα στη Δυτική Αττική από άποψη νεκρών

Η πλημμύρα της 15/11/2017 (2/3)

Χρονική εξέλιξη

14/11/17

Έναρξη
βροχοπτώσεων
δυτικά της Μάνδρας
(8:00 μ.μ.)

Κορεσμός του
εδάφους
+
Εδαφική διάβρωση

Συσσώρευση φερτών
υλικών στα υδάτινα
σώματα



15/11/17

Απότομη αλλαγή
στην ένταση της
βροχόπτωσης

Σημαντική αύξηση
της εδαφικής
διάβρωσης

Σημαντική αύξηση
της στερεοαπορροής



Εμφάνιση
πλημμυρικού
κύματος (7:00 π.μ.)

Υπερχείλιση έργων
διόδευσης στο ύψος
της Αττικής Οδού

Διόδευση μέσω του
δρόμου Μάνδρας -
Ελευσίνας

Η πλημμύρα της 15/11/2017 (3/3)

Αποτελέσματα

Οδός Ελευσίνας - Μάνδρας



ΒΙ.ΠΕ. Μάνδρας

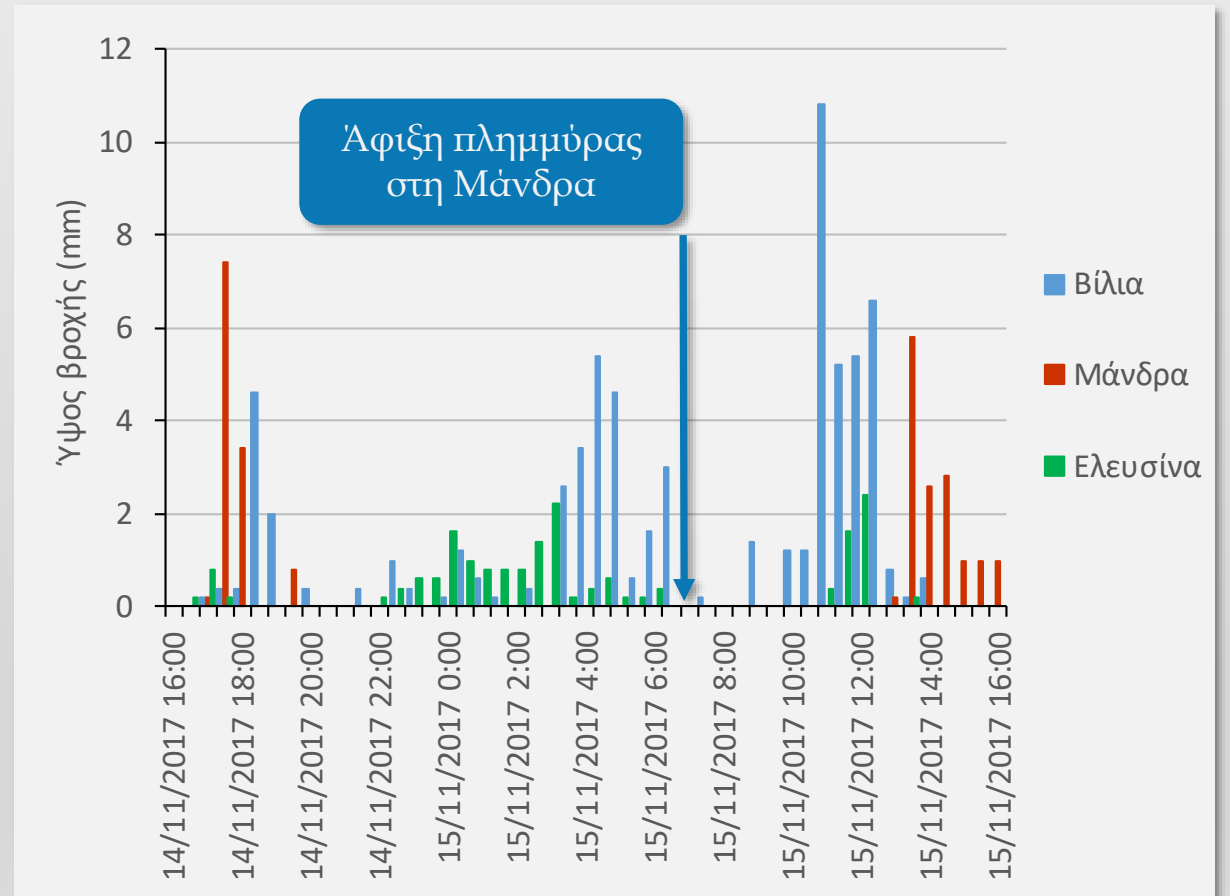


Διαθέσιμα Δεδομένα (1/2)

Σημειακές παρατηρήσεις βροχόπτωσης

Σταθμός	Ύψος βροχής (mm)
Βίλια	33.6
Μάνδρα	11.8
Ελευσίνα	19.4

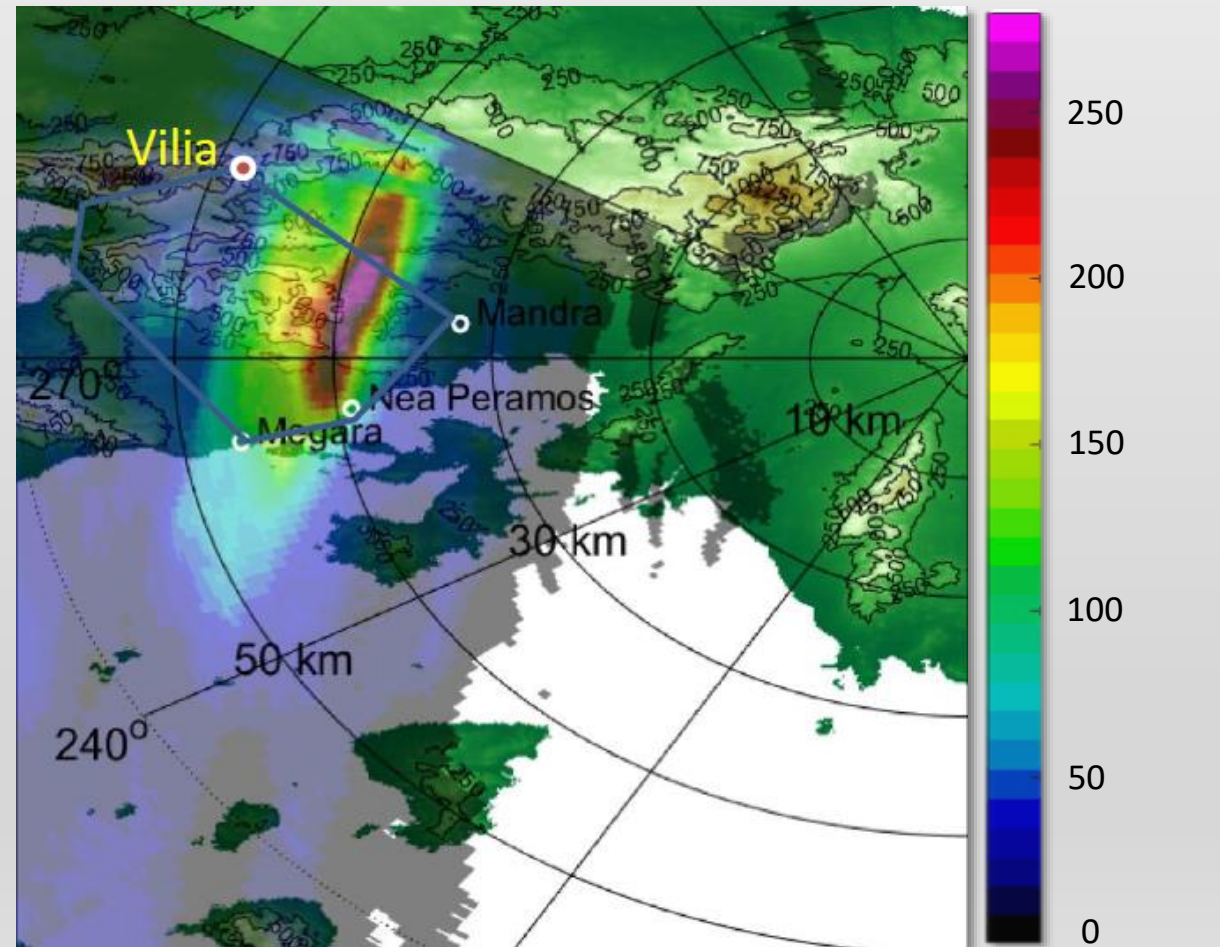
14/11/17 16:00 - 15/11/17 7:00



Διαθέσιμα Δεδομένα (2/2)

Εκτίμηση μετεωρολογικού radar

- Ενδεικτική εικόνα
- Μακρόστενο σχήμα καταιγίδας
- Πέρασε ανάμεσα από τους σταθμούς



14/11/17 15:49 – 15/11/17 14:00

Τοποθέτηση Προβλήματος (1/2)

Τυπική υδρολογική ανάλυση



Τι κάνουμε;

Τοποθέτηση Προβλήματος (2/2)

Πάμε στη λεκάνη του Σαρανταπόταμου

- ✓ Γειτονική λεκάνη – παρόμοια χαρακτηριστικά
- ✓ Επλήγη από την πλημμύρα
- ✓ Ερευνητικό πρόγραμμα «Δευκαλίων» (2012-2014)
- ✓ Μετεωρολογικός σταθμός Βιλίων
- ✓ Υδρομετρικός σταθμός στη Γύρα Στεφάνης



Περιοχή μελέτης (1/2)

Παρατηρήσεις παροχών

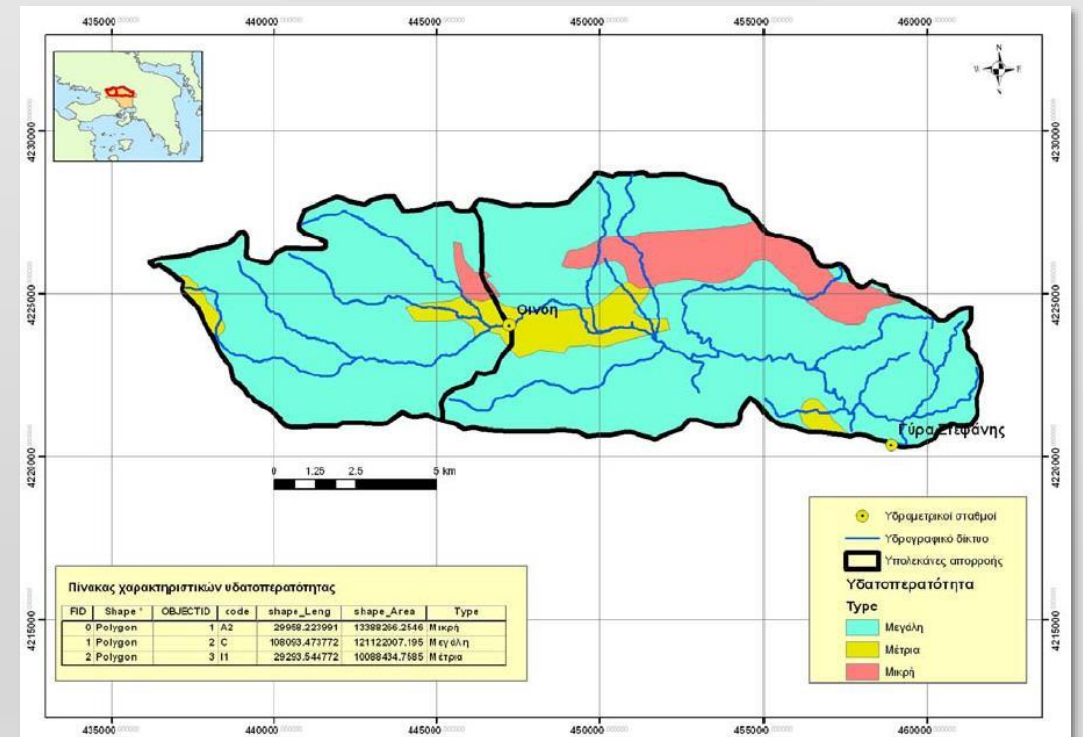
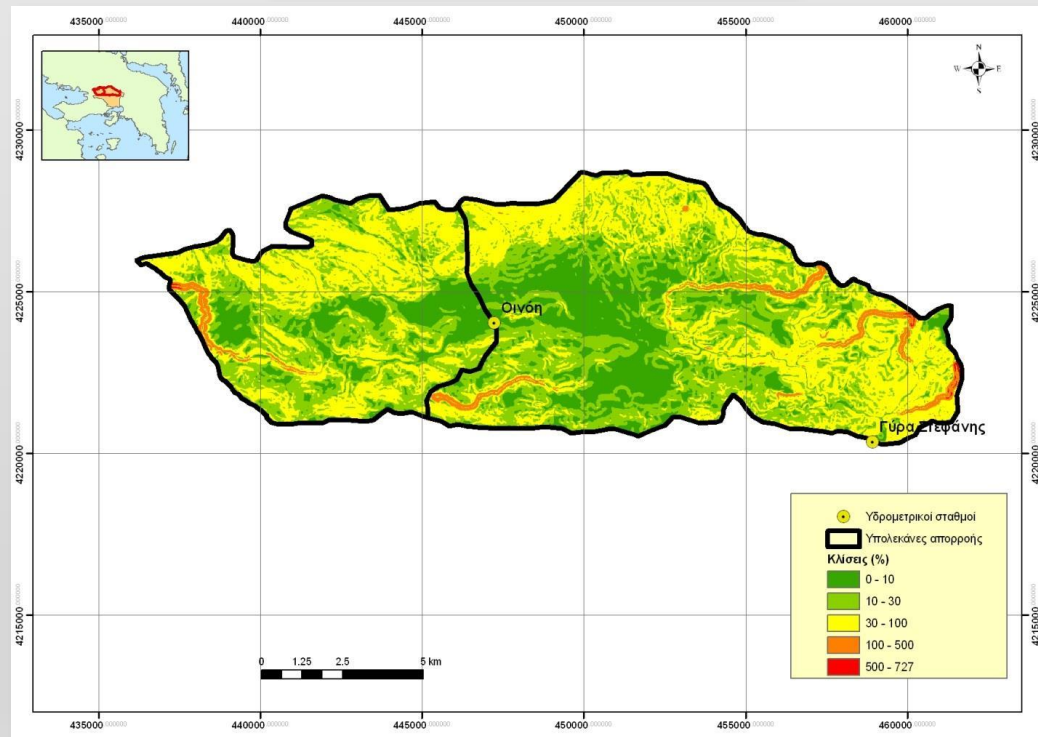


Περιοχή μελέτης (2/2)

Λεκάνη απορροής Σαρανταπόταμου

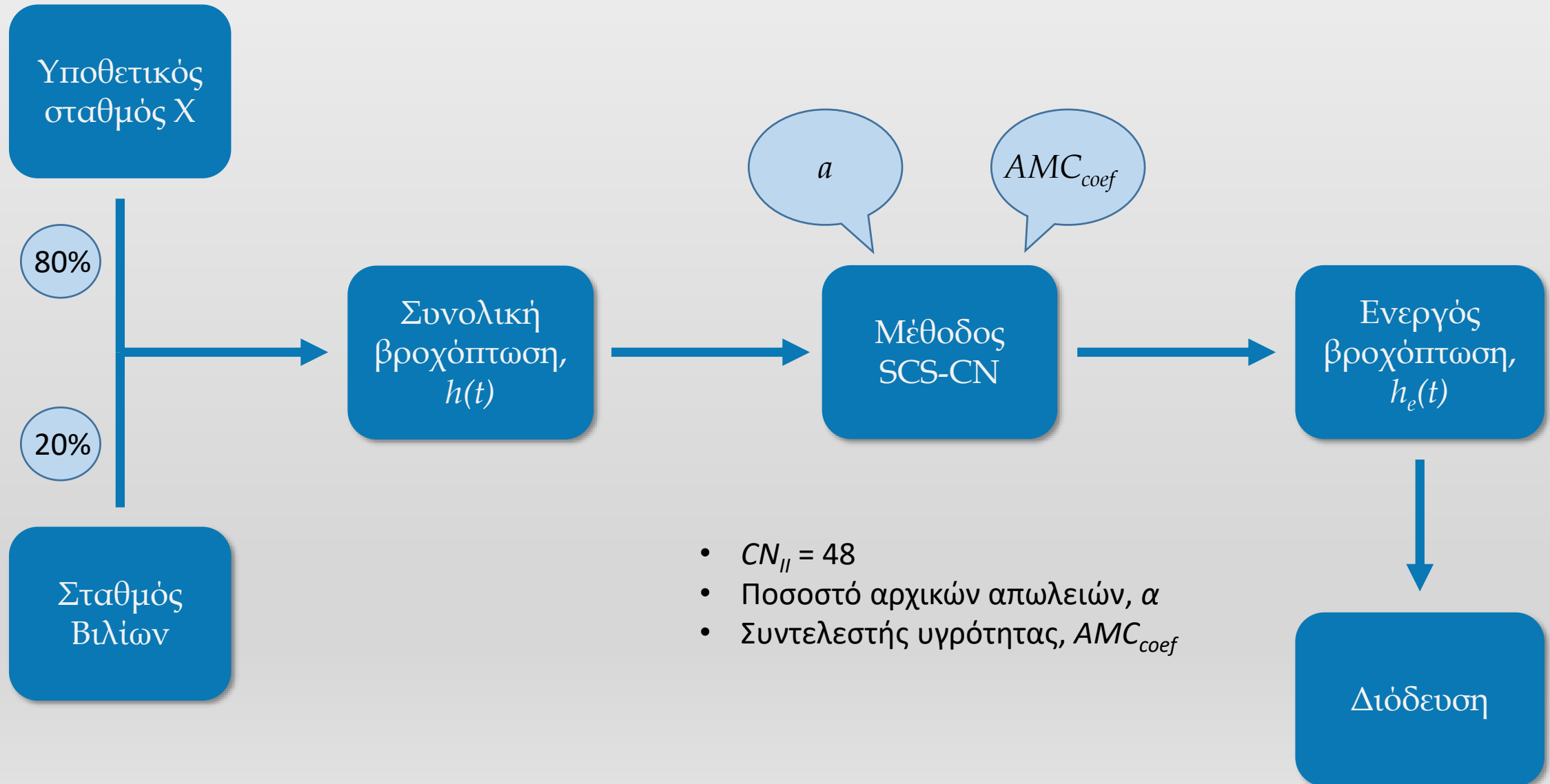
Κλίσεις

Υδατοπερατότητα



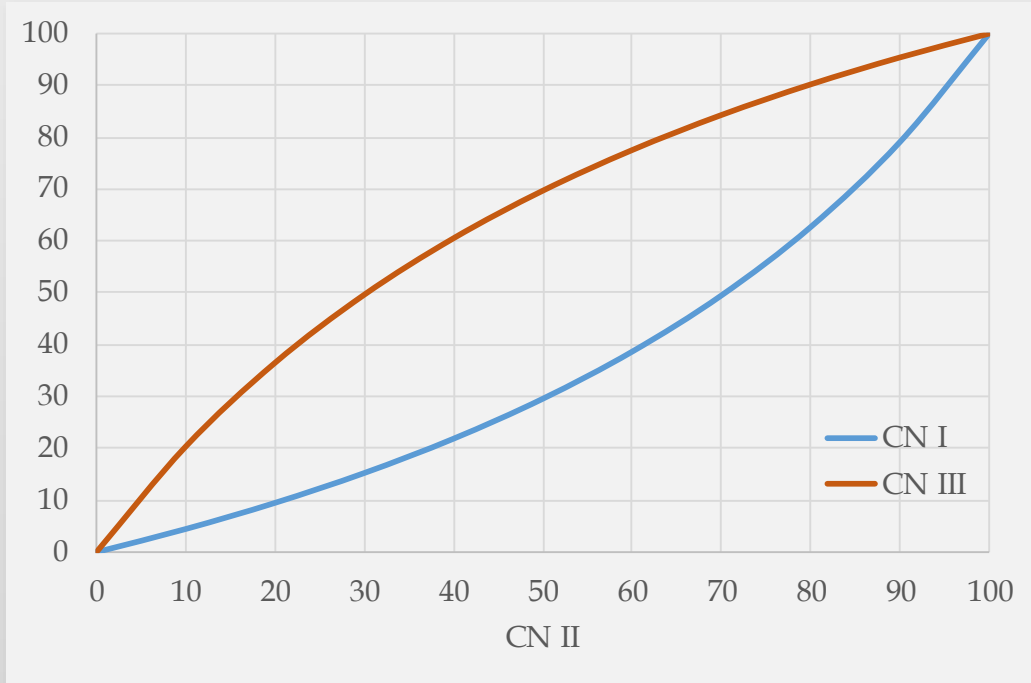
Έκταση: 144.6 km²

Αντίστροφη ανάλυση (1/3)



Αντίστροφη ανάλυση (2/3)

Συντελεστής υγρότητας, AMC_{coef}



$$CN_I = \frac{4.2 CN_{II}}{10 - 0.058 CN_{II}}$$

$$CN_{III} = \frac{23 CN_{II}}{10 + 0.13 CN_{II}}$$

$$CN_{cor} = \begin{cases} CN_{II} - \frac{CN_{II} - CN_I}{0.4} (0.5 - AMC_{coef}), & AMC_{coef} < 0.5 \\ CN_{III} + \frac{CN_{III} - CN_{II}}{0.4} (AMC_{coef} - 0.5), & AMC_{coef} \geq 0.5 \end{cases}$$

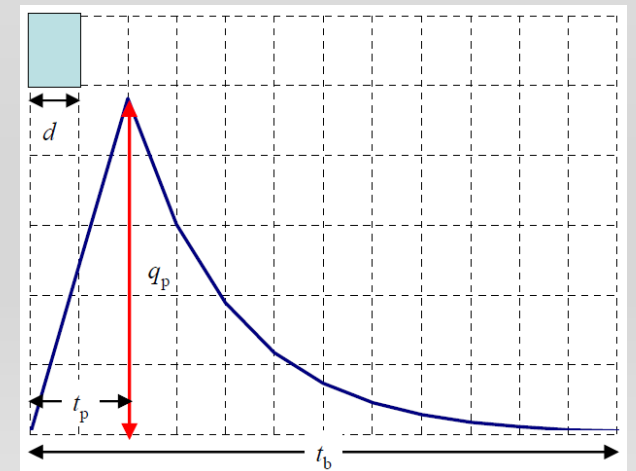
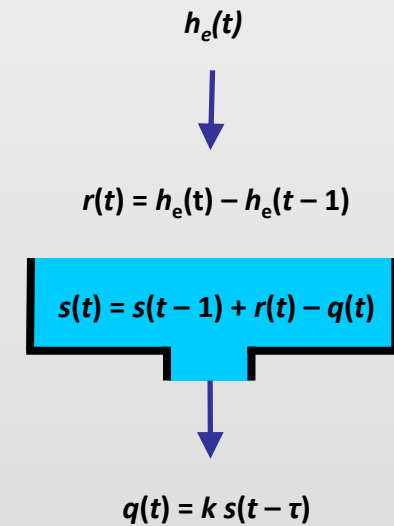
Αντίστροφη ανάλυση (3/3)

Μοντέλο Α

- Περιβάλλον Microsoft Excel
- Μοντέλο γραμμικού ταμιευτήρα
- Συντελεστής ανάσχεσης, k
- Χρόνος υστέρησης, τ
- Βαθμονόμηση μοντέλου με χρήση της παρατηρημένης παροχής

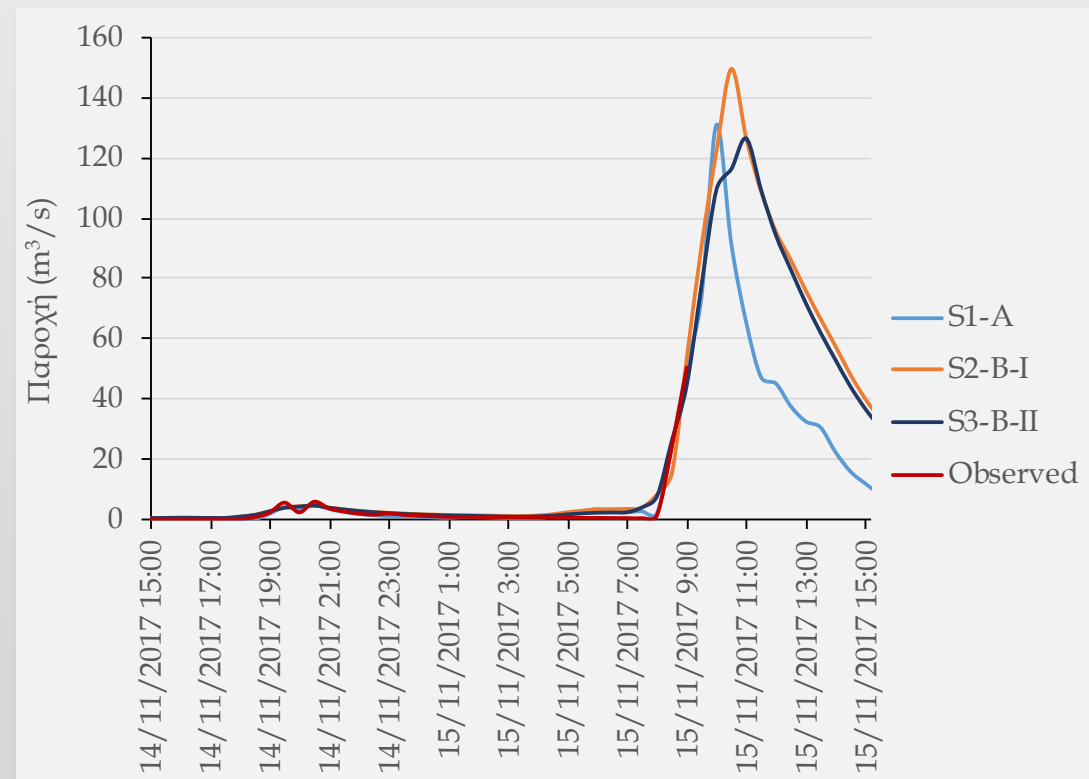
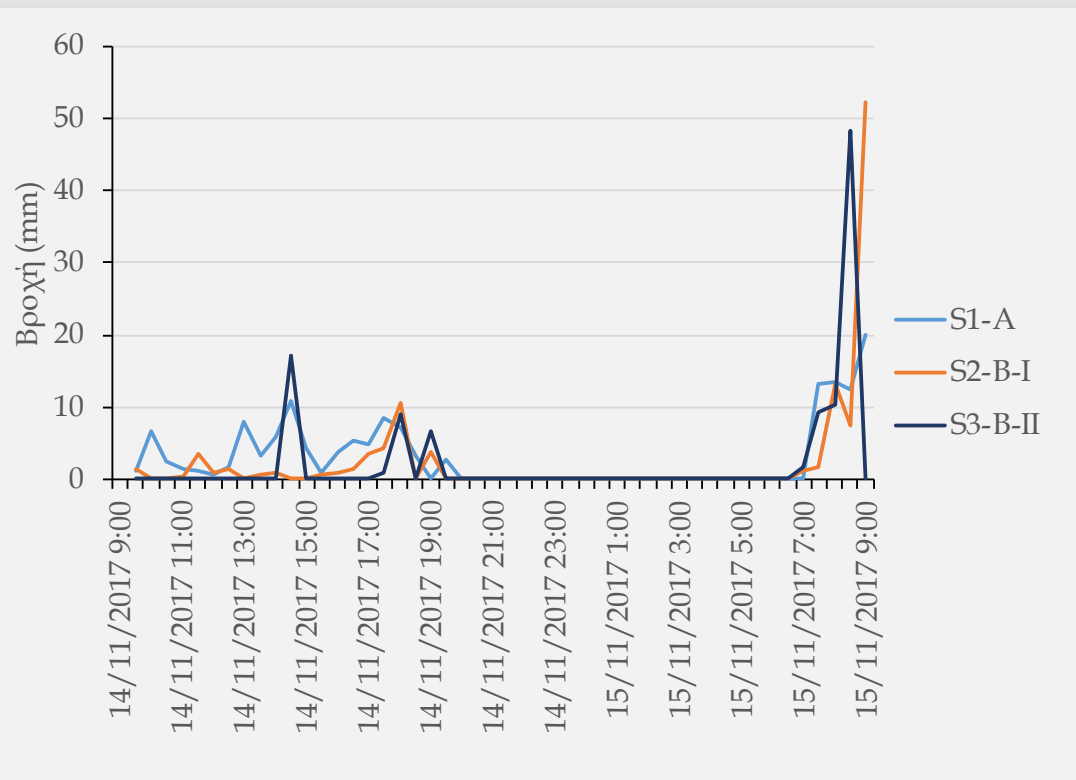
Μοντέλο Β

- Περιβάλλον Matlab
- Χρήση του Παραμετρικού Συνθετικού Μοναδιαίου Υδρογραφήματος
- Βαθμονόμηση μοντέλου με χρήση της παρατηρημένης παροχής (μοντέλο Β-I)
- Επιπλέον βαθμονόμηση με 2 εκτιμήσεις παροχής από κάμερες ασφαλείας (μοντέλο Β-II)



Ανάλυση σεναρίων (1/2)

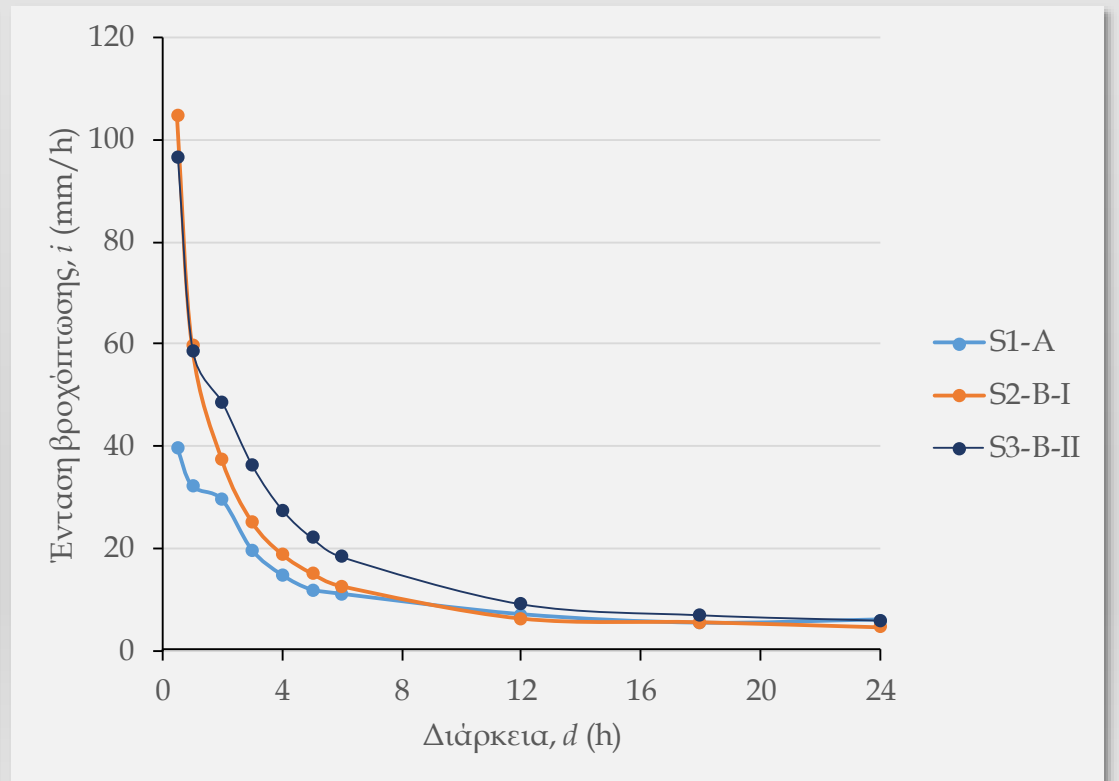
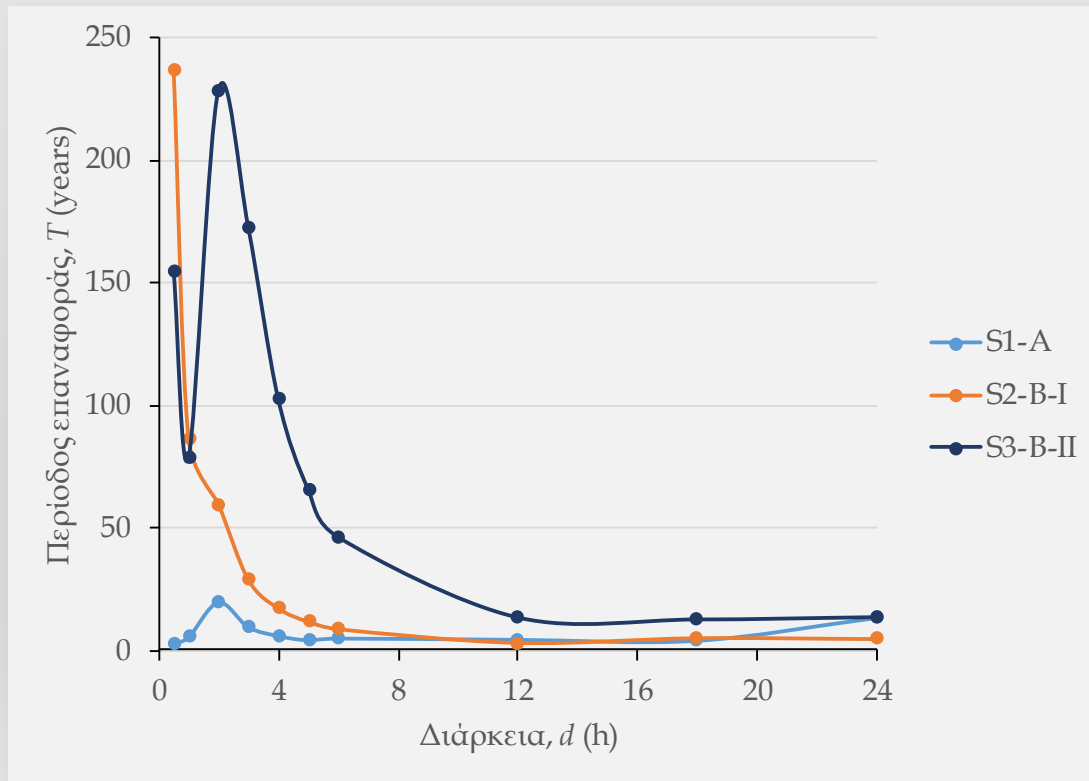
Σενάριο	a	AMC_{coef}	k	τ (h)
S1-A	0.12	0.4	0.3	1
S2-B-I	0.05	0.4	-	-
S3-B-II	0.01	0.5	-	-



Ανάλυση σεναρίων (2/2)

$$i = 213.4 (T^{0.125} - 0.641) / (1 + d/0.124)^{0.622}$$

Όμβρια καμπύλη
σταθμού Μάνδρας



Ανάλυση Monte Carlo (1/4)

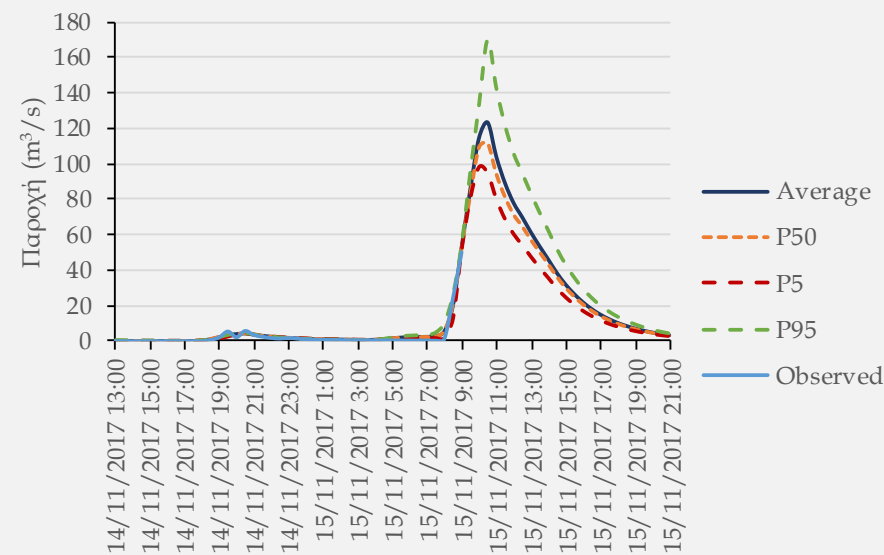
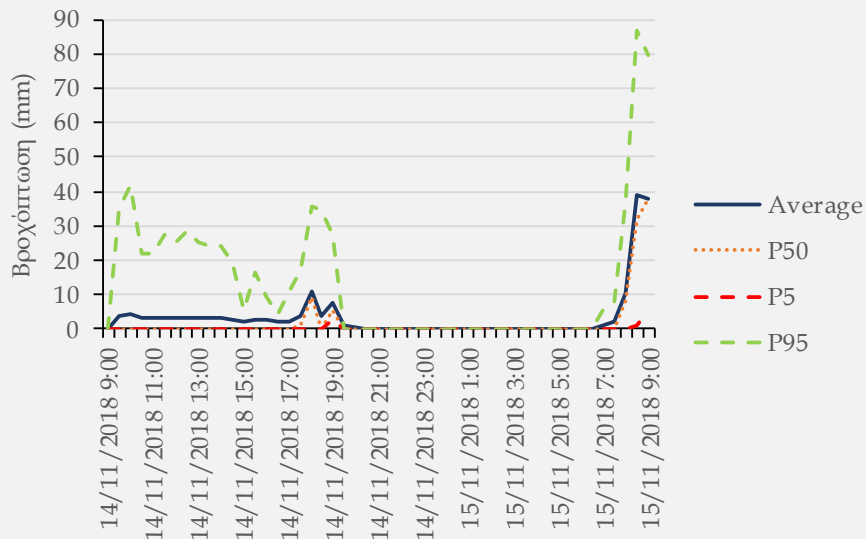
- ❖ Είναι στοχαστική προσέγγιση
- ❖ Επαναλαμβανόμενες προσομοιώσεις
- ❖ Λαμβάνει υπόψη την αναμενόμενη στατιστική συμπεριφορά του μοντέλου μέσω της λήψης τιμών των παραμέτρων από μία κατανομή
- ❖ Επιτρέπει την ποσοτικοποίηση της αβεβαιότητας (πχ με όρια εμπιστοσύνης)
- ❖ Εφαρμογή στα μοντέλα B-I και B-II (λιγότερες αρχικές παράμετροι)
- ❖ 4 αναλύσεις:

Συντελεστής	a	AMC_{coef}
Κατανομή	Log-Normal	Normal
Μέση τιμή	0.125	0.40
Τυπ. απόκλιση	0.099	0.10

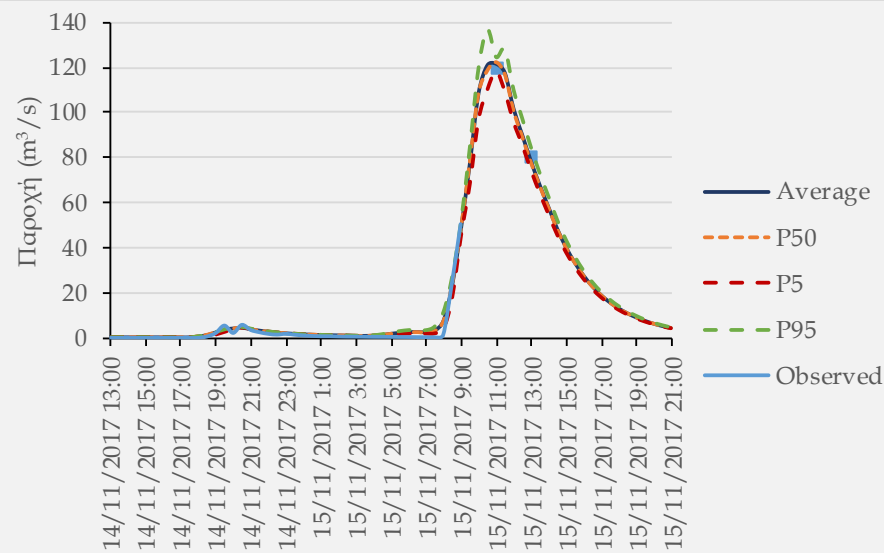
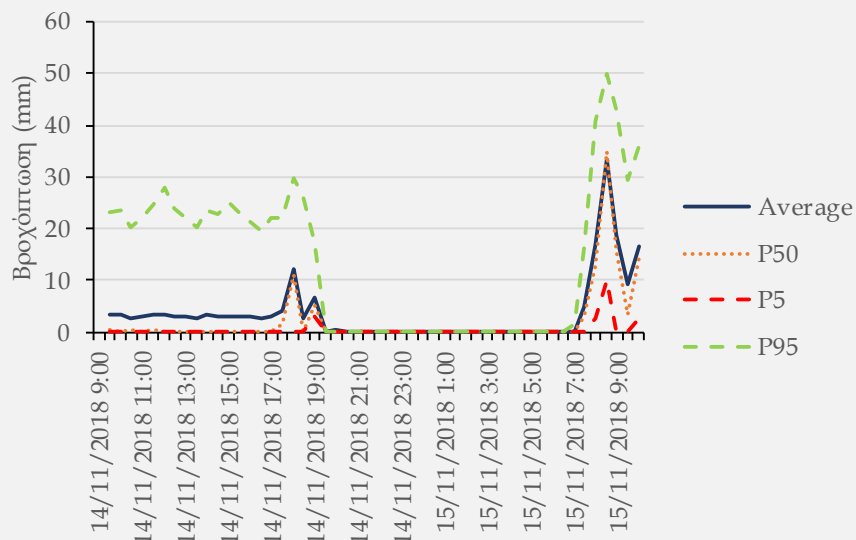
	MC1-B-I	MC2-B-I	MC3-B-II	MC4-B-II
Μοντέλο	B-I	B-I	B-II	B-II
Μέγιστη ένταση βροχής (mm/h)	200	100	200	100

Ανάλυση Monte Carlo (2/4)

MC1-B-I

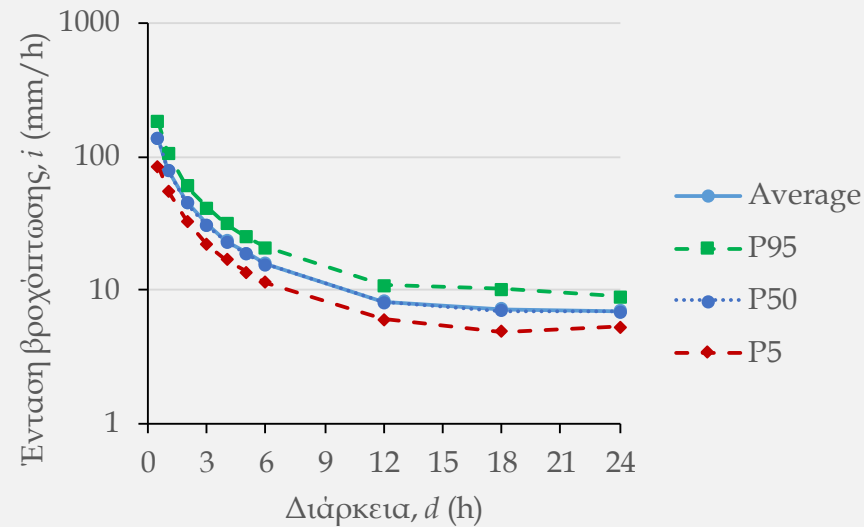
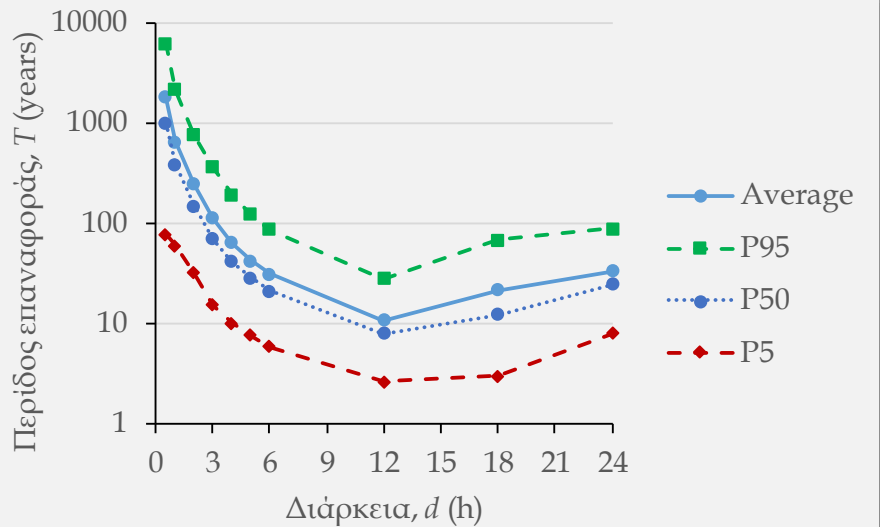


MC4-B-II

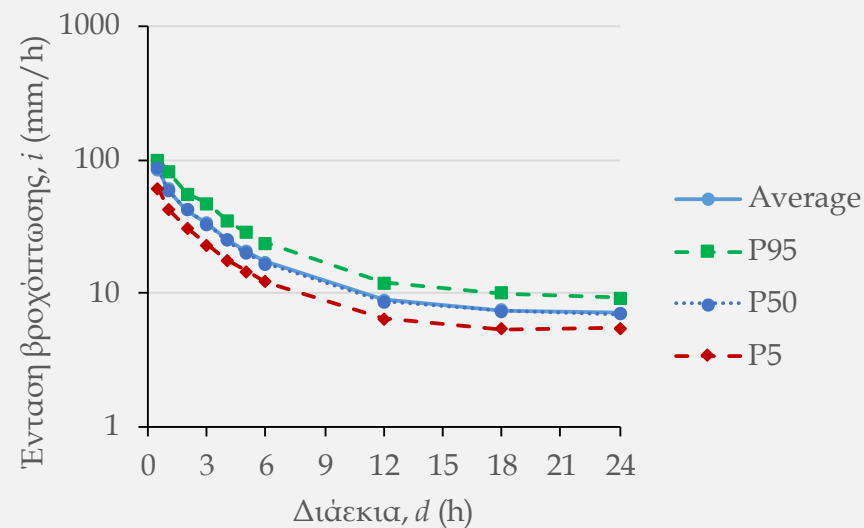
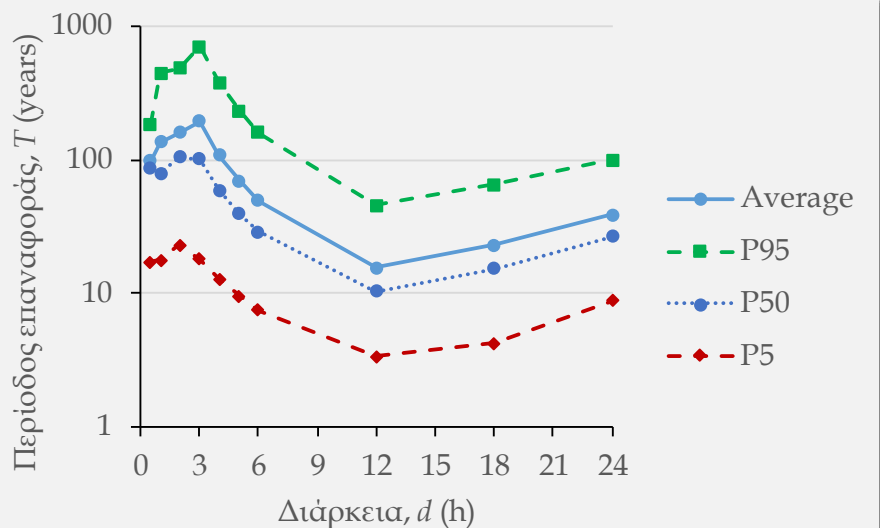


Ανάλυση Monte Carlo (3/4)

MC1-B-I

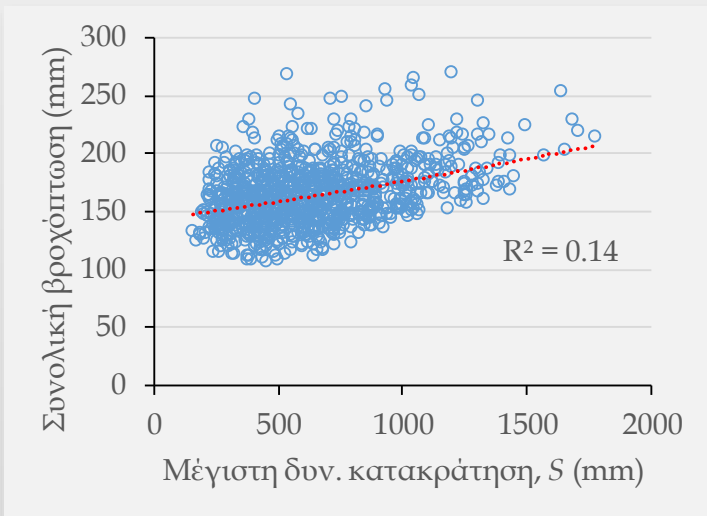
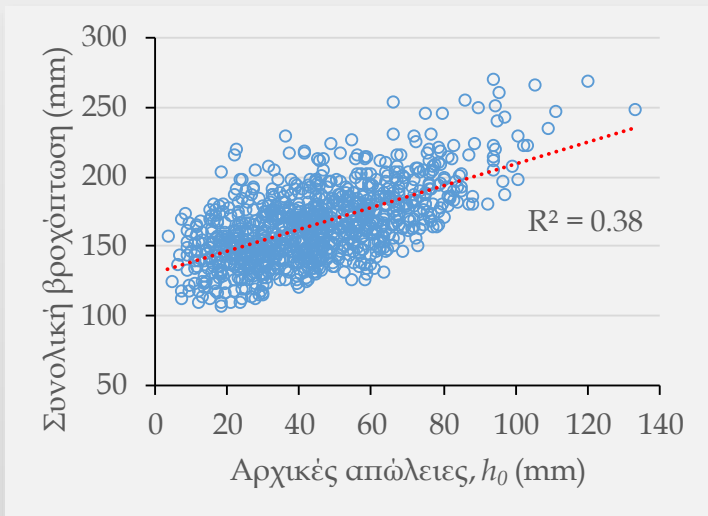
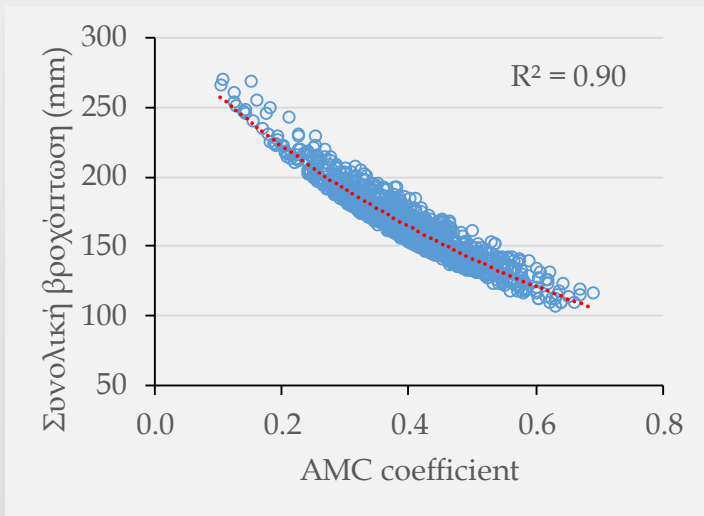


MC4-B-II

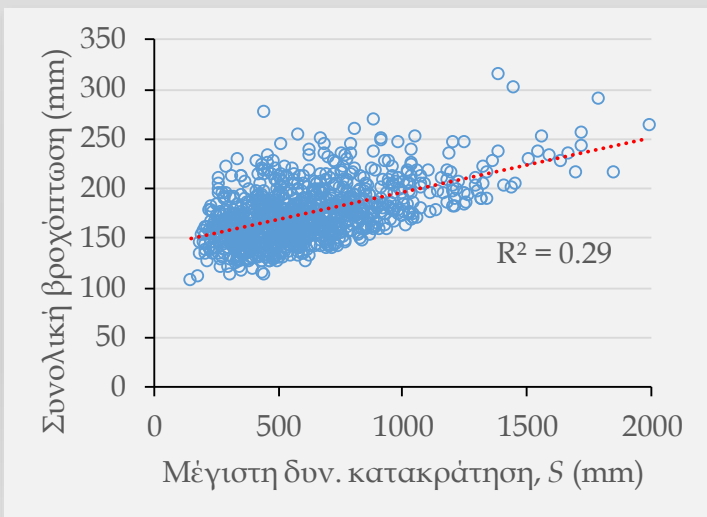
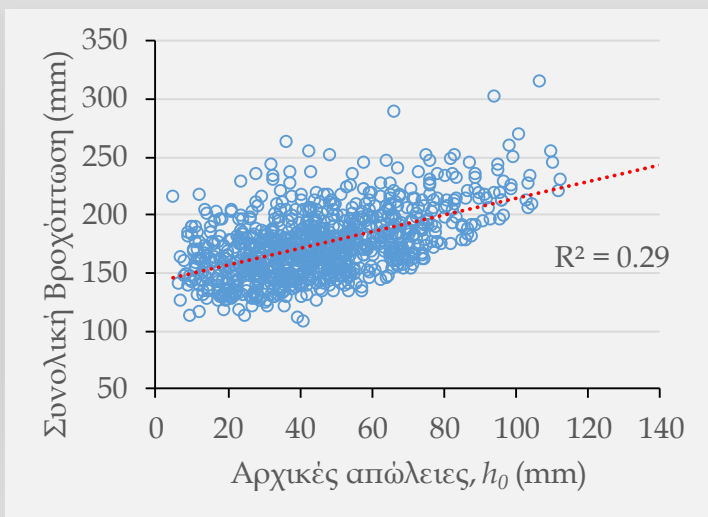
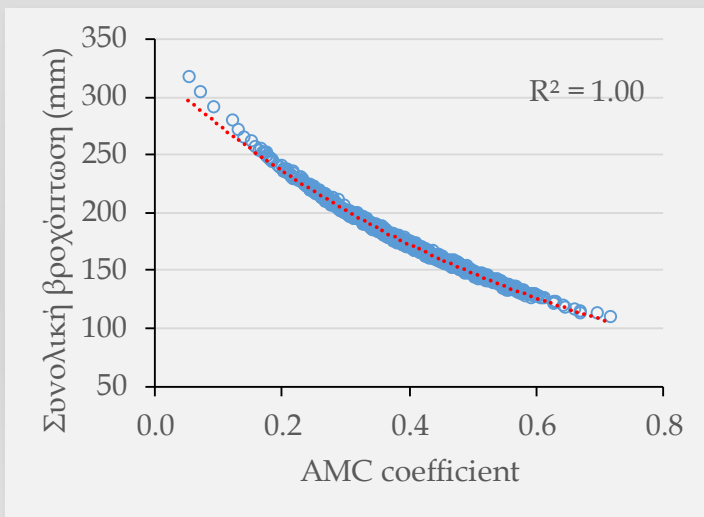


Ανάλυση Monte Carlo (4/4)

MC1-B-I



MC4-B-II

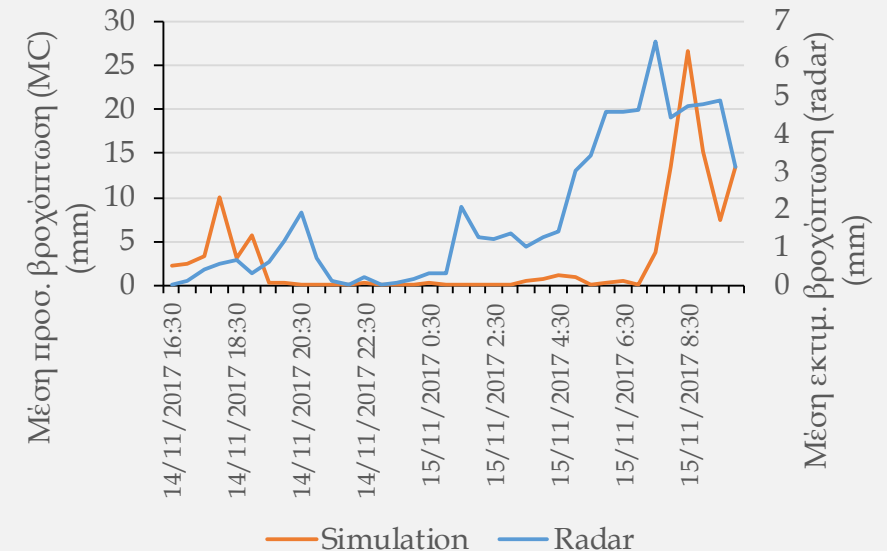
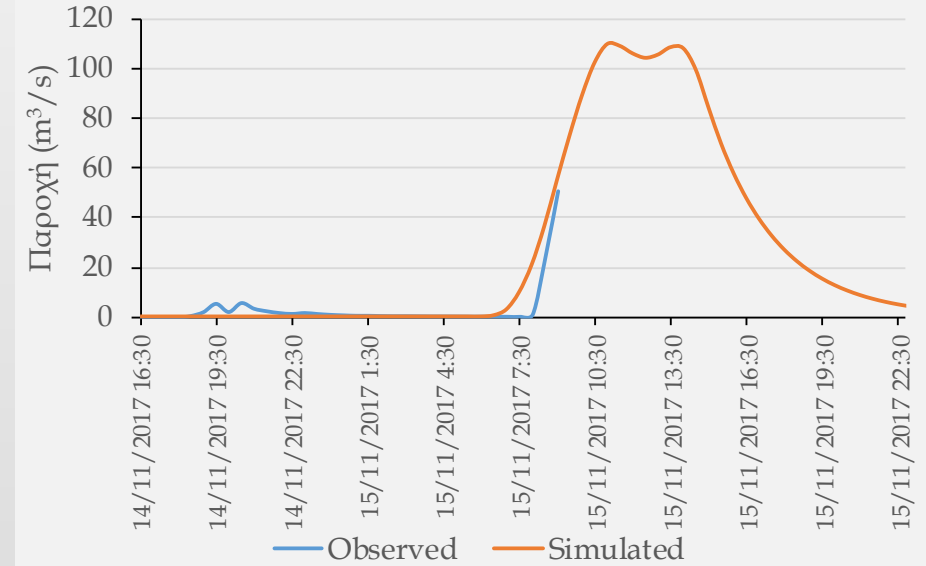
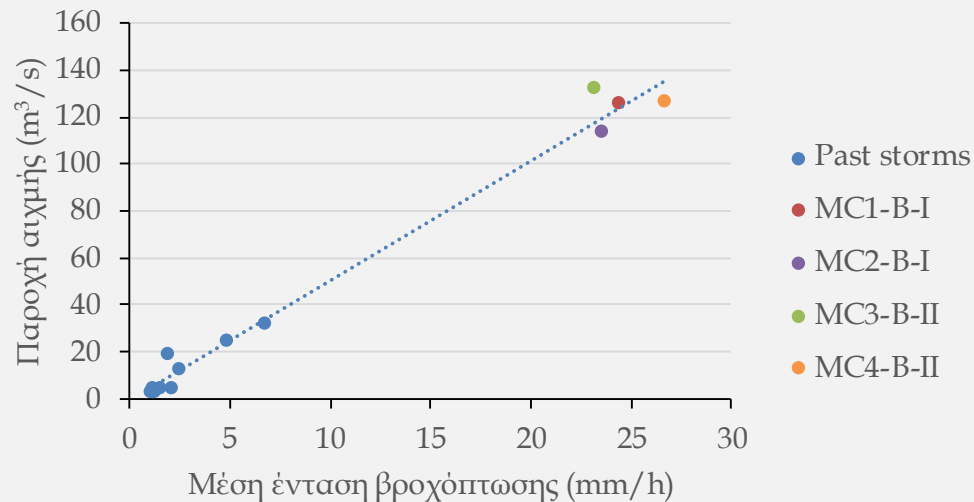


Σύγκριση αποτελεσμάτων

Μετεωρολογικό radar

- Εξαγωγή της μέσης επιφανειακής βροχόπτωσης
- Χρήση ως είσοδο στο μοντέλο
- Επίλυση ως προς τις παραμέτρους a και AMC_{coef}
- Βαθμονόμηση: $a = 0.4$, $AMC_{coef} = 0.94$ (μη ρεαλιστικά)
- Ενδεικτική σύγκριση με τη μέση επιφανειακή βροχόπτωση από την MC4-B-II

Παλιά επεισόδια



Συγκεντρωτικά Αποτελέσματα

		MC1-B-I	MC2-B-I	MC3-B-II	MC4-B-II
Παροχή αιχμής (m ³ /s)	Average	126.5	114.3	132.3	126.8
	St. dev.	21.8	8.1	8.9	4.8
	P95	169.7	133.2	146.3	136.9
	P50	113.1	110.4	130.5	125.0
	P5	107.9	108.7	120.7	121.5
Συνολική βροχόπτωση (mm)	Average	165.4	162.6	174.9	175.0
	St. dev.	26.8	25.8	27.6	28.8
	P95	214.2	205.8	228.6	227.5
	P50	163.9	160.1	171.4	172.4
	P5	126.3	124.9	135.9	133.6

		Διάρκεια, <i>d</i> (h)				Διάρκεια, <i>d</i> (h)			
		0.5	1	3	24	0.5	1	3	24
		Περίοδος επαναφοράς, <i>T</i> (years)				Ένταση βροχόπτωσης, <i>i</i> (mm/h)			
MC1-B-I	Average	1805	649	112	33	134.8	79.7	30.9	6.9
	St. dev.	2023	878	135	32	30.5	15.6	5.8	1.1
	P95	6270	2177	359	88	182.9	106.8	41.5	8.9
	P50	1017	386	70	24	135.6	79.3	30.4	6.8
	P5	77	59	15	8	84.3	55.5	21.9	5.3
MC2-B-I	Average	122	297	93	30	90.1	70.3	29.5	6.8
	St. dev.	55	289	112	27	10.1	13.1	6.0	1.1
	P95	186	863	320	72	100.0	91.4	40.6	8.6
	P50	125	199	58	22	92.8	70.2	29.2	6.7
	P5	31	34	10	8	69.9	49.3	20.0	5.2
MC3-B-II	Average	1263	340	203	40	124.4	69.3	33.8	7.2
	St. dev.	1650	628	312	40	30.8	15.3	6.9	1.2
	P95	4731	1058	703	111	73.2	46.5	23.9	5.5
	P50	648	171	108	28	125.4	68.3	33.1	7.0
	P5	39	26	22	9	174.9	94.6	46.7	9.3
MC4-B-II	Average	98	135	196	39	84.9	60.2	33.4	7.1
	St. dev.	59	160	308	43	12.8	11.7	7.2	1.2
	P95	186	444	712	100	100.0	81.3	46.8	9.1
	P50	88	80	101	27	86.6	58.9	32.7	7.0
	P5	17	18	18	9	61.2	42.8	22.8	5.4

Συμπεράσματα

- ✓ Αρκετά ευαίσθητο στις παραμέτρους και τη δομή των μοντέλων
- ✓ Δύο cluster βροχόπτωσης – επιβεβαιώνουν μαρτυρίες
- ✓ Εξαιρετικά πολύτιμες οι ποιοτικές πληροφορίες → σημαντική μείωση της αβεβαιότητας στις εκτιμήσεις βροχής και παροχής αιχμής
- ✓ Μεγάλη διακύμανση της εκτίμησης περιόδου επαναφοράς / μικρή διακύμανση των μέγιστων εντάσεων.

Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

- ✓ Διερεύνηση του ποσοστού επιρροής του σταθμού Χ
- ✓ Περαιτέρω αξιοποίηση των εκτιμήσεων του radar
- ✓ Διερεύνηση με τη χρήση ενός δυναμικού ΠΣΜΥ
- ✓ Διερεύνηση κι άλλων τρόπων επέκτασης των συμπερασμάτων στις λεκάνες ανάντη της Μάνδρας

Σας ευχαριστώ για την προσοχή σας

Ερωτήσεις;