



ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΓΕΡΜΑΣΟΓΕΙΑΣ, ΚΥΠΡΟΣ

ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ ΛΟΥΚΑΣ

Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας,
Πεδίον Άρεως, 38334 Βόλος
E-mail: aloukas@uth.gr





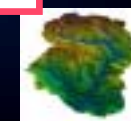
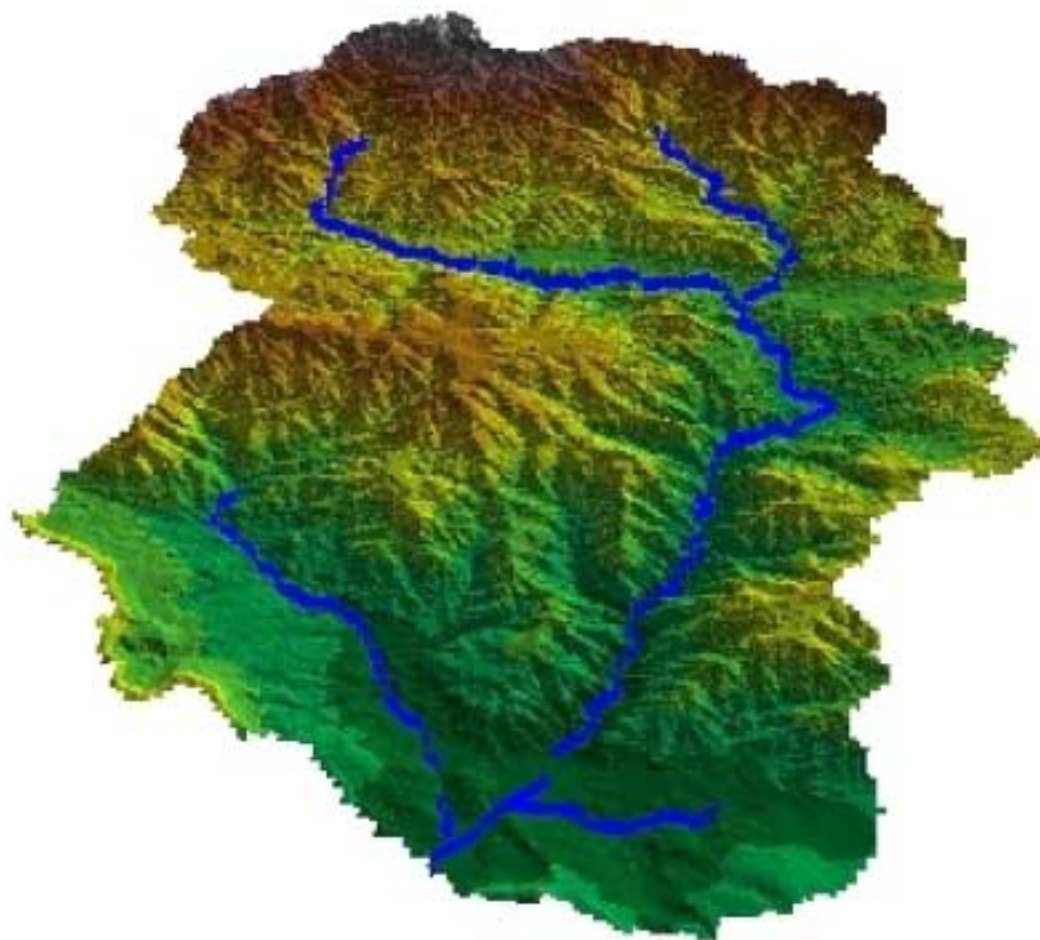
ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΚΑΙ ΣΚΟΠΟΣ

- Σύνταξη, εφαρμογή και σύγκριση αδρομερών (lumped) μοντέλων υδατικού ισοζυγίου
- Επιλογή κατάλληλου μοντέλου υδατικού ισοζυγίου και συνδυασμού μεθόδου εκτίμησης μέσης επιφανειακής βροχόπτωσης και μεθόδου εκτίμησης δυνητικής εξατμισοδιαπνοής
- Εφαρμογή στη λεκάνη απορροής Γερμασόγειας Κύπρου



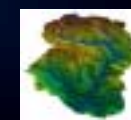
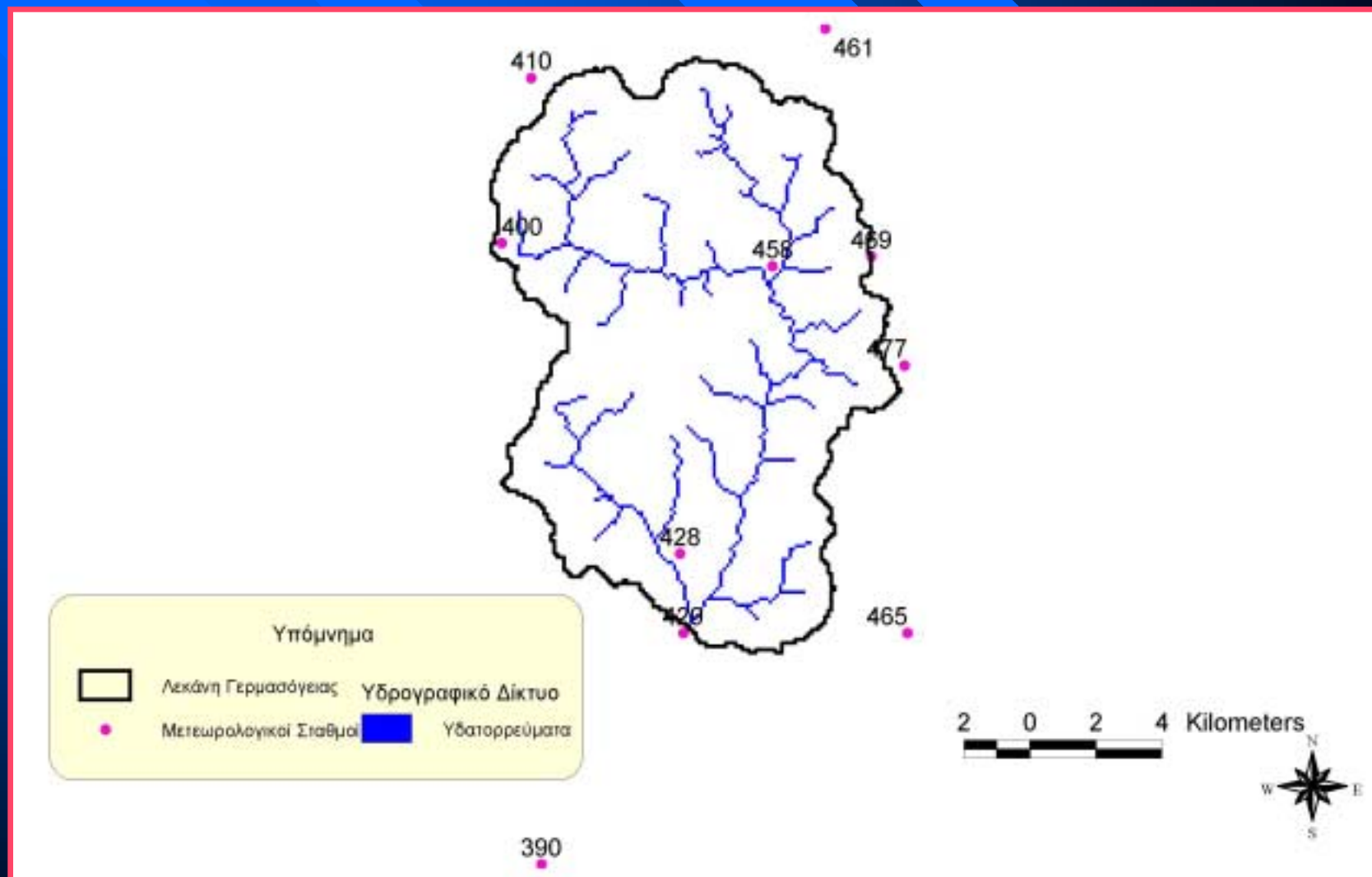


ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΓΕΡΜΑΣΟΓΕΙΑΣ ΚΥΠΡΟΥ





ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ





ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΛΕΚΑΝΗΣ ΓΕΡΜΑΣΟΓΕΙΑΣ

- ΜΕΣΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΛΕΚΑΝΗΣ: 575,18 m
- ΕΚΤΑΣΗ ΛΕΚΑΝΗΣ: 157 Km²
- ΕΤΗΣΙΟΣ ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΗΣ: 638 mm
- ΜΕΣΟΣ ΕΤΗΣΙΟΣ ΑΠΟΡΡΟΙΚΟΣ ΟΓΚΟΣ: 22,5 εκατομμύρια m³





ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

- Χρήση τεσσάρων (4) μοντέλων υδατικού ισοζυγίου με διαφορετικό αριθμό εκτιμώμενων παραμέτρων
- Υπολογισμός μέσης επιφανειακής βροχόπτωσης με τρεις (3) μεθόδους
- Υπολογισμός μέσης επιφανειακής δυνητικής εξατμισοδιαπνοής με έξι (6) μεθόδους
- Προσομοίωση του υδατικού ισοζυγίου της λεκάνης της Γερμασόγειας με ογδόντα-τέσσερις (84) συνδυασμούς μοντέλων και μεθόδων
- Σύγκριση των προσομοιώσεων και εύρεση του βέλτιστου μοντέλου





ΜΟΝΤΕΛΑ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ

- ΝΕΟ ΜΟΝΤΕΛΟ
- ΜΟΝΤΕΛΟ ΑΒΥΛΟΗΟΜ ΕΤ ΑΛ (2001)
- ΜΟΝΤΕΛΟ ΓΙΑΚΟΥΜΑΚΙΣ ΕΤ ΑΛ (1991)
- ΜΟΝΤΕΛΟ ΘΟΡΝΤΗΒΑΙΤΕ (1948) ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΑΠΟ
ALLEY (1984)





ΝΕΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ

- Ικανοποίηση της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής E_a , του μήνα J

$$E_a(J) = \min \left\{ E_p(J) * (1 - \alpha^{S_{\text{moist}}(J)/E_p(J)}), S_{\text{moist}}(J) \right\}$$

- Επιφανειακή απορροή, SR

$$SR(J) = (1 - K) * (AS_{\text{moist}}(J) - S_{\text{max}}) \text{ εάν } AS_{\text{moist}}(J) > S_{\text{max}}$$

ή

$$SR(J) = 0 \text{ εάν } AS_{\text{moist}}(J) \leq S_{\text{max}}$$

Όπου $AS_{\text{moist}}(J) = S_{\text{moist}}(J) - E_a(J)$ και $S_{\text{max}} = \frac{25400}{CN} - 254$, η μέγιστη εδαφική υγρασία, και

CN το Curve Number ($0 \leq CN \leq 100$), και K ο συντελεστής κατεΐσδυσης ($0 \leq K \leq 1$)

- Η διήθηση προς τον υπόγειο υδροφόρα, D

$$D(J) = K * (AS_{\text{moist}}(J) - S_{\text{max}}) \text{ εάν } AS_{\text{moist}}(J) > S_{\text{max}} \text{ ή } D(J) = 0 \text{ εάν } AS_{\text{moist}}(J) \leq S_{\text{max}}$$

- Υπολογισμός ενδιάμεσης απορροής, MR
- Συνολική Απορροή, Q_c

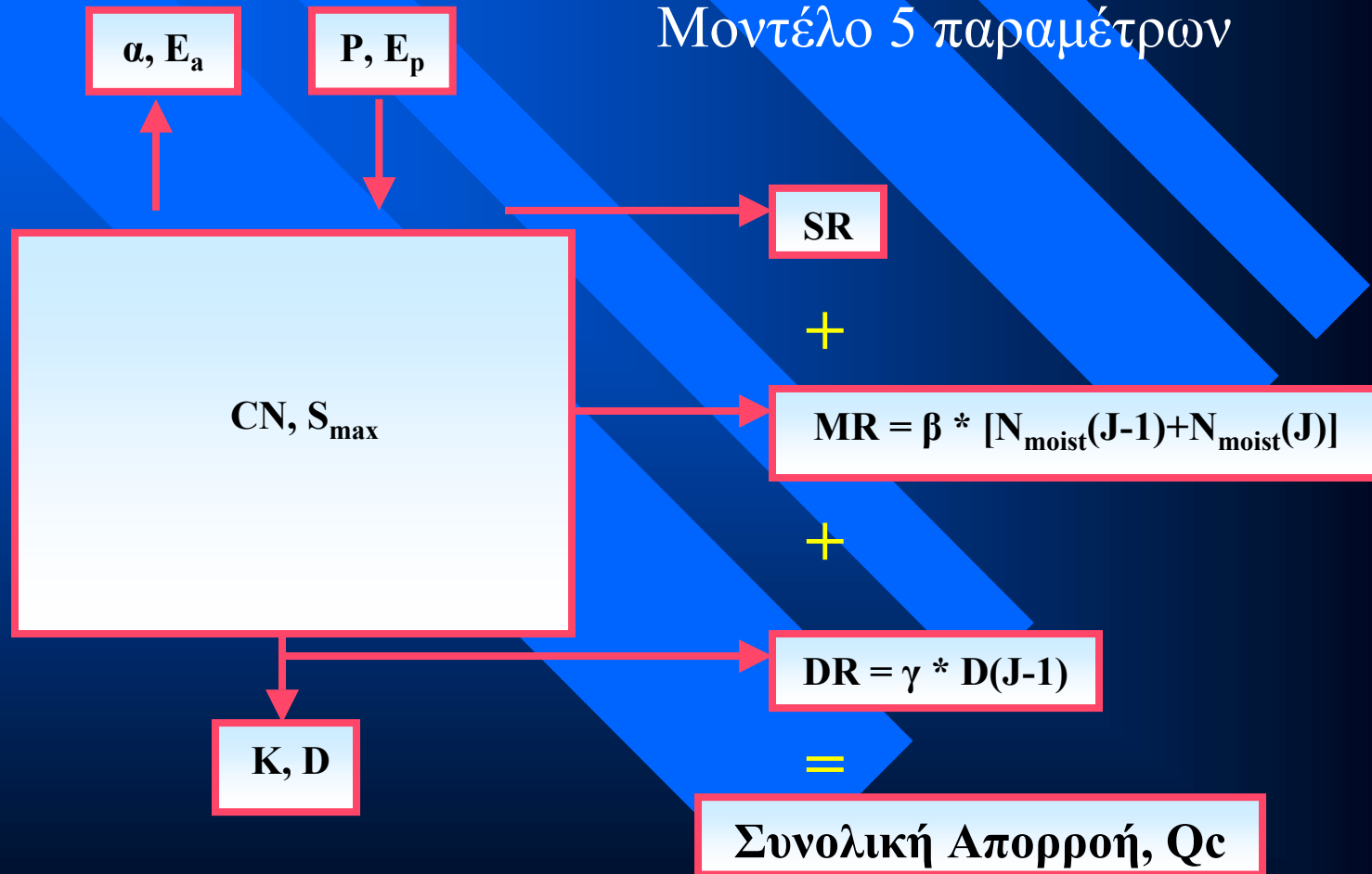
$$Q_c(J) = SR(J) + MR(J) + \gamma * D(J - 1)$$





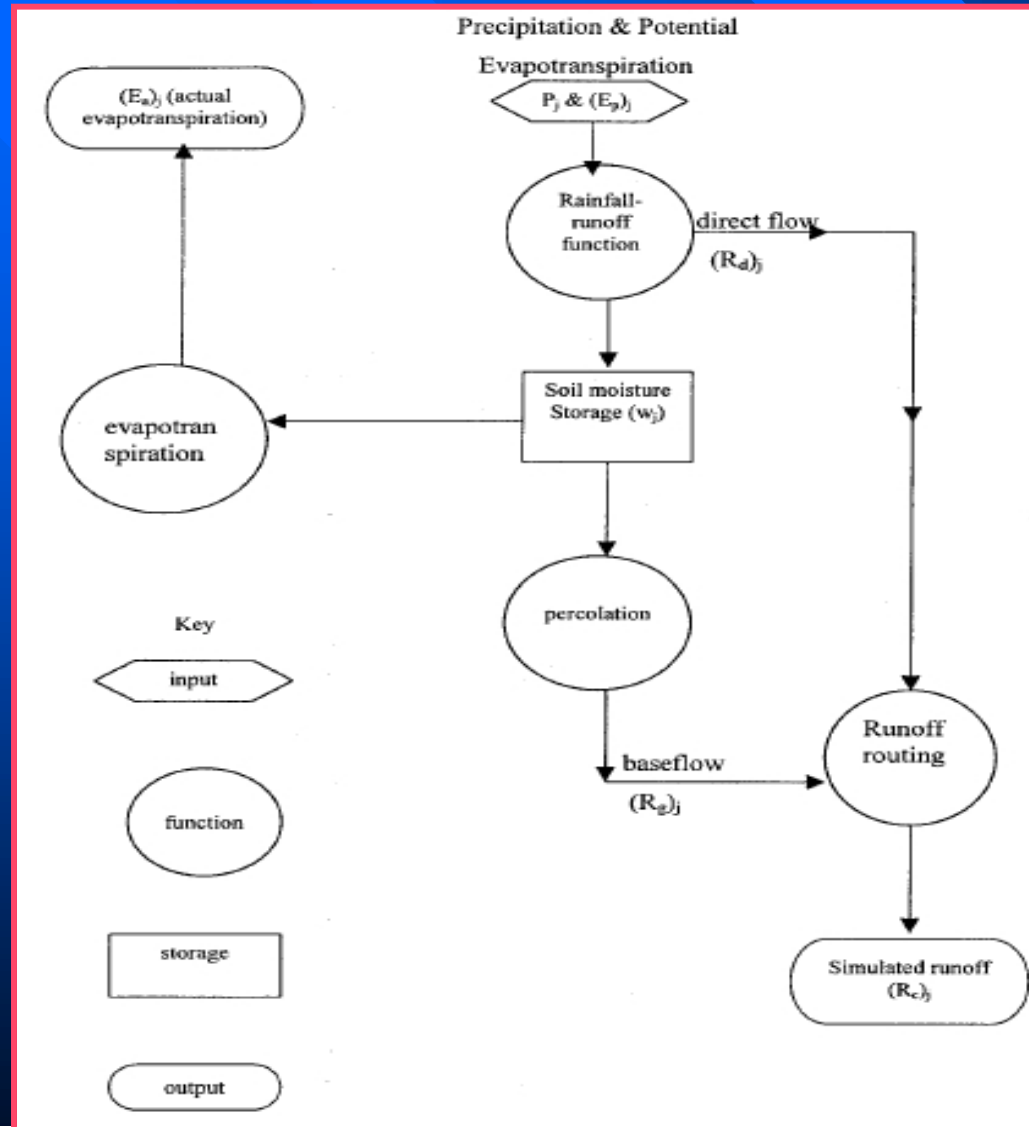
ΝΕΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ

Μοντέλο 5 παραμέτρων





MONTELO ABULOHO M et al.

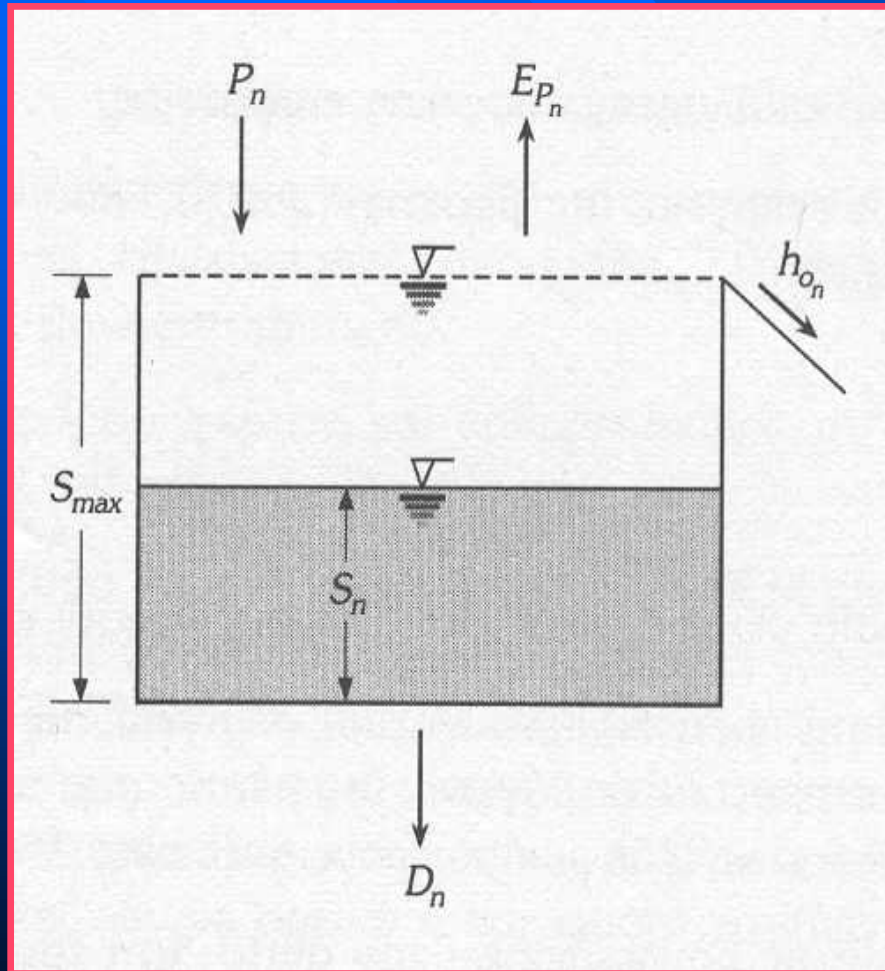


- Μοντέλο 5 παραμέτρων $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, b_1, b_2$
- Διαχωρισμός απορροής σε άμεση και βασική απορροή (υπόγεια ροή)





ΜΟΝΤΕΛΟ ΓΙΑΚΟΥΜΑΚΙΣ et al.

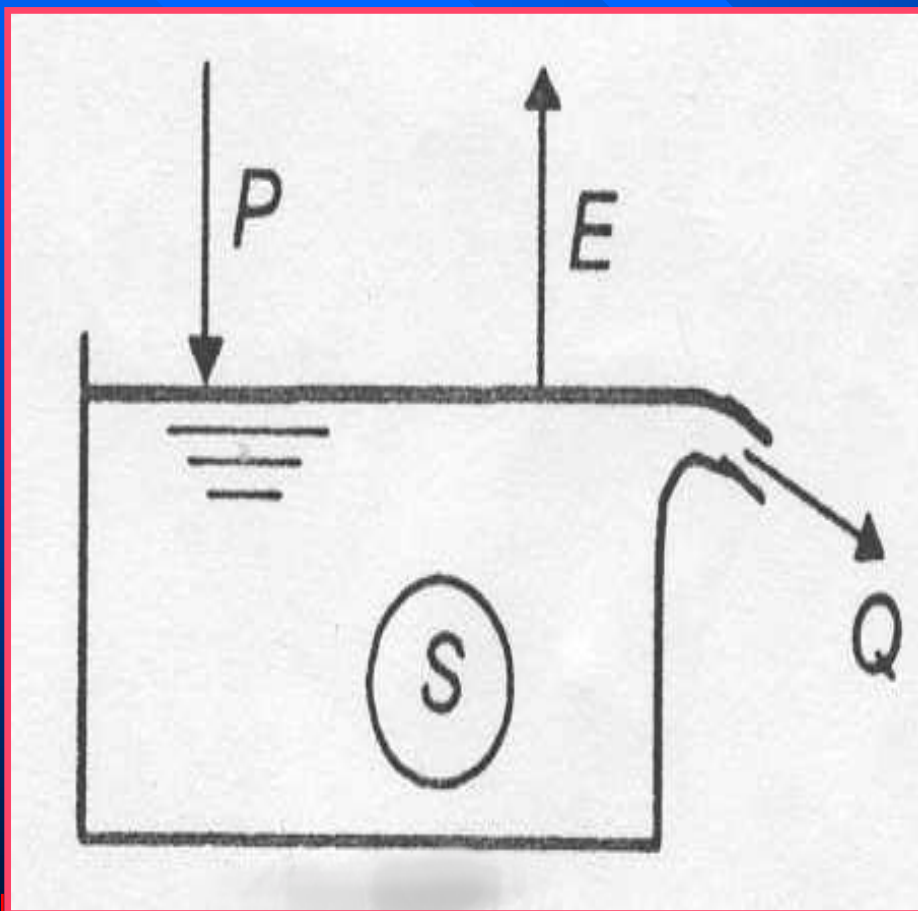


- ΜΟΝΤΕΛΟ ΔΥΟ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ
- ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ CN (%)
- ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΒΑΘΙΑΣ ΔΙΗΘΗΣΗΣ K
- ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ:
- Εάν $S_n > S_{max}$ τότε:
- $S_n = S_{max}$
- $Q = (1-K) (S_n - S_{max})$
- $S_n = S_{n-1} + P_n - E_{p_n}$
- $S_{max} = 25.4 [(1000/CN) - 10]$

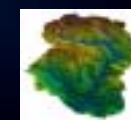




ΜΟΝΤΕΛΟ ALLEY



- ΜΟΝΤΕΛΟ ΜΙΑΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥ
- ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ Κ
- ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ:
 - Αν P_n/E_{pn} τότε:
 $S_n = \min(S_{n-1} + P_n - E_{pn}, K)$
 $Q_n = \max(S_{n-1} + P_n - E_{pn} - K, 0)$
 - Αν $P_n < E_{pn}$ τότε:
 $S_n = S_{n-1} \exp[(P_n - E_{pn})/K]$
 $Q_n = 0$
 - $E_{an} = (S_{n-1} - S_n) + P_n - Q_n$





ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΙΣΟΔΟΥ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ

- ΜΗΝΙΑΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ P_n
- ΜΗΝΙΑΙΑ ΔΥΝΗΤΙΚΗ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗ ET_p





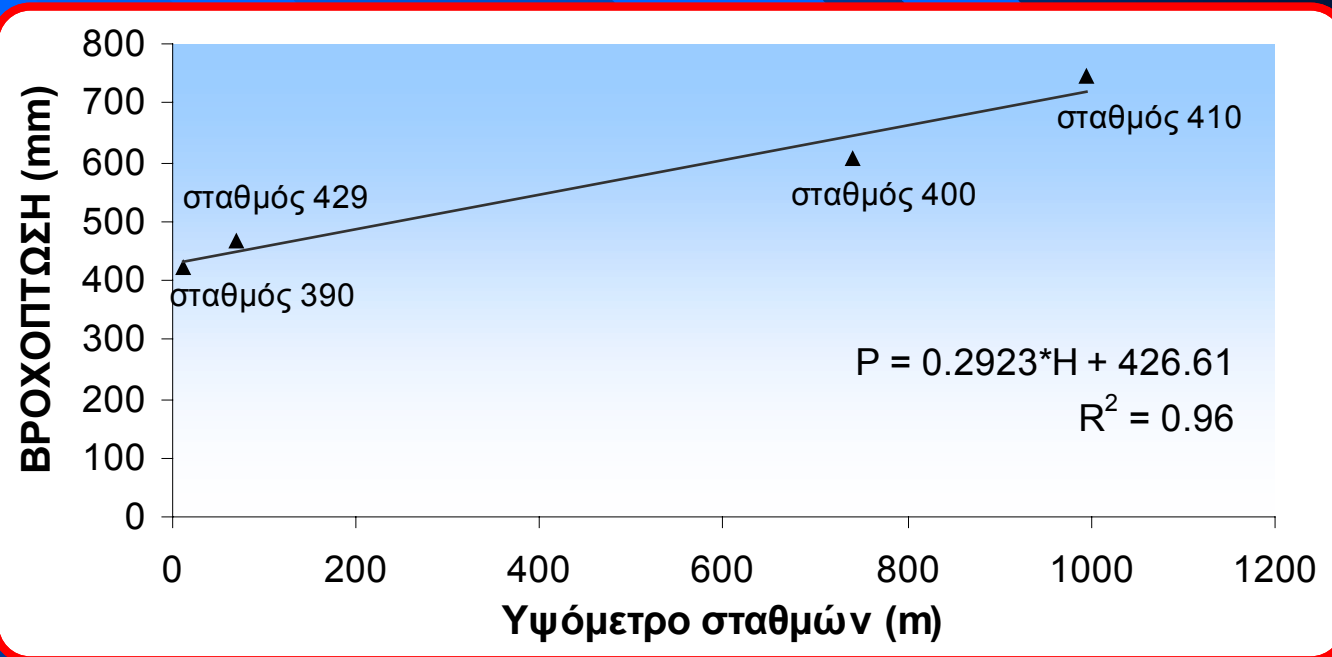
ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΓΕΡΜΑΣΟΓΕΙΑΣ

- ΜΕΘΟΔΟΣ ΒΡΟΧΟΒΑΘΜΙΔΑΣ
- ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟΥ ΜΕΣΟΥ ΟΡΟΥ
- ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΟΛΥΓΩΝΩΝ THIESSEN





ΜΕΘΟΔΟΣ ΒΡΟΧΟΒΑΘΜΙΔΑΣ

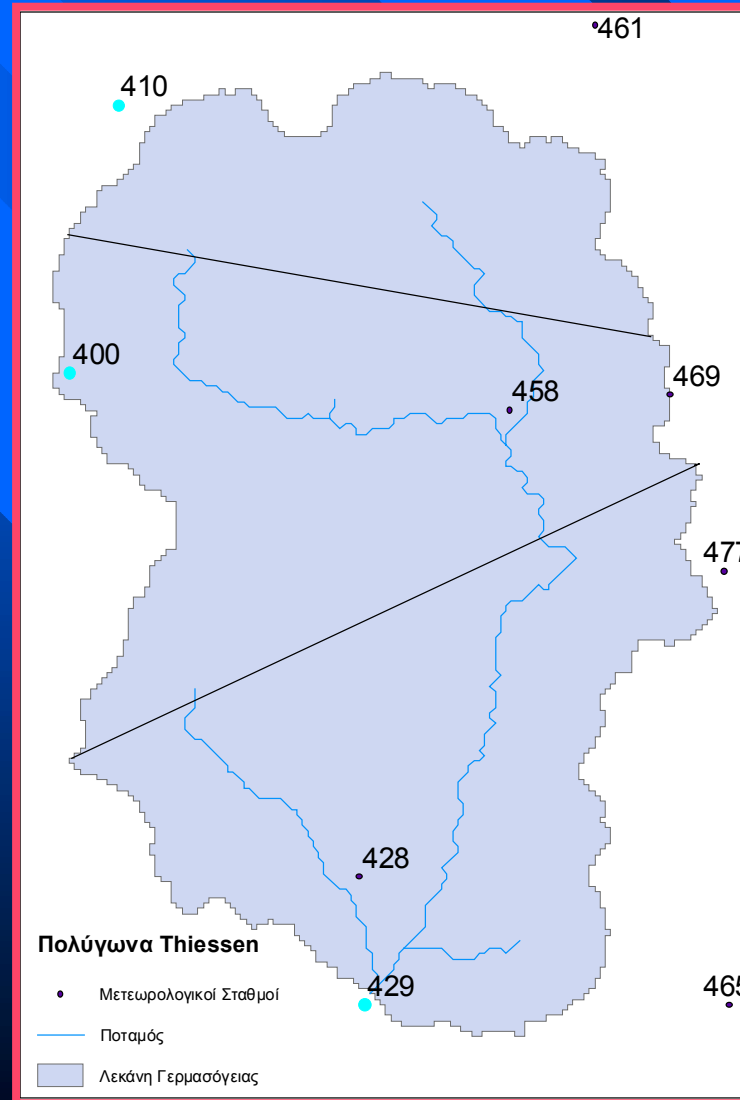


- ΑΥΞΗΣΗ ΕΤΗΣΙΟΥ ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΥΨΟΥΣ ΑΝΑ 100 ΜΕΤΡΑ ΑΥΞΗΣΗΣ ΥΨΟΜΕΤΡΟΥ
- ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΣΧΕΣΗ
- ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΠΙΜΕΡΙΣΜΟΥ



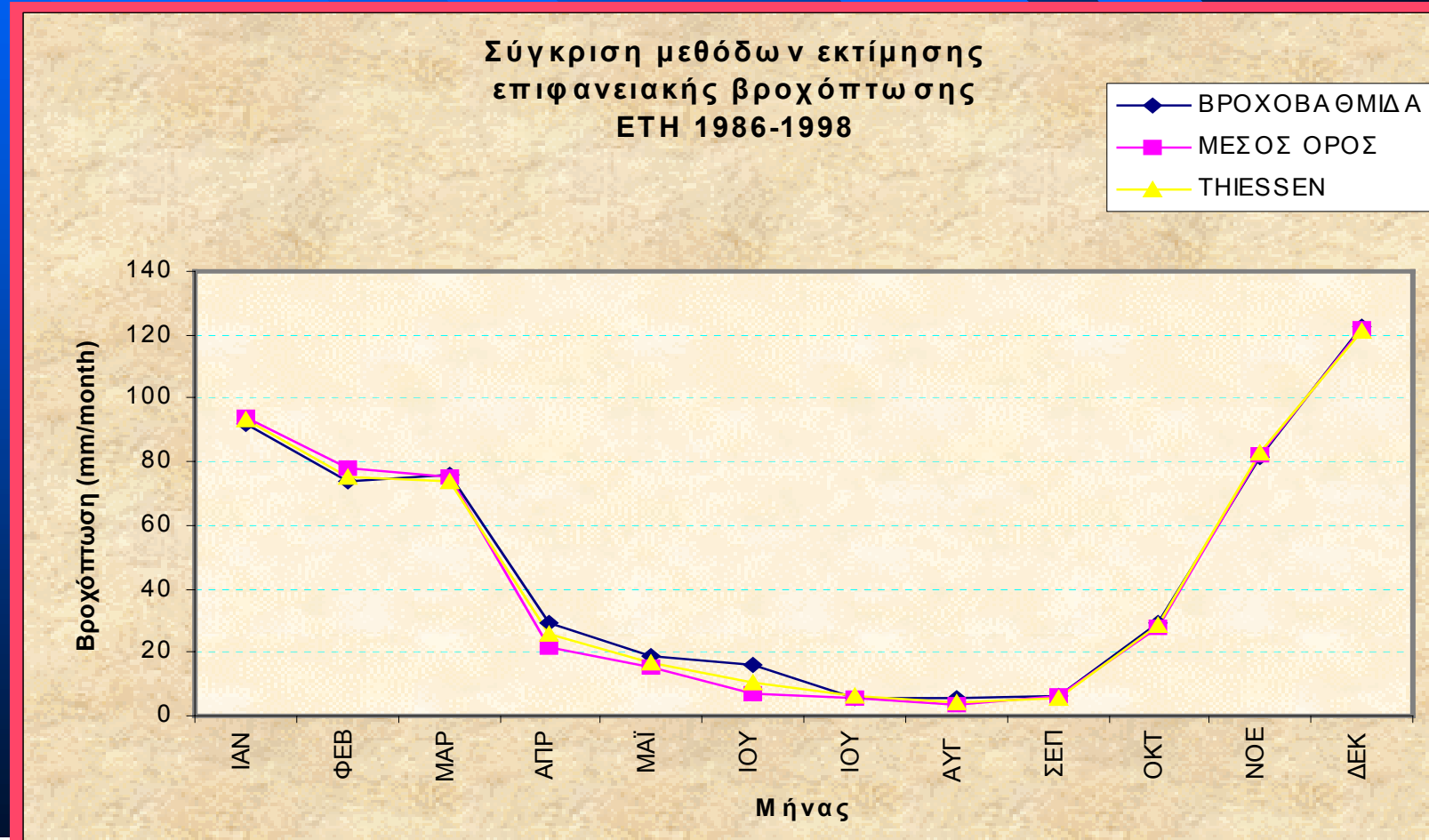


ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΟΛΥΓΩΝΩΝ THIESSEN





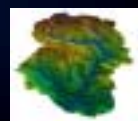
ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΜΕΣΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΓΕΡΜΑΣΟΓΕΙΑΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ 1986-1998





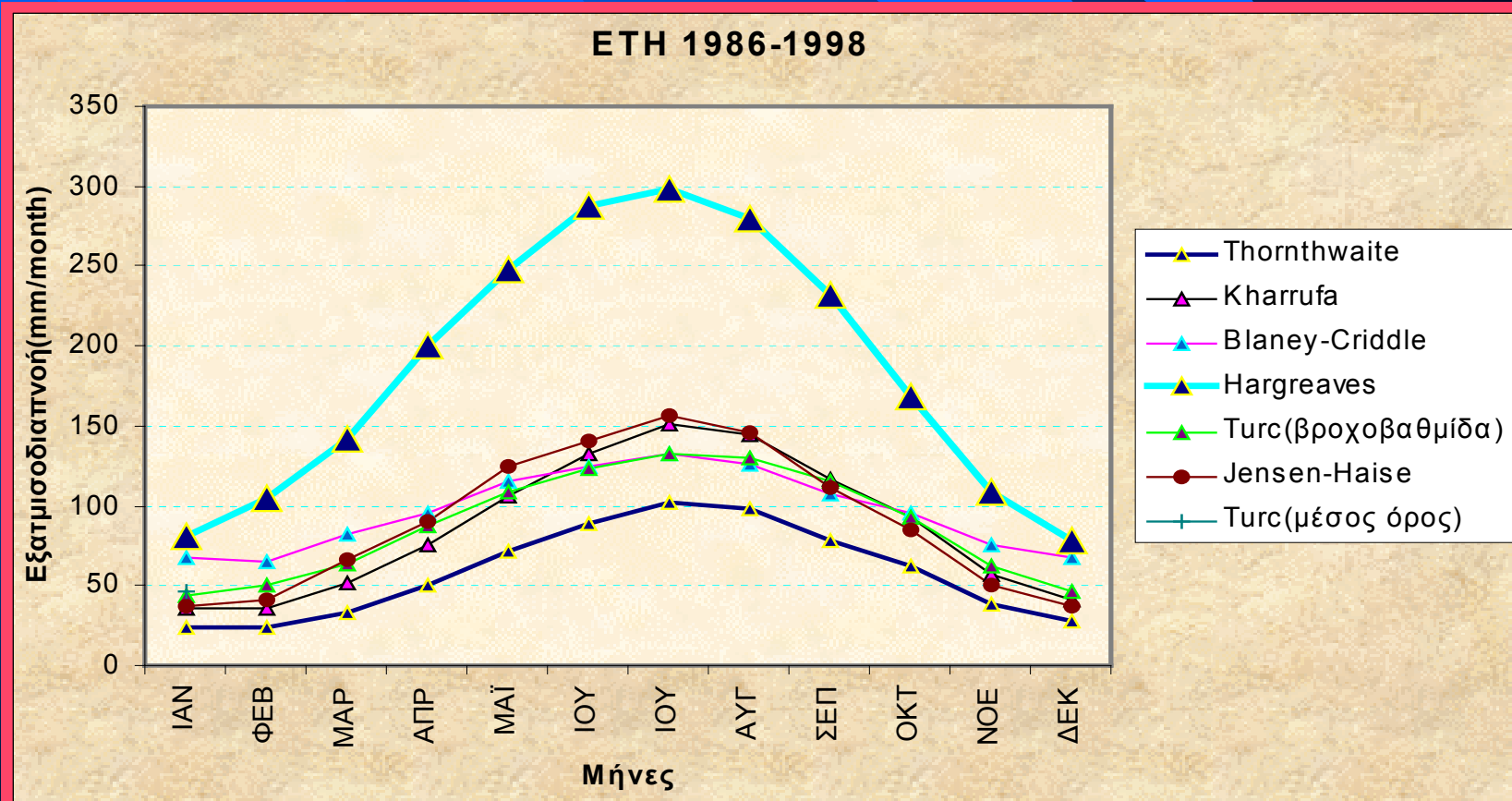
ΜΟΝΤΕΛΑ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΔΥΝΗΤΙΚΗΣ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗΣ

- ΜΟΝΤΕΛΑ ΒΑΣΙΣΜΕΝΑ ΣΕ ΣΥΣΧΕΤΙΣΕΙΣ
- ΜΟΝΤΕΛΑ ΒΑΣΙΣΜΕΝΑ ΣΤΗΝ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ
- ΜΟΝΤΕΛΟ TURC (1954)
- ΜΟΝΤΕΛΑ JENSEN-HAISE (1963)
- ΜΟΝΤΕΛΑ ΒΑΣΙΣΜΕΝΑ ΣΤΗΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ
- ΜΟΝΤΕΛΟ THORNTHWAITE (1948)
- ΜΟΝΤΕΛΟ BLANEY-CRIDDLE (1959)
- ΜΟΝΤΕΛΟ HARGREAVES (1974)
- ΜΟΝΤΕΛΟ KHARRUFA (1985)





ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΔΥΝΗΤΙΚΗΣ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ 1986-1998





ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ

- Split Sample test
- Βελτιστοποίηση Μοντέλων για 6 υδρολογικά έτη (Οκτ 1986-Σεπ 1992)
- Πιστοποίηση μοντέλων για 6 υδρολογικά έτη (Οκτ 1992-Σεπ 1998)
- Η βελτιστοποίηση των παραμέτρων των μοντέλων έγινε με την Simplex Downhill Algorithm
- Αντικειμενική Συνάρτηση: Nash-Sutcliffe Efficiency (Eff)

$$Eff = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Qobs_i - Qsim_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Qobs_i - \overline{Qobs})^2}$$

$Qobs_i$

η παρατηρούμενη απορροή του μήνα i ,

$Qsim_i$

η υπολογισμένη απορροή του μήνα i , και

\overline{Qobs}

η μέση παρατηρούμενη απορροή για την περίοδο της προσομοίωσης





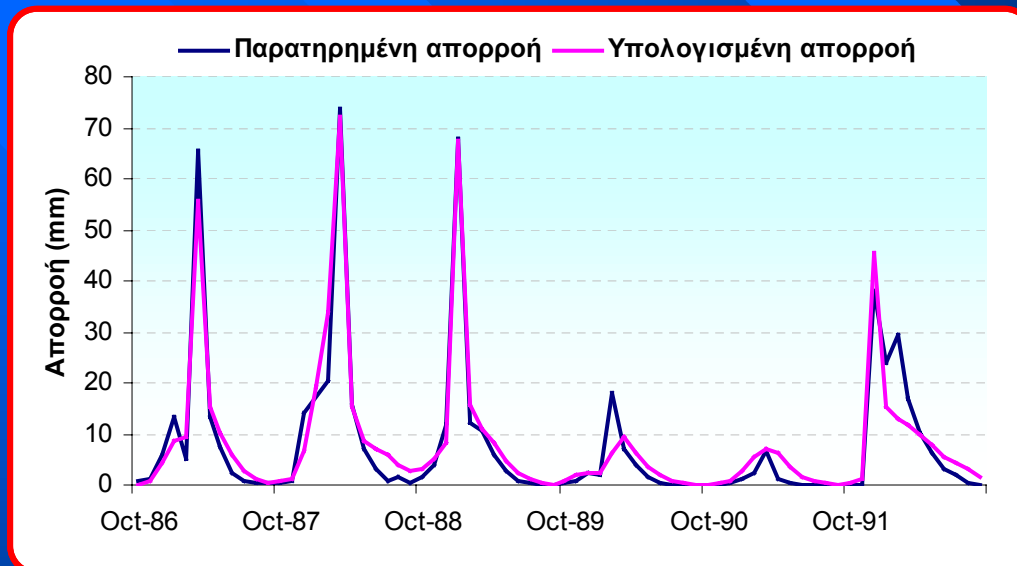
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

	Εύρος Στατιστικών Παραμέτρων	Eff		R ²		DV(%)		Μέση Q _{cal} (mm)		Μέση Q _{obs} (mm)	
		ΒΕΛ	ΠΙΣ	ΒΕΛ	ΠΙΣ	ΒΕΛ	ΠΙΣ	ΒΕΛ	ΠΙΣ	ΒΕΛ	ΠΙΣ
Νέο Μοντέλο	Min	0.88	0.49	0.88	0.50	1.13	-8.16	7.98	4.75	7.89	5.17
	Max	0.93	0.80	0.93	0.82	9.69	13.42	8.65	5.86		
Model Abulohom et al.	Min	0.79	0.34	0.80	0.38	-14.70	-38.78	6.73	3.16		
	Max	0.89	0.83	0.90	0.85	19.01	23.83	9.39	6.40		
Model Giakoumakis et al.	Min	0.25	0.33	0.38	0.53	-64.18	-77.52	2.83	1.16		
	Max	0.81	0.84	0.84	0.87	-31.05	-31.80	5.44	3.53		
Model Alley	Min	-0.04	-0.24	0.26	0.14	-62.30	-86.27	2.97	0.71		
	Max	0.66	0.45	0.80	0.58	-0.56	-50.31	7.84	2.57		

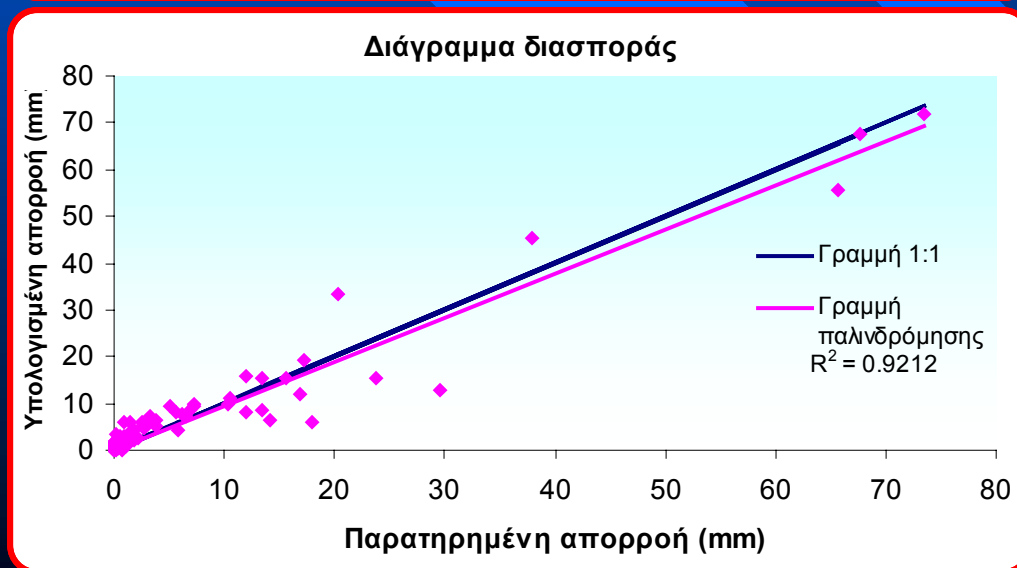




ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

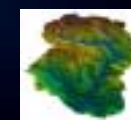


- ΝΕΟ ΜΟΝΤΕΛΟ
- Βελτιστοποίηση (Οκτ 1986-Σεπ 1992)
- Μέθοδος P = Βροχοβαθμίδα
- Μέθοδος PET = Blaney-Griddle



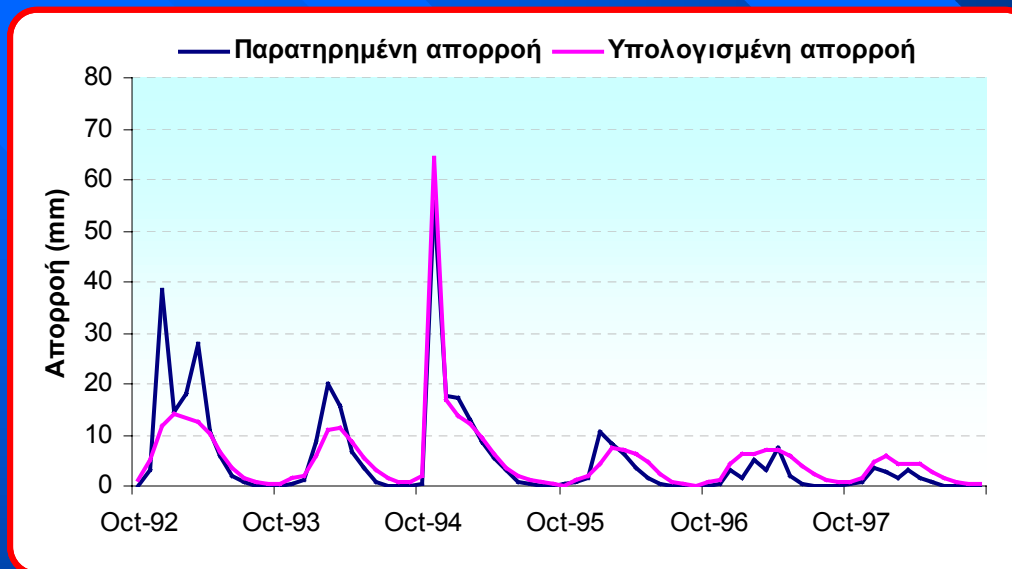
Στατιστικά Προσομοίωσης

- Eff = 0.93
- $R^2 = 0.93$
- $\Delta V (\%) = 6.14$
- Μέση $Q_{cal} = 8.37 \text{ mm}$
- Μέση $Q_{obs} = 7.89 \text{ mm}$

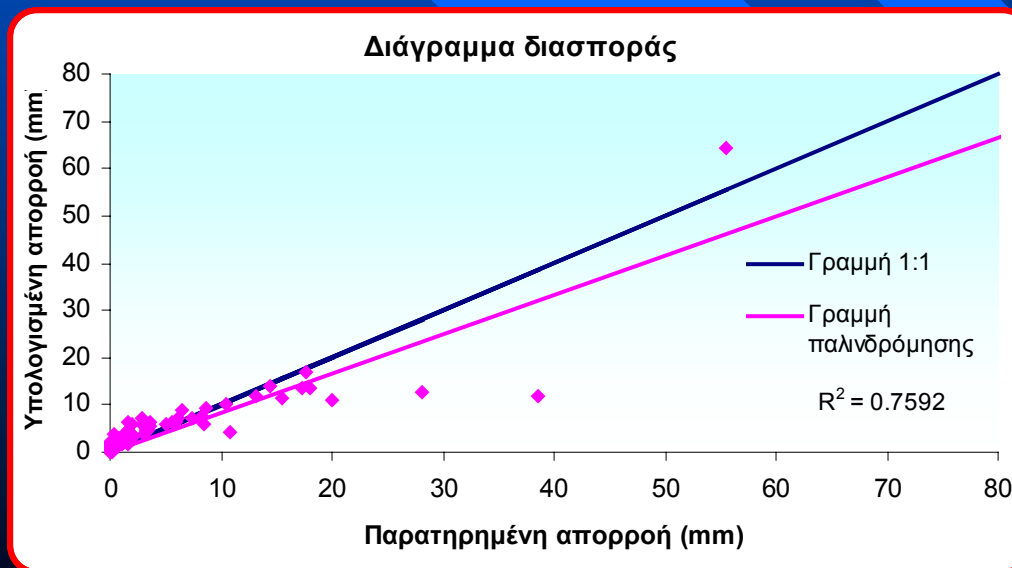




ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

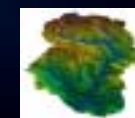
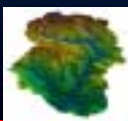


- ΝΕΟ ΜΟΝΤΕΛΟ
- Πιστοποίηση (Οκτ 1992-Σεπ 1998)
- Μέθοδος P = Βροχοβαθμίδα
- Μέθοδος PET = Blaney-Griddle



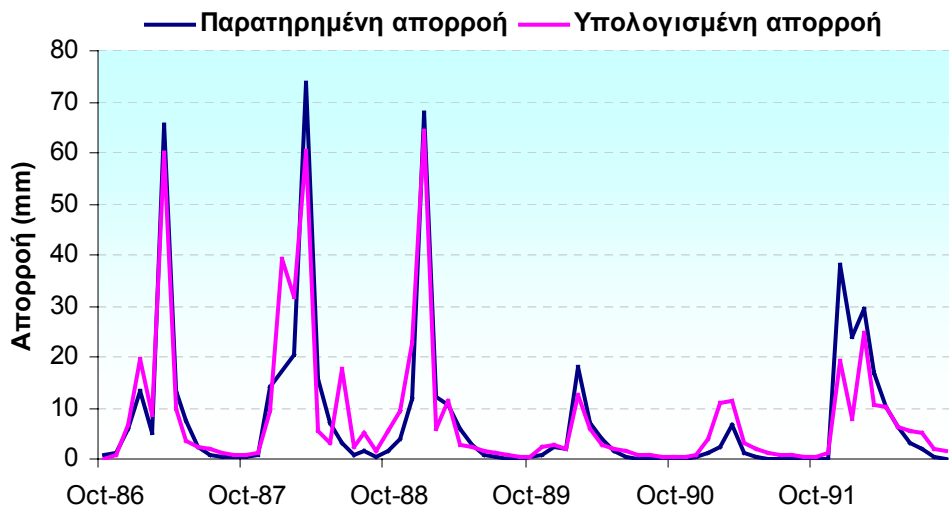
Στατιστικά Προσομοίωσης

- $Eff = 0.78$
- $R^2 = 0.78$
- $\Delta V (\%) = 2.03$
- Μέση $Q_{cal} = 5.27 \text{ mm}$
- Μέση $Q_{obs} = 5.17 \text{ mm}$

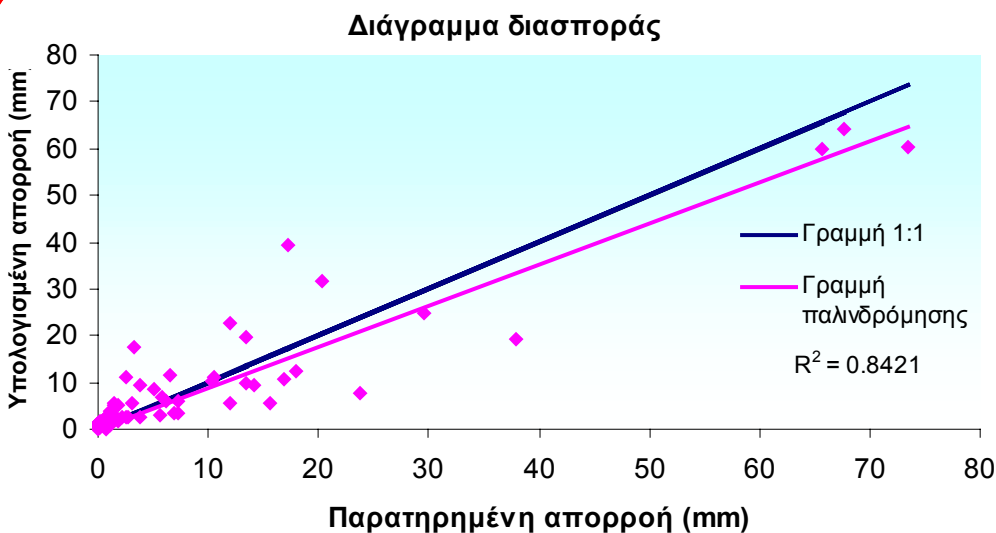




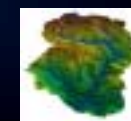
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ



- ABULOHOM et al.
- Βελτιστοποίηση (Οκτ 1986-Σεπ 1992)
- Μέθοδος P = Βροχοβαθμίδα
- Μέθοδος PET = Blaney-Griddle

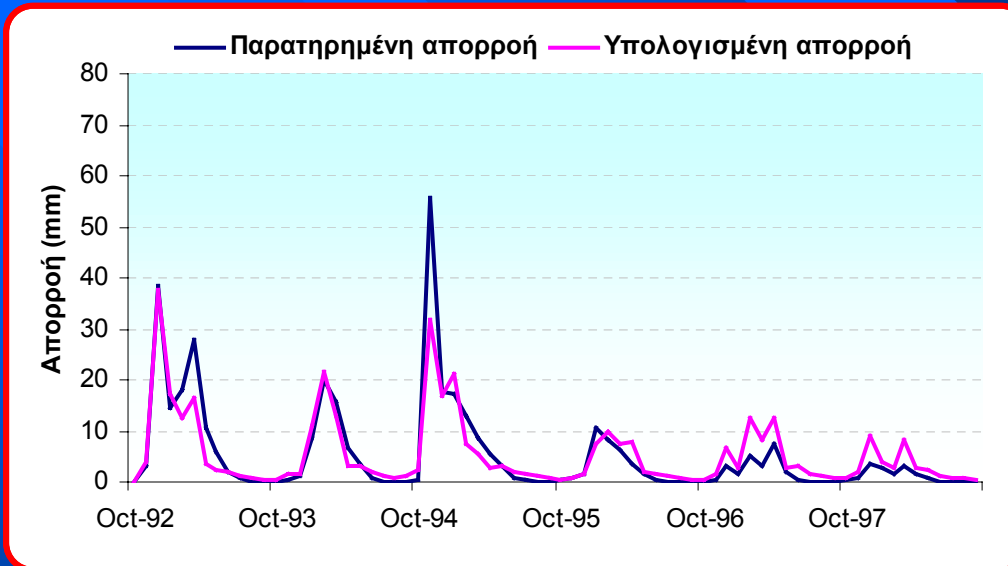


- Στατιστικά Προσομοίωσης
- $Eff = 0.85$
 - $R^2 = 0.85$
 - $\Delta V (\%) = 3.46$
 - Μέση $Q_{cal} = 8.16 \text{ mm}$
 - Μέση $Q_{obs} = 7.89 \text{ mm}$

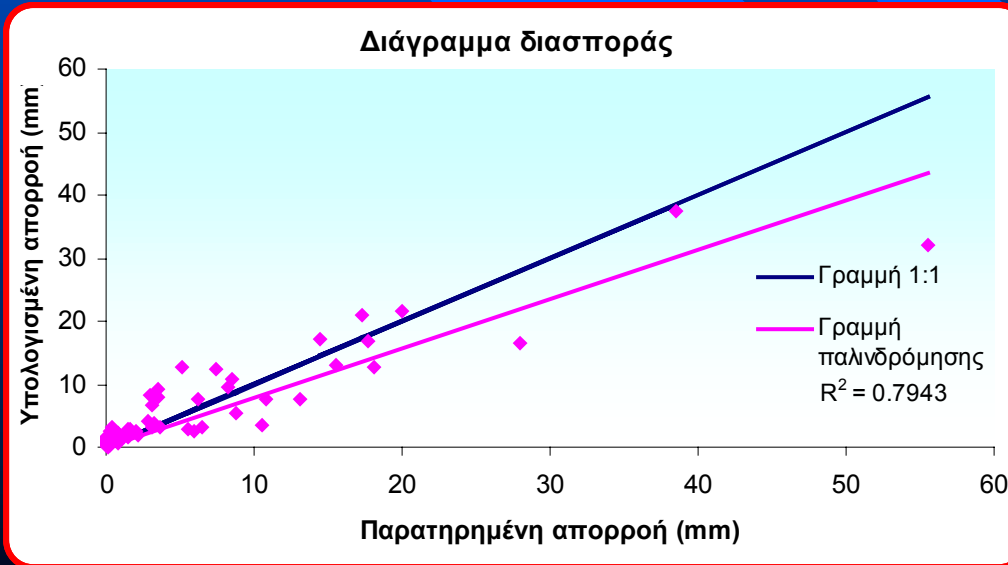




ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ



- ABULOHOM et al.
- Πιστοποίηση (Οκτ 1992-Σεπ 1998)
- Μέθοδος P = Βροχοβαθμίδα
- Μέθοδος PET = Blaney-Griddle



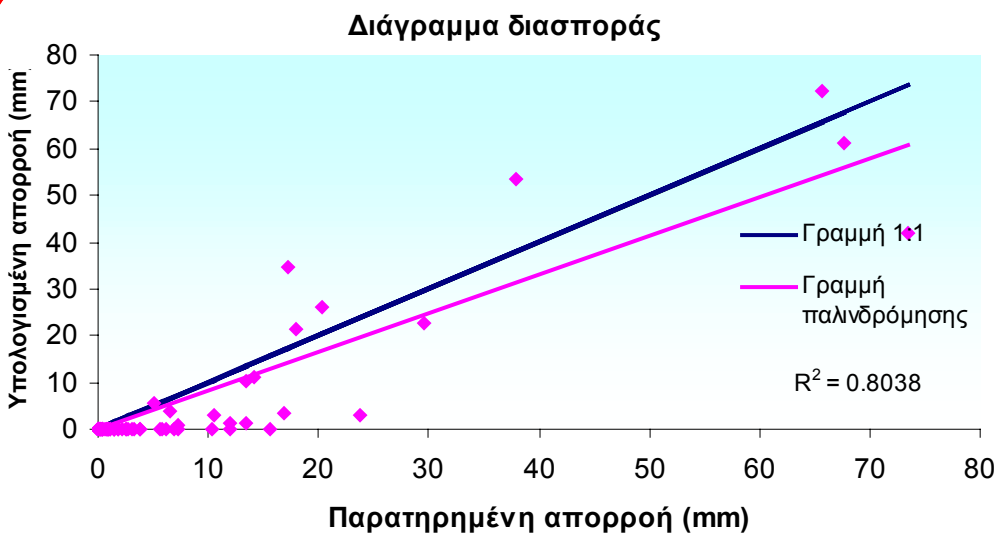
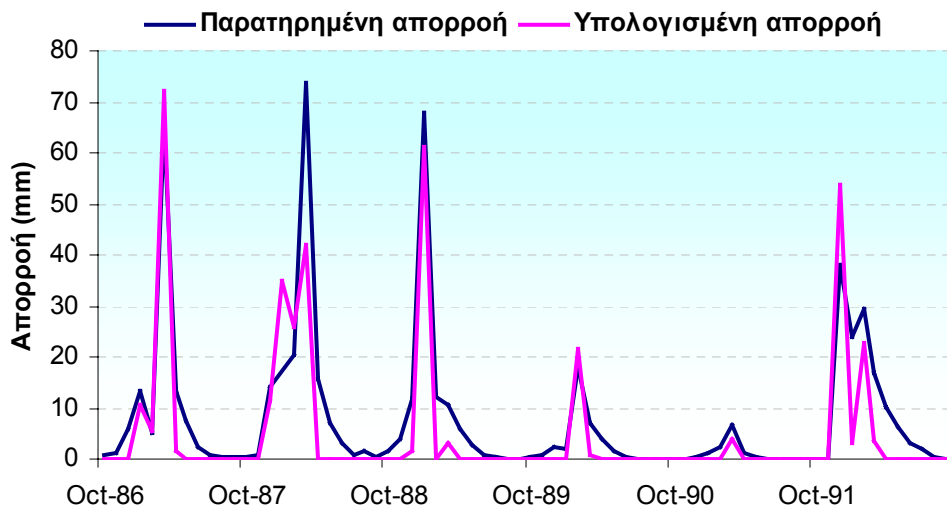
Στατιστικά Προσομοίωσης

- Eff = 0.82
- $R^2 = 0.84$
- $\Delta V (\%) = 3.32$
- Μέση $Q_{cal} = 5.34 \text{ mm}$
- Μέση $Q_{obs} = 5.17 \text{ mm}$





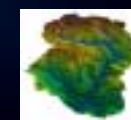
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ



- ΓΙΑΚΟΥΜΑΚΙΣ et al.
- Βελτιστοποίηση (Οκτ 1986-Σεπ 1992)
- Μέθοδος P = Thiessen
- Μέθοδος PET = Thornthwaite

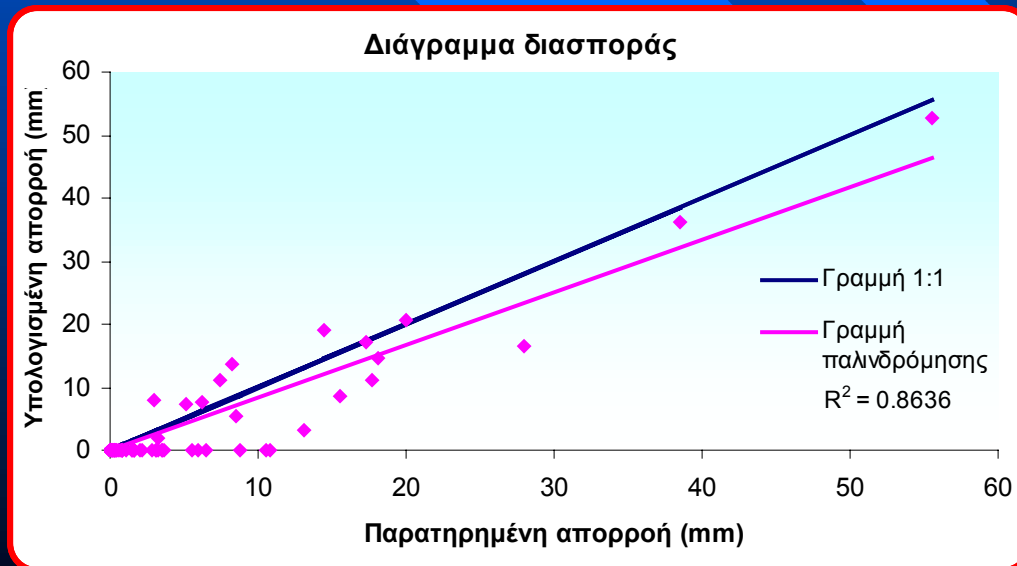
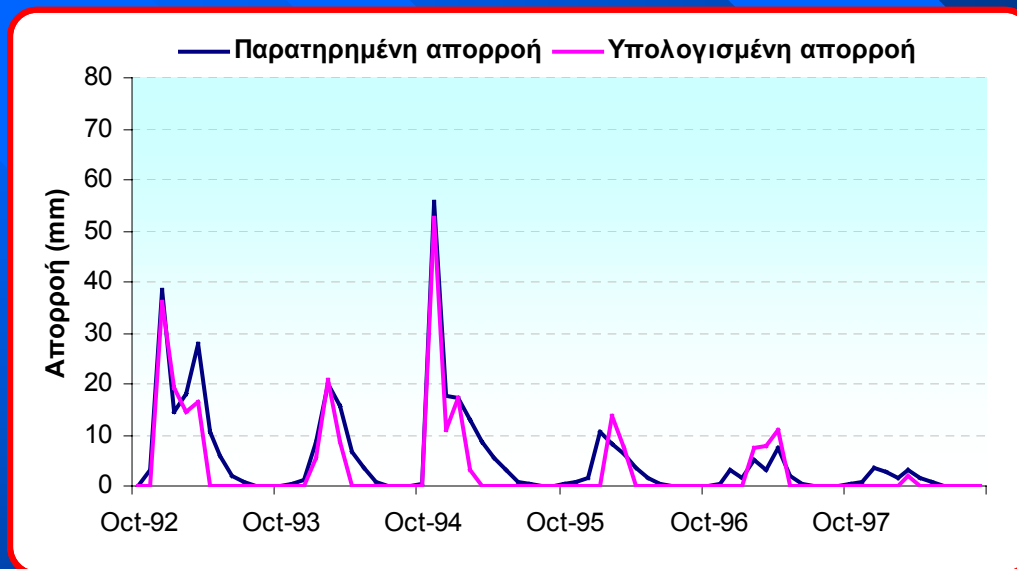
Στατιστικά Προσομοίωσης

- $Eff = 0.78$
- $R^2 = 0.81$
- $\Delta V (\%) = -33.41$
- Μέση $Q_{cal} = 5.25 \text{ mm}$
- Μέση $Q_{obs} = 7.89 \text{ mm}$





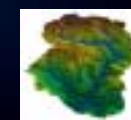
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ



- ΓΙΑΚΟΥΜΑΚΙΣ et al.
- Πιστοποίηση (Οκτ 1992-Σεπ 1998)
- Μέθοδος P = Thiessen
- Μέθοδος PET = Thornthwaite

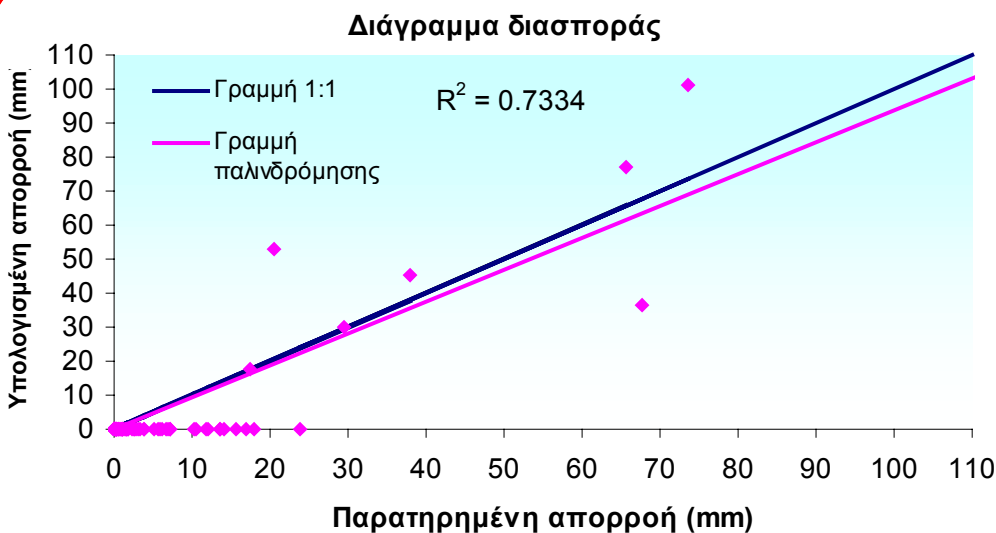
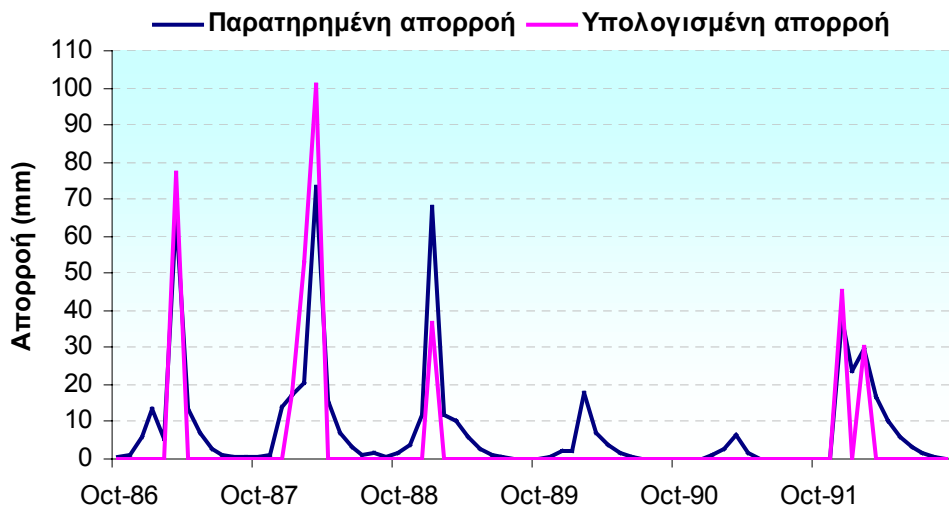
Στατιστικά Προσομοίωσης

- $Eff = 0.84$
- $R^2 = 0.87$
- $\Delta V (\%) = -31.80$
- Μέση $Q_{cal} = 3.53 \text{ mm}$
- Μέση $Q_{obs} = 5.17 \text{ mm}$





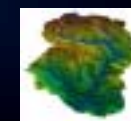
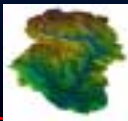
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ



- ALLEY
- Βελτιστοποίηση (Οκτ 1986-Σεπ 1992)
- Μέθοδος P = Thiessen
- Μέθοδος PET = Turc

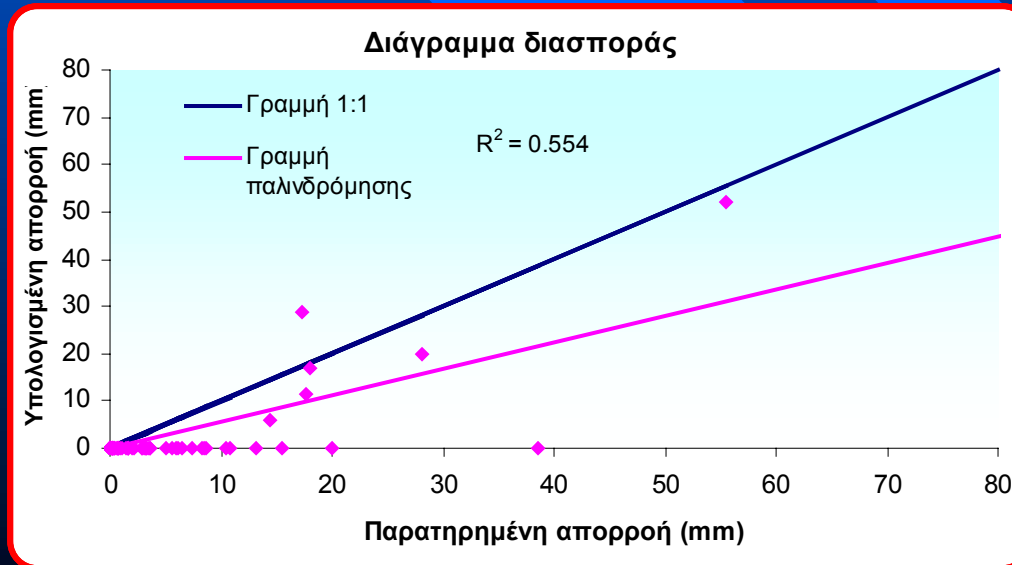
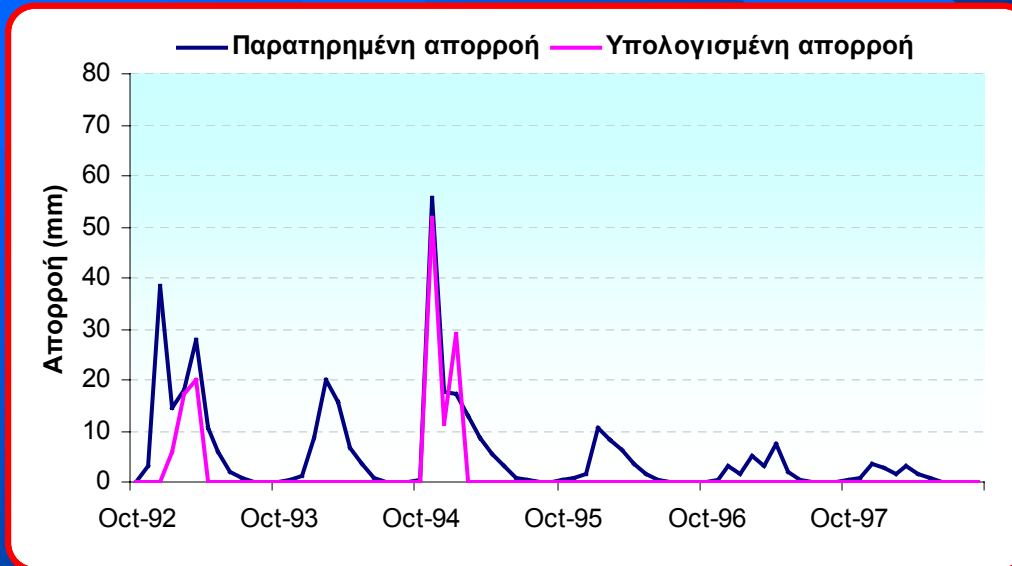
Στατιστικά Προσομοίωσης

- $Eff = 0.63$
- $R^2 = 0.76$
- $\Delta V (\%) = -36.40$
- Μέση $Q_{cal} = 5.02 \text{ mm}$
- Μέση $Q_{obs} = 7.89 \text{ mm}$





ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ



- ALLEY
- Πιστοποίηση (Οκτ 1992-Σεπ 1998)
- Μέθοδος P = Thiessen
- Μέθοδος PET = Turc

Στατιστικά Προσομοίωσης

- $Eff = 0.45$
- $R^2 = 0.58$
- $\Delta V (\%) = -63.74$
- Μέση $Q_{cal} = 1.87 \text{ mm}$
- Μέση $Q_{obs} = 5.17 \text{ mm}$





ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Βέλτιστη προσομοίωση από το προτεινόμενο νέο μοντέλο
- Πολύ καλή προσομοίωση της μορφής του υδρογραφήματος από το μοντέλο των Abulohom et al., αλλά με σημαντική απόκλιση στην εκτίμηση του όγκου απορροής
- Καλή προσομοίωση των μέγιστων απορροών από το μοντέλο των Giakoumakis et al., αλλά μηδενική εκτίμηση των χαμηλών απορροών (ξηρά έτη και καλοκαιρινές απορροές) με αποτέλεσμα τη σημαντική υποεκτίμηση του όγκου απορροής
- Απορριπτέα προσομοίωση από το μοντέλο του Alley

