



Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΓΝΩΣΗ

Ενότητα 1: Υδρολογική προσομοίωση

1.3. Μοντέλα Υδατικού Ισοζυγίου (Water Balance Models)

Καθ. Αθανάσιος Λουκάς

Εργαστήριο Υδρολογίας και Ανάλυσης Υδατικών Συστημάτων

Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

Πολυτεχνική Σχολή

Υδρολογικά μοντέλα – Μοντέλα Υδατικού Ισοζυγίου: Σύγχρονες τάσεις

- Λεπτομερής χωρική και χρονική κλίμακα προσομοίωσης
- Φυσική προσέγγιση (εφαρμογή σε λεκάνες χωρίς μετρήσεις;)
- Αξιοποίηση κατανεμημένης γεωγραφικής πληροφορίας
- Συνδυασμένη αναπαράσταση επιφανειακών και υπόγειων διεργασιών
- Σύζευξη με κλιματικά, διαχειριστικά και υδροδυναμικά μοντέλα
- Προσομοίωση ποιοτικών χαρακτηριστικών του νερού
- Παραγωγή πολλαπλών αποκρίσεων, σε πολλαπλές θέσεις
- Λειτουργία σε πραγματικό χρόνο (πρόγνωση)



Επισκόπηση υδρολογικών μοντέλων

Model name	Author(s) (year)	Remarks	Application
Thornthwaite-Mather model	Thornthwaite & Mather (1955)	Monthly, conceptual, lumped (soil moisture capacity is the single model parameter)	Quantification of real evapotranspiration in impervious basins with ephemeral flow
Stanford Watershed Model (SWM; now HSPF)	Crawford & Linsley (1962, 1966)	Continuous, lumped (35 parameters, most based on the basin's characteristics)	Assumed the standard simulation model in 60's and early 70's
HEC-1; actually implemented within HEC-HMS package	Hydrologic Engineering Center (1968, 1981, 2000)	Single storm event, provides multiple submodelling options, semi-distributed (different parameters per sub-basin), physically-based	Design of drainage systems, quantifying land-use change effects
National Weather Service – River Forecast System (NWS-RFS); also known as Sacramento model	Burnash et al. (1973)	Lumped, continuous river forecast system, with 17 parameters, typically daily timestep	Standard model for flood forecasting in USA
U.B.C. Watershed Model	Quick & Pipes (1977); Quick (1995)	Semi-Lumped, continuous, streamflow simulation, typically daily time-step	Commonly used rainfall-runoff model in Canada



Επισκόπηση υδρολογικών μοντέλων

Model name	Author(s) (year)	Remarks	Application
HBV	Bergström (1976, 1992, 1995)	Lumped, continuous, streamflow simulation, typically daily time-step	Standard model for flow forecasting in Scandinavian countries
TOPMODEL	Beven and Kirby (1976, 1979); Beven (1995)	Physically-based, distributed, continuous rainfall-runoff model; uses the concept of the “topographic index”	Suitable for catchments with shallow soils and moderate topography, and without long dry periods
Xinjiang model	Zhao et al. (1980), Zhan & Liu (1995)	Semi-distributed, continuous simulation model, suitable for humid or semi-humid basins	Commonly used model in China for rainfall -runoff simulation, flood forecasting and water resources planning and management
Chemicals, Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems (CREAMS)	Knisel (1980)	Physically-based, field-scale (lumped), agricultural runoff, erosion and water quality model; both continuous and event type	Assessment of agricultural management Practices
GR2M	Makhlouf & Michel (1994); Mouelhi (2003); Mouelhi et al. (2006)	Lumped, conceptual, with two parameters, monthly time-step	Commonly used water balance model in France
GR4J	Perrin (2002); Perrin et al. (2003)	Lumped, conceptual, with four parameters, daily time-step	Commonly used rainfall-runoff model in France



Επισκόπηση υδρολογικών μοντέλων

Model name	Author(s) (year)	Remarks	Application
SFB; now replaced by AWBM (Australian Water Balance Model)	Boughton (1984); Boughton & Carroll, (1993)	Conceptual, lumped, implements a daily version for estimation of water yield and an hourly version for flood estimation; embeds automatic calibration routines	Most widely used rainfall-runoff models in Australia; recently adapted for use on ungauged catchments
Simulator for Water Resources in Rural Basins (SWRRBW)	Williams et al. (1985); Arnold et al. (1990)	Continuous, semi-distributed, runoff and sediment transport in rural watersheds	Assessment of water management decisions in ungauged rural basins in USA
Système Hydrologique Européenne (SHE); implemented within MIKESHE and SHETRAN packages	Abbott et al. (1986)	Physically-based, distributed (grid-based), continuous streamflow and sediment simulation (SHETRAN); detailed modelling processes in unsaturated and saturated zones; contains thousands of parameters	Standard model for hydrologic analysis in most European countries
ARNO (Arno river) model	Todini (1988, 1996)	Semi-distributed, continuous rainfall model	Commonly used rainfall-runoff model in Italy
Soil & Water Assessment Tool (SWAT)	Arnold et al. (1998)	Distributed, physically-based, continuous simulation model (embeds routines from CREAMS, SWRRBW and other models)	Assessment of impacts of land management practices on water, sediment and agricultural chemical yields in large, complex watersheds

UNIVERSITY OF THESSALY WATER BALANCE MODEL

UTHBAL Model

- Μηνιαίο εννοιολογικό μοντέλο υδατικού ισοζυγίου UTHBAL [Loukas et al., 2007]
- Το μοντέλο αναπτύχθηκε στο Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας αρχικά σε αδρομερή μορφή [Λουκάς και συνεργάτες, 2003] και εξελίχθηκε ώστε να προσομοιώσει το υδρολογικό ισοζύγιο για ορεινές λεκάνες με την προσθήκη υπορουτίνας χιονιού [Loukas et al., 2007] και ανά υψομετρικές ζώνες ή ομοιογενείς υδρολογικά περιοχές ή σε πλήρη κατανεμημένη μορφή [Λουκάς και συνεργάτες, 2006; Λουκάς και συνεργάτες, 2007; Loukas et al., 2008].
- Το μοντέλο στην αδρομερή του μορφή έχει εφαρμοσθεί με επιτυχία σε λεκάνες απορροής της Κύπρου, της Κρήτης και της Θεσσαλίας [Λουκάς και συνεργάτες, 2003; Christodoulaki et al., 2003; Loukas et al., 2007] καθώς και στη διασυνοριακή λεκάνη απορροής του Νέστου ποταμού [Καμπράγκου, 2006].



UNIVERSITY OF THESSALY WATER BALANCE MODEL

UTHBAL Model

- Δεδομένα εισόδου
 - χρονοσειρές μηνιαίας υετόπτωσης,
 - μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας, και
 - μηνιαίας δυνητικής εξατμισοδιαπνοής
- Διαχωρισμός υετόπτωσης σε βροχόπτωση και χιονόπτωση.
 - Το ποσοστό των συνολικών μηνιαίων κατακρημνισμάτων που θεωρείται χιονόπτωση εκτιμάται από μια λογιστική (logistic) σχέση που έχει χρησιμοποιηθεί στην λεκάνη του Στρυμώνα και βασίζεται στη μέση μηνιαία θερμοκρασία του αέρα.
 - Από τη διάκριση αυτή υπολογίζεται η μηνιαία χιονόπτωση. Η δυνητική μηνιαία τήξη του χιονιού υπολογίζεται με απλή γραμμική σχέση (degree-day method) με τη χρήση της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας.
 - Από τους υπολογισμούς αυτούς υπολογίζεται το ισοδύναμο ύψος χιονιού που συσσωρεύεται στο έδαφος καθώς και αυτό που λιώνει και είναι διαθέσιμο προς απορροή. Η παράμετρος της μοναδιαίας τήξης χιονιού, C_m (mm/ °C/μήνα), αποτελεί την πρώτη παράμετρο του μοντέλου. Η μηνιαία βροχόπτωση και το μηνιαίο ισοδύναμο ύψος χιονιού που λιώνει αποτελούν την μηνιαία ψευδο-υετόπτωση.



UNIVERSITY OF THESSALY WATER BALANCE MODEL

UTHBAL Model

- Πρώτη προτεραιότητα στο υδατικό ισοζύγιο πριν τη δημιουργία απορροής αποτελεί η ικανοποίηση της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής.
 - Η μηνιαία πραγματική εξατμισοδιαπνοή υπολογίζεται από τη σχέση που πρότειναν οι Vandewiele and Win [1998].
- Το μοντέλο διακρίνει την συνολική απορροή σε τρεις συνιστώσες απορροής, δηλαδή, την **επιφανειακή απορροή**, την **ενδιάμεση ή επιδερμική απορροή**, και τη **βασική απορροή ή απορροή που προέρχεται από την εκροή του υδροφορέα**.
 - Η διάκριση της απορροής στις τρεις συνιστώσες της έγινε με τη βοήθεια ενός αλγόριθμου υπολογισμού της εδαφικής υγρασίας.
 - Στον αλγόριθμο αυτό χρησιμοποιούνται τέσσερις παράμετροι. Η πρώτη παράμετρος καθορίζει την μέγιστη δυνατή υγρασία που μπορεί να κατακρατήσει το έδαφος και είναι η παράμετρος Curve Number (CN) της μεθόδου SCS [USDA SCS, 1972]. Η δεύτερη παράμετρος, K , καθορίζει το ποσό του νερού διήθησης που φορτίζει τον υδροφορέα. Η τρίτη παράμετρος, β , καθορίζει την ενδιάμεση απορροή ενώ η τέταρτη παράμετρος, γ , καθορίζει τη βασική απορροή ή εκφόρτιση του υδροφορέα.

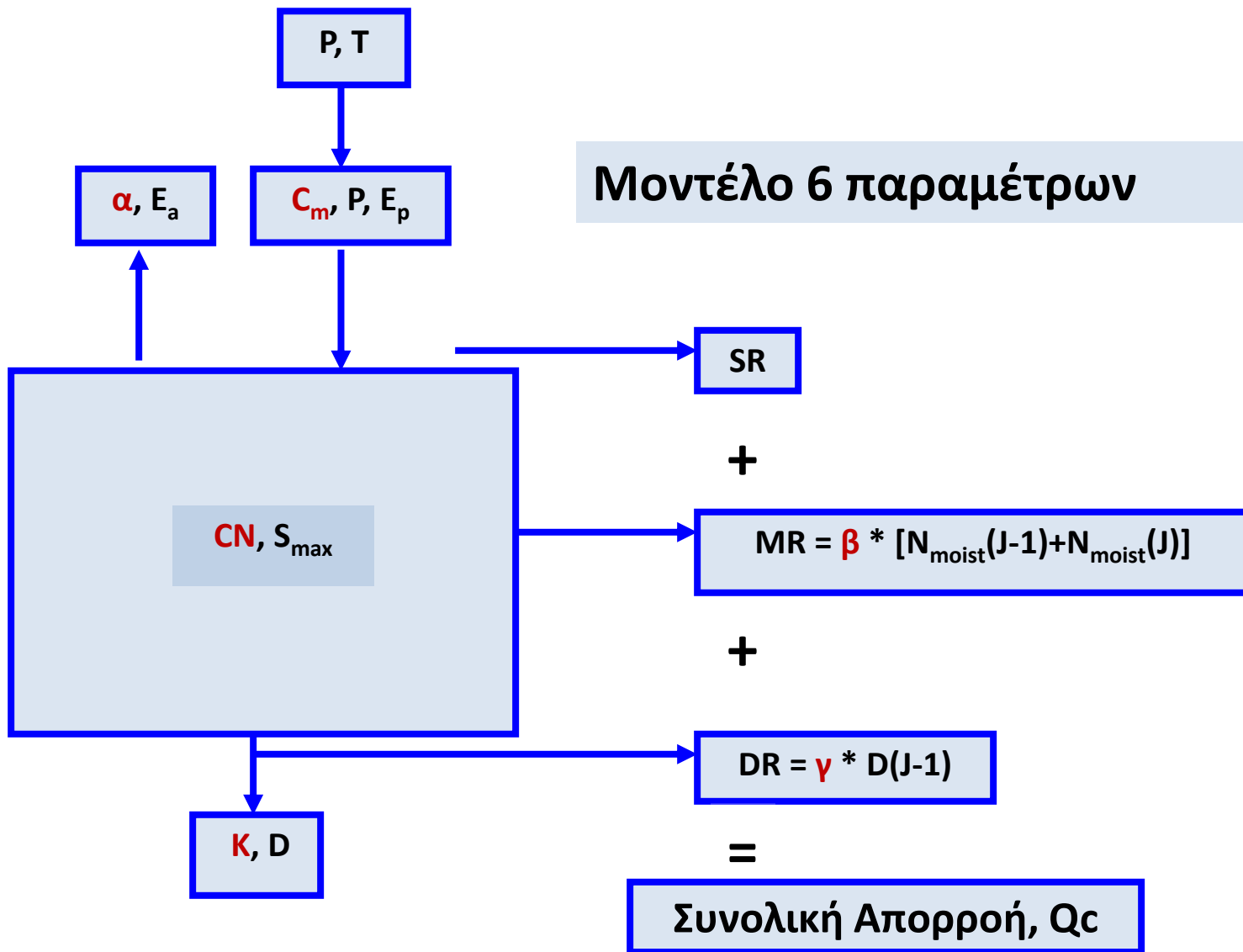
U.S.D.A. Soil Conservation Service, 1972. National Engineering Handbook. Sec. 4, Washington, D.C.

Vandewiele, G.L., and N.L. Win, 1998. Monthly water balance models for 55 basins in 10 Countries, Hydrological Sciences Journal, 43(5), 687-699.



UNIVERSITY OF THESSALY WATER BALANCE MODEL

UTHBAL Model - ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ



UNIVERSITY OF THESSALY WATER BALANCE MODEL

UTHBAL Model

- Μηνιαίο Μοντέλο Υδατικού Ισοζυγίου έξι παραμέτρων.
 - Οι τιμές των έξι παραμέτρων του μοντέλου, συνήθως ρυθμίζονται κατά τη διαδικασία της βαθμονόμησης
 - Είναι όμως δυνατόν δύο από τους παραμέτρους του μοντέλου, το CN και ο συντελεστής κατείσδυσης, K , να εκτιμηθούν άμεσα από εδαφολογικούς και γεωλογικούς αναλογικούς ή ψηφιακούς χάρτες, και χάρτες χρήσεων γης, περιορίζοντας έτσι σημαντικά τον αριθμό των παραμέτρων που πρέπει να προσδιορισθούν με τη βοήθεια μεθόδων βελτιστοποίησης [Christodoulaki et al., 2003].
- Βελτιστοποίηση με χρήση τον αλγόριθμο γενικευμένης ανηγμένης κλίσης με πολλαπλές εκκινήσεις (multi-start generalized reduced gradient algorithm) με ελαχιστοποίηση των αποκλίσεων μεταξύ παρατηρημένης και προσομοιωμένης απορροής [Smith and Lasdon, 1992].

Smith, S., and L. Lasdon, 1992. Solving Large Sparse Nonlinear Programs Using GRG, ORSA Journal on Computing, 4(1), 3-15.

Nocedal, J., and S.J. Wright, 2006. Numerical Optimization, 2nd Edition, Springer, New York

Pardalos, P.M., H.E. Romeijn, and H. Tuy, 2000. Recent developments and trends in global optimization, Journal of Computational and Applied Mathematics, 124, 209-228.



UNIVERSITY OF THESSALY WATER BALANCE MODEL

UTHBAL Model

- Αλγόριθμος γενικευμένης ανηγμένης κλίσης με πολλαπλές εκκινήσεις (multi-start generalized reduced gradient algorithm) [Smith and Lasdon, 1992].
- Συνδυασμός μεθόδου τυχαίας δειγματοληψίας και προσδιοριστικής αναζήτησης τοπικών ακρότατων. Κάθε τυχαίο σημείο που γεννάται, λαμβάνεται ως σημείο εκκίνησης του τοπικού επιλυτή GRG2, και η διαδικασία επαναλαμβάνεται μόλις εντοπιστεί το τοπικό ακρότατο της αντίστοιχης περιοχής έλξης. Το προφανές πλεονέκτημα της συγκριμένης προσέγγισης είναι ότι αν μέσω της τυχαίας δειγματοληψίας παραχθεί μια λύση που ανήκει στην περιοχή έλξης του ολικού ακροτάτου, τότε ο εντοπισμός του τελευταίου είναι μια τετριμμένη διαδικασία, που εγγυάται πολύ υψηλή ακρίβεια. Στην ιδανική περίπτωση, κάθε τυχαίο σημείο εκκίνησης που παράγεται πρέπει να αντιστοιχεί σε μία ακριβώς περιοχή έλξης, οπότε είναι δυνατό να εντοπιστούν όλα τα τοπικά ακρότατα της συνάρτησης.
- Μια βελτιωμένη εκδοχή της μεθόδου είναι η λεγόμενη ομαδοποίηση ή συστοίχιση (clustering), που προϋποθέτει μια προεπισκόπηση του πεδίου αναζήτησης με σκοπό τον εντοπισμό υποσχόμενων περιοχών έλξης. Στόχος είναι η επιλογή σημείων που ανήκουν σε διαφορετικές περιοχές έλξης ακροτάτων, ώστε να ελαχιστοποιηθεί ο υπολογιστικός φόρτος (αν δύο σημεία εκκίνησης ανήκουν στην ίδια περιοχή έλξης, τότε ο τοπικός επιλυτής καταλήγει εξ ορισμού στο ίδιο ακρότατο). Ο αλγόριθμος έχει εφαρμοστεί με επιτυχία σε διάφορα μη γραμμικά προβλήματα βελτιστοποίησης και αποτελεί μια καλή λύση ολικής βελτιστοποίησης [Pardalos et al., 2000; Nocedal and Wright, 2006].



ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΓΕΡΜΑΣΟΓΕΙΑΣ, ΚΥΠΡΟΣ

UTHBAL MODEL



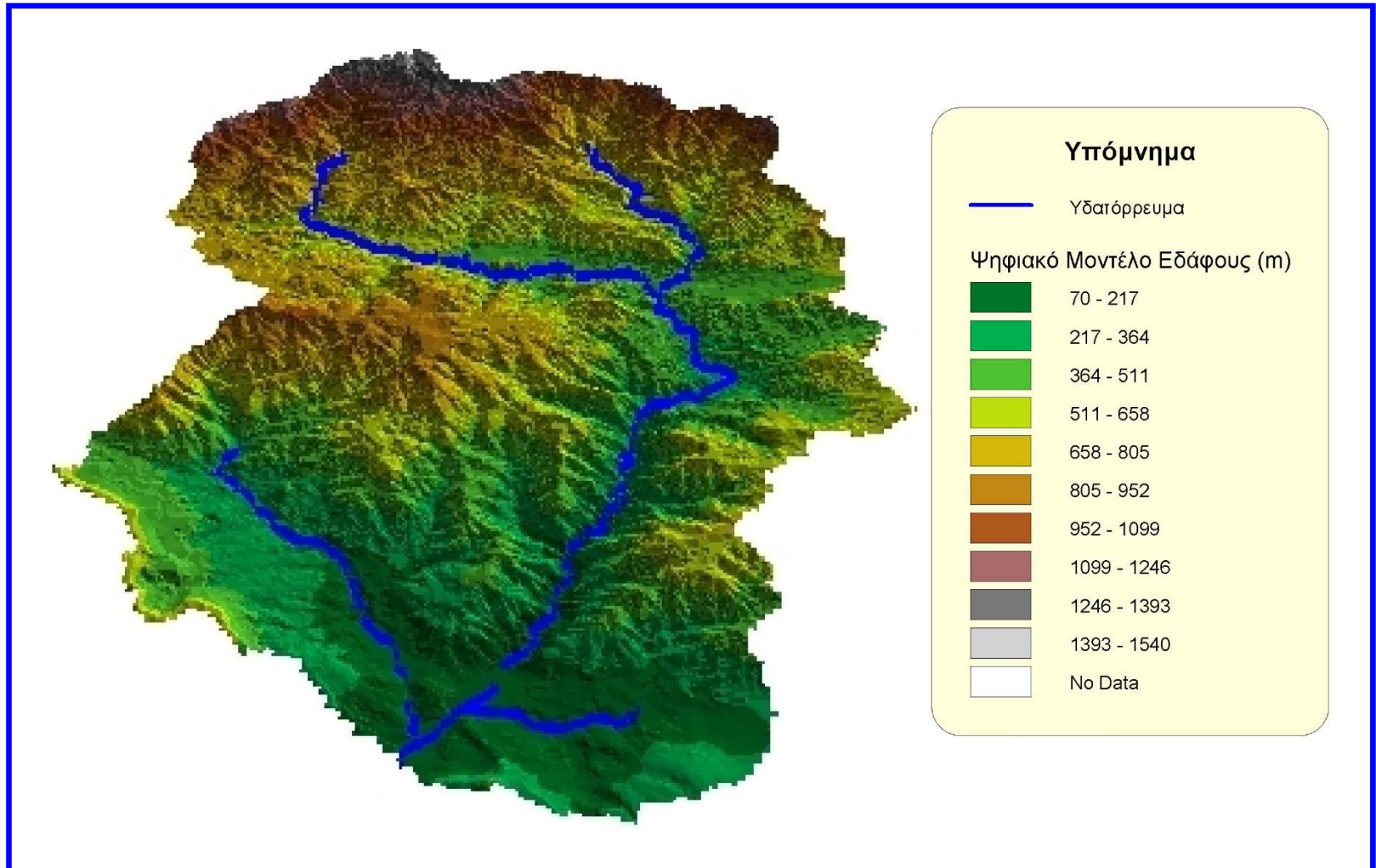
ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΚΑΙ ΣΚΟΠΟΣ

- 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

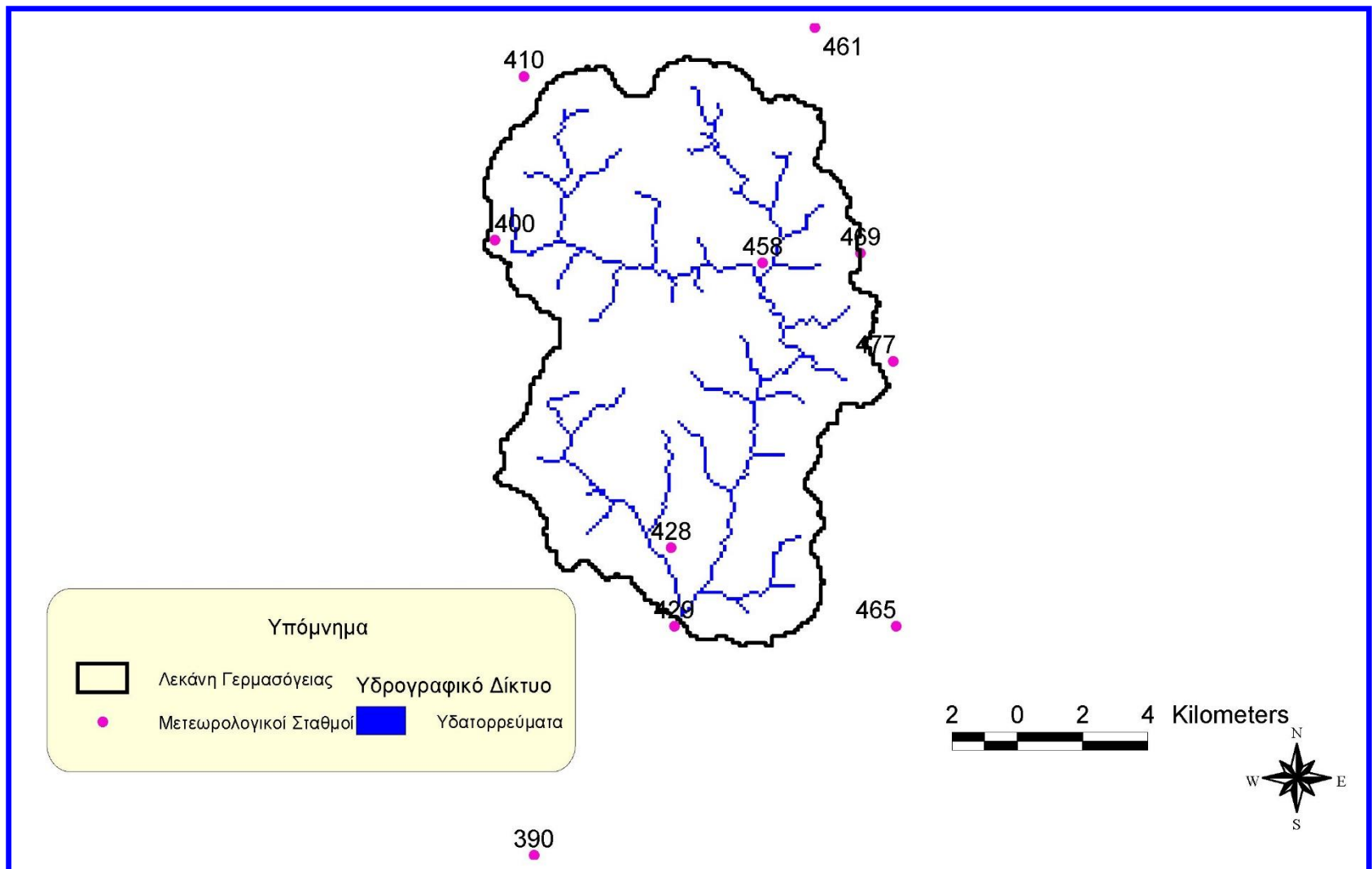


ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

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 εκτιμούμενων 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

- ΜΟΝΤΕΛΟ UTHBAL
- ΜΟΝΤΕΛΟ ABULOHOM ET AL (2001)
- ΜΟΝΤΕΛΟ GΙΑΚΟΥΜΑΚΙΣ ET AL (1991)
- ΜΟΝΤΕΛΟ THORNTHWAITE (1948) ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΑΠΟ ALLEY (1984)



ΜΟΝΤΕΛΟ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ ΥΤΗΒΑΛ

- Ικανοποίηση της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής E_a , του μήνα J

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

- Επιφανειακή απορροή, SR

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

ή

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

Οπου $AS_{moist}(J) = S_{moist}(J) - E_a(J)$ και $S_{max} = \frac{25400}{CN} - 254$, 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

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

- Η διαθέσιμη εδαφική εργασία του μήνα J, N_{moist} , υπολογίζεται από τη σχέση: $N_{moist}(J) = AS_{moist}(J) - SR(J) - D(J)$



ΜΟΝΤΕΛΟ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ ΥΤΗΒΑΛ

- Υπολογισμός ενδιάμεσης απορροής, MR

$$MR(J) = \beta * [N_{moist}(J-1) + N_{moist}(J)]$$

- Η υπολειπόμενη υγρασία στο τέλος του μήνα J, NS_{moist}

$$NS_{moist}(J) = N_{moist}(J) - MR(J)$$

- Η διαθέσιμη εδαφική εργασία για πλήρωση της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής του επόμενου μήνα J+1 είναι

$$S_{moist}(J+1) = P(J+1) + NS_{moist}(J)$$

- Η βασική απορροή ή απορροή από την εκροή του υδροφορέα, Q_g , του μήνα J υπολογίζεται από τη διήθηση, D, του προηγούμενου μήνα J-1, από τη σχέση

$$Q_g(J) = \gamma * D(J-1)$$



ΜΟΝΤΕΛΟ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ ΥΤΗΒΑΛ

- Η επαναφόρτιση του υδροφορέα, R_g , είναι ίση με

$$R_g = (1 - \gamma) * D(J - 1)$$

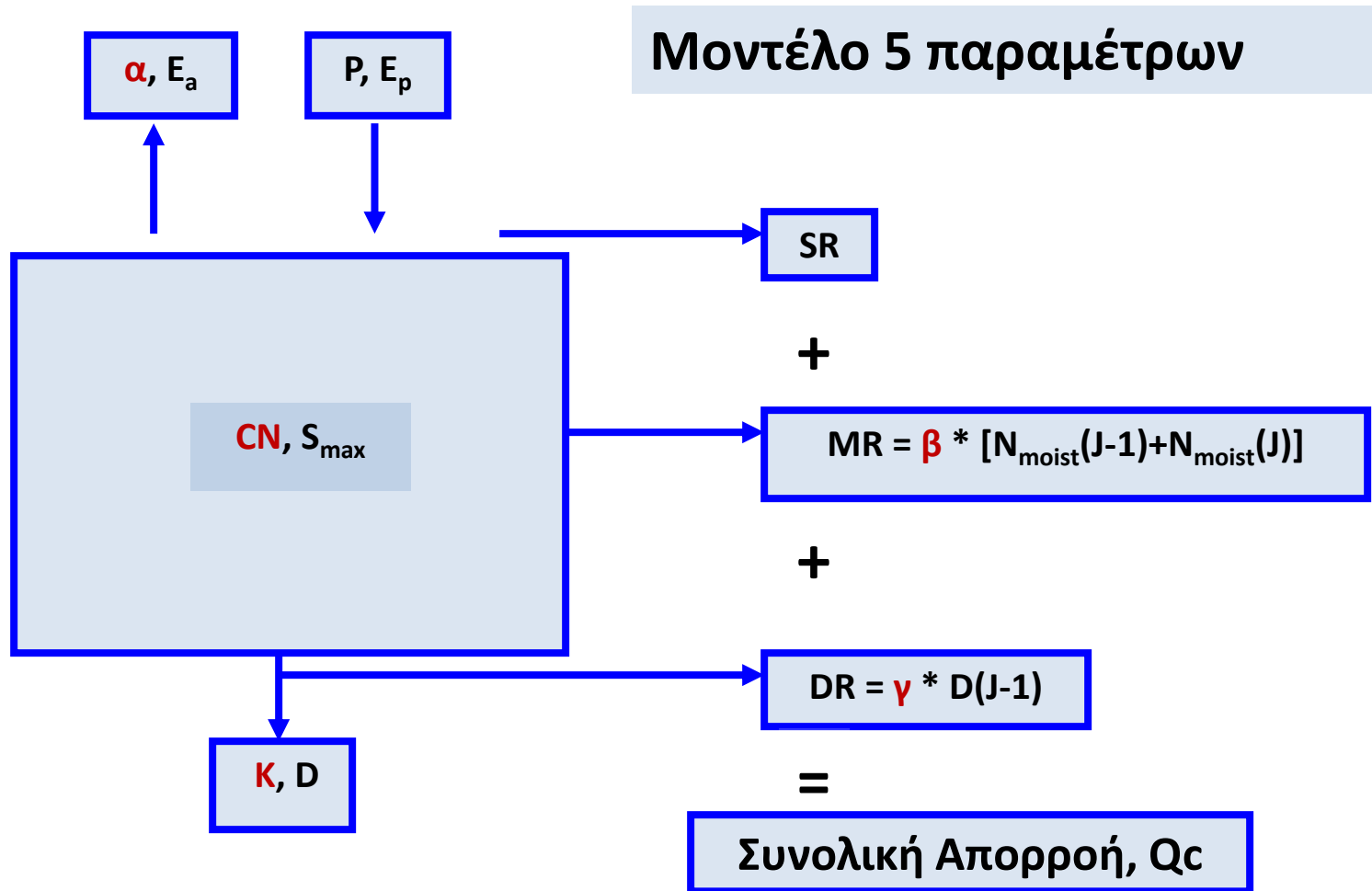
- Η συνολική απορροή, Q_c , υπολογίζεται ως άθροισμα των επιμέρους συνιστωσών της απορροής, δηλαδή της επιφανειακής απορροής, ενδιάμεσης απορροής και βασικής

$$Q_c(J) = SR(J) + MR(J) + Q_g(J)$$

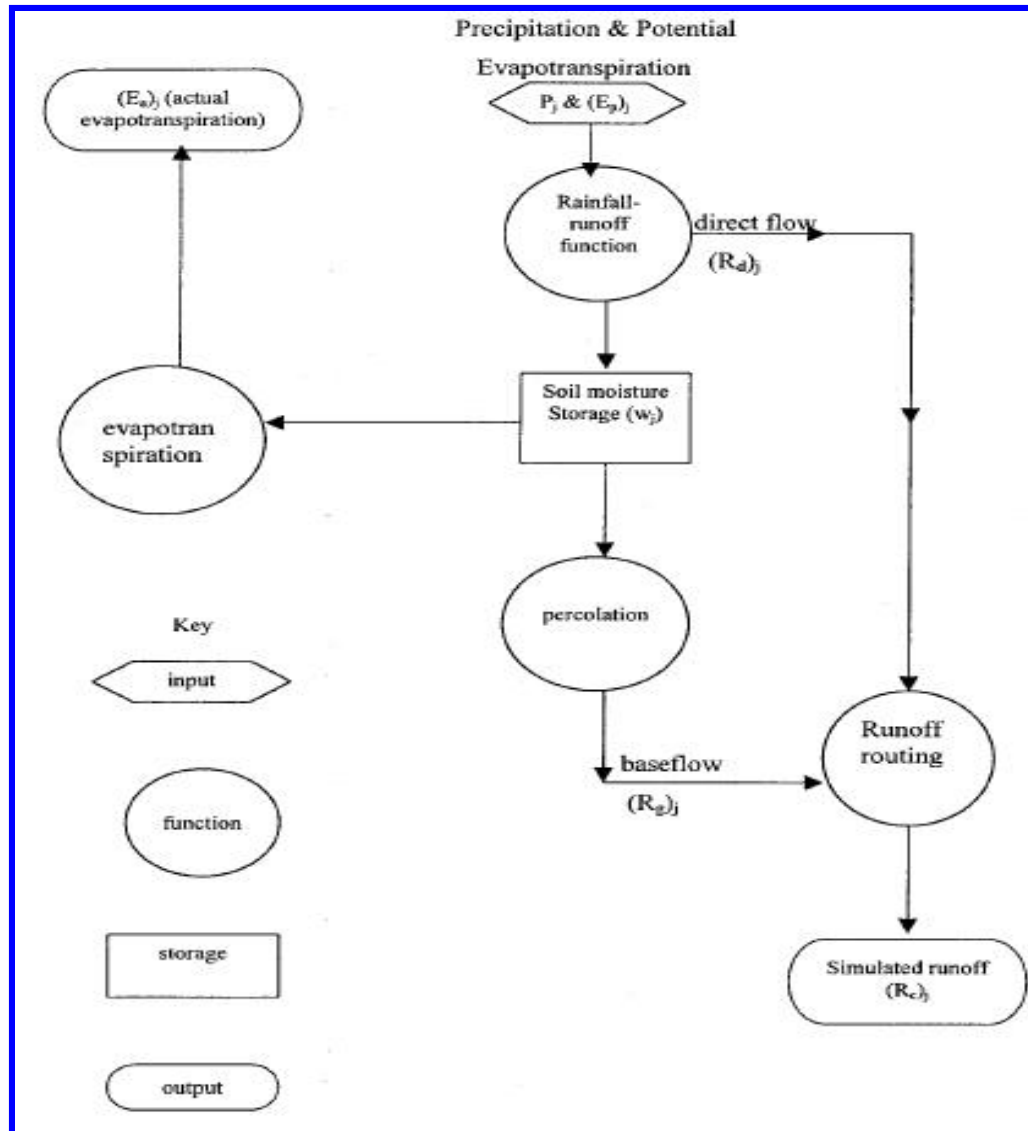
$$Q_c(J) = SR(J) + MR(J) + \gamma * D(J - 1)$$



ΥΠΗΒΑΛ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ



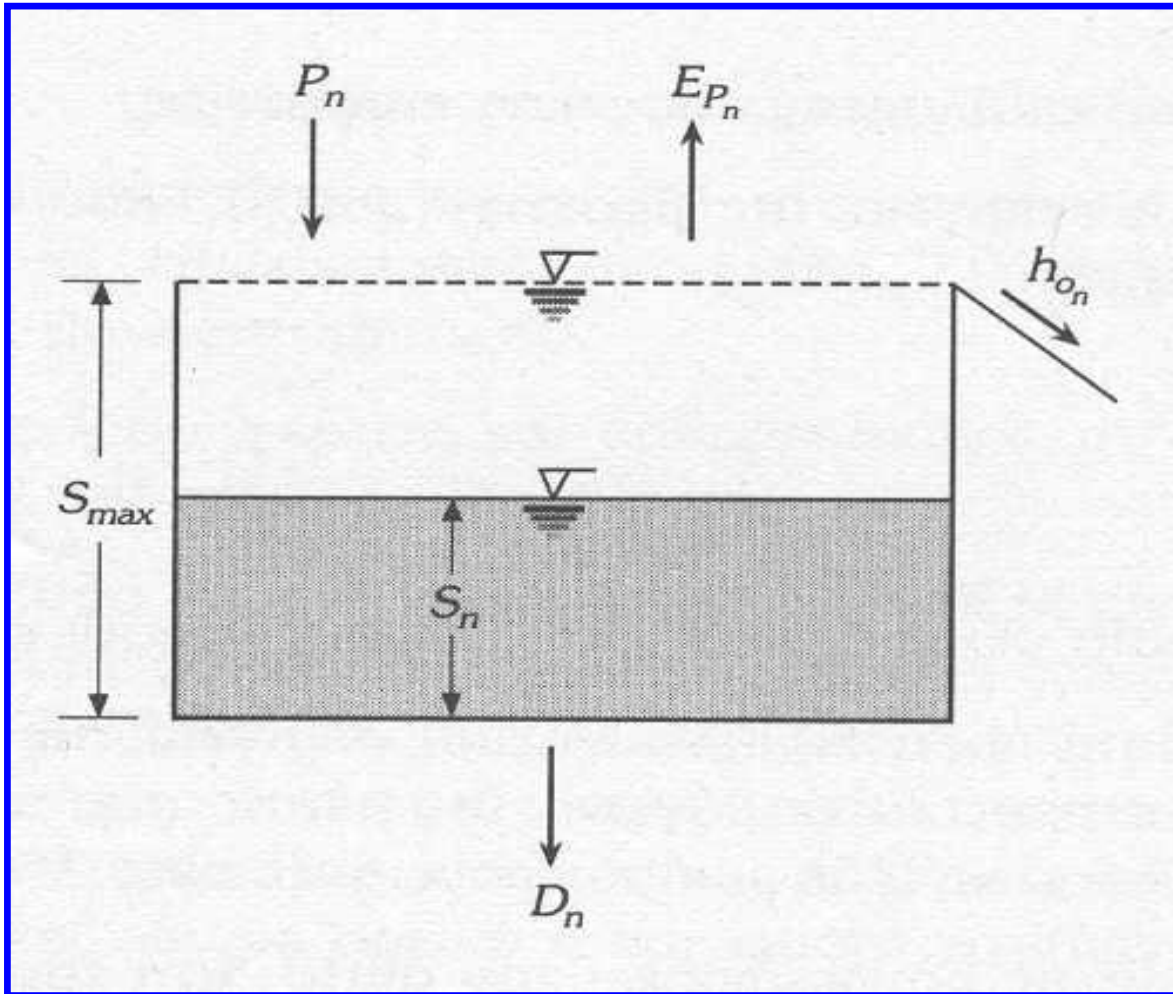
ΜΟΝΤΕΛΟ ΑΒΥΛΟΗΟΜ et al.



- 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.

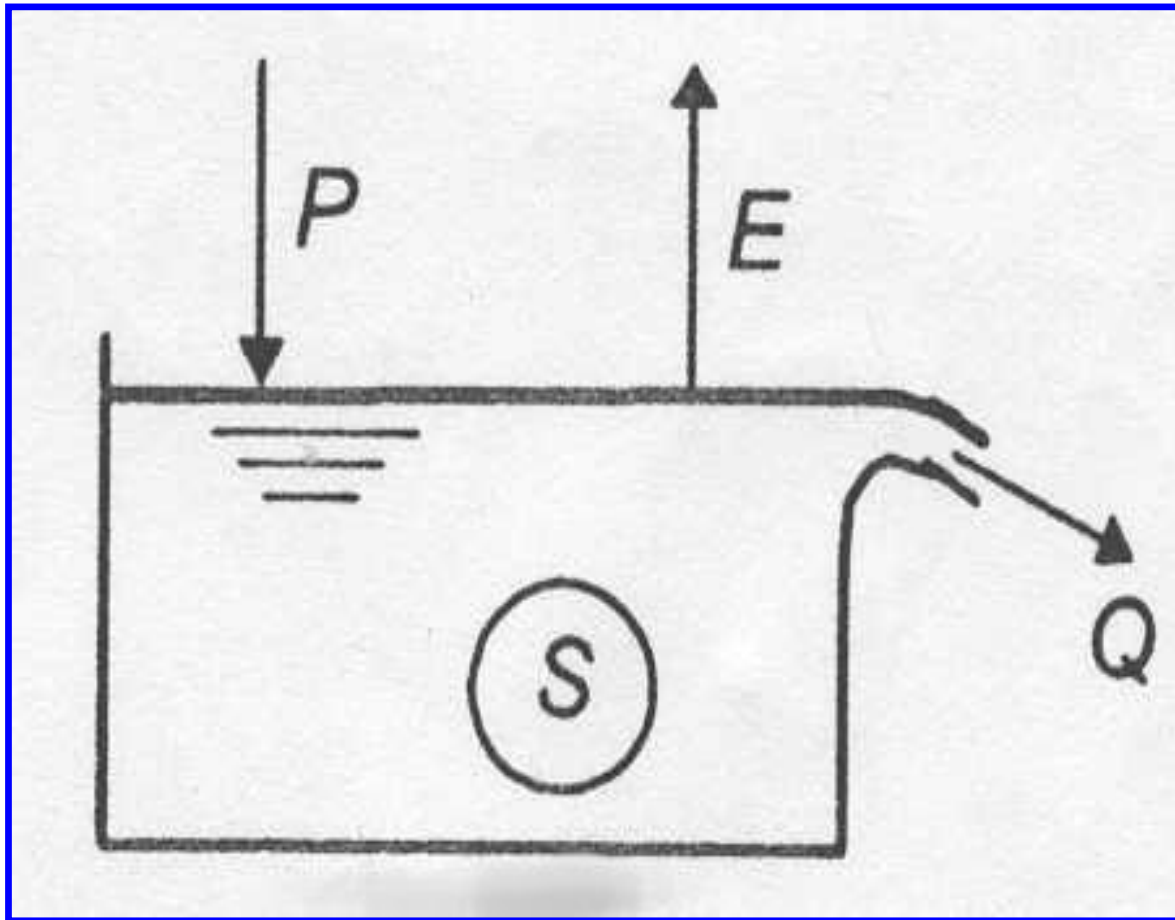


- ΜΟΝΤΕΛΟ ΔΥΟ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ
- ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ CN (%)
- ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΒΑΘΙΑΣ ΔΙΗΘΗΣΗΣ K

- 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 $P_n \geq E_{pn}$ 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



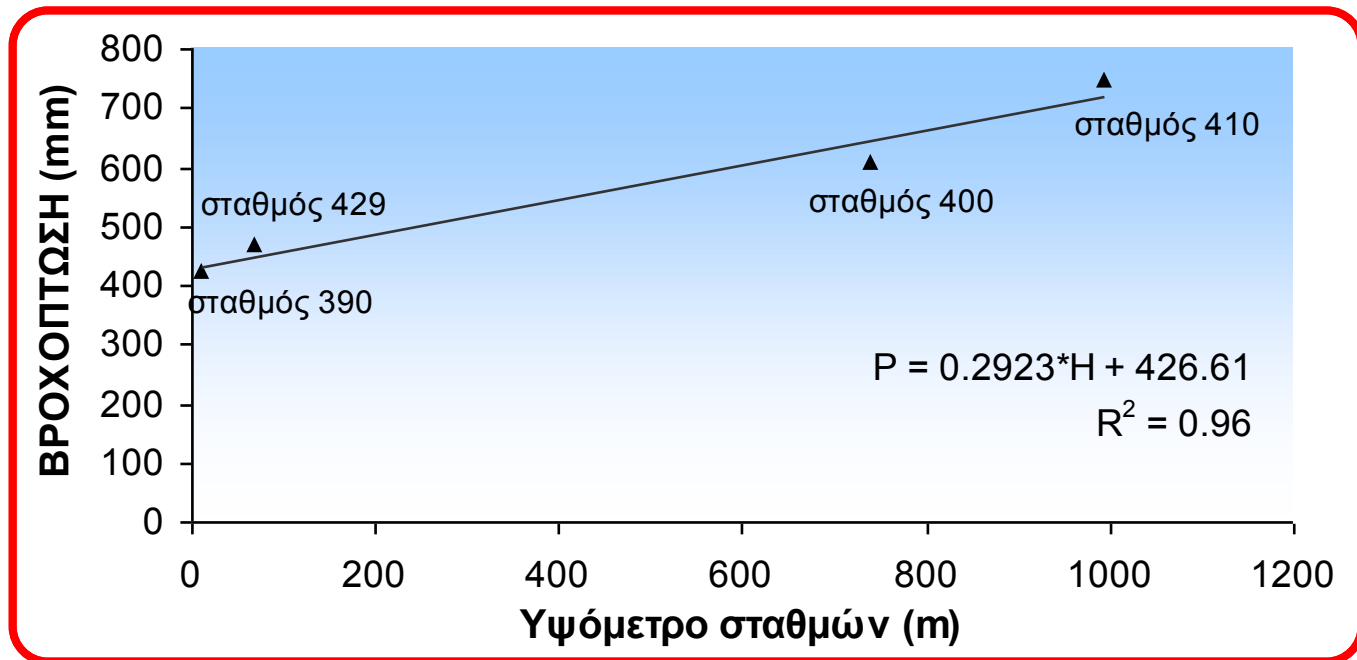
ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΓΕΡΜΑΣΟΓΕΙΑΣ

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

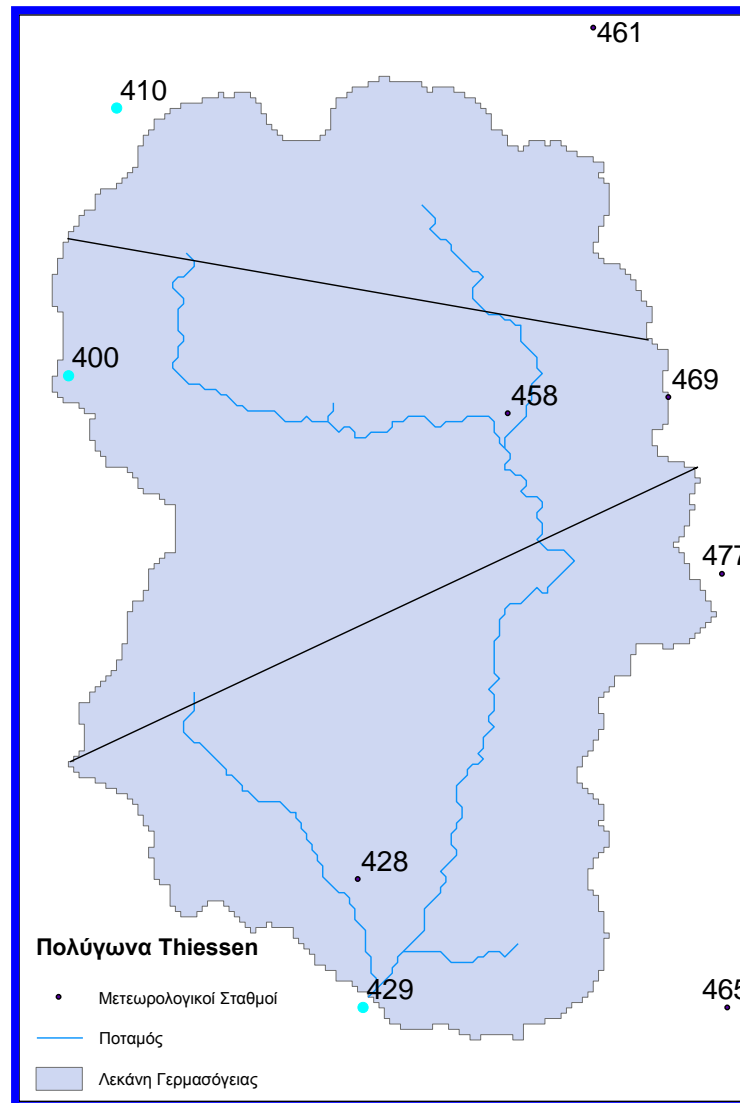


ΜΕΘΟΔΟΣ ΒΡΟΧΟΒΑΘΜΙΔΑΣ

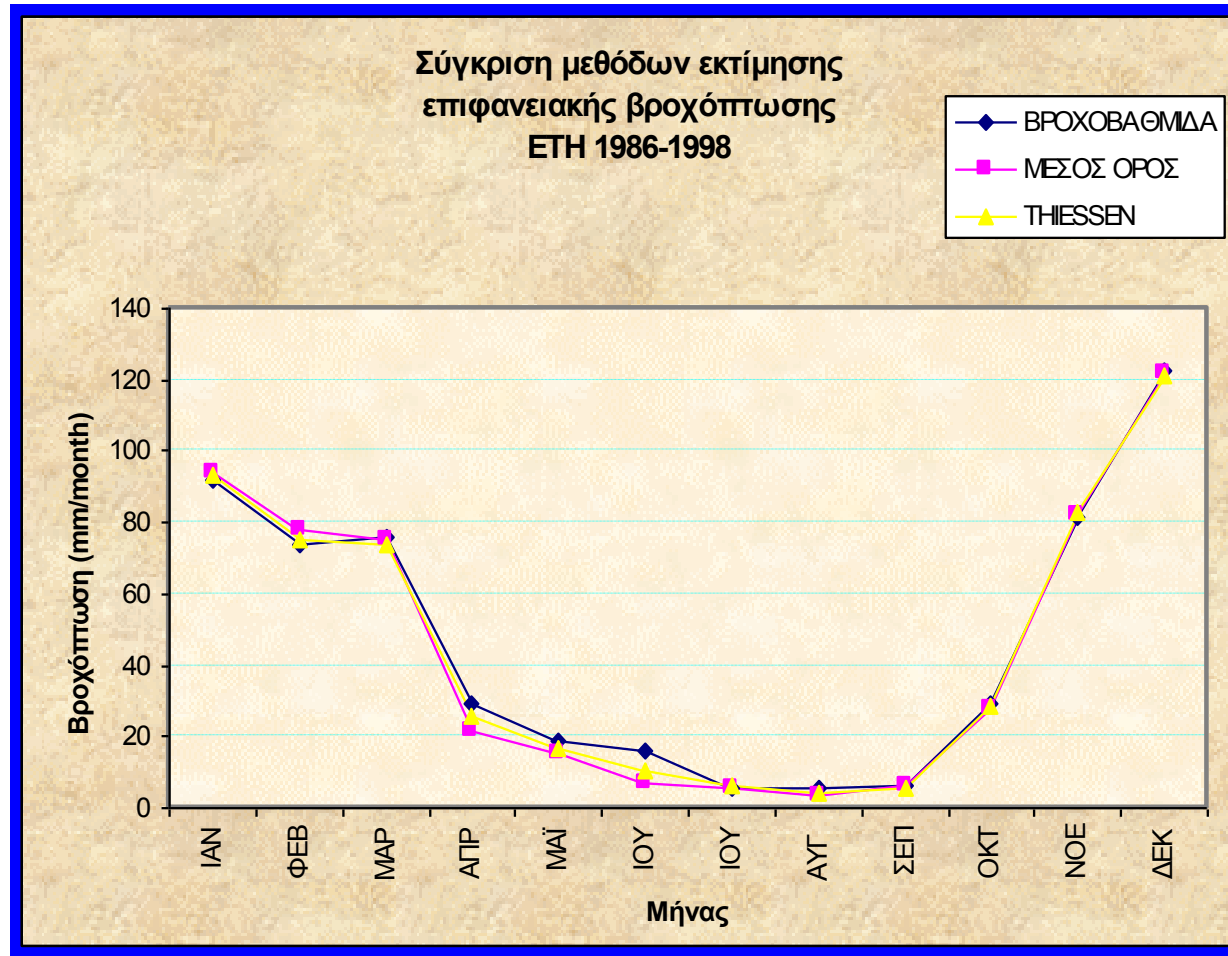
- ΑΥΞΗΣΗ ΕΤΗΣΙΟΥ ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΥΨΟΥΣ ΑΝΑ 100 ΜΕΤΡΑ ΑΥΞΗΣΗΣ ΥΨΟΜΕΤΡΟΥ
- ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΣΧΕΣΗ
- ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΠΙΜΕΡΙΣΜΟΥ



ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΟΛΥΓΩΝΩΝ THIESSEN



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

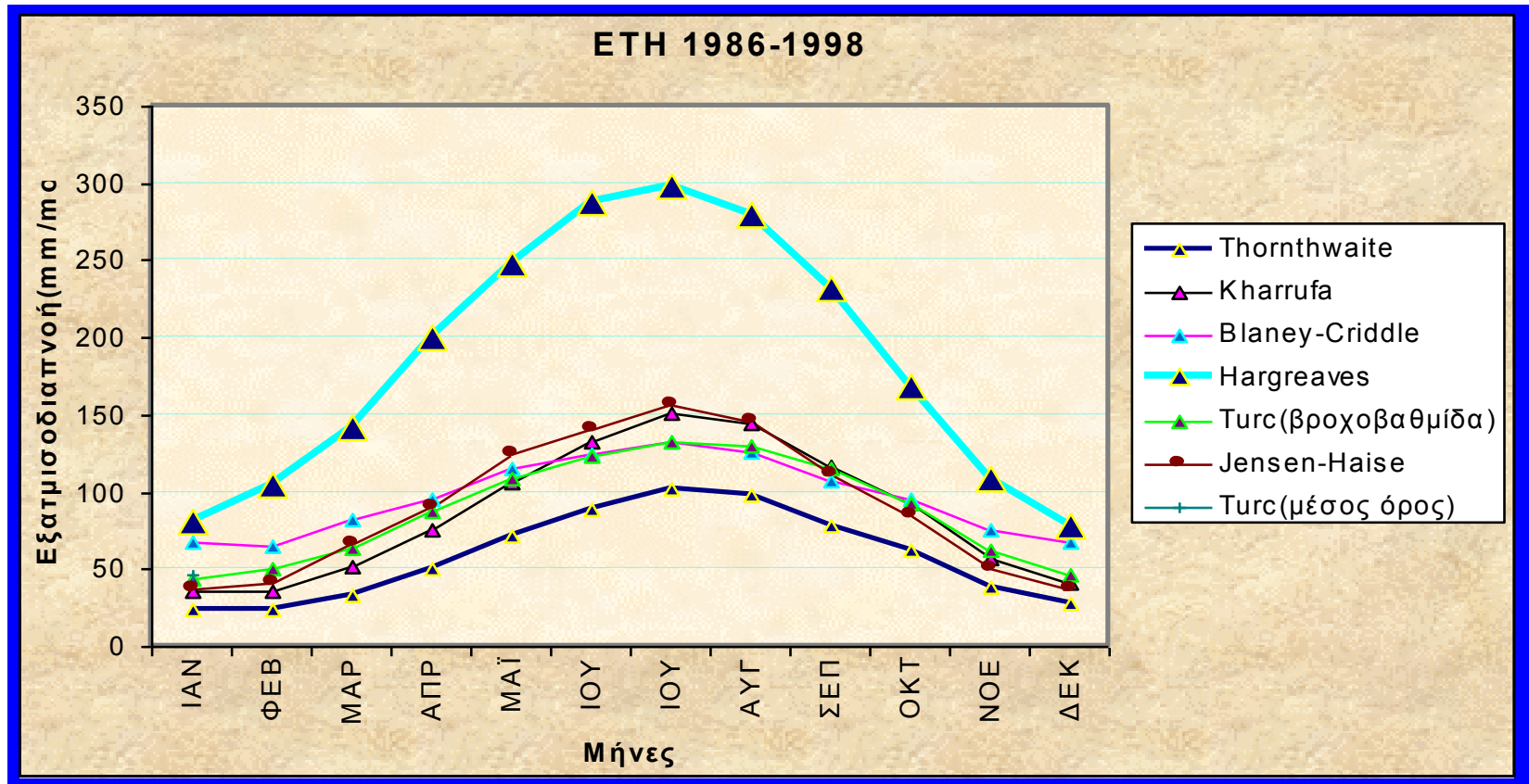


ΜΟΝΤΕΛΑ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΔΥΝΗΤΙΚΗΣ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗΣ

- **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 μέθοδο multistart Simplex Downhill Algorithm
- Στοχική 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
ΥΤΗΒΑΛ	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		

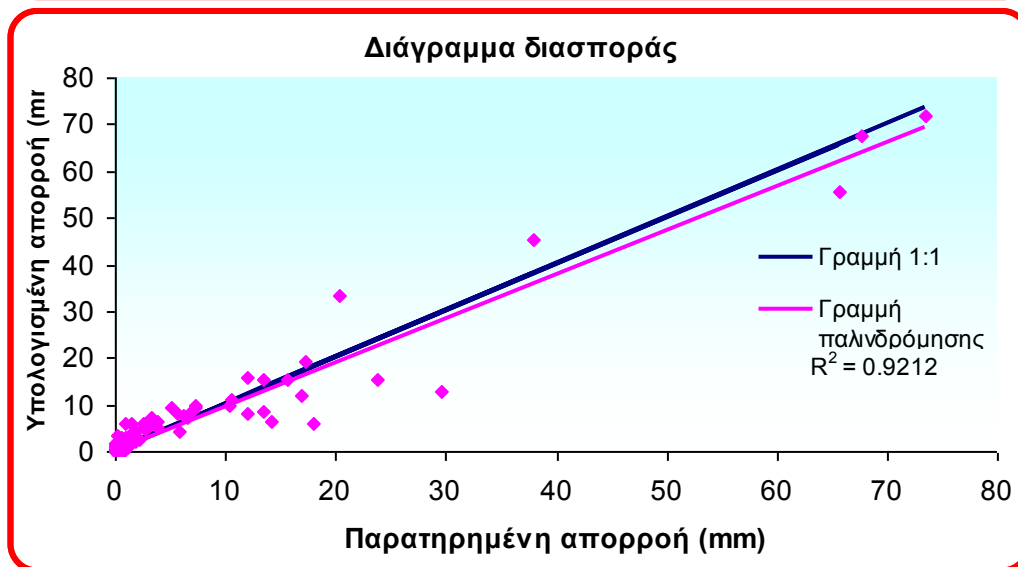
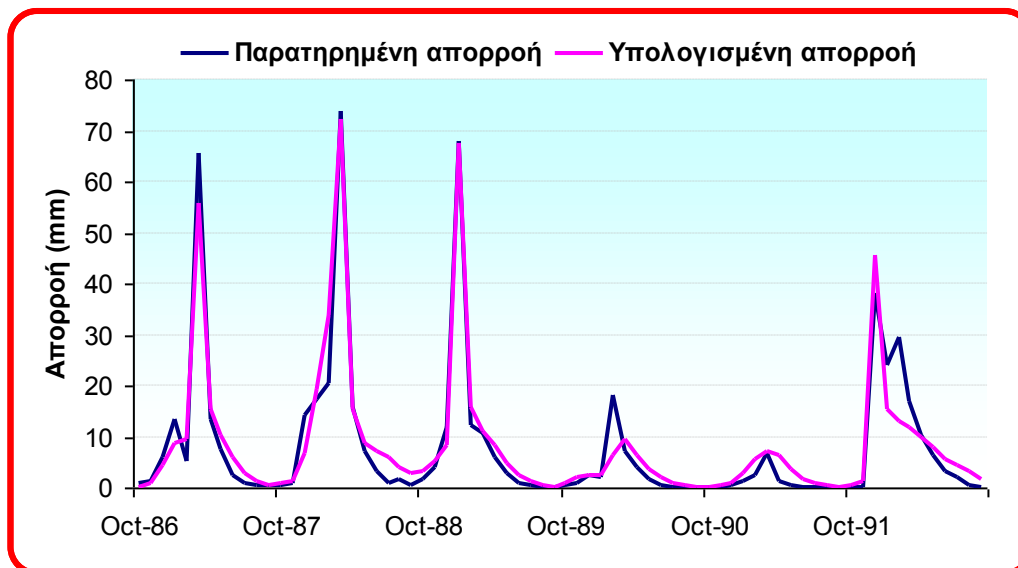


ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

- **ΥΤΗΒΑΛ**
- 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 $Q_{obs} = 7.89 \text{ mm}$

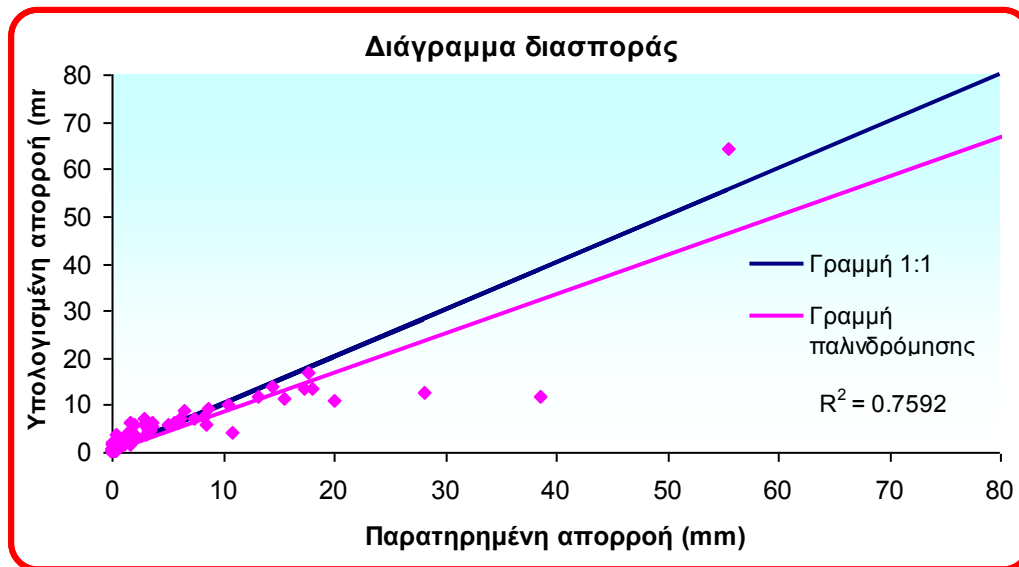
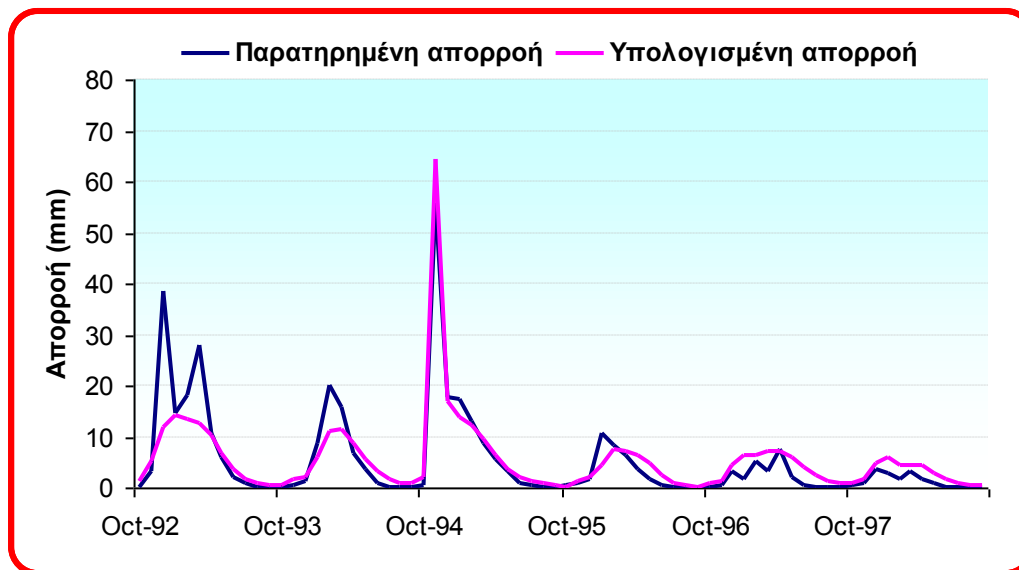


ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

- **ΥΤΗΒΑΛ**
- Πιστοποίηση (Οκτ 1992-Σεπ 1998)
- Μέθοδος P = Βροχοβαθμίδα
- Μέθοδος PET = Blaney-Griddle

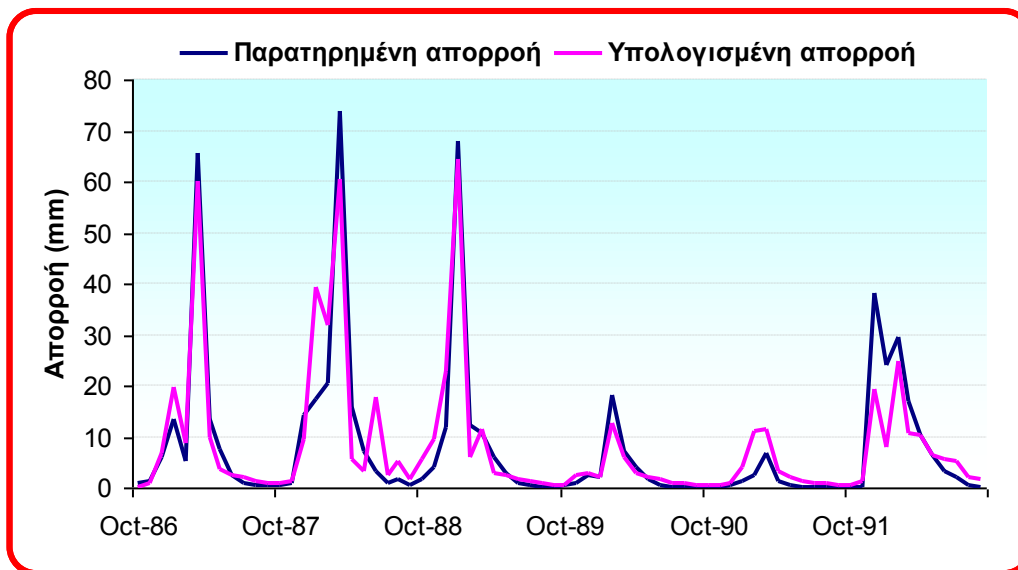
Στατιστικά Προσομοίωσης

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



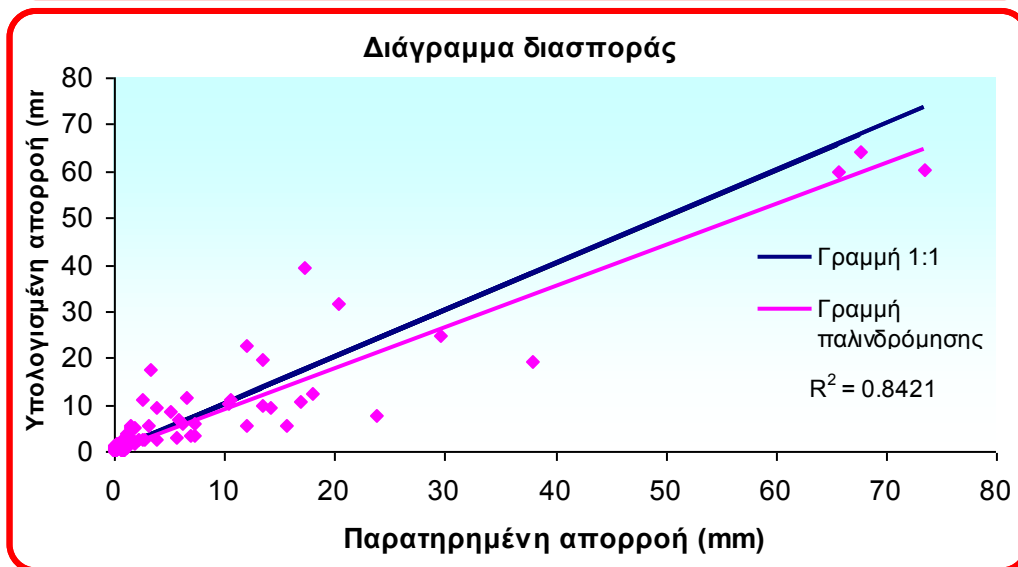
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

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



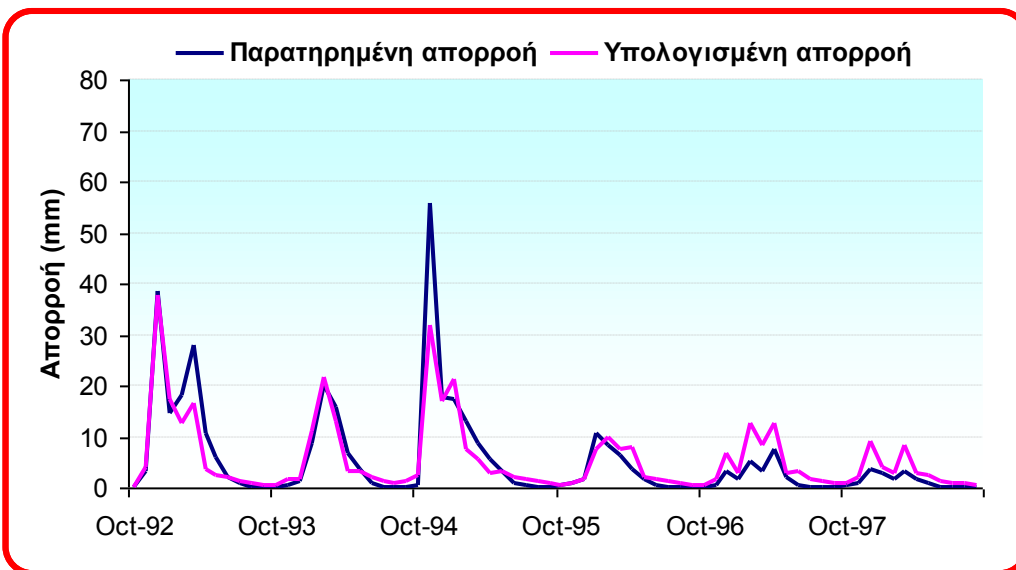
Στατιστικά Προσομοίωσης

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



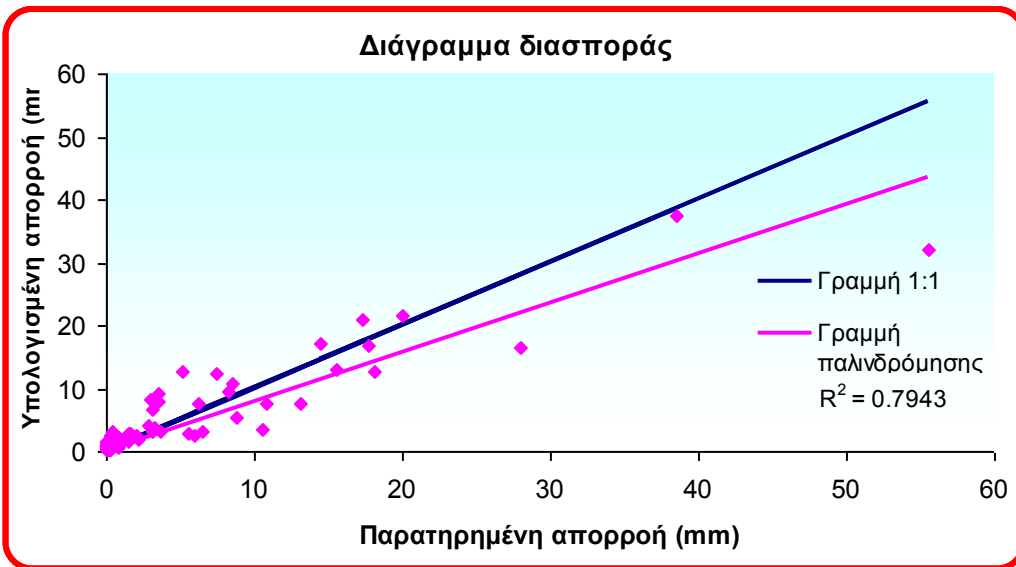
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

- **ΑΒΥΛΟΗΟΜ 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 $Q_{obs} = 5.17 \text{ mm}$



ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Βέλτιστη προσομοίωση από το UTHBAL μοντέλο στη λεκάνη απορροής
- Πολύ καλή προσομοίωση της μορφής του υδρογραφήματος από το μοντέλο των Abulohom et al., αλλά με μεγάλες αποκλίσεις 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 σημαντική υποεκτίμηση του όγκου απορροής
- Απορριπτέα προσομοίωση από το μοντέλο του Alley



UTHBAL

- Τροποποίηση από Loukas et al., (2007) για εφαρμογή σε ορεινές λεκάνες απορροής
- Προσθήκη υπορουτίνας χιονόπτωσης, συσσώρευσης χιονιού και τήξης χιονιού



ΜΟΝΤΕΛΟ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ ΥΤΗΒΑΛ

- Το ποσοστό της υετόπτωσης που είναι χιόνι δίνεται από:

$$\begin{array}{ll} \%S = 0 & \text{για } T \geq 12.22^{\circ}\text{C} \\ \%S = \frac{100}{1.35^T \cdot 1.61 + 1} & \text{για } -10^{\circ}\text{C} \leq T \leq 12.22^{\circ}\text{C} \\ \%S = 100 & \text{για } T \leq -10^{\circ}\text{C} \end{array}$$

- Δυνητική μηνιαία τήξη χιονιού (mm/μήνα)

$$SM = C_m \cdot T_{\text{μηνιαία}} (J)$$

Η παράμετρος C_m έχει μονάδες mm/ °C/μήνα

- Το ισοδύναμο ύψος χιονιού του συσσωρευμένου χιονιού, SWE_{sp} , εκτιμάται από

$$SWE_{sp}(J) = SWE_{sp}(J-1) + S(J) - SM(J)$$

όπου, $S(J)$ είναι το χιόνι που κατακρημνίστηκε κατά τη διάρκεια του μήνα J και ισούται με:

$$S(J) = \%S \cdot P(J)$$



ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΥΤΗΒΑΛ ΓΙΑ ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ



ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

- Λεκάνη απορροής του άνω ρου του ποταμού Ενιππέα
 - Έκταση: ~ 410 km²
 - Διακύμανση υψομέτρου : 300 - 1600 m
 - Μέσο υψόμετρο: 675 m
 - Διακύμανση μέσης ετήσιας υετόπτωσης: 361 - 998 mm
 - Μέση ετήσια υετόπτωση: ~ 625 mm
 - Μέση ετήσια απορροή: ~ 150 mm
 - Καλλιεργούμενες εκτάσεις: ~ 46 %

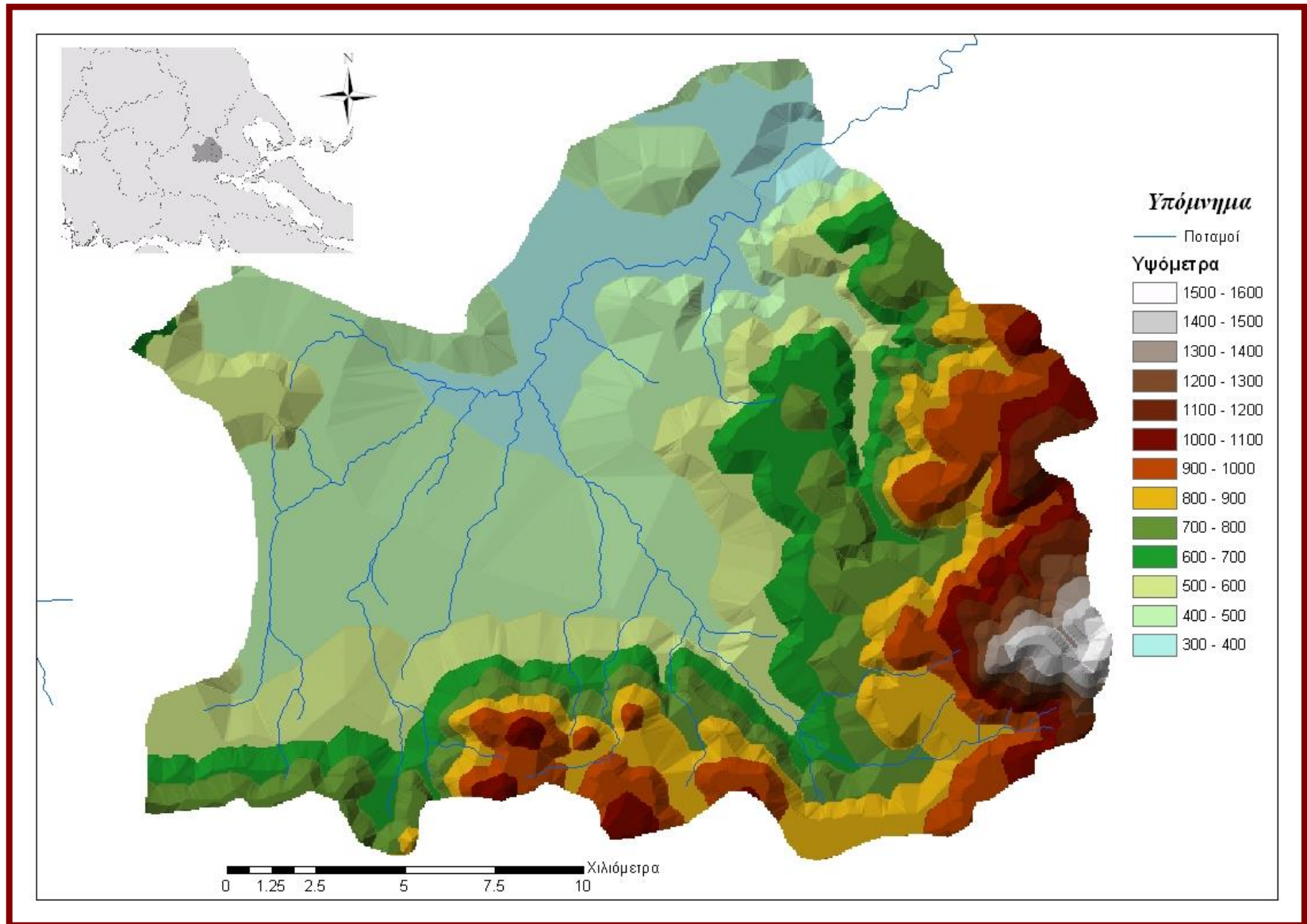


ΒΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

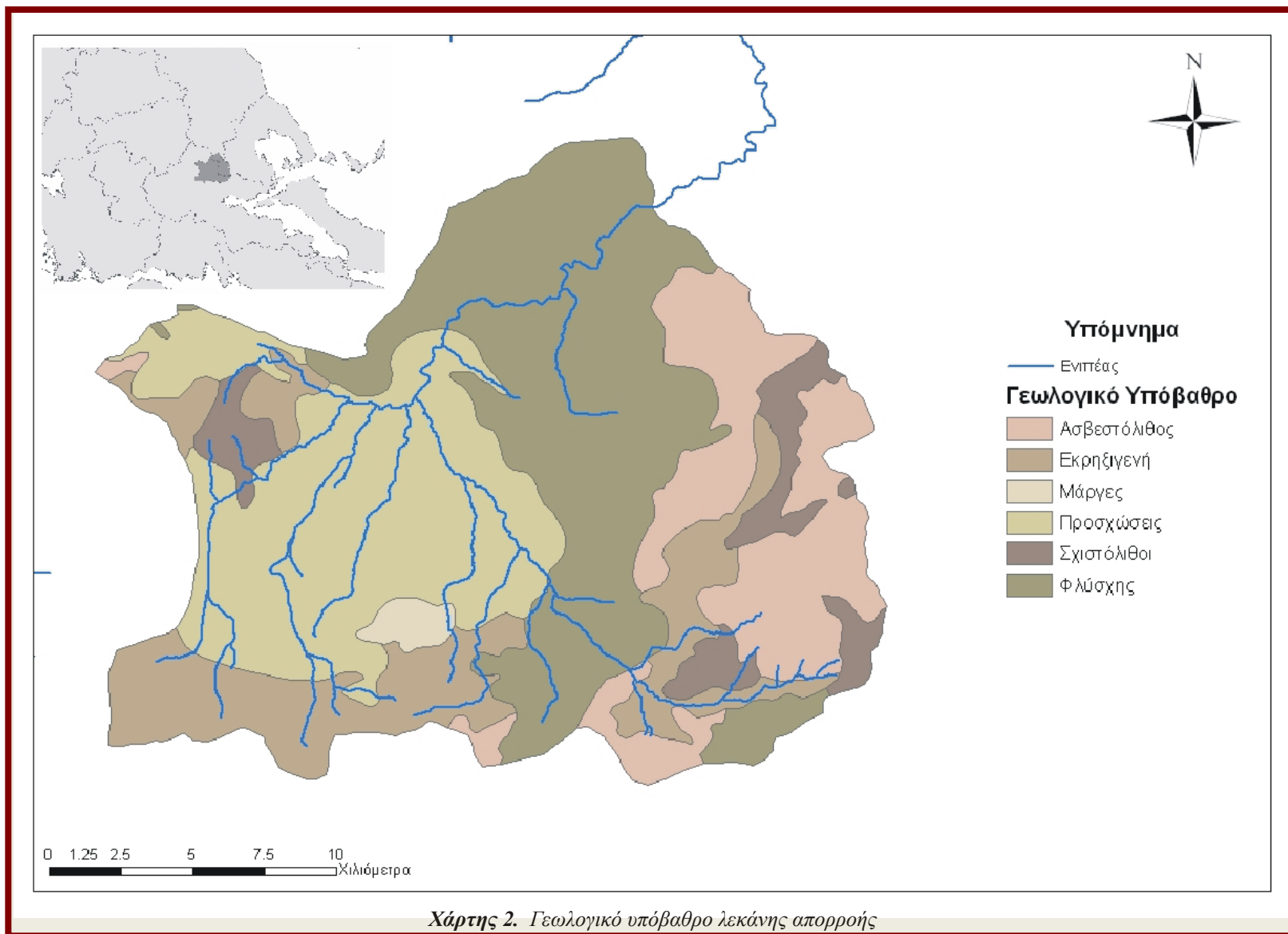
- Τοπογραφικοί και γεωλογικοί χάρτες κλίμακας 1:50000
- Υδρογραφικό δίκτυο και θέσεις μετεωρολογικών και υδρομετρικών σταθμών
- Χάρτης χρήσεων γης κατά CORINE
- Δεδομένα βροχόπτωσης από 7 βροχομετρικούς σταθμούς
- Δεδομένα θερμοκρασίας από 4 μετεωρολογικούς σταθμούς
- Μηνιαίες χρονοσειρές δεδομένων βροχόπτωσης και θερμοκρασίας περιόδου Οκτ. 1960 – Σεπ. 2002
- Είκοσι ετών μη συνεχή δεδομένα παροχής στη θέση Σκοπιά



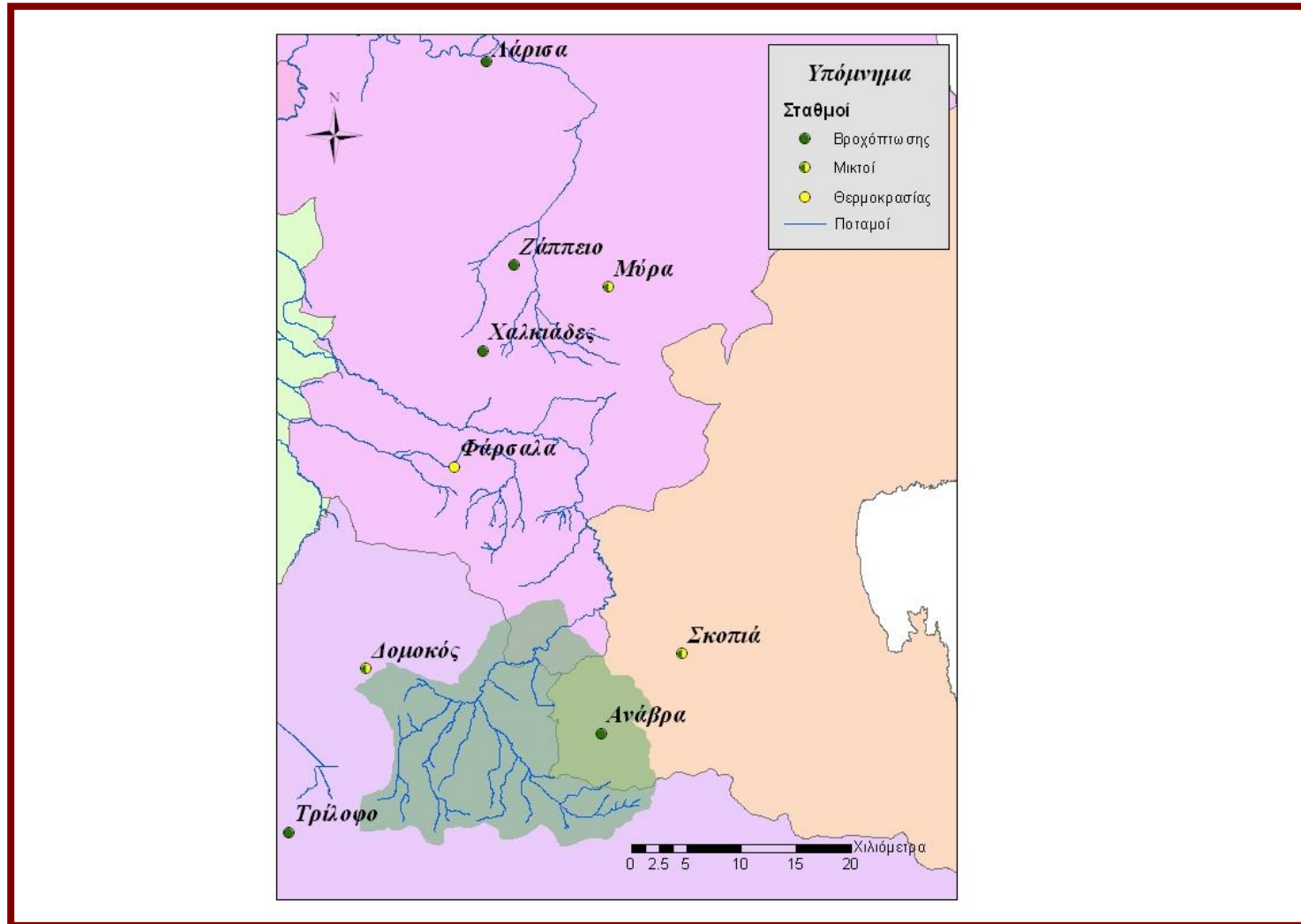
ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΕΝΙΠΠΕΑ



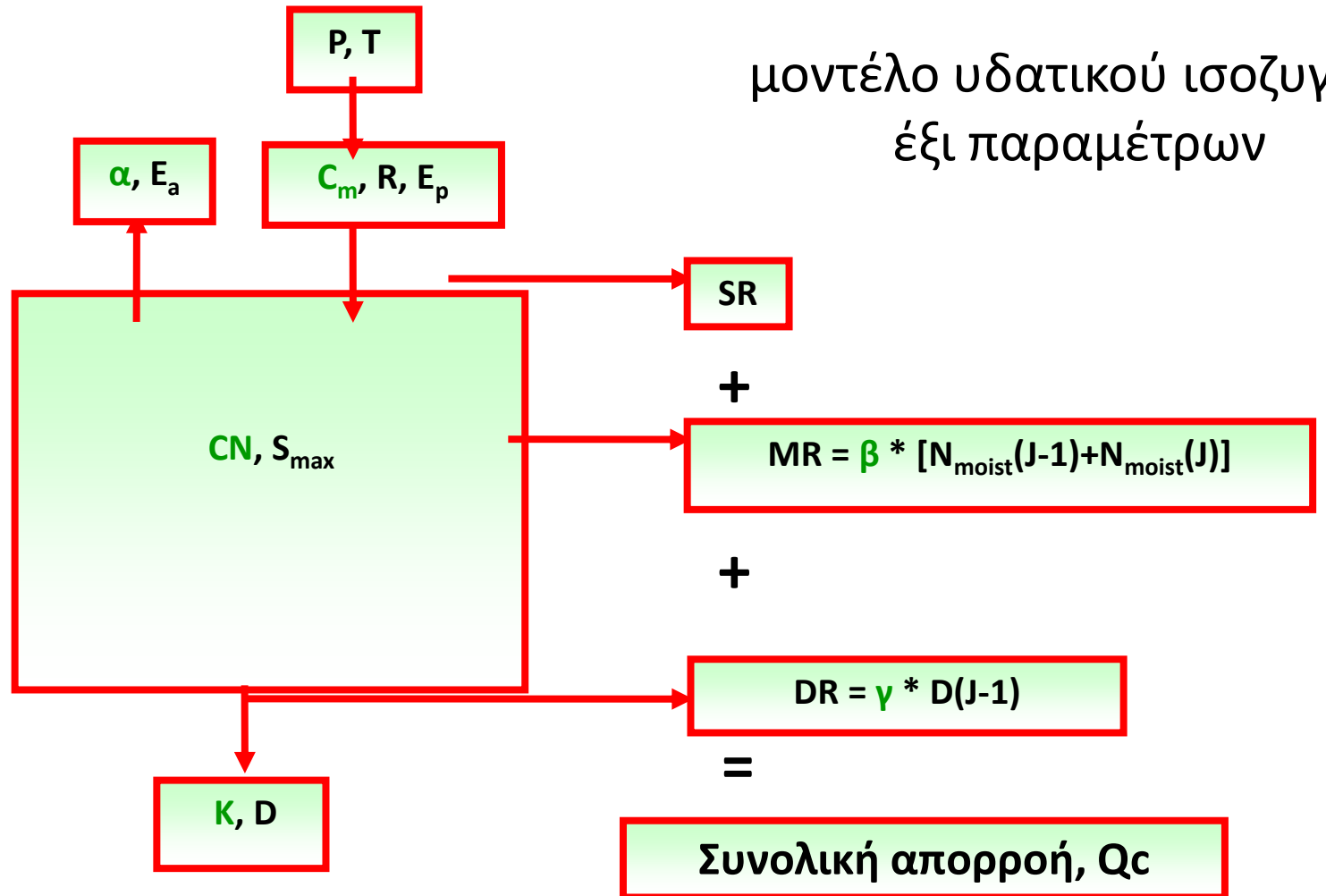
ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ



ΘΕΣΕΙΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ



ΜΟΝΤΕΛΟ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ ΥΠΗΒΑΛ



ΜΟΝΤΕΛΟ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ ΟΤΗΒΑΛ

- Δεδομένα εισόδου: Μηνιαίες τιμές υετόπτωσης, θερμοκρασίας και δυνητικής εξατμισοδιαπνοής
- Δεδομένα εξόδου: Χιονόπτωση και τήξη χιονιού, πραγματική εξατμισοδιαπνοή, εδαφική υγρασία, επιφανειακή και υπόγεια απορροή
- Το μοντέλο αυτό έχει εφαρμοσθεί με επιτυχία σε λεκάνες απορροής της Κύπρου, της Κρήτης και της Θεσσαλίας
- Το μοντέλο επεκτάθηκε σε κατανεμημένο ενιαίων παραμέτρων με την χρήση ενός ΓΣΠ
- Η λεκάνη απορροής διαμερίστηκε σε τετραγωνικά φατνία πλευράς 16, 8, 4, 2, και 1 km
- Οι είσοδοι και έξοδοι του μοντέλου είναι σε μορφή γεωγραφικού κανάβου της ίδιας ισοδιάστασης με τη διακριτοποίηση της λεκάνης απορροής
- Οι υπολογισμοί του υδρολογικού μοντέλου γίνονται για κάθε φατνίο ξεχωριστά



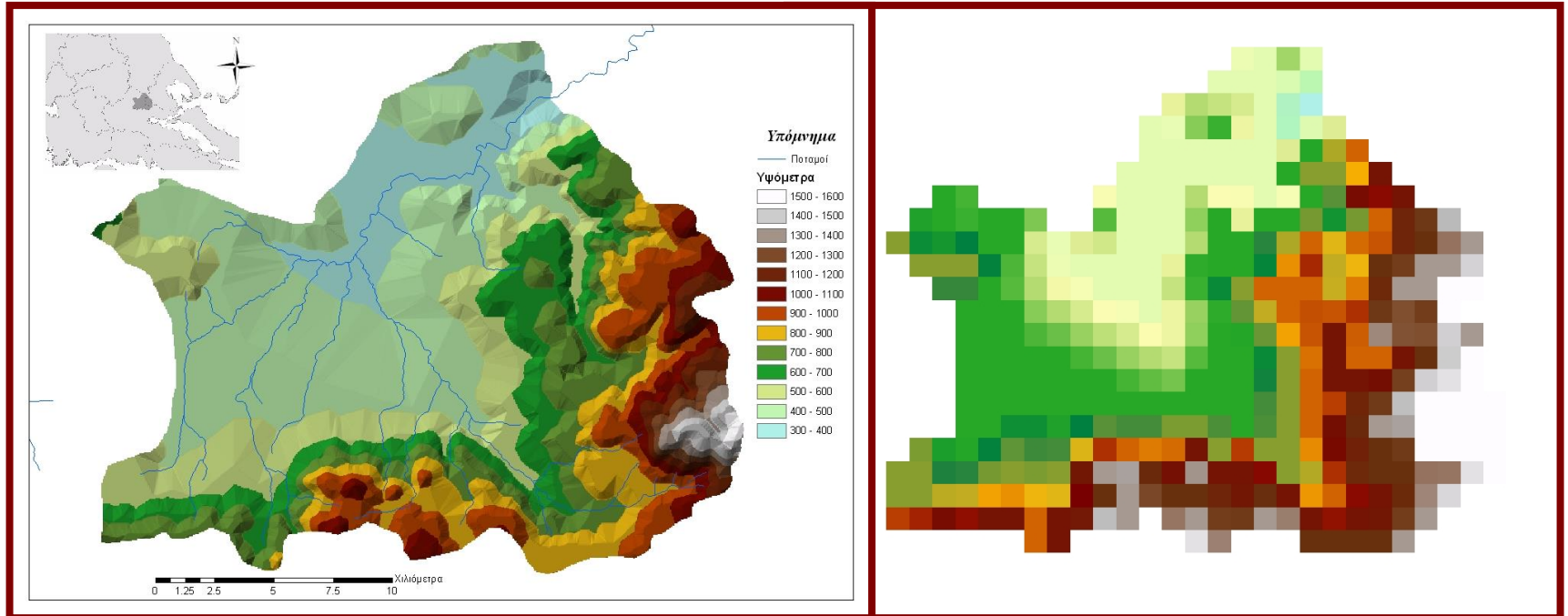
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ

- Η λεκάνη απορροής διακριτοποιήθηκε σε τετραγωνικά φατνία πλευράς 16, 8, 4, 2, και 1 km
- Τα δεδομένα εισόδου μετατράπηκαν από σημειακά σε ψηφιακά (raster) δεδομένα για όλες τις χωρικές κλίμακες
- Οι επιφάνειες της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας και υετόπτωσης δημιουργήθηκαν με την υψομετρική αναγωγή των μετρήσεων των μετεωρολογικών σταθμών, στο υψόμετρο του κάθε φατνίου της λεκάνης απορροής με τη χρήση των θερμοβαθμίδων και υετοβαθμίδων, αντίστοιχα
- Η δυνητική εξατμισοδιαπνοή σε κάθε φατνίο υπολογίσθηκε με την εφαρμογή της μεθόδου Thornthwaite χρησιμοποιώντας τα δεδομένα της θερμοκρασίας του κάθε φατνίου του κανάβου
- Η βαθμονόμηση των παραμέτρων του μοντέλου πραγματοποιήθηκε στο αδρομερές μοντέλο



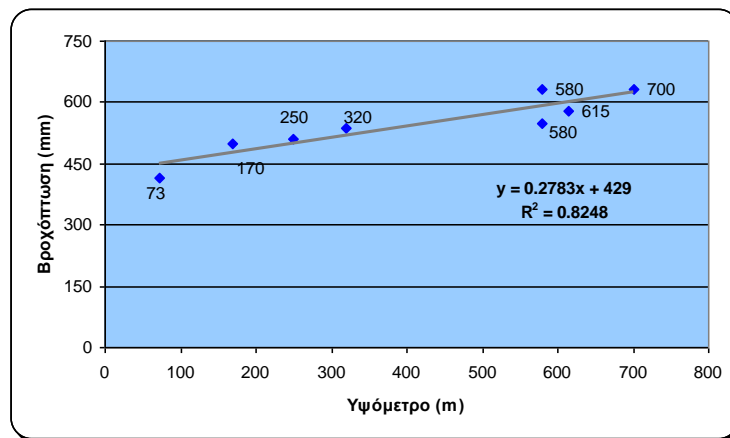
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ

Διακριτοποιημένη λεκάνη απορροής του άνω ρου του ποταμού Ενιπέα. Μέγεθος φατνίου 1x1 km

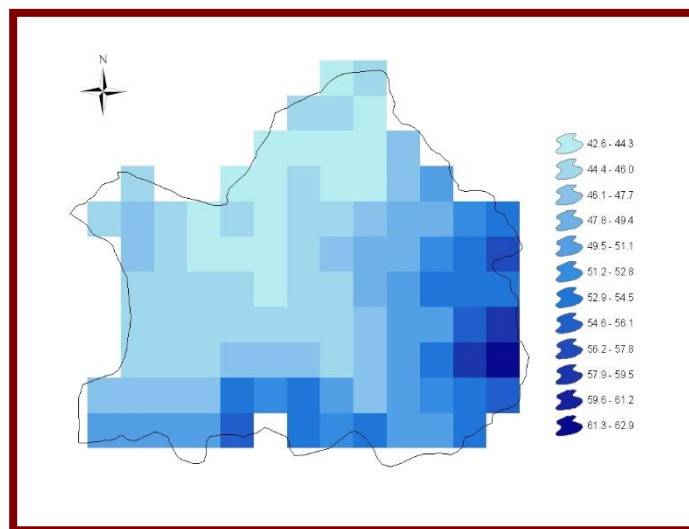


ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ

Χωρική κατανομή της υετόπτωσης Δεκεμβρίου 1981

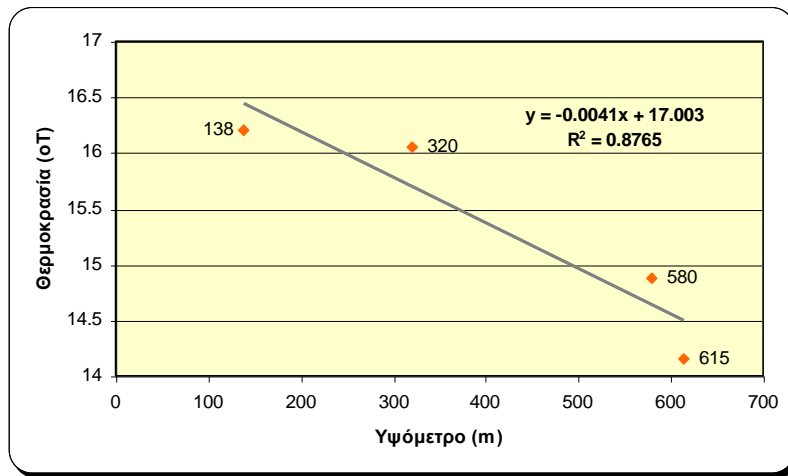


2x2 km

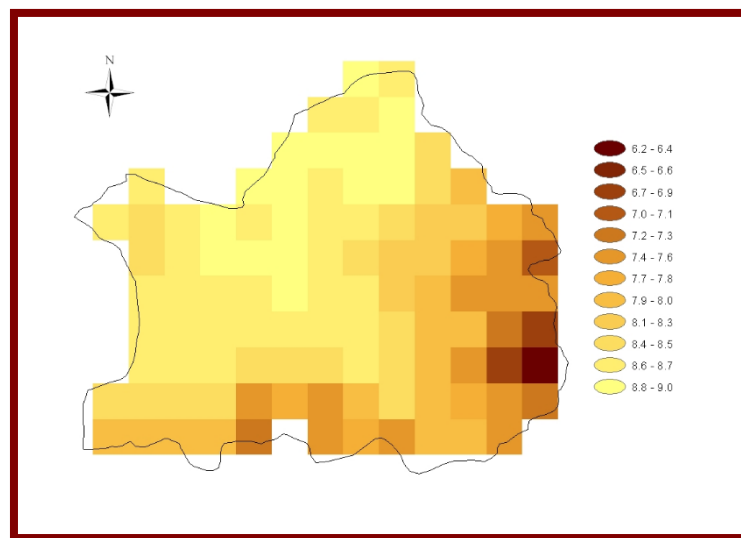


ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ

Χωρική κατανομή της θερμοκρασίας Δεκεμβρίου 1981



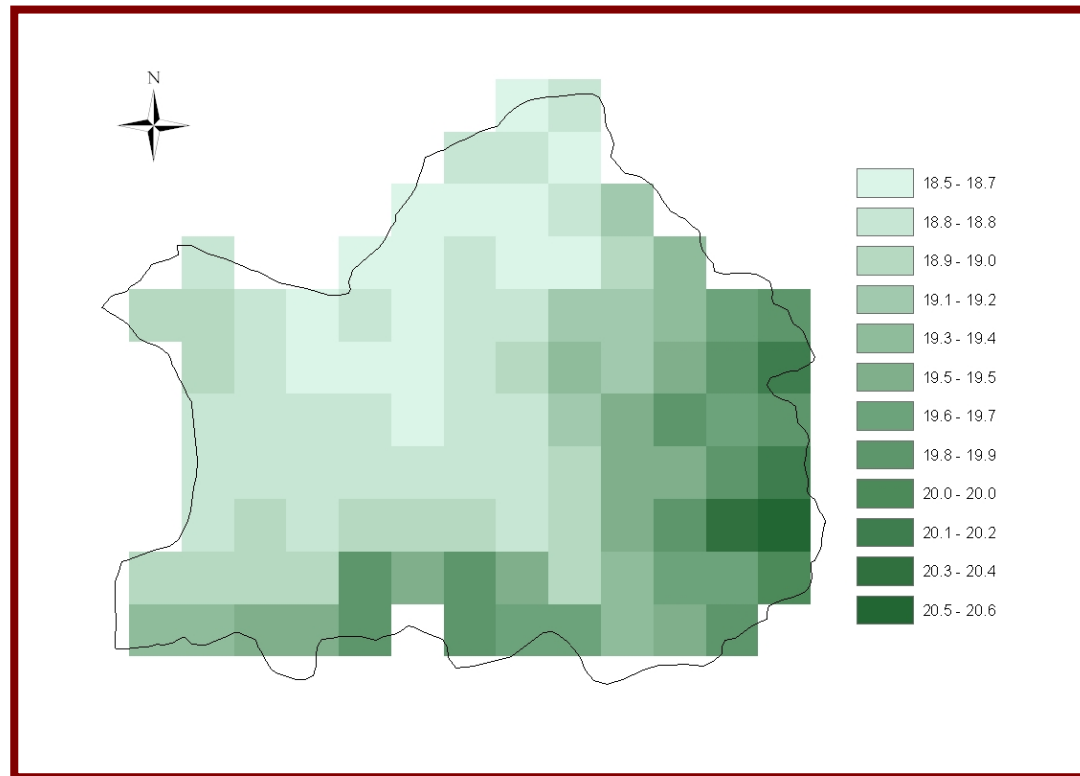
2x2 km



ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ

Χωρική κατανομή της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής Δεκεμβρίου 1981

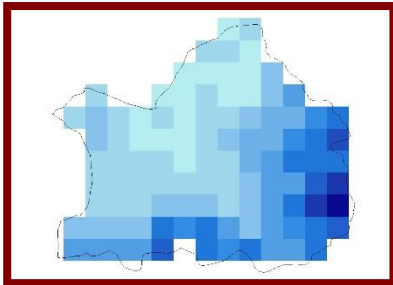
2x2 km



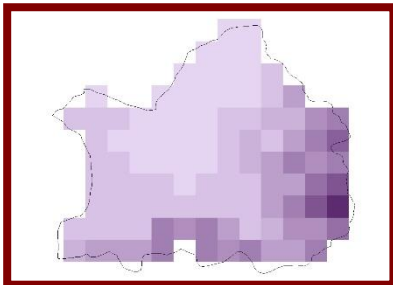
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ

Το κατανεμημένο μοντέλο UTHBAL - Δεκέμβριος 1981 (2 x 2 km)

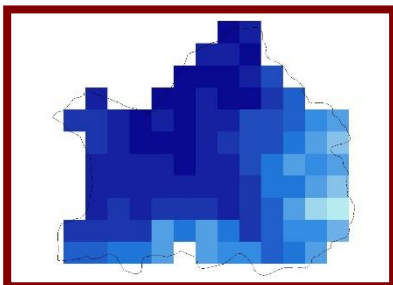
Υετόπτωση



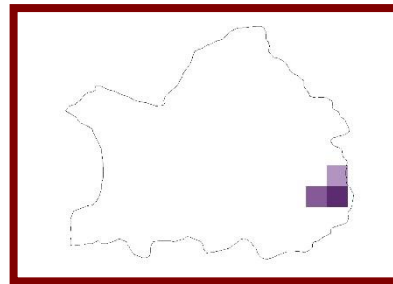
Χιονόπτωση



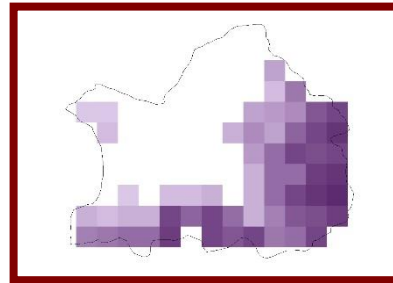
Βροχόπτωση



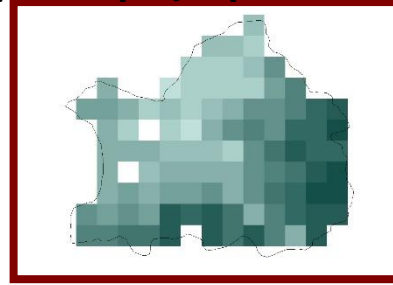
Συσσώρευση χιονιού



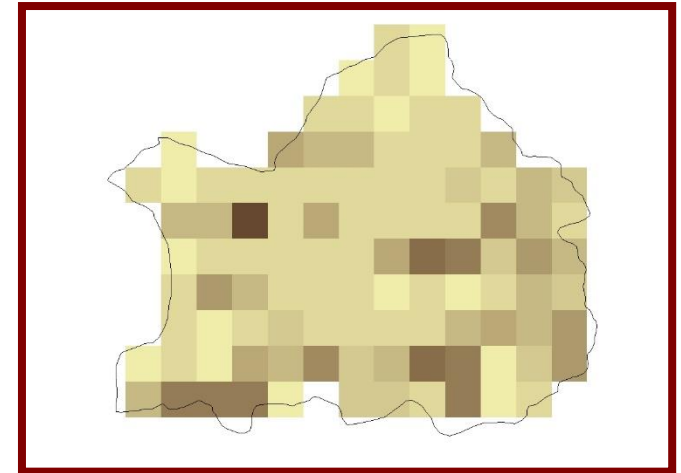
Απρίλιος 1982



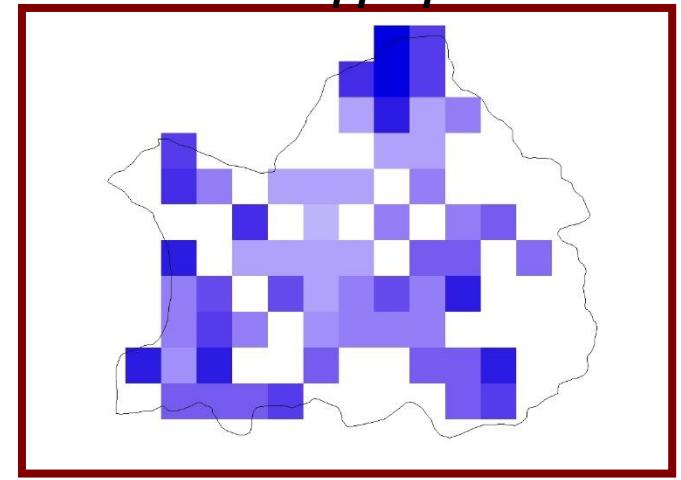
Πραγματική Εξατμισοδιαπνοή



Εδαφική Υγρασία



Απορροή



ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

Περίοδος Βαθμονόμησης Αδρομερούς Μοντέλου			Περίοδος Πιστοποίησης		
Οκτ. 1981- Σεπτ. 1987			Οκτ. 1975 – Σεπτ. 1981		
Eff	R ²	%DV	Eff	R ²	%DV
Αδρομερής Προσομοίωση					
0.837	0.837	-2.812	0.635	0.644	-8.739
Κατανεμημένη Προσομοίωση – Μέγεθος φατνίου 16X16 km					
0.833	0.836	-7.591	0.639	0.651	-13.129
Κατανεμημένη Προσομοίωση – Μέγεθος φατνίου 8X8 km					
0.838	0.839	-3.764	0.636	0.644	-9.534
Κατανεμημένη Προσομοίωση – Μέγεθος φατνίου 4X4 km					
0.838	0.839	-4.451	0.63	0.64	-11.599
Κατανεμημένη Προσομοίωση – Μέγεθος φατνίου 2X2 km					
0.838	0.839	-4.198	0.63	0.64	-11.335
Κατανεμημένη Προσομοίωση – Μέγεθος φατνίου 1X1 km					
0.838	0.839	-4.477	0.631	0.641	-11.653



ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΥΠΗΒΑΛ

ΔΕΔΟΜΕΝΑ

- Μηνιαίες τιμές NDVI για τη χρονική περίοδο 1981 - 1999.
- Χάρτης χρήσεων γης κατά CORINE.
- Γεωλογικός χάρτης της λεκάνης απορροής.



ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΥΤΗΒΑΛ

- Από το μοντέλο ΥΤΗΒΑΛ σε όλες τις προσομοιώσεις εκτιμήθηκε η πραγματική εξατμισοδιαπνοή .
- Η πραγματική εξατμισοδιαπνοή του αδρομερούς και του 8x8 km μοντέλου συσχετίσθηκε με το μέσο μηνιαίο όρο των μέγιστων τιμών του NDVI (Normalized Difference Vegetation Index).
- Οι σχέσεις μεταξύ των NDVI και ΑΕΤ εξετάστηκαν για την περίοδο βαθμονόμησης του μοντέλου (10/'81 - 9/'87).
- Αναπτύχθηκαν πολλαπλές γραμμικές σχέσεις μεταξύ της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής και του NDVI με τη χρήση 12 μη σημαντικών μεταβλητών για την μηνιαία στάθμιση.
- Η εκτιμημένη κατά τη διαδικασία βαθμονόμησης της προσομοίωσης 8x8 km τιμή της παραμέτρου C_m συσχετίσθηκε με το υψόμετρο κάθε φατνίου.
- Η σχέση που προέκυψε χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό της παραμέτρου C_m όλων των φατνίων όλων των προσομοιώσεων.



ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ UTHBAL

- Με τη χρήση του γεωλογικού χάρτη και του χάρτη χρήσεων γης μέσω Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών εκτιμήθηκαν τιμές για τις παραμέτρους CN και k.
- Η πραγματική εξατμισοδιαπνοή που εκτιμήθηκε μέσω NDVI, ο συντελεστής C_m και οι τιμές του αριθμού καμπύλης CN και του συντελεστή βαθιάς κατείδυσης K, εισήχθησαν στο UTHBAL προκειμένου να προσομοιωθεί η απορροή.
- Έγινε σύγκριση των αποτελεσμάτων με αυτά από τη διαδικασία βαθμονόμησης των αντίστοιχων προσομοιώσεων.



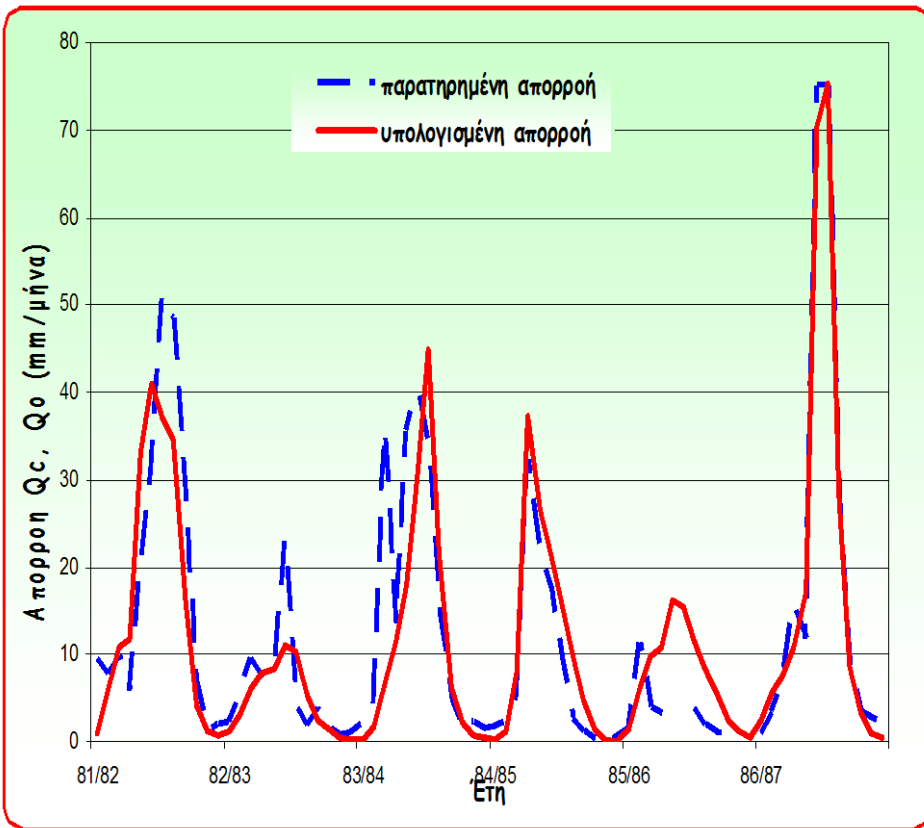
ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΜΟΝΤΕΛΟ ΥΤΗΒΑΛ

Περίοδος βαθμονόμησης (10/81-9/87)			Περίοδος πιστοποίησης (10/75-9/81)		
Eff	R2	DV	Eff	R2	DV
Λεκάνη (αδρομερώς)					
0.837	0.837	-2.812	0.635	0.644	-8.739
16 x 16 km					
0.888	0.888	-0.425	0.642	0.657	-6.316
8 x 8 km					
0.889	0.889	-0.488	0.613	0.633	-4.977
4 x 4 km					
0.914	0.915	0.365	0.599	0.628	-12.002
2 x 2 km					
0.926	0.926	0.319	0.585	0.619	-11.739

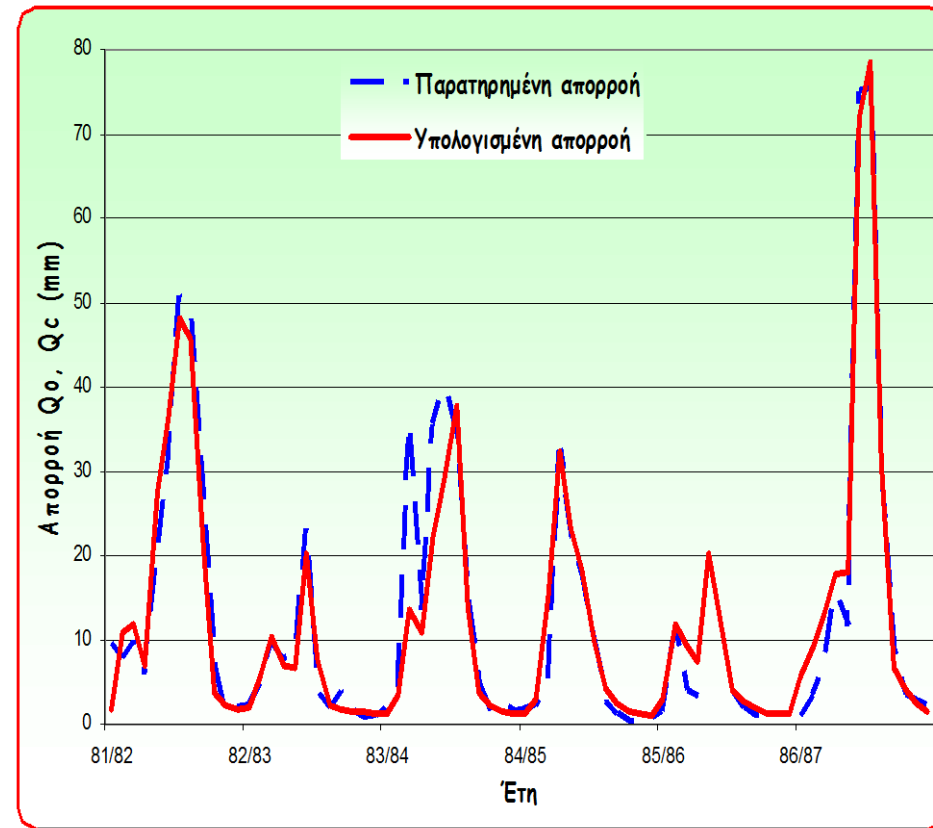


ΓΡΑΦΙΚΗ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ - ΜΟΝΤΕΛΟ ΥΤΗΒΑΛ ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ

Αδρομερής προσομοίωση

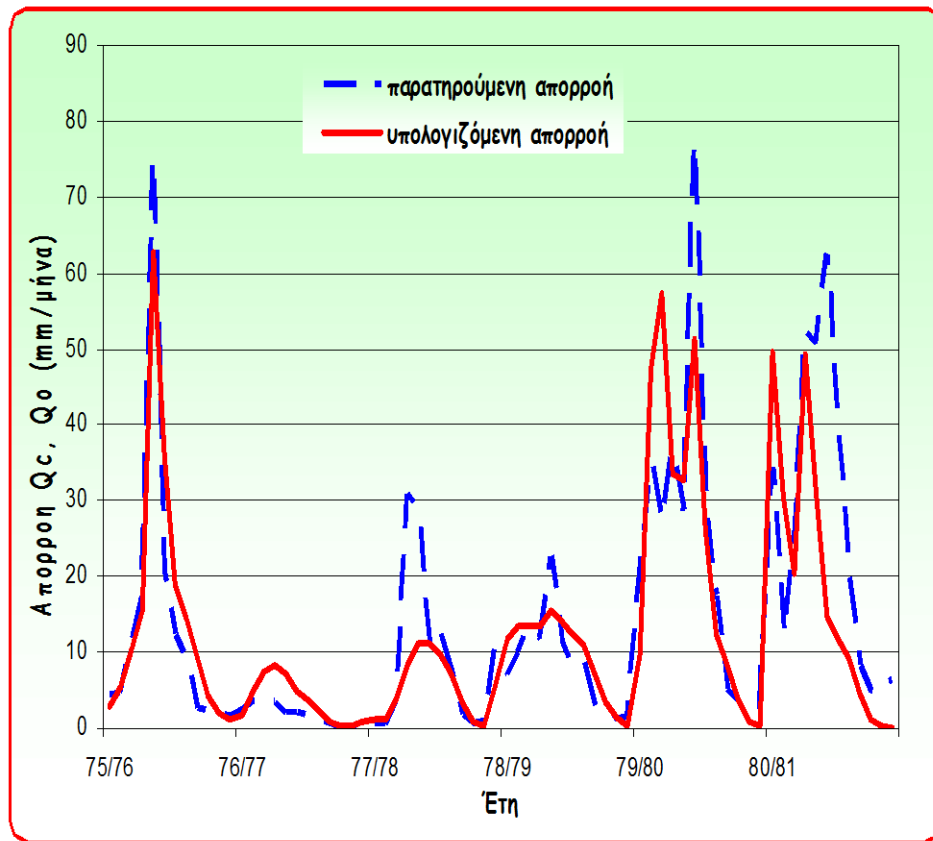


Κατανεμημένη προσομοίωση 2x2 km

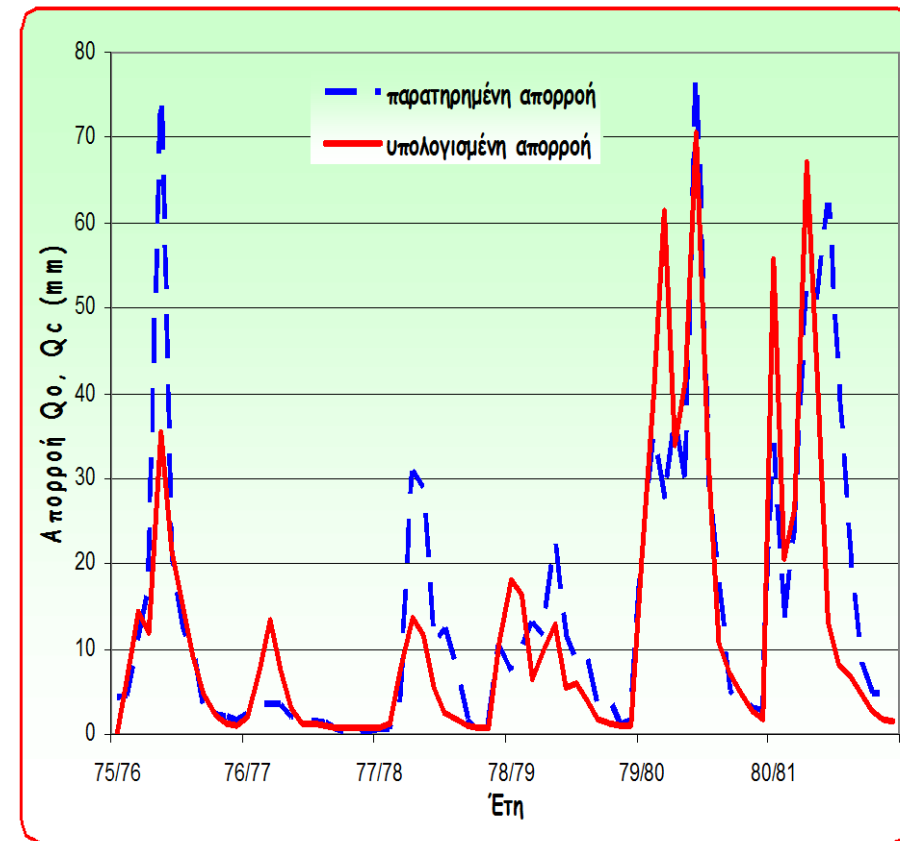


ΓΡΑΦΙΚΗ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ - ΜΟΝΤΕΛΟ ΥΤΗΒΑΛ ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ

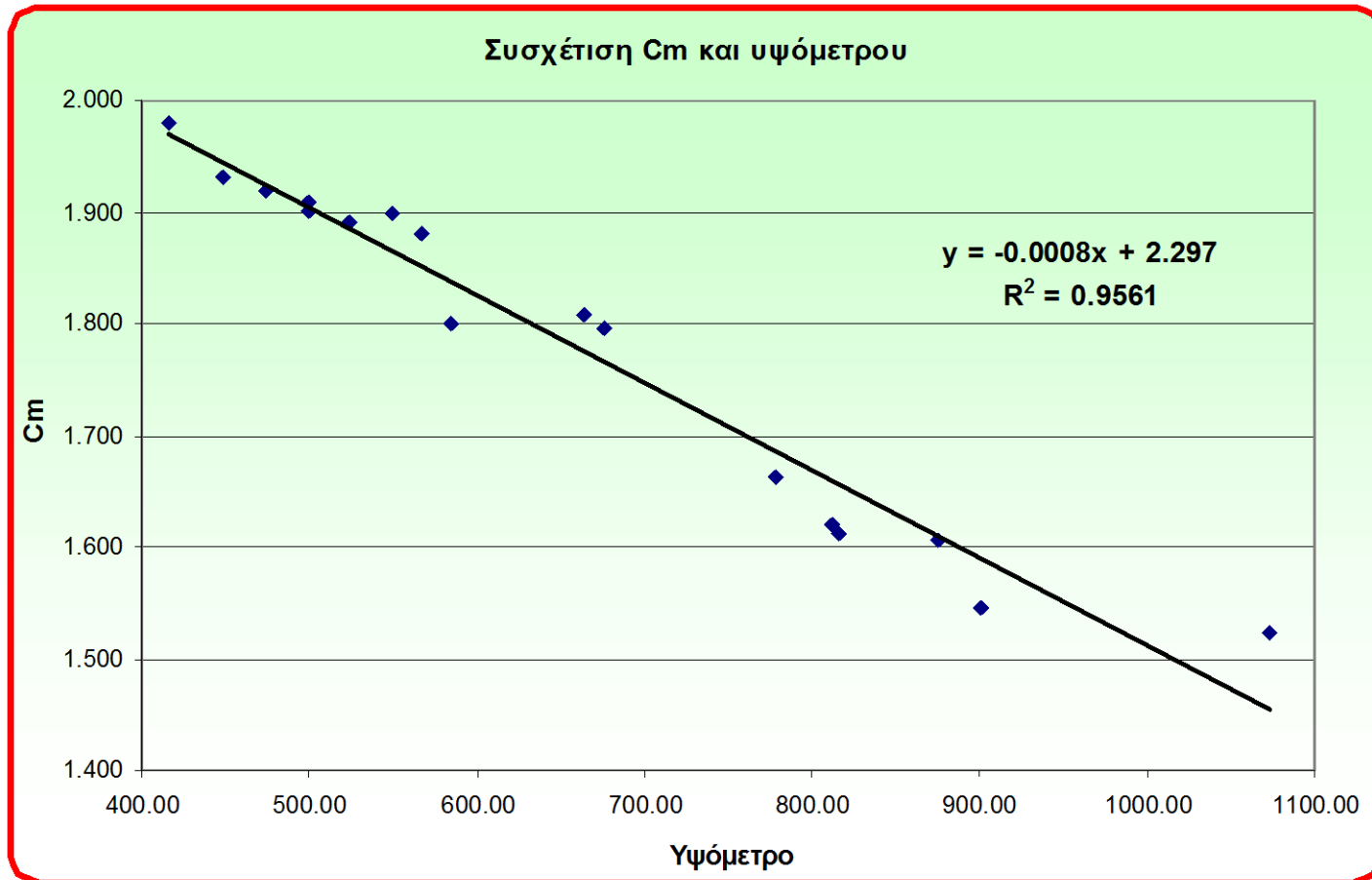
Αδρομερής προσομοίωση



Κατανεμημένη προσομοίωση 2x2 km

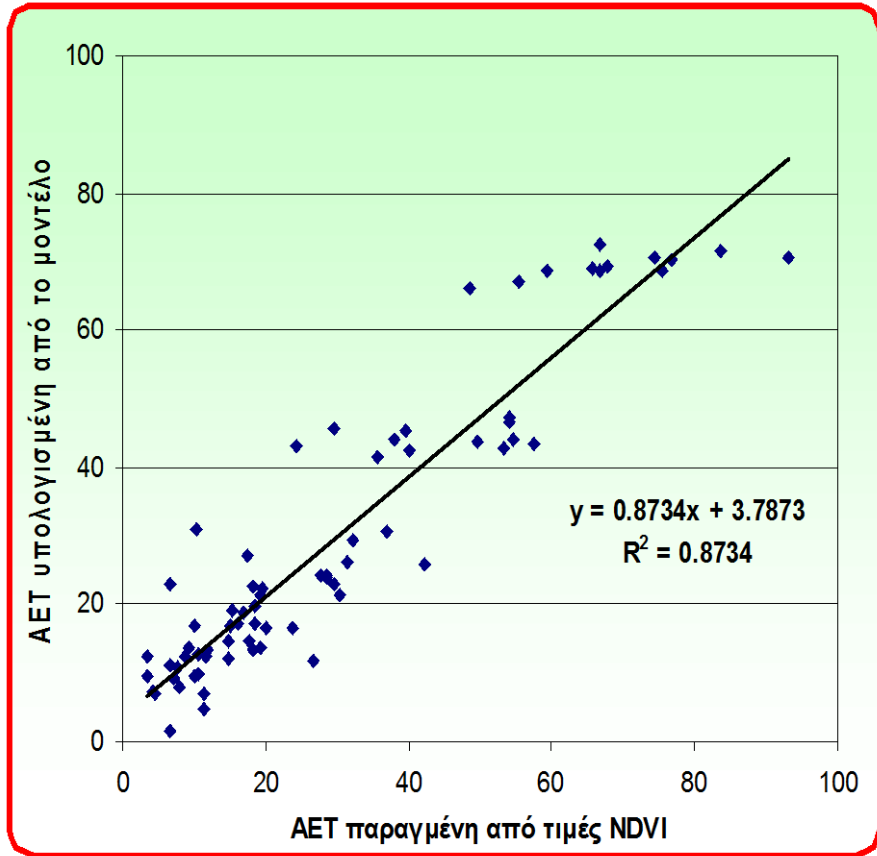


ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΤΗΞΗΣ ΧΙΟΝΙΟΥ Cm - ΥΨΟΜΕΤΡΟΥ

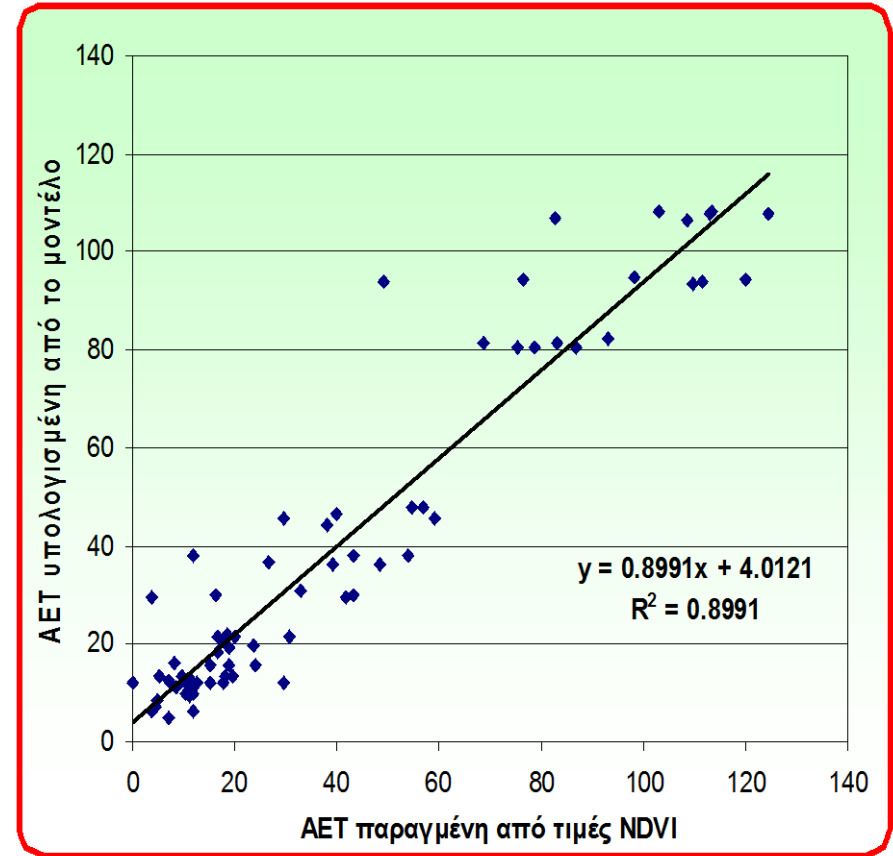


ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΑΕΤ - NDVI

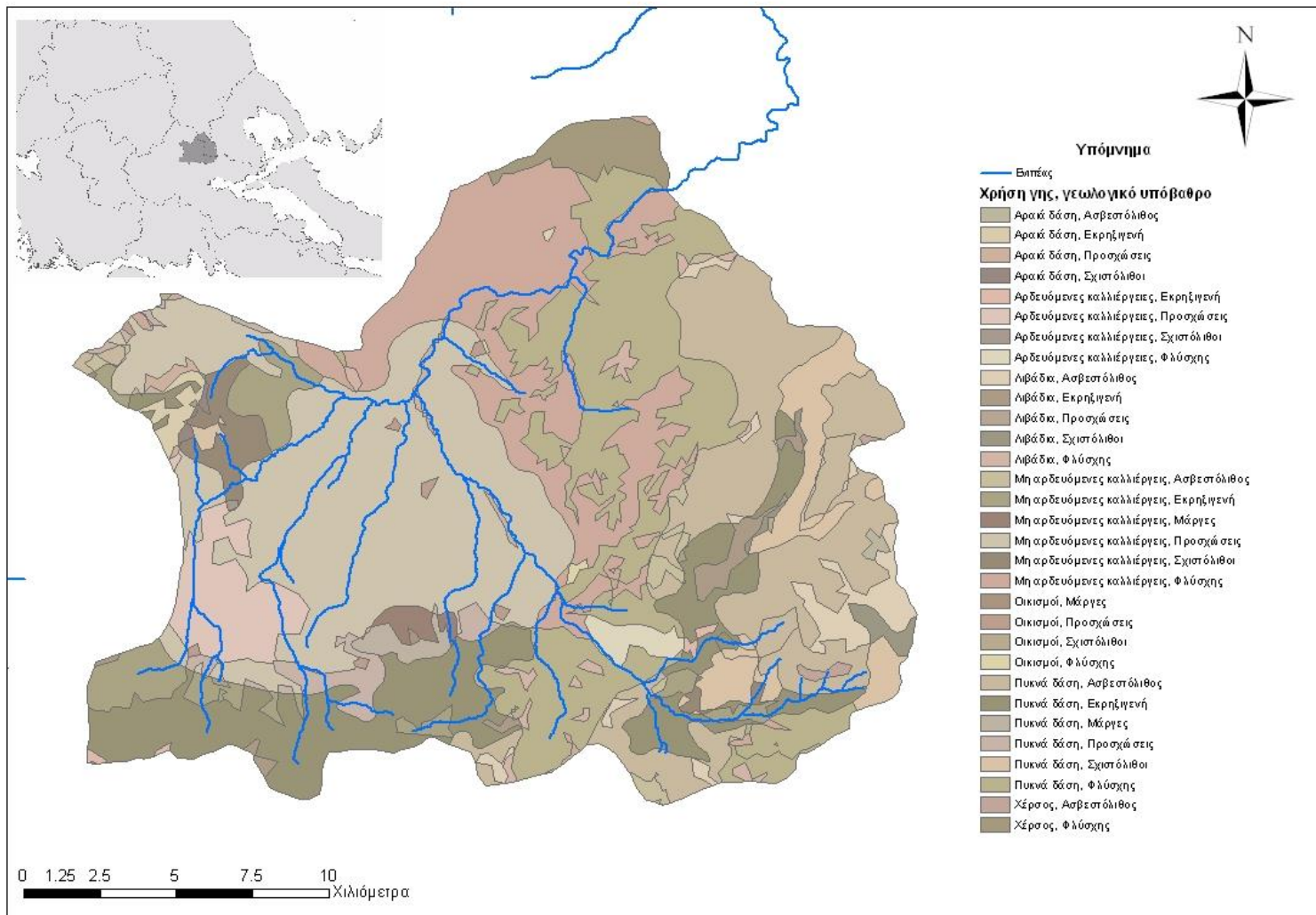
ΑΕΤ υπολογισμένη από
αδρομερή προσομοίωση



ΑΕΤ υπολογισμένη από
Κατανεμημένη 8 x 8 km προσομοίωση



ΕΚΤΙΜΗΣΗ CN ΚΑΙ K



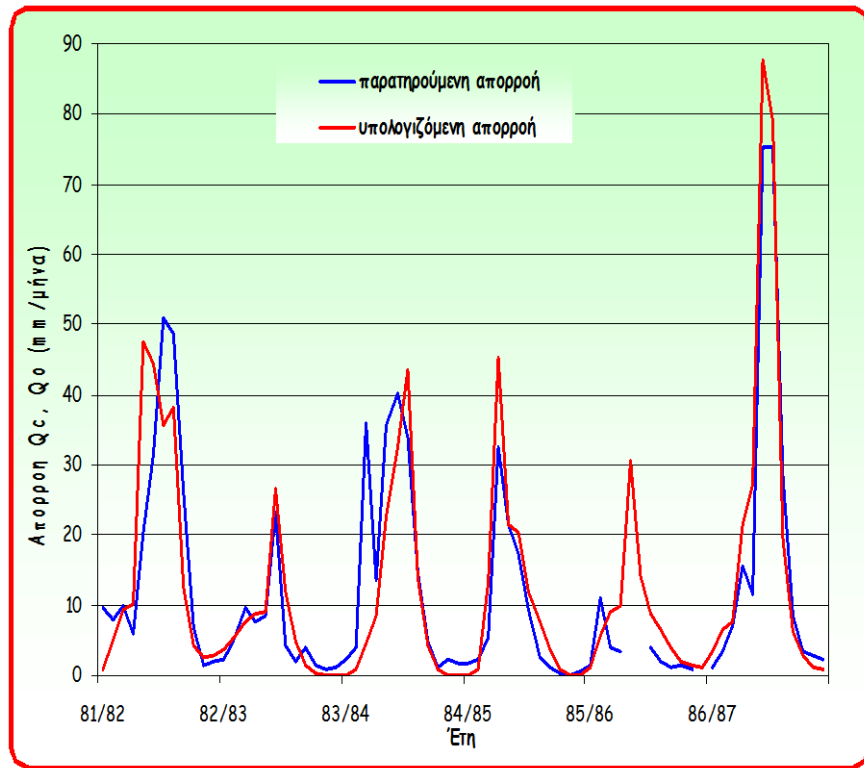
ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΤΙΜΩΝ ΤΩΝ ΕΚΤΙΜΗΜΕΝΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΗΝ ΑΔΡΟΜΕΡΗ ΚΑΙ ΤΙΣ ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΕΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ

Περίοδος βαθμονόμησης			Περίοδος πιστοποίησης		
Eff	R2	DV	Eff	R2	DV
Λεκάνη (αδρομερώς)					
0.837	0.837	-2.812	0.635	0.644	-8.739
Λεκάνη με εκτίμηση ΑΕΤ, Cm, CN και k					
0.786	0.812	2.726	0.546	0.609	-9.416
8 x 8 km					
0.889	0.889	-0.488	0.613	0.633	-4.977
8 x 8 km με εκτίμηση ΑΕΤ, Cm, CN και k					
0.772	0.809	14.176	0.448	0.572	-14.842

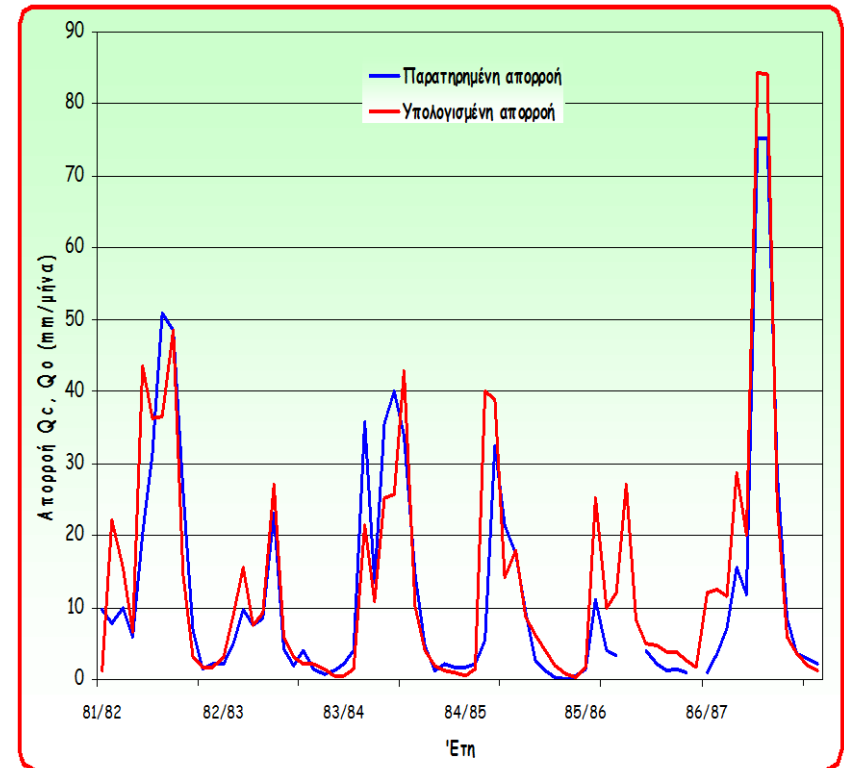


ΓΡΑΦΙΚΗ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ - ΜΟΝΤΕΛΟ ΥΤΗΒΑΛ ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ ΜΕ ΕΚΤΙΜΗΜΕΝΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥΣ

Αδρομερής προσομοίωση



Κατανεμημένη προσομοίωση 8x8 km





ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΤΙΜΩΝ ΤΩΝ ΕΚΤΙΜΗΜΕΝΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΗΝ ΑΔΡΟΜΕΡΗ ΚΑΙ ΤΙΣ ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΕΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ

Περίοδος βαθμονόμησης			Περίοδος πιστοποίησης		
Eff	R2	DV	Eff	R2	DV
Λεκάνη (αδρομερώς)					
0.837	0.837	-2.812	0.635	0.644	-8.739
Λεκάνη με εκτίμηση ΑΕΤ, Cm					
0.828	0.829	-2.128	0.609	0.627	-13.466
8 x 8 km					
0.889	0.889	-0.488	0.613	0.633	-4.977
8 x 8 km με εκτίμηση ΑΕΤ, Cm					
0.898	0.899	2.167	0.594	0.612	-12.600



Βιβλιογραφία – Μοντέλα Υδατικού Ισοζυγίου

- Christodoulaki, S., A. Loukas, L. Vasiliades and N.R. Dalezios, 2003. Water balance modeling using digital GIS data. International Symposium on GIS and Remote Sensing: Environmental Applications, 7-9 November 2003, Volos, Greece, 249-260.
- Loukas, A., L. Vasiliades, C. Domenikiotis and N.R. Dalezios, 2005. Basin-wide actual evapotranspiration estimation using NOAA/AVHRR satellite data. *Physics and Chemistry of the Earth*, Vol. 30(1-3). 69-79.
- Loukas, A., N. Mylopoulos and L. Vasiliades, 2007. A modeling system for the evaluation of water resources management strategies in Thessaly, Greece. *Water Resources Management*, Vol. 21(10), 1673-1702, doi 10.1007/s11269-006-9120-5.
- Loukas, A., K. Kokkinos, L. Vasiliades, and A. Liakopoulos, 2008. The migration of the UTHBAL hydrologic model into OpenMI, *Proceedings of iEMSS 2008: International Congress on Environmental Modelling and Software, Integrating Sciences and Information Technology for Environmental Assessment and Decision Making, 4th Biennial Meeting of iEMSS*, Barcelona, July 6-10, 2008, 1102-1109.
- Λουκάς, Α., Λ. Βασιλειάδης, & Ν. Μπαστρογιάννης 2003. Υδρολογική προσομοίωση υδατικού ισοζυγίου λεκάνης απορροής Γερμασόγειας, Κύπρος *Πρακτικά Ημερίδας «Μελέτες και Έρευνες Υδατικών Πόρων στον Κυπριακό Χώρο*, Λευκωσία, Κύπρος, 20 Ιουνίου 2003, pp. 83-114.
- Λουκάς, Α., Π. Μήτσιου & Λ. Βασιλειάδης, 2006. Κατανεμημένη μηνιαία υδρολογική προσομοίωση με χρήση γεωγραφικού συστήματος πληροφοριών. 10ο Πανελλήνιο Επιστημονικό Συνέδριο, Ελληνική Υδροτεχνική Ένωση, 13-16 Δεκεμβρίου 2006, Ξάνθη, 95-102.
- Λουκάς, Α., Π. Μήτσιου & Λ. Βασιλειάδης, 2007. Επιπτώσεις της χωρικής διακριτοποίησης και του επιπέδου βαθμονόμησης στην κατανεμημένη υδρολογική προσομοίωση. 6ο Εθνικό Επιστημονικό Συνέδριο της ΕΕΔΥΠ: Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Πόρων με Βάση τη Λεκάνη Απορροής, 14-16 Ιουνίου 2007, Χανιά, Κρήτη, 1-8.
- Καμπράγκου, Ε., 2006. Ολοκληρωμένη διαχείριση των υδατικών πόρων, Εφαρμογή του πίνακα ισορροπημένης στοχοθεσίας στη Λεκάνη Απορροής του Νέστου, Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, ΑΠΘ.



Βιβλιογραφία

- Beven, K. J., Rainfall-Runoff Modelling: The Primer, Wiley, 2001.
- Singh, V.P., and Woolhiser, D.A.: Mathematical modeling of watershed hydrology, J. Hydrol. Eng., 7(4), 270-292, 2002.
- Singh, V.P., Frevert, D.K. (eds): Watershed Models. CRC Press, Taylor & Francis Group, UK, 2005.
- Singh, V.P.: Computer Models of Watershed Hydrology, Water Resources Publications, Littleton, Colorado, 2012.
- Μιμίκου, Μ.Α. «Τεχνολογία Υδατικών Πόρων», Εκδόσεις Παπασωτηρίου, 3^η Έκδοση, 2006.



Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.

