

ΔΠΜΣ Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων
Παρουσίαση στα πλαίσια του μαθήματος:
«Προχωρημένη Υδρολογία»

Η Υδρόγειος ως επιχειρησιακό εργαλείο
υδρολογικής προσομοίωσης και διαχείρισης
τροποποιημένων λεκανών

Ανδρέας Ευστρατιάδης, Δρ. Πολιτικός Μηχανικός

Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος

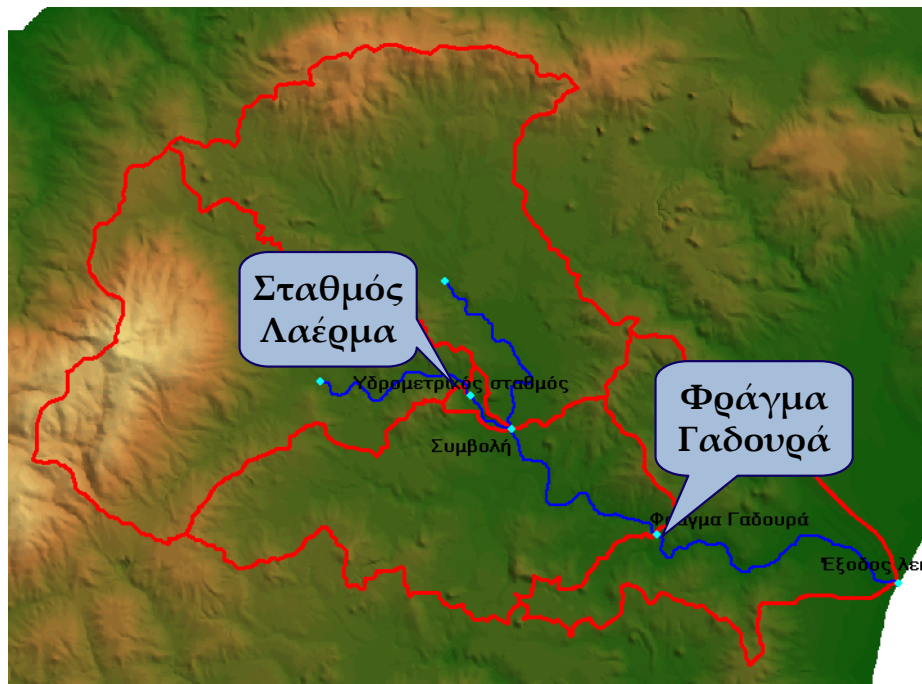
Μάιος 2012



Τυπικά υδρολογικά προβλήματα: Πόσο
επαρκή είναι τα υφιστάμενα μοντέλα;

Πρόβλημα 1: Εκτίμηση απορροής με βάση μετρήσεις σε άλλες θέσεις της λεκάνης

- Σε ορισμένες περιπτώσεις διατίθενται μετρήσεις παροχής σε διαφορετικές θέσεις της λεκάνης σε σχέση με τα σημεία ενδιαφέροντος (π.χ. θέσεις κατασκευής έργων, πραγματοποίησης απολήψεων, κτλ.).
- Η συνήθης «μεταφορά» της απορροής με απλές εμπειρικές σχέσεις (π.χ. λόγος εμβαδών υπολεκανών) έχει αποδειχθεί εξαιρετικά επισφαλής, λόγω της έντονης ετερογένειας των γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών της λεκάνης και, συνακόλουθα, των υδρολογικών διεργασιών.



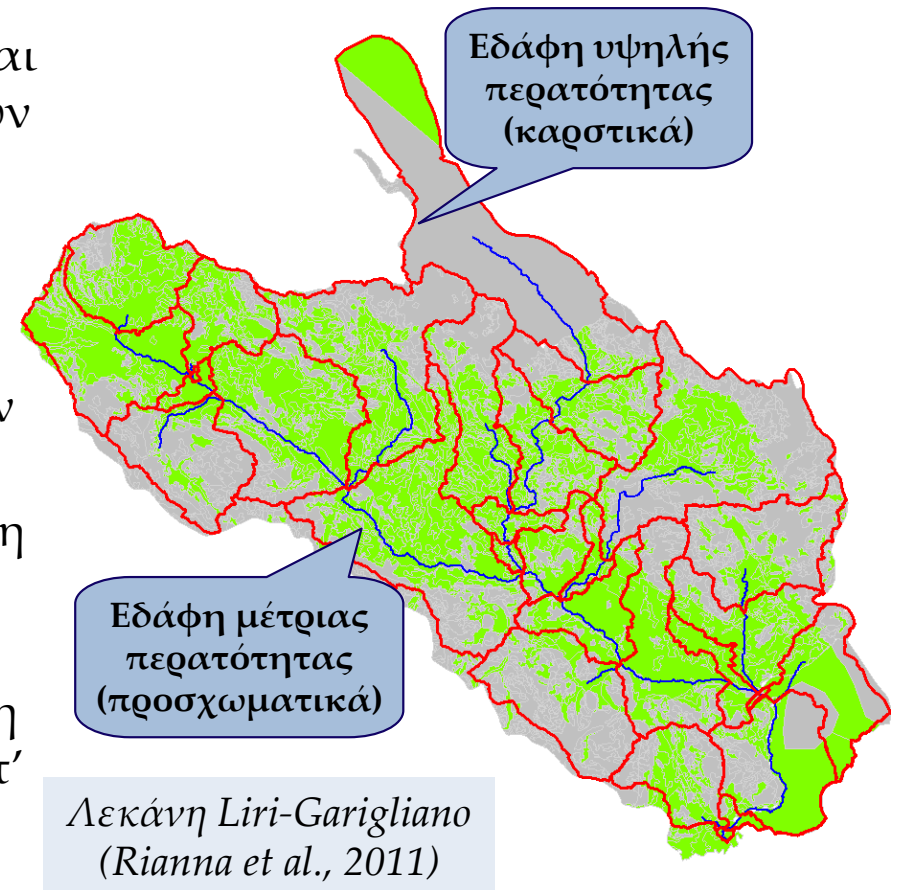
Λεκάνη Γαδουρά (Ευστρατιάδης & Ρόζος, 2010)



Υδροσύστημα Σμοκόβου (Ευστρατιάδης κ.ά., 2008)

Πρόβλημα 2: Εκτίμηση υδατικού ισοζυγίου καρστικών λεκανών

- ❑ Οι καρστικές λεκάνες παρουσιάζουν αρκετές ιδιομορφίες (χαμηλή επιφανειακή απορροή, μεγάλο υπόγειο δυναμικό, υπόγειες εισροές και εκροές) και υψηλή αβεβαιότητα στην την κατάρτιση του υδατικού τους ισοζυγίου.
- ❑ Παραδοσιακά, η μοντελοποίηση των επιφανειακών και υπόγειων νερών αντιμετωπίζεται ως δύο ανεξάρτητα προβλήματα.
- ❑ Στην Ελλάδα, η ανεξαρτησία αυτή κατοχυρώνεται από το νόμο, καθώς η εκπόνηση των υδρολογικών και υδρογεωλογικών μελετών ανατίθεται σε διαφορετικές επαγγελματικές ομάδες.
- ❑ Στην υδρολογική αντιμετώπιση, η βασική ροή θεωρείται συνιστώσα της συνολικής απορροής, που προέρχεται αποκλειστικά από τη βροχή στην αντίστοιχη υδρολογική λεκάνη.
- ❑ Στην υδρογεωλογική αντιμετώπιση, η κατείδυση θεωρείται σταθερό ποσοστό της βροχής.
- ❑ Η σχέση βροχής-κατείδυσης είναι έντονα μη γραμμική, ενώ ειδικά στα καρστικά συστήματα, η ζώνη τροφοδοσίας των πηγών δεν ταυτίζεται κατ' ανάγκη με τα υδρολογικά όρια (υδροκρίτης).



Πρόβλημα 3: Εκτίμηση επιπτώσεων αντλήσεων στο υδατικό δυναμικό

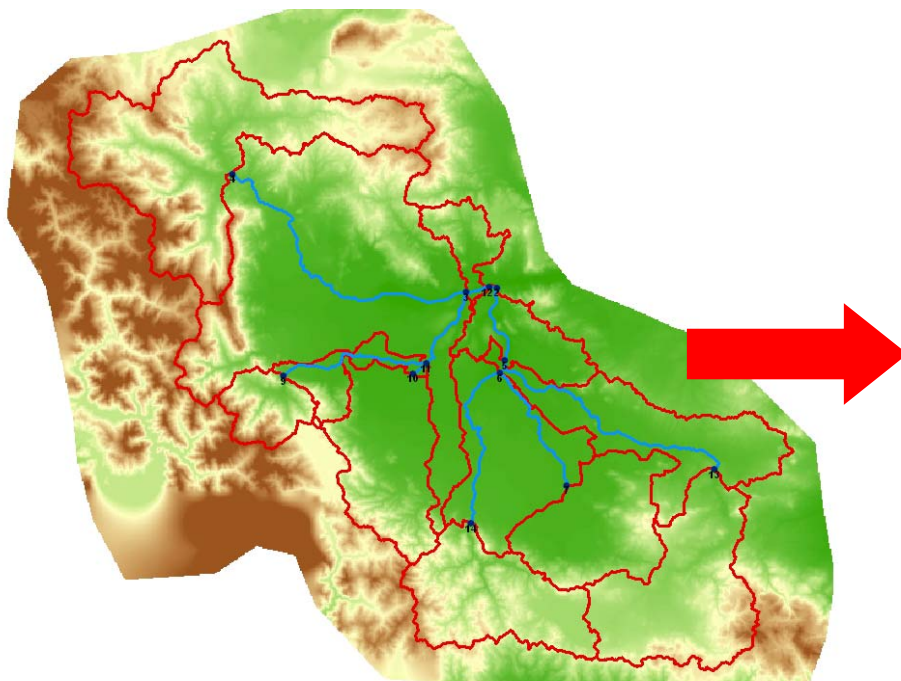
- ❑ Οι αντλήσεις επιδρούν στο ισοζύγιο, καθώς αφαιρούνται από την υπόγεια απορροή.
- ❑ Στα υδρογεωλογικά μοντέλα, οι αντλήσεις εισάγονται ως εξωτερικές φορτίσεις, ενώ στα τυπικά υδρολογικά μοντέλα δεν υπάρχει δυνατότητα περιγραφής τους.



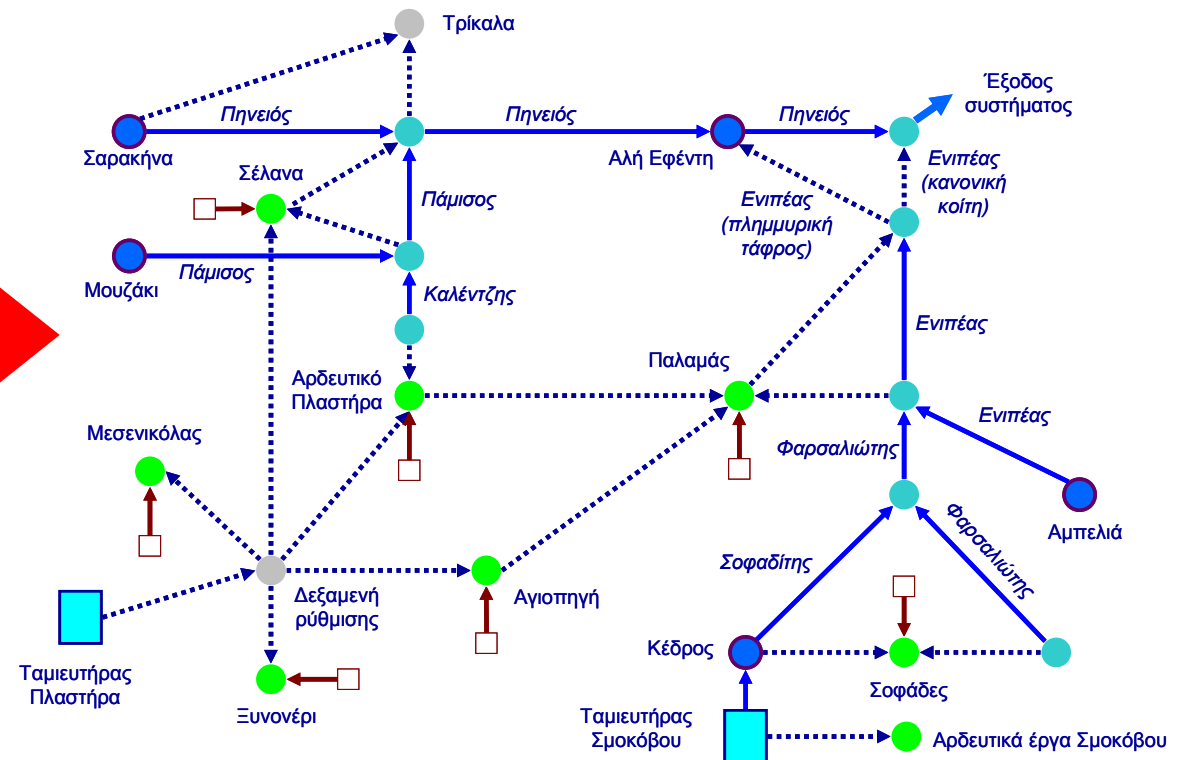
Υδροσύστημα Βοιωτικού Κηφισού (Rozos et al., 2004· Ευστρατιάδης, 2008· Efstratiadis et al., 2008· Κοψιάυτη, 2009· Ρόζος, 2010· Nalbantis et al., 2011)

Πρόβλημα 4: Διαχείριση υδατικών πόρων σε τροποποιημένες λεκάνες

- ❑ Οι ανθρωπογενείς επεμβάσεις στη λεκάνη, μέσω των υδραυλικών έργων, επηρεάζουν τη χωροχρονική διαίτα τόσο των επιφανειακών όσο και των υπόγειων νερών.
- ❑ Στα διαχειριστικά μοντέλα, οι υδρολογικές εισροές του υδrosυστήματος θεωρούνται γνωστές (π.χ. παράγονται μέσω στοχαστικής προσομοίωσης), ενώ οι εκροές (απολήψεις, αντλήσεις) αποτελούν τις μεταβλητές ελέγχου του προβλήματος.
- ❑ Στην πράξη, οι εισροές εξαρτώνται από τις εκροές, και αντίστροφα.

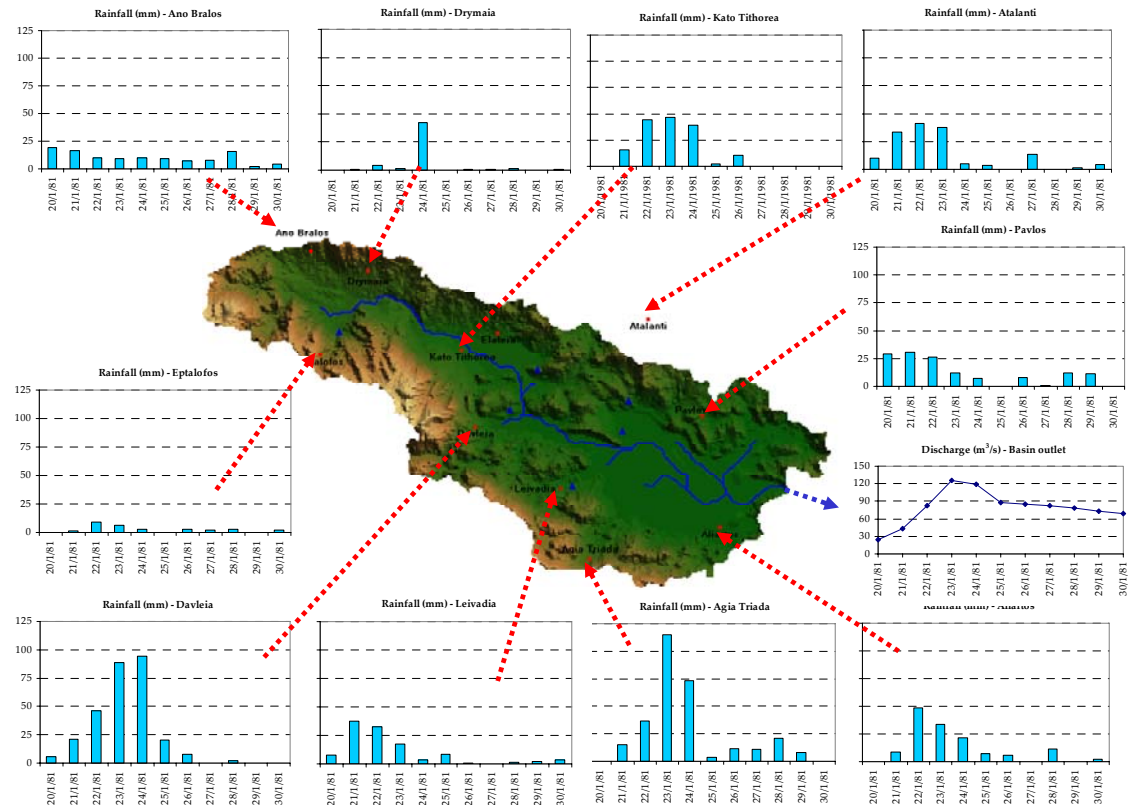


Υδροσύστημα Δυτικής Θεσσαλίας
(Τέγος, 2005· Ευστρατιάδης κ.ά., 2006)



Πρόβλημα 5: Προσομοίωση πλημμυρών σε λεκάνες μεγάλης κλίμακας

- Η μοντελοποίηση των πλημμυρών αντιμετωπίζεται με τυπικά εργαλεία γεγονότος, που χρησιμοποιούν ντετερμινιστικές καταιγίδες σχεδιασμού και εμπειρικές σχέσεις για την εκτίμηση της ενεργού βροχόπτωσης και του μετασχηματισμού της σε απορροή.
- Οι ευρέως εφαρμοζόμενες μεθοδολογίες κατασκευής καταιγίδων σχεδιασμού αδυνατούν να περιγράψουν σωστά τη μεταβλητότητα της βροχόπτωσης, καθώς δεν λαμβάνουν υπόψη τις χρονικές και χωρικές συσχετίσεις των ιστορικών δειγμάτων.
- Τα μοντέλα γεγονότος δεν επιτρέπουν την ερμηνεία της πλημμυρικής διακινδύνευσης ως συνδυασμένης πιθανότητας όλων των υδρολογικών μεταβλητών που αλληλοσχετίζονται στην παραγωγή της απορροής, που σε μεγάλο βαθμό εξαρτάται από τη χωροχρονική μεταβλητότητα της εδαφικής υγρασίας.

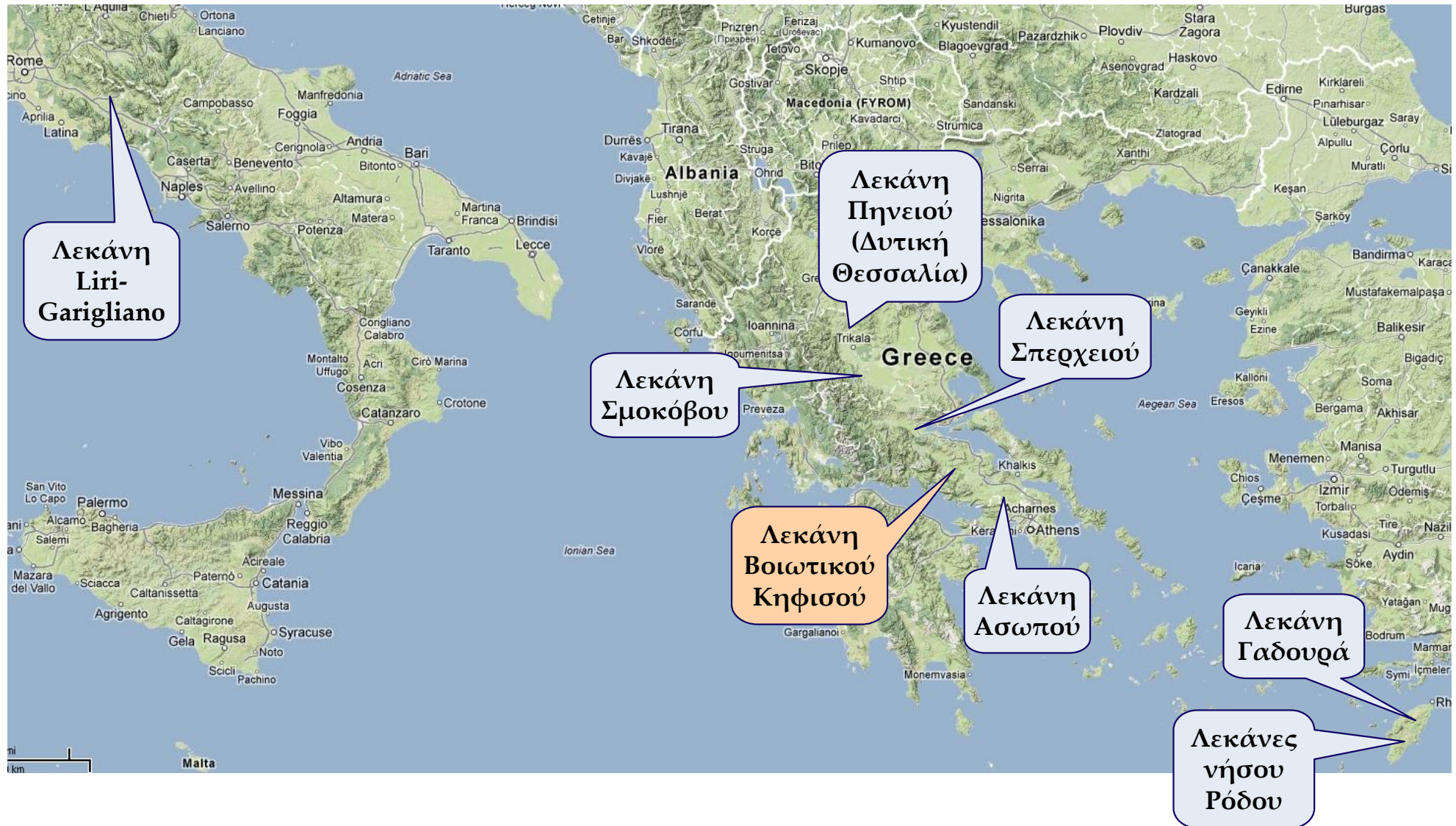


Λεκάνη Βοιωτικού Κηφισού
(Παπαλεξίου και Ευστρατιάδης,
2009· *Efstratiadis and Papalexiou, 2010*)



Προσομοίωση υδροσυστήματος
Βοιωτικού Κηφισού

Υδρόγειος (2005-2012): Πιλοτικές και επιχειρησιακές εφαρμογές



Το κίνητρο: Ανάπτυξη μοντέλου διαχείρισης υδροδοτικού συστήματος Αθήνας



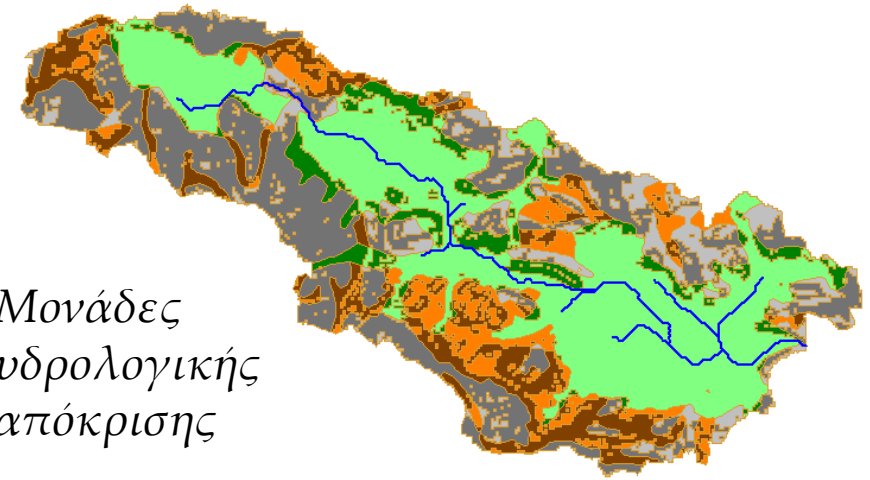
Ζητούμενα μιας ολοκληρωμένης προσέγγισης

Χαρακτηριστικό υδροσυστήματος	Απαιτήσεις υδρολογικού μοντέλου
Πληθώρα καρστικών πηγών, σημαντική συνεισφορά βασικής ροής (~50%)	Συνδυασμένη αναπαράσταση επιφανειακών και υπόγειων διεργασιών
Εκτεταμένα μέτωπα διαφυγών προς την Υλίκη και την θάλασσα	Μοντελοποίηση απωλειών εκτός λεκάνης, χωρικές και ποσοτικές εκτιμήσεις
Σημαντικές απώλειες λόγω διήθησης, το καρστ ανατροφοδοτείται από ανάντη νερά	Μοντελοποίηση μηχανισμού διήθησης, ποσοτικές εκτιμήσεις, χωρική κατανομή
Ανταγωνιστικές χρήσεις νερού, συνδυασμένες απολήψεις επιφανειακών και υπόγειων νερών, άγνωστης κατανομής	Ποσοτικοποίηση των υδατικών αναγκών, περιγραφή των πρακτικών διαχείρισης, με βάση εύλογες υποθέσεις
Οι απολήψεις από επιφανειακά και υπόγεια νερά επηρεάζουν δραστικά τη διαίτα της λεκάνης και του υδροφορέα	Συνδυασμένη αναπαράσταση φυσικών υδρολογικών διεργασιών και ανθρωπογενών επεμβάσεων
Μέρος της αρδευτικής ζήτησης καλύπτεται από αντλούμενα νερά της Υλίκης	Αναπαράσταση «εξωτερικών» εισροών
Έντονη ετερογένεια ως προς τα φυσικά χαρακτηριστικά της λεκάνης (γεωλογία)	Διερεύνηση της επίδρασης των εν λόγω χαρακτηριστικών στις διεργασίες
Συστηματικές αλλά και σποραδικές μετρήσεις, σε διάφορες θέσεις της λεκάνης	Βέλτιστη προσαρμογή μοντέλου, με αξιοποίηση του συνόλου των μετρήσεων

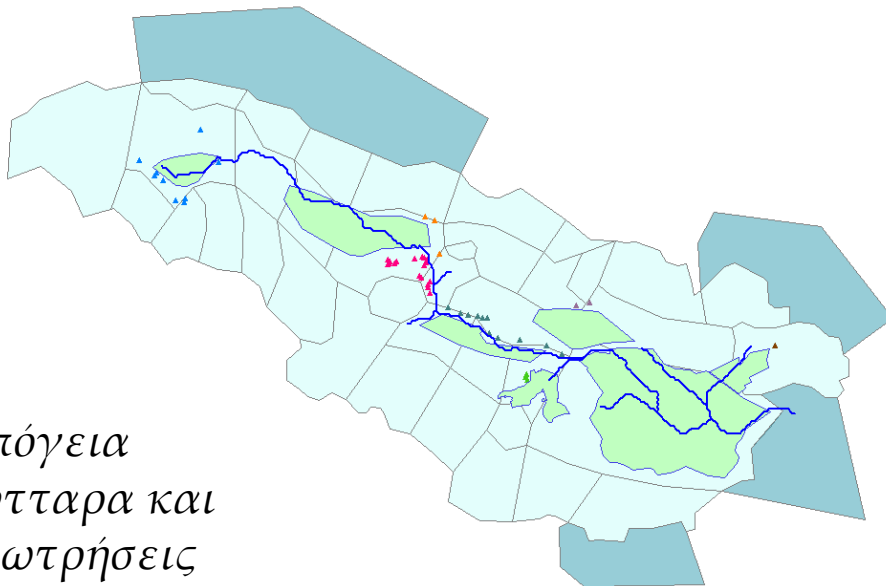
Λεκάνη Β. Κηφισού – Σχηματοποίηση και παραμετροποίηση



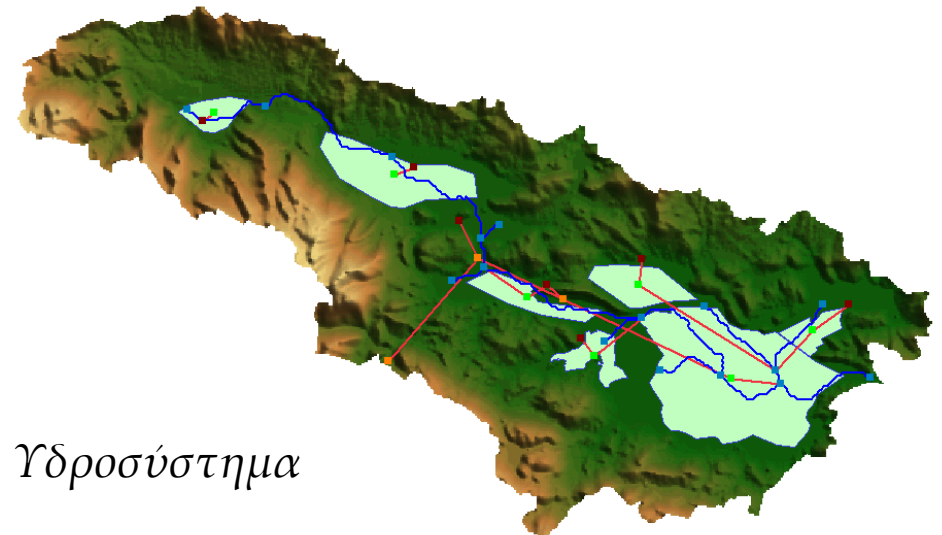
Υδρογραφικό δίκτυο και υπολεκάνες



Μονάδες υδρολογικής απόκρισης



Υπόγεια κύτταρα και γεωτρήσεις



Υδροσύστημα

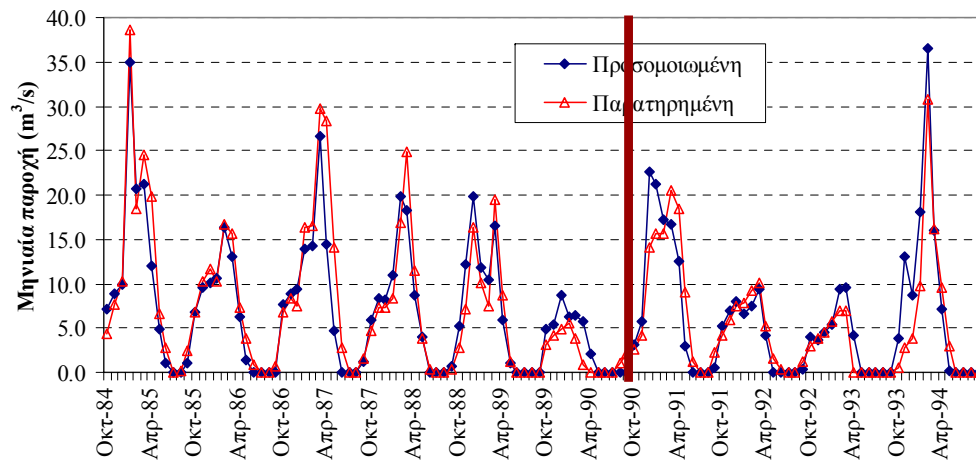
Εκτίμηση παραμέτρων (βαθμολόγηση)

- Περίοδος ελέγχου (μηνιαία προσομοίωση)
 - Οκτ. 1984 - Σεπ. 1990 (βαθμολόγηση), Οκτ. 1990 - Σεπ. 1994 (επαλήθευση)
- Μεταβλητές ελέγχου
 - 60 παράμετροι προς βελτιστοποίηση, για την ερμηνεία των οποίων απαιτείται εύλογο πλήθος κριτηρίων
- Κριτήρια προσαρμογής (σταθμισμένα)
 - Αποτελεσματικότητα (efficiency) και μεροληψία μέσης τιμής μηνιαίων υδρογραφημάτων στην έξοδο της λεκάνης και κατάντη των έξι πηγών.
 - Εμπειρικό μέτρο ελέγχου αναπαραγωγής περιόδων στείρευσης της παροχής.
 - Εμπειρικό μέτρο ελέγχου υπερετήσιας διακύμανσης της στάθμης των δεξαμενών υπόγειου νερού (έλεγχος τάσης, βασισμένος στη δοκιμή Mann-Kendall).
- Διαδικασία βαθμολόγησης
 - Ημιαυτόματη στρατηγική τριών σταδίων: (α) Γενική εικόνα εφικτού χώρου, εκτίμηση βέλτιστων τιμών ανά κριτήριο. (β) Αδρομερής βελτιστοποίηση συνόλου κριτηρίων. (γ) Βήμα-προς-βήμα βελτίωση επιμέρους πτυχών βέλτιστης λύσης.
 - Βελτιστοποίηση ομάδων παραμέτρων, με εξελικτική μέθοδο ανόπτησης-απλόκου.
 - Αναπροσαρμογή συντελεστών βάρους και ορίων εφικτού χώρου, ώστε να «κατευθυνθεί» η διαδικασία προς ένα αποδεκτό συμβιβασμό των κριτηρίων.
 - Έλεγχος προσαρμογής στην επαλήθευση, εμπειρική αξιολόγηση αληθοφάνειας παραμέτρων και μη μετρούμενων αποκρίσεων (εξατμοδιαπνοή, διαφυγές).

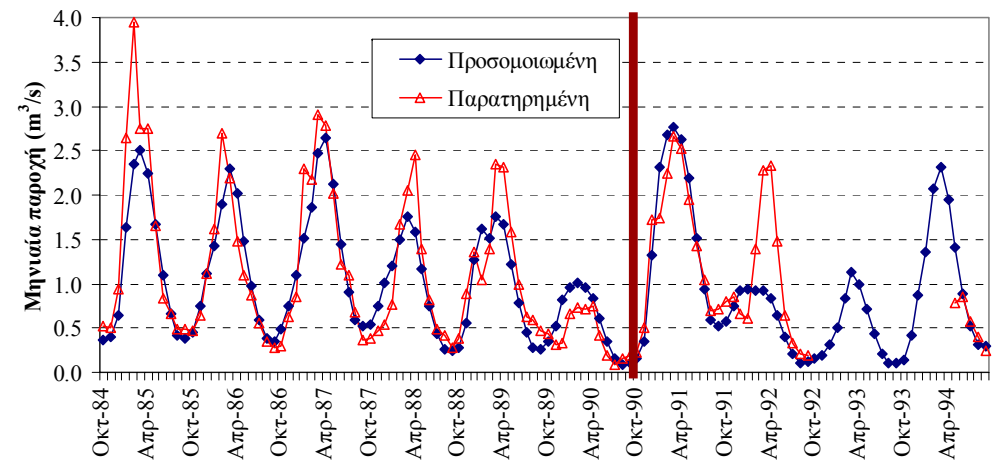
Σύνοψη αποτελεσμάτων

Μηνιαία απορροή	Περίοδος βαθμονόμησης		Περίοδος επαλήθευσης	
	Αποτελεσματικότητα	Μεροληψία μέσης τιμής	Αποτελεσματικότητα	Μεροληψία μέσης τιμής
Έξοδος Λεκάνης	0.872	-0.037	0.791	0.156
Πηγές Λιλαίας-Κεφαλόβρυσου	0.802	-0.084	0.497	-0.007
Πηγές Μαυρονερίου	0.748	0.076	0.720	-0.205
Πηγές Αγίας Παρασκευής	0.319	-0.213	-	-
Πηγές Έρκυνα	0.349	0.060	0.491	-0.062
Πηγές Μέλανα	0.251	0.001	0.141	0.003
Πηγές Πολυγύρας	0.193	-0.013	-	-

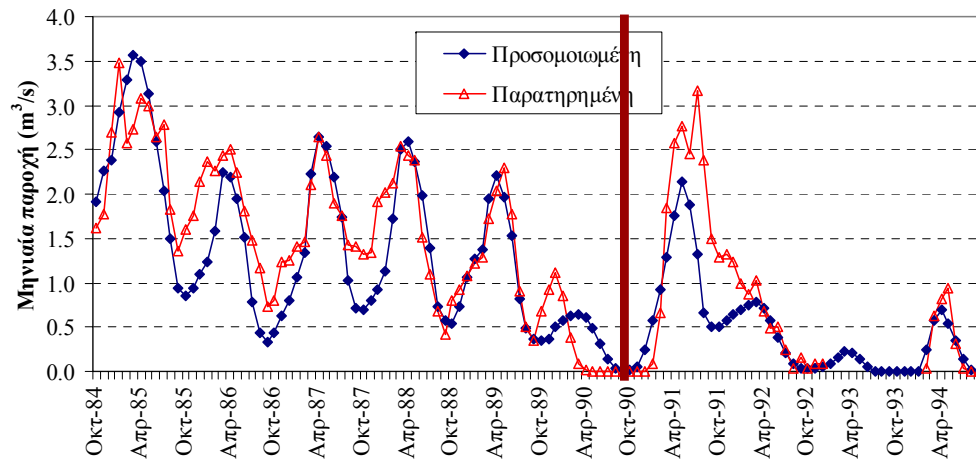
Χαρακτηριστικά υδρογραφήματα



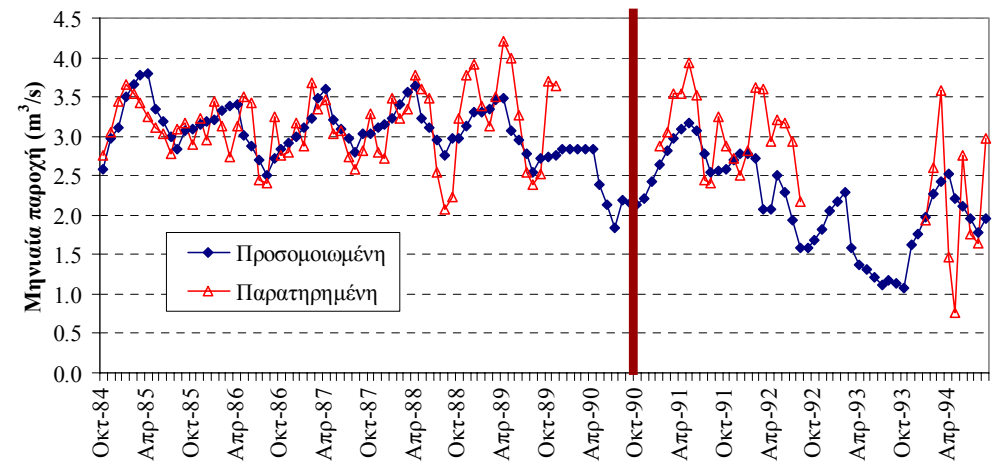
Έξοδος λεκάνης
 $(e_{cal} = 87.2\%, e_{val} = 79.1\%)$



Πηγές Λιλαίας-Κεφαλόβρυσου
 $(e_{cal} = 80.2\%, e_{val} = 49.7\%)$



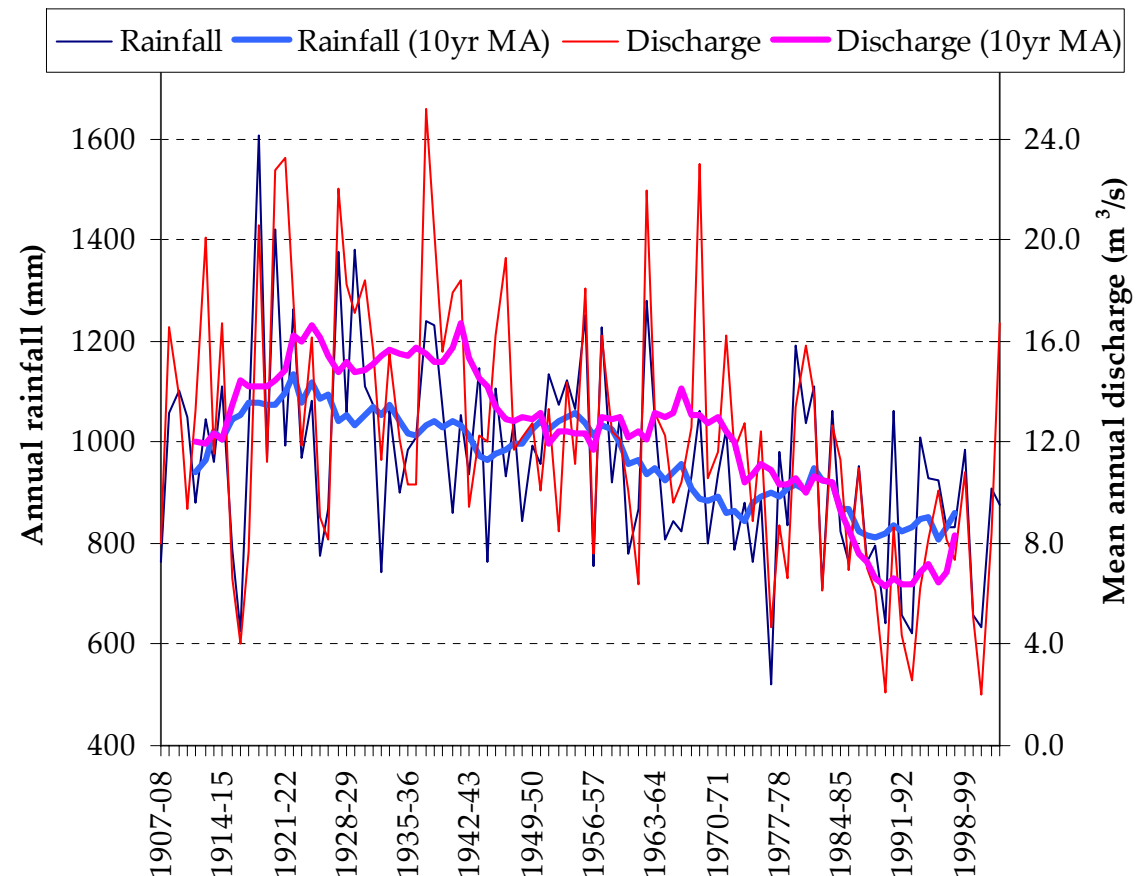
Πηγές Μαυρονερίου
 $(e_{cal} = 74.8\%, e_{val} = 72.0\%)$



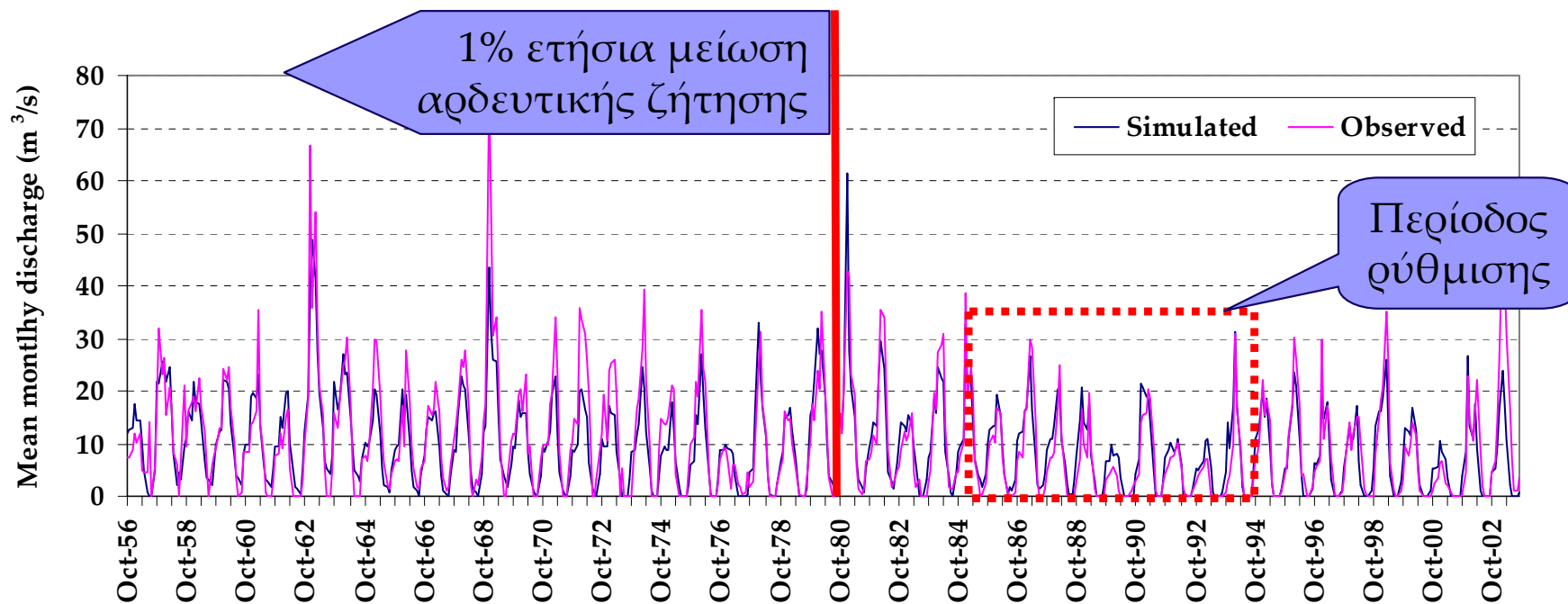
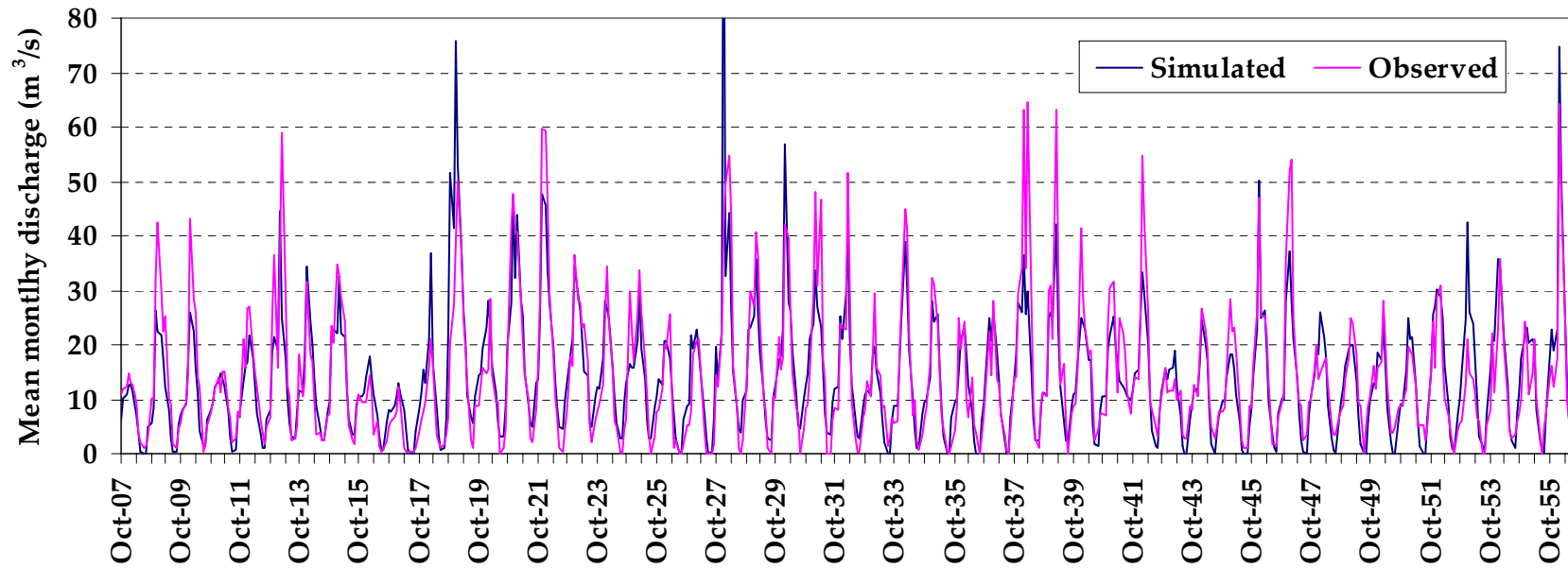
Πηγές Μέλανα
 $(e_{cal} = 25.1\%, e_{val} = 14.1\%)$

Ερώτημα 1: Μπορούμε να αναπαράξουμε τη μεταβλητότητα της απορροής του 20^{ου} αιώνα?

- Η παρατηρημένη απορροή στην έξοδο της λεκάνης (1907-2003) παρουσιάζει εντυπωσιακή μεταβλητότητα, η οποία δεν εξηγείται πλήρως από την μεταβλητότητα της βροχής (οφειλόμενη στο φαινόμενο Hurst-Kolmogorov).
- Προφανώς, η υδρολογική συμπεριφορά της λεκάνης επηρεάζεται τόσο από τις φυσικές διεργασίες όσο και από τις ανθρωπογενείς επεμβάσεις (απολήψεις).
- Ελλείψει στοιχείων, θεωρήθηκαν σταθερές αρδευτικές ανάγκες από τη δεκαετία του 1980 και πέρα, και μείωσή τους κατά 1% ετησίως, ώστε να αποτυπωθεί χονδρικά η ανάπτυξη της περιοχής κατά τον 20^ο αιώνα.



Προσομοίωση ιστορικής απορροής



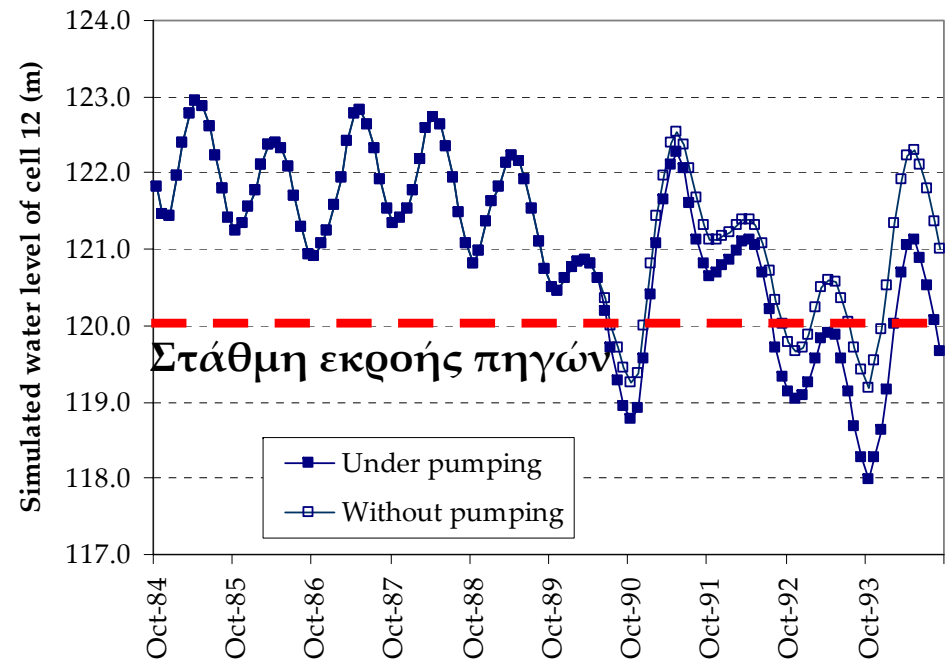
Ερώτημα 2: Ποιες είναι οι επιπτώσεις από τη λειτουργία των γεωτρήσεων μέσου ρου;

- Οι γεωτρήσεις Βασιλικών-Παρορίου διανοίχθηκαν στο 1990, στα πλαίσια του επείγοντος, ώστε να προμηθεύσουν με υδρευτικό νερό την Αθήνα εν μέσω μιας περιόδου έντονης ξηρασίας, που διήρκησε από το 1989 ως το 1994, εξαντλώντας σχεδόν τα επιφανειακά αποθέματα νερού.
- Ο συνδυασμός μειωμένων βροχοπτώσεων και εντατικών αντλήσεων είχε ως συνέπεια τη στείρευση των πηγών Μαυρονερίου (οι δεύτερες σε παροχή καρστικές πηγές της λεκάνης), προκαλώντας έτσι σοβαρά κοινωνικά και περιβαλλοντικά προβλήματα.

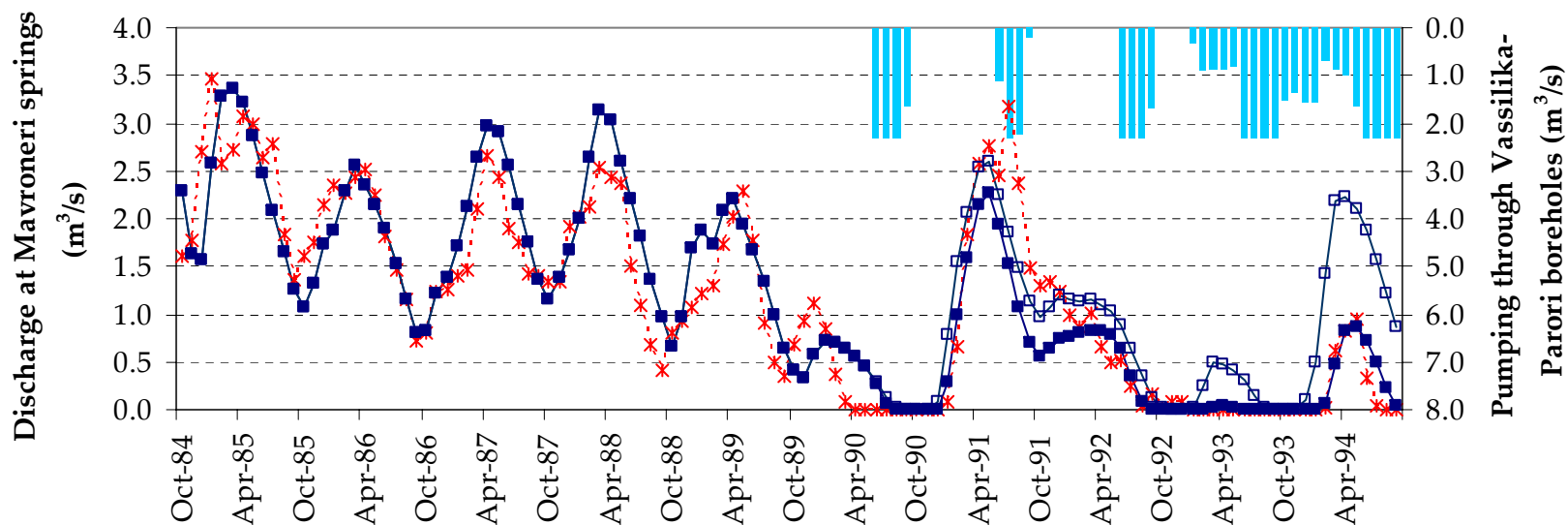


Ερμηνεία της στείρευσης των πηγών

- Εξετάζονται δύο σενάρια αντλήσεων από τις γεωτρήσεις μέσου ρου, θεωρώντας τις πραγματικές υδρευτικές απολήψεις και υποθέτοντας μηδενικές αντλήσεις.
- Το μοντέλο καταδεικνύει ότι η πρώτη (1990) διακοπή της ροής των πηγών Μαυρονερίου θα ήταν αναπόφευκτη, ενώ η δεύτερη (1992-1994) θα μπορούσε να έχει περιοριστεί, με μια πιο βιώσιμη πολιτική αντλήσεων.

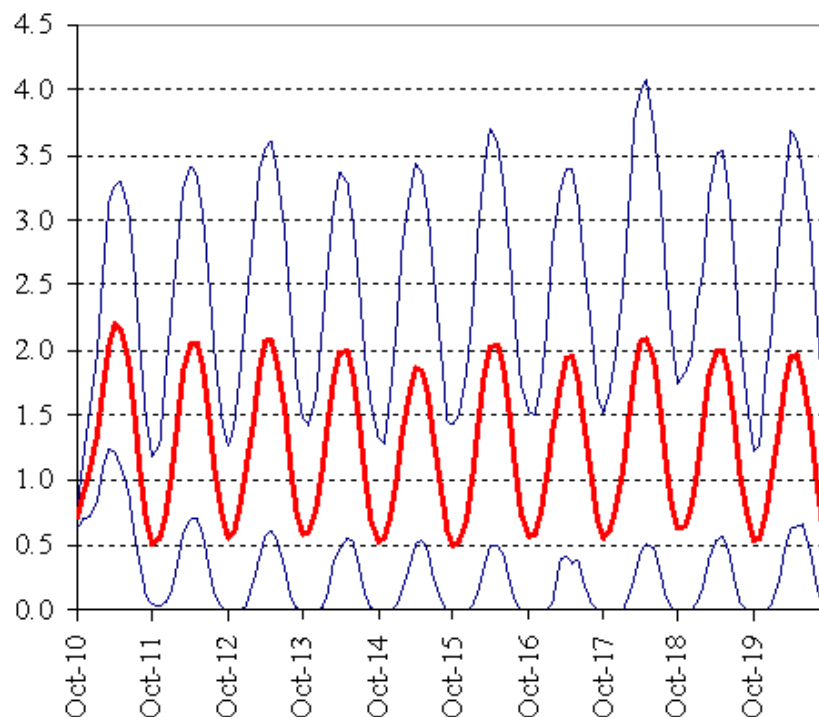


---*--- Obs. discharge (under pumping) —■— Sim. discharge (under pumping) —□— Sim. discharge (no pumping)

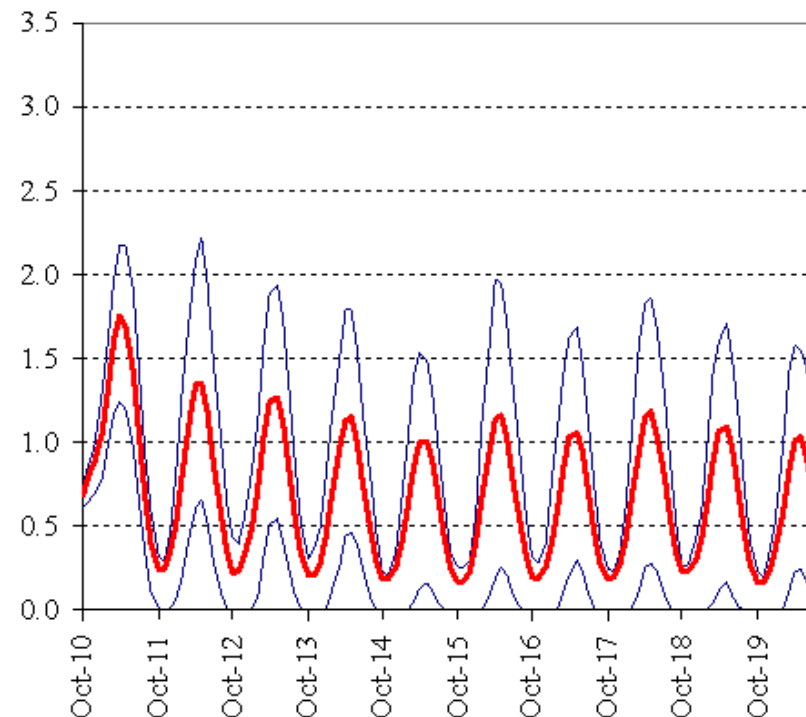


Σενάρια στοχαστικής πρόγνωσης

- Παράγονται 100 σενάρια συνθετικών βροχοπτώσεων, μήκους 10 ετών.
- Εξετάζονται δύο σενάρια αντλήσεων από τις γεωτρήσεις Βασιλικών-Παρορίου, θεωρώντας της τυπική αρδευτική ζήτηση (κανονικό σενάριο) και προσθέτοντας την υδρευτική ζήτηση της περιόδου 1993-94 (46 hm³).
- Για κάθε χρονικό βήμα, αναλύεται στατιστικά το δείγμα των αποκρίσεων του μοντέλου, και εκτιμώνται τα όρια αβεβαιότητας.



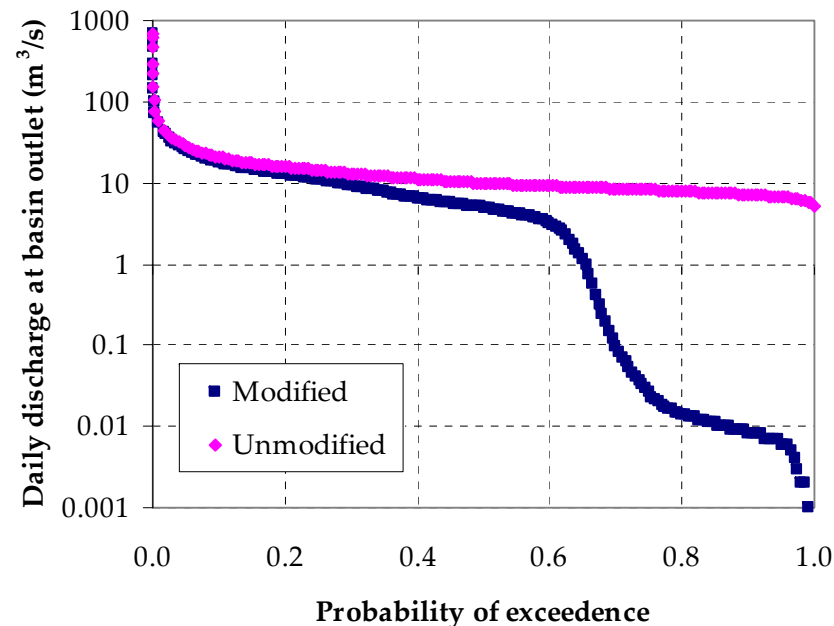
**Μηνιαία παροχή πηγών Μαυρονερίου
– Κανονική χρήση γεωτρήσεων**



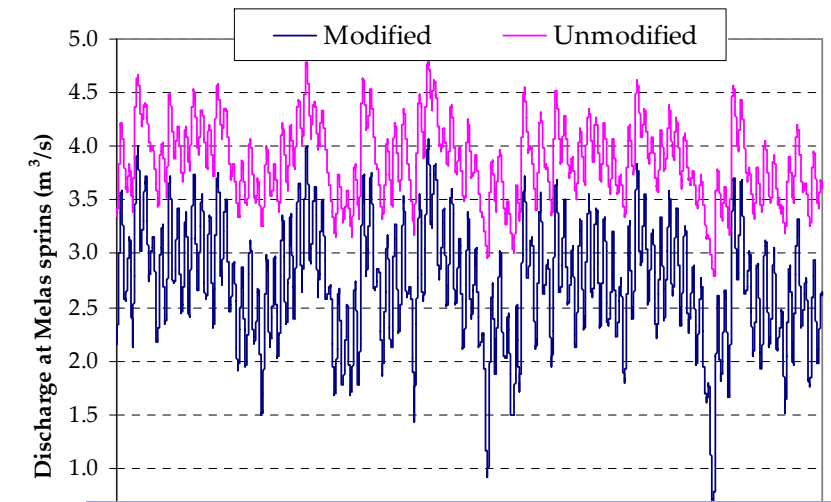
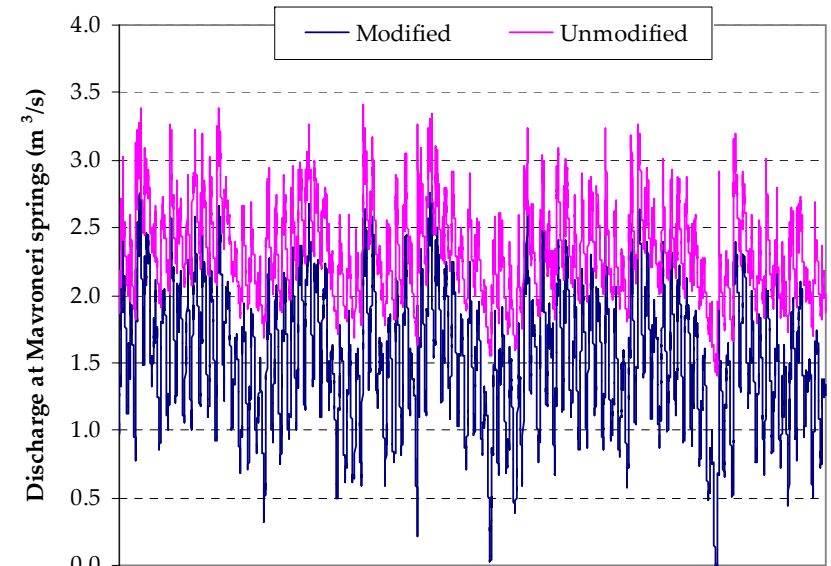
**Μηνιαία παροχή πηγών Μαυρονερίου
– Εντατική χρήση γεωτρήσεων**

Ερώτημα 3: Πώς θα συμπεριφερόταν η λεκάνη σε «αδιατάρακτες» συνθήκες;

- Ημερήσια στοχαστική προσομοίωση με συνθετικές βροχοπτώσεις 1000 ετών.
- Υπόθεση υφιστάμενων και μηδενικών αρδευτικών αναγκών.
- Προκύπτει σημαντική αλλαγή στα στατιστικά χαρακτηριστικά της απορροής, 10-40% μείωση του πραγματικού δυναμικού των πηγών λόγω των αντλήσεων.



Καμπύλες διάρκειας για την ημερήσια παροχή εξόδου



Ημερήσια υδρογραφήματα πηγών Μαυρονερίου και Μέλανα

Αναφορές και δημοσιεύσεις (1)

- Ευστρατιάδης, Α., Α. Κουκουβίνος, Ε. Ρόζος, Α. Τέγος, και Ι. Ναλμπάντης, Θεωρητική τεκμηρίωση μοντέλου προσομοίωσης υδρολογικών-υδρογεωλογικών διεργασιών λεκάνης απορροής «Υδρόγειος», *Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Συστημάτων σε Σύζευξη με Εξελιγμένο Υπολογιστικό Σύστημα (ΟΔΥΣΣΕΥΣ)*, Τεύχος 4α, ΤΥΠΥΘΕ-ΕΜΠ, Αθήνα, Δεκέμβριος 2006.
- Ευστρατιάδης, Α., Α. Κουκουβίνος, Ν. Μαμάσης, και Δ. Κουτσογιάννης, Εναλλακτικά σενάρια διαχείρισης και βέλτιστης λειτουργίας ταμιευτήρα Σμοκόβου και συναφών έργων, *Διερεύνηση σεναρίων διαχείρισης του ταμιευτήρα Σμοκόβου*, Τεύχος 3, ΕΜΠ-ΤΥΠΥΘΕ, Αθήνα, Ιούλιος 2008.
- Ευστρατιάδης, Α., Α. Τέγος, Γ. Καραβοκυρός, Ι. Κυριαζοπούλου, και Ι. Βαζίμας, Σχέδιο διαχείρισης των υδατικών πόρων περιοχής Καρδίτσας, *Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Συστημάτων σε Σύζευξη με Εξελιγμένο Υπολογιστικό Σύστημα (ΟΔΥΣΣΕΥΣ)*, Τεύχος 16, Αθήνα, Δεκέμβριος 2006.
- Ευστρατιάδης, Α., Ε. Ρόζος, και Α. Κουκουβίνος, Υδρόγειος: Μοντέλο υδρολογικής και υδρογεωλογικής προσομοίωσης - Θεωρητική τεκμηρίωση, *Ανάπτυξη βάσης δεδομένων και εφαρμογών λογισμικού σε διαδικτυακό περιβάλλον για την «Εθνική Τράπεζα Υδρολογικής και Μετεωρολογικής Πληροφορίας»*, 139 σελίδες, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Νοέμβριος 2009.
- Ευστρατιάδης, Α., Ι. Ναλμπάντης, και Ε. Ρόζος, Μοντέλο προσομοίωσης του υδρολογικού κύκλου στη λεκάνη Βοιωτικού Κηφισού - Υλίκης, *Εκσυγχρονισμός της εποπτείας και διαχείρισης του συστήματος των υδατικών πόρων ύδρευσης της Αθήνας*, Τεύχος 21, ΤΥΠΥΘΕ-ΕΜΠ, Αθήνα, 2004.
- Ευστρατιάδης, Α., και Ε. Ρόζος, Υδρολογική διερεύνηση, Έργα Ύδρευσης Ρόδου από το φράγμα Γαδουρά - Β φάση: Προμελέτες, οριστικές μελέτες κλπ. μελέτες έργων Υδραγωγείων και ΕΕΝ- Τεύχη Δημοπράτησης, Εργοδότης: Υπουργείο Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημόσιων Έργων, Ανάδοχος: Υδροεξυγιαντική, 57 σελίδες, Ιούλιος 2010.
- Ευστρατιάδης, Α., *Μη γραμμικές μέθοδοι σε πολυκριτηριακά προβλήματα βελτιστοποίησης υδατικών πόρων, με έμφαση στη βαθμονόμηση υδρολογικών μοντέλων*, Διδακτορική διατριβή, ΕΜΠ, Αθήνα, 2008.
- Κοψιάυτη, Μ., *Διερεύνηση στρατηγικών παραμετροποίησης υδρογεωλογικού υπομοντέλου του λογισμικού Υδρόγειος - Εφαρμογή στη λεκάνη του Β. Κηφισού*, Μεταπτυχιακή εργασία, ΕΜΠ, 2009.
- Ναλμπάντης, Ι., και Ε. Ρόζος, Σύστημα προσομοίωσης του υδρολογικού κύκλου στη λεκάνη Β. Κηφισού, *Εκσυγχρονισμός της εποπτείας και διαχείρισης του συστήματος των υδατικών πόρων ύδρευσης της Αθήνας*, Τεύχος 10, 72 σελίδες, ΤΥΠΥΘΕ-ΕΜΠ, Αθήνα, 2000.
- Παπαλεξίου, Σ.-Μ., και Α. Ευστρατιάδης, Τελική έκθεση, *Εκτίμηση και πρόγνωση του πλημμυρικού κινδύνου με τη χρήση υδρολογικών μοντέλων και πιθανοτικών μεθόδων*, ΤΥΠΠΕΡ- ΕΜΠ, 2009.
- Ρόζος, Ε., *Υδρολογική προσομοίωση της ροής σε υδροφορείς υψηλής αβεβαιότητας*, Διδακτορική διατριβή, ΤΥΠΠΕΡ-ΕΜΠ, 2010.
- Τέγος, Α., *Συνδυασμένη προσομοίωση υδρολογικών-υδρογεωλογικών διεργασιών και λειτουργίας υδροσυστήματος Δυτικής Θεσσαλίας*, Διπλωματική εργασία, ΕΜΠ, 2005.

Αναφορές και δημοσιεύσεις (2)

- Efstratiadis, A., and D. Koutsoyiannis, One decade of multiobjective calibration approaches in hydrological modelling: a review, *Hydrological Sciences Journal*, 55(1), 58–78, 2010.
- Efstratiadis, A., and S.-M. Papalexiou, The quest for consistent representation of rainfall and realistic simulation of process interactions in flood risk assessment, *European Geosciences Union General Assembly 2009, Geophysical Research Abstracts, Vol. 12*, Vienna, 11101, European Geosciences Union, 2010.
- Efstratiadis, A., A. Mazi, A. D. Koussis, and D. Koutsoyiannis, Flood modelling in complex hydrologic systems with sparsely resolved data, *European Geosciences Union General Assembly 2009, Geophysical Research Abstracts, Vol. 11*, Vienna, 4157, European Geosciences Union, 2009.
- Efstratiadis, A., I. Nalbantis, A. Koukouvinos, E. Rozos, and D. Koutsoyiannis, HYDROGEIOS: A semi-distributed GIS-based hydrological model for modified river basins, *Hydrology and Earth System Sciences*, 12, 989-1006, 2008.
- Efstratiadis, A., I. Nalbantis, E. Rozos, and D. Koutsoyiannis, Accounting for water management issues within hydrological simulation: Alternative modelling options and a network optimization approach, *European Geosciences Union General Assembly 2010, Geophysical Research Abstracts, Vol. 12*, Vienna, 10085, European Geosciences Union, 2010.
- Efstratiadis, A., New insights on model evaluation inspired by the stochastic simulation paradigm, *European Geosciences Union General Assembly 2011, Geophysical Research Abstracts, Vol. 13*, Vienna, 1852, European Geosciences Union, 2011.
- Nalbantis, I., A. Efstratiadis, and D. Koutsoyiannis, On the use and misuse of semi-distributed rainfall-runoff models, *XXIV General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics*, Perugia, International Union of Geodesy and Geophysics, International Association of Hydrological Sciences, 2007.
- Nalbantis, I., A. Efstratiadis, E. Rozos, M. Kopsiafti, and D. Koutsoyiannis, Holistic versus monomeric strategies for hydrological modelling of human-modified hydrosystems, *Hydrology and Earth System Sciences*, 15, 743–758, doi:10.5194/hess-15-743-2011, 2011.
- Nalbantis, I., E. Rozos, G. M. T. Tentes, A. Efstratiadis, and D. Koutsoyiannis, Integrating groundwater models within a decision support system, *Proc. 5th International Conference of European Water Resources Association: "Water Resources Management in the Era of Transition"*, 279-286, European Water Resources Association, Athens, 2002.
- Rianna, M., E. Rozos, A. Efstratiadis, and F. Napolitano, Assessing different levels of model complexity for the Liri-Garigliano catchment simulation, *European Geosciences Union General Assembly 2011, Geophysical Research Abstracts, Vol. 13*, Vienna, 4067, European Geosciences Union, 2011.
- Rozos, E., A. Efstratiadis, I. Nalbantis, and D. Koutsoyiannis, Calibration of a semi-distributed model for conjunctive simulation of surface and groundwater flows, *Hydrological Sciences Journal*, 49(5), 819-842, 2004.
- Rozos, E., and D. Koutsoyiannis, A multicell karstic aquifer model with alternative flow equations, *Journal of Hydrology*, 325(1-4), 340–355, 2006.
- Rozos, E., and D. Koutsoyiannis, Error analysis of a multi-cell groundwater model, *Journal of Hydrology*, 392(1-2), 22–30, 2010.

Η παρουσίαση είναι διαθέσιμη στη διεύθυνση:

<http://www.itia.ntua.gr/el/docinfo/1227/>

Το λογισμικό είναι διαθέσιμο στη διεύθυνση:

<http://itia.ntua.gr/el/softinfo/25/>

Επικοινωνία:

andreas@itia.ntua.gr