



Ημερίδα Ερευνητικού Προγράμματος **ΔΕΥΚΑΛΙΩΝ**
*«Εκτίμηση πλημμυρικών ροών στην Ελλάδα σε
συνθήκες υδροκλιματικής μεταβλητότητας: Ανάπτυξη
φυσικά εδραιωμένου εννοιολογικού-πιθανοτικού
πλαisiού και υπολογιστικών εργαλείων»*
Τετάρτη 2/7/2014, Μουσείο Γουλανδρή Φυσικής
Ιστορίας

Μοντέλα υδρολογικής προσομοίωσης και πρόγνωσης

Αντώνης Δ. Κούσης, Πολιτικός Μηχανικός, Dr. Ing., Δ/ντής Ερευνών ΕΑΑ
Ανδρέας Ευστρατιάδης, Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, ΕΔΙΠ ΕΜΠ





Από τον υδρολογικό σχεδιασμό με μοντέλα επεισοδίου στα μη γραμμικά στοχαστικά μοντέλα συνεχούς προσομοίωσης

Προσομοίωση επεισοδίου (υπόθεση: $T_{\text{πλημμύρας}} = T_{\text{βροχής}}$)

Εκτίμηση ολικού και επιμέρους ύψους βροχής μέσω της **όμβριας καμπύλης**

Κατάρτιση **καταιγίδας σχεδιασμού**

Εκτίμηση **ενεργού βροχόπτωσης**, για δεδομένες συνθήκες **αρχικής εδαφικής υγρασίας**

Διόδευση **πλημμυρικής απορροής** μέσω **μοναδιαίου υδρογραφήματος**

Προσθήκη **βασικής ροής**

Υδρογράφημα σχεδιασμού

Συνεχής προσομοίωση (στατιστική εκτίμηση μεγεθών σχεδιασμού)

Παραγωγή **συνθετικών χρονοσειρών εισόδου** (βροχόπτωση, δυνητική εξατμοδιαπνοή), **μεγάλου μήκους**

Αναπαράσταση **υδρολογικών διεργασιών** λεκάνης απορροής

Παραγωγή **χρονοσειρών παροχής**

Στατιστική **ανάλυση δείγματος ετήσιων μέγιστων παροχών**

Πιθανοτική εκτίμηση παροχής σχεδιασμού για δεδομένη **περίοδο επαναφοράς της πλημμύρας**

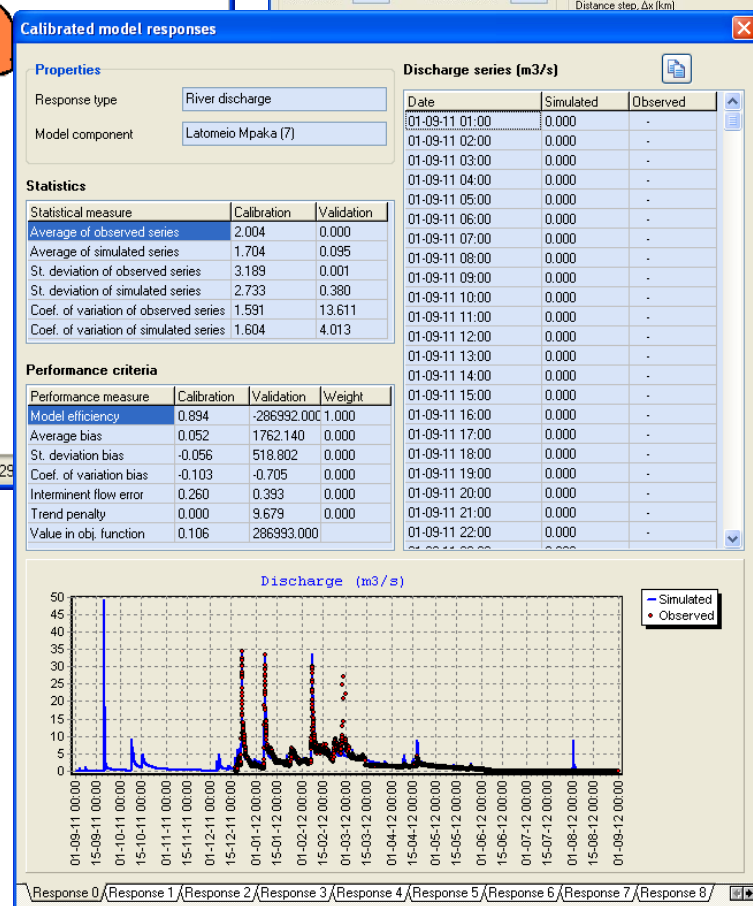
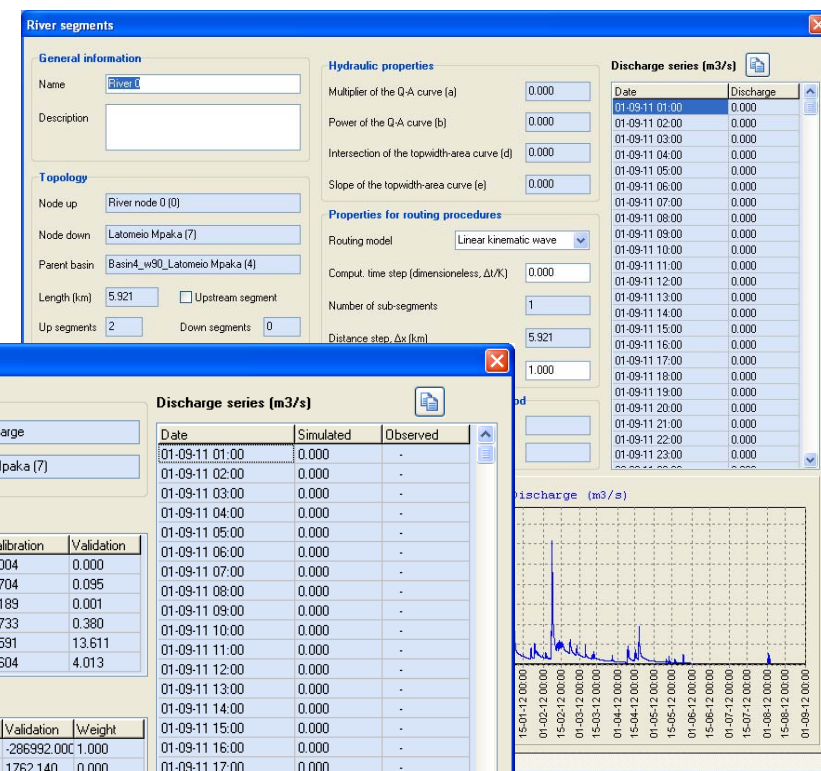
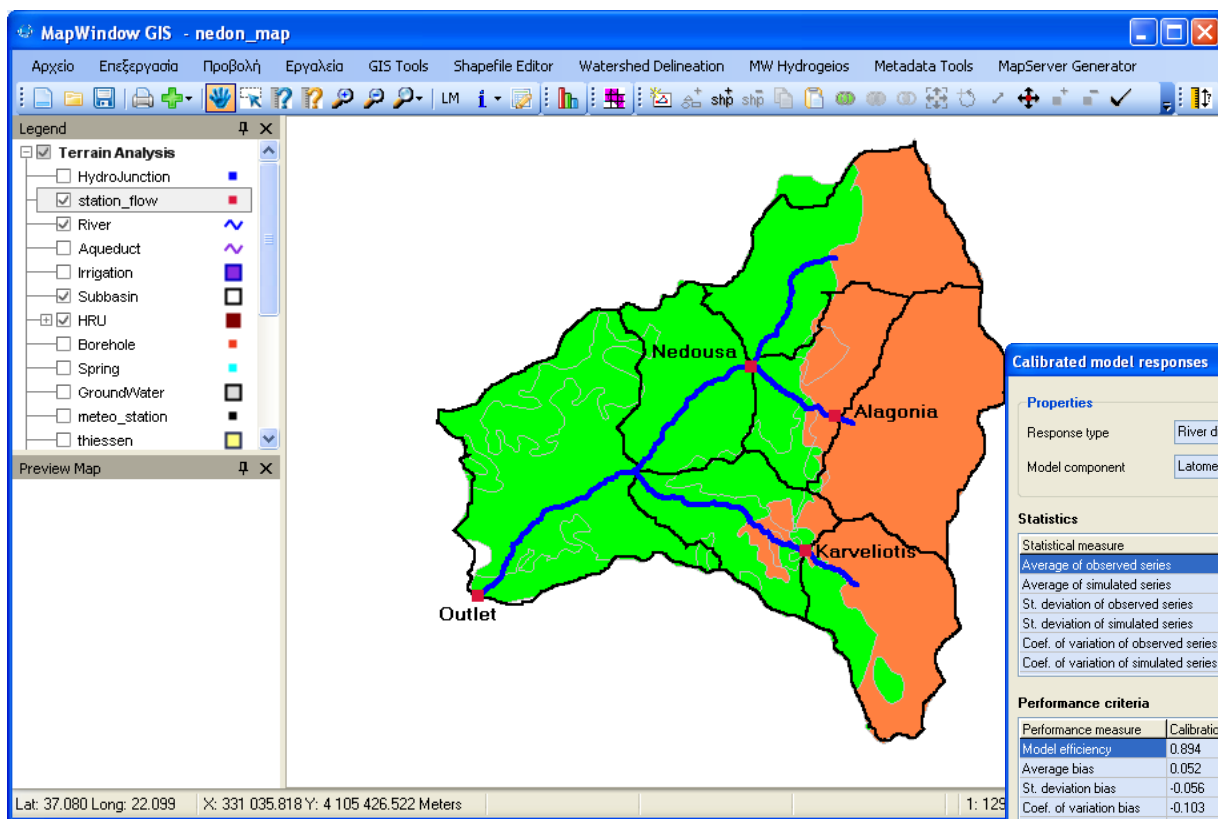


Το υπολογιστικό σύστημα γεω-υδρολογικής προσομοίωσης Υδρόγειος (έκδοση 3-beta)

- Πεδίο εφαρμογής: λεκάνη απορροής
- Χρονικό βήμα: μηνιαίο, ημερήσιο, ωριαίο («συνεχής» προσομοίωση)
- Αναπαράσταση **διεργασιών** και των μεταξύ τους **αλληλεπιδράσεων**:
 - στην επιφάνεια του εδάφους και την ακόρεστη ζώνη
 - στον υδροφορέα (κορεσμένη ζώνη)
 - στο υδρογραφικό δίκτυο
 - στο ανθρωπογενές περιβάλλον (υδροσύστημα)
- Χωρικές συνιστώσες μοντέλου:
 - Εδαφικό σύστημα (υπολεκάνες, κόμβοι & κλάδοι υδρογραφικού δικτύου)
 - Μονάδες υδρολογικής απόκρισης
 - Κύτταρα υδροφορέα και θέσεις εκφόρτισης (υπόγειες διαφυγές, πηγές)
 - Θέσεις ζήτησης και απόληψης νερού, έργα μεταφοράς
- Βασικό πλεονέκτημα: περιγράφεται ο **πλήρης υδρολογικός κύκλος**
- Βασικό μειονέκτημα: πολλές **παράμετροι** που απαιτούν **βαθμονόμηση**



Υδρόγειος: Χαρακτηριστικές φόρμες διαχείρισης γεωγραφικών και υδρολογικών δεδομένων

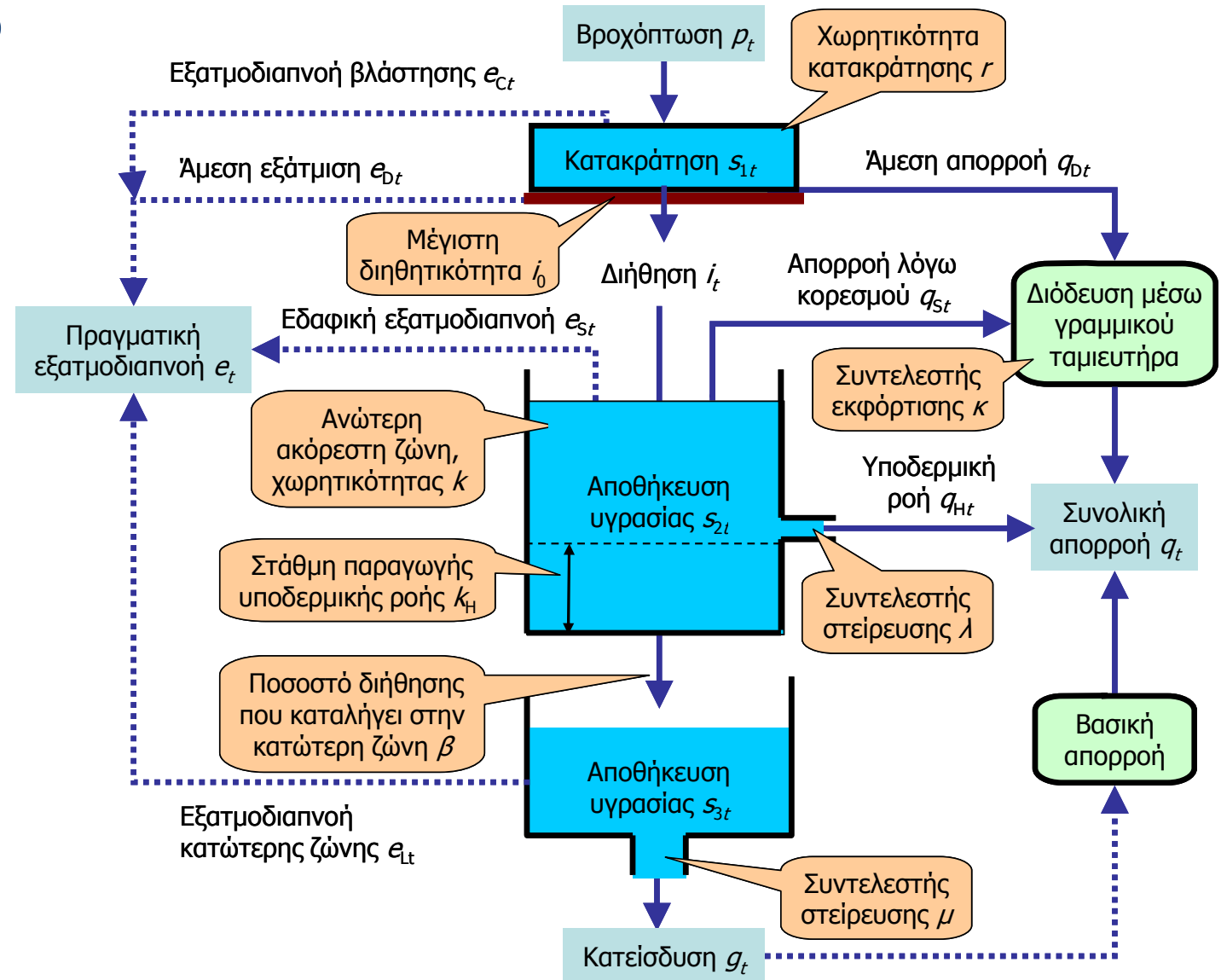


Η Υδρόγειος, καθώς και οι υπόλοιπες υπολογιστικές εφαρμογές που αναπτύχθηκαν, είναι διαθέσιμα μέσω της ιστοσελίδας του έργου Δευκαλίων: <http://deucalionproject.gr/>



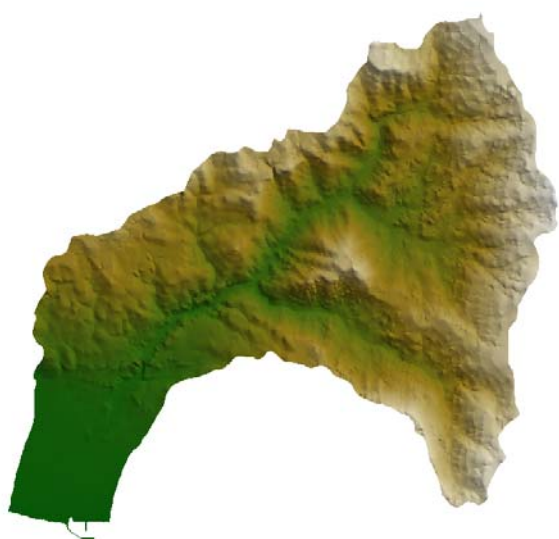
Υδρόγειος: Εννοιολογικό μοντέλο περιγραφής υδρολογικών διεργασιών

- **Άμεση απορροή** πάνω στην επιφάνεια του εδάφους, λόγω εξάντλησης της διηθητικής του ικανότητας (Horton)
- Απορροή με μορφή **υπερχείλισης**, λόγω κορεσμού του εδάφους σε υγρασία
- **Υποδερμική ροή**, διαμέσου της ακόρεστης ζώνης
- **Βασική απορροή** από την εκφόρτιση πηγών εντός της υπολεκάνης

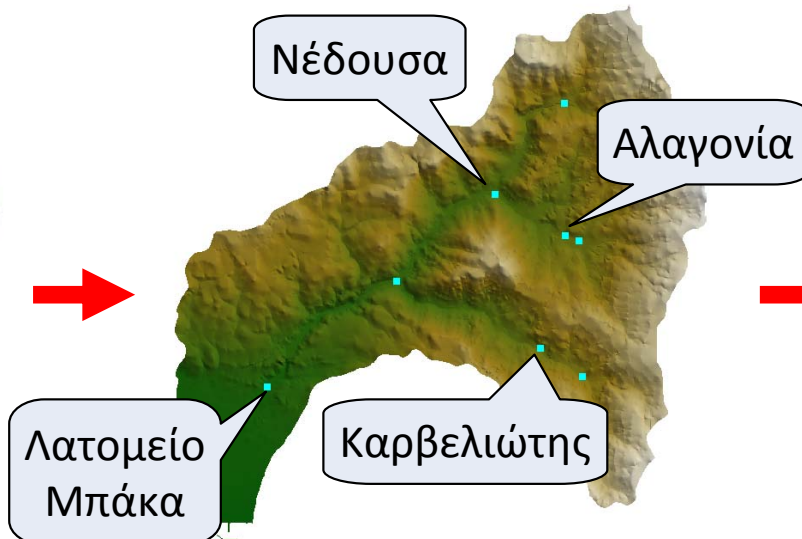




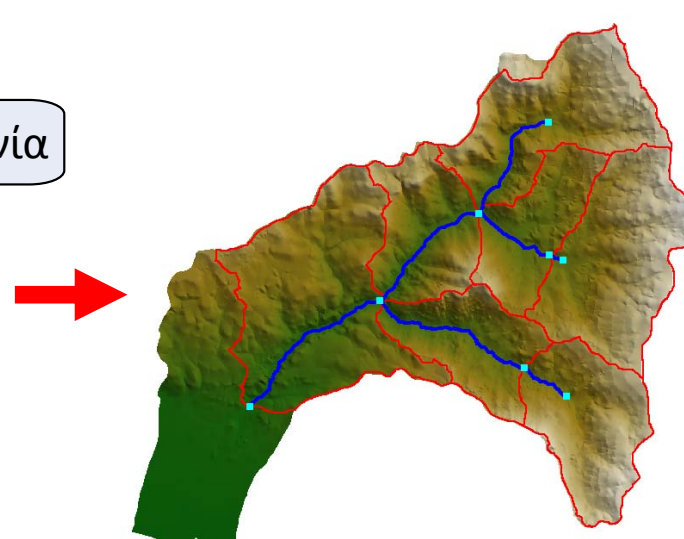
Εφαρμογή στη λεκάνη του Νέδοντα: Σχηματοποίηση και παραμετροποίηση μοντέλου



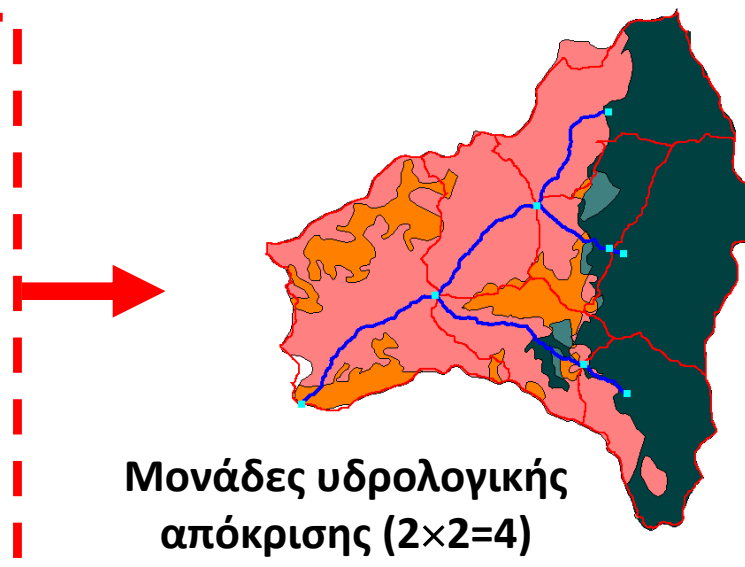
Ψηφιακό μοντέλο εδάφους



Σημεία συμβολής και μέτρησης



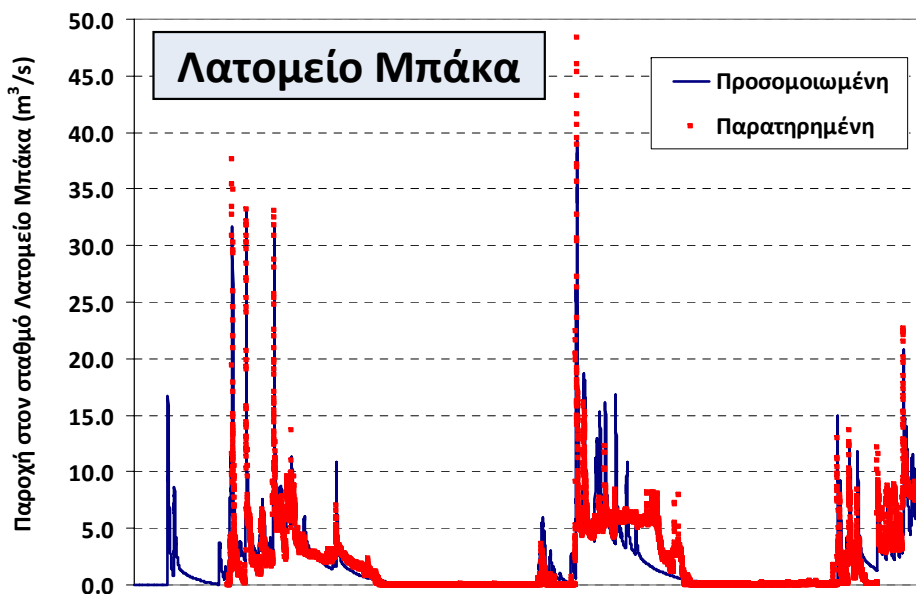
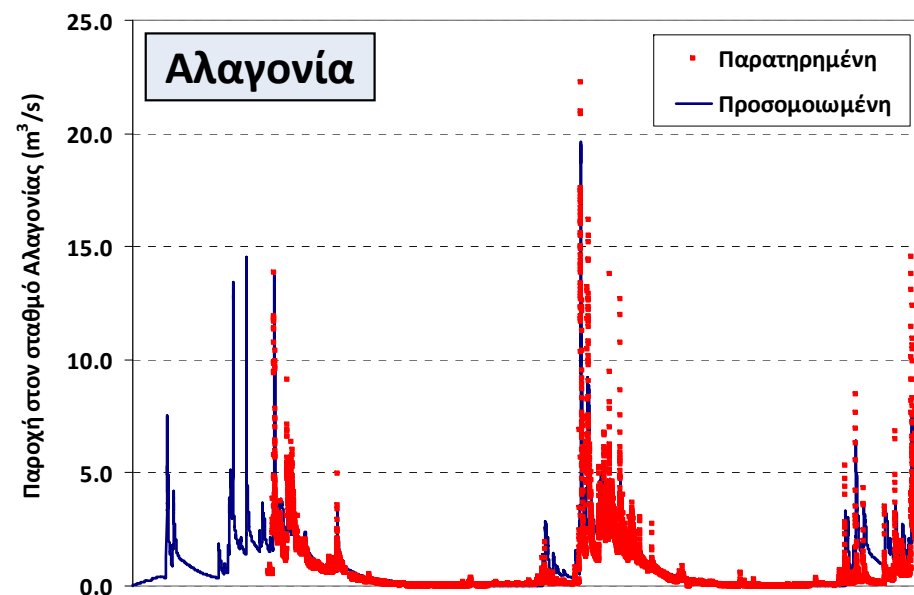
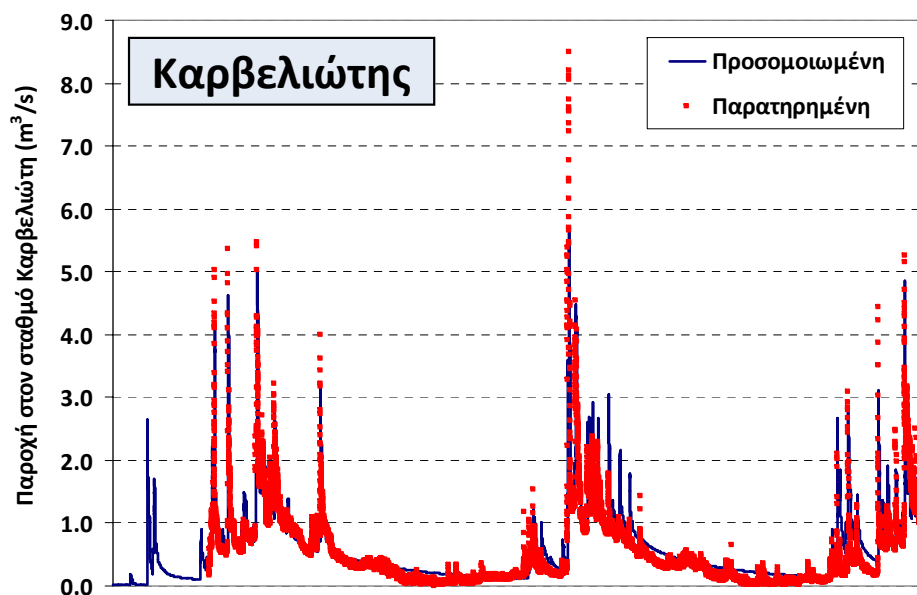
Υδρογραφικό δίκτυο & υπολεκάνες



Μονάδες υδρολογικής απόκρισης ($2 \times 2 = 4$)



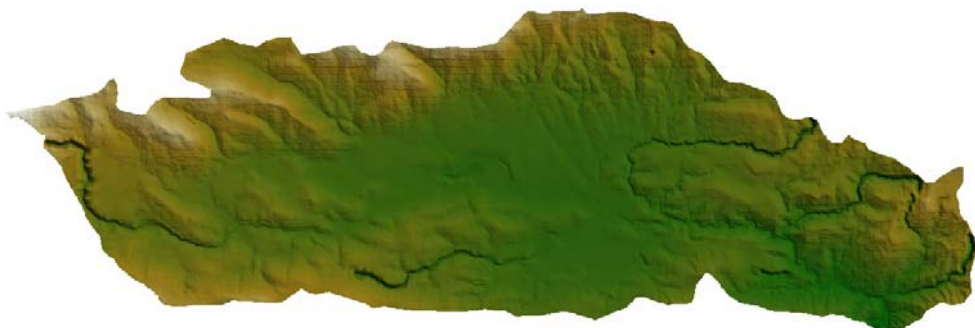
Εφαρμογή στη λεκάνη του Νέδοντα: Προσαρμογή μοντέλου στα παρατηρημένα δείγματα ωριαίων παροχών



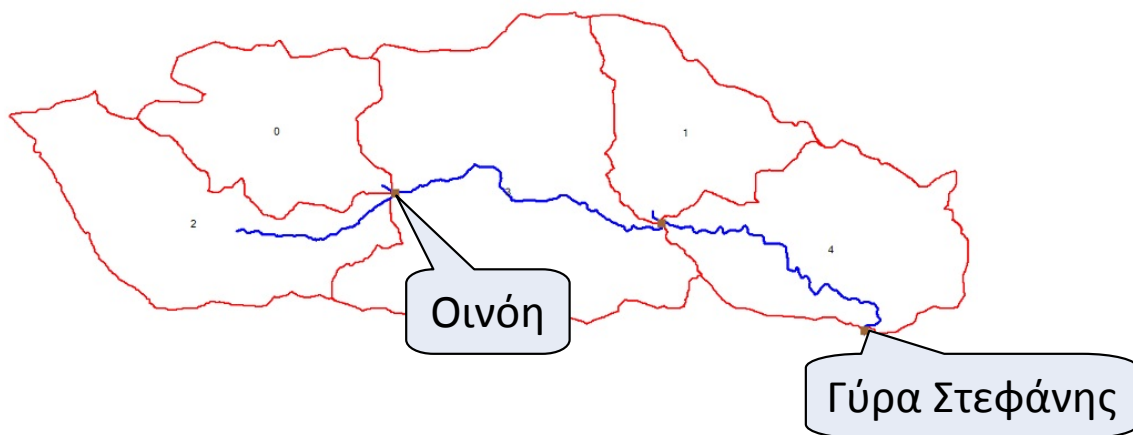
- Περίοδος προσομοίωσης: 1/9/2011-13/2/2014
- Περίοδος βαθμονόμησης: 17/12/2011-30/6/2012



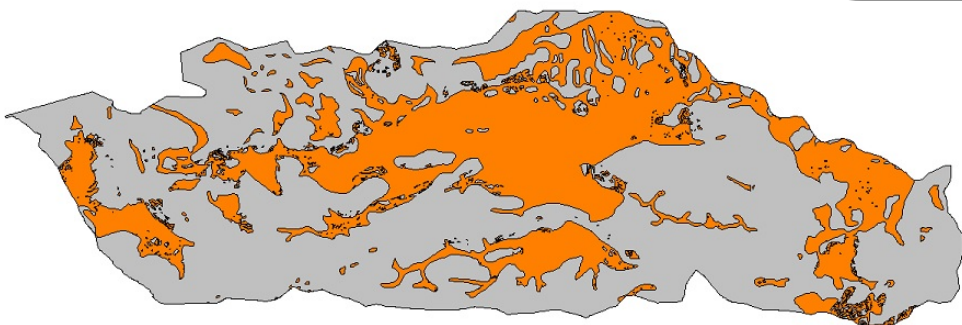
Εφαρμογή στη λεκάνη του Σαρανταπόταμου: Σχηματοποίηση και παραμετροποίηση μοντέλου



Ψηφιακό μοντέλο εδάφους



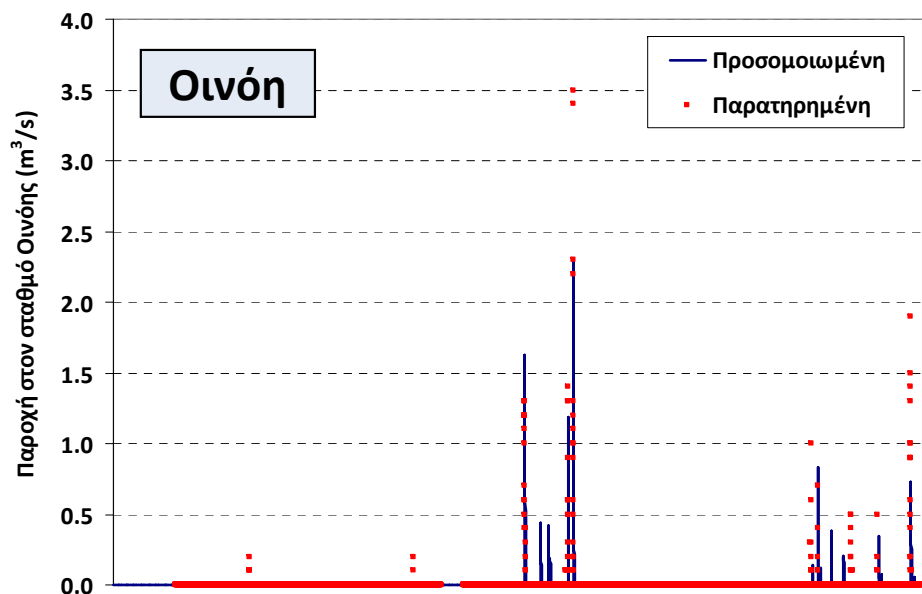
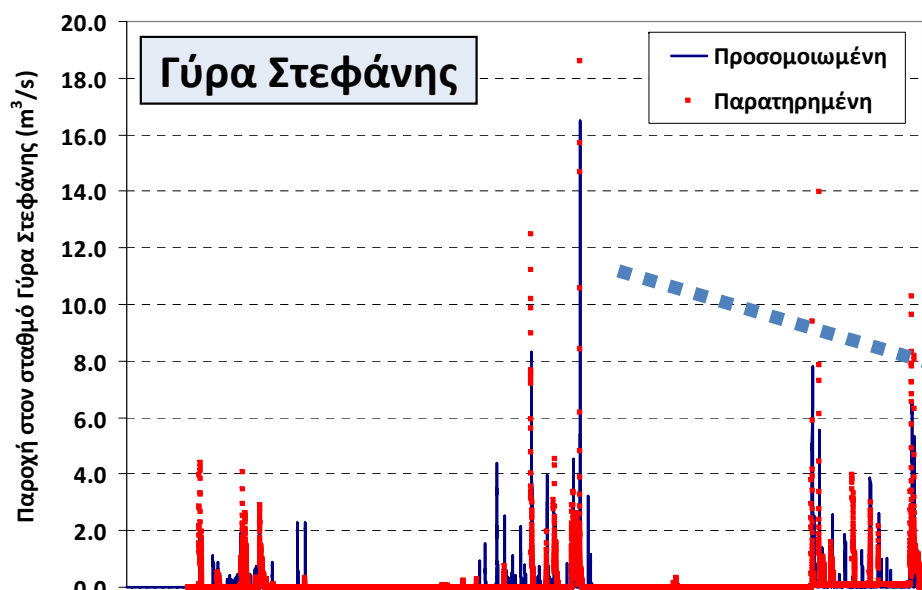
Υδρογραφικό δίκτυο & υπολεκάνες



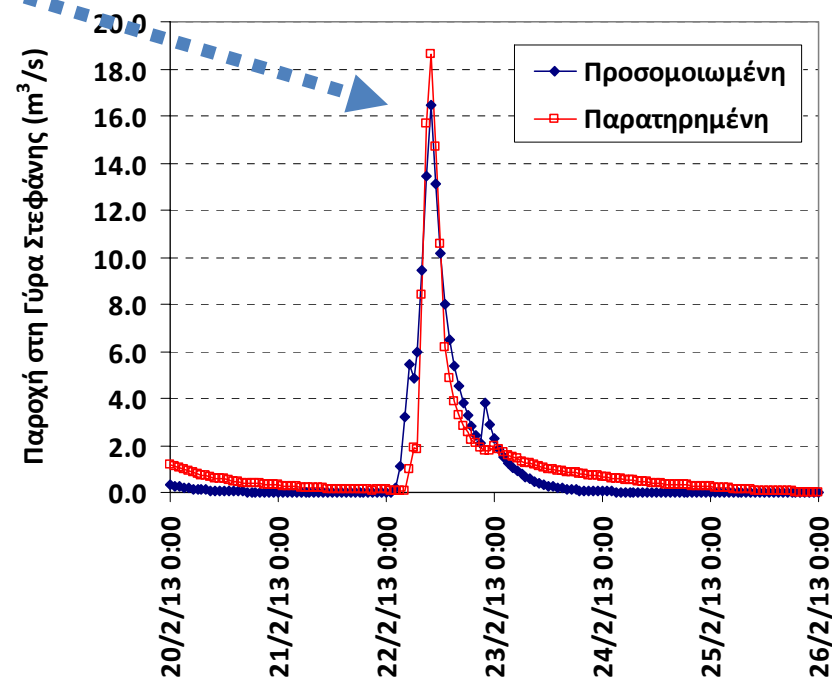
Μονάδες υδρολογικής απόκρισης
(διαχωρισμός σε δύο κατηγορίες,
με όριο την τιμή $CN = 50$)



Εφαρμογή στη λεκάνη του Σαρανταπόταμου: Προσαρμογή μοντέλου στα παρατηρημένα δείγματα ωριαίων παροχών



- Περίοδος προσομοίωσης: 1/10/2011-30/4/2014
- Περίοδος βαθμονόμησης: 13/12/2011-30/4/2013

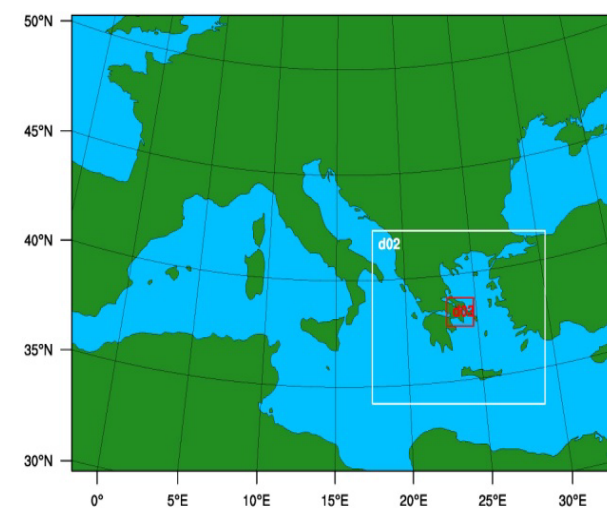
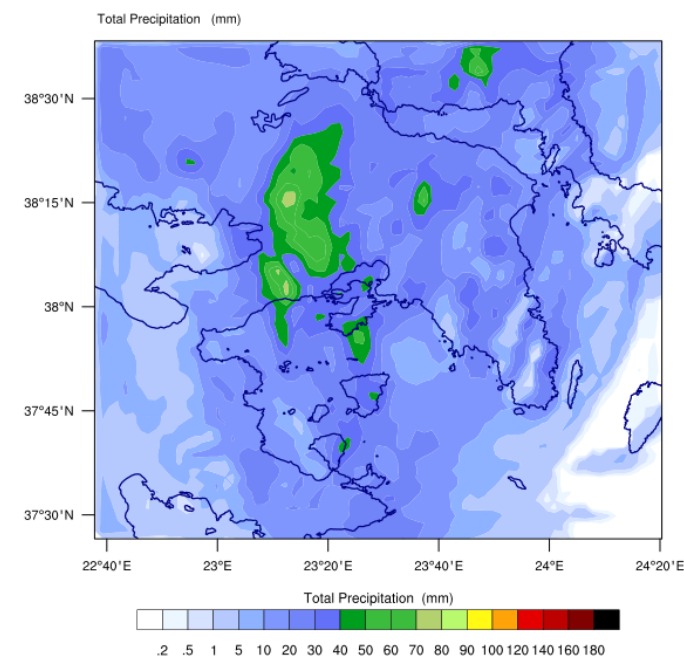


Προσομοίωση παροχών 20-25/2/2013



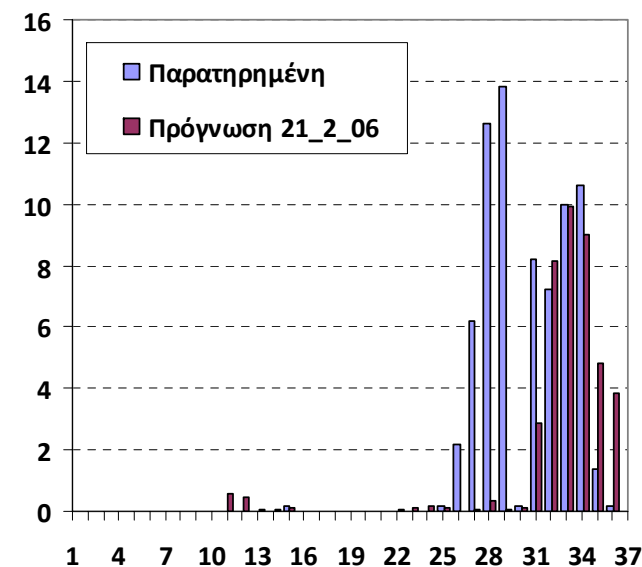
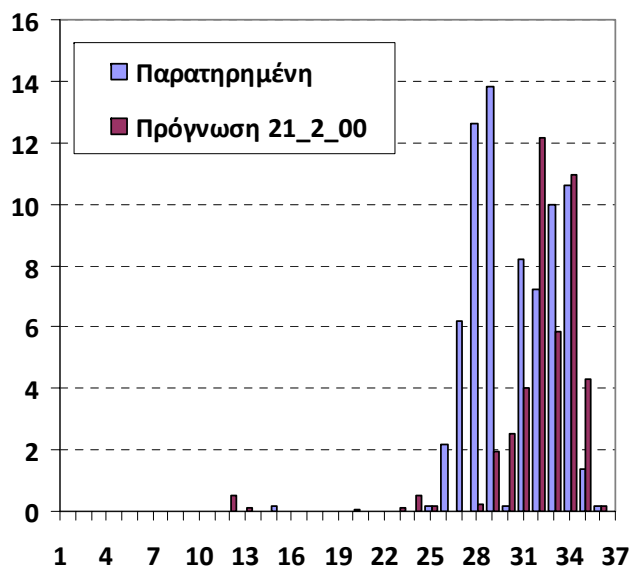
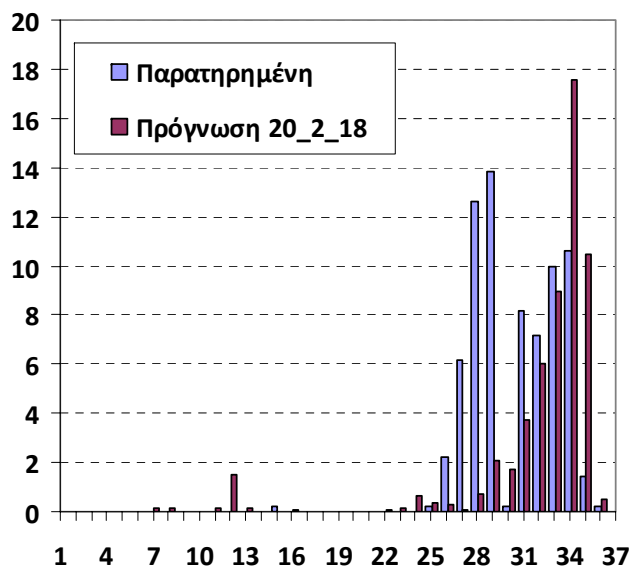
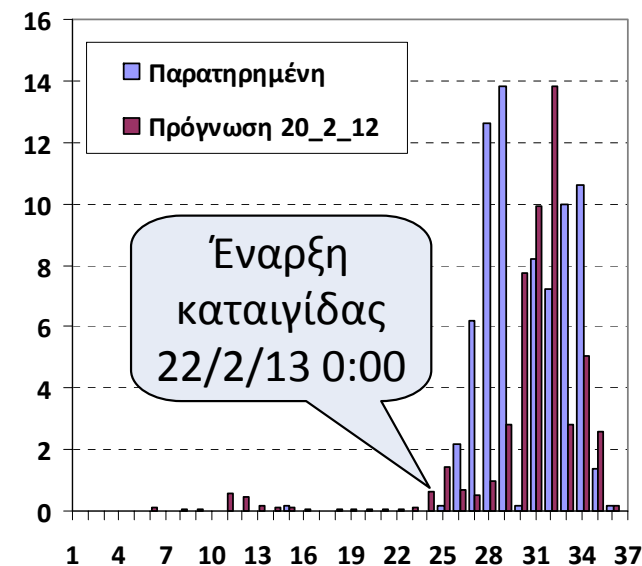
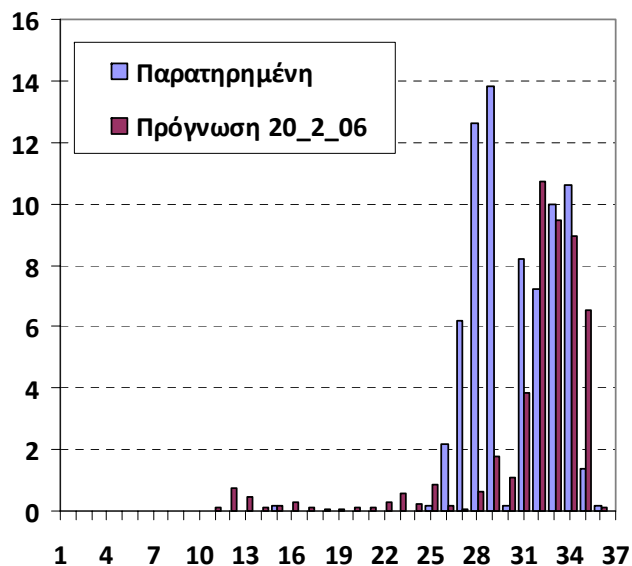
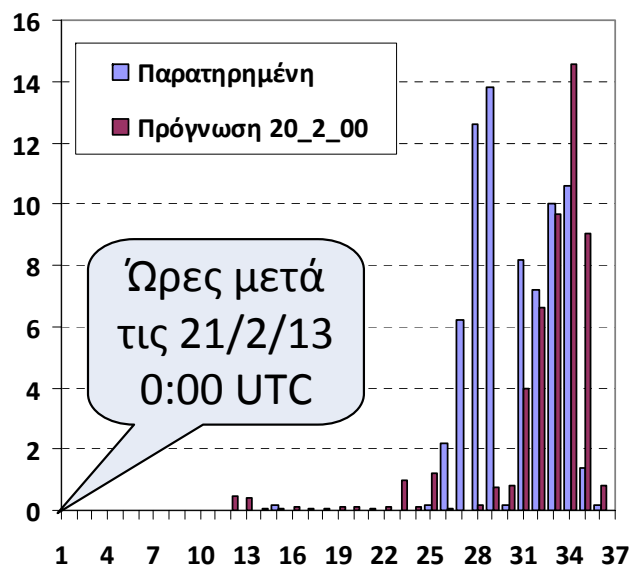
Προσομοίωση επεισοδίου πλημμύρας 22-23/2/2013 στη Λεκάνη του Σαρανταπόταμου

- Εφαρμογή αριθμητικού μοντέλου καιρού WRF σε τρία επάλληλα πλέγματα, χωρικής διακριτότητας 18×18, 6×6 και 2×2 km, αντίστοιχα.
- Προσομοίωση βροχόπτωσης με διαφορετικό χρόνο έναρξης (και άρα διαφορετικές αρχικές συνθήκες) και ίδιο χρόνο λήξης (άρα διαφορετική διάρκεια), που καλύπτει το σύνολο του επεισοδίου.
- Παραγωγή οκτώ διαδοχικών (ανά 6 h) σεναρίων πρόγνωσης, από 20/2/13 00:00 έως 21/2/13 18:00.
- Εκτίμηση σημειακής βροχόπτωσης στους σταθμούς Βίλια, Πράσινο και Μάνδρα, ως σταθμισμένου μέσου όρου των εγγύτερων κόμβων του πλέγματος.
- Αντικατάσταση «παρατηρημένων» τιμών επιφανειακής βροχόπτωσης υπολεκανών από τις αντίστοιχες προγνώσεις, για την παραγωγή σεναρίων πρόγνωσης της παροχής με το μοντέλο Υδρόγειος.



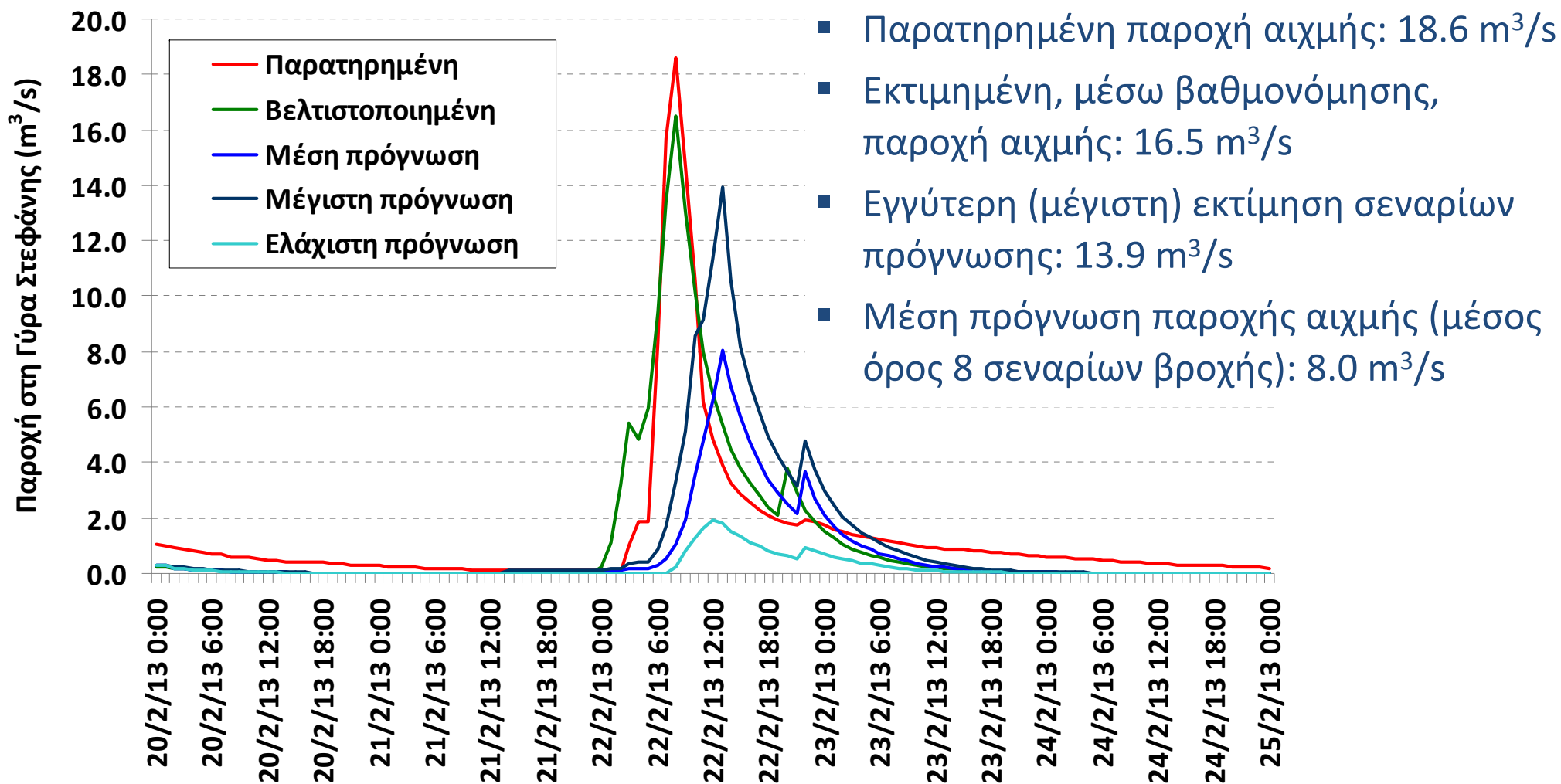


Παράδειγμα εξέλιξης διαδοχικών βωρων προγνώσεων βροχής στα Βίλια (20/2/2013 0:00 έως 22/2/2013 12:00)





Σενάρια πρόγνωσης πλημμυρικών παροχών στην έξοδο της λεκάνης (Γύρα Στεφάνης)



Η εγγύτερη (μέγιστη) πρόγνωση των παροχών της περιόδου 20-25/2/2013 προέρχεται από το σενάριο πρόγνωσης της βροχής που ξεκινά στις 20/2/13 18:00 UTC.



Πρώτες εντυπώσεις από τη χρήση της Υδρογείου ως μοντέλο πλημμυρών

- Επιτυγχάνεται ικανοποιητική αναπαραγωγή των πλημμυρικών διεργασιών σε λεκάνες μηδενικής θερινής (Νέδοντας) και χειμαρρικής (Σαρανταπόταμος) ροής, ακόμα και με τη χρήση **πολύ μικρών δειγμάτων** για τη βαθμονόμηση των παραμέτρων του μοντέλου (μία και δύο υγρές περίοδοι, αντίστοιχα).
- Η ύπαρξη **υδρομετρικών σταθμών**, όχι μόνο στην έξοδο κάθε λεκάνης αλλά και σε ανάντη θέσεις επιτρέπει, την καλύτερη κατανόηση των μηχανισμών γέννησης της απορροής, που διαφοροποιούνται σημαντικά λόγω της έντονης **χωρικής ανομοιογένειας των φυσιογραφικών χαρακτηριστικών** των λεκανών (**σε καμία περίπτωση δεν ισχύει ότι στο X% της λεκάνης παράγεται το X% της απορροής**).
- Το μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί **επιχειρησιακά** προς δύο κατευθύνσεις:
 - τον **υδρολογικό σχεδιασμό**, με χρήση συνθετικών χρονοσειρών ωριαίας βροχόπτωσης μεγάλου μήκους, που θα παράγονται από κατάλληλο **στοχαστικό μοντέλο** (έρευνα σε εξέλιξη)
 - την **υδρομετεωρολογική πρόγνωση**, με τροφοδοσία του με σενάρια πρόγνωσης της βροχής που παράγονται σε **σχεδόν πραγματικό χρόνο**



ΣΧΕΤΙΚΕΣ ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ

- Efstratiadis, A., A. D. Koussis, S. Lykoudis, A. Koukouvinos, A. Christofides, G. Karavokiros, N. Kappos, N. Mamassis, and D. Koutsoyiannis, Hydrometeorological network for flood monitoring and modeling, *Proceedings of First International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of Environment*, Paphos, Cyprus, 8795, 10-1–10-10, Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE), 2013.
- Efstratiadis, A., A. Koukouvinos, P. Dimitriadis, A. Tegos, N. Mamassis, and D. Koutsoyiannis, A stochastic simulation framework for flood engineering, *5th EGU Leonardo Conference – Hydrofractals 2013 – STAHY '13*, Kos Island, Greece, European Geosciences Union, International Association of Hydrological Sciences, International Union of Geodesy and Geophysics, 2013.
- Efstratiadis, A., and S.M. Papalexiou, The quest for consistent representation of rainfall and realistic simulation of process interactions in flood risk assessment, *EGU General Assembly 2010, Geophysical Research Abstracts, Vol. 12*, Vienna, 11101, European Geosciences Union, 2010.
- 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., K. Mazi, A. D. Koussis, and D. Koutsoyiannis, Flood modelling in complex hydrologic systems with sparsely resolved data, *EGU General Assembly 2009, Geophysical Research Abstracts, Vol. 11*, Vienna, 4157, European Geosciences Union, 2009.
- 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.