

Πανεπιστήμιο Πατρών

Τμήμα Γεωλογίας

Εργαστήριο Υδρογεωλογίας



Μάθημα:

Διαχείριση & Προστασία Υδατικών Πόρων

Ζ ΕΞΑΜΗΝΟ

Καζάκης Νεραντζής

Επίκουρος Καθηγητής Υδρογεωλογίας & Διαχείρισης Υδατικών Πόρων

Πανεπιστήμιο Πατρών

Τμήμα Γεωλογίας

Εργαστήριο Υδρογεωλογίας



ΜΟΝΤΕΛΛΑ

ΔΙΑΛΕΞΗ 5^η

Καζάκης Νεραντζής

Επίκουρος Καθηγητής Υδρογεωλογίας & Διαχείρισης Υδατικών Πόρων

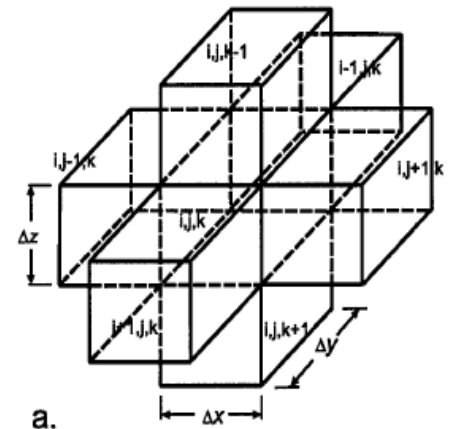
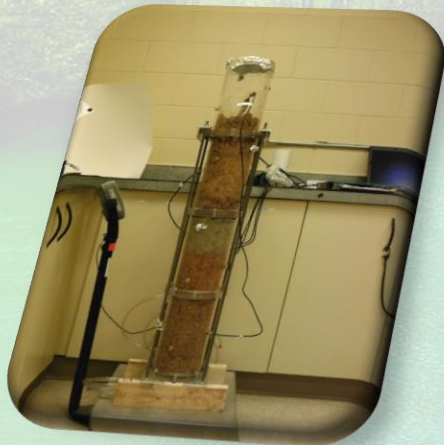
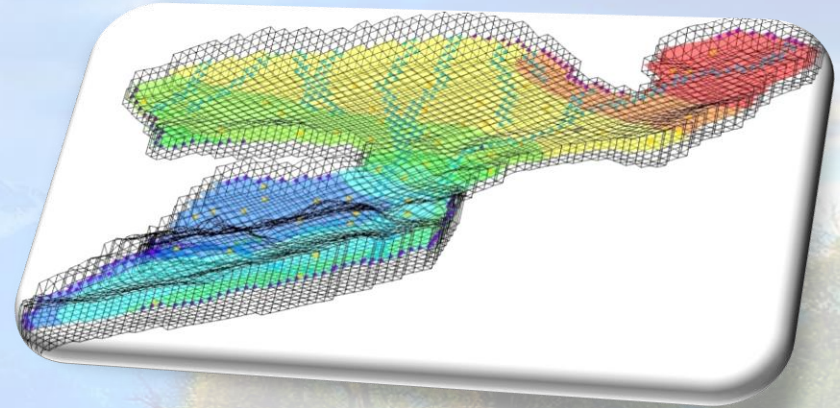
Λέξεις Κλειδιά

νεξεις κγειοια



WORDS

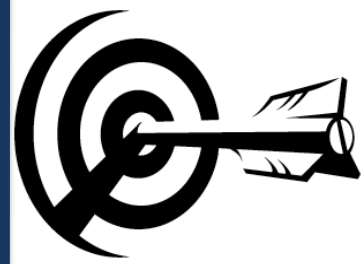
- Φυσικά Μοντέλα
- Μαθηματικά Μοντέλα
- Πρόγνωση
- Modflow
- SWAT



a.

a: block $[i,j,k]$ με τα περιβάλλοντα blocks,

Στόχοι του Μαθήματος



- *Να γνωρίζετε τα αριθμητικά ομοιώματα*
- *Να κατανοείτε τις διαδικασίες προσομοίωσης*
- *Να αναγνωρίζετε τα διαφορετικά μοντέλα προσομοίωσης*
- *Να επιλέγετε τον κατάλληλο κώδικα για κάθε περίπτωση*



Ιστορική αναδρομή Υδρολογίας

μεθοδική αλλαγή υδρολογίας



Ποσοτικοποίηση

Ποιοτική ανάλυση

Αρχή της παρατήρησης

Πειραματική προσέγγιση

Ολιστική προσέγγιση

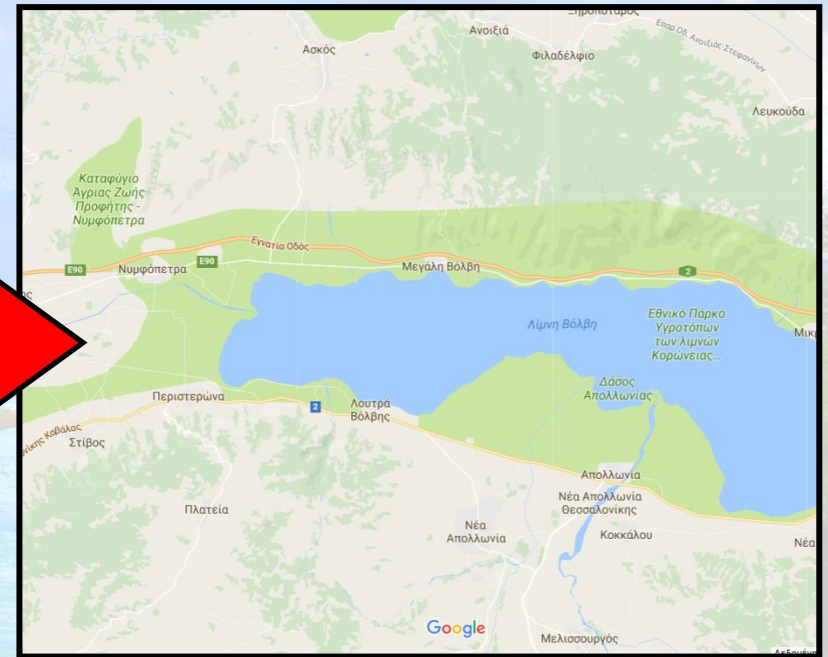
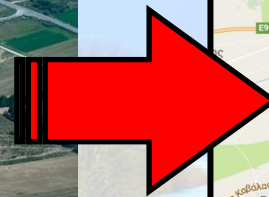


Ομοιώματα / Μοντέλα

Ομοιωμένα / Μοντέλα



Ομοίωμα είναι η απλοποιημένη αναπαράσταση ενός σύνθετου φυσικού συστήματος.



Φυσικά

Αναλογικά

Μαθηματικά

Κατηγορίες ομοιωμάτων

Κατηγορίες ομοιωμάτων

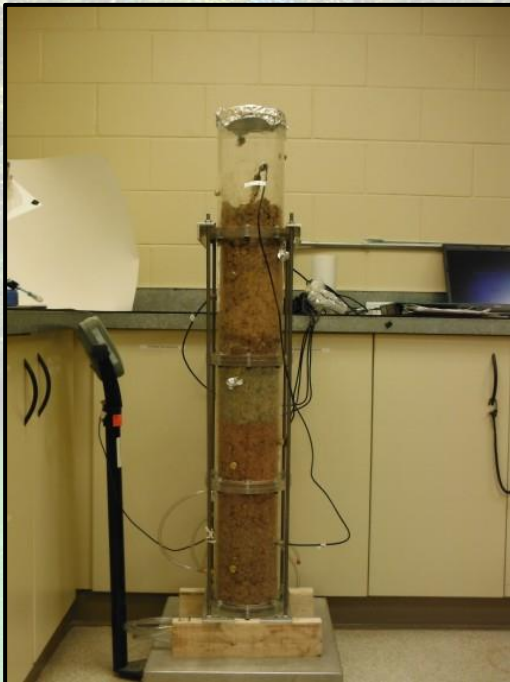


Φυσικά

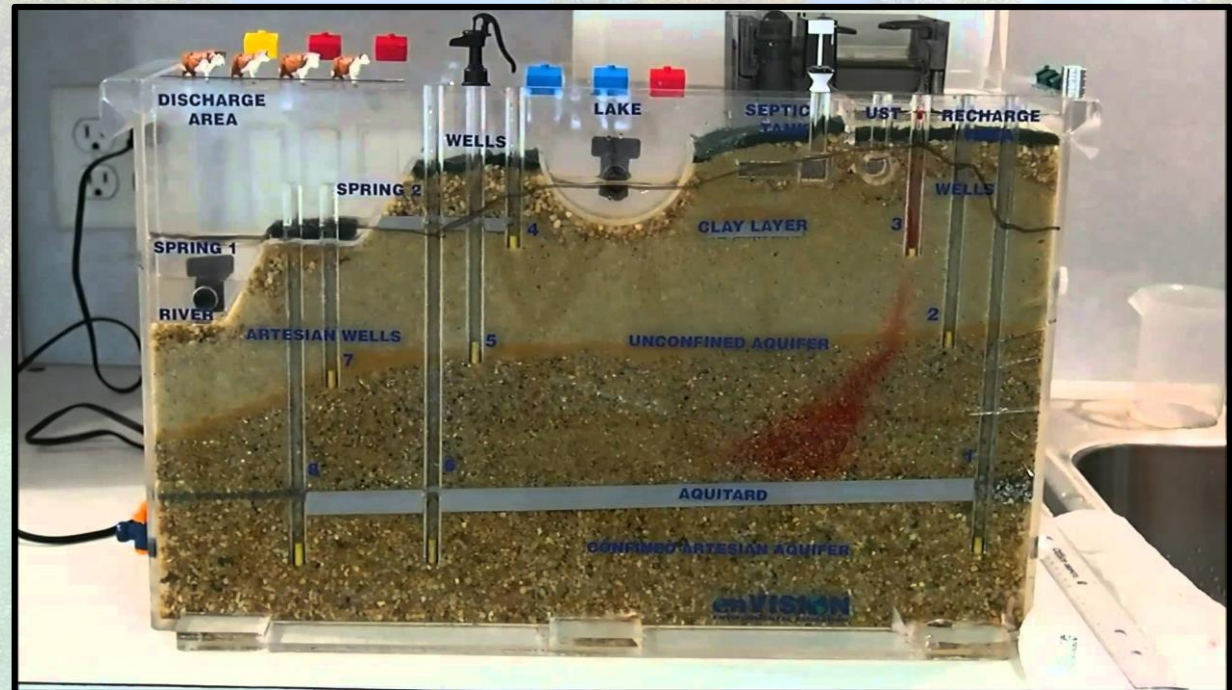
Αναλογικά

Μαθηματικά

Τα **φυσικά ομοιώματα (μοντέλα)** αποτελούν πανομοιότυπα αντίγραφα συστημάτων ροής υπόγειου νερού (συνήθως απλουστευμένες συνθήκες υδροφορίας), τα οποία λαμβάνουν χώρα σε εργαστηριακό περιβάλλον.



(soil column)



(sand tank – Groundwater model)

Κατηγορίες ομοιωμάτων

Κατηγορίες ομοιωμάτων



Φυσικά

Αναλογικά

Μαθηματικά

Τα αναλογικά μοντέλα βασίζονται στο γεγονός ότι διάφορες φυσικές διαδικασίες υπόκεινται σε μαθηματικές εκφράσεις και νόμους οι οποίοι παρουσιάζουν ομοιότητες με αυτούς της ροής των υπόγειων νερών.



(Hele Shaw model)



(Ηλεκτρικό μοντέλο)

- **Μοντέλο Hele Shaw**

Περιορίζεται στην προσομοίωση χαμηλής ροής παχύρρευστου υγρού, μέσω στενού διαστήματος ανάμεσα σε δυο παράλληλες πλάκες.

- **Ηλεκτρικό μοντέλο**

Το ηλεκτρικό μοντέλο έγκειται στην αναλογία μεταξύ της κίνησης του υπόγειου νερού διαμέσου πορώδους μέσου (Νόμος του Darcy) και της κίνησης των ηλεκτρονίων σε αγώγιμο υλικό (Νόμος του Ohm).

- **Θερμικό μοντέλο**

Το θερμικό μοντέλο βασίζεται στην ομοιότητα μεταξύ της θερμικής ροής σε ένα ομοιόμορφο σώμα και της ροής του υπόγειου νερού διαμέσου υδροφόρου.

Κατηγορίες ομοιωμάτων

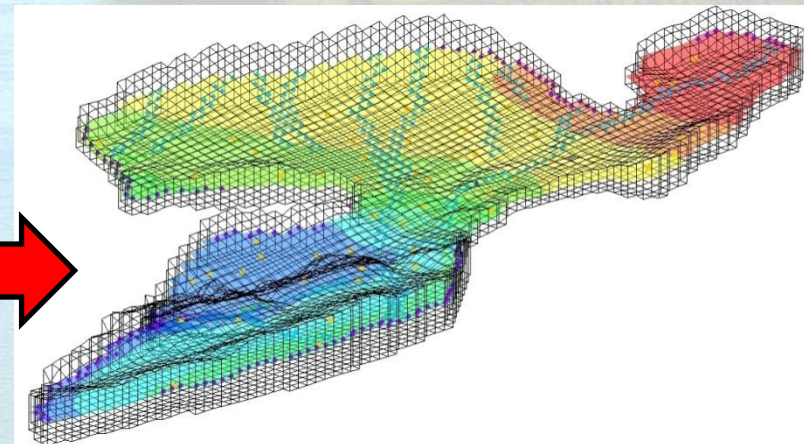
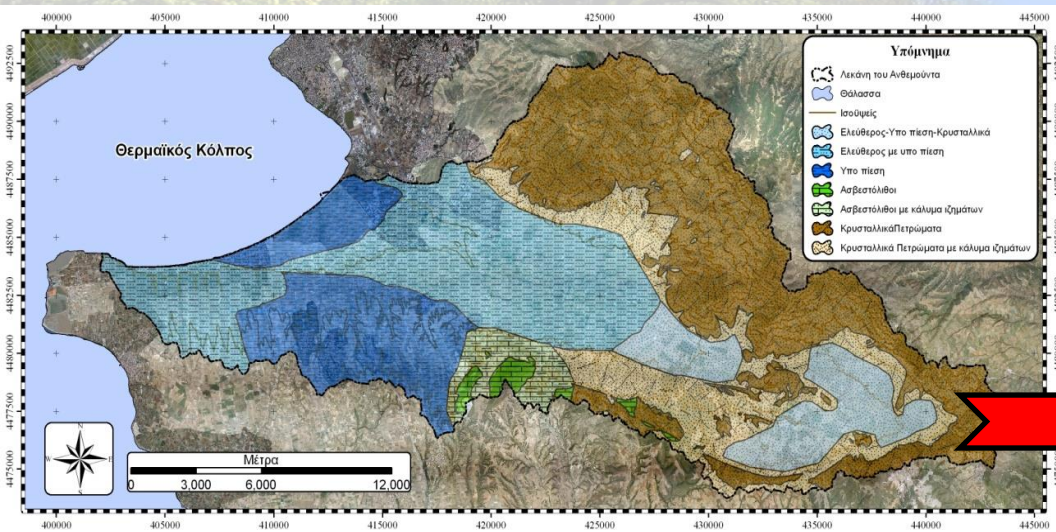


Φυσικά

Αναλογικά

Μαθηματικά

τα **μαθηματικά μοντέλα** αποσκοπούν στην επίλυση υδρογεωλογικών προβλημάτων με τη χρήση (μερικής) διαφορικών εξισώσεων (π.χ. ροή υπόγειου νερού εξαρτώμενη από την πυκνότητα, μεταφορά θερμότητας και ρυπαντών), καθώς επίσης και της γεωμετρίας του συστήματος, των οριακών συνθηκών και των αρχικών συνθηκών της μεταβατικής διαδικασίας.



Σκοπός αριθμητικών ομοιωμάτων του υπόγειου νερού



- Βασική κατανόηση του συστήματος που αλληλεπιδρά με το υπόγειο νερό,
- Εκτίμηση των παραμέτρων και χαρακτηριστικών του υδροφόρου,
- Να γίνει αντιληπτός ο τρόπος λειτουργίας του συστήματος κατά το παρόν,
- Να προσδιοριστεί η εξέλιξη του συστήματος κατά το παρελθόν,
- Να προβλεφθεί η συμπεριφορά και η απόκριση του συστήματος στο μέλλον.

Reilly and Harbaugh (2004)

Η Οδηγία 2000/60/ΕΚ απαιτεί τα σχέδια διαχείρισης των υδατικών πόρων και οι σχετικές αποφάσεις που λαμβάνονται στα πλαίσια αυτών, να στηρίζονται σε μοντέλα των υδατικών πόρων (επιφανειακών και υπόγειων) (Wasson et al., 2003).

Ερωτήματα που δύναται να απαντηθούν

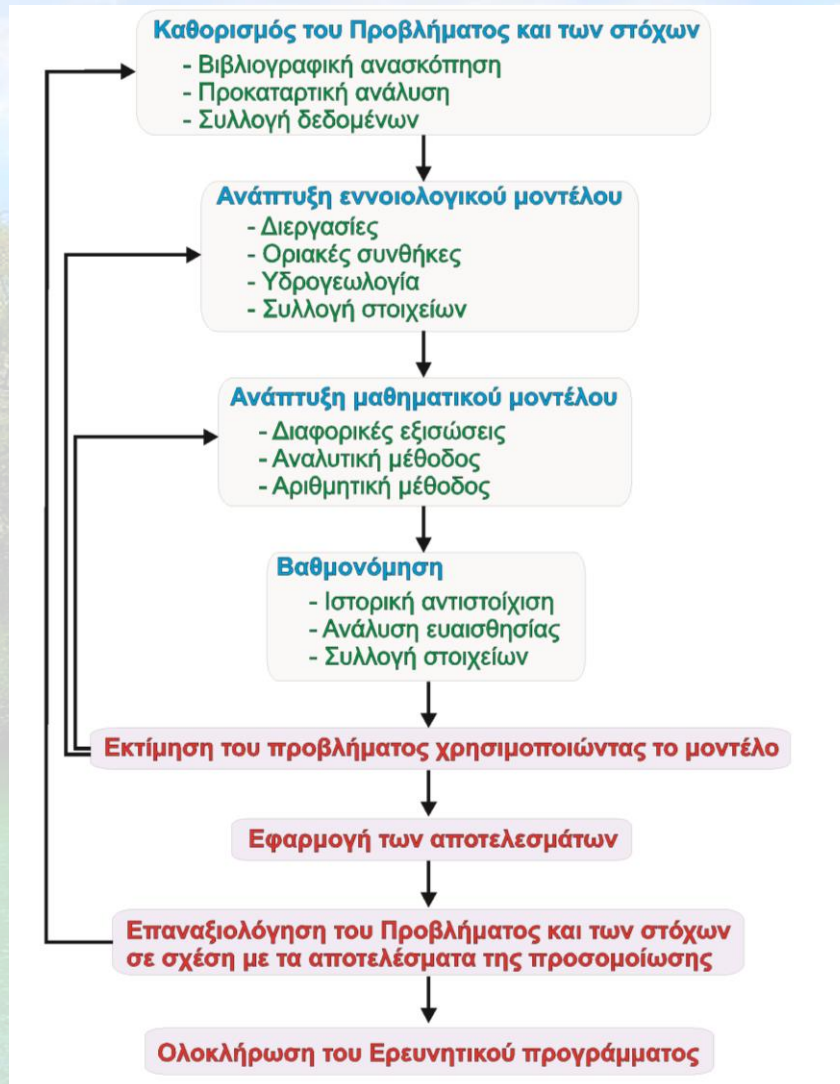
Ερωτήματα που δύναται να απαντηθούν



- Πώς θα επηρεάσουν οι αντλήσεις τη στάθμη του υπόγειου νερού στην πεδιάδα της Θεσσαλίας τα επόμενα 30 χρόνια;
- Θα επηρεάσουν οι προτεινόμενες αλλαγές στις χρήσεις γης την τροφοδοσία των ποταμών από το υπόγειο νερό στον Ελληνικό χώρο;
- Η κλιματική αλλαγή θα επιφέρει μεταβολές στη στάθμη και τα αποθέματα του υπόγειου νερού στην πεδιάδα της Θεσσαλονίκης;
- Σε τι έκταση θα επηρεάσει η αποστράγγιση του υδροφόρου, στη λεκάνη της Πτολεμαΐδας, για την εξόρυξη του λιγνίτη;
- Πόσος είναι ο χρόνος που χρειάζονται τα διασταλλάζοντα υγρά από την αποκατεστημένη χωματερή Δερβενίου, για να ρυπάνουν τον παρακείμενο υδροφόρο;
- Ποια είναι η ζώνη τροφοδοσίας των υδρευτικών γεωτρήσεων της πόλης της Κοζάνης;
- Σε τι έκταση θα επηρεαστεί η ποιότητα του υπόγειου νερού από τη διείσδυση του θαλασσινού νερού στο παράκτιο τμήμα του Ν. Ξάνθης;
- Ποιες είναι οι καταλληλότερες θέσεις για την εφαρμογή τεχνητού εμπλουτισμού στον παράκτιο υδροφόρο, που αναπτύσσεται στο ανατολικό τμήμα του Θερμαϊκού Κόλπου;

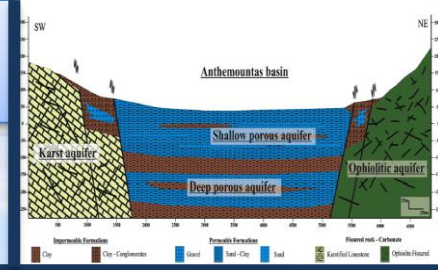
Στάδια ανάπτυξης

Στάδια ανάπτυξης



Εννοιολογικό Μοντέλο

ΕΛΛΟΙΟΛΟΓΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ



Εννοιολογικό μοντέλο είναι η σύνθεση όλων των γνωστών στοιχείων για μία υδρολογική λεκάνη ή ενός υδροφόρου.

Το πλήθος των δεδομένων που χρησιμοποιούνται καθορίζονται από το σκοπό που εξυπηρετεί ένα μοντέλο και τα διαθέσιμα δεδομένα πεδίου. Τα δεδομένα που συνθέτουν ένα εννοιολογικό μοντέλο μπορούν να είναι:

Φυσικό περιβάλλον

- Τοπογραφικοί χάρτες με υδρογραφικό δίκτυο, υδάτινα σώματα κ.α.
- Γεωλογικοί χάρτες
- Υδρογεωλογικοί χάρτες (όρια και υλικό υδροφόρων)
- Χάρτες με το ανώτερο και κατώτερο όριο του υδροφόρου.
- Χάρτες με το πάχος της ακόρεστης ζώνης
- Χάρτες με τη μεταβολή των αποθεμάτων του υπόγειου νερού
- Χάρτες με την ηλικία του υπόγειου νερού

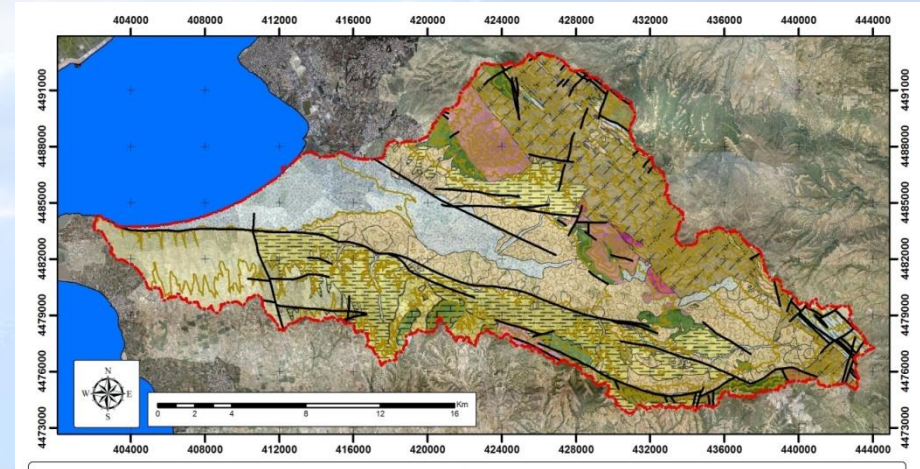
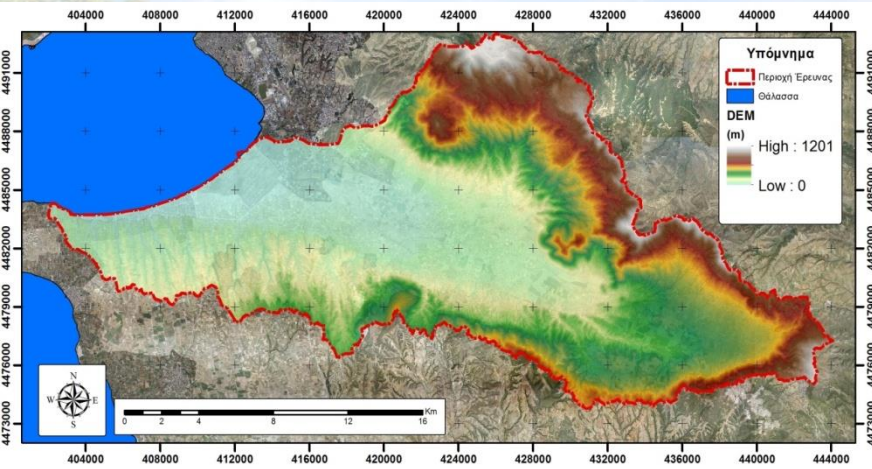
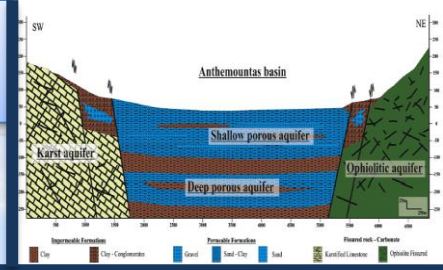
Υδρολογικές φορτίσεις

- Κατακρημνίσματα – Εξατμισοδιαπνοή
- Παροχές ποταμών
- Χάρτες με τη συχνότητα επιφανειακής απορροής ποταμών και χειμάρρων
- Παροχές πηγών
- Μεταβολές στη στάθμη λιμνών
- Ιστορικά στοιχεία για τη μεταβολή των παροχών άντλησης
- Κατανομή της κατείδυσης
- Περιοχές τεχνητού εμπλουτισμού
- Ποσότητες άντλησης
- Διαγράμματα μεταβολής του πιεζομετρικού φορτίου

Τα δεδομένα για τα παραπάνω στοιχεία προέρχονται ιστορικά στοιχεία μελετών, ερευνητικών άρθρων, Διατριβών, Μετεωρολογικούς σταθμούς, έρευνα πεδίου κ.α.

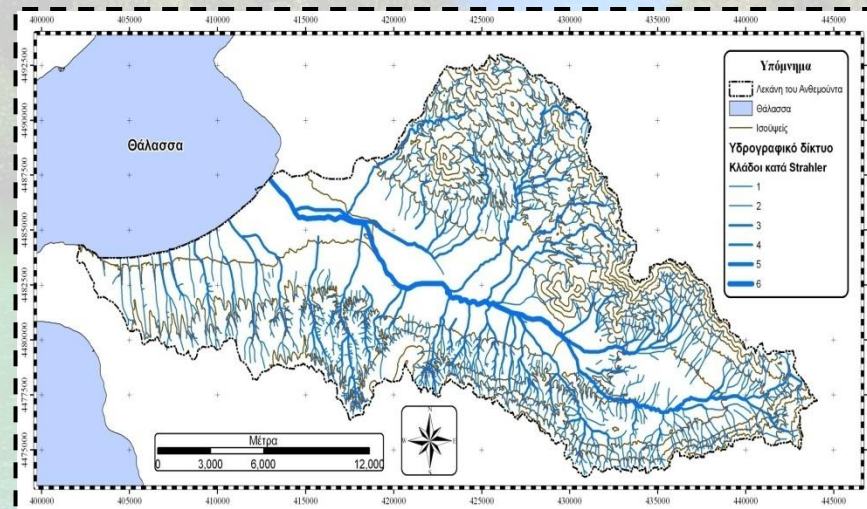
Εγνοιολογικό Μοντέλο

ΕΛΛΟΓΙΟΛΟΓΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ



Τοπογραφικός χάρτης κατανομής του υψομέτρου

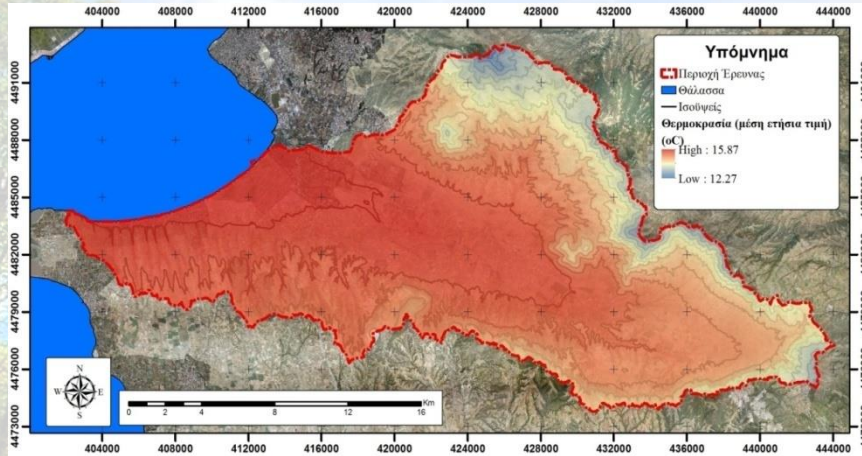
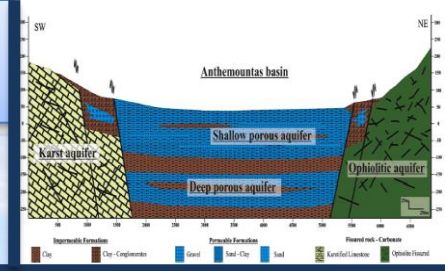
Γεωλογικός Χάρτης



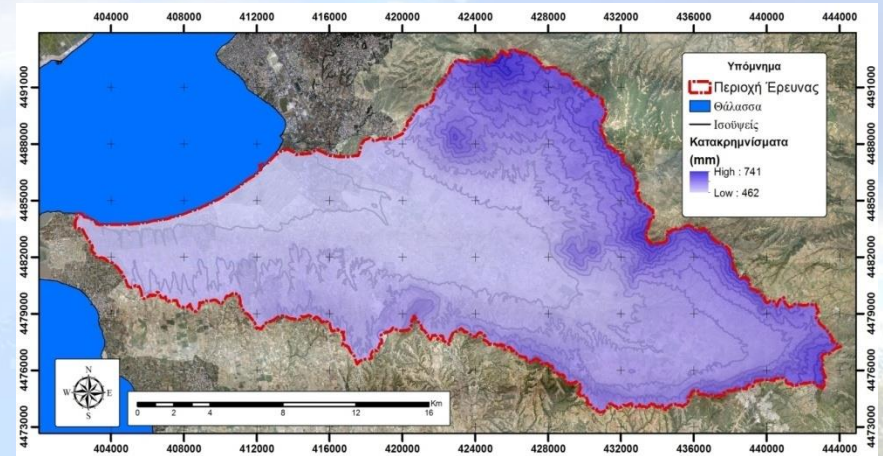
Τοπογραφικός χάρτης με το υδρογραφικό δίκτυο

Εγνοιολογικό Μοντέλο

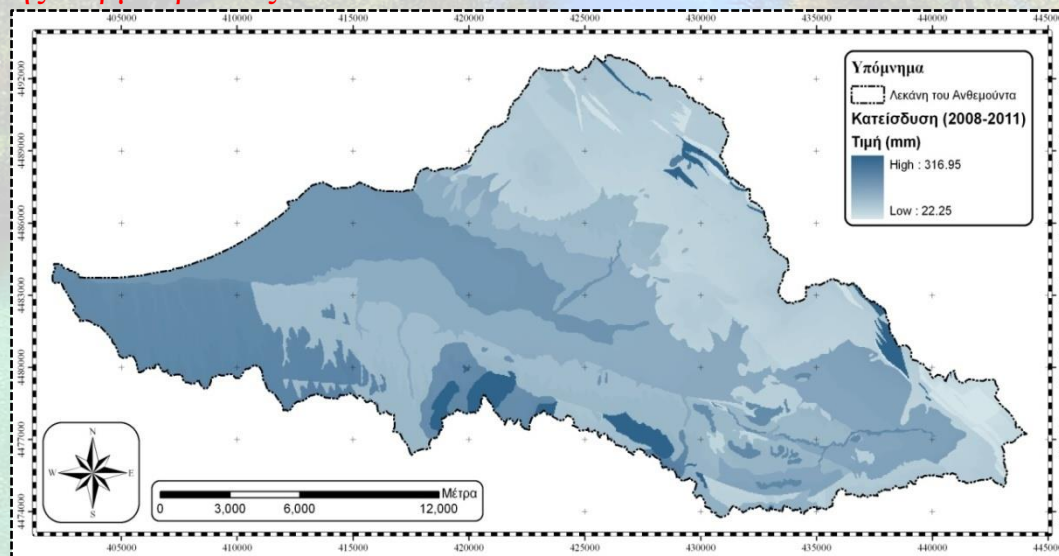
ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ



Χάρτης κατανομής Θερμοκρασίας



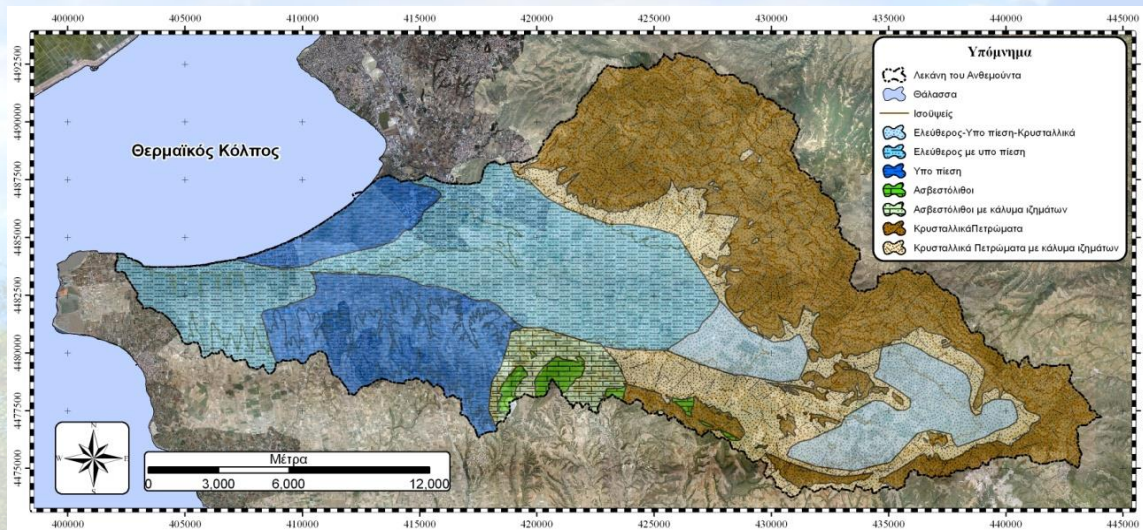
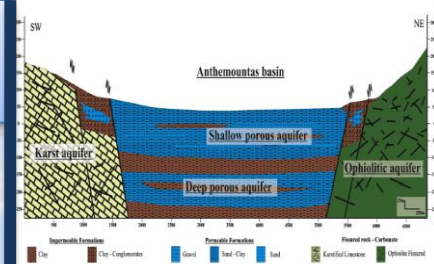
Χάρτης κατανομής κατακρημνισμάτων



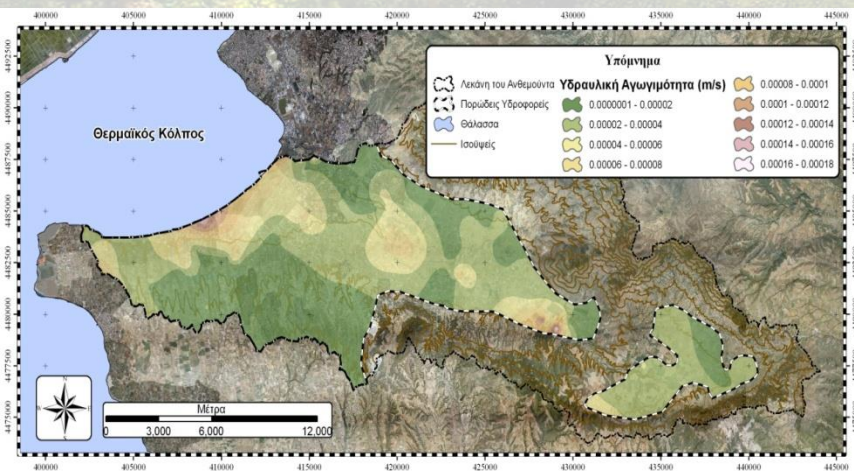
Χάρτης κατανομής κατείδυσης

Εγνοιολογικό Μοντέλο

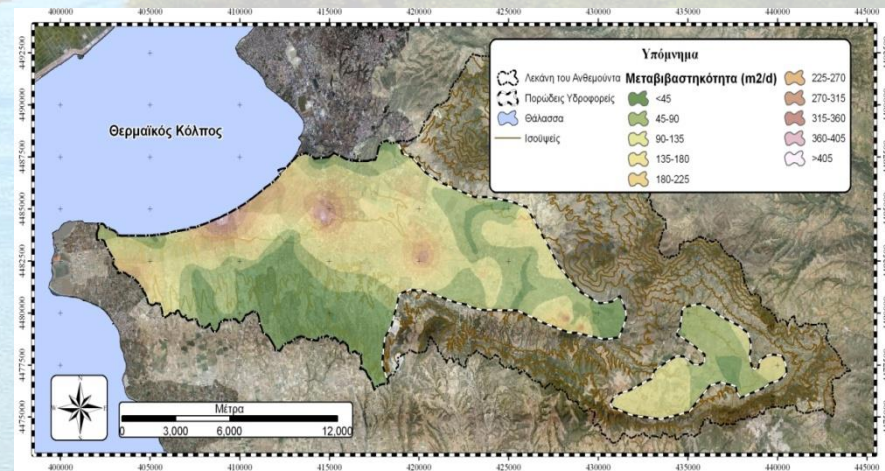
ΕΛΛΟΓΟΛΟΓΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ



Υδρογεωλογικός χάρτης



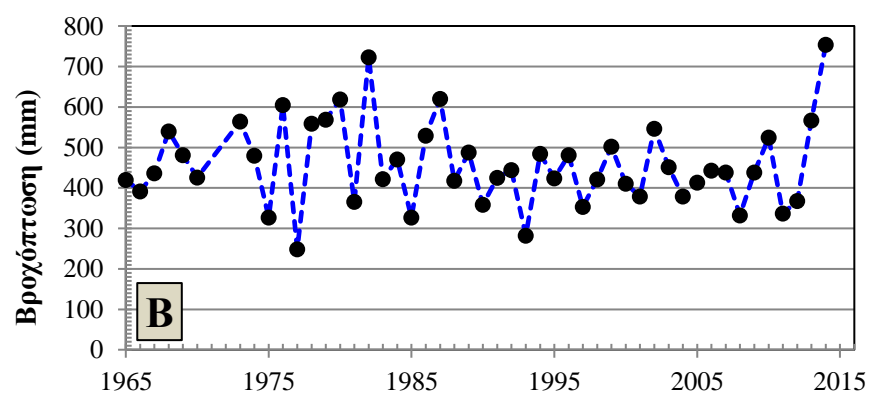
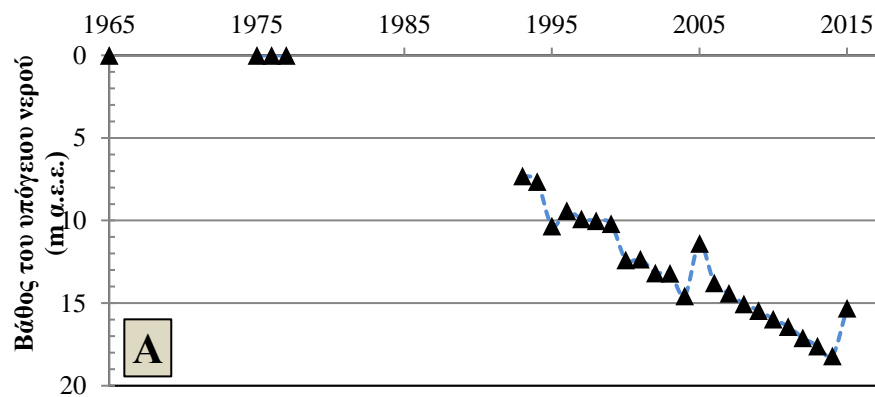
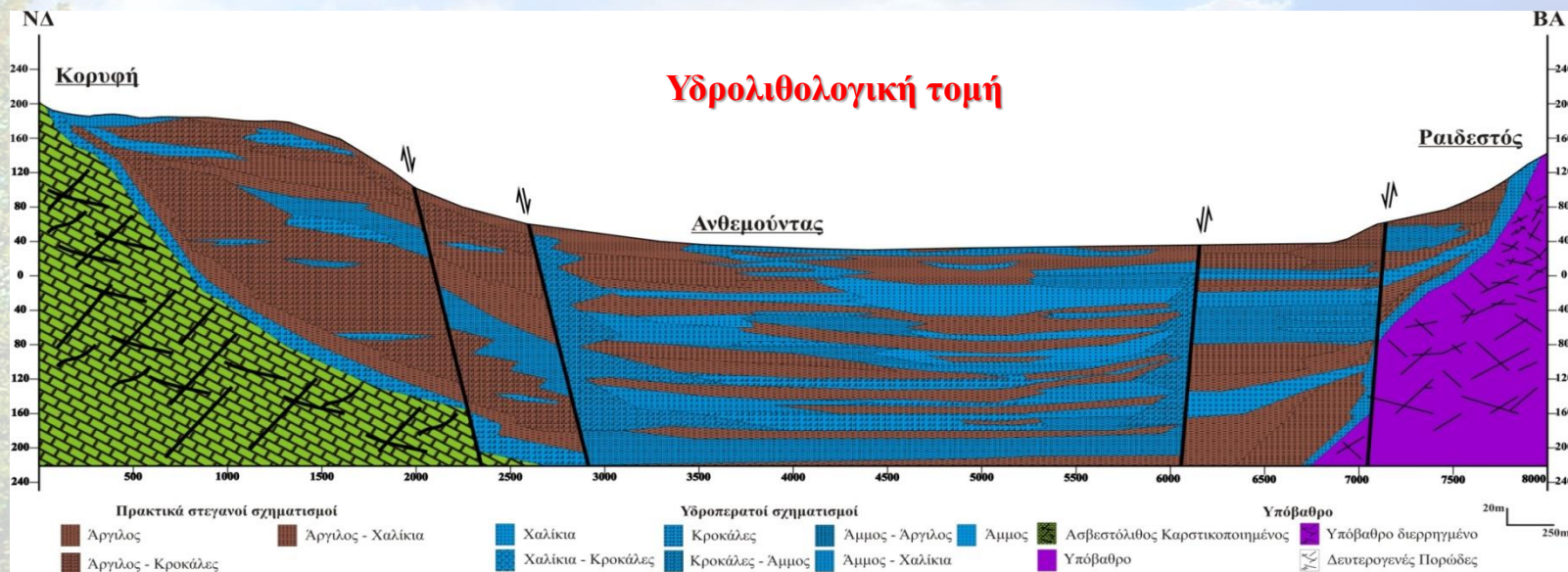
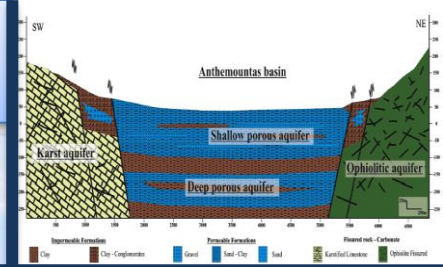
Χάρτης κατανομής υδραυλικής αγωγιμότητας



Χάρτης κατανομής πάχους του υδροφορέα

Εγνοιολογικό Μοντέλο

ΕΛΛΟΓΟΛΟΓΙΚΟ ΠΟΛΛΕΞΟ



Διάγραμμα μεταβολής πιεζομετρικού φορτίου

Διάγραμμα μεταβολής κατακρημιτισμάτων

Μέθοδοι επίλυσης μαθηματικών μοντέλων

Αναλυτικές μέθοδοι

- Αποτελεσματική επίλυση διαφόρων φυσικών παραμέτρων του υδροφορέα όπως η μεταβιβαστικότητα και η αποθηκευτικότητα,
- Περιορίζεται σε απλά και σχηματοποιημένα προβλήματα,
- Η αποτελεσματικότητά τους περιορίζεται στο 20% του συνόλου των περιπτώσεων

Αριθμητικές μέθοδοι

Σε περίπλοκα προβλήματα (ανομοιογενείς και ανισότροποι υδροφορείς, δισδιάστατα και τρισδιάστατα προβλήματα, σύνθετη ή ακανόνιστη γεωμετρία ορίων, ετερογένεια των παραμέτρων)

- *Μέθοδος των πεπερασμένων διαφορών* (finite differences) (η διακριτοποίηση του χώρου μελέτης γίνεται σε πλέγμαορθογωνικής μορφής και η επίλυση των εξισώσεων γίνεται επάνω στα σημεία του πλέγματος)
- *Μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων* (finite elements) (το πεδίο εφαρμογής αντιμετωπίζεται σαν σύνολο υποπεριοχών και οι εξισώσεις επιλύονται στο εσωτερικό κάθε στοιχείου)
- *Μέθοδος των οριακών στοιχείων* (μεγάλη ακρίβεια των αποτελεσμάτων στο εσωτερικό του πεδίου, απλότητα εισαγωγής δεδομένων του φυσικού προβλήματος, μικρό μέγεθος των συστημάτων αλγεβρικών εξισώσεων που προκύπτουν από τη διακριτοποίηση των διαφορικών εξισώσεων)



Water Resources of the United States

[Home](#) [Data](#) [Maps](#) [Software](#) [Publications](#) [Glossaries](#) [Contact](#)

[Alphabetical](#) [General Use](#) [Water Quality and Chemistry](#) [Groundwater](#) [Statistics & Graphics](#) [Surface Water](#)

Water Resources Groundwater Software

- [Groundwater Flow, Transport, and Geochemical Reactions, including Groundwater/Surface-Water Interactions](#)
- [Variably-Saturated Flow and Transport](#)
- [Hydrograph-Separation and other Streamflow-Based Programs](#)
- [Analysis of Aquifer Tests and Slug Tests](#)
- [Graphical User Interfaces and Post Processors](#)
- [Miscellaneous Software](#)
- [Legacy and Superseded Software](#)

This software and related material (data and documentation) are made available by the U.S. Geological Survey (USGS) to be used in the public interest and the advancement of science. You may, without any fee or cost, use, copy, modify, or distribute this software, and any derivative works thereof, and its supporting documentation, subject to the USGS software [User's Rights Notice](#).

You may obtain other electronic or print versions of USGS [reports and documentation](#) that are not included with the software distributions.

Groundwater Flow, Transport, and Geochemical Reactions, including Groundwater/Surface-Water Interactions

- [1DTempPro](#) (WIN) Version 2.0, 2015/07/23
A graphical software package to visually calibrate one-dimensional VS2DH models against measured data, and estimate vertical groundwater/surface-water exchange.
- [BIOMOC](#) (DOS/DG/SGI/Sun) Version 1.0, 1999/03/10
A multispecies solute-transport model with biodegradation
- [CFP](#) (WIN) Version 1.8.00, 2011/02/23
A variant of MODFLOW-2005 for simulation of laminar and turbulent flow in pipe networks that exchange water with model cells and or in horizontal preferential flow layers
- [CRT](#) (Win) Version 1.1.1, 2013/09/06
Cascade Routing Tool to Define and Visualize Flow Paths for Grid-Based Watershed Models
- **NEW** [FRGT-MST](#) (WIN) Version 1.0, 2016/01/06
Excel-based tool to assist project managers in selecting appropriate geophysical tool
- **NEW** [GRIDGEN](#) (WIN) Version 1.00.01, 2015/10/30
Program for generating layered quadtree grids for MODFLOW-USG
- [GSFLOW](#) (Linux/Win) Version 1.2.0, 2015/10/01
Coupled Groundwater and Surface-water FLOW model based on the USGS Precipitation-Runoff Modeling System (PRMS) and Modular Groundwater Flow Model (MODFLOW-2005)
- **NEW** [GW_Chart](#) (Windows) Version 1.29.0.0, 2015/10/29
GW_Chart: a program for creating specialized graphs used in groundwater studies.
- [GWM](#) (WIN) Version 1.5.2, purportedly 2015-09-11
Groundwater Management Process for MODFLOW using optimization. Current Versions include GWM-2005 and GWM-VI

- Ο πιο διαδεδομένος κώδικας.
- Με τη μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών εφαρμόζεται συνδυασμός της εξίσωσης ροής του Darcy και της εξίσωσης συνέχειας.
- Ο κώδικας MODFLOW δύναται να προσομοιώσει ροή σταθερής κατάστασης όπως επίσης και συνθήκες μεταβατικής ροής τόσο σε μονοδιάστατη απεικόνιση όσο και δισδιάστατη αλλά και τρισδιάστατη.

Υποθέσεις του κώδικα MODFLOW:

- Η πυκνότητα του υπόγειου νερού θεωρείται σταθερή,
- Η κίνηση του υπόγειου νερού λαμβάνει χώρα σε τρεις διαστάσεις (x,y,z) (ορθογωνικά),
- Οι ιδιότητες κάθε block υποτίθεται ότι κατανέμονται ομοιόμορφα και ομοιογενώς.

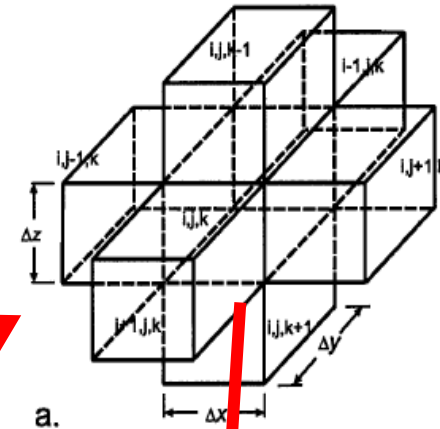
Αρχές του Κώδικα MODFLOW

- ❖ Το μαθηματικό υδρογεωλογικό σύστημα εφαρμόζει και αξιοποιεί την αρχή των πεπερασμένων διαφορών για ένα block-center,
- ❖ Δεν υφίσταται ροή πέρα από τα όρια του μοντέλου,
- ❖ Το μέσο (κατά πρώτιστα πορώδες) το οποίο πρόκειται να προσομοιωθεί δύναται να είναι ομοιογενές,
- ❖ Το μέσο (κατά πρώτιστα πορώδες) το οποίο πρόκειται να προσομοιωθεί δύναται να είναι ανισοτροπικό,
- ❖ Το σύστημα ροής ενδέχεται να έχει ακανόνιστο σχήμα, περικλείοντας ελεύθερο, μερικώς υπό-πίεση ή υπό-πίεση υδροφορέα καθώς και συνδυασμό των παραπάνω.

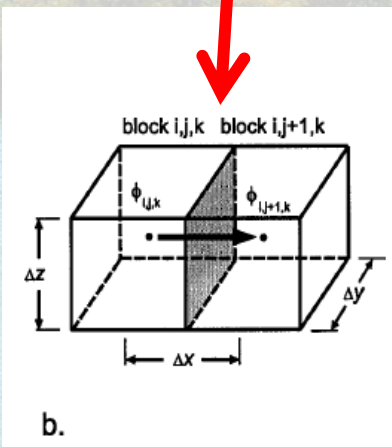
$$\sum Q_i = S_s \frac{\Delta\phi}{\Delta t} \Delta V$$

όπου:

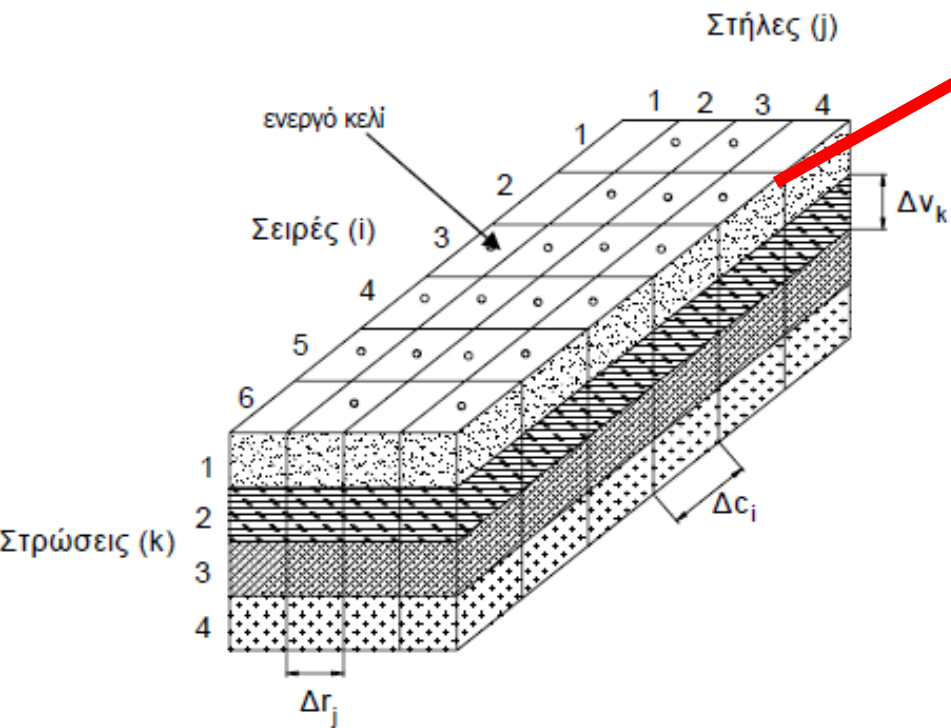
- S_s , η ειδική αποθηκευτικότητα του πορώδους υλικού
- Q_i , ο συνολικός ρυθμός παροχής σε κάθε block
- ΔV , ο όγκος του συγκεκριμένου block
- $\Delta\phi$, η μεταβολή του υδραυλικού φορτίου για χρονικό διάστημα Δt .



a: block [i,j,k] με τα περιβάλλοντα blocks,



b: ροή μεταξύ block [i,j,k] και block [i,j+1,k] (από Oude Essink, 2000).



MODFLOW-CFP



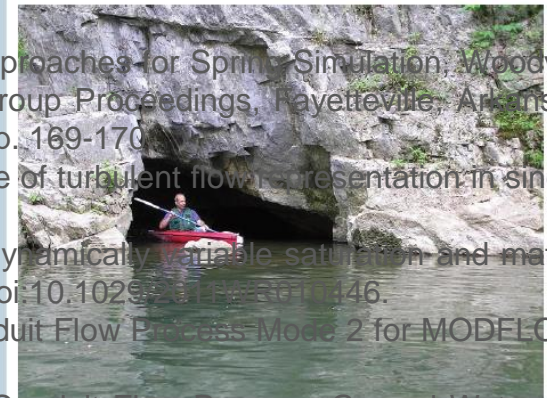
To **MODFLOW-CFP** εφαρμόζεται σε καρστικούς υδροφορείς (dissolution or biological burrowing features in carbonate aquifers), υδροφορείς διερρηγμένων πετρωμάτων (voids in fractured rock) και σε βασαλτικούς σχηματισμούς με δομές αγωγών λάβας (lavatubes in basaltic aquifers) (Shoemaker et al. 2008). Το MODFLOW-CFP έχει χρησιμοποιηθεί σε πλήθος εφαρμογών που σχετίζονται με καρστικούς σχηματισμούς και υδροφορείς διερρηγμένων πετρωμάτων. Ενδεικτικά παρατίθενται, από τη νεότερη προς την παλαιότερη εφαρμογή, οι εξής:

- 1) Kuniansky, E.L., 2014, Taking the mystery out of mathematical model applications to karst aquifers – A Primer, in E. L. Kuniansky and L.E. Spangler, editors, U.S. Geological Survey Karst Interest Group Proceedings, Carlsbad, New Mexico, April 29 - May 2, 2014, pp. 69-81. <http://dx.doi.org/10.3133/sir20145035>.
- 2) Gallegos, J.J., Hu, B.X., and Davis, Hal, 2013, Simulating flow in karst aquifers at laboratory and sub-regional scales using MODFLOW-CFP: Hydrogeology Journal, v. 21, pp. 1749-1760.
- 3) Saller, S.P., Ronayne, M.J. and Long, A.J., 2013, Comparison of a karst groundwater model with and without discrete conduit flow: Hydrogeology Journal, v. 21, pp. 1555-1566.
- 4) Kuniansky, E.L., Gallegos, J.J., and Davis, J.H., 2011, Comparison of Three Model Approaches for Spring Simulation, Woodville Karst Plain, Florida, in Kuniansky, E.L., ed., U.S. Geological Survey Karst Interest Group Proceedings, Fayetteville, Arkansas, April 26-29, 2011: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2011-5031, pp. 169-170.
- 5) Reimann, T., Rehr, C., Shoemaker, W.B., Geyer, T. and Birk, S., 2011, The significance of turbulent flow representation in single-continuum models, Water Resour. Res., 47, W09503, doi:10.1029/2010WR010133.
- 6) Reimann, T., Geyer, T., Shoemaker, W.B., Liedl, R. and Sauter, M., 2011, Effects of dynamically variable saturation and matrix-conduit coupling of flow in karst aquifers, Water Resources Research, v. 47, W11503, doi:10.1029/2010WR014146.
- 7) Reimann T. , Birk, S., Rehr, C., and Shoemaker, W. B., 2011, Modifications to the Conduit Flow Process Mode 2 for MODFLOW-2005: Ground Water, doi: 10.1111/j.1745-6584.2011.00805.x
- 8) Hill, M. E., Stewart, M. T. and Martin, A., 2010, Evaluation of the MODFLOW-2005 Conduit Flow Process: Ground Water, 48: 549–559. doi: 10.1111/j.1745-6584.2009.00673.x



A product of the Ground-Water Resources Program

Documentation of a Conduit Flow Process (CFP) for MODFLOW-2005

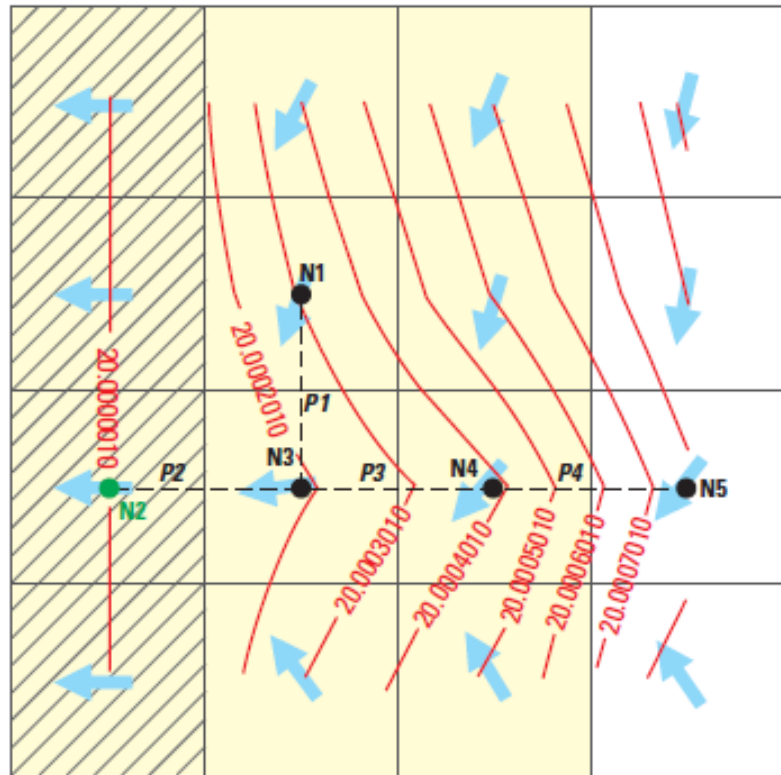


Techniques and Methods, Book 6, Chapter A24

MODFLOW-CFP

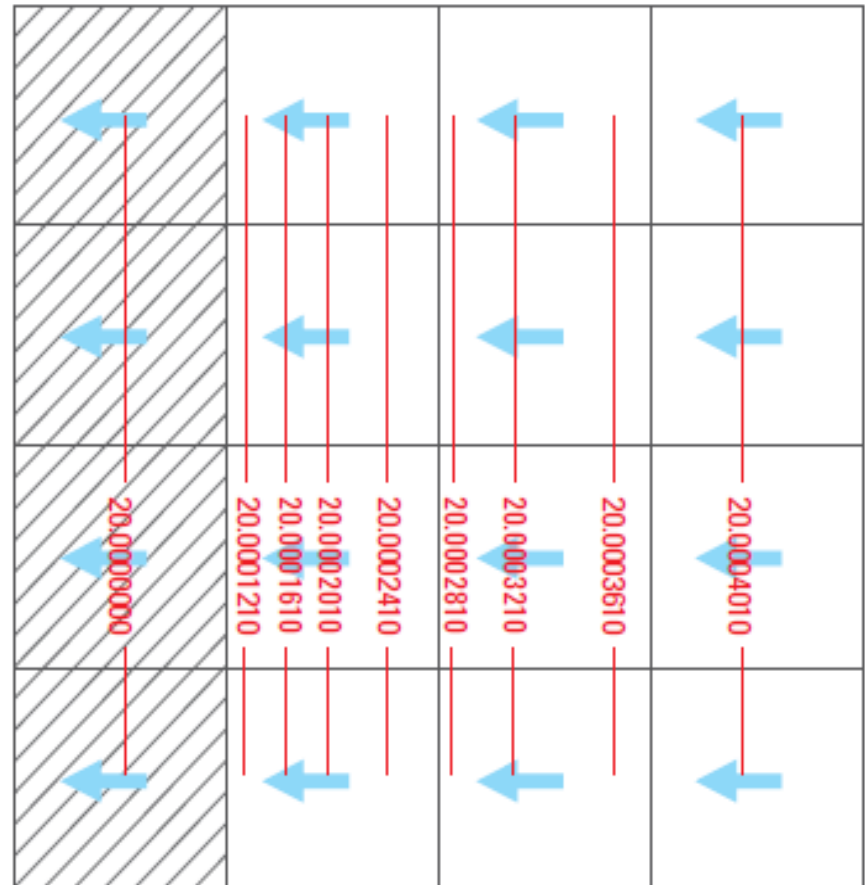


MODFLOW-CFP



EXPLANATION

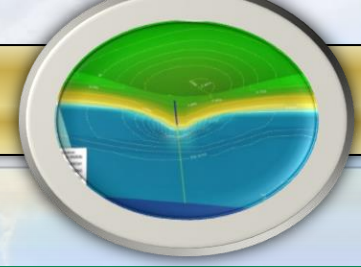
- 20.0004010 — Line of equal porous media head, in meters
- Constant-head cell
- Flow on right face is turbulent
- N2 Constant-head node
- N3 Conduit Flow Process node
- P2 — Conduit Flow Process pipe
- Velocity vector



EXPLANATION

- 20.0004010 — Line of equal porous media head, in meters
- Constant-head cell
- Velocity vector

MODFLOW-NWT



Η έκδοση MODFLOW-NWT δημιουργήθηκε για να επιλύει προβλήματα ροής του υπόγειου νερού σε ελεύθερο υδροφορέα με εναλλασσόμενες συνθήκες κορεσμού (κορεσμένο-ακόρεστο κελί) (Niswonger et al. 2011), ενώ πρέπει να χρησιμοποιείται με το πακέτο Upstream-Weighting (UPW).

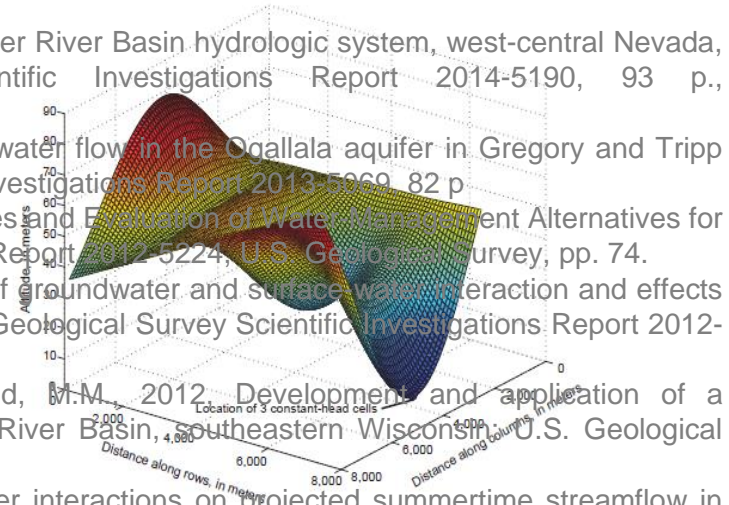


Groundwater Resources Program

MODFLOW-NWT, A Newton Formulation for MODFLOW-2005

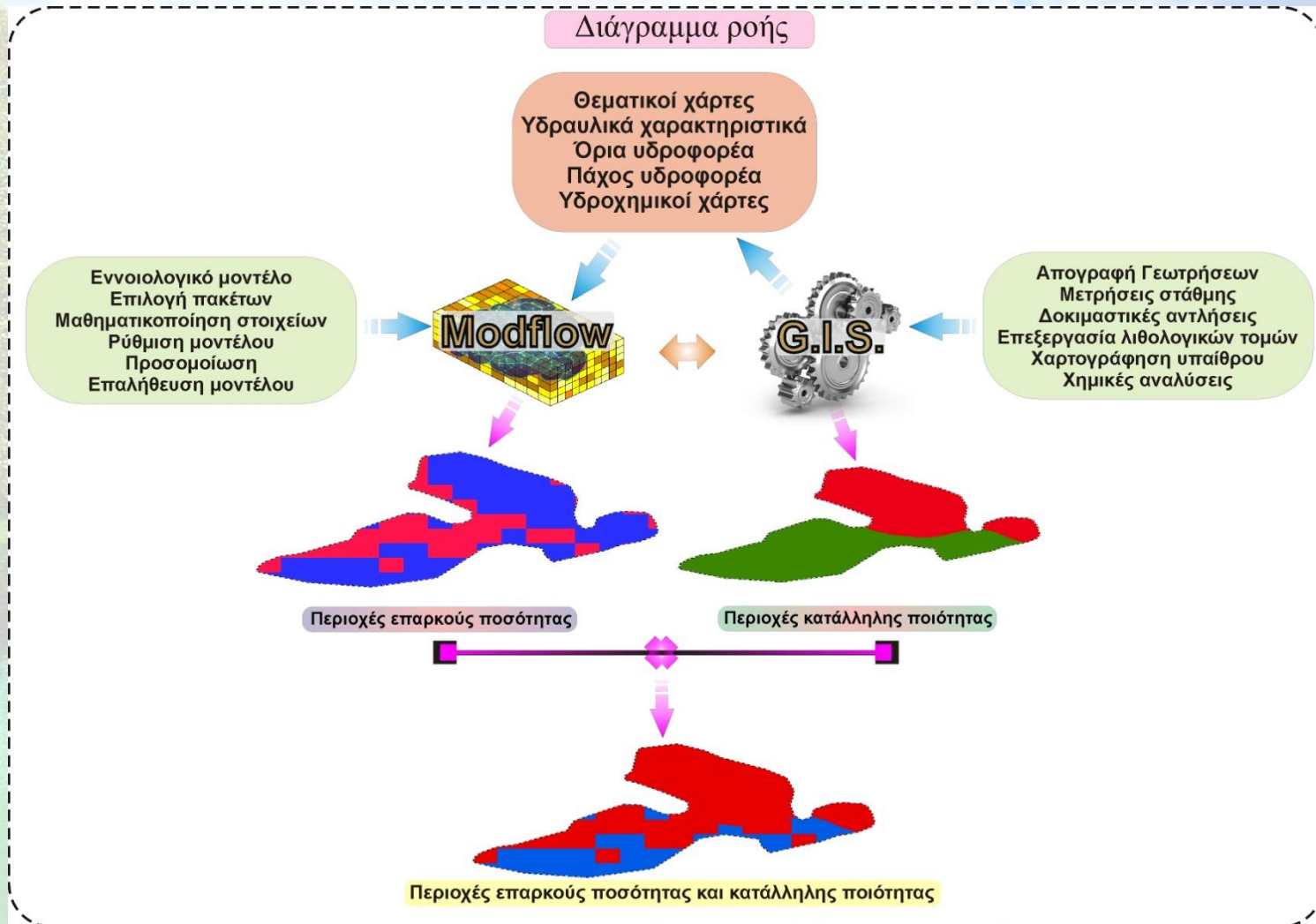
Chapter 37 of
Section A, Groundwater
Book 6, Modeling Techniques

- 1) Allander, K.K., Niswonger, R.N., and Jeton, A.E., 2014, Simulation of the Lower Walker River Basin hydrologic system, west-central Nevada, Using PRMS and MODFLOW models: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2014-5190, 93 p., <http://dx.doi.org/10.3133/sir20145190>.
- 2) Davis, K.W., and Putnam, L.D., 2013, Conceptual and numerical models of groundwater flow in the Ogallala aquifer in Gregory and Tripp Counties, South Dakota, water years 1985-2009: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2013-5069, 82 p.
- 3) Ely, D.M., Kahle, S.C., 2012, Simulation of Groundwater and Surface Water Resources and Evaluation of Water Management Alternatives for the Chamokane Creek Basin, Stevens County, Washington. Scientific Investigations Report 2012-5224, U.S. Geological Survey, pp. 74.
- 4) Eggleston, J.R., Carlson, C.S., Fairchild, G.M., and Zarriello, P.J., 2012, Simulation of groundwater and surface water interaction and effects of pumping in a complex glacial-sediment aquifer, east central Massachusetts: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2012-5172, 48 p.
- 5) Feinstein, D.T., Fienen, M.N., Kennedy, J.L., Buchwald, C.A., and Greenwood, M.M., 2012, Development and application of a groundwater/surface-water flow model using MODFLOW-NWT for the Upper Fox River Basin, southeastern Wisconsin: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2012-5108, 124
- 6) Huntington, J.L. and Niswonger, R.G., 2012, Role of surface-water and groundwater interactions on projected summertime streamflow in snow dominated regions: An integrated modeling approach: Water Resources Research, v. 48, 20 p.
- 7) Morway, E.D., Gates, T.K., Niswonger, R.G., 2013, Appraising options to reduce surface and groundwater withdrawals and enhance flow conditions over regional scales in an irrigated alluvial aquifer system: Journal of Hydrology, v. 495, pp. 216-237.
- 8) Niswonger, R.G., Allander, K.K., and Jeton, A.E., 2014, Collaborative modelling and integrated decision support system analysis of a developed terminal lake basin: Journal of Hydrology, doi: 10.1016/j.jhydrol.2014.05.043.
- 9) Tanvir Hassan, S.M., Lubczynski, M.W., Niswonger, R.G., and Su, Z., 2014, U.S. Geological Survey Groundwater interactions in hard rocks in the Sardon Catchment of Western Spain: an integrated modeling approach: Journal of Hydrology, doi: 10.1016/j.jhydrol.2014.05.026.



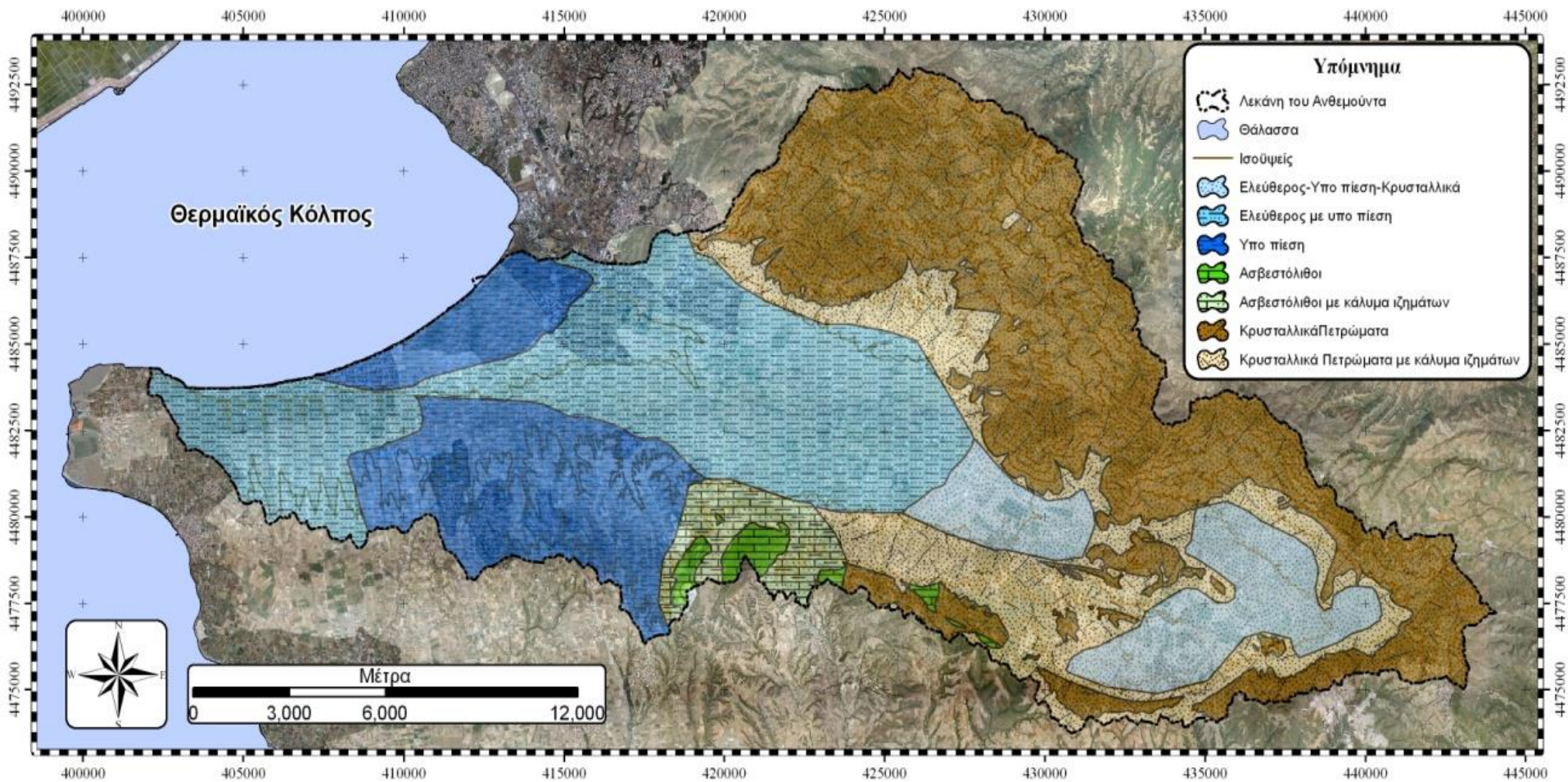
Η περίπτωση της Γαλάτιστας

Συνδυασμός αριθμητικού μοντέλου προσομοίωσης και δείκτη ποιότητας του υπόγειου νερού για τη διαχείριση των υδατικών πόρων. Εφαρμογή στη Λεκάνη της Γαλάτιστας



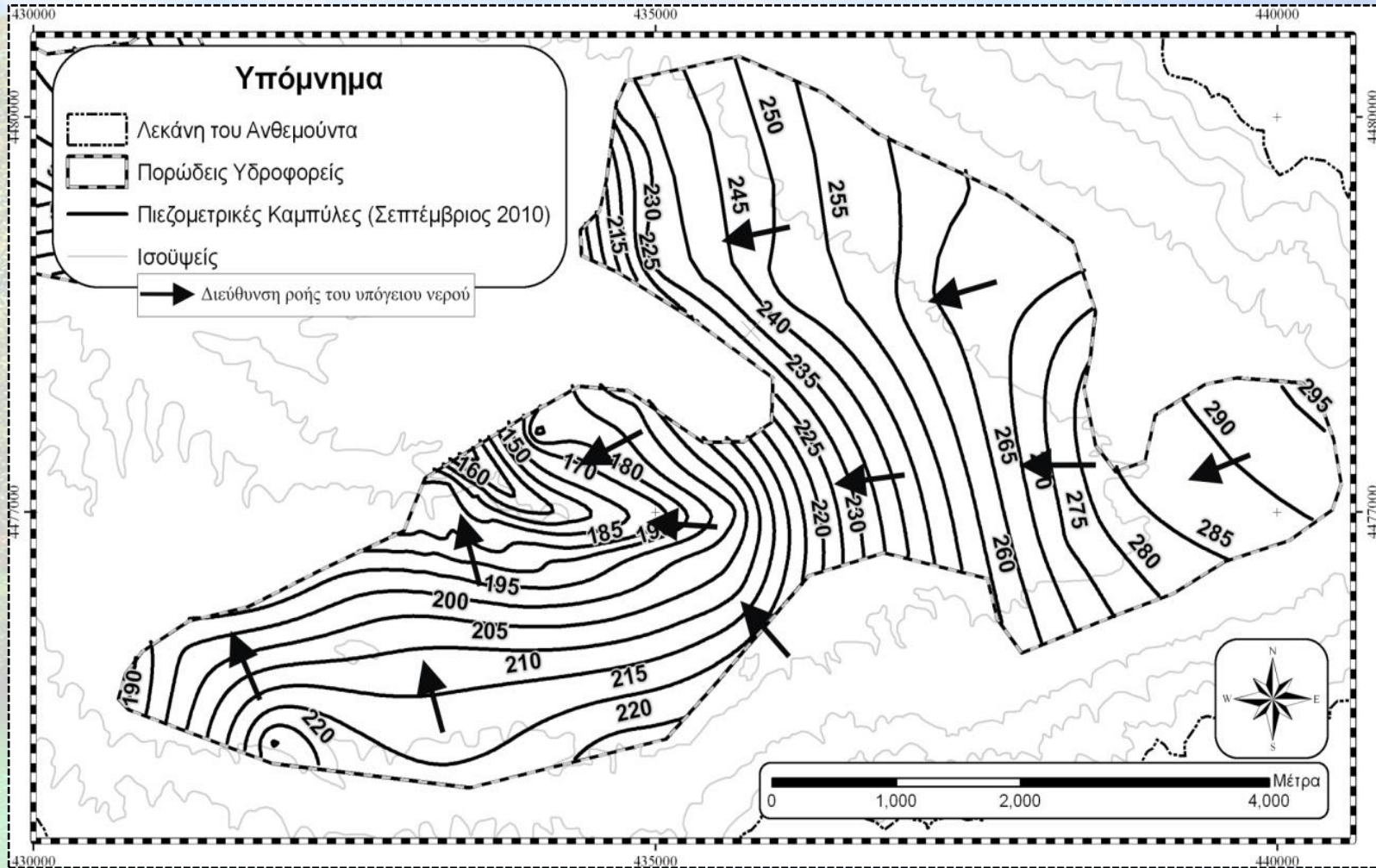
Η περίπτωση της Γαλάτιστας

Η περίπτωση της Γαλάτιστας

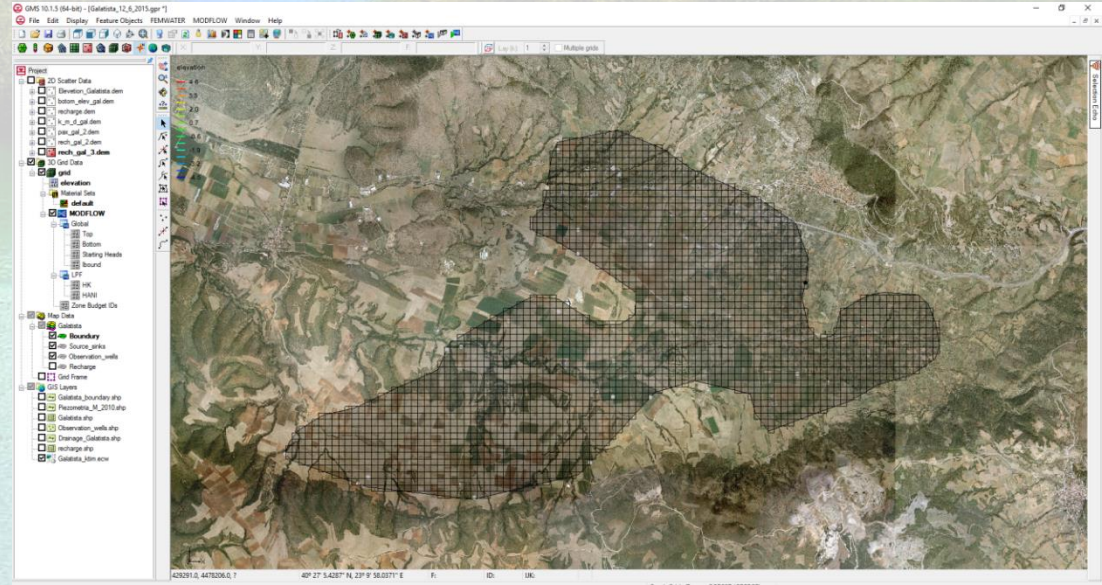
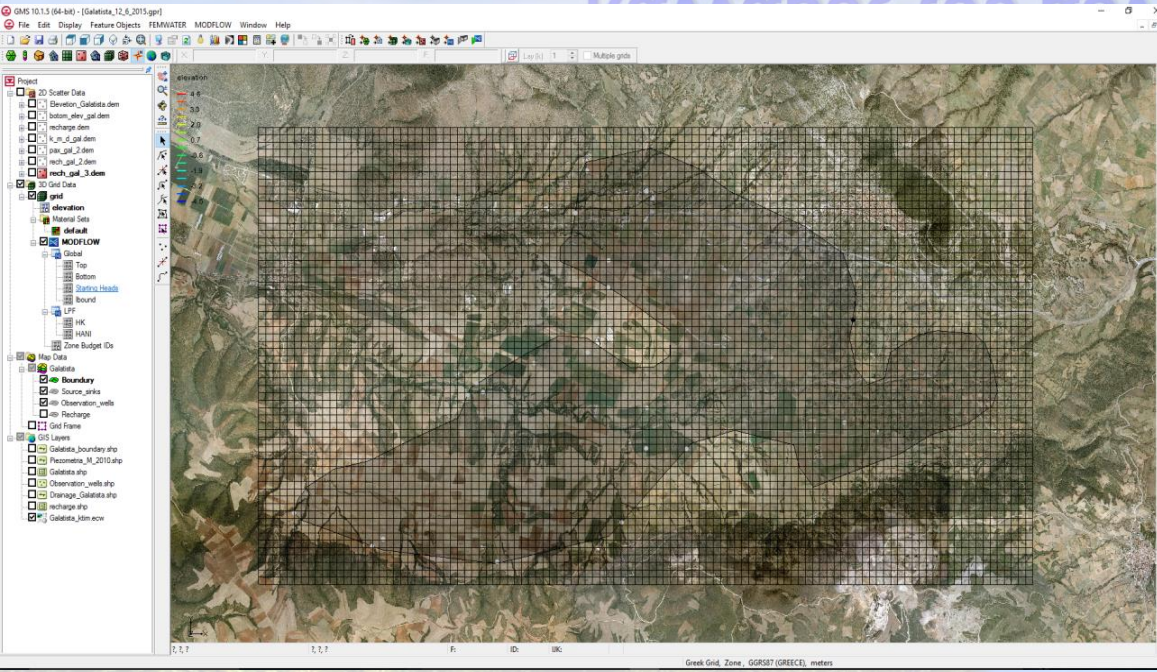


Η περίπτωση της Γαλάτιστας

Η περίπτωση της Γαλάτιστας

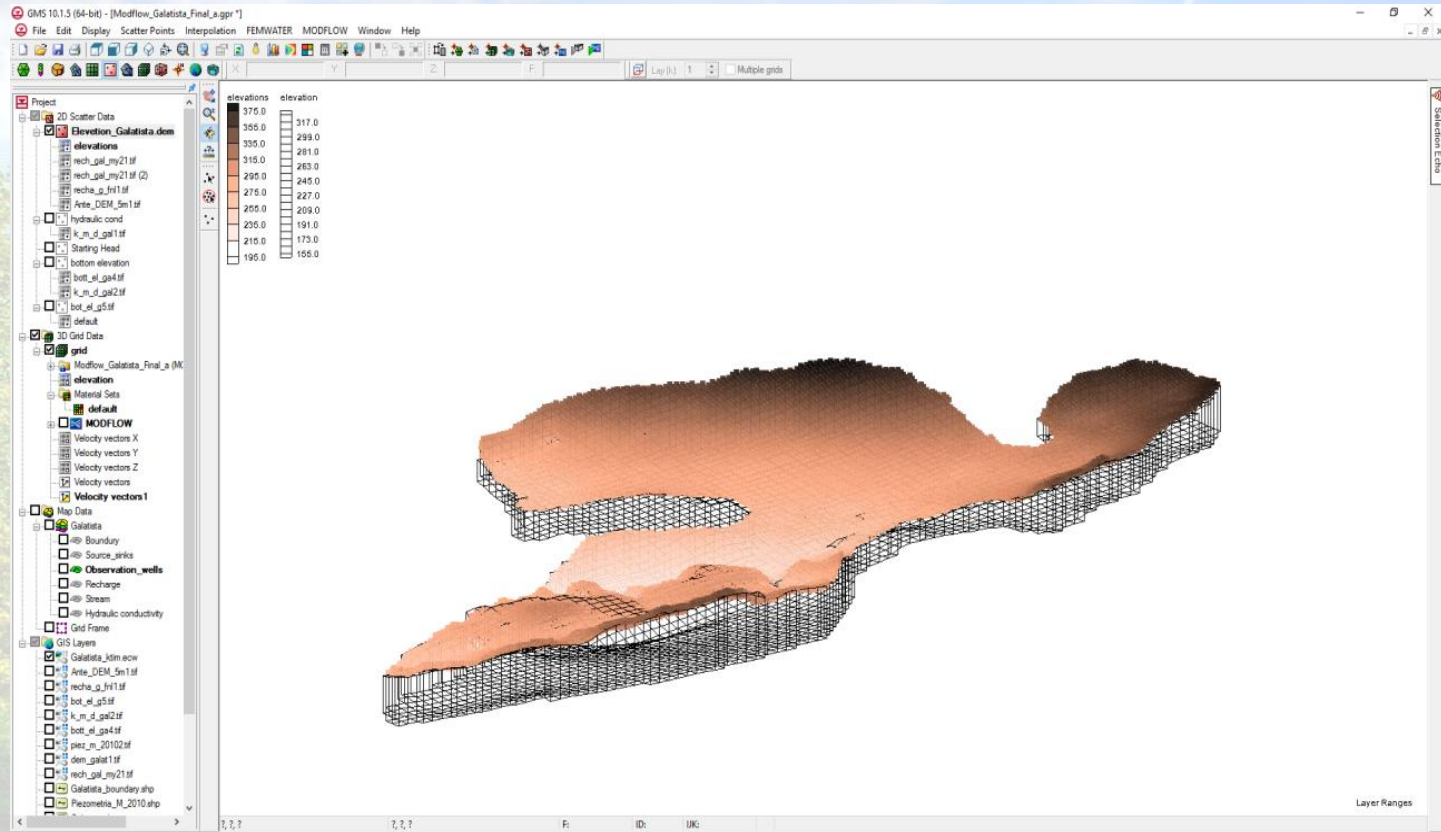


Κάνναβος του μοντέλου



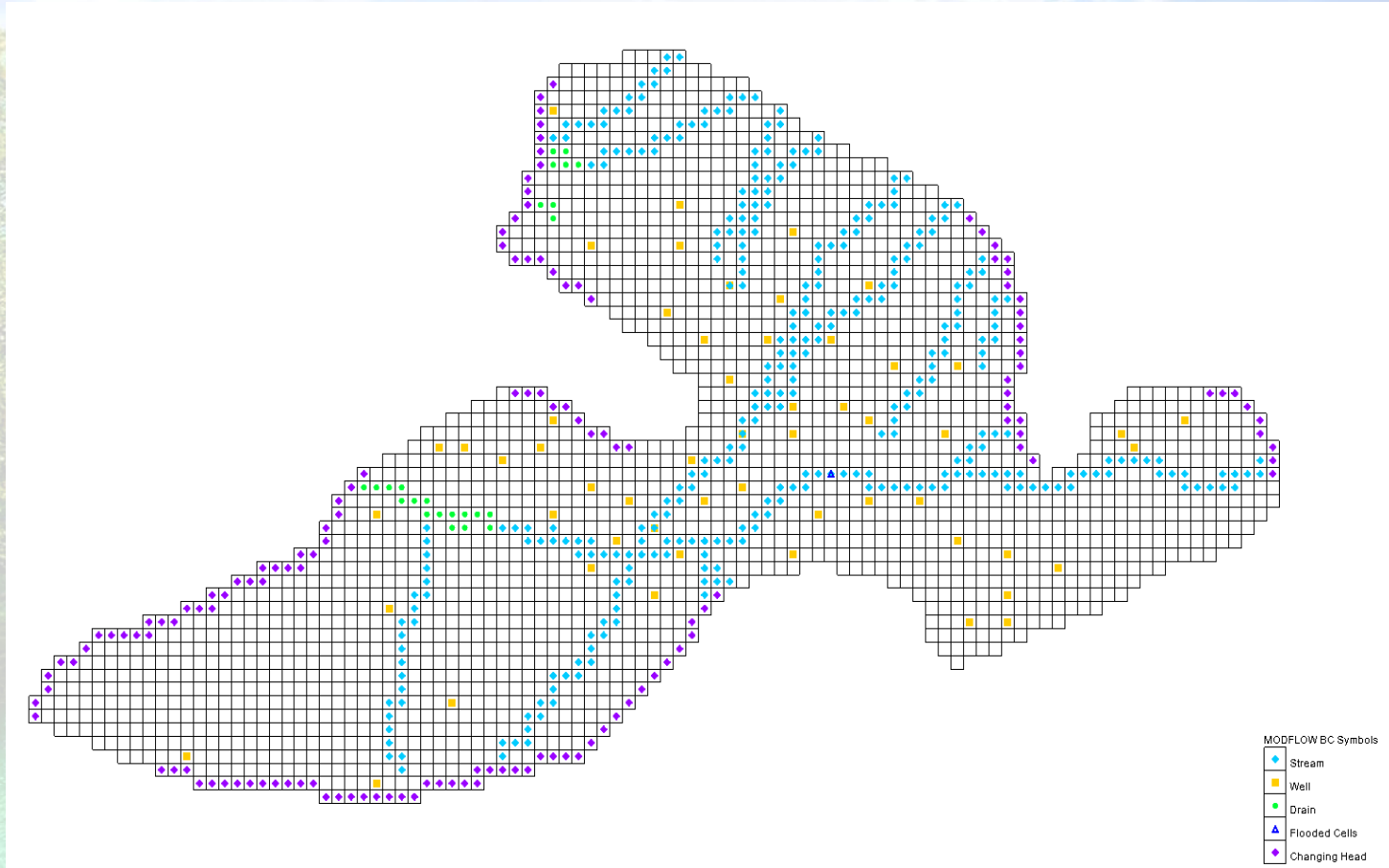
Τρισδιάστατη γεωμετρική απεικόνιση του μοντέλου

Υδρολογική-λεηθητική απεικόνιση του ποταμού



Οριακές συνθήκες

οβρακεδ αληθικες



Οριακές συνθήκες

οριακές αληθινές

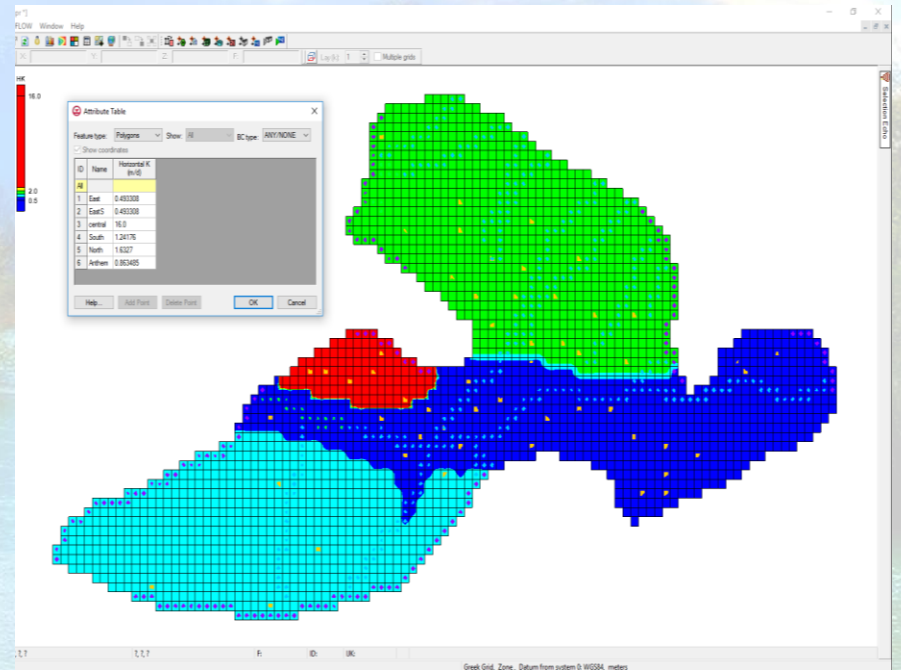
Είδος	Αριθμός	Ημερήσια κατανάλωση	m ³ /y
Βοοειδή	670	0,08	19564
Προβατοειδή	7515	0,008	21943,8
Αίγες	18133	0,008	52948,36
Χοίροι	1003	0,08	29287,6
Ιπποειδή	0	0,036	0
Κουνέλια	700	0,004	1022
Πουλερικά	324257	0,002	236707,6
Σύνολο	352278	0,218	361473,4

Υδατικές ανάγκες	m ³ /y	m ³ /d
Υδρευτικές	354000	969.86
Κτηνοτροφικές	361000	989.04
Αγροτικές	2556000*	7002.74
Σύνολο	3271000	8961.64

Καλλιέργεια	Έκταση (km ²)	Αρδευτικές ανάγκες (mm)	m ³ /y
Σιτάρι	11,1	0	0
Ελαιώνες	3,9	50	195000
Αμπέλια	0	507	0
Βαμβάκι	0,3	600	180000
Καλαμπόκι	1,9	691,5	1313850
Τριφύλλι	1,2	691,5	829800
Κηπευτικά	1	643,5	643500
Θερμοκήπια	0,05	643,5	32175
Σύνολο	19,4	-	3194325

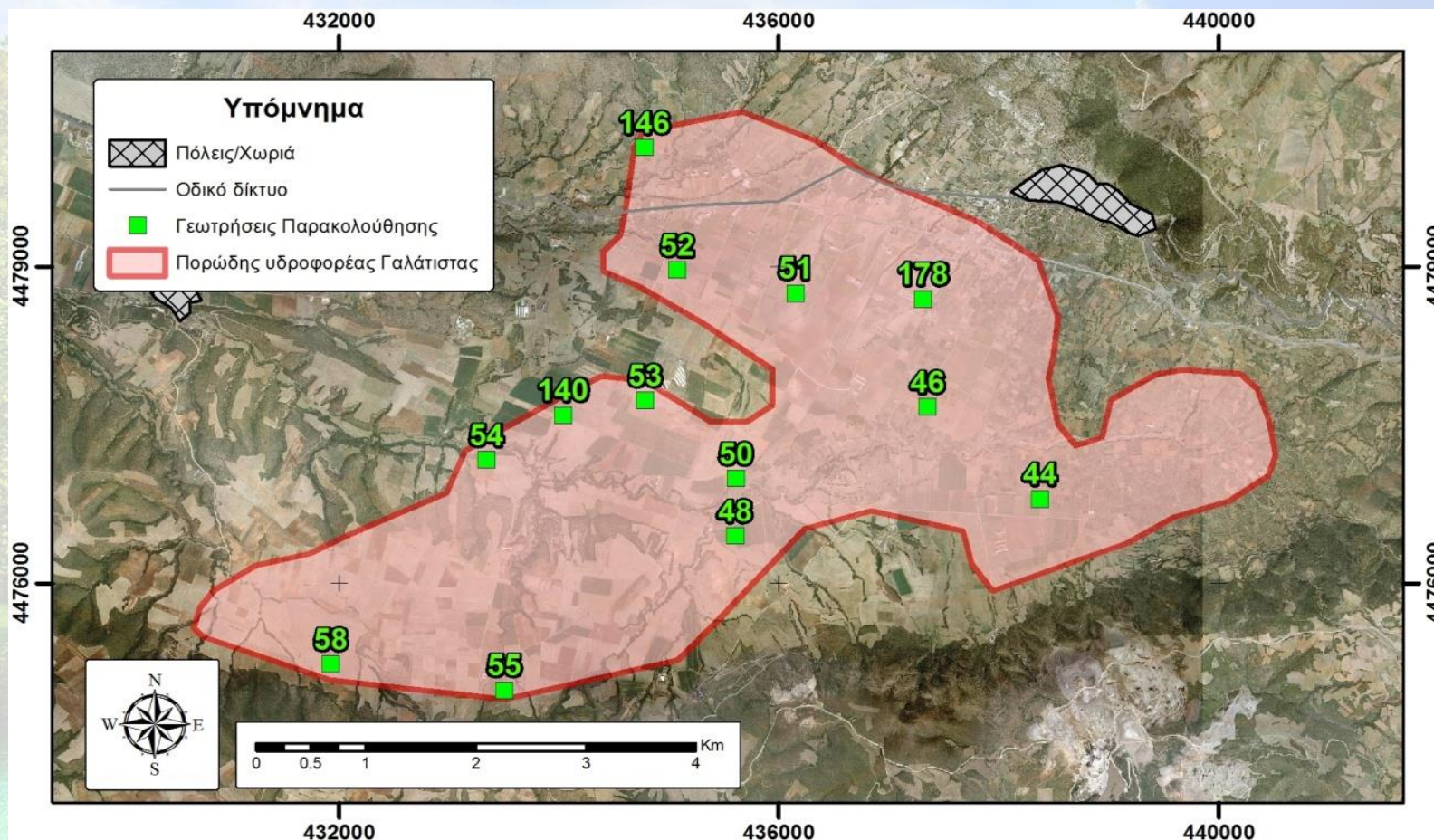
Τιμές της υδραυλικής αγωγιμότητας

Γιγες εις ορθογώνιες αλωλητοειδας



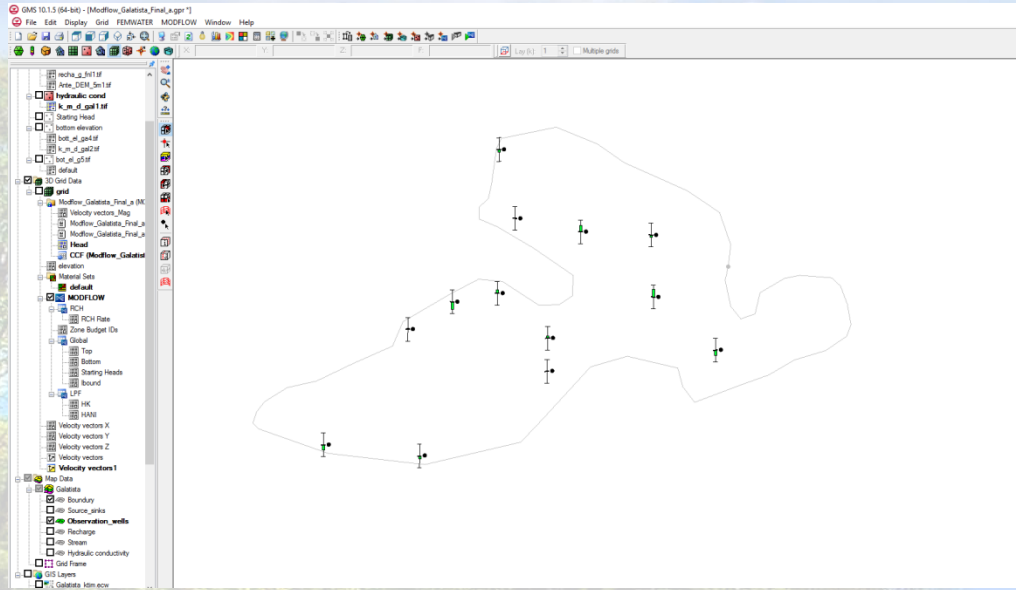
Γεωτρήσεις παρακολούθησης

Γεωτρήσεις παρακολούθησης



Γεωτρήσεις παρακολούθησης

Λειτουργίες παρακολούθησης



Attribute Table

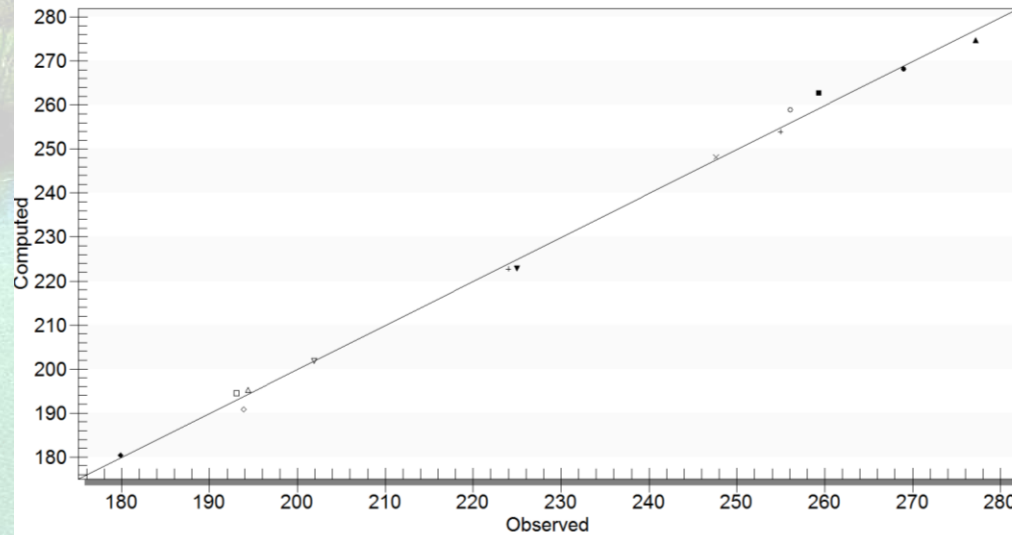
Feature type: Points Show: All BC type: obs.pt

Show coordinates

ID	Name	Type	Layer	Obs. Head	Obs. Head interval	Obs. Head corf(%)	Obs. Head std. dev	Computed Head	Residual Head
All									
61	146	obs. pt	1	255.0	5.0	95	0.5102134529327	253.869888306	1.130111694
62	52	obs. pt	1	247.65	5.0	95	2.5510672646634	248.126708984	-0.476708984
63	51	obs. pt	1	256.1	5.0	95	2.5510672646634	258.799682617	-2.699682617
64	178	obs. pt	1	269.0	5.0	95	2.5510672646634	268.083679199	0.916320801
65	53	obs. pt	1	193.07	5.0	95	2.5510672646634	194.541320801	-1.471320801
66	46	obs. pt	1	259.34	5.0	95	2.5510672646634	262.731872559	-3.391872559
67	140	obs. pt	1	193.9	5.0	95	2.5510672646634	190.764328003	3.135671997
68	54	obs. pt	1	179.9	5.0	95	2.5510672646634	180.46585083	-0.56585083
69	50	obs. pt	1	194.36	5.0	95	2.5510672646634	195.261871338	-0.901871338
70	44	obs. pt	1	277.15	5.0	95	2.5510672646634	274.788787842	2.361212158
71	48	obs. pt	1	201.9	5.0	95	2.5510672646634	201.893875122	0.006124878
72	58	obs. pt	1	225.0	5.0	95	2.5510672646634	222.864044189	2.135955811
73	55	obs. pt	1	224.0	5.0	95	2.5510672646634	222.719894409	1.280105591

Help... Add Point Delete Point OK Cancel

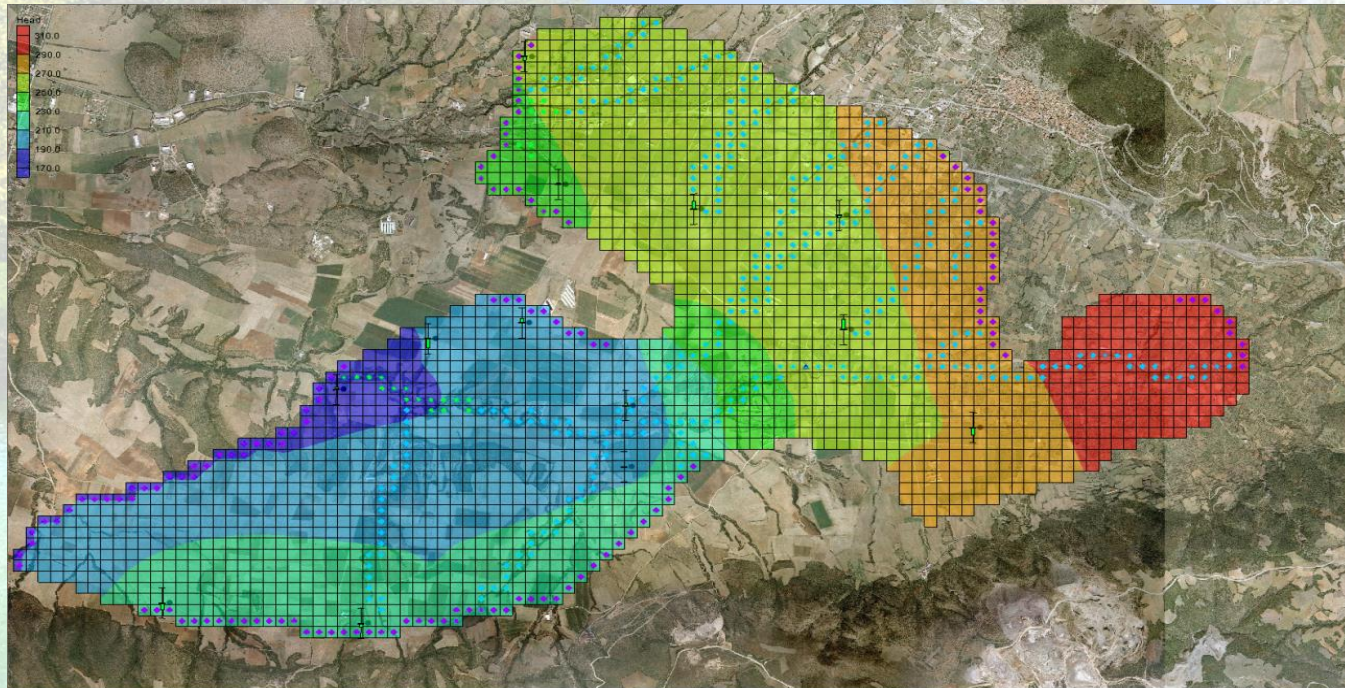
Computed vs. Observed Values
Head



Αποτελέσματα της προσομοίωσης

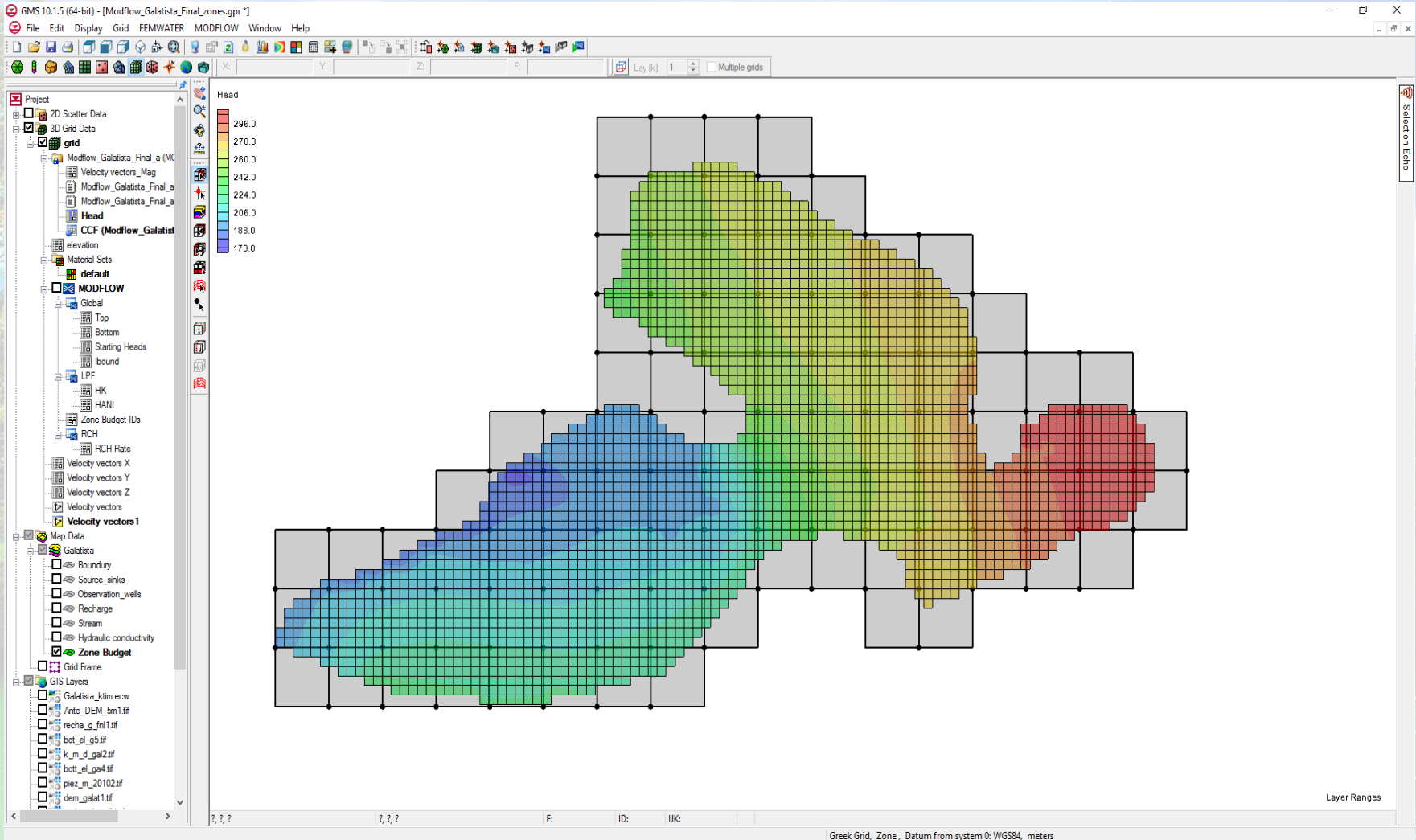
Απογεγραμμένα με υποδομοποιεία

Κατηγορία	Εισροές		Εκροές	
	m^3/d	m^3/y	m^3/d	m^3/y
Πλευρικές ροές	5806.4	2119336	3575,7	1305131
Γεωτρήσεις	0	0	8960	3270400
Επιφανειακή αποστράγγιση (Υδατορρέυματα)	0	0	2046,4	746936
Κατείσδυση	7929,7	2894341	0	0
Υδατορρέυματα-Διήθηση	848,4	309666	0	0
Σύνολο	14584,5	5323343	14582,1	5322467
Διαφορά	0,016%			



Κάνναβος για τον υπολογισμό των ζωνών επαρκούς ποσότητας

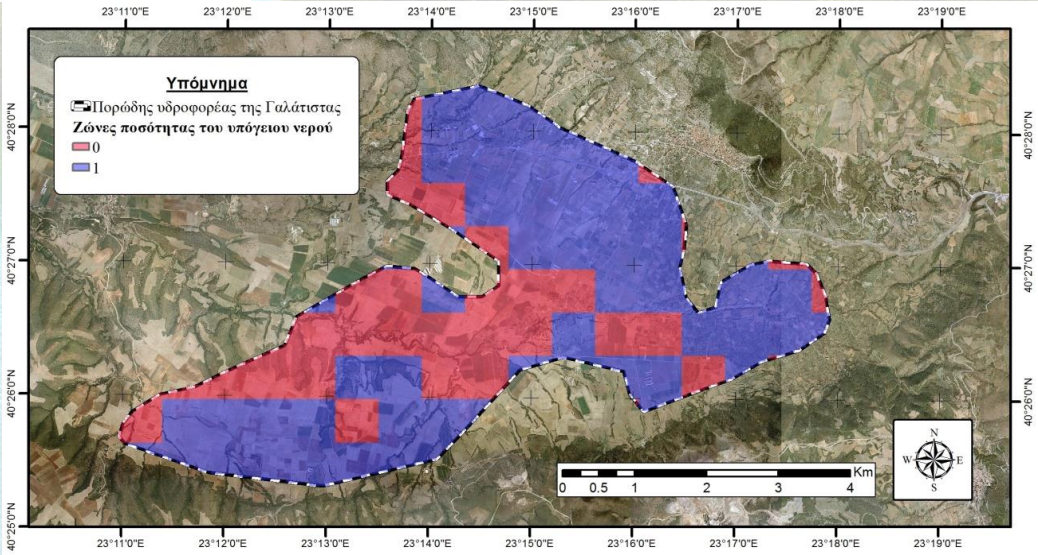
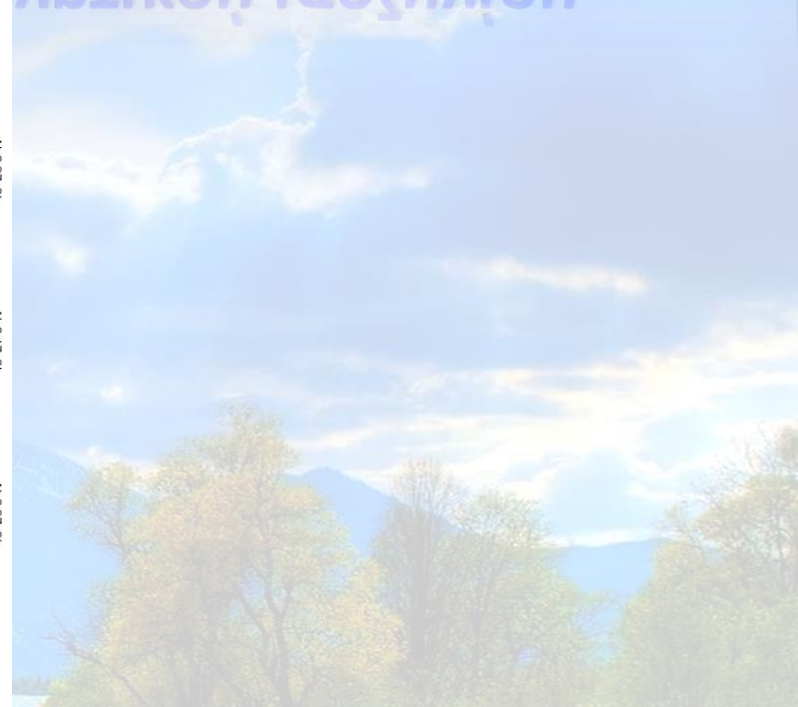
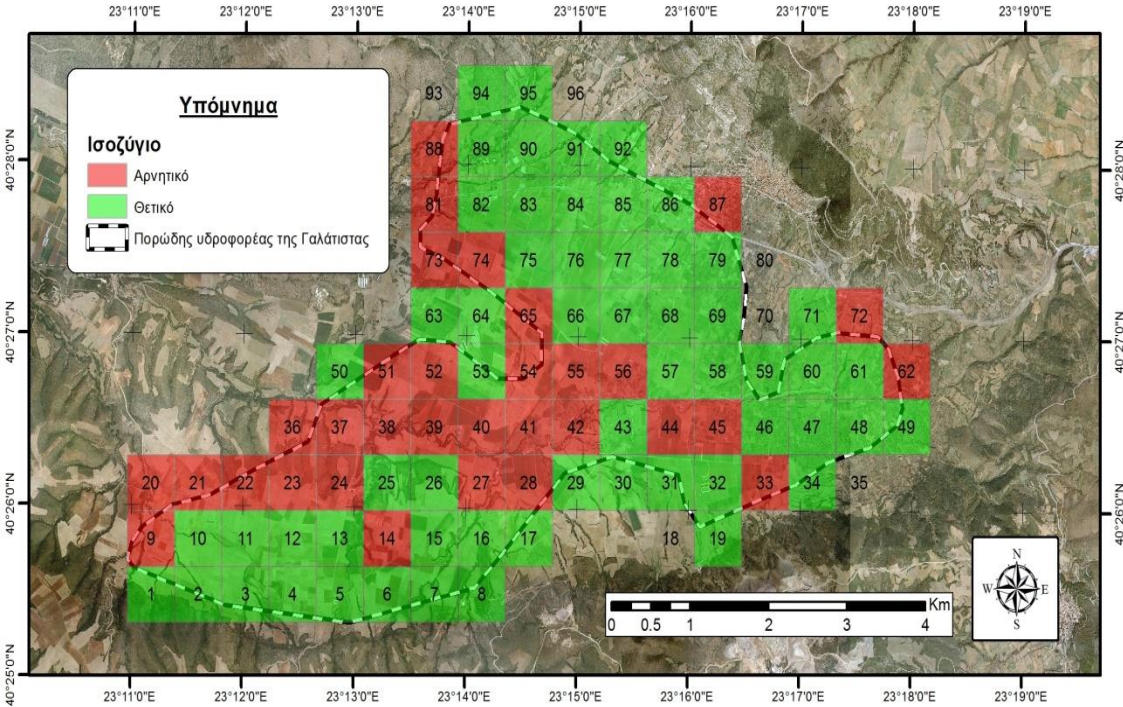
Καλίσβος για τον υπολογισμό των ζωνών επαρκούς ποσότητας



Greek Grid, Zone, Datum from system 0: WGS84, meters

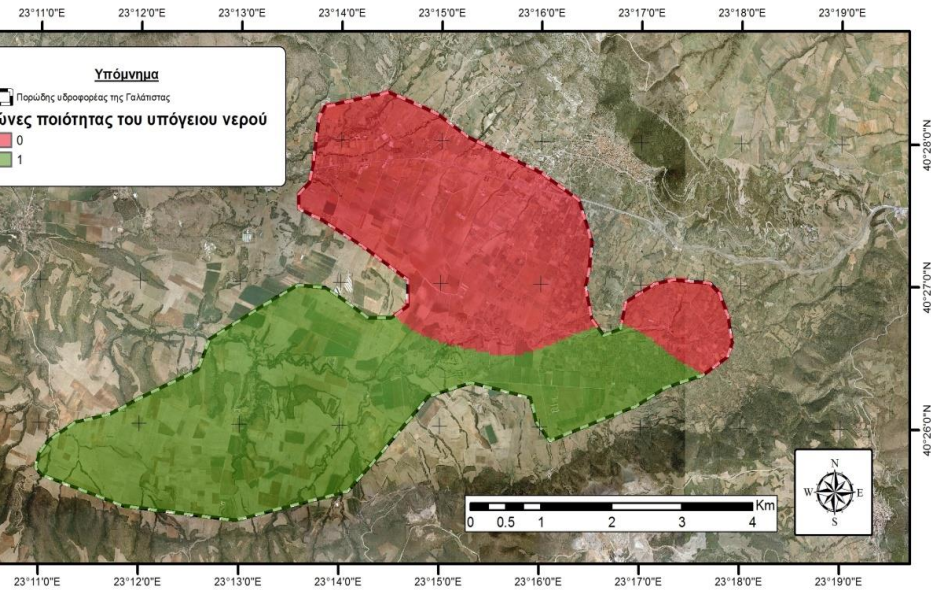
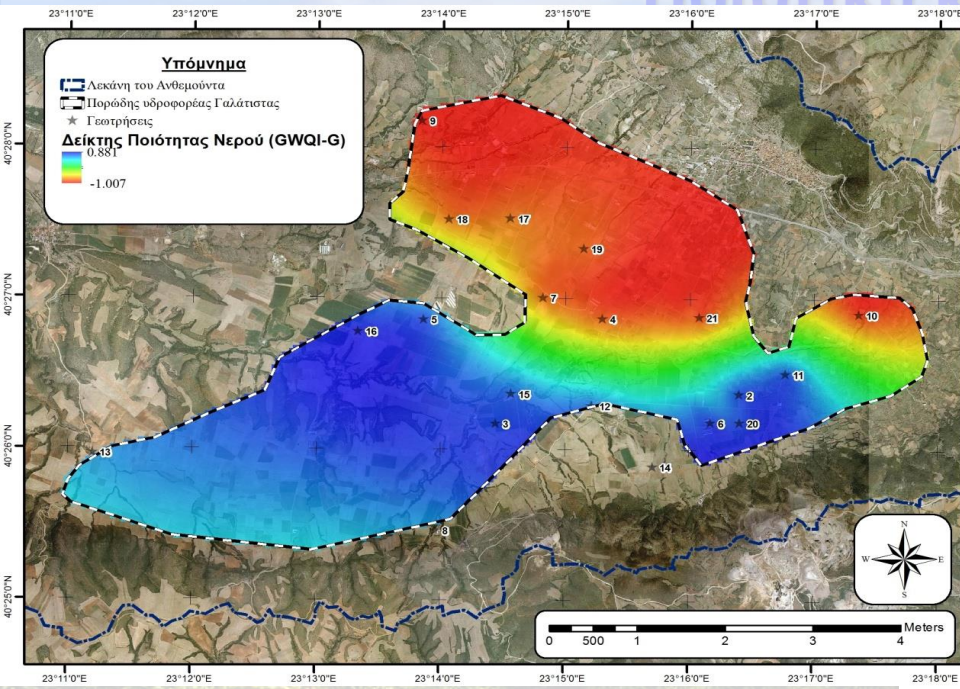
Αποτύπωση του θετικού ή αρνητικού ισοζυγίου

Υδροοικονομία του ποταμού Αιγαίου και της Αιγαίικης λεκάνης απορροής



Ποιοτική κατάσταση

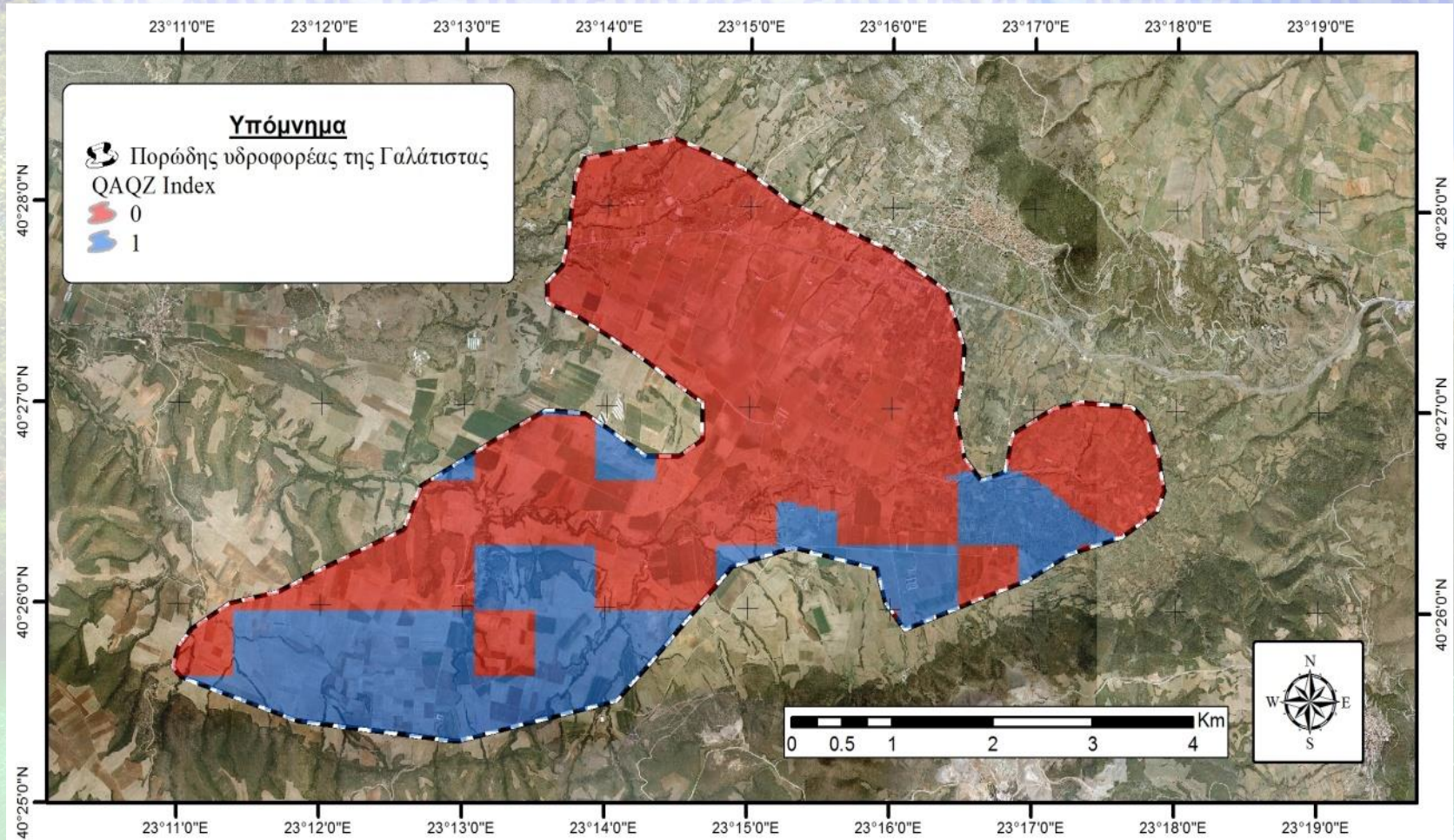
Ποιοτική κατάσταση



Τελικός χάρτης με τις περιοχές επαρκούς ποσότητας και κατάλληλης ποιότητας του υπόγειου νερού.

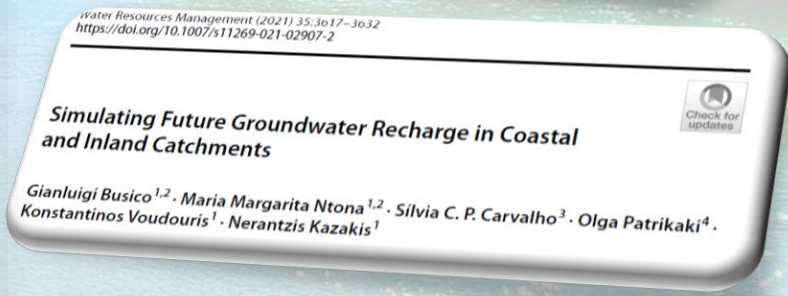
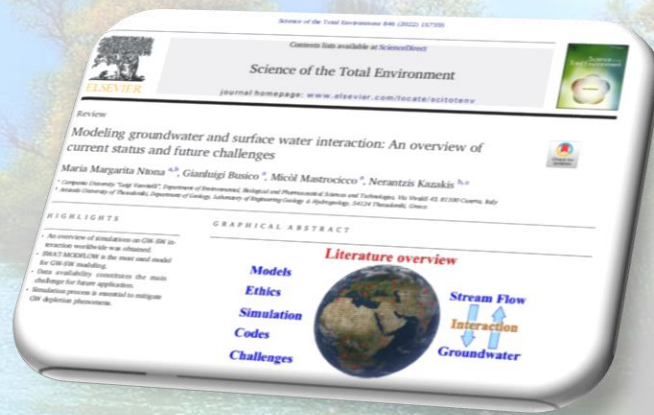
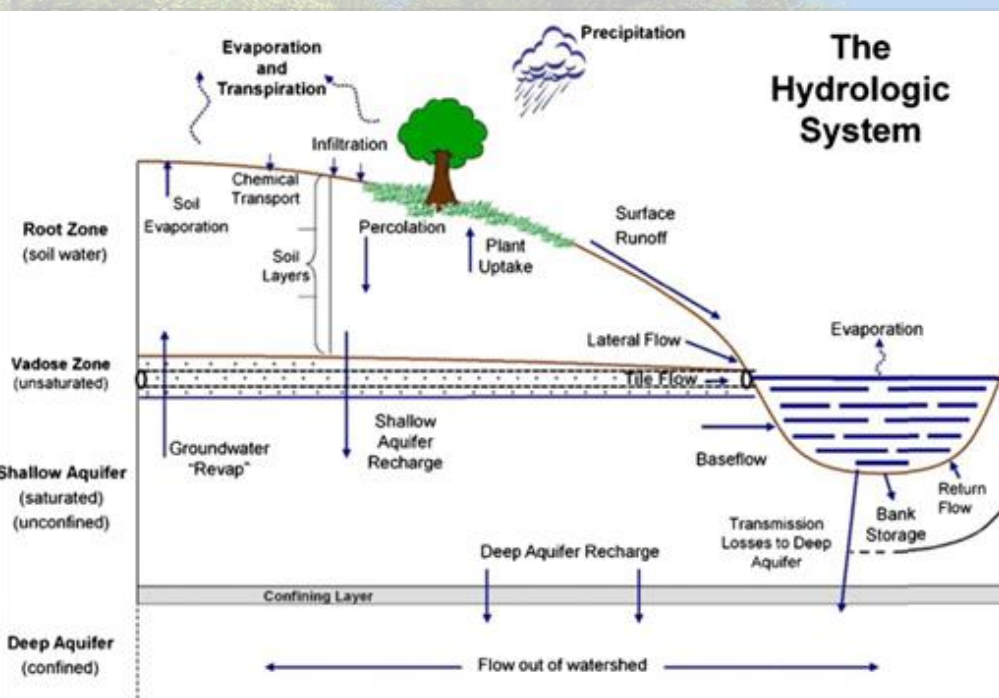
καταγγιγνίλ ποιογίματ τον ημολεγον λεβοη

Τελικός Χάρτης με τις περιοχές επαρκούς ποσότητας και κατάλληλης ποιότητας του υπόγειου νερού.



Μοντέλα Επιφανειακών Υδάτων

ΜΟΛΥΒΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΛΟΤΤΩΝ



Μοντέλα Επιφανειακών Υδάτων

ΜΟΝΤΕΛΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΥΔΑΤΩΝ

Το Εργαλείο Αξιολόγησης Εδάφους και Νερού (Soil and Water Assessment Tool -SWAT) είναι ένα υδρολογικό μοντέλο που προτάθηκε από το Υπουργείο Γεωργίας των Ηνωμένων Πολιτειών (USDA).

Το μοντέλο SWAT έχει αποδειχθεί πολύτιμο εργαλείο για την πρόβλεψη της μελλοντικής αναπλήρωσης των υπόγειων υδάτων και κατά συνέπεια για τον καθορισμό ενός σχεδίου βιώσιμης διαχείρισης των υπόγειων υδάτων.



- Μπορεί να προβλέψει τον αντίκτυπο της χρήσης και της διαχείρισης της γης στο νερό (απορροή), τα ιζήματα (διάβρωση) και τις γεωργικές χημικές αποδόσεις (NO₃) σε λεκάνες απορροής.
- Κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας SWAT, η λεκάνη απορροής χωρίζεται σε υπολεκάνες απορροής, περαιτέρω υποδιαιρούμενες σε Μονάδες Υδρολογικής Απόκρισης (Hydrologic Response Units-HRU) ανάλογα με τον τύπο χρήσης γης, το εύρος κλίσης και τις μονάδες εδάφους.
- Είναι ένα μοντέλο συνεχούς χρόνου που λειτουργεί σε καθημερινό, μηνιαίο και ετήσιο χρονικό βήμα.
- Είναι εφικτή η συνεχής προσομοίωση για μεγάλες χρονικές περιόδους.
- Είναι εφικτή η προσομοίωση της επίδρασης των χρήσεων γης και της κλιματικής αλλαγής.

Μοντέλα Επιφανειακών Υδάτων

ΜΟΝΤΕΛΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΛΟΓΑΡΩΝ

Υδρολογικό ισοζύγιο:
PCP = ET + INF + RUNOFF

Το μοντέλο SWAT χρησιμοποιεί υδρολογικά μοντέλα για τον υπολογισμό του ισοζυγίου:
Παροχή ρέματος/Βροχόπτωση, Εξατμισοδιαπνοή/ Βροχόπτωση κοκ...

Προκειμένου να επιτευχθεί ακριβής πρόβλεψη της κυκλοφορίας του νερού, θρεπτικών ουσιών και ιζημάτων, είναι απαραίτητο να προσομοιωθεί ο υδρολογικός κύκλος που ενσωματώνει τη συνολική κυκλοφορία του νερού στη λεκάνη απορροής και ως εκ τούτου το μοντέλο χρησιμοποιεί την ακόλουθη εξίσωση ισοζυγίου νερού στη λεκάνη απορροής:

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^t (Rv - Qs - Wseepage - ET - Qgw)$$

Όπου SW_t είναι η υγρασία του εδάφους, SW_0 είναι η βασική υγρασία, Rv ο όγκος βροχόπτωσης σε mm, Qs είναι η επιφανειακή απορροή, $Wseepage$ είναι η διαρροή νερού από το έδαφος στα υποκείμενα στρώματα, ET είναι η εξατμισοδιαπνοή, Qgw είναι ο εμπλουτισμός των υπόγειων υδάτων και ο χρόνος σε ημέρες).

Μοντέλα Επιφανειακών Υδάτων

ΜΟΛΥΣΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΛΟΛΩΛ

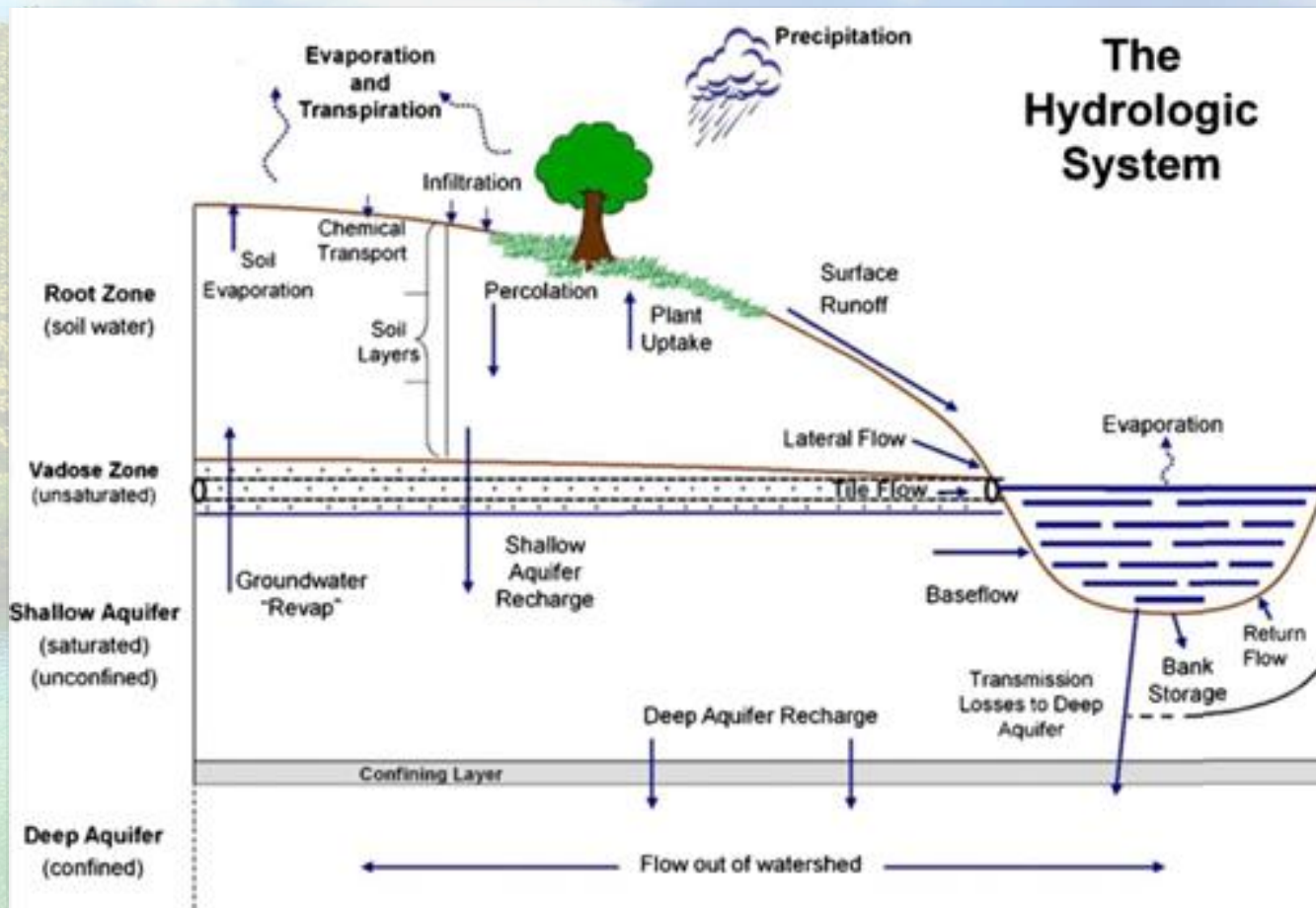
Μέθοδοι υπολογισμού της Εξατμισοδιαπνοής

Penmann Monteith Method	$\lambda E = \frac{\Delta \cdot (H_{net} - G) + \rho_{air} \cdot c_p \cdot [e_s^o - e_a] / r_a}{\Delta + \gamma \cdot (1 + r_c / r_a)}$
Priestley Taylor Method	$\lambda E_o = \alpha_{pet} \cdot \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \cdot (H_{net} - G)$
Hargreaves Method	$\lambda E_o = 0.0023 \cdot H_o \cdot (T_{max} - T_{min})^{0.5} \cdot (\overline{T_{av}} + 17.8)$

Μοντέλα Επιφανειακών Υδάτων

ΜΟΛΥΒΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΛΟΛΩΛ

Μέθοδοι υπολογισμού της επιφανειακής απορροής: SCS – CN Method



Μοντέλα Επιφανειακών Υδάτων

ΠΟΛΛΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΕΣ ΛΟΓΙΣΤΕΣ

Κλιματικά δεδομένα

Μετεωρολογικοί σταθμοί ή μοντέλα πρόβλεψης

- ✓ Ημερήσια βροχόπτωση
- ✓ Μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία αέρα
- ✓ Ηλιακή ακτινοβολία
- ✓ Σχετική υγρασία αέρα
- ✓ Ταχύτητα ανέμου

Δεδομένα χρήσεων Γης

Βιβλιογραφία ή SWAT dataset

- ✓ Είδος καλλιέργειας
- ✓ Όγκος φυτών
- ✓ Λειτουργίες διαχείρισης

Δεδομένα εδάφους

Συλλογή δειγμάτων ή ανοιχτών βάσεων δεδομένων (FAO soil dataset)

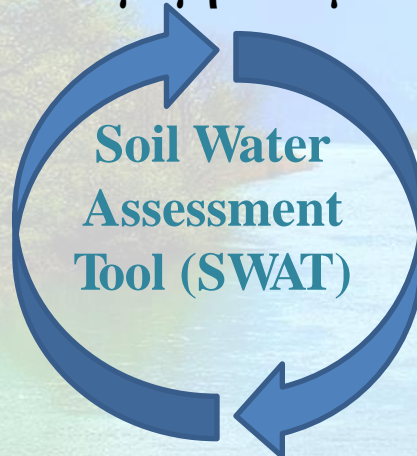
- ✓ Διαθέσιμη περιεκτικότητα σε νερό
- ✓ Υφή (% ιλύς, άργιλος, άμμος)
- ✓ Υδραυλική αγωγιμότητα εδάφους
- ✓ Πάχος
- ✓ Παράγοντας διάβρωσης

Μορφολογικά δεδομένα

DTM, DEM

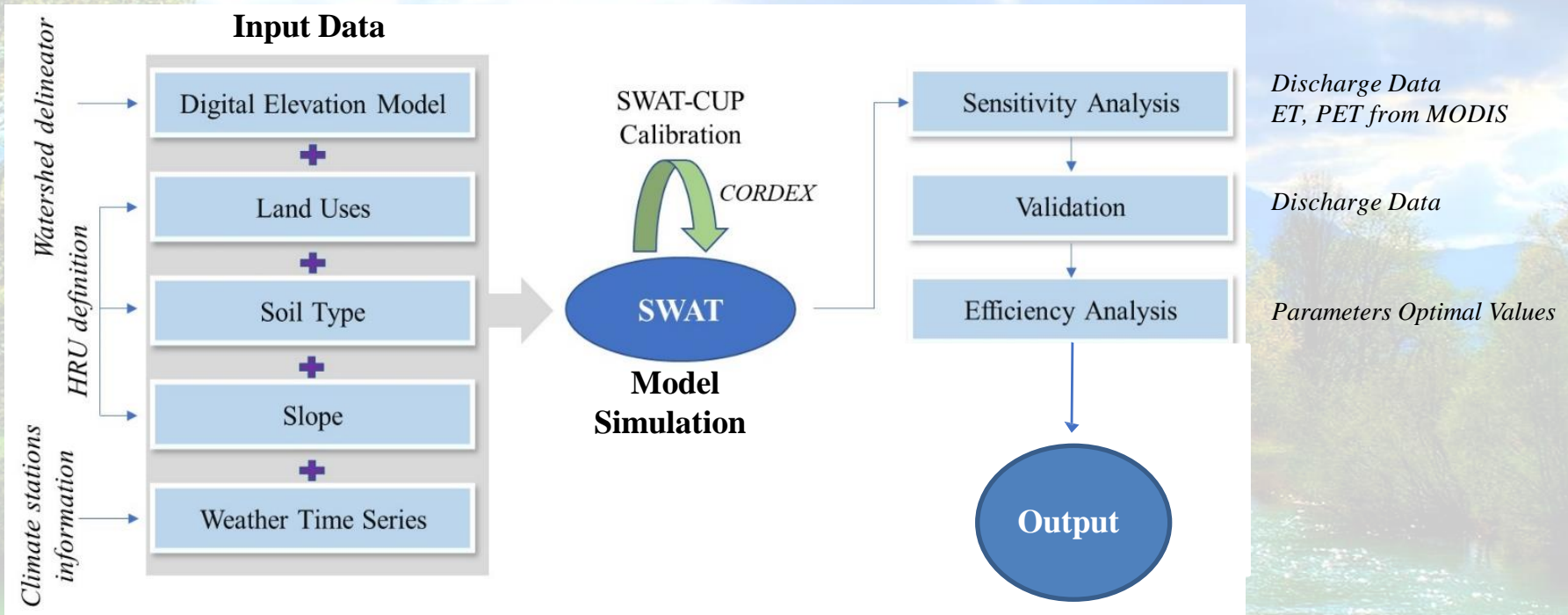
- ✓ Κλίση εδάφους
- ✓ Υδρογραφικό δίκτυο
- ✓ Παροχές

Εισαγωγή Δεδομένων



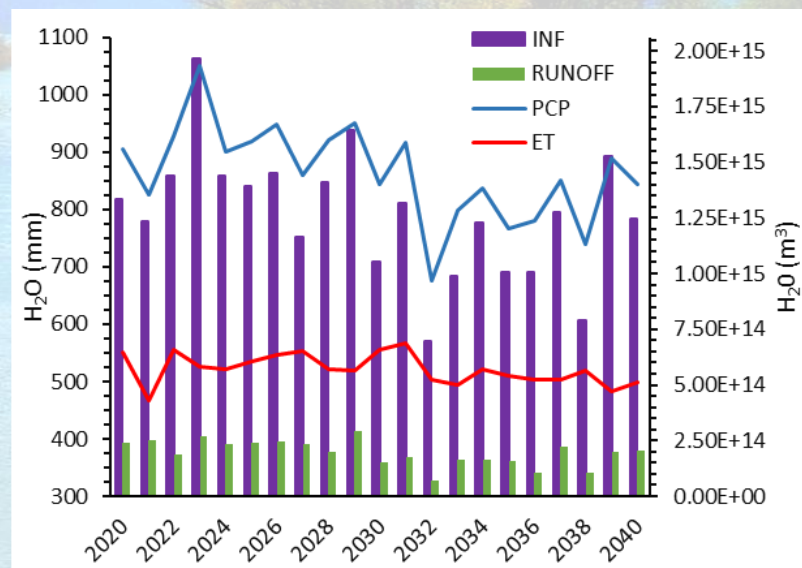
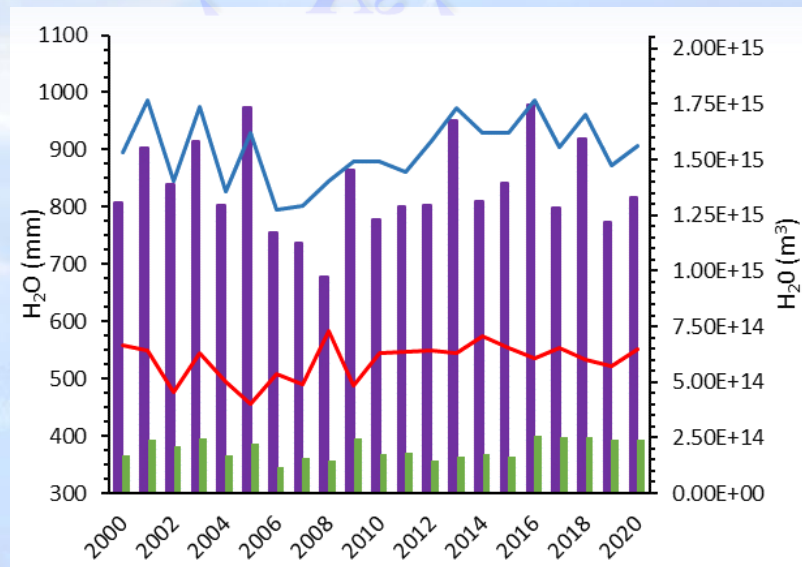
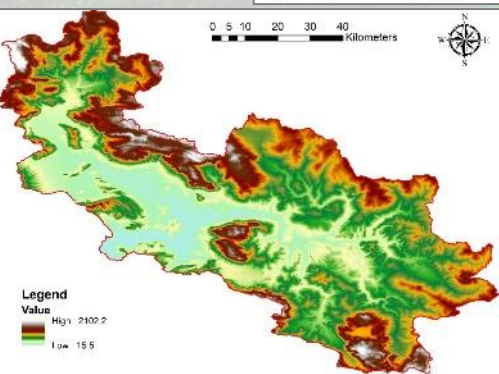
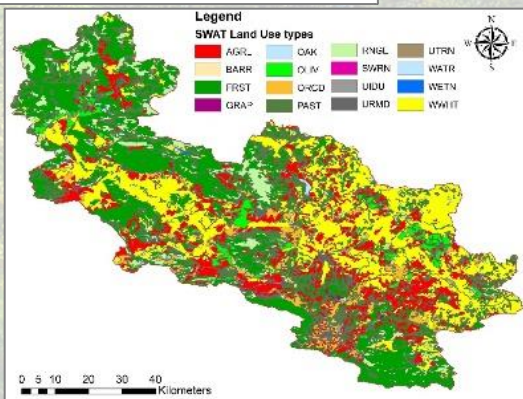
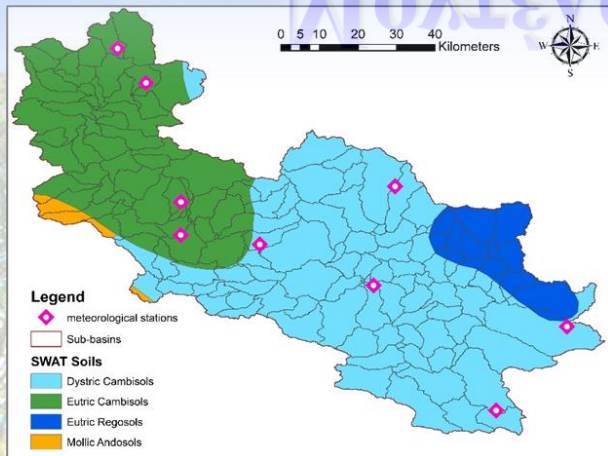
Μοντέλα Επιφανειακών Υδάτων

ΜΟΛΥΒΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΛΟΓΑΡΩΝ



Μοντέλα Επιφανειακών Υδάτων

ΠΙΘΑΝΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΛΟΑΤΩΛ

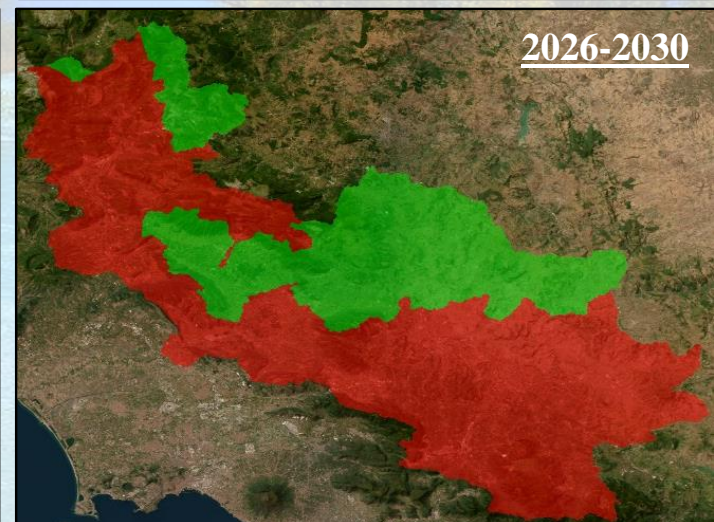
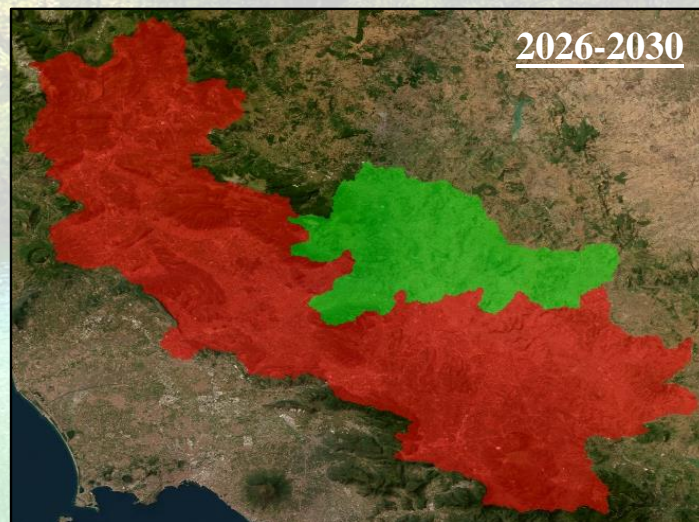
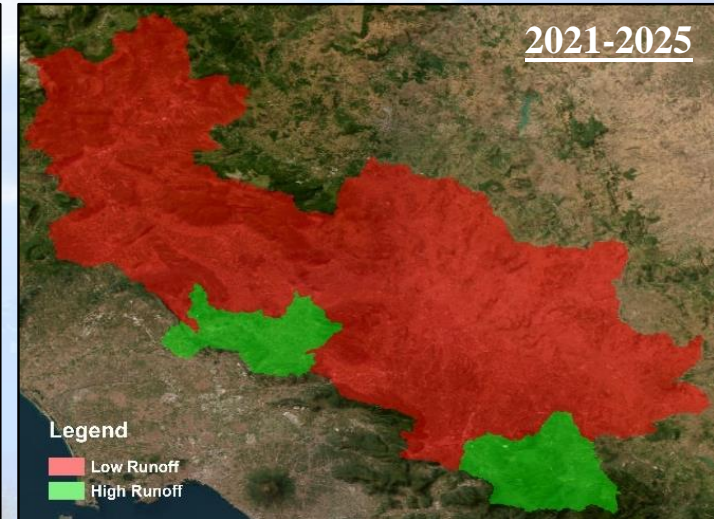
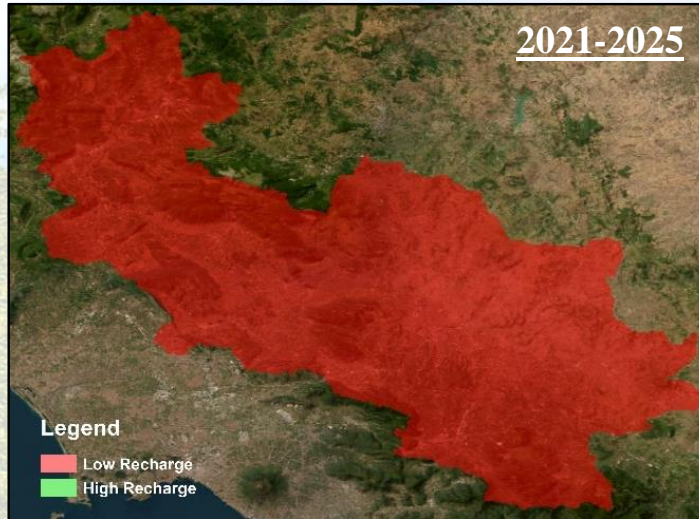


Μοντέλα Επιφανειακών Υδάτων

ΜΟΛΥΒΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΛΟΑΤΩΝ

RECHARGE

RUNOFF



Μοντέλα Επιφανειακών Υδάτων

ΜΟΝΤΕΛΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΛΟΤΩΝ

Περιορισμοί και μειονεκτήματα του SWAT

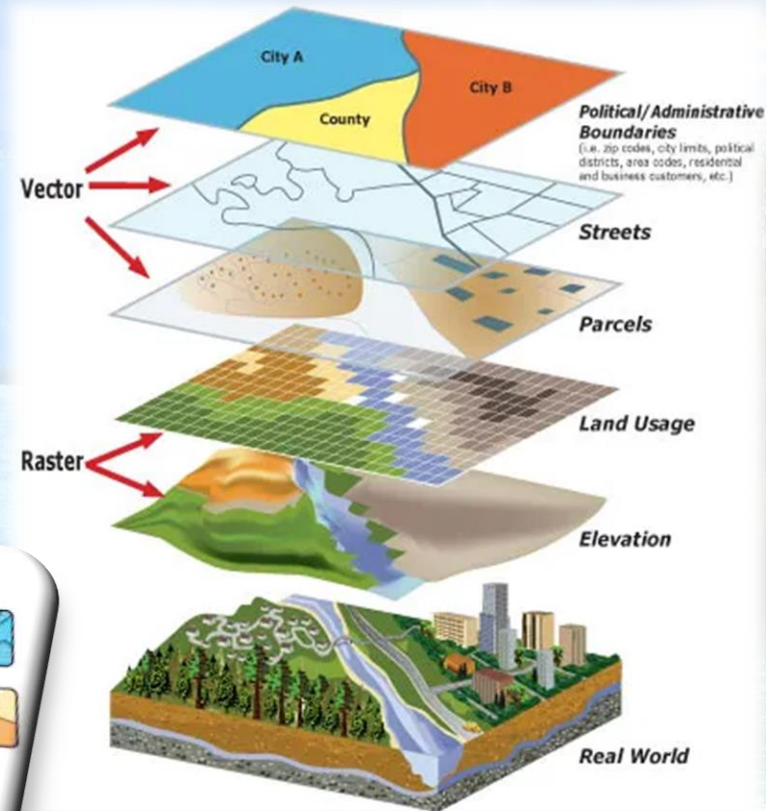
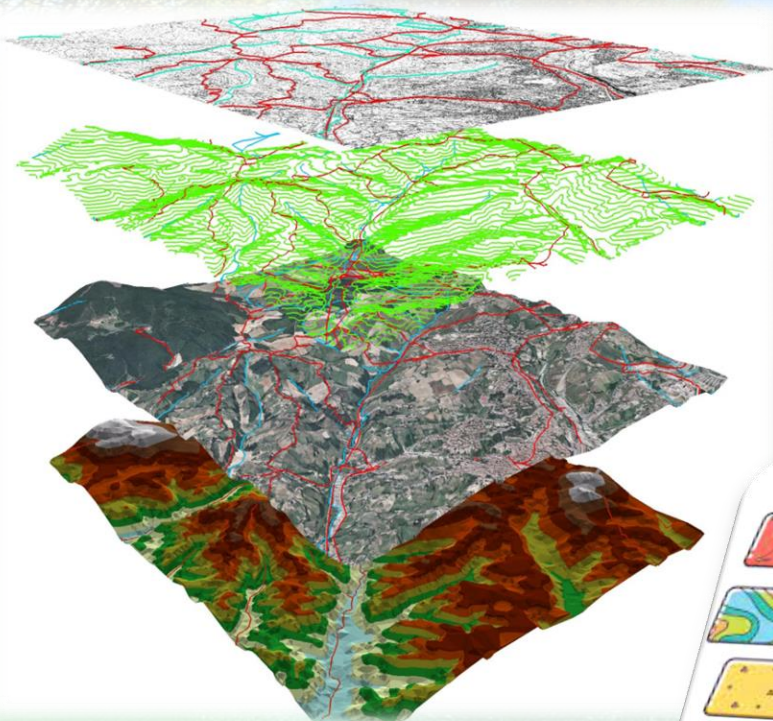
- Η κύρια αδυναμία του μοντέλου είναι η μη χωρική αναπαράσταση του HRU μέσα σε κάθε υπολεκάνη. Αυτό βέβαια διατηρεί το μοντέλο απλό και εύκολο στην εφαρμογή του σε σχεδόν κάθε λεκάνη απορροής.
- Απαιτείται μεγάλη γκάμα διαφορετικών δεδομένων για την εκτέλεση του μοντέλου και πολλές παράμετροι πρέπει να τροποποιηθούν κατά τη βαθμονόμηση, κάτι που απαιτεί πολλή υπομονή για να αντιμετωπιστεί και γνώσεις.
- Το μοντέλο δεν επιτρέπει προσομοιώσεις πολυπολιτισμικών φυτικών κοινοτήτων που είναι κοινές στη βιολογική γεωργία, σε λιβάδια και στα δάση, καθώς αναπτύχθηκαν αρχικά για μονοκαλλιέργειες. Ωστόσο υπάρχει η δυνατότητα διαχωρισμού σε δύο διαφορετικές καλλιέργειες (πχ. 50% ντομάτες και 50% μαρούλια).

Μοντέλα Δεικτών

ΨΗΦΙΑΚΑ ΔΕΙΚΤΩΡΑ

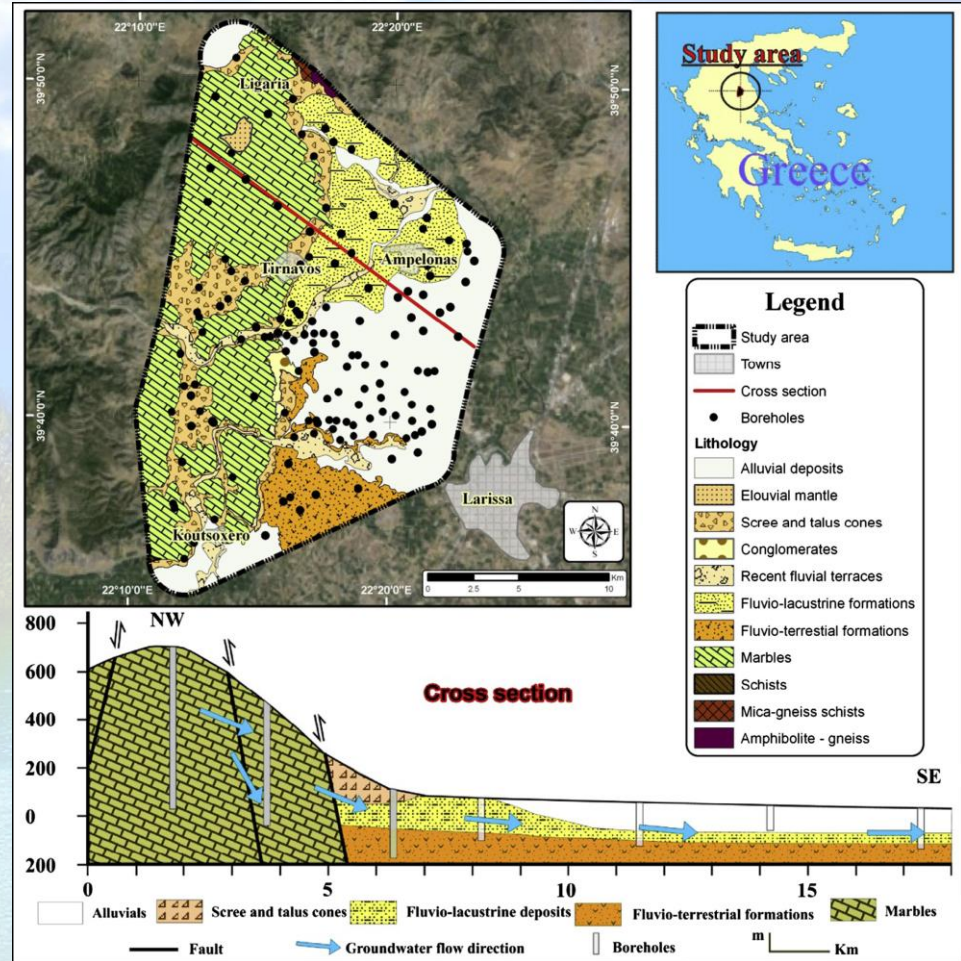
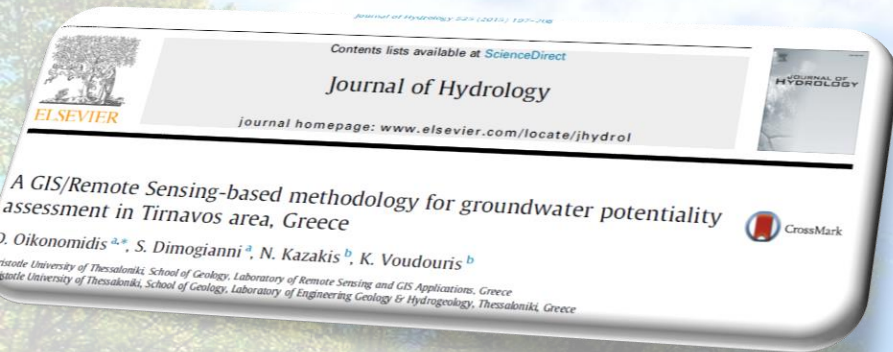
$$DI = Dr \times Dw + Rr \times Rw + Ar \times Aw + Sr \times Sw + Tr \times Tw + Ir \times Iw + Cr \times Cw$$

όπου ο δείκτης r εκφράζει την τιμή της παραμέτρου και ο δείκτης w τη βαρύτητα καθεμιάς.



Μοντέλα Δεικτών

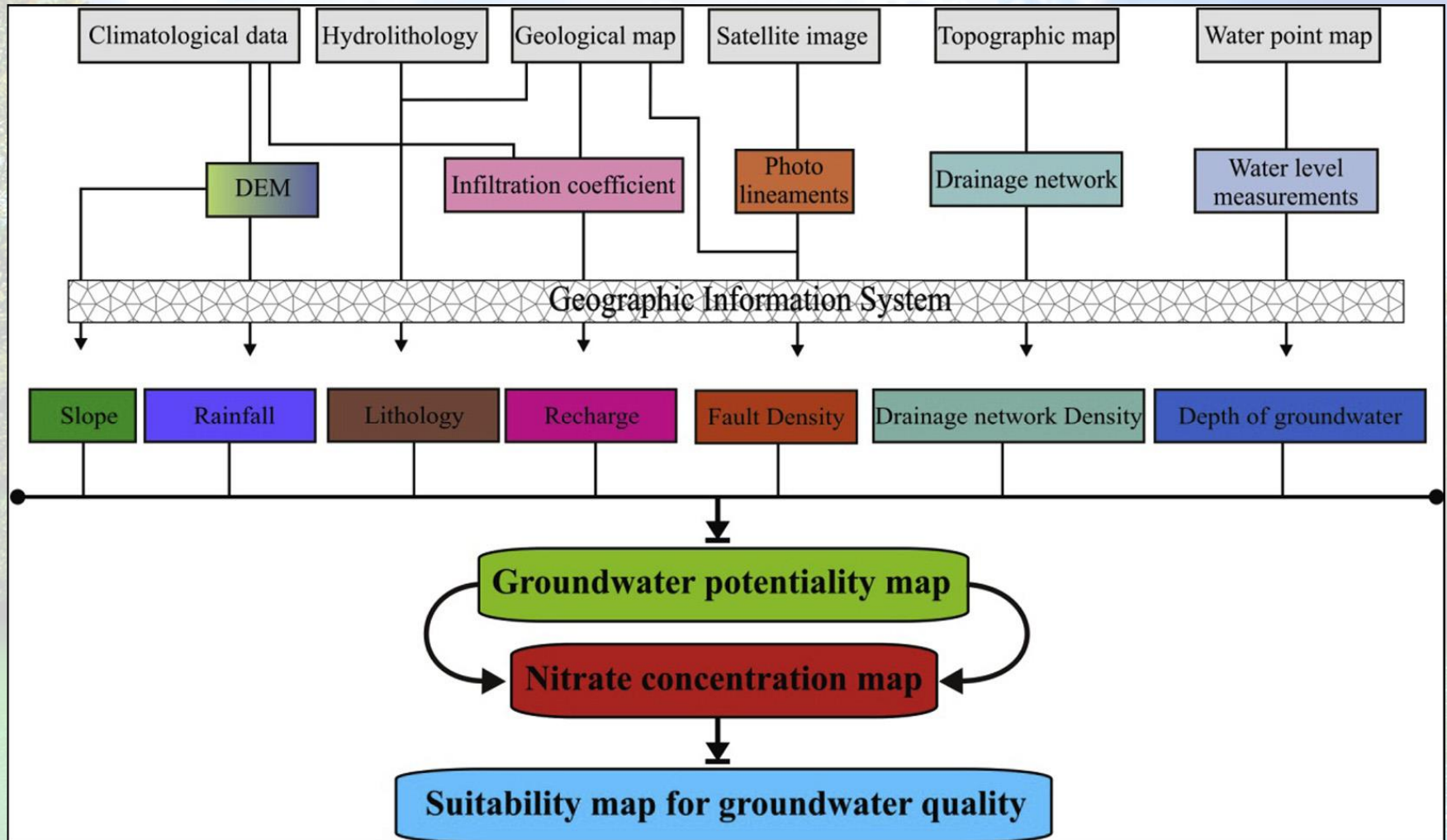
ΨΟΛΕΥΑ ΔΕΙΚΤΩΝ



$$M = w_1X_1 + w_2X_2 + w_3X_3 + w_4X_4 + w_5X_5 + w_6X_6 + w_7X_7 + w_8X_8$$

Μοντέλα Δεικτών

ΜΟΔΕΛΑ ΔΕΙΚΤΩΝ



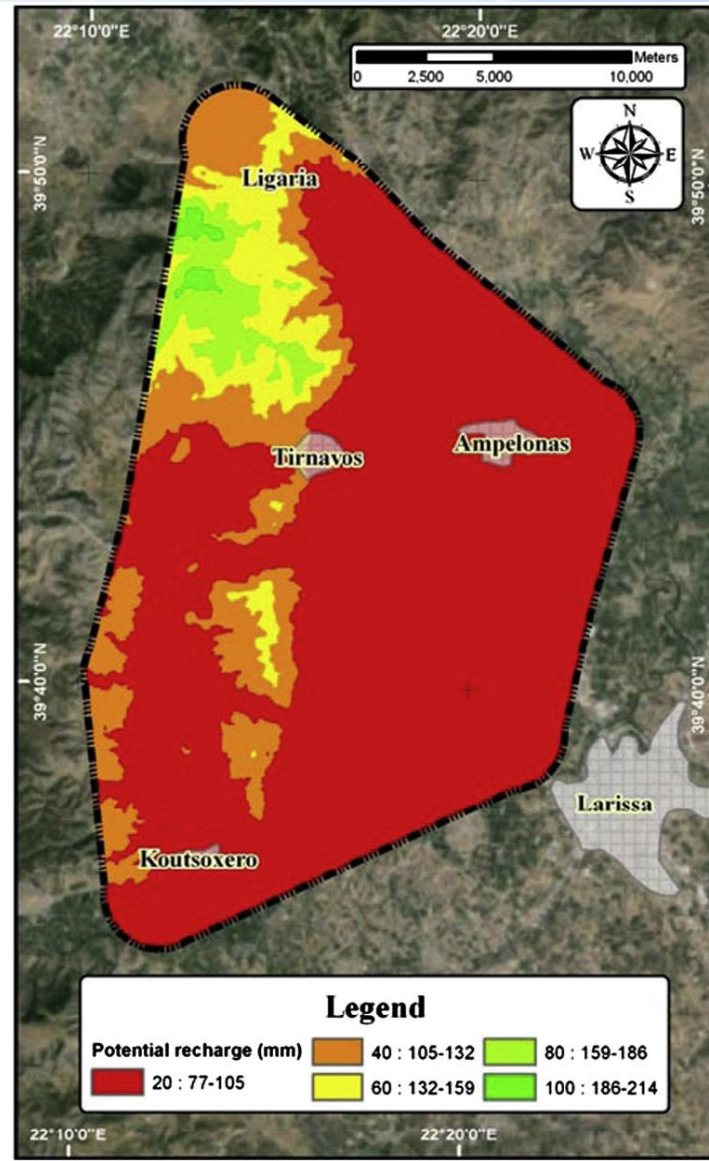
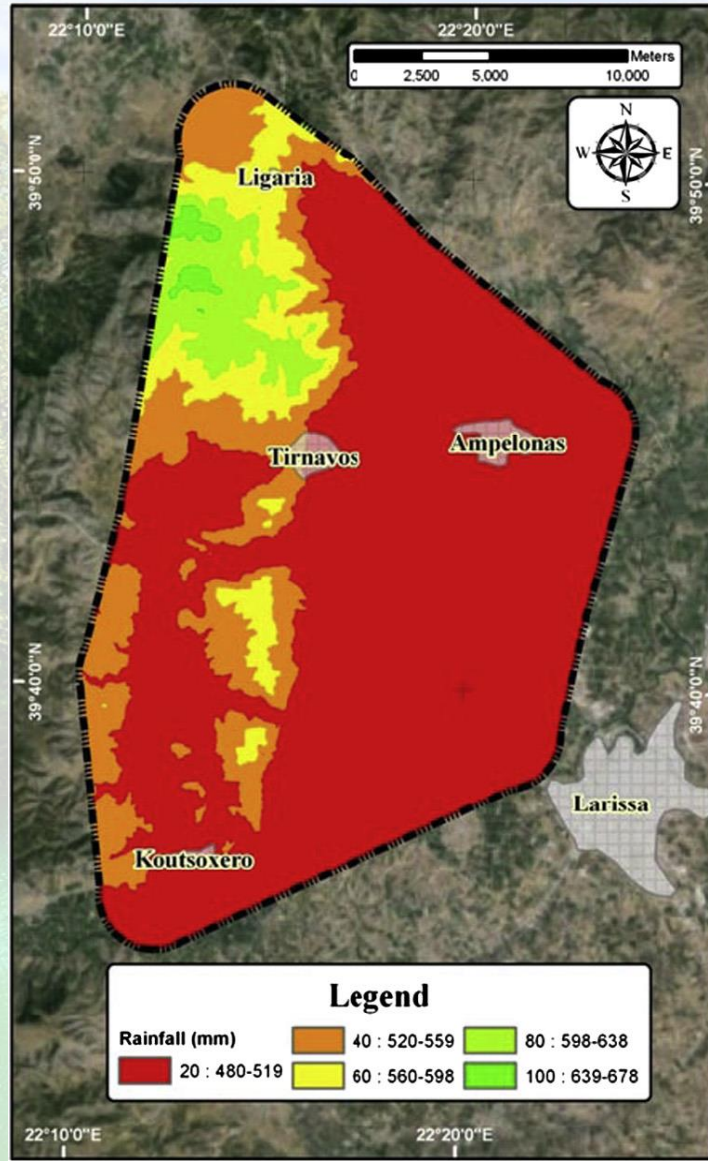
Μοντέλα Δεικτών

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΔΕΙΚΤΩΝ

Parameters	Class		Average rating (R)	Weight (W)	Effectiveness
Rainfall	Very high	639-678	90	30% (0.30)	27
	High	598-638	70		21
	Moderate	560-598	50		15
	Low	520-559	30		9
	very low	480-519	10		3
Lithology	Very high	Unit E	90	30% (0.30)	27
	High	Unit D	70		21
	Moderate	Unit C	50		15
	Low	Unit B	30		9
	Very low	Unit A	10		3
Potential recharge	Very high	186-214	90	15% (0.15)	13.5
	High	159-186	70		10.5
	Moderate	132-159	50		7.5
	Low	105-132	30		4.5
	Very low	77-105	10		1.5
Slope	Very high	<2	90	15% (0.15)	13.5
	High	2-5	70		10.5
	Moderate	5-15	50		7.5
	Low	15-35	30		4.5
	very low	>35	10		1.5
Lineament density	Very high	6.7-8.4	90	4% (0.04)	3.6
	High	5.1-6.6	70		2.8
	Moderate	3-3.5	50		2.0
	Low	1.6-3.3	30		1.2
	Very low	0-1.6	10		0.4
Depth to groundwater	Very high	>165.4	90	4% (0.04)	3.6
	High	124.3-165.4	70		2.8
	Moderate	82.9-124.2	50		2.0
	Low	41.8-82.8	30		1.2
	Very low	<41.7	10		0.4
Drainage density	Very high	<2.8	90	4% (0.04)	3.6
	High	2.9-5.8	70		2.8
	Moderate	5.9-8.8	50		2.0
	Low	8.9-11.7	30		1.2
	Very low	11.8-14.6	10		0.4

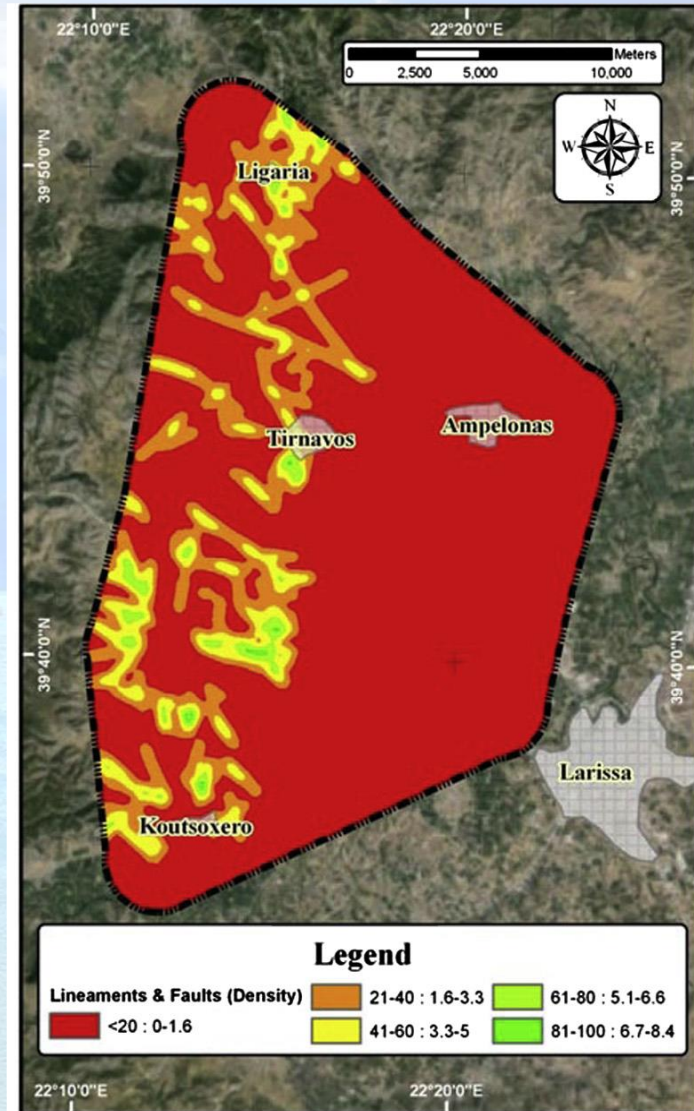
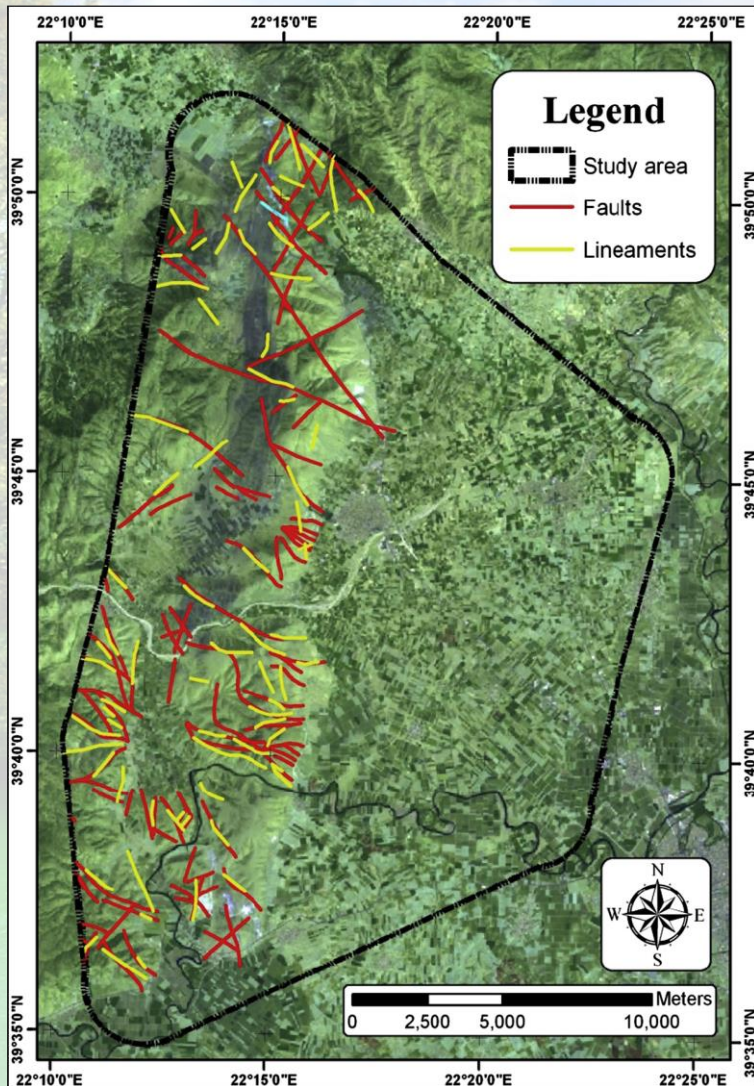
Μοντέλα Δεικτών

ΨΟΛΕΥΑ ΔΕΙΚΤΩΝ



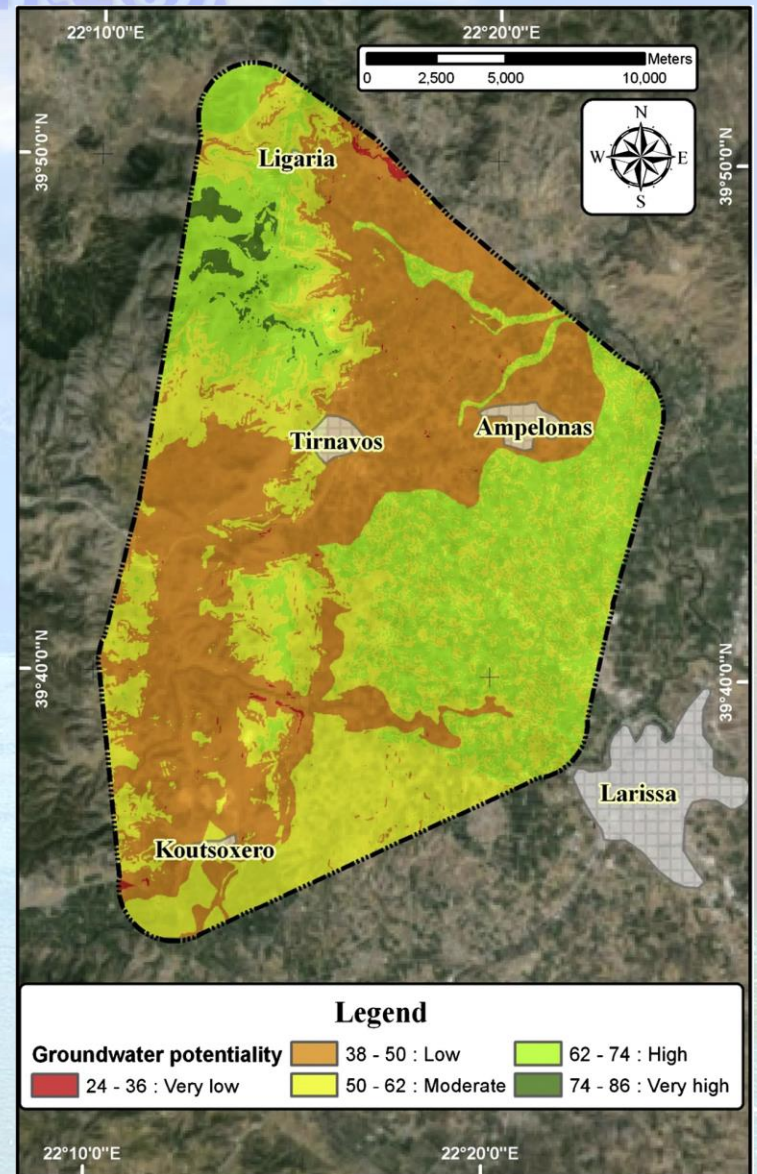
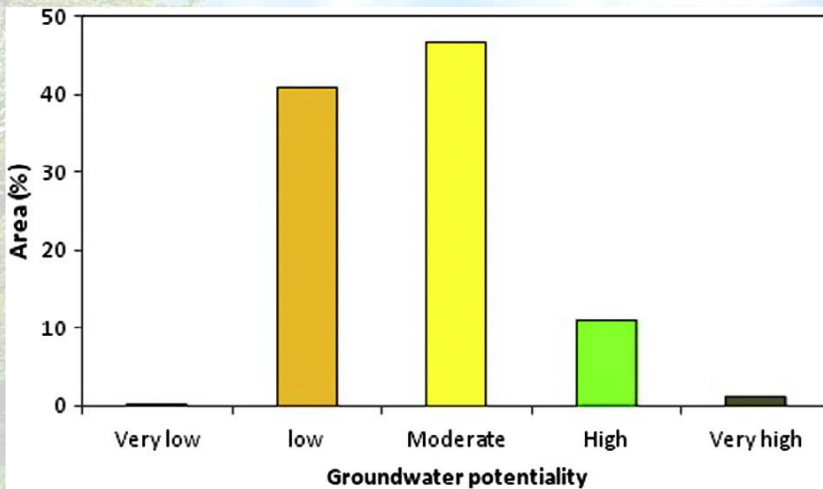
Μοντέλα Δεικτών

ΨΟΦΕΥΑ ΔΕΙΚΤΩΝ



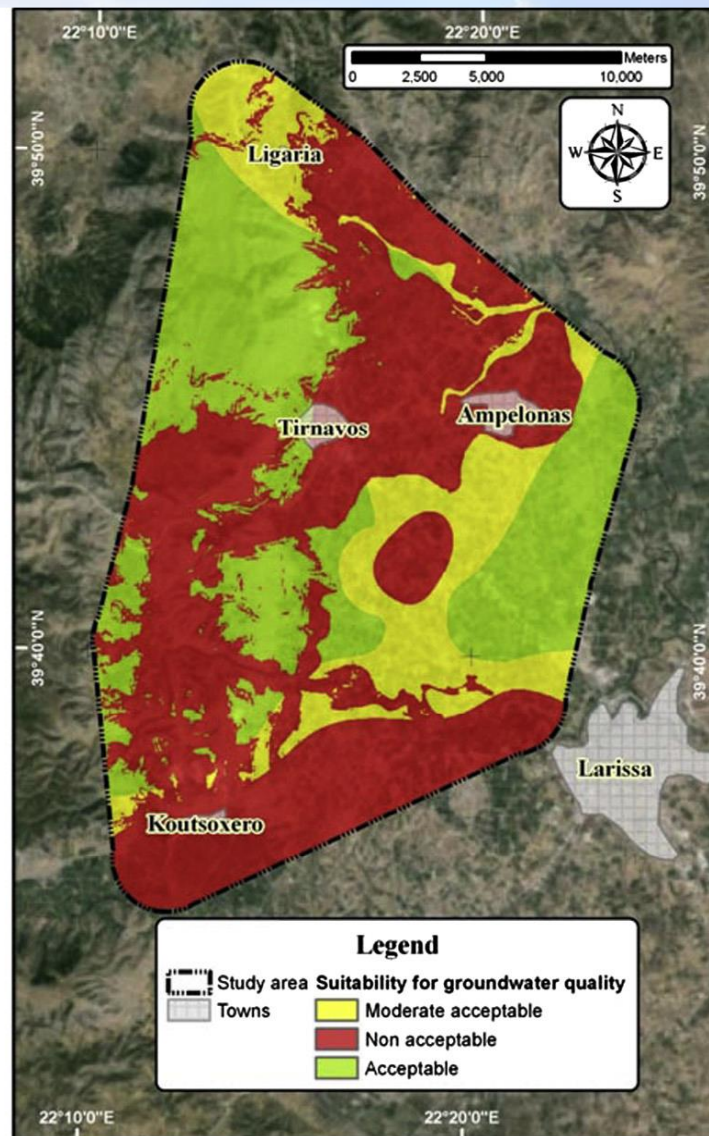
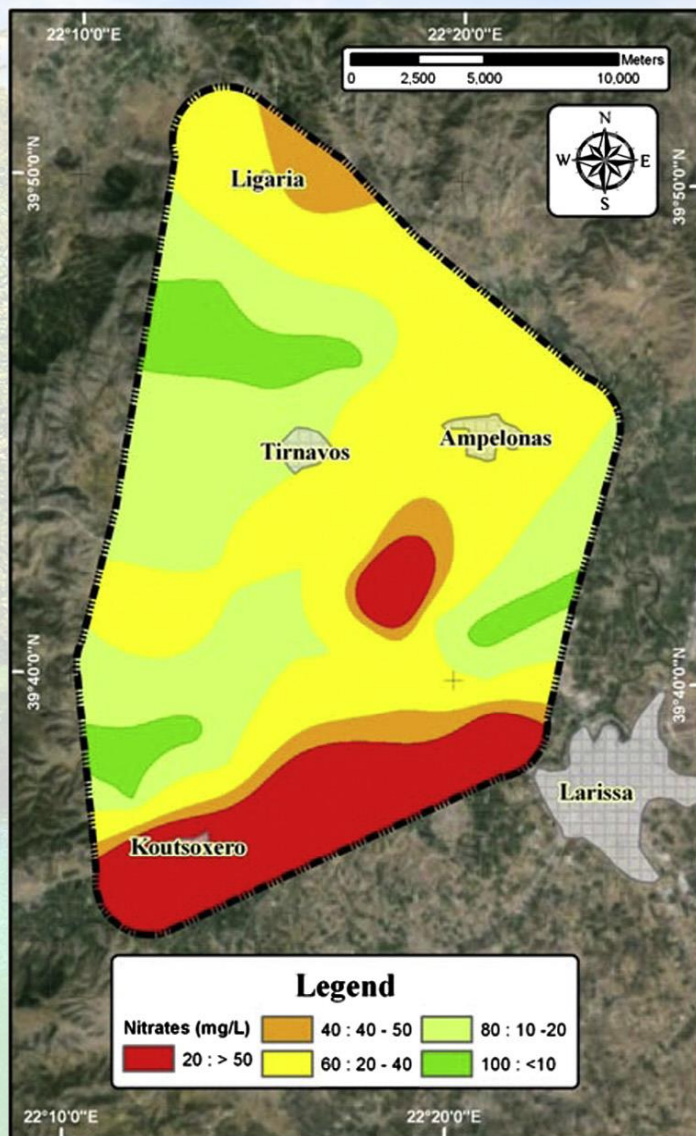
Μοντέλα Δεικτών

ΥΠΟΛΕΞΑ ΔΕΙΚΤΩΝ



Μοντέλα Δεικτών

ΨΟΛΕΥΑ ΔΕΙΚΤΩΝ



Ευχαριστώ για την
ΠΡΟΣΟΧΗ σας!!