



Το παρόν έργο αδειοδοτείται υπό τους όρους της άδειας Creative Commons Αναφορά Δημιουργού - Μη Εμπορική Χρήση - Όχι Παράγωγα Έργα 4.0. Για να δείτε ένα αντίγραφο της άδειας αυτής επισκεφτείτε το σύνδεσμο: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Τεχνολογίες πάνω στη ΔΥΠ

Δρ. Βασίλης Μπέλλος

Τεχνολογίες

- Αριθμητική προσομοίωση
- Βελτιστοποίηση
- Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών
- Εξόρυξη δεδομένων
- Μηχανική Μάθηση
- Ήπιες παρεμβάσεις
- Λειτουργία σε πραγματικό χρόνο

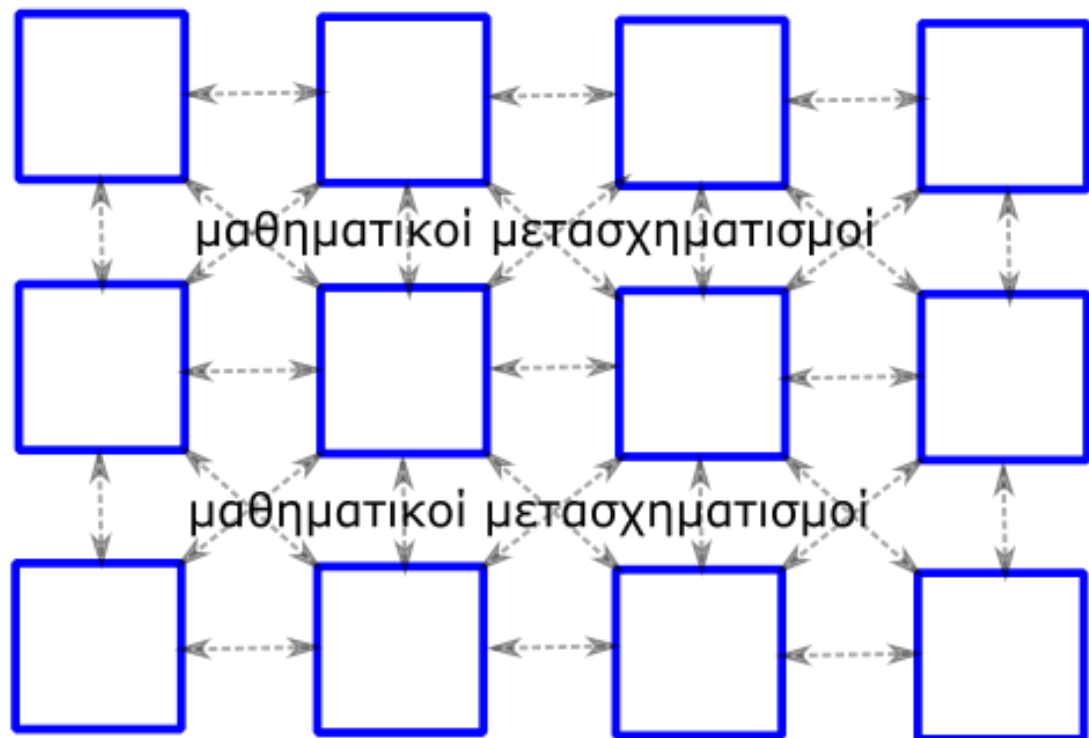
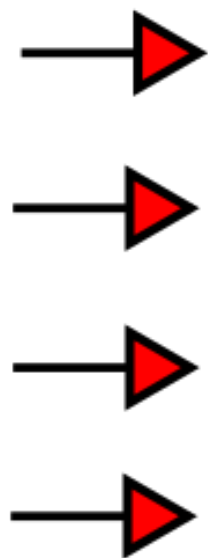
Αριθμητική προσομοίωση

Αριθμητικά μοντέλα

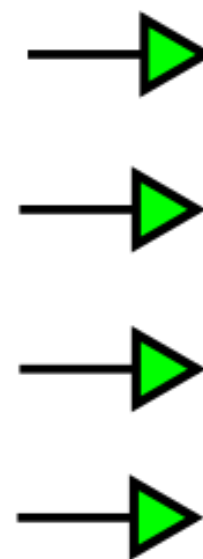
- **Φάσμα μαθηματικών μετασχηματισμών**
 - Ρητή εξίσωση
 - Διαφορική εξίσωση
 - Μερικές Διαφορικές Εξισώσεις (ΜΔΕ)
- **Προσομοίωση φυσικών φαινομένων**
- **Συστήματα υδατικών πόρων**
 - Πρόβλεψη/εκτίμηση μεγεθών για το σχεδιασμό
 - Λειτουργία και διαχείριση έργων
- **Βασικό εργαλείο στα Συστήματα Λήψης Αποφάσεων**
- **Ευρεία χρήση στη ΔΥΠ**

Δομή μοντέλου

Είσοδος

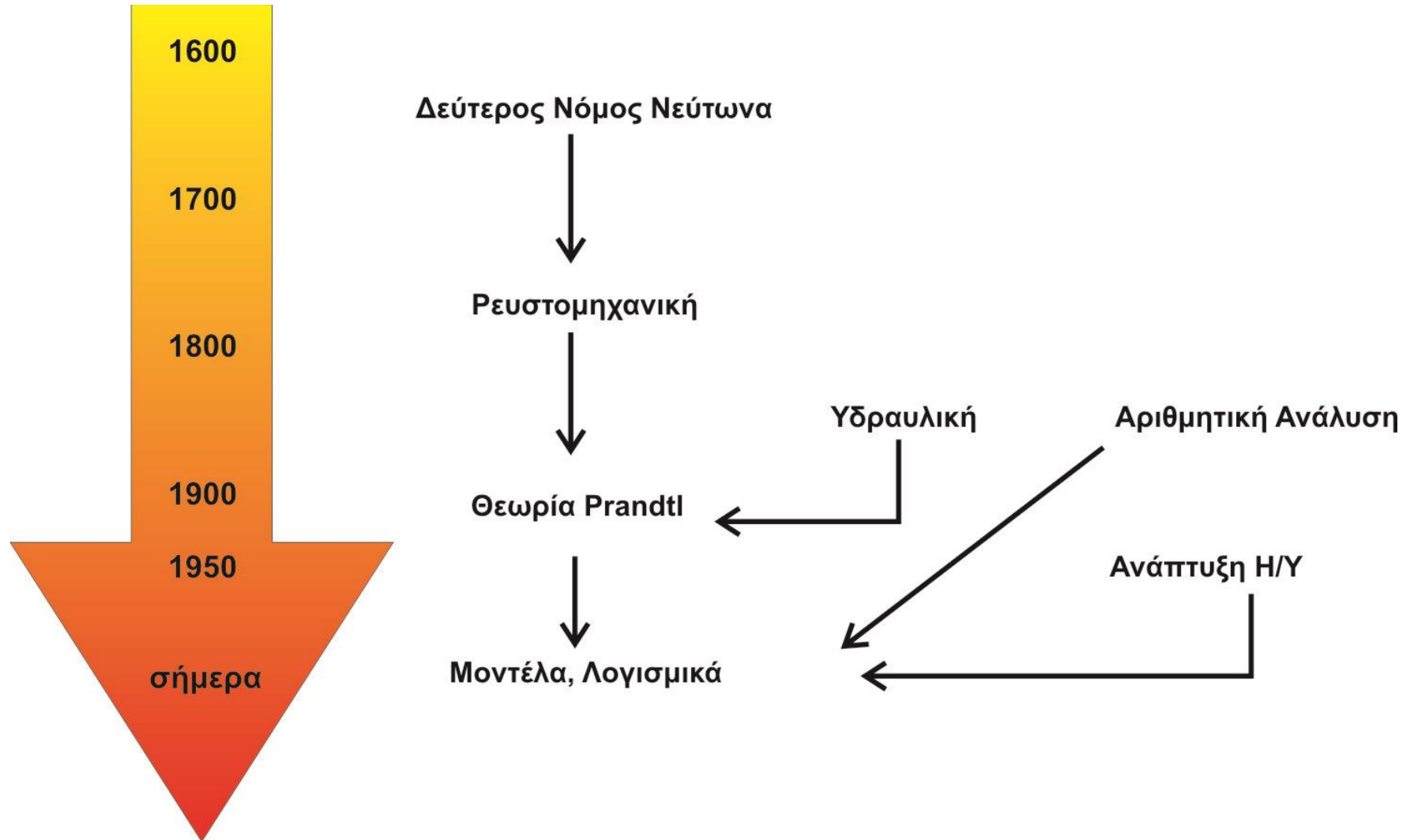


Έξοδος



Παράμετροι

Εξέλιξη



Τύπος

- **Εμπειρικά**
 - Εμπειρικές/πειραματικές εξισώσεις
- **Εννοιολογικά**
 - Νοητή αναπαράσταση ενός φυσικού φαινομένου κάνοντας τις απαραίτητες αφαιρέσεις και μαθηματικοποιώντας τις διεργασίες
- **Φυσικής βάσης**
 - Επίλυση εξισώσεων που στηρίζονται σε διατυπωμένους φυσικούς νόμους
- **Συσχέτιση δεδομένων**
 - Έξοδος με βάση τη στατιστική/στοχαστική επεξεργασία δεδομένων πεδίου

Κατηγορία

- Βροχόπτωση-απορροή
- Ποτάμια ροή
- Αποχετευτικό δίκτυο
- Μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων
- Υπόγεια νερά

Κατηγορία

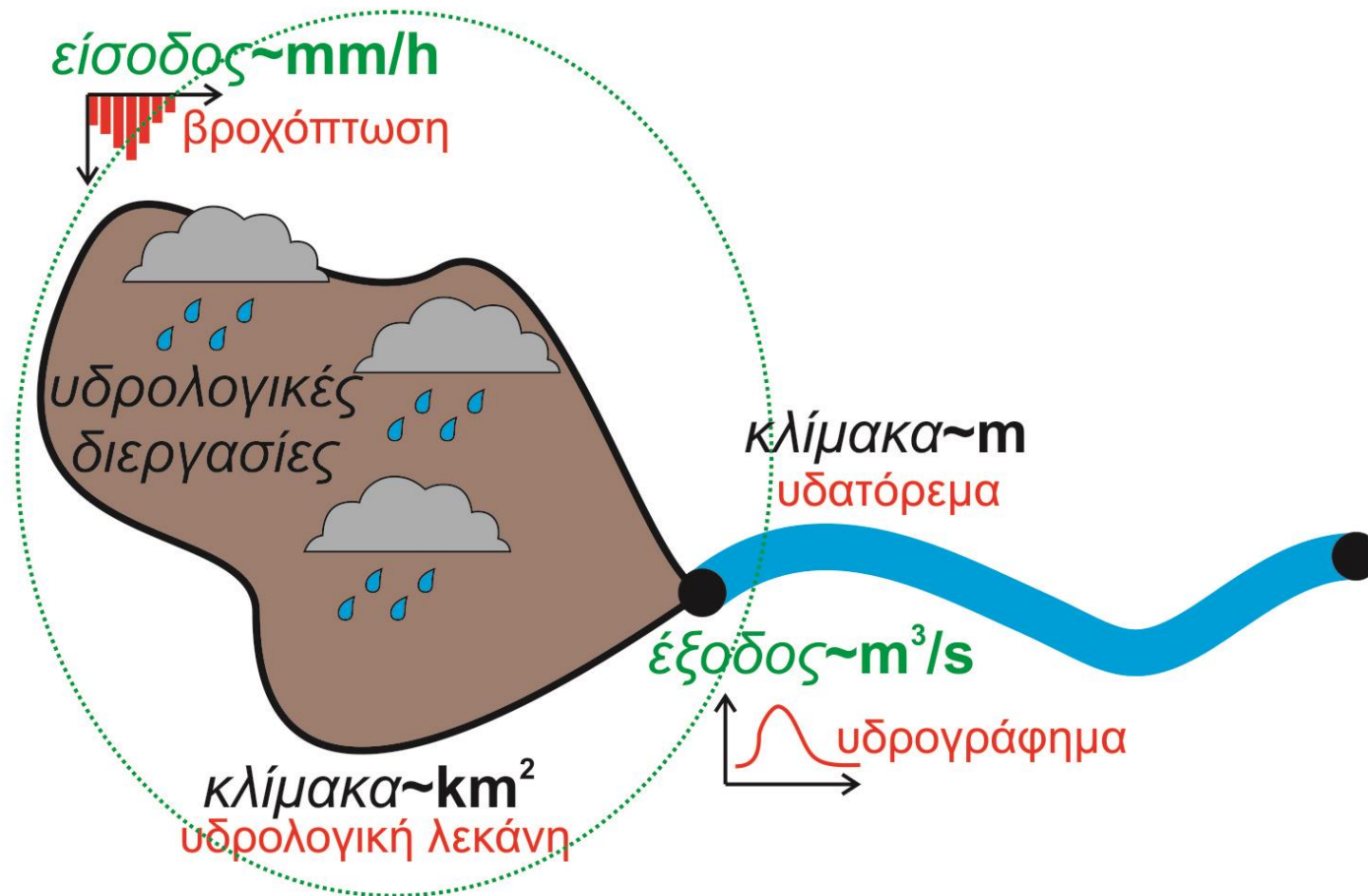
- Βροχόπτωσης-απορροής
- Διόδευσης υδρογραφήματος (routing) } «Υδρολογικά» μοντέλα
- Αποχέτευσης
- Μονάδας Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων } Αστική Υδρολογία
- Υδατορέματος/Ποταμού
- Πλημμυρικού πεδίου } «Υδραυλικά» μοντέλα
- Υπόγεια νερά

Ολοκληρωμένη προσομοίωση

- **Κύκλος νερού**
 - Φυσικό περιβάλλον
 - Αστικό περιβάλλον
- **Κάθε φυσική διεργασία περιγράφεται με κάποιο αριθμητικό μοντέλο**
 - Βροχόπτωση-απορροή
 - Ποτάμια ροή
 - Αποχετευτικό δίκτυο
 - Μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων
 - Υπόγεια νερά
- **Σύνδεση υπο-μοντέλων**
- **Ολοκληρωμένη προσομοίωση σε επίπεδο λεκάνης απορροής**

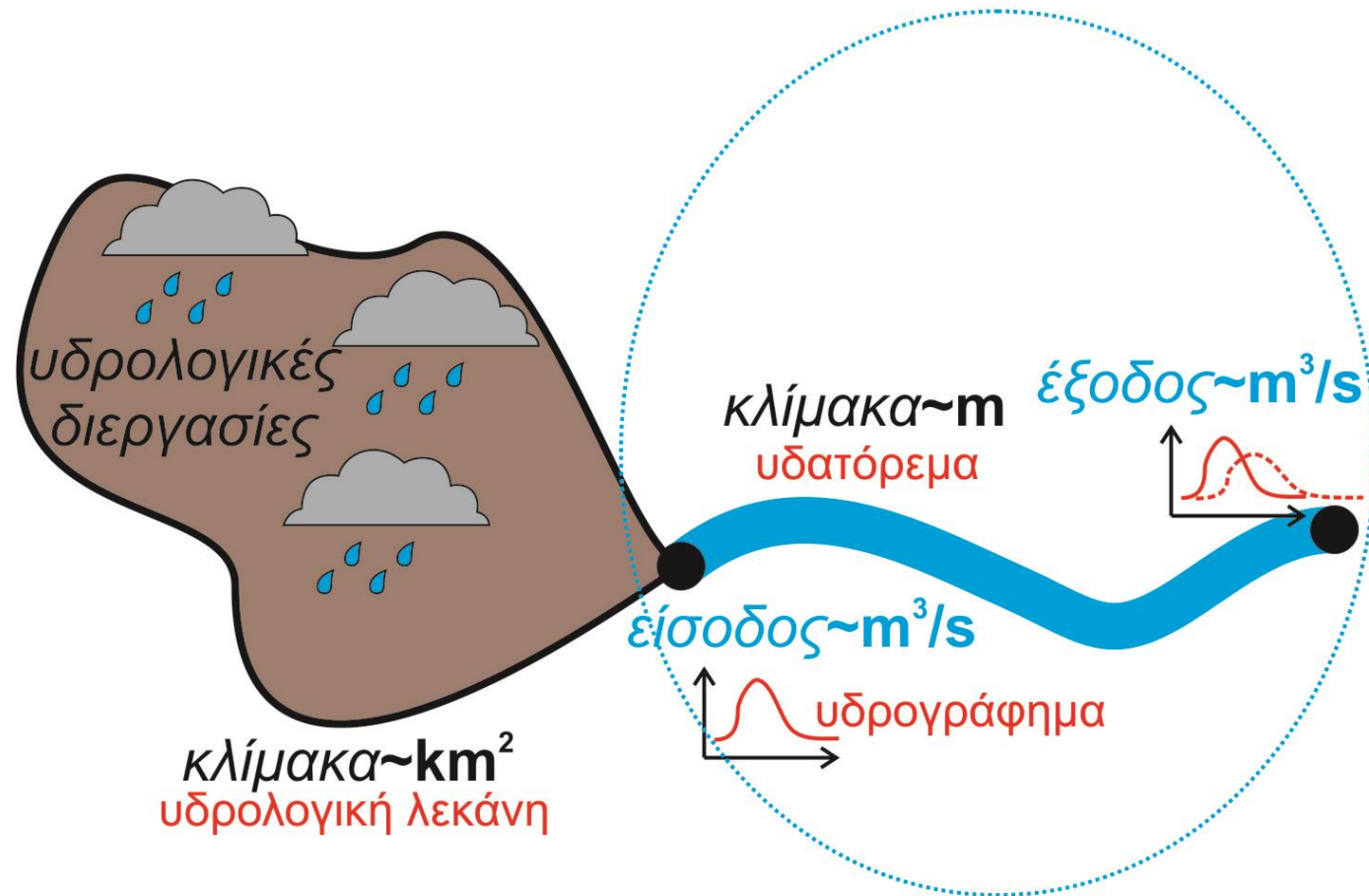
Σύνδεση μοντέλων

βροχόπτωση-απορροή → ποτάμια ροή



Σύνδεση μοντέλων

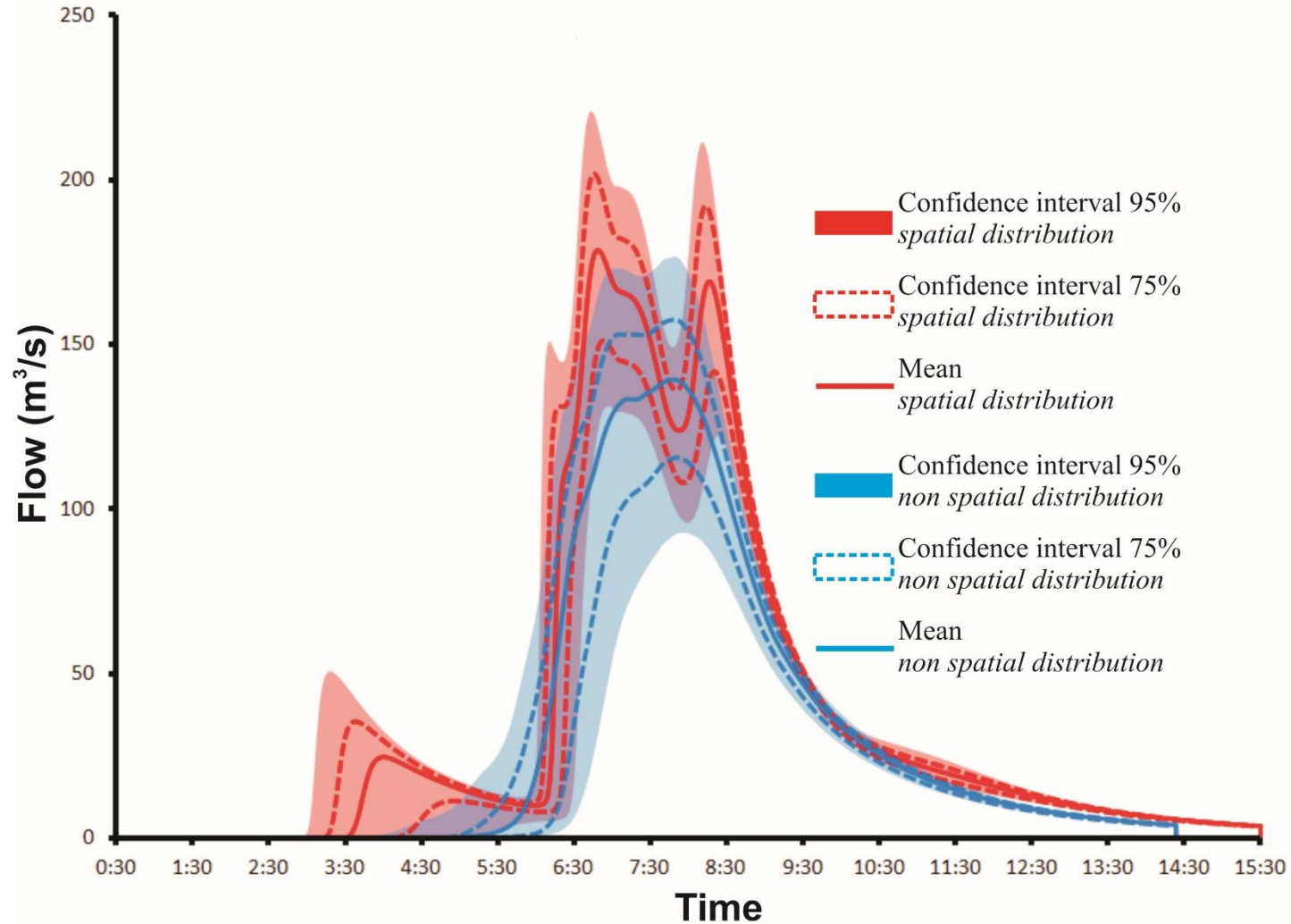
βροχόπτωση-απορροή → ποτάμια ροή



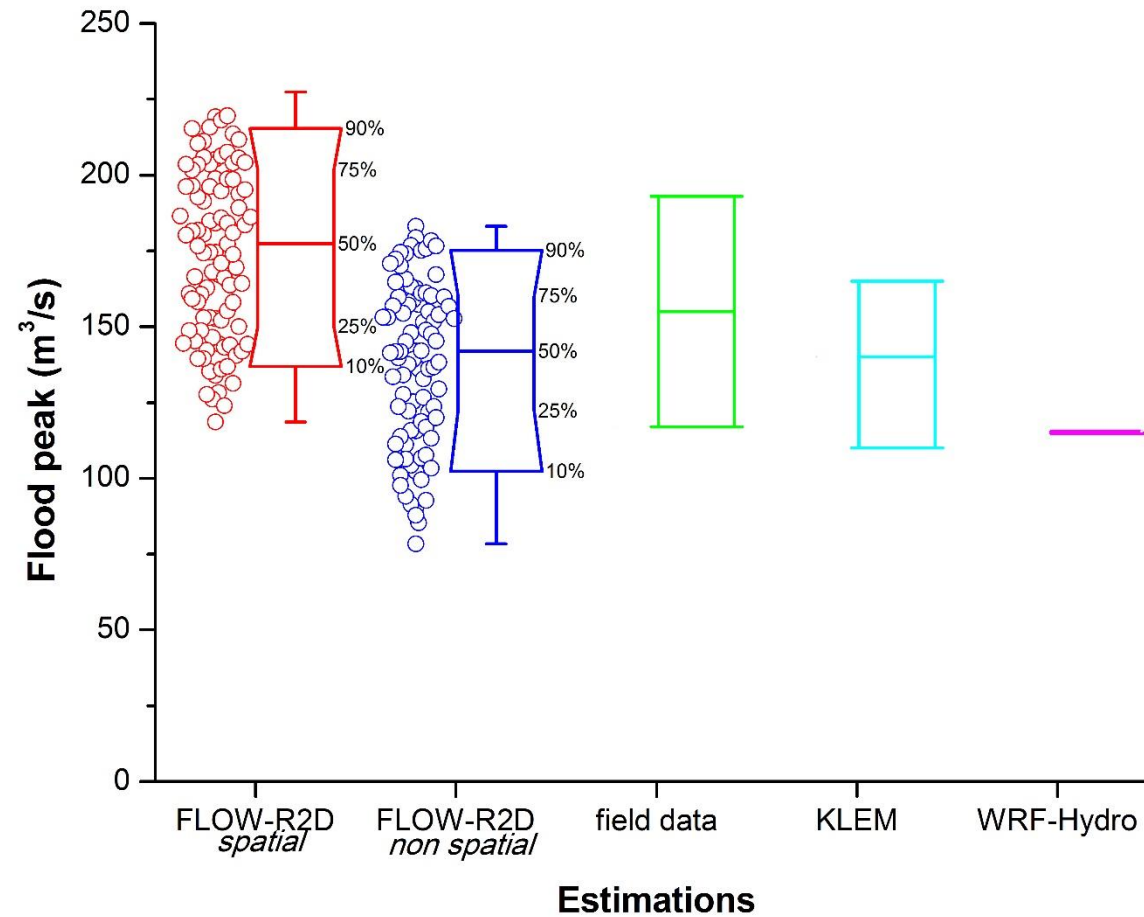
Αβεβαιότητα μοντέλων

- **Αφαίρεση της πραγματικότητας**
 - Αβεβαιότητα στα αποτελέσματα
 - Έξοδος → **εύρος τιμών**
- **Πηγές αβεβαιότητας**
 - Δεδομένα εισόδου
 - Δομή μοντέλου
 - Παράμετροι μοντέλου

Αβεβαιότητα μοντέλων



Αβεβαιότητα μοντέλων



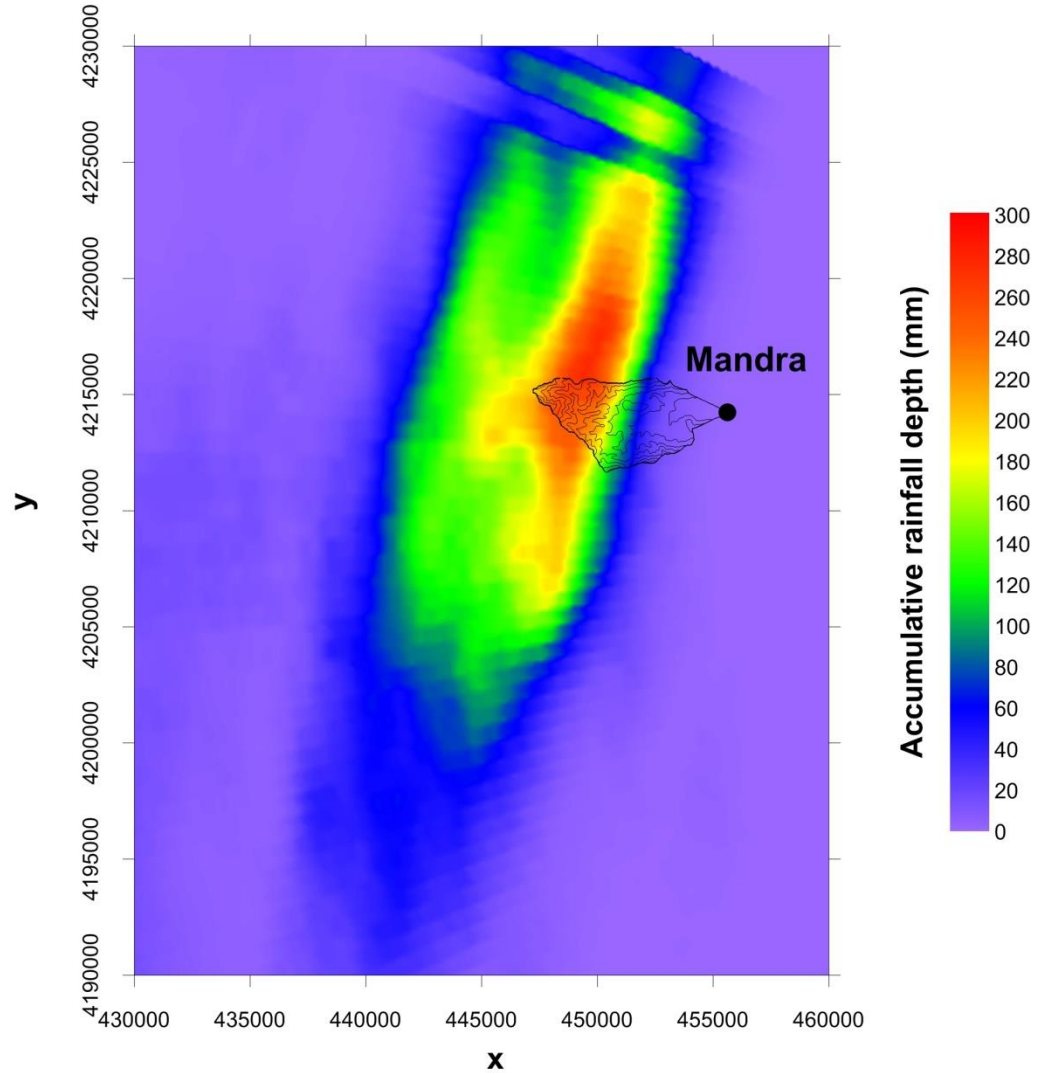
Μάνδρα

- 15 Νοεμβρίου 2017
- 24 νεκροί
- Πλημμύρα ταχείας απόκρισης
- Έντονη χωρική ανομοιογένεια της βροχόπτωσης
- Έως και 300 mm βροχόπτωσης μέσα σε 10 h

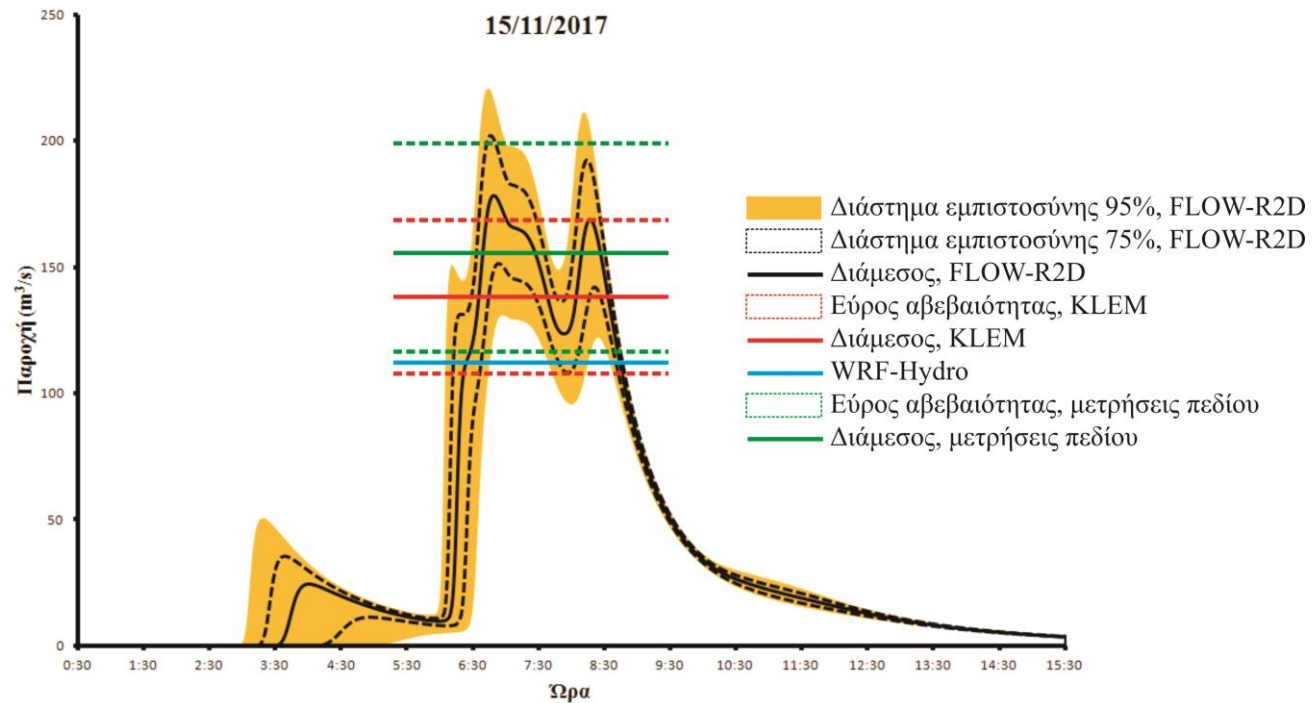
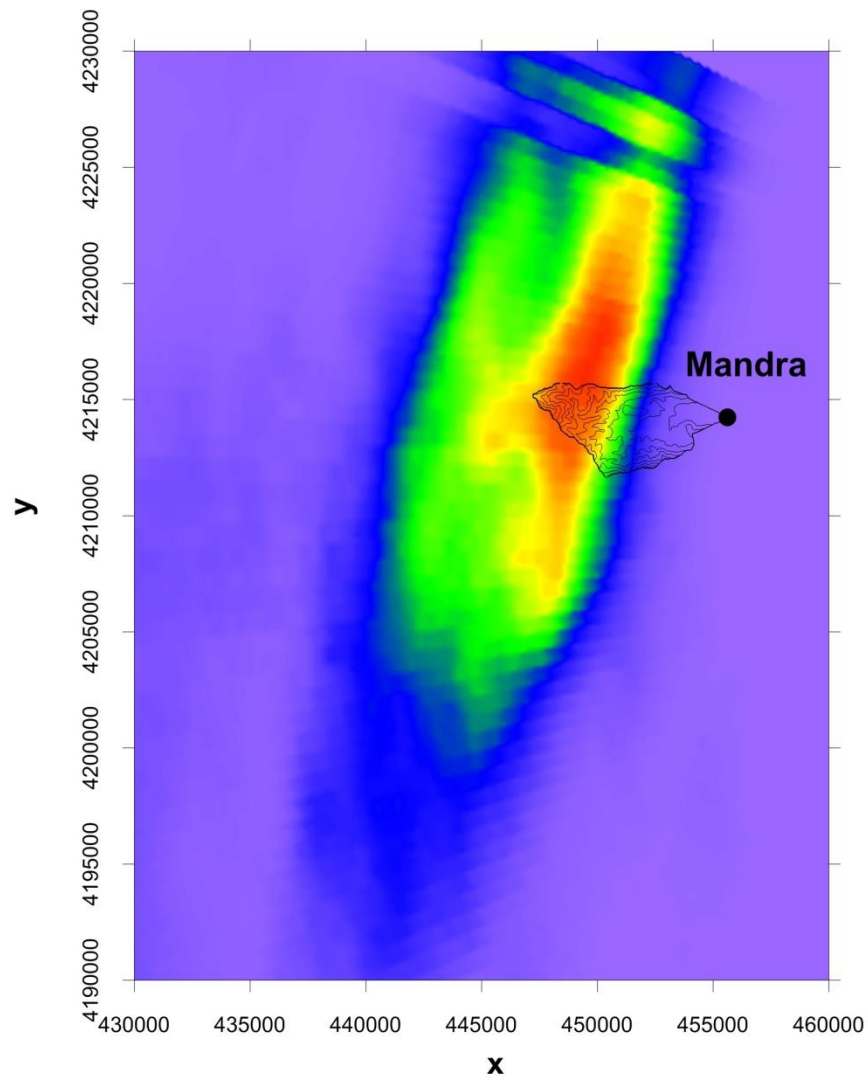
Μάνδρα



Επεισόδιο βροχής



Πλημμυρικό υδρογράφημα



Ανακατασκευή γεγονόςτος



Προσομοίωση



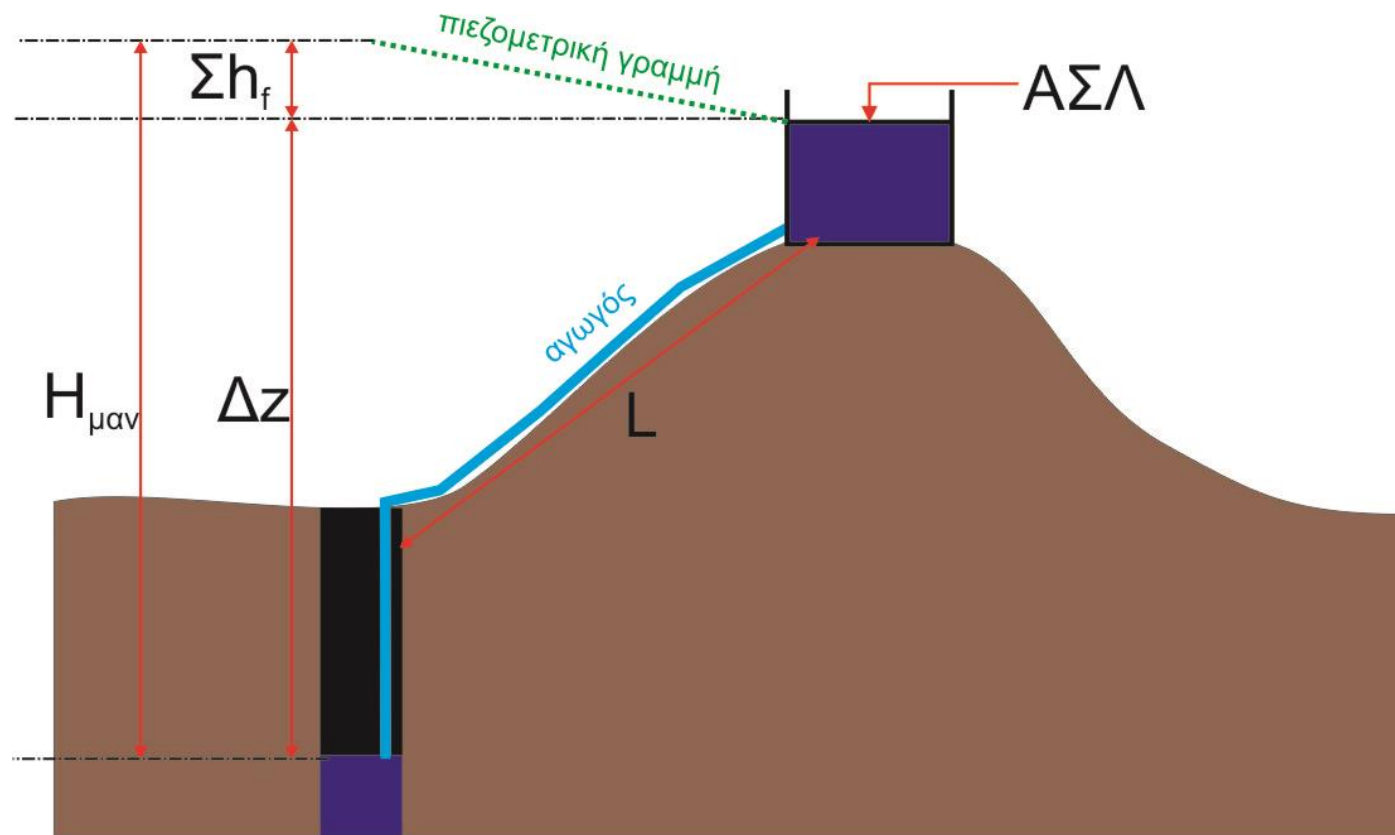
Αρκεί η χρήση των μοντέλων;

- Χρησιμοποιούν κάποιες παραμέτρους
- Αν υπάρχουν δεδομένα εισόδου και εξόδου μήπως θα μπορούσαμε να βρούμε το βέλτιστο διάλυμα παραμέτρων;
 - Αντίστροφο πρόβλημα ή βαθμονόμηση
- Τί γίνεται στο σχεδιασμό ή στη διαχείριση;
- Ανάλογα την εμπειρία του μηχανικού
 - Εναλλακτικές στρατηγικές
- Υποκειμενική διάσταση
 - Δε βρίσκαμε πάντα τη βέλτιστη λύση

Βελτιστοποίηση

Παράδειγμα I

σχεδιασμός καταθλιπτικού αγωγού



Απαιτούμενο μανομετρικό ύψος

$$H_{\mu\alpha\nu} = \Delta z + \sum h_f$$

Απαιτούμενη ισχύς

$$N = \frac{gQH_{\mu\alpha\nu}}{\text{βαθμός απόδοσης}}$$

Απώλειες

$$h_f = \frac{8fL}{g\pi^2 D^5} Q^2$$

Παράδειγμα I

σχεδιασμός καταθλιπτικού αγωγού



Απαιτούμενο μανομετρικό ύψος

$$H_{\mu\alpha\nu} = \Delta z + \sum h_f$$

Απαιτούμενη ισχύς

$$N = \frac{gQH_{\mu\alpha\nu}}{\text{βαθμός απόδοσης}}$$

Απώλειες

$$h_f = \frac{8fL}{g\pi^2 D^5} Q^2$$

Βελτιστοποίηση

- **Συνάρτηση στόχος ή αντικειμενική συνάρτηση**
- **Σχεδιασμός μεγεθών**
 - Εύρεση βέλτιστων διαστάσεων ενός έργου
- **Βαθμονόμηση παραμέτρων σε αριθμητικό μοντέλο**
 - Αντίστροφο πρόβλημα
 - Μετρήσεις πεδίου (είσοδος + έξοδος)
 - Βέλτιστος συνδυασμός παραμέτρων

Μαθηματικοποίηση

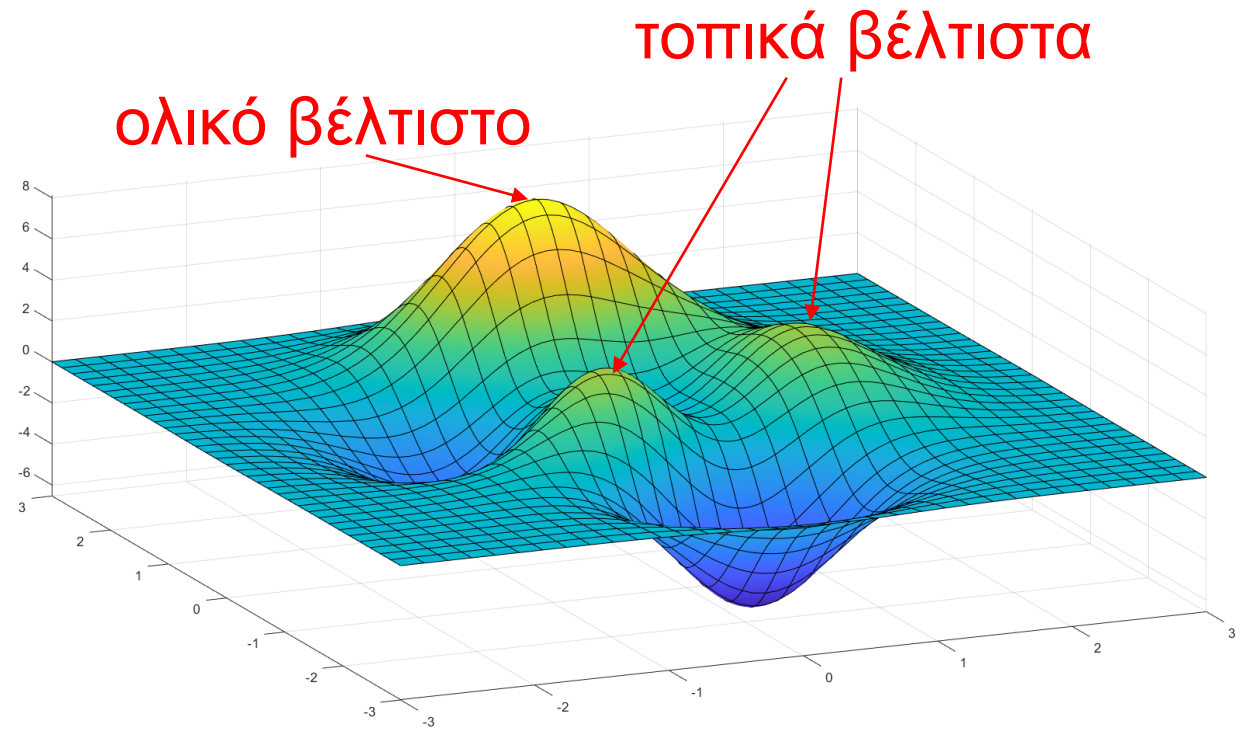
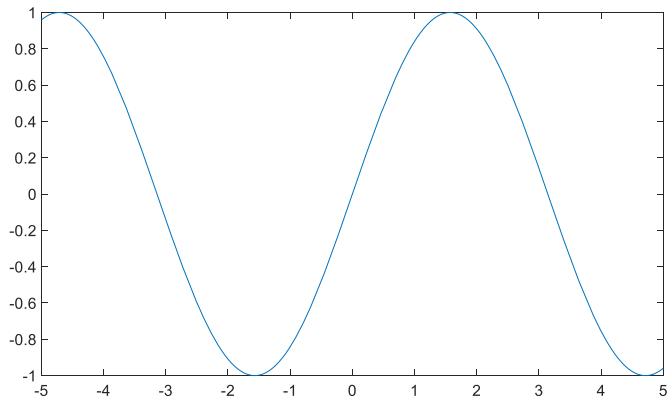
$$\min/\max f(x) = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

υπό

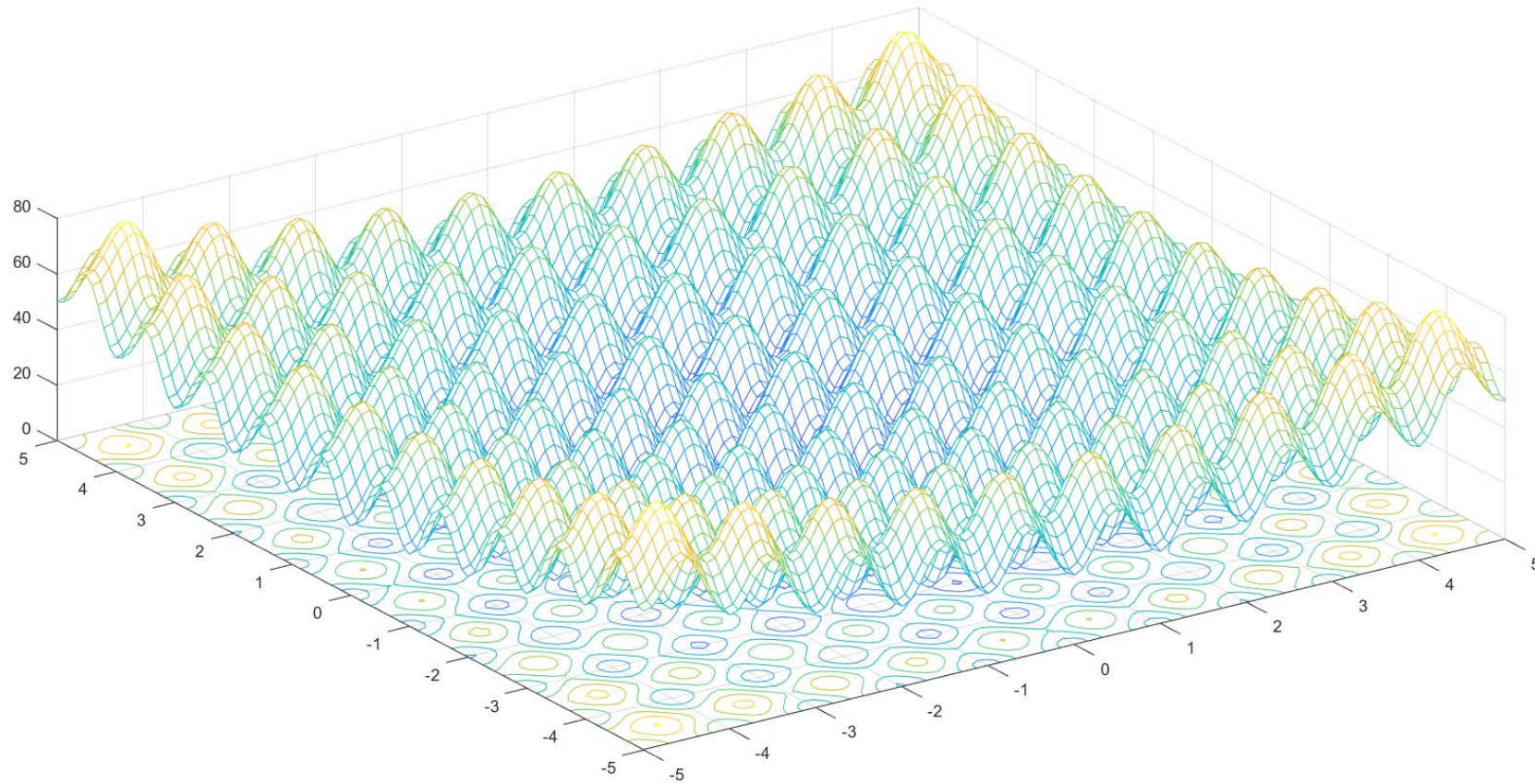
$$g_{j=1,2,\dots,k}(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq |\geq| = 0$$

$$x_{min} \leq x_1, x_2, \dots, x_n \leq x_{max}$$

εφικτες λυσεις



Πολύπλοκα προβλήματα!



Μέθοδοι

- Αναζήτηση με κάνναβο (grid search)
- Τυχαία αναζήτηση (random search)
- Γραμμικός/δυναμικός προγραμματισμός
 - Γραμμικές σχέσεις
- Μη γραμμικός προγραμματισμός
 - Μαθηματικές σχέσεις
 - Εξελικτικοί αλγόριθμοι

ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ

- **Ορισμός του προβλήματος**
 - Προσομοιώσεις που απαιτούν ώρες ή ημέρες
 - Μεγάλος αριθμός προσομοιώσεων
- **Υπερυπολογιστές (High Performance Computing)**
 - Μειώνεται ο απαιτούμενος χρόνος προσομοίωσης
- **Ανάλυση ευαισθησίας**
 - Επιλέγονται οι παράμετροι με την μεγαλύτερη επιρροή
 - Μείωση διαστάσεων προβλήματος
- **Μηχανική Μάθηση (Machine Learning)**
 - Αντικατάσταση αριθμητικού μοντέλου
 - Εξομοίωση αριθμητικού μοντέλου

Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών

Γεωγραφική πληροφορία

- Η γνώση που σχετίζεται με την κατανομή μίας διαδικασίας ή ενός φαινομένου στο χώρο
- Χάρτες
- Πλατφόρμες γεωγραφικής πληροφορίας
- Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών

Μερκατορικές προβολές

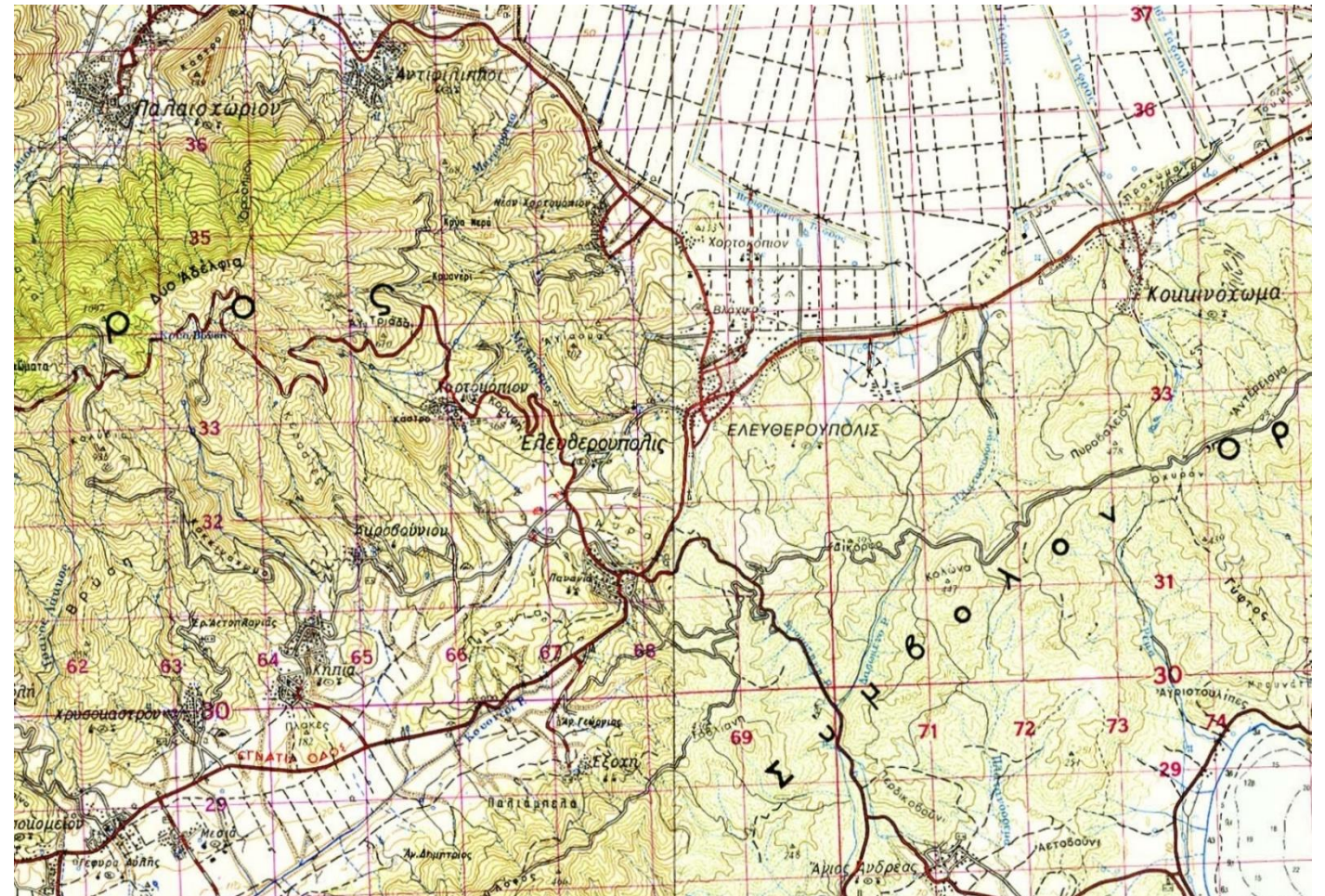
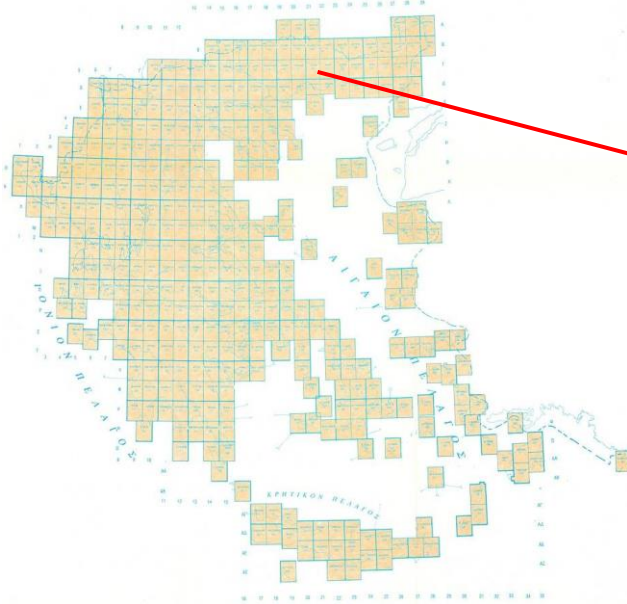
- **Παγκόσμιο γεωδαιτικό σύστημα WGS 84'**
 - Google Earth
- **Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα αναφοράς ΕΓΣΑ 87**
 - Κτηματολόγιο

Μερκατορικές προβολές



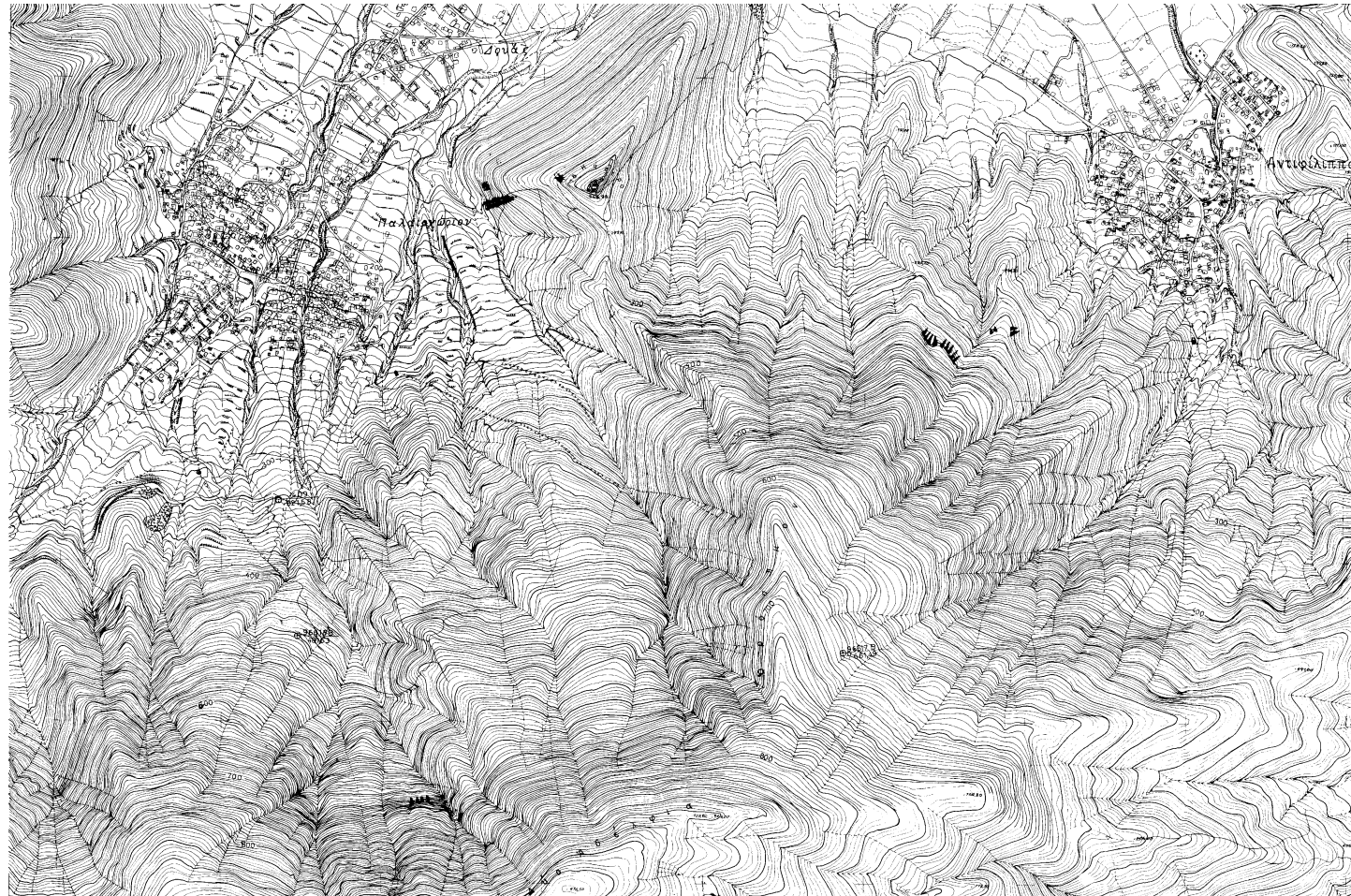
Τοπογραφικοί χάρτες

ΓΥΣ 1:50000



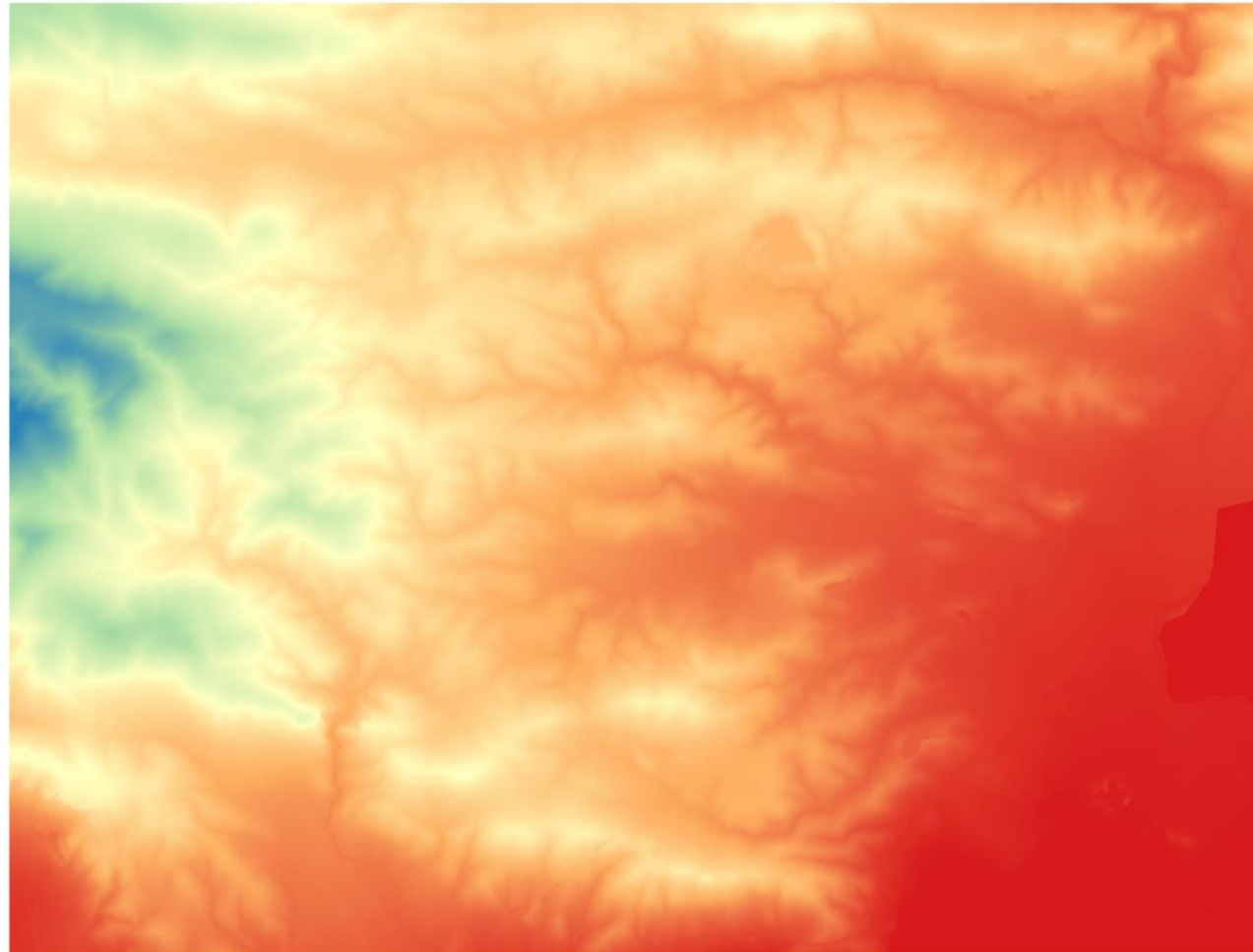
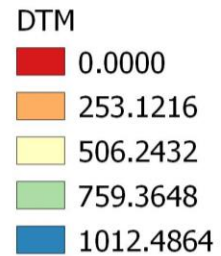
Τοπογραφικοί χάρτες

ΓΥΣ 1:5000



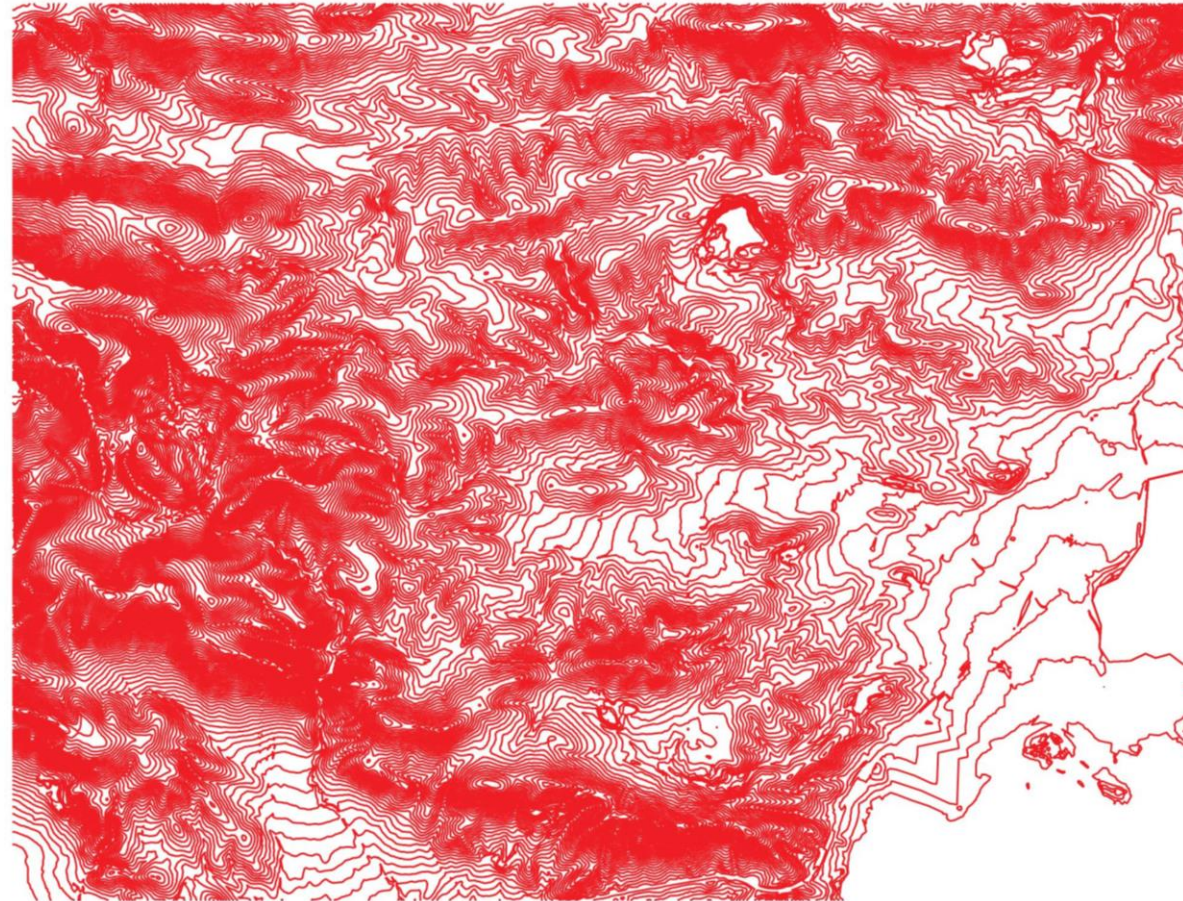
Ελληνικό κτηματολόγιο

Ψηφίδα 5x5 m



Ελληνικό κτηματολόγιο

Ισοϋψεις 5x5 m



Δορυφορικά δεδομένα

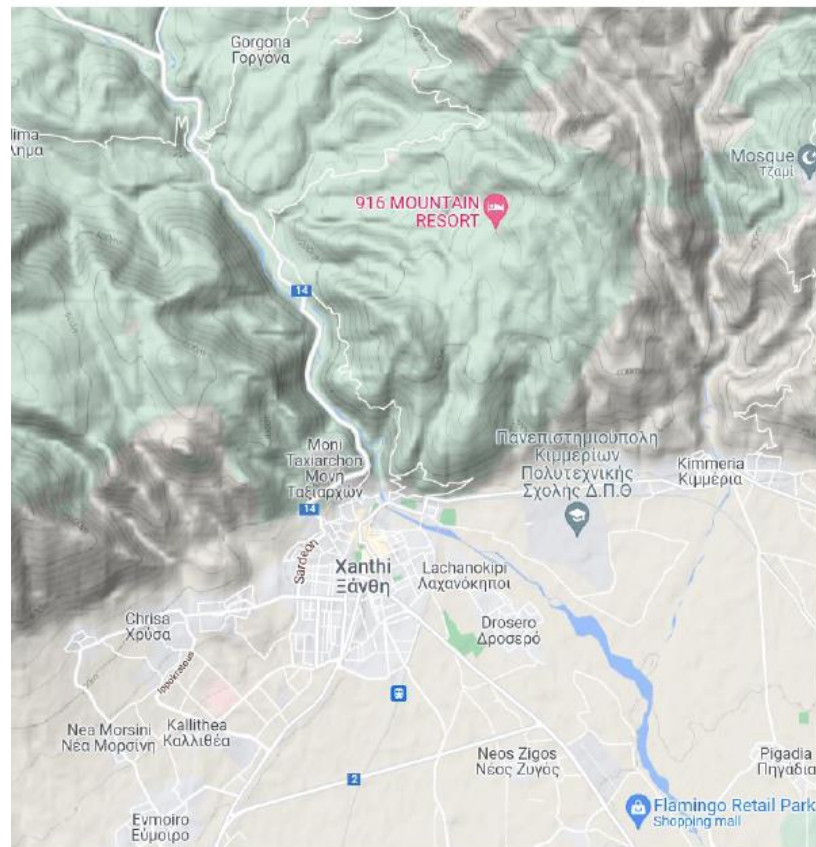
ALOS 20x20 m



Google Earth

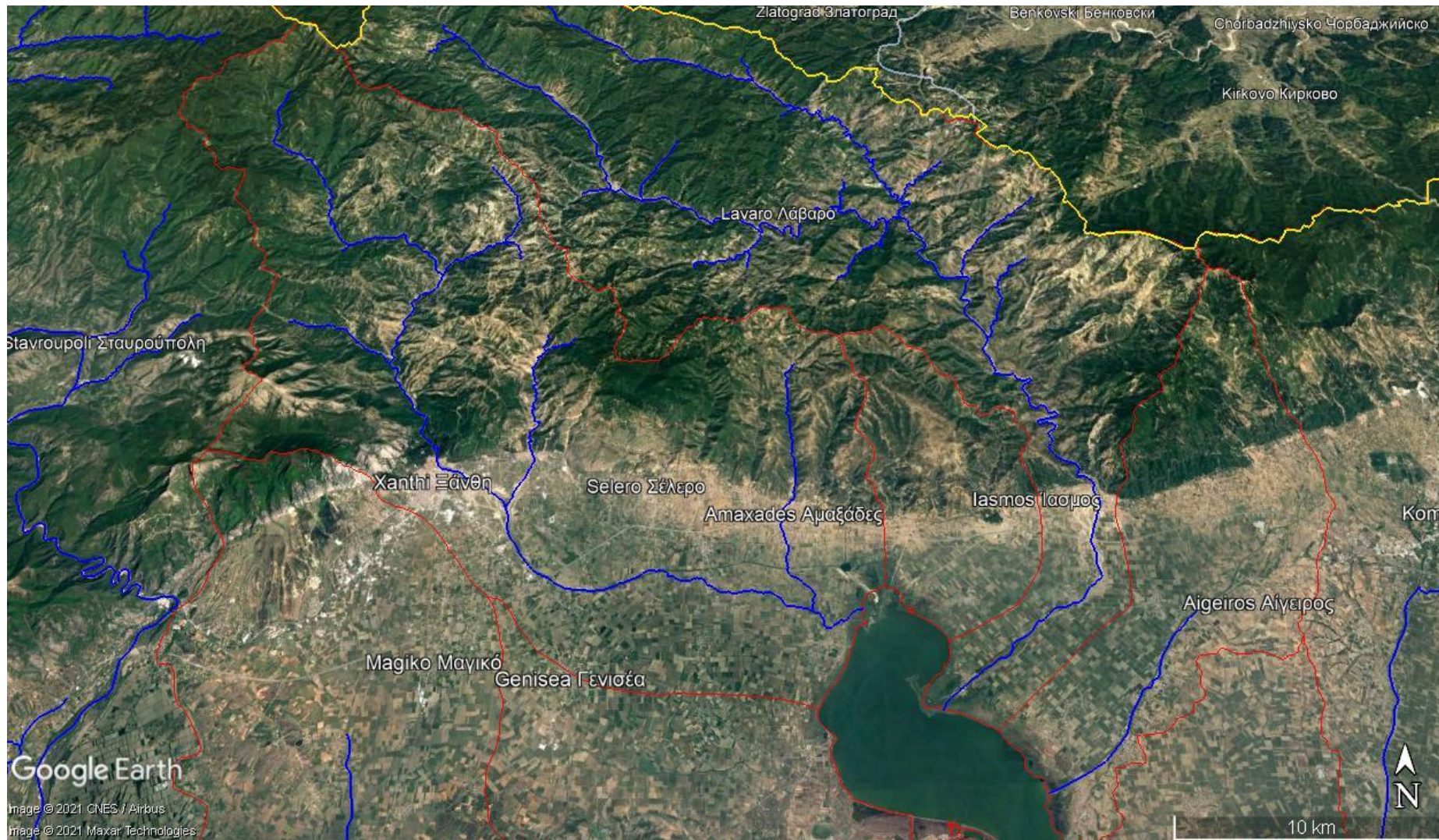


Google Earth



Map data ©2021 1 km

Google Earth



Google Earth



Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών

- **Συνδυασμός**
 - Βάση γεωγραφικών δεδομένων
 - Λογισμικό για την οργάνωση, ανάλυση και οπτικοποίηση αυτής της βάσης
- **Σύστημα που περιλαμβάνει**
 - Χρήστες
 - Προσωπικό υποστήριξης
 - Ινστιτούτα και οργανισμούς
- **Είναι το σύνολο της γνώσης και των μεθόδων πάνω στη γεωγραφική πληροφορία**

Τι κάνει ένα ΓΣΠ;

- Συγκεντρώνει
- Αποθηκεύει
- Ενημερώνει
- Επεξεργάζεται
- Αναλύει
- Παρουσιάζει

Όλους τους τύπους γεωγραφικής πληροφορίας

ΓΣΠ και λήψη αποφάσεων

- Σχεδιασμός και διαχείριση χρήσεων γης
- Διαχείριση φυσικών πόρων και περιβάλλοντος
- Συγκοινωνίες και αστικές υποδομές
- Διοίκηση και οργάνωση (κράτος και τοπική αυτοδιοίκηση)

Γεωπληροφορική

- **Επιστημονικό πεδίο που ασχολείται με τη γεωγραφική πληροφορία και την πληροφορική**
- **Περιλαμβάνει**
 - Χαρτογραφία
 - Γεωδαισία
 - Τοπογραφία
 - Φωτογραμμετρία
 - Τηλεπισκόπηση

ΓΣΠ και λειτουργίες

- **Πληροφορία**
 - Χωρική
 - Περιγραφική
- **Μέρη ΓΣΠ**
 - Υπολογιστικό σύστημα
 - Λογισμικό
 - Δεδομένα
- **Ψηφιακά Μοντέλα Εδάφους**

Υπολογιστικό σύστημα

- Προσωπικός υπολογιστής
- Σύστημα απεικόνισης
- Σύστημα αποθήκευσης
- Σύστημα εισαγωγής χωρικών και μη χωρικών δεδομένων
- Σύστημα παρουσίασης αποτελεσμάτων

Λογισμικό

- Ψηφιοποίηση
- Αποθήκευση
- Επεξεργασία
- Ανάλυση
- Εξαγωγή

Δεδομένα

- **Εισαγωγή**
 - Πληκτρολόγιο
 - Ψηφιοποίηση
 - Σάρωση
- **Κατηγορίες**
 - Χωρικά
 - Μη χωρικά

Χωρικά δεδομένα

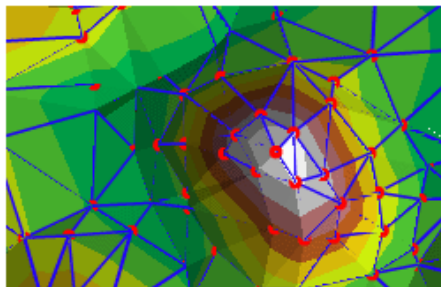
- Σημειακά
- Γραμμικά
- Επιφανειακά
- Ογκομετρικά
 - Ισοϋψείς καμπύλες
 - Ισοϋέτιες καμπύλες
 - Ισοπιεζομετρικές καμπύλες
 - Ισορρυπανικές καμπύλες
 - ...

Δομές χωρικών δεδομένων

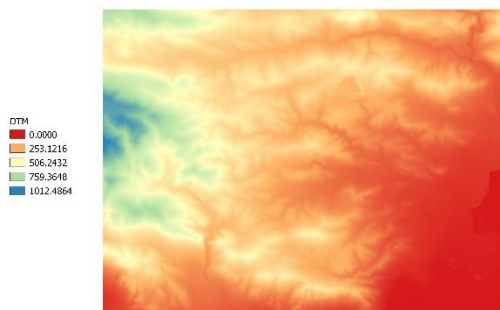
- **Διάνυσμα**
 - Σημεία
 - Γραμμές
 - Πολύγωνα
- **Ψηφίδα**

ΨΜΕ

- Δομή ακανόνιστων τριγώνων



- Δομή ψηφίδων



Εξόρυξη δεδομένων

Νέες τεχνικές

- Τηλεπισκόπηση
- Crowd sourcing
- Internet of Things

Τηλεπισκόπηση και ΓΣΠ

- **Συλλογή στοιχείων και δεδομένων για μια σειρά ιδιοτήτων της επιφάνειας της γης από απόσταση**
 - Ατμόσφαιρα
 - Διάστημα
- **Στοιχεία**
 - Καταγραφή
 - Επεξεργασία
- **Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία**
 - Φως
 - Θερμότητα
 - Ραδιοκύματα

Δορυφόροι

- **Μετεωρολογικοί δορυφόροι**
 - TIROS (NOAA)
 - METEOSAT
- **Περιβαλλοντικοί δορυφόροι**
 - Landsat (Sentinel2 από ESA)
 - SPOT
 - HCMM
 - Seasat, ERS

Μετεωρολογικοί δορυφόροι

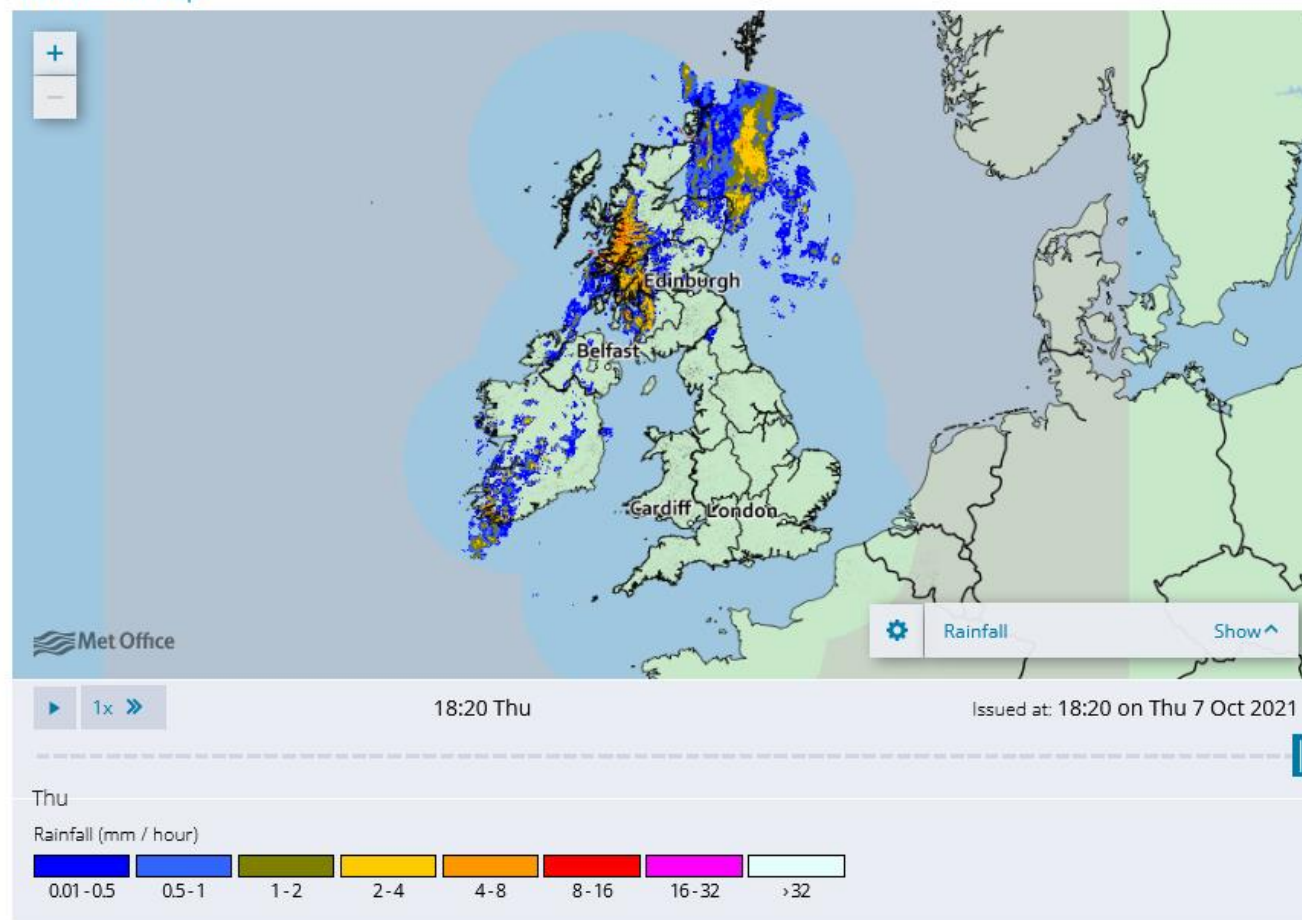
- Δορυφορικές φωτογραφίες από όπου εξάγεται η μετεωρολογική πληροφορία
- Τύποι
 - Σε τροχιά
 - Σταθεροί
- Απαιτείται βαθμονόμηση παραμέτρων με βάση το επίγειο δίκτυο σημειακών μετρήσεων

Μετεωρολογικά ραντάρ

- Σύγκρουση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων με τα υδροσταγονίδια
- Η ενέργεια που επιστρέφει στο ραντάρ είναι ανάλογη των υδροσταγονιδίων
 - Αριθμός
 - Μέγεθος
 - Σύνθεση
 - Σχετική θέση
 - Σχήμα
 - Προσανατολισμός
- Απαιτείται βαθμονόμηση παραμέτρων με βάση το επίγειο δίκτυο σημειακών μετρήσεων

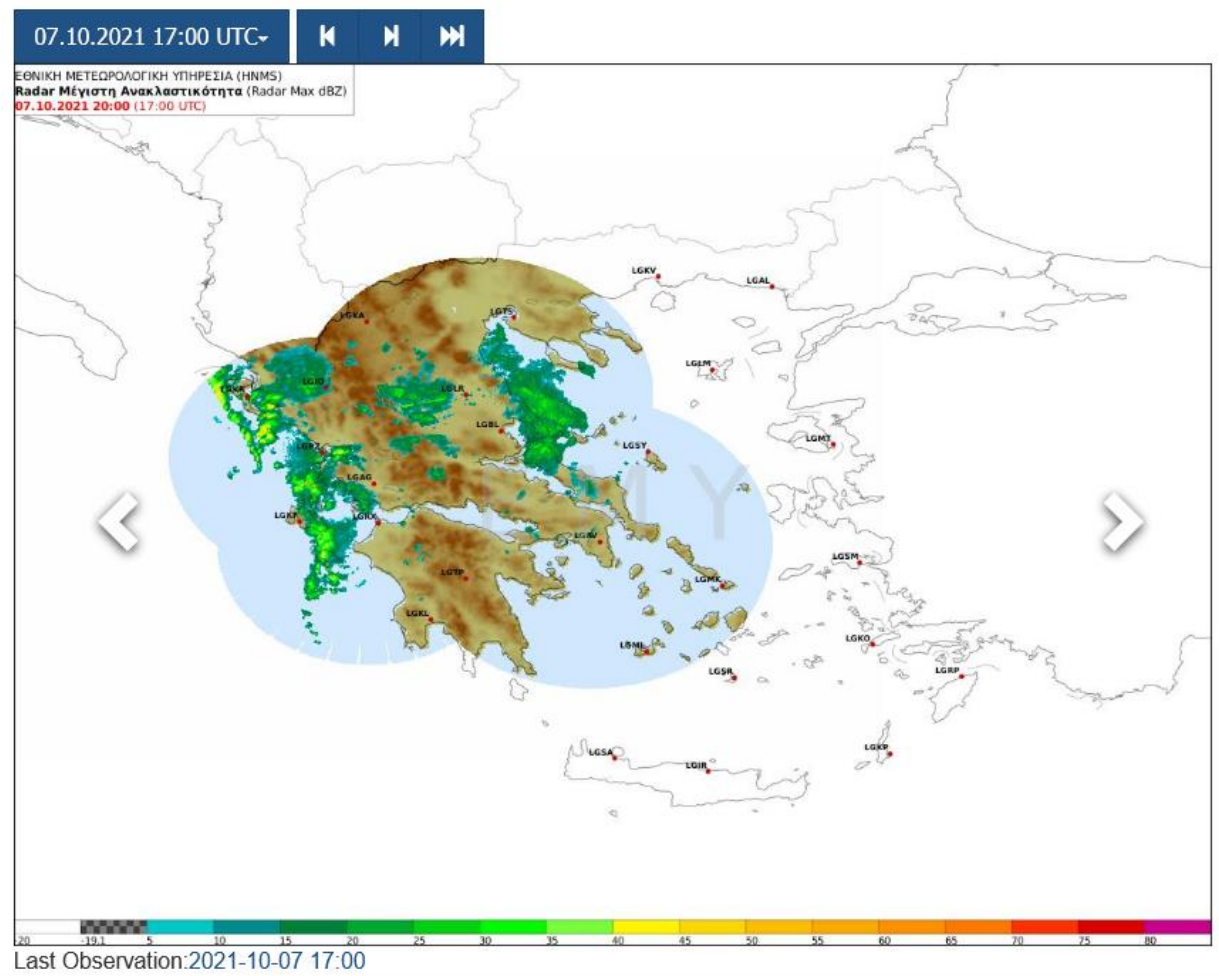
Μετεωρολογικά ραντάρ

< UK weather map

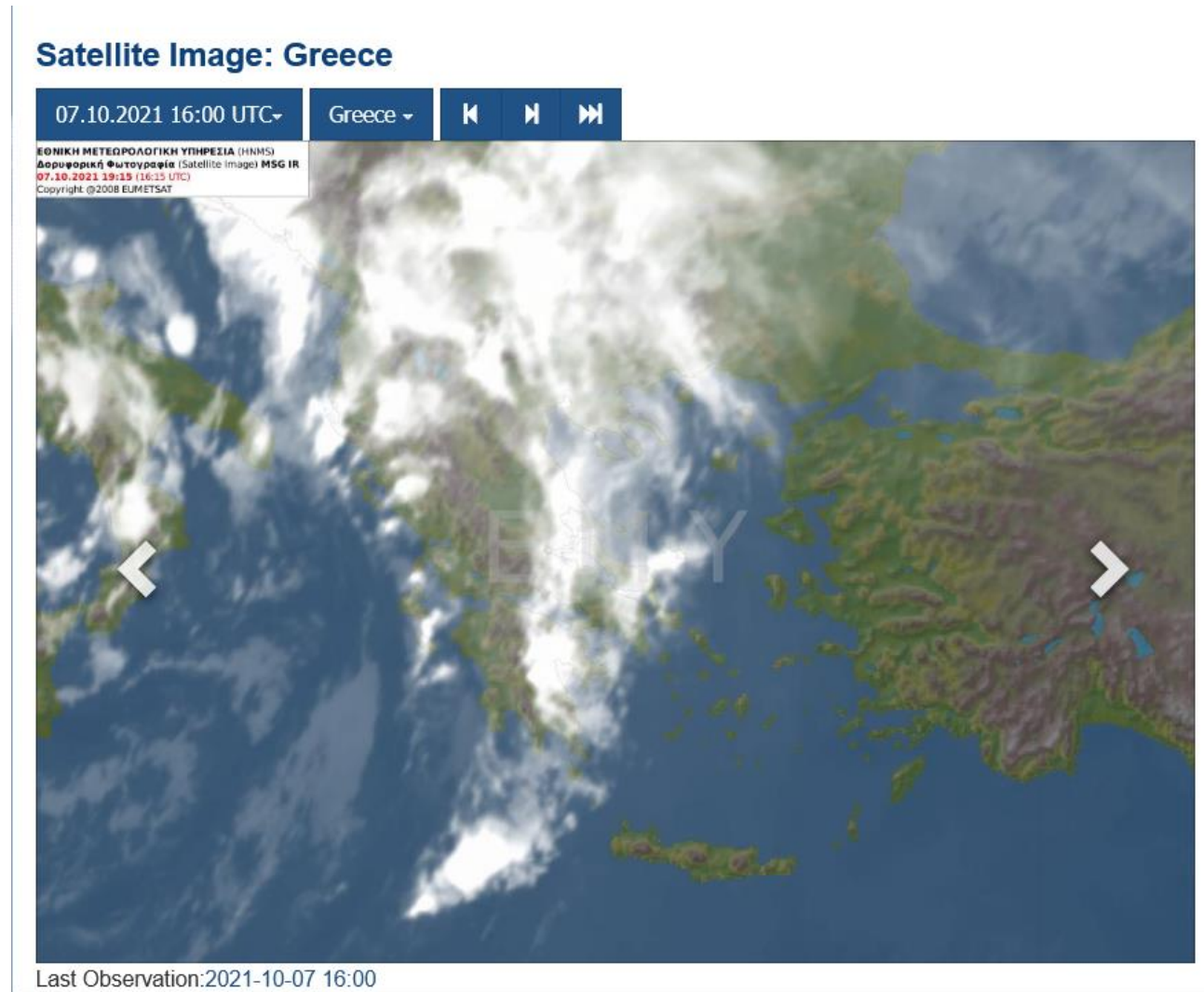


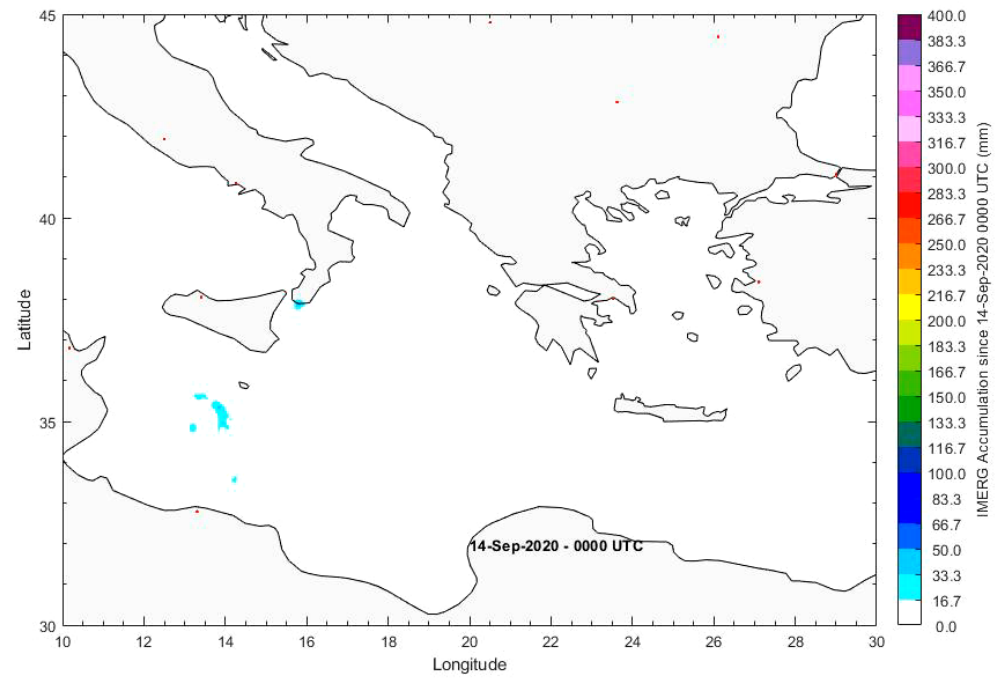
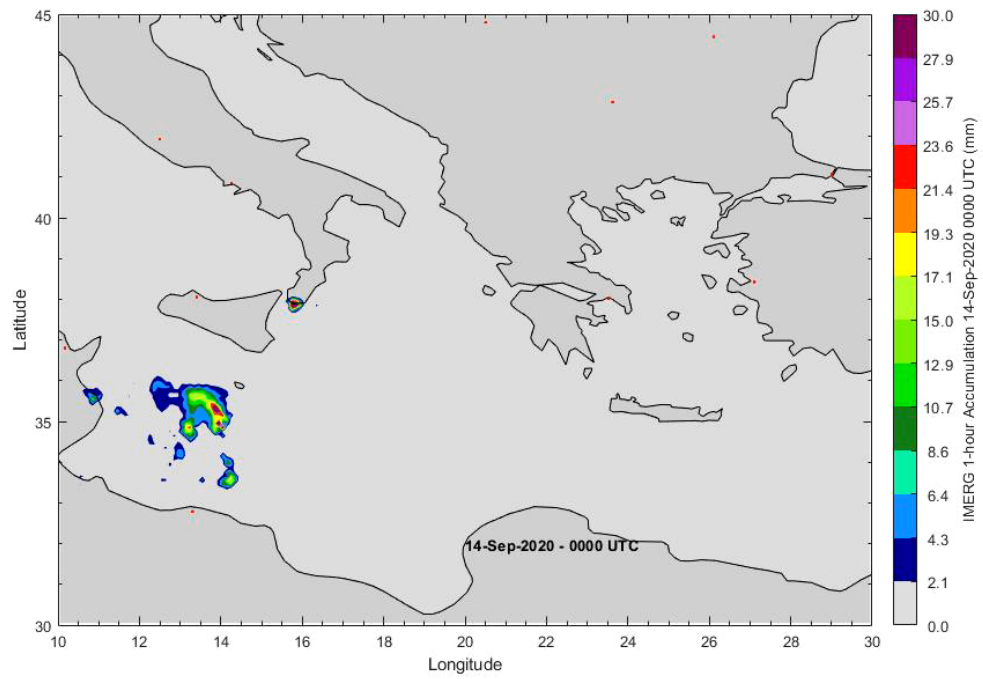
Μετεωρολογικά ραντάρ

Radar Image: 07.10.2021 17:00 UTC



Μετεωρολογικοί δορυφόροι

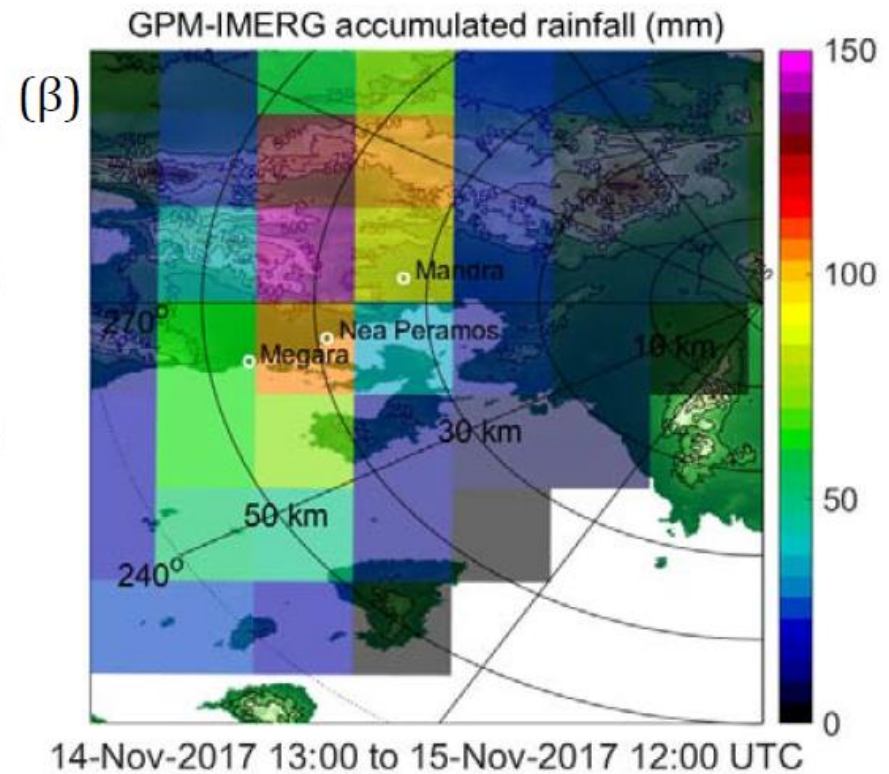
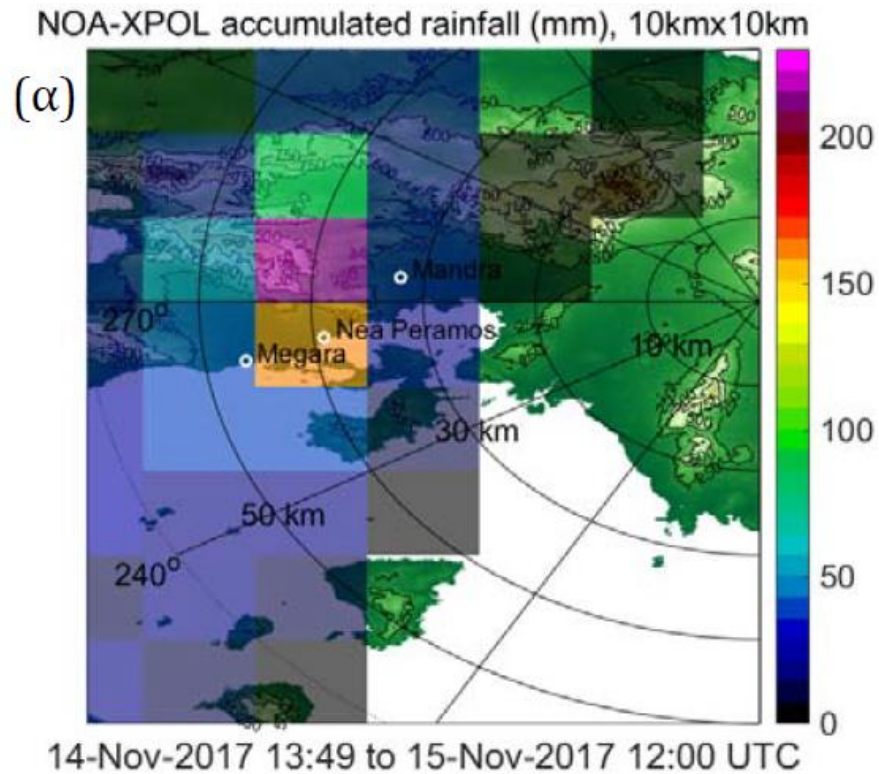




Ραντάρ vs. δορυφόρων

- Τα ραντάρ μπορούν να έχουν μικρότερο χρονικό βήμα (π.χ. 1 min) σε σχέση με τους δορυφόρους (π.χ. δορυφορική εικόνα ανά 15 min)
- Τα ραντάρ μπορούν να έχουν μικρότερο χωρικό βήμα (π.χ. 100 m) σε σχέση με τους δορυφόρους (π.χ. 10 km)
- Απαιτείται βαθμονόμηση παραμέτρων
- Οι δορυφόροι μπορούν να καλύψουν μεγαλύτερη έκταση

Ραντάρ vs. δορυφόρων



Τηλεπισκόπηση και ΔΥΠ

- Βροχή
- Ηλιακή ακτινοβολία
- Θερμοκρασία
- Δείκτες βλάστησης
- Εξατμισοδιαπνοή
- Εδαφική υγρασία
- Έλλειμμα νερού
- Ξηρασία
- Παρακολούθηση καλλιεργειών
- Παρακολούθηση ποιοτικών παραμέτρων σε συστήματα υδατικών πόρων

Crowd sourcing

- Άντληση δεδομένων από μέσα κοινωνικής δικτύωσης (Facebook, Twitter, Instagram, κ.λπ.)



Internet of Things

- Κάθε συσκευή ή ομάδα συσκευών έχει αισθητήρες
- Κάθε συσκευή ή ομάδα συσκευών καταγράφει δεδομένα
- Κάθε συσκευή ή ομάδα συσκευών είναι συνδεδεμένη με κάποιο δίκτυο οπότε τα δεδομένα είναι προσβάσιμα

Big data

- Διανύουμε την εποχή των πολλών δεδομένων
- Ένας τεράστιος όγκος αποθηκεύεται, επεξεργάζεται και αναλύεται
- Πώς μπορούμε να τα χρησιμοποιήσουμε λύνοντας προβλήματα της ΔΥΠ;

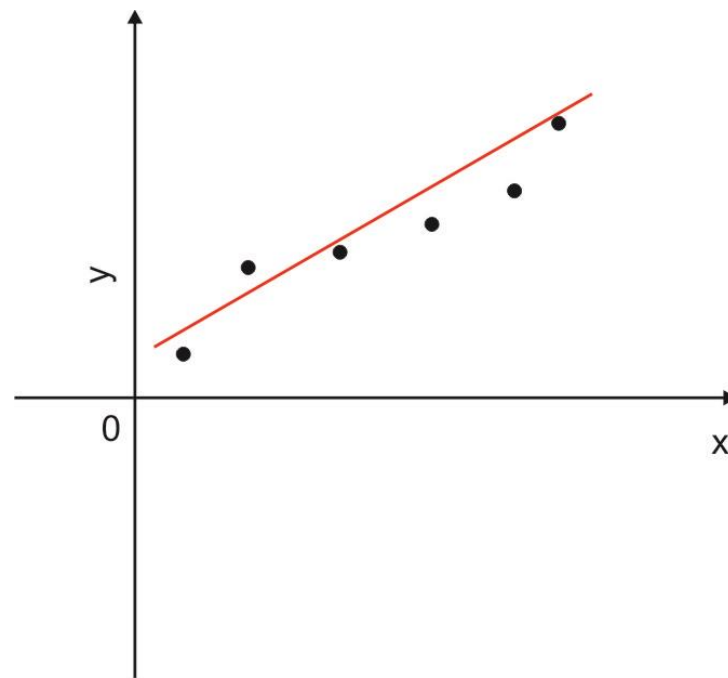
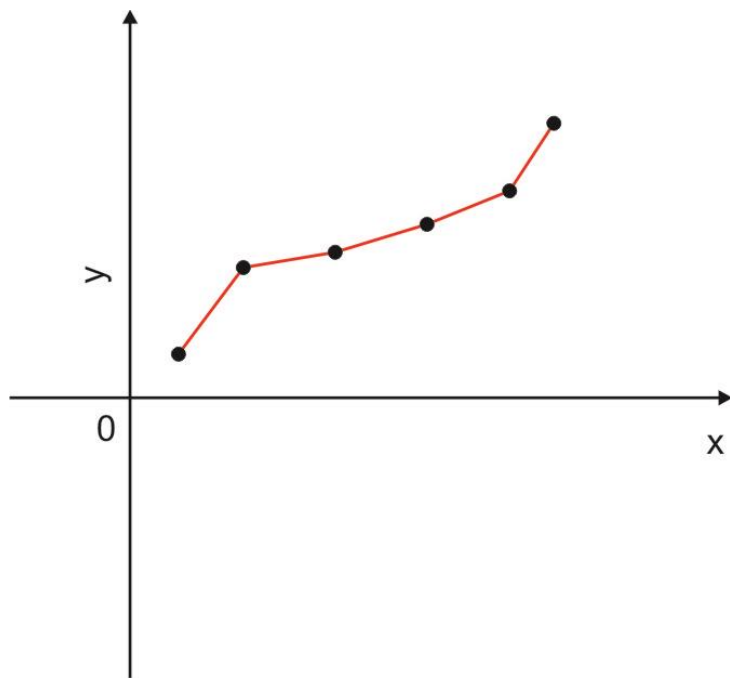
Μηχανική Μάθηση

Μηχανική μάθηση

- Μη γραμμική παρεμβολή
- Χρήση δεδομένων πεδίου (είσοδος + έξοδος)
- Εκπαίδευση αλγορίθμου
- Πρόβλεψη εξόδου με δεδομένη είσοδο

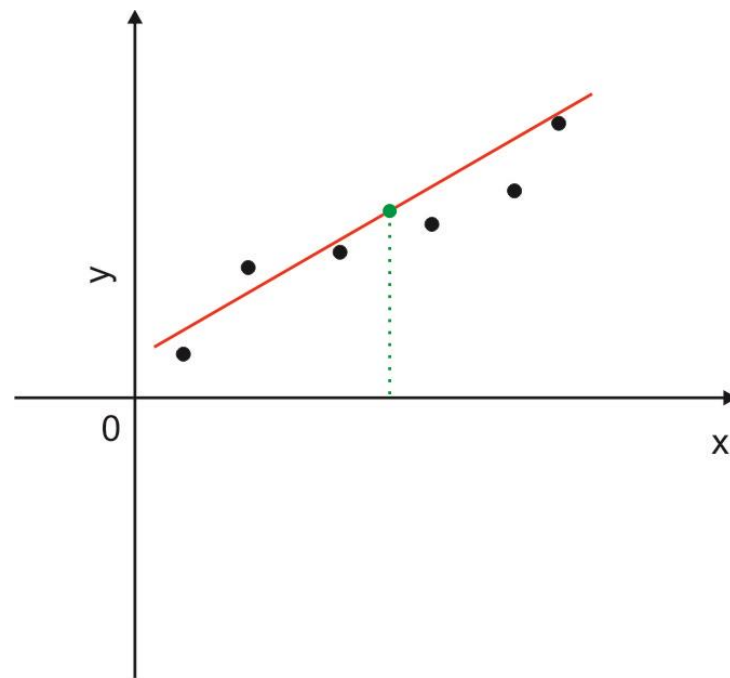
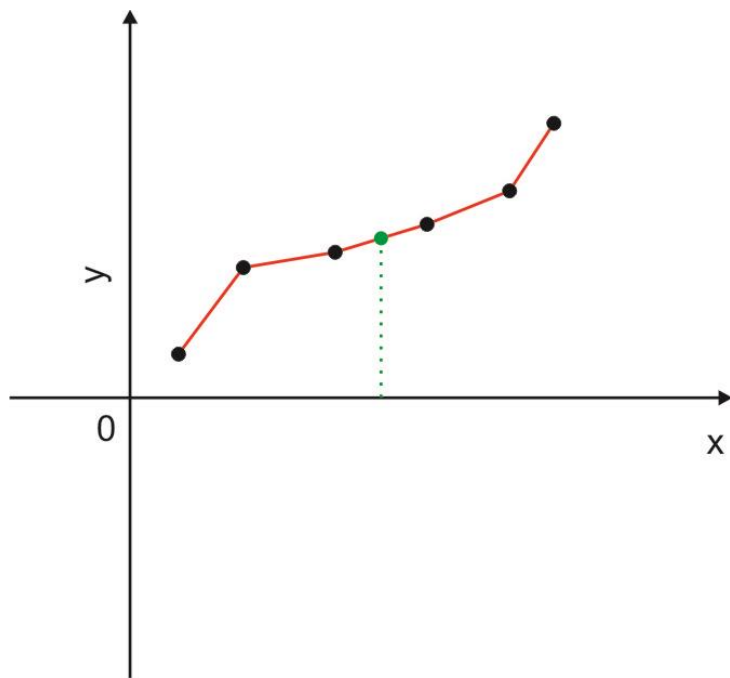
Βασικές έννοιες

παρεμβολή vs. παλινδρόμηση



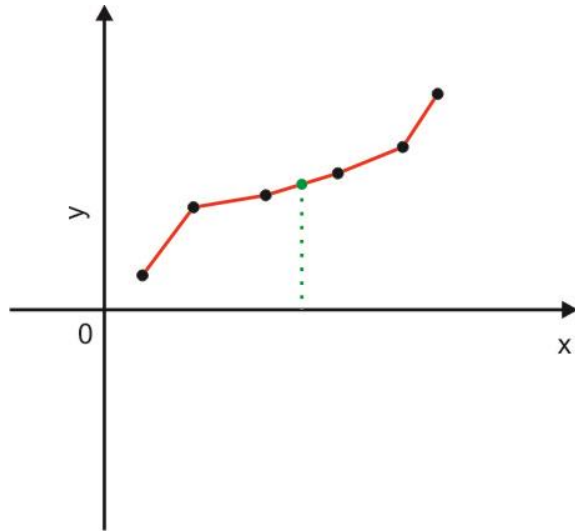
Βασικές έννοιες

παρεμβολή vs. παλινδρόμηση

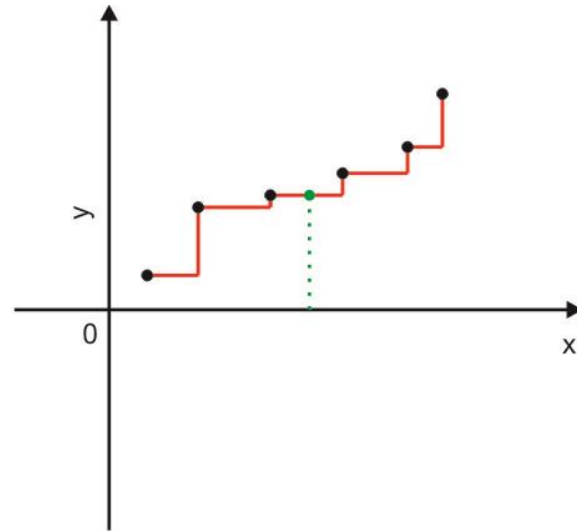


Τύποι παρεμβολής

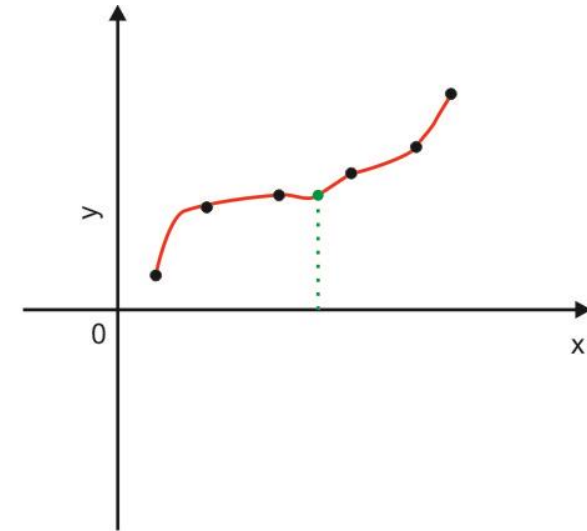
γραμμική



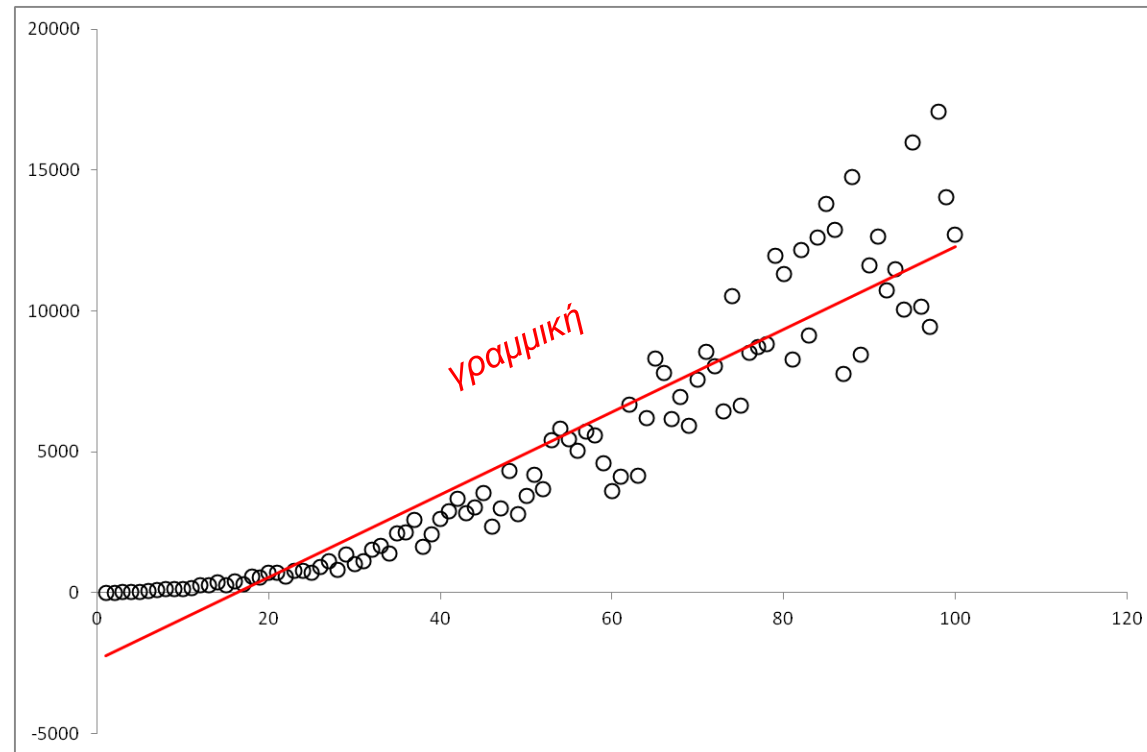
nearest neighbour



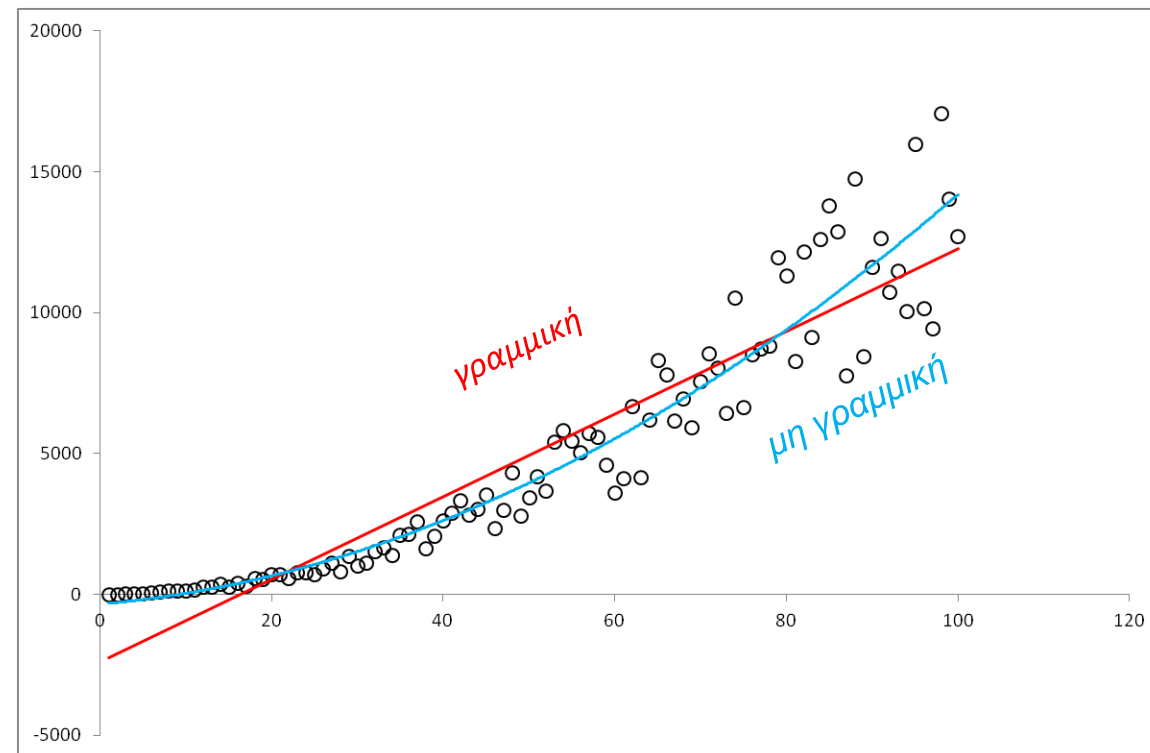
μη γραμμική



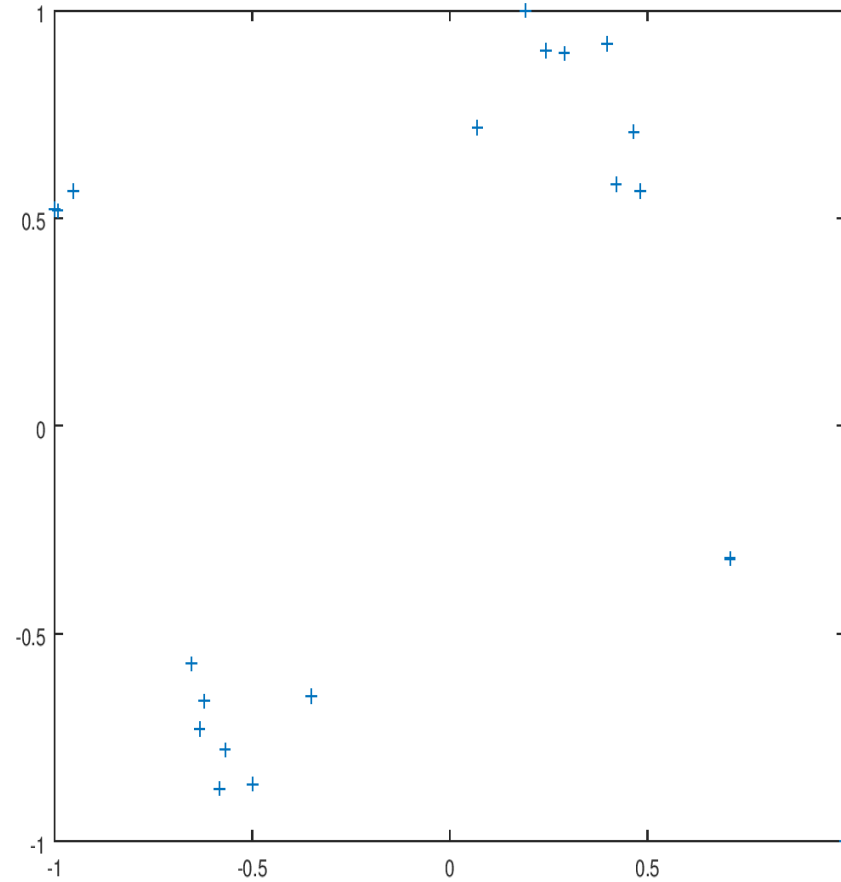
Τύποι παλινδρόμησης



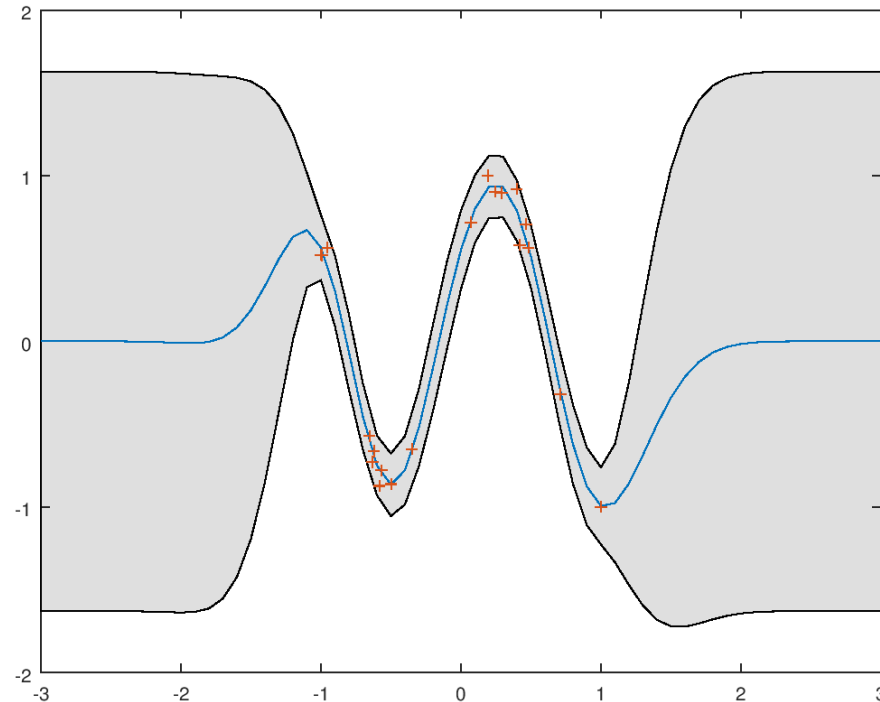
Τύποι παλινδρόμησης



Μη γραμμική παρεμβολή



Μη γραμμική παρεμβολή



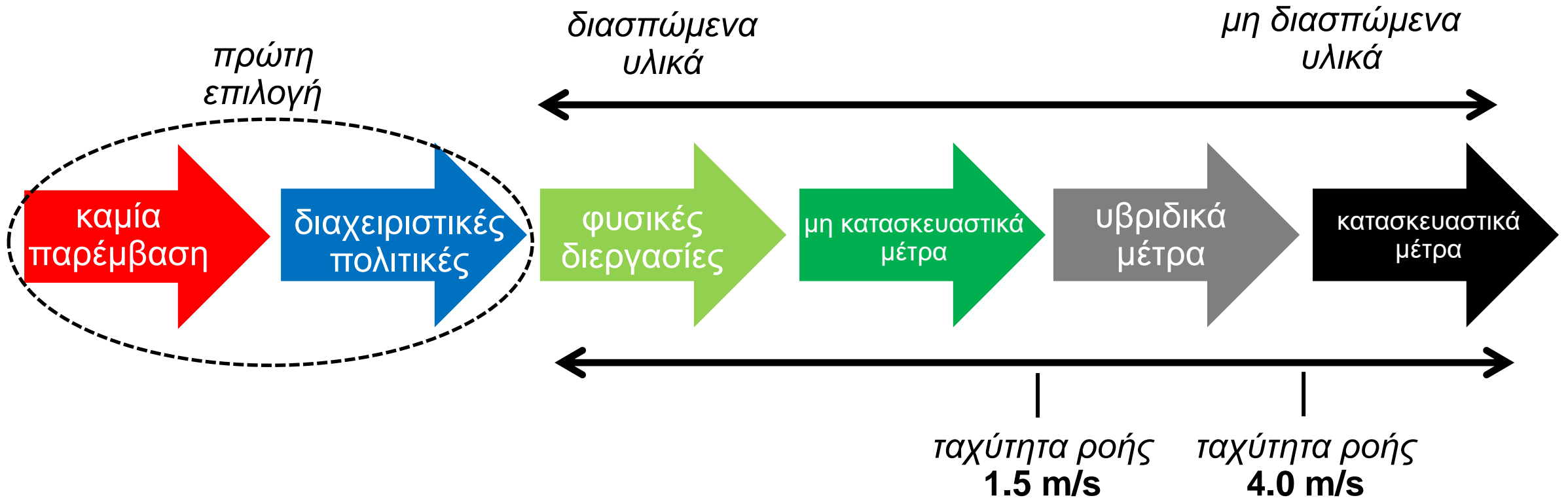
gpml toolbox: www.gaussianprocess.org

Μέθοδοι

- Gaussian Process
- Polynomial Chaos Expansion
- Neural Networks
- Radial Basis Functions
- Support Vector Machines
- ...

Ήπιες παρεμβάσεις

Περιβαλλοντική διάσταση



Λογική

- Χρησιμοποίηση φυσικών διεργασιών
- Αποκεντρωμένη αντιμετώπιση vs. «κεντρική» διαχείριση
- Μικρή κλίμακα → σπίτι, γειτονιά
- Βελτίωση ποιότητας νερού

Ορολογία

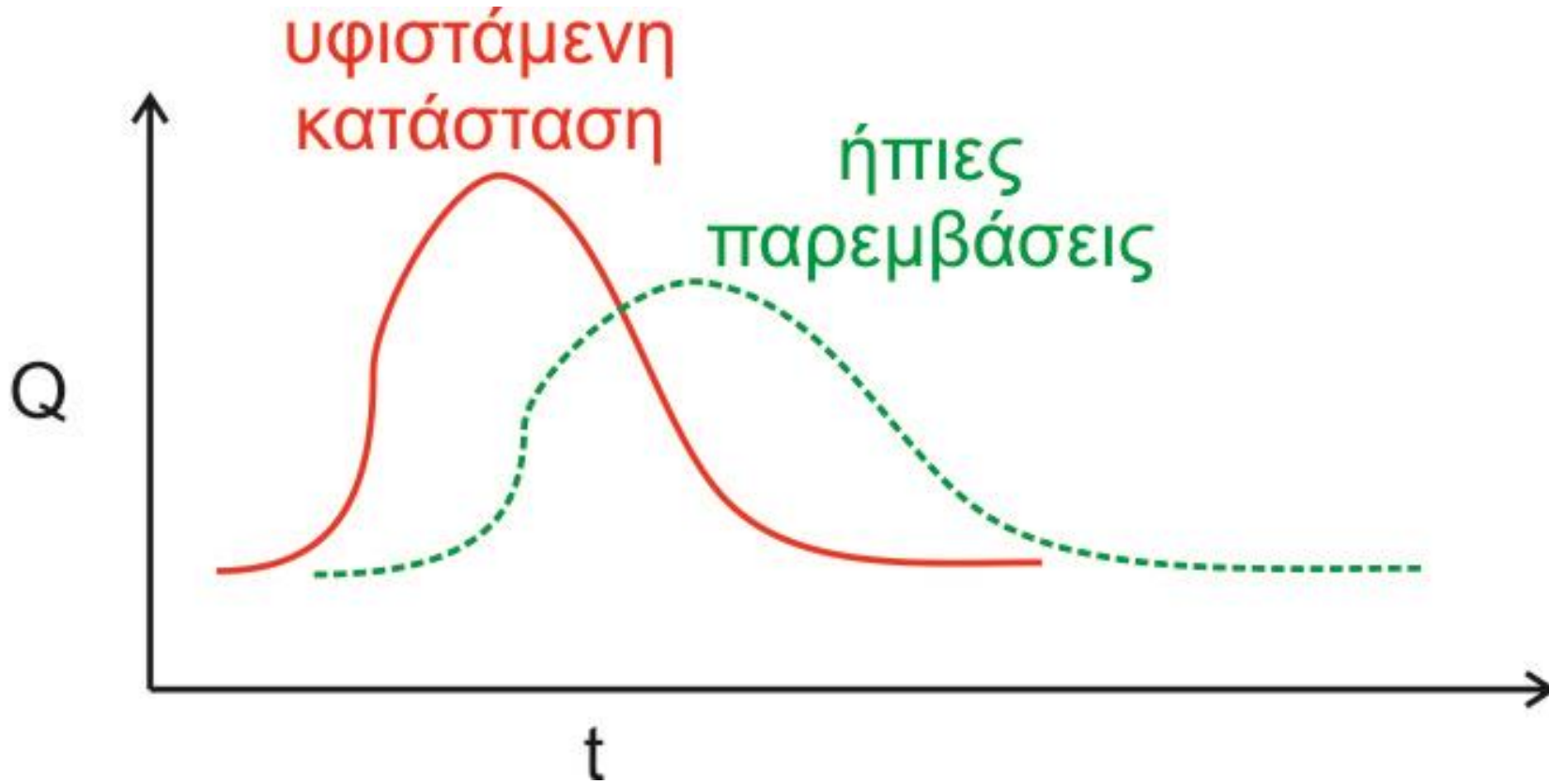
- Low Impact Development → LID
- Water Sensitive Urban Design → WSUD
- Sustainable Drainage Systems → SUDS
- Best Management Practices → BMP
- Stormwater Control Measures → SCM
- Green Infrastructure → GI

Ορολογία

- Low Impact Development → LID
- Water Sensitive Urban Design → WSUD
- Sustainable Drainage Systems → SUDS
- Best Management Practices → BMP
- Stormwater Control Measures → SCM
- Green Infrastructure → GI

παρόμοια λογική!

Στόχος



Στόχος



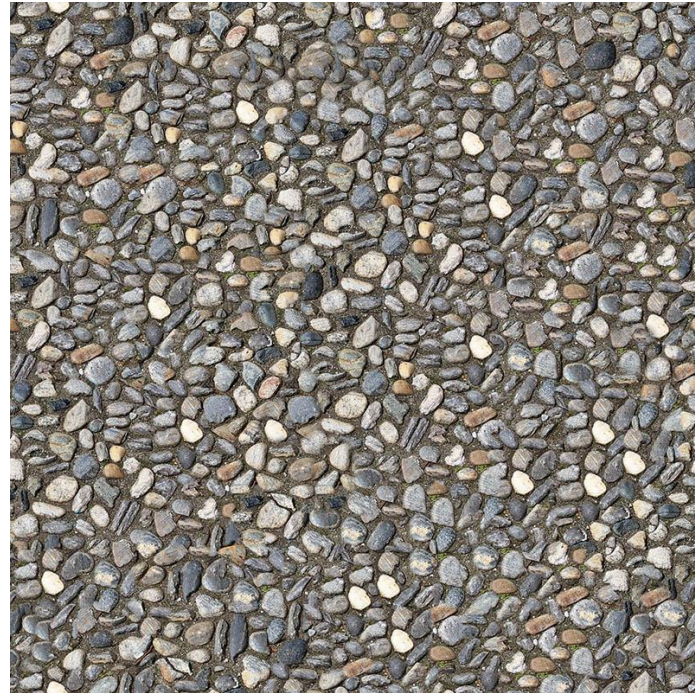
Πρακτικές

- Πράσινες στέγες
- Πορώδη πεζοδρόμια
- Πράσινες τάφροι
- Δεξαμενές ανακούφισης/ανάσχεσης
 - Μικρή κλίμακα → στέρνα συλλογής βρόχινου νερού
 - Μεγάλη κλίμακα → επίπεδο γειτονιάς/συνοικίας

Πράσινες στέγες



Πορώδη πεζοδρόμια



Πράσινες τάφροι



Λειτουργία σε πραγματικό χρόνο

Αντιμετώπιση πλημμυρών

- **Κατασκευαστικά μέτρα**
 - Έργα ανάσχεσης
 - Έργα διοχέτευσης
 - Ήπιες παρεμβάσεις
- **Μη κατασκευαστικά μέτρα**
 - Ανοιχτοί χώροι
 - Ενημέρωση και εκπαίδευση κοινού
 - Συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης
 - ...

Αντιμετώπιση πλημμυρών

- **Κατασκευαστικά μέτρα**
 - Έργα ανάσχεσης
 - Έργα διοχέτευσης
 - Ήπιες παρεμβάσεις
- **Μη κατασκευαστικά μέτρα**
 - Ανοιχτοί χώροι
 - Ενημέρωση και εκπαίδευση κοινού
 - Συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης
 - ...

State of the art

- **Ευρωπαϊκή Ένωση (COPERNICUS)**
 - <https://www.copernicus.eu/en/services/emergency>
- **Ηνωμένο Βασίλειο**
 - <https://flood-warning-information.service.gov.uk/warnings>
- **ΗΠΑ**
 - <https://msc.fema.gov/portal/home>

Αποτελέσματα μοντέλων

- **Έγκυρα**

- Τα αποτελέσματα της πρόβλεψης πρέπει να είναι αξιόπιστα
- Ιστορία του ψεύτη βοσκού!
- Λεπτομερή κλίμακα

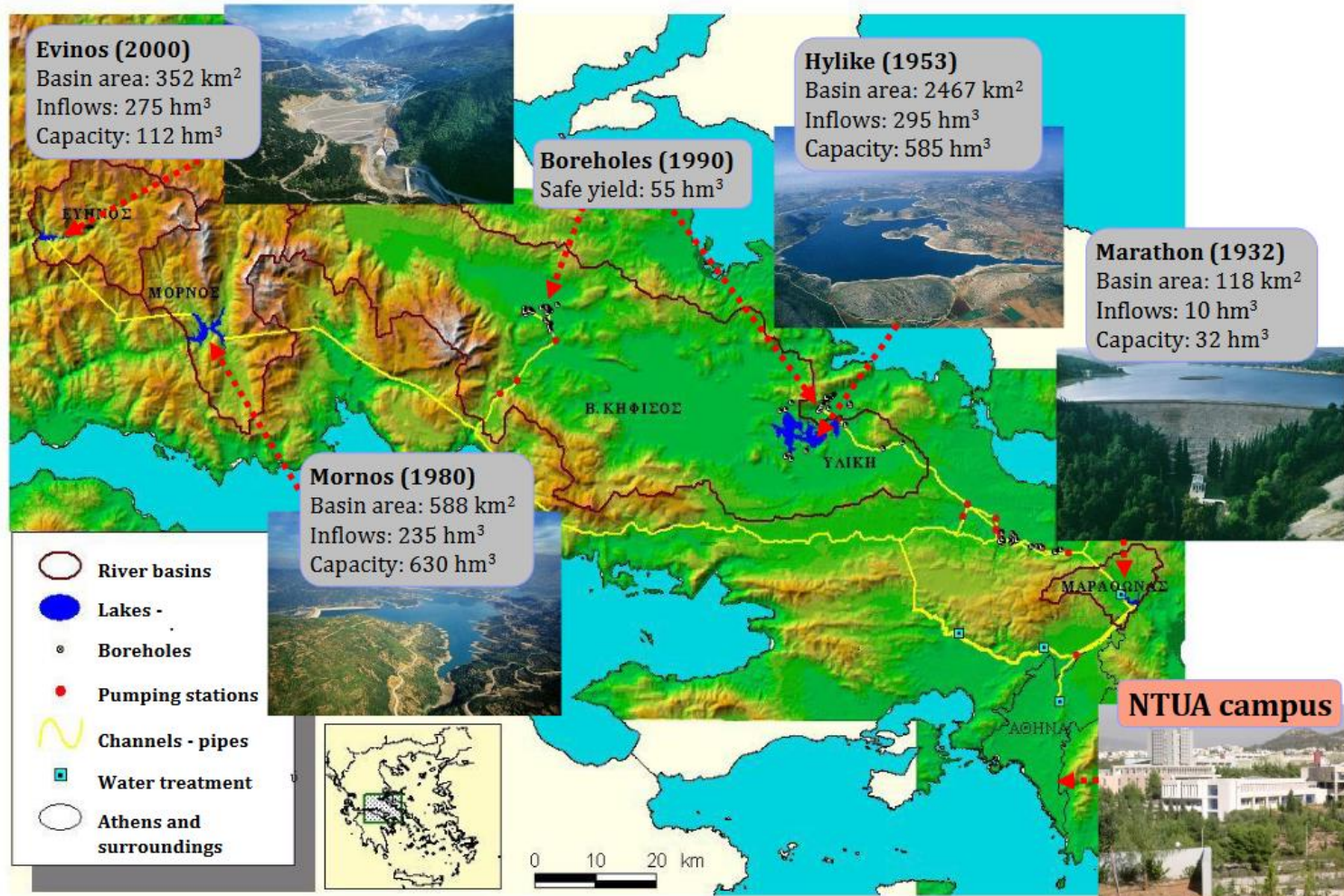
- **Έγκαιρα**

- Real-time
- Μείωση αξιοπιστίας μοντέλων → **αδρομερή κλίμακα**
- Μεγαλύτερη αξιοπιστία στα μεγάλα ποτάμια συστήματα

Δείκτες αξιολόγησης

- Probability of Detection → PoD
- Hit Rate → HR
- False Alarm Rate → FAR
- Critical Success Index → CSI

Υδροδοτικό σύστημα Αθήνας



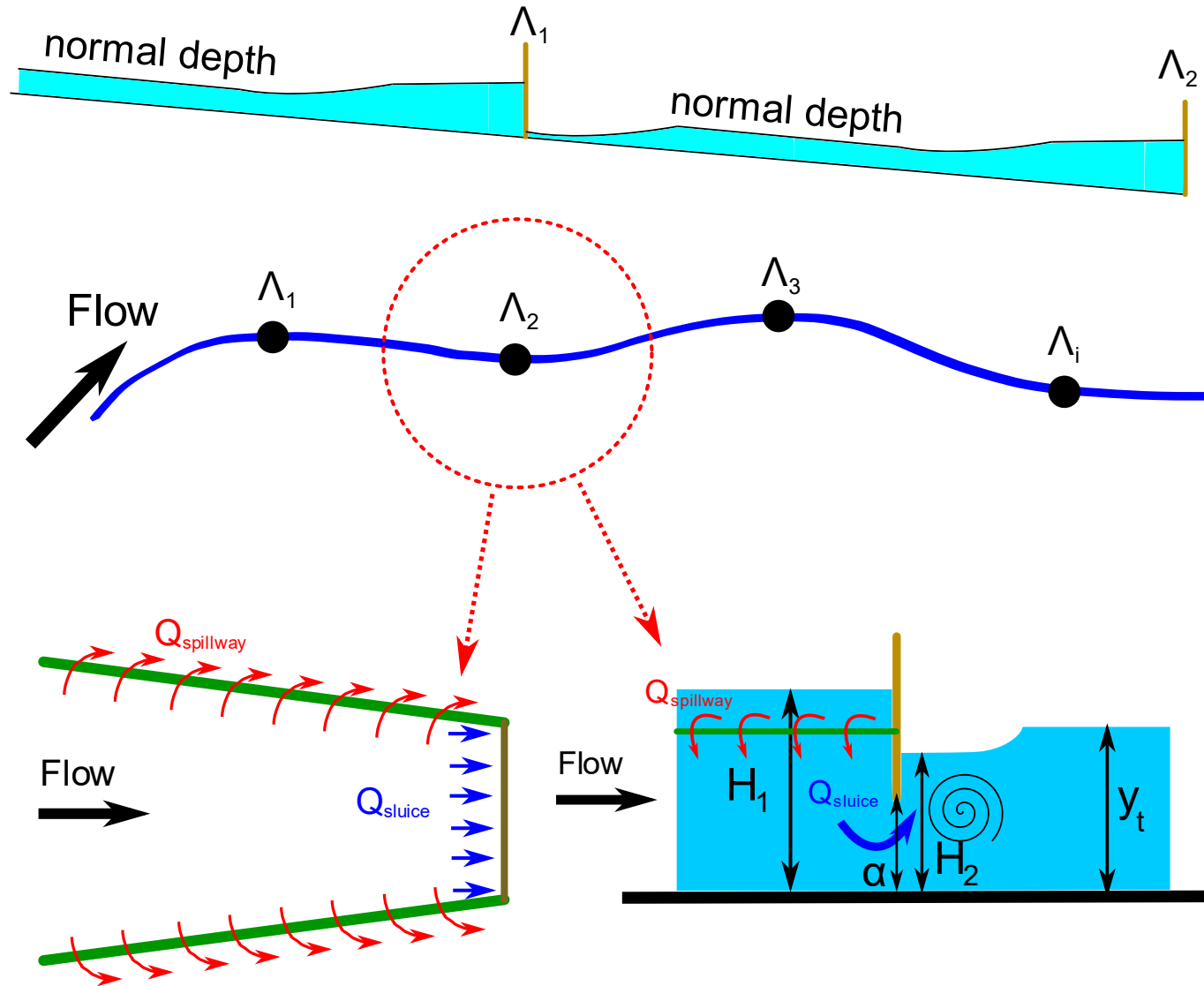
Κανάλι του Μόρνου



Βασικές αρχές

- **Δεν υπάρχει ταμιευτήρας ρύθμισης δυτικά των Αθηνών**
- **Διπλή λειτουργία του καναλιού**
 - Μεταφορά
 - Αποθήκευση
- **Συστοιχία υδραυλικών διατάξεων τύπου Λ κατά μήκος του καναλιού**
 - Το νερό αποθηκεύεται για μελλοντική χρήση
 - Επιταχύνεται η μεταφορά έπειτα από οποιαδήποτε ρύθμιση στην παροχή → το νερό φτάνει γρηγορότερα στη ΜΕΝ Αχαρνών

Σχηματικά



Υδραυλικές διατάξεις Λ



με υπερχείλιση



χωρίς υπερχείλιση

Υφιστάμενη κατάσταση

- **Οι διατάξεις λειτουργούν με τηλεχειρισμό σε πραγματικό χρόνο**
 - Η πλειοψηφία των διατάξεων ή είναι 100% κλειστές ή 100% ανοιχτές
- **Αξιοπιστία των δεδομένων**
 - Θόρυβος
 - Μη ρεαλιστικές τιμές
 - Ακρίβεια

Θέτοντας το πρόβλημα

- Ανάπτυξη ενός εργαλείου το οποίο θα προσδιορίζει την εκάστοτε θέση του θυροφράγματος σε κάθε διάταξη Λ και για κάθε επιθυμητή παροχή που δίνεται από το χρήστη σε πραγματικό χρόνο

Μετρήσεις πεδίου

- Ανάντη βάθος σε κάθε διάταξη Λ
- Κατάντη βάθος σε κάθε διάταξη Λ
- Άνοιγμα στο αριστερό θυρόφραγμα σε κάθε διάταξη Λ
- Άνοιγμα στο δεξιό θυρόφραγμα σε κάθε διάταξη Λ
- Παροχή

«Γκρι κουτί»

- **Οι νόμοι της φυσικής ισχύουν**
 - Αλλά τα πραγματικά προβλήματα απέχουν από τις ιδεατές συνθήκες ενός εργαστηρίου
 - Ακόμα και τα πιο λεπτομερή μοντέλα χρησιμοποιούν παραμέτρους που εκτιμούνται εμπειρικά ή πειραματικά
- **Οι μέθοδοι που βασίζονται αποκλειστικά σε δεδομένα εισόδου-εξόδου μπορούν να δώσουν μία πρακτική λύση**
 - Αλλά τί γίνεται στις περιπτώσεις που τα δεδομένα δεν είναι ακριβή;
 - Επίσης τί γίνεται όταν έχουμε μία είσοδο που δε βρίσκεται στο χώρο εκπαίδευσης;
- **Υβριδική μορφή**
 - Εξισώσεις φυσικής βάσης
 - Οι παράμετροι θεωρούνται «γκρι κουτί»

White-box

Black-box

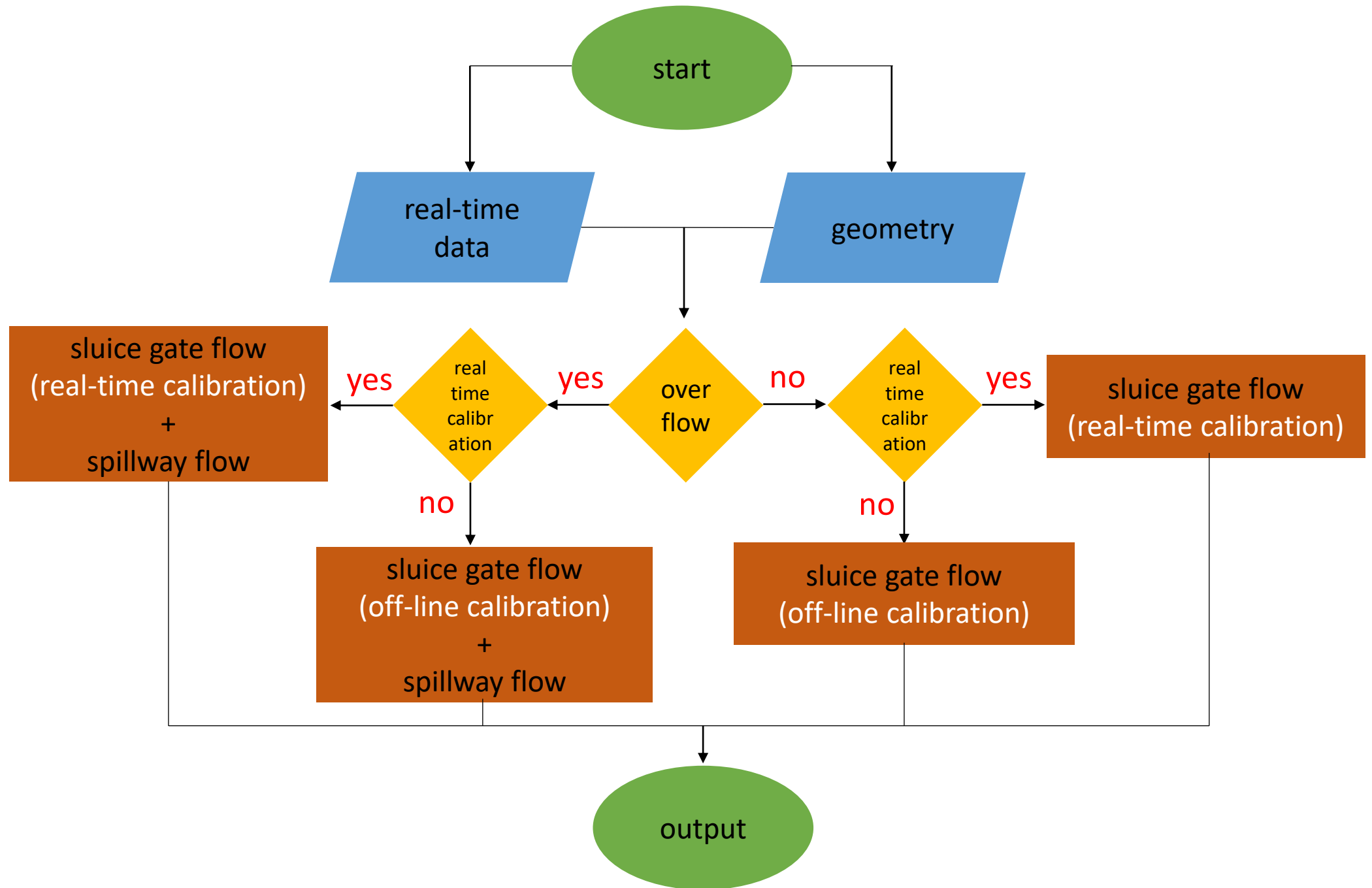
Grey-box

Υποθέσεις

- **Κάθε διάταξη Λ είναι ανεξάρτητη από την άλλη**
 - Η λειτουργία της κάθε διάταξης Λ δεν επηρεάζει και δεν επηρεάζεται από τη λειτουργία της ανάντη ή της κατόντη διάταξης \rightarrow ο τηλεχειρισμός μπορεί να γίνει ανεξάρτητα
 - Σε μία ενδεχόμενη αυξομείωση της παροχής (π.χ. $\pm 0.5 \text{ m}^3/\text{s}$) από τους χειριστές, όλα τα θυροφράγματα των διατάξεων Λ κινούνται ταυτόχρονα
- **Η παροχή σε κάθε διάταξη Λ αποτελείται από δύο μέρη**
 - Ροή μέσω θυροφραγμάτων
 - Ροή άνωθεν των υπερχειλιστών

Εννοιολογικό μοντέλο

- Η προσομοιωμένη παροχή είναι το άθροισμα της παροχής μέσω θυροφραγμάτων και της παροχής άνωθεν των υπερχειλιστών
- Το υδραυλικό φορτίο άνωθεν των υπερχειλιστών είναι η διαφορά μεταξύ του ανάντη βάθους ροής και του ύψους του εκάστοτε υπερχειλιστή
- Οι συντελεστές παροχής των θυροφραγμάτων βαθμονομούνται κάθε φορά που είναι να πραγματοποιηθεί κάποια κίνηση (real-time calibration)
- Οι συντελεστές παροχής άνωθεν των υπερχειλιστών λαμβάνονται σταθεροί



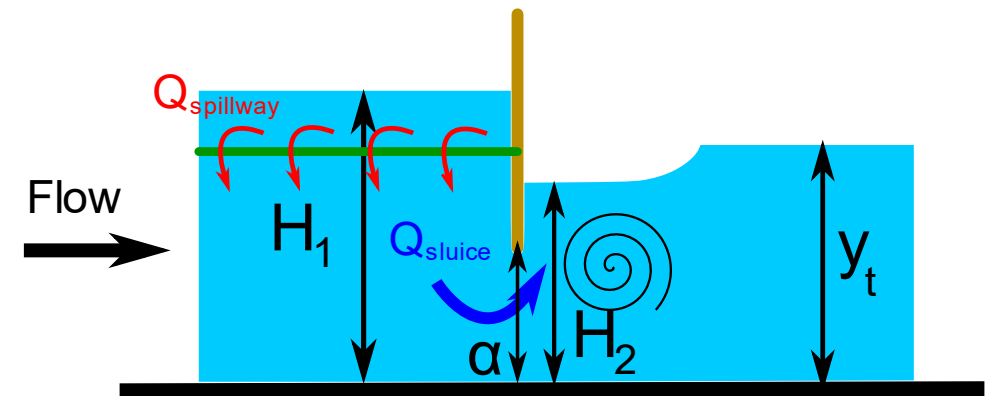
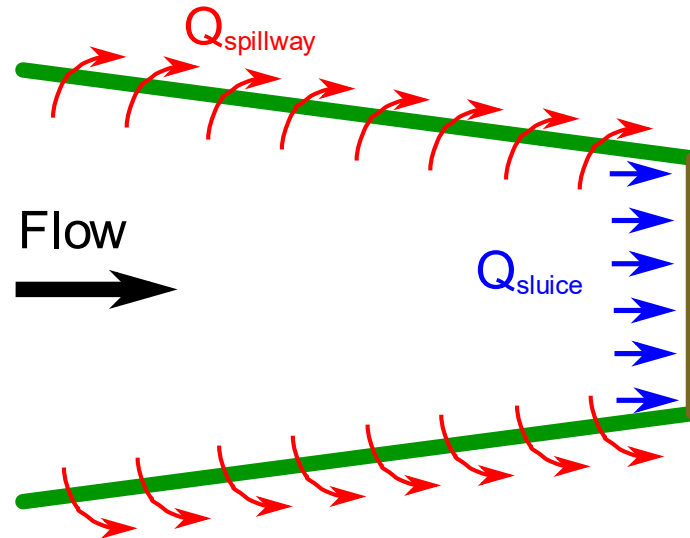
Δεδομένα εισόδου (1): real-time

- Για κάθε διάταξη Λ υπάρχουν τα παρακάτω δεδομένα σε πραγματικό χρόνο:
 - Παροχή
 - Ανάντη βάθος ροής
 - Κατάντη βάθος ροής
 - Αριστερό άνοιγμα θυροφράγματος
 - Δεξιό άνοιγμα θυροφράγματος
- Επιθυμητή παροχή δοσμένη από το χρήστη



Δεδομένα εισόδου (2): γεωμετρία

- Γεωμετρικά χαρακτηριστικά
 - μήκος θυροφράγματος
 - ύψος θυροφράγματος
 - μήκος υπερχειλιστή
 - ύψος υπερχειλιστή



Δεδομένα εξόδου (αποτελέσματα)

- Σφάλμα μοντέλου
- Βαθμονομημένος συντελεστής παροχής θυροφραγμάτων σε πραγματικό χρόνο
- Νέο άνοιγμα θυροφραγμάτων για την επιθυμητή παροχή
- Ποσοστό της παροχής άνωθεν του υπερχειλιστή σε σχέση με τη συνολική παροχή

Αποτελέσματα μοντέλου

