



ΔΗΜΟΚΡΙΤΕΙΟ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΡΑΚΗΣ

Πολυτεχνική Σχολή  
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών  
Εργαστήριο Υδρολογίας και Υδραυλικών Έργων

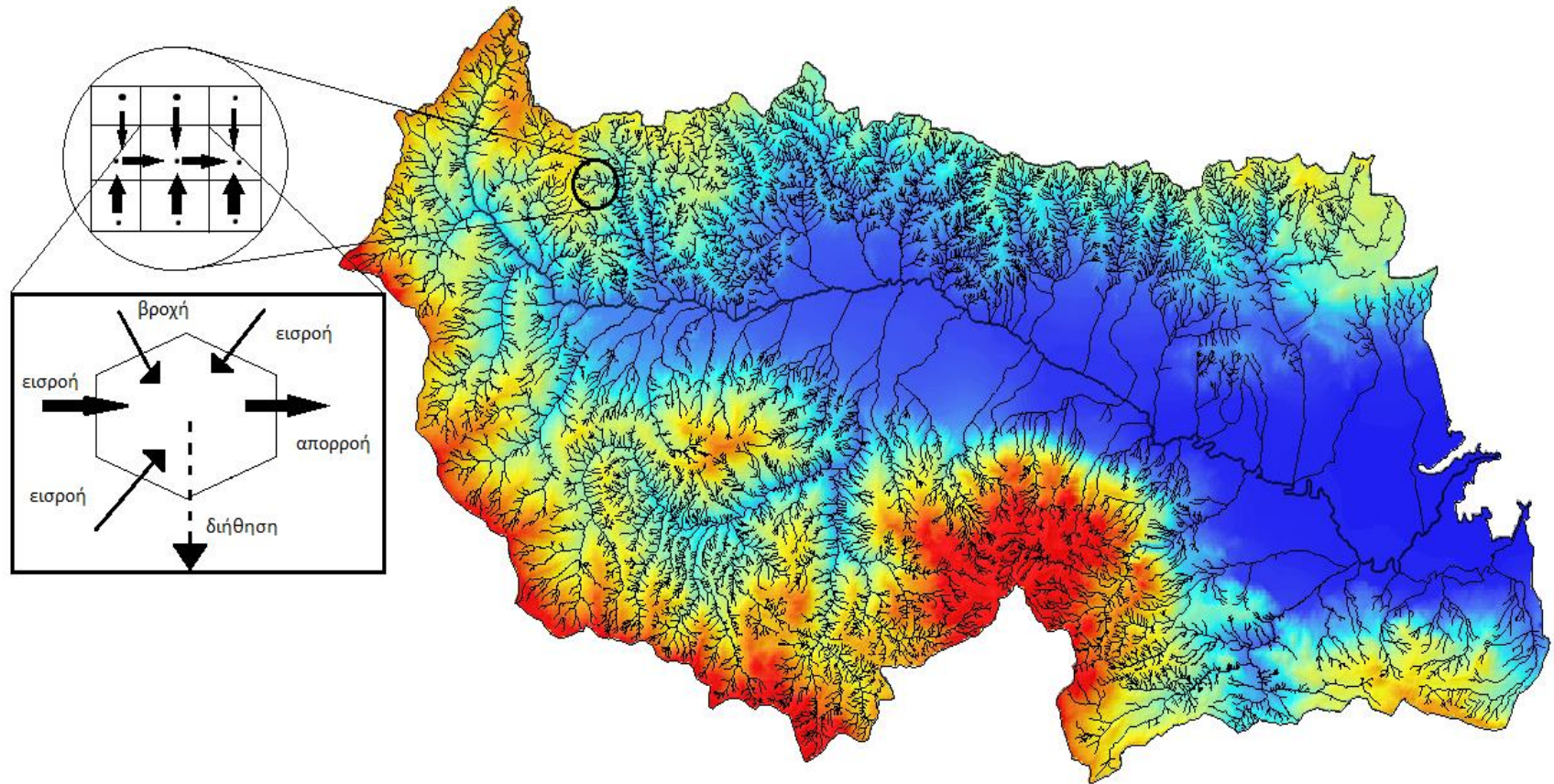
# Μάθημα: ΥΔΡΟΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ

## 5<sup>η</sup> Διάλεξη : Χωρική Μεταβλητότητα

Φώτιος Π. Μάρης, Καθηγητής Δ.Π.Θ.

Πηγή:  
Τίτλος Συγγράμματος: ΥΔΡΟΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ  
Φ.Μάρης, Σπ.Παπαρρίζος, Γ.Καράτζιος  
Εκδόσεις: ΔΙΣΙΓΜΑ

# Εισαγωγή



**Σχήμα:** Σχηματική αναπαράσταση μιας πλήρως κατανεμημένης απορροής βασισμένης σε πλέγμα στη λεκάνη απορροής του ποταμού Σπερχειού



## ➤ Εισαγωγή

- Κατά την δημιουργία ενός πλήρως κατανεμημένου –πλεγματικά βασισμένου- υδρολογικού μοντέλου από γεωχωρικά δεδομένα, το θεμελιώδες ερώτημα είναι ποια ανάλυση ή διακριτική ικανότητα (**resolution**) είναι επαρκής για τον προσδιορισμό της χωρικής μεταβλητότητα μιας παραμέτρου ή ενός δεδομένου εισόδου.
- Το σχήμα 5.1 παρουσιάζει τη σχηματική αναπαράσταση για τον υπολογισμό της απορροής σε έναν πυρήνα **3x3**.
- Τα υπολογιστικά στοιχεία του μοντέλου, είτε πρόκειται για πεπερασμένο στοιχείο, είτε για διαφορά, απαιτούν τιμές παραμέτρων που να είναι αντιπροσωπευτικές του πλεγματικού κελιού.
- Η σύνθεση του μοντέλου πρέπει να είναι αντιπροσωπευτική της χωρικής διακύμανσης που υπάρχει στην λεκάνη απορροής.

## ➤ Εισαγωγή

- Η αντιστοιχία του υπολογιστικού μεγέθους ενός στοιχείου και η επιλεγμένη διακριτική ικανότητα του ψηφιακού χάρτη έχουν επιπτώσεις στο πόσο καλά το μοντέλο θα αναπαραστήσει τη χωρική διακύμανση των παραμέτρων που ελέγχουν τη διαδικασία.
- Μέσα σε κάθε κελί στο πλέγμα, η διατήρηση της μάζας και της ορμής ελέγχεται από τις παραμέτρους που έχουν ληφθεί από τους χάρτες, οι τιμές των οποίων είναι για παράδειγμα η υδραυλική τραχύτητα, η ένταση των βροχοπτώσεων, η κλίση και η ταχύτητα διήθησης για κάθε υπολογιστικό στοιχείο.
- Το τετράγωνο του καννάβου σε έναν χάρτη που έχει δημιουργηθεί με τα Γ.Σ.Π., παρέχει αυτήν την τιμή για χρήση της στο μοντέλο.
- Για την καλύτερη εκμετάλλευση των παραμέτρων ενός κατανεμημένου υδρολογικού μοντέλου, η χωρική κατανομή των δεδομένων εισόδου (π.χ. βροχοπτώσεις) και των παραμέτρων όπως η υδραυλική τραχύτητα, θα πρέπει να επιλεγεί με μεγάλη διακριτική ικανότητα (**fine resolution**) για να δεσμεύσει αυτή τη χωρική μεταβλητότητα.

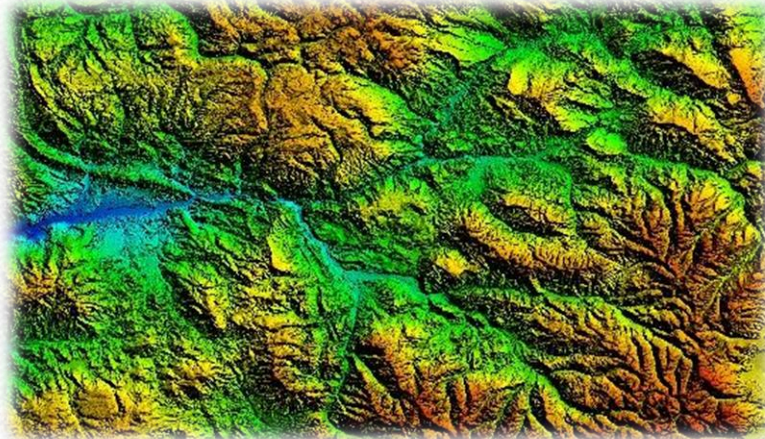


## ➤ Εισαγωγή

- Οι υδρολογικές προσομοιώσεις και η απόδοση του μοντέλου, επηρεάζονται από την φαινομενικά αυθαίρετη επιλογή της διακριτικής ικανότητας.
- Επιπλέον, στην επεξεργασία των Ψηφιακών Μοντέλων Εδάφους (Digital Elevation Model – DEM), η εξομάλυνση ή άλλα φίλτρα που εφαρμόζονται, μπορεί να έχουν επιβλαβή αποτελέσματα στην κλίση και σε άλλες προκύπτουσες ιδιότητες του εδάφους.
- Αυτό το κεφάλαιο εξετάζει την απαραίτητη ή την ικανοποιητική διακριτική ικανότητα που μπορεί να δεσμεύσει τις χωρικές πληροφορίες που ελέγχουν την υδρολογική συμπεριφορά.
- Το περιεχόμενο της πληροφορίας μπορεί να μετρηθεί, χρησιμοποιώντας μια στατιστική τεχνική που έχει αναπτυχθεί στις επικοινωνίες και ονομάζεται **πληροφοριακή εντροπία (informational entropy)**.

## ➤ Εισαγωγή

- Είναι αρκετά χρήσιμο να υπάρχει ένα στατιστικό στοιχείο που είναι ικανό να προβλέψει τις υδρολογικές επιδράσεις που επέρχονται με την εξομάλυνση και με επαναδειγματοληψία σε μια διακριτική ικανότητα ενός άλλου πλεγματοειδούς κελιού -ειδικά ενός **DEM**-.
- Τα πλήρως κατανοητά –βασισμένα σε πλέγμα- υδρολογικά μοντέλα, απαιτούν τιμές παραμέτρου και τιμές κατακρημνίσεων που εισάγονται σε κάθε κελί του πλέγματος.
- Το μέγεθος του κελιού, προσδιορίζει πόσο μεγάλη χωρική μεταβλητότητα θα δημιουργηθεί στο μοντέλο.





## ➤ Εισαγωγή

- Ένας άλλος τρόπος να δούμε την διακριτική ικανότητα, είναι ως συχνότητα δειγματοληψίας. Ανάλογα με τη συχνότητα δειγματοληψίας που χρησιμοποιείται και τη χωρική μεταβλητότητα στην επιφάνεια, οι πληροφορίες μπορεί να είναι **υπο-** ή **υπερ-επιλεγμένες**.
- Ο στόχος είναι να προσδιοριστεί το περιεχόμενο των πληροφοριών που περιέχεται σε έναν χάρτη κλίσεων, παραμέτρων εδαφολογικής διήθησης, υδραυλικής επιφανειακής τραχύτητας, ή βροχοπτώσεων.
- Κάθε χάρτης είναι πιθανό να έχει διαφορετική διακριτική ικανότητα που είναι απαραίτητη για τον προσδιορισμό της χωρικής μεταβλητότητας.
- Μια άλλη θεώρηση είναι, ότι μπορεί να παρουσιαστεί περισσότερη μεταβλητότητα στην πραγματική επιφάνεια από αυτή που χαρτογραφείται.
- Η μέτρηση της χωρικής μεταβλητότητας σε συγκεκριμένη συχνότητα δειγματοληψίας (**διακριτική ικανότητα**), είναι χρήσιμη για το ποια διακριτική ικανότητα (**resolution**) θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί για κάθε χάρτη.

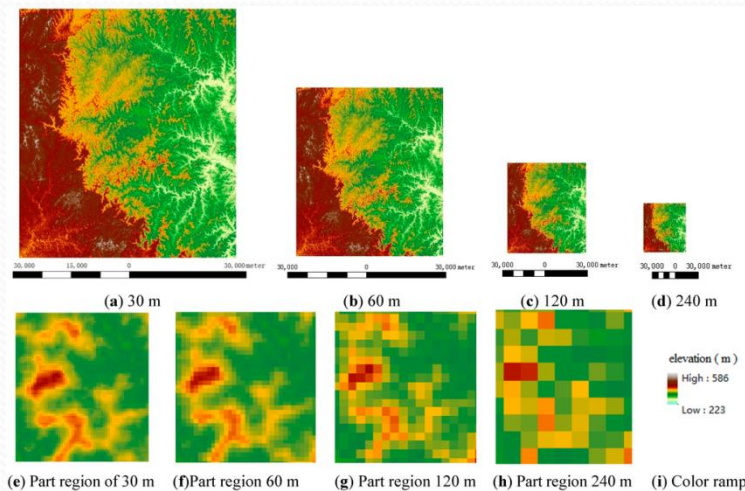
## ➤ Εισαγωγή

- Οι πρακτικές εκτιμήσεις, περιλαμβάνουν την εύρεση του μικρότερου μεγέθους ενός πλεγματοειδούς κελιού και την χρησιμοποίησή του ύστερα, για άλλους χάρτες, ακόμα κι αν αυτό περιλαμβάνει χάρτες υπερδειγματοληψίας, λιγότερο μεταβλητών παραμέτρων.
- Η διακριτική ικανότητα που είναι επαρκής για να δεσμεύσει τη μεταβλητότητα μιας παραμέτρου, εξαρτάται από το πόσο μεταβλητές είναι οι τιμές χωρικά στον χάρτη.
- Εάν η παράμετρος είναι πραγματικά σταθερή, τότε **οποιαδήποτε διακριτική ικανότητα** είναι επαρκής για τη δειγματοληψία της επιφάνειας.
- Εντούτοις, η πιο πιθανή περίπτωση είναι ότι η παράμετρος ή το εισαγόμενο δεδομένο να είναι χωρικά μεταβλητό, απαιτώντας μια απόφαση ως προς την αποδοτικότερη επιλογή της διακριτικής ικανότητας.



## ➤ Εισαγωγή

- Στην προσπάθεια επιλογής της μικρότερης διακριτικής ικανότητας, μειώνεται η αποδοτικότητα και ο χώρος αποθήκευσης του υπολογιστή.
- Ανάλογα με την έκταση ή το μέγεθος της λεκάνης απορροής, η διακριτική ικανότητα που αντιπροσωπεύει επαρκώς τη χωρική μεταβλητότητα -που είναι σημαντική στην υδρολογική διαδικασία- μπορεί να κυμανθεί από δεκάδες ή εκατοντάδες μέτρα για λοφώδεις κλίσεις, μέχρι εκατοντάδες ή χιλιάδες μέτρα για λεκάνες απορροής.
- Για πολύ μεγάλες λεκάνες, μπορεί να είναι κατάλληλες μεγαλύτερες διακριτικές ικανότητες.



## ➤ Εισαγωγή

- Το πραγματικό ερώτημα είναι εάν μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε μεγαλύτερες διακριτικές ικανότητες, ελαχιστοποιώντας τη χρήση των υπολογιστικών πόρων και παράλληλα να μπορούμε ακόμα να απεικονίσουμε τη χωρική μεταβλητότητα.
- Για τα χωρικά δεδομένα αναγνωρίζεται ευρέως πως έχουν έναν υψηλό βαθμό αυτοσυσχέτισης.
- Δηλαδή, τα συνεχόμενα κελιά (**adjacent cells**) τείνουν να έχουν τιμές που είναι παρόμοιες σε μέγεθος.
- Η απόσταση συσχέτισμού (**correlation distance**), είναι η κλίμακα μήκους που διαχωρίζει εάν οι επιλεγείσες τιμές εμφανίζονται να είναι συσχετισμένες ή ανεξάρτητες.



## ➤ Εισαγωγή

- Η δειγματοληψία σε διακριτικές ικανότητες μικρότερες από αυτό το μήκος, θα παραγάγει τυχαίες μεταβλητές που θα είναι ανεξάρτητες, χωρίς να παρουσιάζουν υψηλό βαθμό αυτοσυσχέτισης.
- Η δειγματοληψία σε διακριτικές ικανότητες μεγαλύτερες από αυτό το μήκος, θα παραγάγει τυχαίες μεταβλητές με υψηλό βαθμό αυτοσυσχέτισης.
- Αντλώντας χάρτες που σχετίζονται με το έδαφος, τις χρήσεις γης ή άλλους θεματικούς χάρτες παράγονται διάφοροι θεματικοί χάρτες που φαίνεται να είναι σταθεροί μέσα στο πολύγωνο που ξεχωρίζει σε σχέση με την κατηγοριοποίηση τους.

**Σχήμα:** Χάρτης χρήσεων γης  
λεκάνης απορροής π. Άρδα



## ➤ Εισαγωγή

- Αναμφισβήτητα υπάρχει περισσότερη παραλλαγή από αυτή που χαρτογραφείται.
- Η μεταβολή μέσα στην ίδια κατηγορία μπορεί να είναι ή και να μην είναι σημαντική στην προσομοίωση της υδρολογικής διαδικασίας.
- Η μεταβολή μέσα στην κατηγορία μπορεί να υποτεθεί ότι ακολουθεί μια μορφή κατανομής πιθανότητας ή να υποτεθεί ότι ήταν μια μέση τιμή.
- Πολλά προβλήματα που αντιλαμβανόμαστε με τα φυσικά μοντέλα, είναι οι δυσκολίες που συνδέονται με την παραμετροποίηση, την επικύρωση του μοντέλου (**validation**) και την αναπαράσταση των διαδικασιών εντός του πλέγματος (**grid**).
- Εντούτοις, η δύναμη των φυσικών μοντέλων είναι η δυνατότητα να ενσωματώνουν τη χωρική μεταβλητότητα των παραμέτρων που ελέγχουν την υδρολογική διαδικασία.
- Η ενσωμάτωση της χωρικής μεταβλητότητας στα φυσικά μοντέλα είναι δυνατή μόνο εάν η φύση αυτής της μεταβλητότητας είναι γνωστή.



## ➤ Εισαγωγή

- Η «φύση της μεταβλητότητας» είναι ένας ποιοτικός όρος που περιγράφει το είδος μεταβλητότητας, σε αντίθεση με τους ποσοτικούς όρους όπως «διακύμανση» ή «συσχετισμένο μήκος» που περιγράφουν το ποσό της μεταβλητότητας.
- Συγκεκριμένα, η φύση της χωρικής μεταβλητότητας μπορεί να αναπαρασταθεί ως προσδιοριστική ή και πιθανολογική.
- Η συνολική μεταβλητότητα μιας δεδομένης παραμέτρου, είναι μια σύνθεση των προσδιοριστικών και πιθανολογικών στοιχείων.
- Η διακύμανση μέσα στην ίδια κατηγορία ή κλάση είναι πιθανολογικό συστατικό, ενώ η διακύμανση μεταξύ των κατηγοριών είναι αιτιοκρατικό.

## ➤ Εισαγωγή

- Μια σημαντική ειδική περίπτωση είναι όταν θεωρείται ως ομοιογένεια ή μη μεταβλητότητα.
- Στην πραγματικότητα, η χωρική μεταβλητότητα σπάνια είναι εντελώς προσδιοριστική ή πιθανολογική.
- Μέσα σε οποιαδήποτε προσδιοριστική τάση ή κατανομή των τιμών των παραμέτρων υπάρχει αμετάβλητα κάποιος βαθμός αβεβαιότητας ή πιθανολογικού στοιχείου.
- Ομοίως, η πιθανολογική διακύμανση μπορεί να είναι ασταθής, περιέχοντας συστηματικές τάσεις, ή να αποτελείται από την εμπειρέχουσα προσδιοριστική μεταβλητότητα.

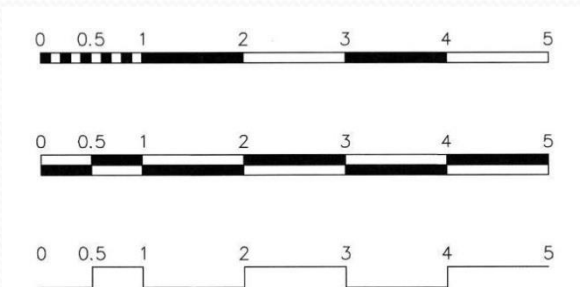


## ➤ Εισαγωγή

- Διάφορες μελέτες έχουν καταδείξει ότι η **πιθανολογική μεταβλητότητα** μπορεί να ασκήσει μεγάλη επίδραση στην υδρολογική συμπεριφορά.
- Συγκεκριμένα, οι μελέτες αυτές έχουν δείξει ότι οι διαδικασίες όπως η απορροή και η διήθηση, οι οποίες προκύπτουν από την υποθετική τυχαία κατανομή των παραμέτρων, συχνά δεν αναπαρίστανται σωστά από τις ομοιογενείς αποτελεσματικές παραμέτρους.
- Αυτό έχει οδηγήσει στις πιθανολογικές προσεγγίσεις μοντελοποίησης και στην πρόβλεψη αβεβαιότητας.
- Εκτός από τις μελέτες για την πιθανολογική διαφοροποίηση, η προσδιοριστική μεταβλητότητα μπορεί να ασκήσει σημαντικές επιδράσεις στην επιφανειακή απορροή.
- Μια άλλη άποψη είναι να αναγνωριστεί κάποιο περιοριστικό μέγεθος της υπολεκάνης ή του υπολογιστικού στοιχείου που καλείται **αντιπροσωπευτική στοιχειώδης επιφάνεια (Representative Elementary Area)**, για να καθιερώσει μια «θεμελιώδη δομική μονάδα για τη μοντελοποίηση της λεκάνης απορροής».

## ➤ Εισαγωγή

- Παρόλα αυτά, η προσδιοριστική κλίμακα μήκους εξαρτάται από την κλίμακα που μας ενδιαφέρει, τις εμπλεκόμενες διαδικασίες και τα τοπικά χαρακτηριστικά του οικοσυστήματος.
- Εισάγοντας νέες πηγές της προσδιοριστικής μεταβλητότητας σχετικές με την τοπογραφία, τα εδάφη το κλίμα και χρήσεις γης θα μπορούσαν να προσδιοριστούν με τη χαρτογράφηση σε μεγαλύτερη διακριτική ικανότητα αλλά και κλίμακα.
- Η φύση της χωρικής μεταβλητότητας βέβαια έχει επιπτώσεις στην υδρολογική συμπεριφορά.
- Πέρα από ένα εύρος κλιμάκων η φύση της μεταβλητότητας χαρακτηρίζεται είτε ως **πιθανολογική**, όταν είναι τυχαία, είτε ως **αιτιοκρατική**, όταν υπάρχουν γνωστές, μη τυχαίες πηγές.





## ➤ Εισαγωγή

- Η ύπαρξη μιας προσδιοριστικής κλίμακας υποδηλώνει τα ανώτερα και κατώτερα όρια της κλίμακας.
- Αυτό είναι ένας σημαντικός περιορισμός στην ενσωμάτωση της συγκεκριμένης κλίμακας σε φυσικά μοντέλα.
- Ιδανικά, η προσδιοριστική κλίμακα θα μπορούσε να καθιερωθεί με πειραματικές διαδικασίες πέρα από το φάσμα των κλιμάκων.
- Αυτό εντούτοις θα αποδειχθεί πιθανώς μη πρακτικό σε πολλές περιπτώσεις.
- Γενικά, το χαμηλότερο όριο είναι ευκολότερο να υπολογιστεί.
- Αν και είναι δύσκολο να καθοριστεί η φύση της χωρικής μεταβλητότητας όσον αφορά τις πηγές που μεταβάλλονται, είναι σημαντικό να αναγνωριστεί ότι αυτοί οι ορισμοί γίνονται αποτελεσματικά κατά τη διάρκεια σχεδιασμού και της εφαρμογής του μοντέλου.

## ➤ Εισαγωγή

- Η απόφαση να συμπεριληφθούν κάποια είδη υψομετρικών δεδομένων ή να χρησιμοποιηθεί για παράδειγμα ένα ορισμένο διάστημα πλέγματος, αναφέρεται στις συγκεκριμένες συμπεριφορές της χωρικής μεταβλητότητας.
- Αυτές οι πτυχές του σχεδιασμού του μοντέλου είναι πιθανότερο να καθοδηγούνται από το χρόνο υπολογισμού και τη διαθεσιμότητα των δεδομένων παρά από τη χωρική μεταβλητότητα.
- Ακόμα και όταν είναι καθοδηγούμενες από τη χωρική μεταβλητότητα, αυτές οι εκτιμήσεις δεν είναι συνήθως πρωταρχικές ως τμήμα του μοντέλου.
- Αυτό κάνει δύσκολη την ερμηνεία των αποτελεσμάτων ενός μοντέλου και τη μεταφορά του σε άλλες θέσεις.



## ➤ Εισαγωγή

- Η αναγνώριση της φύσης της μεταβλητότητας έχει και άλλες σημαντικές επιπτώσεις στην μοντελοποίηση των φυσικών διεργασιών.
- Αν και τα φυσικά μοντέλα είναι γενικά περιεκτικά στην εκτίμησή των βασικών υδρολογικών διαδικασιών, μπορούν παρόλα αυτά να αποτύχουν να υπολογίσουν τις πηγές της μεταβλητότητας, που ελέγχουν κατά ένα μεγάλο μέρος αυτές τις διαδικασίες.
- Αυτή η αποτυχία μπορεί να οφείλεται στα μεγέθη του πλέγματος που είναι πάρα πολύ μεγάλα ή στην έλλειψη εκτίμησης του αντίκτυπου των διαφορετικών πηγών μεταβλητότητας.
- Το σημαντικό πλεονέκτημα των μοντέλων προσομοίωσης των φυσικών διεργασιών πέρα από άλλες προσεγγίσεις δεν μπορεί να αναμένεται να αυξηθεί εκτός εάν ληφθούν υπόψη τα αποτελέσματα των κρίσιμων πηγών μεταβλητότητας.
- Ο βαθμός στον οποίο ένα μοντέλο λαμβάνει υπόψη την κρίσιμη χωρική μεταβλητότητα έχει σημαντικές επιπτώσεις στις απαιτήσεις των δεδομένων του μοντέλου, στην κλίμακα του πλέγματος και στις κλίμακες μέτρησης.

## ➤ Εισαγωγή

- Ενώ οι ακόλουθες εκτιμήσεις αναφέρονται σε συγκεκριμένες υδρολογικές εφαρμογές θα πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά την ανάπτυξη ή την εφαρμογή ενός κατανεμημένου υδρολογικού μοντέλου, ως εξής:
- **Απαιτήσεις δεδομένων:** Η επίδραση της κλίμακας στη χωρική μεταβλητότητα υποδεικνύει τουλάχιστον δύο λόγους γιατί τα σχεδόν απεριόριστα στοιχεία και οι απαιτήσεις του υπολογιστή θα μπορούσαν να μην είναι απαραίτητο να συναντηθούν για να προσομοιώσουν τις υδρολογικές διαδικασίες σε φυσική βάση.
- Καταρχάς, η αύξηση της κλίμακας ενδιαφέροντος εισάγει πρόσθετες πηγές μεταβλητότητας τα αποτελέσματα της οποίας στην υδρολογική συμπεριφορά μπορεί να εντάσσονται σε εκείνων από μικρότερες κλίμακες.
- Άρα από τα συμφραζόμενα προκύπτει ότι η μεγαλύτερη ποιότητα δεδομένων μπορεί να μην σημαίνει μεγαλύτερη ακρίβεια αλλά απλά να σημαίνει περισσότερη πληροφορία.

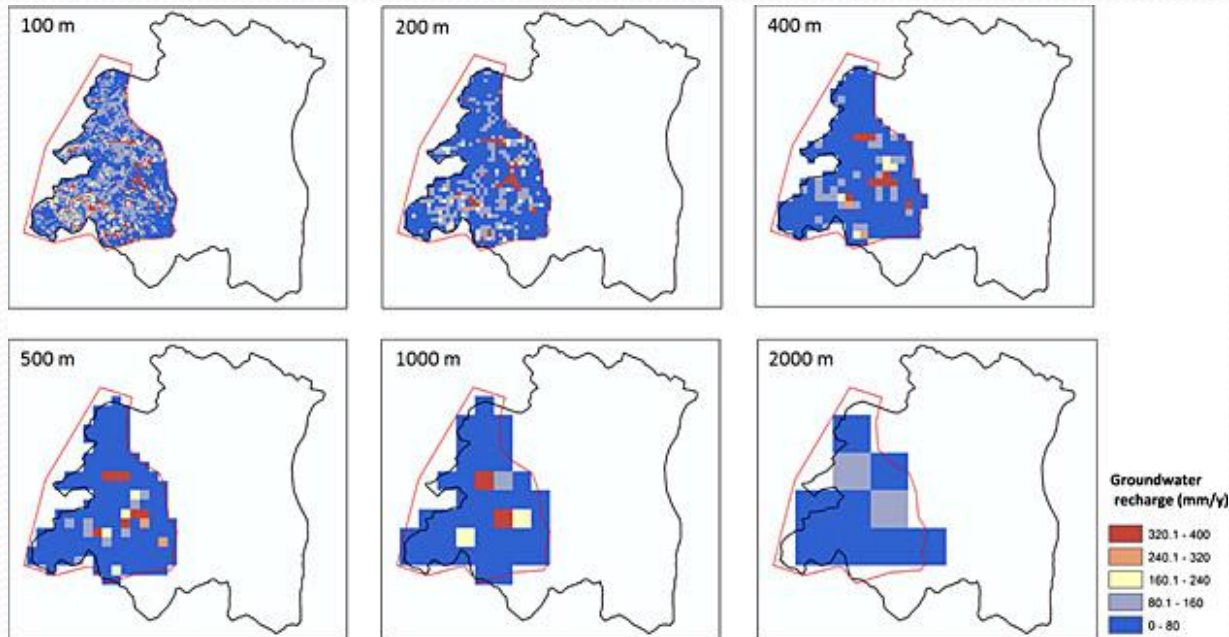


## ➤ Εισαγωγή

- **Κλίμακα πλέγματος (Grid scale)**: Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας είναι το μέγεθος πλέγματος του μοντέλου.
- Τα φυσικά μοντέλα υπολογίζουν γενικά τη χωρική ετερογένεια με εισαγωγές δεδομένων στους κόμβους ενός πλέγματος.
- Οι παράμετροι ενός σημείου του πλέγματος θεωρούνται ότι γενικά αναπαριστούν ένα ομοιογενές πλέγμα το οποίο οδηγεί σε εμπειρικά αποτελεσματικές παραμέτρους.
- Αυτή η προσέγγιση είναι απαραίτητη για υπολογιστικούς λόγους και επιτρέπει την ενσωμάτωση ποικίλων δεδομένων εισαγωγής μέσω των γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών.
- Το μέγεθος του πλέγματος θα πρέπει να καθοριστεί μέσα στο πλαίσιο της φύσης της μεταβλητότητας.
- Το πλέγμα πρέπει να είναι αρκετά μικρό για να περιγράψει τη σημαντική προσδιοριστική μεταβλητότητα.

# ➤ Εισαγωγή

- **Κλίμακα μέτρησης (Measurement scale):** Πολλά από τα προβλήματα που συνδέονται με τη χωρική μεταβλητότητα και την κλίμακα σχετίζονται με την κλίμακα της μέτρησης.
- Έχει προταθεί ότι η ανάπτυξη των μεγάλης κλίμακας τεχνικών μέτρησης, με την τηλεπισκόπηση για παράδειγμα, θα παρέχει τα δεδομένα εισαγωγής σε ένα μοντέλο και θα το επαληθεύει, πράγμα το οποίο θα εξαλείψει κατά ένα μεγάλο μέρος τα προβλήματα σχετικά με τη χωρική μεταβλητότητα.





## ➤ Εισαγωγή

- Εάν υποεπιλέγεται ένα συγκεκριμένο σύνολο δεδομένων, η σημαντική διακύμανση στο χώρο θα χαθεί προκαλώντας λάθος στα αποτελέσματα του μοντέλου.
- Όταν έχουμε πολύ καλή διακριτική ικανότητα, η υπερδειγματοληψία σπαταλά τον αποθηκευτικό χώρο του υπολογιστή και αναγκάζει το μοντέλο να «τρέξει» πιο αργά.
- Το ιδανικό είναι να βρεθεί η διακριτική ικανότητα που επιλέγει επαρκώς το δείγμα των δεδομένων με σκοπό την προσομοίωση, αλλά ακόμα να μην είναι τόσο μεγάλη ώστε να προκαλεί υπολογιστική ανικανότητα.
- Θα υποθέσουμε ότι το σύστημα GIS που χρησιμοποιείται για να εκτελέσει την υδρολογική ανάλυση των δεδομένων εισαγωγής έχει την ικανότητα της διατήρησης κάθε χάρτη με τη δική του διακριτική ικανότητα.

## ➤ Εισαγωγή

- Η τοπογραφία και οι παραγόμενες παράμετροι όπως η κλίση μπορεί να είναι σε μια σχετικά μεγάλη διακριτική ικανότητα που υπαγορεύεται από το διαθέσιμο **DEM**, για παράδειγμα στο βαθμό των **30 μ.** ενώ οι εκτιμήσεις βροχόπτωσης που προέρχονται από **ραντάρ ή από δορυφόρο**, μπορούν να είναι **4 χλμ.** ή μεγαλύτερες.
- Κατά πόσο η βροχόπτωση επιλέγεται επαρκώς για το μέγεθος της λεκάνης, εξαρτάται από τις σχετικές κλίμακες.
- Η βροχόπτωση στα 4 χλμ. μπορεί να είναι επαρκής για τη προσομοίωση της απορροής που παράγεται σε έναν υδροκρίτη 1200 km<sup>2</sup>.
- Όμως μια τέτοια μικρή, «χονδροειδής» διακριτική ικανότητα δεν θα ήταν επαρκής για μια μικρότερη λεκάνη εμβαδού 1-2 km<sup>2</sup>.

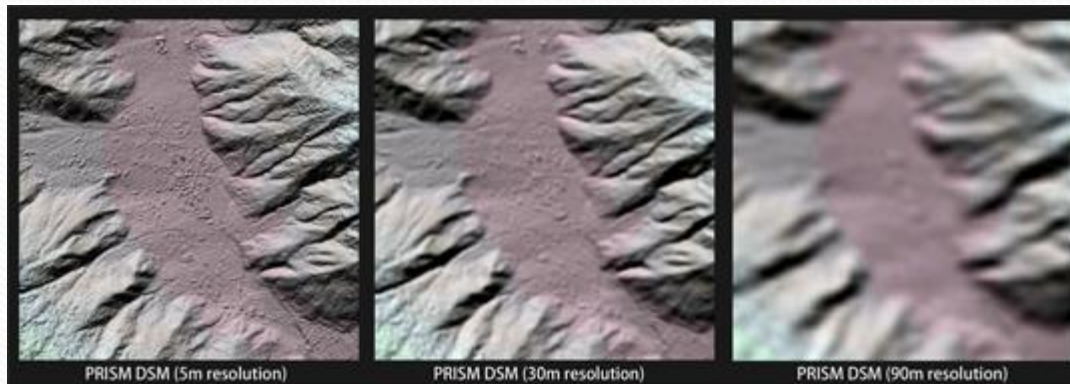


## ➤ Επίδραση διακριτικής ικανότητας σε ένα DEM

- Εφαρμόζοντας επαναδειγματοληψία σε ένα **DEM** με μικρότερες διακριτικές ικανότητες, σημαίνει ότι παίρνουμε την πραγματική διακριτική ικανότητα και την μειώνουμε με την επιλογή του κελιού το οποίο είναι κοντύτερα στο κέντρο του νέου μεγαλύτερου μεγέθους κελιού.
- Εάν αυξήσουμε τη διακριτική ικανότητα με περιττά πολλαπλάσια της αρχικής διακριτικής ικανότητας (για παράδειγμα με κελιά 3x3 ή 5x5), το κεντρικό κελί του παραθύρου θα χρησιμοποιηθεί σαν υψόμετρο για το νέο μεγαλύτερο κελί.
- Καθώς η επαναδειγματοληψία προχωράει, τα τοπογραφικά δεδομένα γίνονται ένα σύνολο δεδομένων όλο και μεγαλύτερων κελιών.
- Η επαναδειγματοληψία είναι μια διερεύνηση των επιδράσεων της χρησιμοποίησης των μεγαλύτερων μεγεθών κελιών στην υδρολογική μοντελοποίηση.

## ➤ Επίδραση διακριτικής ικανότητας σε ένα DEM

- Το κατάλληλο μέγεθος κελιού ή η **διακριτική ικανότητα**, είναι το μεγαλύτερο από όλα που ακόμα διατηρεί τα απαραίτητα χαρακτηριστικά των ψηφιακών δεδομένων και τα χωρικά τους χαρακτηριστικά ή τη χωρική κατανομή τους.
- Για να κάνουμε μια εκτίμηση για το πώς το περιεχόμενο πληροφορίας συσχετίζεται με τη χωρική μεταβλητότητα, αρχίζουμε με μια επίπεδη επιφάνεια.
- Η πληροφοριακή εντροπία που εφαρμόζεται στις χωρικά μεταβλητές παραμέτρους ή τα δεδομένα εισόδου των χαρτών είναι χρήσιμη στην αξιολόγηση της διακριτικής ικανότητας που δεσμεύει το περιεχόμενο της πληροφορίας.



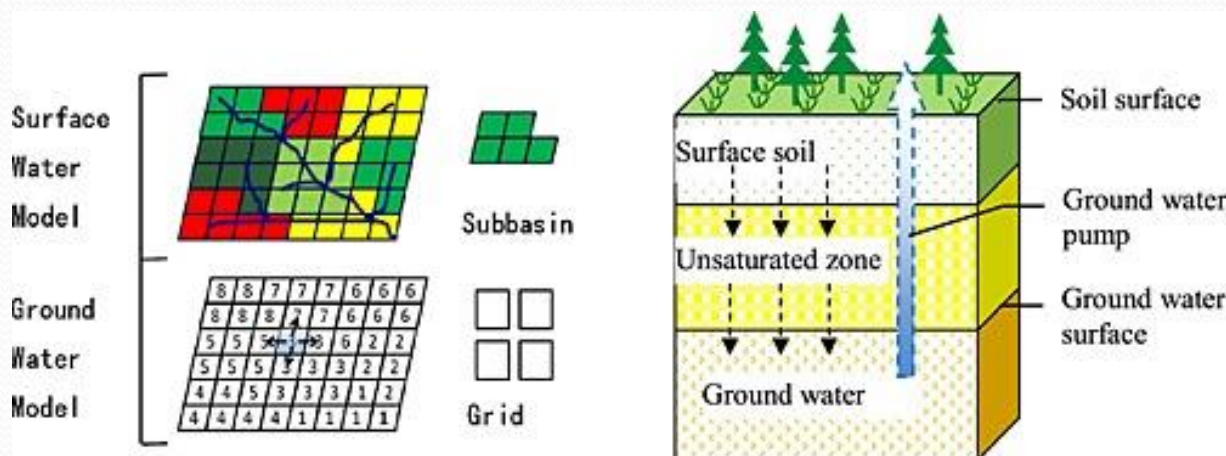


## ➤ Επίδραση διακριτικής ικανότητας σε ένα DEM

- Η επιλογή της διακριτικής ικανότητας έχει μια σημαντική επίδραση στην υδρολογική προσομοίωση.
- Η επιλογή ενός DEM με μικρότερη «χονδροειδή» διακριτική ικανότητα (coarser) παράγοντας κλίσεις από αυτό και χρησιμοποιώντας το σε ένα μοντέλο επιφανειακής απορροής, έχει δύο βασικές επιδράσεις:
  - Η μία είναι να μικρύνει το μήκος της λεκάνης απορροής επειδή πολλοί από τους φυσικούς μαιάνδρους ή η στρεβλότητα του αποστραγγιστικού δικτύου δημιουργεί ελαττωματικές ενώσεις μέσα στο πλέγμα συνδέοντας τα ψηφιδωτά κελιά του πλέγματος μαζί, στη διεύθυνση της κύριας κλίσης.
  - Η άλλη επίδραση είναι η εξομάλυνση της κλίσης λόγω μιας δειγματοληψίας των λοφωδών περιοχών και των κοιλάδων σε πάρα πολύ μικρή «χονδροειδή» διακριτική ικανότητα.

# ➤ Επίδραση διακριτικής ικανότητας σε ένα DEM

- Μπορούμε να το σκεφτούμε αυτό με το να κόψουμε τις λοφώδεις κορυφές και να γεμίσουμε τις κοιλάδες.
- Αυτές οι επιδράσεις μαζί μπορεί να έχουν αντισταθμιστικά αποτελέσματα στην προκύπτουσα συμπεριφορά του υδρογραφήματος.
- Ένα μικρότερο σε μήκος αποστραγγιστικό δίκτυο μειώνει το χρόνο που χρειάζεται η απορροή από το σημείο δημιουργίας της ως την έξοδό της (**outlet**).





## ➤ Επίδραση διακριτικής ικανότητας σε ένα DEM

- Η πυκνότητα και η μορφή των αποστραγγιστικών δικτύων εξαρτώνται ιδιαίτερα από την ομαλοποίηση των υψομέτρων κατά τη διάρκεια του σταδίου αφαίρεσης των κοιλωμάτων στην εξαγωγή δικτύων.
- Στην πραγματικότητα, εάν δεν εφαρμοζόταν η **ομαλοποίηση** στο **DEM** πριν από την εξαγωγή του δικτύου των ρεμάτων το αποτέλεσμα δεν θα έμοιαζε με δίκτυο.
- Ενώ η ομαλοποίηση μπορεί να είναι πρόσφορη, μπορεί να έχει επιβλαβή αποτελέσματα, με άλλα λόγια ανεπιθύμητες παραλλαγές στη χαραγμένη περιοχή της λεκάνης απορροής.
- Τα αποτελέσματα στην υδρολογική μοντελοποίηση υπολογίζονται χρησιμοποιώντας το περιεχόμενο της πληροφορίας.
- Αυτό επηρεάζεται από δύο τύπους φίλτρων: τη **λείανση** και τη **συσσώρευση** των κελιών.

## ➤ Επίδραση διακριτικής ικανότητας σε ένα DEM

- **Λείανση και συσσώρευση κελιών:** Η επιλογή του μεγέθους του κελιού είναι σημαντική στην δέσμευση της χωρικής μεταβλητότητας του DEM.
- Η ομαλοποίηση είναι συχνά απαραίτητη πριν από την αυτόματη χάραξη της λεκάνης απορροής και του υδρογραφικού δικτύου για να μειώσει το μεγάλο ή μικρό αριθμό των άστοχων σημείων που αναφέρονται και σαν κοιλώματα ή ακίδες (pits and spikes).
- Η ομαλοποίηση και η επαναδειγματοληψία σε μικρότερες διακριτικές ικανότητες έχουν την επίδραση της εξομάλυνσης της κλίσης που προκύπτει από ένα τέτοιο φιλτραρισμένο DEM.
- Μια σχεδόν γραμμική σχέση βρίσκεται μεταξύ της καθυστερημένης συμπεριφοράς του υδρογραφήματος και της απώλειας της σχετικής πληροφοριακής εντροπίας λόγω της ομαλοποίησης και της συσσώρευσης.
- Το λάθος που εισήχθη στην προσομοίωση δεν ήταν σταθερό για όλες τις εντάσεις βροχοπτώσεων.

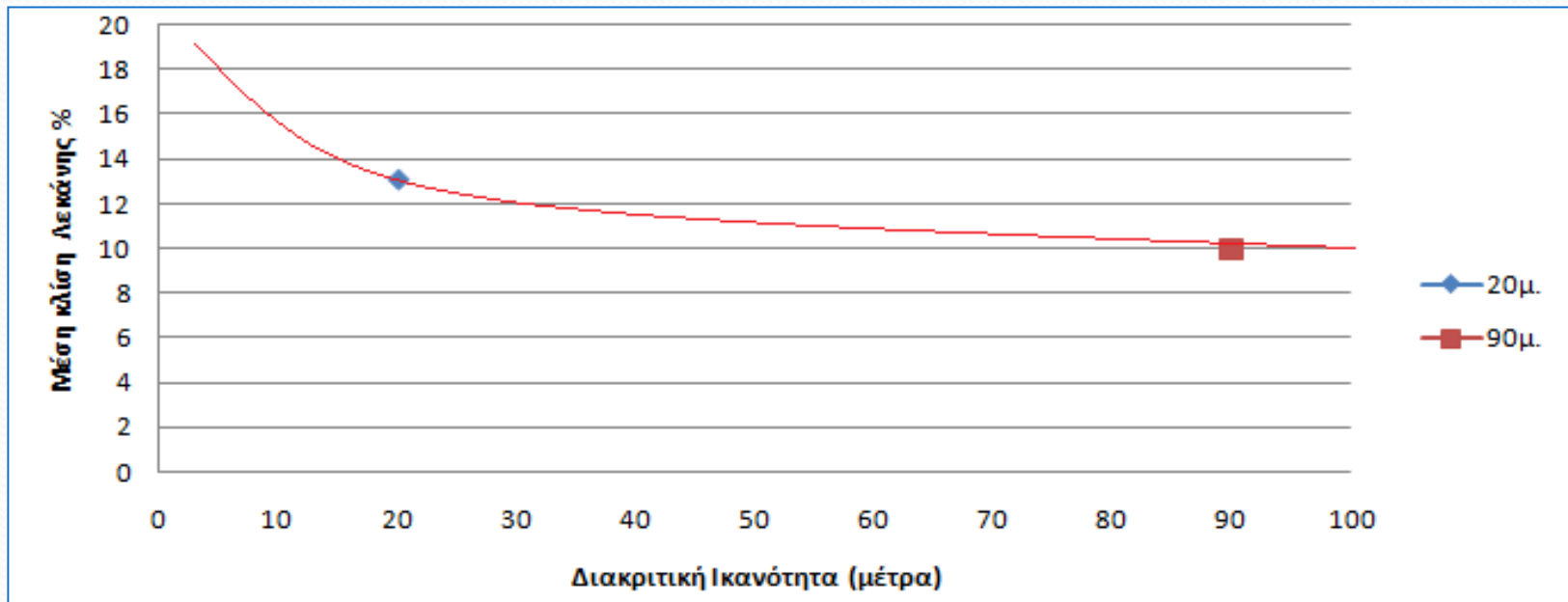


## ➤ Επίδραση διακριτικής ικανότητας σε ένα DEM

- Τα εντονότερα περιστατικά εμφάνισαν μικρότερη αλλαγή στην αντίδραση στο φιλτράρισμα από ότι τα λιγότερο έντονα περιστατικά.
- Επειδή τα εντονότερα γεγονότα πέτυχαν την ισορροπία γρηγορότερα, οι αλλαγές στη χωρική μεταβλητότητα επηρεάστηκαν λιγότερο.
- Εντούτοις, σπάνια στη φύση ένα ισορροπημένο υδρογράφημα σημαίνει ότι τα δεδομένα εισόδου είναι ίσα με τα δεδομένα εξόδου.
- Όταν τα δεδομένα εισόδου (υπερβολικές βροχοπτώσεις) ισούνται με τα δεδομένα εξόδου (παροχή στην έξοδο), οι επιδράσεις της χωρικής μεταβλητότητας στα δεδομένα εξόδου δεν είναι πλέον εμφανείς.
- Οι επιδράσεις της διακριτικής ικανότητας στο περιεχόμενο της πληροφορίας του υψομέτρου και της κλίσης μπορούν να επηρεάσουν τη μοντελοποιημένη συμπεριφορά, που στηρίζεται στο μήκος και την κλίση της αποστράγγισης της λεκάνης.

# ➤ Επίδραση διακριτικής ικανότητας σε ένα DEM

- Με την συνεχή μείωση της διακριτικής ικανότητας προκύπτει λοιπόν μια μείωση στη μέση κλίση της λεκάνης απορροής του ποταμού Σπερχειού, όπως φαίνεται στο σχήμα:



**Σχήμα:** Ομαλοποίηση της κλίσης λόγω της μείωσης της διακριτικής ικανότητας.



## ➤ Επίδραση διακριτικής ικανότητας σε ένα DEM

- Η χρησιμοποίηση ενός DEM διαφορετικής διακριτικής ικανότητας μπορεί να παραγάγει διαφορετικά υδρογραφήματα λόγω της εξομάλυνσης της κλίσης.
- Κατά την επαναδειγματοληψία από τα 20μ. στα 90 μ. το περιεχόμενο της πληροφορίας μειώνεται επίσης, οπότε παράγοντας τους χάρτες κλίσεων μειώνεται σταθερά η μέση κλίση των λεκανών.
- Η επαναδειγματοληψία ενός DEM σε μια μικρότερη διακριτική ικανότητα μειώνει την κλίση που προκύπτει από αυτό.
- Η επαναδειγματοληψία ενός DEM από τα 20μ. στα 90μ. και η παραγωγή του χάρτη κλίσεων παρουσιάζουν τη μέση κλίση να μειώνεται από 13.10% σε 9.95%.
- Αυτό μπορεί να είναι ένας αποδεκτός βαθμός εξομάλυνσης δεδομένου ότι ο αποθηκευτικός χώρος του υπολογιστή μειώνεται κατά  $20^2/90^2$  δηλαδή κατά περίπου 1/20 από αυτόν που απαιτείται για να αποθηκευτεί ένα DEM με διακριτική ικανότητα 20μ.

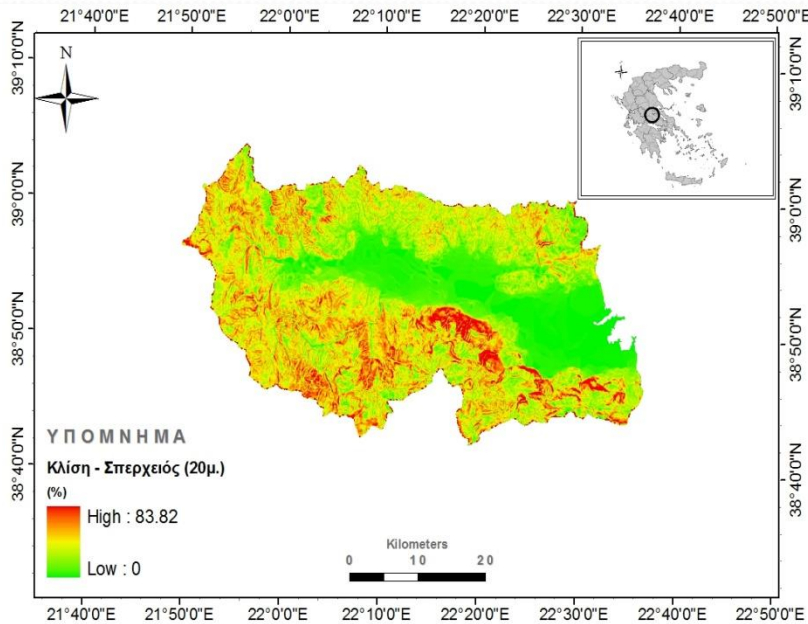
## ➤ Επίδραση διακριτικής ικανότητας σε ένα DEM

- Εκτός από τη μείωση του αποθηκευτικού χώρου που απαιτείται για το DEM, η επόμενη υπολογιστική προσπάθεια θα είναι αποδοτικότερη σε μικρότερη διακριτική ικανότητα.
- Μια φυσική ερμηνεία είναι ότι οι λοφώδεις κλίσεις δεν επανεπιλέγονται επαρκώς, με συνέπεια ένα «κόψιμο» των λοφωδών κορυφών και την πλήρωση των κοιλάδων.
- Δεδομένου ότι η κλίση προέρχεται τα DEM μικρότερης διακριτικής ικανότητας, οι πιο απότομες κλίσεις μειώνονται τοπικά και έχουν αντίκτυπο στη μείωση της μέσης κλίσης.
- Τα ακόλουθα σχήματα απεικονίζουν δύο χάρτες που παράγονται από DEM που έχουν υποστεί επαναδειγματοληψία για τη λεκάνη απορροής του ποταμού Σπερχειού με διακριτική ικανότητα 20μ. και 90μ. αντίστοιχα.
- Από τους 2 χάρτες είναι διαφορές στην ανάλυση και στην ακρίβεια των πληροφοριών είναι εμφανείς.

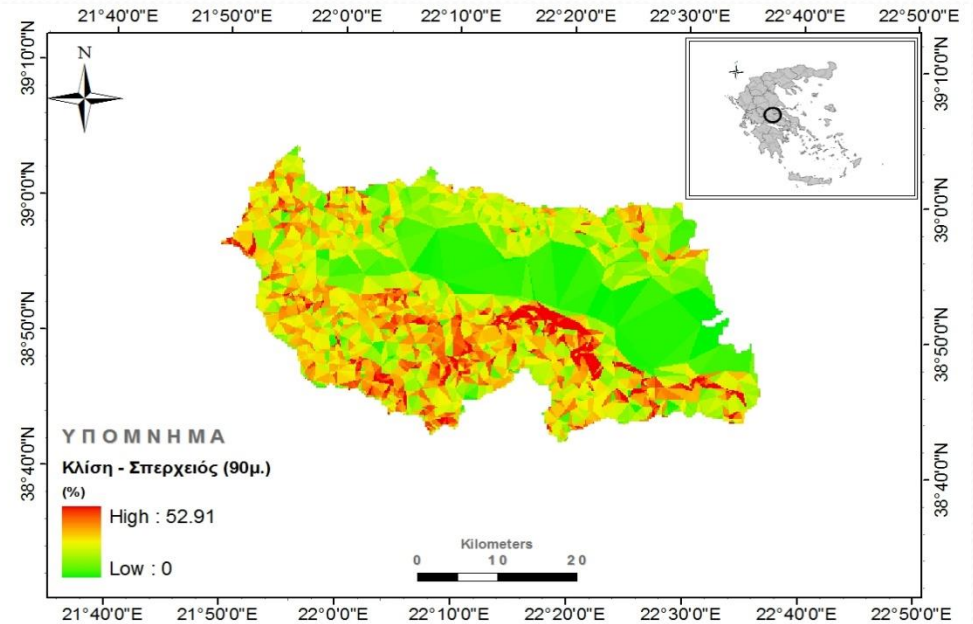


# ➤ Επίδραση διακριτικής ικανότητας σε ένα DEM

- Χάρτες με διακριτική ικανότητα 20μ. και 90μ. αντιστοίχα:



20μ.



90μ.

## ➤ Επίδραση διακριτικής ικανότητας σε ένα DEM

- Ο χάρτης με διακριτική ικανότητα 90μ. παρουσιάζει μια πιο «χονδροειδή» ανάλυση σε σχέση με το χάρτη διακριτικής ικανότητας 20μ..
- Αναμενόμενο είναι το γεγονός ότι η μέγιστη κλίση παρουσιάζει αισθητή διαφορά μεταξύ των δύο αναλύσεων.
- Ο πίνακας κάνει μια σύνοψη των χαρακτηριστικών των δύο χαρτών:

Διακριτική ικανότητα (μ.)	Μέση Κλίση Λεκάνης απορροής (%)	Μέγιστη Κλίση Λεκάνης απορροής (%)
20	13.10	83.82
90	9.95	52.91

- Παράλληλα η απώλεια του περιεχομένου της πληροφορίας μειώνεται σε σχετική βάση σε σύγκριση με την μεγαλύτερη (καλύτερη) διακριτική ικανότητα (**fine resolution**) καθώς επίσης και η μέση κλίση.



## ➤ Επίδραση διακριτικής ικανότητας σε ένα DEM

- **Σχετική απώλεια** είναι το ποσό που χάθηκε σε σχέση με την πληροφοριακή εντροπία ή την κλίση σε διαφορετική διακριτική ικανότητα.
- Η μείωση στη μέση κλίση είναι περίπου δύο φορές η απώλεια στο περιεχόμενο της πληροφορίας.
- Με την επαναδειγματοληψία (**Resampling**), εάν το περιεχόμενο της πληροφορίας μειώνεται κατά 100%, τότε πρέπει να αναμένεται μια μείωση 50% στη μέση κλίση.
- Το ποσοστό μείωσης για τις άλλες περιοχές θα εξαρτηθεί από την βασική διακριτική ικανότητα που θα τεθεί στην αρχή και τις κλίμακες μήκους της τοπογραφίας σε σχέση με την διακριτική ικανότητα.

## ➤ Επίδραση διακριτικής ικανότητας σε ένα DEM

- Το περιεχόμενο της πληροφορίας είναι χρήσιμο για τον χαρακτηρισμό της χωρικής μεταβλητότητας των παραμέτρων που επηρεάζουν την κατανεμημένη υδρολογική μοντελοποίηση.
- Για τον χαρακτηρισμό της διακύμανσης των χωρικών δεδομένων έχουν αναπτυχθεί και άλλες μέθοδοι.
- Σε κάθε περίπτωση, η όποια μέθοδος θα πρέπει να παρέχει μια ισχυρή στατιστική (ανάλυση) για τον χαρακτηρισμό των επιδράσεων της διακριτικής ικανότητας και του χωρικού φιλτραρίσματος το οποίο είναι συχνά απαραίτητο στην προετοιμασία των παραμέτρων από γεωχωρικά δεδομένα.

