



ΔΗΜΟΚΡΙΤΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΡΑΚΗΣ

Πολυτεχνική Σχολή
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών
Εργαστήριο Υδρολογίας και Υδραυλικών Έργων

Μάθημα: ΥΔΡΟΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ

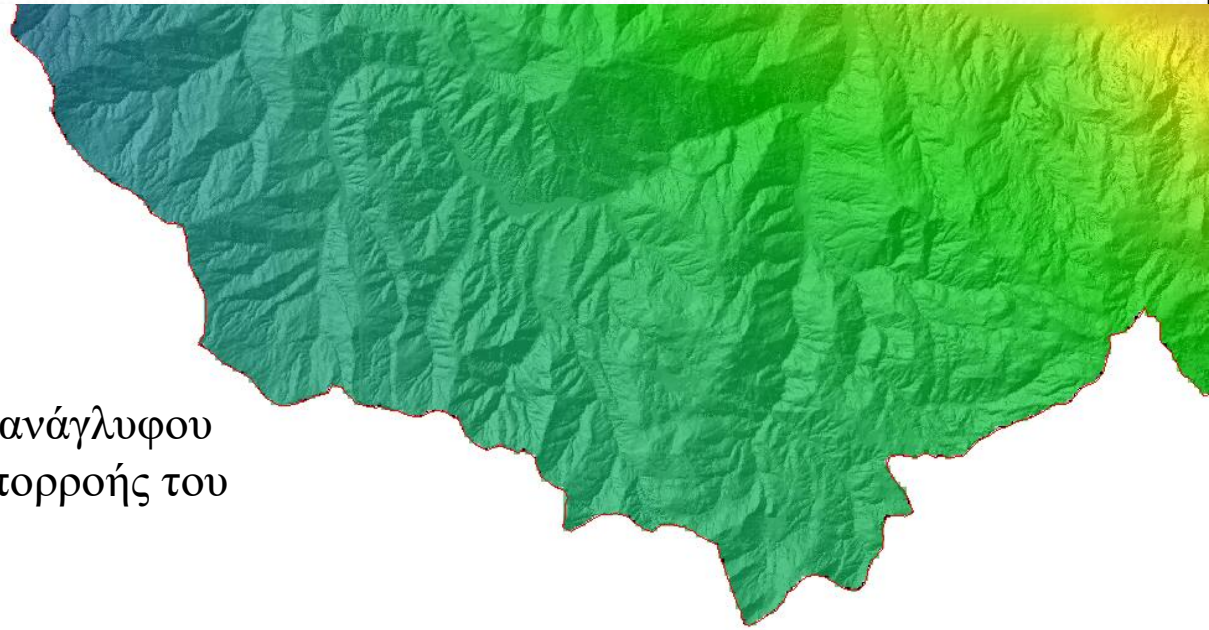
4^η Διάλεξη : Δημιουργία Επιφανειών

Φώτιος Π. Μάρης, Καθηγητής Δ.Π.Θ.

Πηγή:

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

➤ Εισαγωγή



Σχήμα 4.1. Σκίαση τοπογραφικού ανάγλυφου στην ορεινή περιοχή της λεκάνης απορροής του ποταμού Σπερχειού

- Η εικόνα του σκιασμένου ανάγλυφου του σχήματος 4.1 είναι τμήμα της λεκάνης απορροής του ποταμού Σπερχειού. Η εικόνα αυτή αποκαλύπτει μια πλειάδα από φαράγγια τα οποία σχηματίζουν το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής. Το συγκεκριμένο ψηφιακό μοντέλο υψομέτρων (DEM), έχει προκύψει από ένα DEM πλεγματικής μορφής (grid), διακριτικής ικανότητας 20 μέτρων, το οποίο παρήχθη από την ψηφιοποίηση των ισοϋψών καμπυλών των χαρτών της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού.

➤ Εισαγωγή

- Η σημασία της ψηφιδωτής μορφής δεδομένων για την υδρολογία είναι πολύ σημαντική.
- Ο μετασχηματισμός από σημειακές σε ψηφιδωτές μορφές δεδομένων, υλοποιείται συχνά μέσω της παρεμβολής μιας επιφάνειας.
- Αυτή η επιφάνεια αναπτύσσεται γενικά με την παρεμβολή ενός πλεγματού κελιού (grid-cell), από τις σημειακές τιμές που έχουμε διαθέσιμες για την εκάστοτε περιοχή μελέτης.
- Ακόμα κι αν δεν απαιτείται να γίνει μια επιφάνεια, εντούτοις μπορεί να απαιτούνται οι σημειακές σε διαφορετικές θέσεις από το μετρημένο σημείο.
- Εκεί είναι απαραίτητη η **παρεμβολή (interpolation)**, άσχετα αν χρειάζεται ή όχι, ένα ολόκληρο πλέγμα κελιών

➤ Εισαγωγή

- Υπάρχουν πολλές εφαρμογές δημιουργίας επιφανειών όπως τα **ArcGIS** και **ArcView** από την **ESRI**, ή το λογισμικό **GRASS**.
- Είναι πολύ σημαντικό να κατανοηθεί σωστά η δημιουργία επιφανειών (πώς παράγονται δηλαδή αυτές οι επιφάνειες), όπως επίσης και να γίνει αντιληπτή η επιρροή της επιφάνειας που δημιουργήθηκε στις εφαρμογές της γεωπληροφορικής καθώς και κάποιες παγίδες που μπορεί να προκύψουν κατά το σχεδιασμό.
- Στον τομέα της χωρικής στατιστικής την αποκαλούμενη συνήθως και **γεωστατιστική** έχει γίνει πολλή δουλειά.
- Αυτός ο τύπος των στατιστικών, διακρίνεται από το γεγονός ότι τα δείγματα δεδομένων κατά κανόνα είναι αυτό-συσχετισμένα (**auto-correlated**) και συνεπώς είναι στατιστικά εξαρτώμενα από κάποιο εύρος ή κλίμακα μήκους.

➤ Εισαγωγή

- Η θερμοκρασία, οι βροχοπτώσεις και η τοπογραφία, μαζί με την κλίση και την έκθεση (**aspect**) καθώς και οι εδαφολογικές ιδιότητες και το γεωλογικό υπόθεμα, μετρούνται βέβαια σε ένα σημείο, αλλά απαιτείται η ψηφιοποίηση των δεδομένων, προκειμένου να εισαχθούν ως δεδομένα εισόδου σε μια υδρολογική γεωεφαρμογή.
- Κατά την δημιουργία μιας επιφάνειας από τα ακανόνιστα διεσπαρμένα σημειακά δεδομένα, θα πρέπει να επιλέξουμε εάν η δημιουργία αυτή θα γίνει:
 1. Κάνοντας απευθείας παρεμβολή στα ακανόνιστα διεσπαρμένα σημειακά δεδομένα, ή
 2. Τακτοποιώντας τα δεδομένα σε ένα πλέγμα και στη συνέχεια δημιουργώντας την επιφάνεια ή εφαρμόζοντας κάποιον αλγόριθμο παρεμβολής της επιφάνειας.

➤ Εισαγωγή

- Η **πρώτη μέθοδος** υλοποιείται χρησιμοποιώντας τα δεδομένα σε μορφή **TIN** και η οποία έχει το πλεονέκτημα ότι οι πραγματικές απόψεις ή οι φυσικές γραμμικές οντότητες που παρεμβάλλονται και «διακόπτουν» το ανάγλυφο (**breaklines**) μιας επιφάνειας, μπορούν να διατηρηθούν.
- Ο καθορισμός και η χαρακτηριστική δομή των δεδομένων **TIN** έχουν το πλεονέκτημα της ελαχιστοποίησης του χώρου αποθήκευσής τους στον υπολογιστή, διατηρώντας μια ακριβή και πιστή αναπαράσταση της επιφάνειας.
- Τα δίκτυα ακανόνιστων τριγώνων (**TIN**), είναι αναπαραστάσεις επιφανειών και μπορούν να συμπεριληφθούν στη γεωχωρική ανάλυση σαν μια μορφή δημιουργίας επιφανειών.
- Τα **TIN**, είναι πολύ χρήσιμα, διότι οι ισοϋψείς καμπύλες, παρεμβάλλονται (**interpolated**) εύκολα κατά μήκος της κάθε όψης (**facet**).

➤ Εισαγωγή

- Η **δεύτερη μέθοδος** έχει το πλεονέκτημα της απευθείας δημιουργίας μιας ψηφιδωτής μορφής δεδομένων, με μια ομαλή (**smooth**) εμφάνιση.
- Οι τοπικές κλίσεις μπορεί να μην είναι ιδιαίτερα σημαντικές στην κλίμακα των λεκανών απορροής επειδή δεν μειώνεται ο σφαιρικός μέσος όρος των κλίσεων λόγω της τοπικής ομαλοποίησης.
- Εντούτοις, οι τοπικές κλίσεις και η σχετιζόμενη κλίση, μπορούν να είναι ιδιαίτερα σημαντικές για τη μοντελοποίηση της διάβρωσης και της μεταφοράς ιζημάτων.
- Αν και η δεύτερη μέθοδος έχει το πλεονέκτημα ότι δημιουργεί σαν αποτέλεσμα μια ομαλότερη επιφάνεια, αυτή η ομαλότητα παρόλο που είναι ευχάριστη οπτικά, μπορεί ενδεχομένως να εξαλείψει πραγματικές επιφανειακές απόψεις (facets) ή κάποια φυσικά γραμμικά χαρακτηριστικά, όπως για παράδειγμα δρόμους, υδρογραφικό δίκτυο κ.λπ. (breaklines).

➤ Μέθοδοι δημιουργίας επιφανειών

- Η παρεμβολή (**interpolation**) από διεσπαρμένα δεδομένα είναι ένας πολύ καλά ανεπτυγμένος τομέας της γεωπληροφορικής με προφανείς εφαρμογές στην υδρολογία.
- Έχουν αναπτυχθεί διάφορες νέες μαθηματικές τεχνικές για την δημιουργία επιφανειών. Αν και οι επιφάνειες που παράγονται από περίπλοκες μαθηματικές προσεγγίσεις, λύνουν το πρόβλημα της παρεμβολής, εντούτοις παραμένουν διάφορα ερωτήματα ως προς τη χρησιμότητα ή την πρακτική εφαρμογή στις διάφορες εφαρμογές, όπως η υδρολογία.
- Η δημιουργία μιας επιφάνειας είναι μια γενικότερη περίπτωση παρεμβολής υπό την έννοια ότι απαιτείται μια τιμή σε κάθε κελί πλέγματος της ψηφιδωτής διάταξης που προκύπτει από τα σημειακά δεδομένα.

➤ Μέθοδοι δημιουργίας επιφανειών

- Μεταξύ των πολλών μεθόδων για την δημιουργία μιας 2-διάστατης επιφάνειας από σημειακά δεδομένα, θα εξεταστούν μόνο μέθοδοι οι οποίες βρίσκουν καθημερινή και εύκολη εφαρμογή στις υδρολογικές μελέτες:
 - **Inverse distance weighting - IDW** (Αντίστροφη στάθμιση απόστασης)
 - Μέθοδος **Thin Splines**
 - Μέθοδος γραμμικής παρεμβολής **Kriging**

➤ Μέθοδοι δημιουργίας επιφανειών

- Το πρόβλημα με όλες αυτές τις μεθόδους όταν εφαρμόζονται στα ψηφιακά μοντέλα υψομέτρων ή στους γεωφυσικούς τομείς όπως στις βροχοπτώσεις, την επιφανειακή ροή, τον άνεμο, ή τις εδαφολογικές ιδιότητες είναι ότι κάποια ζωτικής σημασίας πτυχή των φυσικών χαρακτηριστικών διαστρεβλώνεται ή είναι απλά λανθασμένη.
- Τα προβλήματα που προκύπτουν κατά τη δημιουργία μιας επιφάνειας από σημειακά δεδομένα, είναι:
- Οι κλίσεις παρουσιάζονται σαν σχεδιαστικά λάθη (**artifacts**), όπως για παράδειγμα η «επίδραση της τέντας από πασσάλους» (**tent-pole effect**)
- Οι ασυνέχειες και τα φυσικά «σπασίματα», όπως τα αναχώματα ή τα πρανή των ρεμάτων πολλές φορές δεν διατηρούνται
- Η ομαλοποίηση που προκαλείται μέσα από τα «τακτοποιημένα» πλέγματα μπορεί να εξομαλύνει τις κλίσεις τοπικά αλλά και συνολικά
- Η παρεμβολή στις θεματικές ζώνες, όπως οι τύποι των εδαφών μπορεί να διαστρεβλώσει την φυσική πραγματικότητα.

➤ Μέθοδοι δημιουργίας επιφανειών

- Περαιτέρω δυσκολίες προκύπτουν κατά την εφαρμογή των αλγορίθμων των επιφανειών στις σημειακές μετρήσεις των γεωφυσικών μετρήσεων, όπως οι εδαφολογικές ιδιότητες.
- Η παρεμβολή ή η δημιουργία μιας επιφάνειας μπορεί να εκτείνεται στα φυσικά όρια, με συνέπεια φυσικά να εμφανίζονται μη ρεαλιστικά αποτελέσματα.
- Εξαιτίας αυτού, μπορεί να είναι απαραίτητο να «διακοπεί» η ομαλή επιφάνεια από κάποια φυσικά όρια (**breaklines**) έτσι ώστε τα πραγματικά γραμμικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα, όπως τα ρέματα ή τα πρανή ενός αναχώματος να μπορούν να διατηρηθούν.
- Για κάποιον αριθμό εφαρμογών, στην υδρολογία και τη διαχείριση των υδάτινων πόρων απαιτείται η ποσοτική αξιολόγηση του εύρους της χωρικής κατανομής των κατακρημνίσεων.

➤ Μέθοδοι δημιουργίας επιφανειών

- Έχουν προταθεί πολλές τεχνικές για την χαρτογράφηση σχεδίων βροχοπτώσεων και για την αξιολόγηση των μέσων τοπικών βροχοπτώσεων σε μια λεκάνη απορροής με τη χρησιμοποίηση των σημειακών μετρήσεων, όπως για παράδειγμα των βροχόμετρων.
- Οι μέθοδοι για την παρεμβολή των κατακρημνίσεων από τα σημειακά δεδομένα εδάφους, κυμαίνονται από τεχνικές βασισμένες στα πολύγωνα **Thiessen** (Thiessen, 1911) και την απλή ανάλυση τάσης της επιφάνειας, την αντίστροφη στάθμιση απόστασης, την πολυ-τετραγωνική προσαρμογή επιφάνειας και από τους τριγωνισμούς του **Daulaney** έως τις περιπλοκότερες στατιστικές μεθόδους.
- Μεταξύ των στατιστικών μεθόδων, οι γεωστατιστικές τεχνικές παρεμβολής όπως η **Kriging** έχουν συχνά εφαρμοστεί στη χωρική ανάλυση των κατακρημνίσεων.

➤ Μέθοδοι δημιουργίας επιφανειών

- Η μέθοδος Kriging απαιτεί την ανάπτυξη ενός στατιστικού μοντέλου, που να περιγράφει τη διακύμανση, σαν λειτουργία διαχωρισμού της απόστασης.
- Μόλις αναπτυχθεί το βασικό στατιστικό μοντέλο, η επιφάνεια δημιουργείται με τη στάθμιση των γειτονικών υψομέτρων, σύμφωνα με την απόσταση διαχωρισμού.
- Αυτή είναι ίσως ο πιο κρίσιμος και δύσκολος στόχος, δεδομένου ότι η επιλογή είναι κάπως αυθαίρετη.
- Στις επόμενες ενότητες, θα εξετάσουμε λεπτομερέστερα την εφαρμογή στην υδρολογία των μεθόδων παρεμβολής **IDW**, **Kriging**, και **Splines**, για την δημιουργία επιφανειών που συνίστανται από τα υψόμετρα, τις κατακρημνίσεις, ή κάποια συγκεκριμένη υδρολογική παράμετρο (όπως για παράδειγμα τη βροχόπτωση, κ.τ.λ.).

➤ Inverse Distance Weighted method (IDW)

Inverse distance weighting (IDW)

- Η παρεμβολή **IDW** (Bartier and Keller, 1996) χρησιμοποιείται ευρέως με γεωχωρικά (**geospatial**), δεδομένα. Η γενική εξίσωση για την **IDW** παρεμβολή είναι :

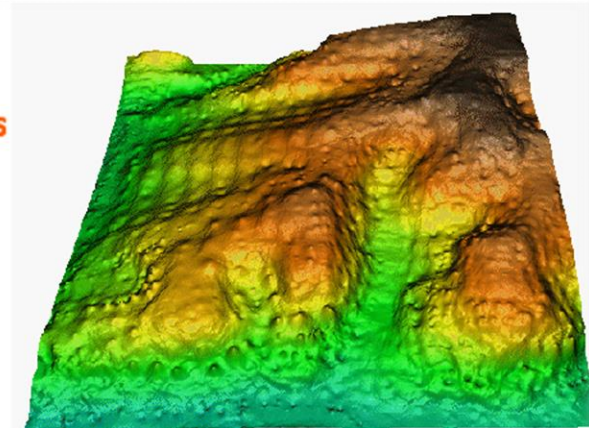
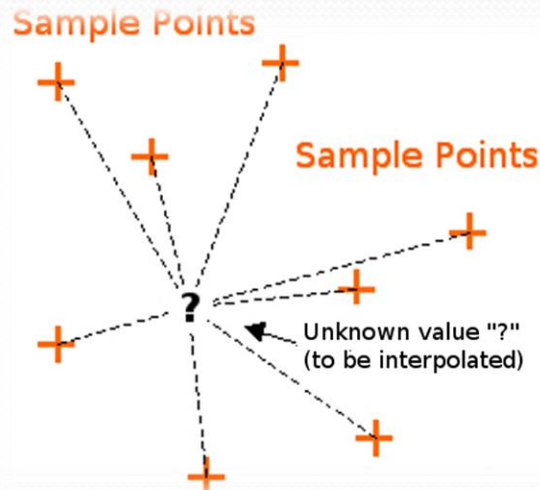
$$Z_{x,y} = \frac{\sum_{i=1}^n Z_i W_i}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

Όπου:

- $Z_{x,y}$ είναι η τιμή του σημείου που βρίσκεται στη θέση με συντεταγμένες x, y που θα υπολογιστεί
- Z_i είναι η μετρημένη τιμή (σημείο ελέγχου) στο δειγματοληπτικό σημείο i
- W_i , είναι ένα βάρος που καθορίζει την σχετική σπουδαιότητα των μεμονωμένων σημείων ελέγχου (**control points**) στην διαδικασία παρεμβολής.

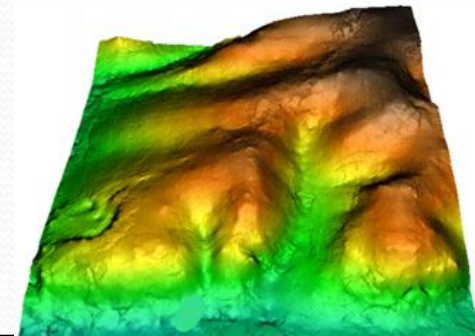
➤ Inverse Distance Weighted method (IDW)

- Η IDW είναι μια ντετερμινιστική μέθοδος παρεμβολής, γιατί βασίζεται άμεσα στις γύρω μετρούμενες τιμές ή ειδικές φόρμουλες που καθορίζουν την ομαλότητα της προκύπτουσας επιφάνειας.
- Η μέθοδος χωρικής παρεμβολής καθορίζει τις τιμές σε κάθε κελί, χρησιμοποιώντας ένα σταθμισμένο γραμμικό συνδυασμό ενός συνόλου δειγμάτων.
- Τα σημεία δειγματοληψίας είναι σταθμισμένα κατά τη διάρκεια της παρεμβολής έτσι ώστε η επιρροή ενός σημείου σε σχέση με το άλλο να μειώνεται με την απόσταση από το άγνωστο σημείο που θέλουμε να δημιουργηθεί



➤ Παρεμβολή Kriging

- Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα των μεθόδων γεωχωρικής ανάλυσης όπως η μέθοδος **Kriging** (Oliver and Webster, 1990) είναι η δυνατότητά τους να ποσοτικοποιήσουν την αβεβαιότητα στις παραγόμενες εκτιμήσεις.
- Σε αυτές τις μεθόδους, οι στατιστικές υποθέσεις γίνονται για να προσδιορίσουν και να αξιολογήσουν την πολυδιάστατη χωρική δομή των υδρολογικών διαδικασιών.
- Η **Kriging** είναι μια βέλτιστη χωρική μέθοδος εκτίμησης, βασισμένη σε ένα μοντέλο της εξαρτημένης χωρικά, διαφοράς.
- Το μοντέλο της χωρικής ανάλυσης καλείται **βαριόγραμμα (variogram)** ή εναλλακτικά χρησιμοποιείται ο όρος, **ημι-βαριόγραμμα (semi-variogram)**.



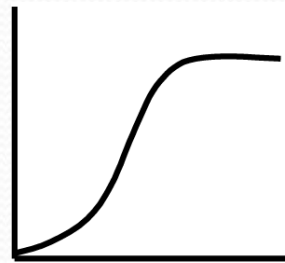
➤ Παρεμβολή Kriging

- Η παρεμβολή επιφάνειας με την μέθοδο **Kriging** στηρίζεται στην επιλογή ενός μοντέλου βαριογράμματος.
- Οι ανακρίβειες λόγω των δεδομένων με «**θόρυβο**» ή λόγω της ανισοτροπίας προκαλούν λάθη στην παρεμβαλλόμενη επιφάνεια, που μπορεί να μην είναι προφανή ή να μην μπορούν να προσδιοριστούν εύκολα παρά μόνο μέσω της επιβεβαίωσης με δεδομένα που προέκυψαν από τον αλγόριθμο δημιουργίας μιας επιφάνειας.
- Η αβεβαιότητα στις παραμέτρους του βαριογράμματος, θα μπορούσε να οδηγήσει σε τρεις σημαντικές ασυνέπειες:
 - Συστηματικό σφάλμα (απόκλιση) στην εκτίμηση του σημείου της πολυδιάστατης μεταβλητής
 - Διαφορετική χωρική κατανομή του μέτρου της αβεβαιότητας
 - Λάθος επιλογή του κατάλληλου μοντέλου βαριογράμματος

➤ Παρεμβολή Kriging

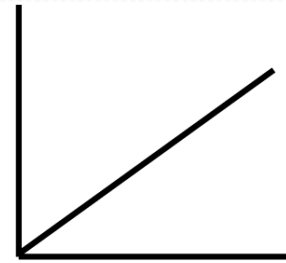
Η μέθοδος παρεμβολής Kriging περιλαμβάνει πέντε μαθηματικά μοντέλα για την τοποθέτηση semi-variograms:

➤ Gaussian



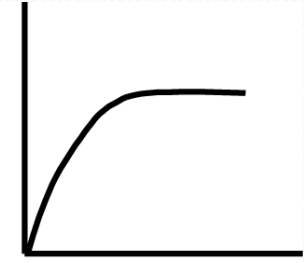
Gaussian

➤ Γραμμικός



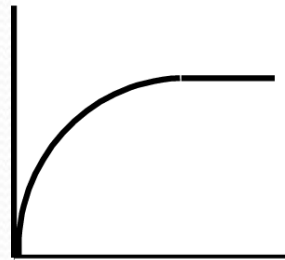
Linear

➤ Σφαιρικός



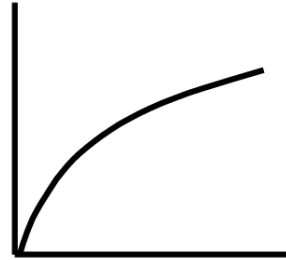
Spherical

➤ Εγκύκλιος



Circular

➤ Εκθετικός

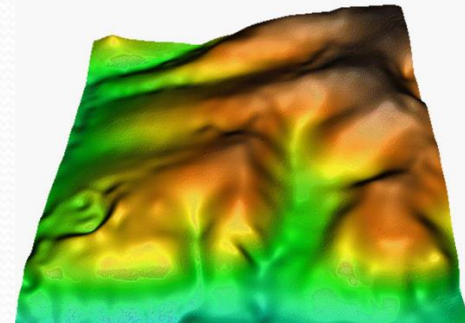


Exponential

Τόσο η Kriging όσο και η IDW εξαρτώνται από τη στάθμιση γειτονικών τιμών δεδομένων στην εκτίμηση του $Z_{x,y}$

➤ Μέθοδος Splines

- Οι Splines είναι μια κατηγορία λειτουργιών χρήσιμη για παρεμβολή σε ένα σημείο μεταξύ μετρούμενων τιμών για την παραγωγή επιφάνειας.
- Η μέθοδος Splines ταιριάζει μια καμπύλη με τα δείγματα δεδομένων αναθέτοντας τιμές σε άλλες θέσεις με βάση τη θέση τους στην καμπύλη.
- Η μέθοδος Splines έχει δύο τύπους: **regularized** and **tension**
- Η **tension** οδηγεί σε μια τραχιά επιφάνεια που προσκολλάται στενότερα με απότομες αλλαγές στα στοιχεία του δείγματος
- Η **regularized** έχει ως αποτέλεσμα μια πιο ομαλή επιφάνεια που εξομαλύνει απότομα την αλλαγή των τιμών.



➤ Επιφανειακή ολοκλήρωση σημειακών παρατηρήσεων

- Οι μετρήσεις των μετεωρολογικών δεδομένων που λαμβάνονται από τους μετεωρολογικούς σταθμούς είναι σημειακές και ως εκ τούτου αντιπροσωπεύουν το σημείο στο οποίο μετρήθηκε το κάθε μετεωρολογικό δεδομένο.
- Στις περισσότερες περιπτώσεις, όμως όπως για παράδειγμα στην εκτίμηση του υδατικού ισοζυγίου, ιδιαίτερη σημασία έχει η επιφανειακή βροχόπτωση, αυτή δηλαδή που αντιπροσωπεύει ολόκληρη την περιοχή μελέτης.
- Για τον λόγο αυτό σε μια λεκάνη απορροής εγκαθίσταται ένα δίκτυο βροχομετρικών σταθμών, οι θέσεις των οποίων θα πρέπει να είναι τέτοιες ώστε να περιγράφουν όσο το δυνατόν καλύτερα τη χωρική διαφοροποίηση της βροχής.
- Κατόπιν, οι σημειακές μετρήσεις των βροχογράφων ανάγονται σε επιφανειακή βροχόπτωση της λεκάνης απορροής, χρησιμοποιώντας μεθόδους επιφανειακής ολοκλήρωσης.

➤ Επιφανειακή ολοκλήρωση σημειακών παρατηρήσεων

- Υπάρχει πληθώρα μεθόδων που έχουν αναπτυχθεί και χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση των μέσων επιφανειακών τιμών των μετεωρολογικών δεδομένων.
- Αυτές μπορούν να διαχωριστούν στις μεθόδους άμεσης ολοκλήρωσης και στις μεθόδους προσαρμογής επιφάνειας.
- Οι μέθοδοι άμεσης ολοκλήρωσης υπολογίζουν τα μετεωρολογικά δεδομένα απευθείας, από τις τιμές των σημειακών δεδομένων.
- Οι πιο γνωστές μέθοδοι που ανήκουν σε αυτή την κατηγορία είναι η **μέθοδος του μέσου όρου**, η **μέθοδος Thiessen** και η **μέθοδος δύο αξόνων του Bethlahmy**.
- Αντίθετα οι μέθοδοι προσαρμογής επιφάνειας εκτιμούν πρώτα τη γεωγραφική μεταβλητότητα των μετεωρολογικών δεδομένων στην υπό εξέταση περιοχή και με βάση αυτή, υπολογίζουν τις επιφανειακές τιμές.

➤ Επιφανειακή ολοκλήρωση σημειακών παρατηρήσεων

- Εδώ ανήκουν η μέθοδος των ισοϋετιών, η μέθοδος υπολογιστικής γραμμικής παρεμβολής, η μέθοδος της αντίστροφης απόστασης, η μέθοδος πολυτετραγωνικής παρεμβολής, η μέθοδος ελαχίστων τετραγώνων με πολυώνυμα και η μέθοδος πολυωνύμων Lagrange.
- Ανεξάρτητα από τη μέθοδο που θα χρησιμοποιηθεί, η αξιοπιστία του τελικού αποτελέσματος εξαρτάται πρωτίστως από την πυκνότητα της σημειακής πληροφορίας: η ολοκλήρωση είναι τόσο επιτυχέστερη, όσο πυκνότερο είναι το δίκτυο των βροχομετρικών σταθμών.
- Δυστυχώς στην Ελλάδα παρουσιάζεται έλλειψη ικανοποιητικού αριθμού μετεωρολογικών σταθμών.

➤ Μέθοδος πολυγώνων Thiessen

- Σύμφωνα με αυτή την κλασική μέθοδο, η συνολική επιφάνεια A χωρίζεται γεωμετρικά σε ζώνες επιρροής A_i , μια για κάθε σταθμό, έτσι ώστε:

$$\sum_{i=1}^k A_i = A$$

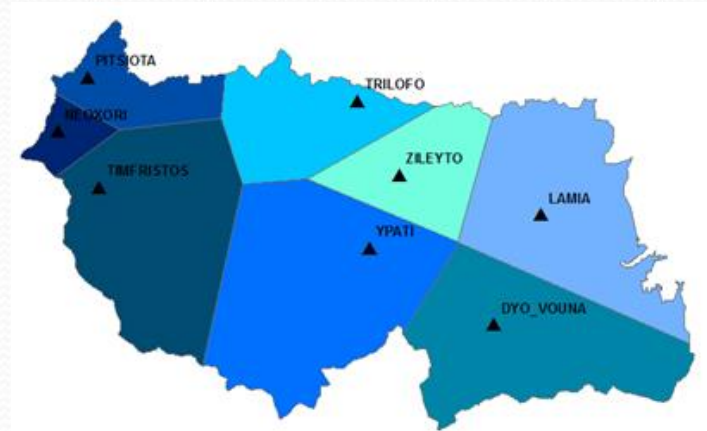
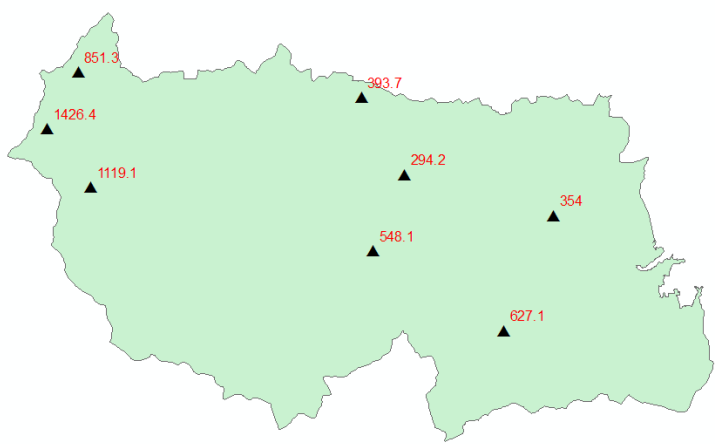
- Ο συντελεστής βάρους θεωρείται ανάλογος του εμβαδού της ζώνης επιρροής του σταθμού, δηλαδή:

$$w_i = \frac{A_i}{A}$$

- Οι ζώνες επιρροής προσδιορίζονται έτσι ώστε κάθε σημείο της ζώνης του σταθμού i να απέχει από τη θέση του σταθμού i λιγότερο απ' όσο απέχει από οποιονδήποτε άλλο σταθμό της περιοχής.
- Προκύπτουν έτσι τα γνωστά πολύγωνα Thiessen.

➤ Μέθοδος πολυγώνων Thiessen

- Παρά τη μεγάλη ηλικία της, η μέθοδος παραμένει και σήμερα ευρέως διαδεδομένη, λόγω της απλότητας στην εφαρμογή της και των αξιόπιστων εκτιμήσεων της.
- Οι εκτιμήσεις της μεθόδου είναι τόσο καλύτερες όσο πυκνότερο είναι το δίκτυο των βροχομετρικών σταθμών και όσο μεγαλύτερη είναι η χρονική κλίμακα μελέτης (π.χ. οι εκτιμήσεις σε υπερετήσια κλίμακα είναι πιο ακριβείς από τις εκτιμήσεις στην κλίμακα ενός επεισοδίου βροχής).



➤ Μέθοδος ισοϋέτιων καμπυλών

- Η ισοϋέτια καμπύλη ορίζεται από τον γεωμετρικό τόπο των σημείων στα οποία το ύψος βροχής παίρνει μια δεδομένη τιμή.
- Ανάλογα με το εύρος διακύμανσης του ύψους βροχής, χαράσσονται ισοϋέτιες καμπύλες με δεδομένη ισοδιάσταση ΔP .
- Βεβαίως, η ακριβής χάραξη μιας ισοϋέτιας καμπύλης εξαρτάται από τα διαθέσιμα σημεία και από την εμπειρία του υδρολόγου.
- Αφού χαραχτούν οι ισοϋέτιες καμπύλες, για να προκύψει η επιφανειακή μέση βροχόπτωση της περιοχής, εμβαδομετρούνται οι επιφάνειες A_i μεταξύ των διαδοχικών καμπυλών που αντιστοιχούν σε ύψη βροχής P_i και P_{i-1} .
- Η επιφανειακή μέση βροχόπτωση της περιοχής θα είναι:

$$P_s = \sum_r \frac{P_i + P_{i-1}}{2} \frac{A_i}{A}$$

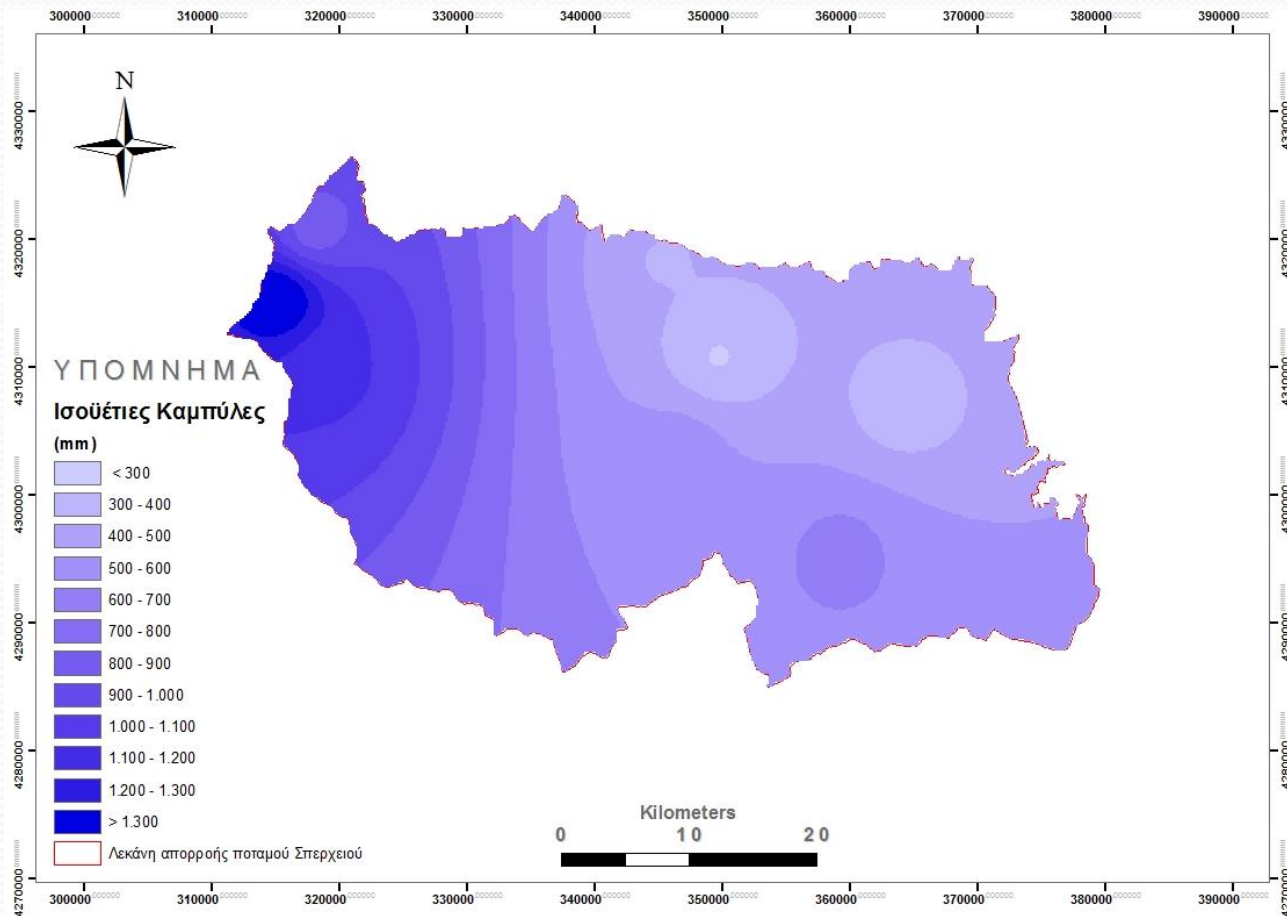
- Όπου το άθροισμα όλων των A_i ταυτίζεται με την ολική επιφάνεια A της περιοχής.

➤ Μέθοδος ισοϋέτιων καμπυλών

- Η χάραξη των ισοϋέτιων δεν γίνεται κατά μοναδικό τρόπο όπως στη μέθοδο Thiessen, αλλά εξαρτάται από τη μέθοδο παρεμβολής των ισοϋέτιων καμπυλών που επιλέγεται.
- Ο πιο απλός τρόπος είναι η γραφική χάραξη των καμπυλών, στην οποία υπεισέρχεται η κρίση του μελετητή, ενώ στα συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) που αναλύουμε στη συγκεκριμένη περίπτωση συνήθως χρησιμοποιείται η μέθοδος αντίστροφων αποστάσεων (Inverse Distance Weighted – IDW) ή του πλησιέστερου γείτονα (Natural Neighbor).
- Στο Σχήμα 4.39 παρουσιάζονται οι ισοϋέτιες καμπύλες για την περιοχή της λεκάνης απορροής του ποταμού Σπερχειού με βάση της μέσες υπερετήσιες τιμές της βροχόπτωσης με τη μέθοδο IDW και ισοδιάσταση 100 mm.

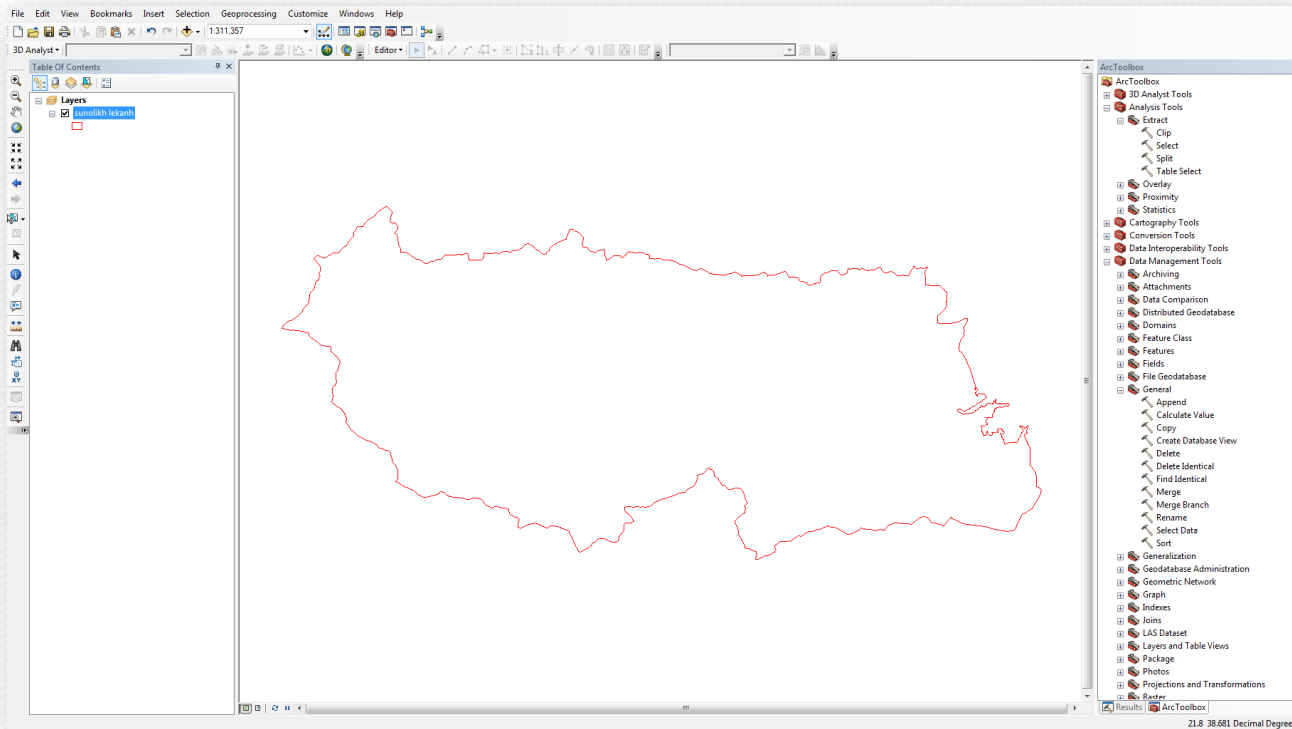
➤ Μέθοδος ισοϋέτιων καμπυλών

- Ισοϋέτιες καμπύλες λεκάνης απορροής ποταμού Σπερχειού



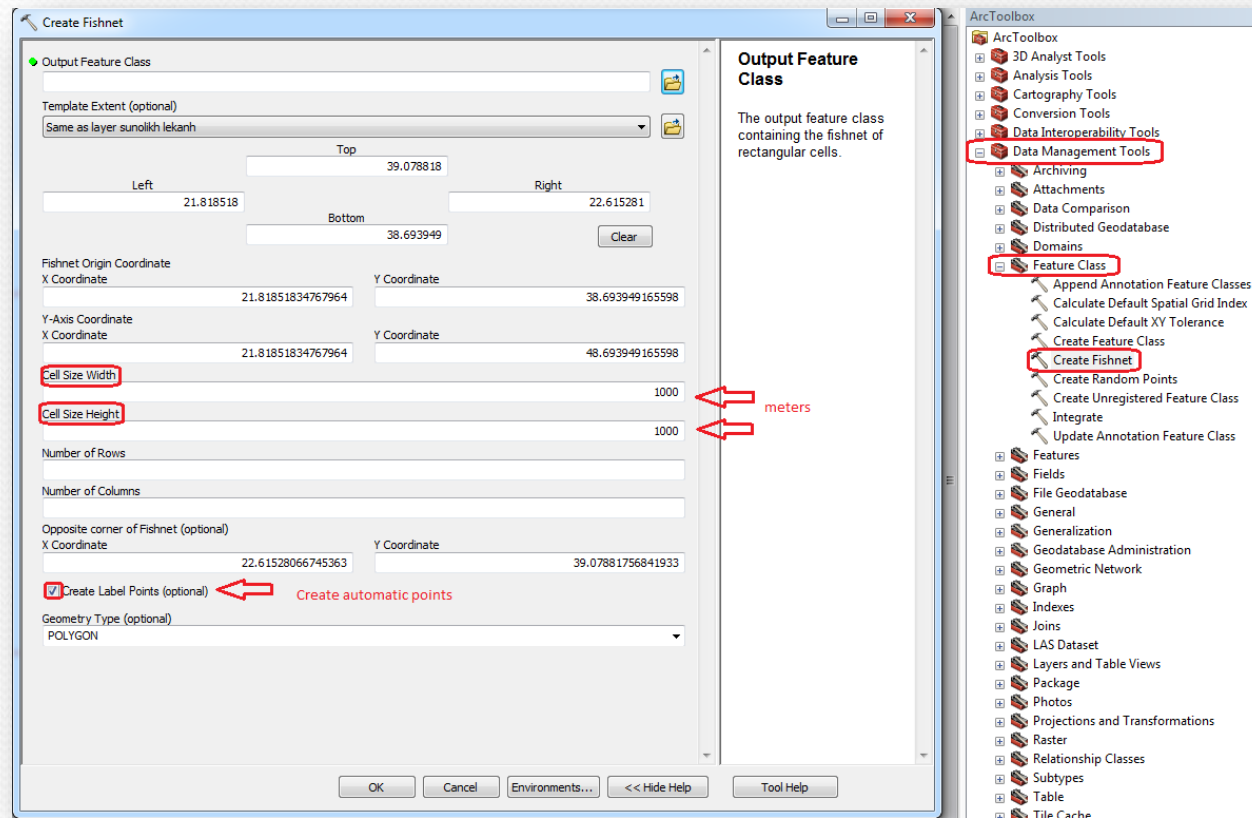
➤ Παράδειγμα γραμμικής παρεμβολής

- Στη συνέχεια, ένα παράδειγμα γραμμικής παρεμβολής παρουσιάζεται μέσω του προγράμματος ArcGIS με τη χρήση της IDW, Kriging και της μεθόδου Spline.
- Για να αρχίσει η γραμμική παρεμβολή θα πρέπει να φορτώσετε το πολύγωνο με την επιλεγμένη περιοχή στην οποία θέλουμε να γίνει η παρεμβολή μέσω του ArcGIS



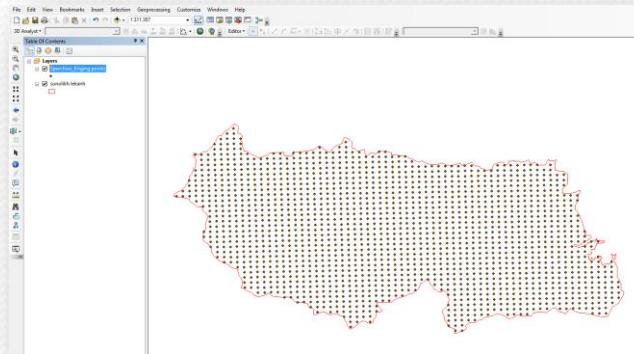
➤ Παράδειγμα γραμμικής παρεμβολής

Μέσω του *ArcToolbox* → *Data Management Tools* → *Feature Class* → *Create Fishnet*
Θα δημιουργήσουμε αυτόματα σημεία στην επιλεγμένη περιοχή με το επιθυμητό μέγεθος

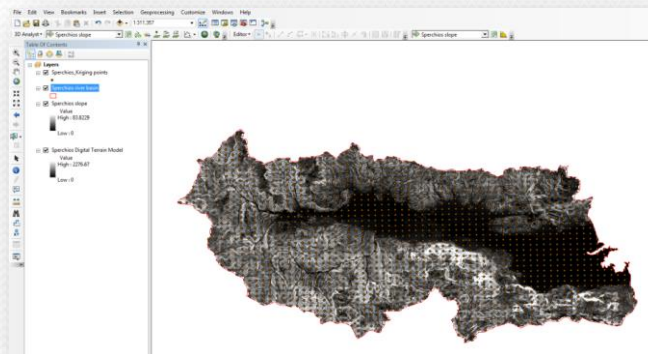


➤ Παράδειγμα γραμμικής παρεμβολής

- Τα αυτόματα σημεία (στην περίπτωσή μας μεγέθους $1 \times 1 \text{ km}^2$) δημιουργήθηκαν και πρέπει στη συνέχεια να δώσουμε σε κάθε σημείο πληροφορίες σχετικά με το υψόμετρο (m), κλίση (%), γεωγρ. Πλάτος ($^{\circ}$), γεωγρ. Μήκος ($^{\circ}$), απόσταση από ένα σημείο νερού (WD) και (ή) όποιους άλλους παράγοντες θέλουμε να συμπεριλάβουμε στην χωρική παρεμβολή.



- Προκειμένου να δώσουμε πληροφορίες σχετικά με το υψόμετρο και την κλίση το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους ή Digital Terrain Model καθώς και το Raster αρχείο με πληροφορία για την κλίση πρέπει να δωθούν ως δεδομένα εισόδου στο ArcGIS

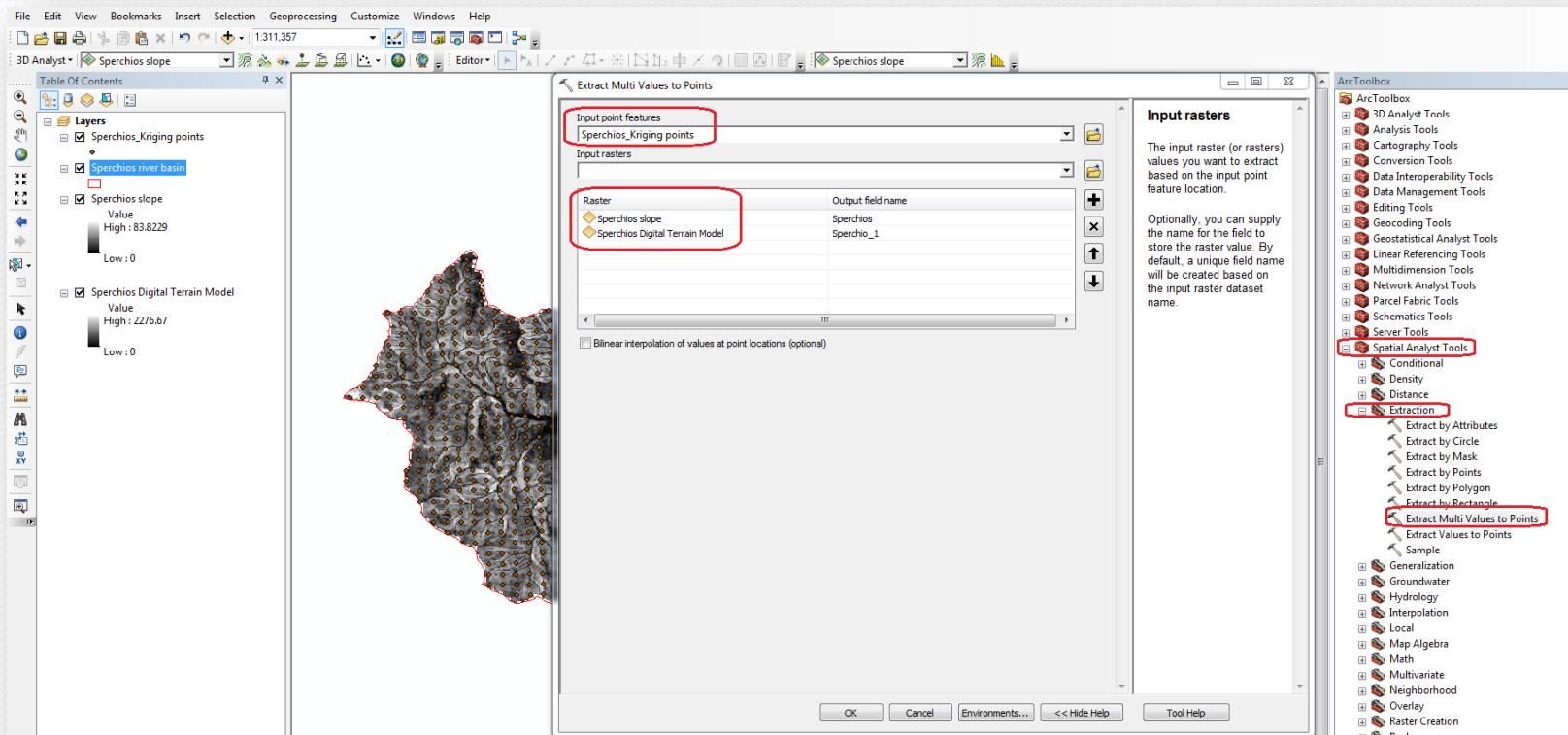


➤ Παράδειγμα γραμμικής παρεμβολής

• Αφού έχουμε όλα τα απαραίτητα δεδομένα, τότε:

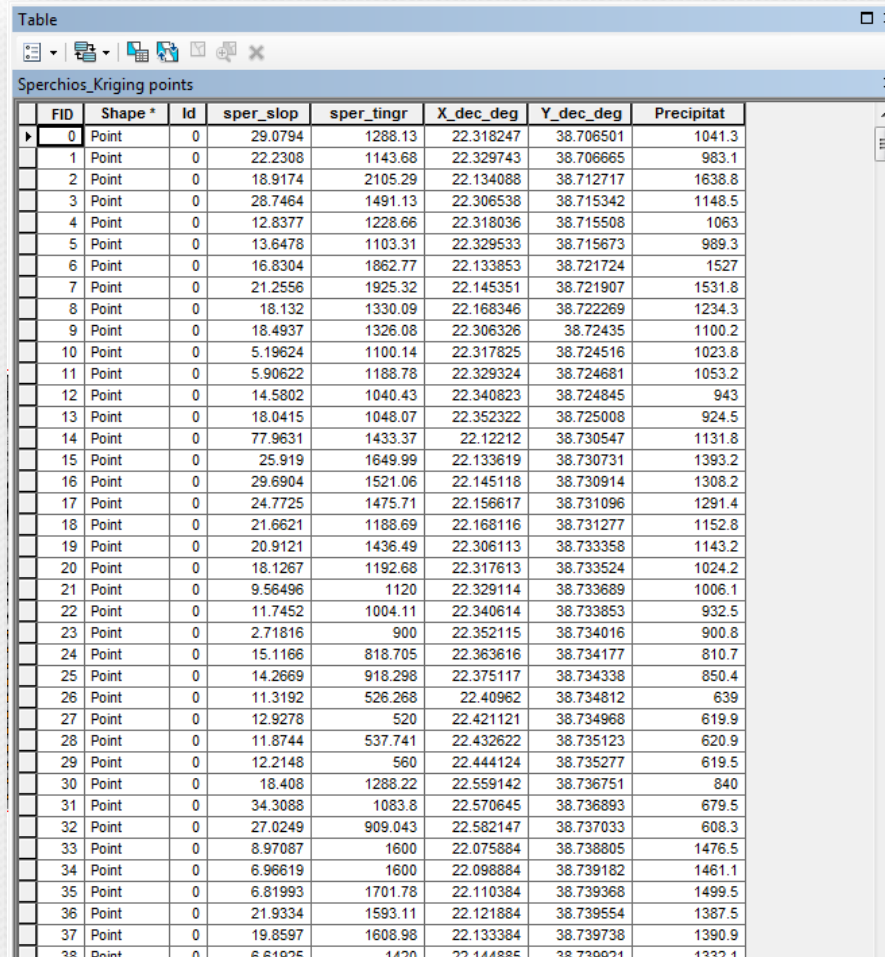
ArcToolbox → *Spatial Analyst Tools* → *Extraction* → *Extract Multi Values to Points*

• Και σε ένα νέο παράθυρο θα προσθέσουμε τα rasters ώστε η πληροφορία την οποία αυτά περιέχουν να περάσει στα νέα σημεία που δημιουργήσαμε προηγουμένως



➤ Παράδειγμα γραμμικής παρεμβολής

Όπως μπορούμε να δούμε στο Attribute Table του layer των σημείων που δημιουργήσαμε, κάθε σημείο περιλαμβάνει την απαραίτητη πληροφορία



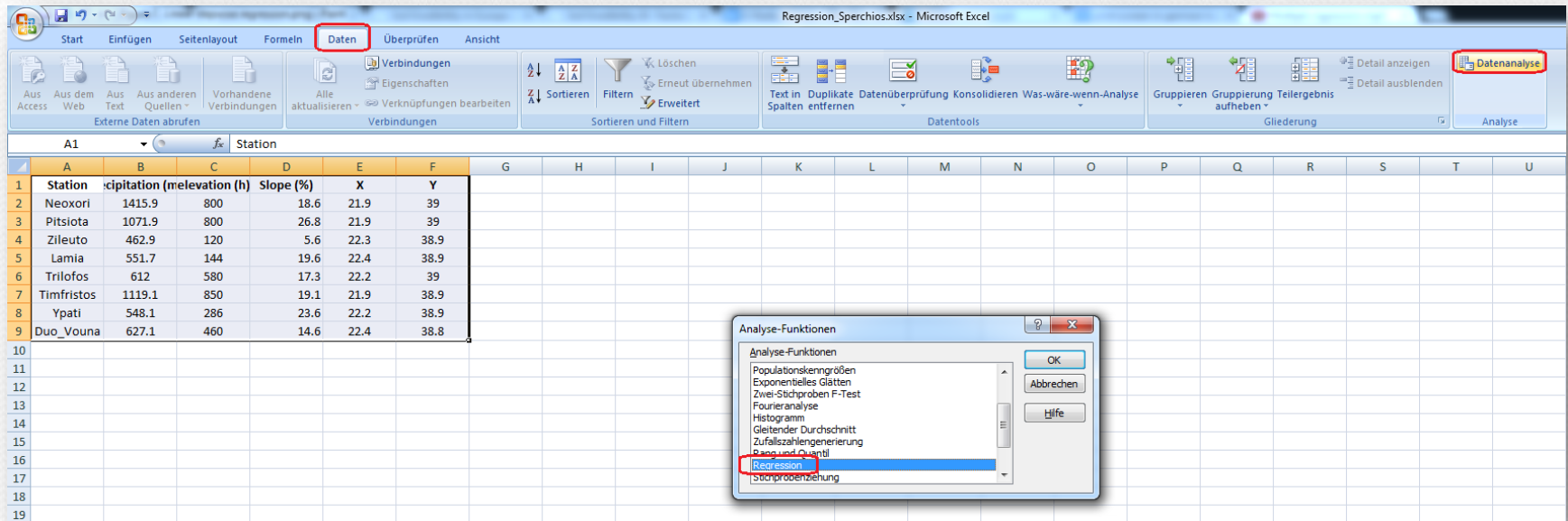
The screenshot shows a software window titled 'Table' with a toolbar at the top. Below the toolbar is the title 'Sperchios_Kriging points'. The main area contains a table with 8 columns: FID, Shape*, Id, sper_slop, sper_tingr, X_dec_deg, Y_dec_deg, and Precipitat. The table lists 38 rows of data, each representing a point with its corresponding attributes.

FID	Shape*	Id	sper_slop	sper_tingr	X_dec_deg	Y_dec_deg	Precipitat
0	Point	0	29.0794	1288.13	22.318247	38.706501	1041.3
1	Point	0	22.2308	1143.68	22.329743	38.706665	983.1
2	Point	0	18.9174	2105.29	22.134088	38.712717	1638.8
3	Point	0	28.7464	1491.13	22.306538	38.715342	1148.5
4	Point	0	12.8377	1228.66	22.318036	38.715508	1063
5	Point	0	13.6478	1103.31	22.329533	38.715673	989.3
6	Point	0	16.8304	1862.77	22.133853	38.721724	1527
7	Point	0	21.2556	1925.32	22.145351	38.721907	1531.8
8	Point	0	18.132	1330.09	22.168346	38.722269	1234.3
9	Point	0	18.4937	1326.08	22.306326	38.72435	1100.2
10	Point	0	5.19624	1100.14	22.317825	38.724516	1023.8
11	Point	0	5.90622	1188.78	22.329324	38.724681	1053.2
12	Point	0	14.5802	1040.43	22.340823	38.724845	943
13	Point	0	18.0415	1048.07	22.352322	38.725008	924.5
14	Point	0	77.9631	1433.37	22.12212	38.730547	1131.8
15	Point	0	25.919	1649.99	22.133619	38.730731	1393.2
16	Point	0	29.6904	1521.06	22.145118	38.730914	1308.2
17	Point	0	24.7725	1475.71	22.156617	38.731096	1291.4
18	Point	0	21.6621	1188.69	22.168116	38.731277	1152.8
19	Point	0	20.9121	1436.49	22.306113	38.733358	1143.2
20	Point	0	18.1267	1192.68	22.317613	38.733524	1024.2
21	Point	0	9.56496	1120	22.329114	38.733689	1006.1
22	Point	0	11.7452	1004.11	22.340614	38.733853	932.5
23	Point	0	2.71816	900	22.352115	38.734016	900.8
24	Point	0	15.1166	818.705	22.363616	38.734177	810.7
25	Point	0	14.2669	918.298	22.375117	38.734338	850.4
26	Point	0	11.3192	526.268	22.40962	38.734812	639
27	Point	0	12.9278	520	22.421121	38.734968	619.9
28	Point	0	11.8744	537.741	22.432622	38.735123	620.9
29	Point	0	12.2148	560	22.444124	38.735277	619.5
30	Point	0	18.408	1288.22	22.559142	38.736751	840
31	Point	0	34.3088	1083.8	22.570645	38.736893	679.5
32	Point	0	27.0249	909.043	22.582147	38.737033	608.3
33	Point	0	8.97087	1600	22.075884	38.738805	1476.5
34	Point	0	6.96619	1600	22.098884	38.739182	1461.1
35	Point	0	6.81993	1701.78	22.110384	38.739368	1499.5
36	Point	0	21.9334	1593.11	22.121884	38.739554	1387.5
37	Point	0	19.8597	1608.98	22.133384	38.739738	1390.9
38	Point	0	6.61925	1420	22.144885	38.739921	1332.1

➤ Παράδειγμα γραμμικής παρεμβολής

- Στο επόμενο βήμα, θα ανοίξουμε το Excel και θα πραγματοποιήσουμε την multi-linear regression ανάλυση για τους σταθμούς της περιοχής μελέτης από τους οποίους έχουμε δεδομένα:

Data → Data Analysis → Regression



The screenshot shows the Microsoft Excel interface with the 'Daten' (Data) tab selected in the ribbon. The 'Datenanalyse' (Data Analysis) button is highlighted in the ribbon. A dialog box titled 'Analyse-Funktionen' (Data Analysis) is open, showing a list of analysis tools. The 'Regressions' (Regression) option is selected and highlighted in red.

Station	precipitation (melevation (h)	Slope (%)	X	Y	
Neoxori	1415.9	800	18.6	21.9	39
Pitsiota	1071.9	800	26.8	21.9	39
Zileuto	462.9	120	5.6	22.3	38.9
Lamia	551.7	144	19.6	22.4	38.9
Trilofos	612	580	17.3	22.2	39
Timfristos	1119.1	850	19.1	21.9	38.9
Ypati	548.1	286	23.6	22.2	38.9
Duo_Vouna	627.1	460	14.6	22.4	38.8

➤ Παράδειγμα γραμμικής παρεμβολής

- Στις τιμές του Y θα προσθέσουμε την εξαρτημένη μεταβλητή (π.χ. Βροχόπτωση)
- Στις τιμές του X θα προσθέσουμε τις ανεξάρτητες μεταβλητές (π.χ. υψόμετρο, κλίση, κτλ..)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	Station	Precipitation (mm)	elevation (h)	Slope (%)	X	Y								
2	Neoxori	1415.9	800	18.6	21.9	39								
3	Pitsiota	1071.9	800	26.8	21.9	39								
4	Zileuto	462.9	120	5.6	22.3	38.9								
5	Lamia	551.7	144	19.6	22.4	38.9								
6	Trilofos	612	580	17.3	22.2	39								
7	Timfristos	1119.1	850	19.1	21.9	38.9								
8	Ypati	548.1	286	23.6	22.2	38.9								
9	Duo_Vouna	627.1	460	14.6	22.4	38.8								
10														
11														
12														
13														
14														
15														
16														
17														
18														
19														
20														
21														
22														

Y X

Regression

Eingabe

Y-Eingabebereich:

X-Eingabebereich:

Beschriftungen Konstante ist Null

Konfidenzniveau: 95 %

Ausgabe

Ausgabebereich:

Neues Tabellenblatt:

Neue Arbeitsmappe

Residuen

Residuen Residuenplots

Standardisierte Residuen Kurvenanpassung

Normalverteilte Wahrscheinlichkeit

Quantilsplot

OK Abbrechen Hilfe

➤ Παράδειγμα γραμμικής παρεμβολής

- Ακολουθώντας την multi-linear regression ένα νέο φύλλο παράχθηκε στο Excel με τα στατιστικά της ανάλυσης και τους συντελεστές.
- Οι παράμετροι ελέγχθηκαν μέχρι την *n-δύναμη*.
- Από την multi-linear regression ανάλυση, μέχρι την 7η δύναμη επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί καθώς το Adjusted R βελτιωνοταν συνεχώς.
- Μετά από αυτή τη δύναμη, τα αποτελέσματα δεν βελτιώνονταν περαιτέρω.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1																
2		Station	Precipitation (mm)	elevation (h)	Slope (%)	X	Y	Distance from Water Body (km)				1 power				
3		Neoxori	1415.9	800	18.6	21.9	39	58.55				Coefficients		Regression statistics		
4		Pitsiota	1071.9	800	26.8	21.9	39	57.07				Intercept	11171.136	Multiple R		0.92
5		Zileuto	462.9	120	5.6	22.3	38.9	24.06				elevation (h)	0.276	R square		0.85
6		Lamia	551.7	144	19.6	22.4	38.9	9.31				Slope (%)	4.403	Adjusted R		0.46
7		Trilofos	612	580	17.3	22.2	39	31.13				X	625.151	Standard Error		256.81
8		Timfristos	1119.1	850	19.1	21.9	38.9	53.26				Y	-645.808	Observation values		8
9		Ypati	548.1	286	23.6	22.2	38.9	25.41				Distance from Water Body (km)	20.469			
10		Duo_Vouna	627.1	460	14.6	22.4	38.8	15.38								
11																
12																
13		Station	Precipitation (mm)	elevation (h)	Slope (%)	X	Y	Distance from Water Body (km)				2 power				
14		Neoxori	1415.9	640000	345.96	479.61	1521	3428.1025				Coefficients		Regression statistics		
15		Pitsiota	1071.9	640000	718.24	479.61	1521	3256.414225				Intercept	-3037.307	Multiple R		0.97
16		Zileuto	462.9	14400	31.36	497.29	1513.21	578.643025				elevation (h)	0.000	R square		0.93
17		Lamia	551.7	20736	384.16	501.76	1513.21	86.731969				Slope (%)	-0.022	Adjusted R		0.77
18		Trilofos	612	336400	299.29	492.84	1521	969.0769				X	24.500	Standard Error		167.29
19		Timfristos	1119.1	722500	364.81	479.61	1513.21	2836.6276				Y	-5.812	Observation values		8
20		Ypati	548.1	81796	556.96	492.84	1513.21	645.718921				Distance from Water Body (km)	0.372			
21		Duo_Vouna	627.1	211600	213.16	501.76	1505.44	236.452129								

68		Station	Precipitation (mm)	elevation (h)	Slope (%)	X	Y	Distance from Water Body (km)				7 power				
69		Neoxori	1415.9	4.39805E+40	5.9E+17	5.8E+18	1.9E+22	5.56387E+24				Coefficients		Regression statistics		
70		Pitsiota	1071.9	4.39805E+40	9.9E+19	5.8E+18	1.9E+22	3.88309E+24				Intercept	1026.44684	Multiple R		0.99
71		Zileuto	462.9	1.28392E+29	3E+10	7.5E+18	1.8E+22	2.17208E+19				elevation (h)	3.4064E-39	R square		0.981
72		Lamia	551.7	1.64845E+30	1.2E+18	8E+18	1.8E+22	3.69194E+13				Slope (%)	-1.3688E-18	Adjusted R		0.933
73		Trilofos	612	4.87519E+38	2.2E+17	7.1E+18	1.9E+22	8.02616E+20				X	-1.2475E-17	Standard Error		90.36
74		Timfristos	1119.1	1.0277E+41	8.6E+17	5.8E+18	1.8E+22	1.4778E+24				Y	-2.0228E-20	Observation values		8
75		Ypati	548.1	2.44977E+34	1.7E+19	7.1E+18	1.8E+22	4.68063E+19				Distance from Water Body (km)	1.2475E-22			
76		Duo_Vouna	627.1	1.89937E+37	2E+16	8E+18	1.8E+22	4.1324E+16								

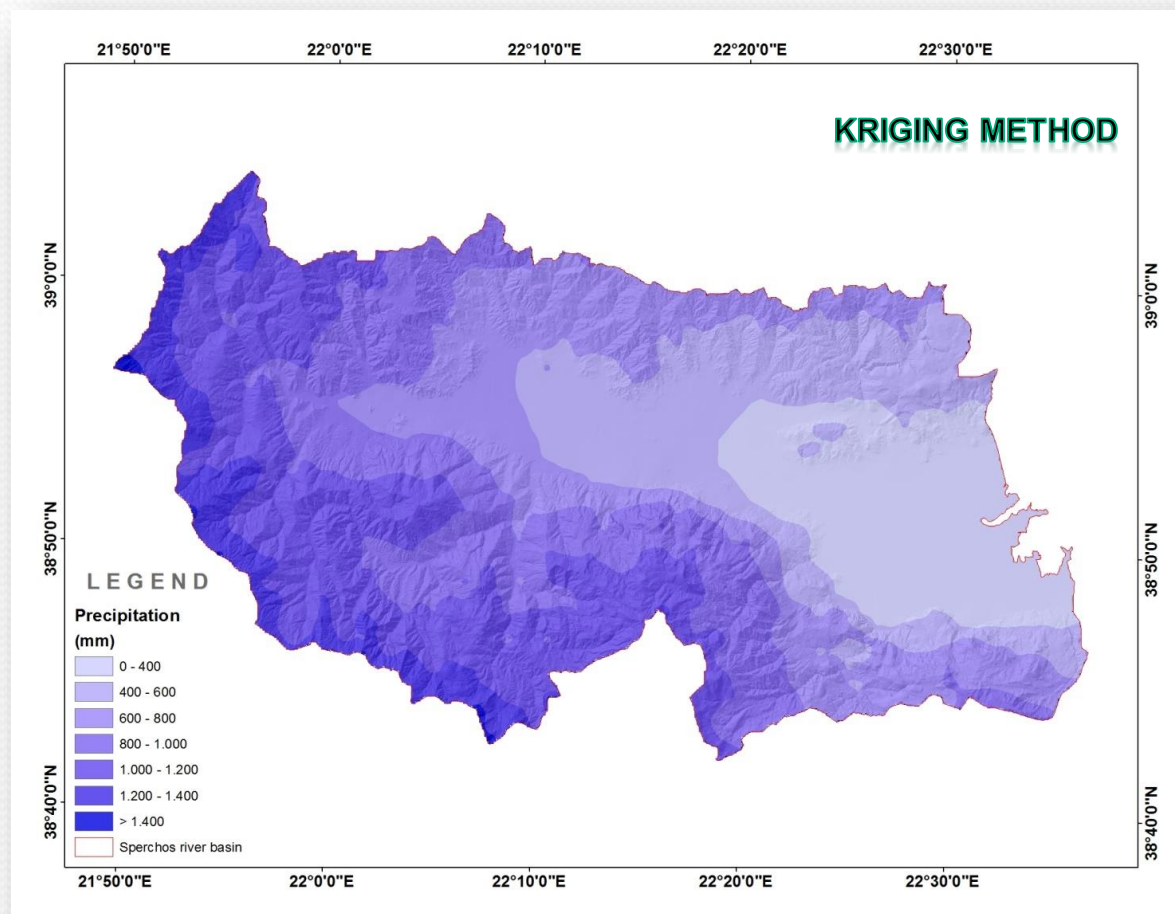
- Χρησιμοποιώντας την μέθοδο της multi-regression, ο ακόλουθος τύπος δημιουργήθηκε:

$$\begin{aligned}
 & \text{Precipitation Type} \\
 P = & b_0 + b_1 h + b_2 h^2 + b_3 h^3 + b_4 h^4 + b_5 h^5 + b_6 h^6 + b_7 h^7 + b_8 \text{slp} + b_9 \text{slp}^2 + b_{10} \text{slp}^3 + b_{11} \text{slp}^4 + b_{12} \text{slp}^5 + b_{13} \text{slp}^6 + b_{14} \text{slp}^7 + b_{15} X + b_{16} X^2 + b_{17} X^3 + b_{18} X^4 + b_{19} X^5 + b_{20} X^6 + b_{21} X^7 + b_{22} Y^2 + b_{23} Y^3 + b_{24} Y^4 + b_{25} Y^5 + b_{26} Y^6 + b_{27} \text{WD} + b_{28} \text{WD}^2 + b_{29} \text{WD}^3 + b_{30} \text{WD}^4 + b_{31} \text{WD}^5 + b_{32} \text{WD}^6 + b_{33} \text{WD}^7
 \end{aligned}$$

P:	Precipitation (mm)
h:	Elevation (m)
slp:	Slope (%)
X:	Latitude (°)
Y:	Longitude (°)
WD:	Distance from Water Body (m)

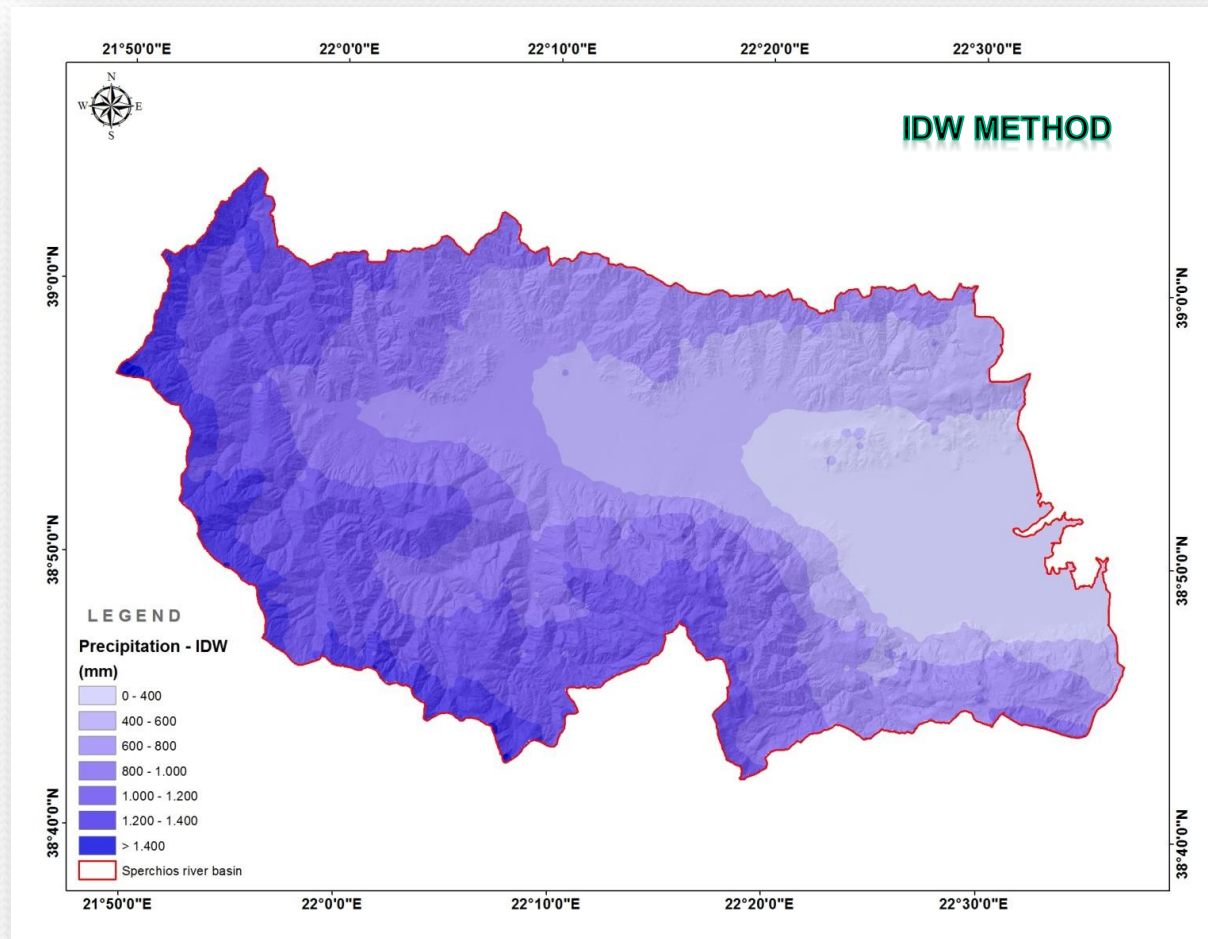
➤ Παράδειγμα γραμμικής παρεμβολής

- Τέλος, κάθε σημείο έλαβε μια τιμή (βροχόπτωσης) και η αποτύπωση των αποτελεσμάτων με τη μέθοδο **Kriging** δημιούργησε τον παρακάτω χάρτη:



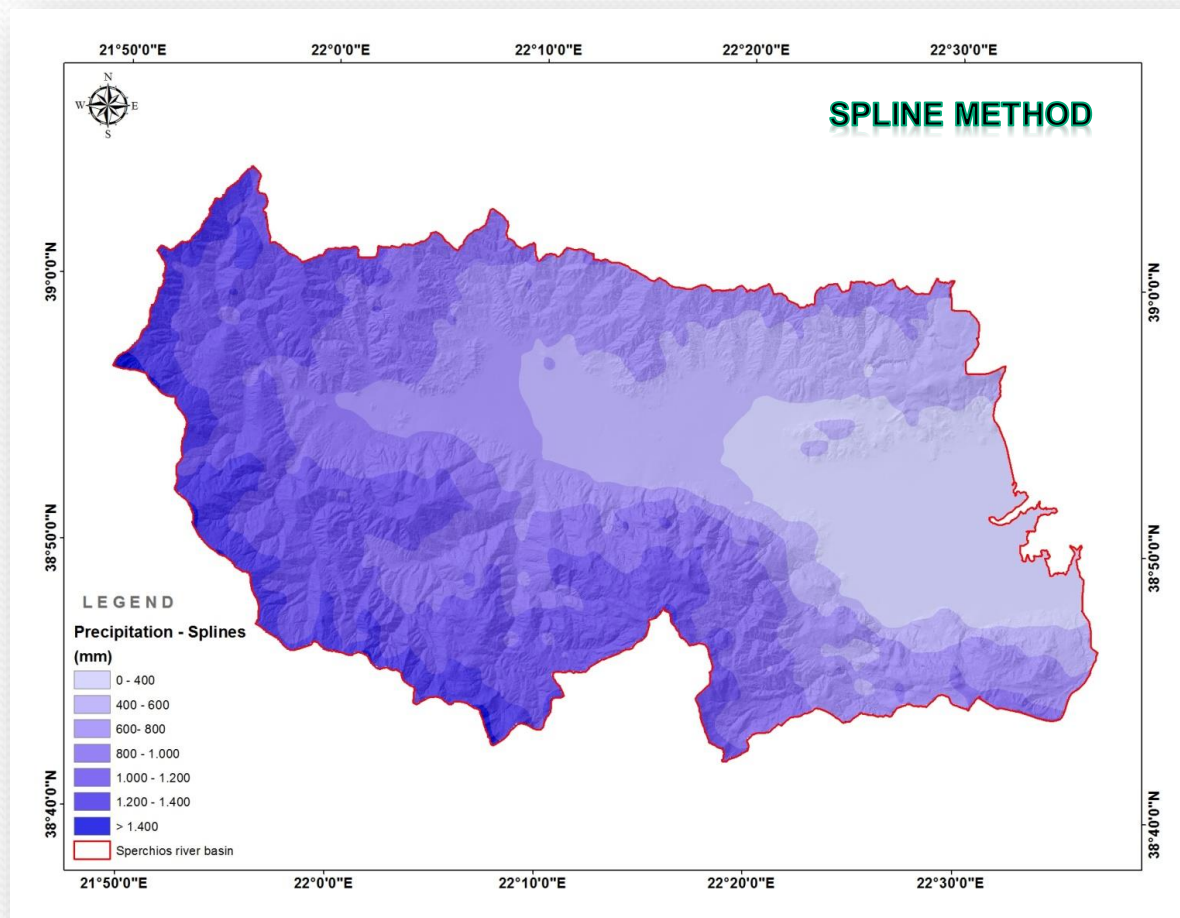
➤ Παράδειγμα γραμμικής παρεμβολής

- Τέλος, κάθε σημείο έλαβε μια τιμή (βροχόπτωσης) και η αποτύπωση των αποτελεσμάτων με τη μέθοδο **IDW** δημιούργησε τον παρακάτω χάρτη:



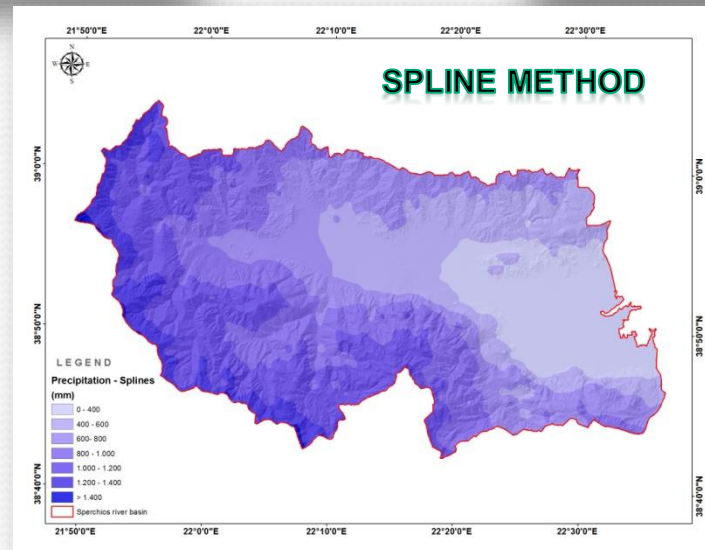
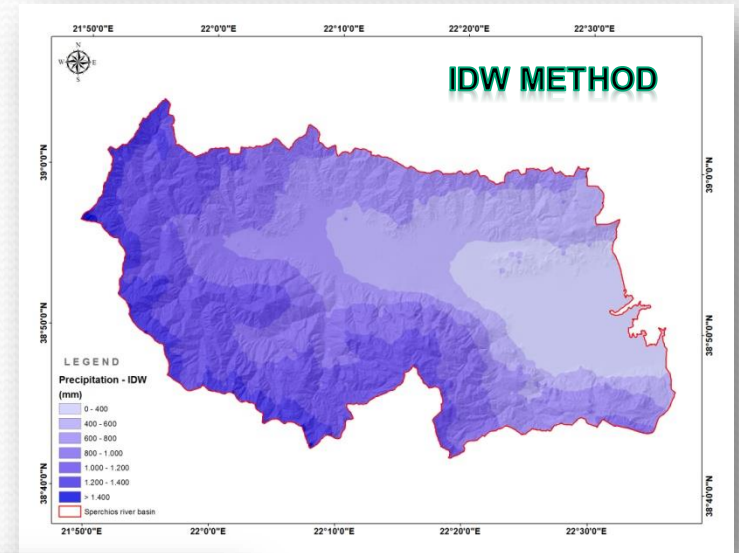
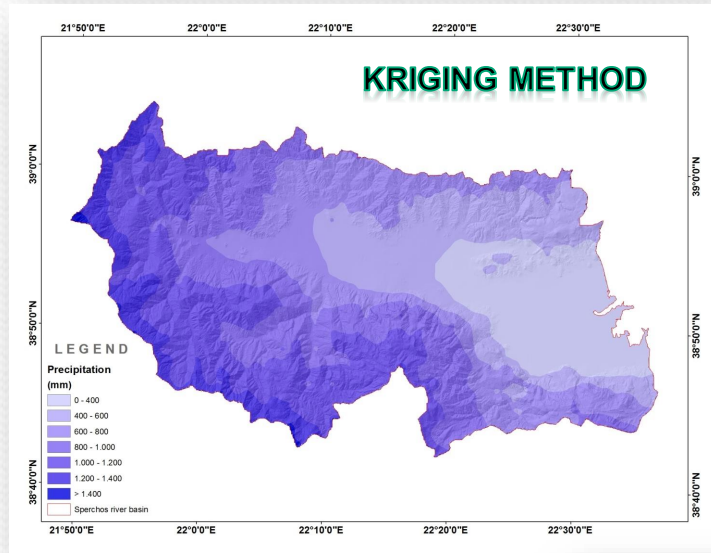
➤ Παράδειγμα γραμμικής παρεμβολής

- Τέλος, κάθε σημείο έλαβε μια τιμή (βροχόπτωσης) και η αποτύπωση των αποτελεσμάτων με τη μέθοδο **Splines** δημιούργησε τον παρακάτω χάρτη:



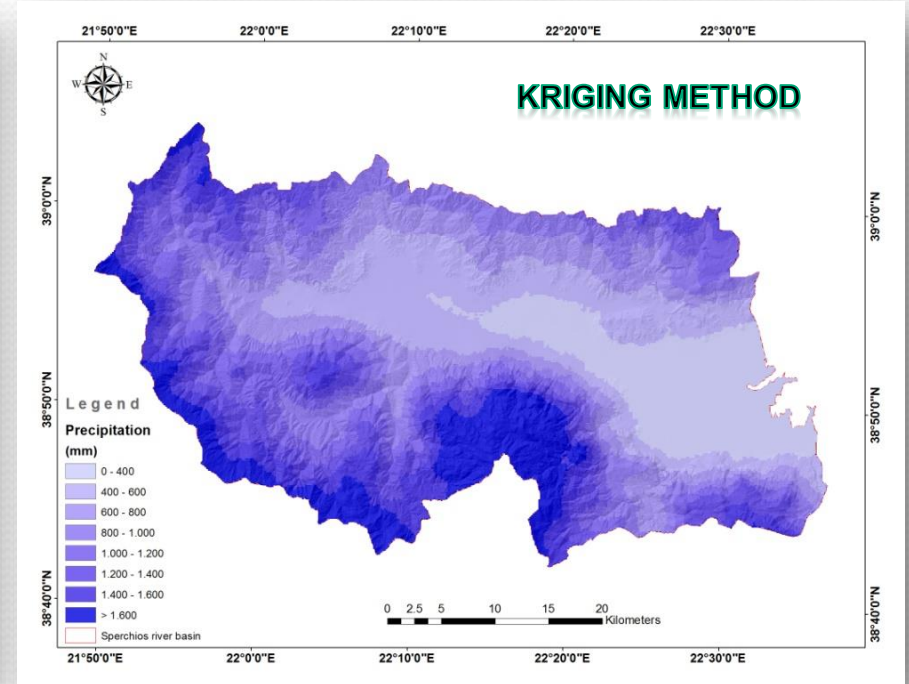
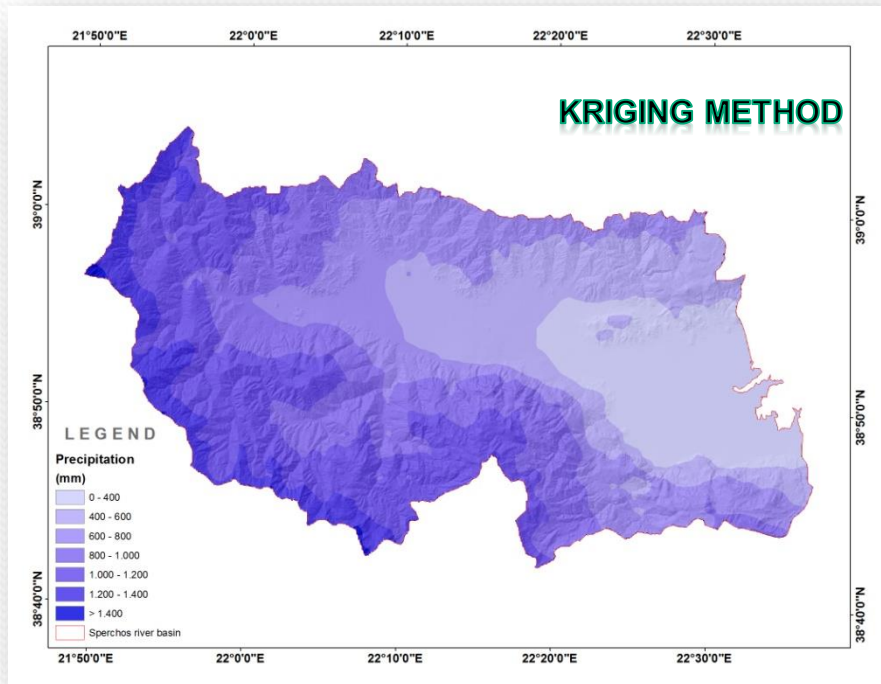
➤ Παράδειγμα γραμμικής παρεμβολής

- Σύγκριση των 3 γεωστατιστικών μεθόδων:



➤ Παράδειγμα γραμμικής παρεμβολής

- Διαφορές μεταξύ αποτύπωσης χρησιμοποιώντας διάφορες μεταβλητές Vs χρησιμοποιώντας μόνο πληροφορία υψομέτρου



Αποτύπωση χρησιμοποιώντας διάφορους συντελεστές Vs Αποτύπωση χρησιμοποιώντας μόνο πληροφορία υψομέτρου

