



ΔΗΜΟΚΡΙΤΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΡΑΚΗΣ

Πολυτεχνική Σχολή
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών
Εργαστήριο Υδρολογίας και Υδραυλικών Έργων

Μάθημα: ΥΔΡΟΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ

2^η Διάλεξη : Πηγές και Δομές Δεδομένων

Φώτιος Π. Μάρης, Καθηγητής Δ.Π.Θ.

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

➤ Εισαγωγή

- Χρησιμοποιώντας τα **Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών** (Geographic Information Systems – GIS) για να διαχειριστούμε τα γεωχωρικά δεδομένα που είναι απαραίτητα στις εφαρμογές της **Γεωπληροφορικής** στους **υδατικούς πόρους**, πρέπει πρώτα να εξετάσουμε και να αναλύσουμε τα χαρακτηριστικά όλων αυτών των δεδομένων.
- Η ψηφιακή αναπαράσταση της τοπογραφίας, του ανάγλυφου, της γεωλογίας, οι χρήσεις γης, τα κατακρημνίσματα και λοιπές διάφορες χρονοσειρές κλιματικών παραγόντων μπορούν να δημιουργηθούν χρησιμοποιώντας τα ευρέως διαθέσιμα ή για συγκεκριμένες επιστημονικές χρήσεις, **γεωχωρικά δεδομένα**.
- Κάθε τέτοια πηγή γεωχωρικών δεδομένων, έχει μια χαρακτηριστική δομή δεδομένων, η οποία έχει ανάλογες επιπτώσεις στην εκάστοτε εφαρμογή.

➤ Εισαγωγή

- Δύο σημαντικές μορφές δομών δεδομένων που υπάρχουν μέσα στο περιβάλλον του GIS είναι η **καναβική** (raster) και η **διανυσματική** μορφή (vector).
- Η **καναβική** (raster), δομή δεδομένων, είναι χαρακτηριστική των δεδομένων τηλεπισκόπησης, με μοναδική τιμή που αναπαρίσταται με ένα κελί πλέγματος (grid). Τα σημεία, οι γραμμές και τα πολύγωνα, αναπαρίστανται συχνότερα σαν διανυσματικά δεδομένα.
- Με τα **διανυσματικά** δεδομένα, μπορεί να συνδέονται πολλαπλοί παράμετροι. Ακόμα και μετά από την ιδιαίτερη επεξεργασία, οι υδρολογικές παράμετροι μπορούν να συνεχίσουν να έχουν κάποιο απομεινάρι της αρχικής δομής των δεδομένων, το οποίο ονομάζεται **τεχνητό σφάλμα** (artifact).
- Μερικές πηγές **δεδομένων** αποκτούν τα χαρακτηριστικά τους σύμφωνα με την κλίμακα μέτρησης ή του όγκου των δειγμάτων. Οι μετρητές βροχής μετρούν τις βροχοπτώσεις σε ένα σημείο, ενώ τα ραντάρ, οι δορυφόροι, και άλλες τεχνικές τηλεπισκόπησης υπολογίζουν τον μέσο όρο μιας έμμεσης μέτρησης ενός όγκου ή μιας περιοχής. Οι δομές των πηγών **δεδομένων** μπορούν να έχουν σημαντικές επιρροές στην παραγόμενη παράμετρο και, επομένως, και στην απόδοση του μοντέλου.

➤ Εισαγωγή

- Τα γεωχωρικά δεδομένα που χρησιμοποιούνται ως δεδομένα εισόδου, μπορούν να υπάρχουν σε ποικίλες δομές δεδομένων.
- Η **τοπογραφία**, για παράδειγμα, μπορεί να αναπαρασταθεί με μια σειρά υψομετρικών σημείων, ισοϋψών καμπύλων και τριγωνικών απόψεων που συνθέτουν ένα ακανόνιστο δίκτυο τριγώνων (**Triangulated Irregular Network - TIN**), ή υψόμετρα σε ένα πλεγματοειδές ορθογώνιο σύστημα συντεταγμένων.
- Για παράδειγμα, οι χρονοσειρές βροχοπτώσεων μπορούν να αναπαρασταθούν σημειακά, με πολική/πλεγματοειδή διάταξη, με ισοϋέτειρες καμπύλες ή με τα πολύγωνα Thiessen.
- Οι χρήσεις γης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αναπτυχθούν τα ποσοστά εξατμισοδιαπνοής ή για την εκτίμηση της υδραυλικής τραχύτητας από πολυγωνικές περιοχές ή από μια καναβική διάταξη-σειρά έμμεσων μετρήσεων με την μέθοδο της τηλεπισκόπησης.
- Και στις δύο περιπτώσεις, η χωρική μεταβλητότητα των παραμέτρων θα διέπεται από την πηγή και την δομή των δεδομένων.

➤ Εισαγωγή

- Αυτά τα παραδείγματα επεξηγούν δύο σημαντικά σημεία:
- Κατ' αρχήν, στις περισσότερες περιπτώσεις η πηγή δεδομένων μπορεί να είναι είτε μια άμεση μέτρηση ενός φυσικού χαρακτηριστικού, είτε μια έμμεση μέτρηση που απαιτεί είτε τη μετατροπή της είτε την περαιτέρω ερμηνεία της.
- Δεύτερον, εξαιτίας του τρόπου μέτρησης των δεδομένων, κάθε πηγή δεδομένων έχει μια χαρακτηριστική δομή συμπεριλαμβανομένων των χωρικών και χρονικών διαστάσεων καθώς επίσης, και της γεωμετρικής μορφής της (σημεία, γραμμές, πολύγωνα, καναβικά δεδομένα, ή σειρές δεδομένων από ραντάρ).

➤ Εισαγωγή

- Επειδή ή η εκάστοτε γεωεφαρμογή μπορεί να μην δέχεται δεδομένα μιας μορφής ή κάποιας άλλης, ο μετασχηματισμός είναι συχνά απαραίτητος από μια δομή δεδομένων σε μια άλλη.
- Η αναγκαιότητα αυτή συχνά προκύπτει διότι οι υδρολογικές διαδικασίες ή παράμετροι, δεν είναι απευθείας παρατηρήσιμες στην κλίμακα που μπορεί να τα αξιοποιήσει η εφαρμογή, ή επειδή η χωρική ή η χρονική κλίμακα της μετρημένης παραμέτρου διαφέρει.
- Το ζήτημα αυτό μπορεί να απαιτήσει μετατροπές από μια προβολή σε μια άλλη , ή από μια δομή σε μια άλλη (για παράδειγμα μετατροπή ισοϋψών καμπύλων σε TIN), παρεμβολή σημειακών τιμών (interpolation), ή τη δημιουργία νέων επιφανειών.
- Επειδή τα γεωχωρικά δεδομένα δημιουργούν την βάση για αριθμητικούς αλγόριθμους η υδρολογική μοντελοποίηση απαιτεί πιο σύνθετη γεωχωρική ανάλυση από ότι η απλή γεωγραφική μοντελοποίηση με την χρήση χαρτών.
- Τυπικά, η κατανεμημένη υδρολογική εφαρμογή χωρίζει μια λεκάνη απορροής ή μια περιοχή, σε στοιχεία που μπορούν να υπολογιστούν.

➤ Εισαγωγή

- Η συμμόρφωση της δομής των δεδομένων σε ένα χάρτη που έχει δημιουργηθεί με τα Γ.Σ.Π. στην αναπαράσταση του μοντέλου των διαδικασιών, είναι ένα βασικό ζήτημα στην ανάλυση των υδρολογικών εφαρμογών με την χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών.
- Η μετατροπή από μια δομή δεδομένων σε μια άλλη θα πρέπει να εξεταστεί ενδελεχώς προκειμένου να είναι αποτελεσματική η χρήση των γεωχωρικών δεδομένων αυτών στην υδρολογία.
- Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα στοιχεία της δομής των δεδομένων.

➤ Διαστατικότητα

- Η κατάταξη των γεωχωρικών δεδομένων δεν ακολουθεί τις ακριβείς Ευκλείδειες έννοιες των 1-διάστατων, 2-διάστατων, 3-διάστατων ή με την προσθήκη του χρόνου, 4-διαστάσεων δεδομένα.
- Ανάλογα με το πώς αναπαρίστανται τα δεδομένα, μπορεί να υπάρξουν μείξεις πολλών μορφών γεωχωρικών δεδομένων.
- Ένα υδρογραφικό δίκτυο, μπορεί να αποτελείται από διανύσματα σε χώρο δυο διαστάσεων, όμως οι κόμβοι και διάφορα σημεία κατά μήκος του ρέματος, μπορεί να αναπαρίστανται από σημειακά δεδομένα μίας διάστασης.
- Η πολυπλοκότητα των διαφόρων αναπαραστάσεων των γεωχωρικών δεδομένων, προσφέρει πολλές δυνατότητες απεικόνισης των υδρολογικών δεδομένων.

➤ Διαστατικότητα

- Για παράδειγμα μπορούμε να ορίσουμε την σειρά ενός ρέματος, βάζοντας μαζί το υδρογραφικό δίκτυο, το οποίο συνίσταται από μια σειρά διανυσμάτων, και την τοπολογία του πώς οι κλάδοι του δικτύου ενώνονται μεταξύ τους, ονομάζοντας 0-τάξης, τα ρέματα στα ανάντη μιας λεκάνης απορροής.
- Κάθε τμήμα του ρέματος μιας συγκεκριμένης τάξης, αρχίζει και τελειώνει με κόμβους.
- Κατά μήκος του ρέματος, οι δείκτες απόστασης που προσδιορίζουν τη μέτρηση της δειγματοληψίας για παράδειγμα των μολυσματικών παραγόντων, ή κάποια άλλη τιμή, μπορούν να συνδεθούν σε κάποια απόσταση κατά μήκος του ρέματος.
- Η απόσταση κατά μήκος του ρέματος είναι διαφορετική από το να προσδιοριστεί ένα άλλο σημείο με συντεταγμένες x,y (xy -point).
- Η απόσταση, σε αυτή την περίπτωση, έχει μόνο σημασία κατά μήκος του συνόλου των διανυσμάτων που προσδιορίζουν το τμήμα του ρέματος.

➤ Διαστατικότητα

- Ο όρος **σημειακά δεδομένα** (point data) όπως χρησιμοποιήθηκε εδώ, αναφέρεται στην αναπαράσταση μιας ποσότητας (ενός μεγέθους) σε κάποια θέση.
- Οι μετεωρολογικοί σταθμοί μετρούν πολλές μεταβλητές σε ένα συγκεκριμένο σημείο.
- Η συγκέντρωση των μετρήσεων των μετρητών βροχής, της ταχύτητας ανέμου, της θερμοκρασίας, και της έκθεσης στην ηλιακή ακτινοβολία, είναι παραδείγματα δεδομένων που ίσως να μην μπορούν να μετρηθούν επακριβώς στην ίδια θέση, δεδομένου ότι τα όργανα μέτρησης τοποθετούνται συχνά σε έναν πύργο και σε διάφορα ύψη.
- Εντούτοις οι μετρημένες ποσότητες αναπαρίστανται συχνά σε ένα σημείο στο 2-διάστατο χώρο.
- Εκτός από τις μετρήσεις που παίρνονται για κάποιον αντιπροσωπευτικό όγκο ή σε μια περιοχή (για παράδειγμα μετρήσεις ραντάρ, ή από δορυφόρο), σχεδόν όλες οι μετρήσεις στην υδρολογία, θεωρούνται σημειακές εκτιμήσεις.

➤ Κλίμακα χαρτών και χωρική λεπτομέρεια

- Ένας τοπογραφικός χάρτης μπορεί να απεικονιστεί σε οποιαδήποτε κλίμακα μέσα σε ένα περιβάλλον GIS.
- Όταν τα δεδομένα ψηφιοποιηθούν και αναπαρασταθούν ηλεκτρονικά σε περιβάλλον GIS, η λεπτομερέστερη ανάλυση στην οποία τα αρχικά δεδομένα είχαν δημιουργηθεί, έχει χαθεί.
- Επομένως η επαναδειγματοληψία σε μεγαλύτερη ή λεπτομερέστερη ανάλυση, «κρύβει» την πληροφορία που είχε ο αρχικός χάρτης.
- Ένας χάρτης μικρής κλίμακας είναι αυτός στον οποίο οι οντότητες εμφανίζονται μικρές, έχει λίγες λεπτομέρειες και καλύπτει μεγάλες επιφάνειες-περιοχές.

➤ Κλίμακα χαρτών και χωρική λεπτομέρεια

- Ένα παράδειγμα χάρτη μικρής κλίμακας είναι κάποιος με κλίμακα **1:1.000.000**.
- Αντιθέτως χάρτες μεγάλης κλίμακας έχουν οντότητες που εμφανίζονται μεγάλες, αλλά καλύπτουν μικρές επιφάνειες-περιοχές.
- Ένα παράδειγμα χάρτη μεγάλης κλίμακας είναι κάποιος με κλίμακα **1:2.000**.
- Ένας χάρτης που έχει συνταχθεί σε κλίμακα 1:1.000.000, μπορεί εύκολα να απεικονιστεί σε περιβάλλον GIS, σε κλίμακα 1:2.000, δίνοντας όμως την λάθος εντύπωση ότι ο χάρτης αυτός περιέχει περισσότερη πληροφορία, απ' ό,τι στην πραγματικότητα ισχύει.
- Επειδή τα Γ.Σ.Π. παρέχουν την δυνατότητα της απεικόνισης δεδομένων σε οποιαδήποτε κλίμακα, θα πρέπει να γίνει διάκριση μεταξύ της αρχικής κλίμακας και της κλίμακας που ο χρήστης επιλέγει κάθε φορά.

➤ Κλίμακα χαρτών και χωρική λεπτομέρεια

- Η κλίμακα και η διακριτική ικανότητα στην οποία τα δεδομένα έχουν συλλεχθεί ή μετρηθεί, προσδιορίζεται σαν η αρχική κλίμακα και η αρχική ανάλυση.
- Αν ο υψομετρικός δείκτης ή τα σημεία των υψομέτρων εξετάζονται για παράδειγμα σε ένα πεδίο ενός πλέγματος 100m, αυτή είναι και η αρχική διακριτική ικανότητα.
- Από τη στιγμή που οι ισοϋψείς παρεμβάλλονται ανάμεσα από τα σημεία και σχεδιάζονται σε έναν χάρτη σε κλίμακα για παράδειγμα 1:25.000, έχουμε ήδη εισαγάγει μια κλίμακα στα δεδομένα.
- Όταν ο χάρτης ψηφιοποιηθεί, θα προκύψουν ελάχιστα περισσότερες πληροφορίες, που να περιέχονται σε μια κλίμακα μεγαλύτερη από την 1:25.000, οπότε η μετατροπή στην κλίμακα 1:1.000, δεν θα είχε κανένα νόημα

➤ Κλίμακα χαρτών και χωρική λεπτομέρεια

- Το σημαντικό για την υδρολογία είναι ότι οι μεταβολές στην διαμόρφωση του εδάφους, στην κλίση ή στην τοπογραφία της περιοχής, δεν μπορούν να εμφανιστούν επαρκώς σε μία ανάλυση που είναι αρκετά χονδροειδής.
- Επιπρόσθετα, το να υποστηρίξουμε ότι έχουμε μια κλίμακα 1: 1.000, απλά γιατί σε ένα χάρτη στο περιβάλλον του GIS, μπορούμε να την ορίσουμε, είναι παραπλανητικό διότι οι μικρές μεταβολές που μπορεί να υπήρχαν, χάθηκαν όταν οι υψομετρικές συντάχθηκαν σε κλίμακα 1: 25.000.
- Οι υδρολόγοι θα πρέπει να αποφασίσουν ποια κλίμακα είναι η κατάλληλη για να αναπαραστήσουν τις υδρολογικές διαδικασίες, που έχουν σχέση με την τοπογραφία μιας περιοχής.

➤ Σύστημα αναφοράς (datum) και χωρική κλίμακα

- Στη γεωδαισία, η έννοια **datum** (datum = σύστημα αναφοράς) αναφέρεται στο γεωδαιτικό ή οριζόντιο σύστημα αναφοράς.
- Ένα τυπικό σύστημα αναφοράς καθορίζεται από πέντε στοιχεία, τα οποία δίνουν τη θέση προέλευσης (δύο δεδομένα), τον προσανατολισμό του δικτύου (ένα στοιχείο), και τις παραμέτρους ελλειψοειδούς αναφοράς (δύο στοιχεία).
- Το **παγκόσμιο γεωδαιτικό σύστημα - WGS** (WGS, 1984) είναι ένα γεωκεντρικό σύστημα που παρέχει ένα βασικό πλαίσιο αναφοράς και ένα γεωμετρικό σχήμα για τη γη, μοντελοποιεί τη γη βαρυμετρικά, και προσδιορίζει την έννοια της θέσης γεωκεντρικά σε ένα σύστημα συντεταγμένων που έχει φτιαχτεί για την γη (**Earth-fixed**).
- Ακόμα και αν δυο χάρτες βρίσκονται στο ίδιο σύστημα συντεταγμένων, οι αποκλίσεις μπορούν ακόμα να είναι προφανείς, λόγω του διαφορετικού συστήματος αναφοράς (datum), ή της κλίμακας που χρησιμοποιείται στη σύνταξη κάποιου χάρτη.

➤ Σύστημα αναφοράς (datum) και χωρική κλίμακα

- Αυτό το πρόβλημα είναι κοινό όταν συντάσσεται ένας χάρτης με ένα παλιότερο σύστημα αναφοράς και στη συνέχεια μετατρέπεται ή χρησιμοποιείται με ένα ενημερωμένο σύστημα αναφοράς.
- Η συνήθης λύση είναι να προσαρμοστεί το παλιό σύστημα αναφοράς με το νέο.
- Οι ρουτίνες μετατροπής υπάρχουν για να μετασχηματίσουν τα χωρικά δεδομένα από ένα σύστημα αναφοράς σε ένα άλλο.
- Η διόρθωση από ένα σύστημα αναφοράς σε ένα άλλο, δεν θα αφαιρέσει τις διαφορές οι οποίες προκαλούνται από την αρχική κλίμακα σύνταξης.
- Αν η αεροφωτογραφία υπάρχει σε κλίμακα 1:25.000 αλλά το υδρογραφικό δίκτυο (υδρογραφία) συντάχθηκε σε μια μικρότερη κλίμακα, τότε τα ρέματα δεν θα ταιριάζουν με την φωτογραφία.

➤ Σύστημα αναφοράς (datum) και χωρική κλίμακα

- Η εσφαλμένη θέση είναι ένα κοινό πρόβλημα όταν χρησιμοποιούνται τα ευρέως διαθέσιμα γεωχωρικά σύνολα δεδομένων, τα οποία έχουν δημιουργηθεί σε διαφορετικές κλίμακες.
- Μια παρόμοια επίδραση της εσφαλμένης θέσης, μπορεί να παρατηρηθεί όταν συνδυάζονται, το διανυσματικό υδρογραφικό δίκτυο και τα καναβικά δεδομένα που περιέχουν πληροφορία υψομέτρου, λόγω της διαφοράς στη δομή των δεδομένων.
- Η διόρθωση των αεροφωτογραφιών έτσι ώστε να ταιριάζουν επικαλυπτόμενες με άλλα γεωχωρικά δεδομένα σε ένα γεωαναφερμένο σύστημα συνταγμένων, μπορεί να αποτελέσει μια χρήσιμη πηγή δεδομένων, για την απόκτηση της υδρολογικής πληροφορίας.

➤ Σύστημα αναφοράς (datum) και χωρική κλίμακα

- **Ορθοφωτογραφία (Orthophotography)** είναι η φωτογραφία που έχει αναχθεί σε ένα γεωαναφερμένο σύστημα συντεταγμένων και αναφέρεται σαν ένας ορθοφωτοχάρτης.



Σχήμα 2.1. Ορθοφωτοχάρτης στην περιοχή της Κόνιτσας στην Ήπειρο

➤ Γεωαναφερόμενα συστήματα συντεταγμένων

- Τα γεωαναφερόμενα συστήματα συντεταγμένων δημιουργήθηκαν για να απεικονίσουν επακριβώς τις οντότητες ενός χάρτη, στην επιφάνεια της Γης.
- Κάθε σημείο στην επιφάνεια της Γης μπορεί να προσδιοριστεί από ένα ζεύγος συντεταγμένων (γεωγραφικό μήκος και γεωγραφικό πλάτος – latitude και longitude).
- Επειδή το σχήμα της Γης είναι πεπλατυσμένο σφαιροειδές, η απόσταση μεταξύ δύο σημείων πάνω στην επιφάνεια, εξαρτάται από την υποτιθέμενη ακτίνα της γης στην συγκεκριμένη θέση.
- Προκειμένου να επεξηγηθεί ακριβώς ο ορισμός της Γης, έχουν δοθεί 2 ορισμοί: ο σφαιροειδής (spheroid) και ο ελλειψοειδής (ellipsoid) ορισμός.
- Οι όροι σφαιροειδής και ελλειψοειδής, αναφέρονται στον καθορισμό των διαστάσεων της Γης σύμφωνα με τις ακτίνες κατά μήκος του ισημερινού και κατά μήκος της γραμμής που ενώνει τους δυο πόλους.

➤ Γεωαναφερόμενα συστήματα συντεταγμένων

- Το GRS1980 και το WGS84 είναι σφαιροειδή στα οποία το γεωειδές έχει ερευνηθεί και έχει ενημερωθεί με την βοήθεια των μετρήσεων και των δορυφορικών τεχνικών.
- Παραδοσιακά, η επικάλυψη των δεδομένων σε περιβάλλον GIS, απαιτεί ότι και τα δύο σύνολα δεδομένων μοιράζονται το ίδιο σύστημα συντεταγμένων.
- Καθώς το λογισμικό GIS γίνεται περιπλοκότερο, ένα μεγάλο μέρος αυτής της διαδικασίας γίνεται αυτοματοποιημένα, αλλά η κατανόηση της συγκεκριμένης διαδικασίας είναι ουσιαστική, στην κατανόηση των προβλημάτων που μπορούν να προκύψουν.
- Τα προβλήματα του προβολικού συστήματος αναφοράς παρουσιάζουν πολλές δυσκολίες και διαφοροποιήσεις, κατά την επικάλυψη δυο διαφορετικών επιπέδων των δεδομένων που δεν ταυτίζονται.
- Ενώ οι μικρές διαφορές, οφείλονται συχνά στις διαφορές στα δεδομένα, οι σημαντικές διαφορές είναι πιθανόν να προκαλούνται λόγω διαφοράς προβολικού συστήματος.

➤ Προβολές χαρτών

- Η **προβολή** (projection) ενός χάρτη, μετατρέπει τις συντεταγμένες που εκφράζονται σαν γεωγραφικό πλάτος και γεωγραφικό μήκος, σε επίπεδες συντεταγμένες.
- Μαζί με τον καθορισμό του γεωειδούς και του συστήματος αναφοράς, οι εξισώσεις ονομάζονται προβολικές (projections).
- Ανάλογα με την προέλευση των δεδομένων του GIS, κάποιο από τα δεδομένα εισόδου μπορεί να αντιμετωπίσει ποικίλες προβολές χαρτών.
- Όταν οι αποστάσεις ή τα εμβαδά χρειάζονται από τα γεωχωρικά δεδομένα, τα δεδομένα σχεδόν πάντα προβάλλονται από το γεωγραφικό πλάτος και το γεωγραφικό μήκος σε ένα 2-διάστατο χώρο.
- Όλες οι προβολές εμπεριέχουν την **παραμόρφωση** (distortion), επειδή η προβολή μετασχηματίζει τις θέσεις που βρίσκονται σε μια τρισδιάστατη επιφάνεια, -για παράδειγμα το σφαιροειδές- σε μια θέση που βρίσκεται σε μια δυσδιάστατη επιφάνεια, ονομαζόμενη ως επιφάνεια προβολής.

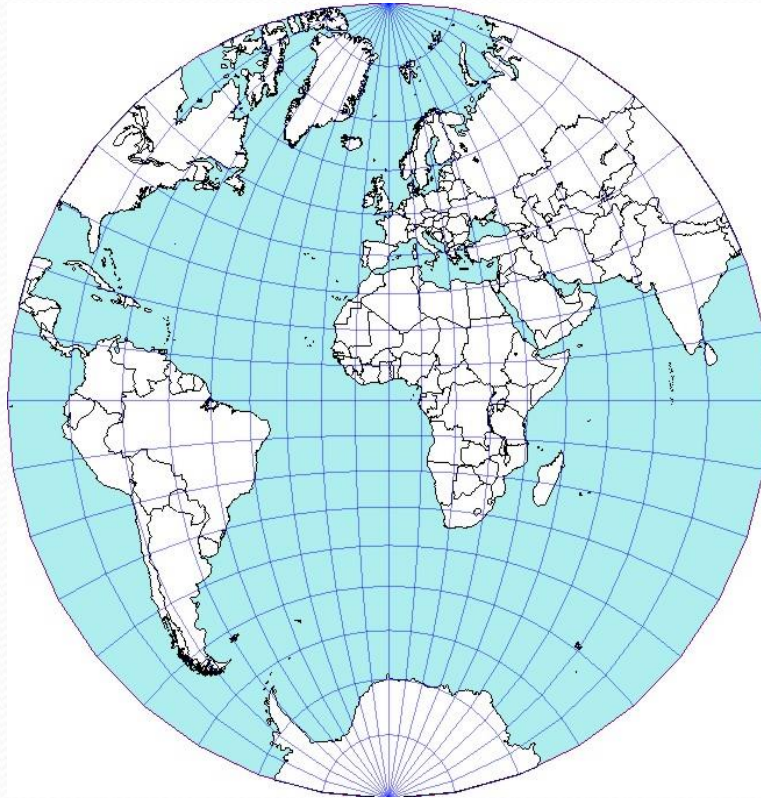
➤ Προβολές χαρτών

- Υπάρχουν τρεις κύριοι τύποι προβολών:
- Οι **σύμμορφες** (ορθομορφικές) (**Conformal**) προβολές είναι εκείνες που διατηρούν τις τοπικές γωνίες.
- Εάν δύο γραμμές τέμνονται μεταξύ τους σε μια γωνία 30 μοιρών στο σφαιροειδές, τότε σε μια σύμμορφη προβολή, η γωνία διατηρείται στην επιφάνεια προβολής, μόνο εάν η προβολή είναι **ισαπέχουσα (equal distance)**.
- Η **στερεογραφική (stereographic)** προβολή είναι σύμμορφη, αλλά όχι ίσου εμβαδού (equal area) ή **ισαπέχουσα (ίσης απόστασης)**.

➤ Προβολές χαρτών

- Επειδή η υδρολογία ασχολείται με αποστάσεις και εμβαδά, οι προβολές των χαρτών που διατηρούν αυτά τα μεγέθη, βρίσκουν ευρύτατη εφαρμογή.
- Η χρησιμότητα των χαρτών για την πλοήγηση, έχει κάνει τις γεωγραφικές προβολές ένα σημαντικό κομμάτι της ανθρώπινης ιστορίας.
- Το σχήμα 2.2 παρουσιάζει τις χώρες του κόσμου που προβάλλονται πάνω σε ένα επίπεδο εφαπτόμενο προς το βόρειο πόλο, χρησιμοποιώντας τη **στερεογραφική** προβολή.
- Η πολική μορφή ήταν γνωστή πιθανώς από τους Αιγυπτίους.
- Ο πρώτος Έλληνας που τη χρησιμοποίησε ήταν ο Ίππαρχος στο 2^ο αιώνα.
- Ο Francois d' Aiguillon ήταν ο πρώτος που την ονόμασε στερεογραφική το 1613.

➤ Προβολές χαρτών



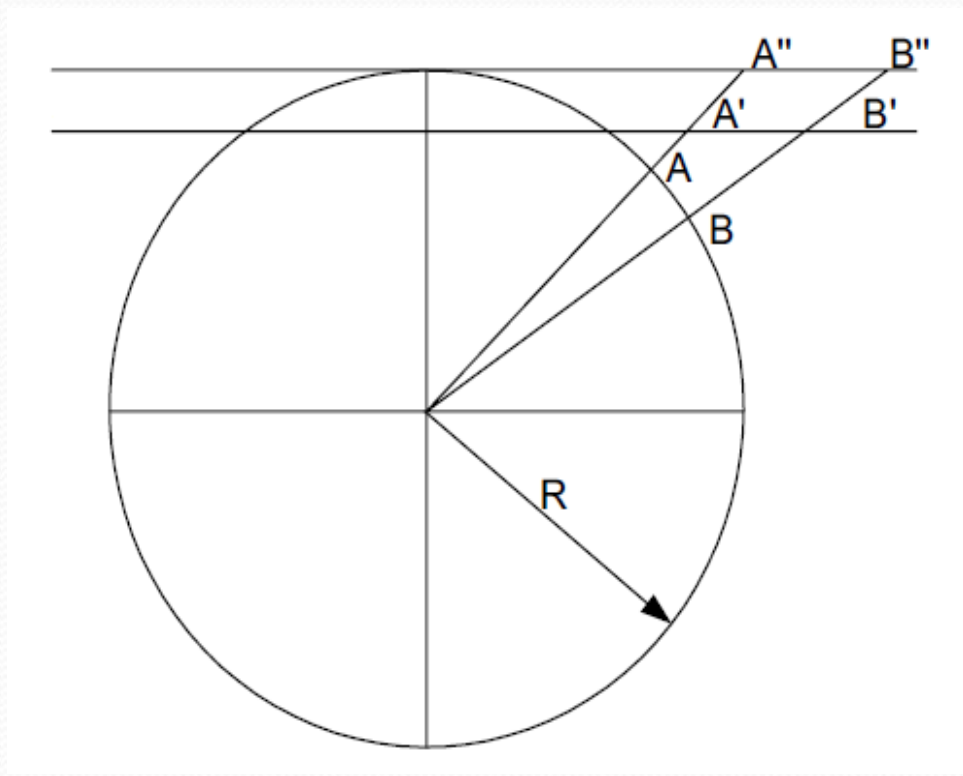
Σχήμα 2.2. Στερεογραφική προβολή όλων των Χωρών της Γης, με γραμμές γεωγραφικού πλάτους και γεωγραφικού μήκους.

➤ Προβολές χαρτών

- Ενώ αυτή η προβολή έχει χρησιμοποιηθεί από παλιά για λόγους πλοήγησης (navigation purposes), πιο πρόσφατα έχει χρησιμοποιηθεί και για υδρολογικούς σκοπούς.
- Ένα χαρακτηριστικό αυτού του τύπου προβολής είναι ότι οι κύκλοι πάνω στην γήινη επιφάνεια παραμένουν κύκλοι και κατά την προβολή.
- Οι κύκλοι των ραντάρ (**radar circles**) παραμένουν κύκλοι και στον προβαλλόμενο χάρτη .
- Η επιλογή του γεωγραφικού πλάτους του επιπέδου στο χάρτη ονομάζεται γεωγραφικό πλάτος αναφοράς (**reference latitude**) και είναι μια παράμετρος προβολής που εξαρτάται από την θέση και τα όρια που εκτείνονται οι οντότητες που θα χαρτογραφηθούν.
- Η απόσταση μεταξύ των σημείων A' και B' , είναι μικρότερη στο επίπεδο του χάρτη σε γεωγραφικό πλάτος 60° Βόρεια από την απόσταση ανάμεσα στα A'' και B'' σε γεωγραφικό πλάτος 90° Βόρεια.
- Οι αλλαγές στην απόσταση σε ένα συγκεκριμένο επίπεδο, αποτελούν μια παραμόρφωση.

➤ Προβολές χαρτών

- Το σχήμα 2.3 δείχνει την βασική ιδέα της στερεογραφικής προβολής:



Σχήμα 2.3. Στερεογραφική μέθοδος προβολής, για μετατροπή της γεωγραφικής θέσης των σημείων A και B σε χάρτη επίπεδης επιφάνειας.

➤ Προβολές χαρτών

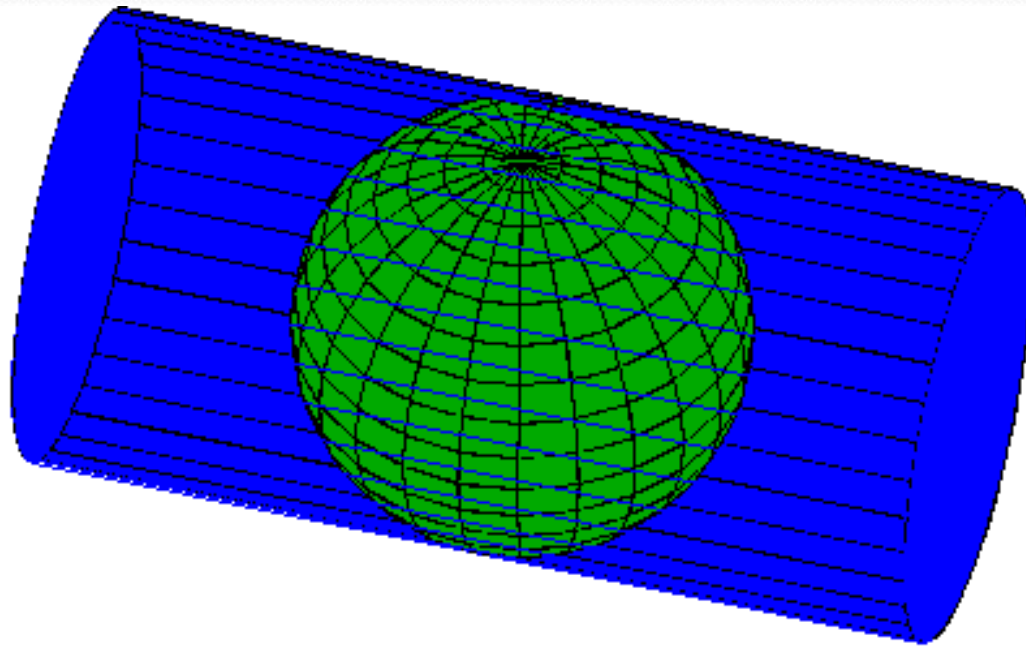
- Οι παράμετροι αλλά και ο τύπος του προβολικού συστήματος είναι σημαντικές επιλογές δεδομένου ότι η ακρίβεια των χαρτογραφημένων οντοτήτων, εξαρτάται από την επιλογή.
- Το σφαιροειδές μπορεί να αναπαρασταθεί σαν μια απλή ακτίνα.
- Στην επιλογή ενός προβολικού συστήματος, επιδιώκουμε να ελαχιστοποιήσουμε τη παραμόρφωση στις γωνίες, στις επιφάνειες-εμβαδά ή τις αποστάσεις, ανάλογα με το ποια πτυχή είναι σημαντικότερη.
- Δεν υπάρχει καμία προβολή που να διατηρεί και τα τρία χαρακτηριστικά.
- Ενώ δεν μπορούμε να έχουμε μια προβολή που να είναι ταυτόχρονα σύμμορφη, ίσου εμβαδού και ίσης απόστασης, μπορούμε όμως να διατηρήσουμε δύο από τις τρεις ποσότητες.

➤ Προβολές χαρτών

- Για παράδειγμα η **Παγκόσμια Εγκάρσια Μερκατορική προβολή - UTM** (Universal Transverse Mercator) έχει σχεδιαστεί να είναι σύμμορφη και ίσου εμβαδού.
- Για να ελαχιστοποιήσουμε την παραμόρφωση της απόστασης, η Εγκάρσια Μερκατορική Προβολή (UTM), διαιρεί την επιφάνεια της Γης σε 60 ζώνες.
- Στα μέσα πλάτη σε όλο τον κόσμο, παρόμοιες προβολές, γίνονται σε κάθε ζώνη γεωγραφικού μήκους 6 μοιρών ($360^\circ/60$).
- Αυτό σημαίνει ότι οι συντεταγμένες στην προβαλλόμενη επιφάνεια, περιγράφουν μοναδικά ένα σημείο, μόνο μέσα στη ζώνη τους.
- Οι προβαλλόμενες συντεταγμένες είναι σε μέτρα με την X-συντεταγμένη (Ανατολής-Δύσης) =500 000 μ που ορίζεται από τον κεντρικό μεσημβρινό κάθε ζώνης.

➤ Προβολές χαρτών

- Το σχήμα 2.4 παρουσιάζει τη δημιουργία μιας εγκάρσιας επιφάνειας που εφάπτεται, κατά μήκος του γεωγραφικού μήκους ενός μεσημβρινού.



Σχήμα 2.4. Εγκάρσια δημιουργημένη κυλινδρική επιφάνεια που χρησιμοποιεί η Εγκάρσια Μερκατορική Προβολή (UTM).

➤ Προβολές χαρτών

- Ανάλογα με την προβολή, οι παραμορφώσεις που υπάρχουν είτε στην κατεύθυνση Ανατολή-Δύση είτε στη κατεύθυνση Βορράς-Νότος, μπορούν να ελαχιστοποιηθούν, αλλά δεν μπορούν να επιτευχθούν και τα δύο.
- Εάν τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά εκτείνονται σε μεγαλύτερη απόσταση στην κατεύθυνση Βορρά-Νότου, χρησιμοποιείται συχνά μια προβολή που ελαχιστοποιεί την παραμόρφωση σε αυτήν την κατεύθυνση.
- Η κατεύθυνση με την λιγότερη παραμόρφωση, καθορίζεται από την δημιουργούμενη επιφάνεια (**developable surface**), που χρησιμοποιείται για να μετατρέψει τις συντεταγμένες στο σφαιροειδές, σε μια 2-διάστατη επιφάνεια.
- Οι τυπικές δημιουργούμενες επιφάνειες είναι κύλινδροι ή κώνοι.
- Ο προσανατολισμός του άξονα της επιφάνειας που δημιουργείται σε σχέση με τον άξονα της Γης, καθορίζει εάν η προβολή θα καλείται εγκάρσια ή πλάγια.

➤ Προβολές χαρτών

- Μια **εγκάρσια προβολή (Transverse)** θα προσανατόλιζε έναν κύλινδρο του οποίου ο άξονας του είναι σε σωστή γωνία με τον άξονα της γης και θα εφάπτεται στην επιφάνεια της Γης, κατά μήκος κάποιου μεσημβρινού. Ο κύλινδρος τότε είναι «μη τυλιγμένος» έτοιμος να δημιουργήσει μια 2-διάστατη επιφάνεια με καρτεσιανές συντεταγμένες.
- Σε μια **πλάγια προβολή (oblique)**, ο άξονας της δημιουργούμενης επιφάνειας και ο άξονας της Γης, σχηματίζουν μια πλάγια γωνία. Η παραμόρφωση στην απόσταση ελαχιστοποιείται στην προβολή UTM, κάνοντας τον κύλινδρο εφαπτόμενο στον κεντρικό μεσημβρινό κάθε ζώνης και έπειτα «ξεδιπλώνοντας τον», για να δημιουργήσει τον προβαλλόμενο χάρτη.
- Η επιλογή της κατάλληλης προβολής για τη χωρική έκταση του υδρολογικού χαρακτηριστικού είναι σημαντική.

➤ Προβολές χαρτών

- Το σχήμα 2.5 δείχνει την ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου μαζί με τα γεωγραφικά όρια από το πρόγραμμα Google Earth. Το πλέγμα των συντεταγμένων του χάρτη σε διαστήματα αντιστοιχεί στις Ζώνες της UTM προβολής.



Σχήμα 2.5. Η ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου και οι ζώνες UTM στο Google Earth

➤ Προβολές χαρτών

- Η **Εγκάρσια Μερκατορική Προβολή (UTM)**, είναι μια αποδεκτή Προβολή για υδρολογική ανάλυση, περιορισμένης χωρικής έκτασης.
- Η επιλογή της **κατάλληλης** προβολής και του συστήματος αναφοράς (datum) για την υδρολογική ανάλυση, **εξαρτάται** από την **έκταση** της **λεκάνης απορροής** ή της περιοχής μελέτης.
- Εάν η καλυπτόμενη απόσταση είναι μεγάλη, τότε τα ζητήματα προβολής αποκτούν πρόσθετη σημασία.
- Στις μικρές λεκάνες απορροής, το ζήτημα της προβολής δεν είναι τόσο σημαντικό επειδή τα λάθη ή οι παραμορφώσεις είναι της τάξης του εκατομμυριοστού και δεν ασκούν γενικά σημαντική επίδραση στην υδρολογική προσομοίωση.
- Στην πραγματικότητα, για τις μικρές λεκάνες απορροής μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ένα υποτιθέμενο σύστημα συντεταγμένων που συνδέει τα χαρακτηριστικά μεταξύ τους, αδιαφορώντας για τη θέση τους στη γήινη επιφάνεια.

➤ Αναπαράσταση δεδομένων - Μεταδεδομένα

- Η γνώση της αρχικής προέλευσης και των άλλων ιδιοτήτων που αφορούν τα δεδομένα που θα χρησιμοποιήσουμε, είναι ουσιαστικό προκειμένου να κατανοηθούν οι περιορισμοί και να εξαντληθεί η χρησιμότητά τους για τα δεδομένα.
- Αυτή η πληροφορία αναφέρεται συνήθως σαν στοιχείο για τα δεδομένα ή τα **μεταδεδομένα (metadata)**.
- Για παράδειγμα το γεγονός ότι μια ομάδα με δεδομένα που διαθέτουν πληροφορία υψομέτρου έχει δημιουργηθεί ή καταγραφεί από μια συγκεκριμένη πηγή, θα μπορούσε να γίνει γνωστό μόνο από τα μεταδεδομένα.
- Αν η τοπογραφία μιας περιοχής, η οποία διαμορφώνει την υδρολογική διαδικασία, απαρτίζεται από επιφανειακά γνωρίσματα, όπως μικρά ρυάκια, ή μικρά κανάλια αποστράγγισης που έχουν φυσιολογικά μια κλίμακα μικρότερη του ενός (1) μέτρου σε ύψος ή χωρική έκταση, τότε η ψηφιακή αναπαράσταση της επιφάνειας, μπορεί να μην αποτελεί χρήσιμο στοιχείο στην μοντελοποίηση της υδρολογικής διαδικασίας.

➤ Αναπαράσταση δεδομένων - Μεταδεδομένα

- Συνήθως, τα αρχεία των μεταδεδομένων περιέχουν λεπτομερείς περιγραφές των ομάδων των δεδομένων και αφηγηματικές ενότητες, που περιγράφουν τις διαδικασίες που χρησιμοποιούνται για να παραχθούν οι ομάδες δεδομένων, σε ψηφιακή μορφή.
- Τα μεταδεδομένα μπορούν να είναι αναπόφευκτα για την επίλυση των προβλημάτων που αφορούν τα δεδομένα.
- Η κατανόηση της προέλευσης των δεδομένων, του συστήματος αναφοράς και της αρχικής κλίμακας στην οποία δημιουργήθηκαν, καθώς επίσης και των παραμέτρων της προβολής, είναι προϋποθέσεις για την αποτελεσματική GIS ανάλυση.
- Στη συνέχεια περιγράφονται οι κύριες μέθοδοι για την αναπαράσταση της τοπογραφίας μια περιοχής καθώς και η χρησιμότητά τους.

➤ Ψηφιακή αναπαράσταση αναγλύφου

- Ένα ψηφιακό μοντέλο υψομέτρων (**Digital Elevation Model - DEM**) αποτελείται από μια κλιμακούμενη διάταξη αριθμών, που αναπαριστούν την χωρική κατανομή των υψομέτρων πάνω σε κάποιο διακριτό σύστημα αναφοράς μιας περιοχής.
- Μπορεί να αποτελείται από τις τιμές υψομέτρων που επιλέγονται σε συγκεκριμένα σημεία ή το μέσο υψόμετρο ενός συγκεκριμένου τμήματος της περιοχής μελέτης, αν και στις περισσότερες περιπτώσεις είναι το πρώτο (τιμές υψομέτρων που επιλέγονται σε συγκεκριμένα σημεία).
- Τα **DEMs** είναι υποσύνολα των ψηφιακών μοντέλων εδάφους (**Digital Terrain Models - DTMs**), τα οποία ορίζονται ως μια κλιμακούμενη διάταξη αριθμών, που αναπαριστούν την χωρική κατανομή των περιγραφικών χαρακτηριστικών του εδάφους και όχι μόνο του υψομέτρου.
- Πάνω από 20 περιγραφικά χαρακτηριστικά του ανάγλυφου μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να περιγράψουν την διαμόρφωση του εδάφους.

➤ Ψηφιακή αναπαράσταση αναγλύφου

- Για παράδειγμα, οι κλίσεις του εδάφους ή των υδατορευμάτων του υδρογραφικού δικτύου και το πόσο ομαλές ή απότομες είναι, ήταν πάντα σημαντικές και ευρέως χρησιμοποιούμενες τοπογραφικές περιγραφικές ιδιότητες.
- Πολλά συστήματα κατηγοριοποίησης της ικανότητας του εδάφους, χρησιμοποιούν την κλίση ως την πρωταρχική έννοια για την απόδοση κατηγορίας, μαζί και με άλλους παράγοντες όπως το βάθος του εδάφους, την δυνατότητα αποστράγγισης και την γονιμότητά του.
- Άλλες πρωταρχικές τοπογραφικές ιδιότητες, περιλαμβάνουν συγκεκριμένες λεκάνες απορροής καθώς και το υψόμετρο

➤ Ψηφιακή αναπαράσταση αναγλύφου

- Η γεωμετρική ανάλυση μιας επιφάνειας παίζει σπουδαίο ρόλο στην μελέτη ποικίλων διαδικασιών σε μια περιοχή.
- Οι αναλυτικώς παραγόμενοι σύνθετοι τοπογραφικοί δείκτες, μπορεί να περιλαμβάνουν την περιεκτικότητα του εδάφους σε νερό, τις επιφανειακές ζώνες κορεσμού, την ετήσια βροχόπτωση, τις διαδικασίες διάβρωσης, τις ιδιότητες του εδάφους και τις ιδιότητες που εξαρτώνται από την ηλιακή ακτινοβολία.
- Η αξιόπιστη εκτίμηση των τοπογραφικών παραμέτρων που αντανακλούν τη γεωμετρία των επιφανειών και των εκτάσεων είναι απαραίτητη για τις γεωμορφολογικές, υδρολογικές και περιβαλλοντικές μελέτες, επειδή το έδαφος ελέγχει την απορροή, τη διάβρωση, και την ιζηματογένεση.
- Κατά την επιλογή της συγκεκριμένης μεθόδου αναπαράστασης μιας επιφάνειας, είναι σημαντικό να εξεταστεί η τελική χρήση.
- Η ιδανική δομή για ένα DEM μπορεί να είναι διαφορετική εάν χρησιμοποιείται για την δόμηση ενός κατανεμημένου υδρολογικού μοντέλου από ότι εάν χρησιμοποιείται για να καθορίσει τις τοπογραφικές ιδιότητες της περιοχής.

➤ Ψηφιακή αναπαράσταση αναγλύφου

- Για διάφορες γεωεφαρμογές, προκειμένου να αποκτηθεί και να αναλυθεί ένα δίκτυο υψομετρικών δεδομένων υπάρχουν οι τρεις ακόλουθοι κύριοι τρόποι δόμησης:
 - Ισοϋψείς καμπύλες (**Contours**)
 - Ψηφιδωτά (**Raster**)
 - Δίκτυο Ακανόνιστων τριγώνων (**Triangulated Irregular Network - TIN**)
- Μετά από αυτήν την εισαγωγή στους τρεις βασικούς τύπους αναπαράστασης επιφανειών, θα ασχοληθούμε παρακάτω λεπτομερέστερα με κάθε ένα από αυτούς τους τρεις τρόπους δόμησης.

➤ Ισοϋψείς καμπύλες (Contours)

- Μια ισοϋψή καμπύλη, είναι μια νοητή γραμμή πάνω σε μια επιφάνεια, που δείχνει τη θέση ίσου ύψους(επιπέδου) ή τιμής.
- Για παράδειγμα, μια ισοϋετής καμπύλη είναι μια γραμμή ίσης συσσώρευσης της βροχόπτωσης.
- Η αναπαράσταση μιας επιφάνειας με την χρήση ισοϋψών καμπυλών, απεικονίζει τις κλίσεις και τα σχετικά ελάχιστα και μέγιστα.
- Η απόσταση μεταξύ των ισοϋψών καμπυλών, είναι πολύ σημαντική, ιδιαίτερα όταν παράγονται και άλλοι παράμετροι.
- Η διαφορά μεταξύ ενός επιπέδου ισοϋψούς από ένα άλλο ονομάζεται ισοδιάσταση (**quantization**).
- Οι υδρολογικές παράμετροι μπορούν να διαμορφωθούν σε διαφορετικά διαστήματα ισοδιάστασης, ανάλογα με την μεταβλητότητα της εκάστοτε διαδικασίας και την κλίμακα στην οποία ελέγχεται η υδρολογική διαδικασία.

➤ Ισοϋψείς καμπύλες (Contours)

- Οι μέθοδοι αναπαράστασης υψομέτρων επιφανειών που βασίζονται στις ισοϋψείς καμπύλες (**Contour-based**), ή αναπαράστασης άλλων ιδιοτήτων, έχουν σημαντικά πλεονεκτήματα στην υδρολογική μοντελοποίηση και στις εφαρμογές της γεωπληροφορικής, διότι η δομή των στοιχειωδών περιοχών τους είναι βασισμένη στον τρόπο με τον οποίο το νερό ρέει πάνω στην επιφάνεια του εδάφους.
- Οι γραμμές ορθογώνια στις ισοϋψείς, είναι οι γραμμές του υδρογραφικού δικτύου οπότε οι εξισώσεις που περιγράφουν τη ροή του νερού μπορούν να μειωθούν σε μια σειρά απλών εξισώσεων που συνδέονται μεταξύ τους.
- Πολλά **DEMs** προκύπτουν από τους τοπογραφικούς χάρτες, έτσι η ακρίβειά τους δεν μπορεί ποτέ να είναι μεγαλύτερη από την αυτήν της αρχικής πηγής των δεδομένων.
- Για παράδειγμα, στους χάρτες σε έντυπη μορφή της Γ.Υ.Σ. κλίμακας 1: 50.000 η ισοδιάσταση είναι 4 μέτρα και τα ψηφιοποιημένα δεδομένα προσφέρονται από ισοδιάσταση 20 μέτρα και πάνω.

➤ Ψηφιδωτά (Raster)

- Η δομή των ψηφιδωτών δεδομένων, είναι ίσως μια από τις πιο γνωστές δομές δεδομένων στην υδρολογία.
- Πολλές μορφές δεδομένων, ειδικότερα οι πληροφορίες που αφορούν τον τομέα της τηλεπισκόπησης, συχνά μετρούνται και αποθηκεύονται σε ψηφιδωτή μορφή.
- Ο όρος **ψηφιδωτό** (raster), προέρχεται από την τεχνολογία που έχει αναπτυχθεί για την τηλεόραση στην οποία μια εικόνα αποτελείται από μια σειρά στοιχείων εικόνας αποκαλούμενα ψηφίδες (pixels).
- Αυτή η ψηφιδωτή διάταξη των εικονοστοιχείων είναι επίσης μια χρήσιμη μορφή για την αναπαράσταση των γεωγραφικών δεδομένων, ιδιαίτερα των δεδομένων της τηλεπισκόπησης, τα οποία στην πρωτογενή τους μορφή είναι ένα ψηφιδωτό (σύνολο από ψηφίδες).
- Τα ψηφιδωτά δεδομένα αναφέρονται επίσης και σαν **πλέγματα** (πλεγματικά δεδομένα - **grids**).

➤ Ψηφιδωτά (Raster)

- Λόγω των πολύ μεγάλων ποσοτήτων υψομετρικών δεδομένων που είναι σε ψηφιδωτή μορφή, συνήθως χρησιμοποιούνται για τη χάραξη της λεκάνης απορροής(του υδροκρίτη), την παραγωγή της κλίσης, και την δημιουργία του υδρογραφικού δικτύου.
- Άλλα επιφανειακά χαρακτηριστικά όπως η κλίση και η έκθεση, μπορούν να προέλθουν από το DEM και να αποθηκευτούν σε ένα ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DTM).
- Ο όρος **DTED (Digital Terrain Elevation Data)**, αντιπροσωπεύει τα ψηφιακά υψομετρικά δεδομένα εδάφους, για να διαχωρίζει τα υψομετρικά δεδομένα, από άλλες μορφές DTM χαρακτηριστικών.

➤ Ψηφιδωτά (Raster)

- Τα ψηφιδωτά DEM είναι μια από τις πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες δομές δεδομένων, λόγω της ευκολίας εφαρμογής των αλγόριθμων του υπολογιστή σε αυτά. Εντούτοις, έχουν αρκετά μειονεκτήματα:
- Δεν μπορούν εύκολα να χειριστούν τις απότομες αλλαγές στο υψόμετρο.
- Το μέγεθος της πλέξης ενός πλέγματος (grid mesh), επηρεάζει τα αποτελέσματα και την υπολογιστική απόδοση.
- Οι υπολογισμένες με την αύξηση της κλίσης, πορείες ροής που χρησιμοποιούνται στην υδρολογική ανάλυση, τείνουν σε μια τεθλασμένη πορεία (ζίγκ-ζάγκ) και επομένως δεν είναι και τόσο πραγματικές.
- Ο καθορισμός συγκεκριμένων υδρολογικών λεκανών, μπορεί να είναι ανακριβής στις επίπεδες επιφάνειες-περιοχές.

➤ Ψηφιδωτά (Raster)

- Η συλλογή της πληροφορίας υψομέτρου μιας επιφάνειας, σε ψηφιακή μορφή κατάλληλη να εισαχθεί σε έναν υπολογιστή περιλαμβάνει την δειγματοληψία των x, y, z σημείων (Easting – Northing - Elevation) από ένα μοντέλο που αναπαριστά μια επιφάνεια όπως ένας χάρτης με ισοϋψείς καμπύλες, σειρές αεροφωτογραφιών, ή άλλες εικόνες.
- Η δειγματοληψία σε ένα DEM, μπορεί να γίνει με ποικίλες τεχνικές.
- Η χειροκίνητη δειγματοληψία των DEMs, περιλαμβάνει την επικάλυψη των πλεγματικών δεδομένων(grid) με έναν τοπογραφικό χάρτη και την χειροκίνητη κωδικοποίηση των τιμών του υψομέτρου, άμεσα σε κάθε κελί. Εντούτοις, αυτό είναι μια πολύ κουραστική και χρονοβόρα διαδικασία κατάλληλη μόνο για μικρές περιοχές.
- Εναλλακτικά, τα δεδομένα του υψομέτρου μπορούν να ληφθούν δειγματοληπτικά, με απευθείας ποσοτική φωτογραμμετρική μέτρηση, από αεροφωτογραφίες, σε ένα όργανο στερεοφωτογραμμετρικής απόδοσης.
- Συχνότερα, τα ψηφιακά δεδομένα υψομέτρου επιλέγονται από χάρτες με ισοϋψείς χρησιμοποιώντας έναν ψηφιοποιητή (**digitizer**) που μεταφράζει τις τιμές x, y και z σε ψηφιακά αρχεία.

➤ Ψηφιδωτά (Raster)

- Ο εξοπλισμός για αυτόματη σάρωση χαρτών με ισοϋψείς καμπύλες, έχει αναπτυχθεί, βασισμένος είτε σε συσκευές που ακολουθούν την γραμμή χρησιμοποιώντας λέιζερ (**laser-driven**), είτε μια συσκευή σάρωσης ψηφιδωτών, όπως ο σαρωτής (**drum scanner**).
- Εντούτοις, τα αυτόματα συστήματα, συνεχίζουν να απαιτούν έναν χειριστή για να ορίσει τις τιμές του υψομέτρου για τα δεδομένα των ισοϋψών που προκύπτουν από πρόχειρη δουλειά, την αυθαίρετη εμφάνιση γραμμών που δεν είναι ισοϋψείς πάνω στις ισοϋψείς που αυτόματα σαρώθηκαν, ή άλλες ασυνέπειες-λάθη που μπορεί να υπάρξουν.
- Τα ψηφιακά μοντέλα υψομέτρων (DEMs), μπορούν να προκύψουν από επικαλυπτόμενα ψηφιακά τηλεσκοπικά δεδομένα, χρησιμοποιώντας αυτόματες τεχνικές στερεοσκοπικής συσχέτισης (**stereo-correlation**) όπου με αυτό τον τρόπο παράγεται το DEM γρήγορα και με ακρίβεια.
- Με την αυξανόμενη χωρική ακρίβεια των δεδομένων της τηλεπισκόπησης, τα μελλοντικά DEM θα έχουν τρομακτικά μεγαλύτερη ακρίβεια.

➤ Δίκτυο Ακανόνιστων Τριγώνων (Triangular Irregular Network - TIN)

- Το **TIN**, είναι ένα ακανόνιστο δίκτυο από τρίγωνα, που αναπαριστούν μια επιφάνεια σαν ένα σύνολο μη-επικαλυπτόμενων γειτονικών τριγωνικών όψεων, με ακανόνιστα μεγέθη και σχήματα. Τα TIN είναι πιο κατάλληλα για την αναπαράσταση της επιφάνειας από ότι είναι η πυκνά ομοιόμορφη ψηφιδωτή αναπαράσταση.
- Τα TIN έχουν γίνει όλο και περισσότερο δημοφιλή, λόγω της αποδοτικότητας τους στην αποθήκευση των δεδομένων και της απλής δομής των δεδομένων τους για την προσαρμογή των ακανόνιστα κατανεμημένων δεδομένων του υψομέτρου.
- Κάποια επιπλέον πλεονεκτήματα έχουν παρατηρηθεί, όταν τα μοντέλα TIN χρησιμοποιούνται στην ανάλυση δια της όρασης σε τοπογραφικές επιφάνειες, για την εξαγωγή των υδρολογικών χαρακτηριστικών του εδάφους, καθώς και άλλων εφαρμογών.

➤ Δίκτυο Ακανόνιστων Τριγώνων (Triangular Irregular Network - TIN)

- Το δίκτυο ακανόνιστων τριγώνων - TIN, έχει αρκετά ευδιάκριτα πλεονεκτήματα στην αναπαράσταση των επιφανειών, σε σχέση με την χρήση ψηφιδωτών ή χαρτών με ισοϋψείς.
- Το κυριότερο πλεονέκτημα είναι ότι το μέγεθος κάθε τριγώνου μπορεί να ποικίλει, έτσι ώστε οι ευρείες επίπεδες περιοχές να καλύπτονται με λίγα μεγάλα τρίγωνα, ενώ οι ιδιαίτερα μεταβαλλόμενες ή με απότομες κλίσεις περιοχές να καλύπτονται με πολλά, μικρότερα τρίγωνα.
- Αυτό παρέχει κάποια αποδοτικότητα σε σχέση με τις ψηφιδωτές δομές δεδομένων, δεδομένου ότι τα στοιχεία μπορούν να ποικίλουν σε μέγεθος ανάλογα με τη μεταβλητότητα της επιφάνειας.
- Λαμβάνοντας υπόψη τα πλεονεκτήματα των TINs στην αναπαράσταση των στοιχείων που απαιτούν μεταβλητή ανάλυση (resolution) στη συνέχεια θα εξετάσουμε τα χαρακτηριστικά τους και τις μεθόδους δημιουργίας τους.

➤ Δίκτυο Ακανόνιστων Τριγώνων (Triangular Irregular Network - TIN)

- Ένα TIN προσεγγίζει μια εδαφική επιφάνεια με ένα σύνολο τριγωνικών όψεων. Κάθε τρίγωνο ορίζεται από τρεις πλευρές και η κάθε πλευρά οριοθετείται από δύο κορυφές (γωνιακά σημεία).
- Τα περισσότερα μοντέλα TIN υιοθετούν τις επίπεδες τριγωνικές όψεις με σκοπό την απλούστερη παρεμβολή ή τη δημιουργία ισοϋψών καμπυλών.
- Οι κορυφές (γωνίες) στα TIN, περιγράφουν τα κομβικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα του εδάφους όπως για παράδειγμα οι κορυφές, τα κοιλώματα ή τα περάσματα-μονοπάτια, ενώ οι πλευρές απεικονίζουν τα γραμμικά χαρακτηριστικά του ανάγλυφου του εδάφους, όπως τα σπασίματα, οι κορυφογραμμές ή οι γραμμές του υδρογραφικού δικτύου.
- Η δημιουργία επομένως ενός TIN, από ένα DEM που έχει πλεγματική μορφή, περιλαμβάνει μερικές διαδικασίες για την αποτελεσματική επιλογή των θέσεων των κορυφών (γωνιών) όσον αφορά τα κομβικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα του ανάγλυφου του εδάφους, ή των πλευρών του TIN όσον αφορά τα γραμμικά χαρακτηριστικά του ανάγλυφου του εδάφους.

➤ Δίκτυο Ακανόνιστων Τριγώνων (Triangular Irregular Network - TIN)

- Τα DEM σε μορφή πλέγματος, είναι ευρέως διαθέσιμα σε σχετικά χαμηλό κόστος.
- Λόγω αυτής της αυξανόμενης διαθεσιμότητας, η ανάγκη για μια αποδοτική μέθοδο εξαγωγής των κρίσιμων υψομετρικών σημείων από ένα DEM σε μορφή πλέγματος για την διαμόρφωση ενός TIN, έχει αυξηθεί.
- Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει όμως να δοθεί, ώστε να εξασφαλισθεί το γεγονός πως δεν έχουν χαθεί κρίσιμα στοιχεία ή οντότητες, κατά την διαδικασία μετατροπής.
- Χρησιμοποιώντας όπου χρειάζεται, τρίγωνα με ποικίλα μεγέθη, μειώνεται ο χώρος αποθήκευσης στον υπολογιστή, σε σχέση με τον χώρο που δεσμεύεται από ψηφιδωτά δεδομένα.
- Οι μέθοδοι δημιουργίας TIN από DEM σε μορφή πλέγματος, ανακαλύφθηκαν από τον Lee το 1991.

➤ Δίκτυο Ακανόνιστων Τριγώνων (Triangular Irregular Network - TIN)

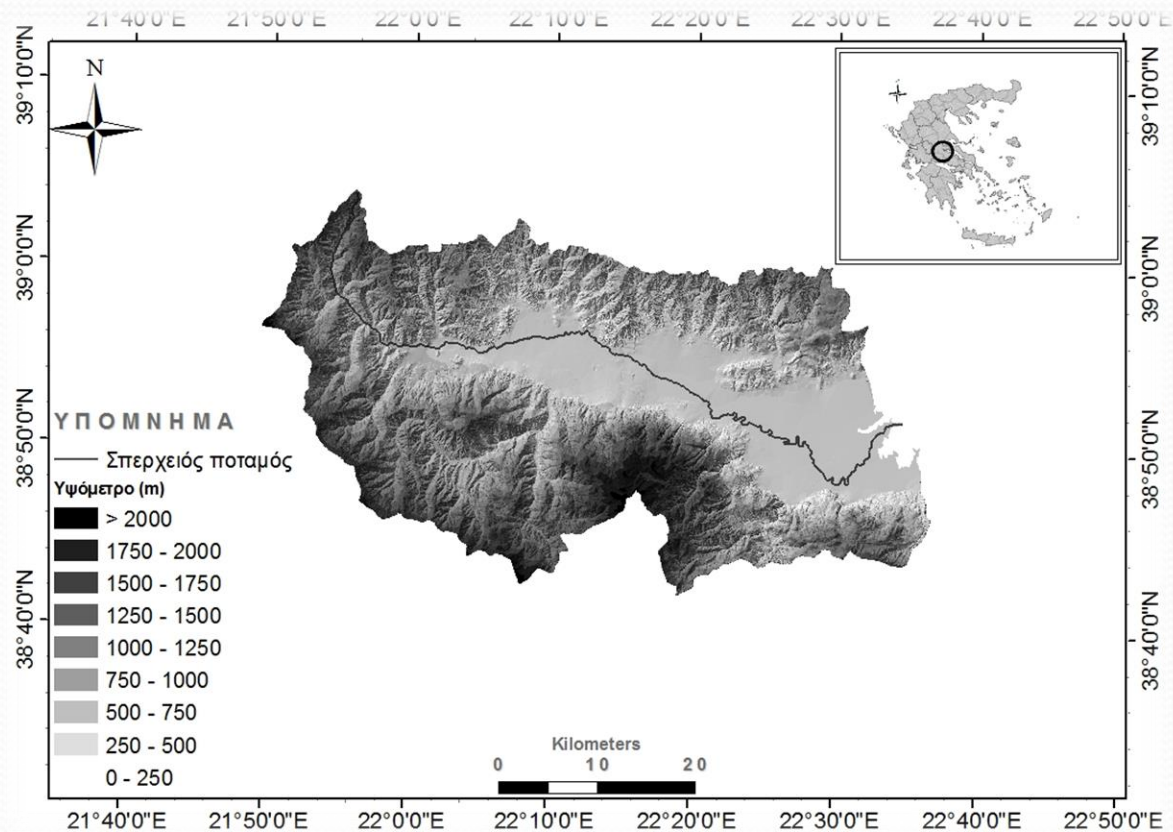
- Γενικά, οι μέθοδοι δημιουργίας TIN συνίστανται στην επιλογή των κρίσιμων σημείων από τα DEM σε μορφή πλέγματος.
- Τα μη ουσιώδη σημεία του πλέγματος απορρίπτονται υπέρ της αναπαράστασης της επιφάνειας με λιγότερα σημεία συνδεδεμένα στις τριγωνικές όψεις.
- Αυτές οι μέθοδοι μετατροπής μπορούν να ταξινομηθούν σε τέσσερις κατηγορίες:
 - σκελετική μέθοδος (skeleton)
 - φίλτρου (filter)
 - ιεραρχική (hierarchy)
 - ευριστική μέθοδος (heuristic)

➤ Δίκτυο Ακανόνιστων Τριγώνων (Triangular Irregular Network - TIN)

- Κάθε μια από αυτές τις μεθόδους έχει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά της, διαφέροντας μεταξύ τους ,στο πώς αξιολογούν τη σημασία του σημείου, και στους κανόνες σταματήματος (stopping rules), δηλαδή, πότε να σταματήσουν να επιλέγουν υψομετρικά σημεία.
- Η κοινή ιδιότητα όλων των μεθόδων είναι ότι τα σύνολα των λύσεων, εξαρτώνται από μερικές προκαθορισμένες παραμέτρους, όπου αυτές είναι αρκετές ανοχές στη σκελετική μέθοδο, είτε μια ανοχή ή ένας ορισμένος αριθμός παραγόμενων σημείων, στις άλλες τρεις μεθόδους.

➤ Δίκτυο Ακανόνιστων Τριγώνων (Triangular Irregular Network - TIN)

- Στο σχήμα 2.6 απεικονίζεται ένα TIN το οποίο έχει δημιουργηθεί από ένα DEM σε μορφή πλέγματος (grid DEM).



Σχήμα 2.6. Μοντέλο αναπαράστασης υψομέτρων με μορφή TIN, το οποίο έχει προκύψει από ένα πλεγματοειδούς μορφής DEM για τη Λεκάνη απορροής του ποταμού Σπερχειού (Maris et al., 2014).