



Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης

ΠΜΣ Διαχείριση Υδρομετεωρολογικών Καταστροφών

Εισαγωγή στο GIS

Νικολόπουλος Διονύσης - Δρ. Πολιτικός Μηχανικός ΕΜΠ

Εντεταλμένος Διδάσκων

Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ

e-mail: nikolopoulosdio@central.ntua.gr

GIS – Τι είναι;

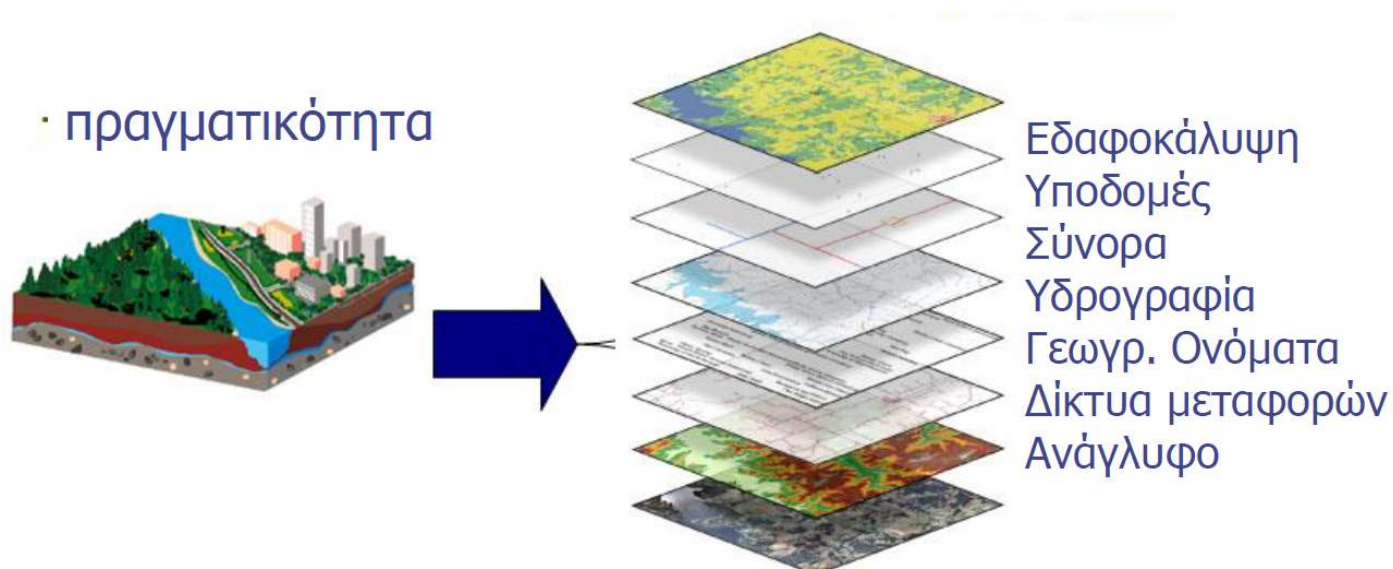
- Πως θα μπορούσαμε να απαντήσουμε σε ερωτήσεις όπως:
 - Ποιο είναι το «σημείο 0» μιας πανδημίας [χολέρας](#);
 - Πως άλλαξαν οι χρήσεις γης στην Περιφέρεια Αττικής τα τελευταία 20 χρόνια;
 - Ποια η συντομότερη διαδρομή για το delivery μου από το X μαγαζί;
 - Υπάρχουν σχολεία σε απόσταση μικρότερη από 1Km από την κατοικία που θα νοικιάσω;
- Και στα «δικά μας»,
 - Ποιο είναι το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής;
 - Ποια η κλίση του πυθμένα του ρέματος κατά μήκος ως τις εκβολές του;
 - Ποιες περιοχές κατακλύζονται στην πλημμύρα που αντιστοιχεί στην καταιγίδα T50;

GIS – Τι είναι;

- **«Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών»**
- *Συλλέγουν, οργανώνουν, διαχειρίζονται, αποθηκεύουν, αναλύουν, συσχετίζουν, και οπτικοποιούν δεδομένα με **γεωγραφική αναφορά***
- Χωρική (spatial) ανάλυση εξίσου σημαντική με την χρονική (temporal) σε πραγματικά έργα
- Απαραίτητο εργαλείο για κάθε μηχανικό
- Τα πλέον γνωστά λογισμικά GIS είναι το [ArcGIS](#) (proprietary) και το [QGIS](#) (FOSS - free and open source software)
- Μεγάλη γκάμα υπολογιστικών πακέτων και εργαλείων σε γλώσσα Python (ενδεικτικά gdal, geopandas, rasterio, shapely, fiona, cartopy, folium ([link](#) για resources))

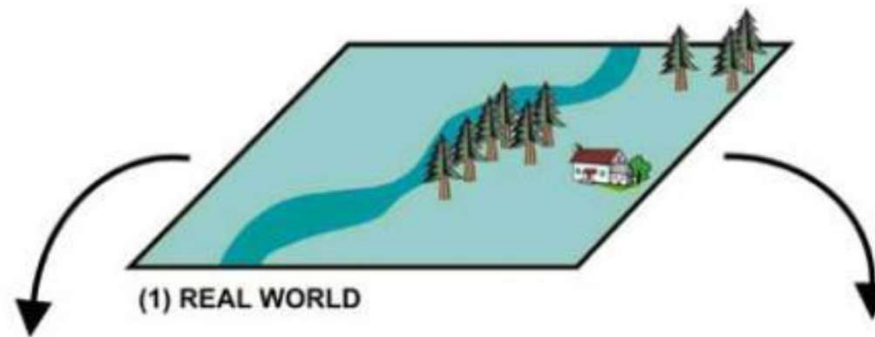
Βασικά στοιχεία

Θεματικά επίπεδα (layers): Η παραδοσιακή μέθοδος αναπαράστασης του γεωγραφικού χώρου που καταλαμβάνουν τα χωρικά δεδομένα είναι μια σειρά από θεματικά επίπεδα

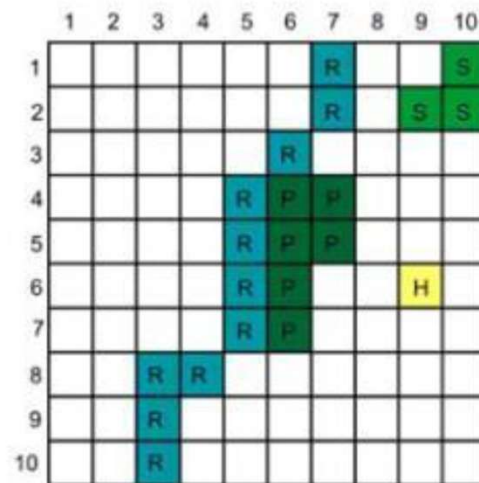


Χωρικά μοντέλα (spatial models): καταγράφουν ψηφιακά σε εννοιολογικό επίπεδο τα χωρικά δεδομένα και χωρίζονται σε **δύο** βασικές κατηγορίες

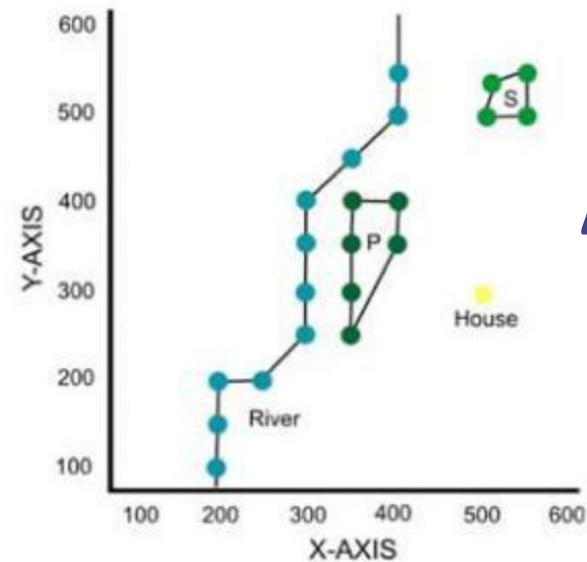
Χωρικά μοντέλα



Κανονικοποιημένο
μοντέλο (raster)



(2) RASTER REPRESENTATION



(3) VECTOR REPRESENTATION

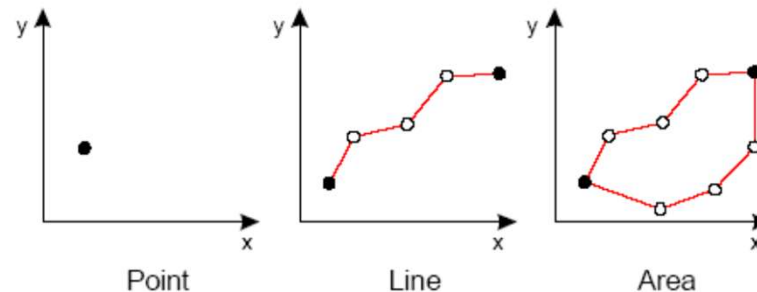
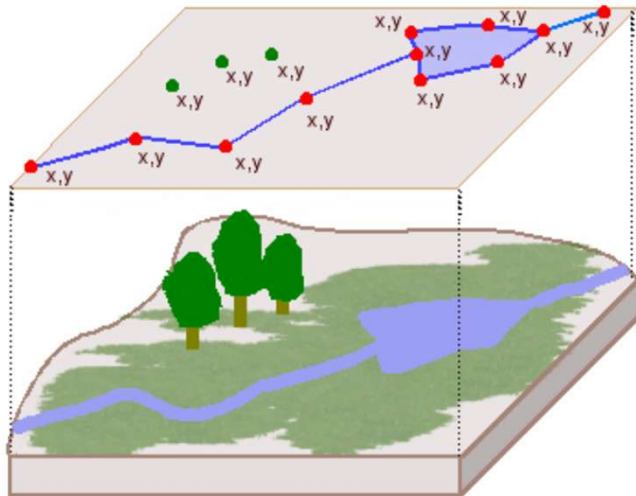
Διανυσματικό
μοντέλο
(vector)

Δημιουργία μοντέλου γεωγραφικού χώρου

- **Διαδικασία με 4 βήματα:**
 - **Πραγματικότητα:** Εξέταση των χωρικών οντοτήτων/φαινομένων, όπως αυτά πραγματικά υφίστανται και περιέχουν όλα τα χαρακτηριστικά τα οποία υποπίπτουν ή όχι στην ανθρώπινη αντίληψη.
 - **Μοντέλο τη πραγματικότητας:** Αφαιρετική προσέγγιση της πραγματικότητας και επιλογή των χωρικών οντοτήτων/φαινομένων, που είναι χρήσιμα για τη συγκεκριμένη εφαρμογή.
 - **Μοντέλο χωρικών δεδομένων:** Αναπαράσταση του μοντέλου της πραγματικότητας με ένα κατάλληλο μοντέλο χωρικών δεδομένων π.χ. διανυσματικό μοντέλο, κανονικοποιημένο μοντέλο.
 - **Δομή χωρικών δεδομένων:** Αποθήκευση του μοντέλου χωρικών δεδομένων με κατάλληλες δομές κατάλληλες για αποθήκευση και διαχείριση

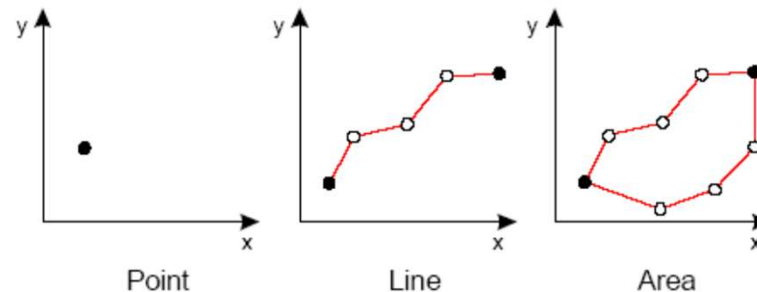
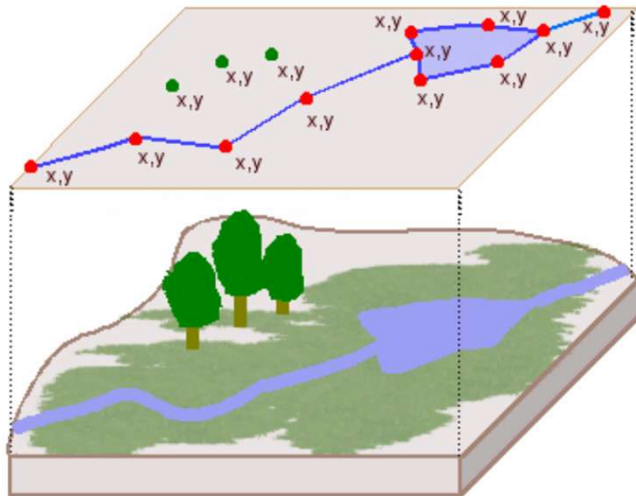
Διανυσματικό μοντέλο (I)

- Συντεταγμένες στο χώρο : **σημείο** (point) $[(X,Y)]$ (γραμμή μηδενικού μήκους)
- Ακολουθία συντεταγμένων: **γραμμή** (polyline) $[(X_1,Y_1), (X_2,Y_2), \dots, (X_N,Y_N)]$ – βασική λογική μονάδα
- Ακολουθία συντεταγμένων όπου πρώτο και τελευταίο σημείο ταυτίζονται, ορίζοντας μια κλειστή επιφάνεια: **πολύγωνο** (polygon) $[(X_1,Y_1), (X_2,Y_2), (X_N,Y_N), (X_1,Y_1)]$
- Υπάρχουν και άλλες σύνθετες οντότητες όπως multipart-polylines, multi-polygons, multi-points



Διανυσματικό μοντέλο (I)

- Συντεταγμένες στο χώρο : **σημείο** (point) $[(X,Y)]$ (γραμμή μηδενικού μήκους)
- Ακολουθία συντεταγμένων: **γραμμή** (polyline) $[(X1,Y1), (X2,Y2), \dots, (XN,YN)]$ – βασική λογική μονάδα
- Ακολουθία συντεταγμένων όπου πρώτο και τελευταίο σημείο ταυτίζονται, ορίζοντας μια κλειστή επιφάνεια: **πολύγωνο** (polygon) $[(X1,Y1), (X2,Y2), \dots, (XN,YN), (X1,Y1)]$
- Υπάρχουν και άλλες σύνθετες οντότητες όπως multipart-polylines, multi-polygons, multi-points

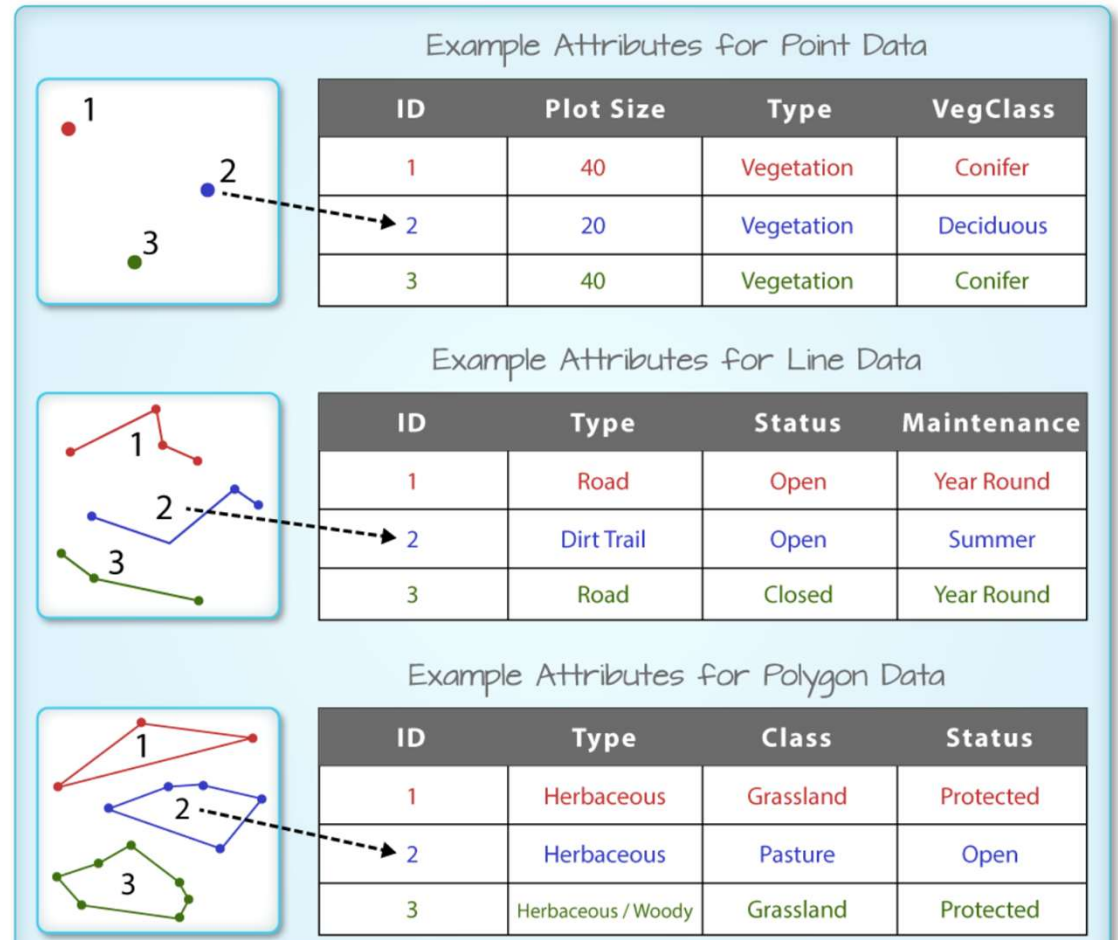


Τα διανυσματικά μοντέλα είναι τα πλέον κατάλληλα για την ψηφιακή καταγραφή **διακριτών** χωρικών οντοτήτων

Διανυσματικό μοντέλο (II)

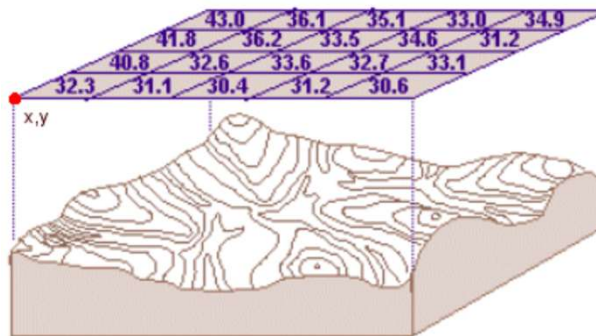
Μοναδικός κωδικός (ID) κάθε αντικειμένου στο επίπεδο πληροφορίας για σύνδεση της γεωμετρίας με περιγραφικές ιδιότητες (attributes)
(Attribute table)

Συνήθεις μορφότυποι αρχείων: Shapefile (shp), GeoJSON, DXF



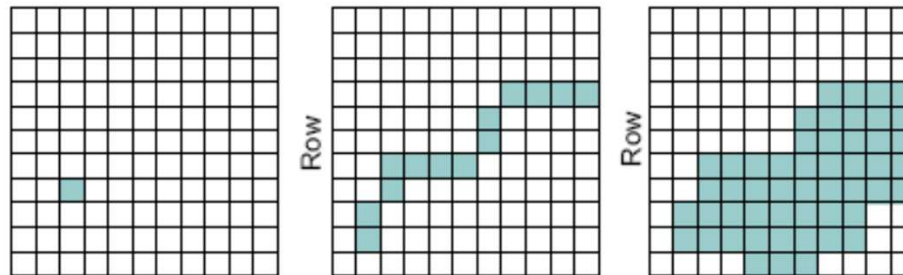
Κανονικοποιημένο μοντέλο

- Ο γεωγραφικός χώρος χωρίζεται σε χωρία κανονικού σχήματος (φατνία), το καθένα από τα οποία αποτελεί τη βασική λογική μονάδα και όλα μαζί συγκροτούν ένα **κάναβο** (grid).
- Σε κάθε φατνίο-λογική μονάδα αντιστοιχεί μία μοναδική τιμή μιας μεταβλητής, και ως εκ τούτου είναι τα πλέον καταλληλά μοντέλα για περιγραφή γεωγραφικών φαινομένων που χαρακτηρίζονται ως συνεχή. Τα κανονικοποιημένα μοντέλα χρησιμοποιούνται συνήθως για ψηφιακά μοντέλα εδάφους, δορυφορικές εικόνες, θερμοκρασίες, κτλ.
- Το μέγεθος του φατνίου καθορίζει την ανάλυση (**resolution**) a priori.
- Υπάρχουν και σύνθετα κανονικοποιημένα μοντέλα με πολλαπλά κανάλια (bands) όπου σε κάθε φατνίο υπάρχει τιμή ανα κανάλι. Τυπική περίπτωση μια RGB εικόνα.



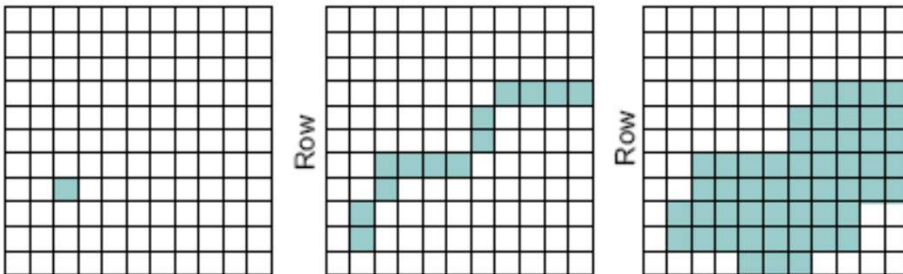
Κανονικοποιημένο μοντέλο

- Τα στοιχεία του πίνακα (φατνία) καταχωρίζονται στη **μνήμη** του συστήματος γραμμή -γραμμή ή στήλη -στήλη. Αυτό συνιστά αδυναμία διότι φατνία που ευρίσκονται πλησίον χωρικά, δεν έχουν **ανάλογη θέση** στο αρχείο
- Είναι δυνατός ο προσδιορισμός των “άμεσων γειτόνων” κάθε φατνίου μέσω επεξεργασίας του περιεχομένου του αρχείου
- Πολλές λογικές ή αριθμητικές πράξεις είναι **άμεσες** π.χ. η εύρεση της επιφάνειας ενός χωρίου είναι μια απλή μέτρηση των φατνίων που το αποτελούν
- Ευελιξία στην εκτέλεση πράξεων
- Απουσία προσδιορισμού σαφών τυπολογικών σχέσεων
- Αδυναμία λεπτομερειακής και ακριβούς καταγραφής συντεταγμένων των χαρτογραφικών στοιχείων
- Μεγάλα μεγέθη αρχείων



Κανονικοποιημένο μοντέλο

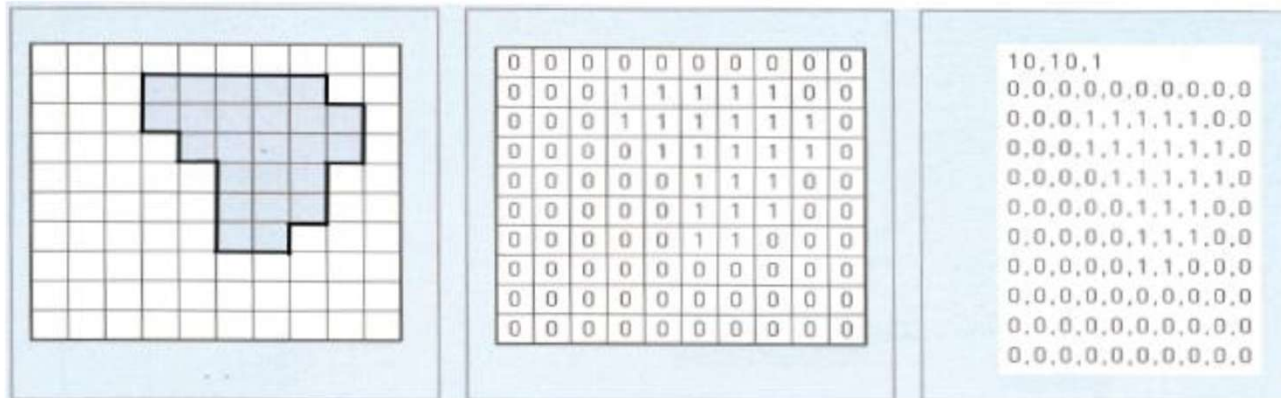
- Τα στοιχεία του πίνακα (φατνία) καταχωρίζονται στη **μνήμη** του συστήματος γραμμή -γραμμή ή στήλη -στήλη. Αυτό συνιστά αδυναμία διότι φατνία που ευρίσκονται πλησίον χωρικά, δεν έχουν **ανάλογη θέση** στο αρχείο
- Είναι δυνατός ο προσδιορισμός των “άμεσων γειτόνων” κάθε φατνίου μέσω επεξεργασίας του περιεχομένου του αρχείου
- Πολλές λογικές ή αριθμητικές πράξεις είναι **άμεσες** π.χ. η εύρεση της επιφάνειας ενός χωρίου είναι μια απλή μέτρηση των φατνίων που το αποτελούν
- Ευελιξία στην εκτέλεση πράξεων
- Απουσία προσδιορισμού σαφών τοπολογικών σχέσεων
- Αδυναμία λεπτομερειακής και ακριβούς καταγραφής συντεταγμένων των χαρτογραφικών στοιχείων
- Μεγάλα μεγέθη αρχείων



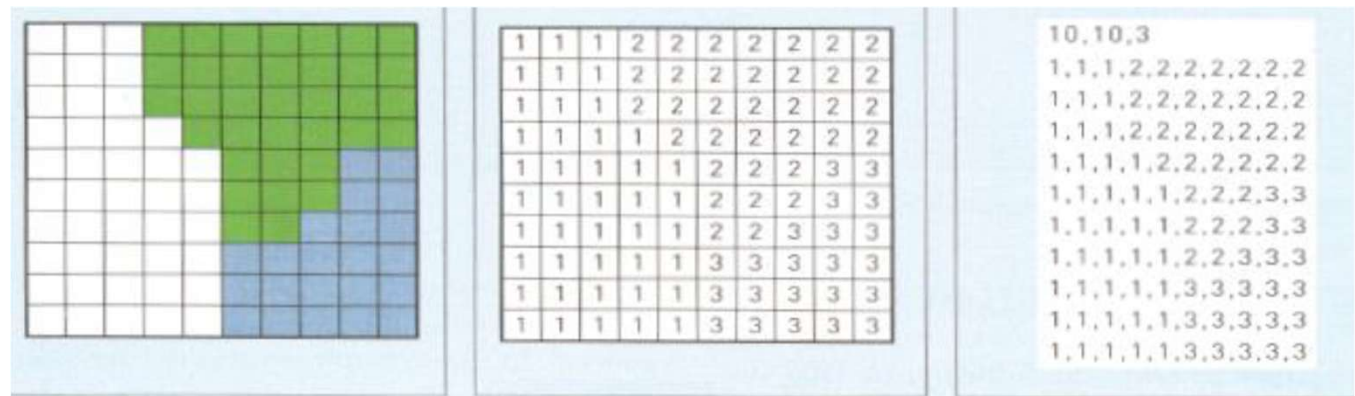
Συνήθεις μορφότυποι
αρχείων: GeoTIFF, IMG,
grid

Δομή κανονικοποιημένου μοντέλου

Απλή δομή (0: κενά φαντρία, 1: δεδομένα θεματικού επιπέδου)

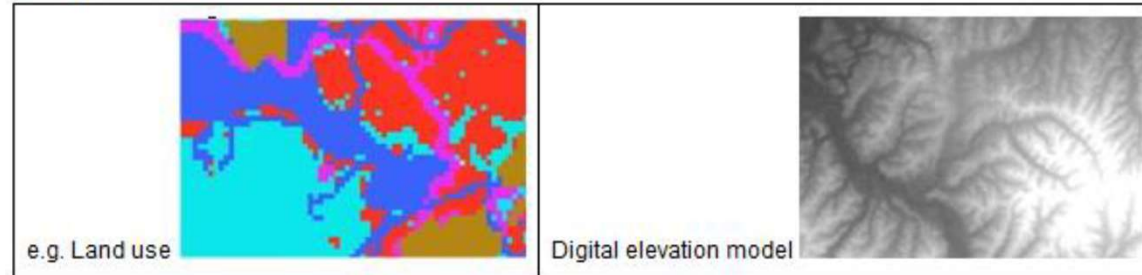


Δομή με κωδικό ανα
θέση αν δεν
καταλαμβάνουν
διαφορετικές οντότητες
την ίδια γεωγραφική
θέση (πχ χρήσεις γης))

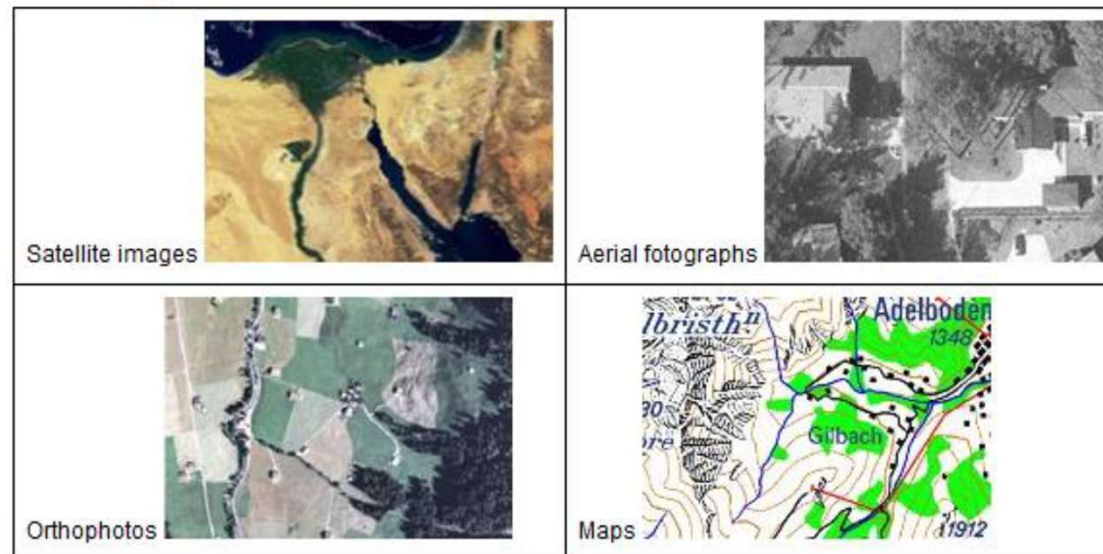


Παραδείγματα κανονικοποιημένων χωρικών δεδομένων

Thematic data



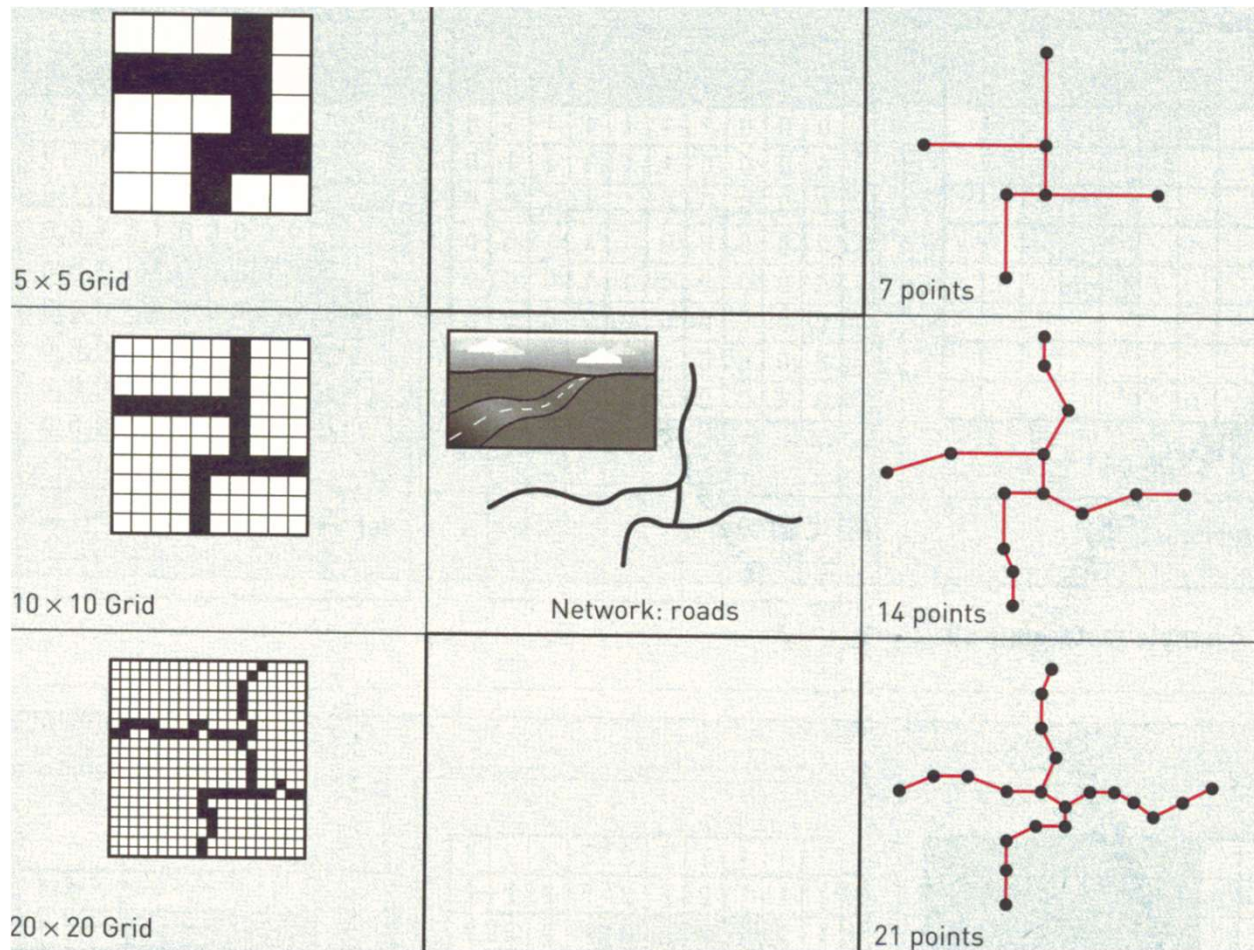
Raster images



Επιλογή χωρικού μοντέλου

- Ανεξάρτητα από το μοντέλο που θα χρησιμοποιηθεί για την ψηφιακή καταγραφή των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των οντοτήτων/φαινομένων και της κατανομής τους στον χώρο, στη **βάση δεδομένων** υπάρχει εσωτερικός συσχετισμός μεταξύ της γεωμετρίας και των περιγραφικών χαρακτηριστικών **[ιδιοτήτων]**
- Η επιλογή του κατάλληλου μοντέλου χωρικών δεδομένων είναι **καθοριστική** : ο τρόπος αναπαράστασης των χωρικών δεδομένων στο σύστημα επηρεάζει τη μορφή της **ανάλυσης** και την **ποιότητα** της γραφικής απόδοσης
- Τα σύγχρονα συστήματα GIS εξυπηρετούν και τις δύο κατηγορίες μοντέλων, γεγονός που συμβάλλει αποτελεσματικά στη συν επεξεργασία και συναξιοποίηση αρχείων δεδομένων που αφορούν στην ίδια περιοχή και έχουν διαφορετική δομή υπό ορισμένες προϋποθέσεις.
- Δυνατότητα αμφίδρομης μετατροπής μεταξύ των δύο μοντέλων: Raster to Vector (R2V), Vector to Raster (V2R), όχι lossless όμως!
- Κριτήρια επιλογής: πληρότητα (βαθμός αντιπροσώπευσης πραγματικότητας από το μοντέλο), ανθεκτικότητα (η δυνατότητα με την οποία ένα χωρικό μοντέλο ανταπεξέρχεται σε ειδικές περιπτώσεις, πχ τοπολογίας), ευκολία μετασχηματισμού και γραφικής απόδοσης, ταχύτητα προσπέλασης και μνήμη

Περί «ανάλυσης» - διακριτικής ικανότητας

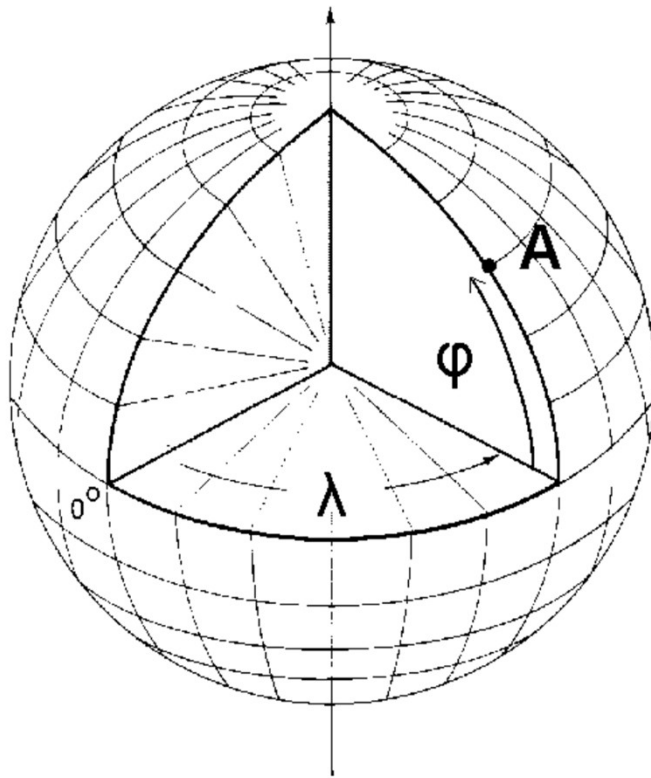


Raster: μέγεθος
φατνίου (και άρα
αριθμός τους
κανάβου που
περιγράφει ίδια
έκταση)

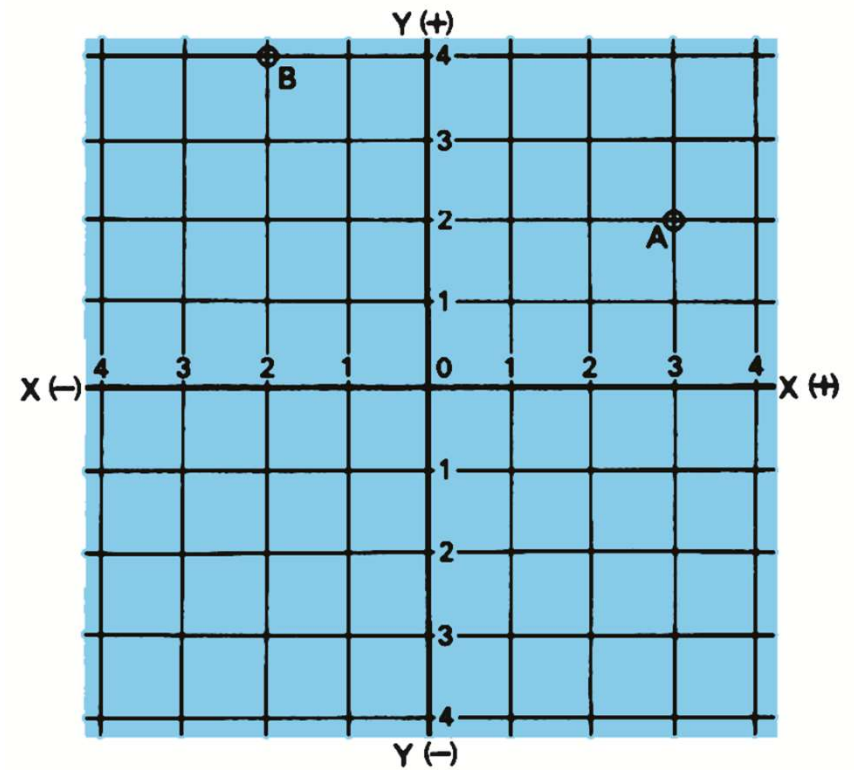
Vector: αριθμός
κορυφών (και
άρα η απόσταση
μεταξύ
κορυφών)

Συστήματα συντεταγμένων

Απαραίτητα για ορισμό των θέσεων με ακρίβεια

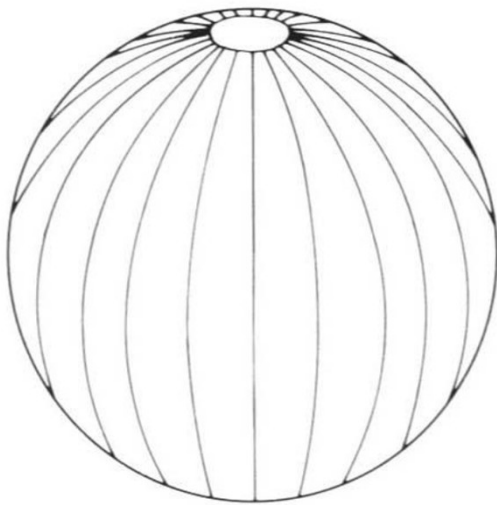


Σύστημα γεωγραφικών συντεταγμένων (ϕ, λ)



Σύστημα ορθογωνίων (επίπεδων ή καρτεσιανών) συντεταγμένων (X,Y)

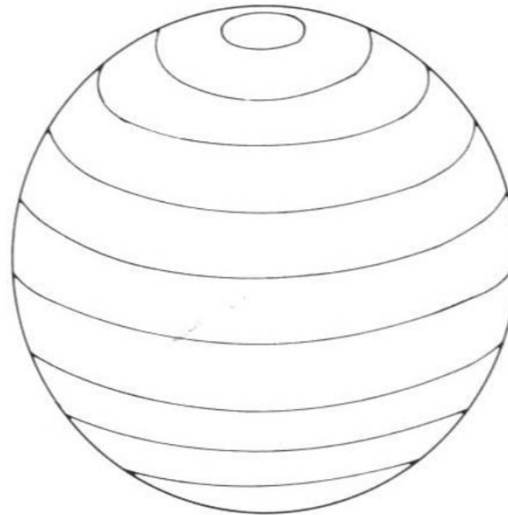
Γεωγραφικές συντεταγμένες



Μεσημβρινοί
(λ =σταθερό)

-180° ως 180°

Ποιος ο πρώτος
μεσημβρινός?

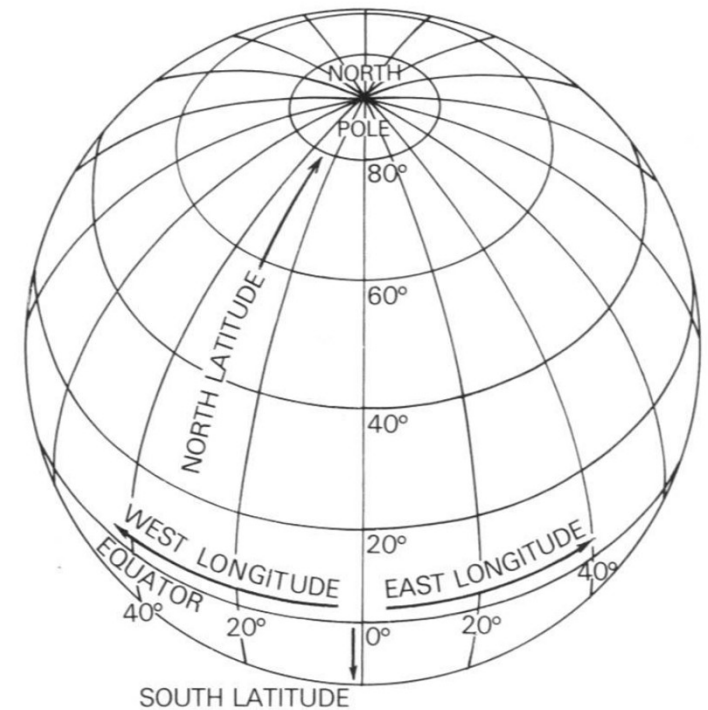


Παράλληλοι
(ϕ =σταθερό)

-90° ως 90°

Ποια η αρχή
τους?

Γεωγραφικό μήκος λ
Γεωγραφικό πλάτος ϕ



Μορφή γεωγραφικών συντεταγμένων

Εξηκονταδική μορφή: μοίρες (ο)-πρώτα λεπτά (')-
δευτερόλεπτα (")

[degrees – minutes – seconds, d-m-s]

$1^{\circ} = 60'$

$1' = 60''$

$1^{\circ} = ?''$

Δεκαδικές μορφές

Δεκαδικές μοίρες [decimal degrees: dd]

$dd = d + (m/60) + (s/3600)$

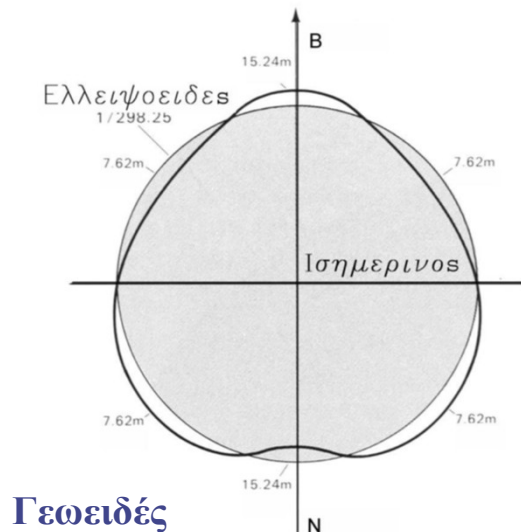
Δεκαδικά πρώτα λεπτά [decimal minutes: dm]

$dm = (d \cdot 60) + m + (s/60)$

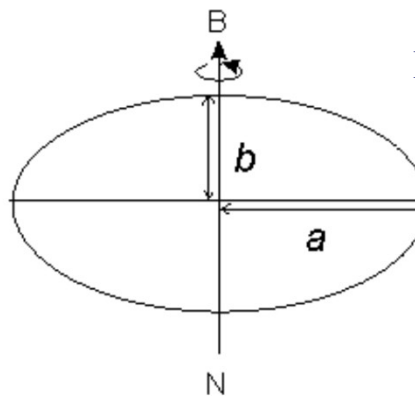
Δεκαδικά δευτερόλεπτα [decimal seconds: ds]

$ds = (d \cdot 3600) + (m \cdot 60) + s$

Σχήμα γης



Γεωειδές



Ελλειψοειδές εκ περιστροφής

Οριζόντιες τομές: κύκλοι

Κατακόρυφες τομές: ελλείψεις

Μεταβαλλόμενη διπλή
καμπυλότητα

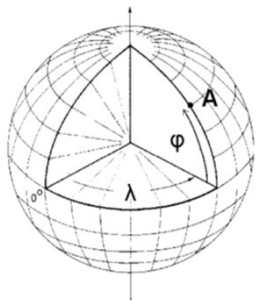
Μη αναπτυσσόμενη επιφάνεια: η
απεικόνιση στο επίπεδο δεν μπορεί
να γίνει χωρίς παραμορφώσεις !

Παραμορφώσεις

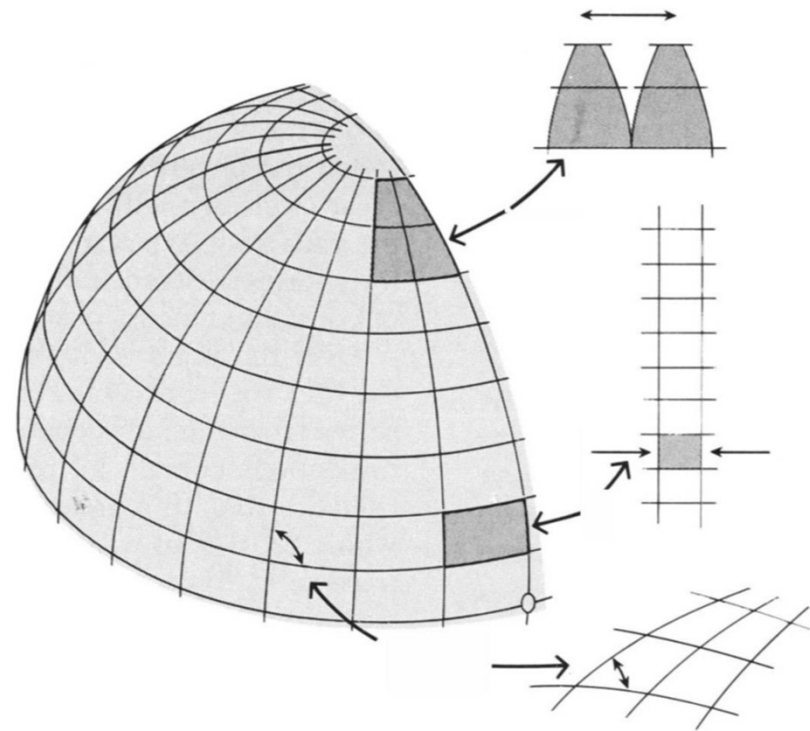
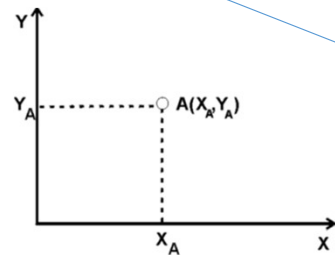
Μια μη αναπτυσκόμενη επιφάνεια δεν μπορεί να μετασχηματιστεί σε μια επίπεδη χωρίς:

- Να τροποποιηθεί η γεωμετρία της επιφάνειας όπως διακοπή συνέχειας, συμπίεση, στρέβλωση
- Να παρατηρηθούν παραμορφώσεις ως προς σχήμα, εμβαδόν, απόσταση, διεύθυνση

Άρα, επιλέγονται **χαρτογραφικές προβολές** που αντίστοιχα εξυπηρετούν κάποιο συγκεκριμένο **σκόπο**



$$(\lambda, \varphi) \rightarrow (x, y)$$



- Χαρακτηριστικό παράδειγμα: **μερκατορική προβολή**

Συστήματα απεικονίσεων

Σύστημα απεικόνισης : μια χαρτογραφική προβολή που εφαρμόζεται σε ένα ελλειψοειδές με συγκεκριμένες παραμέτρους

- Ελληνικά συστήματα απεικόνισης:
 - **Hatt:** Πλάγια αζιμουθιακή ισαπέχουσα απεικόνιση, Ελλειψοειδές Bessel, Αφετηρία: Αστεροσκοπείο Αθηνών, η χώρα χωρίζεται σε 130 σφαιροειδή τραπέζια $30' \times 30'$ όπου κάθε ένα αποτελεί διαφορετικό τοπικό σύστημα
 - **Σύστημα UTM – 6°:** Εγκάρσια Μερκατορική (σύμμορφη), Ελλειψοειδές GRS80, παγκόσμια κάλυψη, Αφετηρία: Greenwich, Ελλάδα: δύο ζώνες με κεντρικό μεσημβρινό $\lambda=21^\circ$ και $\lambda = 27^\circ$, συντελεστής κλίμακας 0.9996, $X_0 = 500\ 000$
 - **Σύστημα ΕΜΠ 3°:** Εγκάρσια Μερκατορική (σύμμορφη), Ελλειψοειδές Bessel, Αφετηρία: Αστεροσκοπείο Αθηνών, τρεις ζώνες με κεντρικό μεσημβρινό $\lambda = -3^\circ$, $\lambda=0^\circ$, $\lambda = 3^\circ$, συντελεστής κλίμακας 0.9999, $X_0 = 200\ 000$, Y_0 τόξο μεσημβρινού από Ισημερινό έως 34°
 - Και το **Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς '87 (ΕΓΣΑ '87):** Εγκάρσια Μερκατορική (σύμμορφη), Ελλειψοειδές GRS80 ($a = 6,378,137$, $f = 1/298.2572236$), μια ζώνη, κεντρικός μεσημβρινός $\lambda = 24^\circ$, συντελεστής κλίμακας 0.9996, $X_0 = 500,000$



Ακρίβεια προσδιορισμού των αποστάσεων: 1:2500 (μέγιστο σφάλμα) , συμβατό με απαιτήσεις σύγχρονης τεχνολογίας, πχ GPS λόγω του γεωκεντρικού ελλειψοειδούς του

Πραγματικό παράδειγμα εφαρμογής GIS

Πρόβλημα: εκτίμηση επιπτώσεων αλλαγής χρήσεων γης στον πλημμυρικό κίνδυνο λόγω ανάπτυξης φωτοβολταϊκού πάρκου

Τι
επηρεάζεται;



Τι σημαίνει
πλημμυρικός
κίνδυνος;

Βήματα γεωχωρικής, γεωστατιστικής και υδρολογικής ανάλυσης

- ❖ Εντοπισμός **υδρολογικών λεκανών** που ενδέχεται να επηρεαστούν
- ❖ Ανάλυση των βασικών **γεωχωρικών χαρακτηριστικών** τους από διάφορα επίπεδα πληροφορίας
- ❖ Κατάρτιση **όμβριων καμπυλών** για τη περιοχή μελέτης
- ❖ Δημιουργία **υδρολογικού μοντέλου**
- ❖ **Παραμετροποίηση και προσομοίωση**

Όμβριες καμπύλες ή Intensity – Duration – Frequency (IDF) Curves

Μοντέλα (συνήθως αναλυτικής μορφής) τα οποία εκφράζουν την πιθανοτική συμπεριφορά των ακραίων, λαμβάνοντας υπόψιν τους:

- Την ένταση της βροχόπτωσης, $i(d, T)$ (mm/h).
- Την διάρκεια του γεγονότος, d (hours) - βλ. κλίμακα συνάθροισης.
- Την περίοδο επαναφοράς, T (έτη).

Γενική μορφή

$$i(d, T) = \frac{a(T)}{b(d)}$$

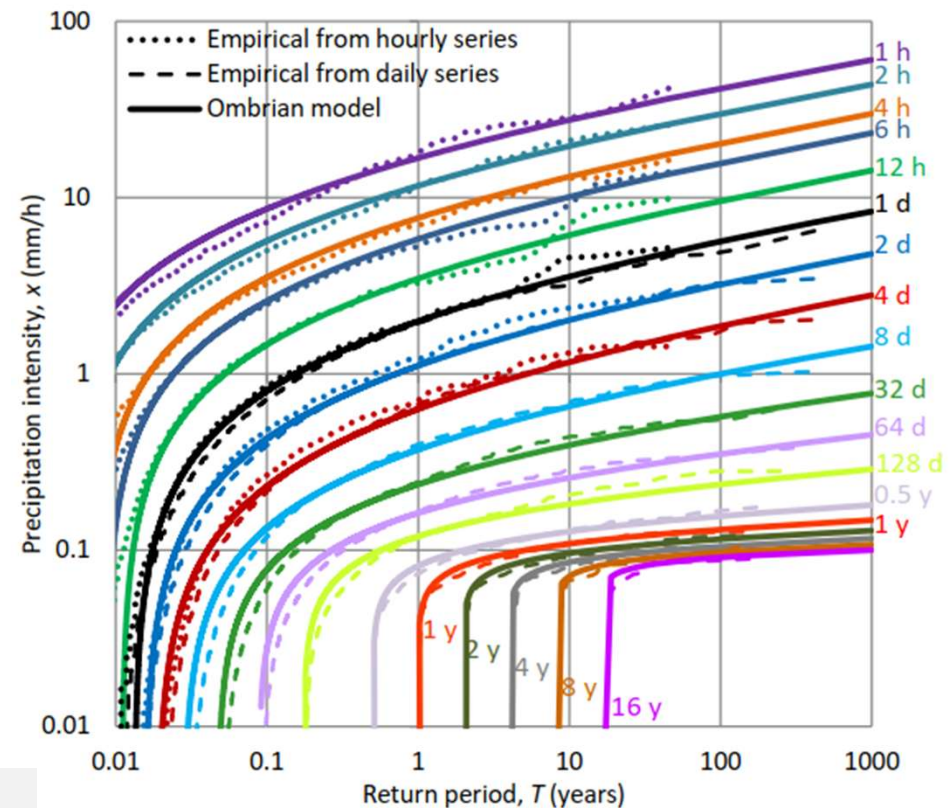
Όπου: i η ένταση βροχής διάρκειας d για περίοδο επαναφοράς T , και $a(T)$ και $b(d)$ κατάλληλες συναρτήσεις της περιόδου επαναφοράς και της διάρκειας, αντίστοιχα.

Παράδειγμα (Koutsoyiannis et al., 1998)

χρήση της GEV για το $a(T)$ και εμπειρικής σχέσης για το $b(d)$

$$i(d, T) = \frac{\lambda' \left(\left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right]^{-\kappa} + \psi' \right)}{(1 + d/\theta)^\eta}$$

Όπου (βλ. πίνακα σελ. 7):
 $\lambda' = \lambda/\kappa$ και $\psi' = \kappa\psi - 1$
 $\theta > 0$ και $0 < \eta < 1$



Koutsoyiannis D (2020) Stochastics of Hydroclimatic Extremes – A Cool Look at Risk, Edition 0. National Technical University of Athens, Athens, Greece

Όμβριες καμπύλες στην Ελλάδα (2^{ος} κύκλος)

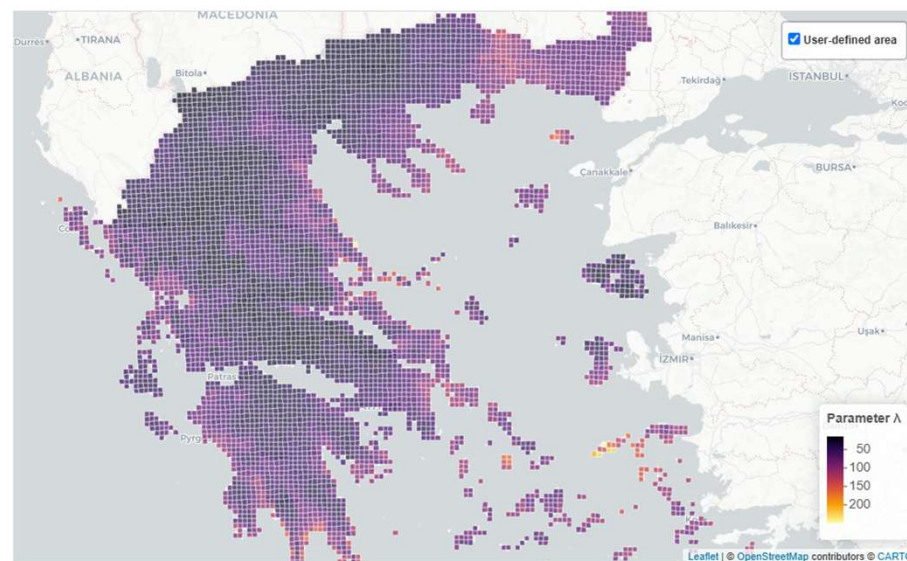
- Όμβριες καμπύλες (5 παραμέτρων) με βάση την ΓΑΤ
- Δίνονται παράμετροι για σταθμούς σε όλη την Ελλάδα
- Πληροφορίες: <https://floods.ypeka.gr/sdkp-lap/omvries-2round/>
- Δείτε και: <https://www.itia.ntua.gr/el/docinfo/2273/>

Βασική έκφραση:

$$i(d, T) = \lambda_* \frac{\left(\frac{T}{\beta_*}\right)^\xi - 1}{\left(1 + \frac{d}{\alpha}\right)^{\eta_*}}$$

T : έτη, d : ώρες και i : mm/h

με ενιαίες παραμέτρους $\alpha = 0.18$ h και $\xi = 0.18$ για το σύνολο της χώρας, ΚΑΙ γεωγραφικά μεταβαλλόμενες παραμέτρους λ_* , β_* και η_*



https://itsoukal.shinyapps.io/IDFs_GR/

Περίοδος επαναφοράς Vs Τεχνικά έργα

Ανάλογα το είδος του έργου επιλέγεται η περίοδος επαναφοράς

- Αντιπλημμυρικά έργα $\rightarrow T=50-100$ έτη
 - Δίκτυο ομβρίων $\rightarrow T=10-25$ έτη
 - Οριοθέτηση ρέματος $\rightarrow T=50$ έτη
 - Σχεδιασμός γέφυρας $\rightarrow T=500$ έτη
 - Σχεδιασμός φράγματος (Κατηγορία 1) $\rightarrow T=10000$ έτη
 - Σχεδιασμός φράγματος βαρύτητας (Κατηγορία 2) $\rightarrow T=1000$ έτη
 - Σχεδιασμός γεωφράγματος (Κατηγορία 2) $\rightarrow T=5000$ έτη
 - Σχεδιασμός φράγματος βαρύτητας (Κατηγορία 3) $\rightarrow T=200$ έτη
 - Σχεδιασμός γεωφράγματος (Κατηγορία 2) $\rightarrow T=500$ έτη
-

Αναφορές-Πηγές

Βασική πηγή εκπαιδευτικού υλικού:

Σκοπελίτη Α. και Στάμου Λ. (2025), εκπαιδευτικές σημειώσεις για το μάθημα «Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών στους Υδατικούς Πόρους», ΔΠΜΣ «Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων», ΕΜΠ
