المحاضرة 1

إسقاط الخرائط

Map Projection

د.م. دارين جابر نوفل

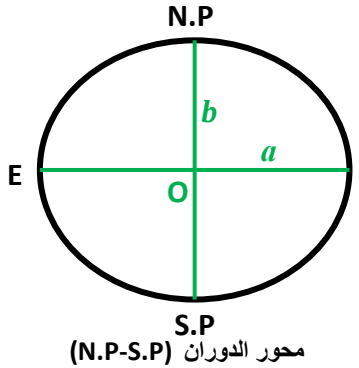
21/10/2024

شكل الأرض

- تصوّر الإنسان الأرض، في أولى محاولاته للتعرف على شكلها و حجمها، كقرص دائري يطفو على محيط لانهائي من الماء
- عرّف العالم فيثاغورث في القرن السادس قبل الميلاد الأرض بأنّها كرة
- أثبت العالم إيراتوستين حوالي العام (~220 b.c.) كروية الأرض و حسب قيمة تقريبية لمحيط الأرض و نصف قطرها حيث تكبر القيمة المحسوبة لمحيط الأرض عن القيمة المعروفة حالياً بنسبة 16%
- لاحقاً في القرون الوسطى أكّد كل من العلماء ماجلان، غاليلييه و كوبرنيكوس كروية الأرض بالبرهان العقلي و الرياضي و أعطوا أبعاداً لها أكثر واقعية
- بعد ذلك تحول مفهوم كروية الأرض إلى فكرة أنّ شكل الأرض ليس كروياً تماماً بل مفلطح قليلاً (إهليلجي) و ذلك مع بداية ظهور الأفكار حول القوتين الجاذبة و النابذة و خاصة عند كل من العالمين هويجنس و نيوتن، الذي قدّم مبدئين أساسيين:
  - الشكل المتوازن لأي كتلة مائعة متجانسة القوام تخضع لقوانين الجذب الكوني و تدور حول محور هو مجسم لقطع ناقص دوراني مفلطح و مضغوط عند قطبيه
  - قيمة الثقالة الأرضية (محصلة جملة القوى المؤثرة على الأرض) تزداد اعتباراً من خط الاستواء باتجاه القطبين

شكل الأرض

- بعد ذلك بدأ علماء الجيوديزيا (كالبيك، بيسيل، هايفورد، كلارك، كراسوفسكي) بحساب أبعاد الشكل الإهليلجي للأرض أو ما يسمى **الإهليلج الدوراني الأرضي Ellipsoid (الالبسوئيد/ السفيروئيد)** أومجسم قطع ناقص دوراني والمعّرف رياضياً بقيم نصفي قطره: الكبير (a) و الصغير (b) و قيمة تفلطح (f):



$$f = \frac{a-b}{a}$$

- لذلك يُعتمد في العالم اليوم نماذج متعددة للإهليلج بأبعاد مختلفة، يمكن التعرف ببعض من أهمها في الجدول التالي:

Ellipsoid	1/f)·Parameters (a^m
Clarke 1880 (Syria)	(6378249.200 , 293.4660213)
Hayford 1924 (Syria)	(6378388.000 , 297.0000000)
Krassovsky 1940	(6378245.000 , 298.3000000)
World Geodetic System (WGS) 1984	(6378137.000 , 298.2572236)

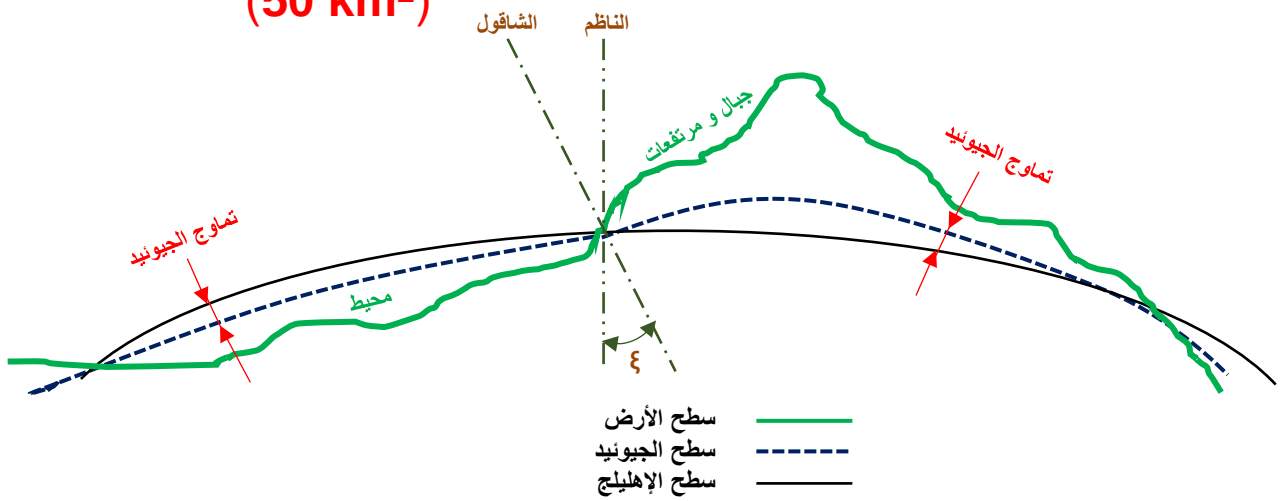
شكل الأرض: الجيوئيد (Geoid)

- أثبتت القياسات الجيوديزية أنّ الإهليلج الدوراني الذي يُعتبر كأقرب شكل هندسي للأرض، يختلف عن الشكل الحقيقي لها
- بما أنّ الماء يغطي حوالي 70% بالمئة من سطح الأرض، اتفق العلماء بأنّ **الشكل الحقيقي للأرض هو ذلك الشكل الذي يأخذه سطح المياه المتصلة و الساكنة بدون المد و الجزر، والمسمى الجيوئيد**
- سطح الجيوئيد غير منتظم و متعرج بسبب اختلاف توزع الكتل و الكثافات في باطن الأرض لذلك لايمثل بعلاقات أو معادلات رياضية
- الاتجاه العمودي على سطح الجيوئيد في أي نقطة من سطح الأرض هو عملياً نفس اتجاه الجاذبية (الثقالة) الأرضية عند هذه النقطة
- لذلك يمكن أن **يعرّف الجيوئيد بأنّه سطح السوية الاعتباري المار بالمستوي الوسطي للبحار و المحيطات و الغير خاضع لتاثيرات قوى المد و الجزر و المتعامد في كل نقطة من نقاطه مع الشاقول كونه سطحاً مائياً مستقراً**
- **بما أنّ جميع أجهزة القياس المساحية تعتمد في مبدأ عملها على ضرورة انطباق محور الدوران الرأسي للجهاز على اتجاه الجاذبية الأرضية أثناء إجراء القياسات، فإنّ عملية القياس تتم فعلياً على سطح الجيوئيد، و لكن الحسابات تتم على سطح الإهليلج المعرف هندسياً و رياضياً**

شكل الأرض: الجيوئيد (Geoid)

- يوضّح الشكل أدناه العلاقة بين كل من السطح الفيزيائي/الطبوغرافي للأرض وسطح كل من الإهليلج و الجيوئيد
- تُسمى المسافة الفاصلة بين سطحي الإهليلج و الجيوئيد **بالفاصل أو الحيود الجيوئيدي** و تتراوح قيمتها بين [-100^{m},$+100^{m}$] حيث تقع **القيم الموجبة** فوق اليابسة أما **القيم السالبة** فتقع في البحار و المحيطات، أي أنّ سطح الإهليلج يبرز عن سطح الجيوئيد عند البحار و المحيطات بينما ينخفض عنه فوق اليابسة أو تحت القارات.
- يُسمى الاتجاه العمودي على سطح الجيوئيد **بالشاقول** (Vertical) أما الاتجاه العمودي على سطح الإهليلج فيسمى **بالناظم** (Normal)
- تُسمى الزاوية الواقعة بين الشاقول و الناظم بزاوية انحراف الشاقول (ξ) و التي لا تتعدى قيمتها القصوى عشرات الثواني (تبلغ القيمة القصوى لها بحدود 30˝)

- بما أنّ تفلطح الإهليلج صغير، فإنّ تأثير استبداله **بالكرة** كسطح إسقاط معرّف للأعمال المساحية على مساحة بحدود (**500 km²**) هو ذو قيمة يمكن إهمالها أما استبداله **بالمستوي** كسطح إسقاط ممكن عملياً على مساحة لا تتجاوز (**50 km²**)



خلاصة:

- يوجد حالياً أربع أشكال تقريبية لسطح الأرض هي: **الجيوئيد، الإهليلج الدوراني، الكرة و المستوي**
- ولأن الجيوئيد هوسطح غير معرف رياضيا ومن غير الممكن استخدامه في الحسابات الرياضية للمساحة المستوية أو ثلاثية الأبعاد، يمكن اعتماد كسطح إسقاط هندسي لسطح الأرض معرّف للأعمال المساحية كل من **الأشكال الهندسية و المعرّفة رياضياً** التالية : **الإهليلج، الكرة و المستوي**، و ذلك تبعاً لأهمية العمل المساحي المطلوب، الدقة المطلوبة منه و مقياس المخطط أو الخارطة المعدة لتمثيل العمل المساحي

سطح الإسناد(Datum)

- **تحديد الإهليلج الدوراني:**

- يتم اختيار الإهليلج المناسب لكل دولة بحيث يكون أقرب مايمكن للجيوئيد فيها (مطابق قدر الإمكان)وذلك باستخدام القياسات الفلكية والجيوديزية ومعالجتها باستخدام طرق رياضية دقيقة والتي ينتج منها أبعاد الإهليلج المناسب للمنطقة المدروسة. وقد يكون هناك أكثر من إهليلج لنفس الدولة حسب تطورطريقة القياسات التي استخدمت لتحديد الإهليلج والهدف منه، مثلا في سوريا يتم استخدام إهليلج كلارك 1880 وإهليلج هايفورد 1924.
- كما يمكن اختيار الإهليلج بحيث يناسب الكرة الأرضية ككل كما في حالة WGS84 المستخدم مع نظام التموضع العالمي GPS والذي يعتبر أفضل إهليلج عالمي في الوقت الحالي والذي يتميز بان مركزه ومحاوره تنطبقان مع مركز ومحاور الأرض.

- **Datum:**

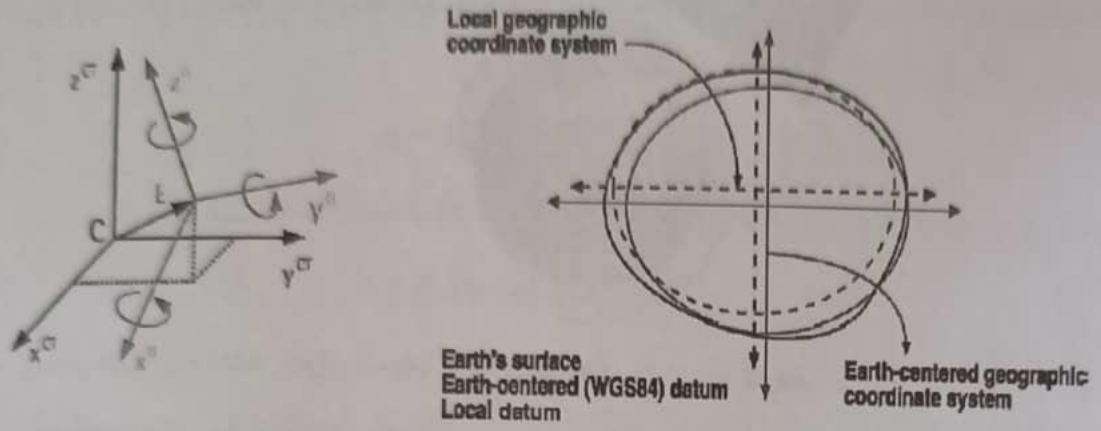
بعد تحديد الإهليلج المناسب يتم تحديد عدد من المعاملات والتي تسمى معاملات التحويل Transformation والتي تحدد موقع مركز هذا الإهليلج ووضعية محاوره بالنسبة لموقع مركز ومحاور الإهليلج WGS84 ففي حال استخدام سبع معاملات تحويل تكون على الشكل التالي:

1- إحداثيات موقع مركز الإهليلج بالنسبة إلى مركز الإهليلج WGS84 والتي يرمز لها بـ (X_0 ,Y_0, Z_0) وتسمى معاملات الانزياح Shift Parameters.

2- زوايا الدوران بين محاور الإهليلج ومحاور الإهليلج WGS84 ويرمز لها بـ (α, β, γ) وتسمى معاملات الدوران Rotation Parameters.

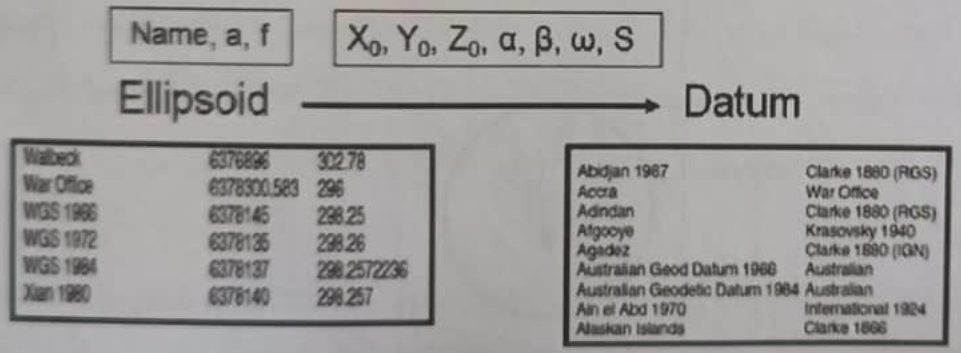
سطح الإسناد(Datum)

3- عامل المقياس (S) والذي يحدد الاختلاف في الحجم بين الإهليلج المعتبر وإهليلج WGS84 ويعرف بـ Scale Factor.



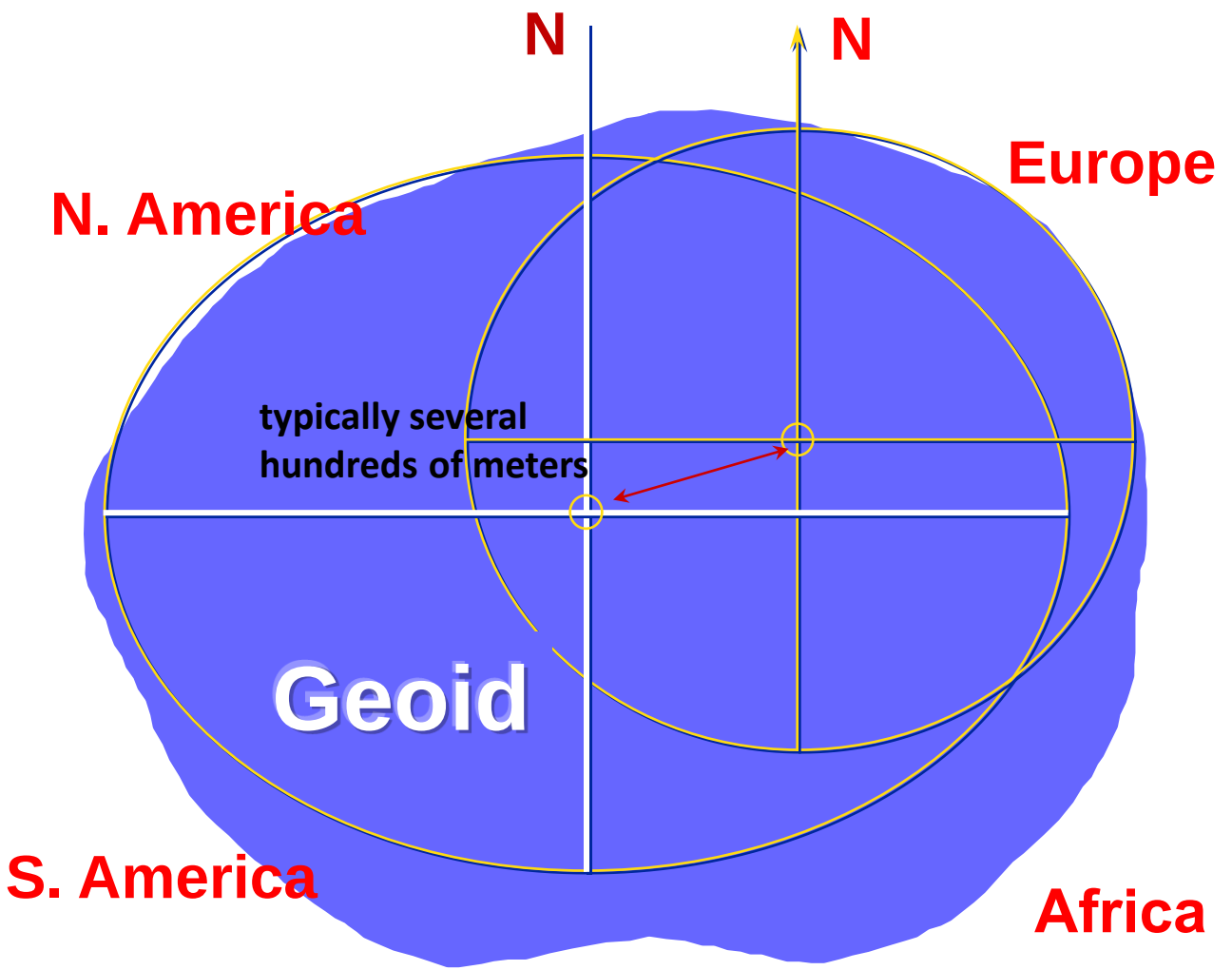
الشكل (3-17) التحويل بين الإهليلجات

وبمجرد تحديد هذه المعاملات يتحول الإهليلج المعتبر إلى سطح إسناد Datum. إذاً سطح الإسناد Datum هو إهليلج تم تحديد أبعاده والعناصر التي تحدد وضعه بالنسبة إلى الإهليلج WGS84، الشكل (3-18).



الشكل (3-18) الإهليلج وسطح الإسناد

الجيوئيد و Datum و الإهليلج العالمي



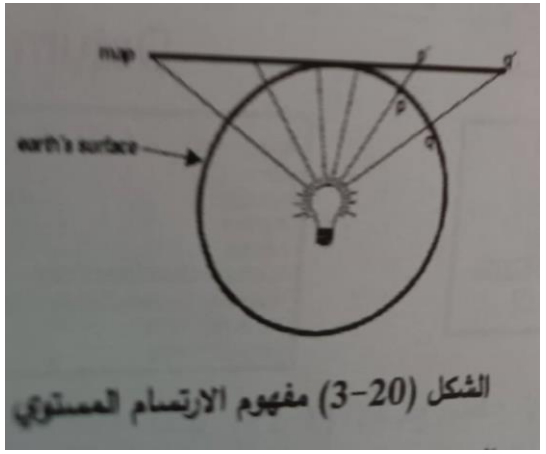
طرق الإسقاط (الارتسام)

- تُعتبر الخرائط وسيلة لإظهار و تمثيل معالم و تفاصيل سطح الأرض، الذي يرتبط أساساً بالهيكل الرياضي للخارطة أوالارتسام

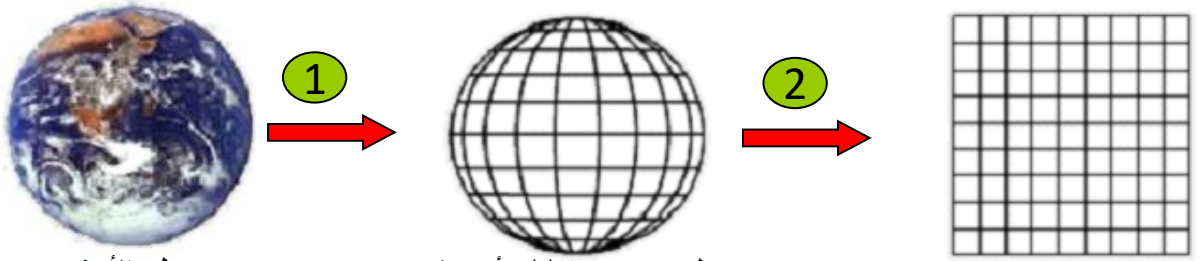
- لذلك يُعرّف الارتسام كصيغة رياضية يتم بها نقل معالم أو عناصر الواقع و تفاصيله إلى الخارطة

- يمكن التفكير عمليةالإسقاط عن طريق تخيل مصدر ضوئي موضوع مثلا في مركز الكرة. فإذا كان سطح هذه الكرة شفاف ومرسوم عليه العناصر المهمة فقط ووضع سطح مستوي أعلى الأرض ومن ثم رسمت الأشكال المسقطة عليه فإن الناتج سيكون خريطة مستوية للعناصر المرسومة على الكرة .

- بالتالي يمكن تعريف **نظام الارتسام/الاسقاط** بأنّه العملية الرياضية (علاقة رياضية وحيدة التعيين) التي يتم من خلالها تحويل الإحداثيات الجغرافية (Φ,λ) لأي نقطة على سطح الأرض إلى إحداثيات مستوية (X,Y) (تُمثّل المسقط/المستوي/الخارطة) بهدف تسهيل إجراء الحسابات الرياضية



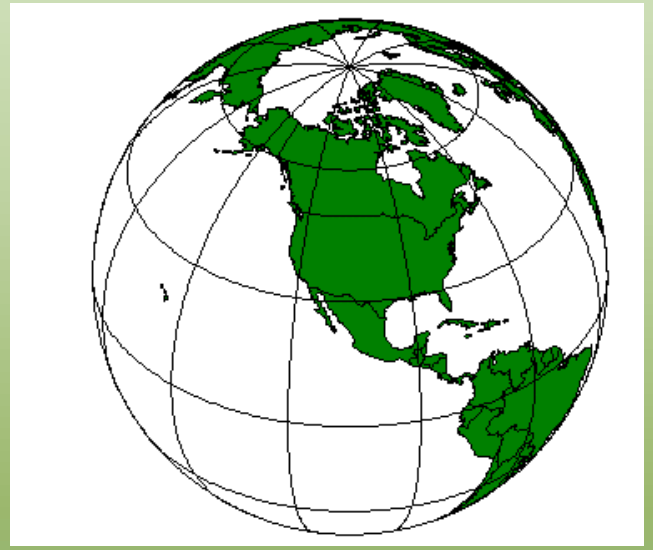
الشكل (3-20) مفهوم الارتسام المستوي



سطح الأرض
سطح مرجعي (إهليلج أو كرة)
خارطة

إسقاط الخرائط MAPS PROJECTION

وهي تحويل السطح الكروي إلى سطح مستويا او من إهليلج إلى سطح مستوي وهذا يرافقه تشوهات بالزوايا والمساحات والأطوال.



Curved Earth

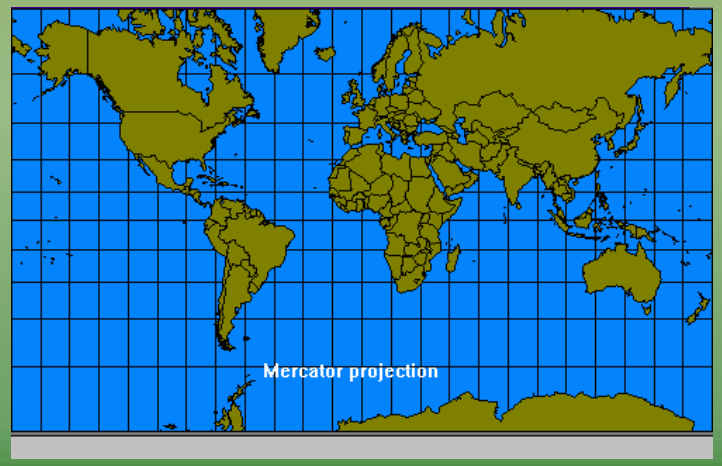
Geographic coordinates: ϕ, λ

(Latitude & Longitude)

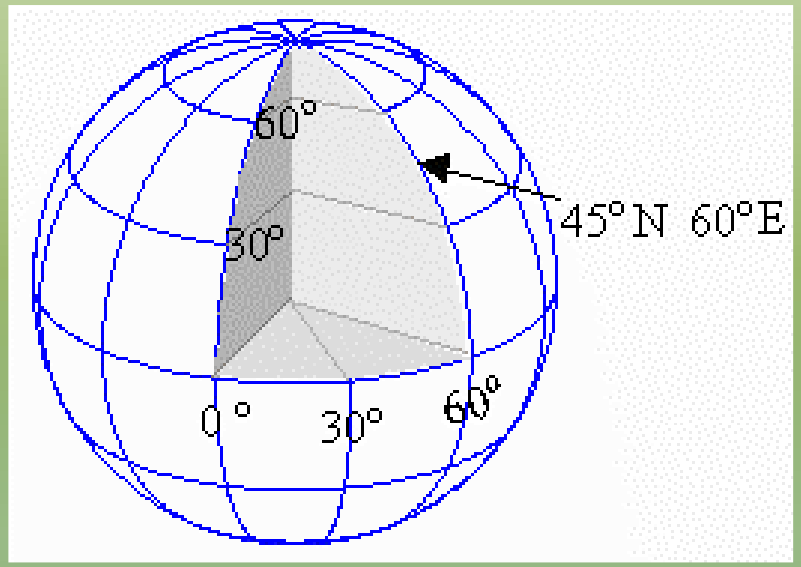
Flat Map

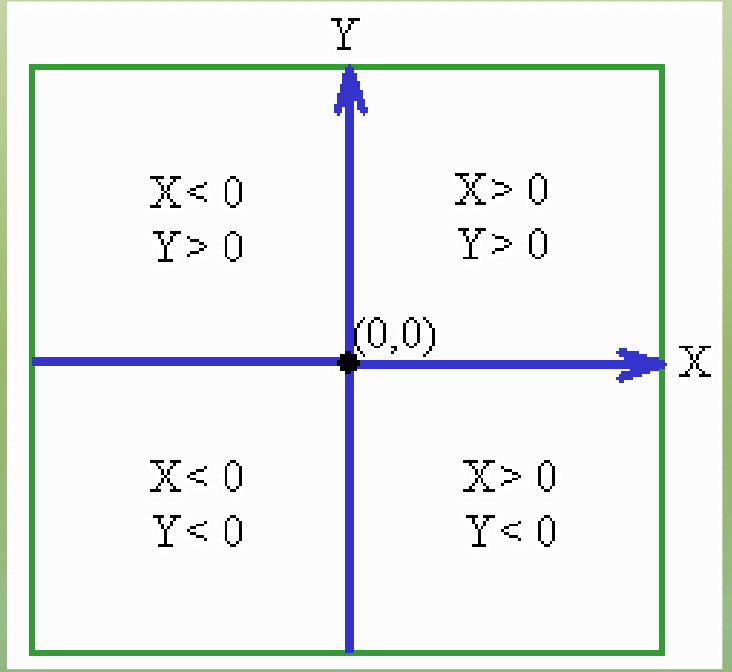
Cartesian coordinates: x,y

(Easting & Northing)



Geographic and Projected Coordinates الإحداثيات الجغرافية والمستوية

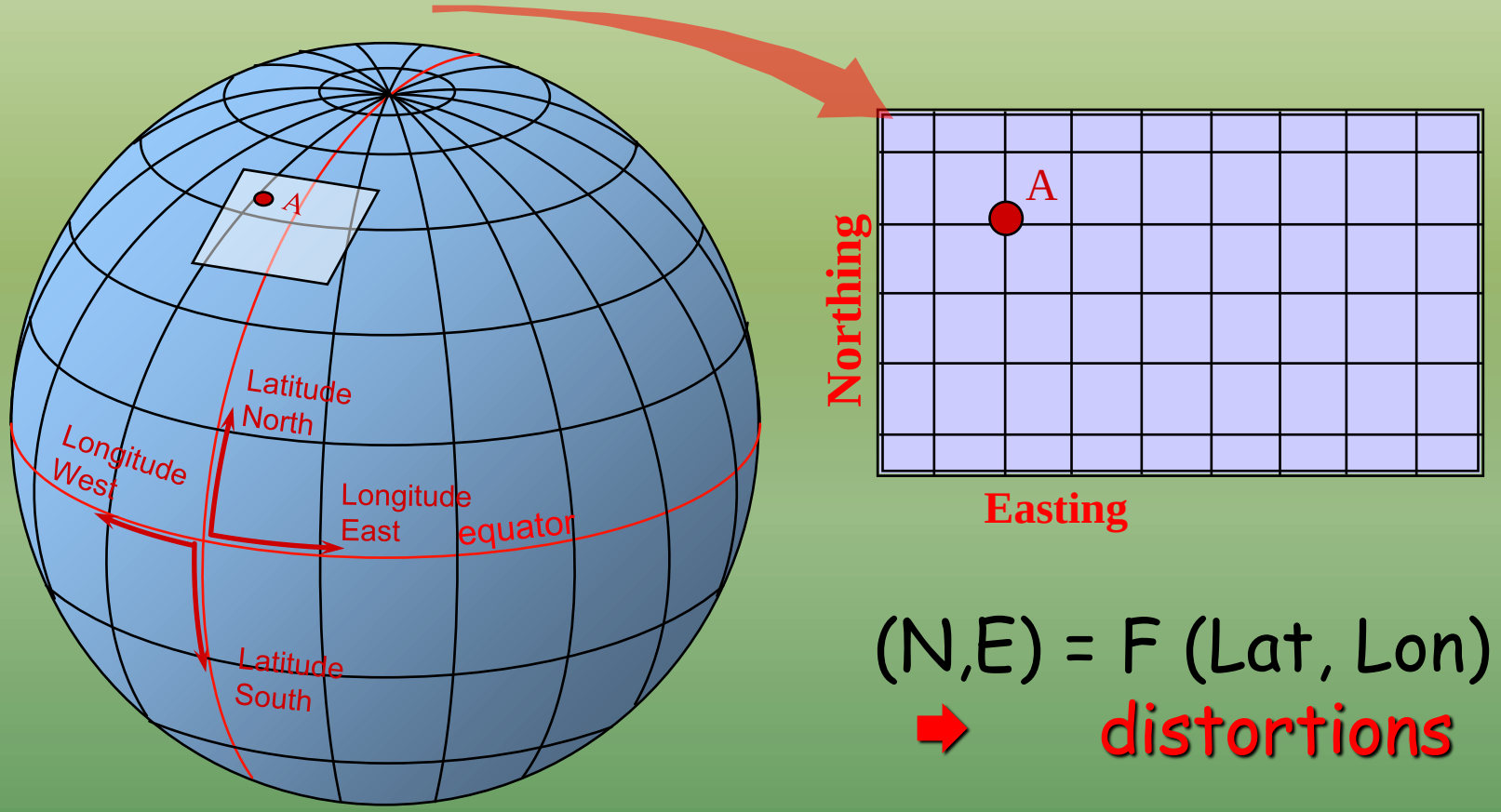




(ϕ, λ) ⟷ (x, y)

Map Projection

Geographic and map coordinates

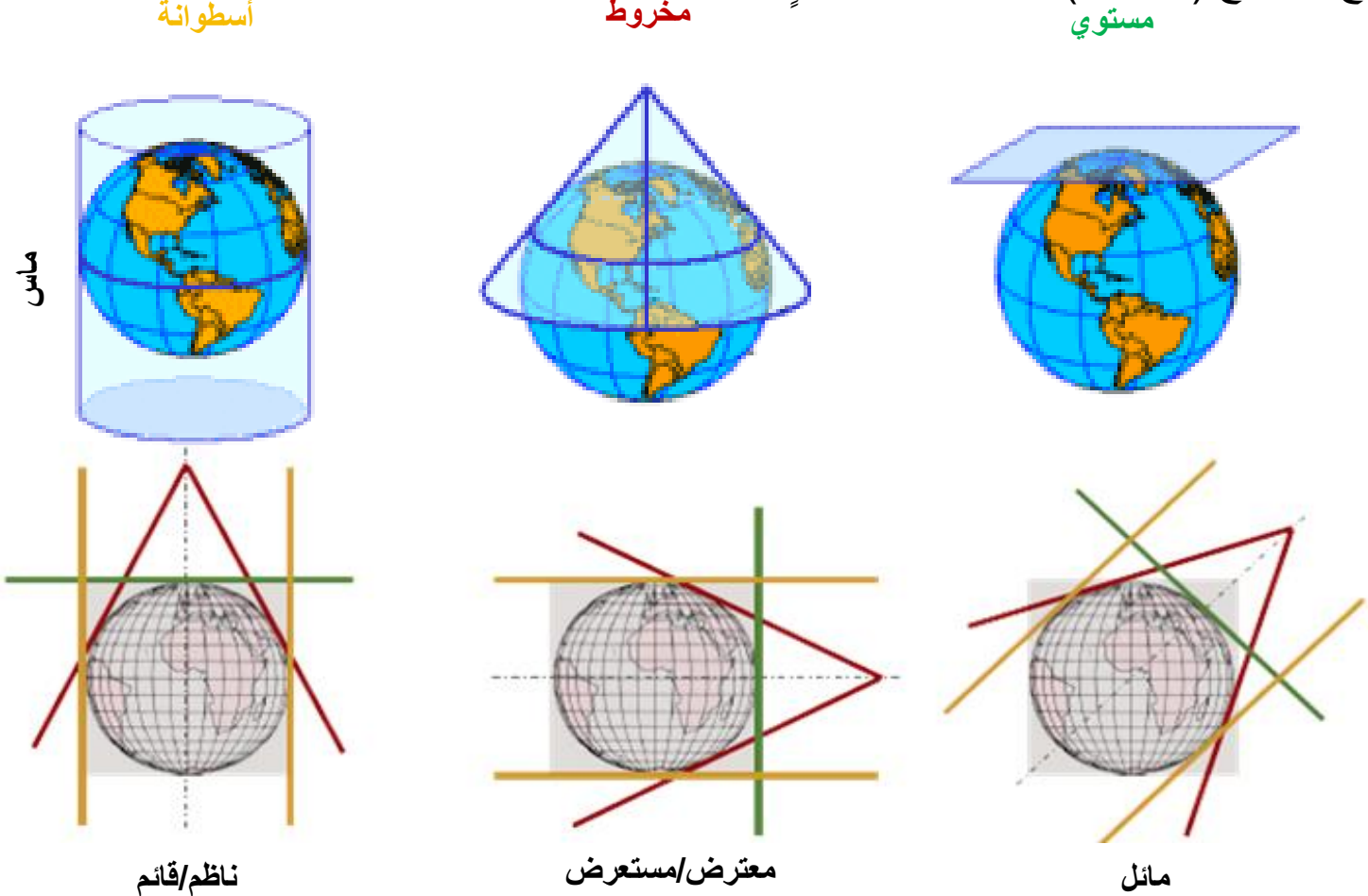


(N,E) = F (Lat, Lon)

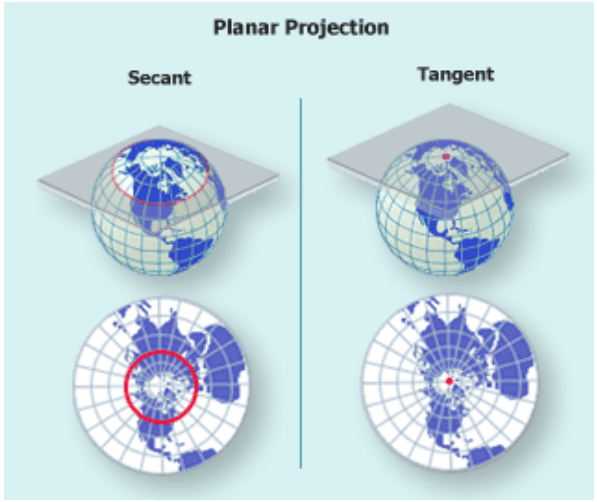
➡ distortions

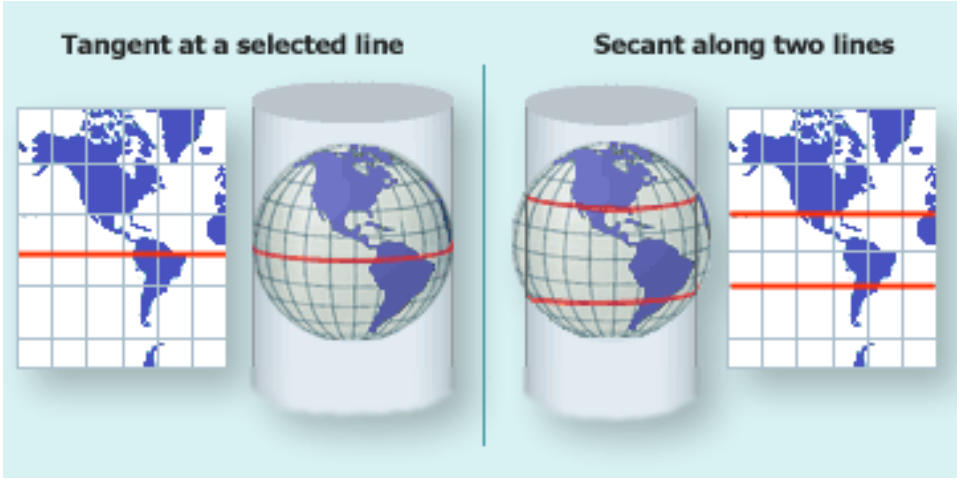
طرق الإسقاط (الارتسام)

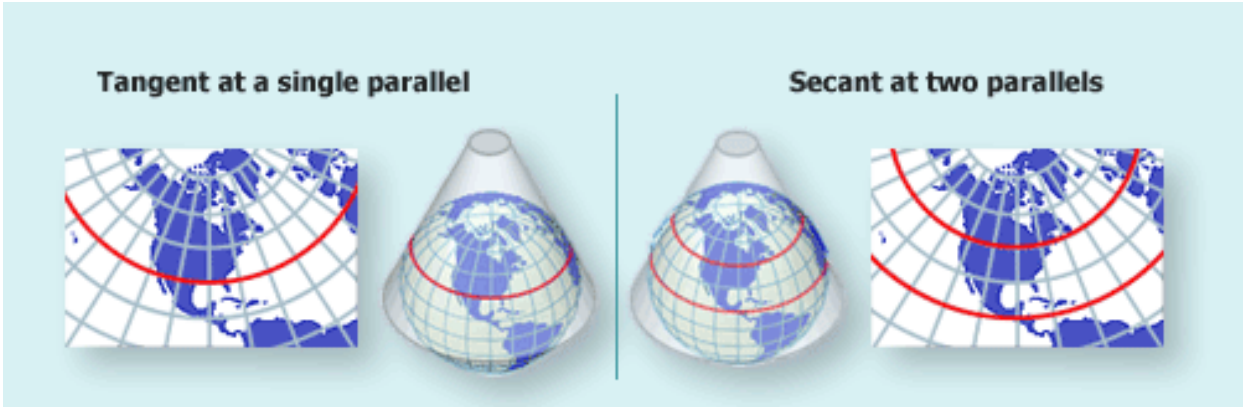
- لا يمكن تمثيل سطح الأرض على مستو مباشرة لأنّ سطح الإهليلج (أو الكرة) هو **سطح ثنائي الانحناء** و بالتالي يستحيل نشره دون حدوث تمزق أو تشوه
- لذلك يتم إسقاط سطح الإهليلج (أو الكرة) على **سطح أحادي الانحناء قابل للنشر كسطح أسطوانة أو مخروط**، و من ثم يتم نشر سطح الأسطوانة أو المخروط وفق أحد مولداتها على مستو، لذلك تُدعى هذه الارتسامات **بالارتسامات الأسطوانية أو المخروطية**
- يمكن أيضاً اسقاط سطح الإهليلج (أو الكرة) مباشرة على **مستوٍ**، حيث عندئذ تدعى الارتسامات **بالارتسامات السمتية**



طرق الإسقاط (الارتسام)







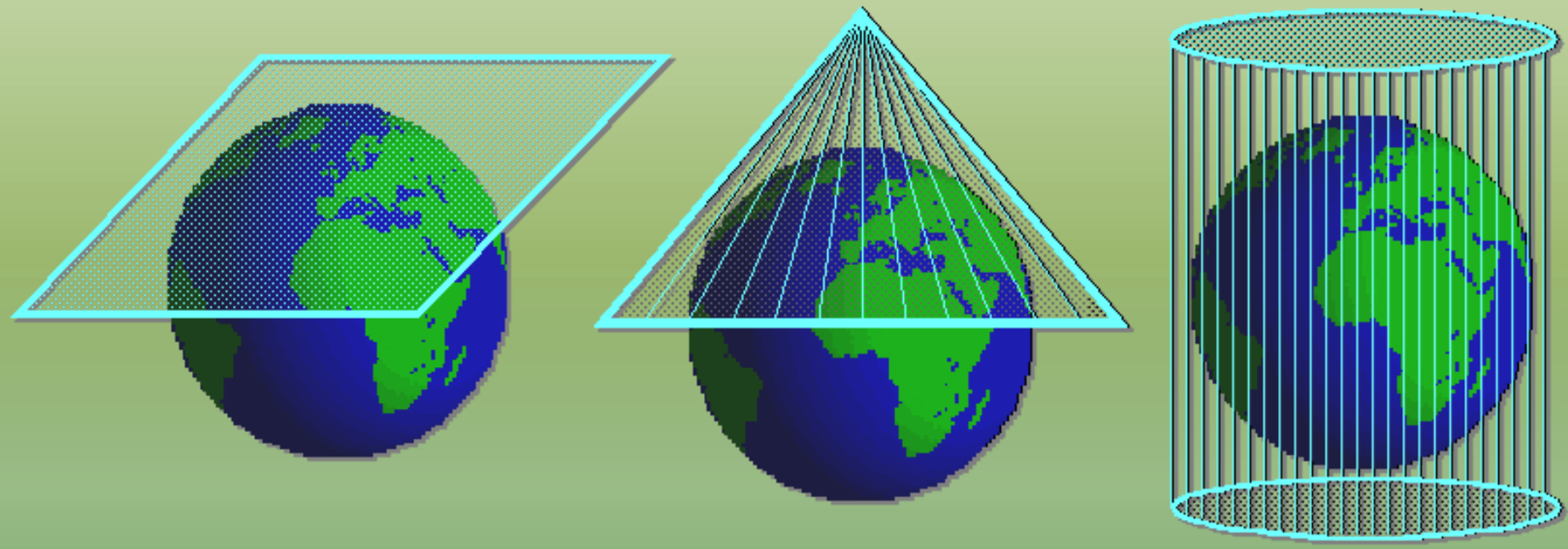
1-تصنيف الارتسامات حسب سطح الارتسام

1. **الاسقاط الأسطواني CYLINDRICAL : يتم فيها تغليف الأرض بإسطوانه تسقط عليها جميع دوائر العرض وخطوط الطول ثم يفرد سطح الإسقاط الأسطواني ليصبح مستويا.**

2. **الاسقاط المخروطي CONICAL : هي المساقط التي يتم الحصول عليها عند تغليف نصف الأرض بمخروط يتم الإسقاط عليه من الكرة ثم يفرد المخروط ليصبح مستويا**

3. **الاسقاط السمتي او المستوى AZIMUTH : تعرف كذلك بالمساقط المستوية حيث يمس سطح الإسقاط المستوي سطح الكرة في نقطة أو يقطعها في دائرة صغرى**

1-تصنيف الارتسامات حسب سطح الارتسام



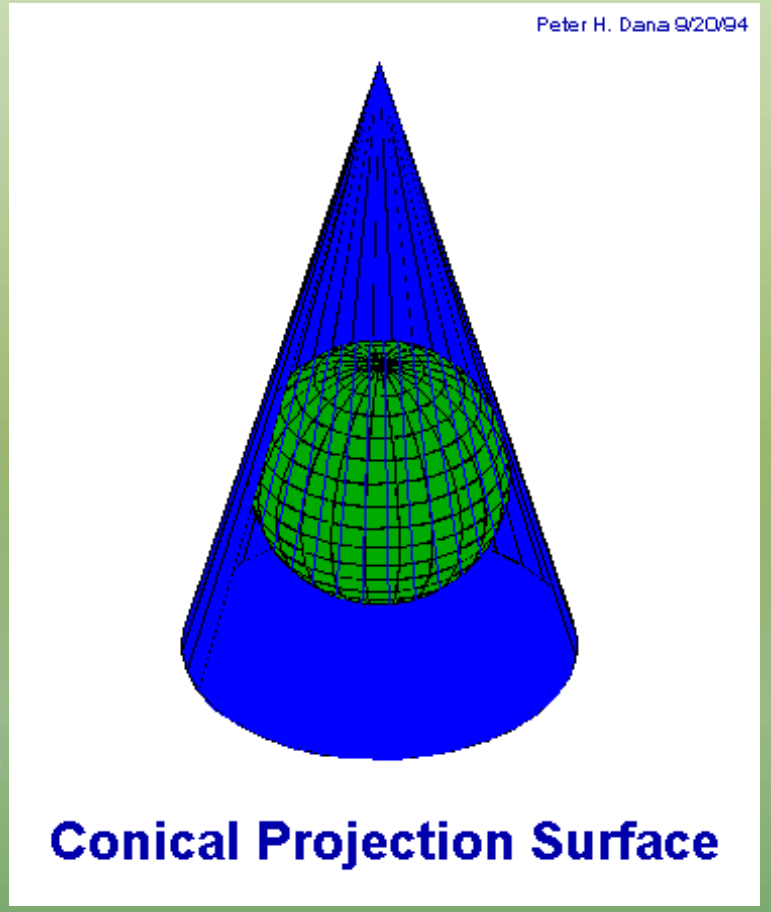
2- تصنيف الارتسامات حسب طريقة ميل سطح الاسقاط أو وضعية محور سطح الارتسام

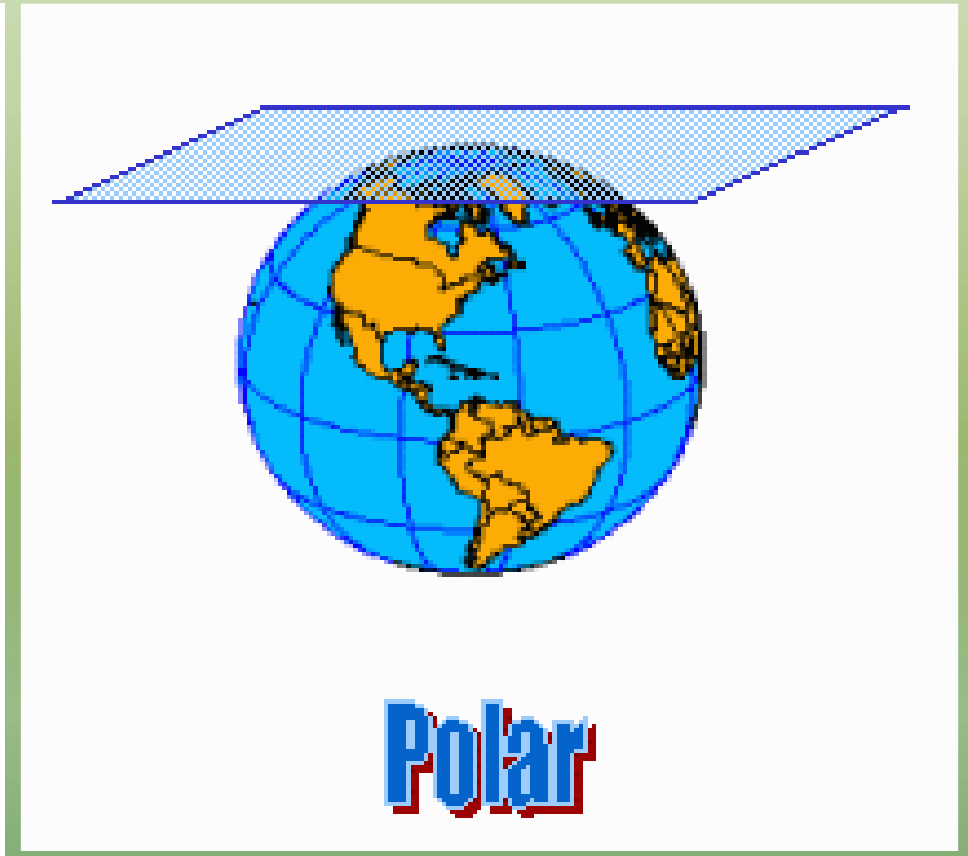
1 - المساقط العمودية - Normal Projections

يكون فيها وضع سطح الإسقاط عموديا (أي في اتجاه محور دوران الأرض)

1. يمس الأرض في دائرة الاستواء إذا كان الإسقاط أسطوانيا،
2. يكون عموديا وفي اتجاه المحور ويمس إحدى دوائر العرض إذا كان مخروطيا
3. يكون عموديا على المحور ويمس سطح الأرض في أحد القطبين إذا كان إسقاطا مستويا.

2- تصنيف الارتسامات حسب طريقة ميل سطح الاسقاط أو وضعية محور سطح الارتسام



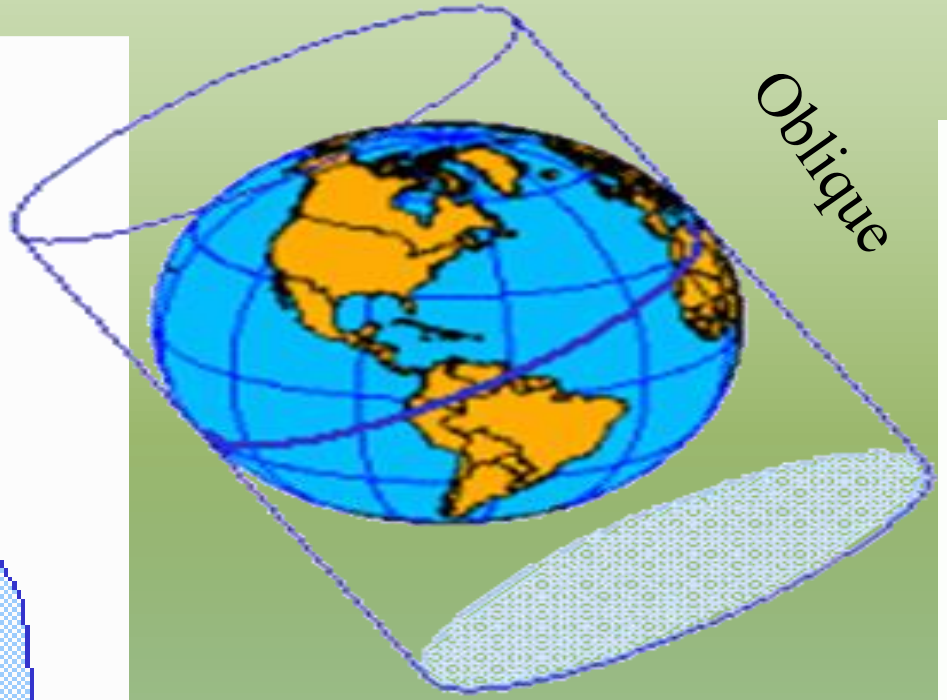


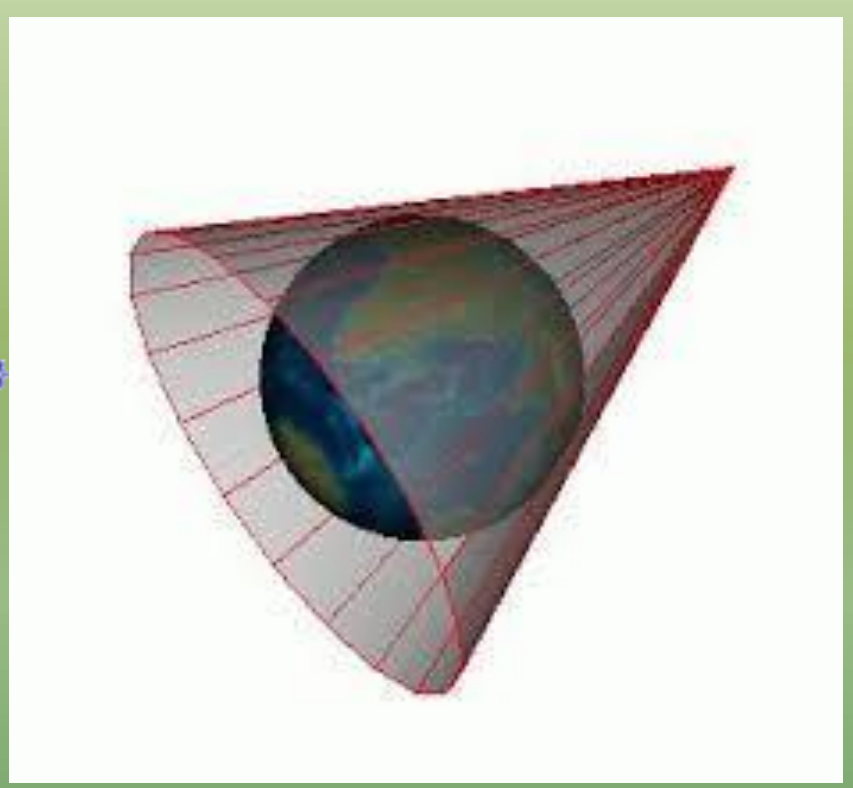
2- تصنيف الارتسامات حسب طريقة ميل سطح الاسقاط أو وضعية محور سطح الارتسام

2 - المساقط المائلة - Oblique Projections –

1. يمس المسقط المائل سطح الأرض إذا كان أسطوانيا في دائرة كبرى ليست دائرة الاستواء وليست أى من خطوط الطول
2. إذا كان الاسقاط مخروطيا فانه يمس سطح الأرض في دائرة صغرى ليست أى من دوائر العرض وليست موازية لخطوط الطول
3. أما إذا كان مستويا فانه يمس الأرض في أية نقطة غير القطبين ولا يمسها في دائرة الاستواء.

2- تصنيف الارتسامات حسب طريقة ميل سطح الاسقاط أو وضعية محور سطح الارتسام



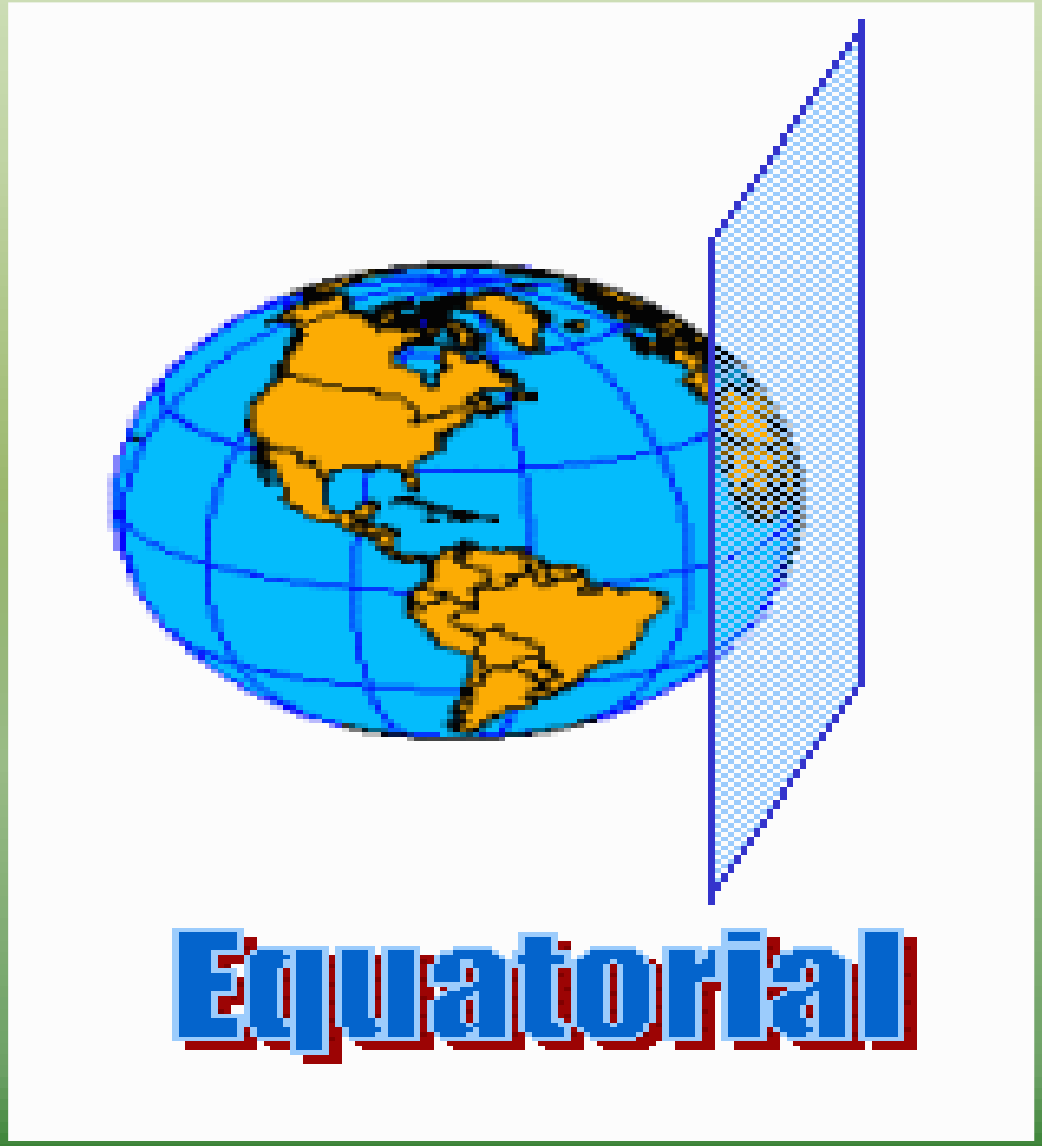


2- تصنيف الارتسامات حسب طريقة ميل سطح الاسقاط أو وضعية محور سطح الارتسام

3 - المساقط المستعرضة - Transverse Projections -

1. يمس سطح الإسقاط أحد خطوط الطول إذا كان أسطوانيا
2. يمس دائرة صغرى موازية لمحور الدوران إذا كان مخروطيا
3. يمس نقطة على دائرة الاستواء إذا كان مستويا.

2- تصنيف الارتسامات حسب طريقة ميل سطح الاسقاط أو وضعية محور سطح الارتسام

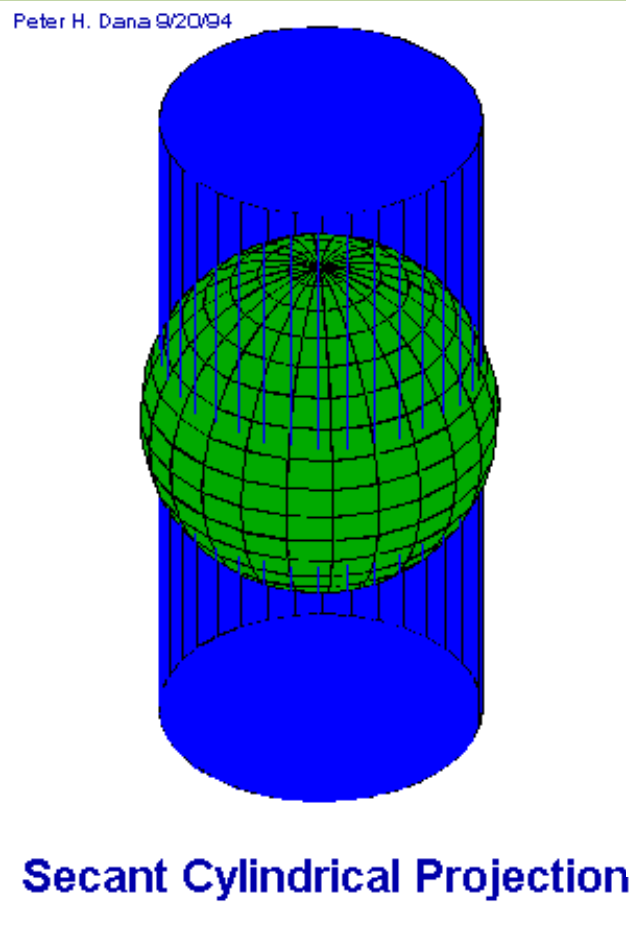


3- تصنيف الارتسامات حسب الوضع الهندسي أو طريقة التقاء سطح الإسقاط بسطح الأرض

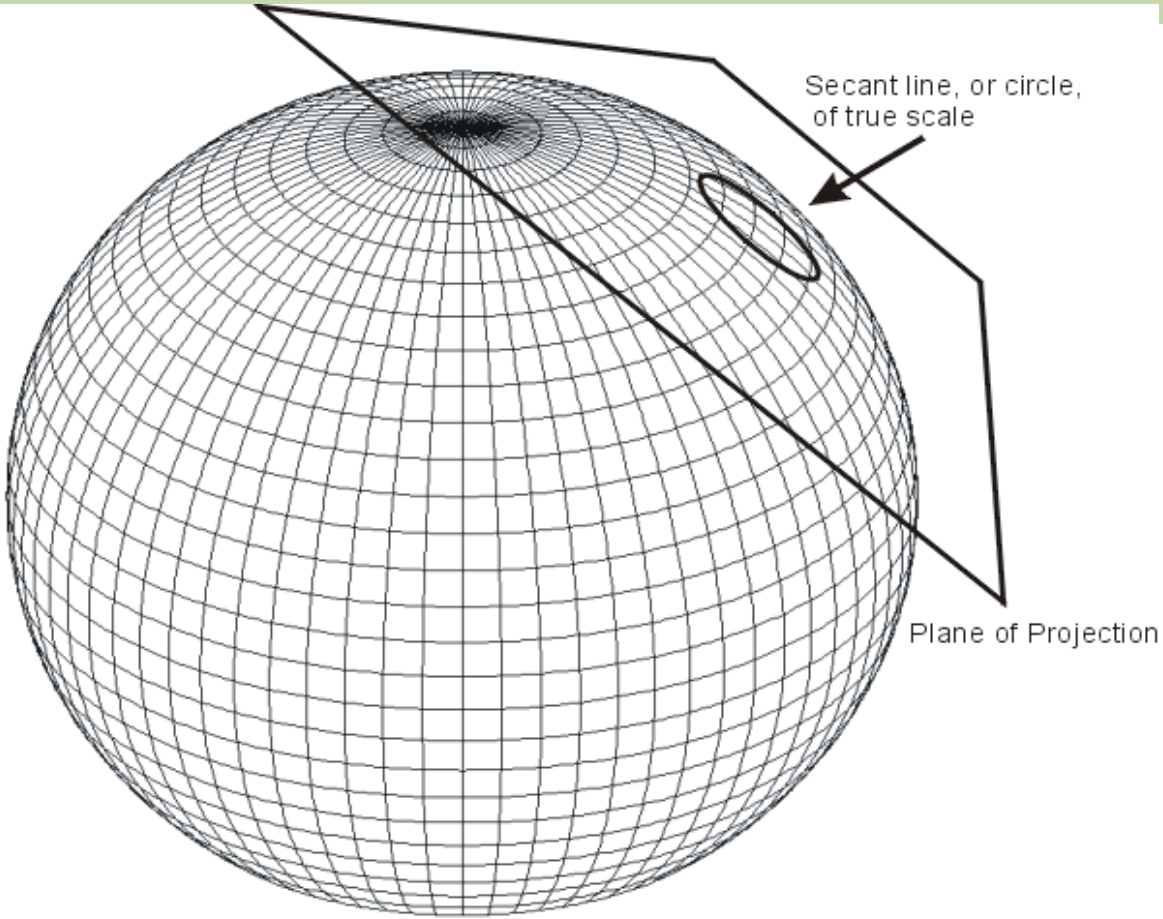
1. **المساقط الماسة** - **Tangential Projections** - يتلاقى فيها سطح الإسقاط مع سطح الأرض في نقطة واحدة إذا كان إسقاطا مستويا وفي دائرة كبرى واحدة إذا كان إسقاطا أسطوانيا وفي دائرة صغرى واحدة إذا كان مخروطيا

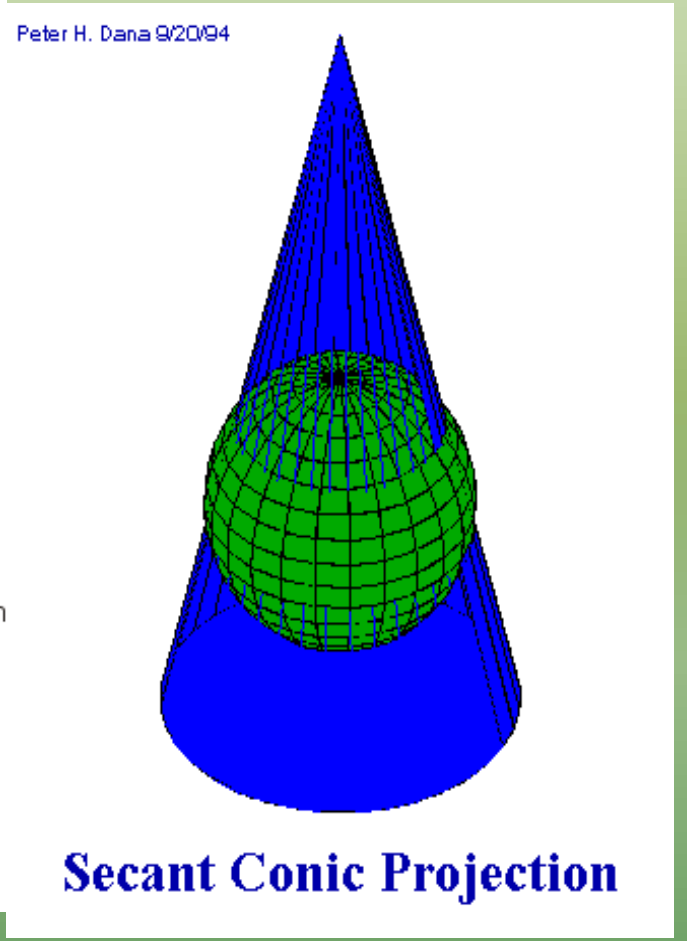
2. **المساقط القاطعة** - **Secant Projections** - يقطع فيها سطح الإسقاط سطح الأرض لجعل جزء أكبر من السطح بأقل ما يمكن من تشويه. وسطح الإسقاط في هذه الحالة يقطع سطح الأرض في دائرة صغرى إذا استعملنا إسقاطا مستويا وفي دائرتين صغيرتين إذا استعملنا الإسقاط الأسطواني أو الإسقاط المخروطي.

3- تصنيف الارتسامات حسب الوضع الهندسي أو طريقة التقاء سطح الإسقاط بسطح الأرض



Secant Cylindrical Projection

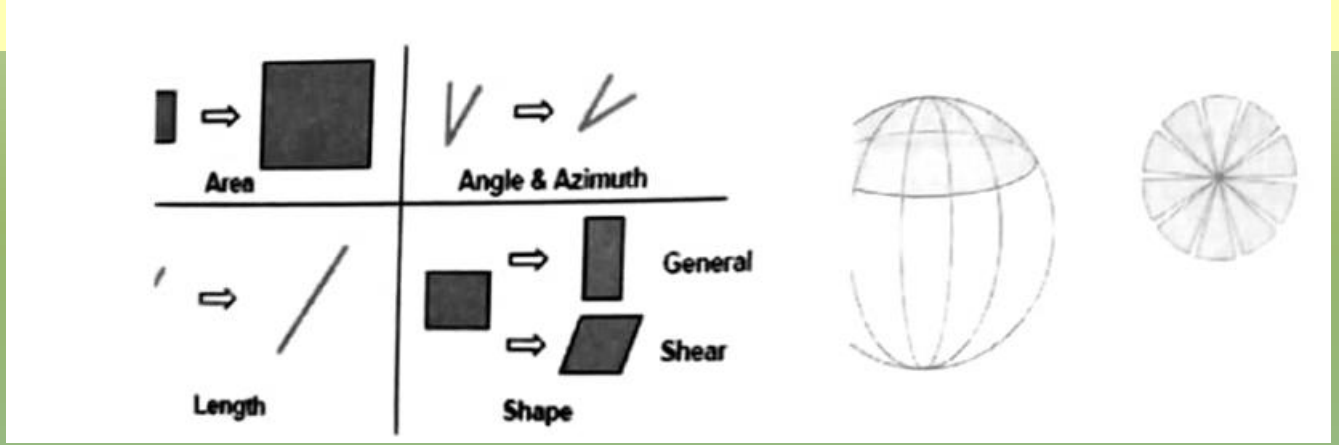




Secant Conic Projection

4 - تصنيف الارتسامات حسب الخصائص الهندسية التي تحافظ عليها

عند تحويل الشكل الكروي إلى مستوي تحدث تشوهات في المساحة والأطوال وفي الأشكال والزوايا والسموت



وهذه التغيرات التي تطرأ على الشكل الكروي لامفر منها وقد حاول العلماء الحصول على ارتسامات تكون فيها التشوهات أقل مايمكن. و توصلوا إلى أنه لايوجد ارتسام لايحتوي على أي نوع من التشوهات، ولكن من الممكن الحصول على ارتسامات يمكن فيها المحافظة على عنصر أو اثنين من العناصر المذكورة، مثل ارتسام ميركاتور المطابق حيث يحافظ على الأشكال والزوايا بينما تتغير الأطوال والمساحات حسب الموقع على سطح الخريطة.
ومن هنا يمكن تصنيف الارتسامات بناء على الخصائص التي تحافظ عليها ومن أهم أنواعها:

4 - تصنيف الارتسامات حسب الخصائص الهندسية التي تحافظ عليها

1. الارتسامات متساوية المساحة(المكافئة)Equal Area :

في هذا الاسقاط تكون مساحة أي شكل على الخريطة تساوي مساحة نظيرتها على الطبيعة وفق مقياس رسم معين ,بينما ليس بالضرورة أن تماثل الأشكال على الواقع يستخدم في الملكيات و التوزيع الجغرافي.

4 - تصنيف الارتسامات حسب الخصائص الهندسية التي تحافظ عليها

2 - الارتسامات التي تحافظ على الاشكال (المطابق) Conformal:

في هذا الاسقاط تكون الاشكال على الخريطة نفسها على الطبيعة (المستطيل يبقى مستطيل و الدائرة تبقى دائرة) و الزوايا بين الخطوط على الخريطة تساوي نظائرها على الطبيعة , يستخدم في الاعمال المساحية.

تصنيف الارتسامات حسب
الخصائص الهندسية التي تحافظ عليها

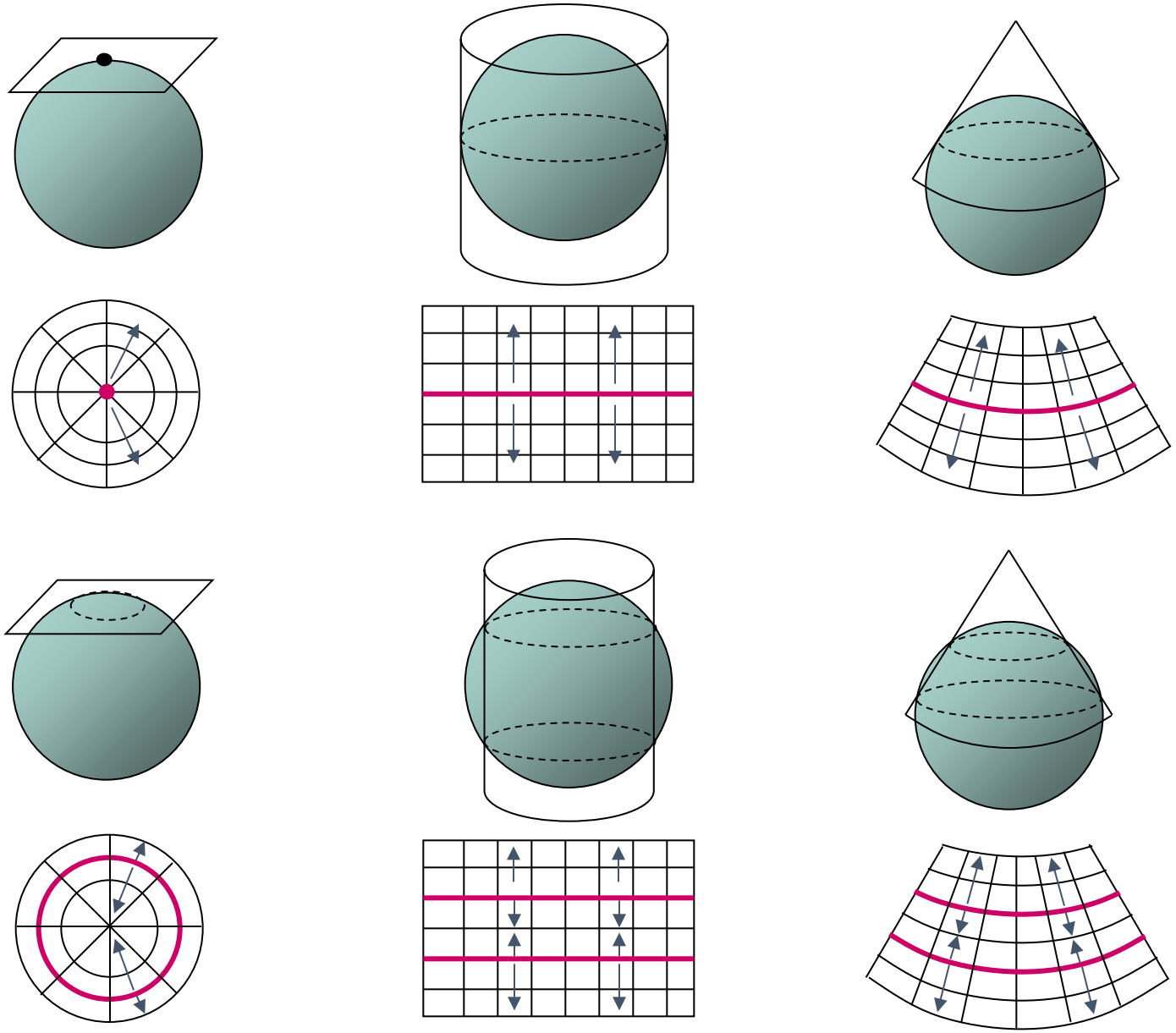
3 - الارتسامات التي تحافظ على المسافاتEquidistance :

لايوجد أي ارتسام يمكن أن يحافظ على المسافات بين جميع النقاط على الخريطة من دون تشوه . من اجل الخرائط ذات المقاييس الكبيرة التي تغطي مساحات صغيرة، من الممكن إهمال الخطأ الناتج، بينما من اجل خرائط البدان والقارات ذات المقياس الصغير، فإن المسافات المقاسة تكون ذات دقة منخفضة إلا إذا تم تعديل الخطأ الناتج من حساب المسافات المستوية عند هذا المقياس.

هذه الارتسامات لاتظهر جميع المسافات بشكل صحيح، إنما تكون المسافات المقاسة من نقطة واحدة أو نقطتين على الخريطة إلى جميع النقاط الأخرى صحيحة أو على امتداد خط واحد أو أكثر.

اتجاهات التشوه في الارتسامات

اتجاهات التشوه



المراجع

1)د.م. حنان درويش & د.م. عدنان محمد، نظم المعلومات الجغرافية GIS ، هندسة وإدارة الموارد المائية، السنة الرابعة، منشورات جامعة البعث،2017- 2018.

2)د.م. وسيم موسى، محاضرات غير منشورة في المساحة 1، الهندسة المدنية ، السنة الثانية، جامعة البعث، 2018

3)د.م. أيمن دالاتي، محاضرات غير منشورة في الجيوديزيا، الهندسة المدنية ، السنة الثالثة، جامعة البعث، 2019.

4)د.م علي ونوس، محاضرات غير منشورة في الجيوديزيا، الهندسة المدنية ، السنة الثالثة، جامعة حماه، 2023.