تحديد إحداثيات مواقع محطات الأرصاد الجويه

أعداد / حمزة محمد حمزة
الإدارة العامة للمحطات السطحية

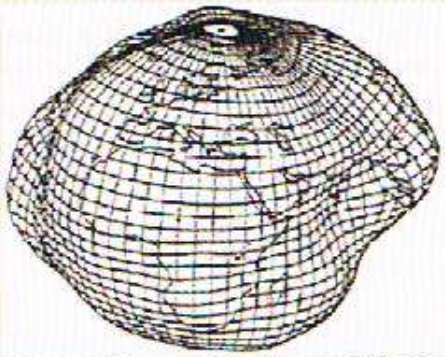
هذه المقالة تجيب على سؤال هام جداً و هو لماذا تختلف إحداثيات مواقع محطات الأرصاد الجوية فى مصر على الخرائط المصرية عنها فى الخرائط العالمية مثل خرائط المنظمة العالمية للأرصاد الجوية و خرائط جوجل؟

مقدمة

من ضمن البيانات الوصفيه لأى محطة أرصاد هى الإحداثيات التى تحدد موقعها على سطح الأرض و الإحداثيات على اختلاف أنواعها و نظمها هى قيم رياضيه تعبر عن الموقع ، و حتى يستطيع القارئ أن يتبين كيفية تحديد موقع ما و أهمية طريقة التحديد فسوف يتم استعراض بعض المفاهيم الأساسيه.

شكل الأرض:

إننا نعيش على سطح كوكب الأرض و عند تحديد أى موقع على الأرض فإننا بحاجه لتعريف شكل و حجم هذا السطح حتى نتمكن من معرفة الموقع بالتحديد. إن الشكل الطبيعى لسطح الأرض كما خلقه الله تعالى بما يضمه من قارات و محيطات و جبال وأودية و بحار ليس شكلاً منتظما حتى يمكن التعبير عنه أو وصفه بسهوله.



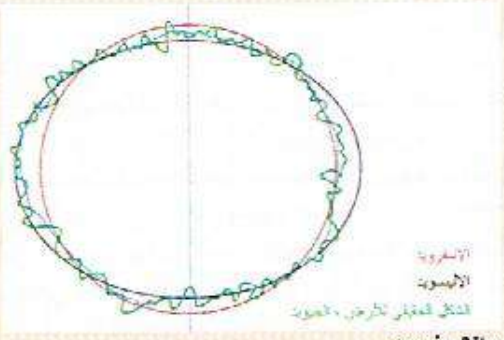
شكل (١): عدم انتظام شكل سطح الأرض

وتمثل التجربه الرائده للعالم الأغريقى أراتوسثين[1] (٢٧٦-١٩٦ ق.م) أمين مكتبة الإسكندرية، أولى بدايات التفكير الإنسانى فى معرفة شكل و حجم الأرض حيث قام بحساب محيط الأرض ليكون فى تقديره حوالى ٢٥٠٠٠ ميل و هى قيمه لا تختلف كثيراً عن القيمه المحسوبه حاليا و هى ٢٤٩٠١ ميل. كما أيدت رحلات الرحاله كولومبوس و ماجلان فى القرنين الخامس عشر و السادس عشر فكرة كروية الأرض، و جاء العالم الشهير نيوتن فى عام ١٦٨٧ بعدة مبادئ علميه هامه منها " أن الشكل المتوازن كتلة مائعة متجانسة خاضعة لقوانين الجذب و تدور حول محورها ليس شكل كره كامل بل شكل مفلطح قليلاً باتجاه القطبين" و قد أكدت نتائج بعثتين نظمتها أكاديمية العلوم الفرنسيه عام ١٧٣٥ هذه النتائج.

شكل (٢): الشكل الحقيقى للأرض
المصدر: الجيويد ٢٠١١، طبقاً للنموذج للعددى لمجال الجاذبيه EIGEN-6C يعتمد على معلومات الأقمار الصناعيه LAGEOS و GRACE و GOCE و بيانات سطحيه، مركز الأبحاث الألماني للعلوم الجيولوجية

نتيجة لعدم انتظام الأرض بحث العلماء عن شكل افتراضى أخر للأرض يكون أقل تعقيداً و توصلوا إلى أن مساحة الماء فى المحيطات و البحار تشكل حوالى ٧٠٪ من مساحة الأرض ، و على ذلك فإن شكل الأرض يكاد يكون هو الشكل المتوسط لسطح الماء، مع إهمال حركة سطح الماء بسبب التيارات البحريه و المد و الجزر. Mean Sea Level MSL بحيث لو قمنا بمد هذا السطح تحت اليابسه فنحصل على شكل متكامل أقرب ما يكون لشكل الأرض الحقيقى و يسمى الجيويد[2] Geoid (و يوجد فرق حوالى متر واحد فقط بينه و بين مستوى سطح البحر يمكن التغاضى عنه كما يمكن اعتبار أن كلا المصطلحين يشيرا لنفس الجسم). و لكن الجيويد شكل معقد و يصعب تمثيله رياضيا و بالتالى يصعب معه تحديد المواقع نتيجة لعدم انتظام سطحه طبقا لمبدأ نيوتن لتأثره بقوتى الجاذبية الأرضية و الطرد المركزى و كلاهما يختلفان من مكان

١- احتفالية إراتوستينس السنوية: هى حدث يقوم بتنظيمة متحف تاريخ العلوم التابع لمركز القبة السماوية العلمى بالاسكندرية ف: ٢١ مثيونيو من كل عام. وكان أول أنشطة احتفالية إراتوستينس ٢٠٠٧، هى تطبيق التجربة التى استخدمها إراتوستينس لقياس محيط الكرة الأرضية.
٢- الجيويد هوسطح متساوى الجهد لمجال الجاذبية الأرضية يقارب جدا شكل الأرض الحقيقى.

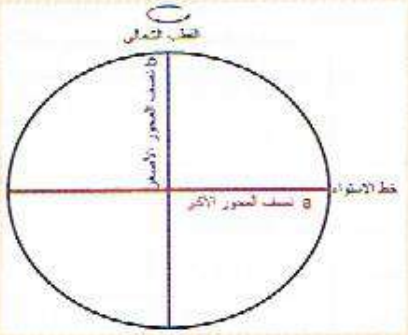


شكل (٣): العلاقه بين الجيويد والاليبسويد والاسفرويد

لأخر على سطح الأرض بسبب عدم توزيع الكثافه بشكل منتظم . لذلك

بحث العلماء عن أقرب شكل هندسى معروف و هو القطع الناقص Ellipse الذى ينتج من دورانه حول محوره مجسم القطع الناقص أسمه الاليبسويد Ellipsoid و هو شكل بيضاوى و يعرف أيضاً باسم الاسفرويد Spheroid و لكن الشائع هو أسم الاليبسويد.

و الشكل (٤) يوضح الفرق بين الكرة الكاملة الاستداره و التى لها قطر واحد بنفس القيمه فى كل الاتجاهات و بين الاليبسويد المفلطح قليلاً عند القطبين و الذى له محورين مختلفين أحدهما يسمى نصف المحور الأكبر (فى مستوى خط الاستواء) و الأخر يسمى نصف المحور الأصغر (بين القطبين)



شكل (٤): الاليبسويد

و أحياناً يتم التعبير عن هذا الشكل بنصف المحور الأكبر و معامل التفلطح Flattening و يتم حسابه من المعادلة:

$$f = \frac{a-b}{a} \qquad \text{أو} \qquad f = 1 - \frac{b}{a}$$

و يتميز شكل الاليبسويد بعدة خصائص منها:

- سهولة إجراء الحسابات على سطحة .
- لا يوجد اختلاف كبير بين سطحه و سطح الجيويد (أكبر فرق لا يتعدى ١٠٠ متر) فى حين أن الفرق بين الجيويد و الكره يصل لحوالى ٢١ كيلومتر تقريبا.

شكل (٥): العلاقة بين الجيويد والاليبسويد

المراجع

لتحديد موقع على سطح الأرض يجب اختيار شكل رياضى يعبر عن شكل و حجم الأرض ذاتها و يسمى بالشكل المرجعى Reference Surface ، و أحد أقدم المراجع هو الكره أما الشكل المستخدم حاليا فى تحديد المواقع بدقة عاليه أو لرسم الخرائط الدقيقه هو الاليبسويد. لذلك حاول العلماء طوال قرنين لتحديد أنسب اليبسويد يعبر عن شكل الأرض بأقرب صوره ممكنه ، وكلما تجمعت قياسات جوديسيه[1] لدى جهة دولية أو أحد العلماء يتم حساب قيم جديدة لعناصر الاليبسويد (سواء b و a أو a و f) مما يؤدى إلى وجود العديد من نماذج الاليبسويد، لذلك تختار كل دوله أحدث اليبسويد لتختاره السطح المرجعى الخاص بها لنظام خرائطها، مع ملاحظة أنه لو ظهر اليبسويد أحدث فإنه لا يمكن تقنياً و لا ماديا تغيير السطح المرجعى للدوله أو إعادة إنتاج و طباعة كل خرائطها من جديد.

الفرق بين الاليبسويد و الجيويد يختلف من مكان لمكان على سطح الأرض لكنه أقل ما يمكن على المستوى العالمى، لذلك عندما تعتمد دولة ما على اليبسويد معين فانها تراعى أن يكون الفرق بينه و بين الجيويد أقل ما يمكن داخل حدودها و لا تهتم بقيمة هذا الفرق مهما كان فى باقى مناطق العالم، و على ذلك تلجأ الدولة لتعديل الاليبسويد قليلاً Re-Position لتحقيق هذا الهدف، فيصبح الاليبسويد بعد هذا التعديل يختلف عن الأصلى و يسمى مرجع وطنى[2] Local Datum و على ذلك يكون المرجع الوطنى لأى دولة هو البسويد عالمى تم تعديله ليناسب هذه الدوله و يكون أقرب تمثيلاً لشكل الجيويد (الشكل الحقيقى للأرض) عند هذه الدوله ، وكلما كانت الفروق بين المرجع الوطنى و الجيويد أقل ما يمكن زادت دقة الخرائط المرسومه اعتماداً على هذا المرجع. و الجدول (١) يعرض بعض هذه النماذج

جدول (١): بعض نماذج الاليبسويد المستخدمه عالمياً

اسم الاليبسويد	نصف المحور الأكبر بالمتر a	نصف المحور الأصغر بالمتر b	الدوله التى تستخدمه
Helmert 1906	٦٣٧٨٢٠٠	٦٣٥٦٨١٨	مصر
* WGS 84	٦٣٧٨١٣٧	٦٣٥٦٧٥٢	عالمى
WGS 72	٦٣٧٨١٣٥	٦٣٥٦٧٥٠	عالمى
* NAD83	٦٣٧٨١٣٧	٦٣٥٦٧٥٢	أمريكا الشماليه
Bassel 1841	٦٣٧٧٣٩٧	٦٣٥٦٠٧٩	و سط أوربا
Airy 1830	٦٣٧٧٥٦٣	٦٣٥٦٢٥٧	بريطانيا
International-1924	٦٣٧٨٣٨٨	٦٣٥٦٩٠٩	المملكة العربية السعودية و كثير من دول الخليج
Clarcke 1866	٦٣٧٨٢٧٤	٦٣٥٦٦٥١	دول المغرب العربى

* الفرق بين NAD٨٣ و WGS ٨٤ طفيف و يصل لعدة سنتيمترات مع الفرق أن NAD٨٣ صمم ليضل ثابت مع الوقت فوق أمريكا الشماليه بينما WGS ٨٤ ثابت بالنسبه للعالم

كما يجب الاشاره إلى وجود مراجع وطنيه عديده لدول مختلفه كلها تعتمد على الاليبسويد العالمى لكن كل منهم يقوم بتعديله بصوره مختلفه، فمثلاً فإن المراجع الوطنيه لكل من السودان و تونس و المغرب و الجزائر و الأمارات و عمان تعتمد على اليبسويد ١٨٨٠ Clarcke لكن كل مرجع له و ضع مختلف.

و للإجابة على سؤال هذه المقاله سوف نستعرض الاليبسويد المصرى أو المرجع المصرى و الاليبسويد "العالمى" WGS 84

المرجع المصرى :

عند بدء أعمال الجوديسيا و انشاء الخرائط فى مصر فى بداية القرن العشرين كان أحدث اليبسويد متاح فى ذلك الوقت هو اليبسويد هلمرت ١٩٠٦ Helmert ، فتم اتخاذه ليكون سطح مرجعى لمصر بعد اجراء العديد من التعديلات

١. الجوديسيا هى علم شكل الأرض ومساحتها و هو يبحث فى الموضوعات التى تتصل بحجم الأرض وشكلها (المتغيرين مع الزمن) وأبعادها وباطنها و مجالها المغناطيسي بواسطة القياسات المباشرة للقشرة الأرضية كما يساعد على فهم المبادئ الأساسية لإنشاء الخرائط وأنظمة الارتفاعات و هدفها الأساس هو خلق نظم مرجعية أرضية موحدة. وكلمة الجيوديسيا من كلمتين يونانيتين معناهما "تقسيم الأرض".

٢. يسمى أيضا مرجع Datum أو مرجع جوديسى Geodetic Datum

ليكون ما يعرف باسم المرجع الوطنى المصرى ١٩٠٧ Old Egyptian Datum أو اختصاراً OED ١٩٧٠ .

كان أحد التعديلات التى أجريت هى افتراض أن الارتفاع عن سطح الاليبسويد هو الارتفاع لنقطة أساسيه عن متوسط سطح البحر و هى نقطة الزهراء بجبل المقطم، و هذا غير حقيقى لكنه لتسهيل الحسابات. و ذلك التعديل يعنى أن سطح اليبسويد هلمرت ١٩٠٦ينطبق مع سطح الجيويد عند هذه النقطه أى تم رفع سطح اليبسويد هلمرت ١٩٠٦ عدة أمتار لينطبق مع سطح الجيويد عند هذه النقطه المحدده . و بالتالى لم يعد اليبسويد هلمرت ١٩٠٦ هو ذلك الاليبسويد العالمى الذى تم اختياره ليمثل شكل الأرض بل صار له وضع جديد يناسب المنطقه الجغرافيه لجمهورية مصر العربيه لذا يطلق عليه المرجع المصرى.

وصف المرجع بهذه الطريقه يعتبر مرجع أفقى Horizontal Datum لتحديد المواقع فى المستوى الأفقى ، لذلك فهناك حاجه لمرجع رأسى Vertical Datum للتعامل مع الاحداثيات فى المستوى الرأسى (الارتفاعات). يعد الجيويد المرجع الرأسى المعتمد فى العديد من دول العالم، و لتحديد هذا المرجع نحتاج نقطه يكون عندها متوسط سطح البحر يساوى صفر. لذلك تم إنشاء محطة قياس المد و الجزر Tide Gauge فى ميناء الإسكندريه و أخذ متوسط قياسات لمدة ٨ سنوات من عام ١٨٩٨ إلى عام ١٩٠٦بحيث أن هذه القراءة (على المسطرة المدرجة داخل المحطة) اعتبرت هى المنسوب المساوى للصفر، أى هى النقطة المرجعيه لتحديد الجيويد، وبدأ من هذه النقطه تم إنشاء مجموعة من النقاط الأرضيه معلومة المنسوب تسمى Bench Marks تغطى معظم أرجاء مصر. لذلك فإن المرجع الوطنى الرأسى المصرى Vertical Egyptian Datum هو قيمة متوسط سطح البحر عند الإسكندريه فى عام ١٩٠٦. علما بأنه قد تغيرت قيمته نتيجة ارتفاع متوسط سطح البحر على المستوى العالمى فى المائة العام الأخيرة (بقيمة تبلغ حوالى ١١,٦ سم و بمعدل ١,٧ مم/ سنه فى مصر).

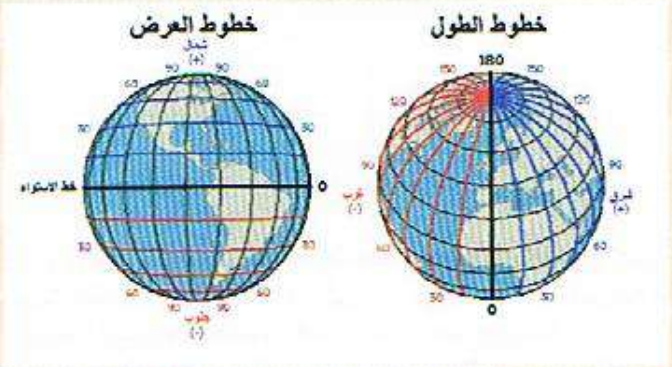
نظم الإحداثيات Coordinates :

هى القيم التى بواسطتها نعبر عن موقع معين على سطح الأرض، و تتعدد أنظمة الإحداثيات تبعا لاختلاف السطح المرجعى الذى يتم تمثيل المواقع عليه. توجد إحداثيات أحادية البعد (١D) One Dimensional Coordinates و هى غالباً تعبر عن ارتفاع النقطة من سطح الشكل المرجعى المستخدم، و عند اختيار المستوى كسطح مرجعى (مثل الخريطه) فإن الإحداثيات تكون مستويه أو ثنائيه الأبعاد (٢D) و ذلك لأن كل نقطه على الخريطه يتم تحديد موقعها بقيمتين و ليكن مثلاً س و ص. و إذا تم اعتماد الكره أو الاليبسويد كسطح مرجعى فإننا نتعامل مع إحداثيات فراغيه أو ثلاثية الأبعاد (و ليكن مثلا س و ص، و إذا تم اعتماد الكره أو الاليبسويد كسطح مرجعى فإننا نتعامل مع إحداثيات فراغيه أو ثلاثية الأبعاد (٣D) حيث يضاف ارتفاع النقطه عن سطح المرجع كبعد ثالث لتحديد موقعها أى س و ص و ع لكل موقع. فى حالة الكرد تسمى بالإحداثيات الكرويه Spherical Coordinates بينما فى حالة الاليبسويد تسمى بالإحداثيات الجوديسيه[١] Geodetic Coordinates , كذلك توجد إحداثيات رباعية الأبعاد (٤D) تستخدم فى التطبيقات الجوديسيه و الجيوفيزيائيه عالية الدقه، حيث يتم تحديد الموقع فى زمن محدد و يكون البعد الرابع ن هو زمن قياس إحداثيات هذا الموقع.

رسم العلماء خطوطا وهمية طولية وعرضية على مجسم الكرة الأرضية والخرائط، لتمثيل موقع أى نقطة على سطح الأرض .وتعرف هذه الخطوط باسم "خطوط الطول ودوائر العرض". و ذلك :

١ - باتخاذ خط أفقى وهمي يلتف حول كوكب الأرض و يمثل دائره عظمى تمر بمركز الأرض . يقسم الأرض إلى قسمين نصف كرة شمالي ونصف كرة جنوبي ، يسمى خط الاستواء.

٢ - رسمت دوائر العرض و هى تشكل دوائر كاملة متوازية وموازية لخط الاستواء وعمودية على محور الأرض، و عددها ١٨٠ دائرة، منها ٩٠ دائرة في شمال خط الاستواء، و٩٠ دائرة في جنوبه. و هى غير متساوية في الطول.



شكل (٦): خطوط الطول و العرض على سطح الأرض

١ - وتسمى أيضاً الإحداثيات الجغرافيه Geographic Coordinates أو الإحداثيات الاليبسويديه Ellipsoidal Coordinates

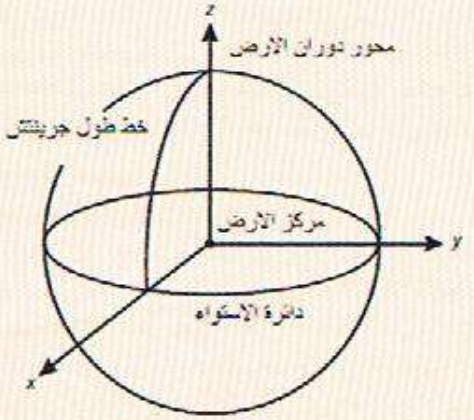
بقية الدوائر في الصغر كلما بعدنا عن خط الاستواء شمالاً وجنوبًا حتى تصبح نقطة في كل من القطب الشمالي والقطب الجنوبي. وعمودية على محور الأرض، و عددها ١٨٠ دائرة، منها ٩٠ دائرة في شمال خط الاستواء، و٩٠ دائرة في جنوبه. و هي غير متساوية في الطول، فأكبرها الدائرة الاستوائية، وتأخذ بقية الدوائر في الصغر كلما بعدنا عن خط الاستواء شمالاً وجنوبًا حتى تصبح نقطة في كل من القطب الشمالي والقطب الجنوبي.

٣ ـ تم تقسيم خط الاستواء إلى ٣٦٠قسم متساوى و رسم ٣٦٠ نصف دائرة متساوى متعامدة على دوائر العرض تلتقي في نقطتي القطب الشمالي والقطب الجنوبي و تسمى بخطوط الطول.

٤ ـ خط الطول الأساسي هو خط جرينتش وهو يمر بضاحية جرينتش قرب لندن، وعلى أساس هذا الخط قسمت خطوط الطول إلى ١٨٠ خطا شرق جرينتش و ١٨٠ خطا غرب جرينتش.

الإحداثيات الجوديسيه

نظام الإحداثيات الجوديسيه أو الجغرافيه و يمكن من خلاله تحديد موقع نقطة في الفضاء ثلاثي الأبعاد، و يسمى نظام مركزى أرضى ثابت Earth-Centered Earth-Fixed أو اختصاراً ECEF و يعتبرا لأفضل لتحديد العرض والطول والارتفاع.



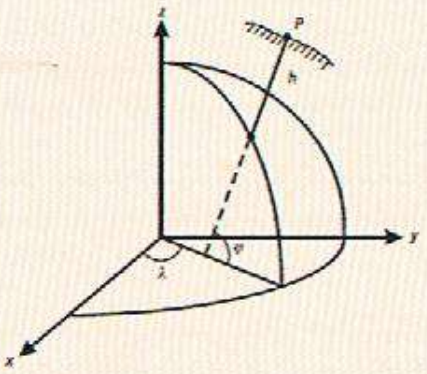
شكل (٧): نظام الإحداثيات الجوديسيه أو الجغرافيه

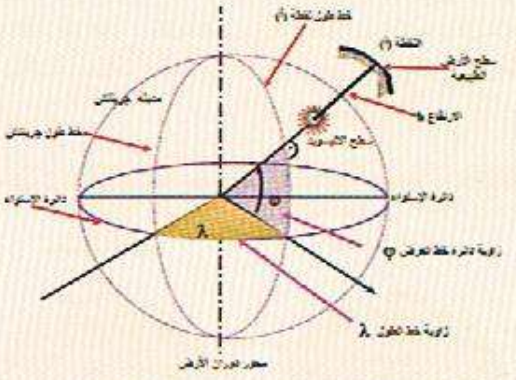
وهو نظام إحداثيات مركزه هو مركز جاذبية الأرض و محاورها مثبته مع الأرض أثناء دورانها ، حيث ينطبق المحور الرأسى z مع محور دوران الأرض و يتجه محوره الأفقى الأول x ناحية خط طول جرينتش بينما محوره الأفقى الثانى y يكون عموديا على محوره الأول. حيث يتم تمثيل أى نقطه في هذا النظام بثلاثة قيم أو إحداثيات، الإحداثيات الجيوديسية $(\varphi,\lambda,h,)$ ، كالآتى:

خط الطول (λ) و هو الزاويه المقاسه فى مستوى دائرة الاستواء بين خط طول جرينتش و خط طول النقطه المطلوبه.

دائرة العرض (φ) و هى الزاويه المقاسه فى المستوى الرأسى و التى يصنعها الاتجاه العمودى المار بالنقطة المطلوبه مع مستوى دائرة الاستواء.

الارتفاع (h) و هو الارتفاع عن سطح الاليبسويد و يسمى الارتفاع الجوديسى Geodetic Height .



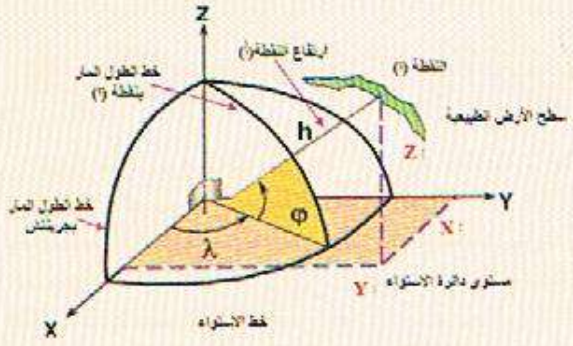

شكل (٨): نظام الإحداثيات الجوديسيه أو الجغرافيه

و يوجد عدة نظم للوحدات المستخدمه فى التعبير عن خطوط الطول و دوائر العرض أشهرها النظام الستينى، حيث تقسم الدائره الكامله إلى ٣٦٠ درجه (°) ، و الدرجه تقسم إلى ٦٠ دقيقه(′) و كذلك الدقيقه تقسم إلى ٦٠ ثانيه(″). يضاف لخطوط الطول شرق خط جرينتش (E) أما الغرب (W) و أيضا شمال خط الاستواء(N) و جنوبه(S). مع ملاحظة أن الاتجاه العمودى على سطح الاليبسويد لا يمر بمركز الاليبسويد عكس حالة الكره حيث يمر العمودى على سطح الكره بمركزها فى حالة نظام الإحداثيات الكرويه Spherical Coordinates .

١ ـ أو الارتفاع الاليبسويديه Ellipsoidal Hieght

الإحداثيات الجوديسيه الديكارتية

هو نظام مشابه تماماً فى تعريفه لنظام الإحداثيات الجوديسيه و لكن تقاس إحداثياته بالمتر أو الكيلومتر و ليس بالدرجات مما يجعله أسهل فى الحسابات ، ويعبر عن موقع كل نقطه بثلاث إحداثيات(X,Y,Z) .



شكل (٩): نظام الإحداثيات الجوديسيه الديكارتية

مع ملاحظة أن نظم الإحداثيات المذكوره تفترض أن محور دوران الأرض ثابت و لكن المحور يتحرك من عام لأخر لذلك فأن تحديد محور الدوران يتغير من فتره زمنيه لأخرى (بضعة سنتيمترات)، وبناء على ذلك تم تطوير فكرة الإطار المرجعى الأرضى العالمى و المعروف International Terrestrial Reference Frame اختصاراً ITRF حيث يتم تحديد محور دوران كل 3 سنوات من خلال تجميع و تحليل القياسات الجيوديسيه الدقيقه و يعتبر من الاحداثيات الرباعية الأبعاد ومنه ITRF94, ITRF96, ITRF97, ITRF2000, ITRF2005, ITRF2008

التحويل بين الاحداثيات الجوديسيه

يمكن التحويل من الإحداثيات الجوديسيه إلى الإحداثيات الجوديسيه الديكارتية باستخدام مجموعة من المعادلات

$$X = (c+h)\cos\phi\cos\lambda$$
$$Y = (c+h)\cos\phi\sin\lambda \qquad (١)$$
$$Z = \left[h + c(1-e^2)\right]\sin\phi$$

حيث c يسمى نصف قطر التكور radius of Curvature و e تسمى المركزيه الأولى First Eccentricity و يتم حسابهم كالأتى:

$$c = \frac{a}{\sqrt{1-e^2\sin^2\phi}}$$
$$e = \frac{a}{\sqrt{a^2-b^2}} \qquad (٢)$$

أحد الحلول التى تتمثل فى التحويل من الإحداثيات الجوديسيه الديكارتية إلى الإحداثيات الجوديسيه يتم باستخدام مجموعة من المعادلات:

$$\tan\lambda = \frac{Y}{X}$$
$$\tan\phi = \frac{Z/\sqrt{X^2+Y^2}}{1-e^2\left(\frac{c}{c+h}\right)} \qquad (٣)$$
$$h = \frac{\sqrt{X^2+Y^2}}{\cos\phi} - c$$

و يلاحظ من المعادلات السابقه أنه لحساب قيمة φ و h لابد من معرفة قيمة c هى تعتمد على قيمة φ . لذلك يتم حساب هذا التحويل بطريقه تكرارية Iterative بالبدء باستخدام قيمة تقريبيه لدائرة العرض φ و نحسب قيمه تقريبيه لنصف قطر التكور c ثم نأخذ هذه القيمة لنحسب منها قيمه جديدة لـ φ حتى نجد عدم وجود أى فرق جوهرى بين قيمتين متتاليتين لدائرة العرض φ .

(البقية بالعدد القادم)