الباب الثاني

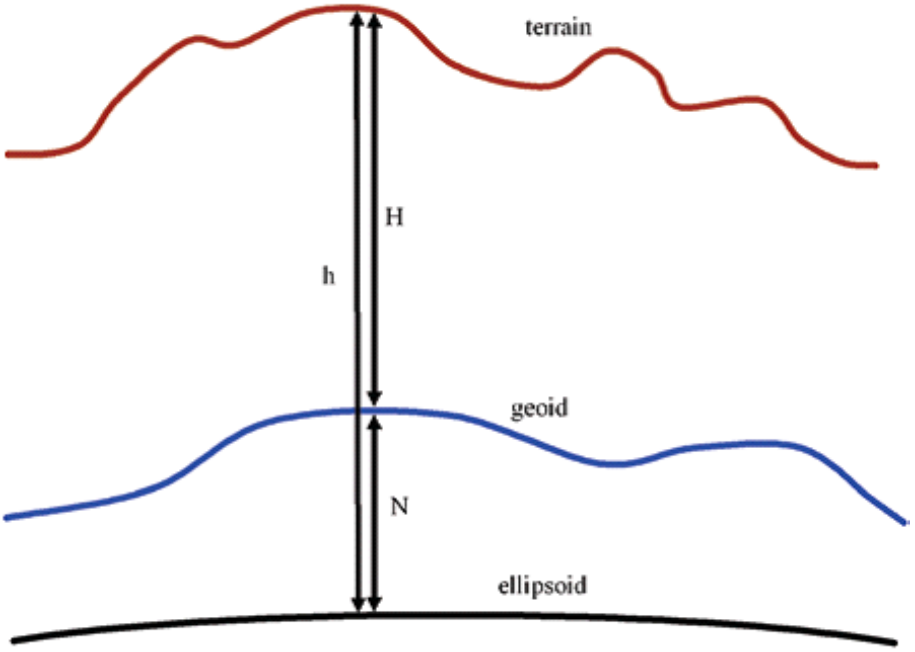
الجيويد

1.2 مقدمة :

يقدم الجي بي إس وباقي النظم العالمية الأخرى لتحديد المواقع بالرصد علي الأقمار الصناعية Global Navigation Satellite Systems أو اختصار (GNSS) المواقع أو الإحداثيات ثلاثية الأبعاد خط الطول و دائرة العرض و الإرتفاع لكن المرجع الذي تنسب له ارتفاعات الجي بي إس هو البسويد (WGS84) أي أن القيم تدل علي ارتفاع النقطة أعلي من سطح هذا الإلبسويد (الإلبسويد أو الشكل البيضاوي هو شكل نظري معلوم المعادلات الرياضية يمثل شكل و حجم كوكب الأرض ويستخدم في تنفيذ معادلات حساب الإحداثيات و إسقاط الخرائط) ولذلك تسمي ارتفاعات البسويدية أو ارتفاعات جيوديسية Geodetic Ellipsoidal or Heights ومع أن إرتفاعات الجي بي إس أقل دقة من الإحداثيات الأفقية خط الطول و دائرة العرض (بمعامل يتراوح بين 1.5 و 3) إلا أن هذه الإرتفاعات مفيدة جدا في تطبيقات الهندسة المساحية.

لكن نوع الإرتفاعات المطلوب في معظم التطبيقات الهندسية هو الإرتفاع المقاس من متوسط منسوب سطح البحر Mean Sea Level أو اختصارا MSL وهو الإرتفاع الذي يأخذ اسم المنسوب في مصطلحات المساحة يعرف هذا النوع من الارتفاعات باسم الارتفاع الأورثومتري Orthometric Height ولنكون أكثر تحديدا وأكثر دقة فأن المرجع لهذا النوع من الارتفاعات هو **الجيويد Geoid** سطح متساوي الجهد يقترب بنسبة كبيرة جدا من متوسط منسوب سطح البحر يعد الجيويد هو الشكل الحقيقي للأرض لكنه وللأسف الشديد سطح متعرج غير منتظم ليس له معادلات حسابية لوصفه و بالتالي لا يمكن استخدامه في حسابات الإحداثيات و إسقاط الخرائط .

نتيجة لعدة عوامل – منها عدم تجانس كثافة طبقات الأرض – فأن الجيويد يبتعد عن الإلبسويد بمسافات تصل إلي 120 متر وهذا الفرق يسمي **حيود الجيويد** أو إرتفاع الجيويد Geoid Undulation or Geoid Heightكما هو موضح في الشكل (2.1) لكي يتم تحويل ارتفاع الجي بي إس (إرتفاع جيوديسي) إلي الإرتفاع الأورثومتري (المنسوب) فأننا نحتاج لنموذج دقيق من حيود الجيويد أي معرفة قيمة حيود الجيويد عن كل نقطة مطلوب تحويل إرتفاعها إلي منسوب وهنا تأتي الصعوبة .



شكل (2.1) يوضح العلاقة بين الجيويد و الإلبسويد و أنواع الإرتفاعات

2.2 نمذجة الجيويد Geoid Modelling :

عامة توجد طريقتين لتطوير نماذج الجيويد : الطريقة الهندسية ، طريقة الجاذبية الأرضية .

1.2.2 الطريقة الهندسية :

يعد هذا الأسلوب هو الأمثل للمساحة بالجي بي إس وخاصة للمناطق الصغيرة (منطقة تغطي مساحة من 10 إلي 20 كيلومتر مربع) يتم تنفيذ قياسات جي بي إس عند مجموعة من النقاط المعلوم منسوبها (نقاط روبيرات أو **BM** بلغة المساحة) فإذا رمزنا للإرتفاع الجيوديسي بالرمز **h** وللمنسوب بالرمز **H** ولحيود الجيويد بالرمز **N** يمكن كتابة المعادلة **التالية :**

$$N = h - H \qquad (1.2)$$

حيث أن :

N ≡ حيود الجيويد

H ≡ الإرتفاع الجيوديسي

h ≡ الإرتفاع اللأورثومتري

في أبسط الصور فيمكن بإستخدام نقطة واحدة فقط معرفة الفرق بين سطحي الالبسويد و الجيويد إلا أن رصد جي بي إس عند 3 روبيرات يعد وضعا أفضل بالتأكيد .وجود 3 نقاط معلوم لهم كلا من h و H سيمكننا من حساب 3 معاملات (الميل في اتجاه الشمال الميل في اتجاه الشرق والفرق) لوصف الفروق بين كلا السطحين أي أن الجيويد يتم تمثيله من خلال سطح أو مستوي مائل وبعد ذلك يمكن استخدام هذا النموذج أو هذا المستوي لكي نحول ارتفاع الجي بي إس لأي نقطة جديدة مرصودة إلي منسوبها وبالطبع يمكن استخدام أكثر من 3 نقاط (معلوم عندها h و H) وذلك للحصول علي مصداقية أكثر more reliability لنتائج المستوي المائل استخدم 3 نقاط معلومة فقط يعطي 3 معادلات مطلوب حلهم في 3 قيم مجهولة أي رياضيا و إحصائيا - لا يوجد أي تحقيق check للنتائج بينما استخدام أكثر من 3 نقاط سيعطي عدد معادلات أكبر من عدد المجاهيل مما سينتج عنه وجود تحقيق ومؤشرات إحصائية لجودة النتائج المحسوبة (أيضا يمكن استخدام نماذج رياضية أكثر دقة) من نموذج السطح المائل (بفرض وجود عدد أكبر من النقاط المعلومة) معلوم لها (h وH) لكنها تحتاج خبرة جيوديسية أكبر لدي المستخدم .

أهم معوقات الطريقة الهندسية :

* النموذج الرياضي المستنبط يصلح فقط للمنطقة المحصورة بالنقاط المعلومة (محاولة استنباط قيمة N خارج المنطقة لن تكون جيدة علي الإطلاق) .

* نموذج المستوي المائل – نموذج بسيط رياضيا – ويصلح فقط لمناطق صغيرة (شكل وتغير الجيويد أكثر تعقيدا من محاولة وصفه بسطح مائل) .

* عمليا قد يكون من الصعب إيجاد نقاط معلومة المنسوب (روبيرات أو BM) في المنطقة المطلوب العمل فيها .

2.2.2 طريقة الجاذبية الأرضية :

يقدم هذا الأسلوب شبكة منتظمة من قياسات حيود الجيويد في مناطق كبيرة أو شاسعة بالمقارنة بمجموعة نقاط متفرقة في منطقة صغيرة كما في الطريقة الهندسية لكن هذه الطريقة في المقابل

ليست سهلة رياضيا حيث أنها تتطلب عمل تكامل integration لقيم شذوذ الجاذبية الأرضية Gravity Anomalies ليمكن حساب حيود الجيويد المعادلة الأساسية في هذه الطريقة معروفة باسم معادلة ستوكس Stokes نسبة للعالم الجيوديسي الذي أبتكرها :

$$N = \frac{T}{£} = \frac{R}{4\pi G} * \iint \Delta g * s(\Psi) * d\delta \text{ ------ (2.2)}$$

حيث أن :

T ≡ شذوذ الجهد

R ≡ نصف قطر الارض المتوسط

£ ≡ قيمة الجاذبية النظرية

Δg ≡ شذوذ الجاذبية

s(Ψ) ≡ معامل استوكس

dδ ≡ جزء صغير من الارض يتم التكامل باستخدامة

يتم علي كل سطح الأرض أي أنه لحساب قيمة حيود الجيويد N عند نقطة واحدة فيلزمنا عشرات الآلاف من قياسات شذوذ الجاذبية أيضا فأن قياسات شذوذ الجاذبية تحتاج تصحيحا إضافيا يعتمد علي معرفة تضاريس الأرض مما يتوجب معه أننا نحتاج نموذج ارتفاعات رقمي Digital Elevation Model أو (DEM) تم إستخدام هذه الطريقة في مصر بعد إكتمال رصد الشبكة القومية المصرية للجاذبية الأرضية في عام 1998 م [وهي تمثل الفرق بين القيمة المقاسة للجاذبية الأرضية] نستخدم أجهزة خاصة لقياس قيمة الجاذبية الأرضية تسمي [Gravimeter و قيمة الجاذبية النظرية] يمكن حسابها رياضيا بمعادلات تعتمد فقط علي نوع الإلبسويد المستخدم لتمثيل شكل الأرض (وكما نري في المعادلة فإن التكامل ودون الدخول في التفاصيل الفنية لهذه المعادلة فأن الأرصاد أو القياسات المطلوبة هي ما تعرف بإسم شذوذ الجاذبية) .

وجد بديل لتمثيل شكل الجيويد وهو استخدام نموذج تمثيل كروي متناسق لمجال جهد الأرض Spherical harmonic expansion of the Earth's geopotential field غالبا يتم تطوير مثل هذا النموذج العالمي و تحديد قيم معاملاته .

(يبلغ عددها ألاف المعاملات وليس فقط 3 معاملات مثل طريقة المستوي المائل) من خلال تحليل مدارات نوعية خاصة من الأقمار الصناعية منخفضة الارتفاع .

حاليا نطبق النماذج العالمية لتمثيل كروي متناسق لمجال جهد الأرض بأحد أسلوبين :

أ - إستخدام النماذج لحساب التغيرات أو القيم الرئيسية لشكل الجيويد ثم إضافة التغيرات الدقيقة التي يتم حسابها باستخدام المعادلة رقم (2) لقياسات تمت في المنطقة المطلوبة فقط و ليس للأرض كلها ، وبذلك نحصل علي نموذج جيويد.

ب - إستخدام بيانات الأقمار الصناعية و قياسات الجاذبية الأرضية معا (في نفس البرنامج) لحساب نموذج جيويد ، لكن هذا الأسلوب يتطلب أجهزة كمبيوتر بمواصفات تقنية عالية جدا لا تتوافر إلا لدي المؤسسات العالمية الكبرى .

ومع أن طريقة الجاذبية الأرضية تتيح الحصول علي نموذج جيويد تفصيلي لمنطقة شاسعة إلا أن لها بعض المعوقات منه :

- ❖ انها طريقة معقدة رياضيا وحسابيا أيضا.
- ❖ دقة النتائج تعتمد علي دقة قياسات الجاذبية الأرضية ، كما أن هناك مناطق كثيرة من العالم لا توجد بها قياسات جاذبية أرضية تفصيلية مما ينتج عنه فراغات في قاعدة بيانات الجاذبية الأرضية و تؤدي لفراغات أو عدم دقة الجيويد المحسوب عند هذه المناطق للأسف الشديد فأن كل الدول العربية تعتبر قياسات الجاذبية الأرضية لديها وكأنها أسرار عسكرية و لا تسمح بنشرها أو المساهمة بها في تطوير النماذج العالمية مما يجعل معظم هذه النماذج غير دقيقة للاستخدام في حساب الجيويد في هذه الدول .
- ❖ يتعرض الجيويد المحسوب من هذه الطريقة لعدد من الأخطاء نتيجة لأخطاء مدارات الأقمار الصناعية وأيضا نتيجة الفراغات في قاعدة بيانات الجاذبية الأرضية .

3.2.2 الأسلوب التكاملي Combination Approach :

من الممكن الدمج بين الأسلوب الهندسي و أسلوب الجاذبية الأرضية لتطوير نموذج جيويد .أولا يتم استخدام طريقة الجاذبية الأرضية لإنتاج نموذج جيويد أولي ، ثم يتم معايرته عند نقاط مساحية معلوم عندها قيم حيود الجيويد (أي معلوم لها الارتفاع الجيوديسي h و المنسوب H) وهذه المعايرة أو التصحيح من الممكن أن يتم من خلال نموذج رياضي بسيط مثل المستوي المائل ، أو نماذج رياضية أكثر تعقيدا عند حساب الجيويد لمناطق واسعة أو كبيرة .وبعد تطوير نموذج جيويد لدولة مثلا يمكن إستخدامه في تحويل إرتفاعات الجي بي إس إلي مناسيب .

3.2 نماذج الجيويد العالمية :

حتي وقت قريب كان أفضل نماذج الجيويد العالمية هو النموذج المعروف اختصارا بإسم **EGM96** الذي طورته هيئة المساحة العسكرية الأمريكية وقسم المساحة الجيوديسية في جامعة ولاية أوهايو الأمريكية في عام 1996 م وكانت أجهزة و برامج حسابات الجي بي إس تحتوي داخلها علي هذا النموذج لكي تستطيع تحويل ارتفاع الجي بي إس إلي منسوب بدقة متر أو أكثر قليلا نموذج الجيويد **EGM96** وأمثاله يتميزوا بدرجة تمثيل degree تساوي 360 أي أنه يمكن تحديد قيمة الجيويد كل 1 درجة من خطوط الطول ودوائر العرض وبمعني آخر فإن التغير في قيمة حيود الجيويد فيما هو أقل من درجة أي حوالي 100 كيلومتر (لن يمكن تحديده بدقة ونتيجة أخطاء مدارات الأقمار الصناعية و الفراغات في قاعدة بيانات الجاذبية الأرضية فأن دقة نموذج **EGM96** في المتوسط وعلي المستوي العالمي تبلغ 40 سنتيمتر تقريبا) مع وجود فروق كبيرة أو مستويات دقة أسوأ للأجزاء كبيرة من قارة أفريقيا و الشرق الأوسط أيضا .