

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

جامعة السودان للعلوم و التكنولوجيا

كلية الهندسة

مدرسة هندسة المساحة

دراسة تحليلية لقيم التحويل بين المرجع العالمي

WGS84 و المرجع المحلي Adindan

بحث تكميلي لنيل درجة البكالوريوس في هندسة المساحة

إعداد الطلاب:

1. أروى التجاني محمد ابراهيم

2. أسماء طه جبريل عثمان

3. مؤتمن فوزي محمد احمد

إشراف:

د. خلف الله محمد بادي

الآية

قال الله ﷻ في كتابة الكريم:

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

° اقرأ باسم ربك الذي خلق (1) خلق الإنسان من علق (2)
اقرأ وربك الأكرم (3) الذي علم بالقلم (4) علم الإنسان
مالم يعلم (5)°

صَدَقَ اللهُ الْعَظِيمُ،

سورة العلق

الايات (1-5)

إهداء

إلى النور الذي ينير لي درب النجاح إلى من علمني

الصبر

أبي

إلى من تتسابق الكلمات لتخرج معبرة عن مكنون ذاتها

يا من علمتني الصمود مهما تبدلت الظروف

أمي

إلى من كل من علمني حرفا

أساتذتي

شكر و عرفان

وعندما تقف الحروف مكتوفة الأيدي عاجزة عن البيان لتصوغ كلمات الشكر والتقدير فذلك لتعاملكم العالي وقدركم الرفيع فلکم منا أسمى آيات الشكر والتقدير لما قدمتموهو لما من نصائح وإرشادات أضائت لنا طريق المعرفة,,,

من أي أبواب الثناء سندخل وبأي أبيات القصيد نعبر وفي كل لمسة من وجودكم وأكفكم للمكرمات أسطر.. كنتم كسحابة معطاء سقت الأرض فاخضرت .. كنتم ولازتم كالنخلة الشامخة تعطي بلا حدود.. فجزاكم عنا أفضل ما جزى العاملين المخلصين

هيئة المساحة العسكرية

لكل مبدع إنجاز ولكل شكر قصيدة ولكل مقام مقال ولكل نجاح شكر وتقدير, فجزيل الشكر نهديك.. تتسابق الكلمات وتتراحم العبارات لتتنظم عقد الشكر الذي لا يستحقه إلا أنت

د/ خلف الله محمد بادي

ولو أنني أوتيت كل بلاغة وأفنيت بحر النطق والنثر.. لما كنت بعد القول إلا مقصرا ومعتزفا بالعجز عن واجب الشكر.

ا/أياد عباس مقبول

ا/عمر حسن محمد

تجربة

تم في هذا البحث اختيار نقاط معلومة الاحداثيات المنسوبة الى المرجع المحلي Adindan وتم رصد هذه النقاط باستخدام الجي بي اس، و بعد التأكد من أن الارصاد تحقق الدقة المطلوبة تم ايجاد قيم عناصر التحويل بين المرجعين المحلي Adindan و المرجع العالمي WGS84 و مقارنتها بالقيم المعروفة عالميا لعناصر التحويل.

محتويات الدراسة

الموضوع	رقم الصفحة
الآية	-
الإهداء	-
الشكر والعرفان	-
التجريدة	I
فهرس المحتويات	II
فهرس الجداول	V
فهرس الأشكال	VI
الباب الأول: المقدمة	
1-1 الأقمار الصناعية	1
2-1 جيوديسيا الأقمار الصناعية	3
الباب الثاني: تقنية النظام العالمي لتحديد المواقع GPS	
1-2 مقدمة	4
2-2 مكونات نظام الجي بي إس	5
3-2 فكرة عمل الجي بي إس في تحديد المواقع	6
4-2 إشارات الأقمار الاصطناعية في الجي بي إس	7
5-2 مصادر الأخطاء في قياسات الجي بي إس	7
6-2 طرق الرصد	8

8	2-6-1 طرق الرصد الثابتة
9	2-6-2 طرق الرصد المتحرك
الباب الثالث: نظم الإحداثيات	
10	3-1 مقدمة
10	3-2 شكل الأرض
12	3-3 المراجع
14	3-4 نظم الإحداثيات
15	3-4-1 الإحداثيات الجغرافية أو الجيوديسية
16	3-4-2 الإحداثيات الكروية
16	3-4-3 الإحداثيات الجيوديسية الكارتيزية أو الفراغية أو الديكارتية
16	3-5 التحويل بين المراجع
16	3-5-1 مقدمة
17	3-5-2 الطرق التقليدية للتحويل بين المراجع
21	3-5-3 الطرق غير التقليدية للتحويل بين المراجع
23	3-6 مفهوم الـ global navigator satellite system (GNSS) لمعايرة الموقع site calibration
23	3-7 المعايرة باستخدام جهازين
25	3-8 تأثير مدة القراءة على المعايرة
الباب الرابع: القياسات والنتائج	
26	4-1 طريقة العمل
26	4-2 الأخطاء والمشاكل

27	3-4 القياسات
35	4-4 الحسابات
47	5-4 النتائج
الباب السادس: الخلاصة والتوصيات	
48	1-6 الخلاصة
48	2-6 التوصيات
	المراجع
	الملاحق

فهرس الجداول

رقم الصفحة	عنوان الجدول	رقم الجدول
13	نماذج الإلبسويد المستخدمة عالميا	1-3
21	عناصر التحويل بين المرجع الجيوديسي العالمي WGS-84 والمراجع الجيوديسية المحلية	2-3
27	الإحداثيات المنسوبة إلى المرجع المحلي Adindan	1-4
27	الإحداثيات التي تم رصدها بإستخدام الجي بي إس	2-4
36	حساب الدقة للنقطة a	3-4
37	حساب الدقة للنقطة b	4-4
39	حساب الدقة للنقطة c	5-4
41	حساب الدقة للنقطة d	6-4
43	حساب الدقة للنقطة e	7-4
46	حساب عناصر التحويل	8-4
46	النقاط c و d منسوبة إلى Adindan بإستخدام عناصر التحويل	9-4
46	بين الإحداثيات المحسوبة والمقاسة للنقاط c و d في المرجع المحلي Adindan	10-4
47	الفرق بين الإحداثيات المقاسة والمحسوبة	11-4

فهرس الأشكال

رقم الصفحة	عنوان الشكل	رقم الشكل
17	التحويل بين مرجعين متوازيين	1-3
19	عناصر التحويل بين المراجع	2-3
24	عدم وجود علاقة بين ال base stations	3-3
25	وجود علاقة بين ال base stations	4-3

الباب الاول

المقدمة

1-1 الأقمار الصناعية

مع بداية النصف الثاني من القرن العشرين الميلادي دخلت المعرفة البشرية منعطفًا تقنيًا جديدًا حيث استطاع الإنسان أن يرسل أجسامًا معدنية إلى خارج نطاق الغلاف الجوي لكوكب الأرض وهي الأجسام التي اصطلح على تسميتها بالأقمار الصناعية Satellites يعد إطلاق القمر الصناعي الروسي الأول Spotnik-1 في 4 أكتوبر 1959 هو إعلان دخول الإنسان لعصر الأقمار الصناعية. هذا وقد بدأ إطلاق الأقمار الصناعية وغزو الفضاء- بصفة عامة- بعد أن تطورت عدة تقنيات وخاصة الصواريخ والرادار، فالصاروخ هو الوسيلة لايصال القمر الصناعي إلى الفضاء. والرادار مهم لتعقب القمر ومعرفة موقعة، كما ساهم التطور في الحاسبات الآلية وأنظمة الاتصالات في الإسراع بالدخول إلى عصر الفضاء (جمعة محمد داؤود- أسس المساحة الجيوديسية والجيبياس (2012).

يمكن تقسيم الأقمار الصناعية بصفة عامة- إلى ثلاث مجموعات أو أنواع:

1. أقمار صناعية ملاحية Navigation Satellite .
 2. أقمار صناعية للاتصالات Communication Satellites .
 3. أقمار صناعية لدراسة موارد الأرض Earth Resources Satellites .
- تحديد الموقع بالاعتماد على الأقمار الصناعية:

قبل بدء عصر الأقمار الصناعية توصل العلماء الى طريقة جديدة لتحديد المواقع بالاعتماد على الموجات الراديوية أو الكهرومغناطيسية، وكان المبدأ الأساسي في هذه الطريقة هو قياس الزمن الذي تستغرقه الموجة الراديوية في الرحلة ذهابًا و عودة بين محطة البث أو الإرسال Transmitting Station وجهاز الإستقبال Receiver فإذا استخدمنا القاعدة العلمية المعروفة:

المسافة = السرعة * الزمن

وباعتبار أن سرعة الموجة تعادل سرعة الضوء (حوالي 300 ألف كيلو متر في الثانية) فيمكننا حساب المسافة بين محطة الإرسال وجهاز المستقبل.

إذا افترضنا أنه قد تم وضع برج إرسال فوق نقطة معلومة الموقع A وبرج إرسال ثاني فوق نقطة معلومة B وثالث فوق نقطة معلومة C فإذا كانت الأبراج أو محطات الإرسال الثلاثة تعمل باستمرار وفي نفس

الوقت، فإن أي جهاز إستقبال لهذه الموجات الرادوية سيستقبل الإشارات المرسله من المحطات الثلاثة

ويمكنه بسرعة تحديد موقعة في هذه اللحظة. وتسمى هذه الطريقة لتحديد المواقع بنظم الملاحة الرادوية

.Radio Navigation Systems

ومن أمثلة هذه النظم الرادوية لتحديد المواقع نظام لوران LORAN وهو اختصارا لاسم " الملاحة للمساحات الشاسعة". Long Range Navigation.

مع ظهور الأقمار الصناعية طبق العلماء نفس مبدأ الملاحة الرادوية في تطوير ماعرف بإسم الملاحة بالأقمار الصناعية Satellite Navigation فإذا استبدلنا محطات الإرسال الأرضية بأقمار صناعية ترسل

موجات رادوية يستطيع جهاز الاستقبال أن يتعامل معها ويحسب المسافة من موقعة إلى موقع كل قمر صناعي فيمكن تحديد الموقع الذي به هذا المستقبل.

تطورت نظم الملاحة بالأقمار الصناعية مع إطلاق نظام الملاحة الأمريكي Navigation satellite System الذي عرف بإسم ترانزيت Transit وأيضا باسم نظام دوبلر Doppler في الستينات من القرن العشرين الميلادي , وكان الهدف الرئيسي منه تحديد مواقع القطع البحرية في البحار والمحيطات والمعرفة الدقيقة لإحداثيات المواقع الإستراتيجية . وبالرغم من هذه الأهداف

العسكرية إلا أن المهندسين المدنيين قد استخدموا هذا النظام في العديد من التطبيقات المساحية وخاصة إنشاء شبكات الثوابت الأرضية الدقيقة.

اعتمد نظام الدوبلر على عدد من الأقمار الصناعية التي تدور على ارتفاع حوالي 1000 كيلومتر من سطح الأرض حيث يكمل كل قمر دورة كاملة حول الأرض في مدة تبلغ 107 دقيقة وكانت دقة تحديد المواقع الأرضية اعتمادا على هذا النظام في حدود 30-40 متر . ومع أن أقمار الدوبلر تغطي معظم أنحاء الأرض إلا أن عددها (6 أقمار صناعية فقط) لم يكن يسمح بتواصل الإشارات طوال 24 ساعة يوميا- بل لعدة ساعات طبقا للموقع المطلوب على الأرض – مما لم يلبي حاجة مستخدمي النظام سواء العسكريين أو المدنيين وأدى ذلك إلى بدء وزارة الدفاع الأمريكية –مع بداية السبعينيات – في تطوير نظام ملاحي آخر.

2-1 جيوديسيا الأقمار الاصطناعية

مع إطلاق أول قمر صناعي في عام 1957 بدأ ظهور مصطلح لفرع جديد من علم الجيوديسيا (علم القياس على سطح الأرض لتحديد شكلها وحجمها ومجال جاذبيتها)وهو جيوديسيا الأقمار الصناعية Satellite Geodesy. إلا أن أساسيات هذا التخصص الهندسي الجديد ترجع جذورها إلى ما هو أبعد من هذا التاريخ،

فمنذ بداية القرن التاسع عشر الميلادي كانت هناك دراسات عديدة لاستخدام القمر - الطبيعي وليس الصناعي- في حساب بعض القيم الهندسية التي تصف شكل الأرض. تتعدد تطبيقات تخصص جيوديسيا الأقمار الصناعية لتشمل العديد من المجالات العلمية المدنية منها:

- الجيوديسيا العالمية.
- الثوابت الجيوديسية.
- المساحة المستوية والتطبيقية .
- الملاحة الجيوديسية.

الباب الثاني

النظام العالمي لتحديد المواقع

GPS

1-2 مقدمة

في عام 1969 قامت وزارة الدفاع الأمريكية بإنشاء برنامج تحت إسم البرنامج العسكري للملاحة بالأقمار الصناعية وتم اقتراح تقنية جديدة تحت اسم " النظام العالمي الملاحي لتحديد المواقع بقياس المسافة و الزمن باستخدام الأقمار الصناعية "، و عرف لاحقا باسم النظام العالمي لتحديد المواقع أو اختصارا الجي بي أس GPS. يدار الجي بي أس من خلال وزارة الدفاع الأمريكية و هي الجهة المسؤولة عن اطلاق الأقمار الصناعية و مراقبتها و التأكد من كفاءة تشغيلها و استبدالها كل فترة زمنية بحيث تكون إشارات هذه التقنية متاحة 24 ساعة يوميا و على مدار كل الايام.

تشتم لتقنية الجي بي اس على العديد من المميزات التي ساعدت على انتشارها بصورة لم يسبق لها مثيل و منها:

- متاح طوال ٢٤ ساعة يوميا ليلا ونهار او على مدار العام كله.
- يغطي جميع أنحاء الأرض.
- لايتأثر بالظروف المناخية.
- الدقة العالية في تحديد المواقع لدرجة تصل إلى ملليمترات في بعض التطبيقات و طرق الرصد الجيوديسية او دقة امتار قليلة للتطبيقات الملاحية.
- الوفرة الاقتصادية بحيث ان تكلفة استخدام الجي بي اس تقل بنسبة اكبر من 25% مقارنة بأي نظام ملاحي ارضي او فضائي اخر.

- لا يحتاج لخبرة تقنية متخصصة لتشغيل اجهزة الاستقبال و خاصة المحمولة يدويا لدرجة ان بعض مستقبلات الجي بي اس أصبحت تدمج في الساعات اليدوية و أجهزة الاتصال التليفوني.

تعددت التطبيقات المساحية لتقنية الجي بي اس و تشمل بعضها:

- إنشاء الشبكات الجيوديسية للثوابت الأرضية و تكثيف القديمة منها.
- رصدتركات القشرة الأرضية .
- رصدإزاحةأو هبوط المنشآت الحيوية كالكمباري والجسور والسدود و القناطر .
- أعمال الرفع المساحي التفصيلي والطبوغرافي .
- إنتاج خرائط طبوغرافية وتفصيلية دقيقة وفي صورة رقمية .
- تحديد المواقع لعلامات الضبط الأرضي للصور الجوية او المرئيات الفضائية لنظم الاستشعار عن بعد.
- تطبيقات المساحة التصويرية الأرضية.
- تطوير نماذج الجيود الوطنية بالتكامل مع أسلوبا لميزانية الأرضية.
- تجميع البيانات المكانية عند استخدام تقنية نظم المعلومات الجغرافية و خاصه لتطبيقات تحديد مواقع الخدمات المدنية وتطبيقات النقل الذكي وايضا تطبيقات نظم معلومات الاراضي.
- الربط بين المراجع الجيوديسية المختلفة للدول في حالات المشروعات الحديدية المشتركة.
- نظم الخرائط المحمولة.
- الرفع الهيدروجرافي وتطوير الخرائط البحرية والنهرية.
- تثبيت وتوثيق مواقع العلامات الحدودية بين الدول.
- بدمج تقنيتي الجي بي اس و نظم المعلومات الجغرافية اذا أمكن انتاج خرائط رقمية و قواعد بيانات محمولة يدويا للمدن بكافة تفاصيلها و خدماتها.

2-2 مكونات نظام الجي بي أس

- قسم الفضاء ويحتوي الأقمار الصناعية Space Segment.

- قسم التحكم والسيطرة Control Segment.
- قسم المستقبلات الأرضية أو المستخدمون User Segment.

3-2 فكرة عمل الجي بي اس في تحديد المواقع

نظرية عمل الملاحة او الجيوديسيا بالاقمار الصناعية تعتمد على مبدأ قياس الزمن الذي تستغرقه الموجة الراديوية منذ صدورهما من وحدة البث و حتى وصولها لجهاز الاستقبال ومن ثم يمكن حساب المسافة من المعادلة:

حيث D المسافة بين القمر الصناعي و جهاز الاستقبال، C سرعة الاشارة و تساوي سرعة الضوء

$$D = c \cdot \Delta t$$

ΔT فرق الزمن = زمن الاستقبال – زمن الارسال

يمكن التعبير عن هذه المسافة بدلالة الاحداثيات الجيوديسية الكارتيزية لكلا من القمر الصناعي (Xs, Ys, Zs) و جهاز الاستقبال (Xr, Yr, Zr) كالآتي:

$$D = \sqrt{[(Xs - Xr)]^2 + [(Ys - Yr)]^2 + [(Zs - Zr)]^2}$$

حيث ان إحداثيات القمر الصناعي في أي لحظة تكون معلومة فأن المعادلة تحوي على 3 قيم مجهولة و هم إحداثيات جهاز الاستقبال ذاته، مما يدل على أنه يلزم وجود 3 معادلات حتى يمكن حلهم معا أنيا لحساب قيم الاحداثيات الثلاثة لجهاز الاستقبال.

حيث ان سرعة الإشارة كبيرة جدا فأن الوصول لدقة عالية في حساب المسافة يلزمنا دقة عالية أيضا في قياس الزمن لكن الساعة الموجودة في جهاز الاستقبال ليست بنفس هذه الدقة العالية، للتغلب على مشكلة عدم دقة الساعة في أجهزة الاستقبال تم إضافة قيمة الخطأ في ساعة المستقبل و حلها من خلال معادلة رياضية:

$$D + \Delta D = \sqrt{[(Xs - Xr)]^2 + [(Ys - Yr)]^2 + [(Zs - Zr)]^2}$$

ΔD هو قيمة الخطأ في المسافة المحسوبة بين القمر الصناعي و جهاز الاستقبال. و بالتالي فإن عدد القيم المجهولة أصبح 4 مما يلزم وجود 4 معادلات حتى يمكن حساب قيم العناصر الأربعة.

4-2 إشارات الأقمار الصناعية في الجي بي اس

يقوم كل قمر صناعي من أقمار الجي بي اس بارسال إشارتين راديوتين على ترددين ومحمل عليهما نوعين من الشفرات الرقمية بالإضافة لرسالة ملاحية. الشفرة الأولى تسمى شفرة الحصول الخشن Corase-Acquisition Code وتسمى بالشفرة المدنية C/A لأنها متاحة للأجهزة المدنية للتعامل معها وقراءة محتوياتها، بينما الشفرة الثانية تسمى الشفرة الدقيقة Precise Code ويطلق عليها الشفرة العسكرية p لأن التعامل معها وقراءتها لا يتم إلا باستخدام أجهزة استقبال خاصة بافراد الجيش الامريكي. تتكون كل شفرة من سيل من الارقام صفر و واحد، تحمل شفرة C/A على التردد L1، بينما تحمل شفرة P على التردد L1 و L2 هي أدق كثيراً من الشفرة C/A.

وبذلك يمكن القول أن نظام الجي بي اس يقدم نوعين من الخدمات:

- خدمة التحديد القياسي للمواقع التي تعتمد على استقبال و قراءة و استخدام البيانات من الشفرة المدنية.
- خدمة التحديد الدقيق للمواقع و التي تعتمد على استقبال و قراءة و استخدام البيانات من الشفرة العسكرية.

تتكون الرسالة الملاحية لكل قمر صناعي من مجموعة من البيانات و هي تضاف على كلا الترددات تحتوي بيانات الرسالة الملاحية على احداثيات القمر الصناعي معلومات عن حالة و كفاءة القمر، تصحيح خطأ ساعة القمر الاحداثيات المتوقعة او المحسوبة للقمر في الفترة المستقبلية و تسمى Almanac بالإضافة لبيانات عن الغلاف الجوي.

5-2 مصادر الأخطاء في قياسات الجي بي اس

توجد عدة مصادر للأخطاء الطبيعية و العشوائية و أيضا الأخطاء المنتظمة تؤثر على دقة وجودة عمل الجي بي اس أمكن للعلماء استنباط طرق للتغلب على هذه الأخطاء او على الأقل الوصول بها لأدن حد ممكن حتى يتم الحصول على دقة عالية في تحديدا لمواقع.

من أهم مصادر الأخطاء في نظام الجي بي اس:

- تأثير طبقة التروبوسفير في الغلاف الجوي.
- تأثير طبقة الأيونوسفير في الغلاف الجوي.
- تأثير طبقة الأيونوسفير في الغلاف الجوي.
- خطأ مدار القمر الصناعي.
- خطأ ساعة جهاز الاستقبال.
- خطأ هوائي جهاز الاستقبال.
- خطأ تعدد المسار.
- تأثير الوضع الهندسي للأقمار الصناعية.

6-2 طرق الرصد

تتعدد طرق الرصد المساحية بنظام الجي بي اس بطريقة كبيرة بناء على عدة عوامل مثل عدد اجهزة الاستقبال المتوفرة و الدقة المطلوبة و طبيعة المشروع.

2-6-1 طرق الرصد الثابتة:

في طريقة الرصد الثابت التقليدي يحتل الجهاز الثابت نقطة معلومة الاحداثيات بينما يقوم الجهاز الاخر باحتلال النقطة او النقاط المجهولة المطلوب تحديد مواقعها و في نفس الوقت تبدأ كل الأجهزة في استقبال إشارات الاقمار الصناعية. تتراوح فترة الرصد بين 30 دقيقة و عدة ساعات طبقا لطول المسافات بعد انتهاء تجميع الارصاد الحقلية يتم نقل البيانات الى الحاسب الآلي حيث تتولى برامج متخصصة تنفيذ عمليات الحساب و الضبط. الدقة المتوقعة تكون 5 مم ± 1 جزء من

المليون. اما في طريقة الرصد الثابت السريع تستخدم في حالة وقوع النقاط المجهولة في نطاق مسافة قصيرة في حدود 10-15 كلم من موقع النقطة المعلومة او المرجعية فيمكن للجهاز المتحرك ان يرصد نقطة مجهولة لمدة زمنية بسيطة ثم ينتقل لرصد نقطة مجهولة ثانية و ثالثة و هكذا يكون الجهاز القاعدة او المرجعي مستمرا في تجميع الارصاد طوال فترات الرصد كلها لتتوفر ارصاد مشتركة مع الجهاز المتحرك عند كل نقطة مجهولة يقوم برصدها. تتراوح فترة الرصد بين 2 و 10 دقائق و بمعدل رصد كل 15-20 ثانية.

تتميز طرق الرصد الثابت السريع انها تقلل بدرجة كبيرة من الوقت اللازم لتجميع البيانات الحقلية مما يجعلها مناسبة للأعمال المساحية التفصيلية و الطبوغرافية في منطقة صغيرة، الدقة المتوقعة لهذه الطريقة 10 مم لكنها لا تصل لنفس دقة طريقة الرصد الثابت التقليدية مما يجعلها غير مطبقة في الاعمال الجيوديسية.

2-6-2 طرق الرصد المتحركة:

تعتمد فكرة الرصد المتحرك على وجود جهاز ثابت مرجعي على النقطة المعلومة بينما يتحرك الجهاز الاخر لرصد عدد من النقاط المجهولة تختلف طرق الرصد المتحرك بناء على عاملين اسلوب حركة الجهاز الثاني طريقة نقل التصحيحات من الجهاز الثابت لباقي الاجهزة.

من طرق الرصد المتحرك طريقة الرصد المتحرك والحساب لاحقا، في هذه النوعية من اساليب الرصد المتحرك يتم الاعتماد على ان التصحيحات التي يقوم بحسابها الجهاز المثبت فوق النقطة المعلومة سيتم نقلها الى ارصاد الاجهزة المتحركة عن طريق برنامج حساب بعد الانتهاء من الاعمال الحقلية اي ان حساب احداثيات النقاط المرصودة سيكون في المكتب. اما في طريقة الرصد المتحرك مع الحساب اللحظي تتم عند وجود جهاز راديو عند النقطة الثابتة يقوم بارسال او بث التصحيحات التي يقوم الجهاز المرجعي بحسابها الى الجهاز المتحرك و الذي بدوره يكون متصل بجهاز راديو لاسلكي اخر من ارصاد الاقمار الصناعية يقوم الجهاز المتحرك بحساب الاحداثيات النقطة المرصودة و من تصحيحات الجهاز المرجعي يقوم الجهاز المتحرك بتصحيح الاحداثيات للوصول الى قيم دقيقة في نفس اللحظة لذلك تسمى هذه الطرق بطرق الرصد المتحرك الان RTK .

الباب الثالث

نظم الإحداثيات و التحويل بين المراجع

1-3 مقدمة

إن تحديد المواقع على سطح الأرض يعني بداية أن نعرف ما هو الشكل الدقيق لهذا الكوكب الذي نعيش فوقه. وما هو المرجع الذي يمكننا ان نفترض انه الأنسب لتمثيل الأرض رياضيا وخرائطيا. كما أن تحديد الموقع يكون من خلال قيم رياضية تعبر عنه وهي القيم التي نطلق عليها مصطلح الاحداثيات "Coordinates" على اختلاف أنواعها ونظمها.

2-3 شكل الأرض

في بدايات المعرفة البشرية ظن الانسان ان الأرض هي قرص صلب يطفو على سطح الماء، الى ان تطور التفكير العلمي للبشر قليلا وجاء العالم اليوناني فيثاغورث وافترض ان الارض كروية الشكل، وأيد كلا من الرحالة كولومبوس وماجلان فكرة كرية الارض بالدوران حول الارض. في عام 1687 طور العالم الشهير نيوتن عدة مبادئ وكان اهمها: أن الشكل المتوازن لكتلة مائعة متجانسة خاضعة لقوانين الجذب وتدور حول محورها ليس هو شكل الكرة كاملة الاستدارة لكنه شكل مفلطح قليلا باتجاه القطبين.

اننا نعيش على سطح كوكب الأرض وعندما نريد ان نحدد اي موقع على الارض فنحن بحاجة إلى ان نقوم بتعريف هذا السطح - شكله وحجمه - لكي يمكننا من معرفة في اي مكان نحن نقع بالضبط. ان شكل السطح الطبيعي للأرض كما خلقه الله - سبحانه وتعالى - بما يضمه من قارات ومحيطات وجبال وادوية وبحار ليس شكلا سهلا وليس منتظما لكي يمكن التعبير عنه بسهولة.

بحث العلماء عن شكل افتراضي آخر للأرض يكون أقل تعقيدا واهتدوا إلى فكرة أنه طالما أن مساحة الماء في المحيطات والبحار تشكل حوالي 70% من مساحة الأرض فإن شكل الأرض يكاد يكون هو الشكل المتوسط لسطح الماء (إذا أهملنا حركة سطح الماء بسبب التيارات البحرية والمد والجزر) mean sea level والمعروف اختصارا بأحرف MSL. وإذا قمنا بمد هذا السطح تحت اليابسة لنحصل على شكل متكامل فإن هذا الشكل سيكون أقرب ما يكون للشكل الحقيقي للأرض. وتم إطلاق اسم الجيويد أو الجيوييد geoid على هذا الشكل الافتراضي (يجب ملاحظة أن هنالك فرق في حدود متر واحد فقط بين كلا من MSL والجيويد إلا أنه في معظم التطبيقات الهندسية نتغاضى عن هذا الفرق ونعتبر أن كلا الشكلين أو المصطلحين يشيران لنفس الجسم). ولكن طبقا لنظرية نيوتن فإن شكل هذا الجيويد لن يكون منتظما لأن سطح الجيويد يتعادم مع اتجاه قوة الجاذبية الأرضية وأيضا يخضع لقوة الطرد المركزية الناتجة عن دوران الأرض حول محورها ، وكلا القوتين تختلفان من مكان لآخر على سطح الأرض بسبب عدم توزيع الكثافة بشكل منتظم، وبهذا نلخص أن الجيويد هو الشكل الحقيقي للأرض إلا أنه شكل معقد أيضا ويصعب تمثيله بمعادلات رياضية تمكننا من رسم الخرائط وتحديد المواقع عليه.

لتعقد الجيويد وصعوبة تمثيله بمعادلات رياضية اتجه العلماء إلى البحث عن أقرب الأشكال الهندسية المعروفة ووجدوا أن القطع الناقص أو الإليبيسويد Ellipse هو الأقرب، فإذا دار هذا الإليبيس حول محوره فسينتج لنا مجسم القطع الناقص أو الإليبيسويد أو الشكل البيضاوي Ellipsoid or Ellipsoid of Revolution ويعرف أيضا باسم الاسفرويد Spheroid. ربما يتبادر إلى الأذهان الآن سؤال: ما هو الفرق بين الإليبيس والدائرة أو بمعنى آخر ما هو الفرق بين الإليبيسويد والكرة؟ بالنظر إلى الشكل (3-3) نجد أن الإليبيسويد مفلطح قليلا عند كلا القطبين بعكس الكرة التي تكون كاملة الإستدارة تماما ، أيضا الكرة لها قطر واحد وله نفس القيمة في جميع الإتجاهات بينما نجد الإليبيسويد له محورين مختلفين.

للتعبير عن الإليبيسويد يلزمنا معرفة عنصرين (لاحظ أن الكرة يعبر عنها بعنصر واحد فقط هو نصف قطرها) :

- نصف المحور الأكبر (المحور في مستوى خط الإستواء) يرمز له بالرمز a .
- نصف المحور الأصغر (المحور بين كلا القطبين) يرمز له بالرمز b .

ويقوم البعض بالتعبير عن الإليبيسويد بطريقة أخرى من خلال العنصرين:

- نصف المحور الأكبر a
- معامل التفلطح flattening ويرمز له بالرمز f ويتم حسابه من المعادلة:

$$F=(a-b)/a \quad \text{or} \quad f=1-(b/a)$$

ويتميز شكل الإليبيسويد بعدة خصائص مثل:

- سهولة إجراء الحسابات على سطحه (حيث انه شكل هندسي معروف)
- لا يختلف سطح الإليبيسويد الرياضي عن سطح الجيويد الفيزيقي كثيرا (أكبر فرق بين كلاهما لا يتعدى 100 متر فقط. لاحظ ان الفرق بين الجيويد والكرة يصل إلى 21 كيلومتر تقريبا).

3-3 المراجع

لكي يمكن تحويل المواقع على سطح الأرض يلزمنا اختيار شكل رياضي يعبر عن شكل وحجم الأرض ذاتها وهو ما نطلق عليه اسم الشكل المرجعي reference surface. أحد هذه الأشكال المرجعية من الممكن ان يكون الكرة والتي كانت مستخدمة لفترة طويلة لتحديد المواقع التي لا تتطلب دقة كبيرة ولرسم الخرائط التي لا يزيد مقياسها عن 1: مليون. أيضا للمساحات الصغيرة جدا (أقل من 50 كيلومتر مربع) من الممكن اعتبار المستوى plane شكلا مرجعيا وخاصة في تطبيقات المساحة المستوية plane surveying. أما تحديد المواقع بدقة عالية أو لرسم الخرائط الدقيقة فإن الإليبيسويد هو الشكل المرجعي المستخدم.

طوال القرنين الأخيرين تعددت محاولات علماء الجيوديسيا لتحديد أنسب إليبيسويد يعبر عن شكل الأرض بأقرب صورة ممكنة. وكلما تجمعت قياسات جيوديسية جديدة لدى أحد العلماء أو الجهات الدولية تم حساب قيم جديدة لعناصر تعريف الإليبيسويد (سواء a, b أو a, f) مما أدى لوجود العديد من نماذج الإليبيسويد ، ويعرض الجدول (1-3) بعضا من هذه النماذج.

كانت كل دولة عند بدء إقامة الهيكل الجيوديسي أو المساحي لها بغرض البدء في إنتاج الخرائط غالبا ما تختار أحدث إليبيسويد -في ذلك الوقت- لتتخذ السطح المرجعي لنظام خرائطها. فإذا ظهر بعد عدت سنوات إليبيسويد آخر لم يكن ممكنا -لأسباب تقنية ومادية- أن تقوم هذه الدولة بتغيير

السطح المرجعي لها وإعادة إنتاج وطباعة كل خرائطها من جديد . لكن ما هو السطح المرجعي ؟ من المعروف أن أي إلبسويد يكون أقرب ما يمكن لتمثيل سطح الأرض على المستوى العالمي ، أي أن الفروق بينه وبين الجيويد تختلف من مكان لمكان على سطح الأرض لكنه أقل ما يمكن على المستوى العالمي . لكن كل دولة عندما تعتمد الإلبسويد معين تريد ان يكون الفرق بينه وبين الجيويد أقل ما يمكن في حدودها ولا تهتم إن كانت هذه الفروق كبيرة في مناطق أخرى من العالم . لذلك كانت كل دولة تلجا لتعديل وضع الإلبسويد المرجعي قليلا لكي يحقق هذا الهدف . وفي هذه الحالة – أي بعد إجراء هذا التعديل البسيط – فلم يعد هذا الإلبسويد كما كان في الأصل لكن صار في وضع مختلف ، وهنا نطلق عليه إسم مرجع أو مرجع جيوديسي أو مرجع وطني أو بيان Ageodetic Datum , local datum or Simply a Datum . أي أن المرجع الوطني لأي دولة ما هو إلا إلبسويد عالمي قد تم تعديل وضعه بصورة أو بأخرى ليناسب هذه الدولة ويكون أقرب تمثيلا لشكل الجيويد (الشكل الحقيقي للأرض) عند هذه الدولة. كما يجب الإشارة إلى انه كلما قلت الفروق بين المرجع الوطني لدولة ما والجيويد كلما زادت دقة الخرائط المرسومة اعتمادا على هذا المرجع.

جدول (3-1) يوضح بعض نماذج الإلبسويد المستخدمة عالميا

إسم الإلبسويد	نصف المحور الأكبر a بالمتر	نصف المحور الأصغر b بالمتر	الدولة التي تستخدمه
Adindan	6378249	6356515	السودان
Clarcke 1866	6378274	6356651	أمريكا الشمالية
Airy 1830	6377563	6356257	بريطانيا
WGS84	6378137	6356752	عالمي

المراجع التي تحدثنا عنها حتى الآن هي ما يمكن أن نطلق عليها اسم المراجع الأفقية Horizontal Datum وهي خاصة بتحديد المواقع في المستوى الأفقي. أما عند التعامل مع

إحداثيات في المستوى الرأسي (أي الإرتفاعات) فإننا نحتاج إلى نوع آخر من المراجع هي المراجع الرأسية Vertical Datum . ويعد الجيويد هو المرجع الرأسي المعتمد في عديد من دول العالم ، أي لتحديد هذا المرجع نحتاج لتحديد النقطة التي يكون عندها متوسط سطح البحر يساوي صفر. كمثال إن المرجع الرأسي للسودان أخذ من الاسكندرية ، فقد تم إنشاء محطة قياس المد والجزر Tide Gauge في ميناء الإسكندرية وتم تسجيل القراءات وتم قياسها لمدة 8 سنوات من عام 1898 إلى عام 1906 وأخذ متوسطها بحيث أن هذه القراءة (على المسطرة المدرجة داخل المحطة) أعتبرت هي المنسوب المساوي للصفر أي هي النقطة التي تحدد موقع الجيويد. وإنطلاقاً من هذه النقطة المرجعية تم استخدام أسلوب الميزانية leveling لإنشاء مجموعة من النقاط - تسمى الروبيات او BM bench marks المعلومة المنسوب . لذلك نقول أن المرجع الوطني الرأسي للسودان هو قيمة متوسط سطح البحر عند الإسكندرية في عام 1906 . وفي إطار هذا السياق تجب الإشارة إلى أن هذا المرجع الرأسي قد تغيرت قيمته نتيجة إرتفاع متوسط سطح البحر على المستوى العالمي في المائة عام الأخيرة (بقيمة متوسطة تبلغ +11.6 سم وبمعدل 1.7 ملليمتر/سنة في مصر).

4-3 نظم الإحداثيات

الإحداثيات Coordinates هي القيم التي بواسطتها نعبر عن موقع معين على سطح الأرض أو على الخريطة. وتتعدد أنظمة الإحداثيات تبعاً لاختلاف السطح المرجعي الذي يتم تمثيل المواقع عليه. فعند اختيار المستوى كسطح مرجعي (مثل الخريطة) فإن الإحداثيات تكون إحداثيات مستوية أو مسقطة أو ثنائية الأبعاد 2D. ويرجع إسم ثنائية الإحداثيات إلى أن كل نقطة - على الخريطة مثلاً - يلزمها قيمتين لتحديد موقعها وليكن مثلاً س ، ص. بينما عند اعتماد الكرة أو الإلبيسويد كسطح مرجعي فإننا نتعامل مع نوع الإحداثيات الفراغية أو الإحداثيات ثلاثية الأبعاد 3D حيث يجب إضافة إرتفاع النقطة عن سطح المرجع كبعد ثالث لتحديد موقعها الدقيق ، أي نحتاج لمعرفة القيم الثلاثة س، ص، ع لكل موقع. في حالة الكرة تسمى الإحداثيات بإسم الإحداثيات الكروية Spherical Coordinates بينما في حالة الإلبيسويد تسمى بالإحداثيات الجيوديسية Geodetic Coordinates أو الإحداثيات الجغرافية Geographic Coordinates أو الإحداثيات الإلبيسويدية Ellipsoidal coordinate . كما توجد إحداثيات أحادية البعد One

dimensional وهي غالبا التي تعبر فقط عن إرتفاع نقطة من سطح الشكل المرجعي المستخدم .
وفي التطبيقات الجيوديسية والجيوفيزيائية عالية الدقة توجد إحداثيات رباعية الأبعاد four
Dimensional حيث يتم تحديد موقع النقطة في زمن محدد بحيث تكون إحداثياتها هي س، ص،
ع، ن حيث أن البعد الرابع "ن" يعبر عن زمن قياس هذه الإحداثيات لهذا الموقع .
منذ قرون إبتكر العلماء طريقة لتمثيل موقع أي نقطة على سطح الأرض (باعتبار أن الأرض كرة)
وذلك عن طريق:

- تم إتخاذ الخط الأساسي الأفقي هو تلك الدائرة العظمى (أي التي تمر بمركز الأرض) والتي تقع في منتصف المسافة بين القطبين وسكيت بدائرة الإستواء.
- أتخذ الخط الأساسي الرأسي ليكون هو نصف الدائرة التي تصل بين القطبين الشمالي والجنوبي وتمر ببلدة جرينتش بإنجلترا.
- قسمت دائرة الإستواء إلى 360 قسما متساويا ورسم على سطح الأرض 360 نصف دائرة (وهمية أو إصطلاحية) تصل بيت القطبين وتمر بإحدى نقاط التقسيم على دائرة الإستواء ، وكل نصف دائرة تسمى خط طول.
- تم تقسيم خط الطول الأساسي (جرينتش) إلى 180 قسما متساويا ورسم على الأرض دوائر صغرى صغرى وهمية (الدائرة الصغرى هي التي لا تمر بمركز الأرض) توازي دائرة الإستواء وتمر كل دائرة منها بإحدى نقاط تقسيم خط طول جرينتش.

1-4-3 الإحداثيات الجغرافية أو الجيوديسية :

نظام الإحداثيات الجيوديسية هو أحد نظم الإحداثيات الذي مركزه هو مركز الأرض ومحاوره مثبتة مع الأرض اثناء دورانها ولذلك يطلق عليه نظام مركزي أرضي ثابت Earth
EnteredEarth fixed أو اختصارا ECEF. مركز النظام يقع في مركز جاذبية الأرض ،
وينطبق محوره الرأسي z مع محور دوران الأرض ، يتجه محوره الأفقي الأول x ناحية خط
طولجرينتش بينما محوره الأفقي الثاني y يكون عموديا على محور x.

يتم تمثيل موقع أي نقطة في هذا النظام بثلاث قيم أو ثلاثة احداثيات ، أي أن هذا النظام ثلاثي الأبعاد 3D:

- خط الطول longitude ويرمز له بالرمز اللاتيني λ (ينطق لامدا) وهو الزاوية المقاسة في مستوى دائرة الإستواء بين خط جرينتش وخط طول النقطة المطلوبة .
- دائرة العرض latitude يرمز لها بالرمز اللاتيني ϕ (ينطق فاي)، وهي الزاوية في المستوى الرأسي والتي يصنعها الإتجاه العمودي المار بالنقطة المطلوبة مع مستوى دائرة الإستواء.
- الإرتفاع عن سطح الإليبيسويد ويسمى الإرتفاع الجيوديسي أو الإرتفاع الإليبيسويد Geodetic or Ellipsoidal Height ويرمز له بالرمز h .
- تكون خطوط الطول إما شرق خط طول جرينتش أو غرب جرينتش أما بالنسبة لدوائر العرض فتكون إما شمال دائرة الستواء أو جنوب دائرة الإستواء.

2-4-3 الإحداثيات الكروية :

يشبه نظام الإحداثيات الكروية Spherical Coordinates نظام الإحداثيات الجيوديسية أو الجغرافية ولكن باختلاف واحد فقط ألا وهو أن السطح المرجعي هنا هو الكرة وليس الإليبيسويد . يلاحظ في الشكل أن الإتجاه العمودي على سطح الكرة يمر بمركزها عكس حالة الإليبيسويد حيث لا يمر العمودي على سطح الإليبيسويد بمركزه.

3-4-3 الإحداثيات الجيوديسية الكارتيزية أو الفراغية او الديكارتية

هو نظام إحداثيات مشابه تماما في تعريفه لنظام الإحداثيات الجيوديسية إلا أنه يتميز أن إحداثياته الثلاثة تكون طولية (أي بالمتر أو الكيلومتر) وليس منحنية (بالدرجات) مما يجعله أسهل في التعامل وخاصة في الحسابات، وقد ابتكره العالم الفرنسي ديكارت في القرن السابع عشر. نقطة الأصل لنظام الإحداثيات الجيوديسية الكارتيزية Geodetic Cartesian Coordinates هي مركز

الأرض ومحوره الأول x ينشأ من تقاطع مستوى خط الطول المار بجرينتش مع مستوى دائرة الإستواء ومحوره الثاني y هو العمودي على محور x بينما المحور الثالث (الرأسي) z هو محور دوران الأرض والذي يمر بمركز الأرض وكلا القطبين. وبعبارة أخرى موقع أي نقطة بثلاثة إحداثيات x, y, z .

5-3 التحويل بين المراجع

1-5-3 مقدمة

إن تحويل الإحداثيات بين المراجع الجيوديسية المختلفة أصبح حلقة مهمة من حلقات العمل الجيوديسي في الآونة الأخيرة. فمع ازدياد التعاون التنموي والمشروعات المشتركة بين الدول المتجاورة ومع اختلاف المرجع الجيوديسي المستخدم في خرائط وقاعدة البيانات الجيوديسية لكل دولة، أصبح لزاماً توحيد الإحداثيات والخرائط في مناطق الحدود ليتمكن تنفيذ هذه المشروعات المدنية (مثل مد خطوط الكهرباء أو أنابيب نقل البترول أو إقامة الطرق) أيضاً ومع إنتشار تطبيقات التقنيات المساحية الحديثة مثل الجي بي اس ازدادت أهمية عملية التحويل بين المراجع. فكمثال: تعطي تقنية الجي بي اس إحداثيات النقاط المرصودة على الجسم العالمي أو البسويد WGS84 فإذا اردنا توقيع هذه المواقع المرفوعة على خرائط إحدى الدول (التي تعتمد على البسويد آخر أو مرجع جيوديسي محلي) فلا بد من تحويل هذه الإحداثيات من البسويد WGS84 إلى هذا الإلبسويد المحلي، وإلا فإننا سنرتكب أخطاء قد تصل إلى مئات الأمتار عند توقيع هذه الإحداثيات دون تحويلها.

إن عملية التحويل بين المراجع Datum shift ليست جديدة في العمل الجيوديسي لكنها قد تمت دراستها منذ قرنين أو أكثر، وقد تم إبتكار العديد من الحلول الرياضية لتنفيذها. وفي العقدين الأخيرين ظهرت طرق رياضية جديدة ربما تكون أكثر دقة من الطرق التقليدية القديمة

2-5-3 الطرق التقليدية للتحويل بين المراجع

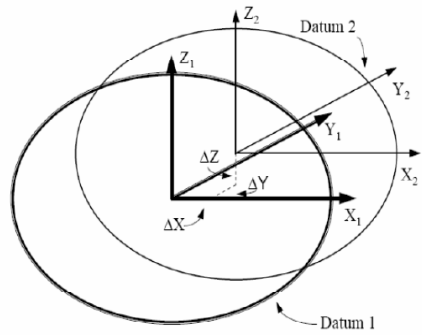
لنبدأ بمثال توضيحي بسيط في حالة التحويل بين نظامي إحداثيات مختلفين لكنهما متوازيين (شكل 4-1). لاحظ أنه سيتم التعامل هنا مع نوع الإحداثيات الكارتيذية (X, Y, Z) حيث أنها

كإحداثيات طولية متعامدة ستكون أسهل من الإحداثيات الجغرافية (λ, h)، وحيث ان التحويل بين كلا نظامي الإحداثيات يتم بالمعادلات:

$$X = (c + h) \cos$$

$$Y = (c + h) \cos$$

$$Z = [h + c(1 +$$



شكل رقم (3-1) يوضح التحويل بين مرجعين متوازيين

حيث أن محاور كلا نظامي الإحداثيات في كلا المرجعين متوازية فإن العلاقة بين المرجعين تتحدد بمعرفة موقع مركز المرجع الأول بالنسبة لموقع مركز المرجع الثاني، أي تحديد فرق الإحداثيات بين موقع (أو إحداثيات) النقطة على المرجع الأول وموقعها أو إحداثياتها على المرجع الثاني. وهذا الفرق يتحدد من خلال ثلاثة مركبات $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ والتي تسمى عناصر النقل Translation Parameters:

$$\Delta X = X_2 - X_1$$

$$\Delta Y = Y_2 - Y_1$$

$$\Delta Z = Z_2 - Z_1$$

فإذا علمنا إحداثيات نقطة واحدة على المرجع الأول (X1Y,1Z,1) وإحداثياتها على المرجع الثاني (X2Y,2Z,2) فيمكننا حساب الإحداثيات باستخدام المعادلة السابقة. فإذا كان لدينا نقطة جديدة معلوم إحداثياتها على المرجع الأول (Z,Y,X) فيمكن تحويلها إلى المرجع الثاني (X'Y,Z') بكل سهولة:

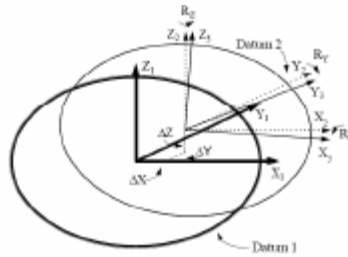
$$X' = X + \Delta X$$

$$Y' = Y + \Delta Y$$

$$Z' = Z + \Delta Z$$

أي أن كل مانحتاج إليه في هذه الحالة (الفرض بأن المرجعين متوازيين المحاور) هو معرفة إحداثيات نقطة واحدة على الأقل في كلا النظامين.

لكن الحالة العامة للعلاقة بين أي مرجعين أو إلبسويدين أن وضعهما لن يكون متوازي المحاور، بل أن محاور أحدهما ستكون مائلة على محاور الآخر. كما أن حجم الإلبسويد الأول ليس بالضرورة أن يكون موازي لحجم الإلبسويد الثاني. وبالتالي فبدلاً من وجود ثلاثة عناصر فقط مطلوب تحديدهم ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$) كما في الحالة البسيطة السابقة فسينتج لدينا أربع عناصر أخرى: ثلاثة لتحديد فروق الميل بين المحاور الثلاثة في كل مرجع وتسمى عناصر الدوران Rotatio Parameter، بالإضافة لعنصر يحدد فرق الحجم بين كلا المرجعين ويسمى معامل القياس ScalF factor.



شكل رقم (2-3) يوضح عناصر التحويل بين المراجع

وكما نرى في هذا الشكل سنجد أن العناصر الجديدة المطلوبة هي:

- زاوية الدوران (أو الفرق) بين محوري X في كلا المرجعين، ونرمز لها بالرمز Rx.
 - زاوية الدوران (أو الفرق) بين محوري Y في كلا المرجعين، ونرمز لها بالرمز Ry.
 - زاوية الدوران (أو الفرق) بين محوري Z في كلا المرجعين، ونرمز لها بالرمز Rz.
- بالإضافة إلى معامل المقياس Scale Factor والذي يحدد فرق المقياس بين كلا المرجعين ويرمز له بالرمز s.

أي أننا لتحديد العلاقات الفراغية (المكانية) بين أي مرجعين في الحالة العامة يلزمنا تحديد 7 عناصر $(\Delta X, \Delta Y, \Delta Z, Rx, Ry, Rz, s)$ وهي ما نطلق عليها اسم عناصر التحويل Transformatio Parameters

بين المراجع الجيوديسية. وفي هذه الحالة لا يمكننا الإعتماد على توافر نقطة واحدة فقط معلومة (كما في الحالة البسيطة السابقة) لكن يلزمنا ثلاث نقاط-على الأقل- معلوم إحداثياتهم في كلا المرجعين، فإذا كانت لدينا معلومات لأكثر من ثلاث نقاط زادت دقة الحل المطلوب لتحديد عناصر التحويل السبعة، كما أن دقة تحديد العناصر تعتمد على دقة إحداثيات النقاط المعلومة في كلا المرجعين. وهذين السببين وراء وجود أكثر من مجموعة منشورة ومعلنة من عناصر التحويل بين مرجعين محددين فمعادلات التحويل ثابتة ولكن عدد وجودة البيانات المستخدمة في الحساب ستؤدي لقيم متفاوتة لعناصر التحويل بين نفس المرجعين.

توجد عدة نماذج للمعادلات التي تسمح للتحويل بين المراجع المختلفة ومن أشهر هذه النماذج نموذج بورس-وولف Bursa-Wolf ونموذج مولودينسكي-بادكس Molodenskii-Badek وتتمثل معادلات بورس-وولف في:

$$\begin{pmatrix} X1 \\ Y1 \\ Z1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{pmatrix} + \delta \begin{pmatrix} 1 & Rz & -Ry \\ -Rz & 1 & Rx \\ Ry & -Rx & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X2 \\ Y2 \\ Z2 \end{pmatrix}$$

حيث:

$X1, Y1, Z1$ إحداثيات النقطة في المرجع الأول.

$X2, Y2, Z2$ إحداثيات النقطة في المرجع الثاني.

$\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ تمثل عناصر الانتقال بين المرجعين.

R_x, R_y, R_z زوايا الدوران أو عناصر الدوران بين المرجعين.

s معامل القياس بينهما.

أما نموذج موادينسكي - بادكس فيضيف 3 عناصر أخرى (تتمثل في إحداثيات نقطة إفتراضية (X', Y', Z')

يتم عندها دوران المحور.

كما يمكن أن تتم عملية تحويل المراجع بإستخدام الإحداثيات الجغرافية، والمعادلات التالية تقدم طريقة التحويل من أي مرجع محلي إلى مرجع WGS84 العالمي المستخدم في أرصاد تقنية ال GPS:

$$\phi_{84} = \phi_L + \Delta\phi$$

$$\lambda_{84} = \lambda_L + \Delta\lambda$$

$$h_{84} = h_l + \Delta h$$

حيث:

$\phi_{84}, \lambda_{84}, h_{84} \equiv$ الإحداثيات على مجسم WGS84.

$\phi_L, \lambda_L, h_l \equiv$ الإحداثيات على المجسم المحلي.

الدولة	المرجع الوطني	الإبيسويد	عدد النقاط المستخدمة	عناصر التحويل (بالمتر)		
				DZ	DY	DX
السودان	Adindan	Clark 1880	٢٢	٢٠٤ (٣)	١٥٠ (٥)	١٦٦ (٥)
تونس	Carthage	Clark 1880	٥	٤٣١ (٨)	٦ (٩)	٢٦٣ (٦)
	European 1950	International 1924	٤	١٤٥٠ (٢٥)	٧٧٠ (٢٥)	١١٢٠ (٢٥)
المغرب	Merchich	Clark 1880	٩	٤٧ (٣)	١٤٦ (٣)	٣١ (٥)
الجزائر	North Sahara 1959	Clark 1880	٣	٣١٠ (٢٥)	٩٣٠ (٢٥)	١٨٦٠ (٢٥)
	Voirol 1960	Clark 1880	٢	٢١٩ (٢٥)	٢٠٦ (٢٥)	١٢٣٠ (٢٥)
مصر	Old Egyptian 1906	Helmert 1906	١٤	١٣٠ (٨)	١١٠ (٦)	١٣٠٠ (٣)
البحرين	Ain El Abd 1970	International 1924	٢	١٠ (٢٥)	٢٥٠ (٢٥)	١٥٠٠ (٢٥)
السعودية	Ain El Abd 1970	International 1924	٩	٧ (١٠)	٢٣٦ (١٠)	١٤٣٠ (١٠)
الإمارات	Nahrwan	Clark 1880	٢	٣٨١ (٢٥)	١٥٦٠ (٢٥)	٢٤٩٠ (٢٥)
عمان	Nahrwan	Clark 1880	٢	٣٦٩ (٢٥)	١٤٨٠ (٢٥)	٢٤٧٠ (٢٥)
	Oman	Clark 1880	٧	٢٢٤ (٩)	١٠ (٣)	٣٤٦٠ (٣)
قطر	Qatar National	International 1924	٣	٢٢ (٢٠)	٢٨٣٠ (٢٠)	١٢٨٠ (٢٠)

جدول (2-3) يوضح عناصر التحويل بين المرجع الجيوديسي العالمي WGS-84 والمراجع الجيوديسية المحلية

3-5-3 الطرق غير التقليدية للتحويل بين المراجع

عابت الطرق التقليدية للتحويل بين المراجع الجيوديسية عدة نقاط تقلل من دقة عناصر التحويل التي يتم حسابها بهذه الطرق. أهم هذه العيوب أن نظريات تطوير هذه النماذج الرياضية تعتمد على فرضية أن إحداثيات النقاط المعلومة لدى كلا المرجعين -المطلوب التحويل بينهما- هي إحداثيات دقيقة تماماً وخالية من أي مصدر من مصادر الأخطاء-Free Error. لكن هذا الوضع غير صحيح تماماً، فمن المعروف أن معظم الشبكات الجيوديسية المحلية بها عيوب كثيرة من وجهة النظر التقنية نظراً لأن هذه الشبكات قد تم إقامتها في النصف الأول من القرن العشرين أو قبل ذلك حيث لم تكن الأجهزة المساحية بلغت مرحلة عالية من الدقة قبل ثورة الملاحة بالأقمار الصناعية. كما أن عدم وجود حاسيات آلية متطورة في ذلك الوقت أدى لإتمام العمليات الحسابية وضبط الشبكات بطريقة غير دقيقة بنسبة كبيرة. ذلك بالإضافة إلى أن دقة الشبكات الجيوديسية في أي مرجع وطني تختلف

من منطقة لأخرى (حيث لم يمكن تغطية دولة كاملة إلا مع مرور بضعة سنوات) وهذا أيضا يعد العامل الثالث الذي لا تأخذ الطرق التقليدية في الاعتبار. وبالتالي فإن استخدام الطرق التقليدية لحساب عناصر التحويل بين مرجع WGS84 - على سبيل المثال- وأي مرجع محلي سيؤدي للحصول على دقة ديسيمترات عند حساب عناصر التحويل بين هذين المرجعين ومن هنا بدأ منذ سنوات البحث عن طرق جديدة غير تقليدية لتحويل الإحداثيات بين المراجع الجيوديسية، أو البحث عن وسائل جديدة تتيح زيادة دقة النماذج الرياضية التقليدية. وهناك العشرات من الطرق والوسائل التي تم تطويرها في هذا المجال .

أولى هذه الطرق غير التقليدية هو تمثيل الفروق بين الإحداثيات على المرجعين فراغيا Spatial Representation في صورة نموذج رياضي يغطي منطقة جغرافية معينة. وأهم ما يميز هذا الأسلوب أنه يستخدم الإحداثيات على كلا المرجعين (لنقاط المشتركة) كما هي وبالتالي فإن قيمة الفروق ستتغير من مكان جغرافي لآخر داخل المنطقة المطلوبة ولن تكون العلاقة الرياضية بين كلا المرجعين علاقة ثابتة على امتداد هذه المنطقة كما كان الحال في الطرق التقليدية. وطبقت وزارة الدفاع الأمريكية هذا المبدأ في استنباط مايسمى سطوح التحويل Conversion Surfaces بين مرجع WGS84 والمراجع الجيوديسية الوطنية

لمعظم دول العالم. وتختلف طرق تمثيل الفروق باختلاف النماذج الرياضية المستخدمة، وتعد طريقة ذات الحدود Polynomial أكثر النماذج تطبيقاً، مع اختلاف عدد المعاملات في المتواليات الرياضية والتي تعتمد على كم النقاط المشتركة المتاحة وذلك بتطبيق مبدأ الانحدار المتعدد Multiple Regression.

طريقة أخرى من الطرق غير التقليدية في التحويل بين المراجع تعتمد على استخدام أوزان مختلفة Different Weights لإحداثيات النقاط المشتركة المستخدمة في تقدير عناصر التحويل بين المرجعين.

المبدأ الأساسي وراء هذا الأسلوب هو أن دقة إحداثيات النقاط المشتركة ستختلف من نقطة لأخرى وبالتالي يجب تحديد وزن محدد يتناسب مع دقة كل نقطة وذلك أثناء تطبيق أي نموذج من النماذج التقليدية (مثل نموذج بارسا-وولف). أي أن هذا الأسلوب هو تعديل للطريقة التقليدية بهدف زيادة

جودتها في وصف العلاقة الرياضية بين مرجعين جيوديسيين. كما تم أيضا تطبيق مبدأ العنصر المحدد Finite Element كأحد الطرق غيرالتقليدية في التحويل بين المراجع الجيوديسية.

الباة الراء

القياسات والنتائج

1-4 طريقة العمل

- اختيرت منطقة الدراسة بمنطقة المساحة العسكرية بأمرمان بعد ذلك تم عمل جولة استكشافية لمنطقة الدراسة وأخذت عوامل الطقس في الحسبان بعد عمل خطة العمل الحقلية و التحقق من قيمة معامل الدقة ثلاثية الابعاد PDOP واختيار الأجهزة والمعدات اللازمة تم بدأ التنفيذ.
- تم اختيار 5 نقاط معلومة الاحداثيات المنسوبة الى المرجع المحلي Adindan وتم قياسها بالجي بي إس وذلك بتثبيت القاعدة Base Receiver على النقطة المرجعية، وتم إدخال إحداثياتها وكذلك إرتفاع الهوائي. تم ضبط تردد الراديو مع تردد القاعدة وال Rover Receiver. بحيث يكون متاح للمستقبلين.
- ثم إدخال ارتفاع ال Rover قبل رصد النقطة الأولى وكان ثابت لبقية النقاط ثم تثبيت ال Rover Receiver على النقطة والتأكد من تعامد على النقطة بضبط الفقاعة الأفقية لضبط التعامد. تم رصد النقطة لمدة 15 دقيقة بمعدل رصد كل 20 ثانية وذلك لزيادة دقة الأرصاد، التقليل من تأثير الأخطاء المنتظمة والعشوائية ، وكذلك لبقية النقاط.
- تم الرصد بإسلوب RTK، أي أن التصحيحات يتم إرسالها لحظيا من ال Base Receiver إلى ال Rover Receiver. باستخدام Single Frequency Receiver.
- تم التأكد من صحة العمل الحقلية لقياس المسافات بين النقاط والتي تم حسابها عن طريق الإحداثيات في النظامين المحلي والعالمي ووجد الفرق في حدود عدة ملليمترات.

2-4 الأخطاء و المشاكل

تم مواجهة بعض الأخطاء أثناء العمل والتي نتجت عن عدم التخطيط السليم قبل الشروع في العمل الحقلية تمثلت في الآتي:

- تم رصد اي نقطة مره واحدة بأسلوب RTK مما تسبب في عدم دقة الارصاد، تم تلافي هذا الخطأ برصد النقطة أكثر من مرة
- ادخال احداثيات النقطة المرجعية منسوبة للمرجع المحلي Adindan مما نتج عنه الحصول على ارصاد غير صحيحة اي ان الاحداثيات التي تحصلنا عليها ليست هي نفسها احداثيات النقطة منسوبة الى WGS84 (انظر ملحق رقم 1).
- عدم التأكد من حالة بطارية جهاز الراديو مما ادى انقطاع متكرر في جهاز الراديو مما ادى الى عدم وصول الإشارات الى جهاز الاستقبال و تعطل العمل في النهاية، لذلك يجب التأكد من جودة المعدات و الأجهزة قبل الشروع في العمل الحقل.

3-4 القياسات

- تم حساب الدقة والتأكد من انها تحقق الدقة المسموح بها وهي $10^{-4} * 1$.
 - بعد ذلك تم ايجاد قيم عناصر التحويل للتحويل من المرجع العالمي الى المرجع المحلي باستخدام 5 نقاط وايجاد قيم هذه العناصر.
 - تم التحويل باستخدام ثلاثة عناصر فقط عوضا عن سبعة نسبة لصغر المساحة.
- جدول رقم (1-4) يوضح الاحداثيات المنسوبة الى المرجع المحلي Adindan

POINT	EAST	NORTH	HEIGHT
1	447821.977	1737877.605	389.227
2	447754.944	1738399.742	391.063
3	447304.64	1738502.278	392.048
4	447386.311	1738194.488	390.839
5	447052.4	1738210.555	390.539

جدول رقم (2-4) يوضح الاحداثيات التي تم رصدها باستخدام الجي بي اس

Point	East (E)	North (N)	Height (Z)	Description
0	447631.275	1738402.858	404.109	BASE

a1	447897.982	1738084.37	388.53	A
a2	447897.979	1738084.372	388.537	A
a3	447897.979	1738084.375	388.528	A
a4	447897.985	1738084.374	388.522	A
a5	447897.982	1738084.369	388.545	A
a6	447897.983	1738084.369	388.553	A
a7	447897.984	1738084.368	388.547	A
a8	447897.982	1738084.37	388.545	A
A	447897.982	1738084.371	388.543	A
a10	447897.985	1738084.373	388.526	A
a11	447897.987	1738084.372	388.53	A
a12	447897.987	1738084.372	388.531	A
a13	447897.989	1738084.373	388.525	A
a14	447897.989	1738084.374	388.529	A
a15	447897.986	1738084.374	388.541	A
a16	447897.988	1738084.375	388.54	A
a17	447897.986	1738084.373	388.55	A
a18	447897.988	1738084.371	388.568	A
a19	447897.989	1738084.371	388.592	A
a20	447897.988	1738084.369	388.574	A
a21	447897.99	1738084.371	388.532	A
a22	447897.991	1738084.372	388.528	A
a23	447897.99	1738084.374	388.543	A
a24	447897.986	1738084.371	388.547	A
a25	447897.987	1738084.371	388.549	A
a26	447897.985	1738084.369	388.565	A
a27	447897.989	1738084.372	388.577	A
a28	447897.988	1738084.373	388.57	A
a29	447897.988	1738084.374	388.559	A
a30	447897.987	1738084.373	388.545	A

a31	447897.986	1738084.373	388.537	A
a32	447897.986	1738084.373	388.543	A
a33	447897.986	1738084.373	388.553	A
a34	447897.989	1738084.374	388.544	A
a35	447897.99	1738084.373	388.546	A
a36	447897.982	1738084.366	388.571	A
a37	447897.992	1738084.369	388.537	A
a38	447897.994	1738084.371	388.518	A
a39	447897.996	1738084.373	388.51	A
a40	447897.996	1738084.376	388.499	A
a41	447897.994	1738084.374	388.497	A
a42	447897.992	1738084.375	388.502	A
a43	447897.992	1738084.376	388.508	A
a44	447897.992	1738084.379	388.493	A
a45	447897.989	1738084.381	388.503	A
b1	447830.988	1738606.466	390.366	B
b2	447830.991	1738606.466	390.355	B
b3	447830.993	1738606.467	390.354	B
b4	447831.001	1738606.464	390.336	B
b5	447831.001	1738606.465	390.323	B
b6	447831.002	1738606.461	390.318	B
b7	447831	1738606.465	390.348	B
b8	447830.998	1738606.467	390.368	B
b9	447830.994	1738606.463	390.359	B
b10	447830.994	1738606.469	390.355	B
b11	447830.996	1738606.467	390.372	B
b12	447830.995	1738606.472	390.374	B
b13	447830.996	1738606.467	390.366	B
b14	447830.995	1738606.464	390.363	B
b15	447830.995	1738606.464	390.352	B
b16	447830.998	1738606.466	390.352	B

b17	447830.998	1738606.468	390.362	B
b18	447830.997	1738606.468	390.368	B
b19	447830.995	1738606.466	390.378	B
b20	447830.995	1738606.467	390.384	B
b21	447830.994	1738606.47	390.37	B
b22	447830.998	1738606.467	390.349	B
b23	447830.995	1738606.465	390.363	B
b24	447830.993	1738606.473	390.369	B
b25	447830.994	1738606.469	390.383	B
b26	447830.992	1738606.468	390.372	B
b27	447830.985	1738606.479	390.394	B
b28	447830.991	1738606.468	390.376	B
b29	447830.989	1738606.469	390.366	B
b30	447830.992	1738606.467	390.37	B
b31	447830.993	1738606.47	390.364	B
b32	447830.996	1738606.472	390.35	B
b33	447830.995	1738606.465	390.344	B
b34	447830.993	1738606.465	390.37	B
b35	447830.993	1738606.469	390.358	B
b36	447830.995	1738606.472	390.34	B
b37	447830.998	1738606.469	390.351	B
b38	447830.999	1738606.467	390.361	B
b39	447830.999	1738606.47	390.35	B
b40	447830.996	1738606.478	390.354	B
b41	447830.996	1738606.476	390.362	B
b42	447830.997	1738606.473	390.35	B
b43	447831.001	1738606.466	390.348	B
b44	447830.995	1738606.468	390.359	B
b45	447830.993	1738606.469	390.362	B
c1	447380.632	1738709.014	391.354	C
c2	447380.626	1738709.018	391.353	C

c3	447380.628	1738709.019	391.351	C
c4	447380.627	1738709.022	391.35	C
c5	447380.629	1738709.024	391.345	C
c6	447380.63	1738709.022	391.337	C
c7	447380.628	1738709.021	391.35	C
c8	447380.629	1738709.022	391.349	C
c9	447380.63	1738709.02	391.346	C
c10	447380.627	1738709.021	391.35	C
c11	447380.628	1738709.02	391.354	C
c12	447380.626	1738709.019	391.355	C
c13	447380.623	1738709.02	391.356	C
c14	447380.631	1738709.031	391.346	C
c15	447380.631	1738709.026	391.35	C
c16	447380.628	1738709.011	391.35	C
c17	447380.631	1738709.016	391.351	C
c18	447380.627	1738709.024	391.351	C
c19	447380.628	1738709.024	391.354	C
c20	447380.628	1738709.018	391.359	C
c21	447380.628	1738709.014	391.362	C
c22	447380.628	1738709.016	391.361	C
c23	447380.623	1738709.027	391.351	C
c24	447380.621	1738709.023	391.351	C
c25	447380.618	1738709.03	391.349	C
c26	447380.623	1738709.032	391.349	C
c27	447380.631	1738709.016	391.358	C
c28	447380.634	1738709.014	391.36	C
c29	447380.637	1738709.012	391.363	C
c30	447380.634	1738709.016	391.364	C
c31	447380.635	1738709.016	391.366	C
c32	447380.633	1738709.01	391.363	C
c33	447380.632	1738708.994	391.379	C

c34	447380.628	1738709.008	391.367	C
c35	447380.624	1738709.02	391.35	C
c36	447380.624	1738709.014	391.355	C
c37	447380.627	1738709.007	391.36	C
c38	447380.623	1738709.014	391.352	C
c39	447380.623	1738709.025	391.344	C
c40	447380.624	1738709.023	391.349	C
c41	447380.626	1738709.023	391.35	C
c42	447380.627	1738709.022	391.348	C
c43	447380.628	1738709.025	391.347	C
c44	447380.634	1738709.024	391.354	C
c45	447380.632	1738709.03	391.337	C
d1	447462.343	1738401.252	390.13	D
d2	447462.344	1738401.252	390.13	D
d3	447462.345	1738401.251	390.129	D
d4	447462.345	1738401.252	390.13	D
d5	447462.343	1738401.251	390.131	D
d6	447462.346	1738401.252	390.136	D
d7	447462.344	1738401.251	390.134	D
d8	447462.343	1738401.251	390.133	D
d9	447462.345	1738401.25	390.134	D
d10	447462.346	1738401.251	390.135	D
d11	447462.349	1738401.253	390.149	D
d12	447462.348	1738401.249	390.141	D
d13	447462.346	1738401.249	390.134	D
d14	447462.346	1738401.25	390.134	D
d15	447462.346	1738401.252	390.139	D
d16	447462.345	1738401.25	390.143	D
d17	447462.343	1738401.249	390.135	D
d18	447462.341	1738401.249	390.128	D
d19	447462.343	1738401.252	390.14	D

d20	447462.344	1738401.253	390.141	D
d21	447462.343	1738401.252	390.136	D
d22	447462.342	1738401.251	390.135	D
d23	447462.344	1738401.252	390.145	D
d24	447462.343	1738401.253	390.152	D
d25	447462.342	1738401.249	390.136	D
d26	447462.346	1738401.254	390.144	D
d27	447462.344	1738401.253	390.146	D
d28	447462.345	1738401.255	390.152	D
d29	447462.345	1738401.257	390.157	D
d30	447462.342	1738401.251	390.14	D
d31	447462.342	1738401.25	390.125	D
d32	447462.341	1738401.249	390.125	D
d33	447462.342	1738401.249	390.13	D
d34	447462.345	1738401.251	390.139	D
d35	447462.345	1738401.249	390.14	D
d36	447462.346	1738401.251	390.153	D
d37	447462.347	1738401.252	390.155	D
d38	447462.345	1738401.25	390.142	D
d39	447462.344	1738401.25	390.13	D
d40	447462.346	1738401.252	390.133	D
d41	447462.35	1738401.254	390.158	D
d42	447462.349	1738401.258	390.16	D
d43	447462.346	1738401.253	390.14	D
d44	447462.346	1738401.254	390.139	D
d45	447462.347	1738401.256	390.146	D
e1	447128.46	1738417.292	389.774	E
e2	447128.454	1738417.286	389.791	E
e3	447128.444	1738417.302	389.773	E
e4	447128.443	1738417.301	389.806	E
e5	447128.446	1738417.296	389.885	E

e6	447128.451	1738417.298	389.866	E
e7	447128.455	1738417.284	389.741	E
e8	447128.45	1738417.285	389.727	E
e9	447128.451	1738417.288	389.735	E
e10	447128.449	1738417.289	389.739	E
e11	447128.447	1738417.291	389.83	E
e12	447128.447	1738417.294	389.79	E
e13	447128.444	1738417.291	389.805	E
e14	447128.447	1738417.291	389.833	E
e15	447128.452	1738417.293	389.804	E
e16	447128.46	1738417.303	389.789	E
e17	447128.453	1738417.298	389.823	E
e18	447128.449	1738417.297	389.829	E
e19	447128.463	1738417.294	389.811	E
e20	447128.462	1738417.293	389.826	E
e21	447128.463	1738417.293	389.832	E
e22	447128.461	1738417.292	389.822	E
e23	447128.458	1738417.292	389.814	E
e24	447128.454	1738417.291	389.818	E
e25	447128.456	1738417.295	389.808	E
e26	447128.452	1738417.29	389.82	E
e27	447128.449	1738417.288	389.827	E
e28	447128.452	1738417.288	389.822	E
e29	447128.453	1738417.291	389.808	E
e30	447128.453	1738417.292	389.807	E
e31	447128.454	1738417.291	389.815	E
e32	447128.45	1738417.29	389.828	E
e33	447128.449	1738417.289	389.834	E
e34	447128.444	1738417.288	389.839	E
e35	447128.446	1738417.289	389.831	E
e36	447128.447	1738417.288	389.822	E

e37	447128.45	1738417.29	389.813	E
e38	447128.452	1738417.291	389.803	E
e39	447128.45	1738417.29	389.808	E
e40	447128.45	1738417.289	389.812	E
e41	447128.455	1738417.294	389.811	E
e42	447128.463	1738417.297	389.804	E
e43	447128.462	1738417.289	389.823	E
e44	447128.461	1738417.285	389.821	E
e45	447128.461	1738417.281	389.822	E

4-4 الحسابات

حساب الانحراف المعياري ل DX ،DY ،DZ:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n Vi^2}{n-1}}$$

$$Vi = \text{aveDX} - Dxi$$

i=رقم النقطة

حساب المسافة بين أي نقطة والقاعدة :

$$\text{Distance} = \sqrt{(AVE DX)^2 + (AVE DY)^2 + (AVE DZ)^2}$$

حساب ال accuracy من الانحرافات المعيارية :

Computing the 3D misclosure between the victor

$$\text{3D misclosure} = \sqrt{\sigma x^2 + \sigma y^2 + \sigma z^2}$$

حساب الدقة لأرصاد النقطة المعينة :

$$\text{Accuracy} = \frac{3d \text{ miscloser}}{\text{distance}}$$

جدول (3-4) يوضح حساب الدقة للنقطة a

DX	σ_X	DY	σ_Y	DZ	σ_Z
-266.707	0.00406761	318.488	0.002775706	15.579	0.022373889
04 -266.		318.486		15.572	
-266.704		318.483		15.581	
-266.71		318.484		15.587	
-266.707		318.489		15.564	
-266.708		318.489		15.556	
-266.709		318.49		15.562	
-266.707		318.488		15.564	
-266.707		318.487		15.566	
-266.71		318.485		15.583	
-266.712		318.486		15.579	
-266.712		318.486		15.578	
-266.714		318.485		15.584	
-266.714		318.484		15.58	
-266.711		318.484		15.568	
-266.713		318.483		15.569	
-266.711		318.485		15.559	
-266.713		318.487		15.541	
-266.714		318.487		15.517	
-266.713		318.489		15.535	
-266.715		318.487		15.577	
-266.716		318.486		15.581	
-266.715		318.484		15.566	

-266.711		318.487		15.562	
-266.712		318.487		15.56	
-266.71		318.489		15.544	
-266.714		318.486		15.532	
-266.713		318.485		15.539	
-266.713		318.484		15.55	
-266.712		318.485		15.564	
-266.711		318.485		15.572	
-266.711		318.485		15.566	
-266.711		318.485		15.556	
-266.714		318.484		15.565	
-266.715		318.485		15.563	
-266.707		318.492		15.538	
-266.717		318.489		15.572	
-266.719		318.487		15.591	
-266.721		318.485		15.599	
-266.721		318.482		15.61	
-266.719		318.484		15.612	
-266.717		318.483		15.607	
-266.717		318.482		15.601	
-266.717		318.479		15.616	
-266.714		318.477		15.606	

3D misclosure =0.022909407

DISTANCE = 415.705 m

Accuracy = 0.000055109708 = 1: 18146

جدول (4-4) يوضح حساب الدقة للنقطة b

DX	σ_X	DY	σ_Y	DZ	σ_Z
-199.713	0.003486988	-203.608	0.003680415	13.743	0.014616304
-199.716		-203.608		13.754	
-199.718		-203.609		13.755	
-199.726		-203.606		13.773	
-199.726		-203.607		13.786	
-199.727		-203.603		13.791	
-199.725		-203.607		13.761	
-199.723		-203.609		13.741	
-199.719		-203.605		13.75	
-199.719		-203.611		13.754	
-199.721		-203.609		13.737	
-199.72		-203.614		13.735	
-199.721		-203.609		13.743	
-199.72		-203.606		13.746	
-199.72		-203.606		13.757	
-199.723		-203.608		13.757	
-199.723		-203.61		13.747	
-199.722		-203.61		13.741	
-199.72		-203.608		13.731	
-199.72		-203.609		13.725	
-199.719		-203.612		13.739	
-199.723		-203.609		13.76	
-199.72		-203.607		13.746	
-199.718		-203.615		13.74	
19 -199.		-203.611		13.726	
-199.717		-203.61		13.737	
-199.71		-203.621		13.715	
-199.716		-203.61		13.733	
-199.714		-203.611		13.743	
-199.717		-203.609		13.739	

-199.718		-203.612		13.745	
-199.721		-203.614		13.759	
-199.72		-203.607		13.765	
-199.718		-203.607		13.739	
-199.718		-203.611		13.751	
-199.72		-203.614		13.769	
-199.723		-203.611		13.758	
-199.724		-203.609		13.748	
-199.724		-203.612		13.759	
-199.721		-203.62		13.755	
-199.721		-203.618		13.747	
-199.722		-203.615		13.759	
-199.726		-203.608		13.761	
-199.72		-203.61		13.75	
-199.718		-203.611		13.747	

3D misclosure = 0.015470647

DISTANCE = 285.542

ACCURACY = 0.000054179916 = 1 : 18457

جدول (5-4) يوضح حساب الدقة للنقطة C

DX	σ_X	DY	σ_Y	DZ	σ_Z
250.643	0.003977	-306.156	0.0070581	12.755	0.007762087
250.649		-306.16		12.756	
250.647		-306.161		12.758	
250.648		-306.164		12.759	
250.646		-306.166		12.764	
250.645		-306.164		12.772	
250.647		-306.163		12.759	

250.646		-306.164		12.76	
250.645		-306.162		12.763	
250.648		-306.163		12.759	
250.647		-306.162		12.755	
250.649		-306.161		12.754	
250.652		-306.162		12.753	
250.644		-306.173		12.763	
44 250.		-306.168		12.759	
250.647		-306.153		12.759	
250.644		-306.158		12.758	
250.648		-306.166		12.758	
250.647		-306.166		12.755	
250.647		-306.16		12.75	
250.647		-306.156		12.747	
250.647		-306.158		12.748	
250.652		-306.169		12.758	
250.654		-306.165		12.758	
250.657		-306.172		12.76	
250.652		-306.174		12.76	
250.644		-306.158		12.751	
250.641		-306.156		12.749	
250.638		-306.154		12.746	
250.641		-306.158		12.745	
250.64		-306.158		12.743	
250.642		-306.152		12.746	
250.643		-306.136		12.73	
250.647		-306.15		12.742	
250.651		-306.162		12.759	
250.651		-306.156		12.754	
250.648		-306.149		12.749	
250.652		-306.156		12.757	

250.652		-306.167		12.765	
250.651		-306.165		12.76	
250.649		-306.165		12.759	
250.648		-306.164		12.761	
250.647		-306.167		12.762	
250.641		-306.166		12.755	
250.643		-306.172		12.772	

3D misclosure = 0.011219909

DISTANCE = 395.880

ACCURACY = 0.00002834166 = 1 : 35284

جدول (6-4) يوضح حساب الدقة للنقطة d

DX	σ_X	DY	σ_Y	DZ	σ_Z
168.932	0.002105188	1.606	0.002174229	13.979	0.00897091
168.931		1.606		13.979	
168.93		1.607		13.98	
168.93		1.606		13.979	
168.932		1.607		13.978	
168.929		1.606		13.973	
168.931		1.607		13.975	
168.932		1.607		13.976	
168.93		1.608		13.975	
168.929		1.607		13.974	
168.926		1.605		13.96	
168.927		1.609		13.968	
168.929		1.609		13.975	

168.929		1.608		13.975	
168.929		1.606		13.97	
168.93		1.608		13.966	
168.932		1.609		13.974	
168.934		1.609		13.981	
168.932		1.606		13.969	
168.931		1.605		13.968	
168.932		1.606		13.973	
168.933		1.607		13.974	
168.931		1.606		13.964	
168.932		1.605		13.957	
168.933		1.609		13.973	
168.929		1.604		13.965	
168.931		1.605		13.963	
168.93		1.603		13.957	
168.93		1.601		13.952	
168.933		1.607		13.969	
168.933		1.608		13.984	
168.934		1.609		13.984	
168.933		1.609		13.979	
168.93		1.607		13.97	
168.93		1.609		13.969	
168.929		1.607		13.956	
168.928		1.606		13.954	
168.93		1.608		13.967	
168.931		1.608		13.979	
168.929		1.606		13.976	
168.925		1.604		13.951	
168.926		1.6		13.949	
168.929		1.605		13.969	
168.929		1.604		13.97	

168.928		1.602		13.963	
---------	--	-------	--	--------	--

3D misclosure = 0.009467648

DISTANCE = 169.515

ACCURACY = 0.00005585154 = 1 : 17904

جدول (7-4) يوضح حساب الدقة للنقطة e

DX	σ_X	DY	σ_Y	DZ	σ_Z
502.815	0.005844577	-14.434	0.004599901	14.335	0.0304821
502.821		-14.428		14.318	
502.831		-14.444		14.336	
502.832		-14.443		14.303	
502.829		-14.438		14.224	
502.824		-14.44		14.243	
502.82		-14.426		14.368	
502.825		-14.427		14.382	
502.824		-14.43		14.374	
502.826		-14.431		14.37	
502.828		-14.433		14.279	
502.828		-14.436		14.319	
502.831		-14.433		14.304	
502.828		-14.433		14.276	
502.823		-14.435		14.305	
502.815		-14.445		14.32	
502.822		-14.44		14.286	
502.826		-14.439		14.28	
502.812		-14.436		14.298	

502.813		-14.435		14.283	
502.812		-14.435		14.277	
502.814		-14.434		14.287	
502.817		-14.434		14.295	
502.821		-14.433		14.291	
502.819		-14.437		14.301	
502.823		-14.432		14.289	
502.826		-14.43		14.282	
502.823		-14.43		14.287	
502.822		-14.433		14.301	
502.822		-14.434		14.302	
502.821		-14.433		14.294	
502.825		-14.432		14.281	
502.826		-14.431		14.275	
502.831		-14.43		14.27	
502.829		-14.431		14.278	
502.828		-14.43		14.287	
502.825		-14.432		14.296	
502.823		-14.433		14.306	
502.825		-14.432		14.301	
502.825		-14.431		14.297	
502.82		-14.436		14.298	
502.812		-14.439		14.305	
502.813		-14.431		14.286	
502.814		-14.427		14.288	
502.814		-14.423		14.287	

3D misclosure = 0.03137638081

DISTANCE = 503.233

$$\text{ACCURACY} = 0.0313763808 = 1 : 16039$$

عناصر التحويل بين المراجع

لايجاد عناصر التحويل بين مرجع Adindan و مرجع WGS84 نستخدم المعادلة:

$$X_{ad} = CX + \mu R X_{wgs}$$

$$Y_{ad} = CY + \mu R Y_{wgs}$$

$$Z_{ad} = CZ + \mu R Z_{wgs}$$

$$\begin{pmatrix} X_{ad} \\ Y_{ad} \\ Z_{ad} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} CX \\ CY \\ CZ \end{pmatrix} + \mu \begin{pmatrix} 1 & R_z & -R_y \\ -R_z & 1 & R_x \\ R_y & -R_x & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_{wgs} \\ Y_{wgs} \\ Z_{wgs} \end{pmatrix}$$

حيث

$(X_{ad}, Y_{ad}, Z_{ad}) \equiv$ الإحداثيات المنسوبة الى المرجع المحلي Adindan.

$(X_{wgs}, Y_{wgs}, Z_{wgs}) \equiv$ الإحداثيات المنسوبة الى المرجع العالمي WGS84.

بما ان المسافة صغيرة فان مصفوفة الدوران R تساوي مصفوفة الوحدة

لحساب قيمة معامل المقياس μ نقوم بإيجاد المتوسط لقيمة μ المحسوبة لأطول مسافة بين نقطتين وأقصر مسافة ؛ حيث يتم حساب قيمتها من الآتي:

$$\mu = \frac{\text{distance on WGS84}}{\text{distance on Adindan}}$$

$$\mu_1 = 0.999939$$

$$\mu_2 = 0.999968$$

$$\text{AVE } \mu = 0.999953$$

بما أن قيمة μ تقريبا تساوي الواحد تم اعتبار أن قيمتها تساوي الواحد.

جدول رقم (8-4) يوضح حساب عناصر التحويل :

point	$\Delta X = X_{ad} - X_{wgs}$	$\Delta Y = Y_{ad} - Y_{wgs}$	$\Delta Z = Z_{ad} - Z_{wgs}$
A	-76.01048889	-206.7674667	0.688511111
b	-76.0512	-206.7261333	0.703266667
e	-76.05271111	-206.7365333	0.7292
average	-76.0381	-206.743	0.707

جدول رقم (9-4) يوضح قيم النقاط c و d منسوبة إلى Adindan باستخدام عناصر التحويل :

Point	$X_{ad} = CX + \mu R$ X_{wgs}	$Y_{ad} = CY + \mu R$ Y_{wgs}	$Z_{ad} = CZ + \mu R$ Z_{wgs}
C	447304.618	1738502.252	392.042
d	447386.294	1738194.526	390.842

جدول رقم (10-4) يوضح الفرق بين الإحداثيات المحسوبة والمقاسة للنقاط c و d في المرجع المحلي Adindan :

Point	ΔX_{ad}	ΔY_{ad}	ΔZ_{ad}
C	-0.022	-0.026	-0.006
d	-0.017	0.038	0.003

5-4 النتائج

تحصلنا على قيم عناصر التحويل في المساحة الصغيرة (217631.3943 m^2) وكانت كالآتي:

$$\Delta X = -76.0381$$

$$\Delta Y = -206.743$$

$$\Delta Z = 0.707$$

وكانت القيم العالمية لعناصر التحويل هي:

$$\Delta X = -162.600$$

$$\Delta Y = -15.000$$

$$\Delta Z = 204.400$$

ووجد هذا الفرق للأسباب الآتية:

- نسبة لصغر المساحة.
- عدم التأثير بكروية الأرض.
- تجاهل معامل المقياس نسبة لقرب قيمته من الواحدة الصحيح .
- الإحداثيات في المرجع المحلي Adindan لم تؤخذ بنفس دقة الإحداثيات في المرجع العالمي WGS84 .
- المحاور متوازية لذا فإنه لا يوجد تدوير بين المحاور مما نتج عنه أن مصفوفة الدوران تساوي مصفوفة الوحدة.

جدول رقم (4-11) يوضح الفرق بين الإحداثيات المقاسة والمحسوبة:

Point	ΔX_{ad}	ΔY_{ad}	ΔZ_{ad} (
C	-0.022	-0.026	-0.006
D	-0.017	0.038	0.003

الباب الخامس

الخلاصة و التوصيات

1-5 الخلاصة

تم حساب قيم عناصر التحويل بين المرجع العالمي WGS84 والمرجع المحلي Adindan لمنطقة صغيرة المساحة ووجد أنها تختلف عن القيم المعروفة عالميا.

2-5 التوصيات

- التأكد من صحة العمل الحقل بقياس المسافات بين النقاط في النظامين العالمي و المحلي بال GPS حيث يجب ان يكون الفرق في حدود ملليمترات.

- التخطيط الجيد للعمل بإختيار الوقت المناسب والتحقق من قيمة PDOP.

المراجع

جمعة محمد داؤود- مدخل إلى النظام العالمي لتحديد المواقع GPS – مكة المكرمة 2010م – المملكة العربية السعودية .

1- جمعة محمد داؤود- أسس المساحة الجيوديسية والجي بي إس – مكة المكرمة 2012م- المملكة العربية السعودية.

2- GPS theory and practice – hofman_wellenhof – second edition .

3- <https://www.GNSSsite.com> calibration dimensions 2012.

4- Satellite geodesy- Gunter Sabeer

الملاحق

ملحق رقم 1

جدول يوضح الارصاد الغير الصحيحة التي تم رصدها اول مرة

Point	Easting	Northing	Height
a	447822.037	1737876.871	389.228
b	447755.009	1738399.005	391.063
c	447304.719	1738501.51	392.049
d	447386.372	1738193.719	390.836
e	447052.447	1738209.807	390.541
Base	447555.346	1738195.375	404.827

ملحق رقم 2

جدوليوضح متوسط الاحداثيات للنقاط المرصودة بالجى بي اس

Point	Easting	Northing	Height
a	447897.9875	1738084.372	388.5384889
b	447830.9952	1738606.468	390.3597333
c	447380.6281	1738709.019	391.3533333
d	447462.3447	1738401.252	390.1392
e	447128.4527	1738417.292	389.8098

ملحق رقم 3

جدول يوضح المسافات بين النقاط في المرجعين المحلي Adindan و العالمي WGS84

Line	Adindan	WGS84
ab	526.4223	526.3762
bc	461.8304	461.8953
cd	318.4413	318.4313
de	334.2973	334.277
ea	838.5132	838.4622

ملحق رقم 4

شكل يوضح منطقة الدراسة بالمرجع المحلي Adindan

