مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (23) العدد (10) 2001
Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research-Engineering Science Series Vol (23) No (10) 2001

طرق القياس بنظام تحديد الموقع الجغرافي العام GPS

الدكتور فايز ديب*

(قبل للنشر في 2001/4/16)

الملخّص

تم في هذا البحث دراسة الطرق النسبية للقياس بنظام تحديد الموقع الجغرافي بالاقمار الصناعية والمعروف GPS ومبدأ القياس بهذا النظام. تم إجراء قياسات بنظام تحديد الموقع الجغرافي العام GPS لشبكة مؤلفة من خمس نقاط بالطريقة الساكنة، وباستخدام أجهزة استقبال نوع Ashtech ذات ترددين . تم حساب الإحداثيات الجيومركزية في النظام الجيوديزي العالمي WGS- 84 بعد تعديل القياسات بالنسبة لنقطة ثابتة، ومن ثم تم تحويل هذه الإحداثيات الى جملة إحداثيات محلية . ولتقيم دقة قياسات نظام تحديد الموقع الجغرافي العام GPS تم حساب إحداثيات نقاط الشبكة استنادا الى القياسات التقليدية المساحية الدقيقة (مسافات وزوايا) ،وتم مقارنة الإحداثيات، وكذلك المسافات بين النقاط وكانت الفروق الناتجة صغيرة، مما يؤكد دقة القياس بنظام تحديد الموقع الجغرافي العام GPS لذلك يستخدم النظام حديثا في الجيوديزيا في تأسيس، وتكثيف الشبكات من مختلف الدرجات إضافة إلى استخداماته الملاحية المختلفة وغيرها .

* مدرس في قسم الهندسة الطبوغرافية – كلية الهندسة المدنية– جامعة تشرين _ اللاذقية _ سورية

مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (23) العدد (10) 2001
Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research-Engineering Science Series Vol (23) No (10) 2001

Methods of GPS Measurements

Dr. Fayez Deeb*

(Accepted 16/4/2001)

□ ABSTRACT □

This paper presents the relative methods of GPS measurments .GPS measurments were performed by five Ashtech recivers with static method. Coordinates of vectors obtained from the adjustment were conducted on the ellipsoid WGS-84 with one reference point. Results obtaind from GPS measurments were compard with Coordinates obtained by presice classical measurments of the network. Comparison between Coordinates obtained by presice classical measurments and GPS observations does not show any essential differences. It confirms accuracy of GPS measurments. So GPS technique was used in geodesy and another application.

*** Lecturer at Topography Department, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria**

مقدمة :

إن نظام تحديد الموقع الجغرافي العام GPS ،هو النظام الذي يعتمد على الأقمار الصناعية في تحديد إحداثيات، ومواقع الأهداف (النقاط) على سطح الأرض في نظام إحداثيات عالمي موحد، ومعروف مثل WGS 84 كما يمكن أن يكون التحديد نسبيا بالنسبة إلى مواقع نقاط أخرى معروفة الإحداثيات.

يتألف نظام تحديد الموقع الجغرافي العام GPS من ثلاثة أقسام رئيسية :

القسم الأول : عبارة عن مجموعة الأقمار الصناعية، وعددها حوالي 30 قمراً موزعين على ستة مدارات حول الأرض بارتفاع 20000 كم عن سطح الأرض، وزاوية ميل عن خط الاستواء مقدارها 55 درجة بحيث يمكن رصد أربع أقمار على الأقل من أية نقطة على سطح الأرض.

كل قمر يرسل مجموعة من المعلومات، والترددات، والتوقيت الدقيق من خلال ساعة ذرية فيه، وأهم الترددات التي يرسلها : التردد C/A وهو تردد متوفر لجميع مستخدمي النظام بسهولة، ويمثل التردد الأساسي L1= 1575.42 MHz ويقابل طول موجة مقدارها 19.05 سم، والتردد الثاني هو L2= 1227.60 MHz ،و يقابل طول موجة 24.45 سم هناك ترددات أخرى دقيقة، وسرية مشتقة من التردد الأساسي وهي:

الكود P وهو تردد دقيق متوفر لبعض المستخدمين لنظام تحديد الموقع الجغرافي العام GPS

الكود Y وهو تردد دقيق، وسري متوفر لبعض المستخدمين لنظام تحديد الموقع الجغرافي العام GPS ،و يستخدم في حالات الحرب مثلا. إن هذا التردد مرتبط مع تردد التشويش A-S فعندما تشغل وزارة الدفاع الامريكية هذا التشويش، لا يعمل إلا الكود السري العسكري Y .

القسم الثاني: قسم التحكم والمراقبة: وهو عبارة عن خمس محطات أرضية معروفة الإحداثيات، تقوم بمراقبة مواقع الأقمار، وحساب التصحيحات لمداراتها، وحساب تصحيحات الزمن ،و إرسالها إلى ذاكرة الأقمار.

القسم الثالث: أجهزة الاستقبال GPS : وهو الجزء المستخدم من قبل المشتركين بنظام تحديد الموقع الجغرافي العام GPS ،تتميز أجهزة الاستقبال GPS بقدرتها على استقبال جميع المعلومات المرسلة من الأقمار الصناعية GPS عبر هوائي خاص بها [1].

أجهزة الاستقبال GPS لها عدة قنوات كل منها معد لاستقبال إشارات القمر ومعالجتها . واثناء القياسات يتم تحديد موقع الجهاز باستمرار. بعد إجراء القياسات اللازمة، وتخزينها في ذاكرة المستقبل، يتم نقل هذه القياسات إلى الكمبيوتر ومعالجتها ببرنامج خاص للحصول على الإحداثيات المطلوبة للنقاط. كما يمكن الحصول على المسافة بين النقاط عند استخدام اكثر من جهاز استقبال في آن واحد.

يستخدم نظام تحديد الموقع الجغرافي GPS في الوقت الحاضر بشكل أساسي في الملاحة البحرية، والجوية والبرية وفي بعض الأعمال الجيوديزية التي لا تتطلب دقة عالية. لذلك كان الهدف من البحث التعريف بطرق القياس بهذا النظام وتقييم دقته من خلال مقارنة نتائج القياسات بنظام تحديد الموقع الجغرافي GPS ،والقياسات المساحية التقليدية لشبكة مؤلفة من خمس نقاط لمسافات بين النقاط تصل إلى 2 كم. وبالتالي إمكانية استخداماته المساحية التي تتطلب دقة عالية مثل تأسيس ،و تكثيف الشبكات الجيوديزية من مختلف الدرجات، وقياسات تشوهات المنشآت الهندسية، وفي دراسة مناطق النشاط التكتونيكي، وحركات سطح القشرة الأرضية على مساحات واسعة.

مبدأ القياس بنظام GPS:

يمكن تشبيه القياس بنظام تحديد الموقع الجغرافي العام GPS بقائس المسافات الإلكتروني، الذي يعتمد على قياس الزمن الذي استغرقته الأشعة الالكترومغناطيسية المرسلة منه، وانعكاسها من العواكس ذهابا وإيابا . أما في نظام تحديد الموقع الجغرافي العام، فيتم قياس الزمن ذهابا فقط. واهم المبادئ التي يعتمد عليها النظام في تحديد المواقع ،هو قياس شبه

المسافة، وقياسات طور التردد الحامل للأمواج، أو فروق الطور [2] ولتوضيح القياس بالنظام سأشرح فقط مبدأ القياس بشبه المسافة:

إن تحديد موقع نقطة على سطح الأرض بنظام تحديد الموقع الجغرافي العام GPS ،يعتمد على قياس الزمن الذي تستغرقه الأمواج الكهرومغناطيسية المرسلة من أربعة أقمار على الأقل إلى جهاز الاستقبال، وبالتالي يمكن تحديد موقع النقطة في نظام إحداثيات عالمي موحد، ومعروف، إما بالإحداثيات الفراغيةالجيومركزية (X,Y,Z) ،أو الإحداثيات الجيوديزية ((B,L,H) ،وهذا ما يعرف بالقياسات المطلقة.

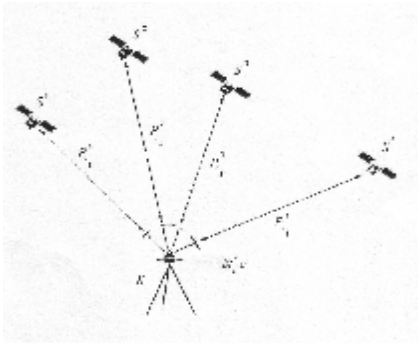
إن المسافة بين القمر الصناعي s ،و النقطة K على سطح الأرض ممثلة بجهاز الاستقبال تعطى بالعلاقة التالية (شكل 1) :

$$pr = (tk - ts)\, v$$

حيث: tk – لحظة التقاط الأشعة الكهرومغناطيسية في جهاز الاستقبال

ts – لحظة إرسال الأشعة الكهرومغناطيسية من القمر

v – سرعة انتشار الأشعة في الفضاء.



الشكل رقم1 – المسافة بين الأقمار والمحطة

إن المسافة المحسوبة بالعلاقة السابقة، تختلف عن المسافة الحقيقية الهندسية بقيمة صغيرة ناتجة عن مجموعة من الأخطاء، لذلك تسمى بشبه المسافة . فعلاوة على تأثير أخطاء القياسات، والتي نرمز لها er هناك الأخطاء التالية:

- خطأ الزمن في القمر dts
- خطأ الزمن في المستقبل dtk
- خطأ الانكسار الجوي التروبوسفير واليونوسفير dr_{jon} ،dr_{trop}

وبذلك يمكن كتابة العلاقة بين المسافة، وشبه المسافة كما يلي :

$$pr = (tk - ts)\, v = r + (dts + dtk)\, v + dr_{jon} + dr_{trop} + er$$

يمكن حذف الأخطاء الناجمة عن الانكسار الجوي باستخدام أجهزة استقبال، تعمل بترددين . كما يمكن التخلص من تأثير الأخطاء العرضية للقياسات بتعديل القياسات، وتنفيذ عدد قياسات اكبر من عدد المجاهيل . يبقى تأثير الأخطاء الناتجة عن ضبط الزمن في القمر، وفي المحطة ،والذي يمكن اعتباره ثابتاً في المحطة الواحدة بحيث يمكن كتابة ما يلي: pr =

$$(tk - ts)\, v = r + dt_k\, v$$

من جهة أخرى يمكن حساب المسافة بين المحطة، والأقمار الصناعية استنادا إلى إحداثيات الأقمار المعلومة دوما في جملة الإحداثيات الفراغية الجيومركزية من القانون التالي:

$$Pr = \sqrt{(Xi - Xk)^2 + (Yi - Yk)^2 + (Zi - Zk)^2}$$

كتابة أربع معادلات لشبه المسافة(من أربعة أقمار) يمكن تحديد إحداثيات المحطة المجهولة ،و التصحيح علىالمسافة :

$$Pr = \sqrt{(Xi - Xk)^2 + (Yi - Yk)^2 + (Zi - Zk)^2} + dt_k \, v$$

حيث: .....i= 1,2,3,4 عدد الأقمار الملتقطة في جهاز الاستقبال

Xi, Yi، Zi إحداثيات الأقمار الصناعية المعلومة.

Xk, Yk، Zk إحداثيات النقطة المطلوبة.

في المعادلة السابقة لدينا أربعة مجاهيل فبكتابة أربع معادلات، يمكن إيجاد إحداثيات المحطة المطلوبة . أما المعادلات الإضافية الناتجة عن أقمار إضافية، تفيد في تحقيق، وتعديل القياسات.

إن دقة تعيين مواقع النقاط بهذه الطريقة، يتوقف على عدة عوامل أهمها:

- عدد ووضعية الأقمار الصناعية الملتقطة ،و ارتفاعها عن الأفق.
- مدة الرصد.
- دقة المعلومات المرسلة من الأقمار .

هناك مؤشر يدل على نوعية القياسات PDOP ،أي الوضع الهندسي للأقمار بالنسبة للنقطة المرصودة، ويجب ان يكون اقل من خمسة، حتى تكون القياسات جيدة. إن دقة القياسات المطلقة تصل إلى حوالي 10م، وهذه الدقة كافية في المسح الجوي، وفي الملاحة البحرية ،و الجوية وغيرها من التطبيقات التي لا تتطلب دقة عالية.أما عندما يتطلب تحديد مواقع النقاط على سطح الأرض دقة عالية، فانه من الضروري استخدام القياسات النسبية للمواقع ،و ذلك باستخدام جهازي استقبال على الأقل، وبالتالي يمكن تحديد الإحداثيات النسبية للنقاط المرصودة (فروق الإحداثيات) بدقة كافية.

القياسات النسبية بنظام GPS:

إن الأعمال المساحية، والجيوديزية، تتطلب تحديد مواقع النقاط على سطح الأرض بدقة عالية، لذلك تستخدم القياسات النسبية للمواقع، وذلك باستخدام جهازي استقبال على الأقل، وبالتالي يمكن تحديد الإحداثيات النسبية للنقاط المرصودة أي فروق الإحداثيات ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$) للأشعة الواصلة بين النقاط بدقة تصل إلى عدة مليمترات.

أثناء إجراء القياسات النسبية، فإن عدداً من الأخطاء يمكن التخلص منها، لأن جميع المحطات، تتعرض بشكل تقريبي لنفس تأثير الأخطاء، وبالتالي يمكن الحصول على دقة تصل إلى الميليمترات [3].

بشكل عام. تقسم القياسات النسبية إلى قسمين رئيسيين وهما: القياسات الساكنة، والقياسات الحركية، وقد اشتق من هذين النوعين عدة طرق أخرى حسب طريقة نقل أجهزة الاستقبال من نقطة لأخرى، وحسب طريقة معالجة النتائج، وحسب الغاية من القياسات، والدقة المطلوبة، ويمكن تمييز الأنواع التالية من القياسات النسبية:

1- <u>القياسات الساكنة (Static) :</u>

تعتمد هذه الطريقة على رصد مجموعة الأقمار نفسها من قبل عدة أجهزة استقبال، يعملون بآن واحد، ولمدة لا تقل عن نصف ساعة، بحيث يكونون ثابتين طيلة فترة الرصد على مراصد، يمكن أن يصل البعد بينها إلى مئات الكيلومترات هذه الطريقة هي المستخدمة غالبا في تأسيس الشبكات الجيوديزية، لأنها تعطي دقة عالية في القياسات. إن البعد بين النقاط المرصودة في آن واحد، يمكن أن يصل إلى عدة مئات من الكيلومترات عند القياس بهذه الطريقة، أما مدة الرصد، فتتوقف

على الغاية من القياس، ويمكن أن تصل إلى عدة أيام متواصلة في القياسات الجيوديناميكية، التي تتطلب دقة عالية في تحديد مواقع النقاط المرصودة.

هناك عدة شروط، يجب تحقيقها عند القياس بهذه الطريقة وهي:

- يجب أن لا تقل زاوية ارتفاع القمر المرصود عن الأفق عن 15 درجة.
- يجب أن لا يقل عدد الأقمار المرصودة بآن واحد عن أربعة.
- يجب أن لا يقل زمن الرصد عن النصف ساعة.
- يجب أن لا تتجاوز المسافة بين محطات الرصد عن 30كم في حال استخدام الأجهزة التي تعمل بتردد واحد.

يمكن الحصول على دقة في حساب أطوال الأشعة، وفروق الإحداثيات بهذه الطريقة، تصل العدة مليمترات، ويمكن القياس لمسافات تصل إلى 300 كم. للحصول على دقة عالية، يجب استخدام أجهزة دقيقة، وبرامج متطورة لمعالجة القياسات [1].

2 –قياسات الطريقة السريعة الساكنة (Rapid Static)

تسمح هذه الطريقة بتخفيض زمن الرصد في المحطات إلى عدة دقائق مع المحافظة على الدقة التي تعطيها الطريقة الساكنة؛ وذلك لمسافات حتى 20كم. ونتيجة ذلك تنخفض تكاليف القياسات .أما شروط تطبيق هذه الطريقة فهي:

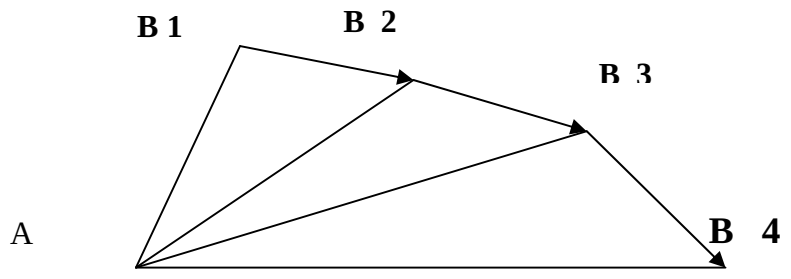
- يجب استخدام أجهزة استقبال ذات ترددين، وتعمل بالكود الدقيق P.
- يجب أن لا تتجاوز المسافة بين محطات الرصد عن 20كم.
- يجب أن لا تقل زاوية ارتفاع القمر المرصود عن الأفق عن 20 درجة.
- يجب أن لا يقل عدد الأقمار المرصودة بآن واحد عن خمسة.

3 – الطريقة شبه الساكنة (Stop and go):

تعتمد هذه الطريقة على رصد مجموعة الأقمار نفسها من قبل جهازي استقبال، يعملان بآن واحد حيث يتم تثبيت أحدهما على محطة مرجعية طيلة فترة الرصد ,أما الجهاز الآخر، فيتم تركيزه على النقاط الواحدة تلو الأخرى لمدة 10 دقائق أما شروط القياس، فهي نفسها في الطريقة السابقة. تستخدم هذه الطريقة عندما يتطلب تنفيذ القياسات بسرعة، وبدقة أقل من الطريقة الساكنة مثلا تحديد محاور طرق المواصلات، وتمديدات المياه وغيرها.

ويتم الرصد بالجهاز المتنقل لمدة حتى 10 دقائق حسب عدد الأقمار الملتقطة ،ودقة القياسات (شكل 2).

حيث يتم نقل المستقبل B على المحطات 1– 2– 3 –4 بينما يبقى المستقبل A ثابتاً ويعمل طوال مدة الرصد.



الشكل رقم 2– القياسات شبه الساكنة

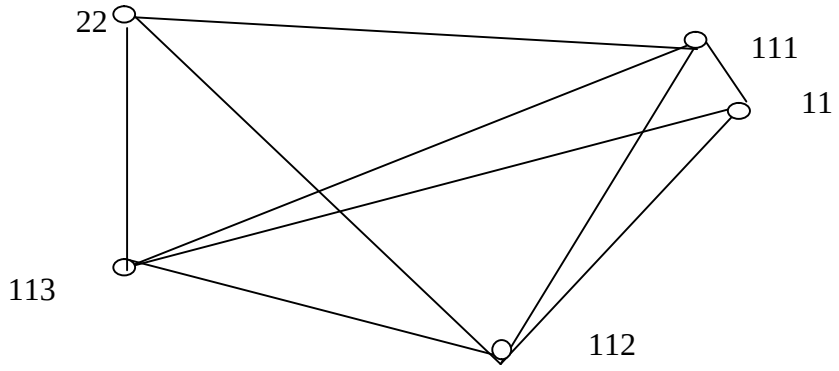
4 – الطريقة الكينيماتيكية أو الحركية (Kinematic):

تعتمد هذه الطريقة على القياس المستمر لجهازي استقبال، يعملان بآن واحد. أحدهما في حركة مستمرة بالنسبة إلى آخر مثبت على محطة مرجعية طيلة زمن القياسات . وهنا يجب المحافظة على الاتصال المستمر بين الأقمار الصناعية والجهاز المتحرك. مثلا المرور في نفق يقطع الاتصال بين القمر، والمستقبل. بهذه الطريقة يمكن تحديد مسار الجهاز المتحرك بعد الانتهاء من عملية الرصد، وبالتالي يمكن تحديد مسار طريق مثلا، أو وضعية الطائرة أثناء عملية التصوير الجوي الخ.

اشتقت طرق أخرى من هذه الطريقة أهمها الطريقة المعروفة ب DGPS تعتمد هذه الطريقة على التحديد المباشر لموقع جهاز متحرك بالنسبة إلى جهاز ثابت مركز على محطة مرجعية معروفة الإحداثيات في نظام إحداثيات معروف مثل WGS 84. يتم تحديد التصحيحات في المحطة الرئيسية من خلال مقارنة إحداثيات النقطة المعروفة مع الإحداثيات الناتجة عن القياس، ويتم إرسال التصحيحات مباشرة إلى الجهاز المتحرك، وبهذه الطريقة يمكن الحصول على دقة 1 م لمسافة 100 كم مباشرة . تستخدم هذه الطريقة في الوقت الحاضر في نظام المعلومات الجغرافية، وفي مراقبة حركات وسائل المواصلات، والملاحة البحرية الساحلية، وغيرها.

نتائج القياسات بالطريقة الساكنة:

تم قياس إحداثيات الشبكة الجيوديزية المكونة من خمس نقاط (الشكل 3) باستخدام خمس أجهزة استقبال GPS نوع Ashtech MD- XII ،وذلك بالطريقة الساكنة حيث كان زمن الرصد ساعتان.

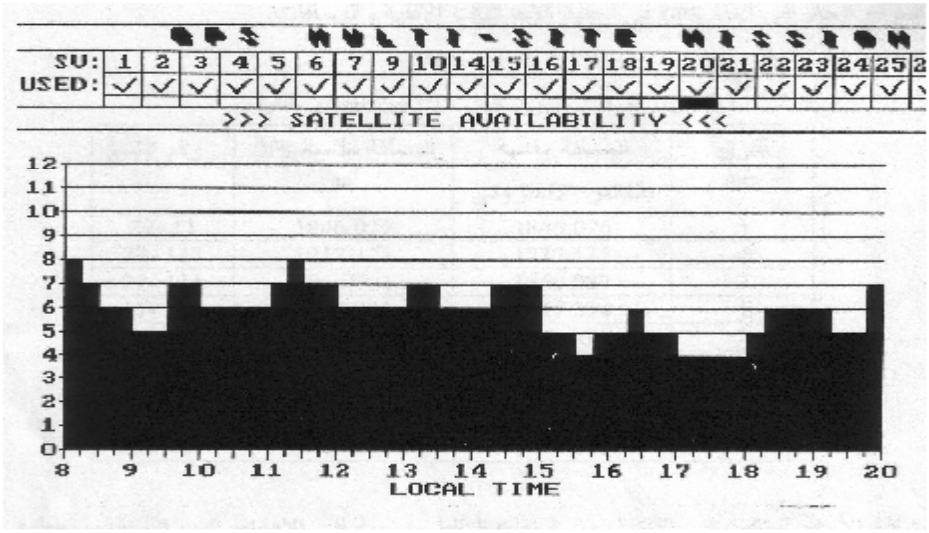


الشكل رقم 3 – الشبكة الجيوديزية

تمت عمليات الرصد بتشغيل أجهزة الاستقبال في وقت واحد، وإدخال المعطيات التالية: رقم النقطة واسم المشروع ارتفاع الهوائي عن النقطة، الظروف الجوية من حرارة، ورطوبة، وضغط جوي، تاريخ القياس . إن مدة الرصد كانت كافية بعد مرور نصف ساعة، ولزيادة الدقة، تم الرصد حوالي الساعتين . وقد تم رصد ،وتسجيل إشارات خمسة أقمار على الأقل في جميع المحطات، وتم الحصول على مؤشر نوعية القياس PDOP بقيمة ثلاثة دوما، مما يدل على وضع الأقمار الهندسي المناسب بالنسبة لمحطات الرصد. حيث أن قيمة هذا المؤشر، تزداد بشكل كبير مع انخفاض عدد الأقمار الملتقطة، وانخفاضها عن الأفق. ويوضح الشكل رقم 4 عدد الأقمار المسجلة في المحطة 11 من الساعة الثامنة صباحا حتى الثامنة مساء مع ملاحظة أن فترة الرصد التي اعتبرت، هي من الساعة التاسعة حتى الحادية عشرة.

بعد الانتهاء من عملية الرصد، تم معالجة القياسات باستخدام البرنامج PRISM التابع للشركة الصانعة لاجهزة الاستقبال استنادا إلى النقطة رقم 11 باعتبارها نقطة ثابتة. طبعا يجب اختيار النقطة الثابتة وسط الشبكة إن أمكن. وتم الحصول

على الإحداثيات الجيومركزية الفراغية في الجملة العالمية WGS-84 كما تم حساب الإحداثيات الجيوديزية (B, L, H) ،و أطوال الأشعة المعدلة. حصلت على دقة في تحديد الإحداثيات الأفقية (1PPM) 2 مم لمسافات بين النقاط حتى 2 كم أما دقة تحديد الإحداثيات الشاقولية، فكانت 5 مم في نظام الإحداثيات الجيومركزية الفراغية. هناك عدة عوامل تؤثر على دقة القياسات أهمها: مدة الرصد، عدد الأقمار المسجلة، ووضعيتها بالنسبة لمحطة الرصد، موقع المحطة، طريقة معالجة القياسات، وعدد المحطات.



الشكل رقم 4 – عدد الاقمار المرصودة في المحطة 11

إن الدقة تزداد بزيادة عدد المحطات، لانه تزداد الأشعة الواصلة بين النقاط، وبالتالي تزداد القياسات الفائضة عند التعديل.
بعد الحصول على الإحداثيات الجيوديزية المعدلة، تم تحويل هذه الإحداثيات إلى إحداثيات محلية مستوية وفق علاقات التحويل المعروفة، وبفرض توازي محاور الجملتين، وإجراء الانسحاب.

لتوضيح مسألة دقة القياسات بنظام تحديد الموقع الجغرافي العام GPS ،تم حساب إحداثيات النقاط استنادا إلى القياسات المساحية التقليدية (قياس المسافات بالقائس الإلكتروني والزوايا بالتيودوليت) ،وذلك باعتبار إحداثيات النقطة 11 الناتجة عن قياسات GPS.وقد تراوحت الفروقات بين الإحداثيات الأفقية المحسوبة بنظام تحديد الموقع الجغرافي العام GPS،والإحداثيات المحسوبة استنادا إلى القياسات التقليدية من 12− إلى 15 مم كما هو موضح في الجدول رقم1

الجدول رقم 1– فروق الإحداثيات بين نظامي القياس

رقم النقطة	$X_{GPS} - X$ (mm)	$Y_{GPS} - Y$ (mm)
11	0	0
112	6	-10
113	15	-12
22	14	5
111	7	4

إن هذه الفرو قات، تعتبر صغيرة خاصة بعد تبسيط علاقات التحويل، وإهمال الدوران، والتي أثرت على هذا الفرق كما تم مقارنة نتائج قياس المسافات بنظام تحديد الموقع الجغرافي العام GPS ،والقائس الالكتروني، كما هو موضح في الجدول رقم 2 ،وكان اكبر فرق 8 مم ،مما يدل على الدقة الجيدة لنظام تحديد الموقع الجغرافي العام GPS في تحديد الإحداثيات الأفقية والمسافات.

الجدول رقم 2 – فروق المسافات بين نظامي القياس

رقم الشعاع	المسافة مقاسة GPS m	المسافة مقاسة بالقائس الالكتروني	الفرق mm
22- 11	1846.079	1846.07 6	3
22- 113	1212.127	1212.135	-8
22- 111	1660.994	1660.987	7
11- 113	1257.235	1257.234	-8
11- 111	326.108	326.106	2
113- 111	1308.652	1308.657	-5
113-112	1085.149	1085.149	0
112- 11	1175.743	1175.749	-5
112-111	1454.580	1454.584	-4

إن المشكلة الأساسية، تكمن في الانتقال من ارتفاع النقاط منسوبة إلى الاهليلج الدوراني الذي يعطيه نظام تحديد الموقع الجغرافي العام GPS إلى الارتفاع الاورتومتري، أو الطبيعي المنسوب إلى الجيوئيد، والذي يحسب عادة بالتسوية الهندسية. ومن اجل ذلك يجب تحديد ارتفاع الجيوئيد عن الاهليلج الدوراني استنادا إلى قياسات الجاذبية الأرضية وقياسات التسوية الهندسية الدقيقة، وقياسات نظام تحديد الموقع الجغرافي العام GPS [4]. من اجل التوضيح، تم مقارنة فروق الارتفاعات بين نقاط الشبكة المحسوبة بنظام تحديد الموقع الجغرافي العام GPS ،وفروق الارتفاعات المحسوبة بالتسوبة غير المباشرة . وأدرجت النتائج في الجدول رقم 3 .

الجدول رقم3 – تغيرات فروق الارتفاع في نظامي القياس

رقم الشعاع	فرق الارتفاع من (m)GPS	فرق الارتفاع من التسوية (m)	الفروقات (mm)
11- 22	-0.443	-0.474	31
113- 22	49.508	49.574	-66
111- 22	-1.404	-1.352	-52
113- 11	50.005	50.048	-43
11- 111	-0.873	-0.878	5
113- 111	-50.912	-50.926	14
113- 112	-12.327	-12.272	-55
112- 111	38.585	38.654	-69
112- 11	-37.592	-37.559	-33

من الجدول نلاحظ ان الفروقات كبيرة بين نظامي القياس، مما يوحي بالدقة الضعيفة نسبيا لنظام تحديد الموقع الجغرافي العام GPS في تحديد الارتفاعات مقارنة بدقة تحديد الإحداثيات الأفقية والمسافات ..

الخاتمة:

استنادا إلى الدراسة النظرية، والقياسات العملية المساحية التقليدية، والحديثة بنظام تحديد الموقع الجغرافي العام GPS يمكن كتابة النتائج والتوصيات التالية:

1. إن نظام تحديد الموقع الجغرافي العام GPS ،يعطي إحداثيات، ومواقع النقاط (الأهداف) على سطح الأرض في نظام إحداثيات عالمي مثل WGS 84 بدقة عدة أمتار باستخدام جهاز استقبال واحد. كما يعطي فروق الإحداثيات بين المراصد بدقة عالية تصل إلى عدة مليمترات في حال استخدام جهازي استقبال على الأقل.
2. إن القياسات الجيوديزية بالطريقة الساكنة، والسريعة الساكنة، تعطي نتائج ذات دقة قريبة من الدقة التي تعطيها القياسات التقليدية، وخاصة للإحداثيات الأفقية، وهي من مرتبة 1PPM . أما دقة تحديد الارتفاعات، فهي اقل من الدقة التي تعطيها قياسات التسوية.

3. نظرا لميزات نظام تحديد الموقع الجغرافي العام GPS ،و خاصة القياس اللامحدود للبعد بين النقاط، وعدم ضرورة الرؤية بينها ،وهذا غير موجود في الأجهزة المساحية التقليدية. يجب استخدام هذا النظام في الوقت الحاضر في تكثيف الشبكات الجيوديزية، وفي دراسة حركات سطح القشرة الأرضية بالإضافة إلى استخداماته الأساسية في التطبيقات الملاحية الجوية ،و البرية، والبحرية خاصة بعد أن أصبحت أسعار هذه الأجهزة قريبة من أسعار الأجهزة التقليدية.
4. يفضل استخدام هذا النظام في إنشاء، وتكثيف الشبكات الجيوديزية من مختلف الدرجات خاصة في الأماكن التي يصعب فيها استخدام الأجهزة التقليدية كالغابات، والمدن لانه يوفر الوقت، والجهد .
5. يجب إعادة حساب إحداثيات نقاط الشبكة الجيوديزية الأساسية للقطر في نظام إحداثيات عالمي معروف لنتمكن من ربط القطر مع البلدان الأخرى جيوديزيا .

المراجع:

.....

1- Leick, A. ,1995 GPS Satellite surveying, New York,

2- Rogowski, J.B, Kujawa L., Piraszewski M. 1993, Szybki Pomiary Statyczny – Nowa Metoda Pomiarow GPS, Warszawa
3- Sledzinski J., Rogowski S., Figurski M., 1993, GPS Campaign EXTENDSAGET, 92, Reports on Geodesy, no.2, 1993, Warsaw.
4- Kennie, T.J.M, G., 1990, Petrie, Engineering surveying technology, New York,