

## تأثير عدد مستقبلات نظام تحديد المواقع العالمي GPS على دقة تعيين نقاط الشبكات الجيوديزية

الدكتور فايز ديب \*

(تاريخ الإيداع 17 / 12 / 2015. قُبِلَ للنشر في 9 / 5 / 2016)

### □ ملخص □

تعتبر تقنية نظام تحديد المواقع العالمي GPS وسيلة أساسية في مجال إنشاء الشبكات الجيوديزية . تستخدم الطريقة الساكنة من قياسات نظام تحديد المواقع العالمي GPS بشكل عام في تحديد إحداثيات نقاط الشبكات الجيوديزية. إن تأسيس الشبكات الجيوديزية باستخدام نظام تحديد المواقع العالمي GPS يتطلب تحقيق الدقة والمتانة والاقتصادية. يناقش هذا البحث تأثير طريقة القياس وعدد المستقبلات المستخدمة في دقة تعيين نقاط الشبكات الجيوديزية. تم حساب إحداثيات نقاط شبكة جيوديزية باستخدام جهازي استقبال وثلاثة أجهزة استقبال GPS وبطرق مختلفة مثل الطريقة الشعاعية والمضلعية والشبكية. تمت مقارنة إحداثيات النقاط التي تم الحصول عليها بحالات متعددة. أظهرت الفروقات بين الإحداثيات دقة الطريقة الشبكية في حساب الإحداثيات عند توفر ثلاثة مستقبلات أو أكثر. عند وجود جهازي استقبال فقط تكون الطريقة الشعاعية هي الأفضل من حيث الدقة والموثوقية.

**الكلمات المفتاحية:** شبكات جيوديزية، نظام تحديد المواقع العالمي، شعاع، طريقة ساكنة، فترة تسجيل، قاعدة.

\* أستاذ - قسم الهندسة الطبوغرافية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية

## Influence of observation mode and number of GPS receivers in accuracy of calculating coordinates of points

Dr. Fayez Deeb\*

(Received 17 / 12 / 2015. Accepted 9 / 5 / 2016)

### □ ABSTRACT □

GPS technology considers the essential tool for establishing geodetic networks. Static method of GPS is used often in observing geodetic network points. Establishing geodetic networks using GPS requires accuracy, consistency and economy.

This paper discusses influence of observation mode and number of GPS receivers in accuracy of calculating of coordinates of points. Coordinates of network points are calculated using two and three GPS receivers and with different methods like radial, traverse, network.

Comparison between coordinates for network points obtained by several cases is performed. The differences between coordinates indicate accuracy of network method in calculating coordinates when three or more receivers are available. When two receivers are available the radial method is the best in accuracy and consistency.

**Key words:** Geodetic network, GPS technology, Vector, Static method, Session, Baseline

---

\*Professor, Department of Topographic Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

## مقدمة

إن إنشاء الشبكات الجيوديزية باستخدام نظام GPS يختلف عن تأسيسها باستخدام التقنيات التقليدية من حيث عدم ضرورة الرؤية المتبادلة بين النقاط والمسافات الكبيرة بينها. تختلف دقة قياسات نظام تحديد المواقع العالمي GPS باختلاف طريقة الرصد الحقلي (الساكن، السريع الساكن، المتحرك، .....الخ). وتستخدم الطريقة الساكنة بشكل أساسي في تحديد إحداثيات نقاط الشبكات الجيوديزية. إن تأسيس الشبكات الجيوديزية باستخدام نظام تحديد المواقع العالمي GPS يتطلب تحقيق الدقة والمتانة والاقتصادية كما في الشبكات التقليدية، ويتم تحقيق هذه المتطلبات بتطبيق عدة شروط وتوصيات أثناء الرصد بهذه التقنية [1]. من أجل الاستفادة من قياسات نظام تحديد المواقع العالمي GPS في الأعمال المساحية لا بد من تحويل الإحداثيات المعطاة بنظام تحديد المواقع العالمي GPS إلى نظام الإحداثيات المحلي باستخدام بارامترات التحويل المعروفة في المنطقة: مصفوفة الدوران، وقيم الانزياح، ومعامل المقياس [2]. إن دقة الشبكة الجيوديزية المقاسة بنظام الـ GPS تكون على الأغلب غير مرتبطة بالمسافات بين المحطات، وبالتالي فإن تصميم الشبكات يأخذ بعين الاعتبار عوامل أخرى مثل عدد الاجهزة المستخدمة في القياس وبالتالي شكل الشبكة الهندسي. من أجل المشاريع المتوسطة الحجم ومع الأخذ بالاعتبار عوامل الاقتصادية يفضل استخدام من ثلاثة الى أربعة مستقبلات. و يفضل أن يتم القياس على كل محطة مرتين تحت ظروف مختلفة للتمكن من اكتشاف الأغلط. كما يفضل رصد المحطات المتجاورة بشكل مترامن لأن حل الغموض يكون جيداً في القواعد القصيرة. يتوقف تأسيس الشبكات الجيوديزية باستخدام نظام تحديد المواقع العالمي GPS على مجموعة من العوامل أهمها: الظروف الحقلية، الدقة المطلوبة، طريقة القياس، الغاية من الشبكة الجيوديزية. في الآونة الأخيرة هناك اتجاه لتقليل مدة القياس أو الرصد بالـ GPS وتعيين عدد أكبر من نقاط الشبكة بنفس الوقت مع المحافظة على الدقة. تم في هذا البحث دراسة تأثير طريقة القياس وعدد المستقبلات المستخدمة في دقة تعيين نقاط الشبكات الجيوديزية.

## أهمية البحث وأهدافه

في الوقت الحاضر يعتبر نظام تحديد المواقع العالمي GPS تقنية هامة وأساسية في كافة المجالات والاستخدامات ومنها مجال تأسيس الشبكات الجيوديزية لما يوفره هذا النظام من ميزات لا تتوفر في الأجهزة المساحية التقليدية وأهمها: عدم ضرورة الرؤية المتبادلة بين النقاط المقاسة، والمسافات الكبيرة بين المحطات التي تصل إلى عشرات الكيلومترات. يمكن تأسيس وتكثيف شبكات المثلثات باستخدام نظام GPS بسرعة وبتكاليف منخفضة، مع المحافظة على متطلبات الشبكات المثلثاتية التقليدية من دقة عالية وموثوقية. يمكن أن تصل المسافات بين نقاط الشبكة العامة للبلاد الفضائية إلى عشرات الكيلومترات ويمكن ربطها بالشبكات المرجعية القارية. يهدف البحث إلى دراسة تأثير عدد أجهزة الاستقبال المستخدمة في رصد الشبكة الجيوديزية وطريقة نقلها على دقة تعيين إحداثيات نقاط الشبكات الجيوديزية المقاسة بالطريقة الساكنة بنظام تحديد المواقع العالمي GPS وبالتالي دراسة تأثير الشكل الهندسي للشبكة المشكلة من محطات الرصد بنظام تحديد المواقع العالمي GPS على دقة حساب إحداثيات نقاطها ومقارنتها وذلك بعد معالجة القياسات الفضائية وحساب الإحداثيات لنقاط الشبكة في الجملة العامة للبلاد.

## طرائق البحث ومواده

### تأسيس الشبكات الجيوديزية باستخدام نظام GPS

يتم بناء الشبكة الجيوديزية باستخدام نظام GPS إما من معالجة أرصاد عدد كبير من القواعد المستقلة أو من معالجة مجموعة من الأرصاد المختلفة لمحطات متعددة. بشكل عام تتضمن القاعدة الأساسية لعمليات المسح بنظام الـ GPS استخدام عدد قليل من المستقبلات لحساب عدد كبير من النقاط الجيوديزية. من أجل الحصول على الدقة المطلوبة للشبكة الجيوديزية يجب استخدام طرق وتقنيات قياس مناسبة. إن تأسيس شبكات المثلاث باستخدام نظام GPS يتطلب تحقيق الدقة والموثوقية والاقتصادية كما في الشبكات التقليدية [3]. المسألة الأساسية الهامة بعد تنفيذ قياسات الشبكة بنظام تحديد المواقع العالمي GPS هي عملية تحويل إحداثيات نقاط الشبكة من الجملة العالمية WGS84 إلى الجملة المحلية المستخدمة في سوريا وهي Clarke1880 ولجعلها مفيدة في التطبيقات المساحية يجب تحويلها إلى الجملة المستوية المحلية. هناك مجموعة من العوامل المؤثرة في تصميم الشبكات الجيوديزية المرصودة بنظام تحديد المواقع العالمي GPS أهمها:

1. عوامل خاصة بنقاط الشبكة المرصودة مثل عدد النقاط وتوزيعها.
  2. عوامل خاصة بالأقمار الصناعية مثل عدد الأقمار، التوزيع الهندسي للأقمار، مدة الرصد وتوقيته.
  3. عوامل خاصة بعدد الأجهزة المتوفرة ونوعيتها.
  4. عوامل خاصة بالعنصر البشري مثل عدد المساحين وطريقة نقل الأجهزة والمعدات بين النقاط.
- بشكل عام يتم استخدام الطريقة الساكنة بنظام الـ GPS في رصد الشبكات الجيوديزية المرجعية لأنها تعطي دقة عالية في القياسات. تعتمد هذه الطريقة على رصد مجموعة الأقمار نفسها من قبل عدة أجهزة استقبال تعمل بآن واحد و لمدة لا تقل عن النصف ساعة بحيث تبقى ثابتة طيلة فترة الرصد على المحطة، و يمكن أن يصل البعد بين هذه الأجهزة إلى مئات الكيلومترات. يمكن الحصول على دقة في حساب أطوال الأشعة وفروق الإحداثيات بهذه الطريقة تصل إلى عدة مليمتترات. للحصول على دقة عالية يجب استخدام أجهزة استقبال دقيقة وبرامج متطورة لمعالجة القياسات [4]. بالاستناد إلى عدد المستقبلات يمكن الحصول على أشكال مختلفة من الشبكات سيتم عرض أهمها. تتم عمليات الرصد بتشغيل أجهزة الاستقبال المتوفرة في وقت واحد وإدخال البيانات اللازمة مثل رقم النقطة واسم المشروع، ارتفاع الهوائي عن النقطة، الظروف الجوية من حرارة ورطوبة وضغط جوي، تاريخ القياس. تدعى القياسات المتزامنة خلال فترة القياس في مشروع (GPS) فترة تسجيل أو جلسة (Session)، و تتراوح فترة القياس بين عدة دقائق في حال وجود إمكانية تطبيق الطرق السريعة في الشبكات الصغيرة أو عدة ساعات في حال العمل للحصول على دقة عالية (الطريقة الساكنة) [5].

### الرصد الحقلّي للشبكات بنظام الـ GPS

يتوقف رصد الشبكة الجيوديزية بنظام تحديد المواقع العالمي GPS على عدد من العوامل منها عدد الأجهزة المستخدمة في القياس وبالتالي الشكل الهندسي للشبكة الجيوديزية المشكلة من محطات الرصد. بشكل عام يفضل استخدام ثلاثة أجهزة استقبال على الأقل في رصد الشبكات الجيوديزية الصغيرة والمتوسطة، وأن يتم القياس على المحطات المتجاورة، ورصد كل محطة مرتين في فترات رصد مختلفة وذلك للتقليل من الأخطاء. يتم حساب عدد فترات القياس S الضرورية في كل حالة من حالات توفر عدد الأجهزة وفق العلاقة الآتية:

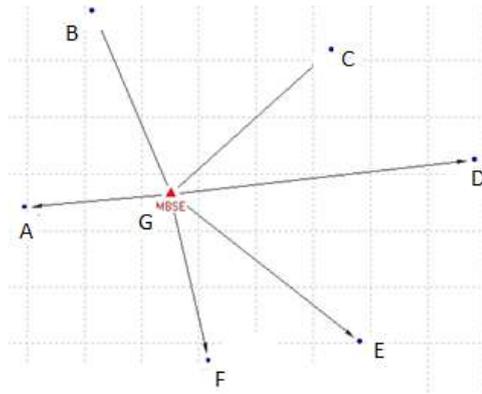
$$s = \frac{n - m}{r - m} \quad (1)$$

حيث:  $n$  - عدد المحطات المرصودة.  
 $r$  - عدد المستقبلات المشغلة بشكل متزامن.  
 $m$  - عدد المحطات المشتركة.

### قياس الشبكات الجيوديزية في حالة توفر جهازي استقبال

#### 1- الطريقة الشعاعية

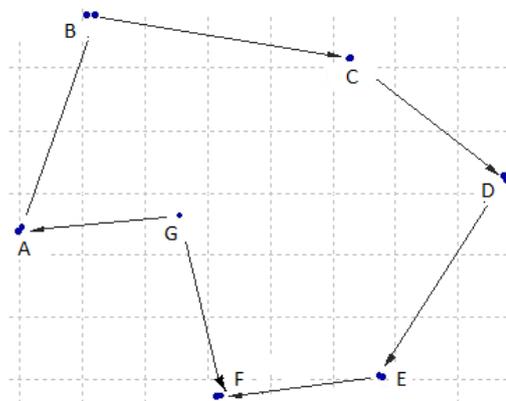
تستخدم هذه الطريقة في حال وجود جهازي استقبال فقط ونقطة معلومة الإحداثيات (الشكل رقم 1). ويتم تنفيذها بوضع أحد الجهازين على النقطة المعلومة الإحداثيات وتسمى النقطة الثابتة أو المرجعية والتحرك بالجهاز الثاني على كل النقاط بطريقة معينة لرصد عدد من خطوط القواعد من النقطة الثابتة إلى النقطة المتحركة، وبعد الانتهاء من عملية القياس يتم الانتقال إلى نقاط مرجعية أخرى.



الشكل رقم 1- شبكة شعاعية

#### 2- مضلع أشعة مغلق

يتم تحريك جهازي الاستقبال بالتتالي وتشكيل شبكة نقاط على شكل مضلع مغلق كما هو مبين في الشكل 2. يكون لدينا في هذه الحالة سبع فترات قياس.

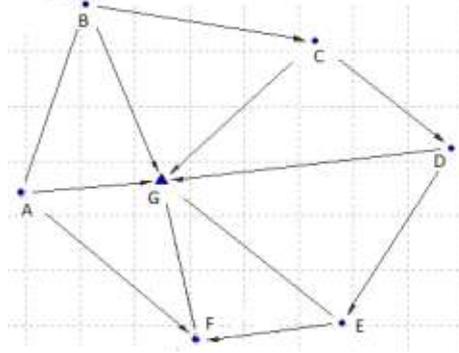


الشكل رقم 2- مضلع GPS

## قياس الشبكات الجيوديزية في حالة توفر ثلاثة مستقبلات

## 1- شبكة مثلثات

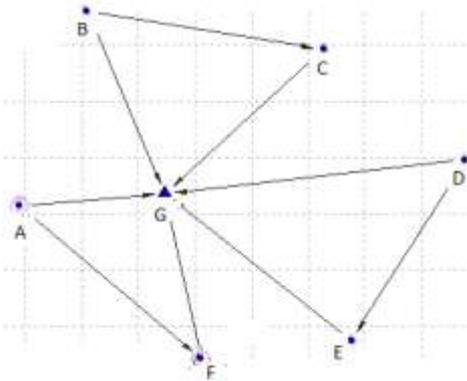
يتم في هذه الطريقة وضع احد أجهزة الاستقبال على نقطة وتسمى النقطة الثابتة، ويبقى الجهاز ثابتاً طول مدة الرصد، ويوضع الجهازين الثاني والثالث على نقطتين، يحرك أحد الجهازين المتحركين بالتناوب وفق عدد من الخطوات كما هو موضح على الشكل رقم 3. يكون لدينا ست فترات قياس، يتم خلالها تحديد سبعة عشر شعاعاً مقاساً خمسة منهم يتم قياسهم مرتين.



الشكل رقم 3- شبكة مثلثات GPS متجاورة

## 2- تأسيس ثلاثة مثلثات تستند الى نقطة ثابتة

في هذه الطريقة يتم تأسيس ثلاثة مثلثات منفصلة تستند إلى نقطة مرجعية ثابتة كما هو موضح في الشكل رقم 4. في هذه الحالة لدينا ثلاث فترات قياس، يكون جهاز ثابت في جميعها واثنين متحركين معاً.

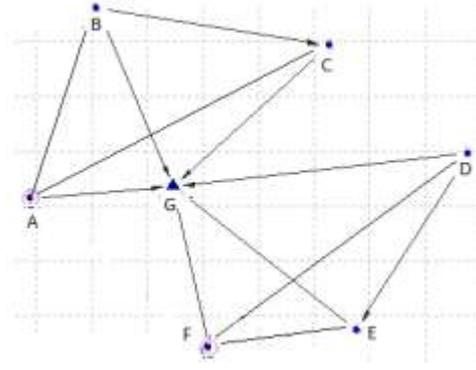


الشكل رقم 4- شبكة مثلثات GPS مستقلة

## قياس الشبكات الجيوديزية في حالة توفر أربعة مستقبلات

## 1- شبكة رباعية مربوطة بنقطة

يتم فيها قياس سبع نقاط في فترتي قياس فقط باستخدام أربعة مستقبلات كما هو موضح على الشكل رقم 5. يتم قياس كل شعاع بهذه الطريقة مرة واحدة فقط.

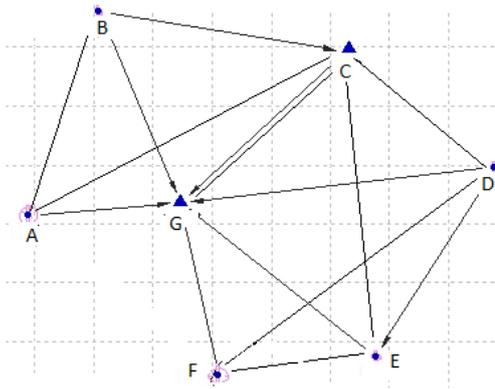


الشكل رقم 5- شبكة مثلثات GPS

2- شبكة مثلثات تستند الى قاعدة واحدة

يتم في هذه الطريقة تثبيت جهازي استقبال على نقطتين (القاعدة GC) وتحريك بقية الاجهزة على باقي النقاط كما هو مبين على الشكل رقم 6. يكون لدينا ثلاث فترات قياس يتم نقل المستقبالات خلالها على النقاط A, B, D, E,

F



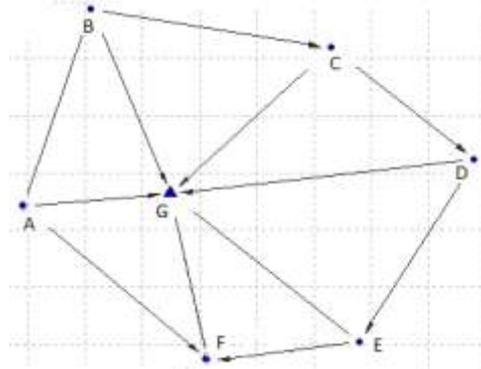
الشكل رقم 6- شبكة مثلثات GPS تستند الى قاعدة

## النتائج والمناقشة

تم قياس إحداثيات نقاط شبكة جيوديزية مكونة من سبع نقاط (الشكل 7)، بالطريقة الساكنة باستخدام أجهزة استقبال GPS من نوع HD8200X HI TARGET وذلك في حالات مختلفة لعدد الاجهزة وطريقة الرصد. في كل حالة تمت عملية الرصد بتشغيل أجهزة الاستقبال في وقت واحد لمدة لا تقل عن 20 دقيقة، وإدخال المعطيات الآتية:

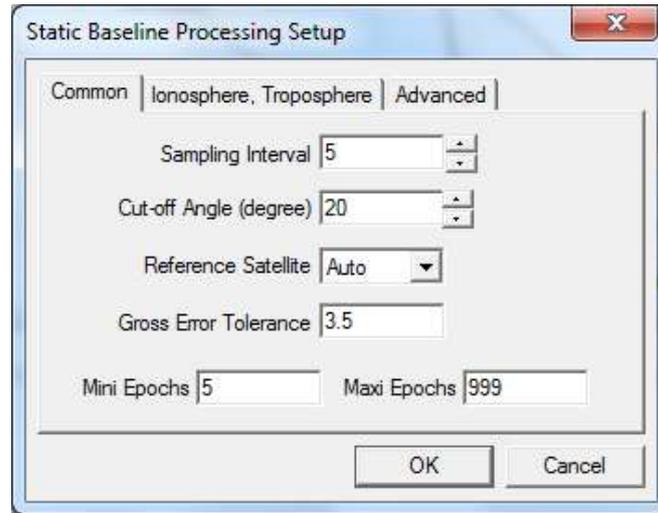
رقم النقطة واسم المشروع، ارتفاع الهوائي عن النقطة، الظروف الجوية من حرارة ورطوبة وضغط جوي وتاريخ القياس. بعد الانتهاء من عملية الرصد تمت معالجة القياسات باستخدام البرنامج HDS2003 التابع للشركة الصانعة لأجهزة الاستقبال. وتم الحصول على الإحداثيات الجيوديزية المعدلة في الجملة العالمية WGS-84 كما تم تحويل هذه الإحداثيات الى إحداثيات محلية مستوية وفق علاقات التحويل المعروفة.

تم ادخال معاملات التحويل المناسبة بين نظامي الإسقاط UTM الموافق لنظام GPS والستيريوغرافي (الإحداثيات الجغرافية لمركز الإسقاط الستيريوغرافي السوري  $\phi_0 = 34.2^0$   $\lambda_0 = 39.15$  وعامل إرجاع المقياس  $K_0=0.99953412$ ). كما تم إدخال معاملات التحويل بين الاهليلجين لمنطقة قريبة من المنطقة المدروسة (منطقة اللاذقية) كما هو مبين في تقرير التعديل.



الشكل 7- نقاط الشبكة الجيوديزية

كما تم إدخال بيانات الطقس من درجة حرارة وضغط جوي ورطوبة التي تم تسجيلها أثناء عملية الرصد الحقلية، وذلك للتقليل من الأخطاء الناتجة عن الغلاف الجوي (Troposphere, Ionosphere). كذلك تم إدخال الفاصل الزمني للرصد، زاوية انقطاع الإشارة، عدد الأدوار، حدود التساهل بالنسبة للأخطاء كما هو مبين في الشكل 8.



الشكل 8- اعدادات المعالجة الساكنة

بعد ضبط الإعدادات السابقة تم إجراء المعالجة اللاحقة لخطوط القواعد المرصودة والحصول على خريطة بيانات الرصد و جودة كل خط قاعدة، ومدى صلاحيته للاستخدام في التعديل. بعد ذلك تم تثبيت إحداثيات نقطة واحدة في الشبكة وإجراء التعديل (تم الحصول على الإحداثيات العقارية للنقطة المرجعية). يتم عرض النتائج ضمن تقرير مفصل يتضمن كافة المعلومات والبيانات الخاصة بالمشروع. وقد تم عرض بعض هذه البيانات مثل الإحداثيات الجغرافية والمتعامدة، والارتفاعات الاهليلجية بالإضافة إلى المسافات بين النقاط.

Adjustment Report

Project Name:latakia

Coordinate System

Coordinate System Name:Syrian Arab Republic-ama

Ellipsoid major semi axis a:6378249.136000 Ellipsoid Flattening f:1/293.465000

Projection Name:UTM

Projection

Scale:0.999534 Projection Height:0.000000

X:0.000000 Y:0.000000

Average Lat.:034:12:00.000000N Central Meridian:039:09:00.000000E

1.3 Fixed Conversion Parameter from WGS84 to Local Ellipsoid

Parameter Calculation

Result

Conversion Model:Bursa

DX(m)= 108.155000

DY(m)= 76.413000

DZ(m)= -306.631000

WX(Second)= 17.84060

WY(Second)= 12.38899

WZ(Second)= 10.88980

K(ppm)= 10.178416

2.1 Adjustment Parameters

Reference Factor:0.82

? Square Test ( =95%): Pass

هناك مجموعة من البيانات مثل الاشعة المعدلة مع التصحيحات (Adjustment Baseline Side) والإحداثيات المعدلة للشبكة الحرة (Free Network Adjustment Coordinate) والإحداثيات النهائية للشبكة في الجملة العامة للبلد وغيرها . يبين الجدول رقم 1 الإحداثيات الجغرافية المعدلة للشبكة الحرة على الاهليلج WGS-84.

الجدول رقم 1 - الإحداثيات المعدلة للشبكة الحرة

Point Name	Lat. (D:M:S)	LON (D:M:S)	Ellipsoidal Height(m)	Mean Square Error of Point
	Mean Square Error(m)	Mean Square Error(m)	Mean Square Error(m)	
MTE2	35:31:21.03449N	35:48:31.80151E	71.3747	0.0011
	0.0004	0.0005	0.0009	
MTA1	35:31:23.40765N	35:48:25.92341E	72.5312	0.0012
	0.0005	0.0005	0.001	
MTA2	35:31:23.40750N	35:48:25.92365E	72.5435	0.0017
	0.0007	0.0009	0.0012	
MTB1	35:31:26.88546N	35:48:27.10613E	72.0203	0.001
	0.0004	0.0005	0.0008	
MTB2	35:31:26.88548N	35:48:27.10605E	72.0215	0.0009
	0.0004	0.0004	0.0007	
MTC1	35:31:26.19749N	35:48:31.30705E	71.7521	0.001

	0.0004	0.0005	0.0008	
MTC2	35:31:26.19747N	35:48:31.30717E	71.8349	0.001
	0.0004	0.0004	0.0008	
MTD1	35:31:24.23527N	35:48:33.80488E	69.1371	0.0009
	0.0003	0.0004	0.0008	
MTD2	35:31:24.23523N	35:48:33.80487E	69.1317	0.0008
	0.0004	0.0004	0.0006	
MTE1	35:31:21.03442N	35:48:31.80122E	71.3707	0.0009
	0.0004	0.0005	0.0006	
MTF1	35:31:20.70902N	35:48:29.14298E	71.8042	0.0011
	0.0004	0.0005	0.0009	
MTF2	35:31:20.70902N	35:48:29.14302E	71.8105	0.0015
	0.0008	0.0008	0.0011	
MTG	35:31:23.63759N	35:48:28.48981E	72.5349	0.0004
	0.0002	0.0002	0.0003	

في النهاية يتم الحصول على الإحداثيات النهائية للشبكة في الجملة العامة للبلد، يبين الجدول رقم 2 الإحداثيات المعدلة للشبكة في الجملة العامة للبلد (Final Coordinate Adjustment Result). تم في هذا البحث عرض الإحداثيات النهائية المعدلة للنقاط المقاسة بجميع الحالات فقط في جدول واحد.

الجدول رقم 2- الإحداثيات المعدلة للشبكة في الجملة العامة للبلد

Point Name	N	E
	Mean Square Error(m)	Mean Square Error(m)
MTE2	151780.195	-302979.965
	0.0005	0.0004
MTA1	151858.746	-303125.643
	0.0006	0.0005
MTA2	151858.742	-303125.649
	0.0008	0.0009
MTB1	151964.556	-303092.153
	0.0005	0.0004
MTB2	151964.559	-303092.159
	0.0004	0.0004
MTC1	151939.759	-302987.015
	0.0004	0.0004
MTC2	151939.754	-302987.011
	0.0004	0.0004
MTD1	151877.144	-302926.130
	0.0003	0.0003
MTD2	151877.149	-302926.135
	0.0004	0.0004

MTE1	151780.195	-302979.961
	0.0004	0.0004
MTF1	151772.442	-303047.287
	0.0005	0.0004
MTF2	151772.447	-303047.283
	0.0009	0.0007
MTG	151863.266	-303060.683

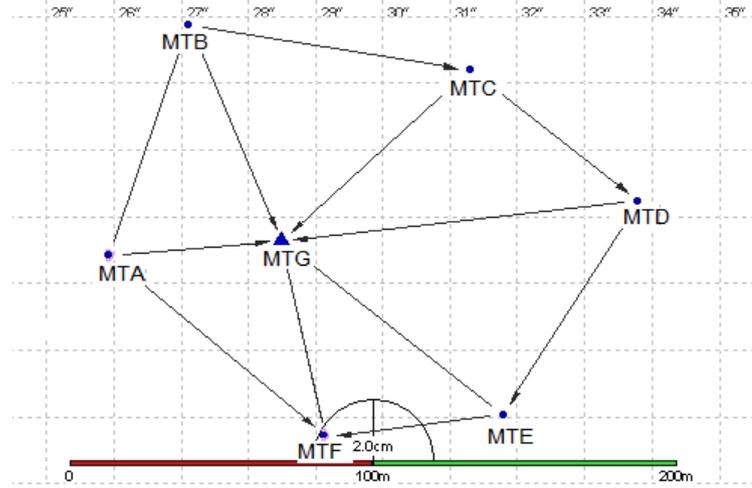
يبين الجدول رقم 3 المسافات الأفقية بين مختلف نقاط الشبكة والخطأ المتوسط التربيع للمسافات المقاسة وكذلك الأخطاء النسبية لها.

الجدول رقم 3 - المسافات بين النقاط مع الأخطاء

Start Point	End Point	Horizontal Distance	Mean Square Error(m)	Relative Error
MTE2	MTF1	67.7751	0.0005	1: 126350
MTA1	MTB1	111.3235	0.0007	1: 150777
MTA2	MTF2	116.2495	0.0012	1: 100734
MTB2	MTC1	108.0195	0.0005	1: 198081
MTC2	MTD1	87.3352	0.0005	1: 173870
MTD2	MTE1	110.8881	0.0006	1: 183539
MTA1	MTG	65.0919	0.0007	1: 90999
MTA2	MTG	65.0864	0.0012	1: 55009
MTB1	MTG	106.0653	0.0006	1: 167735
MTB2	MTG	106.0667	0.0005	1: 195344
MTC1	MTG	106.1964	0.0006	1: 191651
MTC2	MTG	106.198	0.0005	1: 206687
MTD1	MTG	135.2657	0.0005	1: 277301
MTE1	MTG	115.8247	0.0006	1: 191289
MTF1	MTG	91.8061	0.0007	1: 138666

### طريقة الشبكة

تستخدم هذه الطريقة كما وجدنا سابقا في حالة وجود ثلاثة أجهزة أو أكثر ونقطة معلومة الإحداثيات على الأقل، ويتم بوضع أحد الأجهزة على النقطة المعلومة الإحداثيات وتسمى النقطة الثابتة، يبقى الجهاز ثابتا طول مدة الرصد، ويوضع الجهازين الثاني والثالث على نقطتين مختلفتين، يحرك أحد الجهازين المتحركين بالتناوب وفق عدد من الخطوات وبعد الانتهاء من عملية الرصد لكل النقاط تتم معالجة الأرصاد في المكتب وإيجاد إحداثيات النقاط المجهولة.



الشكل 9- نقاط الشبكة الجيوديزية المقاسة

تم حساب عدد فترات القياس اللازمة للشبكة من العلاقة (1) بفرض وجود المعطيات التالية:

$$n = 6 * 2 + 1 = 13$$

$$r = 3$$

$$m = 1$$

$$s = 6$$

تم تنفيذ الارصاد ونقل المستقبلات وفق التسلسل الآتي:

فترة القياس	GPS1	GPS2	GPS3
الاولى	MTA	MTB	MTG
الثانية	MTC	MTB	MTG
الثالثة	MTC	MTD	MTG
الرابعة	MTE	MTD	MTG
الخامسة	MTE	MTF	MTG
السادسة	MTA	MTF	MTG

بنهاية مدة الرصد يكون لدينا 18 شعاع قاعدة ضمن 6 مثلثات والمدة الإجمالية للرصد حوالي 3 ساعة. إن

موثوقية هذه الشبكة منخفضة، فعند حدوث أي خطأ في رصد شعاع ما فذلك سيؤدي إلى أخطاء في فترتي القياس السابقة واللاحقة لفترة القياس الخاطئة، كما أن قابلية كشف الخطأ في الأرصاد غير ممكنة إلا بعد نهاية مدة الرصد كاملة.

تعتمد هذه الطريقة على تعدد المحطات وتعدد فترات الرصد، بالتالي عند اكتشاف أي خطأ قاعدة ضعيف الدقة

يمكن حذفه من الحل لتحسين جودة التعديل. يتم حذف معظم الأخطاء في المحطات المتجاورة في عملية التعديل

اللاحقة، وخاصة أخطاء مدار القمر، أخطاء ساعة القمر، وتأثير الأيونوسفير.

تعطي هذه الطريقة دقة نسبية عالية وخاصة إذا قسمت الأشكال الرباعية إلى مثلثات ولكنها تتطلب عملاً

كثيراً. إن استعمال عدد أكبر من المستقبلات يكون اقتصادياً أكثر حتى في الشبكات الصغيرة. يجب ربط كل فترة قياس

بفترة أخرى على الأقل بواسطة محطة مشتركة أو أكثر، لأن زيادة عدد النقاط المشتركة يزيد في دقة وموثوقية حل الشبكة الكلي.

### الطريقة الشعاعية (Vector Method)

تستخدم هذه الطريقة في حال وجود جهازي استقبال فقط، ونقطة معلومة الإحداثيات أو أكثر من نقطة (الشكل 10). ويتم تنفيذها بوضع أحد الجهازين على النقطة المعلومة الإحداثيات وتسمى النقطة الثابتة أو المرجعية والتحرك بالجهاز الثاني على كل النقاط بطريقة معينة لرصد عدد من خطوط القواعد من النقطة الثابتة إلى النقطة المتحركة، وبعد الانتهاء من عملية القياس يتم الانتقال لنقاط مرجعية أخرى.

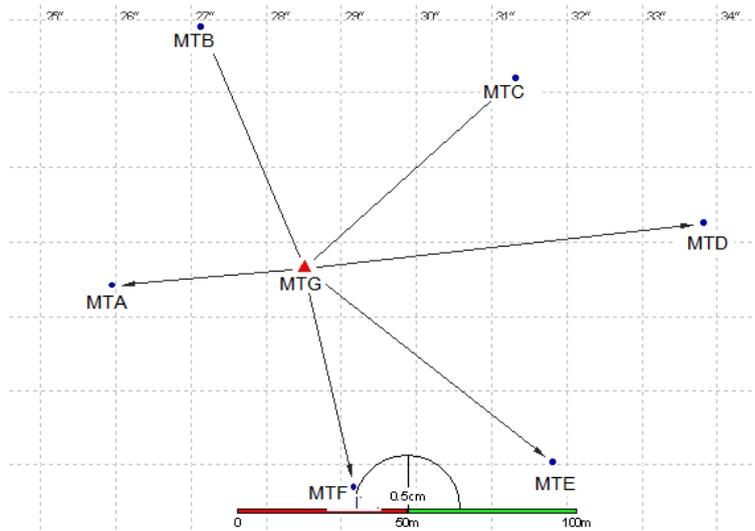
بعد الانتهاء من عملية الرصد لكل النقاط وفق حركة الأجهزة، يتم تفريغ الأرصاد في المكتب ومعالجة الأرصاد، وإيجاد إحداثيات الشبكة، هذه الطريقة تعطي دقة عالية ولكنها تعتمد إلى حد كبير على طول خطوط القواعد وزمن الرصد لكل نقطة. في هذه الطريقة لدينا ست فترات قياس محسوبة على الشكل الآتي:

باعتبار :  $r=2$  عدد المستقبلات المشغلة بشكل متزامن

$n=7$  عدد المحطات

$m=1$  عدد المحطات المشتركة

يكون لدينا عدد فترات القياس اللازمة  $s=6$



الشكل 10 - نقاط الشبكة الجيوديزية الشعاعية

تم تنفيذ الارصاد ونقل المستقبلات وفق التسلسل الآتي:

فترة القياس	GPS1	GPS2
الاولى	MTG	MTA
الثانية	MTG	MTB
الثالثة	MTG	MTC
الرابعة	MTG	MTD

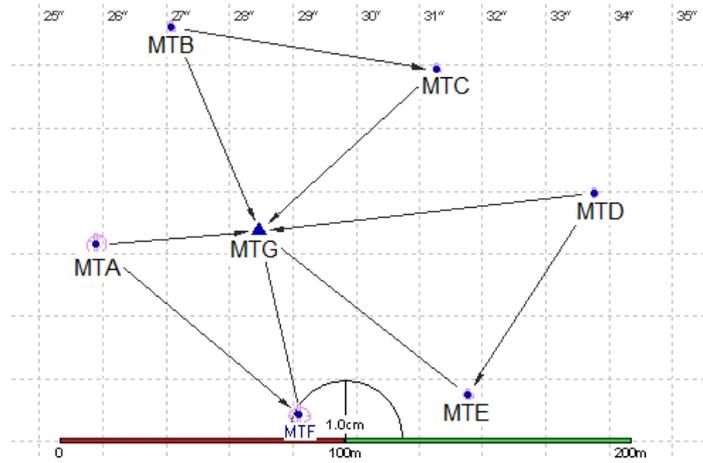
الخامسة	MTG	MTE
السادسة	MTG	MTF

استغرق العمل الحقلية بهذه الطريقة حوالي 3 ساعات كما في الطريقة السابقة. تزداد الأخطاء في الأشعة المرصودة مع ازدياد أطوالها. يتم ضبط النقطة المركزية الواقعة في وسط منطقة العمل على وضع Base File الذي يقوم بحساب التصحيحات بين النقطة الثابتة والنقاط الأخرى. ثم يتم استخدام هذه التصحيحات في التعديل اللاحق للشبكة.

من مساوئ هذه الطريقة ضعف دقة التحديد النسبي للنقاط المتجاورة غير المربوطة بالقياسات المتجاورة، فالدقة بين النقطة ونقطة الربط جيدة، بينما الدقة بين النقطتين المتحركتين ستكون ضعيفة لأنهما غير مربوطين بالقياسات المباشرة.

#### مثلثات متصلة بنقطة ثابتة:

هذه الحالة تشبه الحالة الأولى، يتم تأسيس ثلاثة مثلثات تستند إلى نقطة مرجعية ثابتة. لدينا ثلاثة أجهزة استقبال، يكون جهاز ثابت واثنين متحركين كما في الشكل 11.



الشكل 11 - نقاط شبكة المثلثات المقاسة

باعتبار :  $r=3$  عدد المستقبلات المشغلة بشكل متزامن

$$n=3*2+1=7 \text{ عدد المحطات}$$

$$m=1 \text{ عدد المحطات المشتركة}$$

$$s=3 \text{ يكون عدد فترات القياس اللازمة}$$

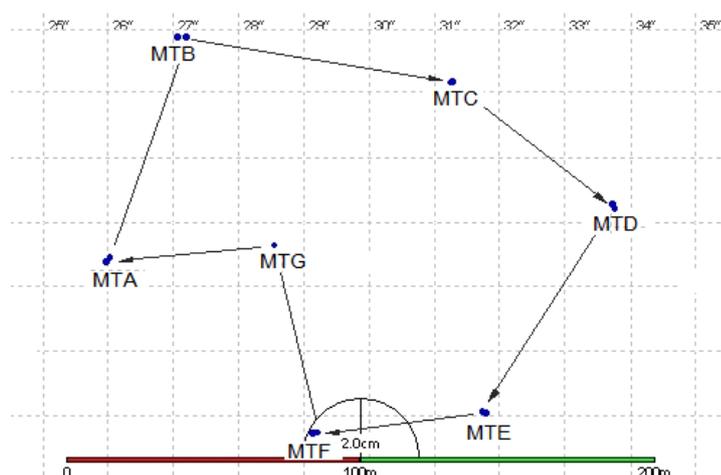
تم تنفيذ الارصاد ونقل المستقبلات وفق التسلسل الآتي:

فترة القياس	GPS1	GPS2	GPS3
الاولى	MTC	MTB	MTG
الثانية	MTE	MTD	MTG
الثالثة	MTA	MTF	MTG

تقوم هذه الطريقة على تعدد فترات القياس، يتم دمج هذه الفترات لتعطينا شبكة تستند على نقطة ثابتة كل مرة. يتم حساب الأخطاء والتصحيحات لكل حلقة بالمقارنة بين فروقات الإحداثيات لكل نقطة مع إحداثيات النقطة الثابتة G. إن أي خطأ محتمل في إحدى المثلثات المرصودة، سوف لن تؤثر في المثلثات الأخرى، مما يعطي موثوقية مقبولة لهذا التشكيل الهندسي. في هذا التشكيل الهندسي تم اختصار مدة الرصد إلى النصف (ساعة ونصف). تم اختيار النقطة الثابتة G، لأنها تقع وسط الشبكة، وتم الحصول على الإحداثيات الفراغية في الجملة العالمية كما تم حساب الإحداثيات الجيوديزية وأطوال الأشعة المعدلة. في النهاية تم الحصول على الإحداثيات الأفقية في نظام الإحداثيات الستريوغرافي المحلي.

### المضلع المغلق

تشبه هذه الحالة إلى حد ما التضلع المغلق الأرضي فيها نرصد باستخدام ثلاثة مستقبلات عدد من الأشعة بحيث نضمن وجود شعاع من كل فترة قياس مشترك مع الفترتين السابقة واللاحقة كما في الشكل 12.



الشكل 12- نقاط الشبكة المقاسة كمضلع

باعتبار:  $r=3$  عدد المستقبلات المشغلة بشكل متزامن

$$n=7*2+1=15 \text{ عدد المحطات}$$

$$m=1 \text{ عدد الخطوط المشتركة}$$

يكون عدد فترات القياس اللازمة  $s=7$

تم تنفيذ الارصاد ونقل المستقبلات وفق التسلسل الآتي:

فترة القياس	GPS1	GPS2	GPS3
الاولى	MTA	MTB	MTC
الثانية	MTD	MTB	MTC
الثالثة	MTD	MTE	MTC
الرابعة	MTD	MTE	MTF
الخامسة	MTG	MTE	MTF

السادسة	MTG	MTA	MTF
السابعة	MTG	MTA	MTB

إن مدة كل فترة قياس نصف ساعة متضمنة نقل أجهزة الاستقبال، باعتبار النقاط قريبة من بعضها البعض، فتكون مدة الرصد كاملة للفترات السبع تساوي (3:30) ساعة. يمكن بعد كل فترة قياس إجراء تحقيق للأرصاء وبالتالي اكتشاف الأغلط، لذلك فإن هذه الطريقة تتمتع بموثوقية عالية. يمكن إدماج حلول جلسات متعددة في عملية تعديل واحدة تدعى تعديل متعدد الجلسات. الشرط الأساسي هنا هو كون كل فترة قياس مرتبطة مع فترة قياس أخرى على الأقل من الشبكة بواسطة محطة أو أكثر تم القياس فيها في كلا الجلستين. فهناك عدد من النقاط تستعمل أكثر من مرة في فترات القياس، وهذا تقييد إضافي و تدقيق يأتي من النقاط الأساسية الدائمة. كلما كان عدد النقاط المشتركة أكبر تزداد موثوقية حل الشبكة النهائي. تم ادراج نتائج الإحداثيات النهائية لجميع الحالات المقاسة في الجدول رقم 4.

الجدول رقم 4- جدول الإحداثيات الأفقية النهائية للنقاط وأخطائها.

اسم النقطة		مضلع مغلق	مثلثات متصلة بنقطة ثابتة	الطريقة الشعاعية	الطريقة الشبكية
MTA	X	-303125.5724	-303125.5849	-303125.5908	-303125.5898
	Y	151858.3515	151858.3686	151858.3737	151858.3728
	RMS	0.0013	0.0013	0.0008	0.0003
MTB	X	-303092.1834	-303092.1532	-303092.1529	-303092.1526
	Y	151964.5173	151964.5567	151964.5571	151964.5568
	RMS	0.0007	0.0006	0.0005	0.0002
MTC	X	-302987.0157	-302987.0184	-302987.0153	-302987.0155
	Y	151939.7671	151939.7593	151939.7589	151939.7594
	RMS	0.0008	0.0006	0.0005	0.0002
MTD	X	-302926.1467	-302926.1313	-302926.1313	-302926.1308
	Y	151877.1425	151877.1432	151877.1436	151877.1445
	RMS	0.0007	0.0006	0.0006	0.0002
MTE	X	-302979.9571	-302979.9654	-302979.9576	-302979.9653
	Y	151780.193	151780.1996	151780.2017	151780.1995
	RMS	0.0009	0.0007	0.0006	0.0002
MTF	X	-303047.2369	-303047.2863	-303047.2865	-303047.2875
	Y	151772.4107	151772.4426	151772.4422	151772.4426
	RMS	0.0012	0.0013	0.0005	0.0003
MTG	X	-303060.6871	-303060.6827	-303060.6825	-303060.683
	Y	151863.2642	151863.2658	151863.2663	151863.2661

تم اعتبار الطريقة الشبكية هي الطريقة الادق لأن الاخطاء المتوسطة في حساب النقاط كانت الاقل قيمة بين جميع طرق الرصد. وبالتالي تم حساب الفروقات بينها وبين بقية الطرق كما هو مبين في الجدول رقم 5. تم الحصول على فروقات من مرتبة المليمترات باستثناء طريقة المصلع مما يدل على ضعف دقة هذه الطريقة.

الجدول رقم 5- فروق الإحداثيات الأفقية النهائية للنقاط

رقم النقطة	الشبكية - المضلعية	الشبكية - المثلثات	الشبكية - الشعاعية
	Dx (m) Dy (m)	Dx (m) Dy (m)	Dx (m) Dy (m)
MTA	-0.0174	-0.0049	0.001
	0.0213	0.0042	-0.0009
MTB	0.0308	0.0006	0.0003
	0.0395	0.0001	-0.0003
MTC	0.0002	0.0029	-0.0002
	-0.0077	0.0001	0.0005
MTD	0.0159	0.0005	0.0005
	0.002	0.0013	0.0009
MTE	-0.0082	0.0001	-0.0077
	0.0065	-0.0001	-0.0022
MTF	-0.0506	-0.0012	-0.001
	0.0319	0	0.0004
MTG	0.0041	-0.0003	-0.0005
	0.0019	0.0003	-0.0002

## الخاتمة

استناداً إلى الدراسة النظرية والقياسات العملية بنظام تحديد المواقع العالمي GPS يمكن كتابة النتائج والتوصيات الآتية:

- 1 عند استخدام قياس مثلثات تستند إلى نقطة ثابتة تم اختصار مدة الرصد إلى النصف مقارنة بالطرق الأخرى، كما يعطي هذا الشكل الهندسي موثوقية مقبولة لأن أي خطأ محتمل في إحدى المثلثات لن يؤثر في المثلثات الأخرى.
- 2 تزداد دقة الشبكة المصممة بازدياد عدد خطوط القواعد المرصودة بين نقاطها ، وازدياد عدد المستقبلات المستخدمة.
- 3 عند وجود جهازي استقبال فقط، يكون التكتيف بالطريقة الشعاعية أفضل من غيره من حيث الدقة والموثوقية.
- 4 حملت النقطة A أكبر قيمة للأخطاء في جميع الحالات وذلك بسبب قربها من بناء عالي.

5 ضعف دقة التحديد النسبي للنقاط المتجاورة المرصودة بالطريقة الشعاعية لأنها غير مربوطة بالقياسات المتجاورة.

6 تغطي الطريقة الشبكية دقة نسبية عالية ولكنها تتطلب جهداً ووقتاً أكثر من غيرها.

#### التوصيات:

- 1) عند تكثيف الشبكات الجيوديزية باستخدام GPS يجب اختيار نقاط الشبكة بحيث تغطي كامل المنطقة المطلوب تكثيفها، وفي مناطق مفتوحة الى السماء بزاوية ارتفاع لا تقل عن 20 درجة.
- 2) يجب اختيار طريقة الرصد الحقلية المناسبة بنظام (GPS) حسب الدقة المطلوبة، وحسب عدد المستقبلات المتوفرة والمدة المقترحة للرصد.
- 3) يجب قياس ارتفاع الهوائي على النقاط وتسجيله بدقة لأثره الكبير على تعيين الإحداثيات الأفقية والشافولية.
- 4) إن استعمال عدد أكبر من المستقبلات يكون اقتصادياً أكثر حتى في الشبكات الصغيرة.

#### المراجع

1. LEICK A. , *GPS Satellite surveying*, John Wiley & Sons, Inc, New York, 1995, 560
2. SEEMKOOEI ALIREZA AMIRI, *Strategy For Designing Geodetic Network With High Reliability And Geometrical Strength*. Journal Surveying Engineering, Vol. 127, No. 3, August, 2001, ASCE, 14.
3. GHILANI C. D., WOLF P. R., *Adjustment Computations*, Fourth Edition, Jhon Wiley & Sons Inc., Hoboken, New Jersey, USA, 2006, 632.
4. J.C. WEBER, J. SALEH, S. BALKARANSINGH, T. DIXON, W. AMBEH, T. LEONG, A. RODRIGUEZ, K. MILLER. *Triangulation-to-GPS and GPS-to-GPS geodesy in Trinidad, West Indies: Neotectonics, seismic risk, and geologic implications*. Original Research Article Marine and Petroleum Geology, Volume 28, Issue 1, January 2011, Pages 200-211.
5. RODRIGO FIGUEIREDO LEANDRO. *Precise Point Positioning With GPS*, Department of Geodesy and Geomatics Engineering, University of New Brunswick, P.O. Box 4400, Fredericton, N.B. Canada, 2009