

# Analytical Study of the Use of Precise Geodetic Products on the Accuracy of Geodesic Reference Networks to Monitor Displacements Measured by GNSS

Dr. Mouhsen Ahmad<sup>\*</sup>

Dr. Iyad Fahsa<sup>\*\*</sup>

Hala Salhab<sup>\*\*\*</sup>

(Received 4 / 7 / 2022. Accepted 11 / 9 / 2022)

## □ ABSTRACT □

The accurate processing of displacement monitoring networks that uses the Global Navigation Satellite System (GNSS) is deeply associated with the strict measurement conditions first, and then with the constraints of post-processing second. This type of processing needs precise geodetic products, the most important of which are orbital corrections that International Navigation Systems Service (IGS) provides to define whether they are used as corrections for standard navigation messages or as a substitute for them.

The research aims to study the effect of using precise orbital products from IGS on position accuracy in displacement monitoring networks analysis in two criteria. The first uses accurate orbit files (\*.sp3), and the second integrates standard navigational message files (\*.yyp) in two levels: level one processes locally measured stations, and the other processes local stations with the support of IGS stations surrounding the study area.

The Analysis results of displacement monitoring network for civil engineering faculty building, in Tishreen University, which is measured by the GNSS classical static method, showed that the accuracy of the network consisting of local stations using integration of the accurate navigation message from IGS and the standard navigation message reached ( $\pm 3$  mm) horizontally and ( $\pm 5$  mm) vertically in comparison to ( $\pm 5$  mm) horizontally and ( $\pm 9$  mm) vertically when using the accurate navigation message from the IGS alone. The value reached ( $\pm 3$  mm) horizontally and ( $\pm 5$  mm) vertically when IGS stations are involved. This confirms the necessity of using the navigation message (\*.yyp) in correlation with (\*.sp3) as an essential condition to improve the geodetic networks accuracy.

**Keywords:** Displacement monitoring network, GNSS, IGS, precise geodetic products, standard navigation message, accurate navigation message, static observations.

---

<sup>\*</sup> Professor- Department of Topographic Engineering- Faculty of Civil Engineering- Tishreen University- Lattakia- Syria.

<sup>\*\*</sup> Professor- Department of Topographic Engineering- Faculty of Civil Engineering- Tishreen University- Lattakia- Syria.

<sup>\*\*\*</sup> MA Student- Department of Topographic Engineering- Faculty of Civil Engineering- Tishreen University- Lattakia- Syria.

## دراسة تحليلية لاستخدام المنتجات الجيوديزية الدقيقة على دقة شبكات الاستناد الجيوديزية لمراقبة الانزياحات المقيسة بنظم الملاحة العالمية GNSS

د. محسن مزيد أحمد\*

د. إياد إسماعيل فحصة\*\*

حلا نزيه سلهب\*\*\*

(تاريخ الإيداع 4 / 7 / 2022. قُبِلَ للنشر في 11 / 9 / 2022)

### □ ملخص □

ترتبط المعالجة الدقيقة لشبكات مراقبة الانزياحات التي تستخدم نظم الملاحة العالمية بالأقمار الصناعية (GNSS) بشروط القياس الصارمة أولاً، وبمقيدات المعالجة اللاحقة ثانياً، تلك المعالجة التي تحتاج إلى توافر المنتجات الجيوديزية الدقيقة وأهمها تصحيحات المدارات التي تقدمها الخدمة الدولية لنظم الملاحة (IGS)، سواء تم استخدامها كتصحيحات للرسالة الملاحة القياسية أو كبديل كلي عنها.

يهدف البحث إلى دراسة أثر استخدام منتجات المدارات الدقيقة من (IGS) على دقة الموقع أثناء عمليات تحليل شبكات مراقبة الانزياحات، وفق معيارين، الأول يستخدم ملفات المدارات الدقيقة (sp3.\*)، والثاني يدمج معها ملفات الرسالة الملاحة القياسية (yyp.\*)؛ في مستويين: الأول يعالج المحطات المقاسة محلياً، والثاني يعالج هذه المحطات المحلية بدعم من محطات (IGS) المحيطة بمنطقة الدراسة.

أظهرت نتائج تحليل شبكة الاستناد لمراقبة انزياحات كلية الهندسة المدنية، المقاسة بالطريقة الساكنة التقليدية لنظم (GNSS)، أن دقة الشبكة التي تتكون من المحطات المحلية، باعتماد دمج الرسالة الملاحة الدقيقة من (IGS) مع الرسالة الملاحة القياسية قد بلغت (±3 mm) أفقياً و(±5 mm) شاقولياً، بمقابل (±5 mm) أفقياً و(±9 mm) شاقولياً عند استخدام الرسالة الملاحة الدقيقة من (IGS)، أما عند دعم المعالجة بمحطات (IGS) فقد بلغت الدقة بمعيار دمج (yyp.\*) مع (sp3.\*) (±3 mm) أفقياً و(±5 mm) شاقولياً، وهذا يؤكد ضرورة وجود الرسالة الملاحة (yyp.\*) مع (sp3.\*) كشرط لازم لتحسين الدقة ضمن الشبكات الجيوديزية.

**الكلمات المفتاحية:** شبكة مراقبة انزياحات، نظم الملاحة العالمية بالأقمار الصناعية، الخدمة الدولية لنظم الملاحة العالمية، منتجات جيوديزية دقيقة، رسالة ملاحة قياسية، رسالة ملاحة دقيقة، أرصاد ساكنة.

\* أستاذ-قسم الهندسة الطبوغرافية-كلية الهندسة المدنية-جامعة تشرين-اللاذقية-سورية. [Mouhsenahm@gmail.com](mailto:Mouhsenahm@gmail.com)

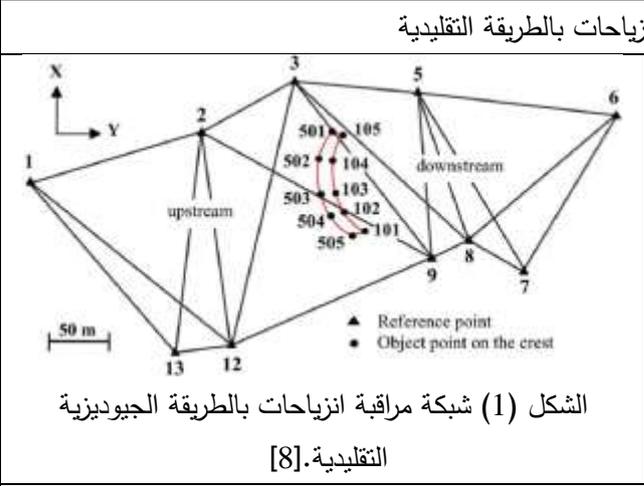
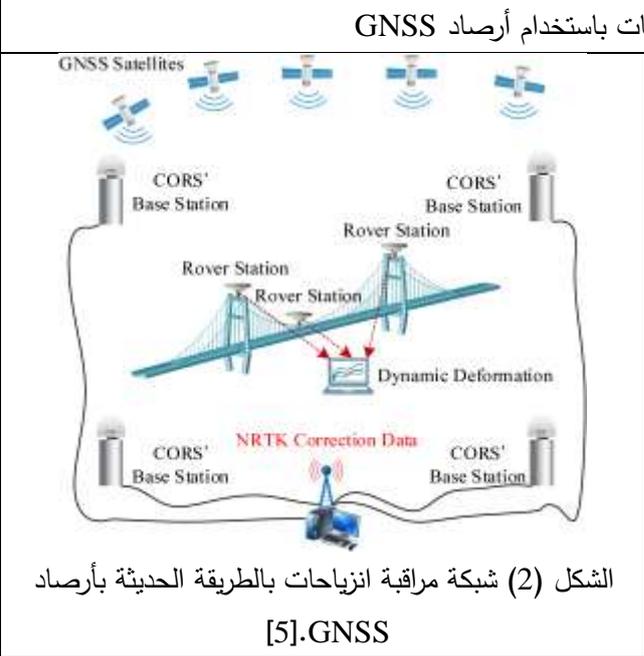
\*\*\* أستاذ-قسم الهندسة الطبوغرافية-كلية الهندسة المدنية-جامعة تشرين-اللاذقية-سورية. [lyadfahsa61@gmail.com](mailto:lyadfahsa61@gmail.com)

\*\*\* طالبة ماجستير - قسم الهندسة الطبوغرافية-كلية الهندسة المدنية-جامعة تشرين-اللاذقية-سورية. [salhabh123@gmail.com](mailto:salhabh123@gmail.com)

**مقدمة:**

تعتبر أعمال مراقبة الانزياحات من أدق الأعمال الجيوديزية وأصعبها، لما تتطلبه من شروط قياس صارمة، ومعاملات معالجة دقيقة، تُميز بشكل واضح بين خطأ المعالجة وانزياح النقطة. إن تطور أساليب القياس الذي فرض تغير أساليب المعالجة لشبكات المراقبة الجيوديزية يدفع إلى تحليل معاملاتنا المختلفة، سواء على صعيد تقنية القياس الحقلية، وانتقالاً إلى صعيد المعالجة الرياضية لنتائج القياسات [1]. ويبين الجدول (1) مقارنة بين مفهوم مراقبة الانزياحات بالطريقتين التقليدية وبأرصاد GNSS.

الجدول (1) مقارنة بين مفهوم مراقبة الانزياحات بالطريقة التقليدية وبطريقة أرصاد GNSS.

مراقبة الانزياحات بالطريقة التقليدية	
	<p>يتم إنشاء محطات الاستناد (كقواعد تمرکز قسرية) محيطة بالمنشأة المدروسة، وخارج مجال تأثير الانزياحات، وتقاس وتعديل عند الدورة الأولية وفي كل دورة فعلية تقاس وتعديل وتقرن (للتحقق من الثبات)، وتعالج الأرصاد (المسافات والزوايا المرصودة بالمحطات المتكاملة) كبلوك واحد باستخدام التربيعات الصغرى.</p>
مراقبة الانزياحات باستخدام أرصاد GNSS	
	<p>يختلف مفهوم شبكة الاستناد باستخدام أرصاد GNSS، حيث أن محطات الاستناد (التي يتم التمرکز عليها بجهاز الاستقبال) لا تمثل حقيقة المرجع الذي يتم الحساب على أساسه أثناء عملية المعالجة، بل تعتبر السلسلة الزمنية لمواقع الأقمار الصناعية التي يتم التقاطها ضمن جهاز الاستقبال هي المرجع الحقيقي في المعالجة، وعليه من اللازم تعريف اللحظة الابتدائية للمعالجة ويتم ذلك بتقييد إحدى المحطات أثناء عملية التعديل لأرصاد GNSS. ويتم الحل كبلوك واحد أيضاً.</p>

تستخدم حالياً نظم الملاحة العالمية بالأقمار الصناعية (Global Navigation Satellite Systems, GNSS) بشكل أوسع ضمن الأعمال الجيوديزية، وذلك مع اكتمال الطور التشغيلي لنظم الملاحة العالمية والإقليمية ونظم الدعم

الفضائية والأرضية، والتصحيحات التي يوفرها مركز تحليل البيانات العالمية مثل الخدمة الدولية لنظم الملاحة الفضائية (International GNSS Service, IGS) [2]. ويبين الجدول (2) الطاقة التشغيلية لنظم الملاحة العالمية GNSS [5].

الجدول (2) تابعة وعدد أقمار وتاريخ بداية نظم GNSS.

GNSS system	Establishment country	Satellite number (plan/launch)	Opening time
GPS	America	24/24	From 1993
GLONASS	Russia	24/24	From 1996
BDS-3	China	35/23	From 2020 <sup>a</sup>
Galileo	EU	30/26	From 2020
QZSS	Japan	4/4	From 2018
IRNSS	India	7/7	From 2018

تعتمد المعالجة الدقيقة لشبكات مراقبة الانزياحات التي تستخدم نظم (GNSS) على شروط القياس أولاً، وعلى مقيدات المعالجة اللاحقة ثانياً، تلك المعالجة التي تحتاج إلى توافر المنتجات الجيوديزية الدقيقة ( Precise Geodetic Products) من مصادرها المعتمدة، مثل الخدمة الدولية لنظم الملاحة الفضائية (IGS). بالنسبة لتقنية القياس لشبكات المراقبة الجيوديزية باستخدام أرساد (GNSS)، فهي حكماً الطريقة الساكنة التقليدية (Static Network) [3]، لكل من شبكة الاستناد (Control Network)، ونقاط المراقبة (Monitoring Stations)، بحيث تكون مركزة على قواعد تمرکز قسرية، وبخطوط قواعد لا تقل زمنياً عن (30 min)، مع الأخذ بعين الاعتبار زاوية الانقطاع (Cutoff) لا تزيد عن (15°)، وفاصل زمني للرصد (Measuring Interval) لا يقل عن (5 sec)، ودقة هندسية لتوضع الأقمار الصناعية (Delusion of Precision, DOP) لا تزيد عن (5). أما بالنسبة لمقيدات المعالجة للشبكات الجيوديزية باستخدام (GNSS) فهي مرتبطة بالمعادلة الملاحة نفسها التي تعطى بالعلاقة: [8]

$$\phi = \rho + c * (\delta t_{rcv} - \delta t_{sat}) + T_d - I_d + \lambda N + \epsilon_{\phi} \quad (1) \text{ المعادلة}$$

حيث:

الموجة الحاملة المقاسة	$\phi$
المدى (المسافة الكاذبة) بين جهاز الاستقبال والقمر الصناعي.	$\rho$
خطأ ساعة جهاز الاستقبال.	$\delta t_{rcv}$
خطأ ساعة القمر الصناعي.	$\delta t_{sat}$
تمثل طول موجة الإشارة الحاملة.	$\lambda$
يمثل الغموض الصحيح للموجة الحاملة.	$N$
تمثل التأخر التريوسفييري.	$T_d$
تمثل التأخر الأيونوسفييري.	$I_d$

$\epsilon_{\phi}$	تمثل مركبة ضجيج القياسات متضمنة تعدد المسارات.
C	سرعة الضوء في الخلاء.

إن موقع القمر الصناعي (الممثل للمرجح الحقيقي في شبكات الاستناد) يتحدد من الرسالة الملاحة القياسية أو من الرسالة المصححة من (IGS) حيث ترتبط دقة قيمة  $\rho$  بمدى دقة المدارات للأقمار الصناعية الملتقطة أثناء الرصد. بالبحث عن مدارات القمر الصناعي والمقارنة بينها، وجدنا أن قيمة الخطأ المتوسط التريبي لنمط الحل بإشارات البث (Broadcast) هي تقريباً (100cm) بينما قيمة الخطأ المتوسط التريبي لنمط الحل بالمدارات المصححة النهائية (Final orbits) هو تقريباً (2.5cm) حيث أن دقة المدارات هي خطأ متوسط تريبي وحيد البعد. وهذا موضح في الجدول (3). [7].

تعتبر الرسالة الملاحة مرافقاً أساسياً لملف الأرصاد الناتج عن قياسات (GNSS)، وذلك عند التعامل مع الأرصاد بصيغتها المستقلة عن جهاز الاستقبال (Receiver INdependent EXchange, RINEX)، وتقتصر على معاملات المدارات للأقمار الصناعية الملاحة التي تم استقبال إشاراتها ضمن جهاز الاستقبال ضمن لحظات الرصد (\*).yyp). أما شبكة (IGS) فتقدم معاملات المدارات وتصحيحاتها (3.sp\*), الناتجة عن الحل النهائي بطريقة المتوسطة الموزونة لأرصاد محطاتها البالغ عددها (511) محطة [5,4]، وبالتالي يمكن نظرياً استخدام منتجات (IGS) الخاصة بالمدارات كبديل عن الرسالة الملاحة التقليدية المتشكلة عن جهاز الاستقبال.

الجدول (3) دقة المنتجات الجيوديزية الدقيقة من خدمة (IGS).

Type	Accuracy	Latency	Updates	Sample Interval	
Broadcast	orbits	~100 cm	real time	-	daily
	Sat. clocks	~5 ns RMS ~2.5 ns SDev			
Ultra-Rapid (predicted half)	orbits	~5 cm	real time	at 03, 09, 15, 21 UTC	15 min
	Sat. clocks	~3 ns RMS ~1.5 ns SDev			
Ultra-Rapid (observed half)	orbits	~3 cm	3 - 9 hours	at 03, 09, 15, 21 UTC	15 min
	Sat. clocks	~150 ps RMS ~50 ps SDev			
Rapid	orbits	~2.5 cm	17 - 41 hours	at 17 UTC daily	15 min
	Sat. & Stn. clocks	~75 ps RMS ~25 ps SDev			5 min
Final	orbits	~2.5 cm	12 - 18 days	every Thursday	15 min
	Sat. & Stn. clocks	~75 ps RMS ~20 ps SDev			Sat.: 30s Stn.: 5 min

### 1- لمحة عن الخدمة الدولية لنظم الملاحة العالمية بالأقمار الصناعية (IGS)

خدمة GNSS الدولية (IGS)، هي تعاون تطوعي لأكثر من 200 منظمة مساهمة في أكثر من 80 دولة. إن شبكة النتبع العالمية لأقمار نظم GNSS التي تضم 511 محطة (حتى تاريخ المقالة) دائمة التشغيل، توفر باستمرار مجموعة بيانات غنية لمراكز تحليل IGS، والتي تصوغ منتجات جيوديزية دقيقة لمدارات الأقمار الصناعية وساعات الأقمار الصناعية وأجهزة الاستقبال. توفر مراكز IGS بحرية جميع بيانات ومنتجات IGS لصالح أي مستخدم [5,4].



الشكل (3) توزيع محطات شبكة الخدمة الدولية لنظم الملاحة العالمية (IGS).

- تتضمن المنتجات الجيوديزية الدقيقة ما يلي: [2]
- بيانات التقويم الفلكي الدقيق لأقمار النظم العالمية للملاحة بالأقمار الصناعية.
  - إحدائيات محطات التعقب العالمية وسرعاتها النسبية تبعاً لحركة القشرة الأرضية.
  - النموذج العالمي للأيونوسفير .
  - وتدعم منتجات IGS البحث العلمي في: [6]
  - تحقيق الإطار المرجعي الأرضي الدولي (ITRF).
  - مراقبة التغيرات في الغلاف المائي (مستوى سطح البحر، الصفائح الجليدية، إلخ).
  - مراقبة دوران الأرض
  - البيانات الدقيقة لساعات الأقمار الصناعية، ومحطات التعقب الأرضية العالمية.
  - معاملات دوران الأرض.
  - تقديرات التأخير التروبوسفيري.
  - رصد تشوه الأرض الصلبة.
  - تحديد مدار القمر الصناعي.
  - مراقبة طبقة الأيونوسفير والتروبوسفير للأرض.
  - حتى عام 2017م كانت المنتجات الجيوديزية السابقة متوفرة ضمن فهرس موحد لخدمة (IGS) ولكن بعد هذا التاريخ تم تحويل سماحية الوصول إلى تلك المنتجات لتكون ضمن المراكز الأربعة للبيانات العالمية ( Global Data Centers): [2]:
  - خدمة (IGS) الرئيسي
  - (Center for Orbit Determination in Europe) COD
  - (European Space Agency) ESA
  - (Jet Propulsion Laboratory) JPL
  - حالياً، يساهم ما يصل إلى عشرة مراكز تحليل (AC) IGS يومياً في حلول مدار GPS / GLONASS فائقة السرعة (Ultra-Rapid) والسريعة (Rapid) والنهائية (Final) لتركيبات IGS. إن الحساب اليومي لمدارات وساعات GPS

GLONASS / العالمية الدقيقة بواسطة IGS، بدقة سنتيمترية، يسهل الارتباط المباشر داخل إطار مرجعي متكامل عالمياً يتوافق مع الإطار المرجعي الأرضي الدولي (ITRF) الحالي. يوضح الجدول أنواع المنتجات الجيوديزية الدقيقة وصيغ ملفاتها الرقمية [2].

الجدول (4) أنواع المنتجات الجيوديزية الدقيقة وصيغ ملفاتها الرقمية.

صيغة الملف رقمياً	نوع الملف	
*.sp3	ملف المدارات الدقيقة	1
*.clk	ملف الساعات الدقيقة	2
*.yyn	ملف التقويم الفلكي	3
*.snx	ملف الإحداثيات الجيومركزية لمحطات التعقب الخاصة ب IGS	4
*.erp	ملف معاملات دوان الأرض	5
معاملات التروبوسفير Ionospheric TEC grid	ملف معاملات تصحيح الأتموسفيري	6

#### • منتجات المدارات الدقيقة Precise Orbits

تتوافر حلول مجموعة المدارات IGS في ثلاثة أشكال: فائقة السرعة Ultra-Rapid، وسريعة Rapid، ونهائية Final. المنتج فائق السرعة، مفيد للتطبيقات اللحظية (Real Time)، على فترات منتظمة أربع مرات في اليوم؛ يشمل الحل فائق السرعة IGU كلاً من مدارات الأقمار الصناعية المرصودة والمتوقعة IGP حيث أن منتجات IGU ذات جودة كافية لتحل محل منتجات IGP [5]. تركيبة المدار السريع عبارة عن حل يومي متاح بعد 17 ساعة تقريباً من نهاية اليوم UTC السابق. تتكون حلول IGS النهائية (Final) والأكثر تناسقاً والأعلى جودة من ملفات مدار يومية، يتم إنشاؤها على أساس أسبوعي بعد حوالي 13 يوماً من نهاية أسبوع الحل [5].

#### • منتجات دوران الأرض Earth Rotation

تتوافر حلول منتجات دوران الأرض من IGS في ثلاثة أشكال: فائقة السرعة، وسريعة، ونهائية. المنتج فائق السرعة، مفيد للتطبيقات اللحظية Real Time، على فترات منتظمة أربع مرات في اليوم، تركيبة معامل دوران الأرض السريع عبارة عن حل يومي متاح بعد 17 ساعة تقريباً من نهاية اليوم UTC السابق. تتكون حلول IGS النهائية والأكثر تناسقاً والأعلى جودة من ملفات دوران الأرض اليومية، يتم إنشاؤها على أساس أسبوعي بعد حوالي 13 يوماً من نهاية أسبوع الحل [5].

#### • منتجات الساعة Clock Products

تتوفر حلول تركيبة ساعة IGS في شكلين: سريع ونهائي. تُعد تركيبة الساعة السريعة حلاً يومياً متاحاً بعد 17 ساعة تقريباً من نهاية اليوم UTC السابق. تتكون حلول IGS النهائية والأكثر تناسقاً والأعلى جودة من ملفات الساعة اليومية، والتي يتم إنشاؤها على أساس أسبوعي بعد حوالي 13 يوماً من نهاية أسبوع الحل [6].

#### 2- إشكالية البحث:

نتيجة تنوع مصادر الرسالة الملاحة التي يمكن استخدامها لتعيين المواقع الدقيقة للأقمار الصناعية ضمن مرحلة ضبط شبكات الاستناد لمراقبة الانزياحات الأفقية، قد يتبادر للذهن أن استخدام الرسالة الملاحة الدقيقة والمصححة من

(IGS) سيعطي نتائج أكثر دقة من استخدام الرسالة الملاحة القياسية لجهاز الاستقبال، وبالتالي فإن مشكلة البحث تكمن بالسؤال عن أيهما أفضل استخدام الرسالة الملاحة الدقيقة أم القياسية، أم استخدامهما معاً ضمن عملية ضبط شبكة الاستناد لمراقبة الانزياحات؟

### أهمية البحث وأهدافه:

إن وجود منتجات جيوديزية دقيقة من IGS تفرض علينا معرفة مدى تأثير هذه المنتجات على دقة تموضع نقاط الشبكة الجيوديزية المراد تأسيسها للأعمال الدقيقة مثل شبكات الاستناد لمراقبة الانزياحات في المنشآت الهندسية، من أجل الوصول إلى الدقة المطلوبة في هذا النوع من الشبكات. يهدف البحث إلى التحليل الدقيق لأثر استخدام الرسالة الملاحة بنوعها القياسي والدقيق على دقة الموقع لنقاط شبكة الاستناد الخاصة بمراقبة الانزياحات، ثم تحديد وضع شروط الضبط والمعالجة الأفضل لشبكات الاستناد المعتمدة على أرصاد GNSS.

ومن أجل تحقيق هذه الأهداف تم إجراء تجربتين على شبكة الاستناد الجيوديزية:

- التجربة الأولى: ضبط شبكة الاستناد بالمحطات المحلية فقط وفق مستويين: الأول باستخدام الرسالة الملاحة الدقيقة فقط من (IGS)، ثم باستخدام الرسالة الملاحة الدقيقة والقياسية معاً ضمن عملية المعالجة والضبط.
- التجربة الثانية: ربط الشبكة الجيوديزية المحلية بمحطات عالمية دائمة الرصد (محطات من IGS)، ثم ضبط شبكة الاستناد بالمحطات المحلية والعالمية وفق مستويين: الأول باستخدام الرسالة الملاحة الدقيقة فقط من (IGS)، ثم باستخدام الرسالة الملاحة الدقيقة والقياسية معاً ضمن عملية المعالجة والضبط.

### طرائق البحث ومواده:

قمنا باختيار 9 محطات رصد ضمن حرم جامعة تشرين، وهي (C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8, C9) تتميز هذه المحطات بكونها محطات تركز قسرية، تم استخدام تقنية الرصد الساكنة (GNSS) ورصدها باستخدام جهاز استقبال من النوع (Hi Target V8)، المتوفر ضمن مخبر المساحة ضمن كلية الهندسة المدنية في جامعة تشرين، وتمت معالجة الأرصاد باستخدام برنامجي (RTKLIB) الخاص بالمعالجة المسبقة (Pre-Analysis) وبرنامج (Topcon Tools) للضبط والحصول على الإحداثيات المعدلة وقيم الخطأ المتوسط التربيع لكل محطة، وذلك ضمن نظام إسقاط ميركاتور المستعرض العالمي المنطقة 36 شمال خط الاستواء (UTM Zone 36 N). وكانت مراحل إنجاز العمل كما يلي:

#### 1- مرحلة إجراء القياسات الحقلية لشبكة الاستناد:

تم قياس إحداثيات هذه المحطات التسعة بتاريخ 27/12/2021 باستخدام 3 أجهزة استقبال من نوع (HI-TARGET V8)، لأرصاد (GPS, GLONASS) ثنائية التردد (L1,L2)، وزاوية انقطاع ( $15^\circ$ )، بفواصل زمني للرصدة (5 sec) ثانية، ومدة رصد لا تقل عن (30 min) دقيقة لكل محطة رصد، وفق خطة رصد موضوعة مسبقاً لتراعي توافر ثلاث مستقبلات GNSS ضمن مخبر كلية الهندسة المدنية.



الشكل (4) شبكة الاستناد الجيوديزية المدروسة في البحث.

## 2- مرحلة التحليلات المسبقة لأرصاد الشبكة الجيوديزية

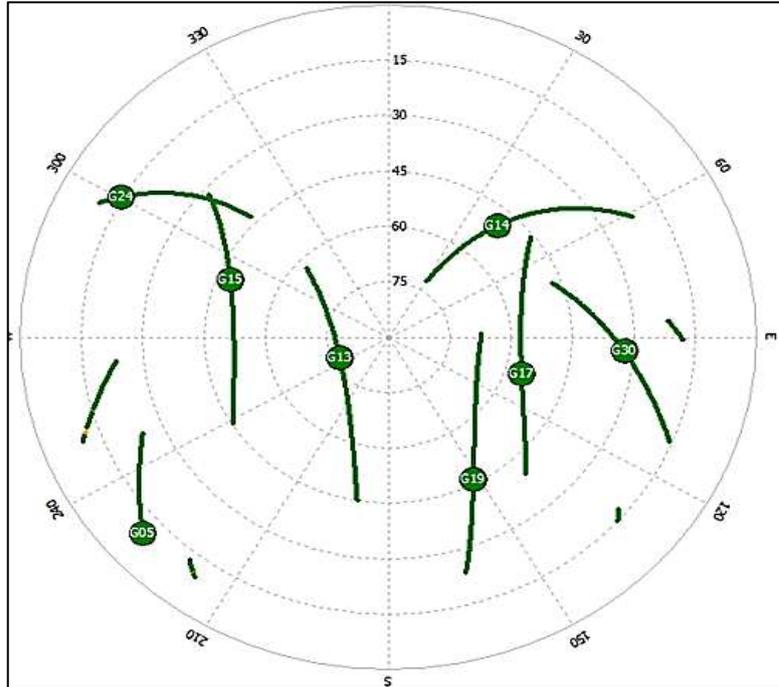
تم استخدام برنامج (RTK-LIB) لإجراء التحليلات المسبقة Pre-Analysis ضمن كل محطة من المحطات التسعة المدروسة، وهو حزمة برمجية تفاعلية مجانية ومفتوحة المصدر، خاصة بمعالجة وتحليل وتحميل بيانات نظم الملاحة الفضائية بالأقمار الصناعية، وهو أحد البرمجيات الموصى باستخدامها من قبل وكالة الفضاء الأوروبية (ESA) وهو أفضل من برنامج Topcon Tools في إجراء التحليلات المسبقة حيث يقدم الأخير عرضاً جدولياً فقط لمدار كل قمر صناعي تم رصده. سنعرض مثلاً عن نتائج المحطة (C4)، وتم تطبيق نفس التحليلات على باقي محطات الشبكة.

### ❖ تحليل الرؤية للأقمار الصناعية (Satellite Visibility):



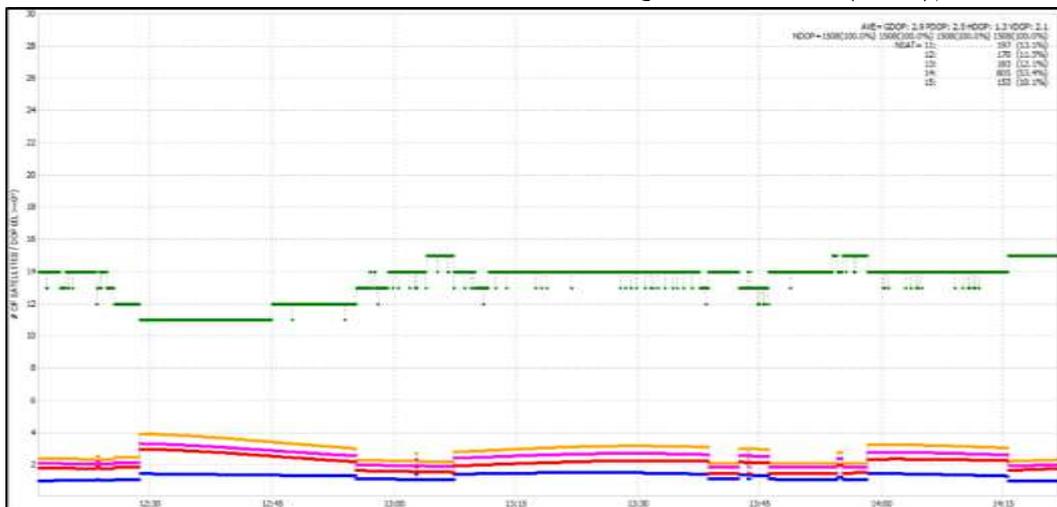
الشكل (5) عدد الأقمار الصناعية وتوقيتات ظهورها خلال فترة الرصد ضمن المحطة C4.

❖ تحليل سماء النقطة (Sky Analysis):



الشكل (6) تحليل توزيع الأقمار في سماء النقطة Sky Plot Analysis عند المحطة C4.

❖ تحليل قيم (DOP) معامل هندسة توزيع الأقمار الصناعية:



الشكل (7) تحليل قيم الدقة الهندسية لتوزيع الأقمار الصناعية DOP عند المحطة C4.

3- مرحلة الضبط والمعالجة لشبكة الاستناد

❖ مرحلة الحصول على المنتجات الجيوديزية الدقيقة من خدمة IGS:

تتطلب عملية الحصول على المنتجات الجيوديزية الدقيقة (Precise Geodetic Products) الخاصة بالمحطات المدروسة، الدخول إلى قواعد البيانات الرقمية لمراكز البيانات العالمية على شبكة الإنترنت، من خلال روابط مباشرة على شبكة الإنترنت، ويستطيع المستخدم إضافة معاملات أرساده الزمنية حتى يتمكن مباشرة من الحصول على المنتجات الجيوديزية الدقيقة على شبكة الإنترنت. تجدر الإشارة إلى أن الرسالة الملاحية الدقيقة التي تم تحميلها من

خدمة (IGS) هي الملف الرقمي للحل النهائي (Final Product)، وهو مفهرس ضمن الموقع حسب أسبوع الرصد ضمن النظام الزمني GPST، وحسب يوم الرصد من الأسبوع ضمن المرجع الزمني GPST أيضاً، وهو متوفر بالصيغة القياسية (igswwwd.sp3) حيث تعبر (www) عن أسبوع الرصد وهو مكون من أربع محارف، ويعبر (d) عن اليوم من الأسبوع.

#### ❖ مرحلة معالجة أرصاد الشبكة الجيوديزية:

في هذه المرحلة تم استخدام برنامج Topcon Tools، هو عبارة عن برنامج احترافي يشمل وحدات معالجة بيانات كل من (PP, RTK, TS, GIS, Design, Imaging, DynaSurv)، يعمل على معالجة البيانات التي يتم الحصول عليها بواسطة الأقمار الصناعية بالنسبة لنظامي GPS & GLONASS ومعالجة بيانات RINEX حتى الإصدار (3.02)، كما يدعم طرق الرصد الساكنة والحركية، كما أنه يستخدم طريقة التريعات الصغرى في معالجة البيانات.

#### 4- نتائج الضبط والتعديل لشبكة الاستناد

#### ❖ حلول شبكة الاستناد بالمحطات المحلية فقط

تم الحصول على إحداثيات محطات رصد الشبكة الجيوديزية المحلية في الحالتين التاليتين:

- إحداثيات الشبكة الجيوديزية المحلية بالاعتماد على الرسالة الملاحة الدقيقة من IGS:

الجدول (4) إحداثيات شبكة الاستناد بالمحطات المحلية باستخدام الرسالة الملاحة الدقيقة من IGS.

Name	Grid Northing (m)	Grid Easting (m)	Elevation (m)
C1	3934815.877	754601.252	34.646
C2	3934750.864	754709.442	33.970
C3	3934857.128	754536.557	35.189
C4	3934925.641	754592.434	36.615
C5	3934935.574	754541.122	37.313
C6	3935001.906	754580.649	38.902
C7	3935007.475	754641.748	37.383
C8	3934965.029	754634.450	36.560
C9	3934971.380	754670.824	36.351

- إحداثيات الشبكة الجيوديزية المحلية بالاعتماد على الرسالة الملاحة الدقيقة من IGS مع إضافة الرسالة الملاحة القياسية:

الجدول (6) إحداثيات شبكة الاستناد بالمحطات المحلية باستخدام الرسالة الملاحة الدقيقة من IGS مع الرسالة الملاحة القياسية.

Name	Grid Northing (m)	Grid Easting (m)	Elevation (m)
C1	3934815.875	754601.254	34.647
C2	3934750.864	754709.442	33.970
C3	3934857.127	754536.557	35.190
C4	3934925.640	754592.435	36.618
C5	3934935.573	754541.125	37.317
C6	3935001.903	754580.653	38.900
C7	3935007.470	754641.748	37.380
C8	3934965.025	754634.451	36.566
C9	3934971.375	754670.823	36.350

### ❖ حلول شبكة الاستناد بالمحطات المحلية والربط مع محطات (IGS)

تم الحصول على إحدائيات محطات رصد الشبكة الجيوديزية المحلية التي تم ربطها مع 6 محطات رصد عالمية دائمة الرصد من شبكة (IGS) وتحيط بمنطقة الدراسة من عدة اتجاهات، وهذه المحطات هي: ( BSHM, DRAG ) (dragot, ISBA, IZMI, RAMO Mizpe Ramon, ARUC)، مدة رصدها (24 hour) ساعة، في الحالات التالية:

- إحدائيات الشبكة الجيوديزية المحلية المربوطة مع محطات IGS بالاعتماد على الرسالة الملاحة الدقيقة من IGS فقط:

الجدول (7) إحدائيات الشبكة الجيوديزية المحلية المربوطة مع محطات IGS بالاعتماد على الرسالة الملاحة الدقيقة من IGS.

Name	Grid Northing (m)	Grid Easting (m)	Elevation (m)
C1	3934815.877	754601.252	34.646
C2	3934750.864	754709.442	33.970
C3	3934857.128	754536.557	35.188
C4	3934925.641	754592.434	36.615
C5	3934935.574	754541.123	37.312
C6	3935001.906	754580.649	38.900
C7	3935007.475	754641.748	37.381
C8	3934965.028	754634.450	36.560
C9	3934971.380	754670.824	36.350

- إحدائيات الشبكة الجيوديزية المحلية المربوطة مع محطات IGS بالاعتماد على الرسالة الملاحة الدقيقة من IGS إضافة الرسالة الملاحة القياسية:

الجدول (8) إحدائيات الشبكة الجيوديزية المحلية المربوطة مع محطات IGS بالاعتماد على الرسالة الملاحة الدقيقة من IGS إضافة الرسالة الملاحة القياسية.

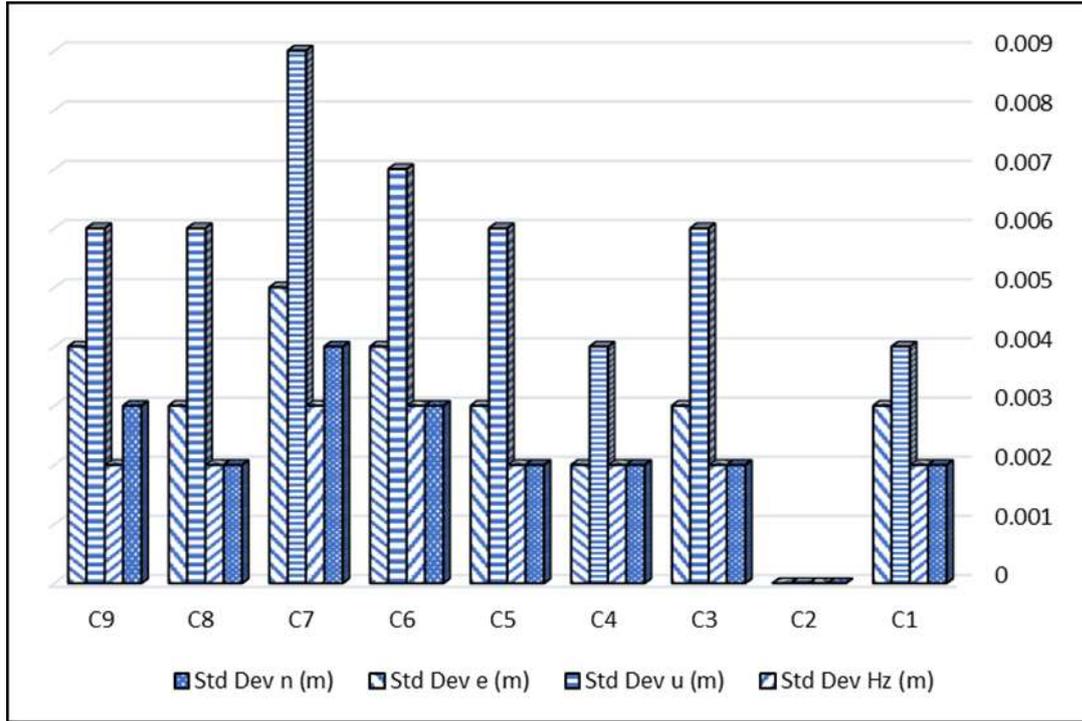
Name	Grid Northing (m)	Grid Easting (m)	Elevation (m)
C1	3934815.875	754601.254	34.647
C2	3934750.864	754709.442	33.970
C3	3934857.127	754536.557	35.190
C4	3934925.64	754592.435	36.618
C5	3934935.573	754541.125	37.317
C6	3935001.903	754580.654	38.900
C7	3935007.470	754641.749	37.380
C8	3934965.025	754634.451	36.566
C9	3934971.375	754670.824	36.349

### النتائج والمناقشة:

#### ❖ الانحرافات المعيارية لشبكة الاستناد بالمحطات المحلية فقط

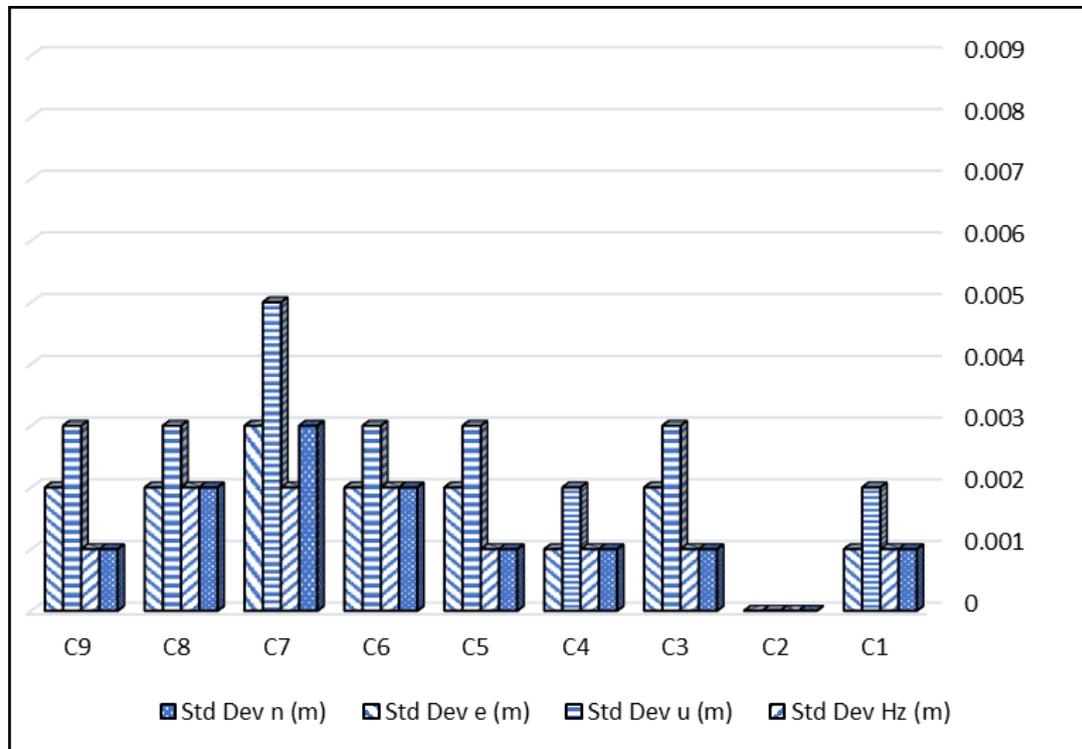
تم الحصول على الانحرافات المعيارية للمحطات التسعة المرصودة محلياً، في الحالات التالية:

بعد عملية المعالجة تم الحصول على الانحرافات المعيارية (Standard Deviations Std Dev) لشبكة الاستناد المحلية باستخدام الرسالة الملاحة الدقيقة من IGS، وذلك وفق المركبات (N, E, U, Hz) كما هي موضحة في الشكل (8):



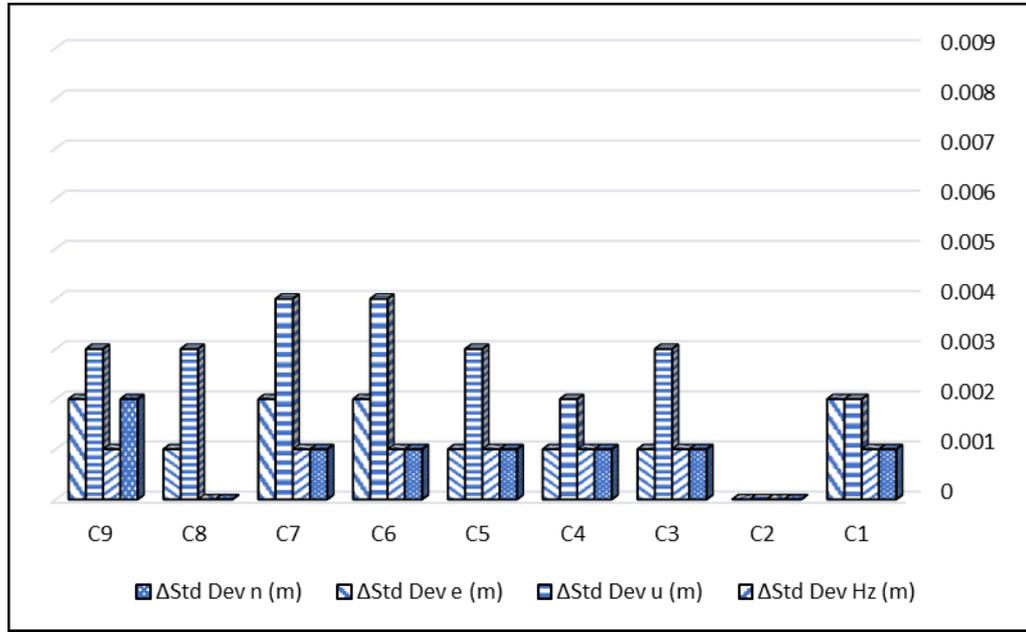
الشكل (8) مقارنة قيم الانحرافات المعيارية لنقاط شبكة الاستناد الجيوديزية المحلية باستخدام الرسالة الدقيقة من IGS.

أما بالنسبة للانحرافات المعيارية للشبكة المحلية باستخدام الرسالة الملاحة الدقيقة من IGS مع الرسالة الملاحة القياسية فقد كانت النتائج موضحة في الشكل (9):



الشكل (9) مقارنة قيم الانحرافات المعيارية للشبكة المحلية باستخدام الرسالة الملاحة الدقيقة من IGS مع الرسالة الملاحة القياسية.

نتج من تحليل الرسالة الملاحية القياسية من القمر الصناعي مع الرسالة الدقيقة من IGS أن الدقة محلياً من مرتبة 3mm أفقياً و 5mm شاقولياً بينما كانت الدقة من رتبة 5mm أفقياً و 9mm شاقولياً من تحليل الرسالة الدقيقة من IGS لوحدها وهذا سببه أن الفاصل الزمني للرصد الرسالة الملاحية للقمر الصناعي هو 5 ثانية بينما الفاصل الزمني للرصد الرسالة الدقيقة من IGS هو 15 ثانية، حيث يتم استيفاء هذه القيم من خلال توابع استيفاء رياضية [9] كما هو موضح في الشكل (10).

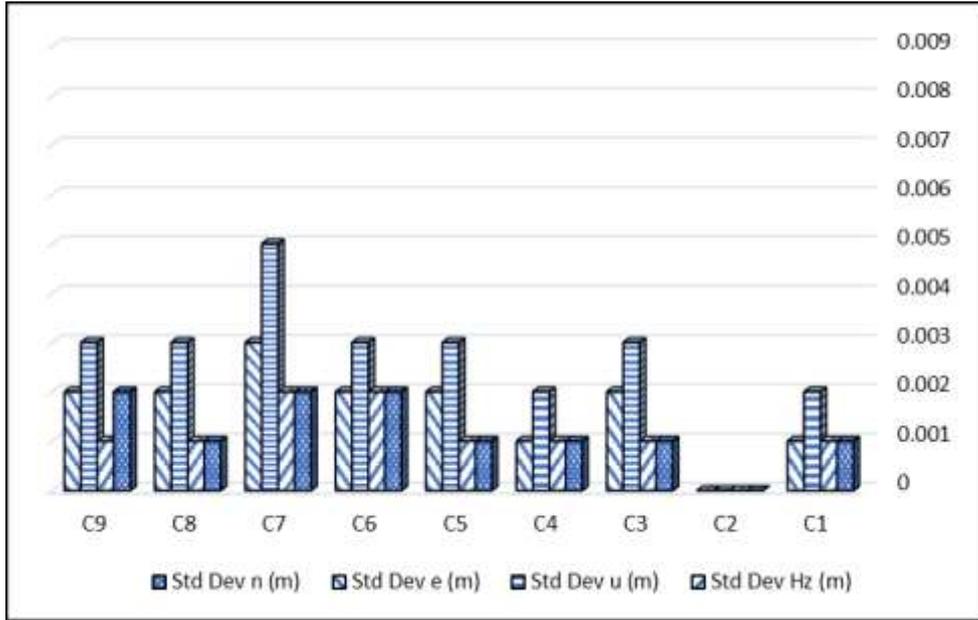


الشكل (10) فروقات الانحرافات المعيارية لنقاط شبكة الاستناد الجيوديزية بين الحالتين السابقتين.

نلاحظ أنه عند إضافة الرسالة الملاحية القياسية للقمر الصناعي هنالك تحسناً بمقدار الضعف ينتج على 70% من العينة الإحصائية، نستنتج أن وجود الرسالة الملاحية للقمر الصناعي شرط لازم للحصول على الدقة المطلوبة للشبكات الجيوديزية.

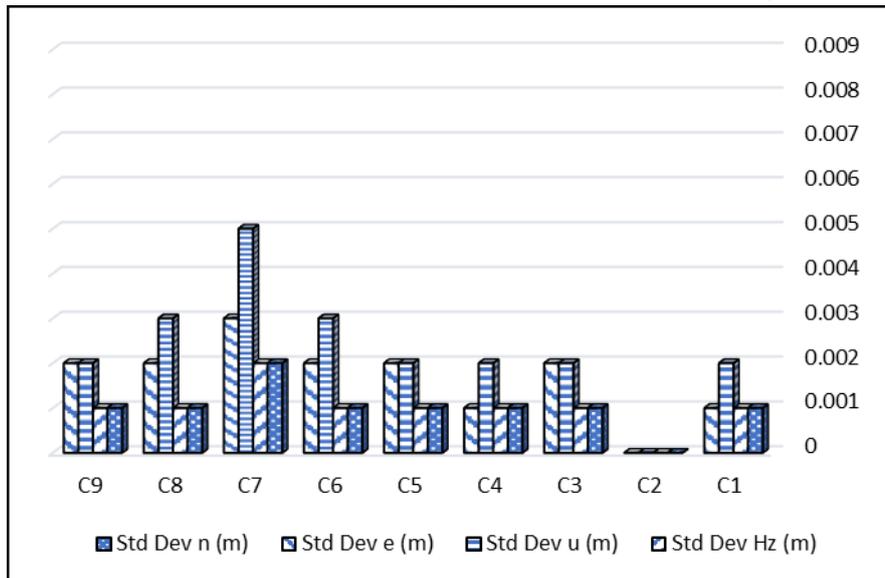
#### ❖ حلول شبكة الاستناد بالمحطات المحلية والربط مع محطات (IGS)

تم الحصول على الانحرافات المعيارية لمحطات رصد الشبكة الجيوديزية المحلية التي تم ربطها مع 6 محطات رصد عالمية دائمة الرصد من شبكة (IGS) وتحيط بمنطقة الدراسة باستخدام الرسالة الدقيقة من IGS، حيث نتج لدينا أن الدقة كانت من مرتبة 3mm أفقياً و 5mm شاقولياً، هذا يدل بأن الشبكة الجيوديزية قد بلغت دقتها الحدية (حيث كانت الانحرافات المعيارية لمحطات الشبكة الجيوديزية المحلية باستخدام الرسالة الدقيقة من IGS هي من رتبة 3mm أفقياً و 5mm شاقولياً). والنتائج موضحة في الشكل (11):



الشكل (11) الانحرافات المعيارية لمحطات رصد الشبكة الجيوديزية المربوطة مع محطات IGS باستخدام الرسالة الدقيقة من IGS

أما بالنسبة للانحرافات المعيارية للشبكة الجيوديزية المحلية المربوطة مع محطات IGS باستخدام الرسالة الملاحة الدقيقة من IGS ودمجها مع الرسالة الملاحة القياسية، فهي موضحة في الشكل (12):

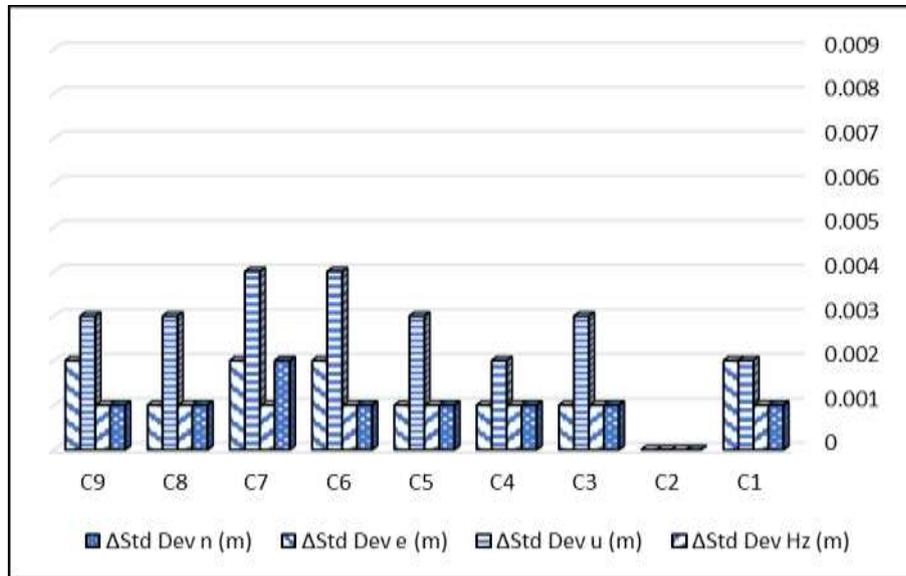


الشكل (12) الانحرافات المعيارية للشبكة الجيوديزية المربوطة مع محطات IGS باستخدام الرسالة الملاحة الدقيقة من IGS ودمجها مع الرسالة الملاحة القياسية.

نلاحظ بأن دقة بعض نقاط شبكة الاستناد قد تحسنت عند ربط الشبكة الجيوديزية المحلية مع محطات IGS باستخدام الرسالة الملاحة الدقيقة من IGS ودمجها مع الرسالة الملاحة القياسية.

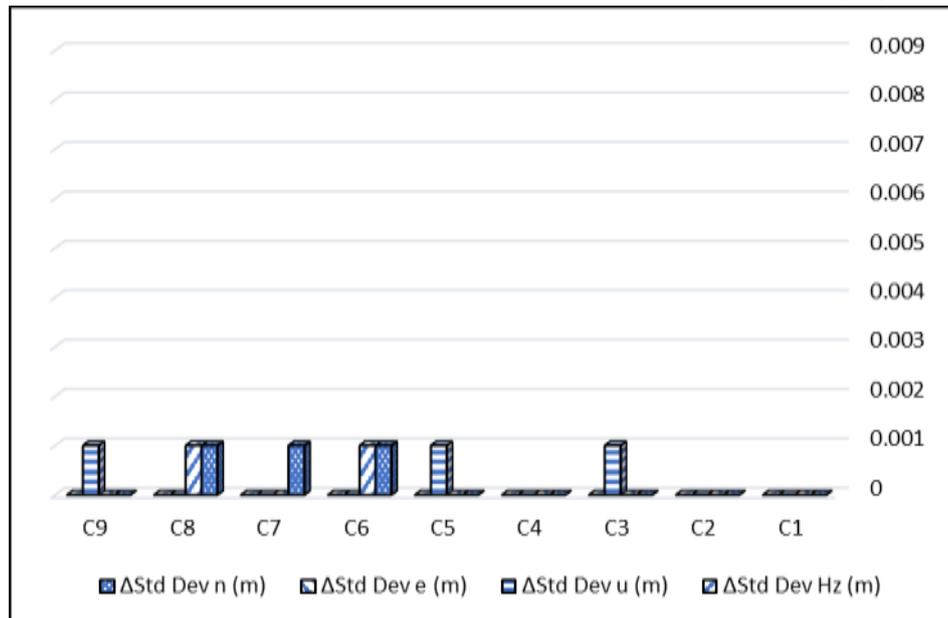
❖ فروقات الانحرافات المعيارية بين حلول شبكة الاستناد بالمحطات المحلية فقط وحلول شبكة الاستناد بالمحطات المحلية التي تم ربطها مع محطات IGS:

تم الحصول على الفروقات بين الانحرافات المعيارية لشبكة الاستناد المحلية مع الانحرافات المعيارية لشبكة الاستناد بالمحطات المحلية المربوطة مع محطات IGS باستخدام الرسالة الملاحة الدقيقة من IGS، حيث بلغت فروقات الانحرافات المعيارية 2mm أفقياً و4mm شاقولياً، كما هو موضح في الشكل (13):



الشكل (13) الفروقات بين الانحرافات المعيارية لشبكة الاستناد المحلية وشبكة الاستناد المربوطة مع محطات IGS باستخدام الرسالة الملاحة الدقيقة من IGS.

بينما الفروقات بين الانحرافات المعيارية لشبكة الاستناد المحلية (بدون الربط مع محطات IGS) مع الانحرافات المعيارية لشبكة الاستناد المحلية المربوطة مع محطات IGS، باستخدام الرسالة الملاحة الدقيقة من IGS مع الرسالة الملاحة القياسية من القمر الصناعي، حيث بلغت فروقات الانحرافات المعيارية 0mm أفقياً و1mm شاقولياً كما هو موضح في الشكل (14):



الشكل (14) الفروقات بين الانحرافات المعيارية لشبكة الاستناد المحلية وشبكة الاستناد المربوطة مع محطات IGS باستخدام الرسالة الملاحة الدقيقة من IGS مع الرسالة الملاحة القياسية.

نلاحظ أنه عند دمج الرسالة الملاحة القياسية من القمر الصناعي مع الرسالة الدقيقة من IGS، فإن فروقات الانحرافات المعيارية بين النمط الشبكي المحلي وعند إدخال محطات IGS قد أصبحت من مرتبة 1mm، هذا يؤكد ضرورة وجود الرسالة الملاحة القياسية مع الرسالة الدقيقة من IGS على أنها شرط لازم ضمن المعالجة لشبكات الاستناد عند مراقبة الانزياحات، ويمكن تبرير تحسن الدقة عند دمج كلتا الرسالتين الملاحيتين بزيادة عدد الأرصاد ضمن جهاز الاستقبال في المحطة الواحدة من محطات الشبكة، وكذلك في جودة تلك المدارات المشتقة من حلول مستمرة على المجال (12-18) يوماً.

### الاستنتاجات والتوصيات:

اعتماداً على نتائج المعالجة المتبعة في البحث، وباستخدام منتجات جيوديزية دقيقة من IGS خاصة بالمدارات الدقيقة بصيغتها النهائية Final Products تم التوصل إلى الاستنتاجات والتوصيات الآتية:

- بلغت الدقة لشبكة الاستناد بمحطات الرصد المحلية وذلك عند دمج الرسالة الملاحة القياسية من القمر الصناعي مع الرسالة الدقيقة من IGS 3mm أفقياً و5mm شاقولياً بينما كانت الدقة من رتبة 5mm أفقياً و9mm شاقولياً عند استخدام الرسالة الدقيقة من IGS لوحدها وهذا يمكن تبريره بأن الفاصل الزمني للرصد رصد الرسالة الملاحة للقمر الصناعي هو 5 ثانية بينما الفاصل الزمني للرصد منتجات IGS للمدارات هو 15 ثانية حيث يتم استيفاء باقي القيم بتتابع استيفاء رياضية.
- عند إضافة الرسالة الملاحة القياسية للقمر الصناعي فإن هنالك تحسناً بمقدار الضعف ينتج على 70% من العينة الإحصائية، نستنتج أن وجود الرسالة الملاحة القياسية للقمر الصناعي شرط لازم للحصول على الدقة المطلوبة للشبكات الجيوديزية في مراقبة الانزياحات.
- عند ربط شبكة الاستناد المحلية بمحطات IGS العالمية دائمة الرصد، بلغت الدقة الناتجة عند دمج الرسالة الملاحة القياسية من القمر الصناعي مع الرسالة الدقيقة من IGS 3mm أفقياً و5mm شاقولياً، هذا يدل بأن الشبكة الجيوديزية قد بلغت دقتها الحدية.
- بلغت الفروقات بين الانحرافات المعيارية لشبكة الاستناد المحلية مع الانحرافات المعيارية لشبكة الاستناد بالمحطات المحلية المربوطة مع محطات IGS باستخدام منتجات المدارات الدقيقة من IGS، 2mm أفقياً و4mm شاقولياً. أما عند دمج الرسالة الملاحة القياسية مع الرسالة الدقيقة من IGS، فقد بلغت فروقات الانحرافات المعيارية بين النمط الشبكي المحلي وعند إدخال محطات IGS 0mm أفقياً و1mm شاقولياً، هذا يؤكد تفسير وضرورة وجود الرسالة الملاحة القياسية مع الرسالة الدقيقة من IGS فهي شرط لازم لتحسين الدقة.
- على الرغم من أن شبكات المراقبة من المفترض أن تكون شبكات محلية (غير مربوطة بجمل عامة) تفادياً لانتشار الأخطاء إلا أن استخدام محطات IGS ومنتجات المدارات الدقيقة ضمن شبكات المراقبة يحسن من دقة المحطات المرصودة بشكل يساعد لاحقاً على تمييز مركبات الانزياحات بشكل أدق.
- في المنشآت الهندسية ذات الحالة الحرجة التي تتطلب مراقبة لحظية سوف يكون هناك عائق زمني لاستخدام المنتجات النهائية من IGS لأنها تصدر بعد 12 إلى 18 يوم حسب المرجع [4]، لذلك يمكن استخدام المنتجات الجيوديزية ذات الإصدار الأسرع زمنياً من IGS في هذا النوع من المنشآت، أما في حالة المنشآت الهامة ذات الحالة غير الخطرة يفضل استخدام Final Products.

- نوصي باستخدام منتجات المدارات الدقيقة بشكل مدمج مع الرسالة الملاحة القياسية، وإدراج محطات IGS القريبة ضمن محطات المعالجة لأنها تعطي نتائج أفضل وفق المنهجية المعتمدة في البحث.

## References

- 1- Abdel-Gawad, A, K., Mogahed, Y, M., ET AL. *Evaluation and Accuracy Assessment of Static GPS Technique in Monitoring of Horizontal Structural Deformations*, International Journal of Modern Engineering Research (IJMER), Vol. (2) No. (6), 2014, 12-18.
- 2- Alkamouh, A., Ahmad, M., et al. *Studying the Effect of Using Precise Geodetic Products from Various Data Centers on Precise Point Positioning Accuracy*. Tishreen University journal for research and scientific studies- Engineering Science Series Syria, Vol. (42) No. (4), 2020, 253-272.
- 3- Deeb, F, E., Geodesy (3), Tishreen University, Faculty of Civil Engineering, 2003-2004.
- 4- Jiayong, Y., et al. *Global Navigation Satellite System- based positioning technology for structural health monitoring*, The Journal of the International Association for Structural Control and Monitoring, vol. (27) No. (1), 2019.
- 5- Jiayong, Y., et al. *Global Navigation Satellite System- based positioning technology for structural health monitoring*, The Journal of the International Association for Structural Control and Monitoring, vol. (27) No. (1), 2019.
- 6- Kouba, J. *A GUIDE TO USING INTERNATIONAL GNSS SERVICE (IGS) PRODUCTS*, Report from IGS, 2015.
- 7- Villiger, A., Dach, R. *International GNSS Service Technical Report 2018(IGS Annual Report)*. IGS Central Bureau and University of Bern, 2019, 238–540.
- 8- Xue, S and Yang, Y. *Recursive algorithm for fast GNSS orbit fitting*, GPS solutions, springer Switzerland, vol. (20) No. (2), 2016, 151-157.
- 9- YIGIT, C, O., et al. *Displacement response of a concrete arch dam to seasonal temperature fluctuations and reservoir level rise during the first filling period: evidence from geodetic data*, Vol. (7), No. (4), 2016, 1489-1505.