

Studying the Effect of Using Precise Geodetic Products from Various Data Centers on Precise Point Positioning Accuracy

Dr. Adib Alkamouh^{*}
Dr. Mouhsen Ahmad^{**}
Dr. Slaveyko Gospodinov^{***}
Ammar Kahila^{****}

(Received 24 / 2 / 2020. Accepted 12 / 7 / 2020)

□ ABSTRACT □

Precise Point Positioning (PPP) is one of the latest measurement technologies that rely on Global Navigation Satellite Systems (GNSS). This technique requires entering all values of the "Precise Error Modeling Terms". These values are in digital files format, and the final files are called (Precise Geodetic Products). These precise geodetic products are provided by the International GNSS Service (IGS), but after 2017, access to those products was transferred to Global Data Centers, such as the European Space Agency (ESA), Center of Orbit Determination in Europe (COD), and Jet Propulsion Laboratory (JPL), and the International GNSS Service Organization (IGS) is now issuing its own version of those products. The research aims to study the variation in the (precision and accuracy) of the positioning values, by adopting the Precision Point Positioning Technology (PPP), using precise geodetic products from four different data centers (IGS / ESA / COD / JPL). A local experiment was conducted to study this variance in a relative and absolute way. The results of the precision test showed the advantage of using the precise geodetic products of the centers (COD / ESA) over the two other centers (IGS / JPL), and the relative precision of the positioning values reached the rank (1.5 cm) on the East component, and the rank (0.9 cm) On the North component. Otherwise, within Accuracy Test, the mean squared error of the positioning is "More Accurate" by adopting precise geodetic products from (IGS / JPL), than by (COD / ESA) centers, and the positioning 2D-RMS reaches the rank (7-11 cm) when using precise geodetic products from (IGS) and the rank (2-12 cm) when using precise geodetic products from (JPL).

Keywords: precise point positioning (PPP), Precise Error Modeling Terms, Precise Geodetic Products, International GNSS Service (IGS), Global Data Centers, precision test, Accuracy Test.

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

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

*** Professor- University of Architecture, Civil Engineering and Geodesy- Sofia- Bulgaria.

**** PhD Student- Department of Topographic Engineering- Faculty of Civil Engineering- Tishreen University -Lattakia- Syria.

دراسة تأثير إدخال المنتجات الجيوديزية الدقيقة من مراكز تحليل بيانات متنوعة على قيم دقة وصحة الموقع الأفقي ضمن تقنية التموضع النقطي الدقيق (PPP)

د. أديب القاموح*

د. محسن أحمد**

د. سلافكو غوسبودينوف***

عمار كحيله****

(تاريخ الإيداع 24 / 2 / 2020. قُبل للنشر في 12 / 7 / 2020)

□ ملخص □

تُعدُّ تقنية التموضع النقطي الدقيق (Precise Point Positioning, PPP) من أحدث تقنيات القياس التي تعتمد على النظم العالمية للملاحة بالأقمار الصناعية (Global Navigation Satellite systems, GNSS). تتطلب هذه التقنية إدخال جميع القيم الخاصة بصيغ النمذجة الدقيقة للأخطاء (Precise Error Modeling Terms)، تكون هذه القيم بشكل ملفات رقمية، وتُدعى ملفات النهاية بالمنتجات الجيوديزية الدقيقة (Precise Geodetic Products). تؤمن المنظمة العالمية لخدمات النظم الملاحية بالأقمار الصناعية (International GNSS Service, IGS) هذه المنتجات الجيوديزية الدقيقة، ولكن بعد عام 2017م، تم تحويل سماحية الوصول إلى تلك المنتجات لتندرج ضمن مراكز البيانات العالمية (Global Data Centers)، مثل وكالة الفضاء الأوروبية (European Space Agency, ESA)، ومركز تحديد المدارات في أوروبا (Center of Orbit Jet Propulsion Laboratory,) ومختبر الدفع النفاث في الولايات المتحدة (Determination in Europe, COD)، وأصبحت المنظمة العالمية لخدمات النظم الملاحية بالأقمار الصناعية (IGS) تصدر نسخها الخاصة حالياً من تلك المنتجات. يهدف البحث إلى دراسة الفرق في قيم دقة (Precision) وصحة (Accuracy) الموقع الأفقي، باعتماد تقنية التموضع النقطي الدقيق (PPP)، وذلك باستخدام منتجات جيوديزية دقيقة من أربع مراكز بيانات مختلفة (IGS/ESA/COD/JPL). وتم إجراء تجربة محلية لدراسة هذا التباين بشكلٍ نسبيٍّ ومطلقٍ. أظهرت نتائج اختبارات الدقة (Precision Tests) أفضلية استخدام المنتجات الجيوديزية الدقيقة من مركزي (COD/ESA)، على مركزي (IGS/JPL)، ووصلت الدقة النسبية للموقع إلى مرتبة (1.5 cm) على المركبة الأفقية (Easting)، ومرتبته (0.9 cm) على المركبة الأفقية (Northing). أما ضمن اختبارات الصحة (Accuracy Tests)، يكون الخطأ متوسط التوزيع للموقع أكثر صحةً باعتماد منتجات جيوديزية دقيقة من (IGS/JPL)، عنه باعتماد مركزي (COD/ESA)، وهو من مرتبة (7-11 cm) أفقياً من مركز (IGS)، ومن رتبة (2-12 cm) أفقياً من مركز (JPL).

الكلمات المفتاحية: التموضع النقطي الدقيق، صيغ النمذجة الدقيقة للأخطاء، منتجات جيوديزية دقيقة، المنظمة العالمية لخدمات النظم الملاحية بالأقمار الصناعية، مراكز البيانات العالمية، اختبار الدقة، اختبار الصحة.

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

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

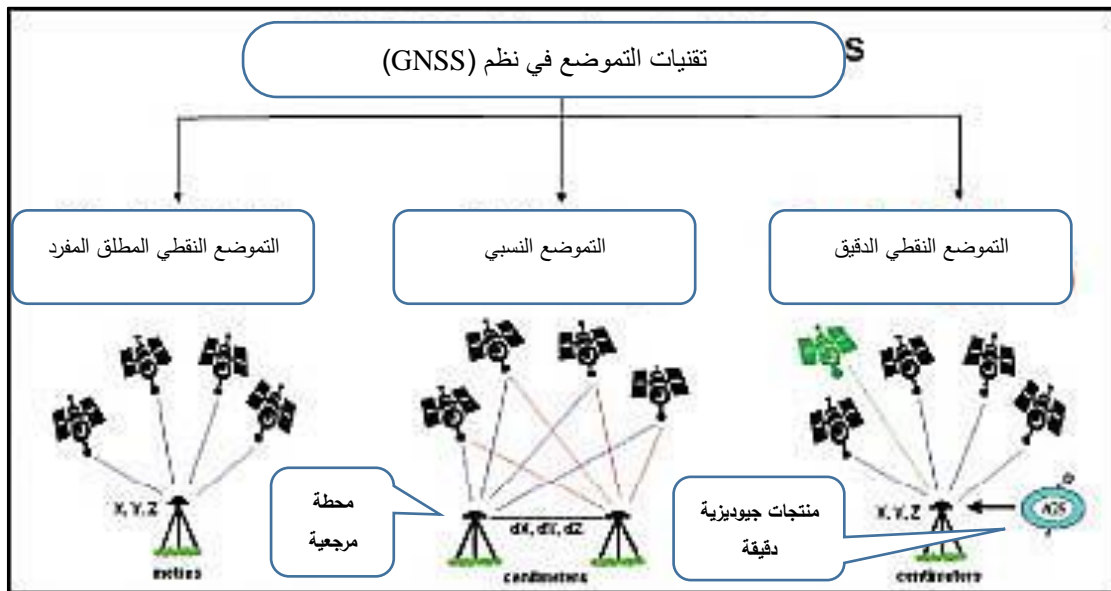
*** أستاذ-جامعة العمارة والهندسة والجيوديزيا-صوفيا-بلغاريا.

**** طالب دكتوراه-قسم الهندسة الطبوغرافية-كلية الهندسة المدنية-جامعة تشرين- اللاذقية- سورية.

مقدمة:

1- مفهوم التموضع النقطي الدقيق (PPP):

التموضع النقطي الدقيق (Precise Point Positioning, PPP)، هو تقنية تموضع عالمية حديثة، تعتمد على نظم الملاحة الفضائية بالأقمار الصناعية (Global Navigation Satellite Systems, GNSS). تتطلب هذه التقنية مُستقبلاً جيوديزياً وحيداً، وكذلك توافراً لبيانات الساعات والمدارات الدقيقة للأقمار الصناعية، والتي يتم الحصول عليها عن طريق شبكة عالمية من المحطات المرجعية (Reference Stations) [1,2]. تختلف هذه التقنية عن تقنية التموضع النقطي المطلق المفرد (Absolute Single Point Positioning) بأنها تعتمد صيغ النمذجة المتكاملة والدقيقة لمصادر الأخطاء (Precise Error Modeling Terms)، وتتمايز عن تقنية التموضع النسبي (Relative Positioning) بأنها لا تحتاج إلى محطة مرجعية محلية للحصول على الإحداثيات النهائية، ويبين الشكل (1) أنماط التموضع في نظم (GNSS) [3].



الشكل (1) أنماط التموضع في نظم الملاحة العالمية بالأقمار الصناعية (GNSS)

1-1 خوارزمية التموضع النقطي الدقيق (PPP Algorithm):

تستخدم خوارزمية التموضع النقطي الدقيق (PPP) أرصاد الشيفرة (Code Observation)، وأرصاد الموجة الحاملة (Phase Observation)، لمستقبلات جيوديزية ثنائية التردد (Dual Frequency)، وكذلك الساعات والمدارات الدقيقة (Precise Orbits and Clocks)، وذلك من أجل حساب الإحداثيات الدقيقة للمستقبل. وهي تأخذ بعين الاعتبار ضمناً صيغ النمذجة الدقيقة للأخطاء (Precise error modeling terms). تُؤخذ الأرصاد ثنائية التردد بشكل غير تفاضلي (Un-differenced)، ويتم دمجها بتراكب حر من أخطاء الأيونوسفير (Ionosphere-Free Combination) [4].

ضمن فترة قياس معتبرة، ومن أجل قمر صناعي معطى، يتم تبسيط معادلة الأرصاد كالتالي:

$$lp = \rho + c(brx - bsat) + Tr + \varepsilon p \quad (1) \text{ المعادلة}$$

$$l\phi = \rho + c(brx - bsat) + Tr + \{N\lambda + \varepsilon\}_\phi \quad \text{المعادلة (2)}$$

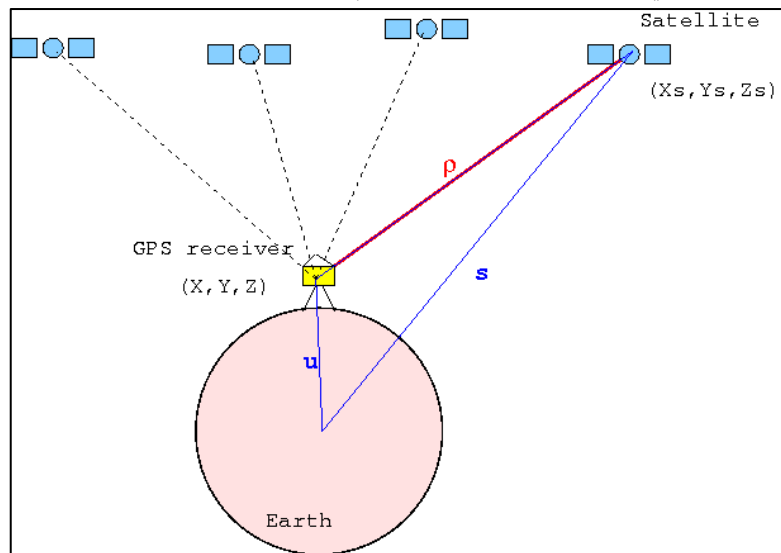
حيث إن:

- lp التراكب الحر من أخطاء الأيونوسفير للمسافة الزائفة بالترددين L1,L2
 - $l\phi$ التراكب الحر من أخطاء الأيونوسفير للموجة الحاملة بالترددين L1,L2
 - brx ساعة المستقبل بالنسبة للزمن المرجعي (GPS Time)
 - $bsat$ ساعة القمر الصناعي بالنسبة للزمن المرجعي (GPS Time)
 - c سرعة الضوء في الخلاء
 - Tr تأخير الإشارة الناتج عن التروبوسفير
 - λ طول الموجة للتراكب المستخدم
 - N الغموض الخاص بالموجة الحاملة
 - εp و $\varepsilon \phi$ مركبتي ضجيج القياسات، والمتضمنة تأثير تعدد المسارات، وغيرها من التأثيرات.
- وبالتالي يمكن حساب المسافة الهندسية (Geometrical Range) بين القمر الصناعي والمستقبل، كما هو موضح في الشكل (2)، ونستطيع استخدام العلاقة التالية:

$$\rho = \sqrt{(x_{sat} - x_{rx})^2 + (y_{sat} - y_{rx})^2 + (z_{sat} - z_{rx})^2} \quad \text{المعادلة (3)}$$

حيث إن:

- $(x_{sat}, y_{sat}, z_{sat})$ هي إحداثيات القمر الصناعي.
- (x_{rx}, y_{rx}, z_{rx}) هي إحداثيات المستقبل الجيوديزي.



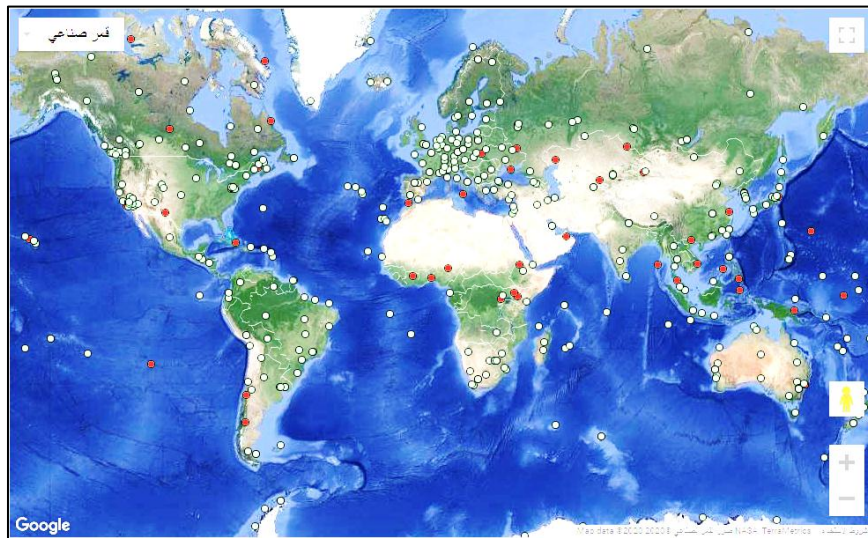
الشكل (2) هندسية الحصول على الموقع ضمن تقنية التموضع النقطة الدقيق (PPP)

يتم استخدام المرشحات التكرارية (Sequential Filters) لمعالجة الأرصاد من جميع الأقمار الصناعية دفعة واحدة، بهدف تكوين جملة معادلات خطية تعادل (على الأقل)، أو تفوق عدد المجاهيل المطلوب إيجادها (إحداثيات المستقبل الجيوديزي)، ويجب الانتباه إلى أن ضجيج المعالجة ضمن المرشح (Processing Noise)، يعتمد بشكل أساسي على ديناميكية جهاز الاستقبال، وكذلك على مقدار تفاوت الفعالية التروبوسفيرية ضمن منطقة وجود المستقبل [4].

ونتيجة ما تقدم نجد أن أداء تقنية التموضع النقطي الدقيق (PPP Performance) يرتبط مباشرة بدقة المنتجات الجيوديزية الدقيقة لمدارات وساعات الأقمار الصناعية من نظم (GNSS)، وكذلك بدقة المنتجات الجيوديزية الخاصة بصيغ النمذجة الدقيقة للأخطاء (Precise Error Modeling Terms).

2- مفهوم المنتجات الجيوديزية الدقيقة (Precise Geodetic Products):

تؤمن المنظمة العالمية لخدمات النظم العالمية للملاحة بالأقمار الصناعية (International GNSS Services) والمعروفة اختصاراً (IGS) ما يعرف باسم المنتجات الجيوديزية الدقيقة (IGS Products) بصيغ ملفات رقمية مختلفة، عن طريق شبكة عالمية من المحطات المرجعية، عددها (400) محطة حتى عام 2020م، وموزعة حول العالم كما هو مبين في الشكل (3)، وهي تتميز بأنها محطات دائمة الرصد لنظم الملاحة الفضائية (GNSS) [2,5].



الشكل (3) محطات شبكة (IGS) لعام 2020م

تتضمن المنتجات الجيوديزية الدقيقة ما يلي، [2,5]:

- بيانات التقويم الفلكي الدقيق لأقمار النظم العالمية للملاحة بالأقمار الصناعية.
- البيانات الدقيقة لساعات الأقمار الصناعية، ومحطات التعقب الأرضية العالمية.
- إحداثيات محطات التعقب العالمية وسرعاتها النسبية تبعاً لحركة القشرة الأرضية.
- معاملات دوران الأرض.
- النموذج العالمي للأيونوسفير.
- تقديرات التأخير التروبوسفيري.

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)، وهي [5]:

1. خدمة (IGS) الرئيسية.
2. (EUROPEAN SPACE AGENCY) ESA
3. (Center for Orbit Determination in Europe) COD
4. (Jet Propulsion Laboratory) JPL

يقوم حالياً كل مركز من مراكز التحليل المذكورة بإنتاج منتجات جيوديزية دقيقة خاصة به، متيحاً أمام المستخدم توافراً أكبر لتلك المعاملات.

الجدول (1) أنواع الملفات الجيوديزية الدقيقة، وصيغ ملفاتها رقمياً.

التوفر الرسمي حتى تاريخه	صيغة الملف رقمياً	نوع الملف	
GPS GLONASS	*.sp3	ملف المدارات الدقيقة	1
GPS GLONASS	*.clk	ملف الساعات الدقيقة	2
All GNSS	*.yyn	ملفات التقويم الفلكي	3
	*.snx	ملفات الإحداثيات الجيومركزية لمحطات التعقب الخاصة بـ IGS	4
	*.erp	ملف معاملات دوران الأرض	5
	معاملات التروبوسفير Ionospheric TEC grid	ملفات معاملات التصحيح الأتموسفيري	6

3- إشكالية البحث:

يتميز كل مركز من مراكز تحليل البيانات العالمية (Data Centers)، بصيغة منتجات جيوديزية دقيقة خاصة به، وهذا يعود إلى أن كل مركز يعالج بيانات الأرصاد للمحطات المرجعية دائمة الرصد بخوارزمية رياضية مختلفة، وبأولويات جغرافية مختلفة، وبالتالي فإن توافر المنتجات الجيوديزية الدقيقة، من مراكز بيانات متنوعة، يدفع للتساؤل عن مجال الدقة التي يوافرها استخدام تلك المنتجات الجيوديزية الدقيقة، ومدى تأثيرها على أداء تحديد الموقع باستخدام تقنية التموضع النقطي الدقيق (PPP)، بشكل نسبي (Precision) ومطلق (Accuracy)؟.

أهمية البحث وأهدافه:

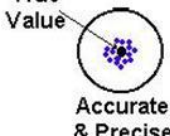
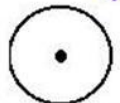
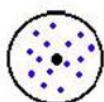

إن وجود منتجات جيوديزية دقيقة، من مراكز تحليل بيانات متنوعة، يفرض على البحث تقييم موسّع لأداء هذه المنتجات وأثرها على دقة الموقع الناتج بتقنية التموضع النقطي الدقيق (PPP)، وبالتالي ضمان الوصول إلى دقة تموضع (نسبية ومطلقة) تراعي الاحتياجات الهندسية للمشاريع الهندسية المختلفة.

يهدف البحث إلى:

- بيان مقدار التأثير الذي يحدثه استخدام المنتجات الجيوديزية الدقيقة ضمن تقنية التموضع النقطي الدقيق (PPP)، مقارنةً بالتموضع المفرد المطلق (Single Point Positioning)، والتموضع بالطريقة الساكنة الشعاعية (Static GNSS Positioning)، ضمن معياري الصحة (Accuracy)، والدقة (Precision).
- تقييم الأداء النسبي والمطلق لتقنية التموضع النقطي الدقيق (PPP) باستخدام منتجات جيوديزية دقيقة من مراكز تحليل البيانات العالمية الأربعة، على نفس مجموعة النقاط المختارة ضمن التجربة، لبيان أي من هذه المراكز هو الأكثر موثوقية.

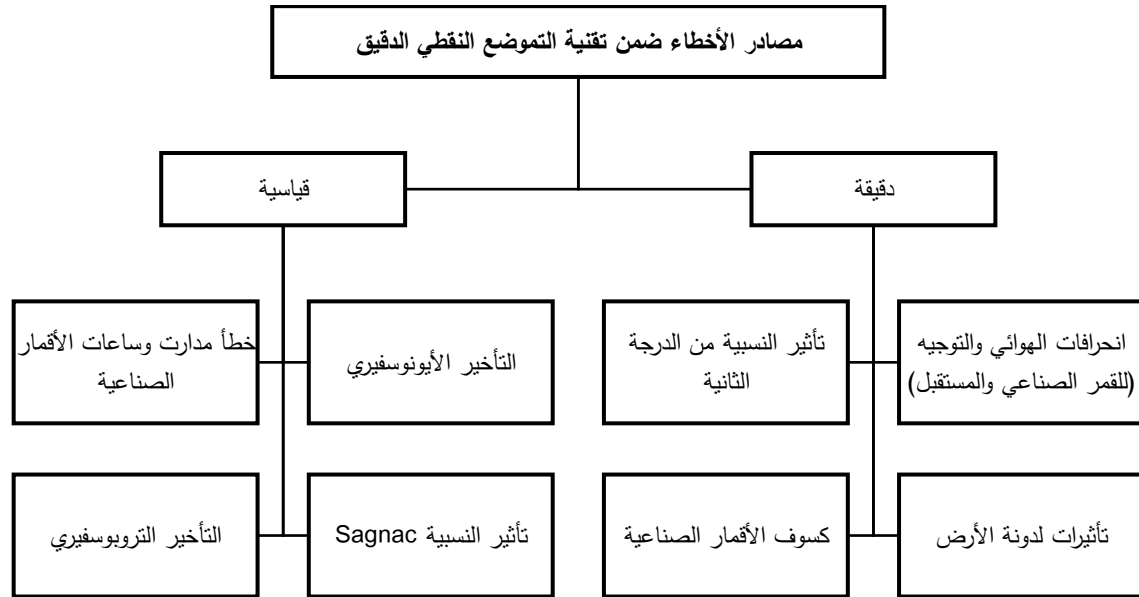
4- الفرق بين مفهومي الصِّحة (Accuracy) والدقَّة (Precision):

تتميز أرصاد تقنية التموضع النقطي الدقيق (PPP) بوجود عدد كبير جداً من الأرصاد ضمن العينة الإحصائية المدروسة، حالها في ذلك حال جميع أرصاد تقنيات القياس الفضائية، وبما أن تقنية التموضع النقطي الدقيق (PPP) تعتمد مستقبلاً جيوديزياً وحيداً، فإن التفريق بين مفهومي الصحة (Accuracy) والدقة (Precision) يعتبر أمراً أساسياً، وخصوصاً أن الفترة الدنيا للرصد ضمن هذه الطريقة هو (30) دقيقة، فإذا افترضنا أن جهاز الاستقبال يقيس بفاصل زمني هو (5) ثانية، يكون عدد الأرصاد ضمن العينة الإحصائية الواحدة للمحطة هو (360) رصدة. المقصود بمصطلح الصِّحة (Accuracy): هو مدى اقتراب القياسات من القيمة الحقيقية (True Value) أو القيمة الأكثر احتمالاً للحالة المدروسة (Most Probable Value). بينما يعني مصطلح الدقَّة (Precision): هو مدى اقتراب القياسات من بعضها البعض نسبياً فقط، ويبين الشكل (4) الفرق بين المفهومين [6].

www.shmula.com		Accuracy	
		Accurate	Not Accurate
Precision	Precise	 <p>True Value Accurate & Precise</p>	 <p>Not Accurate & Precise</p>
	Not Precise	 <p>Accurate & Not Precise</p>	 <p>Not Accurate & Not Precise</p>

الشكل (4) الفرق بين مفهومي الصحة (Accuracy) والدقَّة (Precision)

5- صيغ النمذجة الدقيقة للأخطاء ضمن تقنية التموضع النقطي الدقيق (Precise Modeling Terms for PPP): تتضمن المعالجة الرياضية لخوارزمية التموضع النقطي الدقيق (PPP)، نمذجة لجميع مصادر الأخطاء، وهي تتألف من الأقسام المبينة في الشكل رقم (5): [7]



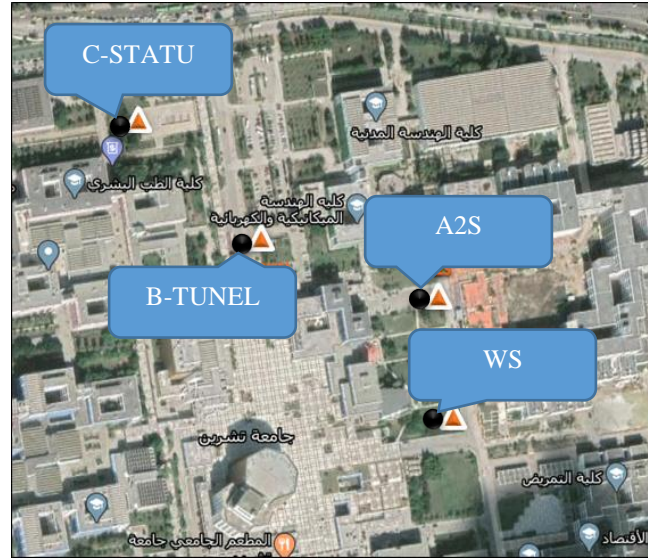
الشكل (5) صيغ النمذجة الدقيقة للأخطاء ضمن تقنية التموضع النقطي الدقيق (PPP)

طرائق البحث ومواده:

قمنا باختيار (4) محطات (مراسد) ضمن حرم جامعة تشرين، وهي (A2S/WS/C-STATU/B-TUNEL)، هذه المحطات معلومة الإحداثيات ضمن نظام الإحداثيات الستيريوغرافي السوري المحلي، وباستخدام تقنية الرصد الساكنة الشعاعية (Static GNSS)، باستخدام مستقبل جيوديزي (Hi-Target V8)، وحصلنا على إحداثيات هذه النقاط ضمن جملة الإحداثيات العالمية (WGS-84/UTM ZONE 36N)، ويظهر الشكل (6) موقع تجربة البحث والمحطات المدروسة، ويبين الجدول (2) الإحداثيات النهائية لتلك المحطات.

الجدول (2) الإحداثيات النهائية للمحطات الأربعة المدروسة ضمن تجربة البحث:

اسم المحطة	نظام الإحداثيات الستيريوغرافي السوري المحلي		نظام الإحداثيات العالمية WGS84/UTM ZONE 36N	
	x(m)	y(m)	X(m)	Y(m)
A2S	-303039.969	151859.165	754737.892	3934764.996
WS	-303025.554	151744.461	754759.480	3934650.981
C-STATU	-303307.827	152039.979	754459.344	3934929.141
B-TUNEL	-303202.989	151918.167	754571.574	3934813.752



الشكل (6) موقع المحطات المدروسة ضمن البحث

ضمن هذه المرحلة تم استنتاج معاملات التحويل بين نظامي الإحداثيات وفق تحويل تماثلي ثنائي البعد (Affine Transformation)، [8,9,10]، وكانت قيم هذه المعاملات كما يلي:

الجدول (3) معاملات التحويل بين نظام الإحداثيات الستيريوغرافي السوري المحلي ونظام الإحداثيات العالمي WGS-84/UTM ZONE 36N:

$X' = s.X \cos(\alpha) - s.Y \sin(\beta) + x_0$ $X' = a1.X - b1.Y + a0$	a1	0.99854
	b1	-0.06335
	a2	0.06264
	b2	0.99405
$Y' = s.X \sin(\alpha) + s.Y \cos(\beta) + y_0$ $Y' = a2.X + b2.Y + b0$	a0	-1303142.724
	b0	-3711673.541

1- مرحلة إجراء القياسات باعتماد تقنية التموضع النقطي الدقيق (PPP):

تم إعادة قياس إحداثيات هذه المحطات الأربعة باعتماد تقنية التموضع النقطي الدقيق (PPP)، باستخدام مستقبل جيوديزي وحيد لكل محطة بشكل منفصل، المستقبل الجيوديزي المستخدم من نوع (HI-TARGET V8)، لأرصاد (GPS, GLONASS)، ثنائية التردد (L1,L2) بفواصل زمني للرصدة (5) ثانية، ومدة رصد (30) دقيقة.

2- مرحلة الحصول على المنتجات الجيوديزية الدقيقة من مراكز تحليل البيانات العالمية (Data Centers):

تتطلب عملية الحصول على المنتجات الجيوديزية الدقيقة (Precise Geodetic Products)، الخاصة بالمحطات المدروسة، الدخول إلى قواعد البيانات الرقمية لمراكز البيانات العالمية على شبكة الإنترنت، لذلك اقترحنا ضمن البحث تبسيطاً لوجستياً لبروتوكولات الحصول على المنتجات الجيوديزية الدقيقة، من خلال روابط مباشرة على شبكة الإنترنت، ويستطيع المستخدم إضافة معاملات أرصاده الزمنية حتى يتمكن مباشرة من الحصول على المنتجات الجيوديزية الدقيقة على شبكة الإنترنت.

1-2 بروتوكولات الحصول على المنتجات الجيوديزية الدقيقة:

المدارات الدقيقة:

المركز	بروتوكول الدخول	المعاملات
IGS	ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/gps/products/%w/igs%w%D.sp3.Z	w% : رقم أسبوع GPS
ESA	ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/gps/products/%w/esa%w%D.sp3.Z	D% : رقم اليوم ضمن الأسبوع
COD	ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/gps/products/%w/cod%w%D.eph.Z	
JPL	ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/gps/products/%w/jpl%w%D.sp3.Z	

الساعات الدقيقة:

المركز	بروتوكول الدخول	المعاملات
IGS	ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/gps/products/%w/igs%w%D.clk.Z	w% : رقم أسبوع GPS
ESA	ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/gps/products/%w/esa%w%D.clk.Z	D% : رقم اليوم ضمن الأسبوع
COD	ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/gps/products/%w/cod%w%D.clk.Z	
JPL	ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/gps/products/%w/jpl%w%D.clk.Z	

معاملات دوران الأرض:

المركز	بروتوكول الدخول	المعاملات
IGS	ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/gps/products/%w/igs%w7.erp.Z	w% : رقم أسبوع GPS
ESA	ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/gps/products/%w/esa%w7.erp.Z	
COD	ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/gps/products/%w/cod%w7.erp.Z	
JPL	ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/gps/products/%w/jpl%w7.erp.Z	

تصحيات الأيونوسفير:

المركز	بروتوكول الدخول	المعاملات
IGS	ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/gps/products/ionex/%Y/%n/igs%g%n0.%yi.Z	Y% : العام (أربع محارف)
ESA	ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/gps/products/ionex/%Y/%n/esag%n0.%yi.Z	n% : اليوم من العام (ثلاث محارف)
COD	ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/gps/products/ionex/%Y/%n/cod%g%n0.%yi.Z	y% : العام (محرفين)
JPL	ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/gps/products/ionex/%Y/%n/jpl%g%n0.%yi.Z	

معاملات ANTEX:

المركز	بروتوكول الدخول	المعاملات
IGS	ftp://igs.org/pub/station/general/igs08_%w.atx	w% : رقم أسبوع GPS

الإحداثيات النهائية لمحطات (IGS):

المركز	بروتوكول الدخول	المعاملات
IGS	ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/gps/data/daily/%Y/%n/%yd/%s%n0.%yd.Z	Y% : العام (4 محارف) n% : اليوم من العام (ثلاث محارف) y% : العام (محرفين) s% : الرقم المعرف للمحطة (أحرف صغيرة)

3- مرحلة معالجة القياسات بتقنية التموضع النقطي الدقيق (PPP):

تم استخدام برنامج (RTK-LIB) لمعالجة الأرصاد ضمن كل محطة من المحطات الأربعة المدروسة، وهو حزمة برمجية تفاعلية، خاصة بمعالجة وتحليل بيانات نظم الملاحة الفضائية بالأقمار الصناعية، وهو أحد البرمجيات الموصى باستخدامها من قبل وكالة الفضاء الأوروبية (ESA). وكانت معاملات المعالجة ضمن البرنامج لكل محطة من المحطات كالتالي:

الجدول (4) معاملات المعالجة للتموضع النقطي الدقيق (PPP) ضمن برنامج (RTK-LIB)

المعامل	الوصف	ملاحظات
نوع التموضع	تموضع نقطي دقيق	يوفر البرنامج أنماط تموضع أخرى
زاوية الحجب	15^0 (درجة)	تم اعتمادها ضمن القياسات الحقلية
ملف الأرصاد	*.18o (اختصار لـ Observation)	تم تحويله من صيغة *.ZHD إلى صيغة RINEX 3.02
الملف الملاحي	*.18p	تم تحويله من صيغة *.ZHD إلى صيغة RINEX 3.02
ملف المدارات الدقيقة	<ul style="list-style-type: none"> • igs20072.sp3 • esa20072.sp3 • cod20072.eph • jpl20072.sp3 	تم تحميلها حسب البروتوكولات الخاصة بالمدارات الدقيقة من شبكة الإنترنت، لكل محطة من المحطات.
ملف الساعات الدقيقة	<ul style="list-style-type: none"> • igs20072.clk • esa20072.clk • cod20072.clk • jpl20072.clk 	تم تحميلها حسب البروتوكولات الخاصة بالساعات الدقيقة من شبكة الإنترنت، لكل محطة من المحطات.
معاملات دوران الأرض	<ul style="list-style-type: none"> • igs20077.erp • esa20077.erp • cod20077.erp • jpl20077.erp 	تم تحميلها حسب البروتوكولات الخاصة بالساعات الدقيقة من شبكة الإنترنت، لكل محطة من المحطات.
ملف تصحيحات الأيونوسفير	<ul style="list-style-type: none"> • igs1620.18i • cod1620.18i • esag1620.18i • jpl1620.18i 	تم تحميلها حسب البروتوكولات الخاصة بتصحيحات الأيونوسفير الدقيقة من شبكة الإنترنت، لكل محطة من المحطات.
تابع تصحيح التروبوسفير	نموذج ساستامونيان (Sastamonian)	نموذج رياضي ضمن برنامج المعالجة
الفترة الزمنية للأرصاد الداخلة في عملية المعالجة	30 min (ثلاثون دقيقة من الأرصاد بفاصل زمني مقداره (5 sec) لكل رصدة)	هي مدة الرصد الكاملة، والفاصل الزمني للرصد الواحدة، والتي تم اعتمادها حقلياً عند إجراء القياسات.
تصحيح مركز الموجة لكل من القمر الصناعي وجهاز الاستقبال	igs08.atx	لحساب SAT-PCV/REC-PCV/PH-Windup

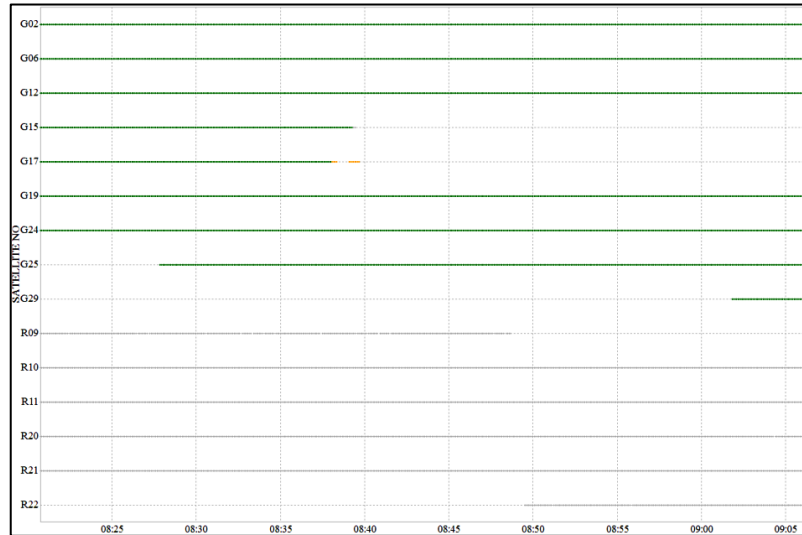
4- النتائج الخاصة بعملية المعالجة ضمن تقنية التموضع النقطي الدقيق (PPP):

يوفر البرنامج المستخدم مستويين من إظهار النتائج، المستوى الأول هو التحليلات المسبقة للأرصاد (Pre Analysis)، والمستوى الثاني هو المعالجة اللاحقة والحصول على الإحداثيات النهائية ضمن كل محطة (Post Analysis).

(Analysis). وسنعرض مثلاً عن نتائج المحطة (WS) بالمستويين المذكورين، وتم الحصول على نفس التحليلات والنتائج لباقي المحطات بنفس المنهجية.

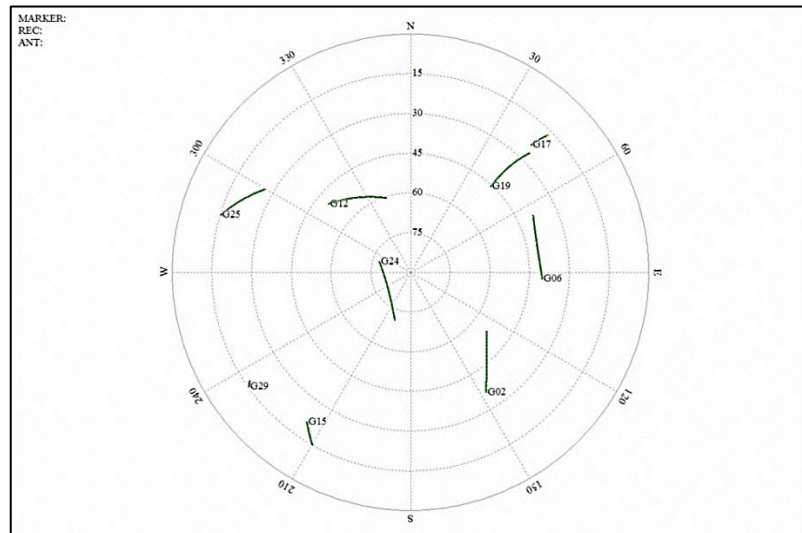
1-4 التحليلات السابقة للمعالجة (Pre Analysis): (للمحطة WS)

1- تحليل الرؤية للأقمار الصناعية (Satellite Visibility):



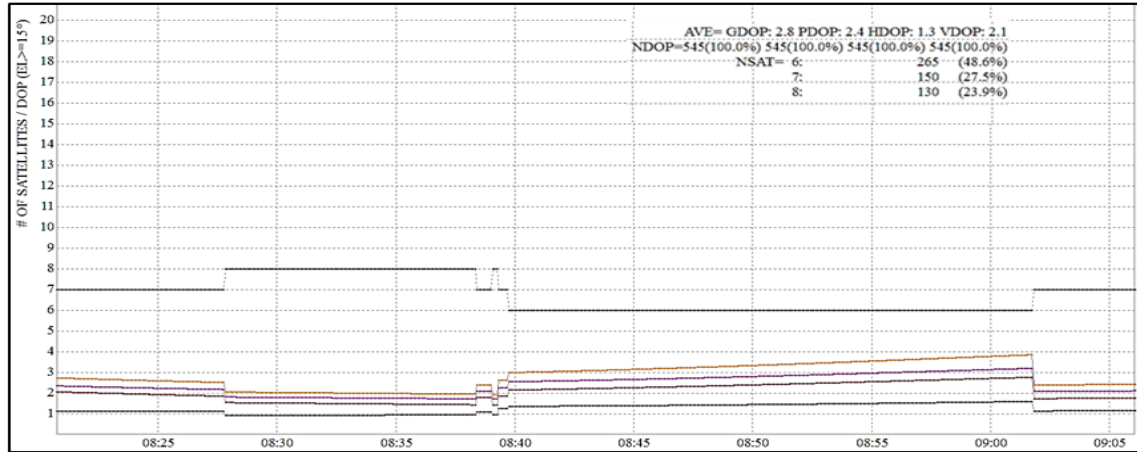
الشكل (7) تحليل الرؤية وعدد الأقمار الصناعية (GPS+GLONASS) ضمن فترة الرصد للمحطة (WS)

2- تحليل سماء النقطة (Sky Analysis):



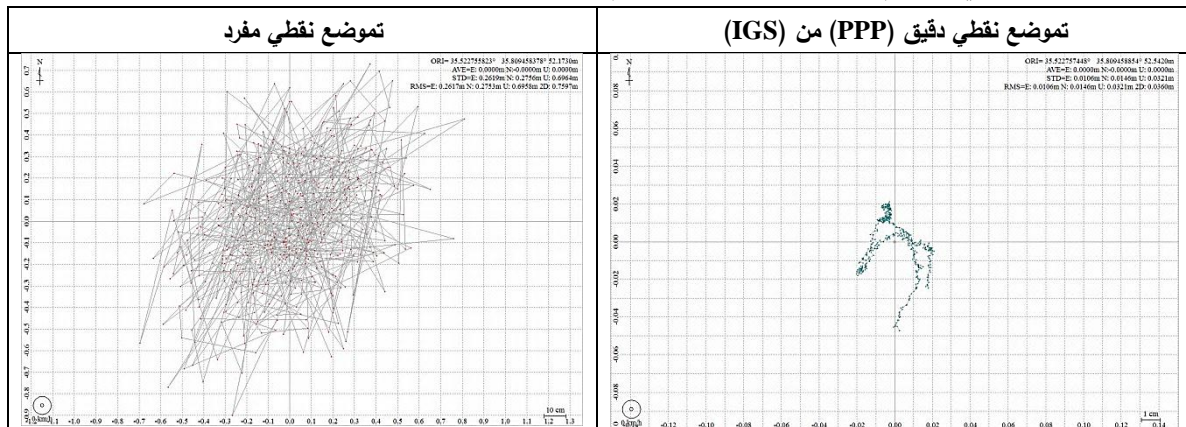
الشكل (8) تحليل سماء النقطة ضمن فترة الرصد للمحطة (WS)

3- تحليل قيم DOP: (معامل هندسية توزع الأقمار الصناعية خلال زمن رصد المحطة (WS))



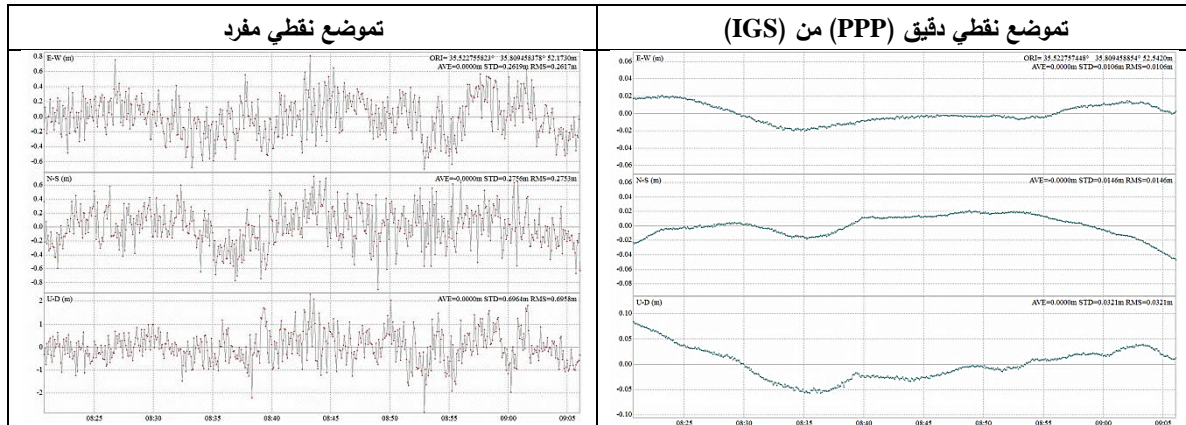
الشكل (9) تحليل قيم (DOP) ضمن فترة الرصد للمحطة (WS)

4-2 التحليلات اللاحقة للمعالجة (Post Analysis):
1- التعقب ثنائي البعد (2D Ground Tracking):



الشكل (10) مقارنة أداء التموضع النقطي الدقيق (PPP) بالتموضع النقطي المفرد من ناحية التعقب ثنائي البعد

2- الخطأ المتوسط التربيع للمركبات الإحداثية الثلاث (Position Component's RMS):



الشكل (11) مقارنة أداء التموضع النقطي الدقيق (PPP) بالتموضع النقطي المفرد من ناحية الخطأ المتوسط التربيع للإحداثيات

تم تكرار عملية المعالجة ضمن تقنية التموضع النقطي الدقيق (PPP)، لكل محطة من المحطات الأربع المدروسة، بتثبيت كافة معاملات المعالجة المذكورة ضمن الجدول (4)، وبتغيير المنتجات الجيوديزية الدقيقة من مراكز البيانات الأربعة في كل مرة، وحصلنا على إحداثيات المحطات الأربعة ضمن نظام الإحداثيات العالمية (WGS-84/UTM ZONE 36N)، وباستخدام معاملات التحويل المذكورة في الجدول (3)، تم الحصول على إحداثيات المحطات ضمن جملة الإحداثيات الستيريوغرافية المحلية:

الجدول (5) إحداثيات المحطات باعتماد تقنية التموضع النقطي الدقيق (PPP)، ومنتجات جيوديزية دقيقة من أربعة مراكز بيانات.

اسم المركز	المحطة	نظام الإحداثيات العالمية WGS-84/UTM ZONE 36N		نظام الإحداثيات الستيريوغرافي السوري المحلي	
		X(m)	Y(m)	x(m)	y(m)
IGS	A2S/IGS/PPP	754737.976	3934764.990	-303039.885	151859.154
	WS/IGS/PPP	754759.510	3934650.902	-303025.529	151744.381
	C-statu/IGS/PPP	754459.254	3934929.043	-303307.923	152039.887
	B-tunel/IGS/PPP	754571.588	3934813.805	-303202.972	151918.219
ESA	A2S/ESA/PPP	754737.992	3934765.195	-303039.857	151859.356
	WS/ESA/PPP	754759.445	3934650.906	-303025.594	151744.389
	C-statu/ESA/PPP	754459.443	3934929.115	-303307.730	152039.947
	B-tunel/ESA/PPP	754571.567	3934813.740	-303202.997	151918.156
COD	A2S/COD/PPP	754737.684	3934764.970	-303040.178	151859.152
	WS/COD/PPP	754759.246	3934651.126	-303025.779	151744.620
	C-statu/COD/PPP	754459.289	3934929.301	-303307.872	152040.142
	B-tunel/COD/PPP	754571.744	3934813.726	-303202.821	151918.130
JPL	A2S/JPL/PPP	754737.806	3934765.022	-303040.053	151859.196
	WS/JPL/PPP	754759.469	3934651.061	-303025.560	151744.541
	C-statu/JPL/PPP	754459.425	3934929.117	-303307.748	152039.950
	B-tunel/JPL/PPP	754571.492	3934813.824	-303203.066	151918.244

النتائج والمناقشة:

الجدول (6) فروق الإحداثيات ضمن المحطات الأربعة المدروسة، نسبة للإحداثيات ضمن الجدول (2)

المحطة	فروق الإحداثيات المطلقة ضمن نظام الإحداثيات العالمية WGS-84/UTM ZONE 36N		فروق الإحداثيات المطلقة ضمن نظام الإحداثيات الستيريوغرافي السوري المحلي		المركز
	VX (m)	VY (m)	Vx (m)	Vy (m)	
A2S	0.032	-0.063	0.028	-0.065	IGS
	-0.029	0.168	-0.018	0.169	ESA
	0.165	-0.100	0.158	-0.110	COD
	0.042	-0.047	0.039	-0.049	JPL
WS	-0.037	-0.080	-0.042	-0.077	IGS
	0.033	0.126	0.041	0.123	ESA
	0.120	0.176	0.131	0.167	COD
	0.063	0.012	0.064	0.008	JPL
C-STATU	0.073	0.082	0.078	0.077	IGS
	0.184	0.016	0.185	0.004	ESA
	0.049	0.223	0.063	0.219	COD

	0.086	0.085	0.091	0.079	JPL
B-TUNEL	-0.074	-0.086	-0.079	-0.081	IGS
	-0.027	-0.176	-0.038	-0.173	ESA
	-0.21	0.213	-0.196	0.225	COD
	0.017	-0.003	0.017	-0.004	JPL

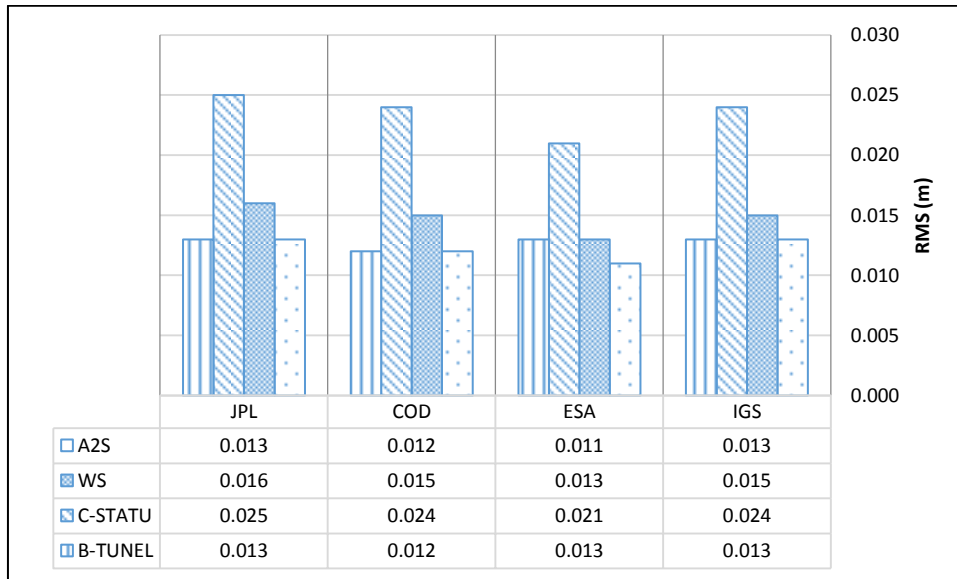
وننتج لدينا لكل محطة أربع فروقات للإحداثيات، على المحورين (X,Y)، ضمن نظامي الإحداثيات المذكورين أعلاه، وتم حساب الخطأ المتوسط التربيع للموقع في كل محطة من المحطات، وكانت النتائج النهائية كما يلي:

الجدول (7) الخطأ المتوسط التربيع للموقع، ضمن كل محطة من المحطات المدروسة:

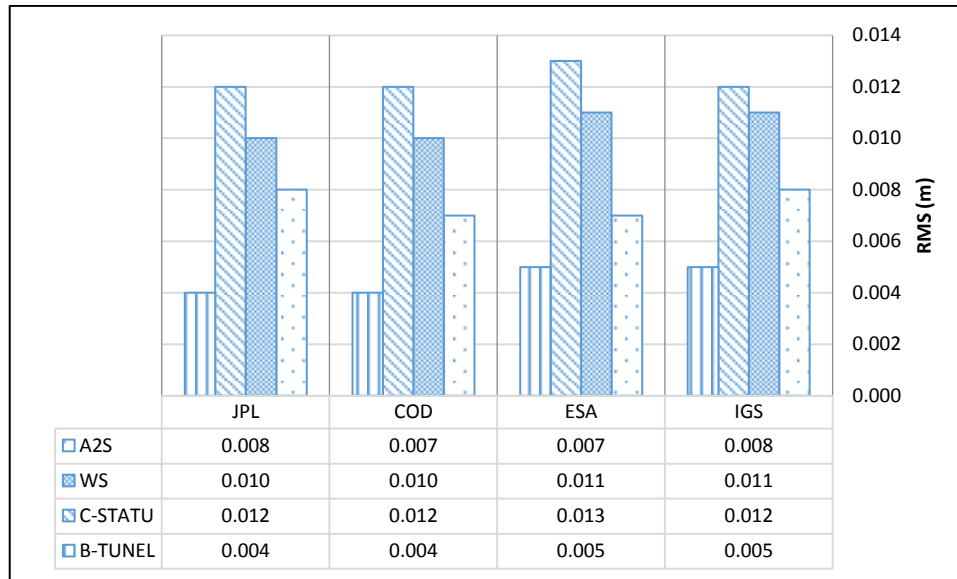
σ_p /WGS-84/UTM ZONE 36N (m)	σ_p /local (m)	المركز	Pn.	σ_p /WGS-84/UTM ZONE 36N (m)	σ_p /local (m)	المركز	Pn.
0.110	0.110	IGS	C-STATU	0.071	0.070	IGS	A2S
0.185	0.185	ESA		0.170	0.170	ESA	
0.228	0.227	COD		0.193	0.193	COD	
0.121	0.121	JPL		0.063	0.063	JPL	
0.113	0.113	IGS	B-TUNEL	0.088	0.088	IGS	WS
0.178	0.177	ESA		0.130	0.130	ESA	
0.299	0.299	COD		0.213	0.212	COD	
0.017	0.017	JPL		0.064	0.064	JPL	

1- اختبار الدقة والتقييم النسبي لأداء تقنية التموضع النقطة الدقيق (PPP) بالاعتماد على منتجات جيوديزية دقيقة من مراكز البيانات الأربعة (IGS/ESA/COD/JPL)، (Precision Test):

ضمن تعريف الدقة (Precision)، تم حساب قيمة الخطأ المتوسط التربيع على المركبتين الأفقيتين (E,N)، أي مدى اقتراب القياسات من بعضها البعض نسبياً، وذلك ضمن كل محطة من المحطات الأربعة المدروسة، وكانت النتائج كما هو موضح في الشكلين (12,13) وكانت النتائج كما يلي:

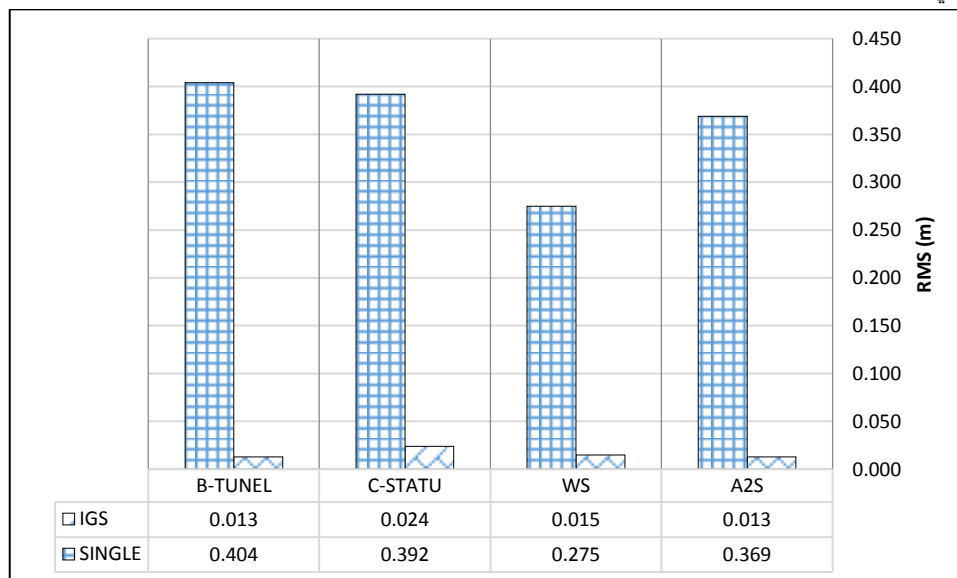


الشكل (12): مقارنة قيم الخطأ المتوسط التربيع RMS للمركبة EASTING للنقاط الأربعة المقاسة بتقنية التموضع النقطة الدقيق (PPP) من مراكز الخدمة الأربعة (JPL/COD/ESA/IGS)

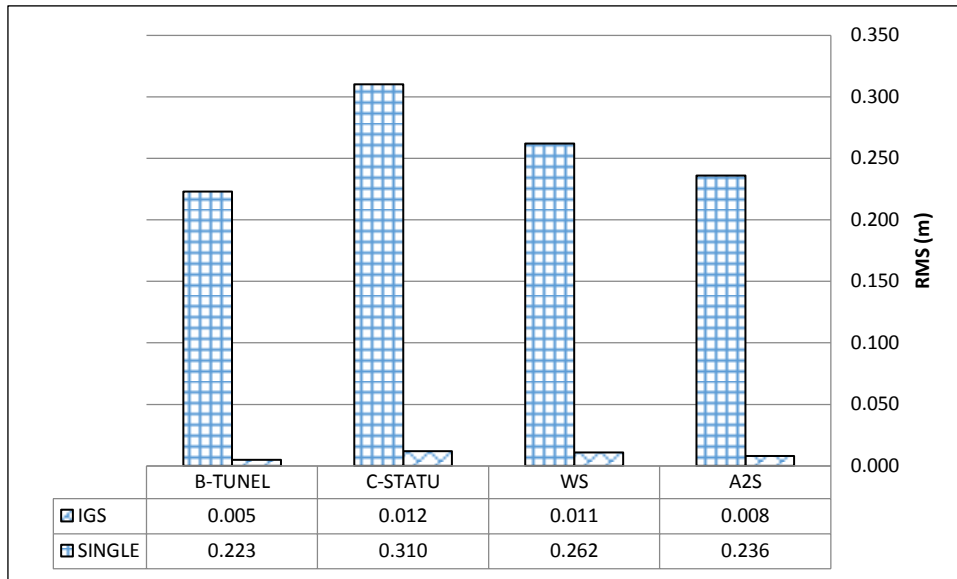


الشكل (13): مقارنة قيم الخطأ المتوسط التربيع RMS للمركبة NORTHING للنقاط الأربعة المقيسة بتقنية التموضع النقطي الدقيق (PPP) من مراكز الخدمة الأربعة (JPL/COD/ESA/IGS)

ونلاحظ من الشكلين السابقين، وقيم جدولي الأخطاء متوسطة التربيع المرفقة بهما، أن استخدام منتجات جيوديزية من مركزي (COD/ESA) يعطي نتائج أكثر دقة (More Precise) من استخدام منتجات جيوديزية دقيقة من مركزي (IGS/JPL). وكذلك نلاحظ مقدار تحسن دقة تحديد الموقع باستخدام التموضع النقطي الدقيق (PPP)، باعتماد منتجات جيوديزية دقيقة، وذلك مقارنةً بدقة التموضع المطلق المفرد (Single Point Positioning)، والشكلان (14,15) يوضحان النتائج كما يلي:

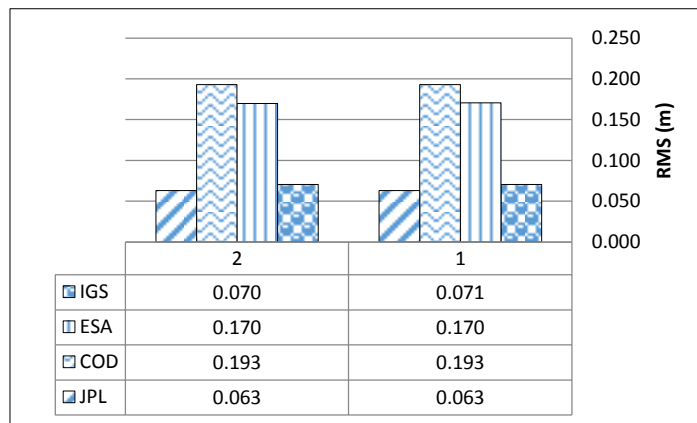


الشكل (14): مقارنة قيم الخطأ المتوسط التربيع RMS للمركبة NORTH (شمال) للنقاط الأربعة المدروسة بين التموضع النقطي الدقيق (PPP/IGS) والتموضع المفرد (Single Point)

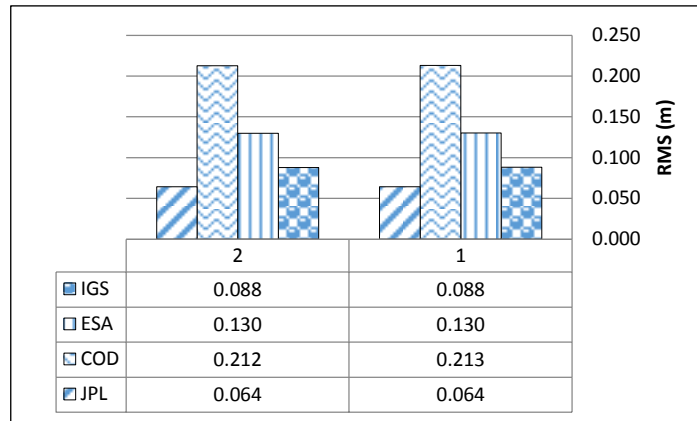


الشكل (15): مقارنة قيم الخطأ المتوسط التربيع RMS للمركبة EAST (شرق) للنقاط الأربعة المدروسة بين التموضع النقضي الدقيق (PPP/IGS) والتموضع المفرد (Single Point)

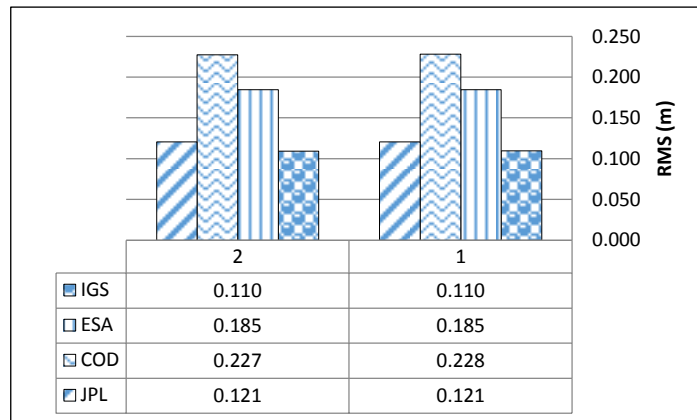
2- اختبارات الصحة والتقييم المطلق لأداء تقنية التموضع النقضي الدقيق (PPP) بالاعتماد على منتجات جيوديزية مختلفة: باعتبار الإحداثيات الستيريوغرافية المحلية والاحداثيات العالمية (WGS-84) للمحطات الأربعة المدروسة هي الإحداثيات النهائية للمحطات، والواردة في الجدول رقم (2)، قمنا باختبار أداء تقنية التموضع النقضي الدقيق (PPP)، بالاعتماد على منتجات جيوديزية من مراكز البيانات الأربعة، بالشكل المطلق نسبة لتلك الإحداثيات، ونتائج فروقات الإحداثيات ضمن المحطات الأربعة موضحة بالأشكال (16,17,18,19) كما يلي:



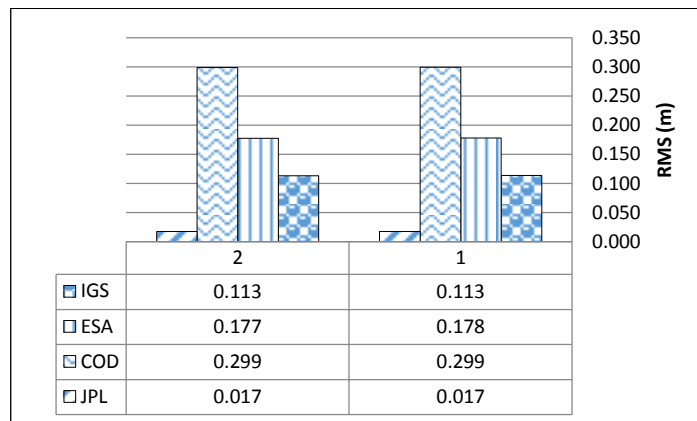
الشكل (16): مقارنة الدقة المطلقة للموقع باستخدام التموضع النقضي الدقيق ومنتجات جيوديزية دقيقة من (IGS/COD/ESA/JPL): المحطة (A2S)، 1: ستيريوغرافي، 2: UTM ZONE 36N



الشكل (17): مقارنة الدقة المطلقة للموقع باستخدام التموضع النقطي الدقيق ومنتجات جيوديزية دقيقة من (IGS/COD/ESA/JPL):
المحطة (WS) 1 : ستيريوغرافي، 2: UTM ZONE 36N

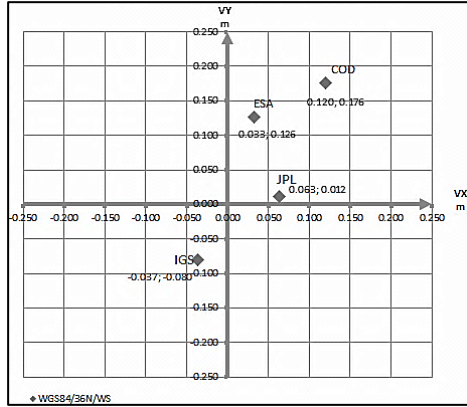


الشكل (18): مقارنة الدقة المطلقة للموقع باستخدام التموضع النقطي الدقيق ومنتجات جيوديزية دقيقة من (IGS/COD/ESA/JPL):
المحطة (C-STATU) 1: ستيريوغرافي، 2: UTM ZONE 36N

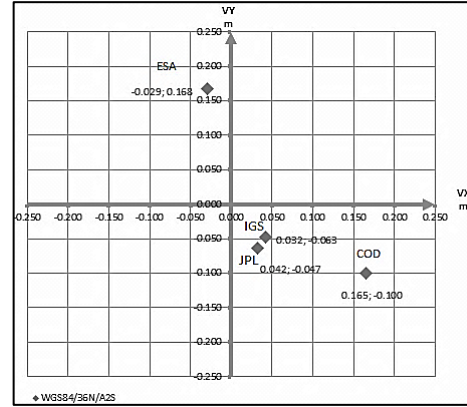


الشكل (19): مقارنة الدقة المطلقة للموقع باستخدام التموضع النقطي الدقيق ومنتجات جيوديزية دقيقة من (IGS/COD/ESA/JPL):
المحطة (B-TUNEL) 1: ستيريوغرافي، 2: UTM ZONE 36N

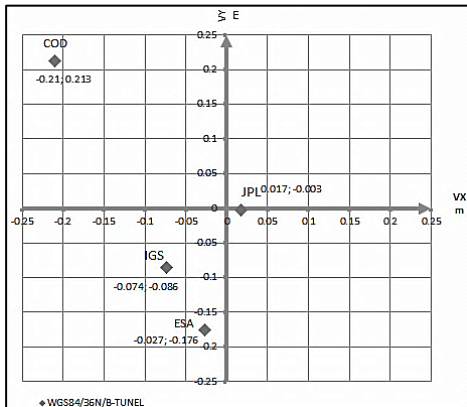
نلاحظ أنه ضمن المحطات المدروسة جميعها، تعطي المنتجات الجيوديزية الدقيقة من (IGS/JPL) قيمة للخطأ المتوسط التربيع للموقع ضمن تقنية التموضع النقطي الدقيق (PPP)، أكثر صحة (More Accurate) من قيم الخطأ المتوسط التربيع للموقع باعتماد تقنية التموضع النقطي الدقيق (PPP) ومنتجات جيوديزية دقيقة من (COD/ESA)، كما هو مبين بالشكل (20).



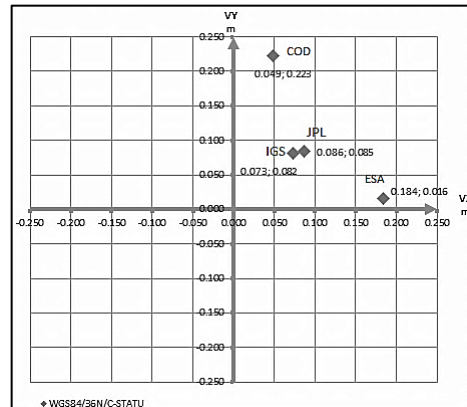
الانزياحات المطلقة للنقطة (WS)



الانزياحات المطلقة للنقطة (A2S)



الانزياحات المطلقة للنقطة (B-TUNEL)



الانزياحات المطلقة للنقطة (C-STATU)

الشكل (20) الانزياحات المطلقة لكل محطة من المحطات المقاسة بتقنية (PPP) عن القيمة الأكثر احتمالاً لها، من مراكز البيانات الأربعة

الاستنتاجات والتوصيات:

اعتماداً على نتائج المعالجة المتبعة في البحث، باستخدام منتجات جيوديزية دقيقة من مركز البيانات (IGS/COD/ESA/JPL)، تم التوصل إلى الاستنتاجات والتوصيات الآتية:

- 1) ضمن اختبارات الدقة (Precision Tests)، تعطي المنتجات الجيوديزية الدقيقة من مركزي (COD) و (ESA)، نتائج أفضل من استخدام المنتجات الجيوديزية الدقيقة من مركزي (IGS) و (JPL).
- 2) وصلت الدقة النسبية للموقع باستخدام تقنية التموضع النقطي الدقيق (PPP)، ومنتجات جيوديزية دقيقة من مراكز البيانات الأربعة، إلى مرتبة (1 cm) وسطياً على المركبتين الأفقيتين (X,Y).
- 3) ضمن اختبارات الصحة (Accuracy Tests)، تعطي المنتجات الجيوديزية الدقيقة من مركزي (IGS) و (JPL) نتائج أفضل من استخدام المنتجات الجيوديزية الدقيقة من مركزي (COD) و (ESA).

- (4) أعطت تقنية التموضع النقطة الدقيق (PPP)، بعد نصف ساعة فقط من القياسات بمستقبل جيوديزي وحيد ثنائي التردد، دقة تموضع مطلقة بلغت قيمة الخطأ المتوسط التربيع الواسطي لها قيمة (7-11 cm) وسطيًا ضمن مركز (IGS)، و (2-12cm) ضمن مركز (JPL).
- (5) تبسيط عملية الحصول على المنتجات الجيوديزية الدقيقة، من مراكز البيانات الأربعة المدروسة، وذلك من خلال بروتوكولات التحميل المباشرة المقترحة في البحث.
- (6) نوصي باستخدام المنتجات الجيوديزية من مركزي (IGS) أو (JPL)، عند استخدام تقنية التموضع النقطة الدقيق (PPP)، لأنها تعطي قيم مطلقة أفضل ضمن اختبار الصحة (Accuracy Test).

References:

- [1] MALINOWSKI, M. & KWIECIEŃ, J. *A Comparative Study of Precise Point Positioning (PPP) Accuracy Using Online Services*. Reports on Geodesy and Geo-informatics, 2016, 102(1), pp. 15-31.
- [2] JOHNSTON, G., RIDDELL, A., HAUSLER G. *The International GNSS Service*. Springer Handbook of Global Navigation Satellite Systems. Springer Handbooks. Springer, Cham, 2017.
- [3] LIU, T., YUAN, Y., ZHANG, B. *et al. Multi-GNSS precise point positioning (MGPPP) using raw observations*. *J Geod*, 2017, 91, 253–268.
- [4] KAZMIERSKI, K., SOŚNICA, K. & HADAS, T. *Quality assessment of multi-GNSS orbits and clocks for real-time precise point positioning*. *GPS Solut*, 2018, 22, 11.
- [5] VILLIGER, A., DACH, R. *International GNSS Service Technical Report 2018 (IGS Annual Report)*. IGS Central Bureau and University of Bern; Bern Open Publishing, 2019.
- [6] AL-KAMOUH, A. *Engineering Surveying (2)*, Tishreen University, 2015-2016.
- [7] AL-KAMOUH, A., KAHILA, A. *Development of hybrid geodetic networks adjustment algorithm based on Extended Kalman Filter algorithm*, Master Thesis in Topographic Engineering, Tishreen University, 2015
- [8] DEEB, F., DAYOUB, W., ALTAZAH, S. *Analyzing 2D Transforming The Global Coordinates Measured By GNSS To The Syrian Local Coordinates*. Tishreen University journal for research and scientific studies- Engineering Science Series Vol. (38) No. (5) 2016.
- [9] MAHFOUD, N. *Studying and Programming Transformation of (3-D) Coordinates from GPS into Stereographic in Syria*. Tishreen University journal for research and scientific studies- Engineering Science Series Vol. (31) No. (1) 2009.
- [10] DEEB, F., DAYOUB, W. *Derivation of Transformation Parameters between WGS84 and Local Datum in Syria*. Tishreen University journal for research and scientific studies- Engineering Science Series Vol. (30) No. (3) 2008.