

تحديد طريقة تحويل الإحداثيات الأفضل بين نظامي الإحداثيات WGS84 و المحلي لمراقبة تشوه منشأة

د. محسن أحمد*

د. ندى محفوظ**

(تاريخ الإيداع 23 / 3 / 2021. قُبِلَ للنشر في 21 / 6 / 2021)

□ ملخص □

إن تحويل الإحداثيات ثنائية الأبعاد (Two Dimensional) 2D و ثلاثية الأبعاد (Three Dimensional) 3D هو من الإجراءات التقليدية في أعمال المساحة، إلا أنه عندما يتم استخدام النظم العالمية للملاحة بالأقمار الصناعية (GNSS) (Global Navigation Satellite Systems) في تحديد الموقع فإن تحويل الإحداثيات ثلاثية الأبعاد يصبح تطبيق ضروري .

إن الهدف الرئيسي من هذا البحث هو تحديد أفضل طريقة لتحويل الإحداثيات ثلاثية الأبعاد المقاسة بنظام GNSS إلى إحداثيات ثلاثية الأبعاد بنظام محلي من أجل مراقبة تشوه منشأة. و بينت النتائج باستخدام البرنامج Trans LT أن الطريقة الأفضل لتحويل الإحداثيات هي طريقة التحويل المثلث (8 Affine) و أما الأسوأ فهما طريقتي التحويل المطابق (Bursa) و (Molodensky – badekas) و ذلك بعد مراعاة عدد و توزيع النقاط المشتركة و التأكيد على ضرورة تصحيح التعرج الجيويدي للمناسيب المقاسة في GNSS.

الكلمات المفتاحية: تحويل الإحداثيات، النظم العالمية للملاحة بالأقمار الصناعية، تشوه، النقاط المشتركة.

* أستاذ - قسم الهندسة الطبوغرافية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية mouhsenahm@gmail.com
** أستاذ مساعد - قسم الهندسة الطبوغرافية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية nadavousefmahfoud@tishreen.edu.sy

Determine The Best Coordinate Transformation Method Between The WGS84 And Local Coordinate Systems For Facility Deformation Monitoring

Dr. Mouhsen Ahmad*

Dr. Nada Mahfoud**

(Received 23 / 3 / 2021. Accepted 21 / 6 / 2021)

□ ABSTRACT □

The transformation of two-dimensional and three-dimensional coordinates is one of the traditional procedures in survey work, but when the global navigation satellite systems (GNSS) are used in determining the location, then transformation the three-dimensional coordinates becomes a necessary application.

The main objective of this research is to determine the best method for transformation 3D coordinates measured by GNSS to 3D local coordinate system in order to observe a facility deformation. The results using the " Trans LT" program showed that the best method to transform the coordinates is the " 8 Affine", and the worst are the "Bursa' and " Molodensky – badekas " conformal transformation methods, after taking into account the number and distribution of the common points with an emphasis on the need to correct the geoidal undulation of the measured levels in GNSS.

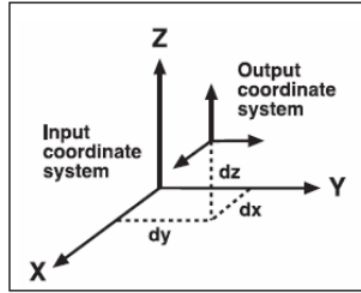
Keywords: Coordinate Transformation, Global Navigation Satellite Systems, Deformation, Common Points

*Professor, Department of Topographic Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria. mouhsenahm@gmail.com

**Associate Professor, Department of Topographic Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria. nadayousefmahfoud@tishreen.edu.sy.

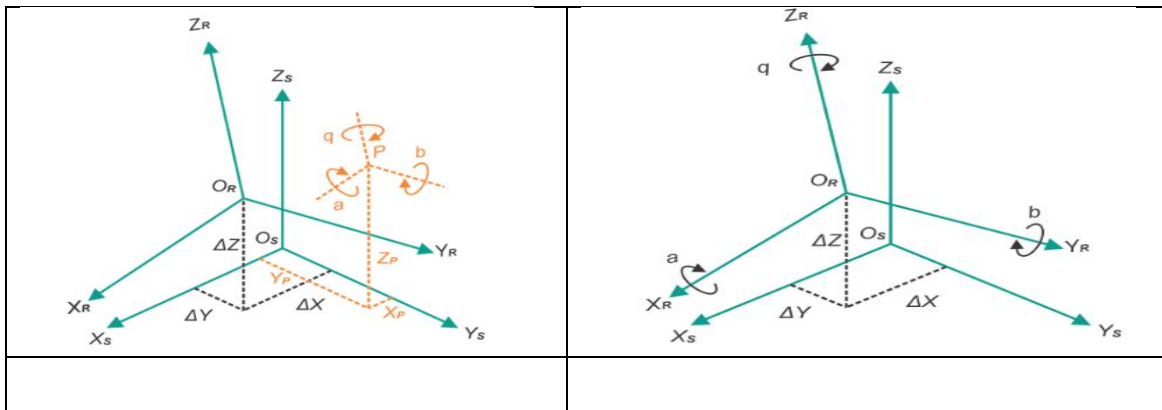
مقدمة:

إن تحويل الإحداثيات هو عملية رياضية تحول إحداثيات نقطة من نظام إلى آخر، و سيتم في هذا البحث عرض الطرق الرياضية لتأسيس العلاقة الهندسية بين إحداثيات نقطة في أطر مرجعية مختلفة حيث يمكن استخدام طرق تحويل مختلفة تبعاً لجودة الشبكة و الدقة المطلوبة و خصائص أخرى مرتبطة بنماذج التحويل. إن النموذج البسيط لتحويل الإحداثيات ثلاثية الأبعاد بين أنظمة إحداثيات مختلفة هو انسحاب مبدأ الإحداثيات متمثلاً بمتغيرات الانسحاب (dx, dy, dz) [1] كما مبين في الشكل (1).



الشكل (1): متغيرات الانتقال الثلاثة

أما نموذج التحويل الأعم فهو يشمل سبع معاملات متمثلة في ثلاث انتقالات للمبدأ (dx, dy, dz) و ثلاث دورانات للمحاور (r_x, r_y, r_z) ومعامل مقياس رسم وحيد (s) كما في نموذج تحويل Bursa-Wolf المبين في الشكل (2) حيث يستخدم مبدأ نظام الإحداثيات المرجعي لإجراء دوران المحاور، و أيضاً نموذج Molodensky-Badekas المبين في الشكل (3) الذي ينفذ دوران المحاور حول مبدأ محلي هو متوسط إحداثيات النقاط المشتركة في النظام القديم (common points)، بالإضافة إلى أنه يمكن أن يكون عدد معاملات نموذج التحويل (8) في حالة وجود معاملي مقياس أحدهما أفقي (S_{xy}) و الآخر شاقولي (S_z) ، أو يكون عدد معاملات نموذج التحويل (9) في حالة وجود معامل مقياس على كل من المحاور (S_x, S_y, S_z) [2].



الشكل (3): نموذج 3D Molodensky-Badekas

الشكل (2): نموذج 3D Bursa-Wolf

أهمية البحث و أهدافه:

يستخدم تحويل الإحداثيات بشكل واسع في الجيوديزيا و ذلك للتحويل بين المراجع الجيوديزية، و أيضاً يشكل في المساحة جزء من أنظمة المراقبة للمشاريع، وإن أهمية تحويل الإحداثيات في أعمال مراقبة تشوه المنشآت أصبح ضرورة ملحة ولا سيما بعد استخدام النظم العالمية للملاحة بالأقمار الصناعية GNSS. لذلك فإن البحث يهدف إلى تحديد الطريقة الأفضل لتحويل إحداثيات مقاسة بنظم الإحداثيات العالمية GNSS إلى إحداثيات محلية لمراقبة تشوه منشأة

طرائق البحث و مواده:

تم التركيز في القسم النظري على أنواع وطرق التحويل بين أنظمة الإحداثيات، أما القسم العملي فركز على عرض نتائج القياسات و قيم معاملات التحويل للطرق المختلفة و فروقات الإحداثيات الناتجة بعد التحويل عن الإحداثيات الحقيقية (المقاسة بالدورة الأولية باستخدام جهاز المحطة المتكاملة) و تمثيلها تخطيطياً، ثم مقارنة النتائج و استخلاص بعض النتائج و التوصيات.

أنواع التحويل بين أنظمة الإحداثيات:

يقسم تحويل الإحداثيات من نظام إحداثيات إلى آخر وفق ما يلي:

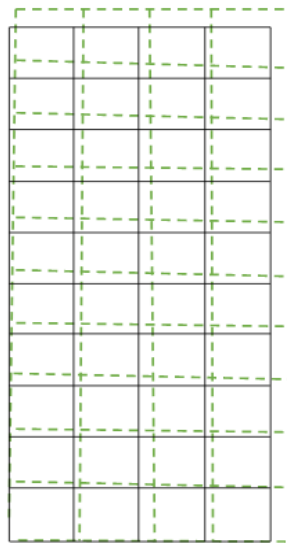
- تحويل الإحداثيات ثنائية البعد (2D)

- تحويل الإحداثيات ثلاثية الأبعاد (3D)

يستخدم التحويل ثنائي البعد للتحويل من نظام إحداثيات (X, Y) إلى نظام آخر بحيث أن كليهما ثنائي البعد (2D)، و يتم هذا التحويل في منطقة محدودة المساحة لا تتوفر فيها معلومات عن الإحداثي الشاقولي. و من نماذج تحويل الإحداثيات ثنائية البعد:

i - التحويل المطابق ثنائي الأبعاد (2D - Conformal Transformation):

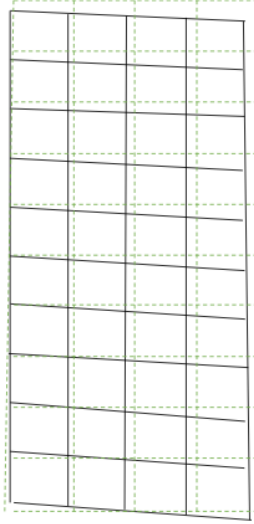
التحويل المطابق ثنائي البعد (شكل 4) هو تحويل خطي يربط نظامي إحداثيات (2D) من خلال دوران المحاور بزاوية (a) و تغيير مقياس الرسم بمعامل مقياس وحيد (s) و متغيري الانسحاب بين مبدئي نظامي الإحداثيات.



الشكل (4) نموذج التحويل المطابق 2D

ii - التحويل المثلثي - ثنائي الأبعاد (Affine Transformation - 2D) :

إن التحويل المثلثي شكل (5) هو تحويل خطي يربط نظامي إحداثيات من خلال (6) معاملات متمثلة في زاوية دوران (a) و معاملين لمقياس الرسم أحدهما (S_x) في اتجاه المحور X و الآخر (S_y) في اتجاه المحور Y وانسحاب المبدأ (X_0, Y_0).



الشكل (5): نموذج التحويل المثلثي 2D

كما مبين بالشكل (4) فإن التحويل المطابق يحافظ على الشكل الأصلي لشبكة الخطوط المتعامدة، بينما التغيرات المختلفة لمقياس الرسم في اتجاه X و Y في التحويل المثلثي غير الشكل الأصلي لشبكة الخطوط المستطيلة مع بقاء خطوط الشبكة مستقيمة [3].

إلا أن نموذج تحويل الإحداثيات (3D) هو الأكثر ملاءمة لتحديد المواقع و ذلك لأنه ذو مفهوم عالمي و يسمح بالحل من أجل الإرتفاع و الموقع الأفقي بالإضافة لأنه أقوى رياضياً. و من نماذج التحويل ثلاثية الأبعاد [4],[5],[6]:

i. التحويل المطابق (Conformal Transformation)

ii. التحويل المثلثي (Affine Transformation)

i- التحويل المطابق ثلاثي الأبعاد (Conformal Transformation - 3D) :

يتطلب تحويل الإحداثيات المطابق بين نظامي إحداثيات سبع معاملات ممثلة في (3) انسحابات تربط بين مبدأي نظامي الإحداثيات (dX, dY, dZ) و (3) دورانات للمحاور (R_x, R_y, R_z) بحيث تربط الاتجاه لنظامي الإحداثيات و أخيراً متغير المقياس (dS) ليحدد الاختلاف في المقياس بين النظامين. و من أشهر نماذج هذه التحويلات المطابق:

i-1 - تحويل هلمرت (Helmert Transformation)

i - 2 - تحويل Bursa-Wolf

i - 3 - تحويل Molodensky - badekas

و تأتي أهمية التحويل المطابق من:

- العدد القليل للمعاملات
- بساطة النموذج التي تجعله سهل الاستخدام في البرمجة
- ملائم للتحويل بين نظامي إحداثيين متجانسين أي عدم وجود تشوه محلي في المقياس أو الاتجاه.

1-i - تحويل هلمرت (Helmert Transformation):

ترتبط معادلة نموذج التحويل لإحداثيات النقاط $(X, Y, Z)_{new}$ إلى الإحداثيات $(X, Y, Z)_{old}$ كما يلي:

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_{new} = \begin{pmatrix} dX \\ dY \\ dZ \end{pmatrix} + (1 + dS) \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_{old} \begin{vmatrix} 1 & R_Z & -R_Y \\ -R_Z & 1 & R_X \\ R_Y & -R_X & 1 \end{vmatrix} \quad (1)$$

و يعبر عنها بالشكل المختصر:

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_{new} = \begin{pmatrix} dX \\ dY \\ dZ \end{pmatrix} + \mu R(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3) \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_{old} \quad (2)$$

حيث أن:

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_{old}, \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_{new} : \text{إحداثيات النقطة } (i) \text{ في كل من نظام الإحداثيات القديم و الجديد.}$$

$$\begin{pmatrix} dX \\ dY \\ dZ \end{pmatrix} : \text{متغيرات الانسحاب الثلاثة}$$

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$: زوايا دوران المحاور الثلاثة

μ : معامل مقياس الرسم

R مصفوفة الدوران

$$R_{3 \times 3} = R(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3) = R_3(\alpha_3) \cdot R_2(\alpha_2) \cdot R_1(\alpha_1)$$

$$= \begin{vmatrix} \cos \alpha_3 & \sin \alpha_3 & 0 \\ -\sin \alpha_3 & \cos \alpha_3 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} \cos \alpha_2 & 0 & -\sin \alpha_2 \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \alpha_2 & 0 & \cos \alpha_2 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha_1 & \sin \alpha_1 \\ 0 & -\sin \alpha_1 & \cos \alpha_1 \end{vmatrix} \quad (3)$$

$$= \begin{vmatrix} \cos \alpha_2 \cos \alpha_3 & \cos \alpha_1 \sin \alpha_3 + \sin \alpha_1 \sin \alpha_2 \cos \alpha_3 & \sin \alpha_1 \sin \alpha_3 - \cos \alpha_1 \sin \alpha_2 \cos \alpha_3 \\ -\cos \alpha_2 \sin \alpha_3 & \cos \alpha_1 \cos \alpha_3 - \sin \alpha_1 \sin \alpha_2 \sin \alpha_3 & \sin \alpha_1 \cos \alpha_3 + \cos \alpha_1 \sin \alpha_2 \sin \alpha_3 \\ \sin \alpha_2 & -\sin \alpha_1 \cos \alpha_2 & \cos \alpha_1 \cos \alpha_2 \end{vmatrix} \quad (4)$$

2-i - تحويل (Bursa - Wolf):

عندما يكون دوران المحاور قيمة صغيرة (حتى 10") و بالتالي المحاور شبه متوازنة يمكن تقريب المعادلة (1)

إلى ما يسمى تحويل Bursa - Wolf وفق الآتي:

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_{new} = \begin{pmatrix} dX \\ dY \\ dZ \end{pmatrix} + (1 + dS) \begin{vmatrix} 1 & R_Z & -R_Y \\ -R_Z & 1 & R_X \\ R_Y & -R_X & 1 \end{vmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_{old} \quad (5)$$

3-i - تحويل (Molodensky - badekas):

إن أحد مشاكل نموذج تحويل (Bursa - Wolf) هي أن المعاملات مترابطة بشكل قوي و تحديداً في المساحات الصغيرة، و بالتالي فإن نموذج تحويل (Molodensky - badekas) يزيل هذا الارتباط القوي بين المعاملات بربطهم إلى مركز النقاط المشتركة بين نظامي الإحداثيات (X_m, Y_m, Z_m) وفق ما يلي:

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_{new} = \begin{pmatrix} X_m \\ Y_m \\ Z_m \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} dX \\ dY \\ dZ \end{pmatrix} + (1 + ds) \begin{pmatrix} 1 & R_Z & -R_Y \\ -R_Z & 1 & R_X \\ R_Y & -R_X & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X - X_m \\ Y - Y_m \\ Z - Z_m \end{pmatrix}_{old}$$

$$X_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_{i(ol)} \quad Y_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_{i(ol)} \quad Z_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Z_{i(ol)} \quad (6)$$

حيث أن (n) عدد النقاط المشتركة بين نظامي الإحداثيات و بقية المصطلحات كما في حالة نموذج تحويل (Bursa - Wolf)، إضافة إلى أنه حديثاً أصبح هذا النموذج من التحويل يسمى التحويل المطابق ذو (10) معاملات.

ii - التحويل المثيل (Affine Transformation-3D)

إن تحويل Affine يتطلب:

- (8) معاملات تحويل ممثلة في (3) انتقالات (dX, dY, dZ) و (3) دورانات (R_X, R_Y, R_Z) و (2) متغير للمقياس أحدهما أفقي (S_{XY}) و الآخر شاقولي (S_Z) حيث تأخذ المعادلة (16) الشكل التالي:

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_{new} = \begin{pmatrix} dX \\ dY \\ dZ \end{pmatrix} + \mu_{(S_{XY}, S_{XY}, S_Z)} R(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3) \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_{old} \quad (7)$$

و لإزالة الارتباط القوي بين المتغيرات يتم ربط الإحداثيات إلى مركز النقاط المشتركة كما في حالة تحويل (Molodensky - badekas) ليصبح عدد المعاملات (11).

- (9) معاملات تحويل ممثلة في (3) انتقالات (dX, dY, dZ) و (3) دورانات (R_X, R_Y, R_Z) و (3) متغيرات للمقياس (S_X, S_Y, S_Z) حيث تأخذ المعادلة (16) الشكل التالي:

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_{new} = \begin{pmatrix} dX \\ dY \\ dZ \end{pmatrix} + \mu_{(S_X, S_Y, S_Z)} R(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3) \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_{old} \quad (8)$$

و لإزالة الارتباط القوي بين المعاملات يتم ربط الإحداثيات إلى مركز النقاط المشتركة كما في حالة تحويل (Molodensky - badekas) ليصبح عدد المعاملات (12).

النتائج و المناقشة:

من أجل مراقبة تشوه منشأة سد 16 تشرين تم إنشاء شبكة مراقبة محلية (الشكل 6) تم قياس إحداثياتها باستخدام جهاز المحطة المتكاملة Topcon GPT3000 ، و أيضاً قيست باستخدام النظم العالمية للملاحة بالأقمار الصناعية GNSS بجهاز من النوع Hi target v8 ذو الدقة الأفقية (±2.5 mm+1ppm) والدقة الشاقولية (±5mm+1ppm) و من ثم تحويلها إلى ارتسام ميركاتور العالمي (UTM) على اهليلج WGS84 باستخدام البرنامج Trans LT و كانت النتائج كما في الجدول (1).



الشكل (6): موقع نقاط شبكة المراقبة على سد 16 تشرين

الجدول (1): إحداثيات GNSS ومحلية

	إحداثيات محلية (متر)			إحداثيات GNSS (متر)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
R4	1665.681	1305.262	81.3844	1535.0134	1500.5421	81.4154
R4-2	1669.091	1335.324	81.3278	1528.7382	1530.1468	81.3597
R5	1443.349	1462.067	81.32	1274.3391	1578.9122	81.3234
R14	1593.529	1232.039	45.9341	1489.7178	1408.192	45.9536
R15	1481.107	1328.456	42.68745	1352.4839	1464.066	42.6984
R16	1450.811	1349.468	42.80035	1317.0985	1474.3881	42.8085
R22	1502.565	1360.08	61.12985	1362.8585	1500.8763	61.1537
R23	1551.388	1325.021	61.39125	1420.2681	1483.0843	61.4142
T1	1000	1000	53.9088	1000	1000	53.9088
T2	1744.879	1000	72.2212	1706.8486	1235.9415	72.2991
T3	1250.572	1771.229	97.26195	993.4642	1811.2214	97.271
T4	1269.45	1278.153	41.3433	1167.5896	1349.307	41.3623
T5	1241.661	1475.949	53.7249	1078.5628	1528.2101	53.7518

تم اختبار طرق التحويل بين نظام الإحداثيات المقاس بنظام GNSS و النظام المحلي في أربع حالات للنقاط المشتركة (3 نقاط - أربع نقاط بتوزيعين مختلفين - خمس نقاط) و ذلك بعد حساب كل من معاملات التحويل باستخدام البرنامج Trans LT و الإحداثيات المحولة و فروقاتها عن المحلية و المبينة في الجداول اللاحقة.

جدول(2): الإحداثيات الناتجة من تحويل (Helmert) و فروقاتها عن الإحداثيات المحلية

3 Points (T1,T2,T3)							4 Points (T1,T2,T3,T4)						
	X(متر)	Y(متر)	Z(متر)	DX(متر)	DY(متر)	DZ(متر)		X(متر)	Y(متر)	Z(متر)	DX(متر)	DY(متر)	DZ(متر)
R4	1665.7023	1305.2595	81.3538	-0.0213	0.0025	0.0306	R4	1665.7	1305.2584	81.3513	-0.019	0.0036	0.0331
R4-2	1669.1224	1335.3152	81.2991	-0.0314	0.0088	0.0287	R4-2	1669.1201	1335.3142	81.2966	-0.0291	0.0098	0.0312
R5	1443.3488	1462.0699	81.2896	0.0002	-0.0029	0.0304	R5	1443.3463	1462.0688	81.2869	0.0027	-0.0018	0.0331
R14	1593.523	1232.0356	45.9107	0.0059	0.0029	0.0234	R14	1593.5207	1232.0344	45.9082	0.0082	0.0041	0.0259
R15	1481.0889	1328.4474	42.6716	0.0181	0.0086	0.01585	R15	1481.0865	1328.4462	42.669	0.0205	0.0098	0.01845
R16	1450.8053	1349.4338	42.7855	0.0057	0.0342	0.01485	R16	1450.8028	1349.4326	42.7828	0.0082	0.0354	0.01755
R22	1502.5778	1360.0646	61.1185	-0.0128	0.0154	0.01135	R22	1502.5754	1360.0634	61.1158	-0.0104	0.0166	0.01405
R23	1551.3794	1325.0249	61.3727	0.0089	-0.0043	0.01855	R23	1551.3771	1325.0237	61.3701	0.0112	-0.0031	0.02115
T1	1000.0053	1000.0057	53.9092	-0.0053	-0.0057	-0.0004	T1	1000.0026	1000.0039	53.9064	-0.0026	-0.0039	0.0024
T2	1744.8799	999.9932	72.2209	-0.0009	0.0068	0.0003	T2	1744.8779	999.9919	72.2187	0.0011	0.0081	0.0025
T3	1250.5658	1771.2301	97.2619	0.0062	-0.0011	5E-05	T3	1250.5629	1771.2293	97.2589	0.0091	-0.0003	0.003
T4	1269.4602	1278.1584	41.3541	-0.0102	-0.0054	-0.0108	T4	1269.4576	1278.157	41.3513	-0.0076	-0.004	-0.008
T5	1241.674	1475.9616	53.7494	-0.013	-0.0126	-0.0245	T5	1241.6713	1475.9604	53.7465	-0.0103	-0.0114	-0.0216
5 Points (T1,T2,T3,T4,T5)							4 Points (T1,T2,T3,T5)						
	X(متر)	Y(متر)	Z(متر)	DX(متر)	DY(متر)	DZ(متر)		X(متر)	Y(متر)	Z(متر)	DX(متر)	DY(متر)	DZ(متر)
R4	1665.6974	1305.2574	81.3476	-0.0164	0.0046	0.0368	R4	1665.6986	1305.2579	81.3485	-0.0176	0.0041	0.0359
R4-2	1669.1174	1335.3132	81.2926	-0.0264	0.0108	0.0352	R4-2	1669.1186	1335.3136	81.2935	-0.0276	0.0104	0.0343
R5	1443.3435	1462.0669	81.2815	0.0055	1E-04	0.0385	R5	1443.3448	1462.0672	81.2824	0.0042	-0.0002	0.0376
R14	1593.5185	1232.033	45.905	0.0104	0.0055	0.0291	R14	1593.5198	1232.0335	45.906	0.0091	0.005	0.0281
R15	1481.0841	1328.4442	42.6648	0.0229	0.0118	0.02265	R15	1481.0854	1328.4446	42.6658	0.0216	0.0114	0.02165
R16	1450.8004	1349.4305	42.7784	0.0106	0.0375	0.02195	R16	1450.8018	1349.4309	42.7793	0.0092	0.0371	0.02105
R22	1502.5729	1360.0617	61.1114	-0.0079	0.0183	0.01845	R22	1502.5742	1360.0621	61.1123	-0.0092	0.0179	0.01755
R23	1551.3746	1325.0222	61.3661	0.0137	-0.0016	0.02515	R23	1551.3759	1325.0226	61.367	0.0124	-0.002	0.02425
T1	1000.002	1000.001	53.9042	-0.002	-0.001	0.0046	T1	1000.0037	1000.0015	53.9053	-0.0037	-0.0015	0.0035
T2	1744.8762	999.9916	72.2176	0.0028	0.0084	0.0036	T2	1744.8774	999.9922	72.2187	0.0016	0.0078	0.0025
T3	1250.5593	1771.2264	97.2505	0.0127	0.0026	0.01145	T3	1250.5607	1771.2265	97.2514	0.0113	0.0025	0.01055
T4	1269.4557	1278.1545	41.3472	-0.0057	-0.0015	-0.0039	T4	1269.4572	1278.1548	41.3482	-0.0072	-0.0018	-0.0049
T5	1241.6688	1475.9576	53.7407	-0.0078	-0.0086	-0.0158	T5	1241.6702	1475.9578	53.7416	-0.0092	-0.0088	-0.0167

نلاحظ من الجدول أن قيم الفروقات ضمن السنتمترات و هي بالتالي مسموحة، إلا أن زيادة عدد النقاط المشتركة بين نظامي الإحداثيات لم يقلل الفروقات لكافة النقاط بسبب توزع النقاط المشتركة الذي فرضته منطقة العمل إذ كان لا يضم كافة نقاط المراقبة، وبهذا نجد أن توزع النقاط المشتركة أكثر تأثيراً من عددها.

جدول(3): الإحداثيات الناتجة من تحويل (Bursa – Wolf) و فروقاتها عن الإحداثيات المحلية

3 Points (T1,T2,T3)							4 Points (T1,T2,T3,T4)						
	X(متر)	Y(متر)	Z(متر)	DX(متر)	DY(متر)	DZ(متر)		X(متر)	Y(متر)	Z(متر)	DX(متر)	DY(متر)	DZ(متر)
R4	1665.723	1305.246	81.539	-	0.015	-	R4	1665.734	1305.230	81.208	-	0.031	0.1758
R4-2	1669.143	1335.304	81.566	-	0.019	-	R4-2	1669.154	1335.290	81.235	-	0.033	0.0924
R5	1443.352	1462.066	81.586	-	0.000	-	R5	1443.347	1462.056	81.193	0.001	0.010	0.1269
R14	1593.553	1232.112	47.645	-	-	-	R14	1593.571	1232.093	47.295	-	-	-
R15	1481.112	1328.539	44.67	-	-	-	R15	1481.121	1328.523	44.287	-	-	-
R16	1450.826	1349.527	44.791	-	-	-	R16	1450.833	1349.512	44.401	-	-0.044	-
R22	1502.595	1360.109	62.274	-0.03	-	-	R22	1502.600	1360.094	61.897	-	-	-
R23	1551.400	1325.066	62.490	-0.012	-	-	R23	1551.409	1325.051	62.127	-0.021	-	-
T1	999.9912	1000.041	53.910	0.008	-0.041	-	T1	999.9762	999.9959	53.414	0.023	0.004	0.4939
T2	1744.912	999.9829	72.220	-	0.017	0.0006	T2	1744.936	999.9516	71.918	-	0.048	0.3025
T3	1250.547	1771.205	97.260	0.024	0.024	0.0014	T3	1250.521	1771.207	96.808	0.051	0.021	0.4536
T4	1269.469	1278.249	43.029	-	-	-	T4	1269.467	1278.226	42.593	-	-	-
T5	1241.674	1476.033	55.241	-	-	-	T5	1241.664	1476.020	54.793	-	-	-
5 Points (T1,T2,T3,T4,T5)							4 Points (T1,T2,T3,T5)						
	X(متر)	Y(متر)	Z(متر)	DX(متر)	DY(متر)	DZ(متر)		X(متر)	Y(متر)	Z(متر)	DX(متر)	DY(متر)	DZ(متر)
R4	1665.729	1305.224	81.035	-	0.037	0.3494	R4	1665.721	1305.235	81.236	-	0.026	0.1475
R4-2	1669.148	1335.284	81.05	-	0.039	0.2778	R4-2	1669.141	1335.293	81.248	-0.05	0.030	0.0797
R5	1443.342	1462.048	80.931	0.007	0.018	0.3881	R5	1443.345	1462.055	81.153	0.003	0.011	0.1661
R14	1593.574	1232.074	47.143	-	-	-	R14	1593.564	1232.083	47.367	-	-	-
R15	1481.125	1328.503	44.084	-	-	-	R15	1481.121	1328.509	44.316	-0.014	-	-
R16	1450.837	1349.491	44.185	-	-	-	R16	1450.834	1349.496	44.420	-	-	-1.62
R22	1502.6	1360.080	61.684	-0.035	-	-	R22	1502.596	1360.087	61.908	-	-	-
R23	1551.408	1325.037	61.933	-	-	-	R23	1551.403	1325.045	62.153	-0.015	-	-
T1	999.9798	999.9766	53.290	0.020	0.023	0.6184	T1	999.9928	1000.004	53.637	0.007	-0.004	0.2718
T2	1744.934	999.9431	71.876	-	0.056	0.3448	T2	1744.918	999.9643	72.098	-	0.035	0.1227
T3	1250.509	1771.204	96.401	0.062	0.024	0.8602	T3	1250.526	1771.202	96.621	0.045	0.026	0.6403
T4	1269.472	1278.204	42.386	-	-	-	T4	1269.475	1278.214	42.659	-	-	-1.316
T5	1241.665	1476.002	54.504	-	-	-	T5	1241.673	1476.006	54.759	-	-	-

نلاحظ من الجدول أن قيم فروقات (x) و (y) ضمن السنتيمترات و هي أكبر من الحالة السابقة (Helmert) و هي أيضاً مسموحة، إلا أن قيم فروقات (z) غير مقبولة و هذا نتيجة أن طريقة (Bursa – Wolf) مناسبة لحالة الدوران بين المحاور صغير و هذا ما لم يتحقق في حالتنا كما مبين في الجدول (8).

جدول(4): الإحداثيات الناتجة من تحويل (8 Affine) وفروقاتها عن الإحداثيات المحلية

3 Points T1,T2,T3							4 Points (T1,T2,T3,T4)						
	X(متر)	Y(متر)	Z(متر)	DX(متر)	DY(متر)	DZ(متر)		X(متر)	Y(متر)	Z(متر)	DX(متر)	DY(متر)	DZ(متر)
R4	1665.7001	1305.2622	81.328	-	-	0.0564	R4	1665.6999	1305.2586	81.3523	-0.0189	0.0034	0.0321
R4-	1669.1201	1335.3176	81.262	-	0.0064	0.0658	R4-2	1669.12	1335.3144	81.297	-0.029	0.0096	0.0308
R5	1443.3484	1462.0705	81.2484	0.0006	-	0.0716	R5	1443.3463	1462.0689	81.2875	0.0027	-0.0019	0.0325
R14	1593.5154	1232.0266	45.6701	0.0135	0.0119	0.264	R14	1593.5203	1232.0341	45.8985	0.0086	0.0044	0.0356
R15	1481.0816	1328.436	42.3946	0.0254	0.02	0.29285	R15	1481.0861	1328.4457	42.6577	0.0209	0.0103	0.02975
R16	1450.7983	1349.4222	42.5073	0.0127	0.0458	0.29305	R16	1450.8025	1349.4321	42.7715	0.0085	0.0359	0.02885
R22	1502.5735	1360.0594	60.9582	-	0.0206	0.17165	R22	1502.5752	1360.0633	61.1104	-0.0102	0.0167	0.01945
R23	1551.3748	1325.0202	61.2178	0.0135	0.0004	0.17345	R23	1551.3768	1325.0236	61.3649	0.0115	-0.003	0.02635
T1	1000.0056	1000.0003	53.909	-	-	-0.0002	T1	1000.0028	1000.0039	53.9099	-0.0028	-0.0039	-0.0011
T2	1744.8761	999.996	72.2209	0.0029	0.004	0.0003	T2	1744.8776	999.9923	72.2208	0.0014	0.0077	0.0004
T3	1250.5693	1771.2327	97.2621	0.0027	-	-0.00015	T3	1250.5632	1771.2293	97.262	0.0088	-0.0003	-5E-05
T4	1269.4549	1278.1466	41.1219	-	0.0064	0.2214	T4	1269.4574	1278.1565	41.3427	-0.0074	-0.0035	0.0006
T5	1241.6707	1475.952	53.5425	-	-0.003	0.1824	T5	1241.6712	1475.96	53.7392	-0.0102	-0.011	-0.0143
5 Points (T1,T2,T3,T4,T5)							4 Points (T1,T2,T3,T5)						
	X(متر)	Y(متر)	Z(متر)	DX(متر)	DY(متر)	DZ(متر)		X(متر)	Y(متر)	Z(متر)	DX(متر)	DY(متر)	DZ(متر)
R4	1665.6972	1305.2579	81.351	-	0.0041	0.0334	R4	1665.6984	1305.2584	81.3505	-0.0174	0.0036	0.0339
R4-	1669.1172	1335.3136	81.2952	-	0.0104	0.0326	R4-2	1669.1184	1335.3141	81.2943	-0.0274	0.0099	0.0335
R5	1443.3435	1462.0671	81.2853	0.0055	-1E-04	0.0347	R5	1109.4453	1587.3918	81.5903	-0.0653	0.0412	0.0314
R14	1593.5178	1232.0328	45.8914	0.0111	0.0057	0.0427	R14	1593.5188	1232.0329	45.8808	0.0101	0.0056	0.0533
R15	1481.0835	1328.4438	42.6492	0.0235	0.0122	0.03825	R15	1481.0845	1328.4438	42.6374	0.0225	0.0122	0.05005
R16	1450.7998	1349.43	42.7629	0.0112	0.038	0.03745	R16	1450.8009	1349.43	42.7511	0.0101	0.038	0.04925
R22	1502.5725	1360.0616	61.1051	-	0.0184	0.02475	R22	1502.5737	1360.0618	61.0986	-0.0087	0.0182	0.03125
R23	1551.3742	1325.0222	61.3599	0.0141	-	0.03135	R23	1551.3753	1325.0224	61.3535	0.013	-	0.03775
T1	1000.0023	1000.0012	53.9109	-	-	-0.0021	T1	1000.0038	1000.0014	53.9099	-0.0038	-	-0.0011
T2	1744.8757	999.9923	72.2214	0.0033	0.0077	-0.0002	T2	1744.8769	999.9929	72.2207	0.0021	0.0071	0.0005
T3	1250.5599	1771.2265	97.2598	0.0121	0.0025	0.00215	T3	1250.5614	1771.2267	97.2622	0.0106	0.0023	-0.00025
T4	1269.4554	1278.154	41.3358	-	-0.001	0.0075	T4	1269.4565	1278.1539	41.3257	-0.0065	-	0.0176
T5	1241.6687	1475.9571	53.7323	-	-	-0.0074	T5	1241.6699	1475.957	53.7241	-0.0089	-0.008	0.0008

نلاحظ من الجدول أن قيم الفروقات ضمن السنتمترات و قريبة من نتائج طريقة (Helmert) وهي أيضاً مسموحة، و نجد أن زيادة عدد النقاط المشتركة بين نظامي الإحداثيات من 3 نقاط إلى 4 نقاط قلل الفروقات بالرغم من أن توزع النقاط الذي فرضته منطقة العمل كان غير محتو ضمنه كافة نقاط المراقبة و ظهر تأثير توزيع النقاط عند استخدام 4 نقاط مشتركة بتوزيعين مختلفين و كذلك حالة (5) نقاط مما أعطى أهمية لتوزع النقاط المشتركة و دقتها المبينة في الجدول 8 أكثر من عددها.

جدول (5): الإحداثيات الناتجة من تحويل (Affine 9) وفروقاتها عن الإحداثيات المحلية

3 Points (T1,T2,T3)						4 Points (T1,T2,T3,T4)							
(متر)X	Y (متر)	Z (متر)	DX (متر)	DY (متر)	DZ (متر)	(متر)X	Y (متر)	Z (متر)	DX (متر)	DY (متر)	DZ (متر)		
R4	1665.702	1305.26	81.2428	-0.021	0.0024	0.1416	R4	1665.698	1305.261	81.3523	-0.0173	0.0015	0.0321
R4-2	1669.121	1335.313	81.1395	-	0.011	0.1883	R4-	1669.119	1335.316	81.297	-0.0275	0.0076	0.0308
R5	1443.348	1462.063	81.1124	0.0014	0.004	0.2076	R5	1443.346	1462.07	81.2876	0.0029	-0.0034	0.0324
R14	1593.498	1231.989	44.8785	0.031	0.0498	1.0556	R14	1593.519	1232.035	45.8987	0.01	0.0032	0.0354
R15	1481.06	1328.391	41.4827	0.0466	0.0651	1.20475	R15	1481.086	1328.447	42.6579	0.0215	0.0092	0.02955
R16	1450.777	1349.377	41.5918	0.0342	0.0914	1.20855	R16	1450.802	1349.433	42.7717	0.009	0.0348	0.02865
R22	1502.563	1360.033	60.4307	0.0024	0.0466	0.69915	R22	1502.575	1360.065	61.1105	-0.0095	0.0154	0.01935
R23	1551.365	1324.996	60.7077	0.0236	0.025	0.68355	R23	1551.376	1325.025	61.365	0.0124	-0.0044	0.02625
T1	1000	1000	53.9088	0	0	0	T1	1000.004	1000.001	53.9097	-0.0037	-0.0012	-0.0009
T2	1744.879	1000	72.2212	0	0	0	T2	1744.875	999.9931	72.2207	0.0039	0.0069	0.0005
T3	1250.572	1771.229	97.262	0	0	-5E-05	T3	1250.565	1771.231	97.2621	0.0075	-0.0023	-
T4	1269.435	1278.108	40.3579	0.0153	0.0451	0.9854	T4	1269.458	1278.156	41.3428	-0.0076	-0.0034	0.0005
T5	1241.654	1475.916	52.8614	0.0073	0.0329	0.8635	T5	1241.672	1475.961	53.7394	-0.011	-0.0116	-0.0145
5 Points (T1,T2,T3,T4,T5)						4 Points (T1,T2,T3,T5)							
(متر)X	Y (متر)	Z (متر)	DX (متر)	DY (متر)	DZ (متر)	(متر)X	Y (متر)	Z (متر)	DX (متر)	DY (متر)	DZ (متر)		
R4	1665.697	1305.259	81.351	-	0.0034	0.0334	R4	1665.698	1305.259	81.3505	-0.0167	0.003	0.0339
R4-2	1669.117	1335.314	81.2952	-	0.0096	0.0326	R4-	1669.118	1335.315	81.2943	-0.0268	0.0092	0.0335
R5	1443.343	1462.068	81.2853	0.0056	-	0.0347	R5	1443.345	1462.068	81.2846	0.0043	-0.0009	0.0354
R14	1593.517	1232.033	45.8915	0.0118	0.0053	0.0426	R14	1593.518	1232.033	45.8809	0.0107	0.0052	0.0532
R15	1481.083	1328.444	42.6493	0.0239	0.0118	0.03815	R15	1481.084	1328.444	42.6375	0.0228	0.0119	0.04995
R16	1450.8	1349.43	42.763	0.0114	0.0376	0.03735	R16	1450.801	1349.43	42.7512	0.0103	0.0377	0.04915
R22	1502.572	1360.062	61.1051	-	0.0179	0.02475	R22	1502.573	1360.062	61.0987	-0.0084	0.0178	0.03115
R23	1551.374	1325.023	61.3599	0.0146	-	0.03135	R23	1551.375	1325.023	61.3536	0.0134	-0.0023	0.03765
T1	1000.003	1000	53.9109	-	0	-0.0021	T1	1000.004	1000	53.9098	-0.0042	-0.0003	-0.001
T2	1744.875	999.9926	72.2213	0.0044	0.0074	-0.0001	T2	1744.876	999.9932	72.2207	0.0031	0.0068	0.0005
T3	1250.56	1771.227	97.2598	0.0116	0.0018	0.00215	T3	1250.562	1771.227	97.2622	0.0102	0.0016	-0.00025
T4	1269.455	1278.154	41.3359	-	-	0.0074	T4	1269.457	1278.154	41.3257	-0.0066	-0.0008	0.0176
T5	1241.669	1475.957	53.7323	-	-	-0.0074	T5	1241.67	1475.957	53.7241	-0.0091	-0.0082	0.0008

نلاحظ من الجدول أن قيم الفروقات ضمن السنتمرات و قريبة من نتائج طريقتي (Affine 8) و (Helmert) وهي أيضاً مسموحة ، ونجد أن زيادة عدد النقاط المشتركة بين نظامي الإحداثيات قلل الفروقات بالرغم من أن توزع النقاط الذي فرضته منطقة العمل كان غير محتو ضمنه كافة نقاط المراقبة حيث ظهر تأثير توزيع النقاط عند استخدام 4 نقاط مشتركة بتوزيعين مختلفين و كذلك حالة (5) نقاط مما أعطى أهمية لتوزع النقاط المشتر و دقتها المبينة في الجدول 8 أكثر من عددها.

جدول(6): الإحداثيات الناتجة من تحويل (Molodensky – badekas) وفروقاتها عن الإحداثيات المحلية

	3 Points (T1,T2,T3)							4 Points (T1,T2,T3,T4)					
	(متر)X	(متر)Y	(متر)Z	(متر)DX	(متر)DY	(متر)DZ		(متر)X	(متر)Y	(متر)Z	(متر)DX	(متر)DY	(متر)DZ
R4	1665.723	1305.246	81.5399	-	0.0159	-0.1555	R4	1665.734	1305.231	81.2086	-0.0533	0.0313	0.1758
R4-2	1669.144	1335.304	81.5666	-	0.0198	-0.2388	R4-2	1669.154	1335.291	81.2354	-0.0632	0.0334	0.0924
R5	1443.353	1462.067	81.5868	-	0.0002	-0.2668	R5	1443.348	1462.056	81.1931	0.0012	0.0108	0.1269
R14	1593.554	1232.113	47.6457	-	-	-1.7116	R14	1593.571	1232.093	47.2958	-0.0421	-	-1.3617
R15	1481.112	1328.54	44.67	-	-	-1.98255	R15	1481.122	1328.524	44.2878	-0.0149	-	-1.60035
R16	1450.826	1349.527	44.7917	-	-	-1.99135	R16	1450.834	1349.512	44.401	-0.0227	-0.044	-1.60065
R22	1502.595	1360.109	62.2743	-0.03	-	-1.14445	R22	1502.601	1360.095	61.8978	-0.0356	-	-0.76795
R23	1551.4	1325.067	62.4903	-0.012	-	-1.09905	R23	1551.409	1325.051	62.1276	-0.021	-	-0.73635
T1	999.9912	1000.041	53.9109	0.0088	-0.041	-0.0021	T1	999.9762	999.9959	53.4149	0.0238	0.0041	0.4939
T2	1744.912	999.9829	72.2206	-	0.0171	0.0006	T2	1744.936	999.9516	71.9187	-0.0572	0.0484	0.3025
T3	1250.548	1771.205	97.2605	0.0243	0.024	0.00145	T3	1250.521	1771.208	96.8083	0.051	0.0211	0.45365
T4	1269.469	1278.249	43.029	-	-	-1.6857	T4	1269.468	1278.227	42.5934	-0.0176	-	-1.2501
T5	1241.675	1476.033	55.2418	-	-	-1.5169	T5	1241.665	1476.021	54.7938	-0.0035	-	-1.0689
	5 Points (T1,T2,T3,T4,T5)							4 Points (T1,T2,T3,T5)					
	(متر)X	(متر)Y	(متر)Z	(متر)DX	(متر)DY	(متر)DZ		(متر)X	(متر)Y	(متر)Z	(متر)DX	(متر)DY	(متر)DZ
R4	1665.729	1305.225	81.035	-	0.0374	0.3494	R4	1665.721	1305.235	81.2369	-	0.0268	0.1475
R4-2	1669.149	1335.285	81.05	-	0.0395	0.2778	R4-2	1669.141	1335.294	81.2481	-0.05	0.0302	0.0797
R5	1443.342	1462.049	80.9319	0.007	0.0184	0.3881	R5	1443.345	1462.055	81.1539	0.0038	0.0117	0.1661
R14	1593.575	1232.075	47.1436	-	-	-1.2095	R14	1593.564	1232.084	47.367	-	-	-1.4329
R15	1481.126	1328.503	44.0844	-	-	-1.39695	R15	1481.121	1328.509	44.3162	-0.014	-	-1.6287
R16	1450.837	1349.491	44.1859	-	-	-1.38555	R16	1450.834	1349.497	44.4204	-	-	-1.62
R22	1502.6	1360.081	61.6842	-0.035	-	-0.55435	R22	1502.597	1360.088	61.9082	-	-	-0.7783
R23	1551.409	1325.037	61.9334	-	-	-0.54215	R23	1551.403	1325.045	62.153	-0.015	-	-0.7617
T1	999.9798	999.9766	53.2904	0.0202	0.0234	0.6184	T1	999.9928	1000.004	53.637	0.0072	-0.004	0.2718
T2	1744.935	999.9431	71.8764	-	0.0569	0.3448	T2	1744.919	999.9643	72.0985	-	0.0357	0.1227
T3	1250.51	1771.205	96.4017	0.0622	0.0245	0.86025	T3	1250.527	1771.203	96.6216	0.0451	0.0261	0.6403
T4	1269.472	1278.204	42.3869	-	-	-1.0436	T4	1269.476	1278.215	42.6593	-	-	-1.316
T5	1241.665	1476.003	54.5047	-	-	-0.7798	T5	1241.674	1476.007	54.7598	-	-	-1.0349

نجد أن نتائج تحويل (Molodensky – badekas) مطابقة لنتائج تحويل (Bursa – Wolf) وهذا يدل على عدم وجود ارتباط بين معاملات التحويل نتيجة لأن المبدأ المحلي للدوران في النظام القديم (GNSS) هو متوسط إحداثيات النقاط المشتركة المستقلة عن بعضها (أي غير المترابطة).

جدول(7): الإحداثيات الناتجة من تحويل (12 Affine) وفروقاتها عن الإحداثيات المحلية

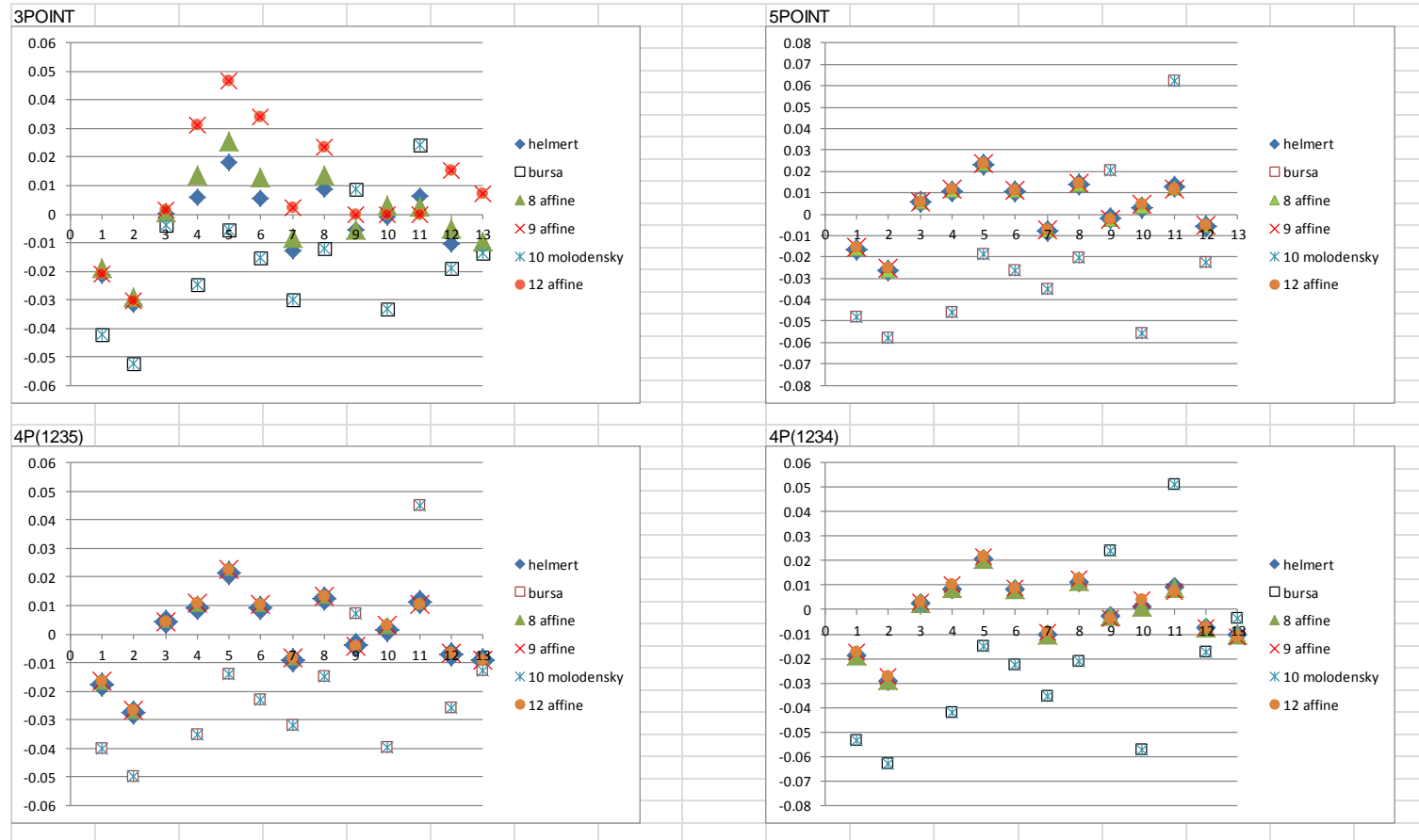
3 Points (T1,T2,T3)							4 Points (T1,T2,T3,T4)						
	X(متر)	Y(متر)	Z(متر)	DX(متر)	DY(متر)	DZ(متر)		X(متر)	Y(متر)	Z(متر)	DX(متر)	DY(متر)	DZ(متر)
R4	1665.702	1305.259	81.2428	-0.021	0.002	0.1416	R4	1665.69	1305.26	81.352	-0.0173	0.001	0.0321
R4	1669.121	1335.313	81.1395	-0.0303	0.011	0.1883	R4	1669.11	1335.31	81.297	-0.0275	0.007	0.0308
R5	1443.347	1462.063	81.1124	0.0014	0.004	0.2076	R5	1443.34	1462.07	81.287	0.0029	-	0.0324
R1	1593.497	1231.988	44.8785	0.031	0.049	1.0556	R1	1593.51	1232.03	45.898	0.01	0.003	0.0354
R1	1481.060	1328.390	41.4827	0.0466	0.065	1.2047	R1	1481.08	1328.44	42.657	0.0215	0.009	0.02955
R1	1450.776	1349.376	41.5918	0.0342	0.091	1.2085	R1	1450.80	1349.43	42.771	0.009	0.034	0.02865
R2	1502.562	1360.033	60.4307	0.0024	0.046	0.6991	R2	1502.57	1360.06	61.110	-0.0095	0.015	0.01935
R2	1551.364	1324.995	60.7077	0.0236	0.025	0.6835	R2	1551.37	1325.02	61.365	0.0124	-	0.02625
T1	1000	1000	53.9088	0	0	0	T1	1000.00	1000.00	53.909	-0.0037	-	-0.0009
T2	1744.879	1000	72.2212	0	0	0	T2	1744.87	999.993	72.220	0.0039	0.006	0.0005
T3	1250.572	1771.229	97.262	0	0	-5E-05	T3	1250.56	1771.23	97.262	0.0075	-	-
T4	1269.434	1278.107	40.3579	0.0153	0.045	0.9854	T4	1269.45	1278.15	41.342	-0.0076	-	0.0005
T5	1241.653	1475.916	52.8614	0.0073	0.032	0.8635	T5	1241.67	1475.96	53.739	-0.011	-	-0.0145
5 Points (T1,T2,T3,T4,T5)							4 Points (T1,T2,T3,T5)						
	X(متر)	Y(متر)	Z(متر)	DX(متر)	DY(متر)	DZ(متر)		X(متر)	Y(متر)	Z(متر)	DX(متر)	DY(متر)	DZ(متر)
R4	1665.696	1305.258	81.351	-0.0155	0.003	0.0334	R4	1665.69	1305.25	81.350	-0.0167	0.003	0.0339
R4	1669.116	1335.314	81.2952	-0.0255	0.009	0.0326	R4	1669.11	1335.31	81.294	-0.0268	0.0092	0.0335
R5	1443.343	1462.067	81.2853	0.0056	-	0.0347	R5	1443.34	1462.06	81.284	0.0043	0.0009	0.0354
R1	1593.517	1232.033	45.8915	0.0118	0.005	0.0426	R1	1593.51	1232.03	45.880	0.0107	0.0052	0.0532
R1	1481.083	1328.444	42.6493	0.0239	0.011	0.0381	R1	1481.08	1328.44	42.637	0.0228	0.0119	0.04995
R1	1450.799	1349.430	42.763	0.0114	0.037	0.0373	R1	1450.80	1349.43	42.751	0.0103	0.0377	0.04915
R2	1502.572	1360.062	61.1051	-0.0072	0.017	0.0247	R2	1502.57	1360.06	61.098	-0.0084	0.0178	0.03115
R2	1551.373	1325.022	61.3599	0.0146	-	0.0313	R2	1551.37	1325.02	61.353	0.0134	0.0023	0.03765
T1	1000.002	1000	53.9109	-0.0027	0	-	T1	1000.00	1000	53.909	-0.0042	0.0003	-0.001
T2	1744.874	999.9926	72.2213	0.0044	0.007	-	T2	1744.87	999.993	72.220	0.0031	0.0068	0.0005
T3	1250.560	1771.227	97.2598	0.0116	0.001	0.0021	T3	1250.56	1771.22	97.262	0.0102	0.0016	-0.00025
T4	1269.455	1278.153	41.3359	-0.0054	-	0.0074	T4	1269.45	1278.15	41.325	-0.0066	0.0008	0.0176
T5	1241.668	1475.957	53.7323	-0.0079	-	-	T5	1241.67	1475.95	53.724	-0.0091	0.0082	0.0008

نجد أن نتائج تحويل (12 Affine) مطابقة لنتائج تحويل (9 Affine) و هذا يدل على عدم وجود ارتباط بين متغيرات التحويل نتيجة لأن المبدأ المحلي للدوران في النظام القديم (GNSS) هو متوسط إحداثيات النقاط المشتركة المستقلة عن بعضها (أي غير المترابطة).

جدول(8): قيم معاملات التحويل لطرق التحويل المختلفة

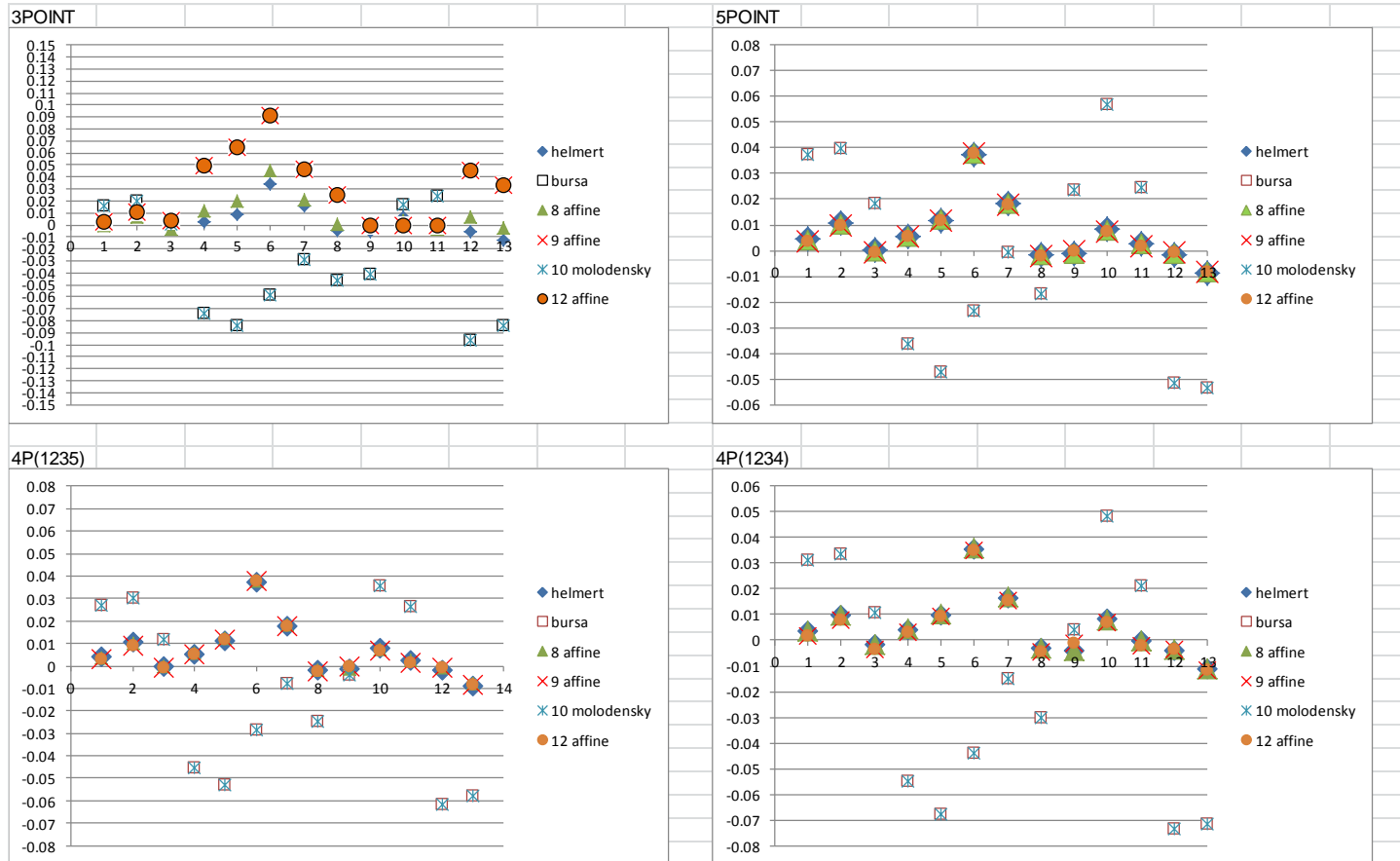
معاملات التحويل	3 Points (T1,T2,T3)						معاملات التحويل	4POINT (T1,T2,T3,T4)					
	helmert	bursa	8 affine	9 affine	10molden	12		helmert	Bursa	8 affine	9 affine	10	12
DX (m)	-	-	-	98.37940	98.37940	98.37940	DX (m)	-264.65319	-	-	-	99.24965	99.24965
DY (m)	368.3623	368.4911	368.3415	-91.97797	-91.97797	-	DY (m)	368.35918	368.38646	368.3586	368.3470	-	-
DZ (m)	0.11672	-0.27480	0.17096	-0.02897	-0.02897	-0.02897	DZ (m)	0.11344	-1.08238	0.12179	0.12124	-0.02648	-0.02648
RX (sec)	-2.05763	-	76.46943	335.23851	-	335.2385	RX (sec)	-1.97659	-	2.05650	1.92270	-	1.92270
RY (sec)	-	64.67242	-	-72.60989	64.67242	-	RY (sec)	-21.19650	117.35382	-	-	117.3538	-
RZ (sec)	66454.47	65286.84	66453.96	66454.1317	65286.849	66454.13	RZ (sec)	66454.3534	65286.796	66454.32	66454.04	65286.79	66454.04
SX	-	-	-	-426.88658	-	-	SX (ppm)	-	-	-	-	-	-
SY	421.2356	51782.00	431.1277	-500.17137	51782.009	-	SY (ppm)	-420.27702	51719.915	421.1998	-	51719.91	-
SZ	8	9	6700.011	30131.4406	4	30131.44	SZ (ppm)	-	48	-	-	5	-
X0 (m)	-	-	-	1233.43760	1233.4376	1233.437	X0 (m)	-	-	-	-	1216.975	1216.975
Y0 (m)	-	-	-	1349.05430	1349.0543	1349.054	Y0 (m)	-	-	-	-	1349.117	1349.117
Z0 (m)	-	-	-	74.49297	74.49297	74.49297	Z0 (m)	-	-	-	-	66.21030	66.21030
الانحراف(م)	0.00858	0.04648	0.00875	---	0.04648	---	الانحراف(م)	0.00816	0.65100	0.00760	0.00836	0.65100	0.00836
	5 Points (T1,T2,T3,T4,T5)							4 POINT (T1,T2,T3,T5)					
معاملات التحويل	helmert	bursa	8 affine	9 affine	10molden	12 affine	معاملات التحويل	helmert	Bursa	8 affine	9 affine	10molden	12 affine
DX (m)	-	-	-	-	112.0193	112.01936	DX (m)	-	-	-264.64636	-	114.5591	114.5591
DY (m)	368.3527	368.3416	368.3523	368.3475	-	-79.86980	DY (m)	368.3532	368.4029	368.35205	368.3475	-	-
DZ (m)	0.11447	-1.09263	0.12769	0.12754	-0.02656	-0.02656	DZ (m)	0.11578	-0.46577	0.12578	0.12565	-0.02845	-0.02845
RX (sec)	-0.44257	-	5.12047	5.08687	-	5.08687	RX (sec)	-0.39637	-	7.78894	7.75121	-	7.75121
RY (sec)	-	165.1514	-	-	165.1514	-22.35289	RY (sec)	-	139.7454	-23.07430	-	139.7454	-
RZ (sec)	66453.68	65285.59	66453.64	66453.51	65285.59	66453.51599	RZ (sec)	66453.64	65285.20	66453.59729	66453.47	65285.20	66453.47
SX	-	-	-	-	-	-425.62449	SX (ppm)	-	-	-423.88485	-	-	-
SY	421.8075	51718.87	423.2700	-	51718.87	-421.02893	SY (ppm)	422.3396	51762.92	-	-	51762.92	-
SZ	1	0	140.5853	139.1865	7	139.18674	SZ (ppm)	9	36	461.33868	459.1396	5	459.1396
X0 (m)	-	-	-	-	1189.293	1189.29304	X0 (m)	-	-	-	-	1194.718	1194.718
Y0 (m)	-	-	-	-	138.9360	1384.93600	Y0 (m)	-	-	-	-	1393.843	1393.843
Z0 (m)	-	-	-	-	63.71860	63.71860	Z0 (m)	-	-	-	-	69.30768	69.30768
الانحراف(م)	0.01031	0.60791	0.00848	0.00913	0.60791	0.00913	الانحراف(م)	0.01255	0.56202	0.00916	0.01053	0.56202	0.01053

يبين الجدول معاملات التحويل لكل طريقة و الانحراف النظامي لها الذي يعكس تحسن النتائج عند زيادة عدد النقاط من (3) نقاط (T1,T2,T3) إلى (4) نقاط بتوزيع جيد (T1,T2,T3,T4)، و أيضا التأثير السلبي على النتائج للتوزيع السيء للنقاط كما في حالة (4) نقاط (T1,T2,T3,T5) أو (5) نقاط (T1,T2,T3,T4,T5). و يوضح الجدول أنه في حالة توفر 3 نقاط مشتركة يجب عدم استخدام طريقتي التحويل (9 Affine) و (12 Affine) و ذلك لعدم توفر قياسات فائضة، و أيضا عدم استخدام طريقتي (Bursa) و (Molodensky – badekas) لقلة دقتها.



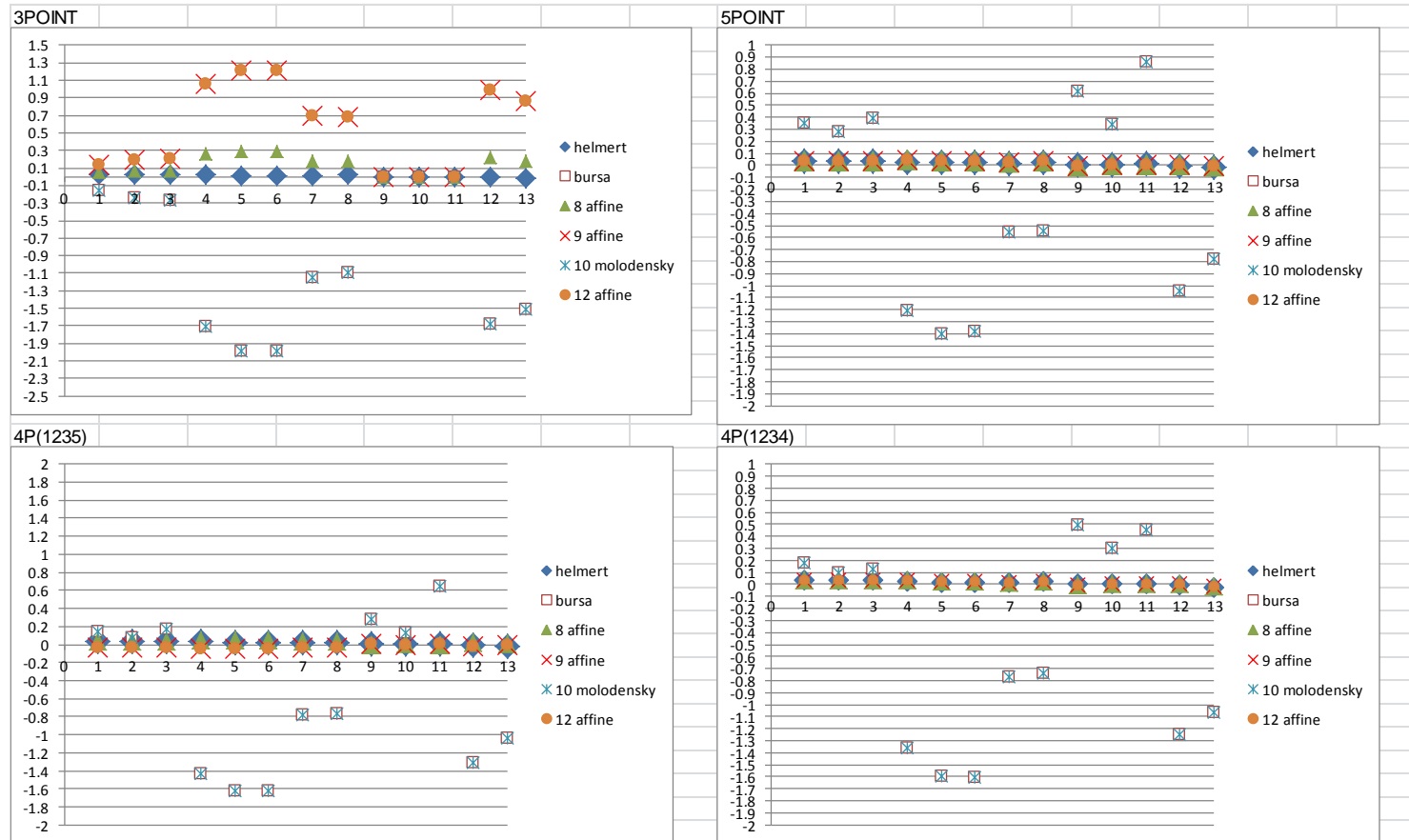
شكل (7): فروقات (x) بين نظام الإحداثيات المحلي وGNSS بالمتر

يوضح الشكل أنه في حالة توفر 3 نقاط مشتركة فإن طريقتي التحويل (12 Affine -9 Affine) غير مناسبة وذلك لعدم توفر قياسات فائضة و أما في حالة زيادة عدد النقاط فإن الدقة تحسنت و أصبحت قريبة من طريقتي التحويل (Helmert) و(8 Affine)، و أما طريقتي (Bursa) و (Molodensky - badekas) فهما الأقل دقة في كل الحالات.



الشكل (8): فروقات (Y) بين نظام الإحداثيات المحلي وGNSS بالمتري

يوضح الشكل أنه في حالة توفر 3 نقاط مشتركة فإن طريقتي التحويل (12 Affine - 9 Affine) غير مناسبة وذلك لعدم توفر قياسات فائضة ، و أما في حالة زيادة عدد النقاط فإن الدقة تحسنت و أصبحت قريبة من طريقتي التحويل (Helmert) و (8 Affine)، و أما طريقتي (Bursa) و (Molodensky - badekas) فهما الأقل دقة في كل الحالات.



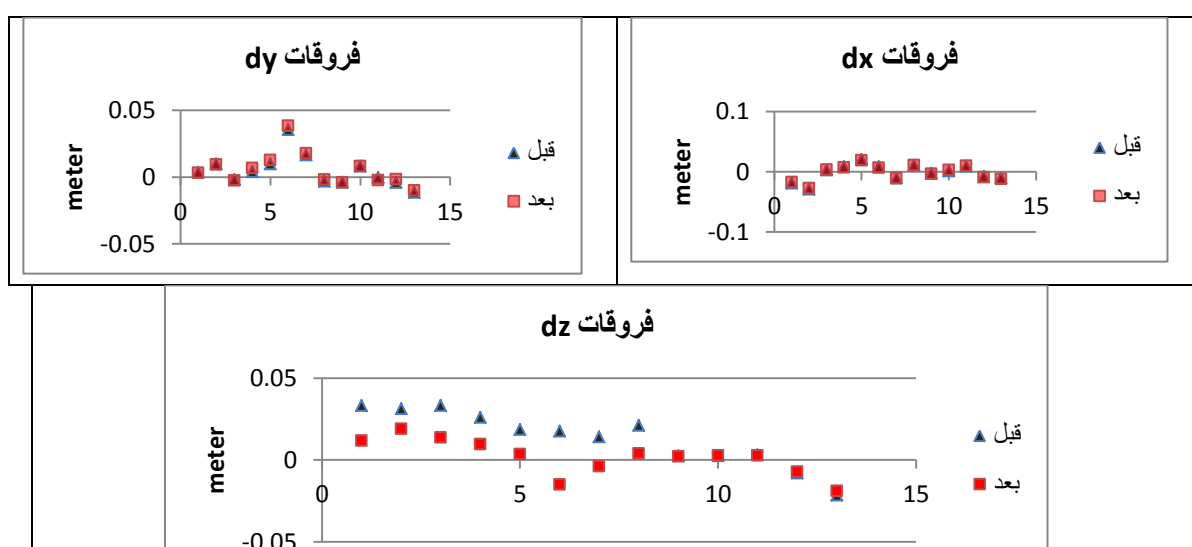
الشكل (9): فروقات (Z) بين نظام الإحداثيات المحلي وGNSS بالمتري

يوضح الشكل أنه في حالة توفر 3 نقاط مشتركة فإن طريقتي التحويل (9 Affine - 12 Affine) غير مناسبة وذلك لعدم توفر قياسات فائضة ، و أما في حالة زيادة عدد النقاط فإن الدقة تحسنت و أصبحت قريبة من طريقتي التحويل (Helmert) و (8 Affine). و أما طريقتي (Bursa) و (Molodensky - badekas) فهما الأقل دقة في كل الحالات.

من المعلوم أنه في المناطق الهضابية لا بد من حساب خطأ تعرج الجيويدي الذي يعبر عن خطأ الفرق بين الارتفاع الجيودي و الارتفاع الأورثومتري (المنسوب) لنقطة و ذلك من أجل تصحيح المنسوب المحسوب من قياسات نظم GNSS بقيمة هذا الخطأ و من ثم استخدامه في عمليات التحويل، علماً أن تأثير ذلك على الإحداثيات الأفقية قليل و لكن تظهر أهميته عند حساب المناسيب [6] كما مبين في الجدول (9) كمثال لحالة هلمرت (T1,T2,T3,T4) حيث قيمة التصحيح كانت (-0.49046) متر و توضح هذه الفروقات في الشكل (10):

جدول (9): الفروقات بين الإحداثيات المحولة و الحقيقية قبل تصحيح خطأ التعرج الجيويدي وبعده - حالة هلمرت

No.	الفروقات قبل تصحيح التعرج			الفروقات بعد تصحيح التعرج		
	DX	DY	DZ	DX	DY	DZ
R4	-0.019	0.0036	0.0331	-0.0174	0.0031	0.0116
R4-2	-0.0291	0.0098	0.0312	-0.0276	0.0094	0.019
R5	0.0027	-0.0018	0.0331	0.0035	-0.0026	0.0136
R14	0.0082	0.0041	0.0259	-0.0461	0.0363	-0.00155
R15	0.0205	0.0098	0.01845	0.019	0.0126	0.00345
R16	0.0082	0.0354	0.01755	0.0066	0.0382	-0.01515
R22	-0.0104	0.0166	0.01405	-0.0107	0.0177	-0.00395
R23	0.0112	-0.0031	0.02115	0.0112	-0.002	0.00395
T1	-0.0026	-0.0039	0.0024	-0.0034	-0.004	0.0021
T2	0.0011	0.0081	0.0025	0.003	0.0081	0.0026
T3	0.0091	-0.0003	0.00305	0.0099	-0.0025	0.00265
T4	-0.0076	-0.004	-0.008	-0.0094	-0.0017	-0.0073
T5	-0.0103	-0.0114	-0.0216	-0.0118	-0.01	-0.0191



الشكل (10): فروقات الإحداثيات قبل وبعده تصحيح التعرج الجيويدي

الاستنتاجات و التوصيات:

- 1- إجراء التحويل بين نظامي إحداثيات أحدهما ناتج من قياسات GNSS و الآخر محلي لمراقبة تشوه منشأة نجد: في حالة توفر 3 نقاط مشتركة فإن طريقي التحويل (9 Affine - 12 Affine) غير مناسبة وذلك لعدم توفر قياسات فائضة و بالتالي الحل وحيد .
- 2- الطرق الأفضل للتحويل في حالة زيادة عدد النقاط المشتركة عن (3) مع التوزيع الجيد لها (الحالة T1,T2,T3,T4) من الأقل دقة إلى الأعلى : 9 Affine، Helmert، 8 Affine، على الترتيب حيث أن الخطأ النظامي لكل منها (0.00836 ، 0.00816 ، 0.00760) متر.
- 3- ثلاث طريقي التحويل (Bursa – Wolf) و (Molodensky – badekas) حالة زوايا دوران المحاور صغيرة و هذا غير محقق عند إجراء التحويل بين نظامي إحداثيات أحدهما محلي (كحالة مراقبة تشو منشأة) و الآخر ناتج من قياسات GNSS و لذلك يتم استبعادهما في مثل هذه الحالة حيث أن قيمة الخطأ النظامي لها في حالة زيادة عدد النقاط المشتركة مع التوزيع الجيد (الحالة T1,T2,T3,T4) هي (0.65100) متر.
- 4- إن قيم الفروقات في طريقي التحويل (Bursa – Wolf) و (Molodensky – badekas) متطابقة و كذلك قيم طريقي التحويل (9 Affine، 12 Affine) و ذلك لعدم وجود ارتباط بين معاملات التحويل لأن المبدأ المحلي للدوران في النظام القديم (GNSS) هو متوسط إحداثيات النقاط المشتركة المثبتة بشكل منفصل و بالتالي لا يوجد انتشار للأخطاء.
- 5- إن لدقة النقاط المشتركة و توزيعها أكثر تأثيراً من عددها على تحسين دقة كل من معاملات التحويل وبالتالي الإحداثيات المحولة لنقاط المراقبة من نظام GNSS إلى النظام المحلي، إذ تتغير قيمة الخطأ النظامي من (0.00916 متر) في حالة التوزيع السيء (الحالة T1,T2,T3,T5) إلى (0.00760 متر) في حالة التوزيع الجيد للنقاط (الحالة T1,T2,T3,T4) و تتغير مثلاً قيمة الفرق الأعظمي على x من قيمة (-0.0653 متر) إلى قيمة (-0.029 متر) في الطريقة الأفضل للتحويل (8 Affine).
- 6- يجب إجراء تصحيح منسوب النقاط المشتركة المحسوبة من قياسات نظم GNSS بقيمة خطأ التعرج الجيويدي و من ثم استخدامه في عملية تحويل الإحداثيات حيث تظهر أهميته عند حساب مناسيب نقاط المراقبة لاحقاً و تبين أن أكبر فرق في المنسوب قبل التحسين (0.0331 متر) و بعد التحسين (0.019).

References:

- 1-Boon,P. ; Setan,H. *3d Coordinate Transformation Using Molodensky Badekas Transformation Model:MBT07*.Johor Bharu Malaysia,2007,3 Feb. 2021. <http://eprints.utm.my/id/eprint/4687/>
- 2-The European Union's ENPI Programme for Georgia. *Methodology and Parameters for Datum Transformation between the New and Old Reference Systems*,November 14 ,2013, Tbilisi, Georgia. 5 Feb. 2021. <https://www.scribd.com/document/382370944/>.
- 3-Deeb,F.; Dayoub,W,; Altazah,S. *Analyzing 2D Transforming The Global Coordinates Measured By GNSS To The Syrian Local Coordinates*.Tishreen University Journal, Vol. (38), No. (5), 2016,443-458.
- 4- Constantin,A. *3D affine coordinate transformations*.Stockholm,Sweden,2006. 5 Feb. 2021. [https://www.researchgate.net./](https://www.researchgate.net/)
- 5- Mahfoud,N. *Studying and Programming Transformation of (3-D) Coordinates from GPS into Stereographic in Syria*. Tishreen University Journal,Vol.(31), No(1), 2009,117-137.
- 6- Yuan,D.; Cui,X.; Wang,S.; Qiu,Y.; Wang,G.; Jin,J. *The Coordinate Transformation Method and Accuracy Analysis in GPS Measurement*. International Conference on Environmental Science and Engineering,2011