

تحليل التحويل ثنائي البعد للإحداثيات العالمية المقاسة بنظام GNSS إلى الإحداثيات المحلية السورية.

الدكتور فايز ديب*

الدكتور وائل ديوب**

سنان التزه***

تاريخ الإيداع 29 / 5 / 2016. قُبل للنشر في 20 / 9 / 2016

□ ملخص □

إن تحويل الإحداثيات بين نظام الإحداثيات العالمي العائد للإهليلج WGS84 (World Geodetic System) و نظام الإحداثيات المحلي العائد للإهليلج كلارك 1880 في مختلف مناطق سورية، يعد الخطوة الأساسية في الاستخدام الفعال لتقنيات المسح بنظام GNSS (Global Navigation Satellite Systems) (نظام الأقمار الصناعية الملاحي العالمي) في سورية، و التحويل يتم إما عبر تحويل ثلاثي الأبعاد بين أهليلج وآخر، أو تحويل ثنائي البعد بين مستويين مباشرة. لأجل هذا يجب فهم وتحليل واختبار التحويل، تم البحث في دقة التحويلات ثنائية البعد في المناطق المحدودة المساحة لإعطاء إحداثيات يمكن استخدامها مباشرة في الأعمال المساحية والهندسية المختلفة، و في دراسة تأثير عدد وتوزع النقاط المشتركة في دقة التحويل، وتبين أن لتوزع النقاط المشتركة الأثر الأكبر على دقة التحويل.

الكلمات المفتاحية: نظام الأقمار الصناعية الملاحي العالمي، معاملات التحويل، الإهليلج، التحويل المطابق، التحويل المثيل.

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

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

*** طالب دراسات عليا (ماجستير) - قسم الهندسة الطبوغرافية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

Analyzing 2D Transforming The Global Coordinates Measured By GNSS To The Syrian Local Coordinates.

Dr. Fayez Deeb^{*}
Dr. Wael Dayoub^{**}
Sinan Altazah^{***}

(Received 29 / 5 / 2016. Accepted 20 / 9 / 2016)

□ ABSTRACT □

The transformation of coordinates between the global coordinate system yield ellipsoid WGS84 (World Geodetic System 1984) and the local coordinate system yield ellipsoid Clark1880 in different regions of Syria, is the essential step in the effective use of GNSS (Global Navigation Satellite Systems) surveying techniques in Syria, and the transformation occurs with 3D transformation between one ellipsoid and another, or 2D transformation directly between two planar. The transformation must be understood, analyzed and tested. The research is about the accuracy of the 2D transformation in small area to give coordinates can be directly used in different surveying and engineering works, and about studying the common points number and their distribution effect on transformation accuracy, and conclude that the biggest effect on transformation accuracy is for the common points distribution.

Keywords: GNSS, Transformation parameters, Ellipsoid, Conformal transformation, Affine transformation.

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

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

*** Postgraduate student, Department of Topographic Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدمة:

إن استخدام نظام تحديد المواقع العالمي (GPS(Global Positioning systems) أو كما يسمى اليوم نظام الأقمار الصناعية الملاحي العالمي (GNSS(Global Navigation Satellite Systems)؛ (أصبح بالإمكان استخدام أرساد الأقمار الصناعية، من مختلف الأنظمة الأمريكية GPS و الروسية GLONASS و الأوروبية GALILEO) في المساحة و الجيوديزيا بشكل عملي ومفيد وسريع مقارنةً بالطرق التقليدية، فليس هناك خط نظر مطلوب في موقع العمل؛ أي أن الرؤية المتبادلة بين النقاط (القواعد أو المحطات أو الوقفات) غير مطلوبة على عكس كل تقنيات المسح التقليدية، لكن كل محطة يجب أن تملك مجال مفتوح إلى السماء لتكون قادرة على استقبال إشارات الأقمار الصناعية المختلفة. الإيجابية الأساسية بمعزل عن انعدام الحاجة للرؤية المتبادلة بين النقاط هي أن النقاط ليست بحاجة لأن توضع في مواقع مرتفعة وكاشفة (كمراصد) لمسح المواقع المطلوبة للعمل الهندسي، وإنما بالإمكان مباشرة قياس المواقع المطلوبة للعمل الهندسي (أي إلغاء الحاجة إلى المراصد)، لكن استخدام هذا النظام سيكون من دون جدوى إذا لم نحصل منه على إحدائيات محلية نستخدمها مباشرة في أعمالنا المساحية والهندسية المختلفة. بما أن الأقمار الصناعية تدور حول كل الأرض؛ فالنظام الإحداثي الذي يصف المواقع هو نظام عالمي عائد لإهليلج عالمي، بينما الإحدائيات في مختلف الأعمال الهندسية مطلوبة بمرجع محلي أو على إسقاط، عندها يجب معرفة العلاقات و اختبارها بين الإسقاط المحلي والاهليلج المرجعي و نظام الإحدائيات العالمي. لذلك يجب فهم وتحليل واختبار التحويل من نظام الإحدائيات العالمي لقياسات GNSS إلى نظام الإحدائيات المحلي في سورية.

أهمية البحث و أهدافه:

تكمن أهمية البحث في إيضاح الخطوة الأساسية في الاستخدام الفعّال لتقنيات المسح بنظام GNSS في سورية. وهي تحويل الإحدائيات من نظام الإحدائيات العالمي إلى نظام الإحدائيات المحلي، أي يهدف البحث بشكل أساسي إلى حساب عناصر التحويل بين النظامين العالمي والمحلي وإجراء اختبارات مختلفة على عمليات التحويل للتأكد من دقتها و كفيّة وإمكانية استخدامها في الأعمال المساحية. إذاً الهدف من البحث المساهمة في الانتقال من نظام الإحدائيات العالمي العام إلى نظام الإحدائيات المحلي الخاص بسورية بما يناسب الواقع الخاص لنظام الإحدائيات المحلي.

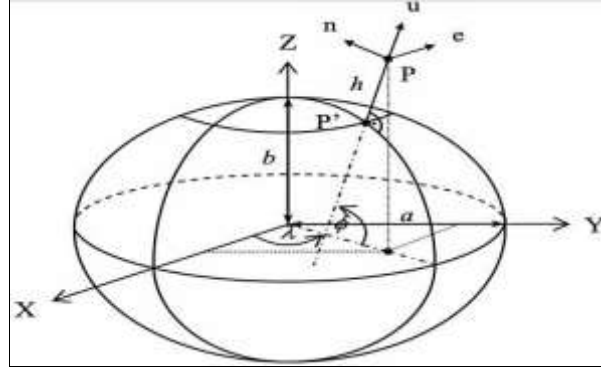
طرائق البحث ومواده:

تم اعتماد منهجية تجريبية في البحث لاختبار التحويل بين النظامين العالمي والمحلي للإحدائيات، حيث اعتمدت نقاط من منطقة الدراسة معلومة بالنظامين العالمي والمحلي عن طريق أخذ قياسات لهذه النقاط بأدوات قياس مناسبة كالمحطة المتكاملة و مستقبلات GNSS، وتم في هذا البحث إتباع الخطوات التالية:

- تحليل نظام الإحدائيات العالمي و نظام الإحدائيات المحلي في سورية.
- توضيح دقة القياس لتقنيات المسح بنظام الأقمار الصناعية الملاحي العالمي GNSS المتوفرة.
- دراسة وتحليل التحويل بين نظام الإحدائيات العالمي لقياسات GNSS والنظام المحلي.

1- نظام الإحداثيات العالمي والسوري:

صم نظام الإحداثيات ليحدد موقع عنصر في الفضاء، يحدد الموقع على الإهليلج إما عبر إحداثيات ديكارتية (X,Y,Z) أو عبر إحداثيات جغرافية (φ, λ, h) الطول والعرض الجيوديزي و الارتفاع الإهليلجي كما هو موضح في الشكل (2).



الشكل(2): نظام الإحداثيات الإهليلجي.

إن الإحداثيات التي تنتج مباشرة من قياسات GNSS هي عبارة عن إحداثيات جغرافية عائدة للإهليلج العالمي WGS84 والذي يحدد بالعناصر التي هي نفسها عناصر الإهليلج عام 1979 الذي نصح الإتحاد الدولي الجيوديزي AIG باستخدامه كجملّة جيوديزية مرجعية عالمياً والمعروفة باسم GRS80 [4]، وعناصره موضحة كما يلي:

$$a = 6378137 \text{ m} \quad b = 6356752.3 \text{ m} \quad f = 0.00335281066474$$

لتمثيل السطح الثلاثي الأبعاد (سطح الأرض) مكانياً على مخطط ثنائي الأبعاد (المستوي) وفقاً لموقع معروف تبعاً لقوانين رياضية، كان لابد من إيجاد صيغ رياضية لإسقاط (ارتسام) سطح رياضي (كالإهليلج) على سطح مساعد (كالأسطوانة أو المخروط أو المستوي) وهذا السطح المساعد يسمى المرتسم. الارتسام العالمي هو ارتسام ميركاتور المستعرض العالمي (Universal Transverse Mercator (UTM) يمثل هذا الارتسام العالم بأكمله عن طريق تقسيم الأرض إلى 60 شريحة كل منها يغطي 6 درجات من خطوط الطول، بحيث يكون لكل شريحة مسقط UTM له خط طول مركزي يقع في مركز هذه الشريحة. معامل المقياس لهذا الارتسام عند خط الطول المركزي ($k_0=0.9996$) بحيث يزداد التشوه كلما بعدنا عن خط الطول المركزي حيث أنه 1.0010 عند أطراف الشريحة على بعد 3 درجات عن خط الطول المركزي [4]. في سورية تم تطبيق عدة ارتسامات (اسقاطات) وهي ارتسام ميركاتور المعترض الأسطواني السوري الذي يستخدم الإهليلج هايفورد العالمي وارتسام لامبيرت المخروطي السوري الذي يستخدم إهليلج كلارك 1880 و أهمها المستخدم عقارياً وهو الارتسام الستيريوغرافي (ارتسام تشابهي مطابق يحافظ على الزوايا والأشكال) الذي طبق عام 1920م وهو موضح في الشكل (3)، حيث إن الإهليلج المستخدم في هذا الارتسام هو الإهليلج كلارك 1880 و هذا الإهليلج محدد بالعناصر التالية:

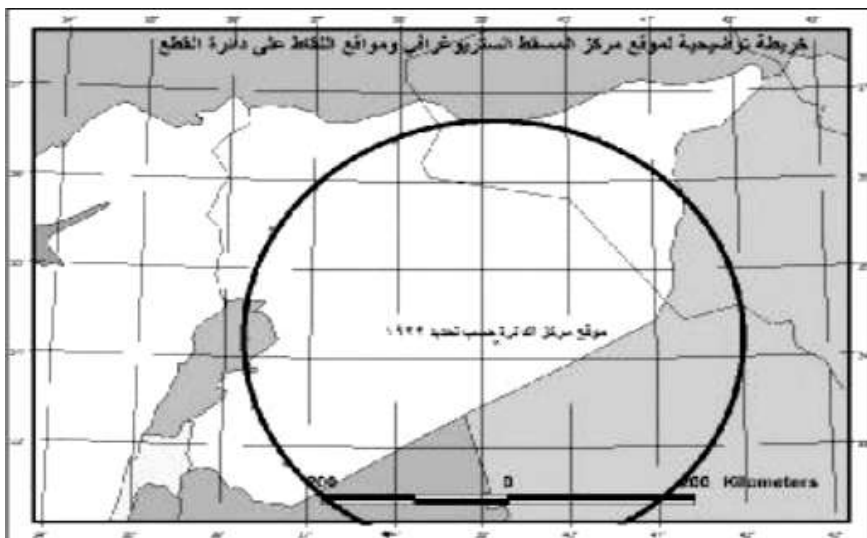
$$a=6378249.2 \text{ m} \quad b=6356515.0 \text{ m} \quad e^2=0.00680348764$$

ويعتمد الارتسام الستيريوغرافي السوري على ارتسام سطح الإهليلج على مستوي يمس مجسم كلارك في النقطة

ذات الإحداثيات:

$$\phi_0 = 38.00^{gr} = 34^{\circ}12'00'' \quad \lambda_0 = 43.50^{gr} = 39^{\circ}09'00''$$

مع العلم أن مركز الارتسام لا ينطبق مع مركز المنطقة بل يبعد عنها حوالي (100) كيلو متر جنوب شرق تدمر. ولكن سطح الارتسام في سورية هو مستو قاطع لسطح الأهلج حسب دائرة ذات نصف قطر مساوٍ إلى 275 كم بالنسبة لمركز الارتسام، ولذلك فإن هناك عامل إرجاع للمقياس الخطي بحيث يصبح المقياس في مركز الخريطة ($k_0=0.999534317$) بدلاً من ($k_0=1$)، وبالتالي المقياس يساوي (1) على بعد 275 كم من مركز الارتسام (نقطة التماس) وذلك لأن مستوي التماس عند النقطة 0 أصبح قاطعاً للكورة عند الدائرة (275) كم. وفي هذا الارتسام ينطبق مبدأ الإحداثيات التربيعية مع مركز الارتسام (النقطة 0) مما يعطي إحداثيات سالبة وموجبة حسب موقع النقطة بالنسبة للأرباع [1].



الشكل(3): الارتسام الستيريوغرافي السوري.

2- دقة القياس لتقنيات المسح بنظام الأقمار الصناعية الملاحي العالمي GNSS:

لأخذ فكرة عملية عن الدقة التي يعطها استخدام نظام GNSS تم أخذ النقطتين S1 و S2 المعلوماتي الإحداثيات الستيريوغرافية السورية، وموقعهما في جامعة تشرين في اللاذقية، ثم تم قياس إحداثياتهما الجغرافية العائدة للإهلج العالمي WGS84 بالطريقة الساكنة باستخدام مستقبلات GNSS من النوع Hi-Target الموجودة في مخبر المساحة بكلية الهندسة المدنية في جامعة تشرين وهي ذات دقة قياس أفقية تساوي $2.5\text{mm}+1\text{ppm}$ وشاقولية تساوي $5\text{mm}+1\text{ppm}$ وذلك عند استخدام الطريقة الساكنة. وتستقبل الإشارة من أقمار GPS وفق التردد L1 و الشيفرة C/A والتردد L2E, L2C والتردد L5 ومن أقمار GLONASS وفق الترددات L1 C/A, L1 P, L2C/A. بعدها تم حساب المسافة بين هاتين النقطتين باستخدام نوعي الإحداثيات ومقارنة النتائج في الجدول (1).

الجدول (1): مقارنة المسافة المحسوبة بين نقطتين بنظامي احداثيات مختلفين					
النقطة	إحداثياتها المقاسة بنظام GNSS		إحداثياتها بالنظام الستيريوغرافي السوري المحلي		المسافة المحسوبة من احداثيات
	λ	ϕ	X(m)	Y(m)	GNSS محلية
S1	$35^{\circ}48'33.18844''E$	$35^{\circ}31'25.52742''N$	-303045.146m	151854.754m	112.020m
S2	$35^{\circ}48'34.11455''E$	$35^{\circ}31'21.97251''N$	-303025.554m	151744.461m	112.018m

يلاحظ أن الفرق بين قيمتي المسافة المحسوبيتين بنوعي الإحداثيات لا يتجاوز 2 mm وهي قيمة صغيرة، و إن المسافة صغيرة نسبياً إلا أنها أعطت مؤشر على اختلاف المسافة بين النظامين وهذا الاختلاف يتضمن اختلاف مستو الإسناد المرجعي و نظام الإسقاط، وبالتالي إن القياس بتقنية GNSS يعطي نتائج دقيقة جداً إذا استخدم بطريقة صحيحة.

3- التحويل بين نظام الإحداثيات العالمي لقياسات GNSS و النظام المحلي في سورية:

ضمن كل منطقة محددة يمكن أخذ عدد من النقاط المشتركة لإيجاد معاملات (عناصر أو بارامترات) التحويل، والتي نطبقها على أي نقطة مقاسة بتقنيات GNSS ضمن المنطقة المدروسة للحصول على إحداثيات أفقية محلية من قياسات GNSS ، والتفاصيل موضحة كما يلي:

3-1 التحويل بين نظم الإحداثيات المرجعية:

زادت أهمية تحويل الإحداثيات منذ تفعيل عمل نظم تحديد المواقع العالمية؛ والتي تعطي إحداثيات عائدة لمرجعية عالمية، فأصبحنا بحاجة لتحويل هذه الإحداثيات؛ ذات المرجعية العالمية، إلى إحداثيات؛ ذات مرجعية محلية خاصة بكل دولة أو إقليم، أو العكس. وعلى ذلك، زاد الاهتمام بتحويل الإحداثيات و طرقها المختلفة، ودراسة هذه الطرق وتحليل أدائها.

وهناك عدة عوامل تساهم في تحديد طريقة التحويل المتبعة (نموذج التحويل المتبع):

- الحيز المراد تطبيق نموذج التحويل ضمنه هل هو منطقة صغيرة أو إقليم كبير.
- متطلبات الدقة.
- بارامترات التحويل في المنطقة هل هي معلومة أم نحن بحاجة لتحديدها.

بين نظم الإحداثيات هناك خيارين رئيسيين للتحويل، إما ثنائي البعد؛ بين ارتسام وآخر، أو ثلاثي الأبعاد؛

بين اهليلج مرجعي وآخر.

3-2 التحويل ثنائي البعد 2D :

يتم هذا التحويل بين أنظمة الإحداثيات الديكارتيّة ثنائية الأبعاد (أي يمكن أن يحول بين ارتسامين كارتسام UTM العالمي و الارتسام الستريوغرافي المحلي مباشرةً) ، وينصح باستخدامه في المناطق المحدودة الصغيرة، نستعرض أكثر نماذج التحويل الهندسي استخداماً في عمليات الانتقال بين الارتسامات، وهي [5] [6]:

• التحويل المطابق Conformal.

• التحويل المثلث Affine.

التحويل المطابق Conformal :

التحويل ثنائي الأبعاد المطابق هو تحويل خطي ((من الدرجة الأولى)) يربط بين نظامي إحداثيات ديكارتيّة ثنائية الأبعاد عبر الدوران، و تغيير المقياس الموحد (عامل المقياس هو نفسه بالاتجاه X و الاتجاه Y)، متبوعاً بالانسحاب. يتميز هذا التحويل بأن الخطوط المستقيمة تبقى مستقيمة بعد التحويل وتبقى الخطوط المتوازية متوازية بعد التحويل و تبقى نسب الأطوال على خط مستقيم نفسها بعد التحويل.

الدوران محدد بواسطة زاوية دوران واحدة (a) وتغيير المقياس المحدد بواسطة معامل مقياس واحد (S)، و

الانسحاب محدد بواسطة معاملين انسحابين (انتقالين) أصليين (x_0, y_0)، و المعادلة كالتالي:

$$\begin{aligned} X' &= sX \cos(a) - sY \sin(a) + x_0 \\ Y' &= sX \sin(a) + sY \cos(a) + y_0 \end{aligned} \quad (1)$$

و بتبسيط العلاقة (1) تصبح على الشكل التالي:

$$\begin{aligned} X' &= aX - bY + x_0 \\ Y' &= bX + aY + y_0 \end{aligned} \quad (2)$$

حيث أن: $a = s \cos(a)$ و $b = s \sin(a)$

وبالتالي بارامترات هذا التحويل تكون: (a, b, x_0, y_0) ، أي أربعة وسطاء وبالتالي يجب أن لا يقل عدد النقاط المشتركة عن 2.

التحويل المثلث Affine :

يدعى بالتحويل المثلث ذو البارامترات الستة، و هو تحويل خطي ((من الدرجة الأولى)) يربط بين نظامي إحداثيات ديكارتية ثنائية الأبعاد من خلال الدوران، وتغيير المقياس باتجاه X و اتجاه Y ، متبوعاً بالانسحاب. يحافظ هذا التحويل على توازي المستقيمات وعلى نفس استقامة و نسبة المسافات، أي أن المستقيمات المتوازية على الشبكة ستبقى متوازية بعد التحويل الهندسي حيث يمثل هذا التحويل هندسياً إسقاطاً للإحداثيات من مستو إلى مستو موازٍ، يعبر عنه بستة بارامترات: زاويتي دوران (α, β) ، معاملي مقياس؛ معامل مقياس باتجاه X و باتجاه Y ، و انسحابين أصليين (x_0, y_0) المعادلة هي:

$$X' = s_x X \cos(\alpha) - s_y Y \sin(\beta) + x_0 \quad (3)$$

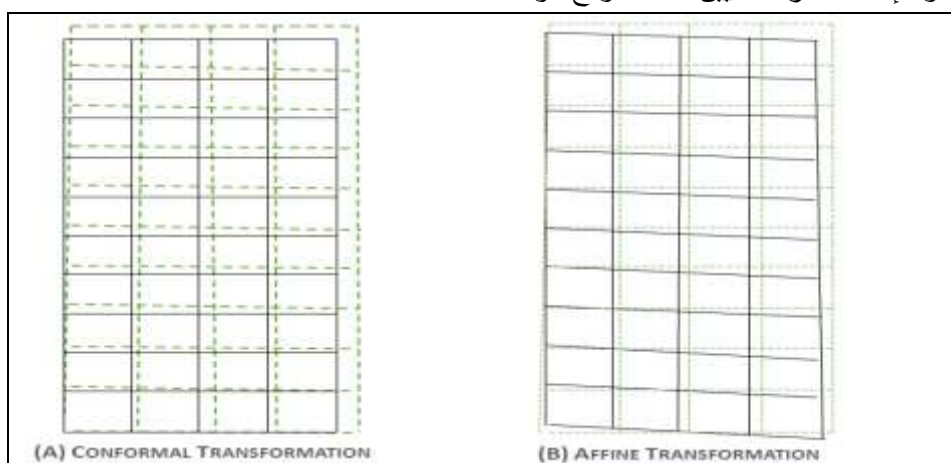
$$Y' = s_x X \sin(\alpha) + s_y Y \cos(\beta) + y_0$$

$$\begin{bmatrix} X' \\ Y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_x \cos(\alpha) & -s_y \sin(\beta) \\ s_x \sin(\alpha) & s_y \cos(\beta) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$X' = aX - bY + x_0 \quad (5)$$

$$Y' = cX + dY + y_0$$

حيث بارامترات التحويل هي (a, b, c, d, x_0, y_0) ، وبالتالي فإن عدد الوسطاء هو 6، أي أن الحد الأدنى من نقاط التحكم الأرضية أو الإسناد اللازمة لتعيين هذا النموذج هو ثلاث نقاط.

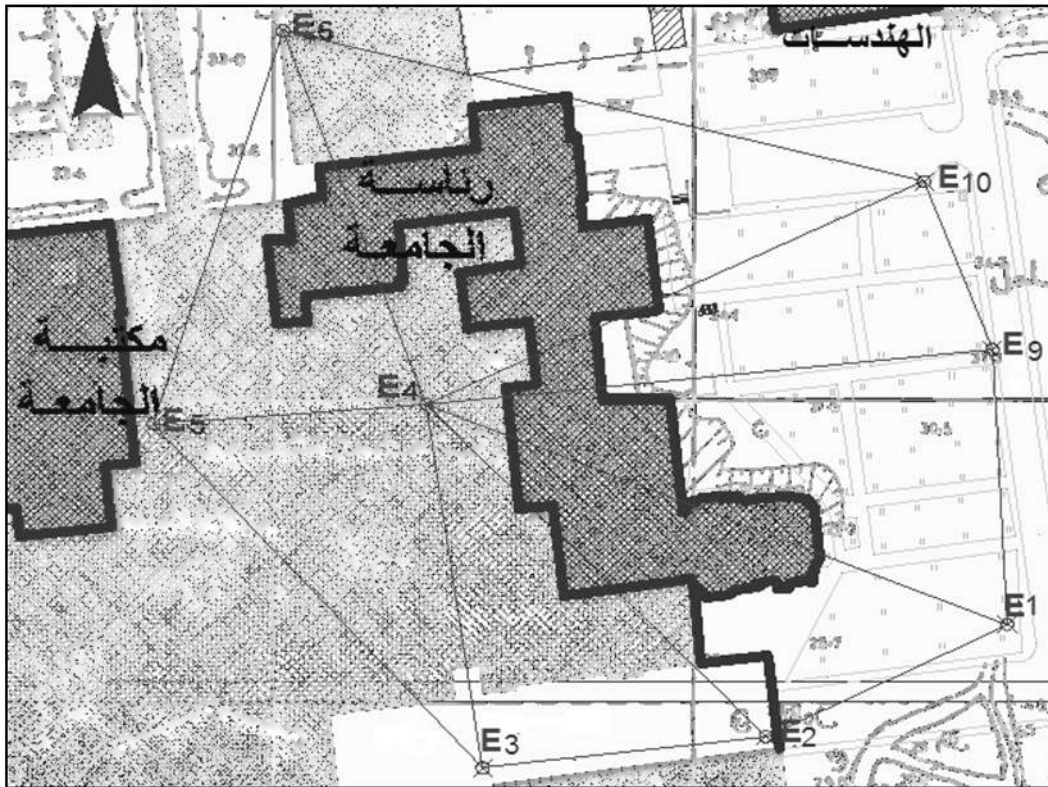


الشكل(4):مقارنة بين التحويلين ثنائيي البعد المطابق Conformal و المثلث Affine.

إن معامل المقياس الموحد للتحويل المطابق يحتفظ بشكل الشبكة الأصلية، بينما تغير معامل المقياس في كل من اتجاه x و اتجاه y في التحويل المثلثي يغير شكل الشبكة الأصلية (وهذا يعني اعتبار عدم وجود تعامد كامل بين محوري الإحداثيات في جملة إحداثيات المصدر $[x,y]$ و هذا واقعي أكثر)، لكن خطوط الشبكة تبقى مستقيمة، حيث أن التحويل المثلثي كما المطابق يحافظ على استقامة ونسبة المسافات. كما يوضح الشكل (4). وعلى ذلك يعتبر التحويل المثلثي ذو الست بارامترات هو الأفضل للاستخدام، حيث توصي باستخدامه هيئات مساحية في مختلف أنحاء العالم كالسلطات المساحية لجمهورية ألمانيا الاتحادية (Adv) [5].

النتائج والمناقشة:

بما أن أغلب مشاريع المسح الطبوغرافي صغيرة المساحة على أرض الواقع (لا تتجاوز 20 هكتار) و تتم من خلال الانطلاق من نقاط مرجعية (محسوبة و مقاسة بالنقاط الزاوي الخلفي غالباً أو بالتضليع بأفضل الأحوال إذا كانت نقاط عقارية أو تنظيمية) لزراع نقاط مرصد بالتضليع، فقد تم اختيار المنطقة المدرسة داخل حرم جامعة تشرين كما يوضح الشكل (5) و هي منطقة صغيرة و النقاط المأخوذة فيها هي نقاط مضلعات أي قيست و حسبت إحداثياتها المحلية (في الشبكة السورية للإحداثيات الستيريوغرافية) بالتضليع، و بالتالي يمكن اعتبارها كنقاط مرصد (من حيث الدقة).



الشكل(5): المنطقة المدرسة داخل حرم جامعة تشرين موضحة عليها مواقع النقاط المقاسة.

وتم تحديد الإحداثيات الجغرافية لهذه النقاط في الجملة العالمية العائدة للإهليلج WGS84 من خلال رصدها بالطريقة الساكنة باستخدام أجهزة استقبال من النوع Hi-Target الموجودة في مخبر المساحة بكلية الهندسة المدنية في جامعة تشرين، وأدرجت النتائج في الجدول (2).

الجدول (2): إحداثيات النقاط وفق نظامي الإحداثيات المحلي والعالمي						
P	x Local بالمتر	y Local بالمتر	Lat (D:M:S)	Lon (D:M:S)	X(utm) global E بالمتر	Y(utm) global N بالمتر
E10	-303044.92	151854.605	35:31:25.37679N	35:48:33.12081E	754733.4107	3934760.122
E1	-303025.325	151744.282	35:31:21.81152N	35:48:34.04413E	754759.8077	3934650.908
E2	-303082.764	151716.301	35:31:21.03448N	35:48:31.80150E	754704.355	3934619.138
E3	-303150.093	151708.503	35:31:20.70902N	35:48:29.14298E	754637.6563	3934607.197
E4	-303163.506	151799.247	35:31:23.63759N	35:48:28.48981E	754618.629	3934696.986
E5	-303228.412	151794.322	35:31:23.40764N	35:48:25.92341E	754554.17	3934688.055
E9	-303028.821	151812.832	35:31:24.23528N	35:48:33.80488E	754752.0188	3934719.224

1- تطبيق التحويل المطابق:

تم حساب بارامترات التحويل لنقطتين على الأقل معلومتين بنظامي الإحداثيات نسميها النقاط المشتركة، ثم تطبيق التحويل على باقي النقاط وحساب الخطأ المتوسط للتربيع The Root Mean Square Error

$$\mu = \sqrt{\frac{P \cdot V \cdot V}{n - k}}$$

حيث أن V هنا هو الفرق بين قيم الإحداثيات المحسوبة من التحويل و قيم الإحداثيات

المقاسة بالطرق التقليدية) لنتائج التحويل بعد مقارنتها مع الإحداثيات المحلية المقاسة وفق الحالات التالية:

دراسة تأثير عدد النقاط المشتركة:

الحالة الأولى تحويل مطابق: حالة نقطتين مشتركين (E3,E10):

تم حساب بارامترات التحويل الأربع بين النظامين باستخدام برنامج HDS2003 وبرنامج Excel وذلك باستخدام

إحداثيات نقطتين (E3,E10) من نقاط الربط المشتركة في كلا النظامين و ادرجت قيم المعاملات في الجدول (3):

E3,E10 الجدول (3): معاملات التحويل (البارامترات) التي حسبت من النقاط المشتركة			
A	B	x0	y0
0.9956524327	-0.0643119091	-1307549.011697	-3717260.536014

بعد ذلك تم التحقق من قيم هذه البارامترات من خلال حساب إحداثيات بقية النقاط. في الجدول (4) تم حساب الفروقات بين الإحداثيات المحسوبة بالتحويل من قياسات GPS و الإحداثيات المحلية لتلك النقاط باستخدام بارامترات التحويل المحسوبة من نقطتين و الموضحة في الجدول (3)، وأيضاً تم حساب الخطأ المتوسط للتربيع لهذه الفروقات؛ نلاحظ أن أكبر فرق في هو في موضع النقطة E5 و أقل فرق هو في موضع النقطة E5. و تراوحت هذه الفروق في المجال من 25 سم إلى 40 سم.

حيث: V_x الفرق بالمتر في موضع النقطة باتجاه x ، و V_y الفرق بالمتر في موضعها باتجاه y ، و V_m الفرق بالمتر في الموضع الأفقي الكلي للنقطة.

الجدول (4): تحويل إحداثيات باقي النقاط و مقارنة نتائج التحويل مع الاحداثيات المحلية المقاسة لهذه النقاط							
point	'x بالتحويل	'y بالتحويل	x بالقياس	y بالقياس	Vx (m)	Vy(m)	Vm(m)
E4	-303163.263	151799.1253	-303163.506	151799.247	-0.243	0.122	0.272
E2	-303082.916	151716.1026	-303082.764	151716.301	0.152	0.198	0.25
E1	-303025.662	151744.1682	-303025.325	151744.282	0.337	0.114	0.355
E5	-303228.016	151794.3786	-303228.412	151794.322	-0.396	-0.06	0.4
E9	-303029.023	151812.6881	-303028.821	151812.832	0.202	0.144	0.248
RMS					0.362	0.174	0.402

الحالة الثانية تحويل مطابق: حالة 3 نقاط مشتركة (E2,E5,E9) الجدولان (5 ، 6):

الجدول E2,E5,E9: معاملات التحويل (البارامترات) التي حسبت من النقاط المشتركة			
A	B	x0	y0
0.9979881973	-0.06318842763	-1304891.222429	-3727298.774365

الجدول (6): تحويل إحداثيات باقي النقاط و مقارنة نتائج التحويل مع الاحداثيات المحلية المقاسة لهذه النقاط							
point	'x بالتحويل	'y بالتحويل	x بالقياس	y بالقياس	m)(Vx	m)(Vy	m)(Vm
E4	-303163.448	151799.2198	-303163.506	151799.247	-0.058	0.027	0.064
E3	-303150.133	151708.4091	-303150.093	151708.503	0.04	0.094	0.102
E1	-303025.465	151744.3137	-303025.325	151744.282	0.14	-0.032	0.144
E10	-303044.908	151854.9759	-303044.92	151854.605	-0.012	-0.371	0.371
RMS					0.091	0.222	0.24

في الجدول (6) تم حساب الفروقات للنقاط باستخدام البارامترات المحسوبة من ثلاث نقاط و الموضحة في الجدول (5)، وأيضاً تم حساب الخطأ المتوسط للتربيع لهذه الفروقات؛ نلاحظ أن أكبر الفروق هو في موضع النقطة E10 و أقلها في E4.

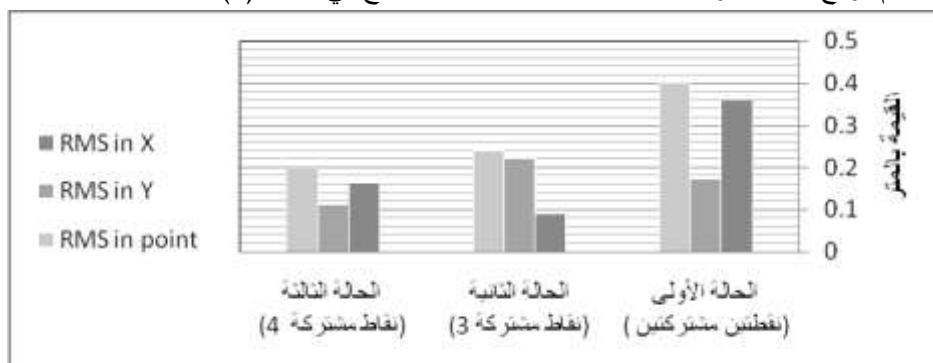
الحالة الثالثة تحويل مطابق: أربعة نقاط مشتركة (E2,E5,E10,E9) الجدولان (7 ، 8):

الجدول E2,E5,E10,E9: معاملات التحويل (البارامترات) التي حسبت من النقاط المشتركة			
A	B	x0	y0
0.9972742231	-0.06361197849	-1306018.949938	-3724169.94558

الجدول (8): تحويل إحداثيات باقي النقاط و مقارنة نتائج التحويل مع الاحداثيات المحلية المقاسة لهذه النقاط							
point	'x بالتحويل	'y بالتحويل	x بالقياس	y بالقياس	m)(Vx	m)(Vy	m)(Vm
E4	-303163.383	151799.1502	-303163.506	151799.247	-0.123	0.097	0.157
E3	-303150.119	151708.3956	-303150.093	151708.503	0.026	0.107	0.111
E1	-303025.52	151744.2171	-303025.325	151744.282	0.195	0.065	0.206
RMS					0.164	0.112	0.199

في الجدول (8) تم حساب الفروقات للنقاط باستخدام البارامترات المحسوبة من ثلاث نقاط و الموضحة في الجدول (7)، وأيضاً تم حساب الخطأ المتوسط للتربيع لهذه الفروقات؛ نلاحظ أن الفروقات صغيرة وأكبرها هو في موضع النقطة E1 و أقلها في E3.

نلاحظ: أن زيادة عدد النقاط المشتركة عن الحد الأدنى المطلوب بنقطة واحدة أدى لزيادة الدقة بشكل ملحوظ و في حالة أربعة نقاط لم ترتفع الدقة كثيراً عن حالة ثلاث نقاط، وهذا موضح في الشكل (6).



الشكل (6): مقارنة لنتائج تحويل الإحداثيات المطابق من حيث الخطأ المتوسط للتربيع لها بين مختلف حالات عدد النقاط المشتركة.

دراسة تأثير توزيع النقاط في المنطقة المدروسة:

الحالة الأولى تحويل مطابق: حالة نقاط مشتركة موزعة بشكل جيد (E2, E5) الجدولان (9 ، 10):

a	B	x0	y0
0.9980234827	-0.0615255561	-1298375.063278	-3728692.389082

point	ل'بالتحويل	ل'بالتحويل	ل'بالتحويل	ل'بالتحويل	m)(Vx	m)(Vy	m)(Vm
E4	-303163.531	151799.2695	-303163.506	151799.247	0.025	-0.02	0.034
E3	-303150.066	151708.4873	-303150.093	151708.503	-0.027	0.016	0.032
E1	-303025.466	151744.5964	-303025.325	151744.282	0.141	-0.31	0.345
E10	-303045.092	151855.2187	-303044.92	151854.605	0.172	-0.61	0.637
E9	-303029.037	151813.2566	-303028.821	151812.832	0.216	-0.42	0.476
RMS					0.18	0.468	0.501

في الجدول (10) تم حساب الفروقات للنقاط باستخدام البارامترات المحسوبة من نقطتين و الموضحة في الجدول (9)، وأيضاً تم حساب الخطأ المتوسط للتربيع لهذه الفروقات؛ نلاحظ أن أكبر الفرق هو في موضع النقطة E10 و أقلها في E3.

الحالة الثانية تحويل مطابق: حالة نقطتين مشتركتين قريبتين من بعضهما غير موزعة بشكل جيد (E9,E10):

E9,E10 الجدول (11): معاملات التحويل (البارامترات) التي حسبت من النقاط المشتركة			
a	B	x0	y0
0.9945991423	-0.05889286272	-1285431.410638	-3717206.026294

الجدول (12): تحويل إحداثيات باقي النقاط و مقارنة نتائج التحويل مع الإحداثيات المحلية المقاسة لهذه النقاط							
point	'x بالتحويل	'y بالتحويل	x بالقياس	y بالقياس	m)(Vx	m)(Vy	m)(Vm
E4	-303162.8	151798.5698	-303163.506	151799.247	-0.706	0.677	0.978
E2	-303082.122	151716.0936	-303082.764	151716.301	-0.642	0.207	0.675
E1	-303025.097	151744.4263	-303025.325	151744.282	-0.228	-0.14	0.269
E5	-303227.437	151793.4832	-303228.412	151794.322	-0.975	0.839	1.286
E3	-303149.163	151708.1452	-303150.093	151708.503	-0.93	0.358	0.996
RMS					0.962	0.672	1.174

في الجدول (12) تم حساب الفروقات للنقاط باستخدام البارامترات المحسوبة من نقطتين و الموضحة في الجدول (11)، وأيضاً تم حساب الخطأ المتوسط للتربيع لهذه الفروقات؛ نلاحظ أن الفروقات كبيرة جداً وأكبرها في موضع النقطة E5 و أقلها في E1.

الحالة الثالثة تحويل مطابق: حالة نقاط مشتركة موزعة بشكل جيد (E2,E5,E10)، الجدولان (13 ، 14):

E2,E5,E10 الجدول (13): معاملات التحويل (البارامترات) التي حسبت من النقاط المشتركة			
A	B	x0	y0
0.9969103965	-0.06345167542	-1305113.680753	-3722859.372788

الجدول (14): تحويل إحداثيات باقي النقاط و مقارنة نتائج التحويل مع الإحداثيات المحلية المقاسة لهذه النقاط							
point	'x بالتحويل	'y بالتحويل	x بالقياس	y بالقياس	m)(Vx	m)(Vy	(Vm m)
E4	-303163.408	151799.143	-303163.506	151799.247	-0.098	0.104	0.142
E3	-303150.137	151708.425	-303150.093	151708.503	0.0438	0.078	0.09
E1	-303025.589	151744.25	-303025.325	151744.282	0.2643	0.032	0.266
E9	-303029.019	151812.849	-303028.821	151812.832	0.1983	-0.017	0.199
RMS					0.2006	0.078	0.215

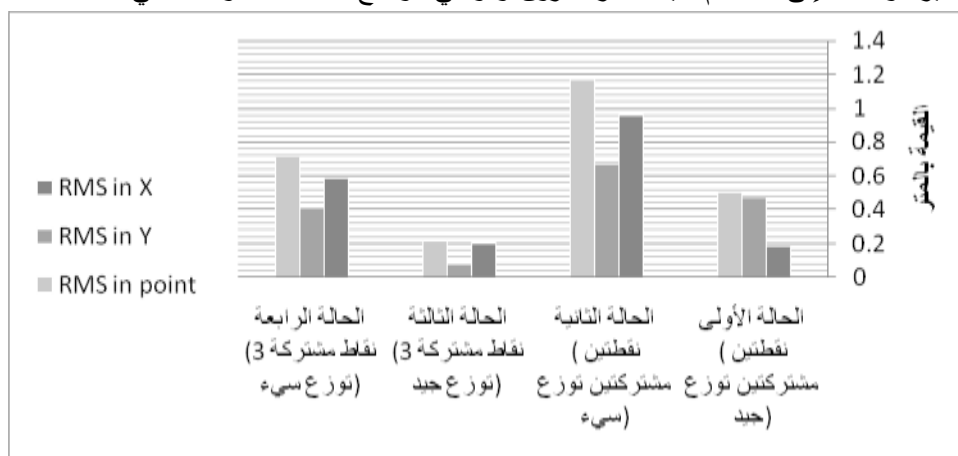
في الجدول (14) تم حساب الفروقات للنقاط باستخدام البارامترات المحسوبة من ثلاث نقاط والموضحة في الجدول (13)، وأيضاً تم حساب الخطأ المتوسط للتربيع لهذه الفروقات؛ نلاحظ أن الفروقات قلت كثيراً وأكبرها في موضع النقطة E1 وأقلها في E3.

الحالة الرابعة تحويل مطابق: حالة نقاط مشتركة على نفس خط الطول تقريباً توزعها سيء (قريبة من بعضها طويلاً) (E1,E10,E9)، الجدولان (15 ، 16):

E1,E10,E9 الجدول (15): معاملات التحويل (البارامترات) التي حسبت من النقاط المشتركة			
A	b	x0	y0
0.9955196813	-0.06123247812	-1295331.97009	-3719062.307334

الجدول (16): تحويل إحداثيات باقي النقاط و مقارنة نتائج التحويل مع الإحداثيات المحلية المقاسة لهذه النقاط							
point	'بالتحويل	'بالتحويل	بالمقياس	بالمقياس	m)(Vx	m)(Vy	m)(Vm
E4	-303163.026	151798.8133	-303163.506	151799.247	-0.48	0.434	0.647
E3	-303149.582	151708.2615	-303150.093	151708.503	-0.511	0.241	0.565
E5	-303227.743	151793.8693	-303228.412	151794.322	-0.669	0.453	0.808
E2	-303082.451	151716.0649	-303082.764	151716.301	-0.313	0.236	0.392
RMS					0.588	0.411	0.717

في الجدول (16) تم حساب الفروقات للنقاط باستخدام البارامترات المحسوبة من ثلاث نقاط والموضحة في الجدول (15)، وأيضاً تم حساب الخطأ المتوسط للتربيع لهذه الفروقات؛ نلاحظ أن في حالة التوزيع السيئ للنقاط الثلاثة بقيت الفروقات كبيرة فوصلت إلى 80 سم حيث أكبر الفروق وهو في موضع النقطة E5 وأقلها في E2.



الشكل (7): مقارنة لنتائج تحويل الإحداثيات المطابق من حيث الخطأ المتوسط للتربيع لها بين مختلف حالات توزيع النقاط المشتركة.

من مقارنة نتائج التحويل المطابق في الحالات المختلفة، ومن الشكلين السابقين (6) و(7)، يلاحظ أن لتوزيع النقاط المشتركة الأثر الأكبر على تحويل الإحداثيات مقارنة بتأثير عدد هذه النقاط.

4-2- تطبيق التحويل المثيل:

لدراسة العامل الأهم وهو تأثير توزيع النقاط المشتركة على التحويل أولاً نحسب بارامترات التحويل لثلاث نقاط مشتركة على الأقل معلومة بنظامي الإحداثيات، ثم نطبق التحويل على باقي النقاط ونحسب لنتائج التحويل بعد

مقارنتها مع الإحداثيات المحلية المقاسة الخطأ المتوسط للتربيع The Root Mean Square Error، وفق الحالات التالية:

الحالة الأولى تحويل مثيل: حالة نقاط مشتركة موزعة بشكل جيد (E2,E5,E9)، الجدولان (17 ، 18):

E2,E5,E9 الجدول (17): معاملات التحويل (البارامترات) التي حسبت من النقاط المشتركة					
a	B	c	D	x0	y0
0.998835	-0.0632928	-0.06312364	0.99454724	-1305940.637	-3713808.63

الجدول (18): تحويل إحداثيات باقي النقاط و مقارنة نتائج التحويل مع الاحداثيات المحلية المقاسة لهذه النقاط							
point	'x بالتحويل	'y بالتحويل	x بالقياس	y بالقياس	(Vx m)	(Vy m)	(Vm m)
E4	-303163.46	151799.14	-303163.506	151799.247	-0.04	0.11	0.12
E3	-303150.14	151708.64	-303150.093	151708.503	0.048	-0.13	0.141
E1	-303025.37	151744.4	-303025.325	151744.282	0.04	-0.12	0.122
E10	-303044.82	151854.68	-303044.92	151854.605	-0.1	-0.08	0.127
RMS					0.072	0.129	0.147

في الجدول (18) تم حساب الفروقات للنقاط باستخدام البارامترات الموضحة في الجدول (17)، و المحسوبة من ثلاث نقاط موزعة على مساحة المنطقة المدروسة بشكل جيد، وأيضاً تم حساب الخطأ المتوسط للتربيع لهذه الفروقات؛ نلاحظ أن الفروقات صغيرة تراوحت بين 12 و 14 سم. أكبر الفروق هو في موضع النقطة E3 و أقلها في موضع النقطة E4.

الحالة الثانية تحويل مثيل: حالة نقاط مشتركة على نفس خط الطول تقريباً توزعها سيء (قريبة من بعضها طولياً) (E1,E10,E9) الجدولان (19 ، 20):

E1,E10,E9 الجدول (19): معاملات التحويل (البارامترات) التي حسبت من النقاط المشتركة					
A	B	c	D	x0	y0
1.004363	-0.06333605	-0.05266786	0.99742457	-1310283.747	-3733021.61

الجدول (20): تحويل إحداثيات باقي النقاط و مقارنة نتائج التحويل مع الاحداثيات المحلية المقاسة لهذه النقاط							
point	'x بالتحويل	'y بالتحويل	x بالقياس	y بالقياس	(Vx m)	(Vy m)	(Vm m)
E4	-303164.2	151797.68	-303163.506	151799.247	0.695333	1.570089	1.7172
E2	-303083.03	151715.51	-303082.8	151716.3	0.267853	0.786602	0.831
E3	-303150.78	151707.12	-303150.1	151708.5	0.684867	1.385646	1.546
E5	-303228.412	151794.322	-303229.507	151792.1638	-1.09525	-2.15817	2.420
RMS					0.861	1.795	1.990

في الجدول (20) تم حساب الفروقات للنقاط باستخدام البارامترات الموضحة في الجدول (19)، و المحسوبة من ثلاث نقاط غير موزعة على مساحة المنطقة المدروسة بشكل جيد، وأيضاً تم حساب الخطأ المتوسط للتربيع لهذه

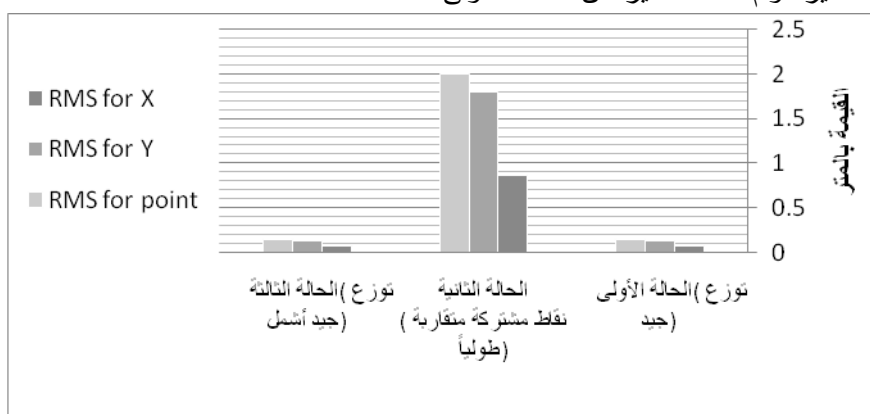
الفروقات؛ نلاحظ أن الفروقات زادت بشكل كبير وأصبحت كبيرة جداً، وإن أكبر الفروق هو في موضع النقطة E5 و أقلها في موضع النقطة E2.

الحالة الثالثة تحويل مثيل: حالة نقاط مشتركة موزعة بشكل جيد أشمل (E2,E5,E10)، الجدولان (21 ، 22):

E2,E5,E10 الجدول (21): معاملات التحويل (البارامترات) التي حسبت من النقاط المشتركة					
A	B	C	D	x0	y0
0.998534	-0.06263762	-0.06335039	0.99404677	-1303135.73	-3711668.33

الجدول (22): تحويل إحداثيات باقي النقاط و مقارنة نتائج التحويل مع الإحداثيات المحلية المقاسة لهذه النقاط							
point	'إلى التحويل	'إلى التحويل	X بالقياس	Y بالقياس	Vx(m)	Vy(m)	Vm(m)
E4	-303163.49	151799.12	-303163.506	151799.247	-0.0179	0.130671	0.132
E9	-303028.9	151812.77	-303028.821	151812.832	0.079938	0.060355	0.1
E3	-303150.11	151708.66	-303150.1	151708.5	0.019842	-0.1538	0.155
E1	-303025.4026	151744.3689	-303025.325	151744.282	0.07761	-0.08692	0.117
RMS					0.066	0.132	0.147

في الجدول (22) تم حساب الفروقات للنقاط باستخدام البارامترات الموضحة في الجدول (21)، و المحسوبة من ثلاث نقاط موزعة على مساحة المنطقة المدروسة بشكل جيد، وأيضاً تم حساب الخطأ المتوسط للتربيع لهذه الفروقات؛ نلاحظ أن الفروقات صغيرة، ولم تختلف كثيراً عن الحالة الأولى.



الشكل (8): مقارنة لنتائج تحويل الإحداثيات المثيل من حيث الخطأ المتوسط للتربيع لها بين مختلف حالات توزع النقاط المشتركة.

الاستنتاجات و التوصيات:

1. تُقد أعطى التحويل المثيل دقة أكبر من التحويل المطابق عند استخدام الحد الأدنى المطلوب من النقاط المشتركة في حساب البارامترات.
2. تلاحظ أنه من أجل توزع جيد للنقاط المشتركة يشمل المنطقة المدروسة بشكل جيد لم يتجاوز خطأ التوزيع الأفقي للنقاط المحسوبة إحداثياتها بالتحويل المثيل 15 سم كما في الحالتين الأولى و الثالثة للتحويل المثيل، وهي دقة جيدة بالنسبة للمضلع.

- 3 لم تتغير قيم عناصر (بارامترات) التحويل كثيراً بزيادة عدد نقاط الربط المشتركة بالمقارنة مع التغير الكبير لقيمتها عند تغيير توزع هذه النقاط على المنطقة المدروسة، فيجب دوماً اختيار نقاط مشتركة موزعة بشكل جيد بحيث تغطي كل المنطقة المدروسة عند حساب بارامترات التحويل.
- 4 يمكن استخدام القياس بنظام GNSS لمختلف أعمال المسح الطبوغرافي وفق واقعنا المحلي؛ عن طريق حساب بارامترات التحويل لنقاط مشتركة مرجعية موزعة بشكل جيد على منطقة المشروع و معلومة بنظامي الإحداثيات العالمي و المحلي وعددها محدود، ومن ثم تطبيق التحويل للحصول على الإحداثيات المحلية لنقاط المشروع من قياسات GNSS ضمن حدود الدقة المسموحة.

المراجع:

- 1 علي، أحمد؛ محفوض، ندى. الكارتوغرافيا. الطبعة الأولى، كلية الهندسة المدنية، جامعة تشرين 2011-2012.
- 2 تيب، فايز؛ ديوب، وائل. حساب عناصر تحويل الإحداثيات الجغرافية بين مستو الإسناد العالمي WGS84 ومستو الإسناد المحلي في سورية. مجلة جامعة تشرين للبحوث و الدراسات العلمية - سلسلة العلوم الهندسية، المجلد (30) العدد (3)، 2008.
- 3 محفوض، ندى. دراسة تحويل الإحداثيات (3-D) المقيسة بنظام GPS من الجملة العالمية إلى إحداثيات في الجملة الستيريوغرافية السورية وبرمجتها. مجلة جامعة تشرين للبحوث و الدراسات العلمية - سلسلة العلوم الهندسية، المجلد (31) العدد (1)، 2009.
- 4- JANSSEN.V. *Understanding Coordinate Systems, Datums And Transformations In Australia*. Survey Infrastructure and Geodesy, Land and Property Information. NSW Department of Lands-346 Panorama Avenue, Bathurst NSW 2795, Australia, (2009).
- 5- GUO.R. *Systematical Analysis Of The Transformation Procedures In Baden-Wurtemberg With Least Squares And Total Least Squares Methodes*. Master of science thesis. Geodetic Institute, Stuttgart university: Germany, (2007).
- 6- OSAH.S. *Developing A Gns Suite For Geodetic Applications*. Master of science thesis. The department of geodetic engineering, College of engineering, Kwame Nkrumah university of science and technology: Ghana, (2013).
- 7- OKWUASHI.A; EYOH.A. *3d Coordinate Transformation Using Total Least Squares*. Academic Research International. PK. Vol. 3, No. 1,399-405. (2012).
- 8- SAHL.T. *Advanced Positioning For Offshore Norway*. Master of science thesis. The department of Petroleum engineering and applied science , Norwegian university of science and technology: Norway, (2014).