

تطوير إسقاطات جيوديزية مناسبة لشكل المنطقة السورية

د. م. عبد الرزاق عجاج⁽¹⁾ و م. كمال يوسف⁽²⁾ و د. م. معن حبيب⁽³⁾

الملخص

تناول البحث موضوع تطوير نموذج رياضي موحد وشامل لحساب الإسقاطات الجيوديزية بشروط المنطقة السورية، على أساس النظرية العامة للإسقاطات، واستثمار هذا النموذج لحساب الإحداثيات المستوية وفق أنظمة الإسقاط التَّشَابِهِيَّة (الأسطوانية، المخروطية، السَّمْتِيَّة). طوّر النموذج بهدف تحسين علاقات الإسقاط من خلال رفع دقَّة حساب الإحداثيات بما يتماشى مع دقَّة الرُّصْد والقياس التي تؤمنها تقنيات القياس المعاصرة.

صُيِّغَتْ، وصولاً الى ذلك، معادلات التحويل المباشر والتحويل العكسي لهذه الإسقاطات، فضلاً عن المتغيرات المتممة لها (تقارب خطوط الطول وعامل المقياس)، بأسلوب يناسب برمجتها على الحاسب والحصول من خلالها على دقة عالية في الحساب. كما تناول البحث طرائق البحث وكيفية عن أفضل الإسقاطات، من خلال التحكُّم بقيم التشوّهات الخطية وتوزّعها على المنطقة السورية كلّها، وذلك عن طريق تغيير إحداثيات مركز الإسقاط وتعديل قيمة المقياس في هذه النقطة (مركز المنطقة المسقطه)، باستخدام النموذج الرياضي المقترح. وخلص البحث إلى نتائج وتوصيات في تطوير إدارة البيانات الإحداثية في القطر.

الكلمات المفتاحية: الإسقاطات الجيوديزية، الإحداثيات الجيوديزية، عامل المقياس، التشوهات الخطية، مركز الإسقاط.

(1) أستاذ مساعد، قسم الهندسة الطبوغرافية، كلية الهندسة المدنية، جامعة دمشق.

(2) مديرة الطبوغرافيا، وزارة الإسكان والتنمية العمرانية.

(3) أستاذ مساعد، جامعة البلقاء التطبيقية، الاردن.

Development of Geodetic Projections for Syrian Region

Dr. Abdurazzak Ajaj⁽¹⁾ ; Eng. Kamal Youssef⁽²⁾
and Dr. Maan Habib⁽³⁾

Abstract

This paper presents a methodology for development of a unified and comprehensive model for calculating geodetic projections, adapted to Syrian region. These projections are based on common conformal (cylindrical, azimuthal and conical) geodetic projections Theory. This aims to improve accuracy in calculating coordinates, to cope up with the available accuracy in measurements. Direct and indirect convergence and scale factor formulae were written in this context.

A case study was carried out to present methods of finding best fitting projections for the Syrian region. The presented methodology allows controlling of values of linear distortions by changing scale factors in origin point. We can also control distribution of distortions inside the studied region by changing the position of the origin point. This research yields some results and recommendations for spatial data management in the studied region.

Keywords: Geodetic projections, Geodetic coordinates, Scale factor, Linear distortions, Point of origin.

⁽¹⁾ Associate Professor, Department of Topography, Faculty of Civil Engineering, Damascus University, Syria.

⁽²⁾ Directorate of Topography - Ministry of Housing and Urban Development

⁽³⁾ Associate Professor, Al-Balqa Applied University, Jordan.

1. المقدمة

الإحداثيات المختلفة ينتج عنها توضعات جيومترية مختلفة. وهذا يؤدي الى صعوبات في الاستثمار المشترك لبيانات الجهات المختلفة. خصوصاً عند استخدام نظم المعلومات الجغرافية والإشكاليات التي تظهر عند التحويل المتبادل بين جمل الإحداثيات المحلية والجملة العالمية WGS84.

يضاف إلى ذلك الدقة المنخفضة في حساب الإسقاطات المرتبطة بهذه الجمل بوصفها قديمة وُضعت لتكون سهلة الحساب بمساعدة التقنيات المتوافرة حينها. ومن الواقعي التفكير حالياً بتطويرها، بوصفها لم تعد تشكل البيئة الإحداثية الأكثر مناسبة لتمثيل البيانات المساحية المحلية، فضلاً عن أنها لا تتماشى مع تطور تقانات الرصد والقياس والحساب المتاحة، ومعايير الدقة المعمول بها عالمياً.

3. الأهمية العلمية للبحث

تأتي أهمية البحث في تزامنه مع الحاجة والحديث عن تطوير الإطار الجيوديزي المرجعي السوري للبيانات المكانية. يطرح المشروع اليوم أهم المسائل العلمية - التقنية في الجيوديزيا على مستوى القطر، منها اعتماد إهليلج جديد وإسقاط جديد ومن ثمّ نظام إحداثي عام جديد أو المحافظة على الإسقاط الحالي المعتمد للأغراض المدنية وتحسين طرائق استخدامه. كما أن تغير اعتبارات الأهمية ضمن المنطقة السورية أصبح يستوجب إعادة تقييم جمل الإحداثيات المستخدمة انطلاقاً من مفاهيم جديدة وموحدة للمنطقة السورية كلاًها.

4. أهداف البحث ومنهجيته:

هدف البحث إلى تطوير نموذج رياضي موحد وشامل لحساب الإسقاطات الجيوديزية بشروط المنطقة السورية، على أساس النظرية العامة للإسقاطات، واستثمار هذا النموذج لحساب الإسقاطات المستوية وفق أنظمة الإسقاط

أنتجت تجربة استخدام نُظُم الإحداثيات لحل المسائل الجيوديزية المختلفة في معظم الدول ومنها سورية مجموعة من النُظُم المحلية، الخاصة بمشاريع معينة، والعامّة لدولة أو مجموعة من الدول. رافق هذه التجربة حل مجموعة من المسائل أهمها اختيار أنسب نظام إحداثيات لمنطقة ما وحساب الإسقاطات وفق هذا النظام، وكذلك تحويل الإحداثيات فيما بين النُظُم المختلفة. وظهرت تبعاً لذلك مسائل تطوير هذه النُظُم تماشياً مع زيادة متطلبات الدقة التي واكبت ظهور تقانات متطورة في جمع البيانات المساحية واستثمارها وإدارتها. وتقوم، حالياً، معظم الدول ومنها سورية، بتطوير أنظمة الإحداثيات الخاصة بها وفق المعايير العالمية المعاصرة.

2. المشكلة العلمية ومبررات مشروع البحث

تستخدم في القطر حالياً مجموعة من أنظمة الإحداثيات المستوية لتمثيل جميع الأعمال والبيانات الجيوديزية والمساحية (العقارية والطوبوغرافية)، وتوفير الأساس المساحي للمشاريع الهندسية الضخمة وغيرها من الأغراض المختلفة. تنتج هذه النظم عن التمثيل المستوي للإهليلج وفق ثلاثة إسقاطات تشابهية conformal projections هي الأسطوانية المعترض والمخروطية والستيريوغرافي [1].

تُشكّل هذه الجمل بمجملها بيئة الإحداثيات الحاملة لأعمالنا ومشاريعنا المساحية والهندسية. وُضعت كل من هذه الجمل في ظروف مختلفة وانطلقت من مجموعة اعتبارات محددة تتناسب وطبيعة الأعمال المنجزة وفق هذه الجملة أو تلك. لاشك أن لكل منها بعض الميزات وبالمقابل بعض العيوب.

تتلخص الصعوبات الأساسية في التعامل مع هذه الجمل بأن أنظمة الإسقاط المختلفة ومن ثمّ أنظمة

كما أضيفت ربع درجة على أطراف الحزوز (المغازل)، بحيث أصبح كلّ حز يغطي ثلاث درجات ونصف، والمنطقة المشتركة بين الحزوز المتجاورة عرضها نصف درجة، تغطي سورية ثلاث مناطق الرابعة IV والخامسة V والسادسة VI. يُعيّن لكلّ منطقة من المناطق الثلاث جملة إحداثيات ديكرتية خاصة بها [1]. اعتمد هذا الإسقاط زمن الوحدة بين سورية ومصر عام 1958. البيانات المستخدمة وفق نظام الإحداثيات المستوية لهذه الجملة خرائط صغيرة المقاييس.

2) إسقاط لامبيرت المخروطي:

يعتمد إسقاط لامبيرت المخروطي إهليلج كلارك عام 1880 كسطح مرجعي، وسطح الإسقاط المخروطي القائم والقاطع للمنطقة السورية بخطي عرض: $\varphi_1 = 36.75 \text{ gr}$ و $\varphi_2 = 40.25 \text{ gr}$ ، حيث يكون التشوه عندهما معدوماً، وبينهما سالباً وخارجهما موجباً، أي $K=1$ على الخطّين $N=174728\text{m}$ شمالاً وجنوباً عن المركز. المقياس على خط العرض الأوسط: $K_0=0.99962560$. نسبة التشوه الخطّي الأعظمي على طرفي المنطقة السورية في الشّمال والجنوب هي 1:2550، وذلك ضمن حدود دقّة الأعمال التي أنجزت بموجبه. أقرت هذه الجملة عام 1920. وأنجزت بموجبها خرائط صغيرة ومتوسطة المقاييس، وكذلك نقاط شبكة التثليث من الدرجة الأولى،...

3) الإسقاط الستيريوغرافي

يعتمد هذا الإسقاط إهليلج كلارك 1880 سطحاً مرجعياً لحساب الإحداثيات الجيوديزية، نصف قطر الدائرة الايزومترية 275 km، ومركزها مركز الإسقاط. يحيط بها من الطرفين منطقة التشوه الأصغري المحددة بدائرتين يزيد

التشابهية (الأسطوانية، المخروطية، السّمتية). وذلك بهدف تحسين علاقات الإسقاط من خلال رفع دقّة حساب الإحداثيات بما يتماشى مع دقّة الرّصد والقياس التي تؤمّنها تقنيات القياس المعاصرة.

وكذلك اقتراح طرائق وكيفية البحث عن أفضل الإسقاطات، من خلال التحكّم بقيم التشوّهات الخطية وتوزّعها على المنطقة السورية كلّها. باعتماد منهجية مقارنة قيم التشوّهات الخطية للإسقاط المقترح بالإسقاطات الحالية المعتمدة.

5. الدراسات المرجعية السابقة للبحث

البحث [2] تناول البحث نُظم الإسقاط المستخدمة في القطر. وعرض بالتفصيل علاقات حساب المسألتين المباشرة والعكسية وتقارب خطوط الطول، وعامل المقياس في الإرتسام الستيريوغرافي العقاري المطبق، كما أورد قيم التصحيحات الخطية والزواوية وتصحيح المساحات الواجب أخذها بالحسبان وفق هذا الإسقاط.

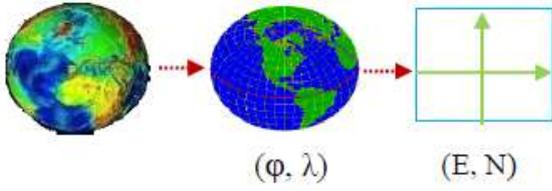
البحث [3] وفيه عرضت طرائق تحسين النظام الستيريوغرافي الحالي بزيادة دقة معادلات حساب الإسقاط وحساب تقارب خطوط الطول وعامل المقياس، وذلك عن طريق اقتراح تقنية الإسقاط المضاعف. تم بنتيجة ذلك خفّضت التشوّهات الخطية في النقاط المحيطية بنسبة 32% مقارنة بالإسقاط الحالي المعتمد، بسبب تغيير مركز الإسقاط وعامل المقياس عنده.

6. الإسقاطات التّشابهية المستخدمة في سورية

تمثّل البيانات المساحية جميعها في القطر حالياً وفق ثلاثة إسقاطات تشابهية هي:

1) إسقاط ميركاتور المستعرض STM:

يعتمد هذا الإسقاط إهليلج هايفورد عام 1924، اعتمد عرض المنطقة (zone) ثلاث درجات طول $\Delta\lambda = 3^\circ$.



الشكل (1) الانتقال من السطح الإهليلجي للأرض إلى المستوي.

يُمكن كتابة العلاقات العكسية بين مجموعتي الإحداثيات من العلاقات (1) على الشكل الآتي:

$$\Phi = f_3(E, N), \lambda = f_4(E, N) \quad (2)$$

تعبّر العلاقات (2) عن معادلات خطوط الطول وخطوط العرض.

لاتعطي عملية الإسقاط تمثيلاً واقعياً لسطح الأرض، إذ أننا سنحصل على تشوهات في المسقط، هذه التشوهات بشكل عام هي في الأطوال والمساحات والزوايا.

نحصل على مسقط ذي تشوهات معينة دون أخرى من خلال فرض بعض الشروط على التابعين f_1 و f_2 في العلاقات (1) والتابعين f_3 و f_4 في العلاقات (2).

في الكارتوغرافيا الرياضية تُستخدم عدّة معايير للتعبير عن التشوهات، فمثلاً تُستخدم علاقة المقياس الخطّي المحلي للتعبير عن تشوه الأطوال.

نسبة طول يعنصرين خطيين على سطح الإهليلج وفي المستوي ds' , ds على الترتيب:

$$K = \frac{ds'}{ds} \quad (3)$$

ترتبط العناصر الخطية لسطح الإهليلج والمستوي وفق العلاقاتين:

$$\left. \begin{aligned} ds^2 &= \rho^2 d\varphi^2 + u^2 \cos^2 \varphi d\lambda^2 \\ ds'^2 &= dE^2 + dN^2 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

يُمكن التعبير عن طول العنصر ds' بدلالة مساقطه على المحاور الإحداثية وفقاً للعلاقة (1)، عندها تُكتب المشتقات الكاملة [6]:

وينقص نصفاً قطريهما على نصف قطر دائرة التشوه المعلوم بمقدار 75km. عامل مقياس الإسقاط في مركز المنطقة $K_0=0.9995314$. وضعت هذه الجملة بهدف توثيق الملكيات العقارية عام 1920. حُسبت إحداثيات نقاط الأساس المساحي وفق هذا الإسقاط، وأنجزت على أساسه المخططات العقارية [5]. فضلاً عما أنجز من مخططات عقارية وطبوغرافية للمدن والتجمعات العمرانية، ومخططات وبيانات المشاريع الهندسية المختلفة.

(4) هناك أيضاً جملة الإحداثيات العالمية WGS84 وإسقاطها وفق إسقاط ميركاتور المعترض UTM:

يتوافق وقفها صور فضائية وبيانات القياس والرصد الفضائي لبعض المشاريع، المنجزة باستخدام نظام تحديد المواقع العالمي (GPS). مستخدمة حالياً من قبل كثير من الجهات العامة والخاصة التي تقتضي أعمالها التعامل مع هذه البيانات، لكن هذه الجملة غير معتمدة رسمياً.

7. نظم إسقاط سطح الإهليلج على مستوي، المستخدمة لحل المسائل الجيوديزية:

يُعرّف نظام الإسقاط، بشكل عام، بأنه علاقة وحيدة التعيين بين إحداثيات نقاط سطح الإهليلج المنسوبة إلى نقطة من سطحه (φ, λ) ونقاط المستوي المنسوبة إلى نقطة ما منه بالإحداثيات (E, N) . ويُعبّر عن هذه العلاقة بالشكل:

$$E = f_1(\varphi, \lambda), N = f_2(\varphi, \lambda) \quad (1)$$

يتضح من العلاقات (1) أنّ عدد نظم الإسقاط الممكنة لا نهائي. التابعان f_1 و f_2 يجب أن يكونا معرفين ومستمرين مع مشتقاتهما من الدرجة الأولى والثانية، وكذلك وحيدتي التعيين ومستقلّين في نقاط المنطقة المراد إسقاطها كلها [6].

بالحسبان العلاقة (7) كتبت علاقتنا المقياس الخطي وتقارب خطوط الطول بدلالة المشتقات الخاصة [8]:

المقياس الخطي K في أي نقطة يُكتب بالعلاقة:

$$K = \frac{\sqrt{\left(\frac{\partial E}{\partial \psi}\right)^2 + \left(\frac{\partial N}{\partial \psi}\right)^2}}{v \cos \varphi} \quad (11)$$

استناداً الى ذلك، يمكن القول انّ المقياس غير متعلق بالاتجاه.

تقارب خطوط الطول θ : هو الزاوية بين اتجاه شمال الخارطة والماس لمسقط خط الطول في النقطة، ويُعبّر عنه بالعلاقة:

$$\tan \theta = \frac{-\frac{\partial N}{\partial \psi}}{\frac{\partial E}{\partial \psi}} = \frac{\frac{\partial E}{\partial \lambda}}{\frac{\partial N}{\partial \lambda}} \quad (12)$$

إنّ التحويلات المباشرة والعكسية للإسقاطات التّشابهية، تفترض وضع معادلات تحليلية بين الإحداثيات الجيوديزية على كلّ من سطح الإهليلج (φ, λ) ، والديكارتيّة في المستوي (E, N) ، إذا عُرفت بعض الشّروط الابتدائية للإسقاط في نقطة المبدأ (φ_0, λ_0) .

8. العلاقات الأساسية المحدّدة لنوع الإسقاط:

يتمّ الحصول على العلاقة المحدّدة لنوع الإسقاط: أسطواني، مخروطي أو سميّ، بالتبديل في العلاقات التي تعبّر عن مسقط خط الطول الأوسط في المستوي لكل من الإسقاطات الثلاثة [9]، لتصبح من الشّكل:

$$\Delta N_k = (N_k - N_0) = \sum_{j=1}^n A_j P_1^{(j)} \quad (13)$$

تُحدّد قيم العوامل A_j نوع الإسقاط من مجموعة الإسقاطات التّشابهية. القيم $P_1^{(j)}$ هي توابع تغيير الإحداثيات الجيوديزية $\Delta \psi$ و $\Delta \lambda$.

$$\left. \begin{aligned} dE &= \frac{\partial E}{\partial \varphi} d\varphi + \frac{\partial E}{\partial \lambda} d\lambda \\ dN &= \frac{\partial N}{\partial \varphi} d\varphi + \frac{\partial N}{\partial \lambda} d\lambda \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

للانتقال من الإحداثيات الجيوديزية على الإهليلج إلى الإحداثيات الديكارتيّة في المستوي أُدخلت إحداثيات وسيطية هي الإحداثيات الإيزومترية. يُرمز لزاوية العرض الإيزومترية بالرمز ψ ، وتُكتب العلاقة الأولى في (4) بالشّكل:

$$ds^2 = v^2 \cos^2 \varphi \left(\frac{\rho^2 \cdot d\varphi^2}{v^2 \cdot \cos^2 \varphi} + d\lambda^2 \right) \quad (6)$$

وتصبح من ثمّ من الشّكل:

$$ds^2 = r^2 (d\psi^2 + d\lambda^2) \quad (7)$$

يُكتب الشكل النهائي لعلاقة زاوية العرض الإيزومترية بدلالة زاوية العرض الجيوديزية [7]:

$$\psi = \ln \sqrt{\left(\frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} \right) \left(\frac{1 - e \sin \varphi}{1 + e \sin \varphi} \right)^e} \quad (8)$$

يتمّكّل نظام الإحداثيات الإيزومترية (ψ, λ) على سطح الإهليلج شبكة من المربّعات الصّغيرة. الإحداثيات الديكارتيّة يُعبّر عنها كتوابع متعلّقة بالإحداثيات الإيزومترية:

$$\left. \begin{aligned} E &= f_1(\psi, \lambda) \\ N &= f_2(\psi, \lambda) \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

الإسقاط التّشابهي للإهليلج على مستوي يجب أن يحقق علاقات كوشي-ريمان [6]:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial E}{\partial \lambda} &= -\frac{\partial N}{\partial \psi} \\ \frac{\partial N}{\partial \lambda} &= \frac{\partial E}{\partial \psi} \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

لمّا كانت الشبكة الوسيطة الإيزومترية متعامدة على الإهليلج وفي المستوي، من العلاقة (3) مع الأخذ

$$\begin{aligned}
 A_1 &= K_0 \frac{A}{V_0} \cos \varphi_0 \\
 A_2 &= -\frac{A_1}{2} \sin \varphi_0 \\
 A_3 &= \frac{A_1}{12} \cos^2 \varphi_0 (2 \tan^2 \varphi_0 - V_0^2) \\
 A_4 &= \frac{A_1}{24} \sin \varphi_0 \cos^2 \varphi_0 (2 - \tan^2 \varphi_0 + 6\eta_0^2 \\
 &\quad + 4\eta_0^4) \\
 A_5 &= \frac{A_1}{240} \cos^4 \varphi_0 (2 - 11 \tan^2 \varphi_0 + 2 \tan^4 \varphi_0 \\
 &\quad + 12\eta_0^2 - 91\eta_0^2 \tan^2 \varphi_0) \\
 A_6 &= \frac{A_1}{1440} \sin \varphi_0 \cos^4 \varphi_0 (26 \tan^2 \varphi_0 - 17 \\
 &\quad - 2 \tan^4 \varphi_0 - 270\eta_0^2 \\
 &\quad + 570\eta_0^2 \tan^2 \varphi_0) \\
 A_7 &= \frac{A_1}{20160} \cos^6 \varphi_0 (180 \tan^2 \varphi_0 - 17 \\
 &\quad - 114 \tan^4 \varphi_0 + 4 \tan^6 \varphi_0) \\
 A_8 &= \frac{A_1}{40320} \sin \varphi_0 \cos^6 \varphi_0 (62 - 192 \tan^2 \varphi_0 \\
 &\quad + 60 \tan^4 \varphi_0 - \tan^6 \varphi_0)
 \end{aligned} \tag{16}$$

قيم العوامل A_i في العلاقات (14)، (15) و (16) تحدد نوع الإسقاط التَّشابهي من الأنواع الثلاثة المذكورة.

9. التحويل المباشر في الإسقاطات الجيوديزية:

التحويل المباشر هو عملية الانتقال من الإحداثيات، الأطوال، الاتجاهات والسموت على سطح الإهليلج، إلى الإحداثيات، الأطوال، الاتجاهات والسموت في مستوي الإسقاط. تحسب الإحداثيات المستوية في مستوي الإسقاط وفق العلاقات الآتية:

$$\left. \begin{aligned}
 N &= N_0 + \sum_{j=1}^n A_j P_j \\
 E &= E_0 + \sum_{j=1}^n A_j Q_j
 \end{aligned} \right\} \tag{17}$$

1. قيم العوامل A_j تحسب من العلاقات (14)، (15) و (16) بحسب نوع الإسقاط.

2. القيم P_j و Q_j هي توابع تغيّر الإحداثيات $\Delta\psi$ و $\Delta\lambda$ ، إذ:

$$\left. \begin{aligned}
 P_1 &= \Delta\psi, \Delta\psi = \psi - \psi_0 \\
 Q_1 &= \Delta\lambda, \Delta\lambda = \lambda - \lambda_0
 \end{aligned} \right\} \tag{18}$$

1.8 الإسقاط الإسطواني:

تكتب العلاقات المحددة للعوامل A_j في الإسقاط الأسطواني وفق الآتي [9]:

$$\left. \begin{aligned}
 A_1 &= K_0 \frac{A}{V_0} \cos \varphi_0 \\
 A_2 &= -\frac{A_1}{2} \sin \varphi_0 \\
 A_3 &= \frac{A_1}{6} \cos^2 \varphi_0 (\tan^2 \varphi_0 - V_0^2) \\
 A_4 &= \frac{A_1}{24} \sin \varphi_0 \cos^2 \varphi_0 (5 - \tan^2 \varphi_0 + 9\eta_0^2 + \\
 &\quad 4\eta_0^4) \\
 A_5 &= \frac{A_1}{120} \cos^4 \varphi_0 (5 - 18 \tan^2 \varphi_0 + \tan^4 \varphi_0 \\
 &\quad + 14\eta_0^2 - 58\eta_0^2 \tan^2 \varphi_0) \\
 A_6 &= \frac{A_1}{720} \sin \varphi_0 \cos^4 \varphi_0 (58 \tan^2 \varphi_0 - 61 \\
 &\quad - \tan^4 \varphi_0 - 270\eta_0^2 \\
 &\quad + 330\eta_0^2 \tan^2 \varphi_0) \\
 A_7 &= \frac{A_1}{5040} \cos^6 \varphi_0 (479 \tan^2 \varphi_0 - 61 \\
 &\quad - 179 \tan^4 \varphi_0 + \tan^6 \varphi_0) \\
 A_8 &= \frac{A_1}{40320} \sin \varphi_0 \cos^6 \varphi_0 (1385 \\
 &\quad - 3111 \tan^2 \varphi_0 + 543 \tan^4 \varphi_0 \\
 &\quad - \tan^6 \varphi_0)
 \end{aligned} \right\} \tag{14}$$

في هذه المعادلات العامل K_0 هو مقياس الإسقاط في النقطة التي إحداثياتها (φ_0, λ_0) ، ويحافظ على قيمته على خط الطول الأوسط (المر من المبدأ) للمنطقة المسقطة.

2.8 الإسقاط المخروطي:

في هذا الإسقاط تكتب المعادلة المحددة لقيمة العوامل A_j بشكل علاقات مرتبطة، مهما تكن قيمة n بالشكل:

$$z_j = \frac{A_1}{j!} (-1)^{(j-1)} (\sin \varphi_0)^{(j-1)}, \tag{15}$$

إذ $(j = 1, 2, \dots, n)$. في هذه المعادلات يحافظ مقياس الإسقاط K_0 على قيمته على خط العرض الأوسط (المر من المبدأ) φ_0 . لا توجد شروط على أبعاد المنطقة، لكن من أجل ضمان أحادية القيمة، يمكن فرض شرط أن تكون: $\Delta\varphi_{\max} = \Delta\lambda_{\max} < \pi$.

3.8 الإسقاط السمّي (الستيريوغرافي)

تكتب العلاقات المعيّنة للعوامل A_j في الإسقاط الستيريوغرافي وفق الآتي [9]:

$$\left. \begin{aligned} \psi &= \psi_0 + \sum_{j=1}^n A'_j P'_j \\ \lambda &= \lambda_0 + \sum_{j=1}^n A'_j Q'_j \end{aligned} \right\} (23)$$

$$\left. \begin{aligned} P'_j &= P'_{j-1} P'_1 - Q'_{j-1} Q'_1 \\ Q'_j &= P'_{j-1} Q'_1 + Q'_{j-1} P'_1 \\ P'_1 &= (N - N_0), Q'_1 = (E - E_0) \end{aligned} \right\} (24)$$

عندها تُحسب ψ_0 بالعلاقة:

$$\psi_0 = \ln \sqrt{\left(\frac{1 + \sin \varphi_0}{1 - \sin \varphi_0}\right) \left(\frac{1 - e \sin \varphi_0}{1 + e \sin \varphi_0}\right)^e} (25)$$

زاوية العرض الجيوديزية φ تُحسب بالعلاقة [9]:

$$\varphi = 2 \arctg \left[\sqrt{\left(\frac{1 + e \sin \varphi}{1 - e \sin \varphi}\right)^e \cdot \exp \psi} \right] - \frac{\pi}{2} (26)$$

انطلاقاً من الشُّروط الابتدائية للإسقاط تُعطى أو تُفرض القيم λ_0, φ_0 أو N_0, E_0 وكذلك K_0 ، التي يتم اختيارها عند حساب التَّحويل المباشر. دقَّة حساب التَّحويل العكسي مكافئة لدقَّة حساب التَّحويل المباشر، وفق الاشتراطات نفسها الخاصة بأبعاد المنطقة المدروسة.

2. يُكتب المقياس في مستوي الإسقاط بالعلاقة:

$$K = \frac{1}{r \sqrt{m_1'^2 + m_2'^2}} (27)$$

3. تقارب خطوط الطُّول في مستوي الإسقاط تأخذ الشكل:

$$\theta = \arctg \left(\frac{m_1'}{m_2'} \right) (28)$$

يتبيَّن أنَّ تقارب خطوط الطُّول غير مرتبط بقيمة K_0 . تُحسب العوامل m' وفق العلاقات الناتجة والمحققة لعلاقات كوشي-ريمان للمشتقات الخاصة، ونظراً إلى أنَّ الإحداثيات الإيزومترية متعامدة على سطح الإهليلج:

تُحسب زاوية العرض الإيزومترية بدلالة زاوية العرض الجيوديزية بالعلاقة (8). أمَّا القيم الأخرى فيكون الحصول عليها من كثير الحدود، المُحقق لعلاقات لابلاس:

$$\left. \begin{aligned} P_j &= P_{j-1} P_1 - Q_{j-1} Q_1 \\ Q_j &= P_{j-1} Q_1 + Q_{j-1} P_1 \end{aligned} \right\} (i=1,2,3,\dots,n) (19)$$

3. اختيار القيم N_0 و E_0 أمرٌ مهم جداً، إذا كان المطلوب إنشاء نظام إحداثيات مستوية محلي للمنطقة المدروسة، عندها يمكن عدّ:

$$N_0 \approx E_0 > |\Delta N|_{\max} \approx |\Delta E|_{\max}$$

4. المقياس في مستوي الإسقاط يُكتب بالعلاقة:

$$K = \frac{\sqrt{m_1'^2 + m_2'^2}}{r} (20)$$

5. تقارب خطوط الطُّول في مستوي الإسقاط:

$$\theta = \arctan \left(\frac{m_1'}{m_2'} \right) (21)$$

من أجل افتراضات محددة لأبعاد المنطقة المدروسة من سطح الإهليلج $\lambda < 12^\circ, \Delta \varphi < 12^\circ \cos \varphi$ ، تُكتب العلاقات الآتية الناتجة من المعادلات التفاضلية [9]:

$$\left. \begin{aligned} m_1 &= -\sum_{j=1}^n j A_j Q_{(j-1)} \\ m_2 &= \sum_{j=1}^n j A_j Q P_{(j-1)} \end{aligned} \right\} (22)$$

تُحسب قيمة المقياس في العلاقة (20) بخطأ أقل من $5 \cdot 10^{-8}$ ، وتقارب خطوط الطُّول وفق العلاقة (21) بخطأ أقل من 0.001^{cc} ، [8]. وتعدّ هذه الدقة كافية لحل كثير من المسائل الجيوديزية.

10. التَّحويل العكسي للإسقاطات الجيوديزية:

التَّحويل العكسي هو الانتقال من العناصر الخطية والزَّاوية في مستوي الإسقاط إلى العناصر الموافقة على الإهليلج:

1. تُحسب الإحداثيات الإيزومترية الإهليلجية انطلاقاً من الإحداثيات المستوية في مستوي الإسقاط [9]:

تشكل العلاقات من (14) إلى (31) نموذجاً رياضياً موحداً لحساب الإسقاطات الجيوديزية التَّشابهية، وسنبين كيفية استخدامها بشروط المنطقة السورية.

11. التَّشوهات الخطية في الإسقاطات التَّشابهية

تدخل في العلاقات الواردة أعلاه لحساب قيم العوامل A_j قيمة مقياس الإسقاط K_0 في نقطة ما من سطح الإسقاط إحداثياتها (φ_0, λ_0) أو (E_0, N_0) ، هي نقطة المبدأ للسطح المُسقط.

تعديل قيمة K_0 في الإسقاطات التَّشابهية، ضمن حدود معينة، لا يغير ترتيب قيم الانحناء الجيوديزي للإسقاط، ومن ثم لا يغير ترتيب قيم التصحيحات الزاوية. وعليه فإنَّ تحسين الإسقاطات الجيوديزية، يمكن تحقيقه فقط من خلال تعديل قيم التَّشوهات الخطية وتوزعها داخل المنطقة المدروسة. وهذا ينطبق على الإسقاطات الجيوديزية التَّشابهية كلها، إذ أنه من أجل $K_0=1$ يكون مقياس الإسقاط K في أي نقطة من المنطقة المسقطة $K > 1$. [7, 9].

في الاستخدام العملي لا فرق أن يكون $K < 1$ أو $K > 1$ ، ما يؤدي إمَّا إلى إنقاص طول مسقط الخط الجيوديزي أو زيادته بين نقطتين على الإهليلج، عند حسابه في مستوي الإسقاط. تُعدُّ هنا القيمة المطلقة للتَّشوهات الخطية كمحدد أساسي، عندها يُمكن تخفيض قيم هذه التَّشوهات ضمن حدود المنطقة المسقطة كلها، باعتماد قيمة المقياس $K_0 < 1$.

في حال $K_0 = 1$ ، يمكن أن نحصل من خلال العلاقات السابقة، على الإسقاط الأسطواني المستعرض غوص-كريوغر (Gauss-Kruger)، وإسقاط لامبييرت المخروطي، وكذلك إسقاط روسيل شبه الستيريوغرافي، كحالات خاصة، بحيث تُحسب قيم العوامل A_j على التوالي بالعلاقات (14) و(15) و(16). كما نحصل على

$$\left. \begin{aligned} m'_1 &= \sum_{j=1}^n j A'_j Q'_{(j-1)} \\ m'_2 &= \sum_{j=1}^n j A'_j P'_{(j-1)} \end{aligned} \right\} (29)$$

تُحسب من العلاقات (14-16) قيم العوامل A_j ، لأي نوع من الإسقاطات الجيوديزية، التي تُعيَّن معادلة خط الطول الأوسط في مستوي الإسقاط. في هذه الحالة يُكتب مقلوب المعادلة (13) بالشكل: [9]

$$P_1 = \sum_{j=1}^n A'_j \Delta N_k^{(j)} \quad (30)$$

إذ يتمَّ الحصول على قيم العوامل A'_j وفق قاعدة تحويل التوابع الأسية، وتكتب بالشكل:

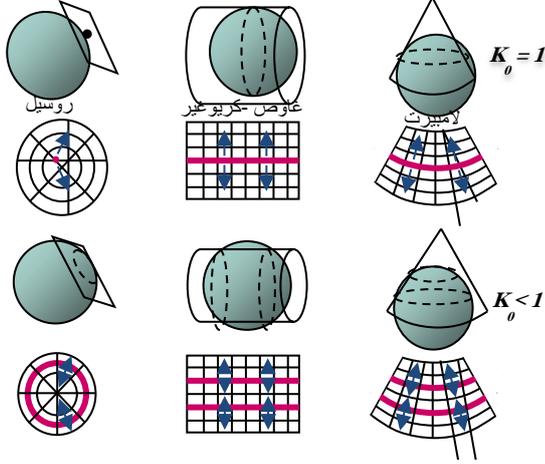
$$\left. \begin{aligned} A'_1 &= \frac{1}{A_1} \\ A'_2 &= -\frac{A_2}{A_1^3} \\ A'_3 &= \frac{1}{A_1^5} (2A_2^2 - A_1 A_3) \\ A'_4 &= \frac{1}{A_1^7} (5A_1 A_2 A_3 - A_1^2 A_4 - 5A_2^3) \\ A'_5 &= \frac{1}{A_1^9} (6A_1^2 A_2 A_4 + 3A_1^2 A_3^2 + 14A_2^4 - A_1^3 A_5 - 21A_1 A_2^2 A_3) \\ A'_6 &= \frac{1}{A_1^{11}} (7A_1^3 A_2 A_5 + 7A_1^3 A_3 A_4 + 84A_1 A_2^3 A_3 \\ &\quad - A_1^4 A_6 - 28A_1^2 A_2^2 A_4 \\ &\quad - 28A_1^2 A_2 A_3^2 - 42A_2^5) \\ A'_7 &= \frac{1}{A_1^{13}} (8A_1^4 A_2 A_6 + 8A_1^4 A_3 A_5 + 4A_1^4 A_4^2 \\ &\quad + 120A_1^2 A_2^3 A_4 + 180A_1^2 A_2^2 A_3^2 \\ &\quad + 132A_2^6 - A_1^5 A_7 - 36A_1^3 A_2^2 A_5 \\ &\quad - 72A_1^3 A_2 A_3 A_4 - 12A_1^3 A_3^3 \\ &\quad - 330A_1 A_2^4 A_3) \\ A'_8 &= \frac{1}{A_1^{15}} (9A_1^5 A_2 A_7 - 429A_2^7 - A_1^6 A_8 \\ &\quad - 45A_1^4 A_2^2 A_6 - 90A_1^4 A_2 A_3 A_5 \\ &\quad - 45A_1^4 A_2 A_4^2 + 495A_1^3 A_2^2 A_3 A_4 \\ &\quad + 36A_1^3 A_2^2 A_5 - 495A_1^2 A_2^3 A_4 \\ &\quad + 165A_1^3 A_2 A_3^3 - 990A_1^2 A_2^3 A_3^2 \\ &\quad + 1287A_1 A_2^5 A_3 - 45A_1^4 A_3^2 A_4 \\ &\quad + 9A_1^5 A_3 A_6 + 9A_1^5 A_4 A_5) \end{aligned} \right\} (31)$$

عندها، يمكن كتابة العلاقة التآلية التي تصح لأي نقطة من المنطقة المدروسة:

$$K = K_0 K'_{\max} \quad (34)$$

من الأفضل اختيار قيمة المقياس الأقرب إلى الواحد، من القيم التي يتم الحصول عليها للإسقاطات الثلاثة. في هذه الحالة ومن خلال العلاقة (33) يتم الحصول على الإسقاط الأكثر ملاءمة، إذ ستكون القيم المطلقة للتشوهات الخطية أصغرية.

تصبح خطوط تساوي التشوه كما في الشكل (2):



الشكل (2) أنماط خطوط تساوي التشوهات الخطية واتجاهات تزايدها.

12. طرائق دراسة الإسقاطات وكيفية وفق شروط المنطقة السورية على أساس النموذج المقترح

تتوضع المنطقة السورية على الإهليلج الأرضي المعتمد عالمياً WGS-84 بين:

$$\lambda = 35^\circ 30' \text{ و } \lambda = 42^\circ 30'$$

$$\text{خطي الطول } \lambda = 35^\circ 30' \text{ و } \lambda = 42^\circ 30'$$

$$\text{وخطي العرض } \varphi = 32^\circ 00' \text{ و } \varphi = 37^\circ 30'$$

قبل البدء بدراسة اختيار إسقاطات مناسبة بشروط المنطقة السورية، وضعت بعض الإلتراطات والمحددات الواجب توافرها في أي إسقاط جديد وفق الآتي:

إسقاط ميركاتور المستعرض العالمي Universal Transverse Mercator (UTM)، إذا اعتمدنا في العلاقات (14) المقياس الخطي في نقطة المبدأ $K_0 = 0.9996$ [10, 11].

فضلاً عن أهمية قيمة K_0 عند نقطة المبدأ، ترتبط قيم التشوهات وتوزعها أيضاً بموقع هذه النقطة:

في الإسقاط الإسطواني، وكذلك في الإسقاط المخروطي يتم عدّ إحداثيات نقطة المبدأ:

$$\left. \begin{aligned} \lambda_0 &= \frac{1}{2}(\lambda_E + \lambda_W) \\ \varphi_0 &= \frac{1}{2}(\varphi_N + \varphi_S) \end{aligned} \right\} \quad (32)$$

إذ النقاط E, W, N, S تقع على أطراف المنطقة من جهات الجنوب والشمال والغرب والشرق على الترتيب، أما في الإسقاط السمتي فمن الأفضل اعتماد النقطة التي إحداثياتها (φ_0, λ_0) مركز الدائرة الأقرب لمحيط (الحدود) المنطقة المسقطة.

يتيح الحساب المسبق لقيمة K_0 إمكانية تقليل قيم التشوهات الخطية العظمى إلى النصف داخل المنطقة المدروسة، بالمقارنة بالتشوهات الخطية عند اختيار قيمة المقياس في مركز المنطقة $K_0=1$ ، في حالة إسقاط واحد للمنطقة كلها.

لنفرض أنّ القيم العظمى للتشوهات الخطية K'_{\max} في النقاط الموافقة من الإسقاطات الثلاثة، للحصول على قيمة K_0 المحققة لأصغر قيم مطلقة للتشوهات الخطية في أيّ منه لا بدّ من تحقق الشرط الآتي [9]:

$$K'_{\max} - 1 = 1 - K_0$$

ومنه:

$$K_0 = \frac{2}{1 + K'_{\max}} \quad (33)$$

المنطقة السورية كلفافي جملة إحداثيات واحدة
-القيم المطلقة للتشوهات الخطية أصغرية:
المعدل الوسطي للتشوهات أقرب مايمكن الى الصفر:
 $\Sigma \epsilon/n = \min: (\epsilon = K-1)$
الانحراف المعياري للتشوهات الخطية أصغري

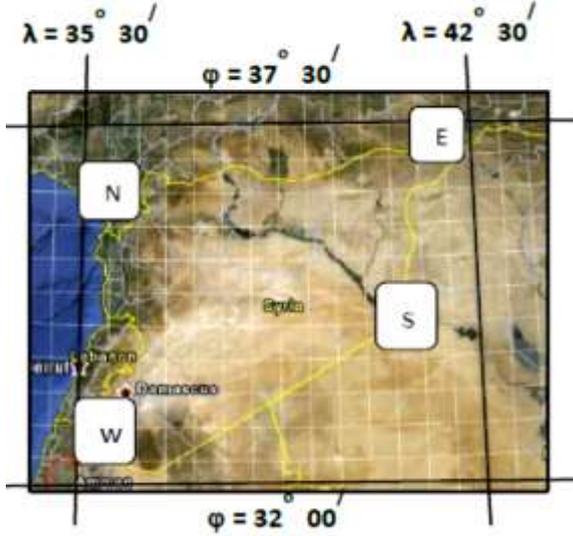
$$\sigma_{\epsilon \min} = \sqrt{\frac{\Sigma \epsilon \epsilon}{n-1}}$$

تجدر الإشارة إلى أن هذين الشرطين يعملان بشكل متعاكس، إذ أن تقليل قيم التشوهات يتطلب تخفيض أبعاد المنطقة المدروسة، والعكس بالعكس.

-أن تمرّ خطوط انعدام التشوه ما أمكنب مناطق النمو الحضري الواقعة على محيط المنطقة السورية، ومراعاة اقتراب الخطوط ما أمكن من باقي المدن والمناطق الحيوية.

كما وُضعت الشروط الإبتدائية والبحث وفق الآتي:

- اختيرت أربع نقاط محيطية هي E, W, S, N الشكل (3)، تمر بها خطوط الطول والعرض وأكبرها الموافقة لأصغر قيم زوايا الطول والعرض λ_{\min} , λ_{\max} , ϕ_{\min} , ϕ_{\max} . واستقرت إحداثيات هذه النقاط، لدراسة قيم التشوهات عندها.
- وحسبت قيم أولية للإحداثيات الجيوديزية لمركز المنطقة (ϕ_0, λ_0) وفق العلاقة (32).
- عدت قيمة المقياس في المركز $K_0=1$ وحسبت قيم المقياس K في هذه النقاط المحيطية الأربعة للإسقاطات الثلاثة وفق العلاقة (11). استخدمت في الحساب بارامترات الإهليلج الأرضي المعتمد في النظام الجيوديزي العالمي WGS-84.
- حسب الخطأ النسبي الأعظمي لتشوه المسافات في الإسقاطات الثلاثة، الناتجة وفق الإشتراطات الإبتدائية المذكورة وتبين أن أكبر خطأ نسبي وفق الإسقاط



الشكل (3) الموقع الجغرافي للمنطقة السورية على الإهليلج العالمي

- استنتجت بعد ذلك، وفق العلاقة (33)، القيمة الأكثر مناسبة للمقياس في مركز المنطقة K'_0 اعتماداً على القيمة الكبرى للمقياس K'_{\max} في النقاط الأربعة، من القيم التي حسبت وفق كل إسقاط.
- اعتمدت القيمة المستنتجة للمقياس K'_0 مع القيم الأولية لإحداثيات مركز المنطقة (ϕ_0, λ_0) في إعادة حساب قيم المقياس في النقاط المحيطية ذاتها وفق كل إسقاط على حدة. وحسبت، بالطريقة نفسها، قيمة الخطأ النسبي الأعظمي لتشوه المسافات الموافقة.
- الجدول (1) يبين القيم العددية المستنتجة والمحسوبة للبحث عن أفضل الإسقاطات وفق شروط المنطقة السورية كمنطقة واحدة على الإهليلج المعتمد في نظام الإحداثيات العالمي WGS-84.

الخطية الأعظمية، في النقاط الأبعد عن مركز المنطقة، إلى النصف.

للمساعدة في البحث بشكل فعال ومرن عن أصغر قيم وأفضل توزع للتشوهات على المنطقة السورية كلها، بحيث يمكن تغيير إحداثيات مركز الإسقاط (φ_0, λ_0) وقيمة المقياس K_0 في المركز، وتوسيع إمكانية بحث ودراسة أكبر عدد ممكن من الخيارات في تحريك خطوط الإيزوغرام وتوزيعها في المنطقة السورية وفق المحددات الموضوعية مسبقاً، أعدت صفحة حساب مبرمجة (MS Excel©) لحساب التشوهات الخطية على المنطقة السورية كلها، على تقاطعات شبكة الإحداثيات الجيوديزية بقفزات متساوية $\Delta\varphi = 30'$ و $\Delta\lambda = 30'$.

جرى بمساعدة البرنامج تغيير (تعديل) القيم φ_0, λ_0 و K_0 ، حول القيم الأولية المحسوبة، عدد كبير من المرات وحساب قيم التشوهات الخطية الموافقة بالعلاقة (20)، وتوزع هذه التشوهات على المنطقة كلها، وفق الإسقاطات الثلاثة المخروطية والسَمْتِيَّة والأسطوانية.

تم التوصل، على ضوء الاشتراطات الموضوعية لدراسة أي إسقاط جديد للمنطقة، إلى اعتماد إحداثيات مركز المنطقة وقيمة مقياس الإسقاط لكل منها على الشكل الآتي:

في الإسقاط الأسطواني: $K_0 = 0.9996$ ، وإحداثيات نقطة المبدأ: $\varphi_0 = 34^\circ 48' 00''$ ، $\lambda_0 = 38^\circ 38' 00''$
في الإسقاط السمتي: $K_0 = 0.999658$ ، وإحداثيات $38^\circ 00'$: $\varphi_0 = 34^\circ 48' 00''$ ، $\lambda_0 = 50' 00''$

في الإسقاط المخروطي: $K_0 = 0.999730$ ، وإحداثيات نقطة المبدأ $38^\circ 48' 00''$ ، $\lambda_0 = 38^\circ 45' 00''$ ، $\varphi_0 = 34^\circ$ إلى أن تم التوصل إلى النتائج المبينة في الجدول (2).

رسمت بعد ذلك خطوط الإيزوغرام اعتماداً على الإحداثيات المستوية وقيم التشوهات على تقاطعات شبكة الإحداثيات بتباعدات (intervals) ثابتة قيمتها ثلاثون دقيقة زاوية ستينية $\Delta\lambda = \Delta\varphi = 30'$. نتجت الإحداثيات المستوية وقيم التشوهات عن الحساب وفق علاقات التحويل المباشر الواردة أعلاه.

الجدول (1) القيم العددية المُستنتجة والمحسوبة بشروط المنطقة السورية.

إحداثيات النقاط المحيطة والنقطة المركزية 0				
النقطة		deg.	min.	sec.
N	φ_N	36	54	0
	λ_N	36	0	0
S	φ_S	32	18	0
	λ_S	36	52	0
W	φ_W	32	42	0
	λ_W	35	35	0
E	φ_E	37	18	0
	λ_E	42	21	0
0	φ_0	34	48	0
	λ_0	38	58	0
المؤشرات العددية	نوع الإسقاط			
	الاسطواني	الستيريوغرافي	المخروطي	
k_0	1.0000000	1.0000000	1.0000000	
k_N	1.0008613	1.0007766	1.0006749	
k_S	1.0004823	1.0007084	1.0009388	
k_W	1.0012414	1.0009405	1.0006633	
k_E	1.0011085	1.0010463	1.0009584	
k'_{max}	1.0012414	1.0010463	1.0009584	
S (m)	1000	1000	1000	
S' (m)	1001.2414	1001.0463	1000.9584	
ds = S' - S	1.2414	1.0463	0.9584	
(ds/s) _{max}	1:810	1:960	1:1040	
$k'_0 = 2/(1+k'_{max})$	0.99937969	0.99947712	0.99952103	
k'_N	1.00024042	1.00025339	1.00019562	
k'_S	0.99986173	1.00018516	1.00045940	
k'_W	1.00062029	1.00041710	1.00018405	
k'_E	1.00048748	1.00052289	1.00047894	
$ k'_{max} $	1.00062029	1.00052289	1.00047894	
(ds/s) _{max}	1.1610	1.1910	1.2090	

لحظ أن الخطأ النسبي في هذه النقاط انخفض إلى النصف، وأصبح في النقطة E وفق الإسقاط الأسطواني، بحدود 1:1610، وفي النقطة E في الإسقاط المخروطي بحدود 1:2090، وأصبح وفقاً للإسقاط السمتي 1:1910.

أي أن تغيير قيمة المقياس الخطي في مركز المنطقة، باستخدام العلاقة (33)، أدى إلى تخفيض قيم التشوهات

الجدول (2) قيم التَشوهات الخطية (cm/km) وفق الإسقاطات الثلاثة (الأسطواني، المخروطي، السمتي)

φ	λ														بعض القيم التوجيهية cm			
	35 30	36 00	36 30	37 00	37 30	38 00	38 30	39 00	39 30	40 00	40 30	41 00	41 30	42 00				
الإسقاط الأسطواني	37 00					-27.5	-36.1	-39.8				-6	14.6	40.2	70.6			
	36 30		28.5	5	-13.6	-27.3	-36	-39.8	-38.7	-32.6	-21.5	-5.6	15.4	41.2				
	36 00		29.4	5.6	-13.3	-27.1	-36	-39.8	-38.7	-32.5	-21.3	-5.1	16.1					
	35 30		30.3	6.1	-13	-27	-35.9	-39.8	-38.6	-32.4	-21.1	-4.7	16.8					
	35 00		31.2	6.7	-12.6	-26.8	-35.9	-39.8	-38.6	-32.3	-20.8	-4.2	17.5					
	34 30		32.1	7.3	-12.3	-26.7	-35.8	-39.8	-38.6	-32.2	-20.6	-3.8	18.2				ε _{max}	70.6
	34 00		32.9	7.9	-12	-26.5	-35.8	-39.8	-38.6	-32.1	-20.4						ε _{mean}	-10.7
	33 30		33.8	8.4	-11.6	-26.3	-35.7	-39.8	-38.6								ε _{min}	-39.8
	33 00	65.7	34.6	9	-11.3	-26.2	-35.7										Σ _{εε}	75635
	32 30		35.5	9.5	-11												σ _ε	29.5

الإسقاط السمتي	37 00					11.4	6	3.1				16.4	26	38.2	52.8			
	36 30		28.2	15.2	4.7	-3.3	-8.8	-11.7	-12.1	-10	-5.4	1.7	11.4	23.6				
	36 00		17.5	4.4	-6.2	-14.3	-19.8	-22.7	-23.1	-21	-16.4	-9.2	0.6					
	35 30		10.6	-2.7	-13.3	-21.4	-26.9	-29.9	-30.3	-28.2	-23.5	-16.3	-6.5					
	35 00		7.4	-5.9	-16.6	-24.8	-30.3	-33.3	-33.8	-31.6	-26.9	-19.6	-9.7					
	34 30		8	-5.3	-16.1	-24.3	-29.9	-32.9	-33.4	-31.2	-26.5	-19.1	-9.2				ε _{max}	52.8
	34 00		12.5	-1	-11.8	-20.1	-25.7	-28.8	-29.2	-27	-22.3						ε _{mean}	-6.2
	33 30		20.7	7.1	-3.8	-12.1	-17.8	-20.8	-21.2								ε _{min}	-33.8
	33 00	49	32.7	19.1	8.1	-0.3	-6										Σ _{εε}	42044
	32 30		48.5	34.8	23.7												σ _ε	22.0

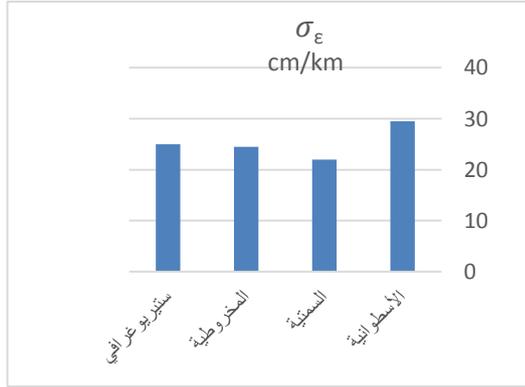
الإسقاط المخروطي	37 00					50.5	50.5	-26.1				50.5	50.5	50.5	50.5			
	36 30		19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8				
	36 00		-3.2	-3.2	-3.2	-3.2	-3.2	-3.2	-3.2	-3.2	-3.2	-3.2	-3.2					
	35 30		-18.4	-18.4	-18.4	-18.4	-18.4	-18.4	-18.4	-18.4	-18.4	-18.4	-18.4					
	35 00		-26.1	-26.1	-26.1	-26.1	-26.1	-26.1	-26.1	-26.1	-26.1	-26.1	-26.1					
	34 30		-26.1	-26.1	-26.1	-26.1	-26.1	-26.1	-26.1	-26.1	-26.1	-26.1	-26.1				ε _{max}	50.5
	34 00		-18.5	-18.5	-18.5	-18.5	-18.5	-18.5	-18.5	-18.5	-18.5	-18.5	-18.5				ε _{mean}	-2.6
	33 30		-3.4	-3.4	-3.4	-3.4	-3.4	-3.4	-3.4	-3.4	-3.4	-3.4	-3.4				ε _{min}	-26.1
	33 00	19.1	19.1	19.1	19.1	19.1	19.1										Σ _{εε}	52054
	32 30		49.1	49.1	49.1												σ _ε	24.5

- قورنت المؤشرات العددية للمعايير الموضوعية التي تمّ الحصول عليها وفق النموذج المطور للإسقاطات الثلاثة المدروسة، بالإسقاط الستيريوجرافي المعمول به حالياً. أخذت مؤشرات الإسقاط الستيريوجرافي الحالي من [2].

الجدول (3) مقارنة الإسقاطات المدروسة بالإسقاط الستيريوجرافي

	الاسطوانية	السمتية	المخروطية	الستيريوجرافي
ϵ_{mean}	-10.7	-6.2	-2.6	-11.6
ϵ_{max}	70.6	52.8	50.5	53.6
ϵ_{min}	-39.8	-33.8	-26.1	-46.9
σ_{ϵ}	29.5	22.0	24.5	25

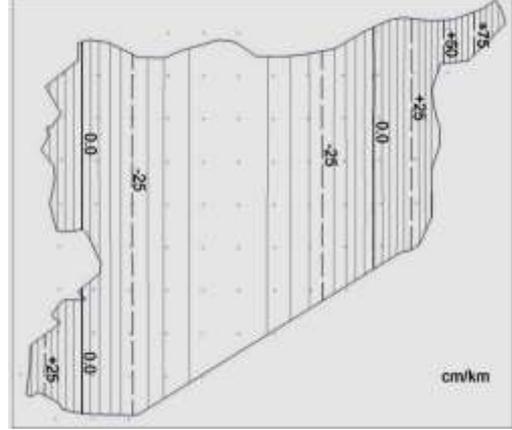
- رسمت خطوط بيانية على أساس الانحراف المعياري للتشوهات.



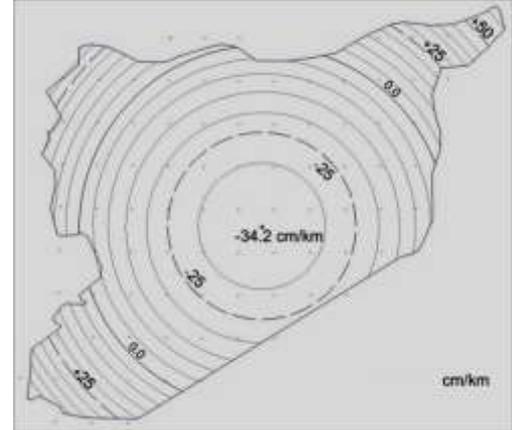
الشكل (7) مقارنة الانحراف المعياري للتشوهات

المؤشرات العددية في الجدول (1) المتمثلة في الخطأ النسبي الأعظمي للإسقاط هي مؤشرات توجيهية ولا تحافظ على ثباتها مع تغير إحداثيات مركز الإسقاط (φ_0, λ_0) وقيمة المقياس K_0 في المركز بسبب شكل المنطقة. ونجدها تتغير عند الأخذ بالحسبان مؤشر الانحراف المعياري للمنطقة كلّها. إذ تتقدم الإسقاطات السمتية تقدماً طفيفاً على الإسقاطات المخروطية والإسقاط الستيريوجرافي الحالي، وتقدماً ملحوظاً على الإسقاطات الأسطوانية (الشكل 7).

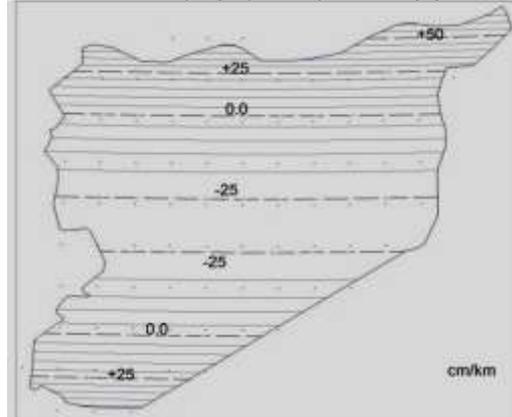
تأخذ الأشكال المبينة أدناه خطوط تساوي التشوّه (الإيزوغرام) وفق هذه الإسقاطات مقدرة بـ (cm/km):



الشكل (4) شكل خطوط الإيزوغرام لتشوّه المسافات في الإسقاطات الأسطوانية



الشكل (5) خطوط الإيزوغرام في الإسقاطات السمتية



الشكل (6) خطوط الإيزوغرام وفق في الإسقاطات المخروطية

■ تجدر الإشارة إلى أنّ موضوع إيجاد إسقاط بديل أو وضعه، أو الإبقاء على الإسقاط الحالي تتداخل فيه مجموعة كبيرة من العوامل العلمية والتقنية والإقتصادية، ولا بد من تناولها مجتمعة.

■ لا حاجة للبحث عن علاقات تحويل بين أنظمة الإحداثيات المستوية المختلفة، الناتجة وفق الشروط الإبتدائية نفسها (نقطة المبدأ، وعامل المقياس) المرتبطة بالإهليلج نفسه، كعلاقات التحويل بين الإحداثيات الستيريوغرافية والأسطوانية والمخروطية. إذ يكفي في هذه الحالة استخدام علاقات الإسقاط العكسية من جملة الإحداثيات المستوية المنطلق إلى الإحداثيات الجيوديزية على الإهليلج، ومن ثمّ باستخدام علاقات الإسقاط المباشر وفق الإسقاط الهدف لنحصل على الإحداثيات المستوية وفق الجملة المطلوبة. دقة هذه التحويلات من دقة حساب المسألتين المباشرة والعكسية، أي أنّها لا تتجاوز 0.001m ضمن حدود المنطقة السورية.

■ يمكن استخدام النموذج الرياضي المقترح على أساس الخوارزمية العامة للإسقاطات الجيوديزية لتشكيل إسقاطات مركبة بشروط المنطقة السوريّة.

■ أصبح من الضروري تكليف جهة عامة بإدارة البيانات الإحداثية في القطر، يكون من مهامها تطوير الأساس الجيوديزي وتحديثه باستخدام أنظمة تحديد المواقع العالمي GPS. وكذلك اعتماد إطار مرجعي للبيانات المكانية، موحد ومعتمد من قبل الجهات العامة كلّها. فضلاً عن إعداد وإدارة جداول بإحداثيات وبيانات نقاط الأساس المساحي جميعها، يمكّن من إعادة استخدام الإحداثيات للنقاط المرجعية للمشاريع، من قبل جهات أخرى ووفق جملة إحداثيات مناسبة لهذه المشاريع.

■ عندها يمكن لهذا النموذج المطور أن يسهم، بعد مكاملته مع التحويلات بين أنظمة الإحداثيات المرتبطة بأكثر من إهليلج، في البرمجيات المناط بها، المساعدة على إدارة الإحداثيات. وفي هذا السياق سيكون من المهم وضع معايير ومواصفات وشروط فنية ونماذج لإنشاء النقاط وحل شبكات التثليث.

ولمّا كان هدف البحث هو تطوير طرائق وكيفية التفتيش عن أفضل الإسقاطات، باستخدام النموذج المطور، وليس إيجاد الإسقاط الأمثل للمنطقة السورية، اكتفى البحث بتناول المؤشرات أعلاه.

الاستنتاجات والتوصيات

تضمّن البحث طريقة مطوّرة لحساب الإسقاطات الجيوديزية التشابهية بشروط المنطقة السورية، من خلال علاقات موحدة لحساب التحويلات المباشرة والعكسية، وضعت على أساس النظرية العامة للإسقاطات الجيوديزية.

■ تمكّن العلاقات (14) و(31) من حساب الإحداثيات المستوية والجيوديزية، وكذلك عامل المقياس وتقارب خطوط الطول في أيّ نقطة ضمن المنطقة السورية بالدقة المطلوبة والكافية.

■ يقدم النموذج الرياضي المطور طرائق وكيفية البحث عن أفضل الإسقاطات، عن طريق التحكم بقيم التشوهات الخطية وتوزّعها على المنطقة السورية كلّها وفق معايير أفضل الإسقاطات.

■ يمكن تحسين نظام الإسقاط المعتمد حالياً للأغراض المختلفة، وذلك لتوافر باقة واسعة من أنظمة الإسقاط البديلة التي تتوافر فيها الشروط الأساسية:

- المنطقة السوريّة كلّها ضمن جملة إحداثيات مستوية واحدة - مع إمكانية تغيير مركز الإسقاط وعامل المقياس، يمكن تخفيض قيم التشوهات الخطية في النقاط الأبعد عن المركز، وذلك من اعتبارات جديدة لتوزّع مناطق الأهمية ضمن المنطقة.

- إمكانية ادخال قيم إضافية إلى الإحداثيات المحسوبة لتجنب الإحداثيات السالبة.

- اعتماد أنظمة إسقاط مناسبة لتطبيقات المقاييس الكبيرة وربطها مع نظام الإسقاط الأساسي، من خلال أسلوب جديد في المعالجة والحساب.

- توفر أنظمة الإحداثيات التي ترتبط بعلاقات رياضية صارمة ببيئة إحداثية ملائمة للمشاريع الهندسية التي تستثمر باستخدام أنظمة المعلومات الجغرافية GIS.

REFERENCES المراجع

1. د.م. نبيل الأشرف، نوبة المساحة المعمارية، جامعة دمشق، الطبعة الثانية للعام 2003.
2. م. ج. منصور شرابه، ندوة العلوم المساحية، دمشق، 1992.
3. د. م. معن اسماعيل حبيب، الإسقاط التَّشابهي المقترح في سورية وتطوير حزمة برامج على الحاسب الالكتروني لمسائل التحويل، القاهرة، 2000.
4. د.م. معن حبيب، د.م. أنور الصيفي، المساحة، جامعة دمشق، 2007.
5. كميل دورافور، تقرير حول أعمال التثليث المنفذة في سوريا ولبنان، استوكهولم 1931 ، ترجمة د. م. عمر الخليل و م. ج. منصور شرابه.
6. Morozov V. P. CorseSphiroedal Geodesy. Moscow, Nidra,1979.
7. Bogaevsky L. M., Geodesy-Kartographic projections, Nedra, Moscow, 1992.
8. Podchyvalov V. P. – Universal Algoriphithm for conformal projections with reduction distortions. Novopolatsk, Geodezy, 1997.
9. Podchyvalov V. P. – Theoretical Bases for Formation Coordinate Environment for GIS .Novopolatsk, University publish, 1997.
10. Zacatov N. C. –Upper Geodesy, Moscow, Nidra, 1976.
11. Bolshakov V. D, Lyvchouk G.P, – Spravachnik Geodezesta, Nedra, Moscow, 1975.
12. Vackhramieva L. A, Bogaevsky L. M, Kazacova Z.L. Mathematic Cartography. Nedra, Moscow, 1997.
13. Meshereakov G. A. –Theoretic Bases of Mathematic Cartography .Nedra, Moscow, 1968.
14. Bogaevsky L. M., Theory of Kartographic projections of regular surfices,zlatoyst, Moscow, 1999.
15. Feasibility Study on the Organisation and the Development of Land Administration in Syria-Final Report, Damascus, 2008.

Received	2016/12/29	إيداع البحث
Accepted for Publ.	2017/02/20	قبول البحث للنشر