

تطوير أنظمة احداثيات للمشاريع الممتدة

م. كمال يوسف*

د.م. عبد الرزاق عجاج**

المخلص

يتناول البحث طريقة تطوير أنظمة احداثيات مستوية خاصة بالمشاريع والمنشآت الهندسية الطولية، على أساس الإسقاطات الجيوديزية التشابهيّة الشائعة. يتم تشكيل هذا النوع الجديد من أنظمة الإحداثيات على أساس التركيب الخطي للإسقاطين المخروطي والأسطواني. تمّ دراسة حالة لإنشاء نظام إحداثيات لمشروع هندسي طولي، له توضع جغرافي شمال شرق - جنوب غرب على الإهليلج الأرضي في المنطقة السورية، وذلك من مفهوم الإسقاط الأنسب وفق معيار الحد الأدنى للتشوهات الخطية على الأرصاد والقياسات الناجمة عن الإسقاط، وإجراء الحسابات وفق تلك القياسات بالدقة المطلوبة والكافية.

الكلمات المفتاحية: الإسقاطات الجيوديزية، نظام الإحداثيات، عامل المقياس، التشوهات الخطية، الإهليلج الأرضي، زاوية العرض.

* مديرة الطبوغرافيا - وزارة الإسكان والتنمية العمرانية

** استاذ مساعد في قسم الطبوغرافيا - كلية الهندسة المدنية - جامعة دمشق

١. مقدمة

توصيف المعلومات المكانية التي يتم استخدامها في تقانات نظم المعلومات الجغرافية.

تتمثل معظم المشاريع الهندسية الهامة في القطر بنظام الإحداثيات العامة، فكما لذلك الإختيار بعض الإيجابيات، هنالك بالمقابل بعض السلبيات. على اعتبار أن نظام الاحداثيات العام وفق الإسقاط الستيريوغرافي صُمم في حينه من منظور ملاءمته لدقة الأعمال المساحية والعقارية المزمع انجازها في القطر في عشرينات القرن الماضي من جهة، وسهولة التعامل مع المعادلات الرياضية التي تمثلها من جهة أخرى، وفق تقانات الحساب المتاحة حينها. لقد غيرت متطلبات الدقة المساحية وإمكانات الحصول عليها الإعتبارات السابقة، وبشكل إيجابي.

٢. هدف البحث

يتناول البحث طريقة تشكيل وتطوير نظام إحداثيات مستوية وفق إسقاط موحد لمشروع كبير بامتداده الطولي (بحدود 650 km). جوهر هذه الطريقة يتلخص باستخدام مجموعة من الإسقاطات التشابهية الشائعة الأسطوانية والمخروطية بهدف تشكيل الإسقاط الأنسب لمثل هذا النوع من المشاريع. يطلق عليها تسمية الإسقاطات المركبة، ويتم تشكيلها من إسقاطين على الأقل، على أساس الخوارزمية العامة للإسقاطات الجيوديزية، انطلاقاً من مفهوم الإسقاط الأمثل من وجهة نظر تمثله لكامل المشروع ضمن جملة إحداثيات واحدة بالحد الأدنى من التشوهات الخطية الناجمة عن الإسقاط [1, 2].

يؤخذ بعين الإعتبار في هذه الحالة متطلبات واشتراطات الدقة لكامل المشروع وكذلك أجزاء منفصله منه. تجدر الإشارة إلى أن هذا النوع من الإسقاطات المركبة لا يمكن تطبيقه باستخدام الطرق التقليدية، ولا يتم استخدام هذا النوع

إن التطور المتسارع الذي شهده العالم في العقود الأخيرة في مجال صناعة التقانات الجيوديزية، أتاح آفاق وامكانيات جديدة باتجاه تطوير عملية التأمين الجيوديزي والكارتوغرافي للمشاريع والمنشآت الهندسية المختلفة، يرتبط ذلك بشكل أساسي باستخدام نظم المعلومات الجغرافية GIS. مما لاشك فيه أن ظهور وتطور أدوات معاصرة في القياس والحساب ومعالجة واخراج البيانات الجيوديزية والمساحية، وكذلك طرق وأساليب جديدة في جمع البيانات الخاصة بالمشاريع والمنشآت الهندسية، قدم للجيوديزيين والفنيين المختصين، في مرحلتي التصميم والتنفيذ والمراقبة والاستثمار، إمكانات جديدة في وضع قواعد البيانات المكانية الخاصة بهذه المنشآت والمشاريع، اللازمة لتطوير وتحسين طرق إدارتها ورفع كفاءة استثمارها.

أحد أهم المسائل هو التوصيف الفراغي للمشروع أو المنشأة الهندسية بشكل كامل، وكذلك التوصيف الدقيق لبعض مكوناته. لذلك يتوجب توفر توصيف إحداثياتي موحد لكامل المشروع أو المنشأة. يمكن الحصول على مثل هذا الحل باستخدام نظام الإحداثيات الجيوديزي (زوايا العرض والطول) منسوبة إلى سطح الإهليلج المرجعي الموافق. مثل هذا النظام مريح وفعال لحل مسائل جيوديزية محددة ويعرفه ويفهمه الاختصاصيون فقط. إلا أن نظام الإحداثيات المستوية أكثر راحة وأبسط ويفهمه معظم المستخدمون والمستثمرون، كما أنه مع نظام الإرتفاعات العادية أكثر فاعلية لتوصيف وتمثيل المشاريع. ولكي نحصل على موثوقية عالية في عملية التمثيل هذه، نحتاج إلى التوصيف الرياضي المناسب لاستخدامه في برمجيات التقانات المناط بها تمثيل المعلومات المكانية للمشاريع الهندسية. تمكّن أنظمة الإحداثيات المستوية من الوصول إلى دقة عالية في

من أنظمة الإحداثيات حالياً، بسبب استخدام الطرق التقليدية في تناول وتشكيل الإسقاطات الجيوديزية.

٣. الإسقاطات الجيوديزية وأنظمة الإحداثيات المستوية المعتمدة محلياً

تستخدم في سورية، كما في معظم دول العالم، مجموعة من الإسقاطات وأنظمة الإحداثيات المستوية العامة والمحلية، وذلك بحسب الغرض من الأعمال والمنتجات التي تمثل بموجب هذه الإسقاطات [3,4,5]، وهي:

■ في الأعمال العقارية المنجزة تباعاً منذ عشرينات القرن الماضي، يُستخدم نظام الإحداثيات المستوية العامة، بموجب الإسقاط الستيريوغرافي. حيث أنجزت بموجبه شبكات الأساس الجيوديزي والمخططات العقارية.

■ في أعمال إعداد المخططات الطبوغرافية للتجمعات العمرانية، والتي تُجز بهدف إعداد المخططات التنظيمية لهذه التجمعات وكذلك المدن والمناطق الصناعية. يتم تمثيل البيانات الطبوغرافية استناداً لنقاط الأساس الجيوديزي العقاري وفق نظام الإحداثيات المستوية العامة، بموجب الإسقاط الستيريوغرافي.

■ في المشاريع الهندسية الطولية (الخطية)، كمشاريع الطرق الدولية والعامة بمختلف درجاتها والسكك الحديدية بين المحافظات وكذلك المرتبطة مع الدول المجاورة، إضافة لخطوط نقل النفط والغاز، وخطوط التوتر العالي، وأقنية الري ومشاريع استصلاح الأراضي الممتدة على أحواض الأنهار وغيرها. هذه المشاريع غالباً يتم تصميمها وتنفيذها واستثمارها وفق نظام الإحداثيات المستوية العامة المعتمد محلياً، بموجب الإسقاط الستيريوغرافي. هناك أيضاً مشاريع منشآت هندسية واقتصادية يتم تمثيلها وفق أنظمة إحداثيات محلية افتراضية، غير مرتبطة مع بعضها البعض ومع نظام الإحداثيات العامة.

٤. الطرائق العامة لتطوير الإسقاطات الجيوديزية

إن تمثيل البيانات المساحية لمشروع هندسي ما وفق إحداثيات مستوية بموجب إسقاط معين، يعني إجراء تصحيحات على القيم المقاسة عند الانتقال من العناصر الخطية والزوايا والسمتية، المنسوبة لإهليج معين، إلى المستوي وفق هذا الإسقاط. لذلك فإن اختيار الإسقاط لمشروع ما يجب أن ينطلق من مفهوم الإسقاط الأمثل من وجهة نظر قيم التشوهات الخطية وتوزعها ضمن منطقة المشروع.

اختيار نظام الإحداثيات لمنطقة ما هو عملية مركبة تدخل فيها مجموعة من العوامل لتحديد الخيار الأنسب، وتراعى فيها إمكانية الاستخدام الواسع والفعال للتقانات الحاسوبية المعاصرة، كما في مرحلة دراسة واختيار الإسقاط الملائم لحل مسائل محدّدة، كذلك في مرحلة الاستخدام العملي لهذا الإسقاط.

بيّنت النظرية العامة للإسقاطات الجيوديزية [1] إمكانية تطوير إسقاطات جديدة بتشوهات أصغر وفق أي بارامترات يتم اختيارها من قبل المستخدم، وأن الإسقاطات الجيوديزية الأكثر شيوعاً (الأسطواني، المخروطي، السمتي أو الستيريوغرافي) هي حالات خاصة من طيف واسع من الإسقاطات الممكنة وفق نظرية الإسقاط العامة. هذه الأنواع من الإسقاطات، تمّت دراستها وفق اشتراطات محددة على كامل المنطقة السورية، على أساس الخوارزمية العامة للإسقاطات الجيوديزية التّشابهية. تركّز البحث [6] حول هذا الموضوع.

٥. تتابع خطوات حساب الإحداثيات المستوية وفق الإسقاط المختار:

يُعبّر عن الإحداثيات المستوية انطلاقاً من الإحداثيات الجيوديزية في [7, 8] بالعلاقات:

في مركز الإسقاط. λ زاوية الطول Longitude في النقطة
المعتبرة، λ_0 زاوية الطول في مركز الإسقاط. يُعبّر عن
زاوية العرض الإيزومترية بدلالة زاوية العرض الجيوديزية φ
بالعلاقة:

$$\psi = \sqrt{\left(\frac{1+\sin \varphi}{1-\sin \varphi}\right) \left(\frac{1-e \sin \varphi}{1+e \sin \varphi}\right)^e} \quad (4)$$

حيث φ - زاوية العرض الجيوديزية في النقطة المعتبرة،
و e - اللامركزية الأولى للإهليلج.

• مقياس تشوه الإسقاط Scale distortion Factor في
أي نقطة من المنطقة المسقطة وفق أي من الإسقاطات
الثلاثة المذكورة، يعبر عنه بالعلاقة:

$$K = \frac{\sqrt{m_1^2 + m_2^2}}{r} \quad (5)$$

القيم m_1 و m_2 وكذلك r يمكن حسابها بالعلاقات الواردة
في [6, 8].

٦. التشوهات الخطية في الإسقاطات التشابهيّة

في العلاقات (2) و (3) الواردة آنفاً لحساب قيم العوامل
 A_j ، التي تُحدّد طبيعة مسقط خط الطول الأوسط
(meridian) في المستوي ونوع الإسقاط، تُدخّل قيمة مقياس
تشوه الإسقاط K_0 في نقطة ما من سطح الإسقاط
إحداثياتها (φ_0, λ_0) أو (E_0, N_0) ، هي نقطة مركز
الإسقاط للسطح المُسقط، ويمر منها خط الطول الأوسط
للمنطقة المدروسة. في الحالة العامة $K_0 \neq 1$ في
الإسقاط السنتيريوغرافي وكذلك في الإسقاط الأسطواني
المستعرض UTM، والإسقاط المخروطي.

تحسين الإسقاطات الجيوديزية، يمكن تحقيقه فقط من خلال
تعديل قيم وتوزّع التشوهات الخطية داخل المنطقة

$$E = E_0 + \sum_{j=1}^n A_j Q_j \quad (1)$$

$$N = N_0 + \sum_{j=1}^n A_j P_j$$

في هذه العلاقات:

• القيم E_0, N_0 هي إحداثيات مركز الإسقاط، يمكن
حسابها وفق علاقات خاصة، أو فرضها مغايرة للصفر
لتجنب القيم السالبة للإحداثيات بحسب كل حالة. اختيار
القيم E_0 و N_0 أمر مهم، إذا كان المطلوب إنشاء نظام
إحداثيات مستوية محلي للمنطقة، عندها يمكن اعتبار:
 $E_0 = N_0 = 0$ أو $E_0 = N_0 > |\Delta N|_{\max} \approx |\Delta E|_{\max}$.

• المعاملات A_j (coefficients) تحدد نوع الإسقاط
التشابهي من الأنواع الثلاثة الآتية الذكر. المعاملين الأول
والثاني لهما القيمة نفسها في الإسقاطات الثلاثة، ويعبر عن
الأول في الإسقاطين الأسطواني والسنتيريوغرافي
بالعلاقة:

$$A_1 = K_0 \frac{A}{V_0} \cos \varphi_0 \quad (2)$$

في هذه العلاقة K_0 هو مقياس الإسقاط في مركز الإسقاط
 (φ_0, λ_0) .

أما في الإسقاط المخروطي فيتم الحصول على المعاملات
وفق العلاقة:

$$A_j = \frac{A_1}{j!} (-1)^{(j-1)} (\sin \varphi_0)^{(j-1)}, (j = 1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

• القيم P_j و Q_j هي توابع تتغير الإحداثيات $\Delta\psi$ و $\Delta\lambda$ ،
حيث أنّ: $\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0$ ، $\Delta\psi = \psi - \psi_0$. العلاقات
المحددة لهذه العوامل واردة في البحث [6].

تعبّر ψ عن زاوية العرض الإيزومترية في النقطة المعتبرة
Isometric Latitude، ψ_0 هي زاوية العرض الإيزومترية

التشوه الخطي يتزايد طردياً مع مربع البعد عن مركز الإسقاط.

السؤال المهم أيضاً كيف يمكن اختيار الإسقاط الأكثر ملاءمة للمنطقة المدروسة من الإسقاطات الثلاثة ؟
يؤخذ بعين الاعتبار في هذه الحالة عدّة عوامل، وفق ما كان متعارف عليه سابقاً، فقد كانت سهولة الخوارزمية للإستخدام العملي من أهم العوامل المحددة لإختيار واستخدام نظام الإسقاط لمنطقة ما، أمّا حالياً وفي ظل استخدام التقانات والبرمجيات الحديثة فإن هذا العامل بات غير أساسي [9, 10]. من الأفضل اختيار قيمة المقياس الأقرب إلى الواحد، من القيم التي يتم الحصول عليها وفق أي إسقاط من الإسقاطات الثلاثة، حيث تكون قيم التشوهات الخطية على كامل المنطقة المدروسة أصغر مايمكن (بالحد الأدنى).

في الإسقاط الأسطواني المستعرض وكذلك في الإسقاط المخروطي يتم اعتبار مركز المنطقة في نقطة إحداثياتها الجيوديزية:

$$\varphi_0 = \frac{1}{2}(\varphi_N + \varphi_S) \quad (6)$$

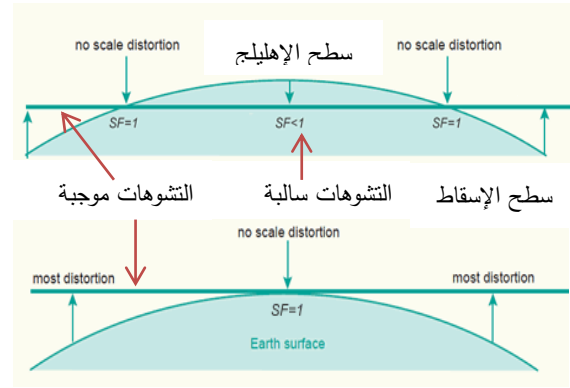
$$\lambda_0 = \frac{1}{2}(\lambda_E + \lambda_W)$$

حيث φ_N, φ_S قيم زاويتي العرض الموافقتين لأبعد نقاط المنطقة عن المركز جنوباً وشمالاً على التوالي. والقيمتين λ_E, λ_W هما زاويتي الطول الموافقتين لأبعد نقاط المنطقة عن المركز غرباً وشرقاً على التوالي.

أما في الإسقاط الستيريوغرافي من الأفضل اعتماد النقطة التي إحداثياتها (φ_0, λ_0) مركز الدائرة الأقرب لمحيط المنطقة المسقطة. إنَّ الحساب المسبق لقيمة المقياس في مركز الإسقاط K_0 يتيح إمكانيةً تقليل قيم التشوهات

المدروسة، باعتماد $K_0 < 1$. وهذا ينطبق على كافة الإسقاطات التشابيهية الشائعة [1, 8].

في الإستخدام العملي للإسقاطات الجيوديزية لا فرق أن يكون $K > 1$ أو $K < 1$ ، ما يؤدي إما إلى تقلص أو زيادة (تمدد) طول مسقط المنحني الجيوديزي بين نقطتين على الإهليلج الشكل (1)، على اعتبار أن هذا الطول يُحسب في مستوي الإسقاط. يؤخذ بعين الاعتبار هنا، بشكل أساسي، القيمة المطلقة للتشوهات، عند ذلك يُمكن تخفيض قيم التشوهات الخطية ضمن حدود كامل المنطقة، باعتماد قيمة المقياس $K_0 < 1$ ، حيث أنه من أجل $K_0 = 1$ يكون $K > 1$.



الشكل (1): التشوهات الخطية بالنسبة لمستوي الإسقاط

بفرض وجود منطقة ما من سطح الإهليلج، يُراد إسقاطها على المستوي بالحد الأدنى من التشوهات الخطية، عندها يتم بدايةً اختيار نقطة المركز التي إحداثياتها (φ_0, λ_0) ، وفي حال اعتمدت قيمة المقياس في هذه النقطة $K_0=1$ ، فمن الواضح أن التشوهات الخطية العظمى الناتجة عن المقياس تكون:

- في الإسقاط الأسطواني المستعرض، في النقطة الأبعد عن المركز $\Delta\lambda_{max}$
- في الإسقاط المخروطي، في النقطة الأبعد عن المركز $\Delta\varphi_{max}$
- في الإسقاط السمتي، في النقطة الأبعد عن المركز

من شأن هذه العلاقة أن تيسر عملية إيجاد العاملين من جهة، ومن جهة أخرى فهي لا تغير ترتيب القيم العددية للإحداثيات.

في الإحداثيات الجيوديزية، أنفة الذكر، من المفيد البحث عن إسقاطات مركبة بمقياس إسقاط K_0 موحد (متماثل)، حيث أنه عند تحقق الشرط السابق، فإن الإسقاط الجديد سوف يكون له نفس خصائص (مواصفات) الإسقاطات المكونة له وهي: التناظر والمنظور. إن فروق الإحداثيات وفق الإسقاط الجديد، والإحداثيات وفق الإسقاطين الأساسيين، هي قيم صغيرة من المرتبة الثالثة. هناك إمكانية لتعديل قيمة المقياس في النقطة المركزية K_0 للمنطقة، وذلك بهدف التقليل من قيم التشوهات الخطية وتوزعها بأفضل ما يمكن ضمن المنطقة المدروسة.

يمكن استخدام الخوارزمية العامة للإسقاطات الجيوديزية لتشكيل إسقاطات مركبة، بنفس الطريقة التي اتبعت للإسقاطات الكارتوغرافية. وذلك باستخدام العلاقات (2) - (5)، المنوه عنها سابقاً، والتي يتم بموجبها حساب العوامل A_j للأنواع الثلاثة من الإسقاطات وكذلك العلاقات (1) لحساب الإحداثيات المستوية [1].

العلاقات (7) هي علاقات خطية بالنسبة للعوامل A_j ، وباستراتيجيات محددة فإن القيم E_0, N_0 من ثوابت الإسقاط، عندها:

$$\Delta E = m_1 \Delta E_1 + m_2 \Delta E_2 \quad (9)$$

$$\Delta N = m_1 \Delta N_1 + m_2 \Delta N_2$$

حيث:

$$E = E_0 + \Delta E \quad (10)$$

$$N = N_0 + \Delta N$$

الخطية إلى النصف، بالمقارنة مع التشوهات الخطية عند اختيار قيمة المقياس في مركز المنطقة $K_0 = 1$.

تكون خطوط التشوه المعدوم (الإيزوغرام) في الإسقاط الأسطواني المستعرض خطين متناظرين بالنسبة لخط الطول (الزوال) الأساسي للمنطقة، وخطين متناظرين بالنسبة لخط العرض الأوسط للمنطقة (المركزي) في الإسقاط المخروطي، أما في الإسقاط السمتي فتكون عبارة عن دائرة، إحداثيات مركزها (N_0, E_0) .

7. المبادئ العامة لتركيب الإسقاطات الجيوديزية:

يعبر مصطلح إسقاطات مركبة (أو مدمجة) عن طريقة الحصول على هذه الإسقاطات، أما المصطلح الرياضي للتركيب (الدمج)، فله معنى أوسع. إذا كان لدينا إسقاطين تشابهيين، الإحداثيات المستوية في كل منهما على التوالي (E_1, N_1) و (E_2, N_2) ، فإن الإحداثيات المستوية في الإسقاط المركب من هذين الإسقاطين، تكتب وفق العلاقات التالية [8]:

$$E = m_1 E_1 + m_2 E_2 \quad (7)$$

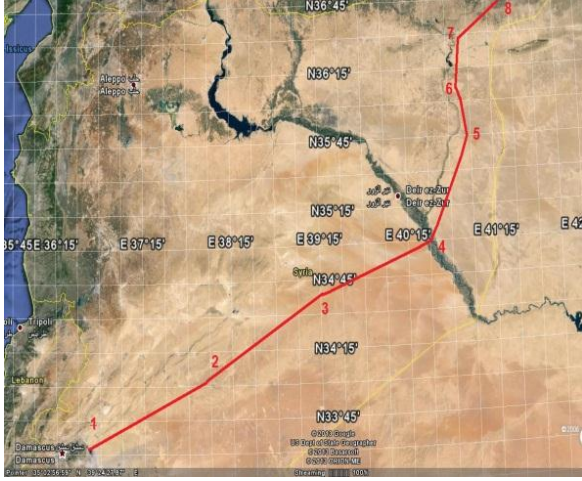
$$N = m_1 N_1 + m_2 N_2$$

حيث m_1 و m_2 هي عوامل يتم تحديدها. وحيث من أجل الإحداثيات E, N محققة معادلة كوشي - ريمان، والإسقاط الجديد هو إسقاط تشابهي، ومن خلال العوامل m_1 و m_2 يمكن تحديد شكل خطوط الإيزوغرام بأفضل شكل تتطابق معه هذه الخطوط مع محيط المنطقة المسقطة. تجدر الإشارة إلى أنه لا يوجد أهمية كبيرة في الحصول على التطابق التام، ويكفي الحصول على شكل بسيط، لخطوط الإيزوغرام قريبة من محيط المنطقة [9].

يعبر عن علاقة الارتباط بين العاملين بالعلاقة التالية:

$$m_1 + m_2 = 1 \quad (8)$$

إلى الجنوب الغربي في نقطة إحداثياتها الجغرافية $\varphi = 33^{\circ} 34'$ ، $\lambda = 36^{\circ} 34'$ على الإهليلج العالمي المرتبط بجملة الإحداثيات العالمية WGS-84. طول المشروع بحدود 650 km ، فرق الإحداثيات التريبية وفق العلاقات (1): $\Delta E = 350 \text{ km}$ ، $\Delta N = 440 \text{ km}$.



الشكل (2): مخطط التوضع الجغرافي للمشروع

يمر المشروع عبر مسار منكسر مروراً بمنطقتي دير الزور وتدمر. الإحداثيات الجغرافية لنقطتي البداية والنهاية ونقاط الانعطاف مبينة في الجدول (1):

الجدول (1): الإحداثيات الجيوديزية لنقاط مسار المشروع

رقم النقطة	φ	λ
1	$33^{\circ} 34'$	$36^{\circ} 34'$
2	$34^{\circ} 02'$	$37^{\circ} 58'$
3	$34^{\circ} 40'$	$39^{\circ} 16'$
4	$35^{\circ} 00'$	$40^{\circ} 30'$
5	$35^{\circ} 45'$	$40^{\circ} 58'$
6	$36^{\circ} 08'$	$40^{\circ} 52'$
7	$36^{\circ} 28'$	$40^{\circ} 57'$
8	$36^{\circ} 44'$	$41^{\circ} 24'$

يجب الإشارة إلى أن E_0, N_0 هي نفسها في كلا الإسقاطين المشكلين للإسقاط المركب. بملاحظة العلاقات (1) و (7) يمكن كتابة العلاقة (9) كما يلي:

$$\Delta E = \sum_{j=1}^n (A_j^I + A_j^{II}) Q_j \quad (11)$$

$$\Delta N = \sum_{j=1}^n (A_j^I + A_j^{II}) P_j$$

من هنا يستنتج قاعدة بسيطة للإسقاطات المركبة، في هذه الحالة بمعرفة A_j^I و A_j^{II} لأي إسقاطين أساسيين يدخلان في تشكيل الإسقاط المركب، والمعرفين من خلال الخوارزمية العامة، فإنه يكفي حساب عوامل Coefficients الإسقاط المركب بالعلاقة:

$$A_j = m_1 A_j^I + m_2 A_j^{II} \quad (12)$$

حيث من المفترض اختيار m_1 و m_2 مع الأخذ بعين الاعتبار العلاقة (8).

عند حل المسألة العكسية في الإسقاطات المركبة، يتم الحصول على العوامل A_j^I من خلال العوامل A_j في العلاقات الواردة لحساب المسألة العكسية في [6].

٨. الحالة المدروسة

سنقوم بدراسة كيفية إيجاد نظام إحداثيات مستوية لمشروع خط غاز/ نفط افتراضي، يمتد من منطقة الرميلان بالحسكة إلى المنطقة الصناعية بعدرا، الشكل (2). نظام الإحداثيات التريبية سيتم تشكيله وفق إسقاطات جيوديزية تحقق معايير أنسب الإسقاطات لمنطقة محدودة من سطح الإهليلج. في حالتنا فإن هذه المنطقة هي جزء من المنطقة السورية التي يتوضع عليها المشروع، وتمتد من الشمال الشرقي في نقطة إحداثياتها الجغرافية $\varphi = 36^{\circ} 44'$ ، $\lambda = 41^{\circ} 24'$

الأسطواني والمخروطي. القيم المحسوبة وفق برنامج حساب الإسقاطات الموضوع على أساس الخوارزمية العامة للإسقاطات الجيوديزية المنوه عنه في [6] مبينة في الجدولين (2) و(3) وفق الإسقاطين الأسطواني والمخروطي على التوالي.

الجدول (2): الإحداثيات المستوية والمقياس وفق الإسقاط الأسطواني

رقم النقطة	الإسقاط الأسطواني		
	E (m)	N (m)	K
1	75583.41	126980.31	1.0006209
2	206110.31	176590.90	1.0001086
3	325969.47	246416.06	1.0000083
4	438459.30	284409.96	1.0002362
5	479398.82	368383.83	1.0003964
6	469531.36	410746.46	1.0003540
7	476281.57	447889.95	1.0003827
8	515878.79	478407.30	1.0005740

الجدول (3): الإحداثيات المستوية والمقياس وفق الإسقاط المخروطي

رقم النقطة	الإسقاط المخروطي		
	E (m)	N (m)	K
1	75546.77	127065.77	1.0003778
2	206096.13	176596.54	1.0001882
3	325970.13	246415.87	1.0000353
4	438448.84	284413.67	1.0000034
5	479385.29	368358.05	1.0000547
6	469536.81	410712.74	1.0001472
7	476306.45	447846.13	1.0002644
8	515921.81	478327.54	1.0003827

إيجاد نظام إحداثيات أمثل يعني أن تُتجز أعمال التخديم المساحي (شبكات الأساس الجيوديزي والأعمال اللاحقة) الواجب انشاؤها لتنفيذ واستثمار المشروع، وفق جملة إحداثيات مستوية موحدة بالحد الأدنى من التشوهات الخطية عند الإنتقال من العناصر الخطية والزاوية المقيسة والمسقط على الإهليلج إلى مستوي الإسقاط، بحيث يمكن ربطها بسهولة بنقاط الأساس الجيوديزي المحسوبة وفق جملة الإسقاط العامة للمنطقة السورية، والمقترحة في البحث [6] أن تكون جملة الإسقاط الستيريوغرافية على الإهليلج العالمي WGS-84. لتحقيق الاشتراطات أعلاه يستلزم أن يتم البحث عن نظام الإحداثيات المطلوب على أساس النظرية العامة للإسقاطات الجيوديزية.

للبدء بالدراسة وُضعت منهجية البحث وفق الآتي:

1- تمّ تعيين نقطتي البداية والنهاية ونقاط الانعطاف للمسار المدروس واستقراء الإحداثيات الجيوديزية (زوايا الطول و العرض) لهذه النقاط، منسوبة إلى الإهليلج العالمي.

2- حُسبت بعد ذلك القيم الأولية للإحداثيات الجيوديزية (λ'_0, φ'_0) لمركز المنطقة الجغرافية المتوضع عليها المشروع بالعلاقات (6)، حيث φ_N, φ_S قيم زاويتي العرض الموافقتين لأبعد نقاط المنطقة عن المركز جنوباً وشمالاً على التوالي. والقيمتين λ_E, λ_W هما زاويتي الطول الموافقتين لأبعد نقاط المنطقة عن المركز غرباً وشرقاً على التوالي. وبالتالي اعتبر مركز المنطقة التي يتوضع عليها المسار المدروس في نقطة من الإهليلج إحداثياتها الجيوديزية: $\varphi'_0 = 35^0 09'$ و $\lambda'_0 = 38^0 59'$.

3- اعتبرت قيمة مقياس الإسقاط في مركز المنطقة $K'_0 = 1$ وحُسبت الإحداثيات المستوية وقيم المقياس في نقاط المسار الثمانية بموجب علاقات التحويل المباشر وعلاقة المقياس (1)-(5)، وبنفس الشروط الإبتدائية المفترضة:

وفق الإسقاطين $N_0=300,000m, E_0=300,000m$

حيث n عدد نقاط المسار المشاركة في الحساب، وهي في حالتنا ثمانية 8، الإحداثيات التربيعية E, N حسبت وفق الإسقاطين، [] - رمز المجموع.
معادلة مستقيم الميل يعبر عنها بالعلاقة [11] حسب الصيغة:

$$E = b * N - a \quad (15)$$

كذلك يمكن حساب عامل مشاركة الإسقاط المخروطي في التركيب باستخدام العلاقة التالية [12]:

$$m = \left| \frac{1 + b^2}{b^2} \right| \quad (16)$$

وعليه يكون عامل مشاركة الإسقاط الأسطواني، بحسب العلاقة (8)، مساوياً للقيمة:

$$m_{cyl} = 1 - m_{conic}$$

القيم المحسوبة وفق العلاقات السابقة للحالة المدروسة مبيّنة في الجدول (5):

الجدول (5): القيم المحسوبة لمعاملات مستقيم الميل

Det		9.31179E+11
a		12831.91993
b		1.135770221
m_{conic}		1.775209426
m_{cyl}		-0.775209426

معادلة خط الميل للمشروع الخطي المدروس وفق المعطيات المفترضة يمكن كتابتها بالشكل:

$$E = 1.13577 N - 12831.920 \quad (12)$$

6- حُسبت بعد ذلك قيمة مقياس التشوه في النقاط الثمانية وفق الإسقاط الستيريوغرافي السوري، وفق الشروط الابتدائية المعروفة: $\varphi_0 = 34^\circ 12'$ ، $\lambda_0 = 39^\circ 09'$ ، وكذلك $K_0 = 0.9995314$ و $N_0=0$ ، $E_0=0$ ، على إهليلج كلارك 1880، وذلك بغرض مقارنة الحالة المدروسة مع الحالة التي يتم فيها اعتماد نظام الإحداثيات العامة للمشروع.

استُخدمت في الحساب بارامترات الإهليلج الأرضي المعتمد في النظام الجيوديزي العالمي WGS-84.
تجدر الإشارة إلى أن فرق الإحداثيات المستوية المحسوبة للنقاط، وفق نفس الشروط الابتدائية، في الإسقاطين يتراوح بين 0 و 90m. من الجدول (4) يتبين أن الفرق الأعظمي هو في النقطة 8، $dE = -43.02m$ ، $dN = 79.76m$.

الجدول (4): الفروقات في الإحداثيات المستوية وفق الإسقاطين

رقم النقطة	dE (m)	dN (m)
1	36.64	-85.46
2	14.18	-5.64
3	-0.66	0.19
4	10.46	-3.71
5	13.53	25.78
6	-5.45	33.72
7	-24.88	43.82
8	-43.02	79.76

4- استنتجت بعد ذلك القيمة الأكبر للمقياس الخطي K''_{max} ، من القيم التي حُسبت وفق كل إسقاط، في نقاط المسار. فكانت في الإسقاط الأسطواني مساوية للقيمة 1.0005740 في النقطة 8، وبلغت في المخروطي 1.0006209 في النقطة 1.

5- اعتماداً على الإحداثيات المستوية تم إيجاد المعاملات الخاصة بخط (مستقيم) الميل regression line الممثلة لمسار خط المشروع، باعتبار أن العوامل المحددة لمشاركة كل من الإسقاطين الأسطواني والمخروطي مرتبطة بمستقيم الميل. استخدمت العلاقات التالية لحساب المعاملات [11]:

$$Det = n * [N^2] - [N^2] \quad (12)$$

$$a = \frac{[N^2] * [E] - [E] * [E * N]}{Det} \quad (13)$$

$$b = \frac{n * [E * N] - [E] * [N]}{Det} \quad (14)$$

7- حُسبت بعد ذلك قيم الخطأ النسبي الأعظمي لتشوّه المسافات $(dS/S)_{max}$ في الإسقاطات الأربعة المذكورة، الناتجة وفق الإشرطات الإبتدائية المنوه عنها آنفاً، وتمت مقارنة النتائج.

النتائج:

على أساس المسألة الموضوعية لتطوير نظام إحداثيات مستوية موحدة بالحد الأدنى من التشوهات الخطية، وفق إسقاطات جيوديزية تحقق معايير أنسب الإسقاطات لمنطقة محدودة من سطح الإهليلج، ولنتمكن من اختيار الإسقاط الأنسب لتمثيل المشروع، قمنا بإجراء مقارنة بين قيم مقياس التشوهات الخطية لنقاط المشروع الأساسية الثمانية، التي تم الحصول عليها بموجب كل من الإسقاطين الأسطوانيين والمخروطي وفق الشروط الإبتدائية المبينة آنفاً، والإسقاط الستيريوغرافي السوري مع قيم المقياس التي تم الحصول عليها بموجب الإسقاط المركب من الإسقاطين المخروطي والأسطوانيين. يبيّن الجدول (6) قيم المقياس وفق الإسقاطات المدروسة، والخطأ النسبي الأعظمي $(dS/S)_{max}$ وفق كل من هذه الإسقاطات.

الجدول (6): المقياس وفق الإسقاطات المدروسة

رقم النقطة	اسطوانى	مخروطى	ستيريوغرافى حالى	مركب اسطوانى - مخروطى
1	1.0006209	1.0003778	0.9999137	1.0001894
2	1.0001086	1.0001882	0.9996069	1.0002499
3	1.0000083	1.0000353	0.9995486	1.0000562
4	1.0002362	1.0000034	0.9996743	0.9998229
5	1.0003946	1.0000547	0.9998829	0.9997912
6	1.000354	1.0001472	0.9999653	0.9999869
7	1.0003827	1.0002644	1.0000857	1.0001727
8	1.000574	1.0003827	1.0002747	1.0002344
القيم الموافقة لأكبر تشوه في المقياس وفق كل إسقاط				
	1.0006209	1.0003827	0.9995486	1.0002499
الخطأ النسبي الأعظمى وفق كل من الإسقاطات $(dS/S)_{max}$				
	1:1600	1:2600	1:2200	1:4000

تشير النتائج التي تم الحصول عليها، بمساعدة برنامج Excel Sheet بسيط طور خصيصاً لهذا الغرض، إلى تحسّن الخطأ النسبي الأعظمي في الإسقاط المركب عن الإسقاطين المركّبين له، حيث لم يتجاوز هذا الخطأ القيمة 1:4000 في النقطة رقم 2، بينما قيمته في الإسقاط الأسطوانى بحدود 1:1600 في النقطة 1، و 1:2600 في الإسقاط المخروطى عند النقطة 8. بينما لم يتجاوز الخطأ النسبي الأعظمى $(dS/S)_{max}$ المحسوب في نقاط المشروع وفق الإسقاط الستيريوغرافى القيمة 1:2200 عند النقطة 3. في تقييم النتيجة يؤخذ بعين الاعتبار أن المشروع يتوضع على منطقة من الإهليلج الأرضى أبعادها $\Delta\phi = 3^\circ 10'$ ، $\Delta\lambda = 4^\circ 50'$.

إذا اعتمدنا الخطأ النسبي الأعظمى كمؤشر في تحسين الإسقاطات، يمكننا القول أن الإسقاط المركب من الإسقاطين الأسطوانى والمخروطى، وفق الشروط الإبتدائية المذكورة أعلاه، يحقق تحسناً نسبته بحدود 80% عن هذا الإسقاط الستيريوغرافى المعمول به حالياً لتمثيل مثل هذا النوع من المشاريع الهندسية الطولانية الممتدة.

أخيراً نجري حساب الإحداثيات المستوية ومقياس تشوه المسافات لنقاط المسار والمقياس وفق البارامترات المفترضة والمعاملات المحسوبة للإسقاط المركب المقترح للمشروع. عوامل مشاركة الإسقاط الأسطوانى فيه $m_1 = -0.7752$ ، والمخروطى $m_2 = 1.7752$.

الجدول (7): الإحداثيات المستوية والمقياس وفق الإسقاط المركب

النقطة	E	N	K
1	75518.366	127132.0194	1.0001893
2	206085.14	176600.9122	1.0002499
3	325970.64	246415.7227	1.0000562
4	438440.73	284416.546	0.9998229
5	479374.8	368338.0651	0.9997912
6	469541.03	410686.5999	0.9999869
7	476325.74	447812.1603	1.0001727
8	515955.16	478265.7093	1.0002344

ضخمة مثل المشاريع الممتدة، كخطوط النقل والمواصلات (النقط والغاز والطرق الدولية المشتركة مع الدول المجاورة) وغيرها التي تقع في أكثر من نظام إحداثيات عامة. كما يمكن تطبيقه لمشاريع هندسية تتطلب دقة موضعية عالية في توضع نقاط الأساس الجيوديزي لها.

■ متابعة لهذا البحث من المفيد تطوير هذه الطريقة لتساعد في ايجاد أفضل الإسقاطات وفق برمجيات متطورة بحيث تشكل جزء من خوارزمية متكاملة وتصلح كأساس في نظم المعلومات الجغرافية GIS.

أجريت الحسابات باعتماد الشروط الإبتدائية التالية:
 $\lambda'_0 = 38^0 59'$ ، $\varphi'_0 = 35^0 09'$ ، $K'_0 = 1$ ،
 $N_0=300,000m$ ، $E_0=300,000m$ والإهليلج العالمي المرتبط بجملة الإحداثيات العالمية WGS-84. الجدول (7) يبين النتائج التي تم الحصول عليها.

تجدر الإشارة إلى أن قيمة الخطأ النسبي الأعظمي لتشوه المسافات، الناجم عن الإسقاط، البالغة 1:4000، التي تم التوصل إليها في المثال المدروس كافية عند حل كثير من مسائل التأمين الجيوديزي، أي الحساب المسبق لدقة وضع الأساس الجيوديزي للمشاريع الهندسية المختلفة.

٩. الاستنتاجات والتوصيات:

تتطلق المبادئ الأساسية لاختيار جملة الإسقاط لمنطقة ما من الأهداف والمسائل التي سئحل بموجب هذا الإسقاط. في واقع الأمر هناك الكثير من المسائل المختلفة التي يتطلب حلها من خلال معرفة شكل وأبعاد المنطقة على سطح الإهليلج، ووضع تصوّر مسبق لطبيعة وتوزّع التشوهات الخطية والقيم العظمى لهذه التشوهات، والدقة المطلوبة لتمثيل العناصر الجيومترية المختلفة.

■ تُعدّ طريقة تطوير أنظمة إحداثيات تريبعية للمنشآت الهندسية الخطية الطولية، وفق إسقاطات يتم تطويرها على أساس الإسقاطات المركبة، من أفضل الطرق التي تتيح امكانية الحصول على الإسقاطات الجيوديزية التي تؤمن الحد الأدنى من التشوهات الخطية.

■ عوامل تشاركية الإسقاطات الأسطوانية والمخروطية المستخدمة في التركيب يمكن الحصول عليها بسهولة بمساعدة معادلة خط الميل. يمكن تحديد معادلة خط الميل باستخدام معادلات بسيطة من التحليل الإحصائي. يمكن أيضا ملاحظة أن توضع خطوط الايزوغرام (تساوي التشوه) تعتمد بشكل أساسي على توضع مستقيم الميل.

■ يمكن تطبيق هذه الطريقة في البحث لإنشاء أنظمة إحداثيات محلية مرتبطة مع نظام الإحداثيات العامة لمشاريع هندسية

المراجع

1. Podshyvalov V. P. – Universal Algorithm for conformal projections with reduction distortions .Novopolatsk,Geodezy,1997.
2. Bogaevsky L. M., Geodetic-Cartographic projections, Nedra, Moscow, 1992
٣. أ. د. م. نبيل الأشرف، نوطة المساحة المعمارية، مطبوعات جامعة دمشق، الطبعة الثانية للعام ٢٠٠٣.
٤. م. منصور شرابه، جمل الإسقاط المستخدمة في سورية ندوة العلوم المساحية، دمشق، ١٩٩٢.
٥. د. م. معن اسماعيل حبيب، الإسقاط التَّشابهي المقترح في سورية وتطوير حزمة برامج على الحاسب الالكتروني لمسائل التحويل، اطروحة لدرجة الدكتوراه، القاهرة، ٢٠٠٠.
٦. م. كمال يوسف، د. م. معن حبيب، د. م. عبد الرزاق عجاج، اقتراح نموذج رياضي موحد للإسقاطات الجيوديزية في سورية، بحث لدرجة الماجستير، جامعة دمشق، ٢٠١٢.
7. Podshyvalov V. P. – Theoretical Background for Formation Coordinate Environment for GIS .Novopolatsk, University publish, 1998.
8. Morozov V. P. Corse Spheroidal Geodesy, Moscow, Nidra,1979.
٩. د. م. معن حبيب، د. م. أنور الصيفي، المساحة، مطبوعات جامعة دمشق، ٢٠٠٧.
١٠. أ. د. م. سامح جزماتي، المساحة والجيوديزيا، مطبوعات جامعة حلب، ١٩٦٧.
- 11.Huryeu Y. Podshyvalov V. P. – Automated Designe of Coordinate Systems for Long Liner Objects. Novopolatsk, 2007.

Development of coordinate systems for liner Projects

* Eng. Kamal Youssef

** Dr. Abdurazak Ajaj

Abstract

This paper presents methodology of development coordinate systems, based on common conformal geodetic projections, for large Engineering projects. They are based on a new class of projections obtained by means of liner composition of cylindrical and conical projections. A case study was carried out to show how to create coordinate system for an Engineering project that have long liner geographic locations, from North-East to South-West in Syrian area on Earth Ellipsoid. The methodology presented based on optimum projection concept, with minimal distortions of liner measurements, and required accuracy of calculations.

Keywords: composite projections, coordinate system, scale factor, liner distortions, Ellipsoid, latitude.

* Directorate of Topography - Ministry of Housing and Urban Development

** Department of Topography - Faculty of civil Eng. – Damascus University

Referenses

1. Podshyvalov V. P. – Universal Algorithm for conformal projections with reduction distortions .Novopolatsk, Geodezy,1997.
2. Bogaevsky L. M., Geodetic-Kartographic projections, Nedra, Moscow, 1992.
3. Al Ashraf N. Architecture Surveying, Damascus University, 2nd edition, 2003.
4. Sharabe M., surveying Sciences Symposium, Damascus, 1992.
5. Habib M. Conformal projection Proposed for Syria and Development baggage program , Cairo, 2000.
6. Youssef K., Habib M., Ajaj A., Proposal of Unified Algorithm for Geodetic Projections in Syria, Damascus University, 2012.
7. Podshyvalov V. P. – Theoretical Background for Formation Coordinate Environment for GIS, .Novopolatsk, University publish, 1998.
8. Morozov V. P. Corse Sphiroedal Geodesy, Moscow, Nidra,1979.
9. Habib M., Al Saify A, Surveying, Damascus University, 2007.
10. Jazmaty S., Geodesy and surveying, Aleppo University, 1967.
11. Huryeu Y. Podshyvalov V. P. – Automated Disgine of Coordinate Systems for Long Liner Objects. Novopolatsk, 2007.