

A Research Contribution to Improve the Accuracy of the Free Global Digital Elevation Model SRTM-1 in Areas of the Syrian Coast

Dr. Fadi CHAABAN*
Dr. Omar AL KHALIL**
Marah Baddour ***

(Received 5 / 7 / 2022. Accepted 11 / 9 / 2022)

□ ABSTRACT □

In this study, the vertical accuracy of the free digital elevation model SRTM-1 (study area: Damsarkho - Lattakia, Bathaniya - Tartous) was evaluated by comparing it with reference elevation points based on statistical coefficients. We used a methodology that improves the accuracy of the SRTM-1 model, as we adopted the injection of field elevation points within this model. The number of injected points was increased 10 points each time until we reached 220 points, and a comparison was made with the reference height points in each injection. In the plain area (Damsarkho), it was found that there was an improvement in the accuracy of SRTM-1 by 22.5% as the standard deviation decreased from 1.86 m to 1.44 m, and there was a good inverse correlation between the number of input points and the standard deviation, which proves that it is a practical and simple way to increase the accuracy of SRTM -1 to a certain extent, but the increase in the number of points over a certain limit (in our study, we reached 250 points), we did not notice any improvement in accuracy. Also for the hilly area (Bathaniya), we injected 10 points each time within the elevation pattern until we reached 340 points. The accuracy improved by 47.6%, as the standard deviation decreased from 8.08 m to 4.23 m.

Keywords: DEM, SRTM-1, Accuracy assessment, Accuracy Improvement, Field elevation points, Syrian coast.

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

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

***Postgraduate Student (Master), Department of Topographic Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria.

منهجية مقترحة لتحسين دقة نموذج الارتفاع الرقمي العالمي المجاني SRTM-1 في مناطق من الساحل السوري

د. فادي عزالدين شعبان*

د. عمر محمد الخليل**

مرح عاطف بدور***

(تاريخ الإيداع 5 / 7 / 2022. قُبِلَ للنشر في 11 / 9 / 2022)

□ ملخص □

في هذه الدراسة تم تقييم الدقة الشاقولية لنموذج الارتفاع الرقمي المجاني SRTM-1 (منطقة الدراسة: دمسرخو - اللاذقية، البطحانية - طرطوس) من خلال مقارنته مع نقاط ارتفاعية مرجعية بالاعتماد على المعاملات إحصائية. استخدمنا منهجية تساعد في تحسين دقة النموذج SRTM-1، حيث اعتمدنا حقن نقاط ارتفاعية حقلية ضمن هذا النموذج. تم زيادة عدد النقاط المدمجة بمعدل 10 نقاط في كل مرة حتى وصلنا إلى 220 نقطة، وأجريت مقارنة مع النقاط الارتفاعية المرجعية في كل عملية للدمج. في المنطقة السهلية (دمسرخو) تبين وجود تحسن في دقة SRTM-1 بنسبة % 22.5 حيث انخفض الانحراف المعياري من 1.86 m إلى 1.44 m، وكان هناك ارتباط عكسي جيد بين عدد النقاط المدخلة والانحراف المعياري، مما يثبت أنها طريقة عملية وبسيطة لزيادة دقة SRTM-1 إلى حد معين، غير أن زيادة عدد النقاط عن حد معين (في دراستنا وصلنا إلى 250 نقطة) لم نلاحظ أي تحسن بالدقة. كذلك بالنسبة للمنطقة ذات التلال (البطحانية) فقد قمنا بحقن 10 نقاط كل مرة ضمن النموذج الارتفاعي حتى وصلنا إلى 340 نقطة، تحسنت الدقة بنسبة % 47.6 حيث انخفض الانحراف المعياري من 8.08 m إلى 4.23 m.

الكلمات المفتاحية: نموذج رقمي للارتفاع، SRTM-1، تقييم الدقة، تحسين الدقة، نقاط ارتفاعية حقلية، الساحل السوري.

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

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

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

مقدمة:

يعد النموذج الرقمي للارتفاع (Digital Elevation Model) DEM أحد الوسائل المهمة التي تتيح رؤية ثلاثية الأبعاد للتضاريس الأرضية حيث يستخدم في تمثيل الظواهر الطبيعية والبشرية، كما يعد حجر الأساس لتمثيل السطوح الطبوغرافية وتكوين محاكاة للواقع الجغرافي ثلاثي الأبعاد [1]. من ناحية أخرى يملك ال DEM إمكانات تطبيقية هائلة في كثير من العلوم والمجالات منها استخراج شبكات التصريف، الأحواض المائية، خطوط الكنتور، معرفة الانحدارات، وعورة التضاريس، معوقات الحركة، تقدير أفضل المواقع لإنشاء السدود، تحديد الأماكن المرشحة للفيضانات، ويفيد لأغراض التخطيط ويمكن من خلاله استنتاج كمية الحفر والردم واتجاهات الميول، إضافة إلى استخدامه في التطبيقات العسكرية. كما أن له أهمية كبيرة في نظم المعلومات الجغرافية GIS حيث يتم استخدامه مع الطبقات المشتقة منه (طبقة الانحدارات واتجاهات الانحدار والظلال وشبكة المسيلات المائية...) في التحليل المكاني ك معايير إدخال لإيجاد أفضل المواقع لبناء منشأة هندسية، وبالتالي فإن تطبيقات نماذج الارتفاعات الرقمية عديدة جدا ولا تنحصر فقط في إنتاج الخرائط الكنتورية.

تتوافر عدة نماذج رقمية عالمية للارتفاعات متاحة مجاناً منها نموذج (Digital Terrain Elevation Data) AW3D30 (Alos world 3d is a 30-meter resolution) بدقة 30 متر، نموذج (DEDED) بدقة 1 كيلومتر، نموذج (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) ASTER (one sec وتعادل 30 متر، ثلاث ثواني قوسية three arc sec وتعادل 90 متر، ثلاثين ثانية قوسية thirty arc sec وتعادل 1 كيلومتر. سنركز في هذا البحث على نموذج SRTM-1 من حيث تقييم دقته والمساهمة في تحسينها. تم تقييم دقة نموذج SRTM_1 في العديد من الدراسات وفي مناطق مختلفة من العالم بالاعتماد على عوامل عديدة منها الميل والارتفاع، واختلفت الدقة حسب اختلاف المنطقة، مما يبين ضرورة تقييم دقة نموذج SRTM_1 حسب المنطقة المدروسة. بالمقابل كان هناك العديد من الدراسات التي عملت على تحسين دقة SRTM_1 بطرق مختلفة منها دمج عدة نماذج ارتفاعية مفتوحة المصدر، طريقة الانحدار الخطي القائم على الموضوع حيث قام الباحثون [3] بتطوير طريقة جديدة لدمج DEM باستخدام الدمج متعدد المقاييس وتم تطبيق هذه الطريقة على نموذجي الارتفاع الرقمي (SRTM-1 DEM) و (AW3D30 DSM)، أشارت النتائج إلى أن التحليل المتعدد المقاييس غير الخطي (N-AMD) أكثر ملائمة للدمج المتعدد المقاييس وقد أعطت DEMs المدمجة تحسينات كبيرة في RMSE (من 29.6% إلى 19.3%) في موقع جبلي و (من 27.4% إلى 15.5%) في منطقة سهلية، بينما قام الباحثون في [4] بتطوير طريقة من أربع خطوات لفصل وإزالة مكونات الخطأ الأربعة الرئيسية في DEMs، منها إزالة ضجيج الشريط والكشف عن التحيز المطلق وإزالة ضجيج البقع، بعد إزالة الخطأ تم تعيين 58% من البكسلات بدقة أعلى من 2 m في DEM الجديد بينما كانت 39% في DEM الأصلي. كذلك في عام 2018 قام الباحثون [5] في بتحسين دقة النموذج الارتفاعي ASTER من خلال التحقيق في أخطاء النموذج الارتفاعي بالاستناد إلى أنواع استخدام الأراضي وتم اقتراح طريقتين لمعايرة الانحدار الخطي الأولى تدرس فقط تأثير استخدام الأراضي والأخرى تدرس تأثير كل من استخدام الأرض وسمات سطح الأرض.

أهمية البحث وأهدافه:

تتركز أهمية هذا البحث في الحصول على نموذج ارتفاع مجاني SRTM_1 بدقة محسنة وبالتالي توفير الكثير من الوقت والجهد والتكلفة والتي تتطلبها الأعمال الطبوغرافية الحقلية. تتلخص أهداف البحث بما يلي:

1. تقييم دقة نموذج الارتفاع الرقمي المجاني SRTM-1 من خلال مقارنته مع نقاط ارتفاعية حقلية في منطقتي الدراسة دمسرخو والبطحانية.
2. تحسين دقة نموذج الارتفاع الرقمي المجاني SRTM-1 من خلال دمج مع نقاط ارتفاعية حقلية في منطقتي الدراسة.

طرائق البحث ومواده:**1.1 النموذج الارتفاعي SRTM**

إن نموذج SRTM هو مسعى مشترك للإدارة الوطنية للملاحة الجوية والفضاء (NASA)، الوكالة الوطنية للمخابرات الجغرافية المكانية، وكالات الفضاء الألمانية والإيطالية، وانطلق في شباط. تستخدم SRTM هوائيات مزدوجة الرادار للحصول على بيانات الرادار التداخلي، ومعالجتها إلى بيانات طبوغرافية رقمية لإنتاج النموذج الارتفاعي الرقمي المجاني الأكثر استخداماً في العالم [6]. على الرغم من التغطية العالمية لبيانات SRTM، غير أنه يوجد فيها فراغات كبيرة في الجسم المائي وبعض المناطق الجبلية شديدة الانحدار بسبب الانعكاس غير الصحيح للرادار والتداخل الشديد في الغلاف الجوي وهذا يعرقل استخدام بيانات SRTM لبعض التطبيقات، على سبيل المثال، للنمذجة الهيدرولوجية. تم إجراء العديد من المحاولات لسد فجوات البيانات بواسطة المرشحات المكانية وملء الفجوات التكرارية وتقنيات الاستكمال الداخلي التي طورها اتحاد المعلومات المكانية التابع للمجموعة الاستشارية للبحوث الزراعية الدولية -CSI [CGIAR]. بينما تم إجراء العديد من عمليات التحقق من صحة هذا المنتج على المستويين العالمي والإقليمي نظراً لاستخدامه الكبير. ستوفر التقييمات الإقليمية لهذا النموذج المزيد من الفوائد للمستخدمين العالميين بسبب اختلاف أخطاء ارتفاع SRTM من منطقة إلى أخرى [7].

1.2 تصنيف طبوغرافية الأراضي

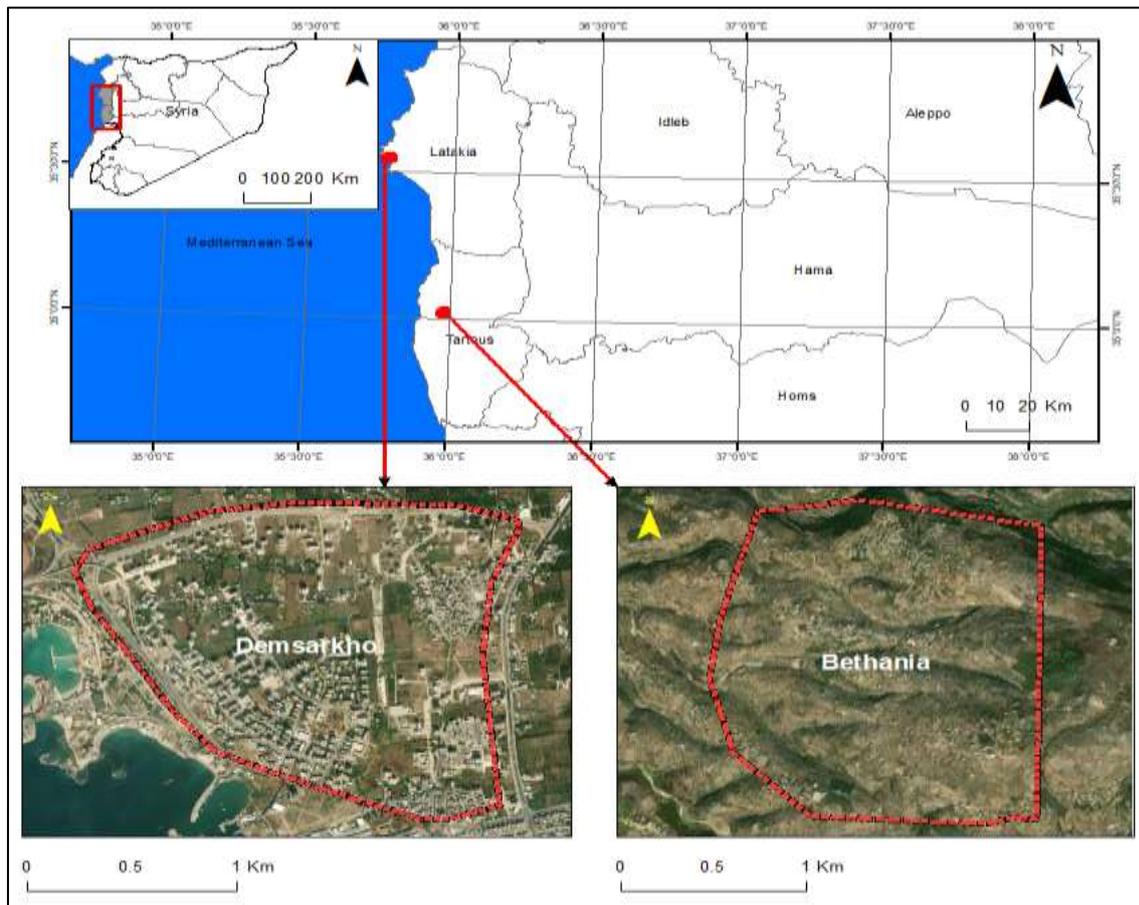
فيما يتعلق بطبوغرافية الأراضي، يمكن تقسيمها إلى فئات وفقاً لعدة عوامل مثل الانحدار. يقدم الجدول (1) مثلاً على فئات الطبوغرافيا القائمة على المنحدرات [8].

الجدول (1). طبوغرافية المنطقة بالاعتماد على الميل

الانحدار %	نوع الانحدار	تصنيف الأراضي
<3%	قليل الانحدار	أراضي منخفضة
3% - 8%	متوسط الانحدار	هضاب
8% - 12%	متوسط الانحدار	مدرجات ذات ارتفاعات عالية
12% - 40%	عالي	تلال
>40%	عالي جداً	جبال

1.3 منطقة الدراسة

- تم إجراء البحث على منطقتي دراسة مختلفتين من حيث وعورة التضاريس هما منطقة دمسرخو ومنطقة البطحانية.
- **منطقة دمسرخو:** تقع منطقة دمسرخو في محافظة اللاذقية (في الجزء الشمالي من مدينة اللاذقية) بين خطي طول $35^{\circ}.7576$ و $35^{\circ}.7807$ شرقاً وخطي عرض $35^{\circ}.5414$ و $35^{\circ}.5579$ شمالاً بمساحة تبلغ 277 هكتار الشكل (1). تتميز منطقة دمسرخو بطبيعة سهلية قليلة الانحدار وفقاً للجدول (1) حيث بلغ متوسط الميل فيها أقل من 3%.
 - **منطقة البطحانية:** تقع منطقة البطحانية في محافظة طرطوس (شمال شرق مدينة طرطوس بحوالي 15 كم) بين خطي طول $35^{\circ}.9687$ و $35^{\circ}.9886$ شرقاً وخطي عرض $35^{\circ}.0103$ و $35^{\circ}.0298$ شمالاً بمساحة تبلغ 329 هكتار الشكل (1). تتميز منطقة البطحانية بطبيعة جبلية وانحدار عالي وتعتبر منطقة تلال وفقاً للجدول (1) حيث بلغ متوسط الميل من 17%.



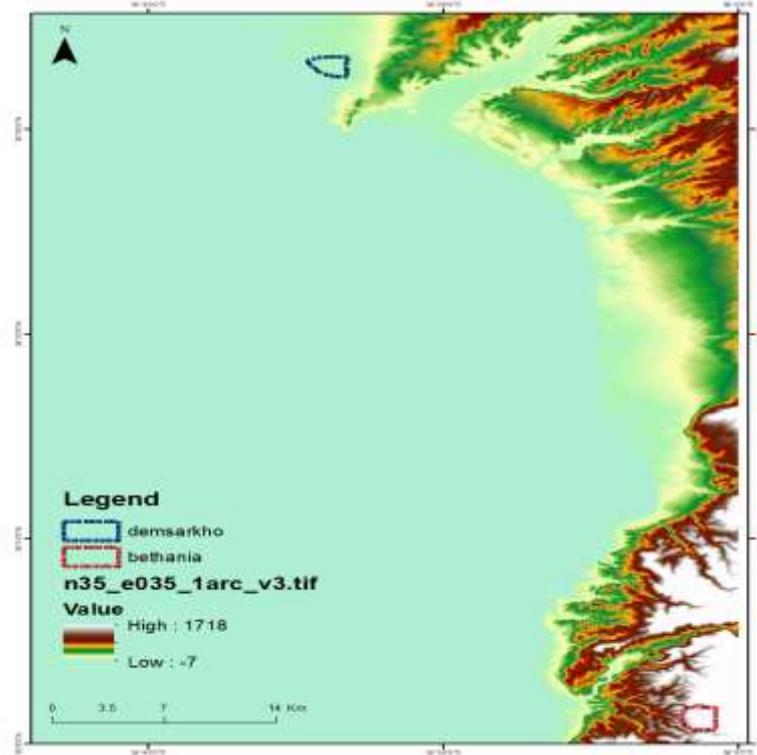
الشكل (1). منطقتا الدراسة

1.4 البيانات المكانية المتوفرة

اعتمدنا في البحث على مجموعة من البيانات المكانية هي: نموذج ارتفاع رقمي مجاني SRTM_1، مخطط طبوغرافي بمقياس 1/1000 لمنطقة دمسرخو (تم الحصول عليه من مديرية الخدمات الفنية)، نقاط ارتفاعية حقلية لمنطقة البطحانية.

• نموذج SRTM_1

تم الحصول على النموذج الارتفاعي الرقمي المجاني SRTM_1 بدقة مكانية 1 ثانية (30m) من موقع الهيئة الأمريكية للمسح الجيولوجي [9] (الشكل (2)) بامتداد GeoTIFF. يملك نموذج SRTM_1 المستخدم نظام الإحداثيات الجغرافية: GCS_WGS_1984 .



الشكل (2). نموذج SRTM_1 المستخدم في الدراسة

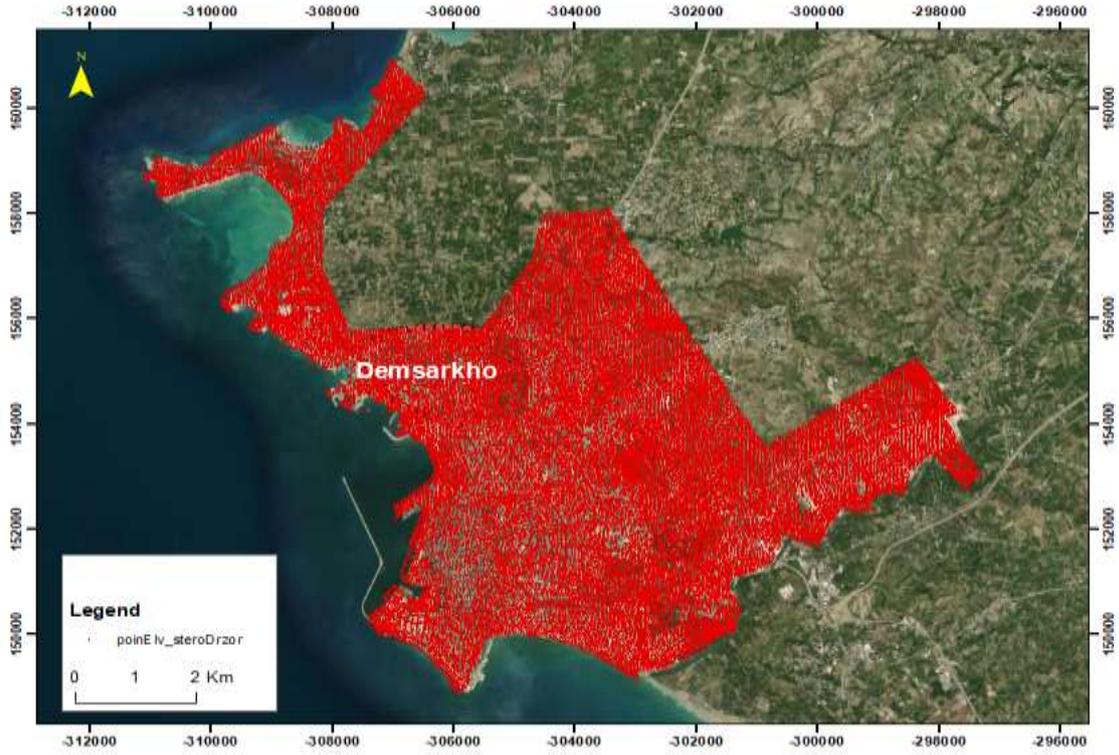
يوضح الجدول (2) البيانات الوصفية (metadata) لهذا النموذج المستخدم (الرقم التعريفي، تاريخ اقتناء البيانات ونشرها وتحديثها، الدقة المكانية والإحداثيات الجغرافية للزوايا الأربعة).

الجدول (2) البيانات الوصفية (metadata) لنموذج SRTM_1 المستخدم في الدراسة

قيمة المواصفة	مواصفات مجموعة البيانات
SRTM1N35E035V3	المعرف
2000-02-11 00:00:00-06	تاريخ جمع البيانات
2014-09-23 00:00:00-05	تاريخ النشر
1-ARC	الدقة
2015-08-06 09:39:49-05	تاريخ التحديث
36°00'00"N	زاوية عرض شمال غرب
35°00'00"E	زاوية طول شمال غرب
36°00'00"N	زاوية عرض شمال شرق
36°00'00"E	زاوية طول شمال شرق

● مخطط طبوغرافي بمقياس 1/1000

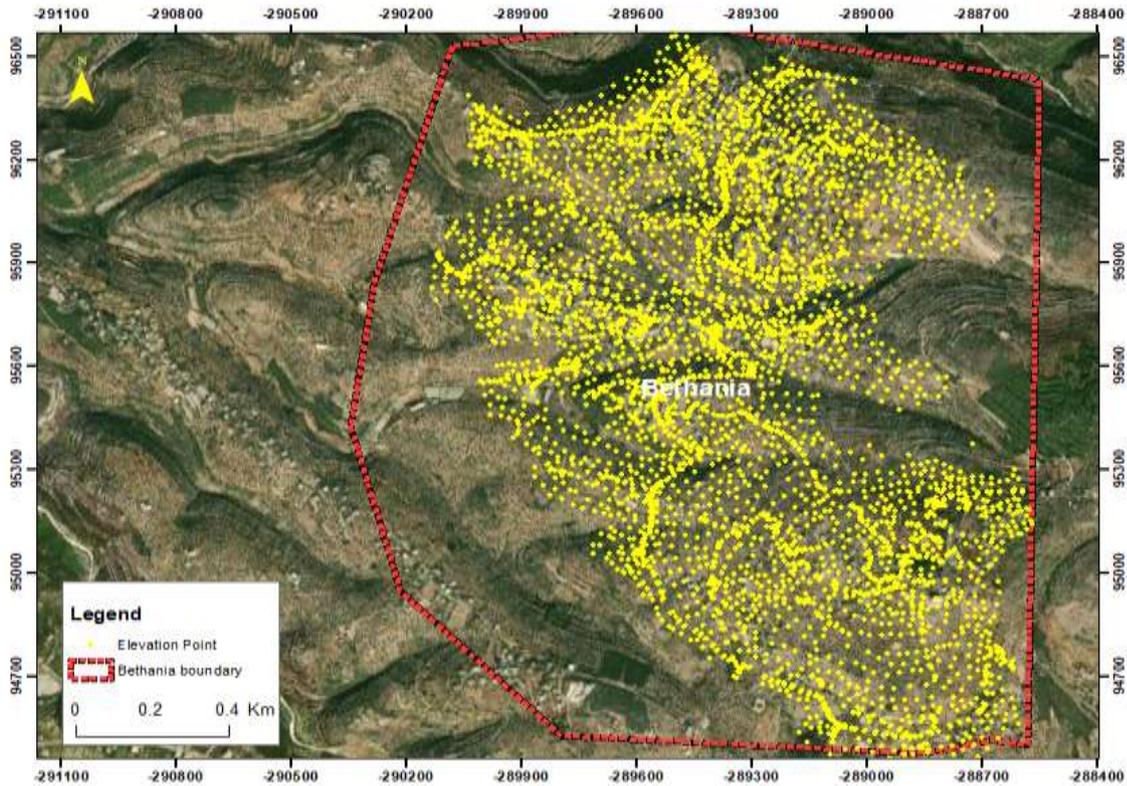
تم الحصول على مخطط طبوغرافي بمقياس 1/1000 لمنطقة دمسرخو من مديرية الخدمات الفنية في محافظة اللاذقية، نظام الإسقاط المستخدم هو نظام الإحداثيات الستيريوغرافي السوري، تم اقتطاع نقاط ارتفاعية منه على كامل منطقة دمسرخو كما هو موضح بالشكل (3). تم استقراء هذا العدد الكبير من النقاط بعد تحويل المخطط من الصيغة victor إلى الصيغة raster بالاستعانة بالبرنامج Arcmap.



الشكل (3). النقاط الارتفاعية لمنطقة دمسرخو

● نقاط ارتفاعية محلية

كما تم الحصول من مديرية الخدمات الفنية بمحافظة طرطوس على بيانات تشمل نقاط ارتفاعية محلية لمنطقة البطحانية بنظام الإحداثيات الستيريوغرافي السوري الشكل (4). تمت عملة الرفع الطبوغرافي لهذه النقاط باستخدام الجهاز المساحي (Total Station)، وبدقة شاقولية تقدر تقريبا بـ 30سم.



الشكل (4) نقاط ارتفاعية محلية لمنطقة البطحانية

1.5 البرمجيات المستخدمة

1. منصة ArcGIS

منصة ArcGIS هو عبارة عن منصة مقدمة من شركة ESRI [10]، وهي تشمل مجموعة من البرامج المتعلقة بأنظمة، وعلوم المعلومات الجغرافية، تعمل على إنشاء، وإدارة ومشاركة، وتجميع البيانات الجغرافية، وكذلك تحليل المعلومات الجغرافية، وعرضها على شكل خرائط دقيقة. تضمن منصة ArcGIS عدة تطبيقات منها تطبيق (ArcCatalog) (ArcMap) (ArcToolbox)، في بحثنا تم استخدام البرنامج ArcGIS 10.5 حيث تم استخدام تطبيق ArcMap كبيئة عمل لعرض الطبقات وتحريرها وإضافة بعض العناصر للخرائط مثل مقياس الرسم ومفتاح الخريطة، تطبيق ArcToolbox للتحويل بين الطبقات واستخراج قيم النقاط، أما تطبيق ArcCatalog لإنشاء قواعد بيانات مكانية وتخزين ملفات shapefiles الناتجة فيها.

2. برنامج NCSS

يوفر برنامج NCSS مجموعة كاملة وسهلة الاستخدام من مئات الأدوات الإحصائية والرسومات لتحليل وعرض البيانات [11]. يسمح NCSS باستيراد وتصدير جميع تنسيقات جداول البيانات وقواعد البيانات والملفات الإحصائية الرئيسية. تم استخدام النسخة NCSS12 لحساب المعاملات الإحصائية (المتوسط الحسابي، الوسيط، المنوال، الانحراف المعياري)، لاختبار القيم فيما إذا كانت تتبع قانون التوزيع الطبيعي أم لا.

1.6 الإحصائية Getis-Ord General G

تعتبر إحصائية التعنقد العالي / المنخفض أو تسمى إحصائية Getis-Ord General G من الطرق المستخدمة ضمن برنامج ArcGIS لتقييم التجمعات المكانية [12]. إن إحصائية (Getis-Ord General G) هي أداة تقيس تركيز القيم العالية أو المنخفضة لمنطقة دراسة معينة فهي تحدد إذا كانت السمات متوزعة عشوائياً أو متحيزة مكانياً. حساب إحصائية (General G): يتم حساب إحصائية (General G) للارتباط المكاني العام بالمعادلة:

$$G = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} x_i x_j}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_i x_j}, \forall j \neq i \quad (1)$$

حيث x_i, x_j هي القيم الوصفية للسمات i و j . $w_{i,j}$ هي الوزن المكاني بين السمة i و j . n تمثل رقم السمات في مجموعة البيانات، بينما يشير $\forall j \neq i$ الى أنه لا يمكن ان تكون i و j لنفس السمة. يتم حساب الدرجة المعيارية z-score للإحصائية كما في المعادلة (2):

$$z_G = \frac{G - E[G]}{\sqrt{V[G]}} \quad (2)$$

حيث يعطى التوقع الرياضي والتباين كما هو موضح في المعادلتين 3 و 4:

$$E[G] = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{i,j}}{n(n-1)}, \forall j \neq i \quad (3)$$

$$V[G] = E[G^2] - E[G]^2 \quad (4)$$

تفسير إحصائية (General G):

تعد إحصائية (Getis-Ord General G) إحصائية استدلالية، مما يعني أنه يتم تفسير نتائج التحليل في سياق الفرضية الصفرية. تنص الفرضية الصفرية لإحصائية (General G) على عدم وجود مجموعات مكانية لقيم المعالم. عندما تكون القيمة الاحتمالية التي تُرجعها هذه الأداة صغيرة وذات دلالة إحصائية، يمكن رفض الفرضية الصفرية. إذا تم رفض الفرضية الصفرية، تصبح إشارة z-score مهمة. إذا كانت قيمة z-score موجبة، يكون مؤشر G العام الملاحظ أكبر من مؤشر G العام المتوقع، مما يشير إلى أن القيم العالية للسمة مجمعة في منطقة الدراسة. إذا كانت قيمة z-score سالبة، يكون مؤشر G العام المرصود أصغر من المؤشر المتوقع، مما يشير إلى أن القيم المنخفضة متجمعة في منطقة الدراسة.

1.7 استبعاد القيم المتطرفة من نتائج القياسات

لتحديد القيم الشاذة في فروق الارتفاعات يتم أولاً تقدير قيمة الخطأ المتوقع σ_{priori} وذلك استناداً إلى خطوات الحصول على البيانات ومعالجتها، وهنا نفترض أن الأخطاء تتبع التوزيع الطبيعي وكل خطأ تزيد قيمته عن ثلاثة أضعاف قيمة الخطأ المتوقع يتم حذفه [13].

في حال استقرار النموذج من نقاط مقتطعة من مصدر ما لدينا المتحولات التالية [14]:

1. متحول يخص اقتطاع النقاط الارتفاعية في حالتنا $\sigma_{checking} = 30 \text{ cm}$ وهو يعبر عن دقة الرفع الطبوغرافي للنقاط الارتفاعية.

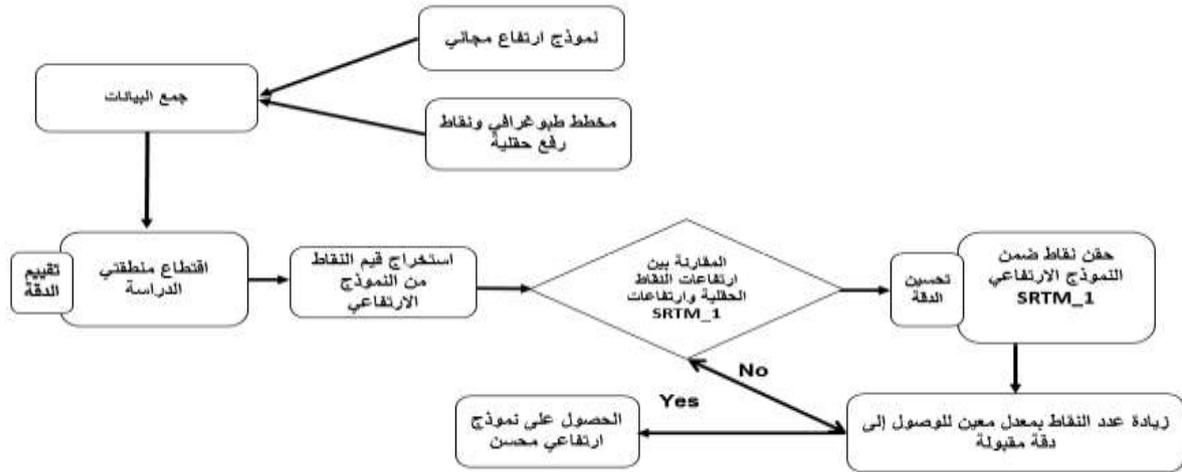
2. متحول يخص اختبار نقاط الاقتطاع $\sigma_{processing}$

بالتالي يحسب الخطأ المتوقع من المعادلة (5):

$$\sigma_{priori} = \sqrt{\sigma_{processing}^2 + \sigma_{checking}^2} \quad (5)$$

1.8 منهجية العمل

يمثل الشكل (5) منهجية العمل المقترحة في البحث، حيث تضمنت بالمرحلة الأولى تقييم الدقة الكلية لنموذج SRTM_1 وفي المرحلة الثانية عملنا على تحسين دقة هذا النموذج من خلال الحقن بنقاط ارتفاعية حقلية.

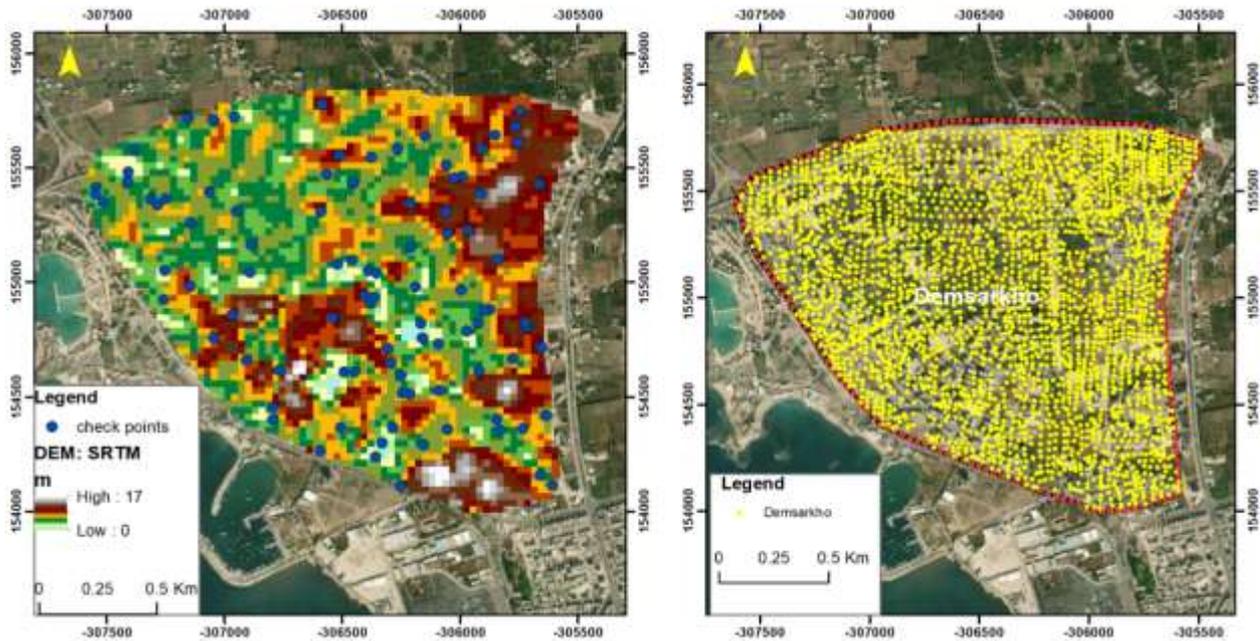


الشكل (5). مخطط تدفقي يبين منهجية العمل

النتائج والمناقشة:

1.9 اقتطاع منطقة الدراسة

تم اقتطاع منطقة دمسرخو من طبقة نقاط الارتفاعات المرجعية (المخطط الطبوغرافي) بمجموع 2839 نقطة (الشكل 1-6)، كما تم اقتطاع منطقتي الدراسة من نموذج SRTM_1، يظهر (الشكل 2-6) منطقة دمسرخو المقطوعة. بما أن النقاط الارتفاعية المرجعية بالنظام الستريوغرافي السوري، تم تحويل نظام إحداثيات النموذج الارتفاعي الرقمي SRTM_1 من نظام الإحداثيات الجغرافية GCS_WGS_1984 إلى نظام الإحداثيات المترية الستريوغرافية السورية.



2_ النموذج الرقمي للارتفاع مع توزع نقاط المقارنة

1_ النقاط الارتفاعية المرجعية

الشكل (6). نتائج اقتطاع النقاط والنموذج الرقمي للارتفاع في منطقة دمسرخو

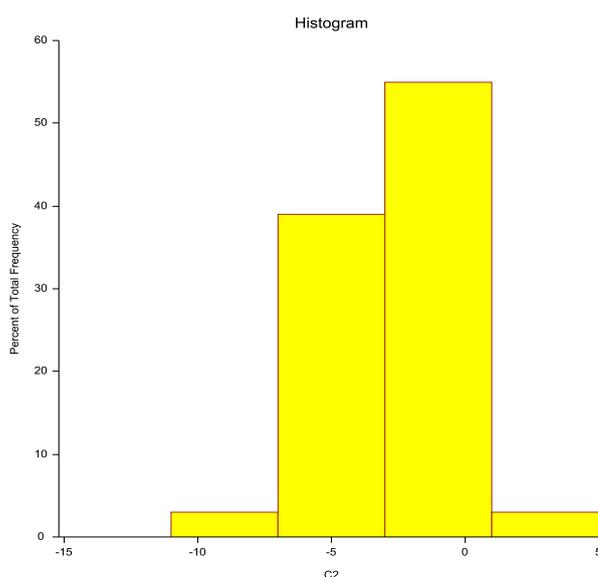
1.10 تقييم الدقة في المنطقة السهلية قبل التحسين

تم اختيار 100 نقطة عشوائية من طبقة النقاط الارتفاعية المرجعية المشتقة من المخطط لاستخدامها في عمليات المقارنة، وقمنا باستخراج قيم الارتفاعات للنقاط العشوائية ذاتها من نموذج SRTM_1 وحساب الفروق بين ارتفاعات النقاط المرجعية وارتفاعات النموذج الرقمي للارتفاع SRTM_1. كما تم استخدام برنامج NCSS 12 لحساب المعاملات الإحصائية: مقاييس النزعة المركزية (المتوسط، الوسيط، المنوال)، مقاييس التشتت (التباين، الانحراف المعياري، أكبر قيمة، أصغر قيمة) كما موضح بالجدول (3).

الجدول (3). المعاملات الإحصائية لفروق الارتفاعات بين النقاط المرجعية وبيانات SRTM_1 قبل التحسين في المنطقة السهلية

-2.81	المتوسط (m)
0.22	الخطأ المعياري (m)
-2.55	الوسيط (m)
-0.80	المنوال (m)
2.18	الانحراف المعياري (m)
4.77	تباين العينة (m)
0.85	التقلطح
-0.47	الالتواء
12.30	المدى (m)
-10.10	القيمة الأصغر (m)
2.20	القيمة الأكبر (m)
100.00	عدد نقاط العينة

يبين الشكل (7) التمثيل البياني لتوزيع فروق الارتفاعات في المنطقة السهلية:



الشكل (7). التمثيل البياني لتوزيع فروق الارتفاعات في المنطقة السهلية

حسب الشكل (7) نلاحظ من الرسم البياني أن الفروقات غير موزعة بشكل طبيعي وهذا ما أشارت إليه بعض الاختبارات الاحصائية المرفقة الشكل (8).

Normality Test Section of C2

Test Name	Test Value	Prob Level	10% Critical Value	5% Critical Value	Decision (5%)
Shapiro-Wilk W	0.976962	0.0768852			Can't reject normality
Anderson-Darling	0.7872571	0.04120386			Reject normality
Martinez-Iglewicz	1.092023		1.051156	1.079641	Reject normality
Kolmogorov-Smirnov	0.07821674		0.081	0.088	Can't reject normality
D'Agostino Skewness	-1.936195	0.0528438	1.645	1.96	Can't reject normality
D'Agostino Kurtosis	1.5966	0.110357	1.645	1.96	Can't reject normality
D'Agostino Omnibus	6.2980	0.042896	4.605	5.991	Reject normality

الشكل (8). اختبار التوزيع الطبيعي للمنطقة السهلية

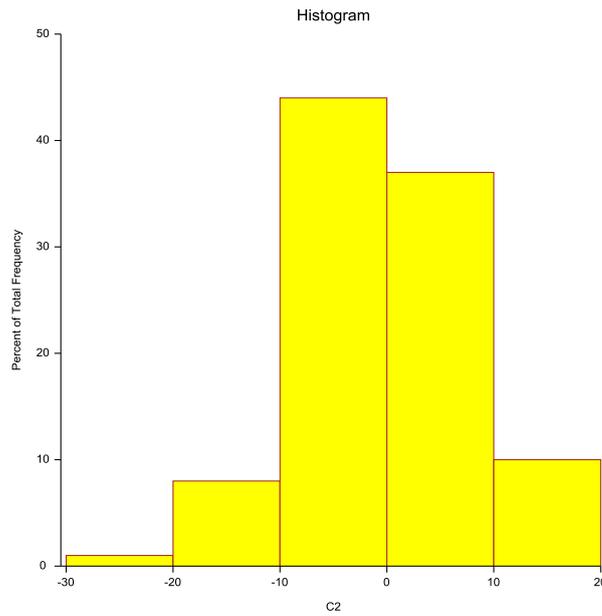
1.11 تقييم الدقة في المنطقة ذات التلال قبل التحسين

تم اختيار أيضا في المنطقة ذات التلال 100 نقطة عشوائية من طبقة النقاط الارتفاعية الحقلية المرجعية لاستخدامها في عمليات المقارنة، وقمنا باستخراج قيم الارتفاعات للنقاط العشوائية ذاتها من نموذج SRTM_1 وحساب الفروق بين ارتفاعات النقاط الحقلية المرجعية وارتفاعات النموذج الرقمي للارتفاع SRTM_1. كما تم استخدام برنامج NCSS 12 لحساب المعاملات الإحصائية: مقاييس النزعة المركزية (المتوسط، الوسيط، المنوال)، مقاييس التشتت (التباين، الانحراف المعياري، أكبر قيمة، أصغر قيمة) كما موضح بالجدول (4).

الجدول (4). المعاملات الإحصائية لفروق الارتفاعات بين النقاط المرجعية وبيانات SRTM_1 قبل التحسين في المنطقة ذات التلال

-0.600	المتوسط (m)
0.808	الخطأ المعياري (m)
-1.300	الوسيط (m)
4.570	المنوال (m)
8.082	الانحراف المعياري (m)
65.312	تباين العينة (m)
-0.104	التقاطع
0.148	الالتواء
41.880	المدى (m)
-23.490	القيمة الأصغر (m)
18.390	القيمة الأكبر (m)
100.000	عدد نقاط العينة

يبين الشكل (9) التمثيل البياني لتوزيع فروق الارتفاعات في المنطقة ذات التلال:



الشكل (9). التمثيل البياني لتوزيع فروق الارتفاعات في المنطقة ذات التلال

حسب الشكل (9) نلاحظ من الرسم البياني أن توزع الفروقات قريب جداً من التوزيع الطبيعي وهذا ما يشير إليه أيضاً الاختبار الاحصائي المرفق مع البرنامج الشكل (10).

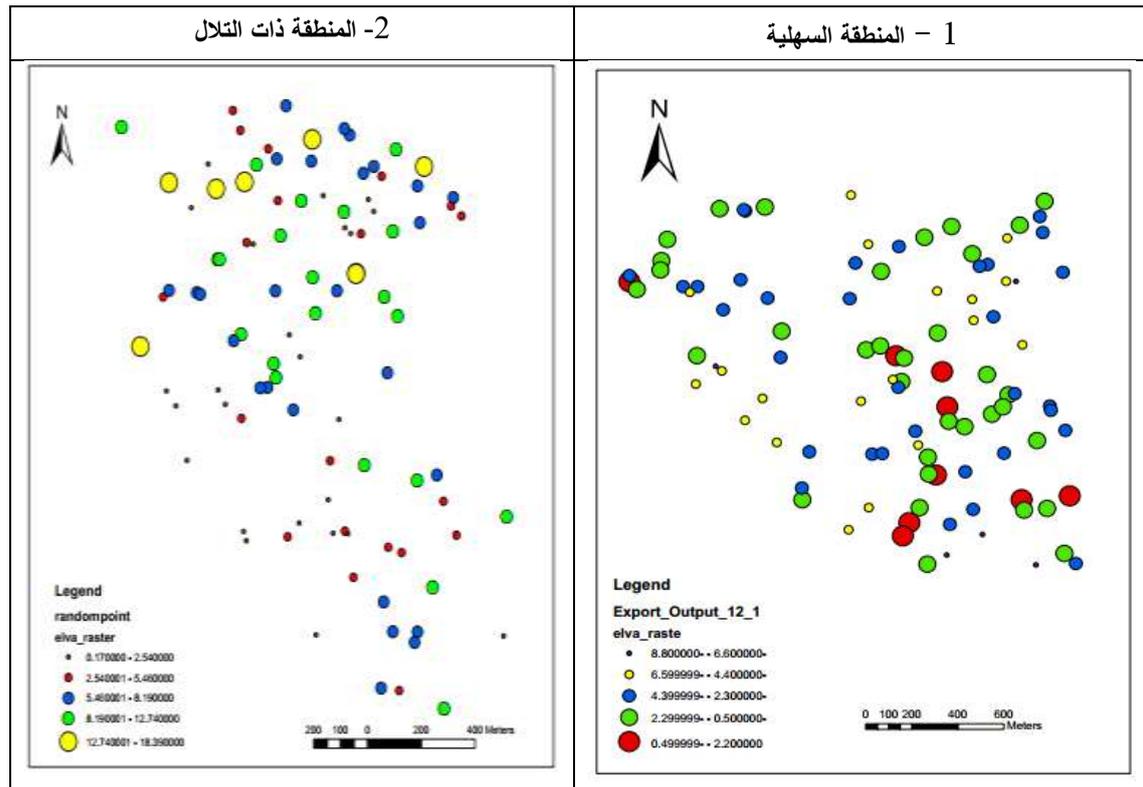
Normality Test Section of C2

Test Name	Test Value	Prob Level	10% Critical Value	5% Critical Value	Decision (5%)
Shapiro-Wilk W	0.9864972	0.4047083			Can't reject normality
Anderson-Darling	0.4531758	0.2712139			Can't reject normality
Martinez-Iglewicz	0.9886879		1.051156	1.079641	Can't reject normality
Kolmogorov-Smirnov	0.06654548		0.081	0.088	Can't reject normality
D'Agostino Skewness	0.6327472	0.5268987	1.645	1.96	Can't reject normality
D'Agostino Kurtosis	-0.0520	0.958519	1.645	1.96	Can't reject normality
D'Agostino Omnibus	0.4031	0.817473	4.605	5.991	Can't reject normality

الشكل (10). اختبار التوزيع الطبيعي للمنطقة ذات التلال

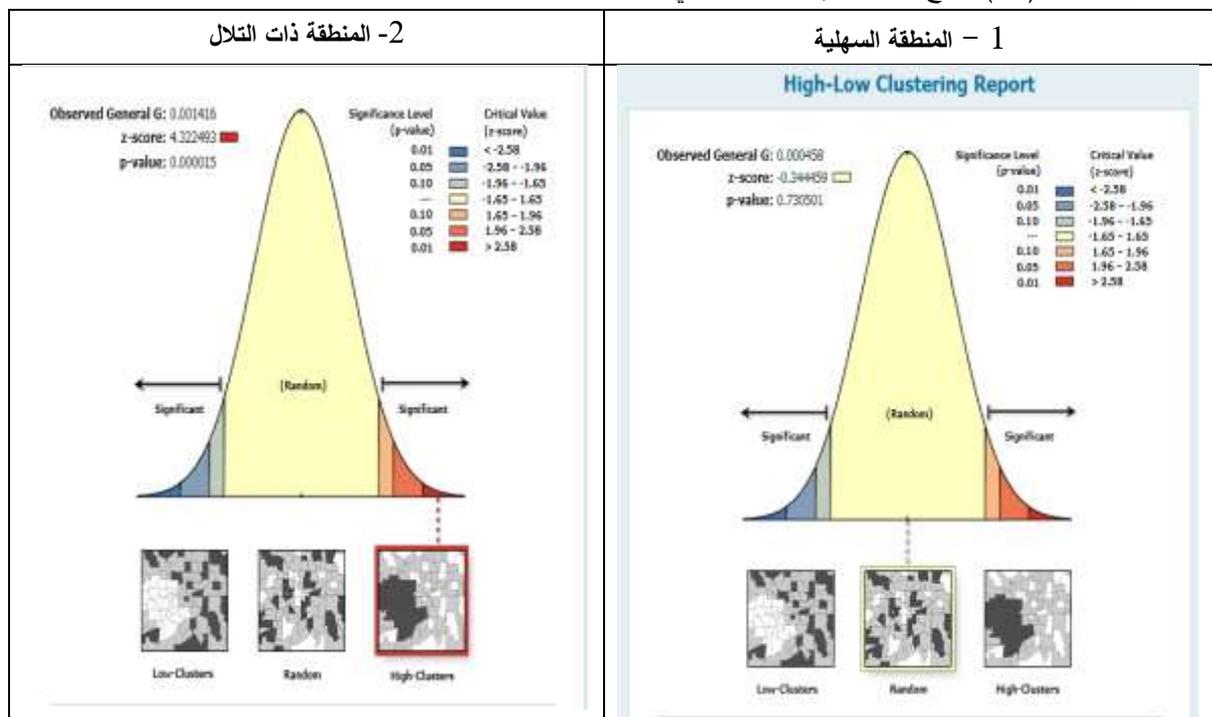
1.12 توزيع فروق الارتفاع مكانياً

قبل البدء بحقق النقاط المرجعية ضمن نموذج SRTM_1 تم التحقق فيما إذا كانت فروق الارتفاعات بالقيمة المطلقة متوزعة عشوائياً بالمكان وذلك باستخدام إحصائية (Getis-Ord General G) والتي تعمل فقط مع القيم الموجبة الشكل (11).



الشكل (11). التوزيع المكاني لفروق الارتفاع بالقيمة المطلقة ضمن منطقتي الدراسة

كما يبين الشكل (12) نتائج اختبار الإحصاء المكاني:



الشكل (12). نتائج اختبار الإحصاء المكاني

كما يبين كل من الجدولين (5) و (6) المعاملات الناتجة من اختبار الإحصاء المكاني - إحصائية (Getis-Ord General G) - وقيم الدرجة المعيارية والاحتمالية المسموحة.

الجدول (5). المعاملات الناتجة

المنطقة ذات التلال	المنطقة السهلية	
4.322493	-0.344459	z-score الدرجة المعيارية
0.000015	0.730501	p-value الاحتمالية

الجدول (6). قيم الدرجة المعيارية والاحتمالية المسموحة

الدرجة المعيارية z-score	p-value الاحتمالية	مستوى الثقة
< -1.65 or > +1.65	< 0.10	90%
< -1.96 or > +1.96	< 0.05	95%
< -2.58 or > +2.58	< 0.01	99%

حسب الجدولين السابقين نلاحظ أن الدرجة المعيارية z-score في المنطقة السهلية مساوية لـ -0.344 لذلك فإن فروق الارتفاعات متوزعة عشوائياً في المنطقة السهلية وهذا ما يؤكد أيضاً الشكل (1-12). أيضاً بالنظر إلى الدرجة المعيارية z-score في المنطقة ذات التلال نلاحظ أنها مساوية لـ 4.322، لذلك فإن فروق الارتفاعات ليست متوزعة عشوائياً في المنطقة ذات التلال وإنما هناك تكتل مكاني (تعنقد) للفروقات الكبيرة في الجزء الشمالي من المنطقة ذات التلال وهذا ما يؤكد أيضاً الشكل (2-12) بالتالي هناك حاجة إلى عدد أكبر من نقاط الحقن لتغيير سلوك العينة.

1.13 استبعاد النقاط الشاذة

تم استبعاد النقاط التي تحمل قيم في فروق الارتفاعات أكبر من الانحراف المعياري بمقدار ثلاث مرات وذلك بتطبيق المعادلة (5)، بالنسبة للمنطقة السهلية تم حذف خمس نقاط شاذة أما بالنسبة للمنطقة ذات التلال لم يكن هناك نقاط شاذة يوضح الجدول (7) المعاملات الإحصائية بعد حذف النقاط وأصبح توزيع الفروقات قريب من التوزيع الطبيعي وهذا ما أشارت إليه الاختبارات الإحصائية المرفقة الشكل (13).

الجدول (7). المعاملات الإحصائية قبل التحسين في المنطقة السهلية بعد حذف النقاط الشاذة

-2.536	المتوسط (m)
0.191	الخطأ المعياري (m)
-2.400	الوسيط (m)
-0.800	المنوال (m)
1.861	الانحراف المعياري (m)
3.462	تباين العينة (m)
-0.123	التفطح
0.121	الالتواء
8.300	المدى (m)
-6.100	القيمة الأصغر (m)
2.200	القيمة الأكبر (m)
95.000	عدد نقاط العينة

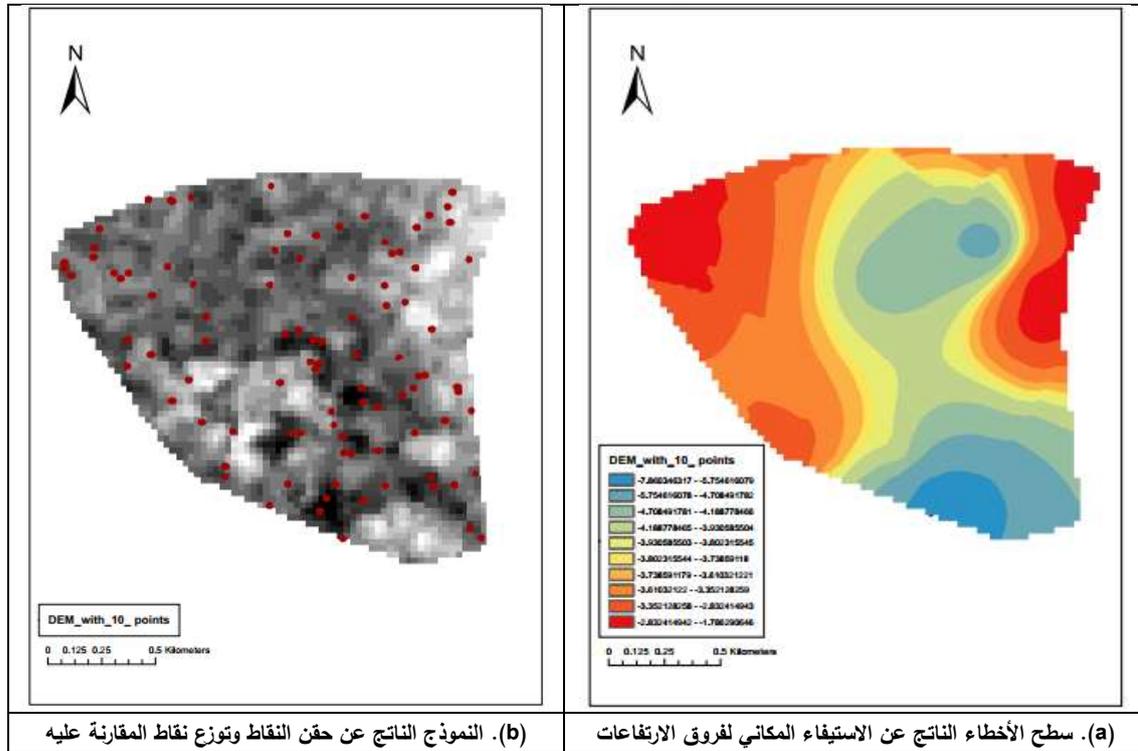
Test Name	Test Value	Prob Level	Normality Test Section of C2		Decision (%)
			Critical %10 Value	Critical %5 Value	
Shapiro-Wilk W	0.9779489	0.1091718			Can't reject normality
Anderson-Darling	0.5535371	0.1535511			Can't reject normality
Martinez-Iglewicz	0.9686256		1.053529	1.083231	Can't reject normality
Kolmogorov-Smirnov	0.06650305		0.083	0.09	Can't reject normality
D'Agostino Skewness	0.5050931	0.6134934	1.645	1.96	Can't reject normality
D'Agostino Kurtosis	0.0889-	0.929195	1.645	1.96	Can't reject normality
D'Agostino Omnibus	0.2630	0.876773	4.605	5.991	Can't reject normality

الشكل (13). اختبار التوزيع الطبيعي للمنطقة السهلية بعد حذف النقاط

1.14 تحسين الدقة وتقييمها بعد التحسين

• حالة المنطقة السهلية

من أجل القيام بعملية تحسين الدقة، تم اختيار 10 نقاط عشوائية من النقاط الارتفاعية المرجعية، وإنشاء سطح الأخطاء (طبقة raster) من فروق الارتفاعات للنقاط المرجعية وارتفاعات SRTM باستخدام طريقة الاستيفاء المكاني Kriging الشكل (a-14)، تم الجمع بين سطح الأخطاء الناتج ونموذج SRTM والحصول على نموذج ارتفاعي محسن بالنقاط الارتفاعية المرجعية [15] الشكل (b-14).



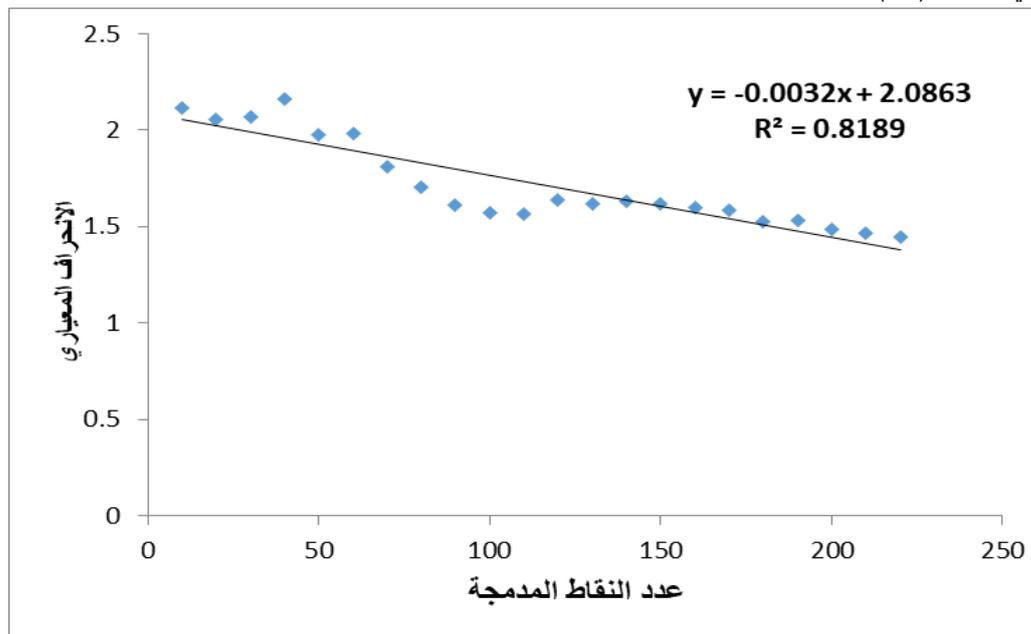
الشكل (14). النمادج الارتفاعية الناتجة عن الاستيفاء المكاني وحقق النقاط

تم استخلاص قيم الارتفاع للنقاط العشوائية المستخدمة في التقييم سابقا من طبقة Kriging الناتجة من استيفاء نقاط الدمج وحساب فروق الارتفاعات والمعاملات الإحصائية، الجدول (8).
 لاحظنا انخفاض في قيمة الانحراف المعياري من 1.86 متر إلى 1.80 متر، وبالتالي تابعنا زيادة عدد النقاط المدمجة بمقدار 10 نقاط في كل مرة، وأعدنا الخطوات السابقة حتى وصلنا إلى 220 نقطة فكانت النتائج كما هي موضحة في الجدول (8).

الجدول (8). المعاملات الإحصائية للمنطقة السهلية بعد دمج النقاط

عدد النقاط	المتوسط (m)	الوسيط (m)	الانحراف المعياري (m)	معامل التفلطح (m)	معامل الالتواء (m)	أكبر قيمة (m)	أصغر قيمة (m)
10	1.287	1.205	2.113	0.148	0.483	7.416	-2.386
20	1.017	0.692	2.057	0.507	0.605	6.864	-3.158
50	0.696	0.604	1.973	0.722	0.401	7.308	-3.394
70	0.607	0.630	1.808	0.391	0.303	6.731	-3.049
80	0.662	0.703	1.706	-0.300	0.260	4.740	-2.487
90	0.461	0.358	1.612	-0.363	0.233	4.482	-2.948
100	0.434	0.305	1.570	-0.463	0.097	4.110	-3.059
110	0.411	0.423	1.566	-0.347	0.107	4.121	-3.196
120	0.451	0.354	1.636	-0.276	0.151	4.315	-3.185
150	0.497	0.367	1.617	-0.421	0.138	4.385	-3.133
170	0.562	0.562	1.583	-0.499	0.017	4.070	-2.887
200	0.461	0.445	1.483	-0.312	0.036	3.845	-2.810
220	0.378	0.372	1.448	-0.001	0.050	3.814	-3.186
250	0.303	0.366	1.441	-0.023	0.123	3.747	-3.223

لإيجاد العلاقة بين عدد النقاط المدمجة والانحراف المعياري حسبنا معادلة الانحدار للنقاط ومعامل الارتباط r كما هو موضح في الشكل (15).



الشكل (15). الانحدار الخطي بين عدد النقاط والانحراف المعياري في المنطقة السهلية

نلاحظ من الشكل (15) أن هنالك ارتباطاً جيداً بين عدد النقاط والانحراف المعياري حيث بلغت قيمة معامل الارتباط 0.81 وهو ارتباط عكسي أي كلما زاد عدد النقاط قل الانحراف المعياري. تم متابعة زيادة عدد النقاط حتى الوصول إلى 250 نقطة ولكن لم يتم ملاحظة تحسن ملحوظ بالدقة بعد هذا العدد.

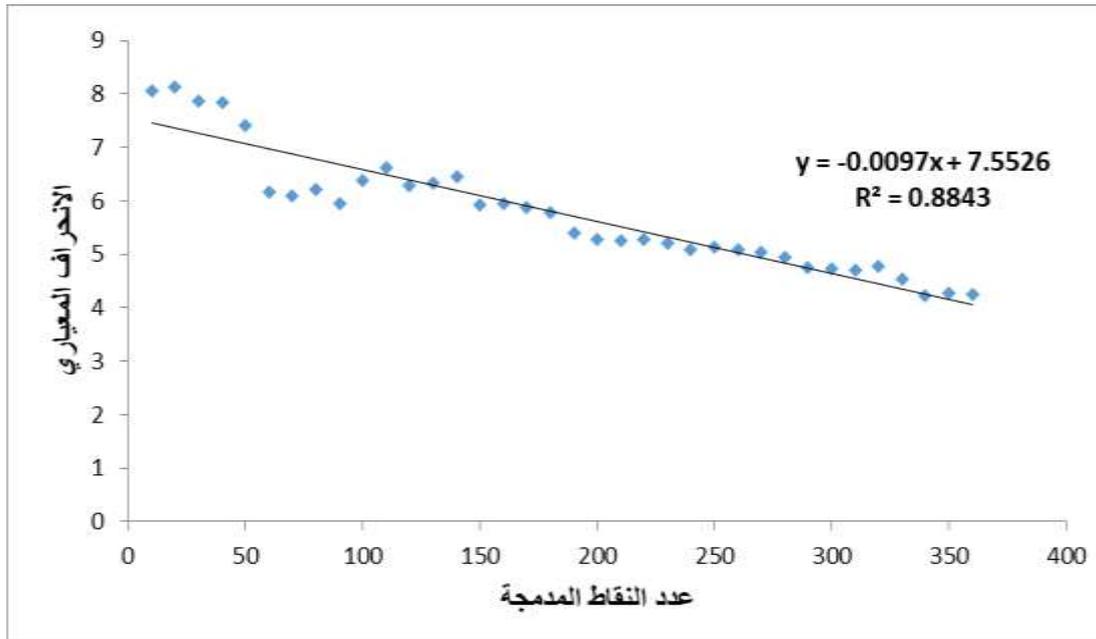
• حالة المنطقة ذات التلال

بالنسبة لتحسين الدقة في المنطقة ذات التلال، تم العمل بنفس الطريقة المتبعة في المنطقة السهلية. لاحظنا انخفاض في قيمة الانحراف المعياري من 8.08 متر إلى 8.06 متر، وبالتالي تابعنا زيادة عدد النقاط المدمجة بمقدار 10 نقاط في كل مرة، وأعدنا الخطوات السابقة حتى وصلنا إلى 340 نقطة وكانت النتائج كما هي موضحة بالجدول (9):

الجدول (9). المعاملات الإحصائية للمنطقة ذات التلال بعد دمج النقاط

عدد النقاط	المتوسط (m)	الوسيط (m)	الانحراف المعياري (m)	معامل التقلطح (m)	معامل الالتواء (m)	أكبر قيمة (m)	أصغر قيمة (m)
10	0.520	-0.017	8.061	0.025	0.196	18.990	-23.108
30	0.920	0.265	7.874	0.967	0.423	22.663	-23.110
50	0.875	0.501	7.404	2.485	0.583	23.722	-24.549
60	0.662	0.349	6.173	3.777	-0.034	24.069	-24.394
90	0.636	0.428	5.945	4.983	0.179	25.761	-24.051
120	0.968	0.314	6.295	6.010	0.614	30.603	-23.730
170	0.551	-0.025	5.871	6.914	0.702	29.021	-23.101
200	0.960	0.869	5.284	5.528	1.342	27.317	-9.831
230	0.959	0.517	5.196	6.107	1.419	27.468	-9.028
270	1.002	0.691	5.037	4.437	1.141	24.956	-9.318
300	0.638	0.367	4.728	2.226	0.816	19.733	-9.031
320	0.585	0.388	4.778	2.201	0.829	19.957	-8.768
340	0.118	-0.236	4.232	0.260	0.203	11.992	-9.745
360	0.264	-0.176	4.242	0.477	0.338	12.080	-9.947

ويمثل الشكل (16) الانحدار الخطي بين عدد النقاط والانحراف المعياري في المنطقة ذات التلال.



الشكل (16). الانحدار الخطي بين عدد النقاط والانحراف المعياري في المنطقة ذات التلال

نلاحظ من الشكل (16) أن هنالك ارتباطاً عكسياً قوياً بين عدد النقاط والانحراف المعياري حيث بلغت قيمة معامل الارتباط 0.88. تم متابعة زيادة عدد النقاط حتى الوصول إلى 360 نقطة ولكن لم يتم ملاحظة تحسن ملحوظ بالدقة بعد هذا العدد.

الاستنتاجات والتوصيات:

تُعد نماذج الارتفاع الرقمية العالمية (DEM) مدخلات أساسية للعديد من الدراسات، لكنها لا تزال تتضمن أخطاء ارتفاع غير مهمة، قُيِّمت هذه الدراسة دقة نموذج SRTM-1 الذي يعد من أكثر النماذج استخداماً من حيث دقته وتم اختيار منطقة دمسرخو (منطقة سهلية) ومنطقة البطحانية (منطقة تلال) لإجراء البحث، حيث تم تقييم الدقة ثم تحسينها بحقق نقاط حقلية ضمن النموذج، وتم التوصل إلى النتائج التالية:

1. بلغ الانحراف المعياري لفروق الارتفاعات قبل التحسين في المنطقة السهلية 1.86 متر وفي المنطقة ذات التلال 8.08 متر، وبناء على ذلك يمكن القول بأن نموذج SRTM-1 يعتبر أكثر دقة في المناطق السهلية (متوسط الميل فيها أقل من 3%) من المناطق ذات التلال (متوسط الميل فيها بين 12% و 40%).
2. تحسنت الدقة في المنطقة السهلية من خلال حقق النقاط بمعدل 10 نقاط حتى 220 نقطة ولم نجد أي تحسن ملحوظ في الدقة بعد حقق أكثر من 220 نقطة. حيث تحسنت الدقة من 1.86 م إلى 1.44 م أو يمكن القول بأن الدقة تحسنت بمقدار 22 بالمئة.
3. تحسنت الدقة في المنطقة ذات التلال من خلال حقق النقاط بمعدل 10 نقاط حتى 340 نقطة. حيث تحسنت الدقة من 8.08 م إلى 4.23 م عند حقق 340 نقطة، أي تحسنت الدقة بمقدار 47.6 بالمئة.

نوصي بتحسين دقة SRTM_1 قبل استخدامه في الأعمال الهندسية والطبوغرافية. والمنهجية التي استخدمناها بعمل حقن للنقاط الحقلية داخل النموذج هي طريقة عملية وبسيطة لتحسين الدقة في المناطق السهلية، ولكنها تتطلب عدد كبير من نقاط الحقن لتحسين الدقة في المناطق ذات التلال.

References:

1. Saeed, Hadi, Kholoud. *The importance of studying digital elevation model DEM and its various applications*. Diyala Magazine, (43). 2010.
2. Abdel-Rahman. *Assessment of Digital Elevation Model Resolution for Watershed Delineation Studies of Riparian Rivers*. Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research-Engineering Sciences Series. Vol.(35) No.(9) 2015, 2663-4279.
3. Tian, Y., Lei, S., Bian, Z., Lu, J., Zhang, S. and Fang, J. *Improving the Accuracy of Open Source Digital Elevation Models with Multi-Scale Fusion and a Slope Position-Based Linear Regression Method*. Remote Sensing, Vol.(10) No.(12) 2018, 1861.
4. Yamazaki, D., Ikeshima, D., Tawatari, R., Yamaguchi, T., O'Loughlin, F., Neal, J.C., Sampson, C.C., Kanae, S. and Bates, P.D. *A high-accuracy map of global terrain elevations*. *Geophysical Research Letters*, Vol.(44) No.(11) 2017, 5844-5853.
5. Yang, X., Li, L., Chen, L., Chen, L. and Shen, Z. *Improving ASTER GDEM accuracy using land use-based linear regression methods: A case study of Lianyungang, East China*. ISPRS International Journal of Geo-Information, Vol.(7) No.(4) 2018, 145.
6. Wendi, D., Liong, S.Y., Sun, Y. and Doan, C.D., 2016. *An innovative approach to improve SRTM DEM using multispectral imagery and artificial neural network*. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, Vol.(8) No.(2) 2016, 691-702.
7. Luana, S., Hou, X. and Wang, Y. *Assessing the accuracy of SRTM dem and Aster Gdem datasets for the coastal zone of Shandong Province, Eastern China*. Polish Maritime Research, Vol.(22) No.(s1) 2015, 15-20.
8. Dawod, G.M. and Ascoura, I.E. *The validity of open-source elevations for different topographic map scales and geomatics applications*. *Journal of Geographic Information System*, Vol.(13) No.(2) 2021, 148.
9. <<https://earthexplorer.usgs.gov/>>. (accessed: 2022-4-2).
10. <<https://www.esri.com/en-us/home>>. (accessed: 2022-4-28).
11. <<https://www.ncss.com/software/ncss//>>. (accessed: 2022-5-18).
12. <<https://desktop.arcgis.com/>>. (accessed: 2022-6-7).
13. Marques Junior, A., Maria De Castro, D., Guimarães, T.T., Inocencio, L.C., Veronez, M.R., Mauad, F.F. and Gonzaga Jr, L. *Statistical assessment of cartographic product from photogrammetry and fixed-wing UAV acquisition*. *European Journal of Remote Sensing*, Vol.(53) No.(1) 2020, 27-39.
14. Sensing, R. *ASPRS positional accuracy standards for digital geospatial data*. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol.(81) No.(3) 2015, A1-A26.
15. Dawod, G.M. and Amin, A.M. *Enhancing Vertical Accuracy of Global Digital Elevation Models for Coastal and Environmental Applications: A Case Study in Egypt*. *American Journal of Geographic Information System*, Vol.(11) No.(1) 2022, 1-8.