

The Effect of the Number of Check Points on the Evaluation of the Vertical Accuracy of the Free Digital Elevation Model SRTM-1. Case study: Latakia Governorate

Dr .Omar AL KHALIL *
Rose Hwaijeh **

(Received 27 / 9 / 2023. Accepted 31 / 10 / 2023)

□ ABSTRACT □

Global digital elevation models (DEMs) are considered essential inputs for many studies, but they still contain significant elevation errors that affect the evaluation process, including the number of test points used in the evaluation. This study evaluated the impact of the number of test points on the accuracy assessment of the SRTM-1 digital elevation model, which is one of the most commonly used global models. A new method was also proposed to detect outliers in elevation differences. The tests related to the number of check points were conducted in the Latakia governorate, which was divided into two areas: a low relief area with elevations ranging from 0 m to 50 m and a high relief area with elevations ranging from 50 m to 1550 m. As for the test points, they were extracted from a topographic map with a scale of 1/25000, and their number was 100 points in each area. The results showed a convergence between the accuracy values resulting from the tested cases of the number of check points in the low ruggedness area, with confirmation that the best accuracy obtained was in the case of 80 test points, which was 2.993 m. The results also indicated that increasing the number of check points beyond 20 points did not increase accuracy in the cartographic sense. In fact, the contour period for the case of 20 check points was 10 m, and the scale was 1/25000, which was the same result for 80 check points. As for the high ruggedness area, we observed a clear improvement in the accuracy values resulting from the tested cases of the number of check points in the high ruggedness area when adopting 40 check points. In fact, the results showed that increasing the number of test points to 40 points increased the accuracy in the cartographic sense, where the contour period in this case was 50 m, and the scale was 1/250000.

Keywords: Vertical accuracy, Check points, SRTM-1, Mean square error, Outlier values, Contour interval.

Copyright



:Tishreen University journal-Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

* Professor, Department of Topography, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria. Email: omar.mohammedalkhalil@tishreen.edu.sy

**Work Supervisor, Department of Topographic Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria. Email: h.rose80@gmail.com

دراسة تأثير عدد نقاط الاختبار على تقييم الدقة الشاقولية لنموذج الارتفاعات الرقمي المجاني SRTM-1. حالة دراسة: محافظة اللاذقية

د. عمر محمد الخليل*

روز موفق حويجة**

تاريخ الإيداع 27 / 9 / 2023. قَبْلُ للنشر في 31 / 10 / 2023

□ ملخص □

تُعد نماذج الارتفاع الرقمية العالمية المجانية مدخلات أساسية للعديد من الدراسات، لكنها لا تزال تتضمن أخطاء ارتفاع غير مهمة والتي تتأثر عملية تقييمها بعدة عوامل منها عدد نقاط الاختبار المستخدمة في عملية التقييم. قِيمَت هذه الدراسة تأثير عدد نقاط الاختبار على تقييم الدقة الشاقولية لنموذج الارتفاعات الرقمي SRTM-1 الذي يعد من أكثر النماذج العالمية استخداماً، كما تم تطبيق طريقة جديدة لاستشعار القيم الشاذة في فروق الارتفاعات. تم إجراء الاختبارات المتعلقة بعدد نقاط الاختبار على محافظة اللاذقية وذلك بعد تقسيمها إلى منطقتين: منطقة قليلة الوعورة تتراوح فيها الارتفاعات من 0 m إلى 50 m ومنطقة شديدة الوعورة تتراوح فيها الارتفاعات من 50 m حتى 1550 m. فيما يخص نقاط الاختبار فقد تم اقتطاعها من خارطة طبوغرافية مقياسها 1/25000 وبلغ عددها 100 نقطة في كل منطقة. بينت النتائج وجود تقارب بين قيم الدقة الناتجة عن الحالات المختبرة لأعداد نقاط الاختبار في المنطقة قليلة الوعورة مع التأكيد أن أفضل دقة قد تم الحصول عليها في حالة 80 نقطة اختبار والتي بلغت 2.993 m. كما أوضحت النتائج أن زيادة عدد نقاط الاختبار عن 20 نقطة لم يزد الدقة بالمعنى الكارثوغرافي. في الواقع، بلغت الفترة الكونتورية لحالة 20 نقطة اختبار 10 m وكان المقياس 1/25000 وهي نفس النتائج الخاصة بـ 80 نقطة اختبار. أما بالنسبة للأرض شديدة الوعورة، فقد لاحظنا تحسناً واضحاً في قيم الدقة الناتجة عن الحالات المختبرة لأعداد نقاط الاختبار في المنطقة شديدة الوعورة عند اعتماد 40 نقطة اختبار. في الواقع، أوضحت النتائج أن زيادة أعداد نقاط الاختبار إلى 40 نقطة قد زاد الدقة بالمعنى الكارثوغرافي حيث بلغت الفترة الكونتورية في هذه الحالة 50 m وكان المقياس 1/25000.

الكلمات المفتاحية: دقة شاقولية، نقاط اختبار، SRTM-1، خطأ متوسط التربيع، قيم شاذة، فترة كونتورية.



حقوق النشر : مجلة جامعة تشرين- سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص

CC BY-NC-SA 04

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

بريد الكتروني: omarmohammedalkhalil@tishreen.edu.sy

** مشرف على الاعمال . قسم الهندسة الطبوغرافية . كلية الهندسة المدنية . جامعة تشرين . اللاذقية . سورية.

بريد الكتروني: h.rose80@gmail.com

مقدمة:

يعتبر نموذج الارتفاعات الرقمي (DEMs) Digital Elevation Model واحداً من المنتجات الهامة للاستشعار عن بعد. هذا، ويتم اقتطاع الـ DEM باستخدام طرائق متعددة مع مستويات دقة مختلفة وبتكاليف مختلفة. وتاريخياً، كان يتم اقتطاع هذه النماذج باستخدام الصور الجوية التجسيمية Aerial stereo images ولكن المرئيات الفضائية تعتبر حالياً المصدر الأساسي لإنتاج هذه النماذج [1]. تزودنا نماذج الارتفاعات الرقمية بمعلومات حول سطح الأرض تعد مدخلاً هاماً في معالجة المرئيات وتحليلها مثل تصحيح الإزاحات الناتجة عن تغير ارتفاعات التضاريس الأرضية في المرئيات (الإرجاع العامودي Orthorectification)، اشتقاق الخرائط الكونتورية Contour mapping، اشتقاق الصور ثلاثية الأبعاد، إدارة الكوارث (تحديد المناطق الأرضية الحساسة للزلازل والفيضانات وغيرها) [2, 3] بالإضافة إلى العديد من التطبيقات الأخرى.

ساهمت التطورات في تقنيات رصد الأرض Earth observation خلال العقود الماضية في الحصول على مجموعة متنوعة من نماذج الارتفاعات الرقمية التي تغطي مناطق شاسعة من كوكب الأرض (وقد تغطيه كله) تضم هذه المجموعة نموذج الارتفاعات الرقمية المعروف باسم " مهمة مكوك الرادار الطبوغرافي Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) [4]، نموذج الارتفاعات الرقمية ASTER GDEM2 [5, 6]، نموذج الارتفاعات الرقمية AW3D30 [7] ونموذج الارتفاعات الرقمية TanDEM-X [8]. تم الحصول على النماذج العالمية ASTER GDEM2 و TanDEM-X باستخدام المسح التصويري التجسمي ولكن النموذج SRTM والنموذج TanDEM-X تم توليدهما بقياس التداخل بواسطة رادار ذي فتحة اصطناعية Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR). ويسبب التشكيلات المختلفة للتصوير ويسبب طرائق معالجة المرئيات فإن هذه النماذج تحمل أخطاءً [9]، وإذا تمت مقارنة هذه النماذج مع نماذج الارتفاعات الوطنية (في حال توافرها)، فإن هذه النماذج المجانية العالمية تكون ذات دقة شاقولية أقل. في كل الأحوال، يعتبر توليد نماذج رقمية دقيقة للارتفاعات على المستوى الوطني عملية مكلفة وصعبة لذلك يتم الاستعاضة عنها بنماذج الارتفاعات الرقمية العالمية المجانية وبالتالي فإن تقييم دقة هذه النماذج هو أمر ضروري.

تم إنجاز العديد من الأبحاث من أجل تقييم الدقة الشاقولية Vertical accuracy لنماذج الارتفاعات الرقمية العالمية وقام معظمها على عملية مقارنة قيم الارتفاعات المشتقة من هذه النماذج لمجموعة من النقاط المرجعية، والتي تسمى بنقاط الاختبار Check points، مع ارتفاعاتها المقاسة باستخدام تقنيات أدق مثل تقنية التوقيع العالمي GPS [10-13] أو المشتقة من نماذج ارتفاعات رقمية مرجعية دقيقة [14-17]. اقترحت المعايير ASPRS في إصدارها عام 2013 استخدام عدد محدد من نقاط الاختبار يتبع لمساحة المنطقة المدروسة وللتغطية النباتية في هذه المنطقة [18] ولكنها لم تناقش العدد المناسب من هذه النقاط في حال وجود تغير كبير في الوعرة الطبوغرافية لهذه المنطقة وتأثير هذا العدد على الدقة الشاقولية لنموذج الارتفاعات الرقمي. من ناحية أخرى، لم تقدم الأبحاث السابقة طريقة عملية لتحديد الأغلاط Outliers في الفروق بين الارتفاعات المرجعية لنقاط الاختبار وبين ارتفاعاتها المشتقة من النماذج الرقمية العالمية للارتفاعات والتي تؤثر على تقييم الدقة الشاقولية لهذه الأخيرة.

تم في هذه الدراسة دراسة تأثير عدد نقاط الاختبار المقطعة من خرائط طبوغرافية بمقياس 1/25000 على تقييم الدقة الشاقولية لنموذج الارتفاعات الرقمي المجاني SRTM-1 لمنطقة محافظة اللاذقية مع أخذ مساحة الأرض ووعورتها الطبوغرافية بعين الاعتبار.

أهمية البحث وأهدافه:

تتلخص أهمية البحث في محاولته لتقييم الدقة الشاقولية لنموذج الارتفاعات الرقمية العالمي المجاني SRTM-1 وذلك تمهيداً لاستخدامه كمصدر بديل للحصول على العديد من المنتجات الطبوغرافية المهمة للعديد من التطبيقات وخاصة عندما تكون منطقة الدراسة ممتدة جغرافياً. وبشكل عام، يمكن تلخيص أهداف البحث فيما يأتي:

- 1- اختبار تأثير عدد نقاط الاختبار على تقييم الدقة الشاقولية لنموذج الارتفاعات الرقمي SRTM-1 وعلى مقياس الخارطة الكونتورية الممكن اشتقاقها منه وتحديد العدد المناسب لهذه النقاط مع أخذ وعورة الأرض بعين الاعتبار.
- 2- تطبيق طريقة عملية لاستشعار الأغلاط في الفروق بين الارتفاعات المرجعية لنقاط الاختبار وبين ارتفاعاتها المشتقة من النموذج SRTM-1 والتخلص منها قبل الشروع في عملية تقييم الدقة.

طرائق البحث ومواده:

1- النموذج الرقمي للارتفاعات SRTM

يعتبر النموذج الرقمي للارتفاعات SRTM نتاجاً للتعاون بين الإدارة الوطنية للملاحة الجوية والفضاء (ناسا) وبين الوكالة الوطنية للاستخبارات الجغرافية المكانية National Geospatial-Intelligence Agency بالإضافة إلى مشاركة وكالتي الفضاء الألمانية والإيطالية. تتكون المهمة SRTM من رادار ذي فتحة اصطناعية معدلة على متن مركبة فضائية مكوكية أطلقت في العام 2000 خلال مدة استغرقت 11 يوماً. يغطي هذا النموذج 80% من سطح الكوكب تقريباً [19] ويتوافر SRTM بعد إصدارات هي [20]:

- 1- نموذج رقمي للارتفاعات بدقة تمييز مكانية تساوي 30 ثانية قوسية (1 km × 1 km).
 - 2- نموذج رقمي للارتفاعات بدقة تمييز مكانية تساوي 3 ثانية قوسية (90 m × 90 m).
 - 3- نموذج رقمي للارتفاعات بدقة تمييز مكانية تساوي ثانية قوسية واحدة (30 m × 30 m) وهو أحدث الإصدارات.
- يمكن الحصول على بيانات SRTM بشكل مجاني عن طريق موقع وكالة المسح الجيولوجية الأمريكية USGS وفيما يخص بحثنا، فقد تم استخدام الإصدار الأخير من النموذج SRTM لمنطقة الدراسة.

2- معايير ASPRS في تقييم الدقة الشاقولية لنموذج الارتفاعات الرقمي

تضم المعايير الأمريكية ASPRS (المؤسسة الأمريكية للمساحة التصويرية والاستشعار عن بعد American Society for Photogrammetry and Remote Sensing) لدقة البيانات المكانية الرقمية Accuracy Standards for Digital Geospatial Data ملحقاً خاصاً بالدقة الشاقولية تخص المساحات المغطاة بالنباتات الكثيفة (Very Vegetated Area (VVA) وغير المغطاة بالنباتات (Non-Vegetated Area (NVA) [21]. نجد في هذا الملحق تفاصيلاً تخص عدد نقاط الاختبار الموصى باستخدامها لتقييم الدقة الشاقولية لنماذج الارتفاعات الرقمية وذلك كتابع لطبيعة الأرض (من ناحية التغطية بالنباتات) ولمساحة منطقة الدراسة، وهذا ما يوضحه الجدول (1).

جدول (1). العدد الموصى به لنقاط الاختبار تبعاً للمساحة ونوع التغطية [21].

مساحة منطقة الدراسة (كيلومتر مربع)	الاختبار الشاقولي (نقاط غير محددة بشكل واضح)		
	عدد نقاط الاختبار الشاقولية في NVA	عدد نقاط الاختبار الشاقولية في VVA	العدد الكلي لنقاط الاختبار الشاقولية
≤500	20	0	20
501-750	20	10	30
751-1000	25	15	40
1001-1250	30	20	50
1251-1500	35	25	60
1501-1750	40	30	70
1751-2000	45	35	80
2001-2250	50	40	90
2251-2500	55	45	100

ونشير هنا إلى أن هذه المعايير لم تعالج حالة استخدام الرادار في توليد النماذج الرقمية للارتفاعات (كما في حالة SRTM) إنما اقتصرت على التقنيات القائمة على التصوير والتي تتأثر بوجود النباتات على عكس حالة الرادار الذي لا يتأثر بالغطاء النباتي. ومن ناحية أخرى، لم تلحظ هذه المعايير الطبيعة الطبوغرافية لمنطقة الدراسة من ناحية الوعورة وهذا ما حاولنا العمل عليه في بحثنا.

3- استشعار القيم الشاذة في فروق الارتفاعات

يتم تقييم الدقة الشاقولية لنماذج الارتفاعات الرقمية باستخدام ما يعرف باسم نقاط الاختبار، وهي نقاط ذات مناسيب معلومة مقاسة بتطبيق تقنية قياس أعلى دقة من تقنية قياس النقاط الداخلة في حساب نموذج الارتفاعات الرقمي [14]. وهنا نعد إلى استخدام قيمة الخطأ متوسط التربيع (RMSE) في تقدير الدقة الشاقولية [22]. تعطى قيمة هذا الخطأ بالمعادلة التالية:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta z_i)^2}{n}} \quad (1)$$

حيث: $\Delta z_i = Z_{reference(i)} - Z_{DEM(i)}$ تمثل الفروق بين الارتفاعات الخاصة بنقاط الاختبار المقطعة من نموذج الارتفاعات الرقمية وبين ارتفاعاتها المرجعية و $Z_{reference(i)}$ هو الارتفاع المرجعي لنقطة الاختبار، $Z_{DEM(i)}$ هو ارتفاع النقطة i المقطع من نموذج الارتفاعات الرقمية. يقيس RMSE مدى التوافق بين الارتفاعات الفعلية وسطح نموذج الارتفاعات الرقمية [23]. تتأثر دقة المنتجات الطبوغرافية الممكن الحصول عليها من النموذج SRTM بدقته الشاقولية ومن هذه المنتجات الخرائط الكونتورية. ولكن عادة ما تحتوي فروق الارتفاعات الخاصة بنقاط الاختبار على قيم شاذة Outliers والتي يجب التخلص منها قبل إتمام عمليات تقييم الدقة الشاقولية. الفرضية الأساسية لاستشعار القيم الشاذة تقوم على افتراض أن هذه الفروق تتبع للتوزيع الطبيعي Normal distribution، وهنا يمكن تطبيق إحدى الطرائق التالية:

- الطريقة الأولى تعتمد على تحديد حد تساهل Threshold لقبول القياس (فرق الارتفاع) أو رفضه وذلك بعد قبول فرضية أن القياسات تتبع للتوزيع الطبيعي. وهنا يتم حساب قيمة الخطأ متوسط التربيع RMSE من كل القياسات

الأولية بتطبيق المعادلة (1) وتكون قيمة حد التساهل $\bar{F}3 \times RMSE$. إن مشكلة هذه الطريقة تظهر في أنها لا تمكن من اكتشاف جميع القيم الشاذة [23].

• الطريقة الثانية: تقوم هذه الطريقة على حساب مقدر Estimator للخطأ متوسط التربيع المتوقع على فروق الارتفاعات وهو ما يعرف باسم الوسيط المطبق للانحرافات المطلقة Normalized Median Absolute Deviation (NMAD). تعطى قيمة هذا المقدر بالمعادلة التالية [24]:

$$NMAD = 1.4826 \times \text{Median} (|\Delta Z_i - m_{\Delta Z}|) \quad (2)$$

حيث ΔZ_i هي القياسات الفردية و $m_{\Delta Z}$ هي وسيط القياسات. في هذه الحالة نعتبر أن NMAD هو مقدر للخطأ متوسط التربيع $RMSE$ ونحسب حد التساهل $\bar{F}3 \times RMSE$. تعاني هذه الطريقة من أنها تستخدم الوسيط والذي لا تتأثر قيمته بالقيم الشاذة وبالتالي فهي لا تمكن من اكتشاف جميع القيم الشاذة وخاصةً عندما تكون هذه القيم كثيرة [24].

• الطريقة الثالثة: تقوم هذه الطريقة على استخدام الرسم Quantile-Quantile (Q-Q) plot والذي يربط بين القيم النظرية للتوزيع الطبيعي وبين القيم الفعلية لتوزيع القياسات الحقيقية. يمكننا هذا الرسم من الحكم البصري على وجود قيم شاذة في القياسات [24].

قمنا في هذا البحث بتطبيق طريقة تقوم على حساب الربيعين Quartiles الأول Q1 والثالث Q3 لعينة القياسات، والربيعات هي القيم التي تقسم القياسات المرتبة تصاعدياً إلى أربعة أقسام متساوية من حيث العدد. في حالة الربيع الأول (Q1) يكون ربع القياسات أصغر منه، وثلاثة أرباع القياسات أكبر منه، أما في حالة الربيع الثالث (Q3) فتكون ثلاثة أرباع القياسات أصغر منه والربع الآخر أكبر منه. لتطبيق هذه الطريقة يجب أولاً ترتيب قيم القياسات تصاعدياً ومن ثم حساب مواقع الربيعين الأول Q1 والثالث Q3 في عينة القياسات (عددها n). وتعطى هذه المواقع بالعلاقات التالية [25]:

$$K_1 = \frac{n+1}{4} \quad (3)$$

$$K_1 = \frac{2(n+1)}{4} \quad (4)$$

$$K_1 = \frac{3(n+1)}{4} \quad (5)$$

حيث: k_1 موقع الربيع الأول، k_2 موقع الربيع الثاني (الوسيط) و k_3 موقع الربيع الثالث.

يتم بعد ذلك حساب النطاق الربيعي الداخلي (Interquartile Range (IQR) بين الربيعين الأول Q1 والثالث Q3:

$$IQR = Q_3 - Q_1 \quad (6)$$

ثم نحسب الحد الأدنى (Low Limit (LL) والحد الأعلى (Upper Limit (UL) اللذين سيحتويان على معظم القياسات بينهما:

$$LL = Q_1 - 1.5 \times IQR \quad (7)$$

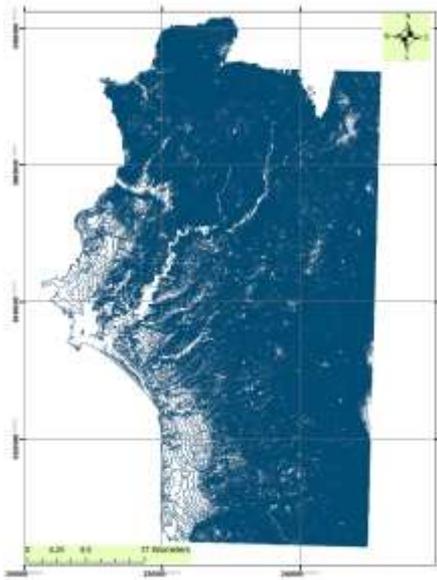
$$UL = Q_3 + 1.5 \times IQR \quad (8)$$

إن أية قيمة قياس واقعة خارج هذين المجالين تعتبر شاذة.

4- منطقة الدراسة والبيانات المتوافرة

منطقة الدراسة هي محافظة اللاذقية كما هو موضح في الشكل (1)، وتقع بين خطي العرض "35°56'37.95" شمالاً و "35°15'16.92" جنوباً وبين خطي الطول "35°43'11.9" غرباً و "36°14'9.48" شرقاً وتبلغ مساحتها التقريبية

2629 كيلومتر مربع. تتسم المنطقة بأنها ذات وعورة غير متجانسة وتتقسم إلى منطقة قليلة الوعورة (فروق الارتفاعات فيها تتراوح من 1 m إلى 50 m والميول لا تتجاوز 18%) ومنطقة شديدة الوعورة (تتراوح الارتفاعات فيها من 50 m حتى 1550 m والميول تتجاوز 18%) (أنظر الشكل 2). المنطقة ذات نسيج متنوع من حيث العمران والمناطق المكشوفة والمناطق التي تضم غطاء نباتياً كثيفاً. يتوافر لمنطقة الدراسة خارطة كونتورية بالمقياس 1/25000 بفترة كونتورية Contour interval مساو لـ 10 m. هذه الخارطة معرفة ضمن نظام الارتسام الأفقي WGS_1984_UTM_Zone_37N. استخدمت هذه الخارطة في بحثنا من أجل اقتطاع نقاط الاختبار اللازمة لتقييم دقة نموذج الارتفاعات الرقمي SRTM-1 الذي يغطي منطقة الدراسة. تم تحميل نموذج ارتفاع رقمي مجاني SRTM_1 لمنطقة الدراسة من موقع USGS.

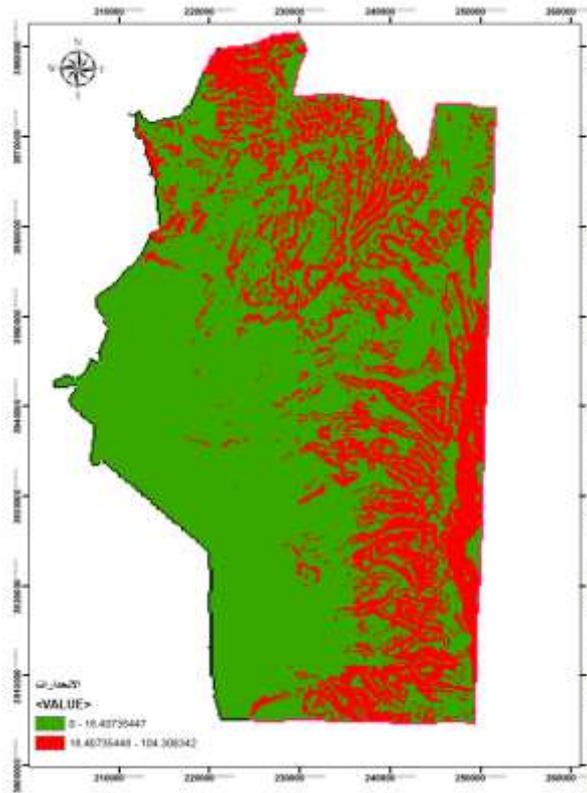


خارطة كونتورية بالمقياس 1/25000 لمنطقة الدراسة



حدود منطقة الدراسة

الشكل (1). حدود منطقة الدراسة مع الخارطة الكونتورية.



الشكل (2). الميول في منطقة الدراسة معطاء بالنسبة المئوية.

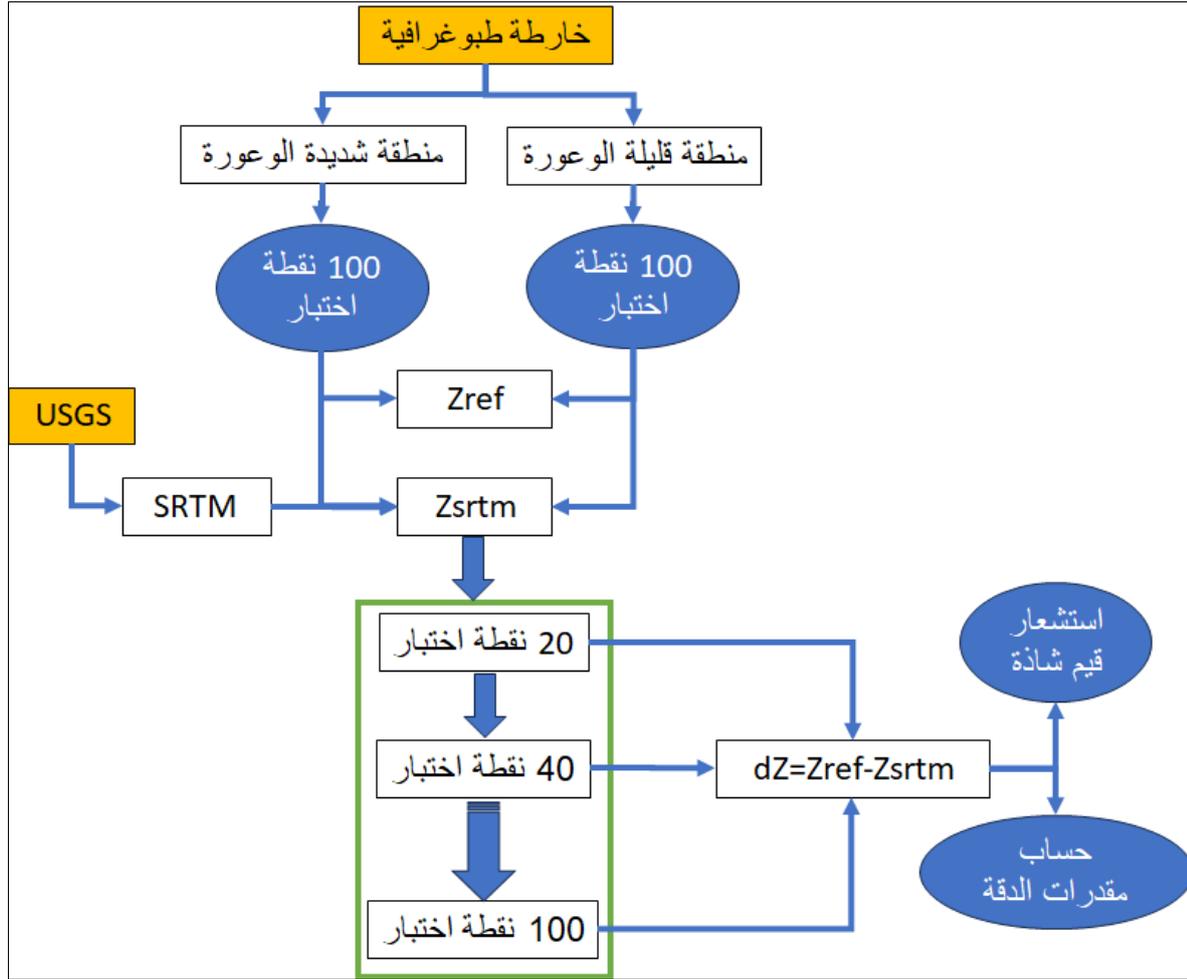
5- أدوات البحث

تم في هذا البحث استخدام الأدوات الآتية:

- 1- البرنامج ArcGIS 10.8 المستخدم في اقتطاع ارتفاعات نقاط الاختبار من الخارطة الكونتورية وتحديد ارتفاعاتها الموافقة على النموذج الرقمي للارتفاعات SRTM-1.
- 2- البرنامج NCSS المستخدم في التحليلات الإحصائية للنتائج وهو برنامج إحصائي يستخدم لتحليل البيانات وتصميم الدراسات الإحصائية ورسم الرسوم البيانية. يتيح NCSS للمستخدمين إمكانية تحليل البيانات وإجراء الاختبارات الإحصائية وإنشاء الرسوم البيانية بسهولة وفعالية، ويستخدم على نطاق واسع في الأبحاث العلمية والدراسات الإحصائية والتحليلات البيانية المختلفة [26].

طرائق البحث ومواده:

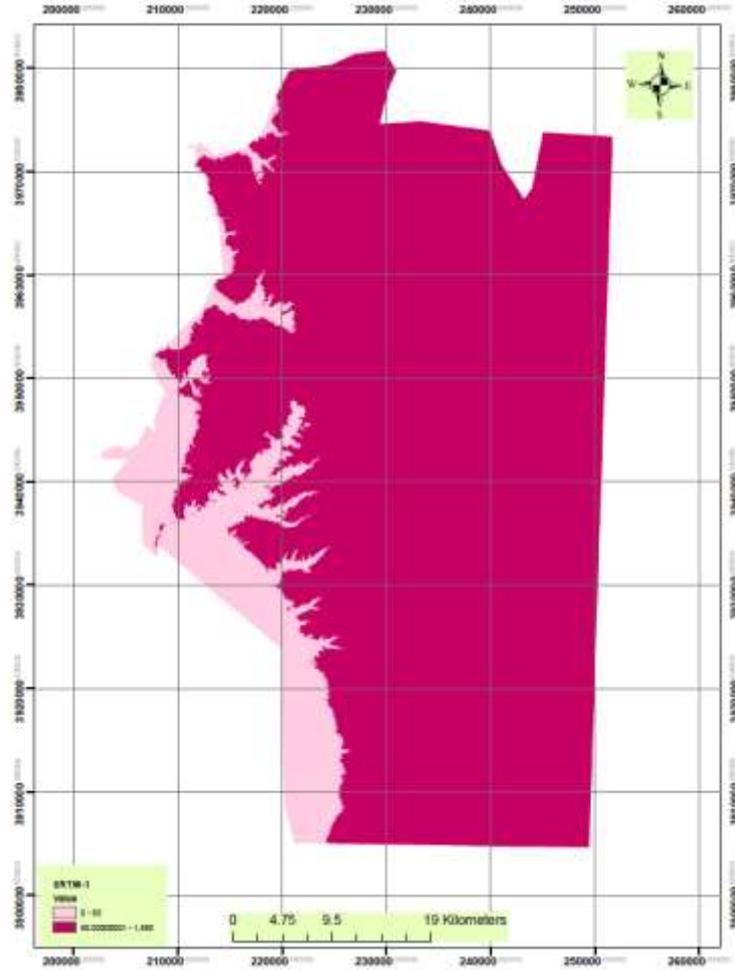
مرت منهجية البحث بالخطوات الموضحة في الشكل (3).



الشكل (3). منهجية البحث.

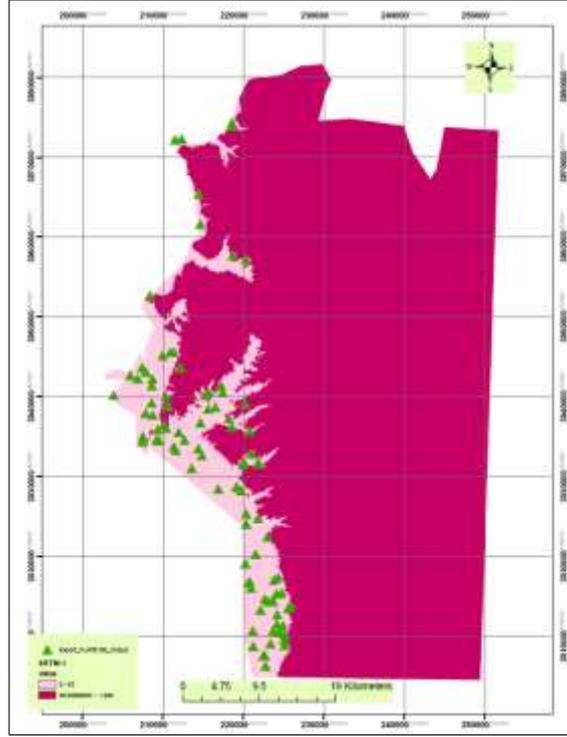
أما الخطوات التفصيلية للمنهجية فهي التالية:

1- الحصول على نموذج ارتفاع رقمي مجاني SRTM_1 بدقة مكانية 1 ثانية (30m) من موقع الهيئة الأمريكية للمسح الجيولوجي بامتداد GeoTIFF. يملك نموذج SRTM_1 المستخدم نظام الإحداثيات الجغرافية: GCS_WGS_1984. تم تحويل نظام الإحداثيات إلى النظام WGS_1984_UTM_Zone_37N وهو نفسه نظام ارتسام الخارطة الكونتورية 1/25000 التي تغطي منطقة الدراسة (الشكل (4))، وهذه العملية تمت بالاستعانة بالبرنامج ArcGIS 10.8.

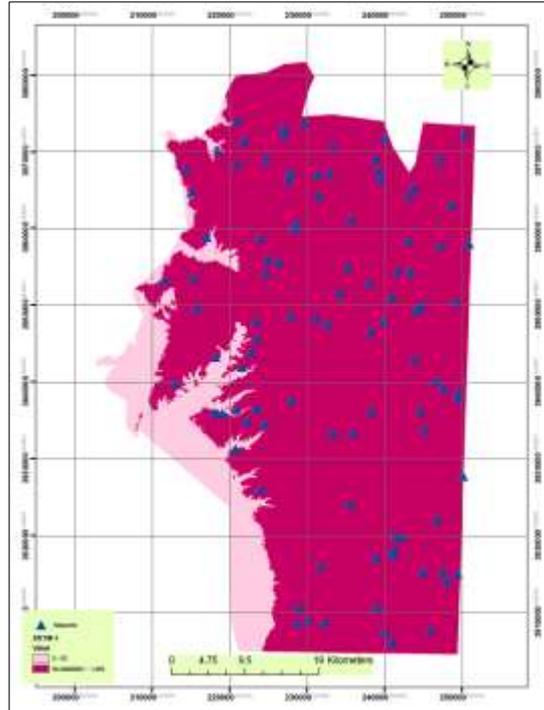


الشكل (4). نموذج الارتفاعات الرقمي SRTM لمنطقة الدراسة مع توضيح للمناطق حسب تغير الارتفاعات.

- 1- تحميل الخارطة الطبوغرافية ذات المقياس 1/25000 إلى البرنامج ArcGIS 10.8.
- 2- اقتطاع نقاط الاختبار من الخارطة السابقة، وهنا قمنا باقتطاع 100 موزعة عشوائياً بالاستعانة بخطوط الكونتور لكل من المنطقة قليلة الوعورة وشديدة الوعورة (الشكل (5) والشكل (6)).



الشكل (5). توزيع نقاط الاختبار في المنطقة قليلة الوعورة.



الشكل (6). توزيع نقاط الاختبار في المنطقة شديدة الوعورة.

- 3- اقتطاع مناسب النقاط السابقة من النموذج SRTM.
- 4- القيام بالتحقق التكراري من الدقة الشاقولية للنموذج SRTM حيث قمنا بالبداية بعشرين نقطة تحقق ومن ثم زيادة عدد نقاط التحقق عشرين نقطة في كل تكرار وصولاً إلى العدد الكلي البالغ 100 نقطة. عند كل تكرار، تم

حساب فروق الارتفاعات المقطوعة من خطوط الكونتور ومن النموذج SRTM لنقاط الاختبار واستشعار القيم الشاذة بطريقة الربيعات وحساب مقدرات الدقة الإحصائية. إن اختيارنا للبدء بعشرين نقطة اختبار مبرر بأن أقل عدد ممكن من العينات في أي اختبار إحصائي يجب ألا يقل عن عشرين عينة.

5- دراسة طبيعة توزيع فروقات الارتفاع بين الارتفاعات الحقيقية لنقاط الاختبار وبين الارتفاعات المقطوعة من SRTM وذلك في كل تكرار.

6- حساب الفترة الكونتورية للخارطة الكونتورية لمنطقة الدراسة والتي يمكن توليدها من النموذج الرقمي للارتفاعات SRTM لكل تكرار وفقاً للدقة الشاقولية. تم تحديد دقة هذه الخارطة وفقاً لمعايير ASRPS الأمريكية. إن حساب هذه الفترة سيساعدنا على معرفة فيما إذا كان التحسن في الدقة له معنى كارتوغرافي.

النتائج والمناقشة:

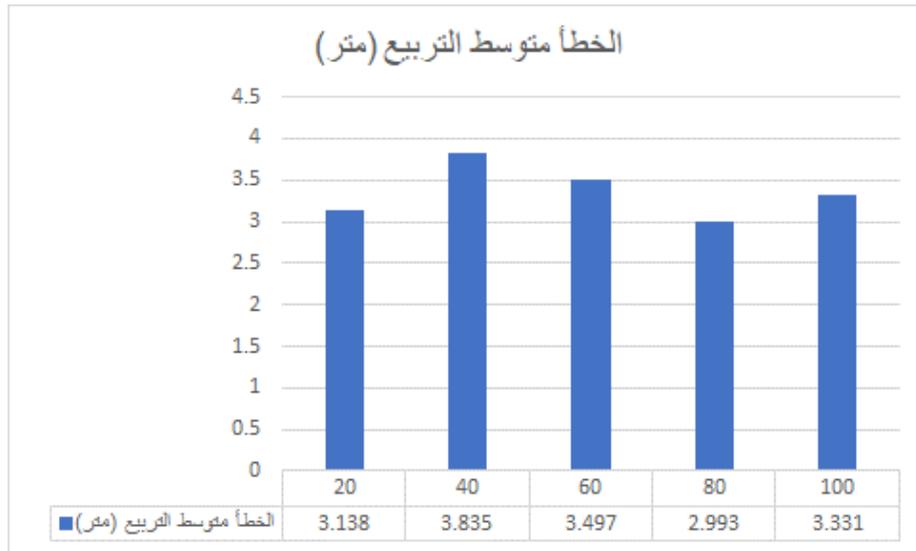
1- حالة الأرض قليلة الوعورة

تم تطبيق طريقة الربيعات في كل حالة من حالات أعداد نقاط الاختبار ومن ثم تم حساب المقدرات الإحصائية. يوضح الجدول (2) نتائج استشعار القيم الشاذة في كل حالة من حالات أعداد نقاط الاختبار، كما يوضح هذا قيم المقدرات الإحصائية في كل حالة من حالات أعداد نقاط الاختبار. تم حساب هذه المقدرات بالاستعانة بالبرنامج NCSS.

جدول (2). نتائج معالجة كل حالة من حالات نقاط الاختبار-حالة الأرض المنبسطة.

عدد نقاط الاختبار	عدد القيم الشاذة	الخطأ متوسط التربيع (متر)
20	0	3.138
40	2	3.835
60	2	3.497
80	2	2.993
100	2	3.331

نلاحظ من الجدول (2) والشكل (7) وجود تقارب عام بين قيم الخطأ متوسط التربيع الناتج عن الحالات المختبرة لأعداد نقاط الاختبار مع التأكيد أن أفضل دقة قد تم الحصول عليها في حالة 80 نقطة اختبار.

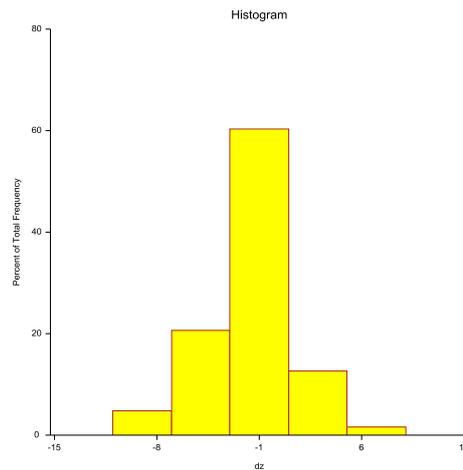


الشكل (7). قيم الأخطاء متوسطة التربيع على فروق الارتفاعات كتابع لعدد نقاط الاختبار.

لمعرفة فيما إذا كان هذا التحسن البسيط في الدقة الشاقولية يحمل معنى كارتوغرافياً، عمدنا إلى حساب الفترة الكونتورية للخريطة الكونتورية الممكن اشتقاقها من كل حالة من حالات أعداد نقاط الاختبار. في الواقع، تفترض المعايير الأمريكية ASPRS أنه في حال تبعية فروق الارتفاع على نقاط الاختبار المستخدمة في حساب الدقة الشاقولية لنموذج الارتفاعات الرقمية للتوزيع الطبيعي ضمن مجال ثقة Confidence interval مساو لـ 95%، فإنه من الممكن حساب الفترة الكونتورية Contour interval (CI) على أنها ثلاثة أمثال هذه الدقة [27]، أي:

$$CI = 3 \times RMSE \quad (8)$$

تمت الاستعانة بالبرنامج NCSS لمعرفة تبعية فروق الارتفاع على نقاط الاختبار في كل حالة من حالات أعداد نقاط الاختبار للتوزيع الطبيعي ضمن مجال ثقة مساو لـ 95% فوجدنا أن التبعية للتوزيع الطبيعي محققة وفق كل الاختبارات الإحصائية المتوفرة في البرنامج NCSS ولكل أعداد نقاط الاختبار المستخدمة. نوضح في الشكل (8) حالة 80 نقطة اختبار.



الشكل (8). تبعية فروق الارتفاع لحالة 80 نقطة اختبار للتوزيع الطبيعي في المنطقة قليلة الوعورة.

من ناحية أخرى، يمكننا تحديد مقياس الرسم للخارطة الكونتورية وفقاً للمعايير النموذجية للخرائط الطبوغرافية الناتجة عن دراسة مواصفات الخرائط في العديد من الدول وذلك لأن على مقياس رسم الخريطة يعتمد على الفترة الكنتورية [27]. نوضح في الجدول (3) هذه المعايير.

جدول (3). المعايير النموذجية للخرائط الطبوغرافية.

مقياس الرسم	الفترة الكنتورية (m)	الدقة الشاقولية للبيانات المدخلة (m)
1:5000	1.25	±0.4
1:10000	2.0/5.0	±0.7/±1.7
1:25000	5.0/8.0/10.0	±1.7/±2.6/±3.3
1:50000	10.0	±3.3
1:100000	10.0/20.0	±3.3/±6.7
1:250000	25.0/50.0	±8.3/±16.7
1:500000	50.0/75.0	±8.3/±16.7

نوضح في الجدول (4) قيم الفترة الكونتورية المحسوبة بتطبيق العلاقة (8) والمعيارية لكل حالة من حالات أعداد نقاط الاختبار وكذلك مقياس الخارطة الطبوغرافية. نلاحظ من هذا الجدول أن زيادة أعداد نقاط الاختبار عن 20 نقطة في حالة الأرض قليلة الوعورة لم يزد الدقة بشكل حقيقي.

جدول (4). الفترة الكونتورية كتابع لعدد نقاط الاختبار-حالة الأرض المنبسطة.

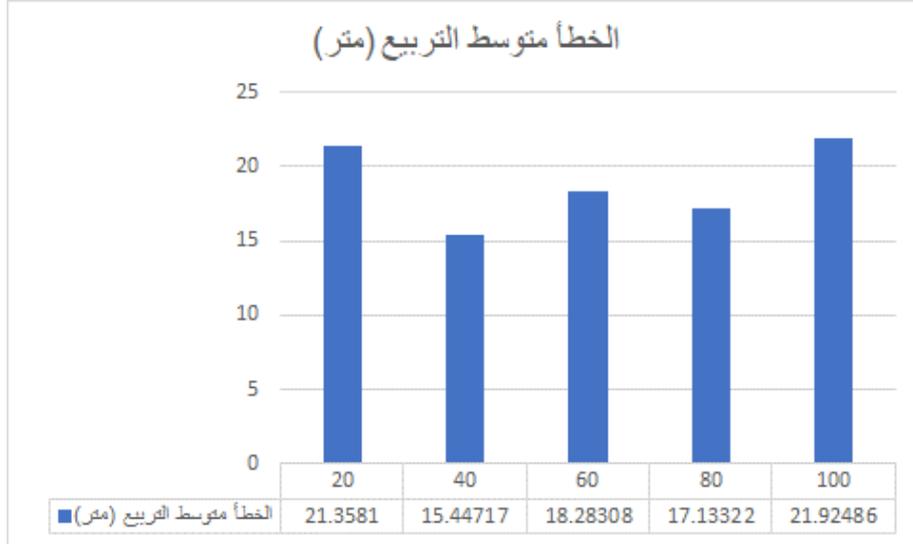
مقياس الخارطة	الفترة الكونتورية المعيارية	الفترة الكونتورية المحسوبة	الخطأ متوسط التربيع (متر)	عدد نقاط الاختبار
1:25000	10	9.414	3.138	20
1:100000	15	11.505	3.835	40
1:100000	15	10.491	3.497	60
1:25000	10	8.979	2.993	80
1:25000	10	9.993	3.331	100

2- حالة الأرض شديدة الوعورة

كما في حالة الأرض قليلة الوعورة، تم تطبيق طريقة الربيعات في كل حالة من حالات أعداد نقاط الاختبار ومن ثم تم حساب المقدرات الإحصائية. يوضح الجدول (5) نتائج استتعار القيم الشاذة في كل حالة من حالات أعداد نقاط الاختبار، كما يوضح هذا قيم المقدرات الإحصائية في كل حالة من حالات أعداد نقاط الاختبار. جدول (5). نتائج معالجة كل حالة من حالات نقاط الاختبار-حالة الأرض شديدة الوعورة.

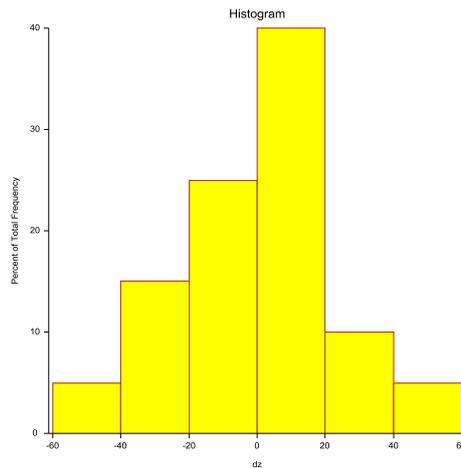
الخطأ متوسط التربيع (متر)	عدد القيم الشاذة	عدد نقاط الاختبار
21.358	0	20
15.447	3	40
18.283	3	60
17.133	6	80
21.925	4	100

نلاحظ من الجدول (5) والشكل (9) وجود تحسّن في الدقة عند الانتقال من استخدام 20 نقطة اختبار إلى 40 نقطة، ولكن هذه الدقة لم تتابع تحسّنها مع زيادة عدد نقاط الاختبار. لقد تم الحصول على أفضل دقة في حالة استخدام 40 نقطة اختبار موزعة بشكل جيد على كامل المنطقة مع الابتعاد عن مناطق تغير الميل المفاجئ (خطوط الانكسار).



الشكل (9). قيم الأخطاء متوسطة التربيع على فروق الارتفاعات كتابع لعدد نقاط الاختبار.

كما في حالة الأرض قليلة الوعورة، حاولنا أن نعرف إذا كان لهذا التغير في الدقة الشاقولية معنى كارتوغرافي وذلك عبر حساب فترة الكونتورية للخارطة الكونتورية الممكن اشتقاقها من كل حالة من حالات أعداد نقاط الاختبار وفقاً للمعايير الأمريكية ASPRS. ولإنجاز ذلك، قمنا بالتحقق من تبعية فروق الارتفاع على نقاط الاختبار المستخدمة في حساب الدقة الشاقولية لنموذج الارتفاعات الرقمية للتوزيع الطبيعي ضمن مجال ثقة مساو لـ 95%، وذلك بالاستعانة بالبرنامج NCSS. أوضحت نتيجة الاختبارات تبعية فروق الارتفاع على نقاط الاختبار في كل حالة من حالات أعداد نقاط الاختبار للتوزيع الطبيعي. نوضح في الشكل (10) حالة 40 نقطة اختبار.



الشكل (10). تبعية فروق الارتفاع لحالة 40 نقطة اختبار للتوزيع الطبيعي في المنطقة شديدة الوعورة.

نوضح في الجدول (6) قيم الخطوة الكونتورية المحسوبة بتطبيق العلاقة (8) والمعيارية ومقياس الخارطة لكل حالة من حالات أعداد نقاط الاختبار. نلاحظ من هذا الجدول أن زيادة أعداد نقاط الاختبار عن 40 نقطة في حالة الأرض شديدة الوعورة قد أدى إلى تناقص في الدقة بشكل ملموس.

جدول (6). الفترة الكونتورية كتابع لعدد نقاط الاختبار - حالة الأرض شديدة الوعورة.

مقياس الخارطة	الفترة الكونتورية المعيارية	الفترة الكونتورية المحسوبة	الخطأ متوسط التربيع (متر)	عدد نقاط الاختبار
1:500000	65	64.074	21.358	20
1:250000	50	46.341	15.447	40
1:500000	55	54.849	18.283	60
1:500000	55	51.399	17.133	80
1:500000	70	65.775	21.925	100

الاستنتاجات والتوصيات:

بالاستناد إلى الدراسة النظرية والعملية المقدمة في هذا البحث حول تقييم تأثير عدد نقاط الاختبار على دقة نموذج الارتفاعات الرقمية العالمي SRTM-1، وصلنا إلى الاستنتاجات الآتية:

1. بيّنت طريقة الربيعات المقترحة لاستشعار القيم الشاذة في فروق الارتفاعات فعاليتها وموثوقيتها.
 2. وجود تقارب عام بين قيم الدقة الناتجة عن الحالات المختبرة لأعداد نقاط الاختبار في المنطقة قليلة الوعورة مع التأكيد أن أفضل دقة قد تم الحصول عليها في حالة 80 نقطة اختبار والتي بلغت 2.993 m.
 3. في حالة الأرض قليلة الوعورة، أوضحت نتائج الحساب لقيم الخطوة لكل حالة من حالات أعداد نقاط الاختبار ولمقياس الخارطة الطبوغرافية أن زيادة أعداد نقاط الاختبار عن 20 نقطة لم يزد الدقة بالمعنى الكارثوغرافي. في الواقع، بلغت الفترة الكونتورية لحالة 20 نقطة اختبار 10 m وكان المقياس 1/25000 وهي نفس النتائج الخاصة بـ 80 نقطة اختبار.
 4. وجود تحسّن واضح في قيم الدقة الناتجة عن الحالات المختبرة لأعداد نقاط الاختبار في المنطقة شديدة الوعورة عند اعتماد 40 نقطة اختبار. في الواقع، أوضحت نتائج الحساب لقيم الخطوة لكل حالة من حالات أعداد نقاط الاختبار ولمقياس الخارطة الطبوغرافية أن زيادة أعداد نقاط الاختبار إلى 40 نقطة قد زاد الدقة بالمعنى الكارثوغرافي حيث بلغت الفترة الكونتورية في هذه الحالة 50 m وكان المقياس 1/250000.
- نشير في آخر هذا البحث أن هنالك جزءاً من الأخطاء في حساب فروق الارتفاعات ناتج عن اختلاف المراجع الشاقولية للنموذج المجاني SRTM-1 وللخارطة الطبوغرافية المستخدمة في اقتطاع ارتفاعات نقاط الاختبار. في الواقع، السطح المرجعي لارتفاعات SRTM-1 هو الإهليلج WGS84 في حين أن السطح المرجعي للخارطة 1/25000 هو إهليلج Clark 1880. قد يفسر هذا الاختلاف الفروقات الكبيرة للارتفاعات وخاصةً في المنطقة شديدة الوعورة. نوصي في نهاية هذا البحث بالعمل على توحيد هذه المراجع للحصول على تقييم أدق لنموذج الارتفاعات الرقمية SRTM-1. في كل الأحوال، حاولنا في هذا البحث الإضاءة على دقة SRTM-1 ضمن المعطيات الحقيقية ومعرفة مدى الاستفادة منه بالرغم من وجود المشكلة المشار إليها سابقاً.

References:

- [1] AGHATAHER, R., SAMADI, M. LALINIAT, I., NAJAFI, I. *Comparative assessment of vertical accuracy of SRTM and ASTER GDEM elevation data*. Scientific Research Quarterly Geographical Data (SEPEHR), 25(99), 2016,13-103.
- [2] GRUBER, U., HAEFNER, H. *Avalanche hazard mapping with satellite data and a digital elevation model*. Applied Geography. 15 (2), 1995,11-99.
- [3] LEE, J. STUCKY, D. *On applying viewshed analysis for determining least-cost paths on digital elevation model*. International Journal of Geographical Information Science 12 (8), 1998,891– 905.
- [4] FARR, T., ROSEN, P.A., CARO, E., CRIPPEN, R., DUREN, R., HENSLEY, S., KOBRICK, M., PALLER, M., RODRÍGUEZ, E. ROTH, L., et al. The Shuttle Radar Topography Mission. Reviews of Geophysics. 2007, 45 (2), 361.
- [5] TETUSHI, T., MANABU, K., AKIRA, I., GESCH, D.B., OIMOEN, M., ZHANG, Z., DANIELSON, J., KRIEGER, T., BILL, C., et al. *ASTER Global Digital Elevation Model Version 2-Summary of Validation Results*. 2011. (accessed on 22/9/2023). <<https://pubs.er.usgs.gov/publication/70005960>>
- [6] TACHIKAWA, T., HATO, M., KAKU, M., IWASAKI, A. *Characteristics of ASTER GDEM version 2*. In Proceedings of the 2011 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Vancouver, BC, Canada, 24–29 July 2011.
- [7] TADONO, T., NAGAI, H., ISHIDA, H., ODA, F., NAITO, S., MINAKAWA, K., IWAMOTO, H. *Generation of the 30 m-mesh global digital surface model by alos prism*. Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci. 2016, XLI-B4, 157–162.
- [8] ZINK, M., BACHMANN, M., BRÄUTIGAM, B., FRITZ, T., HAJNSEK, I., MOREIRA, A., WESSEL, B., KRIEGER, G. *TanDEM-X: The New Global DEM Takes Shape*. IEEE Geosci. Remote Sens. Mag. 2, 2014, 8–23.
- [9] WECHSLER, S.P., *Uncertainties associated with digital elevation models for hydrologic applications: A review*. Hydrol. Earth Syst. Sci. 11 (4), 2007, 1481–1500.
- [10] SATGÉ, F., DENEZINE, M., PILLCO, R., TIMOUK, F., PINEL, S., MOLINA, J., GARNIER, J., SEYLER, F., BONNET, M. P. *Absolute and relative height-pixel accuracy of SRTM-GL1 over the South American Andean Plateau*. ISPRS J. Photogramm. Remote Sens. 121, 2016, 157–166.
- [11] LI, H., ZHAO, J. *Evaluation of the Newly Released Worldwide AW3D30 DEM Over Typical Landforms of China Using Two Global DEMs and ICESat/GLAS Data*. IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens, 11, 2018, 4430–4440.
- [12] LIU, K., SONG, C., KE, L., JIANG, L., PAN, Y., MA, R. *Global open-access DEM performances in Earth's most rugged region High Mountain Asia: A multi-level assessment*. Geomorphology, 338, 2019, 16–26.
- [13] FEATHERSTONE, W.E., DENTITH, M.C., KIRBY, J.F. *Strategies for the accurate determination of orthometric heights from GPS*. Surv. Rev. 34, 1998, 278–296.
- [14] MUKHERJEE, S., JOSHI, P.K., MUKHERJEE, S., GHOSH, A., GARG, R., MUKHOPADHYAY, A. *Evaluation of vertical accuracy of open-source Digital Elevation Model (DEM)*. Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf, 21, 2013, 205–217.
- [15] GROHMANN, C.H. *Evaluation of TanDEM-X DEMs on selected Brazilian sites: Comparison with SRTM, ASTER GDEM and ALOS AW3D30*. Remote Sens. Environ, 212, 2018, 121–133. [CrossRef]
- [16] HU, Z., PENG, J., HOU, Y., SHAN, J. *Evaluation of Recently Released Open Global Digital Elevation Models of Hubei, China*. Remote Sens, 9, 2017, 262.

- [17] CHABBAN, F., ALKHALIL, O., BADDOUR, M.- *A Research Contribution to Improve the Accuracy of the Free Global Digital Elevation Model SRTM-1 in Areas of the Syrian Coast*. Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series, 2022, 44, 5. 253-273.
- [18] MESA-MINGORANCE, J. L., ARIZA-LÓPEZ, F. J. *Accuracy assessment of digital elevation models (DEMs): A critical review of practices of the past three decades*. Remote Sensing, 12 (16), 2020, 2630.
- [19] YANG, L., MENG, X., ZHANG, X. *SRTM DEM and its application advances*. International Journal of Remote Sensing, 32(14), 2011, 3875-3896.
- [20] ELASHIRY, A., ALKHALIL, O. - *Evaluation of the Efficiency of SfM-Photogrammetry in Obtaining DEM from Google Earth Images*. JES, 2023, 51, 5, 302-317.
- [21] *ASPRS Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data*. November 2014, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. 81 (3), 53. (accessed on: 25/6/2023).
- [22] ZHANG, Y., HAN, T., LIU, H., WANG, X., ZHANG, E. *Cooperation of the Spatial Interpolation Algorithm for the Contour Map of the Shockwave Overpressure Field*. Journal of Engineering Science & Technology Review, 10 (6), 2017.
- [23] GHILANI, C. D., WOLF, R. P. *Adjustment computations: spatial data analysis*. New Jersey. 2009.
- [24] BAGUIO, C. B. *Adaptive Robust Estimator of a Location Parameter For Some Symmetric Distributions*. In Recent Advances in Technologies, IntechOpen, 2009.
- [25] HÖHLE, J., HÖHLE, M. *Accuracy assessment of digital elevation models by means of robust statistical methods*. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 64(4), 2009, 398-406.
- [26] NCSS 2021 Statistical Software (2021). NCSS, LLC. Kaysville, Utah, USA, ncss.com/software/ncss.
- [27] SMITH, D., HEIDEMANN, H. K. *New standard for new era: Overview of the 2015 ASPRS positional accuracy standards for digital geospatial data*. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 81(3), 2015, 173-176.
- [28] DAWOD, G. M., ASCOURA, I. E. *The Validity of Open-Source Elevations for Different Topographic Map Scales and Geomatics Applications*. J. Geogr. Inf. Syst., 13(2), 2021, 148–165.