مجلة العلوم العربية والإنسانية
Journal of Arabic Sciences & Humanities
مجلة دورية علمية محكمة ربع سنوية

إدارة الجمعيات والمجلات العلمية
Administration of Scientific Journals & Associations

E-ISSN: 1658-9602
www.jahs.qu.edu.sa

تقييم أثر نمط العينة على صحة نماذج الارتفاع الرقمي المشتقة: حوض وادي يبة كبيئة تجريبية

Evaluating the Impact of Sampling Pattern on the Validity of Derived DEMs: Wadi Yiba Basin as an Experimental Environment

نادية بنت عوض السفري

برنامج نظم المعلومات الجغرافية، قسم العلوم الفيزيائية، كلية العلوم، جامعة جدة، جدة، المملكة العربية السعودية

18، (4)،شوّال، 1446
April, 2025

الملخص

تهدف الدراسة إلى معرفة أثر نمط العينة على صحة نماذج الارتفاع الرقمي المشتقة، معولة على المنهج التحليلي الاستقرائي من خلال مرحلتين: الأولى تبدأ باشتقاق نماذج الارتفاع الرقمي بطريقة الإسبلاين، وحجم عينة ثابت للعينات الثلاثة: (العشوائية، والعشوائية بإضافة بعد 50م بين العينات، والمنتظمة)، والثانية: تعتمد على التقييم البصري (الظلال، والكنتور)، والكمي: (حساب الصحة الرأسية اعتمادا على مؤشر الجذر التربيعي للانحرافات المربعة للسطح المشتق، وإيجاد الفروق بين السطوح للعينات الثلاثة) للنماذج المشتقة اعتمادا على نموذج ارتفاع الرقمي مرجعي منتج من مرئيات سبوت 5 المزدوجة بوضوح (2.5م). توصلت الدراسة إلى أن صحة نموذج الارتفاع الرقمي تتأثر بنمط توزيع العينة، حيث حقق النموذج المستخرج بالعينة العشوائية بإضافة بعد 50 مترًا بين العينات أعلى قرب للقيم المرجعية مقارنة بنماذج الارتفاع الرقمي المشتقة بالعينات الأخرى. وظهر- من خلال الظلال والكنتور- توازن واتساق في توزيع تفاصيل السطح وتموجه ونسيجه. كما سجل أقل قيمة لاحتمالية الخطأ حيث حقق صحة رأسية مقدارها (3.66م) عند مستوى ثقة 95%.

الكلمات المفتاحية: الاشتقاق المكاني، عينة منتظمة، عينة عشوائية، نمط العينة، الصحة الرأسية.

Abstract

The study aims to know the effect of the sample pattern on the validity of the DEM, relying on the analytical inductive approach through two stages. The first begins with deriving the DEMs via the Spline tool, and with a fixed sample size for the three samplings: (random, random with added 50m between the samples, and systematic), whereas the second depends on the evaluation both visually (hillshade and contour) and quantitatively (calculating the vertical accuracy based on the RMSE of the derived surface, and finding the differences between the surfaces of the three samples) of the derived models based on a reference of DEM generated from Spot 5 with clarity of 2.5m. The study concluded that the validity of the DEM is affected by the sample distribution pattern, as the model extracted by the random sampling with an added distance of 50m between samples achieved the highest proximity to the reference values compared to the DEMs derived by the other samples. Through the hillshade and contour, both balance and consistency appeared in the distribution of surface details, undulations, and texture. It also recorded the lowest value for the probability of error, achieving a vertical accuracy of 3.66m at a CI of 95%.

Keywords: Spatial Interpolation, Systematic Sampling, Random Sampling, Sample pattern, Vertical Accuracy.

الإحالة APA Citation:

السفري، ناديه. (2025). تقييم أثر نمط العينة على صحة نماذج الارتفاع الرقمي المشتقة: حوض وادي يبة كبيئة تجريبية. *مجلة العلوم العربية والإنسانية*، *18*، (4)، 215-245.

استُلم في: 14-04-1446/ قُبل في 12-07-1446/نُشر في 28-10-1446

Received on: 18-10-2024/**Accepted on:** 12-01-2025/**Published on:** 26-04-2025

1– المقدمة

يُعدُّ نموذج الارتفاع الرقمي مصدرًا مهمًا للبيانات المكانية، ولكونه يمثل أهم أشكال سطح الأرض فهو الأساس لكثير من التطبيقات والتحليلات العلمية والعملية، وستُعنى الدراسة بنموذج الارتفاع الرقمي (DEM) الذي يعد أحد أنواع نماذج البيانات الخلوية (Raster) ويظهر في صورة شبكة خلوية رقمية، وتغطي مربعة الخلايا — في الأغلب الأعم– منطقة محددة من سطح الأرض حيث تأخذ كل خلية قيمة تعكس طبيعة التضرس الطبوغرافي قيد التمثيل. وتكون قيمة الارتفاع المخزنة إما ارتفاع النقطة المركزية للخلية، أو متوسط ارتفاع الخلية. ولأن الخلايا متجاورة فإن العلاقة المكانية متضمنة في التمثيل، وبذلك يكون السطح مماثلًا للموقع من حيث الاتصالية (Shingare and Kale, 2013; Longley et al, 2005).

وتتميز نماذج الارتفاع الشبكية المنتظمة بأنها ذات بنية بسيطة، ويمكن إعادة بنائها بسهولة، وتستخدم في أبسط الخوارزميات؛ لبساطتها في تمثيل معالم سطح الأرض وأهدافها، كما أنها ذات بنية مكانية موحدة. فمعظم خصائص نماذج الارتفاع الرقمية الشبكية تعرف بخاصية واحدة – حجم الخلية (Hengl and Evans, 2009).

وتعد طريقة الاشتقاق المكاني (Spatial Interpolation) إحدى مصادر وطرق إنتاج نماذج الارتفاع الرقمي، حيث تتعدد طرق الاشتقاق والتقدير التقريبي للتنبؤ بقيم الظواهر المكانية للمواقع التي لم يتم أخذ عينات لها في تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية، وقد تم تصميم هذه الأساليب؛ لدعم التحويلات بين مختلف طرق التمثيل المنفصلة والمتصلة من الحقول المكانية والزمانية المكانية، وعادة تحول بيانات النقاط أو الخطوط غير المنتظمة إلى تمثيل خلوي، أو يعاد تمثيلها بين درجات الوضوح الخلوية المختلفة (Mitas & Mitasova, 2005). علما بأن جودة نموذج الارتفاع الرقمي المشتقة تتأثر بعدة عناصر، منها: عدد نقاط الرصد، وتوزيعها، ودرجة تضرس السطح، وأسلوب الاشتقاق المكاني (Asal, 2012; Hashim and Deilami, 2011). وقد اختلفت الدراسات في تحديد مقدرا تأثير هذه العناصر على صحة السطوح المشتقة، كما يتضح من خلال الخلفية النظرية. من أجل ذلك ستُعنى هذه الدراسة بمناقشة اشتقاق نماذج الارتفاع الرقمي، وتأثير اختلاف نمط العينة على صحة السطح المشتق من حيث تثبيت جميع العناصر وتغيير نمط العينة لمراقبة تأثيره على صحة السطوح المشتقة.

2– مشكلة الدراسة

تعتمد معظم الدراسات الإنسانية والاجتماعية على العينة العشوائية؛ لكونها ممثلة لجميع معلمات المجتمع دون تحيز، مما يجعل احتمالية وقوع كل مفردة من مفردات المجتمع ضمن العينة، وقد يكون ذلك مناسبًا في الدراسات التي يكون مجتمعها حيوي. أما فيما يخص البيانات المكانية: فقد تكون العينة العشوائية غير مناسبة؛ لاختلاف توزع نقاط العينة بين المواقع، وهو ما سيؤدي إلى فقدان بعض التفاصيل المكانية في السطوح المنتجة من حيث صحة المنتج؛ لذلك قد تكون العينة المنتظمة أنسب بالنسبة للبيانات المكانية؛ لتوزيعها بمسافات مناسبة تضمن التوازن في تمثيل تفاصيل السطح وصحة المنتج.

تُعنى هذه الدراسة باختبار تأثير نمط توزيع البيانات على صحة السطوح المشتقة، وفي هذا الإطار نشير إلى أنَ الدراسات تطرقت إلى وجود عدة عوامل تؤثر على صحة نموذج الارتفاع الرقمي المنتج، مثل: كثافة البيانات، وتوزيع البيانات، وطبيعة السطح، وأسلوب الاشتقاق. كما أشارت دراسات عدة إلى أن كثافة البيانات تجعل المنتج أكثر صحة، وأُجريت الكثير من الدراسات على أساليب الاشتقاق المكاني؛ لتوضيح الأنسب في تمثيل السطح، كما أُجريت دراسات على تثبيت عدد النقاط ودراسة تأثير توزيع النقاط، (يمكن الاطلاع على تلك الدراسات في الخلفية النظرية)، ولكن يبقي سؤال: هل يمكن أن يساعد نمط توزيع العينة على إنتاج نموذج أعلى صحة بعدد عينة أقل مقارنة بعدد عينة أعلى بتوزيع مختلف.

أشارت دراسة بازوكي وآخرين (Pazoky et al, 2013) إلى أن العينة المنتظمة كانت أعلى صحةً مقارنة بالعينة العشوائية لنفس حجم العينة. فبعض المشاريع تحتاج إلى صحة محدودة، ويكون عدد العينة كبيرًا عند توزيع معين يعطي الصحة المطلوب، في حين أن عددًا قليلًا من العينة بتوزيع مختلفٍ يعطي نفس الصحة؛ وبذلك تكون التكلفة أقل؛ لذا تحاول هذه الدراسة اختبار صحة النموذج المنتج عند حجم عينة محدد وبتوزيع مختلف (العينة العشوائية، والعينة العشوائية بإضافة بعد 50م بين العينات، والعينة المنتظمة)؛ لمعرفة هل تأثير نمط توزيع العينة مماثل لتأثير حجم العينة، وما مقدار صحة النموذج المشتق من خلال تقييم العينات الثلاثة، وبالتالي ما هو نمط العينة الأنسب لتمثيل السطوح المختلفة.

3- أهداف الدراسة

1. تأثير نمط توزيع العينة على السطوح المشتقة باستخدام العينات الثلاثة مقارنة بنموذج الارتفاع الرقمي المرجعي.
2. تحديد مقدار صحة السطوح المشتقة باستخدام العينات الثلاثة مقارنة بنموذج الارتفاع الرقمي المرجعي.
3. تحديد النمط الأفضل في تمثيل السطوح من خلال تقييم السطوح المشتقة باستخدام العينات الثلاثة مقارنة بنموذج الارتفاع الرقمي المرجعي.

4- الخلفية النظرية

4-1- مصطلحات الدراسة

نمط العينة Sample pattern

هي طريقة الحصول على العينة من بيئة محددة، وتوضح الإجراء المتبع لاختيار عناصر العينة، ولتعدد أشكال العينات يجب اختيار طريقة العينة الموثوقة والمناسبة للدراسة البحثية (kothari, 2004) .وستختص هذه الدراسة بمفهوم طريقة توزيع العينة مكانيا.

العينة العشوائية Random Sampling

هي طريقة لاختيار وحدات العينة من الإطار الخاص بها على أساس يهيئ فرص انتقاء متكافئة لجميع وحدات الظاهرة المدروسة (الصالح والسرياني، 2000: 32).

العينة المنتظمة Systematic Sampling

هي التي تختار وحداتها من بين الإطار الخاص بها بحيث تكون المسافة بين جميع وحداتها ثابتة، ويكون أبعاد النقاط عن بعضها البعض متساوية تماما وموزعة بشكل منظم يشبه رقعة الشطرنج (الصالح والسرياني، 2000).

العينة العشوائية بإضافة بعد بين النقاط 50م

هي عينة تسعى للجمع بين خصائص العينة العشوائية والعينة المنتظمة بحيث ألا تتركز النقاط في موقع معين كما قد يحدث في العينة العشوائية، أو أن تكون موزعةً توزيعًا مماثلًا للشطرنج، وتحديد المسافة بين العينات يعتمد على مساحة منطقة الدراسة.

الصحة الرأسية Vertical Accuracy

هي مقياس أو بيان للصحة أو الدرجة التي تتفق بها البيانات المقاسة أو المجمعة مع ما يُعد قيمًا صحيحة أو مقبولة (مرجعية) (New Jersey Department of Environmental Protection et al, 2013).

2-4- الدراسات السابقة

يمكن تقسيم الدراسات التي تُعنى بجودة نماذج الارتفاع الرقمي إلى محورين:

المحور الأول: دراسات اعتنت بتوضيح العوامل المؤثرة على جودة نموذج الارتفاع الرقمي.

أكدت دراسة روبنسن (Robinson,1994) على أن نماذج الارتفاع الرقمي تتأثر بثلاثة عوامل رئيسة هي: خصائص السطح الفعلي، طريقة وحجم العينة لتمثيل هذا السطح، وطريقة الاشتقاق. كما أشارت دراسة هشام والدليمي (Hashim and Deilami, 2011) إلى أن هناك الكثير من العوامل التي تؤثر على إنتاج نموذج الارتفاع الرقمي، مثل: درجة وضوح الصورة، توافر معاملات الاتجاه، عدد وتوزيع نقاط التحكم، مورفولوجية منطقة الدراسة، والتطبيق النهائي لنموذج الارتفاع الرقمي. في حين أكدت دراسة كارل وآخرين (Karl et. al, 2006) ودراسة زيو وآخرين (Zhu et. at, 2005) أن جودة نموذج الارتفاع الرقمي تخضع لعدة عوامل، مثل: كثافة نقاط العينة، والتوزيع المكاني لنقاط العينة، وطريقة الاشتقاق المكاني المستخدمة، والأخطاء المنتشرة في مصدر البيانات، بالإضافة إلى عوامل أخرى (Asal, 2012).

وترى دراسة فيشر وتاتي (Fisher and Tate, 2006) ودراسة لي وتشن (Li and Chen, 1999: 203) أن هناك ثلاثة مصادر رئيسة للخطأ في نماذج الارتفاع الرقمية تلك الناتجة عن التباين في صحة (Accuracy) وكثافة (Density) وتوزيع (Distribution) بيانات المصدر المقاسة بالطريقة التي يحددها أسلوب إنتاج البيانات، أو الناتجة عن أسلوب اشتقاق نماذج الارتفاع الرقمي المستخدم من مصدر البيانات، أو تلك الناتجة عن الخصائص التضاريسية للسطح فيما يتعلق بتمثيل نموذج الارتفاع الرقمي(Fisher and Tate, 2006) .

ويرى كلا من ثيوبالد (Theobald, 1989) وشورتريدج (Shortridge, 2001) أن الأخطاء الناتجة عن قياس البيانات وأخطاء معالجة واشتقاق البيانات هي أخطاء واضحة، في حين أن الغموض يظهر في مسألة تمثيل التضرس. وأشارا إلى أنه يمكن التفكير في أن الخطأ الأول (قياس البيانات) مرتبطٌ بمصدر البيانات والاهتمام بها، في حين أن الثاني والثالث (أخطاء معالجة، واشتقاق البيانات) يرتكزان على مدى الاهتمام باقتراب نموذج الارتفاع الرقمي المنتج من التمثيل الحقيقي للسطح الطبيعي (Fisher and Tate,

(2006:472. كما أشارت دراسة وايس (Wise, 2000) إلى أن نجاح طريقة الاشتقاق المكاني تعتمد على طبيعة تضاريس السطح (معقد أو بسيط)، وتوزيع البيانات المقاسة من المصدر (منتظمة أو غير منتظمة)، والطريقة الأفضل للاشتقاق المكاني (Fisher and Tate, 2006).

المحور الثاني: دراسات اهتمت بتقييم عامل أو أكثر من العوامل المؤثرة على جودة نموذج الارتفاع الرقمي.

عُنيت دراسة بازوكي وآخرين (Pazoky et al, 2013) بتقييم أثر توزيع العينة على صحة نموذج الارتفاع الرقمي المشتق؛ فاستخدمت عددًا متساويًا من النقاط، وأسلوب الاشتقاق (Inverse Distance Weighting–IDW)، وأجرت الدراسة على السطوح المنبسطة، والمنحدرات الخفيفة، والمناطق الجبلية، وتوصلت الدراسة إلى أن الطريقة المنتظمة (Systematic) حققت أعلى صحة، وتليها العينة العشوائية (Random). وتتفق الدراسة الحالية مع الدراسة السابقة في العناية بتقييم صحة نموذج الارتفاع الرقمي واستخدمها لعدة أنواع من العينة، وتختلف من حيث أسلوب الاشتقاق المكاني IDW وتنوع السطوح تضاريسيا، بينما اهتمت الدراسة الحالية بتأثير نمط توزيع العينة فقط مع تثبيت جميع المتغيرات.

وتبين من دراسة تشانغ وآخرين (Zhang et al, 2015) أن الحد الأعلى للأخطاء المطلقة يظهر عند تقدير القيم في الاشتقاق المكاني في العينات الانتقائية والعينات المشتركة. أما في عينات الشبكة المنتظمة، فقد تميزت طريقة الإسبلاين (Regular Spline–RS) بصحة الاشتقاق المكاني، الذي تبين أنه أقل صحة لاعتماد أسلوب المسافة العكسية الموزونة (Inverse Distance Weighted– IDW). بيد أن صحة النموذج تحسنت بشكل كبير مع العينات الانتقائية والمجتمعة بطريقة المسافة العكسية الموزونة مقارنة بأسلوب الاسبلاين. في حين لم تكن الطرق الثلاثة لتوزيع العينة ذات أهمية كبيرة في أسلوب كريغنغ (Ordinary Kriging–OK). وتتفق الدراسة الحالية مع الدراسة السابقة في العناية بتقييم صحة نموذج الارتفاع الرقمي، واستخدامها لعدة أنواع من العينة، وتختلف من حيث الطريقة الإجرائية لإنتاج نموذج الارتفاع الرقمي، فالدراسة السابقة استخدمت أساليب مختلفة للاشتقاق المكاني وثلاثة أنواع من السطوح، بينما اعتنت الدراسة الحالية بتأثير نمط توزيع العينة فقط مع تثبيت جميع المتغيرات.

كما عُنيت دراسة السفري والغامدي (2016) بمعالجة نموذج الارتفاع الرقمي من خلال اشتقاق نموذج ارتفاع رقمي باستخدام أسلوب كريغنغ وعينة عشوائية، وتوصلت إلى سطح جيد من حيث صحة تمثل الظاهرات، وأشارت إلى ضرورة أن يركز المستخدم على ضبط خمس خطوات للوصول إلى أفضل سطح مشتق بأسلوب كريغنغ. وتتفق الدراسة الحالية مع الدراسة السابقة من حيث العناية بإنتاج نموذج ارتفاع رقمي، وتختلف من حيث الطريقة الإجرائية لإنتاج نموذج الارتفاع الرقمي، فالدراسة السابقة استخدمت نوعًا واحدًا من العينة وهي العينة العشوائية، بينما اعتنت الدراسة الحالية بتأثير نمط توزيع العينة من خلال استخدام ثلاثة أنواع من العينة.

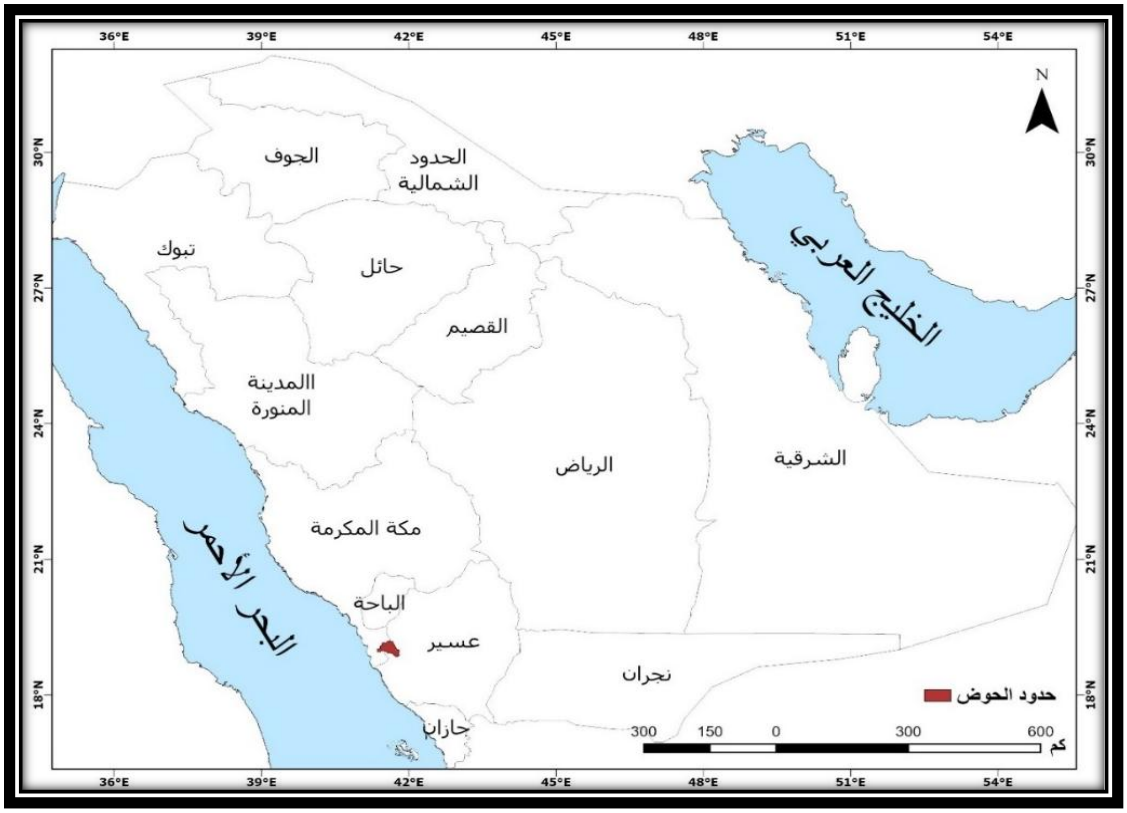
نستنتج مما سبق أن جودة نموذج الارتفاع الرقمي المشتق تعتمد على عناصر عدة، منها: عدد وتوزيع نقاط الرصد، وأسلوب الاشتقاق، وطبيعة السطح، وقد أشارت بعض الدراسات إلى أن العينة المنتظمة أفضل من العينة العشوائية في اشتقاق السطوح والعكس؛ لذا ستُعنى هذه الدراسة بمناقشة أثر توزيع العينة في جودة السطح المشتق من خلال تثبيت حجم العينة، وأسلوب الاشتقاق، وتغيير نمط التوزيع؛ لتحديد أثره على جودة السطح المشتق.

5. البيانات

تم تطبيق الدراسة على نموذج ارتفاع رقمي لوادي يبة الذي ينبع من جبل ثربان بمرتفعات الحجاز جنوب منطقة مكة المكرمة غرب المملكة العربية السعودية. وينحدر باتجاه الجنوب الغربي؛ ليصب عند قرية القوز، وتبلغ مساحة حوضه: 959 كلم مربعًا تقريبًا. ويمتد بين خطي طول 23`41`21 و47`48`41 وداريتي عرض 24`50`18 و18`12`19. تم إنتاج هذا النموذج باستخدام مرئيات (Stereo-pair) تم الحصول عليها من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية –معهد دراسات وأبحاث علوم الفضاء للقمر الصناعي SPOT 5، من اللاقط HRG 2، وبالنطاق الأبيض والأسود (Panchromatic) وبدرجة وضوح (2.5م)، ومستوى معالجة Level A1، شكل (1) وشكل (2).

شكل 1

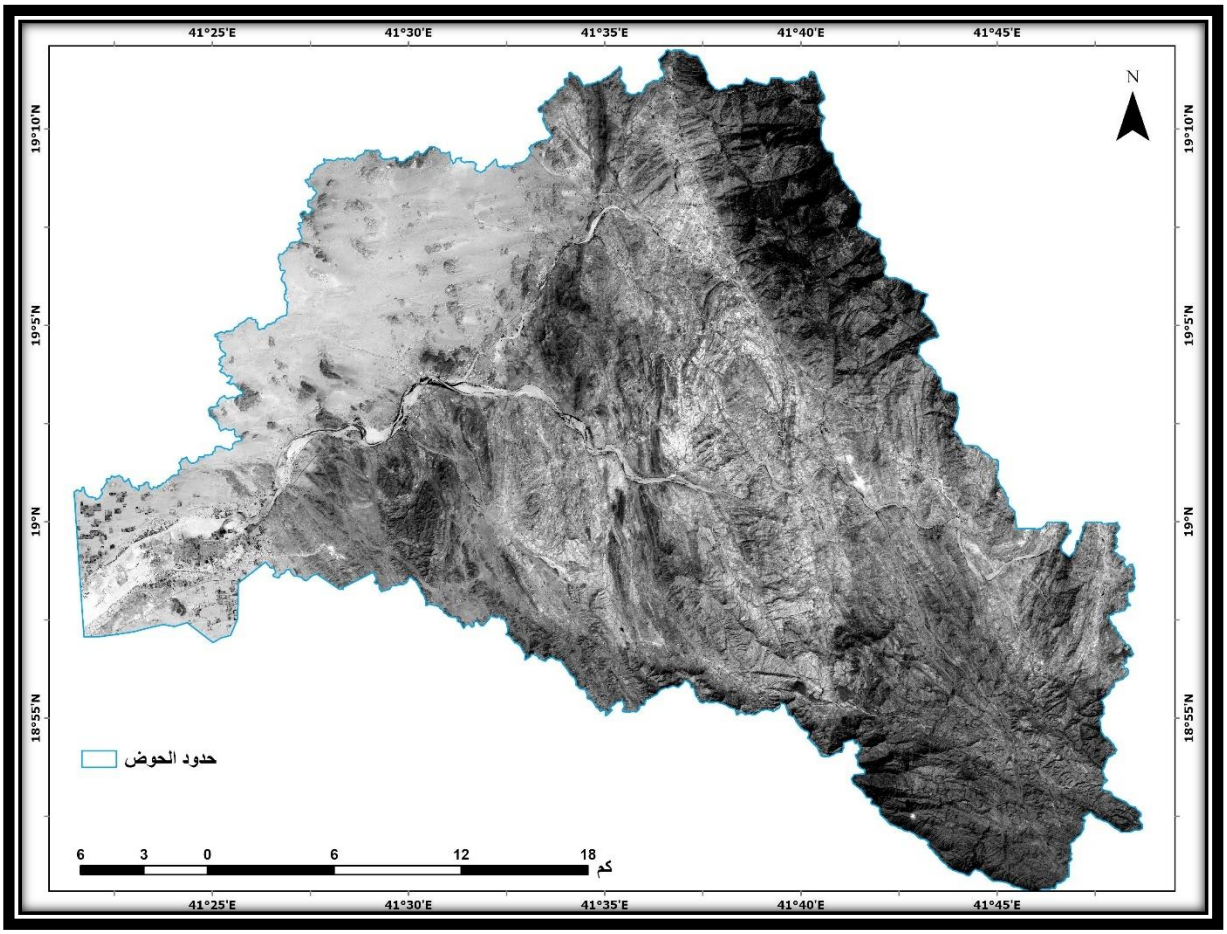
موقع حوض وادي يبة.



المصدر: إعداد الباحثة اعتمادا على Shapfile من الهيئة العامة للمساحة والمعلومات الجيومكانية.

شكل 2

صورة أورثو لحوض وادي يبة



المصدر: إعداد الباحثة اعتمادا على مرئية سبوت 5 مزدوجة.

6. منهجية الدراسة

اتبعت هذه الدراسة منهجًا تحليليًا استقرائيًا، يعتمد على مرحلتين حيث تم تثبيت حجم العينة (153440) نقطة في حدود مساحة منطقة التطبيق (حوض وادي يبة)، بكثافة (160) نقطة في الكيلومتر مربعًا، وذلك من نموذج الارتفاع الرقمي المنتج من مرئيات سبوت (SPOT) المزدوجة لمنطقة الدراسة بدقة مكانية (2.5م). تم تحديد حجم العينة بناء على عدة تجارب أجريت على حجم العينة من خلال دراسة سابقة تبين فيها أن هذا الحجم مناسب من حيث تمثيل السطح تضاريسيا، وعدم إظهار التشوهات الموجودة في النموذج المرجعي المأخوذة منها العينة، يمكن الرجوع إلى دراسة (السفري والغامدي، 2016).

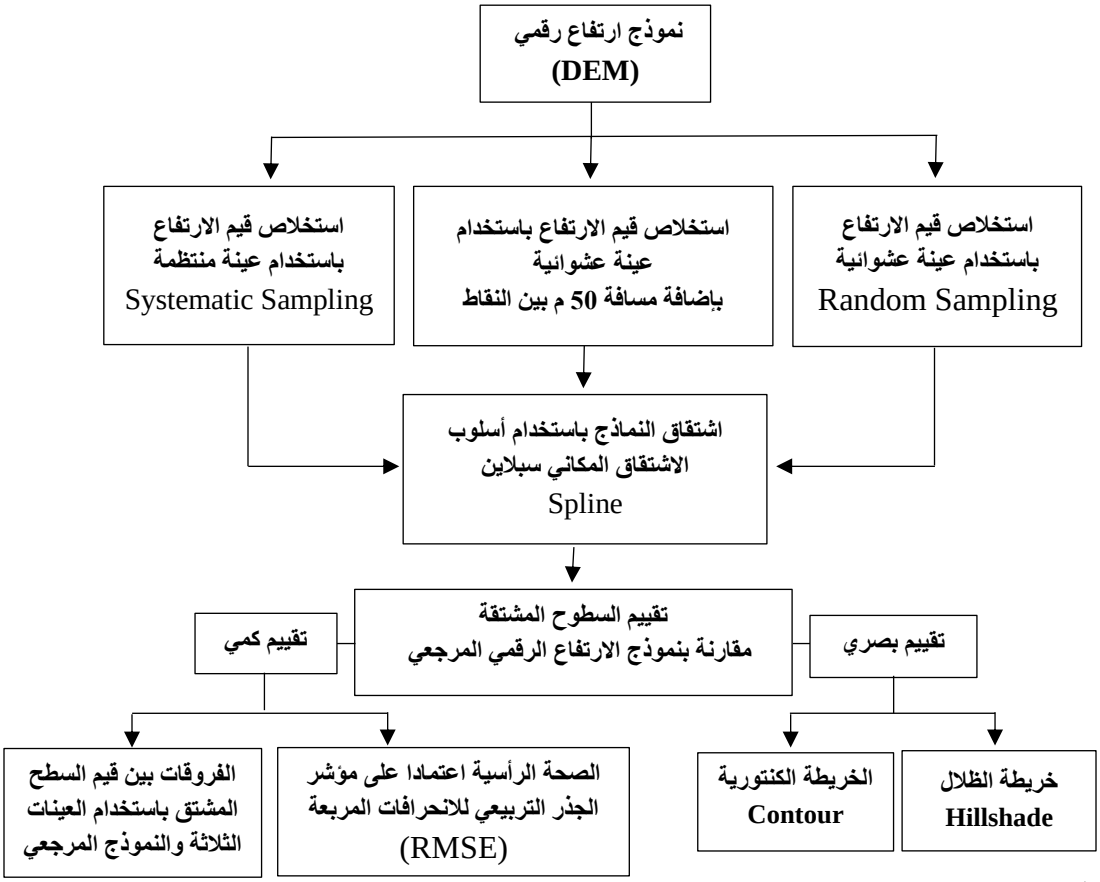
وسيكون تنفيذ المنهجية على النحو الآتي (شكل 3):

أولا: إعداد البيانات.

ثانيا: تقييم السطوح المشتقة بصريا وكميا.

شكل 3

المراحل المنهجية للبحث



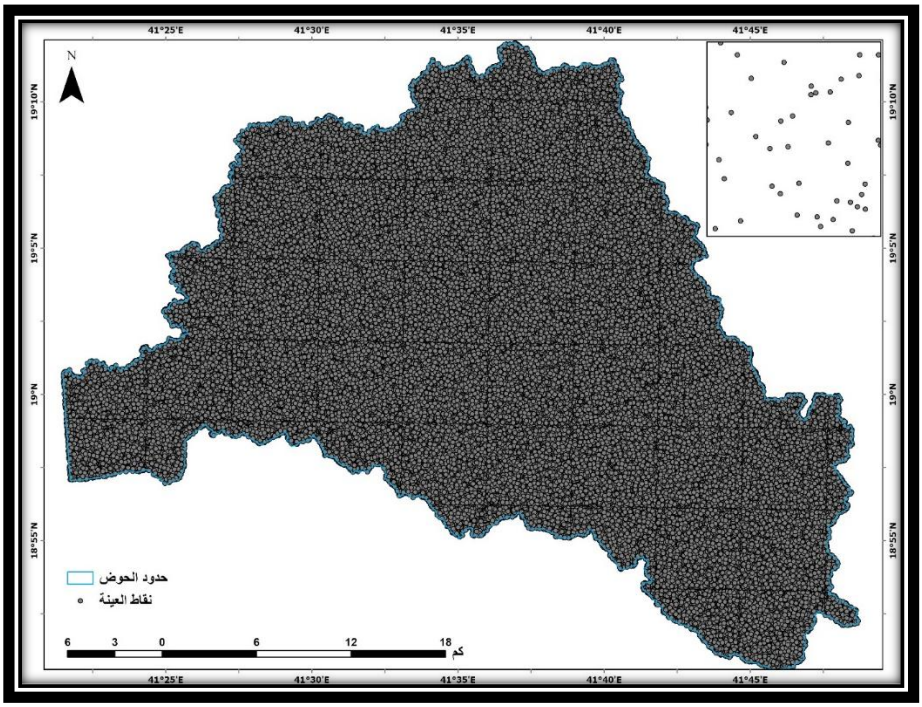
أولا: إعداد البيانات

تم بناء قاعدة بيانات باستخدام واجهة (Catalog) ببرنامج (Arc GIS Pro)، ثم تم في واجهة (Map) استخراج عينة عشوائية Random Sampling (شكل 4)، وعينة عشوائية بإضافة مسافة 50 م بين النقاط (شكل 5)، وعينة منتظمة Systematic Sampling (شكل 6)، بواقع (153440) نقطة في حدود مساحة منطقة الدراسة (حوض وادي يبة)، بكثافة (160) نقطة في الكيلومتر مربعًا، وذلك من نموذج الارتفاع الرقمي المنتج من مرئيات سبوت 5 (SPOT5) المزدوجة لمنطقة الدراسة بدرجة وضوح (2.5م).

تم استخدام أسلوب الاشتقاق المكاني (Spatial Interpolation) إسبلاين (Spline) لاشتقاق السطوح من العينات الثلاثة؛ حيث تقدم هذه الطريقة من الاشتقاق المكاني سطحًا سلسًا يتغير بشكل تدريجي، وتتنبأ بالأودية والمنحدرات (عيد وقدورة، 2017: 7). وقد تم تثبيت حجم العينة وكذلك أسلوب الاشتقاق في كل أنماط العينة حتى تكون معايير التقييم ثابتة لكل أنماط العينة المستخدمة في الدراسة، وبذلك تم إنتاج ثلاثة نماذج للارتفاع الرقمي بحوض وادي يبة بأنماط مختلفة للعينة (العينة العشوائية، العينة العشوائية على بعد 50م بين النقاط، العينة المنتظمة).

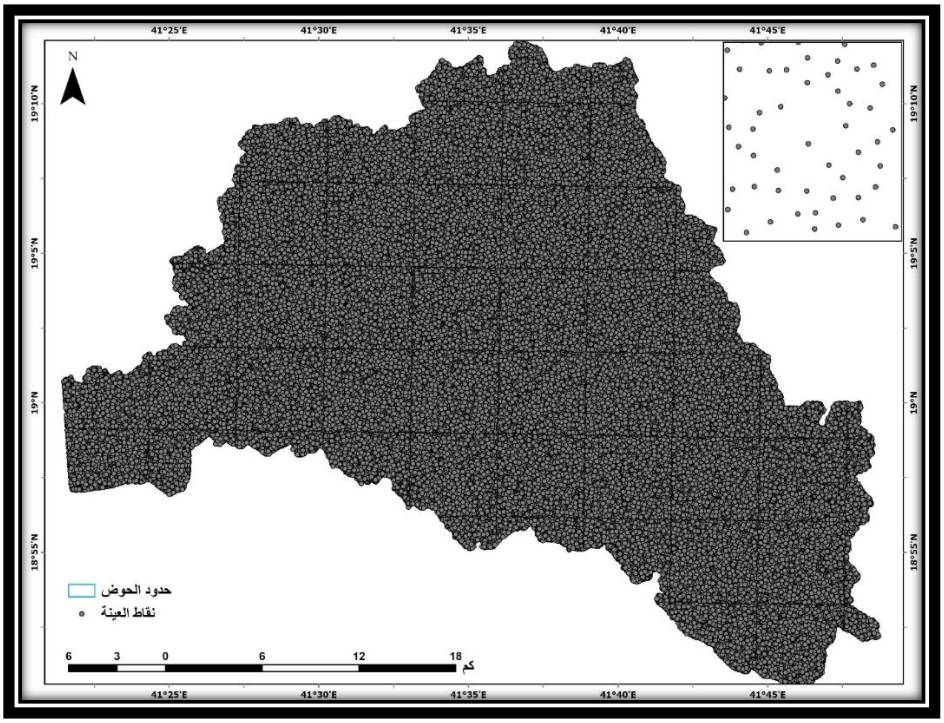
شكل 4

العينة العشوائية



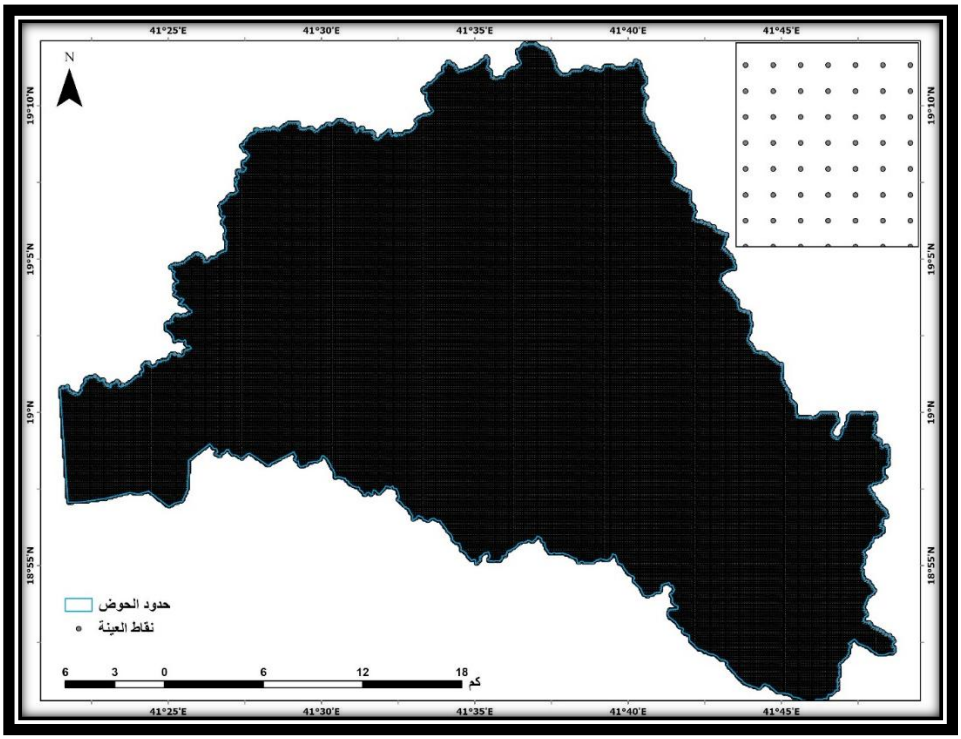
شكل 5

العينة العشوائية بإضافة 50م بين العينات



شكل 6

العينة المنتظمة



ثانيا: تقييم السطوح الثلاثة المشتقة

تم اعتماد نموذج الارتفاع الرقمي المنتج من مرئيات سبوت 5 (SPOT5) المزدوجة لمنطقة الدراسة بدرجة وضوح (2.5م)، كأساس –تم تسميته بنموذج الارتفاع الرقمي المرجعي– لتقييم السطوح المنتجة باستخدام العينات الثلاثة المختلفة. وتم تقييم نماذج الارتفاع الرقمي الثلاثة المنتجة بطريقتين وهما:

الطريقة الأولى: التقييم البصري من خلال تحليل تظليل التضاريس، وخطوط الكنتور.

تحليل تظليل التضاريس: يستخدم للفحص البصري السريع عن التشوه في نماذج الارتفاع الرقمي الذي قد يظهر على شكل نقاط مضيئة أو مظلمة، وهذا يشير إلى كل من الأخطاء العشوائية والمنتظمة.

خطوط الكنتور المشتقة: من نماذج الارتفاع الرقمي التي تكون حساسة للتحقق من بنية موضع التضاريس والاتجاه والتقوس، والتي تعتمد مباشرة على الارتفاع، والاتجاه، وقطاع التقوس على التوالي من نماذج الارتفاع الرقمي. كما تُعد خطوط الكنتور المشتقة من نماذج الارتفاع الرقمي مفيدة– بشكل خاص– كأداة تشخيصية؛ بسبب حساسيتها لأخطاء الارتفاع في بيانات المصدر (Hutchinson and Gallant, 2005).

الطريقة الثانية: التقييم الكمي باستخدام طريقتين للتقييم:

أولا: حساب الصحة الرأسية (Vertical Accuracy) عند مستوى ثقة 95%، بعد إيجاد مؤشر الجذر التربيعي للانحرافات المربعة (RMSE) (FGDC, 1998)، للسطوح المشتقة باستخدام العينات الثلاثة مقارنة بنموذج الارتفاع الرقمي المرجعي اعتمادا على عينة عشوائية مقدارها: 100 عينة؛ حيث يجب اختبار ما لا يقل عن 20 نقطة اختبار موزعة؛ لتعكس المنطقة الجغرافية ذات الاهتمام وتوزيع الخطأ في مجموعة البيانات (FGDC, 1998).

معادلة مؤشر الجذر التربيعي للانحرافات المربعة (RMSE) الرأسية:

$$\mathrm{RMSE_z} = \sqrt{\sum \frac{(Z_{data\,i} - Z_{check\,i})^2}{n}}$$ معادلة (1)

حيث إن:

$\mathrm{RMSE_z}$= مؤشر الجذر التربيعي للانحرافات المربعة الرأسية.

$Z_{data\,i}$ = الإحداثي الرأسي لنقطة العينة في مجموعة البيانات.

$Z_{check\,i}$= الإحداثي الرأسي للنقطة المرجعية.

n= عدد نقاط العينة.

معادلة الصحة الرأسية عند مستوى ثقة 95%:

$$\mathrm{Accuracy_z} = 1.9600 \times \mathrm{RMSE_z}$$ معادلة (2)

حيث إن:

$\mathrm{Accuracy_z}$= الصحة.

1.9600= ثابت.

$\mathrm{RMSE_z}$= مؤشر الجذر التربيعي للانحرافات المربعة.

ثانيا: إيجاد الفرق بين النماذج المشتقة باستخدام العينات الثلاثة، ونموذج الارتفاع الرقمي المرجعي من خلال إنتاج سطح الخطأ، باستخدام برنامج Arc GIS Pro.

7. النتائج والمناقشة

تمت المقارنة بصفة عامة بين المدى لقيم الارتفاع الرقمي المشتقة بطريقة الاشتقاق المكاني الإسبلاين بطرق العينة المختلفة: (العينة العشوائية، العينة العشوائية على بعد 50م بين النقاط، العينة المنتظمة)، والمدى لقيم الارتفاع في نموذج الارتفاع

الرقمي المرجعي، فبلغت قيمة الارتفاع في نماذج الارتفاع الرقمي الأربعة، كما يظهر في الجدول (1) والأشكال (7) و(8) و(9) و(10).

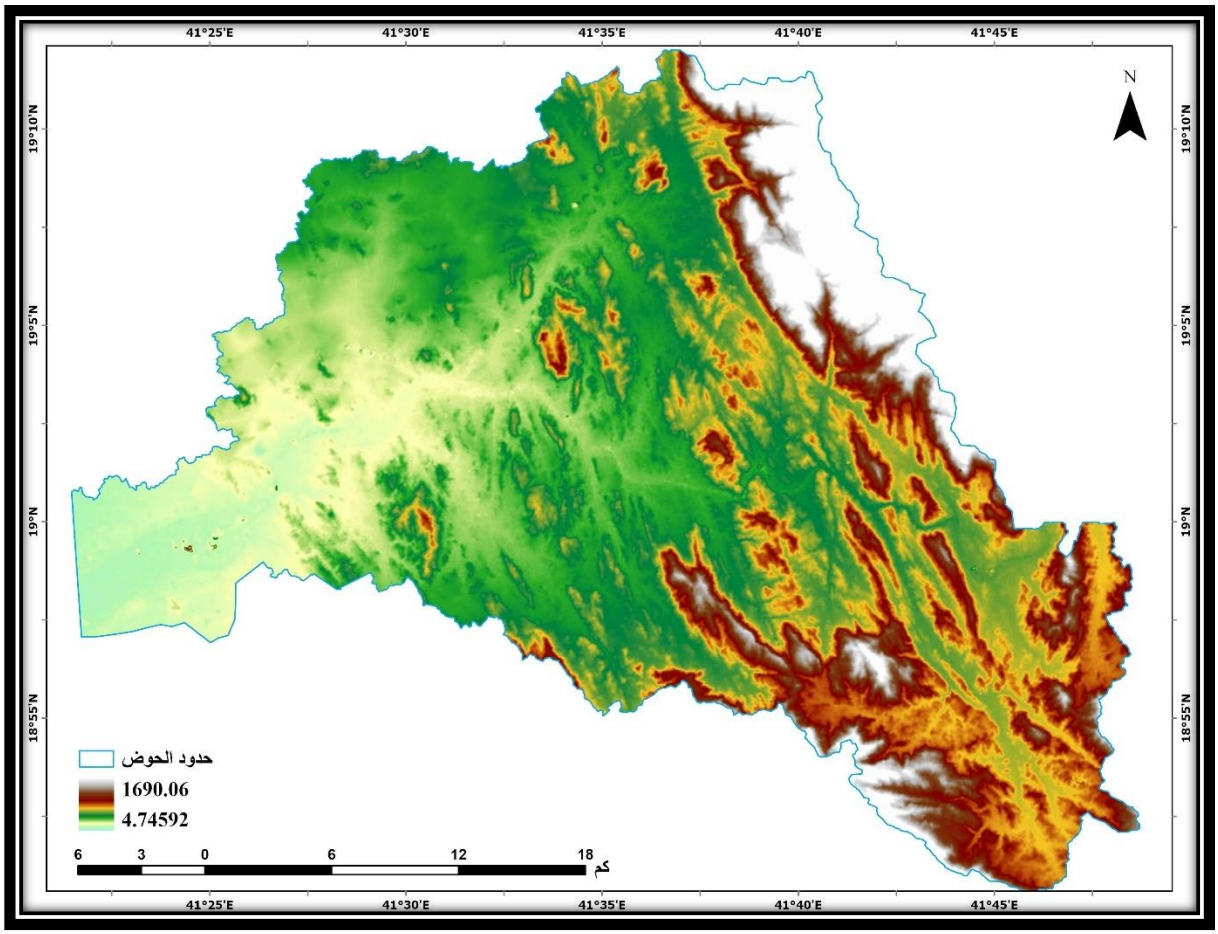
جدول 1

مدى قيم الارتفاع لنماذج ارتفاع الرقمي المشتقة من العينات ونموذج الارتفاع الرقمي المرجعي

	نموذج الارتفاع الرقمي المرجعي	نموذج الارتفاع الرقمي المشتق من العينة العشوائية	نموذج الارتفاع الرقمي المشتق من العينة العشوائية النقاط على بعد 50م	نموذج الارتفاع الرقمي المشتق من العينة المنتظمة
أعلى قيمة (max)	1642.62م	1690.06م	1647.65م	1662.3م
أقل قيمة (min)	18.7853م	4.74592م	20.5172م	14.8832م

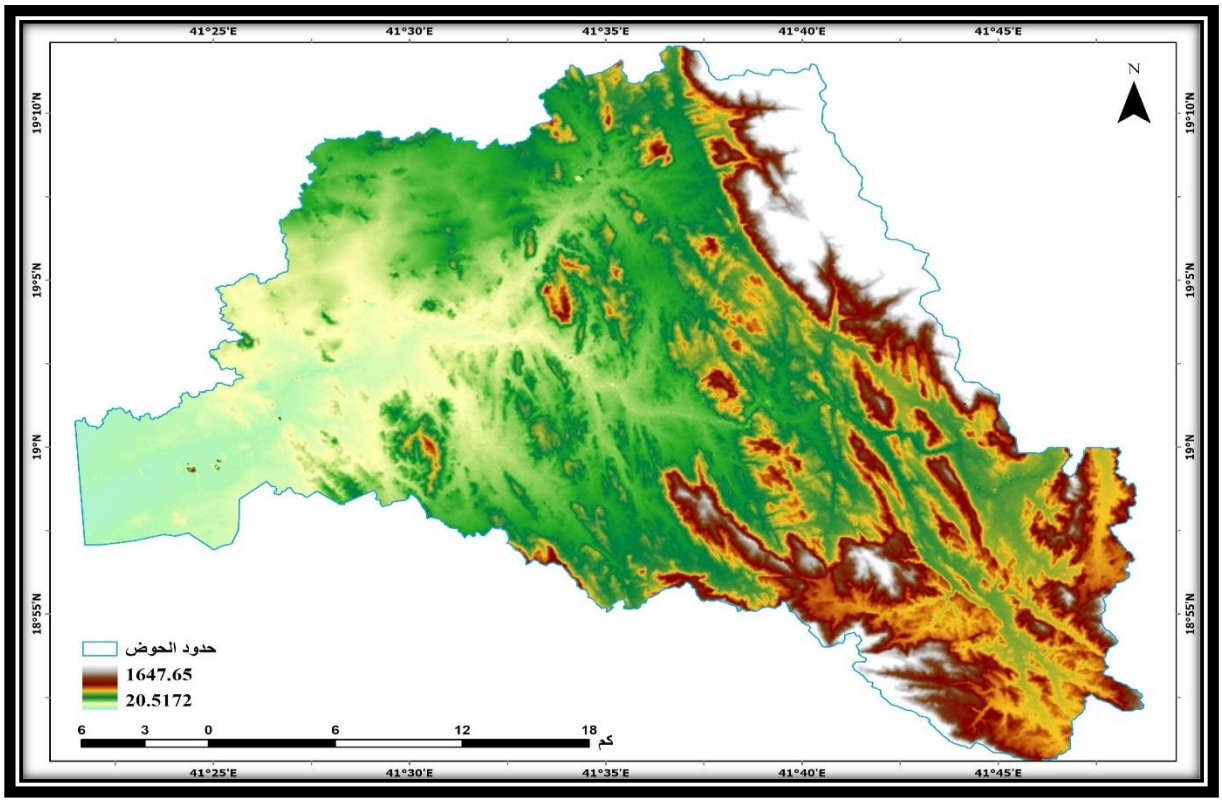
شكل 7

نموذج الارتفاع الرقمي لحوض وادي يبة المشتق باستخدام العينة العشوائية



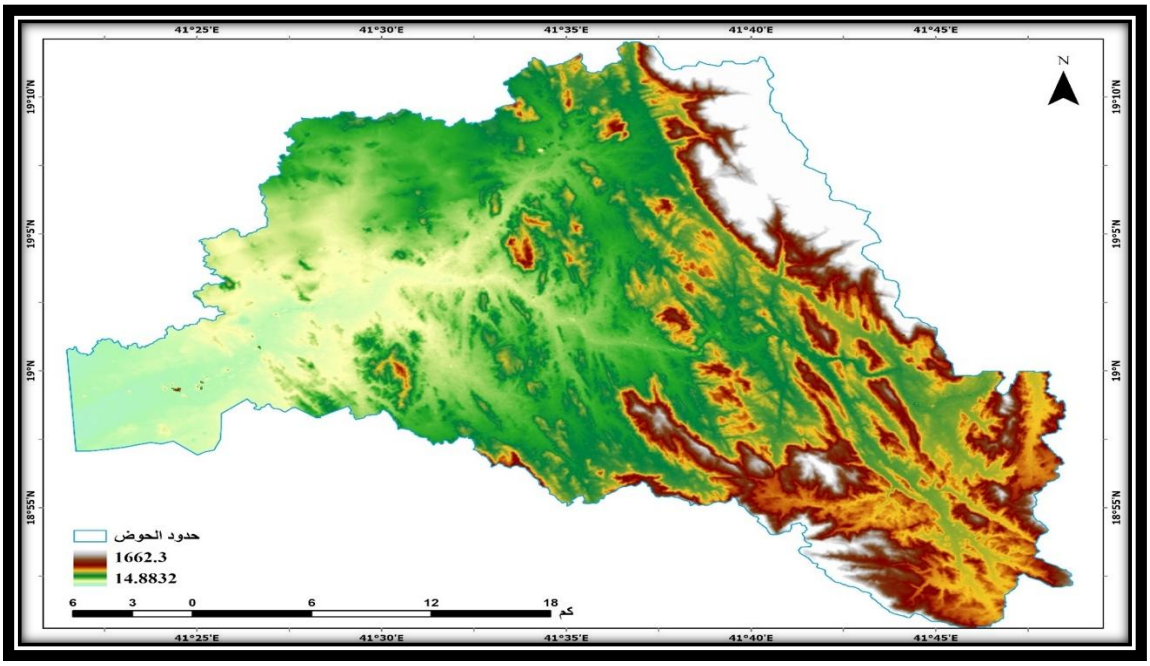
شكل 8

نموذج الارتفاع الرقمي لحوض وادي يبة المشتق باستخدام العينة العشوائية مع إضافة بعد (50م) بين العينات



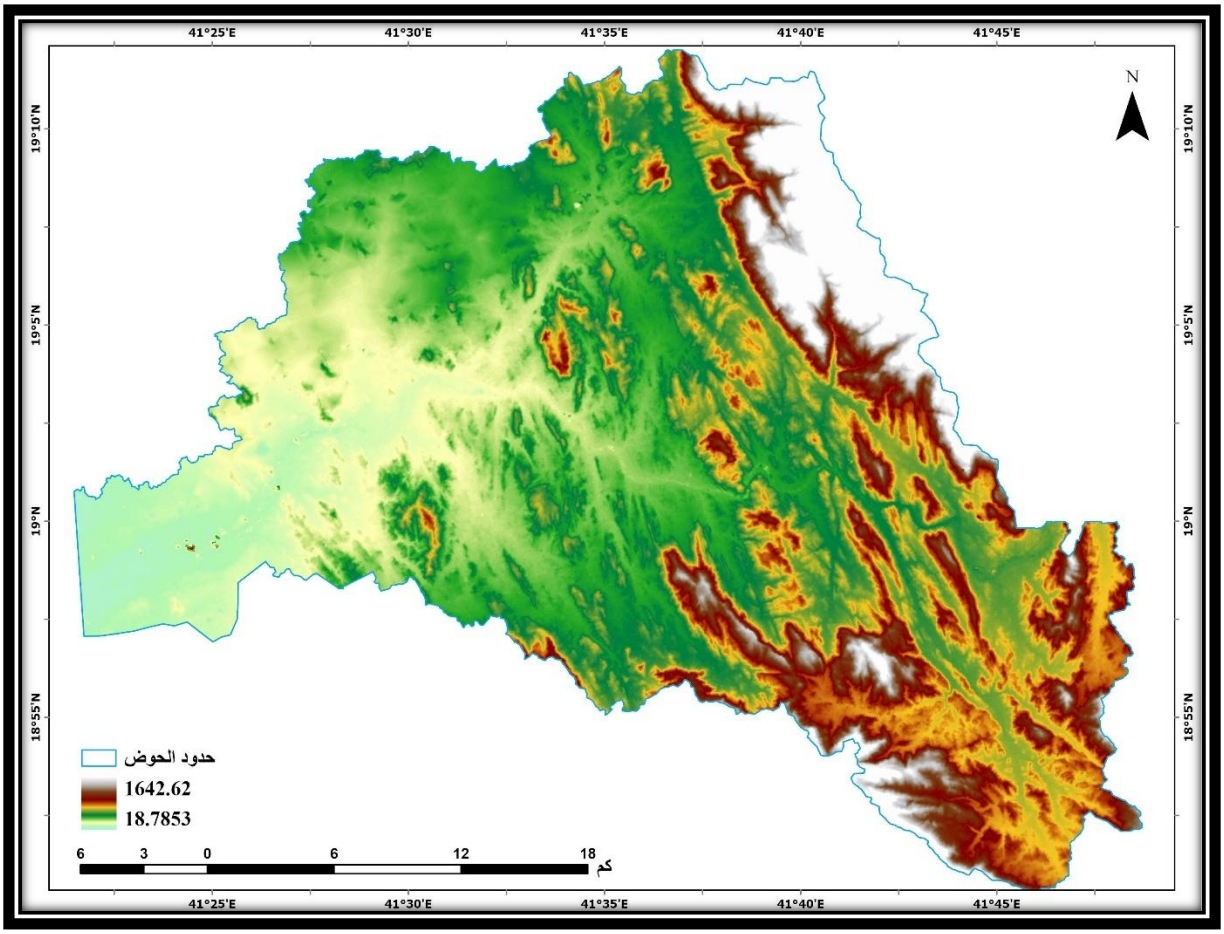
شكل 9

نموذج الارتفاع الرقمي لحوض وادي يبة المشتق باستخدام العينة المنتظمة



شكل 10

نموذج الارتفاع الرقمي المرجعي لحوض وادي يبة



عندما نمعن النظر في الجدول (1) والأشكال (7) و (8) و(9) و(10) وبالمقارنة بين قيم الارتفاع لأعلى وأقل قيمة لنماذج الارتفاع الرقمي المستخرجة من العينات الثلاثة بنموذج الارتفاع الرقمي المرجعي المستخرجة منه العينات، يتضح أن العينة العشوائية بإضافة بعد 50 مترًا بين العينات هي الأقرب لأقل قيمة في النموذج المرجعي حيث سجلت (20.5م)، بينما انخفضت إلى (14.8م) في العينة المنتظمة، أما في العينة العشوائية فقد سجلت أقل قيمة (4.7م)، مقارنة بأقل قيمة في النموذج المرجعي والتي بلغت (18.7م). وقد ظهر أكبر اختلاف في أقل القيم بين النموذج المرجعي والنموذج المشتق بالعينة العشوائية، والذي قد يعود إلى أن العينة العشوائية لم تمثل السطح بشكل جيد مقارنة بالعينة المنتظمة والعينة العشوائية بإضافة بعد 50 متر والتي اختلفت بمقدار (4م) وأقل من (2م) على التوالي. أما أعلى قيمة في النموذج المستخرج، فقد سجلت– أيضا– العينة العشوائية بإضافة بعد 50 مترًا بين العينات (1642.62م)، والتي حققت أقرب

قيمة للنموذج المرجعي حيث بلغت (1647.65م)، بينما بلغت أعلى قيمة في النموذج المستخرجة بالعينة العشوائية (1690.06م)، والعينة المنتظمة (1662.3م).

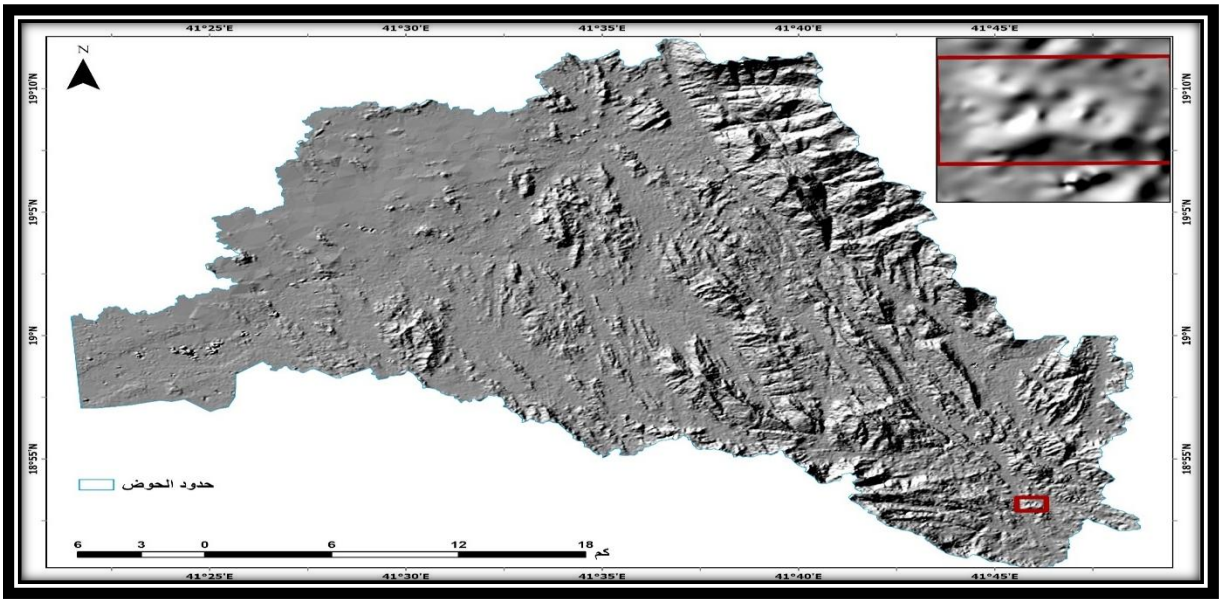
وعلى الرغم من الاختلاف بين أعلى قيمة وأقل قيمة في نماذج الارتفاع الرقمي المشتقة بمختلف أنواع العينة، مقارنة بنموذج الارتفاع الرقمي المرجعي، إلا أن النموذج المستخرج بالعينة العشوائية بإضافة بعد 50 مترًا بين العينات حافظ على تفاصيل السطح العامة ومعظم التفاصيل الصغيرة، كما حقق أعلى قرب للقيم المرجعية مقارنة بنماذج الارتفاع الرقمي المشتقة باستخدام العينة العشوائية والعينة المنتظمة. حيث لم يزد الاختلاف بين النموذج المستخرج بالعينة العشوائية بإضافة بعد 50 متراً بين العينات ونموذج الارتفاع الرقمي المرجعي في أقل قيمة عن (1.8م) وأعلى قيمة عن (5.03م). خاصة مع تثبيت جميع المتغيرات التي قد تؤثر على صحة الاشتقاق سواء حجم العينة أو أسلوب الاشتقاق أو طبيعة السطح، ولم يتم التأثير إلا على متغير واحد وهو نمط العينة. ولأن الأشكال أعلاه لا تقدم دليلًا بصريًا كافيًا للمقارنة بين السطوح، وإنما تعطي مقارنة أو إضاءة بسيطة من خلال مقارنة أعلى قيمة وأقل قيمة في السطوح الثلاثة مقارنة بالنموذج المرجعي، فقد تم استخراج الظلال والكنتور لجميع النماذج.

التقييم البصري

تم استخراج الظلال والكنتور من نماذج الارتفاع الرقمي المشتقة باستخدام العينات الثلاثة ومن النموذج المرجعي؛ لتسجيل الملاحظات البصرية وتقييم السطوح بناء عليها، ويتضح من الأشكال (11) و(12) و(13) و(14) خرائط الظلال.

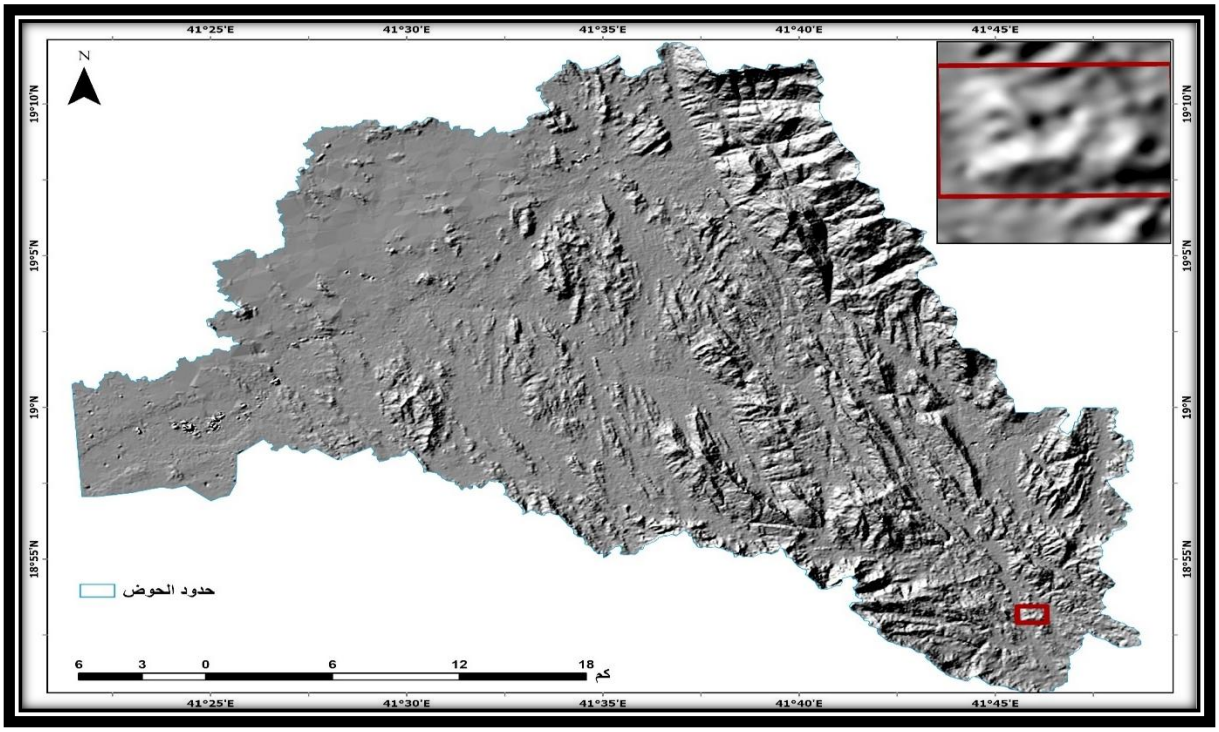
شكل 11

الظلال لحوض وادي يبة المستخرجة من نموذج الارتفاع الرقمي المشتق باستخدام العينة العشوائية



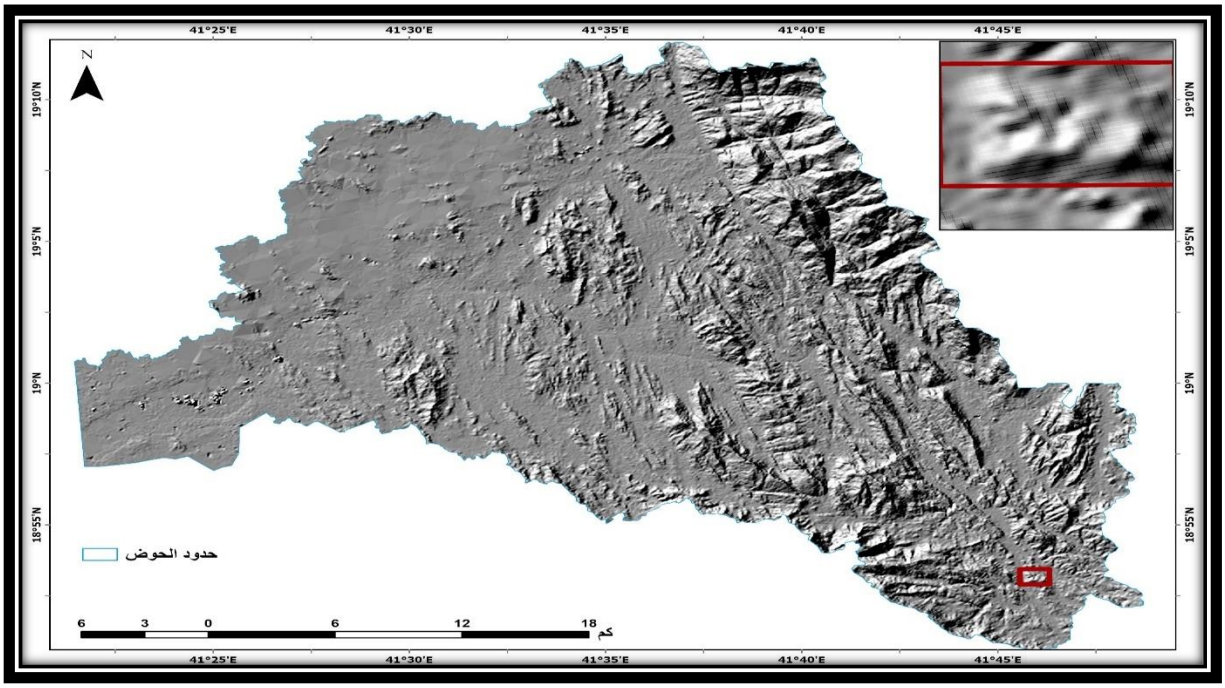
شكل 12

الظلال لحوض وادي يبة المستخرجة من نموذج الارتفاع الرقمي المشتق باستخدام العينة العشوائية مع إضافة بعد (50م) بين العينات



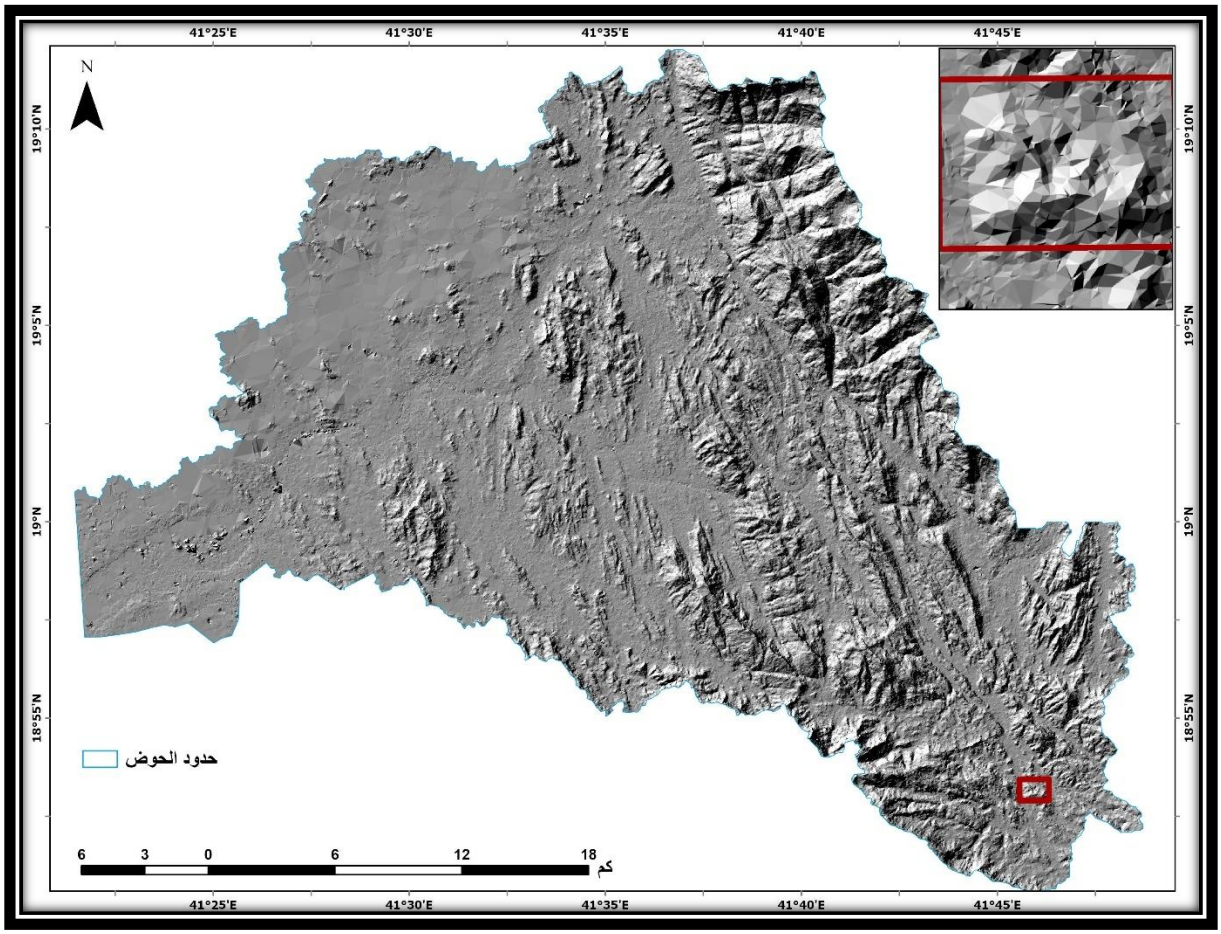
شكل 13

الظلال لحوض وادي يبة المستخرجة من نموذج الارتفاع الرقمي المشتق باستخدام العينة المنتظمة



شكل 14

الظلال لحوض وادي يبة المستخرجة من نموذج الارتفاع الرقمي المرجعي



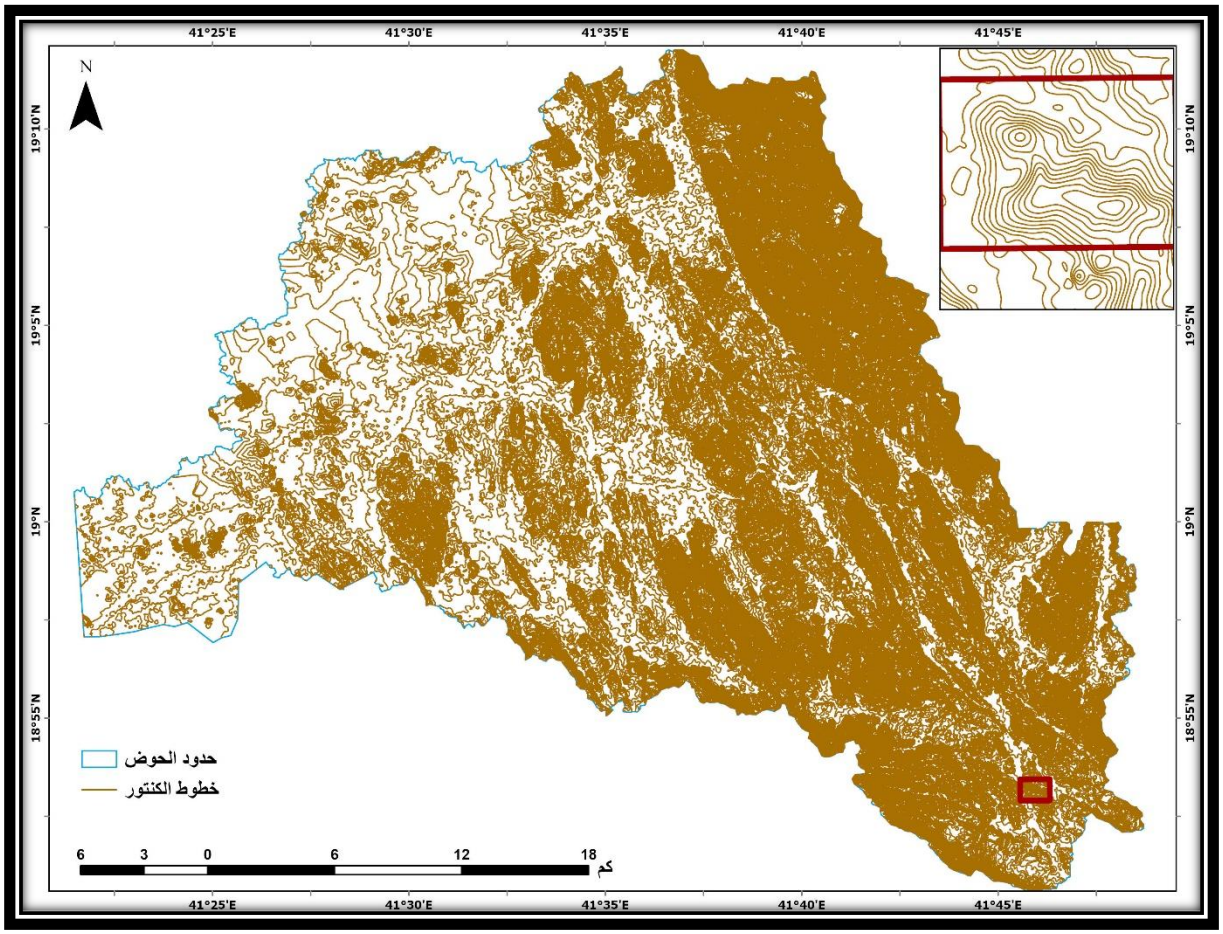
يتضح من الأشكال (11) و(12) و(13) و(14) أن الظلال المستخرجة من نماذج الارتفاع الرقمي المشتقة باستخدام العينات سواء العشوائية (شكل 11)، أو العشوائية بإضافة 50م بين العينات (شكل 12)، أو العينة المنتظمة (شكل 13) تظهر تفاصيل جيدة ومقبولة مقارنة بالسطح المرجعي (شكل 14)، بالإضافة إلى نعومة السطح في تمثيل الظواهر؛ نتيجة لاستخدام أسلوب الاشتقاق المكاني الإسبلاين. ولكن عند النظر إلى الجزء المكبر من السطح الذي تم تحديده في نفس الموقع للظلال الأربعة، ومن خلال التقييم البصري نجد أن التفاصيل بدت مناسبة مقارنة بنموذج الارتفاع الرقمي المرجعي، إلا أن هناك بعض الملاحظات حيث ظهر في نموذج الارتفاع الرقمي المستخرج باستخدام العينة العشوائية، والعشوائية بإضافة بعد 50م بين العينات نسيج السطح جيدًا، وتموجه الذي يوضح طبيعة التضرس في المنطقة مقبولا؛ لكونه يقترب من شكل التموج في النموذج المرجعي من خلال الملاحظة البصرية. وإن كان أوضح في العينة العشوائية بإضافة بعد 50م بين العينات؛ نتيجة لتوزيع العينة التي أسهمت في توزيع التموج بشكل متوازن ومتسق على كامل السطح، وهذا ما افتقده النموذج المستخرج بالعينة العشوائية حيث ظهر تموج السطح متركزًا في موقع، ومتباعدًا في موقع آخر؛ نتيجة توزيع هذا النوع من العينة. أما في نموذج الارتفاع الرقمي المستخرج بالعينة المنتظمة نجد أن نسيج السطح يظهر فيه خطوط شبكية؛

مما يجعل السطح غير ملائم، والذي كان نتيجة توزيع العينة المنتظمة. وعلى الرغم من أن توزيع التموج في السطح باستخدام العينة المنتظمة مناسب ومتسق؛ لاقتراب تفاصيله من شكل السطح المرجعي، إلا أن العينة المنتظمة أثرت على نسيج السطح.

تظهر الأشكال (15) و(16) و(17) و(18) خرائط الكنتور للسطوح المشتقة من العينات الثلاثة والسطح المرجعي لإجراء المقارنة البصرية، وتقييمها مقارنة بالسطح المرجعي؛ وقد تم تحديد الفاصل الكنتوري (10م) لالتقاط أعلى قدرًا ممكنًا من التفاصيل والمقارنة بين السطوح، سواء في تقارب الخطوط أو تموجها أو حتى تمثيلها للقمم.

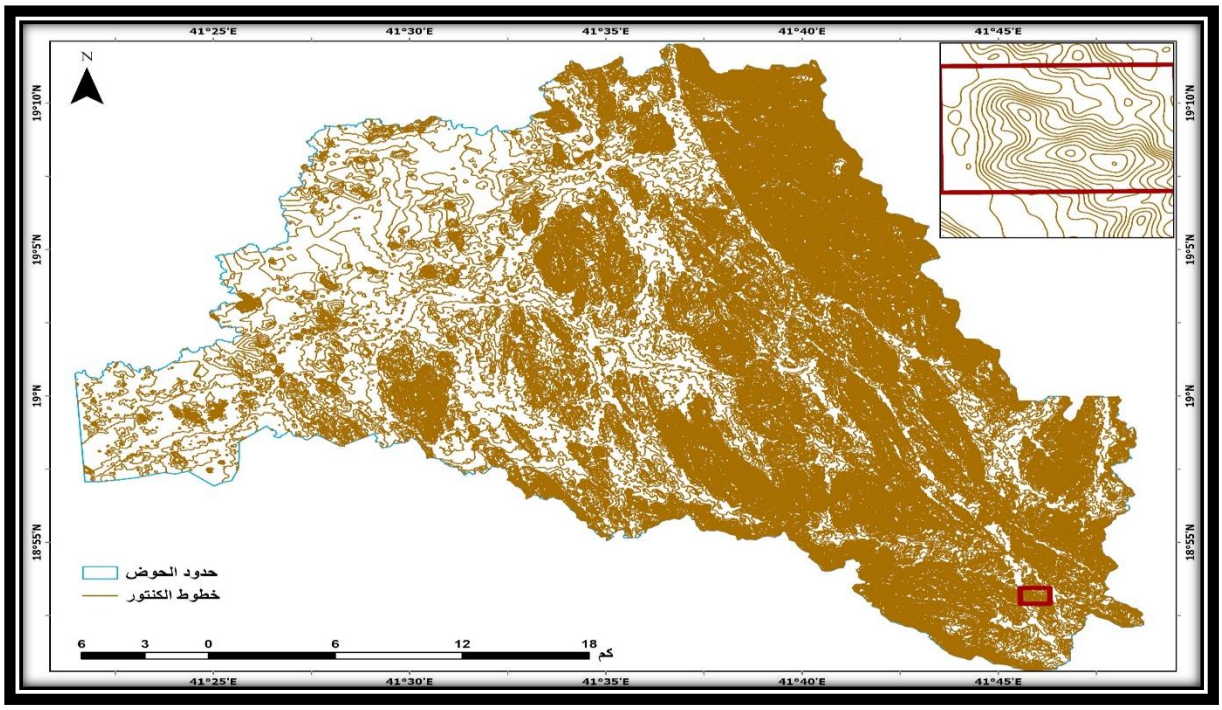
شكل 15

الكنتور لحوض وادي يبة المستخرجة من نموذج الارتفاع الرقمي المشتق باستخدام العينة العشوائية



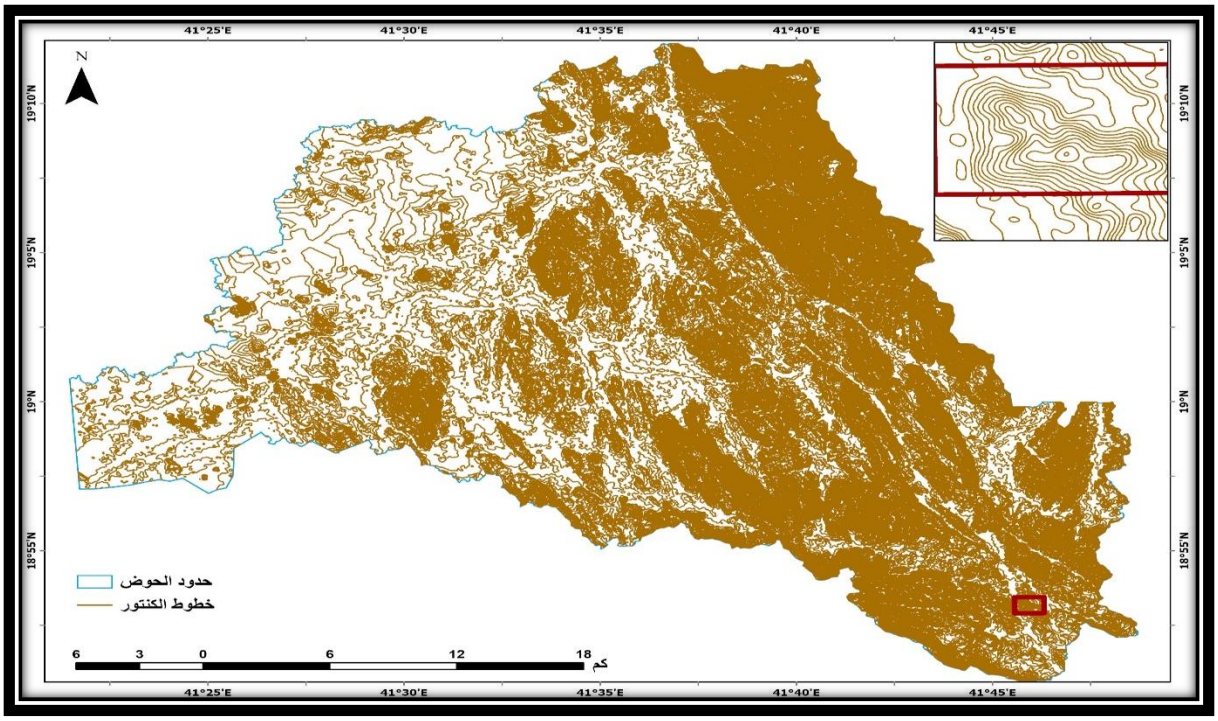
شكل 16

الكنتور لحوض وادي يبة المستخرجة من نموذج الارتفاع الرقمي المشتق باستخدام العينة العشوائية مع إضافة بعد (50م) بين العينات



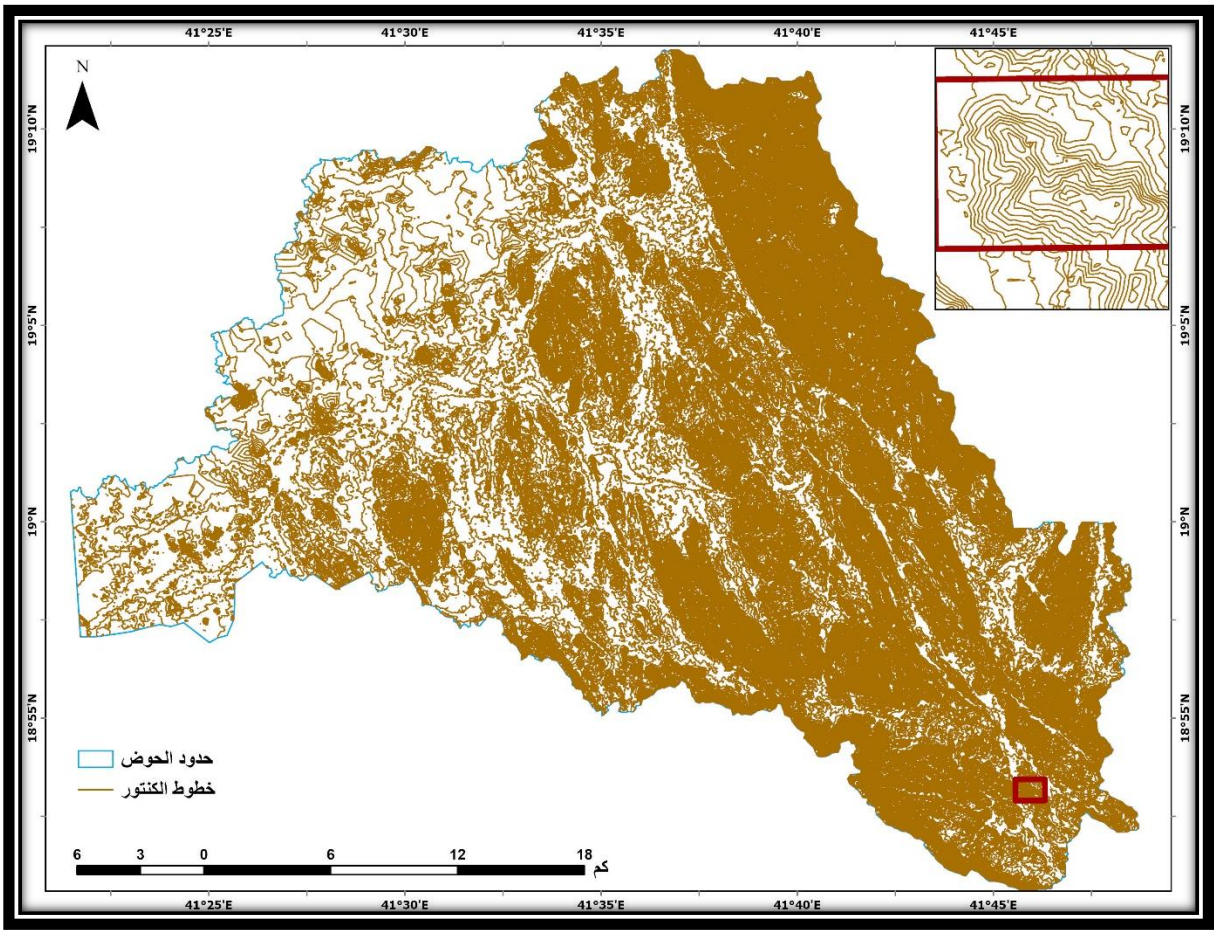
شكل 17

الكنتور لحوض وادي يبة المستخرجة من نموذج الارتفاع الرقمي المشتق باستخدام العينة المنتظمة



شكل 18

الكنتور لحوض وادي يبة المستخرجة من نموذج الارتفاع الرقمي المرجعي



تتضح من خلال الأشكال (15) و(16) و(17) و(18) خطوط الكنتور المشتقة من نماذج الارتفاع الرقمي المستخرجة باستخدام العينات سواء العشوائية (شكل 15)، أو العشوائية بإضافة 50م بين العينات (شكل 16)، أو العينة المنتظمة (شكل 17)، أن تفاصيل السطح جيدة ومقبولة من خلال المقارنة البصرية بالسطح المرجعي (شكل 18)، بالإضافة إلى سلاسة خطوط الكنتور في تمثيل السطوح؛ نتيجة لاستخدام طريقة الاشتقاق المكاني الإسبلاين. ولكن عند النظر إلى الجزء المكبر من السطح –الذي تم تحديده في نفس الموقع للكنتور الأربعة– يبدو أن توزيع التفاصيل متوازنًا في نموذج الارتفاع الرقمي المستخرج باستخدام العينة العشوائية بإضافة بعد 50 م بين العينات، والعينة المنتظمة أقرب للسطح المرجعي، في حين ظهرت التفاصيل متركزة في موقع ومتباعدة في موقع أخر في العينة العشوائية من حيث تقارب الخطوط وظهور القمم.

التقييم الكمي

تم تقييم نماذج الارتفاع الرقمي المشتقة باستخدام طريقتين:

الطريقة الأولى: حساب الصحة الرأسية اعتمادًا على مؤشر الجذر التربيعي للانحرافات المربعة (RMSE):

تم حساب مؤشر الجذر التربيعي للانحرافات المربعة (RMSE) الرأسية، –الذي يعد مقياسًا وطريقة منهجية في تقدير صحة البيانات المكانية– لنماذج الارتفاع الرقمي المشتقة باستخدام العينات الثلاثة اعتمادًا على نموذج الارتفاع الرقمي المرجعي. ثم تم حساب الصحة الرأسية (نسبة إلى النموذج المرجعي) (Vertical Accuracy) عند مستوى ثقة 95% من خلال عينة عشوائية مقدارها (100) نقطة باستخدام المعادلة الآتية (FGDC, 1998):

مؤشر الجذر التربيعي للانحرافات المربعة (RMSE) لنموذج الارتفاع الرقمي المشتق باستخدام العينة العشوائية (3.29).

معادلة (1)
$$\text{Accuracy}_z = 1.9600 \times \text{RMSE}_z$$
$$= 1.9600 \times 3.29$$
$$= 6.4484$$

مؤشر الجذر التربيعي للانحرافات المربعة (RMSE) لنموذج الارتفاع الرقمي المشتق باستخدام العينة العشوائية بعد إضافة 50م بعد بين مواقع العينة (1.87).

معادلة (1)
$$\text{Accuracy}_z = 1.9600 \times \text{RMSE}_z$$
$$= 1.9600 \times 1.87$$
$$= 3.6652$$

مؤشر الجذر التربيعي للانحرافات المربعة (RMSE) للنموذج الارتفاع الرقمي المشتق باستخدام العينة المنتظمة (2.01).

معادلة (1)
$$\text{Accuracy}_z = 1.9600 \times \text{RMSE}_z$$
$$= 1.9600 \times 2.01$$
$$= 3.9396$$

يتبين من نتائج حساب صحة نماذج الارتفاع الرقمي الثلاثة اعتمادا على مؤشر الجذر التربيعي للانحرافات المربعة المشتقة باستخدام العينات المختلفة أن احتمالية الخطأ النسبية سجلت أقل قيمة في نموذج الارتفاع الرقمي المشتق باستخدام العينة العشوائية بإضافة بعد 50 م بين العينات، حيث بلغت (3.66م)، في حين ارتفعت نسبيا في النموذج

المشتق باستخدام العينة المنتظمة (3.94م)، وبنسبة كبيرة في العينة العشوائية حيث سجلت (6.45 م)؛ وقد يكون ارتفاع احتمالية الخطأ في العينة العشوائية مقارنة ببقية العينات نتيجة لطبيعة توزيع العينة حيث تتجمع نقاط العينة في بعض المواقع، في حين تكون متباعدة في مواقع أخرى؛ مما يجعلها غير متوازنة في تمثيل تفاصيل السطح بشكل جيد، على العكس من توزيع النقاط في بقية العينات (سواء في العينة بالطريقة العشوائية مع إضافة بعد 50 م بين العينات، والطريقة المنتظمة) والتي يكون توزيعها أكثر اتساقا بحيث لا تتجمع نقاط العينة في موقع دون آخر؛ مما أدى إلى انخفاض احتمالية الخطأ فيها؛ نظرا لتمثيل تفاصيل السطح بشكل متوازن.

الطريقة الثانية: الفروقات بين قيم نماذج الارتفاع الرقمي المشتقة باستخدام العينات الثلاثة والنموذج المرجعي

لمعرفة شكل التوزيع الإحصائي للأخطاء المطلقة وتوزيعها المكاني؛ تم إنتاج سطح للخطأ يبين الفرق المطلق بين كل قيم نماذج الارتفاع الرقمي المشتقة باستخدام العينات الثلاثة وقيم النموذج المرجعي. وتظهر الأشكال (19) و(20) و(21) والجدول (2) المدى في الأخطاء بين نماذج ارتفاع الرقمي المشتقة باستخدام العينات الثلاثة والنموذج المرجعي.

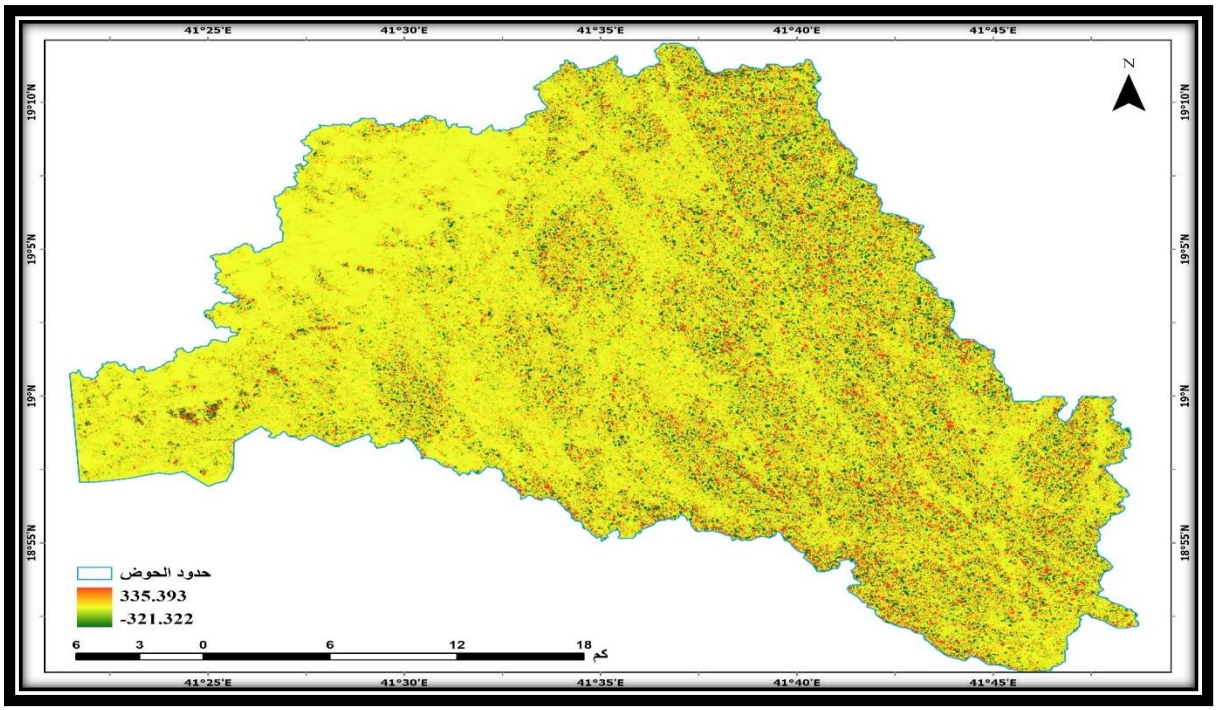
جدول 2

البيانات الإحصائية للفروقات بين نماذج الارتفاع الرقمي المشتقة ونموذج الارتفاع الرقمي المرجعي

	العينة العشوائية **Random Sampling**	العينة العشوائية النقاط على بعد 50م **Random Sampling**	العينة المنتظمة **Systematic Sampling**
أعلى قيمة (max)	**335.393**	**224.358**	**278.877**
أقل قيمة (min)	**-321.322**	**-295.503**	**-264.963**
المتوسط الحسابي (mean)	**-0.022**	**-0.020**	**0.00004**
الانحراف المعياري (stddev)	**3.778**	**2.799**	**2.442**

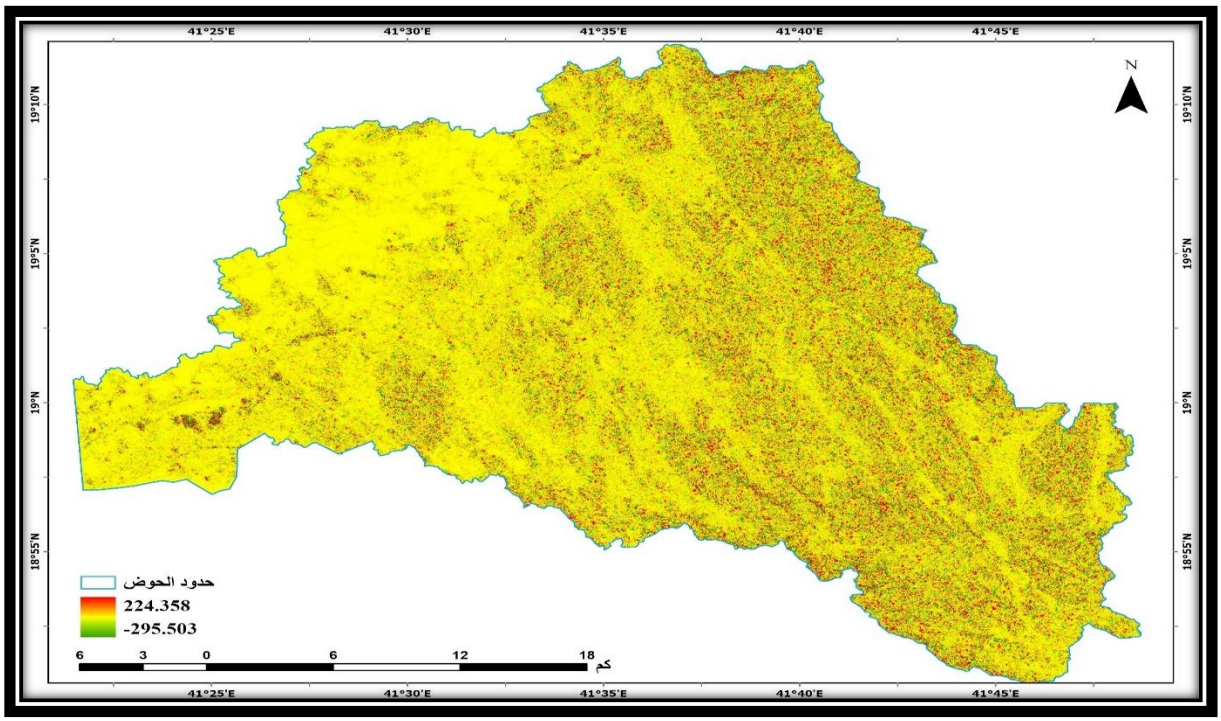
شكل 19

التوزيع المكاني للفروقات بين قيم النموذج المشتق باستخدام العينة العشوائية والنموذج المرجعي لحوض وادي يبة



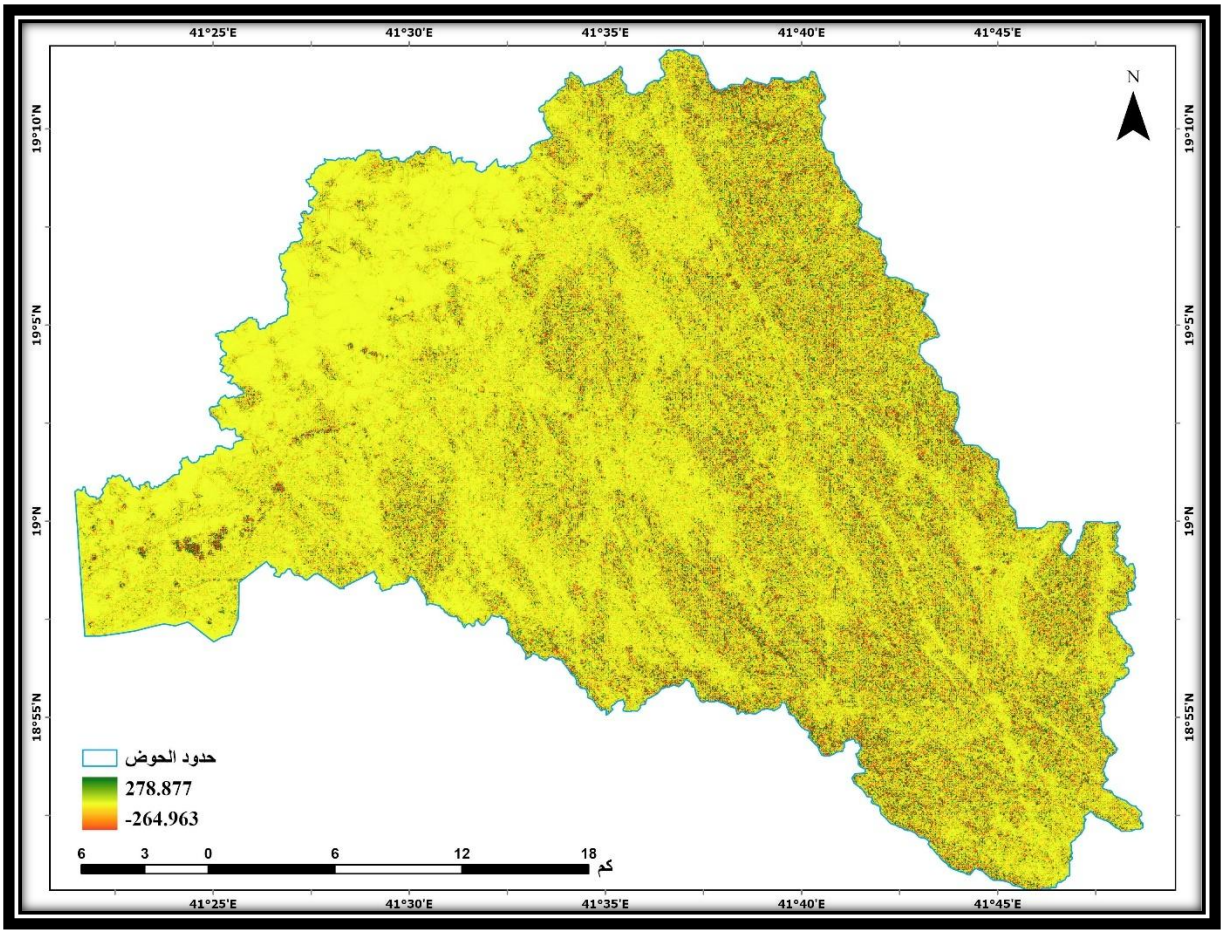
شكل 20

التوزيع المكاني للفروقات بين قيم النموذج المشتق باستخدام العينة العشوائية مع إضافة بعد (50م) بين العينات والنموذج المرجعي لحوض وادي يبة



شكل 21

التوزيع المكاني للفروقات بين قيم السطح المشتق باستخدام العينة المنتظمة والنموذج المرجعي لحوض وادي يبة



يتضح من الجدول (2) والأشكال (19) و(20) و(21) أن أعلى مدى للخطأ سُجل في النموذج المشتق باستخدام العينة العشوائية، حيت تراوح بين (321.322-) و(335.393) مترًا، بينما بلغ مدى الخطأ في النموذج المشتق باستخدام العينة المنتظمة ما بين (264.963-) و(278.877)، في حين تباين بين (295.503-) و(224.358) في النموذج المشتق باستخدام العينة العشوائية بإضافة بعد 50م بين العينات، وتدل هذه القيم على الفرق في قيم الارتفاع بين نموذج الارتفاع الرقمي المرجعي ونماذج الارتفاع الرقمي المشتقة باستخدام العينات، فكلما زادت قيمة الفرق تكون زيادة احتمالية الخطأ أكبر في السطح المشتق بالنسبة للسطح المرجعي، ومن خلال ما سبق يتبين أن أعلى مدى سُجل في النموذج المشتق باستخدام العينة العشوائية، ويليها النموذج المشتق باستخدام العينة المنتظمة، في حين سُجل أقل مدى للخطأ في النموذج المشتق باستخدام العينة العشوائية بإضافة بعد 50م بين العينات. ويعود السبب في حدوث هذه الفروقات بين نماذج الارتفاع الرقمي المشتقة والنموذج المرجعي إلى خطأ نسبي في التنبؤ بقيم السطوح المشتقة، وهي تعتمد في الأصل على القيم

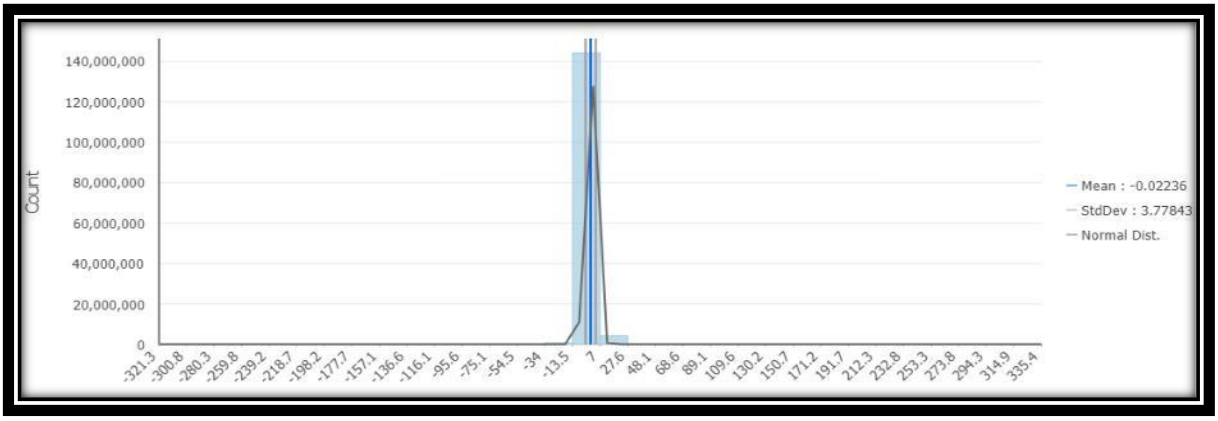
المعلومة التي مثلتها العينة العشوائية بإضافة 50م بين العينة بشكل أفضل؛ لكونها مثلت أقل مدى للفرق بين العينات الثلاثة.

وعلى الرغم من اختلاف المدى بين نماذج الارتفاع المشتقة باستخدام العينات الثلاثة إلا أن توزيع الأخطاء المكاني للسطوح الثلاثة –وكما يستدل من التوزيع الإحصائي– لا يأخذ نمطًا معينًا لكل الأخطاء سوى أن الأخطاء موزعة في كل مكان دون تركز. وعلى الرغم من أن الأخطاء العالية (الموجبة والسالبة) تظهر ارتباطا بالأماكن الأشد تضرسا إلا أنها تتوزع عشوائيا ضمن هذه الأماكن في نماذج الارتفاع الرقمي المشتقة باستخدام العينات الثلاثة.

أما من حيث التوزيع الإحصائي فتوضح الأشكال (22) و(23) و(24) التوزيع الإحصائي للفرق بين قيم نماذج الارتفاع الرقمي المشتقة باستخدام العينات الثلاثة مقارنة بالنموذج المرجعي.

شكل 22

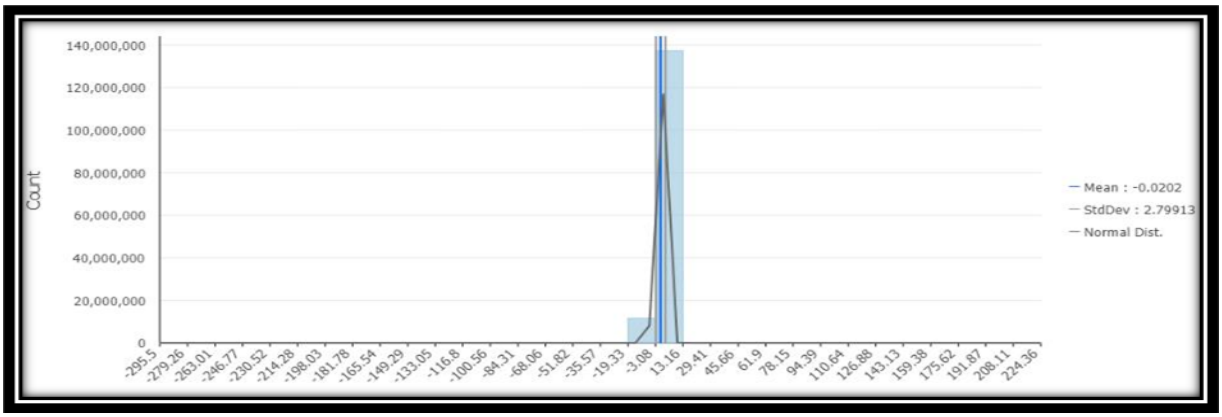
توزيع الأخطاء في سطح نموذج الارتفاع الرقمي المشتق من العينة العشوائية



يبين الشكل (22) والجدول (2) التوزيع الإحصائي للفرق بين قيم السطح المشتق باستخدام العينة العشوائية مقارنة بالنموذج المرجعي الذي يوضح أن شكل التوزيع طبيعي حيث يقترب المعدل من الصفر، وانحراف معياري يساوي (3.778) مترا.

شكل 23

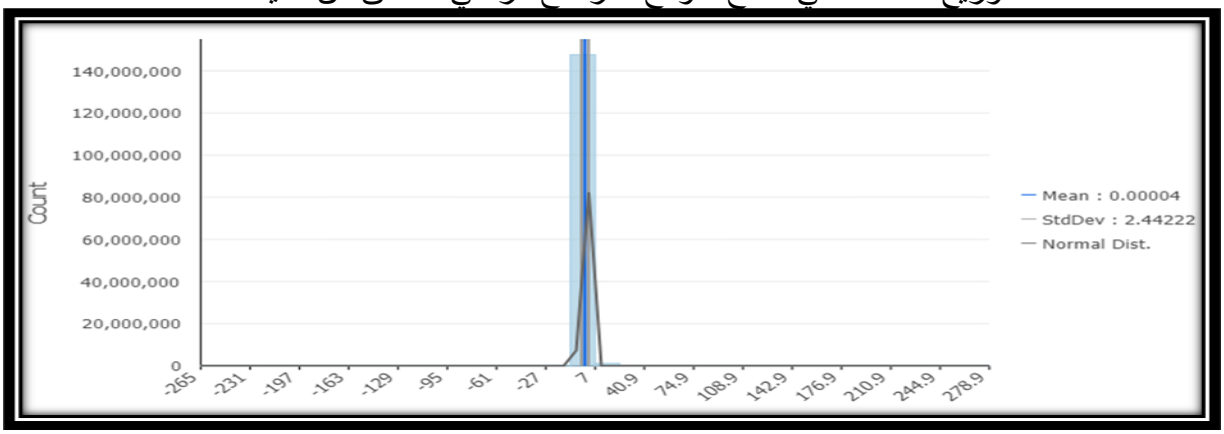
توزيع الأخطاء في سطح نموذج الارتفاع الرقمي المشتق من العينة العشوائية على بعد 50م



بينما يوضح الشكل (23) والجدول (2) التوزيع الإحصائي للفرق بين قيم السطح المشتق باستخدام العينة العشوائية بإضافة بعد 50م بين العينات مقارنة بالنموذج المرجعي، والذي يبين أن شكل التوزيع طبيعي؛ لاقتراب المعدل من الصفر، وانحراف معياري يساوي (2.799) مترا.

شكل 24

توزيع الأخطاء في سطح نموذج الارتفاع الرقمي المشتق من العينة المنتظمة



يظهر الشكل (24) والجدول (2) التوزيع الإحصائي للفرق بين قيم السطح المشتق باستخدام العينة المنتظمة مقارنة بالنموذج المرجعي، أن شكل التوزيع طبيعي حيث يقترب فيه المعدل من الصفر، وانحراف معياري يساوي (2.442) مترا.

ويستدل من التوزيع الطبيعي للسطوح المشتقة باستخدام العينات الثلاثة أن توزيع الأخطاء جاء عشوائيا. وبهذا يُعد الانحراف المعياري مؤشرًا عامًا مطلقًا لخطأ النماذج المشتقة باستخدام العينات الثلاثة، ومن ثم يمكن حساب الصحة للنموذج عند مستوى ثقة 95% من خلال ضرب قيمة الانحراف المعياري بقيمة (1.96)، وبذلك تكون صحة النموذج

المشتق باستخدام العينة العشوائية (7.40488) مترًا؛ أي إننا على ثقة بنسبة 95% أن أي قيمة ارتفاع في النموذج المشتق باستخدام العينة العشوائية ستكون صحيحة نسبةً للنموذج المرجعي ضمن مدى يتراوح بين (تلك القيمة + 7.4م) و (تلك القيمة – 7.4م).

في حين تكون صحة النموذج المشتق باستخدام العينة العشوائية بإضافة بعد 50م بين العينات (5.48604) مترات؛ أي إننا على ثقة بنسبة 95% أن أي قيمة ارتفاع في النموذج المشتق باستخدام العينة العشوائية بإضافة بعد 50م بين العينات ستكون صحيحة نسبةً للنموذج المرجعي ضمن مدى يتراوح بين (تلك القيمة + 5.5م) و (تلك القيمة – 5.5م).

بينما بلغت صحة النموذج المشتق باستخدام العينة المنتظمة (4.78632) مترا؛ أي إننا على ثقة بنسبة 95% أن أي قيمة ارتفاع في النموذج المشتق باستخدام العينة المنتظمة ستكون صحيحة نسبةً للنموذج المرجعي ضمن مدى يتراوح بين (تلك القيمة + 4.8م) و (تلك القيمة – 4.8م).

ومن خلال ما سبق نجد أن احتمالية الخطأ في قيمة الارتفاع عند مستوى ثقة 95% تسجل أقل قيمة في العينة المنتظمة حيث بلغت (± 4.8م)، بينما ارتفعت قليلا في النموذج المشتق باستخدام العينة العشوائية بإضافة بعد 50م بين العينات (±5.5م)، في حين سجلت أعلى احتمالية خطأ في العينة العشوائية حيث بلغت (±7.4م).

8. الخاتمة

أوضحت الدراسة أثر نمط توزيع العينة على صحة نماذج الارتفاع الرقمي المشتقة، وبينت مقدار صحة النموذج المشتقة مع اختلاف العينات، ومن ثمّ تحديد النمط الأمثل لتوزيع العينات. فبيانات نموذج الارتفاع الرقمي بيانات مكانية قد لا تناسبها العينة العشوائية؛ لتركز نقاط العينة في مواقع دون أخرى، مما يؤدي إلى فقدان جزء من التفاصيل، بينما قد تكون العينة المنتظمة أفضل لتوزيعها بمسافات مناسبة تضمن التوازن في تمثيل تفاصيل السطح وصحة المنتج، لذا رأت الدراسة ضرورة تقييم نوع ثالث من العينات بالإضافة إلى العينة العشوائية والمنتظمة، يتميز هذا النوع الثالث من العينات بالجمع بين خصائص العينة العشوائية والمنتظمة. فتم تطبيق الدراسة باستخدام ثلاثة أنواع من العينة (العينة العشوائية، العينة العشوائية بإضافة بعد 50م بين العينات، العينة المنتظمة) وتقييم نماذج الارتفاع الرقمي المشتقة بصريا وكميا.

ويمكن أن نوجز ما خلصت إليه الدراسة بالنتائج الآتية:

- تتأثر صحة نموذج الارتفاع الرقمي بنمط توزيع العينة.
- حقق النموذج المستخرج بالعينة العشوائية بإضافة بعد 50 متر بين العينات أعلى قرب للقيم المرجعية مقارنة بنماذج الارتفاع الرقمي المشتقة باستخدام العينة العشوائية والعينة المنتظمة، فلم يزد الاختلاف بين النموذج

المستخرج بالعينة العشوائية بإضافة بعد 50 متر بين العينات ونموذج الارتفاع الرقمي المرجعي في أقل قيمة عن (1.8م)، وأعلى قيمة عن (5.03م).

- ظهرت الظلال والكنتور للعينات الثلاثة سلسة وانسيابية؛ نتيجة لاستخدام أسلوب الاشتقاق الإسبلاين.
- حقق نموذج الارتفاع الرقمي المشتق باستخدام العينة العشوائية بإضافة بعد 50 متر بين العينات توازنًا واتساقًا في توزيع تموج وتفاصيل ونسيج السطح، بينما كان النسيج غير ملائمة في نموذج الارتفاع الرقمي المشتق باستخدام العينة المنتظمة.
- تبين من حساب الصحة الرأسية باستخدام مؤشر الجذر التربيعي للانحرافات المربعة أن أقل قيمة للخطأ في نموذج الارتفاع الرقمي المشتق باستخدام العينة العشوائية بإضافة بعد 50 م بين النقاط حيث بلغت (3.66م) عند مستوى ثقة 95%.
- بيّن سطح الخطأ الفرق المطلق بين كل قيم النماذج المشتقة باستخدام العينات الثلاثة وقيم النموذج المرجعي ووجد أن أقل مدى للخطأ سجله النموذج المشتق باستخدام العينة العشوائية بإضافة بعد 50م بين العينات حيث تباين ما بين (295.503-) و(224.358).
- ظهر شكل التوزيع الإحصائي طبيعيا لسطوح الخطأ للعينات الثلاثة يقترب المعدل من الصفر، مما يدل على أن توزيع الأخطاء جاء عشوائيا. وبهذا يُعد الانحراف المعياري مؤشرًا عامًا مطلقًا لخطأ النماذج المشتقة باستخدام العينات الثلاثة، ومن ثم يمكن حساب الصحة الرأسية للنموذج عند مستوى ثقة 95% من خلال ضرب قيمة الانحراف المعياري في قيمة (1.96). فسجل أقل قيمة في العينة المنتظمة حيث بلغت ($\pm$ 4.8م)، بينما ارتفعت قليلا في النموذج المشتق باستخدام العينة العشوائية بإضافة بعد 50م بين العينات ($\pm$5.5م)، في حين سجلت أعلى احتمالية خطأ في العينة العشوائية حيث بلغت ($\pm$7.4م).

وأخيرا توصي الدراسة

- إجراء تطبيقات على اشتقاق نماذج الارتفاع الرقمي باستخدام العينة العشوائية بإضافة بعد 50م بين العينات على سطوح مختلفة التضرس، وبأسلوب اشتقاق مختلف عن أسلوب الإسبلاين؛ للتحقق منها لكونها حققت أفضل نتائج من حيث معايير التقييم البصري والكمي في الدراسة الحالية.
- محاولة إيجاد معيار ضابط لمقدار بعد العينات عن بعضها باختلاف مساحة الدراسة، حيث تم تحديد البعد بين العينات بمقدار 50 م نظرا للتقيد بمساحة منطقة الدراسة.

مراجع البحث

السفري، ناديه عوض والغامدي، علي معاضة. (2016). "معالجة التشوهات في نموذج الارتفاع الرقمي المنتج من المرئيات المزدوجة: آلية مقترحة"، *المجلة العربية لنظم المعلومات الجغرافية*، المجلد (9)، العدد (1)، 94-125.

الصالح، ناصر عبد الله والسرياني، محمد محمود. (2000). الجغرافيا الكمية والإحصائية أسس وتطبيقات بالأساليب الحاسوبية الحديثة، العبيكان، الرياض.

عيد، صفية وقدورة، عائشة. (2017). "إنشاء وتقييم نماذج الارتفاع الرقمية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية"، مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة الآداب والعلوم الإنسانية المجلد (39)، العدد (5)، 181-194.

Alsafri, Nadiah ʻAwaḍ wālghāmdy, ʻAlī mʻāḍh. (2016). "Muʻālajat altshwhāt fī namūdhaj al-Irtifāʻ al-raqmī al-muntaj min almrʼyāt al-muzdawajah : ālīyat muqtaraḥah", al-Majallah al-ʻArabīyah li-nuẓum al-maʻlūmāt al-jughrāfīyah, al-mujallad (9), al-ʻadad (1), 94-125.

Al-Ṣāliḥ, Nāṣir ʻAbd Allāh wālsryāny, Muḥammad Maḥmūd. (2000). al-jughrāfīyā al-kammīyah wa-al-iḥṣāʼīyah Usus wa-taṭbīqāt bālʼsālyb al-ḥāsūbīyah al-ḥadīthah, al-ʻUbaykān, al-Riyāḍ.

Asal, F. F.(2012). VISUAL AND STATISTICAL ANALYSIS OF DIGITAL ELEVATION MODELS GENERATED USING IDW INTERPOLATOR WITH VARYING POWERS, ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume I-2, 2012, XXII ISPRS Congress, 25 August – 01 September 2012, Melbourne, Australia.

Federal Geographic Data Committee. (1998). *Geospatial Positioning Accuracy Standards Part 3: National Standard for Spatial Data Accuracy*.

Fisher, Peter F. and Tate, Nicholas J. (2006). Causes and consequences of error in digital elevation models, *Progress in Physical Geography* 30, 4 pp. 467–489.

Hashim, M. and Deilami, K. (2011). "Very high resolution optical satellites for DEM generation: A review", *European Journal of Scientific Research ISSN* 1450-216X Vol.49 No.4, pp. 542-554.

Hengl, T. and Evans, I. S. (2009). "Mathematical and Digital Models of the Land Surface", *Developments in Soil Science*, Volume 33, Elsevier B.V., 31- 63.

Hutchinson M F, Gessler P E, Xu T, Gallant J C. (1997). Filtering Wagga TOPSAR data to improve drainage accuracy. In أولاCSIRO: 80–3.

Hutchinson, M. F. and Gallant, J. C. (2005). " Representation of terrain" ,*Geographical Information Systems: Principles, Techniques, Management and Applications*, 2nd Edition, Abridged, Paul A. Longley (Editor), Michael F. Goodchild (Editor), David J. Maguire (Editor), David W. Rhind (Editor), wiley, 105-124.

ʻĪd, Ṣafīyah wqdwrh, ʻĀʼishah. (2017). "inshāʼ wa-taqyīm namādhij al-Irtifāʻ al-raqmīyah bi-istikhdām naẓm al-maʻlūmāt al-jughrāfīyah", Majallat Jāmiʻat Tishrīn lil-Buḥūth wa-al-Dirāsāt al-ʻIlmīyah _ Silsilat al-Ādāb wa-al-ʻUlūm al-Insānīyah al-mujallad (39), al-ʻadad (5), 181-194.

Karl, W., Pfeifer, N. and Briese, C., 2006. DTM Quality Assessment. *Working Group 11/7*, 2006.

Kothari, C. R. (2004). Research Methodology: Methods and Techniques, New Age International (P) limited, Publishers.

Li, Z. and Chen, J. (1999). Assessment of the accuracy of digital terrain models (DTMs): theory and practice. In Shi, W., Goodchild, M.F. and Fisher, P.F., editors, *Proceedings of the International Symposium on Spatial Data Quality '99*, Hong Kong: Hong Kong Polytechnic University, 202–209.

Longley, Paul A., Goodchild, Michael F., Maguire, David J., andRhind, David W. (2005). "Geographical Information Systems and Science", *John Wiley & Sons Ltd*, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England.

Mitas, L. & Mitasova, H. (2005). "Spatial interpolation", *Geographical Information Systems: Principles, Techniques, Management and Applications*, 2nd Edition, Abridged, Paul A. Longley (Editor), Michael F. Goodchild (Editor), David J. Maguire (Editor), David W. Rhind (Editor), wiley,481-492.

New Jersey Department of Environmental Protection, Office of Information Resources Management & Bureau of Geographic Information Systems. (2013). Mapping and Digital Data Standards, New Jersey Department of Environmental Protection Geographic Information System.

Pazoky, Sajjad Hassany, Delavar, Mahmoodreza and Chehreghan, Alireza. (2013). A Comparative Evaluation of Automatic Sampling Methods, American Journal of Engineering Research (AJER) e-ISSN : 2320-0847 p-ISSN : 2320-0936, Volume-02, Issue-12, pp-83-90.

Rebinson, G. (1994). "The accuracy of Digital Elevation Models from Digitized Contour Data", Photogrammetric Record, Vol.14. No.83, p.p.805-814.

Shingare, Pratibha P. and Kale, Sumit S. (2013). "Review on Digital Elevation Model", *International Journal of Modern Engineering Research (IJMER)*, Vol. 3, Issue. 4, Jul - Aug. 2013 p.p.2412-2418.

Shortridge, A. (2001). Characterizing uncertainty in Modeldigital elevation models. In Hunsaker, C.T., Goodchild, M.F., Friedl, M.F. and Case, T.J., editors, *Spatial uncertainty in ecology: implications for remote sensing and GIS applications*, New York: Springer, 238–57.

Theobald, D.M. (1989). Accuracy and bias issues in surface representation. In Goodchild, M.F. and Gopal, S., editors, *The accuracy of spatial databases*, London:Taylor and Francis, 99–106.

Wise, S. 2000: Assessing the quality for hydrological applications of digital elevation models derived from contours. Hydrological Processes 14, 1909–29.

Zhang, Hairong, Lu, Lijiang, Liu, Yanhua and Liu, Wei. (2015). Spatial Sampling Strategies for the Effect of Interpolation Accuracy, *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* 2015, *4*, 2742-2768; doi:10.3390/ijgi4042742.

Zhu, C., Shi, W., Li, Q., Wang, G., Cheung, T. C. K., Dai, E., and Shea, G. Y. K. (2005). Estimation of Average DEM Accuracy under Linear Interpolation Considering Random Errors at the Nodes of TIN Model. *International Journal of Remote Sensing*, Volume 26, Number 24,01D2005, pp. 5509-5523(15).

معلومات عن الباحث

د. نادية بنت عوض السفري، أستاذ مساعد في الخرائط ونظم المعلومات الجغرافية) في قسم العلوم الفيزيائية – برنامج نظم المعلومات الجغرافية بكلية العلوم بجامعة جدة، المملكة العربية السعودية. حاصلة على درجة الدكتوراه في الجغرافيا (علم الخرائط) من جامعة الملك سعود عام 1438هـ تدور اهتماماتها البحثية حول علم الخرائط، نظم المعلومات الجغرافية، الاستشعار عن بعد.

Biographical Statement

Dr. Nadiah Alsafri, is an Assistan Professor of Map & GIS in the Department of Physical Sciences, College of Science, University of Jeddah. Saudi Arabia. Dr. Alsafri received her PhD degree in 2017 from King Soud University. Her research interests include Cartography, GIS, RS.

Email: naalsafri@uj.edu.sa