

تأثير الانحدار الطبوغرافي على الدقة الرأسية لنموذج FABDEM في

البيئات الجبلية الساحلية: دراسة حالة في سورية

د. م. فادي عز الدين شعبان *

الملخص

تعتبر نماذج الارتفاع الرقمية (DEMs) التي تمثل سطح الأرض حجر الزاوية في العديد من التطبيقات الجيومكانية. يهدف هذا البحث إلى تقييم الدقة الرأسية لأحدث النماذج العالمية المتاحة مجاناً، نموذج FABDEM (v1.2)، مع التركيز بشكل خاص على تأثير عامل الانحدار الطبوغرافي. أجري التقييم ضمن بيئة نظم المعلومات الجغرافية (GIS) لمنطقة دراسة تبلغ مساحتها 600 كم² في القسم الجنوبي من محافظة اللاذقية، والتي تتميز ببيئة جبلية ساحلية ذات تضاريس شديدة التنوع. تم اعتماد خريطة كونتورية مرقمة بمقياس 1/25000، كمصدر للبيانات المرجعية. باستخدام منهجية العينة الطبقيّة العشوائية، تم توليد 250 نقطة اختبار موزعة على خمس فئات انحدار معرفة مسبقاً. أظهرت النتائج ارتباطاً خطياً قوياً جداً ($R^2 = 0.9976$) بين ارتفاعات النموذج والبيانات المرجعية، مع دقة رأسية إجمالية (RMSE) بلغت ± 9.96 م. كما كشف التحليل الطبقي عن علاقة عكسية واضحة بين الدقة والانحدار، حيث ارتفع الخطأ بشكل مطرد من ± 5.27 م في المناطق شبه المستوية (0-3%) ليصل إلى ± 15.29 م في المناطق شديدة الانحدار ($< 40\%$). كما لوحظ انقلاب في اتجاه التحيز (Bias) من سلبي إلى إيجابي في المناطق الأعلى انحداراً. تخلص الدراسة إلى أن دقة نموذج FABDEM تعتمد بشكل حاسم على الانحدار، مما يجعله مصدراً موثقاً في المناطق المعتدلة، مع ضرورة توخي الحذر عند استخدامه في التطبيقات الدقيقة ضمن البيئات الجبلية المعقدة.

كلمات مفتاحية: FABDEM ، تقييم الدقة الرأسية، نموذج ارتفاع رقمي (DEM)، تأثير الانحدار، تحليل طبقي، نظم المعلومات الجغرافية (GIS).

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

fadi.chaaban@latakia-univ.edu.sy ✉
<https://orcid.org/0000-0001-8269-7224>

The Impact of Topographic Slope on the Vertical Accuracy of the FABDEM Model in Coastal Mountainous Environments: A Case Study in Syria

Dr.Eng. Fadi CHAABAN*

Abstract

Bare-earth Digital Elevation Models (DEMs) are a cornerstone of numerous geospatial applications. This research aims to assess the vertical accuracy of the latest freely available global model, FABDEM (v1.2), with a specific focus on the impact of topographic slope. The evaluation was conducted within a Geographic Information System (GIS) environment for a 600 km² study area in the southern part of Latakia Governorate, characterized by a coastal mountainous environment with highly varied terrain. A digitized 1\25000 scale contour map was used as the reference dataset. Employing a stratified random sampling methodology, 250 test points were generated and distributed across five predefined slope classes. The results revealed a very strong linear correlation ($R^2 = 0.9976$) between the model's elevations and the reference data, with an overall vertical accuracy (RMSE) of ± 9.96 meters. More significantly, the stratified analysis uncovered a clear inverse relationship between accuracy and slope; the error steadily increased from ± 5.27 meters in nearly-level areas (0-3%) to ± 15.29 meters in steep-slope areas (>40%). A shift in bias direction from negative to positive was also observed in the steepest terrains. The study concludes that the accuracy of the FABDEM model is critically dependent on slope, establishing it as a reliable source for moderate terrains but advising caution for high-precision applications in complex mountainous environments.

Keywords: FABDEM, Vertical Accuracy, Assessment Digital Elevation Model (DEM), Slope Effect, Stratified Analysis, Geographic Information System (GIS).

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

✉ fadi.chaaban@latakia-univ.edu.sy

<https://orcid.org/0000-0001-8269-7224>

1 مقدمة

تُعد نماذج الارتفاع الرقمية (DEMs) مكوناً أساسياً في طيف واسع من التطبيقات العلمية، من النمذجة الهيدرولوجية وإدارة مخاطر الفيضانات إلى التحليلات الجيومورفولوجية والبيئية [1]. ومع تطور تقنيات الاستشعار عن بعد، أصبحت النماذج العالمية متاحة بشكل واسع، مثل نموذج Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) ونماذج ASTER [2]. حديثاً، برز نموذج كوبرنيكوس (Copernicus DEM) كأحد أكثر النماذج دقة، لكنه يمثل نموذج سطح رقمي (DSM) يشمل ارتفاعات الغطاء النباتي والمباني [3].

نظراً لأن العديد من التطبيقات تتطلب تمثيلاً دقيقاً لسطح الأرض المجرد (Digital Terrain Model - DTM)، فقد تم تطوير نموذج FABDEM (Forest And Buildings removed Copernicus DEM) باستخدام تقنيات تعلم الآلة لإزالة تأثير الغابات والمباني من نموذج Copernicus DEM [4]. وقد أثبتت الدراسات الأولية أن FABDEM هو النموذج الأعلى دقة حالياً من بين النماذج العالمية المتاحة مجاناً التي تمثل سطح الأرض المجرد [5]، [6]. ومع ذلك، فإن دقة هذه النماذج ليست متجانسة مكانياً، حيث تتأثر بشكل كبير بالخصائص الطبوغرافية لمنطقة الدراسة، وعلى رأسها عامل الانحدار [7]. فقد أظهرت دراسات متعددة وجود علاقة عكسية واضحة بين دقة النموذج ودرجة الانحدار، حيث تزداد الأخطاء الرأسية بشكل ملحوظ في المناطق الجبلية شديدة التضاريس [5]، [6].

2 هدف البحث وأهميته

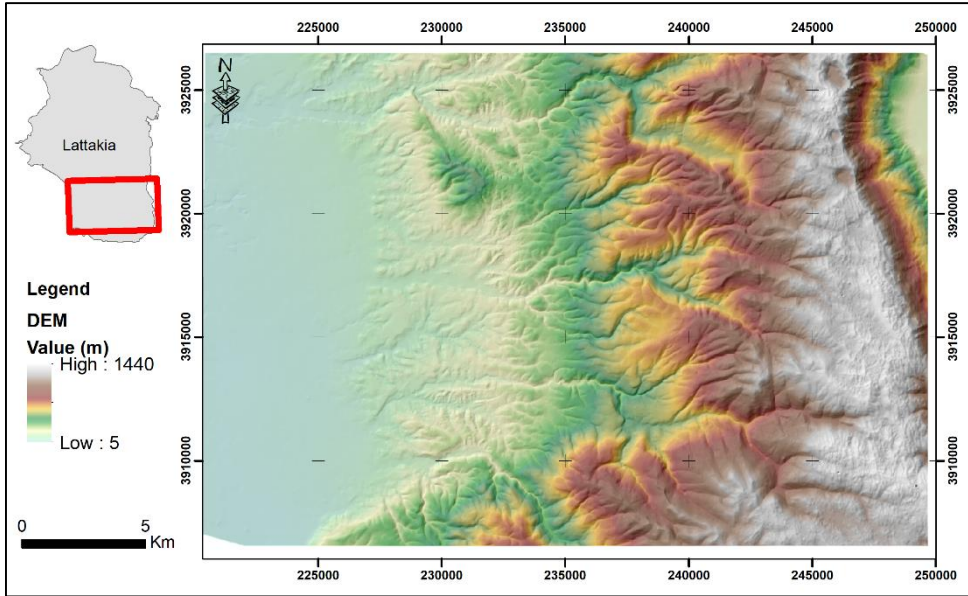
يتمثل الهدف الرئيسي لهذه الدراسة في تقديم تقييم كمي مفصل للدقة الرأسية لأحدث إصدار من نموذج FABDEM (v1.2)، مع التركيز بشكل خاص على عزل وتحليل تأثير عامل الانحدار الطبوغرافي على توزيع وحجم الأخطاء ضمن بيئة جبلية ساحلية معقدة. ولتحقيق هذا الهدف، تم تحديد الأهداف الفرعية التالية:

- ✓ تقييم الدقة الرأسية الإجمالية لنموذج FABDEM ضمن منطقة الدراسة باستخدام المؤشرات الإحصائية المعيارية (ME, RMSE, STD).
- ✓ تحليل قوة واتجاه الارتباط بين قيم ارتفاع النموذج والقيم المرجعية.
- ✓ تطبيق منهجية التحليل الطبقي لتقدير التغير في الدقة الرأسية عبر خمس فئات انحدار محددة مسبقاً.
- ✓ تحديد طبيعة واتجاه التحيز المنهجي (Bias) في النموذج وكيفية تأثره بدرجة الانحدار. وتبرز أهمية هذا البحث في كونه يقدم مساهمة علمية تتمثل في دراسة حالة جديدة ومفصلة تُضاف إلى الأدبيات العلمية الحديثة حول أداء نموذج FABDEM، وتؤكد صحة الفرضيات المتعلقة بتأثير الانحدار على دقة النموذج. ومن الناحية المنهجية، يسلط البحث الضوء على أهمية التحليل الطبقي كأداة ضرورية للفهم العميق لسلوك نماذج الارتفاع، مبرهنًا على أن مؤشرات الدقة الإجمالية وحدها قد تكون مضللة. أما من حيث الفائدة التطبيقية، فإن نتائج هذه الدراسة توفر لمستخدمي نموذج FABDEM في البيئات المشابهة (الجبلية والساحلية) رؤية واضحة حول مواطن القوة والضعف في النموذج، وتقدم توصيات عملية حول مدى موثوقيته في التطبيقات المختلفة بناءً على طبيعة تضاريس المنطقة.

3 مواد وطرائق البحث

3.1 منطقة الدراسة

أجريت الدراسة في القسم الجنوبي من محافظة اللاذقية في سورية، الشكل 1، وتغطي مساحة تقارب 600 كم². تتميز المنطقة بطبيعتها الجبلية الساحلية وتنوعها الطبوغرافي الكبير، حيث تتدرج الارتفاعات من مستوى سطح البحر (0 م) لتصل إلى 1432 م في القمم الجبلية. هذا التباين الكبير في الارتفاعات والانحدارات يجعلها منطقة مثالية لاختبار أداء نموذج الارتفاع في ظروف طبوغرافية متنوعة وصعبة. تم اعتماد نظام إسقاط مركاتور العالمي المستعرض (WGS_1984_UTM_Zone_37N) لتوحيد جميع البيانات المكانية المستخدمة في هذا البحث.



الشكل 1 : موقع منطقة الدراسة وتضاريسها

3.2 البيانات المستخدمة

3.2.1 نموذج الارتفاع الرقمي (FABDEM)

تم الاعتماد في هذا البحث على الإصدار الثاني لعام 2023 من نموذج (v1.2) FABDEM، الذي تم إنتاجه من قبل باحثين في جامعة بريستول [4]. يُعد هذا النموذج نموذج تضاريس رقمي (DTM) يمثل سطح الأرض المجرد بدقة مكانية تبلغ 1 ثانية قوسية (حوالي 30 م). تم اشتقاقه من نموذج Copernicus GLO-30 بعد إزالة التحيز الناتج عن ارتفاعات الغابات والمباني باستخدام خوارزميات تعلم الآلة. تم تنزيل البيانات الخاصة بمنطقة الدراسة من منصة Google Earth Engine، ومن ثم اقتطاعها وإعادة إسقاطها لتتوافق مع نظام إحداثيات منطقة الدراسة.

3.2.2 البيانات المرجعية

استُخدمت خريطة كونتورية مرقمة بصيغة شعاعية كمصدر أساسي للبيانات المرجعية. تم إنتاج هذه الخريطة من خرائط طبوغرافية ورقية بمقياس 1/25000، وتتميز بفترة كونتورية تبلغ

10 أمتار. تتألف الطبقة من 2885 خط كونتور تغطي كامل منطقة الدراسة، وتتراوح ارتفاعاتها من 0 إلى 1440 م. تم تعريف هذه البيانات مسبقاً ضمن نظام الإسقاط WGS_1984_UTM_Zone_37N، مما يضمن توافقها المكاني مع نموذج FABDEM.

3.3 منهجية تقييم الدقة

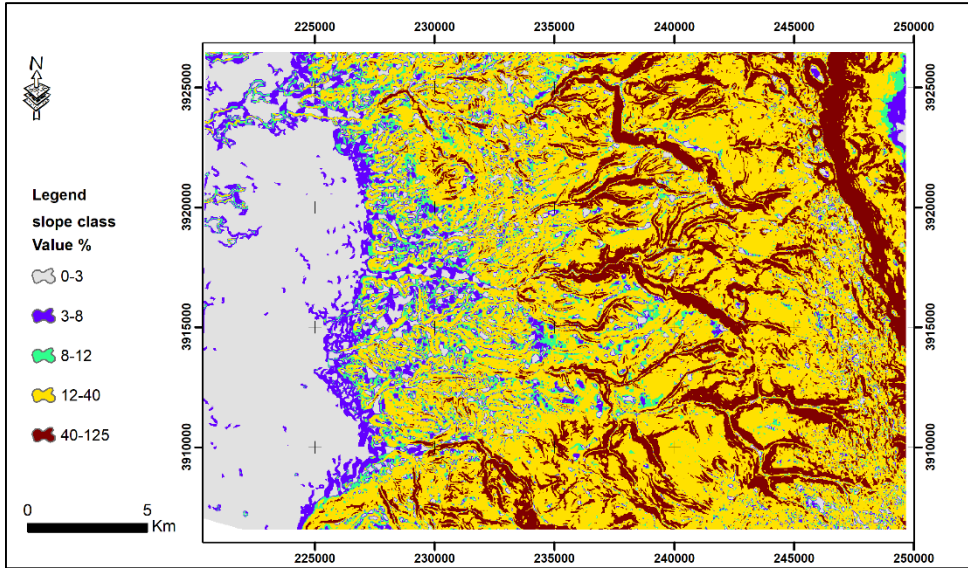
لضمان تقييم موضوعي ومفصل، تم اتباع منهجية العينة الطباقية العشوائية، والتي تسمح بتحليل تأثير الانحدار بشكل مستقل. تمت معالجة البيانات وتحليلها باستخدام برنامج ArcGIS 10.8 و Microsoft Excel.

3.3.1 إنشاء طبقات الانحدار

تم أولاً إنشاء سطح رقمي مرجعي (Reference DEM) من طبقة خطوط الكنتور. من هذا السطح المرجعي، تم اشتقاق خريطة انحدار بالنسبة المئوية (%)، الشكل 2، حيث تراوحت القيم من 0% في المناطق الساحلية المستوية إلى 125% في الجروف الجبلية. بعد ذلك، تم إعادة تصنيف خريطة الانحدار إلى خمس فئات (طبقات) استناداً إلى التصنيف المعتمد في دراسة [8]، كما هو موضح في الجدول (1). إن استخدام تصنيف معياري يضمن قابلية تكرار البحث ويجعل نتائجنا قابلة للمقارنة مع دراسات أخرى قد تتبنى نفس المعيار. إن هذا التصنيف، بطبيعته، هو تصنيف جيومورفولوجي يصف أشكال التضاريس (أراضٍ منخفضة، هضاب، تلال، جبال) بناءً على قيم الانحدار، وهي خصائص فيزيائية عالمية لا تقتصر على منطقة جغرافية معينة. كما أن اعتماد هذا التصنيف بخمس فئات متنوعة أتاح تحقيق الهدف الرئيسي للبحث، وهو دراسة سلوك الخطأ عبر طيف واسع ومتدرج من التضاريس، من الأراضي شبه المستوية إلى الجبلية المعقدة.

الجدول 1: فئات الانحدار المستخدمة في الدراسة ومساحة كل فئة

N. class	Slope %	Area km ²
1	0-3%	123
2	3-8%	74
3	8-12%	40
4	12-40%	263
5	40-125%	100
		∑ = 600



الشكل 2: خريطة تظهر توزيع فئات الانحدار في منطقة الدراسة

3.3.2 توليد نقاط الاختبار

لضمان تمثيل جميع الفئات التضاريسية بشكل عادل، تم إنشاء 250 نقطة اختبار باستخدام طريقة العينة الطبقيّة العشوائية، حيث تم اختيار 50 نقطة بشكل عشوائي من داخل حدود كل فئة من فئات الانحدار الخمس. هذه المنهجية تضمن عدم تركيز النقاط في المناطق المنبسطة الواسعة وتوفر عددا كافيا من العينات في مناطق الانحدار الأصغر مساحةً.

3.3.3 استخلاص الارتفاعات والتحليل الإحصائي

باستخدام طبقة النقاط النهائية، تم استخلاص قيم الارتفاع المقابلة لكل نقطة من مصدرين: (1) خطوط الكنتور المرجعية، و (2) نموذج FABDEM. تم بعد ذلك حساب الفرق (الخطأ) بين القيمتين لكل نقطة. ولتقييم الدقة كميًا، تم حساب المؤشرات الإحصائية التالية:
- مخطط التشتت ومعامل التحديد (R^2): لقياس قوة العلاقة الخطية بين قيم النموذج والقيم المرجعية.

- متوسط الخطأ (ME) : لتحديد وجود واتجاه أي تحيز منهجي (Bias) في النموذج.
- الانحراف المعياري للخطأ (STD): لقياس مدى تشتت الأخطاء حول المتوسط.
- الجذر التربيعي لمتوسط مربع الخطأ (RMSE): كمقياس شامل للدقة الرأسية المطلقة للنموذج.

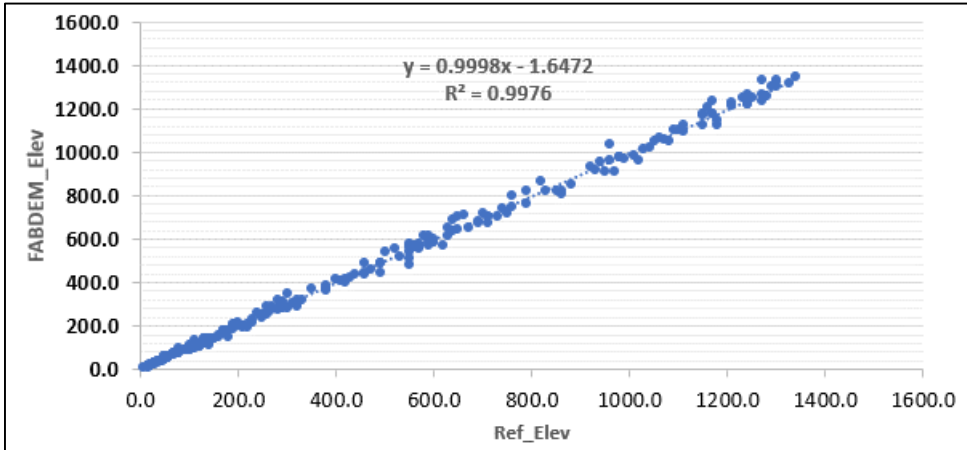
تم حساب هذه المؤشرات مرة للدقة الكلية (لكامل الـ 250 نقطة)، ومرة أخرى لكل فئة من فئات الانحدار على حدة.

4 النتائج والمناقشة

4.1 تقييم الارتباط والدقة الكلية

أظهر تحليل الارتباط وجود علاقة خطية قوية ومباشرة بين قيم ارتفاع نموذج FABDEM والقيم المرجعية، حيث بلغ معامل التحديد (R^2) قيمة عالية جداً تساوي 0.9976 (الشكل 3). وتشير معادلة خط الانحدار الخطي (معادلة 1) إلى أن ميل الخط (0.9998) قريب بشكل استثنائي من القيمة المثالية (1.0)، مما يدل على اتساق أداء النموذج عبر كامل النطاق الارتفاعي.

$$Y = 0.9998x - 1.6472 \quad \text{معادلة (1)}$$



الشكل 3: مخطط التشتت للعلاقة بين ارتفاع FABDEM والارتفاع المرجعي

على الرغم من هذا الارتباط القوي، كشف تقييم الدقة الكلية عن قيمة (RMSE) بلغت ± 9.96 م، ومتوسط خطأ (ME) قدره -1.2 م. تشير قيمة ME السالبة إلى وجود تحيز منهجي عام طفيف في النموذج نحو التقليل من تقدير الارتفاعات مقارنة بالبيانات المرجعية. أما قيمة الانحراف المعياري الكلية للخطأ (STD) فقد بلغت 9.9 م، وهي قيمة مرتفعة تعكس تبايناً كبيراً في توزيع الأخطاء، مما يشير إلى أن الخطأ الإجمالي ليس متجانساً عبر منطقة الدراسة ويتأثر بوجود أخطاء كبيرة في مناطق معينة. هذا التشتت العالي يبرر ضرورة إجراء تحليل طبقي أعمق لفهم سلوك النموذج بشكل أفضل.

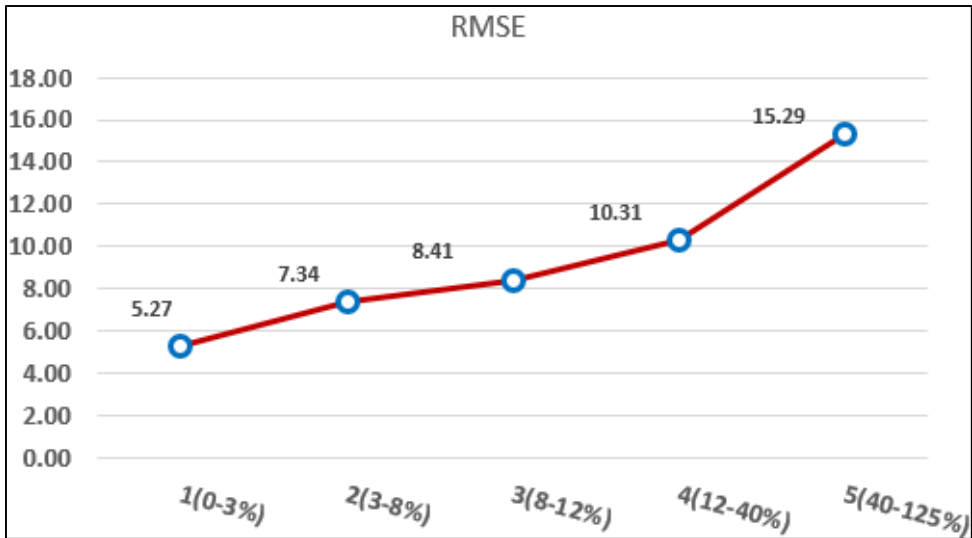
4.2 تحليل تأثير الانحدار على الدقة الرأسية

يكشف التحليل الطبقي عن الحقيقية وراء قيمة RMSE الإجمالية، ويبرهن بشكل قاطع على وجود علاقة سببية بين الدقة الرأسية للنموذج والانحدار الطبوغرافي. يوضح الجدول (2) والرسم البياني (الشكل 4) هذه العلاقة بوضوح، حيث ارتفعت قيمة الخطأ (RMSE) بشكل تدريجي ومنتظم مع زيادة درجة الانحدار. فقد بدأ الخطأ بقيمة ± 5.27 م في المناطق شبه المستوية ($0-3\%$)، ووصل إلى ± 10.31 م في مناطق التلال ($12-40\%$)، ثم قفز بشكل حاد ليصل إلى ± 15.29 م في المناطق الجبلية شديدة الانحدار ($>40\%$). هذا الاتجاه يؤكد أن الأداء الممتاز للنموذج في المناطق المنبسطة ينخفض بشكل كبير كلما أصبحت التضاريس أكثر تعقيداً، وهو ما يتوافق تماماً مع الأدبيات العلمية السائدة [6]، [7].

الجدول 2: النتائج الإحصائية (ME, STD, RMSE) لكل فئة من فئات الانحدار

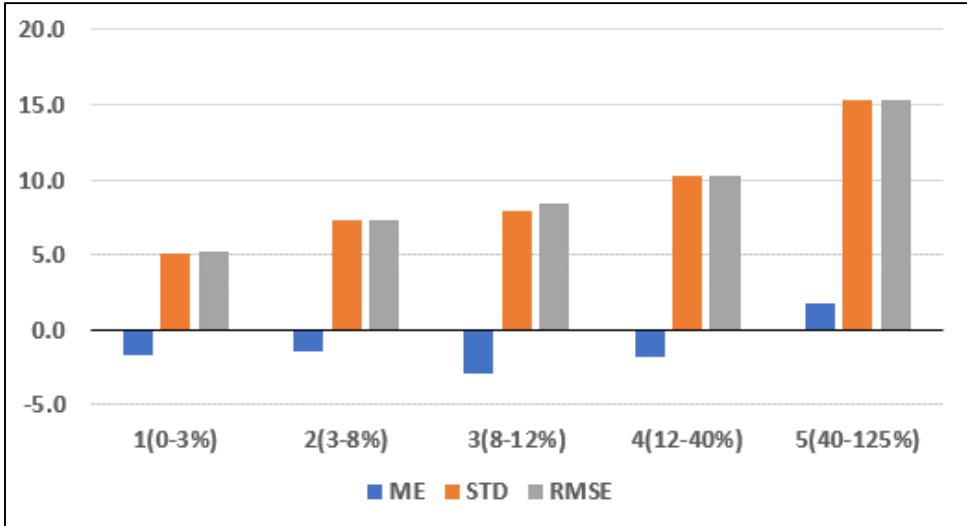
N. class	Slope %	Area km ²	ME	STD	RMSE
1	0-3%	123	-1.7	5.05	± 5.27
2	3-8%	74	-1.5	7.27	± 7.34
3	8-12%	40	-2.9	7.97	± 8.41
4	12-40%	263	-1.8	10.24	± 10.31
5	40-125%	100	1.8	15.34	± 15.29
		$\sum = 600$			

تأثير الانحدار الطبوغرافي على الدقة الرأسية لنموذج FABDEM في البيئات الجبلية الساحلية: دراسة حالة في سورية



الشكل 4: رسم بياني يوضح تزايد قيمة RMSE مع فئات الانحدار

والى جانب مؤشر RMSE ، يقدم الانحراف المعياري للخطأ (STD) مؤشراً حاسماً حول مدى اتساق أو ثبات أداء النموذج. وتكشف النتائج في الجدول (2) والرسم البياني (الشكل 5) عن وجود علاقة طردية قوية بين درجة الانحدار وقيمة الانحراف المعياري، حيث ارتفعت قيمة تشتت الخطأ من 5.05 م في الفئة شبه المستوية (0-3%) لتصل إلى 15.34 م في الفئة الأعلى انحداراً (>40%)، أي بزيادة تتجاوز ثلاثة أضعاف. ويفسر هذا التزايد المطرد بأن أداء النموذج لا يصبح أقل دقة في المناطق المنحدرة فحسب، بل يصبح أيضاً أكثر تفاوتاً وتقلباً وغير متوقع. إن الفقرة الكبيرة في قيمة الانحراف المعياري، خاصة في الفئة الأخيرة، تؤكد أن الأخطاء في هذه الفئة متباينة بشكل كبير وتحتوي على قيم شاذة (outliers) ذات حجم كبير، وهو ما يفسر بشكل مباشر الارتفاع الحاد في قيمة RMSE لنفس الفئة. وبالتالي، يعزز تحليل الانحراف المعياري الاستنتاج القائل بأن موثوقية نموذج FABDEM تتدهور بشكل ملحوظ مع زيادة تعقيد التضاريس.



الشكل 5: التغير في قيم ME, STD, RMSE عبر فئات الانحدار الخمس

علاوة على ذلك، لوحظ نمط مهم في قيم متوسط الخطأ (ME) يكشف عن سلوك انقلاب التحيز، (الشكل 5). فالملاحظة الرئيسية لسلوك متوسط الخطأ في الفئات الأربعة الأولى هي أن جميع القيم سالبة بشكل ثابت، وتتراوح ضمن نطاق ضيق نسبياً (بين -1.5 و -2.9م). هذا يشير إلى وجود تحيز منهجي عام ومستمر نحو التقليل من تقدير الارتفاعات في جميع التضاريس التي يقل انحدارها عن 40%. أما التقلبات الطفيفة بين هذه الفئات، لا تمثل اتجاهاً فيزيائياً محدداً، بل هي على الأرجح ناتجة عن التباين الإحصائي الطبيعي للعينة العشوائية ضمن كل طبقة. إن السمة الأبرز والأكثر دلالة إحصائياً هي الانقلاب الحاد والواضح لهذا الاتجاه السلبي العام ليصبح التحيز إيجابياً (+1.8 م) في الفئة الأعلى انحداراً. ويمكن تفسير هذه الظاهرة بأن البكسل الذي تبلغ مساحته 30*30 م يصبح غير قادر على تمثيل قيعان الأودية الضيقة أو الحواف الحادة بدقة، فيقوم بحساب متوسط ارتفاع يمثل أجزاء من سفوح الوادي بدلاً من قاعه الحقيقي، مما يؤدي إلى المبالغة في تقدير الارتفاع في هذه المواقع الدقيقة.

4.3 مصادر الخطأ المحتملة

من الضروري الإشارة إلى أن قيمة RMSE الإجمالية (± 9.96 م) المسجلة في هذه الدراسة تبدو أعلى من تلك المسجلة في دراسات تقييم FABDEM الأخرى التي تراوحت بين 2.6 و 5.6

م [2]، [5]، [6]. يمكن إرجاع هذا الاختلاف بشكل رئيسي إلى طبيعة البيانات المرجعية المستخدمة. فبينما اعتمدت تلك الدراسات على بيانات LiDAR عالية الدقة أو نقاط تحكم أرضية، اعتمدت دراستنا على خرائط كنتورية بمقياس 1/25000. وبالتالي، فإن الخطأ المسجل هنا لا يمثل خطأ نموذج FABDEM فقط، بل هو خطأ مركب يشمل:

- الأخطاء الأصلية الموجودة في الخرائط الطبوغرافية الورقية.
 - الأخطاء الناتجة عن عملية رقمنة خطوط الكنتور.
 - الاختلافات المحتملة في المرجع الرأسي (Vertical Datum) بين البيانات.
- ومع ذلك، فإن الاتجاه الواضح والقوي لزيادة الخطأ مع الانحدار يبقى نتيجة صحيحة ومهمة، لأنه يعكس سلوك النموذج النسبي بغض النظر عن جودة المرجع.

5 الاستنتاجات والتوصيات

أجرى هذا البحث تقيماً مفصلاً للدقة الرأسية لنموذج الارتفاع الرقمي (v1.2) FABDEM في بيئة جبلية ساحلية متنوعة (محافظة اللاذقية)، مع التركيز على تأثير عامل الانحدار. وقد توصلت الدراسة إلى الاستنتاجات الرئيسية التالية:

1. يُظهر نموذج FABDEM توافقاً خطياً قوياً جداً مع التضاريس المرجعية، لكن دقته المطلقة تعتمد بشكل حاسم على درجة الانحدار.
2. تزداد الأخطاء الرأسية (RMSE) بشكل مطرد ومنتظم مع زيادة درجة الانحدار، حيث يكون النموذج في أفضل أداء له في المناطق شبه المستوية، بينما تتخفض دقته بشكل كبير في التضاريس الجبلية شديدة الانحدار.
3. يظهر النموذج سلوكاً غير منتظم في التحيز، حيث يميل إلى تقليل الارتفاعات في المناطق المعتدلة، ثم المبالغة فيها في المناطق الأكثر انحداراً.

بناءً على ذلك، توصي الدراسة باستخدام نموذج FABDEM كمصدر موثوق لبيانات الارتفاع في الدراسات الإقليمية التي تغطي مناطق ذات انحدارات منخفضة إلى متوسطة. أما بالنسبة للتطبيقات التي تتطلب دقة رأسية عالية (مثل النمذجة الهيدرولوجية الدقيقة أو تحديد مخاطر الانزلاقات) في بيئات جبلية معقدة، فيجب على المستخدمين توخي الحذر وإجراء تقييم دقة محلي

قبل اعتماد النموذج، أو اللجوء إلى مصادر بيانات عالية الدقة إن أمكن. تؤكد هذه الدراسة على ضرورة عدم الاعتماد على مؤشر الدقة الإجمالي وحده، وأهمية إجراء تحليل طبقي لفهم سلوك النموذج بشكل أفضل في الظروف الطبوغرافية المختلفة.

6 المراجع

- [1] M. A. Ghannadi, S. Alebooye, M. Izadi, and A. Ghanadi, "Vertical Accuracy Assessment Of Copernicus DEM (Case Study: Tehran And Jam Cities)," in *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2023. doi: 10.5194/isprs-annals-X-4-W1-2022-209-2023.
- [2] A. Saberi, M. Kabolizadeh, K. Rangzan, and M. Abrehdary, "Accuracy assessment and improvement of SRTM, ASTER, FABDEM, and MERIT DEMs by polynomial and optimization algorithm: A case study (Khuzestan Province, Iran)," *Open Geosciences*, vol. 15, no. 1, 2023, doi: 10.1515/geo-2022-0455.
- [3] Copernicus Data Space Ecosystem, "Copernicus DEM - Global and European Digital Elevation Model."
- [4] L. Hawker *et al.*, "A 30 m global map of elevation with forests and buildings removed," *Environmental Research Letters*, vol. 17, no. 2, 2022, doi: 10.1088/1748-9326/ac4d4f.
- [5] N. Osama, Z. Shao, and M. Freeshah, "The FABDEM Outperforms the Global DEMs in Representing Bare Terrain

- Heights,” *Photogramm Eng Remote Sensing*, vol. 89, no. 10, 2023, doi: 10.14358/PERS.23-00026R2.
- [6] M. Meadows, S. Jones, and K. Reinke, “Vertical accuracy assessment of freely available global DEMs (FABDEM, Copernicus DEM, NASADEM, AW3D30 and SRTM) in flood-prone environments,” *Int J Digit Earth*, vol. 17, no. 1, 2024, doi: 10.1080/17538947.2024.2308734.
- [7] J. R. Santillan, “Vertical Accuracy Evaluation of The Forest And Buildings Removed Copernicus Dem (Fabdem) Over The Philippines,” in *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 2023. doi: 10.5194/isprs-archives-XLVIII-4-W6-2022-311-2023.
- [8] G. M. Dawod and I. E. Ascoura, “The Validity of Open-Source Elevations for Different Topographic Map Scales and Geomatics Applications,” *Journal of Geographic Information System*, vol. 13, no. 02, pp. 148–165, 2021, doi: 10.4236/JGIS.2021.132009.