



تقييم دقة استخدام نماذج ارتفاعية رقمية لتحديد بعض خصائص حوضي صدد والأبرش في سورية Assessment of the Accuracy of Using Digital Elevation Models with Regard of Determining some Properties of Sadad and Abrash Basins in Syria

د. عبد الرزاق عجاج⁽¹⁾

د. إيهاب جناد⁽³⁻²⁾

م. هيام الأشقر⁽³⁻¹⁾

Eng. Hiam Alashkar⁽³⁻¹⁾

Dr. Ihab Jnad⁽³⁻²⁾

Dr. Abdulrazzak Ajaj⁽¹⁾

- (1) قسم الطبوغرافية، كلية الهندسة المدنية، جامعة دمشق، سورية.
(1) Department of Topographic Engineering, Faculty of Civil Engineering, Damascus University, Syria.
- (2) قسم الهندسة الريفية، كلية الزراعة، جامعة دمشق، سورية.
(2) Department of Rural Engineering, Faculty of Agriculture, Damascus University, Syria.
- (3) المركز العربي لدراسات المناطق الجافة والأراضي القاحلة/أكساد.
(3) The Arab Center for the Studies of Arid Zones and Dry lands (ACSAD).

ihjnad@yahoo.com

الملخص

تُستخدم النماذج الارتفاعية الرقمية في مجال الدراسات الهيدرولوجية والجيومورفولوجية والبيئية الخ... كونها متاحة وتغطي كامل سطح الأرض تقريباً.

تم في هذا البحث تقييم دقة أربعة نماذج ارتفاعية رقمية هي SRTM 30m، و AW3D 30m، و ASTERGDEM 30m، وأنموذج HydroSHED 90m في منطقتين مختلفتين في سورية هما: حوض صدد ذو الطبيعة السهلية في معظم مساحته، وحوض الأبرش ذو الطبوغرافية المتنوعة بين السهول والتلال والجبال، وذلك من خلال المقارنة بالخرائط الطبوغرافية بمقياس 1/50000، من حيث تمثيل الارتفاعات، ومواقع المسيلات المائية، وخواص الأحواض الصبابة.

أظهرت نتائج المقارنة بين النماذج الارتفاعية الأربعة، والخارطة الطبوغرافية أن الخطأ المتوسط التربيعي في تقدير الارتفاعات بلغ 5.7، 6، 8.5 و 12 m للنماذج SRTM 30m، AW3D 30m، ASTERGDEM 30m، HydroSHED 90m على التوالي لحوض صدد، أما بالنسبة لحوض الأبرش فقد بلغت قيم هذا الخطأ 12.1، 12.3، 13.7، 20.3 m للنماذج:

HydroSHED 90m، SRTM 30m، AW3D 30m، ASTERGDEM 30m على التوالي. كما تبين من تقدير معامل التوافق المكاني للمسيلات المائية المستنتجة من النماذج الارتفاعية المختلفة، مقارنة بالخارطة الطبوغرافية أن المسيلات الناتجة عن الأنموذج AW3D 30m هي الأعلى توافقاً في منطقتي الدراسة، يليها المسيلات المستنتجة من أنموذج SRTM 30m.

وعند مقارنة مساحات الأحواض الصبابة، وُجد أن الخطأ النسبي في مساحة الحوض تراوح بين 2.6 % في أنموذج SRTM 30m، و 33 % للأنموذج ASTERGDEM 30m في حوض صدد، وأما في حوض الأبرش فقد تراوح هذا الخطأ بين 2.4 % للأنموذج SRTM 30m و 8.9 % للأنموذج ASTERGDEM 30m، في حين تبين من تقدير معامل التوافق المكاني أن الحوض الناتج عن أنموذج AW3D 30m هو الأعلى

توافقاً مع ذلك الناتج من الخارطة الطبوغرافية في حوض صدد، بينما في حوض الأبرش كان الحوض الناتج عن أنموذج SRTM 30m هو الأكثر توافقاً.

بشكل عام بينت نتائج البحث أن الأنموذجين SRTM 30m و AW3D 30m هما الأكثر دقة في تمثيل الارتفاعات والمسيلات المائية والأحواض الصبابة في منطقتي الدراسة مقارنةً بباقي النماذج المدروسة.

الكلمات المفتاحية: DEMs، الأنموذج SRTM30m، الأنموذج AW3D 30m، الأنموذج ASTERGDEM 30m، الأنموذج HydroSHED 90m، الخارطة الطبوغرافية.

Abstract

Digital Elevation Models (DEMs) are used for a wide range of hydrological, geomorphological, environmental applications, etc. As long DEM offer almost global coverage and available for users free of charge in most cases.

In this study, four different DEMs :SRTM 30m, AW3D 30m, ASTERGDEM30m and HydroSHED 90m , were evaluated in two different watersheds in Syria: Sadad basin, where the topography was approximately flat, and Al-Abrash basin, which has very diverse terrain landscape (flat, hills and mountain). Extracted elevation, Drainage locations, and watersheds from different DEMs were compared with the ones derived from 1/ 50000 topographic map.

The statistical analysis showed that the Root Mean Squared Error (RMSE) value of the derived elevations are 5.7, 6, 8.5, 12m for the DEMs: SRTM 30m, AW3D 30m, ASTERGDEM 30m and HydroSHED 90m respectively for Sadad basin. and 12.1, 12.3, 13.7, 20.3 m for DEMs :AW3D 30m, SRTM 30m, ASTERGDEM 30m, HydroSHED 90m, respectively for Abrash basin.

The spatial agreement of the derived streams from the different DEMs compared to the topographic map of the study area showed that the ones extracted from AW3D 30m has the highest spatial agreement in the both study areas followed by the ones derived from SRTM 30m.

When comparing the areas of watersheds, the relative error ranges between 2.6% for SRTM30m and 33% for the ASTERGDEM30m model in Sadad basin. while in Abrash Basin, this error ranges from 2.4% for SRTM 30m to 8.9 % for ASTERGDEM30m . The spatial agreement comparison showed that the delineated basin from AW3D 30m was the most compatible in Sadad basin , while the one resulted from SRTM 30m was the most compatible in the Abrash basin.

In general, the superiority of AW3D 30m and SRTM 30m models over the other two DEMs was found to be consistent even under different study areas, in terms of extracting elevation, streams, and watersheds.

Keywords: DEMs, SRTM 30m, AW3D 30m, ASTERGDEM 30m, HydroSHED 90m, Topographic map.

المقدمة

تعدُّ الخارطة الطبوغرافية المصدر الأدق لتمثيل سطح الأرض في الدراسات المائية، إلا أنها غير متاحة دائماً، وقد يكون الحصول عليها مكلفاً من حيث الوقت والجهد والنفقات، ناهيك عن المشاريع التي تنفذ على مستوى الدول، إذ يُصبح من الصعب جداً التعامل مع مثل هذه الخرائط الطبوغرافية، لذلك استخدمت النماذج الارتفاعية الرقمية بدقتها المختلفة بدلاً عن الخارطة الطبوغرافية، ولكن دقة هذه النماذج تختلف من حيث تقدير الارتفاعات، واستنتاج مسار المسيلات، وحدود الأحواض الصبابة بحسب طبيعة المنطقة الطبوغرافية والغطاء الأرضي الموجود.

هناك بعض الدراسات التي قارنت بين النماذج الارتفاعية (SRTM 30m ، AW3D 30m ، ASTERGDEM 30m) وخلصت إلى أن أنموذج AW3D 30m ، يليه أنموذج SRTM 30m يمثلان الارتفاعات الرأسية بأقل خطأ متوسط تربيعة (Santillan وزملاؤه، 2016 : Amhar ، 2016)، كما وجدت دراسات أخرى أن الفروقات في الارتفاعات المحسوبة من الأنموذج الارتفاعي SRTM 30m مقارنةً بارتفاعات الخارطة الطبوغرافية تكون كبيرة في المناطق المنحدرة جداً والوديان، وإن دقة SRTM 30m الرأسية تعادل دقة خارطة طبوغرافية بمقياس 50000/1 (Jarvis وزملاؤه، 2006 : Sadeq، 2012)، وكذلك أشارت العديد من الدراسات إلى أن المسيلات المائية المشتقة من النماذج الارتفاعية المختلفة تكون أقرب إلى المسيلات المشتقة من صور جوية عالية الدقة في المناطق الجبلية شديدة الانحدار، بينما تكون غير متوافقة إلى حد كبير في المناطق السهلية، وترتفع دقة تمثيلها بارتفاع الدقة التمييزية للأنموذج الارتفاعي الرقمي (Harris:2011، Hosseinzadeh وزملاؤه، 2012).

2. استخدم في هذا البحث البرامج الآتية:

• برنامج (Arc GIS 10.3) Geographic Information System.

• برنامج HECGeoHMS 10.3: هو عبارة عن ملحق لـ Arc GIS 10.3، يتضمن مجموعة من الأدوات، التي تساعد على إجراء التحليلات الهيدرولوجية.

• Earth Google UniversalMap Downloader: وهي برمجية تُستخدم لتنزيل صور Earth Google.

3. النماذج الارتفاعية الرقمية الآتية:

• نموذج SRTM 30m: يعتمد نظام الرادار، دقته التمييزية 30 م، وقدرت دقته الرأسية المطلقة بأقل من 16 m، ارتفاعاته مرجعة للجيوئيد EGM 96، والإهليلج WGS 84، وأبرز عيوبه صعوبة تمثيل ارتفاعات المناطق الوعرة شديدة الانحدار، نظراً لتراكم أخطاء الظلال والتراكب والتقارب، التي تسبب فجوات في هذا النموذج (The Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) Collection User Guide، 2015).

• نموذج AW3D 30m: يعتمد نظام المطابقة البصرية الفوتوغرامترية، وهو متاح بدقته تمييزية 30 m، مشتقة من دقة تمييزية 5 m، وتحدد دقته الرأسية المطلقة حسب الدراسات المحدودة التي أجريت حتى الآن بـ 5 م كونه نموذج أطلق في أواخر عام 2016، ارتفاعاته مرجعة للجيوئيد EGM 96، والإهليلج WGS 84 (Takaku وزملاؤه، 2014).

• نموذج ASTERDEM 30m: يعتمد نظام التقاط صورة ستيريو مزدوجة للمنطقة نفسها من زاويتين مختلفتين، دقته التمييزية 30 m، وحددت دقته الرأسية المطلقة بـ 17.1 m، ارتفاعاته مرجعة للجيوئيد EGM 96 والإهليلج WGS 84، وأبرز عيوبه صعوبة تمثيل ارتفاعات المناطق السهلية، بسبب ضعف المطابقة البصرية.

• نموذج HydroSHED 90m: هو نموذج محسن مشتق من SRTM 90m بهدف دعم عمليات تحليل الأحواض المائية السطحية على المستوى الإقليمي والعالمي، والنمذجة الهيدرولوجية، دقته التمييزية 90 m، وحددت دقته الرأسية المطلقة بـ 80 m، ويعتمد الجيوئيد الشاقولي المرجعي EGM 96، والإهليلج WGS 84، وأبرز عيوبه تمثيل الارتفاعات بأخفض من الأرض الحقيقية، بسبب عمليات التحسين التي شملت تخفيض المناسيب لتحديد المسيلات من خلال فرض مسيلات مدققة من قاعدة بيانات عالمية، وكذلك ملء الفجوات في مناطق الظلال لتسمح للمياه بالحركة من خلية إلى الخلية المجاورة.

• استخدمت الخارطة الطبوغرافية بمقياس 1:50000 المعدة في المؤسسة العامة للمساحة بدمشق كبيانات مرجعية للمقارنة، وقد أنجزت هذه الخرائط وفق نظام تربيعة ميركاتور المعترض وعلى الإهليلج ED 50، كما أن البعد الرأسى (Contour Interval) ثابت، ويساوي 10 m.

4. منهجية العمل:

الإرجاع والرقمنة وتعريف نظام الإسقاط:

تم إرجاع الرقع الطبوغرافية المتوفرة كصورة بنظام إسقاط تربيعة ميركاتور المعترض (Syrian Transverse Mercator) STM، باستخدام نظام إسقاط UTM، للحزمة 37° شمالاً من أجل WGS-1984 ومن ثم رقمته خطوط التسوية والمسيلات المائية والتجمعات السكانية من الخارطة الطبوغرافية، وبذلك تم الحصول على شريحة بصيغة Vector متوفرة للمعالجة باستخدام نظام GIS.

بناء أنموذج ارتفاعى انطلاقاً من الخارطة الطبوغرافية المرقمنة:

تم تحويل الخرائط الطبوغرافية بمقياس 1:50000 إلى نماذج ارتفاعية رقمية مرجعية DEM بحجم خلية مناسب (دقة تساوي 30m)، تم تحديده بالاعتماد على المجموع الكلى لأطوال خطوط التسوية، التي تغطي المنطقة (Hengl وزملاؤه، 2009).

استنتاج الأحواض الصبابة لكل أنموذج ارتفاعى :

استخدم الأنموذج HECGeoHMS 10.3 لتحديد المسيلات المائية وتحديد الأحواض الصبابة.

مقارنة الخصائص الهندسية للحوض الصباب:

تمت المقارنة بين الأحواض الصبابة الناتجة عن النماذج الارتفاعية الأربعة المستخدمة في هذه الدراسة بتلك الناتجة عن استخدام الخارطة الطبوغرافية في منطقتي الدراسة، من حيث المساحة والمحيط والشكل، إذ تمت مقارنة المساحة والمحيط باستخدام الدالات الإحصائية (الخطأ المطلق، والخطأ النسبي) بين الأحواض المستنتجة من النماذج المختلفة، والحوض الصباب المرجعي المستنتج من الخارطة الطبوغرافية، بينما تمت مقارنة الشكل باستخدام معامل التوافق المكاني (Kappa).

التحليل الإحصائي:

استخدمت المؤشرات الإحصائية الآتية لمقارنة بيانات الارتفاع ومساحة الحوض الصباب ومحيطه:

- قيم المتوسط (M) Arithmetic Mean value
 - الخطأ المتوسط التربيعي (RMSE) Root Mean Square Error
 - الانحراف المطلق (MBD) Mean Bias Deviation
 - الخطأ النسبي (MBD%) Relative Error
- وذلك باستخدام المعادلات التالية (Willmott، 1982):

$$M = N^{-1} \sum_{i=1}^N Y_i \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y_i - x_i)^2}{N}} \quad (2)$$

$$MBD = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - x_i)}{N} \quad (3)$$

$$RMSE\% = 100 \times \frac{RMSE}{\bar{x}_i} \quad (4)$$

$$MBD\% = 100 \times \frac{MBD}{\bar{x}_i} \quad (5)$$

حيث:

Y_i : القيم المحسوبة من الأنموذج الارتقاعي.

X_i : القيم المقيسة من الخارطة الطبوغرافية.

N : عدد النقاط المستخدمة في المقارنة.

\bar{x}_i : الفرق الأعظمي بين القيم المقاسة $xi = (xi)_{max} - (xi)_{min}$

بينما استخدم معامل التوافق المكاني (Kappa Index of Agreement) KIA (McHugh، 2012) لتقدير مدى التوافق بين المبيات المائية المستتجة من النماذج الارتقاعية المختلفة، والمبيات المرقمنة من الخارطة الطبوغرافية (المرجعية)، وكذلك التوافق بين الأحواض الصبابة من حيث الشكل.

يحسب معامل التوافق المكاني KIA من المعادلة:

$$KIA = (OA - AC) / (1 - AC) \quad (6)$$

حيث OA: مدى التوافق (Observed Agreement) ويعطى بالمعادلة:

$$OA = \frac{\sum n_{11} + \sum n_{00}}{\sum n} \quad (7)$$

AC: التوافق بالصدفة (Chance by Agreement)

$$AC = \frac{((n_{00} + n_{10}) * (n_{00} + n_{10})) + ((n_{01} + n_{11}) * (n_{10} + n_{11}))}{n * n} \quad (8)$$

حيث:

n_{00} : عدد الخلايا المتوافقة التي لا تمثل مبيات مائية (أو حوض صباب)، في كل من الأنموذجين اللذين تتم مقارنتهما.

n_{11} : عدد الخلايا المتوافقة التي تمثل مبيات مائية (أو حوض صباب)، في كل من الأنموذجين اللذين تتم مقارنتهما.

n_{01} : عدد الخلايا غير المتوافقة التي تمثل مبيات مائية (أو حوض صباب) في الأنموذج المرجعي، ولا تمثل مبيات مائية (أو حوض صباب) في الأنموذج المقارن.

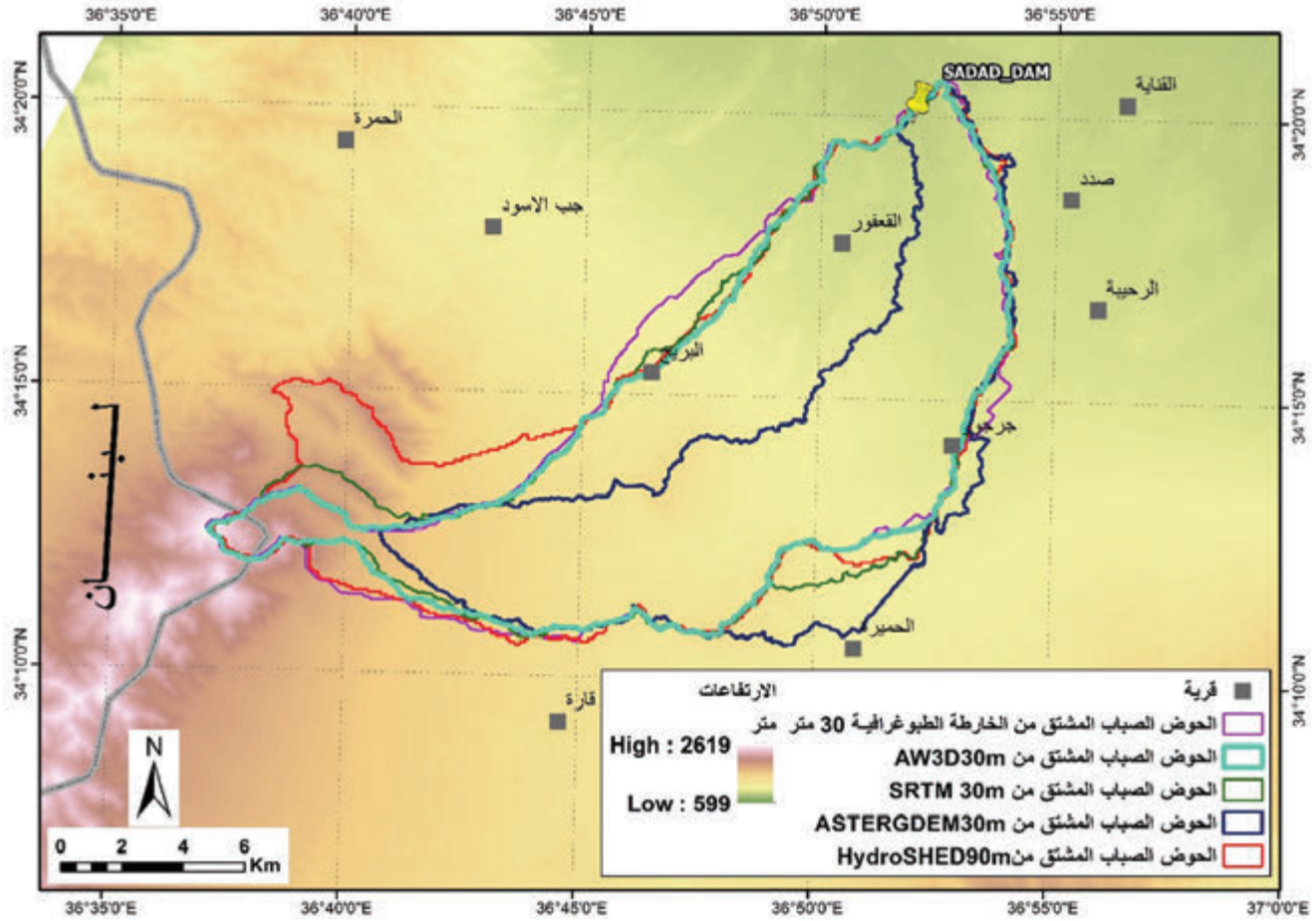
n_{10} : عدد الخلايا غير المتوافقة التي لا تمثل مبيات مائية (أو حوض صباب)، في الأنموذج المرجعي، وتمثل مبيات مائية (أو حوض صباب) في الأنموذج المقارن، n : عدد الخلايا الكلي.

النتائج والمناقشة

- مقارنة الارتفاع:

1 - منطقة الدراسة الأولى في حوض صدد:

نظراً لوجود اختلاف من حيث الشكل والمساحة والمحيط بين الأحواض الصبابة الناتجة عن النماذج الارتفاعية الأربعة المستخدمة في هذه الدراسة وتلك الناتجة عن استخدام الخارطة الطبوغرافية (الشكل 2)، تمت مقارنة الارتفاعات في المنطقة المشتركة بالحوض الصباب المرجعي.



الشكل 2. الأحواض الصبابة المستنتجة من النماذج الارتفاعية المستخدمة.

ولا بد من الإشارة إلى أن نسبة من الخطأ في قيم الارتفاعات لها مصدر واحد في كل النماذج الارتفاعية المدروسة، وهي الأخطاء المتراكمة من:

- الانزياح المكاني الناتج عن تحويل نظام إسقاط الخارطة الطبوغرافية من STM إلى UTM Zone 37N.
- الانزياح المكاني الناتج عن تحويل نظام إسقاط النماذج الارتفاعية الرقمية من WGS 1984 إلى UTM zone 37N.
- أخطاء الانزياح الشاقولي الناتج عن الانتقال من Datum (EGM 96) الخاص بالنماذج الارتفاعية الرقمية إلى Datum (WGS 1984).
- أخطاء إرجاع الرقع الطبوغرافية بحسب نقاط التحكم، بالإضافة إلى الخطأ الناتج عن إرجاع الرقع الطبوغرافية المتجاورة بالنسبة إلى بعضها للتمكن من عمل Mosaic لرقعة طبوغرافية واحدة تغطي كامل منطقة الدراسة.

وهذه الأخطاء يندرج تأثيرها في كل المقارنات التالية في هذا البحث.

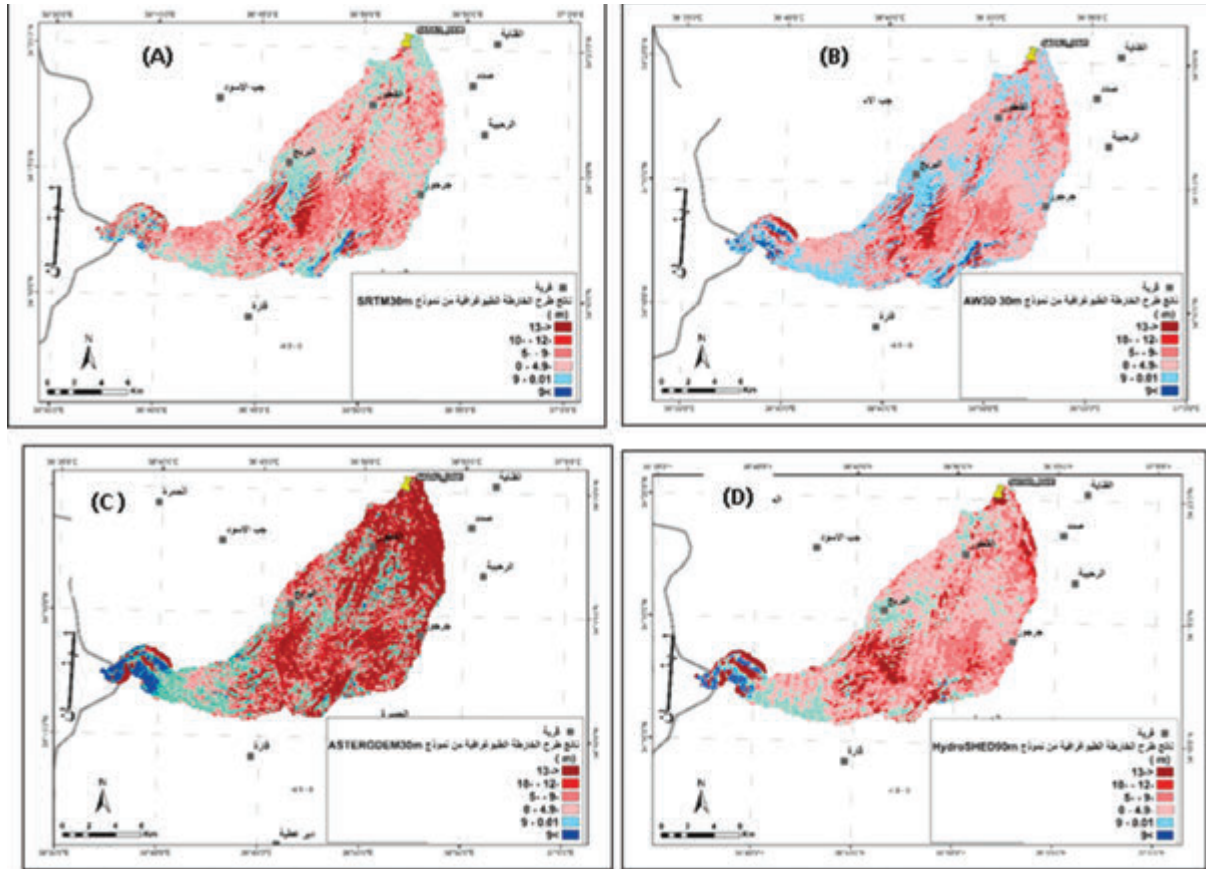
وكما هو مبين في الجدول 1 فإن متوسط ارتفاعات حوض صدد المستنتجة من الخارطة الطبوغرافية قيمتها 1148.22m، ولم تتجاوز قيم الخطأ المطلق في كل من الأنموذجين AW3D 30m و SRTM 30m، بينما وصل الخطأ إلى 5.81m في أنموذج ASTERGDEM 30m، أما بالنسبة للخطأ المتوسط التربيعي فقد بلغ 5.7، 6، 8.5، 12m وللنماذج SRTM 30m، AW3D 30m، HydroSHED 90m، ASTERGDEM 30m على التوالي، ويمكن أن تعزى القيمة المرتفعة للخطأ المطلق والخطأ المتوسط التربيعي للارتفاعات الناتجة عن أنموذج ASTERGDEM 30m إلى ضعف

المطابقة بين الصور المزدوجة في المناطق المنبسطة لضعف التضاريس فيها، وهذه إحدى سلبيات هذا النموذج، الذي يعتمد على أخذ صورتين للمنطقة نفسها من زاويتين مختلفتين (Tachikawa وزملاؤه، 2011).

الجدول 1. مقارنة الارتفاعات للأحواض الصيابة الناتجة من النماذج الارتفاعية المستخدمة بتلك المستنتجة من الخارطة الطبوغرافية في حوض صدد.

الخطأ المتوسط التريبي على كامل الحوض (RMSE) (m)	الخطأ المطلق (m)	متوسط ارتفاع الحوض الصيابة المدروس (m)	النموذج الارتفاعي المدروس
6	-0.21	1148.01	SRTM 30m
5.7	0.55	1148.77	AW3D30
12	-5.81	1142.41	ASTERGDEM30m
8.5	-1.66	1146.56	HydroSHED90m

يبين الشكل 3 نتائج طرح ارتفاعات الخارطة الطبوغرافية من الارتفاعات المستنتجة من كل من النماذج الأربعة، إذ يمثل اللون الأحمر مناطق الفروقات السالبة التي تكون فيها قيم الارتفاعات المستنتجة من النموذج الارتفاعي أخفض من الارتفاعات المرجعية. إذ يتضح أن أكثر من 70% من مساحة حوض صدد قد انخفضت ارتفاعاتها بمتوسط 5m- عن الارتفاعات المرجعية في النموذج SRTM 30m، AW3D 30m و HydroSHED 90m، بينما وصل هذا الانخفاض إلى 11m- في نموذج ASTERGDEM 30m وقد أشارت العديد من الدراسات السابقة [The Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)، Collection User Guide، 2015] أن قراءات الرادار للارتفاعات في المناطق الجرداء تكون أخفض من الارتفاعات الحقيقية بسبب ضعف موجة الرادار المرتدة عن مثل هذه المناطق، ويتضاعف الفرق في نموذج ASTERGDEM 30M بسبب ضعف المطابقة البصرية (Tachikawa وزملاؤه، 2011)، كما يلاحظ أن المناطق ذات الارتفاعات الأعلى من الخارطة الطبوغرافية كانت محصورة بسفوح المناطق الجبلية أعالي الحوض.



الشكل 3. الفرق بين ارتفاعات الخارطة الطبوغرافية، والارتفاعات المستنتجة من نموذج:

A: SRTM 30m، B: AW3D 30m، C: ASTERGDEM30m، D: HydroSHED 90m

وكما يُلاحظ من الجدول 2 فإن عامل الاتجاه ليس له تأثير في فروق المناسيب في حوض صدد، وأن العوامل المؤثرة هي الارتفاع والميل، إذ كانت الارتفاعات المستتجة من النماذج الارتفاعية المختلفة للسفوح الجبلية التي مناسيبها تفوق 1183m، وميولها أكبر من 10 % في أعالي الحوض أعلى من تلك المحسوبة من الخارطة الطبوغرافية، ووصل الفرق في الارتفاع إلى +4m في النماذج AW3D 30m، SRTM 30m، HydrSHED، 90m، بينما بلغ الفرق +8m في أنموذج ASTERGDEM 30m.

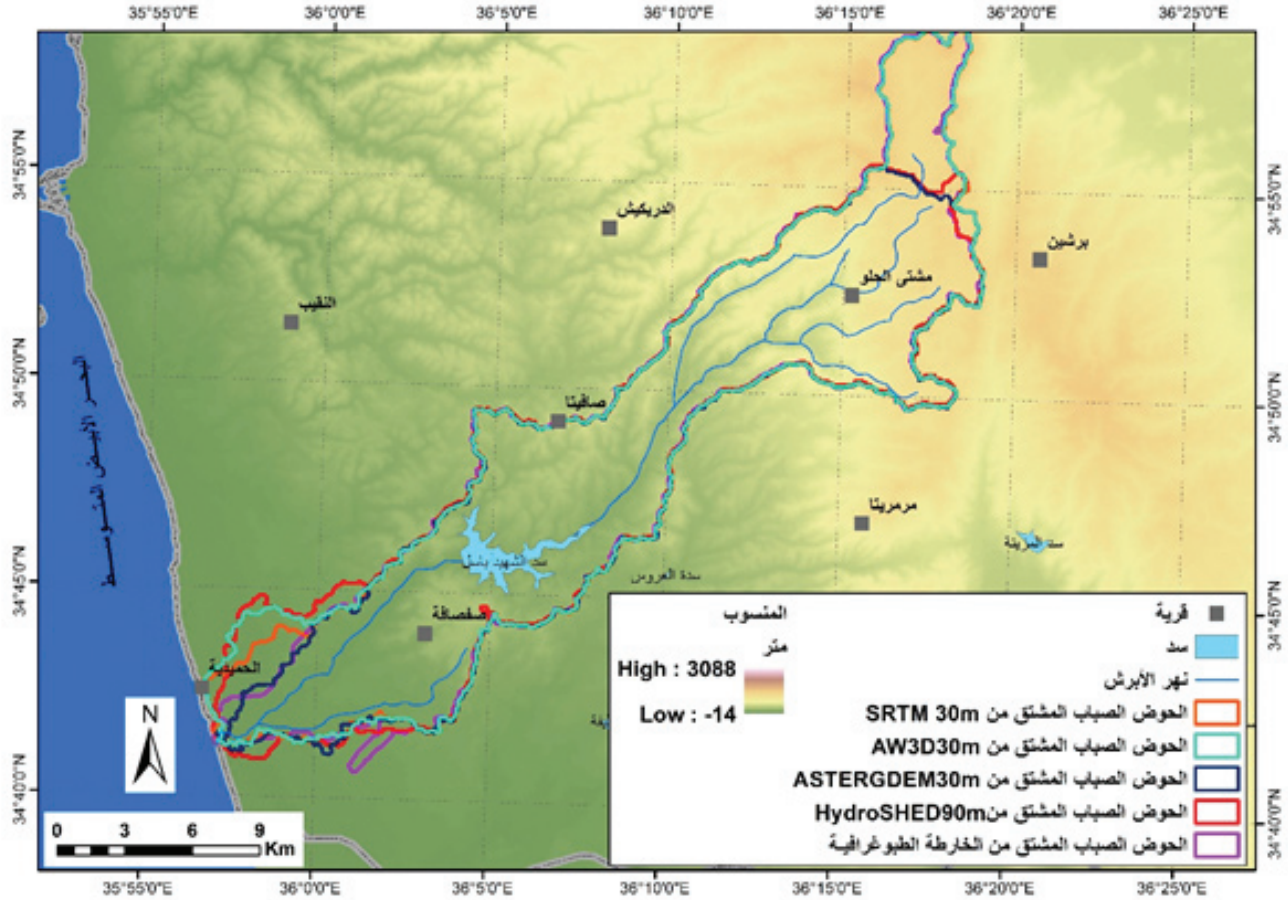
الجدول 2. نسب مساحات المناطق ذات الارتفاعات الأخفض من الخارطة الطبوغرافية والأعلى منها، ومعدلات ارتفاعاتها وميولها في النماذج الارتفاعية المدروسة في حوض صدد.

المساحة الأعلى من الخارطة الطبوغرافية				المساحة الأخفض من الخارطة الطبوغرافية				النموذج الارتفاعي المدروس
الارتفاع (m)	الاتجاه	الميل (%)	النسبة (%)	الارتفاع (m)	الاتجاه	الميل (%)	النسبة (%)	
1183.44	50 % شرق، شمال شرق، شمال غرب	11.20	21	1138.67	66 % شرق، شمال شرق، جنوب شرق	7.53	79	SRTM 30m
1245.13	55 % شرق، شمال شرق، شمال غرب	12.49	25	1117.30	64 % شرق، شمال شرق، جنوب شرق	6.81	75	AW3D 30m
1349.03	78 % شرق، شمال شرق، جنوب شرق	17.77	17	1098.91	59 % شرق، شمال شرق، جنوب شرق	12.27	83	ASTERGDEM 30m
1323.10	76 % شرق، شمال شرق، جنوب شرق	9.58	12	1117.98	60 % شرق، شمال شرق، جنوب شرق	4.93	88	HydroSHED 90m

2 - منطقة الدراسة الثانية في حوض الأبرش:

يلاحظ وجود اختلاف من حيث الشكل والمساحة والمحيط بين الأحواض الصبابة الناتجة عن النماذج الارتفاعية الأربعة المستخدمة في هذه الدراسة وتلك الناتجة عن استخدام الخارطة الطبوغرافية (الشكل 4) ولكن بشكل أقل من منطقة الدراسة الأولى، لذلك تمت مقارنة الارتفاعات في المنطقة المشتركة بالحوض الصباب المرجعي.

وكما هو مبين في الجدول 3 فإن متوسط ارتفاعات حوض الأبرش المشتقة من الخارطة الطبوغرافية بلغ 367.48m، والخطأ المطلق في كل من الأنموذجين SRTM 30m و AW3D 30m لم يتجاوز +1.7m، وهذا الخطأ بالاتجاه الموجب مبرر بسبب وجود الغطاء الشجري في معظم مساحة الحوض، إضافة لتجمعات السكنية. بينما وصل هذا الخطأ إلى -14m في أنموذج HydroSHED 90m. أما بالنسبة للخطأ المتوسط التريبيعي، فقد بلغ 12.3، 12.1، 13.7، 20.3m للنماذج SRTM 30m، AW3D 30m، ASTERGDEM 30m، HydroSHED 90m على التوالي، ويمكن أن تعزى القيمة المرتفعة للخطأ المطلق بالاتجاه السالب (أي أن الارتفاعات المستتجة أخفض من ارتفاعات الخارطة الطبوغرافية)، والخطأ المتوسط التريبيعي للارتفاعات الناتجة عن أنموذج HydroSHED 90m إلى عمليات التحسين التي طبقت على هذا الأنموذج، ولاسيما فرض المسيلات المائية عن طريق تخفيض المناسيب بشكل قسري بغرض الملاءمة للدراسات الهيدرولوجية، بالإضافة إلى الدقة التمييزية المنخفضة 90m. كما يُلاحظ أن قيم الأخطاء المطلقة والأخطاء المتوسطة التريبيعية في الارتفاعات للنماذج SRTM 30m، AW3D 30m، HydroSHED 90m في حوض الأبرش أعلى منها في حوض صدد كون نظام الرادار يستقرئ الارتفاعات في المناطق السهلية (حوض صدد) بدقة أكبر منها في المناطق الجبلية المتنوعة طبوغرافياً (حوض الأبرش)، أما بالنسبة لدقة الارتفاعات المستتجة من أنموذج ASTERGDEM30m الذي يعتمد نظام التقاط الصور المزدوجة فيلاحظ أن الدقة في المنطقة الجبلية (حوض الأبرش) أفضل مقارنة بالمنطقة السهلية (حوض صدد)، ويعود ذلك للتشويش (noise)، الذي يظهر في صور ASTERGDEM 30M في المناطق السهلية، وتحسن المطابقة بين الصور المزدوجة في المناطق الجبلية.



الشكل 4. الأحواض الصبابة المستنتجة من النماذج الارتفاعية المستخدمة.

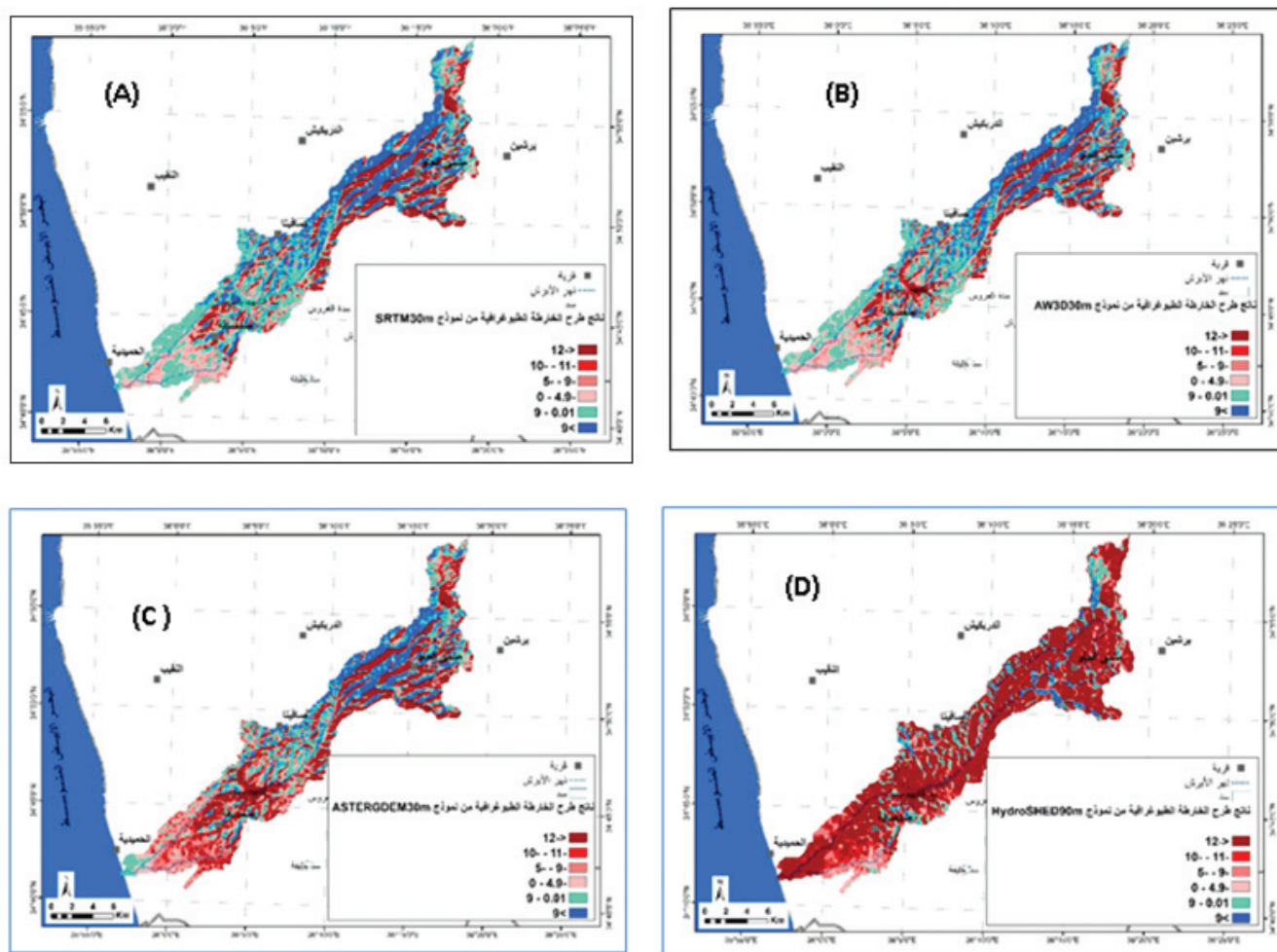
الجدول 3. مقارنة الارتفاعات للأحواض الصبابة الناتجة من النماذج الارتفاعية المستخدمة مع تلك المستنتجة من الخارطة الطبوغرافية في حوض الأبرش.

الخطأ المتوسط التريبي على كامل الحوض (RMSE) (m)	الخطأ المطلق (m)	متوسط ارتفاع الحوض الصبابة المدروس (m)	الأنموذج الارتفاعي المدروس
12.3	1.67	369.15	SRTM 30m
12.1	1.48	368.96	AW3D 30
13.7	-2.74	364.74	ASTERGDEM 30m
20.3	-13.96	353.52	HydroSHED 90m

يبين الشكل 5 ناتج طرح ارتفاعات الخارطة الطبوغرافية من الارتفاعات المستنتجة من كل من النماذج الأربعة، إذ يمثل اللون الأحمر مناطق الفروقات السالبة، التي تكون فيها قيم الارتفاعات المستنتجة من الأنموذج الارتفاعي أخفض من الارتفاعات المرجعية. إذ يتضح أن أكثر من 50 % من مساحة حوض الأبرش قد انخفضت ارتفاعاتها بمتوسط 10m- عن الارتفاعات المرجعية في النماذج SRTM 30m، AW3D 30m، و-12m في 70 % من مساحة الحوض المستنتج من أنموذج ASTERGDEM 30m، بينما وصل هذا الانخفاض إلى -19m في 90 % من مساحة الحوض المستنتج من أنموذج HydroSHED 90m، وقد يُعزى هذا الانخفاض في أنموذج HydroSHED 90m إلى عمليات التحسين المطبقة على الأنموذج، والتي شملت تخفيض المناسيب لتحديد المسيلات المائية بشكل أوضح.

وبدراسة العلاقة بين فروق المناسيب وكل من عوامل الارتفاع، والميول، والاتجاه (الجدول 4)، يُلاحظ أن عامل الاتجاه هو عامل مؤثر في فروق المناسيب في حوض الأبرش، بالإضافة إلى الارتفاع والميل، إذ كانت الارتفاعات المستنتجة من النماذج الارتفاعية المختلفة للسفوح الجبلية التي

مناسبتها تتفوق 370m وميولها أكبر من 17 % في أعالي الحوض بالاتجاهات الجنوبية والشرقية أعلى من تلك المحسوبة من الخارطة الطبوغرافية، ووصل الفرق في الارتفاع إلى نحو 10m+ في النماذج SRTM 30m، AW3D 30m، ASTERGDEM 30m، وقد يعزى الفرق في هذه المناطق المنحدرة إلى اختلاف التباعد بين نقاط الشبكة، الذي بلغ في النماذج الارتفاعية 30m، بينما بلغ التباعد بين خطوط تسوية الخارطة الطبوغرافية في المناطق المنحدرة 10m.



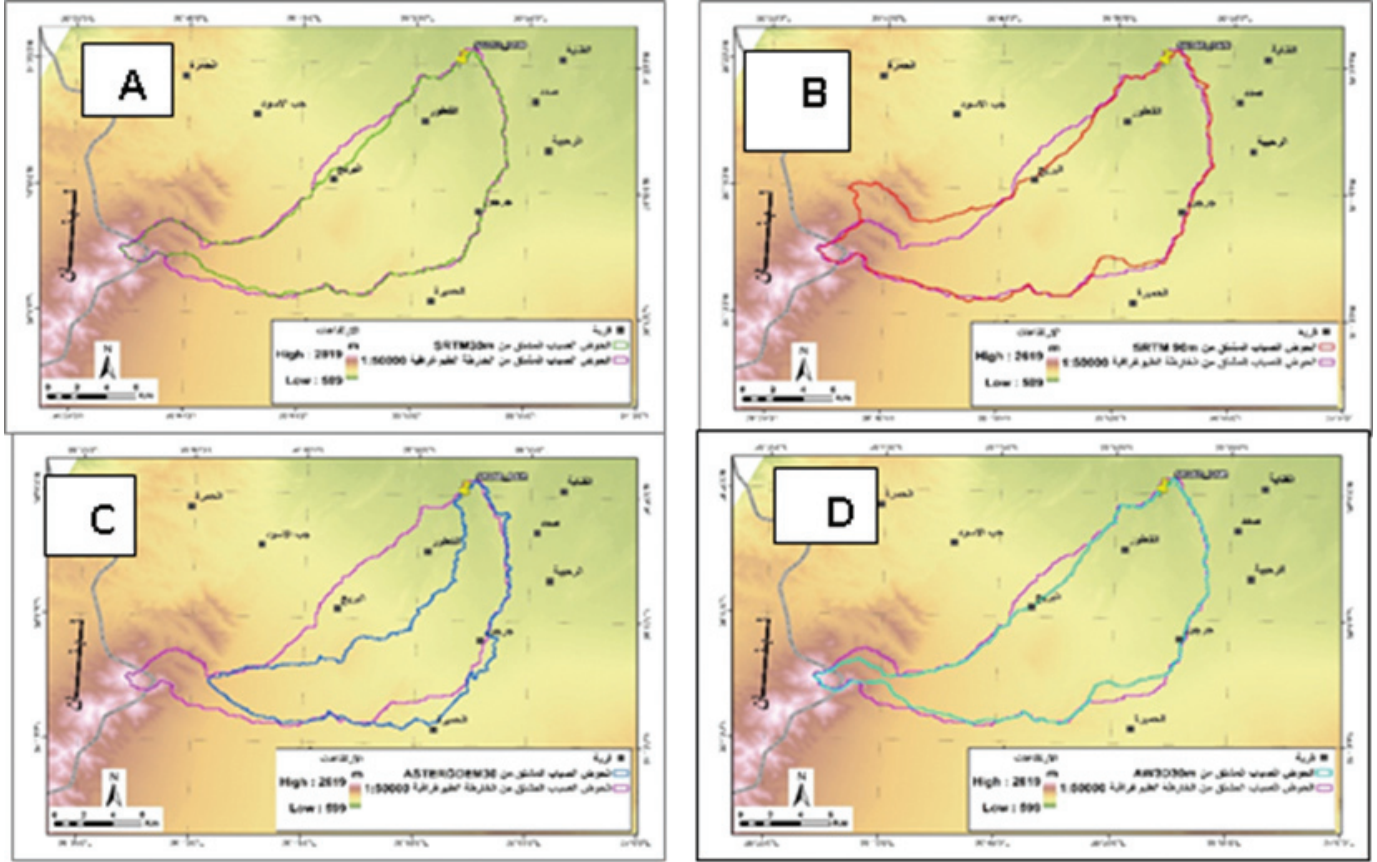
الشكل 5. الفرق بين ارتفاعات الخارطة الطبوغرافية، والارتفاعات المستنتجة من أنموذج:
A: SRTM 30m, B: AW3D 30m, C: ASTERGDEM30m, D: HydroSHED 90m

الجدول 4. نسب مساحات المناطق ذات الارتفاعات الأخفض من الخارطة الطبوغرافية والأعلى منها، ومعدلات ارتفاعاتها وميولها في النماذج الارتفاعية المستخدمة في حوض الأبرش.

المساحة الأعلى من الخارطة الطبوغرافية				المساحة الأخفض من الخارطة الطبوغرافية				الأنموذج الارتفاعي المدروس
الارتفاع (m)	الاتجاه	الميل (%)	النسبة (%)	الارتفاع (m)	الاتجاه	الميل (%)	النسبة (%)	
373.61	68 % شرق، جنوب شرق، جنوب	17.04	47.5	363.23	61% غرب، شمال غرب، جنوب غرب	15.23	52.5	SRTM 30m
404.35	67 % شرق، جنوب شرق، جنوب	19.36	44.09	340.37	61% غرب، شمال غرب، جنوب غرب	15.65	55.91	AW3D 30m
458.05	75 % شرق، جنوب شرق، جنوب	21.94	30.97	322.47	53% غرب، شمال غرب، جنوب غرب	14.86	69.03	ASTERGDEM 30m
473.51	76 % شرق، جنوب شرق، جنوب	19.18	10.72	339.15	64 % غرب، شمال غرب، جنوب غرب	11.79	89.28	HydroSHED 90m

مقارنة الخصائص الهندسية للحوض الصباب:

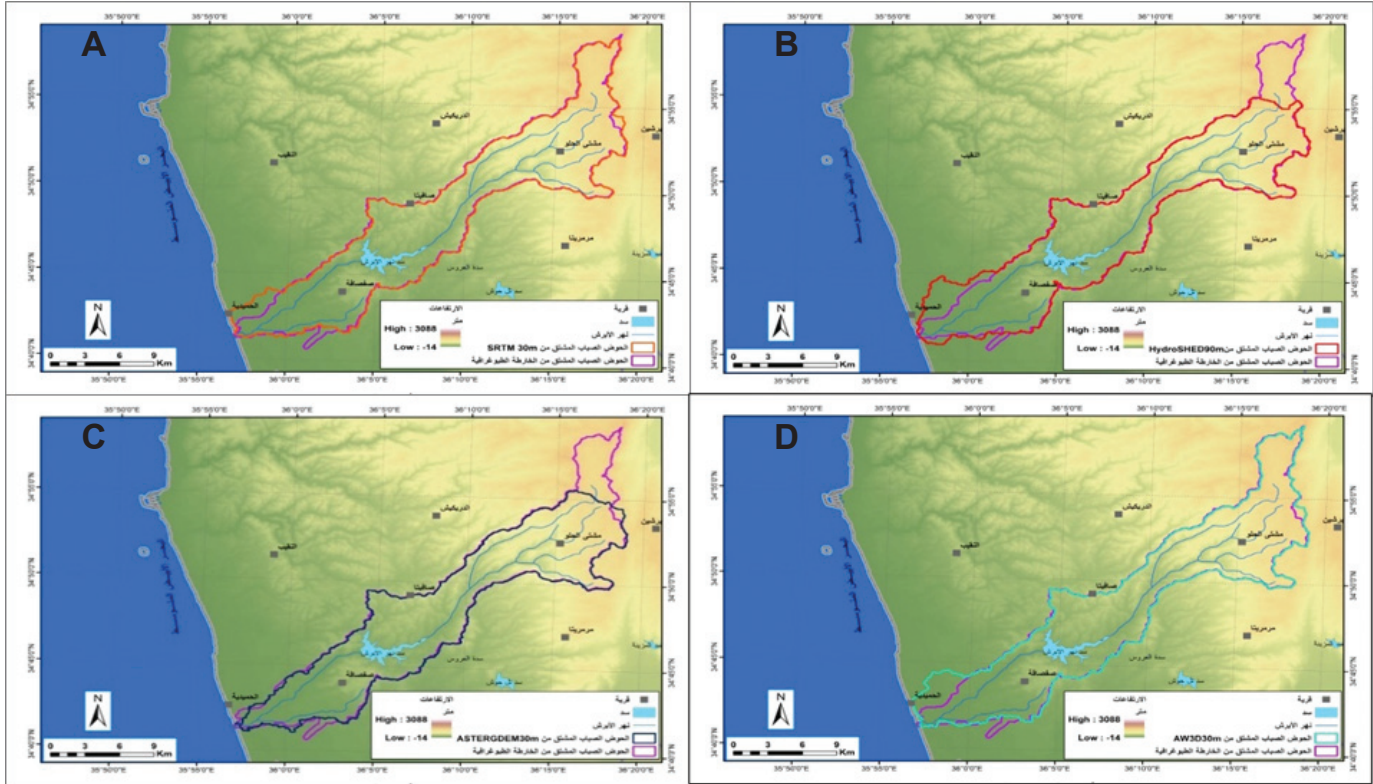
تبين المقارنة البصرية للأحواض الصبابية في منطقتي الدراسة المستنتجة من النماذج الارتقاعية المختلفة وتلك المستنتجة من الخارطة الطبوغرافية (الشكل 6) أن الحوض الصباب الناتج من الأنموذج الارتقاعي الرقمي SRTM 30m، والحوض الصباب الناتج من أنموذج AW3D 30m كانا أكثر توافقاً في كل من منطقتي الدراسة، بينما كان الاختلاف الأكبر في أنموذج ASTERGDEM30m.



الشكل 6. مقارنة حوض صدد الناتج من الخارطة الطبوغرافية بالأحواض الصبابية المستنتجة من: A: الحوض الصباب الناتج من أنموذج SRTM 30m, B: الحوض الصباب الناتج من HydroSHED 90m, C: الحوض الصباب الناتج من ASTERGDEM 30m, D: الحوض الصباب الناتج من AW3D 30m.

أما بالنسبة لحوض الأبرش، فتبدو الأحواض الصبابية المشتقة من النماذج الارتقاعية المختلفة غير متفقة الشكل مع الحوض الصباب المستنتج من الخارطة الطبوغرافية في منطقة المصب، ويبدأ هذا الاختلاف بالظهور في السهول الساحلية التي تسبق مصب النهر، ويمكن أن يعزى ذلك إلى أن قيمة الدقة الرأسية المتوقعة من النماذج الارتقاعية أكبر من متوسط قيم مناسيب الأرض الطبيعية في هذه المنطقة، والذي يقارب 12m، لذلك من الطبيعي حصول أخطاء غير متوقعة عند تحليل هذه البيانات لاستنتاج الأحواض الصبابية.

كذلك يظهر فرق في أعالي الحوض الصباب المستنتج من كل من الأنموذج الارتقاعي ASTERGDEM 30m و HydroSHED 90m، وقد يعزى ذلك إلى صعوبة تحديد الأودية الضيقة في كل من الأنموذجين (الشكل 7). وعند مقارنة قيم المساحة والمحيط المستنتجة من النماذج الارتقاعية المستخدمة في حوض صدد بالمساحة والمحيط للحوض الصباب المستنتج من الخارطة الطبوغرافية وقيمها (1.3km, 193km²) على التوالي (الجدول 5) تبين أن الخطأ النسبي في المحيط تراوح بين 2% في أنموذج AW3D 30m، و6% في أنموذج SRTM 30m، أما بالنسبة للمساحة فقد تراوح هذا الخطأ بين 2.59% في أنموذج SRTM 30m، و33% في أنموذج ASTER 30m، وسبب الخطأ في نمودج ASTER30m هو الدقة الرأسية المتدنية (17.1 m). كما تراوح الخطأ النسبي في محيط حوض الأبرش بين 0% في أنموذج SRTM30m و-17% في أنموذج HydroSHED 90m، أما بالنسبة للمساحة، فقد تراوح هذا الخطأ بين 2.44% في أنموذج SRTM 30m، ونحو 9% في أنموذجي ASTERGDEM 30M و HydrSHED90m. مع العلم أن قيم المساحة والمحيط للحوض الصباب المرجعي قد بلغت (km² 246، km 179) على التوالي، وقد يعزى خطأ المساحة والمحيط في هذين الأنموذجين إلى صعوبة تحديد الأودية الضيقة من هذه النماذج، الأمر الذي أدى إلى خطأ استنتاج حدود الحوض الصباب في أعالي الحوض (الجدول 6).



الشكل 7. مقارنة حوض الأبرش الناتج من الخارطة الطبوغرافية بالأحواض الصبابة المستنتجة من:
 A: الحوض الصباب الناتج من نموذج SRTM 30m, B: الحوض الصباب الناتج من HydroSHED 90m,
 C: الحوض الصباب الناتج من ASTERGDEM 30m, D: الحوض الصباب الناتج من AW3D 30m.

الجدول 5. الخطأ المطلق والخطأ النسبي في قيم المساحة والمحيط للأحواض الصبابة المستنتجة من النماذج الارتفاعية المستخدمة مقارنةً بالحوض الصباب الناتج من الخارطة الطبوغرافية في حوض صدد.

المحيط			المساحة			النموذج الارتفاعي المدروس
الخطأ النسبي	الخطأ المطلق	المحيط (km)	الخطأ النسبي	الخطأ المطلق	المساحة (km ²)	
5.83	6	109	-2.59	-5	188	SRTM 30m
1.94	2	105	-7.89	-15	178	AW3D 30m
3.88	4	107	-33.16	-64	129	ASTERGDEM 30m
2.91	3	106	8.81	17	210	HydroSHED 90m

الجدول 6. الخطأ المطلق والخطأ النسبي في قيم المساحة والمحيط للأحواض الصبابة المستنتجة من النماذج الارتفاعية المستخدمة مقارنةً بالحوض الصباب الناتج من الخارطة الطبوغرافية في حوض الأبرش.

المحيط			المساحة			النموذج الارتفاعي المدروس
الخطأ النسبي	الخطأ المطلق	المحيط (km)	الخطأ النسبي	الخطأ المطلق	المساحة (km ²)	
0.00	0	179	2.44	6	252	SRTM 30m
2.23	4	183	4.07	10	256	AW3D 30m
-10.61	-19	160	-8.94	-22	224	ASTERGDEM 30m
-17.32	-31	148	-8.13	-20	226	HydroSHED 90m

لمقارنة الشكل بين الأحواض الصبابة الناتجة من النماذج الارتقاعية المختلفة والحوض الصباب الناتج من الخارطة الطبوغرافية في منطقتي الدراسة تم حساب معامل التوافق المكاني Kappa (الجدول 7)، إذ تبين أن التوافق في حوض الأبرش ذو الطبيعة المتنوعة طبوغرافياً كان أعلى منه في حوض صدد السهلي في معظم مساحته، كما يلاحظ أن الأحواض الصبابة المستنتجة من الأنموذجين SRTM 30m و AW3D 30m امتلكت أعلى دقة وتوافق مكاني مقارنة بباقي النماذج المدروسة.

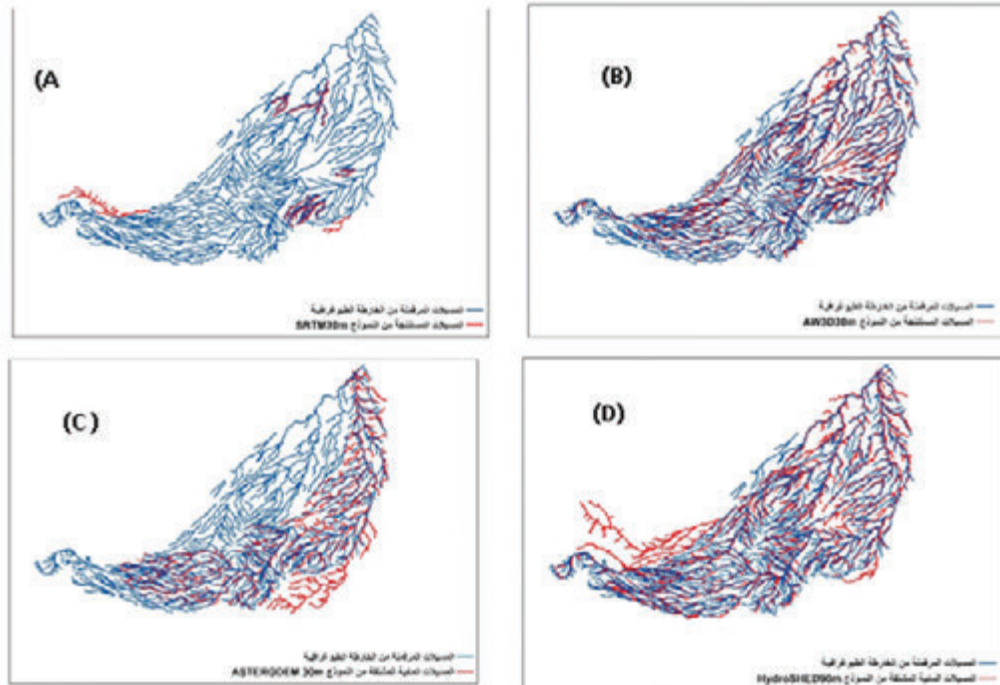
الجدول 7. قيم معامل التوافق المكاني (kappa)، ومدى التوافق (Observed Agreement) الخاصة بالأحواض الصبابة المستنتجة من النماذج الارتقاعية المستخدمة مقارنة بالحوض الصباب المستنتج من الخارطة الطبوغرافية.

الأتمودج الارتقاعي المدروس	الحوض الصباب لسد صدد	الحوض الصباب لنهر الأبرش
	معامل التوافق المكاني (KIA)	معامل التوافق المكاني KIA
SRTM 30m	0.69	0.91
AW3D30	0.80	0.89
ASTERGDDEM30m	0.24	0.84
HydroSHED90m	0.64	0.85

مقارنة خصائص شبكة المسيلات المائية:

قبل إجراء المقارنة تم اختيار عتبة اشتقاق المسيلات المائية (مساحة أصغر حوضه لاستنتاج المسيل المائي) من النماذج الارتقاعية المختلفة بحسب توافق أعداد أجزاء المسيلات في الرتبة الخامسة (الرتبة الأعلى) مع مثيلاتها المرقمنة من الخارطة الطبوغرافية، وحُدثت هذه العتبة بـ 0.1 Km^2 المسيلات المستنتجة من النماذج الارتقاعية المدروسة في حوض صدد:

تبين المقارنة البصرية الأولية بين المسيلات المستنتجة من النماذج الارتقاعية المختلفة والمسيلات المرقمنة من الخارطة الطبوغرافية لحوض صدد (الشكل 8) أن المسيلات المستنتجة من الأنموذجين SRTM 30m و AW3D 30m هي الأكثر توافقاً بينما يلاحظ ضعف في التوافق في المسيلات المستنتجة من أنموذج ASTERGDDEM 30m، وقد يعزى ذلك إلى الخطأ في استنتاج الحوض الصباب، أما المسيلات المستنتجة من أنموذج HydroSHED 90m، فتبدو غير متوافقة مع المسيلات المرجعية في المنطقة الجبلية، وتكون المسيلات أكثر استقامة، وأقل تعرجاً، وقد يعزى ذلك إلى الدقة التمييزية المتدنية للنموذج (90m).

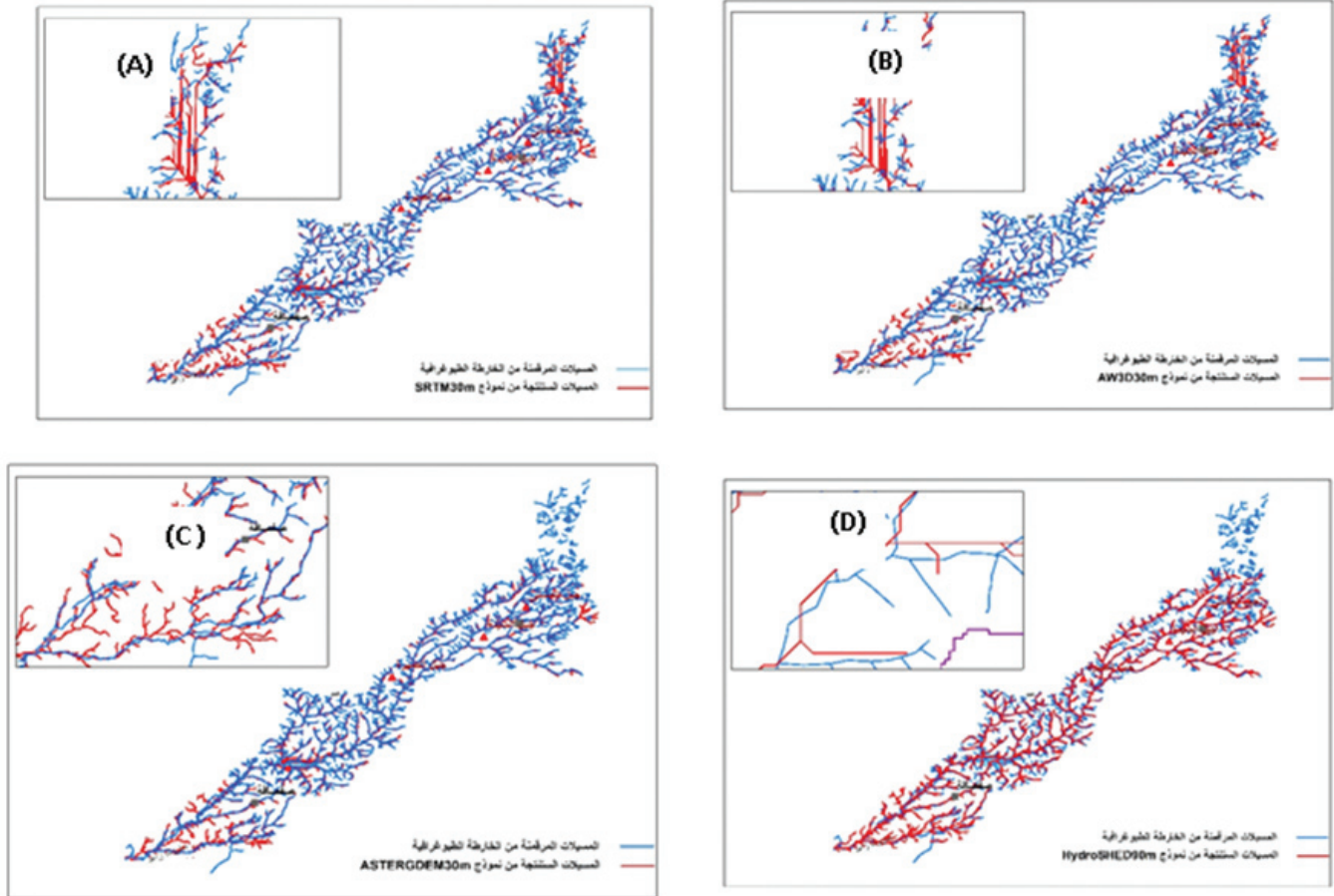


الشكل 8. مقارنة المسيلات الناتجة من الخارطة الطبوغرافية لحوض صدد بالمسيلات المستنتجة من أنموذج: A: SRTM 30m, B: AW3D 30m, C: ASTERGDDEM30m, D: HydroSHED 90m

المسيلات المستنتجة من النماذج الارتفاعية المدروسة في حوض الأبرش:

تبين المقارنة البصرية الأولية بين المسيلات المستنتجة من النماذج الارتفاعية المختلفة والمسيلات المرقمنة من الخارطة الطبوغرافية لحوض الأبرش (الشكل 9) أن المسيلات المستنتجة من الأنموذجين SRTM 30m و AW3D 30m هي الأكثر توافقاً، كما يُلاحظ عدم توافق المسيلات المائية في منطقة الوديان أعالي الحوض، إذ تبدو المسيلات ذات امتداد مستقيم على طول الوادي، وهو خطأ شائع في النماذج الارتفاعية الرقمية في مثل هذه المناطق يُعزى إلى أخطاء الظلال، التي تغطي الوادي بين جبلين، وكذلك يُلاحظ عدم توافق المسيلات في السهول الساحلية، ويعزى إلى صعوبة تحديد المسيلات المائية في المناطق السهلية بالاعتماد على النماذج الارتفاعية الرقمية، بسبب عدم وجود تفاوت كبير في ارتفاعات سطح الأرض، بينما يتم الرفع الطبوغرافي لمسيلات الخارطة الطبوغرافية على أرض الواقع.

بينما يوجد عدم توافق كبير في أعالي الحوض بين المسيلات المستنتجة في كل من الأنموذجين ASTERGDEM 30m و HydroSHED 90m، وقد يعزى هذا الخطأ إلى عدم قدرة هذه النماذج على استقرار المسيلات المائية الضيقة، وكذلك تبدو المسيلات المستنتجة من HydroSHED 90m أكثر استقامة وأقل تعرجاً، وقد يعزى ذلك إلى الدقة التمييزية المتدنية للأنموذج (90m).



الشكل 9. مقارنة المسيلات الناتجة من الخارطة الطبوغرافية لحوض الأبرش بالمسيلات المستنتجة من أنموذج: A: SRTM 30m, B: AW3D 30m, C: ASTERGDEM 30m, D: HydroSHED 90m

لتقييم التوافق المكاني بين المسيلات المستنتجة من النماذج الارتفاعية المختلفة والمسيلات المرقمنة من الخارطة الطبوغرافية في منطقتي الدراسة، قُدِّر معامل التوافق المكاني Kappa (الجدول 8)، إذ لوحظ أن قيم التوافق المكاني للمسيلات المستنتجة من جميع النماذج المدروسة في حوض الأبرش كانت أعلى منها في حوض صدد، ويعزى ذلك إلى الطبيعة الطبوغرافية المتغيرة لحوض الأبرش، ولا بد من التوضيح هنا أن تحديد المسيل المائي يعتمد على مقارنة ارتفاعات الخلايا الثمانية المتجاورة واختيار الخلية الأخفض، وباعتبار الفروق تكون بسيطة بين هذه الخلايا في المناطق السهلية، فقد يحصل خطأ في تحديد المسيل المائي، كما يُلاحظ أن معامل التوافق بين المسيلات المائية المستنتجة من أنموذج AW3D 30m والمسيلات المرقمنة من الخارطة الطبوغرافية (المسيلات المرجعية) هو الأعلى بين النماذج المدروسة، إذ بلغت قيمته 0.33 و 0.42 في حوضي صدد والأبرش على التوالي، كما يلاحظ في نماذج ASTERGDEM 30m و HydroSHED 90m أن معامل التوافق هو الأقل مقارنة بباقي النماذج

المدرسة، ولا بد من الإشارة إلى أن القيمة المنخفضة جداً لمعامل التوافق المكاني kappa في أنموذج ASTERGDEM 30M في حوض صدد قد يعود إلى أن مساحة الحوض الصباب المستنتجة من هذا الأنموذج أقل بـ 33 % من مساحة الحوض الصباب المرجعي (الشكل 7) . إن قيم معامل التوافق المكاني لمسيلات حوض الأبرش المستنتجة من النماذج الارتقاعية المستخدمة أعلى منها لحوض صدد، ويُعزى ذلك إلى صعوبة استنتاج المسيلات المائية في المناطق السهلية نظراً لعدم وجود تمايز واضح في الارتفاعات، لذلك ينصح برقمته المسيلات المائية في المناطق السهلية باستخدام صور جوية عالية الدقة، وإعادة فرضها على الأنموذج الارتقاعي الرقمي.

الجدول 8. قيم معامل التوافق المكاني (kappa)، ومدى التوافق (Observed Agreement) الخاصة بالمسيلات المائية المستنتجة من النماذج الارتقاعية المستخدمة مقارنة بالمسيلات المائية المستنتجة من الخارطة الطبوغرافية.

مسيلات حوض صدد		الأنموذج الارتقاعي المدرس
مسيلات حوض الأبرش	معامل التوافق المكاني (KIA)	
معامل التوافق المكاني (KIA)	معامل التوافق المكاني (KIA)	SRTM 30m
0.39	0.24	AW3D30
0.42	0.33	ASTERGDEM30m
0.37	0.11	HydroSHED90m
0.32	0.16	

الاستنتاجات:

- إن الارتفاعات المشتقة من الأنموذجين SRTM 30m و AW3D 30m هي الأقرب إلى ارتفاعات الخارطة الطبوغرافية، في مختلف المناطق السهلية، والهضبية والجبلية ضمن الحوضين المدرسين..
- إن أخطاء ارتفاعات أنموذج HydroSHED 90m تكون كبيرة في المناطق الجبلية شديدة الانحدار، وفي المناطق السهلية الساحلية، وارتفاعات أنموذج ASTERGDEM 30m تكون أخطاؤها كبيرة في المناطق السهلية.
- إن دقة أنموذج ASTERGDEM 30m في تمثيل الارتفاعات في المناطق الجبلية أكبر منها في المناطق السهلية.
- إن الارتفاعات المستنتجة من النماذج الارتقاعية المدرسة تكون غالباً أخفض من ارتفاعات الخارطة الطبوغرافية في المناطق السهلية.
- وجد أن المسيلات المستنتجة من AW3D 30m هي الأكثر توافقاً، يليها المسيلات المستنتجة من SRTM 30m، بينما تبدو المسيلات المستنتجة من أنموذج ASTERGDEM 30m غير متوافقة في المناطق السهلية.
- تمثل النماذج الارتقاعية الأربعة المستخدمة المسيلات المائية في المناطق الجبلية ذات الارتفاعات المتغيرة والميول الشديدة (حوض الأبرش) بخطأ أقل منه في المناطق السهلية (حوض صدد).
- تُعدُّ المناطق السهلية مناطق حرجة لتمثيل المسيلات المائية في كل النماذج الارتقاعية المدرسة.
- إن الأحواض الصبابية المستنتجة من كل من أنموذجي SRTM 30m و AW3D 30m هي الأكثر تقارباً، من حيث الشكل، والمحيط، والمساحة مع الحوض الصباب المشتق من الخارطة الطبوغرافية.
- تنخفض دقة أنموذج HydroSHED 90 m في استنتاج الأحواض الصبابية على المستوى المحلي، وذلك لعدم قدرة هذا الأنموذج على تمييز المجاري المائية الضيقة التي يقل عرضها عن 90 متراً.
- تُعدُّ دقة أنموذج ASTERGDEM 30m منخفضة في استنتاج الأحواض الصبابية نظراً للتشويش الناتج عن طريقة معالجة الأنموذج نفسه للمسيلات المائية.

المقترحات:

- اختبار النماذج الارتقاعية التي تمت مقارنتها في هذا البحث على مناطق أخرى من سورية.
- اختبار بعض النماذج الحديثة مثل ALOS 12m (متاح) والذي تم إطلاقه عام 2017.
- دراسة أثر الغطاء النباتي في قيم الارتفاعات المشتقة من النماذج الارتقاعية المختلفة، ولاسيما أن نتائج الدراسات السابقة قد تناقضت في هذا الخصوص.

المراجع

- Tachikawa, T., M. Kaku and A. Iwasaki. 2011." ASTER GDEM Version 2- Validation Report “.
- Amhar, F. 2016. “Quality Test Various Existing DEM in Indonesia Toward 10 Meter National DEM”. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. XXIII ISPRS Congress, , Prague ,Czech Republic, XLI-B4:111–116.
- Harris, B., K. McDougall and M. Barry. 2012. “Comparison of Multi-Scale Digital Elevation Models for Defining Waterways and Catchments over Large Areas”. In: Proceedings of the International Conference on of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences Melbourne, Australia. , 1–2:75 - 80.
- Hengl, T., and I.S. Evans. 2009 “Mathematical and Digital models of the Land Surface. In Geomorphometry: concepts, software, applications”,The Netherlands, Elsevier: 31 -63 .
- Hosseinzadeh, S. 2011. “Assessing the quality of ASTERGDEM 30MDEMs for Hydrological Applications”. In Proceedings of the International Conference: Environment Science and Engineering, IACSIT Press, Singapore, 8:37 - 41.
- Jarvis, A., J. Rubiano and A. Cuero. 2006. “Comparison of SRTM derived DEM vs. topographic map derived DEM in the region of Dapa”. CIAT: International Centre for Tropical Agriculture.
- McHugh, M. L. 2012. “Interrater reliability: the kappa statistic”. International Archives of the Photogrammetry, Biochem Med journal, Zagreb. 22(3) : 276–282.
- Sadeq, H. 2012. Comparing Ground Survey Data with SRTM Satellite Data: Case Study in North of Iraq. J. Al-Rafidain Engineering. 20(5): 136- 147.
- Santillan, J. R and M. Makinano-Santillan. 2016. “Virtual Accuracy Assessment of 30-Resolution ALOS,ASTER,and SRTM Global DEMs over Northeastern Mindanao,Philippines”. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. XXIII ISPRS Congress, Prague, Czech Republic, XLI-B4 : 149–156.
- Takaku, J., T. Tadono, K. Tsutsui and M. Ichikawa. 2014. “Validation of AW3D Global DSM Generated from ALOS prism”. XXIII ISPRS Congress Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Prague, Czech Republic, III-4:25 -31
- The Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) Collection User Guide, (2015).
- Willmott, C. J. 1982. “Some comments on the evaluation of model performance”. Bullten Am. Metro. Soc., 63(11):1309- 1313.

N° Ref: 840