

اهمیت انتخاب مدل رقومی ارتفاعی مناسب در مدیریت و حفاظت منابع خاک و آب (مطالعه موردی: سد تهم، استان زنجان)

کامران مروج^{۱*}، محمد امیر دلاور^۲ و اکرم صادق بیگی^۳

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۶/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۲/۲۰)

چکیده

استفاده از مدل رقومی ارتفاع در مطالعات مدیریت و حفاظت از منابع آب و خاک نقش مهمی دارد. در این تحقیق از داده‌های ارتفاعی نسل دوم سنجنده ASTER و SRTM و خطوط تراز رقومی شده دو نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ به‌عنوان داده‌های ورودی استفاده شد. سپس اقدام به مدل‌سازی تغییرات ناهمواری‌های سطح زمین با دو روش درون‌یابی همسایگی طبیعی و وزن‌دهی بر اساس معکوس فاصله و مقایسه آن‌ها در اراضی پائین‌دست سد تهم در استان زنجان، شد. چهار مدل رقومی ارتفاع با استفاده از شاخص‌های آماری جذر میانگین مربعات خطا، میانگین خطای انحراف، میانگین خطای مطلق و ضریب تبیین مورد بررسی قرار گرفتند. ۱۰۰ نقطه کمکی با ارتفاع مشخص همراه با نقاط کنترلی ارتفاعی مرجع با استفاده از تکنیک DGPS و شبکه نقاط مبنای مسطحاتی در بازدیدهای میدانی متعدد تعیین شدند. نتایج نشان داد که مدل تولیدشده با روش همسایگی طبیعی و اطلاعات سنجنده ASTER با داده‌های ارتفاعی کنترلی انطباق بیشتری داشته (شاخص میانگین خطای انحراف به ترتیب ۱/۴۱ و ۰/۲۳۵) و مدل تولیدشده با روش وزن‌دهی بر اساس معکوس فاصله و اطلاعات سنجنده SRTM از انطباق کمتری برخوردار هستند (شاخص میانگین خطای انحراف به ترتیب ۱۰/۰۴۵ و ۶/۲۹۶). تجزیه و تحلیل برخی مؤلفه‌های اولیه توپوگرافی تأثیرگذار بر فرسایش از قبیل شیب، جهت شیب، طول و کلاس زه‌کش نشان داد که مدل رقومی تهیه شده توسط سنجنده ASTER نسبت به مدل همسایگی طبیعی از دقت بیشتری برخوردار است. پیشنهاد می‌شود تا در مناطق دارای شدت پستی و بلندی متوسط و مطالعات نیمه تفصیلی خاکشناسی و مرتبط با مباحث کنترل فرسایش و حفاظت خاک از مدل ارتفاعی سنجنده ASTER استفاده گردد. به‌کارگیری داده‌های ارتفاعی این سنجنده ضمن افزایش دقت مطالعات، باعث کاهش زمان مطالعات و هزینه‌های اجرای برنامه‌های مدیریتی فرسایش و حفاظت خاک در این مناطق می‌شود.

کلمات کلیدی: اعتبارسنجی، توپوگرافی، خطوط تراز، درون‌یابی، نقاط کنترل

۱- استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان (مکانبه کننده)

۲- دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان

۳- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان

* پست الکترونیکی: kmoravej@znu.ac.ir

مقدمه

مدل ارتفاع رقومی استخراج شده از تصاویر ماهواره‌های سه بعدی ASTER و نوع SRTM نمودند. این مطالعه بر روی داده‌های حاصل از حوضه آبخیز نوفرست در شرق شهر بیرجند انجام شد. نتایج نشان داد که مدل رقومی ارتفاعی ساخته‌شده با روش TIN، بیشترین مقدار خطا و نوع SRTM از دقت بالاتری برخوردار می‌باشد. در این تحقیق مدل‌های تهیه‌شده با روش TOPOGRID و مدل رقومی استخراج شده از سنجنده ASTER در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. آن‌ها از شاخص جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و پارامترهای آماری حداقل، حداکثر، میانگین و میانه استفاده کردند. حسین‌زاده و نداف سنگانی (Hosseinzadeh & Nadafsangani, 2013) نشان دادند که DEM‌های حاصل از نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ در مقایسه با داده‌های مرجع زمینی، از خطای چشمگیری برخوردار هستند. همچنین مدل‌های تولیدشده از نسل دوم سنجنده ASTER در مقایسه با این نقشه‌ها از درجه اعتبار مناسبی برخوردار است. جوبین و همکاران (Jubin *et al.*, 2014) در مطالعه‌ای تحت عنوان حساسیت مدل‌های رقومی ارتفاع در دو حوضه آبخیز در کشور هند نتیجه گرفتند که داده‌های سنجنده ASTER و SRTM نمایش تقریباً یکسانی از وضعیت پستی و بلندی منطقه دارند. صرف‌نظر از قدرت تفکیک کمتر داده‌های SRTM، این داده‌ها در مقایسه با سنجنده ASTER نسبت به داده‌های مرجع (نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰) از دقت عمودی نسبتاً مناسب‌تری (جذر میانگین مربعات خطای برابر با ۲۳ و ۳۳ متر در مقایسه داده‌های مرجع) برخوردار است. گارگ و موخپادهای (Garg & Mukhopadhyay., 2013) با مقایسه مدل‌های رقومی تولیدشده توسط سنجنده ASTER و SRTM و برخی از مولفه‌های توپوگرافی از قبیل شیب و تراکم شبکه زهکش با مدل به‌دست‌آمده از داده‌های ارتفاعی سازمان نقشه‌برداری هند معتقدند که دقت مدل حاصل از سنجنده ASTER بیش از SRTM است (به‌ترتیب جذر میانگین مربعات خطای ۱۲/۶۲ و ۱۷/۷۶). آن‌ها بیان داشتند که دقت تجزیه و تحلیل خصوصیات پستی و بلندی یک منطقه رابطه مستقیمی با دقت مدل ارتفاعی مورد استفاده دارد. کاربرد مدل‌های رقومی ارتفاع به‌منظور اعمال مدیریت صحیح در حفاظت از منابع خاک و آب و کاهش هزینه‌های اقتصادی مطالعات پایه و صرفه جویی در زمان

استفاده از مدل رقومی ارتفاع برای نمایش و تجزیه و تحلیل ناهمواری‌ها و نیز مدل‌سازی فرآیندهای سطحی زمین در دهه‌های اخیر کاربرد بسیاری پیدا کرده است (Seibert *et al.*, 2007). دقت افقی و عمودی مدل رقومی ارتفاع (Hirano *et al.*, 2003)، پراکنش، دقت و تعداد نقاط ارتفاعی نمونه‌برداری‌شده (Suwandana *et al.*, 2012)، شدت پستی و بلندی و انتخاب روش درون‌یابی مناسب (Datta & Kirchner, 2010) از جمله عوامل موثر در تولید و کیفیت مدل رقومی ارتفاع است. روش‌های درون‌یابی متعددی برای تولید مدل‌های رقومی ارتفاع از منابع اطلاعاتی گزارش شده است (Arun, 2013). در پژوهشی مک ایوان و آبرامو (Abramov & McEwan, 2004) نتیجه گرفتند که بهترین قدرت تفکیک مکانی، با سطح وضوح بالا متعلق به روش‌های مکان‌یابی همسایه طبیعی^۱ و نزدیک‌ترین همسایه^۲ است. ایشان اظهار داشتند که مدل‌های تولیدی با روش‌های درون‌یابی خطی دارای کیفیت وضوح متوسط و در روش‌های اسپیلاین کیفیت مدل تولیدشده پایین است. آرُن (Arun, 2013) در تحقیق خود از روش‌های درون‌یابی وزن‌دهی براساس معکوس فاصله^۳، کریجنگ، نزدیک‌ترین همسایه و اسپیلاین استفاده و آن‌ها را مورد مطالعه و مقایسه قرار داد. در این تحقیق روش کریجنگ نسبت به سایر روش‌ها از دقت بیشتری برخوردار بود و مدل رقومی ارتفاعی تولیدشده با روش فوق‌الذکر اختلاف ناچیزی نسبت به داده‌های ارتفاعی مرجع نشان داد. یکی از بهترین منابع مورد استفاده برای تجزیه و تحلیل پستی و بلندی‌های سطح زمین، مدل‌های تولید شده به‌وسیله سنجنده ASTER و نوع SRTM است (Hirt *et al.*, 2010). محققین مختلف سعی کردند این نوع از مدل‌های رقومی ارتفاع را با مدل‌هایی که از طریق روش‌های مختلف درون‌یابی و با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس‌های مشابه تولید می‌شوند، مورد بررسی و مقایسه قرار دهند (Kamp *et al.*, 2003). اشرفی و علیمی (Ashrafi & Alimi, 2014) اقدام به مقایسه برخی روش‌های تهیه مدل رقومی ارتفاع شامل شبکه‌بندی نامنظم مثلثی (TIN)، TOPOGRID و نیز

1-Natural Neighbor Interpolation (NNI)
2-Nearest Neighbor (NN)
3-Inverse Distance Weighting (IDW)

به ترتیب ۲۲۱۲، ۱۴۷۴ و ۱۸۳۸ متر است. فراوانترین کلاس شیب منطقه بین صفر تا پنج درصد بوده و جهت جغرافیایی غالب منطقه نیز جنوب غربی و غرب است.

تهیه مدل رقومی ارتفاع

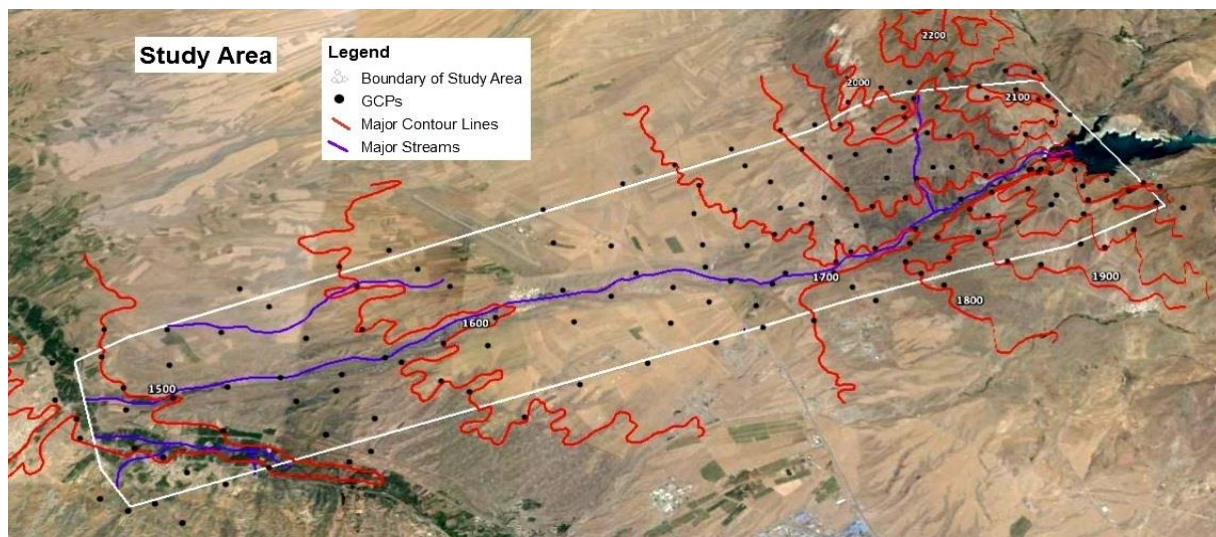
برای تولید مدل رقومی ارتفاع از داده‌های خطوط تراز نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ استفاده گردید. در این نقشه‌ها فاصله بین خطوط تراز اصلی و فرعی به ترتیب ۲۰ متر و ۱۰ متر است که با مشخصات فنی مدل رقومی ارتفاعی سنجنده ASTER (تفکیک مکانی ۳۰ متر و صحت عمودی حدود ۱۷ متر (با سطح اطمینان ۹۵ درصد) و انحراف معیار ۲ تا ۳ متر (Tachikawa *et al.*, 2011a) و SRTM (تفکیک مکانی تقریبی ۹۰ متر، دقت افقی و عمودی مطلق ۲۰ و ۱۰ متر با سطح اطمینان ۹۰ درصد (USGS, 2006) انطباق بیشتری دارد. لذا، نقشه توپوگرافی محدوده مورد نظر با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ اسکن شده و با استفاده از دوازده نقطه کنترلی، زمین مرجع شد. در مرحله بعد، خطوط تراز نقشه در محیط سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی توسط نرم‌افزار ArcGIS نسخه ۱۰/۳ رقومی شده و به نقشه نقطه‌ای با سه مؤلفه X، Y و Z تبدیل شد. این شیوه از متداول‌ترین روش‌هایی است که در اغلب روش‌های درون‌یابی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Malczewski, 1999).

می‌تواند اطلاعات ارزشمندی را در اختیار مدیران، برنامه‌ریزان و کارشناسان قرار دهد. کاربرد این اطلاعات توانایی و قابلیت به هنگام‌سازی و تولید نقشه‌های موضوعی مختلف را فراهم آورده و به ایجاد بانک داده و اطلاعات محیطی کمک شایانی می‌کند. منطقه مورد مطالعه بخشی از اراضی حوضه آبخیز زنجان رود است که علی‌رغم فرسایش‌پذیری زیاد فاقد هرگونه عملیات مدیریتی برای بهره‌برداری پایدار از اراضی است. هدف از انجام این پژوهش ارزیابی و مقایسه مدل‌های رقومی ارتفاعی تهیه‌شده با روش‌های مختلف و مقایسه آن با مدل ارتفاعی سنجنده ASTER و SRTM جهت استخراج مؤلفه‌های توپوگرافی و هیدرولوژی به منظور مدیریت پایدار منابع خاک و آب است.

مواد و روش‌ها

موقعیت منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد نظر بخشی از اراضی حوضه آبخیز زنجانرود و پایین‌دست سد احداث‌شده بر روی رودخانه تهم در فاصله ۱۵ کیلومتری شمال غرب شهرستان زنجان است (شکل ۱). این منطقه با وسعت ۷۰۰۰ هکتار در طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۱۷ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۲۹/۶ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴۳ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۴۸ دقیقه شمالی قرار دارد. حداکثر، حداقل و متوسط ارتفاع



شکل ۱- تصویر ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه (مستخرج از Google Earth) همراه با موقعیت نقاط کنترلی، برخی از خطوط تراز اصلی با فاصله ۱۰۰ متر و شبکه زهکش اصلی

Fig.1. Satellite image of study area (By Google Earth) accompany with control points location, some of major contour lines with 100 meter distance and major stream network

$$G(x, y) = \sum_{i=1}^n w_i f(x_i, y_i)$$

در این معادله $G(x, y)$: مقدار تخمین متغیر G در مختصات تعیین شده، W_i : وزن نقاط معلوم در محدوده پلیگون تحت اشغال خود و $f(x_i, y_i)$: مقدار نمونه در نقطه n : تعداد نقاط است (Watson, 1992).

روش وزن دهی بر اساس معکوس فاصله

اساس این روش بر تبدیل محدوده مورد نظر به ماتریسی با سلول های هم اندازه است و سلول های با ارزش نامعلوم با کمک مقادیر سلول های معلوم مشخص می شود. در این روش برای تخمین نقاط مجهول، داده هایی که به آن نقطه نزدیک تر هستند، نسبت به داده های با فاصله دورتر دارای مشارکت بیشتری هستند (Childs, 2004). در این روش وزن دهی، مقدار وابستگی داده های مجهول به مقادیر معلوم بر اساس عکس توان فاصله تعیین می شود (Booth, 2000). معادله ۲ نحوه محاسبه این روش را نشان می دهد.

معادله ۲

$$Z_0 = \frac{\sum_{i=1}^n z_i d_i^{-n}}{\sum_{i=1}^n d_i^{-n}}$$

در این معادله، Z_0 : مقدار تخمین متغیر z در نقطه i : Z_i : مقدار نمونه در نقطه i : d_i : فاصله نقطه نمونه تا نقطه مورد تخمین؛ n : ضریبی که وزن را براساس فاصله تعیین می کند (اصطکاک فاصله) و N : تعداد نقاط مورد مطالعه است. برای ایجاد امکان مقایسه مدل های رقومی ارتفاعی درون یابی شده با مدل های رقومی سنجنده ASTER و SRTM، مدل های اخذ شده و ساخته شده به اندازه سلول های ۳۰ متر که منطبق با توان تفکیک سنجنده ASTER است، مجدداً طبقه بندی شدند (Her et al., 2015). برای انتخاب مدل رقومی ارتفاعی مناسب، اقدام به استخراج مؤلفه های توپوگرافی شامل شیب، جهت و درجه و طول زه کش گردید. برای افزایش دقت و رفع خطاهای احتمالی در مدل های تولید شده، برخی از پیش پردازش های مورد نیاز از جمله حذف گودی های کاذب، فرمان اجرای زه کش در مناطق مسطح و فیلترینگ با ابعاد پنجره سه در سه توسط نرم افزار TAS^۳ انجام شد.

برای افزایش دقت و کنترل کیفیت مدل های رقومی ارتفاعی مورد نظر، نقاط کنترلی مرجع با استفاده از تکنیک سامانه تعیین موقعیت جهانی دو فرکانسه^۱ و شبکه نقاط مبنای مسطحاتی اخذ شده از سازمان نقشه برداری در بازدیدهای میدانی متعدد تعیین شدند. برای این منظور ۱۰۰ نقطه ارتفاعی با دقت افقی و عمودی بین ۲ تا ۵ متر (نسبت به نقاط کنترلی مرجع و شبکه نقاط مبنای مسطحاتی) در مناطق فاقد داده ارتفاعی و اطراف مرز منطقه مطالعاتی به نقاط ارتفاعی که از طریق نقشه توپوگرافی به دست آمده بود، اضافه شدند (Arun, 2013). برای پیش بینی تغییرات مکانی ارتفاع سطح زمین از دو روش درون یابی همسایگی طبیعی و وزن دهی بر اساس معکوس فاصله استفاده شد. این دو روش جزء روش های درون یابی محلی بوده و بر پایه توپولوژی شبکه استوار هستند. این دو روش بر مبنای روش های وزنی بوده به نحویکه نزدیک ترین مجموعه نقاط معلوم نسبت به نقطه مجهول وزن دهی می شوند و بر اساس حاصل ضرب وزن در مقدار نقطه معلوم درون یابی انجام می پذیرد (Soleimani & Modallaldoust, 2008; Sibson, 1981).

روش درون یابی همسایگی طبیعی

روش همسایگی طبیعی از جمله روش های مبتنی بر وزن دهی به داده ها در فرآیند درون یابی است و به درون یابی سیسون یا درون یابی مساحت ربابی^۲ نیز معروف است. از ویژگی اصلی و مهم این روش قابلیت آن در مطالعات محلی است. از مزایای این شیوه عدم تشکیل نقاط خطای کاذب مانند قله یا چاله در جریان فرآیند درون یابی است (Sibson, 1981). در این روش تغییری در مقدار نمونه گیری داده های ارتفاعی انجام نگرفته و براساس شعاع تعریف شده برای پیدا کردن نزدیک ترین نقاط به نقطه مجهول عمل می کند و به منظم یا نامنظم بودن توزیع نقاط نمونه گیری حساسیت ندارد. معادله ۱ نحوه تخمین درون یابی به روش همسایگی طبیعی را نشان می دهد.

معادله ۱

3-Terrain Analysis System (TAS)

1-Differential global positioning system (DGPS)

2-Area stealing

تغییرات ضریب تبیین به ترتیب بیانگر میانگین انحراف معیار مقدار برآوردشده از مقدار مشاهده و دیگری معرف دقت مدل و مقدار متوسط خطا هستند. هر چه شاخص‌های میانگین خطای انحراف و میانگین مطلق خطابه صفر نزدیک‌تر باشند، نشان می‌دهند که مدل مکانی به‌دست‌آمده در مقایسه با واقعیت زمینی از تخمین مناسب‌تری برخوردار است و مقدار انحراف مدل در حداقل قرار دارد (Granger & Pesaran, 2000). هرگاه مقدار تغییرات ضریب تبیین برابر با یک شود، بدین معنی است که داده‌های مستخرج از مدل با داده‌های زمینی منطبق است و اگر صفر باشد، هیچ انطباقی وجود ندارد (Draper & Smith, 1998).

نتایج و بحث

تجزیه و تحلیل آماری مدل‌ها

در این تحقیق دو مدل رقومی ارتفاع با استفاده از خطوط تراز مستخرج از نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ و با دو روش درونی‌یابی تولید شد. این مدل‌ها با دو مدل حاصل از سنجنده ASTER و نوع SRTM مقایسه و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. با توجه به قدرت تفکیک افقی و عمودی مدل‌های رقومی سنجنده ASTER و SRTM (Plasencia & Tachikawa et al., 2011a)؛ Villarán., 2012) مشاهده می‌شود که داده‌های ارتفاعی سنجنده ASTER با داده‌های کنترل زمینی اختلاف بسیار کمی دارد (جدول ۱). مقایسه دو مدل تهیه شده از خطوط تراز نقشه‌های توپوگرافی منطقه نشان داد که در چهار پارامتر حداکثر، حداقل، میانگین و انحراف معیار ارتفاع، مدل تولید شده با روش وزن‌دهی بر اساس معکوس فاصله انطباق کمتری با داده‌های ارتفاعی کنترل و مرجع دارد. نتایج این تحقیق نشان داد، زمانیکه امکان دسترسی به مدل‌های رقومی ارتفاعی ماهواره‌ای (مانند ASTER و SRTM) با موانعی از قبیل مشکلات تکنیکی یا مالی روبرو شود، مدل تولید شده با روش همسایگی طبیعی نسبت به مدل تولید شده با روش وزن‌دهی بر اساس فاصله معکوس از دقت بالاتری برخوردار بوده و نتایج آن برای منطقه مورد مطالعه با واقعیت زمینی انطباق بیشتری دارد.

برای تولید فاکتورهای شیب و جهت از برنامه الحاقی ابزار تجزیه و تحلیل مدل رقومی ارتفاع و برای تولید پارامترهای طول و درجه زه‌کش نیز از برنامه الحاقی ArcHydro در نرم‌افزار ArcGIS نسخه ۱۰/۳ استفاده شد. رتبه‌بندی آبراهه‌ها در این تحقیق براساس روش استرال (Strahler, 1957) انجام شد.

تجزیه و تحلیل آماری

به‌منظور ارزیابی دقت مدل‌های ساخته‌شده، از شاخص‌های بدون بعد مکانی مانند جذر میانگین مربعات خطا (معادله ۳)، میانگین خطای انحراف^۱ (معادله ۴)، میانگین مطلق خطا^۲ (معادله ۵) و ضریب تبیین^۳ (معادله ۶) استفاده شد (Nikolakopoulos et al., Mouratidis et al., 2010, 2006). برای محاسبه جذر میانگین مربعات خطا از معادله ۳ استفاده می‌شود. این شاخص مبین تفاوت میان مقدار پیش‌بینی‌شده توسط مدل و مقدار واقعی است. به‌نحویکه هرچه به صفر نزدیک‌تر باشد، تفاوت بین آن‌ها کمتر خواهد بود (Willmott & Matsuura, 2005).

(معادله ۳)

$$RMSE = \frac{\sum_{i=1}^n (Z_i^* - Z_i)^2}{n}^{0.5}$$

(معادله ۴)

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (Z_i^* - Z_i)}{n}$$

(معادله ۵)

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |Z_i^* - Z_i|}{n}$$

(معادله ۶)

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n [Z_i^* - \bar{Z}_i]^2}{\sum_{i=1}^n [Z_i - \bar{Z}]^2}$$

در این معادلات، Z_i^* : مقدار تخمین متغیر Z در نقطه i ، Z_i : مقدار واقعی متغیر Z در نقطه i ، n : تعداد نقاط نمونه، \bar{Z}_i : مقدار میانگین نقاط مشاهده‌شده در نقطه i ، \bar{Z} : مقدار میانگین نقاط مشاهده‌شده است. شاخص‌های آماری میانگین خطای انحراف، میانگین مطلق خطا و دامنه

1-Mean baise error (MBE)

2-Mean absolute error (MAE)

3-Coefficient of determination (R^2)

جدول ۱- شاخص‌های آماری اولیه مدل‌های رقومی ارتفاعی

Table 1: Primary statistical indicators of digital elevation models

مدل رقومی ارتفاع DEM	حداکثر ارتفاع (Max. elevation)	حداقل ارتفاع (Min. elevation)	میانگین ارتفاع (Ave. elevation)	انحراف معیار (St.d)
سنجنده آستر (ASTER)	2212	1474	1686	147.3
اس. آر. تی. ایم (SRTM)	2203	1490	1691	149.3
درون‌یابی همسایگی طبیعی (Natural Neighbor Interpolation)	2210	1483	1689	145.8
درون‌یابی وزن‌دهی معکوس فاصله (Inverse Distance Weighting Interpolation)	2200	1500	1696	154.7
نقاط کنترل زمینی (Ground control points)	2229	1470	1681	146.4

ارتفاعی حاصل از روش درون‌یابی همسایگی طبیعی و مدل تولیدشده به‌وسیله سنجنده ASTER قرابت و شباهت نزدیک‌تری با یکدیگر و همچنین با داده‌های ارتفاعی مرجع نشان داده شد (جدول ۱). چنین نتیجه‌ای احتمالاً ناشی از شباهت ماهیت روش درون‌یابی همسایگی طبیعی با نحوه اخذ داده‌های ارتفاعی بوسیله سنجنده ASTER است. مقادیر داده‌های ارتفاعی در هر دو مدل به‌صورت پیکسل به پیکسل و تعریف شعاع برداشت داده‌های مکانی (قدرت تفکیک مکانی) تهیه می‌شود (Stack, 2010). برای مقایسه مدل‌های استخراج شده از ضرایب کارایی جذر میانگین مربعات خطا، میانگین خطای انحراف، میانگین خطای مطلق و ضریب تبیین استفاده شد (جدول ۲). نتایج نشان داد که از یک طرف مدل رقومی ارتفاعی نسل دوم سنجنده ASTER نسبت به مدل رقومی ارتفاعی SRTM و از طرف دیگر روش درون‌یابی همسایگی طبیعی نسبت به روش وزن‌دهی بر اساس معکوس فاصله در کلیه شاخص‌های محاسبه‌شده نتایج مناسب‌تری برای منطقه مورد مطالعه ارائه می‌دهند. به‌بیان‌دیگر، مدل ارتفاعی سنجنده ASTER و روش درون‌یابی همسایگی طبیعی نسبت به دو مدل دیگر در اولویت استفاده و استخراج پارامترهای موردنظر قرار دارند. استفاده از مدل‌های ارتفاعی رقومی آماده و قابل بارگذاری از طریق اینترنت به علت صرفه‌جویی در زمان، هزینه و سهولت کاربرد بسیار رواج یافته‌است.

بنابراین روش درون‌یابی فوق‌الذکر می‌تواند برای مناطق مشابه از نظر شدت پستی و بلندی و پارامترهایی مانند شیب، جهت شیب و تراکم شبکه زهکش نیز قابل توصیه بوده و استفاده شود. ویلسون و همکاران (Wilson et al., 1998) گزارش کردند زمانیکه میزان اطلاعات و داده‌های ورودی کم است، بهتر است از روش‌های درون‌یابی ساده برای مدل‌سازی استفاده شود، زیرا اگر در روش‌های مدل‌سازی پیچیده از داده‌های کمی استفاده شود، نتایج نامطلوبی تولید می‌شود. بین دو مدل رقومی ارتفاعی تهیه شده توسط سنجنده SRTM و روش وزن‌دهی معکوس فاصله، مدل به‌دست آمده از روش وزن‌دهی بر اساس معکوس فاصله تفاوت بیشتری با داده‌های واقعیت زمینی نشان داد (Her et al., 2015)، (جدول ۱). به‌طورکلی مناطقی که مدل رقومی ارتفاع با قدرت تفکیک بالا ندارند و همچنین، توپوگرافی آن دچار نوسانات شدیدی نیست (شیب غالب کمتر از پنج درصد)، روش وزن‌دهی معکوس فاصله یکی از روش‌های درون‌یابی مناسب برای ساختن مدل رقومی ارتفاع است (Jarvis et al., 2004). اما علت اینکه در این تحقیق روش فوق به نتیجه مطلوبی منجر نشد، در ماهیت اخذ داده‌های ارتفاعی در SRTM است. مزیت این نوع داده‌های ارتفاعی، استفاده از امواج رادار و اخذ پیوسته اطلاعات مربوط به تغییرات ارتفاع است. از سوی دیگر، سادگی محاسبات در روش وزن‌دهی معکوس فاصله، نحوه پراکنش داده‌های مورد استفاده و اندازه سلول‌ها (۳۰ متر) می‌تواند دلیلی بر فاصله گرفتن نتایج این مدل با داده‌های واقعیت زمینی باشد. دو مدل رقومی

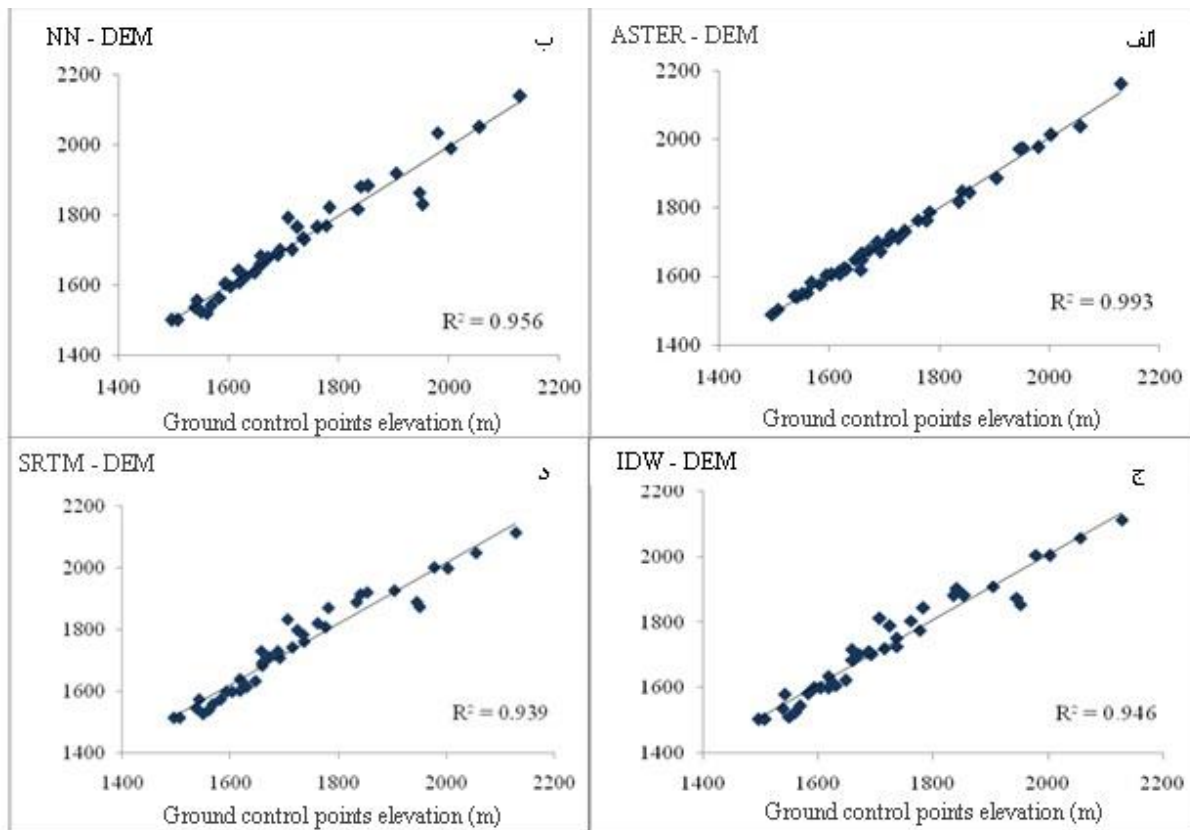
جدول ۲- مقایسه ضرایب کارایی مدل‌های رقومی ارتفاعی با داده‌های کنترل زمینی و مرجع

Table 2: Compare coefficients of performance digital elevation models with ground control and reference data

ضرایب کارایی مورد استفاده برای مقایسه و ارزیابی (Coefficients of performance used to compare and evaluate)				مدل‌های رقومی ارتفاع (DEMs)
ضریب تبیین (R ²)	جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)	میانگین خطای مطلق (MAE)	میانگین خطای انحراف (MBE)	
0.993	9.316	10.061	0.235	سنجنده آستر (ASTER)
0.939	26.166	26.435	6.296	اس. آر. تی ایم (SRTM)
0.956	15.234	16.739	1.410	درون‌یابی همسایگی طبیعی (Natural Neighbor Interpolation)
0.946	32.618	33.572	10.045	درون‌یابی وزن‌دهی معکوس فاصله (Inverse Distance Weighting Interpolation)

مورد استفاده در این تحقیق و نقاط کنترل زمینی، مربوط به مدل ارتفاعی نسل دوم سنجنده ASTER است (شکل ۳ - الف). به عبارت دیگر کمترین اختلاف بین داده‌های مدل با داده‌های واقعیت زمینی با ضریب تبیین ۹۹/۳ درصد برای این مدل رقومی ارتفاعی به دست آمد. پس از آن مدل رقومی تولیدشده با روش درون‌یابی همسایگی طبیعی با ضریب تبیین ۹۵/۶ درصد (شکل ۳ - ب) و در رتبه بعدی مدل رقومی تولیدشده با روش درون‌یابی وزن‌دهی بر اساس معکوس فاصله با ضریب تبیین ۹۴/۶ درصد (شکل ۳ - ج) و در نهایت بیشترین تفاوت با داده‌های کنترلی مربوط به مدل رقومی ارتفاعی سنجنده SRTM با ضریب تبیین ۹۳/۹ درصد (شکل ۳ - د) است. اختلاف ضریب تبیین به استثناء مدل رقومی ارتفاعی سنجنده ASTER، بین سه مدل دیگر کم بوده و بین ۰/۷ درصد تا ۱/۰ درصد است (جدول ۲). به بیان دیگر می‌توان گفت در صورت عدم دسترسی به مدل ارتفاعی ASTER، استفاده از مدل رقومی ارتفاعی SRTM سبب خطای زیادی در استخراج مؤلفه‌های توپوگرافی در مقایسه با دو روش درون‌یابی انتخاب‌شده نخواهد شد. اما اگر این نوع از داده‌ها نیز در اختیار نبود، تولید مدل رقومی ارتفاعی با هر یک از دو روش درون‌یابی فوق‌الذکر تفاوت فاحشی نخواهند داشت.

این نوع داده‌ها برای هر منطقه‌ای با هر وسعت و مقیاس مطالعاتی و کلیه اهداف و کاربری‌ها مناسب نیستند. به عبارت دیگر هنگام اخذ این نوع داده‌ها باید به قدرت تفکیک مکانی افقی و عمودی آن‌ها توجه داشت. زیرا این ویژگی ارتباط نزدیکی با وسعت منطقه، مقیاس و دقت مطالعه دارد. تاجیک‌اوا و همکاران (Tachikawa et al., 2011a) با اعتبارسنجی داده‌های رقومی ارتفاعی نسل دوم سنجنده ASTER، معتقدند که کیفیت این داده‌ها در مناطق مختلف متأثر از عواملی همچون وجود مه و ابرناکی منطقه، نوع و شدت پوشش گیاهی، نوع و تراکم بناهای ساخت انسان در مناطق مسکونی و میزان پوشش تصاویر استریوی سنجنده است. همچنین، الیوپرا و پارادلا (Oliviera & Paradella, 2009) نیز تولید مدل رقومی ارتفاع از نقشه‌های توپوگرافی محلی و یا برداشت نقاط ارتفاعی با استفاده از دستگاه سیستم موقعیت‌یاب جهانی را زمان‌بر و پرهزینه دانسته، اما برای مطالعه در وسعت کم و با مقیاس بزرگ استفاده از آن‌ها نسبت به مدل‌های رقومی ارتفاعی سنجنده ASTER و نوع SRTM مناسب‌تر بوده و توصیه می‌کنند. بررسی شاخص ضریب تبیین و همبستگی بین نقاط کنترل ارتفاع زمینی و هر یک از روش‌های درون‌یابی مدل‌های رقومی ارتفاعی تولیدشده و مدل‌های اخذشده در این تحقیق (اشکال ۳، الف، ب، ج و د) نشان داد که بیشترین همبستگی بین مدل‌های رقومی



شکل ۳- ضریب تبیین بین مدل‌های رقومی ارتفاع و نقاط کنترلی ارتفاعی. الف: ضریب تبیین بین مدل رقومی ارتفاعی سنجنده ASTER، ب: روش همسایگی طبیعی (NN)، ج: وزن‌دهی بر اساس معکوس فاصله (IDW) و د: مدل رقومی ارتفاعی نوع SRTM و نقاط کنترل ارتفاعی (GCPs)

Fig.3. Correlation coefficient between digital elevation models and ground control points. A: Correlation coefficient between ASTER-DEM, B) Natural neighbor interpolation (NN), C) Inverse distance weighted (IDW), D) SRTM-DEM and ground control points

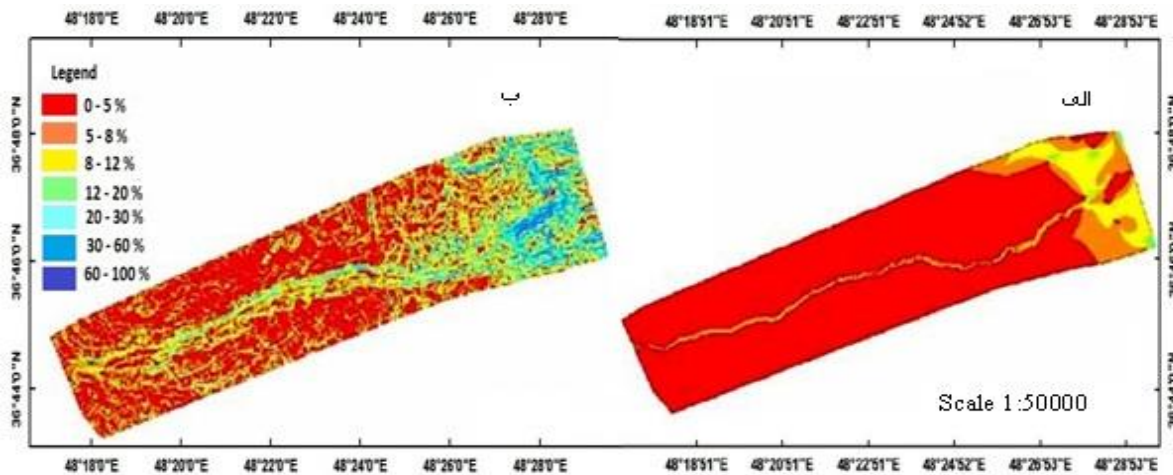
تولیدشده با روش درون‌یابی همسایگی طبیعی (شکل ۴- الف) نشان داد که بخش وسیعی از منطقه دارای شیب کمتر از پنج درصد است؛ اما در نقشه شیب مستخرج از مدل سنجنده ASTER در محدوده شیب کمتر از ۵ درصد، کلاس شیب ۵ تا ۸ درصد نیز کم‌وبیش به‌صورت پراکنده حضور دارد. به‌عبارت‌دیگر جزئیات تغییرات شیب توسط اطلاعات این سنجنده به‌خوبی نشان داده‌شده است. از سوی دیگر در نقشه شیب تولیدشده با روش همسایگی طبیعی، در مناطق بالادست آثاری از شیب‌های بیش از ۱۲ و ۲۰ درصد تقریباً مشاهده نشده اما در نقشه شیب تولیدشده از مدل سنجنده ASTER وجود کلاس‌های با شیب بین ۱۲ تا ۲۰ درصد تأیید می‌شود که با واقعیت زمینی منطقه نیز منطبق است.

تجزیه و تحلیل و مقایسه بصری دو مدل رقومی ارتفاعی ASTER و همسایگی طبیعی

بررسی‌ها نشان داد که مدل رقومی ارتفاعی سنجنده ASTER و مدل تولیدشده با روش همسایگی طبیعی در کلیه شاخص‌های آماری نسبت به سایر مدل‌ها نتایج بهتری داشته است. برای انتخاب نهایی مدل رقومی ارتفاعی مناسب، مؤلفه‌های شیب، جهت شیب، طول و درجه زه‌کش به‌منظور مقایسه انتخاب بهترین مدل در منطقه مورد مقایسه بصری قرار گرفتند (Kamp *et al.*, 2003 & 2005; Tighe & Chamberlain, 2009; Sandip *et al.*, 2013).

مقایسه بصری مؤلفه شیب

مقایسه بصری دو نقشه شیب تولیدشده از مدل رقومی ارتفاعی سنجنده ASTER (شکل ۴- ب) و مدل



شکل ۴- نقشه شیب: الف) ایجاد شده با روش درون‌یابی همسایگی طبیعی، ب) مستخرج از مدل رقومی ارتفاعی سنجنده ASTER
 Fig.4. Slope map: A) Generated by natural neighbor interpolation method. B) Derivated by ASTER-DEM

رقومی تولید شده با روش همسایگی طبیعی با افزایش فاصله از زه‌کش اصلی پایین دست سد تهم کاهش یافته و این مدل قادر به شناسایی و استخراج آن‌ها نشده است و تنها برخی از زه‌کش‌های مجاور زه‌کش اصلی را استخراج نموده است.

مدل رقومی ارتفاعی سنجنده ASTER چه از نظر بصری و چه از نظر تجزیه و تحلیل پارامترهای آماری، در مقایسه با سه مدل دیگر بهترین انطباق را با داده‌های کنترل دارد. لذا این مدل رقومی می‌تواند منبع قابل اعتماد و مناسبی برای تفسیر پستی و بلندی‌ها در مقیاس‌های متوسط در مقایسه با نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ باشند. سوان دانا و همکاران (Suwandana *et al.*, 2012) اظهار داشتند که اگرچه کیفیت مدل رقومی ارتفاعی نسل دوم سنجنده ASTER بهتر از مدل‌های مستخرج از نقشه‌های پستی و بلندی است، اما چنین نتایجی را نمی‌توان در مقایسه با تمام نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس متوسط و برای تمام مناطق تعمیم داد. نتایج این تحقیق با نتایج محققان فوق‌الذکر منطبق نبوده و بر اساس شاخص‌های آماری و نتایج بصری استنباط می‌شود که اگر چه تجزیه و تحلیل پستی و بلندی‌های سطح زمین در مقیاس‌های متوسط نیاز به دامنه مشخصی از قدرت تفکیک افقی و عمودی دارد، با این حال نسخه دوم مدل ارتفاعی سنجنده ASTER با توجه به ارتقاء در ویژگی‌های فوق‌الذکر، برای مطالعات در سطوح نیمه تفصیلی

مقایسه بصری مؤلفه جهت شیب

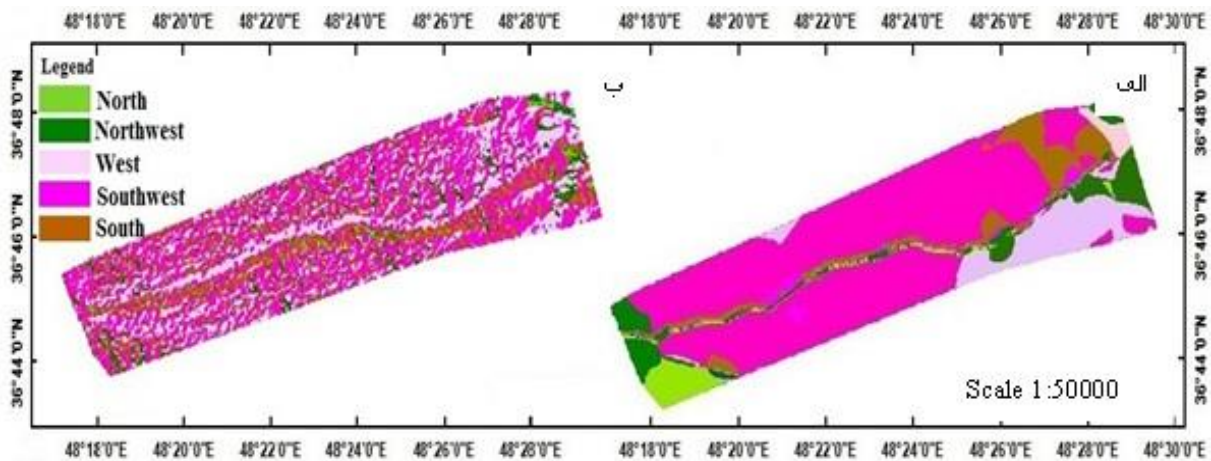
بررسی و مقایسه بین نقشه‌های جهت شیب تولید شده با روش درون‌یابی همسایگی طبیعی (شکل ۵ - الف) و مدل سنجنده ASTER (شکل ۵ - ب) موید آن است که مدل رقومی ارتفاعی سنجنده ASTER از دقت بالاتر و نمایش جزئیات بیشتری نسبت به نقشه تولید شده توسط مدل درون‌یابی همسایگی طبیعی است. بررسی هر دو نقشه نشان‌دهنده غالب بودن جهت‌های جنوب غربی و غرب در بخش قابل توجهی از منطقه مورد مطالعه است. در نقشه تهیه شده به روش همسایگی طبیعی در ابتدا و انتهای منطقه جهت‌های شمال غربی و شمال شناسایی شده است؛ اما در نقشه به دست آمده از مدل سنجنده ASTER میکرو جهت‌های شمال غربی و شمال در سرتاسر منطقه به صورت پراکنده تشخیص داده شده است.

مقایسه بصری مؤلفه طول و درجه زه‌کش

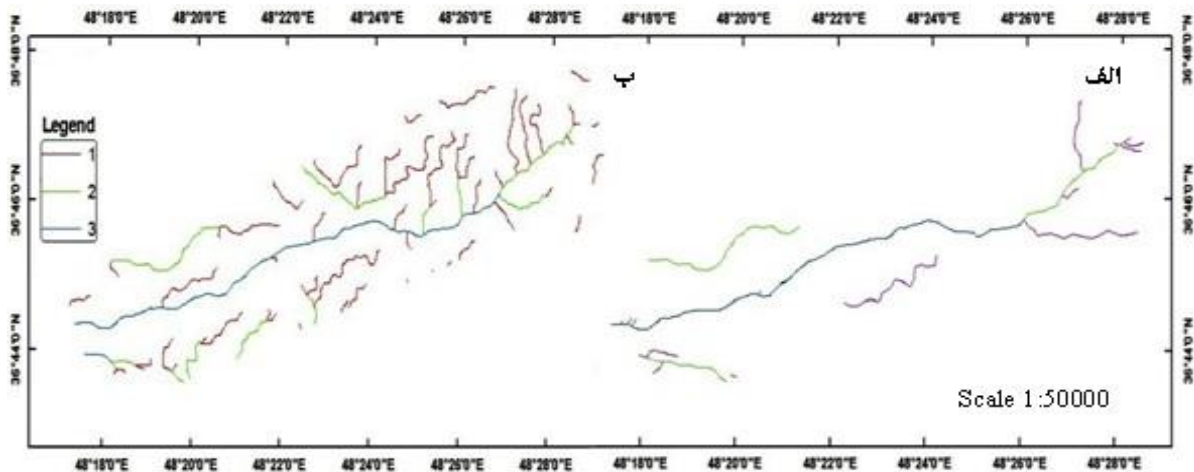
نتایج مقایسه بصری ویژگی‌های هیدرولوژیکی (شکل ۶ - الف و ب) در منطقه نشان داد اگرچه هر سه کلاس زه‌کش‌های منطقه به وسیله مدل تولید شده با روش درون‌یابی همسایگی طبیعی (شکل ۶ - الف) و همچنین مدل سنجنده ASTER (شکل ۶ - ب) استخراج شده است، اما طول و درجات زه‌کش مشخص شده از مدل رقومی ارتفاعی سنجنده ASTER از دقت بیشتری برخوردار بوده و زه‌کش‌های درجه یک و دو به طور کامل نمایش داده شده‌اند. کلاس‌های زه‌کش یک و دو در مدل

داده‌های کم تا متوسط است.

مناسب‌تر (مطالعاتی در مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ و با حجم



شکل ۵- نقشه جهت: الف) ایجاد شده با روش درون‌یابی همسایگی طبیعی، ب) مستخرج از مدل رقومی ارتفاعی سنجنده ASTER
Fig.5. Aspect map: A) Generated by natural neighbor interpolation method. B) Derivated by ASTER-DEM



شکل ۶- نقشه طول و کلاس زه‌کش: الف) ایجاد شده با روش درون‌یابی همسایگی طبیعی، ب) مستخرج از مدل رقومی ارتفاعی سنجنده ASTER

Fig.6. Stream length and order map: A) Generated by natural neighbor interpolation method. B) Produced by ASTER-DEM

و تحلیل مؤلفه‌های مختلف پستی و بلندی و هیدرولوژی دارد. مدل‌های رقومی ارتفاعی ساخته شده در نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ دقت بالایی نداشته و قادر به نمایش تغییرات جزئی نیست. بنابراین به‌منظور مدیریت عرصه‌های منابع طبیعی و حفظ منابع آب و خاک استفاده از داده‌های ارتفاعی نسل دوم سنجنده ASTER از نظر تکنیکی، اقتصادی، سهولت استفاده و صرفه‌جویی زمانی قابل توصیه است. پیشنهاد می‌شود قبل از کاربرد مدل‌های رقومی ارتفاعی به‌دست‌آمده از هر روش درون‌یابی ابتدا با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای استریو، عکس‌های هوایی و نقاط کنترل زمینی ارزیابی و

بررسی مؤلفه‌های فوق‌الذکر اهمیت استفاده از داده‌های صحیح را علاوه بر مطالعات فرسایش و حفاظت منابع آب و خاک در سایر بخش‌ها از جمله مطالعات ژئومورفولوژی و طبقه‌بندی اشکال اراضی و همچنین در مطالعات ارزیابی منابع و قابلیت اراضی از طریق شناسایی و تفکیک شکل‌ها و واحدهای اراضی نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج پژوهش نشان داد که مدل رقومی ارتفاعی نسل دوم سنجنده ASTER در مقایسه با مدل‌های تهیه شده از نقشه‌های توپوگرافی مورداستفاده دقت بالاتری در تجزیه

ارتفاعی سنجنده ASTER با توجه به استخراج جزئیات مؤلفه‌های توپوگرافی پتانسیل مناسبی برای انجام طرح‌های استحصال آب و حفظ و نگهداری آن در میکروشیب‌ها و میکروجهت‌های جغرافیایی برای جلوگیری از هدر رفتن آب، خاک و پوشش گیاهی دارد.

در صورتی که خطای احتمالی آن‌ها در حد قابل قبولی بود، استفاده شوند. با توجه به نتایج سایر تحقیقات توصیه استفاده از روش زمین‌آماری مشخصی برای کلیه مناطق امکان‌پذیر نیست. زیرا روش انتخاب شده کاملاً وابسته به شرایط پستی‌وبلندی منطقه و هدف از تولید مدل رقومی ارتفاع دارد. نتایج نشان داد که استفاده از مدل رقومی

References

- Abramov, O., and McEwan, A. (2004). An evaluation of interpolation methods for Mars Orbiter Laser Altimeter (MOLA) data. *International Journal of Remote Sensing*, 25(3), 669–676.
- Ashrafi, A., and Alimi, M. A. (2014). The comparison of different procedures for the preparing of digital elevation model, case study: Noferest watershed, Birjand township, South Khorasan province. *Geography and Urban Planning*, 4(13), 119-140.
- Arun, P. V. (2013). A comparative analysis of different DEM interpolation methods. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 16(2), 133–139.
- Booth, B. (2000). Using ArcGIS 3D Analyst, GIS by ESRI. Environmental Systems Research Institute, Inc., USA.
- Childs, C. (2004). Interpolating surfaces in ArcGIS spatial analyst, Arc User. ESRI Education Services, pp. 32–35.
- Datta, P. S., and Kirchner H. S. (2010). Erosion relevant topographical parameters derived from different DEMs— A comparative study from the Indian lesser Himalayas. *Remote Sensing*, 2(8), 1941-1961.
- Draper, N. R., and Smith, H. (1998). Applied regression analysis. Wiley InterScience Publisher, 697p.
- Granger, C. W. J., and Pesaran, M. H. (2000). Economic and statistical measures of forecast accuracy. *Journal of Forecasting*, 19(7), 537– 560.
- Garg, R. D., and Mukhopadhyay, A. (2013). Evaluation of vertical accuracy of open source digital elevation model (DEM). *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 21, 205–217.
- Her, Y., Heatwole, C. D., and Kang, M. S. (2015). Interpolating SRTM elevation data to higher resolution to improve hydrologic analysis. *Journal of the American Water Resources Association*, 51(4), 1072–1087.
- Hirano, A., Welch, R., and Lang, H. (2003). Mapping from ASTER stereo image data: DEM validation and accuracy assessment. *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 57(5), 356-370.
- Hirt, C., Filmer, M. S., and Featherstone, W. E. (2010). Comparison and validation of the recent freely-available ASTER-GDEM ver1, SRTM ver4.1 and GEODATA DEM-9S ver3 digital elevation models over Australia. *Australian Journal of Earth Sciences*, 57(3), 337-347.
- Hosseinzadeh, S. R., and Nadafsangani, M. (2013). Assessing the accuracy of digital elevation models derived from contour line maps and comparative comparison with Satellite digital elevation models. *Physical Geography Research Quarterly*, 45(1), 71-86.
- Jarvis, A., Rubiano, J., Nelson, A., Farrow, A., and Mulligan, M. (2004). Practical use of SRTM data in the tropics: Comparisons with digital elevation models generated from cartographic data. *International Center for Tropical Agricultural*, Working Document NO. 198, 32p.
- Jubin, T., Sabu, J., Thri vikramji, K. P., and Arunkumar, K. S. (2014). Sensitivity of digital elevation models: The scenario from two tropical mountain river basins of the western Ghats, India. *Geoscience Frontiers*, 5(6), 893–909.
- Kamp, U., Bolch, T., and Olsenholler, J. (2003). DEM generation from ASTER satellite data for geomorphometric analysis of Cerro Sillajuhay, Chile/Bolivia. *ASPRS Annual Conference Proceedings*, Anchorage, Alaska.
- Kamp, U., Bolch, T., and Olsenholler, J. (2005). Geomorphometry of Cerro Sillajhuay (Andes, Chile/Bolivia): Comparison of digital elevation models (DEMs) from ASTER remote sensing data and contour maps. *Geocarto International*, 20(1), 23-33.

- Malczewski, J. (1999). *GIS and multi criteria analysis*. John Wiley & Sons Publishers.
- Mouratidis, A., Briole, P., and Katsambalos, K. (2010). SRTM 3" DEM (version 1, 2, 3, 4) validation by means of extensive kinematic GPS measurements: a case study from North Greece. *International Journal of Remote Sensing*, 31(23), 6205-6222.
- Nikolakopoulos, K. G., Kamaratakis, E. K., and Chrysoulakis, N. (2006). SRTM vs. ASTER elevation products: comparison for two regions in Crete, Greece. *International Journal of Remote Sensing*, 27 (21), 4819-4838.
- Oliviera, C. G., and Paradella, W. R. (2009). Evaluating the quality of the digital elevation models produced from aster stereoscopy for topographic mapping in the Brazilian Amazon region. *Annals of the Brazilian Academy of Sciences*, 81(2), 217-225.
- Plasencia, S. E., and Villarán, F. R. (2012). SRTM 3" comparison with local information: Two examples at national level in Peru. *Journal of Applied Geodesy*, 6(2), 75-81.
- Sandip, M., Joshi, P. K., Mukherjee, S., Ghosh, A., Garg, R. D., and Anirban, M. (2013). Evaluation of vertical accuracy of open source digital elevation model (DEM). *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 21, 205-217.
- Seibert, J., Stendahl, J., and Sorensen, R. (2007). Topographical influences on soil properties in boreal forests. *Geoderma*, 141(1-2), 139-148.
- Sibson, R. (1981). A brief description of natural neighbor interpolation, interpreting multivariate data (Ed. Barnett V.), New York: John Wiley and Sons, pp. 21-36.
- Soleimani, K., and Modalladoust, S. (2008). Production of optimized DEM using IDW interpolation method (Case study; Jam and Riz basin, Assaloyeh). *Journal of Applied Science*, 8(1), 104-111.
- Stack, E. (2010). Geographic information system. <http://gis.stackexchange.com/>
- Strahler, A. N. (1957). Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Transactions of the American Geophysical Union*, 38(6), 913-920.
- Suwandana, E., Kawamura, K., Sakuno, Y., Kustiyanto, E., and Raharjo, b. (2012). Evaluation of ASTER GDEM2 in comparison with GDEM1, SRTM DEM and topographic-map-derived DEM using inundation area analysis and RTK-DGPS data. *Remote Sensing*, 4, 2419-2431.
- Tachikawa, T., Hato, M., Kaku, M., and Iwasaki, A. (2011). Characteristics of ASTER-GDEM version 2. In: *Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, Vancouver, BC, pp. 3657-3660.
- Tighe, M. L., and Chamberlain, D. (2009). Accuracy comparison of the SRTM, ASTER, NED, NEXTMAP USA digital terrain model over several USA study sites. In: *Proceedings of the ASPRS/MAPPS Fall Conferences*.
- USGS. (2006). Shuttle radar topography mission (SRTM) 3 arc second (90 meter) –Description. Online Available at: <http://seamless.usgs.gov/website/seamless/products/srtm3arc.asp>.
- Watson, D. F. (1992). *Contouring: A guide to the analysis and display of spatial data*. Oxford, UK. Pergamon press, 225.
- Willmott, C., and Matsuura, K. (2005). Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance. *Inter Research, Climate Research*, 30 (1), 79-82.
- Wilson, J. P., Spangrud, D. J., Nielsen, G. A., Jacobsen, J. S., and Tyler, D. A. (1998). Global positioning system sampling intensity and pattern effects on computed topographic attributes. *Soil Science Society of America Journal*, 62, 1410-1417.

Importance of selecting the appropriate digital elevation model in management of soil and water conservation (Case study: Taham dam, Zanjan province)

Kamran Moravej^{1*}, Mohammad Amir Delavar², Akram Sadeghbeigi³

(Received: September 2015

Accepted: March 2016)

Abstract

Application of digital elevation model plays an important role in studies of management and protection of soil and water resources. In this research, ASTER-GDEM and SRTM-DEM and digitized contour lines of two topographic maps at 1:50000 scale are used as input data. The change of relief was modeled by nearest neighbor (NN) and inverse distance weighting (IDW) interpolation methods for downstream of Taham dam at north west of Zanjan province. Four digital elevation models were investigated by root mean square error, mean bias error, mean absolute error and correlation coefficient indexes. 100 auxiliary heights points along with reference control points using DGPS technique and surface network basis points were determined based on several field surveys. The results show that natural neighbor model and ASTER-GDEM data are more compatible (MBE index was 1.41 and 0.238, respectively) and inverse distance weighting model and SRTM-DEM are less compatible with control and reference points (MBE index was 10.045 and 6.296 respectively). Analysis of some primary components of topography affecting the soil erosion such as slope, aspect slope, length and class of stream represents the second generation of ASTER-GDEM is more accurate than others. It is suggested that ASTER digital elevation model to be used in areas with moderate topography and semi-detailed soil protection and erosion control surveys. Application of ASTER-GDEM increases accuracy of the survey and reduce time and cost of performance of the management program about soil and water conservation.

Keywords: Contour lines, Control points, Interpolation, Topography, Validation

1- Assistant Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

2- Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

3- MSc. Graduate, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

* Corresponding author Email: kmoravej@znu.ac.ir