ارزیابی دقت آزمایی مدل‌های رقومی ارتفاعی(DEM) ماهواره‌های ASTER و SRTM با مشاهدات دقیق زمینی(DGPS) مطالعه موردی: از سد آزاد به دشت قروه–دهگلان، سنندج

مصطفی خبازی [۱] علی مهرابی [۲]
جواد اعرابی [۳]

تاریخ دریافت مقاله: ۹۶/۰۹/۰۵ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۷/۰۶/۰۲

****

چکیده

مدل‌های رقومی ارتفاعی برای بسیاری از اهداف، مهم بوده و در بسیاری از کاربردها و مطالعات جزء الزامات اولیه می‌باشند. هدف این مقاله بررسی میزان دقت و صحت مدل‌های رقومی ارتفاعی حاصل از تصاویر ماهواره ASTER و داده‌های SRTM با ابعاد پیکسل ۳۰ و ۹۰ متر و همچنین مدل رقومی ارتفاعی به دست آمده از نقشه‌های توپوگرافی۱:۲۵۰۰۰ با مشاهدات دقیق زمینی (DGPS) در لندفرم‌های مختلف شامل دشت، تپه‌ماهور و کوهستان می‌باشد. میزان انطباق این داده‌ها با استفاده از تحلیل همبستگی پیرسون آزمون شد. دقت و صحت مدل‌های رقومی ارتفاعی مختلف مورد بررسی با استفاده از RMSE، خطای میانگین و انحراف استاندارد بررسی شد. براساس نتایج ضریب تعیین رابطه داده‌های زمینی با مدل‌های رقومی ارتفاعی بین ۹۷ تا ۹۹ بود. بیشترین انطباق مربوط به مدل رقومی مستخرج از داده‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ و مدل رقومی ASTER30 متر و کمترین انطباق مربوط به داده‌های SRTM90 متر بود. در مجموع با دشوارتر شدن شرایط عرصه یعنی از دشت به کوهستان، انطباق مدل‌های رقومی ارتفاعی با داده‌های زمینی برداشت شده کاهش می‌یافت. نتایج بررسی صحت و دقت مدل‌های رقومی نشان داد که کمترین خطا در وهله اول مربوط به مدل رقومی ارتفاعی استخراج شده از خطوط‌میزان نقشه ۱:۲۵۰۰۰ (RMSE=۶/۲۷) و پس از آن مدل رقومی ارتفاعی ASTER30 متر (RMSE=۷/۴۳) است. همواره اندازه پیکسل ۳۰ متر نتایج بهتری نسبت به پیکسل ۹۰ متر داشته است. بر اساس معیار خطای میانگین، کمترین اریبی مربوط به ASTER30 متر (۲ متر اریبی) و پس از آن مربوط به مدل رقومی ۱:۲۵۰۰۰ (۲/۱۷) است. بیشترین اریبی مربوط به مدل‌های ۳۰ و ۹۰ متری استخراج شده از داده‌های SRTM بود. نتایج خطای انحراف استاندارد منطبق بر نتایج RMSE بود که تأیید کننده بهتر بودن مدل‌های رقومی ارتفاعی مستخرج از داده‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ و ASTER30 متر بود.

واژه‌های کلیدی: دقت آزمایی، مدل رقومی ارتفاعی، ASTER، SRTM، DGPS.

****

۱- استادیار گروه جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران mostafakhabazi@uk.ac.ir
۲- استادیار گروه جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران (نویسنده مسئول) mehrabi@uk.ac.ir
۳- کارشناس ارشد سنجش از دور و GIS دانشگاه آزاد اسلامی واحد لارستان، ایران javadarabi_se @yahoo.com

مقدمه

مفهوم اولیهٔ مدل ارتفاع رقومی در اواخر دههٔ ۱۹۵۰ میلادی از ایالات متحده آمریکا آغاز شد. از آن زمان تاکنون پیشرفت‌های قابل توجهی بویژه در مورد روش‌های گردآوری و پردازش اطلاعات زمینی، حاصل گردید. اصطلاح مدل رقومی زمین عبارت است از بهره‌گیری از اطلاعات ارتفاعی نیمرخ (مقطع) به منظور تشریح شکل زمین. این اطلاعات ارتفاعی می‌تواند هم منظم (رئوس شبکهٔ قائم الزاویه) و هم غیر منظم باشد *(اشرفی و علیمی، ۱۳۹۳: ۱۲۰)*. مدل رقومی ارتفاع (DEM) که حاصل جمع آوری و تبدیل داده‌های ارتفاعی به روش‌های دور سنجی، نقشه برداری مستقیم یا رقومی سازی نقشه‌های توپوگرافی کاغذی است، در سال‌های اخیر به ابزاری مؤثر در نمایش و تحلیل ناهمواری تبدیل شده است. گرچه به نظر می‌رسد درستی و دقت تجزیه و تحلیل‌های مبتنی بر DEMها تا اندازه‌ی زیادی به قدرت تفکیک DEMهای اولیه بستگی داشته باشد، ولی بنا به گفته‌ی بسیاری از پژوهشگران، نمی توان پذیرفت که رسترهای با ابعاد سلولی کوچکتر، همیشه نتایج رضایت‌بخش‌تری دارند *(حسین زاده و جهادی، ۱۳۸۹: ۷۲؛ فیضی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۵: ۳۳)*. مدل‌های رقومی ارتفاعی می‌توانند از روش‌های مختلفی با درجه صحت و هزینه متفاوت استخراج شوند. بطور سنتی آنها از طریق منحنی میزان‌هایی که با تکنیک‌های فتوگرامتری از عکس‌های هوایی استریو استخراج شده‌اند، تولید می‌شوند. در حال حاضر این مدل‌ها عمدتاً از تصاویر ماهواره‌ای استخراج می‌گردند. سنجنده‌های ماهواره‌ای داده‌های ارتفاعی معتبری از مناطق وسیع با قدرت تفکیک مکانی کمتر از ۱۰۰ متر و با صحت ارتفاعی بین ۱۰ تا ۲۰ متر تولید می کنند ***(Jing, 2005: 243; Stage et al. 2015: 541)***. مدل رقومی ارتفاع، نمایش رستری سطح زمین است به شکلی که اطلاعات هر سلول بر روی تصویر دارای ارزشی برابر با ارتفاع از سطح دریا متناظر با همان نقطه بر روی زمین است. مدل رقومی ارتفاع ابزار مناسبی برای تولید نقشه‌های توپوگرافی و خطوط میزان، دست‌یابی به اطلاعات پستی بلندی‌ها، دید سه بعدی و غیره است ***(Jacobsen, 2004: 440)***. مدل رقومی ارتفاع می تواند با دقت‌های مختلف برای یک منطقه تهیه شود. دقت بالای نقشهٔ رقومی ارتفاع تخمین‌های دقیق تری از مشخصات فیزیوگرافی حوضه را به همراه دارد؛ اما تهیهٔ چنین نقشه هایی بسیار پرهزینه است ***(Ashourloo, 2007: 53)***. استفاده از مدل رقومی ارتفاع برای نمایش و تجزیه و تحلیل ناهمواری ها و نیز مدل سازی فرآیندهای سطحی زمین در دهه‌های اخیر کاربرد بسیاری پیدا کرده است ***(Sandip, 2013: 211; Ebaid, 2014: 1231; Chaieb et al, 2016: 231)***.

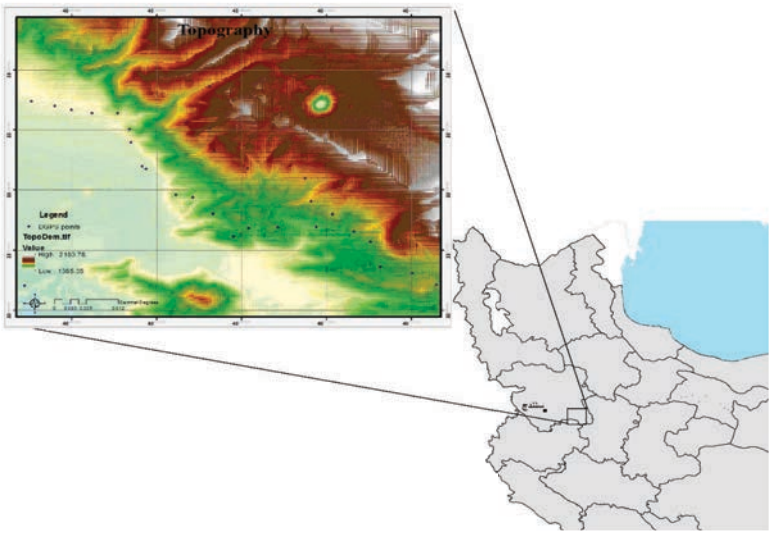
مدل‌های سطح زمین همیشه مورد درخواست افراد نظامی، طراحان، معماران، مهندسین عمران و همچنین سایر متخصصین در علوم مختلف زمین بوده‌اند. در ابتدا مدل‌های زمین، مدل‌های فیزیکی بودند که از کائوچو، پلاستیک، گل رس، شن و غیره درست می‌شدند. معرفی مدل‌های ریاضی، عددی و روش‌های رقومی در مدلسازی سطح زمین، مدیون فعالیت‌های مهندسین فتوگرامتری می‌باشد که در حوزه مهندسی عمران فعالیت داشته‌اند ***(Lin and Oguchi, 2006:131)***. دقت مدل رقومی ارتفاع در دقت اطلاعاتی که از آن بدست می‌آید تأثیر گذار است، لذا محققان همواره به‌دنبال راهکاری برای افزایش دقت مدل‌های رقومی ارتفاع هستند. از جمله منابع اطلاعاتی که برای تولید این مدل بکار گرفته می‌شوند عبارتند از نقشه‌برداری زمینی، عکسبرداری هوایی، تصاویر ماهواره‌ای، داده‌های رادار و لیدار. برخی از این داده‌ها به دلیل کافی‌نبودن اطلاعات ارتفاعی مدل رقومی ارتفاع را با دقت کمی تولید می‌نمایند. درکل دقت مدل رقومی ارتفاع از دو جنبه مورد توجه است: ۱- دقت مسطحاتی (Horizontal Accuracy) و ۲- دقت ارتفاعی (Vertical Accuracy). دقت مسطحاتی برای اندازه‌گیری X و Y در مدل رقومی ارتفاع است و دقت ارتفاعی خطایی است که دراندازه‌گیری آن فرض بر آنست که X و Y صحیح است و تنها بعد سوم یعنی ارتفاع مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. اگرچه به نظر می‌رسد درستی و دقت تجزیه و تحلیل‌های مبتنی بر DEM ها تا اندازه زیادی به قدرت تفکیک DEMهای اولیه بستگی

داشته باشد، ولی بنا به گفته بسیار از پژوهشگران نمی‌توان پذیرفت که رسترهای با ابعاد سلولی کوچکتر همیشه نتایج رضایت بخش‌تری دارند *(حسین‌زاده و جهادی، ۱۳۸۹: ٦٨؛ Alganci, ۲۰۱۸: ۹)*. حتی اگر بپذیریم که DEMهای با اندازه پیکسل کوچکتر دقت بیشتری دارند، متأسفانه دسترسی به آنها به سادگی امکان‌پذیر نبوده و از طرفی به اصلاحات زیاد و حتی تغییر به DEMهای با قدرت تفکیک پایین‌تر نیاز دارند *(حسین‌زاده و نداف سنگانی، ۱۳۹۲: ۸۲)*. بنابراین انتخاب مناسب ترین مدل ارتفاع رقومی با اندازه پیکسل مناسب که با دقت بالاتری بتواند مدل واقعی‌تری را از شرایط طبیعی زمین ارائه نماید، موضوع اصلی این تحقیق قرار گرفت. از جمله مطالعات انجام گرفته در این زمینه می توان به موارد زیر اشاره کرد:

حسین زاده و نداف سنگانی (۱۳۹۲)، با ارزیابی دقت مدل‌های رقومی ارتفاع (DEMS) حاصل از نقشه‌های توپوگرافی و مقایسه‌ی تطبیقی آن با DEMهای ماهواره‌ای (مطالعه موردی: DEMهای توپوگرافی و ASTER منطقه‌ی آبغه در خراسان رضوی) به این نتیجه رسیدند DEMهای حاصل از نقشه‌های توپوگرافی در مقایسه با زمین واقعی، از خطاهای چشمگیری برخوردارند، اما در مقایسه با DEMهای ماهواره‌ای درجه اعتبار مناسبی را ارائه می‌کنند. آقا طاهر و همکاران (۱۳۹۵)، با ارزیابی مقایسه ای صحت ارتفاعی مدل‌های رقومی ارتفاعی ASTER و SRTM به این نتیجه رسیدند RMSE به عنوان شاخص خطا برای مناطق مورد مطالعه در آذربایجان شرقی، سیستان و بلوچستان و بوشهر در مدل SRTM به ترتیب ٦/١، ٧/٤ و ٢/٩ و در ADSTER GDEM به ترتیب ٨/٧، ٨/٣ و ٧/٢ متر می باشد. همچنین صحت ارتفاعی بالای SRTM در مقایسه با ASTER GDEM در ایران می باشد. مروج و همکاران (١٣٩٤)، با بررسی اهمیت انتخاب مدل رقومی ارتفاعی مناسب در مدیریت و حفاظت منابع خاک و آب(مطالعه موردی: سد تهم، استان زنجان) به این نتیجه رسیدند مدل تولید شده با روش همسایگی طبیعی و اطلاعات سنجنده ASTER با داده‌های ارتفاعی کنترلی انطباق بیشتری داشته و مدل تولید شده با روش وزن دهی بر اساس معکوس فاصله و اطلاعات سنجنده SRTM از انطباق کمتری برخوردار هستند. اشرفی و علیمی (۱۳۹۳)، با مقایسه ی روش‌های مختلف تهیه ی مدل ارتفاع رقومی مورد شناسی: حوضه‌ی آبخیز نوفرست، شهرستان بیرجند، استان خراسان جنوبی، با هدف مقایسه‌ی برخی روش‌های تهیه‌ی مدل ارتفاعی رقومی شامل: TOPOGRID, TIN و نیز مدل ارتفاعی رقومی استخراج شده از تصاویز سه بعدی انجام دادند و به این نتیجه رسیدند روش TIN با پنج بار کسب مقادیر، حداکثر احتلاف و کسب نکردن هیچ مقدار حداقلی، بیشترین خطا و مدل رقومی SRTM با سه بار کسب مقادیر حداقلی اختلاف و کسب نکردن هیچ مقدار حداکثری از دقت بالاتری برخوردار می‌باشند. در این مقایسه روش TOPOGRID و TOPOGRID و مدل رقومی استخراج شده از تصاویر ASTER در رتبه‌های بعدی قرار دارند. عزیزیان و شکوهی (۱۳۹۳)، با بررسی اثر روش‌های مختلف ساخت مدل‌های رقومی ارتفاعی بر عملکرد مدل نیمه توزیعی TOPMODEL به این نتیجه رسیدند شاخص توپوگرافی که یکی از ارکان اساسی مدل مذکور می‌باشد، در برخی از روش‌های ساخت DEM دارای تغییرات قابل توجهی است. همچنین روش‌های مختلف ساخت DEM بر روی جریان متوسط رودخانه چندان مؤثر نبوده و تغییرات شاخص کارائی مدل (شاخص نش - ساتکلیف) معنی دار نمی‌باشد. آقاطاهر و همکاران (۱۳۹۵)، صحت ارتفاعی مدل‌های رقومی ارتفاعی ASTER و SRTM را نسبت به هم ارزیابی کردند، مطالعات ایشان نشانگر بالاتر بودن دقت ارتفاعی مدل ناشی از SRTM نسبت به ASTER است.

موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه مابین عرض‌های جغرافیایی ° ۳۵ تا ۱۸′ ۳۵° شمالی و طول‌های جغرافیایی ′۳۰ ۴۷° تا ′۵۰ ٤٧° شرقی، بخشی از پروژه سد و سامانه انتقال آب از



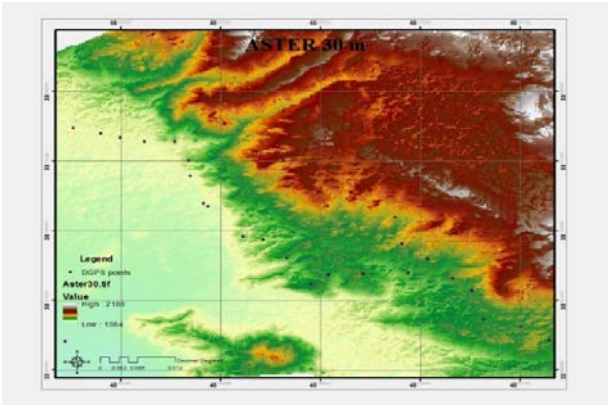
نگاره ۱: محدوده مورد مطالعه و DEM منطقه

سد آزاد به دشت قروه–دهگلان(که هدف از این کار انتقال آب از سرشاخه‌های رودخانه سیروان به داخل کشور است) در استان کردستان، شهرستان سنندج می‌باشد. این محدوده با مساحتی حدود ۱۱۰ کیلومترمربع اشکال مختلفی از ناهمواری زمین را در برگرفته است. فاز اجرایی و عملیاتی پروژه مذکور از سال ۱۳۸۸ شروع و بخش اول آن که انتقال آب از سد آزاد به سد قشلاق بود در سال ۱۳۹۳ افتتاح گردید. نگاره ۱، محدوده مورد مطالعه و DEM منطقه را نشان می‌دهد. نقاط سفید رنگ مکان‌های تعیین دقیق ارتفاع از سطح دریا با DGPS را نشان می‌دهد.

مواد و روش‌ها

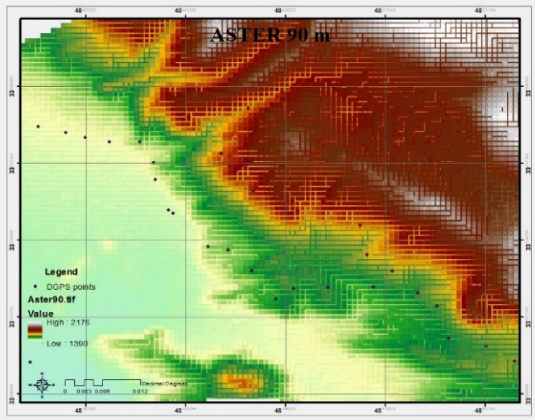
روش پژوهش تحلیلی -مقایسه‌ای می‌باشد. در این تحقیق از روش جنبشی زمان واقعی (RTK) برای تعیین موقعیت نقاط استفاده شد و با توجه به وسعت منطقه تعداد ٤٥ نقطه در لندفرم‌های مختلف برداشت شد. در این روش با فرض معلوم بودن مختصات ایستگاه مرجع و مقایسهٔ آن با موقعیت بدست آمده از گیرنده GPS، مقدار تصحیحی بدست می‌آید که به مختصات بدست آمده برای ایستگاه Rover[1] اعمال می‌گردد که به روش نسبی یا تفاضلی معروف است (*Zhang and Montgomery,1994: 1023; Zevenbergen and Thorne, 1987: 47 Sefercik, 2012: 571 (Thompson, 2001: 88;* در این روش تصحیحات به صورت زمان واقعی در حین انجام مشاهدات، محاسبه و در تعیین موقعیت Rover لحاظ می‌شود. در این تحقیق از گیرنده‌های لایکا مدل GNSS GS10 با دقت ۸ میلیمتر استفاده شد. ابتدا دو ایستگاه مرجع با روش سریع تعیین و سپس روش جنبشی زمان واقعی (RTK) بکار گرفته شد.

برای داده‌های زمینی از برداشت‌های پروژه فوق و برای مدل‌های رقومی ماهواره‌ای از DEMهای سنجنده ASTER و داده‌های SRTM با اندازه‌های پیکسل ۳۰ و ۹۰ متر برگرفته از سایت USGS و NASA همچنین DEM حاصل از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه برداری استفاده گردید که نتایج آن در ذیل مشاهده می‌شود (نگاره‌های ۲ تا ٦).

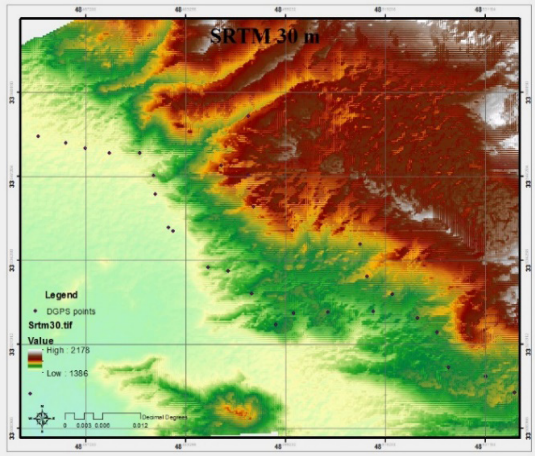


نگاره ۲: مدل رقومی ارتفاعی ASTER با تفکیک مکانی ۳۰ متر

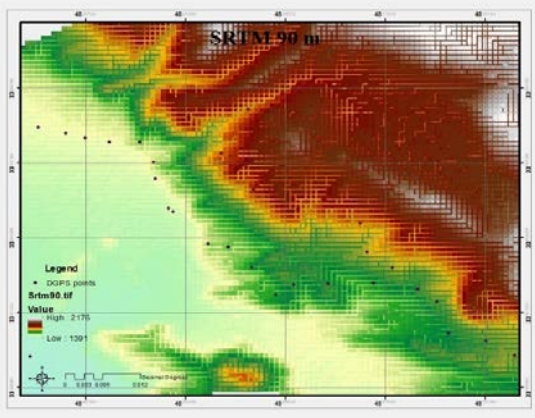
۱– گیرنده متحرک GPS که توسط رادیو به گیرنده ثابت(استاتیک) متصل می‌گردد



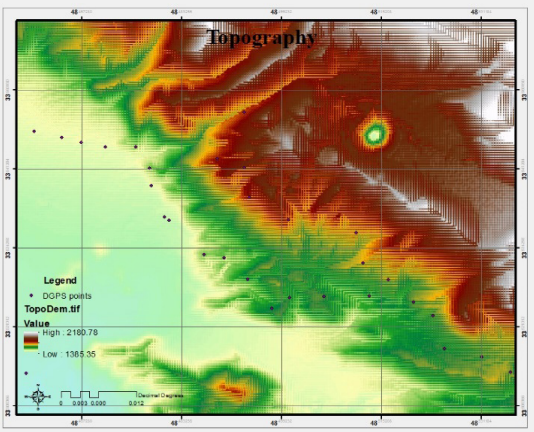
نگاره ۳: مدل رقومی ارتقاعی ASTER با تفکیک مکانی ۹۰ متر



نگاره ٤: مدل رقومی ارتقاعی SRTM با تفکیک مکانی ۳۰ متر



نگاره ٥: مدل رقومی ارتقاعی SRTM با تفکیک مکانی ۹۰ متر



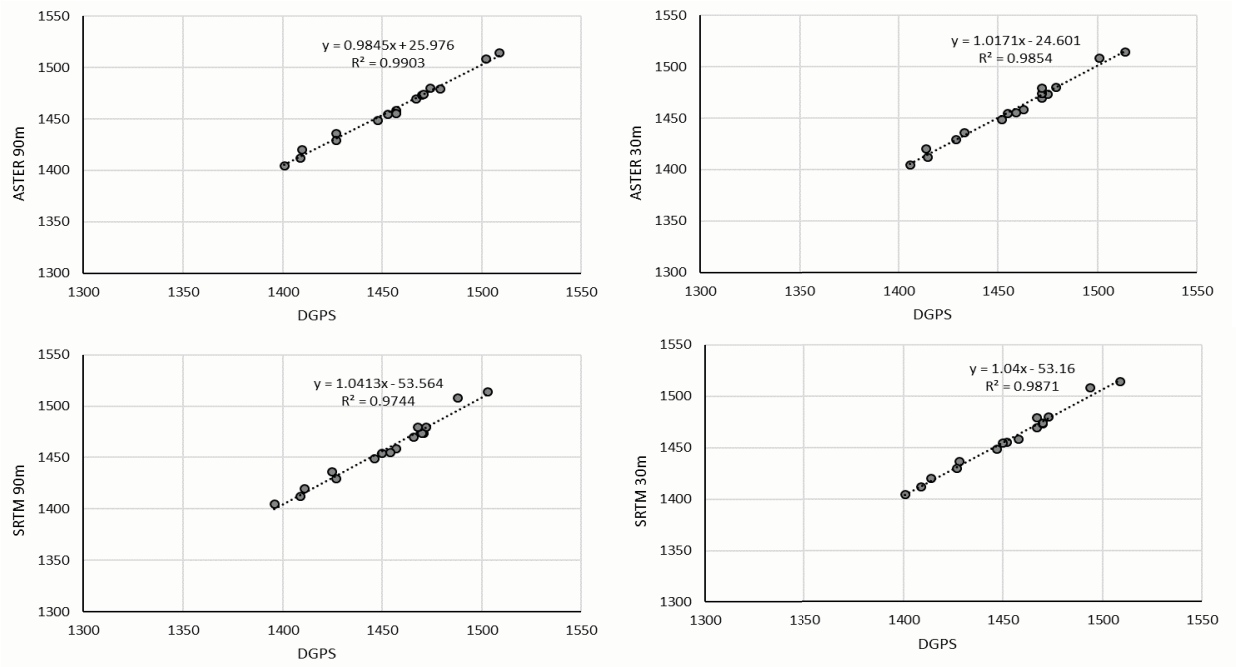
نگاره ٦: مدل رقومی ارتقاعی تهیه شده از خطوط میزان نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰

اعتبار یابی

صحت، به معنای نزدیکی و مطابقت پدیده‌های مشاهده شده با مقادیر واقعی همان پدیده ها است. ارزیابی صحت در مدل ارتفاع رقومی استخراج شده از روش‌های مختلف با استفاده از داده‌های دریافت شده دستگاه DGPS صورت گرفت.

در این پژوهش برای اعتباریابی، از مجذور مربع خطای میانگین (RMSE) که میانگین تفاوت مقادیر با توجه به مقادیر واقعی را نشان می دهد استفاده شد. همچنین، خطای میانگین و انحراف استاندارد محاسبه گردید (جدول ۱).

RMSE یک واحد کمی است که مشخصات خطا در سطح را نشان می‌دهد و میانگین خطا را بر اساس خطای سطح، محاسبه می کند. برای کاهش تأثیرات خطاهای هندسی در نتایج نهایی کار، ابتدا بین کلیهٔ لایه‌های اطلاعاتی، تنظیم‌های فضایی انجام شده و در لندفرم‌های مطالعاتی نیز برای مثال در ستیغ‌های منطقه کوهستانی، حریم هایی در اطراف نقاط مرجع ایجاد شده و حداکثر ارتفاع از کلیه لایه‌ها استخراج شد. همچنین در آبراهه ها حداقل ارتفاعات مورد بررسی قرار گرفت.



نگاره ۷: تحلیل همبستگی خطی پیرسون مربوط به مدل‌های رقومی ارتفاعی مختلف در دشت

جدول ۱: فرمول‌های اعتبار یابی، که در آن: μ میانگین، Δh مقدار اختلاف ارتفاعی مدل رقومی ارتفاعی و مقدار مرجع و n تعداد مشاهدات است

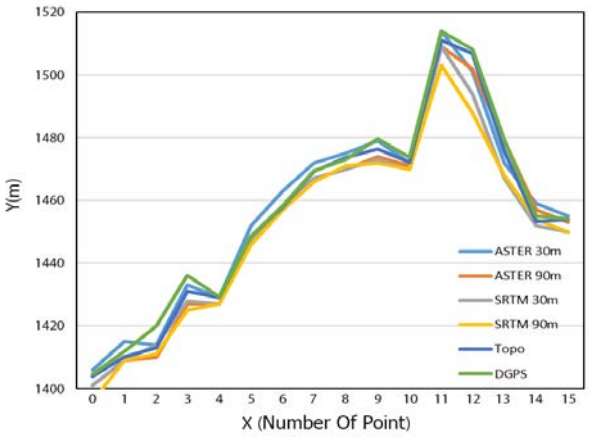
پارامتر	نحوه محاسبه
جذر میانگین مربعات خطا	$R\hat{M}SE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\Delta h_i^{\,2}}$
خطای میانگین	$\hat{\mu} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\Delta h_i$
انحراف استاندارد	$\hat{r} = \sqrt{\frac{1}{(n-1)}\sum_{i=1}^{n}(\Delta h_i - \hat{\mu})^2}$

نتایج و بحث

- **بررسی میزان انطباق مشاهدات در مدل‌های رقومی ارتفاعی مورد مطالعه**
- **بررسی میزان انطباق مدل‌های رقومی ارتفاعی مختلف در دشت**

برای بررسی میزان ارتباط مقادیر ارتفاع به دست آمده از مدل‌های رقومی ارتفاعی مختلف با داده‌های مرجع به دست آمده از نمونه برداری زمینی با استفاده از DGPS از تحلیل همبستگی خطی پیرسون استفاده گردید. در تمامی موارد میزان انطباق بسیار عالی بوده و همواره بیش از ۹۷ درصد است. کمترین مقدار انطباق مشاهدات مربوط به SRTM ۹۰ متر (۹۷/٤٤ درصد) و بیشترین آن مربوط به مدل رقومی

ارتفاعی به دست آمده از نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ (۹۹/۵۸ درصد) است (نگاره ۷ و ۸).

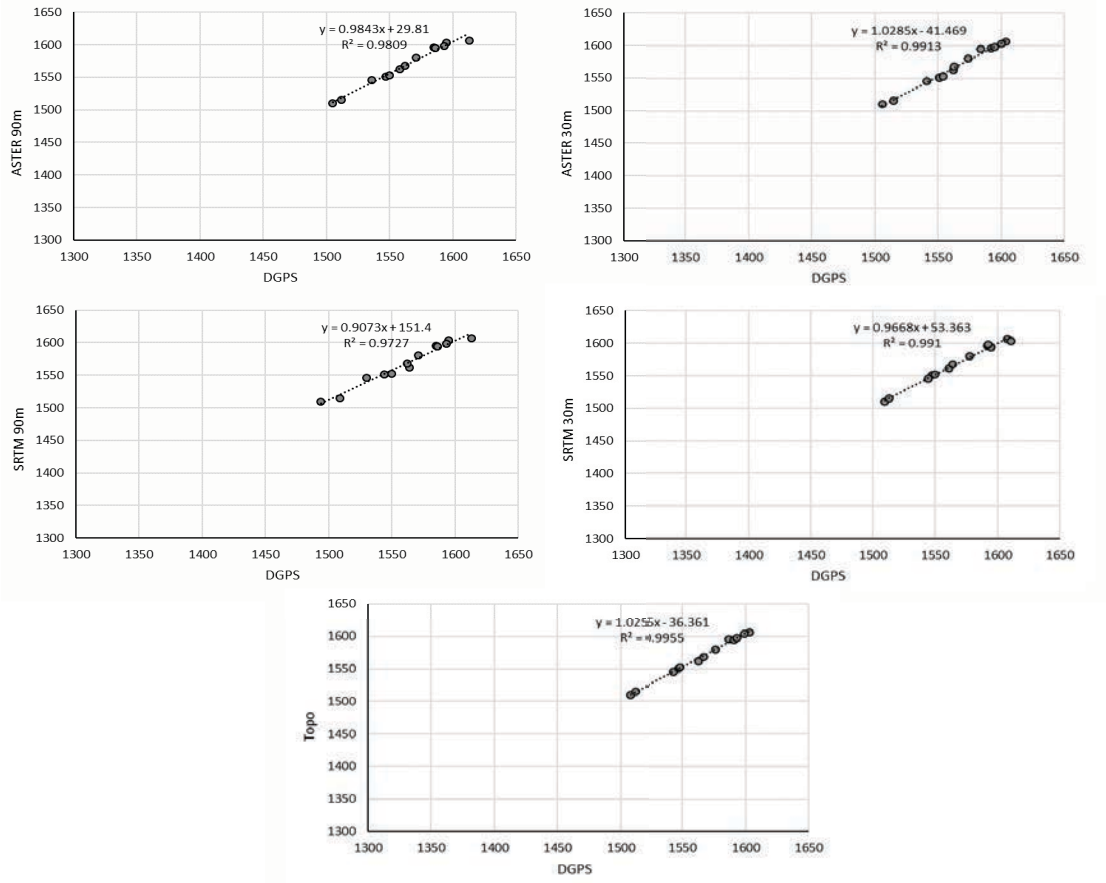


نگاره ۸: میزان انطباق ارتفاع به دست آمده از مدل رقومی ارتفاعی مختلف با داده‌های DGPS در لندفرم دشت

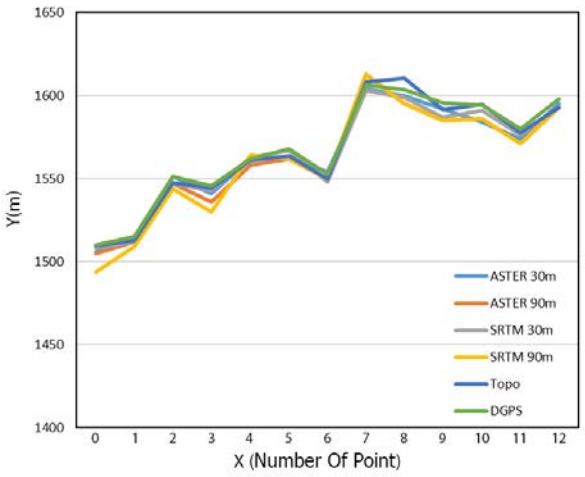
● بررسی میزان انطباق مدل‌های رقومی ارتفاعی مختلف در تپه ماهور

برای بررسی میزان ارتباط مقادیر ارتفاع به دست آمده از مدل‌های رقومی ارتفاعی مختلف با داده‌های مرجع به دست آمده از نمونه‌برداری زمینی با استفاده از DGPS در منطقه تپه ماهور در تمامی موارد میزان انطباق بسیار عالی بوده و همواره بیش از ۹۷ درصد است.

کمترین مقدار انطباق مشاهدات مربوط به SRTM90 به مدل رقومی ارتفاعی نقشه ۱:۲۵۰۰۰ متر (۹۷/۲۷ درصد) و بیشترین آن مربوط به مدل رقومی ارتفاعی نقشه ۱:۲۵۰۰۰ (۹۹/۵۵ درصد) می باشد (نگاره‌های ۹ و ۱۰).



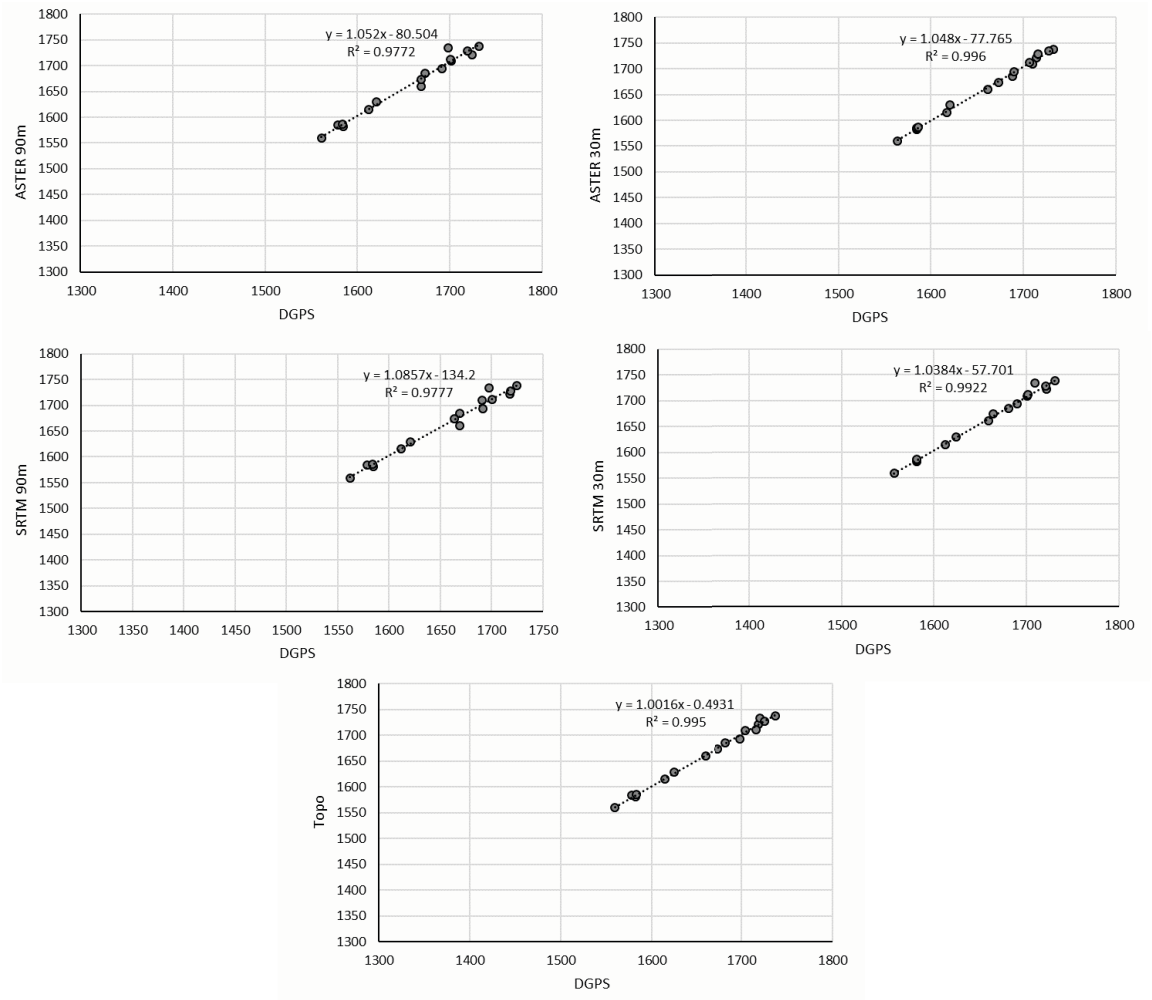
نگاره ۹: تحلیل همبستگی خطی پیرسون مربوط به مدل‌های رقومی ارتفاعی مختلف در تپه ماهور



نگاره ۱۰: میزان انطباق ارتفاع به دست آمده از مدل رقومی ارتفاعی مختلف با داده‌های DGPS در لندفرم تپه ماهور

● بررسی میزان انطباق مدل‌های رقومی ارتفاعی مختلف در کوهستان

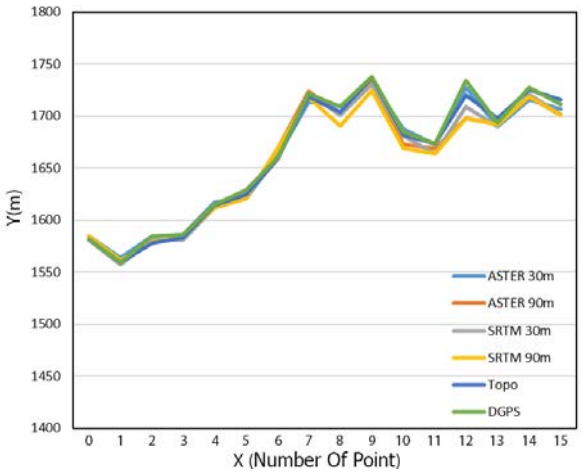
بررسی میزان ارتباط مقادیر ارتفاع به دست آمده از مدل‌های رقومی ارتفاعی مختلف با داده‌های مرجع به دست آمده از نمونه برداری زمینی با استفاده از DGPS در منطقه کوهستان در نگاره‌های ۱۱ و ۱۲ نشان داده شده است. چنان که ملاحظه می‌گردد در تمامی موارد میزان انطباق بسیار عالی بوده و همواره بیش از ۹۷ درصد است. کمترین مقدار انطباق مشاهدات مربوط به ASTER90 متر (۹۷/۷۰ درصد) و بیشترین آن مربوط به ASTER30 متر (۹۹/۶۰ درصد) است.



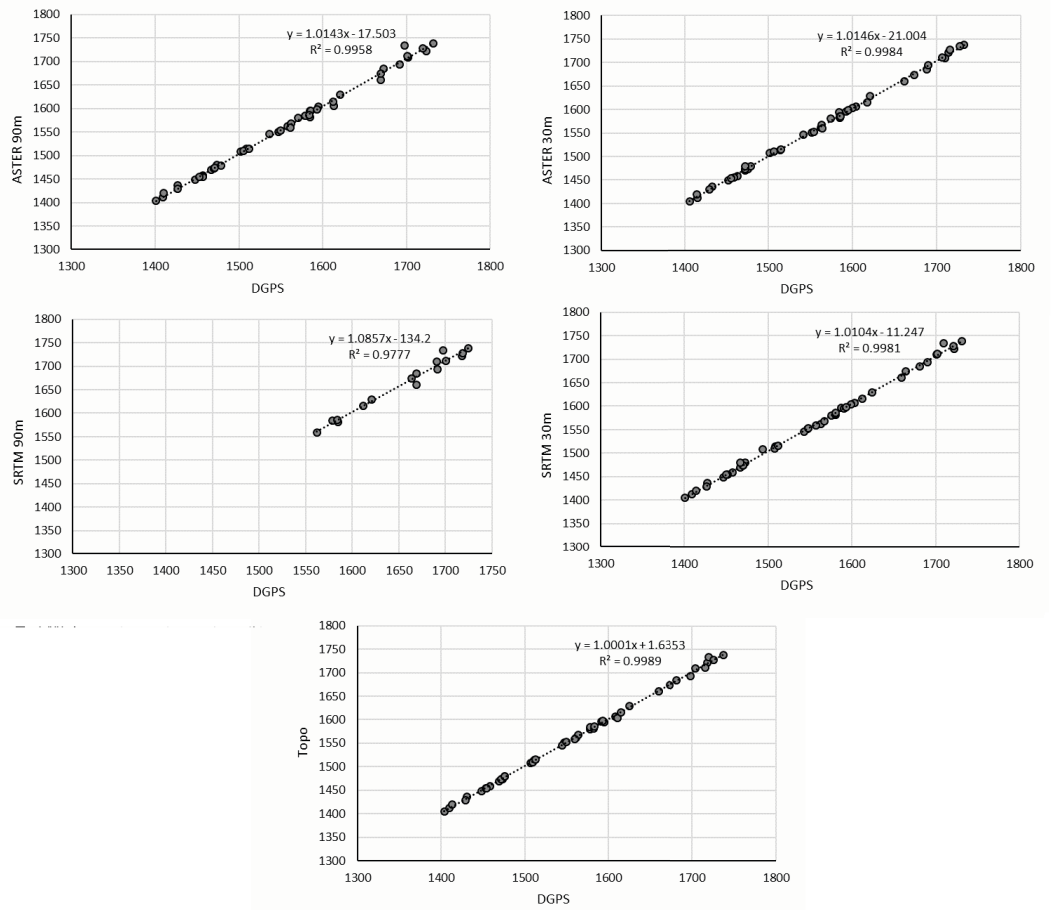
نگاره ۱۱: تحلیل همبستگی خطی پیرسون مربوط به مدل‌های رقومی ارتفاعی مختلف در کوهستان

● بررسی میزان انطباق مدل‌های رقومی ارتفاعی مختلف در کل منطقه

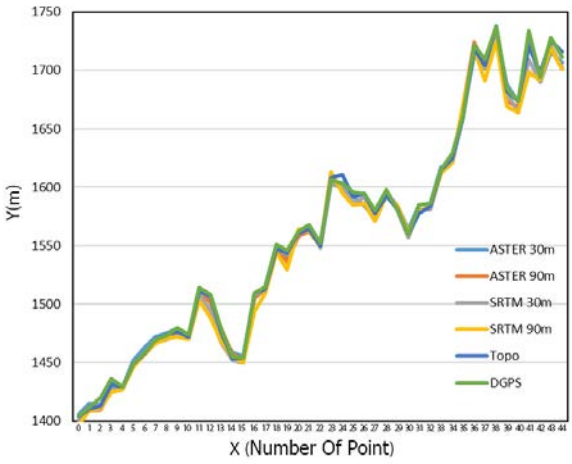
نتایج بررسی میزان ارتباط مقادیر ارتفاع به دست آمده از مدل‌های رقومی ارتفاعی مختلف با داده‌های مرجع به دست آمده از نمونه برداری زمینی با استفاده از DGPS در کل منطقه در نگاره‌های ۱۳ و ۱٤ نشان داده شده است. چنان که ملاحظه می‌گردد در تمامی موارد میزان انطباق بسیار عالی بوده و همواره بیش از ۹۹ درصد است. بیشترین مقدار انطباق مربوط به مدل رقومی ارتفاعی نقشه ۱:۲۵۰۰۰ (۹۹/۸۹ درصد) می باشد.



نگاره ۱۲: میزان انطباق ارتفاع به دست آمده از مدل رقومی ارتفاعی مختلف با داده‌های DGPS در لندفرم کوهستان



نگاره ۱۳: تحلیل همبستگی خطی پیرسون مربوط به مدل‌های رقومی ارتفاعی مختلف در کل منطقه



نگاره ۱٤: میزان انطباق ارتفاع به دست آمده از مدل رقومی ارتفاعی مختلف با داده‌های DGPS در کل منطقه

مقایسه دقت مدل‌های رقومی ارتفاعی

برای مقایسه دقت و صحت مدل‌های رقومی ارتفاعی ابتدا پارامترهای توصیفی هر یک از مدل‌های ارتفاعی استخراج گردید. جدول۲ نشان دهنده پارامترهای استخراج شده است. نتایج نشان می‌دهد که تقریباً مدل‌های رقومی استخراج شده انطباق کاملی با هم دارند. چنانکه ملاحظه می‌گردد، میانگین ارتفاع به دست آمده از هر یک از مدل‌های رقومی ارتفاعی در یک بازه ۱۰ متری می‌گنجد.

جدول۲: پارامترهای آماری مختلف مدل‌های رقومی مورد بررسی

Topo	SRTM 90m	SRTM 30m	ASTER 90m	ASTER 30m	
۱۳۸٦/۰۰	۱۳۹۱/۰۰	۱۳۸٦/۰۰	۱۳۹۰/۰۰	۱۳۸٤/۰۰	Min
۲۱۷۸/۰۰	۲۱۷٦/۰۰	۲۱۷۸/۰۰	۲۱۷٦/۰۰	۲۱۸۷/۰۰	Max
۱٦۷۸/۱۰	۱٦۷۸/۰٥	۱٦۷۸/۱۰	۱٦۷۸/٤۹	۱٦۸۰/٦۰	Mean
۲۰۰/۱۰	۲۰۰/۰۷	۲۰۰/۱۰	۲۰۰/۱۱	۱۹۹/٤۱	StD

برای بررسی دقت و صحت هر یک از مدل‌های رقومی مورد مطالعه از پارامترهای آماری جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، اریبی(μ) و انحراف(δ) استاندارد استفاده شد (جدول۳). چنانکه ملاحظه می‌گردد عموماً میزان جذر میانگین مربعات خطا که نشان دهنده خطای مدل رقومی ارتفاعی است با سخت تر شدن ناهمواری‌ها افزایش می‌یابد. این امر در خصوص همگی مدل‌های رقومی ارتفاعی مورد بررسی صادق است. با مقایسه منابع مختلف ایجاد DEM می‌توان ملاحظه نمود که کمترین خطا در وهله اول مربوط به مدل رقومی ارتفاعی استخراج شده از خطوط میزان نقشه ۱:۲٥۰۰۰ (RMSE=٦/۲۷) و پس از آن مدل رقومی ارتفاعی ASTER با اندازه پیکسل ۳۰ متر (RMSE=۷/٤۳) است. همواره اندازه پیکسل ۳۰ متر نتایج بهتری نسبت به پیکسل

جدول۳: مقایسه دقت و صحت مدل‌های رقومی مورد بررسی

Topo	SRTM 90m	SRTM 30m	ASTER 90m	ASTER 30m		لندفرم
۲/۷۰	۸/۱٥	٦/۱۷	٤/٥۷	۳/۷٥	RMSE	دشت
-۱/۸۱	-٦/٤۰	-٤/۹٦	-۳/٤۰	-۰/۲۷	μ	
۲/۰۷	٥/۲۱	۳/۷۹	۳/۱٦	۳/۸٦	δ	
۳/۰۸	۸/۰٥	۳/۷۱	٦/۱۷	۳/۹٤	RMSE	تپه ماهور
-۱/۳۷	-٦/٦۲	-۳/٤۷	-٥/۳۱	-۳/۱٦	μ	
۳/۲٦	٦/۲٤	۲/۳۱	٤/٤۹	۳/۱٥	δ	
٤/۷٤	۱۲/٦٤	۸/۲٥	۱۱/۰۳	٥/۰٦	RMSE	کوهستان
-۲/۱۷	-۷/٦۳	-٥/۹٤	-٥/٦۳	-۲/۰۰	μ	
٤/۳٥	۱۰/٤۱	٥/۹۱	۹/۸۰	٤/۸۰	δ	
٦/۲۷	۱۷/۰٦	۱۰/۹٥	۱۳/٤٤	۷/٤۳	RMSE	کل
-۲/۱۷	-۷/٦۳	-٥/۹٤	-٥/٦۳	-۲/۰۰	μ	
٤/۳٥	۱۰/٤۱	٥/۹۱	۹/۸۰	٤/۸۰	δ	

۹۰ متر داشته است. بر اساس معیار خطای میانگین، کمترین اریبی مربوط به ASTER30 متر (۲ متر اریبی) و پس از آن مربوط به مدل رقومی ۱:۲۵۰۰۰ (۲/۱۷) است. بیشترین اریبی مربوط به مدل‌های ۳۰ و ۹۰ متری استخراج شده از داده‌های SRTM بود. نتایج خطای انحراف استاندارد منطبق بر نتایج RMSE بود که تأیید کننده بهتر بودن مدل رقومی ارتفاعی ۱:۲۵۰۰۰ و ASTER30 متر بود.

جمع بندی و نتیجه گیری

در این پژوهش براساس نتایج، ضریب تعیین رابطه داده‌های زمینی با مدل‌های رقومی ارتفاعی بین ۹۷ تا ۹۹ به دست آمد. بیشترین انطباق مربوط به مدل رقومی ASTER30 متر و مدل رقومی مستخرج از داده‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ و کمترین انطباق مربوط به داده‌های SRTM90 متر می‌باشد. در مجموع با دشوارتر شدن شرایط عرصه یعنی از دشت به کوهستان، انطباق مدل‌های رقومی زمین با داده‌های زمینی برداشت شده کاهش یافت. نتایج بررسی صحت و دقت مدل‌های رقومی نشان داد که کمترین خطا در وهله اول مربوط به مدل رقومی ارتفاعی استخراج شده از خطوط میزان نقشه ۱:۲۵۰۰۰ (RMSE=٦/۲۷) و پس از آن مدل رقومی ارتفاعی ASTER با اندازه پیکسل ۳۰ متر (RMSE=۷/٤۳) است. همواره اندازه پیکسل ۳۰ متر نتایج بهتری نسبت به پیکس ۹۰ متر داشته است. بر اساس معیار خطای میانگین، کمترین اریبی مربوط به ASTER30 متر (۲ متر اریبی) و پس از آن مربوط به مدل رقومی ۱:۲۵۰۰۰ (۲/۱۷) است. بیشترین اریبی مربوط به مدل‌های ۳۰ و ۹۰ متری استخراج شده از داده‌های SRTM بود. نتایج خطای انحراف استاندارد منطبق بر نتایج RMSE بود که تأیید کنند بهتر بودن مدل‌های رقومی ارتفاعی مستخرج از داده‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ و مدل رقومی ارتفاعی ASTER30 متر می باشد.

مقایسه مطالعات قبلی در این زمینه نسبتاً با نتایج به دست آمده از این تحقیق همخوانی دارند بطور مثال، علیدوست و دادرس جوان (۱۳۹۲) نیز نتایج دقت GDEM V2 (مدل جهانی رقومی ارتفاع ASTER) با مدل رقومی ارتفاعی SRTM و یک مدل رقومی ارتفاعی محلی مربوط به منطقه‌ای در جنوب غربی ایران را بررسی نمودند. نتایج حاصل ، وجود بایاس ارتفاعی منفی در حدود ٥/٤- متر و ۸/۲- متر را در مدل GDEM V2 به ترتیب نسبت به دو مدل SRTM و مدل محلی نشان داد. علاوه براین میانه خطای GDEM V2 نسبت به مدل محلی برابر ۷/۳- متر بود که از میانه‌ی خطای این مدل نسبت به SRTM کمتر بود. جذر میانگین مربعات خطای اختلاف ارتفاعات نیز در GDEM V2 نسبت به دو مدل SRTM و مدل محلی با هم برابر و حدود ۳/۸ متر بود. برتری مدل رقومی ارتفاعی ASTER نسبت به SRTM را شفیعی خورشیدی و همکاران(۱۳۹۰) به این دلیل دانسته‌اند که سنجنده ASTER به علت تصویربرداری در امتداد پرواز، مدل رقومی ارتفاع دقیقی را به دست می دهد. رکنی دیلمی و همکاران(۱۳۸٦) نیز در تحقیقی از تصاویر ASTER جهت تولید DEM استفاده نمودند. دقت ارتفاعی برای DEM حاصله از ASTER در این مطالعه ±۲٦/٤ به دست آمده است.

بر خلاف تحقیق ما، نتایج RMSEZ این تحقیق در مناطق دشتی و کوهستانی نشان داد که دقت DEM در مناطق دشتی کمتر می‌باشد. و لذا با توجه به نتایج حاصله از تحقیق پیش‌رو می‌توان نتیجه گرفت که جهت انجام مطالعات فاز صفر و یک پروژه‌ها و همچنین کاهش هزینه‌های هنگفت مطالعات و برداشت‌های زمینی می‌توان از تصاویر سنجنده استر با اندازه‌ی پیکسل ۳۰ متر و نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰ موجود با دقت قابل قبول بهره برد که نسبت به دیگر منابع به‌روزتر و دارای تطابق بهتری بوده و به سهولت قابل دسترس می‌باشند. البته امروزه با ورود فنآوری‌های راداری پیشرفته‌تر در عرصه تحقیقات جغرافیایی، می‌توان از این تصاویر راداری نیز در تهیه مدل‌های ارتفاع رقومی استفاده کرد، یکی از این مدل‌ها، مدل ارتفاع رقومی ۱۵ متری ماهواره ALOS است، که مقایسه دقت این مدل با مدل‌های کار شده کنونی، می‌تواند موضوع مطالعات بعدی قرار گیرد.

منابع و مآخذ

۱. آقا طاهر، صمدی، لعلی نیت، نجفی؛ رضا، مهدی، ایلیا، ایمان؛ ۱۳۹۵؛ ارزیابی مقایسه ای صحت ارتفاعی مدل‌های رقومی ارتفاعی ASTER و SRTM، فصلنامه علمی پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، دوره ۲۵، شماره ۹۹، صص۱۰۳ – ۱۱۳.

۲. اشرفی، علیمی؛ علی، محمد امیر؛ ۱۳۹۳؛ مقایسه روش‌های مختلف تهیه مدل ارتفاع رقومی مورد شناسی: حوضه آبخیز نوفرست، شهرستان بیرجند، استان خراسان جنوبی، جغرافیا و آمایش شهری – منطقه‌ای، دوره٤، شماره ١٤، صص ١١٩ –١٤٠.

۳. حسین‌زاده، نداف سنگانی؛ سیدرضا، مهوش؛ ۱۳۹۲؛ ارزیابی دقّت مدل‌های رقومی ارتفاع (DEMs) حاصل از نقشه‌های توپوگرافی و مقایسه‌ی تطبیقی آن با DEMهای ماهواره‌ای (مطالعه‌ی موردی: DEMهای توپوگرافی و ASTER منطقه‌ی آبغه در خراسان رضوی، مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ٤٥، شماره ۱، صص ۷۱ –۸٦.

٤. حسین‌زاده، جهادی؛ سید رضا، مهناز؛ ۱۳۸۹؛ ارزیابی دقّت مدل‌های رقومی ارتفاع (DEMs) و الگوریتم‌های GIS در تحلیل‌های مورفومتری رودخانه‌ای (نمونهٔ مورد مطالعه : حوضهٔ آبریز رباط قره بیل در خراسان شمالی)، جغرافیا و توسعهٔ ناحیه‌ای، دوره ۱۷، شمارهٔ ١٤، صص ٦٦ – ٧٦.

۵. عزیزیان، شکوهی؛ اصغر؛ علیرضا؛ ۱۳۹۳؛ بررسی اثر روش‌های مختلف ساخت مدل‌های رقومی ارتفاعی بر عملکرد مدل نیمه توزیعی TOPMODEL، تحقیقات منابع آب و خاک ایران، سال دهم، شماره ۱، صص ۱۱۱–۱۱٦.

٦. فیضی‌زاده، عبدالله آبادی، ولی‌زاده؛ بختیار، سلیمه، خلیل؛ ۱۳۹۵؛ مدلسازی عدم قطعیت حاصل از داده‌های ارتفاعی SRTM و ASTER و تأثیر آن بر طبقه بندی لندفرم ها در حوضه ی آبریز گرم چای. فصلنامه علمی پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، دوره ٢٦، شماره ۱۰۳، صص۲۹ – ٤١.

۷. مروج، دلاور، صادق بیگی؛ کامران، محمد امیر، اکرم؛ ۱۳۹٤؛ عنوان اهمیت انتخاب مدل رقومی ارتفاعی مناسب در مدیریت و حفاظت منابع خاک و آب (مطالعه موردی: سد تهم، استان زنجان)، تحقیقات کاربردی خاک، جلد ۳، شماره ۲، صص ٤٢ –٥٤.

8. Alganci, U., Besol, B., Sertel, E., (2018). Accuracy Assessment of Different Digital Surface Models, International Journal of Geo-Information 7(114): 1-16.

9. Ashourloo, D., (2007). An Evaluation of Hydrological Pit Filling Methods in the Ekbatan Watersheds. Environmental sciences 4(3): 49-60.

10. Chaieb A., Rebai, N., Bouaziz, S., 2016, Vertical Accuracy Assessment of SRTM Ver 4.1 and ASTER GDEM Ver 2 Using GPS Measurements in Central West of Tunisia, Earth & Environmental Sciences, 8(1): 231-252.

11. Ebaid, H., 2014, Accuracy Enhancement of SRTM and ASTER Dems Using Weight Estimation Regression Model. International Journal of Research in Engineering and Technology, 3(8): 1231-1244.

12. Jacobsen, K., 2004- DEM Generated by SPOT HRS. ISPRS Congress, Istanbul, 20: 439-444.

13. Jing L., (2005). Accuracy and reliability of map-matched GPS coordinates the dependence on terrain model resolution and interpolation algorithm. Computers&Geosciences 31: 241–251.

14. Lin, Z. and Oguchi, T., (2006). DEM Analysis on Longitudinal and Transverse Profile of Steep Mountainous Watersheds. Geomorphology 78: 125- 135.

15. Sandip M., 2013- Evaluation of vertical accuracy of open source Digital Elevation Model (DEM). International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 21(2): 205–217.

16. Sefercik.U.G. (2012). Performance Estimation of Aster Global DEM Depending upon the Terrain Inclination, J Indian Society of Remote Sensing (December 2012) 40(4):565–576.

17. Stage, F., Bonnet, M., Timouk, F., Garnier, J., 2015, Accuracy assessment of SRTM v4 and ASTER GDEM v2 over the Altiplano watershed using ICESat/GLAS data, International Journal of Remote Sensing 36(2): 541-562.

18. Thompson, J., Bell, J. and Butler, C., (2001). Digital elevation model resolution: effects on terrain attribute calculation and quantitative soillandscape modeling. Geoderma 100: 67–89.

19. Zevenbergen, L. W. and Thorne, C. R., (1987). Quantitative Analysis of land surface topography. Earth surface processes and landforms, 12: 45 – 56.

20. Zhang, W.H. and Montgomery, D.R., (1994). Digital elevation model grid size, landscape representation & hydrologic simulations. Water Resources Research 30:1019-1028.