Archive of SID

ارزیابی مقایسه‌ای صحت ارتفاعی مدل‌های رقومی ارتفاعی ASTER و SRTM

رضا آقاطاهر [۱] مهدی صمدی [۲]
ایلیا لعلی نیت [۳] ایمان نجفی [٤]

تاریخ دریافت مقاله: ۹٤/۰۷/۲۵ تاریخ پذیرش مقاله: ۹٤/۱۲/۲۸

****

چکیده

مدل‌های رقومی ارتفاعی پژوهشگران را قادر می‌سازند تا تحقیقات جغرافیایی در مقیاس جهانی و منطقه‌ای از قبیل تغییرات جهانی، مخاطرات محیطی، پایش محیط و ... را انجام دهند. بنابراین مدل‌های رقومی ارتفاعی نقشی کلیدی در تحقیقات علمی ایفا می‌کنند. SRTM و ASTER GDEM دو مجموعه از داده‌های ارتفاعی هستند که بصورت پوشش جهانی(تقریباً ۸۰ درصد سطح کره زمین) در دسترس می‌باشند. بنابراین لازم است قبل از استفاده از آنها، صحت ارتفاعی هر کدام مورد ارزیابی قرار گرفته و داده مناسب با توجه به هدف تحقیق انتخاب گردد. مدل رقومی ارتفاعی حاصل از تصاویر ASTER دارای قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متری می‌باشد. بنابراین به نظر می‌رسد داده‌های ارتفاعی دقیق‌تری از SRTM که دارای قدرت تفکیک مکانی ۹۰ متر می‌باشد، ارائه دهد. مطالعات مختلفی جهت مقایسه صحت ارتفاعی هر کدام از این دو مدل رقومی ارتفاعی در کشورهای مختلف انجام گرفته است که نتایج آن بیانگر مزایا و محدودیت‌های هر کدام نسبت به دیگری می‌باشد. در این تحقیق صحت ارتفاعی این دو مدل در سه منطقه از ایران شامل آذربایجان شرقی، سیستان و بلوچستان و بوشهر که دارای ویژگی‌های توپوگرافی متفاوت می‌باشند، با استفاده از نقاط کنترل ارتفاعی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که RMSE بعنوان شاخص خطا برای مناطق مورد مطالعه در آذربایجان شرقی، سیستان و بلوچستان و بوشهر در مدل SRTM به ترتیب ٦/۱، ۷/٤ و ۲/۹ و در ASTER GDEM به ترتیب ۸/۷، ۸/۳ و ۷/۲ متر می‌باشد. بنابراین صحت ارتفاعی SRTM در هر سه منطقه از ASTER GDEM بالاتر می‌باشد. در این تحقیق رابطه بین خطای ارتفاعی و خصوصیات زمین از جمله شیب و جهت شیب نیز مورد بررسی قرار گرفته و نتایج آن ارائه گردیده است. یافته‌های نهایی تحقیق حاکی از صحت ارتفاعی بالای SRTM در مقایسه با ASTER GDEM در ایران می‌باشد. بنابراین جهت کاربردهای متعدد، SRTM گزینه مناسب تری می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: ASTER GDEM، SRTM، صحت ارتفاعی، ایران

****

۱- کارشناس ارشد سیستم اطلاعات مکانی، دانشگاه تهران Reza-aghataher@yahoo.com
۲- کارشناس ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه تهران(نویسنده مسئول) M.Samadi@ut.ac.ir
۳- دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات ilia_laali@yahoo.com
٤- کارشناس ارشد سنجش از دور، دانشگاه اصفهان i.najafi.ui@gmail.com

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

مدل رقومی ارتفاعی[1] برای بسیاری از اهداف، مهم بوده و در بسیاری از کاربردها و مطالعات جزء الزامات اولیه می‌باشند *(Vadon,2003)* .

DEM در بسیاری از شاخه‌های علوم همچون ژئومورفولوژی *(Hengl&Evans,2009)*،باستان‌شناسی *(Menze&Sherratt,2006)*،هیدرولوژی *(Czubski&etal,2013)*، تجزیه‌وتحلیل سطوح یخچالی *(Bishop&etal,2001)* و ... کاربرد اساسی دارد.

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 شده اند، 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 می‌کنند *(Czubski&et al,2013)* . استفاده از تصاویر ماهواره‌ای برای استخراج DEM مزیت فوق‌العاده‌ای نسبت به روش‌های سنتی دارد، چرا که می‌توان مدل‌های رقومی ارتفاعی را از مناطق وسیع و غیر قابل دسترس در مدت زمان کوتاه و با هزینه بسیار پایین تر تولید نمود. مشکل اصلی در مورد استفاده از تصاویر ماهواره‌ای برای این منظور این است که تصویربرداری در محدوده طیف نوری[2] باید در هوای بدون ابر و شرایط روشنایی مناسب باشد تا بتوان مدل رقومی ارتفاعی با کیفیت مناسب تهیه نمود. اخیراً استفاده از رادار نیز جهت استخراج داده‌های ارتفاعی رایج شده است.

رادار نسبت به تکنیک‌های نوری دو مزیت عمده دارد *(Massonnet&Feigl,1998)*. اول اینکه رادار بعنوان یک سیستم فعال، امواج الکترومغناطیسی را ارسال و دریافت می‌کند. بدین معنی که جهت دریافت تصاویر به نور طبیعی بی‌نیاز بوده، بنابراین تصاویر در هنگام شب نیز می‌تواند برداشت شود و دوم اینکه از آنجا که جذب اتمسفری در محدوده طول موج راداری بسیار پایین می‌باشد، بنابراین مشاهدات تحت تأثیر پوشش ابر نمی‌باشد.

نمونه‌هایی از داده‌های ارتفاعی که بصورت گسترده کاربرد دارند، می‌توان به SRTM[3] و GDEM[4] مربوط به سنجنده ASTER[5] اشاره کرد. SRTM که مدل رقومی ارتفاعی تقریباً از کل سطح زمین تولید می‌کند، از روش راداری تبعیت می‌کند. از آنجا که داده‌های SRTM و داده‌های ارتفاعی ASTER بصورت گسترده در دسترس هستند، مطالعات متعددی آنها را در زمینه‌های گوناگون از جمله توپوگرافی *(Falorni&et al,2005)*،ژئومورفولوژی *(Guth,2003)*، مطالعات پوشش گیاهی *(Kellndorfer&et al,2004)*، مطالعات شهری *(Gamba&et al,2002)* و ... مورد استفاده قرار داده‌اند. با توجه به اهمیت این داده‌ها، ارزیابی صحت ارتفاعی این داده‌ها بسیار مهم می‌باشد. در این زمینه مطالعات متعددی این محصولات را در مقیاس‌های محلی و جهانی مورد ارزیابی قرار داده‌اند. این ارزیابی‌ها با استفاده از داده‌های متعددی از جمله داده‌های حاصل از GPS و یا سایر داده‌های ارتفاعی (مثل مدل رقومی ارتفاعی استخراج شده از نقشه‌های توپوگرافی و ...) صورت گرفته است. نتایج مطالعات عمدتاً نشان می‌دهد که صحت ارتفاعی این داده‌ها بستگی به عوارض و پوشش زمین دارد که در نواحی کوهستانی شدید با پیچیدگی‌های بالای زمین، صحت ارتفاعی کاهش پیدا می‌کند *(Gorokhovich&Voustianiouk,pp.409-415,2006)* . *(Jacobsen&Passini,2010)*

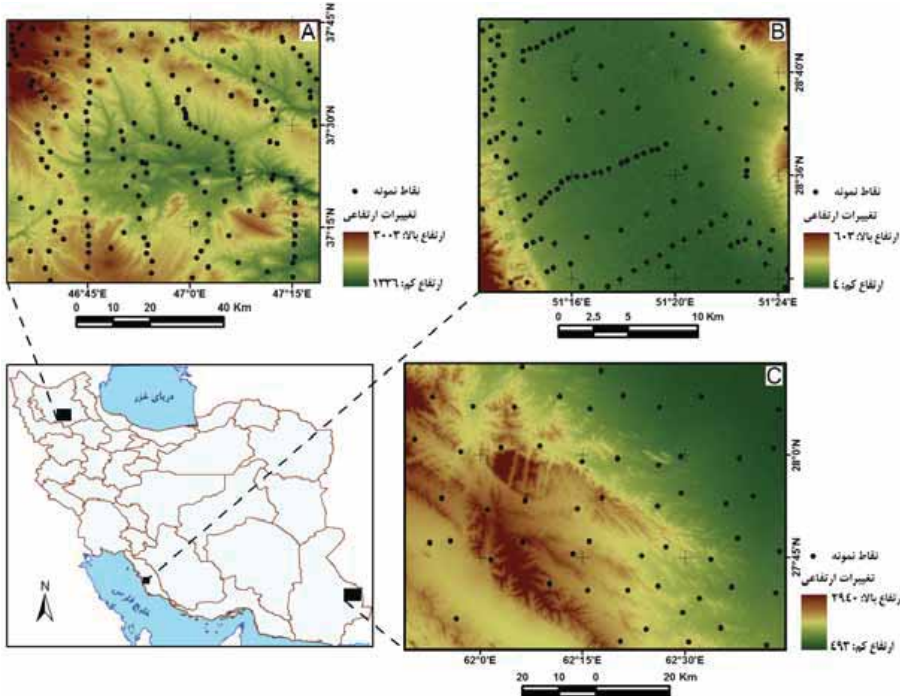
از جمله مطالعات انجام گرفته در این زمینه می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

جارویس و همکاران(۲۰۰۴)، اختلافات موجود بین داده‌های ارتفاعی SRTM و داده‌های ارتفاعی استخراج شده از منحنی میزان نقشه‌های ۱:۵۰۰۰۰ در کشور هندوراس را ارزیابی نمودند. آنها برای این منظور از ۵۹ نقطه ارتفاعی بدست آمده از GPS استفاده کردند. تجزیه و تحلیل آنها

1- Digital Elevation Model(DEM)
2- Optical spectral range
3- Shuttle Radar Topography Mission
4- Global Digital Elevation Model
5- Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer

www.SID.ir

Archive of SID



نگاره ۱: موقعیت مناطق مورد مطالعه. A منطقه مورد مطالعه در استان آذربایجان شرقی، B منطقه مورد مطالعه در استان بوشهر و C منطقه مورد مطالعه در استان سیستان و بلوچستان

نشان داد که میانگین خطای SRTM در حدود ۸ متر می‌باشد، در حالی که مدل رقومی ارتفاعی بدست آمده از نقشه‌های ۱:۵۰۰۰۰ خطایی در حدود ۲۰ متر دارد. بنابراین نتیجه گرفتند که SRTM بسیار دقیق تر از DEM استخراج شده از نقشه‌های توپوگرافی در کشور هندوراس می‌باشد *(Jarvis & et al,2004)* .

رودریگز و همکاران (۲۰۰٤) داده‌های SRTM را در مقیاس جهانی با بکارگیری نقاط کنترل بدست آمده از طریق GPS و سایر مدل‌های ارتفاعی موجود، مورد ارزیابی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که SRTM خطای ارتفاعی در حدود ۱٦ متر دارد. *(Rodriquez &et al, 2006)*

زیاپینگ و همکاران(۲۰۱۲)، صحت ارتفاعی داده‌های SRTM و ASTER را با استفاده از نقاط کنترل در دو منطقه از چین با روش تجزیه و تحلیل آماری در محیط GIS بررسی کردند. نتایج نشان داد که صحت ارتفاعی داده‌های SRTM در این دو منطقه ۲,۳۸ و ٤,٤۳ و صحت ارتفاعی داده‌های ASTER ٤,۸۳ و ٦,۹۸ متر می‌باشد *(Xiaoping &et al, 2012)* .

با توجه به کاربردهای متعدد داده‌های ارتفاعی و نیاز به استفاده از آنها، لازم است که صحت ارتفاعی آنها بررسی و ارزیابی گردد و از آنجا که چنین تحقیقی در ایران انجام نگرفته است، لذا در این تحقیق هدف اصلی ارزیابی صحت ارتفاعی داده‌های SRTM و ASTER GDEM در سه منطقه از ایران (که دارای شرایط توپوگرافی متفاوت از هم می‌باشند) با استفاده از نقاط کنترل ارتفاعی حاصل از روش ترازیابی می‌باشد تا بتوان مدل رقومی ارتفاعی مناسب را با توجه به شرایط توپوگرافی و ویژگی‌های منطقه مورد نظر انتخاب نمود.

www.SID.ir

Archive of SID

۲- مواد و روش تحقیق

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق جهت ارزیابی صحت ارتفاعی داده‌های SRTM و ASTER GDEM سه منطقه از ایران با ویژگی‌های توپوگرافی متفاوت می‌باشد. نگاره ۱ موقعیت این سه منطقه را نشان می‌دهد که با توجه به آن، نگاره 1-A مربوط به استان آذربایجان شرقی می‌باشد که با مساحت ٤٨٢٠ کیلومتر مربع در زون ۳۸ شمالی سیستم تصویر UTM1 قرار دارد. منطقه‌ای کوهستانی که دربرگیرنده قسمتی از دامنه‌های کوه سهند نیز می‌باشد. تغییرات ارتفاعی این منطقه با استفاده از داده‌های SRTM بین ۱۳۳٦ تا ۳۰۰۳ متر و با توجه به داده‌های ASTER GDEM بین ۱۳۳٦ تا ۳۰٤۰ متر می‌باشد. متوسط ارتفاع این منطقه نیز در حدود ۱۸٦۰ متر می‌باشد. نگاره 1-B منطقه‌ای مسطح که با مساحت ۳۸۳ کیلومتر مربع در استان بوشهر و اطراف شهر خورموج واقع شده است. این منطقه در زون ۳۹ شمالی سیستم تصویر UTM قرار دارد. تغییرات ارتفاعی آن با توجه به داده‌های ارتفاعی SRTM بین ٤ تا ٦۰۳ و با توجه به داده‌های ASTER GDEM بین ۷ تا ٦۱۹ متر می‌باشد. متوسط ارتفاع این منطقه نیز ۵۱ متر می‌باشد. نگاره 1-C نیز محدوده‌ای به مساحت ۷۱٤۲ کیلومترمربع در استان سیستان و بلوچستان و شمال شهر سراوان واقع شده است. این منطقه در زون ٤۱ شمالی سیستم تصویر UTM قرار گرفته است. منطقه که قسمتی از آن مناطق کوهستانی شدید و قسمتی دیگر اراضی کاملاً مسطح می‌باشد. تغییرات ارتفاعی این منطقه با توجه به داده‌های SRTM بین ٤۹۳ تا ۲۹٤۰ و با توجه به داده‌های ASTER GDEM بین ٤۷۳ تا ۲۹۱۸ متر می‌باشد. متوسط ارتفاع این منطقه نیز ۱۱۹٦ متر می‌باشد.

۲-۲- داده‌های ارتفاعی مورد استفاده

SRTM محصول مشترک ناسا[2]، مؤسسه NGA [3] و با مشارکت مؤسسه فضانوردی آلمان و ایتالیا، جهت تولید داده‌های سه بعدی با پوشش تقریباً کامل از سطح زمین می‌باشد ***(Zielinski& Chmiel,2007)*** . این محصول اولین مأموریت بکارگیری رادار فضابرد جهت تولید مدل رقومی ارتفاعی می‌باشد. این مأموریت تحول مهمی در حوزه سنجش از دور توپوگرافی به شمار می‌رود. داده‌های SRTM در طول یک مأموریت ۱۱ روزه در فوریه سال ۲۰۰۰ میلادی برداشت شده است. این داده‌ها با دو نوع قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متری و ۹۰ متری ارائه شده اند. داده‌های ارتفاعی ۹۰ متری با پوشش سراسری از زمین(حدود ۸۰ درصد سطح زمین) و داده‌های ۳۰ متری تنها برای کشور ایالات متحده امریکا در دسترس می‌باشند. این محصولات بصورت رایگان در اینترنت قابل دانلود می‌باشند. ***(Gorokhovich&Voustianiouk,2006)*** SRTM توانسته است با کامل‌ترین و بالاترین وضوح، مدل رقومی ارتفاعی از سطح زمین تولید نماید. ***(Farr & etal, 2007)*** ارزیابی‌های گسترده جهانی نشان می‌دهد که صحت مطلق ارتفاعی این داده‌ها با ضریب اطمینان ۹۰ درصد، ۱٦ متر می‌باشد ***(Rodriques & et al,2006)*** .

نسخه ۳ این محصولات که توسط مرکز CIAT [4] جهت تولید سطوح توپوگرافی پیوسته مورد پردازش قرار گرفته و مناطق فاقد داده با استفاده از روش‌های درونیابی تکمیل شده‌اند ***(Jarvis& et al,2006)***، در این تحقیق از سایت http:// srtm.csi.cgiar.org دانلود شده و مورد استفاده قرار گرفته است. این داده‌ها با فرمت Geotiff در سیستم مختصات جغرافیایی ذخیره شده اند که دارای سطح مبنای مسطحاتی WGS 1984 و سطح مبنای ارتفاعی EGM 96 می‌باشند.

سنجنده ASTER نیز توسط وزارت اقتصاد، صنعت و بازرگانی کشور ژاپن با مشارکت سازمان ملی هوانوردی و فضایی آمریکا (ناسا)، به منظور توسعه مدل رقومی توپوگرافی جدیدی از سطح زمین با استفاده از داده‌های چند طیفی این سنجنده، طراحی شده و در سال ۱۹۹۹ بر روی ماهواره ترا (TERRA) قرار گرفته است ***(Slater&et al,2009)***. اولین نسخه

1- Universal Transverse Mercator

2- National Aeronautics and Space Administration(NASA)

3- National Geospatial-Intelligence Agency

4- Centro Internacional de Agricultura Tropical(International Centre for Tropical Agriculture)

www.SID.ir

Archive of SID

از داده‌های ارتفاعی ASTER در سال ۲۰۰۹ در دسترس عموم قرار گرفت. این داده‌های ارتفاعی از عرض جغرافیای ۸۳ درجه جنوبی تا عرض جغرافیایی ۸۳ درجه شمالی را پوشش داده و بصورت شیت‌های یک درجه در یک درجه با فرمت GeoTiff و با وضوح ۱ ثانیه (حدود ۳۰ متر) در دسترس می‌باشند *(Czubski&et al,2013)* . این داده‌ها که در سیستم مختصات جغرافیایی ذخیره شده اند، دارای سطح مبنای مسطحاتی WGS-1984 و سطح مبنای ارتفاعی EGM 96 می‌باشند *(Slater&et al,2009)* . در حال حاضر نسخه ۲ این محصولات نیز موجود می‌باشد که این نسخه نسبت به نسخه قبلی بدلیل مدل‌های پردازش داده بهتر و سایر داده هایی که در پردازش مورد استفاده قرار گرفته اند، بهبود یافته است *(Czubski&et al,2013)*. صحت مدل رقومی ارتفاعی نسخه ۲ حاصل از ASTER در سطح اطمینان ۹۵ درصد، ۲۰ متر در حالت ارتفاعی و ۳۰ متر در حالت افقی گزارش شده است *(Slater&et al,2009)*. داده‌های ارتفاعی مربوط به ASTER که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته اند، مربوط به نسخه ۲ بوده که از سایت http://reverb.echo.nasa.gov/ reverb اخذ شده است.

نقاط کنترل مورد استفاده در این تحقیق جهت ارزیابی صحت ارتفاعی مدل‌های رقومی ارتفاعی SRTM و ASTER GDEM، نقاط کنترل زمینی سازمان جغرافیایی می‌باشد که ارتفاع آنها با استفاده از نقاط ترازیابی درجه یک کشور محاسبه شده است.

۲-۳- ارزیابی صحت ارتفاعی

به منظور ارزیابی صحت ارتفاعی داده‌های SRTM و ASTER GDEM لازم است که مقادیر ارتفاعی هرکدام از پیکسل‌های این لایه‌ها که نقاط کنترل بر روی آنها واقع شده اند، با مقادیر ارتفاعی نقاط کنترل ترکیب شوند. ترکیب داده‌های ارتفاعی مبتنی بر SRTM و ASTER با داده‌های مربوط به نقاط کنترل، نیازمند همپوشانی دو نوع داده توپوگرافی متفاوت می‌باشد. چرا که داده‌های ارتفاعی SRTM و ASTER ماهیت رستری دارند، در حالی که نقاط کنترل، ماهیت وکتوری دارند. برای همین منظور معمولاً محققان داده‌های مبتنی بر رستر را به وکتور(ماهیت پلیگونی) تبدیل کرده و سپس با استفاده از روش اتصال مکانی[1] مقادیر پلیگون‌ها را به نقاط کنترل منتقل کرده و تحلیل‌های آماری را انجام می‌دهند *(Gorokhovich& Voustianiouk, pp.409-415,2006)* . در تحقیق حاضر برای انجام این فرایند با توجه به قابلیت‌های موجود در نرم افزار ArcGIS از توابع آماری منطقه‌ای[2] استفاده شده است. این تابع مقادیر پیکسل‌هایی را که هرکدام از نقاط کنترل بر روی آنها واقع شده اند، را شناسایی کرده و در یک جدول جداگانه‌ای ذخیره می‌کند. سپس اطلاعات موجود در این جدول با استفاده از روش اتصال[3] به جدول مربوط به نقاط کنترل اضافه می‌شود و در نهایت تحلیل‌های آماری بر روی این جدول انجام می‌پذیرد. در واقع هدف از تحلیل‌های آماری در این تحقیق، برآورد صحت ارتفاعی داده‌های SRTM و ASTER GDEM و نیز تأثیر شیب و جهات مختلف شیب بر روی صحت این داده‌ها می‌باشد.

به منظور آنالیز صحت ارتفاعی بین دو مجموعه داده ارتفاعی، رایج‌ترین راه برآورد محاسبات آماری مربوط به صحت، همچون RMSE [4]، انحراف استاندارد و میانگین می‌باشد که پرکاربردترین آنها RMSE می‌باشد. این پارامتر نحوه توزیع خطای بین ارتفاع مربوط به نقاط کنترل و ارتفاع مربوط به DEM را اندازه‌گیری می‌نماید *(Ebaid,2014)* . که بصورت زیر بیان می‌گردد:

رابطه ۱

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - h_i)^2}{n}}$$

در رابطه ۱، x_i نشان دهنده مقدار ارتفاع اندازه‌گیری شده برای نقطه iام در DEM، h_i ارتفاع متناظر همان نقطه در نقاط کنترل و n تعداد نقاط کنترل می‌باشد. مقادیر بزرگ در این شاخص نشان دهنده اختلاف بیشتر بین نقاط مرجع و DEM می‌باشد. معمولاً مقادیر بزرگ خطا مرتبط با اراضی ناهموار

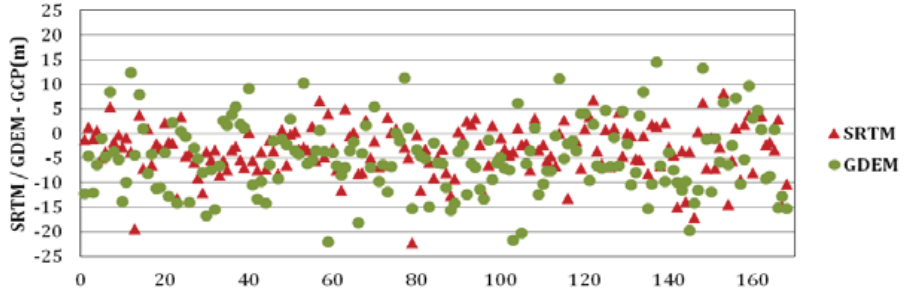
1- Spatial join
2- Zonal Statistics
3- Join
4- Root Mean Square Error

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱: تجزیه و تحلیل اختلاف داده‌های SRTM و GDEM با نقاط کنترل زمینی در مناطق مورد مطالعه

نمونه‌ها	نوع داده	Min	Max	Mean	STD	RMSE	Count
آذربایجان شرقی	GCP - SRTM	-8.2	22.2	3.3	5.1	6.1	168
	GCP - GDEM	-14.5	22.0	4.8	7.2	8.7	168
سیستان و بلوچستان	GCP - SRTM	-22.8	3.4	-5.5	5.0	7.4	56
	GCP - GDEM	-9.2	24.4	4.8	6.4	8.3	56
بوشهر	GCP - SRTM	-8.5	4.4	-1.4	2.4	2.9	119
	GPS - GDEM	-9.4	18.9	6.5	3.1	7.2	119



نگاره ۲: اختلاف داده‌های ارتفاعی SRTM و ASTER GDEM با نقاط کنترل در آذربایجان شرقی

می‌باشد، درحالی که مقادیر کوچک خطا مربوط به اراضی هموارتر می‌باشد که نشان دهنده این است که پارامترهایی چون شیب و جهت شیب می‌توانند بر روی صحت مدل رقومی ارتفاعی تأثیرگذار باشند. *(Gorokhovich& Voustianiouk, pp.409-415,2006)* جهت تهیه شیب و جهت شیب با استفاده از داده‌های SRTM و ASTER GDEM در این پژوهش از توابع موجود در نرم افزار ArcGIS استفاده شده است.

۳- نتایج و بحث

از آنجا که هدف این تحقیق ارزیابی صحت ارتفاعی مدل‌های رقومی ارتفاعی مربوط به SRTM و ASTER GDEM در ایران می‌باشد، برای این منظور سه منطقه از کشور با ویژگی‌های توپوگرافی متفاوت انتخاب شد که با توجه به نگاره شماره ۱ عبارتند از: آذربایجان شرقی، سیستان و بلوچستان و بوشهر. جدول شماره ۱ تجزیه و تحلیل اختلاف داده‌های SRTM و ASTER GDEM را با نقاط کنترل زمینی (GCP)[1] در مناطق مورد مطالعه نشان می‌دهد. با توجه به این جدول شاخص RMSE بعنوان نشان دهنده مقدار خطای ارتفاعی برای سه منطقه محاسبه شده است.

در منطقه مورد مطالعه در آذربایجان شرقی با توجه به ماهیت کوهستانی بودن منطقه و با احتساب ۱۶۸ نقطه کنترل زمینی، خطای ارتفاعی معادل ۶/۱ متر برای SRTM برآورد شده است. در همین منطقه مقدار خطا برای ASTER GDEM، ۸/۷ متر برآورد شده است. نگاره شماره ۲ نشان دهنده اختلاف مدل‌های رقومی ارتفاعی مورد بررسی با نقاط کنترل در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. با توجه به این نگاره توزیع خطا برای هر دو مدل ارتفاعی عمدتاً منفی می‌باشد. بررسی‌های آماری نشان می‌دهد که در مدل SRTM حدود ۷۳ درصد نقاط مورد بررسی زیر صفر واقع شده‌اند، در حالی که در مدل ASTER GDEM در حدود ۷۷ درصد نقاط زیر صفر واقع می‌شوند. یعنی در هر دو مدل رقومی ارتفاعی، تخمین ارتفاع از واقعیت کمتر بوده که میانگین آن برای SRTM، ۳/۳- متر و برای

1- Ground Control Point

www.SID.ir

Archive of SID

ASTER GDEM، ٤/٨- متر می‌باشد.

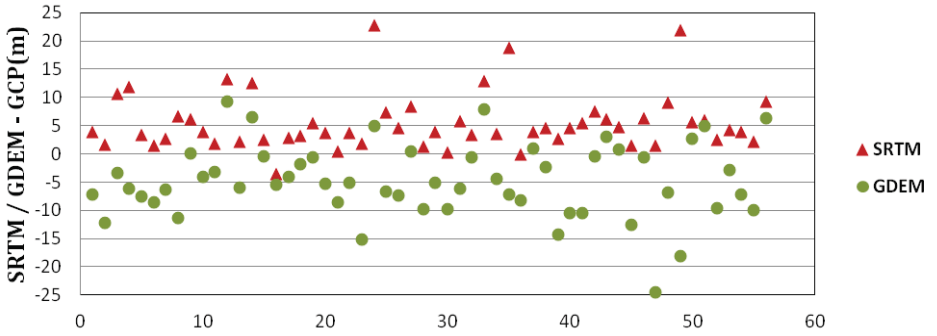
در منطقه مورد مطالعه در سیستان و بلوچستان نیز با توجه به اینکه قسمت اعظم آن منطقه کوهستانی می‌باشد، با احتساب ٥٦ نقطه کنترل، خطای ارتفاعی SRTM، ٧/٤ و خطای ارتفاعی ASTER GDEM، ٨/٣ متر برآورد شده است. با توجه به نگاره شماره ٣ که نشان دهنده اختلاف مدل‌های رقومی ارتفاعی مورد بررسی با نقاط کنترل در منطقه مورد مطالعه در سیستان و بلوچستان می‌باشد، توزیع خطا برای مدل SRTM عمدتاً مثبت می‌باشد. یعنی با توجه به محاسبات آماری ٩٦ درصد نقاط مورد بررسی بالای صفر واقع شده‌اند که نشان دهنده این است که در ٩٦ درصد نقاط تخمین ارتفاع بالاتر از واقعیت می‌باشد. بطور کلی تخمین در این مدل ٥/٥ متر بالاتر از واقعیت می‌باشد. در حالی که در مدل ASTER GDEM این حالت تقریباً معکوس شده و توزیع خطا عمدتاً منفی می‌باشد. با توجه به محاسبات آماری بیش از ٧٨ درصد نقاط مورد بررسی زیر صفر واقع

جدول ۲: تجزیه و تحلیل اختلاف داده‌های SRTM و GDEM با نقاط کنترل زمینی در شیب‌های مختلف

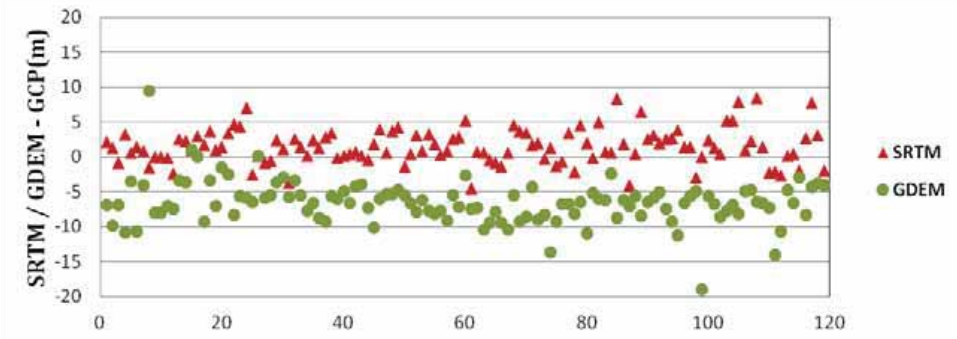
	Slope(deg)		0-5	5-10	10-15	<15
آذربایجان شرقی	GCP - SRTM	STD	3.7	5.5	7.2	7.2
		Mean	2.6	3.8	3.2	8
		Minimum	-6.7	-6.2	-8.2	-1.1
		Maximum	17.1	22.2	14.8	19.4
		Count	83	65	14	6
	GCP - GDEM	STD	6.3	7.9	8.0	7.8
		Mean	4.7	5.3	3.5	5.3
		Minimum	-12.3	-14.5	-9.7	-6.1
		Maximum	21.7	22	15.4	15.6
		Count	83	65	14	6
سیستان و بلوچستان	GCP - SRTM	STD	2.8	7.2	-	-
		Mean	-4.1	-10.8	-7.2	-22.8
		Minimum	-12.4	-21.9	-7.2	-22.8
		Maximum	3.4	0.1	-7.2	-22.8
		Count	46	8	1	1
	GCP - GDEM	STD	5.8	8.9	-	-
		Mean	4.8	5.7	6.7	-4.8
		Minimum	-6.4	-9.2	6.7	-4.8
		Maximum	24.4	18.0	6.7	-4.8
		Count	46	8	1	1
بوشهر	GCP - SRTM	STD	2.4	1.2	-	-
		Mean	-1.4	-3.9	-	-
		Minimum	-8.5	-5.1	-	-
		Maximum	4.4	-2.7	-	-
		Count	117	2	-	-
	GCP - GDEM	STD	5.8	1.2	-	-
		Mean	6.5	8.0	-	-
		Minimum	-9.4	6.8	-	-
		Maximum	18.9	9.2	-	-
		Count	117	2	-	-

www.SID.ir

Archive of SID



نگاره ۳: اختلاف داده‌های ارتفاعی SRTM و ASTER GDEM با نقاط کنترل در سیستان و بلوچستان



نگاره ٤: اختلاف داده‌های ارتفاعی SRTM و ASTER GDEM با نقاط کنترل در بوشهر

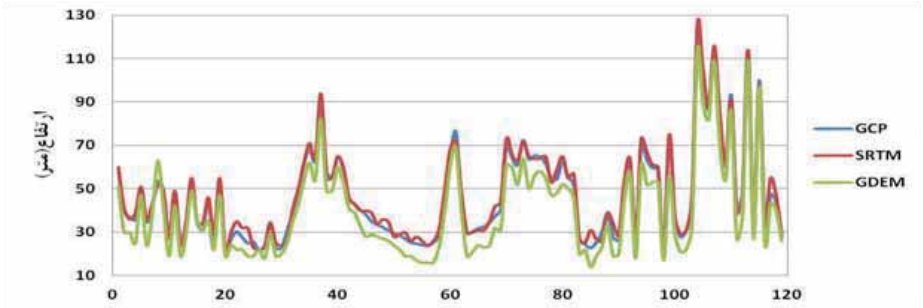
شده اند که نشان دهنده این است که تخمین ارتفاع در این مدل کمتر از واقعیت می‌باشد. میانگین تخمین در این مدل ٤/٨- متر می‌باشد.

از آنجا که منطقه مورد مطالعه در بوشهر، منطقه‌ای مسطح می‌باشد، با احتساب ۱۱۹ نقطه کنترل، خطای SRTM معادل ۲/۹ متر و خطای ارتفاعی ASTER GDEM معادل ۷/۲ متر برآورد شده است. با توجه به نگاره شماره ٤ توزیع خطا برای SRTM در این منطقه عمدتاً مثبت می‌باشد. محاسبات آماری نشان دهنده این است که بیش از ٧٦ درصد نقاط مورد بررسی در محدوده بالای صفر واقع شده اند. بنابراین تخمین ارتفاع در مدل SRTM در این منطقه به دلیل مسطح بودن منطقه، کمی بالاتر از واقعیت بوده که میانگین آن ١/٤ متر می‌باشد. از طرف دیگر در مدل ASTER GDEM این حالت برعکس شده و توزیع خطا منفی می‌باشد. با توجه به محاسبات آماری بیش از ۹۷ درصد نقاط مورد بررسی زیر صفر واقع شده‌اند. در نتیجه تخمین ارتفاع کمتر از واقعیت می‌باشد که میانگین آن ٦/٥- متر می‌باشد. نگاره ٥ نیز مؤید این مطلب بوده و نشان دهنده اختلاف ارتفاعی نقاط کنترل، SRTM و ASTER GDEM در منطقه مورد مطالعه در بوشهر می‌باشد.

بطور کلی مقدار خطای محاسبه شده در هر سه منطقه مورد مطالعه در این تحقیق، از مقدار جهانی برآورد شده برای SRTM که ١٦ متر می‌باشد ***(Rodriquez& et al, 2006)*** و برای ASTER GDEM که ۲۰ متر می‌باشد ***(Slater&et al,2009)***، کمتر است.

www.SID.ir

Archive of SID



نگاره ۵: مقایسه اختلاف ارتفاعی SRTM،ASTER GDEM و نقاط کنترل در بوشهر

جدول ۳: تجزیه و تحلیل خطای(RMSE) داده‌های SRTM و GDEM در مقایسه با نقاط کنترل زمینی در جهات مختلف شیب

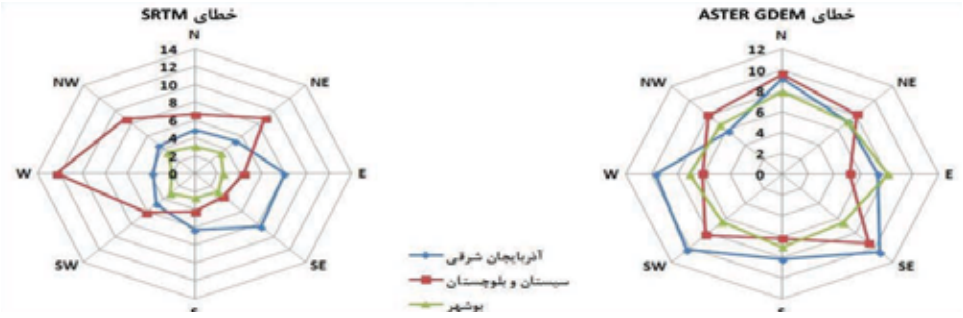
نوع داده	نمونه ها	پارامتر آماری	جهات جغرافیایی							
			N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
SRTM - GCP	آذربایجان شرقی	RMSE	4.9	5.2	8.0	8.4	6.3	4.8	3.7	4.5
		Mean	-3.1	-3.5	-6.2	-7.1	-2.8	-1.9	-1.1	0.6
	سیستان و بلوچستان	RMSE	6.7	8.9	4.4	3.6	4.2	6.1	12.3	8.7
		Mean	5.7	5.7	4.2	3.4	4.2	4.0	9.3	6.9
	بوشهر	RMSE	3.1	3.3	2.5	2.9	2.7	3.1	2.0	3.4
		Mean	1.9	2.2	1.2	1.4	0.9	1.1	0.3	2.5
GDEM - GCP	آذربایجان شرقی	RMSE	9.2	7.1	7.3	10.6	8.2	10.3	9.7	5.8
		Mean	-4.4	-1.9	-4.2	-7.7	-4.3	-6.7	-7.6	-2.3
	سیستان و بلوچستان	RMSE	9.6	8.1	5.2	9.4	6.2	8.3	6.1	8.0
		Mean	-6.4	-4.2	-2.1	-8.0	-3.8	-3.6	-2.4	-6.0
	بوشهر	RMSE	7.9	7.1	8.1	6.6	7.0	6.5	7.1	6.7
		Mean	-7.6	-6.9	-7.1	-4.2	-6.9	-6.2	-6.4	-6.5

در تحقیق حاضر علاوه بر محاسبه صحت مطلق ارتفاعی داده‌های SRTM و ASTER GDEM در سه منطقه، اثر شیب و جهات مختلف جغرافیایی نیز بر روی صحت ارتفاعی مدل‌های رقومی ارتفاعی مورد بررسی قرار گرفته است. جدول ۲ تجزیه و تحلیل اختلاف داده‌های SRTM و GDEM با نقاط کنترل زمینی در شیب‌های مختلف برای مناطق سه گانه را نشان می‌دهد. همانطور که از این جدول برمی‌آید در مدل SRTM مربوط به آذربایجان شرقی شاخص انحراف استاندارد بعنوان یکی از شاخص‌های بیان کننده خطا، با افزایش شیب روندی صعودی داشته و بیشترین مقدار آن در شیب‌های بالاتر از ۱۰ درجه دیده می‌شود. این حالت تقریباً برای مدل GDEM نیز مشاهده می‌شود و بالاترین انحراف در شیب‌های ۱۰-۱۵ درجه دیده می‌شود. در منطقه سیستان و بلوچستان نیز دقیقاً همین روند تکرار شده و با افزایش شیب برای هر دو مدل رقومی ارتفاعی، مقدار انحراف استاندارد افزایش یافته است. در منطقه بوشهر این روند معکوس شده که دلیل آن پایین بودن تعداد نقاط کنترل واقع شده در شیب ۵-۱۰ درجه می‌باشد.

بررسی و تجزیه و تحلیل خطای داده‌های SRTM و ASTER GDEM در جهات مختلف جغرافیایی، همانطور که در جدول ۳ و نگاره ٦ ملاحظه می‌شود، در آذربایجان شرقی بالاترین خطا در مدل SRTM در جهات جغرافیایی

www.SID.ir

Archive of SID



نگاره ٦: توزیع مقدار خطای ارتفاعی(RMSE) داده‌های SRTM و ASTER GDEM در جهات مختلف جغرافیایی

جنوب شرق و شرق می‌باشد. همچنین بررسی‌های آماری نشان می‌دهد که در این مدل در تمام جهات جغرافیایی تخمین ارتفاع از واقعیت کمتر بوده بجز جهت شمال غربی که در این جهت جغرافیایی تخمین مقداری بیشتر از واقعیت می‌باشد. در مدل ASTER GDEM نیز بیشترین مقدار خطا در جهات جغرافیایی جنوب شرق، جنوب غرب و غرب می‌باشد و در تمام جهات جغرافیایی مقدار تخمین ارتفاع کمتر از واقعیت می‌باشد. در منطقه سیستان و بلوچستان نیز در مدل SRTM بیشترین خطا در جهت غربی می‌باشد و در تمام جهات جغرافیایی تخمین ارتفاع بالاتر از واقعیت می‌باشد. در مدل ASTER GDEM بیشترین خطا در جهت جنوب شرق و شمال جغرافیایی مشاهده می‌شود. تخمین ارتفاع نیز در تمام جهات پایین تر از واقعیت می‌باشد. در منطقه بوشهر نیز با توجه به هموار بودن منطقه، توزیع خطا در هر دو مدل ارتفاعی مورد بررسی، در جهات مختلف جغرافیایی تقریباً یکنواخت بوده و تفاوت فاحشی بین مقادیر مشاهده نمی‌شود. تخمین ارتفاع نیز در SRTM برای تمام جهات جغرافیایی مثبت و در ASTER GDEM منفی می‌باشد.

٤- نتیجه‌گیری

در این تحقیق صحت ارتفاعی مدل‌های رقومی ارتفاعی مربوط به SRTM و ASTER GDEM با استفاده از نقاط کنترل زمینی مورد ارزیابی قرار گرفت. برای این منظور سه منطقه با ویژگی‌های توپوگرافی متفاوت در ایران بررسی شد. نتایج نشان می‌دهد که خطای ارتفاعی مدل SRTM در مناطق کوهستانی نسبت به مناطق مسطح، تفاوت قابل ملاحظه‌ای دارد، در حالی که در مدل ASTER GDEM این تفاوت ناچیز می‌باشد. RMSE بعنوان 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 ASTER GDEM به ترتیب ٨/٧، ٨/٣ و ٧/٢ متر می‌باشد. بنابراین صحت ارتفاعی SRTM در هر سه منطقه از ASTER GDEM بالاتر می‌باشد. همین طور نتایج نشان می‌دهد که در ASTER GDEM در هر سه منطقه تخمین ارتفاع از واقعیت کمتر می‌باشد، در حالی که در SRTM برای یک منطقه کمتر و برای دو منطقه بیشتر از واقعیت می‌باشد. از طرف دیگر بررسی شیب نشان می‌دهد که بیشترین خطا در شیب‌های بالاتر اتفاق می‌افتد. در مورد اثر جهات جغرافیایی بر روی خطا، می‌توان گفت که بیشترین خطا در SRTM برای آذربایجان شرقی در جهت جنوب شرقی و برای ASTER GDEM در جهات جنوب شرق، جنوب غرب و غرب می‌باشد، در حالی که بالاترین خطای SRTM برای سیستان و بلوچستان در جهت غربی و در ASTER GDEM در جهت جنوب شرقی و شمال می‌باشد. در بوشهر نیز تفاوت قابل ملاحظه‌ای بین جهات مختلف جغرافیایی در هر دو مدل مشاهده نمی‌شود. یافته‌های نهایی این تحقیق نشان می‌دهد که SRTM در مقایسه با ASTER GDEM از لحاظ صحت ارتفاعی، جهت کاربردهای متعدد مناسب‌تر می‌باشد.

www.SID.ir

Archive of SID

تقدیر و تشکر

نویسندگان این تحقیق مراتب سپاس عمیق خود را از سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح به موجب در اختیار قرار دادن نقاط کنترل ارتفاعی، اعلام می‌دارند.

منابع و مآخذ

1- Bishop, M.P., Bonk, R., Kamp, U., Shroder, J.F., 2001, Topographic analysis and modeling for alpine glacier mapping. Polar Geography, 25, pp. 182-201.

2- Czubski, K., Kozak, J., Kolecka, N., 2013, Accuracy of SRTM-X and ASTER Elevation Data and its Influence on Topographical and Hydrological Modeling: Case Study of the Pieniny Mts. in Poland. International Journal of Geoinformatics, Vol 9, No. 2.

3- Ebaid, H., 2014, Accuracy Enhancement of SRTM and ASTER Dems Using Weight Estimation Regression Model. International Journal of Research in Engineering and Technology, Volume: 03 Issue: 08.

4- Falorni, G., Teles, V., Vivoni, E. R., Bras, R. L., Amaratunga, K., 2005, Analysis and characterization of the vertical accuracy of digital elevation models from the shuttle radar topography mission. Journal of Geophysical Research, 110, F02005.

5- Farr, T. G. et al., 2007, The Shuttle Radar Topography Mission. Reviews of Geophysics, 45, Issue 2.

6- Gamba, P., DellAcqua, F., Houshmand, B., 2002, SRTM data characterization in urban areas. International Society for Photogrammetry and Remote Sensing Commission III, Graz, Austria.

7- Gorokhovich, Y., Voustianiouk, A.,2006, Accuracy assessment of the processed SRTM-based elevation data by CGIAR using field data from USA and Thailand and its relation to the terrain characteristics. Remote Sensing of Environment 104 , 409–415.

8- Guth, P. (2003). Geomorphology of DEMs: Quality assessment and scale effects. Paper No. 175-2. Proceedings of GSA, Seattle Annual Meeting, November 2–5, 2003.

9- Hengl, T., Evans, I. S., 2009, Mathematical and Digital models of the Land Surface. In Geomorphometry: concepts, software, applications. Elsevier, pp. 31-63.

10- Jacobsen, K., Passini, R., 2010, Analysis of ASTER GDEM Elevation models. International Archive of Photogrammetry and Remote sensing, XXXVIII, part 1.

11- Jarvis, A., Rubiano, J., Nelson, A., Farrow, A., Mulligan, M., 2004, Practical use of SRTM data in the tropics – Comparisons with digital elevation models generated from cartographic data. Working Document No. 198, 32p (Cali, Columbia: CIAT).

12- Jarvis, A., Reuter, H. I., Nelson, A., Guevara, E., 2006, Hole-filled seamless SRTM data V3. International Centre for Tropical Agriculture (CIAT), available from http://srtm.csi.cgiar.org.

13- Kellndorfer, J., Walker,W., Pierce, L., Dobson, C., Fites, J. A., Hunsaker, C., et al., 2004, Vegetation height estimation from shuttle radar topography mission and national elevation datasets. Remote Sensing of Environment, 93, 339–358.

14- Massonnet, D., Feigl, K. L., 1998, Radar interferometry and its application to changes in the earth's surface. Reviews of Geophysics, 36, pp. 441–500.

15- Menze, B. H., Ur, J. A., Sherratt, A. G., 2006, Detection of Ancient Settlement Mounds: Archaeological Survey Based on the SRTM Terrain Model. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 72, pp. 321-327.

16- Rodriquez, E., Morris, C.S., Belz, J.E., Chapin, E.C., Martin, J.M., Daffer, W., Hensley, S., 2006, An Assessment of the SRTM Topographic Products. Jet Propulsion Laboratory.

17- Slater, J. A., Heady, B., Kroenung, G., Curtis, W., Haase, J., Hoegemann, D., Shockley, C., Kevin, T., 2009, Evaluation of the New ASTER Global Digital Elevation Model. National Geospatial-Intelligence Agency.

18- Vadon, H., 2003, 3D Navigation over Merged Panchromatic -Multispectral High Resolution SPOT5 Images. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVI, 5/W10.

19- Xiaoping, Du., Huadong, Guo., Xiangtao, Fan., Junjie, Zhu., Zhenzhen, Yan., Qin, Zhan., 2012, Vertical Accuracy Assessment of SRTM and ASTER GDEM Over Coastal Regions of China: A Comparative Analysis. The 33rd Asian Conference on Remote sensing, Pattaya, Thailand.

20- Zielinski, R., Chmiel, J., 2007, Vertical accuracy assessment of SRTM C-band DEM data for different terrain characteristics. New Developments and Challenges in Remote Sensing, Z. Bochenek (ed.), Millpress, Rotterdam, ISBN 978-90-5966-053-3.

www.SID.ir