

ارزیابی دقت مدل رقومی ارتفاع سنجنده پریسم / ماهواره‌های آلوس با مدل رقومی ارتفاعی Aster

هادی فدایی^۱

مهدی مدیری^۲

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۴/۰۳

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۶/۲۰

چکیده

یکی از اهداف مدل رقومی ارتفاع تولید نقشه‌های توپوگرافی است که نشان‌دهنده عوارض طبیعی اعم از رودخانه‌ها، دریاچه‌ها، کوه‌ها و عوارض مصنوعی مانند شهرها، جاده‌ها و پل‌ها بوده و در مطالعات زیرساختی و استراتژیک از اهمیت بالایی برخوردار است. استفاده از تصاویر ماهواره‌ای یکی از راه‌های استخراج مدل‌های رقومی ارتفاع می‌باشد. هدف از این مطالعه بررسی نحوه استخراج مدل رقومی ارتفاعی تولید شده از تصاویر سنجنده پریسم همراه با فایل کمکی چندجمله‌ای منطقی موسوم به RPC می‌باشد. به منظور نیل به اهداف مطالعاتی از تصاویر ماهواره‌ای با بهره‌گیری از روش اکتشافی با تکنیک سنجش از دور استفاده شده است. تصاویر استریو ماهواره استراخذ شده در تاریخ ۲۰۱۰/۰۵/۲۱ میلادی مورد استفاده قرار گرفته است، همچنین برای ارزیابی مدل رقومی ارتفاع از تصاویر استریو سنجنده پریسم که در تاریخ ۲۰۰۹/۰۸/۰۷ میلادی اخذ گردیده، استفاده شده است. نتایج نشان داد که RMSE به عنوان شاخص خطا برای مدل رقومی ارتفاع استخراج شده از ASTER، PRISM به ترتیب ۳/۶۶ و ۶/۸ متر می‌باشد. نتایج به دست آمده از انحراف معیار پیکسل‌های تصاویر استریو سنجنده پریسم در جهت طولی ۱/۹ متر و در جهت عرضی ۲/۳ متر و فاصله پیکسل‌های مدل رقومی ارتفاعی ۳ متر می‌باشد. که دقت مدل رقومی ASTER کمتر از اندازه پیکسل‌ها یعنی کمتر از ۱۵ متر می‌باشد، یعنی در جهت طولی ۶ متر و در جهت عرضی ۷ متر در پیکسل است که در مجموع ۱۳ متر می‌باشد. نتایج خطای انحراف معیار منطبق بر نتایج RMSE بود که تأیید کننده مدل رقومی ارتفاعی PRISM است. بنابراین دقت مدل رقومی استخراج شده از تصاویر سنجنده PRISM بالاتر از ASTER می‌باشد. پیشنهاد می‌شود در کل مرزهای کشور از مدل رقومی ارتفاعی با دقت بالا که با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی تولید شده از تصاویر استریو سنجنده پریسم از ماهواره آلوس که همراه با فایل‌های ضرایب منطقی چندجمله‌ای (RPC) برای تصحیح هندسی تصاویر می‌باشد، استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: نقشه توپوگرافی، مدل رقومی ارتفاع، ضراب چندجمله‌ای (RPC)، تصاویر استریو استر و پریسم

۱- استادیار گروه جغرافیا دانشگاه علوم انتظامی امین (نویسنده مسئول) fadaei.hd@gmail.com

۲- استاد دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران m_modiri@mut.ac.ir

۱- مقدمه

همه نقاط پیوسته روی سطح زمین (۳ بعد) و در یک صفحه نمایش (۲ بعد) است. مدل رقومی ارتفاع را همچنین می‌توان به صورت برداری در شبکه نامنظم مثلثی نیز نمایش داده شود (Kim et al., 2020). مدل‌های رقومی برای اهداف متنوعی به کار گرفته می‌شوند که اخیراً با ایجاد امکان استخراج آن با سرعت و دقت بالاتر بیشتر مورد توجه کارشناسان قرار گرفته است (Zeraatpisheh et al., 2020).

مدل‌های رقومی ارتفاعی از تصاویر ماهواره‌ای که به صورت زوج تصویر^۷ اخذ شده‌اند، تهیه می‌شوند. الگوریتم‌های مورد استفاده در این روش به منظور استخراج اطلاعات ارتفاعی همانند الگوریتم‌های مورد استفاده در روش فتوگرامتری است. مدل‌های رقومی ارتفاعی از تصاویر ماهواره‌ای که به صورت زوج تصویر اخذ شده‌اند، تهیه می‌شوند.

رایج‌ترین روش برای محاسبه مقادیر بعد سوم از تصاویر، بهره‌گیری از تکنیک استریو می‌باشد که از زوج تصویر اخذ شده در زوایای مختلف از یک صحنه برای انجام مثلث‌بندی و تعیین موقعیت سه بعدی پیکسل‌ها استفاده می‌نماید (Ramírez-Hernández et al., 2020). دقت مدل‌های رقومی ارتفاعی از این روش کاملاً متناسب با مقیاس یا قدرت تفکیک تصاویر ماهواره‌ای است. برای نمونه از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک بالا نظیر Wordview-4 استخراج DEM با دقت ۵۰ سانتی‌متر و از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک متوسط نظیر سنجنده استر استخراج DEM با دقت ۱۲ الی ۲۰ متر میسر خواهد بود. از سنجنده‌های ماهواره‌ای با قابلیت برداشت زوج تصویر می‌توان به Worldview، IRS/SPOT، ASTER، Pleiades، IKONOS، GeoEye، Cartosat، ALOS/PRISM^۸ و... اشاره نمود.

پژوهش‌های فراوانی برای ارزیابی و سنجش میزان صحت در مدل‌های دیجیتالی ارتفاع انجام گرفته است. با این حال، شماری از افراد نسبت به خطاهای مدل ارتفاع رقومی دارای نگرش‌های مختلفی هستند (Kim et al., 2020).

7- Stereo Image

8- Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping (PRISM)

اصطلاح مدل رقومی زمین عبارت است از بهره‌گیری از اطلاعات ارتفاعی نیمرخ (مقطع) به منظور تشریح شکل زمین (Galín et al., 2019). از جمله مدل‌های ارتفاعی رقومی می‌توان به مدل‌های رقومی ارتفاع^۱، مدل‌های رقومی سطح^۲، مدل‌های رقومی زمین^۳ و حتی شبکه‌های نامنظم مثلث‌بندی^۴ اشاره کرد (Croneborg, Saito, Matera, McKeown, & van Aardt, 2020). تهیه مدل رقومی ارتفاع به روش سنتی مبتنی بر استفاده از تکنیک‌های آنالوگ و آنالیتیک به منظور جمع‌آوری صحرایی داده‌های ارتفاعی بوده و در اکثر موارد با مشکلاتی از قبیل تأمین نیرو، هزینه و وقت همراه است (کمالی و همکاران، ۱۳۸۸: ۹).

دقت مدل‌های رقومی ارتفاعی در این روش کاملاً متناسب با مقیاس یا قدرت تفکیک^۵ تصاویر ماهواره‌ای است (Gdulová, Marešová, & Moudrý, 2020). برای نمونه از تصاویر ماهواره‌ای تجاری با قدرت تفکیک بالا نظیر Wordview-4 امکان استخراج DEM با دقت ۵۰ سانتی‌متر و از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک متوسط نظیر سنجنده استر^۶ امکان استخراج DEM با دقت ۱۵ الی ۲۰ متر وجود دارد (Mukherjee et al., 2013).

مدل رقومی ارتفاع می‌تواند با دقت‌های مختلف برای یک منطقه تهیه شود. دقت بالای نقشه رقومی ارتفاع تخمین‌های دقیق‌تری از مشخصات فیزیوگرافی حوضه را به همراه دارد، اما تهیه چنین نقشه‌هایی بسیار پرهزینه است. استفاده از روش‌های مدل‌سازی رقومی زمین در سیستم اطلاعات جغرافیایی به چگونگی روش درون‌یابی تهیه مدل رقومی ارتفاع که نمایش‌دهنده پستی و بلندی سطح زمین است، بستگی دارد (اشرفی و علیمی، ۱۳۹۳: ۲۱). در واقع مدل رقومی ارتفاع روشی برای نمایش ارتفاعات

1- Digital Elevation Model (DEM)

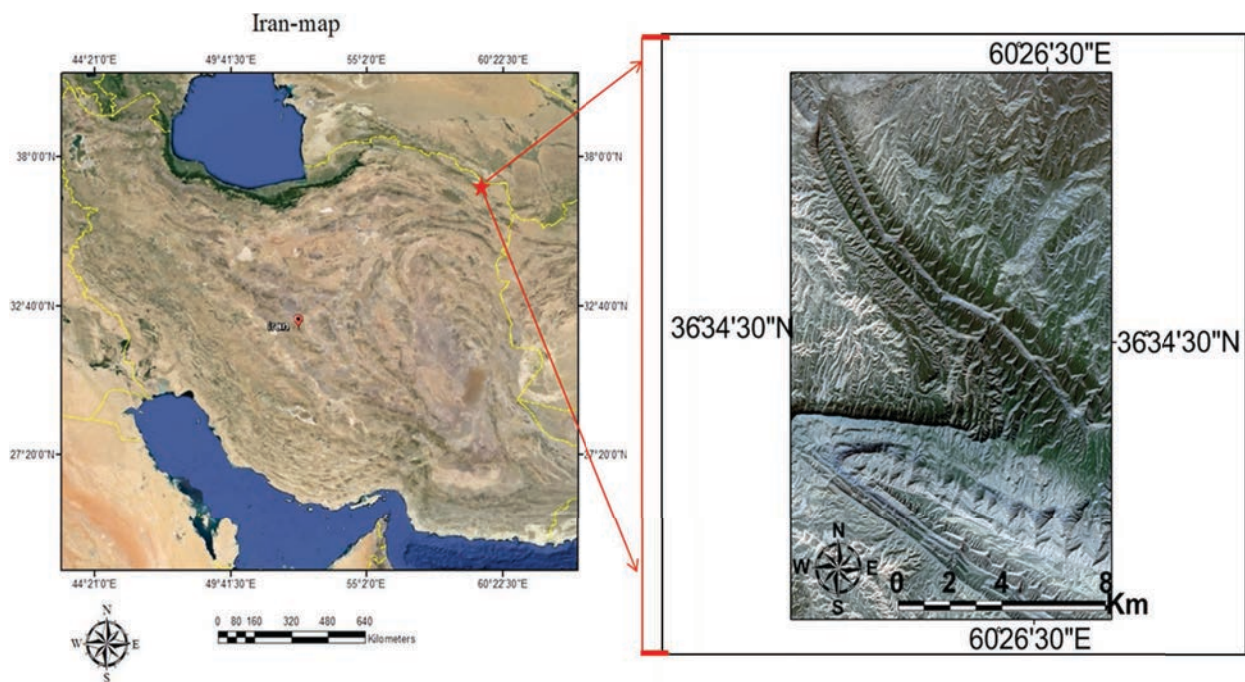
2- Digital Surface Model (DSM)

3- Digital Terrain Model (DTM)

4- Triangulated irregular network (TIN)

5- Resolution

6- ASTER



نگاره ۱: منطقه مورد مطالعه

۲- مواد و روش‌ها: Santillan & Makinano-Santillan, 2016، آقا طاهر و همکاران، ۱۳۹۵؛
 خبازی و همکاران، ۱۳۹۸؛ حسین زاده و نداف سنگانی، ۱۳۹۲؛ شفیع‌ی
 خورشیدی و همکاران، ۱۳۹۰؛ فاطمی و علیزاده نائینی، ۱۳۹۶).
 در حالت کلی هرچه همبستگی بین زوج تصویر بیشتر
 باشد، یعنی تطبیق هندسی دو تصویر بیشتر بوده و مدل
 رقومی ارتفاعی استخراج شده با دقت بیشتری خواهد بود.
 در اصل ضرایب چندجمله‌ای منطقی یعنی ایجاد نقاط
 کمکی برای تصحیحات هندسی دو تصویر، که همراه با
 تصاویری تولیدی از سنجنده تریپل^۱ (سه دوربین) PRISM
 به بهبود مدل رقومی ارتفاعی استخراجی دقیق‌تری کمک
 می‌شود. هدف از این مطالعه ارزیابی و بررسی دقت مدل
 رقومی ارتفاع تولید شده از سنجنده پریسم^۲ ماهواره آلوس^۳
 در مقایسه و ارزیابی با مدل رقومی ارتفاعی استر برای
 منطقه مرزی سرخس (بین ایران و ترکمنستان) است که
 جنگل پسته خواجه کلات موسوم به منطقه چهچهه در آن
 جای گرفته است.

همچنین تولید مدل رقومی سطح^۴ از ماهواره آلوس/
 سنجنده پریسم برای این منطقه جنگلی می‌باشد. مدل رقومی
 استر قدرت تفکیک مکانی ۱۵ متر و مدل رقومی ارتفاعی
 حاصل از سنجنده پریسم از ماهواره آلوس قدرت تفکیک
 مکانی ۲/۵ متر دارند. مشخصات تصاویر مورد استفاده، در
 جدول (۱) ارائه شده‌اند.

1- Triplet

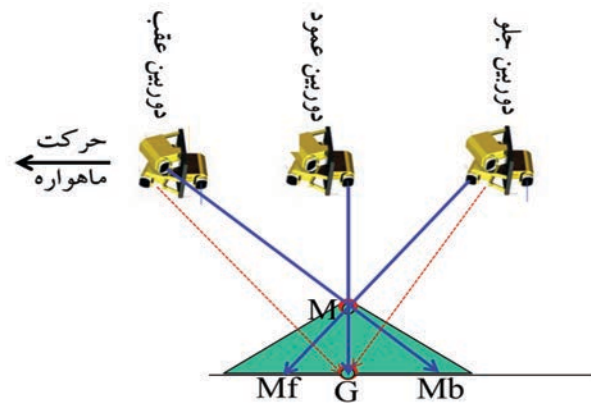
2- PRISM

3- ALOS

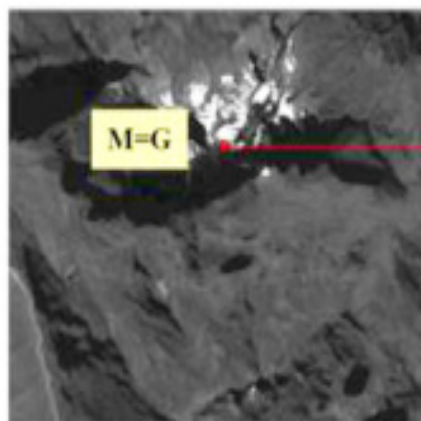
4- Digital surface Model (DSM)

جدول ۱: مشخصات تصاویر اخذ شده

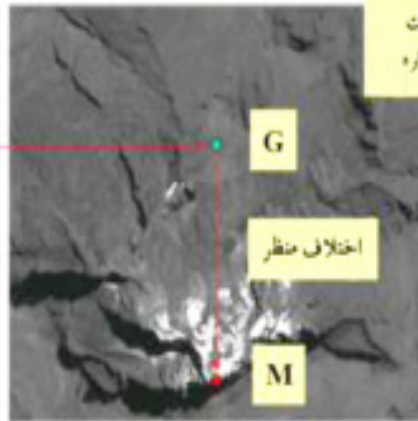
ماهواره	موقعیت جغرافیایی	تاریخ دریافت	اندازه پیکسل (متر)
AVNIR-2	NADIR	۱۶ مهر ۱۳۸۸	۱۰ متر
ALOS/PRISM (RPCs)	NADIR BACKWARD	۱۷ خرداد ۱۳۸۷	۲/۵ متر
ASTER	3N	۳۱ اردیبهشت ۱۳۸۹	۱۵ متر
	3B		



نگاره ۲: سیستم تصویربرداری دوربین‌های سه قلو پریسم



تصویر دوربین عمود



تصویر دوربین جلو

نگاره ۳: اصول تصویربرداری ضبط‌شده توسط دوربین‌های پریسم

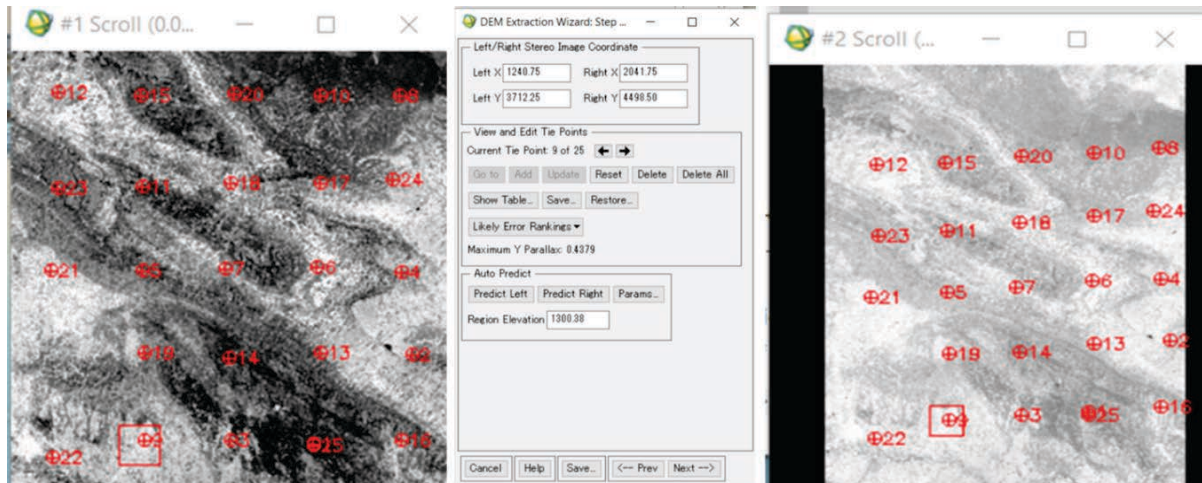
با دوربین عمود موقعیت نقطه M و G در تصویر ضبط شده یکسان است. در نتیجه با استفاده از تصویربرداری نقاط از زاویه‌های مختلف می‌توان ارتفاع آن نقاط را طی محاسبات ریاضی انطباقی به دست آورد (نگاره ۲). در تصویر گرفته شده با استفاده از دوربین عمود، دو نقطه M و G دارای موقعیت یکسانی هستند، این در حالی است که در تصویر گرفته شده با دوربین رو به جلو، دو نقطه M و G موقعیت‌های متفاوتی دارند (نگاره ۳). در این پژوهش برای اعتبارسنجی و دقت مدل رقومی ارتفاع PRISM، از مجذور مربع خطای

۱-۲- استخراج مدل رقومی ارتفاع از تصاویر استریو PRISM به‌طور کلی سنجنده پریسم از ماهواره آلوس با استفاده از سه دوربین شامل رو به جلو، عمود^۲ و رو به عقب^۳ تصویربرداری می‌کند که نقطه G در هر سه دوربین در یک موقعیت روی یک سطح صاف قرار می‌گیرد. در حالی که نقطه M با اینکه دارای بلندی می‌باشد در موقعیت‌های مختلفی در تصویربرداری با سه دوربین قرار می‌گیرد. مثلاً

- 1- Forward
- 2- Nadir
- 3- Backward

جدول ۲: اعتبارسنجی و دقت مطلق زوج تصویر PRIASM

دوربین سه قلو	جهت عرضی پیکسل	جهت طولی پیکسل	فاصله
مجذور خطای مربع تصویر سنجنده نادیر (عمودی)	۲/۴ متر	۲/۵ متر	۳/۶۷ متر
مجذور خطای مربع تصویر سنجنده دید پیش رو (جلو)	۲/۷ متر	۲/۶ متر	۳/۸۷ متر
مجذور خطای مربع تصویر سنجنده دید عقب	۲/۲ متر	۲/۳ متر	۳/۴۷ متر



نگاره ۴: مراحل استخراج مدل رقومی ارتفاع از تصاویر سنجنده استر

آمریکا (ناسا)، به‌منظور 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^۳ قرار گرفته است (Pakoksung and Takagi, 2020; Slater and et al, 2009). در این پژوهش از ضرایب چندجمله‌ای برای تصحیح مقادیر هندسی مدل رقومی ارتفاع سنجنده استر استفاده شده است. به‌منظور نیل به این هدف ۲۰ نقطه برای تصحیح هندسی ارتفاع به عنوان ضرایب چند جمله هندسی به‌کار گرفته شده است (Mirzadeh, & Homayouni, 2020) همان‌طور که در نگاره ۴ نشان داده شده است، در هنگام استخراج مدل رقومی ارتفاع باند N3 به عنوان راست تصویر و باند B3 به عنوان چپ تصویر انتخاب شده است.

میانگین^۱ و انحراف معیار^۲ استفاده شده است. مجذور مربع خطای میانگین یک واحد کمی است که مشخصات خطا در سطح را نشان می‌دهد و میانگین خطا را بر اساس خطای سطح، محاسبه نموده و میانگین تفاوت مقادیر با توجه به مقادیر واقعی را نشان می‌دهد. در معادلات ۱ و ۲ نحوه محاسبه مجذور مربع خطای میانگین و انحراف معیار نشان داده شده است.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2}{n}} \quad (1) \text{ مجذور مربع خطای میانگین}$$

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N p_i (x_i - \mu)^2}{N}} \quad \mu = \frac{\sum_{i=1}^N p_i x_i}{N} \quad (2) \text{ انحراف معیار}$$

۲-۲- استخراج مدل رقومی ارتفاع از زوج تصویر سنجنده Aster

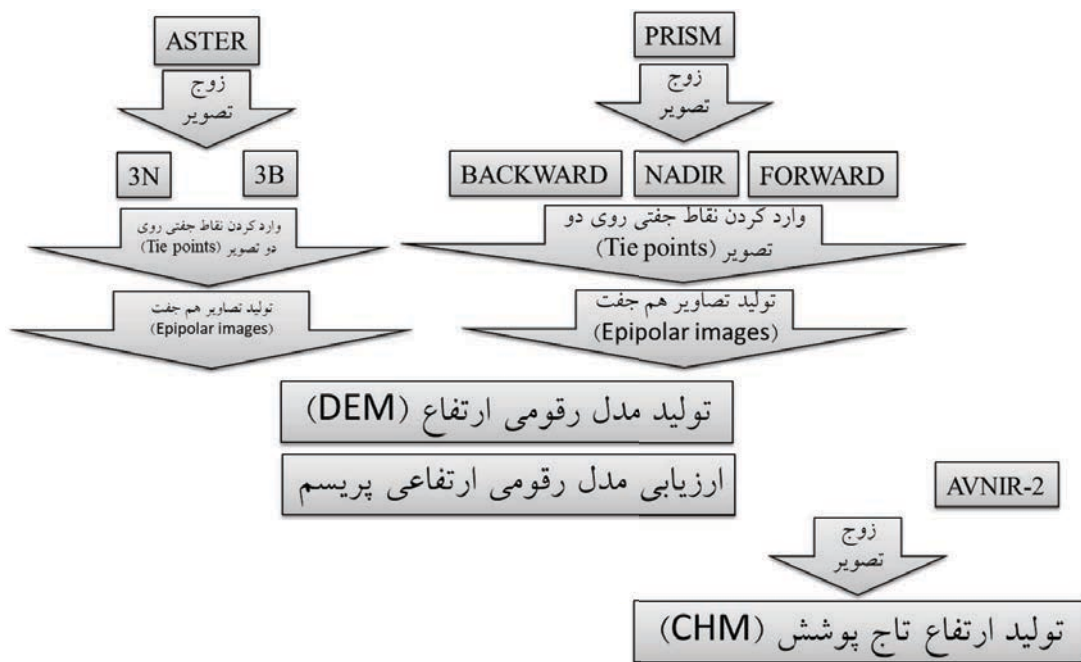
سنجنده استر توسط وزارت اقتصاد، صنعت و بازرگانی کشور ژاپن با مشارکت سازمان ملی هوانوردی و فضایی

۲-۳- استخراج مدل رقومی سطح از PRISM

استخراج مقادیر ارتفاعی از تصاویر را می‌توان به‌عنوان یکی از موضوعات پرچالش و حائز اهمیت در مطالعات

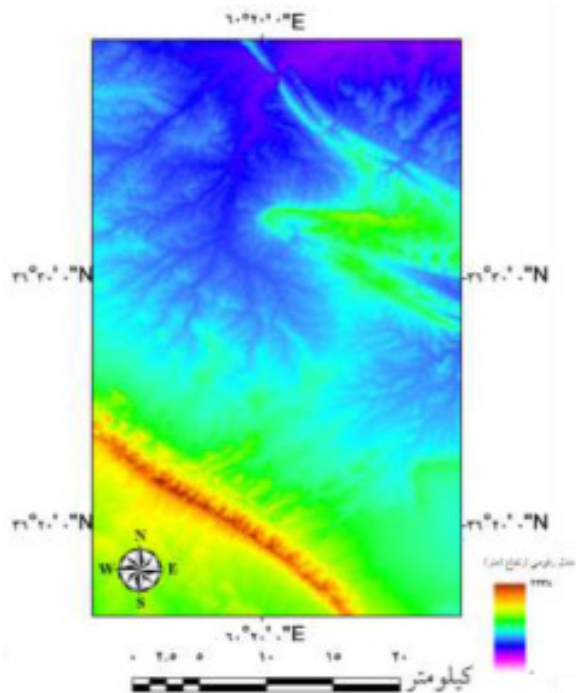
1- Root Mean Square Error (RMSE)

2- Standard deviation



نگاره ۵: مراحل استخراج مدل رقومی سطح از زوج تصویر PRISM

ماهواره استر حدود ۱۳ متر است. در نگاره ۶ یک مدل رقومی ارتفاعی استخراج یافته از تصاویر استریو استر نشان داده شده است.

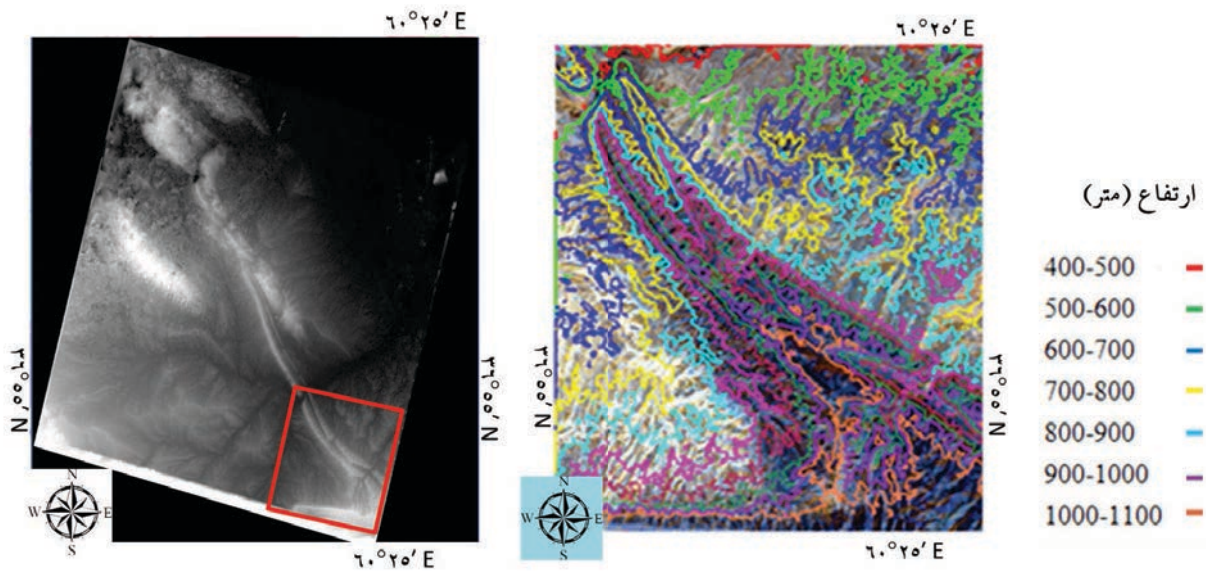


نگاره ۶: استخراج مدل رقومی ارتفاع از تصاویر ماهواره Aster

پوشش‌های جنگلی برشمرد. با استفاده از مدل ارتفاع تاج پوشش^۱ را از روی مدل رقومی سطح به دست می‌آورند که یکی از اهداف مدیریتی و مطالعاتی برای تخمین زیست توده جنگلی است و می‌توان بر آماربرداری کاشت و برداشت درختان جنگلی نظارت داشت (Takahashi, Shimada, Tadono, & Watanabe, 2012). مدل رقومی سطح در مطالعات زمین‌شناسی، مهندسی عمران مربوط به خاک‌برداری و خاک‌ریزی و تولید منحنی‌های میزان با کیفیت بالا و تهیه نقشه‌های توپوگرافی از جمله تهیه نقشه‌های شیب، جهت و تعیین خط دید کاربرد دارد. در نگاره ۵ به توضیح نحوه استخراج مدل رقومی ارتفاع از تصاویر استریو پرداخته شده است. در تمام فرآیند استخراج مدل رقومی ارتفاع در تصاویر ماهواره ASTER و تصاویر سنجنده PRISM از ماژول استخراج مدل رقومی ارتفاع نرم‌افزار ENVI 5.3.1 استفاده شده است.

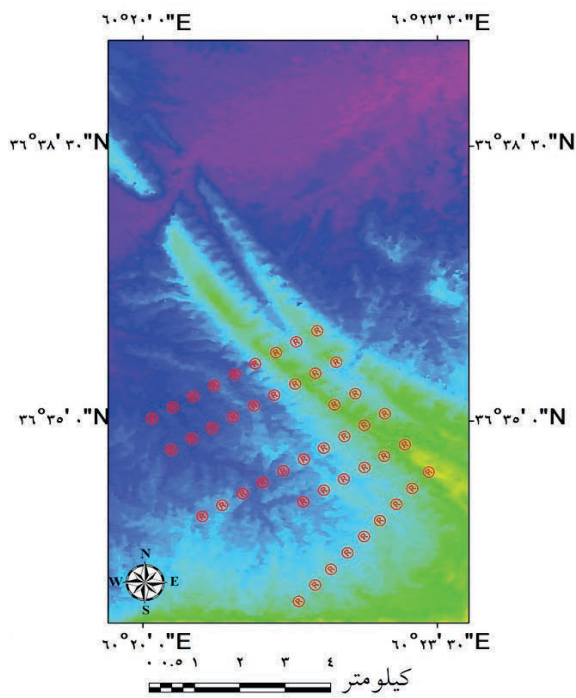
۳- نتایج استخراج و ارزیابی دقت مدل رقومی ارتفاع دقت مدل رقومی ارتفاعی مستخرج از تصاویر استریو

1- Canopy height model



نگاره ۷: استخراج نقشه توپوگرافی از مدل رقومی ارتفاعی سنجنده PRISM

در نهایت دقت مدل رقومی ارتفاع تولید شده از روی زوج تصاویر ماهواره استر با استفاده از همبستگی بین دو تصویر ۰/۴۳ پیکسل یعنی ۱۳ متر بوده است. با توجه به دقت مکانی پیکسل‌های تصویر که حدود ۱۵ متر است، دقت مدل رقومی کمتر از اندازه پیکسل‌ها یعنی کمتر از ۱۵ متر - در حالت افقی ۶ متر و حالت عمودی ۷ متر - می‌باشد که در مجموع ۱۳ متر محاسبه شده است. دقت مدل رقومی ارتفاعی استخراج یافته از تصاویر استریو سنجنده پریسم ماهواره آلوس نشان از کیفیت مکانی مدل رقومی ارتفاع دارد. اعتباریابی صحت، به معنای نزدیکی و مطابقت پدیده‌های مشاهده شده با مقادیر واقعی همان پدیده‌ها است. ارزیابی صحت در مدل ارتفاع رقومی استخراج شده از روش‌های مختلف با استفاده از داده‌های دریافت شده دستگاه جی. پی. اس تفاضلی صورت گرفته است.



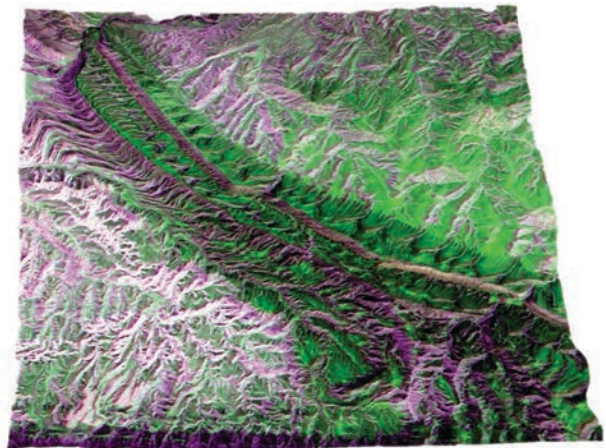
نگاره ۸: استخراج مدل رقومی ارتفاع از تصاویر ماهواره ALOS/PRISM همراه با ۴۵ نقطه کنترلی جی. پی. اس (®)

بیشترین کاربرد مدل رقومی ارتفاع در مرزبانی در تحلیل میدان دید، تعیین نقاط کور، تحلیل مسیر، تحلیل ژئومورفولوژی، ایجاد نقشه‌های شیب، جهت، تهیه نقشه‌های توپوگرافی با دقت بالا و ایجاد نقشه‌های منحنی تراز با فواصل ارتفاعی مورد است (Habib, Akdim, Labbassi,

و تصویر چپ (B3) به دست آمد، هرچه همبستگی بین این دو تصویر بیشتر باشد، تطبیق هندسی دو تصویر بیشتر بوده و مدل رقومی ارتفاع دقیق تری به دست خواهد آمد که با نتایج (شیمی خورشیدی و همکاران، ۱۳۹۰: ۱۱) مطابقت دارد.

این نتایج در راستای مطابقت نتایج پژوهش آقاپاھر و همکاران (۱۳۹۵) در استخراج دو مدل رقومی ارتفاعی ASTER و SRTM در سه منطقه مطالعاتی آذربایجان شرقی، سیستان و بلوچستان و بوشهر به عنوان شاخص خطا در سه منطقه برای مدل SRTM به ترتیب ۶/۱، ۷/۴ و ۲/۹، و در مدل ASTER به ترتیب ۸/۷، ۸/۳ و ۷/۲ متر بوده است، که نتایج استخراجی مدل رقومی ارتفاعی PRISM بهترین دقت را نشان داد. نتایج پژوهش خبازی و همکاران، (۱۳۹۸) در ارزیابی دقت آزمایشی مدل های رقومی ارتفاعی (DEM) از سنجنده ASTER با ابعاد پیکسل ۳۰ و ۹۰ متر و مشاهدات دقیق زمینی (DGPS) از سد آزاد به دشت قروه-دهگلان، سندج انطباق نداشت. همچنین در تأیید نتایج پژوهش حسین زاده و نداف سنگانی، (۱۳۹۲) حاصل از دقت مدل های رقومی ارتفاع (DEMs) حاصل از نقشه های توپوگرافی با اندازه های سلولی ۱۰ و مقایسه ی تطبیقی آن با DEM های ماهواره ای ASTER با اندازه سلولی ۳۰ متر می باشد. نتایج نشان داد که DEM های حاصل از نقشه های توپوگرافی در مقایسه با زمین واقعی، از خطاهای چشمگیرتری برخوردارند، اما در مقایسه با DEM های ماهواره ای درجه اعتبار مناسبی را ارائه می کنند؛ که این نتیجه هماهنگی بیشتری نشان می دهد. همچنین نتایج همبستگی بین زوج تصویر سنجنده ASTER در تولید مدل رقومی ارتفاع برابر با ۰/۴۳ پیکسل

۴- اعتبارسنجی و ارزیابی دقت مدل رقومی ارتفاع در ارزیابی دقت مدل رقومی ارتفاع از تصاویر استریو سنجنده پریسم حدود ۸۰ نقطه کنترل زمینی با استفاده از GPS (نگاره ۹) و ارزیابی با نقشه توپوگرافی منطقه صحت انحراف معیار به دست آمده پیکسل در جهت طولی و عرضی تصویر به شرح جدول ۳ می باشد.



نگاره ۹: سه بعدی کردن تصویر AVNIR-2 با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی PRISM

نتایج استخراج شده از تصاویر ماهواره Aster با نتایج تحقیقات (کمالی و همکاران، ۱۳۸۸: ۹) DEM تولید شده در مناطق مسطح و بدون پوشش گیاهی یا با پوشش گیاهی پراکنده بیشترین دقت را دارد به طوری که میزان خطا کمتر از ۱۰ متر است. ولی در نقاط با پوشش گیاهی متراکم که شیب های تند و دره های عمیق به علت وجود سایه میزان خطا افزایش می یابد، مطابقت داشته است. استخراج مدل رقومی ارتفاع بر مبنای الگوریتم همبستگی بین تصویر راست (N3)

جدول ۳: صحت ارزیابی مدل رقومی ارتفاعی تولید شده از تصاویر استریو سنجنده PRISM

صحت ارزیابی مدل رقومی ارتفاعی تولید شده	پیکسل در جهت طولی	پیکسل در جهت عرضی	دقت مکانی
انحراف معیار	۱/۹ متر	۲/۳ متر	۳/۴۷ متر

جدول ۴: صحت ارزیابی دقت مدل های رقومی های استخراج شده به متر

مدل های رقومی	RMSE	انحراف معیار (δ)
ASTER	۸/۷۷	۹/۳۲
PRISM	۳/۶۶	۳/۴۷

تصویر برابر $0/43$ پیکسل بوده است. همچنین در روش مورد استفاده برای استخراج مدل رقومی ارتفاع، الگوریتم همبستگی بین زوج تصاویر برای افزایش دقت مدل رقومی ارتفاعی تولید شده را در پی دارد (شعبی خورشیدی و همکاران، ۱۳۹۰). این تحقیق نتایج نشان داد که RMSE به عنوان شاخص خطا برای مدل رقومی ارتفاع استخراج شده از SRTM، ASTER، PRISM و مشاهدات زمینی به ترتیب $7/46$ ، $8/77$ ، $3/66$ و $6/8$ متر می‌باشد، که نشان از قابلیت استفاده از مدل رقومی ارتفاع دارد. نتایج به دست آمده از تصاویر استریو سنجنده پریسم عبارت است از انحراف معیار پیکسل‌ها در جهت طولی $1/9$ متر و در جهت عرضی $2/3$ متر و فاصله پیکسل‌های مدل رقومی ارتفاعی 3 متر. از آنجا که تعداد نقشه‌های مشتق شده از مدل ارتفاع رقومی زیاد است و این نقشه‌ها در تحلیل‌های مختلف کاربرد دارند، ممکن است با وزن‌های متفاوت در نتایج یک کار تحلیلی نقش داشته باشند. هر چه دقت DEM به دست آمده بیشتر باشد، کارآمدی بالاتری خواهد داشت و به فرماندهان مرزی توانایی بیشتری برای تصمیم‌گیری بهتر در شرایط متفاوت می‌دهد. دقت ارتفاعی به دست آمده از تصاویر استریو سنجنده پریسم 3 متر می‌باشد. دقت مدل رقومی ارتفاع SRTM در دشت‌ها حدود 30 متر است که برای مطالعات فاز صفر و یک پروژه‌ها و همچنین کاهش هزینه‌های هنگفت مطالعات می‌توان از آن بهره برد. ولی اگر منبع اصلی که همان نقشه مدل ارتفاع رقومی است، ایرادی داشته باشد، کل پروژه با مشکلات زیادی روبه‌رو خواهد شد (حسین‌زاده و نداد سنگانی، ۱۳۹۲: ۱۹). از جمله نتایج مطالعه حاضر این است که دقت مدل رقومی ارتفاع تولید شده از تصاویر استریو سنجنده پریسم نسبت به مدل رقومی ارتفاع Aster و SRTM بالاتر است یعنی خطای RMSE و انحراف معیار به نسبت پایین‌تر است. در نتیجه برای مطالعات مرزی که به دقت بالاتری نیاز است پیشنهاد می‌گردد برای کل مرزهای کشور از مدل رقومی ارتفاعی با دقت بالا لازم است استفاده شود که با

بوده است (شعبی خورشیدی و همکاران، ۱۳۹۰)، که تأییدی بر نتایج مدل رقومی ارتفاع این پژوهش است. همچنین سانتیلان و ماکینانو-سانتیلان^۱، ۲۰۱۶ به ارزیابی دقت مدل رقومی جهانی ALOS، ASTER و SRTM در شمال شرق مینداناو، فیلیپین پرداختند که نتایج مدل‌های رقومی ALOS با کمترین میزان میانگین مربع خطا حدود $5/68$ و پس از آن SRTM حدود $8/28$ و ASTER با میانگین مجذور خطا $11/98$ به دست آمد که حاکی از بهتر بودن نتایج مدل رقومی حاصل از ماهواره ALOS از بقیه مدل‌های رقومی استخراجی از دیگر ماهواره‌ها می‌باشد. این نتایج تأییدی بر اهمیت موضوع استخراج مدل رقومی ارتفاع از تصاویر سنجنده PRISM از ماهواره ALOS می‌باشد.

۵- بحث و نتیجه‌گیری

در این مطالعه به بررسی مدل رقومی ارتفاع از تصاویر استریو سنجنده ALOS/PRISM و ارزیابی آن در مقایسه با مدل رقومی ارتفاع استر و مشاهدات زمینی در منطقه مرزی سرخس واقع در مرز بین ایران و ترکمنستان پرداختیم. در واقع، پژوهش حاضر به قابلیت تولید مدل رقومی ارتفاع تهیه شده از تصاویر استریو از سنجنده پریسم استخراج شده همراه با فایل ضرایب چندجمله‌ای منطقی^۲ پرداخته و ارزیابی آن را با مدل‌های رقومی استخراجی از تصاویر استریو استر و مدل رقومی استخراج شده از ماهواره SRTM انجام داده است. در این مطالعه همچنین از مشاهدات زمینی 80 نقطه کنترلی جی. پی. اس استفاده گردید. برای تولید مدل رقومی ارتفاع از ماهواره استر و تصاویر سنجنده پریسم از نرم‌افزار ENVI 5.3.1 استفاده شد. تعداد نقاط متناظر در زوج تصاویر 25 عدد است. که سعی شده نقاط موردنظر در کل تصویر به صورت یکنواخت پراکنده باشند تا دقت DEM تولید شده افزایش یابد. حداقل همبستگی برای 25 عدد نقطه زوج تصویر به منظور تولید مدل رقومی ارتفاع برابر $0/95$ می‌باشد، که حداکثر فاصله متناظر دو زوج

1- Santillan and Makinano-Santillan

2- Rational Polynomial Coefficients (RPC)

ارتفاع با استفاده از زوج تصویر سنجنده ASTER. سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی (کاربرد سنجش از دور و GIS در علوم منابع طبیعی): ۲ (۳): ۱-۱۱. ۶- فاطمی، علیزاده نایینی؛ سیدباقر، امین. (۱۳۹۶). ارزیابی مدل‌های ارتفاعی رقومی جهانی در قیاس با مدل‌های محلی از منظر ارتفاع و شیب. مجله علمی-پژوهشی رایانش نرم و فناوری اطلاعات، ۶(۱)، ۲۶-۳۵.

۷- کمالی، سرمیدان، محمودی؛ اردوان، فریدون، شهلا (۱۳۸۸). تولید مدل رقومی ارتفاع از تصاویر ASTER و ارزیابی دقت آن در منطقه ایوانکی استان سمنان. تحقیقات آب و خاک ایران، ۴۰ (۱)، ۵۹-۶۶.

8- Alizadeh Naeini, A., Fatemi, S. B., Babadi, M., Mirzadeh, S. M. J., & Homayouni, S. (2020). Application of 30-meter global digital elevation models for compensating rational polynomial coefficients biases. *Geocarto International*, 35(12), 1311-1326. doi: <https://doi.org/10.1080/10106049.2019.1573854>

9- Croneborg, L., Saito, K., Matera, M., McKeown, D., & van Aardt, J. (2020). Digital elevation models.

10- Galin, E., Guérin, E., Peytavie, A., Cordonnier, G., Cani, M. P., Benes, B., & Gain, J. (2019). A review of digital terrain modeling. Paper presented at the Computer Graphics Forum.

11- Gdulová, K., Marešová, J., & Moudrý, V. (2020). Accuracy assessment of the global TanDEM-X digital elevation model in a mountain environment. *Remote Sensing of Environment*, 241, 111724. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111724>

12- Habib, A., Akdim, N., Labbassi, K., Khoshelham, K., & Menenti, M. (2017). Extraction and accuracy assessment of high-resolution DEM and derived orthoimages from ALOS-PRISM data over Sahel-Doukkala (Morocco). *Earth Science Informatics*, 10(2), 197-217. doi: <https://doi.org/10.1007/s12145-017-0287-5>

13- Kim, D., Lee, H., Jung, H. C., Hwang, E., Hossain, F., Bonnema, M., . . . Getirana, A. (2020). Monitoring River Basin development and variation in water resources in transboundary Imjin River in North and South Korea using remote sensing. *Remote Sensing*, 12(1), 195. doi:

بهره‌مندی از مدل رقومی ارتفاعی استخراجی از تصاویر استریو سنجنده پریسم از ماهواره آلوس که همراه با تهیه فایل‌های ضرایب منطقی چندجمله‌ای^۱ (RPC) برای تصحیح هندسی تصاویر می‌باشد و نیاز به نقاط کنترل زمینی ندارند، عملیات مرزبانی با دقت بیشتری صورت می‌گیرد.

سپاسگزاری: از زحمات خانم مهندس رقیه پایدار به موجب تنظیم قالب مقاله، سپاسگزاری می‌شود.

منابع و مآخذ

۱- آفاطاهر، صمدی، لعلی‌نیت، نجفی؛ رضا، مهدی، ایلیا، ایمان (۱۳۹۵). ارزیابی مقایسه ای صحت ارتفاعی مدل‌های رقومی ارتفاعی ASTER و SRTM. فصلنامه علمی-پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، ۲۵ (۹۹)، ۱۰۳-۱۱۳.

۲- اشرفی، علیمی؛ علی، محمدمامیر (۱۳۹۳). مقایسه روش‌های مختلف تهیه مدل ارتفاع رقومی؛ موردشناسی: حوضه آبخیز نوفرست، شهرستان بیرجند، استان خراسان جنوبی. فصلنامه علمی- پژوهشی جغرافیا و آمایش شهری - منطقه‌ای: ۴ (۱۳)، ۱۱۹-۱۳۹.

۳- حسین‌زاده، نداف سنگانی؛ سیدرضا، مهوش (۱۳۹۲). ارزیابی دقت مدل‌های رقومی ارتفاع (DEMs) حاصل از نقشه‌های توپوگرافی و مقایسه‌ی تطبیقی آن با DEM های ماهواره‌ای (مطالعه‌ی موردی: DEMهای توپوگرافی و ASTER منطقه‌ی آبنه در خراسان رضوی). فصلنامه پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۴۵ (۱)، ۷۱-۸۶.

۴- خبازی، مهربانی، اعرابی؛ مصطفی، علی، جواد (۱۳۹۸). ارزیابی دقت آزمایشی مدل‌های رقومی ارتفاعی (DEM) ماهواره‌های ASTER و SRTM با مشاهدات دقیق زمینی (DGPS) مطالعه موردی: از سد آزاد به دشت قروه-دهگلان، سندج. فصلنامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی، ۲۸ (۱۱۱)، ۱۶۳-۱۷۴.

۵- شفیع خورشیدی، متین‌فر، علوی‌پناه، فرخی؛ فاطمه، حمیدرضا، سیدکاظم، مهدی (۱۳۹۰). تولید مدل رقومی

1- Rational Polynomial Coefficient (RPC)

<https://doi.org/10.3390/rs12010195>

14- Mukherjee, S., Joshi, P. K., Mukherjee, S., Ghosh, A., Garg, R., & 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. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2012.09.004>

15- Ramírez-Hernández, L. R., Rodríguez-Quiñonez, J. C., Castro-Toscano, M. J., Hernández-Balbuena, D., Flores-Fuentes, W., Rascón-Carmona, R., . . . Sergiyenko, O. (2020). Improve three-dimensional point localization accuracy in stereo vision systems using a novel camera calibration method. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 17(1), 1729881419896717. doi: <https://doi.org/10.1177/1729881419896717>

16- Takahashi, M., Shimada, M., Tadono, T., & Watanabe, M. (2012). Calculation of trees height using PRISM-DSM. Paper presented at the 2012 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium.

17- Zeraatpisheh, M., Jafari, A., Bodaghabadi, M. B., Ayoubi, S., Taghizadeh-Mehrjardi, R., Toomanian, N., . . . Xu, M. (2020). Conventional and digital soil mapping in Iran: Past, present, and future. *Catena*, 188, 104424. doi: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104424>

