

## ارزیابی مدل‌های ارتفاعی رقومی جهانی در قیاس با مدل‌های محلی از منظر ارتفاع و شیب

سید باقر فاطمی\*، امین علیزاده نایینی

گروه مهندسی نقشه‌برداری، دانشکده مهندسی عمران و حمل و نقل، دانشگاه اصفهان.

{sb.fatemi, a.alizadeh}@eng.ui.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۱ مرداد ۱۳۹۵ تاریخ بازنگری: ۲ دی ۱۳۹۵ تاریخ پذیرش: ۱۴ دی ۱۳۹۵

\* نشانی نویسنده مسئول: سید باقر فاطمی، میدان آزادی، خیابان دانشگاه، دانشگاه اصفهان، دانشکده مهندسی عمران و حمل و نقل، کد پستی: ۷۳۴۴۱-۸۱۷۴۶

**چکیده-** امروزه اطلاعات ارتفاعی رقومی (DEM) کار بردهای وسیعی در شاخه‌های مختلف پژوهشی و اجرایی پیدا کرده‌اند. در این میان، محصولات جهانی ارتفاعی به صورت رایگان در اختیار همگان قرار گرفته و مورد استفاده وسیع می‌باشند. دو جنبه مهم هر DEM، اطلاعات ارتفاعی و شیب می‌باشد. در تحقیق حاضر سه محصول ارتفاعی جهانی SRTM90، ASTER و SRTM30 با محصول DEM سازمان نقشه‌برداری کشور، از منظر اطلاعات ارتفاعی و شیب برای اولین بار مقایسه گردیده است. در این مقایسه دو منطقه در نظر گرفته شده است که یکی دارای مناطق پست بیشتری (منطقه تازه‌آباد) نسبت به دیگری (منطقه بومهن) است. جهت ارزیابی دقت محصولات چهارگانه، داده‌های ارتفاعی نقشه ۱:۲۰۰۰ منطقه‌های مذکور نیز تبدیل به DEM گردیدند. نتایج نشان می‌دهند که از دیدگاه خطای باقیمانده (RMSE) و همچنین تعداد سلول با خطای کم، محصول سازمان نقشه‌برداری کشور از سه داده دیگر مناسب‌تر است. به دنبال آن SRTM30 بهترین داده ارتفاعی بوده است. SRTM90 و ASTER به ترتیب محصولات ارتفاعی با دقت بیشتر بوده‌اند. در محصول شیب نیز همین رابطه تقریباً برقرار است، بجز آن که محصول SRTM90 با توجه به توپوگرافی حساسیت نشان می‌دهد و در مناطق با شیب بیشتر تطابق کمتری با واقعیت دارد. به طور کلی در محصول شیب رفتار هر چهار محصول در دو منطقه مورد آزمایش مشابه بوده است که این امر نشان دهنده‌ی پایداری بیشتر محصول شیب نسبت به ارتفاع است.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی دقت، ASTER GDEM، SRTM GDEM و NCC DEM.

## A Comparative Study of The Slope and Elevation of The GDEMs and Local DEMs

Seyyed Bagher Fatemi\*, Amin Alizadeh Naeini

Department of Geomatics, Faculty of Civil Engineering and Transportation, University of Isfahan, HezarJarib AV., Isfahan, Isfahan, Iran.

{sb.fatemi, a.alizadeh}@eng.ui.ac.ir

**Abstract-** In this comparative study, three global DEMs, namely, SRTM90, SRTM30 and ASTER have been compared to a national DEM, derived from 1:25000 maps by NCC of Iran. The goal of this study is to assess the accuracy of different DEMs, and lastly show which of them matches both NCC and reality more closely. To achieve these goals, a reference DEM has been derived from 1:2000 maps of the areas in question. Experimental results on two different areas showed that NCC DEM outperforms than the other DEMs. As is obvious, SRTM30 matches both NCC DEM and reality more closely. This relationship is true for slope products except for SRTM90, which is sensitive to the topography. This product has minimal correlation with reference DEM, derived from 1:2000 maps. Generally speaking, RMSE values of slope data are similar for all four DEMs in the two case studies, implying that slope data are more robust than the elevation data.

**Keywords-** Accuracy Evaluation, SRTM GDEM, ASTER GSEM, NCC DEM.

## ۱- مقدمه

مدل‌های رقومی ارتفاعی (DEM) اطلاعات ارتفاعی ارزشمندی درباره‌ی سطح زمین ارائه می‌دهند. روش‌های مختلفی برای تولید این مدل‌ها وجود دارد که از آن جمله می‌توان به درونیابی از منحنی‌میزانها، فتوگرامتری و اینترفرومتری اشاره کرد. همچنین این مدل‌ها کاربردهای مختلفی دارند که از آن جمله می‌توان به کاربرد آنها در زمین‌شناسی [۱]، محیط‌زیست [۲] و هیدرولوژی [۳] اشاره نمود.

امروزه تعداد DEM‌های رایگان با قدرت تفکیک مکانی به نسبت مناسب و پوشش تقریباً جهانی رو به افزایش است که از جمله می‌توان به محصولات<sup>۱</sup> ASTER و<sup>۲</sup> SRTM اشاره کرد. در همین راستا، سازمان نقشه‌برداری کشور نیز DEM‌هایی با قدرت تفکیک مکانی بالا (۱۰ متر) و پوشش تقریباً ملی تهیه کرده است که در بسیاری از پروژه‌های ملی و منطقه‌ای از جمله تولید اورتوفوتوی استان‌ها کاربرد دارد.

DEM‌ها نیز مانند سایر داده‌های مکانی دارای خطاهای متفاوتی هستند که بایستی مورد توجه قرار گیرند. این خطاها را به‌طور کلی می‌توان به دو دسته‌ی خطای مسطحاتی و ارتفاعی تقسیم کرد. همان‌طور که مشخص است این دو دسته خطا روی یکدیگر تاثیر می‌گذارند به نحوی که باید هر دوی آنها به صورت مجزا مورد ارزیابی قرار گیرند [۴، ۵] یا این‌که یکی از آنها را به عنوان نماینده‌ی هر دو، مورد توجه قرار داد [۶، ۷]. از آنجایی که خطای مسطحاتی DEM‌ها خیلی کمتر از اندازه‌ی پیکسل آنها است [۴] و از طرف دیگر خطای مسطحاتی خودش را در خطای ارتفاعی نشان می‌دهد [۵] در این تحقیق، همانند بسیار از تحقیقات از جمله [۶، ۷] از RMSE ارتفاعی برای ارزیابی داده‌های ارتفاعی استفاده شده است. از عوامل اساسی ایجاد خطا در DEM می‌توان به خطای جمع‌آوری داده‌ها [۸]، خطای موجود در مثلث‌بندی تصاویر [۷] و خطای روش‌های مختلف درونیابی [۹] اشاره کرد.

بعد از بررسی خطاهای ذاتی هر DEM نوبت به بررسی عوامل تاثیرگذار بر روی دقت DEM‌ها می‌رسد. در این رابطه، دقت DEM‌ها به شکل چشمگیری تابع ویژگی‌های توپوگرافی و پوشش زمین است. در ارتباط با رابطه‌ی بین دقت DEM با ویژگی‌های توپوگرافی سطح زمین تحقیقاتی صورت پذیرفته که نشان می‌دهد در شیب‌های بالا DEM‌ها معمولاً با افت دقت روبرو هستند [۴، ۷].

در ارتباط با رابطه‌ی دقت DEM و پوشش زمین نیز تحقیقات نشان می‌دهد که در جاهایی که پوشش گیاهی وجود دارد، DEM‌های جهانی با افت دقت روبرو هستند [۷]. با این حال، از آنجایی که NCC DEM با استفاده از منحنی میزان‌های نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰ تهیه شده‌اند عاری از هر گونه پوشش هستند؛ بنابراین این مورد در این تحقیق مورد بحث و بررسی قرار نگرفت.

در ارتباط با دقت DEM‌های جهانی تحقیقات گسترده‌ای صورت پذیرفته است. طبق [۱۰، ۱۱]، دقت سراسری<sup>۳</sup> SRTM90 بر حسب RMSE، ۱۶ متر است که البته بسته به نوع منطقه دقت-های بهتری نیز در بعضی از گزارشات [۱۲، ۱۳] ذکر شده است. در ارتباط با نسخه‌ی دوم ASTER GDEM در [۱۴]، RMSE ۸٫۹ متر به عنوان دقت سراسری این محصول ذکر شده است؛ این درحالیست که دقت کلی این داده را براساس گزارشات مختلف می‌توان چیزی بین ۶ تا ۳۰ متر تخمین زد [۵]. در ارتباط با NCC DEM نیز دقتی بهتر از ۶ متر گزارش شده است که در این تحقیق قرار است این محصول با دیگر داده‌های جهانی ارتفاعی مقایسه گردد.

برای ارزیابی DEM‌ها در مقالات مختلف از داده‌های متفاوتی استفاده شده است که می‌توان آنها را به چهار دسته‌ی کلی (۱) داده‌های ICESat، (۲) داده‌های DGPS [۶]، (۳) لایدار [۱۵] و (۴) DEM‌های حاصل از منحنی‌میزان‌ها تقسیم کرد. در این تحقیق از DEM‌های حاصل از منحنی‌میزان‌های نقشه‌ی ۱:۲۰۰۰ برای ارزیابی NCC DEM استفاده شده است.

هدف در این تحقیق ارزیابی دقت ارتفاعی NCC DEM و همچنین محصول شیب آن و مقایسه‌ی آن با DEM‌های جهانی است. برای این منظور و بررسی هر چه بهتر این مهم از دو منطقه با ویژگی-های جغرافیایی متفاوت در این تحقیق استفاده شده است. همان‌طور که مشخص است در این تحقیق نه تنها دقت یک DEM محلی و سه DEM جهانی مورد توجه قرار می‌گیرد بلکه محصول شیب حاصل از هر یک از آنها به عنوان یکی از محصولات اساسی و ضروری در بسیاری از کاربردها، به‌صورت مجزا بررسی خواهد شد. از آنجایی که معیار RMSE علاوه بر این که بر اساس متوسط‌گیری است، هیچ گونه اطلاعاتی درباره میزان توزیع خطا و همچنین درصد قابلیت اطمینان به یک داده ارتفاعی را بیان نمی‌دارد. لذا در این تحقیق درصد سلول‌های با خطای قابل قبول نیز جزء معیارهای ارزیابی قرار گرفت.

## ۲- داده‌ها و نتایج

### ۲-۱- داده‌های مورد استفاده

داده‌های مورد استفاده در این تحقیق ۵ عدد DEM شامل SRTM90, SRTM30, NCCDEM, ASTER, REFDEM می‌باشد. که هر یک از آنها در ادامه شرح داده خواهند شد.

#### ۲-۱-۱- SRTM DEM

یک DEM با پوشش جهانی است که از طریق تکنیک اینترفرومتری<sup>۴</sup> و با استفاده از شاتل فضایی اندیور<sup>۵</sup> به دست آمده است. این DEM دارای نسخه‌های مختلفی است که از آن جمله می‌توان به نسخه‌ی خام (دارای یکسری گپ ارتفاعی) آن اشاره کرد که دارای رزولوشن ۳۰ متر در منطقه آمریکا و ۹۰ متر در مابقی نواحی است. در میان نسخ مختلف در این تحقیق دو نسخه-ی آن مورد توجه قرار گرفت. نسخه‌ی اول، مدلی است که دارای قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر برای آمریکا و ۹۰ متر برای مابقی جهان است و مناطق گپ آن پر شده است که در این کار SRTM90 نام گرفته است. نسخه‌ی دوم، مدلی است که دارای قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر برای تمامی نواحی است و از سال ۲۰۱۴ برای استفاده‌ی عمومی در سایت‌های مختلف از جمله سایت معتبر USGS قرار گرفت [۳۳]. این داده در این مطالعه SRTM30 نامیده می‌شود. سطح مبنای مسطحانی و ارتفاعی این DEM همانطور که در جدول ۲ نشان داده شده است به ترتیب WGS84 و EGM96 است.

#### ۲-۱-۲- ASTER DEM

این مدل توسط سازمان فضایی آمریکا و ژاپن در یک کار مشترک و با تکیه بر زوج تصاویر سنجنده ASTER تهیه شد. در نسخه‌ی دوم از این DEM، ۲۶۰ هزار زوج تصویر جدید اضافه شد تا نه تنها پوشش این DEM را بهبود دهد بلکه مشکل نواحی پنهان در بعضی مناطق و پایداری پایین DEM ایجاد شده را مرتفع سازد. این داده با فرمت GEOTIFF ارائه می‌شود و قدرت تفکیک مکانی آن ۳۰ متر است [۳۵].

#### ۲-۱-۳- NCC DEM

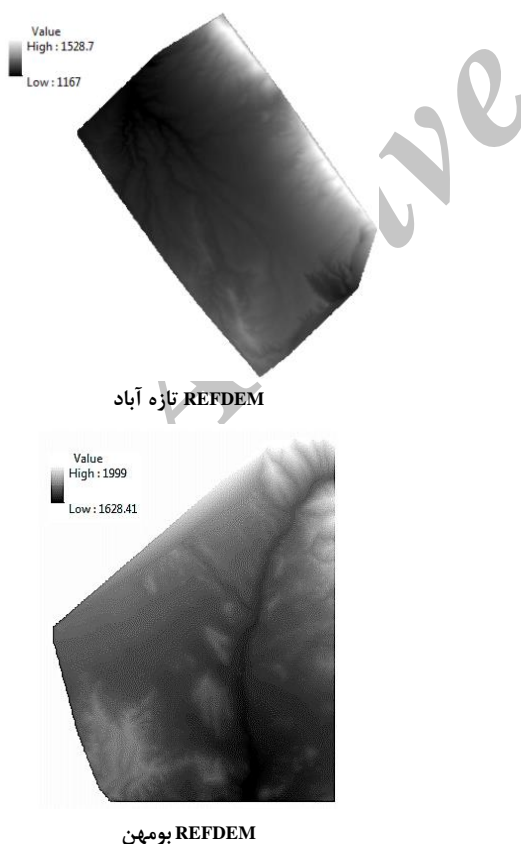
این داده توسط سازمان نقشه‌برداری کشور تهیه شده است که دقت و اعتبار به مراتب بالاتری نسبت به مدل‌های یاد شده دارد. تهیه‌ی این داده‌ها براساس اطلاعات ارتفاعی نقشه‌های رقومی

۱:۲۵۰۰۰ انجام گرفته است. قدرت تفکیک مکانی این داده‌ها ۱۰ متر است که در سیستم تصویر UTM منتشر شده‌اند. همانطور که گفته شد مبنای تولید این داده‌ها نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰ است که با شبکه نقاط ارتفاعی مرجع کشور کنترل شده و مبنای سطح ارتفاعی آن ایستگاه بندرعباس است [۳۶].

#### ۲-۱-۴- REFDEM

به منظور بررسی دقت داده‌های فوق‌الذکر، یک DEM با استفاده از منحنی‌میزانها و نقاط ارتفاعی یک نقشه ۱:۲۰۰۰ منطقه تولید گردید. این نقشه از طریق فتوگرامتری تهیه شده بود. ابتدا نقشه پاکسازی شد، و نقاط و منحنی‌میزانهای صحیح و مورد اعتماد جداسازی شدند. سپس در محیط نرم‌افزاری ARCGIS به روش مثلث‌بندی نامنظم (TIN) درون‌یابی انجام و سپس با اندازه سلول ۱۰ متر یک DEM تولید گردید.

همه محصولات ارتفاعی با یک محدوده مشترک برش داده شده و به اندازه سلول ۱۰ متر تغییر ابعاد داده شدند. سیستم مختصات همه این داده‌ها به UTM تبدیل گشت. لازم به ذکر است که محصول شیب نیز پس از نهایی سازی برای همه داده‌های ارتفاعی بر حسب درصد تولید گردید.

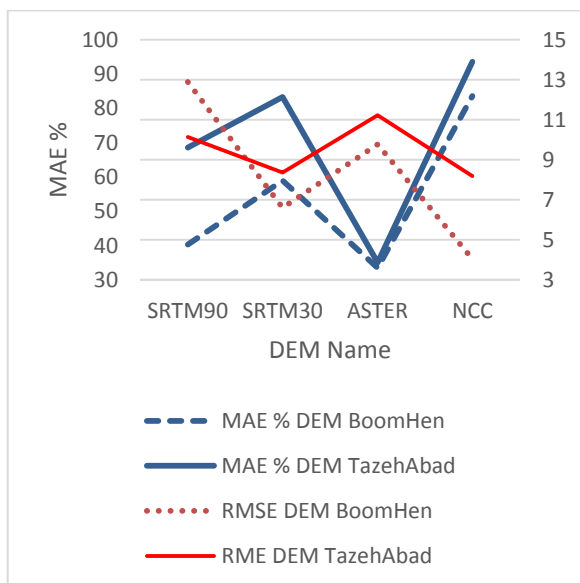


شکل ۱: DEM مرجع مورد استفاده در این تحقیق جهت بررسی و مقایسه

## ۲-۲- نتایج

و هرچه بزرگتر باشد کیفیت محصول مورد بررسی بالاتر خواهد بود.

شکل شماره ۲ نمودار تغییرات دو پارامتر RMSE و MAE را برای چهار داده ارتفاعی در دو منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد.



شکل ۲: نمودار پارامترهای RMSE ارتفاع (محور سمت راست) و MAE برحسب درصد (محور سمت چپ) برای دو محدوده مطالعاتی تازه آباد و بومهن

جدول ۳: اطلاعات مربوط به نتیجه مقایسه چهار محصول ارتفاعی با DEM مرجع در دو منطقه بومهن و تازه آباد

DEM	بومهن			
	RMSE	MAE	MAE%	MAE/RMSE
SRTM90	12.9	51790	40.3	3.13
SRTM30	6.61	75787	58.96	8.92
ASTER	9.77	43037	33.48	3.43
NCC	4.05	107377	83.53	20.62
تازه آباد				
SRTM90	10.14	157209	68.53	6.76
SRTM30	8.37	191133	83.32	9.96
ASTER	11.23	80364	35.03	3.12
NCC	8.19	214505	93.51	11.42

شکل شماره ۳ نمودار تغییرات دو پارامتر RMSE و MAE را برای چهار داده شیب در دو منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد.

به منظور بررسی نتایج ابتدا پارامتر RMSE برای همه محصولات ارتفاعی و شیب دو منطقه مورد مطالعه محاسبه گردید. محاسبه این پارامتر به طور مجزا برای ارتفاع و شیب انجام پذیرفت. به منظور بررسی وضعیت مقادیر باقیمانده روی هر سلول، مجموعه کل باقیمانده‌ها روی هر داده ارتفاعی در بازه‌های با طول ۵ برش-گذاری شدند. به این ترتیب تعداد سلول‌هایی که در هر دسته قرار می‌گرفت محاسبه شد و بر حسب درصدی از تعداد کل محاسبه گردید. جدول شماره ۲ دامنه تعریف هر بازه را ذکر کرده است.

جدول ۱: ویژگی‌های اساسی DEM‌های مورد بررسی

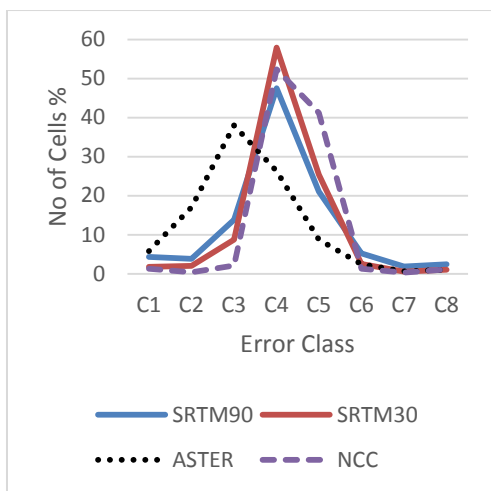
مدل	NCC	ASTER	SRTM30	SRTM90
اندازه سلول	۱۰	۳۰	۳۰	۹۰
سطح مبنای مسطحاتی	UTM	WGS84	WGS84	WGS84
سطح مبنای ارتفاعی	MSL	EGM96	EGM96	EGM96

جدول ۲: بازه برش‌گذاری خطای RMSE برای داده‌های ارتفاعی و شیب

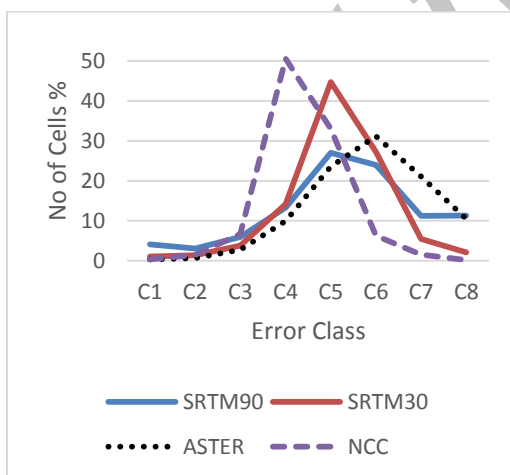
کلاس	بازه
C1	-۱۵ و کوچکتر
C2	-۱۰ تا -۱۵
C3	-۵ تا -۱۰
C4	۰ تا -۵
C5	۵ تا ۰
C6	۱۰ تا ۵
C7	۱۵ تا ۱۰
C8	۱۵ و بالاتر

با توجه به این که RMSE یک پارامتر کلی است و همچنین توجه به این نکته که دانستن میزان درصدی از سلول‌ها که بیشترین نزدیکی را به REFDEM داشته‌اند، می‌تواند وضعیت اعتمادپذیری داده ارتفاعی یا شیب را مشخص کند، میزان درصد سلول‌های قرارگرفته در دو کلاس C4, C5 برای داده‌ها محاسبه و به نام کمترین خطای مطلق (MAE) نام‌گذاری شد. این پارامتر در حقیقت شامل درصدی از سلول‌هاست که با توجه به دقت مسطحاتی و ارتفاعی DEM‌های مورد بررسی قابل اعتماد هستند

ASTER بلکه به خاطر قدرت تفکیک مکانی پایین‌تر SRTM90 است که این امر خودش را در منطقه‌ی متموج بومهن به وضوح نشان داده است. نمودار RMSE برای منطقه تازه آباد به طور کلی بالاتر از نمودار مشابه برای بومهن قرار گرفته است. این تفاوت مقدار برای دو داده با قدرت تفکیک ۳۰ متر چندان نیست ولی با افزایش قدرت تفکیک برای محصول NCC این تفاوت محسوس می‌گردد. با توجه به روش تولید این DEM مجموعه‌ای از عوامل می‌تواند باعث این موضوع شده باشند. از مهمترین آنها می‌توان به خطاهای موجود در روال فتوگرامتری، شرایط پوشش گیاهی و همچنین تغییر شرایط توپوگرافی در محل اشاره کرد.



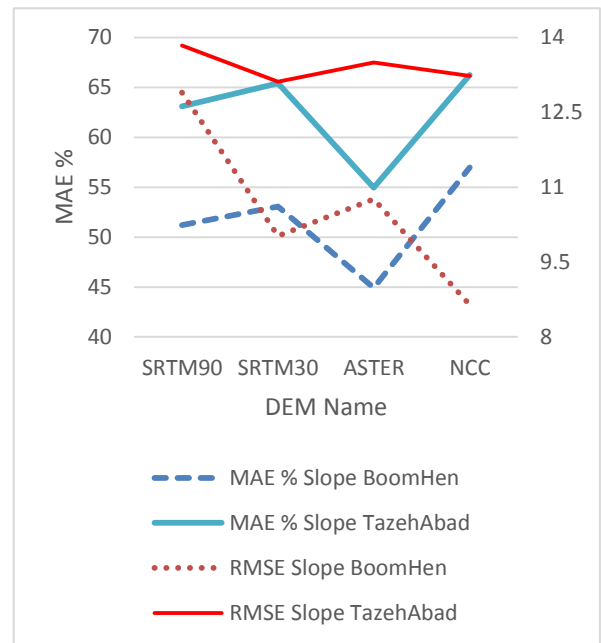
(الف)



(ب)

شکل ۴: نمودار درصد تعداد سلول‌ها در بازه های تعریف شده برای ارتفاع در جدول شماره ۲ (الف) منطقه تازه آباد (ب) منطقه بومهن

تنها یک استثنا وجود دارد و آن SRTM90 است که در بومهن



شکل ۳: نمودار پارامترهای RMSE شیب (محور سمت راست) و MAE بر حسب درصد (محور سمت چپ) برای دو محدوده مطالعاتی تازه آباد و بومهن

در جدول شماره ۴ درصد قرار گیری سلول‌ها برای هر داده ارتفاعی در هر بخش آمده است. نمودار این مقادیر در شکل شماره ۴ قابل مشاهده است.

### ۳- تحلیل و بررسی

#### ۳-۱- تحلیل نتایج داده‌های ارتفاعی

همان‌طور که در بخش ۲-۳ گفته شد، دو پارامتر RMSE و MAE (مجموع کلاس‌های ۴ و ۵) برای ارزیابی وضعیت محصولات از منابع مختلف محاسبه گردید. مطابق شکل شماره ۲ و جدول شماره ۳ به ترتیب NCC و SRTM30 کمترین مقدار RMSE را داشته‌اند. این وضعیت در منطقه بومهن که مناطق کم‌شیب کمتری دارد برای این دو محصول ارتفاعی، به نحو چشمگیرتری وجود دارد و تفاوت آنها با دو محصول ارتفاعی دیگر بزرگ‌تر است.

ASTER در منطقه بومهن RMSE کمتری نسبت به SRTM90 دارد ولی در منطقه تازه‌آباد RMSE نزدیک به SRTM90 نشان می‌دهد. این امر نه به خاطر دقت پایین‌تر SRTM90 نسبت به

مقدار RMSE بیشتری را نسبت به منطقه تازه‌آباد نشان داده است. با توجه به تفاوت قدرت تفکیک مکانی این محصول با دیگر داده‌ها و تفاوت شرایط توپوگرافی در منطقه‌ی مورد ارزیابی چنین رفتاری

جدول ۵: درصد حضور پیکسل‌ها در بازه‌های تعیین شده برای شیب در جدول شماره ۲ برای دو منطقه تحت آمایش

تازه آباد				
	SRTM90	SRTM30	ASTER	NCC
C1	11.88	9.12	8.92	6.78
C2	7.37	6.01	5.62	4.82
C3	14.75	12.58	11.04	12.13
C4	42.10	35.21	25.33	36.83
C5	21.01	30.20	29.63	29.43
C6	1.99	4.79	13.51	5.44
C7	0.53	1.07	3.85	1.85
C8	0.38	1.03	2.12	2.75
بومهن				
C1	19.12	11.12	11.72	7.14
C2	10.28	7.75	7.45	6.71
C3	14.43	13.52	12.14	13.86
C4	27.71	26.50	20.78	28.77
C5	23.50	26.57	24.14	28.22
C6	3.73	9.96	14.52	9.23
C7	0.92	2.82	6.23	3.38
C8	0.32	1.79	3.05	2.71

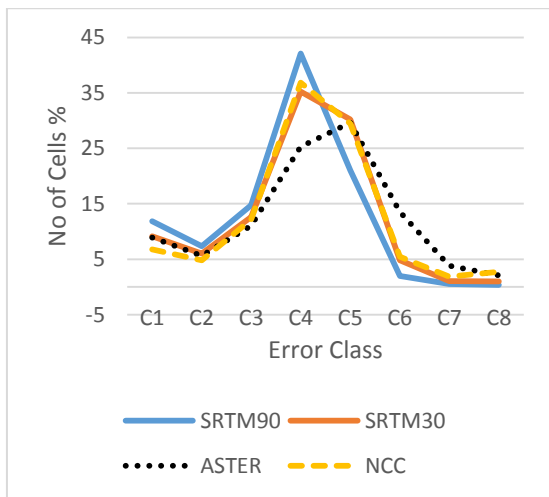
جدول ۴: درصد حضور سلول‌های DEM در بازه‌های تعیین شده در جدول شماره ۲ برای دو منطقه تحت آمایش

تازه آباد				
	SRTM90	SRTM30	ASTER	NCC
C1	4.31	1.75	5.78	1.31
C2	3.83	2.05	17.06	0.39
C3	13.8	8.72	38.03	2.09
C4	47.53	57.93	26.32	52.32
C5	21	25.39	8.72	41.19
C6	5.26	2.55	2.45	1.31
C7	1.85	0.59	0.62	0.29
C8	2.42	1.02	1.02	1.1
بومهن				
C1	4.13	1.07	0.31	0.35
C2	3.08	1.43	0.68	1.47
C3	5.93	3.75	2.78	6.68
C4	13.29	14.21	9.94	50.53
C5	27	44.75	23.55	33
C6	23.98	27.27	31.21	6.29
C7	11.27	5.48	21.06	1.52
C8	11.34	2.07	10.5	0.17

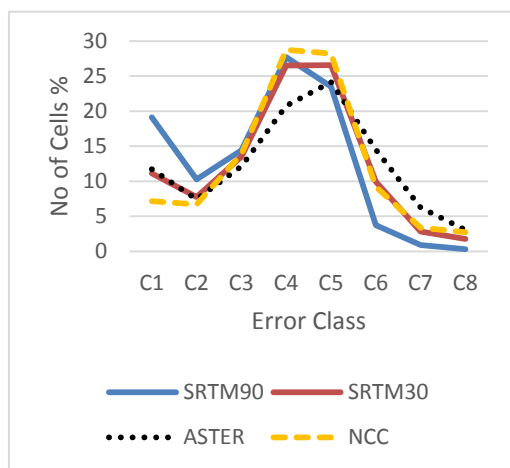
با توجه به نمودار در این میان محصول NCC و به دنبال آن SRTM30 بهترین محصولات بوده‌اند. داده ASTER کمترین مقدار MAE را نسبت به سه محصول دیگر ارائه کرده است که نشانگر تطابق بسیار کم (حدود ۳۵ درصد) آن با واقعیت از لحاظ ارتفاعی می‌باشد که کمترین میزان تطابق در میان چهار داده مورد آزمایش نیز می‌باشد. این داده تقریباً در هر دو منطقه درصد مشابهی را در کلاس خطای MAE داشته است، بر خلاف محصولات SRTM30 و SRTM90 که تفاوت معناداری در این دو منطقه برای این پارامتر نشان داده‌اند (شکل ۲). شرایط به طور کلی برای منطقه تازه‌آباد برای این دو محصول ارتفاعی بهتر بوده است که می‌توان آن را به درصد بیشتر سلول‌های با شیب کم و مناطق مسطح و دشت‌گونه و همچنین روش تولید متفاوت منسوب نمود. البته SRTM90 برای منطقه بومهن که عملاً از مناطق تپه‌ماهور و شیبهای بالاتری برخوردار است تطابق خوبی نشان نداده است و دقتی نزدیک به ASTER ارائه کرده است (حدود ۴۰ درصد). مقدار پارامتر RMSE برای داده SRTM90 نیز در این منطقه بسیار بالا است. مجموع این دو پارامتر برای این داده در منطقه بومهن نسبت به همه محصولات دیگر کاملاً غیر مطلوب است. SRTM30 در منطقه

قابل توجه است. دامنه تغییرات RMSE برای منطقه بومهن حدود ۸,۸ و برای منطقه تازه‌آباد حدود ۳,۱ می‌باشد که می‌تواند به خاطر تغییرات بیشتر شیب در منطقه بومهن باشد.

مقدار RMSE برای سه محصول جهانی SRTM90, ASTER و SRTM30 در دو منطقه تحت بررسی تقریباً به هم نزدیک می‌باشد ولی مقدار RMSE برای NCC در منطقه تازه‌آباد تقریباً دو برابر مقدار آن در منطقه بومهن است. با توجه به منبع و روش تولید متفاوت این DEM، چنین رفتاری انتظار می‌رفت. پارامتر MAE عملاً درصد قابل قبول سلول‌های DEM و میزان کارایی و قابل استفاده بودن داده ارتفاعی را نشان می‌دهد. نمودار این پارامتر در شکل ۲ افت و خیزهای مشابهی برای هر چهار محصول مورد آزمون در دو منطقه تحت آزمایش دارد.

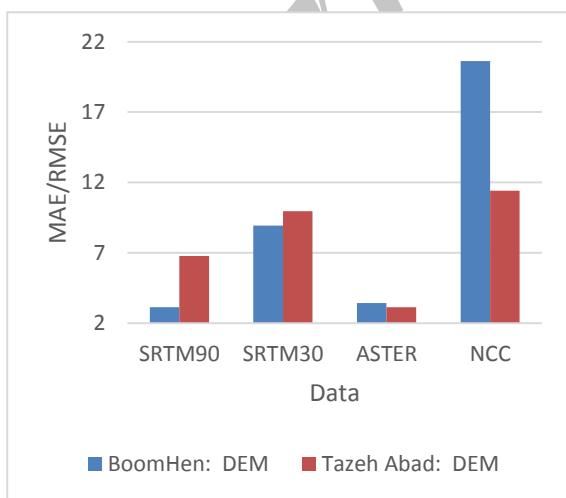


(الف)



(ب)

شکل ۵: نمودار درصد تعداد سلولها در بازه های تعریف شده برای شیب در جدول شماره ۲ (الف) منطقه تازه آباد (ب) منطقه بومهن



شکل ۶: نمودار نسبت پارامترهای MAE و RMSE ارتفاع، برای دو محدوده مطالعاتی تازه آباد و بومهن

تازه‌آباد نتایج بسیار شبیه NCC داشته است (با تفاوتی حدود ۱۰ درصد) و از لحاظ مجموع امتیازی که از RMSE و MAE به صورت همزمان می‌گیرد به NCC نزدیک می‌شود.

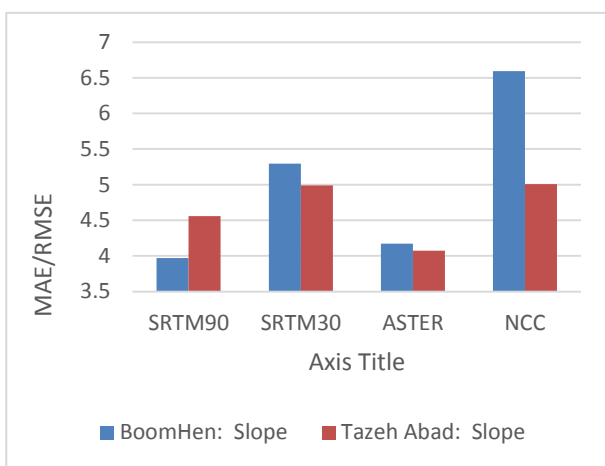
در اولین نگاه به شکل ۴- الف و ۴- ب می‌توان متوجه شد که در منطقه تازه‌آباد که مناطق مسطح بیشتری با شیب کم نسبت به بومهن دارد رفتار سه داده SRTM90, SRTM30, NCC تقریباً مشابه است و تنها ASTER است که با دیگر داده‌ها رفتاری متفاوت دارد. هر سه داده مذکور در کلاس ۴ (بین ۵- تا ۰) بیشترین درصد تعداد سلول را داشته‌اند. پس از آن کلاس ۵ (بین ۰ تا ۵) بیشترین تعداد سلول را به خود اختصاص داده است. به این معنی که این داده‌ها تا حد زیادی با حدود خطای  $\pm 5$  متر به REFDEM نزدیک بوده‌اند. در صورتی که ASTER در کلاس شماره ۳ (بین ۵- تا ۱۰-) بیشترین مقدار سلول را داشته است که به این معنی است که این محصول ارتفاعات را در این منطقه کمتر از مقادیر واقعی نشان می‌دهد. محدوده اعداد منفی برای این محصول در تازه آباد حدود ۸۷ درصد است. بالا بودن درصد خطای کلاس ۴ برای سه محصول و کلاس ۳ برای ASTER به این معنی است که همگی این محصولات تا حد زیادی (۵۶ تا ۸۷ درصد) ارتفاع را کمتر از مقدار موجودشان نشان می‌دهند. در منطقه بومهن (شکل ۴- ب) وضعیت برای NCC تقریباً تکرار شده است. این داده در این منطقه درصدهای تقریباً مشابهی با تازه‌آباد برای سلولهای با ارتفاع بیشتر (۴۱٪) و ارتفاع کمتر (۵۹٪) از REFDEM در خود دارد. به طور کلی ثابت در این محصول در دو منطقه وجود داشته است. پیک منحنی داده‌های SRTM90, SRTM30 در بومهن به کلاس ۵ انتقال پیدا کرده است. این دو داده، به ترتیب ۷۳ و ۸۰ درصد از سلولها را با ارتفاعی بیشتر از ارتفاع موجود در REFDEM نشان داده‌اند. وضعیتی کاملاً برعکس آنچه در محدوده تازه آباد وجود داشت.

برای ASTER این پیک از کلاس ۳ در منطقه تازه آباد به کلاس ۶ در بومهن تبدیل شده است. یعنی بیشترین تعداد پیکسل (۸۶ درصد) که ارتفاعی بالاتر از مقدار واقعی داشته‌اند در این محصول در منطقه بومهن، وجود دارند. در محصول ASTER رفتار با ثباتی دیده نمی‌شود و تغییر تعداد پیکسلها در هر کلاس (بجز کلاس ۱) قابل توجه است. بنابراین وابستگی این داده ارتفاعی به شرایط توپوگرافی محل محرز و بسیار شدید است.



### ۳-۲- تحلیل نتایج داده‌های شیب

ولی دقت محصولات دیگر نیز به آن نزدیک شده است. به این صورت می‌توان گفت که با توجه به نحوه محاسبه شیب عملاً برخی خطاهای ارتفاعی در محصولات غیر NCC، کاهش یافته‌اند و دقت آنها نیز مناسب شده است. برای بررسی توأم مقدار MAE و RMSE، نسبت این دو برای همه محصولات در دو منطقه محاسبه گردیده و در شکل ۷ ترسیم شده است. به طور کلی از نقطه نظر شیب با توجه به منحنی‌های شکل ۷ می‌توان این گونه نتیجه گرفت که NCC در منطقه بومهن از همه محصولات دیگر بهتر عمل کرده است. شرایط برای SRTM30 و ASTER تقریباً در هر منطقه مورد آزمایش مشابه بوده که شاید به علت اندازه سلول یکسان است. SRTM90 در منطقه تازه‌آباد که شیب‌های کمتری دارد، دقت بهتری را نشان داده است.



شکل ۷: نمودار نسبت پارامترهای MAE و RMSE شیب، برای دو محدوده مطالعاتی تازه‌آباد و بومهن

در نگاه اول به شکل‌های ۵-الف (تازه‌آباد) و ۵-ب (بومهن) می‌توان متوجه شد که تقریباً همه چهار محصول مورد آزمایش رفتاری مشابه در کلاسهای مختلف داشته‌اند. محصولات NCC, SRTM90, SRTM30 در هر دو منطقه مورد آزمایش بیشترین تعداد سلول را در کلاس چهارم (۵- و ۰) داشته‌اند. در مقابل محصول ASTER، بیشترین تعداد سلول را در هر دو منطقه، در کلاس پنجم داشته است که نشان دهنده برآورد بیش از مقدار واقعی شیب می‌باشد.

به طور کلی با بررسی درصد سلول‌هایی که مقدار شیب را بالاتر از مقدار موجود برآورد نموده‌اند (کلاس‌های ۵ و بالاتر در جدول ۳) به این نتیجه می‌رسیم که محصول ASTER در هر دو منطقه حجم سلول مشابهی (حدود ۴۹ درصد) را در این گروه قرار داده است.

در داده‌های شیب تولید شده وضعیت از جهات زیادی با شرایط موجود در داده‌های ارتفاعی متفاوت است. شکل شماره ۵ نمودار تغییر پارامترهای RMSE و MAE شیب را برای دو محدوده بومهن و تازه‌آباد نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۵ می‌توان دریافت که خطای RMSE در منطقه تازه‌آباد به طور کلی در همه محصولات بیشتر از خطای منطقه بومهن می‌باشد. مقدار این پارامتر برای شیب، در منطقه تازه‌آباد تقریباً برای همه محصولات تا حد زیادی مشابه است. در صورتی که در منطقه بومهن که شیب‌های بالاتری دارد تفاوت مقادیر RMSE برای محصولات مختلف قابل توجه است. بیشترین مقدار تفاوت RMSE در دو منطقه برای، NCC است (حدود ۴,۶)؛ که آن را می‌توان به حساسیت این محصول به توپوگرافی منطقه برای تولید نقشه شیب و عدم توزیع درست خطا با توجه به توپوگرافی منطقه در سطح داده، نسبت داد.

کمترین مقدار تفاوت RMSE در دو منطقه برای SRTM90 می‌باشد (حدود ۰,۹۵) که علت آن را وجود خطای بالا در این محصول و حضور آن در هر دو منطقه می‌توان دانست. از لحاظ پارامتر RMSE شیب، محصول NCC و محصول SRTM30 به ترتیب در محدوده‌های بومهن و تازه‌آباد کمترین مقدار را داشته‌اند و به این ترتیب بهترین داده‌ها محسوب می‌شوند.

داده شیب ASTER در منطقه بومهن وضعیت کمی بهتر از ارتفاع را دارا می‌باشد و رتبه سوم را اشغال کرده است. در منطقه تازه‌آباد نیز این داده رتبه سوم را دارد که نتیجه جالبی در قبال داده‌های ارتفاعی می‌باشد (در آنجا رتبه چهارم را دارد).

از لحاظ پارامتر MAE رفتار منحنی‌ها برعکس رفتار منحنی‌های RMSE می‌باشند. به این صورت که منحنی این پارامتر برای تازه-آباد بالاتر از منحنی منطقه بومهن ایستاده است. به این صورت می‌توان گفت که در منطقه تازه‌آباد که شیب کمتری دارد درصد پیکسل‌هایی که انطباق شیب آنها با REFDEM بیشتر است، بالاتر می‌باشد.

تفاوت مقادیر MAE، حداقل ۹ درصد (برای NCC) تا حداکثر ۱۲,۴ درصد برای SRTM30 بین دو منطقه مورد آزمایش می‌باشد، به این صورت که تقریباً رفتار نمودار MAE همه محصولات عیناً در دو منطقه تکرار شده است و افت و خیزهای هر دو منحنی در دو منطقه تقریباً مشابه است با این تفاوت که میزان پارامتر MAE همه محصولات در تازه‌آباد در حدود ۱۱ درصد بیشتر از بومهن بوده است. محصول NCC که در قسمت ارتفاع دقت مناسب‌تری نشان می‌داد در مجموع در اینجا نیز دقت خوبی دارد.



بیشترین تطابق با واقعیت را در دو منطقه تحت آزمایش داشته است. پس از آن ASTER و SRTM90 دقت‌های بعدی را داشته‌اند. البته DEM محصول ASTER ثبات رفتاری را در دو منطقه تحت آزمایش مخصوصاً در محصول شیب نشان داده است. در حالی که محصول SRTM90 به شدت به شرایط توپوگرافی محل وابسته است که به دلیل تفاوت نسبتاً زیاد قدرت تفکیک مکانی آن با دیگر محصولات مورد آزمایش می‌باشد.

بررسی مقایسه‌ای نشان داد که معیار RMSE به تنهایی برای مقایسه و بررسی محصولات ارتفاعی و مخصوصاً شیب مناسب نیست و به همین علت، در این تحقیق معیار دیگری به نام MAE مطرح و استفاده شد. نسبت MAE به RMSE می‌تواند بیانگر بهتر دقت محصولات ارتفاعی و شیب باشد.

### سپاسگزاری

نویسندگان لازم می‌دانند تا از سازمان نقشه‌برداری کشور و به طور خاص جناب آقای دکتر اردلان به خاطر در اختیار قرار دادن DEM های ۱۰ متری منطقه‌ی مورد مطالعه نهایت تشکر و قدردانی را به عمل آورند.

### مراجع

- [1] S. K. Jenson and J. O. Domingue, "Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis," Photogrammetric engineering and remote sensing, vol. 54, pp. 1593-1600, 1988.
- [2] C. Small and R. Sohn, "Correlation scales of digital elevation models in developed coastal environments," Remote Sensing of Environment, vol. 159, pp. 80-85, 2015.
- [3] D. S. Mackay and L. E. Band, "Extraction and representation of nested catchment areas from digital elevation models in lake-dominated topography," Water resources research, vol. 34, pp. 897-901, 1998.
- [4] F. Satgé, M.-P. Bonnet, F. Timouk, S. Calmant, R. Pillco, J. Molina, et al., "Accuracy assessment of SRTM v4 and ASTER GDEM v2 over the Altiplano watershed using ICESat/GLAS data," International Journal of Remote Sensing, vol. 36, pp. 465-488, 2015.
- [5] M. Varga and T. Bašić, "Accuracy validation and comparison of global digital elevation models over Croatia," International Journal of Remote Sensing, vol. 36, pp. 170-189, 2015.
- [6] A. Patel, S. K. Katiyar, and V. Prasad, "Performances evaluation of different open source DEM using

به این معنی که این داده تقریباً درصد مساوی از سلولها را با شیب بیشتر و با شیب کمتر از مقدار واقعی برآورد نموده است.

برای دو محصول دیگر یعنی NCC, SRTM30 نیز در هر دو منطقه درصد سلول‌های این گروه تقریباً ثابت باقیمانده است (حدود ۴۰ درصد). داده SRTM90 نیز در حدود ۲۴ تا ۲۸ درصد در منطقه تازه‌آباد و بومهن درصد تقریباً مشابهی به این گروه اختصاص داده است و شیب را بیشتر از میزان واقعی برآورد نموده است. در واقع همه محصولات تقریباً درصد مشابهی از سلول‌ها را با شیب بیشتر از مقدار واقعی (جمع کلاسهای ۵ تا ۸) در دو منطقه تحت آزمایش ارایه کرده‌اند و از این لحاظ ثبات رفتاری داشته‌اند. می‌توان نتیجه گرفت که بدون توجه به تغییر وضعیت توپوگرافی منطقه، محصول شیب رفتاری ثابت دارد. چنین وضعیتی برای ارتفاع برقرار نیست و تنها NCC است که درصد سلول‌های تقریباً مشابهی (حدود ۴۲٪) در هر دو منطقه نشان داده است. حساسیت هر محصول ارتفاعی در هر منطقه متفاوت می‌باشد فارغ از این که منبع داده چیست یا درصد سلول‌ها در کلاس‌های ۵ تا ۸ چه مقدار می‌باشد.

### ۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق سه محصول DEM جهانی , SRTM90, SRTM30 و ASTER و محصول DEM سازمان نقشه‌برداری کشور با استفاده از یک DEM مرجع (که از داده‌های نقشه‌های ۱:۲۰۰۰ تهیه شده بود) در دو منطقه مقایسه گردیدند. نتایج با استفاده از محاسبه معیار RMSE و درصد سلولها با خطای کم (کمتر از ۵ متر) مورد بررسی قرار گرفتند. این مقایسه نشان داد که به طور کلی از لحاظ ارتفاعی و شیب، محصول DEM سازمان نقشه‌برداری کشور از سه داده دیگر با دقت‌تر است. این تفاوت دقت، در محصول ارتفاعی (DEM) کاملاً مشهود است ولی در محصول شیب تفاوت کمتری در محصولات دیده شد.

پراکندگی و بزرگی خطا در محصولات ارتفاعی وابستگی زیادی به شیب محل دارد و هرچه شیب بیشتر باشد خطای ارتفاعی محصولات (مخصوصاً داده‌های جهانی) بیشتر می‌شود. خطای محصول شیبی که از داده‌های DEM تولید شدند، کمتر به ارتفاع وابسته است و توزیع یکنواخت‌تری دارد؛ مگر در محل‌هایی که شیب منطقه بسیار بزرگ باشد که در آن صورت خطای داده شیب نیز بزرگ می‌شود.

محصول ارتفاعی SRTM30 پس از محصول سازمان نقشه‌برداری،

- Differential Global Positioning System (DGPS) " The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science, 2016.
- [7] G. Szabó, S. K. Singh, and S. Szabó, "Slope angle and aspect as influencing factors on the accuracy of the SRTM and the ASTER GDEM databases," *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, vol. 83, pp. 137-145, 2015.
- [8] E. Rodriguez, C. S. Morris, and J. E. Belz, "A global assessment of the SRTM performance," *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, vol. 72, pp. 249-260, 2006.
- [9] J. D. Wood and P. F. Fisher, "Assessing interpolation accuracy in elevation models," *Computer Graphics and Applications*, IEEE, vol. 13, pp. 4-8, 1993.
- [10] B. Rabus, M. Eineder, A. Roth, and R. Bamler, "The shuttle radar topography mission—a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar," *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, vol. 57, pp. 241-262, 2003.
- [11] T. G. Farr, P. A. Rosen, E. Caro, R. Crippen, R. Duren, S. Hensley, et al., "The shuttle radar topography mission," *Reviews of geophysics*, vol. 45, 2007.
- [12] J. Thomas, S. Joseph, K. Thirvikramji, and K. Arunkumar, "Sensitivity of digital elevation models: The scenario from two tropical mountain river basins of the Western Ghats, India," *Geoscience Frontiers*, vol. 5, pp. 893-909, 2014.
- [13] P. Li, C. Shi, Z. Li, J.-P. Muller, J. Drummond, X. Li, et al., "Evaluation of ASTER GDEM using GPS benchmarks and SRTM in China," *International Journal of Remote Sensing*, vol. 34, pp. 1744-1771, 2013.
- [14] Ta Tachikawa, M. Kaku, and A. Iwasaki, "ASTER Global Digital Elevation Model Version 2 –Summary of Validation Results," Technical Report. Boulder, CO: LP DAAC, USGS, 2011.
- [15] J. DeWitt, T. Warner, and J. Conley, "Comparison of DEMs derived from USGS DLG, SRTM, a statewide photogrammetry program, ASTER GDEM and LiDAR: implications for change detection," *GIScience & Remote Sensing*, vol. 52, pp. 179-197, 2015.

#### زیر نویس‌ها

- <sup>1</sup> Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer
- <sup>2</sup> Shuttle Radar Topography Mission
- <sup>3</sup> Total RMSE
- <sup>4</sup> Radar interferometry
- <sup>5</sup> Endeavour