

Vertical accuracy assessment for SRTM and ASTER Digital Elevation Models in Khuzestan plain

Mostafa Kabolizadeh^{1*}, Kazem Rangzan¹, Shahin Mohammadi¹, Khalil Habashi¹

1- Department of Remote Sensing and GIS, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

Keywords: Uncertainty, Geoid, Error, DEM, EGM96

1-Introduction

Investigating data uncertainty enhances our ability to study and understand the real world. One of the most widely used productions in remote sensing is the digital elevation model (DEM). DEMs may be extracted from different methods with various levels of accuracy and cost. Traditionally, DEMs have been extracted from stereo aerial photographs using photogrammetric techniques, but these models are now mainly extracted from satellite images (Aghataher et al., 2016). Since DEMs are obtained using different sensors and different geometries, hence choosing the most appropriate DEM that can accurately represent ground conditions is one of the main requirements in many studies (Vadon, 2003). The DEM is a three-dimensional view of the bare ground without any objects such as plants and buildings, while the digital surface model (DSM) shows the surface with all the objects on it, therefore all satellite data is actually DSM model (Gold et al., 2005, Maune, 2007). Satellite imagery is preferred to traditional methods for DSM extraction, because of that models can be produced from vast, inaccessible areas in a short time with very low cost (Aghataher et al., 2016). The main problem of using satellite imagery is that their products are in the VNIR spectrum, and the imaging process requires cloudless weather and right lighting conditions to produce high-quality DSM. But in recent decades, RADAR data has also been used, so this problem has been somewhat solved. Extraction of altitude data from RADAR data has recently become common because of the ability of these satellite products to eliminate optical satellite image problems and provide better accuracy for DSM production (Massonnet and Feigl, 1998). The purpose of this study was to evaluate the vertical elevation accuracy of ASTER and SRTM elevation models in comparison with elevation data of topographic maps prepared by the State Mapping Organization in 12 cities of Khuzestan Province. The mean error index (ME) and root mean square error (RMSE) statistical factors are used to evaluate the accuracy of data.

2-Methodology

Khuzestan Province, with an area of 64057 km² located in the southwestern part of Iran, was chosen as a study area. Figure 1 shows the distribution of the reference data of the elevation in the study area. The reference data used in the present study are 1: 2000 scale topographic maps prepared by ground-based observations.

The ASTER DEM was a side product of the ASTER sensor carried by the TERRA satellite, takes stunning images of the Earth with 14 different bands ranging from ultraviolet to infrared. Due to having such a wide range, the ground resolution depends but ranges from 15 to 90m. Taking stereo-images can help to create a digital elevation model. The improved global DEM V2 adds 260,000 additional stereo-pairs that cause to improve coverage and to reduce the occurrence of artifacts. The refined production algorithm provides a better spatial resolution increasing horizontal and vertical accuracy and better coverage and detection of a water body. The ASTER GDEM V2 maintains the GeoTIFF format and the same gridding and tile structure as V1, with 30-meter postings and 1 x 1 degree tiles.

* Corresponding author: m.kabolizade@scu.ac.ir

DOI: 10.22055/aag.2020.30916.2037

Received 2019-09-01

Accepted 2020-03-01

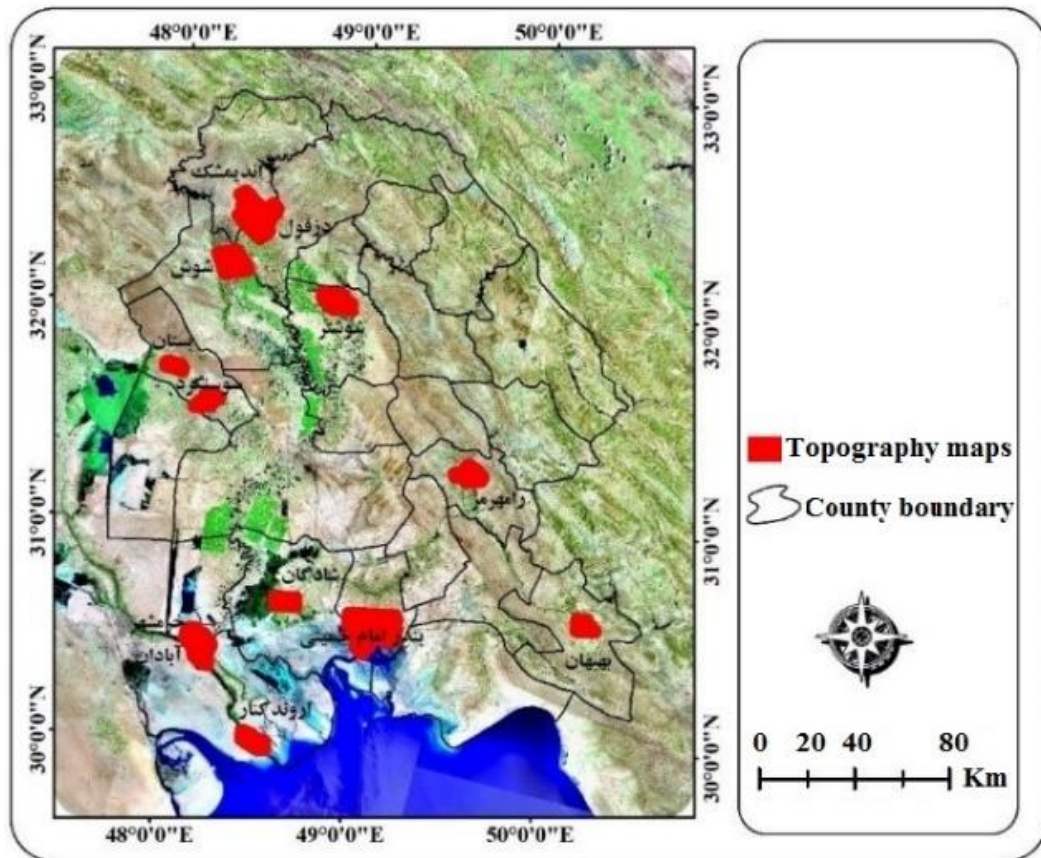


Fig.1. Location of the study area and the elevation reference data.

SRTM or the Shuttle Radar Topography Mission was started in 1999 onboard the Endeavour and collected data for 11 days. Since the orbit of the shuttle, Radar was not circumpolar, and it is sinusoidal, it was only possible to cover a small part of the earth's surface. Therefore, the shuttle used the reflection of emitted radar signals in the so-called C-band (wavelength 5.6 cm) for the SIR-C sensor developed by the Jet Propulsion Laboratory and the X-band (wavelength 3.1 cm) for the X-SAR sensor developed by the German Aerospace Agency. In the present study, the SRTM-ver3 digital elevation model with a spatial resolution of 27.83 m, which is also known as the 30 m digital elevation model, was obtained from the data archive USGS (www.earthexplorer.usgs.gov). Mean error (ME) and mean square error (RMSE) indices were used to evaluate the uncertainty of the digital elevation model data with reference data. This data was evaluated based on the following equations (Congalton and Green, 2008):

$$ME = \sum \frac{z(x_i) - z(x_j)}{N} \tag{Eq. 1}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (z(x_i) - z(x_j))^2}{n}} \tag{Eq. 2}$$

Where, $z(x_i)$ is the reference elevation and $z(x_j)$ is the elevation of ASTER or SRTM DEM in a specific location.

3- Results and discussion

The primary purpose of this study was to assess the elevation accuracy for ASTER and SRTM digital elevation models in Khuzestan Province. For this purpose, the 12 cities in the province were selected as the study area to evaluate their elevation accuracy in the above-mentioned numerical models. Table 1 shows the results of the error estimation, including mean error and root, mean square error for the ASTER and SRTM digital elevation

models compared to the topographic map data. According to the results, the root mean square error of ASTER compared to topographic maps was 1.56 m for Abadan (minimum) and 7.19 m for Shushtar (maximum value). Also, the root mean square error of the SRTM data has the lowest and highest amount for Susangerd (1.75 m) and Shushtar (6.45 m), respectively. The results showed that the average error values for 12 cities of Khuzestan Province by comparison of the topographic maps with ASTER and SRTM data were 6.08 m and 2.34 m, respectively. Also, the RMSE index for ASTER and SRTM data was 6.94 m and 3.46 m, respectively (Table 1).

Table 2. Assessment of the ASTER and SRTM DEM compared to the topographic map using mean error and root mean square error.

City	Mean Error for ASTER DEM and topographic map	Root Mean Square Error for ASTER DEM and topographic map	Mean Error for SRTM DEM and topographic map	Root Mean Square Error for SRTM DEM and topographic map
Bandar Emam Khomeini	6.8	2.96	0.7	2.59
Bostan	0.18	3.47	1.37	2.22
Abadan	6.36	1.56	0.92	2.2
Shadegan	2.83	2.26	1.33	2.52
Arvandkenar	7	2.34	-0.15	1.86
Behbahan	-9	5.21	1	3.47
Andimeshk	-3.2	6.02	-0.18	3.87
Dezful	-2.8	4.81	0.4	2.4
Ramhormoz	-4	5.99	0.6	5.99
Susangerd	-0.6	4.88	2.23	1.75
Shushtar	-3.9	7.19	2.4	6.45
Shush	-0.1	5.9	2.7	3.1

In order to prepare the error map of ASTER and SRTM DEM in study area, RBF interpolation method was used, and the results are shown in Figure 2. In fact, the values of this map represent the mean error for each model, which estimate the difference between the ASTER and SRTM elevation data with the reference topographic maps. According to the results, the minimum and maximum absolute error values for ASTER elevation data compared to the topographic maps in Khuzestan Province were 0.1 and 9.38 m, respectively. Based on the results, the highest elevation error was observed in the southeastern parts of Khuzestan Province and the lowest was for the northwestern parts of Khuzestan Province. Also, the results of mean absolute error of interpolation for SRTM elevation data showed the minimum and maximum values of 0.13 and 2.87 m, respectively. The maximum difference between SRTM data and topographic maps was in northwestern province and the least in southern part. According to the findings of this study, it can be noted that although the overall error of SRTM data may be less than ASTER data, but SRTM data in some areas such as northwestern part of province, Shush and Azadegan have more error than to ASTER.

4-Conclusions

In this study, the accuracy of digital elevation models of SRTM and ASTER were assessed by comparison with elevation data of 1: 2000 scale topographic maps prepared by the State Mapping Organization in 12 cities of Khuzestan Province. Although both elevation data models have a 30 m horizontal resolution, since these models are developed using different techniques, therefore, they have different elevation accuracy. In the present study, the accuracy assessment of ASTER and SRTM data compared to elevation data of the topographic maps of the 12 study cities was performed using mean error indices and the error values of 6.08 and 2.34 m were obtained for ASTER and SRTM data, respectively.

The evaluation results obtained by the mean square root error index for ASTER and SRTM data were 6.94 and 3.46 m, respectively. Based on the findings of the present study, it can be concluded that in most regions of the province, the digital elevation model obtained by SRTM is more accurate than the ASTER digital model, which can be related to the elevation modeling method. The digital elevation models derived from SRTM are produced using radar techniques, and ASTER elevation models are obtained using photogrammetric methods.

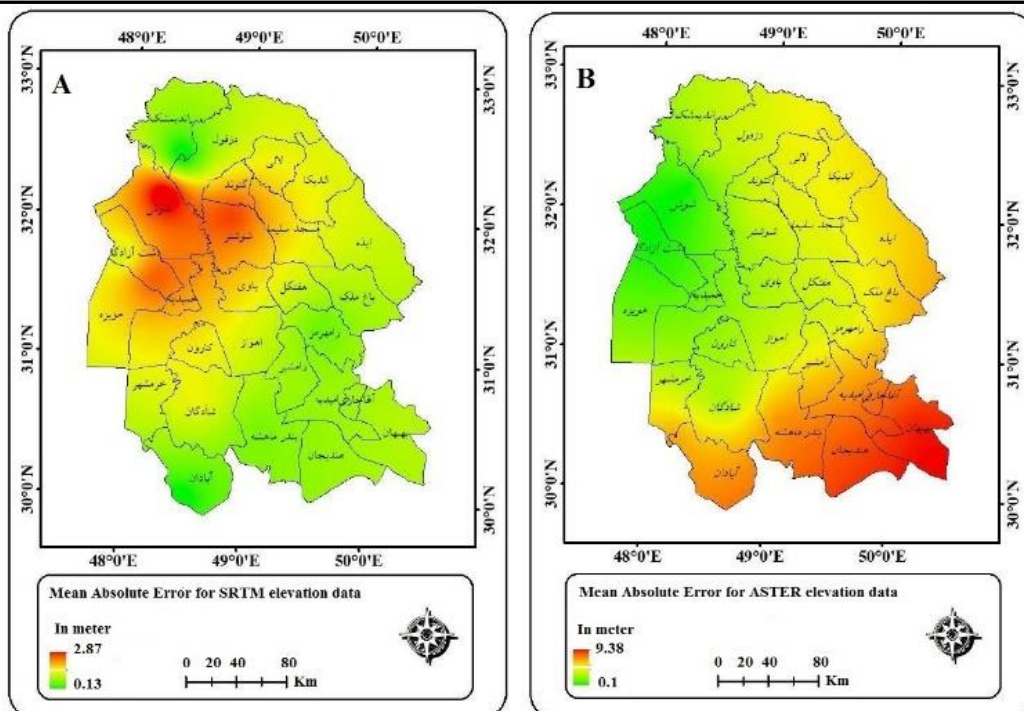


Fig.2. Mean Absolute Error for (a) SRTM and (b) ASTER elevation data.

References

- Aghataher, R., Samadi, M., Laliniat, I., Najafi, I., 2016. Comparative Assessment of Vertical Accuracy of SRTM and ASTER GDEM Elevation Data. *Journal of Geographical Data (SEPEHR)* 99, 103-113.
- Congalton, R.G., Green, K., 2008. *Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices*, CRC press.
- Elkhrachy, I., 2017. Vertical accuracy assessment for SRTM and ASTER Digital Elevation Models: A case study of Najran city, Saudi Arabia. *Ain Shams Engineering Journal* 9, 1807-1817.
- Feizizadeh, B., Abdollah Abadei, S., Valizadeh Kamran, K., 2017. Modeling Uncertainty of Digital Elevation Models SRTM and ASTER and Their Impacts on Landform Classification in Garm-Chay Basin. *Journal of Geographical Data (SEPEHR)* 103, 29-41.
- Gold, C., Zhu, Q., Li, Z., 2005. *Digital Terrain modeling: Principles and methodology*, CRC Press, Boca Raton.
- Hirano, A., Welch, R., Lang, H., 2003. Mapping from ASTER stereo image data: DEM validation and accuracy assessment. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 6, 356-370.
- Kamp, U., Bolch, T., Olsenholler, J., 2003. DEM Generation From ASTER Satellite Data For Geomorphometric Analysis of Cerro Sillajhuay, Chile/Bolivia, ASPRS 2003 Annual Conference Proceedings, Anchorage, Alaska.
- Massonnet, D., Feigl, K.L., 1998. Radar interferometry and its application to changes in the Earth's surface. *Reviews of Geophysics* 4, 441-500.
- Maune, D.F., 2007. *Digital elevation model technologies and applications: the DEM users manual*, Bethesda (Md.) by American Society for Photogrammetry and Remote Sensing.
- 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* 5, W10.

HOW TO CITE THIS ARTICLE:

Kabolizadeh, M., Rangzan, K., Mohammadi, Sh., Habashi, Kh., 2021. Vertical accuracy assessment for SRTM and ASTER Digital Elevation Models in Khuzestan plain. *Adv. Appl. Geol.* 10(4), 553-569.

DOI: 10.22055/AAG.2020.30916.2037

url: https://aag.scu.ac.ir/article_15492.html?lang=en

ارزیابی دقت ارتفاعی مدل‌های رقومی ارتفاع ASTER و SRTM در بخش جلگه‌ای استان خوزستان

مصطفی کابلی زاده*

گروه سنجش از دور و GIS، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

کاظم رنگزن

گروه سنجش از دور و GIS، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

شاهین محمدی

گروه سنجش از دور و GIS، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

خلیل حبشی

گروه سنجش از دور و GIS، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۶/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۱۱

*m.kabolizade@scu.ac.ir

چکیده

بررسی عدم قطعیت داده‌ها، توانایی ما را جهت مطالعه و درک درست از جهان واقعی افزایش می‌دهد از آنجائیکه مدل‌های رقومی ارتفاع با استفاده از سنجنده‌های مختلف و هندسه متفاوت به دست می‌آیند، بنابراین انتخاب مناسب‌ترین مدل رقومی ارتفاع که بتواند با دقت بهتری شرایط سطح زمین را ارائه دهد یکی از نیازهای اصلی متخصصان این زمینه می‌باشد. تحقیق حاضر با هدف ارزیابی دقت ارتفاع عمودی مدل‌های رقومی ارتفاع ASTER و SRTM در مقایسه با داده‌های ارتفاعی نقشه‌های توپوگرافی تهیه شده توسط سازمان نقشه برداری کشور در ۱۲ شهر از استان خوزستان انجام می‌شود. در این راستا به منظور ارزیابی دقت داده‌ها از شاخص‌های میانگین خطا (ME) و خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) استفاده می‌شود. نتایج ارزیابی مقدار متوسط خطا برای شهرهای مورد بررسی با نقشه‌های توپوگرافی سازمان نقشه برداری برای داده‌های ASTER و SRTM به ترتیب مقدار ۶/۹۴ و ۳/۴۶ برآورد شد. یافته‌های مطالعه حاضر نشان داد که در اغلب شهرهای استان خوزستان مدل رقومی ارتفاعی حاصل از SRTM دقت بالاتری نسبت به مدل رقومی ASTER دارد؛ زیرا داده‌های SRTM عدم قطعیت کمتری دارند.

کلمات کلیدی: عدم قطعیت، خطا، ژئوئید، DEM، EGM96

مقدمه

رقومی سطح (DSM^۱) سطح زمین را همراه با تمام اشیاء روی آن نشان می‌دهد؛ تمام داده‌های حاصل از داده‌های ماهواره‌ای در حقیقت DSM هستند (Gold et al., 2005; Maune, 2007). استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مزیت فوق العاده‌ای برای استخراج DSM 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 پایین‌تر تولید نمود (Aghataher et al., 2016). مشکل اصلی استفاده از تصاویر ماهواره‌ای این است که تصویر برداری آن‌ها در محدوده طیف نوری است و تصویر برداری در این محدوده نیازمند هوای بدون ابر و شرایط روشنایی مناسب می‌باشد تا به‌توان مدل رقومی ارتفاعی با کیفیت مناسب تهیه نمود اما در دهه اخیر داده‌های رادار نیز جهت استخراج داده‌های ارتفاعی رایج شده است زیرا توانست مشکلات تصاویر ماهواره‌ای را مرتفع سازد و با دقت بهتری مدل‌های رقومی ارتفاع را تهیه نماید (Massonnet and Feigl, 1998). از آنجائیکه مدل رقومی ارتفاع با استفاده از حسگرهای مختلف و الگوریتم‌های متفاوت

یکی از محصولات کاربردی که در مباحث مدل‌سازی سنجش از دور بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرد لایه‌های مدل رقومی ارتفاع (DEM^۱) می‌باشند (Hirano et al., 2003). مفهوم اولیه مدل رقومی ارتفاع در اواخر دهه ۱۹۵۰ میلادی از ایالات متحده آمریکا آغاز شد و از آن زمان تا کنون پیشرفت‌های قابل توجهی بویژه در مورد روش‌های گردآوری و پردازش اطلاعات زمینی حاصل گردید (Ashrafi and Mohammad Ali, 2014). مدل‌های رقومی ارتفاعی می‌توانند از روش‌های مختلف با درجه صحت و هزینه متفاوت استخراج شوند. به‌طور سنتی مدل‌های رقومی ارتفاع با تکنیک‌های فتوگرامتری از عکس‌های هوایی استریو استخراج می‌شوند ولی در حال حاضر این مدل‌ها عمدتاً از تصاویر ماهواره‌ای استخراج می‌گردند (Aghataher et al., 2016). مدل رقومی ارتفاع یک نمای سه بعدی از سطح زمین لخت بدون هیچ گونه اشیائی مانند گیاهان و ساختمان‌ها می‌باشد در حالی که مدل

Elkhrachy (۲۰۱۷) تحقیقی با عنوان ارزیابی صحت عمودی مدل‌های رقومی ارتفاع SRTM و ASTER انجام داد. ایشان برای ارزیابی صحت ارتفاعی مدل‌های رقومی یاد شده از داده‌های ارتفاعی GPS و نقشه‌های توپوگرافی استفاده کردند. نتایج این مطالعه نشان داد که دقت به‌دست آمده برای مدل رقومی ارتفاع SRTM عددی بین $6/87 \pm$ متر می‌باشد. همچنین ایشان دقت مدل رقومی ارتفاع ASTER را به‌طور متوسط $7/97 \pm$ متر برآورد کردند.

Rokni Deylami و همکاران (۲۰۰۷) در پژوهشی دقت تهیه مدل‌های رقومی ارتفاع با استفاده از تصاویر ASTER را در منطقه‌ای از شهرستان فسا مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها جهت تولید مدل رقومی ارتفاع از روش تطابق‌یابی استفاده کردند، دقت ارتفاعی برای مدل رقومی ارتفاع ASTER در این مطالعه $4/26 \pm$ متر برآورد گردید. نتایج خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) در مناطق دشتی و کوهستانی نشان داد که دقت مدل رقومی ارتفاع در مناطق دشتی کمتر می‌باشد. همچنین در مناطق با شیب زیاد و در محل درز و شکاف تطابق‌ها خوب عمل نکرده و اختلاف ارتفاعی زیاد است.

Aghataher و همکاران (۲۰۱۶) مطالعه‌ای با هدف ارزیابی مقایسه‌ای صحت ارتفاعی مدل‌های رقومی ارتفاعی ASTER و SRTM برای مناطق مورد مطالعه در آذربایجان شرقی، سیستان و بلوچستان و بوشهر انجام دادند. نتایج این مطالعه نشان داد که خطای ریشه میانگین خطا در هر سه منطقه مذکور در مدل رقومی ارتفاع SRTM کمتر است. بررسی منابع در سال‌های اخیر نشان می‌دهد که مطالعاتی به منظور بررسی کیفیت مدل‌های رقومی ارتفاع در داخل و خارج از کشور انجام شده است. با توجه به کاربردهای متعدد مدل‌های رقومی ارتفاع لازم است که دقت ارتفاعی آن‌ها بررسی و صحت آن‌ها مورد ارزیابی قرار گیرد، بنابراین تحقیق حاضر با هدف ارزیابی دقت مدل‌های رقومی ارتفاع حاصل از سنجنده‌های ASTER و SRTM در ۱۲ شهر استان خوزستان انجام شد تا میزان عدم قطعیت این داده‌ها برای استان خوزستان مشخص گردد.

روش مطالعه

معرفی منطقه مورد مطالعه

استان خوزستان با وسعتی معادل 64057 کیلومترمربع بین مدار جغرافیایی 29 درجه و 57 دقیقه تا 33 درجه و 0 دقیقه عرض شمالی و 47 درجه و 38 دقیقه تا 50 درجه و 32 دقیقه شرقی، در جنوب غربی کشور ایران قرار دارد (شکل ۱). از نظر پستی و بلندی استان خوزستان را می‌توان به دو منطقه کوهستانی و جلگه‌ای تقسیم نمود؛ منطقه کوهستانی به‌طور عمده در شمال و شرق استان قرار دارد و حدود 35 درصد مساحت استان را شامل می‌شود. منطقه جلگه‌ای در خوزستان از جنوب دزفول، مسجد سلیمان، رامهرمز و بهبهان آغاز شده تا جنوب استان ادامه دارد؛ وسعت این منطقه تقریباً 65 درصد از مساحت کل استان می‌باشد (Statistical Year Book of Khuzestan Province, 2017).

به‌دست می‌آیند و نقشه‌های مشتق شده از مدل‌های رقومی ارتفاع در تحلیل‌های مختلف کاربرد دارد.

بنابراین انتخاب مناسب‌ترین مدل رقومی که با دقت بالاتری بتواند شرایط طبیعی زمین را ارائه دهد یکی از نیازهای اصلی متخصصان در این زمینه می‌باشد (Vadon, 2003). بررسی عدم قطعیت داده‌ها، توانایی ما را جهت مطالعه و درک درست از جهان واقعی افزایش می‌دهد، زیرا آگاهی از منابع عدم قطعیت و حذف آن‌ها برای ارتقای نتایج یکی از مهم‌ترین موارد در علم سنجش از دور می‌باشد (Feizizadeh and Blaschke, 2014).

در خصوص کاربرد مدل‌های رقومی ارتفاع تحقیقات گسترده‌ای انجام شده است (Habashi et al., 2017; Behiari et al., 2017; Nakhaei et al., 2013; Mohammadi et al., 2018; Saberi et al., 2012). اما مطالعات در خصوص ارزیابی دقت و مقایسه این مدل‌ها محدود بوده که در ادامه به تعدادی از مطالعات مرتبط با موضوع اشاره می‌گردد.

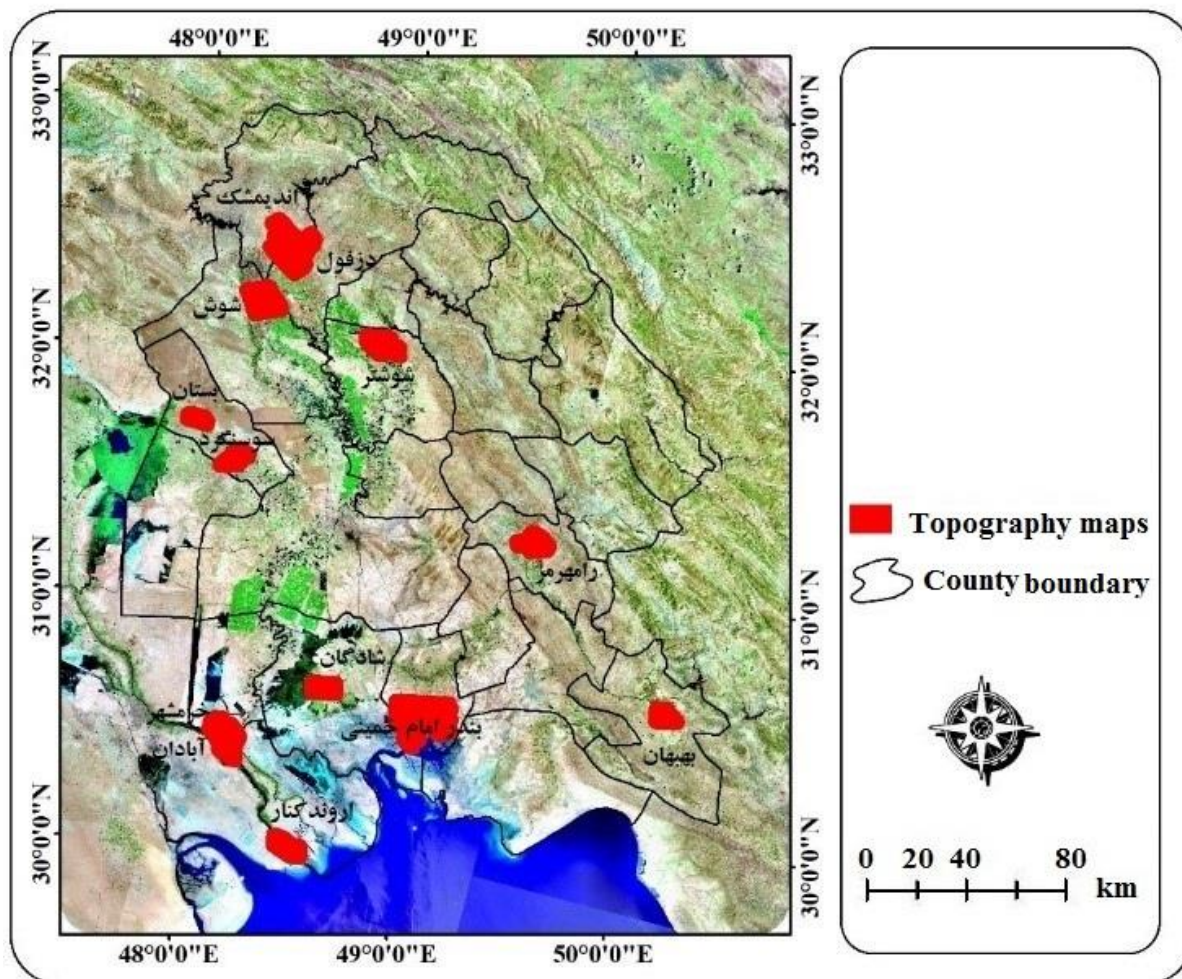
Jarvis و همکاران (۲۰۰۴) در تحقیقی اختلاف‌های موجود بین داده‌های ارتفاعی SRTM^۳ و منحنی میزان نقشه‌های $1:50000$ با داده ژئوئید در کشور هندوراس را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که میانگین خطای مدل رقومی SRTM در حدود 8 متر می‌باشد، در حالی که مدل رقومی ارتفاعی به‌دست آمده از نقشه‌های $1:50000$ خطایی در حدود 20 متر را نشان داد. بنابراین نتیجه گرفتند که مدل رقومی ارتفاع SRTM بسیار دقیق‌تر از مدل رقومی ارتفاع استخراج شده از نقشه‌های توپوگرافی می‌باشد.

Rodriguez و همکاران (۲۰۰۶) داده‌های SRTM را در مقیاس جهانی با بکارگیری نقاط کنترل به‌دست آمده از طریق GPS و سایر مدل‌های ارتفاعی موجود، مورد ارزیابی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که SRTM دارای خطای ارتفاعی در حدود 16 متر می‌باشد. (Sefercik, 2012) پژوهشی به‌منظور ارزیابی مدل رقومی سطح در دو منطقه شامل بارسلونا و زان گلداک را انجام داد. براساس نتایج به‌دست آمده در مناطق شهری بارسلونا و زان گلداک دقت داده‌های رقومی ارتفاع ASTER^۴ در مقایسه با مدل ارتفاعی رقومی مرجع به‌ترتیب تقریباً به 4 و 8 متر می‌رسد. نتایج این مطالعه نشان داد که کیفیت مدل رقومی ارتفاع تهیه شده از داده‌های ماهواره‌ای رابطه مستقیم با شیب زمین دارد و با تغییر شیب تغییر می‌کند.

Du و همکاران (۲۰۱۲) در تحقیقی صحت داده‌های ارتفاعی SRTM و ASTER را با استفاده از نقاط کنترل در دو منطقه از چین با روش تجزیه و تحلیل آماری مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج این مطالعه نشان داد که صحت ارتفاعی داده‌های SRTM در این دو منطقه $2/38$ و $4/43$ متر و صحت ارتفاعی داده‌های ارتفاعی ASTER نیز $6/98$ و $4/83$ متر می‌باشد.

3-Shuttle Radar Topographic Mission

4-Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer



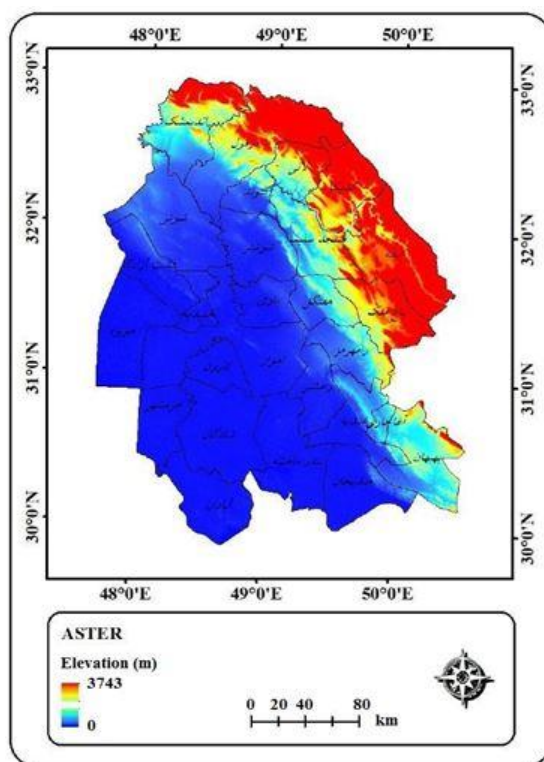
شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه به همراه موقعیت داده‌های مرجع ارتفاعی.

Fig.1. Location of the study area and location of the elevation reference data.

ابتدا بصورت DGN بود که پس از تغییر فرمت داده‌ها وارد نرم افزار GIS شده و پیش پردازش های لازم بر روی آن‌ها اعمال شد و در نهایت از اطلاعات استخراج شده از این لایه‌ها جهت ارزیابی دقت مدل های رقومی ارتفاع سنجنده های ASTER و SRTM (شکل‌های ۲ و ۳) استفاده شد. اطلاعات آماری داده‌های به کار رفته در این بخش شامل حداقل ارتفاع، حداکثر ارتفاع، میانگین ارتفاع، انحراف معیار و تعداد نقاط کنترل در جدول ۱ آورده شده است.

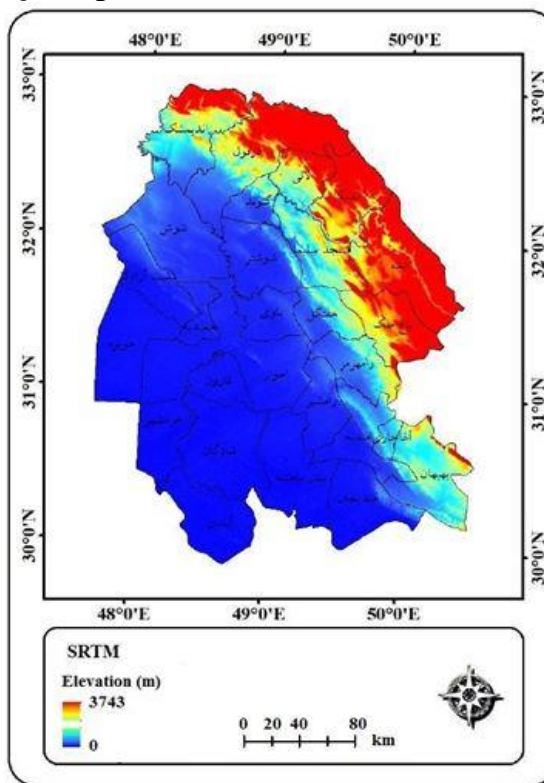
آماده سازی داده‌ها

داده های مرجع استفاده شده در تحقیق حاضر شامل نقشه‌های توپوگرافی شهرهای دزفول، شوش، شوشتر، رامهرمز، سوسنگرد، بهبهان، آبادان، خرمشهر، اروند کنار، بندر امام خمینی، شادگان، اندیمشک و بستان با مقیاس ۱:۲۰۰۰ سازمان نقشه برداری کشور می‌باشند. این نقشه‌ها ارتفاع را براساس سیستم مرجع ارتفاعی ژئوئید با دقت مکانی زیر یک متر نشان می‌دهند. فرمت فایل‌های نقشه‌های توپوگرافی در



شکل ۲- مدل های رقومی ارتفاع سنجنده ASTER.

Fig.2. Digital elevation model of ASTER Sensor.



شکل ۳- مدل رقومی ارتفاع سنجنده SRTM.

Fig.3. Digital elevation model of SRTM Satellite.

جدول ۱- اطلاعات آماری داده های به کار رفته در تحقیق حاضر.

Table 1. Statistics information of the data used in the current research.

City	Data type	SD	Mean Elevation	Max. Elevation	Min. Elevation	Control point
Bandar Emam Khomeini	Topography map	1.62	3.98	19	0.01	19635
	ASTER	2.86	10.81	49	0	
	SRTM	2.99	4.71	95	0	
Bostan	Topography map	1.9	7.83	24.11	1.32	2964
	ASTER	3.32	8.02	19	0	
	SRTM	1.76	9.21	20	2	
Abadan	Topography map	0.73	1.34	15.94	0.11	15114
	ASTER	2.14	7.77	36	3	
	SRTM	1.6	2.26	19	0	
Shadegan	Topography map	1.73	5.17	19.94	0.14	5596
	ASTER	1.74	8.03	23	4	
	SRTM	2.15	6.49	20	0	
Arvand kenar	Topography map	1.3	1.51	19.58	0	66489
	ASTER	1.99	8.54	28	4	
	SRTM	1.33	1.66	20	0	
Behbahan	Topography map	12.36	326.93	368.4	299.75	4368
	ASTER	13.22	318.03	368.4	299.75	
	SRTM	12.25	328.51	371	301	
Andimeshk	Topography map	12.5	155.53	190	128.8	7647
	ASTER	13.14	152.3	191	97	
	SRTM	12.39	155.32	192	129	
Dezfol	Topography map	13.71	128.79	159	101.3	10388
	ASTER	14.08	126.06	161	77	
	SRTM	13.88	129.21	180	99	
Ramhormoz	Topography map	25.02	163.96	250	110.68	7514
	ASTER	24.62	159.99	257	109	
	SRTM	26.14	164.54	262	106	
Susangerd	Topography map	1.13	11.27	16.57	1/1	3087
	ASTER	4.85	10.68	28	0	
	SRTM	1.81	13.51	25	7	
Shoshtar	Topography map	18.51	60.9	100	16.48	8417
	ASTER	19.7	57	145	7	
	SRTM	19.15	63.33	148	27	
Shosh	Topography map	7.57	79.59	96	57.44	12687
	ASTER	9.65	79.41	114	50	
	SRTM	7.36	82.28	98	60	

(Yamaguchi et al., 1998 Fujisada et al., 2011). دقت

RMSE مدل های ارتفاعی حاصل از ASTER به تعداد نقاط کنترلی بستگی داشته و با دقتی در حدود ± 7 الی ± 50 متر قابل ثبت می باشند (Kamp et al., 2003 Hirano et al., 2003). در مواردی که امکان برداشت نقاط کنترلی به طور دقیق وجود نداشته باشد امکان

مدل رقومی ارتفاع ASTER

سنجنده ASTER یکی از سنجنده های نصب شده بر روی ماهواره Terra است که به عنوان بخشی از سیستم تصویربرداری EOS است که بوسیله سکوی EOS-AM در ۱۸ دسامبر ۱۹۹۹ به فضا پرتاب شد

ترازیابی و نیز کاربردهای ژئودینامیکی و ژئوفیزیکی نظیر بیان نحوه توزیع جرم در اعماق زمین، تعادل ایزوستازی، صفحه تکتونیک، جریانات اقیانوسی و تغییرات دانسیته ناشی از ساختارهای گوناگون زمین شناسی اشاره کرد (Vanicek and Christou, 1993). مدل های رقومی ارتفاع پس از تولید، دارای خطایی نظیر جدایی بیضوی مبنا از ژئوئید و همچنین خطای تصادفی می باشند؛ خطای جدایی بیضوی از ژئوئید یک نوع خطای سیستماتیک بوده و از آنجاییکه این مدل ها بر اساس سطح مبنای ژئوئید ایجاد شده اند این نوع خطا به صورت نسبی توسط تولید کننده داده ها از مدل های رقومی ارتفاع حذف شده اند. بنابراین آنچه در مطالعه حاضر تحت عنوان خطا از آن یاد می شود خطای اتفاقی یا تصادفی مدل های رقومی ارتفاع در استان خوزستان است. در این راستا جهت حذف این خطا، ابتدا مقدار خطا در هر ناحیه برآورد شد، سپس پهنه بندی مقدار خطا در سطح استان خوزستان با استفاده از روش های پهنه بندی انجام شد.

بررسی عدم قطعیت داده های ارتفاعی

جهت ارزیابی میزان عدم قطعیت در داده های مدل رقومی ارتفاع با داده های مرجع از شاخص های ارزیابی خطای متوسط (ME) و خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) استفاده گردید که براساس روابط ۱ و ۲ ارزیابی شدند (Congalton and Green, 2008).

$$ME = \sum \frac{z(x_i) - z(x_j)}{N} \quad (\text{رابطه ۱})$$

در رابطه ۱، ME خطای متوسط در موقعیت، $z(x_i)$ مقدار صحیح و $z(x_j)$ مقدار محاسبه شده ارتفاع می باشد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (z(x_i) - z(x_j))^2}{n}} \quad (\text{رابطه ۲})$$

در رابطه ۲، RMSE ریشه خطای مجذور میانگین $z(x_i)$ مقدار صحیح و $z(x_j)$ مقدار محاسبه شده ارتفاع می باشد.

در نهایت پس از برآورد خطا به منظور پهنه بندی خطا برای کل استان از مقدار خطای مطلق برای ۱۲ شهر استان خوزستان استفاده شد. به منظور تعمیم اطلاعات و خصوصیات نقاط نمونه برداری به کل سطح استان، با توجه به خصوصیات و ارزش های عددی داده ها، درون یابی با روش های مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت و در میان این روش ها، روش تابع پایه شعاعی (RBF) با توجه به کم بودن مقدار RMSE انتخاب گردید و با استفاده از این روش پهنه بندی انجام شد (Shi et al., 2003; Wright, 2003; 2009).

در مواردی که از توابع پایه شعاعی برای درون یابی استفاده می شود، به منظور دستیابی به دقت بالا، تعداد مراکز با بعد داده های ورودی برابر در نظر گرفته می شود. برای انجام درون یابی می توان از روش RBF تعمیم یافته استفاده کرد (Wright, 2003)؛ که به صورت رابطه ۳ بیان می شود.

تهیه مدل های رقومی ارتفاعی، از سری تصاویر استریو با سنسورهای عمود بر خط طولی و براساس انطباق اتوماتیکی، با دقت ± 5 الی ± 20 متر بسته به نسبت $\frac{B}{H^2}$ به دست می آیند (Feizizadeh et al., 2017). مدل رقومی ارتفاع ASTER دارای سطح مبنای مسطحاتی WGS 1984 و سطح مبنای ارتفاعی براساس ژئوئید (EGM 96) می باشد (Elkhrachy, 2017). در تحقیق حاضر مدل رقومی ارتفاع ASTER-ver2 با قدرت تفکیک مکانی $27/83$ متر که اصلاحاً "مدل رقومی ارتفاع ۳۰ متری نیز به آن اطلاق می شود از آرشیو موجود در پایگاه اینترنتی (www.earthexplorer.usgs.gov) USGS مورد استفاده قرار گرفت.

مدل رقومی ارتفاع SRTM

پروژه SRTM در ۱۱ فوریه سال ۲۰۰۰ توسط ناسا جهت تهیه مدل رقومی ارتفاع شروع شد (Rosen et al., 2000). این داده ها تقریباً دارای یک پوشش جهانی از 56 درجه جنوبی تا 60 درجه شمالی می باشند (Feizizadeh et al., 2017). SRTM در ماموریت خود از یک سیستم راداری اصلاح شده با دو آنتن استفاده می کند و سیستم به کار رفته تداخل سنجی رادار با روزه مصنوعی (Interferometric Synthetic Aperture Radar, InSAR) خوانده می شود. مدل ارتفاعی به دست آمده بصورت قطعاتی که هر کدام دارای طول یک درجه و عرض یک درجه می باشند ارائه شده اند و نام فایل براساس گوشه جنوب غربی هر فایل تعیین می شود. مدل رقومی ارتفاع SRTM دارای سطح مبنای مسطحاتی WGS 1984 و سطح مبنای ارتفاعی براساس ژئوئید (EGM 96) می باشد (Elkhrachy, 2017). در تحقیق حاضر مدل رقومی ارتفاع SRTM-ver3 با قدرت تفکیک مکانی $27/83$ متر که اصلاحاً "مدل رقومی ارتفاع ۳۰ متری نیز به آن اطلاق می شود از آرشیو موجود در پایگاه اینترنتی (www.earthexplorer.usgs.gov) مورد استفاده قرار گرفت.

سطح مبنای ارتفاعی براساس ژئوئید (Geoid)

ژئوئید نزدیک ترین سطح هم پتانسیل به سطح متوسط آب های آزاد است؛ عملاً سطح هم پتانسیلی که به بهترین وجه، سطح متوسط آب های دریاها را تقریب کند به عنوان ژئوئید در نظر گرفته می شود (Heiskanen and Moritz, 1967). به عبارت دیگر اگر بتوان آب دریاها را با کندن کانال هایی به خشکی هدایت کرد بطوریکه آزادانه جریان یافته، تحت تاثیر نیروی جاذبه کوه ها، نیروی باد، دما و نیروی های خارجی دیگر نباشند سطحی که ایجاد می شود ژئوئید خواهد بود (Azmudeh Ardalaan, 1992). این سطح مبنای ارتفاعات در ژئودزی بوده و از اهمیت بالایی برخوردار است (Heiskanen and Moritz, 1967). از کاربرد عملی مشخص بودن این سطح می توان به تبدیل ارتفاع های ژئودتیک اندازه گیری شده توسط سیستم های ناوبری ماهواره ای^۵ به ارتفاع ارتومتریک، کاهش حجم قابل توجه عملیات

$$\hat{Z}(X_0) = \sum_{i=1}^n w_i (\|X_i - X_0\|) + w_{n+1} \quad (\text{رابطه ۳})$$

در رابطه ۳، w_i تابع پایه شعاعی، $\|X_i - X_0\|$ فاصله اقلیدوسی بین مکانی که قصد برآورد مقدار آن را داریم X_0 و هر مکان داده X_i و w_{n+1} وزن‌ها هستند که باید برآورد شوند (Rahimpour and Abbaspour, 2014).

بحث و بررسی

هدف تحقیق حاضر ارزیابی صحت ارتفاعی مدل‌های رقومی ارتفاع ASTER و SRTM در استان خوزستان می باشد. برای این منظور شهرهای دزفول، شوش، شوشتر، رامهرمز، سوسنگرد، بهبهان، آبادان، خرمشهر، اروند کنار، بندر امام خمینی، شادگان، اندیمشک و بستان جهت ارزیابی صحت ارتفاعی مدل‌های رقومی ارتفاع یاد شده به کار برده شدند. در جدول ۲ نتایج ارزیابی خطا شامل متوسط خطا و خطای جذر میانگین مربعات برای مدل‌های رقومی ارتفاع ASTER و SRTM در مقایسه با داده‌های نقشه‌های توپوگرافی آورده شده است. براساس نتایج به دست آمده خطای جذر میانگین مربعات داده‌های ارتفاعی ASTER

با نقشه‌های توپوگرافی برای شهر آبادان با مقدار ۱/۵۶ متر کمترین و برای شهر شوشتر با مقدار ۷/۱۹ متر بیشترین می باشد. همچنین خطای جذر میانگین مربعات داده‌های ارتفاعی SRTM با نقشه‌های توپوگرافی برای شهر سوسنگرد با مقدار ۱/۷۵ متر کمترین و برای شهر شوشتر با مقدار ۶/۴۵ متر بیشترین می باشد. همچنین براساس نتایج به دست آمده مقدار متوسط خطا داده‌های ارتفاعی ASTER با نقشه‌های توپوگرافی شهر شوش با مقدار ۰/۱- متر کمترین و برای شهر بهبهان با مقدار ۹- متر بیشترین می باشد. از طرف دیگر مقدار متوسط خطا داده‌های ارتفاعی SRTM با نقشه‌های توپوگرافی برای شهر اروندکنار با مقدار ۰/۱۵- متر کمترین و برای شهر شوش با مقدار ۲/۷ متر بیشترین می باشد. نتایج نشان داد که مقدار متوسط خطا برای ۱۲ شهر استان خوزستان با نقشه‌های توپوگرافی برای داده‌های ASTER و SRTM به ترتیب ۶/۰۸ متر و ۲/۳۴ متر برآورد شد. همچنین شاخص RMSE برای داده‌های ASTER و SRTM به ترتیب مقدار ۶/۹۴ متر و ۳/۴۶ متر را نشان داد.

جدول ۲- ارزیابی متوسط خطا و ریشه میانگین خطا مدل‌های رقومی ارتفاع ASTER و SRTM در مقایسه با نقشه‌های توپوگرافی.

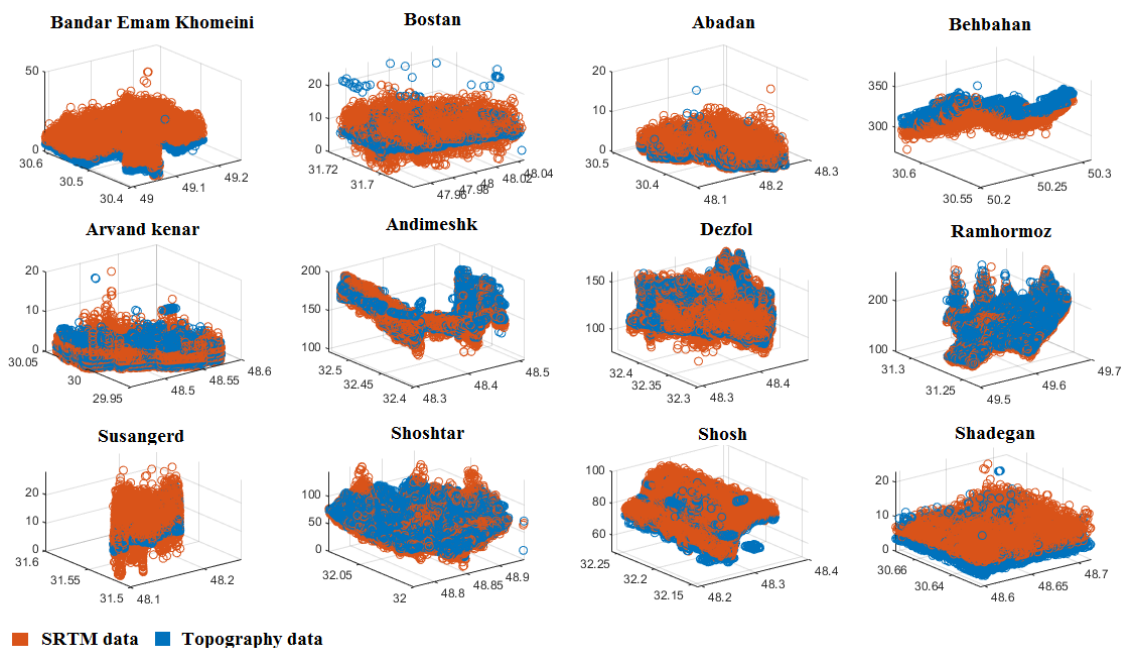
Table 2. Assessment of Mean Error and Root Mean Square Error of the ASTER and SRTM DEM in the compare with topography map.

City	RMSE for SRTM DEM and topographic map	ME for SRTM DEM and topographic map	RMSE for ASTER DEM and topographic map	ME for ASTER DEM and topographic map
Bandar Emam Khomeini	2.59	0.7	2.96	6.8
Bostan	2.22	1.37	3.47	0.18
Abadan	2.2	0.92	1.56	6.36
Shadegan	2.52	1.33	2.26	2.83
Arvand kenar	1.86	-0.15	2.34	7
Behbahan	3.47	1	5.21	-9
Andimeshk	3.87	-0.18	6.02	-3.2
Dezfol	2.4	0.4	4.81	-2.8
Ramhormoz	5.99	0.6	5.99	-4
Susangerd	1.75	2.23	4.88	-0.6
Shoshtar	6.45	2.4	7.19	-3.9
Shosh	3.1	2.7	5.9	-0.1

بررسی توزیع فضایی داده‌ها

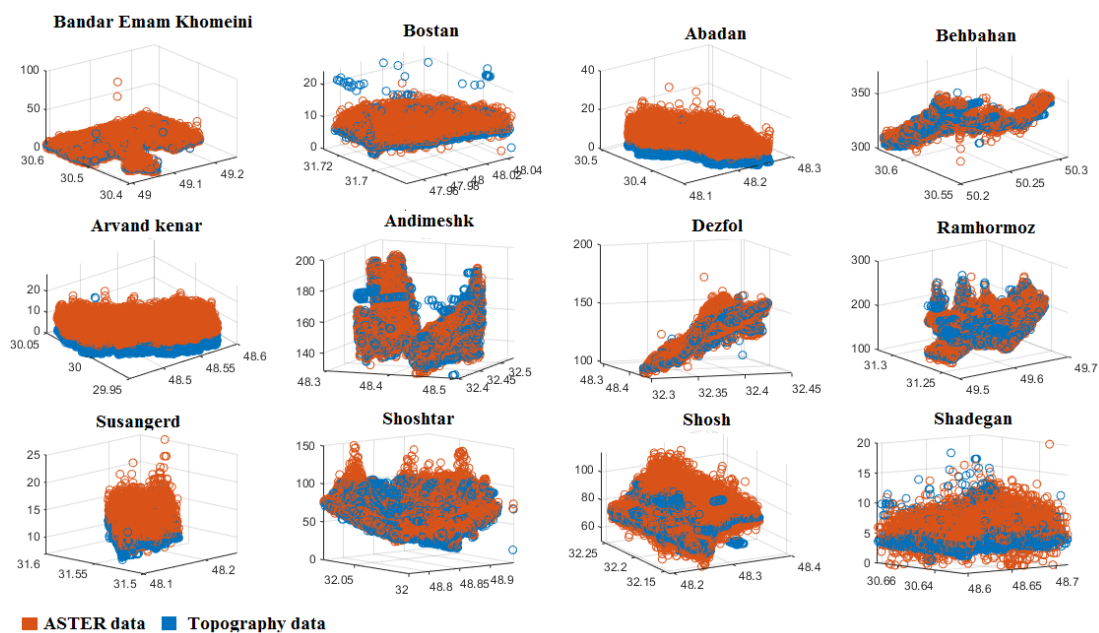
ارتفاعی SRTM قرار می‌گیرند و برای سایر شهرها توزیع نقاط ارتفاعی از نظم خاصی تبعیت نمی‌کند. توزیع نقاط ارتفاعی حاصل از نقشه‌های توپوگرافی و نقاط ارتفاعی حاصل از مدل رقومی ارتفاع ASTER نیز در شکل ۵ آورده شده است براساس این شکل نقاط ارتفاعی ASTER برای شهرهای آبادان، اروندکنار و سوسنگرد بالاتر از نقاط ارتفاعی نقشه‌های توپوگرافی قرار می‌گیرند و برای سایر شهرهای استان تغییرات از نظم خاصی تبعیت نمی‌کند.

به منظور آگاهی از نحوه توزیع فضایی داده‌های مدل رقومی ارتفاع نسبت به داده‌های ارتفاعی نقشه‌های توپوگرافی، این داده‌ها در فضای سه بعدی بررسی شدند که نتایج آن برای نقاط نقشه‌های توپوگرافی و SRTM در شکل ۴ آورده شده است. براساس نتایج بدست آمده برای شهر بندر امام خمینی نقاط ارتفاعی حاصل از نقشه‌های توپوگرافی در پایین نقاط ارتفاعی حاصل از مدل رقومی ارتفاع SRTM قرار می‌گیرند. برای شهر بهبهان نقاط ارتفاعی نقشه‌های توپوگرافی در بالای نقاط



شکل ۴- توزیع فضایی داده‌های ارتفاعی سنجنده SRTM در مقایسه با داده‌های نقشه توپوگرافی.

Fig.4. Spatial distribution of SRTM data in the compare with topography maps.



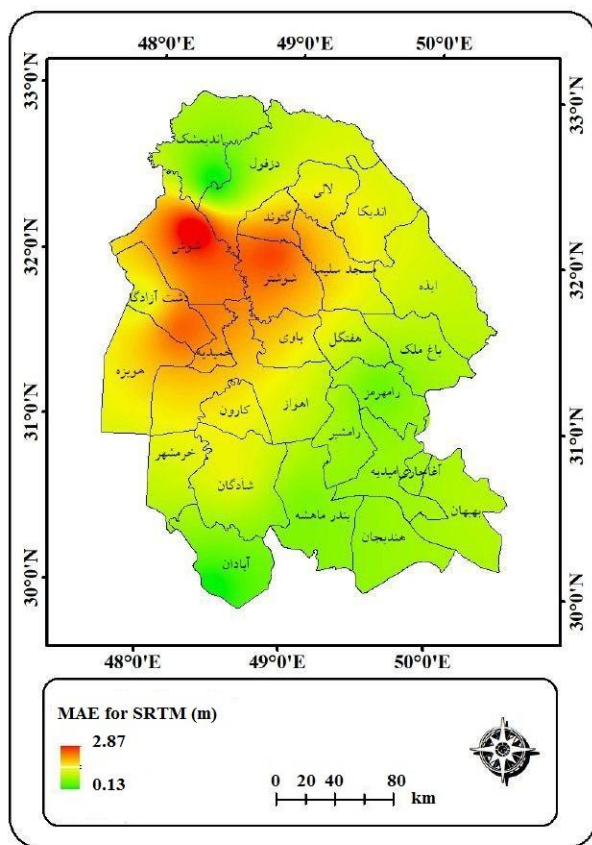
شکل ۵- توزیع فضایی داده‌های ارتفاعی سنجنده ASTER در مقایسه با داده‌های نقشه توپوگرافی.

Fig.5. Spatial distribution of ASTER data in the compare with topography maps.

ASTER با نقشه‌های توپوگرافی می‌باشد. براساس نتایج به دست آمده، بیشترین مقدار خطای ارتفاعی برای بخش‌های جنوبی شرقی استان خوزستان بوده و کمترین مقدار آن در بخش‌های شمال غربی استان خوزستان مشاهده می‌گردد. همچنین نتایج پهنه‌بندی میانگین خطای مطلق برای داده‌های ارتفاعی SRTM مقدار کمینه ۰/۱۳ و بیشینه ۲/۸۷ متر را نشان دادند که بیشترین مقدار اختلاف بین داده‌های SRTM و نقشه‌های توپوگرافی، در مناطق شمال غربی استان و کمترین مقدار آن مربوط به بخش‌های جنوبی می‌باشد. براساس یافته‌های به دست آمده در این تحقیق می‌توان بیان نمود که اگرچه ممکن است که خطای کلی داده‌های SRTM نسبت به ASTER کمتر باشد ولی با این حال داده‌های SRTM در بعضی مناطق مانند شمال غرب استان و در محدوده شهرستان‌های شوش و دشت آزادگان دارای مقدار خطای بیشتری نسبت به ASTER می‌باشند.

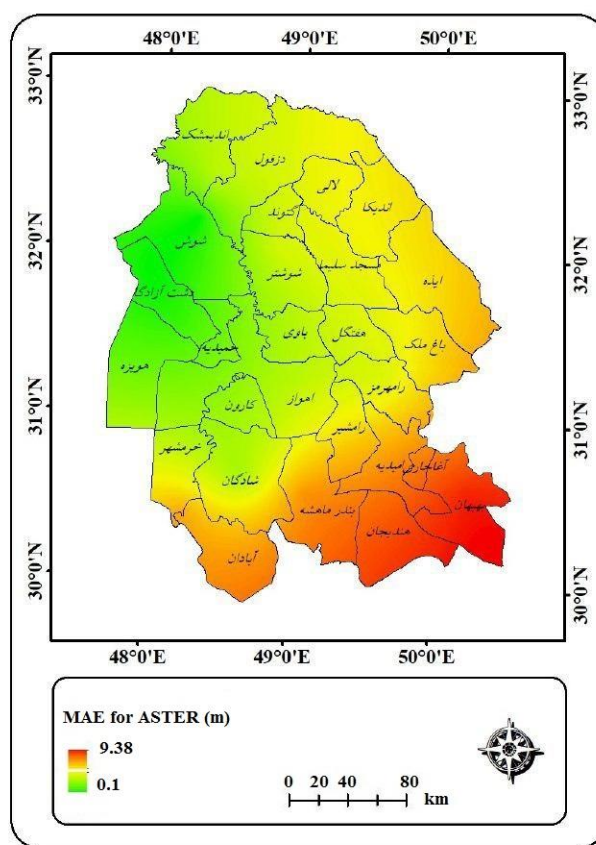
بررسی توزیع خطا در سطح استان

به منظور پهنه‌بندی میانگین خطای تصادفی بین مدل رقومی ارتفاع به SRTM و ASTER با مقدار ارتفاع حاصل از نقشه‌های توپوگرافی از روش درون‌یابی RBF استفاده شد که نتایج آن در شکل ۶ و ۷ آورده شده است. در حقیقت مقادیر حاصل از پهنه‌بندی که تحت معرف میانگین خطا برای هر مدل است تخمینی از اختلاف داده‌های ارتفاعی SRTM و ASTER با نقشه‌های توپوگرافی بوده و ارتفاع را نسبت به مرجع ارتفاعی EGM96 برای هر بخش نشان می‌دهد؛ مقدار این خطا دارای بازه اعداد مثبت و منفی بوده که جهت تبدیل اعداد منفی به مثبت از قدر مطلق استفاده شد و از این پس تحت عنوان میانگین خطای مطلق از آن یاد می‌شود (جدول ۳). براساس نتایج تحقیق حاضر، مقدار کمینه و بیشینه میانگین خطای مطلق برای داده‌های ارتفاعی ASTER در سطح استان خوزستان به ترتیب ۰/۱ و ۹/۳۸ متر برآورد گردید که حداقل و حداکثر مقدار از اختلاف داده‌های ارتفاعی



شکل ۷- میانگین خطای مطلق برای داده‌های ارتفاعی SRTM.

Fig.7. Mean Absolute Error for SRTM elevation data.



شکل ۶- میانگین خطای مطلق برای داده‌های ارتفاعی ASTER.

Fig.6. Mean Absolute Error for ASTER elevation data.

جدول ۳- مشخصات آماری اختلاف ارتفاع مدل‌های رقومی ارتفاع ASTER و SRTM با نقشه‌های توپوگرافی (برحسب متر).

Table 3. Statistics information of difference ASTER and SRTM DEM with topography maps (In meters).

City	DEM type	ASTER			SRTM		
		Mean	Max	Min	Mean	Max	Min
Abadan		6.61	7.45	5.07	0.56	1.04	0.15
Andimeshk		3.03	3.91	1.01	0.81	1.98	0.13
Behbahan		8.77	9.39	7.26	0.98	1.03	0.89
Bandar Emam Khomeini		6.72	8.28	4.13	0.78	1.11	0.68
Dezfol		3.75	4.97	0.98	1.16	2.49	0.14
Susangerd		0.46	1.55	0.14	1.78	2.27	1.29
Ramhormoz		4.67	6.39	3.6	0.76	1.1	0.59
Shadegan		4.14	6.75	2.55	1.14	1.45	0.71
Shosh		0.79	2.42	0.1	2.13	2.87	0.93
Shoshtar		3.28	4.14	2	2.07	2.42	1.55

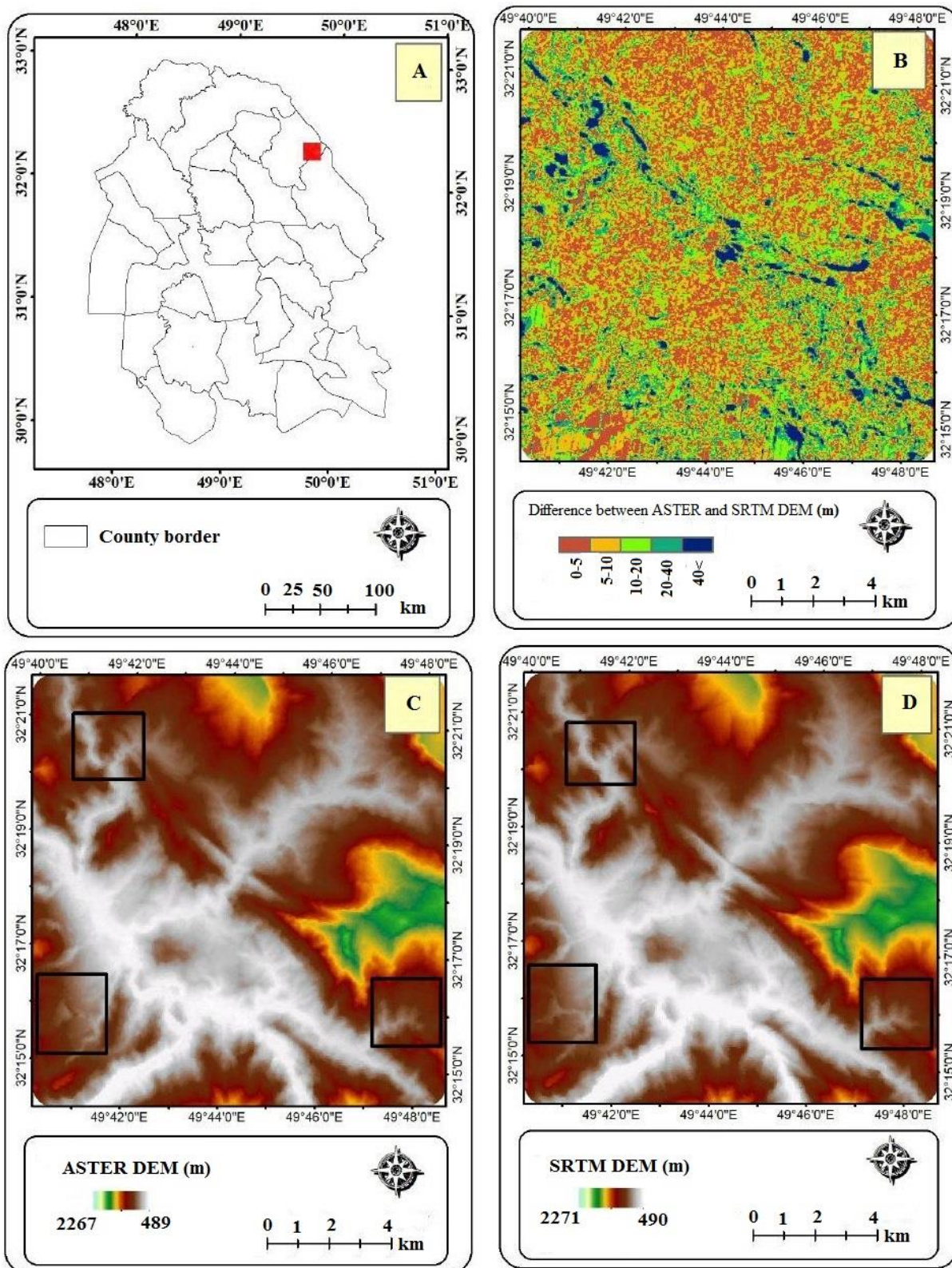
شده توسط سازمان نقشه برداری کشور در ۱۲ شهر استان خوزستان مورد ارزیابی قرار گرفتند. اگرچه این دو مدل داده ارتفاعی هر دو دارای قدرت تفکیک مسطحاتی ۳۰ متر می‌باشند اما از آنجاییکه این مدل‌ها با استفاده از تکنیک‌های مختلفی تهیه شده اند، بنابراین دقت ارتفاعی متفاوتی دارند. در تحقیق حاضر ارزیابی دقت بر مبنای شاخص‌های خطای متوسط برای شهرهای مورد بررسی با داده‌های ارتفاعی نقشه‌های توپوگرافی برای داده‌های ASTER و SRTM به ترتیب مقدار ۶/۰۸ و ۲/۳۴ متر را نشان داد. همچنین نتایج ارزیابی شاخص خطای جذر میانگین مربعات برای داده‌های ASTER و SRTM به ترتیب مقدار ۶/۹۴ و ۳/۴۶ متر را نشان داد. براساس یافته‌های تحقیق حاضر می‌توان نتیجه گرفت که در اغلب مناطق استان مدل رقومی ارتفاعی حاصل از SRTM دقت بالاتری نسبت به مدل رقومی ASTER دارد که دلیل آن را می‌توان به روش تهیه مدل ارتفاعی ربط داد. مدل‌های رقومی ارتفاع حاصل از SRTM با استفاده از تکنیک‌های راداری و مدل ارتفاعی ASTER با استفاده از روش‌های فتوگرامتری تهیه می‌شوند. براساس نتایج حاصل از تحقیق حاضر چنانچه هدف از مطالعه‌ای، مطالعات مرتبط با استخراج شبکه آبراهه، بررسی تراکم زهکشی، بررسی فیزیوگرافی حوزه آبخیز، بررسی رواناب و یا مطالعات زمین شناسی باشد، توصیه می‌شود که از داده‌های ارتفاعی SRTM استفاده شود. زرشوران، آغ‌دره، عربشاه، چیچکلو، آی‌قلعه‌سی، آریاچای، آغ‌اتاق و بایچه‌باغ در این پهنه فلززایی منجر شده است. از این رو، بررسی واحدهای سنگی در نزدیکی توده‌های اسیدی نیمه‌آتشفشانی میوسن از نظر اکتشاف کانه‌زایی فلزات گران‌بها در پهنه کانه‌دار تکاب - تخت‌سلیمان - انگوران حائز اهمیت می‌باشد. تعمیم این شواهد به مناطق مشابه در این پهنه و سایر مناطق مشابه در پهنه سندج - سیرجان می‌تواند به شناسایی این نوع از کانه‌زایی‌ها منجر گردد.

مقایسه مدل‌های رقومی ارتفاعی SRTM و ASTER

در این بخش مدل‌های رقومی ارتفاعی SRTM و ASTER برای قسمتی از استان خوزستان جهت مقایسه با یکدیگر ارائه شده‌اند. در شکل a8 موقعیت منطقه مورد بررسی، شکل b8 تفاضل داده‌های ارتفاعی ASTER و SRTM، شکل c8 و d8 مدل‌های رقومی ASTER و SRTM برای نقاط مورد بررسی آورده شده است. با بررسی تصاویر می‌توان مشاهده نمود که مدل رقومی ارتفاعی SRTM که با تکنیک‌های راداری تهیه شده است از لحاظ بصری جزئیات بیشتری نسبت به مدل رقومی ارتفاعی ASTER که با استفاده از تکنیک‌های فتوگرامتری تهیه شده ارائه می‌دهد بنابراین براساس نتایج به دست آمده علاوه بر مناسب بودن کیفیت ارتفاعی داده‌ها، SRTM در اکثر مناطق آبراهه‌ها را با دقت بهتری نمایش می‌دهد (شکل d8). براساس یافته‌ها این دو مدل رقومی ارتفاع در بعضی نقاط حدود ۱۵ متر اختلاف ارتفاع داشتند و این اختلاف گاه‌ها تا بیش از ۴۰ متر هم می‌رسد که بسیار زیاد می‌باشد. بنابراین در هر مطالعه‌ای که به مدل‌های رقومی ارتفاع وابسته باشد اگر به انتخاب بهترین مدل رقومی ارتفاع برای منطقه توجه نشود قطعاً عدم قطعیت در نتایج خروجی زیاد خواهد بود. نتایج مطالعات انجام گرفته توسط سایر محققان در داخل و خارج کشور که در زمینه بررسی دقت ارتفاعی مدل‌های رقومی ارتفاع انجام گرفته است (Aghataher et al., 2016; Feizizadeh et al., 2017; Ashrafi and Mohammad Ali, 2014; Elkhrachy, 2017;) هم راستا با نتیجه‌گیری تحقیق حاضر بوده و مدل رقومی SRTM را مدل ارتفاعی دقیق‌تر معرفی کرده‌اند.

نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر دقت مدل‌های رقومی ارتفاع SRTM و ASTER نسبت به داده‌های ارتفاعی نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۰۰۰ تهیه



شکل ۸- (a) موقعیت منطقه مورد بررسی در استان، (b) تفاضل دو مدل رقومی ارتفاع ASTER و SRTM، (c) مدل رقومی ارتفاع ASTER و (d) مدل رقومی ارتفاع SRTM.

Fig. 8. (a) location of study area, (b) difference between ASTER and SRTM DEM, (c) ASTER DEM, and (d) SRTM DEM.

منابع

- Aghataher, R., Samadi, M., Laliniat, I., Najafi, I., 2016. Comparative Assessment of Vertical Accuracy of SRTM and ASTER GDEM Elevation Data. *Journal of Geographical Data (SEPEHR)* 99, 103-113.
- Ashrafi, A., Mohammad Ali, A., 2014. The Comparison of Different Procedures for the Preparing of the Digital Elevation Model, Case Study: Noferest watershed, Birjand township, South Khorasan Province. *Journal of Geography and Urban-Regional Planning* 13, 119-140.
- Azmudeh Ardalaan, A., 1992. Combination of GPS Information and High-Precision Levelling for the Study of Ground Subsidence. *Journal of Geographical Data (SEPEHR)* 4, 26-32.
- behari, M., Alizadeh, A., Mahmmodian, S., 2017. Assessment the Impact of Active Structures on Land Subsidence Risk Using Multivariate Decision Models. *Advanced Applied Geology* 2, 49-56.
- Congalton, R.G., Green, K. 2008. *Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices*, CRC press.
- Du, X., Guo, H., Fan, X., Zhu, J., Yan, Z., Zhan, Q., 2012. Vertical accuracy assessment of SRTM and ASTER GDEM over coastal regions of China: A comparative analysis, *Proceedings of the 33rd Asian Conference on Remote Sensing* 26-30.
- Elkhrachy, I., 2017. Vertical accuracy assessment for SRTM and ASTER Digital Elevation Models: A case study of Najran city, Saudi Arabia. *Ain Shams Engineering Journal* 9, 1807-1817.
- Feizizadeh, B., Abdolah Abadei, S., Valizadeh Kamran, K., 2017. Modeling Uncertainty of Digital Elevation Models SRTM and ASTER and Their Impacts on Landform Classification in Garm-Chay Basin. *Journal of Geographical Data (SEPEHR)* 103, 29-41.
- Feizizadeh, B., Blaschke, T., 2014. An uncertainty and sensitivity analysis approach for GIS-based multicriteria landslide susceptibility mapping. *International Journal of Geographical Information Science* 3, 610-638.
- Fujisada, H., Urai, M., Iwasaki, A., 2011. Advanced methodology for ASTER DEM generation. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 12, 5080-5091.
- Gold, C., Zhu, Q., Li, Z., 2005. *Digital Terrain modeling: Principles and methodology*, CRC Press, Boca Raton.
- Habashi, k., Karimzadeh, H., Pourmanafi, S., 2017. Assessment soil salinity in east Isfahan based on OLI sensor data and topographic feature analysis RS & GIS for Natural Resources 1, 36-51.
- Heiskanen, W., Moritz, H., 1967. *Physical Geodesy*. WH Freeman and Company, San Francisco, CA.
- Hirano, A., Welch, R., Lang, H., 2003. Mapping from ASTER stereo image data: DEM validation and accuracy assessment. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 6, 356-370.
- Jarvis, A., Rubiano, J.E., Nelson, A., Farrow, A., Mulligan, M., 2004. Practical use of SRTM data in the tropics: Comparisons with digital elevation models generated cartographic data.
- Kamp, U., Bolch, T., Olsenholler, J., 2003. DEM Generation From ASTER Satllite Data For Geomorphometric Analysis of Cerro Sillajhuay, Chile/Bolivia, *ASPRS 2003 Annual Conference Proceedings*, Anchorage, Alaska.
- Massonnet, D., Feigl, K.L., 1998. Radar interferometry and its application to changes in the Earth's surface. *Reviews of Geophysics* 4, 441-500.
- Maune, D.F., 2007. *Digital elevation model technologies and applications : the DEM users manual*, Bethesda (Md.) by American Society for Photogrammetry and Remote Sensing.
- Mohammadi, S., Karimzadeh, H., Habashi, K., 2018. Assessment Soil Erosion and Deposition in the Menderjan Watershed Using USPED and RUSLE Models in the Environment of Geographical Information System (GIS). *Desert Ecosystem Engineering Journal* 17, 43-56.
- Nakhaei, M., Amiri, V., Rahimi Shahr Babaki, M., 2013. Groundwater Pollution Potential Analysis and Sensitivity Analysis in Khatun Abad Aquifer Using GIS-based Drastic Model. *Advanced Applied Geology* 2, 1-10.
- Rahimpour, F., Abbaspour, R.A., 2014. Zoningthe SoilHeavy MetalsContamination using Kriging and RBF Methods Case study: Harris city. *Journal of Geographical Data (SEPEHR)* 91, 55-67.
- Rodriguez, E., MORRIS, C.B., W., H., S. 2006. An assessment of the SRTM topographic products. Jet Propulsion Laboratory.
- Rokni Deylami, B., Rezaeian Firoz Abadi, P., Farajzadeh, M., 2007. Accuracy assessment of digital elevation model preparation using ASTER images *Geomatics Conference*. Iranian Surveying Organization.
- Rosen, P.A., Hensley, S., Joughin, I.R., Li, F.K., Madsen, S.N., Rodriguez, E., Goldstein, R.M., 2000. Synthetic aperture radar interferometry. *Proceedings of the IEEE* 3, 333-382.

- Saberi, A., Rangzan, K., Mahjori, R., Keshavarzi, M., 2012. Potential of Groundwater Resource Integration by Remote Sensing and GIS Using Hierarchical Analysis (AHP) Method in the kamestan anticline Khuzestan Province. *Advanced Applied Geology* 4, 11-20.
- Sefercik, U.G., 2012. Performance estimation of ASTER Global DEM depending upon the terrain inclination. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing* 4, 565-576.
- Shi, W., Liu, J., Du, Z., Song, Y., Chen, C., Yue, T., 2009. Surface modelling of soil pH. *Geoderma* 1. 113-119.
- Statistical Yearbook of Khuzestan Province. 2017. Management and Planning Organization - Deputy of Statistics and Information, <https://www.mpo-kz.ir>.
- 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* 5, W10.
- Vanicek, M.P., Christou, N.T., 1993. *Geoid and its geophysical interpretations*, CRC Press.
- Wright, G.B., 2003. *Radial basis function interpolation: numerical and analytical developments*, Ph.D. Thesis, University of Colorado, Boulder.
- Yamaguchi, Y., Kahle, A.B., Tsu, H., Kawakami, T., Pniel, M., 1998. Overview of advanced spaceborne thermal emission and reflection radiometer (ASTER). *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 4, 1062-1071.

