

Identification of Geomorphological Structures of Forest Areas Using Radar Images and Openness Analysis

Ali Mehrabi¹, Mohsen Pourkhosravani^{2*}

1- Assistant Professor, Department of Geography, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

2- Associate Professor, Department of Geography, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman Iran

(*Corresponding Author Email: pourkhosravani@uk.ac.ir)

Introduction:

The forest area of northern Iran is located in the Alborz structural zone. Because of active tectonics of the Alborz Zone, many morphotectonic structures have been developed in the forest area. Among these structures, we can mention the important faults that occurred in this region, such as the Caspian fault and the North Alborz fault, or numerous landslides. The study of geological and morphotectonic studies in forest areas is very difficult due to the presence of tree cover on the soil surface and the impediment to direct observation of the landform and the ground. Therefore, the use of conventional methods of geotechnical studies such as optical satellite image processing in these areas does not work. Compared to traditional methods, the use of radar data in ground-level studies is one of the relatively new approaches in the field of remote sensing science that takes advantage of more capabilities in this field. In addition to using radar data to determine the amount of displacement that occurred at the ground level due to various factors, this data can also be used to prepare a high-precision digital elevation model, a model that directly reflects bare surface properties and extracts very useful information, especially when the land is covered by forests and trees.

Methodology:

An openness technique expressing the degree of dominance or enclosure of a location on an irregular surface was developed by Yokoyama *et al.* (2002). This technique calculates an angular measure of the relationship between surface relief and horizontal distance. It uses the horizontal surface distance and elevation-related angle to compute the slope information of an irregular terrain surface at different positions, and the results can be used to identify the topographic features of the area. This method calculates the zenith and nadir angles at equally spaced locations in eight azimuth directions from the line of sight of the terrain. RRIM is a new 3D visualization approach proposed by Chiba *et al.* An RRIM is a multi-layered illumination-free image that can be used to simultaneously visualize topographic slopes, concavities, and convexities. The basic concept of an RRIM is to multiply three landform element layers: topographic slopes, positive openness, and negative openness.

An RRIM is generated using an overlay of a red-colored slope map on the I-value map. The red color is used to describe the slope angle because it has been empirically demonstrated to provide the richest tone for human eyes. This overlay highlights the 3D topography on a single image, where the I-value performs an illumination role and the saturation of red describes the steepness of the topography.

Results and Discussion:

By performing radar interferometry technique on ALOS/PALSAR images, a digital elevation model of 12 meters from the study area was prepared. The shaded relief maps obtained from different elevation models have been compared. Based on the results, the RRIM model of an area along the North Alborz Fault shows evidence of displacement caused by this fault. The fault wall of the North Alborz fault has been identified. The fault line is marked with yellow arrows. It shows a range of 30 km that has been displaced. In order to identify the landslides occurring in the study area, a 12 m digital elevation model and the RRIM method were used. Landslide areas with yellow arrows are shown. These landslides occur mostly in areas close to the main waterways and in areas with a higher slope. The location of the 3 areas identified by this method is on the landslide map of the country and is approved. The red dots are the landslide ranges and the blue circles are the landslide positions identified in this study that are completely in agreement with the landslides.

Conclusions:

In forested areas, due to dense tree cover, the study of surface features and phenomena is limited. As a result, it is difficult to map topographically in these areas. But, radar images can be very helpful in such cases because they can capture data from under the cover of trees. The results of applying the interference method on the mentioned radar images led to the preparation of a digital elevation model of 12 meters above the ground in the study area. Since the common methods used in the display and analysis of geomorphology have shortcomings such as deformation of surface features, as a result of changes in the direction of lighting, in this study, the openness method and RRIM were used. These methods overcome the limitations of older methods and provide better capabilities. Field surveys conducted in the study area and adaptation of the identified landslides to the landslide location map of the country indicate the confirmation of the efficiency of the methods used in this study. Therefore, these methods can be used in similar areas.

Keywords: Radar Images, Openness Analysis, RRIM, Geomorphological Structures, Forest Area.

References:

- Amarjargal, S., Kato, T., & Furuya, M. (2013). Surface Deformations from Moderate-Sized Earthquakes in Mongolia Observed by InSAR. *Journal of Earth, Planets, and Space*, 65(7), 713-723.

- Bourguine, B., & Baghdadi, N. (2005). Assessment of C-Band SRTM DEM in a Dense Equatorial Forest Zone. *Comptes Rendus Geosciences*, 337(14), 1225-1234.
- Chiba, T., & Hasi, B. (2016). Ground Surface Visualization Using Red Relief Image Map for a Variety of Map Scales. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2, 393-397.
- Chiba, T., Kaneta, S. I., & Suzuki, Y. (2008). Red Relief Image Map: New Visualization Method for Three Dimensional Data. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37(2), 1071-1076.
- Chiba, T., Suzuki, Y., & Hiramatsu, T. (2007). Digital Terrain Representation Methods and Red Relief Image Map, a New Visualization Approach. *Journal of the Japan Cartographers Association*, 45(1), 27-36.
- Civico, R., Pucci, S., De Martini, P. M., & Pantosti, D. (2015). Morphotectonic Analysis of the Long-Term Surface Expression of the 2009 L'Aquila Earthquake Fault (Central Italy) Using ALOS/PALSAR Data. *Tectonophysics*, 644, 108-121.
- Doneus, M. (2013). Openness as Visualization Technique for Interpretative Mapping of Airborne Lidar Derived Digital Terrain Models. *International Journal of Remote Sensing*, 5(12), 6427-6442.
- Eldhuset, K. (2017). Combination of Stereo SAR and InSAR for DEM Generation Using TanDEM-X Spotlight Data. *International Journal of Remote Sensing*, 38(15), 4362-4378.
- Ferretti, A., Colombo, D., Fumagalli, A., Novali, F., & Rucci, A. (2015). InSAR Data for Monitoring Land Subsidence: Time to Think Big. *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences*, 372, 331-334.
- Gabriel, A. K., Goldstein, R. M., & Zebker, H. A. (1989). Mapping Small Elevation Changes Over Large Areas: Differential Radar Interferometry. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 94(7), 9183-9191.
- Ghazifard, A., Akbari, E., Shirani, K., & Safaei, H. (2017). Evaluating Land Subsidence by Field Survey and D-InSAR Technique in Damaneh City, Iran. *Journal of Arid Land*, 9(5), 778-789.
- Hu, J., Ding, X. L., Zhang, L., Sun, Q., Li, Z. W., Zhu, J. J., & Lu, Z. (2016). Estimation of 3-D Surface Displacement Based on InSAR and Deformation Modeling. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 55(4), 2007-2016.
- Lin, C. W., Tseng, C. M., Tseng, Y. H., Fei, L. Y., Hsieh, Y. C., & Tarolli, P. (2013). Recognition of Large Scale Deep-Seated Landslides in Forest Areas of Taiwan Using High Resolution Topography. *Journal of Asian Earth Sciences*, 62, 389-400.
- Ozouville, N., Deffontaines, B., Benveniste, J., Wegmuller, U., Violette, S., & De Marsily, G. (2008). DEM Generation Using ASAR (ENVISAT) for Addressing the Lack of Freshwater Ecosystems Management, Santa Cruz Island, Galapagos. *Journal of Remote Sensing of Environment*, 112(11), 4131-4147.

- Pinheiro, M., Reigber, A., Scheiber, R., & Jaeger, M. (2014). DEM Generation Using Large-Baseline Airborne InSAR, EUSAR 2014. *10th European Conference on Synthetic Aperture Radar*, 3-5 June 2014.
- Pourghasemi, H. R., Moradi, H. R., & Fatemi Aghda, S. M. (2015). Prioritizing Effective Factors in Landslide Occurrence and its Susceptibility Mapping Using Shannon's Entropy Index. *JWSS-Isfahan University of Technology*, 18(70), 181-192.
- Yokoyama, R., Shirasawa, M., & Pike, R. J. (2002). Visualizing Topography by Openness: A New Application of Image Processing to Digital Elevation Models. *Journal of Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 68, 257-265.
- Yu, J. H., & Ge, L. (2010, April). Digital Elevation Model Generation Using Ascending and Descending Multi-baseline ALOS/PALSAR Radar Images. In *FIG Congress 2010 Facing the Challenges—Building the Capacity Sydney, Australia*, 11-16 April 2010. 15pp.





جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی

سال ۳۲، پیاپی ۸۱، شماره ۱، بهار ۱۴۰۰، صص ۹۲-۷۹

نوع مقاله: پژوهشی

وصول: ۱۳۹۹/۷/۲۱ پذیرش: ۱۴۰۰/۱/۱۶

شناسایی ساختارهای ژئومورفولوژیک مناطق جنگلی با استفاده از تصاویر راداری و آنالیز بازشدگی

علی مهرابی، استادیار گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

mehrabi@uk.ac.ir

محسن پورخسروانی*، دانشیار گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

pourkhosravani@uk.ac.ir

چکیده

شناسایی ساختارهای ژئومورفولوژیک و تغییرات سطح زمین در مناطق جنگلی به دلیل پوشش گیاهی و محدودیت دید سطح زمین به سادگی و با استفاده از روش‌های معمول پردازش تصاویر ماهواره‌ای و عملیات صحرایی امکان‌پذیر نیست. داده‌های راداری به دلیل ارائه اطلاعات دقیق و جزئی از سطح بدون پوشش زمین برای بررسی ویژگی‌های توپوگرافی و زمین‌شناختی بسیار مفیدند. هدف پژوهش حاضر، استفاده از تصاویر راداری ALOS/PALSAR برای تهیه مدل ارتفاع رقومی و کاربرد این مدل در بررسی مورفوتکتونیک مناطق جنگلی شمال کشور است. نخست با اعمال روش تداخل‌سنجی راداری روی یک جفت تصویر ALOS/PALSAR، مدل ارتفاع رقومی ۱۲ متری از منطقه مطالعه شده تهیه شد؛ سپس از تکنیک‌های جدید نمایش سطح زمین شامل روش تحلیل بازشدگی و تهیه نقشه تصاویر قرمز برجسته و اعمال این تکنیک‌ها روی مدل ارتفاع رقومی یادشده برای تحلیل‌های مورفوتکتونیک منطقه استفاده شد. زوایای زینتی و نادیر به دست آمده از اعمال روش بازشدگی روی مدل ارتفاع رقومی بین ۱۲ درجه تا ۸۴ درجه تغییر می‌کند؛ علاوه بر این ارزش I برای محدوده مطالعه شده بین ۲۷ درجه تا ۵۶ درجه به دست آمد. مناسب‌ترین جهت آزیموت و زاویه میل برای نورپردازی به ترتیب ۳۱۵ و ۴۵ درجه تعیین شد؛ بنابراین با بررسی انجام شده روی نقشه تصاویر قرمز برجسته در محدوده مطالعه شده، ۳ محدوده لغزشی شناسایی شد؛ همچنین شواهدی بر جابه‌جایی‌های رخ داده در سطح زمین ناشی از عملکرد گسل البرز شمالی تشخیص داده شد. مطالعات میدانی انجام شده در منطقه، نتایج حاصل از روش به کار گرفته در این پژوهش را تأیید می‌کند. با توجه به نتایج به دست آمده در محدوده جنگلی مطالعه شده، قابلیت کاربرد روش‌های جدید نمایش سطح زمین در تحلیل‌های مورفوتکتونیک مناطق جنگلی به خوبی مشخص می‌شود.

کلید واژه‌ها: تصاویر راداری، آنالیز بازشدگی، RRIM، ساختارهای ژئومورفولوژیک، مناطق جنگلی

*نویسنده مسئول

Copyright©2021, University of Isfahan. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>), which permits others to download this work and share it with others as long as they credit it, but they can't change it in any way or use it commercially.

Doi: [10.22108/gep.2021.125389.1362](https://doi.org/10.22108/gep.2021.125389.1362)

مقدمه

محدوده جنگلی شمال ایران در بخش ساختاری البرز قرار دارد؛ در نتیجه تکتونیک فعال زون البرز، ساختارهای مورفوتکتونیک زیادی در محدوده جنگلی توسعه یافته است. از جمله این ساختارها، گسل‌های مهم رخ داده در این منطقه نظیر گسل خزر و شمال البرز یا زمین‌لغزش‌های فراوان رخ داده در این مناطق است (طیسی و عباسی، ۱۳۸۱: ۴۳). با توجه به اهمیت مطالعات مورفوتکتونیک در ارزیابی خطرات محیطی، شناخت و بررسی پدیده‌های ژئومورفیک امری مهم به شمار می‌آید. بررسی مطالعات زمین‌شناسی و مورفوتکتونیک در مناطق جنگلی به دلیل وجود پوشش درختی روی سطح خاک و ممانعت در مشاهده مستقیم لندفرم و سطح زمین بسیار مشکل است؛ در نتیجه استفاده از روش‌های معمول مطالعات ژئوتکتونیک نظیر پردازش تصاویر ماهواره‌ای اپتیک در این مناطق پاسخگو نیست. در مقایسه با روش‌های سنتی، استفاده از داده‌های راداری در مطالعات سطح زمین، یکی از روش‌های نسبتاً جدید در علم سنجش از دور است که از قابلیت‌های بیشتری در این زمینه بهره می‌برد (Ferretti et al., 2015: 27; Hu et al., 2017: 1). از داده‌های راداری ضمن استفاده در تعیین میزان جابه‌جایی‌های رخ داده در سطح زمین ناشی از عوامل مختلف (مهرابی و پورخسروانی، ۱۳۹۷: ۶۲؛ Ghazifard et al., 2017: 778; Amarjargal et al., 2013: 713)، در تهیه مدل ارتفاع رقومی با دقت زیاد نیز بهره برده می‌شود (Ozouville et al., 2008: 4131; Yu and Ge, 2010: 124; Pinheiro et al., 2014: 78; Eldhuset, 2017: 4362). به طور مستقیم بازتاب می‌دهد؛ همچنین این مدل موجب استخراج اطلاعات بسیار مفیدی از سطح زمین در مناطق پوشیده از جنگل می‌شود (Bourgine and Baghdadi, 2005: 1225).

در فناوری رادار، امواج با عبور از پوشش جنگلی به سطح زمین می‌رسند و ویژگی سطح را بازتاب می‌دهند. این نفوذپذیری برای طول موج‌های مختلف رادار متفاوت است؛ برای نمونه نفوذ باند L (طول موج ۱۵-۳۰ سانتی‌متر) و P (طول موج ۷/۵-۱۵ سانتی‌متر) از باند K (طول موج ۳/۹-۷/۵ سانتی‌متر) و X (طول موج ۲/۴-۳/۹ سانتی‌متر) بیشتر است؛ به همین منظور معمولاً برای مطالعه مناطق جنگلی از تصاویر فعال در باند L (مانند تصاویر ALOS PALSAR) استفاده می‌شود (Bourgine and Baghdadi, 2005: 1227).

مطالعات متعددی در زمینه استفاده از تصاویر رادار در مناطق جنگلی انجام شده است؛ برای نمونه لین و همکاران^۱ (2013) با استفاده از تصاویر رادار اشکال مورفوتکتونیک را در مناطق جنگلی تایوان بررسی کرده‌اند.

سیویکو و همکاران^۲ (2015) با استفاده از تصاویر ALOS/ PALSAR مدل رقومی ارتفاعی تهیه و ساختارهای مورفوتکتونیک ناشی از گسل عامل زلزله لاکولای ایتالیا را در سال ۲۰۰۹ بررسی کرده‌اند. به منظور نمایش بهتر و استفاده بیشتر از مدل ارتفاع رقومی به تازگی دو روش آنالیز بازشدگی^۳ و نقشه تصویر قرمز برجسته^۴ (RRIM) به کار گرفته شده است (Doneus, 2013: 6428; Chiba and Hasi, 2016: 393). در این روش‌ها، توپوگرافی منطقه بدون سایه و با جزئیات زیاد به نمایش درآمده است و در نتیجه برای نمایش اشکال مورفوتکتونیک بسیار مفید و مناسب هستند.

1. Lin et al.
2. Civico et al.
3. Opennes analysis
4. Red Relief Image Map

هدف این پژوهش، استفاده از تصاویر راداری ALOS/ PALSAR به منظور تهیه مدل ارتفاع رقومی با دقت مناسب و استفاده از این مدل در آنالیز بازشدگی و RRIM برای بررسی اشکال مورفوتکتونیکي مناطق جنگلی شمال کشور از جمله گسل شمال البرز و زمین لغزش‌های رخ داده در منطقه است؛ موضوعی که با استفاده از روش‌های سنتی به دلیل پوشش جنگلی به خوبی قابل مطالعه نیست.

منطقه پژوهش

محدوده پژوهش شامل بخش‌هایی از منطقه جنگلی شمال کشور واقع در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه تا ۳۶ درجه و ۳۰ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۲ درجه تا ۵۳ درجه و ۳۰ دقیقه شرقی است. به لحاظ ساختاری این محدوده در زون البرز مرکزی قرار گرفته است (شکل ۱). منطقه پژوهش در استان مازندران قرار دارد. در این محدوده دو گسل اصلی خزر و البرز شمالی فعالیت دارند.

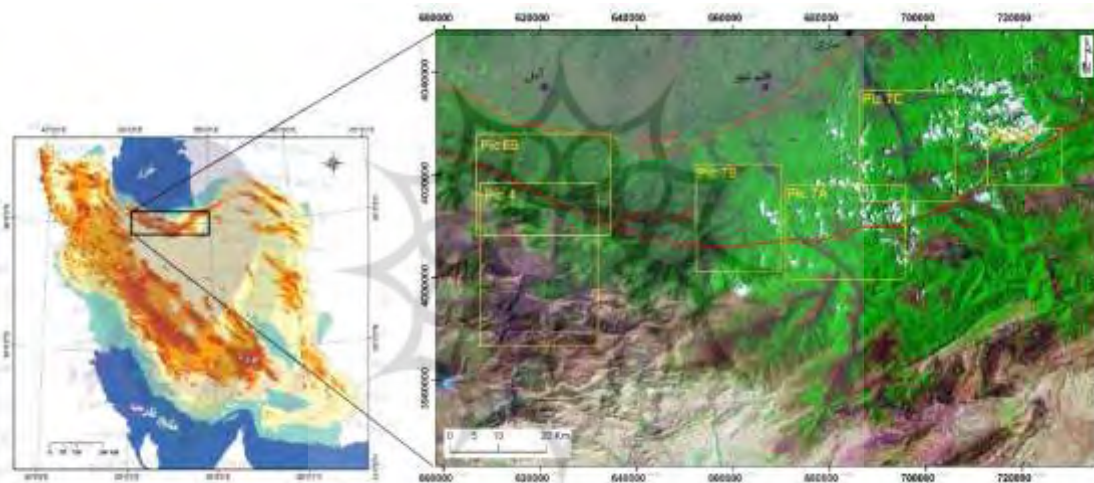


Figure 1. Study area

داده‌ها و روش پژوهش

ماهواره^۱ ALOS را آژانس تحقیقات هوافضای ژاپن در سال ۲۰۰۶ به فضا پرتاب کرد. سنجنده راداری آن به نام PALSAR فعال در باند L در روز و شب و تمامی شرایط آب‌وهوایی تصویربرداری می‌کند. برای انجام این پژوهش، یک جفت تصویر راداری سنجنده PALSAR از ماهواره ALOS به آژانس هوافضای ژاپن سفارش داده شد و در اختیار قرار گرفت. دلیل انتخاب تصاویر این سنجنده، فعالیت آن در باند L است و از آنجایی که امواج در این طول موج بیشترین نفوذ را در سطح زمین به ویژه در مناطق جنگلی دارند، برای پژوهش حاضر از دیگر انواع تصاویر راداری مناسب‌تر است. این جفت تصویر به تاریخ‌های ۲۰۰۸/۰۳/۲۵ و ۲۰۰۸/۰۵/۰۷ مربوط هستند. در روش

1. Advance Land Observation Satellite Data

تداخل‌سنجی همواره تصویر اول را تصویر پایه^۱ و تصویر بعدی را تصویر پیرو^۲ می‌نامند. یکی از تصاویر به‌صورت بالارو^۳ و دیگری به‌صورت پایین‌رو^۴ تصویربرداری شده‌اند. سعی شد تصاویر استفاده‌شده خط مبنای (فاصله بین مسیرهای پرواز ماهواره) مناسب برای استخراج مدل رقومی ارتفاع داشته باشند؛ زیرا در تکنیک تداخل‌سنجی، تصاویر با فاصله مبنای مکانی کم برای تعیین تغییرات جابه‌جایی سطح زمین و تصاویر با فاصله مبنای بیشتر برای تولید مدل ارتفاع رقومی مناسب هستند (Ozouville et al., 2008: 4131)؛ همچنین فاصله زمانی بین دو تصویر نیز کم انتخاب شد که فاز جابه‌جایی تأثیری بر کار نگذارد. اطلاعات مربوط به تصاویر و فاصله مبنای آنها در جدول ۱ ارائه شده است. پردازش‌ها و تکنیک تداخل‌سنجی با افزونه Sarscape 4.3 مربوط به نرم‌افزار ENVI 4.8 صورت پذیرفت و در این زمینه از نرم‌افزار ArcGIS 10.3 نیز استفاده شد.

جدول ۱. اطلاعات مربوط به تصاویر و فاصله مبنای آنها

Table 1. Information about images and their base Line

مرکز داپلر (متر)	مرکز داپلر (متر)	جابه‌جایی آزموت (متر)	جابه‌جایی رنج (متر)	ابهام ارتفاعی (متر)	فاصله مبنای بحرانی (متر)	فاصله مبنا (متر)	زوج تصویر
۱۶۵۲/۴	۸۶/۷	۵۴۳/۲	۴۳/۸	۱۰/۲	۹۳۰/۵	۳۴۹/۲	۲۰۰۸/۰۳/۲۵ (تصویر پایه) ۲۰۰۸/۰۵/۰۷ (تصویر پیرو)

تداخل‌سنجی رادار

نخستین بار گابریل و همکاران^۵ (1989) با استفاده از ۳ تصویر، از فناوری تداخل‌سنجی راداری (InSAR) استفاده کردند. این فناوری امکان تشخیص تغییرات بسیار کوچک را در مقیاس روزانه تا سالانه در سطح زمین و در ابعاد جهانی با دقت میلی‌متر و با قابلیت اعتماد زیاد در شب و روز و در هر شرایط آب‌وهوایی فراهم می‌کند. از این روش، علاوه بر بررسی تغییرات و جابه‌جایی‌های رخ داده روی سطح زمین ناشی از عوامل مختلف، در تهیه مدل ارتفاع رقومی (DEM) نیز استفاده می‌شود. در روش InSAR، دو تصویر SAR اخذشده با آنتن‌های مخصوص نصب‌شده روی ماهواره یا هواپیما با هم ترکیب می‌شوند تا نقشه سه‌بعدی پوسته زمین حاصل شود (Ferretti et al., 2015: 372). تداخل نگاشت‌ها با ضرب تصویر اول به‌مثابه پایه در مزدوج تصویر دوم پیرو که به‌صورت اعداد مختلط هستند، حاصل می‌شود. نتیجه این حاصل ضرب شامل اختلاف فاز دو تصویر خواهد بود. همان‌طور که از رابطه زیر مشخص می‌شود، فاز تداخل نگاشت مشاهده‌شده مجموع چند مؤلفه است (Yu and Ge, 2010: 378).

$$\Phi_{int} = \Phi_{topo} + \Phi_{disp} + \Phi_{atm} + \Phi_{orb} + \Phi_{nois} \quad (1)$$

1. Master
2. Slave
3. Descending
4. Ascending
5. Gabriel et al.

مؤلفه‌های این معادله به ترتیب عبارت‌اند از: اثر فاز مؤلفه توپوگرافی (Φ_{topo})، فاز جابه‌جایی پوسته (Φ_{disp})، اثر مؤلفه اتمسفر (Φ_{atm})، اثر مؤلفه‌مداری و نویز (Φ_{orb}, Φ_{nois}). در اینجا هدف اصلی، یافتن مؤلفه توپوگرافی است که با از بین بردن یا کاهش آثار مؤلفه‌های دیگر انجام می‌شود. اثر مدار با استفاده از پارامترهای دقیق مدار ماهواره نظیر پارامترهای مداری کاهش می‌یابد؛ همچنین میزان باقی‌مانده خطای مداری نیز ممکن است به‌صورت روندی کلی از نتایج حذف شود. اثر اتمسفر در مناطق گرم و خشک به دلیل نبود رطوبت معمولاً صفر در نظر گرفته می‌شود. اثر مؤلفه جابه‌جایی نیز با انتخاب تصاویر با اختلاف زمانی کوتاه خودبه‌خود قابل چشم‌پوشی است؛ بنابراین در نهایت تنها فازی که می‌ماند، فاز توپوگرافی است؛ در نهایت DEM تولیدی از پیچش‌زدایی فاز توپوگرافی و تبدیل این فاز به مقادیر ارتفاعی ایجاد می‌شود (Eldhuset, 2017: 4362).

آنالیز بازشدگی

از مدل ارتفاع رقومی به‌دست‌آمده از تصاویر راداری ALOS/PALSAR برای تهیه نقشه سایه-برجسته و شیب استفاده می‌شود. نقشه سایه-برجسته استفاده‌های فراوانی دارد؛ به دلیل اینکه این نقشه ظاهر طبیعی سطح زمین را نمایش می‌دهد؛ ولی در این نقشه‌ها با تغییر جهت نورپردازی، شکل عوارض سطحی تغییر می‌کند و این یکی از ویژگی‌های منفی این نوع نقشه‌هاست؛ از سویی نقشه شیب نیز با وجود اینکه مستقل از جهت نورپردازی است، درک واقعی از اشکال سطح زمین را برای ما ایجاد نمی‌کند و پستی‌ها و بلندی‌ها را به‌خوبی نشان نمی‌دهد؛ بنابراین مدل‌های نمایش سه‌بعدی زمین با وجود انتقال اطلاعات سطحی فراوان، ویژگی‌های توپوگرافی سطح زمین را به‌خوبی نمایش نمی‌دهند؛ اما آنالیز بازشدگی تصاویر راداری در مقایسه با مدل‌های سنتی نمایش سه‌بعدی، به‌خوبی آثار نور خورشید را در حین تفسیر تصاویر از بین می‌برد و مدل بهتری را برای نمایش توپوگرافی سطح زمین ایجاد می‌کند. این تکنیک را نخست یوکویاما و همکاران^۱ (2002) طراحی و ابداع کردند. مبنای این روش بر محاسبه مقدار زاویه‌ای در ارتباط با میزان برجستگی و کشیدگی سطوح است؛ به طوری که با استفاده از دو فاکتور زاویه و فاصله افقی سطوح، اطلاعات مربوط به شیب یک سطح نامنظم را در جهات مختلف محاسبه و در نتیجه کمک زیادی به شناخت اشکال توپوگرافی سطح زمین می‌کند. همان‌طور که در شکل ۲ دیده می‌شود، در این روش زاویه زینتی و نادیر در ۸ جهت مختلف از نقطه A (جهت صفر، ۴۵، ۹۰، ۱۳۵، ۱۸۰، ۲۲۵، ۲۷۰ و ۳۱۵ درجه) به فاصله L اندازه‌گیری شده و علاوه بر آن با استفاده از معادلات ۲ و ۳ نیز زوایای زینتی (β_L^D) و نادیر (δ_L^D) قابل محاسبه است.

$$\Phi_L^D = 90^\circ - \beta_L^D \quad (2)$$

$$\Psi_L^D = 90^\circ - \delta_L^D \quad (3)$$

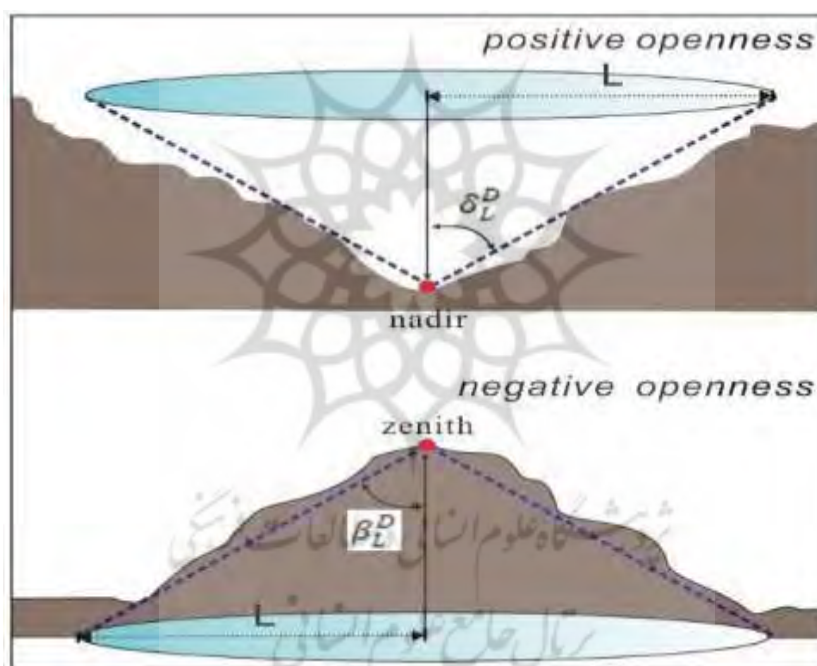
1. Yokoyama et al.

در نهایت زاویه متوسط مربوط به همه جهات با استفاده از معادلات ۴ و ۵ محاسبه می‌شود و در نتیجه مقادیر بازشدگی مثبت (Φ_L) و منفی (Ψ_L) به دست می‌آید که هر کدام به ترتیب نشان‌دهنده توپوگرافی ستیغ و دره هستند (شکل ۲). بازشدگی به دو پارامتر منفی و مثبت تقسیم می‌شود که نشان‌دهنده انحناهای شیب زمین است. بازشدگی مثبت نشان‌دهنده تحدب سطح و بازشدگی منفی نشان‌دهنده مقعر بودن سطح است. مدل نهایی آنالیز بازشدگی بر مبنای ارزش I و با استفاده از فرمول ۶ محاسبه می‌شود.

$$\Phi_L = (\Phi_L^0 + \Phi_L^{45} + \dots + \Phi_L^{315})/8 \quad (۴)$$

$$\Psi_L = (\Psi_L^0 + \Psi_L^{45} + \dots + \Psi_L^{315})/8 \quad (۵)$$

$$I = \frac{(\Phi_L + \Psi_L)}{2} \quad (۶)$$



شکل ۲. نمودار مفهومی نحوه اندازه‌گیری پارامترهای آنالیز بازشدگی (Yokoyama et al., 2002: 257)

Figure 2. Conceptual diagram of how to measure openness analysis parameters

نمایش سه‌بعدی به روش نقشه تصویر قرمز برجسته (RRIM)

RRIM، نوعی مدل نمایش سه‌بعدی داده‌های راداری است که چیبا و همکاران^۱ (2007, 2008) ارائه کرده‌اند. RRIM، یک تصویر چندلایه و بدون نورپردازی است که برای نمایش همزمان شیب توپوگرافی و پستی‌ها و بلندی‌ها استفاده می‌شود. مفهوم پایه RRIM بر تلفیق سه لایه استوار است: شیب توپوگرافی، بازشدگی مثبت و بازشدگی منفی.

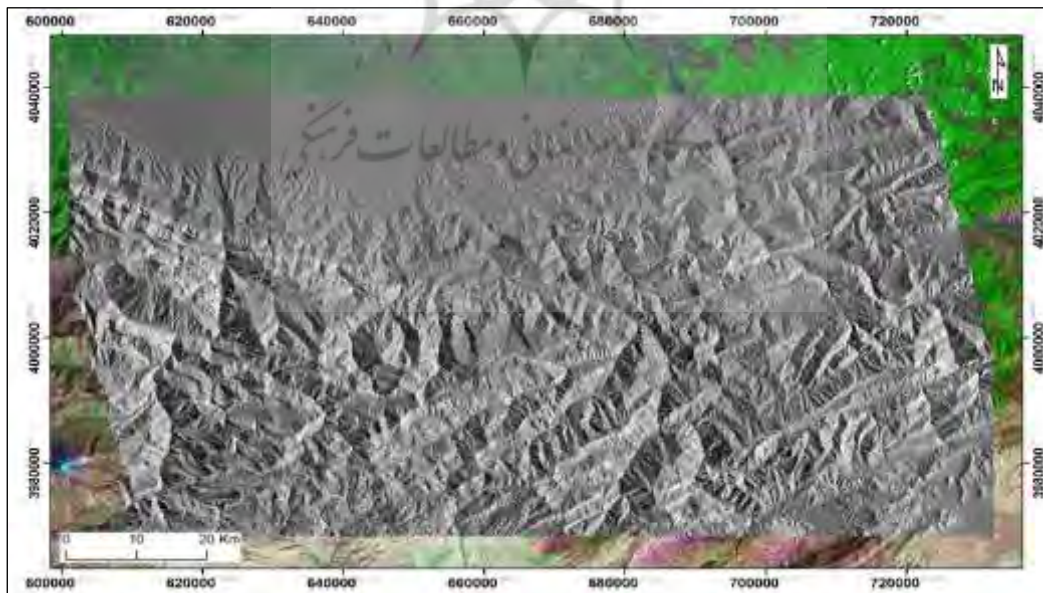
1. Chiba et al.

این مدل با روی هم اندازی نقشه شیب قرمز رنگ^۱ و نقشه ارزش I ایجاد می شود. طراحی نقشه شیب براساس رنگ قرمز به دلیل این است که به لحاظ تجربی ثابت شده این رنگ بهتر تغییرات را نشان می دهد. در این مدل، ارزش I نقش نمایش عوارض را دارد و درجه اشباع رنگ قرمز، میزان تغییرات شیب توپوگرافی را نشان می دهد.

یافته های پژوهش

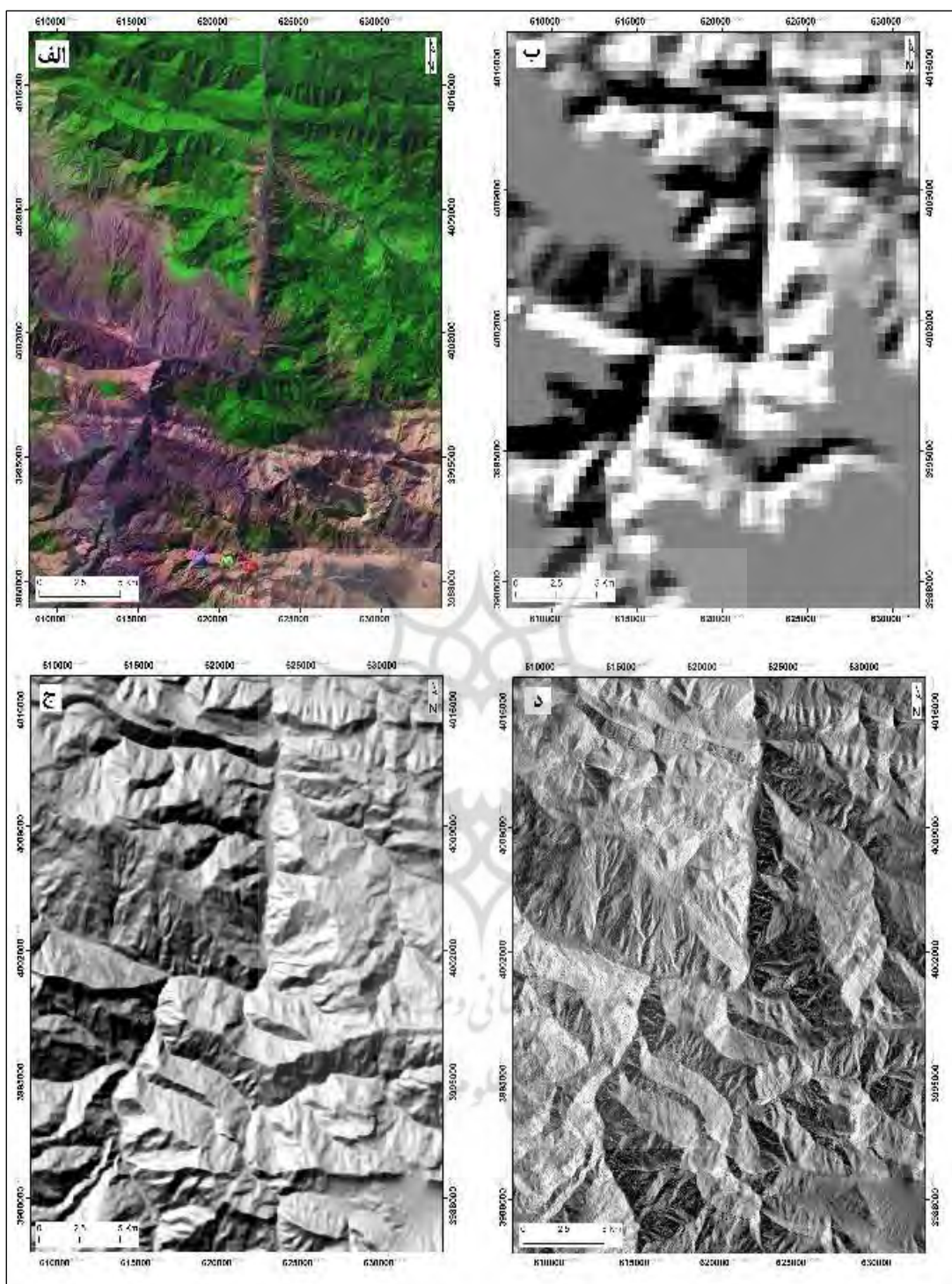
با انجام تکنیک تداخل سنجی راداری روی تصاویر ALOS/PALSAR، مدل ارتفاع رقومی ۱۲ متر از محدوده مطالعه شده تهیه شد (شکل ۳). برای مقایسه دقت مدل ارتفاع رقومی به دست آمده از این روش با مدل های رقومی دیگر، مقایسه ای بین یک بخش کوچک از این مدل با مدل های به دست آمده از تصاویر SRTM و ASTER انجام شده است (شکل ۴). در شکل ۴، نقشه های سایه برجسته به دست آمده از مدل های ارتفاع رقومی مختلف با هم مقایسه شده است. تصویر A، تصویر ماهواره ای برگرفته از Google Earth مربوط به بخشی از منطقه مطالعه شده است؛ تصویر B، نقشه سایه برجسته تهیه شده از مدل ارتفاع رقومی ۹۰ متری ماهواره SRTM است؛ تصویر C، مدل ارتفاع رقومی ۳۰ متری ASTER و در نهایت تصویر D، نقشه سایه برجسته تهیه شده از مدل ارتفاع رقومی ۱۲ متری به دست آمده در این پژوهش است. گفتنی است جهت آزیموت و زاویه میل نورپردازی در تصویر B و C، ۴۵ و ۳۱۵ درجه و در تصویر D، ۷۵ و ۴۵ درجه است.

همان طور که در شکل ۴ مشخص است، میزان نمایش جزئیات توپوگرافی در مدل ارتفاع رقومی استخراج شده از تصاویر راداری ALOS/PALSAR بسیار بهتر از دیگر مدل هاست. در نتیجه از این مدل برای انجام آنالیزهای بعدی به منظور شناسایی پدیده های مورفوتکتونیک در محدوده جنگلی استفاده شد.



شکل ۳. نقشه سایه برجسته ۱۲ متری به دست آمده از تکنیک تداخل سنجی راداری (نویسندگان، ۱۳۹۹)

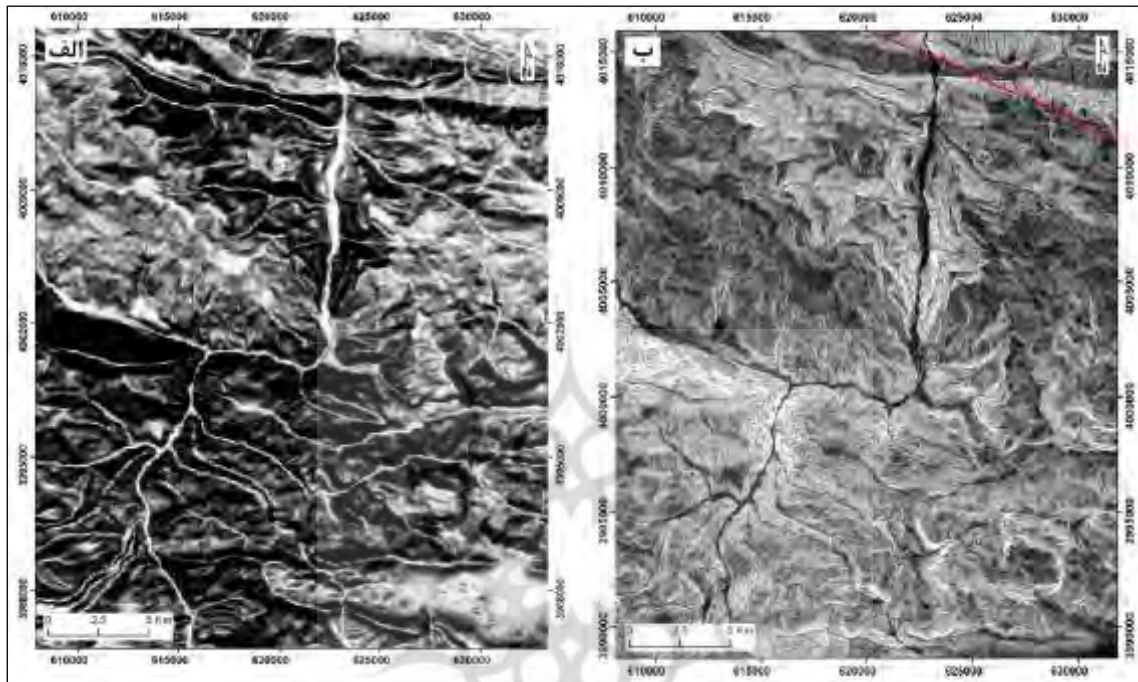
Figure 3. 12-meter hills hade map obtained from radar interferometry technique (Authors, 2020)



شکل ۴. تصویر ماهواره‌ای و نقشه‌های سایه‌برجسته به‌دست‌آمده از مدل‌های ارتفاعی رقومی مختلف؛ الف: تصویر ماهواره‌ای برگرفته از Google Earth؛ ب: مدل ارتفاع رقومی ۹۰متری؛ ج: مدل ارتفاع رقومی ۳۰متری؛ د: مدل ارتفاع رقومی ۱۲متری (نویسندگان، ۱۳۹۹)

Figure 4. Satellite image and hillshade maps obtained from various digital elevation models; A: Satellite image from Google Earth; B: 90-meter digital elevation model; C: 30-meter digital elevation model; D: 12-meter digital elevation model (Authors, 2020)

برای انجام تحلیل‌های مورفوتکتونیک منطقه از روش تحلیل بازشدگی استفاده شد. تحلیل بازشدگی روی مدل ارتفاع رقومی ۱۲ متری محدوده مطالعه شده انجام شد. زوایای زینتی (β_L^D) و نادیر (δ_L^D) از ۱۲ درجه تا ۸۴ درجه به دست آمد؛ همچنین در نتیجه اعمال فرمول شماره ۶، ارزش I برای محدوده مطالعه شده بین ۲۷ درجه تا ۵۶ درجه به دست آمد. در شکل ۵ نمونه‌ای از نتیجه اعمال این تحلیل روی DEM منطقه و تصویر به دست آمده به نمایش درآمده است. تصویر A ناشی از تحلیل بازشدگی منفی و تصویر B ناشی از تحلیل بازشدگی مثبت است.



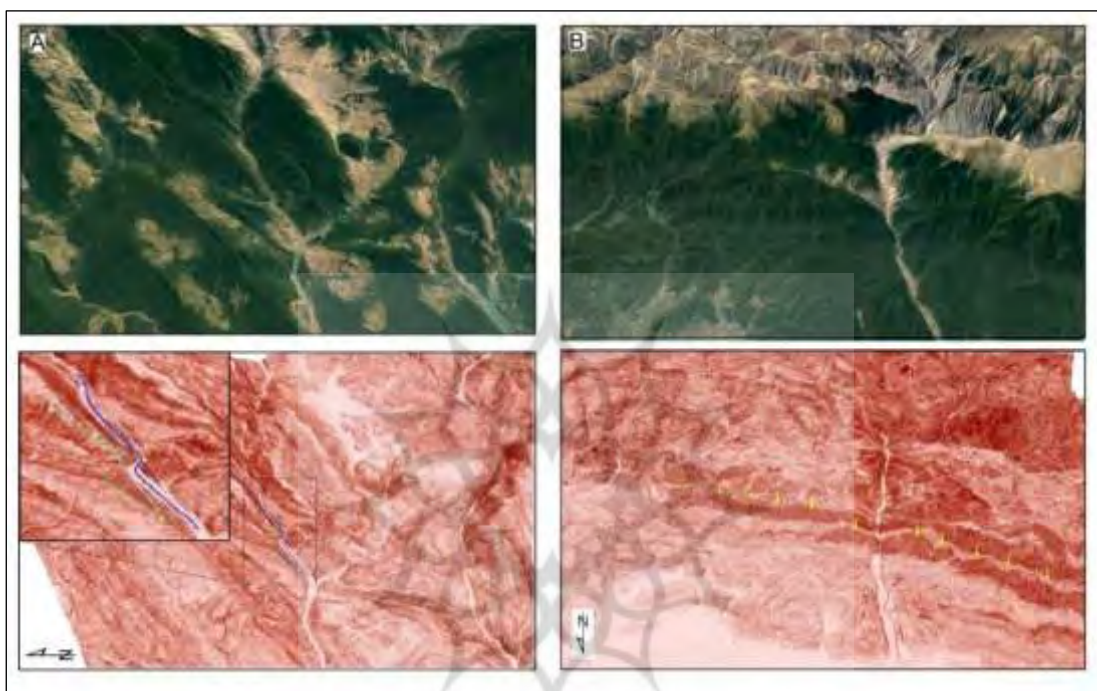
شکل ۵. نمونه‌ای از تصاویر حاصل از آنالیز بازشدگی روی مدل ارتفاع رقومی ۱۲ متری؛ الف: آنالیز بازشدگی منفی؛ ب: آنالیز بازشدگی مثبت (نویسندگان، ۱۳۹۹)

Figure 5. An example of the images obtained from the openness analysis on a 12- meters digital elevation model; A: Negative openness analysis; B: Positive openness analysis (Authors, 2020)

به منظور بررسی شواهد مورفوتکتونیک رخ داده در منطقه، مدل سه بعدی RRIM از مناطق جنگلی تهیه شد. با توجه به ویژگی خاص این مدل در نمایش دقیق تغییرات توپوگرافی سطح زمین و با توجه به وجود گسل البرز شمالی به مثابه یکی از پدیده‌های تکتونیک مهم در منطقه، شواهد مورفوتکتونیک گسل اشاره شده بررسی شد. گسل البرز شمالی در دامنه شمالی البرز به طول تقریبی ۵۵۰ کیلومتر، از لاهیجان تا جنوب گنبد کاووس به موازات ساحل خزر کشیده و در ناحیه البرز مرکزی حدود طول جغرافیایی ۵۳ درجه شرقی خمیده شده است (طبسی و عباسی، ۱۳۸۱: ۲۵). شکل ۶ا نشان دهنده مدل RRIM از منطقه‌ای در طول گسل البرز شمالی است که شواهد جابه‌جایی رخ داده ناشی از این گسل در شکل مشخص است. مسیر رودخانه با خط آبی مشخص شده است؛ همان‌طور که در شکل دیده می‌شود، جابه‌جایی به صورت راست‌الغز و حدود ۴۰۰ متر در راستای رودخانه روی داده است؛ همچنین آن‌طور که نقاط سبزرنگ نشان می‌دهند، امتداد ستیغ مشرف به رودخانه بریده و جابه‌جا شده است؛ شواهدی که مؤید

نتایج مطالعات پیشین دربارهٔ این گسل بوده است که این گسل را گسلی معکوس با مؤلفهٔ راستالغز راست‌بر معرفی می‌کنند (طبسی و عباسی، ۱۳۸۱: ۲۷؛ سعیدیان و همکاران، ۱۳۹۴: ۲۶۵۷).

در شکل ۶B دیوارهٔ گسل معکوس البرز شمالی به صورت یک پرتگاه گسله آشکار شده است. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود، امتداد و راستای گسل با فلش‌های زردرنگ مشخص شده است. این شکل محدوده‌ای به طول ۳۰ کیلومتر را نشان می‌دهد که دچار جابه‌جایی شده است. موقعیت جابه‌جایی رخ داده در مسیر رودخانه و پرتگاه گسلی ناشی از گسل البرز شمالی در شکل ۶ نشان داده شده است.



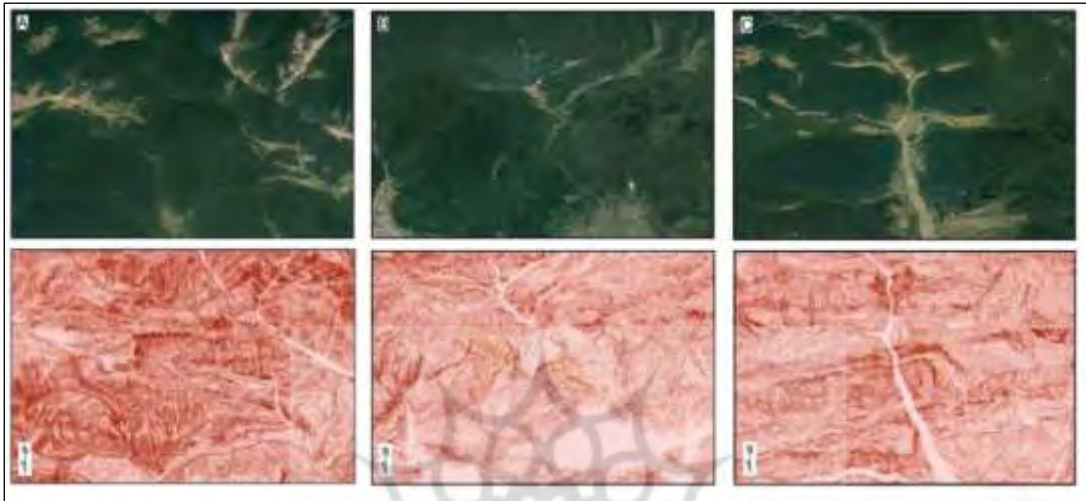
شکل ۶. A: جابه‌جایی رخ داده در مسیر رودخانه با گسل البرز شمالی؛ B: پرتگاه گسلی ناشی از گسل البرز شمالی

(نویسندگان، ۱۳۹۹)

Figure 6. A: Displacement occurred along the river by the North Alborz Fault; B: Fault precipice caused by North Alborz fault (Authors, 2020)

در مناطق جنگلی به دلیل شرایط آب‌وهوایی ویژه، پدیدهٔ زمین‌لغزش بیشتر روی می‌دهد؛ به طوری که فقط در محدودهٔ چهارگوش قزوین-رشت، تاکنون ۳۳۸ زمین‌لغزش ثبت شده است (پاشا و همکاران، ۱۳۹۶: ۹۰)؛ اما بررسی و شناسایی این محدوده‌ها به دلیل پوشش جنگلی متراکم به خوبی امکان‌پذیر نیست. به‌منظور شناسایی زمین‌لغزش‌های رخ داده در محدودهٔ مطالعه از مدل ارتفاع رقومی ۱۲ متری و روش RRIM استفاده شد. با انجام این روش، سه محدودهٔ دچار زمین‌لغزش شناسایی شد (شکل ۷). محدوده‌های زمین‌لغزشی با فلش‌های زردرنگ در شکل ۷ مشخص است. همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود، توده‌های لغزشی یادشده بیشتر در محدوده‌های نزدیک به آبراهه‌های اصلی و در مناطق با شیب بیشتر روی داده‌اند؛ دو عاملی که در بسیاری از مطالعات گذشته از آنها به‌مثابهٔ عوامل مؤثر در ایجاد زمین‌لغزش یاد شده است (محمدزایی و همکاران، ۱۳۹۲: ۲؛ پاشا و همکاران، ۱۳۹۶: ۹۱؛ Pourghasemi et al., 2015: 182).

به منظور صحت‌سنجی نتایج حاصل از پژوهش، موقعیت محدوده‌های لغزشی شناسایی شده بازدید میدانی شد؛ شکل ۸ تصاویری از زمین‌لغزش‌های یادشده را نشان می‌دهد؛ علاوه بر اینکه انطباق موقعیت این محدوده‌ها روی نقشه موقعیت زمین‌لغزش‌های کشور نیز صحت نتایج را نشان می‌دهد (شکل ۹). در شکل ۹ نقاط قرمز رنگ، محدوده‌های زمین‌لغزش و دایره‌های آبی، موقعیت زمین‌لغزش‌های شناسایی شده در این پژوهش را نشان می‌دهند که کاملاً با محدوده‌های لغزشی منطبق هستند.



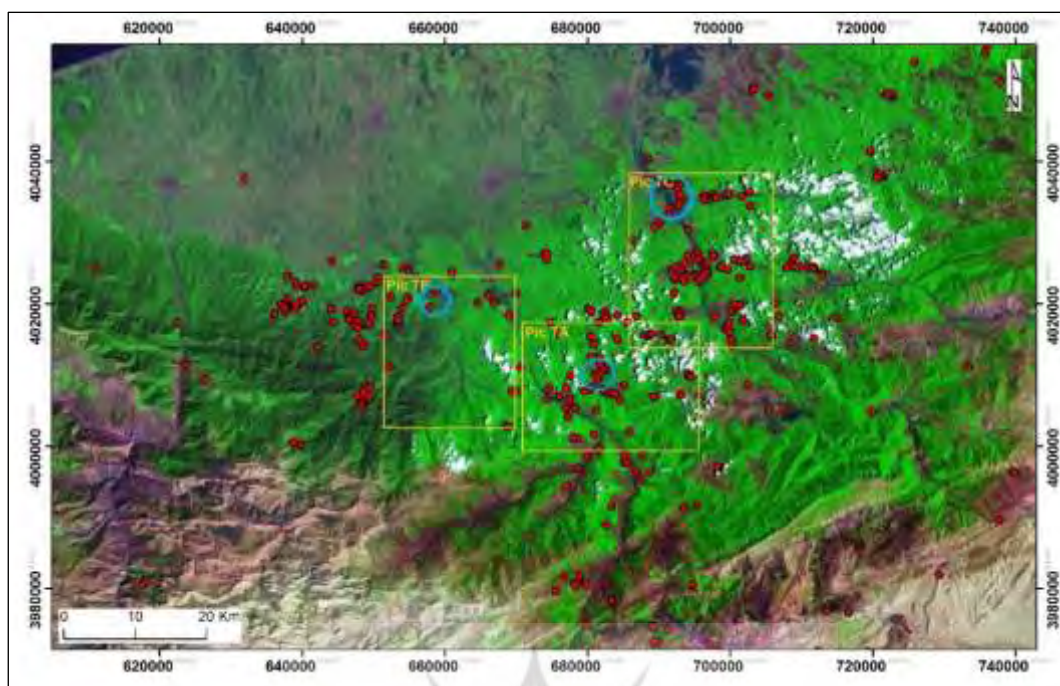
شکل ۷. زمین‌لغزش‌های شناسایی شده به روش RRIM (نویسندگان، ۱۳۹۹)

Figure 7. Landslides identified by the RRIM method (Authors, 2020)



شکل ۸. عکس‌هایی از زمین‌لغزش‌های شناسایی شده در محدوده مطالعه

Figure 8. Images of landslides identified in the study area



شکل ۹. انطباق محدوده‌های لغزشی شناسایی شده با نقشه موقعیت زمین لغزش‌های شمال کشور

(سازمان زمین‌شناسی کشور)، (نویسندگان، ۱۳۹۹)

Figure 9. Adaptation of identified landslide areas with landslide maffof northern Iran ((Geological survey of the country)) ((Authors, 2020))

نتیجه‌گیری

در مناطق جنگلی به دلیل پوشش متراکم درختی سطح زمین، مطالعه عوارض و پدیده‌های سطحی با محدودیت روبه‌روست؛ در نتیجه تهیه نقشه توپوگرافی در این مناطق به سختی امکان‌پذیر است؛ اما تصاویر راداری به دلیل اینکه قابلیت برداشت داده از زیر سطح پوشش درختان را دارند، در اینگونه مواقع بسیار کمک‌کننده‌اند. با توجه به اینکه امواج استفاده‌شده در تصاویر راداری ALOS/PALSAR بیشترین قدرت نفوذ را در پدیده‌های سطح زمین دارند، در این زمینه از آنها استفاده می‌شود.

نتایج حاصل از اعمال روش تداخل‌سنجی روی تصاویر راداری یادشده موجب تهیه مدل ارتفاع رقومی ۱۲ متری از سطح زمین در منطقه مطالعه شد؛ در حالی که مدل‌های ارتفاع رقومی موجود و تهیه‌شده از روش فتوگرامتری قدرت تفکیک مکانی کمتری دارند؛ بنابراین با توجه به قدرت تفکیک مکانی بهتر مدل ارتفاع رقومی حاصل از روش تداخل‌سنجی تصاویر راداری، می‌توان از آن در تحلیل‌های ژئومورفولوژیک سطح زمین استفاده کرد. از آنجایی که روش‌های معمول و استفاده‌شده در نمایش و تحلیل‌های ژئومورفولوژی نواقصی چون تغییر شکل عوارض سطحی در نتیجه تغییر در جهت نورپردازی دارند، در این پژوهش از روش بازشدگی و RRIM استفاده شد. روش‌های یادشده محدودیت‌های روش‌های قدیمی را رفع و قابلیت‌های بهتری ارائه می‌کنند. اعمال روش بازشدگی و RRIM روی مناطق جنگلی شمال کشور و در نتیجه شناسایی ساختارهای ژئومورفولوژی نظیر گسل و زمین‌لغزش، کارایی این

روش‌ها را به اثبات می‌رساند. بازدیدهای میدانی انجام‌شده در منطقه و تطبیق زمین‌لغزش‌های شناسایی‌شده با نقشه موقعیت زمین‌لغزش‌های کشور همگی بر تأیید کارایی روش‌های استفاده‌شده در این پژوهش دلالت دارند؛ بنابراین می‌توان از این روش‌ها در مناطق مشابه استفاده کرد.

منابع

- پاشا، امیرحسین، سربی، علی، بهزادی، سعید، (۱۳۹۶). **ارزیابی خطر زمین‌لغزش در منطقه چهارگوش قزوین - رشت (شمال ایران)**، فصلنامه علوم زمین، سال ۲۷، شماره ۱۰۶، صص ۸۹-۹۸.
- سعیدیان، مهدی، حافظی مقدس، ناصر، رضانی اومالی، رمضان، (۱۳۹۴). **ارزیابی خطر گسلش و رده‌بندی گسل‌های فعال اطراف سد شهید رجایی ساری براساس میزان فعالیت، نشریه زمین‌شناسی مهندسی، جلد ۹، شماره ۱، صص ۲۶۵۳-۲۶۷۴.**
- طبسی، هدیه، عباسی، محمدرضا، (۱۳۸۱). **الگوی دگرریختی و هندسه پهنه گسل شمال البرز بین طول‌های ۵۲ تا ۵۴ درجه خاوری**، فصلنامه علوم زمین، دوره ۱۱، شماره ۴۳-۴۴، صص ۳۵-۲۴.
- محمدزایی، سمانه، حسینی، سید عطاءالله، نصیری، مهران، (۱۳۹۲). **مطالعه و ارزیابی زمین‌لغزش و تأثیر آن بر وضعیت رویشگاه؛ مطالعه موردی: سری خال خیل، هشتمین همایش انجمن زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، دانشگاه فردوسی مشهد.**
- مهربانی، علی، پورخسروانی، محسن، (۱۳۹۷). **اندازه‌گیری میزان جابه‌جایی سطح زمین ناشی از زلزله ۱۳۸۳ داهویه (زرنند) استان کرمان و شناسایی گسل عامل آن با استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری، مجله پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، دوره ۷، شماره ۱، صص ۶۱-۷۳.**
- Amarjargal, S., Kato, T., Furuya, M., (2013). **Surface deformations from moderate-sized earthquakes in Mongolia observed by InSAR**, Earth, Planets and Space, 65 (7): 713-723. doi:10.5047/eps.2012.12.015.
- Bourgine, B., Baghdadi, N., (2005). **Assessment of C-band SRTM DEM in a dense equatorial forest zone, Comptes Rendus Geosciences**, 337 (14), 1225-1234. doi.org/10.1016/j.crte.2005.06.006.
- Chiba, T., Suzuki, Y., Hiramatsu, T., (2007). **Digital terrain representation methods and Red Relief Image Map**, J. Jpn. Cartogr. Assoc. 45, 27-36. DOI: 10.5194/ica-proc-2-17-2019.
- Chiba, T., Kaneta, S.I., Suzuki, Y., (2008). **Red relief image map-new visualization method for three, Int. Arch. Photogramm**, Remote Sens. Spat. Inf. Sci. 37, 1071-1076.
- Chiba, T., Hasi, B., (2016). **Ground Surface Visualization Using Red Relief Image Map for a Variety of Map Scales. International Archives of the Photogrammetry**, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLI-B2, 2016, pp. 393-397. DOI: 10.5194/isprsarchives-XLI-B2-393-2016.
- Civico, R., Pucci, S., de Martini, P.M., Pantosti, D., (2015). **Morphotectonic analysis of the long-term ffff eee xxxsss iinn ff tee 9999 9'Auula rrrtqqkkke ftttt (Cttt Ill ttll)) iii gg ALO// PALSAR data**, Tectonophysics, 644-645, 108-121. DOI:10.1016/j.tecto.2014.12.024.
- Doneus, M., (2013). **Openness as Visualization Technique for Interpretative Mapping of Airborne Lidar Derived Digital Terrain Models**, Remote Sensing 2013, 5 (12), 6427-6442. https://doi.org/10.3390/rs5126427.

- Eldhuset, K., (2017). **Combination of stereo SAR and InSAR for DEM generation using TanDEM-X spotlight data**, International Journal of Remote Sensing Volume 38, 2017 - Issue 15. 4362-4378. <https://doi.org/10.1080/01431161.2017.1320452>.
- Ferretti, D., Colombo, A., Fumagalli, F., Novali, B., Rucci, A., (2015). **InSAR data for monitoring land subsidence, time to think big-proc-iahs.net**. doi: 10.5194/piahs-372-347.
- Gabriel, A.K., Goldstein, R.M., Zebker, H.A., (1989). **Mapping small elevation changes over large areas: Differential radar interferometry**, J. Geophys. Res., 94 (B7), 9183-9191. <https://doi.org/10.1029/JB094iB07p09183>.
- Ghazifard, A., Akbari, E., Shirini, K., Homayon, S., (2017). **Evaluating land subsidence by field survey and D-InSAR technique in Damaneh City, Iran**, J Arid Land (2017) 9 (5): 778–789. DOI: 10.1007/s40333-017-0104-5.
- Hu, J., Ding, X., Zhang, L., Sun, Q., Li, Z., Zhu, J., Lu, Z., (2017). **Estimation of 3-D surface displacement based on inSAR and deformation modeling**, IEEE Transaction on Geoscience and remote sensing, 55 (4): 2007-2016. DOI: 10.1109/TGRS.2016.2634087.
- Lin, C.W., Tseng, C.M., Tseng, Y.H., Fei, L.Y., Hsieh, Y.C., Tarolli, P., (2013). **Recognition of large-scale deep-seated landslides in forest areas of Taiwan using high resolution topography**, J. Asian. Earth Sci. 62, 389– 400. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2012.10.022>.
- Ozouville, N., Defontaine, B., Benveniste, J., Wegmuller, U., Violette, S., de Marsily, G., (2008). **DEM generation using ASAR (ENVISAT) for addressing the lack of freshwater ecosystems management**, Santa Cruz Island, Galapagos, Remote Sensing of Environment, 112 (11), 4131-4147. doi.org/10.1016/j.rse.2008.02.017.
- Pinheiro, M., Reigber, A., Scheiber, R., Jaeger, M., (2014). **DEM generation using large-baseline airborne InSAR**, EUSAR 2014; 10th European Conference on Synthetic Aperture Radar, 3-5 June 2014.
- Pourghasemi, H.R., Moradi, H.R., Fatemi Aghda, S.M., (2015). **Prioritizing Effective Factors in Lddlliee Occeeee ddd its uucctt illl ity ggggggg g iigg hhnnssss Errryyy xxxxx**, J. Sci. and Technol. Agric. and Natur. Resour, Water and Soi Sci., 18 (70).
- Yokoyama, R., Shirasawa, M., Pike, R.J., (2002). **Visualizing topography by openness: A new application of image processing to digital elevation models**, Photogramm, Eng. Remote Sens. 68, 257–265.
- Yu, J., Ge, L., (2010). **Digital Elevation Model generation using ascending and Descending multi-baseline ALOS/PALSAR radar images**, FIG Congress 2010 Facing the Challenges Building the Capacity Sydney, Australia, 11-16 April.