Journal of Applied Researches in Geographical Sciences
Print ISSN: 2228-7736 Online ISSN: 2588-5138
https://jgs.khu.ac.ir/

Analysis of Geomorphometric Changes in Dena City due to Sisakht Earthquake Using Differential Interferometry (DInSAR) Technique

Sayyd Morovat Eftekhari[1]

1. Assistant Professor of Natural Geography, Faculty of Geographical Sciences, kharazmi University, Tehran, Iran
✉ **E-mail:** Eftekhari@khu.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received
2023/01/21
Received in revised
2023/02/27
Accepted
2023/11/26
Published
2023/11/26
Published online
2023/10/01

Keywords:
Geomorphometric,
Interferometry,
Radar Differential Interferometry,
Severe earthquake,
Dena.

ABSTRACT

One of the consequences of an earthquake can be changes in elevation levels or roughness in the area of earthquake occurrence. These changes will not be the same throughout the region and their rate will be affected by several factors such as earthquake severity, landforms and land type, and geological structure. The aim of this research is to measure geomorphometric changes caused by the earthquake on February 18, 2021, in the city of Dena using the Differential Radar Interferometry (DInSAR) technique. To achieve this goal, two Sentinel-1 satellite images (before and after the earthquake) were obtained from the European Space Agency (ESA) Sentinel Hub website. Then, data processing and analysis were implemented via the DInSAR technique. The interferogram image shows that after the earthquake on January 18, 2021, a part of the study area was affected by upward elevation changes of 0.11 cm and downward changes of 0.6 cm displacement. These positive changes (upwards) near the epicenter of the earthquake in East Dena are more noticeable, and the negative changes (downwards) with the KhersanRud valley are quite evident. Additionally, these changes have special irregularities in the areas with differences in geological structures, formation, and faults.

Cite this article: Eftekhari, Morovat. (2024). Analysis of Geomorphometric Changes in Dena City due to Sisakht Earthquake Using Differential Interferometry (DInSAR) Technique. *Journal of Applied Researches in Geographical Sciences*, 74 (24), 252-270. DOI: http//doi.org/ 10.61186/jgs.24.74.25

© The Author(s). Publisher: Kharazmi University.
DOI: http//doi.org/ 10.61186/jgs.24.74.25

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOI: 10.61186/jgs.24.74.25]

Journal of Applied Researches in Geographical Sciences
Print ISSN: 2228-7736 Online ISSN: 2588-5138
https://jgs.khu.ac.ir/

Extended Abstract

Introduction

Earthquakes are one of the most important natural events that have always caused deformation on the surface of the earth, from the distant past to the present. The consequences of this natural phenomenon have prompted humans to think about ways to control and reduce damages during and after their occurrence. Today, many researchers in earth sciences, including geomorphologists, are trying to reduce the risk for construction activities in earthquake-affected areas by accurately identifying and measuring geomorphometric changes. This is particularly important due to the high costs of construction projects. By investigating the changes in the earth's surface after an earthquake, it is possible to identify areas that are prone to upward or downward changes and minimize the potential for irreparable physical and financial events. With the advances in modern radar remote sensing technologies and the various capabilities of this technology, Differential Radar Interferometry (D-InSAR) has become an efficient tool with easy accessibility for studying and monitoring trends in geomorphology, morphotectonics, and morphometric phenomena (Eftekhari et al., 250:1396). This capability has been recognized and utilized by many geoscientists in the past decade, and its results have been significant. Geoscience specialists have used this technique in the past decade, and sometimes in recent years, to detect and analyze geomorphometric changes in different regions (Saed et al., 2022; Cherian, 2022; Zhu et al., 2022; Shi et al., 2022; Hou et al., 2022; Wang et al., 2021). In this study, an attempt has been made to detect and analyze geomorphometric changes caused by the earthquake that took place on February 18, 2021, in the city of Dena. This was done using the Differential Radar Interferometry (DInSAR) technique and utilizing Sentinel-1 SAR data.

Data and methods

The city of Sisakht is the capital of Dena located in Kohgiluyeh and Boyerahmad province, 35 km northwest of Yasuj, with the bounding latitudes of 51 degrees 3 minutes to 51 degrees east and longitudes of 36 degrees 38 minutes 31 degrees north to 13 minutes north. Two series of Sentinel-1 images pertaining to the study area were acquired before and after the earthquake on 08/02/2021 and 21/21/2021, respectively. To analyze the available data, the capability of two software, SNAP and SARscape extension in ENVI5.3 environment, was used in three steps, according to the necessity of different stages of research: **The first step:** The main parameters of the master and slave images were calculated in SARscape.**The second step:** To determine the coherence between images, SNAP software was used. The specifications of the master and slave images in SNAP software environment are shown in Figure 7. **The third step:** Removing geometric and topographic errors by applying the filtering of the fault due to atmospheric and radiometric effects and showing the actual phase of the displacement .Given that the unit of measurement of the interferographic fringes is $\pi 2$ and varies between ±2.5 in the regions where the fringes are approaching each other, the

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOI: 10.61186/jgs.24.74.25]

Journal of Applied Researches in Geographical Sciences
Print ISSN: 2228-7736 Online ISSN: 2588-5138
https://jgs.khu.ac.ir/

more intense the displacement and the greater the distance, the less displacement has been taken. To soften and open the fractures between the fringes, phases of the Snaphu intermediary software are formed (10). Next, an unwrapping map using the conceptual relationship given by Davoodpour (2019) was performed, and the phases difference to vertical displacement of metric system and displacement map was generated.

Results and Discussion

In terms of geomorphology, the study area can be divided into three sections within a mountain mass characterized by compact roughness. The eastern highlands consist of cliffs and slopes that are visible at the base, while the western slopes are relatively gentler compared to the eastern slopes. The valleys predominantly exhibit V-shaped forms, with evident landslides and muddy liquefaction on the slopes. The central part of the area contains the Khersan River network which is situated in a syncline bed. The morphology of the riverbed varies from north to south (see figure 12). Various geomorphometric changes have been identified, including :Geomorphometric changes derived from radar differentiation maps (northwest to southeast). The findings confirm changes in elevation levels ranging from +0.11 to -0.5 cm in Dena city following the earthquake (see figure 13) . Geomorphometric changes derived from radar differential maps (west to east direction). The diagrams obtained from the studied area indicate that geomorphometric changes from west to east are relatively more consistent compared to the northwest to southeast direction.
Description of geomorphometric changes based on geological conditions. According to the Sishakht geological map, the study area is part of the folded Zagros area and the high Zagros zone, which includes deposits of sandstone from the Balon Formation, as well as silty sand, mila, and marl limes (see figure 14).

Conclusion

The aim of this research is to measure geomorphometric changes caused by the earthquake on February 18, 2021, in the city of Dena using the Differential Radar Interferometry (DInSAR) technique. To achieve this goal, two Sentinel-1 satellite images (before and after the earthquake) were obtained from the European Space Agency (ESA) Sentinel Hub website. Then, data processing and analysis were implemented via the DInSAR technique. The interferogram image shows that after the earthquake on January 18, 2021, a part of the study area was affected by upward elevation changes of 0.11 cm and downward changes of 0.6 cm displacement. These positive changes (upwards) near the epicenter of the earthquake in East Dena are more noticeable, and the negative changes (downwards) with the KhersanRud valley are quite evident. Additionally, these changes have special irregularities in the areas with differences in geological structures, formation, and faults.

Keywords: Geomorphometric, Interferometry, Radar Differential Interferometry, Severe earthquake, Dena.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.61186/jgs.24.74.25]

نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی
شاپا چاپی: ۲۲۲۸-۷۷۳۶ شاپا الکترونیکی: ۲۵۸۸-۵۱۳۸
https://jgs.khu.ac.ir/

تحلیل تغییرات ژئومورفومتریک شهرستان دنا ناشی از زلزله سی سخت با روش تفاضل سنجی راداری (D-InSAR)

سید مروت افتخاری[1]✉

۱. نویسنده مسئول.، استادیار گروه آموزشی جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

رایانامه: Eftekhari@khu.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:
۱۴۰۱/۱۱/۰۱

تاریخ بازنگری:
۱۴۰۱/۱۲/۰۸

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۲/۰۹/۰۵

تاریخ انتشار:
۱۴۰۲/۰۹/۰۵

تاریخ انتشارآنلاین:
۱۴۰۲/۰۸/۰۱

کلیدواژه‌ها:
ژئومورفومتریک،
اینترفرامتری،
تفاضل سنجی راداری،
زلزله سی سخت،
دنا.

چکیده

یکی از پیامدهای زلزله می‌تواند تغییرات سطوح ارتفاعی ناهمواری‌های منطقه رخداد باشد. این تغییرات در سطح منطقه عمدتاً به‌صورت یکسان نخواهد بود و میزان آن تحت تأثیر عوامل متعددی ازجمله: شدت زلزله، لندفرم‌ها، جنس زمین، ساختمان زمین‌شناسی متفاوت خواهد بود. هدف از این پژوهش انداز گیری تغییرات ژئومورفومتریک ناشی از زلزله ۲۹ بهمن ۱۳۹۹ سی سخت در سطح شهرستان دنا با استفاده از فن تفاضل سنجی راداری می‌باشد. برای دستیابی به این هدف با توجّه به پوشش مناسب و دقت اندازه‌گیری تصاویر ماهواره راداری سنتینل ۱ از دو سین تصویر مربوط به منطقه وقوع زلزله برای تاریخ‌های قبل (۱۳۹۹/۱۱/۲۰) و بعد از زلزله (۱۳۹۹/۱۲/۲) از سایت سازمان فضایی اروپا (ESA) دریافت گردید، پس از انجام فرآیند و تحلیل داده با فن تفاضل سنجی راداری، یافته‌های مستخرج از نقشه‌های تفاضل سنجی نشان می‌دهد، پس از زلزله مورخ ۱۳۹۹/۱۱/۲۹ سی سخت بخشی از منطقه موردمطالعه تحت تأثیر تغییرات مثبت ارتفاعی با بالاآمدگی ۰.۱۱ سانتی‌متر و تغییرات منفی پائین رفتگی ۰.۶ – سانتی‌متر مواجه گردیده است. این تغییرات مثبت (بالاآمدگی) در نزدیکی کانون زلزله در شرق دنا بیشتر قابل توجّه است و تغییرات منفی (پائین رفتگی) با دره ناودیسی که خرسان رود در بر روی آن استقرار دارد کاملاً مشهود هست، همچنین این تغییرات در محل‌های تغییر ساختمان زمین‌شناسی، جنس سازند و در برخورد با گسل‌های منطقه دارای بی‌نظمی خاص است.

استناد: افتخاری، سید مروت (۱۴۰۳). تحلیل تغییرات ژئومورفومتریک شهرستان دنا ناشی از زلزله سی سخت با روش تفاضل سنجی راداری (D-InSAR). *نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۷۴ (۲۴)، ۲۷۰-۲۵۲. http//doi.org/ 10.61186/jgs.24.74.25

ناشر: دانشگاه خوارزمی تهران.

© نویسندگان.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.61186/jgs.24.74.25]

مقدمه

زلزله یکی از مهم‌ترین رخدادهای طبیعی است که از گذشته دور تا به امروز همواره موجب تغییرات ناهمواری‌های سطح کره زمین گردیده است. پیامدهای این پدیده طبیعی موجب مخاطراتی گردیده تا بشر در اندیشه راهکارهای کنترل و کاهش خسارت در زمان وقوع و پس‌ازآن برآیند. امروزه بسیاری از پژوهشگران علوم زمین ازجمله، ژئومورفولوژیست‌ها در تلاش هستند با توجّه به هزینه‌های بسیار بالای پروژه‌های عمرانی میزان خطر ریسک را برای فعالیت‌های عمرانی در مناطق متأثر از زمین‌لرزه با شناسایی و اندازه‌گیری هر چه دقیق‌تر تغییرات ژئومورفومتریک کاهش دهند. با بررسی تغییرات ژئومورفومتریک زمین پس از وقوع زلزله می‌توان پتانسیل مناطق مستعد تغییرات سطحی ± را شناسایی و پیش‌بینی لازم جهت جلوگیری از وقایع جبران‌ناپذیر جانی و مالی را به حداقل ممکن رسانید. با گسترش و توسعه فنّاوری‌های نوین سنجش‌ازدور راداری و قابلیت‌های مختلف این فناوری، تداخل سنجی تفاضلی راداری (D-InSAR)[1] ابزاری کارا با قابلیت دسترسی مناسب جهت انجام مطالعات در زمینه اندازه‌گیری و پایش روند تغییرات پدیدهای ژئومورفولوژی، مورفوتکتونیکی، مورفومتریک را فراهم نموده است (افتخاری و همکاران:۱۳۹۶:۲۵۰). این قابلیت در دهه اخیر در سطح جهانی موردتوجه بسیاری از متخصصین علوم زمین واقع‌شده و نتایج آن قابل‌توجه بوده است. پژوهش انجام‌شده در منطقه دربندی خان عراق پس از زلزله آبان ۱۳۹۶ سرپل ذهاب با استفاده از فن تفاضل سنجی راداری نشان داد این منطقه دارای تغییرات ۴- تا ۱۰- سانتیمتر بوده (ساعد و همکاران ۷:۲۰۲۲)[2] نقشه جابجایی تغییرات سطحی زمین ناشی از زلزله ۷.۳ ریشتری شهرستان سرپل ذهاب نشان می‌دهد در این منطقه بین ۱.۶- تا ۶۸ سانتی‌متر تغییرات ارتفاعی صورت گرفته است، بیشترین جابجایی در شمال و شمال غرب شهر یعنی روستاهای دشت ذهاب، حومه سرپل و پشت تنگ به دلیل هم‌جواری با مرکز زلزله رخداده است (چریان۲۰۲۲:۳)[3]. بررسی انجام شده با استفاده از تکنیک تفاضل سنجی راداری بر روی زلزله ۲۷ سپتامبر ۲۰۱۲ آرکالوچوری[4] جیره کرت[5] بیانگر بیشترین تغییر در سازه‌های آثار باستانی داشته و این روش را برای مطالعه تغییرات آثار باستانی را کارا می‌باشد (زهو[6] و همکاران ۱۴:۲۰۲۲). مطالعه انجام‌شده در شهر لیوجینگ[7]، چین پس از زلزله ۱۲ اکتبر ۲۰۱۹ به این نتیجه رسیدند روش تفاضل سنجی راداری می‌تواند برای شناسایی توزیع مکانی زلزله مناسب باشد (شی[8] و همکاران ۱۱۶۴:۲۰۲۲). نتایج تحقیق انجام‌شده قبل و بعد از زلزله ۶.۷ ریشتری ۶ فوریه ۲۰۱۶ در کائوسیونگ تایوان[9] بیانگر حداکثر بالاآمدگی ناشی از زمین‌لرزه ۱۶ سانتی‌متر و حداکثر فرونشست سطحی ۱۲.۵ سانتی‌متر در این منطقه می‌باشد (هوا زینگ و همکاران۲۰۲۲)[10]. پژوهش انجام‌شده بر روش تفاضل راداری در زمینه پایش و بررسی اثر حفاری و استخراج زغال‌سنگ از معادن و در فرونشست منطقه جینینگ[11]، چین، به این نتیجه رسید که این فن را می‌توان جایگزین روش‌های سنتی برای نظارت و کنترل میزان تغییرات سطحی زمین در نظر گرفت (وانگ و همکاران ۲۰۲۱)[12]. در ایران عمدتاً پژوهش‌های انجام‌شده با استفاده از فن تفاضل سنجی راداری معطوف به مطالعات فرونشست و به‌طور محدود در زمینه زمین‌لغزش بوده و متخصصین علوم زمین این روش را برای مطالعات تغییرات سطح زمین کارا دانسته، (شمشکی و همکاران ۱۳۹۵، شریفی کیا و همکاران ۱۳۹۴ ، شیرانی و همکاران ،۱۳۹۳ ، مهدویان و همکاران ،۱۳۹۳، شریفی کیا ۱۳۹۲، شریفی کیا ۱۳۹۰، دهقان ۱۳۹۰)، (تحقیق مؤید حاکمیت میزان فرونشست با متوسط سالیانه حدود ۳۰ سانتی‌متر در پهنه‌ای به گستره ۲۸۱ کیلومترمربع در بخش میانی دشت نوق بهرمان است و تغییرات فرونشست در دشت سمنان ۱۰ سانتی‌متر بوده) نتایج پژوهش انجام‌شده با روش تفاضل سنجی

[1] - Differential Synthetic Aperture Radar interferometry
[2] - Saed et al
[3] - Cherian
[4] - Arkalochori
[5] - Crete
[6] - Zhu et aL
[7] - Liujing
[8] - Shi et al
[9] - Kaohsiung of Taiwan
[10] - Hou، Zhixian
[11] - Jining
[12] - Wang، Zhiyong

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOI: 10.61186/jgs.24.74.25]

راداری در زمینه ارتباط کاهش سطح آب‌های زیرزمینی و پدیده فرونشست در شهرستان ورامین نشان داده سطح اصلی مخروط افکنه جاجرود حدود ۲۰ سانتی‌متر دارای فرونشست بوده است (شاهرخی و همکاران۱۴۰۱:۱۷۵). همچنین مطالعه انجام‌شده در سطح کلان‌شهر کرج برای ارزیابی تغییرات فرونشست و ارتباط آن با آب‌های زیرزمینی در بازه ۷ ساله (۲۰۱۴-۲۰۲۱) نشان داده بین ۲۷- تا ۱۵ میلی‌متر زمین دارای جابجایی بوده است (رنجبر و فتح‌الله زاده، ۱۴۰۱).

متخصصین علوم زمین در دهه گذشته و بعضاً در سال‌های اخیر برای آشکارسازی و دست‌یابی تغییرات ژئومورفومتریک مناطق، عمدتاً از روش‌های اندازه‌گیری غیرمستقیم ازجمله؛ تجزیه، تحلیل و تفسیر فعالیت‌های نئوتکتونیک با بهره‌گیری از شاخص‌های ژئومورفومتریک (تضاریس جبه کوهستان SMS، نسبت بین پهنای کف در به ارتفاع Vf، نسبت شکل حوضه زهکش Bs، شاخص عامل تقارن توپوگرافی Af، شاخص ارزیابی نسبی تکتونیکی IAT) استفاده می‌شد (رجبی و همکاران، ۱۳۹۱) در این روش از مطالعات عمدتاً پارامترهای اندازه‌گیری از روی نقشه‌های متوسط مقیاس و عکس‌های هوایی، مدل‌های رقومی زمینی و با مشاهدات میدانی بر اساس شواهد محیطی به دست می‌آمد که نتایج آن بیشتر جنبه توصیفی داشته و کمتر به‌صورت دقیق و با واحدهای متریک بیان می‌شد، از جمله این پژوهش‌ها بررسی شاخص‌های مورفومتریک در استان گیلان نشان می‌دهد که میزان فعالیت تکتونیکی در امتداد گسل تالش به یک اندازه و ثابت نیست (علیزاده و خادمی:۱۴۰۱). همچنین نتایج پژوهش دیگر زمینه بررسی دقت پارامترهای ژئومورفومتریک نسبت به افزایش حساسیت مناطق زمین‌لغزش به‌صورت درصد بیان می‌گردد، (عرب عامری و همکاران، ۱۳۹۷:۲۲۱) در این میان پارامتر شاخص توپوگرافی، انحنای سطح بیشترین امتیاز را می‌گیرد. اصول مدیریتی حاکم بر شاخص انداز ژئومورفیک در هر مرحله تکوین و تکامل، با اصول مدیریتی همان شاخص اندازه‌گیری در مراحل متفاوت است؛ زیرا شاخص اندازه‌گیری، ثبت و ارتباط آن با دیگر سامانه و پاسخ آن به تغییرات و پس‌خوراندهای محیطی متفاوت است (المدرسی، ۱۳۸۹:۳). با توجه به رویکرد جدید تعدادی از متخصصین علوم زمین مبنی بر اینکه ژئومورفومتری علم مطالعه کمی اشکال بر اساس مدل‌های رقومی ارتفاعی است و هدف از ژئومورفومتری را استخراج ویژگی‌های سطح زمین (حوضه‌های آبریز، شبکه‌های جریانی، لندفرم‌ها و ...) با استفاده از مدل‌های رقومی زمین (DEM) می‌داند (احمدآبادی و همکاران ۱۳۹۴:۲۱۳) به‌کارگیری داده‌های ماهواره‌ای آشکارتر می‌گردد. اهمیت اندازه‌گیری دقیق پارامترهای ژئومورفومتریک با استفاده از تکنیک‌های تفاضل سنجی در حد میلی‌متر می‌تواند ابزار مناسب برای تجزیه‌وتحلیل تغییرات فرآیندهای ژئومورفولوژی و تغییرات حاصله در لندفرم‌های به‌منظور شناسایی نقاط آسیب‌پذیر به‌منظور اجرای آگاهانه فعالیت‌های عمرانی با کاهش ضریب خطر در برنامه‌ریزی منطقه‌ای امری روشن هست، امروزه با توجه به هزینه‌های بسیار بالای پروژه‌های عمرانی و ضرورت کاهش خسارات احتمالی، مطالعات سنتی اندازه‌گیری ژئومورفومتریک با دقت پایین نمی‌تواند پاسخگوی نیازهای فعالیت‌های عمرانی و برنامه‌ریزی‌های منطقه‌ای باشد. با توجه به پوشش سطح وسیع تصاویر ماهواره‌ای راداری و دقت اندازه‌گیری در حد میلی‌متر استفاده داده‌های تصاویر برای تولید نقشه‌های تفاضل سنجی راداری به‌منظور اندازه‌گیری و استخراج نقشه‌های ژئومورفومتریک می‌تواند مناسب و کارا باشد. قرار گرفتن ایران در یکی از مناطق پرخطر با فراوانی بالای لرزه‌خیزی و پیامدهای آن اهمیت و ضرورت شناسایی دقیق تغییرات ژئومورفیک پس از وقوع زلزله دو چندان می‌گردد. شرط اوّل دست‌یابی و شناسایی اندازه‌گیری دقیق تغییرات ژئومورفومتریک در مناطق متأثر از زلزله و اولویت‌بندی میزان تغییرات و اثرگذاری در زیرساخت‌ها و برنامه‌های عمرانی منطقه مدنظر قرار گیرد تا در صورت اجرای عملیات عمرانی و یا هرگونه فعالیت مرتبط با زمین نقاط دارای ریسک خطر بالا پس از شناسایی پهنه‌بندی گردد و متخصصین مربوط به آن آگاهی کامل داشته باشند (امانی و نجفی نژاد ۱۳۹۳). در پژوهش حاضر سعی گردیده مسئله اندازه‌گیری دقیق تغییرات ژئومورفومتریک ناشی از زلزله ۲۹ بهمن ۱۳۹۹ سی سخت مبتنی بر داده‌های ماهواره راداری با تکنیک تفاضل سنجی موردبررسی قرار گیرد.

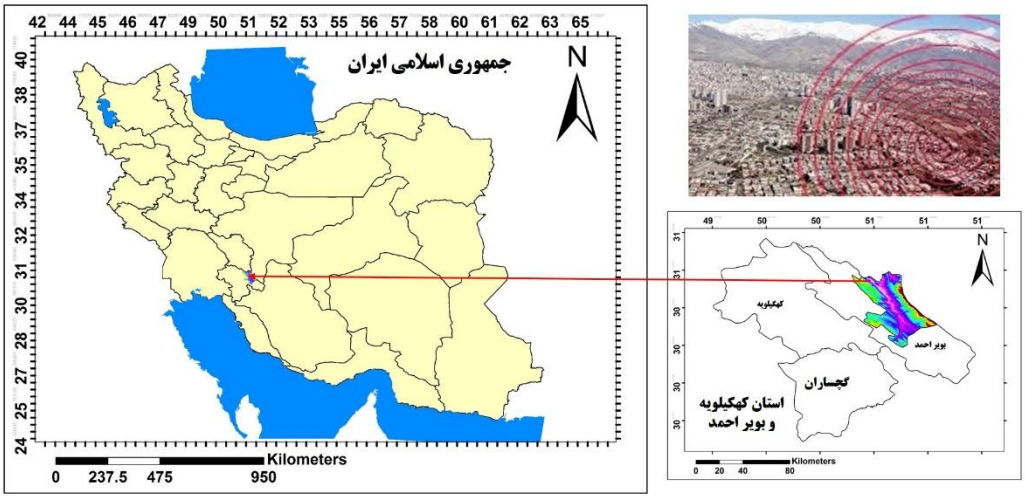
[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.61186/jgs.24.74.25]

روش‌شناسی

موقعیت جغرافیایی منطقه موردمطالعه

شهرستان دنا به مرکزیت شهر سی سخت در استان کهگیلویه و بویراحمد واقع در ۳۵ کیلومتری شمال غربی یاسوج در مختصات ۵۱ درجه ۳ دقیقه تا ۵۱ درجه ۳۶ دقیقه شرقی و از ۳۶ درجه ۳۸ دقیقه ۳۱ درجه ۱۳ دقیقه شمالی واقع گردیده است شکل (۱). این شهرستان در یک منطقه کاملاً کوهستانی با ویژگی‌های طبیعی و زمین‌شناسی خاص موردتوجه بسیاری متخصصین علوم زمین و طبیعت گردان بوده است. این منطقه ازنظر زمین‌شناسی در کمربند چین‌خورده زاگرس رانده در پهنه ایران مرکزی، توران و عربی واقع شد و فعالیت‌های تکتونیکی در گستره زاگرس، به ترتیب در پهنه‌های لرزه‌ای با خطر نسبی بالا و خیلی بالا قرار دارد، این منطقه از نظر ژئومورفولوژی از ناهمواری‌های فشرده با شیب تند برخوردار بوده و عمدتاً شبکه رودخانه‌ای منطبق بر ناودیس‌ها و ارتفاعات با طاقدیس از ساختمان زمین‌شناسی تبعیت کرده و شکل ناهمواری منطقه ژوارایی می‌باشد. بر اساس گزارشات مرکز زلزله‌نگاری بزرگای زلزله‌ها در این منطقه کم تا متوسط است، چنانکه به‌طور غالب زلزله‌های این منطقه کمتر از ۵ ریشتر هست و تعداد کمی از آن بیشتر از ۵ ریشتر است (یوسفی و همکاران،۱۳۹۹). همچنین به دلیل اینکه این منطقه ازجمله مناطق فعّال ازنظر تکتونیکی و زلزله‌خیزی در نوار زاگرس است، عمده این زلزله حاصل فعّالیت گسل‌های معکوس و امتدادلغز هست (مصطفی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۷). طبق مطالعات متأخرین یکی از دلیل لرزه‌خیزی این منطقه عبور گسل اصلی و فعّال زاگرس معرف به گسل دنا (دیناری) که تحت تأثیر نو زمین‌ساخت زاگرس چین‌خورده در اثر حرکت رو به شمال صفحه عربی و برخورد آن با صفحه ایران در راستای شمال خاوری-جنوب باختری می‌باشد (آقانباتی: ۱۳۸۳). بیشتر زمین‌لرزه‌های کمربند، زاگرس، البرز، کپه داغ در راستای گسل‌های راست لغز در مرز بلوک‌های بزرگ و لرزه‌خیز رخ می‌دهد (تارتار و همکاران ۱۳۹۷). زمین‌لرزه سی سخت، به بزرگی ۵.۶ ریشتر در ساعت ۲۲ و ۵ دقیقه و ۳۴ ثانیه، چهارشنبه‌شب ۲۹ بهمن ۱۳۹۹ شهر سی سخت مرکز شهرستان دنا لرزاند. مرکز لرزه‌نگاری کشور اعلام کرد این زمین‌لرزه در عمق ۸ کیلومتری زمین رخداده و کانون آن در فاصله ۱۰ کیلومتری سی سخت رخداده است (موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران).

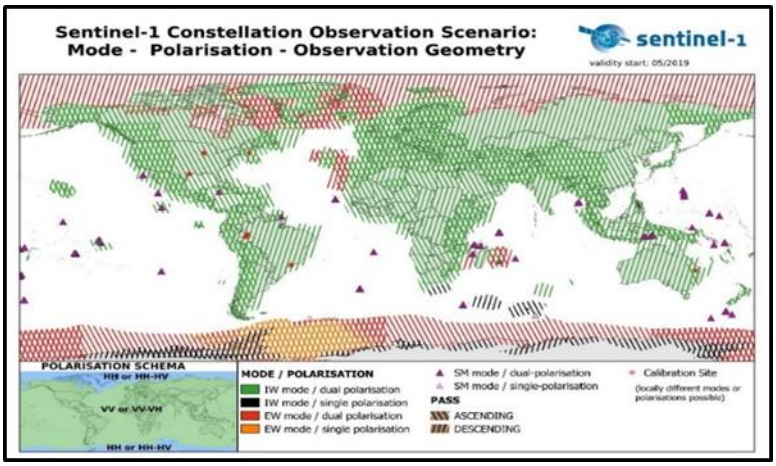


شکل (۱). منطقه موردمطالعه

روش تحقیق در پژوهش حاضر به‌منظور اندازه‌گیری و استخراج تغییرات ژئومورفومتریک ناشی از زلزله ۲۹ بهمن ۱۳۹۹ سی سخت مبتنی بر تفاضل سنجی راداری با بهره‌گیری از داده‌های ماهواره راداری Sentinel-1A بنام C-SAR در باند C

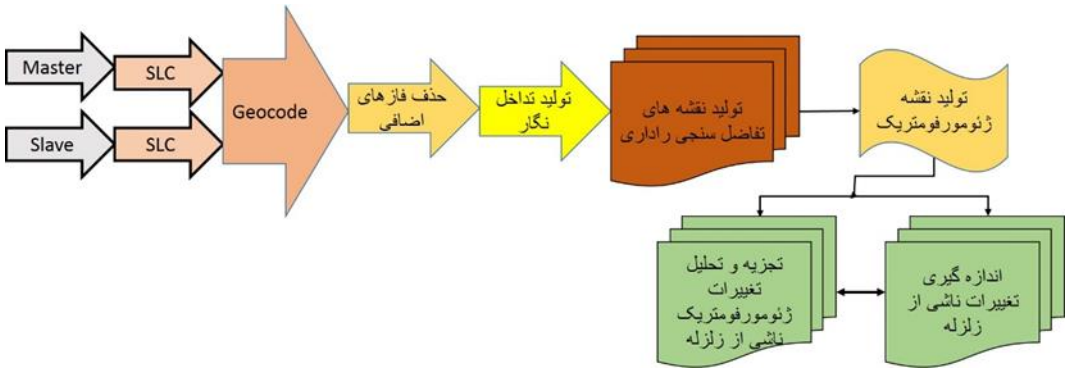
[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOI: 10.61186/jgs.24.74.25]

با طول‌موج ۵/۵۴ سانتی و قطبش[۱۳] (VV HH)، ،(VV+VH) (HH+HV)] در حالت‌های (EW[15] IW[14]،SM[16]،WV[17]] می‌باشد، شکل (۲).



شکل (۲). اطلاعات مناطق تحت پوشش مدهای تصاویر ماهواره SENTINEL-1A منبع:https://sentinels.copernicus.eu

با توجه به اینکه داده‌های اولیه ماهواره سنتینل ۱ در حالت IW ترکیبی از اطلاعات، دامنه و فاز (SLC)[18] می‌باشد برای به دست آوردن تغییرات سطح زمین ضروری است اختلاف فاز داده‌های حاصله از تصاویر پایه[۱۹] و پیرو[۲۰] که در دو زمان متفاوت از یک منطقه دریافت گردیده با روش اینترفرامتری[۲۱] نقشه تداخل نگار[۲۲] تولید که حاوی اطلاعات اختلاف فاز دو تصویر ناشی از تغییرات احتمالی از تارگت تا سنجنده حاصل و در ادامه داده‌های اختلاف فاز به متریک تبدیل و نقشه تفاضل سنجی منطقه به دست می‌آید شکل (۳).



شکل (۳). فرآیند کلی تحقیق

[13] - Polarization
[14] - Interferometric Wide swath
[15] - Extra Wide swath
[16] - Strip Map
[17] - Wave Mode
[18] - Single looking complex
[19] - Master
[20] - Slave
[21] - Interferometry
[22] - Interferogram

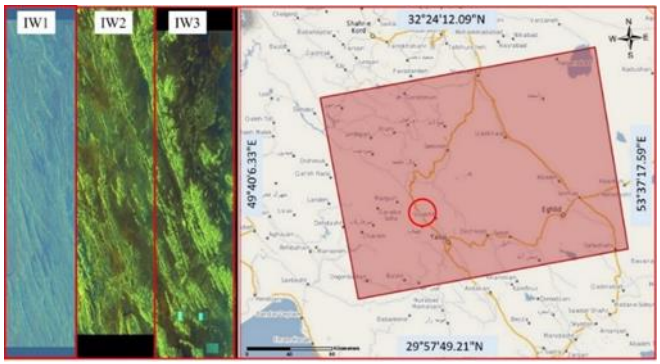
[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOI: 10.61186/jgs.24.74.25]

روش انجام پژوهش

با توجه به هدف اصلی تحقیق که آشکارسازی و اندازه‌گیری تغییرات ژئومورفومتریک منطقه موردمطالعه بر اثر زلزله ۱۳۹۹/۱۱/۲۹ سی‌سخت می‌باشد، دو سری تصویر قبل و بعد از زلزله برای تاریخ‌های (۱۳۹۹/۱۱/۲۰ و ۱۳۹۹/۱۲/۰۲) جدول (۱) از سایت[۲۳] آژانس فضایی اروپا (ESA)[۲۴] از ماهواره سنتینل۱ با مد IW دریافت گردیده شکل (۴).

جدول (۱). مشخصات تصاویر منطقه موردمطالعه از ماهواره راداری سینتینل ۱

Product	Mod	Pass	Trak	Polarize	Orbit	Date
SLC	IW	Ascending	28	VV	36675	20-FEB-2021
SLC	IW	Ascending	28	VV	36500	08-FEB-2021



شکل (۴). موقعیت تصاویر اخذ شده برای منطقه موردمطالعه در پلت فرم سنجنده Sentinel-1A

پس از انتخاب و دریافت تصاویر باید دو پارامتر اصلی بین تصویر پایه و پیرو موردبررسی قرار گیرد.

۱- خط مبنای مناسب که در واقع فاصله مابین مرکز دو سنسور که نباید از حد مجاز خارج باشد طبق رابطه (۲) هرچه فاصله خط مبنا بیشتر گردد مقدار خطای فاز توپوگرافی افزایش پیدا می‌کند؛ بنابراین خط مبنای مکانی یکی از فاکتورهای مهم در انتخاب تصاویر برای انجام تفاضل سنجی راداری می‌باشد رابطه (۳) داودپور (۱۳۹۸،۷۰).

$$\emptyset topo = \frac{4\pi}{\lambda}\frac{Bcos(\theta-\alpha)}{R\sin(\alpha)}$$ رابطه (۲)

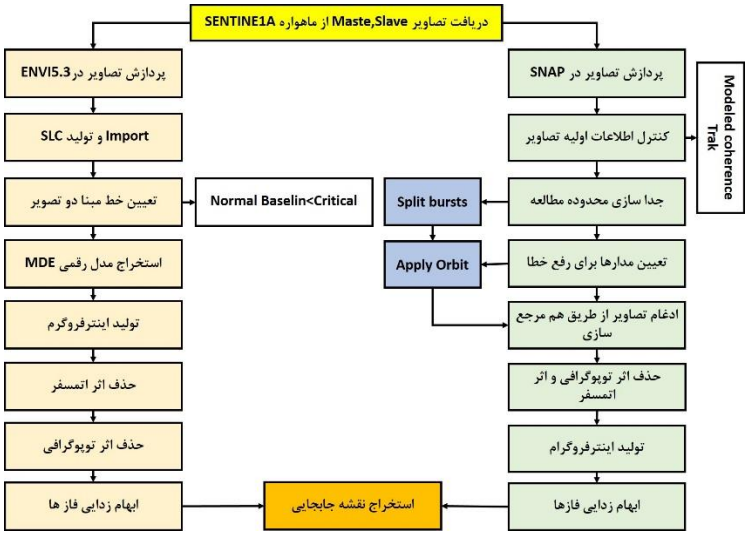
(Normal Baselin<Critical) رابطه (۳)

۲- بر قراری همدوسی قابل‌قبول و مناسب بین دو تصویر پایه و پیرو که مقدار آن بین ۰ – ۱ هرچه همدوسی به ۱ نزدیک‌تر باشد تصاویر مناسب‌تر برای تولید نقشه تفاضل سنجی می‌باشد.

برای دست‌یابی به دو شرط فوق‌الذکر بر حسب ضرورت مراحل مختلف تحقیق از قابلیت دو نرم‌افزار SNAP و افزونه SARscape در محیط ENVI5.3 در سه گام انجام می‌شود شکل (۵).

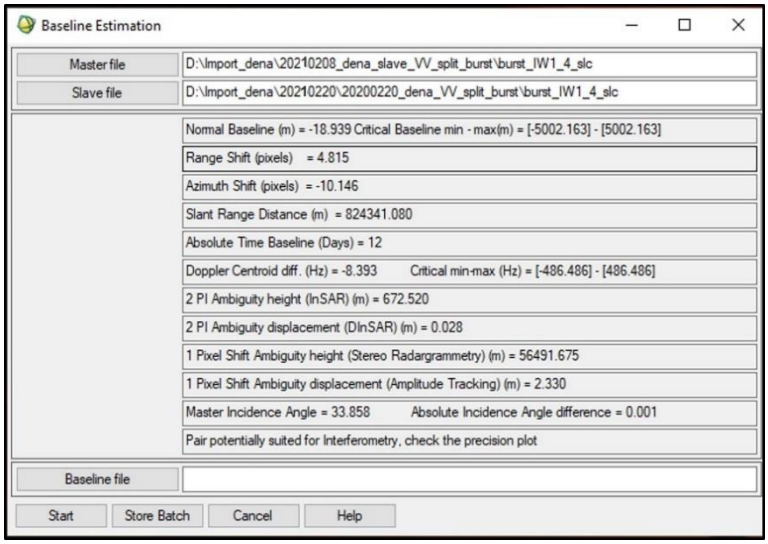
23 - https://scihub.copernicus.eu
24 - European Space Agency

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOI: 10.61186/jgs.24.74.25]



شکل (۵). فلوچارت مراحل پردازش در نرم‌افزار SNAP و SARscape

گام اوّل: پارامترهای اصلی تصاویر پایه و پیرو منطقه موردمطالعه در محیط افزونه Sarscape پس ازImport و انتخاب Burst4 محاسبه شکل (۶) و نتایج به‌دست‌آمده به شرح ذیل می‌باشد.



شکل (۶). پارامترهای موردنیاز برای تولید تداخل نگار منطقه موردمطالعه از تصاویر ماهواره

۱- خط مبنا[۲۵] بین مدار تصویر پایه و پیرو ۱۸/۹۳ متر را نشان می‌دهد با توجه حد بحرانی در این دو تصویر که عدد ۵۰۰۲ متر تعیین گردیده بنابراین خط مبنا براساس رابطه (۳) برای انجام مراحل بعدی پردازش بعدی براساس رابطه (۳) مناسب می‌باشد.

۲- تغییر مکان و جابجایی پیکسل‌ها در بین تصاویر پایه و پیرو نباید از حد مجاز بیشتر باشد که برای تصاویر منطقه موردمطالعه عدد ۴/۸۱ هست.

۳- تغییر مکان و جابجایی پیکسل‌ها در جهت Azimuth عدد ۱۰.۱۴۶-در امتداد پرواز.

۴- زمان بین تصاویر پایه و پیرو که برحسب ضرورت و مدل‌های موردنیاز باید در نظر گرفته شود در موارد تولید تداخل نگارهای فرونشست هر چه تعداد سال‌ها افزایش یابد نرخ به دست آمد از ضریب اطمینان بالاتری برخوردار خواهد

[25] - Baseline

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOI: 10.61186/jgs.24.74.25]

بود، اما برای تولید تداخل نگار برای تغییرات ژئومورفومتریک ناشی از زلزله اصولاً تصاویر قبل و بعد از زلزله موردنیاز هست که در برای زلزله سی سخت ۸ و۲۰ فوریه ۲۰۲۱ بافاصله ۴ روز قبل از زلزله و ۴ روز بعد انتخاب‌شده است.

گام دوّم

در این مرحله پس از اطمینان دقیق از مناسب بودن تصاویر پایه و پیرو در محیط Sarscape در گام دوم از محیط نرم‌افزار SNAP که «امروزه کاربرد وسیع انواع تصاویر ماهواره‌های سری Sentinel و دیگر سنجنده‌ها را می‌توان در زمینه‌های گوناگونی همانند: مطالعات رطوبت خاک، کشاورزی، پوشش گیاهی، کاربری اراضی، مخاطرات طبیعی، پیش‌بینی وضعیت اقیانوس‌ها، پایش دمای سطحی، کیفیت آب، آلودگی دریا و... نام برد. ازاین‌رو، امروزه می‌توان کاربرد فراوان و وسیع نرم‌افزار تخصصی SNAP را به‌منظور پردازش و آنالیز، بصری سازی و مدل‌سازی مشاهدات صورت گرفته از سطح زمین (داده‌ها / تصاویر) توسط سنجنده ماهواره‌ای Sentinel می‌باشد». برای مشخص کردن شرط همدوسی بین تصاویر و ادامه مراحل کار انجام می‌شود. ابتدا ضرورت دارد هر دو تصویر ازنظر Track برابر و دارای همدوسی[۲۶] مناسب داشته باشد؛ هر چه همدوسی به ۱ نزدیک‌تر باشد تصاویر برای تولید تداخل نگار مناسب‌تر خواهند بود، در تصویر پایه و پیرو منطقه مورد به ترتیب این ۱ و ۰.۹۷ را نشان می‌دهد که نشان‌دهنده مناسب بودن تصاویر برای پردازش می‌باشد شکل (۷).



شکل (۷). مشخصات تصاویر پایه و پیرو در محیط نرم‌افزار SNAP

گام سوم

در این مرحله با تولید kmz که در گام اول از طریق نرم‌افزار Sarscap در Google earth انجام گرفت منطقه موردمطالعه به‌دقت در IW و Burst مشخص و سپس در محیط نرم‌افزار SNAP با تطبیق مختصات محدود موردنظر از سین اصلی جداشده شکل (۸) و تصحیحات مداری بر روی هر تصویر انجام می‌گیرد، در ادامه با استفاده از مدل رقمی SRTM تصاویر جداشده ازنظر مختصات هم مرجع سازی صورت گرفت، به‌نحوی‌که پیکسل به پیکسل در هر تصویر دارای مختصات همسان گرداندند و عملاً دو تبدیل به یک تصویر که نشان دهند یک نقطه روی زمین باشد، این نقشه آماده برای به دست آورند اختلاف‌فاز می‌شود، به‌منظور انجام تصحیحات هندسی[۲۷] و رفع انواع خطاهای کوتاه شدگی و روی‌هم افتادن تصاویر اثر فازهای ناشی توپوگرافی از روی تصاویر حذف تا تداخل نگار تولیدشده صرفاً نشان‌دهنده نقشه اختلاف‌فازهای ناشی از جابجایی زمین درروی تصاویر باقی بماند.

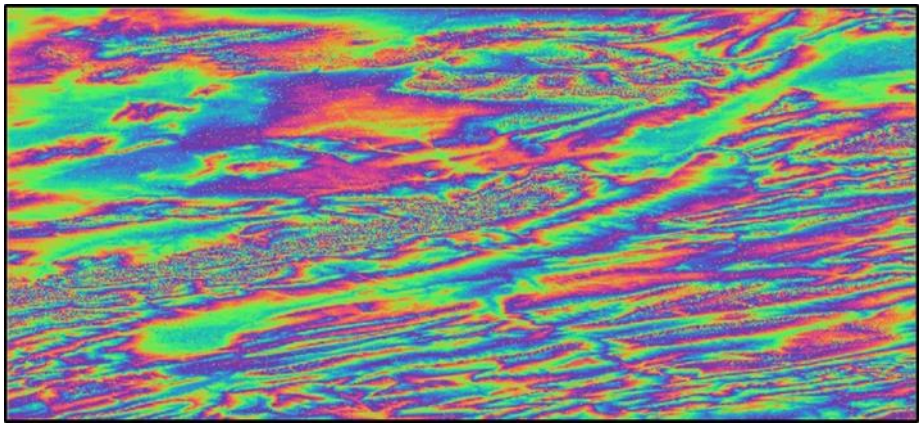
[26]. Coherence.
[27] - Co registration

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOI: 10.61186/jgs.24.74.25]



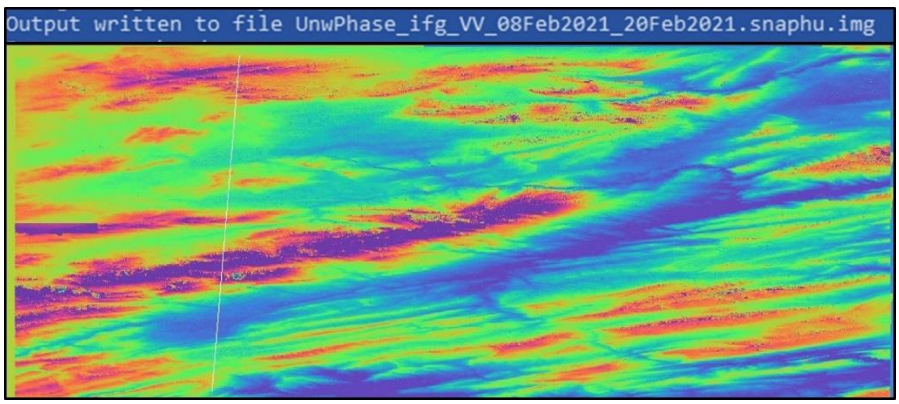
شکل (۸). منطقه جداشده از سین اصلی

پس از حذف خطاها هندسی و توپوگرافی با اعمال فیلتر خطای ناشی از اثرات اتمسفری و رادیومتری نیز حذف و تداخل نگار منطقه موردمطالعه فاز واقعی ناشی از جابجایی را نشان می‌دهد،شکل (۹).



شکل (۹) تداخل نگار منطقه موردمطالعه مستخرج از داده‌های Sentinel-1A

با توجه به اینکه واحد اندازه‌گیری فرینچ‌های تداخل نگار به‌صورت 2π هست و بین ± 2.5 متغیّر هست در مناطقی که فرینچ‌ها به هم نزدیک می‌شوند نشان‌دهنده جابجایی شدیدتر و هر چه از هم فاصله بیشتر باشد جابجایی کمتر صورت گرفته است؛ برای نرم کردن و باز کردن شکستگی‌های بین فرینچ‌ها فازهای از نرم‌افزار واسطه‌ی Snaphu گردیده شکل (۱۰).



شکل (۱۰). تصویر Unwrp منطقه موردمطالعه از تداخل نگار

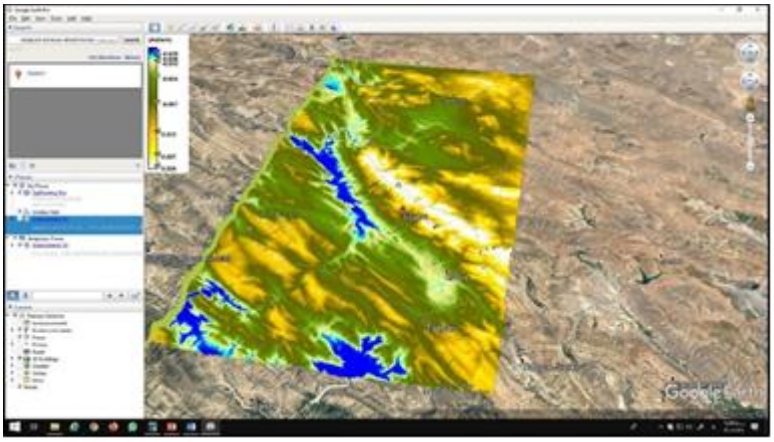
[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.61186/jgs.24.74.25]

در مرحله بعدی نقشه Unwrp شده با استفاده از رابطه مفهمی (۴) داودپور (۱۳۹۸،۷۰) اختلاف‌فازها به جابجایی عمودی سیستم متریک تبدیل و نقشه جابجایی تولید گردید شکل (۱۱).

$$Dis = \frac{ØUnw.\lambda}{-4\pi.cos\Theta inc}$$

رابطه (۴) (دادودپور: ۱۳۹۸، ۷۰)

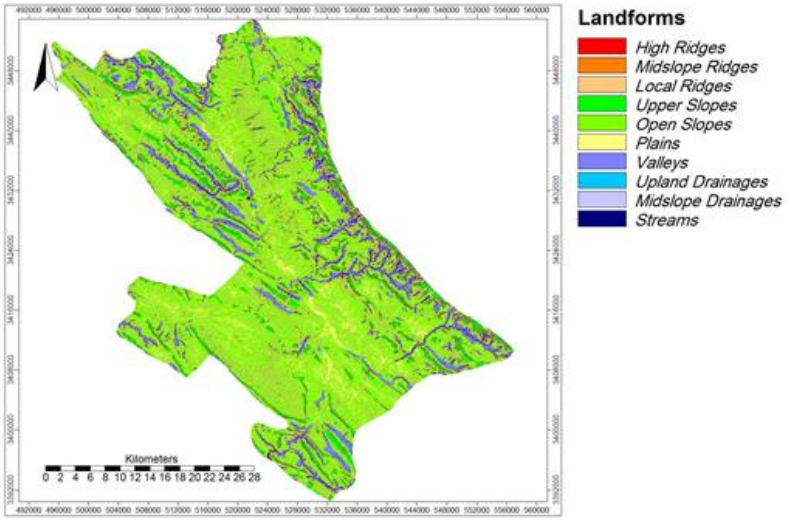


شکل (۱۱). نقشه تفاضل سنجی راداری ناشی از زلزله ۲۹/۱۱/۱۳۹۹ سی سخت

در ادامه با توجه به محدودیت‌های دو نرم‌افزار فوق برای تولید نقشه‌های طبقه‌بندی از نقشه جابجایی برای استخراج نمودارها و انطباق آن با نقشه‌های گسل، زمین‌شناسی، هیدرولوژی، ترسیم نمودارهای تحلیلی و نقشه‌ای خروجی از محیط نرم‌افزار ARC GIS10.8 استفاده گردید.

نتایج و بحث

منطقه موردمطالعه از نظر ژئومورفولوژی در یک توده کوهستانی با ناهمواری بسیار فشرده به سه بخش قابل‌تقسیم می‌باشد، رشته ارتفاعات شرقی با تیغه‌ها و دامنه‌های سنگی پرشیب که در پای دامنه‌ها واریزهای سنگی مشهود می‌باشد، دامنه‌های غربی که نسبتاً به دامنه‌های شرقی دارای شیب ملایم‌تر می‌باشد و عمدتاً دره‌ها به‌صورت V باز می‌باشد و توده‌های لغزشی و روانه‌های گلی مشهود می‌باشد، بخش مرکزی که شبکه رودخانه خرسان در یک بستر ناودیسی استقرار دارد بستر این رود از شمال به سمت جنوب تحت تأثیر مورفولوژی دامنه متغیر می‌باشد شکل (۱۲).



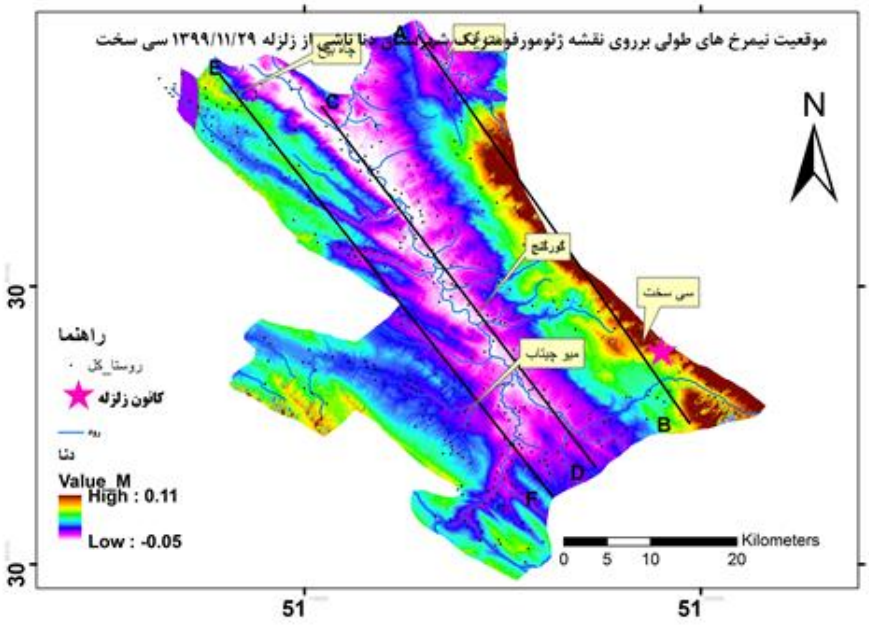
شکل (۱۲). نقشه تغییرات ژئومورفولوژی شهرستان دنا پس از زلزله ۱۳۹۹/۱۱/۲۹

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.61186/jgs.24.74.25]

الف: تغییرات ژئومورفومتریک مستخرج از نقشه‌های تفاضل سنجی راداری(جهت شمال غربی به جنوب شرقی

یافته‌های تحقیق مؤید تغییرات سطوح ارتفاعی از ۰.۱۱+ تا ۰.۵- سانتی‌متر در سطح شهرستان دنا پس از وقوع زلزله هست شکل (۱۳) که بیشترین دامنه تغییرات مثبت در بخش شرقی نشان داده می‌شود، این روند تغییرات در جهت شمالی جنوبی در محور A-B اشکال (۱۳ و ۱۴) نشان می‌دهد از روستای دره گزی تغییرات ژئومورفومتریک منفی ۴- سانتی‌متر بوده اما به سمت جنوب شرقی روند تغییرات مثبت بوده به‌نحوی‌که در نزدیکی شهر سی سخت (در مجاورت کانون زلزله) روند تغییرات مثبت به ۶ سانتی‌متر افزایش پیدا می‌کند، مجدداً با دور شدن از کانون زلزله روند تغییرات منفی ۳- سانتی‌متر را نشان می‌دهد. در محور C-D شکل(۱۵) در جهت شمالی جنوبی در بخش مرکزی منطبق با دره ناودیسی ابتداً تغییرات مثبت ۲ هست، اما در نزدیکی روستای گورگنج با تغییرات ۴- سانتی روند کاهشی بوده و در ادامه به سمت جنوب شرقی این تغییرات روند صعودی بین ۱- و ۲- را نشان می‌دهد. در محور E-F شکل (۱۶) تغییرات خیلی نامنظم بوده به‌طوری‌که ابتدا از روستای چاه بیخ از ۳ سانتی‌متری به ۴- در نزدیکی روستای میوه چیتاب کاهش‌یافته و در جهت جنوب شرقی این روند به سمت مثبت تغییر می‌کند.



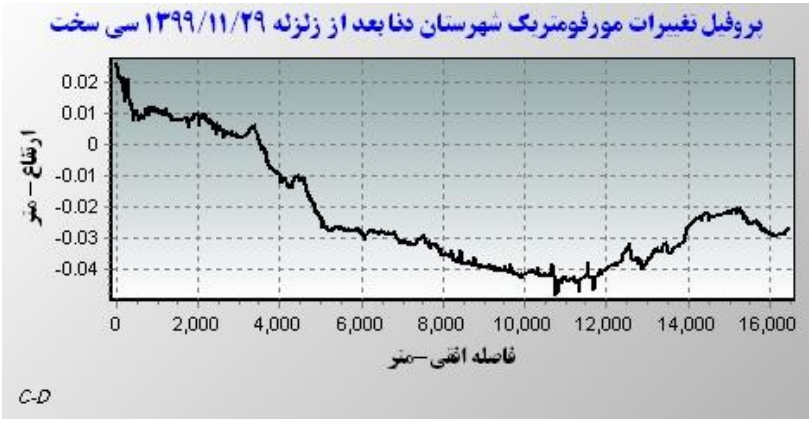
شکل (۱۳). موقعیت نمودارهای نیمرخ‌های طولی دنا پس از زلزله ۱۳۹۹/۱۱/۲۹



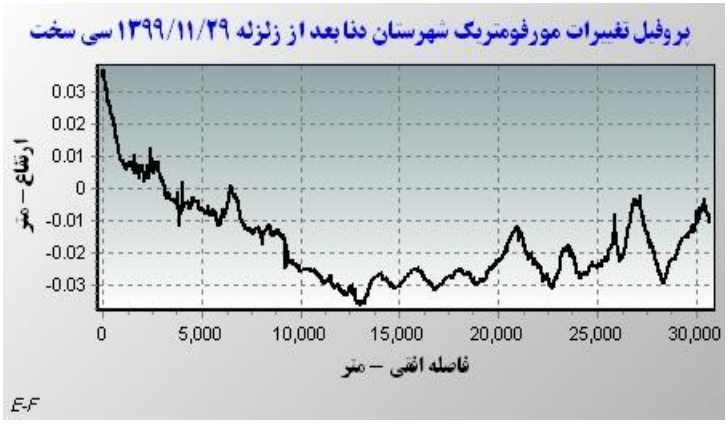
شکل (۱۴). تغییرات ژئومورفومتریک مستخرج از نقشه تفاضل سنجی راداری

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.61186/jgs.24.74.25]



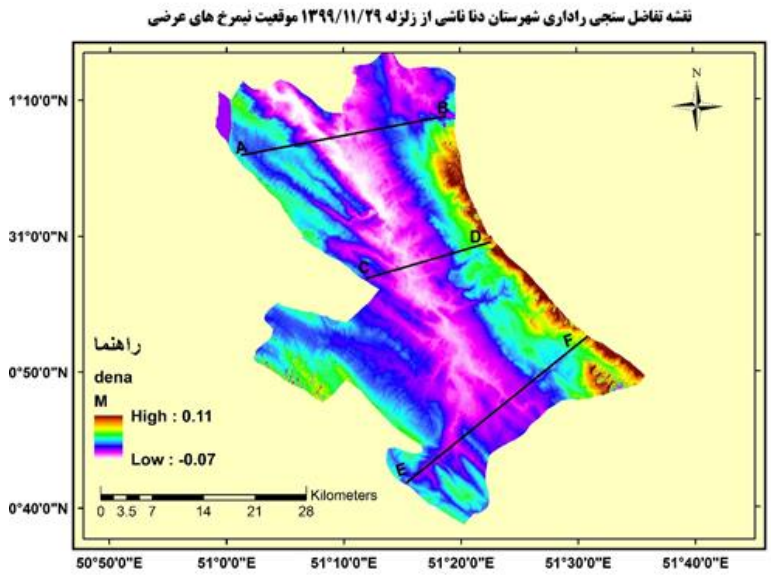
شکل (۱۵). تغییرات ژئومورفومتریک مستخرج از نقشه تفاضل سنجی راداری



شکل (۱۶). تغییرات ژئومورفومتریک مستخرج از نقشه تفاضل سنجی راداری

ب: تغییرات ژئومورفومتریک مستخرج از نقشه‌های تفاضل سنجی راداری (در جهت غرب به شرق)

با توجه به نمودارهای رسم شده از منطقه موردمطالعه و شکل (۱۷) تغییرات ژئومورفومتریک از غرب به شرق نسبتاً منظم‌تر از جهت شمال غربی به جنوب شرقی می‌باشد.

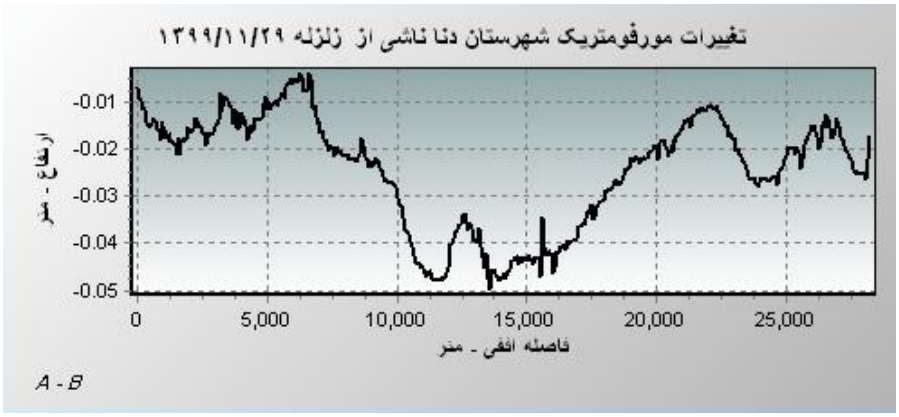


شکل (۱۷). موقعیت نمودارهای عرضی در نقشه تفاضل سنجی راداری پس از زلزله ۱۳۹۹/۱۱/۲۹

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]

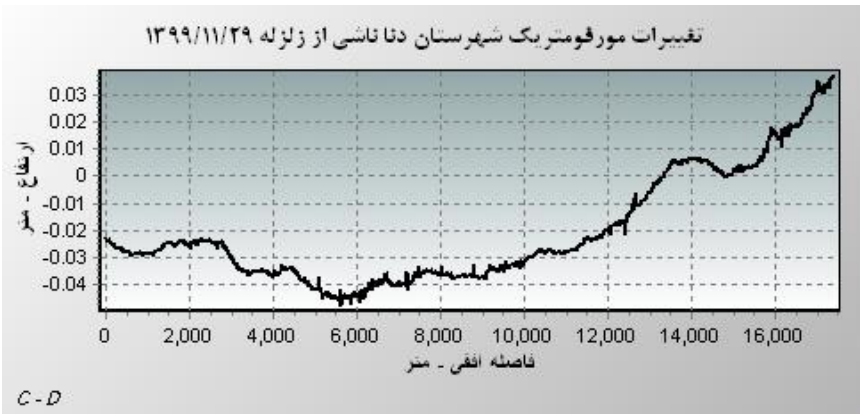
[DOI: 10.61186/jgs.24.74.25]

بر این اساس با توجه به اشکال (۱۸ تا ۲۰) روند تغییرات ژئومورفومتریک از شرق به غرب روند افزایشی در بعضی نقاط با کاهش قابل‌توجه مواجه هست. در شکل (۱۸) این تغییرات از ۵- سانتی‌متر در شرق شروع تا به صفر نزدیک می‌گردد که نشان می‌دهد روند تغییرات کاملاً نامنظم بوده که به‌احتمال‌زیاد باید علت را در عواملی ازجمله نقش گسل و یا ساختمان زمین‌شناسی موردبررسی قرار گیرد.

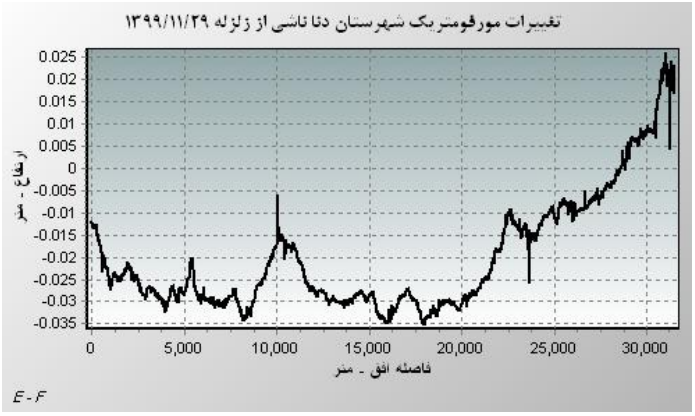


شکل (۱۸). موقعیت تغییرات ± سطحی پس از زلزله ۱۳۹۹/۱۱/۲۹ (A_B)

در شکل (۱۹) در موقعیت ۲ روند تغییرات از ۶ سانتی‌متر مثبت از روستای آب‌سیاه شروع این روند تا ۲ کیلومتری این روستا کاملاً نامنظم اما در ادامه شیب تغییرات منظم‌تر گردید تا در فاصله ۱۶ کیلومتری در دوراهی بهرام بیگی اندکی روند افزایش ۲- سانتی‌متری را نشان می‌دهد و در ادامه روند تغییرات مثبت است.



شکل (۱۹). تغییرات ± سطحی پس از زلزله ۱۳۹۹/۱۱/۲۹ (C_D)



شکل (۲۰). تغییرات ± سطحی پس از زلزله ۱۳۹۹/۱۱/۲۹ (E_F)

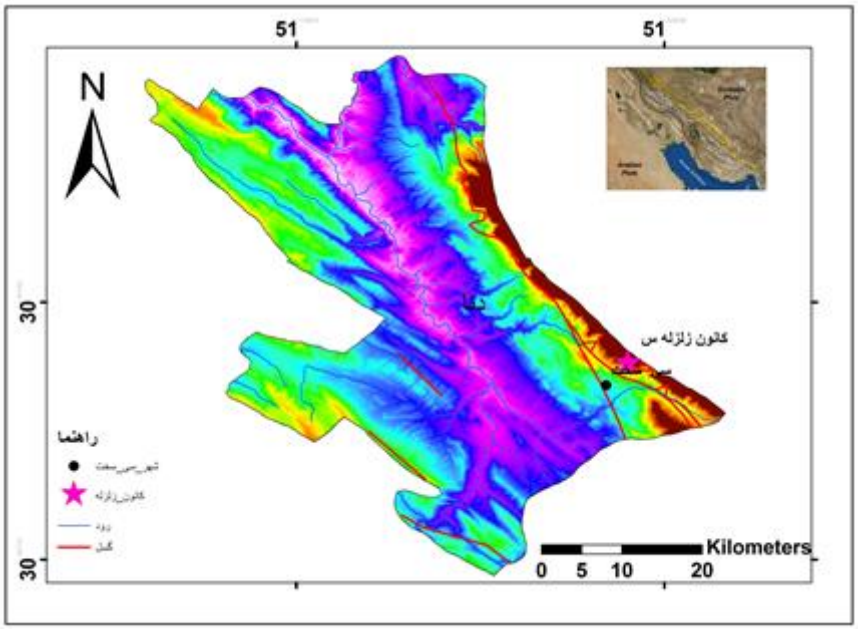
[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.61186/jgs.24.74.25]

در موقعیت جنوب منطقه موردمطالعه شکل (۲۰) علی‌رغم نزدیک بودن به کانون زلزله تغییرات خیلی مشهود نیست اما در محل ناودیس به ۶- سانتی‌متر تغییر پیدا کرده است.

ج: تحلیل تغییرات ژئومورفومتریک بر اساس وضعیت ساختمان زمین‌شناسی

منطقه مورد ازنظر ساختمانی شامل طاقدیس‌ها و ناودیس‌ها رشته‌کوه دنا با روند شمال غربی - جنوب شرقی است که از روند کلی چنین خوردگی زاگرس تبعیت می‌کند شکل (۲۱) و برخی از گسل‌ها نیز از سیستم گسل بنیادی منطقه با تغییر در راستای محور ساختاری همراه است. در محدوده موردپژوهش بررسی در راستای زون گسلی دنا در شمال خاوری شهر سی سخت به‌صورت شبکه گسلی درهم بافته به‌نحوی‌که تغییرات سطوح زمین پس از زلزله در موقعیت کاملاً مشهود بوده و تا حدودی تغییرات منطبق بر خطوط گسل هست. با توجه به گسل‌های متعدد این منطقه ازجمله گسل دانا به طول تقریبی ۱۰۰ کیلومتر با جهت (شمال غربی ، جنوب شرقی)، گسل سیوک و گسل کوه نه بر اساس نمودارهای استخراج نشان می‌دهد در محل گسل‌های تغییرات ناگهانی ایجادشده است.

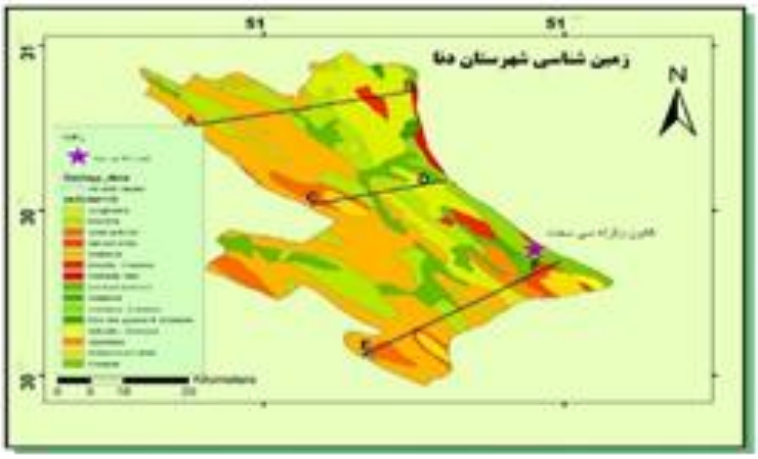


شکل (۲۱). نقشه گسل‌های فعال در منطقه رخداد زلزله دنا، منبع سازمان زمین‌شناسی کشور

د: تحلیل تغییرات ژئومورفومتریک بر اساس وضعیت زمین‌شناسی

با توجه به نقشه زمین‌شناسی سی سخت شماره برگ ۶۲۵۱ منطقه موردمطالعه بخشی از ناحیه زاگرس چین‌خورده و زاگرس مرتفع هست که از نهشته‌های ماسه‌سنگی سازند بالون، ماسه سیلتی، میلا، آهک‌های مارنی را شامل می‌شود، نقشه مستخرج از نقشه زمین‌شناسی سی سخت و دنا شکل (۱۷) و با تطبیق آن پروفیل‌های به‌دست‌آمده از تغییرات سطحی بیانگر این است بیشتر مناطق دارای تغییرات مثبت، منطبق با سنگ آهکی بوده و مناطق داری تغییرات سطحی منفی عمدتاً پوشیده از سنگ‌های مارن یا رسوبات منفصل بوده است، همچنین با تطبیق نقشه زمین‌شناسی و نقشه منحنی میزان تغییرات ± عمدتاً سطوح منفی منطبق با مسیر رود دنا هست که در محل ناودیس استقرار دارد شکل (۲۲).

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOI: 10.61186/jgs.24.74.25]



شکل (۲۲). نقشه زمین‌شناسی و موقعیت نمودارها

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، این امکان فراهم شد تا میزان تغییرات ژئومورفومتریک در فاصله تقریبی کانون زلزله سی سخت، در شهرستان دنا با روش تفاضل سنجی راداری موردبررسی قرار گیرد. با توجه به اینکه دو تصویر پایه و پیرو از همدوسی ۰.۹۷ برخوردار بود و بافاصله زمان ۱۲ روزه (۱۳۹۹/۱۱/۲۰) تصویر قبل از زلزله ۱۳۹۹/۱۲/۲)، نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد، می‌توان ازنظر تغییرات ژئومورفومتریک منطقه موردمطالعه را به ۳ بخش شرقی، مرکزی، غربی، تقسیم‌بندی نمود؛ در بخش شرقی تغییرات بالاآمدگی ۶ سانتی‌متری را نشان می‌دهد، اگرچه این تغییرات دارای نوسان شدید بوده و در کل بخش شرقی یکسان نیست به‌نحوی‌که به سمت جنوب شرقی روند تغییرات منفی گردیده و به ۴- سانتی‌متر می‌رسد. در بخش مرکزی تقریباً از شمال شرقی به جنوب غربی منطبق بر مسیر رودخانه خرسان که عمدتاً جنس زمین از نوع رسوبات رودخانه‌ای هست تغییرات ژئومورفومتریک عدد ۷- ساعتی متر نیز را نشان می‌دهد که امّا هرچه به سمت جنوب شرقی می‌رویم روند تغییرات مثبت می‌گردد در منتهاالیه بخش غربی تغییرات از مثبت ۳ شروع و در بخش‌های مرکزی به ۳- نزدیک و مجدداً روند صعودی می‌گیرد. افزون بر تغییرات سطحی مثبت و منفی در سه بخش شرقی، مرکزی و غربی می‌توان بیان نمود مناطق منطبق با خطوط گسل با تغییرات ناگهانی ± شدید مواجه هست که احتمالاً می‌تواند ناشی از وجود گسل باشد و از طرف دیگر این تغییرات در سازندهای سست نیز مشهود هست. همچنین داده‌های مستخرج از نقشه‌های تفاضل سنجی نشان می‌دهد ۹۳٪ منطقه دارای تغییرات سطحی ۰.۵ تا ۰.۵- سانتی‌متر مواجه گردیده و ۷٪ دارای تغییرات مثبت بین ۵ تا ۱۱ سانتی‌متری عمدتاً در محدوده جنوب شرقی شهرستان دنا را شامل می‌شود.

منابع

احمدآبادی، علی و رحمتی، مریم، (۱۳۹۴)، کاربرد شاخص‌های کمی ژئومورفومتریک در شناسایی پهنه‌های مستعد زمین‌لغزش با استفاده از مدل SVM، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۴ (۳)

افتخاری، سیدمروت و شریفی کیا، محمد (۱۳۹۶)، تحلیل تغییرات مورفولوژیکی رودخانه ناشی از احداث سد طالقان بر پایه تفاضل سنجی زمانی داده‌های راداری، فصلنامه برنامه‌ریزی و آمایش فضا، ۱(۲)، ۲۴۳-۲۶۳

آقا نباتی، سید علی، (۱۳۸۳) زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور، چاپ اوّل ص ۴۳، ۶۴۷

تارتار، محمد، احمدی، حسین:۱۳۹۷، لرزه‌خیزی و لرزه‌زمین‌ساخت البرز بر اساس زمین‌لرزه‌های محلی، هجدهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران، ۲۴۱-۲۴۵

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.61186/jgs.24.74.25]

رجبی، معصومه و سلیمانی. (۱۳۹۱). تحلیل و ارزیابی ویژگی‌های مورفوتکتونیکی و نئوتکتونیکی دامنه جنوبی کوهستان سبلان. نشریه علمی جغرافیا و برنامه‌ریزی، ۱۷(۴۵)، ۹۷-۱۲۰.

رنجبر، زهرا، فتح‌الله زاده، محمد. (۱۴۰۱). بررسی فرونشست زمین با استفاده از سری زمانی تصاویر راداری و ارتباط آن با تغییرات تراز آب‌های زیرزمینی (مطالعه موردی: کلان‌شهر کرج). پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی، ۱۰(۴)، ۱۳۸-۱۵۵.

عامری، علیرضا. رضایی، خلیل، سهرابی، مسعود و شیرانی. (۲۰۱۹). ارزیابی کارایی پارامترهای کمی ژئومورفومتریک در افزایش صحت نقشه‌های پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش (مطالعه موردی: حوضه فریدون‌شهر، استان اصفهان). (پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز (علمی-پژوهشی، ۹(۱۸)، ۲۲۰-۲۳۲.

علیزاده، خادمی و شاهین. (۱۴۰۱). ارزیابی فعالیت گسل تالش در استان گیلان با بررسی‌های مورفوتکتونیکی و لرزه‌زمین‌ساختی. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی.

عمادالدین، شاهی، آرخی، صالح، آتابای، آ. (۱۴۰۱). تعیین میزان فرونشست زمین در محدوده مخروط‌افکنه جاجرود با استفاده از فن تداخل‌سنجی تفاضلی راداری. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۵۴(۲)، ۱۶۹-۱۸۳.

المدرسی، سید علی،(۱۳۸۹)، «ارگودیسیتی در ژئومورفولوژی» پایان‌نامه دوره دکتری، دانشگاه اصفهان، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، گروه جغرافیا

مرکز لرزه‌نگاری کشوری - موسسه ژئوفیزیک - دانشگاه تهران،https://geophysics.ut.ac.ir

مقیمی، ا.. محمودی، ف. (.)۱۳۸۳ روش تحقیق در جغرافیای طبیعی (ژئومورفولوژی). چ.۱ تهران: انتشارات قومس

یوسفی، طهمورث و همکاران، (۱۳۹۹)، گزارش زمین‌شناسی زمین‌لرزه ۲۹ بهمن ۹۹ سی سخت در استان کهگیلویه و بویراحمد، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

Cherian، J. (2022). Determining the amount of earthquake displacement using differential synthetic aperture radar interferometry (D-InSAR) and satellite images of Sentinel-1 A: A case study of Sarpol-e Zahab city. Advances in Engineering and Intelligenc

Hou، Z.، Yang، K.، Li، Y.، Gao، W.، Wang، S.، Ding، X.، & Li، Y. (2022). Dynamic prediction model of mining subsidence combined with D-InSAR technical parameter inversion. Environmental Earth Sciences، 81(11)، 1-13 .

Pourkhosravini، M.، Mehrabi، A.، & Amirjahanshahi، Z. (2020). Monitoring tectonic activity in tunnel walls with radar interferometry: a case study of tunnels of Hormozgan Province، Iran. Desert، 25(1)، 53-63.

Zhu، M.، Chen، F.، Zhou، W.، Lin، H.، Parcharidis، I.، & Luo، J. (2022). Two-Dimensional InSAR Monitoring of the Co-and Post-Seismic Ground Deformation of the 2021 Mw 5.9 Arkalochori (Greece) Earthquake and Its Impact on the Deformations of the Heraklion City Wall Relic. Remote Sensing، 14(20)، 5212.

Saed، AM Noori، B Kalantar، WM Qader، 2022، Earthquake-Induced Ground Deformation Assessment via Sentinel-1 Radar Aided at Darbandikhan Town، Emerging Trends in Sensor Technology for Natural Hazard Management، pp11

Shi، A.، Jiang، L.، Zhou، L.، Tang، H.، Wei، B.، & Li، J. (2022). DEFORMATION EXTRACTION AND ANALYSIS OF COSEISMIC DEFORMATION FIELD BASED ON D-INSAR TECHNOLOGY. The International Archives of Photogrammetry، Remote Sensing and Spatial Information Sciences، 43، 1161-1166.

Wang، Z.، Zhang، J.، Yu، Y.، Liu، J.، Liu، W.، Jiang، N.، & Guo، D. (2021). Monitoring، analyzing، and modeling for single subsidence basin in coal mining areas based on SAR interferometry with L-band data. Scientific Programming، 2021.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.61186/jgs.24.74.25]