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

Analysis of Slope Dynamics and Determination of Active Landslides in Qazvin Alamut River Basin with Radar Data

Tahereh Karimi [1] | Amir Karam [2]✉ Parviz Zeaieanfirouzabadi [3] | Seyyed Mohammad Tavakkoli Sabour [4]

1. PhD student in Geomorphology, Department of Physical Geography, Faculty of Geographical Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran. **E-mail:** karimi_tahereh@rocketmail.com
2. Corresponding author, Associate Professor of Geomorphology, Department of Physical Geography, Faculty of Geographical Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran. **E-mail:** karam@khu.ac.ir
3. Professor of Remote Sensing, Department of Remote Sensing, Faculty of Geographical Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran. **E-mail:** zeaiean@khu.ac.ir
4. Assistant Professor of Remote Sensing, Department of Geoinformatics, Faculty of Geographical Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran. **E-mail:** tavakoli-m@yahoo.com

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received
2022/07/09
Received in revised
2022/09/04
Accepted
2022/09/06
Published
2022/10/27
Published online
2025/12/22

Keywords:
Hillside movements,
Radar Interferometry,
SBaS method,
East Alamut,
Khubkuh.

ABSTRACT

Slope hazards and landslides annually inflict substantial damage in the mountainous regions of Iran, particularly within the eastern Alamut area of Qazvin province. Recent advancements in radar technology have facilitated the detection of ground surface movements, including slow slope motions and active landslides. The present study employs Sentinel 1A satellite descending data from 2018 to 2020, utilizing the Small Baseline Subset (SBaS-InSAR) methodology alongside digital elevation model (DEM) difference techniques. This approach aims to extract slope movements and Earth surface displacements, serving the critical objective of identifying new and active landslides while updating the landslide map to enhance landslide risk prediction. The results indicate that the SBaS model, which was corroborated with GPS data, field investigations, and Google Earth imagery, demonstrated a commendable level of accuracy (AUC = 0.78). The average annual movement over the study period was estimated to range from -48.6 to 40.2 mm, leading to the identification of fourteen landslide zones in the region, several of which continue to exhibit activity. Specifically, the landslide that transpired in Khobkuh on April 3, 2020, was assessed using the DEM difference model, which estimated surface changes between -1.62 and 2.75 meters. Conversely, the differential interferometry model calculated the displacement rate in this area to be between -25 and 70 mm. These methodologies offer significant advantages for estimating Earth surface displacement, subsidence, and landslides, facilitating the identification of vulnerable areas in mountainous regions and contributing to the mitigation of financial and human losses.

Cite this article: Karimi, Tahereh., Karam, Amir., zeaiean Firuzabadi, Parviz., & Tavakkoli Sabour, Seyyed Mohammad. (2025). Analysis of Slope Dynamics and Determination of Active Landslides in Qazvin Alamut River Basin with Radar Data. *Applied Researches in Geographical Sciences*, 25 (79), 50-69. DOI: http://dx.doi.org/10.61882/jgs.25.79.10

© The Author(s). Publisher: Kharazmi University
DOI: http://dx.doi.org/10.61882/jgs.25.79.10

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-07]
[DOI: 10.61882/jgs.25.79.10]

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

Extended Abstract

Introduction

Mountainous regions of Iran, particularly in the northern and western sectors, exhibit a heightened vulnerability to slope hazards and landslides, attributable to an interplay of topographic, geological, climatic, and anthropogenic factors. The Alamut River Basin, situated in the northeastern segment of Qazvin Province and encompassing the southern slopes of the Alborz mountain range, represents a particularly high-risk area. This region is characterized by frequent landslides that inflict substantial damage on agricultural lands, residential structures, and essential infrastructure. The inherent dynamics of slope stability, influenced by gravitational forces, significant precipitation, snowmelt, geological formations such as faults and fractures, and human activities such as road construction, contribute to slope instability. Conventional landslide detection methodologies, including field surveys, GPS monitoring, and optical satellite imagery, are hindered by limitations related to high costs, spatial sparsity, and dependence on weather conditions. Recently, radar remote sensing, especially through the application of Synthetic Aperture Radar Interferometry (InSAR), has emerged as an effective tool for the precise monitoring of slow-moving landslides and surface displacements. This study seeks to analyze slope dynamics and identify active landslides within the eastern Alamut region utilizing advanced radar data and techniques, thereby facilitating the updating of existing landslide maps and enhancing risk assessment protocols.

Material and Methods

This research employed descending track data from the Sentinel-1A satellite spanning the years 2018 to 2020, utilizing the Small Baseline Subset (SBaS-InSAR) technique to detect ground surface displacements over a three-year period. Furthermore, the Digital Elevation Model (DEM) difference method and differential interferometry were applied to evaluate surface changes associated with a specific landslide event that transpired on April 3, 2020, in Khobkuh village. The SBaS approach facilitates the generation of time-series displacement maps by mitigating atmospheric and orbital errors through the utilization of multiple interferometric pairs characterized by short temporal and perpendicular baselines. A total of 32 Sentinel-1 images were processed using the StaMPS software, with the ALOS-PALSAR DEM (12.5 m resolution) employed for the removal of topographic phase. The findings were validated through the use of GPS measurements, Google Earth imagery, and field observations. Additionally, land cover changes were analyzed using a six-year time series of Sentinel-2 data, which was processed via the Maximum Value Composite (MVC) algorithm to minimize vegetation-induced noise. The accuracy of the displacement map was assessed using the Receiver Operating Characteristic (ROC) curve and the Area Under the Curve (AUC) metric.

Results and Discussion

The SBaS-InSAR analysis disclosed annual surface displacement rates ranging from -48.6 mm to +40.2 mm throughout the study area, signifying both subsidence and uplift movements. Fourteen active landslide zones were identified, several of which correspond to

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-07]
[DOI: 10.61882/jgs.25.79.10]

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

previously mapped landslides that remain dynamically active, including the significant historical landslide near Moallem Kelayeh village. The validation process produced an AUC value of 0.78, indicating a relatively high level of accuracy in detecting active slope movements. The integration of radar-derived displacement data with existing landslide mappings from the Qazvin Natural Resources Administration resulted in an updated and more precise landslide inventory. For the Khobkuh landslide event, the DEM difference method estimated surface elevation changes ranging from -1.62 m to +2.75 m, while differential interferometry calculated displacement rates between -25 mm and +70 mm, which were consistent with SBaS findings. These results affirm the efficacy of radar-based techniques in capturing both long-term gradual movements and abrupt landslide events. The analysis also underscored that the most significant displacements occurred in regions characterized by sparse vegetation cover and exposed geological formations, particularly in areas with clay-rich Neogene deposits and active fault lines, such as the Khoshchal and Alborz thrust faults.

Conclusion

This study illustrates the considerable potential of radar remote sensing, specifically the SBaS-InSAR technique, in monitoring slope dynamics and identifying active landslides in mountainous and inaccessible regions, such as the Alamut River Basin. The integration of multi-temporal radar data with field observations and GPS validation establishes a reliable and cost-effective methodology for updating landslide hazard maps and assessing associated risks. The findings indicate that several historical landslides remain active, thereby posing persistent threats to local communities and infrastructure. The updated landslide map produced in this research can serve as a crucial instrument for land-use planning, disaster risk mitigation, and early warning systems. It is advisable that future studies incorporate corner reflectors as ground control points to further enhance measurement accuracy. Overall, radar-based monitoring provides significant advantages for detecting subtle ground movements, facilitating proactive management of landslide risks and minimizing human and economic losses.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.61882/jgs.25.79.10]

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

تحلیل دینامیک دامنه‌ها و تعیین زمین‌لغزش‌های فعال حوضه‌ی الموت رود قزوین با استفاده از داده‌های راداری

طاهره کریمی [۱]، امیر کرم [۲]✉، پرویز ضیائیان فیروزآبادی [۳]، سیدمحمد توکلی صبور [۴]

۱. دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.
رایانامه: karimi_tahereh@rocketmail.com

۲. نویسنده مسئول، دانشیار ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.
رایانامه: karam@khu.ac.ir

۳. استاد سنجش‌ازدور، گروه سنجش‌ازدور، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.
رایانامه: zeaiean@khu.ac.ir

۴. استادیار سنجش‌ازدور، گروه ژئوانفورماتیک، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.
رایانامه: tavakoli-m@yahoo.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:
۱۴۰۱/۰۴/۱۸

تاریخ بازنگری:
۱۴۰۱/۰۶/۱۳

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۱/۰۶/۱۵

تاریخ انتشار:
۱۴۰۱/۰۸/۰۵

تاریخ انتشار آنلاین:
۱۴۰۴/۱۰/۰۱

کلیدواژه‌ها:
حرکات دامنه‌ای،
تداخل سنجی راداری،
روش SBaS،
الموت شرقی،
خوبکوه.

چکیده

مخاطرات دامنه‌ای و زمین‌لغزش‌ها، همه ساله در مناطق کوهستانی ایران از جمله منطقه الموت شرقی در استان قزوین، خسارات قابل‌توجهی وارد می‌آورند. اخیراً داده‌های راداری جهت تشخیص حرکات سریع و بطئی دامنه‌ها و زمین‌لغزش‌های فعال به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفته است. در پژوهش حاضر با استفاده از داده‌های مدارهای پایین رو (Descending) ماهواره‌ی سنتینل A1 در بازه‌ی ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۰، با روش تداخل سنجی با خط مبنای کوتاه[1] (SBaS) و روش اختلاف مدل رقومی ارتفاع، به تحلیل دینامیک دامنه‌ها یعنی تشخیص حرکت دامنه‌ها و استخراج جابه‌جایی‌های سطح زمین پرداخته شد تا هدف مهم تشخیص زمین‌لغزش‌های جدید و فعال و بروزآوری نقشه‌ی زمین‌لغزش‌های منطقه تأمین گردد. یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد، مدل SBaS که با داده‌های GPS، بازدیدهای میدانی و گوگل ارث، اعتبارسنجی گردید و اعتبار آن نسبتاً خوب بود (AUC= ۰/۷۸)، میزان متوسط حرکت سالانه را در این بازه‌ی زمانی ۴۸/۶- تا ۴۰/۲ میلی‌متر برآورد نمود و چهارده منطقه‌ی لغزشی مشخص شد که از میان آن‌ها، برخی از زمین‌لغزش‌های گذشته همچنان فعال می‌باشند. در تشخیص زمین‌لغزش خوبکوه در ۱۴ فروردین ۱۳۹۹، مدل اختلاف رقومی ارتفاع تغییرات سطح را از ۱/۶۲- تا ۲/۷۵ متر و تداخل سنجی تفاضلی نرخ جابه‌جایی را از ۲۵- تا ۷۰ میلی‌متر برآورد کردند. این روش‌ها جهت برآورد جابه‌جایی سطح زمین، فرونشست و زمین‌لغزش، تعیین نواحی آسیب‌پذیر در مناطق کوهستانی و کاهش خسارات مالی و جانی مزایای زیادی دارند.

استناد: کریمی، طاهره؛ کرم، امیر؛ ضیائیان فیروزآبادی، پرویز؛ و توکلی صبور، سیدمحمد (۱۴۰۴). تحلیل دینامیک دامنه‌ها و تعیین زمین‌لغزش‌های فعال حوضه‌ی الموت رود قزوین با استفاده از داده‌های راداری. *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۲۵ (۷۹)، ۶۹-۵۰. http://dx.doi.org/10.61882/jgs.25.79.10

ناشر: دانشگاه خوارزمی تهران.

© نویسندگان.

[1] Small Baseline Subset Synthetic Aperture RADAR Interferometry (SBaS-InSAR)

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.61882/jgs.25.79.10]

مقدمه

دامنه‌های مناطق کوهستانی زمین، پویا و دینامیک بوده و دارای حرکات توده‌ای متنوعی است که تحت عنوان زمین‌لغزش‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد. زمین‌لغزش‌ها تقریباً متشکل از همه انواع حرکات توده‌ای بر روی شیب‌ها مانند سنگ‌ریزش، واژگونی و جریانات واریزه‌ای می‌باشند که لغزش اندک یا نامحسوس[۲] را نیز در برمی‌گیرد (وارنز، ۱۹۸۴: ۱۰). توپوگرافی و لندفرم‌های کوهستانی ایران نیز، شرایط طبیعی را برای بروز طیف گسترده ای از زمین‌لغزش‌ها فراهم می‌نماید (پورقاسمی و دیگران، ۱۳۸۸: ۵۱). بر اساس یک برآورد اولیه، سالیانه ۵۰۰ میلیارد ریال خسارت مالی از طریق زمین‌لغزش‌ها بر کشور تحمیل می‌شود (فیض اله پور و همکاران، ۱۴۰۰: ۹۶). طبق نظر ون وستن و همکاران[۳](۲۰۰۶)، زمین‌لغزش‌ها حرکات مواد تشکیل دهنده شیب‌ها به سمت پایین هستند که توسط نیروی جاذبه و تحت تأثیر عوامل زیادی بسته به شرایط زمین‌شناسی، ژئومورفولوژیکی، پوشش زمین، آب‌وهوایی و هیدرولوژیکی رخ می‌دهند (فام و همکاران[۴]، ۲۰۱۹ : ۱). از عوامل آب و هوایی، عامل بارش شدید باعث زمین‌لغزش، جریان واریزه، سیلاب‌های سدی، فرسایش خاک و نهایتاً خطرات تکنولوژیکی می‌شود. زمین‌لغزش‌ها و جریان‌های واریزه، سدی بر جریان رودخانه شده و باعث ایجاد سیلاب‌های سدی می‌شوند (وستن و همکاران، ۲۰۱۳: ۲۰۳)؛ عواملی نظیر ذوب برف و فشار ناشی از انجماد آب موجود در درزها و شکاف‌ها، زیرشویی دامنه‌های مشرف به رودخانه و تخریب پوشش گیاهی نیز در بروز لغزش‌ها مؤثرند (سردشتی، قنواتی و ضیائیان، ۱۳۸۳: ۱۱۰). همچنین عوامل انسانی نیز در تشدید ناپایداری‌ها و حرکات توده‌ای به‌ویژه در نامتعادل کردن دامنه‌ها از طریق جاده‌سازی و از بین بردن تکیه‌گاه دامنه نقش دارند (طاهری و کرم، ۱۳۹۹: ۲۲۶)؛ بنابراین ارزیابی ناپایداری‌های دامنه‌ای به دلیل تنوع عوامل مؤثر در وقوع ناپایداری دامنه‌ها موضوع پیچیده‌ای می‌باشد (فاطمی عقدا و دیگران، ۱۳۸۴ : ۴۴). از سوی دیگر شناسایی برخی زمین‌لغزش‌ها به دلیل حرکت کند و بطئی‌شان به سهولت انجام نمی‌شود و مستلزم ابزارهای خاصی نظیر عکس‌های هوایی، بررسی‌های میدانی و ترازیابی زمینی است که دقت کمی داشته و زمان بر هستند. روش GPS دارای دقت بالا بوده ولی به دلیل هزینه بالای نصب و پایش ایستگاه‌های دائم و فقدان آن در برخی نقاط کشور و عدم سهولت در تعیین دامنه و گستره زمین‌لغزش به‌صورت فراگیر نمی‌باشد. به‌علاوه اینکه مشاهدات آن به‌صورت پراکنده و نقطه‌ای می‌باشند (شیرانی و همکاران، ۱۳۹۲: ۲۷).

در مطالعات پهنه‌بندی زمین‌لغزش باید از نقشه‌های دقیق پراکنش زمین‌لغزش‌ها و اطلاعات به‌روز استفاده کرد. درحالی‌که این نقشه‌ها قدیمی است و یا با خطای قابل‌توجه همراه است. استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و رادار[۵] امکان به‌روزرسانی نقشه‌های قدیمی و کاهش خطای آن‌ها را فراهم می‌سازد. در نظارت بر رخدادهای حرکات توده‌ای دامنه‌ای، سنجش‌ازدور منبع ضروری اطلاعات است و در ترکیب با روش‌های GIS ابزاری نسبتاً آسان برای تجزیه‌وتحلیل‌های دقیق می‌باشد (جمک آفلیچ و همکاران[۶]، ۲۰۱۷: ۳۷). در مقایسه با ابزارهای اپتیکی نظیر ماهواره‌های لندست، اسپات و آیکونوس که تصاویرشان فقط در روز به دست آمده و توسط ابرها تحت تأثیر قرار می‌گیرند، سنجنده‌های رادار با روزنه‌ی ترکیبی (SAR[۷])، از سیگنال‌های موج رادیویی با قدرت تفکیک چند متر استفاده می‌کنند که می‌توانند در تمام طول شبانه‌روز به جو زمین از جمله ابرها نفوذ کنند (چانگ و هنسن[۸]، ۲۰۱۵: ۹). فناوری تداخل سنجی راداری[۹]، مقایسه دو صحنه از تصاویر دریافت شده از یک منطقه است و اطلاعات مربوط به تغییر شکل سطح در دو دوره تصویر را تشخیص می‌دهد (لی و همکاران[۱۰]، ۲۰۱۸: ۸۰۷).

---

[2] Little or no true sliding

[3] Van Westen, Asch, and Soeters (2006)

[4] Pham, B. T.; Bui, D. T. &. Prakash, I. (2019)

[5] RADAR مخفف Radio Detection And Ranging، به معنی شناسایی و اندازه گیری امواج رادیویی می باشد.

[6] Jemec Auflič, M.; Komac, M.; Šinigoj, J.;

[7] Synthetic Aperture Radar

[8] Chang, Ling; Hanssen, Ramon F.

[9] Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR)

[10] Li, G., et al.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.61882/jgs.25.79.10]

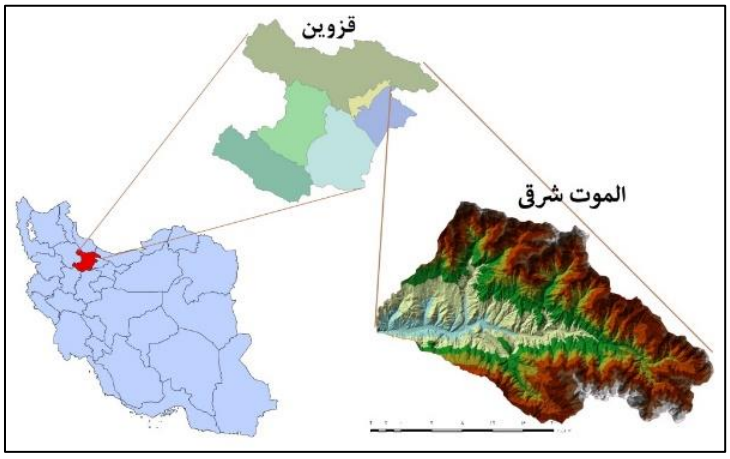
استفاده از تکنیک‌های مختلف تداخل سنجی راداری می‌تواند در مطالعات ژئومورفولوژیکی به‌ویژه پایش تغییرات سطحی زمین ناشی از فرونشست، زلزله، زمین‌لغزش و دیگر مطالعات بسیار مفید واقع شود. بکارگیری تصاویر راداری در مطالعه و شناسایی زمین‌لغزش‌های حرکت آهسته و تحقیقات حرکات توده‌ای مناسب بوده (احمدزاده و همکاران، ۱۳۹۳: ۱) و می‌تواند نقشه‌های پراکنش زمین‌لغزش‌های موجود را تکمیل و به‌روز نماید.

برای نمونه جیا[11] و همکاران در سال ۲۰۲۲ با داده‌های صعودی و نزولی سنتینل ۱، به تشخیص زودهنگام زمین‌لغزش در مقیاس منطقه‌ای در حوضه‌ی رودخانه زیائوچینگ[12] چین پرداختند و ۲۲ زمین‌لغزش فعال در آن شناسایی نمودند. اسمعیل[13] و همکاران (۲۰۲۲) نیز با روش تداخل سنجی تفاضلی به بررسی منطقه میلا در الجزایر پرداخته و تغییرات سطح و ترک‌های بزرگ آن را شناسایی نمودند. همچنین طبق همین روش روستایی و همکاران در سال ۱۳۹۷ به شناسایی و پایش ناپایداری دامنه‌ای در حوضه آبریز طالقان پرداختند و ۱۷ منطقه ناپایدار را با میانگین جابجایی ۶- تا ۱۳ میلی‌متر شناسایی نمودند. گورابی در سال ۹۶ به کمی سازی زمین‌لغزش بزرگ مله‌کبود ناشی از زمین‌لرزه ۷.۳ سال ۱۳۹۶ کرمانشاه با استفاده از اینتروفرمتری پرداخت و تغییرات ارتفاع محلی را تا ۲۰ متر در افتگاه و حجم توده لغزشی را با تکنیک InSAR حدود ۵۰۰ میلیون مترمکعب محاسبه نمود.

از آنجا که مناطق شمالی و غربی ایران، به دلیل شرایط اقلیمی و توپوگرافی، همواره در معرض خطر زمین‌لغزش می‌باشند، در حوضه‌ی الموت رود نیز که در شمال شرقی استان قزوین و جنوب رشته‌کوه‌های البرز واقع است، مخاطرات دامنه‌ای فراوانی رخ می‌دهد و غالباً با خسارات اقتصادی، اجتماعی و انسانی زیادی همراه است. هدف از این پژوهش، تعیین دینامیک دامنه‌های ناپایدار و شناسایی زمین‌لغزش‌ها در بازه‌ی زمانی ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۰ است که کمک مؤثری در به‌روز نمودن نقشه لغزش‌های موجود، استخراج سطوح خطر زمین‌لغزش و انجام طرح‌های پایدارسازی می‌نماید و سبب می‌شود با اقدامات به‌موقع به میزان قابل‌توجهی از حجم خسارات کاسته شود.

معرفی منطقه‌ی موردمطالعه

حوضه آبریز الموت رود در قسمت جنوبی کوه‌های البرز و شمال حوضه آبریز طالقان رود، با مساحت ۳۳ /۷۲۴ کیلومترمربع، در محدوده جغرافیایی ″۱۹, ′۲۳, °۵۰ تا ″۱۷, ′۵۲, °۵۰ طول شرقی و ″۱۴, ′۱۷, °۳۶ تا ″۵۴, ′۳۳, °۳۶ عرض شمالی واقع شده است. شکل (۱) موقعیت محدوده موردمطالعه را نشان می‌دهد.



شکل (۱). موقعیت محدوده موردمطالعه

این حوضه به طور عمده کوهستانی بوده و متوسط ارتفاع آن ۲۵۱۰ متر با شیب متوسط ۴۸/۸ درصد می‌باشد و شیب

[11] Hongying Jia
[12] Xiaojiang
[13] Tayeb Smail

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-07]
[DOI: 10.61882/jgs.25.79.10]

متوسط رودخانه الموت رود ۵/۲۹ درصد است (قلی زاده آتانی و معروفی، ۱۳۹۳: ۲۵-۲۴). سرشاخه‌های رودخانه الموت از دامنه جنوبی کوه‌های تخت سلیمان و علم‌کوه در البرز مرکزی سرچشمه گرفته و به طرف غرب ادامه می‌یابد و پس از دریافت آب شعباتی مانند آتان رود، اندج رود و تاره در روستای شیرکوه با طالقان رود یکی شده و شاهرود را تشکیل می‌دهد و با پیوستن به قزل اوزن و تشکیل سفیدرود، به دریای خزر می‌ریزد.

بلندترین ارتفاع حوضه ۴۱۲۳ متر در بخش شمالی (کوه سیالان) و پایین‌ترین نقطه با ارتفاع ۱۰۸۰ متر در قسمت خروجی حوضه (تونل شیرکوه) قرار گرفته است (آزاد و همکاران، ۱۳۸۴: ۴). منطقه الموت تحت تأثیر دو جریان عمده باران‌زای مدیترانه‌ای و پرفشار سیبری و قطبی است (غضنفری و همکاران، ۱۳۹۵: ۳۵۸). اختلاف ارتفاع بیش از ۳۰۰۰ متر در به وجود آمدن تقسیم‌بندی‌های اقلیمی متفاوت نقش بسیار مهمی داشته است (کریمی قصر، ۱۳۸۰: ۱۳).

دره الموت دارای میانگین بارندگی سالانه بالای ۳۰۰ میلی‌متر، میانگین دمای ۱۰ تا ۱۴ درجه سانتی‌گراد (سازمان هواشناسی استان قزوین، گزارش آمار: ۱۳۹۹) و تعداد روزهای یخبندان سالانه ۱۸۱ روز می‌باشد (پایگاه اینترنتی مرکز آمار ایران: ۵ اوت ۲۰۰۹). به دلیل شرایط سرد و خشک اقلیمی و شیب زیاد، در مناطق مرتفع کوهستانی، دوره رویش گیاه بسیار کوتاه است؛ اما در بخش میانی حوضه مراتع انبوه گسترش قابل‌ملاحظه‌ای دارند (قهرمانی و ثروتی، ۱۳۸۷: ۵۷).

خاک این حوضه مربوط به دوران سوم کواترنری و ترکیبی از طیف خاک‌های رنگی، قرمز، خاکستری و سبز با رگه‌ها و لایه‌های گچی، آهکی و دولومیتی، گرانیت و گدازه‌های آتش‌فشانی، منابع فلزی، کانی، خاکی، شنی، سنگ نمک در لایه‌های بافت رسوبی و پودنگ (کنگلومرایی) می‌باشد که بخش‌هایی از آن بهره‌برداری شده است (موسوی و تاج، ۱۳۹۶: ۶۳-۶۴).

حوضه آبریز الموت رود از نظر ساختار زمین‌شناسی بیشتر از واحدهای آتش‌فشانی ائوسن و طبق نظر آنلز و همکاران (۱۹۷۵)، از سنگ‌های آواری میوسن تشکیل شده است (پاسبان و همکاران، ۱۳۹۶: ۹۹). لندفرم‌های واریزه‌ای در رسوبات ریزدانه قرمز رنگ و کنگلومراهای نئوژن از پدیده‌های غالب قسمت میانی حوضه می‌باشند. ۱۶ درصد از منطقه در سازندهای نئوژن و دارای فرسایش آبی شدید بوده و تحت تأثیر فرایندهای شکل زایی قرار دارد (قهرمانی و ثروتی، ۱۳۸۷: ۴۵). عامل توپوگرافی و کوهستانی بودن منطقه در فرسایش‌پذیری و سیل‌خیزی منطقه مؤثر می‌باشد. به علت شیب زیاد در برخی زیرحوضه‌ها، حتی زمانی هم که بارندگی وجود ندارد، خاک‌های تخریب یافته، به جهت سستی سنگ و به تبعیت از شیب حوضه به بخش‌های پایین دست ریزش می‌کنند (همان: ۵۸-۵۷).

همچنین به دلیل وجود خطواره، این منطقه بیشتر در معرض خطرات و پدیده‌های ژئومورفولوژیکی و طبیعی از قبیل زمین‌لرزه و لغزش زمین قرار دارد (سردشتی، ۱۳۸۷: ۱۹). گسل‌ها و درزه‌ها مهم‌ترین ناپیوستگی‌های ساختاری مؤثر در حرکات دامنه‌ای می‌باشند. در سرتاسر منطقه، درزه‌ها و شکستگی‌هایی به چشم می‌خورد که تحت تأثیر نیروهای مختلف تکتونیکی به وجود آمده‌اند (مصفایی و همکاران، ۱۳۸۵: ۱۶-۱۵). وجود تشکیلات رسی دوران سوم و گسل‌های مهم خشچال، گسل فشاری الموت، گسل دیکین و گسل کوشک شرایط مناسبی را برای وقوع پدیده زمین‌لغزش به وجود آورده است (آزاد، ۱۳۸۴: ۳-۲).

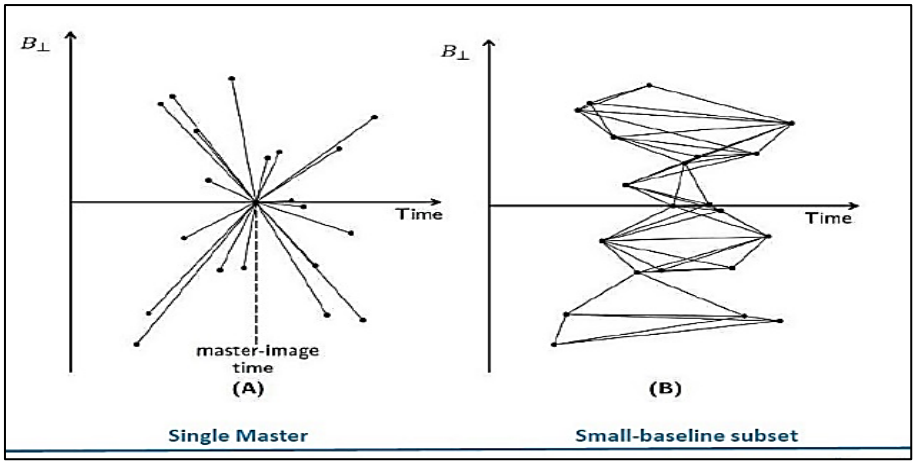
پدیده زمین‌لغزش در منطقه اغلب بر روی رسوبات ریزدانه قرمزرنگ به وقوع پیوسته و سطح آن‌ها به‌واسطه فرسایش مخدوش گردیده است. نمونه‌این پدیده از روستای گرمارود تا منتهی الیه غرب حوضه بر روی تشکیلات ریزدانه و به خصوص در جنوب روستای معلم کلایه مشاهده می‌گردند (قهرمانی و ثروتی، ۱۳۸۷: ۵۴). همچنین می‌توان زمین‌لغزش توان را نام برد که در کنار روستای توان قابل‌مشاهده است. شیب این زمین‌لغزش ۲۳/۷ درجه و مساحت آن ۲۷/۱۴۹ هکتار می‌باشد و بر روی سازند کواترنر واقع شده است. این زمین‌لغزش باعث تخریب جاده آسفالته و درختان شده بود (بهشتی راد و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۰). زمین‌لغزش خوبکوه در سال ۱۳۹۹ نیز نمونه بارز دیگر می‌باشد.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.61882/jgs.25.79.10]

داده و روش کار

با توجه به وسعت منطقه و رخداد مکرر زمین‌لغزش در آن، از تصاویر راداری ماهواره‌ی سنتینل یک[۱۴]A، جهت شناسایی دامنه‌های پویا و دارای حرکت بهره‌گیری شده است. همچنین از تصویر مدل رقومی ارتفاع سنجنده ALOS_PALSAR برای تداخل سنجی، نقشه زمین‌لغزش‌های منطقه که تلفیقی از چند نقشه بود برای بروزآوری و داده‌های GPS برای اعتبار سنجی نتایج استفاده شده است. جهت تشخیص حرکت دامنه‌ها و استخراج جابه‌جایی‌های سطح زمین، از روش تداخل سنجی با خط مبنای کوتاه[۱۵]، اختلاف مدل رقومی ارتفاع[۱۶] و تداخل سنجی تفاضلی استفاده گردید؛ زیرا تداخل سنجی راداری می‌تواند به طور بالقوه تغییرات مقیاس در حد کمتر از سانتیمتر را در یک موقعیت، در محدوده‌ی زمانی چند روز تا چند سال، اندازه‌گیری کند (ای. جی. هوپر، ۲۰۰۶: ۹). در روش PSI یک تصویر به‌عنوان مرجع[۱۷] (مستر) در نظر گرفته شده و بقیه تصاویر نسبت به آن به‌صورت پیرو[۱۸] (اسلیو) یک شبکه‌ایجاد می‌کنند که تک مرجعی[۱۹] خوانده می‌شود شکل (A-۲)؛ اما در روش SBAS یا خط مبنای کوتاه، بین همه تصاویر با توجه به کمترین فاصله باز فضایی عمود[۲۰] ($B_{\perp}$) شبکه‌ایجاد شده شکل (B-۲) و تصاویر تجزیه‌وتحلیل می‌شوند (آجورلو، ۱۳۹۷: ۳۳).



شکل (۲). (A) روش تک مرجعی و (B) خط مبنای کوتاه *(آجورلو، ۱۳۹۷: ۳۳)*

الف) استخراج جابه‌جایی سطح با تکنیک تداخل سنجی با خط مبنای کوتاه

در این روش با استفاده از تصاویر راداری مدار پایین رو ماهواره‌ی سنتینل یک A، در زمان‌های مختلف و با تکنیک SBAS توسط نرم‌افزار انوی ۵/۳ افزونه‌ی سراسکیپ یک شبکه‌ی اتصال ایجاد گردید. طبق جدول (۱) در بازه‌ی زمانی سه ساله بین ۳۲ تصویر از تاریخ ۱۴-۰۴-۲۰۱۸ تا ۲۴-۱۰-۲۰۲۰ با ۲۰۰ روز خط مبنای زمانی[۲۱] و ۵۵٪ اشتراک خط مبنای نرمال[۲۲]، ارتباط[۲۳] شبکه‌ای بین تصاویر ایجاد شد. جهت انجام عملیات تداخل سنجی، از اطلاعات تصویر مدل رقومی ارتفاع ۱۲/۵ متری ماهواره‌ی ایلوس پالسار[۲۴] استفاده شد.

---

[۱۴] ماهواره سنتینل ۱ داده های راداری را با دو پلتفرم (سکو) A و B با فاصله زمانی ۶ روز از یکدیگر برداشت می نماید.

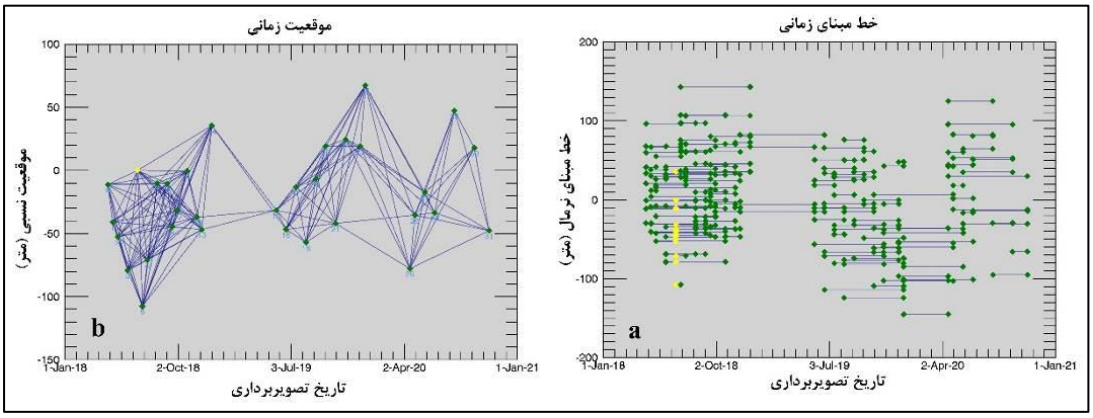
[15] Small Basline Subset Synthetic Aperture RADAR Interferometry (SBaS-InSAR)
[16] DEM Difference
[17] Master
[18] Slave
[19] Single Master Stack
[20] Perpendicular Baseline
[21] Temporal Baseline
[22] Normal Baseline
[23] Connection
[24] ALOS_PALSAR

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-07]
[DOI: 10.61882/jgs.25.79.10]

جدول (۱). تاریخ تصاویر پایین رو در اتصال شبکه‌ای با خط مبنای زمانی ۲۰۰ روز بازه‌ی زمانی سه ساله

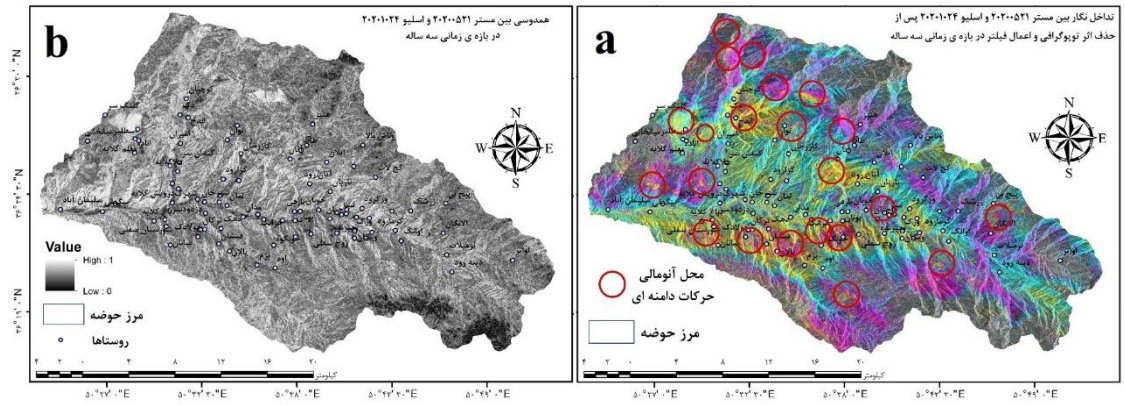
۲۰۱۸-۰۷-۱۹	۲۰۱۸-۰۷-۰۷	۲۰۱۸-۰۶-۲۵	۲۰۱۸-۰۶-۰۱	۲۰۱۸-۰۵-۰۸	۲۰۱۸-۰۴-۲۶	۲۰۱۸-۰۴-۱۴
۲۰۱۸-۱۱-۲۸	۲۰۱۸-۱۱-۱۶	۲۰۱۸-۱۰-۲۳	۲۰۱۸-۰۹-۲۹	۲۰۱۸-۰۹-۱۷	۲۰۱۸-۰۹-۰۵	۲۰۱۸-۰۸-۱۲
۲۰۱۹-۰۹-۲۴	۲۰۱۹-۰۸-۳۱	۲۰۱۹-۰۸-۰۷	۲۰۱۹-۰۷-۱۴	۲۰۱۹-۰۶-۲۰	۲۰۱۹-۰۵-۲۷	۲۰۱۸-۱۲-۲۲
۲۰۲۰-۰۵-۲۱	۲۰۲۰-۰۴-۲۷	۲۰۲۰-۰۴-۱۵	۲۰۱۹-۱۲-۲۹	۲۰۱۹-۱۲-۱۷	۲۰۱۹-۱۱-۱۱	۲۰۱۹-۱۰-۱۸
			۲۰۲۰-۱۰-۲۴	۲۰۲۰-۰۹-۱۸	۲۰۲۰-۰۸-۰۱	۲۰۲۰-۰۶-۱۴

نرم‌افزار از بین تصاویر با توجه به کمترین فاصله باز فضایی عمود، تصویر تاریخ ۲۰۱۸-۰۶-۲۵ را به‌عنوان تصویر مرجع و سایر تصاویر را به‌عنوان تصاویر پیرو در نظر گرفت. این تصاویر با اختلاف ۲۴ روز در شبکه قرار گرفته و دوبه‌دو با هم بررسی شدند. شکل (۳-a) فاصله زمانی بین هر زوج تصویر و شکل (۳-b) شبکه‌ی اتصال مدل SBaS را بین تصاویر نشان می‌دهد.



شکل (۳). a: فاصله زمانی بین زوج تصاویر b: شبکه اتصال تصاویر مدار پایین رو (نزولی) در بازه‌ی سه ساله

پس از آن طی چندین مرحله، تداخل نگارها تولید شده و اصلاح فاز گردیدند و اثر توپوگرافی از روی آن‌ها حذف گردید و جهت حصول نتیجه‌ی بهتر فیلتر گلداشتاین و مالتی لوک[25] اعمال شد. شکل (۴-a) یکی از تداخل نگارها و شکل (۴-b) همدوسی بین همان دو تصویر را در بازه‌ی زمانی سه ساله نشان می‌دهد. در این تداخل نگار مناطقی که نشانگر آنومالی بودند، با دوایر قرمز رنگ مشخص گردیده است.



شکل (۴). a: تداخل نگار بین تصویر مستر نهم (۲۰۲۰۰۵۲۱) و اسلیو دهم (۲۰۲۰۱۰۲۴) b: همدوسی بین همان تصاویر

[25] Goldstein & Multilook filtering

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.61882/jgs.25.79.10]

سپس با کمک نقاط کنترل زمینی[۲۶] که در همه‌ی تصاویر منتخب دارای مقادیر بودند، پس از اعمال تصحیحات حذف اثرات اتمسفر و نویز آن بر روی فاز، تصاویر سرعت جابه‌جایی به میلی‌متر در هر سال به‌طور جداگانه و یک تصویر متوسط سرعت به دست آمد. در مرحله‌ی آخر کلیه‌ی تصاویر که در راستای دید ماهواره[۲۷] بودند، زمین مرجع[۲۸] گردیدند.

در تصاویر متوسط سرعت سالانه‌ی جابه‌جایی، اعداد منفی نشان‌دهنده‌ی پایین رفتن سطح زمین نسبت به سنجنده (فروریزش دامنه یا فرونشست) و اعداد مثبت نشان‌دهنده‌ی بالا آمدن سطح زمین نسبت به سنجنده (انباشتگی‌ها) هستند (یاراحمدی و همکاران، ۱۳۹۲: ۹۱-۹۰). برای صحت سنجی، طبق روش ابداعی نگارنده، قدر مطلق مقادیر مثبت و منفی تصاویر نهایی در نظر گرفته شد و سپس با استفاده از رابطه‌ی (۱) نرمال‌سازی شده و این مقادیر، بین صفر و یک قرار داده شدند.

$$\frac{(X_i - Min)}{Max - Min}$$ رابطه‌ی (۱)

که در آن:

X_i: مقدار عددی پیکسل i، Max: بیشترین مقدار عددی پیکسل در تصویر و Min: کمترین مقدار عددی پیکسل در تصویر می‌باشد.

سپس با کمک مقایسه‌ی اعداد مشاهداتی نقطه برداشت زمینی با GPS که در مناطق لغزشی یک و در مناطق غیر لغزشی صفر در نظر گرفته شدند، مقدار عددی مساحت زیر منحنی و نمودار مشخصه‌های عملیاتی گیرنده (ROC[۲۹]) تصویر نهایی، محاسبه و ترسیم گردید.

ب) استخراج جابه‌جایی سطح با تکنیک تداخل سنجی تفاضلی و تفاضل مدل رقومی ارتفاع

یکی از مراحل تداخل سنجی راداری، تولید مدل رقومی ارتفاع[۳۰] می‌باشد. از تکنیک تفاضل DEM به دست آمده، برای مواقعی استفاده می‌شود که یک حادثه رخ داده و تاریخ وقوع آن مشخص است. در منطقه‌ی الموت شرقی در تاریخ ۱۴ فروردین ۱۳۹۹[۳۱]، زمین‌لغزشی در روستای خوبکوه و نیز در حوالی گرمارود و اوانک در همین ماه به وقوع پیوست. در این حادثه خسارات مالی و اقتصادی فراوانی به منطقه وارد شد. شکل (۵) نمونه‌هایی از این خسارت را نشان می‌دهد.

برای انجام این تکنیک، دو تصویر با قطبش[۳۲] یکسان (VV[۳۳]) و با فاصله زمانی متوالی دقیقاً قبل از تاریخ وقوع حادثه و دو تصویر با قطبش و فاصله زمانی متوالی مشابه، دقیقاً بعد از وقوع حادثه از ماهواره‌ی سنتینل یک A در مدار پایین رو انتخاب شد. تاریخ تصاویر در جدول (۲) آورده شده است.



شکل (۵). خسارات زمین‌لغزش خوبکوه *(منبع: استانداری قزوین، ستاد بحران: ۱۳۹۹)*

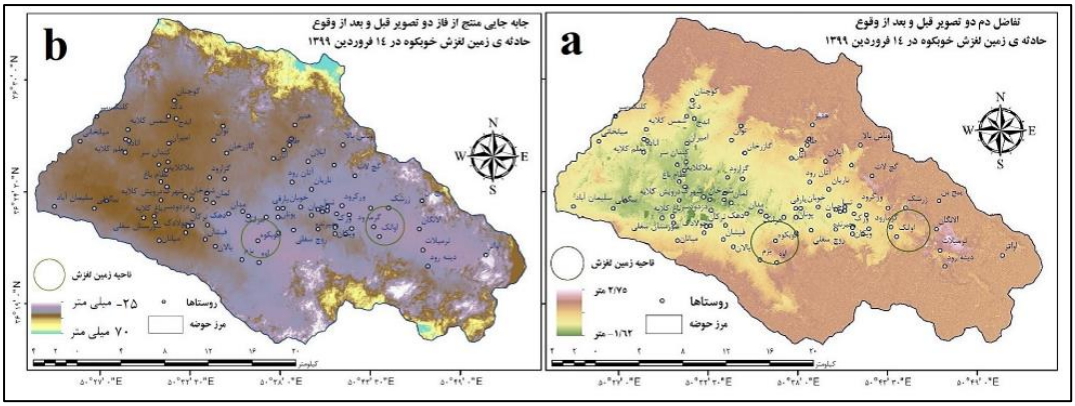
[26] Ground Control Points
[27] Slant Range
[28] Geo Reference
[29] Reciever Operating Characteristics (ROC)
[30] Digital Elevation Model (DEM)
[31] 2nd April 2020
[32] Polarisation
[33] Vertical-Vertical

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-07]
[DOI: 10.61882/jgs.25.79.10]

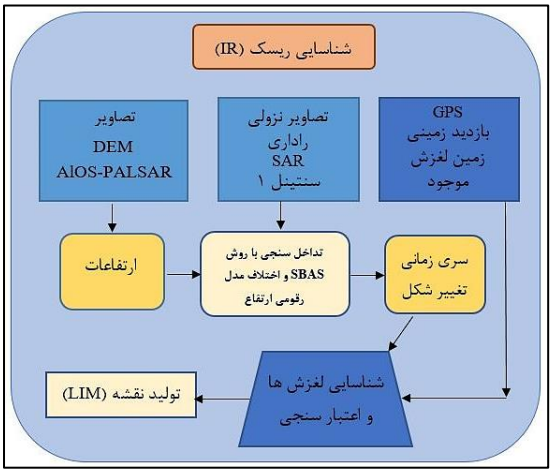
جدول (۲). تاریخ تصاویر سنتینل یک A جهت انجام مدل

مدل	تصویر مرجع قبل حادثه	تصویر پیرو قبل حادثه	تصویر مرجع بعد حادثه	تصویر پیرو بعد حادثه
تفاضل مدل رقومی ارتفاع	۲۰۲۰-۰۳-۱۰	۲۰۲۰-۰۳-۲۲	۲۰۲۰-۰۴-۱۵	۲۰۲۰-۰۴-۲۷
تداخل سنجی تفاضلی	۲۰۲۰-۰۴-۰۳	------	------	۲۰۲۰-۰۴-۲۷

سپس با استفاده از تکنیک تداخل سنجی، تصویر اول به‌صورت مرجع و تصویر دوم به‌صورت پیرو در نظر گرفته شد. پس از انجام تصحیحات رادیومتریک، تولید تصاویر تداخل نگار و همدوسی و فیلترینگ گلداشتاین و مالتی لوک، فاز به دست آمده تصحیح و تبدیل به مدل رقومی ارتفاع شده و اختلاف تصاویر مدل رقومی محاسبه گردید شکل (۶ - a) که جابه‌جایی را در راستای عمود در ناحیه لغزشی خوبکوه ۷۵۴- تا ۴۳۲ میلی‌متر و در اوانک ۳۷۲- تا ۴۶۷ متر نشان می‌دهد. در مدل تداخل سنجی تفاضلی اختلاف فاز تصاویر به جابه‌جایی تبدیل شد شکل (۶ - b) که میزان جابه‌جایی را در خوبکوه ۷۰ میلی‌متر و در جنوب و جنوب غربی اوانک ۶۰ میلی‌متر در راستای عمود برآورد نمود که با نتایج روش SBaS همخوانی دارد. مراحل انجام کار در شکل (۷) نمایش داده شده است.



شکل (۶). a: تصویر اختلاف مدل رقومی ارتفاع و b: تداخل سنجی تفاضلی



شکل (۷). مدل تحلیلی تحقیق

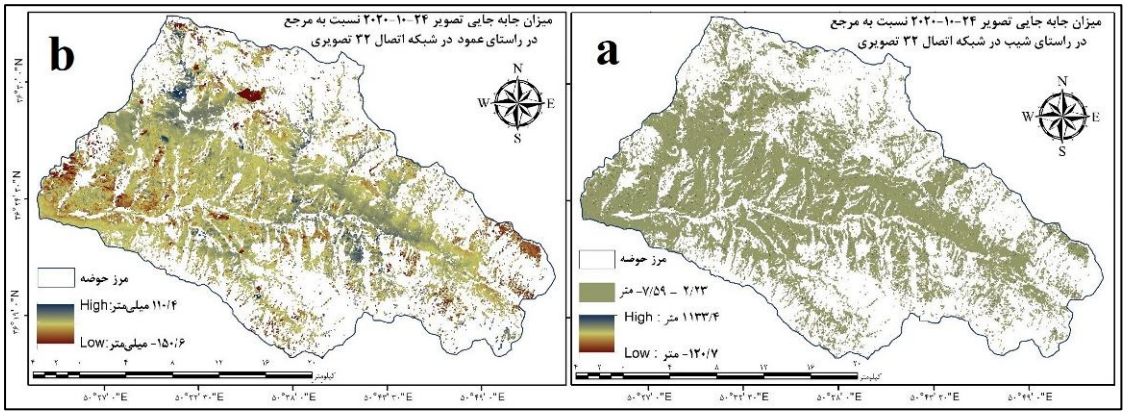
بحث و نتایج

الف) نتایج استخراج جابه‌جایی سطح با تکنیک تداخل سنجی با خط مبنای کوتاه

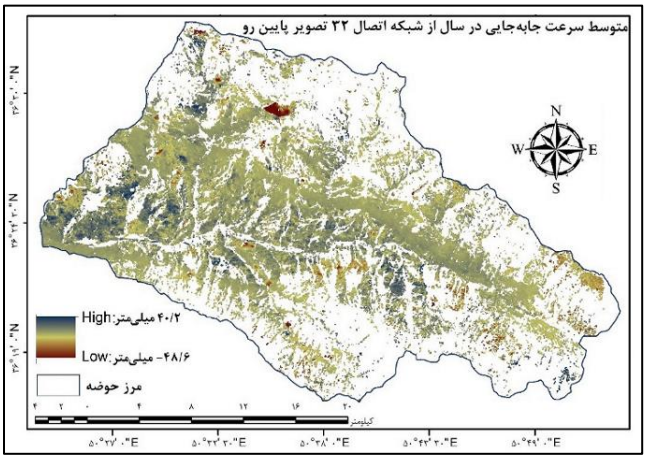
همچنان که در شکل (۸-a) مشاهده می‌شود، نتایج این روش میزان جابه‌جایی در طول شیب را از ۱۲۰/۷- متر تا ۱۱۳۳/۴ متر برآورد نمود. البته میزان حداکثر تغییر (۱۱۳۳ متر) فقط در چند نقطه‌ی کوچک مشاهده شد و بیشتر سطح منطقه از

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-07]
[DOI: 10.61882/jgs.25.79.10]

۷/۵۹- متر تا ۲/۲۳ متر جابه‌جایی در طول شیب را نشان می‌دهد که این مسئله می‌تواند ناشی از حرکات مواد دامنه بر اثر تغییر میزان رطوبت موجود در خاک، ذوب برف، هوازدگی و ریزش، لغزش یا خزش باشد؛ اما با توجه به شکل (۸-b) میزان جابه‌جایی در راستای عمود از ۱۵۰/۶- میلی‌متر تا ۱۱۰/۴ میلی‌متر متغیر بود که با توجه به بازه سه ساله، طبق شکل (۹)، نرخ متوسط جابه‌جایی در هر سال ۴۸/۶- میلی‌متر تا ۴۰/۲ میلی‌متر برآورد گردید. در این تصویر، مناطقی که به رنگ قهوه‌ای هستند، نشانگر حرکت مواد به سمت پایین دامنه بوده و در مناطق آبی تیره انباشتگی مواد دامنه رخ داده است.



شکل (۸). a: میزان جابه‌جایی در راستای شیب و b: در راستای عمود در بازه‌ی زمانی سه ساله



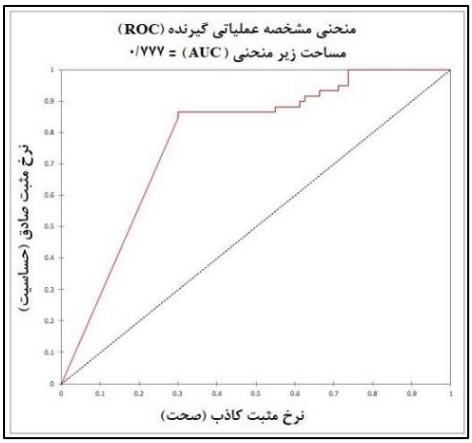
شکل (۹). تصویر متوسط سرعت جابه‌جایی در سال در بازه‌ی زمانی سه ساله

پس از انجام این مراحل، میزان دقت تصویر نهایی متوسط سرعت جابه‌جایی در بازه‌ی زمانی سه ساله با کمک داده‌های مشاهداتی نقاط لغزشی توسط GPS، گوگل ارث و بازدید زمینی (تا جایی که مقدور بود)، با مشخصه عملیاتی گیرنده، محاسبه و معادل (AUC[۳۴] = ۰/۷۸) برآورد گردید که از دقت نسبتاً خوبی برخوردار بوده و در شکل (۱۰) نشان داده شده است. هرگاه مساحت زیر منحنی ۰/۵ باشد (خط منحنی منطبق بر خطچین قطری وسط باشد) این منحنی بدون قدرت تشخیص بوده و اگر به سمت ۱ میل کند، نشانگر دقت بیشتر می‌باشد که در اینجا ۰/۷۸ دقت نسبتاً خوبی را نشان می‌دهد.

[34] The Area Under the Curve (AUC)

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-07]

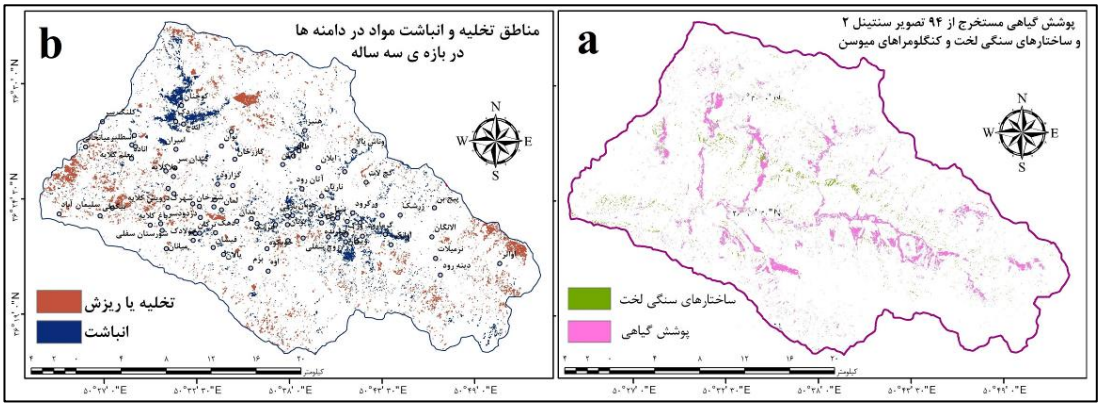
[DOI: 10.61882/jgs.25.79.10]



شکل (۱۰). سطح زیر منحنی تصویر متوسط سرعت جابه‌جایی در بازه‌ی سه ساله

بر طبق شکل (۱۰)، تصویر نهایی این روش جهت استخراج مناطق لغزشی، کلاس‌بندی مجدد گردید. مناطقی که دارای مقادیر منفی بودند نشان‌دهنده‌ی خالی شدن دامنه یا ریزش، مناطق بین ۱۸- میلی‌متر تا ۱۴/۵ میلی‌متر جزء مناطق تقریباً ثابت و بدون حرکت و مناطقی که دارای مقادیر مثبت بودند نشان‌دهنده‌ی انباشت مواد در دامنه طبقه‌بندی گردیدند.

در مرحله‌ی بعد از آنجا که منطقه دارای پوشش گیاهی بوده و تغییرات هفتگی و ماهانه‌ی پوشش گیاهی در نتایج تصاویر رادار تأثیر می‌گذارد، لذا با استفاده از برنامه‌نویسی در گوگل ارث انجین، پوشش گیاهی منطقه در بازه‌ی زمانی ۶ ساله[۳۵] از بین ۹۴ تصویر تاریخ‌های ۲۳-۰۶-۲۰۱۵ تا ۲۵-۰۶-۲۰۲۱ با الگوریتم MVC[۳۶] از تصاویر سنتینل ۲ با پوشش ابر زیر ۵٪ استخراج شد. با توجه به اینکه ساختارهای سنگی شامل کنگلومراهای میوسن، بالاترین میزان انعکاس انرژی را داشتند و در نتیجه تأثیرگذار بودند. لذا این ساختارها به همراه پوشش گیاهی شکل (a-۱۱) از نتایج رادار کم شدند تا تغییرات ارتفاعی به دست آمده ناشی از تغییرات پوشش گیاهی یا بازتاب رخنمون‌های سنگی ساختارهای میوسن نباشند. نتیجه‌ی نهایی در شکل (b-۱۱) نشان داده شده است. شایان ذکر است غالب تغییرات سطح به دست آمده، در مناطق فاقد پوشش گیاهی متراکم به وقوع پیوسته است.



شکل (۱۱). a: نقشه‌ی ساختارهای سنگی و پوشش گیاهی منطقه منتج از داده‌های سنتینل ۲
b: نتایج نهایی حرکات دامنه‌ای داده‌های رادار منهای ساختارهای سنگی و پوشش گیاهی

[۳۵] برای بالا رفتن دقت جهت استخراج پوشش گیاهی بازه زمانی بیشتری در نظر گرفته شده است.

[36] Maximum Value Composit (MVC)

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-07]

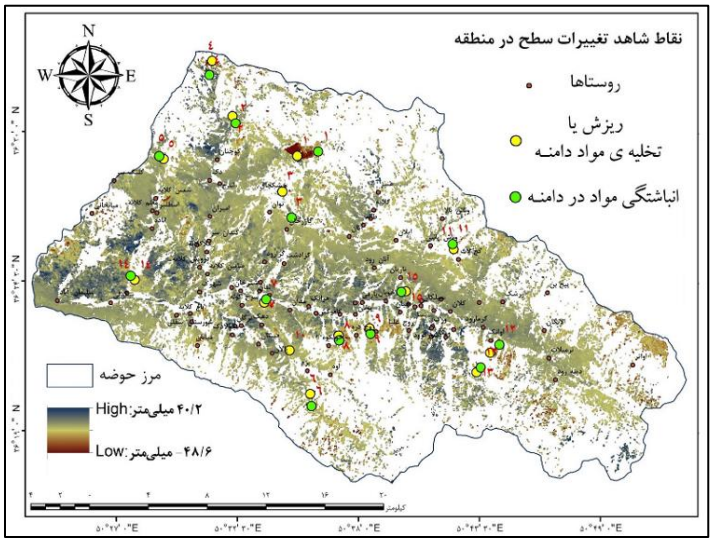
[DOI: 10.61882/jgs.25.79.10]

ب) نتایج استخراج جابه‌جایی سطح با تکنیک اختلاف مدل رقومی ارتفاع و تداخل سنجی تفاضلی

همان‌طور که در شکل (۶-a) تصویر اختلاف مدل رقومی ارتفاع منطقه‌ی خوبکوه و اوانک مشاهده می‌شود، به دلیل کوهستانی و برف‌گیر بودن منطقه در تاریخ وقوع لغزش، مرز برف منطقه با رنگ قهوه‌ای از سایر مناطق جدا شده است و در ارتفاعات شمالی قسمت‌های نرمیلات، جنوب گچ لات و شمال هنیز در فاصله‌ی ۳۴ روزه‌ی این دو تصویر (از ۲۲ مارس ۲۰۲۰ تا ۲۷ آپریل ۲۰۲۰)، برف بیشتری بر زمین نشسته است که در قسمت‌هایی تا ۲/۷۵ متر می‌رسد. همچنین در قسمت‌های سبز رنگ حوالی الموت رود با ذوب برف شاهد تخلیه‌ی آب‌ها از دامنه و کاهش ارتفاع سطح هستیم که این مقدار تا ۱/۶۲ متر برآورد شده است. در منطقه خوبکوه، گرمارود و اوانک که زمین‌لغزش‌هایی رخ داد، طبق این تصویر به‌طور متوسط در خوبکوه از ۷۵۴- تا ۴۳۲ میلی‌متر، در اوانک از ۳۷۲- تا ۴۶۷ میلی‌متر و در گرمارود از ۷۱- تا ۴۷۷ میلی‌متر جابه‌جایی در راستای عمود را نشان می‌دهد. همچنان که در شکل (۶-b) تصویر جابه‌جایی سطح منطقه منتج از تداخل سنجی تفاضلی از ۰۳-۰۴-۲۰۲۰ تا ۲۷-۰۴-۲۰۲۰ مشخص است میزان جابه‌جایی در راستای قائم به‌طور متوسط از ۲۵ میلی‌متر کاهش در ارتفاعات تا ۷۰ میلی‌متر افزایش سطح می‌باشد و این میزان در روستای خوبکوه و گرمارود ۷۰ میلی‌متر و در حوالی اوانک حدوداً ۶۵ میلی‌متر برآورد شده است.

اعتبار سنجی به کمک نقاط شاهد

پس از مشخص شدن نواحی تغییرات کاهشی و افزایشی سطح حوضه، با توجه به ماهیت زمین‌لغزش، از مناطقی که در فاصله نزدیک هم به‌طور واضح، کاهش و افزایش سطح داشتند پانزده نقطه انتخاب شدند که نمودار تغییرات ارتفاعی آن‌ها طی این دوره‌ی زمانی مشخص‌تر از سایر نقاط بود. برخی از نقاط ریزش و تخلیه دامنه (به رنگ زرد) و انباشتگی (به رنگ سبز) به دلیل وسعت ناحیه حرکات توده‌ای و نوع آن با فاصله‌ی بیشتر یا جدا از هم انتخاب شدند. شکل (۱۲) محل این نقاط را در منطقه نشان می‌دهد. تغییرات سری‌های زمانی[37] ارتفاع این نقاط در تصاویر سال‌های مختلف، استخراج گردید که نمونه‌ای از آن‌ها در اشکال (۱۰) و (۱۳) نشان داده شده است؛ ولیکن میزان تغییرات کلیه‌ی نقاط در جدول (۳) آورده شده است.

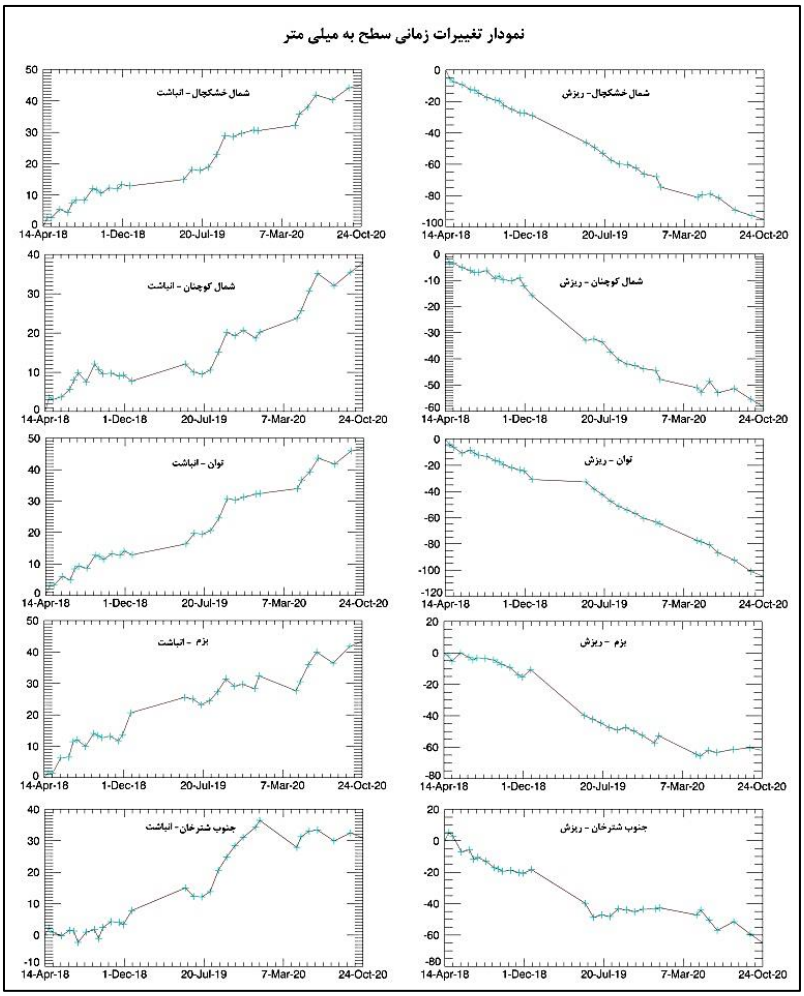


شکل (۱۲). نقاط شاهد تغییرات سطح در حوضه

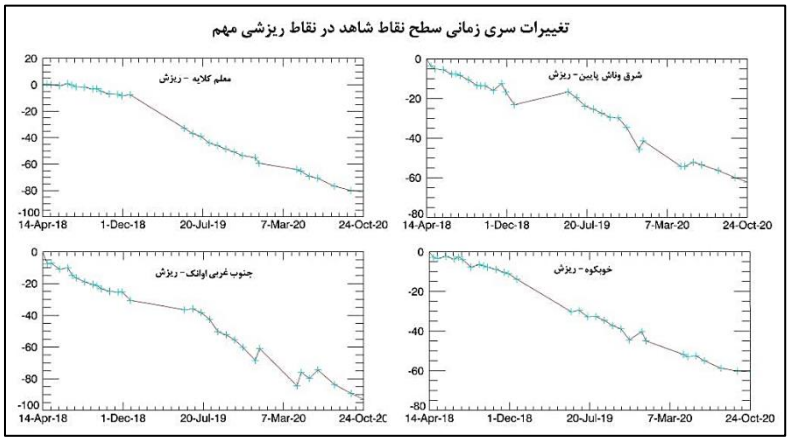
[37] Time Serries

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.61882/jgs.25.79.10]



شکل (۱۳). نمودار سری زمانی تغییرات سطح برخی از نقاط شاهد در بازه‌ی زمانی سه ساله



شکل (۱۴). نمودار سری زمانی تغییرات سطح چند نقطه‌ی ریزشی شاهد در بازه‌ی زمانی سه ساله

همچنان که در شکل (۱۳) مشخص است در شمال خشکچال، شمال کوچنان، روستای توان، جنوب بزم و جنوب شترخان تغییرات کاهش و انباشت دامنه هر دو دائمی و پیوسته بوده و نشان‌دهنده‌ی حرکت مواد دامنه‌ها به‌صورت لغزش می‌باشد. با توجه به شکل (۱۴) در مناطق شمال معلم کلایه، خوبکوه، شرق وناش پایین و جنوب و جنوب غربی اوانک، کاهش دامنه روند پیوسته‌ای نشان می‌دهد که نشان‌دهنده‌ی ریزش مواد دامنه می‌باشد.

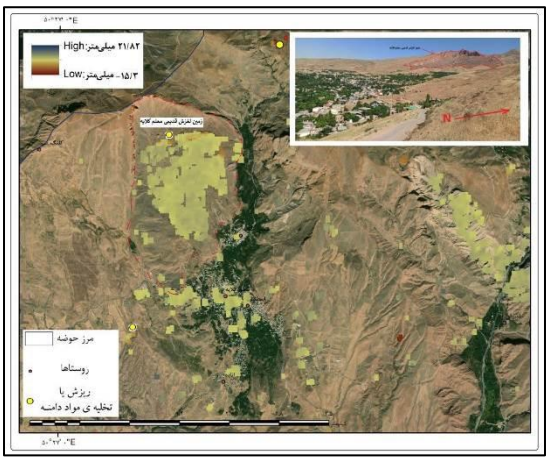
[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.61882/jgs.25.79.10]

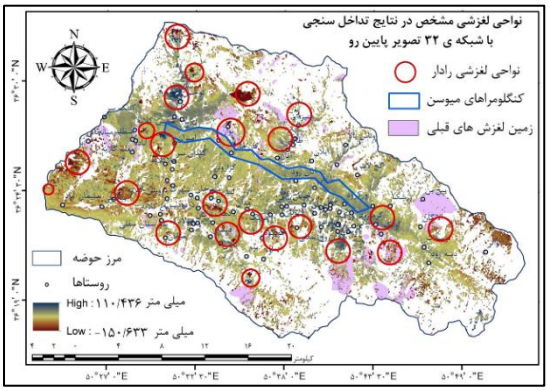
جدول (۳). میزان تغییرات سطح نقاط شاهد در حوضه به میلی‌متر

ردیف	نقاط شاهد	کاهش	افزایش	ردیف	نقاط شاهد	کاهش	افزایش
۱	شمال خشکچال	-۹۵	۴۵	۹	روچ دره	-۵۰	۱۱
۲	شمال کوچنان	-۵۹	۳۸	۱۰	شرق یالان	-۴۰	---
۳	شمال توان	-۱۰۵	۴۷	۱۱	شرق وناش پایین	-۶۲	۹
۴	شمال غربی حوضه	-۹۰	۴۴	۱۲	جنوب اوانک	-۶۲	۱۶.۵
۵	شمال معلم کلایه	- ۸۱	۱۲.۶	۱۳	جنوب غربی اوانک	-۹۳	۱۵
۶	جنوب بزم	-۶۲	۴۴	۱۴	شمال باغدشت	-۳۶	۲۰
۷	جنوب شترخان	-۶۵	۳۱	۱۵	زوارک	-۴۵	۲۲
۸	خوبکوه	-۶۰	۲۸				

طبق جدول (۳)، بیشترین مقدار تغییر سطح در این بازه‌ی زمانی، در شمال روستای توان به میزان ۱۰۵ میلی‌متر کاهش ارتفاع به معنی ریزش یا جابه‌جایی مواد بالادست دامنه به پایین دست و ۴۷ میلی‌متر انباشت مواد در پایین دامنه می‌باشد. همچنین مناطق شمال خشکچال، شمال غربی حوضه، شمال معلم کلایه و جنوب غربی اوانک دارای بیشترین مقدار جابه‌جایی در بازه‌ی سه ساله بودند. در نقاط دیگر، روند تغییرات سطح متغیر می‌باشد. همچنین مشخص گردید زمین‌لغزش بزرگ و قدیمی معلم کلایه همچنان فعال می‌باشد. شکل (۱۵) مؤید این مطلب بوده و مناطق با دینامیک بالا در شکل (۱۶) مشخص شده و در مناطق باغ دشت، انتهای الموت رود در حوضه، هرانک، روچ سفلی، گرمارود، شمال آتان، توان، شمال خشکچال، شمال کوچنان و شمال غربی حوضه، زمین‌لغزش‌ها کاملاً واضح هستند.



شکل (۱۵). زمین‌لغزش قدیمی معلم کلایه که با توجه به نتایج تحلیل سری زمانی همچنان فعال می‌باشد.

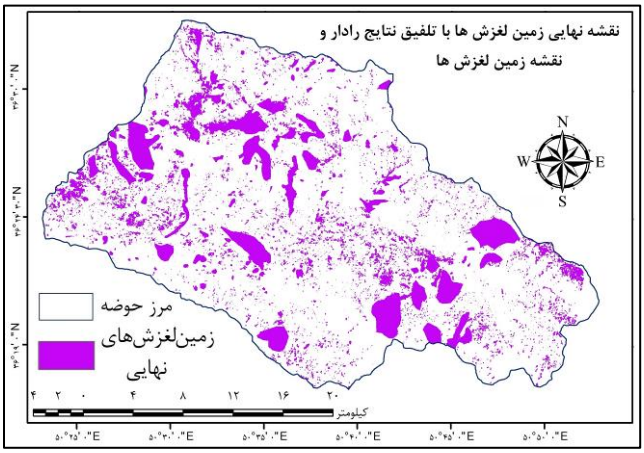


شکل (۱۶). مناطق لغزشی مشخص شده در بازه‌ی سه ساله

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.61882/jgs.25.79.10]

از آنجا که جهت تهیه‌ی نقشه حساسیت زمین‌لغزش و نقشه‌ی خطر و برآورد ریسک زیرساخت‌های منطقه نیازمند بروز رسانی نقشه‌ی زمین‌لغزش‌ها هستیم؛ لذا نقشه‌ی نهایی منتج از تداخل سنجی راداری جهت تعیین مناطق دارای حرکت دامنه‌ای فعال مورد استفاده قرار گرفت و با نقشه‌ی زمین‌لغزش‌های موجود اداره منابع طبیعی استان قزوین و برگرفته از نتایج سایر مطالعات منطقه الموت تلفیق گردید. شکل (۱۷) نقشه‌ی زمین‌لغزش‌های به‌روز شده می‌باشد که در آن نواحی لغزشی در نقشه‌های قبلی به‌صورت پلیگون‌های بنفش مشخص است و نواحی دارای دینامیک منتج از تصاویر راداری، به آن اضافه گردید که جهت ارزیابی ریسک زمین‌لغزش کاربرد دارد.



شکل (۱۷). نقشه‌ی به‌روزرسانی شده‌ی نهایی با تلفیق نتایج رادار و نقشه‌ی زمین‌لغزش‌های موجود

نتیجه‌گیری

دینامیک دامنه‌ای حرکات مختلف مواد دامنه‌هاست و منظور از تحلیل آن بررسی میزان جابه‌جایی‌های سطح زمین و برآورد نرخ متوسط سرعت جابه‌جایی حرکت مواد می‌باشد. منطقه کوهستانی الموت رود همه ساله شاهد زمین‌لغزش‌های بسیاری است که به زراعت، باغات، مناطق مسکونی و خطوط حیاتی آسیب و خسارت وارد می‌نماید.

به دلیل صعب‌العبور بودن منطقه و عدم سهولت در دسترسی، بررسی آن از نظر خطر زمین‌لغزش دشوار بوده و داده‌های GPS نیز علاوه بر نقطه‌ای بودن و داشتن هزینه بالا، در همه قسمت‌های منطقه قابل‌دسترسی نمی‌باشد. لذا برای اولین بار در این منطقه از داده‌های راداری جهت تشخیص و برآورد پهنه‌های لغزشی و حرکت مواد در دامنه‌ها بهره‌گیری شده و حوضه الموت رود مورد بررسی قرار گرفته است.

در روش SBaS از داده‌های ۳۲ تصویر مدار پایین رو ماهواره سنتینل یک A در بازه زمانی ۳ ساله استفاده شد. میزان دقت تصویر نهایی متوسط جابه‌جایی سرعت سالانه با داده‌های GPS برآورد شد که معادل AUC = ۰/۷۸ بود و برای بروز رسانی نقشه‌ی زمین‌لغزش از آن استفاده شد. برای بررسی رخداد لغزش در منطقه در تاریخ ۱۴ فروردین ۱۳۹۹ از روش تفاضل DEM مستخرج از دو تصویر قبل و دو تصویر بعد از وقوع حادثه و تداخل سنجی تفاضلی استفاده شد.

جدول (۴). نتایج جابه‌جایی روش‌های انجام شده به میلی‌متر

نتایج به میلی‌متر	جابه‌جایی در راستای عمود در کل منطقه	جابه‌جایی در طول شیب	متوسط جابه‌جایی در طول سال
روش SBAS	۱۵۰/۶۳۳- تا ۱۱۰/۴۳۶	۱۲۰۷۱۹- تا ۱۱۳۳۴۳۰	۴۸/۶۵۱- تا ۴۰/۲۱۰۱
تفاضل DEM	۱۶۲۷/۷۵- تا ۲۷۵۰/۶۳	----	----
تداخل سنجی تفاضلی	۲۵- تا ۷۰	----	----

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.61882/jgs.25.79.10]

همچنان که در جدول (۴) مشخص است، نتایج روش SBaS میزان متوسط جابه‌جایی در راستای عمود را در منطقه در بازه‌ی زمانی سه ساله از ۱۵۰- تا ۱۱۰ میلی‌متر برآورد نموده است. در روش تفاضل DEM (مدل ارتفاع رقومی) میزان جابه‌جایی از ۱۶۲۷- تا ۲۷۵۰ میلی‌متر (۱/۶۲- تا ۲/۷۵ متر) برآورد گردید و در برآورد تداخل سنجی تفاضلی این مقدار ۲۵- میلی‌متر تا ۷۰ میلی‌متر بود. پیشنهاد می‌شود جهت برآورد دقت در تحقیقات بعدی از بازتابنده‌های گوشه‌ای[38] دست‌ساز به‌عنوان نقاط کنترل زمینی در مناطق ثابت بهره‌گیری شود.

تقدیر و تشکر

نگارنده مراتب قدردانی خویش را از مساعدت‌های اساتید گران‌قدر، آقایان مهندس پایروند از اداره منابع طبیعی استان قزوین و دکتر تک زارع از آموزش‌وپرورش شهرستان آبیک جهت تأمین داده‌های GPS اعلام می‌دارد.

منابع

آجورلو، پرویز. (۱۳۹۷). آموزش تداخل‌سنجی راداری با نرم‌افزار STAMPS، مؤسسه نقشه‌برداری آپسیس، سری یک و پنج، تهران.

احمدزاده، حسن. (۱۳۹۳). رفتارسنجی فعالیت زمین‌لغزش‌ها با استفاده از تکنیک‌های تداخل‌سنجی SAR (مطالعه موردی: حوضه‌ی آبریز قطورچای)، رساله دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی، دانشگاه تبریز.

آزاد، فریبا. (۱۳۸۴). عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش و پهنه‌بندی آن در حوضه الموت رود، پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته جغرافیای طبیعی، گرایش ژئومورفولوژی در برنامه‌ریزی محیطی، گروه جغرافیا، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران.

بهشتی راد، مسعود؛ سلاجقه، علی؛ فیض نیا، سادات؛ احمدی، حسن. (۱۳۸۹). تهیه نقشه خطر حرکت‌های توده‌ای با مدل ارزش اطلاعاتی، مطالعه موردی: آبخیز باغدشت، جغرافیای طبیعی، ۳(۱۰): ۱۴-۱.

پاسبان، عفت؛ خدابخش، سعید؛ غریب رضا، محمدرضا؛ ملکی، مهری؛ رفیعی، بهروز. (۱۳۹۶). برآورد و واکاوی رواناب و انتقال رسوب و تأثیر آن بر سیستم رسوبی رودخانه‌های الموت و شاهرود (شمال استان قزوین)، رسوب‌شناسی کاربردی، ۵(۹): ۱۱۵-۹۹.

پورقاسمی، حمیدرضا؛ مرادی، حمیدرضا؛ فاطمی عقدا، سید محمود؛ مهدویفر، محمدرضا؛ محمدی، مجید. (۱۳۸۸). ارزیابی خطر زمین‌لغزش با استفاده از تصمیم‌گیری چند معیاره‌ی فازی، علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۳(۸): ۶۴-۵۱.

[38] Corner Reflectors

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.61882/jgs.25.79.10]

روستایی، شهرام؛ مختاری، داود؛ اشرفی فینی، زهرا. (۱۳۹۷). شناسایی و پایش ناپایداری دامنه‌ای به روش پردازش اینترفرومتری تفاضلی در حوضه آبریز طالقان، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۲۷: ۳۰-۱۸.

ستاد بحران استانداری قزوین. (۱۳۹۹). گزارش خسارات زمین‌لغزش منطقه الموت شرقی، بهار ۱۳۹۹.

سردشتی، ماهرخ. (۱۳۸۷). نقش خطواره‌ها در وقوع زلزله‌های مخرب، در حوضه آبخیز طالقان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش‌ازدور، رشد آموزش جغرافیا، ۲۳(۱): ۱۹-۱۴.

سردشتی، ماهرخ؛ قنواتی، عزت اله؛ ضیائیان، پرویز. (۱۳۸۳). بررسی مورفودینامیک حوضه آبخیز طالقان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش‌ازدور، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، جغرافیای طبیعی، گرایش ژئومورفولوژی در برنامه‌ریزی محیطی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه خوارزمی.

شیرانی، کوروش. (۱۳۹۲). شناسایی، پایش و سنجش خطرپذیری زمین‌لغزش مبتنی بر تکنیک تصاویر ماهواره‌ای رادار (مطالعه موردی: ارتفاعات دنای زاگرس)، رساله دکتری، دانشکده جغرافیا، دانشگاه اصفهان.

طاهری، واله؛ کرم، امیر؛ صفاری، امیر؛ شتایی جویباری، شعبان. (۱۳۹۹). پهنه‌بندی زمین‌لغزش‌های محدوده کوهستانی استان گلستان با استفاده از روش الگوریتم ترکیبی مربعات ماشین بردار پشتیبان و کلونی زنبورعسل مصنوعی. آمایش جغرافیایی فضا؛ فصلنامه علمی-پژوهشی دانشگاه گلستان، ۱۰(۳۷): ۲۳۰-۲۱۳.

غضنفری، پرویز؛ بختیاری، مهدی؛ تاج‌آبادی، مهدی. (۱۳۹۵). زمین دیس‌ها و چشمه‌های کارستی دره الموت، شمال قزوین. فصلنامه کواترنری ایران (علمی- پژوهشی)، ۲(۴): ۳۶۶-۳۵۳.

فاطمی عقدا، سید محمد؛ غیومیان، جعفر؛ تشنه لب، محمد؛ اشقلی فراهانی، عقیل. (۱۳۸۴). بررسی خطر زمین‌لغزش با استفاده از منطق فازی (مطالعه‌ی موردی منطقه‌ی رودبار)، مجله علوم دانشگاه تهران، ۳۱(۱): ۶۴-۴۳.

فیض اله پور، مهدی؛ منافی، مرضیه؛ خوشرفتار، رضا؛ خسروی، یونس. (۱۴۰۰). پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل آنتروپی شانون (مطالعه موردی: حوضه آبریز طالقان)، تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۲۱(۶۲): ۱۱۴- ۹۵.

قلی‌زاده آتانی، مینا. (۱۳۹۳). تأثیر رواناب ذوب برف بر سیلاب‌ها با استفاده از تکنیک سنجش‌ازدور در حوضه آبریز الموت رود، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی کشاورزی گرایش مهندسی منابع آب، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان.

قهرمانی، شهاب؛ ثروتی، محمدرضا. (۱۳۸۷). مطالعه ژئومورفولوژی و فرسایش در حوضه آبریز الموت رود، فصلنامه جغرافیایی سرزمین، علمی- پژوهشی، ۵(۱۷): ۶۱- ۴۵.

کریمی قصر، بهنام. (۱۳۸۰). تطبیق معیارهای تطبیق معیارهای I.U.C.N با وضعیت زیستگاه‌ها و حیات‌وحش رودبار الموت قزوین (برای تبدیل به منطقه حفاظت‌شده)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد علوم محیط‌زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات.

گورابی، ابوالقاسم. (۱۴۰۰). کمی سازی زمین‌لغزش بزرگ مله‌کبود ناشی زمین‌لرزه ۷.۳ سال ۱۳۹۶ کرمانشاه با استفاده از اینتروفرمتری، تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۲۱(۶۰): ۶۳- ۴۷.

مرکز آمار ایران، درگاه ملی آمار؛ ۲۰۰۹. قابل‌دسترس در: https://www.amar.org.ir/

مصفایی، جمال. (۱۳۸۵). مقایسه کارایی مدل‌های آماری و تجربی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، آبخیز الموت و ارائه برنامه مدیریت خطر، پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

معاونت هماهنگی برنامه‌وبودجه، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان قزوین. (۱۳۹۷). گزارش اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی استان قزوین، سال ۱۳۹۵؛ شماره ۹۷/۰۰/۵۲، شماره مسلسل ۳۸۵؛ انتشارات برنامه‌وبودجه کشور، تهران.

موسوی، سیده طلعت. (۱۳۹۶). اثرات اقتصادی و اجتماعی خانه‌های دوم در توسعه گردشگری روستایی (مطالعه موردی الموت شرقی)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مدیریت گردشگری منطقه‌ای، گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران مرکزی.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.61882/jgs.25.79.10]

یاراحمدی، جمشید؛ روستای، شهرام؛ روستایی، مه آسا؛ شریفی کیا، محمد. (۱۳۹۲). آشکارسازی و پایش زمین‌لغزش‌ها به روش اینترفرومتری راداری و برآورد میزان رسوب ناشی از وقوع آن‌ها با استفاده از مدل WEPP، مطالعه موردی: حوضه آبریز گرم چای، رساله دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تبریز.

Chang, Ling; Hanssen, Ramon F.; (2015). Monitoring Civil Infrastructure using Satellite Radar Interferometry Department of Geoscience and Remote Sensing, Delft University of Technology, Department of Geoscience and Remote Sensing, 251 pages. An electronic version of this dissertation is available at: [http://repository.tudelft.nl/]

Hooper, Andrew John. (2006). Persistent Scatterer RADAR Interferometry for Crustal Deformation Studies and Modeling of Volcanic Deformation, PhD. Dissertation, Department of Geophysics, Stanford University, USA, 124 pages.

Jemec Auflič, M.; Komac, M.; Šinigoj, J. (2017). Modern Remote Sensing Techniques for Monitoring Pipeline Displacements in Relation to Landslides and Other Slope Mass Movements, published by Springer, p. 31-48; https://doi.org/10.1007/978-94-017-9538-8_3

Jia, H.; Wang, Y.; Ge, D.; Deng, Y.;Wang, R. (2022) InSAR Study of Landslides: Early Detection, Three-Dimensional, and Long-Term Surface Displacement Estimation – A Case of Xiaojiang River Basin, China. Remote Sens. 2022, 14, 1759. https://doi.org/10.3390/rs14071759

Li, G.; Tan, Q.; Xie, C.; Fei, X.; Ma, X.; Zhao, B.; Ou, W.; Yang, Z.; Wang, J. and Fang, H. (2018). THE TRANSMISSION CHANNEL TOWER IDENTIFICATION AND LANDSLIDE DISASTER MONITORING BASED ON INSAR, Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XLII-3, 807-813, https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-3-807-2018

Pham, B. T.; Bui, D. T.; Prakash, I. (2019). Landslide susceptibility modelling using different advanced decision trees methods, Civil Engineering and Environmental Systems, p:1-19. https://doi.org/10.1080/10286608.2019.1568418

Smail, T.; Abed, M.; Mebarki, A.; and Lazecky, M. (2022). Earthquake-induced landslide monitoring and survey by means of InSAR, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 22, 1609–1625, 2022. https://doi.org/10.5194/nhess-22-1609-2022

Van Westen, C. J. (2013). Remote Sensing and GIS for Natural Hazards Assessment and Disaster Risk Management, In J. F. Schroder, & M. P. Bishop (Eds.), Treatise on Geomorphology (pp. 61). (Remote Sensing and GIScience in Geomorphology; No. 3). San Diego: Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374739-6.00051-8

Varnes, David J. (1984). Landslide hazard zonation: a review of principles and practice, ISBN: 978-92-3-101895-4, 92-3-101895-7. Collation: 63 p., illus., maps. Language: English.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.61882/jgs.25.79.10]