



Evaluating the Slope Instability of Ardabil-Sarein-Sarab Roads using Radar Interference

Sayyad Asghari Sarasekanrood^{1*}, Maryam Mohamadzadeh shishegaran¹, Adel ZaliKordemahini¹

¹ Department of Natural Geography, Faculty of Social Sciences, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran

ARTICLE INFO

Article Type: Research article

Article history:

Received 29 June 2021

Accepted 20 September 2021

Available online 20 September 2021

Keywords:

Range Motion, Radar Interference, Sentinel 1 Images, Object-oriented Classification.

Citation: Asghari Sarasekanrood, S., Mohamadzadeh shishegaran, M., ZaliKordemahini, A. (2021). Evaluating the Slope Instability of Ardabil-Sarein-Sarab Roads using Radar Interference. *Geography and Environmental Sustainability*, 11 (2), 91-104.
doi: [10.22126/GES.2021.6576.2407](https://doi.org/10.22126/GES.2021.6576.2407)

ABSTRACT

The danger of amplitude movements is considered as one of the hazards that has occurred in many areas in recent years. Identifying the areas exposed to amplitude movements and estimating its rate plays an important role in managing and controlling this phenomenon. Radar interference technique is an efficient method in measuring ground surface displacement which makes it possible to monitor small movements of the earth surface continuously, with high accuracy and in a wide range. This technology has become very common in the study of natural disasters of the earth, including slope displacement, subsidence, earthquakes and volcanic activity. This technique compares the phase taken from two radar datasets at two different times and. Besides, creating an interferogram, it is able to measure changes on the earth surface over time. In the current study, the radar images of 2015 and 2020 have been applied in order to identify and measure landslides. SARSCAPE software has been used to process information. The land-use map of the study area was extracted using Landsat 8 image and object-oriented classification method. The findings reveal that radar images have a good potential to detect the instability of slopes and to calculate their displacement. During the study period, the maximum amount of material movement has been recorded as 21 cm, indicating the area is active in terms of amplitude movements. The overlap of the landslide map with the land use layer also confirms the maximum occurrence of landslides in the use of vegetation and rainfed agriculture.





ارزیابی ناپایداری دامنه‌های جاده‌های اردبیل - سرعین - سراب با استفاده از تداخل سنجی رادار

صیاد اصغری سراسکانرود^{۱*}، مریم محمدزاده شیشه‌گران^۱، عادل زالی کرده‌مهیتی^۱

^۱گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

چکیده

یکی از مخاطراتی که در طی سال‌های اخیر در بسیاری از مناطق رخ داده، مخاطرات ناشی از حرکات دامنه‌ای است. شناسایی مناطق در معرض حرکات دامنه‌ای و برآورد نرخ آن نقش مهمی در مدیریت و کنترل این پدیده دارد. تکنیک تداخل سنجی راداری به عنوان روش کارآمد در اندازه‌گیری جابه‌جایی سطح زمین است. به طوری که با استفاده از این فناوری امکان پایش حرکات کوچک سطح زمین به صورت پیوسته، با دقت بالا و در گستره وسیعی امکان پذیر است. این فناوری در بررسی مخاطرات طبیعی زمین از جمله جابه‌جایی دامنه‌ای، فرونشست، زلزله و فعالیت‌های آتشفشانی بسیار متداول شده است. این تکنیک فاز گرفته شده از دو مجموعه داده رادار در دو زمان مختلف را مقایسه و با ایجاد اینترفروگرام، قادر به اندازه‌گیری تغییرات سطح زمین در دوره زمانی است. در نوشتار پیش رو، به منظور شناسایی و اندازه‌گیری زمین لغزش از تصاویر راداری سنتینل ۱ سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۲۰ استفاده شده است. به منظور پردازش اطلاعات نیز از نرم افزار SARSCAPE استفاده شده است. نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه با استفاده از تصویر لندست ۸ و با روش طبقه‌بندی شیء گرا استخراج شد. نتایج پژوهش نشان داده است که تصاویر راداری از پتانسیل خوبی برای آشکارسازی ناپایداری دامنه‌ها و محاسبه جابه‌جایی آن‌ها برخوردار است. در بازه زمانی مورد مطالعه بیشترین میزان حرکات مواد دامنه‌ای ۲۱ سانتی متر است که نشان دهنده فعال بودن منطقه از لحاظ حرکات دامنه‌ای است. روی هم گذاری نقشه زمین لغزش با لایه کاربری اراضی نیز مؤید رخداد بیشینه عرصه زمین لغزش در کاربری پوشش گیاهی و کشاورزی دیم است.

مشخصات مقاله

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخچه مقاله:

دریافت ۸ تیر ۱۴۰۰

پذیرش ۲۹ شهریور ۱۴۰۰

دسترسی آنلاین ۲۹ شهریور ۱۴۰۰

کلیدواژه‌ها:

حرکات دامنه‌ای، تداخل سنجی راداری، تصاویر سنتینل ۱، طبقه‌بندی شیء گرا.

/استناد: اصغری سراسکانرود، صیاد؛ محمدزاده شیشه‌گران، مریم؛ زالی کرده‌مهیتی، عادل (۱۴۰۰). ارزیابی ناپایداری دامنه‌های جاده‌های اردبیل - سرعین - سراب با استفاده از تداخل سنجی رادار. *جغرافیا و پایداری محیط*، ۱۱ (۲)، ۹۱-۱۰۴.

doi: 10.22126/GES.2021.6576.2407



مقدمه

نظارت مستمر تغییرات سطح زمین و شناسایی مناطق مستعد حرکات دامنه‌ای، به‌ویژه در محدوده سکونت‌گاه‌های انسانی و زیرساخت‌های ارتباطی مانند جاده و خطوط ریلی، از مؤثرترین عوامل کاهش تلفات جانی و مالی مخاطرات طبیعی همچون زمین‌لغزش و حرکات دامنه‌ای است (الیوتی و چودهاری^۱، ۱۹۹۹). تاکنون تکنیک‌های متعددی مانند استفاده از سیستم تعیین موقعیت جهانی، روش ژئودزی و تاکئومتری، دوربین‌های نقشه‌برداری، اسکن لیزری و لیدار برای پایش تغییرات سطح زمین ارائه شده است (هوپر^۲ و همکاران، ۲۰۰۴)؛ اما به دلیل هزینه زیاد برای اجرا، زمان‌بر بودن و پوشش سطح محدود، استفاده از این روش‌ها در محدوده‌های وسیع مقرون به صرفه نیست (هانگ^۳ و همکاران، ۲۰۰۷)؛ اما در کنار این روش‌ها تکنیک تداخل‌سنجی راداری با قابلیت کار در تمام شرایط جوی و طول مدت شب و روز و با قابلیت پوشش گسترده سطح زمین و قدرت تفکیک مکانی و زمانی بالا، امروزه یکی از دقیق‌ترین (در مقیاس میلی‌متر) و کم‌هزینه‌ترین فنون سنجش‌ازدور برای تشخیص و نظارت تغییرات سطحی زمین، حرکات آهسته و ناپایدار دامنه‌ای در سراسر جهان است (میترنیچت^۴ و گوگرس، ۲۰۰۵).

سازوکار این روش استفاده از اختلاف فاز تصویر راداری SAR با فرمت استاندارد SLC که در زمان‌های مختلف از یک منطقه مشخص برداشت شده، است که در نهایت به برآورد دقیق میزان جابه‌جایی زمین در راستای خط دید ماهواره می‌انجامد (دیمارتیری^۵ و همکاران، ۲۰۱۵). اگرچه اولین کاربرد داده‌های راداری در مطالعات ناپایداری زمین به اواسط دهه ۱۹۹۰ میلادی برمی‌گردد (فرانیو^۶ و همکاران، ۱۹۹۶)؛ اما در دهه‌های اخیر به دلیل در دسترس بودن داده‌های راداری با بازه زمانی نسبتاً طولانی نسبت به گذشته و توسعه و گسترش روش‌های جدید مانند تکنیک‌های تداخل‌سنجی مبتنی بر پراکنش‌گرهای پایدار (فرتی^۷ و همکاران، ۲۰۰۱)، روش طول خط مبنای کوتاه (بیرادنیو^۸ و همکاران، ۲۰۰۳)، تکنیک پیوستگی پیکسل‌ها (مورا^۹ و همکاران، ۲۰۰۳) و سایر روش‌های مشابه و ترکیبی که توانسته‌اند بر مشکلات ناشی از عدم همبستگی زمانی و هندسی، اعوجاجات هندسی، اثرات اقلیم و توپوگرافی که در روش‌های تداخل‌سنجی گذشته وجود داشت، غلبه کنند، بیش‌ازپیش توجه پژوهشگران را به استفاده از این روش‌ها، جلب کرده است (بیرادنیو و همکاران، ۲۰۰۳).

در روش‌های معمول تداخل‌سنجی، از چندین تصویر راداری در بازه‌های زمانی متفاوت از یک منطقه و اختلاف فاز آن‌ها (اینترفروگرام) برای محاسبه میزان تغییرات استفاده می‌شود که به روش تداخل‌سنجی تفاضلی معروف است؛ اما این روش در مورد مناطقی که دارای تغییر شکل سریع است، مانند دامنه‌های مناطق فعال کوهستانی، همبستگی پایینی دارد (بیرادنیو و همکاران، ۲۰۰۳)؛ بنابراین برای رفع این مشکل باید تمامی پردازش‌ها با فاصله زمانی کمتر و تعداد بیشتر از تصاویر راداری (بیش از ۱۵ تصویر) و بر روی نقاطی انجام گیرد که در طول زمان دارای خصوصیات بازپراکنشی کمابیش ثابتی باشند. در این روش همبستگی اینترفروگرام‌ها تا حد زیادی افزایش یافته و میزان اندازه‌گیری جابه‌جایی سطح زمین تا حد میلی‌متر کاهش

1- Aleotti & Chowdhury

2- Hooper

3- Hong

4- Metternicht & Gougers

5- Di Martire

6- Fruneau

7- Ferretti

8- Bernardino

9- Mora

می‌یابد (فرتی و همکاران، ۲۰۰۱).

حرکات دامنه‌ای در مناطق مختلفی از جهان گزارش شده (دی مارتیری و همکاران، ۲۰۱۶؛ دانگ^۱ و همکاران، ۲۰۱۸؛ لازکی^۲ و همکاران، ۲۰۱۵؛ پیراتی^۳ و همکاران، ۲۰۱۰؛ دهقانی بیدگلی و همکاران، ۱۳۹۹؛ شهیدی و همکاران، ۱۳۹۴؛ اصغری و همکاران، ۱۳۹۹). به‌طور کلی مطالعات صورت‌گرفته برای پایش و برآورد حرکات دامنه‌ای به دو دسته ژئودتیک و غیر ژئودتیک قابل تفکیک هستند. درباره مطالعات ژئودتیکی، عملیات ترازیابی و همچنین استفاده از شبکه ایستگاه‌های زمینی سامانه موقعیت‌یابی جهانی قابل توجه است. در این راستا می‌توان به پژوهش‌های انجام‌شده معتق^۴ و همکاران (۲۰۰۸) به بررسی راه نقاط پنج‌مارک سازمان نقشه‌برداری کشور اشاره کرد. همان‌طور که گفته شد، اندازه‌گیری‌های ژئودتیکی و میدانی باوجود برخورداری از دقت بالا، به‌منظور استخراج الگوهای زمانی به‌ویژه حرکات دامنه‌ای کارآمد نیستند. همان‌گونه که نصب و راه‌اندازی آن و اندازه‌گیری‌های میدانی بدین‌روش بسیار هزینه‌بر و زمان‌بر است.

درخصوص مطالعات غیر ژئودتیکی می‌توان به استفاده از قابلیت‌های سنجش‌ازدور و داده‌های ماهواره‌ای و رویکردهای مرتبط با آن؛ همچون تداخل‌سنجی راداری اشاره کرد: ۱- پژوهش‌هایی که به‌منظور پایش و شناسایی الگوهای مکانی - زمانی منطقه و نیز معرفی روش تداخل‌سنجی راداری به‌عنوان رویکرد و ابزاری کارآمد و نوین در این زمینه انجام شده‌اند (علیپور و همکاران، ۲۰۰۸). ۲- پژوهش‌هایی که در راستای توسعه الگوریتم و بهینه‌سازی دقت نتایج حاصل از تحلیل سری زمانی جابه‌جایی زمین صورت گرفته است (دهقانی بیدگلی و همکاران، ۱۳۹۹). ۳- مطالعاتی که پهنه‌بندی و پیش‌بینی حرکات دامنه‌ای را بررسی کردند (مددی، ۱۳۸۹؛ اصغری و همکاران، ۱۳۹۹؛ شهیدی و همکاران، ۱۳۹۴).

نوشتار پیش رو با هدف بررسی و پایش حرکات دامنه‌ای در جاده‌های اردبیل - سرعین - سراب با استفاده از تداخل‌سنجی راداری انجام گرفته است. در این پژوهش با استفاده از تصاویر راداری در دو بازه زمانی و تکنیک تداخل‌سنجی راداری میزان جابه‌جایی حرکات دامنه‌ای در طول سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۰ اندازه‌گیری شد.

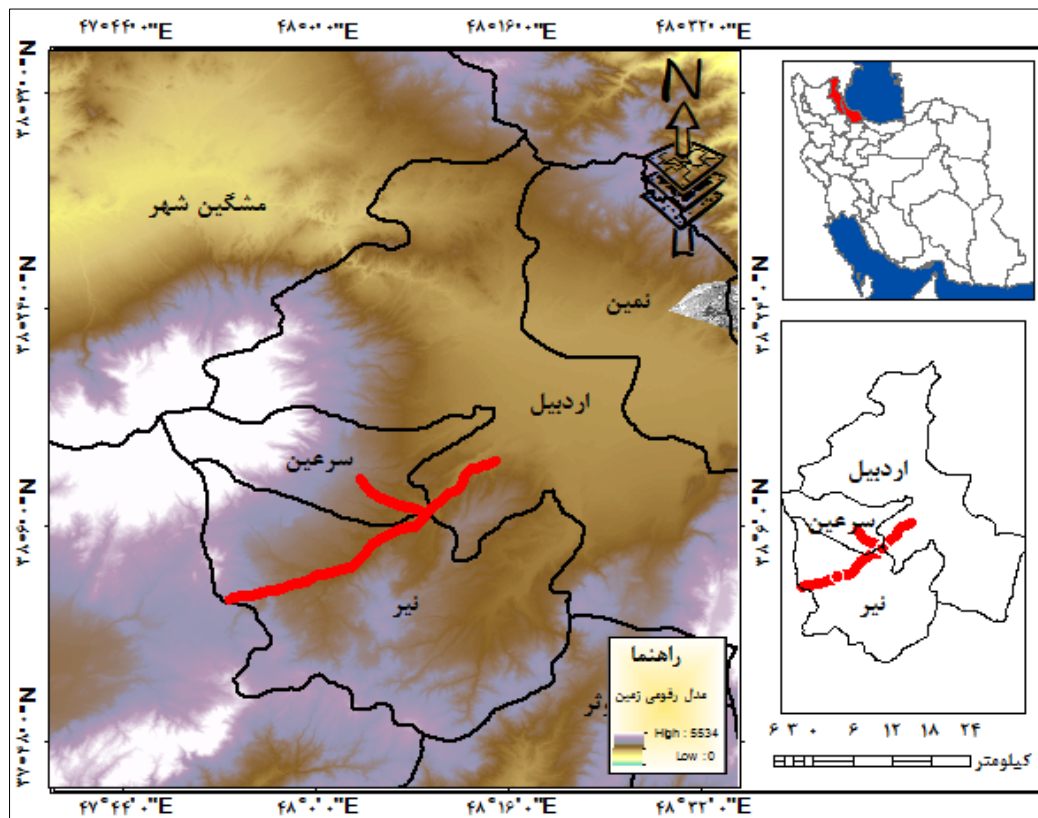
معرفی منطقه مورد بررسی

جاده سراب - نیر بین استان آذربایجان شرقی و استان اردبیل قرار گرفته و مسیر ارتباطی بین این دو استان است که در مختصات جغرافیایی "۳۵° ۵۳' ۴۷" و "۴۳° ۵۸' ۳۷" است (شکل ۱). مرتفع‌ترین قسمت منطقه مورد مطالعه ۲۶۹۹ متر و پست‌ترین قسمت آن ۱۴۵۸ متر در اطراف شهرستان نیر است. میانگین بارش سالانه این محدوده حدود ۲۷۵ میلی‌متر برآورد شده است که بارندگی‌های اطراف نیر و اردبیل بالاتر از سراب است.

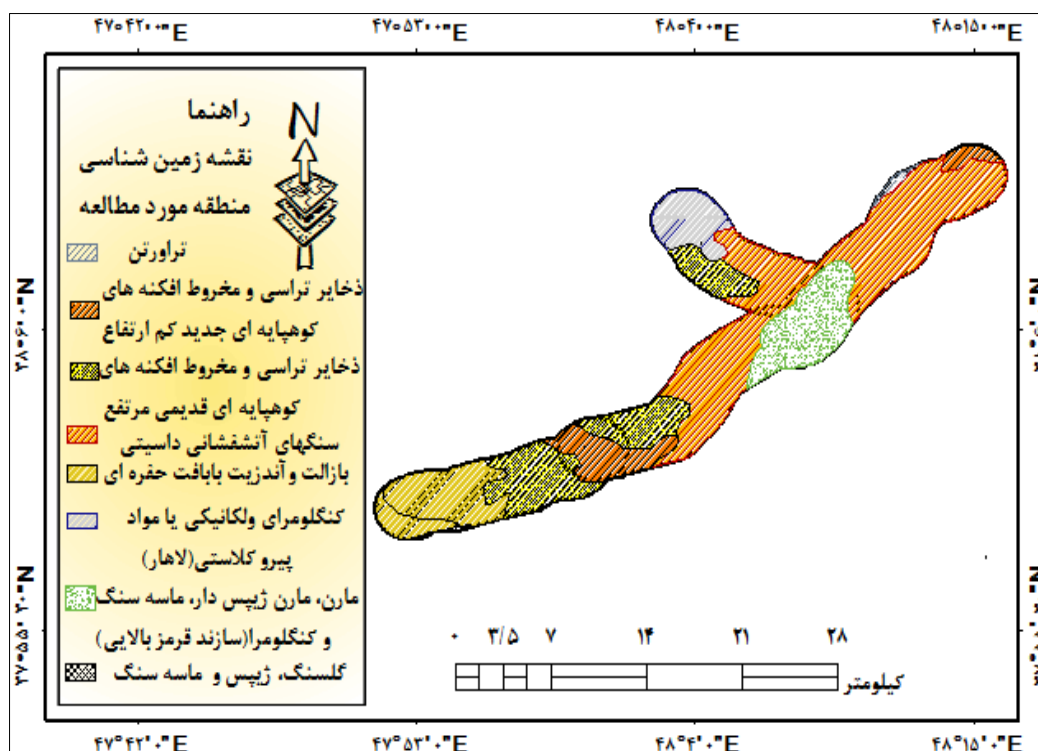
واحدهای سنگی منطقه مورد مطالعه از توف، بازالت، آندزیت، تراکیت و پومیس تشکیل شده‌اند که در برخی مناطق واحدهای کواترنری آن‌ها را پوشانده‌اند (شهیدی و همکاران، ۱۳۹۴). این منطقه به‌طور عمده از سنگ‌های آذرین و آذرآواری تشکیل شده است. قدیمی‌ترین سنگ‌ها، سنگ‌های آهکی متمایل به قرمز و آهک‌های خاکستری به سن پرمین است، این سنگ‌ها به‌شدت هوازده شده و روی سنگ با مواد تخریبی نسبتاً ضخیمی پوشیده شده است (شکل ۲). این سنگ‌ها به‌وسیله آب‌های گرم زیرزمینی متأثر شده و در حال دگرگون‌شدن هستند. سنگ‌های پامیس به سن الیگومیوسن قسمت مرکزی و شرق محدوده پوشانده است. این سنگ‌ها طبیعتاً

1- Dong
2- Lazecky
3- Prati,
4- Motagh

سست بوده و نسبت به سنگ‌های مجاور (آندزیت و بازالت) تحت تأثیر فرسایش بیشتری قرار گرفته‌اند (مددی، ۱۳۸۹).



شکل ۱. نقشه منطقه مورد مطالعه



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

مواد و روش‌ها

تصاویر ماهواره‌ای راداری

در پژوهش حاضر از تصاویر سنتینل ۱ که در محدوده باند C امواج میکروویو تصویر می‌گیرد، استفاده شده است؛ سپس پردازش‌های لازم از راه افزونه ساراسکیب ۵/۲^۱ در نرم‌افزار نرم‌افزار انوی ۵/۳^۲ انجام شد و تکنیک مورد استفاده در نوشتار پیش رو به‌منظور تعیین میزان حرکات دامنه‌ای، روش تداخل‌سنجی تفاضلی با گشودگی ترکیبی دو عبور مکرر و یا غیر مکرر است. از اساسی‌ترین مراحل در پردازش تداخل‌سنجی راداری، انتخاب زوج تصویر مناسب است که چند عامل همچون فرکانس سنجنده، خط مبنای مکانی، خط مبنای زمانی و همچنین هم‌پوشانی فضایی در راستای حرکت سنجنده در انتخاب زوج تصاویر مؤثر هستند. در پژوهش حاضر از دو تصویر سنتینل ۱^۳ از نوع اس.ال.سی.^۴ مربوط به سال ۲۰۱۵ و سال ۲۰۲۰ استفاده شد. مشخصات تصاویر راداری در جدول ۱ ارائه شده است.

یک سیگنال راداری با دریچه مصنوعی از دو بخش دامنه و فاز تشکیل شده است. دامنه، قدرت سیگنال برگشتی است و فاز کسری از یک سیگنال کامل موج سینوسی است. فاز در تصویر راداری از راه فاصله بین آنتن سنجنده و عارضه زمینی مشخص می‌شود. اگرچه فاز یک تصویر منفرد به‌سختی اطلاعات مفیدی در اختیار قرار می‌دهد؛ اما تفاوت فاز یک زوج تصویر هم‌مرجع و همدوس اطلاعات ارزشمندی در اختیار پژوهشگران قرار می‌دهد. در تداخل‌سنجی راداری تفاوت فاز دو تصویر از یک منطقه زمانی و خط مبنای مشخص تعیین می‌شود (دهقانی بیدگلی و همکاران، ۱۳۹۹). روش تداخل‌سنجی راداری امکان تولید مدل رقومی ناهمواری‌های زمین را فراهم می‌آورد که دقت ارتفاع بهینه آن برای داده‌های نوار C با طول موج ۵/۶ سانتی‌متر حدود پنج متر است (چاترجی^۵ و همکاران، ۲۰۰۶). این روش را برای اولین بار به‌وسیله گولدشتاین^۶ و زبکر^۷ در سال ۱۹۸۹ ارائه شد. این اصطلاح به‌روش اندازه‌گیری پاره‌ای از پارامترها همچون توپوگرافی، تغییرات و جابه‌جایی سطح زمین از راه تداخل فاز دو یا چند تصاویر راداری با روزه مجازی اخذشده از منطقه مشابه اطلاق شده است. این روش می‌تواند با استفاده از حداقل دو تصویر مدل رقومی ارتفاعی یا تعداد بیشتری از تصاویر راداری، تغییرات سطحی رخ داده در زمین را در بازه‌های متفاوت با دقت‌های میلی‌متری آشکارسازی کند. اصول بنیادین چگونگی اندازه‌گیری تغییرات سطحی پوسته زمین با استفاده از روش تداخل‌سنجی راداری، P معرف فضایی مشخص در سطح است که در قالب یک پیکسل تصویر شده است. سنجنده تصویر نخست (تصویر اصلی)^۸ T0 ثبت و مقدار فاز (Φ_m) آن را اندازه‌گیری می‌کند. مقدار نشست عبارت‌اند از فاصله P تا P1 که طی زمان مشخصی صورت گرفته است (Dt).

جدول ۱. مشخصات تصاویر مورد استفاده

شماره	تصویر پایه	تصویر تابع	نوع سنجنده	سال
۱	S1A_IW_SLC__1SDV_20150702	S1A_OPER_AUX_20160703	سنتینل ۱	۲۰۱۵
۲	S1A_IW_SLC__1SDV_20200905	S1A_OPER_AUX_20200419	سنتینل ۱	۲۰۲۰

1- SARSCAPE 5.2

2- ENVI 5.3

3- Sentinel-1-A

4- SLC

5- Chatterjee

6- Goldstein

7- Zebeker

8- Master

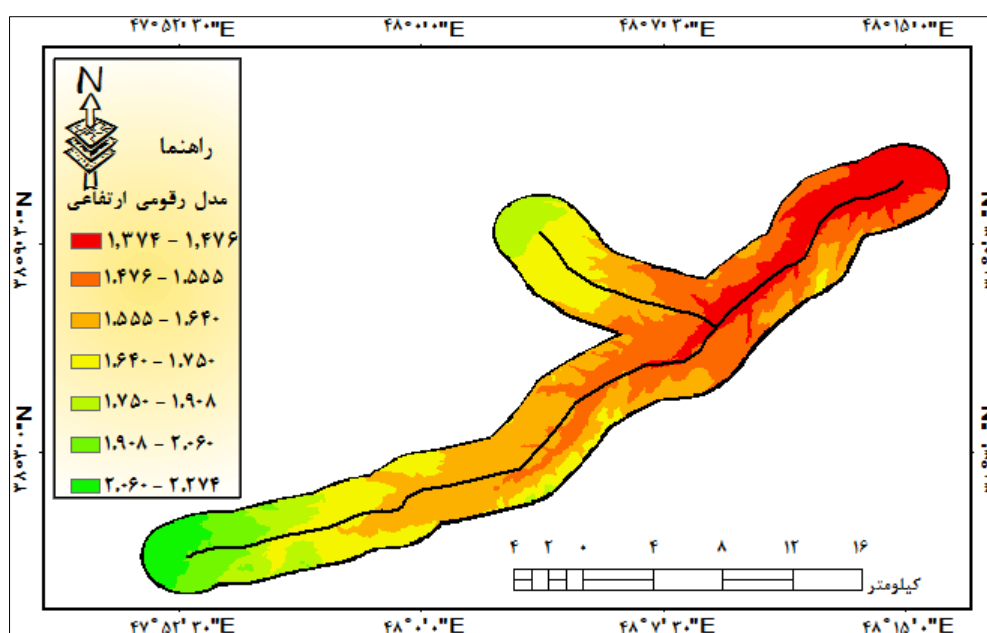
برای اندازه‌گیری این مقدار، سنجنده تصویر دومی (تصویر فرعی)^۱ در زمان t و با هندسه‌ای بسیار شبیه به تصویر نخست گرفته، مقدار فاز (Φ_m) را برای آن اندازه‌گیری می‌کند. روش تداخل‌سنجی تفاضلی، تفاضل فاز Φ_s و Φ_m را در فرم تداخل‌نگار فازی نمایش می‌دهد ($\Delta\Phi_{int}$). در صورت ثابت و پایداری سطح، تفاضل فاز این دو تصویر ناشی از تغییر موقعیت این دو سنجنده و مقدار آن به کمک رابطه ۱ به دست می‌آید.

$$\Delta\Phi_{int}=4\pi\frac{SP-MP}{\lambda} \quad \text{رابطه ۱}$$

که در آن SP : فاز تصویر اول؛ MP : فاز تصویر دوم؛ عدد پی با مقدار ثابت $3/14$ و λ : طول موج است. در اندازه‌گیری مقدار حرکات دامنه‌ای در این روش، سطح ناپایدار تصوّر شده، به‌طوری که سطح از P به $P1$ تنزل یافته است. تعیین مقدار حرکات دامنه‌ای در فاصله زمانی دو تصویر (Dt) تابع اختلاف فاز دو تصویر ($\Delta\Phi_{int}$) به همراه فاز ناشی از توپوگرافی (Φ_{Top}) و فاز ناشی از اتمسفر خواهد بود (دینگ^۲ و همکاران، ۲۰۰۴: ۱۱۵۴).

$$\Delta\Phi_{int}=4\pi\frac{SP-MP}{\lambda}=\Phi_{Top}+\Phi_{Mov}+\Phi_{Atm} \quad \text{رابطه ۲}$$

مدل رقومی ارتفاعی: فاز اینترفروگرام حاوی اثر توپوگرافی، خطای مداری و اثرات اتمسفر است. برای به دست آوردن جابه‌جایی سطح زمین در یک بازه زمانی، می‌بایست خطاهای مداری، اثرات توپوگرافی و نویز اتمسفر از اینترفروگرام‌ها حذف شوند. برای حذف اثر توپوگرافی، مدل رقومی ارتفاعی SRTM با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر استفاده شده است (شکل ۳). خطاهای مداری نیز با برازش یک‌رویه به مناطقی که فاقد جابه‌جایی هستند، مدل‌سازی و از اینترفروگرام مورد نظر کم شد. خطای اتمسفر را می‌توان به کمک اطلاعات جوی و مدل اتمسفری تعدیل کرد (ماسونت و فیگل^۳، ۱۹۹۸).



شکل ۳. نقشه مدل رقومی ارتفاعی منطقه مورد مطالعه

- 1- Slave
- 2- Ding
- 3- Massonnet, & Feigl

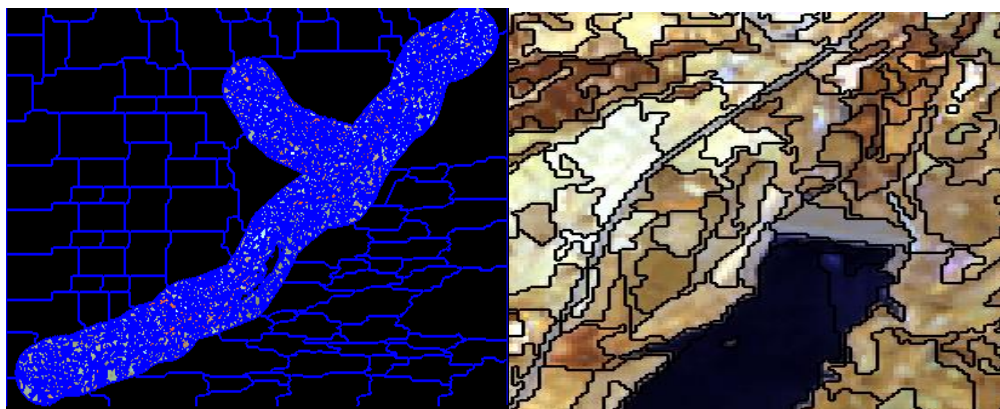
تصویر ماهواره‌ای اپتیکال

در نوشتار پیش رو به منظور استخراج نقشه کاربری اراضی از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ سال ۲۰۲۰ و ماه خرداد استفاده شد. به منظور تصحیحات اتمسفری و رادیومتریکی از نرم‌افزار انوی و به منظور استخراج نقشه‌های مربوطه از نرم‌افزار آرک‌جی.آی.اس^۱ استفاده شد. برای طبقه‌بندی کاربری اراضی از روش طبقه‌بندی شیء‌گرا در نرم‌افزار ایکاگنیشن دولوپر^۲ استفاده شد. به منظور برآورد صحت طبقه‌بندی از نقاط نمونه برداشت شده از تصاویر گوگل‌ارث^۳ استفاده شد. در روش طبقه‌بندی شیء‌گرا، اطلاعات طیفی با اطلاعات مکانی ادغام شده و پیکسل‌ها بر اساس شکل، بافت و تن خاکستری در سطح تصویر با مقیاس مشخص، طبقه‌بندی شده و طبقه‌بندی تصویر بر اساس این قطعه‌ها انجام می‌شود. در قطعه‌بندی پیکسل‌ها به وسیله الگوریتم‌های مختلف، با نسبت‌های مختلف طیفی و شکلی قطعه‌بندی و بر اساس ویژگی‌های طیفی و فضایی در قالب اشیاء گوناگون دسته‌بندی شده‌اند.

طی این فرایند، شیء‌های تصویری متناسب با همگن بودن یا ناهمگن بودن، بر اساس پارامترهای مقیاس، رنگ، شکل، ضریب نرمی و شکل فشردگی ایجاد شد (فیضی‌زاده و هلالی، ۱۳۸۹). با آزمون و خطا بهترین اندازه که نشان‌دهنده اشیاء با ابعاد مختلف هستند، تعیین شد. در پژوهش حاضر تصویر طبقه‌بندی شده دارای مقیاس ۴۵، شکل ۵/۰، ضریب فشردگی ۰/۶ انجام شد (شکل ۴)؛ پس از مشخص کردن تعداد کلاس‌های مورد نیاز در طبقه‌بندی، تعیین شیء‌های نمونه‌های آموزشی انجام و در نرم‌افزار بر سطح تصویر اعمال شد؛ سپس طبقه‌بندی با استفاده از نزدیک‌ترین همسایه و روش درخت تصمیم‌گیری صورت گرفت. لازمه استفاده از هر نوع اطلاعات موضوعی، آگاهی از میزان صحت و درستی آن است. دقت طبقه‌بندی در سال ۲۰۲۰ با صحت کلی ۹۷٪ و ضریب کاپا ۹۵٪ است.

نتایج

با مطالعه چگونگی و امکان وجود جابه‌جایی در سطح زمین، می‌توان به برآورد پارامترهای تأثیرگذار در فرایند جابه‌جایی زمین دست یافت و در مدل‌سازی ژئوفیزیکی و تعیین راهکارهای لازم به منظور مقابله با حرکات دامنه‌ای به کار گرفت. در میان تمام روش‌های زمینی و فضایی اندازه‌گیری تغییرات سطح زمین، تکنیک تداخل‌سنجی راداری به عنوان ابزار مفید و بهترین روش شناخته شده است.



شکل ۴. نمونه تصویر طبقه‌بندی شده (مقیاس ۴۵، شکل ۵/۰، ضریب فشردگی ۰/۶)

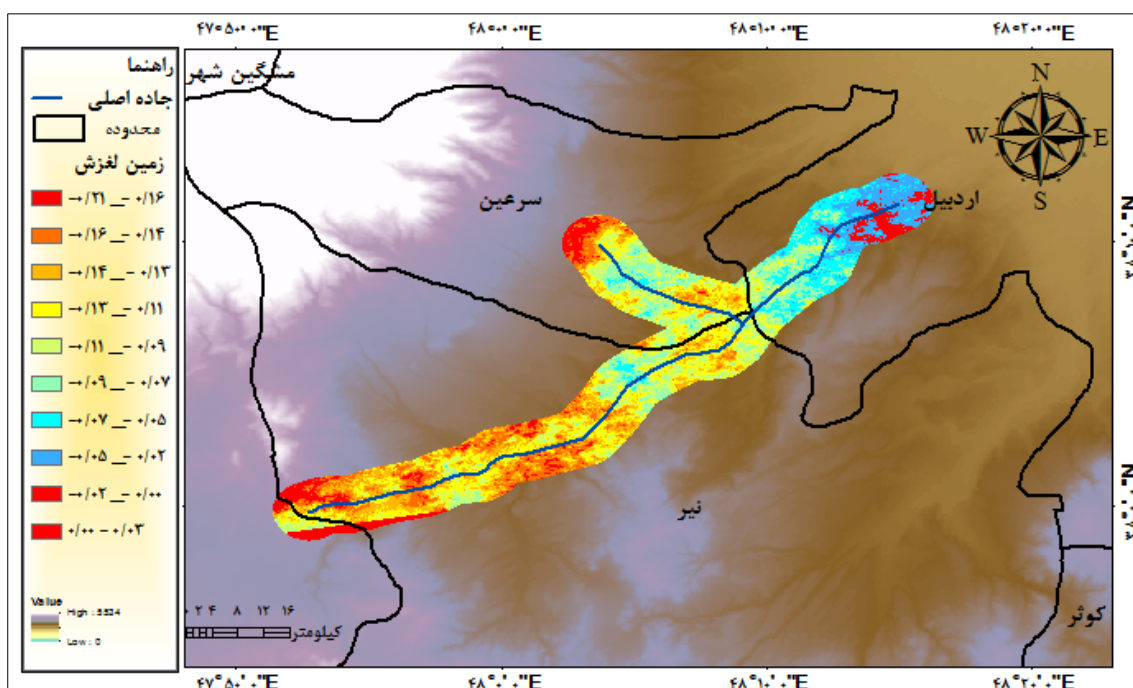
1- ARCGIS 10.5

2- eCognition Developer64

3- Google Earth

میزان جابه‌جایی، حرکات دامنه‌ای را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. مقادیر مثبت نشان‌دهنده میزان جابه‌جایی در جهت سنسورهای ماهواره و مقادیر منفی نشان‌دهنده میزان جابه‌جایی در خلاف جهت سنسور است. میزان جابه‌جایی مواد دامنه‌ای اندازه‌گیری شده در محدوده مورد مطالعه حداکثر ۲۱ سانتی‌متر و حداقل ۳ سانتی‌متر را در محدوده مورد مطالعه در سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۰ نشان می‌دهد، بیشترین میزان حرکات دامنه‌ای در جاده نیر و سرعین و کمترین مقدار مربوط به جاده خروجی اردبیل است (شکل ۵).

ناپایداری‌های دامنه‌ای در طبیعت همیشه نشانه‌هایی از خود به جا می‌گذارند که با استفاده از این نشانه‌ها می‌توان به شناخت بصری از ناپایدارها دست یافت؛ بنابراین با استفاده از بازید میدانی می‌توان اطلاعات کیفی بارزش درمورد سن و میزان فعالیت مواد دامنه‌ای ناپایدار به دست آورد. شکل ۶ و ۷ نمونه‌هایی از ترانشه‌های پایدار و حرکات دامنه‌ای ایجاد شده در محدوده مورد مطالعه است.



شکل ۵. میزان جابه‌جایی مواد دامنه‌ای اندازه‌گیری شده توسط پردازش تداخل سنجی راداری



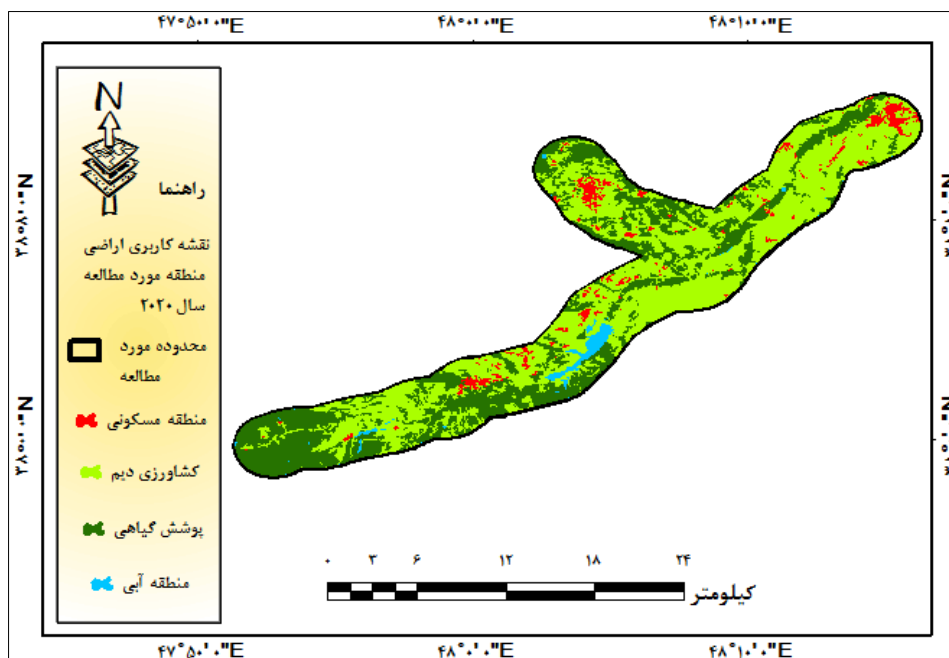
شکل ۶. الف: گسیختگی ایجاد شده در دامنه همراه با انتقال مواد به سمت پایین دامنه؛ ب: ایجاد ترانشه در دامنه با شیب بسیار تند مستعد حرکات دامنه‌ای



شکل ۷: حرکات دامنه‌ای ایجادشده، در سطح دامنه با مقیاس بسیار بزرگ

تحلیل رابطه زمین لغزش و کاربری اراضی

نتایج حاصل از انطباق نقشه کاربری اراضی و نقشه حرکات دامنه‌ای در جدول ۲ نشان داد که بالاترین میزان حرکات دامنه‌ای به ترتیب در کاربری‌های پوشش گیاهی و کشاورزی دیم با مقدار ۰/۲۱ - سانتی‌متر و منطقه مسکونی با مقدار ۰/۱۹ - سانتی‌متر قرار دارند. ریزش ناگهانی زمین و تخریب سازه‌های آسیب‌پذیر از سوانح محتمل ناشی از عوارض حرکات دامنه‌ای است که در نواحی شهری با تلفات انسانی روبه‌رو می‌شوند. این سوانح در موارد خاصی به سبب تراکم جمعیت زیاد یا گسترش شعاع اراضی فروریخته می‌تواند تلفات سنگین و جبران‌ناپذیری داشته باشد. در جدول ۳ مساحت کاربری‌های اراضی در سال ۲۰۲۰ نشان داد که بیشترین مساحت مربوط به کشاورزی دیم با مساحت ۱۲۳ کیلومتر است (شکل ۸).



شکل ۸. نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۲۰

جدول ۲. مشخصات آماری زمین لغزش کاربری‌ها

کاربری	کمترین	بیشترین	میانگین	انحراف معیار
کشاورزی دیم	-۰/۲۱	۰/۰۳	-۰/۱۰	۰/۰۳
منطقه مسکونی	-۰/۱۹	۰/۰۲	-۰/۰۸	۰/۰۴
پوشش گیاهی	-۰/۲۱	۰/۰۲	-۰/۱۱	۰/۰۴
منطقه آبی	-۰/۱۹	۰/۰۷	-۰/۱۳	۰/۰۲

جدول ۳. مساحت کاربری‌های اراضی در سال ۲۰۲۰

نوع کلاس	۲۰۲۰ (کیلومتر)
کشاورزی دیم	۱۲۳/۶۱
منطقه مسکونی	۹/۷۸
منطقه آب	۳/۸۰
پوشش گیاهی	۷۸/۴۲

همچنین با بررسی حرکات دامنه‌ای استخراج‌شده و بررسی لایه زمین‌شناسی مشاهده شد که اکثراً حرکات دامنه‌ای در مناطقی که جنس سنگ‌ها بیشتر آندزیت‌های آتشفشانی و ژئوپس و مارن بوده‌اند، رخ داده و لغزش‌های اندکی در مناطقی که دارای رسوبات آبرفتی و نهشته‌های رودخانه‌ای هستند، اتفاق افتاده است. بیشترین درصد مربوط به طبقات سنگ‌های رسوبی همراه با میان‌لایه‌های توفی است؛ همچنین نتایج حاصل از مدل رقومی ارتفاعی و حرکات دامنه‌ای نشان می‌دهد که ارتفاعات بیش از ۲۰۰۰ متر بیشترین سهم حرکات دامنه‌ای را به خود اختصاص داده‌اند. در ارتفاع ۱۵۰۰ متر نیز حرکات دامنه‌ای قابل توجه بوده است که دلیل آن ناپایداری دامنه‌ها در برابر عوامل اقلیمی و محیطی است. از نظر کاربری اراضی همان‌گونه که از جدول ۲، شکل ۷ و ۶ که به‌صورت میدانی تهیه شده است نشان می‌دهد، طبقات مربوط به مناطق پوشش گیاهی و کشاورزی دیم، بیشترین اثر را در حرکات دامنه‌ای منطقه مورد مطالعه دارند. علت این امر تسهیل این کاربری‌های در نفوذ و هدایت آب بارش‌ها به طبقات سست زیرین است.

بحث

روش تداخل‌سنجی راداری روش بسیار دقیقی است که می‌تواند حرکات دامنه‌ای را با استفاده از دو تصویر از یک منطقه در بازه زمانی مختلف به‌صورت خیلی دقیق در حد سانتی‌متر و حتی به میلی‌متر شناسایی کند. نتایج پژوهش‌های میدانی نیز صحت و دقت بسیار بالای تصاویر ماهواره‌ای را تأیید می‌کند. با استفاده از این فناوری امکان پایش حرکات کوچک سطح زمین به‌صورت پیوسته، با دقت بالا و در گستره وسیعی امکان‌پذیر است. تصاویر راداری حرکات دامنه‌ای را در منطقه مورد مطالعه با دقت بسیار بالایی شناسایی کرده است؛ همچنین با روی هم‌گذاری نقشه حرکات دامنه‌ای با کاربری اراضی به‌دست‌آمده از تصاویر لندست که در فصل بهار و در ماه خرداد اخذ شده است، نشان داد که عمده حرکات دامنه‌ای در کاربری پوشش گیاهی اتفاق افتاده است که این امر می‌تواند ناشی از این باشد که منطقه مورد مطالعه در فصل بهار بیشترین بارندگی و ذوب برف را دارد، این بارندگی باعث نفوذ آب در خاک می‌شود و به‌علت اینکه تکیه‌گاه دامنه بر اثر ایجاد جاده از بین رفته است و تکانش‌های که ناشی از حرکات وسایل نقلیه سنگین در منطقه اتفاق می‌افتد، باعث می‌شود ثبات و پایداری دامنه از بین برود که این امر منجر به حرکات دامنه‌ای در منطقه مورد مطالعه می‌شود. دقت تکنیک تداخل‌سنجی راداری در پایش و شناسایی حرکات دامنه‌ای با پژوهش‌های بسیار زیادی در سطح دنیا تأیید شده است (دی مارتیری و همکاران، ۲۰۱۶؛ دانگ^۱ و همکاران، ۲۰۱۸؛ لازکی^۲ و همکاران، ۲۰۱۵؛ پیرت^۳ و همکاران، ۲۰۰۸؛ اصغری و همکاران، ۱۳۹۹؛ شهیدی و همکاران، ۱۳۹۴؛ مددی، ۱۳۸۹).

شهیدی و همکاران (۱۳۹۴) خطر وقوع حرکات دامنه‌ای در جاده سراب - نیر را با استفاده از عوامل

1- Dong

2- Lazeky

3- Peyret

مختلفی که در ایجاد حرکات دامنه‌ای نقش داشته‌اند، بررسی کردند. نتایج مطالعه مددی (۱۳۸۹) در پژوهشی مشابه به بررسی خطر زمین‌لغزش به‌روشنی آنبالاگان در گردنه صائین پرداخته است و اصغری و همکاران (۱۳۹۹) در پژوهشی خطر وقوع زمین‌لغزش در جاده سراب - نیر را با استفاده از مدل‌های تحلیل شبکه و منطق فازی پهنه‌بندی کردند. در این مطالعه برای پهنه‌بندی از لایه‌های شیب، گسل، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، بارش، ارتفاع و پوشش گیاهی استفاده کردند. هر سه این پژوهش‌ها نشان دادند که ارتفاعات بیش از ۲۰۰۰ و پوشش گیاهی و مرتع بیشترین سهم حرکات دامنه‌ای را به خود اختصاص داده‌اند.

مقایسه نتایج پژوهش حاضر با نتایج پیشین (اصغری و همکاران، ۱۳۹۹؛ شهیدی و همکاران، ۱۳۹۴؛ مددی، ۱۳۸۹) در منطقه مورد مطالعه نشان داد که میزان بارش و ارتفاع نسبت به سایر عوامل تأثیر بیشتری در ایجاد نواحی پرخطر ایفا می‌کنند. نتایج پژوهش سه روش نشان داد که در بین عوامل یادشده، عوامل بارش، شیب و زمین‌شناسی نقش پررنگ‌تری ایفا می‌کند. نوشتار پیش رو با بررسی حرکات دامنه‌ای استخراج‌شده و بررسی لایه زمین‌شناسی مشاهده شد که بیشترین حرکات دامنه‌ای در مناطقی که جنس سنگ‌ها بیشتر آندزیت‌های آتشفشانی و ژئیس و مارن بوده‌اند، رخ داده و لغزش‌های اندکی در مناطقی که دارای رسوبات آبرفتی و نهشته‌های رودخانه‌ای هستند، اتفاق افتاده است. بیشترین درصد مربوط به طبقات سنگ‌های رسوبی همراه با میان‌لایه‌های توفی است؛ همچنین نتایج حاصل از مدل رقومی ارتفاعی و حرکات دامنه‌ای نشان می‌دهد که ارتفاعات بیش از ۲۰۰۰ متر بیشترین سهم حرکات دامنه‌ای را به خود اختصاص داده‌اند. در ارتفاع ۱۵۰۰ متر نیز حرکات دامنه‌ای قابل توجه بوده است که دلیل آن ناپایداری دامنه‌ها در برابر عوامل اقلیمی و محیطی است که نتایج پژوهش‌های پیشین را که تحت تأثیر این عوامل بودند، کاملاً تأیید می‌کند؛ از نظر کاربری اراضی همان‌گونه که از جدول ۲ و شکل ۷ و ۶ که به‌صورت میدانی تهیه شده است، نشان می‌دهد، طبقات مربوط به مناطق پوشش گیاهی و کشاورزی دیم بیشترین اثر را در حرکات دامنه‌ای منطقه مورد مطالعه دارند. علت این امر تسهیل این کاربری‌های در نفوذ و هدایت آب بارش‌ها به طبقات سست زیرین است؛ که هم از نظر تصاویر میدانی و هم کاربری‌های تحت تأثیر حرکات دامنه‌ای در هر سه منبع پیشین و هم پژوهش حاضر کاربری پوشش گیاهی بیشترین میزان حرکات دامنه‌ای را به خود اختصاص داده است؛ که با نتایجی که این پژوهشگران با روش‌های دیگری ناپایداری دامنه‌ای این منطقه را بررسی کرده بودند، همخوانی دارد؛ همچنین نتایج مطالعات میدانی پژوهش‌های پیشین و نیز پژوهش حاضر نشان داد که عمده حرکات دامنه‌ای ایجادشده در محدوده مورد مطالعه در امتداد ترانشه‌های ناپایدار جاده ایجاد می‌شود، از بین رفتن تکیه‌گاه دامنه، شیب بسیار تند دامنه، وقوع بارش‌های بسیار مناسب در ماه‌های اسفند تا خرداد از جمله عوامل بسیار مهم حرکات دامنه‌ای منطقه مورد مطالعه است؛ همچنین با توجه به ارتفاع زیاد منطقه مورد مطالعه، عمده بارش‌های منطقه به‌شکل برف است که ماندگاری برف در سطح دامنه بسیار زیاد است، این عامل اجازه نفوذ آب به طبقات زیرین را می‌دهد و در ادامه با توجه به وجود تشکیلات کاملاً مستعد، حرکات دامنه‌ای در حجم بسیار زیادی تقریباً در همه سال‌ها اتفاق می‌افتد؛ از دیگرسو با توجه به اینکه جاده مورد مطالعه مهم‌ترین مسیر ارتباطی به اردبیل است، حجم بسیار زیاد عبور ماشین‌آلات سنگین باعث ایجاد تکانش‌های مهم در منطقه می‌شود که تشدیدکننده وقوع حرکات دامنه‌ای در دامنه‌های شدیداً ناپایدار است. به‌نظر می‌رسد که پایش منظم حرکات دامنه‌ای منطقه مورد مطالعه می‌تواند موجب شناسایی دامنه‌های ناپایدار شود که قادر است از وقوع خسارت‌های بسیار سنگین به مناطق مسکونی و تأسیسات جلوگیری کند

که این امر با استفاده از تصاویر راداری با رزولوشن بالا و روش تداخل‌سنجی راداری بهترین و مقرون به صرفه‌ترین گزینه در پایش حرکات آهسته مواد دامنه‌ای به‌ویژه در مناطق وسیع، مانند منطقه کوهستانی منطقه مورد مطالعه است.

نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که تصاویر راداری از پتانسیل خوبی برای آشکارسازی ناپایداری دامنه‌ها و محاسبه جابه‌جایی آن‌ها برخوردار است. بیشترین میزان حرکات مواد دامنه‌ای ۲۱ سانتی‌متر در محدوده مورد مطالعه است؛ که نشان‌دهنده فعال بودن منطقه از لحاظ حرکات دامنه‌ای است. نقشه‌های کاربری اراضی با استفاده از تصویر لندست ۸ با طبقه‌بندی شیء‌گرا در منطقه مورد مطالعه انجام شد. نتایج حاصل از انطباق نقشه کاربری اراضی و نقشه حرکات دامنه‌ای در جدول ۳ نشان داد که بالاترین میزان حرکات دامنه‌ای به ترتیب در کاربری‌های پوشش گیاهی و کشاورزی دیم با مقدار ۰/۲۱- سانتی‌متر و منطقه مسکونی با مقدار ۰/۱۹- سانتی‌متر قرار دارند. این سوانح در موارد خاصی به سبب تراکم جمعیت زیاد یا گسترش شعاع اراضی فروریخته، می‌تواند تلفات سنگین و جبران‌ناپذیری داشته باشد؛ با بررسی و روی هم‌گذاری نقشه حرکات دامنه‌ای استخراج شده و نقشه لایه زمین‌شناسی مشخص شد که اکثراً حرکات دامنه‌ای در مناطقی که جنس سنگ‌ها بیشتر آندزیت‌های آتش‌فشانی و ژئیس و مارن بوده‌اند، رخ داده و لغزش‌های اندکی در مناطقی که دارای رسوبات آبرفتی و نهشته‌های رودخانه‌ای هستند، اتفاق افتاده است. همچنین نتایج حاصل از مدل رقومی ارتفاعی و زمین‌لغزش نشان می‌دهد که ارتفاعات بیش از ۲۰۰۰ متر بیشترین سهم لغزش را به خود اختصاص داده‌اند. در ارتفاع ۱۵۰۰ متر نیز لغزش قابل توجه بوده که دلیل آن ناپایداری دامنه‌ها در برابر عوامل اقلیمی و محیطی است. از نظر کاربری اراضی طبقات مربوط به مناطق پوشش گیاهی و کشاورزی دیم بیشترین اثر ریزش سنگ را دارند. علت این امر نفوذ و هدایت آب بارندگی‌ها به طبقات سست زیرین مربوط است.

منابع

- اصغری سراسکانرود، صیاد؛ پالیزبان، دلنیا؛ امامی، هادی؛ قلعه، احسان (۱۳۹۹). تحلیل مدل‌های تحلیل شبکه و منطق فازی برای تهیه نقشه پهنه‌بندی حساسیت وقوع زمین‌لغزش مطالعه موردی (جاده سراب - نیر). *مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۲۴ (۷۲)، ۱-۲۲.
- دهقانی بیدگلی، رضا؛ کوهبنانی، حمیدرضا؛ یزدانی، محمدرضا (۱۳۹۹). پهنه‌بندی فرونشست دشت سمنان ناشی از برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی با استفاده از تکنیک تداخل‌سنجی راداری و تصاویر سنتینل ۱. *نشریه مهندسی آبیاری و آب/ایران*، ۱۰ (۳۹)، ۱۷۵-۱۸۷.
- شهیدی، فرهاد؛ شعاعی، غلامرضا؛ محمدی واوسری، مصطفی (۱۳۹۴). بررسی سازوکار وقوع زمین‌لغزش گردنه صائین با نگرشی بر هیدرولوژی و شرایط ریخت‌شناسی منطقه. *مجله انجمن زمین‌شناسی مهندسی/ایران*، ۱ (۲)، ۱۳-۳۳.
- فیضی‌زاده، بختیار؛ هلالی، حسین (۱۳۸۹). مقایسه روش‌های پیکسل پایه، شیء‌گرا و پارامترهای تأثیرگذار در طبقه‌بندی پوشش/ کاربری اراضی استان آذربایجان غربی. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۴۲ (۷۱)، ۷۳-۸۴.
- مددی، عقیل (۱۳۸۹). بررسی ناپایداری ژئومورفولوژیک گردنه صائین (بین شهر نیر و سراب، منطقه آذربایجان با استفاده از روش آنالوگان). *مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ۲۱ (۱)، ۷۷-۹۴.

References

- Aleotti, P. & Chowdhury, R. (1999). Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives. *Bull. Eng. Geol. Environ*, 58 (1), 21-44.
- Alipour, S., Motgah, M., Sharifi, M. A. & Walter, T. R. (2008). InSAR time series investigation of land subsidence due to groundwater overexploitation in Tehran, Iran. *Second Workshop on Use of Remote Sensing Techniques for Monitoring Volcanoes and Seismogenic Areas, track*, 414, 1-5.
- Asghari, S., palizban, D., Emami, H & ghaleh, E. (2020). Evaluation of Fuzzy Logic and Network Analysis Models for Mapping Landslide Sensitivity Case Study: (Sarab - Nir Road), *Geography and Planning*, 24 (73), 1-22. doi: 10.22034/gp.2020.10792 (In Persian).
- Bernardino, P., Constantine, G., Franceschetti, G., Iodice, L., Pietranera, L. & Rizzo, V. (2003). Use of differential SAR interferometry in monitoring and modelling large slope instability at Matera (Basilicata, Italy). *Eng. Geol*, 68 (1-2), 31-51.
- Chatterjee, R. S., Fruneau, B., Rudan, J.P., Roy, P. S., Frison, P., Lakhera, R. C., Dadlhwai, V. K. & Saha R. (2006). Subsidence of Kolkata (Calcutta) City, India during the 1990 as observed from space by Differential Synthetic Aperture Radar Interferometry (D-InSAR) technique. *Remote Sensing of Environment*, 13 (102), 176-185.
- Dehghani Bidgoli, R., Koohbanani, H. & Yazdani, M. (2020). Subsidence Mapping caused by over exploitation of Underground Water in Semnan Plain Using Sentinel-1A.IW TOPS Interferometry. *Irrigation and Water Engineering*, 10 (3), 175-187. doi: 10.22125/iwe.2020.107100 (In Persian).
- Di Martire, D., Ascione, A., Calcaterra, D., Pappalardo, G. & Mazzoli, S. (2015). Quaternary deformation in SE Sicily: insights into the life and cycles of forebulge fault systems. *Lithosphere*, 7 (5), 519-534. <http://dx.doi.org/10.1130/L453.1>.
- Di Martire, D., Tessitore, S., Brancato, D., Grazia Ciminelli, M., Costabile, S., Costantini, M., Vito Graziano, G., Minati, F., Ramondini, M. & Calcaterra, D. (2016). Landslide detection integrat (Ed.) system (LaDIS) based on in-situ and satellite SAR interferometry measurements. *Catena*, 5 (137), 406-421. <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2015.10.002>.
- Ding, X.L., Liu, G.X., Li, Z.W., Li, Z.L. & Chen, Q.Y. (2004). Ground subsidence monitoring in Hong Kong with satellite SAR interferometry. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 70 (10), 1151-1156.
- Dong, J., Liao, M., Xu, Q., Zhang, L., Tang, M. & Gong, J. (2018). Detection and displacement characterization of landslides using multitemporal satellite SAR interferometry: A case study of Danba County in the Dadu River Basin. *Engineering Geology*, (240), 95-109. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2018.04.015>.
- Faizizadeh, B. & Hilali, H. (2010). Comparison of base pixel, object-oriented and effective parameters in land use coverage classification in West Azarbaijan Province. *Geographical Research Journal*, (71), 73-84 (In Persian).
- Ferretti, A., Prati, C. & Rocca, F. (2001). Permanent scatterers in SAR interferometry. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens*, 39 (1), 8-20. <http://dx.doi.org/10.1109/36.898661>.
- Fruneau, B., Achace, J. & Delacourt, C. (1996). Observation and modeling of the Saint-Etienne-de Tine'e landslide using SAR interferometry. *Tectonophysics*, 265 (3-4), 181-190.
- Hong, Y., Adler, R. F. & Huffman, G. (2007). An experimental global prediction system for rainfall-triggered landslides using satellite remote sensing and geospatial datasets. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote*, (45), 1671-1680.
- Hooper, A., Zebker, H., Segall, P. & Kampes, B. (2004). A new method for measuring deformation on volcanoes and other natural terrains using InSAR persistent scatterers. *Geophysical Research Letters*, (31), L23611. <http://dx.doi.org/10.1029/2004GL021737>.
- Lazecky, M., Canaslan, C., Hlavacova, I. & Gurboga, S. (2015). Practical Application of Satellite-Based SAR Interferometry for the Detection of Landslide Activity. *procedia*

- earth and Planetary Science*, 10 (15), 613-618. doi: 10.1016/j.proeps.2015.08.113.
- Madadi, A. (2010). A Study on GgA Study on Ggeomorphologic Instability in Saien Defile (between, Nir and Sarab, Azarbyjan area) by Using of Anbalagan Method. *Geography and Environmental Planning*, 21 (1), 77-94 (In Persian).
- Massonnet, D. & Feigl, K. L. (1998). Radar interferometry and its application to changes in the earths surface. *Reviews of Geophysics*, 36 (4), 441-500.
- Metternicht, G. H. & Gougers, L. (2005). Remote sensing of landslides: An analysis of the potential contribution to geospatial system for hazard assessment in mountainous environments. *Remote Sensing of Environment*, 8 (98), 284-303.
- Mora, O., Mallorqui, J. J. & Broquetas, A. (2003). Linear and nonlinear terrain deformation maps from a reduced set of interferometric sar images. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens*, 41 (10), 2243-2253. <http://dx.doi.org/10.1109/TGRS.2003.814657>.
- Motagh, M., Walter, T. R., Sharifi, M. A., Fielding, E., Schenk, A., Anderssohn, J. & Zschau, J. (2008). Land subsidence in Iran caused by widespread water reservoir overexploitation. *Geophysical Research Letters*, 35 (16), L16403. <https://doi.org/10.1029/2008GL033814>.
- Prati, C., Ferretti, A. & Perissin, D. (2010). Recent advances on surface ground deformation measurement by means of repeated space-borne SAR observations. *Journal of Geodynamics*, 49 (10), 161-170. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jog.2009.10.011>.
- Shahidi, F., Shoaiei, G. & Mohammadi Vavsari, M. (2015). Investigation on the mechanism of Saein Strait Landslide (Nir-Sarab Road) in regard to the hydrological and geomorphological conditions. *Scientific Quarterly Journal of Iranian Association of Engineering Geology*, 8 (Number 1 & 2), 13-33. (In Persian).