

## تحلیل مکانی مقدار زمین لغزش با استفاده از روش تداخل سنجی راداری به منظور کاهش مخاطرات (مطالعه موردی: منطقه سرباز در استان اصفهان)

سیده راضیه کشاورز\*

دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه ریزی شهری، گروه جغرافیا، واحد یزد، دانشگاه آزاد اسلامی، یزد، ایران

جلال بیاتی اشکفتکی

کارشناس ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، واحد یزد، دانشگاه آزاد اسلامی، یزد، ایران

سید علی المدرسی

دکتری ژئومورفولوژی، استاد، گروه GIS و RS واحد یزد، دانشگاه آزاد اسلامی، یزد، ایران

(تاریخ دریافت ۱۴۰۱/۶/۷ - تاریخ پذیرش ۱۴۰۱/۹/۲۰)

### چکیده

لغزش‌ها از پدیده‌های بسیار پیچیده و در عین حال زیانبار به‌شمار می‌آیند که در اثر وقوع آنها مواد دامنه‌ای از سطوح شیبدار جابه‌جا می‌شود و زخم‌های به‌نسبت عمیقی در دامنه‌ها بر جای می‌ماند. وقوع چنین پدیده‌ای در نزدیکی عوارض فرهنگی مانند مناطق مسکونی، جاده‌ها و غیره موجب آسیب‌های مالی و تلفات جانی فراوان می‌شود. استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی در درجه اول و در پی آن، استفاده از فناوری تحلیل تصاویر ماهواره‌ای، در این بخش از مدیریت بسیار کمک‌کننده است. تداخل‌سنجی راداری D-InSAR با برخورداری از پوشش زمینی وسیع مکرر، پیوسته و نیز قدرت تفکیک زمانی و مکانی زیاد، از دقیق‌ترین و کم‌هزینه‌ترین فنون سنجش از دور است که برای نمایش جابه‌جایی‌های پدیدآمده در سطح زمین ارائه شده است. پژوهش حاضر به بررسی وجود زمین‌لغزش‌ها در محدوده پژوهشی روستای سرباز به کمک تصاویر راداری سنجنده سنتینل ۱ و با استفاده از روش تداخل‌سنجی راداری در دوره زمانی ۲۰۱۷ و ۲۰۱۸ پرداخته است. پس از پردازش‌های مختلف در نرم‌افزار ENVI و افزونه SarScape، اندازه جابه‌جایی زمین‌لغزش منطقه به‌دست آمد. با توجه به نتایج می‌توان گفت منطقه سرباز از نظر زمین‌لغزش فعال است. همچنین سه نقطه به‌منزله نقاط حساس معرفی شدند که مشخص شد در محدوده خطر متوسط رو به زیاد قرار دارند. نتایج نشان داد که منطقه سرباز در دوره ۲۰۱۷/۰۶/۰۵ تا ۲۰۱۷/۱۲/۱۴، دارای ۰/۰۶۹- جابه‌جایی یعنی نزدیک به ۷ سانتی‌متر، در دوره ۲۰۱۷/۱۲/۱۴ تا ۲۰۱۸/۰۶/۱۲ دارای ۰/۰۳۵- جابه‌جایی یعنی نزدیک به ۴ سانتی‌متر و در دوره ۲۰۱۸/۰۶/۱۲ تا ۲۰۱۸/۱۲/۲۱ دارای ۰/۰۶۴- جابه‌جایی یعنی ۶ سانتی‌متر بوده است. در پایان نقشه نقاط حساس تهیه و ارائه شد.

**واژه‌های کلیدی:** تداخل‌سنجی راداری، زمین‌لغزش، سنتینل ۱، کاهش مخاطرات، منطقه سرباز.

## مقدمه

تغییر شکل سطح خاک نوعی فرایند پویا در سطح زمین است. این فرایند به‌طور طبیعی یا به‌دلیل دخالت انسان رخ می‌دهد. یکی از اشکال این تغییر شکل، لغزش زمین است [۲۵]. زمین لغزش عبارت است از حرکات کلی و عمقی تمام قشر خاک روی سطح زمین مادری که هر ساله موجب خسارت‌های سنگین می‌شود. گاهی جبران این خسارت‌ها ناممکن یا نیازمند صرف وقت و هزینه بسیار است. سرعت عملکرد و وسعت آنها اغلب پدیده‌های دیدنی و گاهی فاجعه‌بار به وجود می‌آورد و ممکن است ده‌ها یا صدها هزار متر مکعب سنگ و خاک را یکجا تحت تأثیر قرار دهند این پدیده بیشتر در رسوبات منفصل عمل می‌کند [۱۰]. آثار ناپایداری دامنه‌ها به‌صورت حرکت‌های توده‌ای در مقیاس کوچک تا وسیع است. حرکت‌های دامنه‌ای ممکن است جزئی و منحصر به ریزش یک قطعه سنگ منفرد یا بسیار بزرگ و فاجعه‌بار باشد. آسیب‌های ناشی از این نوع حرکت‌ها در کشورهای توسعه‌یافته بیشتر است، اما ۹۵ درصد مرگ‌ومیر ناشی از آن در کشورهای در حال توسعه اتفاق می‌افتد. زمین لغزش‌ها از ویرانگرترین حوادث طبیعی در مناطق شیبدار به حساب می‌آیند. آسیب‌های وارد به مناطق مسکونی و زیربنای اقتصادی و همچنین تلفات انسانی ناشی از زمین لغزش‌ها در سراسر جهان در حال افزایش است [۲۱]. ویژگی براساس مکان، بزرگی، اندازه، فراوانی و احتمال وقوع آن و همچنین جمعیت و مردم تحت تأثیر و نوع رخداد تشخیص داده می‌شود [۶]. زمین لغزش به‌علت ماهیت خطرناک خود در مناطق کوهستانی مورفولوژی را به‌طور ناگهانی بر هم می‌زند و خسارت‌های سنگینی به مناطق مسکونی، جاده‌ها، زمین‌های کشاورزی و غیره وارد می‌کند [۹]. عوامل متعددی مانند شرایط زمین‌شناسی، شرایط هیدرولوژی و هیدروژئولوژی، وضعیت توپوگرافی و مورفولوژی، آب‌وهوا و هوازدگی بر پایداری شیب تأثیر دارند و ممکن است سبب زمین لغزش شوند. زمین لغزش در مناطق تپه‌ماهور به‌دلیل عوامل محرک مختلف مانند بارندگی شدید، سیل ناگهانی، ناپایداری شیب، اختلالات زمین‌ساختی و غیره پدیده‌ای مکرر است و به تلفات جانی و خسارت به زیرساخت‌ها و اموال منجر می‌شود [۲۸].

ایران با توپوگرافی اغلب کوهستانی، فعالیت زمین‌ساختی و لرزه‌خیزی زیاد، شرایط متنوع زمین‌شناسی و اقلیمی، بیشتر شرایط طبیعی برای ایجاد دامنه وسیعی از زمین لغزش‌ها را دارد [۵]. با استفاده از شاخص‌های مورفوتکتونیک می‌توان با ارائه نقشه‌ها در پیش‌بینی مکان‌هایی که در اثر زلزله‌های آتی دچار ناپایداری می‌شوند، برنامه‌ریزان را یاری داد. با استفاده از تحلیل‌های مورفومتری و بهره‌گیری از شاخص‌های ژئومورفیک و پارامترهای رتبه‌ای شبکه‌های

زهکشی می‌توان، تکتونیک فعال هر منطقه را بررسی کرد [۷]. از آنجا که رخداد گروهی از زمین لغزش‌ها به واسطه حرکت کند به سهولت قابل درک و شناسایی نیست، اندازه‌گیری میزان حرکت آن مستلزم پژوهش‌ها و ابزارهای خاصی است. تا کنون روش‌های گوناگونی برای شناسایی و پایش پدیده زمین لغزش و در نهایت تهیه نقشه‌های خطر معرفی شده و از روش‌های مختلفی برای نقشه برداری و پایش زمین لغزش‌ها و حرکات شیب‌ها استفاده شده است [۲۶] که از جمله می‌توان به تاکنومتری، تراز یابی، فتوگرامتری برد کوتاه، مشاهدات حاصل از شبکه‌های ژئودتیکی [GPS] تداخل سنجی راداری و لیدار اشاره کرد. اولین کاربرد داده‌های راداری در بررسی ناپایداری زمین، در میانه دهه ۱۹۹۰ بوده است، اما در دهه‌های اخیر به علت دسترسی به داده‌های راداری با دوره زمانی طولانی نسبت به گذشته و توسعه و گسترش روش‌های نوین مانند روش‌های تداخل سنجی، توجه پژوهشگران بیش از پیش به بهره‌گیری از این روش‌ها جلب شده است [۱]. از میان روش‌های دورسنجی، تداخل سنجی تفاضلی راداری<sup>۱</sup> که قابلیت کار در همه شرایط بد جوی و طول مدت شب و روز را دارد، از روش‌های مؤثر و کارآمد در پایش تغییرات آرام سطح زمین محسوب می‌شود [۱۱]. با توجه به اینکه پدیده‌ها و مخاطرات طبیعی سبب خسارت در مناطق مختلف خواهند شد، بررسی این موضوعات در دوره‌های زمانی و مناطق مختلف در کشور حائز اهمیت است و ضرورت خاصی دارد. این پژوهش نخستین تحقیق در منطقه پژوهش بوده و هدف آن، بررسی شدت زمین لغزش در محدوده روستای سرباز در استان اصفهان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای راداری، روش‌های سنجش از دوری و تداخل سنجی راداری بوده است؛ از این رو از لحاظ جدید و به روز بودن دارای نوآوری است.

میرزانی و شهابی (۱۳۹۵)، در ارزیابی و پیش‌بینی مکانی مخاطره زمین لغزش در جاده کوهستانی سنندج- کامیاران با استفاده از الگوریتم‌های پیشرفته داده‌کاوی دریافتند که این الگوریتم‌ها بنا به ساختار خود از دقت کافی در پیش‌بینی مکانی زمین لغزش در منطقه پژوهش برخوردارند [۱۹].

بهزاد و همکاران (۱۳۹۵) در بررسی پتانسیل سیل خیزی حوضه گرمی با تأکید بر مدیریت مخاطرات با استفاده از روش SCS دریافتند که با توجه به فیزیوگرافی و مورفولوژی منطقه، این حوزه دارای توان سیل خیزی است [۴].

صفا مهر و همکاران (۱۳۹۶) تحقیقی درباره رفتار سنجی و پایدارسازی زمین لغزش براساس برداشت‌های نقشه بردار و داده‌های زمین شناسی مهندسی در منطقه پادانای سمیرم انجام دادند. در

این تحقیق مقدار جابه‌جایی هر یک از نقاط این زمین لغزش محاسبه و با استفاده از داده‌های زمین‌شناسی مهندسی و ژئوتکنیکی، ابعاد سطحی و زیرسطحی زمین لغزش مشخص شد [۱۵]. قهرودی تالی و همکاران (۱۳۹۸)، ناپایداری دامنه‌ها را در ناحیه راه‌آهن لرستان با استفاده از روش تداخل‌سنجی تفاضلی راداری بررسی کردند و دریافتند که داده‌های راداری و روش پردازش تداخل‌سنجی تفاضلی به دلیل پوشش گسترده و فراوانی داده و دقت زیاد، کاربرد خوبی برای آشکارسازی ناپایداری دامنه‌ها و محاسبه میزان جابه‌جایی آنها دارد. تفسیر نمودارهای سری زمانی نشان داد که بیشترین حرکات مواد دامنه‌ای در فصل‌های پاییز و بهار اتفاق افتاده و بیشترین حرکت مواد دامنه‌ای در دوره ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۸ حدود ۲۸/۸ سانتی‌متر در محدوده ایستگاه تنگ هفت تا تنگ پنج بوده که نشان‌دهنده فعال بودن منطقه از لحاظ حرکات دامنه‌ای است [۱۸].

ثابتی و همکاران (۱۳۹۸)، جابه‌جایی زمین لغزش ماسولها با روش تداخل‌سنجی راداری به‌منظور مدیریت خطر لغزش بررسی کردند. نتایج پردازش تصاویر ماهواره‌ای نشان داد که بیشترین جابه‌جایی در راستای دید ماهواره در ناحیه شمالی، قدیمی‌تر و جوان‌تر به ترتیب ۵۱، ۴۶ و ۷۰ میلی‌متر در سال در حال دور شدن از سنجنده است. همچنین مناطق فعال لغزش توسط تحقیقات میدانی زمین‌شناسی بررسی شد و ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی منطقه، صحت جابه‌جایی قسمت‌های مختلف لغزش را تأیید کرد [۱۸].

غیور بلورفروشان و همکاران (۱۴۰۰)، در پایش زمین لغزش ناشی از زلزله براساس تداخل‌سنجی راداری در روستای حسین‌آباد کالپوش نتیجه گرفتند که زلزله رامیان با بزرگی ۵ ریشتر بر کل توده لغزشی حسین‌آباد و زون برداشت تأثیر نسبی داشت و سبب افزایش ترک‌های ساختمان‌ها شد، ولی زلزله سنخواست با بزرگی ۵/۵ ریشتر و میزان بالآمدگی ۶/۵ سانتی‌متر، تأثیر بیشتری بر لغزش شمال شرقی داشت و سبب بالآمدگی کف ساختمان‌ها شد [۱۷].

عابدینی و شیشه‌گران (۱۴۰۱) در ارزیابی زمین لغزش با استفاده از تصاویر راداری و تداخل‌سنجی راداری در حوضه نیرچای دریافتند که تصاویر راداری توانمندی خوبی برای آشکارسازی ناپایداری دامنه‌ها و محاسبه جابه‌جایی آنها دارند. نتایج انطباق نقشه کاربری اراضی بر نقشه زمین لغزش نشان داد که بیشترین حرکات دامنه‌ای به ترتیب مربوط به کاربری‌های پوشش گیاهی با ۳۳ سانتی‌متر و مرتع با ۲۸ سانتی‌متر و کمترین آنها مربوط به منطقه مسکونی با ۹ سانتی‌متر بود [۱۶].

صادقی و همکاران (۱۴۰۱) در تحقیقی به شناسایی میزان زمین لغزش با استفاده از روش تداخل‌سنجی راداری در شهرستان‌های اردل و کوهرنگ پرداختند. در این تحقیق با بهره‌گیری از اطلاعات فاز تصاویر مختلط SAR، مدل ارتفاعی زمین با دقت متر و مقدار جابه‌جایی‌ها و

تغییر شکل‌های پوسته زمین با دقت کمتر از سانتی‌متر در پوششی پیوسته و وسیع ایجاد شد با ایجاد هفت اینترفروگرام بهینه از ده تصویر سال ۲۰۰۵ ماهواره Envisat زمین لغزش‌های متعدد با جابه‌جایی از ۲/۸ تا ۱۴ سانتی‌متر در منطقه شناسایی شد. این نتایج بیانگر فعال بودن پهنه‌های لغزشی این منطقه از لحاظ حرکات دامنه‌ای بود [۱۴].

انتظاری و کردوانی (۱۴۰۱)، به بررسی پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از روش‌های مبتنی بر GIS و داده‌های راداری پرداختند. در پژوهش آنان، اعتبارسنجی روش‌های آماری و تحلیل کارشناسی برپایه GIS با استفاده از روش تداخل سنجی تصاویر راداری سنتینل ۱ تحلیل شد. این تحلیل به ارائه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش، مناطق مستعد و تعیین عوامل منطقه‌ای مؤثر در وقوع زمین لغزش انجامید. نتایج افزون بر نقشه مناطق حساس و پرخطر منطقه فریدون‌شهر، همپوشانی ۶۷ درصد سلول‌های مناطق با خطر خیلی زیاد و زیاد در نقشه‌های پهنه‌بندی خطر با سلول‌هایی از نقشه جابه‌جایی سطحی به‌دست‌آمده از پردازش تصاویر راداری سنتینل با بیشترین جابه‌جایی را نشان داد که بیانگر احتمال زمین لغزه یا خطر زمین لغزه در این مناطق بود. از این‌رو استفاده از تصاویر راداری و بررسی تغییرات جابه‌جایی سطح زمین، ابزاری مفید در پایش و دقت‌سنجی روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با هدف برنامه‌ریزی در مناطق حساس است [۳].

توفانی و همکاران (۲۰۱۳)، روش تداخل سنج مداوم اسکرتر<sup>۱</sup> برای توصیف و نظارت بر زمین لغزش را بررسی کردند. یافته‌های آنان نشان داد که این زمین لغزش را می‌توان نوعی اسلاید چرخشی زمین تعریف کرد. تجزیه و تحلیل PSI به بررسی عمیق‌تر این پدیده کمک کرده است. به‌طور خاص، اندازه‌گیری PSI امکان تعریف بهتر مرزهای لغزش و وضعیت فعالیت را فراهم کرده است، درحالی که تجزیه و تحلیل سری زمانی، درک بهتر الگوی تغییر شکل و ارتباط آن را با دلایل خود لغزش امکان‌پذیر کرده است. ادغام داده‌های نظارت بر زمین و داده‌های PSI نتایج صوتی را برای توصیف زمین لغزش فراهم کرده است [۲۷].

کازالی و همکاران (۲۰۱۶)، در پژوهش درباره نقشه‌برداری و نظارت بر زمین لغزش با استفاده از رادار و سنجش از راه دور نوری، نمونه‌هایی از پروژه EC-FP7 SAFER را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که این پژوهش‌های موردی اهمیت داده‌های رادار و نوری EO و روش‌های InSAR و OBIA را برای نقشه‌برداری از زمین لغزش و نظارت در محیط‌های مختلف زمین‌شناختی در همه مراحل مدیریت اضطراری نشان می‌دهد [۲۲].

هاماند و همکاران (۲۰۱۹) با استفاده از تداخل‌سنجی راداری در منطقه بالوران در سوریه، زمین لغزش را بررسی کردند و دریافتند که تغییر شکل سطح زمین در طول دوره پژوهش در امتداد خط دید ماهواره‌ای در نزدیکی جاده اصلی در منطقه سد بالوران با حداکثر ارزش حدود ۲۰ سانتی‌متر است. نتایج D-InSAR با نتایج D-GPS از ده نقطه اعتبارسنجی در امتداد جاده اصلی در منطقه پژوهش که در آن مقدار اختلاف RMS 20 سانتی‌متر بود مقایسه شد [۲۴].

وانگ و همکاران (۲۰۲۰) در بررسی جابه‌جایی زمین در سن‌پترزبورگ روسیه با استفاده از تداخل‌سنجی رادار دیافراگم مصنوعی دیفرانسیل چندمسیره دریافتند که تغییر شکل در شهر اغلب عمودی (در حال فرونشینی) با حداکثر نرخ فرونشست حدود ۲۰ میلی‌متر در سال مربوط به زمین‌های تازه‌بازایی شده از دریا است [۲۶].

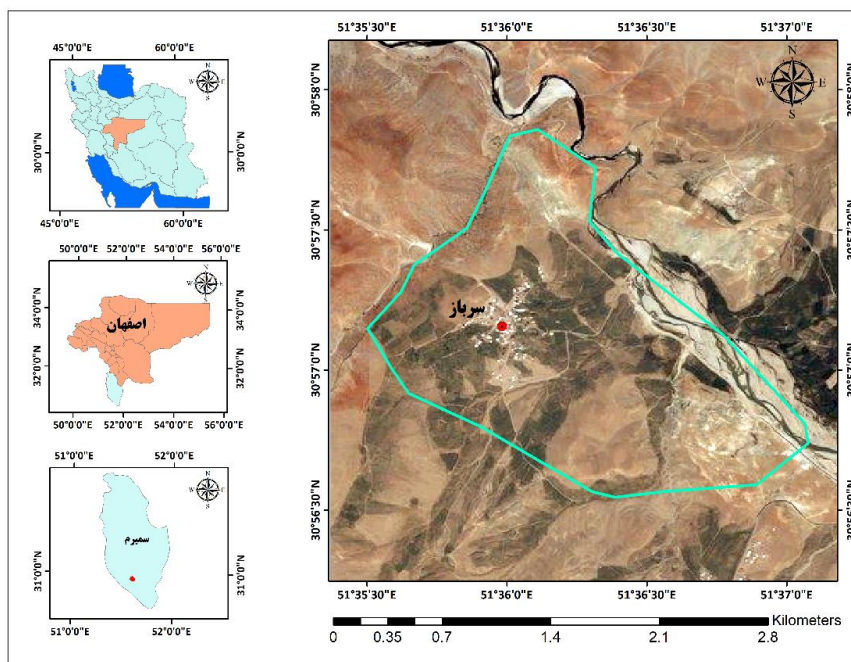
دمینگ و همکاران (۲۰۲۰)، در پژوهشی درباره تشخیص زمان واقعی زمین‌لغزش‌های جزیره براساس GB-RAR دریافتند که از این روش می‌توان در تشخیص واقعی تغییر شکل پویا در زمان واقعی لغزش جزیره استفاده کرد. این روش به دلیل دقت زیاد، می‌تواند نیازهای پایش تغییر پویا از رانش زمین‌های جزیره را برآورده کند و به ابزاری مهم برای هشدار و درمان زود هنگام لغزش زمین تبدیل شود. تحقیق این پژوهشگران برای غنی‌سازی و بهبود بیشتر سیستم روش نظارت بر بلایای زمین‌شناسی جزیره‌ای در چین، فراهم آوردن پایه علمی و پشتیبانی فنی برای هشدار زود هنگام و جلوگیری از بروز سوانح و کاهش زمین‌لغزش‌های جزیره و نظارت بر جزیره کاربرد خواهد داشت [۲۳].

وانگ و همکاران (۲۰۲۲)، زمین‌لغزش در پایین‌دست رودخانه نیولانجیانگ با مجموعه داده‌های Sentinel-1 و ALOS PALSAR را بررسی کردند نتایج با مقایسه تصاویر ALOS PALSAR و Sentinel-1، نشان داد که تعداد شیب‌های فعال به‌طور چشمگیری افزایش یافته بود. چند عامل مانند زلزله، بارش متمرکز و ساخت نیروگاه‌های برق آبی، از راه تجزیه و تحلیل سری زمانی زمین‌لغزش‌های معمولی بررسی شدند. افزون‌بر این، جابه‌جایی غیرخطی شیب‌های ناپایدار طبیعی با بارندگی همبستگی داشت. یک مدل اقلیم‌محور برای واجد شرایط بودن رابطه بین بارندگی و جابه‌جایی زمین‌لغزش استفاده شد [۲۹].

### منطقه پژوهش

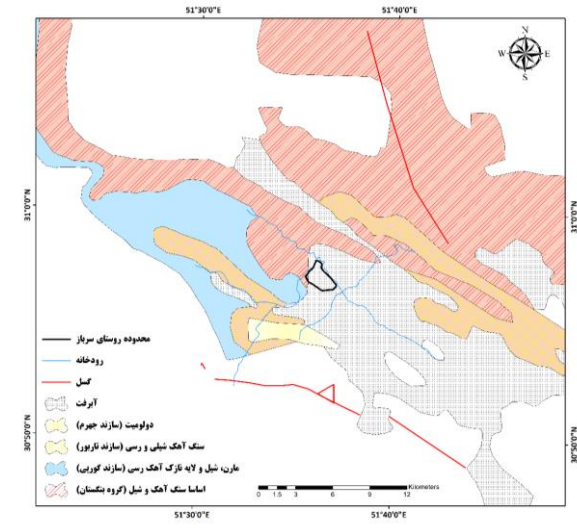
شهرستان سمیرم اصفهان با مساحت ۵۲۲۴ کیلومتر مربع در جنوب غربی استان اصفهان با ارتفاع متوسط ۲۴۰۰ متر از دریا، در مجاورت سه استان چهارمحال و بختیاری، کهگیلویه و بویراحمد و فارس واقع شده است. سرباز روستایی از توابع بخش پادناهی شهرستان سمیرم در

استان اصفهان است. این روستا در دهستان پادنا علیا قرار دارد. براساس آمار سال ۱۳۹۵ سازمان مرکزی آمار، این دهستان شامل ۲۴ آبادی با مجموع جمعیت ۷۷۵۱ نفر است. بیشترین تمرکز جمعیت در آبادی بیده است. براساس سرشماری مرکز آمار ایران در سال ۱۳۹۵، جمعیت آبادی سرباز ۶۶۴ نفر (۱۸۶ خانوار) شامل ۳۴۲ مرد و ۳۲۲ زن بوده است.



شکل ۱. نقشه موقعیت جغرافیایی منطقه پژوهش

منطقه پژوهش از لحاظ دسته بندی زمین ساختاری ایران، در زون زاگرس مرتفع واقع شده است. بنابراین از نظر تکتونیکی پویا و فعال است. این محدوده در بین گسل اصلی تراستی دنا در جنوب غرب و گسل های فرعی کوه سیاه و بیده واقع شده است. بر این اساس، منطقه پادنا سیرم به دلیل ویژگی های زمین شناسی، توپوگرافی و زمین ساختی از مناطقی است که زمین لغزش های فعال در آن گسترش زیادی دارند. با توجه در شکل و دقت در سازندها و لایه های مختلف زمین شناسی، می توان محدوده روستای سرباز را در قسمت آبرفتی مشاهده کرد.



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی منطقه

## روش تحقیق

### روش تداخل‌سنجی راداری

داده‌های دورسنجی امروزه کاربردهای فراوانی دارند، مانند تعیین شدت و ابعاد زمین‌لغزش‌ها. شناسایی و اندازه‌گیری از طریق اطلاعات ماهواره‌ای روشی نوین در پایش زمین‌لغزش به‌شمار می‌رود. تداخل‌سنجی راداری از دقیق‌ترین (در مقیاس میلی‌متری) و کم‌هزینه‌ترین روش‌های سنجش از دور است که برای شناسایی و نمایش جابه‌جایی‌های پدیدآمده در سطح زمین معرفی شده است [۱۳].

دقت تغییرات مقادیر ارتفاعی ( $dz$ ) قابل محاسبه از هر حاشیه تابع ویژگی‌های ماهواره مانند طول خط مبنا ( $Bn$ )، طول موج یا باند به‌کاررفته ( $\lambda$ )، زاویه برخورد ( $\theta$ ) و طول بردار مایل ارتفاع ماهواره تا زمین ( $p$ ) است.

$dz = (\lambda p \sin\theta) / 2Bn$ . تصویر راداری با روزه‌های مجازی متشکل از دامنه فاز موج برگشتی از سیگنال ارسالی رادار است. بر مبنای تحقیقات و مشاهدات، فاز ثبت‌شده ( $\Delta\Phi$ ) موج حاوی اطلاعات و خصوصیات بهتری نسبت به دامنه موج ( $\Delta p$ ) در تصاویر راداری است. بر اساس این محاسبه ارتفاع یک نقطه حاصل اختلاف دامنه آن ( $\Delta r = p - p'$ ) از طریق محاسبه اختلاف فاز بیان شده ( $\Delta\Phi$ ) در تداخل‌نگار و به کمک رابطه زیر امکان‌پذیر است:



$$z(x,y) = H \frac{B^2 - (\lambda \Delta \theta)^2}{2(\lambda \Delta \theta - B \sin(a - \theta))} \cdot \cos \theta \quad (1)$$

روش تداخل سنجی راداری (InSAR) امکان تولید مدل های رقومی ناهمواری های زمین را فراهم می آورد که دقت ارتفاعی بهینه آن برای داده C باند با طول موج ۵/۶ سانتی حدود ۵ متر است.

#### داده های به کار رفته

در پژوهش حاضر به منظور پایش و تعیین مقدار جابه جایی ناشی از حرکت توده لغزشی روستای سرباز از روش تداخل سنجی رادار و تصاویر ماهواره ای راداری سنتینل ۱ با طول موج باند C در حالت مدار صعودی استفاده شده است. تداخل سنجی راداری یا همان اینترفرومتری، روش استفاده از اختلاف فاز سیگنال های برگشتی از سطح زمین در دو تصویر SAR گرفته شده با تأخیر زمانی یا دارای پارالاکس از یک منطقه برای استخراج ارتفاع یا اطلاعات مربوط به تغییرات سطح زمین است [۱۳].

اما برای تصحیح خطای کرویت باید از داده های آماده شده توسط تیم کنترل سنتینل استفاده کرد (جدول ۲).

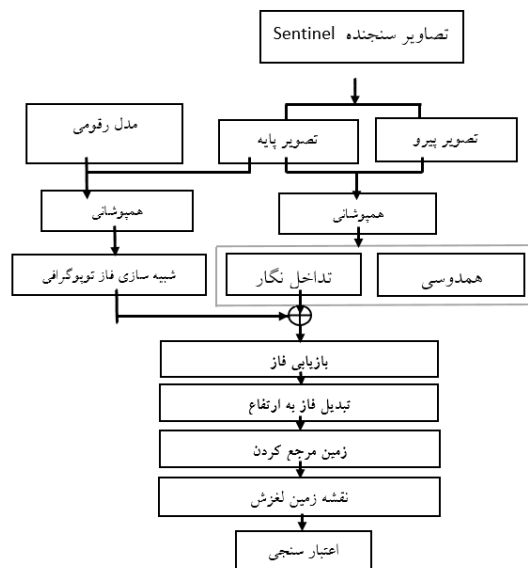
جدول ۱. داده های راداری مورد استفاده و بیس لاین زمانی و مکانی زوج تصویرها

تاریخ تصویر	مد تصویر	قطبیت	جهت حرکت ماهواره	فاصله زمانی دو تصویر (روز)	بیس لاین (متر)
۲۰۱۷/۰۶/۰۵	IW	VV	بالاگذر	۱۹۲	۱۲۳,۶۸۹
۲۰۱۷/۱۲/۱۴	IW	VV	بالاگذر		
۲۰۱۷/۱۲/۱۴	IW	VV	بالاگذر	۱۸۰	۷۵,۵۷۴
۲۰۱۸/۰۶/۱۲	IW	VV	بالاگذر		
۲۰۱۸/۰۶/۱۲	IW	VV	بالاگذر	۱۹۲	۹۸,۰۸۸
۲۰۱۸/۱۲/۲۱	IW	VV	بالاگذر		

جدول ۲. داده های تصحیح مداری استفاده شده

تاریخ تصویر	اوربیت فایل
۲۰۱۷/۰۶/۰۵	S1A_OPER_AUX_POEORB_OPOD_20170625T121729_V20170604T25942_20170606T005942
۲۰۱۷/۱۲/۱۴	S1A_OPER_AUX_POEORB_OPOD_20180103T121158_V20171213T25942_20171215T005942
۲۰۱۸/۰۶/۱۲	S1A_OPER_AUX_POEORB_OPOD_20180702T120733_V20180611T25942_20180613T005942
۲۰۱۸/۱۲/۲۱	S1A_OPER_AUX_POEORB_OPOD_20190110T121003_V20181220T25942_20181222T005942

برای اجرای روش D-InSAR ابتدا باید بین هر زوج تصویر راداری (تصویر اصلی و تصویر فرعی) به دو اصل توجه داشت که نخست، خط مبنای زمانی و دوم، خط مبنای مکانی است. پس از انتخاب زوج‌های تداخل‌نگار مناسب بر مبنای خط مبنای زمانی و مکانی، از پردازش این تصاویر و به‌منظور حذف اثر توپوگرافی از تداخل‌نگار، از روش تهیه تداخل‌نگار همراه با مدل رقومی ارتفاع استفاده شد. خروجی این مرحله از کار در قالب تداخل‌نگار تفاضلی به‌صورت تداخل‌نگار مسطح‌شده‌ای است که در آن فاز ثابت و فاز توپوگرافی از تداخل‌نگار حذف شده است. از آنجا که تداخل‌نگار مسطح‌شده حاوی نوفه‌هایی<sup>۱</sup> است که سبب کاهش کیفیت بصری فرینج‌ها می‌شود، در ادامه کار از فیلتر آداپتیو<sup>۲</sup> استفاده می‌شود.



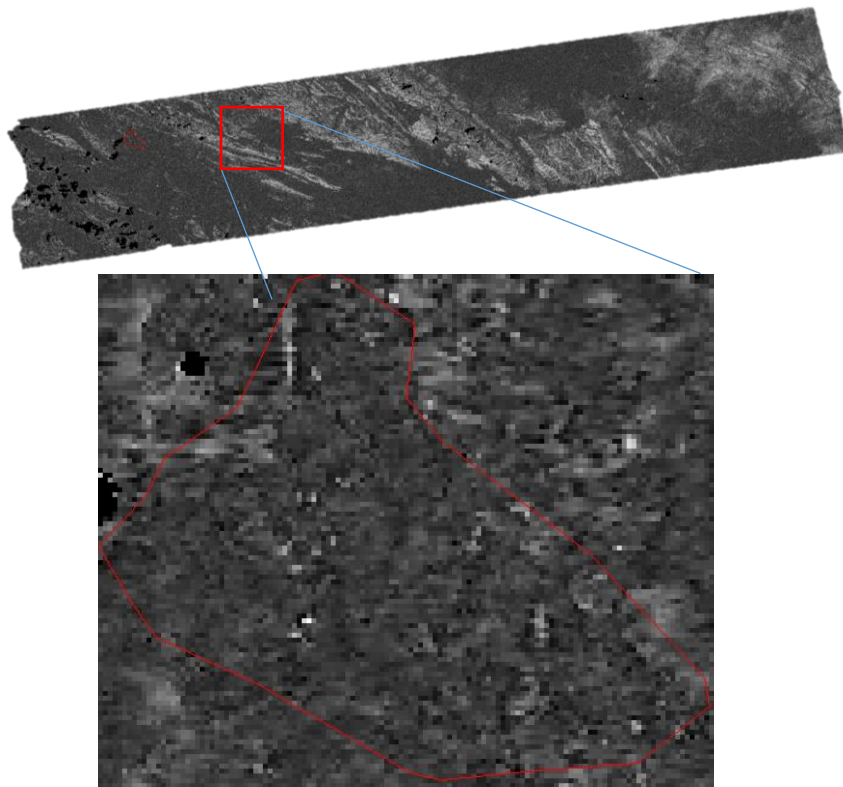
شکل ۳. نمودار گردش کار

### بحث و نتایج

شناسایی پهنه‌های مستعد لغزش و پهنه‌بندی پتانسیل رخداد زمین‌لغزش، برای اجتناب از این پهنه‌ها و اجرای روش‌های پیشگیری و کنترلی بسیار ضروری و بااهمیت است. یکی از اصلی‌ترین اقدامات در این زمینه تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر رخداد زمین‌لغزش است.

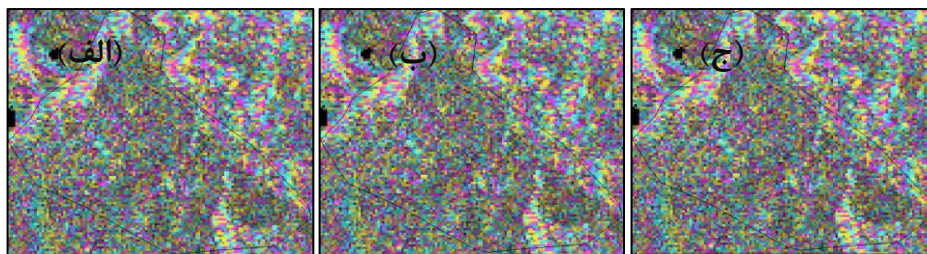
1. Noise  
2. Adaptive

برنامه ریزان و تصمیم گیرندگان از نقشه های مذکور می توانند در عرصه های مختلفی چون مدیریت حفاظت خاک و منابع طبیعی، برنامه ریزی های عمرانی و توریستی، مکان یابی اراضی مناسب برای توسعه شهرها و روستاها، برنامه ریزی های زیست محیطی، تعیین مسیر راه ها و خطوط انتقال نیرو و انرژی و غیره استفاده کنند. به منظور اجرای روش D-InSAR در این پژوهش، ابتدا قابلیت و کیفیت تصاویر راداری دارای کاربرد برای تهیه تداخل نگار با محاسبه مقادیر خط مبنای زمانی و مکانی آنها بررسی شد. در ادامه همه نقشه ها و تصاویر حاصل از پردازش های لازم در روش تداخل سنجی راداری بررسی خواهند شد. تصویر همدوسی، تصویری است که از همبستگی توانی دو تصویر هم مختصات شده به دست می آید. این تصویر بیانگر شاخص همبستگی مقادیر توان سیگنالی در دو تصویر اخذ شده در دو زمان متفاوت است. مقدار همبستگی از ۰ تا ۱ متغیر است که در میزان کیفیت فرایند تداخل سنجی مؤثر است.



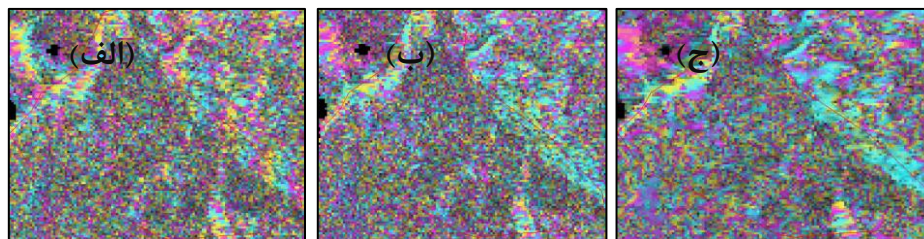
شکل ۴. کوهرنسی زوج تصاویر ۲۰۱۷/۰۶/۰۵ و ۲۰۱۷/۱۲/۱۴

همان‌طور که در شکل‌های ۵ و ۶ مشخص است، فرینج‌های تشکیل‌شده در اینترفروگرام‌های تفاضلی الگوی مبهمی دارند و در محدوده زمین‌لغزش سرباز فرینج کامل و واضحی تشکیل نشده است. دلیل این موضوع، نامنظم بودن فروافتادگی‌ها و پراکنده بودن آنها در قسمت‌های مختلف سطح توده لغزشی است. همانند زمین‌لغزش نقل در نزدیکی سرباز می‌توان گفت زمین‌لغزش سرباز در اصل زمین‌لغزش تثبیت‌شده قدیمی بوده است که تحت تأثیر عوامل اصلی فعال‌سازی قرار دارد. این موضوع سبب فعال شدن مجدد تعدادی از زمین‌لغزش‌های کوچک در سطح این توده لغزشی شده است.



شکل ۵. نمایش تفاوت تصاویر الف (int ب) dint و ج) fint زوج تصاویر ۲۰۱۷/۰۶/۰۵ و ۲۰۱۷/۱۲/۱۴ برای منطقه پژوهش

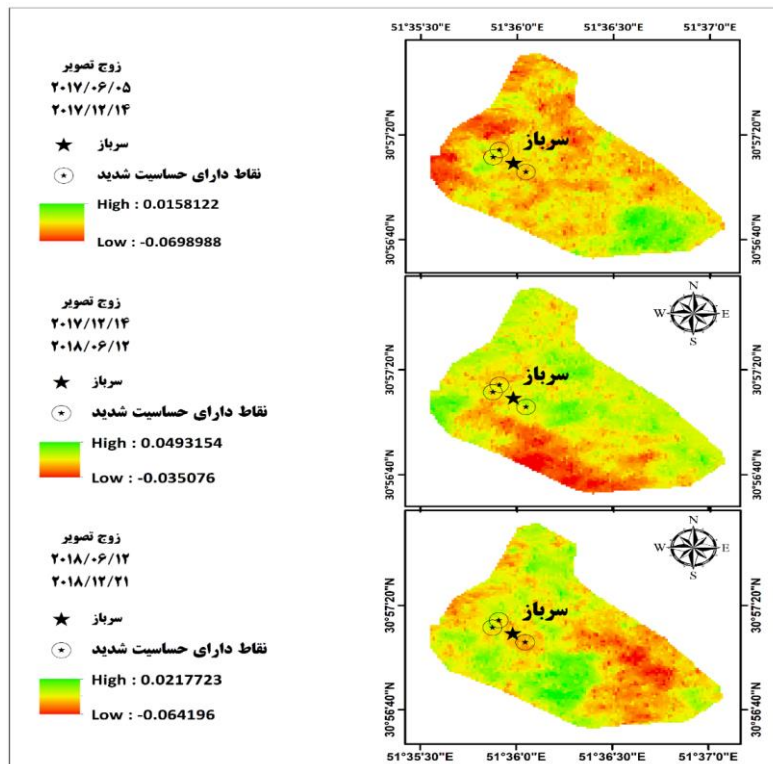
در مرحله آخر از پردازش تصاویر راداری Sentinel-1 در صورتی که بتوان جفت‌های تداخل‌سنجی مناسبی بین تاریخ‌های مختلف تصاویر اخذ شده ایجاد کرد، بررسی میزان جابه‌جایی لغزش در زمان اخذ تصاویر مربوط ممکن خواهد بود. بر همین اساس میزان جابه‌جایی زمین‌لغزش سرباز (شکل ۶) به کمک پردازش تصاویر سنتینل ۱ به روش D-InSAR در سه زوج تصویر یادشده مربوط به سال‌های ۲۰۱۷ و ۲۰۱۸ در ادامه نمایش داده می‌شود.



شکل ۶. نمایش تفاوت تصاویر الف (int ب) dint و ج) fint زوج تصاویر ۲۰۱۷/۱۲/۱۴ و ۲۰۱۸/۰۶/۱۲ برای منطقه پژوهش

جدول ۵. نتایج پردازش لغزش‌ها و انباشت رسوبات به صورت عددی

زوجه تصویر	تاریخ تصویر	جهت حرکت ماهواره	فاصله زمانی دو تصویر (روز)	بیس لاین (متر)	جابه‌جایی (سانتیمتر)	جابه‌جایی کلی (سانتی‌متر)
۱	۲۰۱۷/۰۶/۰۵	بالاگذر	۱۹۲	۱۲۳,۶۸۹	۱/۶ انباشت رسوبات	۸/۶
	۲۰۱۷/۱۲/۱۴	بالاگذر			۷ ریزش	
۲	۲۰۱۷/۱۲/۱۴	بالاگذر	۱۸۰	۷۵,۵۷۴	۵ انباشت رسوبات	۸/۵
	۲۰۱۸/۰۶/۱۲	بالاگذر			۳/۵ ریزش	
۳	۲۰۱۸/۰۶/۱۲	بالاگذر	۱۹۲	۹۸,۰۸۸	۲/۲ انباشت رسوبات	۸/۶
	۲۰۱۸/۱۲/۲۱	بالاگذر			۶/۴ ریزش	



شکل ۷. نقشه کلی میزان لغزش‌ها و انباشت رسوبات

میزان جابه‌جایی در این نقشه‌ها به صورت دامنه‌ای عددی بین مقادیر منفی تا مقادیر مثبت برحسب متر نشان داده شده است (شکل ۷). در تفسیر این نتایج و برآورد میزان جابه‌جایی توده لغزشی، مقادیر منفی نشان‌دهنده میزان فروافتادگی‌ها یا کنده‌شدگی در سطح دامنه و شیب‌ها و مقادیر مثبت گویای انباشتگی رسوبات در پای دامنه و شیب‌ها است. با توجه به نقشه‌های تبدیل فاز به جابه‌جایی زمین لغزش و تحلیل تصاویر در دوره‌های زمانی مختلف، می‌توان دگرذیسی سطح زمین لغزش را نیز به خوبی تشریح کرد.

### نتیجه‌گیری

در دهه جدید استفاده از فناوری‌های نوین در حوزه مدیریت شهری و همچنین مدیریت بلایای طبیعی روندی رو به رشدی داشته است. استفاده از سیستم‌های اطلاعاتی جغرافیایی در درجه اول و در پی آن استفاده از فناوری تحلیل تصاویر ماهواره‌ای کمک شایانی به این بخش از مدیریت می‌کند.

در پژوهش حاضر با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای راداری سنتینل ۱ و با روش تداخل‌سنجی راداری شدت زمین لغزش در روستای سرباز در شهرستان سمیرم استان اصفهان محاسبه شد. بخش مثبت نشان‌دهنده انباشت رسوبات بر اثر لغزش‌ها یا در مقیاس کمتر فعالیت‌های انسانی است و بخش و اعداد منفی نشان‌دهنده ریزش‌ها در شیب‌ها و مناطق دیگر است. با توجه به نتایج می‌توان گفت منطقه سرباز از نظر زمین لغزش، منطقه‌ای فعال است. همچنین سه نقطه به‌عنوان نقاط با حساسیت زیاد معرفی شد که در بررسی مشخص شد در درجه خطر متوسط رو به زیاد قرار دارند. نتایج نشان داد که منطقه سرباز در دوره ۲۰۱۷/۰۶/۰۵ تا ۲۰۱۷/۱۲/۱۴، دارای ۰/۰۶۹- جابه‌جایی یعنی نزدیک به ۷ سانتی‌متر، در دوره ۲۰۱۷/۱۲/۱۴ تا ۲۰۱۸/۰۶/۱۲ دارای ۰/۰۳۵- جابه‌جایی یعنی نزدیک به ۴ سانتی‌متر و در دوره ۲۰۱۸/۰۶/۱۲ تا ۲۰۱۸/۱۲/۲۱ دارای ۰/۰۶۴- جابه‌جایی یعنی ۶ سانتی‌متر بوده است. معیارهای متفاوتی در زمین لغزش دخیل‌اند، مانند بارش‌های صورت‌گرفته و جنس زمین (نقشه زمین‌شناسی). براساس آمار سازمان هواشناسی ایران مقدار بارندگی در شش ماه قبل از اخذ اولین تصویر یعنی در ماه‌های دسامبر ۲۰۱۶ و ژانویه، فوریه، مارس، آوریل و می ۲۰۱۷ به ترتیب ۱۴۳، ۳۶، ۱۰۵، ۸۵، ۳۲ و ۲۸ میلی‌متر بوده است. به‌طور میانگین این مقدار بارندگی با توجه به خشکسالی ایران مطلوب است. اما در شش ماه بعدی اخذ تصویر یعنی فاصله زمانی تا تصویر دوم بارندگی بسیار کم بوده است. در ماه‌های ژوئن، جولای، آگوست، سپتامبر و اکتبر بارندگی صفر و در مجموع ماه‌های نوامبر و دسامبر ۲۰۱۷ بارندگی ۳۰ میلی‌متر بوده است. از

معیارهای مؤثر دیگر بر زمین لغزش فعالیت گسل‌های نزدیک به منطقه است. فاصله از گسل‌ها در شکل ۲ (نقشه زمین‌شناسی) نشان داده شده است. همچنین در ماه آگوست سال ۲۰۱۷ زمین‌لرزه‌ای با قدرت ۴/۹ ریشتر با فاصله‌ای کم نسبت به مرزهای جنوب محدوده سرباز اتفاق افتاد که بی‌تأثیر در نتایج زمین لغزش نیست.

## منابع

- [۱]. اسفندیاری درآباد، فریبا؛ و محمدزاده شیشه‌گران مریم (۲۰۲۲). «ارزیابی ناپایداری دامنه‌های جاده‌های اردبیل- حیران با استفاده از تصاویر راداری و تداخل‌سنجی رادار»، *مطالعات علوم محیط زیست*، دوره ۷، شماره ۴، ص ۵۵۹۱-۵۶۰۴.
- [۲]. اصغری سراسکانرود، صیاد؛ و زینالی، بتول (۱۳۹۳). «تحلیل و پهنه‌بندی فراوانی فصلی توفان‌های گردوغباری ایران به‌منظور کاهش مخاطرات»، *مدیریت مخاطرات محیطی*، دوره ۱، شماره ۲، ص ۲۳۹-۲۱۷.
- [۳]. انتظاری، مژگان؛ و کردوانی، موسی (۱۴۰۱). «پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش‌های مبتنی بر GIS و داده‌های راداری (مطالعه موردی: فریدون‌شهر)»، *مخاطرات محیط طبیعی*، دوره ۱۱، شماره ۳۳، ص ۱۷۷-۱۹۶.
- [۴]. بهزاد، اردوان؛ مقیمی، ابراهیم؛ و اسدیان، فریده (۱۳۹۵). «پتانسیل سیل‌خیزی حوضه گرمی با تأکید بر مدیریت مخاطرات با استفاده از روش SCS (رودبار، استان گیلان)، *مدیریت مخاطرات محیطی*، دوره ۳، شماره ۴، ص ۳۳۰-۳۱۵.
- [۵]. بیرانوند، حجت‌اله؛ انتظاری، مژگان؛ و سیف، عبدالله (۱۳۹۵). «برآورد شاخص‌های مورفومتری زمین‌لغزش کبیرکوه»، *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، دوره ۱۶، شماره ۴۱، ص ۵۳-۳۱.
- [۶]. ثابتی، هادی؛ معتق، مهدی؛ شریفی، محمدعلی؛ اکبری، بهمن؛ اکبری‌مهر، مهرداد؛ و فرد، داوود (۱۳۹۸). «بررسی میزان جابه‌جایی زمین‌لغزش ماسوله با روش تداخل‌سنجی راداری به‌منظور مدیریت خطر لغزش»، *علوم و مهندسی آبخیزداری/ایران*، دوره ۱۳، شماره ۴۴، ص ۱۱۳-۱۰۳.
- [۷]. حبیبی، علیرضا (۱۳۹۳). «بررسی زمین‌لغزش‌ها با استفاده از شاخص‌های مورفوتکتونیک»، *مهندسی و مدیریت آبخیز*، دوره ۷، شماره ۱، ص ۹۸-۱۰۸.
- [۸]. حسین‌آبادی، مهدی؛ موسوی، مرتضی؛ و ناظمی، محمد (۱۳۹۸). «پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه و زمین‌لغزش به روش منطق‌فازی در رشته‌کوه باقران (جنوب بیرجند)»، *جغرافیا و توسعه*، دوره ۱۷، شماره ۵۵، ص ۱۷۴-۱۵۳.
- [۹]. خدائی قشلاق، لایلا؛ روستایی، شهرام؛ مختاری، داود؛ و ولی‌زاده کامران، خلیل (۱۴۰۰). «پایش زمین‌لغزش‌ها با استفاده از روش تداخل‌سنجی راداری InSAR (مطالعه موردی: منطقه اهر تا ورزقان)»، *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، دوره ۲۵، شماره ۷۵، ص ۱۲۶-۱۱۳.
- [۱۰]. رضانی، بهمن؛ و ابراهیمی، هدی (۱۳۸۸). «زمین‌لغزش و راهکارهای تثبیت آن»، *فصلنامه جغرافیایی آمایش*، شماره ۷، ص ۱۳۹-۱۲۹.



- [۱۱]. شیرانی، کورش؛ و خوش‌باطن، محبوبه (۱۳۹۴). «بررسی زمین لغزش‌های فعال کواترنری با استفاده از روش تداخل سنجی تفاضلی راداری»، اولین همایش کاربرد علوم کواترنری در شناخت فرایندهای محیطی و دومین همایش انجمن کواترنری ایران، ایران، دانشگاه اصفهان.
- [۱۲]. شیرانی، کورش؛ و خوش‌باطن، محبوبه (۱۳۹۵). «بررسی و پایش زمین لغزش فعال با استفاده از روش تداخل سنجی تفاضلی راداری (مطالعه موردی: زمین لغزش نقل، سمیرم)»، *کواترنری ایران*، دوره ۲، شماره ۱، ص ۶۵-۵۳.
- [۱۳]. شیرانی، کورش (۱۳۹۶). «شناسایی، پایش و بررسی سازوکار زمین لغزش با استفاده از روش تداخل سنجی پراکنش‌کننده‌های دائمی تصاویر ماهواره‌ای رادار با روزه ترکیبی»، *علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)*، دوره ۲۲، شماره ۳، ص ۲۳۴-۲۱۳.
- [۱۴]. صادقی، علی؛ شریفی هاشجین، شهرام؛ رحیمی‌پور شیخانی، محمدعلی؛ و محمودی چناری، حبیب (۱۴۰۱). «شناسایی میزان زمین لغزش با استفاده از روش تداخل سنجی راداری (منطقه پژوهش: شهرستان‌های اردل و کوهرنگ)»، *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، دوره ۱۱، شماره ۱، ص ۱۵۳-۱۳۳.
- [۱۵]. صفامهر، مجید؛ صالحی، محسن؛ نصری، مسعود؛ رهنما، محمدرضا؛ و بور، حسین (۱۳۹۶). «رفتار سنجی و پایدارسازی زمین لغزش براساس برداشت‌های نقشه‌برداری و داده‌های زمین‌شناسی مهندسی (مطالعه موردی: زمین لغزش نقل در منطقه پادنا، سمیرم)»، *مسکن و محیط روستا*، شماره ۱۶۲، ص ۱۵۷-۱۴۵.
- [۱۶]. عابدینی، موسی؛ و محمدزاده شیشه‌گران، مریم (۱۴۰۱). «ارزیابی زمین لغزش با استفاده از تصاویر راداری و تداخل سنجی راداری (منطقه موردی: حوضه نیرچای)»، *مطالعات علوم محیط زیست*، دوره ۷، شماره ۳، ص ۵۱۷۱-۵۱۶۱.
- [۱۷]. غیور بلورفروشان، مهدیه؛ حسین‌زاده، سیدرضا؛ لشکری‌پور، غلامرضا؛ مینائی، مسعود؛ و مربی هروی، حکیمه (۱۴۰۰). «مانیتورینگ زمین لغزش ناشی از زلزله براساس تکنیک تداخل سنجی راداری (منطقه مورد مطالعه: روستای حسین‌آباد کالپوش)»، دومین کنفرانس بین‌المللی علم اطلاعات جغرافیایی بنیادها و کاربردهای بین‌رشته‌ای، مشهد.
- [۱۸]. قهرودی تالی، منیژه؛ افشاری، امیر؛ صدوق، حسن؛ و احتشامی معین‌آبادی، محسن (۱۳۹۸). «ارزیابی ناپایداری دامنه‌ها در ناحیه راه‌آهن لرستان با استفاده از روش تداخل سنجی تفاضلی راداری (DINSAR)»، *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، دوره ۸، شماره ۳، ص ۲۲۰-۱۸۳.
- [۱۹]. میرزانی، صالح؛ و شهایی، هیمن (۱۳۹۸). «ارزیابی و پیش‌بینی مکانی مخاطره

- زمین لغزش در جاده کوهستانی سنندج- کامیاران با استفاده از الگوریتم‌های پیشرفته داده کاوی»، *مدیریت مخاطرات محیطی*، دوره ۶، شماره ۴، ص ۳۴۰-۳۱۷.
- [۲۰]. نوجوان، محمدرضا (۱۳۹۵). «بررسی مورفومتری و پایش زمین لغزش به کمک سنجش از دور (مطالعه موردی: زمین لغزش هاردنگ، غرب استان اصفهان)»، *جغرافیای طبیعی*، دوره ۹، شماره ۳۳، ص ۱۰۷-۹۵.
- [21]. Bondur, V. G.; Chimitdorzhiev, T. N.; Dmitriev, A. V.; & Dagurov, P. N. (2022). "Assessment of the Bureya River Landslide Reactivation Using the Persistent Scatterer Interferometry", *Doklady Earth Sciences*, 502(1), pp: 31-36, Pleiades Publishing.
- [22]. Casagli, N.; Cignab, F.; Bianchini, S.; Hölbling, D.; Fürede, P.; Righini, G.; Del Contee, S.; Friedl, B.; Schneiderbauer, S.; Iasio, C.; Vlcko, J.; Greif, V.; Proske, H.; Granica, K.; Falco, S.; Lozzi, S.; Mora, O.; Arnaud, A.; Novali, F.; & Bianchi, M. (2016). "Landslide mapping and monitoring by using radar and optical remote sensing: Examples from the EC-FP7 project SAFER", *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, Volume 4, pp: 92-108.
- [23]. Deming, M.; Yongsheng, L.; Jianwei, C.; Bingquan, L.; Yanxiong, L.; & Xingguo, C. (2020). "Real-Time Diagnosis of Island Landslides Based on GB-RAR", *Journal of Marine Science and Engineering, J. Mar. Sci. Eng*, 8, 192.
- [24]. Hammad, M.; Mucsi, L.; & Leeuwen, B.V. (2019). "Landslide Investigation Using Differential Synthetic Aperture Radar Interferometry: a Case Study Of Balloran Dam Area in Syria", *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLII-3/W8, 2019 Gi4DM 2019 – GeoInformation for Disaster Management, 3–6 September 2019, Prague, Czech Republic.
- [25]. Ichsandya, D. B.; Dimiyati, M.; Shidiq, I. P. A.; Zulkarnain, F.; Rahatiningtyas, N. S.; Syamsuddin, R. P.; & Zein, F. M. (2022). "Landslide assessment using interferometric synthetic aperture radar in Pacitan, East Java", *International Journal of Electrical & Computer Engineering* (2088-8708), 12(3).
- [26]. Mishra, V.; & Jain, K. (2022). "Satellite based assessment of artificial reservoir induced landslides in data scarce environment: A case study of Baglihar reservoir in India", *Journal of Applied Geophysics*, 205, 104754.
- [27]. Tofani, Veronica; Raspini, Federico; Catani, Filippo; & Casagli, Nicola (2013). "Persistent Scatterer Interferometry (PSI) Technique for Landslide Characterization and Monitoring", *Remote Sens.* 2013, 5, 1045-1065.
- [28]. Shankar, H.; Singh, D.; & Chauhan, P. (2022). "Landslide deformation and temporal prediction of slope failure in Himalayan terrain using PSInSAR and Sentinel-1 data", *Advances in Space Research*.
- [29]. Wang, Z.; Xu, J.; Shi, X.; Wang, J.; Zhang, W.; & Zhang, B. (2022). "Landslide Inventory in the Downstream of the Niulanjiang River with ALOS PALSAR and Sentinel-1 Datasets", *Remote Sensing*, 14(12), 2873.