

مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره دهم، شماره بیست و هشتم، تابستان ۱۴۰۰

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۲/۰۲

تاریخ بازنگری نهایی مقاله: ۱۳۹۹/۰۸/۰۱

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۹/۲۲

صفحات: ۱۷۰ - ۱۵۱

مقاله علمی پژوهشی

پایش نرخ جابجایی رانش زمین با استفاده از تکنیک پراکنش کننده‌های دائمی تصاویر راداری سنتینل ۱ (مطالعه موردی: رانش مشایخ، شهرستان ممسنی فارس)

علی مهربانی^{۱*}، محسن پورخسروانی^۲، ساناز بازگیر^۳

۱. * استادیار، گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه شهید باهنر کرمان

۲. دانشیار، گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه شهید باهنر کرمان

۳. دانشجوی کارشناسی ارشد مخاطرات محیطی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

چکیده

رانش زمین از جمله مخاطرات طبیعی است که به واسطه حرکات آرام، مستمر و تدریجی آن، پایش جابجایی و تغییرات آن مستلزم استفاده تکنیک‌های خاصی می‌باشد. در این راستا تکنیک تداخل سنجی پراکنش کننده‌های دائمی با برخورداری از پوشش زمینی وسیع و نیز قدرت تفکیک زمانی و مکانی بالا، یکی از دقیق‌ترین و کم هزینه‌ترین فنون سنجش از دور، برای شناسایی و نمایش جابجایی‌های موجود آمده در سطح زمین است. از آنجایی که روستای مشایخ شهرستان ممسنی فارس چندین سال است که با معضل رانش زمین درگیر است و این پدیده باعث تخریب تدریجی خانه‌ها و مزارع روستاییان شده است، این پژوهش سعی دارد تا با استفاده از تکنیک مذکور جابجایی توده رانشی را مورد ارزیابی و پایش قرار دهد. بدین منظور ۷۵ تصویر راداری از سنجنده سنتینل ۱ طی ۳ دوره از سال ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۹ انتخاب و با روش پراکنش کننده‌های دائمی پردازش گردید. بر اساس نتایج به دست آمده حداکثر نرخ جابجایی صورت گرفته در سطح توده رانشی از تاریخ ۲ اکتبر ۲۰۱۴ تا ۳۱ می ۲۰۱۶ به میزان ۵/۱ سانتیمتر در سال، طی زمان ۱۸ جولای ۲۰۱۶ تا ۲۸ دسامبر ۲۰۱۷ به میزان ۵/۳ سانتیمتر در سال و در طول زمان ۹ ژانویه ۲۰۱۸ تا ۲۷ جولای ۲۰۱۹ به ۵/۷ سانتیمتر در سال رسیده است. علاوه بر آن مساحت توده رانشی از ۳/۵ کیلومتر مربع به ۴ کیلومتر مربع گسترش یافته است. نتایج پژوهش حاکی از جابجایی مداوم، مستمر و پیشرونده گستره رانشی مشایخ در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

واژگان کلیدی: رانش زمین، نرخ جابجایی، روش پراکنش کننده‌های دائمی، روستای مشایخ، تصویر سنتینل ۱.

مقدمه

رانش زمین یکی از فرآیندهای مداوم و مستمر بیرونی است که موجب تغییر شکل سطح زمین شده و لندفرم‌های خاصی را بوجود می‌آورد. این پدیده در مناطقی رخ می‌دهد که تنش برشی مواد بیش از مقاومت برشی آن باشد که در قالب واژه رایج ناپایداری یا گسیختگی دامنه‌ای^۱ از آن یاد می‌شود (Wan westen et al., 2009; Shia et al., 2019). رانش زمین یکی از مخاطرات طبیعی است که هر ساله خسارت‌های جانی و مالی گسترده‌ای را در مناطق کوهستانی، پرباران و لرزه‌خیز دنیا به همراه دارد (شیرانی و خوش‌باطن، ۱۳۹۵). کشور ایران با توپوگرافی عمدتاً کوهستانی، فعالیت زمین‌ساختی و لرزه‌خیزی زیاد، شرایط متنوع زمین‌شناسی و اقلیمی، شرایط طبیعی مناسبی را برای وقوع طیف وسیعی از حرکات دامنه‌ای بخصوص رانش زمین و زمین لغزش را دارد. زمین لغزش در ایران به عنوان یک بلای طبیعی، سالانه خسارات جانی و مالی فراوانی را به دنبال دارد (روستایی و همکاران، ۱۳۹۲). به همین علت شناسایی و تاثیر حرکات دامنه‌ای فعال کوتاه‌تری به عنوان یکی از جلوه‌های فرسایش در تهدید مناطق مسکونی، مزارع، مخازن سدها و تخریب جاده‌های ارتباطی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. از آنجا که رخداد رانش زمین بواسطه حرکات کند و بطئی به سهولت قابل درک و شناسایی نبوده و اندازه‌گیری میزان حرکت آن مستلزم مطالعات و ابزار خاصی است. هرچند محققین مختلف از تکنیک‌ها و ابزارهای متعددی جهت شناسایی و پایش زمین لغزش‌ها استفاده نموده‌اند با وجود اینکه چند دهه اخیر، تکنیک تداخل‌سنجی راداری^۲ با برخورداری از پوشش زمینی وسیع، مکرر و پیوسته، و نیز قدرت تفکیک زمانی و مکانی زیاد، به عنوان یکی از دقیق‌ترین و کم هزینه‌ترین فنون سنجش از دور، برای شناسایی و نمایش جابجایی‌های بوجود آمده در سطح زمین ارائه شده است (Gabriel et al., 1989; Agostini et al 2012; Lin et al., 2019 Jebur et al., 2014; Schlög et al., 2015; Nobile et al., 2018). قابلیت این تکنیک در زمینه آشکارسازی و پایش پدیده حرکات (علی‌رغم مزایای تکنیک تداخل‌سنجی راداری، تغییر در ماهیت پراکندگی سطح زمین با گذشت زمان به کارگیری این روش را محدود می‌کند (Bovenga et al., 2012) در پایان سال ۲۰۰۰ گروه‌های مختلفی راه‌هایی برای کاهش محدودیت‌های تداخل‌سنجی راداری ارائه کردند. یک روش تشکیل اینترفروگرام‌های فراوان و سنجش جابجایی مربوط به پدیده‌هایی که ویژگی پراکنشی آنها کمترین تغییر را در طول زمان دارند، بوده است که به تکنیک بازپراکنش‌کننده‌های دائمی شهرت گرفت (Ferretti et al., 2007; Hooper and Bekaert, 2012; Del Soldato et al., 2001; Lundgren et al., 2018). بنابراین به دلیل محدودیت‌های روش تداخل‌سنجی متداول، تکنیک بازپراکنش‌کننده‌های دائمی ارائه شد. این تکنیک در مواردی که نرخ جابجایی در منطقه کم بوده و پیکسل‌ها دچار عدم همبستگی زمانی می‌شوند کاربرد دارد (Ferretti et al., 2015; Hooper, 2006; Hooper et al., 2012).

روستایی و همکاران (۱۳۹۲) به منظور شناسایی و پایش زمین لغزش‌های حوزه آبخیز گرم چای میانه، و محاسبه میزان حرکات آن‌ها، از تکنیک تداخل‌سنجی تفاضلی استفاده کردند. بدین منظور، تعداد هشت تصویر راداری از سنجنده PALSAR ماهواره ALOS انتخاب شد. نتایج این پژوهش به خوبی نشان می‌دهد که فعالیت در سطح تعدادی از زمین لغزش‌های تثبیت شده قدیمی همچنان وجود داشته و به دلیل مجاورت آن‌ها با شبکه هیدرولوژیکی

¹ - Slope Failure

² - InSAR

منطقه می‌توانند به عنوان منبع مهم رسوب زایی در نظر گرفته شوند. بیشترین جابجایی صورت گرفته ۵/۸ سانتی متر برآورد شده که مربوط به یک جریان واریزه‌ای شناسائی شده در مجاورت روستاهای آتاجان، بناوران و اوین است. شیرانی و خوش‌باطن (۱۳۹۵) در مقاله بررسی و پایش زمین لغزش فعال با استفاده از روش تداخل سنجی تفاضلی رادار، به مطالعه و پایش زمین‌لغزش نقل سمیرم پرداخته است، در تحقیق مورد نظر از ده تصویر راداری سنجنده ASAR استفاده شده بود. نتایج به دست آمده نشان داد که توده لغزشی نقل در طول مدت زمان اخذ تصاویر راداری، فعال بوده است و نرخ جابجایی آن در حدود ۸ سانتیمتر در سال تعیین شده است. لین و همکاران^۱ (۲۰۱۹) با استفاده از روش پراکنش‌کننده‌های دائمی به بررسی رانش زمین در منطقه لاپاز کشور بولیوی پرداخته‌اند، در تحقیق مورد نظر از تصاویر سنتینل ۱ استفاده شده است. نتایج تحقیق نشان داد که چندین توده رانشی در منطقه وجود دارد که نرخ جابجایی آنها به ۱۵ سانتیمتر در سال نیز می‌رسد. رفیس و همکاران^۲ (۲۰۱۹) در پژوهشی رانش زمین در شهر بووینو ایتالیا را مورد پایش قرار داده، در تحقیق مورد نظر از روش پراکنش‌کننده‌های دائمی استفاده شده است، نتایج این تحقیق نشان داد که رانش مذکور به طور فزاینده‌ای در حال گسترش است. راکولس و همکاران^۳ (۲۰۲۰) با استفاده از تصاویر راداری Alos Palsar مناطق درگیر با پدیده زمین لغزش در جنوب کشور فرانسه را مورد بررسی قرار داده، بر اساس نتایج به دست آمده از این تحقیق می‌توان روش پراکنش‌کننده‌های دائمی را به عنوان یکی از بهترین روش‌های پایش ناپایداری‌های دامنه‌ای محسوب کرد. اسلان و همکاران^۴ (۲۰۲۰) نیز از روش پراکنش‌کننده‌های دائمی در پایش رانش زمین در مناطق کوه‌های آلپ در جنوب فرانسه استفاده کردند. نتایج حاصل از این تحقیق نیز موید دقیق بودن روش مذکور در مطالعه مناطق رانشی است.

منطقه ممسنی واقع در شمال غرب شیراز دارای شیب‌های طبیعی متعددی با پتانسیل لغزش می‌باشد. از آنجا که رانش اتفاق افتاده در روستای مشایخ با خسارات‌های مادی قابل توجهی همراه بوده است. ضرورت بررسی دقیق پدیده رانش زمین در این منطقه معلوم می‌شود. رانش مداوم زمین طی چند سال اخیر باعث خسارات زیادی به منازل مسکونی و به طور کلی باعث سلب امنیت روان در ساکنین روستای مشایخ شده است. شناسایی محدوده رانشی و تعیین نرخ جابجایی می‌تواند در تصمیم‌گیری‌های آتی روستا بسیار راهگشا باشد. بنابراین در این پژوهش نیز سعی شد تا با استفاده از این روش جدید به بررسی توده لغزشی مشایخ پرداخته شود تا ضمن شناسایی محدوده توده رانشی، نرخ جابجایی آن نیز در طول زمان مورد پایش قرار گیرد.

داده‌ها و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه

رانش مورد مطالعه در محدوده روستای مشایخ از توابع شهرستان ممسنی استان فارس واقع شده است. این محدوده دارای مختصات ۵۱ درجه و ۵۴ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۵۶ دقیقه طول شرقی و ۲۹ درجه و ۵۳ دقیقه تا ۲۹ درجه و

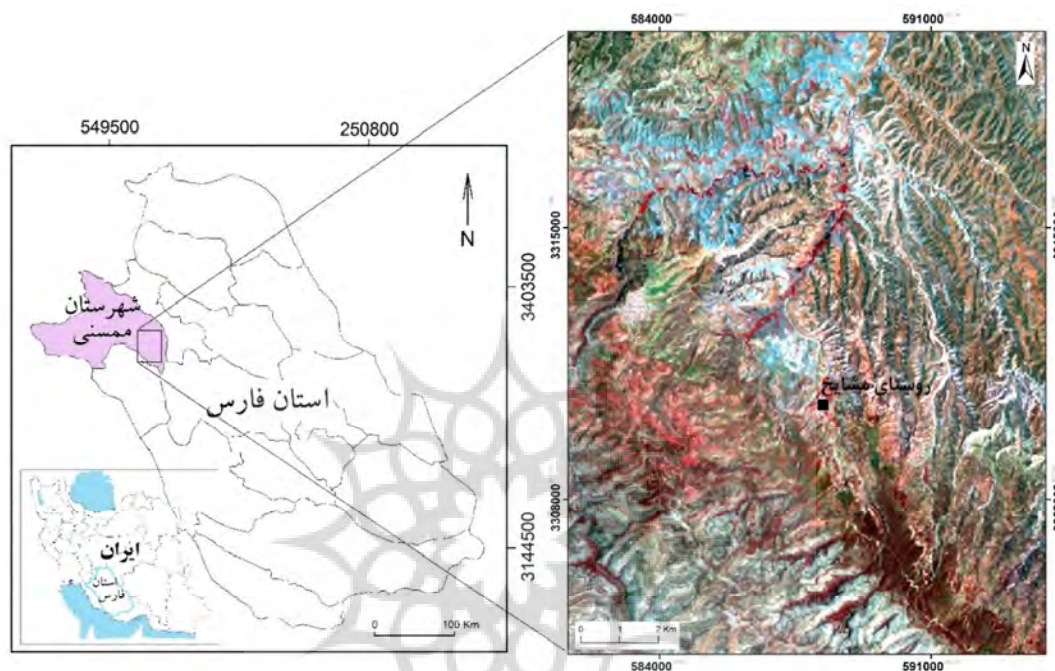
^۱ - Lin et al.

^۲ - Refice et al.

^۳ - Raucoules et al.

^۴ - Aslan et al.

۵۸ دقیقه عرض شمالی است. منطقه مورد مطالعه در زون زاگرس چین خورده واقع شده است. حداکثر ارتفاع ۲۸۸۰ مترکوه انار در جنوب روستای مشایخ و حداقل ارتفاع ۱۴۶۰ متر در مصب رودخانه فهلیان، شمال محدوده رانشی است. موقعیت منطقه مورد مطالعه در شکل شماره ۱ مشاهده می‌شود.



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه، منبع: نگارندگان، ۱۳۹۹.

در این پژوهش از ۷۵ سری داده راداری مربوط به ماهواره Sentinel 1، موشک Soyuz سازمان فضایی اروپا با فرمت SLC از نوع مد Image با پلاریزاسیون ۷۷، که طی سه دوره حدوداً یک سال و نیمه از ۲ اکتبر ۲۰۱۴ تا ۲۷ جولای ۲۰۱۹ برداشت شده است، استفاده شد. تحلیل‌های انجام گرفته در محیط سیستم عامل لینوکس و با استفاده از نرم-افزار Stamps 4.1-beta انجام گرفت. همچنین مدل ارتفاع رقومی استفاده شده در این تحقیق از نوع SRTM 30 می‌باشد. جدول شماره ۱ مشخصات داده‌های مورد استفاده در این پژوهش را نشان می‌دهد.

جدول ۱: مشخصات تصاویر سنتینل مورد استفاده در تحقیق، منبع: نگارندگان، ۱۳۹۹.

| دوره اول ۲۰۱۶/۵/۳۱ - ۲۰۱۴/۱۰/۲ | | | دوره دوم ۲۰۱۷/۱۲/۲۸ - ۲۰۱۶/۷/۱۸ | | | دوره سوم ۲۰۱۹/۷/۲۷ - ۲۰۱۸/۱/۹ | | |
|-----------------------------------|----------|-------|------------------------------------|----------|-------|----------------------------------|------------|-------|
| خط مبنای عمودی | تاریخ | شماره | خط مبنای عمودی | تاریخ | شماره | خط مبنای عمودی | تاریخ | شماره |
| ۶۸ | 20141002 | ۱ | ۴۲ | 20160718 | ۱ | ۳۵ | ۲۰۱۸/۱/۹ | ۱ |
| ۵ | 20141114 | ۲ | -۷ | 20160811 | ۲ | ۷۸ | ۲۰۱۸/۲/۲ | ۲ |
| ۴ | 20141208 | ۳ | ۷۵ | 20160904 | ۳ | ۴۰ | ۲۰۱۸/۲/۲۶ | ۳ |
| -۲۲ | 20150101 | ۴ | -۲۵ | 20161022 | ۴ | ۷۸ | ۲۰۱۸/۳/۲۲ | ۴ |
| -۷۶ | 20150125 | ۵ | ۷۲ | 20161115 | ۵ | ۷۷ | ۲۰۱۸/۴/۳ | ۵ |
| ۸ | 20150218 | ۶ | ۲۰ | 20161209 | ۶ | ۱۶ | ۲۰۱۸/۵/۹ | ۶ |
| -۳ | 20150302 | ۷ | ۵۱ | 20170126 | ۷ | -۹ | ۲۰۱۸/۵/۳۱ | ۷ |
| ۵۷ | 20150326 | ۸ | ۵۲ | 20170207 | ۸ | ۴۷ | ۲۰۱۸/۷/۸ | ۸ |
| ۳۴ | 20150419 | ۹ | ۲ | 20170315 | ۹ | -۲۸ | ۲۰۱۸/۷/۲۰ | ۹ |
| ۸۴ | 20150513 | ۱۰ | ۵۱ | 20170327 | ۱۰ | ۴۵ | ۲۰۱۸/۸/۲۵ | ۱۰ |
| -۷۰ | 20150606 | ۱۱ | -۶۶ | 20170420 | ۱۱ | -۲۹ | ۲۰۱۸/۹/۱۸ | ۱۱ |
| -۸۰ | 20150630 | ۱۲ | -۴۳ | 20170502 | ۱۲ | ۰ | ۲۰۱۸/۹/۳۰ | ۱۲ |
| -۱۱۶ | 20150724 | ۱۳ | ۶۳ | 20170526 | ۱۳ | ۱۱۱ | ۲۰۱۸/۱۰/۲۴ | ۱۳ |
| ۰ | 20150817 | ۱۴ | ۰ | 20170607 | ۱۴ | ۴ | ۲۰۱۸/۱۱/۱۷ | ۱۴ |
| -۱۴ | 20150910 | ۱۵ | -۱۵ | 20170619 | ۱۵ | ۵۹ | ۲۰۱۸/۱۱/۲۹ | ۱۵ |
| -۸۴ | 20151004 | ۱۶ | ۳ | 20170701 | ۱۶ | ۷۹ | ۲۰۱۸/۱۲/۱۱ | ۱۶ |
| ۸۸ | 20151028 | ۱۷ | ۴۷ | 20170725 | ۱۷ | ۴۱ | ۲۰۱۹/۱/۱۶ | ۱۷ |
| -۱۳ | 20151121 | ۱۸ | -۱۶ | 20170818 | ۱۸ | ۴ | ۲۰۱۹/۳/۵ | ۱۸ |
| -۵ | 20151215 | ۱۹ | -۲۸ | 20170830 | ۱۹ | -۳۸ | ۲۰۱۹/۳/۲۹ | ۱۹ |
| ۵۳ | 20160108 | ۲۰ | -۲۹ | 20170911 | ۲۰ | ۴۷ | ۲۰۱۹/۴/۱۰ | ۲۰ |
| -۳ | 20160201 | ۲۱ | ۶۱ | 20171017 | ۲۱ | -۷۸ | ۲۰۱۹/۴/۲۲ | ۲۱ |
| -۱۴ | 20160225 | ۲۲ | -۴۳ | 20171029 | ۲۲ | ۲۵ | ۲۰۱۹/۵/۴ | ۲۲ |
| -۴۳ | 20160320 | ۲۳ | ۴ | 20171122 | ۲۳ | ۴۴ | ۲۰۱۹/۶/۲۱ | ۲۳ |
| -۱۰۴ | 20160413 | ۲۴ | -۲ | 20171210 | ۲۴ | ۳۹ | ۲۰۱۹/۷/۱۵ | ۲۴ |
| -۲۶ | 20160531 | ۲۵ | ۱۱۷ | 20171228 | ۲۵ | -۲۹ | ۲۰۱۹/۷/۲۷ | ۲۵ |

تداخل سنجی راداری

برای اولین بار فن آوری تداخل سنجی راداری توسط گابریل و همکارانش^۱ (۱۹۸۹) با استفاده از ۳ تصویر مورد استفاده قرار گرفت. این تکنیک امکان تشخیص تغییرات بسیار کوچک در مقیاس روزانه تا سالانه را بر روی سطح زمین و در ابعاد مختلف، در هر شرایط آب و هوایی، در شب و روز و با قابلیت اعتماد زیاد فراهم می‌سازد. در روش تداخل سنجی راداری دو تصویر سار^۲ که توسط آنتن‌های ویژه نصب شده بر روی ماهواره اخذ شده اند با هم ترکیب

^۱ - Gabriel et al.

^۲ - SAR

یافته تا نقشه تغییر شکل پوسته زمین حاصل شود. تداخل نگاشت ها با ضرب تصویر اول بعنوان تصویر پایه در مزدوج تصویر دوم به عنوان تصویر پیرو که به صورت اعداد مختلط هستند، تولید می شوند. نتیجه این حاصل ضرب شامل اختلاف فاز دو تصویر می باشد (Hooper, 2008) حلقه‌های ایجاد شده معرف جابجایی پوسته زمین در راستای دید ماهواره، حد فاصل زمانی اخذ دو تصویر هستند. همانطور که از رابطه ۱ مشخص است، فاز تداخل نگاشت تولید شده مجموع چند مولفه است:

$$\Phi_{int} = \Phi_{topo} + \Phi_{disp} + \Phi_{atm} + \Phi_{orb} + \Phi_{nois} \quad (۱)$$

Φ_{int} = فاز تداخل نگاشت

Φ_{topo} = مولفه توپوگرافی

Φ_{disp} = مولفه جابجایی

Φ_{atm} = مولفه اتمسفر

Φ_{orb} = مولفه مداری

Φ_{nois} = مولفه نویز

مولفه های این معادله به ترتیب عبارتند از: اثر فاز عامل توپوگرافی، مولفه جابجایی سطح، اثر مولفه اتمسفر، مولفه مداری و نویز، همواره هدف اصلی یافتن مولفه جابجایی سطح زمین است که با کاهش و یا از بین بردن اثرات مولفه های دیگر انجام می شود اثر مدار با استفاده از پارامترهای دقیق مدار ماهواره، از بین می رود. مولفه اتمسفر معمولا در مناطق گرم و خشک به دلیل عدم وجود رطوبت صفر در نظر گرفته می شود. اثر عامل توپوگرافی نیز توسط یک مدل رقومی زمین قابل حذف است. با حذف اثرات مزاحم، حلقه‌هایی ایجاد می شود که هر سیکل آنها معادل جابجایی پوسته زمین به میزان نصف طول موج رادار است، که این میزان برای تصویر سنتینل ۱ معادل ۲۸ میلیمتر در امتداد خط دید ماهواره است (Ferretti et al. 2015).

نمودار گردش کار در شکل شماره ۲ نمایش داده شده است. بر این اساس ابتدا بعد از انتخاب تصاویر مناسب جهت تداخل سنجی، اینترفروگرام‌های (تداخل نگاشت) مربوطه تهیه شده و بعد از انجام عملیات تحلیل فاز نقاط پراکنش-کننده دائمی مورد شناسایی و انتخاب قرار می گیرد و در نهایت میزان جابجایی متعلق به هر نقطه محاسبه می شود. در ادامه مبنای نظری روش مورد مطالعه تشریح می شود.

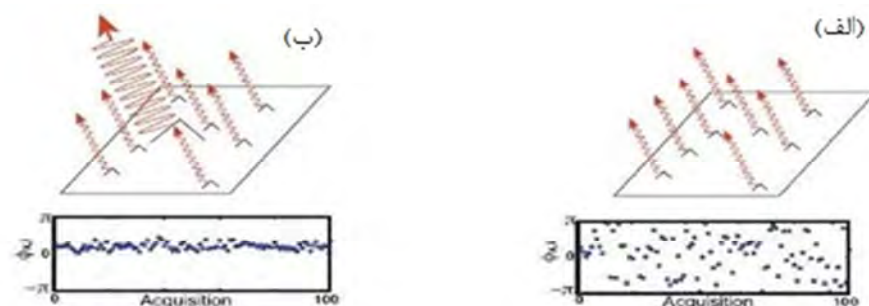


شکل ۲: نمودار گردش کار منبع: نگارندگان، ۱۳۹۹.

تکنیک پراکنش کننده های دائمی

به دلیل محدودیتهای روش تداخل سنجی متداول، فرتی و همکارانش^۱ (۲۰۰۱) تکنیک باز پراکنش کننده های دائمی را ارائه کردند. پراکنش کننده های دائمی عوارضی هستند که ویژگیهای پراکنشی آنها در طول زمان ثابت است و دچار عدم همبستگی زمانی نمی شوند. این عوارض که عمدتاً سازه های دست بشر هستند، دچار عدم همبستگی زمانی نمی شوند. پیکسلهایی وجود دارند که در آنها یک پراکنش کننده در آن پیکسل غالب است و مانند یک پراکنش کننده نقطه ای دائم رفتار می کند. بنابراین مقدار عدم همبستگی به طور قابل توجهی کاهش می یابد. شکل شماره ۳ پراکنش کننده هایی را که در مقدار فاز برگشتی از پیکسل شرکت دارند، نشان می دهد. شکل شماره ۳ الف نشان دهنده فاز موج راداری مربوط به همه باز پراکنش کننده های درون یک پیکسل است. در شکل شماره ۳ ب بیشترین سهم فاز، مربوط به موجک بازتابش شده از پراکنش کننده دائمی است که سه برابر از مجموع سایر پراکنش کننده های موجود در پیکسل روشن تر است. حتی اگر سایر پراکنش کننده های موجود در پیکسل نسبت به هم حرکت کنند، سیگنال دریافتی از این پیکسل تغییرات بسیار کمی خواهد داشت و می توان از طریق فاز موج برگشتی از پیکسل هرگونه حرکت آن پراکنش کننده را اندازه گیری نمود. نمودار ترسیم شده در زیر این شکلها، فاز دریافتی از پیکسل را در ۱۰۰ بار تکرار نشان می دهد. در هر تکرار پراکنش کننده های درون پیکسل بطور تصادفی نسبت به هم حرکت کرده اند (Hooper, 2008).

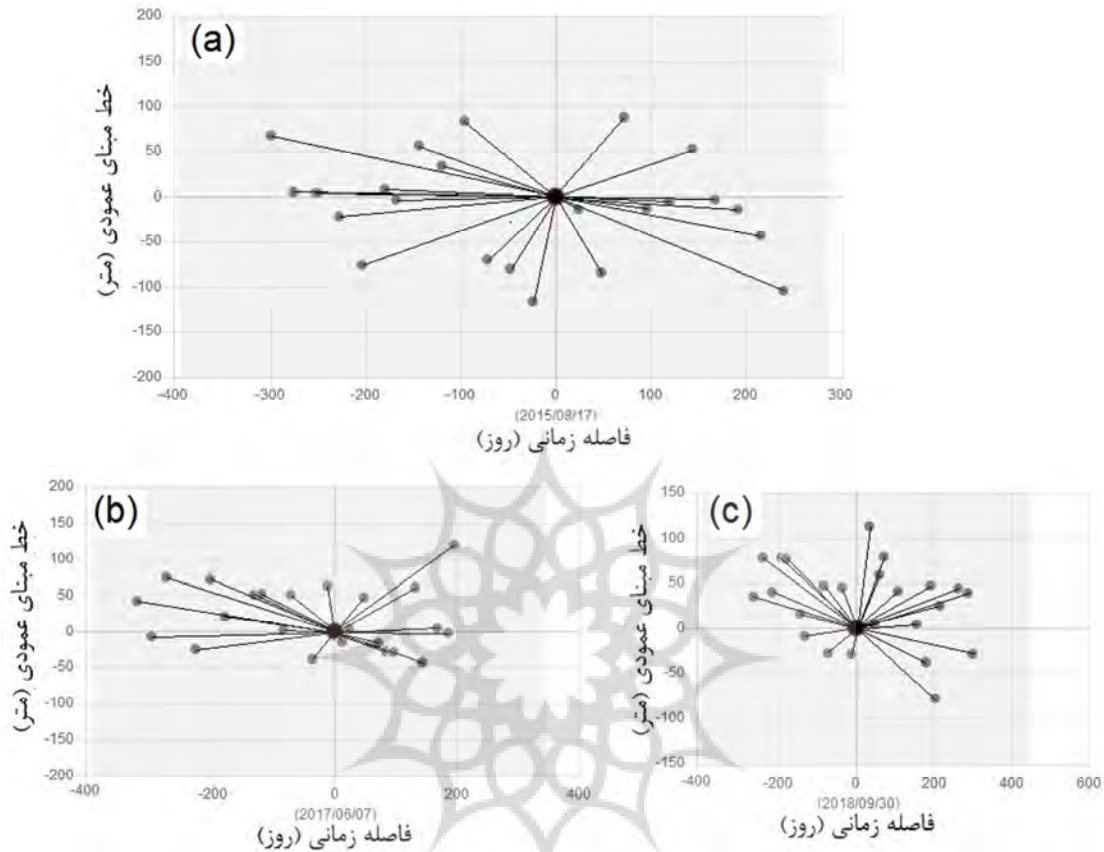
¹ - Ferretti et al.



شکل ۳: پراکنش‌کننده‌هایی که در مقدار فاز برگشتی از پیکسل شرکت دارند، الف: پیکسل بدون پراکنش‌کننده دائمی، ب: پیکسل دارای پراکنش‌کننده دائمی. (Hooper, 2008)

با استفاده از تکنیک پراکنش‌کننده‌های دائمی امکان اندازه‌گیری جابجایی زیر سانتیمتر وجود دارد. این تکنیک در مواردی که نرخ جابجایی در منطقه کم بوده و پیکسل‌ها دچار عدم همبستگی زمانی می‌شوند مفید است. همچنین خطای توپوگرافی باقیمانده و اثر اتمسفر را تا حدود زیادی تصحیح می‌کند (Hooper, 2008).

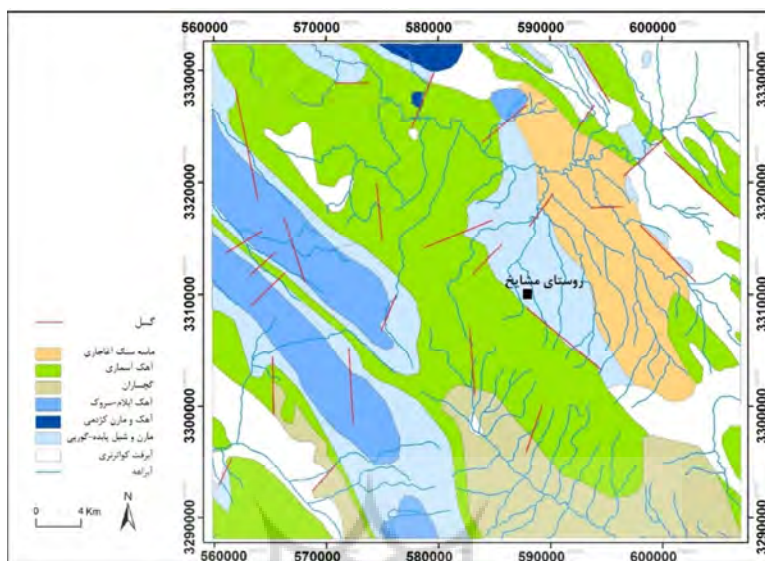
در روش پردازش پراکنش‌کننده‌های دائمی Stamps که اخیراً توسط دانشگاه استنفورد ارائه شده است، با استفاده از تحلیل فاز می‌توانیم بسیاری از نقاط پراکنش‌کننده دائمی را که حتی در مناطق غیر شهری (عاری از بازتابنده‌های گوشه‌ای) قرار دارند، مشخص نماییم. در این روش به جای استفاده از یک مدل زمانی برای تغییر شکل از همبستگی مکانی اندازه‌گیری فاز استفاده می‌کند، به همین دلیل در مناطقی که جابجایی دارای رفتار غیر ثابت و نامشخص است می‌توان از این روش استفاده کرد. زمانی که پراکنش‌کننده‌های دائمی مشخص شدند، این الگوریتم مراحل مختلفی را برای حذف اثرات اتمسفر، خطای توپوگرافی و خطای مداری به کار خواهد برد. روش Stamps قادر است پراکنش‌کننده‌های دائمی با تغییر شکل متغیر در زمان را شناسایی کند و از آنجا که در انتخاب پراکنش‌کننده‌های دائمی از تحلیل فاز استفاده می‌کند، می‌تواند در مناطقی که عاری از عوارض دست‌ساز بشری است، مورد استفاده قرار گیرد. روشهایی که تنها بر اساس تحلیل دامنه کار می‌کنند، تنها قادر خواهند بود عوارضی همچون، بازتابنده‌های گوشه‌ای که برگشت قوی به سمت سنجنده دارند را مشخص کنند و از یافتن آن‌هایی که برگشت قوی به سمت سنجنده ندارند مانند یک قطعه سنگ، عاجزند. در روش سری زمانی الگوریتم پراکنش‌کننده‌های دائمی، همه اینترفروگرامها نسبت به یک تصویر پایه تشکیل می‌شود. در این روش اینترفروگرام‌هایی که تنها در نقاط خاصی همبسته هستند و خط مبنای زمانی - مکانی بلند دارند، بدون توجه به عدم همبستگی زمانی تشکیل می‌شوند. بنابر این قادر به تشکیل اینترفروگرام از تمام جفت تصاویر نسبت به یک تصویر مرجع خواهیم بود. شکل شماره ۴ نمودار ارتباطی بین تصاویر پیرو و تصویر پایه را برای هر سه دوره داده‌های راداری نمایش می‌دهد. هر یک از خطوط ارتباطی در شکل نشان‌دهنده یک اینترفروگرام است.



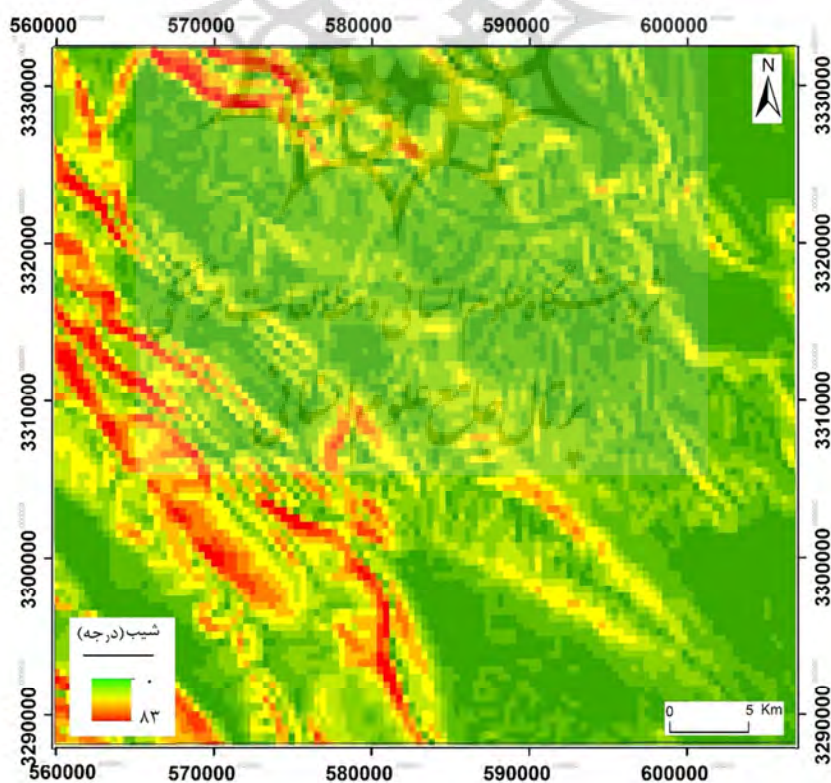
شکل ۴: نمودار ارتباطی بین تصاویر پایه (نقاط مشکی رنگ) و پیرو (نقاط خاکستری رنگ) برای سه دوره زمانی. a: ۲۰۱۴/۱۰/۲ تا ۲۰۱۷/۱۲/۲۸ b: ۲۰۱۶/۷/۱۸ تا ۲۰۱۷/۱۲/۲۸ c: ۲۰۱۸/۱/۹ تا ۲۰۱۹/۷/۲۷ منبع: نگارندگان، ۱۳۹۹.

وضعیت زمین شناسی منطقه

به لحاظ تقسیمات واحدهای زمین شناسی ایران، محدوده مورد مطالعه در زون زاگرس چین خورده واقع شده است. مورفولوژی و چین خوردگی های زاگرس حاصل کوهزایی رخ داده در دو مرحله یکی در اواخر کرتاسه و دیگری در پلیوسن، است. ساختار کلی زاگرس و شکستگی ها در مرحله دوم شکل گرفته است. منطقه مورد مطالعه به لحاظ تکتونیکی در یک موقعیت فعال تکتونیکی قرار دارد. به طوری که بین دو گسل بزرگ قطر-کازرون در غرب و گسل کره بس در شرق احاطه شده است. قدیمی ترین سنگ های این منطقه مربوط به کرتاسه زیرین (سازندهای گروه بنگستان) و جدیدترین آن مربوط به ماسه سنگ آقاجاری و آبرفت های دوران حاضر است (شکل ۵). چین خوردگی های موجود در این منطقه دارای امتداد کلی جنوب شرق-شمال غرب بوده و سازندهای زمین شناسی غالب منطقه، شامل سازند آهکی آسماری، شیل و مارنی پابده-گورپی، آهک ایلام-سروک و سنگ های تبخیری گچساران می شود. همانطور که در شکل شماره ۵ مشخص است روستای مشایخ بر روی سازند پابده-گورپی قرار دارد (شفیعی و همکاران، ۱۳۹۸). نقشه شیب منطقه مورد مطالعه در شکل شماره ۶ مشخص شده است.



شکل ۵: نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه، منبع: نگارندگان، ۱۳۹۹.



شکل ۶: نقشه شیب منطقه مورد مطالعه، منبع: نگارندگان، ۱۳۹۹.

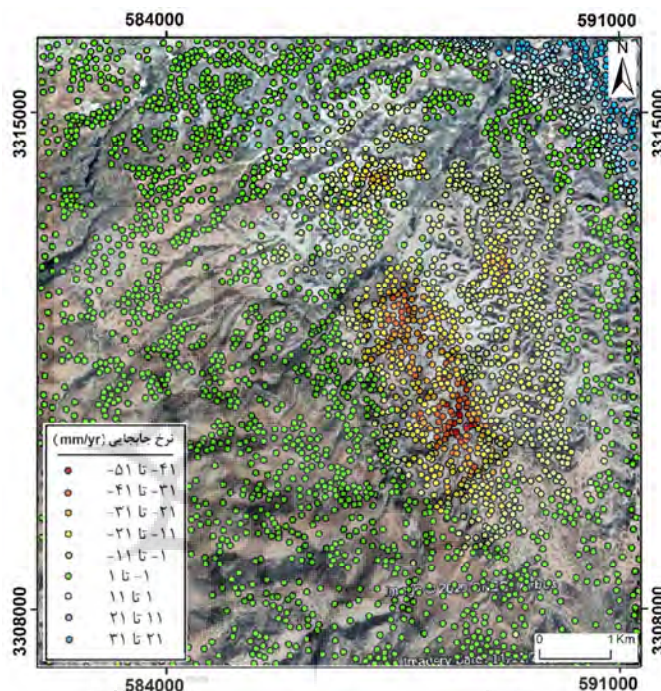
نتایج و بحث

بر اساس نمودار ارتباطی تهیه شده بین تصاویر پیرو و تصویر پایه (شکل ۳) جفت تصاویر مناسب به لحاظ کوتاه‌ترین خط مکانی و زمانی، جهت تولید تداخل‌نگاشت مشخص شده است. همانطور که در شکل شماره ۳ مشخص است، حداکثر خط مبنای عمودی بین ۱۵۰+ تا ۱۵۰- به دست آمده است. علاوه بر آن جهت انجام الگوریتم تداخل‌سنجی پراکنش‌کننده‌های دائمی، تصویر مربوط به تاریخ ۲۰۱۵/۸/۱۷ برای دوره اول، ۲۰۱۷/۶/۷ برای دوره دوم و ۲۰۱۸/۹/۳۰ برای دوره سوم به عنوان تصاویر پایه و تصاویر دیگر به عنوان پیرو به کار رفته‌اند. با اعمال روش تداخل-سنجی به صورت سری زمانی بر روی ۲۵ تصویر اخذ شده در هر دوره، تعداد ۲۴ تداخل‌نگاشت از محدوده مورد مطالعه استخراج شد. تداخل‌نگاشت‌های به دست آمده نشانگر فاز تجمعی منطقه مورد مطالعه که بین صفر و $\pi/2$ در نوسان است، می‌باشد. با کسر مولفه توپوگرافی، تصاویر آماده تحلیل و پردازش الگوریتم StaMPS و شناسایی و انتخاب نقاط پراکنش‌کننده دائمی می‌شود.

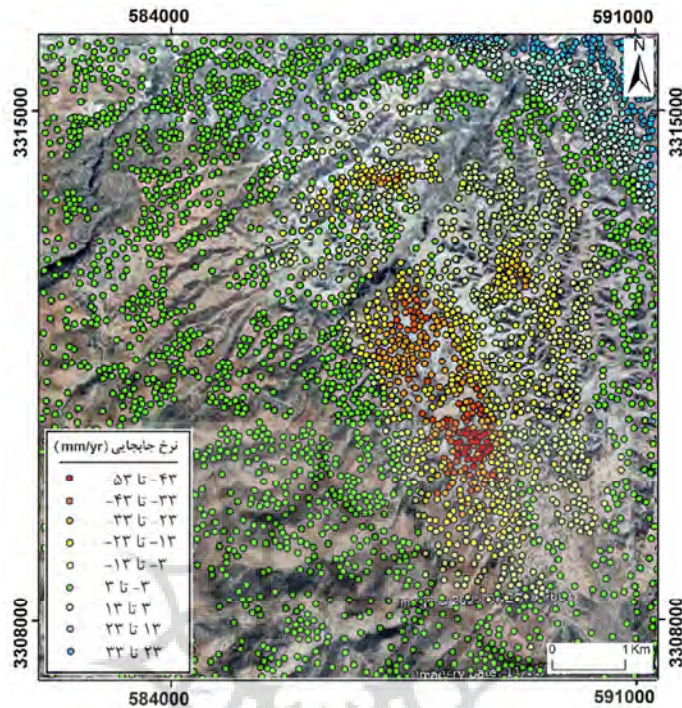
با انجام روش StaMPS بر روی تداخل‌نگاشت‌ها، در حدود ۱۳۰۰ نقطه در هر دوره مطالعاتی به عنوان نقاط پراکنش-کننده دائمی در محدوده مورد مطالعه شناسایی و انتخاب شد. سپس میزان جابجایی این نقاط محاسبه گردید. نقشه موقعیت این نقاط و میزان جابجایی آنها در اشکال شماره ۷ تا ۹ قابل مشاهده است. از آنجایی که ویژگی‌های پراکنشی نقاط پراکنش‌کننده دائمی در طول زمان ثابت بوده و دچار عدم همبستگی زمانی نمی‌شوند، می‌توانند در شناسایی مناطق با تغییر شکل متغیر در زمان مورد استفاده قرار گیرند، به همین دلیل در مناطقی که جابجایی دارای رفتار غیر ثابت و نامشخص است، مانند محدوده‌های لغزشی، میزان جابجایی آنها نیز دقیقاً مورد استناد بوده و نشانگر تغییرات سطحی رخ داده بر روی زمین است. همانطور که در شکل شماره ۷ مشاهده می‌شود نرخ جابجایی نقاط پراکنش‌کننده دائمی از ۳۱+ میلی‌متر تا ۵۱- میلی‌متر متغیر است. جابجایی‌های رخ داده در جهت دید ماهواره است به طوری که اعداد مثبت نشانگر نزدیک شدن سطح به ماهواره و بالا آمدگی و اعداد منفی نشانگر فاصله گرفتن سطح از ماهواره و پایین رفتگی است. در شکل شماره ۷ نقاط پراکنش‌کننده دائمی بر روی تصویر به دست آمده از Google Earth قرار گرفته است. نقاط قرمز رنگ واقع در محدوده مورد مطالعه در طول ۲۱ ماه دچار بیش از ۸۹ میلی‌متر نشست شده‌اند. این میزان برای نقاط نارنجی به ۴۵ میلی‌متر می‌رسد. همانطور که در شکل نیز مشخص است نقاط قرمز رنگ دقیقاً بر روی روستای مشایخ منطبق است. شکل شماره ۹ نشان‌دهنده تغییرات و نرخ جابجایی رخ داده در منطقه مورد مطالعه در فاصله زمانی ۱۸ جولای ۲۰۱۶ تا ۲۸ دسامبر ۲۰۱۷ است. همانطور که در این شکل مشخص است نرخ جابجایی نقاط پراکنش‌کننده دائمی از ۳۳+ میلی‌متر تا ۵۳- میلی‌متر متغیر است. شکل شماره ۹ میزان نرخ جابجایی را در دوره سوم مطالعاتی نشان می‌دهد، بر اساس این شکل نرخ جابجایی نقاط از ۳۷+ میلی‌متر تا ۵۷- میلی‌متر تغییر کرده است. بنابراین آنچه که مشخص است نرخ جابجایی سال به سال افزایش یافته است. از آنجایی که تصاویر مورد استفاده در این تحقیق از نوع بالارونده^۱ هستند، یعنی اینکه جهت حرکت ماهواره به سمت شمال و تصویربرداری به صورتی است که راستای رنج در سمت راست آزمون قرار می‌گیرد، لذا فرونشست و پایین افتادگی رخ داده در سطح زمین نشانگر حرکت سنگ‌ها به سمت پایین‌دست دامنه یا همان رانش خواهد بود. بر

¹ - Ascending

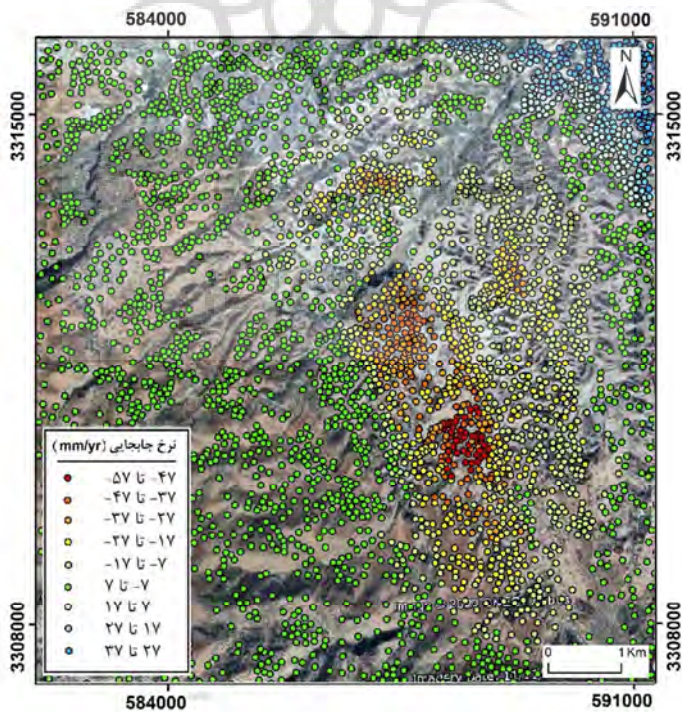
اساس شکل شماره ۹ محدوده اصلی رانشی که روستای مشایخ را نیز در بر دارد مساحتی در حدود ۴ کیلومتر مربع را شامل می‌شود، که البته مساحت این توده در طی سه دوره مطالعاتی افزایش ۱۲ درصدی را نشان می‌دهد به طوری که از مساحت ۳/۵ کیلومتر مربع در اواسط سال ۲۰۱۶ به حدود ۴ کیلومتر مربع در اواسط سال ۲۰۱۹ رسیده است. نتایج حاصل از پژوهش علاوه بر توده رانشی مشایخ، دو محدوده رانشی کوچکتر با نرخ جابجایی کمتر را نیز مشخص ساخته است. موقعیت این محدوده‌ها در اشکال ۷ تا ۹ در بخش شمالی توده رانشی مشخص است.



شکل ۷: نقشه جابجایی رخ داده در منطقه مورد مطالعه از تاریخ ۲ اکتبر ۲۰۱۴ تا ۳۱ می ۲۰۱۶ منبع: نگارندگان، ۱۳۹۹.

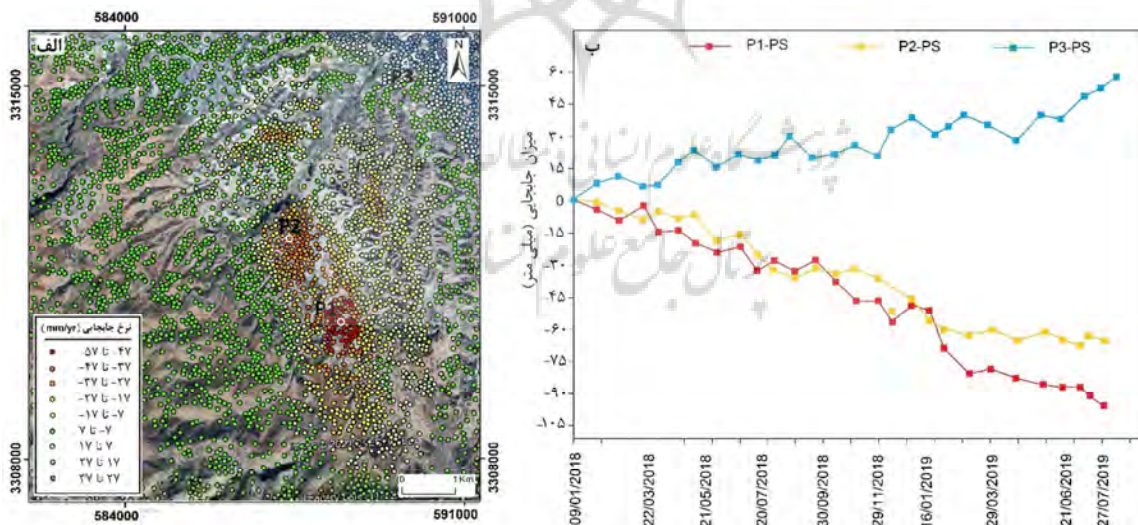


شکل ۸: نقشه جابجایی رخ داده در منطقه مورد مطالعه از تاریخ ۱۸ جولای ۲۰۱۶ تا ۲۸ دسامبر ۲۰۱۷ منبع: نگارندگان، ۱۳۹۹.

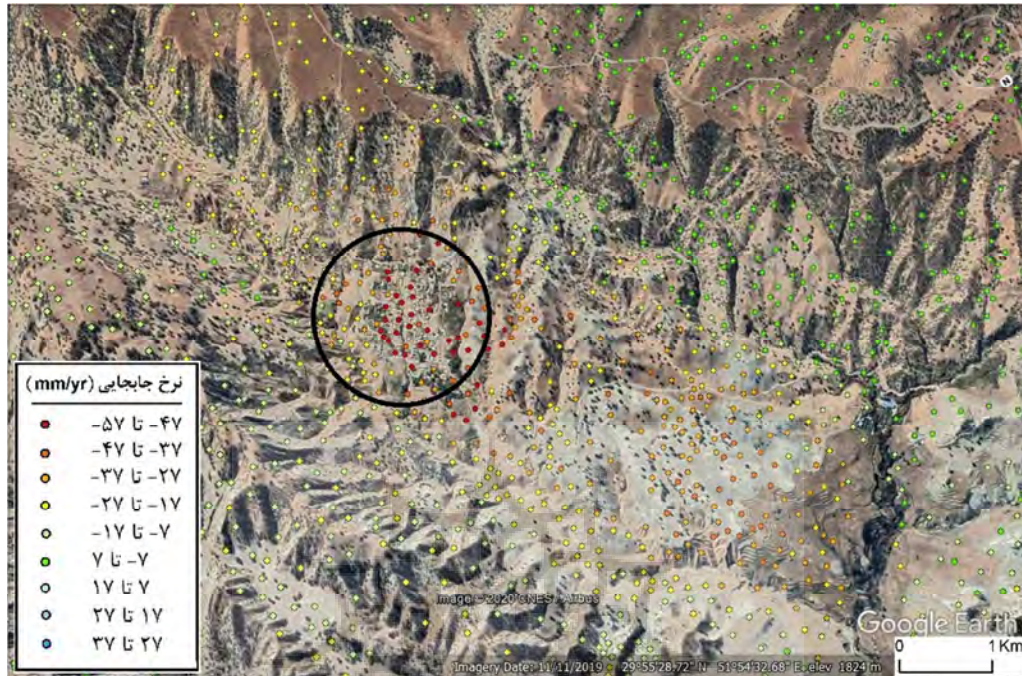


شکل ۹: نقشه جابجایی رخ داده در منطقه مورد مطالعه از تاریخ ۹ ژانویه ۲۰۱۸ تا ۲۷ جولای ۲۰۱۹ منبع: نگارندگان، ۱۳۹۹.

با توجه به اینکه پایش رفتار حرکتی سطح زمین در طول زمان یکی از مهمترین روش‌های تحلیل پایداری و عدم پایداری سطوح محسوب می‌شود (Azizi et al., 2018; Du et al., 2018; Hu et al., 2017) در این راستا و به منظور بررسی میزان و چگونگی تغییرات رخ داده بر روی توده رانشی و تحلیل پایداری آن، نمودار آنالیز سری زمانی جابجایی در سه نقطه از منطقه مورد مطالعه مورد بررسی قرار گرفت. همانطور که در شکل شماره ۱۰ مشاهده می‌شود نقاط P1 و P2 بر روی محدوده‌های لغزشی واقع شده و نقطه P3 بر روی منطقه بالآمده قرار دارد. بر اساس نمودار بدست آمده رفتار نقاط P1 و P2 با نقطه P3 کاملاً عکس هم بوده است، به طوری که نقاط P1 و P2 در این بازه حدوداً ۲۰ ماهه با یک روند تقریباً یکنواختی دچار افتادگی شده‌اند. براساس نمودار مذکور نقطه P1 که بر روی منطقه با حداکثر نرخ رانش قرار دارد، در طول مدت ۲۰ ماه در حدود ۱۰ سانتی متر جابجایی تجمعی را تجربه کرده است. علاوه بر این، همانطور که در شکل شماره ۱۰ ب نیز دیده می‌شود در یکسری از بازه‌های زمانی شیب نمودار جابجایی بیشتر شده است، یعنی میزان حرکت توده رانشی بیشتر بوده و نرخ جابجایی افزایش یافته است. که این تغییرات می‌تواند در نتیجه تغییر شرایط موثر بر حرکت توده‌های رانشی (Ferretti and Casagli, 2018) مانند تغییر شرایط رطوبتی و بارندگی منطقه باشد. به طور مثال یکی از محدوده‌های زمانی که نمودار سری زمانی شیب بیشتری پیدا کرده است بازه زمانی ۱۶ ژانویه ۲۰۱۹ تا حدود ۱ فوریه ۲۰۱۹ است. و این بازه زمانی دقیقاً منطبق با ماه‌های زمستان و طبیعتاً پرباران در منطقه مورد مطالعه است. بنابراین با آنالیز سری زمانی می‌توان رفتار توده رانشی را مورد پایش و بررسی قرار داد. شکل شماره ۱۱ موقعیت روستای مشایخ را نسبت به نقاط جابجایی نشان می‌دهد، همانطور که در این شکل مشخص است متاسفانه روستای مشایخ دقیقاً در کانون رانش قرار گرفته و با نرخ ۵۷ میلیمتر در سال در حال جابجایی و پایین‌رفتنی است.



شکل ۱۰: الف- موقعیت نقاط مورد استفاده در آنالیز سری زمانی ب- نمودار سری زمانی، منبع: نگارندگان، ۱۳۹۹.



شکل ۱۱: موقعیت روستای مشایخ در توده رانشی و نسبت به نقاط جابجایی، بر روی تصاویر Google earth منبع: نگارندگان، ۱۳۹۹.

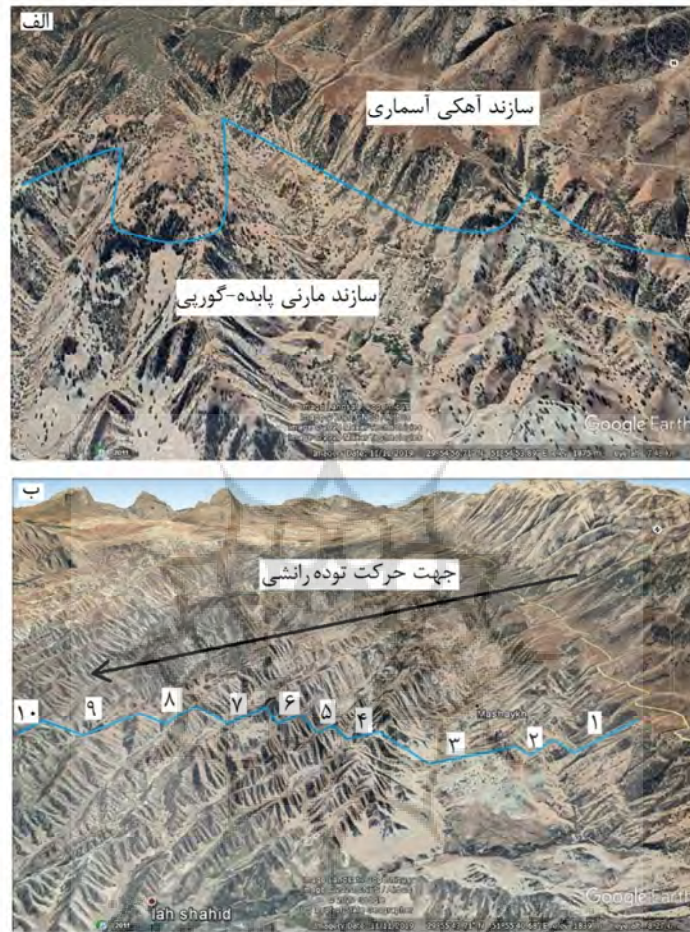
با شناخت دقیق محدوده جغرافیایی توده رانشی، می‌توان مکانیزم حرکتی و به طور کلی رانش اتفاق افتاده را مورد تحلیل بیشتر قرار داد. بررسی‌های ساختاری و زمین‌شناسی توده رانشی مشایخ در شناسایی دلایل رخداد پدیده رانش و مکانیسم آن بسیار راهگشا است. مطالعه نقشه زمین‌شناسی (شکل ۵) و شناسایی دقیقتر سازندهای موجود در منطقه مورد مطالعه با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای نشان از قرارگرفتن روستای مشایخ بر روی سازند مارنی پابده-گورپی دارد، همانطور که در شکل شماره ۱۲ الف نیز نشان داده شده است، سازند مارنی پابده-گورپی در زیر سازند آهکی آسماری قرار گرفته، به دلیل ضخامت کم سازند آسماری بر روی یال شمالی طاق‌دیس انار و وضعیت تکتونیکی منطقه (قرارگیری در زون چین-رانده زاگرس مرتفع (صحابی فرد و همکاران، ۱۳۹۴؛ شفیع و همکاران، ۱۳۹۸)) شکاف‌ها و بریدگی‌های عمیقی در سطح زمین ایجاد شده و زمینه ساز رخداد رانش و زمین‌لغزش‌های فراوانی در این منطقه شده است. علاوه بر آن خصوصیت بارز لیتولوژی مارن سستی و فرسایش‌پذیری آن است و به‌طور کلی رخداد پدیده زمین‌لغزش و رانش زمین در لیتولوژی‌های مارنی و شیلی بسیار معمول و متداول است (شیرانی و خوش‌باطن، ۱۳۹۵). بر اساس نتایج به دست آمده محدوده رانشی مشایخ نیز بر روی لیتولوژی مارنی قرار دارد. یکی از شواهد ساختاری بارز توده‌های رانشی وجود اسکارپ (شیب‌های در راستای حرکت توده رانشی) و کانتراسکارپ‌های (شیب‌های ایجاد شده در خلاف جهت حرکت توده رانشی) متعدد در نتیجه حرکت توده رانشی طی زمان‌های مختلف است (شکل شماره ۱۲). در شکل شماره ۱۳ ب تعداد ۱۰ اسکارپ و کانتراسکارپ در منطقه مورد مطالعه مشاهده می‌شود که روستای مشایخ بر روی اسکارپ شماره سه قرار دارد. و تحرک کنونی توده رانشی نیز بر روی اسکارپ و کانتراسکارپ شماره ۳ متمرکز است. همچنین شکاف و دره عمیقی پشت توده رانشی مذکور وجود دارد (اسکارپ شماره ۱) که باعث تقریباً آزاد سازی توده رانشی شده است. نکته دیگری که از این شکل برداشت می-

شود تراکم اسکارپ‌های ۴ به بعد بسیار بیشتر از شماره‌های ابتدایی بوده، و چون با توجه به نقشه جابجایی شماره ۸، تحرک و جابجایی زیادی طی این چند دوره مطالعاتی در این مناطق دیده نمی‌شود، به نظر می‌رسد حرکات سریعی در گذشته این بلوک‌های رانشی را بر روی هم قرار داده و اکنون این تحرک به توده رانشی مشایخ رسیده است، که اگر این چنین باشد می‌توان زنگ خطری باشد برای روستای مشایخ که با این روند فزاینده رانشی، در آینده حتی مورد چهارمحال و بختیاری رخ داده است (<https://www.hamshahronline.ir/news/164409>). در این حادثه کل روستا در اثر رانش به طور ناگهانی در زیر هزاران تن خاک و سنگ مدفون می‌شود. از شواهد دیگر پدیده رانش، ایجاد تجمعاتی^۱ در قسمت‌های پایین دست توده‌های رانشی است (Del Soldato, 2018; Lin et al. 2019). که این پدیده نیز در این منطقه مشاهده می‌شود، به طوری که بالآمدگی ایجاد شده (اشکال ۷ تا ۹) می‌تواند در نتیجه رانش‌های متوالی رخ داده در منطقه مورد مطالعه باشد، مضاف بر اینکه نرخ بالآمدگی همچنان در حال بیشتر شدن است که خود نشان از فعال بودن پدیده رانش در منطقه دارد. در شکل شماره ۱۴ عکس‌هایی از رانش‌های رخ داده در منطقه مورد مطالعه به دست آمده از بازدیدهای میدانی، دیده می‌شود. مقایسه نتایج به دست آمده در این پژوهش با مطالعات مشابه نشان از کارایی روش‌های سنجش از دور مخصوصاً پردازش تصاویر ماهواره‌ای در پایش حرکات دامنه‌ای مختلف دارد، به طوری که در پژوهش انجام گرفته توسط لین و همکاران (۲۰۱۹) از تکنیک پراکنش‌کننده‌های دائمی در راستای پایش رانش زمین استفاده شد و همانند پژوهش حاضر، نرخ جابجایی توده رانشی مورد محاسبه قرار گرفت. آنچه که علاوه بر این با مقایسه مطالعات مشابه با نتایج حاصل از این پژوهش قابل درک است و می‌توان به آن اشاره کرد وجود شرایط مشابه لیتولوژی، توپوگرافی و تکتونیکی در مناطق درگیر با پدیده رانش زمین است. به طوری که سازندهای مارنی استعداد ویژه‌ای در بروز رانش داشته و یا اینکه شرایط تکتونیک فعال و شیب زیاد می‌تواند پدیده رانش را شدت ببخشد. همانطور که شیرانی و خوش‌باطن (۱۳۹۵) توده لغزشی نقل سمیرم را فعال تشخیص دادند، توده رانشی مشایخ نیز فعال بوده و نرخ جابجایی این دو تقریباً نزدیک به هم می‌باشد.

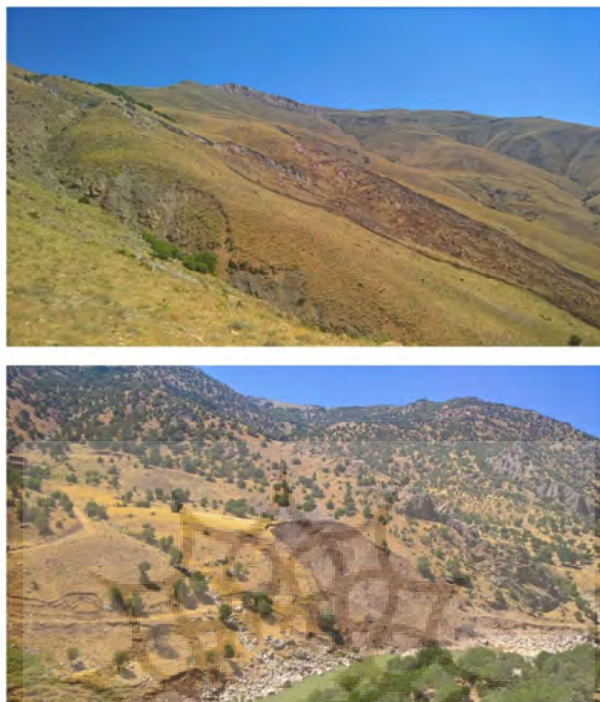


شکل ۱۲: نمایی شماتیک از پدیده رانش زمین (Coquin et al., 2016)

^۱ - accumulation



شکل ۱۳: الف: مرز بین سازندهای آسماری و پایده-گوری، ب: موقعیت اسکارپ‌ها و کانتراسکارپ‌های موجود در منطقه، برگرفته از تصاویر Google earth منبع: نگارندگان، ۱۳۹۹.



شکل ۱۴: نمونه‌ای از رانش‌های رخ داده در منطقه مورد مطالعه، منبع: نویسندگان، ۱۳۹۹.

نتیجه گیری

رانش مشایخ از جمله گستره‌های فعال رانش زمین در زاگرس چین خورده است هر ساله خسارت‌هایی را به زمین‌های زراعی، مناطق مسکونی و راه‌های ارتباطی وارد می‌کند. به همین علت در این پژوهش از تکنیک پراکنش‌کننده‌های دائمی تصاویر راداری به منظور شناسایی محدوده فعال رانش زمین و محاسبه میزان جابجایی ناشی از این توده رانشی استفاده شد. نتایج حاصل نشان می‌دهد که رانش مشایخ به طور میانگین با نرخ $5/4$ سانتی‌متر در سال جابجا می‌شود. همچنین بیشترین میزان جابجایی صورت گرفته در سطح توده رانشی مشایخ مربوط به بازه زمانی ۹ ژانویه ۲۰۱۸ تا ۲۷ جولای ۲۰۱۹ به میزان ۱۰ سانتی‌متر می‌باشد. علاوه بر این مساحت توده رانشی در حدود ۴ کیلومتر مربع تعیین می‌شود که به مرور زمان نیز در حال افزایش است. به طور کلی نتایج تحقیق حاکی از جابجایی مستمر و فعال توده رانشی در طی مدت زمان تصاویر راداری مورد استفاده و گسترش تدریجی دامنه لغزشی از سمت شمال به جنوب می‌باشد. نتایج حاصل از آنالیز سری زمانی نشان می‌دهد که روند جابجایی توده رانشی احتمالاً تحت تاثیر شرایط رطوبت و بارندگی قرار دارد، علیرغم اینکه نوع جنس رسوبات مارنی منطقه نیز در ایجاد رانش مذکور موثر است. بررسی شواهد ساختاری و ژئومورفولوژیک منطقه نیز وجود پدیده رانش را تایید می‌کند. به طوری که کانتراسکارپ و اسکارپ‌های متعدد نشان از فعالیت رانشی در دوره‌های مختلف زمانی دارد. در نهایت با توجه به شواهد و نتایج حاصل از این پژوهش، به نظر می‌رسد روستای مشایخ در خطر فزاینده نابودی قرار دارد و هر چه زودتر باید نسبت به جابجایی ساکنین روستا تصمیم‌گیری شود.

منابع

- روستایی شهرام، روستایی مهاسا، شریفی کیا محمد، یاراحمدی جمشید (۱۳۹۲)، کاربرد تداخل سنجی تفاضلی راداری در شناسایی و پایش زمین لغزش‌ها، مطالعه موردی: حوزه آبخیز گرم چای میانه، نشریه علمی-پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز، جلد ۵، شماره ۳، صص ۱۹۸-۱۹۰.
- شفیعی نجمه زنگنه محمد علیو جمال آبادی جوادو مجرد زینبو (۱۳۹۸)، بررسی علل افت آبهای زیرزمینی دشت نورآباد ممسنی با تأکید بر نقش فعالیتهای تکنیکی و بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی سال نوزدهم، شماره ۵۲، بهار ۹۸، صص ۲۳۵-۲۵۴.
- شیرانی کوروش، خوش‌باطن محبوبه (۱۳۹۵)، بررسی و پایش زمین لغزش فعال با استفاده از روش تداخل سنجی تفاضلی راداری (مطالعه موردی: زمین لغزش نقل، سمیرم)، فصلنامه کواترنری ایران، سال ۲، شماره ۱، صص ۵۳-۶۵.
- صحابی فرد ناهید، یساقی علی، گودرزی محمد قاسم (۱۳۹۴)، تحلیل ساختاری پاره گسل‌های جنوبی پهنه گسل عرضی کره بس در جنوب فیروزآباد، کمر بند چین - رانده زاگرس، علوم زمین، سال ۲۴، شماره ۹۵، صص ۱۸۱-۱۹۰.
- Agostini, A. (2012), the use of different remote sensing techniques for landslide characterization. PhD Thesis, Scuola di Dottorato in Scienze Della Terra, Dipartimento di Geoscienze, Università Degli Studi di Padova. 332 P.
- Aslan, G., Fomelis M., Raucoules D., De Michele M., Severine Bernardie S., Cakir, Z. (2020), Landslide Mapping and Monitoring Using Persistent Scatterer Interferometry (PSI) Technique in the French Alps, *Remote Sens.* 2020, 12, 1305. <https://doi:10.3390/rs12081305>
- Azizi, M. A., Marwanza, I., Amala, S. A., Hartanti, N. A. (2018), three dimensional slope stability analysis of open pit limestone mine in Rembang District, Central Java. *Earth and Environmental Science* 212:12-35.
- Bovenga, F., Wasowski, J., Nitti, D.O., Nutricato R., Chiaradia, M.T. (2012), Using COSMO/SkyMed X-band and ENVISAT C-band SAR interferometry for landslides analysis. *Remote Sensing of Environment*, 119: 272-285.
- Coquin, J., Mercier, D., Bourgeois, O., Feuillet, T., Decaulne, A. (2016), Is gravitational spreading a precursor for the Stífluhóllar landslide (Skagafjörður, Northern Iceland)? *Geomorphologie*, 22(1): 9-24. <https://doi.org/10.4000/geomorphologie.11295>.
- Del Soldato, M., Farolfi, G., Rosi, A., Raspini, F., Casagli, N. (2018), Subsidence Evolution of the Firenze-Prato-Pistoia Plain (Central Italy) Combining PSI and GNSS Data. *Remote Sensing* 10 (7): 1146. <https://doi:10.3390/rs10071146>.
- Du, Z. Ge, L., Hay-Man, A., Li, X., Li, L. (2018), Monitoring of ground deformation in Liulin district, China using InSAR approaches. *International Journal of Digital Earth*, 11(3): 264-283.
- Ferretti, A., Casagli, N. (2018), Continuous, Semi-Automatic Monitoring of Ground Deformation Using Sentinel-1 Satellites. *Scientific Reports* 8 (1). <https://doi:10.1038/s41598-018-25369-w>.
- Ferretti, A., Prati, C., Rocca, F. (2001), Permanent scatterers in SAR interferometry. *IEEE Trans. on Geosci. Remote Sensing*, 39 (1): 8 – 20.
- Ferretti, A., Savio, G., Barzaghi, R., Borghi, A., Musazzi, S., Novali, F., Prati, C., Rocca, F. (2007), Submillimeter Accuracy of InSAR Time Series: Experimental Validation, *Geoscience and Remote Sensing. IEEE Transactions*, 45: 1142-1153.
- Ferretti, D., Colombo, A., Fumagalli, F., Novali, M., Rucci, A. (2015), InSAR data for monitoring land subsidence: time to think big-proc-iahs.net.
- Gabriel, A.K., Goldstein, R.M. Zebker, H.A. (1989), mapping small elevation changes over large areas: differential radar interferometry. *Journal of Geophysical Research*, 94: 9183-9191.
- Hooper, A. (2006), Persistent Scatterer Radar Interferometry for Crustal Deformation Studies and Modeling of Volcanic Deformation. PH.D. thesis, Stanford University.
- Hooper, A. (2008), a multi-temporal InSAR method incorporating both persistent scatterer and small baseline approaches. *Geophys. Res. Letters*, 35: L1630.
- Hooper, A., Bekaert, D. (2012), recent advances in SAR interferometry time series analysis for measuring crustal deformation. *The International Journal of Integrated Solid Earth Sciences*, 514: 1-13.
- Hooper, N., Bekaert, D., Spaans, K., Arikan, M. (2012), Recent advances in SAR interferometry time series analysis for measuring crustal deformation. *Tectonophysics*, 23: 514- 517.
- Jebur, M.N., Pradhan, B., Tehrany, M.S. (2014), Detection of vertical slope movement in highly vegetated tropical area of Gunung pass landslide, Malaysia, using L-band InSAR technique, *Geosciences Journal*, 18(1):61-68.
- Lin, C. H., Liu, D., Liu, G. (2019), Landslide detection in La Paz City (Bolivia) based on time series analysis of InSAR data, *International Journal of Remote Sensing*, 40:17, 6775-6795. <https://doi.org/10.1080/01431161.2019.1594434>
- Lundgren, P. Usai, S., Sansosti, E., Lanari, R., Tesaro, M., Fornaro, G., Berardino, P. (2001), Modeling surface deformation observed with synthetic aperture radar interferometry, at Campi Flegrei caldera. *Journal of Geophysical Research*, 106 (19): 355-366.

- Nobile, A., Dille, A., Monsieurs, E., Basimike, J., Mugaruka Bibentyo, T., d'Oreye, N., Kervyn, F., Dewitte, O. (2018), Multi-Temporal DInSAR to Characterise Landslide Ground Deformations in a Tropical Urban Environment: Focus on Bukavu (DR Congo), Remote sensing, 10, 626; <https://doi.org/10.3390/rs10040626>.
- Raucoules, D., de Michele, M., Aunay, B. (2020), Landslide displacement mapping based on ALOS-2/PALSAR-2 data using image correlation techniques and SAR interferometry: Application to the Hell-Bourg landslide (Salazie circle, La Réunion Island). Geocarto Int. 2020, 35, 113–127.
- Refice, A., Spalluto, L., Bovenga, F., Fiore, A., Miccoli, M.N., Muzzicato, P., Pasquariello, G. (2019), Integration of persistent scatterer interferometry and ground data for landslide monitoring: The Pianello landslide (Bovino, Southern Italy). Landslides 2019, 16, 447–468.
- Schlöge, R., Doubre, C., Malet, J.P., Masson, F. (2015), Landslide deformation monitoring with ALOS/PALSAR imagery: A D-InSAR geomorphological interpretation method, Geomorphology 231 (2015) 314–330.
- Shia, X., Xub, Q., Zhang, L., Zhaob, K., Dongd, J., Jiange, H., Liaoc, M. (2019), Surface displacements of the Heifangtai terrace in Northwest China measured by X and C-band InSAR observations. Engineering Geology 259, (2019), 105181. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2019.105181>
- Van Westen, C., Karel, N., Damen, M., Lubsynska, M. (2009), Multi-hazard risk assessment: guide book, Enschede, The Netherlands, ITC, www.itc.nl.



Research Article

The Monitoring of the Landslide Displacement Rate Using the PSI Technique of Sentinel 1 Radar Images (Case Study: Mashayekh Landslide, Mamasani city of Fars Province)

Ali Mehrabi^{1*}, Mohsen Pourkhosravani², Sanaz Bazgir³

1*. Assistant Professor, Department of Geography and Urban Planning, Sciences, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

2. Associate Professor, Department of Geography and Urban Planning, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

3. MSc. Student of Environmental Hazards, Department of Geography and Urban Planning, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

Received: 21-04-2020

Final Revised: 22-10-2020

Accepted: 12-12-2020

Abstract

Landslide is one of the natural hazards in which monitoring the displacements and changes requires the use of special techniques due to its slow, continuous and gradual movements. In this regard, the PSI technique with extensive terrestrial coverage as well as high temporal and spatial resolution, is one of the most accurate and low-cost remote sensing techniques to identify and display displacements. Since the village of Mashayekh in the city of Mamasani in Fars has been facing the problem of landslides for several years, and this phenomenon has caused the gradual destruction of the houses and farms of the villagers, so, this research tries to evaluate and monitor the displacement of the landslide mass using the mentioned technique. For this purpose, 75 radar images of Sentinel 1 were selected during 3 periods from 2014 to 2019 and were processed by PSI method. Based on the obtained results, the maximum displacement rate at the landslide mass from October 2, 2014 to May 31, 2016 at the rate of 1.5 cm per year, during the period of July 18, 2016 to December 28, 2017 at the rate of 5.3 cm per year. And during the period from January 9, 2018 to July 27, 2019, it has reached 5.7 centimeters per year. In addition, the area of landslide mass has been expanded from 3.5 Km² to 4 Km². The results of the research indicate a continuous and progressive displacement in this mass in the study area.

Keywords: Landslide, Displacement Rate, The Permanent Scatters, Mashayekh Village, Sentinel 1 image.

* Corresponding Author Email: Mehrabi@uk.ac.ir

References

References (in Persian)

- Roustaei, M., Roustaei, M., Sharifikia, M., Yarahmadi, J. (2013), Application of differential synthetic aperture radar interferometry (D-InSAR) for detection and monitoring of landslides, Case study: Garm Chay Watershed, *Journal of Watershed Engineering and Management*, 5 (3): 190 – 198. [In Persian]
- Sahabi-Fard, N., Yassaghi, A., Goodarzi, M.G. (2015), Structural Analysis of the Southern Segments of the Karehbas Transverse Fault Zone in the South of Firuzabad, Zagros Fold-Thrust Belt, *Geosciences*, 24(95): 181-190. [In Persian]
- Shafiei, N., Zanganeh Asadi, M. A., Jamalabadi, J., Mojarad titkanlo, Z. (2019), Investigating the causes of groundwater leakage in Nahabad Mamsan plain using geomorphic indices based on geo Dualiteh theory, *Researches in Geographical Sciences*, 19 (52): 235-254. [In Persian]
- Shirani, K., Khoshbaten, M. (2016), the study and monitoring of an active landslide using differential interferometry synthetic aperture RADAR (Case study: Noghhol landslide, Semirom), *Quaternary Journal of Iran*, 2 (1):53-65. [In Persian]

References (in English)

- Agostini, A. (2012), the use of different remote sensing techniques for landslide characterization. PhD Thesis, Scuola di Dottorato in Scienze Della Terra, Dipartimento di Geoscienze, Università Degli Studi di Padova. 332 P.
- Aslan, G., Fomelis M., Raucoules D., De Michele M., Severine Bernardie S., Cakir, Z. (2020), Landslide Mapping and Monitoring Using Persistent Scatterer Interferometry (PSI) Technique in the French Alps, *Remote Sens.* 2020, 12, 1305. <https://doi.org/10.3390/rs12081305>
- Azizi, M. A., Marwanza, I., Amala, S. A., Hartanti, N. A. (2018), three dimensional slope stability analysis of open pit limestone mine in Rembang District, Central Java. *Earth and Environmental Science* 212:12-35.
- Bovenga, F., Wasowski, J., Nitti, D.O., Nutricato R., Chiaradia, M.T. (2012), Using COSMO/SkyMed X-band and ENVISAT C-band SAR interferometry for landslides analysis. *Remote Sensing of Environment*, 119: 272-285.
- Coquin, J., Mercier, D., Bourgeois, O., Feuillet, T., Decaulne, A. (2016), Is gravitational spreading a precursor for the Stífluhóllar landslide (Skagafjörður, Northern Iceland)? *Geomorphologie*, 22(1): 9-24. <https://doi.org/10.4000/geomorphologie.11295>.
- Del Soldato, M., Farolfi, G., Rosi, A., Raspini, F., Casagli, N. (2018), Subsidence Evolution of the Firenze-Prato-Pistoia Plain (Central Italy) Combining PSI and GNSS Data. *Remote Sensing* 10 (7): 1146. <https://doi.org/10.3390/rs10071146>.
- Du, Z. Ge, L., Hay-Man, A., Li, X., Li, L. (2018), Monitoring of ground deformation in Liulin district, China using InSAR approaches. *International Journal of Digital Earth*, 11(3): 264-283.
- Ferretti, A., Casagli, N. (2018), Continuous, Semi-Automatic Monitoring of Ground Deformation Using Sentinel-1 Satellites. *Scientific Reports* 8 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-018-25369-w>.
- Ferretti, A., Prati, C., Rocca, F. (2001), Permanent scatterers in SAR interferometry. *IEEE Trans. on Geosci. Remote Sensing*, 39 (1): 8 – 20.
- Ferretti, A., Savio, G., Barzaghi, R., Borghi, A., Musazzi, S., Novali, F., Prati, C., Rocca, F. (2007), Submillimeter Accuracy of InSAR Time Series: Experimental Validation, *Geoscience and Remote Sensing. IEEE Transactions*, 45: 1142-1153.
- Ferretti, D., Colombo, A., Fumagalli, F., Novali, M., Rucci, A. (2015), InSAR data for monitoring land subsidence: time to think big-proc-iahs.net.
- Gabriel, A.K., Goldstein, R.M. Zebker, H.A. (1989), mapping small elevation changes over large areas: differential radar interferometry. *Journal of Geophysical Research*, 94: 9183-9191.
- Hooper, A. (2006), Persistent Scatterer Radar Interferometry for Crustal Deformation Studies and Modeling of Volcanic Deformation. PH.D. thesis, Stanford University.
- Hooper, A. (2008), a multi-temporal InSAR method incorporating both persistent scatterer and small baseline approaches. *Geophys. Res. Letters*, 35: L1630.
- Hooper, A., Bekaert, D. (2012), recent advances in SAR interferometry time series analysis for measuring crustal deformation. *The International Journal of Integrated Solid Earth Sciences*, 514: 1-13.
- Hooper, N., Bekaert, D., Spaans, K., Arikan, M. (2012), Recent advances in SAR interferometry time series analysis for measuring crustal deformation. *Tectonophysics*, 23: 514- 517.
- Jebur, M.N., Pradhan, B., Tehrany, M.S. (2014), Detection of vertical slope movement in highly vegetated tropical area of Gunung pass landslide, Malaysia, using L-band InSAR technique, *Geosciences Journal*, 18(1):61-68.
- Lin, C. H., Liu, D., Liu, G. (2019), Landslide detection in La Paz City (Bolivia) based on time series analysis of InSAR data, *International Journal of Remote Sensing*, 40:17, 6775-6795. <https://doi.org/10.1080/01431161.2019.1594434>
- Lundgren, P. Usai, S., Sansosti, E., Lanari, R., Tesauro, M., Fornaro, G., Berardino, P. (2001), Modeling surface deformation observed with synthetic aperture radar interferometry, at Campi Flegrei caldera. *Journal of Geophysical Research*, 106 (19): 355–366.
- Nobile, A., Dille, A., Monsieurs, E., Basimike, J., Mugaruka Bibentyo, T., d'Oreye, N., Kervyn, F., Dewitte, O. (2018), Multi-Temporal DInSAR to Characterise Landslide Ground Deformations in a Tropical Urban Environment: Focus on Bukavu (DR Congo), *Remote sensing*, 10, 626; <https://doi.org/10.3390/rs10040626>.
- Raucoules, D., de Michele, M., Aunay, B. (2020), Landslide displacement mapping based on ALOS-2/PALSAR-2 data using image correlation techniques and SAR interferometry: Application to the Hell-Bourg landslide (Salazie circle, La Réunion Island). *Geocarto Int.* 2020, 35, 113–127.

- Refice, A., Spalluto, L., Bovenga, F., Fiore, A., Miccoli, M.N., Muzzicato, P., Pasquariello, G. (2019), Integration of persistent scatterer interferometry and ground data for landslide monitoring: The Pianello landslide (Bovino, Southern Italy). *Landslides* 2019, 16, 447–468.
- Schlöge, R., Doubre, C., Malet, J.P., Masson, F. (2015), Landslide deformation monitoring with ALOS/PALSAR imagery: A D-InSAR geomorphological interpretation method, *Geomorphology* 231 (2015) 314–330.
- Shia, X., Xub, Q., Zhang, L., Zhaob, K., Dongd, J., Jiange, H., Liaoc, M. (2019), Surface displacements of the Heifangtai terrace in Northwest China measured by X and C-band InSAR observations. *Engineering Geology* 259, (2019), 105181. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2019.105181>
- Van Westen, C., Karel, N., Damen, M., Lubsynska, M. (2009), Multi-hazard risk assessment: guide book, Enschede, The Netherlands, ITC, www.itc.nl.

