

مقاله پژوهشی

DOR: [20.1001.1.24767131.1402.9.1.6.1](https://doi.org/10.24767/131.1402.9.1.6.1)

درصد همانندی: ۹٪

## پایش جابه‌جایی مواد سطحی در حوضه آوان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای

غلام حسن جعفری<sup>۱\*</sup>، مینا تیماجی<sup>۲</sup>

jafarihas@znu.ac.ir

<sup>۱\*</sup> نویسنده مسئول، دانشیار گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

timaji.mina@gmail.com

<sup>۲</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۲۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۲۰

### چکیده

طرح هویت مکانی و تأثیراتی که این مؤلفه در تحلیل الگوی پراکندگی پدیده‌های طبیعی و انسانی گذاشته افق‌های تازه‌ای در دانش ژئومورفولوژی گشوده است. در این مقاله با اتکا به تکنیک‌های ترسیمی، هویت مکانی دریاچه آوان در ارتباط با حرکات توده‌ای مواد در سطح و مقیاس خاص مورد بررسی قرار می‌گیرد. به این منظور وضعیت کنونی حرکات دامنه‌ای به کمک روش پایش جابه‌جایی در تصاویر سنتینل-۱ (۲۰۱۴-۲۰۲۲) با استفاده از نرم‌افزار اسنپ آشکارسازی می‌شود. داده‌های مکانمند قطعات کوچک تصاویر آشکارسازی شده، موزاییک شد. با توجه به افزایش حجم داده‌های اولیه و مقدار ناچیز حرکات در سطح، تغییرات به صورت سالانه برآورد شد به این صورت که از هر سال یک تصویر استخراج و با تصویر سال بعد از خود ارزیابی شد. بررسی و مقایسه مقدار جابه‌جایی کلی دال بر این است که در مجموع مقدار جابه‌جایی‌های اتفاق افتاده در حوضه آوان، در تصاویر مدار نزولی بهتر از تصاویر مدار صعودی قابل‌ردیابی است؛ حداکثر جابه‌جایی‌ها متمایل به سراب حوضه بوده است. حداکثر مقدار جابه‌جایی‌های سالانه در تصاویر مدار نزولی بین ۱۵۲۰ تا ۸/۶ میلی‌متر متغیر بوده است؛ مشاهدات میدانی حداکثر جابه‌جایی منعکس شده در تصاویر مدار نزولی را تأیید می‌کند.

واژه‌های کلیدی: آوان، حرکات دامنه‌ای، سنجش‌ازدور، سنتینل، مقدار تغییرات

## ۱. مقدمه

طرح هویت مکانی و تأثیراتی که این مؤلفه در تحلیل الگوهای پراکندگی پدیده‌های طبیعی و انسانی و چیدمان آن‌ها دارد، افق‌های تازه‌ای را در دانش ژئومورفولوژی گشوده است، افق‌های جدیدی که تعامل متقابل پدیده‌های مختلف را بیش‌ازپیش روشن می‌کند. تعامل آب (سطحی، زیرزمینی، رطوبت خاک)، لیتولوژی (لایه‌ها، بین لایه‌ها، تغییرات)، شیب، ارتفاع، بارش، ذوب برف، دما، پوشش گیاهی (نوع و تراکم)، زلزله، امواج صوتی و... در به حرکت در آوردن مواد دامنه‌ای نقش مؤثری دارند. سیستم‌های سنجش‌ازدور، توانمندی دانش ژئومورفولوژی را در خروجی چنین تعامل‌هایی دوصد چندان کرده است. داده‌های راداری ابزارهای ارزشمندی برای پایش زمین و جابه‌جایی مواد در سطوح شیب‌دار (حرکات دامنه‌ای) و فرونشست در تمامی سطوح (و به‌خصوص هموار) در اختیار محققان قرار داده است که به نتایج شگفت‌انگیز و جالبی در پایش چنین تغییراتی منجر شده است [۱]. منابع وابسته به فرونشست شامل حرکت مواد در امتداد افقی یا عمودی [۲] و جابه‌جایی رسوب از بالادست، از طریق توزیع مجدد مواد هوازده (بر اثر حرکات توده‌ای) است. جریان آهسته این نوع مواد در بازه زمانی کوتاه‌مدت (یک تا ده سال) به همراه جریانات سریع که حجم قابل‌توجهی از خاک و مواد منفصل را منتقل می‌کند، باعث افزایش موقتی خاک در جایی و کاهش آن در جای دیگر می‌شود [۳]. زمانی که این حرکات سریع و دسترسی به آن‌ها امکان‌پذیر باشد، مشکل چندان‌ی در پایش وجود ندارد اما عدم دسترسی به اکثر رخدادها، شناخت علل، مکانیسم دقیق وقوع را با مشکل مواجه کرده است؛ کسب اطلاعات بیشتر در مورد این نوع تغییرات نیازمند استفاده از تصاویر ماهواره‌ای است [۴].

ردیابی تداخل‌سنجی جابه‌جایی دیافراگم رادار در موارد مختلف علوم زمین مورد توجه محققان این علم قرار گرفته است: اچ یو و همکاران (۲۰۱۳) در بررسی و اندازه‌گیری جابه‌جایی‌های زمین به این نتیجه رسیدند که تداخل‌سنجی راداری میزان تغییرات ایجادشده (فرسایش و تغییرات

سطحی) توسط زلزله را در کوتاه‌مدت و بلندمدت با توجه به وضعیت منطقه نشان می‌دهد و با توجه به این نوع تصاویر پیش‌بینی رخ دادن زمین‌لغزش در کوتاه‌مدت امکان‌پذیر است [۵]. ژائو و همکاران (۲۰۱۳) در بررسی و اندازه‌گیری حرکت سطح زمین بر اثر زلزله، فوران‌های آتشفشانی، فرونشست، معدن و یخچال‌های طبیعی در مناطق مختلف در سری زمانی متفاوت به این نتیجه رسیدند که جابه‌جایی جزئی و محدود را می‌توان با روش پایش جابه‌جایی به‌خوبی تخمین زد [۶]. او و همکاران (۲۰۱۸) در بررسی و ردیابی نظارت‌شده تغییر شکل معدن زغال‌سنگ ژانگجیاکو در شمال غربی استان هبی چین، به این نتایج دست یافتند که از د-این سار<sup>۱</sup> می‌توان با دقت بالا میزان تغییرات را ردیابی نمود؛ هم‌چنین در منطقه‌ی برداشت زغال‌سنگ، فرونشست نیز رخ داده است. برداشت بیشتر زغال‌سنگ می‌تواند باعث فرونشست بیشتری شود [۷]. وجدیان و متق (۲۰۱۸) در بررسی و تجزیه و تحلیل جابه‌جایی زمین‌لرزه ۱۲ نوامبر ۲۰۱۷، ۷/۳ مگاتونی سربل ذهاب ایران، به این نتیجه رسیدند که زمین‌لغزش ناشی از این رویداد، به دلیل عدم وجود انسجام در منطقه رخ داده و تقریباً گسل در ۵ متری لغزش در عمق ۱۷ کیلومتری وجود دارد [۸]. بلنگور و همکاران (۲۰۱۹) بررسی، تشخیص و نگاشت ناحیه آتش‌سوزی آمازون، به این نتایج رسیدند که عواملی همچون خشک‌سالی، قطع درختان، برداشت زود هنگام محصولات کشاورزی، سیل، آفت‌های گیاهان باعث ایجاد آتش‌سوزی در مناطق جنگلی شده است. با توجه به تصاویر متفاوت در سری زمان‌های مختلف، میزان آتش‌سوزی جنگل‌های شمالی با جنگل‌های استوایی و نیمه گرمسیری و ساوانا متفاوت برآورد شد و آتش‌سوزی به طور مکرر از جنگل‌های شمالی شروع و به جنگل‌های استوایی، نیمه گرمسیری، ساوانا و علفزار گسترش یافته است [۹]. بوونگا (۲۰۲۰) در بررسی تکنیک‌ها و کاربردهای رادار دیافراگم مصنوعی، برای زمین‌لغزش با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و تجزیه و تحلیل آماری به این نتایج دست یافت که استفاده از تصاویر سار<sup>۲</sup> کار نمونه‌برداری و تجزیه و تحلیل را ساده می‌کند و از پردازش سار در مورد مدل‌سازی سیگنال، شبیه‌سازی تصویربرداری، تجزیه و تحلیل

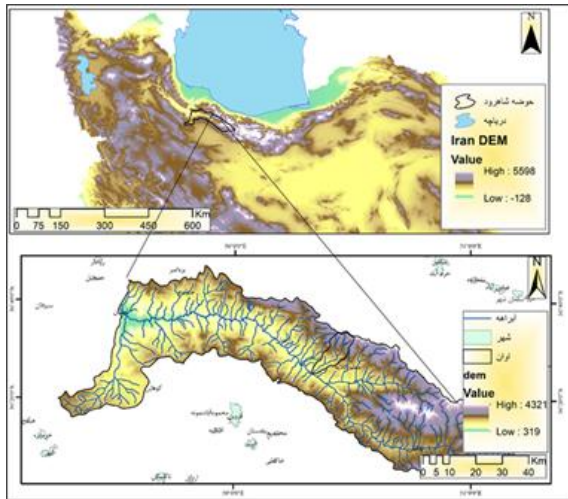
نتایج دست یافتند که مدل رقومی حاصل از تصاویر سنتینل-۱ به شکل مؤثری در بهبود دقت مدل ارتفاعی رقومی مؤثر است. با استفاده از این روش خطای مدل رقومی ارتفاع به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد (۳۰٪ تا ۸۲٪) [۱۶]. مهربانی (۱۳۹۹) در بررسی، پایش و تحلیل فضایی پایداری شیب معدن مس سرچشمه (۲۰۱۸/۰۴/۲ تا ۲۰۱۹/۰۴/۱۰) به این نتیجه دست یافت که تغییرات ارتفاعی رخ داده در محدوده معدن بین ۴۵ تا ۴۵- میلی‌متر در سال متغیر است.

بر این اساس ۳ محدوده فرونشستی به ترتیب در بخش‌های غربی، شرقی و شمال غربی دیواره معدن با مساحت ۱۰۰ هزار، ۶۸ هزار و ۱۷ مترمربع شناسایی شد [۱۷]. اردکانی و فتحی (۱۴۰۰) در شناسایی سامانه‌های دفاع موشکی پاتریوت MIM در اطراف ایران، به این نتایج رسیدند که پردازش تصاویر ماهواره توسط سامانه گوگل انجن، موجب صرفه‌جویی قابل توجه در زمان تحلیل و بالارفتن دقت نتایج، به علت به حداقل رسیدن خطای انسانی، می‌شود. نتایج نشان داد که در مناطق اطراف ایران و به‌خصوص در کشورهای عربی حاشیه خلیج فارس، حداقل ۱۶ سامانه فعال پاتریوت وجود دارد که بیانگر توسعه فراوان آن در سال‌های اخیر بوده و لزوم رصد مداوم این سامانه‌ها را تأیید می‌کند [۱۸]. جعفری و عطارچی (۱۴۰۰) در آشکارسازی مناطق ساخته شده شهری اصفهان، به این نتایج دست یافتند که تصاویر نزولی دقت بالاتری نسبت به تصاویر صعودی داشته‌اند. صحت کلی باندهای VH و VV به ترتیب برای تصاویر نزولی برابر ۹۰ و ۸۷ درصد و برای تصاویر صعودی ۸۸ و ۸۴ بود. همچنین تصاویر باندهای VV در هر دو مدار تصویربرداری در مقایسه با باندهای VH کارایی بهتری در استخراج مناطق ساخته شده داشته است [۱۹]. رستمی سقر و همکاران (۱۴۰۰) در بررسی تغییرات خط ساحلی چالوس تا تنکابن، به این نتایج دست یافتند که ۸۷ درصد ساحل این منطقه شاهد فرسایش ساحل بوده و مقدار فرسایش به‌طور میانگین حدود ۷ متر در سال است [۲۰]. محمدنژاد آروق (۱۴۰۰) در بررسی و تهیه نقشه گسترش سیلاب فروردین‌ماه ۱۳۹۸ شهرستان پلدختر، به این نتایج رسیدند که در محدوده مورد مطالعه

تصویر و برای انجام پژوهش‌های کاربردی می‌توان استفاده کرد [۱۰]. لی و همکاران (۲۰۱۹) با نظارت بر حرکت فعال زمین‌لغزش در نزدیکی ایستگاه برق‌آبی لاکسیو چین، به این نتایج دست یافتند که مناطق با شیب زیاد، لغزش‌های بزرگ‌تری را تجربه کرده‌اند؛ همچنین زمین‌لغزش‌هایی که با سرعت چند ده سانتی‌متر در سال جابه‌جا می‌شوند الگوی توزیع مکانی کمتری نسبت به زمین‌لغزش‌های دیگر دارند [۱۱]. یوپینگ و همکاران (۲۰۲۲) با استفاده از تجزیه و تحلیل آماری به پایش سری‌های زمانی چندبعدی، بلندمدت و زودهنگام خطر زمین‌لغزش در پایین‌دست رودخانه جینشا استان یونان، پرداختند و به این نتیجه رسیدند که در صورت تکمیل سری زمانی در بازه‌های زمانی متفاوت می‌توان هشدار اولیه خطر و پیش‌بینی جابه‌جایی آینده را به‌موقع اعلام نمود [۱۲]. تیو و همکاران (۲۰۲۳) به بررسی و تشخیص زمین‌لغزش‌های فعال و غیرفعال قسمت بالای رودخانه زرد فلات شرقی چینگهای-تبت -چین، پرداختند. نتایج نشان داد که لغزش‌های فعال زمینی، در داده‌های رادار تک مدار شناسایی نمی‌شوند. ترکیب صعودی و نزولی تصاویر راداری توانایی ما را در شناسایی زمین‌لغزش‌های فعال مناطق کوهستانی بهبود می‌بخشد [۱۳].

قنادی و همکاران (۱۳۹۷) در بررسی و تولید مدل رقومی ارتفاعی زمین به این نتایج رسیدند که در منطقه هموار، دقت (انحراف معیار) مدل ارتفاعی رقومی ۱/۲۶ متر و در منطقه کوهستانی ۱۰/۳۲ متر است. با در نظر گرفتن این نکته که می‌توان با استفاده از تصاویر سنتینل-۱ با دقت نسبتاً مناسبی، خصوصاً در مناطق غیر کوهستانی مدل رقومی ارتفاع<sup>۳</sup> تولید نمود [۱۴]. محمد خان و همکاران (۱۳۹۸) در بررسی و ارزیابی تأثیر افت آب‌های زیرزمینی دشت قروه بر میزان فرونشست منطقه به این نتیجه رسیدند که بالاترین میزان فرونشست (۲۱۶ میلی‌متر در سال) مربوط به مناطق حاشیه‌ای شرق و غرب دشت قروه بوده است [۱۵]. مرادی و قنادی (۱۳۹۹) به بررسی و ارائه روشی برای بهبود مدل ارتفاعی رقومی حاصل از تصاویر سنتینل ۱ نسبت به مدل اس.آر.تی.ام<sup>۴</sup> و تبدیل موجک دوبعدی پرداختند و به این

دوشاخه مهم رودخانه اوان و زرآباد به هم می‌رسند و رودخانه جنه را به وجود می‌آورند [۲۸].



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی حوضه شاهرود در ایران و حوضه اوان در حوضه شاهرود (منبع: نگارندگان)

## ۲. مواد و روش‌ها

در این پژوهش از ۱۰ سری داده راداری مربوط به سنجنده سنتینل-۱، ماهواره سویوز سازمان فضایی اروپا با فرمت SLC از نوع مد تصویر<sup>۵</sup> با پلاریزاسیون VV استفاده شد که در فاصله زمانی ۸ ساله از ۱۶ جولای ۲۰۱۵ تا ۲۱ ژوئن ۲۰۲۲ برداشت شده است. تحلیل‌های انجام گرفته در محیط سیستم عامل ویندوز و با استفاده از نرم‌افزار اسنپ-۶<sup>۶</sup> انجام گرفت. همچنین مدل ارتفاع رقومی استفاده شده در این تحقیق از نوع اس.آر.تی.ام. ۳۰ است. جدول (۱) مشخصات داده‌های استفاده شده در این پژوهش را نشان می‌دهد.

جدول ۱. مشخصات تصاویر سنتینل مورد استفاده

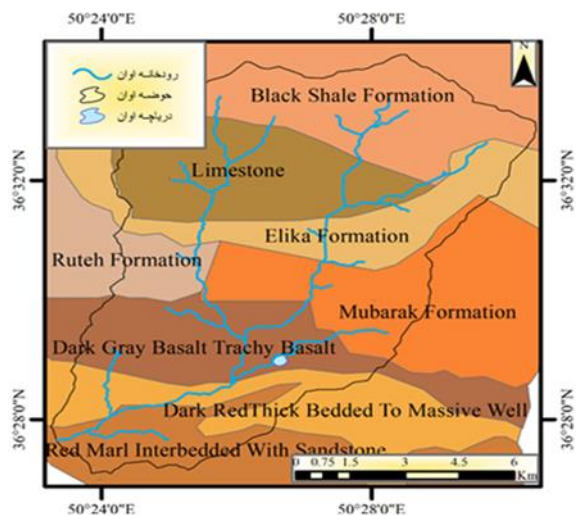
شماره	تاریخ	پلاریزاسیون	نوع تصویربرداری
۱	۲۰۱۵/۰۷/۱۶	VV	IW
۲	۲۰۱۶/۰۷/۲۲	VV	IW
۳	۲۰۱۷/۰۶/۱۱	VV	IW
۴	۲۰۱۸/۰۶/۲۴	VV	IW
۵	۲۰۱۹/۰۷/۱۶	VV	IW
۶	۲۰۲۰/۰۷/۲۲	VV	IW
۷	۲۰۲۱/۰۷/۱۳	VV	IW
۸	۲۰۲۲/۰۶/۲۱	VV	IW

۷/۹۹ کیلومترمربع از اطراف رودخانه در اثر سیل به زیر آب رفته است. همچنین گسترش سیلاب در مسیرهای مانداری رودخانه نشان‌دهنده تغییرات ژئومورفولوژیک شدید این بخش‌ها است [۲۱]. مهربانی و همکاران (۱۴۰۰) در برآورد نرخ جابه‌جایی‌های رانش زمین در شهرستان ممسنی فارس، به این نتایج دست یافتند که حداکثر نرخ جابه‌جایی 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 [۲۲]. تنگستانی و کریمی (۱۴۰۱) در بررسی و آشکارسازی لکه‌های نفتی خلیج فارس دریافتند که استفاده از باند ۲۰ سنجنده مادیس با هدف استخراج دمای سطح دریا و باندهای فروسرخ گرمایی آن به منظور آشکارسازی لکه‌های نفتی در سطح دریا بهترین آشکارسازی را به دنبال دارند. با توجه به کارایی تصاویر سنتینل در ردیابی تغییرات محیطی، در این مقاله ما قصد داریم جابه‌جایی‌های سالانه مواد دامنه‌ای را در حوضه اوان مورد ارزیابی قرار دهیم و با توجه به آن‌ها در مورد چگونگی پیدایش دریاچه اوان، در ارتباط با زمین‌لغزش، نتیجه‌گیری نماییم [۲۳].

وجود واحدهای زمین‌شناسی مختلف (رسوبات مارن، شیل، سیلت و رس) منطقه شاهرود را برای وقوع انواع حرکات دامنه‌ای بسیار مساعد نموده است. منطقه اوان به‌عنوان یکی از مناطق توریستی و گردشگری به‌خصوص در فصل‌های بهار، تابستان و اوایل پاییز، منطقه‌ای با پتانسیل زیاد در جذب گردشگر است؛ زیرا علاوه بر وجود دریاچه، چشم‌اندازهای بی‌نظیری از کشاورزی سنتی (با محصولات متنوع)، پوشش گیاهان دارویی مختلف و مهم، رودخانه‌های پر آب با تند آب‌ها و آبشارهای متعدد دارد [۲۴، ۲۵، ۲۶، ۲۷]. آ. (آب) + وان (مخزن) یعنی روستایی که به دلیل قرارگیری در کنار چشمه‌ها و دریاچه به‌عنوان مخزن آب معروف بوده است. حوضه آبخیز اوان، بخش کوچکی از حوضه آبخیز بزرگ سد سفیدرود است (شکل ۱. الف و ب). در داخل منطقه

### ۳. تئوری و محاسبات

لیتولوژی حوضه اوان بخش جنوبی خط‌الرأس اصلی رشته‌کوه‌های البرز ترکیبی است از: ۱- کنگلومرای ضخیم و ماسه‌سنگ تا توده خاکستری با سخت‌شدگی خوب، ۲- سنگ‌آهک و آهک ماسه‌ای، آهک‌ها به طور متناوب با شیل‌های میکاسه بنفش و ماسه‌سنگ سبز و خاکستری‌رنگ به ضخامت چندین متر همراه است، ۳- سازند آواری پایینی، ۴- سازند الیکا، ۵- بازالت خاکستری تیره، تراکی بازالت، آندزیت، سنگ‌ها و نهشته‌های وابسته به دوران نوزیستی زمین‌شناسی که دربرگیرنده سازند کرج نهشته‌های میوسن و کواترنری است. سازند کرج (پالئوژن) از لحاظ لیتولوژیکی شامل توالی به‌نسبت ستبری از توف‌های سبزرنگ، سنگ‌های رسوبی و گدازه‌های آتشفشانی و به‌ندرت تبخیری است [۲۴]، ۶- سازند مبارک و ۷- سازند روته، مارن قرمز رنگ با میان‌لایه‌هایی از ماسه‌سنگ و کنگلومرا و گچ، شیل خاکستری متمایل به سبز دولومیت و ماسه‌سنگ (شکل ۲).



شکل ۲. نقشه لیتولوژیکی حوضه اوان (منبع: نگارندگان)

کنگلومرای این منطقه بین شیل، شیل ژئیس‌دار، گل‌سنگ ژئیس‌دار و شیل سیلتی با کمی ماسه‌سنگ و سنگ‌آهک (واحد سبز و قصرقند) در جنوب و بازالت و آندزیت با بافت حفره‌ای در شمال، رخنمون دارد. همبری زیرین این واحد با سنگ‌های ائوسن به‌طور کامل گسله و بریده است و توسط مارن‌های سازند روته به‌طور هم‌شیب پوشیده می‌شود [۲۹]. در این مقاله با اتکا به تکنیک‌های ترسیمی، هویت مکانی

فناوری تداخل‌سنجی راداری<sup>۷</sup> امکان تشخیص تغییرات بسیار کوچک در مقیاس روزانه تا سالانه را در سطح زمین و در ابعاد جهانی، با قابلیت اعتماد زیاد در شب و روز و در هر شرایط آب و هوایی فراهم می‌سازد. در روش تداخل‌سنجی راداری دو تصویر سار که با آنتن‌های مخصوص نصب‌شده روی ماهواره یا هواپیما گرفته شده‌اند با هم ترکیب می‌شوند تا نقشه تغییر شکل پوسته زمین حاصل شود. البته لازم به ذکر است که یکی دیگر از محصولات این روش، مدل رقومی زمین است. تداخل‌نگاشت‌ها با ضرب تصویر اول به‌عنوان مستر<sup>۸</sup> در مزدوج تصویر دوم اسلاو<sup>۹</sup> که به‌صورت اعداد مختلط هستند، حاصل می‌شوند. نتیجه این حاصل ضرب شامل اختلاف‌فاز دو تصویر خواهد بود. حلقه‌های (فرینج‌های) حاصله معرف جابه‌جایی پوسته زمین در راستای دید ماهواره و در حد فاصله زمانی اخذ دو تصویر هستند. همان‌طور که از رابطه (۱) مشخص می‌شود، فاز تداخل‌نگاشت مشاهده شده مجموع چند مؤلفه است:

$$\Phi_{int} = \Phi_{topo} + \Phi_{disp} + \Phi_{atm} + \Phi_{orb} + \Phi_{nois}$$

(۱)

مؤلفه‌های رابطه (۱) به‌ترتیب عبارت‌اند از: اثر فاز مؤلفه توپوگرافی، سیگنال جابه‌جایی پوسته، اثر مؤلفه اتمسفر، اثر مؤلفه مداری و نویز، در اینجا هدف اصلی یافتن مؤلفه جابه‌جایی پوسته زمین است که با از بین بردن یا کاهش اثرات مؤلفه‌های دیگر انجام می‌شود. اثر مدار با استفاده از پارامترهای دقیق مدار ماهواره مانند پارامترهای مداری، کاهش می‌یابد. همچنین میزان باقی‌مانده خطای مداری نیز می‌تواند به‌صورت یک ترند کلی از نتایج حذف شود. اثر اتمسفر در مناطق گرم و خشک به دلیل عدم وجود رطوبت معمولاً صفر در نظر گرفته می‌شود. اثر مؤلفه توپوگرافی نیز توسط یک مدل رقومی زمین قابل حذف یا کاهش است. با حذف اثرات مزاحم، حلقه‌هایی به دست می‌آید که هر سیکل آن‌ها معادل جابه‌جایی پوسته زمین به میزان نصف طول‌موج رادار، برای سنتینل ۱ معادل ۲۸ میلی‌متر در امتداد خط دید ماهواره خواهد بود [۱۷].

## ۴. یافته‌ها

تغییرات در تصاویر ۲۰۱۶ تا ۲۰۱۵ مدار صعودی، بسیار جزئی منعکس شده است و حداکثر به ۰/۷۵ میلی‌متر در سال می‌رسد. مقدار حداکثر تغییرات در قسمت مرکزی به سمت شمال حوضه، در مجاورت دو لیتولوژی خاکستری روشن تا کرم و شیل خاکستری و دولومیت (سازند مبارک) اتفاق افتاده است. سازند مبارک با بیشترین تغییرات، بین دو لیتولوژی دولومیت خاکستری (سازند الیکا) و لیتولوژی بازالت خاکستری تیره محصور شده است. این مسئله نشان می‌دهد که شیل خاکستری و دولومیت نسبت به سازندهای اطراف مقاومت کمتری در مقابل حرکات دامنه‌ای-رودخانه‌ای از خود نشان داده‌اند. تغییرات در مرز بین لیتولوژی‌ها نشان‌دهنده این است که تغییرات لیتولوژی که به نوعی در الگوی آبراه‌ها نقش دارد در مقدار جابه‌جایی‌ها نیز مؤثر است (شکل ۳ ب). در تصاویر مدار نزولی ۲۰۱۵-۲۰۱۶ بیشترین تغییرات در مرز و مرکز حوضه با مکان‌هایی انطباق دارد که یا تحت تأثیر فرسایش قهقراپی از حوضه‌های مجاور بوده‌اند یا لیتولوژی آن‌ها تغییر کرده است. در شمال غرب حوضه، در محل تغییرات لیتولوژیکی، بیشترین جابه‌جایی منطبق بر تغییر لیتولوژی دولومیت خاکستری روشن تا کرم به لیتولوژی سنگ‌آهک و آهک ماسه‌ای است. با توجه به سرعت تغییرات در لیتولوژی دولومیتی چنین برمی‌آید که لیتولوژی دولومیتی نسبت به لیتولوژی آهک ماسه‌ای، در این حوضه، فرسایش پذیرتر بوده است. در شرق و جنوب شرق حوضه بیشترین سرعت تغییرات در مرز حوضه اوان با حوضه معلم کلایه، جایی اتفاق افتاده که ضخامت لایه کنگلومرا بر اثر ریزش‌های قبلی و تاریخی به حداقل خود رسیده است؛ رودخانه معلم کلایه در شرق حوضه اوان، به صورت شمالی - جنوبی در جریان است که با تشدید جابه‌جایی مواد در لیتولوژی شیل خاکستری تیره و دولومیت، به عقب‌نشینی مرز شرقی حوضه اوان به سمت غرب منجر شده است. در قسمت مرکز به سمت شمال حوضه نیز بیشترین تغییرات در مرز لیتولوژی سنگ‌آهک و آهک ماسه‌ای با شیل سیاه‌رنگ زغال دار بامیان لایه ماسه‌سنگی، در

دریاچه اوان در ارتباط با حرکات توده‌ای مواد در سطح و مقیاس خاص بررسی می‌شود. ترکیبی از مجموعه داده‌های ماهواره‌ای راداری سری سنتینل-۱، نقشه‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی و نرم‌افزار اسنپ برای دست‌یابی به اهداف مدنظر، مورد استفاده قرار گرفت. در روش تداخل‌سنجی، برای بهره‌برداری دو تصویر سار پیچیده از پیکربندی‌های مداری در زمان مختلف، با هم ترکیب می‌شوند [۳۰، ۳۱، ۴]. اختلاف فاز سیگنال‌های وابسته به توپوگرافی سطح و جابه‌جایی منسجم در امتداد بردار تصویربرداری، امکان استفاده از دو تداخل متفاوت را با جابه‌جایی یکسان فراهم می‌کند. تصاویر ماهواره‌ای سری سنتینل-۱ (۲۰۱۴-۲۰۲۲)، از سایت کوپرنیک<sup>۱</sup> در دو فرمت مدار نزولی و مدار صعودی استخراج شد. وضعیت کنونی حرکات دامنه‌ای به کمک روش پایش جابه‌جایی در نرم‌افزار اسنپ، به طور سالانه، آشکارسازی شد. براساس یافته‌های (استروسی و همکاران، ۲۰۰۲) شدت ردیابی، براساس بهینه‌سازی مقاطع اندازه قطعه و ردیابی پیوسته تغییرات در قطعات انسجام‌یافته متفاوت است و به مقدار برآوردی تغییرات بین دو تصویر سار در جهت شیب بستگی دارد؛ پایش با قطعه‌های کوچک تصویر، با دقت قابل توجهی انجام می‌شود استفاده از قطعه‌های تصویر بزرگ، شدت پایش را نامنسجم می‌سازد [۴]. اگر به منظور افزایش دقت پایش، تعداد نمونه‌برداری قطعه‌ها بیش از حد اعمال شود. اندازه تصویر ممکن است با یک مورد خاص تطبیق داده شود. برای مطالعه حاضر با داده‌های سار، به‌طور سیستماتیک از اندازه‌های ۶۴\*۶۴ پیکسل استفاده شده است که مربوط به حدود ۱۳۰۰ متر در جهت برد زمین و ۲۵۰ متر در جهت آزیموت است. با توجه به کوچک بودن قطعات تصاویر آشکارسازی شده، داده‌های مکانی منتج از آن‌ها، مزایک گردید تا به همراه داده‌های سایر قطعات آشکارسازی شده حوضه اوان، به صورت یکدست تفسیر شود. بر اساس مقدار تغییرات محاسبه شده در بازه زمانی موردنظر و تعمیم آن‌ها به درازمدت، هویت مکانی دریاچه اوان تجزیه و تحلیل شد. در پیمایش حوضه‌ای با دقت فرایندهای دامنه‌ای در سنگ‌ها و بخش‌های مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت.

دولومیتی نیز مقدار تغییر به حدود ۲۰ میلی‌متر در سال رسیده است. در این سال اثر رودخانه در مقدار جابه‌جایی قابل‌تأمل است به گونه‌ای که در غرب حوضه، سرعت جابه‌جایی به ۱۵۰ میلی‌متر می‌رسد (شکل ۳ ت).

بررسی تغییرات در تصاویر مدار صعودی ۲۰۱۹-۲۰۲۰ حاکی از حداکثر مقدار تغییرات (بیشتر از ۱۰ میلی‌متر در سال) به صورت لکه‌های پراکنده، در حد واسط بین لیتولوژی‌ها بوده است: مرز بین لیتولوژی مارن و کنگلومرا در جنوب، مرز بین لیتولوژی دولومیت خاکستری با شیل خاکستری همراه با مارن در مرکز و مرز بین لیتولوژی شیل سیاه‌رنگ زغال‌دار بامیان لایه ماسه‌سنگ در شمال (شکل ۳ ث). میزان جابه‌جایی در تصاویر مدار نزولی ۲۰۱۹-۲۰۲۰ بسیار کم بوده و حداکثر آن به صورت لکه‌های کوچک در لیتولوژی شیل سیاه‌رنگ زغال‌دار رخ داده است که با توجه به نوع لیتولوژی و بازدیدهای میدانی می‌توان تغییرات این سال را بیشتر به حرکات دامنه‌ای از نوع ریزش نسبت داد. حتی در مجاورت رودخانه‌ها نیز در این تصاویر مقدار تغییرات، کمتر از ۱ میلی‌متر منعکس شده است (شکل ۳ ج).

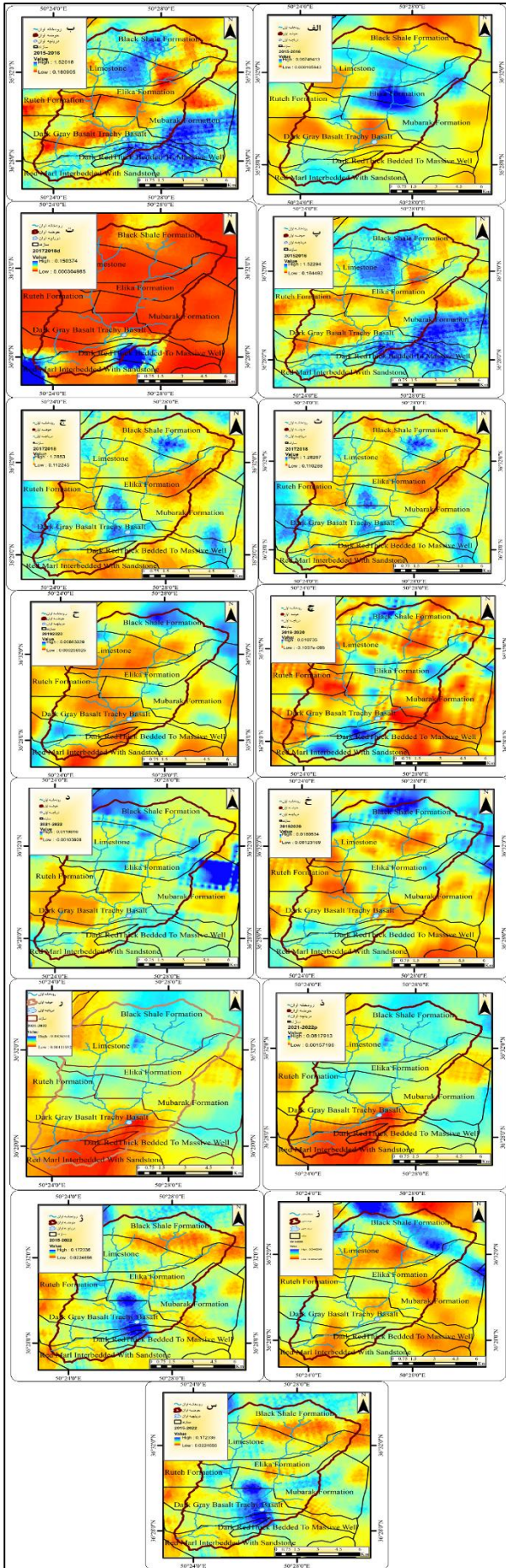
بررسی تغییرات در تصاویر مدار صعودی ۲۰۲۱-۲۰۲۲ بیان‌کننده مقدار ناچیز جابه‌جایی در این سال است؛ حداکثر تغییرات نزدیک به ۱۲ میلی‌متر و حداقل آن حدود ۱ میلی‌متر بوده است. بیشترین جابه‌جایی‌ها در سراب حوضه و نزدیک خط‌الرأس و حداقل تغییرات در مرکز حوضه و اطراف رودخانه‌هاست. به‌جز قسمت خروجی حوضه در لیتولوژی مارن، مقدار تغییرات در اطراف رودخانه اصلی بیشتر شده است (۷-۹ میلی‌متر در سال)، مکان حداکثر تغییرات و ادامه آن در حوضه‌های مجاور، دال بر این است که تغییرات رخ‌داده در حوضه اوان متأثر از فرسایش قهقرایی رودخانه‌های حوضه‌های مجاور بوده است. به‌طوری‌که هسته اصلی تغییرات در غرب حوضه نشان می‌دهد که در حوضه معلم کلاویه در این سال در امتداد رودخانه فرسایش بسیار شدیدی رخ‌داده و ادامه آن به مرز حوضه اوان کشیده شده است. در شمال حوضه نیز فرسایش زیر حوضه‌های دریای خزر، به فرسایش قهقرایی و تداوم آن به حوضه اوان منجر

قسمت‌های پست حوضه و در مجاورت رودخانه (ساحل غربی رودخانه) اتفاق افتاده است. با توجه به این توضیحات می‌توان چنین نتیجه گرفت که بیشترین تغییرات، در این بازه ناشی از مجاورت لایه‌ها و حرکات از نوع لغزش‌های رودخانه‌ای یا بر اثر فرسایش قهقرایی بوده است (شکل ۳ الف).

بررسی تغییرات در تصاویر مدار صعودی ۲۰۱۷-۲۰۱۸ بیان‌کننده اثرگذاری آبراهه اصلی حوضه و لیتولوژی بر مقدار جابه‌جایی‌هاست؛ البته برای هیچ عاملی نمی‌توان سخن علت و معلولی به میان آورد و نسبت آن‌ها به هم نسبت دال و مدول است. در محل اتصال رودخانه‌ها به یکدیگر در صورتی که جنس سنگ از مواد شیل‌دار یا از رسوبات آواری باشد؛ به‌خصوص در محل تغییر لیتولوژی از مقاوم به سست، شرایط برای جابه‌جایی مواد مساعدتر شده است. در نواحی مرتفع و آبخیز رودخانه تغییر لیتولوژی شیل سیاه‌رنگ زغال‌دار و به لیتولوژی سنگ‌آهک و آهک ماسه‌ای بیشتر جابه‌جایی‌ها را متأثر نموده است. طبق مشاهدات میدانی گسیختگی شیب دامنه‌ها بر اثر استخراج سنگ، به همراه بارندگی شدید تابستانه، شرایط تخریب و جابه‌جایی مواد را فراهم نموده است. هسته دوم حداکثری جابه‌جایی در نزدیکی محل به هم رسیدن دو رودخانه اصلی حوضه اوان اتفاق افتاده است؛ جایی که لیتولوژی شیل خاکستری با میان لایه دولومیتی به لیتولوژی بازالت خاکستری تیره تغییر می‌کند. سومین هسته در امتداد رودخانه شرقی زوارداشت رخ‌داده که حجم زیادی از مواد را در سطح وسیع جابه‌جا نموده است. مقدار تغییرات در این مکان ۱۲۸۳ میلی‌متر برآورد شده که با وقوع سیل هم‌زمان بوده است (شکل ۳ پ). در تصاویر مدار نزولی ۲۰۱۷-۲۰۱۸ بیشترین جابه‌جایی‌ها در توده کنگلومرا و در شرق و غرب حوضه اتفاق افتاده است. سرعت تغییرات در این دو قسمت نزدیک به ۱۵۰ میلی‌متر در سال بوده و در هر دو قسمت به سمت داخل حوضه‌ها با کاهش ارتفاع، مقدار جابه‌جایی به‌سرعت کاهش یافته و به ۰/۳ میلی‌متر در سال رسیده است؛ علاوه بر آن در مرز شمالی حوضه، در مرتفع‌ترین قسمت، در توده

شده است (شکل ۳ ج). بررسی تغییرات در تصاویر مدار نزولی ۲۰۲۱-۲۰۲۲ تمرکز تغییرات را بیشتر در قسمت مرکز و شمال حوضه نشان می‌دهد؛ حداکثر تغییرات در قسمت مرکزی حوضه منطبق بر لیتولوژی سنگ آهک خاکستری (سازند روته) در غرب و شیل خاکستری یا سازند مبارک در شرق است.

مقدار تغییرات از غرب به شرق در این قسمت کاهش یافته و بیشترین تغییرات در سازند روته اتفاق افتاده است. چنین تغییراتی نشان می‌دهد که در این سال شیل‌ها نسبت به سنگ آهک خاکستری مارن‌دار مقاومت بیشتری را در مقابل تغییرات دامنه‌ای از خود نشان داده‌اند و مقدار تغییرات از ۸۲ میلی‌متر در سنگ آهکی به کمتر از ۳۰ میلی‌متر در سازند مبارک رسیده است؛ در قسمت شمالی حوضه نیز مقدار تغییرات در لیتولوژی شیل سیاه‌رنگ زغال‌دار، به صورت حرکت سطحی کوچک، اتفاق افتاده است (۶۰ میلی‌متر در سال) که به احتمال قوی به صورت ریزش بوده است (شکل ۳ ج).



شکل ۳. مقدار جابه‌جایی‌های سالانه و دوره‌ای ناشی از حرکات دامنه‌ای و فرسایش در تصاویر سنسینل مدار صعودی، مدار نزولی و تلفیقی به ترتیب ۲۰۱۶-۲۰۱۵ (الف، ب، پ)، ۲۰۱۷-۲۰۱۸ (ت، ث، ج)، ۲۰۱۹-۲۰۲۰ (چ، ح، خ)، ۲۰۲۱-۲۰۲۲ (د، ذ، ر)، ۲۰۱۵-۲۰۲۲ (ز، ژ، س) (منبع: نگارندگان)

## ۵. بحث

در مجموع مقدار تغییرات در بازه زمانی ۲۰۱۵-۲۰۲۲ بیشتر جابه‌جایی‌ها در حوالی دریاچه اوان رخ داده است که می‌تواند نشان دهد که در نواحی مرتفع‌تر تأثیرگذاری حرکات تکتونیکی از فرسایشی بیشتر است. چنین تغییراتی می‌تواند موجب شکل‌گیری کلی دریاچه و دشت میان‌کوهی اوان در درازمدت (کوآترنری) شده باشد. زیرا با تعمیم تغییرات، به‌خصوص در اطراف دریاچه به درازمدت، می‌تواند شرایط خالی شدن منطقه از مواد و شکل‌گیری دریاچه فراهم شده باشد. علاوه بر آن جابه‌جایی‌های زیاد در مرز شمالی و شمال غربی حوضه همراه با لیتولوژی شیل سیاه‌رنگ زغال‌دار و کنگلومرای ضخیم و ماسه‌سنگ و در مرز شرقی حوضه در سازند زمین‌شناسی شیل خاکستری و دولومیت است. در قسمت غربی حوضه در لیتولوژی سنگ‌آهک خاکستری و در قسمت جنوب شرقی حوضه دریاچه اوان، با لیتولوژی بازالت خاکستری با کنگلومرای ضخیم و ماسه‌سنگ، از خود دریاچه تا نزدیکی مرز حوضه، تغییرات با سرعت زیاد اتفاق افتاده است؛ در اطراف دریاچه، تغییرات زیاد، در مجاورت رودخانه اتفاق افتاده است (جدول ۲).

جدول ۲. جابه‌جایی جزئی، کلی و تلفیقی در تصاویر مدار صعودی و مدار نزولی

تصاویر مدار نزولی		سال
حداقل	موقعیت	حداکثر
۱۸۱	سراب-شرق	۱۵۲۰
۰/۳	جنوب غرب-پایاب	۱۵۰
۰/۲	سراب-پایاب	۸/۶
۱/۵	سراب-مرکز	۸۲
۱۸۳	سراب-پایاب	۱۷۶۰/۶
تصاویر مدار صعودی		سال
حداقل	موقعیت	حداکثر
۰/۱	مرکز-متمایل به شمال	۷/۵
۱/۰۵	سراب	۱۲
۰/۰۳	پراکنده	۱۰/۷
-۱	سراب-غرب*	۱۲
۰/۱۸	سراب	۵۲/۲
		جمع

## ۶. نتیجه‌گیری

بررسی و مقایسه مقدار جابه‌جایی کلی دال بر این است که تصاویر مدار صعودی در مجموع مقدار جابه‌جایی‌های حوضه اوان (واقع در دامنه‌های جنوبی البرز) را کمتر از تصاویر مدار نزولی منعکس کرده‌اند (۷/۵-۴۴ میلی‌متر) و معمولاً حداکثر جابه‌جایی‌ها متمایل به سراب حوضه بوده است؛ حداقل جابه‌جایی‌ها در این تصاویر بین ۳/۵ تا ۱- میلی‌متر در نوسان است که نشان می‌دهد، از تصاویر مدار صعودی نمی‌توان برای پایش تغییرات حوضه اوان استفاده نمود. حداکثر مقدار جابه‌جایی‌ها در تصاویر مدار نزولی بین ۱۵۲۰ تا ۸/۶ میلی‌متر متغیر بوده است؛ در این تصاویر نیز حداکثر تغییرات به سراب حوضه متمایل شده است؛ علاوه بر سراب، در بعضی از سال‌ها حداکثر تغییرات به مرکز حوضه متمایل شده است؛ با توجه به مشاهدات میدانی حداکثر جابه‌جایی با تصاویر مدار نزولی انطباق بیشتری دارد (روستای زواردشت). با توجه به یافته‌های (قنادی و همکاران، ۱۳۹۷) تصاویر سنتینل برای محیط‌های هموار کاربرد بیشتری دارد و حوضه اوان، حوضه‌ای ناهموار است، در نتیجه چنین می‌توان نتیجه گرفت که با توجه به جهت دامنه‌ها، مقدار جابه‌جایی را در تصاویر مدار نزولی بیشتر می‌توان ردیابی نمود. موقعیت حداکثر تغییرات در همه تصاویر در سراب و متمایل به مرکز و غرب حوضه بوده است؛ و در مجموع بازه زمانی، حداکثر تغییرات در اطراف دریاچه اوان منعکس شده است که با تجمع حداکثر آب و انرژی همخوانی دارد.

لغزش‌های متعدد حوضه اوان، در طی زمان، موجب برهم زدن سیستم هیدرولوژیکی محلی دامنه‌ها می‌شود؛ زیرا اکثر آن‌ها چاله‌های بسته‌ای را ایجاد می‌کنند که در طول فصول مرطوب، به‌صورت برکه‌هایی درمی‌آیند و شرایط را برای نفوذ بیشتر آب و وقوع حرکات توده‌ای وسیع‌تر فراهم می‌کنند. چنین رخدادهایی در ابعاد وسیع می‌تواند به شکل‌گیری دریاچه اوان منجر شده باشد. با توجه به مباحث طرح‌شده جای آن دارد که با پایش دقیق مناطق اطراف دریاچه اوان و مدیریت بحران قبل از وقوع مخاطره زمین‌لغزش، مانع از خسارت‌های شدیدی شد که بر اثر

[10] Bovenga F. Special issue "synthetic aperture radar (SAR) techniques and applications". *Sensors*. 2020 Mar 27;20(7):1851.

[11] Li M, Zhang L, Shi X, Liao M, Yang M. Monitoring active motion of the Guobu landslide near the Laxiwa Hydropower Station in China by time-series point-like targets offset tracking. *Remote Sensing of Environment*. 2019 Feb 1;221:80-93..

[12] Young ME. *Dendro-Geomorphological Analyses of the Slate Creek Landslide, Alaska*. University of Alaska Fairbanks; 2022.

[13] Tu K, Ye S, Zou J, Hua C, Guo J. InSAR displacement with high-resolution optical remote sensing for the early detection and deformation analysis of active landslides in the upper yellow river. *Water*. 2023 Feb 15;15(4):769.

[۱۴] قنادی محمدامین، عنایتی حمید، خصالی الهه. تولید مدل رقومی ارتفاعی زمین با استفاده از تصاویر سنتینل-۱ و تکنیک تداخل سنجی راداری. فصلنامه علمی-پژوهشی اطلاعات جغرافیایی سپهر. ۱۳۹۷؛ ۲۷(۱۰۸): ۱۰۹-۱۲۱.

[۱۵] محمد خان شیرین، گنجائیان حمید، گروسی لیلا، زنگنه تبار زهرا. ارزیابی تأثیر افت آب‌های زیرزمینی بر میزان فرونشست با استفاده از تصاویر راداری سنتینل-۱. فصلنامه علمی - پژوهشی مطالعات جغرافیایی. ۱۳۹۸؛ ۲۸(۱۱۲): ۲۱۹-۲۲۹.

[۱۶] مرادی امیررضا، قنادی محمدامین. ارائه روشی جهت بهبود مدل ارتفاعی رقومی حاصل از تصاویر سنتینل-۱ با استفاده از مدل رقومی SRTM و تبدیل موجک دوبعدی. فصلنامه علمی - پژوهشی مطالعات جغرافیایی. ۱۳۹۲؛ ۲۹(۱۱۵): ۴۸-۳۵.

[۱۷] مهرابی علی. پایش و تحلیل فضایی پایداری شیب با استفاده از تکنیک پراکنش کننده‌های دائمی تصاویر راداری سنتینل ۱، مورد مطالعه: معدن مس سرچشمه، تحلیل فضایی مخاطرات محیطی. ۱۳۹۹؛ ۷(۳): ۲۸-۱۷.

[۱۸] اردکانی احمد، فتحی محمدحسین. شناسایی سامانه دفاع موشکی پاتریوت MIM-104 در اطراف ایران

حرکت ناگهانی مواد در ساحل غربی دریاچه و در مجاورت مناطق مسکونی روستای زرآباد به وقوع پیوست.

## ۷. سپاسگزاری

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از خانواده محترم تیماجی که در مشاهدات میدانی ما را همراهی نمودند، تشکر نمایند.

## مراجع

[1] Mohr JJ, Reeh N, Madsen SN. Three-dimensional glacial flow and surface elevation measured with radar interferometry. *Nature*. 1998 Jan 15;391(6664):273-6.

[2]. Strozzi T, Wegmuller U, Matzler C. Mapping wet snowcovers with SAR interferometry. *International Journal of Remote Sensing*. 1999 Jan 1;20(12):2395-403.

[3] Paterson WS. Some aspects of the physics of glaciers. In *Ice Physics and the Natural Environment* Springer Berlin Heidelberg. 1999; 69-88.

[4] Strozzi T, Luckman A, Murray T, Wegmuller U, Werner CL. Glacier motion estimation using SAR offset-tracking procedures. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 2002 Nov;40(11):2384-91.

[5] Hu X, Wang T, Liao M. Measuring coseismic displacements with point-like targets offset tracking. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*. 2013 Jun 11;11(1):283-7.

[6] Zhao C, Lu Z, Zhang Q. Time-series deformation monitoring over mining regions with SAR intensity-based offset measurements. *Remote Sensing Letters*. 2013 May 1;4(5):436-45.

[7] Ou D, Tan K, Du Q, Chen Y, Ding J. Decision fusion of D-InSAR and pixel offset tracking for coal mining deformation monitoring. *Remote sensing*. 2018 Jul 4;10(7):1055.

[8] Vajedian S, Motagh M.. Coseismic displacement analysis of the 12 November 2017 Mw 7.3 Sarpol-e Zahab (Iran) earthquake from SAR Interferometry. Burst overlap interferometry and offset tracking. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2018 Apr 23;4:205-9.

[9] Belenguer-Plomer MA, Tanase MA, Fernandez-Carrillo A, Chuvieco E. Burned area detection and mapping using Sentinel-1 backscatter coefficient and thermal anomalies. *Remote Sensing of Environment*. 2019 Nov 1;233:111345.

گردشگری حوضه دریاچه اوان با رویکرد توسعه پایدار. شهرسازی و توسعه پایدار. ۱۳۹۲؛ ۱۳-۱.

[۲۶] موسی پور محمد یاسر. بازخوانی مفهوم تزیین در مسکن روستایی ایران (مطالعه موردی: تزیینات مسکن در روستای اوان. استان قزوین). مسکن و محیط روستا. ۱۳۹۷؛ ۳۷(۱۶۲): ۲۰-۳.

[۲۷] امیر پل. ترجمه: منصور، ذبیح‌الله، خداوند الموت حسن صباح. تهران: دنیای دانش؛ ۱۳۷۹. ص ۷۶۷.

[۲۸] صفری سحر، عسکری پور نریمان، روشن آرا سحر، آداودی رؤیا، طاهری پور ندا، بیات داشلی برون فاطمه. (۱۳۹۵). تحلیلی بر ویژگی‌های محیط‌زیستی دریاچه اوان. کنفرانس ملی هیدرولیک ایران. ۱۳۹۵؛ (۱۵): ۸-۱.

[29] Asgari, G, Yassaghi, A. Madanipour, S. Structural Geomerty of Moallem Kelayeh Inlier; an Evidence of Inversion Tectonic and Dextral Transpression in West Central Alborz Range. Journal of Tectonics.2015; 1(2): 2-19.

[30] Massonnet D, Rabaute T. Radar interferometry: limits and potential. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. 1993 Mar;31(2):455-64.

[31] Mohr JJ, Madsen SN. Error analysis for interferometric SAR measurements of ice sheet flow. In IEEE 1999 International Geoscience and Remote Sensing Symposium. IGARSS'99 (Cat. No. 99CH36293).1999; 1(1): 98-10.

### پی‌نوشت‌ها

1. Differential Synthetic Aperture Radar interferometry (D- InSAR)
2. Synthetic Aperture Radar (SAR)
3. Digital Elevation Model (DEM)
4. The Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)
5. Image
6. The Sentinel Application Platform (SNAP)
7. Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR)
8. Master
9. Slave
10. Copernicus Open access hup

توسط تصاویر راداری سنتینل ۱. مجله کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش‌ازدور در برنامه‌ریزی. ۱۴۰۰؛ ۱۲(۲): ۴۰-۲۷.

[۱۹] جعفری شاهین، عطارچی سارا. آشکارسازی مناطق ساخته‌شده شهری با استفاده از تصاویر مدارهای متفاوت سنتینل ۱، مورد مطالعه: شهر اصفهان. پژوهش‌های جغرافیای برنامه‌ریزی شهری. ۱۴۰۰؛ ۹(۳): ۷۰۹-۷۳۴.

[۲۰] رستمی سقز احسان، شریفی محمدعلی؛ حسلو، مهدی. بررسی تغییرات خط ساحلی چالوس تا تنکابن با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۱. دوفصلنامه مقاله پژوهشی. ۱۴۰۰؛ (۱۱۵): ۱۱۶-۱۰۸.

[۲۱] محمدنژاد آروق وحید. تهیه نقشه گسترش سیلاب با استفاده از تصاویر راداری سنتینل ۱. مطالعه موردی: سیل فروردین ۱۳۹۸، شهرستان پلدختر. مجله آمایش جغرافیایی فضا. ۱۴۰۰؛ ۱۱(۴۱): ۸۰-۶۹.

[۲۲] مهرابی علی، کریمی صادق، صفی پور، مجید. پایش نرخ جابه‌جایی رانش زمین با استفاده از تکنیک پراکنش کننده‌های دائمی تصاویر راداری سنتینل ۱ (مطالعه موردی: رانش مشایخ، شهرستان ممسنی فارس). مجله علمی پژوهشی مخاطرات طبیعی. ۱۴۰۰؛ ۱۰(۲۸): ۱۷۰-۱۵۱.

[۲۳] هاشمی تنگستانی مجید، کریمی مرجان. آشکارسازی نشن نفت با استفاده از تصاویر مادیس و سنتینل-۱ (مطالعه موردی: شمال خلیج فارس). انجمن سنجش‌ازدور و GIS ایران. ۱۴۰۱؛ ۱۴(۳): ۱۰۴-۸۴.

[۲۴] محبیان شهلا، غضنفری پرویز، آهنکار ابوالحسن. ژئوتوریسم دریاچه اوان. پنجمین همایش تخصصی زمین‌شناسی. ۱۳۹۰؛ ۶-۱.

[۲۵] مدی حسین به‌آفرید، علی بخش اسدی‌ها عطیه، طهرانچی نونا. مکان‌یابی و سازمان‌دهی مراکز خدمات