نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال نهم، شماره ۳، پاییز ۱٤۰۱

صفحات ۱۳۵ – ۱٥٤

# تداخل‌سنجی تفاضلی تصاویر راداری به منظور تبیین خطرپذیری شبکه انتقال نفت و گاز مارون از مخاطره زمین‌لغزش

**محمد شریفی کیا؛[1] دانشیار سنجش از دور، گروه سنجش از دور، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.**

**مرال پورحمزه؛ دانش آموخته سنجش از دور، گروه سنجش از دور، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.**

**دریافت مقاله :۱۳۹۷/۱۱/۰۱ پذیرش نهایی:۱۴۰۱/۰۸/۲۱**

**چکیده**

**تداخل‌سنجی راداری تکنیکی کارآمد برای رصد پویایی سطوح است که به کمک آن میتوان ناپایداری سطوح به‌خصوص سطوح دامنه‌ای که مخاطرات لغزشی را پیامد دارند، تشخیص و مورد پایش قرار داد. تشخیص این مخاطره علاوه بر خطرات شناخته شده و متداول آن در پاره‌ای مواقع می‌تواند تأسیسات و زیرساخت‌های مدفون را آسیب رسانیده، خطرات و خسارات فراوانی به همراه داشته باشد. شبکه انتقال نفت از جمله این زیرساخت‌هاست که با عبور از نواحی کوهستانی و مستعد لغزش عموماً در خطر شکستگی و مالا نشت قرار دارند. برغم وجود چنین پتانسیلی از تهدید و خطر پی جویی انجام شده در این تحقیق در زمینه شناسائی و دست یابی به پژوهش مقاله انتشار یافته به منظور تعیین خطرپذیری خطوط لوله با تکنیک تداخل‌سنجی راداری در منطقه مورد مطالعه قرین توفیق نگردید. تحقیق حاضر خطرپذیری شبکه نفت و گاز مارون (مارون-اصفهان) در زاگرس مرکزی از مخاطره زمین‌لغزش به کمک تکنیک تداخل‌سنجی رادری را هدف داشته است. بدین منظور داده‌های دو سنجنده راداری در باند C و L در مقاطع متفاوت زمانی دریافت و مبتنی بر روش تداخل‌سنجی تفاضلی میزان تغییرات سطح و جابجایی‌های آن محاسبه شد. بر این اساس نرخ حداکثر جابجایی در منطقه حدود ۷/۴ سانتی‌متر بالاآمدگی و ۳/۹ سانتی‌متر فروافتادگی حاصل شد. پس از آن صحت نتایج بدست آمده از مرحله آزمایشگاهی، در پیمایش میدانی با بازدید از ۳ زمین‌لغزش واقع در مجاورت خط لوله و تطبیق مکانی آن‌ها با یافته‌های آزمایشگاهی سنجیده شد. سپس پهنه‌بندی خطر آتی زمین‌لغزش در ۵ کلاس خطر با مدل تجربی ارزش اطلاعاتی تهیه و صحت‌سنجی شد. مستند به این نقشه، حدود ۲۰ درصد سطح اراضی مورد مطالعه در کلاس خطر زیاد و بسیار زیاد طبقه‌بندی شده است. منطبق‌سازی نقشه کلاس‌بندی خطر زمین‌لغزش با مسیر خط لوله نشان داد که ۲۸/۵ درصد از طول خط لوله مورد مطالعه در کلاس خطر زیاد و خیلی زیاد، و حدود ۵۲ درصد از آن در کلاس خطر کم و بسیار کم قرار گرفته‌اند.**

**واژه های کلیدی**: **تداخل‌سنجی رادار، خط لوله نفت و گاز، زمین‌لغزش، مارون، خطرپذیری.**

[1] . نویسنده مسئول: Email:sharifikia@modares.ac.ir

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-30 ]

[ DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.3.9.9 ]

**مقدمه**

در صنایع نفت و گاز همواره خطرات بالقوه‌ای وجود دارند که می‌توانند موجب بروز صدمات جانی و زیست‌محیطی و خسارت‌های مالی شدید و جبران‌ناپذیری شوند. در نواحی زاگرس مرکزی با شرایط زمین‌شناسی و مورفولوژیکی خاصی مواجه هستیم که زیرساخت مناسبی برای وقوع انواع حرکات توده‌ای فراهم ساخته است. به علت خطی بودن خطوط لوله انتقال نفت و گاز، این خطوط لزوماً از مناطق مستعد زمین‌لغزش عبور می‌کنند. خط لوله مارون با عبور از عرض سطوح شدیدا ناهموار از جمله خطوط لوله سخت‌گذر دنیاست. این خط لوله با انتقال روزانه بیش از ۵۰۰ هزار بشکه نفت خام یکی از مهمترین خطوط انتقال نفت خام کشور است که با تأمین خوراک پالایشگاه اصفهان و بخشی از خوراک پالایشگاه‌های تهران و تبریز، نقش مهمی در تأمین سوخت مورد نیاز کشور ایفا می‌کند.

متأسفانه در کشور ما، حدوث زمین‌لغزش فراگیر بوده و از فرکانس زمانی و گستره‌ی مکانی نسبتاً بالایی برخوردار است. اما به علت تنوع در نوع و منشأ حدوث در پاره‌ای از مواقع روش‌های متداول سنجش از دوری و پایش میدانی قادر به آشکارسازی و تعیین نرخ و دامنه‌ی ناپایداری‌ها نیست. علاوه بر آن گستره‌ی فضایی، منطقه بکارگیری ابزاری دقیق پایشی مانند GPS[۱] را به سبب زمان‌بری و هزینه‌ی بالا میسر نمی‌سازد. در عین حال این مهم همچنان مشهود است که شناسایی دقیق پدیده لغزش امکان ارزیابی و تحدید آن در فرم مخاطره برای تأسیسات و زیرساخت‌های واقع را فراهم می‌آورد. محوری‌ترین زیرساخت مورد تهدید از سوی این مخاطره، لوله‌ی انتقال انرژی (نفت و گاز) می‌باشد. درک نرخ و دامنه‌ی فضایی این مخاطره با هدف شناسایی نقاط در معرض گسیختگی موضعی و تهدیدکننده‌ی این شبکه اقدام مناسبی در پیشگیری از فاجعه و تعدیل زیان‌های اقتصادی و زیست‌محیطی ناشی از شکستگی این خطوط است. موضوعی که بی توجهی یا کم توجهی به آن می‌تواند رویداد یک پدیده طبیعی در بستر محیطی خود را به تهدید و ناامنی تبدیل کرده و در مواردی فاجعه‌بار شود.

در کشور ما شکستگی خط لوله انتقال نفت تاکنون خسارات زیست‌محیطی و مالی و حتی جانی زیادی به بار آورده است(۱۴ خرداد ۱۳۸۷). بر اثر نشت نفت خام خسارت‌هایی به منازل مسکونی، رودخانه‌ها، آب آشامیدنی، حوضچه‌های پرورش ماهی، احشام و طیور، درختان و محصولات کشاورزی مناطق اطراف وارد می‌شود. همچنین عملیات بازسازی و تعمیر خط لوله آسیب‌دیده، جمع‌آوری آلودگی‌های نفتی ناشی از شکستگی خط لوله و جلوگیری از انتشار آلودگی‌های نفتی در سطح رودخانه‌ها، از جمله هزینه‌هایی است که ایجاد می‌شود.

تجربه‌های ناشی از خسارات قبلی و تحقیقات کمک می‌کنند تا انواع مختلف شکست‌ها شناسایی شوند و دلایل وقوع آن‌ها ریشه‌یابی گردد و راه‌های مناسب برای جلوگیری از به وقوع پیوستن مجدد آن‌ها به کار برده شود. طبق بررسی‌های صورت گرفته در کشور مطالعاتی در زمینه برآورد خطرپذیری خطوط انتقال نفت و گاز با روش‌های مختلف صورت گرفته که نشان‌دهنده اهمیت این مسئله است. از جمله این روش‌ها می‌توان به روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، HAZUS، Bow-tie، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و بازدیدهای صحرایی اشاره کرد. (موسسه زلزله شناسی، ۱۳۷۵، عباسی، ۱۳۷۶، جوزی و ایرانخواهی، ۱۳۸۸، نورمحمدی، ۱۳۹۰، حصاری شرمه، ۱۳۹۱، ایزدی و چاوشیان، ۱۳۹۴، حیرانی و بقایی، ۱۳۹۵).

[۱] .Global Positioning System

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-30 ]

[ DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.3.9.9 ]

در سطح جهان نیز مطالعات زیادی در رابطه با خطرپذیری شبکه‌های زیرزمینی انتقال انرژی انجام شده است. از جمله آن‌ها پژوهشی در قالب پروژه‌ی ۳۰ ماهه‌ی PRCI[۱] در جهت توسعه رهنمودهایی برای مدیریت خطرات خط لوله گاز طبیعی و هیدروکربن مایع از پدیده‌های زمین‌لغزش و فرونشست زمین در اواسط سال ۲۰۰۶ در ایالت تگزاس آمریکا آغاز شد. دامنه این پروژه شامل بررسی روش‌های موجود برای شناسایی خطرات زمین‌لغزش و فرونشست، یک فرآیند اصولی برای برآورد خطرات ناشی از این پدیده‌ها برای خطوط لوله و مزیت بالقوه استراتژی‌های کاهش خطر، تحقیق در مورد برهم‌کنش خاک و لوله، و روش‌های بهبود یافته تعیین تنش لوله در اندازه‌گیری‌ها می‌باشد (Honegger, *et al.*, ۲۰۱۰). همچنین پژوهشی که توسط فروچا[۲] و همکارانش برای ارزیابی خطر خط لوله گاز زیر دریا در شرق جاوا با روش مونت کارلو انجام شد و مشخص شد که تمام خط لوله در مرحله خطر غیر قابل تحمل قرار دارند (Firucha, *et al.*, ۲۰۱۲). شهریار[۳] و همکارانش با استفاده از آنالیز bow-tie فازی مطالعه‌ای در مورد خطرات خطوط لوله نفت و گاز و عواقب ناشی از شکست خطوط لوله و آثار آن بر مال و جان و محیط انجام داده‌اند، و به این نتیجه رسیدند که در حالت ایده‌آل باید در مرحله طراحی تمام قوانین ایمنی برای خط لوله در نظر گرفته شود (Shahriar, *et al.*, ۲۰۱۲). در مطالعه نسبتا نزدیک به موضوع مورد بررسی در سال ۱۳۷۴ مطالعه‌ای جهت بررسی رفتار خطوط لوله مدفون گاز تحت اثر حرکت نسبی زمین مورد تحلیل قرار گرفته و با استفاده از نتایج این تحلیل‌ها ضمن آن که اثر عوامل مختلف بر رفتار خطوط لوله مدفون بررسی شده، نتایج و توصیه‌های لازم ارائه گردیده است (برگی و هروی، ۱۳۷۴).

آنچه از مطالعات و تحقیقات متقدم در زمینه تبیین تهدیدات مخاطرات زمینی در مسیر شبکه های انتقال انرژی پس روی قرار میگرید متمرکز بر موضوع حدوث خطر و مورد توجه قرار گرفتن چنین مخاطراتی در سطح جهانی ( هرچند بطور محدود و بکارگیری روش و تکنیک های خاص برای رصد آن است. این تکنیک های در گذر زمان توسعه یافته و در مواردی منسوخ و یا تغییر یافته و جای آن را تکنیک های نوین گرفته است. از جمله تکنیک های نسبتا نوین برای شناسائی و اندازه گیری مخاطرات زمینی تداخل‌سنجی تفاضلی راداری (D-InSAR[۴]) است. امکان مناسبی از شناسایی و تحدید مکانی نقاط و نواحی در معرض این پدیده را فراهم می‌آورد. این تکنیک یک روش مناسب جهت آشکارسازی تغییرات به وجود آمده در سطح زمین می‌باشد. این تکنیک می‌تواند حرکت زمین در قدرت تفکیک مکانی بالا را در منطقه‌ای وسیع با حداقل تأثیر از شرایط پوششی و آب و هوایی اندازه‌گیری کند( شریفی کیا ۱۳۹۱).

تکنیک فوق الذکر در دهه گذشته با معرفی داده و نرم افزارهای متنوع بسط فراوانی یافته و موسسات علمی ایران و جهان در زمینه‌ی شناسایی و اندازه گیری پدیده‌های همانند فرونشست زمین, زمین‌لغزش, زلزله و بطور محدودتر سیل مورد توجه محققین بسیار بود است. (Dehgani, et al., ۲۰۰۹ ۱,۲, Chatterjee, *et al.*, ۲۰۰٦, Motagh, *et al.*, ۲۰۰۸, Motagh, *et al* ۲۰۰۹, فولادی‌مقدم، ۱۳۸۸، محمدی، ۱۳۸۹، حقیقت مهر، ۱۳۸۹، کریمی، ۱۳۹۰، دهقان سورکی، ۱۳۹۰، شریفی‌کیا، ۱۳۹۱، شریفی‌کیا و همکاران،, ۱۳۹٤ ۱۳۹۲، حبیب‌زاده هریس، ۱۳۹۲، روستایی و همکاران، ۱۳۹۲، شیرانی و همکاران، ۱۳۹۳؛ ، Sneed, *et al.*, ۲۰۰۳, Ferretti, *et al.*, ۲۰۱۵, Chamundeeswari, *et al.*, ۲۰۰۸, Crosetto, *et al.*, ۲۰۱۳, Raucoules, et al., ۲۰۰۷, Schlögel, et al., ۲۰۱٤ ,.

۱ .Pipeline Research Council International

۲.Firucha

۳ .Shahriar

۴ .Differential Synthetic Aperture Radar Interferometry

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-30 ]

[ DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.3.9.9 ]

علاوه بر شناسائی و اندازه گیری مخاطرات زمینی در پیرامون خطوط انتقال انرژی به سبب محدودیت این روش به مخاطرات حادث در نواحی و نقاط محدود, موضوع پهنه بندی خطر و تبیین درجات خطرافرینی در امتداد خطوط ضرورت می یابد. در رابطه با پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به عنوان مخاطره مورد بحث در این تحقیق, روش‌های زیادی از جمله روش منطق فازی، سلسله مراتبی و شبکه عصبی مصنوعی و روش‌های متفاوت تجربی مثل مدل ارزش اطلاعاتی و رگرسیون لجستیک همواره مورد استفاده محققان داخلی بوده است (راکعی و همکاران، ۱۳۸۴، شریفی کیا ۲۰۰۷ , افجه نصر آبادی و همکاران، ۱۳۸۷، بای و حاجی میر رحیمی، ۱۳۸۷، متکان و همکاران، ۱۳۸۸، مصفایی و همکاران، ۱۳۸۸، ایلانلو و همکاران، ۱۳۸۹، بهنیافر و همکاران، ۱۳۸۹، پورقاسمی و همکاران، ۱۳۹۰، سوری و همکاران، ۱۳۹۰، شادفر و همکاران، ۱۳۹۰، صفاری و اخدر، ۱۳۹۱).

از روش های متداول برای پهنه بندی مخاطره زمین لغزش, روش ارزش اطلاعات در این تحقیق مورد توجه قرار گرفته است. مبتنی بر مبانی علمی و تکنیکی بیان شده مساله شناسائی اندازه گیری و پهنه بندی خطر ناشی از مخاطره زمین لغزش در دامنه ای واجد شبکه مدفون انرژی در کشور ضرورتی خاص داشته که به سبب در اختیار بودن دانش و تکنیک مربوطه ظرفیت اجرایی یافته است. تحقیق حاضر با امهان به این مهم و درک وظیفه مندی علمی در معرفی روشی کارآمد برای بررسی و تبیین خطر احتمالی در پیرامون شبکه انرژی کشور که عمدتا از نواحی کوهستانی و واجد استعداد زمین لغزش کشور عبور می نمایند, تحقیق حاضر صورت پذیرفته است. بدین منظور و با هدف شناخت افزونتر و تعیین کارآمدی تکنیک مورد استفاده جهت تعیین خطرپذیری خطوط لوله انتقال انرژی از مخاطره زمین لغزش در بخشی از رشته کوه زاگرس به عنوان کانون اصلی عبور انرژی به نواحی داخلی ایران , خط لوله مارون به اصفهان مورد مطالعه قرار گرفته است.

## داده و روش کار

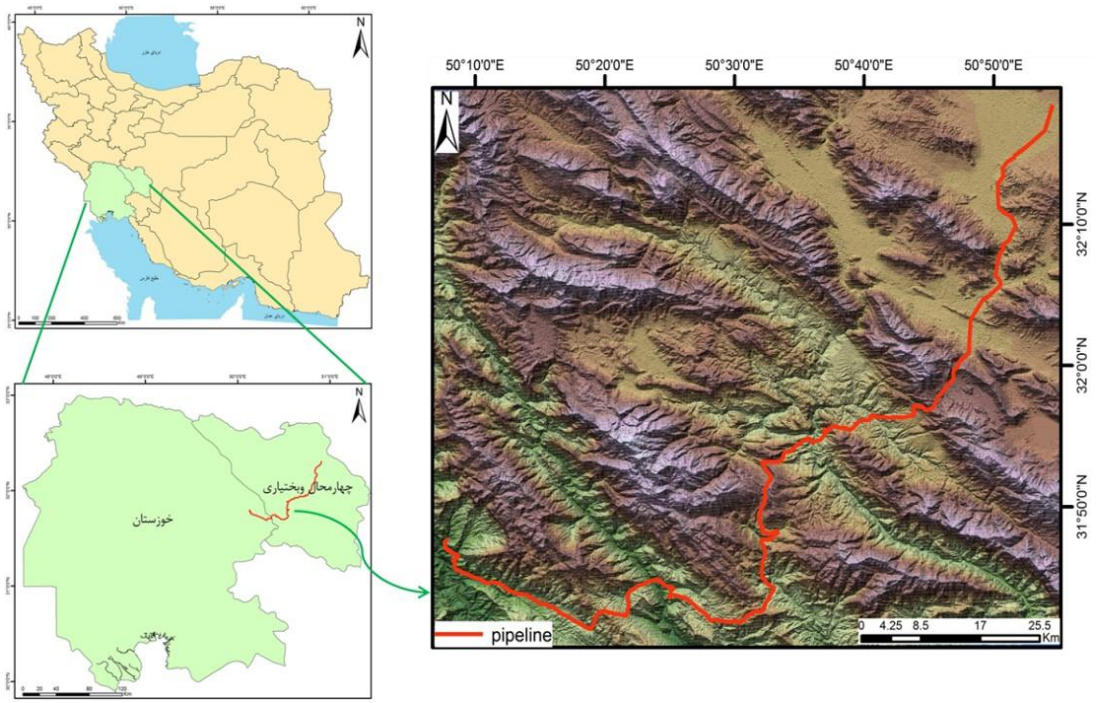
- **معرفی منطقه مورد مطالعه**

منطقه مورد مطالعه واقع در استان چهارمحال و بختیاری و قسمتی از خوزستان با مساحتی در حدود ۵۸۰۰ کیلومتر مربع می‌باشد. این منطقه قسمتی از خط لوله انتقال نفت و گاز مارون-اصفهان، از شهرستان دهدز در خوزستان تا شهرکرد در چهارمحال و بختیاری را در بر می‌گیرد. منطقه غالباً دارای توپوگرافی شدید و در برخی نقاط دشت‌های هموار می‌باشد که هرساله تحت کشت قرار می‌گیرند. موقعیت جغرافیایی منطقه بین عرض‌های ″۰۲ ′۴۰ °۳۱ تا ″۳۰ ′۱۹ °۳۲ شمالی و طول‌های ″۰۰ ′۰۶ °۵۰ تا ″۲۴ ′۵۶ °۵۰ شرقی واقع می‌باشد. ارتفاع این منطقه از ۶۵۴ تا ۴۱۲۵ متر متغیر می‌باشد و متوسط ارتفاع حدوداً ۲۲۳۸ متر برآورد شده است.

با توجه به محدودیت دسترسی به داده‌های ماهواره‌ای و همچنین گستردگی و خطی بودن شبکه انتقال نفت و گاز، تلاش شد بخشی از خط لوله که در منطقه‌ای با حداکثر ناپایداری دامنه‌ای قرار دارد انتخاب گردد. شکل ۱ محدوده جغرافیایی منطقه را نشان می‌دهد.

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-30 ]

[ DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.3.9.9 ]




**شکل۱ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه**

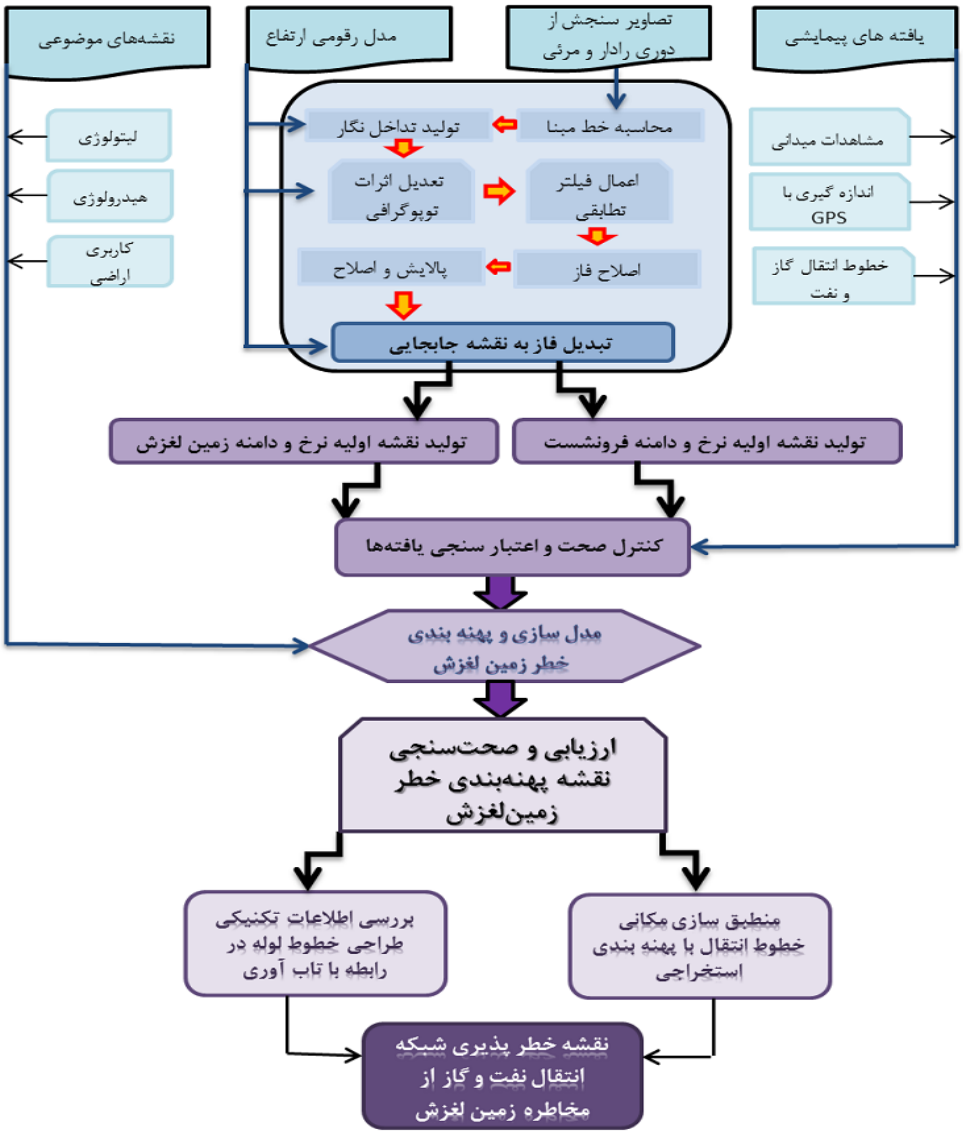
- **داده‌ها و روش**

این پژوهش متکی بر روش آزمایشگاهی-پیمایشی است. نخست روش‌های آزمایشگاهی به منظور تهیه نقشه‌های ناپایداری دامنه‌ای و تشخیص نواحی در معرض خطر زمین‌لغزش و همچنین منطبق‌سازی مکانی آن با نقشه‌ی خطوط لوله برای تعیین مقاطع در معرض خطر انجام شد.در این مرحله از داده‌های باند C دو ماهواره اروپایی Envisat و Sentenal۱A و داده‌های باند L سنجنده PALSAR ماهواره ژاپنی ALOS که از طریق پردازش در نرم افزار تخصصی SARSCAPE در پلات فرم ENVI به کمک روش تداخل‌سنجی تفاضلی رادار (D-InSAR) تغییرات ارتفاعی حاصل از حرکات دامنه‌ای در سطح منطقه تعیین شد. سپس یافته‌های حاصل به‌منظور اعتبارسنجی تکنیک و انطباق‌پذیری مکانی پهنه‌های شناسایی شده از طریق عملیات پیمایشی و با استفاده از ابزار GPS، برای شناخت و پی‌جویی جابجایی‌ها، در سطح زمین کنترل شد. پس از آن اقدام به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش از طریق مدل تجربی ارزش اطلاعاتی[۱] و تبیین سطوح خطرپذیری شبکه در مقاطع در معرض شده و درجات متفاوت آن بر مبنای ساختار تکنیکی شبکه باز تعیین و دسته‌بندی شد.

[۱] .Information Value Model

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-30 ]

[ DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.3.9.9 ]




**شکل۲. دیاگرام مراحل انجام پژوهش**

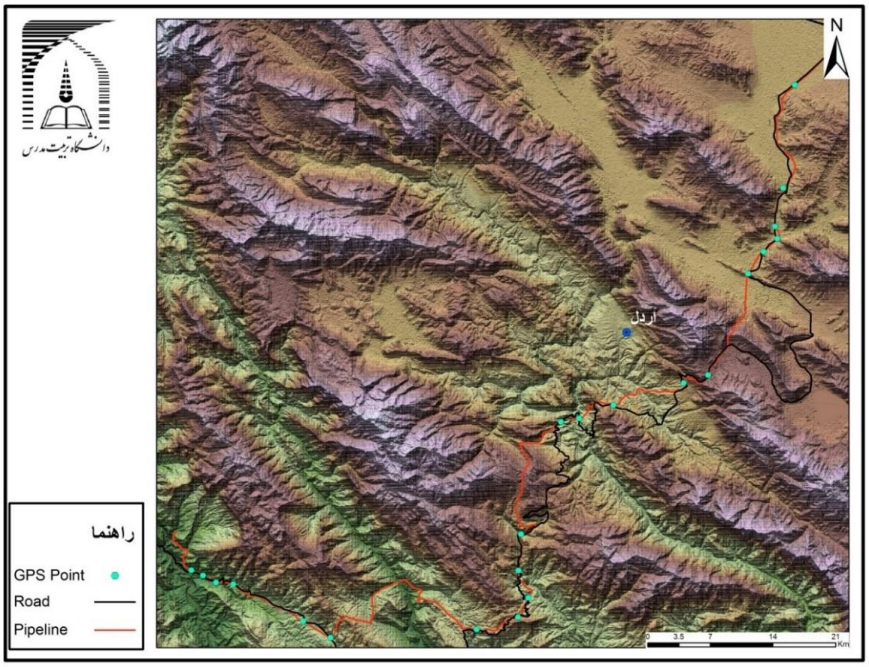
علاوه بر داده های فوق الذکر، در این تحقیق از مدل رقومی ارتفاع (DEM) حاصل از باند L سنجنده PALSAR با دقت ۱۲/۵ متر به عنوان داده ورودی به الگوریتم پردازش با هدف تعدیل هرچه بیشتر اثر توپوگرافی در تخلیص نهایی فاز جابجایی استفاده شد. همچنین از داده‌های جانبی اعم از نقشه‌های پایه‌ی موضوعی و نقشه‌ی تولیدی مسیر خطوط لوله و داده‌های حاصل از پیمایش با GPS برای مدلسازی و تعیین سطوح خطرپذیری ناپایداری‌ها استفاده شد.

هر کدام از سنجنده‌های مورد استفاده با توجه به بسامد مورد استفاده در ارسال و دریافت سیگنال قابلیت‌ها و دقت-های متفاوتی را در برخورد با اهداف زمینی و در نتیجه تغییرات فازی نسبت به هم نشان می‌دهند. لذا بجهت عدم امکان مقایسه یا ترکیب ارقام تفاضل فاز حاصل از جابجایی در نقشه های تولیدی, داده‌ها با فرکانس متفاوت به صورت دو به دو با هم مقایسه و تلفیق گردید. به بیان دیگر داده های مربوط به هر سنجنده پس از انجام پیش پردازش‌های راداری از لحاظ خط مبنای مکانی به صورت مستقل از هم به صورت دو به دو با هم مقایسه گردیده و در نهایت زوج-های مناسب طبق خط مبنای مکانی و زمانی قابل قبول جهت تداخل‌سنجی انتخاب شدند. با هدف تعدیل ناهمدسی

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-30 ]
[ DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.3.9.9 ]

فازی در تصاویر، تاریخ انتخابی با در نظر گرفتن موقعیت مکانی منطقه مورد مطالعه محدود به زمان‌هایی هستند که کمترین تغییرات در رشد و نمو پوشش گیاهی و همچنین کمترین میزان پوشش برفی وجود داشته باشد.

از دیگر داده‌های مورد استفاده در تحقیق داده‌های حاصل از عملیات پیمایش با سیستم تعیین موقعیت جهانی (GPS) هستند. بدین منظور بازدید محلی پس از انجام مراحل آزمایشگاهی و شناسایی ناپایداری‌ها بر روی نقشه منطقه، با کمک GPS در خرداد ماه ۱۳۹۵ به انجام رسید. ابتدا با تعقیب زمینی خط لوله نفت و گاز که غالباً به موازات یکدیگر طراحی شده اند، مسیر عبور لوله بر اساس شواهد زمینی تعیین و اقدام به برداشت موقعیت نقاط شناسائی شده از شواهد قطعی حضور لوله در زیر زمین شد. این مختصات به نقشه های موضوعی حاصل از تصاویر ایتیک منتقل با پردازش این تصاویر و استخراج خطواره[۱] مسیر نهایی تعیین گردید. همچنین علاوه بر داشت این مسیر اقدام انطباق پهنه های معرف لغزش در پیرامون این مسیر با شواهد زمینی و مواردی برداشت مختصات عرصه تغییر یافته با استفاده DGPS به روش RTK شد. در شکل ۴ مسیر پیمایش شده در سفر و همچنین مسیر خط لوله ترسیم شده نمایش داده شده است. نقاط برداشت شده از خط لوله در طول مسیر نیز در تصویر زیر دیده می‌شود.




**شکل ۴. مسیر برداشت شده خط لوله نفت و گاز مارون در عملیات پیمایش میدانی**

**( تصویر زمینه الگوی ناهمواری بخش مرکزی زاگرس , خط قرمز روشن شبکه انتقال نفت و گاز مارون و نقاط سبز زنگ کانونهای شناسائی و برداشت شده در عملیات پیمایشی)**

**مراحل و روش تداخل‌سنجی تفاضلی راداربرای استخراج ناپایداری دامنه ای**

از اساسی‌ترین مراحل در پردازش تداخل‌سنجی راداری انتخاب مناسب زوج تصاویر راداری می باشد که یکسری عوامل همچون فرکانس سنجنده، خط مبنای مکانی، خط مبنای زمانی و همچنین همپوشانی فضایی در راستای حرکت سنجنده، در انتخاب زوج تصاویر مؤثر می‌باشند. نکته حایز ذکر اینکه داده های باند L راداری از قابلیت مطلوبتری

[۱] .Lineament

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-30 ]
[ DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.3.9.9 ]

نسبت به باند C برخوردار است. استفاده از این سنجنده در مناطقی که پوشش گیاهی نسبتاً گسترده است، به دلیل نفوذ بیشتر از سطح پوشش و بازپراکنش مطلوب‌تر از سطح زمین، نتایج رضایت بخش‌تری را در تداخل‌سنجی فراهم می‌آورد. داده‌های راداری از هر دو باند پس از انطباق سنجی زوجی و تعیین خط مبنای مکانی مناسب در محیط SARscape به فرمت SLC تبدیل و بر مبنای آن محاسبات صورت گرفت.

پس از همخوانی دو تصویر، فاز حاصل از دو تصویر SLC نسبت به همدیگر تفاضل یافته و تداخل‌نگا[1]ر تولید گردد. این تداخل‌نگار، حاصل نمایش اختلاف فازی ناشی از تغییر فاصله بین پدیده زمینی و سنجنده در دو عبور متوالی است. این تفاضل فازی با ضرب مختلط تصویر اول در مزدوج تصویر دوم حاصل می‌گردد. فاز حاصل از این عملیات یک فاز تفاضلی می‌باشد که علاوه بر فاز حاصل از جابجایی احتمالی پوسته سطحی زمین، شامل فازهایی مربوط به توپوگرافی، فاز اضافه شده در نتیجه تغییرات مداری و فاز مربوط به اختلال اتمسفر می‌باشد. که در ادامه روند پردازش تداخل-سنجی پلایش گردیده وحدالمقدور تمامی فازها بجز فاز جابجایی از سطح تداخل‌نگار حاصل حذف گردد.

تداخل نگار تفاضلی حاصل پس از حذف فاز های مزاحم ازجمله حذف اثرات توپوگرافی در مرحله پیشین، حاوی نویز فراوانی است که عمدتا از اختلاف زمانی تصاویر، تفاوت خط مبنای مکانی و همچنین ناشی از لکه های فاقد سیگنال پدید آمده و باعث پایین آمدن کیفیت تداخل نگار نهایی میشود. لذا لازم بود تا با اجرای فیلترهای تطبیقی اثر نویزها از روی تداخل نگارها حذف شود. نتیجه این فرایند، ضمن حذف نویز از فاز مربوط به جابجائی و بهبود کیفیت بصری فرینج های تداخل نگار، منجر به تولید تصویر همدوس نیز شد؛ این تصویر به نوبه خود شاخص مناسبی از کیفیت تداخل نگار و تطابق دو فاز مقایسه شده (تداخلی) و همچنین شاخص مناسبی برای ترک یا تاکید بر ادامه فرایند پردازش تداخل سنجی است. تاکنون الگوریتم های متفاوتی برای این نوع فیلترها ارائه شده است که در تحقیق حاضر از فیلتر گلدشتاین برای پاکسازی تداخل نگار استفاده گردید( شکل ۵).

با اعمال فیلتربر روی تصویرتداخل نگار و حذف سیکنال های مزاحم, امکان مقایسه سیگنال باقی مانده از دو تصویر در یک تداخل نگار با هدف درک همدوسی مسیر می شود. مقادیر همدسی شاخص مناسبی برای درک تطابق و مشابهت سیکنال های واصل از یک نقطه در زوج تصویر ( تداخل نگار) است. تعدیل میزان همدوسی از سطح آستانه تعریف شده ( در این تحقیق ۰.۲۵) موید نا کار آمدی تداخل نگار تولید برای اندازه گیری تغییرات سطوح است. در زوج تصاویر مورد استفاده میزان همدوسی در تمام داده های باند L مطلوب لیک در داده های باند C داده مربوط به دوره ۲۰۰۹/۱۲/۱۸ تا ۲۰۰۷/۱۱/۰۹ فاقد حداقل همبستگی تعیین شده بود و حذف گردید( جداول ۱ و ۲) .

**جدول ۱. مقادیر همدوسی مستخرج برای زوج تصاویر باند L**

| تاریخ زوج تصاویر برای ساخت تداخل نگار | خط مبنای زمانی(روز) | کم‌ترین مقدار | بیش‌ترین مقدار | میانگین |
|---|---|---|---|---|
| ۲۰۰۷/۰۹/۲۰۰۹-۳۰/۰۸/۲۰ | ۶۹۰ | ۰/۰۰۰۰۴ | ۰/۹۸۶۱ | ۰/۳۲۶۴ |
| ۲۰۰۷/۰۹/۲۰۱۰-۳۰/۰۷/۰۸ | ۱۰۱۳ | ۰/۰۰۰۰۱ | ۰/۹۹۳۹ | ۰/۳۱۴۵ |
| ۲۰۰۹/۰۸/۲۰۱۰-۲۰/۰۷/۰۸ | ۳۲۳ | ۰/۰۰۰۰۵ | ۰/۹۷۴۵ | ۰/۳۵۷۸ |

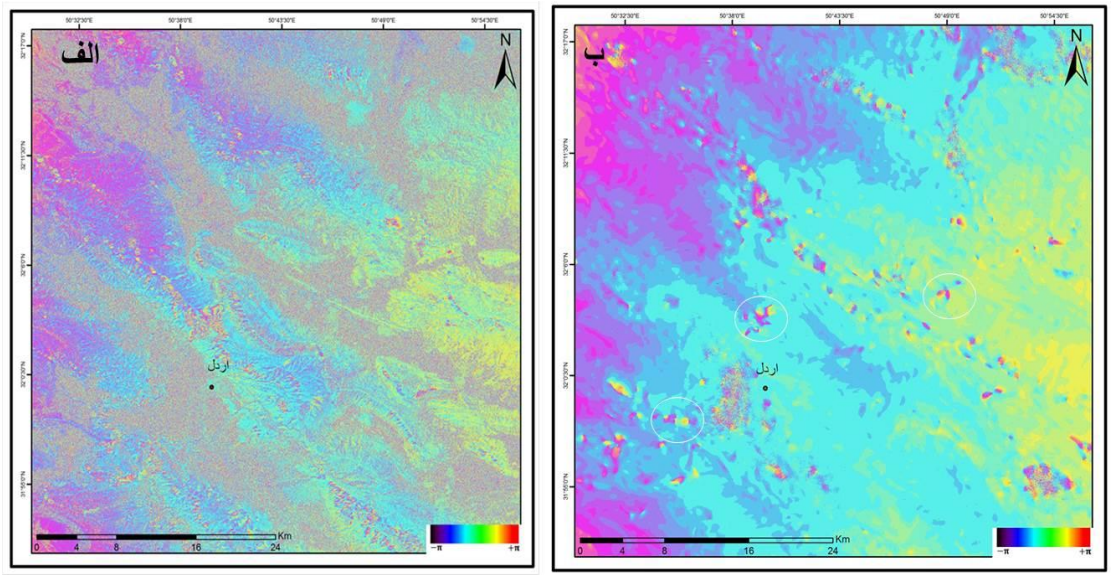
[1] .Interferogram

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-30 ]

[ DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.3.9.9 ]

**جدول۲. .مقادیر همدوسی مستخرج برای زوج تصاویرباند c**

| میانگین | بیش‌ترین مقدار | کم‌ترین مقدار | خط مبنای زمانی(روز) | تاریخ زوج تصاویر برای ساخت تداخل نگار |
|---|---|---|---|---|
| ۰/۲۷۱۵ | ۰/۹۶۵۲ | ۰/۰۰۰۰۳ | ۱۷۳ | ۲۰۰۷/۱۱/۲۰۰۸-۰۹/۰۵/۰۲ |
| ۰/۰۲۲۲ | ۰/۵۰۸۲ | ۰/۰۰۰۰۰۱ | ۷۶۹ | ۲۰۰۷/۱۱/۲۰۰۹-۰۹/۱۲/۱۸ |
| ۰/۲۶۷۱ | ۰/۹۹۰۲ | ۰/۰۰۰۰۸ | ۹۱۳ | ۲۰۰۷/۱۱/۲۰۱۰-۰۹/۰۵/۰۷ |
| ۰/۲۶۲۲ | ۰/۹۷۷۷ | ۰/۰۰۰۰۲ | ۵۹۱ | ۲۰۰۸/۰۵/۲۰۰۹-۰۲/۱۲/۱۸ |
| ۰/۲۳۲۴ | ۰/۹۵۳۰ | ۰/۰۰۰۰۵ | ۷۳۵ | ۲۰۰۸/۰۵/۲۰۱۰-۰۲/۰۵/۰۷ |
| ۰/۲۳۲۷ | ۰/۹۵۷۴ | ۰/۰۰۰۰۴ | ۱۶۹ | ۲۰۰۹/۱۲/۲۰۱۰-۱۸/۰۵/۰۷ |




**شکل۵. انجام فیلتر توافقی گلداشتاین بر روی زوج تصویر از سنجنده PALSAR**

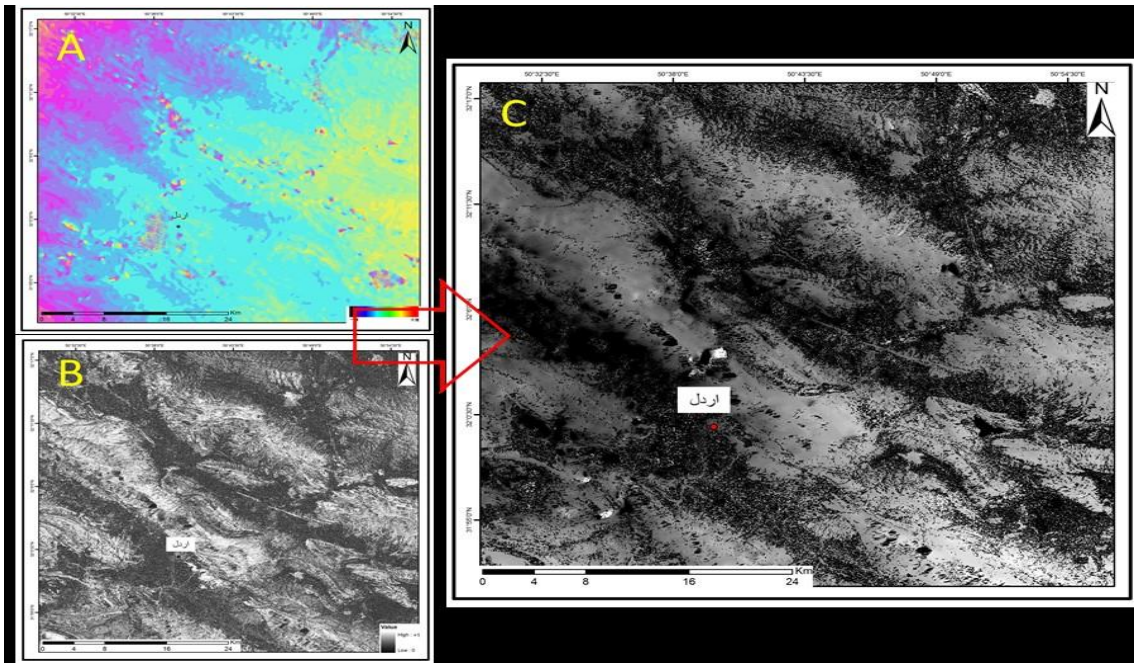
**( تصویر الف: تداخل نگار پس از حذف اثر توپوگرافی . تصویر ب : تداخل نگار تصویر الف پس از اعمال فیلتر - نواحی واقع در دوایر سفید معرف نمونه های از نقاط واجد تغییرات در سطوح است)**

در مرحله بعدی از فرایند پردازش تصاویر راداری با توجه به اینکه در سیستم رادیانسی فاز یک تداخل‌نگار می‌تواند تنها به اندازه $2\pi$ تغییر کند، برای مواقعی که تغییرات بیشتر از مقدار یاد شده باشد نیازمند به بازنگاشت فاز[۱] است. فرایند بازنگاشت فازی باعث خواهد شد تا مقادیر واقعی فاز تداخل‌نگار مجدداً محاسبه شود. در این راستا الگوریتم‌های متنوع و پیچیده‌ای تا کنون ارائه شده‌اند که هر کدام بسته به نوع داده و منطقه مورد مطالعه مزیت‌های خاص خود را دارا هستند. عمومی‌ترین روش‌هایی که تا کنون در این زمینه به کار گرفته شده‌اند شامل الگوریتم‌هایی موسوم به رشد ناحیه‌ای[۲] و جریان با کمترین هزینه[۳] می‌باشند. الگوریتم اول قابلیت انطباق بیشتری با مناطقی که همبستگی نسبتاً بالا در تصاویر همدوس دارند، دارا می‌باشد. در این تحقیق نیز با توجه به مقادیر همبستگی در تداخل‌نگارهای حاصل، از

۱. Phase Unwrapping
۲. Region Growing
۳. Minimum cost flow

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-30 ]
[ DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.3.9.9 ]

روش دوم برای هر دو سری از تداخل نگارهای حاصل استفاده شد. مقادیر آستانه این الگوریتم نیز با توجه به میانگین مقدار همبستگی در تصویر همدوسی محاسبه و تنظیم گردید (شکل ۶).




**شکل۶. تصویر نمونه حاصل از اصلاح فازی زوج تداخل‌نگار از باند L**

**(A: تداخل‌نگار تفاضلی فیلتر شده B :تصویر همدوس C: تداخل‌نگار اصلاح شده فازی – نواحی روشن در تصویر C موید نقاط و عرصه های دارای تغییرات ارتفاعی در سطح است که مقادیر آن با افزایش درجات روشنایی افزایش می یابد)**

به منظور تبدیل صحیح فاز اصلاح شده به مقادیر ارتفاعی و محاسبه میزان جابجایی سطح زمین،منطبق با الگوریتم مورد استفاده لازم است تا مرحله پالایش و تصحیح مضاعف[۱] نیز اجرا گردد. اجرای این مرحله باعث می‌شود تا فازهای احتمالی مزاحم دیگر از قبیل فازهای باقی مانده از اثرات توپوگرافی و همچنین فاز باقی مانده از جابجایی‌های مداری ماهواره از فاز موجود ( ناشی از جابجایی سطح)حذف گردد. انجام این عمل برای تداخل‌نگارهایی که نشان‌هایی از لرزش سکو در فرم پلکانی[۲] دارند، ضروری بوده و حتماً می‌بایست انجام پذیرد. هرچند انجام آن برای داده‌های واجد دقت و عدم لرزش در سکوی نیز توصیه شده است.

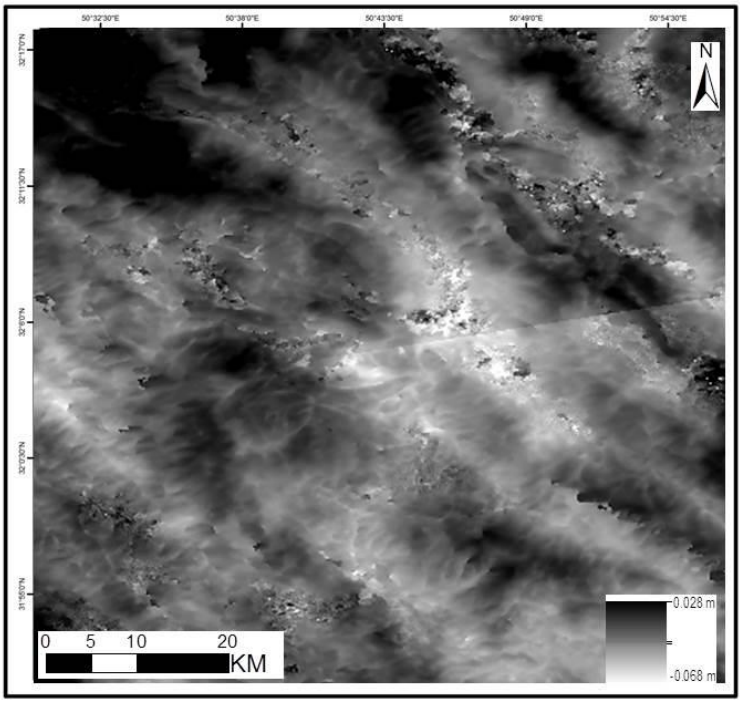
از اختلاف فاز حاصل در مرحله اصلاح فازی از فازهای ناشی از توپوگرافی و خطاهای مداری، فاز مطلقی به دست آمد که مربوط به جابجایی‌های رخ داده درسطح زمین در بازه زمانی دو تصویر است. نکته مهم اینکه با توجه به توپوگرافی نسبتا خشن منطقه؛ اصلاح تغییرات ناگهانی یا پرش‌های فاز[۳] موجود در تصویر تصحیح شده با دقت خاص زدوده شده تا مقادیر فاز در فرم فرم تغییرات تدریجی حاصل آید. آنچه مسلم است، تغییر ناگهانی و نسبتاً شدید سطوح زمین به جز موارد گسلش تا حدود زیادی غیر ممکن می‌نماید. لذا هرگونه جابجایی ناگهانی مقادیر فاز پس از کنترل و بررسی

۱. Refinement
۲. Ramp
۳ . hase Jump

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-30 ]
[ DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.3.9.9 ]

ساختارهای زمین‌شناسی و مورفولوژیکی، و بخصوص موضوع تغییرات سطحی پوسته زمین، می‌بایست به پرش فاز نسبت داده شده و اصلاح گردد.

در فرجامین مرحله از بردازش تصاویر با تبدیل فاز به مقادیر جابجایی ( تبدیل رادینس به متر) میزان تغییرات ارتفاعی حادث در منطقه در فرم عمودی (بالا آمدگی , فرو افتادگی) و افقی لغزش و رانش سطحی اندازه گیری شد ( شکل ۷).




**شکل۷ .نقشه نهایی و متریک معرف الگوی فضایی جابجایی سطوح**

**( نواحی با تن روشن عرصه های در معرض فروافتاده گی –و عرصه های تیره نواحی دارای بالاآمدگی است, نواحی با حداکثر روشنایی عمدتا دامنه های در معرض لغزش را معرفی می نمایند)**

- **مراحل و روش مدل ارزش اطلاعات برای پهنه بندی خطر زمین لغزش**

یکی از مدل‌های آماری دو متغیره برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش مدل ارزش اطلاعاتی[۱] که توسط ین[۲] و همکاران در سال ۲۰۰۰ معرفی شده است. بیان اصلی این روش بر مبنای ارتباط بین هر عامل و توزیع و وقوع زمین‌لغزش در گذشته و حال است. کیفیت خروجی این مدل به طور مستقیم وابسته به کیفیت و مقدار داده‌های جمع‌آوری شده می‌باشد

ارزش اطلاعاتی هر متغیر (Xi) با فرمول زیر بدست می‌آید (Yin et al., ۱۹۸۸):

$$IAJ\rightarrow T = \log \frac{\frac{Si}{Ni}}{\frac{S}{N}}$$

که در آن، IAJ→T اطلاعات ارائه شده توسط عامل A و کلاس j برای وقوع T

۱. Information Value

۲ . Yin

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-30 ]

[ DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.3.9.9 ]

N = تعداد کل پیکسل‌های منطقه

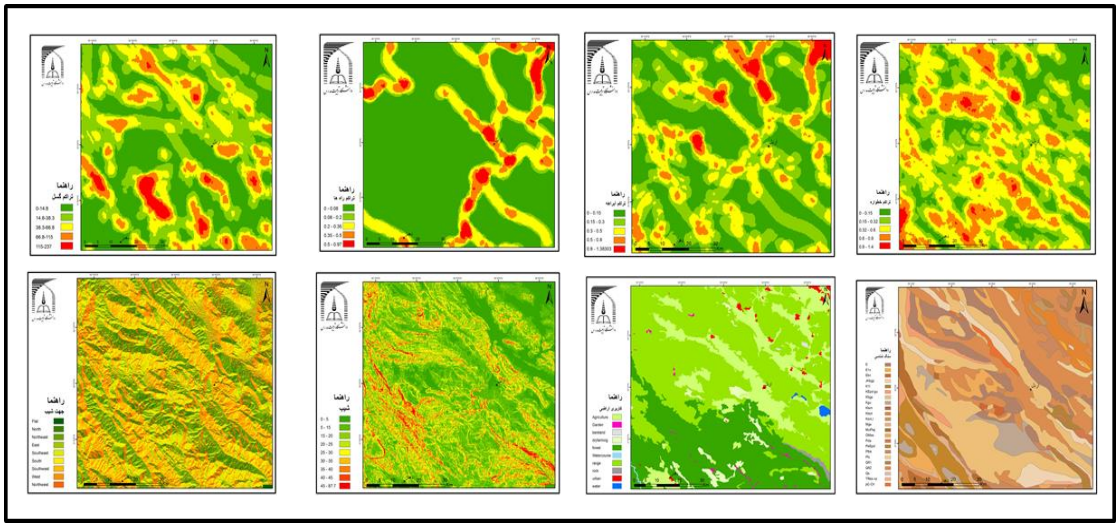
Ni = تعداد پیکسل‌های کلاس j عامل A

S = تعداد کل پیکسل‌های زمین‌لغزش رخ داده (عامل A)

Si = تعداد پیکسل‌های زمین‌لغزش رخ داده در کلاس j عامل A

مدل ارزش اطلاعاتی با ۸ لایه اطلاعاتی (لایه‌های اطلاعاتی شیب، جهت شیب، سنگ‌شناسی، کاربری اراضی، تراکم گسل، تراکم جاده، تراکم شبکه آبراهه و تراکم خطواره‌ها) به عنوان فاکتورهای عامل و نقشه زمین‌لغزش حاصل از تداخل‌سنجی تفاضلی رادار به عنوان نقشه پایه به کار گرفته شد.

مطبق با الگوریتم این مدل لازم بود علاوه بر نقشه زمین لغزش های حادث که در این تحقیق نقشه خروجی حاصل از تفاضل سنجی راداری است( شکل شماره ؟) ؛ تعدادی از نقشه های موضوعی که عناصر آن میتوانند در حدوث و ایجاد لغزش به عنوان عامل ایجابی یا تشدیدی موثر باشند از جمله نقشه شیب، ناهمواری ، پوشش سطح؛ لیتوژی، گسلش و خط واره و... تهیه و پس از آمده سازی به مدل معرفی شود. مبتنی بر داده های فراهم شده برای این تحقیق این ست نقشه در ۸ عنوان فوق الذکر تهیه و به مدل معرفی شد( شکل ۸).



**شکل۸ .نقشه‌های موضوعی تولیدی برای ورود به مدل ارزش اطلاعات**

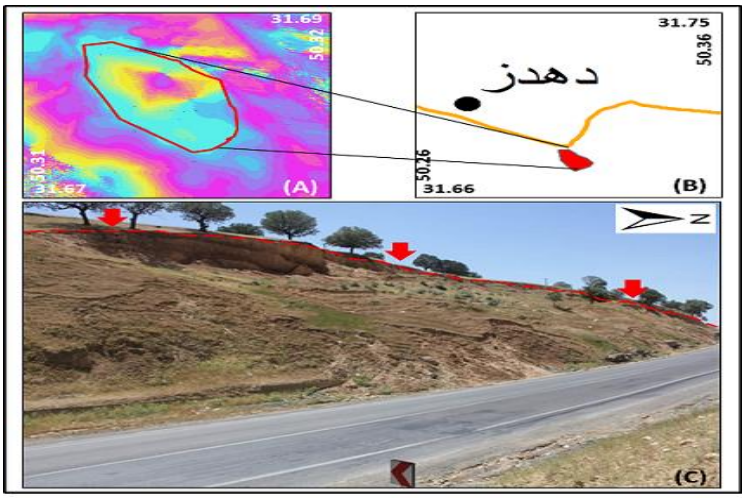
**( از راست ردیف بالا نقشه تراکم گسل, نقشه تراکم شبکه راه, نقشه تراکم آبراهه و نقشه تراکم خطواره , ردیف پایین نقشه جهات شیب , نقشه درجه شیب, نقشه کاربری اراضی و نقشه سنگ شناسی )**

- **پیمایش میدانی**

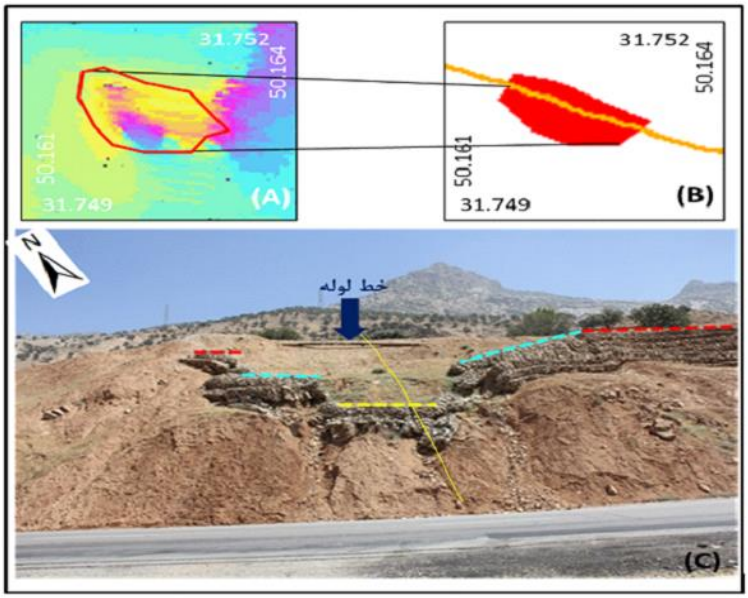
در این تحقیق پس از شناسائی نواحی معرف زمین لغزش های حادث, اقدام به بررسی و پیمایش میدانی با هدف انطباق یافته ها با واقعیت زمینی شد. بدین منظور اقدام به تطبیق مکانی عرصه معرف لغزش در نقشه حاصل با مکان , و موقعیت زمینیی آن GPS شد سپس در عرصه شناسانی شده شواهد لغزش بررسی و در مواردی برای تطبیق رقومی فرم و الگوی لغزش با یافته تصویر اقدام به نقشه برداری به روش RTK از طریق دستگاه DGPS گردید. شکل ۹ و ۱۰ نمونه‌هایی از زمین‌لغزش دیده شده در منطقه و تطابق آن‌ها با تصاویر حاصل از تداخل‌سنجی را نشان می‌دهند که حاکی از صحت مطلوب تکنیک مورد استفاده است.

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-30 ]

[ DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.3.9.9 ]




**شکل۹ .عکس میدانی- نمونه‌ای از زمین‌لغزش حادث درمجاورت خط لوله در مجاورت روستای دهدز**
**( A انترفروگرم معرف زمین لغزش B موقعیت زمین لغزش ترسیمی نسبت به خط لوله C نمای شرقی – غربی از زمین لغزش مورد بررسی – خطوط محل عبورتقریبی خط لوله را نشان می دهد.)**




**( A انترفروگرم معرف زمین لغزش B موقعیت زمین لغزش ترسیمی نسبت به خط لوله C نمای شمال شرقی جنوبغربی از زمین لغزش حادث – خط زرد ممتد مسیر ترسیم پرفیل طولی ترسیم در قسمت B شکل ۱۲ - خطوط خط چین رنگی معرف اقدامات عمرات نا کارآمدی و بعضا تشدید کنند لغزش در مجاورت خط لوله از زمین لغزش مورد بررسی مطالعاتی و تداخل نگار مربوطه(A)**

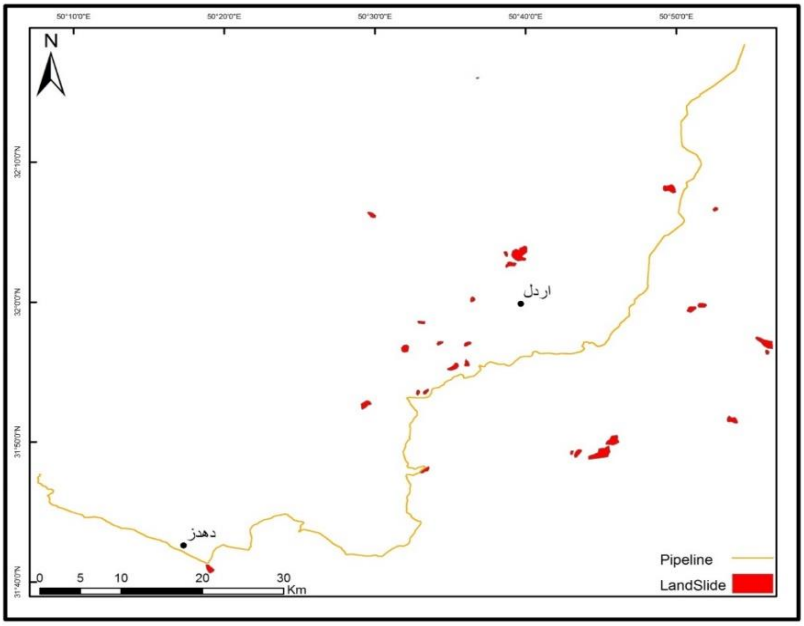
## شرح و تفسیر نتایج

- **ناپایداری دامنه ای**

نقشه های متریک جابجایی سطح به عنوان اولین یافته تحقیق است ( نقشه شماره ۸). مستند به این نقشه و با حذف عرصه های در معرض سنگ افت و خزش که در زایش مخاطره زمین لغزش برای خطوط لوله موثر نیستند, ۳۱ عرصه در معرض زمین لغزش فعال از نوع حرکات توده ای که تهدید کننده شبکه انتقال انرژی است شناسائی گردید. همچنین این یافته روشن ساخت که از این تعداد زمین لغزش ۴ مورد کاملا بر محور عبوری خطوط انتقال انرژی

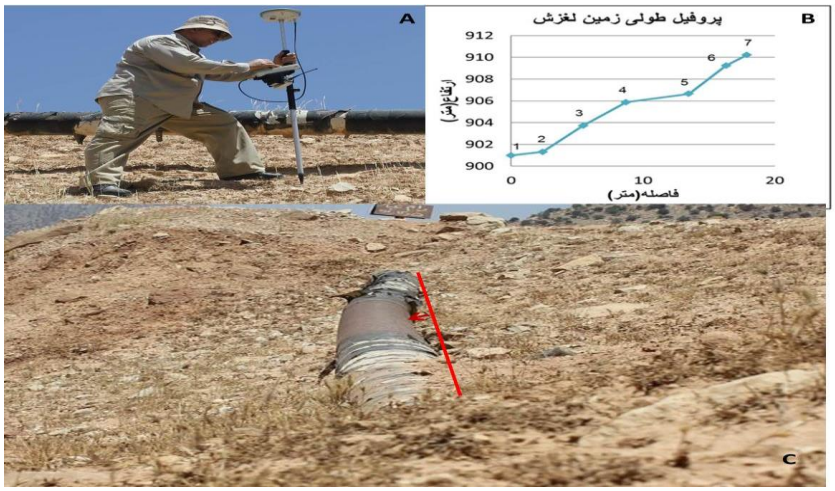
[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-30 ]
[ DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.3.9.9 ]

منطبق بوده و خساراتی را در پی داشته و ۳ مورد نیز در مجاورت خطوط قرار دارد. مابقی با خطوط فاصله داشته و صرفا تهدیدی بالقوه محسوب می شوند.




**شکل۱۱ .نقشه عرصه های در معرض لغزش ( حرکات توده ای ) در مسیر و پیرامون شبکه انتقال انرژی مورد مطالعه**

تجزیه و تحلیل نقشه زمین لغزش و همچنین دستاوردهای پیمایش میدانی دقیق در مورد یک زمین لغزش بر روی شبکه لوله روشن می سازد که زمین لغزش حادث در سطح افقی به میزان ۲۰ متر از فرو افتادگی قریب به ۱۰ متر برخودار بوده این میزان رانش زمین منجر به فشار بر خط لوله و خمیدگی آن به میزان ۲۸ سانتی متر در طول ۴ متری شده است (شکل ۱۲) . مساله ای که در صورت مداومت قشار لغزش و عدم کنترل آن می تواند با شکستن خط لوله منجر به حادثه و حدوث خسارت شود.




**شکل .۱۲ عکس میدانی- پیمایش میدانی از زمین‌لغزش آسیب رسان به خط لوله حادث در مجاورت سد مارون**
**( A برداشت با دستگاه DGPS B پرفیل ترسیمی از مقطع نماش داده شده در شگل ۱۰ C نمای نزدیک از آسیب دیگی خط لوله انتقال گاز- خط قزمز به طول ۴ متر و پیکان واصل به میزان ۲۸ سانتیمتر خمیدگی لوله را نان می دهد)**

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-30 ]
[ DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.3.9.9 ]

تحقیق حاضر روشن ساخت که هرچند برخی از زمین لغزش های مستخرج انطباق مکانی کامل با خطوط انتقال نداشته و در پیرامون آن واقع است. لیکن این امر نافی تهدید و خطر آفرینی برای خطوط لوله نبوده بلکه پتانسیل بسیار بالای برای خطر آفرینی در افق آتی فراهم ساخته است. بطوریکه که در مواری حدوث مکرر لغزش دامنه فاصله خط لوله با کانون خطر را اندک ساخته و تهدید قریب به وقوعی را پیامد دارد (شکل ۱۳).

**شکل ۱ عکس میدانی- نمونه‌ای از زمین‌لغزش حادث در مجاورت خط لوله**

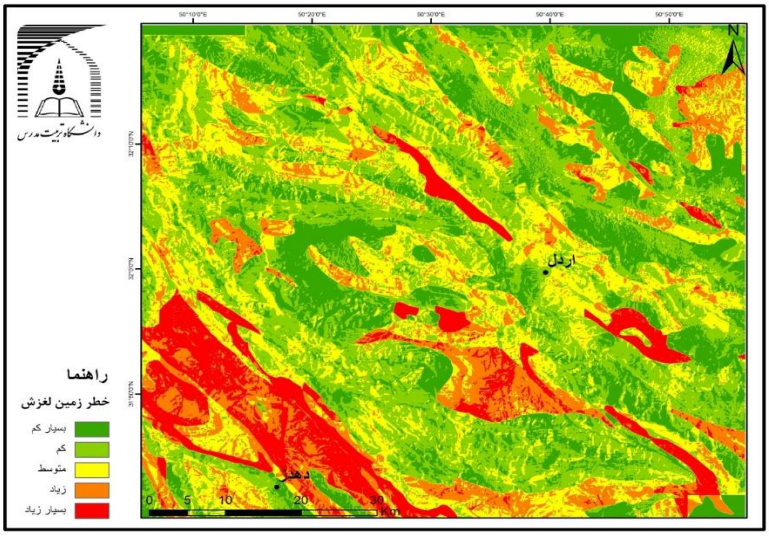
**(خط چین قرمز لبه لغزش را تحدید می نماید. خط طلول روبروی این لغزش و درطرف مقابل جاده واقع است که کلاهک آن در ذیل جهت نمای شمال مشهود است )**

- **پهنه بندی مخاطره لغزش**

نقشه حاصل از پهنه بندی مخاطره زمین لغزش و کلاس بندی آن در پنج کلاس متداول خطر از بسیارکم تا بسیار زیاد علاوه تبدیل یافته های نقطه ای از زمین لغزش های حادث به عرصه و پهنه واجد پتانسیل خطر؛ امکان تجزیه این عرصه ها به کانونهای پتانسیل خطر با درجات متفاوت را فراهم آورد(شکل ۱۴).

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-30 ]

[ DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.3.9.9 ]




**شکل۱۴ .نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل ارزش اطلاعاتی**

تجزیه و تحلیل اولیه این نقشه روشن ساخت که حدود ۲۰ درصد از سطوح مورد مطالعه در کلاس خطر زیاد و خیلی زیاد قراردارند. این یافته معرف پتانسیل نسبتا بالای محدوده به لحاظ خطر زمین لغزش است. امری که شرایط خاص مرفولوژیکی و لیتولوژی عناصر اصلی پدید آورند آن بوده اند. همنهاد سازی مکانی مسیر خطوط انتقال انرژی با این نقشه و تجریه تحلیل این خطوط به لحاظ خطر پذیری از مخاطره مورد مطالعه نیر موید وقوع بیش از ¼ طول خطوط در عرصه های با خطر زیاد و بسیار زیاد است( جدول شماره؟).

**جدول ۷ .طول خط لوله منطقه مطالعاتی در هر کلاس خطر**

| کلاس خطر | طول خط لوله (کیلومتر) | طول خط لوله (درصد) |
|---|---|---|
| بسیار کم | ۱۹/۲۴ | ۱۲/۳۳ |
| کم | ۶۱/۷۵ | ۳۹/۶ |
| متوسط | ۳۱/۷۷ | ۲۰/۳۶ |
| زیاد | ۲۵/۹ | ۱۶/۶ |
| بسیار زیاد | ۱۷/۳۱ | ۱۱/۰۹ |

- **تحلیل و ارزیابی و صحت نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش**

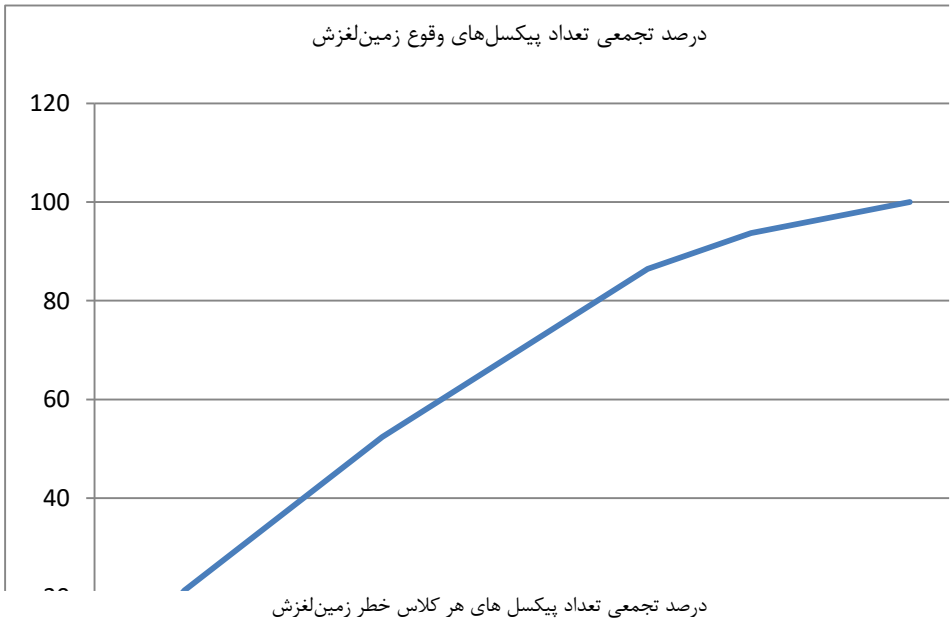
یافته تحقیق در خصوص نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش به سبب پیش بینی و پتانسیل سنجی خطر آتی قابلیت تحلیل و سحت سنجی در زمان حال ندارد. در عین حال تحلیل و مقایسه تعداد پیکسل مربوط به سطوح فضایی زمین لغزش های حادث یا فعال شناسائی شده در پردازش داده های راداری به پیکسل های معرف در نقشه تولیدی پهنه بندی خطر در یک نمودار می تواند ارزیابی نسبتا مناسبی از صحت این نقشه ارائه نماید. تحلیل این نمودار نشان می دهد در عرصه های کلاس خطر زیاد بالاترین تطابق بین وضعیت پتانسیل ترسیمی (نقشه پهنه بندی) و واقعیت زمینی ( زمین لغزش حادث) وجود دارد. همچنین فقط حدود ۴ درصد زمین لغزش های حادث که می بایست در کلاس پرخطر و یا بسیار پر خطر واقع می شدند؛ در نقشه پهنه بندی در کلاس بسیارکم خطر واقع قرار گرفته که می تواند به خطا یا عدم صحت در پهنه بندی نسبت داده شود( جدول شماره )

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-30 ]
[ DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.3.9.9 ]

**جدول ۸ .تعداد زمین لغزش ثبت شده در هر کلاس خطر**

| کلاس خطر | تعداد پیکسل زمین‌لغزش ثبت شده | درصد زمین لغزش ثبت شده |
|---|---|---|
| بسیار کم | ۶ | ۳/۷۷ |
| کم | ۳۳ | ۲۰/۷۵ |
| متوسط | ۳۸ | ۲۳/۹ |
| زیاد | ۵۳ | ۳۳/۳۳ |
| بسیار زیاد | ۲۹ | ۱۸/۲۳ |

با هدف و درک تحلیل نهایی سنجش صحت مدل مورد استفاده در پهنه بندی خطر زمین لغزش از نمودار مقایسه ای درصد تجمعی تعداد پیکسل مستخرج از دو نقشه زمین لغزش حادث و پهنه بندی خطراستفاده شد. در این نمودار مقدار مساحت واقع در زیر منحنی ترسیمی موید با رقم حداکثری یک تعریف شده مه موید بطور تئوریک موید انطباق ۱۰۰ درصدی نقشه تولید با واقعیت زمین است. در این محاسبه سطح اشغال زیر منحنی به میزان ۰.۶۳۲۲ محاسبه شد که موید فراگیری انتطباق ۶۳ درصد از پیکسل های نقشه زمین لغزش حادث با نقشه تولید پهنه بندی خطر است. به بیان دیگر صحت این مدلسازی حدود ۶۳ درصد مورد تایید است( نمودار شماره ۲). با عنایت به اینکه مدل مورد استفاده مکرر مورد ارزیابی قرار گرفته و ضریب صحت آن از ۰.۷ تا ۰.۸۵ بوده است, افت ضریب صحت سنجی در این نمودار عمدتا متاثر از نقشه زمین لغزش که صرفا زمین لغزش های فعال را معرفی نموده و زمین لغزش های قدیمی که در دوره مورد مطالعه فعالیت نداشته اند را در برنمی گیرد و همچنین مرکب بودن عوامال زایش زمین لغزش در منطقه که فاکتور های دیگری خارج از فاکتورهای مورد بررسی را طلب می نماید است.




**نمودار شماره ۲ .صحت سنجی کارآمدی مدل ارزش اطلاعات در پهنه بندی خطر زمین لغزش**

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-30 ]
[ DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.3.9.9 ]

## نتیجه‌گیری

در این تحقیق بکمک روش تداخل سنجی نفاضلی راداری علاو بر شناسائی نواحی در معرض لغزش نرخ آن محاسبه شد. کنترل میدانی صحت نتایج بدست آمده از مرحله آزمایشگاهی را بخوبی تایید و شواهدی از تهدید خط لوله توسط زمین لغزش حادث را شناسائی نمود. به بیان دیگر تکنیک بکار گرفته شده پتانسیل و کارامدی خوبی را برای شناسائی این نوع تهدیدات برای زیرساختهای اساسی کشور معرفی نمود. امری به با بگاری گیری آن برای پایش این زیر ساختها امکان حفاظت از این سرمایه را فراهم آورده علاوه بر آن با رصد فعالیت این ناپداریهای و همنها سازی آن با تاب آوری شبکه انتقال میتوان نقاط درمعرض خطر را شناسایی و بموقع اقدام نمود. علاو بر آن در این تحقیق نقشه حاصل از عرصه در معرض لغزش به عنوان داده اصلی و محوری به مدل انتخابی پهنه بندی خطر لغزش معرفی و متکی بر سایر داده های تولیدی و گردآوری شده نقشه پناسیل خطر لغزش تولید و کلاس بندی شد. این نقشه حدود ۲۰ درصد سطح منطقه را در کلاس خطر زیاد و بسیار زیاد طبقه‌بندی نموده است. منطبق‌سازی نقشه کلاس‌بندی خطر زمین-لغزش با مسیر خط لوله نشان داد که ۲۸/۵ درصد از طول خط لوله مورد مطالعه در کلاس خطر زیاد و خیلی زیاد، و حدود ۵۲ درصد از آن در کلاس خطر کم و بسیار کم قرار گرفته‌اند. این یافته علاوه براطلاع رسانی علمی به مسئولین مربوطه ؛ ابزار مناسب برای دسته بندی و اولویت اقدامات اجرایی در طول خط لوله را فراهم آورد . امری که در سایر نواحی که خطوط انرژی از عرصه های پرخطر عبور می نمایند لازم به بکارگیری بوده علاوه بر کارآمدی سهولت بکارگری تکنیکی را متکی بر روش تبیین شده در این تحقیق خواهد داشت.

## منابع


افجه نصرآبادی، شعبان شتایی، نصرت الله رافت نیا، محسن شریعت جعفری. ۱۳۸۷ ، ارزیابی کارایی مدل های آماری ارزش اطلاعاتی و تراکم سطح در پهنه بندی خطر زمین لغزش مناطق جنگلی (سری دو جنگل شصت کلاته گرگان). *مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی*، **۱۵(۶)**: ۳۴-۴۳.

ایزدی, علی و سید علی چاوشی. ۱۳۹۴. ارزیابی کمی و کیفی ریسک های خطوط لوله انتقال نفت ایران مطالعه موردی(شرکت خطوط لوله و مخابرات نفت ایران). *فصلنامه تخصصی علمی ترویجی*،**۵۲** .:۲۰۹-۲۰۰.

ایلانلو مریم؛ ابراهیم مقیمی , محمدرضا ثروتی و منیژه قهرودی تالی.۱۳۸۹. پهنه بندی خطر حرکات توده ای با استفاده از روش منطق فازی (مطالعه موردی حوضه آبریز سیرا). *مجله چشم انداز جغرافیایی*، **۵:۲۶-۱۲** .

بای, ناصر و سیدمحمود حاجی میررحیمی .۱۳۸۷ . پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از روش AHP . همایش ژئوماتیک. تهران، سازمان نقشه برداری کشور: ۹-۱.

برگی؛ خسرو. غلامرضا هروی.۱۳۷۴. بررسی اثر زلزله بر خطوط لوله گاز مدفون. *نشریه دانشکده فنی دانشگاه تهران*، **۵۶(۳)**:.۳۸-۲۲.

بهنیافر, ابوالفضل.؛ محمدرضا منصوری دانشور و پروین کهرباییان, ۱۳۸۹ .کاربرد مدل AHPو منطق فازی در طبقه بندی خطرات زمین لغزش (حوضه آبریزی فریزی). *فصل نامه جغرافیای طبیعی*، **۳(۹)**:۱۰۰-۸۹.

پورقاسمی, حمیدرضا.حمیدرضا مرادی , سیدمحمود فاطمی عقدا, محمدرضا مهدوی فر و مجید محمدی ۱۳۹۰. ارزیابی عوامل ژئومورفولوژیکی و زمین شناسی در تهیه نقشه خطر زمین لغزش با استفاده از منطق فازی و روش سلسله مراتبی (بخشی از حوضه آبخیز هراز). *مجله پژوهش های منابع آب و خاک*، **۱**:۳۰-۱۸.

جوزی, سید علی. مهدی ایرانخواهی.۱۳۸۸. ارزیابی ریسک محیط زیستی خطوط لوله انتقال گاز به روش تلفیقی .AHP . *مجله محیط شناسی*، **۳۶(۱۲۰)** : ۱۰۷-۵۳.


[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-30 ]

[ DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.3.9.9 ]

حصاری شرمه ,مریم .۱۳۹۱ .تحلیل خطرپذیری لرزهای خط لوله انتقال گاز سوم آذربایجان.پایان نامه دانشگاه اراک، دانشکده فنی و مهندسی.

حبیب زاده هریس , محمد صادق۱۳۹۲. بررسی فرونشست زمین در شهریار با استفاده از تکنیک : .D-InSAR پایان نامه . دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد.

حقیقت مهر, پریسا. ۱۳۸۹. مطالعه فرونشست سطح زمین ناشی از استخراج آبهای زیر زمینی و چاههای نفتی به کمک تداخل سنجی راداری. پایان نامه . تهران: دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی - دانشکده نقشه برداری.

حیرانی, پریسا؛ علی بقایی. ۱۳۹۵. ارزیابی ریسک خطوط لوله انتقال نفت و گاز بر مبنای روش Bow-tie فازی شده .*فصلنامه بهداشت و ایمنی کار*، **۶(۱)**: ۷۰-۵۹..

دهقان سورکی, یونس.۱۳۹۰. بکار گیری تکنیک تداخل سنجی تفاضلی راداری (D-InSAR)در تعیین نرخ و دامنه فرونشست زمین در دشت مرند. پایان نامه. دانشگاه تربیت مدرس.

راکعی, بابک. ماشااله خامه‌چیان, پرویز عبدالملکی و پانتهآ گیاهچی. ۱۳۸۶. کاربرد سیستم شبکه عصبی مصنوعی در پهنه بندی خطر زمین لغزش (سفیدار گله). *مجله علوم دانشگاه تهران* ، **۳۳(۳):** ۶۴-۵۷ .

روستایی, شهرام. مه اسا روستا , محمد شریفی کیا و جمشید یاراحمدی .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*،**۵(۳)**:۱۹۰-۱۹۸.

سوری, سلمان. غلامرضا.لشکری پور, محمد غفوری و طاهر فرهادی نژاد. ۱۳۹۰. پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی(حوضه کشوری نوژیان). *نشریه زمین شناسی مهندسی*، **۵(۲)** :۱۲۸۶-۱۲۶۹ .

شادفر , صمد. مجتبی یمانی و محمد نمکی.۱۳۹۰ . پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل های ارزش اطلاعاتی، تراکم سطح و LNRFدر حوضه چالکرود. *مجله مهندسی و مدیریت آبخیز*، **۳**: ۴۰-۴۷

شریفی کیا, محمد .۱۳۹۱. تعیین میزان و دامنه فرونشست زمین به کمک روش تداخل سنجی راداری در دشت نوق-بهرمان. *برنامه ریزی و آمایش فضا*، **۷۵(۳)** : ۷۸-۵۵.

شریفی کیا, محمد. نعمت مال میری و سیاوش شایان.۱۳۹۲. سنجش میزان آسیب پذیری بافت های شهری در برابر مخاطره فرونشست زمین مطالعه موردی ( بخشی از جنوب شهر تهران). *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، **۵:** ۱۰۶-۹۱.

شریفی کیا ,محمد. عباسعلی افضلی و سیاوش شایان.۱۳۹۴. استخراج و ارزیابی اثرات پدیده های ژئومورفولوژیک ناشی از فرونشست در دشت دامغان. *پژوهش های ژئومورفولوژی کمی*، **۲(۱۴) :** ۷۴-۶۰.

شیرانی, کورش. عبدالله سیف و محمد شریفی کیا.۱۳۹۳. ارزیابی کارایی سنجنده های ASAR و PALSAR به کمک تداخل سنجی تفاضلی در شناسایی و پایش زمین لغزش ها در زاگرس. *نشریه علمی-پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز*، **۶ :** ۲۸۸- ۳۰۱.

صفاری, امیر. ارش اخدر. ۱۳۹۱ مقایسه مدل نسبت فراوانی و توابع عضویت فازی در پهنه بندی خطر زمین لغزش(مطالعه موردی جاده ارتباطی مریوان- سنندج). مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی، **۴**: ۷۹- ۹۶ .

کریمی, امین. ۱۳۹۰. فرونشست زمین در دشت قره بلاغ فسا و ارتباط آن با افت سطح آب زیرزمینی .مشهد. پایان نامه. دانشگاه فردوسی مشهد.

عباسی, امین. ۱۳۷۶ .آنالیز خطر ناپایداری دامنه ناشی از زمین لرزه روی خطوط لوله انتقال گاز منطقه چهارمحال و بختیاری . دومین سمینار زمین لغزه و کاهش خسارتهای ان : ۱۶.

محمدی, آرمان.۱۳۸۹ . ارزیابی تراکم مخزن و فرونشست سطح میادین هیدروکربوری با استفاده از روش تداخل سنجی. پایان نامه . دانشگاه صنعتی شاهرود.

مصفایی ,جمال. مجید اونق, منصور مصداقی و محسن شریعت جعفری.۱۳۸۸. مقایسه کارایی مدل های تجربی و آماری پهنه بندی خطر زمین لغزش (حوضه آبخیز الموت رود) .*مجله پژوهش های حفاظت آب و خاک*، **۱۶(۴)** : ۶۱-۴۳ .

موسسه زلزله شناسی .۱۳۷۵ .تعیین خطرپذیری شبکه های انتقال نفت و گاز کشور. گزارش داخلی

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-30 ]

[ DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.3.9.9 ]

نورمحمدی , طاهره . ۱۳۹۰ .ارزیابی ریسک در خطوط لوله بنزین. پایان نامه. دانشگاه سیستان و بلوچستان. مهندسی شمی .

Chamundeeswari, V.: D. Singh, K.singh. ۲۰۰۸. An Analysis of Texture Measures in PCA-Based Unsupervised Classification of SAR Images, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* . **٦(۳)**. :۲۱٤ - ۲۱۸.

Chatterjee, R.S.; B. Fruneau, T. J. P, Rudan, P.S.Roy, P. Frison, R.C. Lakhera, V.K. Dadhwal, R. Saha . ۲۰۰٦. Subsidence of Kolkata (Calcutta) City, India during the ۱۹۹۰s as observed from space by Differential Synthetic Aperture Radar Interferometry (D-InSAR) technique. *Remote Sensing of Environment.* ۱۰۲ :۱۷٦–۱۸۵.

Crosetto, M.: J. Gili, O.Monserrat, C.G.María . ۲۰۱۳. Interferometric SAR monitoring of the Vallcebre landslide (Spain) using corner reflectors. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. **۳** : ۹۲۳-۹۳۳. **doi**.org/۱۰,۵۱۹٤/*nhess*-۱۳-۹۲۳-۲۰۱۳, ۲۰۱۳.

Dehghani, M.: M. J. Valadan Zoej, I.Entezam, A.Mansourian, S. Saatchi. ۲۰۰۹. InSAR monitoring of progressive land subsidence in Neyshabour, northeast Iran. *Geophysical Journal International*. ۱۷۸ **(۱)** :۴۷-۵۶.

Dehghani, M.: M. J. Valadan Zoej, S. Saatchi, J. Biggs, B. Parsons, T. Wright. ۲۰۰۹. Radar Interferometry Time Series Analysis of Mashhad Subsidence. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*. **۳۷ (۱)** :۱٤۷-۱۵٦.

Honegger, D. G.: D. James, R. P. Hart, P. Carl , W. G.Richard. ۲۰۱۰. Recent PRCI Guidelines for Pipelines Exposed to Landslide and Ground Subsidence Hazards. *Pipeline Research Council International (PRCI*). proceedings paper:۷۱-۸۰, **DOI**:۱۰,۱۱۱۵/IPC۲۰۱۰-۳۱۳۱۱

Motagh, M.: Y. Djamour, T. R Walter, H. U Wetzel, J.Zschau, S. Arabi. ۲۰۰۷. Land subsidence in Mashhad Valley, northeast Iran: Results from InSAR, levelling and GPS. *Geophysical Journal International*. ۱٦۸ **(۲)** :۵۱۸-۵۲٦.

Motagh, M.; T. R. Walter, M. A. Sharifi, E. Fielding, A. Schenk, J. Anderssohn, J. Zschau. ۲۰۰۸, Land subsidence in Iran caused by widespread water reservoir overexploitation, *Geophysical. Research. Letter*. **۳۵(** ۱٦٤۰۳):۱-۵. **DOI**:۱۰,۱۰۲۹/۲۰۰۸GL۰۳۳۸۱٤.

Firucha, A.; d .Kriyo Sambodho, Wahyudi. ۲۰۱۲. Penilaian Risiko terhadap Pipa Bawah Laut East Java Gas Pipeline (EJGP) Pertagas Akibat Soil Liquefaction karena Gempa Bumi. *Jurnal Teknikits*. **۱ (۱)**: ۱٤۳-۱٤۸.

Ferretti, A.; D.Colombo, A.Fumagalli, F.Novali, A.Rucci. ۲۰۱۵. InSAR data for monitoring land subsidence:time to think big. *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences* (PIAHS). **۳۷۲:** ۳۳۱-۳۳٤.

Raucoules, D.; S. Le Mouelic, C.Carnec, M. Christophe. ۲۰۰۷. Urban subsidence in the city of Prato (Italy) monitored by satellite radar interferometry. *International Journal of Remote Sensing*. **۲٤.(٤)***:* ۸۹۱-۸۹۷.

Shahriar, A.; R. Sadiq, S.Tesfamariam. ۲۰۱۲. Risk analysis for oil & gas pipelines: A sustainability assessment approach using fuzzy based bow-tie analysis. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. **۲۵.(۳):** ۵۰۵-۵۲۳.

Sharifikia, M. ۲۰۰۷. Remote Sensing & GIS Application in Geohazards A case Study of Central Alborz, N. Iran. *PhD Thesis*, Department of Geology University of Delhi.

Sneed, M.; E. M.F.Ikehara, V.Sylvia , F.A. Stork, L. Devin. ۲۰۰۳. Detection and Measurement of Land Subsidence Using Interferometric Synthetic Aperture Radar and Global Positioning System, San Bernardino County, Mojave Desert, California. Sacramento, California: U.S. *Water-Resources Investigations Report* ۲۰۰۳-٤۰۱۵. **DOI**:org/۱۰,۳۱۳۳/wri۰۳٤۰۱۵

Schlögel, R.; D. Cécile, M. Jean-Philippe, M. Frédéric ۲۰۱٤. Landslide deformation monitoring with ALOS/PALSAR imagery: A D-InSAR geomorphological interpretation method. *Geomorfology***.** **۲۳۱**: ۳۱٤-۳۳۰ **DOI**:۱۰,۱۰۱٦/j. geomorph. ۲۰۱٤ .۱۱,۰۳۱

Yin, K.; T.Yan. ۱۹۸۸. Statistical Prediction models forslope stability of metamorphosed rock**.** *In Landslides, Bonnard*. **۲**: ۱۲٦۹-۱۲۷۲.

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-30 ]

[ DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.3.9.9 ]