



پایش فرونشست زمین با تکنیک تداخل سنجی راداری (مطالعه موردی: دشت سرفیروزآباد کرمانشاه)

مقاله پژوهشی

علی عبدالملکی^۱، عبدالمجید احمدی^{۲*}، عباد رفیعی بوژانی^۳

دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۰۴ / پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۳۰ / دسترسی اینترنتی: ۱۴۰۴/۰۷/۱۹

چکیده

تغییرات اقلیمی جهانی و رشد جمعیت، منجر به افزایش تقاضای آب به عنوان منبعی اساسی برای آب‌های شیرین شده است. یکی از علل اصلی فرونشست استفاده بیش از حد از منابع آب زیرزمینی است. خطر فرونشست زمین به دلیل پمپاژ آب‌های زیرزمینی و افت سطح آب از جمله خطرات زیست محیطی است که خسارات زیادی به جوامع وارد می‌کند. یکی از مناسب‌ترین روش‌های شناسایی پدیده فرونشست استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری است. در مطالعه حاضر نرخ و دامنه فرونشست در سطح دشت سرفیروزآباد کرمانشاه، با استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری (InSAR)،

در بازه زمانی ۵ ساله ۲۰۱۷ الی ۲۰۲۲ بکار گرفته شد. بدین منظور تصاویر راداری سنتینل-۱، (S1A-IW-SLC)، در تاریخ‌های (۲۰۱۷/۰۶/۰۳ و ۲۰۲۲/۱۲/۲۲)، با توان تفکیک مکانی ۱۰۰ متر در محیط نرم‌افزارهای SNAP sentinel و ARC gis مورد استفاده و تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. یافته‌های تحقیق مؤید حاکمیت میزان فرونشست ۱ الی ۴ سانتی‌متر در بازه ۵ ساله در سطح منطقه مورد مطالعه است. توزیع فضایی نواحی فرونشست یافته حاکی از بیشینه رخداد فرونشست در نواحی مرکز دشت، شمال، جنوب شرقی و غرب منطقه دارد. هم‌پوشانی نقشه‌های فرونشست بیانگر ارتباط بین کاربری اراضی، شرایط زمین‌شناسی (آبرفت‌ها)، در مناطق مختلف دشت است. در سال‌های اخیر برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی در مناطق مختلف دشت (توسعه کشت آبی) و شرایط زمین‌شناسی، فرونشست را در این دشت تشدید نموده است. برای صحت‌سنجی نتایج از تداخل سنجی راداری (سری زمانی)، تصویر کوه‌رنسی در تکنیک تداخل سنجی راداری (InSAR)، انجام مشاهدات میدانی و تصویر ماهواره‌ای گوگل ارث استفاده گردید.

علی عبدالملکی^۱، عبدالمجید احمدی^{۲*} (✉)، عباد رفیعی بوژانی^۳

۱. دانشجوی مقطع دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی. گروه

جغرافیا، دانشگاه رازی کرمانشاه، ایران

۲. استادیار، گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

۳. دانش آموخته کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی در برنامه ریزی محیطی. دانشکده ادبیات و علوم انسانی. گروه جغرافیا. دانشگاه رازی

Doi:10.82447/girs.2025.1107857

پست الکترونیکی مسئول مکاتبات: majid.ahmadi88@gmail.com

چکیده مبسوط

طرح مسئله: پدیده فرونشست، یکی از مخاطرات زمینی است که بنا بر تعریف یونسکو، به فروریزش و یا نشست سطح زمین بر اثر عوامل طبیعی یا انسانی متفاوت در مقیاس‌های کوچک تا بزرگ گفته می‌شود. همچنین، این پدیده که گاهی نیز با جابه‌جایی‌های ناچیز افقی همراه است، می‌تواند به طور ناگهانی یا تدریجی رخ دهد. نشست و فرونشینی تدریجی و ناگهانی سطح زمین پدیده‌ای است که تحت تأثیر تحولات طبیعی و مصنوعی صورت می‌گیرد. صدمات ناشی از این نوع ریزش‌ها گاهی می‌تواند فاجعه بار باشد. برآورد میزان جابجایی زمین (فرونشست)، به منظور مدیریت بحران یکی از اقدامات اساسی محسوب می‌گردد. در دهه‌های اخیر، تلاش‌های گسترده‌ای جهت پایش تغییرات و جا به جایی پوسته زمین صورت گرفته است. با ترازبایی دقیق و مشاهدات زمینی، می‌توان تغییرات را با دقت زیاد اندازه‌گیری کرد که اندازه‌گیری زمینی مستلزم هزینه و بصورت نقطه‌ای و پراکنده قابل اندازه‌گیری می‌باشد. استفاده از فناوری‌های سنجنش‌ازدور در علوم مختلف زمین به دلیل پوشش وسیع تصاویر ماهواره‌ای، بهنگام بودن تصاویر و هزینه پایین آن نسبت به روش‌های زمینی بسیار متداول است. یکی از کاربردهای سنجنش‌ازدور نمایش و کنترل جابجایی‌های پوسته زمین در اثر عواملی چون زلزله، رانش، فرونشست است. استفاده از تصاویر ماهواره‌ای راداری و روش تداخل سنجی راداری، به دلیل پوشش گسترده و تصویربرداری دوره‌ای و با استفاده دقتی در حدود سانتی متر، ابزار مناسبی جهت در پایش تغییرات پوسته زمین می‌باشد. در حال حاضر تصاویر ماهواره‌های منظومه ماهواره‌ای Sentinel-1، که از سال ۲۰۱۴ توسط آژانس فضایی اروپا به صورت رایگان در اختیار عموم قرار گرفته است و نیز به طور مداوم نیز در حال تصویر برداری است، ابزاری مناسب جهت پایش زلزله پایش تغییرات پوسته زمین می‌باشد.

هدف: در تحقیق حاضر جهت نیل به هدف فوق با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و تکنیک تداخل سنجی راداری، به بررسی میزان تغییر شکل پوسته زمین ناشی از فرونشست زمین در دشت سرفیروزآباد کرمانشاه پرداخته شده است.

روش تحقیق: در این پژوهش با استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری، میزان تغییر شکل ناشی از فرونشست زمین در دشت سرفیروزآباد در بازه زمانی ۵ ساله ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۲ با استفاده از داده‌های راداری (S-1A-IW-SLC)، با بیس لاین مکانی ۱۰۰ متر و تجزیه و تحلیل در نرم افزار ArcGIS، SNAP SANTINEL و گوگل ارث استفاده شده است.

نتایج و بحث: بررسی نتایج تغییر شکل پوسته زمین (فرونشست)، موید حاکمیت میزان فرونشست ۱ الی ۴ سانتی متر در سطح منطقه مورد مطالعه می‌باشد. توزیع فضایی نواحی فرونشست یافته حاکی از بیشینه رخداد فرونشست در نواحی مرکز دشت، شمال، جنوب شرقی و غرب منطقه دارد. هم نهاد سازی نقشه‌های فرونشست بیانگر ارتباط بین کاربری اراضی، شرایط زمین‌شناسی (آبرفت‌ها)، در مناطق مختلف دشت می‌باشد. در سال‌های اخیر برداشت بیرویه از منابع آب زیرزمینی در مناطق مختلف دشت (توسعه کشت آبی)، و شرایط زمین-شناسی، فرونشست را در این دشت تشدید نموده است. همچنین با استفاده از تداخل سنجی راداری (سری زمانی)، تصویر کوه‌رنسی در تکنیک تداخل سنجی راداری (insar)، انجام مشاهدات میدانی و تصویر ماهواره‌ای گوگل ارث نتایج حاصل از تداخل سنجی مورد صحت سنجی و مطالعه قرار گرفت.

نتیجه‌گیری: نتایج این مطالعه نشان داد که استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری می‌تواند ابزار کارآمدی در برآورد میزان جابجایی پوسته زمین و بررسی تغییرات مورفولوژی ناشی از این پدیده قلمداد گردد.

لطفاً به این مقاله استناد کنید: عبدالمملکی، علی، احمدی، عبدالمجید، رفیعی بوژانی، عباد. (2025) پایش فرونشست زمین با تکنیک تداخل سنجی راداری (مطالعه موردی: دشت سرفیروزآباد کرمانشاه) در سامانه اطلاعات جغرافیایی. نشریه سنجنش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۱۶(۳): ۲۱-۱

مقدمه

باتوجه به تعریف ارائه شده توسط انستیتو زمین‌شناسی ایالت متحده، فرونشست زمین شامل پایین افتادن سطح زمین است که در مقیاس‌های کوچک و بزرگ تحت تأثیر عوامل متعدد رخ می‌دهد (۲۳). این حرکت قائم رو به پایین سطح زمین می‌تواند با اندکی بردار جابجایی افقی همراه باشد (۲۴). فرونشست پدیده‌ای مورفولوژیکی است که بر اثر پایین آمدن و یا فروافتادن زمین در سطح ایجاد می‌شود، که در اثر فعالیت‌های طبیعی و انسانی رخ می‌دهد. از این میان بیشترین تخریب و جابجایی در اثر فعالیت‌های انسانی است که در اکثر مواقع به علت ناآگاهی اتفاق می‌افتد. این تعریف پدیده‌هایی همچون زمین‌لغزش‌ها را به دلیل اینکه حرکت آن‌ها دارای بردار افقی قابل توجهی است و همچنین نشست در خاک‌های دستی، که دارای مکانیسم متفاوتی است شامل نمی‌شود (۷). در بسیاری از موارد فرونشست زمین به صورت کند و تدریجی است و نمی‌توان بدون اندازه‌گیری‌های دقیق و کوچک‌مقیاس متوجه آن شد، اما در بعضی از موارد می‌توان با مشاهده آثار و علائم سطحی تا حدودی به وقوع این پدیده پی‌برد (۱۷). فرونشست در هر منطقه تحت تأثیر یک یا چند عامل مذکور است (۱۷). به‌طور کلی عوامل عمده‌ای همچون انحلال تشکیلات زیرسطحی، تراکم رسوبات و یا افت سطح سیالات زیرزمینی و تخلخل مواد تشکیل‌دهنده لایه‌های خاک، جنس، تراکم، ساختار اقلیمی و زمین‌شناسی منطقه، نحوه خروج، هدایت هیدرولیکی و دما از عوامل مؤثر در فرونشست زمین به شمار می‌روند. استخراج آب‌های زیرزمینی در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک، از عوامل عمده تخریب و فرونشست زمین است که می‌تواند خسارت‌های قابل توجهی به تأسیسات زیربنایی، نقاط حساس و خطوط انتقال نیرو، زمین‌های کشاورزی، خطوط ارتباطی وارد کند (۱۱). اندازه‌گیری میزان فرونشست در گذشته اغلب بر اساس مشاهدات محلی و از روی مقادیر بریده‌شده لوله‌های جدار چاه‌ها تخمین زده می‌شد؛ درحالی‌که امروزه شیوه‌های ژئودزی، پایش هیدرولوژیکی و پایش سنجش از دوری از اصلی‌ترین روش‌های

اندازه‌گیری میزان و دامنه فرونشست هستند (۲۲). در دو دهه اخیر تکنیک تداخل سنجی راداری به‌عنوان ابزاری کارآمد در مطالعه پدیده‌هایی که سبب تغییر شکل سطح زمین می‌شود، به‌صورت قابل ملاحظه‌ای مورد استفاده قرار گرفته است (۱۲). تکنیک تداخل سنجی راداری یکی از جدیدترین و دقیق‌ترین این روش‌ها است. مزیت‌های زیاد این تکنیک نسبت به سایر روش‌ها به خصوص دقت و سرعت بالای این روش در تعیین نتایج، باعث گرایش بسیاری از محققین به استفاده از آن شده است (۵). تکنیک تداخل سنجی راداری، جابه‌جایی سطح زمین را با قدرت تفکیک مکانی بسیار بالایی اندازه‌گیری می‌کند (۴). باتوجه به اینکه پدیده فرونشست در موقعیت‌های مکانی و زمانی مختلف با ویژگی‌های متفاوتی رخ می‌دهد و اثرات تخریبی متفاوتی را بر جای می‌گذارد، محققان اثرات پدیده فرونشست را در ابعاد مختلفی بررسی کرده‌اند. از جمله پژوهش‌های که پیرامون این پدیده در نقاط مختلف جهان انجام گرفته می‌توان اشاره به پژوهش عابدینی و همکاران (۱) اثرات زیست‌محیطی فرونشست را در مناطق شهری اندونزی بررسی کردند؛ و با تکنیک رادار و سامانه موقعیت‌یاب جهانی (GPS) نشان دادند که میزان فرونشست دارای تغییرات فضایی و زمانی است و مقدار آن را در این مناطق بین ۵ تا ۱۰ سانتی‌متر در سال اندازه‌گیری کردند؛ که ناشی از استفاده بیش‌ازحد از آب‌های زیرزمینی، بار سازه‌ها و فعالیت‌های زمین‌شناسی در منطقه است و اثرات فرونشست را به اثرات محیطی، زیرساختی، اقتصادی و اجتماعی طبقه‌بندی کردند.

آن (۳) ارتباط بین فرونشست زمین و افت آب‌های زیرزمینی در دشت شمال چین را با استفاده از ماهواره I CESAT بررسی کرد. این منطقه که بزرگ‌ترین تولیدکننده گندم در کشور چین است، حدود ۶۰ درصد به‌شدت به آب‌های زیرزمینی وابسته است. وی نشان داد که میزان افت آب‌های زیرزمینی میزان ۲/۳۰- سانتی‌متر در سال می‌باشد در حالیکه تغییرات ارتفاعی نشست زمین ۵-۸ سانتی‌متر در سال است و عنوان کرد که الگوهای فضایی افت آب‌های زیرزمینی و فرونشست آن‌طور که انتظار می‌رفت ندارد. اسمیت و همکاران (۲۰) در پژوهش خود مبنی بر، از دست دادن

دائمی ذخایر آب زیرزمینی در دره سن ژواکون کالیفرنیا به این نتیجه رسیدند که اگر آب بیش از حد از آبخوانها استخراج شود، مخصوصاً در نواحی که لایه های خاک رس دارند، متراکم شدن لایه های خاک به دلیل افت فشار آب باعث ایجاد حالت غیرقابل برگشت می شود و توانایی خاک برای حفظ و نفوذ آب از دست می رود، از این رو آبخوان ظرفیت دریافت آب خود را به طور دائم از دست می دهد.

رادوتو و کنستانتین (۱۶) نقش بازتاب زمانی بر تخریب مناطق شهری به دلیل استخراج آب های زیرزمین و رخداد پدیده فرونشست را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن ها مبنی بر این بود که روش های تداخل سنجی راداری (Synt h e t i c

Aperture Radar i n t e r f e r o m e t r y) پیشرفت قابل توجهی در دهه های گذشته داشته اند و می توانند برای بررسی رخداد پدیده فرونشست مورد استفاده قرار بگیرند. در ایران نیز، فرونشست بسیاری از دشت ها با استفاده از تداخل سنجی راداری بررسی شده است، متق و همکاران (۱۳) نرخ و محدوده فرونشست دشت رفسنجان را با پردازش تصاویر ماهواره های ALOS, ENVI SAT و Sentinel در بازه زمانی ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۶ محاسبه کردند. صالحی متعهد (۲۱) به ارزیابی فرونشست زمین به کمک تلفیق روش تداخل سنجی راداری و اندازه گیری های میدانی و مطالعه دلایل و اثرات آن بر شهر مشهد پرداختند. به این منظور ابتدا به کمک روش ترازبایی دقیق که قدیمی ترین داده ها را از فرونشست زمین در اختیار قرار می دهد، سابقه فرونشست بررسی گردیده است. سپس پردازش تداخل سنجی راداری برای کل دشت مشهد به کمک ۲۳ تصویر ماهواره ENVI SAT انجام گرفته است. نتایج نشان داد که دو کاسه فرونشستی یکی از شمال غرب و دیگری از جنوب شرق وارد حریم شهر مشهد شده است و در دشت مشهد در سال ۱۳۸۹ محدوده ای به وسعت ۷/۱۳ کیلومتر مربع با نرخ بیش از ۲۰ سانتیمتر در سال، در حال فرونشست بوده است. بیشترین نرخ فرونشست در مناطقی ایجاد شده است که به غیر از افت شدید سطح آب زیرزمینی، بافت خاک ریزدانه و ضخامت آبرفت زیادی دارند. فتوحی و همکاران (۷) به بررسی میزان فرونشست

زمین با استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری (I n S A R) در دشت نهبندان-سهل آباد پرداختند. نتایج حاصله از این تحقیق نشان داد که بیشترین میزان فرونشست مربوط به محدوده زمین های کشاورزی در مرکز و شمال دشت، حدود ۱۳/۴ سانتی متر در بازه زمانی ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۰ و در بازه ۲۰۰۷ تا ۲۰۰۸ حدود ۱۳/۱ سانتی متر فرونشست است. آروین و همکاران (۲) به مدل سازی مکانی فرونشست زمین در جنوب حوزه آبخیز میناب با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی پرداختند. در این پژوهش در بازه زمانی ۱۳۹۷-۱۳۹۳ از تصاویر ماهواره ای سنتینل-۱ و روش تداخل سنجی تفاضلی راداری در بررسی و میزان گسترش فرونشست استفاده گردید. نتایج پژوهش آن ها نشان داد که منطقه مطالعاتی در این بازه زمانی ۱۳ سانتی متر فرونشست داشته است. در سطح استان کرمانشاه نیز مطالعاتی در حوزه پدیده فرونشست انجام شده از جمله پژوهش رجبی و همکاران (۱۸) به ارزیابی سری زمانی فرونشست دشت کرمانشاه با تکنیک تداخل سنجی راداری مبتنی بر خط مبنای کوتاه، پرداختند. آنان با به کارگیری تکنیک تداخل سنجی راداری تحت رویکرد طول خط مبنای کوتاه، و استفاده از ۳۶ تصویر ماهواره ای Sentinel-۱ و ۸۸ ایترفروگرام حاصل از آن فرونشست زمین در دشت کرمانشاه در بازه زمانی ژوئن (۲۰۱۶) تا ژانویه (۲۰۲۱)، مورد مطالعه قرار دادند. نتایج حاصل از تحلیل سری زمانی خط مبنای کوتاه نشان دهنده بیشینه ۱۰ سانتی متر در بخش غربی دشت کرمانشاه است. بررسی ارتباط بین افت سطح آب های زمینی و میزان بیشینه فرونشست در سطح دشت خطی نبودن این رابطه را نشان می دهد که با بررسی جنس زمین در محدوده مطالعاتی به تأثیر هم زمان ضخامت رسوبات ریزدانه و افت سطح آب زیر زمینی در منطقه بیشینه پی برده شد. ملکی و رضایی (۱۵) در پژوهشی مبنی بر پیش بینی مکان های در معرض خطر فرونشست در دشت کرمانشاه با استفاده از مدل فازی پرداختند. آنان در ابتدا با استفاده از آمار ۲۲ ساله ۶۵ چاه مطالعاتی و سیستم اطلاعات جغرافیایی نقشه افت آب منطقه را ترسیم نموده و سپس در محدوده های که افت شدید وجود داشته به بررسی گمانه های زمین شناسی و شناسایی بافت

رسوبات پرداختند و در نهایت با همپوشانی لایه حساسیت رسوبات و نقشه افت سطح آب به وسیله فازی سازی در سیستم اطلاعات جغرافیایی، حساسیت منطقه به فرونشست در ۳ کلاس حساسیت زیاد، حساسیت متوسط و حساسیت کم تهیه نمودند. آنان به این نتیجه رسیدند که در شرق شهر کرمانشاه، در جنوب و شرق روستای ده پهن که افت آب های زیرزمینی زیاد و همچنین رسوبات دانه ریزتر است، خطر پدیده فرونشست بیشتر از سایر نقاط منطقه است.

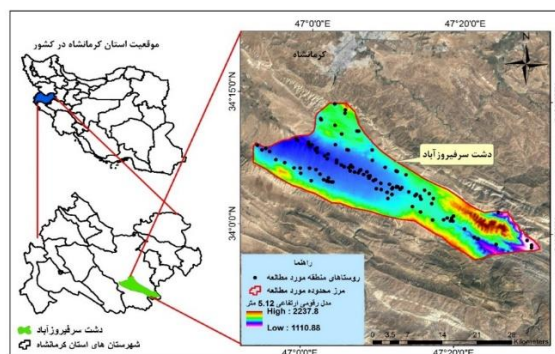
باتوجه به تحقیقاتی که در زمینه فرونشست انجام گرفته است و به تعدادی از آن ها در این پژوهش اشاره شد، تکنیک تداخل سنجی راداری در حال حاضر بهترین روش برای بررسی این مهم است. باتوجه به اهمیت موضوع، در این پژوهش با استفاده از روش تداخل سنجی راداری نقشه فرونشست منطقه در دوره ۵ ساله ترسیم می شود. این نقشه ها ابزاری مؤثر در شناسایی مناطق خطر برای برنامه ریزان و مدیران اجرایی است که می توانند با برنامه ریزی دقیق و به هنگام، راهکارهای مقابله با نشست زمین ارائه شده و از خساراتی که ممکن است گریبان گیر این منطقه در آینده باشد جلوگیری شود.

مواد و روش

- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

محدوده جغرافیایی تحقیق حاضر محدوده سیاسی سر

فیروزآباد از بخش مرکزی شهرستان کرمانشاه است. موقعیت جغرافیایی آن بین عرض جغرافیایی ۳۴ درجه تا ۳۴ درجه و ۱۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۷ درجه تا ۴۷ درجه و ۲۰ دقیقه شرقی است (شکل ۱). منطقه مورد مطالعه سر فیروزآباد از توابع شهرستان کرمانشاه با مساحت ۹۵۶/۷ کیلومترمربع دارای ۱۲۱ آبادی و جمعیت ۱۱۳۱۴ نفر دارای ۲۹۹۹ خانوار روستایی و دامنه ارتفاعی بین ۱۱۱۰ تا ۲۲۳۷ متر از سطح دریا متغیر است. درآمد اصلی مردم متکی بر کشاورزی و دامداری است که در دهه های اخیر با تغییرات کاربری ایجاد شده در سطح دشت مساحت کاربری اراضی کشاورزی آبی افزایش یافته در حالی که مساحت اراضی کشاورزی دیم در این منطقه کاهش یافته است. البته یکی از عوامل مؤثر در این موضوع تغییر الگوی کشت محصولات کشاورزی در دشت است. بدین صورت که در پی کشت محصولات با نیاز آبی بالا در این دشت اقدام به حفر چاه های بی شمار در این منطقه شده است و سطح وسیعی از اراضی دیم به اراضی آبی تغییر کاربری داده اند. میزان متوسط بارندگی سالانه در منطقه سرفیروز آباد ۳۸۸ میلیمتر و وضعیت تبخیر در ۲ پهنه با تبخیر ۲۰۰۰-۱۵۰۰، ۲۵۰۰-۲۰۰۰ میلیمتر قرار دارد.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه.

Fig 1. Geographical location of the study area.

- داده ها و نرم افزارهای مورد استفاده

خام در لبه‌ها برای چند متر همپوشانی دارند. برای تهیه نقشه‌های فرونشست مراحل زیر طی شده است.

- پیش‌پردازش تصاویر راداری

باتوجه به ساختار تصاویر خام دریافتی قبل از پردازش و تهیه تداخل نماها (Interferogram) هر تصویر نیاز به آماده‌سازی دارد. در این مرحله ابتدا تفکیک هر تصویر به سه نوار تشکیل‌دهنده انجام شده و زیر بخش‌های موجود در هر نوار باهم ادغام می‌شود. با توجه به اینکه دشت سرفیروزآباد در محدوده دو نوار IW2, IW3 قرار دارد، این دو نوار باهم ادغام شده و تصاویر مورد نیاز برای مرحله پردازش تهیه می‌شود.

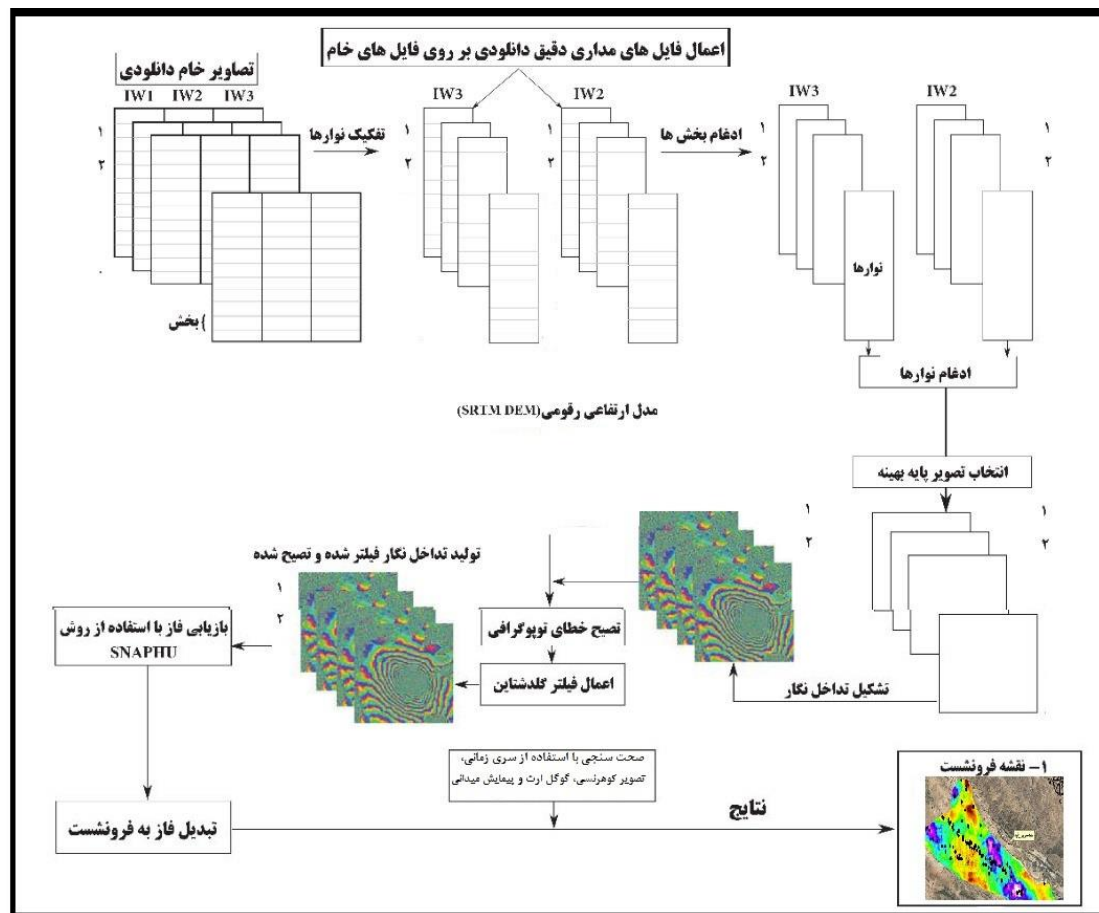
- مراحل پردازش تصاویر راداری

پس از آماده‌سازی تصاویر خام، مراحل پردازش تصاویر راداری و تهیه نقشه فرونشست طبق نمودار جریان کار ارائه شده در شکل ۲، انجام شده است. با در نظر گرفتن وجود دو شرط خط مبنای مکانی (فاصله مکانی مرکز دو تصویر اخذ شده) و زمانی کمتر از ۱۰۰ متر و کمتر از ۷۵ روز (فاصله زمانی تاریخ دریافت دو تصویر استفاده شده)، تصویر پایه (Master) و پیرو (Slave) هر زوج تصویر تعیین و از تداخل نماهای ممکن تهیه شد. پس از انتخاب زوج تصویر، هر دو تصویر SLC باید با دقت بسیار بالایی نسبت به هم در هر دو مؤلفه فاز و دامنه ثابت هم مرجع (منطبق) شوند. در این مرحله که ثبت هندسی (Coregistration) نیز نامیده می‌شود تصویر پیرو نسبت به تصویر پایه هم مرجع می‌گردد. با توجه به اینکه تداخل نما حاصل ضرب خارجی تصویر مبنا در مجموعه توأم تصویر پیرو است، جهت تشکیل تداخل نما مقادیر اختلاف فاز میان دو تصویر باید محاسبه شود.

در این تحقیق ۲ تصویر راداری Sentinel-1A در قالب فرمت SLC (Complex Look Single) دریافتی از آژانس فضایی اروپا (European Space Agency:ESA) دارای حالت IW (Interferometric Wide swath) و پلاریزاسیون VV، در مسیر (Track) بالاگذر (Ascending)، در بازه زمانی ۲۰۱۷/۰۶/۳ تا ۲۰۲۲/۱۲/۲۲ برای بررسی فرونشست مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین مدل رقومی ارتفاعی ۳۰ متری SRTM، در زمان پردازش تصاویر راداری برای حذف اثر خطای توپوگرافی استفاده شده است. پس از تهیه نقشه فرونشست، نقشه فرونشست برای هر یک از پیکسل‌های تصویر در بازه زمانی مورد نظر با استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری تهیه شده است. با استفاده از تصویر کوه‌رنسی، تداخل سنجی بصورت (سری زمانی)، تصاویر گوگل ارث و پیمایش میدانی صحت سنجی نقشه های فرونشست انجام شده و با استفاده از نقشه کاربری اراضی و زمین‌شناسی جهت بررسی انطباق مکانی زون‌های فرونشست استفاده شده است. پردازش تصاویر راداری با استفاده از نرم افزار (Sentinels Application Platforms) انجام و نقشه‌ها در نرم افزار ArcGIS 10.3 ترسیم شده است.

روش تحقیق

تصاویر راداری سنتینل در حالت IW با استفاده از روش TOPSAR تهیه می‌شوند. TOPSAR یک روش تصویربرداری SAR است که در آن تصویر در بخش‌های متوالی با هدایت الکترونیکی آنتن SAR بین نوارهای (Swath) مجاور برداشت می‌شود. باتوجه به نحوه برداشت تصاویر سنتینل، هر تصویر SLC، دارای سه نوار فرعی IW3، IW1, IW2، بوده و هر نوار فرعی از ۹ تا ۱۱، زیر بخش (burst) تشکیل شده است. نوارها و زیر بخش‌ها در تصویر

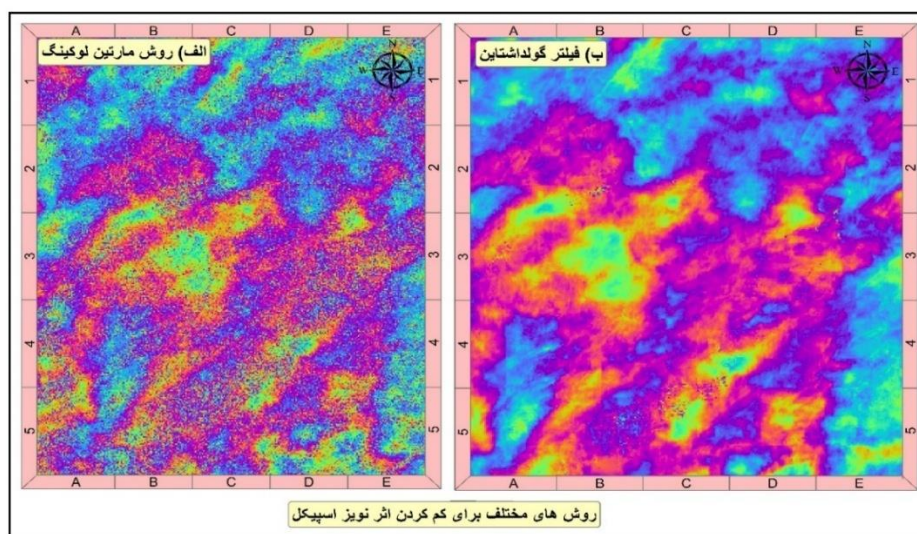


شکل ۲. نمودار جریان مراحل انجام پیش‌پردازش تصاویر تا تولید تداخل نما و نقشه‌های فرونشست.

Fig 2. Flowchart of Sentinel-1 image pre-processing to produce interferograms and subsidence maps.

به دلیل ماهیت خاص تصویربرداری راداری، این تصاویر اطلاعات مربوط به مقدار مطلق فاز را نداشته و داده‌های فاز موجود در بازه تا ۳۶۰ درجه ثبت می‌شود. در این مرحله مقدار فاز با استفاده از فاز نهایی شده، بازیابی می‌شود (۱۹). فرآیند تبدیل مقادیر گسسته و مبهم فاز ثبت‌شده در تصاویر راداری به مقادیر پیوسته و مطلق، اصطلاحاً بازیابی فاز (Phase Unwrapping) نامیده می‌شود.

در طی ساخت تداخل نما، اختلاف فاز ناشی از زمین مسطح با استفاده از اطلاعات موجود در فایل‌های مداری دریافتی محاسبه و برآورد شده است. اختلاف فاز ناشی از تغییر شکل سطح زمین با استفاده از مدل ارتفاعی رقومی (SRTM) برداشت می‌شود. با اعمال فیلتر گلدشتاین و مارتین لوکینگ (شکل ۳)، بر روی هر یک از پیکسل‌های تصاویر، نویز ناشی از اتمسفر کاهش یافته و اثر اتمسفر تصحیح شده است. در این مرحله نسبت سیگنال به نویز افزایش یافته و بازیابی مناسب فاز صورت گرفته است.

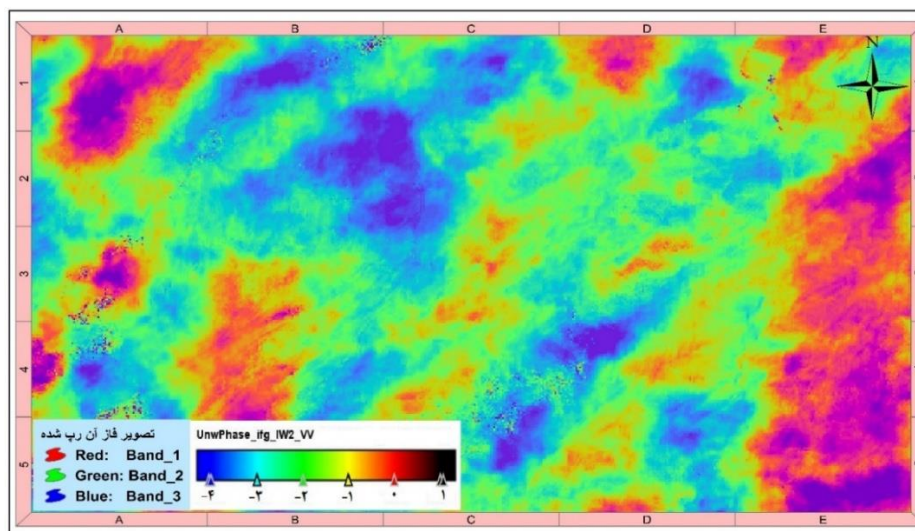


شکل ۳. الف) استفاده از روش مارتین لو کینگ برای کم کردن اثر نویز اسپیکل. ب) اثر فیلتر گلدشتاین برای کم کردن اثر نویز اسپیکل.

Fig. 4.a) Using the Martin Lu King method to reduce the effect of spike noise. B) Goldstein filter effect to reduce the effect of spike noise.

ابهام‌زدایی فاز، باتوجه به شکل ۴، نقشه‌های جابه‌جایی رخ داده آن تهیه شد.

به فرایند بازیابی مقادیر فاز نامبهم و صحیح از یک مجموعه دوبعدی مقادیر فاز که در بازه $(\pi, \pi-)$ است، بازیابی فاز دوبعدی گفته می‌شود و در نهایت با اعمال و انجام فیلتر و



شکل ۴. تصویر تغییرات سطح زمین، نشان‌دهنده فرونشست زمین در منطقه مورد مطالعه، حاصل از تداخل سنجی راداری.

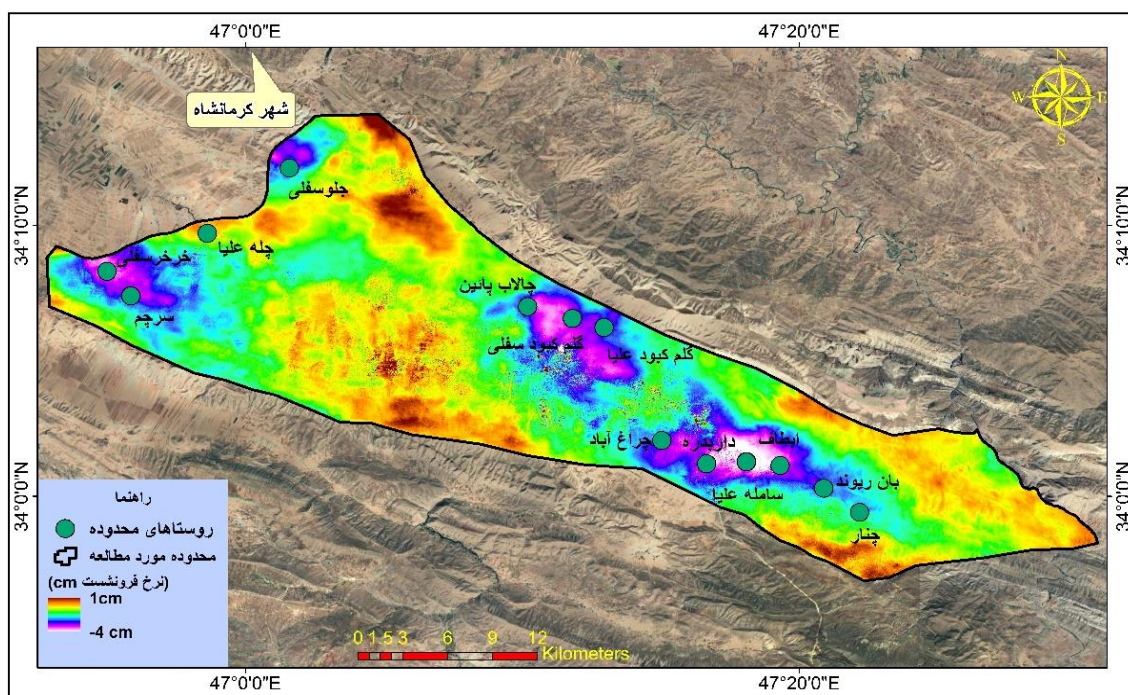
Fig. 5. image of land surface changes, showing the subsidence and elevation of the earth's crust in the study area, obtained by radar interferometry.

است. هرچقدر تداخل نگار به ۱ نزدیک تر باشد؛ یعنی بالای ۰/۶، پیکسل از دقت بالای برخوردار است. مقدار پایین تر از ۰/۶ تداخل نگار قابلیت اعتماد دارد؛ اما به نسبت پایین بوده دقت محاسبات در پیکسل مورد نظر. باتوجه به (شکل ۵)، اعتبار سنجی پیکسل های نشان دهنده فرونشست زمین دارای تداخل نگار بالای ۰/۹ بوده که دقت بسیار بالای محاسبات در پیکسل را نشان می دهد.

پس از تهیه نقشه فرونشست دشت سر فیروزآباد جهت بررسی صحت سنجی نرخ فرونشست در سطح منطقه مورد مطالعه از تصویر تداخل نگار (کوهرنسی)، تداخل سنجی راداری (سری زمانی)، گوگل ارث و بازدیدهای میدانی استفاده شد.

- صحت سنجی به وسیله تصویر کوهرنسی

تصویر تداخل نگار نشان دهنده میزان تطابق سیگنال های تداخل سنجی است. مقدار پیکسل های تصویر تداخل نگار بین ۰ تا ۱



شکل ۵. صحت سنجی فرونشست به وسیله تصویر تداخل نگار (کوهرنسی) در محیط نرم افزار SNAP SANTINEL و ARC GIS.

Fig 6. Validation of subsidence using coherence image in SNAP SANTINEL and ARC GIS software environment.

جدول ۱. اعداد صحت سنجی در تصویر کوهرنسی (SNAP SANTINEL).

Table 2. Verification numbers in coherence image (SNAP SANTINEL).

product	Pixel info
Image-x	2486 pixel
Image-y	1690 pixel
longitude	46. 55,02 Edegree
latitude	34. 08, 29 Ndegree
Dicplacement_vv	0.00180 metres
Coherency_vv	۰.۹۴۴۰۳

صحت سنجی توسط تداخل سنجی (سری زمانی)

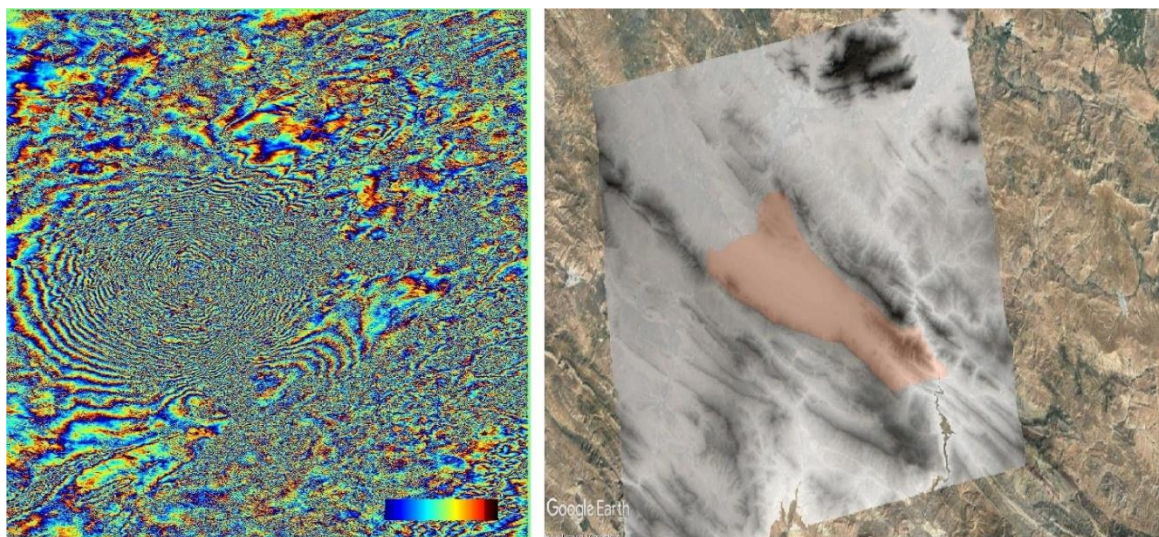
در بیشتر تحقیقات انجام گرفته در حوزه فرونشست زمین، از سطوح پیزومتری و چاه‌های موجود در دشت‌ها برای صحت سنجی استفاده شده است که در این تحقیق، از تداخل-سنجی راداری (سری زمانی) که نتایج آن بسیار دقیق‌تر از تکنیک تداخل سنجی (InSAR)، بوده استفاده شد. بر همین اساس از تصاویر راداری سنتینل-۱ (S1A-IW-SLC-ISDV)، استفاده شده است. تصویر ماهواره‌ای سنتینل-۱ به تاریخ ۲۵ اکتبر ۲۰۱۷ به عنوان تصویر مستر و از لحاظ زمانی هر ۱۲ روز از

تاریخ مبدا تصویر مستر تا تاریخ ۲۰۲۲/۱۲/۲۲، تصاویر راداری سنتینل-۱ به عنوان تصویر پیرو دانلود و بصورت سری زمانی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت (جدول ۲). (شکل ۶، تصویر فاز توپو بر روی گوگل ارث را نشان می‌دهد). یافته‌های تداخل-سنجی (سری زمانی)، نشان‌دهنده نرخ فرونشست در منطقه مورد مطالعه از ۱ سانتی‌متر الی ۴ سانتی‌متر در در بازه زمانی ۲۰۱۷-۲۰۲۲ می‌باشد و در ادامه صحت سنجی یافته‌های تحقیق، از تصاویر گوگل ارث، و بازدیدهای میدانی بهره برده شد.

جدول ۲. مشخصات و ویژگی‌ها تصاویر استفاده شده در سری زمانی.

Table 3. Specifications and features of the images used in the time series.

ماهواره Satellite	نوع تصویر Date	تاریخ اخذ تصویر Type of Data	عبور Mode	قطبش Polarize	
SENTINEL_1 LEVEL 1	SLC	۲۰۱۷/۱۰/۲۵	Ascending	vv	تصویر مستر
SENTINEL_1 LEVEL 1	SLC	۲۰۱۷/۱۱/۶	Ascending	vv	تصویر پیرو
SENTINEL_1 LEVEL 1	SLC	۲۰۱۷/۱۱/۱۸	Ascending	vv	تصویر پیرو
SENTINEL_1 LEVEL 1	SLC	۲۰۲۲/۱۲/۲۲	Ascending	vv	تصویر نهایی پیرو



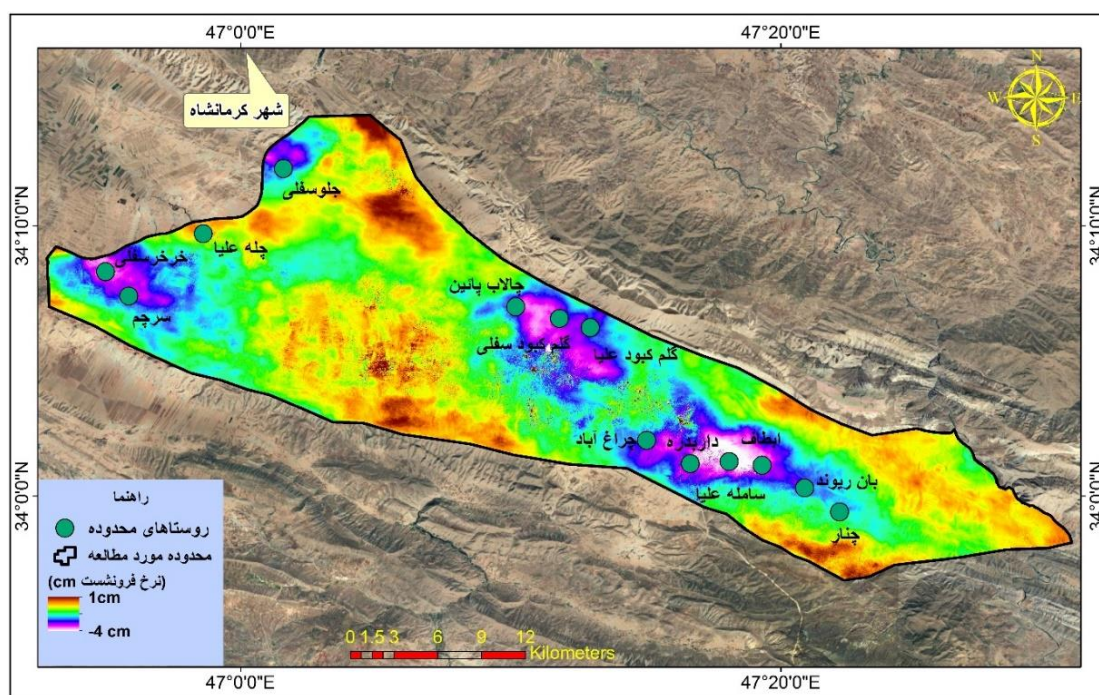
شکل ۶. سمت راست) فاز توپو و منطقه مورد مطالعه و در سمت چپ تصویر int در تداخل سنجی راداری (سری زمانی).

Fig 8. right side) topo phase and the studied area and on the left side the int image in radar interferometry (time series).

نتایج

روش تداخل سنجی راداری در این پژوهش، ظرفیت مناسبی از قابلیت‌های آن در تعیین میزان فرونشست زمین در محدوده مورد مطالعه را معرفی کرد. باتوجه به نقشه استخراج شده (فرونشست زمین) در قسمت شمال، جنوب شرق و غرب منطقه مورد مطالعه، تشخیص داده شد که در شکل (۷) نشان داده شده است. این فرآیند با روش تداخل سنجی راداری و با استفاده از نرم‌افزارهای SNAP SNTINEL و Google Earth

در نهایت در محیط نرم افزار ArcGIS به دست آمده، نشان-دهنده فرونشست زمین در بازه ۵ ساله ۲۰۱۷-۲۰۲۲ به میزان ۴ سانتی متر و میزان نشست به ازای هر یک سال به میزان ۱ الی ۲ سانتی متر بوده است. در نقشه های حاصل مقادیر مثبت جابه جایی مربوط به حرکت سطح زمین به سمت دید رادار یا همان بالآمدگی و مقادیر منفی بیانگر دور شدن سطح زمین از سنجنده در راستای دید راداری یا فرونشست است. که با توجه به نقشه مزبور بیشترین میزان فرونشست در مرکز و غرب دشت و کمترین میزان در جنوب شرقی دشت بوده است.



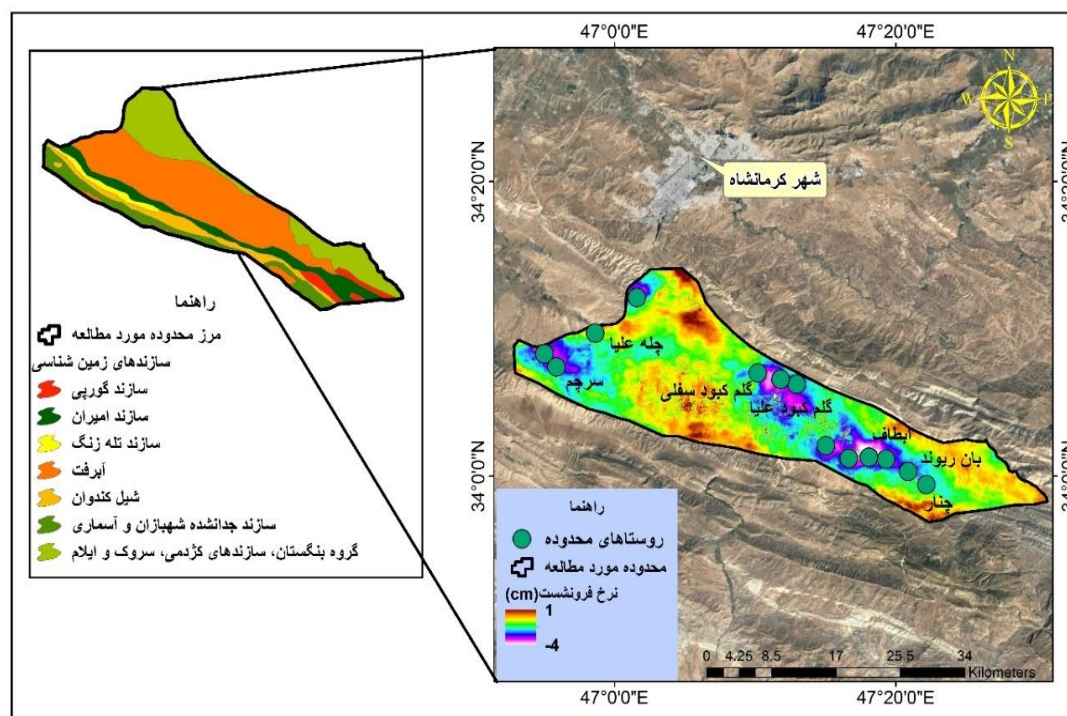
شکل ۷. تصویر تداخل سنجی فرونشست زمین در منطقه مورد مطالعه بروی گوگل ارث.

Fig 8. Interferometric image of ground subsidence in the study area on Google Earth.

هم پوشانی قرار داده شده و این هم پوشانی نشان می‌دهد که این تغییر ژئومورفولوژیکی با الگوی توزیع نواحی در معرض نشست موید بالاترین میزان فرونشست در محدوده تپ آبرفت

باتوجه به اینکه فرونشست زمین یکی از تغییرات مورفولوژیکی محسوب می‌شود و این تغییر می‌تواند ارتباط بسیار زیادی با سازندهای زمین‌شناسی داشته باشد؛ لذا لایه رستری سازندهای زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه با نقشه نهایی فرونشست مورد

بوده و سایر نشست‌های منطقه مورد مطالعه در تیپ سازندهای زمین‌شناسی امیران، تله زنگ و شیل کندوان قرار دارد (شکل ۸).



شکل ۸. هم‌نهادسازی نقشه فرونشست با لایه‌های زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه.

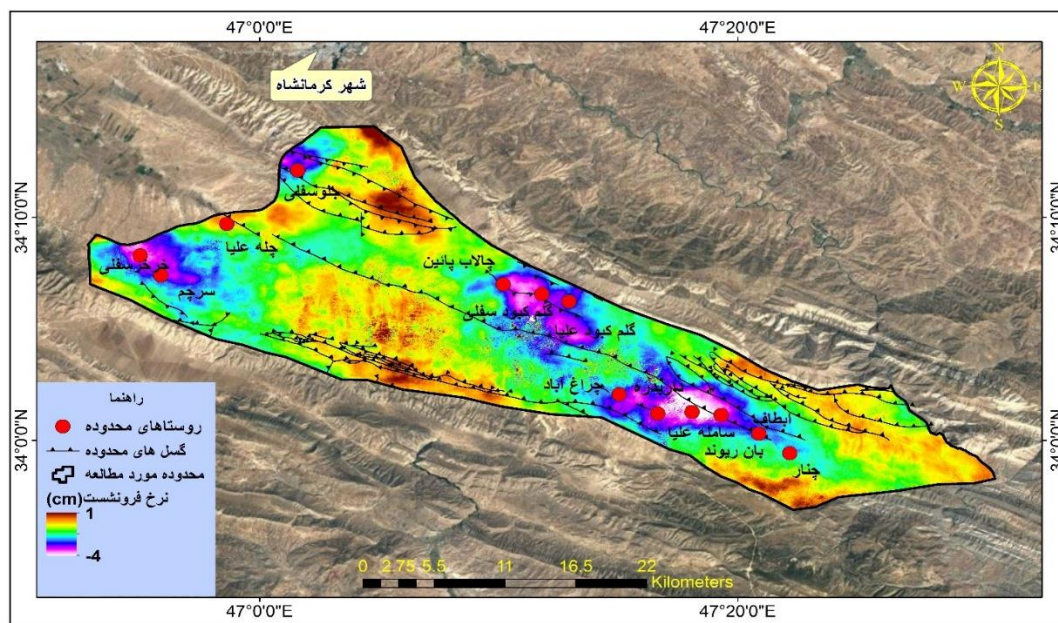
Fig 10. Coordinating the subsidence map with the geological layers of the studied area.

شده در دهه‌های اخیر (تبدیل زمین‌های دیم به آبی و افزایش تولید محصولات آب‌بر)، لایه فرونشست به‌دست‌آمده با لایه‌ای کاربری اراضی دشت سرفیروزآباد که از تصاویر ماهواره‌ای ایجاد گردید، بروی همدیگر هم‌پوشانی شده و این تطابق موید رخداد بیشینه عرصه‌های نشست در کاربری زراعت کشاورزی آبی و دیم است (شکل ۱۰). به طوریکه مناطق دارای کاربری اراضی کشاورزی آبی به دلیل بهره‌برداری از مناطق آب زیرزمینی، پتانسیل بالایی جهت وقوع فرونشست دارد. با توجه به اینکه عمده محصولات کشاورزی زیر کشت دشت سرفیروزآباد گندم، جو و سیب زمینی می‌باشد که نیاز آبی بالایی برای رشد دارند و کاهش چشمگیر بارندگی و کمبود منابع آب-های سطحی در سال‌های اخیر لزوم استفاده از منابع آب‌های

باتوجه به نقشه نرخ فرونشست در منطقه مورد مطالعه، حدوداً ۴۰ روستا در معرض خطر فرونشست قرار دارند که ۱۰ روستا در معرض خطر جدی و در حال حاضر در مرکز نرخ فرونشست قرار گرفته‌اند و دامنه فرونشست زمین از مرکز دشت در آینده نه چندان دور به تمامی نواحی اطراف منطقه مورد مطالعه کشیده خواهد شد و مناطق روستائی بسیاری را در معرض خطر قرار خواهد داد (شکل ۹). درواقع فرونشست در این محدوده بیشتر تهدیدی برای زمین‌های کشاورزی است. همچنین فرونشست-ها کم‌کم به سمت خانه‌ها و منازل مردم می‌رود که اگر تدبیری اندیشیده نشود، تهدیدی برای زندگی روستائینان این منطقه خواهد بود. باتوجه به وابستگی زیاد مردم این منطقه به کشاورزی و از طرفی آبیاری‌های غیراستاندارد و تغییرات کاربری انجام

فرونشست زمین می‌تواند تغییراتی در وضع توپوگرافی، هیدرولوژی، تغییرات در شیب سطح زمین و تغییر مسیر مسیل‌ها و در مواردی ایجاد شیب معکوس، امکان سیل‌گیری نواحی مسکونی را فراهم سازد گردد. در همین راستا نقشه آبراهه‌های منطقه مورد مطالعه ترسیم و بروی لایه فرونشست زمین و خطوط گسلی منطقه مورد هم‌پوشانی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که آبراهه‌های موجود در منطقه مورد مطالعه از خطوط گسلی پیروی کرده و نواحی دارای فرونشست نیز در مسیر آبراهه‌ها قرار دارند (شکل ۱۳) و همین امر می‌تواند باعث ایجاد مسائل و مشکلات بیشتر ژئومورفولوژیکی باتوجه‌به فرونشست زمین در منطقه مورد مطالعه شود.

زیرزمین را بالا برده و همین مساله سبب افت بیشتر منابع آب زیرزمینی در منطقه شده است. نتایج کاربری اراضی محدوده مورد مطالعه و پراکنش فرونشست در این پژوهش نشان می‌دهد که به دلیل رشد کشاورزی، تقاضای آب نیز بسیار زیاد می‌باشد. با این حال بهره برداری بیش از حد آب‌های زیرزمینی به دلیل کمبود منابع آب‌های سطحی آشکار است که منجر به فرونشست زمین می‌شود و باعث آسیب به جاده‌ها، پلها، لوله‌های آب زیرزمینی و سایر تاسیسات شهری می‌شود. همچنین بررسی نقشه فرونشست و نقشه کاربری زمین نشان می‌دهد که پراکنش فرونشست زمین همپوشانی بالایی با مناطق مسکونی، زمین‌های کشاورزی دشت سرفیروزآباد دارد که باعث افزایش تقاضای آب و نیز به علت عدم تامین توسط آب‌های سطحی، دشت سرفیروزآباد رادر آینده بیشتر مستعد برای فرونشست می‌کند.



شکل ۹. روستاهای در معرض خطر فرونشست منطقه مورد مطالعه.

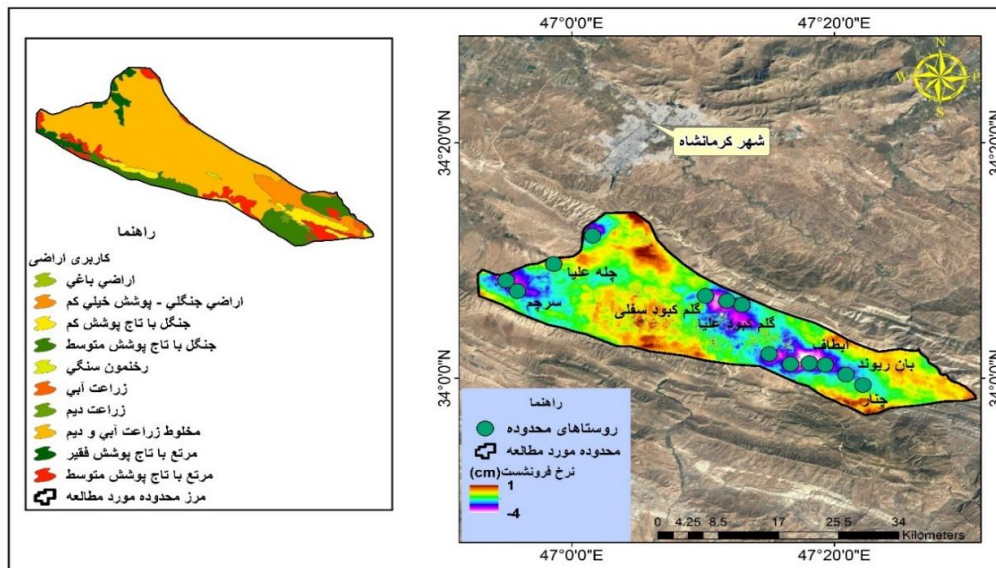
Fig ۱۱. Villages at risk of subsidence in the study area.

مستر و از لحاظ زمانی هر ۱۲ روز از تاریخ مبدا تصویر مستر تا تاریخ ۲۰۲۲/۱۲/۲۲، تصاویر راداری سنتینل-۱ به عنوان تصویر پیرو دانلود و بصورت سری زمانی مورد تجزیه و

در ارتباط با تداخل سنجی راداری (سری زمانی)، بیش از ۸۰ تصویر راداری سنتینل-۱ مورد استفاده قرار گرفت. تصویر ماهواره‌ای سنتینل-۱ به تاریخ ۲۵ اکتبر ۲۰۱۷ به عنوان تصویر

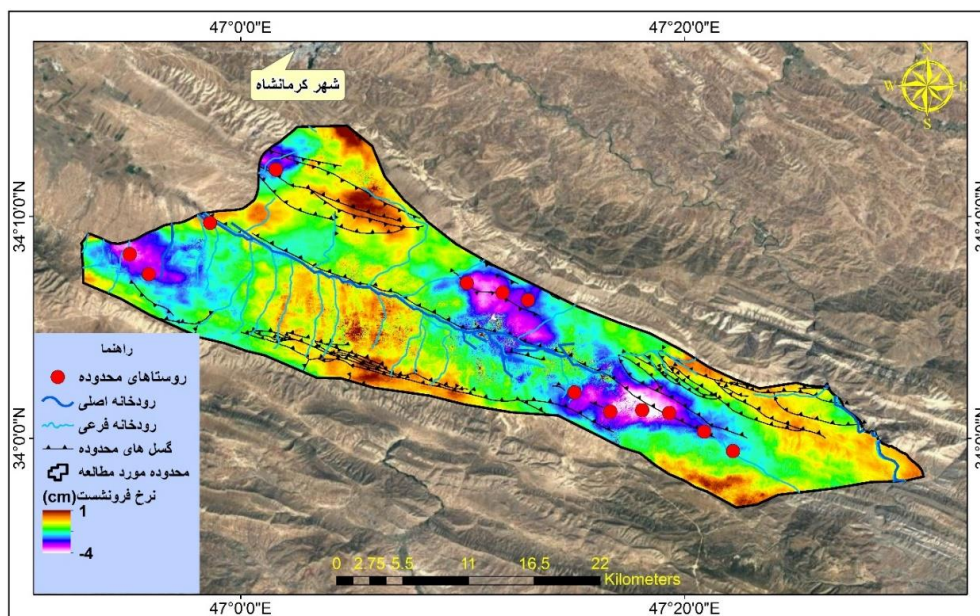
تحلیل قرار گرفت. یافته‌ها نشان‌دهنده نرخ فرونشست در منطقه مورد مطالعه از ۱ سانتی‌متر الی ۴ سانتی‌متر در در بازه زمانی ۲۰۱۷-۲۰۲۲ می‌باشد (شکل ۱۲)، تصویر کوه‌رنس و فاز جابجایی در سری زمانی را نشان می‌دهد. شکل ۱۳ نقشه نهایی

مقدار فرونشست در سطح منطقه را ارائه می‌دهد، و در ادامه صحت سنجی یافته‌های تحقیق، از تصاویر گوگل ارث، و بازدیدهای میدانی بهره برده شد.



شکل ۱۰. همپهناسازی نقشه فرونشست با لایه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه.

Fig 12. Alignment of the subsidence map with the land use layer of the study area.



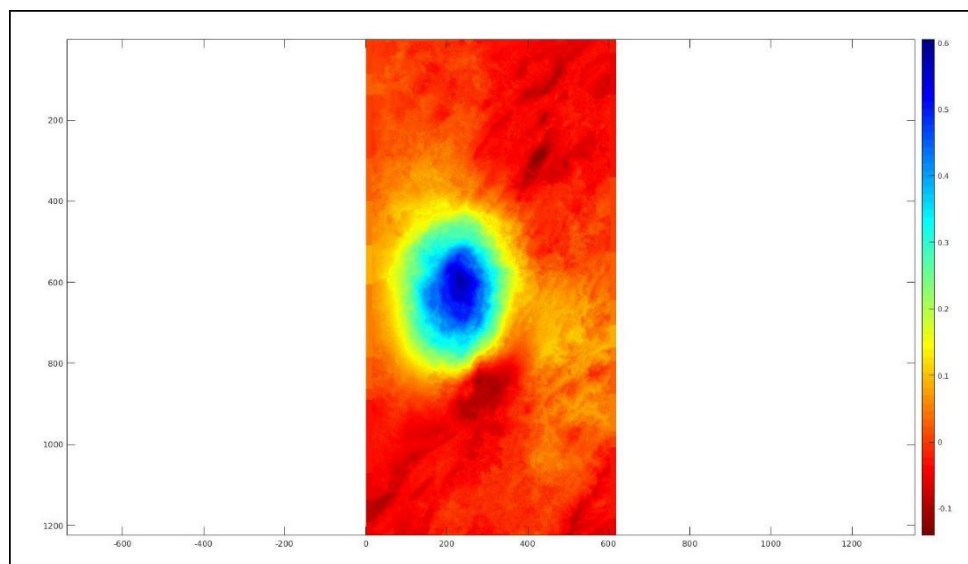
شکل ۱۱. همپهناسازی نقشه فرونشست با لایه گسل‌ها و آبراهه‌های موجود در منطقه مورد مطالعه.

Fig 13. Alignment of the subsidence map with the fault layers and waterways in the study area.



شکل ۱۲. سمت چپ) تصویر کوهرنس نهائی و منطقه مورد مطالعه و در سمت راست) تصویر فاز جابجائی نهائی و منطقه مورد مطالعه در تداخل سنجی راداری (سری زمانی) بروی گوگل ارث.

Fig 14. On the left) the final coherence image and the studied area and on the right) the final displacement phase image and the studied area in radar interferometry (time series) on Google Earth.



شکل ۱۳. نقشه نهائی فرونشست زمین حاصل از تداخل سنجی راداری (سری زمانی)، در بازه زمانی ۲۰۱۷-۲۰۲۲.

Fig 15. The final map of land subsidence resulting from radar interferometry (time series), in the period of 2017-2022.

بحث

تکنیک تداخل سنجی راداری امروزه به عنوان یک تکنیک متداول برای اندازه گیری تغییر شکل سطحی پوسته زمین شناخته می شود. پوشش سراسری و قدرت تفکیک مکانی بالای تصاویر راداری و دقت قابل قبول این روش، این تکنیک را به عنوان ابزار نیرومندی برای مطالعه پدیده های مختلف زمین شناسی همچون زلزله، فرونشست، زمین لغزش و آتشفشان مطرح کرده است (گاوو و همکاران، ۸). یکی از مخاطرات طبیعی که امروزه با افزایش جمعیت و افزایش تقاضا برای استفاده از منابع آب زیرزمینی مردم را تهدید می کند پدیده فرونشست است. پدیده فرونشست زمین، نشست روبه پایین سطح زمین است که می تواند دارای بردار جابه جایی افقی اندک باشد. علت رخداد این پدیده ممکن است متأثر از عوامل طبیعی و انسانی باشد. در بین عوامل مؤثر در ایجاد فرونشست، به نظر می رسد که برداشت بیش از حد مجاز از منابع آب زیرزمینی برای کشاورزی، ضخامت لایه رسوبی عوامل اصلی ایجاد فرونشست در بیشتر دشت های ایران هستند.

در ارتباط با اثرات ژئومورفولوژیکی فرونشست زمین در دشت سر فیروزآباد، می توان گفت که فرونشست پوسته سطحی زمین در این دشت می تواند در آینده نه چندان دور با ایجاد تغییر در وضع توپوگرافی، سبب بروز تغییرات چشمگیری در هیدرولوژی و مورفولوژی سطحی شود که این مسئله بستر رودخانه ها و مسیل های کم شیب موجود در دشت را دگرگون سازد و با تغییر در شیب بستر و در مواردی ایجاد شیب معکوس، امکان سیل گیری نواحی مسکونی را فراهم سازد. در منطقه مورد مطالعه باتوجه به نقشه گسل های منطقه، می توان دید که آبراهه ها از خطوط گسلی پیروی کرده و همین امر می تواند باعث ایجاد مسائل و مشکلات بیشتر ژئومورفولوژیکی باتوجه به فرونشست زمین در سطح منطقه شود.

جهت بررسی سازگاری نتایج حاصل از تداخل سنجی با دیگر داده های تکمیلی، هم پوشانی نتایج فرونشست زمین با لایه های کاربری اراضی و نقشه زمین شناسی منطقه صورت گرفت. هم پوشانی نقشه رقومی زمین شناسی با الگوی توزیع نواحی در

معرض نشست، موید بالاترین میزان فرونشست در محدوده تیپ آبرفت بوده است تیپ آبرفت موجود در منطقه شامل رسوبات دانه ریز فراوانی از رس و سیلت وجود دارد که این نوع رسوبات حساسیت زیادی برای پدیده فرونشست در منطقه به وجود آورده است. سایر نشست های منطقه مورد مطالعه در تیپ سازندهای زمین شناسی امیران، تله زنگ و شیل کندوان قرار دارد. این نتایج با نتایج مطالعات (ملکی و رضایی، ۱۵)، که نشان دادند که وجود رسوبات دانه ریز مانند رس و سیلت حساسیت بالای برای فرونشست دارند مطابقت دارد.

هم پوشانی نقشه فرونشست با لایه های کاربری اراضی نیز موید رخداد بیشینه عرصه های نشست در کاربری زراعت کشاورزی آبی است. نتایج با مطالعات (قره چلو و همکاران، ۹. فتوحی و همکاران، ۷. طالبی نیا و همکاران، ۲۴ که نتایج تحقیقات آنان نشان داد بیشینه فرونشست در کاربری زراعت کشاورزی آبی بیشتر بوده است)، مطابقت دارد. باتوجه به نقشه نرخ فرونشست در منطقه مورد مطالعه، حدوداً ۴۰ روستای منطقه در معرض خطر قرار داشته و دامنه فرونشست زمین از مرکز دشت در آینده نه چندان دور به تمامی نواحی اطراف منطقه مورد مطالعه کشیده خواهد شد و مناطق روستائی بسیاری را در معرض خطر قرار خواهد داد.

نتیجه گیری

نتایج حاصل از این پژوهش، همانند پژوهش های که در دشت های کانتو ژاپن، شمال شرقی اسپانیا و همچنین مختلف ایران از جمله نهندان - سهل آباد، رفسنجان، اصفهان، یزد - اردکان و... انجام گرفت نشان می دهد که روش تداخل سنجی راداری (InSAR) برای بررسی تغییرات سطح زمین به ویژه پدیده فرونشست، روشی مؤثر و کارآمد است. در اکثر پژوهش های انجام شده در مورد پدیده فرونشست در دشت های ایران، عامل فرونشست را برداشت از آب های زیرزمینی و دیگر ذخایر زیرزمینی عنوان کردند که این تأییدی بر صحت نتایج این پژوهش است. از جمله می توان به نتایج تحقیقات فتوحی و همکاران (۷)، قره چلو و همکاران (۹) اشاره کرد که پژوهش های را در مورد فرونشست دشت نهندان -

سهل آباد و مشهد در ارتباط با آب‌های زیرزمینی با استفاده از روش تداخل سنجی راداری انجام داده‌اند که همانند پژوهش حاضر حداکثر میزان فرونشست را در محدوده کاربری‌های زراعی برآورد کردند که بیشترین سهم را در برداشت از آب‌های زیرزمینی دارا است.

استفاده از این روش برای مطالعه در مناطق خشک که معمولاً فاقد رطوبت هستند و پوشش گیاهی اندک است، به دلیل اینکه خطاهای اتمسفری و ناهم‌دوسی فاز به حداقل می‌رسد، کارایی آن بیشتر است. ساختار اقلیمی و زمین‌شناسی منطقه، دما، جنس، تراکم خاک و مواد تشکیل‌دهنده خاک، از عوامل مؤثر در فرونشینی زمین است. از این میان مهم‌ترین علت رخداد پدیده فرونشست، افزایش برداشت از سفره‌های زیرزمینی است که متأسفانه خشک‌سالی‌های درازمدت در این منطقه این موضوع را تشدید کرده است که در محدوده‌های مختلف شدت و ضعف دارد. دشت سرفیروزآباد (استان کرمانشاه)، نیز همانند اکثر دشت‌های ایران در حال فرونشینی است که در سال‌های اخیر، نشست قابل توجهی را شاهد هستیم. با توجه به پژوهش حاضر میانگین نرخ فرونشست در سطح دشت سرفیروزآباد ۱ الی ۴ سانتی‌متر در بازه ۵ ساله ۲۰۱۷/۰۶/۰۳ و ۲۰۲۲/۱۲/۲۲ بوده که بیشترین مقدار فرونشست در محدوده زمین‌های کشاورزی و مزارع روستاهای سرفیروزآباد است و این مشخص‌کننده این است که هر ساله میزانی فرونشست با اندکی جابه‌جایی در منطقه وجود دارد. این پدیده تهدیدی برای زمین‌های کشاورزی و منازل مسکونی در روستاهای اطراف محسوب می‌شود و باید تدبیری جدی اندیشیده شود. اضافه برداشت از آبخوان‌های منطقه از علل عمده این پدیده است به صورتی که کشاورزان بدون توجه به حد مجاز استفاده، به قدری از آب زیرزمینی استفاده می‌کنند که میزان بارندگی در منطقه امکان تغذیه مجدد را فراهم نمی‌کند. بطور جد و ضروری لازم است که در سطح منطقه مورد مطالعه راهکارهای مدیریتی برای جلوگیری از افزایش فرونشست و خطرات این بحران برای منازل مسکونی،

جاده‌های ارتباطی، زمین‌های کشاورزی و... از جمله ۱- اجبار کشاورزان به تغییر نوع کشت (محصولات کم آب‌بر)، ۲- کاهش استفاده از آب‌های زیرزمینی، ۳- تزریق آب به آبخوان‌ها با استفاده از ایجاد چاه‌های معکوس و سوپرجاذب‌ها در اراضی کشاورزی برای جذب آب و انتقال آن به داخل زمین، ۴- مدیریت کاربری اراضی اجرا گردد. پدیده فرونشست در اکثر دشت‌های کشور در سال‌های اخیر و در حال حاضر اتفاق افتاده و در سطح منطقه مورد مطالعه نیز این رخداد در محدوده‌های از دشت شروع شده و در حال پیشروی به تمام محدوده دشت است. درواقع نتیجه اینکه افت سطح آب‌های زیرزمینی در مکان‌های مختلف موجب فرونشست شده است در پژوهش‌های مختلف مورد بحث قرار گرفته است و همچنین کار آبی روش تداخل سنجی بارها به اثبات رسیده است. در این پژوهش نیز مشخص شد که با استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری (InSAR) می‌توان مناطق در معرض نشست در منطقه را شناسایی نمود و برای برنامه‌ریزی‌های آتی در منطقه از این روش کمک گرفت. از جمله کاستی‌های که در انجام این پژوهش دیده می‌شود می‌توان به عدم بررسی به صورت کامل ارتفاعات اطراف منطقه و نقش گسل‌ها اشاره کرد که در این صورت می‌توانستیم با قاطعیت بیشتری به نقش افت آب‌های زیرزمینی و ارتباط با نقش تکنیک در پدیده فرونشست اشاره کنیم و امید است در تحقیقات آتی به نقش تکنیک در ارتباط با فرونشست پرداخته شود.

تقدیر و تشکر

این مقاله حاصل تلاش علمی نویسندگان بوده و هیچ‌گونه حمایت مالی نداشته است. سهم نویسندگان در نوشتن مقاله مذکور به طور مساوی است.

منابع مورد استفاده

1. Abedini, Musa. Ebadi, Elham. Castle, Ehsan. (2021). Investigating the subsidence of Mahidasht plain in Kermanshah province using radar interferometric method. Scientific journal of geography and planning, year 26, number 79, spring season, year 1401. pp. 220-207. DOI: [10.22034/gp.2021.44688.2789](https://doi.org/10.22034/gp.2021.44688.2789). DOI: [10.22034/GP.2021.44688.2789](https://doi.org/10.22034/GP.2021.44688.2789)
2. Arvin A, Wahabzadeh Gh, Mousavi R, Bakhtiari Kia M. (2020). Spatial modeling of land subsidence in the south of Minab watershed using remote sensing and GIS. Remote Sensing and Geographic Information System in Natural Resources. Volume 10, Issue 3 - Serial Number 36, October 2019, Page.19-34.
3. An K. Sheng, Y. (2015). Investigating the Relationship between Land Subsidence and Groundwater Depletion in the north Plain Using GRACE and ICESat Master's Thesis, University of California, Los Angeles. p44. <https://escholarship.org/uc/item/60931454>
4. Berardino P, Fornaro G, Lanari R, Sansosti E. (2002). A new algorithm for surface deformation monitoring based on small baseline differential SAR interferograms. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 40(11): 2375-2383. doi:<https://doi.org/10.1109/TGRS.2002.803792>.
5. Caló F, Notti D, Galve JP, Abdikan S, Görüm T, Pepe A, Balik Şanlı F. (2017). DInSAR-Based detection of land subsidence and correlation with groundwater depletion in Konya Plain, Turkey. Remote Sensing, 9(1): 83. doi:<https://doi.org/10.3390/rs9010083>.
6. Fruneau B, Sarti F. (2000). Detection of ground subsidence in the city of Paris using radar interferometry: isolation of deformation from atmospheric artifacts using correlation. Geophysical Research Letters, 27(24): 3981-3984. doi:<https://doi.org/10.1029/2000GL008489>.
7. Fotuhi S, Almodaresi A, Delaram R. (2021). Investigation of land subsidence using radar interferometry (D-InSAR) technique in Nehbandan-Sahlabad plain. Remote sensing and GIS in natural resources. DOI: 10.30495/girs.2023.685498
8. Gao M, Gong H, Chen B, Li X, Zhou C, Shi M, Si Y, Chen Z, Duan G. (2018). Regional land subsidence analysis in eastern Beijing plain by InSAR time series and wavelet transforms. Remote Sensing, 10(3): 365. Doi:<https://doi.org/10.3390/rs10030365>.
9. Gharehloo, S, Akbari Ghouchani, H, Glian, S, Ganji, K. (2019). Evaluation of land subsidence in relation to groundwater with the help of Sentinel 1 and Alous 1 satellite data (study area: Mashhad plain), Journal of Remote Sensing and GIS in Natural Resources, Year 12, Number 3, PP, 40-61. <http://dor1.net/dor/20.1001.1.26767082.1400.12.3.3.8>
10. Khoshlahjeh Azar M, Maghsoudi Y, momeeni S. (2018). Displacement analysis of the 12 November 2017 Mw 7.3 Sarpol-e Zahab earthquake by SAR interferometry using Sentinel – 1. Conference: The 3rd National Conference on Geospatial Information Technology. Doi: 10.13140/RG.2.2.33839.18083.
11. Mortazavi M, Soleimani K, Ghaffari F. (2010). Water Resources Management and Sustainable Development, Case Study of Rafsanjan Plain, Journal of Water and Waste water, 3: 131-126. Volume 22, Issue 2- Serial Number2.
12. Motaq M, Davoodi Jam M, Momeni M, Hashemi M. (2012). Detection and display of subsidence of Mahyar plain of Isfahan with the help of radar interferometry, scientific journal promoting surveying engineering and spatial information, 3(2). Volume 3, Issue 3 - Serial Number 11.
13. Motagh M, Shamshiri R, Haghighi M.H, Zschau J, Arabi S. (2007). Land subsidence in Mashhad Valley, northeast Iran: results from InSAR, levelling and GPS. Geophysical Journal International, 168(2): 518-526. DOI:[10.1080/01431161.2020.1724345](https://doi.org/10.1080/01431161.2020.1724345).
14. Motagh M, Vajedian S, Behling R, Haghsheenas Haghighi M, Roessner S, Akbari B, Wetzel H-U, Darabi A. (2018). 12 November 2017 Mw 7.3 Sarpol-e Zahab, Iran, earthquake: Results from combining radar and optical remote sensing measurements with geophysical modeling and field mapping. In: EGU General Assembly Conference Abstracts. p 10528. Geophysical Research Abstracts Vol. 20, EGU2018-10528-4, 2018 EGU General Assembly 2018.
15. Maleki, Amjad. Rezaei, Payman. (2014). Prediction of places at risk of subsidence in Kermanshah plain using fuzzy model. Space planning and preparation, 20th volume, number 1. Spring 2015. URL: <http://hsmmp.modares.ac.ir/article-۴۹۳۵-۲۱-fa.html>.
16. Radutu, A. Gogu, R. (2019). Chronological reflection on monitoring urban areas subsidence due to groundwater extraction. E3S Web of Conferences 85, 07015. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20198507015>
17. Ra'is al-Sadat, S N, Zarrinkoob, MH, Khatib, MM. (2012). Plateau Geology of Sahl-Abad-East of Iran, Geography and Development No. 28 pp. 116-132. DOI: 10.22111/GDIJ.2012.326.
18. : Rajabi, M., Roostaei, Sh., & Mataee, S. (2023). Assessment of Land Subsidence Time Series in Kermanshah Plain using InSAR Methods. Physical Geography Research Quarterly, 55 (1), 19-37. <http://doi.org/10.22059/JPHGR.2022.339960.1007685>.
19. Ranjbar M. Jafari N. (2009). Investigating the Factors Affecting the Subsidence of the Lands of the Ashtar Plain. Geography Quarterly (Scientific-Research Journal of Iranian Geographic Society).. Volume 6, Issue 19 March 2009, Pages 155-166.
20. Smith, R.G, Knight R, Chen J, Reeves J, Zebker H.A, Farr T. (2017). Estimating the permanent loss of groundwater storage in the southern San Joaquin Valley,

California, Water Resources Research journal, 53: 2133-2148.

<https://doi.org/10.1002/2016WR019861>

21. Salehi-Vajar, F, Hafezi-Moghaddis, N, Lashkaripour, G, and Dehghani, M. (2019). Land subsidence assessment using a combination of radar interferometry and field measurements and its selection and investigation in Mashhad city. Engineering Geology, 13(3), 435-463. SID <https://sid.ir/paper/390838/fa>.

22. Sharifikia M. (2010). Earthquake land surface deformation analysis bases on remote sensing techniques. 4th International Congress of the Islamic World Geograohers. 14-16 April 2010. Zahedan, Iran. <https://civilica.com/doc/82889>. Document National

Code: ICIWG04_14623. Taheri Tizro A. (2008). Groundwater book. Razi University Press, Second Edition. ISBN: 9649342664- 9789649342665

24. Talbinia, Marjan. Khosravi, Hassan. Zahtabian, Gholamreza. Malekian, Arash. (2023). Investigating the subsidence process of Isfahan plain using radar subtractive interferometry technique. Journal of remote sensing and geographic information system in natural resources. Number 3 of the period of 14th autumn 1402. DOI: [10.30495/GIRS.2023.690220](https://doi.org/10.30495/GIRS.2023.690220)

25. Wang.G.Y. (2008). Long term land subsidence and strata compression in Changzhou, china. February 2009 , [Engineering Geology](#) 104(1):109-118. DOI:[10.1016/j.enggeo.2008.09.001](https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2008.09.001)



Land Subsidence Monitoring Using Radar Interferometric Technique (Case Study: Sar Firouzabad Plain, Kermanshah)

Ali abdolmaleki^{1*}, Abdolmajid Ahmadi^{2*}, Ebad Rafeyi Bojani³

Received: 2024-04-23 / Accepted: 2025-01-19 / Published: 2025-10-11

Abstract

Mapping the patterns of spatial distribution and determining the trend of spatial changes in environmental data is very important. In this regard, the current research is planned with the aim of determining the spatial correlation and occurrence pattern of the instantaneous maximum discharge data in Ardabil province in different return periods using Moran's index. The flood discharge values were calculated using CumFreq software at different river gauge stations in 5, 10, 25 and 50 years return periods. Spatial correlation was calculated through the Global Moran's I index, and then the cluster occurrence pattern of floods was determined using Anselin Local Moran I index. Based on the results, the values of Global

Ali abdolmaleki^{1*}, Abdolmajid Ahmadi²(✉), Ebad Rafeyi Bojani³

1. . PhD student in geomorphology. Faculty of Literature and Human Sciences, Department of Geography. Razi University of Kermanshah, Iran

2. Assistant Professor, Faculty of Literature and Human Sciences, Department of Geography, Razi University of Kermanshah, Iran

3. Master's student in geomorphology and environmental studies. Faculty of Literature and Human Sciences, Department of Geography. Razi University of Kermanshah, Iran

DOI: [10.82447/girs.2025.1107857](https://doi.org/10.82447/girs.2025.1107857)

e-mail: Majid.ahmadi88@gmail.com

Moran's I index have been calculated as 0.168, 0.201, 0.268, 0.115 in 5, 10, 25, and 50 years return periods, respectively. The least spatial correlation was observed in the 50-year return period and the highest spatial correlation was observed in the 25-year return period. A high-high (HH) cluster pattern was observed in Gilandeh and Pol-Almas stations. On the other hand, some river gauge stations of the Sablan mountain range and the northeastern area of Ardabil province had not significant z-statistic values, which means there is no cluster pattern in the data of the mentioned stations with the neighboring stations. As a concluding remark, it can be said that the difference in the clustering pattern of instantaneous maximum discharge is related to different climatic conditions, topography and the difference in the causes of flooding in the watersheds. Studying the spatial pattern changes and trends of flood-generating precipitation characteristics (intensity, duration, frequency) and evaluating the impact of land use changes and encroachment on river riparian zones are proposed research avenues. Some floods occur due to changes in precipitation characteristics resulting from the intensification of extreme events and climate change. Therefore, assessing the pattern of precipitation occurrence and the conditions affecting flood intensification necessitates a more comprehensive evaluation.

Extended Abstract

Statement of the Problem: Subsidence is a morphological phenomenon that occurs due to the lowering of the earth's surface. This phenomenon can be affected by factors such as chemical dissolution, withdrawal of underground water resources, withdrawal of mineral resources, withdrawal of oil and gas resources, underground fires and finally tectonic movements. Although the occurrence of this phenomenon has a relatively high frequency and sequence, due to the very slow and slow movement of the earth, it is often not possible to understand and measure it correctly. Therefore, the occurrence of this phenomenon in most areas can only be recognized when it affects the surface morphology and especially in the facilities and equipments and causes destruction and damage. This natural phenomenon sometimes occurs due to intensified pressures on groundwater resources, such as overexploitation beyond their replenishment capacity. the trend And it takes a wide range. There are two direct and indirect methods to calculate the amount of subsidence. Among various methods, the indirect approach using satellite imagery (radar interferometry) is considered the most effective for continuously measuring Earth's crustal changes.

Purpose: The aim of the current research is to investigate the subsidence of the land in Sarfirozabad plain (Kermanshah province), using the radar interferometry technique in the Snap Sentinel software environment. In the present perusal, in order to achieve the above purpose, using satellite data and radar interferometry techniqu, the deformation of the subsidence in Sarfirozabad plain in the has been investigated.

Research method: In this research, using the radar interferometric technique, the amount of land subsidence

in the Sir Firouzabad plain in a period of 5 years (2017-2022) has been obtained using Sentinel 1 radar images and analysis in Snap sentinel software.

Results and discussion: Regarding the geomorphological impacts of land subsidence in Sarfirozabad Plain, it is expected that changes in topography will significantly affect hydrology and surface morphology in the near future. Change the bed of the rive. rs and small channels in the plain and by changing the bed slope and in some cases creating the opposite slope, make it possible to flood the residential areas. In the studied area, according to the fault map of the area, it can be seen that the waterways follow the fault lines and this can cause more geomorphological issues and problems due to the subsidence of the land in the area. Sarfirozabad plain (Kermanshah province), like most plains in Iran, is also subsiding, and in recent years, we have witnessed a significant subsidence. Based on the current research, the average subsidence rate in Sarfirozabad Plain was 1–4 cm during the 5-year period from June 3, 2017, to December 22, 2022. and the highest amount of subsidence is in the area of agricultural lands and fields in the villages of Sarfirozabad. And this indicates that every year there is a certain amount of subsidence with a little movement in the region. This phenomenon poses a significant threat to agricultural lands and residential areas in nearby villages.

Conclusion: The results of this study showed that the use of radar interferometric technique can be considered an efficient tool in estimating the displacement of the Earth's crust.

Keywords: subsidence, radar interferometry, morphological changes, time series, Serfirozabad Kermanshah.

Please cite this article as: abdolmaleki, Ali, Ahmadi, Abdolmajid, Rafeyi Bojani, Ebad. (2025) .Land Subsidence Monitoring Using Radar Interferometric Technique (Case Study: Sar Firouzabad Plain, Kermanshah) . *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 16(3): 1-21.