



بررسی میزان فرونشست زمین با استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری (D-InSAR) در دشت نهبندان - سهل آباد



صمد فتوحی^{۱*}، سید علی المدرسی^۲، رقیه دلارام^۳

دوبافت: ۱۳۹۹/۱۲/۱۰ / پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۰۱ / دسترسی اینترنتی: ۱۴۰۲/۰۱/۰۱

چکیده

فرونشست زمین، بر اثر فعالیت‌های طبیعی و انسانی رخ می‌دهد. یکی از علل اصلی فرونشست استفاده بیش‌ازحد از منابع آب زیرزمینی است. در محدوده مورد مطالعه به دلیل قرارگیری در ناحیه خشک و کویری، بارندگی کم و نبود رودخانه‌های دائمی، بیشترین استفاده از منابع آب‌های زیرزمینی است، به‌طوری‌که در این محدوده شاهد تعداد زیادی حلقه چاه برای مصارف کشاورزی هستیم. انواع مختلفی از روش‌های بررسی تغییر شکل به‌طور گسترده برای اندازه‌گیری الگوی فرونشست زمین استفاده شده است. این پژوهش متکی بر روش سنجش از دور راداری و مطالعه میدانی است. ابتدا با استفاده از روش سنجش از دور به بررسی و پردازش داده‌ها و تصاویر ماهواره‌ای پرداخته شد.

برای بررسی نرخ و دامنه فرونشست، از تکنیک تداخل سنجی راداری در بازه زمانی خاص برای پردازش تصاویر راداری استفاده گردید. تصاویر مورد استفاده مربوط به ماهواره انویست (Envisat) سنجنده ASAR در باند C در بازه زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۰ و زوج تصاویر ماهواره سنتینل (Sentinel1) در باند C در بازه ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۰ است. نتایج حاصله از این فن نشان می‌دهد که بیشترین میزان فرونشست مربوط به محدوده‌ی زمین‌های کشاورزی در مرکز و شمال دشت، حدود ۱۳.۴ سانتی‌متر در بازه زمانی ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۰ است و همچنین در بازه ۲۰۰۷ تا ۲۰۰۸ حدود ۱۳.۱ سانتی‌متر فرونشست را شاهد هستیم. این محدوده در بررسی جدید تصاویر ماهواره Sentinel1 در بازه‌ی زمانی ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۰ نیز فرونشست ۵.۹ سانتی‌متر را تجربه کرده است که نشان دهنده تداوم فرونشست در این منطقه است. برای صحت‌سنجی نتایج از آمار مربوط به چاه‌های پیزومتر استفاده گردید و نتایج نشان‌دهنده افت سطح آب-های زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه در بازه ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۰ است.

مقدمه

در مناطق مختلفی از جهان و کشورهایی هم چون آمریکا، ژاپن، ایتالیا و تایلند، پدیده فرونشست مشاهده شده است. در سطح کشور ایران نیز فرونشست زمین، در دشت‌هایی نظیر مشهد، کاشمر، اراک و

صمد فتوحی^۱ (✉)، سید علی المدرسی^۲، رقیه دلارام^۳

۱. دانشیار جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان.

۲. دکتری ژئومورفولوژی، دانشیار گروه سنجش از دور و GIS دانشگاه آزاد اسلامی یزد.

۳. دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان

DOI: 10.30495/girs.2023.685498

پست الکترونیکی مسئول مکاتبات: samadfotohi@yahoo.com

تحلیل یافته‌های تحقیق و نتیجه‌گیری

دشت نهبندان- سهل‌آباد نیز همانند اکثر دشت‌های ایران در حال فرونشینی است که در سال‌های اخیر، نشست قابل‌توجهی را شاهد هستیم. با توجه به پژوهش حاضر بیشترین فرونشست در محدوده زمین‌های کشاورزی و مزارع روستاهای سهل‌آباد و چاه‌دراز و محدوده‌ی چاه‌های عمیق تگ ذهاب به میزان ۱۳/۱ سانتی‌متر در بازه ۲۰۰۷ تا ۲۰۰۸ است. این محدوده در بررسی جدید تصاویر ماهواره ستینل در بازه‌ی زمانی ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۰ نیز شاهد فرونشست ۵/۹ سانتی‌متر است. با توجه به تصاویر خروجی از منطقه مشخص است که هر ساله میزانی فرونشست در منطقه وجود دارد گرچه کمی محدوده فرونشست تغییر نموده است ولی در همه‌ی خروجی‌ها، نشانگر بیشترین فرونشست در قسمت شمالی و مرکزی دشت است. نتایج حاصل از این پژوهش، همانند سایر پژوهش‌های انجام‌گرفته با این روش، نشان می‌دهد که روش تداخل‌سنجی راداری (InSAR) برای بررسی تغییرات سطح زمین به‌ویژه پدیده فرونشست، روشی مؤثر و کارآمد است. علاوه بر این، 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.

واژه‌های کلیدی: تداخل‌سنجی راداری، نهبندان، فرونشست، افت آب‌های زیرزمینی

یزد، رفسنجان و کرمان مشاهده و گزارش شده است عالی پور اردی (۲). طبق تحقیقات انجام‌شده نقاط زیادی در ایران در معرض پدیده فرونشست قرار دارند که در بعضی از مناطق پژوهش‌های انجام‌شده است که به‌صورت موردی بیان می‌شود و در نهایت مواردی که کمتر به آن‌ها اشاره شده است همراه با نتایج آن‌ها ذکر می‌شود. به‌طور مثال می‌توان: در دشت یزد- اردکان (کوهسار و همکاران، ۱۳۹۳، آمیغ‌پی، ۱۳۸۸، عالمی، ۱۳۸۱)، در دشت نیشابور (جلینی، ۱۳۹۶، حشمتی و همکار، ۱۳۹۱)، در دشت‌های رفسنجان، نوق- بهرمان، کرمان- زنگی- آباد، زرنند (شریفی کیا، ۱۳۹۱، معتق، ۲۰۰۸، اسماعیلی، ۲۰۰۹ و شریفی کیا، ۲۰۰۹) و در دشت کبوتر آهنگ (امیری، ۱۳۸۴، هاشمی، ۱۳۸۱) را نام برد. در این پژوهش ما به دنبال بررسی میزان جابجایی سطح زمین در منطقه مورد مطالعه با روش تداخل‌سنجی راداری هستیم تا ضمن نشان دادن مؤثر بودن این روش، با برنامه- ریزی دقیق و به‌هنگام، راهکارهای مقابله با نشست زمین ارائه‌شده و از خساراتی که ممکن است این منطقه در آینده گریبان گیر آن باشد جلوگیری شود.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش با استفاده از روش آزمایشگاهی- میدانی به بررسی موضوع پرداخته شد. برای بررسی نرخ و دامنه فرونشست، از تکنیک تداخل‌سنجی راداری در بازه زمانی خاص برای پردازش تصاویر راداری استفاده گردید. تصاویر مورد استفاده، مربوط به داده‌های راداری ماهواره‌ی اروپایی انویست در سنجنده ASAR در باند C است. پردازش از طریق نرم‌افزار اختصاصی SARscape در پلات‌فرم ENVI انجام شد.

مقدمه

فرونشست پدیده‌ای مورفولوژیکی است که بر اثر پائین 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. بنا به تعریف یونسکو فرونشست عبارت است از فروریزش و یا نشست سطح زمین که به علت‌های متفاوتی در مقیاس بزرگ روی می‌دهد. به‌طور معمول این اصطلاح به حرکت قائم رو به پایین سطح زمین که می‌تواند با بردار اندک افقی همراه باشد گفته می‌شود (۱۶). این تعریف پدیده‌هایی همچون زمین‌لغزش‌ها را به دلیل اینکه حرکت آن‌ها دارای بردار افقی قابل‌توجهی است و همچنین نشست در خاک‌های دستی، که دارای مکانیسم متفاوتی است شامل نمی‌شود. در بسیاری از موارد فرونشست زمین به‌صورت 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 پی برد (۲۲). به‌طور کلی عوامل عمده‌ای همچون انحلال تشکیلات زیرسطحی، تراکم رسوبات و یا افت سطح سیالات زیرزمینی و تخلخل مواد تشکیل‌دهنده‌ی لایه‌های خاک، جنس، تراکم، ساختار اقلیمی و زمین‌شناسی منطقه، نحوه خروج، هدایت هیدرولیکی و دما از عوامل مؤثر در فرونشست زمین به‌شمار می‌روند.

از این میان یکی از علل رایج این پدیده برداشت بی‌رویه از آبخوان‌هاست (۱۰). استخراج بی‌رویه آب زیرزمینی باعث افت سطح آب زیرزمینی و کاهش فشار سیال و در نتیجه افزایش فشار میان زره‌های می‌شود که منجر به ایجاد تراکم و پدیده فرونشست زمین می‌شود (۳۰) و از آثار و پیامدهای خشک‌سالی است که باید با شناخت دقیق و بررسی آن، منابع آب زیرزمینی را مدیریت نمود.

در مناطق مختلفی از جهان و کشورهایی هم چون آمریکا، ژاپن، ایتالیا و تایلند، پدیده فرونشست مشاهده شده است. از جمله پژوهش‌های که پیرامون این پدیده در نقاط مختلف

جهان انجام گرفته می‌توان اشاره به پژوهش کاگاو و فورونو (۱۵) در دشت کانتو ژاپن، کرسو و همکاران (۷) در شمال شرقی اسپانیا و در ونیز بوک و همکاران (۶)، اشاره کرد که از روش تداخل سنجی راداری برای بررسی میزان فرونشست استفاده نموده‌اند. در سطح کشور ایران نیز فرونشست زمین، در دشت‌هایی نظیر مشهد، کاشمر، اراک و یزد، رفسنجان و کرمان مشاهده و گزارش شده است (۲). طبق تحقیقات انجام شده نقاط زیادی در ایران در معرض پدیده فرونشست قرار دارند که در بعضی از مناطق پژوهش‌های انجام شده است که به‌صورت موردی بیان می‌شود و در نهایت مواردی که کمتر به آن‌ها اشاره شده است همراه با نتایج آن‌ها ذکر می‌شود.

به‌طور مثال می‌توان: در دشت یزد- اردکان (کوهسار و همکاران، آمیغی پی (۳)، عالمی (۱)، در دشت نیشابور جلینی (۱۴)، حشمتی و همکار (۱۳)، در دشت‌های رفسنجان، نوق- بهرمان، کرمان-زنگی‌آباد، زرنند، شریفی کیا (۲۶)، معتق (۱۸)، اسماعیلی، ۲۰۰۹ و شریفی کیا (۲۷) و در دشت کبوتر آهنگ (امیری (۴)، هاشمی (۱۱) را نام برد. همچنین میرشاهی و همکاران (۱۷) به اندازه‌گیری فرونشست سطح زمین به کمک تداخل سنجی راداری با استفاده از تصاویر تری سار ایکس (Terra SAR-X) پرداختند و به این نتیجه رسیدند که استفاده از داده‌های TSX تأثیر بسزایی در نتایج حاصل از فن StaMPS داشته است و همچنین نرخ فرونشست در منطقه با داده‌های انویست تنها ۳ سانتیمتر به‌دست آمده اما با استفاده از داده‌های TSX نرخ فرونشست ۱۲ سانتیمتر برآورد شده است. بابایی و همکاران (۵) نرخ فرونشست دشت قزوین با استفاده از فناوری تداخل سنجی راداری بین سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۰ را بررسی کردند و تصاویر از داده‌های گرفته شد و دامنه فرونشینی حدود ۳۰ تا ۳۵ میلی‌متر در سال در بازه مورد مطالعه محاسبه شد. رفیعی و همکار (۲۰) به تعیین میزان فرونشست بر پایه تداخل-سنجی راداری (Insar) در میدان نفتی شهر در بازه زمانی ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۰ پرداختند و مشخص کردند که در اثر برداشت نفت و گاز از سطح ذخایر زیرزمینی موجب ایجاد فرونشست شده است و نرخ متوسط آن را در بازه زمانی مورد مطالعه ۱۰

سانتی‌متر در سال در اطراف چاه‌های در حال بهره‌برداری بود. روزبان و همکاران (۲۳) با استفاده از روش تداخل‌سنجی راداری و به‌کارگیری تصاویر سنتینل ۱ (SENTINEL-1) میزان فرونشست دشت فرسنجان را بین سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۶ بررسی کردند. در این پژوهش نشان دادند که منطقه به‌طور پیوسته در حال فرونشست است و عامل اصلی فرونشست در این دشت را با توجه به نتایج حاصله از مطالعات گذشته برداشت بی‌رویه از سفره‌های آب زیرزمینی دانستند. پاکدامن و همکاران (۱۹) با استفاده از روش تداخل‌سنجی راداری به آشکارسازی ابعاد فرونشست فرودگاه امام خمینی در سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۲ پرداختند، نتایج تحقیقشان مشخص نمود که بیشترین میزان تغییرات در ضلع شرقی فرودگاه رخ داده است و میزان جابجایی را بیش از ۱۰ سانتی‌متر در سال برآورد کردند. در این پژوهش ما به دنبال نشان دادن توانایی روش تداخل-سنجی راداری در مناطق خشک برای میزان تغییر شکل و جابجایی سطح زمین با دقت سانتی‌متری هستیم. روش‌های زمینی مختلفی برای بررسی میزان نرخ فرونشست با استفاده از نقشه‌برداری، ترازایی و سیستم موقعیت‌یاب جهانی (GPS) مورد استفاده قرار گرفته است که هرکدام از این روش‌ها به دلیل محدودیت‌های مکانی و زمانی برای کاربران مشکلاتی را به همراه دارند. استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور تا حد زیادی مشکلات عمده را حل نموده است.

سنجش‌ازدور علم و هنر (یا فناوری) به دست آوردن اطلاعات درباره یک شی، منطقه، یا پدیده از طریق آنالیز داده‌های جمع‌آوری شده از طریق وسایلی است که تماس مستقیم با شی، منطقه و پدیده نداشته باشد. از مهم‌ترین مزایای استفاده از سنجش‌ازدور می‌توان به، عدم نیاز به دسترسی به محل و حضور فیزیکی در آن، ایجاد پوشش‌های وسیع از منطقه مورد مطالعه و دید کلی و جامع‌تر، هزینه کمتر، نیروی انسانی کمتر، عملیات زمینی محدودتر، داده‌های رقومی و امکان پردازش بیشتر و غیره را می‌توان برشمرد. تقریباً هیچ شاخه‌ای از علم نیست که به داده‌های مکانمند نیازمند نباشد و سنجش‌ازدور نتواند به آن کمک کند (۴). در سال‌های اخیر

استفاده از تکنیک تداخل‌سنجی راداری (InSAR) فناوری جدیدی است که برای بررسی میزان تغییرات سطح مورد استفاده قرار گرفته است. تداخل‌سنجی راداری (InSAR) تاکنون یکی از دقیق‌ترین و کم‌هزینه‌ترین روش‌های سنجش‌ازدور، برای شناسایی و جابجایی‌های به وجود آمده در سطح زمین بوده است. علاوه بر آن، در این روش به واسطه بهره‌گیری از داده‌های ماهواره‌ای و قابلیت تکرارپذیری آن، پایش این پدیده در مکان موردنظر با سهولت و با کمترین هزینه امکان اجرا دارد (۲۸). بارها به مخاطرات ناشی از پدیده فرونشست زمین اشاره گردیده است. در خراسان جنوبی نیز به دلیل خشک‌سالی‌های مکرر بسیاری از دشت‌ها را ممنوعه کرده است و در بعضی از موارد به دلیل کاهش شدید سطح آب زیرزمینی، پدیده فرونشست به‌صورت قابل‌توجهی دیده شد و نام دشت بحرانی- ممنوعه را آوردند. دغدغه افت آب زیرزمینی و فرونشست زمین به یک دغدغه کشوری تبدیل شده که البته در زمینه اندازه‌گیری و عمق بحران در سایر دشت‌های استان باید برنامه‌های مطالعاتی انجام می‌شود. درواقع در دشت‌هایی که از حد بحران گذشته امکان برگشت به شرایط ایده آل سخت است اگر به‌موقع تدبیر و مدیریت نشود بدون شک ما را متحمل آسیب‌های غیرقابل برگشتی خواهد کرد، اما با برنامه‌ریزی دقیق و مطالعه در مناطق در معرض بحران می‌توان از وقوع این پدیده و خطرات احتمالی ناشی از آن جلوگیری شود. با توجه به تحقیقاتی که در زمینه فرونشست انجام گرفته است و به تعدادی از آن‌ها در این پژوهش اشاره شد، تکنیک تداخل‌سنجی راداری در حال حاضر بهترین روش برای بررسی این مهم است. با توجه به اهمیت موضوع، در این پژوهش با استفاده از روش تداخل‌سنجی راداری نقشه فرونشست منطقه در دوره ۱۷ ساله ترسیم می‌شود. این نقشه‌ها ابزاری مؤثر در شناسایی مناطق خطر برای برنامه‌ریزان و مدیران اجرایی است که می‌توانند با برنامه‌ریزی 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 روش‌ها

در این پژوهش با استفاده از روش آزمایشگاهی - میدانی به بررسی موضوع پرداخته شد. برای بررسی نرخ و دامنه فرونشست، از تکنیک تداخل‌سنجی راداری در بازه زمانی خاص برای پردازش تصاویر راداری استفاده گردید. تصاویر مورد استفاده، مربوط به داده‌های راداری ماهواره‌ی اروپایی انویست (Envisat) در سنجنده ASAR در باند C و زوج تصاویر ماهواره سنتینل ۱ (Sentinel1) در باند C، است (جدول ۱). نخست پس از اخذ تصاویر راداری خام، توسط نرم‌افزار به SLC تبدیل گردید. پردازش از طریق افزونه ساراسکیپ (SARscape) در پلات فرم انوی (ENVI) انجام

شد. خطاهای مداری با استفاده از اطلاعات مداری دقیق ماهواره‌ی دوریس (Doris) از سازمان فضایی اروپا (European Space Agency) اخذ شده و اصلاح گردید و همچنین از مدل رقومی ارتفاع (SRTM) با قدرت تفکیک ۹۰ متر برای حذف اثر توپوگرافی استفاده شد تا حرکات زمینی قابل شناسایی باشد. با استفاده از روش تداخل‌سنجی راداری مناطق در معرض نشست تعیین شد.

سعی شد از تصاویری استفاده شود که بیشترین همبستگی را باهم داشته و خط‌مبنای مکانی آن‌ها کمترین مقدار را دارا باشد و فاصله زیادی با مقدار بحرانی آن داشته باشد (جدول ۲).

جدول ۱. مشخصات اینترفروگرام‌های پردازش شده تصاویر ماهواره Envisat

Table 2. Specifications of processed interferograms of Envisat satellite imagery

تصویر جدید	تصویر قدیمی	خط‌مبنای مکانی (متر)	فاصله زمانی (روز)	ابهام ارتفاعی (متر)
Slave Data	Master Data			
۲۰۰۴/۰۹/۲۴	۲۰۰۳/۱۱/۱۴	۴۵/۶۵	۳۱۵	۲۰۱/۹
۲۰۰۷/۱۱/۲۳	۲۰۰۵/۰۹/۰۹	۱۸۶/۷	۸۰۵	۴۹/۳
۲۰۰۸/۰۴/۱۱	۲۰۰۵/۰۹/۰۹	۸۸/۸	۹۴۵	۱۰۳/۶
۲۰۰۸/۰۴/۱۱	۲۰۰۷/۱۱/۲۳	۲۱۲	۱۴۰	۴۳
۲۰۱۰/۰۵/۲۱	۲۰۰۷/۱۱/۲۳	۲۵/۵	۹۱۰	۳۶۱
۲۰۱۰/۰۵/۲۱	۲۰۰۸/۰۴/۱۱	۱۸۸	۷۷۰	۴۸/۹

جدول ۲. مشخصات اینترفروگرام‌های پردازش شده تصاویر ماهواره Sentinel1

Table 3. Specifications of processed interferograms of Sentinel 1 satellite images

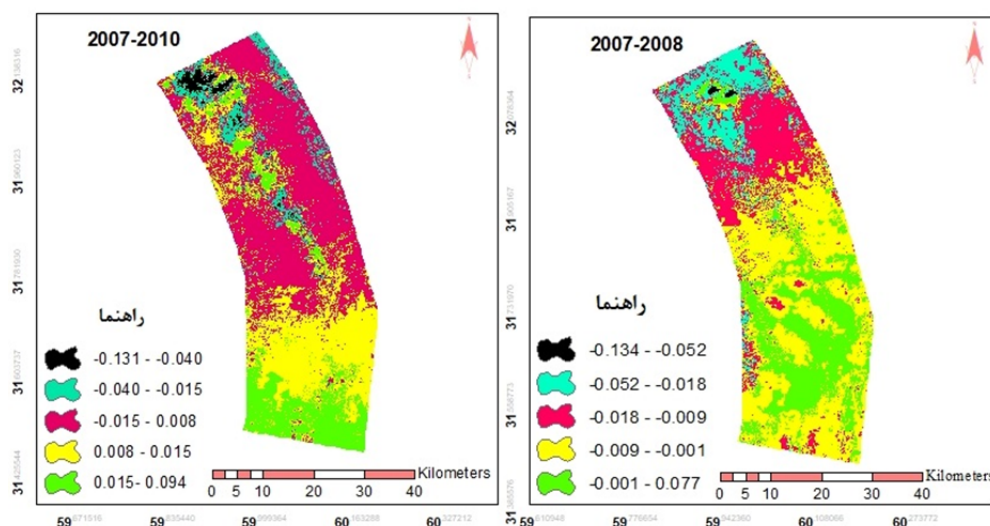
تصویر قدیمی	تصویر جدید	خط‌مبنای مکانی (متر)	فاصله زمانی (روز)	مد تصویربرداری
Master Data	Slave Data			
۲۰۱۹/۱۲/۱۶	۲۰۲۰/۱۱/۰۴	۶/۴۶	۳۲۴	IW3-1
۲۰۱۹/۱۲/۱۶	۲۰۲۰/۱۱/۰۴	۶/۴۵	۳۲۴	IW3-2
۲۰۱۹/۱۲/۱۶	۲۰۲۰/۱۱/۰۴	۶/۵۱	۳۲۴	IW3-3
۲۰۱۹/۱۲/۱۶	۲۰۲۰/۱۱/۰۴	۶/۵۷	۳۲۴	IW3-4
۲۰۱۹/۱۲/۱۶	۲۰۲۰/۱۱/۰۴	۱۰/۳۳	۳۲۴	IW3-5
۲۰۱۹/۱۲/۱۶	۲۰۲۰/۱۱/۰۴	۵/۵۴	۳۲۴	IW3-6

۵۹ درجه و ۸۰ دقیقه تا ۶۰ درجه و ۲۰ دقیقه طول شرقی و ۳۱ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۲۰ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. طول تقریبی دشت ۹۰ کیلومتر و عرض آن حدود ۲۵ کیلومتر است. از نظر شرایط اقلیمی و آب و هوایی در منطقه خشک و کویری قرار گرفته است. بیشتر نهشته‌های کواترنری منطقه، از رسوبات آبرفتی و مخروط افکنه‌ای است در قسمت شمالی دشت نزدیک سهل‌آباد رسوبات نمکی یافت می‌شود. سطح وسیع از منطقه صاف و هموار است و بیشترین درصد آن را رسوبات ریزدانه‌ای رس تشکیل داده است. سطح آب زیرزمینی در این ناحیه پایین است (۲۱).

برای صحت نتایج، آمار تغییرات سطح ایستابی مربوط به چاه‌های پیژومتر منطقه مورد ارزیابی قرار گرفت همچنین از داده‌های اقلیمی (بارش، دما، میزان تبخیر، رطوبت) برای بررسی وضعیت اقلیمی منطقه استفاده گردید. برای بررسی علل فرونشست ویژگی‌های مربوط به زمین‌شناسی و کشاورزی و هیدرولوژی منطقه نیز مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت.

محدوده مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه واقع در جنوب استان خراسان جنوبی و در شمال شهرستان نهبندان است. این دشت بین



شکل ۱. میزان و دامنه فرونشست منطقه با استفاده از تصاویر سنجنده ASAR

Fig 2. Extent and extent of subsidence of the area using ASAR sensor images

فرونشست قابل توجهی در بازه ۲۰۰۷ تا ۲۰۰۸ به میزان ۱۳.۱ سانتی‌متر را شاهد هستیم (شکل ۲). با توجه به شش خروجی از منطقه مشخص است که هرساله میزانی فرونشست در منطقه وجود دارد گرچه کمی محدوده فرونشست تغییر نموده است ولی در همه‌ی خروجی‌ها، نشانگر بیشترین فرونشست در قسمت شمالی و مرکزی دشت است.

با توجه به خروجی تصاویر مشخص است که بیشترین جابجایی در بازه زمانی ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۰ در محدوده زمین‌های کشاورزی و مزارع روستاهای سهل‌آباد، چاه‌دراز و همچنین در محدوده چاه‌های عمیق در تگ ذهاب است. و در این محدوده بیشترین میزان حلقه چاه عمیق برای مصارف کشاورزی را در روستای چاه‌دراز داریم که حدود ۱۵ حلقه است. علاوه بر این

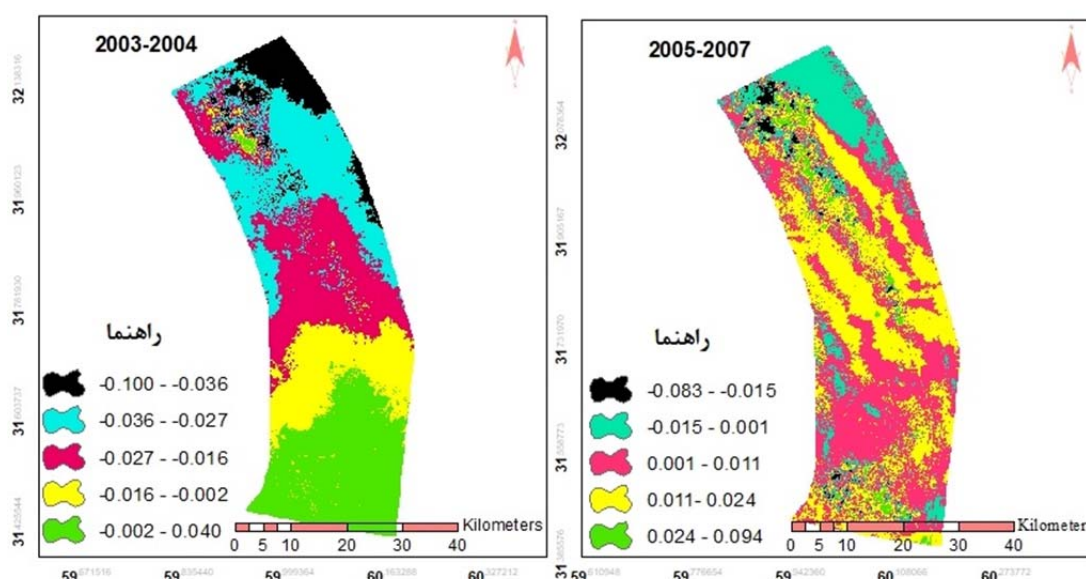
جدول ۳. نرخ حداکثر فرونشست در دشت نهبندان- سهل آباد در بازه مورد مطالعه

Table 3. Maximum subsidence rate in Nehbandan-Sahlabad plain in the studied period

بازه زمانی	۲۰۰۴-۲۰۰۳	۲۰۰۷-۲۰۰۵	۲۰۰۸-۲۰۰۵	۲۰۰۸-۲۰۰۷	۲۰۱۰-۲۰۰۷	۲۰۱۰-۲۰۰۸	۲۰۲۰-۲۰۱۹
حداکثر فرونشست (سانتی متر)	۱۰	۸/۳	۱۱/۸	۱۳/۴	۱۳/۱	۸/۱	۵/۹

زندگی روستائینان این منطقه خواهد بود. درواقع در همه‌ی بازه مورد مطالعه مقدار فرونشست قابل توجهی در محدوده را شاهد هستیم (جدول ۳).

در واقع فرونشست در این محدوده بیشتر تهدیدی برای زمین‌های کشاورزی است و ترک‌هایی در زمین مشاهده می‌شود. همچنین فرونشست‌ها کم‌کم به سمت خانه‌ها و منازل مردم می‌رود که اگر تدبیری اندیشیده نشود، تهدیدی برای

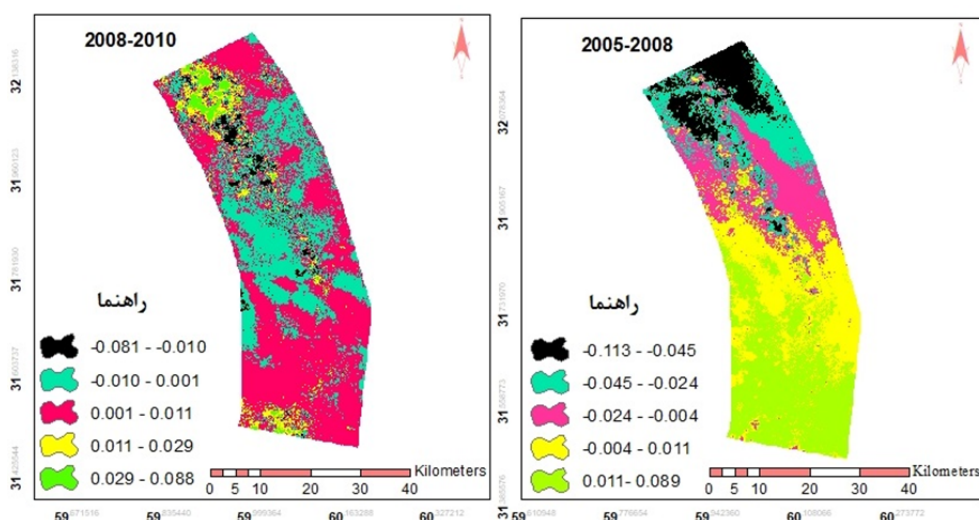


شکل ۲. میزان و دامنه فرونشست منطقه با استفاده از تصاویر سنجنده ASAR

Table 3. Maximum subsidence rate in Nehbandan-Sahlabad plain in the studied period

فرونشست است (شکل ۳). و مشخص است که فرونشست به محدوده روستا و مناطق مسکونی نیز رسیده است.

در بازه زمانی ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۰ گرچه میزان فرونشست کمتر از سایر دوره‌ها است ولی وسعت منطقه فرونشست به مراتب بیشتر شده است، به صورتی که منطقه زیادی درگیر

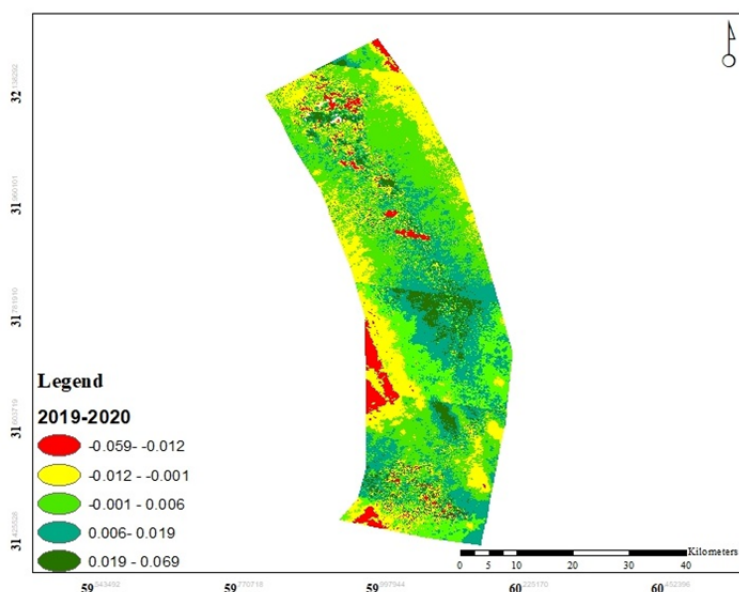


شکل ۳. میزان و دامنه فرونشست منطقه با استفاده از تصاویر سنجنده ASAR

Table 4. Maximum subsidence rate in Nehbandan-Sahlabad plain in the studied period

محدوده مورد مطالعه در مد تصویربرداری IW در محدوده زمانی ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۰ بود، پرداخته شد. با توجه به تحلیل و بررسی نتایج سری‌های زمانی، نشان می‌دهد، منطقه به‌طور پیوسته در تمام قسمت‌های دشت بخصوص در محدوده مناطق مسکونی و اراضی کشاورزی، فرونشینی داشته است. نرخ فرونشست حدود ۵.۹ سانتی‌متر در سال بوده است (شکل ۴).

در این محدوده میزان نزولات جوی بسیار کم است و به دلیل دمای بالا تبخیر سالانه بیش از بارش است و تقریباً آب‌های سطحی در منطقه وجود ندارد بنابراین در همه‌ی فصول سال آبیاری اتفاق می‌افتد و فصل بارندگی با سایر فصول، تغییر چندانی رخ نمی‌دهد (نمودار ۱). به‌منظور بررسی آمار جدید به پردازش زوج تصاویر سنتینل و ۶ تداخل‌نگاشت،

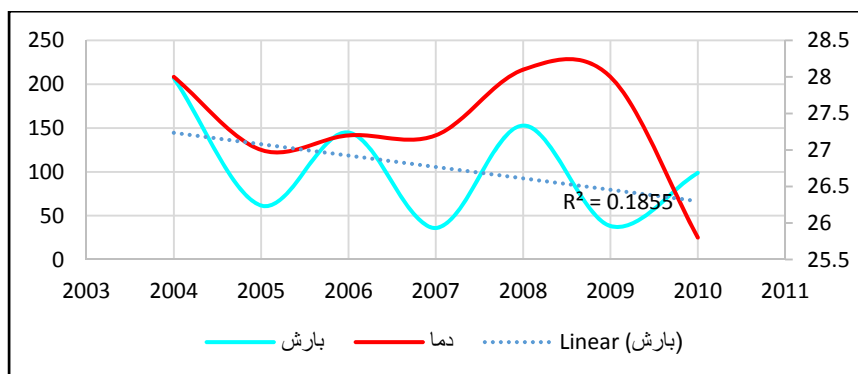


شکل ۴. میزان و دامنه فرونشست منطقه با استفاده از تصاویر Sentinel-1

Fig 5. Extent and extent of subsidence in the area using Sentinel-1 images

منتشر کرده است حدود ۹۰ درصد آب استحصالی در بخش کشاورزی استفاده می‌شود. در همین ارتباط برای تحقق راهکار عملی موضوع، نه تنها باید مانع از افت آب زیرزمینی شد بلکه باید برای به تعادل رسیدن منابع آب زیرزمینی افت سال‌های گذشته را نیز جبران کرد.

با توجه به وابستگی زیاد مردم این منطقه به کشاورزی و از طرفی آبیاری‌های غیراستاندارد، منجر به برداشت بی‌رویه آب زیرزمینی شده است. تمام ظرفیت سفره‌های آب زیرزمینی محدوده مورد مطالعه برای کشاورزی به روش سنتی استفاده می‌شود و با توجه به آماری که سازمان آب و منطقه‌ای منطقه

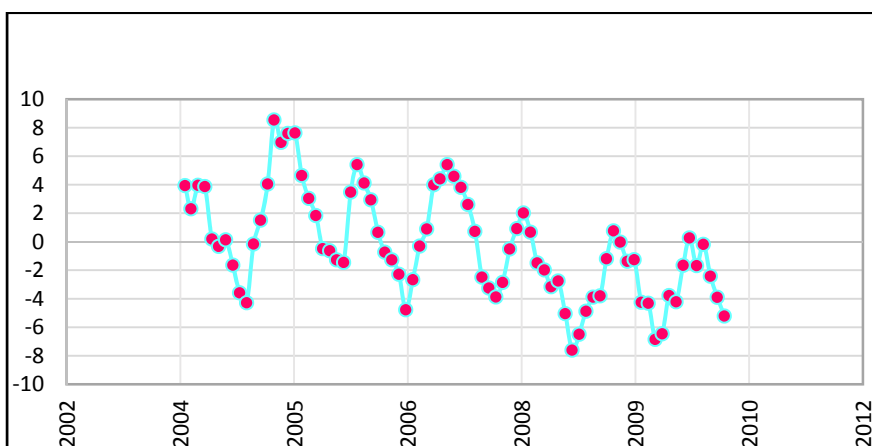


شکل ۵. نمودار روند تغییرات دما و بارش در بازه ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۰ در نهبندان

Fig 6: Trend of temperature and precipitation changes in the period 2003 to 2010 in Nehbandan

مربوط به بازه ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۰ است که بیشترین میزان فرونشست را هم در همین بازه به میزان ۱۳.۴ سانتی‌متر داشتیم (نمودار ۲).

برای صحت‌سنجی نتایج به‌دست‌آمده، از آمار مربوط به چاه‌های پی‌زومتر منطقه که حدود ۱۴ حلقه چاه بود مورد استفاده قرار گرفت. اگرچه در این آمار روند تغییرات سطح آب زیرزمینی نامنظم بوده است، اما بیشترین افت آب زیرزمینی



شکل ۶. نمودار روند تغییرات سطح آب زیرزمینی در بازه ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۰ در محدوده نهبندان (سانتی‌متر)

Fig7: The trend of groundwater level changes in the period 2003 to 2010 in the range of Nehbandan (cm)

بحث و نتیجه گیری

نتایج حاصل از این پژوهش، همانند پژوهش‌های که در دشت کانتو ژاپن، شمال شرقی اسپانیا، ونیز و همچنین در دشت‌های رفسنجان، نوق- بهرمان، یزد-اردکان، نیشابور و مشهد انجام گرفت، نشان می‌دهد که روش تداخل‌سنجی راداری (InSAR) برای بررسی تغییرات سطح زمین به‌ویژه پدیده فرونشست، روشی مؤثر و کارآمد است. در اکثر پژوهش‌های انجام شده در مورد پدیده فرونشست در دشت‌های ایران، عامل فرونشست را برداشت از آب‌های زیرزمینی و دیگر ذخایر زیرزمینی عنوان کردند که این تأییدی بر صحت نتایج این پژوهش است. ازجمله می‌توان به تحقیقاتی که در دشت قزوین، میدان نفتی نفت‌شهر و دشت رفسنجان اشاره کرد. همچنین قره چلو و همکاران () پژوهشی در مورد فرونشست دشت مشهد در ارتباط با آب‌های زیرزمینی با استفاده از روش تداخل‌سنجی 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. فرونشست زمین یک مخاطره ژئومورفیک محسوب می‌شود که سالانه خسارات زیادی به تأسیسات و زیرساخت‌ها وارد می‌کند. ساختار اقلیمی و زمین‌شناسی منطقه، دما، جنس، تراکم خاک و مواد تشکیل‌دهنده‌ی خاک، از عوامل مؤثر در فرونشست 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 نهبندان- سهل‌آباد نیز همانند اکثر دشت‌های ایران در حال فرونشست است که در سال‌های اخیر، نشست قابل‌توجهی را شاهد هستیم. با توجه به پژوهش حاضر

بیشترین فرونشست در محدوده زمین‌های کشاورزی و مزارع روستاهای سهل‌آباد و چاه‌دراز و محدوده‌ی چاه‌های عمیق تگ ذهاب به میزان ۱۳.۱ سانتی‌متر در بازه ۲۰۰۷ تا ۲۰۰۸ است. این محدوده در بررسی جدید تصاویر ماهواره سنتینل در بازه‌ی زمانی ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۰ نیز شاهد فرونشست ۵.۹ سانتی‌متر است. و این مشخص‌کننده‌ی این است که هر ساله میزانی فرونشست با اندکی جابجایی در منطقه وجود دارد. این پدیده تهدیدی برای زمین‌های کشاورزی و منازل مسکونی در روستاهای اطراف محسوب می‌شود و باید تدبیری جدی اندیشیده شود. در این منطقه میزان نزولات جوی بسیار کم بوده و با توجه به دمای بالای هوا و تبخیر شدید، تقریباً آب سطحی وجود ندارد. اضافه برداشت از چاه‌های مجاز از علل عمده این پدیده است به صورتی که کشاورزان بدون توجه به حد مجاز استفاده، به‌قدری از آب زیرزمینی استفاده می‌کنند که بارندگی اندک در منطقه امکان تغذیه مجدد را فراهم نمی‌کند. پدیده فرونشست در اکثر مناطق به دلیل کسری مخزن رخ می‌دهد که در منطقه مورد مطالعه سطح زیرزمینی ما در حال افت است و راهکار مقابله با آن نداریم و باید مناطق خطرپذیر با این قبیل روش‌ها شناسایی کرد و بر اساس این مطالعات چاره‌اندیشی کنیم. 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 تداخل‌سنجی بارها به اثبات رسیده است. در این پژوهش نیز مشخص شد که با استفاده از تکنیک تداخل‌سنجی 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 ارتفاعات اطراف منطقه اشاره کرد که در این صورت می‌توانستیم با قاطعیت بیشتری به نقش افت آب‌های زیرزمینی در پدیده فرونشست اشاره کنیم و امید است در تحقیقات آتی به نقش تکنیک در ارتباط با فرونشست پرداخته شود.

Reference

1. Alemi, A (2002), Investigation of Causes of Landslide in Yazd-Ardakan Plain, Third International Conference on Geotechnical Engineering and Soil Mechanics in Iran(In Persian)
2. Alipour Ardi, M, Malek Mohammadi, B, Jafari, HR (2016), Zoning of land subsidence risk due to groundwater level drop using fuzzy hierarchical analysis model (Case study: Ardabil plain), Journal of Science And Watershed Management Engineering of Iran, No. 38, p.25(In Persian)
3. Amigup, M, Arabi,S, Talebi,A (2009), Investigation of subsidence of Yazd plain using radar interferometry and accurate leveling, Journal of Earth Sciences, 20th year, pp. 157-163(In Persian)
4. Amiri, M (2005), The relationship between the sinkholes of Famin-Kaboudar Ahang-Nahavand plain with the floor rock of the region, Journal of Earth Sciences, Volume 15, Number 58, pp. 147-134
5. Babaei, S, Mousavi, Z, Roustaei, M (2016), Measurement of subsidence rate in Qazvin plain using radar interferometry technology between 2003 and 2010, National Geomatics Conference(In Persian)
6. Bock, Y, Wdowinski, S, Ferretti, A, Novali, F, Fumagalli, A (2012), Recent subsidence of the Venice Lagoon from continuous GPS and interferometric synthetic aperture radar, Research Letter Volume 13, Number 3 28 March 2012 Q03023, doi: 10.1029/2011GC003976 ISSN: 1525-2027
7. Crosetto et al,(2002), Subsidence monitoring using SAR interferometry: Reduction of the atmospheric effects using stochastic filtering, Geophysical Research Letters, 29(9): 26.1-26.4.
8. Esmaili, M. & M. Motagh(2009) "Remote Sensing Measurements of Land Subsidence in Kerman Valley, Iran, 2003-2009", American Geophysical Union, Fall Meeting , Abstract, NH43C-
9. Fatemi, SB, Rezaei, Y (2017) Fundamentals of Remote Sensing, Azadeh Publications, Fifth Edition(In Persian)
10. Gharehloo,S, Akbari Ghouchani, H, Glian, S, Ganji, K (1400) 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
11. Hafezi Moqaddas, N, Ghafouri, M (2009), Environmental Geology, First Edition, Shahroud University of Technology Press, Shahroud. (In Persian)
12. Hashemi, A(2002), Investigation of the causes of general land subsidence and the formation of depressions in Famenin plain and ways to deal with it, Master Thesis, Faculty of Water and Power Industry(In Persian)
13. Hatami, I, Bahramabadi, B (2010), A Study of Water Resources in Arid and Desert Areas and Its Impact on Troops and Equipment, Quarterly Journal of Military Science and Technology, Year 7, No. 19, pp. 53-68(In Persian)
14. Heshmati, S, Al-Modarressi, SA (2015), Modeling of subsidence in Neishabour plain using time series and DINSAR technique, Journal of Geography and Environmental Planning, Volume 26, Number 1, pp. 84-67(In Persian)
15. Jelini, M, Sepehr,A, Lashkaripour,GH, Rashki, AR (2017), Investigation of morphometric correlation of subsidence cracks with edaphic variability in Neishabour plain, Quantitative Geomorphological Research, Fifth Year, No. 4, pp. 75- 59(In Persian)
16. KAGAWA, A, & FURUNO. K(2010), Land subsidence monitoring system in the southeast part of Kanto groundwater basin, Japan, Land Subsidence, Associated Hazards and the Role of Natural Resources Development (Proceedings of EISOLS 2010, Querétaro, Mexico, 17–22 October 2010). IAHS Publ. 339, 2010, 339-344.
17. Mahshadnia, F(2005), A Review of the Regional Zone Meeting in Iran and the Compilation of a Landslide Database, National Geosciences Database, Geological Survey of Iran(In Persian)
18. Mirshahi, F S, Valadan zoj, M J, Dehghani, M, Hashemi Aminabadi, SM (2013), Measurement of land subsidence using radar interferometry technique using TerraSAR-X images, 20th National Conference Geomatics(In Persian)
19. Motagh, M., T. R. Walter, M. A. Sharifi, E. Fielding, A. Schenk, J. Anderssohn & J. Zschau,(2008) "Land Subsidence in Iran Caused by Widespread Water Reservoir Overexploitation", Geophysical Research
20. Pakdaman, MS, Safbirranvand, P, Al-Modarressi, A (2014), Detection of subsidence dimensions of Imam Khomeini Airport using radar interferometry, National Conference on Application of Advanced Spatial Analysis Models (Remote Sensing and GIS) in Land Management(In Persian)
21. Rafiei, J, Sedighi, M (2016), Determination of subsidence based on radar interference (Insar) in Naftshahr oil field, National Geomatics Conference Volume 23(In Persian)
22. 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(In Persian)
23. Ravanfar, SM(2015), Land subsidence assessment using raster model in GIS environment, Master Thesis under the guidance of Dr. Mahmoud Reza Shaghaghian, Islamic Azad University, Marvdasht

- Branch, Department of Civil Engineering, p. 4(In Persion)
24. Roozban, A, Esmaili, A, Motagh, A (2016), Investigation of land subsidence using radar differential interferometry (DINSAR) and SENTINEL images, 2nd National Conference on Spatial Information Technology Engineering, Khajeh Nasir al-Din Tusi College(In Persion)
25. Salehi, R, Ghafouri,M, Lashkaripour, GHR, Dehghani, M (2013), Study of subsidence of South Mahyar plain using radar interferometry method, Quarterly Journal of Irrigation and Water Engineering, Year 3, Issue 11, pp. 47-57(In Persion)
26. Seif, A , Entezari, M (2008), Principles of Radar Imaging Systems, Sepehr, Volume 17, Number 66, pp. 35-42(In Persion)
27. Sharifi Kia, M (2012) Determining the extent and amplitude of land subsidence using radar interference (D-InSAR) method in Nogh-Bahrman plain, Spatial Planning and Planning, Volume 16, Number 3, pp. 55-77(In Persion)
28. Sharifikia, M.,(2009), D-InSAR Data Processing and Analysis for Mapping Land Subsidence Phenomenon in Rafsanjan Area, Iran M.Tech Thesis, Submitted to Andra University -India,
29. Sheikhi Koohsar, Z, Al-Modarressi, SA, Sarkargar Ardakani, A (2014), Determining the amount and amplitude of land subsidence using radar differential interferometry in Yazd Ardakan plain, 21st National Geomatics Conference(In Persion)
30. Synthetic Aperture Radar Land Applications Tutorial, Part I: Background and Theory, Prepared by ESSA", 2009.
31. Terzaghi, K., 1925- Principles of soil mechanics, IV: settlement and consolidation of clay, Eng. News Rec., 95(3), 874-878



Investigation of ground subsidence rate using radar interferometry (D-InSAR) In Nabahband – Sahelabad Plain

Samad Fatuhi¹, Seyyed Ali Al-Madrsi², Ruqiyeh Delaram³

Received: 2021-02-28 / Accepted: 2021-08-23 / Published: 2023-03-21

Abstract

Land subsidence occur due to the natural and human activities. One of the main causes of subsidence is the excessive usage of groundwater resources. In the study area, due to the dry and desert area, low rainfall and lack of permanent rivers, the most use of groundwater resources is that in this area we see many wells for agricultural use. Various types of deformation surveying technique have been used widely to measure the land subsidence pattern. In this study, to investigate the subsidence domain by D-Insar Radar Interferometry technique from 2003 to 2010 by using Envisat satellite images of the ASAR probe in C-band.

The results of this technique show that the highest amount of subsidence is related to the area of agricultural land about 13.4 cm in the period 2007 to 2010 and also in the period 2007 to 2008 about 13.1 cm in the center and north of the plain. This range also shows a 5.9 cm subsidence in the new study of Sentinel1 satellite images in the period 2019 to 2020. Statistics of the Piezometric data is used to validate the results and the groundwater level declines in the mentioned area from 2007 to 2010.

Introduction

The subsidence has observed in many parts of the world and countries such as the US, Japan, Italy and Thailand. Also it has observed and reported on the surface of Iran, in plains such as Mashhad, Kashmar, Arak and Yazd, Rafsanjan and Kerman (Aalipour Ardi, 1395: 25). According to researches, many places in Iran are subject to the phenomenon of subsidence, which has been studied in some areas. For example, in Yazd-Ardakan plain (Kouhsar et al., 2014; Amyghpi, 2009, Alami, 2002), in Neyshabur plain (Jalini, 1396, Heshmati et al., 2012), in Rafsanjan plain. , Nog-Bahrman, Kerman-Zangiabad, Zarand (Sharifikia, 2012; Sharifikia, 2009; Esmaile, 2009; Motagh, 2008), and in the pigeon-plaque (Amiri, 2005, Hashemi, 2002). In this study, we are investigating the extent of land surface

Samad Fatuhi¹(✉), Seyyed Ali Al-Madrsi², Ruqiyeh Delaram³

1. Associate Professor of Physical Geography, Faculty of Geography and Environmental Planning, University of Sistan and Baluchestan.

2. PhD in Geomorphology, Associate Professor of Remote Sensing and GIS Department, Islamic Azad University of Yazd.

3. PhD Student in Geomorphology, Faculty of Geography and Environmental Planning, University of Sistan and Baluchestan

DOI: 10.30495/girs.2023.685498

e-mail: samadfotohi@yahoo.com

displacement in the study area using radar interferometry to demonstrate the effectiveness of this method by providing accurate and timely planning of proposed ground based solutions and possible damages. It is to be avoided in the future.

Materials and Methods

In this study, the subject was investigated using field-laboratory method. Radar interferometry technique was used to process radar images to investigate the rate and the range of the crown. The images used are from the Envisat European satellite radar data in the C-band ASAR sensor. Processing was done through the proprietary software SARSCAPE on the ENVI platform.

Analysis of research findings and conclusions

Nehbandan-Sahlabad plain, like most plains in Iran, is sinking and we have witnessed a significant meeting in recent years. According to the present study, the highest subsidence is in the area of agricultural lands and farms of Sahlabad and Chahdraz villages and the area of deep wells of Tag Zahab by 13.1 cm in the period 2007 to 2008.

This range in the new study of Sentinel satellite images in the period 2019 to 2020 also shows a subsidence of 5.9 cm. According to the outlet images of the area, it is clear that there is a decrease in the amount of subsidence in the area each year. Although the extent of the subsidence has changed slightly, it shows the highest subsidence in the northern and central parts of the plain. The results of this study, like other experiments carried out with this method, show that the Radar Interferometry (InSAR) method is an effective and efficient method for investigating land surface changes especially subsidence phenomena. In addition, it is more efficient to study in dry areas where there is usually no moisture and little vegetation, because the atmospheric and asynchronous phase errors are minimized.

Keywords: Radar Interferometry, Asbestos, Subsidence, ASAR-Envisat