



توسعه پایدار و ساختمان هوشمند

<https://sdsb.buqaen.ac.ir>



جلد ۱، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۴

تحلیل فضایی میزان جابه‌جایی سطح زمین با استفاده از تداخل‌سنجی راداری، مورد مطالعه شهر قائن

ابراهیم اکبری^{۱*}، زینت محمدپورسنگانی^۲، مهدی جوانشیری^۳

- ۱- گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی- دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی- دانشگاه تبریز- تبریز- ایران.
- ۲- گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی- دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی- دانشگاه تبریز- تبریز- ایران.
- ۳- گروه جغرافیا- دانشکده ادبیات و علوم انسانی- دانشگاه فردوسی مشهد- مشهد- ایران.

چکیده

یکی از مخاطرات ژئومورفیک، فرونشست زمین محسوب می‌شود که دارای حرکتی کند و آرام می‌باشد و در بلند مدت آثار مخرب آن نشان داده می‌شود. وقوع این مخاطره می‌تواند عاملی در ایجاد و تشدید آسیب‌پذیری کانون فعالیت‌های انسانی واقع در بسترهایی با زیرساخت مخاطره‌آمیز طبیعی باشد. در این شرایط، شناخت کافی از درجه و میزان آسیب‌پذیری و تحلیل و تبیین ویژگی‌ها و شرایط گروه‌های انسانی، تأسیسات و مکان‌های در معرض خطر می‌تواند مجال برنامه‌ریزی و آمایش محیطی فضا را در جهت تعدیل خطرپذیری و به تبع آن، دوری از بحران را فراهم آورد. در این تحقیق، به منظور تحلیل فضایی میزان جابه‌جایی سطح زمین در شهر قائن، از داده‌های سنتینل 1A در بازه زمانی یک ماه برای سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ و روش تداخل‌سنجی راداری که با مقایسه فازهای دو تصویر راداری که از یک منطقه در دو زمان مختلف آخذ شده است، قادر به تعیین تغییرات سطح زمین در آن بازه زمانی می‌باشد، در نرم‌افزار (SNAP) استفاده شده است. نتایج تحقیق نشان داد که برای منطقه مورد مطالعه برای سال ۱۳۹۷ در طول یک ماه، میزان ۰/۰۰۸ متر (۰/۸ سانتیمتر) فرونشست زمین در قسمت شمال غربی منطقه مورد مطالعه و ۰/۰۱ متر (۱ سانتیمتر) بالا آمدگی سطح زمین در قسمت جنوب شرقی منطقه مورد مطالعه

محاسبه شد. همچنین برای سال ۱۳۹۸ در بازه زمانی مورد نظر میزان ۰/۰۱ متر (۱ سانتیمتر) فرونشست در قسمت شمال غربی و ۰/۰۱ متر (۱ سانتیمتر) بالا آمدگی سطح زمین در قسمت جنوب شرقی منطقه مورد مطالعه محاسبه شده است. نقشه‌های حاصل از فرونشست نشان داد که میزان نشست، در این دو سال افزایش داشته است و میزان بالا آمدگی سطح زمین هیچ تغییری نداشته است.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۰۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۲۵

واژه‌های کلیدی: ژئومورفیک، فرونشست، تداخل‌سنجی، فاز، SNAP، شهر قائن.

* نویسنده مسئول، پست الکترونیکی: e.akbari.2791@gmail.com



۱- مقدمه

امروزه برخلاف آنچه در گذشته، مخاطرات طبیعی را به عنوان بلایای طبیعی و غیر قابل پیش بینی و پیشگیری تصور می کردند، جوامع، مقامات دولتی و سازمان های توسعه می توانند با درک و پیش بینی پیامدهای آینده مخاطرات، خطر ابتلا به این بحران ها را به حداقل برسانند [۱]. فرونشست عبارت است از حرکت قائم یا نشست تدریجی و یا فرو رفتن ناگهانی سطح زمین که به علت های گوناگون نظیر انحلال، آب شدگی یخ ها و تراکم نهشته ها، حرکات پوسته زمین و خروج گدازه ها از پوسته جامد زمین و یا فعالیت های انسانی نظیر معدن کاری، برداشت آب های زیرزمینی و یا نفت رخ می دهد. ایران کشوری خشک و نیمه خشک با نزولات جوی بسیار اندک می باشد که منبع اصلی تأمین نیازهای کشاورزی، شرب و نیز صنعتی، آب های زیرزمینی است و در زمره کشورهای مواجه با بحران کمبود آب محسوب می شود [۲]. با پیشرفت علوم جغرافیایی و ورود هر چه بیشتر تکنولوژی های پیشرفته نظیر ماهواره ها، تصاویر ماهواره ای رقومی و نرم افزارهای تجزیه و تحلیل جغرافیایی، مطالعات ژئومورفولوژی نیز وجهه جدیدی به خود گرفته و می توان از این تکنولوژی ها در این عرصه سود جست. امروزه کاربرد تصاویر راداری در مطالعه و بررسی تغییرات ارتفاعی سطح زمین بسیار شدت گرفته است [۳]. در بررسی فرونشست، گام اصلی، تشخیص محدوده و نرخ این پدیده است که امروزه این امکان با استفاده از پردازش تصاویر راداری فراهم شده است. پدیده فرونشست، پدیده ای مکانی می باشد و با استفاده از آنالیزهای مکانی و تحلیل ها در سیستم اطلاعات مکانی، می توان به بررسی عوامل ایجاد فرونشست پرداخت. همچنین به منظور مدیریت و جلوگیری از خسارات ناشی از فرونشست می توان با مطالعه رابطه مکانی، میان فرونشست و تأسیسات زیربنایی و نقاط حساس، تصمیم گیرندگان را در بحران فرونشست یاری نمود [۴]. استخراج بی رویه آب زیرزمینی، باعث افت سطح آب زیرزمینی و کاهش فشار سیال و در نتیجه، افزایش فشار میان ذره ای می شود که منجر به ایجاد تراکم و پدیده فرونشست زمین می شود [۵].

در ایران، فرونشست زمین، پیشینه سی و چند ساله دارد و اگر زمانی این پدیده تنها در برخی استان ها مانند کرمان و یزد به وقوع می پیوست، امروزه استان های اصفهان، خراسان جنوبی، تهران و غیره نیز متحمل فرونشست می باشد و این مشکل به صورت روز افزون در استان های بیشتری، مشاهده می شود. در همه فرونشست های ایران، استخراج بی رویه آب های زیرزمینی، تنها عامل ایجاد فرونشست می باشد. آب های زیرزمینی، یکی از منابع اصلی تأمین آب مورد نیاز در ایران به عنوان یک کشور با اقلیم

خشک و نیمه خشک می باشد. شهر قائن دارای اقلیم بیابانی می باشد و خشکسالی ها بر زندگی مردم این شهر تأثیرگذار بوده است. حفر قنات های زیاد در منطقه، نشانه میزان اهمیت آب در منطقه می باشد. خشکسالی های طولانی مدت در منطقه، باعث افزایش بهره وری از آب های زیرزمینی شده است و افت سطح آب های زیرزمینی باعث نشست زمین در منطقه شده است. رخداد فرونشست از فرکانس توالی نسبتاً زیادی برخوردار است، اما به واسطه حرکت بسیار کند و آرام زمین بیشتر مواقع درک اندازگیری آن به درستی میسر نمی باشد. به همین دلیل، رخداد این پدیده در بیشتر نواحی، زمانی مورد شناسایی قرار می گیرد که در مورفولوژی سطحی به خصوص در تأسیسات و تجهیزات اثرگذار باشد و خساراتی را به بار بیاورد.

۱-۲. پیشینه تحقیق

۱-۲-۱. پیشینه داخلی

مقصودی و همکاران (۱۳۹۸)، در پژوهشی به بررسی رفتار فرونشست زمین در منطقه غرب تهران با استفاده از تصاویر سنجنده سنتینل-۱ و تکنیک تداخل سنجی راداری مبتنی بر پراکنشگرهای دائمی پرداختند. در این مقاله، یک سری زمانی دو ساله، شامل ۳۰ تصویر سنجنده سنتینل-۱، با استفاده از روش تداخل سنجی راداری مبتنی بر پراکنشگرهای دائمی در دو ناحیه مطالعاتی مورد پردازش قرار گرفت. نتایج، جابه جایی سالانه ۱۱ سانتیمتری در جنوب منطقه مورد مطالعه را نشان داد. اما جابه جایی تنها محدود به مناطق دشتی و غیر شهری نبوده، بلکه به مناطق صنعتی و شهری نیز گسترش یافته است. ارزیابی نسبی نتایج در منطقه اول با استفاده از داده های مسیر پایین گذر ۳۱ انجام گرفت که با توجه به اختلاف ناچیز برآورد دو مسیر ۷۹ و ۳۱، نواحی مذکور، جابه جایی افقی بسیار کمی داشته و عمده بردار جابه جایی را حرکت قائم تشکیل می دهد. همچنین، جابه جایی قائم با استفاده از دو مدار بالاگذر و پایین گذر برای منطقه مطالعاتی دوم، برآورد گردید که با بهره گیری از داده های یک ایستگاه GPS سخت سنجی شد [۶].

چترسیماب و همکاران (۱۳۹۸) به بررسی فرونشست سطح زمین در اثر برداشت بی رویه آب زیرزمینی با استفاده از تکنیک تداخل-سنجی راداری-آیخوان مرودشت پرداختند. در این مطالعه به منظور بررسی تغییرات سطح آب زیرزمینی از روش زمین آمار کریجینگ و برای برآورد میزان فرونشست سطح زمین از روش تداخل سنجی تفاضلی راداری و از تصاویر رادار COSMO-SkyMed استفاده شد. نتایج نشان داد، میانگین افت سالانه آب زیرزمینی برابر با ۴۵ سانتی متر می باشد. مقایسه بین وسعت و الگوی فرونشست حاصل

داده‌های چاه‌های پیژومتری و مشخصات ژئوتکنیکی و زمین‌شناسی منطقه به منظور صحت‌سنجی و تفسیر نتایج بررسی شده است. نتایج نشان داد که شمال غرب و شمال شهر مشهد دارای نرخ فرونشست بسیار بالایی هستند که بیش‌ترین مقدار آن در شمال غرب مشهد و در حدود ۱۴ سانتی‌متر در سال است [۸].

عطایی و همکار (۱۳۹۵) به بررسی فرونشست دشت تهران پرداختند. در این پژوهش، جهت بررسی فرونشست دشت تهران، ویژگی‌های ریخت‌شناسی، زمین‌شناسی و تغییرات و نوسانات آب-های زیرزمینی دشت تهران بین سال‌های ۶۳-۶۴ تا ۸۲-۸۳ با استفاده از نرم‌افزارهای سیستم اطلاعات جغرافیایی و اکسل بررسی شد. نتایج نشان داد، فرونشست تهران با مساحت ۴۴/۴۱۵ کیلومتر مربع در جنوب غربی شهر تهران قرار دارد. متوسط سالیانه افت سطح آبخوان تهران حدود ۳۹ سانتی‌متر است [۹].

زهرآ صادقی (۱۳۹۰) در پژوهشی در بررسی بهبود الگوریتم تداخل-سنجی راداری مبتنی بر تکنیک پراکنش‌کننده‌های دائمی به منظور اندازه‌گیری میزان جابه‌جایی سطح زمین در منطقه جنوب غربی دشت تهران، نرخ فرونشست را به میزان سانتی‌متر در سال برای سال‌های ۲۰۰۳ الی ۲۰۰۸ به‌دست آورد و همچنین با استفاده از داده‌های مستقل ترازبایی دقیق، نتایج را صحت‌سنجی نمود [۱۰].

۲-۲-۱. پیشینه خارجی

شارما و همکاران (۲۰۱۶) در مطالعه‌ای بر جزیره شرمین واقع در دلتای ساکرامنتو - سان واکین که یک منطقه غیر شهری با تغییرات کم زمانی می‌باشد، نتایج حاصل از کاربرد تکنیک تداخل-سنجی راداری برای اندازه‌گیری فرونشست، آن منطقه را با استفاده از اطلاعات باند L با طول موج ۲۳/۰۸ سانتی‌متر ماهواره UAVSAR انجام دادند. در این مطالعه از داده‌های جمع‌آوری شده از ژانویه ۲۰۰۹ تا اوت ۲۰۱۴ برای ارزیابی تغییرات زمانی و مکانی فرونشست جزیره شرمین استفاده شد و نرخ فرونشست به صورت مقادیر متغیر بین ۰-۵ سانتی‌متر در سراسر محدوده به دست آورده شد. همچنین، میانگین نرخ فرونشست منطقه تا حدود 0.2 ± 1.3 سانتی‌متر برآورد شد. نتایج این مطالعه نشان داد که چندین عامل از جمله نوع خاک، عمق آب زیرزمینی، نوع کاربری زمین‌ها و ارتفاع زمین، بر فرونشست منطقه مؤثر است [۱۱].

شمشیری و همکاران (۲۰۱۶) در مطالعه‌ای بر شهر ساحلی تروندهایم، واقع در نروژ مرکزی، با استفاده از ۹۸ تصویر ASR شامل ۳۱ تصویر Terre SAR-X، ۴۹ تصویر Radarsat-2 و ۱۸ تصویر Sentinel-1 و همچنین با بهره‌گیری از تکنیک تداخل‌سنجی راداری، نقشه سرعت متوسط جابه‌جایی و میزان جابه‌جایی شهر را

از نتایج تکنیک تداخل‌سنجی راداری با موقعیت، تراکم چاه‌ها و برداشت آب‌های زیرزمینی در این دشت، نشان داد که فرونشست، درست در همان مناطقی که تراکم این چاه‌ها و برداشت از منابع آب زیرزمینی زیاد است، اتفاق افتاده است [۷].

احمدی و همکاران (۱۳۹۷) در پژوهشی به مطالعه فرونشست دشت خرّمده با استفاده از تکنیک تداخل‌سنجی راداری و بررسی مخاطرات آن پرداختند. برای این منظور از تصاویر ماهواره ENVISAT اخذ شده در بازه زمانی ۲۰۰۳-۲۰۰۵ و تصاویر Sentinel S1 اخذ شده در بازه زمانی ۲۰۱۷-۲۰۱۴ استفاده شد. میدان جابه‌جایی، بیانگر پیشینه تغییر شکل برابر با ۳۵ میلی‌متر بر سال، در راستای دور شدن از ماهواره را نشان می‌دهد. نتایج به دست آمده از فرونشست با استفاده از سیستم اطلاعات مکانی (GIS) با لایه‌های کاربری اراضی نیز چاه‌های بهره‌برداری در منطقه مورد مطالعه، نشان‌دهنده بالا بودن تراکم کاربری اراضی کشاورزی و نیز چاه‌های بهره‌برداری در منطقه است. همچنین، با استفاده از تحلیل‌های مکانی، مخاطرات احتمالی فرونشست در منطقه مورد مطالعه نیز، بیانگر تأثیرپذیری قسمتی از مسیر خطوط راه آهن، راه‌های اصلی و بزرگراه از فرونشست است.

مهرابی (۱۳۹۷) در پژوهشی به شناسایی شواهدی بر وجود گنبد نمکی مدفون و جدید در ناحیه زاگرس با استفاده از روش تداخل‌سنجی تصاویر راداری سنتینل-۱ و ایسار پرداخت. بدین منظور از تصاویر راداری ایسار (ASAR) مربوط به سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۱۲ و سنتینل-۱ (Sentinel-1) مربوط به سال‌های ۲۰۱۴ و ۲۰۱۷ استفاده شد. جهت تعیین میزان تغییرات پوسته زمین، ضمن انجام فرایند وایپچس فاز بر روی تصاویر، تداخل نگاشت هر یک از تصاویر استخراج شد. با توجه به نتایج به دست آمده از تحلیل تصاویر ایسار، نرخ رشد گنبد نمکی مذکور بین سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۲ به میزان ۱/۶ سانتی‌متر در سال بوده است. طبق تصاویر، تداخل نگاشت به دست آمده از تصاویر سنتینل-۱ سرعت صعود این گنبد نمکی در بین سال‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۷ افزایش داشته است و به ۲/۹ سانتی‌متر در سال رسیده است. نتایج تحقیق نشان داد که گنبد نمکی احتمالی، فعال می‌باشد.

خرّمی (۱۳۹۶) در پژوهشی به برآورد تخمین فرونشست مشهد با استفاده از تکنیک تداخل‌سنجی راداری و ارزیابی آن با توجه به مشخصات ژئوتکنیکی پرداخت. در این پژوهش، نرخ فرونشست سطح زمین در شهر مشهد با روش تداخل‌سنجی راداری پراکنشگر دائمی و در فاصله زمانی سال ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۷ میلادی با استفاده از ۶۹ تصویر راداری مدارهای بالاگذر و پایین گذر ماهواره Sentinel-1A تعیین شده است. همچنین داده‌های ایستگاه‌های GPS

* نویسنده مسئول، پست الکترونیکی: e.akbari.2791@gmail.com

و این واکنش سیستم آبخوان به شارژ مجدد طبیعی در فصل بارش را نشان می‌دهد [۱۴].

عابدین و همکاران (۲۰۱۱) در مطالعه‌ای بر حوزه باندونگ، به علل و اثرات پدیده فرونشست زمین در آن منطقه پرداختند. در این مطالعه براساس نتایج ۸ بار برداشت نقاط با استفاده از GPS در طول دوره زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ نرخ مشابهی برای فرونشست با اعمال تکنیک تداخل‌سنجی راداری بر تصاویر ALOS PALSAR به دست آوردند. به طوری که ضریب همبستگی بین نرخ فرونشست حاصل از تکنیک تداخل‌سنجی راداری و فرونشست حاصل از برداشت نقاط با استفاده از GPS برابر با ۰/۹۲ به دست آورده شد. از جمله علل بروز پدیده فرونشست در این منطقه استخراج بیش از حد آب زیرزمینی، وجود بارها و سازه‌های ساخته دست بشر، تحکیم طبیعی خاک‌های آبرفتی و فعالیت‌های تکتونیکی بر شمرده شده است [۱۵].

میائو و همکاران (۲۰۰۸) در پژوهشی با استفاده از پتانسیل تصاویر ENVISAT ASAR و ERS به امکان‌سنجی اعمال تکنیک تداخل-سنجی راداری برای تعیین نقشه نرخ فرونشست به‌دست آمده از فعالیت‌های معدنی در تانگ‌شان واقع در استان هبی چین پرداختند. نتایج این مطالعه نشان داد که تانگ‌شان، فرونشست جدیدی را تجربه می‌کند. به طوری که بزرگترین فرونشست مشاهده شده از اکتبر ۱۹۹۷ تا مه ۱۹۹۸ برابر با ۱۸ سانتی‌متر بوده است [۱۶].

۳-۱. روش‌شناسی تحقیق

معرفی منطقه مورد مطالعه

قائن یکی از شهرهای استان خراسان جنوبی و مرکز شهرستان قائنات در ایران و دومین شهر بزرگ استان خراسان جنوبی است.

شهر قائن بین ۵۹ درجه و ۱۲ دقیقه تا ۵۹ درجه و ۱۴ دقیقه طول شرقی و ۳۳ درجه و ۴۲ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۴۵ دقیقه عرض شمالی واقع است. قاین بر روی دشتی هموار در ارتفاع ۱۴۴۰ متر از سطح دریا قرار داشته و فاصله آن از بیرجند مرکز استان خراسان جنوبی ۱۰۵ کیلومتر می‌باشد.

بر پایه سرشماری عمومی نفوس و مسکن در سال ۱۳۹۵ جمعیت این شهر ۴۲,۳۲۳ نفر (در ۱۱,۹۲۰ خانوار) بوده است. اطلاعات جمعیتی شهر قائن در دوره‌های مختلف سرشماری به شرح جدول زیر می‌باشد.

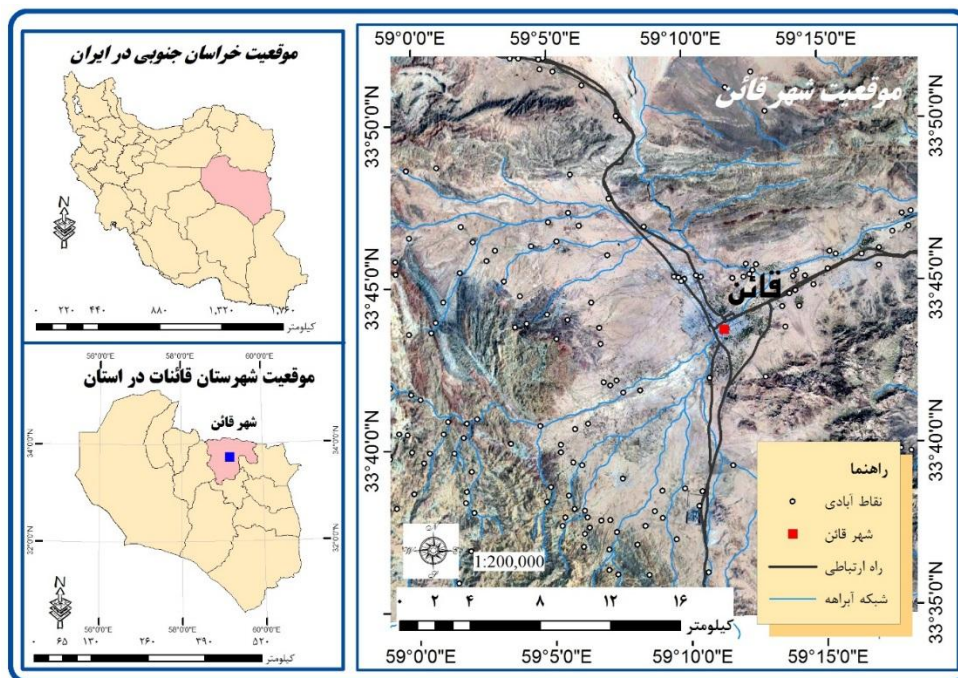
ارزیابی کردند. ایشان در این راه برای تحلیل سری‌های زمانی تداخل‌سنجی راداری از روش SBAS بهره گرفتند. نتایج نشان می‌دهد که حداکثر جابه‌جایی که از سال ۲۰۱۲ رخ داده است مربوط به مناطق ساحلی شهر و در حدود ۱۵ میلی‌متر در سال می‌باشد. با این حال، الگوی جابه‌جایی در مناطق دیگر شهر، در دوره‌های مختلف، متفاوت است. سرعت جابه‌جایی در بین ۱۰- تا ۲+ میلی‌متر در سال در بازه زمانی ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۴، بین ۴- تا ۲+ میلی‌متر در سال در بازه زمانی ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۵ و بین ۷- تا ۷+ میلی‌متر در سال در بازه زمانی ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۶ و در جهت خط دید ماهواره گزارش شده است [۱۲].

کاستلاتزی و همکاران (۲۰۱۶) با اعمال روش SBAS بر داده‌های باند C اخذ شده توسط سنجنده Radarsat-2، به بررسی تغییرات زمانی و مکانی سطح زمین بین سال‌های ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۴ در پنج شهر تولوکا، کلایا، آگواسکالینتس، مورلیا و کوئرینارو واقع در مکزیک مرکزی پرداختند. نتایج این مطالعه نشان داد که هماهنگی معنادار بین فرونشست اخیر و اطلاعات زمین‌شناسی و آب در این مناطق وجود دارد. هدف این مطالعه، ارائه پیشنهادهایی برای کاهش خسارات آبی به زیرساخت‌های شهری و کمک به مدیریت منابع آب در مناطق مکزیک مرکزی ذکر شده است. نتایج محاسبات حاصل از روش SBAS نشان داد که آگواسکالینتس و تولوکا نرخ بالایی از فرونشست (حدود ۱۰ سانتی‌متر در سال) را تجربه می‌کنند. در حالی که کلایا و مورلیا، نرخ فرونشست پایین‌تری (در حدود ۲ تا ۵ سانتی‌متر در سال) را نشان می‌دهند. با توجه به اینکه تغییر قابل توجهی در میزان آب استخراج شده از آبخوان این مناطق رخ نداده است، چنین استنباط می‌شود که تغییر در الگوی فرونشست منطقه، به طور عمده ناشی از ناهمگنی فضایی رسوبات متراکم می‌شود [۱۳].

حکیم و همکاران (۲۰۱۴) از دو روش تداخل‌سنجی راداری تفاضلی و تحلیل اهداف نقطه‌ای تداخل‌سنجی راداری (IPTA) برای اندازه‌گیری و تحلیل فرونشست حوضه یاندونگ در اندونزی استفاده کردند. در این مطالعه، اینترفروگرام‌ها با استفاده از ۲۱ تصویر که در حالت صعودی در بازه زمانی ۱ ژانویه ۲۰۰۷ تا ۳ مارس ۲۰۱۱ اخذ شده بودند، تولید شده‌اند. نتایج نشان می‌دهند که مقدار فرونشست منطقه تا حدود ۴۵ سانتی‌متر در طول این دوره می‌رسد. نویسنده در این مطالعه نتیجه گرفته است که مقدار آب پمپاژ شده از سفره‌های آب زیرزمینی، نرخ فرونشست منطقه را کنترل می‌کند؛ اما لیتولوژی منطقه نیز یک فاکتور بسیار مهم در بروز پدیده فرونشست در منطقه می‌باشد. علاوه بر این، روند غیرخطی مربوط به تغییرات فصلی فرونشست به شدت مرتبط با میزان بارش است

جدول ۱: اطلاعات جمعیتی شهر قائن در دوره های مختلف. مأخذ: مرکز آمار ایران

سال	۱۳۴۵	۱۳۵۵	۱۳۶۵	۱۳۷۰	۱۳۷۵	۱۳۸۵	۱۳۹۰	۱۳۹۵
جمعیت	۶/۴۱۸	۷/۶۶۶	۱۵/۹۵۵	۱۹/۴۶۲	۲۵/۱۷۰	۳۲/۴۷۴	۴۰/۲۲۶	۴۲/۳۲۳
تغییرات (%)	-	۱۹,۴٪+	۱۰۸,۱٪+	۲۲,۰٪+	۲۹,۳٪+	۲۹,۰٪+	۲۳,۹٪+	۵,۲٪+



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه در تقسیمات سیاسی کشوری. مأخذ: ترسیم نگارندگان، ۱۳۹۸

روش تحقیق

فرونشست از تصاویر سنتینل رادار با فرمت (SLC) (تک منظر) با پلاریزاسیون ۷۷ جهت محاسبه میزان نرخ جابه‌جایی استفاده شده است. روش تداخل سنجی راداری، روشی برای ترکیب تصاویر SAR گرفته شده از سنجنده‌های راداری که بر روی هواپیما نصب شده و برای تهیه نقشه‌های ارتفاعی، جابه‌جایی و تغییرات سطح زمین و نیز تعیین سرعت حرکت هدف می‌باشد دو تصویر SAR پیش و پس از ایجاد جابه‌جایی از سطح زمین گرفته می‌شوند. هرگونه جابه‌جایی در سطح زمین سبب تغییر در فاصله سنجنده می‌شود.

مطالعات تداخل سنجی راداری در این تحقیق توسط ۴ تصویر سنتینل و به کمک نرم‌افزار SNAP انجام گرفته است. برای کاهش نویز و افزایش همبستگی زمانی اینترفروگرام‌ها تا حد امکان سعی شده، از زوج تصاویر راداری با بازه زمانی کوتاه (حدود ۳۰ روز) استفاده شود. ترکیب داده‌های راداری از مدارهای صعودی و نزولی

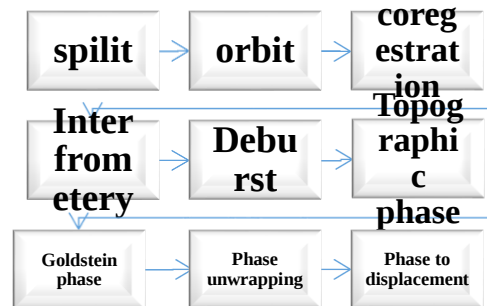
روش کار در این تحقیق، تحلیلی و میدانی می‌باشد. در این تحقیق از داده‌های راداری که شامل تصاویر سنتینل ۱ جهت محاسبه نرخ فرونشست در بازه زمانی یک ماه برای سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ استفاده شده است و پس از محاسبه نرخ جابه‌جایی سطح زمین برای منطقه مورد مطالعه گراف تغییرات سطح زمین برای سال‌های مورد نظر رسم شده است. یکی از ابزارهای توانمند جهت پایش پدیده فرونشست، روش تداخل سنجی راداری می‌باشد. این روش با مقایسه فازهای دو تصویر راداری که از یک منطقه در دو زمان مختلف أخذ شده است، قادر به تعیین تغییرات سطح زمین در آن بازه زمانی می‌باشد. در محدوده مطالعاتی، جهت استخراج نرخ و دامنه فرونشست، تکنیک تداخل سنجی تفاضلی راداری مورد استفاده قرار گرفته است. در این تحقیق به منظور محاسبه

استفاده شده است. براین اساس از تعداد ۴ تصویر مربوط به دوره زمانی ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ مورد استفاده قرار گرفت.

نیز می‌تواند جهت بهبود مدل‌های رقومی زمین با به دست آوردن جابه‌جایی‌ها در جهات مختلف و با استفاده از اینتر فرمتری مورد استفاده قرار گیرد. با عنایت به اینکه در این تحقیق هدف پایش میزان جابه‌جایی‌های سطح زمین است، تنها از داده‌های صعودی

جدول ۲: مشخصات تصاویر راداری مورد استفاده. مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۸

شماره	تاریخ تصویر	فرمت تصویر	حالت تصویربرداری	گذر تصویربرداری
۱	۱۳۹۷/۰۶/۱	Slc	IW	صعودی
۲	۱۳۹۷/۰۶/۳۰	Slc	IW	صعودی
۳	۱۳۹۸/۰۶/۱	Slc	IW	صعودی
۴	۱۳۹۸/۰۶/۳۰	Slc	IW	صعودی

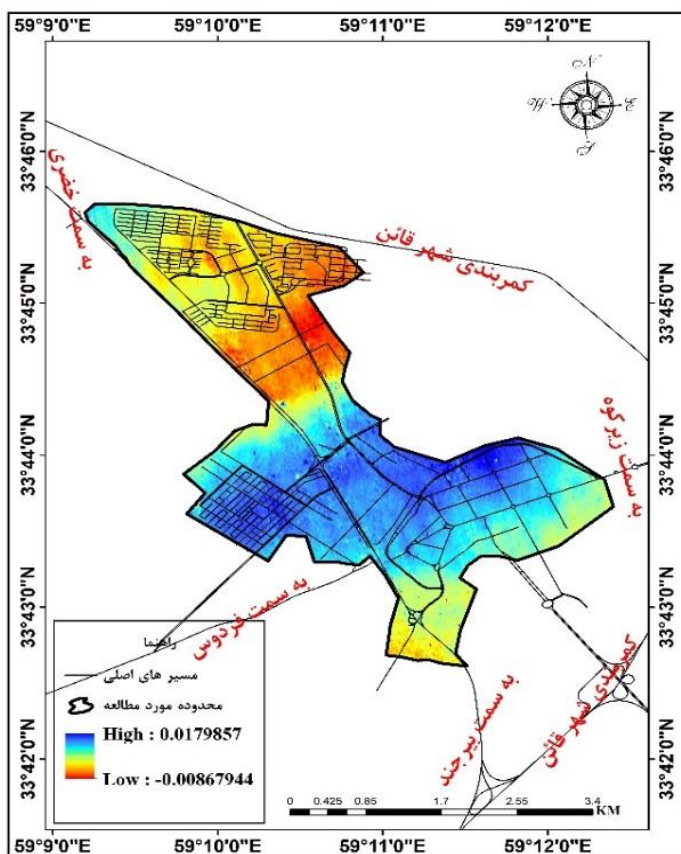


شکل ۲: مراحل انجام تداخل‌سنجی. مأخذ: جوانشیری، ۱۳۹۸ [۱۷]

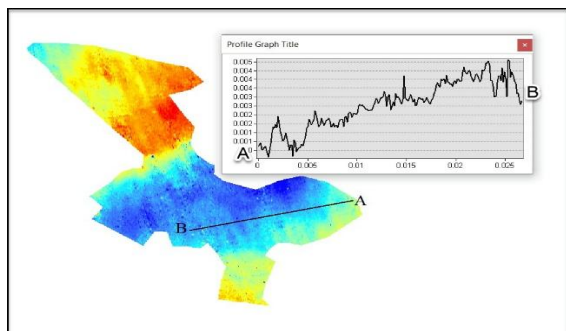
۲. یافته‌های تحقیق

میزان و دامنه نشست از زوج تصویر سنجنده‌های راداری در بازه زمانی متفاوت جهت انجام عملیات تداخل‌سنجی استفاده شده است.

در این تحقیق با روش تداخل‌سنجی تفاضلی، داده‌های راداری، میزان و دامنه جابه‌جایی سطح زمین برای شهر قائن تبیین شده است. برای منظور تولید نقشه‌های نشان‌دهنده الگوی فضایی



شکل ۳: الگوی فرونشست محدوده مورد مطالعه (شهرقاین) در سال ۱۳۹۷، مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۸

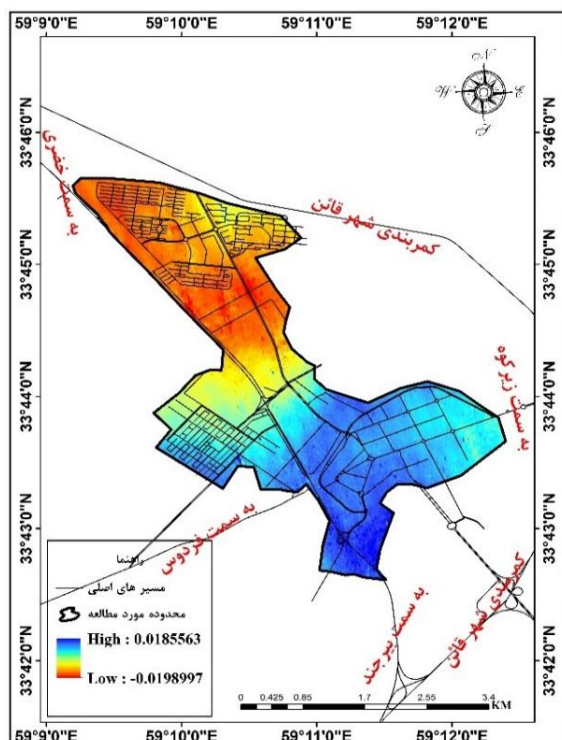


شکل ۴: نمودار تغییرات سطح زمین در بافت قدیمی شهر قاین

در سال ۱۳۹۷، مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۸

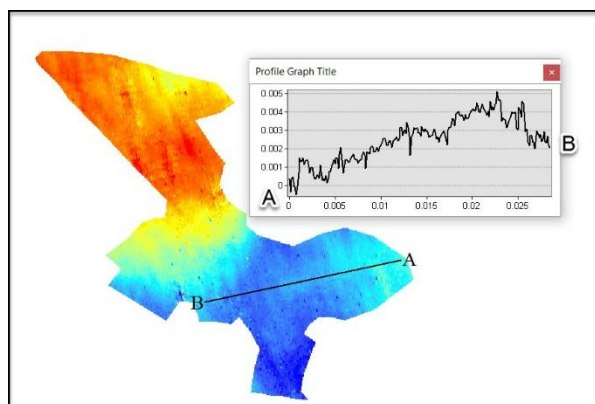
با توجه به شکل (۳) الگوی فرونشست برای شهر قائن در جهت شمال غربی-جنوب شرقی قرار دارد. طبق نقشه مورد نظر، بیشترین نرخ فرونشست در بازه زمانی یک ماهه برای سال ۱۳۹۷ حاصل از داده‌های Sentinel، ۰/۰۸ متر (۰/۸ سانتی‌متر) و در قسمت شمال غربی منطقه مورد مطالعه می‌باشد. همچنین، میزان ۰/۰۱ متر (۱ سانتی‌متر) بالا آمدگی سطح زمین در بازه زمانی مورد نظر در قسمت جنوب شرقی منطقه مورد مطالعه نیز برآورد شده است.

شکل شماره (۴)، گراف تغییرات سطح زمین را برای جنوب شرقی شهر قائن برای سال ۱۳۹۷ نشان می‌دهد. همان‌طور که قابل مشاهده می‌باشد از شرق (نقطه A) به غرب (نقطه B) میزان بالا آمدگی زمین بیشتر شده است.

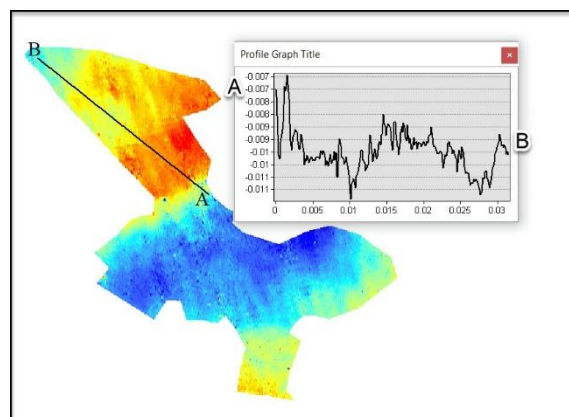


شکل ۶: الگوی فرونشست محدوده مورد مطالعه (شهر قائن) در سال ۱۳۹۸، مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۸

شکل شماره (۷)، گراف تغییرات سطح زمین را برای جنوب شرقی شهر قائن برای سال ۱۳۹۸ نشان می‌دهد. همان‌طور که قابل مشاهده می‌باشد، در سال ۱۳۹۸ نیز از شرق (نقطه A) به غرب (نقطه B) میزان بالا آمدگی زمین بیشتر شده است؛ اما مقدار بالا آمدگی زمین در نواحی جنوبی شهر بیشتر شده است.



شکل ۷: نمودار تغییرات سطح زمین در بافت قدیمی شهر قائن در سال ۱۳۹۸، مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۸



شکل ۵: نمودار تغییرات سطح زمین در بافت جدید شهر قائن در سال ۱۳۹۷، مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۸

در شکل (۵)، گراف تغییرات سطح زمین، در شهر قائن از مرکز به سمت شمال غربی برای سال ۱۳۹۷ نمایش داده شده است. همان‌طور که مشخص است از مرکز شهر (نقطه A) به شمال شهر (نقطه B) میزان فرونشست زمین کمتر شده است و بیشترین مقدار فرونشست زمین در نواحی مرکزی شهر اتفاق افتاده است.

با توجه به نقشه شماره (۶)، الگوی فرونشست برای شهر قائن در جهت شمال غربی-جنوب شرقی قرار دارد. طبق نقشه مورد نظر، بیشترین نرخ فرونشست در بازه زمانی یک ماهه برای سال ۱۳۹۸ حاصل از داده‌های Sentinel، ۰/۰۱ متر (۱ سانتی‌متر) و در قسمت شمال غربی منطقه مورد مطالعه می‌باشد. همچنین در این بازه زمانی ۰/۰۱ متر (۱ سانتی‌متر) بالا آمدگی سطح زمین در قسمت جنوب برای منطقه مورد مطالعه محاسبه شده است.

۱۳۹۷ میزان برابر با ۰/۰۰۸ متر (۰/۸ سانتی‌متر) و برای سال

۱۳۹۸ این میزان برابر

با ۰/۰۱ متر (۱ سانتی‌متر) اتفاق افتاده است و بالا آمدگی سطح زمین در قسمت جنوب شرقی منطقه مورد مطالعه که برای سال ۱۳۹۷ این میزان برابر با ۰/۰۱ متر (۱ سانتی‌متر) و برای سال ۱۳۹۸ این میزان برابر با ۰/۰۱ متر (۱ سانتی‌متر) بوده است. همچنین نتایج نشان داد که میزان نشست زمین از سال ۱۳۹۷ تا سال ۱۳۹۸ افزایش داشته است.

منابع

[۱] م. کریمی، ع. قنبری، و ش. امیری، "سنجش خطرپذیری سکونت‌گاه‌های شهری از پدیده فرونشست زمین: مطالعه موردی منطقه ۱۸ شهر تهران"، برنامه‌ریزی فضایی (جغرافیا)، جلد ۳، شماره ۱، ص. ۳۷-۵۶، ۱۳۹۲.

[۲] ف. اسدزاده، م. کاکی، س. شکیبا، و ب. راغی، "تأثیر خشکسالی بر کیفیت و سطح آب زیرزمینی دشت قروه چهاردولی"، تحقیقات منابع آب ایران، جلد ۱۲، شماره ۳۷، ص. ۱۵۳-۱۶۵، ۱۳۹۵.

[۳] ع. مهرابی، "شناسایی شواهدی بر وجود گنبد نمکی مدفون و جدید در ناحیه زاگرس با استفاده از روش تداخل سنجی تصاویر راداری سنتینل-۱ و ایسار"، سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، جلد ۴، شماره ۴، ص. ۹۰-۱۰۱، ۱۳۹۷.

[۴] ن. احمدی، ز. موسوی، و ز. معصومی، "مطالعه فرونشست دشت خرمدره با استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری و بررسی مخاطرات آن"، سنجش از دور و GIS ایران، جلد ۱۰، شماره ۳، ص. ۳۳-۵۲، ۱۳۹۷.

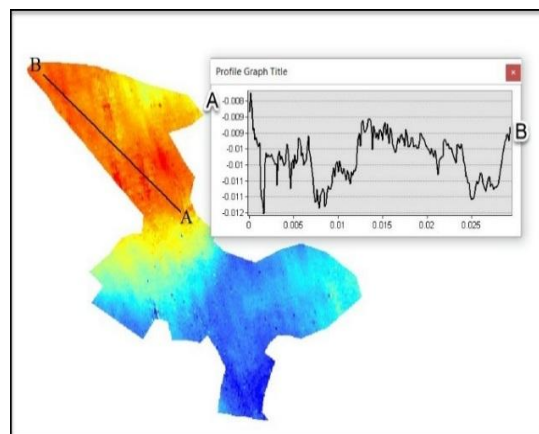
[5]. K. A. R. L. Terzaghi, "Principles of soil mechanics," Engineering News-Record, vol. 95, no. 19-27, pp. 19-32, 1925.

[۶] ی. مقصودی، ر. امانی، و ج. احمدی، "بررسی رفتار فرونشست زمین در منطقه غرب تهران با استفاده از تصاویر سنجنده سنتینل-۱ و تکنیک تداخل سنجی راداری مبتنی بر پراکنش‌گرهای دائمی"، تحقیقات منابع آب ایران، جلد ۱۵، شماره ۱، ص. ۲۹۹-۳۱۳، ۱۳۹۸.

[۷] ز. چترسیماب، ع. آل‌شیخ، و ب. وثوقی، "بررسی فرونشست سطح زمین در اثر برداشت بی‌رویه آب زیرزمینی با استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری-آبخوان مرودشت"، فصلنامه علمی-پژوهشی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، جلد ۶، شماره ۴، ۱۳۹۸.

[۸] م. خرمی، "تخمین فرونشست مشهد با استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری و ارزیابی آن با توجه به مشخصات ژئوتکنیکی"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی، گروه مهندسی عمران گرایش ژئوتکنیک، دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۹۶.

[۹] ه. عطایی و ف. زمانی‌پور، "بررسی فرونشست دشت تهران"، در دومین کنگره ملی توسعه و ترویج مهندسی کشاورزی و علوم خاک ایران، تهران: انجمن توسعه و ترویج علوم و فنون بنیادین، ۱۳۹۵.



شکل ۸: نمودار تغییرات سطح زمین در بافت قدیمی شهر قاین

در سال ۱۳۹۸، مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۸

در شکل شماره (۸)، گراف تغییرات سطح زمین، برای شهر قائن از مرکز به سمت شمال غربی برای سال ۱۳۹۸ نمایش داده شده است. همان‌طور که مشخص است، از مرکز شهر (نقطه A) به شمال شهر (نقطه B) میزان فرونشست زمین کمتر شده است و بیشترین مقدار فرونشست زمین در نواحی مرکزی شهر اتفاق افتاده است؛ اما مقدار فرونشست زمین در سال ۱۳۹۸ نسبت به سال ۱۳۹۷ در نواحی شمالی شهر قائن بیشتر شده است و تفاوت زیادی بین نواحی مرکزی و شمال غربی شهر وجود ندارد.

۳. نتیجه‌گیری

اندازه‌گیری میزان و دامنه جابه‌جایی سطح زمین از طریق اطلاعات ماهواره‌ای، روشی نوین در پایش این پدیده می‌باشد که طی دهه قبل مطرح شده است. تداخل سنجی راداری تاکنون یکی از دقیق‌ترین و کم‌هزینه‌ترین روش‌های سنجش از دور برای شناسایی و نمایش جابه‌جایی به وجود آمده در سطح زمین می‌باشد. همچنین، به واسطه بهره‌گیری از داده‌های ماهواره‌ای و قابلیت تکرارپذیری آن، پایش این پدیده در مکان مورد نظر با سهولت و در کوتاه‌ترین زمان، امکان اجرا دارد. این روش بررسی، میزان جابه‌جایی سطح زمین را در تمام محدوده مورد بررسی امکان‌پذیر کرده است و امکان پایش آن را برای تمام نقاط و برای دوره‌های زمانی مختلف فراهم نموده است. در این تحقیق از روش تداخل سنجی راداری برای تحلیل و اندازه‌گیری میزان جابه‌جایی سطح زمین برای شهر قائن استفاده شده است. نتایج این بررسی نشان داد که بیشترین فرونشست، در بازه زمانی یک ماهه برای سال ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ برای منطقه مورد مطالعه در قسمت شمال غربی منطقه که برای سال

[۱۰]. ز. صادقی، "بهبود الگوریتم تداخل سنجی راداری مبتنی بر تکنیک پراکنش کننده های دائمی به منظور اندازه گیری میزان جابه جایی سطح زمین"، پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه زئودزی، دانشکده زئوماتیک و زئودزی، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین، ۱۳۹۰.

[11]. P. Sharma, C. E. Jones, J. Dudas, G. W. Bawden, and S. Deverel, "Monitoring of subsidence with UAVSAR on Sherman Island in California's Sacramento-San Joaquin Delta," *Remote Sensing of Environment*, vol. 181, pp. 218-236, 2016.

[12]. R. Shamshiri, H. Nahavandchi, M. Motagh, and M. H. Haghighi, "Multi-sensor in SAR analysis of surface displacement over coastal urban city of Trondheim," *Procedia Computer Science*, vol. 100, pp. 1141-1146, 2016.

[13]. P. Castellazzi et al., "Land subsidence in major cities of Central Mexico: Interpreting In SAR-derived land subsidence mapping with hydrogeological data," *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. 47, pp. 102-111, 2016.

[14]. M. Y. N. Khakim, T. Tsuji, and T. Matsuoka, "Lithology-controlled subsidence and seasonal aquifer response in the Bandung basin, Indonesia, observed by synthetic aperture radar interferometry," *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. 32, pp. 199-207, 2014.

[15]. H. Abidin, I. Gumilar, H. Andreas, P. T. Sidiq, and Y. Fukuda, "Study on causes and impacts of land subsidence in Bandung Basin, Indonesia," in *FIG Working Week 2011 Bridging the Gap between Cultures, Marrakech, Morocco*, 18-22 May 2011.

[16]. F. Miao et al., "Application of DInSAR and GIS for underground mine subsidence monitoring," *Int. Arch. Photogramm. Remote. Sens. Spat. Inf. Sci.*, vol. 37, pp. 251-256, 2008.

[۱۷]. م. جوانشیری، "آینده نگری تحولات کالبدی- فضایی سکونتگاه های روستایی در مجموعه شهری مشهد"، رساله دکتری، دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۹۸.

Spatial analysis of ground surface displacement using radar interferometry The study of the city of Qain

Ebrahim Akbari^{1*}, Zeinat Mohammadpoursangani², Mehdi Javanshiri³

1-Department of Remote Sensing and GIS- Faculty of Planning and Environmental Sciences University of Tabriz - Tabriz – Iran.

2-Department of Remote Sensing and GIS- Faculty of Planning and Environmental Sciences University of Tabriz - Tabriz – Iran.

3- Department of Geography- Faculty of Literature and Humanities - Ferdowsi University of Mashhad - Mashhad – Iran.

Abstract

One of the geomorphic hazards is land subsidence, which has a slow movement and its destructive effects are shown in the long term. The occurrence of this hazard can be a factor in creating and intensifying the vulnerability of the center of human activities located in platforms with natural hazardous infrastructure. In this situation, sufficient knowledge of the degree and extent of vulnerability and analysis and explanation of the characteristics and conditions of human groups, facilities and places at risk can provide the space for planning and environmental preparation of the space in order to adjust the vulnerability and, as a result, avoid the crisis. provided In this research, in order to spatially analyze the amount of land surface displacement in Qain city, from the data of Sentinel 1A in a period of one month for the years 2017 and 2018 and the radar interferometric method which is used by comparing the phases of two radar images taken from the same area in Two different times have been taken, it is able to determine the changes of the earth's surface in that time period, it has been used in the software (SNAP). The results of the research showed that for the studied area for 2017, during one month, the amount of land subsidence was 0.008 meters (0.8 cm) in the northwest part of the studied area and 0.01 meters (1 cm) was raised. It was calculated in the southeast part of the study area. Also, for the year 2018, in the desired time period, the amount of subsidence of 0.01 meter (1 cm) in the northwest part and 0.01 meter (1 cm) rise of the ground level in the southeast part of the study area has been calculated. The resulting maps of subsidence showed that the amount of subsidence has increased in these two years and the amount of ground level rise has not changed.

Keywords: geomorphic, subsidence, interferometry, phase, SNAP, Qain city.