



جغرافیا و روابط انسانی، بهار ۱۴۰۴، دوره ۸، شماره ۱، صص ۸۴-۶۹

## پایش و ارزیابی میزان فرونشست شهر طرقله با استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری

فریبا اسفندیاری درآباد\*<sup>۱</sup>، زهرا نظری گزیک<sup>۲</sup>

۱- استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی. اردبیل، ایران

Fariba.darabad@gmail.com

۲- دانشجوی دکتری، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی. اردبیل، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۰۸

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۱۶

چکیده

یکی از مخاطراتی که در طی سال‌های اخیر در بسیار از مناطق رخ داده است، مخاطرات ناشی از فرونشست است. موقعیت جغرافیایی ایران سبب شده است تا بسیاری از مناطق آن در معرض این مخاطره باشد، که از جمله این مناطق شهر طرقله در دشت مشهد می باشد. طرقله در اقلیم خشک و نیمه خشک واقع شده است. تکنیک تداخل سنجی راداری یک ابزار قوی در برآورد فرونشست با دقتی در محدوده میلی متر با استفاده از مشاهدات فاز را دارا هستند. در این مقاله به منظور پایش فرونشست اتفاق افتاده در شهر طرقله از داده‌های ماهواره Sentinel 1A سال‌های ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۱ استفاده شده است. همچنین استفاده گردید. نتیجه مطالعات حاصل از تداخل سنجی راداری نشان داد، در طول دوره آماری در منطقه مورد مطالعه ۱۰ سانتی متر فرونشست اتفاق افتاده است. در ادامه جهت یافتن علت فرونشست، اطلاعات چاه‌های پیژومتری موجود در منطقه اخذ و تغییرات آن‌ها در طول دوره ۱۳۷۰-۱۳۹۸ بررسی گردید. میزان فرونشست‌های ثبت شده برای هر دوره به ترتیب ۲ سانتی متر برای ۲۰۱۷-۲۰۱۸، برای دوره ۲۰۱۸-۲۰۱۹ حدود ۱ سانتی متر، ۳ سانتی متر برای دوره ۲۰۱۹-۲۰۲۰ و ۴ سانتی متر برای دوره ۲۰۲۰-۲۰۲۱ بدست آمد. طبق نتیجه بدست آمده سطح آب زیرزمینی در محدوده‌های دارای فرونشست زمین با افت همراه بوده است. یکی از دلایل اصلی فرونشست زمین در منطقه مورد مطالعه، برداشت بی رویه از منابع آب زیرزمینی است.

واژگان کلیدی: تکنیک تداخل سنجی، فرونشست، پایش، ENVI، شهر طرقله.

## مقدمه

چشم‌انداز سطح زمین به‌عنوان سیستمی پیچیده حاصل تعامل فاکتورهایی نظیر فرآیندهای جغرافیایی، اقلیمی، زمانی و فعالیت‌های انسانی است. رشد کالبدی، بدون رعایت اصول برنامه‌ریزی شهری و ساخت‌وسازهایی بدون در نظر گرفتن پتانسیل مخاطرات موجود در پهنه‌های در معرض مخاطرات طبیعی، آسیب‌پذیری و خسارت‌ها در محدوده‌های مورد نظر را تشدید می‌کند. عواملی که با تغییر در چگونگی ساختار و کارکرد توپوگرافی طبیعی و ریز اقلیم، به‌ویژه در محیط‌های انسان‌ساخت، زمینه‌ساز ایجاد مخاطراتی نظیر زمین‌لغزش، سیلاب‌شهری، زمین‌لرزه و فرونشست می‌گردد (فنی و همکاران، ۱۳۹۶). براساس تعریف سازمان زمین‌شناسی ایالت متحده، پدیده فرونشست زمین شامل فروریزش یا نشست روبه پائین سطح زمین است که می‌تواند دارای حرکت قائم رو به پائین سط زمین و کمی افقی باشد (عابدینی، ۱۳۹۶). پدیده فرونشست زمین به دلایل مختلف از جمله برداشت بیش‌ازحد منابع آب زیرزمینی و تغییرات جوی سرب‌بروز مشرکلات و معضرات فراوان در زمینهای کشاورزی، جاده‌ها، خطوط انتقال نیرو و انرژی می‌شود (عابدینی و همکاران، ۱۴۰۱). فرونشست از جمله مخاطرات زمین‌شناسی است که از لحاظ سرعت شکل‌گیری، به دو دسته سریع و تدریجی تقسیم می‌گردد. حالت تدریجی به دلیل تلفات انسانی کم آن در مقایسه با دیگر پدیده‌های طبیعی مانند زلزله، لغزش و سیلاب کمتر مورد توجه قرار می‌گیرد (مدنی و همکاران، ۱۳۹۶). اما فرونشست در حالت سریع باعث آسیب به سازه‌ها و تلفات انسانی می‌گردد. فرونشست زمین در سال‌های اخیر به مشکلی جهانی تبدیل شده است، چراکه در اکثر کشورها در حال وقوع است. فرونشست سبب تخریب کانال‌های آبیاری، شکست خطوط لوله‌های آب و نفت، خطوط انتقال نیرو و تخریب سازه‌ها و تشدید فرایند زمین‌لغزه و سیلاب‌ها می‌شود (محمودی و همکاران، ۱۳۹۲). تاکنون مطالعات زیادی در خصوص فرونشست در داخل و خارج از کشور انجام شده است برای مثال، آگوستان و همکاران (۲۰۱۶) به ارزیابی جابجایی زمین در جاکارتا از طریق تجزیه و تحلیل داده‌های راداری پرداختند. نتایج تحقیق بیانگر این است که در این منطقه در ماه نوامبر ۲۰۱۵ تا سپتامبر ۲۰۱۶ حدود ۱۲ سانتی‌متر فرونشست داشته است. دو و همکاران (۲۰۱۷) به ارزیابی میزان فرونشست شبه جزیره لیژاوو در چین با استفاده از تصاویر راداری پرداختند. در این تحقیق از روش تداخل سنجی راداری و تصاویر سال‌های ۱۹۹۲ تا ۲۰۱۰ استفاده شده است. نتایج پژوهش نشان داد که حداکثر میزان فرونشست با ۳۲ میلی‌متر در نوار خط ساحلی بوده است، در حالی که میزان فرونشست در زمین‌ها داخلی بین ۱۰ تا ۱۹ میلی‌متر در سال برآورد شده است. بهاتارای (۲۰۱۷)، به شناسایی فرونشست زمین در دره کاتماندو نپال با استفاده از تکنیک DInSAR پرداختند و به این نتیجه رسیدند که عمق فرونشست در محدوده ۱ سانتی‌متری تا ۱۷ سانتی‌متر است و عامل اصلی تاثیرگذار بر وقوع فرونشست زمین ناشی از آب‌های زیرزمینی است. جین و همکاران (۲۰۱۹) به بررسی نقش فعالیت‌های کشاورزی در فرونشست زمین در دره سان‌خوآکین در کالیفرنیا پرداخته‌اند. یافته‌های اصلی آنها نشان داد خشکسالی‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۰ و ۲۰۱۲ موجب افزایش شدید استفاده از آب‌های زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه و در نتیجه باعث فرونشست گردیده است. ژانگ و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهشی با استفاده از روش SBAS-InSAR و تصاویر RADARSAT بین سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۸ به پایش میزان فرونشست شهر ووهان چین با استفاده از تصاویر راداری پرداختند. نتایج

تحقیق بیانگر این است که بیش از ۴ منطقه دارای میزان فرونشست قابل توجهی است که این میزان بین ۲۷/۸ تا ۵۱/۵۶ میلی‌متر متغیر می‌باشد. حق‌شناس حقیقی و همکاران (۲۰۱۹) اقدام به بررسی میزان فرونشست محدوده شهرستان ورامین با استفاده از تصاویر Sentinel-۱ از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۷ کرده‌اند و نتایج تحقیق نشان داده که عامل اصلی فرونشست زمین در محدوده دشت مورد تحقیق، برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی بوده است. محبی‌تفرشی و همکاران (۲۰۱۹) در تحقیقی به بررسی فرونشست زمین در آبخوان ورامین با استفاده از روش منطق فازی کرده‌اند و نتایج کارشان نشان داده که قسمت‌های جنوب و مرکزی دشت مذکور بیشترین میزان فرونشست را دارند. مین و همکاران (۲۰۲۰)، در پژوهشی به بررسی فرونشست در هانوی ویتنام از طریق تکنیک تداخل سنجی راداری پرداختند و با توجه به نتایج به دست آمده افت سطح آب زیرزمینی مهم‌ترین عامل موثر در فرونشست محدوده شناخته شده است. روحی و همکاران (۲۰۲۱) اقدام به بررسی و محاسبه میزان فرونشست زمین، تغییرات رطوبت و شوری خاک با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور در دشت ورامین کرده‌اند. همچنین تغییرات فرونشست زمین در بازه زمانی ۲۰۲۰-۲۰۱۴ توسط تصاویر ماهواره‌های Sentinel-۱ و نرم‌افزار SNAP بررسی شده است. نتایج نشان داده که افزایش میزان فرونشست زمین باعث افزایش شوری خاک و شدت آن شده است. هوانگ و همکاران (۲۰۲۱)، به بررسی فرونشست شهر دژو با روش SBAS پرداختند بررسی‌ها طی بازه زمانی دو ساله نشان می‌دهد که مرکز فرونشست بخش‌های شرقی و شمال شرقی با میزان فرونشست ۴۵ میلی‌متری می‌باشد و این نشست هم رابطه مستقیمی با افت سطح آب‌های زیرزمینی دارد. در ایران نیز دولتی و همکاران (۱۳۹۵) به مطالعه روند توسعه، اثرات و مکانیسم فرونشست زمین در دشت مشهد پرداختند و نشست سطح زمین را به عنوان یکی از پیامدهای منفی افت سطح آب زیرزمینی در آبخوان مشهد معرفی کردند همچنین نتایج ایشان نشان داد که آبخوان مشهد در دوره زمانی ۱۳۷۲ تا ۱۳۹۵ در بخش‌های شمال غربی (محدوده بین شهر مشهد و قوچان)، مرکزی (مشهد شهر مشهد) و شرقی - جنوب شرقی آبخوان فرونشست رخ داده‌است. تورانی و همکاران (۱۳۹۷) میزان فرونشست در شمال شهر گرگان را از سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۸۹ حدود ۴/۸ سانتی‌متر برآورد کرده‌اند. احمدی و همکاران (۱۳۹۷) میزان فرونشست دشت خرمدره را در طی سال‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۷ حدود ۶۹ میلی‌متر در سال محاسبه کرده‌اند. مقصودی و همکاران (۱۳۹۸) فرونشست زمین در غرب تهران در منطقه شهریار را ۱۵ سانتی‌متر در سال برآورد کرده‌اند. صالحی متعهد و همکاران (۱۳۹۸) میزان فرونشست شهر مشهد را ۲۰ سانتی‌متر در سال برآورد کرده‌اند. بهرامی و همکاران (۱۳۹۶) به بررسی عوامل موثر بر فرونشست زمین در دشت میناب پرداختند، که از جمله مناطق دارای فرونشست بالا در استان هرمزگان است. برای مطالعه فرونشست در این دشت از آمار میزان و عمق سطح تراز آب زیرزمینی و آمار هواشناسی ایستگاه سینوپتیک استفاده شده و هیدروگراف واحد آبخوان دشت میناب نشان می‌دهد که سطح آب زیرزمینی از سال ۱۳۷۷ تا سال ۱۳۹۰ حالت نزولی داشته‌است و در این دوره زمانی سطح آب زیرزمینی در حدود ۹۳٪ کاهش یافته‌است. مطابق آمار ارائه شده، میزان تخلیه کل آب در حدود ۱۷۸۰ میلیون مترمکعب بوده و ۹۷٪ آب تخلیه شده دارای مصارف آب شرب شهری و روستایی و کشاورزی است. کوهبنانی و همکاران (۱۳۹۸) میزان فرونشست دشت انار در کاشمر را حداکثر ۱۷ سانتی‌متر در سال محاسبه کرده‌اند. خرمی و همکاران در سال (۱۳۹۸) به بررسی فرونشست شهر مشهد به روش تداخل سنجی راداری پراکنشگر دائمی از سال ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۷ پرداختند و بیشینه نرخ فرونشست را ۱۴ سانتی‌متر به دست آوردند. آقایی و همکاران

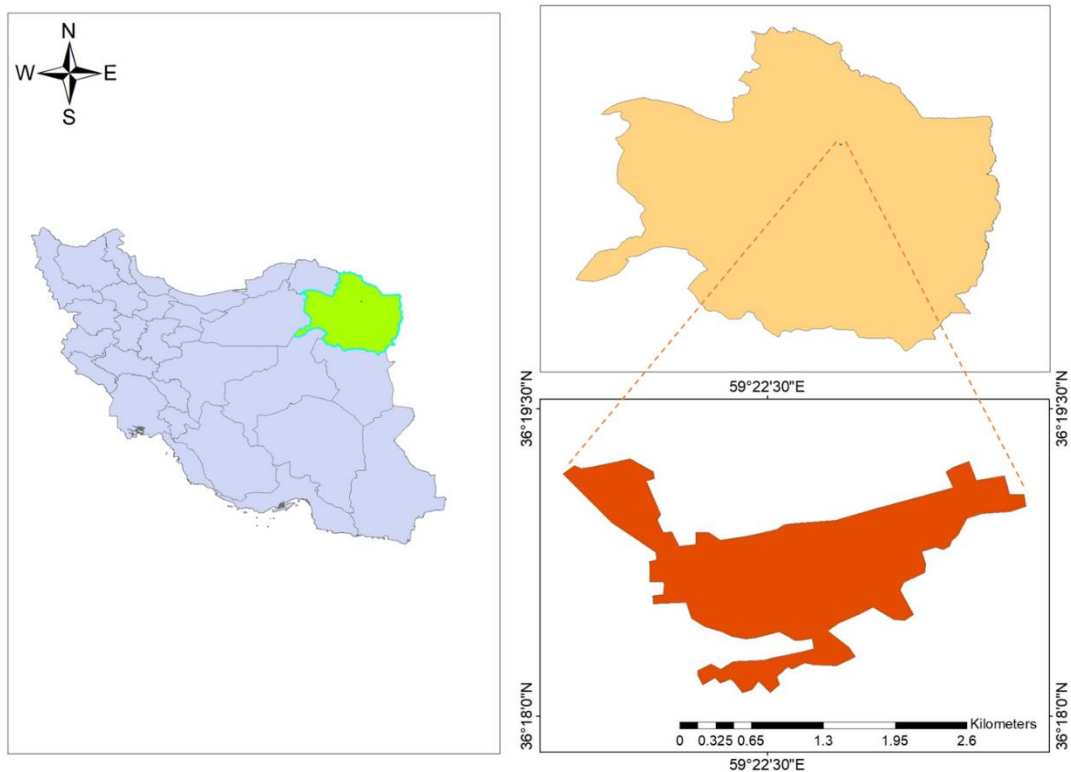
(۱۴۰۰)، میزان فرونشست دشت اردبیل را با استفاده از تکنیک تداخل‌سنجی راداری و پارامترهای آب‌های زیرزمینی و کاربری اراضی مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که اطلاعات ۳۹ حلقه چاه پیزومتری موجود در دشت اردبیل در بازه زمانی ۳۳ ساله، میانگین افت آب زیرزمینی حدود ۰.۹ متر را نشان می‌دهد. همچنین در بین کاربری‌های اراضی بالاترین میزان مربوط به مراتع خوب و مناطق کشاورزی ۰/۲۲ میلی‌متر، مراتع متوسط ۰/۲۱ میلی‌متر و مناطق انسان ساز ۰/۲۰ میلی‌متر می‌باشد از طرفی نقشه حاصل از فرونشست بیانگر نرخ فرونشست در هر سال به طور میانگین ۴.۴ میلی‌متر و طی بازه زمانی ۵ ساله ۲۲ میلی‌متر می‌باشد. مهنور و همکاران (۱۴۰۱) اقدام به پهنه‌بندی خطر وقوع فرونشست زمین در دشت هشتگرد بر اساس رویکرد تلفیقی تصمیم‌گیری چند معیار: WOI-BWM، با استفاده از نوزده معیار عوامل مؤثر بر وقوع فرونشست منطقه کردند. نتایج روش BWM نشان داده که عوامل برداشت از آب زیرزمینی (۰/۲۱۹)، نوع سازند زمین‌شناسی (۰/۱۵۷)، افت سطح آب زیرزمینی (۰/۰۷۹) و عمق آب زیرزمینی (۰/۰۷۸) به ترتیب اهمیت بیشتری بر پتانسیل خطر فرونشست در منطقه مورد مطالعه دارند. همچنین به منظور ارزیابی نتایج این مدل از منحنی (ROC) استفاده شد که دارای دقتی معادل ۹۰ درصد است. نتایج نشان داد که ۱۰/۶۶، ۳۸/۵۱، ۳۱/۴۹، ۱۱/۶۶ و ۷/۶۹ درصد از مساحت دشت هشتگرد به ترتیب به طبقه خطر خیلی کم، کم، متوسط، پرخطر و خیلی پرخطر اختصاص یافته است که بر این اساس مناطقی با احتمال فرونشست زیاد در نیمه مرکزی دشت هشتگرد قرار دارند که مستلزم ارزیابی، نظارت و پایش مستمر عوامل مؤثر در وقوع پدیده فرونشست توسط مدیران و برنامه‌ریزان شهری است. حسین زاده و همکاران (۱۴۰۱) اقدام به بررسی و تحلیل فضایی فرونشست سطح زمین با استفاده از تداخل‌سنجی راداری در دشت مرکزی شهرستان قاین نموده‌اند. نتایج نشان داده که میزان فرونشست زمین از سال ۲۰۱۷ تا سال ۲۰۲۰ افزایش داشته است؛ یعنی از ۲.۶ سانتی‌متر در سال ۲۰۱۷ به ۷.۸ سانتی‌متر در سال ۲۰۲۰ رسیده است. بعلاوه هیدروگراف معرف آب زیرزمینی در دشت مرکزی قاین نیز دارای افت محسوسی بوده و میزان افت تراز آب در سطح دشت حدود ۱.۳۰ متر در طول ۵ سال (از سال ۲۰۱۴ تا مارس ۲۰۲۰) رسیده است. یعنی حدوداً هر سال ۲۶ سانتی‌متر افت سطح آب‌های سفره‌های زیرزمینی داشته است. نتایج حاصل از همبستگی آماری نیز نشان داده که بین عامل تغییرات تراز سطح آب و نرخ فرونشست زمین، همبستگی کمی وجود داشته ( $p = -0.138$ ) که این ارتباط غیرمستقیم است. به عبارتی هر چه میزان برداشت آب زیرزمینی بیشتر باشد (یا سطح تراز آب کمتر شود)، میزان فرونشست نیز بیشتر می‌شود؛ اما با توجه به سطح معناداری ( $sig = 0.585$ ) این ارتباط معنادار نیست. فتوحی و همکاران (۱۴۰۲) در تحقیقی اقدام به بررسی میزان فرونشست زمین با استفاده از تکنیک تداخل‌سنجی راداری (D-InSAR) در دشت نهبندان - سهل‌آباد نموده و نتایج نشان داده که بیشترین میزان فرونشست مربوط به محدوده‌ی اراضی کشاورزی در مرکز و شمال دشت در حدود ۱۳.۴ سانتی‌متر در بازه زمانی ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۰ بوده است. بعلاوه در بازه ۲۰۰۷ تا ۲۰۰۸ حدود ۱۳.۱ سانتی‌متر فرونشست زمین رخ داده است. از طرفی این محدوده در مطالعات جدید با تصاویر ماهواره Sentinel1 در بازه‌ی زمانی ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۰ نیز با میزان فرونشست ۰.۹ سانتی‌متر نشان دهنده تداوم فرونشست در این منطقه است. محمدی و همکاران (۱۴۰۲)، به منظور تحلیل عوامل مؤثر در وقوع فرونشست دشت قهاوند با استفاده از تصاویر راداری و ماهواره ای مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که نتایج حاصله از این پژوهش، دشت قهاوند در طی دوره زمانی ۲ ساله (از تاریخ ۲۰۱۷/۰۱/۰۵ تا ۲۰۱۹/۰۱/۱۹) بین ۱۵ تا ۷۸ میلی‌متر فرونشست داشته است. همچنین نتایج حاصله از این پژوهش نشان داده است که عامل اصلی

فرونشست منطقه، افت شدید منابع آب زیرزمینی بر اثر توسعه اراضی کشاورزی آبی بوده است. در واقع، بیشترین میزان فرونشست منطقه، منطبق بر اراضی کشاورزی آبی بوده است. دشت مشهد، یکی از مناطق با نرخ فرونشست بسیار بالا است و شهر طرقبه در جنوب غربی این دشت قرار دارد که با توجه به مخاطرات و خسارات جانی و مالی احتمالی ناشی از فرونشست، ضرورت دارد مورد توجه بیشتری قرار گیرند. تاکنون مطالعات زیادی در مورد فرونشست زمین با استفاده از تداخل سنجی رادار در خارج و داخل کشور انجام شده است برای مثال، گو و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی رابطه بین فرونشست زمین و تغییرات آب‌های زیرزمینی در پکن پرداختند. نتایج ایشان نشان داد که بیشترین نرخ فرونشست در محدوده مرکزی شهر و در حدود ۱۰ میلی‌متر در سال است که مقدار آن در محدوده تانژو به بیش از ۱۴۰ میلی‌متر در سال رسیده است. بررسی‌هایی که در این مطالعه بر روی آب‌های زیرزمینی انجام شد، ارتباط بالایی میزان فرونشست زمین و افت سطح آب‌های زیرزمینی را نشان داد. بنابراین هدف از این پژوهش پایش و ارزیابی میزان فرونشست شهر طرقبه با استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری می باشد.

## روش تحقیق

### منطقه مورد مطالعه

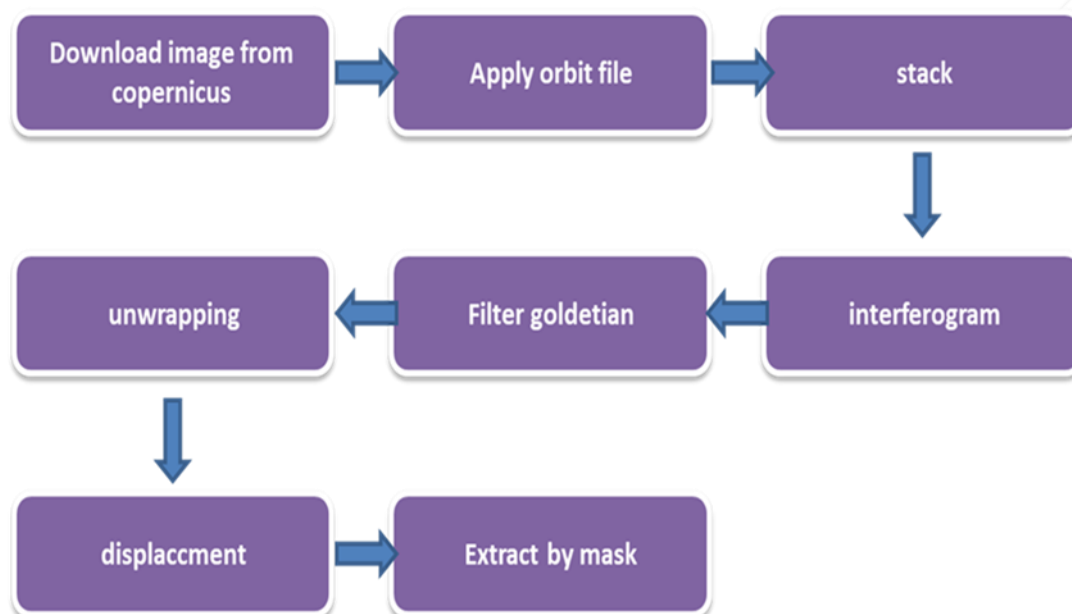
محدوده شهرستان طرقبه شاندیز از دوراهی طرقبه شاندیز (بعد از پل مهندس پرتویی) که عملاً انتهای بلوار وکیل‌آباد مشهد است آغاز می‌شود و از شمال به محور مشهد قوچان محدود می‌شود. این شهرستان از جنوب با شهرستان نیشابور و از غرب نیز به شهرستان گلبهار متصل می‌باشد. شهر طرقبه مرکز شهرستان طرقبه شاندیز است. شهر طرقبه با مساحتی در حدود ۱۶۰۰ کیلومتر مربع از جمله مناطق بسیار زیبا و بیلاقی مشهد به شمار می‌رود. این منطقه زیبا در میان دره‌های سرسبز، چشمه‌ها و مناظر چشم نواز رشته کوه بینالود قرار دارد. طرقبه در طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۲۲ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۲ دقیقه واقع شده است. این منطقه در فاصله ۱۳۳۴ متری از سطح دریا قرار دارد و همین امر سبب شده تا نسبت به شهر مشهد، خنک تر باشد و از بارندگی بیشتری بهره‌بردارد. آب و هوای طرقبه سرد و خشک است و تابستان‌هایی با هوای خنک دارد. وضعیت اقلیمی و کاهش نزولات جوی که به تبع آن کمبود منابع و محدودیت‌های تامین آب را فراهم می‌سازد، موجب شده که توجه ویژه‌ای به مسائل و مشکلات مرتبط با مدیریت منابع آب در آن معطوف گردد. شهر طرقبه بر روی نهشته‌های آبرفتی جوان دشت مشهد بنا شده است. نهشته‌های آبرفتی این دشت حاصل از فعالیت رودخانه کشف رود و سیلاب‌های فصلی رودخانه‌های محلی می‌باشد که از کوه‌های بینالود سرچشمه گرفته است.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی شهر طرقله در سطح کشور و استان خراسان رضوی

#### داده‌ها و روش مورد استفاده

روش کار در این پژوهش مطالعات اسنادی و میدانی است. در این تحقیق از داده‌های راداری که شامل تصاویر سنتینل ۱ جهت محاسبه نرخ فروروشست در بازه زمانی سال‌های ۲۰۲۱-۲۰۱۷ استفاده شده است. پس از محاسبه نرخ جابه‌جایی سطح زمین برای منطقه مورد مطالعه به منظور بررسی بیشتر تأثیر افت تراز آب زیرزمینی بر فروروشست، نوسانات تراز آب پیژومترها، افت چاه‌های بهره‌برداری، نقشه پهنه بندی میزان تخلیه سالانه آب زیرزمینی نیز مورد بررسی قرار گرفت. سپس به منظور مطالعه آخرین وضعیت سطح آب‌های زیرزمینی منطقه مورد مطالعه، اطلاعات آماری چاه‌آب موجود در محدوده مورد مطالعه از سال ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۸ از سطح آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه تهیه شد. مطالعات تداخل‌سنجی راداری در این تحقیق توسط ۶ تصویر سنتینل و به کمک نرم افزار ENVI 5.3 انجام گرفته است. برای کاهش سیگنال‌های نامطلوب یا اعوجاج و افزایش همبستگی زمانی اینترفروگرام‌ها از تصاویر راداری با بازه زمانی ۱ ساله استفاده شد. ترکیب داده‌های راداری از مدارهای صعودی و نزولی جهت بهبود مدل‌های رقومی زمین با به دست آوردن جابه‌جایی‌ها در جهات مختلف و با استفاده از اینترفرومتری، بعمل آمد. همچنین در این تحقیق به منظور محاسبه فروروشست از تصاویر سنتینل (جدول ۱) با فرمت (SLC) تک منظر با پوراریزاسیون (VV) جهت محاسبه میران نرخ جابه‌جایی استفاده شده است.



شکل ۱- مراحل انجام کار در تداخل سنجی

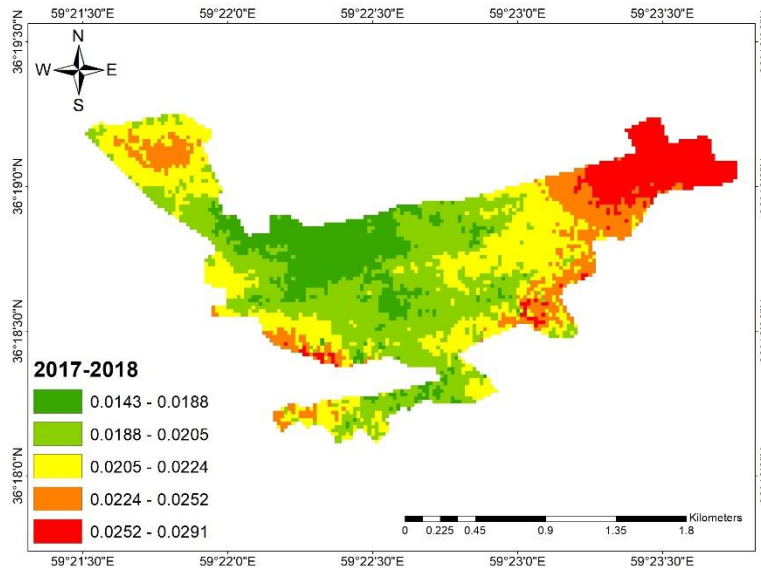
جدول ۱: مشخصات تصاویر راداری مورد استفاده

شماره	تاریخ تصویر	فرمت تصویر	حالت تصویربرداری	گذر تصویربرداری	خط مبنا (متر)
۱	۲۰۱۷/۰۱/۱۷	Slc	Iw	صعودی	۱۶۳ تا -۱۱۰
۲	۲۰۱۸/۰۱/۲۵	Slc	Iw	صعودی	۱۶۳ تا -۱۱۰
۳	۲۰۱۹/۰۲/۲۲	Slc	Iw	صعودی	۱۶۳ تا -۱۱۰
۴	۲۰۲۰/۰۱/۱۰	Slc	Iw	صعودی	۱۲۹ تا -۱۱۰
۵	۲۰۲۱/۰۱/۱۲	Slc	Iw	صعودی	۱۲۸ تا -۳۳

منبع: نویسندگان ۱۴۰۲

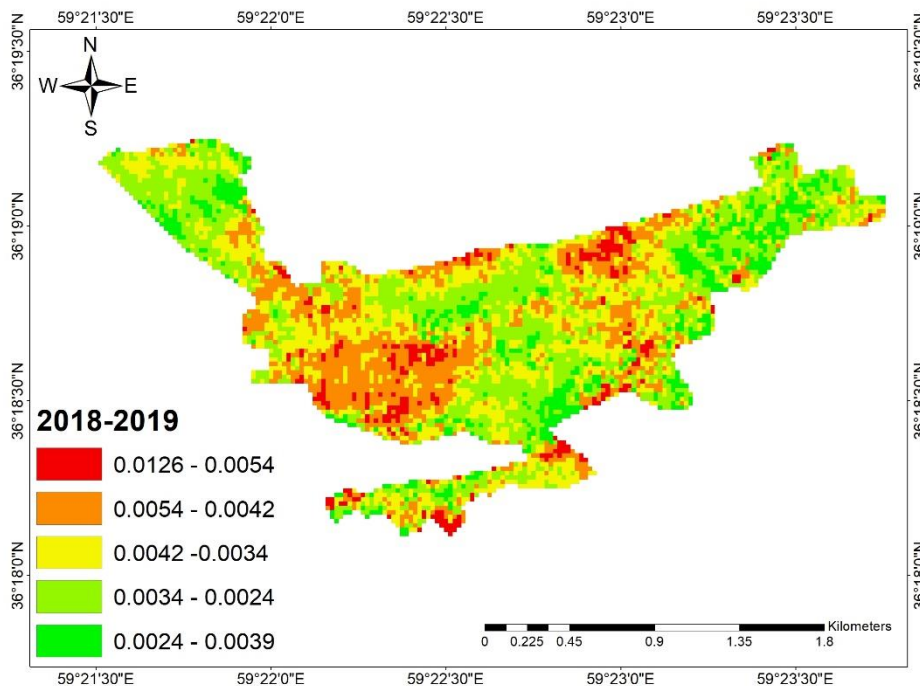
### یافته ها

در بررسی های انجام شده با تصاویر راداری SLC ماهواره سنتیل ۱ در رابطه با شهر طرهبه ۵ تصویر به صورت دو به دو در نرم افزار envi مورد پردازش قرار گرفت که تصویر سال، ۲۰۱۷ تا ۲۰۱۸، ۲۰۱۸ تا ۲۰۱۹، و تصویر ۲۰۱۹ با ۲۰۲۰ و ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۱ بررسی شد و میزان فرونشست های ثبت شده برای هر دوره به ترتیب ۲ سانتی متر برای ۲۰۱۷-۲۰۱۸، برای دوره ۲۰۱۹-۲۰۱۸ حدود ۱ سانتی متر، ۳ سانتی متر برای دوره ۲۰۱۹-۲۰۲۰ و ۴ سانتی متر برای دوره ۲۰۲۰-۲۰۲۱ بدست آمد. در بازه ۲۰۱۷ تا ۲۰۱۸ بیشترین میزان فرونشست منطقه ۲ سانتی متر و در محدوده شمال شرقی شهر می باشد هرچه به سمت غرب شهر پیش می رویم منطقه ثبات بیشتری پیدا می کند. در شکل ۳ میزان تغییرات فرونشست از سال ۲۰۱۷ تا ۲۰۱۸ ارائه شده است.



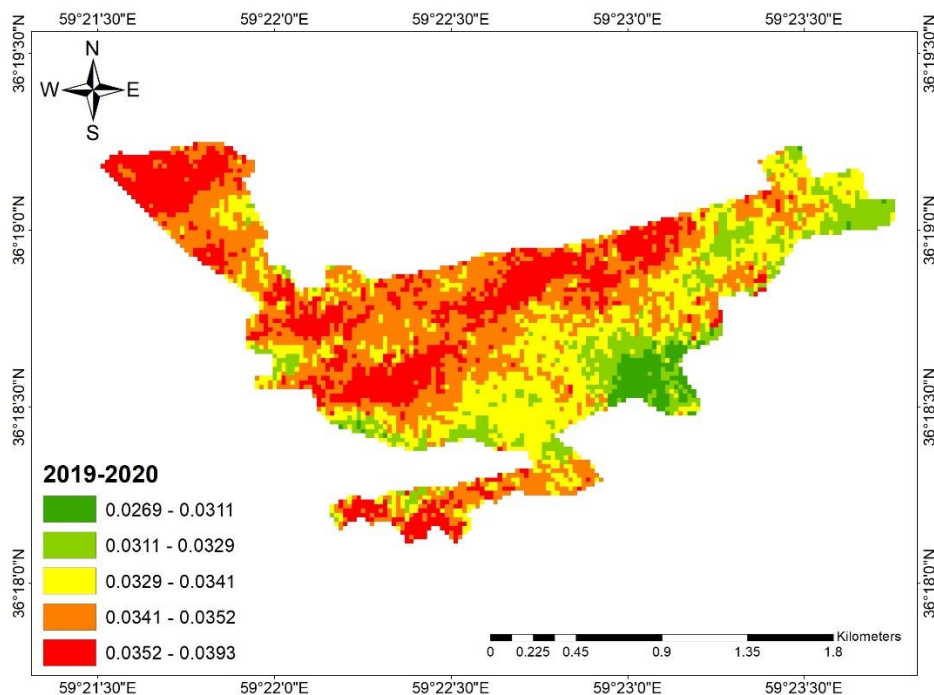
شکل ۳- تغییرات فرونشست از سال ۲۰۱۷ تا ۲۰۱۸ (ماخذ نگارندگان)

در بازه زمانی ۲۰۱۸ تا ۲۰۱۹ میزان فرونشست سالانه منطقه ۱ سانتی متر می باشد و در تمان مناطق شهر رخ داده که نسبت به سال قبل منطقه فرونشست کاهش داشته است. میزان فرونشست کاهش یافته و در مناطق بیشتری پخش شده است. در شکل ۴ تغییرات فرونشست از سال ۲۰۱۸ تا ۲۰۱۹ ارائه شده است.



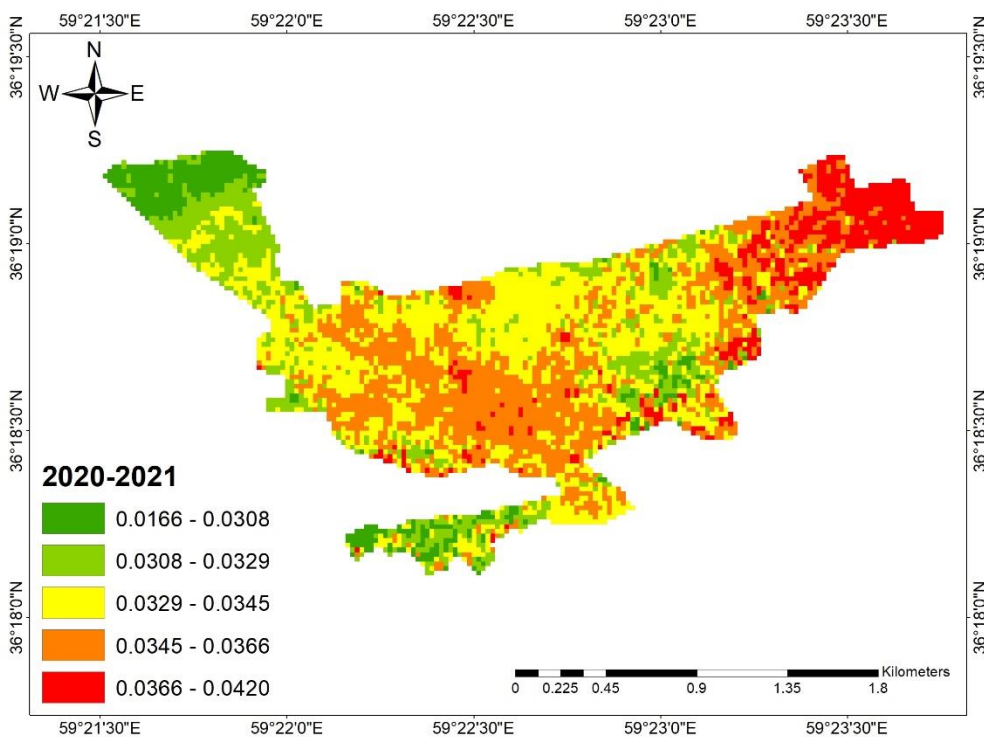
شکل ۴- تغییرات فرونشست از سال ۲۰۱۸ تا ۲۰۱۹ (ماخذ نگارندگان)

فرونشست سالانه ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۰ نسبت به سال های قبل افزایش داشته و ۳ سانتی متر است و پهنه فرونشست بسیار وسیع است به طوریکه تقریباً تمام محدوده شهر را در بر گرفته است.



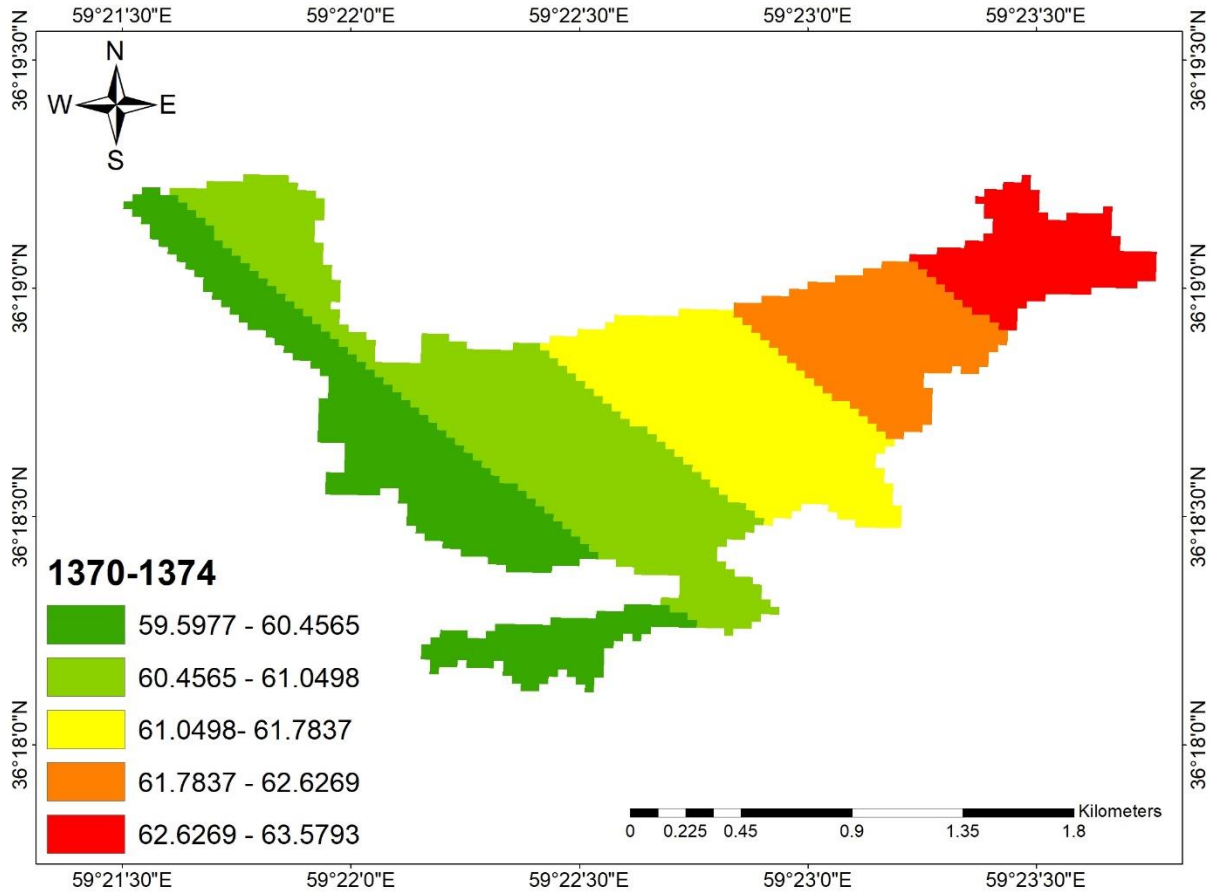
شکل ۵- تغییرات فرونشست از سال ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۰ (ماخذ نگارندگان)

بازه زمانی ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۱ میزان فرونشست منطقه نسبت به سال گذشته افزایش داشته و ۴ سانتی متر می باشد که این میزان فرونشست شمال شرق منطقه مشاهده می شود. در شکل ۶ تغییرات فرونشست از سال ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۱ ارائه شده است.



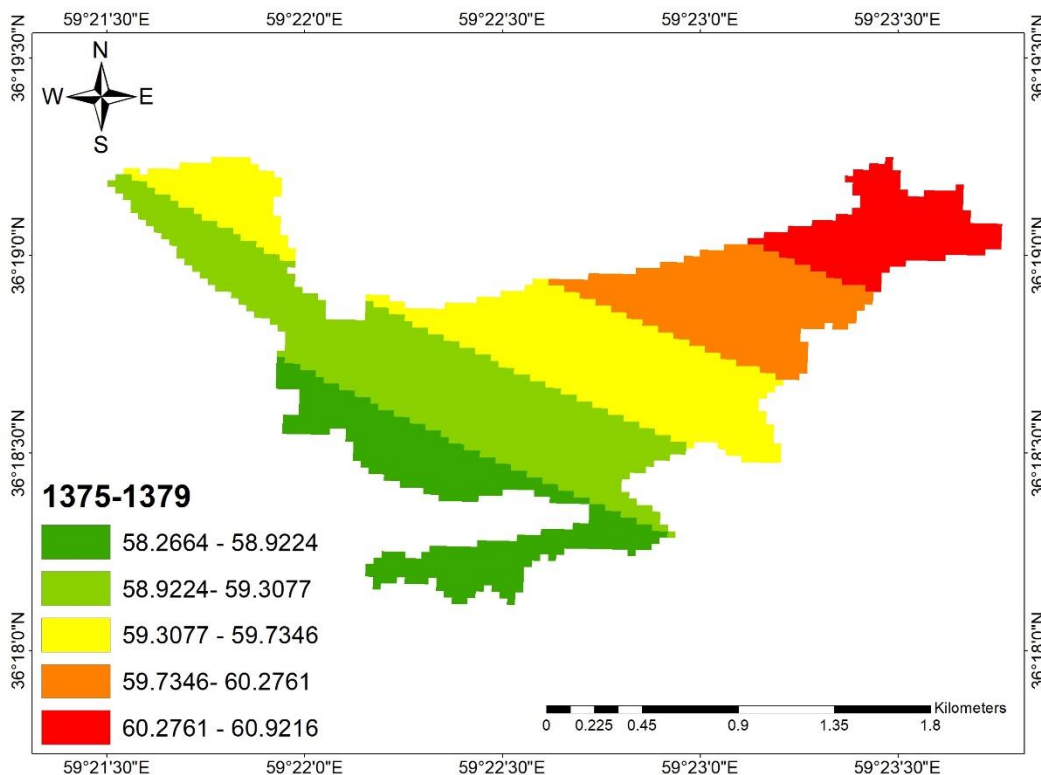
شکل ۶- تغییرات فرونشست از سال ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۱ (ماخذ نگارندگان)

در بررسی تراز آب شهر طبقه از سال ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۸ تعداد ۲ چاه اصلی با داده های یکسان بدست آمد که اطلاعات آن از سازمان آب منطقه ای خراسان رضوی تهیه شد و مورد بررسی قرار گرفت . داده ها هر ۵ سال میانگین گیری شد و نقشه های آن با استفاده از ابزار IDW در محیط GIS برای محدوده مورد مطالعه تهیه شد . در بازه زمانی ۷۰ تا ۷۴ کمترین و بیشترین میزان افت سطح آب در منطقه مورد مطالعه ۵۹/۵۹ و ۶۳/۵۷ متر بوده و همان طور که در شکل ۷ مشاهده می شود در منطقه شمال شرق رخ داده است.



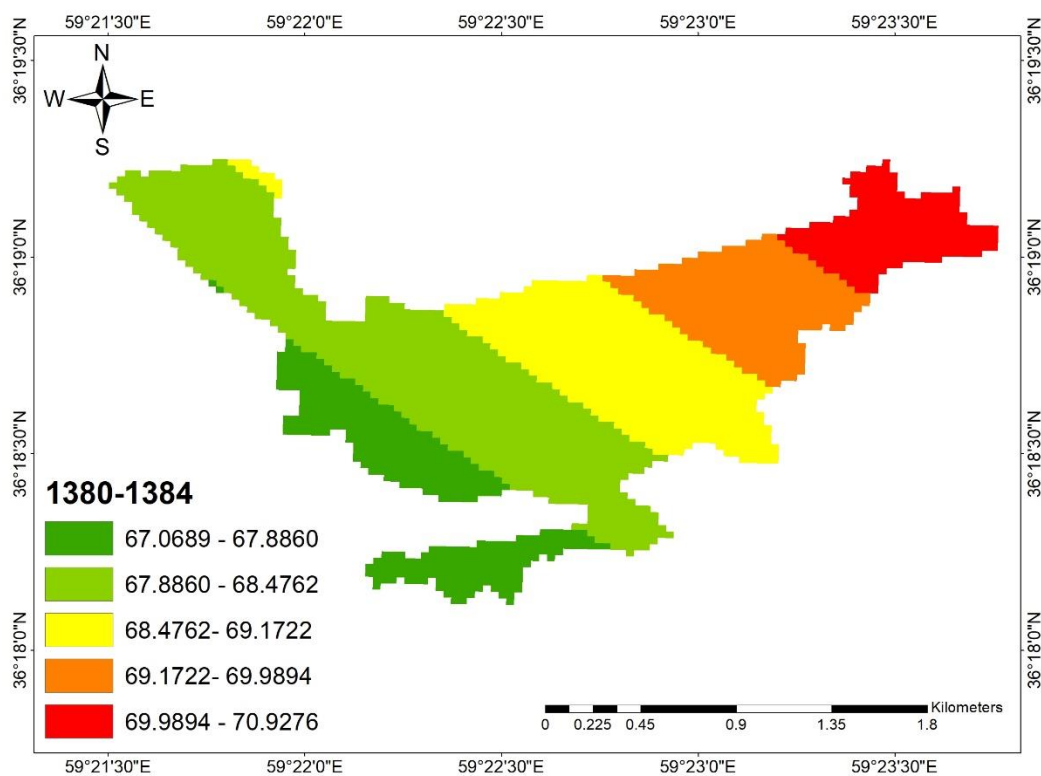
شکل ۷- نقشه اختلاف ارتفاع بر اساس متر از سال ۱۳۷۰ تا ۱۳۷۴ (ماخذ نگارندگان)

در شکل ۸ نیز میزان افت آب نسبت به دوره قبل کمتر بوده و بیشترین میزان افت سطح آب ۶۰/۹۲ متر است.



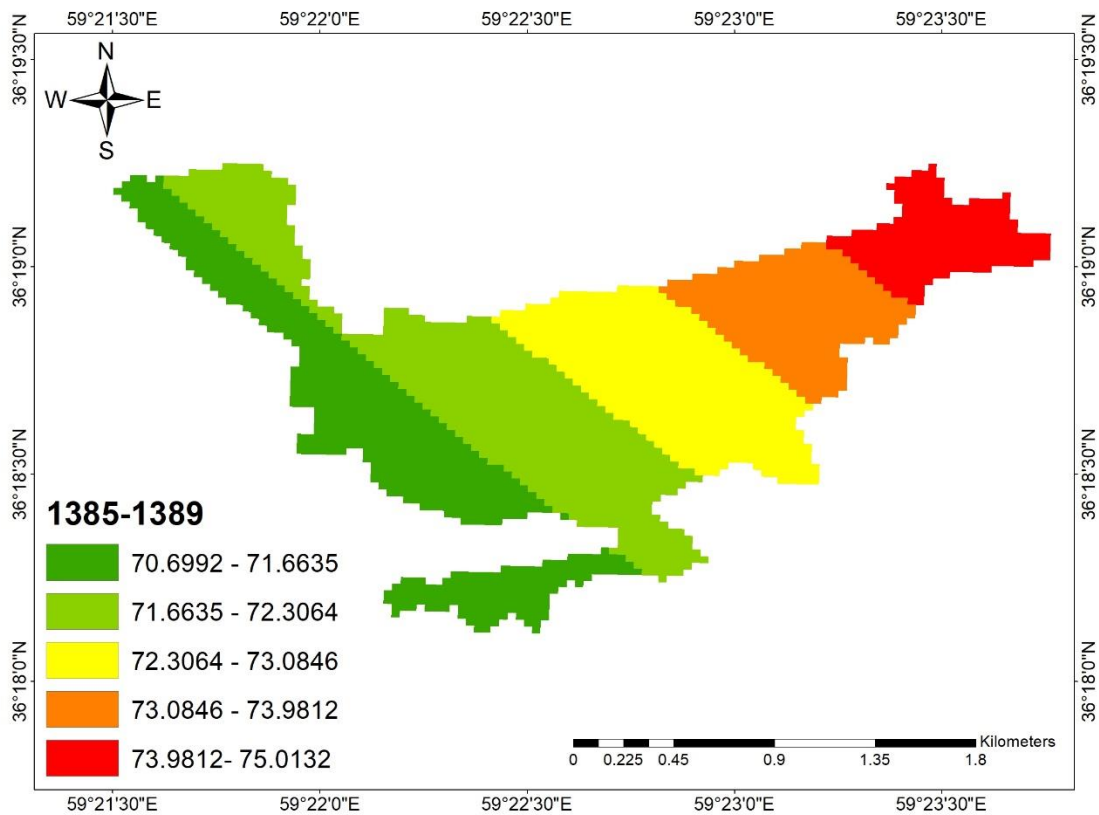
شکل ۸- نقشه اختلاف ارتفاع بر اساس متر از سال ۱۳۷۵ تا ۱۳۷۹ (ماخذ نگارندگان)

در این بازه زمانی افت سطح آب منطقه افزایش یافته کمترین و بیشترین میزان آن  $۶۷/۰۶$  و  $۷۰/۹۲$  متر است.



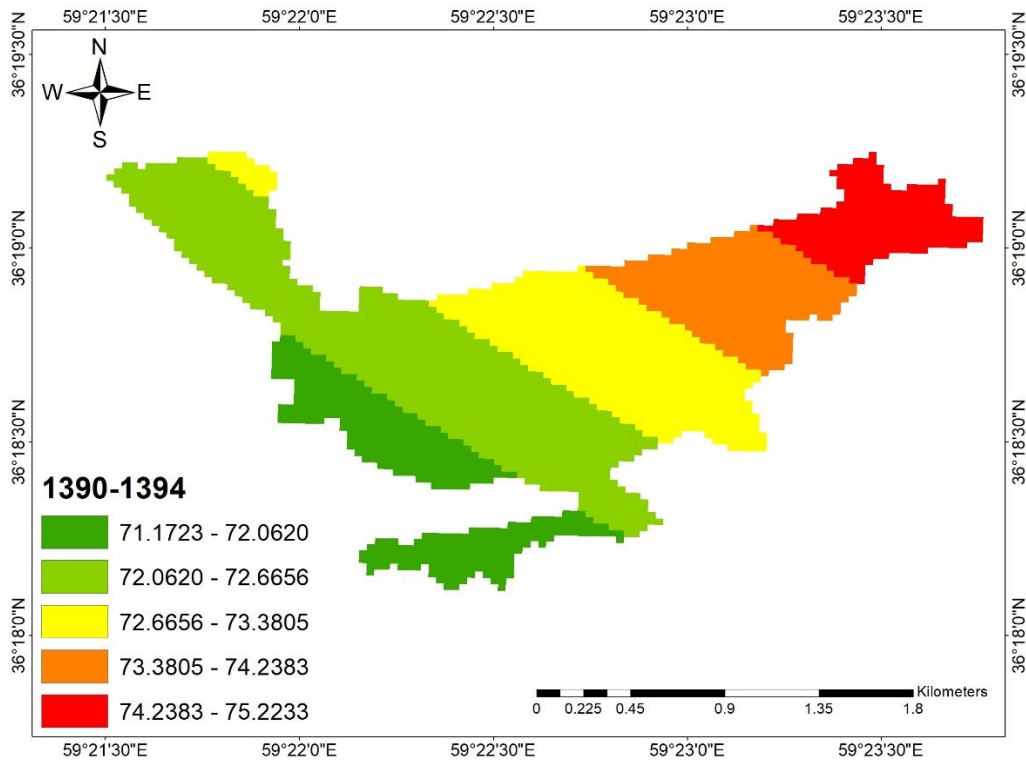
شکل ۹- نقشه اختلاف ارتفاع بر اساس متر از سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۴ (ماخذ نگارندگان)

در شکل ۱۰ نیز میزان افت سطح آب روند افزایشی دارد و بیشتر در قسمت شرقی دشت قرار دارد و میزان آن ۷۵/۰۱ متر است.



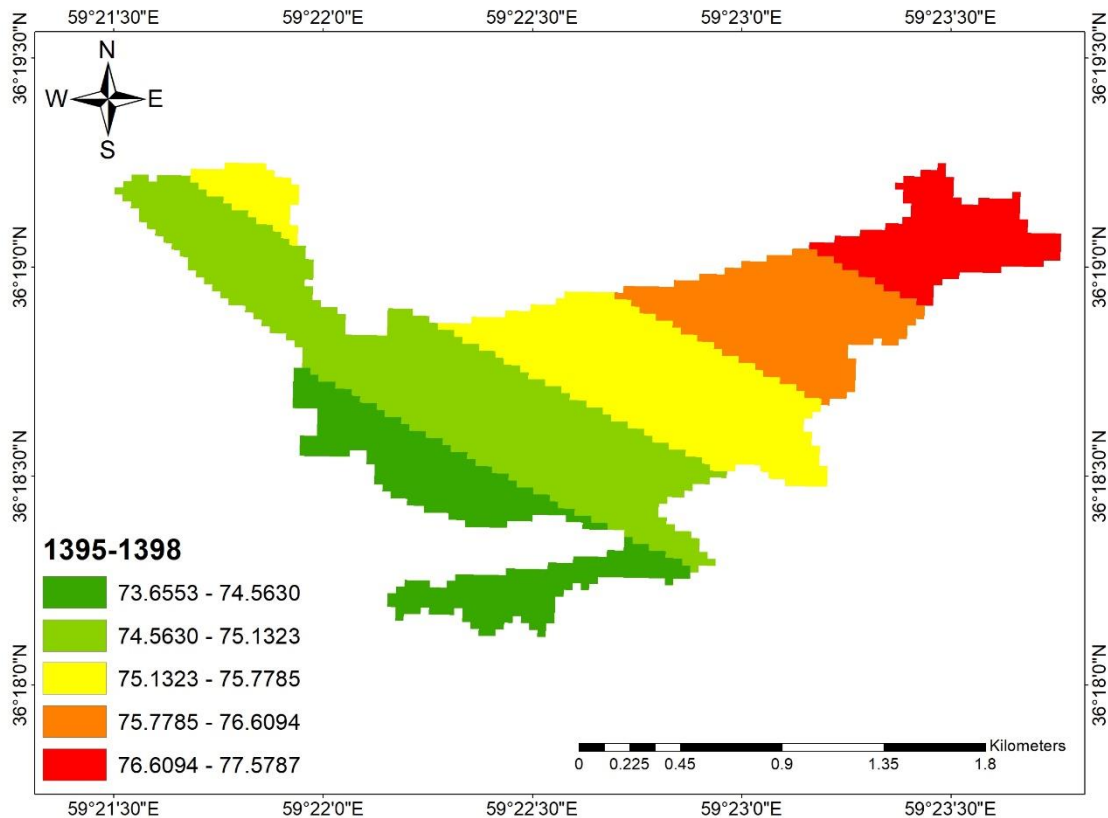
شکل ۱۰- نقشه اختلاف ارتفاع بر اساس متر از سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۸۹ (ماخذ نگارندگان)

در شکل ۱۱ مقدار سطح آب چاه ها در این دوره افزایش یافته و به ۷۱/۱۷ و ۷۵/۲۲ متر رسیده است اما مانند سال های قبل محدوده خطر در شرق شهر قرار دارد.



شکل ۱۱- نقشه اختلاف ارتفاع بر اساس متر از سال ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۴ (ماخذ نگارندگان)

همانطور که در شکل ۱۲ مشاهده می شود بالاترین و پایین ترین سطح آب اندکی افزایش داشته و به ۷۷/۵۷ متر رسیده است که به معنی افزایش افت سطح آب چاه است. همانطور که مشاهده می شود منطقه پرخطر همراه با افت سطح آب زیاد در قسمت شرق و شمال شرق شهر قرار دارد.



شکل ۱۲- نقشه اختلاف ارتفاع بر اساس متر از سال ۱۳۹۵ تا ۱۳۹۸ (ماخذ نگارندگان)

### نتیجه گیری

در این مقاله فرونشست زمین در شهر طرهبه در طول دوره ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۱ با استفاده از تکنیک‌های سری زمانی InSAR بررسی شد. طبق نتایج به دست آمده میزان فرونشست در طول ۴ دوره آماری در منطقه مورد مطالعه ۱۰ سانتی‌متر به دست آمد. میزان فرونشست‌های ثبت شده هر دوره به ترتیب ۲ سانتی‌متر برای ۲۰۱۷-۲۰۱۸، برای دوره ۲۰۱۸-۲۰۱۹ حدود ۱ سانتی‌متر، ۳ سانتی‌متر برای دوره ۲۰۱۹-۲۰۲۰ و ۴ سانتی‌متر برای دوره ۲۰۲۰-۲۰۲۱ بدست آمد. بر اساس نتایج بدست آمده بیشترین میزان فرونشست در مناطق شمال از شمال شرق تا شمال غرب شهر طرهبه اتفاق افتاده است. همچنین سطح آب چاه‌ها در بازه زمانی ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۸ به بیشترین حد کاهش خود رسیده اند میزان افت سطح آب در این بازه زمانی حداقل ۵۸/۲۶ متر و حداکثر ۷۷/۵۷ بوده و بیشتر در مناطق شمال شرقی رخ داده که متاثر از کاهش بارندگی، خشکسالی در منطقه و فشار بیش از حد به منابع آب‌های زیرزمینی در این سال‌ها می باشد. از طرفی مقایسه بین تحلیل‌های مستخرج از داده‌های نقاط چاه و تصاویر ماهواره‌ای نیز موکد رابطه بین پایین آمدن سطح آب‌های زیرزمینی و فرونشست زمین در منطقه مورد مطالعه است در نهایت با استفاده از نقشه پهنه بندی میزان خطر فرونشست مشخص شد. بنابراین ضروری است سازمان‌ها و نهادهای متولی با اتخاذ سیاست‌ها و برنامه ریزی‌های مناسب، پیش از وقوع بحران درصد کاهش هر گونه آسیب به سکونتگاه‌های انسانی، جمعیت و زیرساخت‌های موجود در این مناطق باشند. از طرفی قسمت شمالی شهر طرهبه جزو مناطق بحرانی و حساس از نظر مخاطره فرونشست است. افزایش جمعیت و نیاز بیش از پیش آن‌ها به آب از یک طرف و همچنین ساخت و سازهای بی‌رویه برای برطرف کردن نیاز جمعیت جدید، از طرف دیگر افزایش دما، خشکسالی

های متوالی و احتمال تداوم آن در سال های آینده عواملی برای استفاده هر چه بیشتر آب های زیرزمینی است که خود باعث رخداد فرونشست در سطح وسیع تر می شود.

## منابع

- محمدآبادی، ص.، نژادحسینی، ر.، گنجائیان، ح. ۱۴۰۲. تحلیل عوامل موثر در وقوع فرونشست دشت قهاوند با استفاده از تصاویر راداری و ماهواره ای، جغرافیا و روابط انسانی، ۵(۴): ۵۴۲-۵۵۳.
- عابدینی، م.، آقایی، ل.، اصغری سراسکانرود، ص. ۱۴۰۱. ارزیابی و پهنه بندی خطر فرونشست با استفاده از الگوریتم تطبیقی MBAC و ANP (مطالعه موردی: دشت اردبیل)، جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱۱(۴۴): ۶۸-۴۳.
- محمودی، پ.، علیجانی، ب. ۱۳۹۶. مدل بندی رابطه بارش های سالانه و فصلی با عوامل زمین اقلیم در کردستان، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۳(۳۱): ۹۳-۱۱۲.
- مدنی، ح.، شفیقی، س. ۱۳۹۶. زمین شناسی عمومی، انتشارات دانشگاه امیر، ۴۸۲.
- عابدینی، م. ۱۳۹۶. مبانی فرونشست زمین، مخاطرات هیدروژئومورفولوژی و مدیریت محیط، انتشارات دانشگاه محقق اردبیلی، چاپ یکم، ۲۳۰ ص.
- آقایی، ل.، عابدینی، م.، اصغری سراسکانرود، ص.، ۱۴۰۰. برآورد میزان فرونشست با استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری و پارامترهای آبهای زیرزمینی و کاربری اراضی (مطالعه موردی: دشت اردبیل). سال یازهم، شماره ۱، صص ۱۳۲-۱۱۷.

Agustan, A., Sulaiman, A., Ito, A. 2016. Measuring Deformation in Jakarta Through Long Trm Synthetic Aperture Radar (SAR) Data Analysis.

Chen, B., Gong, H., Chen, Y., Li, X., Zhou, C., Lei, K., Zhu, L., Zhao, X. 2020. Land subsidence and its relation with groundwater aquifers in Beijing Plain of China, Science of the Total Environment.

14-De Graaf, I.E., Van Beek, R.L., Gleeson, T., Moosdorf, N., Schmitz, O., Sutanudjaja, E.H., and Bierkens, M.F. 2017. A global-scale two-layer transient groundwater model: Development and application to groundwater depletion, Advances in Water Resources, 102, pp. 53-67.

Du, Z., Ge, L., Ng, A., Zhu, Q., Yang, X., Li, L. 2018. Correlating the subsidence pattern and land use in Bandung, Indonesia with both Sentinel -1/2 and ALOS -2 satellite images. Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf. 67, pp.54-68.

Galloway, D.L., Burbey, T.J. 2011. Review: Regional land subsidence accompanying groundwater extraction, Hydrogeology Journal, 19: pp.1459-1486.

- Guo, J., Lv Zhou; Chaolong Yao; Jiyuan Hu. 2016. Surface Subsidence Analysis by Multi-Temporal InSAR and GRACE: A Case Study in Beijing, *Sensors*.pp.1-18.
- Jeanne, P., Faar, T. G., Rutqvist, J., Vasco, D. W. 2019. Role of agricultural activity on land subsidence in the Jouquin Valley, California, *Journal of Hydrology*, Vol. 569, PP.462 -469.
- Bahrami, Samia., and Bazarafshan, Umm Albinin., (2016). Factors affecting land subsidence in Minab Plain, 4th International Conference on Environmental Planning and Management, Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran. [In Persian]
- Bhattarai, R., Alifu, H., Maitiniyazi, A. & Kondoh, A. (2017). Detection of land subsidence in Kathmandu valley, Nepal, using DInSAR technique, *Land*, 6(2), 39-54.
- Goorabi, A. Karimi, M. Yamani, M. Perissin, D. (2020). Land subsidence in Isfahan metropolitan and its relationship with geological and geomorphological settings revealed by Sentinel-1A InSAR observations. *Journal of Arid Environments*, 181.
- Ho, D. T. D., Tran, C. Q., Nguyen, A. D. and Le., (2016). Measuring ground subsidence in Hanoi city by radar interferometry. *Science and Technology Development Journal*, 19 (2)122-129.
- Koh Banani, Hamidreza, Yazdani, Mohammadreza, Hosseini, Seyedkivan, (2018) . Land subsidence risk zoning using radar interferometry (case study: Kashmer plain and Khalil Abad), *desert management magazine*, volume 7, number 3. pp. 66-75. [In Persian]
- Mehrnour, Shabnam, Rabati, Maryam, Farsad, Forough, Bikpur, Shahram (1401). Land subsidence risk zoning in Hashtgerd Plain based on the integrated approach of multi-criteria decision-making: WOI-BWM. *Journal of Geography and Environmental Hazards*. Volume 11, Number 4 - Serial Number 44. Pages 127-148. [In Persian]
- Nazm Far, Hossein., Shirzad Gurjan, Munir., (1401). Land surface subsidence monitoring with radar interferometric fan (study area: Mashgin plain). *Scientific Research Journal of Natural Environment Hazards*, Volume 11, Number 31. pp. 25-48. [In Persian]
- Roohi, M., Faeli, M., Irani, M., & Shamsaei, E., (2021). Calculation of land subsidence and changes in soil moisture and salinity using remote sensing techniques. *Environmental Earth Sciences*, 80, 4-23.
- Torani, Marjan., Agh Atabai, Maryam., Raushiti, Meh Asa., (2017) . The study of subsidence in the west of Golestan province using the interferometric method, radar, *Journal of Geographical Survey of Space*, Volume 8, Number 27. pp. 117-127. [In Persian]
- Zhang, Y., Wang, Z., Xue, Y., Wu, J., & Yu, J. (2016). Mechanisms for earth fissure formation due to groundwater extraction in the Su-Xi-Chang area, China. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 75(2), 745-760.