



جغرافیا و روابط انسانی، زمستان ۱۴۰۲، دوره ۶، شماره ۳، صص ۷۱۷-۶۹۸

تجزیه و تحلیل میزان فرونشست زمین در محدوده شهر نیشابور^۱

موسی عابدینی^{۱*}، زهرا نظری گزیک^۲

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

Email: abedini@uma.ac.ir

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

Email: zn99202@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۱۷

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۰۱

چکیده

یکی از مخاطراتی که طی سال های اخیر در بسیار از مناطق دنیا به خصوص ایران رخ داده، مخاطرات ناشی از فرونشست زمین است. مهمترین علل آن برداشت بی رویه از منابع آب های زیرزمینی است و همانند سایر مخاطرات محیطی مسایل و مشکلات زیادی را برای امور کشاورزی، عمرانی، اقتصادی- اجتماعی دولت به وجود آورده است. شهر نیشابور در سطح دشت نیشابور واقع شده که این دشت از جمله مهم ترین دشت های استان خراسان رضوی که شدیداً با بحران پدیده فرونشست زمین روبرو است. تکنیک تداخل سنجی راداری یک ابزار قوی با دقتی در محدوده میلی متر در برآورد فرونشست با استفاده از مشاهدات فاز را دارا است. در این تحقیق به منظور پایش میزان فرونشست رخ داده در محدوده شهر نیشابور که بخش کوچکی از دشت نیشابور است، از داده های ماهواره Sentinel 1A سال های ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۲ استفاده شده است. نتایج حاصل از بررسی تداخل سنجی راداری نشان داد که در طول دوره آماری در منطقه مورد مطالعه ۱۸ سانتی متر فرونشست اتفاق افتاده است. به علاوه برای پی بردن به علت فرونشست، اطلاعات چاه های پیژومتری موجود در منطقه اخذ و تغییرات آن ها در طول دوره ۱۳۹۸-۱۳۷۰ بررسی گردید. میزان فرونشست های ثبت شده برای هر دوره به ترتیب ۴ سانتی متر برای ۲۰۱۷-۲۰۱۸ (۱۳۹۶-۱۳۹۵)، برای دوره ۲۰۱۸-۲۰۱۹ (۱۳۹۷-۱۳۹۶) حدود ۶ سانتی متر، ۵ سانتی متر برای دوره ۲۰۱۹-۲۰۲۰ (۱۳۹۷-۱۳۹۸) و ۱ سانتی متر برای دوره ۲۰۲۱-۲۰۲۲ (۱۳۹۹-۱۴۰۰) بدست آمد. بعلاوه نتایج تحقیق نشان داد که در محدوده شهر نیشابور ارتباط تنگاتنگی بین افت سطح آب های زیرزمینی و مناطق دارای فرونشست زمین وجود دارد. لازم ذکر است که قسمت شمال شهر که بیشترین میزان افت سطح آب زیرزمینی ۷۸/۳۶ متر را دارا می باشد و در پهنه فرونشست شدید دارد.

واژگان کلیدی: فرونشست زمین، کاربری اراضی، افت سطح آب زیرزمینی شهر نیشابور

^۱ این مقاله مستخرج از طرح پژوهشی به شماره قرارداد (۱۴۰۲/د/۹/۶۰۷۸) از محل اعتبارات معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه محقق اردبیلی می باشد.



مقدمه

آبهای زیرزمینی از مهم‌ترین منابع تأمین‌کننده آب مورد نیاز کشاورزی، شرب و صنعت به ویژه در مناطق خشک فلات مرکزی ایران است؛ بنابراین بررسی روند تغییرات کیفی آن اهمیت فراوانی در مدیریت پایدار منابع آب دارد (ارشادحسینی و همکاران، ۱۴۰۰). عوامل مختلفی طبیعی و انسانی در بوجود آمدن فرونشست زمین دخالت دارند که یکی از مهمترین آنها در نیم قرن اخیر برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی است. پدیده فرونشست زمین به دلایل مختلف از جمله برداشت بیش از حد منابع آب زیرزمینی و تغییرات جوی سبب بروز مشکلات و معضلات فراوان در زمین‌های کشاورزی، جاده‌ها، خطوط انتقال نیرو و انرژی شده است (عابدینی و همکاران، ۱۴۰۱). بررسی فرونشست زمین در ایران سابقه بیش از ۳۵ ساله داشته و این مشکل به‌طور روزافزون در بسیاری از مناطق کشور به دلیل استخراج بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی خودنمایی می‌کند این پدیده در صورت عدم مدیریت صحیح می‌تواند خسارات جبران‌ناپذیری را برای مناطق مختلف ایجاد کرده و شناسایی میزان فرونشست و برآورد نرخ آن، نقش به‌سزایی در مدیریت و کنترل این پدیده خواهد داشت (Amigh Pay., 2010). از طرفی فرونشست زمین یکی از مخاطرات محیطی کشورمان هست که در بلند مدت پیامدهای مخربی بر شهرها، تأسیسات، خطوط ارتباطی و اراضی کشاورزی دارد (عابدینی و سرایی، ۱۴۰۰). با توجه به فراگیر شدن مخاطره محیطی فرونشست زمین در بسیاری از دشت‌های بحرانی کشور که هم‌اکنون تعداد دشت‌های بحرانی بر اساس گزارشات به ۳۰۰ دشت می‌رسد، لزوم بررسی این مخاطره و پیامدهای ژئومورفولوژیکی آن حائز اهمیت است. در این میان در دشت نیشابور با کسری مخزن ۱۴۸ میلیون مترمکعب در سال (آمار سال ۱۳۹۲) نشست زمین رخ داده است. این دشت در سال‌های اخیر به علت برداشت زیاد از آب‌های زیرزمینی برای مصارف کشاورزی با مشکل افت شدید سطح آب زیرزمینی مواجه شده است. شکاف‌های ایجاد شده در بخش‌هایی از این دشت موجب بروز نارسایی‌ها و مشکلات عمده‌ای برای ساکنین مخصوصاً کشاورزان گردیده است. مطالعات مربوط به نشست زمین از دیدگاه‌های مختلف توسط برخی از محققین در دشت نیشابور انجام شده است.

در سال‌های گذشته تحقیقات گسترده‌ای در جهان و ایران در زمینه برآورد میزان فرونشست زمین انجام شده که به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود: (Faunt., 2015)، در تحقیقی در مورد دستیابی به آب و فرونشست زمین در دره سنترال کالیفرنیا که یکی از قطب‌های کشاورزی آمریکا است به بررسی نقش افزایش برداشت آب زیرزمینی در اثر کشاورزی پرداخته‌اند. نتایج نشان داده که این کشاورزان این منطقه برای آبیاری زمین‌های خود تا قبل از خشکسالی ۲۰۰۷ بیشتر از آب‌های سطحی استفاده می‌کردند اما بعد از آن پمپاژ بیشتری از آب‌های زیرزمینی به عمل آورده‌اند. به طوری که ۲/۳ دره کلا با آب زیرزمینی آبیاری می‌شد، این پمپاژ بیش از حد موجب افت سطح آب‌شده و در نتیجه بیلان سیستم آبخوان به هم‌خورده و موجب فرونشینی شده است. مدل‌های هیدرولوژیکی

استفاده شده در ارزیابی مدیریت سطح آب‌زیرزمینی در این منطقه نیمه‌خشک نشان داد که تداوم خشک‌سالی بعد از سال ۲۰۰۷ موجب فرونشینی در حد $1/5 - 3$ سانتی‌متر در سمت جنوب دره شد. (Ho.,2016) با استفاده از روش PS، میزان فرونشست زمین در هانوی ویتنام را ۴۰ میلی‌متر در سال محاسبه کرده‌اند. موتق و همکاران (۲۰۱۷)، در مطالعه‌ای در دشت رفسنجان از داده‌های Alos و Sentinel1A مربوط به سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۶ در پهنای به وسعت ۱۰۰۰ کیلومتر مربع به مطالعه منطقه پرداخته‌اند. در این تحقیق آنها به این نتیجه رسیدند که نرخ فرونشست دشت از ۵ سانتی‌متر در سال به بیش از ۳۰ سانتی‌متر در سال در سال‌های اخیر تغییر یافته‌است که عمدتاً ناشی از بهره‌برداری شدید از منابع آب‌زیرزمینی بوده و تا حدودی از رفتار گسل کواترنری منطقه تبعیت می‌کنند. (Bahattarai.,2017) به بررسی رابطه و شناسایی پدیده فرونشست در روستای کاسماندو در نپال پرداختند. در این پژوهش از روش تداخل‌سنجی راداری و با استفاده از تصاویر راداری ALOS در بازه زمانی ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۰ و به روش تفاضلی برای شناسایی دگرشکلی و میزان نشست زمین استفاده شد. نتایج پردازش این تصاویر نشان داد که منطقه مورد نظر با سرعت متوسط $8/4$ سانتی‌متر در سال در حال فرونشست است. (Zhang.,2019) به پایش میزان فرونشست شهر ووهان چین با استفاده از تصاویر راداری پرداختند. در این تحقیق از روش SBAS-InSAR و تصاویر RADARSAT بین سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۸ استفاده شده‌است. نتایج تحقیق بیانگر این است که بیش از ۴ منطقه دارای میزان فرونشست قابل توجهی است که این میزان بین $27/8$ تا $51/56$ میلی‌متر متغیر می‌باشد. (Goorabi.,2020) در بررسی فرونشست زمین در کلان شهر اصفهان با تصاویر Sentinel-1 میزان فرونشست زمین را به میزان ۵- تا ۱۰۰- میلی‌متر در سال برآورد کردند که از جنوب به بخش‌های شمالی، شمال‌شرقی و شرقی کلان شهر اصفهان افزایش می‌یابد، در حالی که بخش‌های جنوبی شهر تقریباً یک منطقه پایدار هستند و میزان فرونشست قابل توجه در آن مشاهده نمی‌شود. (Rateb.,2020) به بررسی فرونشست زمین در دلتای نیل با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-1 و GPS پرداختند. در این تحقیق از روش تداخل‌سنجی راداری و تعداد ۱۴۴ تصویر در بازه زمانی ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۹ استفاده کردند که نتایج نشان داد برخلاف نتایج مطالعات قبلی تغییر شکل‌های منطقه‌ای که عمدتاً توسط فرآیندهای طبیعی کنترل می‌شوند، نشان دهنده یک فرونشست محلی و کنترل انسانی غالب بر تغییر شکل زمین است و خواستار بازبینی مدل‌های سیل مرتبط با افزایش سطح دریا در دلتای نیل شدند. مرادی و همکاران (۱۳۹۹) در تحلیل فرونشست با استفاده از تکنیک تداخل‌سنجی راداری، اطلاعات چاه‌های ژئوتکتونیک و پیزومتری در منطقه ۱۸ شهر تهران به این نتیجه رسیدند که جهت شمال منطقه مورد مطالعه به سمت جنوب دانه‌بندی کوچکتر می‌شود. اما در کل میزان توزیع گراول قابل توجه است. درصد توزیع انواع دانه‌بندی‌ها از نقطه‌ای به نقطه‌ای دیگر و همچنین در سطوح مختلف متفاوت است که این امر بیانگر رسانائی بالا از نظر آب‌زیرزمینی می‌باشد. منطقه ۱۸ شهری بر روی مخروط‌افکنه جوان کن که توزیع بالای گراول و متخلخل را در عمق‌های تحتانی دارا می‌باشد قرار گرفته است. با توجه به عمق چاه‌های موجود در

منطقه که ضخامت بالای آبرفت را نشان می‌دهد، به همراه افت سطح ایستابی و خالی شدن خلل و فرج بین دانه‌بندی‌ها که منجر به افزایش وزن آبرفت در جهت نیروی گرانشی می‌شود وجود پدیده فرونشست را موجه نشان می‌دهد. حداکثر میزان فرونشست بدست آمده از مطالعه تداخل‌سنجی راداری در حدود ۴۳۰ میلی‌متر و در محدوده محله یافت آباد می‌باشد. نرخ فرونشست از غرب به شرق و از شمال به جنوب با افزایش همراه است. به طوری که قسمت شرقی و جنوبی منطقه مورد مطالعه در پهنه کامل فرونشست قرار گرفته است. با توجه به نتایج بدست آمده از مطالعه تداخل‌سنجی راداری بخش شرقی منطقه ۱۸ شهری بیش‌ترین تاثیر را از پدیده فرونشست می‌پذیرد. شفیع‌ی و همکاران (۱۳۹۹) در بررسی فرونشست آبخوان دشت نورآباد با استفاده از روش تداخل‌سنجی راداری به این نتیجه رسیدند که در محدوده دشت در بازه زمانی ۱۲ ساله بیشترین میزان افت آب زیرزمینی حدود (۲۲-) متر در بخش‌های شرقی، جنوبی و مرکزی آبخوان واقع در چاه‌های پیرومتری اسکان عشایر، خومه زار، شهرک صنعتی، تل مشکی و شور می‌باشد. نقشه‌های حاصل از فرونشست نشان داد که نرخ نشست در هر سال میانگین ۴ سانتی‌متر و طی بازه زمانی ۴ ساله حدود ۰/۰۰۱۶ متر (۱۶ سانتی‌متر) می‌باشد. اسدی و همکاران (۱۴۰۰)، در ارزیابی ارتباط بین عوامل طبیعی و میزان فرونشست در دشت ایوانکی با استفاده از تصاویر رادار به این نتیجه رسیدند که میزان افت سطح آب‌های زیرزمینی منطقه بیانگر این است که میانگین افت چاه‌های مطالعاتی در حد فاصل سال‌های ۱۳۷۲ تا ۱۳۹۴ بین ۰/۸۵ تا ۲/۰۱ سانتی‌متر در سال بوده است. همچنین نتایج حاصل از ارزیابی میزان فرونشست منطقه نیز بیانگر این است که محدوده مطالعاتی در طی دوره زمانی ۳ ساله از تاریخ ۲۰۱۶/۰۱/۰۶ تا ۲۰۱۸/۱۲/۲۱ بین ۰/۹- تا ۳۳/۲ سانتی‌متر افت داشته است که بیش‌ترین میزان فرونشست در مرکز دشت ایوانکی در نزدیکی روستای چشمه نادی بوده است. اصغری و همکاران (۱۴۰۰) در مقاله تخمین سطح سفره‌های آب زیرزمینی متأثر از تغییرات کاربری اراضی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای GRACE با استفاده از تصاویر سنجنده OLI لندست ۸ مربوط به سال ۱۳۹۵ و سنجنده TM لندست ۵ مربوط به سال ۱۳۸۱، نقشه کاربری اراضی مربوط به حوضه خیاو استخراج شد. نتایج GRACE روند نزولی و کاهش ۳۳ سانتی‌متری سطح آب‌های زیرزمینی شمال غرب کشور را در بازه زمانی ۴ ساله نشان داد. بررسی تغییرات کاربری اراضی خیاو نیز روند نزولی سطح سفره‌ها به‌ویژه در کاربری مسکونی را به دلیل کاهش چشمگیر نفوذپذیری و برداشت‌های بیش از حد از آب‌های زیرزمینی نشان داد که تغییر سطح سفره‌های آب زیرزمینی متأثر از کاربری اراضی است. در کنار تغییرات کاربری با توجه به اطلاعات بارشی به‌دست‌آمده و صحت‌سنجی این اطلاعات با استفاده از داده ایستگاه سینوپتیک، نوسانات بارشی نیز بی‌تأثیر نبوده و بر کاهش سطح سفره‌ها تأثیرگذار است. رنجبر و همکاران (۱۴۰۱)، در بررسی فرونشست زمین با استفاده از سری زمانی تصاویر راداری و ارتباط آن با تغییرات تراز آب‌های زیرزمینی (مطالعه موردی: کلان شهر کرج) به این نتیجه رسیدند که کاهش میانگین بارش در این دوره زمانی می‌تواند در کنار برداشت آب زیرزمینی آثار نامطلوبی بر تغذیه آب‌های زیرزمینی برجای‌گذارد و با توجه به

خصوصیات بافت خاک منطقه که عمدتاً ریزدانه است در نهایت موجب رخداد فرونشست شود. عابدینی و همکاران (۱۴۰۱)، در بررسی فرونشست دشت ماهیدشت استان کرمانشاه با استفاده از روش تداخل‌سنجی راداری دریافتند بیش‌ترین نرخ فرونشست در بازه زمانی ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۰، ۱۵ سانتی‌متر بوده که این مقدار به سمت غرب و مرکز دشت کاهش یافته به صورتی که در قسمت غرب دشت، کم‌ترین میزان فرونشست مشاهده می‌گردد. همچنین میزان افت آب‌های زیرزمینی در طی سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۰ به ۲.۲۸ متر رسیده‌است که پیامد این افت سطح آب زیر زمینی به ایجاد فرونشست ۱۵ سانتی‌متری در دوره مطالعاتی دشت ماهیدشت گردیده است. عابدینی و همکاران (۱۴۰۱) اقدام به مطالعه، ارزیابی و پهنه‌بندی خطر فرونشست دشت اردبیل با استفاده از الگوریتم تطبیقی MABAC و ANP نموده‌اند. نتایج نشان داده که عوامل افت سطح آب، فاصله از رودخانه و لیتولوژی بیشترین ضریب وزنی را به خود اختصاص دادند. همچنین به ترتیب ۲۴۴/۲۹ و ۳۷۰/۵۹ کیلومترمربع از مساحت این دشت، در طبقات بسیار پرخطر و پرخطر قرار دارند. در نهایت می‌توان اظهار داشت، نظر به توان بالای دشت اردبیل، از لحاظ رخداد فرونشست، بایستی اقدامات حفاظتی، مدیریتی در سطح دشت اردبیل مورد توجه مسئولان و دستگاه‌های ذیربط قرار گیرد. مهربانی و همکاران (۱۴۰۲) در مقاله تحلیل فضایی فرونشست دشت جیرفت با استفاده از تکنیک پیکسل‌های کوه‌رنس (CPT) به این نتیجه رسیدند که نرخ فرونشست در دشت جیرفت به‌طور فزاینده‌ای در حال افزایش است. به‌طوری که از ۱۱ سانتی‌متر در سال ۲۰۱۴ به ۱۳ سانتی‌متر در سال ۲۰۲۲ رسیده‌است. علاوه بر آن طی این مدت بر وسعت این مناطق افزوده شده و روند گسترش به‌سمت مناطق شمالی دشت در حرکت است. به‌منظور تحلیل عوامل مسبب این پدیده، علاوه بر بررسی تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی دشت و ارتباط آن با فرونشست، نقش گسل‌ها و همچنین ضخامت خاک در ایجاد یا تشدید این پدیده بررسی شد. نتایج حاصل نشان‌دهنده آن است که علاوه بر برداشت بی‌رویه از آبخوان، فرونشست دشت جیرفت تحت تأثیر گسل سبزوآران نیز قرار دارد و شدت فرونشست در مناطق با ضخامت خاک بیشتر، بالاتر است.

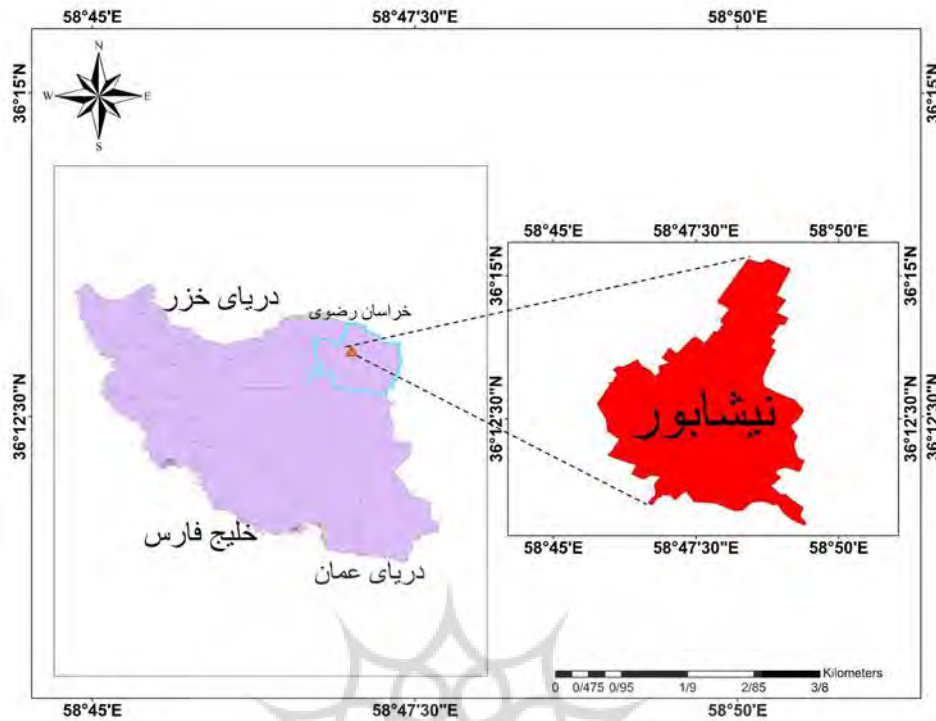
دشت نیشابور بعد از دشت مشهد از لحاظ ذخایره آب‌زیرزمینی و نیز به لحاظ حاصل‌خیزی، مهم‌ترین دشت استان خراسان رضوی است که شهر نیشابور نیز در این دشت واقع شده‌است. شهر نیشابور پس از شهر مشهد به عنوان دومین شهر پرجمعیت خراسان رضوی شناخته شده است. در سرشماری سال ۱۳۹۵ جمعیت نیشابور ۴۵۱۷۸۰ نفر بوده است که ۶۵ درصد در مناطق شهری و ۲۲ درصد در مناطق روستایی زندگی می‌کنند. با توجه به کاهش باران در سال‌های اخیر و رخداد خشکسالی، کشاورزی رونق خود را از دست داده و اکثر جمعیت این روستاها به شهر مهاجرت کرده‌اند.

هدف از انجام این تحقیق، بررسی وضعیت فرونشست شهر نیشابور در بازه زمانی ۲۰۱۷ تا سال ۲۰۲۲ است که تا کنون به آن پرداخته نشده‌است. خصوصاً به دلیل افزایش جمعیت و توسعه شهر نیشابور، تغییر شرایط استفاده از شبکه

جمع‌آوری فاضلاب و گسترش این شبکه، تغییر شرایط اقلیمی و تغییر وضعیت برداشت آب‌های زیرزمینی، نیاز به پایش دائمی وضعیت سطح آب‌زیرزمینی و فرونشست در این منطقه وجود دارد. لذا با توجه به اهمیت منابع آب و مسائل و مشکلات ناشی افت سطح آب‌های زیرزمین دشت، این پژوهش، به بررسی میزان فرونشست شهر نیشابور با توجه به آخرین اطلاعات به روز شده پرداخته است.

موقعیت جغرافیایی منطقه

شهر نیشابور یکی از شهرهای بخش مرکزی استان خراسان رضوی است که بین 28° و 29° دقیقه تا 29° و 21° دقیقه طول جغرافیایی و 22° و 21° دقیقه عرض جغرافیایی در حاشیه شرقی کویر مرکزی ایران واقع شده است. شهر نیشابور پس از شهر مشهد به عنوان دومین شهر پرجمعیت خراسان رضوی شناخته شده و خود شامل ۲ بخش، ۱ شهر و ۲۲ دهستان است. (شکل ۱) وسعت شهر نیشابور ۸۱۱۱ کیلومتر مربع بوده و ارتفاع متوسط آن از سطح دریا حدود ۱۲۲۰ متر است. البته کم‌ترین ارتفاع شهر در بخش جنوبی آن معادل ۱۱۶۸ متر و بیش‌ترین ارتفاع در منتهی الیه شمال غرب شهر بالغ بر ۱۲۷۵ متر بالاتر از سطح دریا می‌باشد. بلندترین نقطه نیشابور نیز قله شیرباد با ارتفاع ۳۳۳۹ متر در ۲۵ کیلومتری شمال شرقی شهر و قله بینالود با ارتفاع ۳۲۱۱ متر در ۲۰ کیلومتری شمال و در رشته کوه‌های بینالود قرار دارد. این شهر همچنین در فاصله تقریبی ۱۵ کیلومتری جنوب ارتفاعات بینالود قرار گرفته، اراضی اطراف آن دارای هیچ‌گونه پستی و بلندی خاصی نیست و جهت عمومی شیب شهر نیز از سمت شمال به جنوب و شمال شرق به جنوب غرب بوده و با توجه به اختلاف ارتفاع حدود ۱۰۰ متری در فاصله ۸۵۰۰ متری شمال به جنوب شهر، مگر آن دارای شیب بیش از ۱ درصد می‌باشد. بخشی از محدوده شهر نیشابور در حوضه رخنمون قدیمی‌ترین سازندهای زمین‌شناسی منطقه مربوط به دروه پره کامبرین هستند که از سازندهای زمین‌شناسی کالک، شیت و فیلیت (شورم) و دولومیت‌های متبلور سلطانیه تشکیل شده است. این سازندها در شمال شرق حوضه رخنمون دارند. سازندهای دوران اول شامل ماسه سنگ‌های کوارتزیتی لالون، دولومیت و آهک دولومیتی و شیل (میلا)، سنگ آهک مارنی (نیور)، سنگ آهک و دولومیت (بهرام) و کوارتزیت متبلور شده است که در شمال دشت، در ارتفاعات بینالود رخنمون دارند.



شکل (۱) موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

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 فرونشست در بازه زمانی سال‌های ۲۰۱۷-۲۰۲۲ استفاده شده‌است. پس از محاسبه نرخ جابه‌جایی سطح زمین برای منطقه مورد مطالعه به منظور بررسی بیشتر تأثیر افت تراز آب‌زیرزمینی بر فرونشست، نوسانات تراز آب پیژومترها، افت چاه‌های بهره‌برداری، نقشه پهنه بندی میزان تخلیه سالانه آب‌زیرزمینی 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 آب‌زیرزمینی 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 نویز و افزایش همبستگی زمانی اینترفروگرامها تا حد امکان سعی شده، از زوج تصاویر راداری با بازه زمانی ۱ ساله استفاده شود. ترکیب داده‌های راداری از مدارهای سعودی و نزولی نیز می‌تواند جهت بهبود مدل‌های رقومی زمین با به دست آوردن جابه‌جایی‌ها در جهات مختلف و با استفاده از اینترفرومتری مورد استفاده قرار گیرد. همچنین در این تحقیق به منظور محاسبه فرونشست از تصاویر سنتینل (جدول ۱) با فرمت (SLC) تک منظر با پوراریزاسیون (VV) جهت محاسبه میزان نرخ جابه‌جایی استفاده شده است.

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	۲۰۱۸/۰۱/۲۳	Slc	Iw	صعودی	۱۶۳ تا -۱۱۰
۳	۲۰۱۹/۰۲/۲۳	Slc	Iw	صعودی	۱۶۳ تا -۱۱۰
۴	۲۰۲۰/۰۱/۰۱	Slc	Iw	صعودی	۱۲۹ تا -۱۱۰
۵	۲۰۲۱/۰۱/۱۲	Slc	Iw	صعودی	۱۲۸ تا -۳۳
۶	۲۰۲۲/۰۱/۰۸	Slc	Iw	صعودی	۱۲۸ تا -۳۳

یافته‌ها

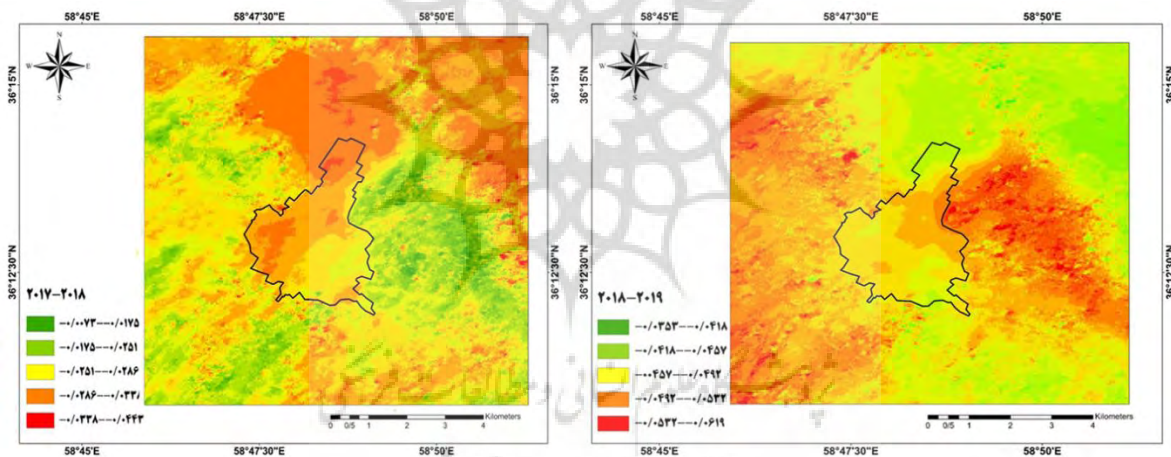
در این تحقیق تصاویر راداری SLC ماهواره سنتینل ۱ در رابطه با شهر نیشابور ۶ تصویر به صورت دو به دو در نرم افزار envi مورد پردازش قرار گرفت. در ضمن تصویر سال، ۲۰۱۷ تا ۲۰۱۸، ۲۰۱۸ تا ۲۰۱۹، ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۰ و تصویر ۲۰۱۹ با ۲۰۲۰ و ۲۰۲۱ تا ۲۰۲۲ بر سی شد. میزان فروز شد ست های ثبت شده برای هر دوره به ترتیب ۴ سانتی متر برای ۲۰۱۷-۲۰۱۸ (۱۳۹۵-۱۳۹۶)، برای دوره ۲۰۱۸-۲۰۱۹ (۱۳۹۶-۱۳۹۷) حدود ۶ سانتی متر، ۵ سانتی متر برای دوره ۲۰۱۹-۲۰۲۰ (۱۳۹۷-۱۳۹۸) و ۲ سانتی متر برای دوره ۲۰۲۰-۲۰۲۱ (۱۳۹۸-۱۳۹۹) و برای دوره ۲۰۲۱ تا ۲۰۲۲ (۱۴۰۰-۱۳۹۹)، ۱ سانتی متر بدست آمد. شکل (۲) مربوط به سال ۲۰۱۷ تا ۲۰۱۸ (۱۳۹۶-۱۳۹۵) می باشد که بیشترین میزان فروز شد ست منطقه ۴ سانتی متر در طی ۱ سال، در منطقه مورد مطالعه در محدوده‌های شمال و شرق و جنوب غرب شهر می باشد. با توجه به نتایج حاصله هرچقدر به سمت شرق شهر پیش می‌رویم میزان فرونشست زمین کم‌تر شده و در قسمت جنوب غرب دوباره میزان فرونشست زمین افزایش می‌یابد.

در بازه زمانی ۲۰۱۸ تا ۲۰۱۹ (۱۳۹۶-۱۳۹۷) میزان فرونشست سالانه منطقه افزایش یافته و مقدار آن به ۶ سانتی متر رسیده است. بیشترین فرونشست در مناطق شرق و مرکز رخ داده و تا جنوب غرب ادامه داشته اما مناطق کمتری

در معرض خطر فرونشست است. شکل (۳) تغییرات میزان فرونشست را از سال ۲۰۱۸ تا ۲۰۱۹ (۱۳۹۷-۱۳۹۶) نشان می‌دهد.

همانطوری که در (شکل ۴) قابل مشاهده است میزان فرونشست سالانه از سال ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۰ (۱۳۹۸-۱۳۹۷) نسبت به سال قبل کاهش داشته (۵ سانتی‌متر) و از مرکز شهر تا جنوب ادامه یافته و قسمت جنوب شرق دشت فوق بحرانی است البته تمام شهر در معرض خطر قرار داد. در بازه زمانی ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۱ (۱۳۹۹-۱۳۹۸) میزان فرونشست منطقه نسبت به سال گذشته کاهش داشته و مقدار آن ۲ سانتی‌متر می‌باشد که این میزان فرونشست بیشتر در قسمت‌های شرق و مرکز تا جنوب شهر منطقه مشاهده می‌شود. در شکل (۵) تغییرات فرونشست از سال ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۱ (۱۳۹۹-۱۳۹۸) ارائه شده است.

بازه زمانی ۲۰۲۱ تا ۲۰۲۲ (۱۴۰۰-۱۳۹۹) میزان فرونشست منطقه نسبت به سال گذشته کاهش داشته و ۱ سانتی‌متر می‌باشد که این میزان فرونشست در شمال و شمال شرق و قسمتهایی از جنوب غرب منطقه مشاهده می‌شود. در شکل (۶) تغییرات فرونشست از سال ۲۰۲۱ تا ۲۰۲۲ (۱۴۰۰-۱۳۹۹) ارائه شده است. (شکل ۶)

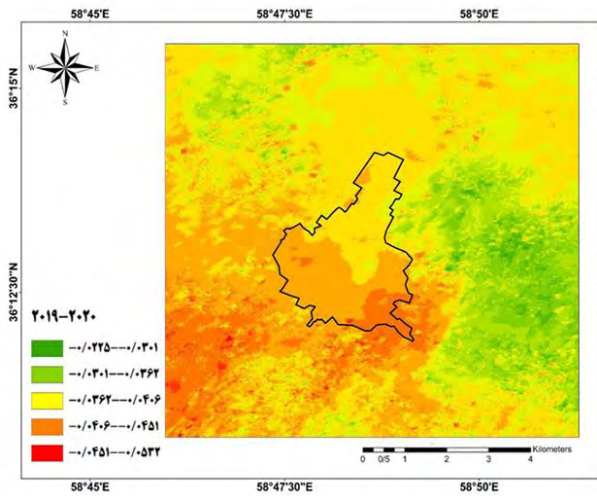


شکل (۲): تغییرات میزان فرونشست زمین از

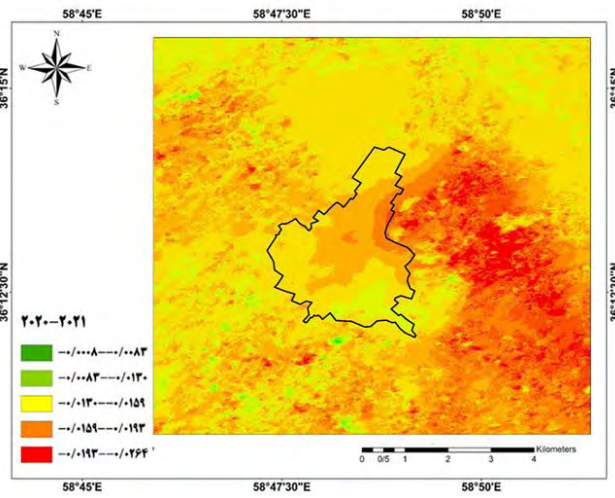
سال ۱۳۹۵-۱۳۹۶) ۲۰۱۸ تا ۲۰۱۷

شکل (۳): تغییرات میزان فرونشست زمین

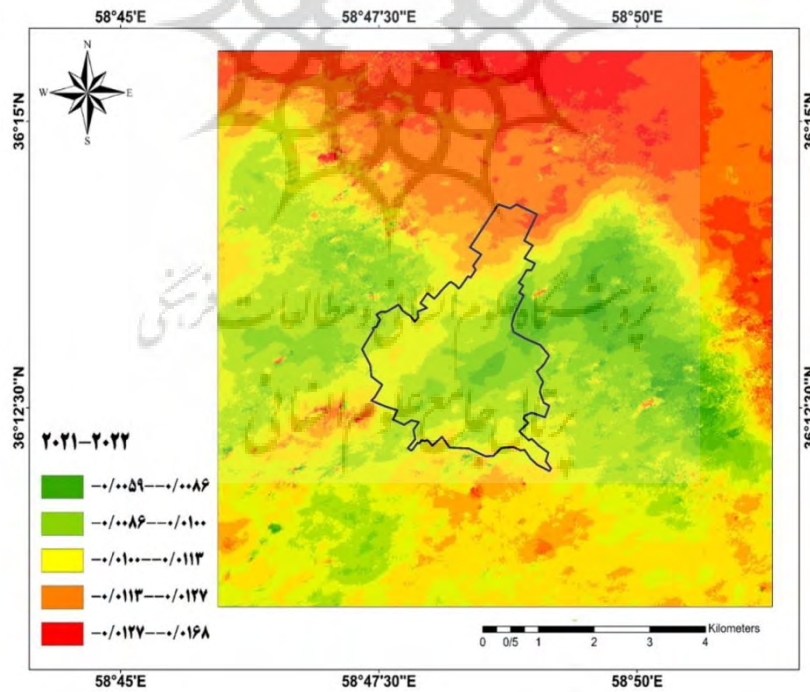
از سال ۲۰۱۸ تا ۲۰۱۹ (۱۳۹۷-۱۳۹۶)



شکل (۴): تغییرات میزان فرونشست زمین
سال ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۰ (۱۳۹۷-۱۳۹۸)



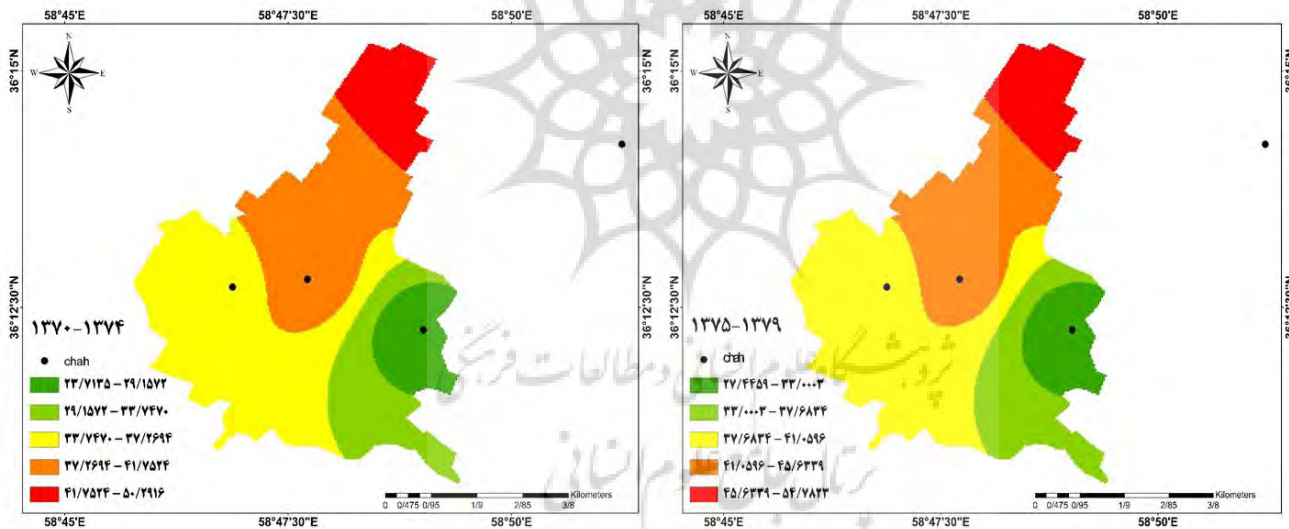
شکل (۵): تغییرات میزان فرونشست زمین
از سال ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۱ (۱۳۹۹-۱۳۹۸)



شکل (۶): تغییرات میزان فرونشست زمین از سال ۲۰۲۱ تا ۲۰۲۲ (۱۴۰۰-۱۳۹۹)

در بررسی تراز آب شهر نیشابور در بازه ۲۸ ساله از سال ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۸ تعداد ۴ چاه اصلی با داده‌های یکسان بدست آمد که اطلاعات مورد نیاز از سازمان آب منطقه‌ای خراسان رضوی تهیه و مورد بررسی قرار گرفت. داده‌ها هر ۵ سال میانگین گیری شد و نقشه‌های آن با استفاده از ابزار IDW در محیط GIS برای محدوده مورد مطالعه تهیه شد که در نقشه ابتدایی از سال ۷۰ تا ۷۴ بالاترین سطح آب در عمق ۲۳/۷۱ متری تا ۵۰/۲۹ متری سطح زمین می‌باشد که نشان دهنده حفر چاه بسیار عمیق در محدوده مورد مطالعه است. در بازه زمانی ۷۰ تا ۷۴ کم‌ترین و بیش‌ترین میزان افت سطح آب در منطقه مورد مطالعه ۲۳/۷۱ و ۵۰/۲۹ متر بوده و همانطور که مشاهده می‌شود در منطقه شمال‌شرق و مرکز رخ داده است که در شکل (۷) ارائه شده است.

هم چنانکه در شکل (۸) قابل مشاهده است، میزان افت آب نسبت به دوره قبل بیشتر بوده و محدوده بیشتری را فرا گرفته بیش‌ترین میزان افت سطح آب ۵۴/۷۸ متر و از شمال تا مرکز ادامه یافته است. کم‌ترین میزان افت آب در جنوب‌شرق شهر بوده و میزان آن تا ۲۷/۴۴ متر رسیده است و میزان فرونشست در این منطقه نسبت به شمال دشت نیشابور کمتر بوده است.



شکل (۷): نقشه میزان افت سطح آبهای زیرزمینی به

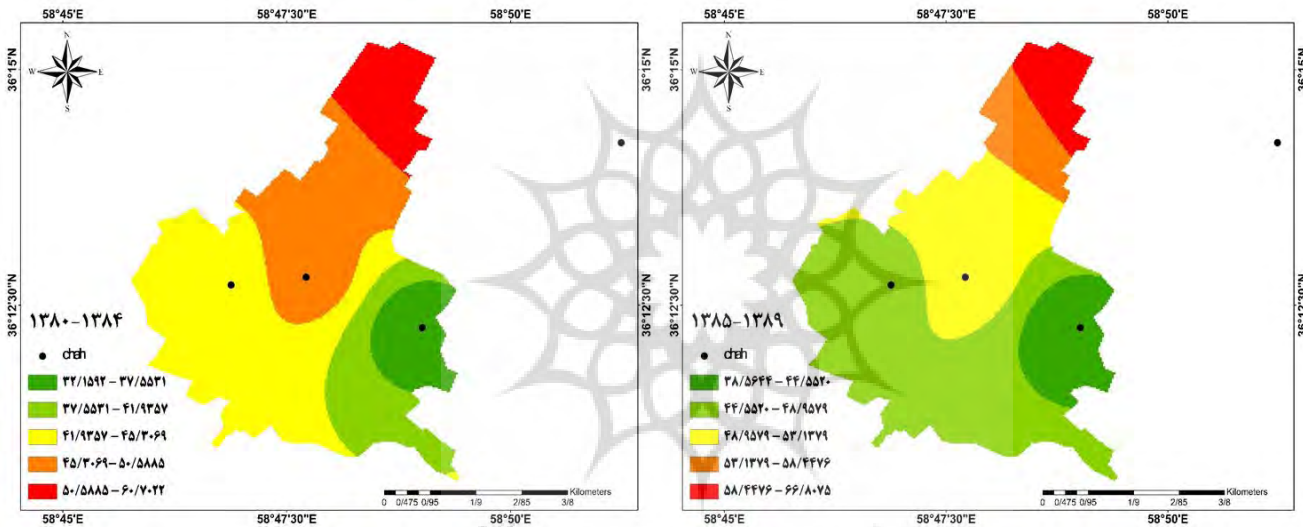
متر از سال ۱۳۷۰ تا ۱۳۷۴

شکل (۸): نقشه میزان افت سطح آبهای

زیرزمینی به متر از سال ۱۳۷۵ تا ۱۳۷۹

طبق نتایج حاصله در این بازه زمانی، افت سطح آب سفره‌های زیرزمینی دشت نیشابور افزایش یافته است. کم‌ترین و بیش‌ترین میزان آن ۳۲/۱۵ و ۶۰/۷۰ متر است. در این دوره نیز افت آب در مناطق شمال دشت بیش‌ترین میزان بوده و به سمت جنوب به تدریج از میزان آن کاسته می‌شود (شکل ۹).

در شکل (۱۰) نیز میزان افت سطح آب روند افزایشی دارد و بیشتر در قسمت شمال شهر قرار دارد و میزان آن ۶۶/۸۰ متر است. همانطور که در شکل (۱۰) مشاهده می‌شود، منطقه خطر فرونشست کاهش یافته و در جنوب شهر تقریباً ثابت برقرار است.



شکل (۹): نقشه میزان افت سطح آبهای زیرزمینی

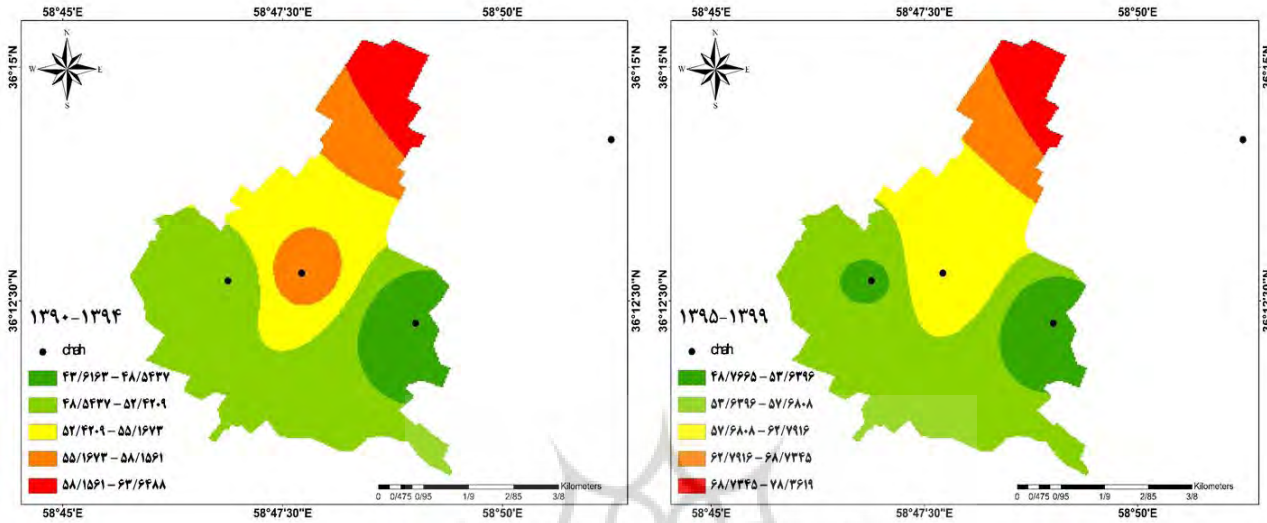
شکل (۱۰): نقشه میزان افت سطح آبهای

به متر از سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۴

زیر زمینی به متر از سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۸۹

در شکل (۱۱) کم‌ترین مقدار افت آب چاه در این دوره افزایش و مقدار بیش‌ترین میزان افت کاهش یافته و به ۴۳/۶۱ و ۶۳/۶۴ متر رسیده است اما محدوده بحرانی نسبت به دوره قبل افزایش یافته در مرکز شهر میزان افت بیشتری رخ داده است.

همانطور که در شکل (۱۲) مشاهده می‌شود بالاترین و پایین‌ترین سطح آب افزایش داشته و به ۷۸/۳۶ متر رسیده‌است که به معنی افزایش افت سطح آب چاه است. همانطور که مشاهده می‌شود منطقه بحرانی همراه با افت سطح آب زیاد در قسمت شمال شهر قرار دارد.



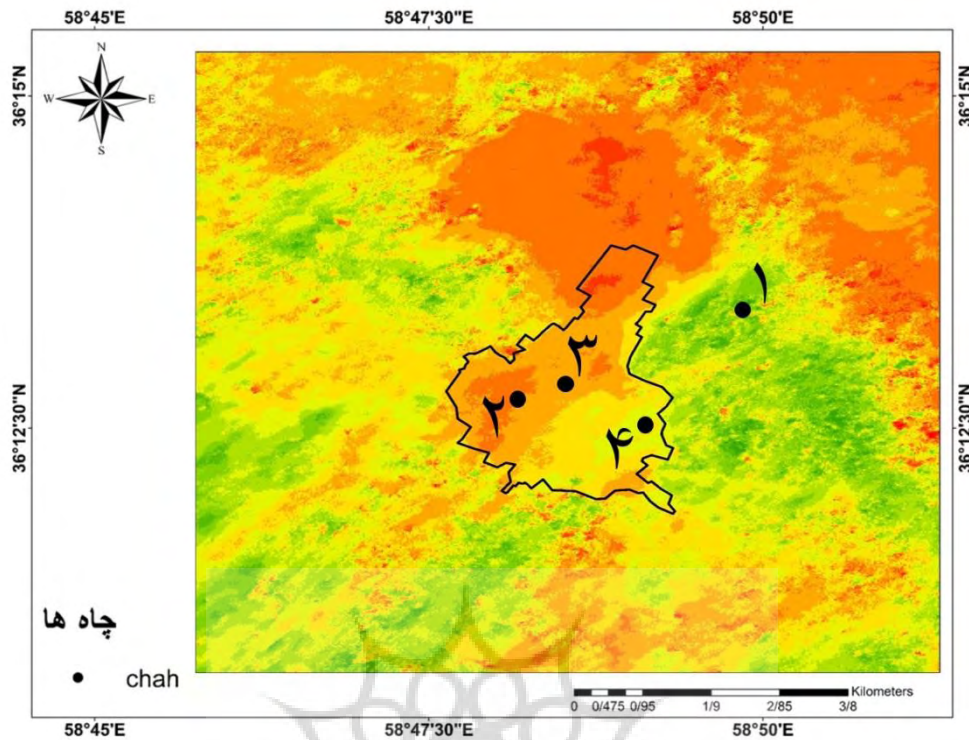
شکل (۱۱): نقشه میزان افت سطح آبهای

زیرزمینی به متر از سال ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۴

شکل (۱۲): نقشه میزان افت سطح آبهای

زیرزمینی به متر از سال ۱۳۹۵ تا ۱۳۹۸

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
 رتال جامع علوم انسانی



شکل (۱۳): چاه های موجود در منطقه

همان طور که در شکل (۱۳) مشاهده می شود چاه شماره ۱ چاه راه باغرود در شمال شرقی شهر نیشابور واقع شده است و با اینکه از شهر فاصله دارد بیشترین تاثیر را در فرونشست شمال نیشابور دارد به طوری که منطقه شمالی نیشابور که بیشترین فرونشست را دارد و منطقه بحرانی است تحت تاثیر افت آب این چاه است. فرونشست مناطق مرکزی و جنوبی شهر نیشابور متأثر از افت آب چاه های ۲ و ۳ و ۴ است. افت آب این چاه ها نسبت به شمال شهر کمتر است اما در طی دوره های مختلف افت قابل توجهی دارند و همین امر باعث بحرانی شدن سایر مناطق شهر می شود. شکل های ۱۴ و ۱۵ نمونه ای از فرونشست شهر نیشابور را نشان می دهد. در حال حاضر ۶۰۲ دشت از ۶۰۹ دشت موجود در کشور توسط فرونشست تهدید می شوند که یکی از جدی ترین خطرات متوجه دشت نیشابور است. نخستین نشانه های پدیده فرونشست زمین در دشت نیشابور سال ۱۳۸۵ بروز و ظهور پیدا کرد و اکنون بعد از گذشت ۱۷ سال این فروچاله های عمیق و طولیل آشکارا در قسمت های غربی و به تدریج در نقاط مرکزی نیشابور دیده می شوند؛ فروچاله هایی که کشاورزی، دامپروری، محیط زیست، حیات وحش، خطوط راه آهن، آب، گاز، تأسیسات و بناهای

این شهر را تهدید می‌کند. بر اساس آمار آب منطقه‌ای استان خراسان رضوی، پدیده فرونشست در دشت نیشابور با میانگین نشست سراسری ۸۶ میلیمتر در سال تقریباً ۲۰ برابر حد نشست نهایی قابل قبول جهانی است.



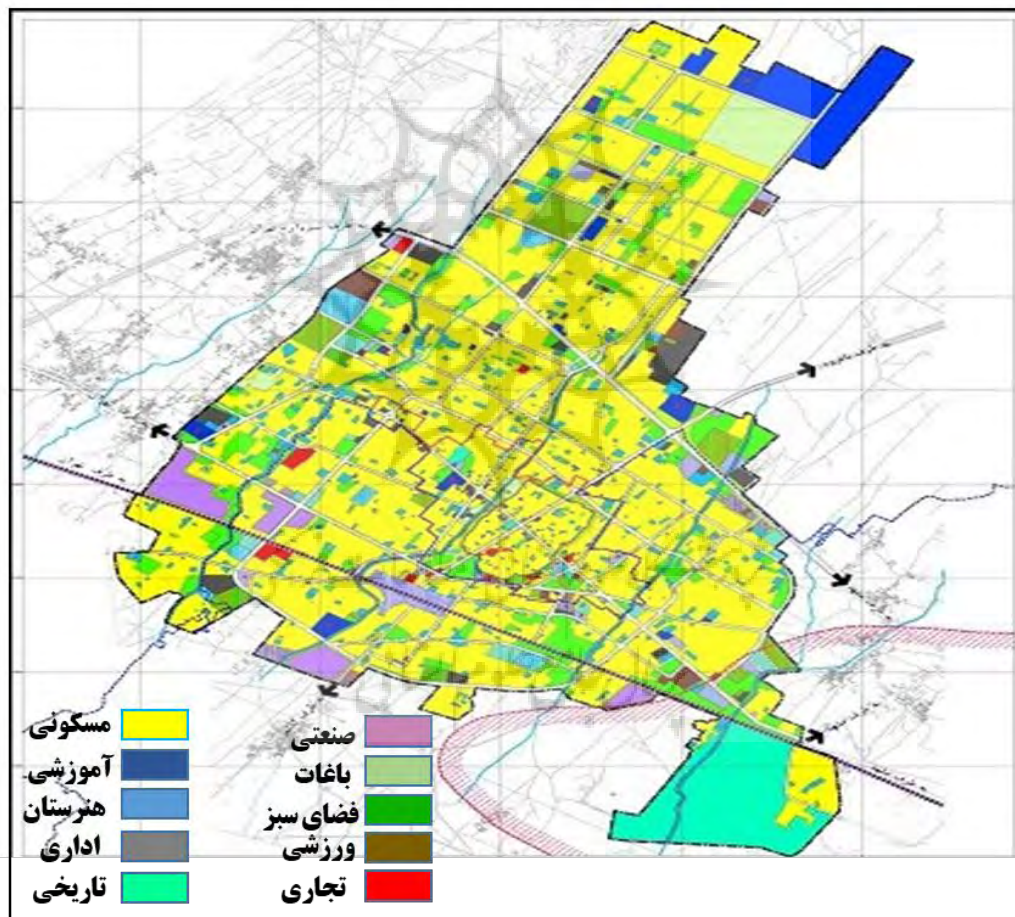
شکل ۱۴: نمونه‌ای از فرونشست محدوده نیشابور



شکل ۱۵: نمونه‌ای از فرونشست محدوده نیشابور

کاربری اراضی شهر نیشابور

شکل (۱۶) نقشه کاربری اراضی شهر نیشابور مربوط به طرح جامع سال ۱۳۹۴ را نشان می‌دهد. این نقشه بیانگر این است که اکثر مناطق توسعه فیزیکی شهر نیشابور را کاربری مسکونی و سازه‌ها و مکان‌های تجمع مردمی فرا گرفته است. با توجه به بررسی‌های انجام شده مناطق بحرانی که تحت تاثیر افت آب زیرزمینی و فرونشست واقع شده‌اند (مسکونی و ادارات و مراکز آموزشی و درمانی و تاریخی و ...) مناطق پر تردد و تجمع سایر بخش‌های مهم شهر مختلف است. در نتیجه توسعه میزان فرونشست در محدوده توسعه فیزیکی شهر، مخاطرات بالقوه برای ساخت و سازهای شهری را به دنبال دارد.



شکل ۱۶: نقشه کاربری اراضی شهر نیشابور

نتیجه گیری

به دلیل اینکه دشت نیشابور بعد از دشت بزرگ مشهد از لحاظ ذخیره آب زیرزمینی و نیز به لحاظ حاصل خیزی، مهم ترین دشت استان خراسان رضوی می باشد و شهر نیشابور نیز در این دشت قرار دارد، اقدام به بررسی فرونشست این دشت مذکور کردیم. در این تحقیق فرونشست زمین در شهر نیشابور در طول دوره ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۲ (۱۳۹۵-۱۴۰۰) با استفاده از تکنیک های سری زمانی InSAR بررسی شد. میزان فرونشست در طول ۵ دوره آماری در منطقه مورد مطالعه ۱۸ سانتی متر به دست آمد. میزان فرونشست های ثبت شده هر دوره به ترتیب ۴ سانتی متر برای دوره ۲۰۱۷-۲۰۱۸ (۱۳۹۵-۱۳۹۶)، برای دوره ۲۰۱۸-۲۰۱۹ (۱۳۹۶-۱۳۹۷) حدود ۶ سانتی متر، ۵ سانتی متر برای دوره ۲۰۱۹-۲۰۲۰ (۱۳۹۷-۱۳۹۸) و ۲ سانتی متر برای دوره ۲۰۲۰-۲۰۲۱ (۱۳۹۸-۱۳۹۹) و برای دوره ۲۰۲۱-۲۰۲۲ (۱۴۰۰-۱۳۹۹) نیز ۱ سانتی متر بدست آمد. بر اساس نتایج بدست آمده بیشترین میزان فرونشست در مناطق شمال و شرق و مرکز شهر نیشابور اتفاق افتاده است. سطح آب چاه ها در بازه زمانی ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۸ به بیشترین حد کاهش خود رسیده اند میزان افت سطح آب در این بازه زمانی حداقل ۲۳/۷۱ متر و حداکثر ۷۸/۳۶ بوده و بیشتر در مناطق شمال و مرکز رخ داده که متأثر از کاهش بارندگی، خشکسالی در منطقه و فشار بیش از حد به منابع آب های زیرزمینی در این سال ها می باشد. مقایسه بین تحلیل های مستخرج از داده های نقاط چاه و تصاویر ماهواره ای نیز نشانگر ارتباط بین افت سطح آب های زیرزمینی و فرونشست زمین در منطقه مورد مطالعه است. خصوصاً در مناطق شمال شهر نیشابور که بیشترین میزان افت سطح آب زیرزمینی را دارا می باشد و در پهنه خطر فرونشست زیاد هم قرار دارند که در بازه ۲۰۱۷ تا ۲۰۱۸ بیشترین میزان فرونشست ۶ سانتی متر و بیشترین افت سطح آب ۷۸/۳۶ متر در دوره ۱۳۹۵ تا ۱۳۹۸ بوده است. به دلیل وجود مناطق مسکونی و ادارات و مراکز آموزشی و درمانی و تاریخی و... در قسمتهای بحرانی تحت تاثیر افت آب زیرزمینی و فرونشست مناطق پر تردد و تجمع گروهای مختلف است، فرونشست خطرات جانی و مالی فراوانی را در شهر نیشابور به دنبال دارد. لذا ضروری است سازمان ها و نهادهای متولی با اتخاذ سیاست ها و برنامه ریزی های مناسب، پیش از وقوع بحران درصدد کاهش هرگونه آسیب به سکونتگاه های انسانی، جمعیت و زیرساخت های موجود در این مناطق باشند. از طرفی قسمت شمال و شمال شرق شهر نیشابور جزو مناطق بحرانی و حساس از نظر مخاطره فرونشست است. افزایش جمعیت و نیاز بیش از پیش آن ها به آب از یک طرف و همچنین ساخت و سازهای بی رویه برای برطرف کردن نیاز جمعیت جدید، از طرف دیگر افزایش دما، خشکسالی های متوالی و

احتمال تداوم آن در سال‌های آینده عواملی برای استفاده هر چه بیشتر آب‌های زیرزمینی است که خود باعث رخداد فرونشست در سطح وسیع‌تر می‌شود.

منابع

- احمدی، نعیمه، موسوی، زهرا، معصومی، زهرا، (۱۳۹۶) بررسی فرونشست دشت خرمدره با استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری و بررسی خطرات آن، سنجش از دور و GIS در ایران، سال دهم، شماره ۳، صص ۳۳-۵۲.
- اسدی، معصومه، گنجیان، حمید، جاودانی، مهناز، کادری نسب، مهدیه، (۱۴۰۰). بررسی رابطه عوامل طبیعی با میزان فرونشست در دشت ایوانکی با استفاده از تصاویر رادار، مجله هیدروژئولوژی، سال ششم، شماره ۱، صص ۱۳-۲۲.
- ارشاد حسینی، محدث، کشتکار، امیررضا، حسینی، سید موسی، افضل، علی (۱۴۰۰). تحلیل روند تغییرات زمانی در کیفیت منابع آب زیرزمینی با استفاده از آزمون ناپارامتریک منکنندال و روش گرادیان سنی نمونه پژوهشی دشت یزد - اردکان. جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، شماره ۴، صص ۸۷-۱۰۶.
- رنجبر باروق، زهرا، فتح‌الله‌زاده، محمد، (۱۴۰۱). بررسی فرونشست زمین با استفاده از سری زمانی تصاویر راداری و ارتباط آن با تغییرات سطح آب زیرزمینی (مطالعه موردی: کلانشهر کرج)، مجله تحقیقات کمی ژئومورفولوژی، سال دهم، شماره ۴، ۱۳۸-۱۵۵.
- شفیعی، نجمه، مختاری، لیلا، امیر احمدی، ابوالقاسم، زندی، رحمان، (۱۳۹۸). بررسی فرونشست دشت نورآباد با استفاده از روش تداخل سنجی راداری. تحقیقات کمی ژئومورفولوژی، سال هشتم، شماره ۴، صص ۹۳-۱۱۱.
- صالحی، فهیمه، حافظی مقدس، ناصر، لشکری پور، غلامرضا، دهقانی، مریم، (۱۳۹۷). ارزیابی فرونشست زمین با استفاده از ترکیب روش تداخل سنجی راداری و اندازه‌گیری‌های میدانی و بررسی علل و اثرات آن بر شهر مشهد، مجله زمین‌شناسی مهندسی، سال سیزدهم، شماره ۳، صص ۴۶۳-۴۳۵.
- عابدینی، موسی، عبادی، الهام، قلعه، احسان، (۱۴۰۱). بررسی فرونشست دشت ماهیدشت در استان کرمانشاه با استفاده از روش تداخل سنجی راداری. مجله علمی جغرافیا و برنامه ریزی، سال ۲۶، شماره ۷۹، صص ۲۲۰-۲۰۷.
- عابدینی، موسی، آقاری، لیلا، اصغری سکانرود، صیاد، (۱۴۰). ارزیابی ریسک فرونشست و پهنه بندی با استفاده از الگوریتم تطبیقی MABAC و ANP (مطالعه موردی: دشت اردبیل)، جغرافیا و مخاطرات زیست محیطی، موضوع ویژه (چالش جهانی فرونشست زمین: مدیریت بحران یا مدیریت بحران)، سال ۱۱، شماره ۴۴، صص ۲۱-۱.

عابدینی، موسی، آقایی، لیلا، اصغری سکانرود، صیاد (۱۴۰۱)، برآورد میزان فروزشست با استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری و پارامترهای آبهای زیرزمینی و کاربری اراضی (مطالعه موردی: دشت اردبیل). پژوهشهای ژئومورفولوژی کمی، سال یازهم، شماره ۱، صص. ۱۳۲ - ۱۱۷.

عابدینی، موسی، سرایی، بهناز (۱۴۰۱)، بررسی تکامل ژئومورفولوژی دشتهای انباشتی، از طریق گرانولومتری سازندها، نتایج لوگها و اثرات تکتونیک، مطالعه موردی (دشتهای هرزندات، هادی شهر و گلفرج)، مطالعات علوم محیط زیست، دوره ۸، شماره ۳، صص ۶۸۲۵ - ۶۸۳۷.

محرابی، علی، کریمی، صادق، خالصی، مهران، (۱۴۰۲). تحلیل فضایی فروزشست دشت جیرفت با استفاده از تکنیک پیکسل های انسجام (CPT)، مجله جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، دوره ۳۴، شماره ۱ - شماره مسلسل ۸۹. صص ۹۹-۱۱۶.

مرادی، آیدین، عمادالدین، سمیه، آرخی، صالح، رضایی، خلیل، (۱۳۹۸) "تحلیل فروزشست زمین با استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری، اطلاعات ژئوتکنیکی و پیزومتریک چاه (مطالعه موردی: منطقه شهری) ۱۸، تهران، تحلیل فضایی مخاطرات زیست محیطی، دوره ۷، شماره ۱، صص ۱۵۳-۱۷۶.

Amigh Pay, M., Arabi, S., and Talebi, A., (2010). "Study on Yazd plain subsidence using InSAR and its precise leveling", *Geosciences*, 20(77), 157-164.

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

Faunt, C, C; Sneed, M; Traum, J; Brandt, J, T, (2015), Water availability and Land Subsidence in the Central Valley, California, USA, *hydrogeol journal*, spring.

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 nterferometry. *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]

Mahmoudpour, M., Khamehchiyan, M., Nikudel, M.R., and Ghassemi, M.R., (2016). "Numerical simulation and prediction of regional land subsidence caused by groundwater exploitation in the southwest plain of Tehran, Iran", *Engineering Geology*, 201, 6-28.

Motagh, M., Shamshiri R., Haghshenase Haghigi, M., Wetzel H., Akbari B., Nahavandchi, H., Roessner, S., & Arabi, S. (2017). Quantifying groundwater exploitation induced subsidence in the Rafsanjan plain southestern Iran, using InSAR time - series and in situ measurements. *Engineering Geology*. 218: 134-151.

- Raspinia, Federico; Loupasakis, Constantinos; Rozosb, Dimitrios; Adamc, Nico; Moretti, Sandro, (2014). Ground subsidence phenomena in the Delta municipality region (Northern Greece): Geotechnical modeling and validation with Persistent Scatterer Interferometry, *ELSEVIER International Journal*, vol28, pp78-89.
- Rateb, A., Abotalib, Z., (2020) Inferencing the land subsidence in the Nile Delta using Sentinel1 satellites and GPS between 2015 and 2019, *Science of the Total Environment* 729:1-10.
- Smith, R.G ; Knight R ; Chen J ; Reeves J.A ; Zebker H.A ; Farr T and Liu Z., (2017). Estimating the permanent loss of groundwater storage in the southern San Joaquin Valley, California, *Water Resources Research journal*, vol 53, , pp 2133-2148.
- Taheri, Ali (1401). *The complete geography of Neyshabur, Zabarkhan and Firuzeh* (under publication), Abarshahr Neyshabur Publications.
- 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.
- Zhu, L., Gong, H., Li, X., Wang, R. (2015), Land subsidence due to groundwater Withdrawal in he northern Beijing plain China, *Engineering Geology*, 193: 243-255.

