جغرافیا و روابط انسانی، بهار ۱٤۰۳، دوره٦، شماره٤، صص٦٨٩-٦٦٩

بررسی اثر افت آب های زیر زمینی بر فرونشست زمین مطالعه موردی: شهرستان چناران

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.

تاریخ دریافت:۱٤۰۲/۱۰/۱۰ تاریخ پذیرش:۱٤۰۲/۱۰/۲۷

چکیده

پدیده فرونشست زمین یکی از مخاطراتی است که در طی سال‌های اخیر در بسیاری از مناطق دشت های کشورمان رخ داده و معضلات زیادی را بدنبال داشته است. شناسایی مناطق در معرض فرونشست زمین و برآورد نرخ آن نقش مهمی در مدیریت کنترل این پدیده دارد. تکنیک تداخل‌سنجی راداری یک ابزار قوی در برآورد بوده و میزان فرونشست زمین با دقتی در محدوده میلی‌متر با استفاده از مشاهدات فاز را دارد. در این تحقیق به منظور پایش فرونشست اتفاق افتاده در شهرستان چناران به روش تداخل سنچی‌راداری از داده‌های ماهواره Sentinel 1A سال‌های ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۱ استفاده شده است. در ادامه جهت یافتن علت فرونشست، اطلاعات چاه‌های پیزومتری موجود در منطقه اخذ و تغییرات آن‌ها در طول دوره ۱۳۹۸-۱۳۷۰ بررسی گردید. میزان فرونشست‌های ثبت شده برای هر دوره به ترتیب ۹ سانتی‌متر برای ۲۰۱۷-۲۰۱۸، برای دوره ۲۰۱۸-۲۰۱۹ حدود ۱۰سانتی‌متر، ۱۰ سانتی‌متر برای دوره ۲۰۱۹-۲۰۲۰ و ۱۳ سانتی متر برای دوره ۲۰۲۰-۲۰۲۱ بدست آمد. نتایج مطالعات حاصل از تداخل سنجی راداری نشان داد، در طول دوره آماری در منطقه مورد مطالعه ٤۲ سانتی متر فرونشست اتفاق افتاده است. سطح آب زیرزمینی در محدوده‌های دارای فرونشست زمین با افت همراه بوده است. به خصوص در روستاهای سید آباد، اخلمد، حاجی آباد ، چچچه، هاشم آباد کلاته شیخ ها و ...که بیشترین میزان افت سطح آب زیرزمینی را دارا می‌باشند و در پهنه خطر فرونشست زیاد هم قرار دارند. یکی از دلایل اصلی فرونشست زمین در منطقه مورد مطالعه، برداشت بی‌رویه از منابع آب سفره‌های زیرزمینی است.

واژگان کلیدی: تداخل‌سنجی ، فرونشست زمین، سنتینل۱ ، شهرستان چناران ، افت سطح آب زیرزمینی

doi **10.22034/GAHR.2024.433326.2019** شاپا الکترونیکی:645-3851

مقدمه

فرونشست‌زمین یکی از مخاطرات محیطی کشورمان هست که در بلند مدت پیآمدهای مخربی بر شهرها، تأسیسات، خطوط ارتباطی و اراضی کشاورزی دارد(عابدینی و سرایی، ۱٤۰۰). فرونشست زمین به عنوان پدیده‌ای مورفولوژیکی، نوعی از تغییر شکل سطح زمین است که با دگر شکلی عمودی و یا با حرکت رو به پایین سطح زمین و همچنین نشست تدریجی یا ناگهانی مواد سطحی همراه است. این پدیده در حالت منطقه‌ای و به صورت نشست رو به پایین سطح زمین و با بردار جابجایی اندک مشهود است (لشکری پور و همکاران، ۱۳۸۷). 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 می‌شود(عابدینی و همکاران،۱٤۰۱). علیرغم این موضوع که فرونشست به کندی و تدریجی صورت می‌گیرد، می‌تواند طی یک مدت زمان طولانی خساراتی به بزرگی زلزله، آتشفشان و نیز زمین لغزش داشته باشد. پدیده فرونشست بطور کلی می‌تواند ناشی از عوامل عمده‌ایی همچون انحلال تشکیلات زیرسطحی، تراکم رسوبات و یا افت سطح سیالات زیرزمینی و همچنین عوامل تکتونیکی باشد (فتح الهی و همکاران، ۱۳۹٦)،(چین[1] ،۲۰۱٦). 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 سطح زمین و کمی افقی باشد (عابدینی،۱۳۹٦). سفره‌های آب زیرزمینی یکی از مهمترین و حیاتی‌ترین منابع آبی برای کشاورزی، آشامیدن و صنعت است. در دهه های اخیر عواملی مانند رشد جمعیت، توسعه فعالیت های صنعتی منجر به استخراج بیش از حد از آب زیرزمینی و کاهش آبخوان ها شده است. این امر به معنای استخراج و استفاده از آبی است که در طول هزاران سال در لایه های آبدار زمین ذخیره شده و با انجام این کار، سطح آب های زیرزمینی روز به روز افت کرده و سرانجام به جایی خواهد رسید که آبی برای استخراج وجود نخواهد داشت. پایین افتادن سطح آب های زیرزمینی به معنای خشک شدن مناطق پایین دست (مناطق با ارتفاع کمتر که آب جاری در لایه های آبدار تحت اثر جاذبه به سمت آن‌ها جریان می‌یابند)، از بین رفتن چاه‌ها، قنات‌ها و چشمه‌های آن است (دی گراف[2] ، ۲۰۱۷) که منجر به فرونشست زمین می‌شود. علت رخداد این پدیده می‌تواند عوامل طبیعی و یا انسانی باشد(گالووی[3]، ۲۰۱۱). در اینجا به اجمال به بررسی پیشینه مطالعات بعمل آمده در ارتباط با فرونشست زمین در کشورمان و سطح جهان پرداختیم:

دولتی و همکاران (۱۳۹۵) به مطالعه‌ی 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 که آثار آن به

1 chen

2 De Graaf

3 galloway

صورت ایجاد ترک‌های بزرگ در زمین‌های کشاورزی و ساختمان‌ها و بیرون زدگی لوله جدار چاه‌ها در منطقه‌ی طوس، قابل مشاهده است. بر اساس این پژوهش، بررسی نتایج مطالعات مختلف صورت گرفته در زمینه‌ی فرونشست آبخوان مشهد در دوره زمانی ۱۳۷۲ تا ۱۳۹۵ نشان می‌دهد در بخش‌های شمال غربی (محدوده بین شهرستان چناران و قوچان)، مرکزی (مشهد شهرستان چناران) و شرقی- جنوب شرقی آبخوان فرونشست رخ داده است. بررسی شرایط هیدروژئولوژیکی آبخوان مشهد نشان می دهدکه افت سطح آب زیرزمینی مهم ترین عوامل فرونشست در دشت مشهد محسوب می‌شوند. عابدینی و همکاران(۱۳۹۵) در مورد فرونشست دشت روانسرا- سنجابی با استفاده از مدل تحلیل سلسله مراتبی کار کرده-اند و نتایج نشان داده که ارتباط و همبستگی قوی میان عمق رسوبات ریز دانه چاه ها و احتمال فرونشست زیاد آتی وجود ندارد به طوریکه حداکثر عمق رسوبات ریزدانه در نواحی مستعد فرونشینی با احتمال خطر بالا، حدود ۹تا۱۲ متر است این در حالی است که در برخی از نقاط آبخوان که استعداد کمتری برای فرونشست دارند عمق رسوبات ریزدانه بسیار بیشتر و حدود ۲۰تا۲۲ متر است. کیانی و همکاران (۱۳۹۷)، اقدام به بررسی ارتباط فرونشست زمین و افت سطح آب‌های زیرزمینی در شهرستان کرج با استفاده از روش تلفیق وزنی در محیط GIS کرده و نتیجه کارشان نشان داده که بین وضعیت توپوگرافی، ضخامت سازند و برداشت آب ارتباط زیادی وجود دارد و بیشترین میزان فرونشست در مناطق با برداشت زیاد، آبرفت‌های ضخیم، و مناطق پست دشت مشاهده می‌شود. خرمی و همکاران (۱۳۹۸) به بررسی فرونشست شهر مشهد به روش تداخل سنجی راداری پراکنشگر دائمی از سال۲۰۱٤ تا ۲۰۱۷ پرداختند و بیشینه نرخ فرونشست را ١٤ سانتی متر به دست آوردند. عابدینی و همکاران(١٤٠٠) به بررسی فرونشست دشت اردبیل به روش تداخل‌سنجی راداری از سال ۲۰۱٦تا۲۰۲۰ پرداختند و به فرونشست در هر سال به طور میانگین ٤.٤ میلیمتر و طی بازه زمانی ۵ ساله ۲۲ میلیمتر دست یافتند. مرادی و همکاران (۱۳۹۹) در تحلیل فرونشست با استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری، اطلاعات چاه‌های ژئوتکتونیکی و پیزومتری در منطقه ۱۸ شهر تهران به این نتیجه رسیدند که منطقه ۱۸ شهری بر روی مخروط افکنه 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 ٤۳۰ میلی‌متر و در محدوده محله یافت‌آباد 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 تداخل سنجی راداری بخش شرقی منطقه ۱۸ شهری بیشترین تاثیر را از پدیده فرونشست دارد. 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 بخش-های شرقی، جنوبی و مرکزی آبخوان واقع در چاه‌های پیزومتری اسکان عشایر، خومه‌زار، شهرک صنعتی، تل مشکی و شور می‌باشد. نقشه‌های حاصل از فرونشست نشان داد که نرخ نشست در هر سال میانگین ٤ سانتی‌متر و طی بازه زمانی ٤ ساله حدود ١٦ سانتی‌متر می‌باشد. فرزین‌کیا و همکاران (١٤٠٠) با استفاده از از مدل تحلیل شبکه‌ای_ فازی اقدام به بررسی فرونشست دشت جوین کرده‌اند. نشان داده که تراکم بالای چاه‌های عمیق و نیمه عمیق و افت بالای آب‌های زیرزمینی به دلیل برداشت بی‌رویه این محدوده(خطر زیاد تا خیلی زیاد) جزو مناطق با استعداد بالای فرونشست مشخص شد، همچنین وجود شکاف‌های بوجود آمده و نشست چاه‌ها در همین محدوده‌ها تا حدودی صحت سنجی مدل را با داده های زمینی نشان می‌دهد. از نتایج حاصل از محاسبات انجام شده توسط روش‌های مذکور، می‌توان به عنوان تخمین اولیه مقدار فرونشست در محل مورد مطالعه استفاده کرد. واعظی و همکاران (١٤٠٠)تحقیقی را با استفاده از سناریوهای مختلف تغییرات اقلیمی در دشت جازموریان انجام داده‌اند. نشان داده که در ۵۰ سال آینده (میانگین ۲۰ ساله دوره آینده میانی) افزایش ۵/۱ تا ۱/۲ درجه‌ای میانگین دما و در ۱۰۰ سال آینده (میانگین ۲۰ ساله دوره آینده دور) افزایش ٤/۲ تا ۹/۳ درجه‌ای میانگین دمای منطقه بر مبنای سناریوهای مختلف قطعی به نظر می‌رسد. با توجه به نتایج مستدل این تحقیق حقیقتا خشکسالی یکی از جدی‌ترین بحران‌های آینده کشور است که در صورت عدم توجه، آینده ایران را از جنبه‌های مختلفی تهدید خواهد کرد. عابدینی و همکاران(١٤٠١) در تغییرات کاربری اراضی و ارتباط آن با سطح آب‌های زیرزمینی و مخاطرات آن (مطالعهٔ موردی: شهرستان ملارد) به این نتیجه رسیدند که کاربری منطقهٔ مسکونی در سال۲۰۰۰ از ٤۲۱۸۷ به ٦۹۱٦٤ افزایش پیدا کرد. با انطباق نقشهٔ کاربری‌اراضی بر نقشهٔ سطح آب زیرزمینی، بیش‌ترین میانگین عمق آب در سال ۲۰۰۰ برای کاربری کشاورزی با ٦٤/۵۰ متر و کمترین میانگین عمق آب برای کاربری بایر با ۲٦ متر ثبت شد. با ملاحظهٔ نقشهٔ کاربری‌اراضی و نقشهٔ تراز آب زیرزمینی سال۲۰۲۰ بیشترین میانگین عمق آب در این سال نیز متعلق به کاربری کشاورزی با ٦۱/۱۹ متر و کمترین میانگین عمق آب مربوط به کاربری خاک ۲۸ متر است. عابدینی و همکاران(١٤٠١) اقدام به مطالعه، ارزیابی و پهنه‌بندی خطرفرونشست دشت اردبیل با استفاده از الگوریتم تطبیقی MABAC و ANP نموده اند. نتایج نشان داده که عوامل افت سطح آب، فاصله از رودخانه و لیتولوژی بیشترین ضریب وزنی را به خود اختصاص دادند. همچنین به ترتیب ۲٤٤/۲۹ 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. قهرودی و همکاران (١٤٠١) تأثیر افت آب‌های زیرزمینی بر مخاطرات فرونشست زمین در دشت دهگالن، استان کردستان را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که در سال‌های ۲۰۱٤ تا۲۰۲۱ دشت دهگالن به میزان ۱۲- تا ۳۲- سانتی‌متر دچار فرونشست شده

است. بدین صورت سالانه در این مناطق به‌طور متوسط ٦ سانتی‌متر فرونشست رخ داده است. تانگ و همکاران[1] (۲۰۱۵) در مورد خصوصیات زیرسطحی و پیش‌بینی فرونشست زمین برای شهر هوشی‌مینه ویتنام را بر اساس داده‌های موجود از برداشت آب زیرزمینی در سفره پمپاژ شده و ویژگی های ژئوتکنیکی لایه های رسی مجاور تحقیق کرده‌ا ند. در این مطالعه، حجم زیادی از داده‌های گمانه برای ساخت یک پایگاه داده زیرزمینی مبتنی بر رایانه جمع‌آوری شد. در نتیجه توصیف کامل یک سیستم شش آبخوان تا عمق ۳٦۰ متر و پروفیل زیرزمینی کم عمق تر تا عمق ۱٤۰ متر بر اساس داده های بیش از ۳۰۰۰ گمانه انجام شد. نتایج تجزیه و تحلیل FEM با نتایج تخمین زده شده توسط تجزیه و تحلیل تصاویر ماهواره ای نشان داد که خاک زیرین در شهر HCM با لایه‌های رسی نرم ضخیم در برابر استخراج آب های زیرزمینی آسیب پذیر است. گو و همکاران[2] و همکاران(۲۰۱٦) به بررسی رابطه بین فرونشست زمین و تغییرات آب‌های زیرزمینی پرداختند. دراین مطالعه نرخ فرونشست با تکنیک تداخل‌سنجی راداری و با استفاده از ۱۸ تصویر ENVISAT ASAR بین سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۰ مشخص شد. میزان نرخ فرونشست حاصل از این مطالعات با دقت کمتر از ۵ میلی‌متر تایید شد. طبق نتایج در پکن، شکل فرونشست به صورت ناهموار و به طور بارز مشخص شده است. بیشترین نرخ فرونشست در محدوده مرکزی شهر و در حدود ۱۰ میلی‌متر در سال است که مقدار آن در محدوده تانژو به بیش از ۱٤۰ میلی‌متر در سال رسیده است. بررسی‌هایی که در این مطالعه بر روی آب‌های زیرزمینی انجام شد، ارتباط بالای میزان فرونشست زمین و افت سطح آب‌های زیرزمینی را نشان داد. طوری که شکل فرونشست و افت سطح آب‌های زیرزمینی به شکل قیف و منطبق بر هم بدست آمده است. آگوستانو همکاران[3] (۲۰۱٦) به ارزیابی جابجایی زمین در جاکارتا از طریق تجزیه و تحلیل داده های راداری پرداختند.در این تحقیق ار تصاویر راداری SAR به منظور تداخل سنجس راداری استفاده شده است.نتایج تحقیق بیانگر این است که در این منطقه در ماه نوامبر۲۰۱۵ تا سپتامبر ۲۰۱٦ حدود ۱۲ سانتی متر فرونشست داشته است. دو و همکاران[4] (۲۰۱۷) به ارزیابی میزان فرونشست شبه جزیزه لیژاوو در چین با استفاده از تصاویر راداری پرداخته اند. در این تحقیق از روش تداخل سنجی‌راداری و تصاویر سال های ۱۹۹۲ تا ۲۰۱۰ استفاده شده است. نتایج تحقیق بیانگر این است که حداکثر میزان فرونشست با ۳۲ میلی- متر در نوار خط ساحلی بوده است، در حالی که میزان فرونشست در زمین‌ها داخلی بین ۱۰ تا ۱۹ میلیمتر در سال برآورد شده است. جیان و همکاران[5] (۲۰۱۹) به بررسی نقش فعالیت‌های کشاورزی در فرونشست زمین در دره سان خواکین در کالیفرنیا پرداختند. خشکسالی‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۰ و ۲۰۱۲ موجب افزایش شدید استفاده از آب‌های زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه و در نتیجه باعث فرونشست گردید. یافته‌های اصلی

1 Thoang

2 guo

3 Agustan

4 Du

5 Jeanne

آن‌ها نشان داد در مناطقی که تقاضای استفاده از آب زیرزمینی بیشتر باشد فرونشست زمین هم در منطقه زیاد می‌باشد. آن‌ها با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و مدل‌سازی، مکان‌هایی که در آینده بیشتر در معرض تخریب قرار دارند را شناسایی و مدیریت منابع آب زیرزمینی را پیشنهاد دادند. گورابی و همکاران[1] (۲۰۲۰) در بررسی فرونشست زمین در کلان‌شهر 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، شمال شرقی و شرقی کلان‌شهر اصفهان افزایش می‌یابد، در حالی که بخش‌های جنوبی شهر تقریباً یک منطقه پایدار هستند و میزان فرونشست قابل توجه در آن مشاهده نمی‌شود. ابراهیمی و همکاران (۲۰۲۰) به منظور ارزیابی فرونشست محدوده شهری پاکدشت از روش تداخل سنجی راداری و تصاویر سنتینل ۱ استفاده شده است. به منظور پردازش اطلاعات نیز از نرم‌افزارهای SNAP و Snaphu استفاده شده و به این صورت میزان جابجایی عمودی محدوده مطالعاتی از تاریخ ۲۰۱۸/۰۱/۰۸ تا ۲۰۱۹/۰۱/۱۵ محاسبه شده است. نتایج حاصله از تحقیق بیانگر این است که محدوده مطالعاتی به دلیل نداشتن موانع ژئومورفولوژی، در طی سال‌های اخیر با روند توسعه ساخت و سازها و همچنین توسعه فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی مواجه شده و همین امر سبب افزایش بهره‌برداری و افت شدید آب‌های زیرزمینی در محدده مطالعاتی شده است. افت آب‌های زیرزمینی نیز سبب ایجاد فرونشست در منطقه شده است به طوری که بر اساس نتایج حاصله از روش تداخل سنجی راداری، محدود مطالعاتی در طی دوره زمانی ۱ ساله بین ۱۵ تا ۸۵ میلی‌متر فرونشست داشته است. ارزیابی نقشه جابجایی منطقه بیانگر این است که بیش‌ترین میزان فرونشست مربوط به مناطق غربی و کم‌ترین میزان آن نیز مربوط به مناطق جنوب شرقی محدوده شهری پاکدشت بوده است. روستایی و همکاران(۲۰۲۳) به بررسی فرونشست دشت مرند پرداختند، نتایج روش تداخل‌سنجی PSI بر روی ۱۳۳ تصویر سنتینل-۱ در مدار Descendingماهواره Sentinel-1 ، حاکی از نرخ جابجایی سالانه زمین برای دشت مرند از سال‌های ۲۰۱٦، ۲۰۱۷، ۲۰۱۸، ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰ به ترتیب ۱۳/۷-، ۱۲-، ۱۵/۲-،۱۲/۳ – و ۱۳/۱ سانتی‌متر دارد. جهت صحت‌سنجی نتایج، مقایسه میزان فرونشست حاصل از پردازش تداخل سنجی با میزان افت سطح آب‌های زیرزمینی در محدوده مطالعاتی از طریق روش تحلیل هیدروگراف واحد انجام شد. نتایج نشان می‌دهد که میزان افت سطح آب و نتایج حاصل از تحلیل هیدروگراف چاه‌های مشاهده‌ای منطقه، با نتایج حاصل نقشه‌های سری زمانی حاصل از تداخل سنجی تطابق دارند. فتوحی و همکاران (۲۰۲۳) برای بررسی فرونشست دشت نهبندان- سهل آباد از تکنیک تداخل‌سنجی راداری در بازه زمانی خاص برای پردازش تصاویر راداری استفاده کردند. تصاویر مورد استفاده مربوط به ماهواره انویست (Envisat) سنجندِ 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

1 Goorabi

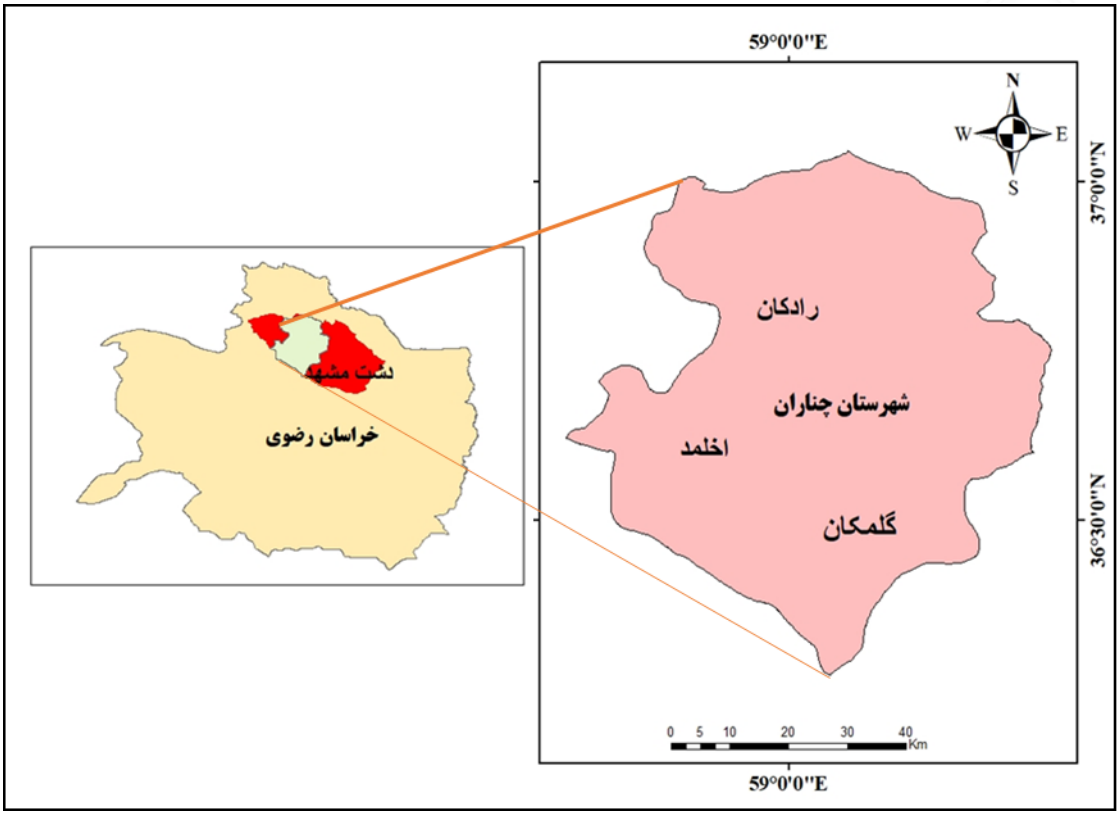
مرکز و شمال دشت، حدود ۱۳.٤ سانتی‌متر در بازه زمانی ۲۰۰۷ تا۲۰۱۰ است و همچنین در بازه ۲۰۰۷ تا ۲۰۰۸ حدود ۱۳.۱ سانتی‌متر فرونشست را شاهد هستیم. این محدوده در بررسی جدید تصاویر ماهواره Sentinel1 در بازه‌ی زمانی ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۰ نیز فرونشست ۵.۹ سانتی‌متر را تجربه کرده است که نشان دهنده تداوم فرونشست در این منطقه است. برای صحت‌سنجی نتایج از آمار مربوط به چاه‌های پیزومتر استفاده گردید و نتایج نشان‌دهنده افت سطح آب‌های زیرزمینی در محدوده موردمطالعه در بازه ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۰ است.

شهرستان چناران، یکی از مناطق با نرخ فرونشست بسیار بالا است که با توجه به مخاطرات و خسارات جانی و مالی احتمالی ناشی از فرونشست، ضرورت دارد مورد توجه بیشتری قرار گیرند. هدف از انجام این تحقیق، بررسی وضعیت فرونشست شهرستان چناران در بازه زمانی ۲۰۱۷ تا سال ۲۰۲۱ است که سال های ۲۰۲۰ و ۲۰۲۱ در کارهای قبلی به آن پرداخته نشده است. خصوصا به دلیل افزایش جمعیت و توسعه شهرستان چناران و روستاهای موجود در منطقه، تغییر شرایط استفاده از شبکه جمع آوری فاضلاب و گسترش این شبکه، تغییر شرایط اقلیمی و تغییر وضعیت برداشت آب‌های زیرزمینی، نیاز به پایش دائمی وضعیت سطح آب زیرزمینی و فرونشست در این منطقه وجود دارد . لذا در این پژوهش، میزان نرخ فرونشست شهرستان چناران با توجه به آخرین اطلاعات به روز مورد بررسی قرار گرفت.

روش تحقیق

منطقه موردمطالعه

منطقه مطالعاتی شهرستان چناران از شهرهای استان خراسان رضوی می‌باشد که در فاصله ۵۰ کیلومتری شمال غربی مشهد واقع شده‌است. این شهرستان میان کوه‌های بینالود و در شمال شرق ایران و در استان خراسان رضوی قراردارد. این شهرستان محل عبور جاده اصلی تهران به مشهد (راه آسیایی) می‌باشد . شهرستان چناران از شمال به درگز و ازشرق و جنوب شرق به مشهد و از جنوب به نیشابوراز غرب و شمال غرب با قوچان همسایه است. (شکل ۲). این شهرستان در شمال استان خراسان واقع در طول جغرافیایی ۲۹، ۵۸ تا ۳۹ ، ۵۹ و عرض جغرافیایی ١٦ و ٣٦ تا ٣٧ و ٥٢ می باشد .شهرستان چناران در بخش علیای حوضه کشف رود واقع شده است و رودخانه کشف رود در بین رشته کوه های هزارمسجد و بینالود و در امتداد شمال غرب به جنوب شرق در میان دشت مشهد در جریان است. مهمترین جریانات سطحی شهرستان چناران شامل رودخانه فریزی ، رادکان، اخلمد و گلمکان می باشد. شهرستان چناران از نظر ساختاری روی یک ناودیس باز است که از دو طرف توسط گسل های طولی بریده شده است. در سمت شمال دشت مشهد گسل معکوس راست گرد کشف رود با شیب به طرف شمال سبب بالا آمدن و رخنمون نهشته های مارنی شده است. پرباران‌ترین ماه سال، فروردین ماه ٤٧/١ میلی‌متر و کم باران‌ترین آن در شهریور ماه با ١/٤ میلی‌متر محاسبه شده است (قره چلو و همکاران، ١٤٠٠).



شکل ۱. نقشه محدوده شهرستان چناران

داده ها و روش

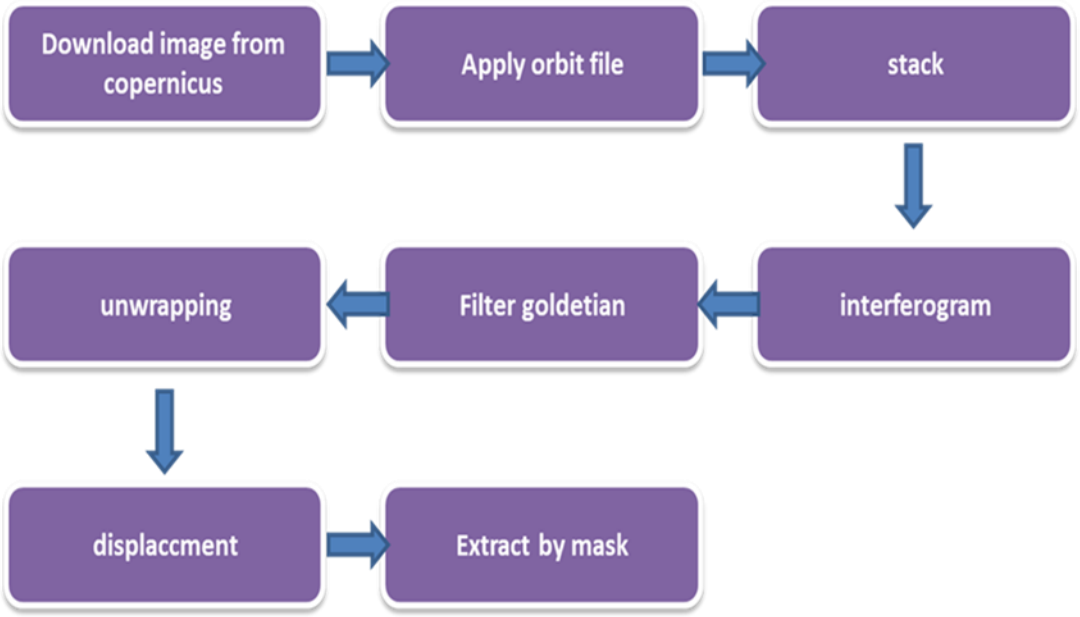
امروزه تکنیک تداخل‌سنجی راداری به عنوان یک ابزار قوی برای اندازگیری تغییر شکل سطحی پوسته زمین در طول زمان شده است و می‌تواند اطلاعات ارزشمندی در مورد پایش فرونشست دهد(نوتی[1]، ۲۰۱۶).

برای بررسی فرونشست از روش تداخل سنجی راداری استفاده شد. در این روش با مقایسه فازهای دو تصویر راداری از یک منطقه در دو زمان مختلف می‌توانیم تغییرات سطح زمین را در آن بازه زمانی محاسبه کنیم. ابتدا می‌بایست تصاویر مورد نظر را دریافت کرده و سپس در نرم‌افزارهای مربوطه آن‌ها را مورد پردازش قرار دهیم. در مرحله اول با استفاده از سایت "scihub.copernicus.eu" تصاویر محدوده مورد مطالعه را دانلود کرده و آن‌ها را در نرم افزار ENVI 5.3 مورد پردازش قرار دادیم. در این پژوهش سال‌های ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۱ میلادی مورد بررسی قرار گرفته و میزان فرونشست آن‌ها محاسبه شده است. شکل (۲) مراحل انجام تداخل‌سنجی رادار را نشان می‌دهد.

در این تحقیق به منظور محاسبه فرونشست از تصاویر سنتینل (جدول۱) با فرمت(SLC) تک منظر با پورازیساسیون(VV) جهت محاسبه میران نرخ جابجایی استفاده شده است. سپس به منظور بررسی آخرین وضعیت سطح آب‌های زیرزمینی

[1] . notti

منطقه مورد مطالعه، اطلاعات آماری چاه آب موجود از سال ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۸ از سازمان آب منطقه‌ای مشهد دریافت گردید و بعد از میانگین‌گیری سالیانه در نرم افزار GIS با استفاده از مدل درون یابی IDW نقشه سطح آب زیرزمینی تهیه شد.



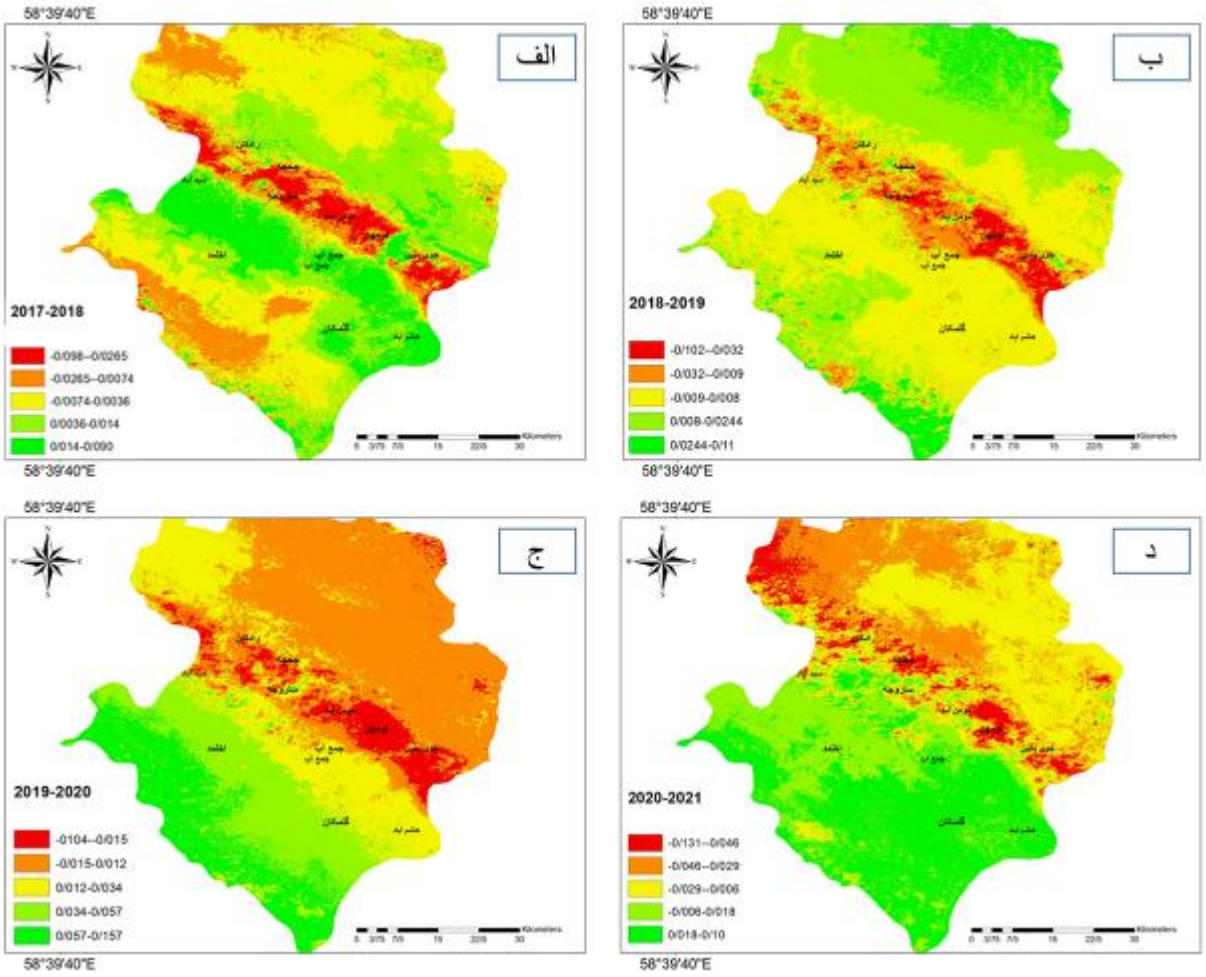
شکل ۲. مراحل انجام کار در تداخل سنجی

جدول۱. مشخصات تصاویر راداری مورد استفاده

شماره	تاریخ تصویر	فرمت تصویر	حالت تصویربرداری	گذر تصویربرداری	خط مبنا (متر)
۱	۲۰۱۷/۰۳/۱۷	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-
٤	۲۰۲۰/۰۱/۱۰	Slc	Iw	صعودی	۱۲۹ تا ۱۱۰-
٥	۲۰۲۱/۰۱/۱۲	Slc	Iw	صعودی	۱۲۸ تا ۳۳-

بحث و یافته‌ها

در بررسی‌های انجام شده با تصاویر راداری SLC ماهواره سنتیل ۱ در رابطه با شهرستان چناران ۵ تصویر به صورت دو به دو در نرم افزار envi مورد پردازش قرار گرفت که تصویر سال، ۲۰۱۷ با ۲۰۱۸، ۲۰۱۸ با ۲۰۱۹ و تصویر ۲۰۱۹ با ۲۰۲۰ و ۲۰۲۰با۲۰۲۱ بررسی شد و میزان فرونشست‌های ثبت شده برای هر دوره به ترتیب ۹ سانتی‌متر برای ۲۰۱۷-۲۰۱۸، برای دوره ۲۰۱۸-۲۰۱۹ حدود ۱۰سانتی‌متر ، ۱۰ سانتی متر برای دوره ۲۰۱۹-۲۰۲۰ و ۱۳ سانتی‌متر برای دوره ۲۰۲۰-۲۰۲۱ بدست آمد (شکل۳).



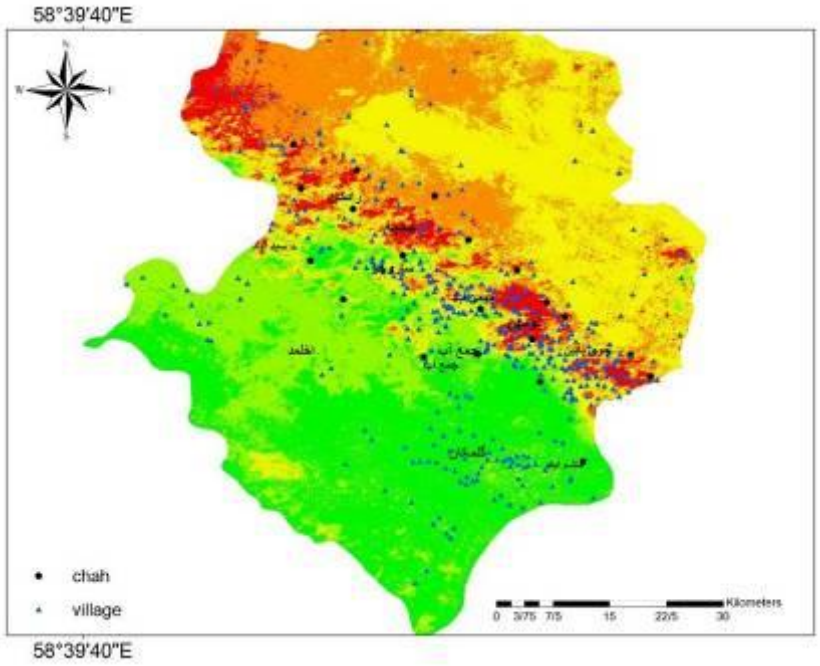
شکل ۳. تغییرات فرونشست از سال۲۰۱۷تا۲۰۲۱

با توجه به جدول(۲) فرونشست در سال ۲۰۱۷–۲۰۱۸در چاه نومهن و چحچه و در سال ۲۰۱۸–۲۰۱۹ در روستاهای نومهن، هاشم آباد، جمع آب، چحچه و سیدآباد و در سال ۲۰۱۹–۲۰۲۰ در نومهن و چحچه و در سال ۲۰۲۰–۲۰۲۱ در نومهن، چحچه، جوی پایین و ساروجه فرونشست اتفاق افتاده است (شکل٤). بررسی جدول۲ نشان می‌دهدکه افت سطح آب چاه با فرونشست رابطه مستقیم دارد.

جدول۲. رابطه چاه آب با فرونشست

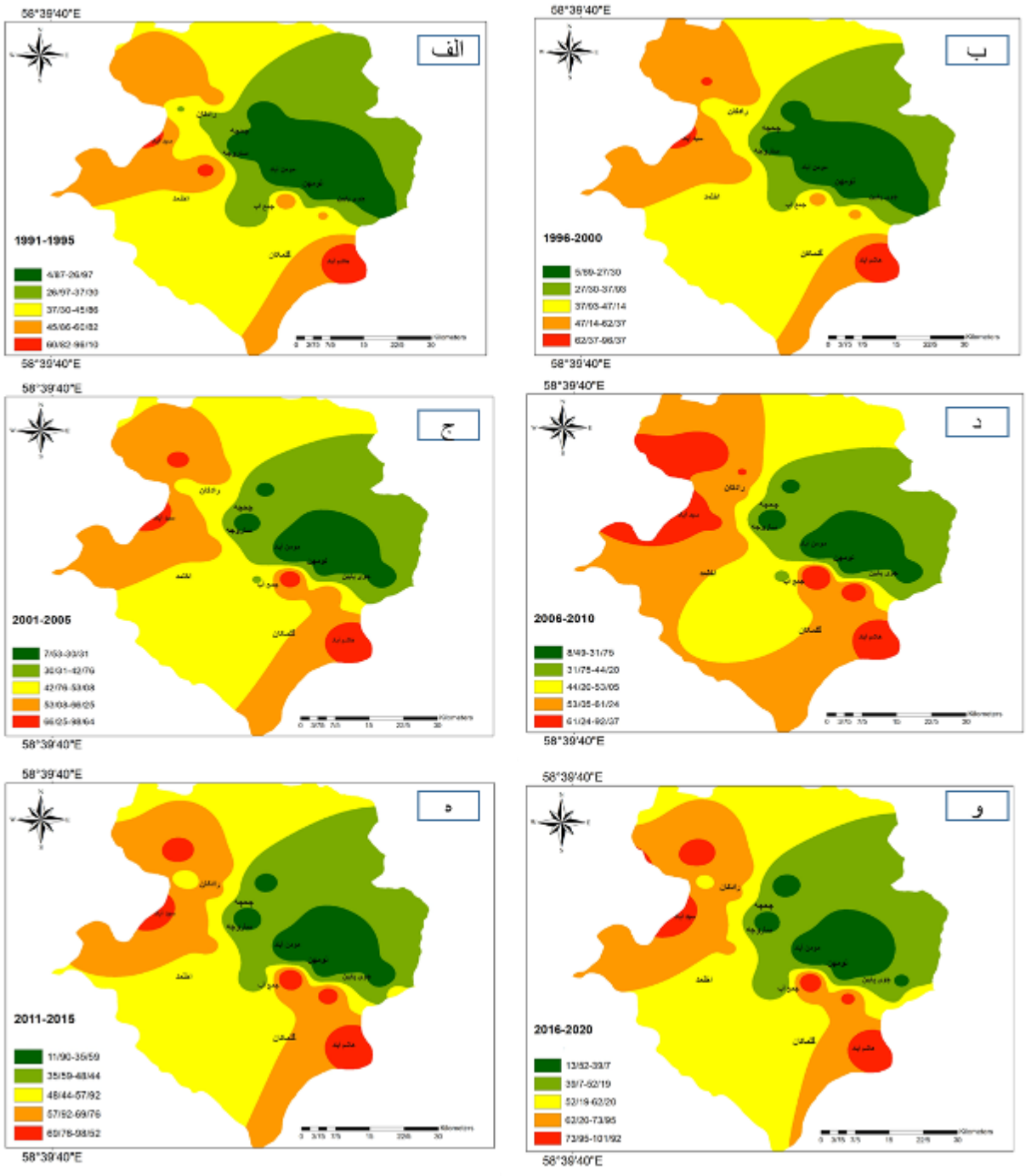
مختصات چاه			فرونشست رخ داده در محدوده هر چاه بر حسب سانتی متر			
اسم چاه	X	Y	۲۰۱۸-۲۰۱۷	۲۰۱۸-۲۰۱۹	۲۰۱۹-۲۰۲۰	۲۰۲۰-۲۰۲۱
نومهن	٦٩٧٧٠٠	٤٠٦١٥٠٠	-۰.۰۰۲۲۵	-۰.۰۰۳۲۹	-۰.۰۰۸۰۷	-۰.۰۵٤۳
هاشم آباد	٧٠٢١٠٠	٤٠٤٠٦٠٠	۰.۰۱٦۰۹	-۰.۰۰۱۳۷	۰.۰۲٤۸۸	۰.۰۲۰۲۸
اخلمد	٦٧٦١٠٠	٤٠٦١٤٥٠	۰.۰۱۷۸۱	۰.۰۰۲۷۲۹	۰.۰۳۰۱۲	۰.۰۱۷٤۷
جمع آب	٦٩٠٦٠٠	٤٠٥٤٥٠٠	۰.۰۰۳۷۳۵	-۰.۰۰۷۸۷	۰.۰۱۲٦۷	۰.۰۱۳۰٦
جوی پایین	٧٠٦٨٠٠	٤٠٥٤٨٠٠	۰.۰۰٤۰۹۱	۰.۰۰٤۰۷۸	۰.۰۰٤۸۱٤	-۰.۰۰۹٤۹
ساروجه	٦٨٥٥٠٠	٤٠٧٥٣٠٠	۰.۰۰۷٤۱۷	۰.۰۰۸۰۳۲	۰.۰۰۹۳٤	-۰.۰۳٦۱۹
سید آباد	٦٧٢٥٠٠	٤٠٦٦٥٠٠	۰.۰۱۷۳۳۱	-۰.۰۰۷٤۵	۰.۰۲۰۷۹۸	۰.۰۰۳۱٦۲
چچچه	٧١٢٦٠٠	٤٠٤٦٤٠٠	-۰.۰۵٦۸۲	-۰.۱۰۰٦۲	-۰.۰٦۹۸۱	-۰.۰۹۵۵۵

با توجه به جدول(۲) بیشترین میزان فرونشست در بازه زمانی ۵ ساله از سال ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۱ در اطراف چاه چچچه رخ داده است و هر ساله مناطق اطراف این چاه نسبت به چاه‌های دیگر که مورد بررسی قرار دادیم بیشترین فرونشست را داشته و همانطور که مشاهده می‌شود فرونشست در چاه ها در بررسی‌های سالانه متفاوت است بطوریکه در برخی سالها اصلا افت سطح نداشته برای مثال چاه ساروجه در سال‌های ۲۰۱۷-۲۰۲۰ فرونشست نداشته و در بازه یکساله ۲۰۲۰-۲۰۲۱ افت سطح آب و فرونشست رح داده است.



شکل٤. نقشه موقعیت روستاها با فرونشست در منطقه مورد مطالعه

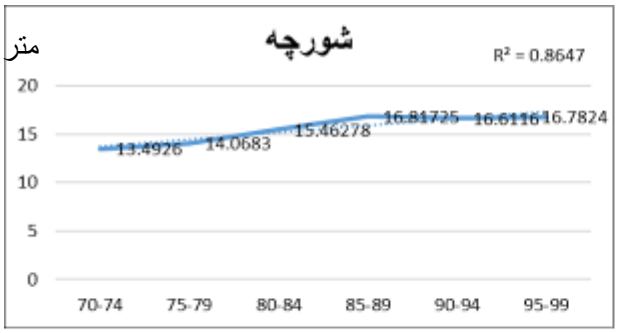
بر اساس شکل(۵) که نقشه تراز آب زیرزمینی شهرستان چناران را از سال ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۸ (۱۹۹۱تا۲۰۲۰) نشان می‌دهد می‌توان بیان نمود که طی سال‌های مذکور بیشترین افت سطح آب در بخش مرکز و جنوب اتفاق افتاده است که مقدار آن بین ٤/۸۷ تا ۱۰۱/۹۱متر می‌رسد که می‌تواند به دلیل افزایش تعداد چاه‌های عمیق و تخلیه از آبخوان نسبت به سایر قسمت‌های دشت باشد. این میزان افت با توجه به نقشه-های بدست آمده از رادار در سال‌های مورد بررسی مطابقت نشان می‌دهد. که ارتباط افت آب های زیر زمینی را با میزان فرونشست نشان می‌دهد.

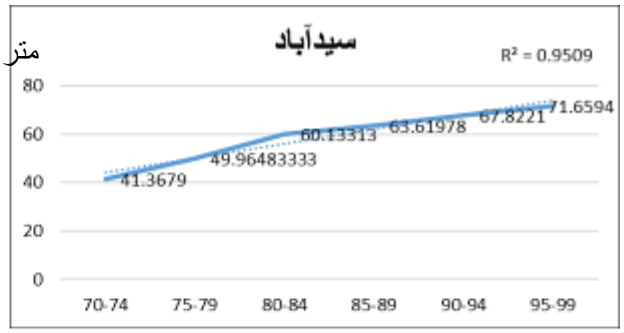


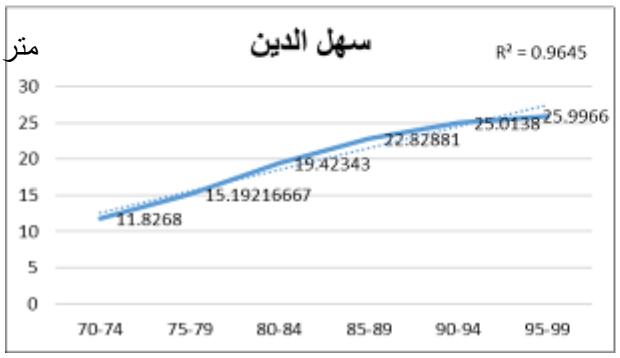
شکل۵. نقشه اختلاف ارتفاع بر اساس متر از سال ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۸ (۱۹۹۱ تا ۲۰۲۰)

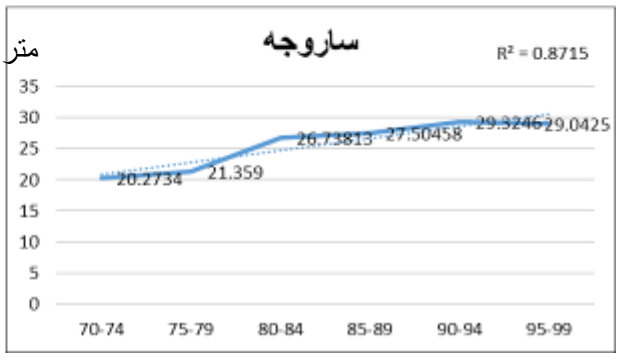
بر اساس آمار ۲۸ ساله بعد از بررسی چاه‌های شهرستان چناران به بررسی برخی چاه‌های دشت مشهد می پردازیم۱۶ چاه از ٥٤ چاه در نظر گرفته شده را انتخاب کرده با به دست آوردن نمودارهای هیدروگراف تراز آب و با

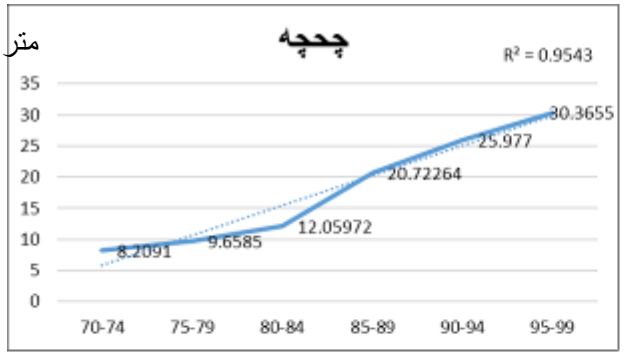
بدست آوردن R2 از روند افت و خیز چاه‌ها و همچنین میزان افت سطح آب زیرزمینی برای مختصات هر کدام از چاه های محدوده، رابطه معناداری آن‌ها مورد بررسی قرار می دهیم. بر اساس نمودارهای سطح آب (شکل۶)در چاه های مومن‌آباد، یکه لنگه ، جیم آباد، شورچه، سیدآباد، سهل الدین، چحچه، ساروچه، تنگل شور، نومهن و جمع‌آباد (شکل۸) روند افت آب به صورت صعودی بوده و در بقیه چاه های مورد بررسی ابتدا افت آب کم شده و دوباره افزایش یافته است. این روند صعودی دلیلی بر برداشت آب های زیرزمینی و افت سطح آنها است که باعث فرونشست زمین می‌شود.

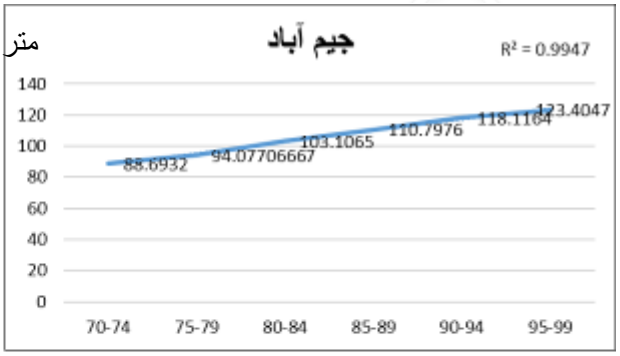


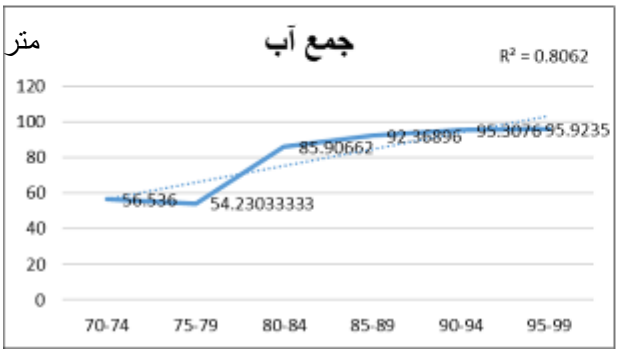


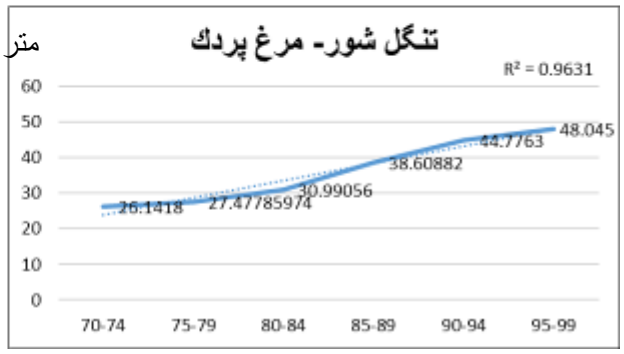


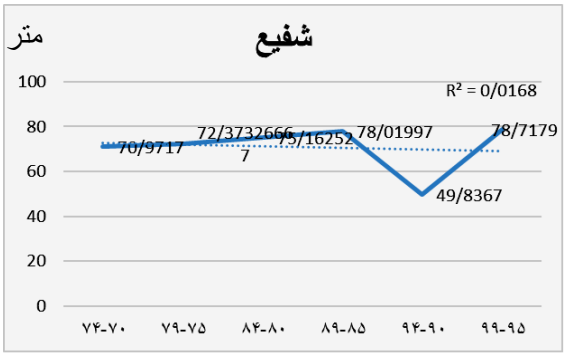


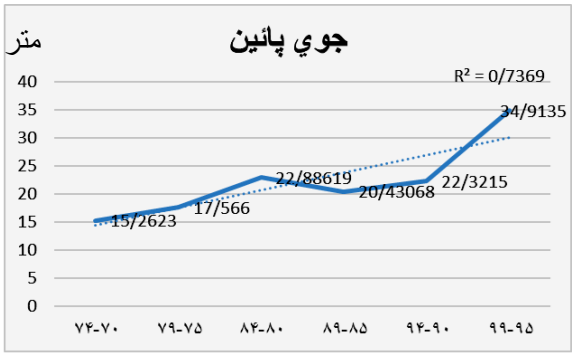

چچچه
متر
R² = 0.9543
35
30
25
20
15
10
5
0
8.2091
9.6585
12.05972
20.72264
25.977
30.3655
70-74
75-79
80-84
85-89
90-94
95-99

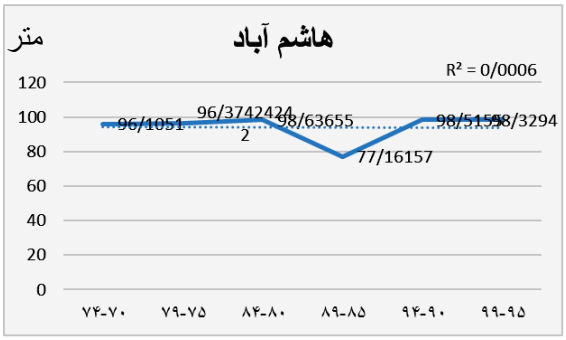

جیم آباد
متر
R² = 0.9947
140
120
100
80
60
40
20
0
88.6932
94.07706667
103.1065
110.7976
118.1164
123.4047
70-74
75-79
80-84
85-89
90-94
95-99

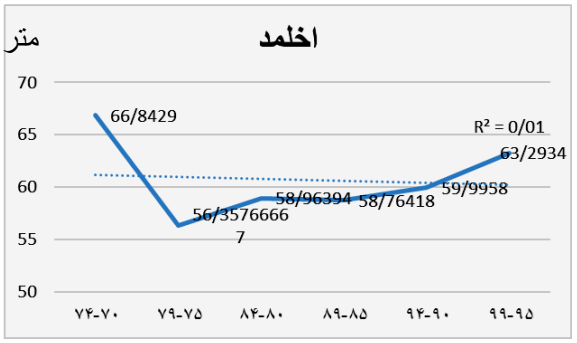

جمع آب
متر
R² = 0.8062
120
100
80
60
40
20
0
56.536
54.23033333
85.90662
92.36896
95.3076
95.9235
70-74
75-79
80-84
85-89
90-94
95-99

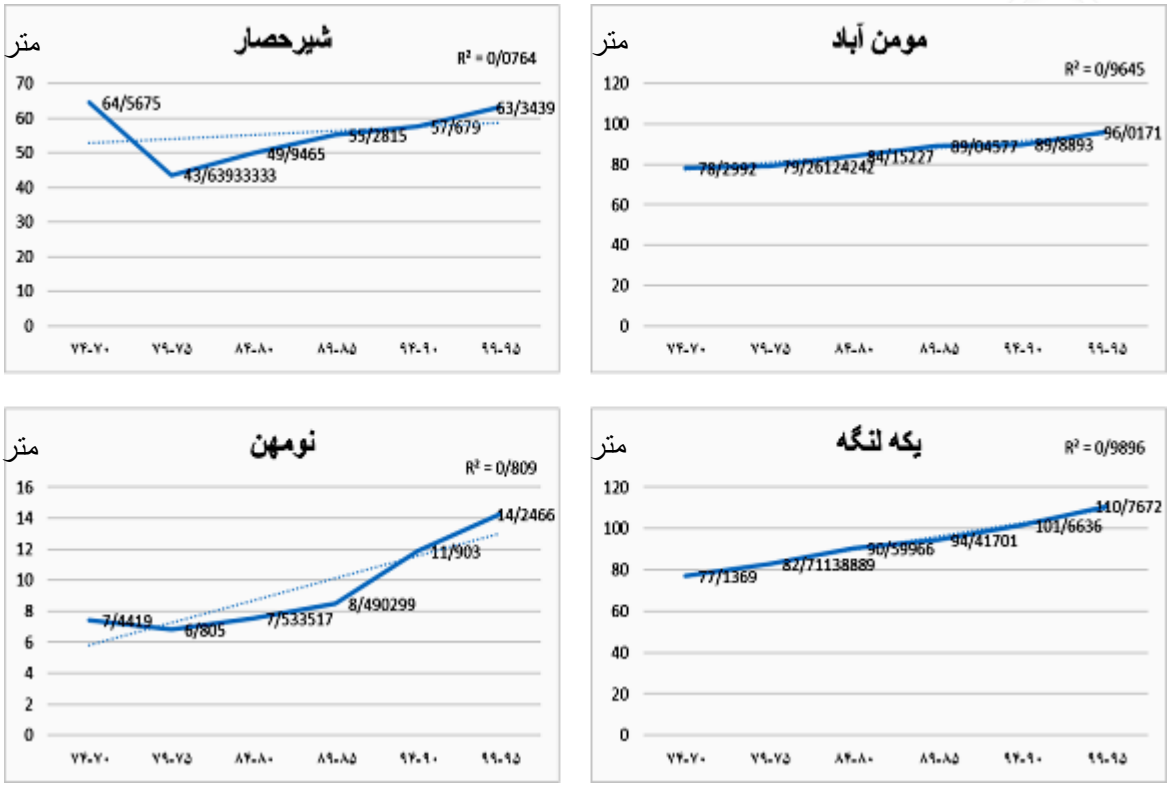

تنگل شور- مرغ پردك
متر
R² = 0.9631
60
50
40
30
20
10
0
26.1418
27.47785974
30.99056
38.60882
44.7763
48.045
70-74
75-79
80-84
85-89
90-94
95-99


شفيع
متر
R² = 0/0168
100
80
60
40
20
0
70/9717
72/3732666
7
75/16252
78/01997
49/8367
78/7179
۷۴-۷۰
۷۹-۷۵
۸۴-۸۰
۸۹-۸۵
۹۴-۹۰
۹۹-۹۵

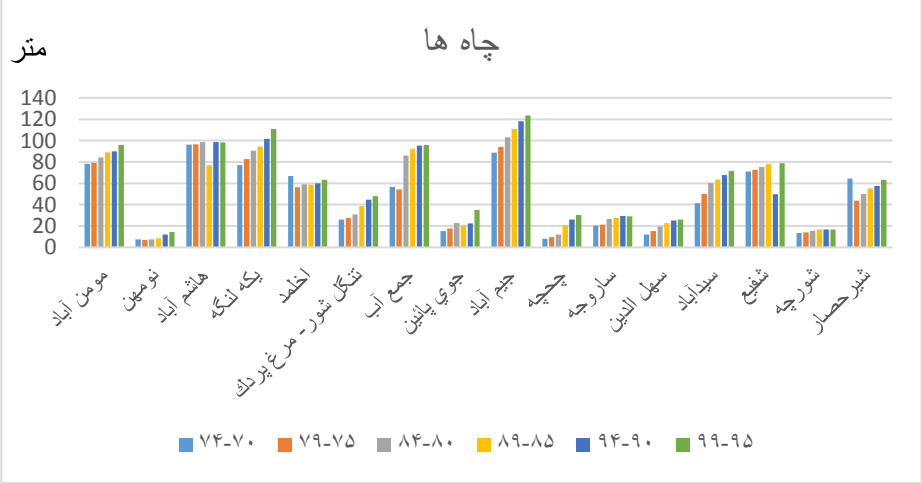

جوي پائين
متر
R² = 0/7369
40
35
30
25
20
15
10
5
0
15/2623
17/566
22/88619
20/43068
22/3215
34/9135
۷۴-۷۰
۷۹-۷۵
۸۴-۸۰
۸۹-۸۵
۹۴-۹۰
۹۹-۹۵


هاشم آباد
متر
R² = 0/0006
120
100
80
60
40
20
0
96/1051
96/3742424
2
98/63655
77/16157
98/51598/3294
۷۴-۷۰
۷۹-۷۵
۸۴-۸۰
۸۹-۸۵
۹۴-۹۰
۹۹-۹۵

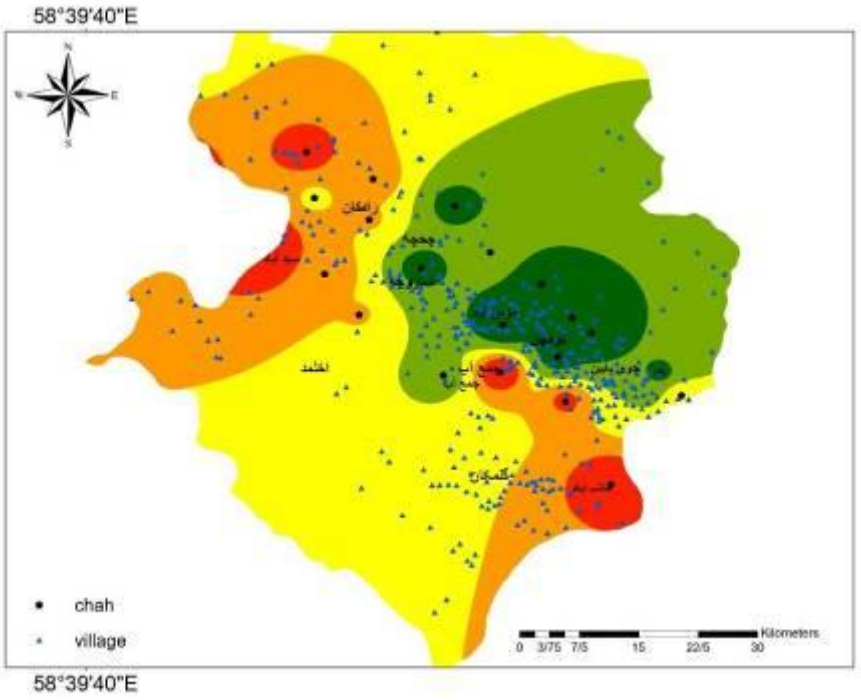

اخلمد
متر
R² = 0/01
70
65
60
55
50
66/8429
56/3576666
7
58/96394
58/76418
59/9958
63/2934
۷۴-۷۰
۷۹-۷۵
۸۴-۸۰
۸۹-۸۵
۹۴-۹۰
۹۹-۹۵



شکل٦. نمودار افت سطح آب بر اساس متر از سال ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۸ (۱۹۹۱ تا ۲۰۲۰)



شکل۷. نمودار افت سطح آب زیرزمینی چاه های مورد مطالعه دربازه ۲۸ساله(متر)



شکل۸. موقعیت روستاهایی که بیشترین افت سطح آب زیرزمینی را دارند

با توجه به شکل(۸) و شکل(٤) همانطور که مشاهده می شود مناطق افت سطح آب و فرونشست برهم منطبق هستند و نقشه‌های فرونشست و اختلاف ارتفاع با هم تطابق دارند. فرونشست در اطراف چاه هایی که در ان ها افت سطح آب داشته‌ایم رخ داده است.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق فرونشست زمین در شهرستان چناران در طول دوره ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۱ با استفاده از تکنیک‌های سری زمانی InSAR بررسی شد. جهت انجام پژوهش حاضر از روش تداخل سنجی راداری استفاده شد، و در این روش با مقایسه فازهای دو تصویر راداری از یک منطقه در دو زمان مختلف میزان فرونشست زمین را در آن بازه های زمانی مورد نظر محاسبه کردیم. نتایج تحقیق در طول ٤ دوره آماری در منطقه مورد مطالعه نشان داد که میزان فرونشست ٤۲ سانتی‌متر در سال می باشد. میزان فرونشست‌های ثبت شده هر دوره به ترتیب ۹ سانتی متر برای ۲۰۱۷–۲۰۱۸، برای دوره ۲۰۱۸–۲۰۱۹ حدود ۱۰سانتی متر، ۱۰ سانتی متر برای دوره ۲۰۱۹–۲۰۲۰ و ۱۳ سانتی متر برای دوره ۲۰۲۰–۲۰۲۱ بدست آمد. بر اساس نتایج بدست آمده بیشترین میزان فرونشست در مناطق مرکزی شهرستان چناران اتفاق افتاده است. سطح آب چاه‌ها در بازه زمانی ۲۸ ساله از ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۸ (۱۹۹۱ تا ۲۰۲۰) به بیشترین حد کاهش خود رسیده‌اند میزان افت سطح آب در این بازه زمانی حداقل ٤/۸۷ متر و حداکثر۱۰۱/۹۱متر بوده و بیشتر در مناطق مرکزی و جنوب شرقی رخ داده که

متاثر از کاهش بارندگی، خشکسالی و زمین‌های برنج و باغی زیاد در منطقه و فشار بیش از حد به منابع آب های زیرزمینی در این سال‌ها می باشد. مقایسه بین تحلیل‌های مستخرج از داده‌های نقاط چاه و تصاویر ماهواره‌ایی نیز موکد رابطه بین پایین آمدن سطح آب های زیرزمینی و فرونشست زمین در منطقه مورد مطالعه است به خصوص در روستای نومهن که بیشترین میزان افت سطح آب زیرزمینی را دارا می‌باشد و در پهنه خطر فرونشست زیاد هم قرار دارند. در نهایت با استفاده از نقشه پهنه‌بندی خطر فرونشست مشخص شد. ضروری است سازمان‌ها و نهادهای متولی با اتخاذ سیاست ها و برنامه ریزی های مناسب، پیش از وقوع بحران درصدد کاهش هر گونه آسیب به سکونتگاه های انسانی، جمعیت و زیرساخت های موجود در این مناطق باشند. قسمت مرکزی شهرستان چناران 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 ، خشکسالی‌های متوالی و احتمال تداوم آن در سال‌های آینده عواملی برای استفاده هر چه بیشتر آب‌های زیرزمینی است که خود باعث رخداد فرونشست در سطح وسیع تر می‌شود. جهت مقایسه و صحت‌سنجی نتایج تحقیق حاضر با تحقیقات بعمل آمده مشابه در دشت مشهد پرداخته شد. قره چلو و همکاران (۱٤۰۰) در بررسی فرونشست دشت مشهد به این نتیجه رسیدند که فرآیند تداخل سنجی راداری برای ماهواره Sentinel-1 بیانگر بیشینه فرونشست ۱٦/۱ سانتی متر از تاریخ ۲۸/۰۵/۲۰۱۵تا ۲۲/۰۵/۲۰۱٦ (طی ۳٦۰ روز)، بیشینه نشست ۱۷.٤ سانتی متر از تاریخ ۲۲/۰۵/۲۰۱٦ تا ۲۹/۰۵/۲۰۱۷ (طی ۳۷۲ روز) و بیشینه فرونشست ۲۰/۳ سانتی‌متر از تاریخ ۲۹/۰۵/۲۰۱۷ تا ۲٤/۰۵/۲۰۱۸ (طی ۳٦۰ روز) است. عمادالدین و همکاران(۱٤۰۲) در طول دوره آماری ۲۰۱۷-۲۰۲۱ در منطقه دشت مشهد ٦٤ سانتیمتر فرونشست به دست آوردند. نتایج تحقیقات محققین فوق نیز نشانگر وجود فرونشست ناشی از برداشت بی‌رویه آبهای زیرزمینی در دشت مشهد با مشابهت زیاد با دشت چناران هست. دشت چناران نیز در داخل دشت بزرگ مشهد واقع شداست. بیشترین میزان افت سطح آب زیرزمینی در مناطق مرکزی و جنوب شرقی محدوده مورد مطالعه رخ داده است.

منابع

ابراهیمی، عطرین ، قاسمی، افشان، گنجائیان، حمید (۲۰۲۰). پایش میزان فرونشست محدوده شهری پاکدشت با استفاده از روش تداخل‌سنجی راداری. جغرافیا و روابط انسانی، دوره ۲، شماره ۸ ، صص ٤۱-۲۹.

آقایاری، لیلا، عابدینی، موسی، اصغری سراسکانرود، صیاد (۱٤۰۰). برآورد میزان فرونشست با استفاده از تکنیک تداخل-سنجی راداری و پارامترهای آبهای زیرزمینی و کاربری اراضی(مطالعه موردی: دشت اردبیل). پژوهش های ژئومورفولوژی کمی.سال یازهم، شماره ۱، صص ۱۳۲-۱۱۷.10.22034/GMPJ.2022.304999.1302

خرمی، محمد، ابریشمی، سعید ، مقصودی، یاسر (۱۳۹۸). تعیین فرونشست شهر مشهد به روش تداخل سنجی راداری پراکنشگر دائمی. نشریه مهندسی عمران امیرکبیر، دوره ۵۱ شماره ٦، صص ۱۲۰٤-۱۱۸۹. 10.22060/CEEJ.2018.14300.5617

دولتی، جواد، لشکریپور، غلامرضا، حافظی مقدس، ناصر، صالحی متعهد، فهیمه (۱۳۹۵). بررسی روند توسعه اثرات و مکانیسم فرونشست زمین در دشت مشهد. همایش تخصصی پدیده فرونشست زمین در ایران.

روستایی، شهرام، نجف وند، سمیرا(۲۰۲۳). پایش پدیده فرونشست دشت‌ها بر مبنای الگوریتم خودکار SNAP2STAMPSبه روش تداخل سنجی راداری(PSI) (مطالعه موردی: دشت مرند). جغرافیا و پایداری محیط،دوره ۱۲ شماره ٤٤، صص۷٤-۵۷.10.22067/GEOEH.2022.74932.1161

سازمان آب منطقه‌ای شهرستان مشهد، (۱۳۹۹).

شفیعی، نجمه، مختاری، لیلاگلی ، امیر احمدی، ابوالقاسم، زندی، رحمان (۱۳۹۹). بررسی فرونشست دشت نور آباد با استفاده از روش تداخل سنجی راداری. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال هشتم، شماره ٤، صص ۱۱۱-۹۳. 10.22034/GMPJ.2020.106424

عابدینی، موسی، (۱۳۹٦). مبانی فرونشست زمین (مخاطرات هیدروژئومورفولوژی و مدیریت محیط). انتشارات دانشگاه محقق اردبیلی، چاپ یکم، ۲۳۰ صفحه.

عابدینی، موسی، خان بیگی ، ع، موس پور، ت، دانشور،ح، (۱۳۹۵). تعیین مناطق احتمالی فرونشست دشت روانسر-سنجابی با استفاده از GIS و AHP. دومین کنگره بین‌المللی علوم زمین و توسعه شهری، شرکت کیان تایر و جهاد دانشگاهی آذر بایجان شرقی.

عابدینی، موسی، (۱۳۸۸). بررسی مسائل هیدروژئومورلوژی و فرونشست ناشی از افت سطح آبهای زیرزمینی در دشت اردبیل و راهکارها. دانشگاه محقق اردبیلی. مجموعه مقالات.

عابدینی، موسی، آقایاری، لیلا، اصغری سکانرود، صیاد(۱٤۰۱). ارزیابی و پهنه‌بندی خطرفرونشست با استفاده از الگوریتم تطبیقی MABAC و ANP (مطالعه‌ی موردی: دشت اردبیل)، جغرافیا و مخاطرات محیطی، ویژه نامه (چالش جهانی

فرونشست زمین: مدیریت بحران یا بحران مدیریت)نویسندگان، سال یازدهم، شمارۀ چهل و چهارم، زمستان ۱٤۰۱، صص ۲۱-۱.10.22067/GEOEH.2022.74202.1143

عابدینی،موسی،محمدزاده،مریم (۱٤۰۱). تغییرات کاربری اراضی و ارتباط آن با سطح آب‌های زیرزمینی و مخاطرات آن (مطالعۀ موردی: شهرستان مالرد). مدیریت مخاطرات محیطی. دورۀ ۹ ، شمارۀ ۱ ، صص ۳۱-٤٤.10.22059/JHSCI.2022.339360.709

عابدینی، موسی، سرایی، بهناز (۱٤۰۲). بررسی تکامل ژئومورفولوژی دشتهای انباشتی، از طریق گرانولومتری سازندها، نتایج لوگها و اثرات تکتونیک، مطالعه موردی(دشتهای هرزندات، هادیشهر و گلفرج)، مطالعات علوم محیط زیست، دوره هشتم، شماره سوم، فصل پاییز، صص ٦۸۲۵ -٦۸۳۷ .10.22034/JESS.2022.370843.1909

عمادالدین، سمیه، نظری گزیک، زهرا(۱٤۰۲). برآورد میزان فرونشست زمین و تغییرات ترازآب زیرزمینی در دشت مشهد.مجله جغرافیا و توسعه. دوره ۲۱، شماره ۷۳ .10.22111/GDIJ.2023.42816.3417

فتح‌الهی، نرگس، آخوندزاده هنزائی، مهدی، بحرودی، عباس (۱۳۹٦). بررسی فرونشست زمین در اثر استخراج مواد نفتی با استفاده از روش تداخل سنجی رادار. مجله سپهر، دوره ۷۲، شماره ۱۰۵، صص ٤۳-۲۳.

فتوحی،صمد، مدرسی،سیدعلی(۲۰۲۳). بررسی میزان فرونشست زمین با استفاده از تکنیک تداخل‌سنجی راداری(D-InSAR) در دشت نهبندان- سهل‌آباد. سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی،دوره ۱٤ شماره ۲،صص ٦۲-۵۱.10.30495/GIRS.2023.685498

فرزین‌کیا، ربابه، زنگنه‌اسدی، محمدعلی، زندی، رحمان (۱٤۰۰). پهنه‌بندی خطر فرونشست زمین در دشت جوین با استفاده از مدل تحلیل شبکه‌ای_ فازی . دوره ۲۱، شماره ۷٤ . صص ۷۱-۵۱.

قره‌چلو، سعید، اکبری قوچانی،حسام، گلیان،سعید، گنجی،کامران (۱٤۰۰). ارزیابی میزان فرونشست در ارتباط با آب های زیرزمینی با کمک ماهواره راداری سنتی۱ و الوس۱(منطقه مورد مطالعه: دشت مشهد). سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی. دوره ۱۲ شماره ۳. صص ۱٤-۱۱.

قهرودی‌تالی، منیژه، خدامرادی، فرهاد،علی‌نوری، خدیجه(۱٤۰۲). تأثیر افت آب‌های زیرزمینی بر مخاطرات فرونشست زمین در دشت دهگالن، استان کردستان.مدیریت مخاطرات محیطی.صص ۵۷-۷۰.10.22059/JHSCI.2023.359130.777

لشکری‌پور، غلامرضا، غفوری، محمد، رستمی بارانی، حمیدرضا (۱۳۸۷). بررسی علل تشکیل شکاف‌ها و فرونشست زمین در غرب دشت کاشمر. مجله مطالعات زمین-شناسی ، دوره ۱، شماره ۱. صص ۱۱۱-۹۵.

مرادی، آیرین، عماد الدین، سمیه، آرخی، صالح، رضائی، خلیل (۱۳۹۹). تحلیل زمین با استفاده از تکنیک تداخل‌سنجی راداری اطلاعات چاه‌های ژئوتکنیکی و پیزمتری. نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال هفتم، شماره۱ ، صص ۱۷۶-۱۵۳. 10.29252/jsaeh.7.1.11

واعظی، علیرضا، غضبان، فریدون، توکلی، وحید، سارنگ،امین (۱۴۰۰). ارزیابی تغییرات اقلیم فرونشست جازموریان در طول قرن ۲۱ میلادی. دوره ۲۱، شماره ۷۵ – صص ۱۸-۱.20.1001.1.1735322.1400.21.75.1.7

-Agustan, A., Sulaiman, A.,Ito,A. (2016).Measuring Deformation in Jakarta Through Long Trm Synthetic Aperature 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.

-Chen, B., Gong, H., Gao, M. (2020). Investigating land subsidence and its causes along Beijing high-speed railway using multi-platform InSAR and a maximum entropy model,International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation,Vol96, https://doi.org/10.1016/j.jag.2020.102284.

-Chen, M., Tomás, R., Li, Zh., Motagh, M., Li, T., Hu, L., Gong, H., Li, X., Yu, J., Gong, X. (2016). Imaging Land Subsidence Induced by Groundwater Extraction in Beijing (China) Using Satellite Radar Interferometry, Remote Sens, 8(6), 468p.

-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.

-Du, Y., Feng, G., Peng, X., Li, Z (2017), Subsidence Evolution of the Leizhou Peninsula, China, Based on InSAR Observation from 1992 to 2010, Appl. Sci. 2017, 7, 466; doi:10.3390/app7050466

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

-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.

-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.

-Notti,D., Mateos,R.M., Monserrate, O., Devanthery, N., Peinado, T., Roldan, F.J., Fernandez-Chacon,F., Galve, J.P., Lamas,F., Azanon, J.M.(2016). Lithological control of land subsidence induced by groundwater withdrawal in new urban AREAS (Granada Basin, SE Spain). Multiband DInSAR monitoing. Hydrological Process, Vol.30, pp. 2317-2331.