



بررسی پدیده‌ی فرونشست و ارتباط آن با منابع آب زیرزمینی در دشت جوین

کوثر عربی¹، غلامرضا لشکری پور (نویسنده مسئول)²، فهیمه صالحی متعهد³

¹ گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی، مشهد kousar.arabi23@gmail.com

² گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی، مشهد lashkaripour@um.ac.ir

³ گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی، مشهد fahimehsalehi.m@gmail.com

چکیده

میزان بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی در سال‌های اخیر به دلایل رشد جمعیت، افزایش فعالیت‌های اجتماعی، اقتصادی و صنعتی رو به افزایش است. دشت جوین در غرب خراسان رضوی یکی از دشت‌های بحرانی استان است که به علت برداشت‌های بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی و از طرفی کاهش نزولات جوی در چندسال اخیر با پدیده‌ی فرونشست رو به رو شده است. میزان برداشت سالانه از منابع آب در سال 1400-01، به 421/1 میلیون متر مکعب رسیده است. سطح آب در دشت در بازه‌ی 33 ساله منتهی به سال 1401 با افت 27 متری، یعنی به عبارتی 80 سانتی‌متر در سال روبه‌رو می‌باشد. این روند باعث ایجاد فرونشست‌های غیرقابل بازگشت در محدوده می‌شود. شناخت ابعاد مختلف پدیده‌ی فرونشست با توجه به خشکسالی‌های اخیر و برداشت روزافزون از منابع زیرزمینی و توسعه نشست زمین و شکاف‌های مرتبط با آن در دشت جوین دارای اهمیت می‌باشد. در این پژوهش نقشه‌ی فرونشست محدوده در سال 1400-01 به روش تداخل سنجی راداری در نرم‌افزار GMTSAR تولید شده است و با اطلاعات منابع آب در دشت مقایسه می‌شود. تکنیک تداخل سنجی راداری با بهره‌گیری در تمام شرایط آب و هوایی و در تمام مدت شب و روز و با توانایی پوشش گسترده سطح زمین و قدرت تفکیک مکانی و زمانی بسیار بالا، یکی از سریع‌ترین، دقیق‌ترین و کم هزینه‌ترین روش‌های سنجش از دور برای پیش‌بینی و بررسی تغییرات سطح زمین است. نتایج نشان می‌دهد افت سطح آب یک عامل اولیه و محرک برای فرونشست در دشت است ولی تنها عامل نیست و شرایط زیر سطحی آبخوان در فرونشست و میزان نرخ فرونشست نقش مهمی دارد؛ به گونه‌ای که در محدوده‌هایی که تراکم چاه‌های بهره‌برداری و افت سطح آب بیشتر است به عنوان مثال در مرکز دشت، فرونشست نیز بیشتر است. نرخ فرونشست سالانه در دشت رو به افزایش می‌باشد و به 18 سانتی‌متر در سال رسیده است. در شرق دشت با توجه به اینکه تراز آب زیرزمینی افت کرده است، ولی فرونشستی مشاهده نمی‌شود که به دلیل بافت خاک و شرایط زیرسطحی منطقه است. در این مناطق بر خلاف مرکز دشت که خاک بیشتر از نوع ریزدانه و مستعد فرونشست است و با آبرفت‌های کواترنری پوشیده شده است، خاک از نوع دانه درشت می‌باشد.

واژه‌های کلیدی

آب زیرزمینی، افت سطح آب، فرونشست، دشت جوین، شرایط زیرسطحی.

1. مقدمه

فرونشست زمین یکی از مشهودترین اثرات زیست محیطی پمپاژ آب زیرزمینی است. پدیده فرونشست یک پدیده‌ی زیست محیطی، به معنی نشست تدریجی و یا پایین رفتن ناگهانی سطح زمین به دلیل تراکم مواد زیرسطحی است. به عبارت دیگر فرونشست، حرکت قائم یا نشست تدریجی و یا فرورفتن ناگهانی سطح زمین به دلیل تراکم مواد زیرسطحی است که به علت‌های گوناگون رخ می‌دهد. این پدیده در بسیاری از مناطق جهان به دلیل مشکلاتی که ایجاد کرده مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است. در دهه اخیر، پدیده فرونشست در بخش وسیعی از دشت‌های ایران به علت خشکسالی اقلیمی و به دنبال آن آن



برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی اتفاق افتاده است. این امر سبب بروز خسارت‌های زیست محیطی، اقتصادی و اجتماعی فراوانی شده است (چترسیماب و همکاران، 1399). رشد جمعیت در سال‌های اخیر و توسعه روز افزون فعالیت‌های اجتماعی، اقتصادی و صنعتی سبب شده است تا میزان بهره‌برداری از منابع آب به ویژه منابع آب زیرزمینی بیش از ظرفیت آن افزایش یابد. ادامه این وضعیت موجب خالی شدن مخازن آب زیرزمینی و ایجاد فرونشست‌های غیرقابل بازگشت می‌شود. مهمترین علت فرونشست منطقه‌ای سطح زمین در حوضه‌های رسوبی مناطق مرکزی، تراکم سفره‌های آب زیرزمینی در اثر برداشت بی‌رویه از سفره‌های آبدار ماسه‌ای متخلخل با لایه‌های آبدار رسی نفوذناپذیر که باعث ایجاد فرونشست در وسعت زیاد می‌شود. بیش از ۹۰ درصد نیاز آبی در ایران مرکزی، جنوب و شرق وجود اقلیم‌های نیمه‌خشک و خشک به دلیل بارندگی نامناسب، وقوع خشکسالی‌های بلندمدت و نبودن رودخانه‌های دائمی، سبب شده از طریق سفره‌های آب زیرزمینی تأمین شود. افت ممتد سطح آب زیرزمینی و متراکم شدن لایه‌ها و رسوبات سفره یکی از مشکلات مهم در ارتباط با برداشت بی‌رویه آب از سفره‌های زیرزمینی است. امکان ایجاد فرونشست در چنین دشت‌هایی بسیار زیاد است مقدار فرونشست زمین از افت سطح آب زیرزمینی در هر ۱۰ متر معمولاً بین ۱ تا ۵۰ سانتی‌متر است (قدمی، 1399). فرونشست در اثر برداشت آب زیرزمینی در دو محیط و شرایط مکانیکی متضاد ایجاد می‌شود. گسترده‌ترین محل ظهور این پدیده رسوبات سخت شده و نیمه‌سخت شده‌ای است که دارای لایه‌های آبدار شن و ماسه‌ای محصور است که درون آن‌ها میان لایه‌های کم تراوی رسی وجود دارد. افت سطح ایستایی با کاهش اتکای شناوری آب زیرزمینی نیز می‌تواند باعث انحلال نهشته‌های پرکننده غارها و ریزش غارها شود (فرزین‌کیا، 1398). بیش از 90 درصد استان‌های ایران به دلیل برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی با فرونشست زمین مواجه هستند (Memarian, Sorkhabi et al., 2022). نشست عمدتاً در رسوبات تحکیم نیافته تا نیمه تحکیمی (لایه‌های نیمه نفوذپذیر) که در مجاورت لایه‌های شن و ماسه قرار دارد انجام می‌شود (طاحونی، 1386). در این عمل، تراکم برگشت ناپذیر در آبخوان ایجاد می‌شود البته این عمل زمان‌بر بوده و به آهستگی به وقوع پیوسته و در اثر آن زهکشی آب از لایه ریزدانه به دلیل افت فشار هیدرولیکی انجام می‌پذیرد. در چنین شرایطی یک تراکم غیر الاستیک به دلیل افزایش تنش موثر (اعمال تنش‌هایی بیش از تنش‌هایی که قبلاً تحمل کرده) در خاک رخ داده و چیدمان دانه‌های خاک به هم خورده و چیدمان جدید باعث کاهش حجم و ضخامت عمودی لایه و در نهایت نشست می‌گردد. لازم به یادآوری است که برگشت تراکم به مقدار خیلی کم در حدود 1 تا 5 درصد در لایه‌های خاک در صورت برگشت سطح آب امکان پذیر می‌باشد (لشکری‌پور، 1389). پدیده نشست منطقه‌ای زمین در اثر افت سطح آب زیرزمینی از نظر تأثیرات زیست‌محیطی دارای اهمیت فراوان می‌باشد. زیرا سبب تغییر مکانیسم‌های زیست‌محیطی شده و از طرفی عموماً در وسعت بسیار زیادی اتفاق می‌افتد (لشکری‌پور و همکاران، 1385). یکی از دشت‌های ایران که با مسئله فرونشست مواجه شده است، دشت جوین می‌باشد. از روش‌های موفق دنیا برای مدیریت فرونشست زمین می‌توان به کاهش برداشت، نظارت بر برداشت از منابع و جلوگیری از برداشت‌های غیر مجاز، جاگزینی آب‌های سطحی با آب زیرزمینی، تغذیه مصنوعی و مدیریت برداشت آب اشاره کرد (حافظی‌مقدس، 1396).

مطالعات متعددی در زمینه‌ی ارتباط پدیده‌ی فرونشست و آب زیرزمینی انجام شده است که از جمله جدیدترین آن‌ها می‌توان به مطالعات زارعی و همکاران (1399)، عدالت و همکاران (1400)، آل شیخ و همکاران (1400)، محمودی نسب و محسنی (1400)، اطهری و همکاران (1401)، آرم و همکاران (1401)، حیدری و جباری (1401)، اصغری سراسکانرود و محمدمزاده شیشه‌گران (1402)، قهرودی تالی و همکاران (1402) در ایران اشاره کرد.

مطالعات Van Ty et al., (2021), Jilong et al., (2019), Guzy and Malinowska, (2020), Chen et al., (2020), Yu et al., (2020), Zamanirad et al., (2020), Chu et al., (2021), Wang et al., (2018), Memarian Sorkhabi et al., (2022) نیز نمونه‌هایی از مطالعات در زمینه‌ی ارتباط پدیده‌ی فرونشست و آب زیرزمینی در جهان می‌باشند.

2. روش پژوهش

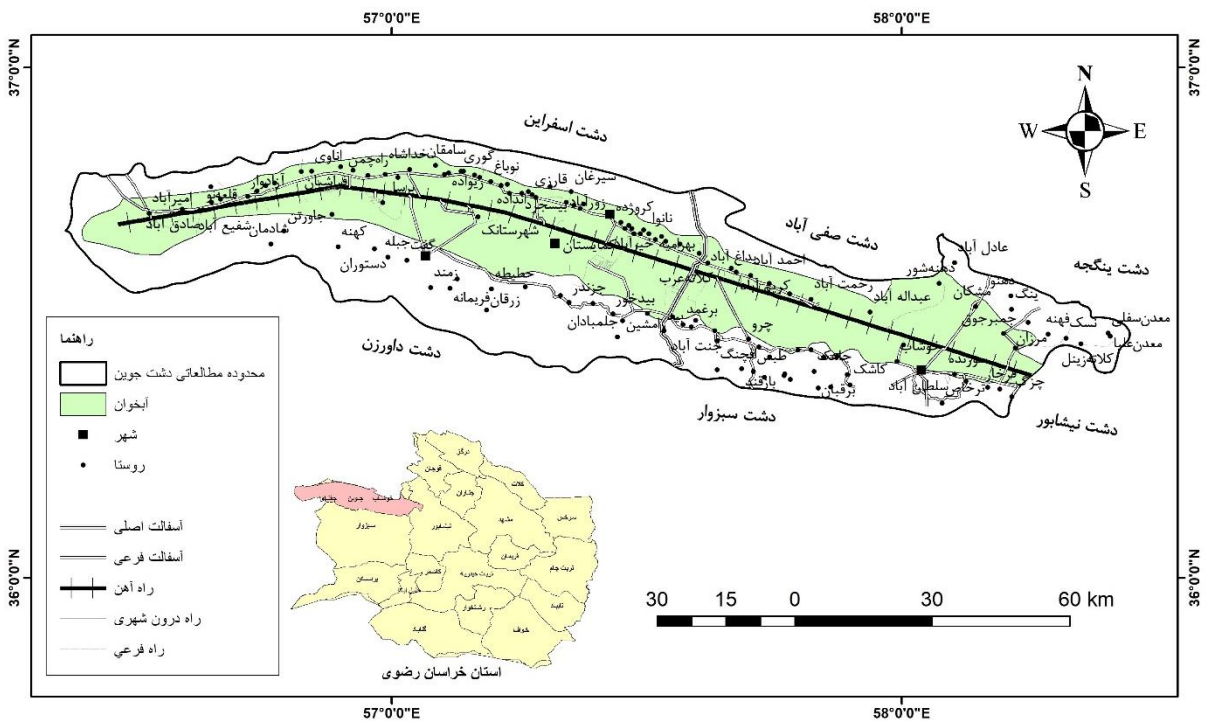
منابع موجود مرتبط با پژوهش شامل گزارشات و مقالات جمع‌آوری، بررسی و مطالعه شده است. از گزارشات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی شمال شرق کشور و گزارشات شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی در این پژوهش استفاده شده است. سپس تصاویر ماهواره‌ای Sentinel_A1 مربوط به سال 2021-2022 با استفاده از روش تداخل سنجی راداری (InSAR) که با پوشش وسیع و دقت قابل قبول و قدرت تفکیک بالای تصاویر ماهواره‌ای یکی از مناسب‌ترین روش‌ها برای شناسایی پدیده‌ی فرونشست است، و در نرم‌افزار GMTSAR پردازش شد و نقشه‌ی نرخ فرونشست سالانه در دشت تولید و به منظور بررسی رابطه فرونشست با منابع آب موجود در دشت استفاده شده است.

3. موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی دشت جوین

دشت جوین در شمال شهرستان سبزوار و غرب خراسان رضوی در طول $30^{\circ} 56'$ تا $30^{\circ} 58'$ طول شرقی و $36^{\circ} 15'$ تا $36^{\circ} 45'$ عرض شمالی واقع گردیده است. این دشت در سه شهرستان جوین، جغتای و خوشاب قرار دارد. منطقه دارای آب و هوای خشک و نیمه‌خشک است. این دشت از شمال به کوه‌های ساتیل میش، هرده جوین، رشته اسفراین، کوه مراد و شهرستان اسفراین (خراسان شمالی) از شمال شرق به ارتفاعات بزغاله کش، از شرق به کوه گرماب و شهرستان خوشاب، از جنوب به ارتفاعات

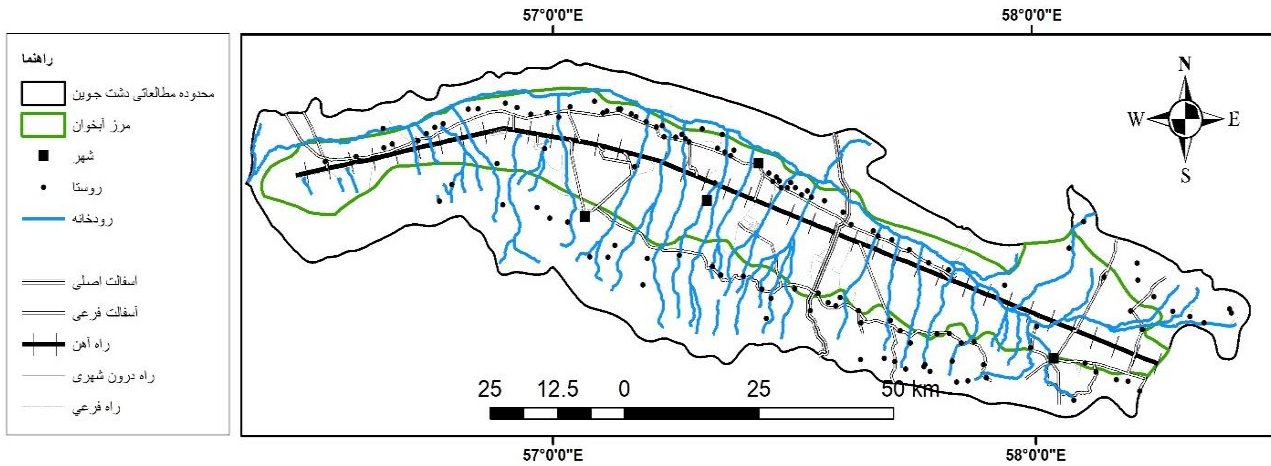


جغتای و شهرستان سبزوار، از غرب و شمال غرب به شهرستان جاجرم (خراسان شمالی) محدود می‌شود. برای دسترسی به دشت جوین به دلیل نزدیکی به سه شهرستان سبزوار، نیشابور و جوین می‌توان از طریق راه آهن تهران- مشهد در ایستگاه‌های نقاب، آزادوار و سلطان‌آباد و نیز جاده‌های آسفالتی سبزوار-نیشابور و سبزوار-قوچان استفاده نمود. شکل 1 موقعیت محدوده مطالعاتی دشت جوین را در استان خراسان رضوی نشان می‌دهد. ارتفاعات جنوبی عمدتاً از آندزیت بازالت، افیولیت، توف و در حاشیه دشت از کنگلومرا و مارن تشکیل شده‌اند. در حاشیه شمالی این ارتفاعات توسط آبراهه‌ها زهکشی شده که آبخوان دشت جوین را تغذیه می‌کنند. ناحیه شمالی نیز از ارتفاعات تشکیل شده است اما نسبت به بخش جنوبی کم ارتفاع‌تر هستند. بخش میانی دشت جوین را جلگه آبرفتی با وسعت 3657 کیلومتر مربع تشکیل داده که در حد فاصل دو بخش شمالی و جنوبی قرار دارد و سطح منطقه توسط سازندهای نرم آبرفتی پوشیده می‌شود (متولی‌زاده‌کاخکی، 1391). بیشتر انباشته‌های رسوبی در محدوده دشت جوین مربوط به نهشته‌های کواترنری می‌باشد.



4. آبخوان دشت جوین

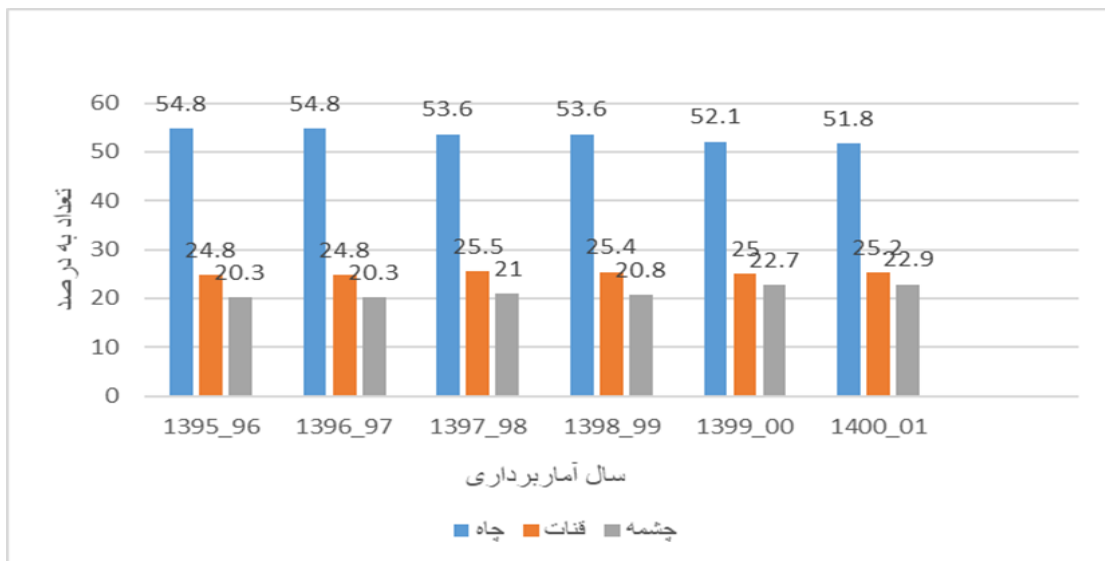
آبخوان دشت جوین یک حوضه فروافتاده با روند شرقی-غربی است و از شمال و جنوب توسط ارتفاعات محدود می‌شود. عمق سطح آب در ارتفاعات شمالی 50 متر و در جنوب دشت عمق آب به بیش از 250 متر می‌رسد. ضخامت آبرفت از حدود 30 متر تا بیش از 300 متر متغیر می‌باشد. حداکثر ضخامت رسوبات را در دامنه‌های شمالی ارتفاعات جنوبی و حداقل ضخامت آبخوان را در نزدیکی دامنه‌های جنوبی ارتفاعات شمالی دشت جوین داریم. وجود گسل شرقی-غربی در مجاورت ارتفاعات جنوبی دشت موجب فروافتادگی عمیق در این نواحی شده است. ورودی آبخوان از قسمت‌های شرق، شمال و جنوب است و خروجی در غرب آبخوان قرار دارد. در شکل 2 نقشه هیدرولوژی دشت جوین و مرز آبخوان دشت مشخص شده است. عوامل تغذیه آبخوان دشت جوین شامل نزولات جوی، رواناب‌های سطحی، تغذیه زیرزمینی، تغذیه ناشی از برگشت آب حاصل از آبیاری اراضی کشاورزی و آب حاصل از سایر مصارف می‌باشد و عوامل تخلیه آبخوان دشت جوین شامل چاه‌های بهره برداری، چشمه و خروجی زیرزمینی می‌باشد. بیش‌ترین تخلیه مربوط به چاه‌های بهره برداری می‌باشد. چاه‌های بهره برداری با دبی بالا در نواحی مرکزی متراکم شده است که آبخوان ضخامت بیش از 200 متر داشته و شرایط خوبی از نظر هیدروژولوژیکی فراهم است (گزارش فرونشست سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، 1398).



شکل 2. نقشه هیدرولوژی منطقه

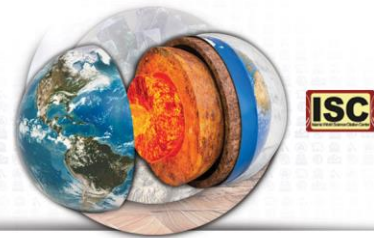
5. منابع آب زیرزمینی دشت جوین

در سال‌های گذشته با افزایش تقاضای آب جهت مصارف کشاورزی، شرب و صنعت حفر چاه‌های آب نیز گسترش پیدا کرده و میزان بهره برداری از آب‌های زیرزمینی در دشت جوین افزایش قابل توجهی پیدا کرده است. میزان حجم بارش سالانه در دشت 808/4 میلیون متر مکعب، بر اساس مساحت 4885 کیلومتر مربعی محدوده مطالعاتی در استان خراسان رضوی می‌باشد. برداشت‌های بی رویه از منابع آب زیرزمینی و از طرفی کاهش نزولات جوی باعث به وجود آمدن آسیب‌های جبران ناپذیری در منابع آب شده است. دشت جوین شامل 1140 حلقه چاه عمیق و نیمه عمیق، 555 رشته قنات و 505 دهنه چشمه می‌باشد. جبهه‌های ورودی زیرزمینی آبخوان دشت جوین از نواحی شرقی، شمال و جنوب می‌باشد و جبهه خروجی در منتهی الیه غرب آبخوان قرار دارد (شرکت آب منطقه ای خراسان رضوی، 1401). با توجه به شکل 3 مشخص می‌شود که از لحاظ تعداد منابع برداشت آب‌های زیرزمینی در دشت جوین، بیشترین برداشت از طریق چاه‌های عمیق و نیمه عمیق انجام می‌گیرد.

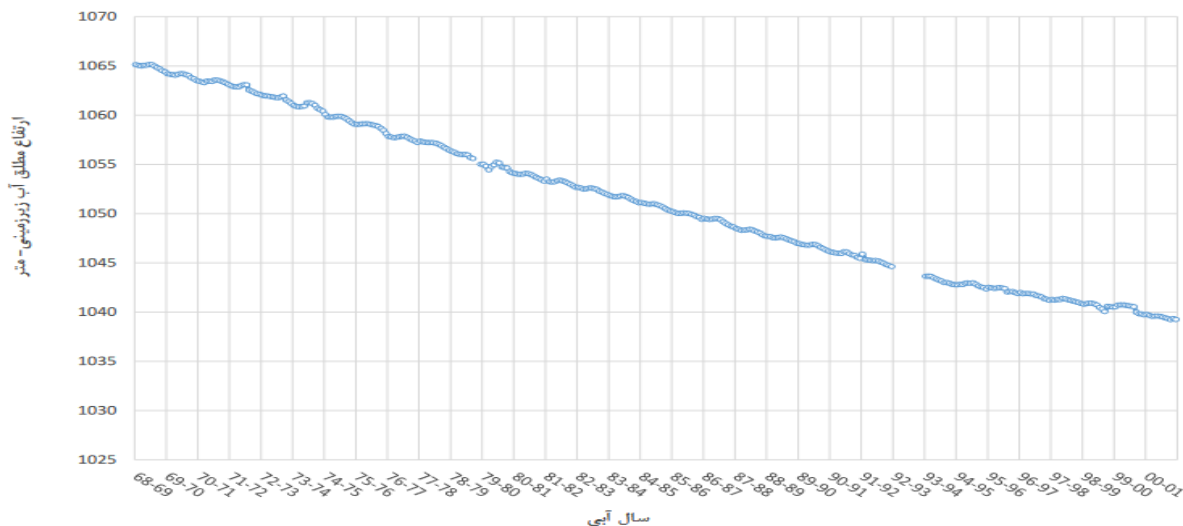


شکل 3. تعداد منابع آب موجود در دشت جوین به تفکیک نوع منبع (اطلاعات از شرکت آب منطقه ای خراسان رضوی، 1401)

6. بررسی تغییرات تراز و افت آب زیرزمینی



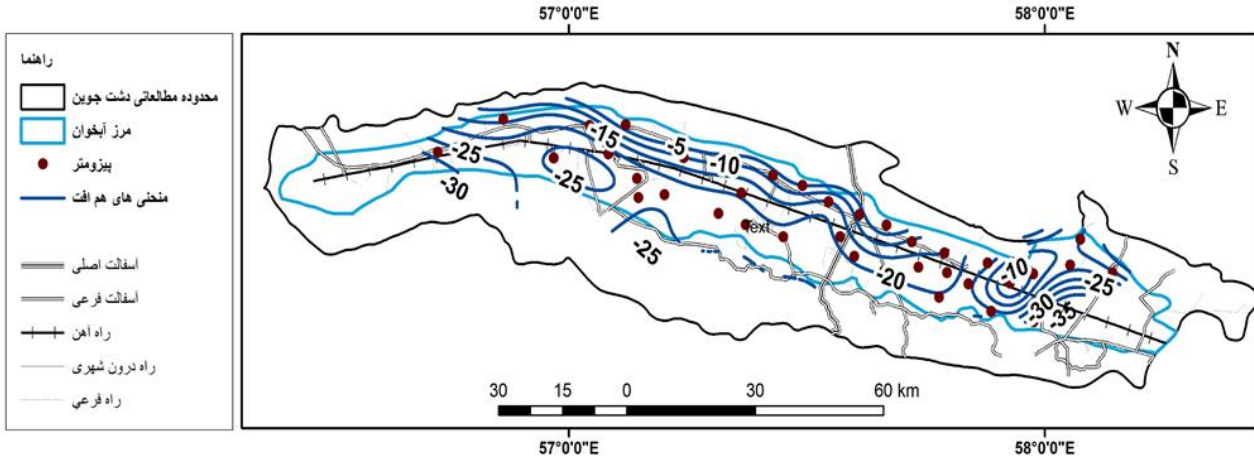
در شکل 4 هیدروگراف واحد آبخوان دشت جوین قابل مشاهده است که بیانگر متوسط تغییرات سطح آب زیرزمینی آبخوان می-باشد. هیدروگراف واحد 33 ساله آبخوان جوین (1368-1401) نشان دهنده روند کاهشی سطح آب زیرزمینی در آبخوان دشت جوین می‌باشد. در این بازه زمانی تراز آب زیرزمینی از 1065 متر به 1038 متر افت پیدا کرده است و افت 27 متری در 33 سال مشاهده می‌شود. به عبارتی 80 سانتی‌متر (تقریباً 1 متر) در سال افت آب زیرزمینی را در دشت جوین شاهد هستیم. همان‌طور که در هیدروگراف مشاهده می‌شود در سال‌های پر باران، و دوره‌های مرطوب به دلیل برداشت کمتر و تغذیه‌ی آبخوان سطح آب زیرزمینی بالا آمده و در دوره‌های خشک و کم باران مجدد افت سطح آب را شاهد هستیم اما به دلیل عواملی چون کاهش بارندگی، کاهش منابع تغذیه‌ی آبخوان در طول دوره‌های مرطوب سال و به ویژه بهره‌برداری بیش از حد از منابع دشت سطح آب سالیانه در حال افت می‌باشد.



شکل 4. هیدروگراف واحد آبخوان (شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی، 1400)

7. افت تراز آب زیرزمینی دشت جوین

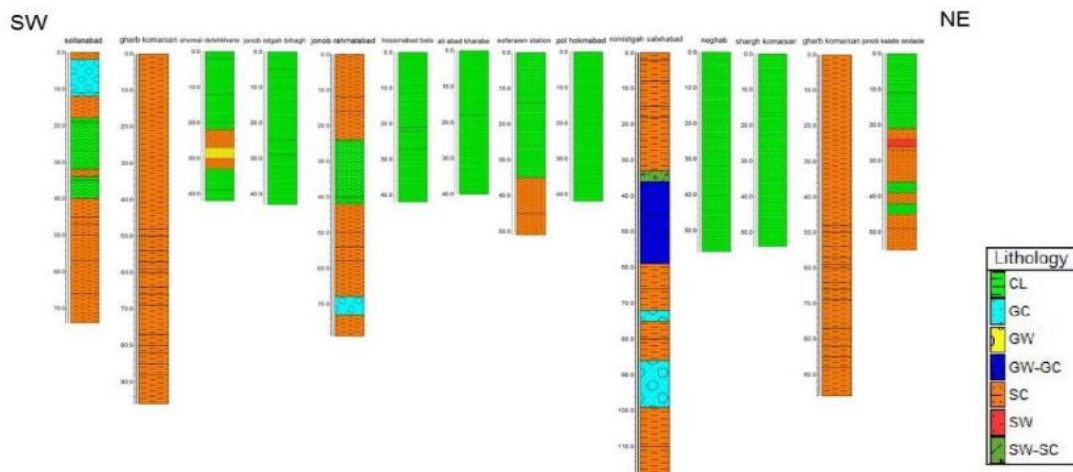
افت تراز آب زیرزمینی در بازه 19 ساله منتهی به سال 1396 (1377-1396) در آبخوان جوین مورد بررسی قرار گرفته است. در غرب و شرق دشت افت بیش از 30 متر را داریم و به طور کلی می‌توان گفت افت در بخش‌های جنوبی آبخوان دشت بیشتر از بخش‌های شمالی آن است. شکل 5 نقشه هم‌افت تراز آب زیرزمینی را در دشت جوین نشان می‌دهد.



شکل 5. نقشه هم افت تراز آب زیرزمینی در دشت جوین

8. بررسی شرایط زیر سطحی منطقه

با دور شدن از بخش ارتفاعات، دانه‌های تشکیل‌دهنده‌ی آبرفت‌ها کاهش می‌یابد و در بخش مرکزی، در محدوده زهکش اصلی حوضه، اندازه مواد تا سیلت و رس کاهش می‌یابد. در بخش میانی محدوده مطالعاتی، جلگه آبرفتی با وسعت 2500 کیلومتر مربع تشکیل شده و سطح منطقه توسط سازندهای نرم آبرفتی پوشیده می‌شود. این رسوبات غالباً از فرسایش ارتفاعات بخش جنوبی حاصل شده‌اند و از سمت کوهپایه به طرف شمال دشت دانه‌ریزتر می‌شوند. در این بخش از اطلاعات لاگ چاه‌های پیژومتری و بهره‌برداری که در گزارش سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی شرق کشور برای مشخص شدن بافت خاک در محدوده‌ی دشت جوین آورده شده است، استفاده می‌شود. در شکل 6 یک مقطع طولی در جهت شمال غرب-جنوب شرق در دشت جوین را نشان داده شده است. برای این مقطع از 14 گمانه با عمق 40 تا 120 متر استفاده شده است. این مقطع نشان می‌دهد که بافت غالب خاک ریزدانه و از نوع CL یا خاک‌هایی که به دلیل تحکیم پذیری دارای پتانسیل ایجاد نشست هستند، می‌باشد. در اعماق خاک ماسه‌ای از نوع SC نیز مشاهده می‌شود. همانطور که دیده می‌شود در ابتدا و انتهای مقطع، خاک درشت دانه بیشتر است و در بخش‌های مرکزی دشت خاک ریزدانه غالب می‌شود.



شکل 6. مقطع طولی از گمانه‌ها در دشت جوین (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات کشور، 1398)

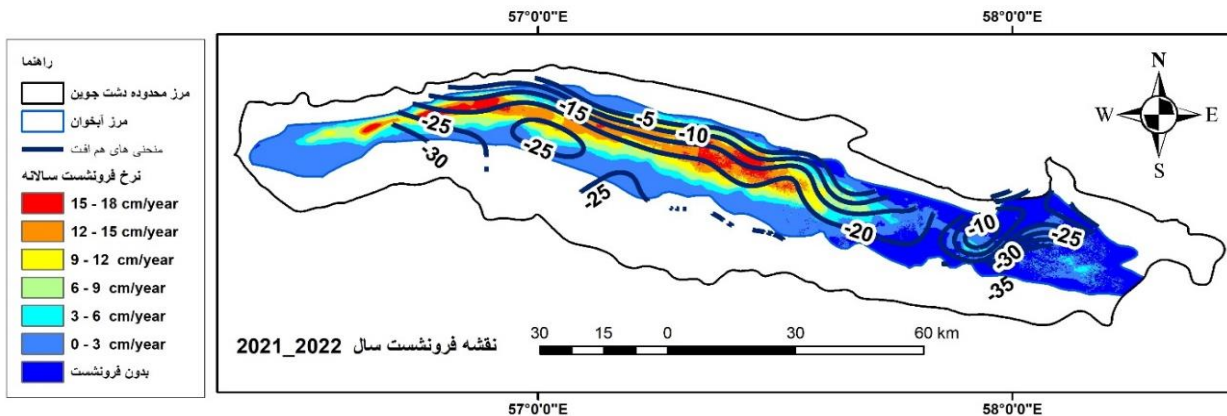
9. بررسی فرونشست دشت جوین و افت سطح آب زیرزمینی

تکنیک تداخل‌سنجی راداری به عنوان روش کارآمد در اندازه‌گیری جابه‌جایی سطح زمین می‌باشد. با استفاده از این روش امکان



پایش

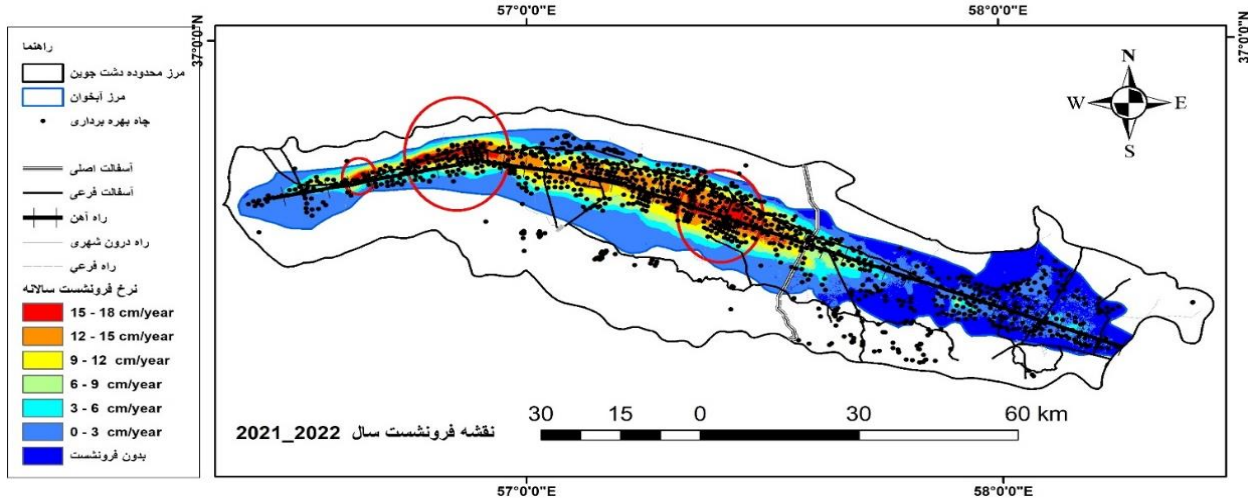
حرکات کوچک سطح زمین به صورت پیوسته، با دقت بالا و در طیف وسیعی امکان‌پذیر است. از این رو در بررسی مخاطرات طبیعی زمین همچون حرکات توده‌های دامنه‌ها، فرونشست، زمین‌لرزه و فعالیت‌های آتشفشانی بسیار متداول شده است. این روش فاز گرفته شده از دو تصویر رادار در دو زمان مختلف را مقایسه و با ایجاد تداخل‌نگار یا اینترفروگرام، قادر به اندازه‌گیری تغییرات سطح زمین در دوره‌ی زمانی است (عابدینی و محمدزاده شیشه‌گران، 1401). استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری INSAR این امکان را فراهم می‌آورد با دقت بالا، در مناطق وسیع و در تمام ساعات شبانه روز تغییرات در حد کمتر از سانتیمتر بررسی و شناسایی شوند (امینی و مستوفی، 1401). از روی هم قرار دادن منحنی‌های هم‌افت و نقشه نرخ فرونشست سالانه در سال 1400-01 نقشه شکل 7 به دست آمده است که از آن برای بررسی ارتباط بین فرونشست زمین و افت سطح آب زیرزمینی در دشت استفاده می‌شود. در شکل 7 منحنی‌های هم‌افت بر روی نقشه فرونشست نشان داده شده است. در غرب محدوده مطالعاتی دشت جویین، افت آب زیرزمینی حدود 30 متر است و نرخ فرونشست نیز در این قسمت زیاد است. در قسمت مرکزی دشت نیز در جایی‌که منحنی‌های هم‌افت عدد 5 تا 20 متر افت را نشان می‌دهند، فرونشست نیز زیاد است. نکته‌ای که در این قسمت حائز اهمیت است این است که در شرق دشت با وجود اینکه افت 10 تا 30 متری را مشاهده می‌کنیم ولی فرونشست مشاهده نمی‌شود یا بسیار کم است. علت این امر شرایط زیرسطحی و نوع خاک در قسمت شرقی دشت می‌باشد. در قسمت شرق دشت بر خلاف مرکز دشت که خاک بیشتر از نوع ریزدانه و مستعد فرونشست است و با آبرفت‌های کواترنری پوشیده شده است، خاک از نوع دانه درشت می‌باشد. می‌شود نتیجه گرفت در دشت جویین افت آب یک عامل اولیه و محرک برای فرونشست است ولی تنها عامل نیست و شرایط زیرسطحی در فرونشست و میزان نرخ فرونشست نقش مهمی دارد.



شکل 7. نقشه منحنی‌های هم‌افت بر روی نقشه فرونشست

10. بررسی فرونشست دشت جویین و موقعیت چاه‌های بهره برداری

شکل 8 نقشه فرونشست و موقعیت چاه‌های بهره برداری در دشت جویین را نشان می‌دهد. با توجه به موقعیت چاه‌های موجود در دشت بر روی نقشه‌ی فرونشست ارتباط بین آن‌ها به وضوح مشاهده می‌شود. در نقشه‌ی فرونشستی از غرب به شرق سه محدوده‌ی پر خطر فرونشستی با تراکم بالای چاه‌های بهره برداری مشخص شده است. در اولین محدوده و غربی‌ترین آن بیشترین نرخ فرونشست مشاهده شده حدود 13 سانتی‌متر، در محدوده‌ی مشخص شده‌ی دوم نرخ فرونشست تا 18 سانتی‌متر و در محدوده‌ی فرونشستی سوم و در مرکز دشت نرخ فرونشست سالانه به 13 سانتی‌متر می‌رسد. در بخش‌های شرقی دشت نیز تعداد چاه‌های بهره‌برداری زیاد است ولی به دلیل تفاوت در شرایط زمین‌شناسی و خاک‌شناسی نسبت به مرکز دشت فرونشست زیادی در آن مناطق دیده نمی‌شود. برخلاف مرکز دشت که خاک بیشتر از نوع ریزدانه CL است در قسمت‌های شرقی خاک از نوع درشت دانه می‌باشد و فرونشست کمتر ایجاد می‌شود.



شکل 8. نقشه فرونشست و موقعیت چاه‌های بهره برداری

11. نتیجه‌گیری

دشت چوبین، یک دشت حاصلخیز در غرب استان خراسان رضوی می‌باشد. برداشت بی رویه از منابع زیرزمینی آبخوان دشت، افت 27 متری تراز آب را در دوره 33 ساله منتهی به سال 1401 باعث شده است. سالانه نزدیک به 80 سانتی‌متر تراز آب زیرزمینی در این منطقه افت می‌کند. با انجام روش تداخل سنجی راداری در نرم‌افزار GMTSAR تغییرات سطح زمین به دست آمد. این نقشه نشان دهنده محدوده‌های فرونشست و محدوده‌های دارای بیشترین و کمترین میزان فرونشست می‌باشد. با استفاده از جدیدترین تصاویر موجود که منتهی به سال 2022 میلادی یا 1401 هجری شمسی است نشان می‌دهد که فرونشست در دشت روند افزایشی داشته و فرونشست در محدوده مطالعاتی به حدود 18 سانتی‌متر در سال رسیده است و بیشترین مقدار فرونشست در غرب دشت و همچنین در مرکز دشت چوبین دیده می‌شود. با توجه به نقشه‌های فرونشست و موقعیت چاه‌های بهره برداری می‌توان نتیجه گرفت برداشت بی رویه آب عامل محرک اولیه برای ایجاد فرونشست بوده است و در قسمت‌هایی که تمرکز چاه‌های بهره‌برداری بیشتر بوده به عنوان مثال در مرکز دشت، فرونشست نیز بیشتر است. شرایط زمین شناسی و بافت خاک نیز اهمیت دارد، به گونه‌ای که در شرق دشت با توجه به اینکه تراز آب زیرزمینی افت کرده است، ولی فرونشستی مشاهده نمی‌شود که به دلیل بافت خاک و شرایط زیرسطحی منطقه است. در این مناطق بر خلاف مرکز دشت که خاک بیشتر از نوع ریزدانه و مستعد فرونشست است و با آبرفت‌های کواترنری پوشیده شده است، خاک از نوع دانه درشت می‌باشد.

منابع

- آزرم، ز.، مهرابی، ح.، نادری، س.، (1401)، " بررسی میزان همبستگی بین فرونشست و تغییرات سطح آب زیرزمینی با استفاده از آنالیز سری زمانی تداخل‌سنجی راداری (منطقه مطالعاتی: اصفهان)", نشریه جغرافیا و مخاطرات محیطی، دوره 11، شماره 4، صص 173-192.
- اصغری سراسکانرود، ص.، محمدزاده شیشه‌گران، م.، (1402)، " برآورد میزان فرونشست در دشت پاکدشت با استفاده از تداخل سنجی راداری و تحلیل پارامترهای موثر آب های زیرزمینی و کاربری اراضی"، زمین شناسی کاربردی پیشرفته، دوره 13، شماره 1، صص 320-336.
- اطهری، م.ع.، عزیزی، ح.ر.، هاشمی، ش.، هنری، ح.ر.، (1401)، " بررسی رابطه بین میزان تغییرات سطح زمین در اثر فرونشست و آب زیرزمینی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-1 و مدل‌های آماری (منطقه مورد مطالعه: دشت ورامین)", نشریه علمی علوم و مهندسی آب و فاضلاب، دوره 7، شماره 1، صص 34-43.
- اعظم حیدری، ا.، جباری، ا.، (1400)، " مدل‌سازی توسعه فرونشینی دشت مرو دشت در رابطه با برداشت آب‌های زیرزمینی"، مجله مخاطرات محیط طبیعی، دوره 11، شماره 34، صص 17-34.
- آل شیخ، ع.ا.، چترسیماب، ز.، وثوقی، ب.، مدیری، م.، پاکدامن، م.ص.، (1401)، " بررسی فرونشست سطح زمین در اثر



برداشت بی‌رویه آب زیرزمینی با استفاده از تکنیک تداخل‌سنجی راداری-آبخوان مروذشت"، مجله مهندسی و مدیریت آبخیز، دوره 14، شماره 1، صص 114-125.

امینی، آ.، مستوفی، ن.، (1401)، "پایش فروچاله‌های شهر کبودرآهنگ همدان با استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری" جغرافیا و روابط انسانی، دوره 5، شماره 1، صص 157-139.

چترسیماب، ز.، آل شیخ، ع.ا.، وثوقی، ب.، بهزادی، س.، مدیری، م.، (1399)، "بررسی تأثیر جنس آبخوان و افت تراز آب زیرزمینی در میزان فرونشست با استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری و داده‌های صحرایی (مطالعه موردی: حوزه آبخوان تهران-کرج-شهریار)"، مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، دوره 95، شماره 3، صص 683 تا 689.

حافظی مقدس، ن.، (1396)، "گزارش شناسایی مسیر و تعیین حریم گسل جنوبی مشهد و ارائه ضوابط ساخت‌وساز" سازمان نظام مهندسی ساختمان استان خراسان رضوی.

زارعی، ک.، رسول زاده، ع.، صدیقی، م.، احمدزاده، غ.ر.، رضانی مقدم، ج.، (1399)، "تعیین رابطه فرونشست زمین و افت سطح آب‌زیرزمینی با دو روش تداخل سنجی راداری و ایستگاه ثابت GPS (مطالعه موردی: دشت سلماس)"، نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران، دوره 11، شماره 1، صص 168-182.

شرکت آب منطقه ای خراسان رضوی، سیمای آب محدوده مطالعاتی جوبین سال آبی 1400-01 (1400).

طاحونی، ش.، (1386)، "اصول مهندسی ژئوتکنیک"، جلد اول، موسسه انتشارات پارس آیین، ویرایش دوم، چاپ یازدهم.

عابدینی، م.، محمدزاده شیشه‌گران، م.، (1401)، "ارزیابی زمین لغزش با استفاده از تصاویر راداری و تداخل سنجی راداری منطقه موردی: حوضه نیرچای"، مطالعات علوم محیط زیست، دوره هفتم، شماره سوم، صص 5161-5171.

عدالت، ع.، خداپرست، م.، رجبی، م.ع.، (1400)، "بررسی اثرات تغییر تراز آب زیرزمینی آبخوان بر پدیده فرونشست و راهکارهای تعادل بخشی آبخوان (مطالعه موردی: دشت علی آباد قم)"، نشریه مهندسی عمران امیرکبیر، دوره 53، شماره 5، صص 2023-2042.

فرزین‌کیا، ر.، (1398)، "تحلیل و ارزیابی فرونشست زمین و ارتباط آن با دوالیتی در دشت جوبین"، رساله دکتری، رشته ژئومورفولوژی و مدیریت محیط، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری.

قیمی، ا.، (1399)، "تعیین نرخ فرونشست زمین با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای در دشت دامغان"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه دامغان.

سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، خالصه گزارش پایش فرونشست شش دشت بحرانی استان خراسان رضوی، (1398).

لشکری‌پور، غ.ر.، (1389)، "فرونشست زمین"، در سننامه کارشناسی ارشد، گروه مهندسی، دانشکده علوم دانشگاه فردوسی مشهد.

لشکری‌پور، غ.، رستمی‌بارانی، ح.، کهندل، ا.، ترشیزی، ح.، (1385)، "افت سطح آب زیرزمینی و نشست زمین در دشت کاشمر"، چکیده مقالات دهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، صص 301_300.

محمودی نسب، ف.، محسنی، ن.، (1400)، "اثرات چاه های بهره برداری آب زیرزمینی بر تغییرپذیری پهنه های فرونشست دشت نیشابور و پیامدهای ژئومورفیک آن"، نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، جلد 8 شماره 3 صص 200-187.

منیژه قهرودی تالی، م.، خدامرادی، ف.، علی نوری، خ.، (1402)، "تأثیر افت آب‌های زیرزمینی بر مخاطرات فرونشست زمین در دشت دهگلان، استان کردستان"، مجله مدیریت مخاطرات محیطی، دوره 10، شماره 1، صص 57-70.

Chen, B., Gong, H., Chen, Y., Li, X., Zhou, Ch., Lei, K., Zho, L., Duan, L., Zhao, X., (2020), "Land subsidence and its relation with groundwater aquifers in Beijing Plain of China", Science of The Total Environment, Volume 735, 15 September 2020, 139111.



Chu, H., Zeeshan Ali, M., Burbey, T., (2021)," Development of spatially varying groundwater-drawdown functions for land subsidence estimation", Journal of Hydrology: Regional Studies, Volume 35, June 2021, 100808.

Guzy, A., Malinowska, A., (2020)," State of the Art and Recent Advancements in the Modelling of Land Subsidence Induced by Groundwater Withdrawal " Journals Water, Volume 12, Issue 7.

Jilong, Y., Cao, G., Han, D., Yuan, H., Hu, Y., Shi, P., Chen, Y., (2019)," Deformation of the aquifer system under groundwater level fluctuations and its implication for land subsidence control in the Tianjin coastal region ", Environmental Monitoring and Assessment, 191, Article number: 162 (2019).

Memarian Sorkhabi, O., Kurdpour, I., Esmaeili Sarteshnizi, R., (2022), " Land subsidence and groundwater storage investigation with multi sensor and extended Kalman filter", Groundwater for Sustainable Development, Volume 19, November 2022, 100859.

Van Ty, T., Thu Minh, H, V., Avtar, R., Kumar, K., Van Hiep, H., Kurasaki, M., (2021), "Spatiotemporal variations in groundwater levels and the impact on land subsidence in CanTho, Vietnam", Groundwater for Sustainable Development, Volume 15, November 2021, 100680.

Wang, Ya., Wang, Zhi., Cheng, W., (2018), " A review on land subsidence caused by groundwater withdrawal in Xi'an, China", Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 78, pages 2851–2863 (2019).

Yu, H., Gong, H., Chen, B., Lio, K., Gao, M., (2020), " Analysis of the influence of groundwater on land subsidence in Beijing based on the geographical weighted regression (GWR) model ", Science of The Total Environment, Volume 738, 10 October 2020, 139405.

Zeeshan Ali, M., Chu, H., Burbey, T., (2020), " Mapping and predicting subsidence from spatio-temporal regression models of groundwater-drawdown and subsidence observations" , Hydrogeology Journa.

Zamanirad, M., Sarraf, A.P., Sedghi, H., Saremi, A., Rezaee, P., (2020), " Modeling the Influence of Groundwater Exploitation on Land Subsidence Susceptibility Using Machine Learning Algorithms", Natural Resources Research, volume 29, pages 1127–1141.

Studying the occurrence of subsidence and its correlation with underground water resources in Jovein Plain

Kousar Arabi, Gholam Reza Lashkaripour^{*2}, Fahimeh Salehi Moteahd³

1- Department of Geology, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad,
kousar.arabi23@gmail.com.

2- Department of Geology, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad,
lashkaripour@um.ac.ir.

3- Department of Geology, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad,
fahimehsalehi.m@gmail.com.

Abstract



The exploitation of underground water resources has been on the rise in recent years as a result of population growth and an increase in social, economic, and industrial activities. Jovein Plain in the western part of Razavi Khorasan is one of the critical plains in the province that has experienced subsidence due to the indiscriminate extraction of underground water sources, combined with a decrease in atmospheric precipitation over the last few years. In the year 1400-01, the annual withdrawal from water sources has escalated to 421.1 million cubic meters. Over the 33-year period leading up to 1401, the water level in the plain has plummeted by 27 meters, equivalent to an average decrease of 80 centimeters per year. This ongoing process is contributing to irreversible subsidence in the region. Given the recent years' drought and the escalating extraction of underground resources, it is crucial to comprehend the multifaceted impacts of the subsidence phenomenon, along with the associated land and infrastructure vulnerabilities in the Jovein Plain. This study aims to generate a subsidence map of the region for the year 1400-01, utilizing radar interferometric methods in the GMTSAR software, and subsequently compare it with the information on water resources in the plain. The radar interferometric method is applicable in any weather, at any time of day or night, and offers the capability to survey the entire earth's surface with very high spatial and temporal resolution. As a result, it stands out as one of the quickest, most precise, and cost-effective means of monitoring. This method serves the purpose of forecasting and verifying alterations in the earth's surface from a remote position. The findings demonstrate that the decline in water levels is a primary and driving force behind subsidence in the plain; however, it is not the sole factor at play. The subsurface characteristics of the aquifer also exert a significant influence on subsidence and its rate. Specifically, in areas with higher well exploitation density and greater water level decline, such as the central region of the plain, subsidence is more pronounced. The annual rate of subsidence in the plain is on the rise, reaching 18 cm per year. In the eastern part of the plain, although the underground water levels have decreased, no subsidence is observed. This phenomenon is attributed to the soil composition and subsurface conditions of the area. Unlike the central plain where the soil is more fine-grained and susceptible to subsidence, covered with Quaternary alluvium, the soil in these areas is coarse-grained.

Key words: underground water, water level drop, subsidence, Jovein Plain, Subsurface conditions.