

تحلیل زمین‌شناسی و هیدروژئولوژیکی فرونشست دشت هشتگرد و عوامل موثر بر تشدید یا مهار فرونشست

سیده فاطمه کلاتریان*؛ سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

محمود ناوور نوبری؛ سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

مرتضی شیخ؛ سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۲۹

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۱۴

چکیده

مطالعات جامع و شرایط زمین‌ساختی حاکم بر دشت هشتگرد بیانگر وجود سفره آب زیرزمینی چند لایه است (مطالعات بیلان دشت هشتگرد، ۱۳۹۵). در طول سه دهه اخیر دشت هشتگرد متأثر از برداشت‌های بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی تحت تاثیر مخاطره فرونشست قرار گرفته است. در بخش‌های شمالی دشت هشتگرد - نظرآباد از سال ۱۳۶۵ تا ۱۴۰۰ تراز آب زیرزمینی ۴۰ متر افت داشته است. به دلیل وجود ضخامت زیادی از رسوبات تراوا و دانه درشت در این بخش، علیرغم برداشت از منابع آب، شواهد سطحی فرونشست زمین وجود ندارد. در بخش‌های مرکزی و جنوبی دشت هشتگرد به دلیل وجود میان‌لایه‌های رسی و رسوبات دانه ریز، افت تراز آب زیرزمینی منجر به ایجاد مخاطره فرونشست شده است. سهم مناطق درگیر مخاطره فرونشست از تخلیه سفره آب زیرزمینی هشتگرد تنها ۲۴ درصد از حجم برداشت سالیانه است (داده‌های وزارت نیرو، ۱۳۹۰). در واقع برداشت‌های بی‌رویه در بالادست و محدود شدن تغذیه سفره آب زیرزمینی، منجر به فرونشست زمین در بخش‌های مرکزی و جنوبی دشت هشتگرد شده است. در حاشیه جنوبی، علاوه بر جابجایی قائم، شواهدی از حرکت افقی مشاهده شده است. میزان نرخ فرونشست ارائه شده بر اساس داده‌های سنجش از دور، حداکثر ۲۰ سانتیمتر در سال به صورت نقطه‌ای و ۶ تا ۷ سانتیمتر در سال بصورت میانگین است.

واژه‌های کلیدی: فرونشست، هشتگرد، آبخوان، رسوب‌شناسی، افت.

مقدمه

با توجه به خشکسالی‌های متوالی در سال‌های اخیر و برداشت‌های بی‌رویه از سفره‌های آب زیرزمینی در دشت‌های مختلف کشور، شواهد سطحی فرونشست در استان‌های مختلف دیده شده است. استان البرز نیز از این امر مستثنی نبوده و از بین سه دشت موجود، دشت‌های هشتگرد و کرج به دلیل برداشت بی‌رویه و برهم خوردن تعادل تغذیه و تخلیه منابع آب زیرزمینی دستخوش مخاطره فرونشست شده است. بر اساس مطالعات سنجش از دور از سال ۱۳۸۴ دشت هشتگرد جزء دشت‌های بحرانی از نظر منابع آب زیرزمینی و درگیر فرونشست معرفی شده است. به مرور

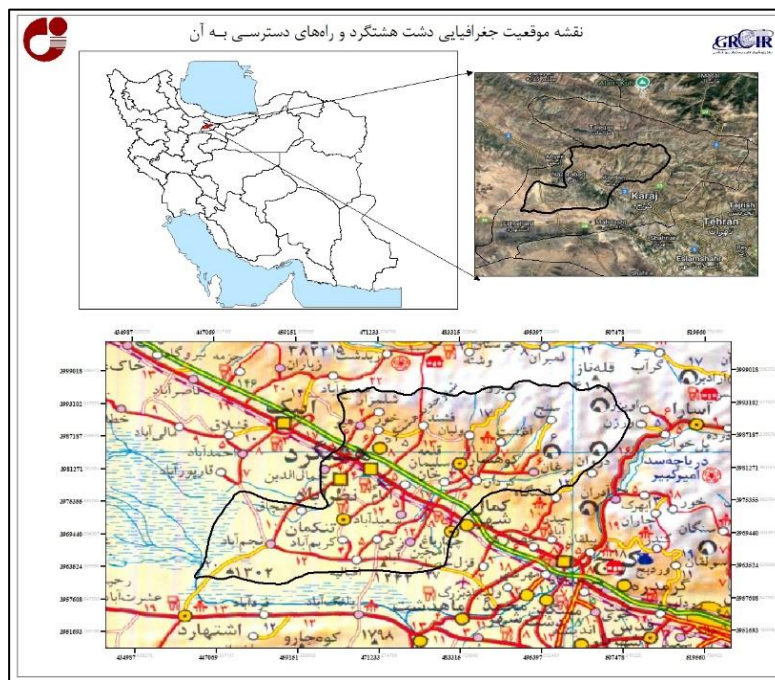
زمان نرخ و وسعت پهنه فرونشست در این دشت بیشتر شده است. از آنجا که صحت سنجی نتایج حاصل از سنجش از دور منوط به بررسی زمین شناسی، هیدروژئولوژیکی، مطالعات زیرسطحی و بازدیدهای صحرایی است، مطالعات تکمیلی و تحلیلی جهت بررسی این مخاطره در دشت هشتگرد انجام شده است.

مواد و روش ها

با استفاده از تکنیک راداری (INSAR)، می توان مقادیر جابجایی افقی و عمودی سطح زمین را محاسبه کرد. ماهواره‌ها سطح زمین را در فواصل زمانی منظم در مدارهای تعریف شده اطراف زمین اسکن می‌کنند و در طول زمان «زوج تصویرهایی» تولید می‌کنند. این زوج تصویرها با هم مقایسه می‌شوند و با اختلاف فاز بدست آمده از آنها می‌توان میزان جابجایی افقی یا عمودی را اندازه گیری کرد. داده های تولید شده از این روش به همراه اطلاعات حاصل از ایستگاه‌های GPS، نرخ تقریبی از فرونشست ارائه می‌دهد. البته نقشه برداری سنتی، بررسی لوله زایی چاه های آب از دیگر روش های موثر هرگونه تغییر در جابجایی سطح زمین است. در این مطالعه از تلفیق مطالعات سنجش از دور و بررسی ژئوفیزیک، هیدروژئولوژی و شناسایی هندسه آبخوان و زمین شناسی جهت تحلیل شواهد موجود در دشت هشتگرد که به فرونشست منتسب شده، استفاده شده است.

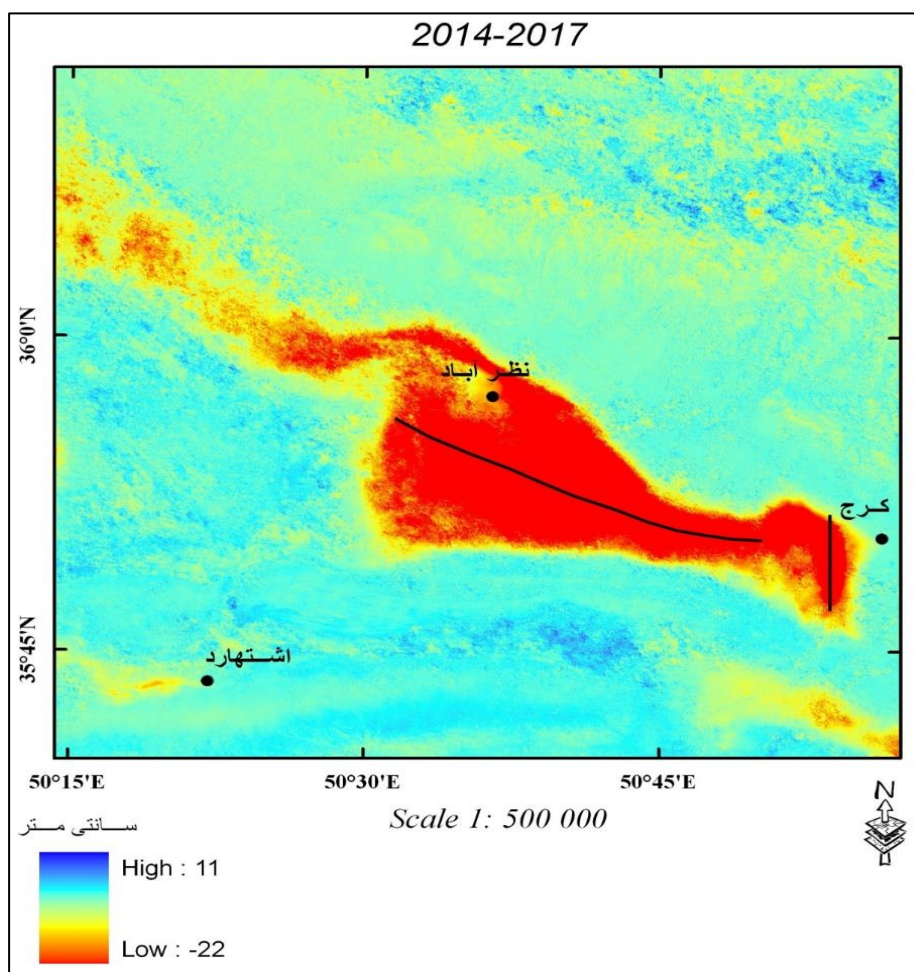
یافته های پژوهش

محدوده مطالعاتی هشتگرد در نیمه شمالی حوضه آبریز دریاچه نمک واقع شده است، مساحت ارتفاعات و دشت در این محدوده به ترتیب ۶۱۵ و ۶۶۶ کیلومتر مربع و حداکثر و حداقل ارتفاع به ترتیب ۴۰۵۸ و ۱۱۳۳ متر است (مطالعات بیلان وزارت نیرو، ۱۳۹۵). شهر هشتگرد و آبادی های عرب آباد، ده صومعه، کریم آباد و فشنند از سکونت گاه های مهم این محدوده محسوب می‌شود. شکل ۱، راه های دسترسی به محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد. حداقل و حداکثر منحنی همباران بین ۲۵۰ تا ۸۰۰ میلیمتر و حداقل و حداکثر منحنی هم دما بین ۲ تا ۱۴ درجه سانتیگراد است.



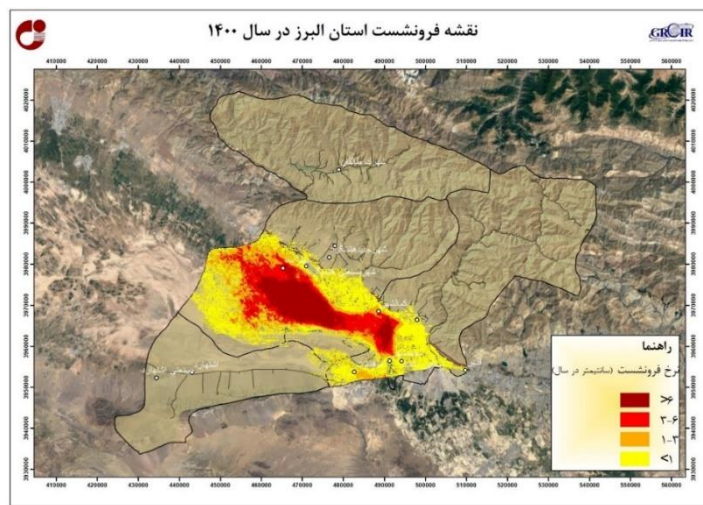
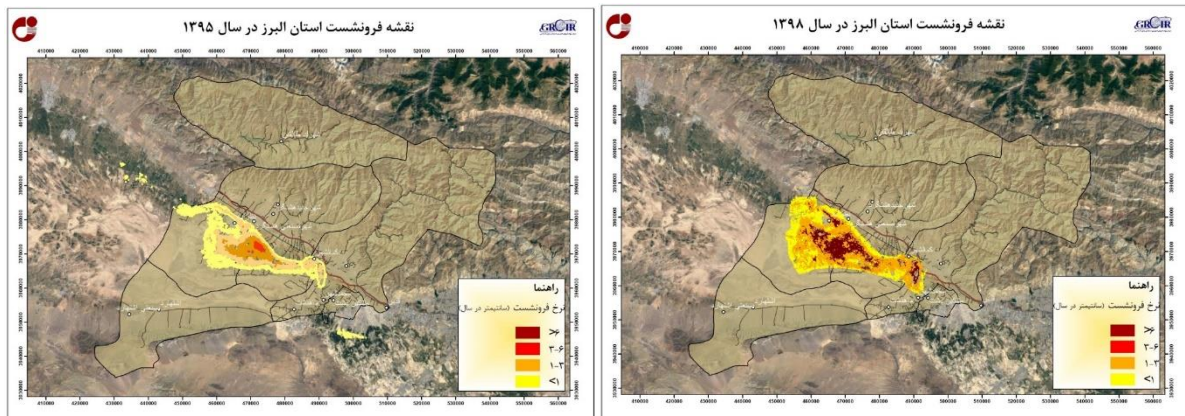
شکل ۱: موقعیت جغرافیایی دشت هشتگرد و راه های دسترسی به آن

با استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری تعداد ۱۱ تداخل نما با پوشش زمانی ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۷ بصورت زنجیره ای تهیه شده است، بطوریکه فواصل زمانی، فصول مختلف سال را در بر گیرد تا از حیث برداشت آب زیرزمینی نتایج قابل مقایسه با یکدیگر باشند. نرخ جابجایی بعد از تجمیع تداخل نماها در یک بازه زمانی ۹۹۶ روزه ارائه شده است (شکل ۲). با پردازش آنها ملاحظه گردید که میزان فرونشست در بازه زمانی سه ساله به ۲۲ سانتیمتر بصورت حداکثر و نقطه ای رسیده است (روستا، ۱۳۹۶). مساحت دشت هشتگرد ۵۹۲ کیلومتر مربع است که در آن یک آبخوان آبرفتی به مساحت ۴۱۱ کیلومتر وجود دارد، ۷۰ درصد دشت را آبخوان آبرفتی فراگرفته است و در حال حاضر ۶۷ درصد آبخوان آبرفتی هشتگرد (۲۷۵.۵ کیلومتر مربع) درگیر مخاطره فرونشست است (شکل ۳). ارزیابی میزان نرخ سالیانه فرونشست زمین در استان البرز بر اساس روش تداخل سنجی راداری از سال ۱۳۸۴ تا ۱۴۰۰ نشان می دهد وسعت مناطق درگیر با فرونشست به مرور زمان بیشتر شده است. در سال ۱۳۸۴ وسعت پهنه درگیر با فرونشست ۴۷۵ کیلومتر مربع با حداکثر نرخ ۶ سانتیمتر در سال بصورت نقطه ای بوده است. در سال ۱۳۹۶ این وسعت به ۶۱۱ کیلومتر مربع و نرخ ۲۲ سانتیمتر بصورت نقطه ای در یک بازه سه ساله رسیده است. در سال ۱۳۹۸ وسعت پهنه فرونشست ۱۱۵۰ کیلومتر مربع با نرخ ۱۲ سانتیمتر در سال بصورت نقطه ای رسیده است و در سال ۱۴۰۰ این وسعت به بیش از ۱۳۰۰ کیلومتر مربع با حداکثر نرخ نقطه ای ۱۸ سانتیمتر در سال افزایش یافته است. آنچه در اینجا مهم و مشهود است، گسترش پهنه درگیر فرونشست در گذر زمان است.

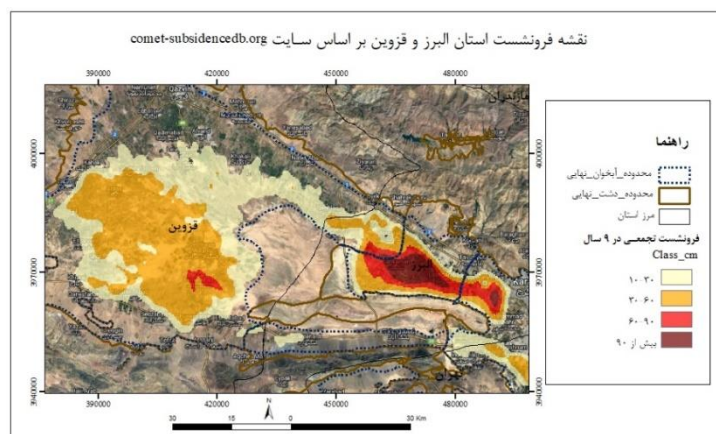


شکل ۲: نرخ فرونشست ۲۰۱۴-۲۰۱۷ (روستا، ۱۳۹۶)

با اینکه امروزه، استفاده از تداخل سنجی راداری بعنوان یک روش نوین و تایید شده برای تعیین نرخ جابجایی ناشی از فرونشست زمین است ولی باید بیان شود روش های سنجش از دور برای حوادث ناگهانی که در یک بازه زمانی کوتاه جابجایی و تغییر زیادی رخ داده باشد (سیل و زلزله) مناسب است و برای پدیده هایی نظیر فرونشست که دارای جابجایی کم در یک بازه طولانی است، استفاده از این روش تنها برای محدود کردن مناطق هدف بمنظور کاهش مطالعات میدانی موثر بوده و اعتماد صد در صد به نرخ ارائه شده بدون تدقیق به روش ترازبایی زمینی و ثبت شواهد میدانی درست نیست. بررسی های میدانی نشان می دهد در بسیاری از مناطق استان البرز که بر مبنای سنجش از دور نرخ بالایی برای فرونشست ثبت شده است، شواهد صحرائی وجود ندارد و به نظر می رسد جهت تحلیل نتایج سنجش از دور به مطالعات زیرسطحی و شناخت کامل هندسه آبخوان مورد نیاز است. بنابراین می توان نتیجه گرفت توجه به وسعت مناطق درگیر با فرونشست و مناطق خطر به مراتب مهمتر از نرخ ارائه شده توسط تکنیک های سنجش از دور است. علاوه بر نرخ های بدست آمده از مطالعات سنجش از دور سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، از داده های آماده پورتال فرونشست زمین تحت عنوان COMET-LICS نیز استفاده شد. داده های راداری Sentinel 1 از تاریخ ۱۹ اکتبر ۲۰۱۴ تا تاریخ ۲۲ ژوئن ۲۰۲۳ برای استان البرز در دسترس است. این داده ها توسط ابزار خودکار پردازش شده اند و میزان جابجایی بر حسب میلیمتر برای نقاط با ابعاد متوسط ۱۲۰۰ در ۱۲۰۰ متر تولید شده است (Lazecky, Spaans et al.2020). این داده های آماده، ارزیابی فرونشست در دوره های زمانی متفاوت را فراهم کرده است. میزان نرخ تجمعی فرونشست برگرفته از این پورتال برای استان قزوین و البرز در شکل ۴ ارائه شده است. نرخ های فرونشست حاصل از پردازش داده های COMIT با مطالعات انجام شده در سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور همخوانی دارد. نرخ فرونشست ۹ ساله برای دشت هشتگرد بیش از ۹۰ سانتیمتر بصورت تجمعی است.



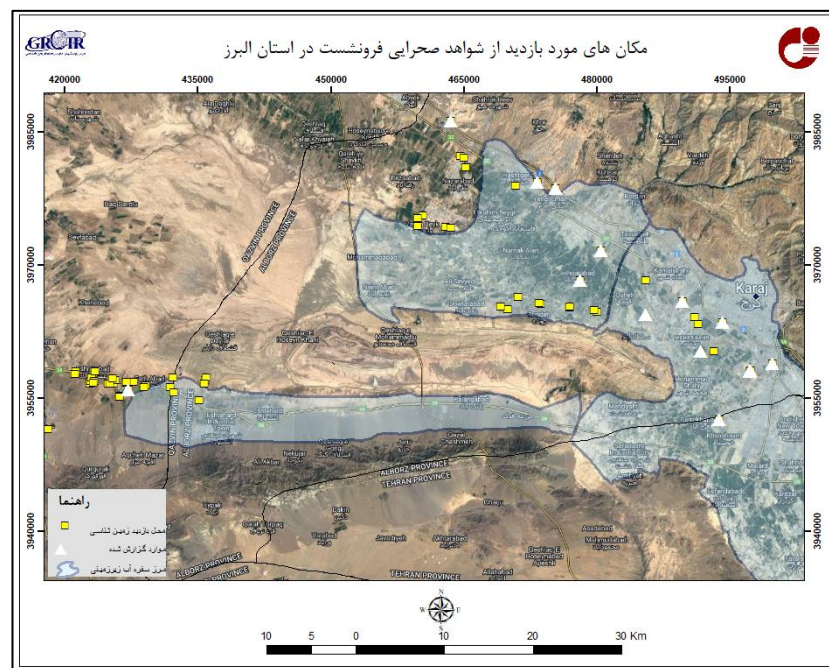
شکل ۳: تغییرات نرخ و پهنه فرونشست استان البرز از سال ۱۳۸۴-۱۴۰۰



شکل ۴: نقشه تجمعی ۹ ساله نرخ فرونشست استان البرز و قزوین

شواهد صحرایی فرونشست استان البرز

بمنظور تصحیح و تدقیق نرخ و پهنه فرونشست استان البرز، بازدید های صحرایی جهت ثبت شواهد عینی در مناطق پرخطر صورت گرفت. مناطق هدف بر اساس نقشه نرخ فرونشست سنجش از دور انتخاب شد و علاوه بر آن بر اساس مستندات ارائه شده توسط مشاور شرکت آب منطقه ای استان البرز، ۲۴ نقطه بعنوان مناطقی که تحت تاثیر فرونشست آسیب دیده است نیز مورد بازدید قرار گرفت (شکل ۵). به طور کلی در بخش های مرکزی پهنه فرونشست، به علت جابجایی قائم و نشست هماهنگ کل دشت، تنها با نشانه هایی مانند لوله زایی چاه هایی که به سنگ کف رسیده باشد، می توان اثر فرونشست را تشخیص داد، در حالیکه در حاشیه پهنه فرونشست و مرزهایی که تغییرات نرخ بصورت نامتقارن است، علاوه بر مولفه عمودی، جابجایی افقی نیز وجود دارد که باعث بوجود آمدن عوارضی مانند ترک های ایجاد شده در ساختمان ها، گسیختگی و شکاف ها در روی زمین، کج شدن تیر چراغ برق، ماسه دهی چاه ها و بریده شدن لوله جدار می شود. شواهد فرونشست در بعضی از مناطق دشت هشتگرد به خوبی قابل تشخیص است، بعنوان مثال در شهرک صنعتی هشتگرد که بر اساس تداخل سنجی راداری دارای نشست ۳-۶ سانتیمتر در سال است، شواهدی از قبیل چاه های آب رها شده، لوله زایی و زمین های رها شده (Galloway, 1999) و از بین رفتن کیفیت خاک مشاهده و ثبت شده است (شکل ۶- الف). یکی دیگر از مناطقی که عوارض سطحی زمین در آن مشاهده شده، تنکمان در شهرستان نظرآباد است (شکل ۶- ب) که از نظر طبقه بندی خطر فرونشست می تواند جزء مناطق مهم درگیر مخاطره فرونشست در استان البرز باشد.



شکل ۵: شواهد فرونشست و برداشت از منابع آب زیرزمینی در دشت هشتگرد و اشتهارد



شکل ۶: شواهد فرونشست و برداشت از منابع آب زیرزمینی در منطقه شهرک صنعتی هشتگرد (الف) و تنکمان نظرآباد (ب) در روستاهایی مانند خیرآباد، زکی آباد، آغلان تپه با کاربری اصلی کشاورزی و بهره برداری از چاه های عمیق، علاوه بر جابجایی قائم، شواهد صحرایی وجود دارد که بیانگر جابجایی افقی در نتیجه فرونشست زمین است. کج شدن لوله جدار چاه ها، لوله زایی، ماسه دهی از نشانه های مشهود حرکات افقی است (شکل ۷)، که البته انتظار می رود در صورت تشدید فرونشست عوارض بیشتری در آینده بصورت گسیختگی و شکاف های سطحی، ترک و شکاف در ساختمان ها نیز بوجود آید. بصورت کلی می توان نتیجه گرفت تمامی روستاهایی که در حاشیه جنوبی پهنه فرونشست دشت هشتگرد قرار دارند، به دلیل گرا دیان نرخ نشست موجود، از نظر درجه بندی خطر، مناطق حساس و پرخطر محسوب می شوند.



شکل ۷: شواهد فرونشست در جنوب دشت هشتگرد، روستای خیرآباد و بریده شدن لوله جدار در عمق ۱۷۰ متر

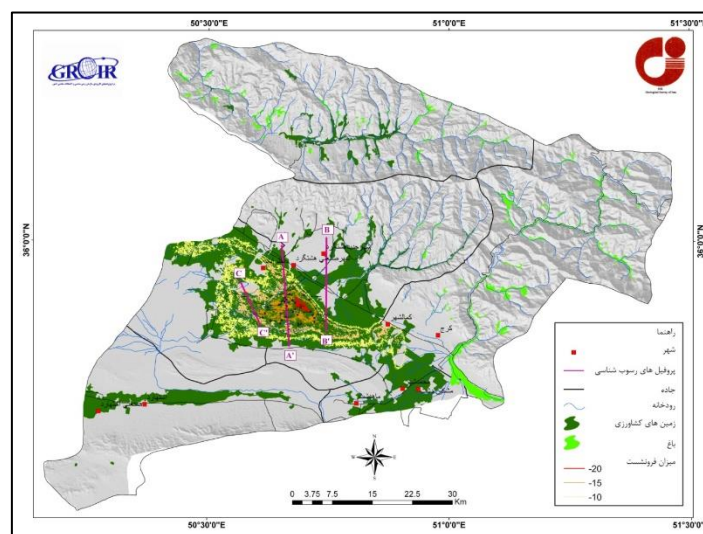
در بخش های شمالی دشت هشتگرد به دلیل انباشت قابل توجه ای از رسوبات دانه درشت، حاصل آورد رودخانه های کرج و کردان، شواهد مربوط به فرونشست زمین وجود ندارد. هرچند بیشترین افت مربوط به برداشت از منابع آب زیرزمینی در شمال دشت هشتگرد صورت می گیرد ولی به دلیل وجود رسوبات دانه درشت امکان نشست زمین وجود ندارد. در واقع نتیجه برداشت های زیاد از سفره آب زیرزمینی شمال دشت بصورت فرونشست در اثر افت تراز آب در رسوبات دانه ریز بخش های جنوبی نمود پیدا کرده است.

بحث و نتیجه گیری

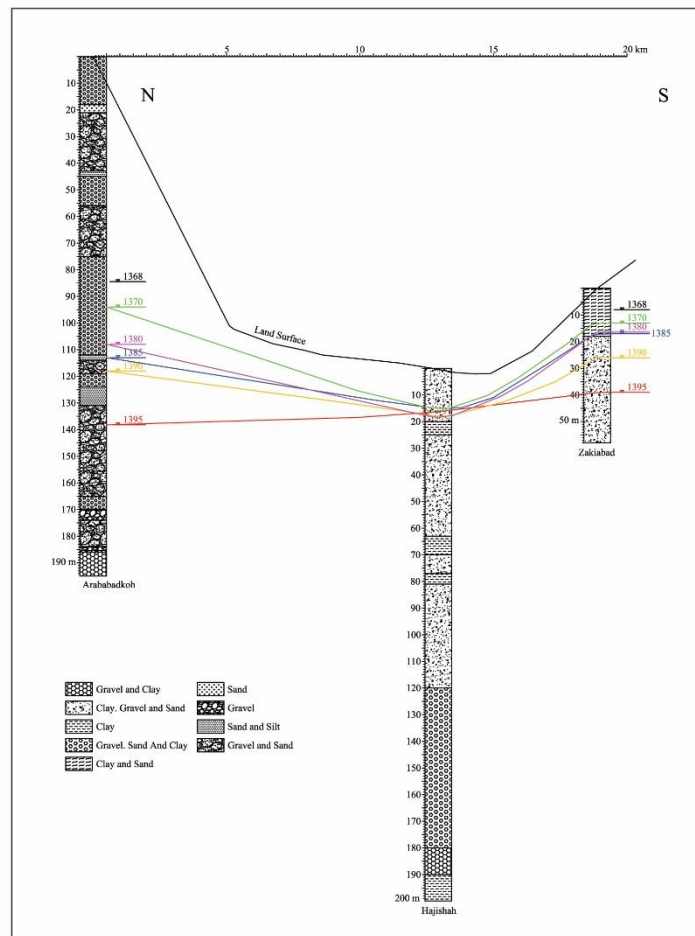
هیدروژئولوژی دشت هشتگرد

شناخت ویژگی های زمین شناسی و هندسه آبخوان جهت تحلیل مخاطره فرونشست اهمیت زیادی دارد. به همین دلیل بررسی زمین شناسی و رسوب شناسی دشت (شکل ۸)، تهیه پروفیل های رسوب شناسی و تفسیر تغییرات تراز آب در مقاطع شمالی- جنوبی (شکل ۹، ۱۰، ۱۱)، بررسی ارتباط میزان بهره برداری از منابع آب هشتگرد و نرخ فرونشست و تهیه مدل تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت هشتگرد در طول زمان مورد بررسی، تحلیل و تفسیر قرار گرفت. نتایج حاصل از بررسی های رسوب شناسی و زمین شناسی نشان می دهد که بیشترین نرخ فرونشست مشاهده شده در بخش هایی است که، ضخامت رسوبات دانه ریز زیاد است. در واقع می توان نتیجه گرفت از نظر زمین شناسی مناطق میانی دشت هشتگرد که عمدتاً دانه ریز با ضخامت زیاد آبرفت هستند و تمرکز چاه های بهره برداری و اراضی کشاورزی نیز در آنجا وجود دارد بیشترین مقدار نشست در بازه زمانی ۲۰۱۴-۲۰۱۶ از خود نشان داده است. بخش های جنوبی که در واقع به ارتفاعات حلقه دره نزدیک است، به دلیل بالا بودن سنگ کف و ضخامت کم آبرفت علیرغم وجود رسوبات دانه ریز نرخ کمتری از فرونشست در آن مشاهده شده است.

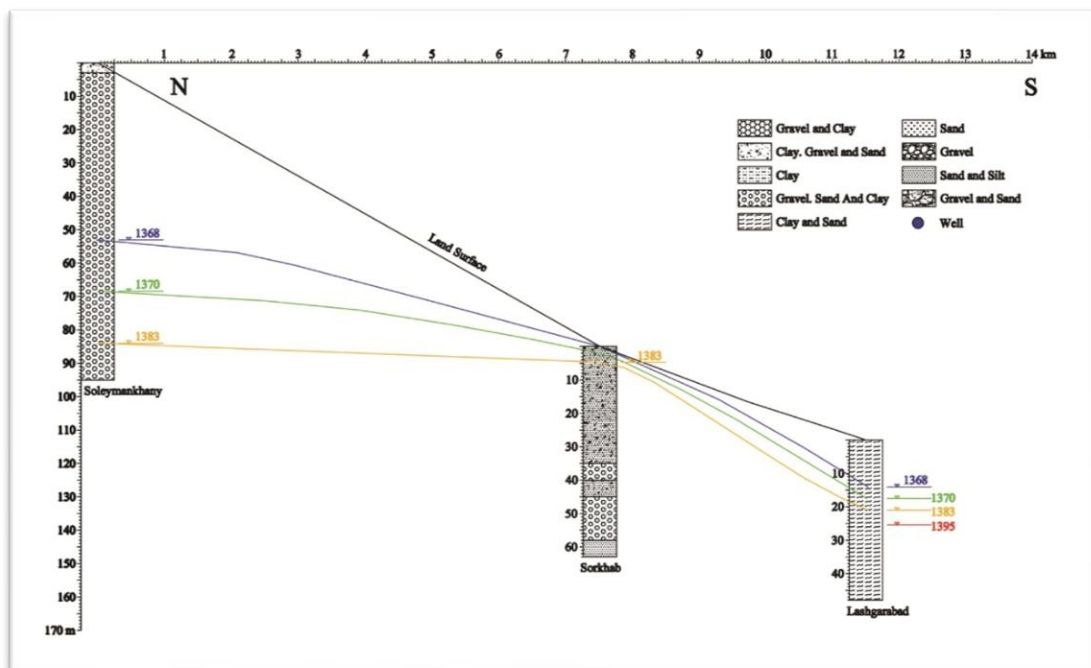
آنچه در بررسی های انجام شده قابل تامل است عدم تطابق مناطق با حداکثر نرخ نشست با مناطق با حداکثر نرخ بهره برداری از منابع آب زیرزمینی است (شکل ۱۲). هر چند در مجموع تراز آب در یک بازه ۲۵ ساله پایین آمده ولی این نسبت در بخش های شمالی و میانی دشت یکسان نیست، بطوریکه در بخش های شمالی با ۴۴ متر افت در مجموع شاهد نرخ ۶ سانتیمتر در بازه زمانی سه ساله بوده ایم در حالیکه در بخش های میانی با مجموع افت ۱۰ متر بیشترین نرخ فرونشست را داریم. بنابراین آنچه حائز اهمیت است، شناخت هندسه آبخوان و فهم هیدروژئولوژی دشت است. برداشت از منابع آب زیرزمینی از یک سفره صورت گرفته است، بنابراین افت ۴۰ متری در شمال دشت تاثیر مستقیمی در پایین آمدن تراز آب زیرزمینی در کل آبخوان دارد. به دلیل ویژگی های ذاتی زمین، رسوبات دانه درشت شمال دشت قابلیت متراکم شدن ندارند ولی رسوبات دانه ریز بخش های جنوبی با از دست دادن آب و افزایش فشار منفذی، منجر به ایجاد مخاطره فرونشست شده است.



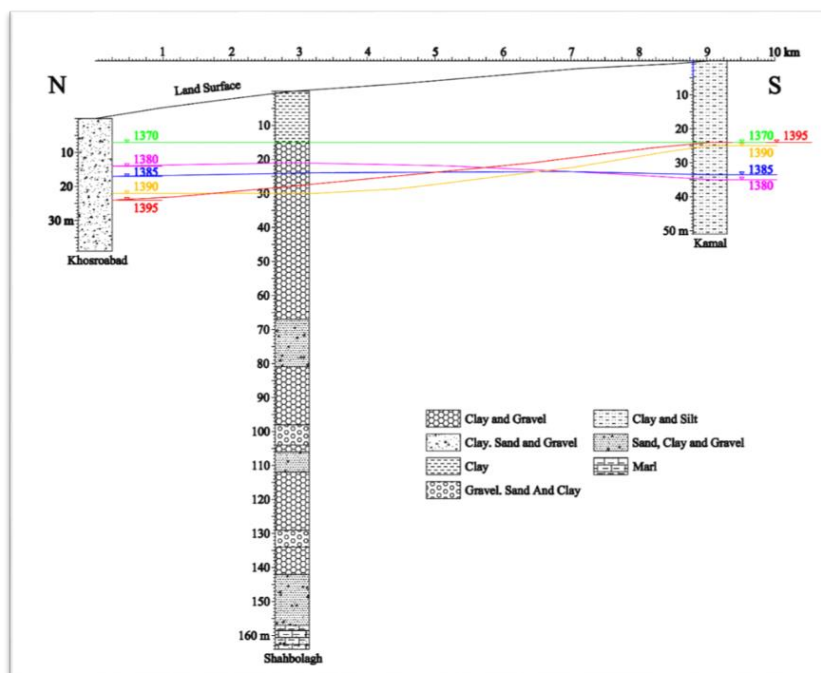
شکل ۸: کاربری اراضی و مقاطع رسوب شناسی ترسیم شده در مناطق فرونشست



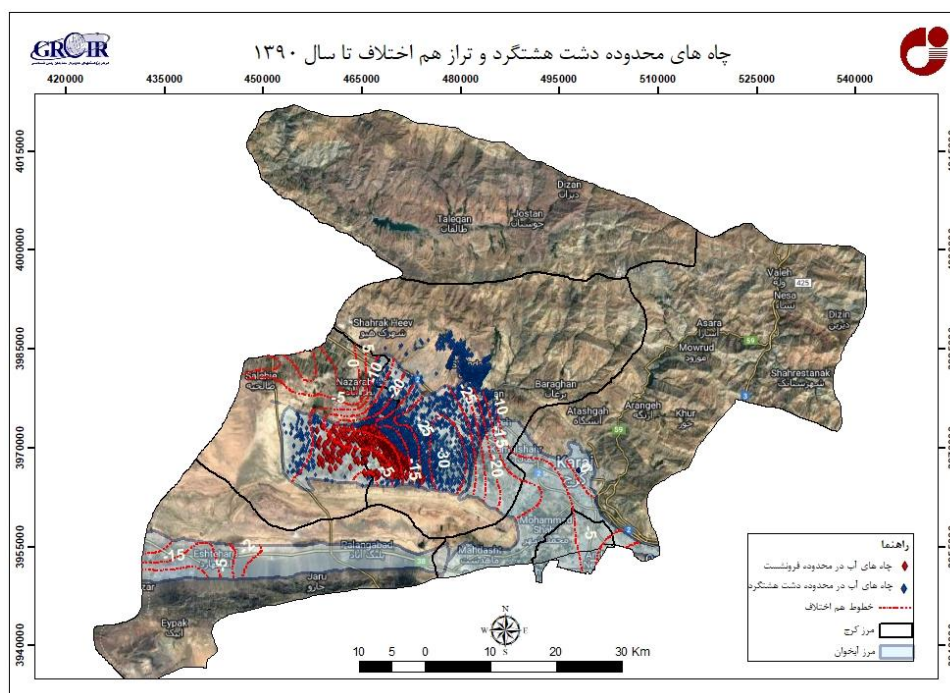
شکل ۹: پروفیل رسوب شناسی AA و تغییرات تراز آب زیرزمینی از سال ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۵



شکل ۱۰: پروفیل رسوب شناسی BB' و تغییرات تراز آب زیرزمینی از سال ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۵



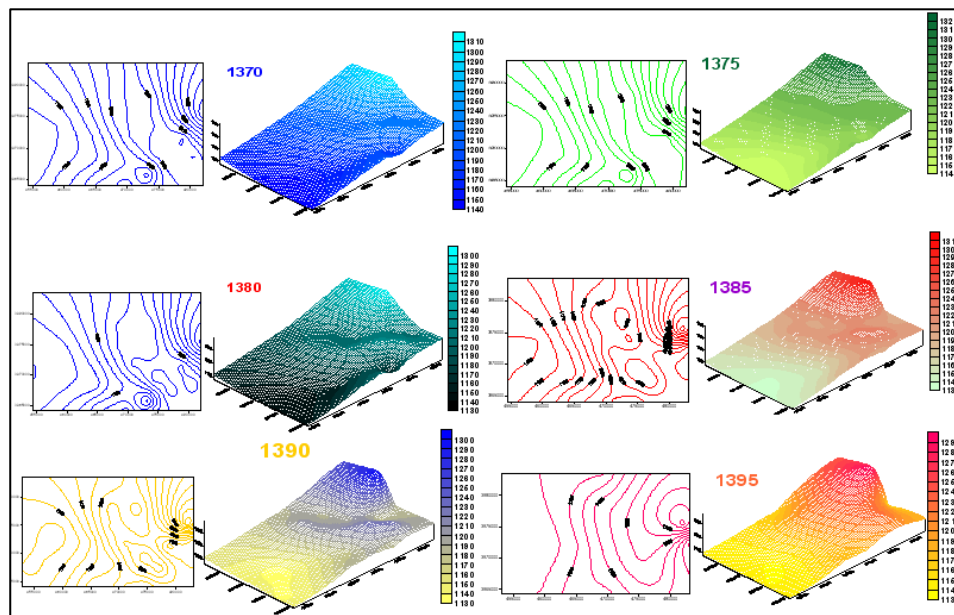
شکل ۱۱: پروفیل رسوب شناسی CC' و تغییرات تراز آب زیرزمینی از سال ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۵



شکل ۱۲: عدم انطباق حداکثر فرونشست با حداکثر بهره برداری و افت آب زیرزمینی در استان البرز

تعداد کل چاه های حفاری شده در سفره آب زیرزمینی دشت هشتگرد ۲۸۵۲ حلقه چاه با حجم برداشت ۲۴۱ میلیون مترمکعب است. سهم چاه های محدوده فرونشست ۵۱۸ چاه است که بر اساس آمار وزارت نیرو ۲۱۱ حلقه متروکه است. حجم آب قابل برداشت شده در این محدوده ۵۸ میلیون مترمکعب و ۲۴٪ از کل آب برداشت شده از دشت است. نتایج حاصل از بررسی تغییرات تراز آب زیرزمینی در دشت هشتگرد (شکل ۱۲)، نشان می دهد محدوده ای از دشت که بر اساس شواهد صحرایی درگیر مخاطره فرونشست است دارای چاه ها و تخلیه کمتری در مقایسه با کل دشت است. محدود شدن میزان تغذیه از شمال، وجود میان لایه های رسی در عمق و دانه ریز بودن رسوبات در این بخش از دشت شرایط مناسب برای نشست زمین را فراهم کرده است. بررسی خطوط هم اختلاف دشت هشتگرد نیز موضوع بیان شده در بالا را تایید می کند. در مناطقی که تراکم رسوبات دانه ریز زیاد و فرونشست رخ داده است نسبت به بخش های شمالی و دانه درشت، عدد مربوط به کاهش تراز آب زیرزمینی پایین تر است ولی تاثیر افت آب زیرزمینی در این بخش بیشتر از بخش های شمالی است. تغییرات تراز سطح آب زیرزمینی دشت هشتگرد در یک بازه زمانی ۲۵ ساله با استفاده از نرم افزار *surfer* مدل شد (شکل ۱۳). بر اساس مدل تهیه شده در سال های ۱۳۸۰ و ۱۳۹۰ که سطح آب زیرزمینی به پایین ترین مقدار خود رسیده است، رفتار خطوط تراز بیانگر پیچیدگی هندسه آبخوان است. این رفتار می تواند نشان دهنده ی یک گسل پنهان باشد که سفره را به دو بخش مجزا تقسیم کرده است و طبق قانون ظروف مشترک تا زمانی که تراز آب زیرزمینی بالا است پیچیدگی های هندسه آبخوان مشاهده نمی شود. در زمانی که آب در پایین ترین حد خود قرار دارد هر کدام از سفره ها رفتار متفاوت از خود نشان می دهند. بنابراین به عنوان یک نتیجه می توان بیان کرد که تکنیک می تواند باعث ایجاد دو سفره مجزا شود. شایان ذکر است به دلیل وجود میان لایه های رسی در دشت هشتگرد، سفره های تحت فشار یا نیمه تحت فشار وجود دارد و احتمال اینکه در بخش هایی که فرونشست با تراز آب همخوانی ندارد، برداشت از منابع تحت فشار عمیق صورت گیرد زیاد است. بنابراین شناخت کامل هندسه آبخوان با استفاده از مطالعات ژئوفیزیک و هیدروژئولوژی اهمیت بسیار زیادی دارد.

یک عامل دیگر که می‌تواند بر نوسانات آب تاثیر گذارد تغذیه به سفره آب زیرزمینی منطقه است. بر اساس بررسی های انجام شده شاخه ای از رودخانه کردان با دبی ۷ مترمکعب در روز از منطقه عبور می کند که بخش بسیار زیادی از آن به سفره تغذیه می شود. بنابراین جهت تفسیر و تحلیل مخاطره فرونشست مجموعه عوامل مختلفی باید مورد ارزیابی قرار گیرد. پیچیدگی های موجود در سفره آب زیرزمینی دشت هشتگرد مدیریت منابع آب و طرح تعادل بخشی را تحت تاثیر قرار می دهد. ولی آنچه در این میان اهمیت دارد ساختار زمین شناسی ویژه دشت و وجود آب های سطحی فراوان در آن است. زمین شناسی و هیدروژئولوژی دشت به گونه ای است که می توان با آبخوان داری و تعادل بخشی از گسترش پدیده فرونشست جلوگیری کرد.



شکل ۱۳: تغییرات تراز آب زیرزمینی از سال ۱۷۰ تا ۱۳۹۵ در آبخوان آبرفتی هشتگرد

نتیجه گیری، پیشنهادها و ارائه راهکار

ریسک خطر فرونشست در استان البرز به دلیل شرایط استراتژیک و تمرکز جمعیتی بالا، بسیار زیاد است. زیرساخت های موجود در این استان مانند راه آهن و آزاد راه تهران - قزوین بعنوان شاه راه ارتباطی استان های غربی به پایتخت، نقش منابع آب سطحی این استان در تامین آب شرب تهران و نرخ بالای مهاجر پذیری آن دلایل کافی جهت اهمیت مساله مدیریت بهینه منابع آب و جلوگیری از عواقب مخاطره فرونشست است. از سوی دیگر کاربری کشاورزی و توسعه باغ ویلاهای شمال دشت و بهره برداری های نامتعارف می تواند شرایط استان را از نظر مخاطره فرونشست به سمت بحرانی شدن سوق دهد. در حال حاضر بخش های میانی و جنوبی دشت هشتگرد درگیر مخاطره فرونشست است. تخلیه منابع آب زیرزمینی و بهره برداری های بیش از حد در شمال از یک طرف باعث محدود شدن تغذیه به آبخوان موجود در بخش های میانی دشت می شود و از طرف دیگر منجر به برعکس شدن شیب هیدرولیکی و بی نتیجه ماندن کنترل ها و تعادل بخشی می شود. بنابراین مدیریت برداشت از منابع آب زیرزمینی در بخش های شمالی از اهمیت زیادی برخوردار است.

شرایط زمین شناسی و ژئومورفولوژی خاص دشت هشتگرد و وجود رودخانه دائمی و پرآب کردن در کنترل نرخ فرونشست تاثیر مثبتی دارد. بنابراین به منظور کنترل نرخ فرونشست، پایش و جلوگیری از خسارت آبی مواردی از قبیل: آبخوان داری و ایجاد سدهای زیرزمینی بمنظور افزایش تراز آب در شمال دشت، مهار آب های سطحی و اجرای طرح های تغذیه مصنوعی، شناسایی هندسه آبخوان، شناسایی نوع آبخوان موجود در دشت هشتگرد (نشستی، تحت فشار یا آزاد) با استفاده از آزمایش پمپاژ، ممانعت از کف شکنی و بهره برداری از آبخوان چندلایه جنوب شرق هشتگرد پیشنهاد می شود.

سپاسگزاری

این مطالعه با کمک همکاران سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور انجام شده است و انجام آن بدون همکاری دکتر ایمان انتظام، دکتر مه آسا روستا امکان پذیر نبوده است. بنابراین نگارندگان مراتب سپاسگزاری خود را بدین وسیله اعلام میدارند.

منابع:

- بابایی، س: «بررسی فرونشست قزوین با استفاده از تداخل سنجی راداری»، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه زنجان، ۱۳۹۴.
- «بیان منابع آب محدوده‌های مطالعاتی حوزه آبریز دریاچه نمک»، منابع آب محدوده مطالعاتی اشتهارد، ۱۳۹۲.
- «بیان منابع آب محدوده‌های مطالعاتی حوزه آبریز دریاچه نمک»، منابع آب محدوده مطالعاتی تهران- کرج، ۱۳۹۲.
- حاجب، ز: «تخمین نرخ فرونشست در دشت قم با استفاده از تداخل سنجی راداری»، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان، ۱۳۹۶.
- حقیقت مهر و همکاران: «تحلیل سری زمانی فرونشست هشتگرد با استفاده از روش تداخل سنجی راداری و سامانه موقعیت یابی جهانی». مجله علوم زمین: سال بیستم و دوم، شماره ۸۵، ۱۳۹۱.
- روستا، م: «پایش فرونشست در استان البرز به کمک فناوری تداخل سنجی راداری: تصاویر Sentinel-1A»، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۹۶.
- روستا، م: «کاربرد مطالعه تداخل سنجی راداری در مطالعه تغییر شکل پوسته با نگرشی بر زمین لرزه»، رساله دکتری. پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، ۱۳۸۹.
- شمشکی، الف؛ محمدی، ی؛ بلورچی، م: «شناسایی پهنه آبخوان تحت فشار و نقش آن در شکل گیری فرونشست زمین در دشت هشتگرد». مجله علوم زمین: سال بیستم، شماره ۷۹، ۱۳۹۱.
- قاسمی، م؛ بلورچی، م: «بررسی مخاطرات ناشی از فرونشست زمین در استان تهران»، گزارش آب زمین شناسی، جلد دوم، دشت هشتگرد، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۸۶.
- قاسمی، م؛ بلورچی، م: «بررسی مخاطرات ناشی از فرونشست زمین در استان تهران»، گزارش آب زمین شناسی، جلد سوم، دشت کرج، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۸۶.
- قاسمی، م؛ بلورچی، م: «بررسی مخاطرات ناشی از فرونشست زمین در استان تهران»، گزارش آب زمین شناسی، جلد چهارم، دشت اشتهارد، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۸۶.
- محمودپور، م؛ شمشکی، الف: «فرونشست زمین در ایران»، مجموعه مقالات کنفرانس ملی حفاظت محیط زیست. ۱۳۹۵.
- مهشادنیاف: «مروری بر نشست منطقه ای زمین در ایران و تدوین بانک اطلاعات فرونشست زمین»، گروه بلاای طبیعی و مدیریت بحران، پایگاه ملی داده های علوم زمین کشور، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۸۴.
- ناقلی، س: «تجزیه و تحلیل پدیده فرونشست زمین در دشت نجف آباد با شبیه سازی عددی آب زیرزمینی»، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شیراز، ۱۳۹۰.
- Babaei, S., Z. Mousavi, Z. Masoumi, A. H. Malekshah, M. Roostaei, M. Aflaki (2019), Land subsidence from interferometric SAR and groundwater patterns in the Qazvin plain, Iran, *International Journal of Remote Sensing*, 41 (12), 4780-4798, doi: 10.1080/01431161.2020.1724345
- Dehghani, M., et al., InSAR monitoring of progressive land subsidence in Neyshabour, northeast Iran. *Geophysical Journal International*, 2009. 178(1): p. 47-56.
- Galloway, D.L., Jones, D.R., & Ingebritsen, S.E. (1999). Land Subsidence in the United States. U.S. Geological Survey Circular 1182
- Subsidence in Website: <http://www.ngdir>
- Wegmuller, U; Werner, C; Strozzi, T; & Weismann, A; Frey, O; Santoro, M: «Gamma Remote Sensing». 2016.
- Sentinel-1 User Handbook (2013), <https://sentinel.esa.int/>