

تحلیل زمین‌شناسی و هیدروژئولوژیکی فرونشست دشت اشتهارد و عوامل موثر بر گسترش شکاف‌های سطحی

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

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

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

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۲۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۱۴

چکیده

تحلیل پدیده فرونشست در هر دشت منوط به شناخت کامل هندسه آبخوان، مطالعات ژئوفیزیک، زمین‌شناسی و هیدروژئولوژی است. مطالعات جامع و شرایط زمین‌ساختی حاکم بر دشت اشتهارد بیانگر وجود دو محیط رسوبگذاری مجزا در دشت است. در بخش شرقی دشت اشتهارد یک محیط رسوبی با آبخوان سطحی کم عمق وجود دارد که به دلیل کیفیت پایین آب و بهره‌برداری کم، مساله فرونشست در آن وجود ندارد. بخش غربی اشتهارد یک حوضه عمیق رسوبگذاری است که تا عمق حدود ۷۰ متری دارای میان‌لایه‌های دانه ریز رس و سیلت است. در این بخش که سفره عمیق است بهره‌برداری از سال ۱۳۶۵ تا کنون بسیار زیاد بوده است و تا ۴۰ متر تراز آب زیرزمینی پایین آمده است تا جاییکه این تغییر تراز در مجاورت شهرک صنعتی اشتهارد منجر به برعکس شدن شیب هیدرولیکی و از بین رفتن تعادل سفره آب زیرزمینی شده است. مطالعات مکانیک خاک انجام شده ثابت می‌کند گسیختگی‌های سطحی بوجود آمده در فاصله ۷ کیلومتری شمال غرب شهرک صنعتی اشتهارد (مختصات جغرافیایی " ۵۷' ۴۴° عرض شمالی و " ۱۹' ۱۲° ۵۰° عرض شرقی) به دلیل ویژگی‌های خاک‌شناسی و رسوب‌شناسی منطقه است که تحت تاثیر رخدادهای اقلیمی گسترش یافته است و در طول زمان با کاربری و بارگذاری‌های نامناسب شدت گرفته است.

واژه‌های کلیدی: فرونشست، اشتهارد، شکاف، آبخوان، خاک واگرا.

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 منتهی به سال ۱۴۰۰ دشت اشتهارد نیز جزء دشت‌های درگیر فرونشست معرفی شده است. صحت سنجی نتایج حاصل از سنجش

از دور منوط به بررسی زمین شناسی و هیدروژئولوژیکی دشت و بازدیدهای صحرائی است. با توجه به کوچک بودن محدوده دشت اشتهارد، کیفیت پایین منابع آب زیرزمینی، تمرکز جمعیتی پایین و ساختار زمین شناسی و هیدروژئولوژی خاص منطقه، مطالعات تکمیلی جهت اثبات و تحلیل فرونشست در این دشت انجام شده است.

مواد و روش ها

INSAR، یکی از فناوری‌های ماهواره‌ای که به نام رادار با دهانه مصنوعی (InSAR) شناخته می‌شود، 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، دید جامعی از فرونشست ارائه می‌دهد. البته نقشه برداری سنتی، بررسی لوله زایی چاه های آب از دیگر روش های موثر مستندسازی دوره ای هرگونه تغییر در جابجایی سطح زمین است. در این مطالعه از تلفیق مطالعات سنجش از دور و بررسی ژئوفیزیک و زمین شناسی جهت تحلیل شواهد موجود در دشت اشتهارد که به فرونشست منتسب شده، استفاده شده است.

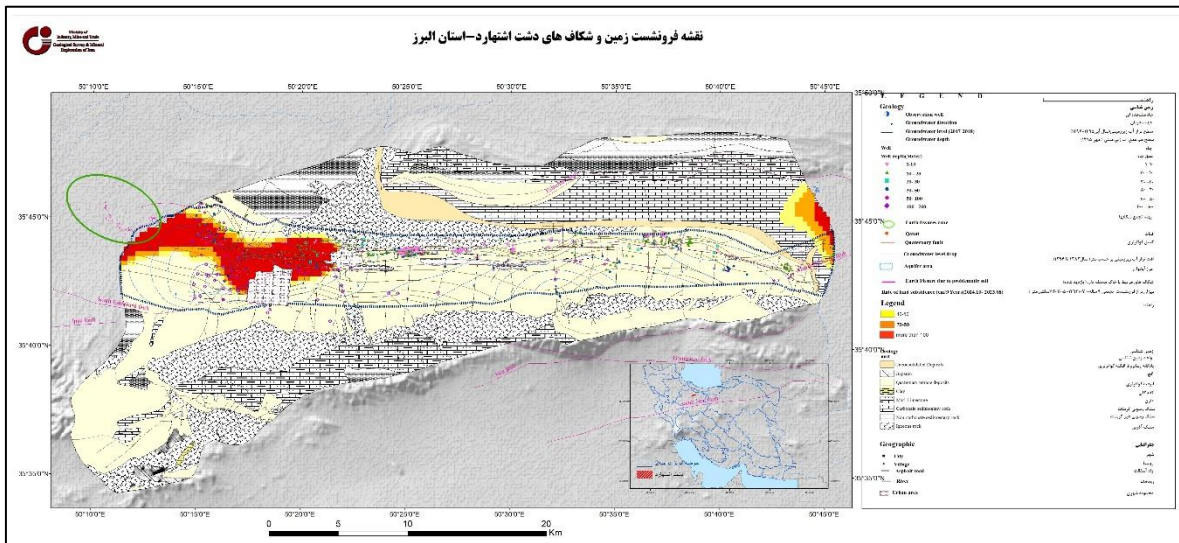
یافته های پژوهش

دشت اشتهارد در استان البرز، باختر تهران و خاور بوئین زهرا و از شمال به کوه‌های حلقه در و از جنوب به کوه های جارو ختم می شود (میرزایی ندوشن و همکاران، ۱۳۹۵). محدوده مطالعاتی اشتهارد در نیمه شمالی حوزه آبریز دریاچه نمک قرار دارد. مساحت ارتفاعات و دشت در این محدوده به ترتیب ۳۲۳ و ۴۶۶ کیلومتر مربع، حداکثر و حداقل ارتفاع به ترتیب ۲۰۷۸ و ۱۰۷۹ متر و میانگین ارتفاع آن ۱۱۹۰ متر است (مطالعات بیلان وزارت نیرو، ۱۳۹۵). شهر اشتهارد مهمترین ناحیه مسکونی در این محدوده مطالعاتی می باشد. شکل ۱، راه های دسترسی به محدوده مورد مطالعه را نشان می دهد.



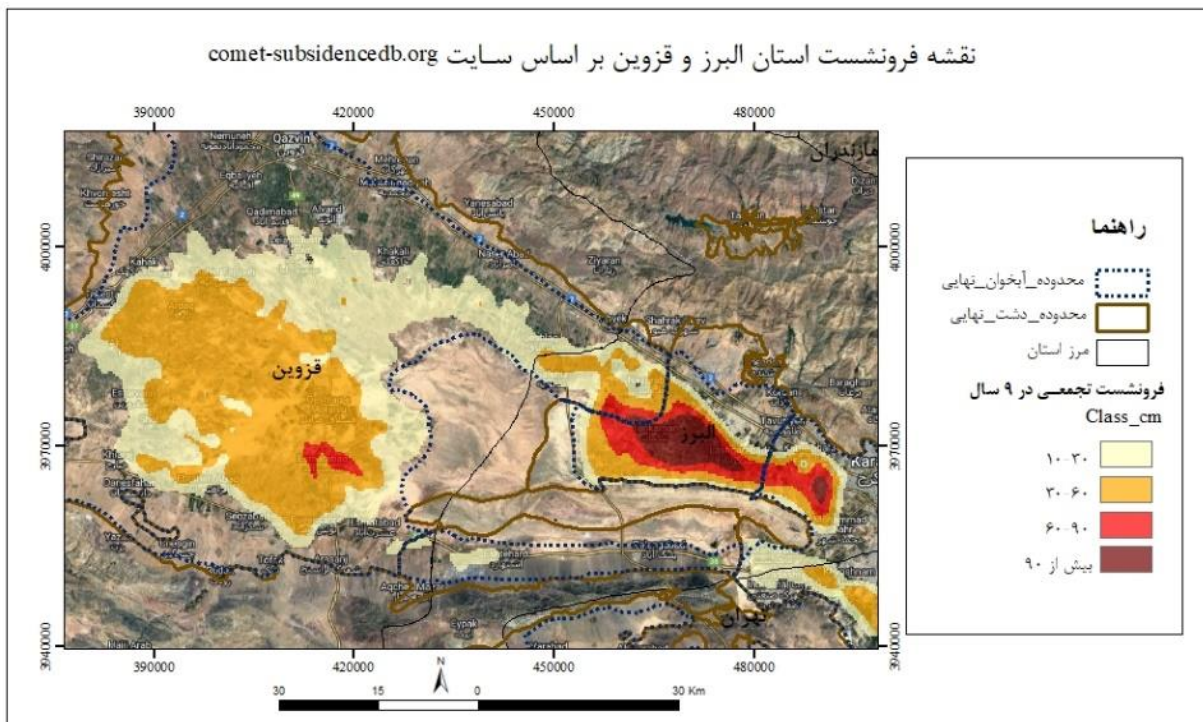
شکل ۱: موقعیت جغرافیایی دشت اشتهارد و راه‌های دسترسی به آن

تداخل سنجی راداری یک فناوری پیشرفته برای مطالعه تغییرات سطح زمین با استفاده از داده‌های راداری است. تصویری که از یک منطقه در یک زمان مشخص برداشت می‌شود با تصویری که در زمان دیگر توسط همان سنجنده رادار برداشت می‌شود تلفیق می‌شود. در این بررسی از ۵ تصویر گذر پایین رونده مربوط به دو تاریخ 20210329-20220312 استفاده شد (روستا، ۱۴۰۰). بیشترین وسعت دارای میزان نرخ اندازه‌گیری شده ۱-۳ سانتیمتر در سال و بخش کوچکی ۳-۶ سانتیمتر در سال است و در بخش غربی دشت اشتهارد و نزدیک شهرک صنعتی بصورت نقطه‌ای ۸ سانتیمتر است (شکل ۲). بر اساس نتایج سنجش از دور تنها ۸ درصد از مساحت دشت درگیر فرونشست با نرخ ۳ سانتیمتر در سال است. ۹۲ درصد از دشت فاقد این مخاطره است. کانون فرونشست در غرب دشت اشتهارد با وسعت ۲۲.۵ کیلومتر مربع است. بیشینه نرخ فرونشست در مجاورت شهرک صنعتی اشتهارد تا ۸ سانتیمتر در سال بصورت نقطه‌ای تخمین زده شده که به نظر می‌رسد به دلیل بهره‌برداری از چاه‌های عمیق و تحت تاثیر مخروط افت بوجود آمده باشد.



شکل ۲: نقشه فرونشست دشت اشتهارد در سال ۱۴۰۰، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، محدوده محدوده شکاف های دشت اشتهارد

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 COMIT-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 های ۳ و ۴ ارائه شده است.



شکل ۳: نقشه تجمعی ۹ ساله نرخ فرونشست استان البرز و قزوین

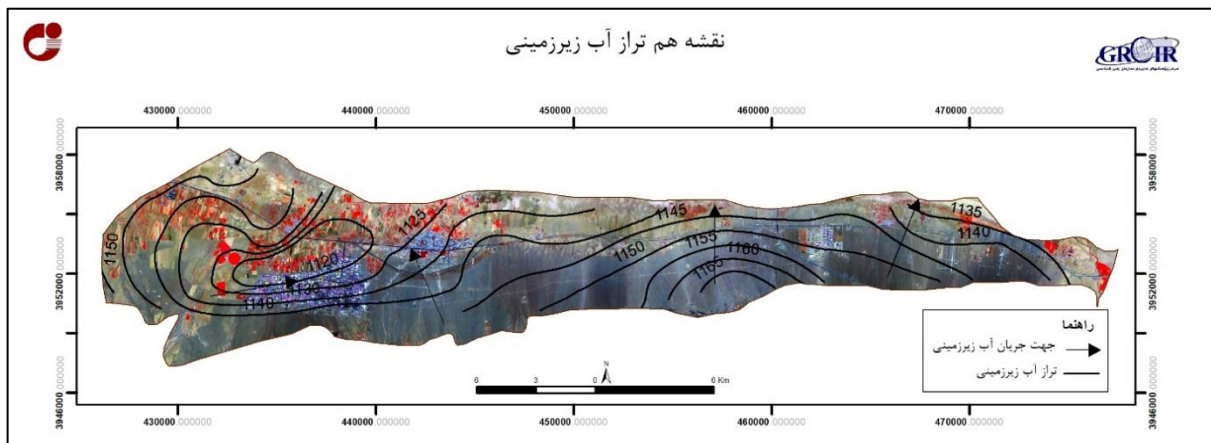
نرخ های فرونشست حاصل از پردازش داده های COMIT با مطالعات انجام شده در سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور همخوانی دارد. نرخ فرونشست ۹ ساله برای دشت اشتهارد حداکثر ۳۰ سانتیمتر بصورت تجمعی است. در واقع میانگین فرونشست در بخش غربی دشت اشتهارد ۳ سانتیمتر در سال و بیشترین نرخ در نزدیکی شهرک صنعتی اشتهارد مشاهده شده است.

بحث و نتیجه گیری

هیدروژئولوژی دشت اشتهارد

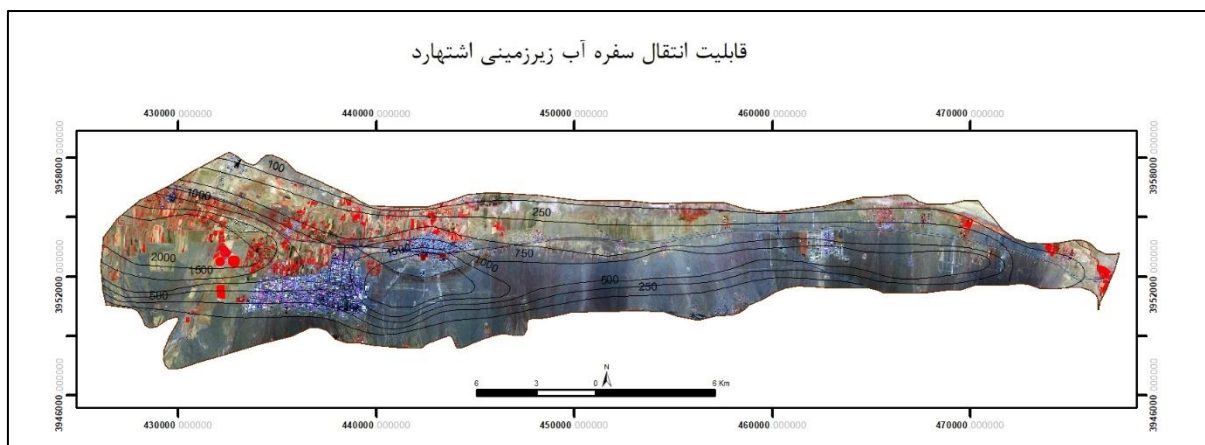
دشت اشتهارد دارای یک آبخوان آبرفتی از نوع آزاد بوده که به سمت شمال به واسطه ته نشست متناوب لایه های ماسه و سنی با رس و سیلت، چند لایه می گردد. جهت جریان آب زیرزمینی در این دشت از جنوب به شمال بوده و تغذیه جانبی آبخوان از ارتفاعات جنوبی مشرف به دشت صورت می پذیرد. اندازه ذرات رسوبات آبرفتی در این دشت از شن و ماسه در اراضی مخروط افکنه ای در جنوب دشت تا رس و سیلت و ماسه در اراضی شمال آبخوان تغییر می کند. بیشترین ضخامت رسوبات آبرفتی در این دشت منطبق بر مرکز آن است.

بر اساس گزارش بیلان وزارت نیرو مقدار تراز آب زیرزمینی در دشت اشتهارد ۱۱۷۰ تا ۱۱۳۵ متر است. بررسی های تغییرات تراز آب زیرزمینی نشان می دهد در بخش غربی شیب هیدرولیکی بر عکس شده و برخلاف شیب توپوگرافی منطقه است. بهره برداری بیش از حد از بخش غربی آبخوان و عدم ارتباط هیدرولیکی بخش شرق و غرب، منجر به تغییر منحنی تراز از حالت منظم شرقی - غربی شده است (شکل ۵).



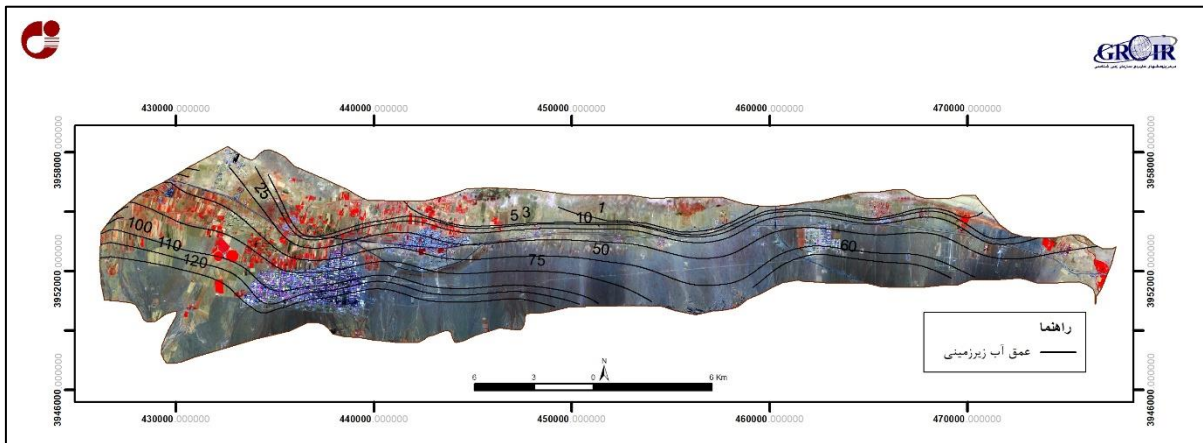
شکل ۵: تغییرات تراز و جهت حرکت آب زیرزمینی دشت اشتهارد

بررسی قابلیت انتقال دشت اشتهارد بیانگر تغییرات زیاد آن از ۱۰۰ تا ۲۰۰۰ متر در روز است. در بخش های جنوبی دشت اشتهارد به دلیل ضخامت پایین رسوبات قابلیت انتقال کمتر است و هر چه به سمت مرکز دشت میرویم به دلیل افزایش ضخامت رسوبات مقدار قابلیت انتقال افزایش می یابد. بیشترین مقدار قابلیت انتقال در بخش غربی و شهر اشتهارد دیده میشود که از ۱۵۰۰ تا ۲۰۰۰ متر در روز است (شکل ۶). الگوی منحنی تغییرات قابلیت انتقال نیز مجزا بودن آبخوان شرقی و غربی دشت اشتهارد را نشان می دهد.



شکل ۶: نقشه قابلیت انتقال در دشت اشتهارد

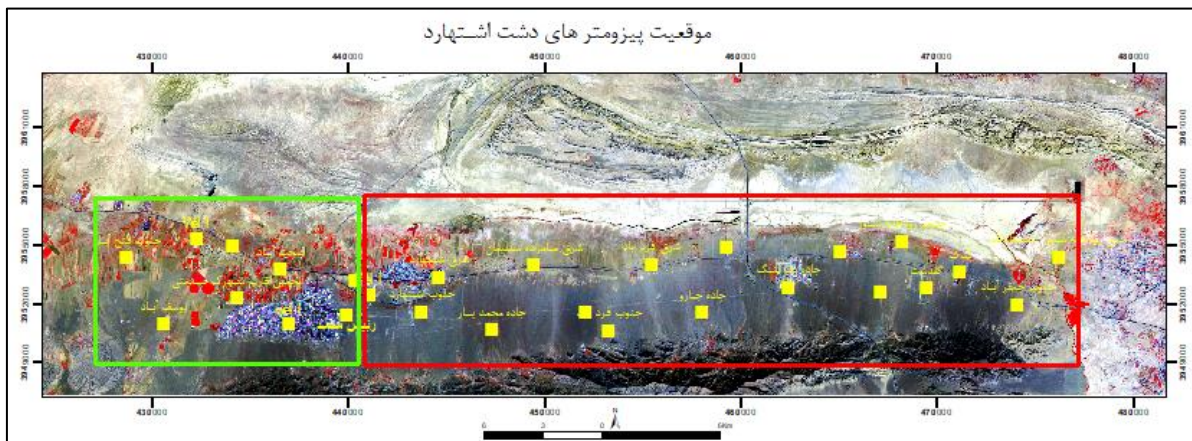
تغییرات عمق سفره آب زیرزمینی اشتهارد نیز از ۱ تا ۱۰۰ متر است (شکل ۷). عمق برخورد به آب از جنوب به شمال کم می شود. کمترین عمق برخورد به آب در دشت اشتهارد ۱ متر در شمال سفره آب زیرزمینی شرقی است. منحنی عمق نیز بیانگر بالا بودن ضخامت رسوبات در بخش غربی نسبت به شرقی است.



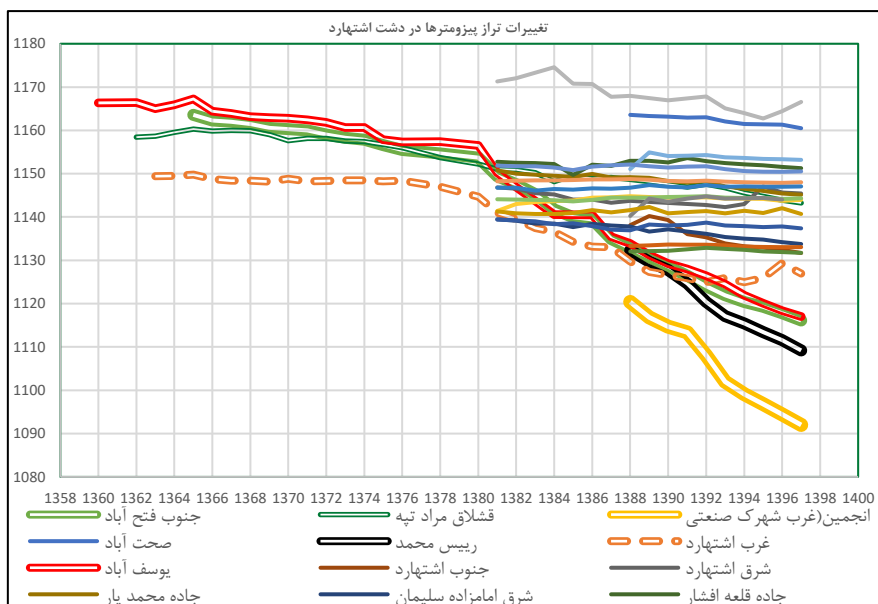
شکل ۷: نقشه تغییرات عمق برخورد به آب زیرزمینی در دشت اشتهارد

بررسی تغییرات تراز آب زیرزمینی در دشت اشتهارد

از آنجا که شناخت هندسه آبخوان در تحلیل مخاطره فرونشست اهمیت بسیار زیادی دارد و با توجه به عدم وجود چاه اکتشافی در این دشت، بررسی تغییرات تراز سطح ایستابی در طول زمان می‌تواند در شناخت هیدروژئولوژی دشت موثر باشد. از سال ۱۳۸۰ تعداد پیزومترهای دشت جهت اندازه‌گیری تراز آب زیرزمینی افزایش یافته که در حال حاضر ۲۴ پیزومتر با پراکندگی مناسب در این دشت وجود دارد. بررسی تغییرات تراز ارتفاعی در پیزومترها در (نمودار ۱) نشان دهنده دو روند کاملاً متفاوت و مشخص است. تعدادی از این پیزومترها با شیب منفی در طول زمان کاهش تراز آب را نشان می‌دهد در حالیکه تعداد زیادی از آنها تغییرات ناچیزی در طول زمان از خود نشان می‌دهند.



شکل ۸: موقعیت پیزومترهای دشت اشتهارد، تفکیک پیزومترهای بخش غربی و شرقی دشت

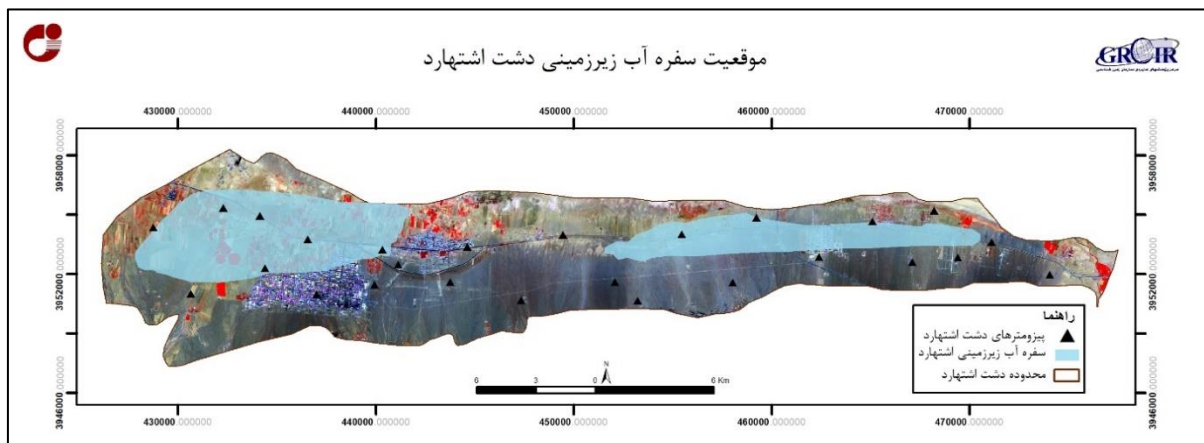


نمودار ۱: تغییرات تراز آب زیرزمینی پیزومترهای دشت اشتهارد

بررسی پیزومترهای بخش غربی بیانگر برداشت زیاد از منابع آب زیرزمینی و افت تراز در یک بازه ۳۵ ساله است. از آنجا که عمق چاه های بهره برداری در این بخش زیاد است، احتمالاً این برداشت ها از سفره آب زیرزمینی در اعماق بیش از ۷۰ متر (بر اساس عمق برخورد به آب) انجام می گیرد. احتمال وجود لایه های رسی در اعماق و متراکم شدن آن در نتیجه کاهش فشار آب منفذی می تواند منجر به نشست زمین در این منطقه شود و هر چه به بخش های شرقی دشت نزدیک شویم اولاً عمق برخورد به آب کاهش می یابد و سرعت افت آب زیرزمینی در طول زمان نیز کمتر می شود. به عنوان مثال در پیزومترهای شرق اشتهارد و فدک تغییرات تراز بسیار کمتر و به ترتیب ۸ و ۳ سانتیمتر در سال بوده است. در شرق دشت اشتهارد به دلیل ضخامت کم رسوبات، برداشت کم از منابع آب زیرزمینی به دلیل کیفیت پایین و املاح زیاد و تاثیر تغذیه رودخانه شور سطح آب بالاتر است و در طول زمان تغییر زیادی نمی کند (نمودار ۱). بررسی خصوصیات هیدروژئولوژی سفره آب زیرزمینی موجود در دشت اشتهارد شامل بررسی تغییرات تراز آب، قابلیت انتقال و بررسی تغییرات سطح آب در پیزومترها در بازه زمانی طولانی مدت نشان می دهد سفره آب زیرزمینی اشتهارد یک سفره یکپارچه نبوده و به دو بخش عمیق غربی و کم عمق شرقی تقسیم می شود (شکل ۹). در حالت طبیعی شیب هیدرولیکی و توپوگرافی از هم تبعیت می کنند ولی امروزه در بسیاری از آبخوان ها به دلیل برداشت های بی رویه از منابع آب زیرزمینی شیب هیدرولیکی از نظم طبیعی خود خارج شده و جهت جریان برعکس می شود. از نظر هیدروژئولوژی تغییرات بوجود آمده بر خلاف معادلات جریان حاکم بر سفره آب زیرزمینی است، بنابراین هر نوع کنترل در بهره برداری و اجرای طرح تعادل بخشی با چالش های زیادی همراه خواهد بود و نتایج مورد انتظار برآورده نخواهد شد.

در بخش غربی دشت اشتهارد، از سال ۱۳۶۳ تا ۱۴۰۰ به دلیل برداشت بی رویه تراز آب به شدت افت داشته بطوریکه شیب هیدرولیکی عوض شده و تعادل سفره برهم خورده است، ولی در شرق اشتهارد که سفره آب زیرزمینی کم عمق تری وجود دارد به دلیل بهره برداری کمتر، تاثیر تغذیه از رودخانه شور، شیب توپوگرافی مناسب جهت تغذیه باعث شده افت چندانی مشاهده نمی شود.

با توجه به عدم وجود حفاری اکتشافی و آزمایش پمپاژ در دشت اشتهارد نوع دقیق سفره های موجود مشخص نیست ولی با توجه به لاگ زمین شناسی چاه‌ها هر دو سفره آزاد است. ضخامت قابل توجه رسوبات در غرب دشت و آورد خشکه رود های آغچه مزار و آراسنج بستری برای شکل گیری آبخوان آبرفتی با ضخامت زیاد فراهم کرده است. در بخش های جنوبی نیز به دلیل انباشت رسوبات حاصل از فرسایش واحدهای آذرین سفره آزاد با ضخامت کمتر در مقایسه با سفره غربی وجود دارد که به سمت مرکز و شمال دشت به دلیل وجود ارتفاعات حلقه دره اندازه رسوبات دانه ریزتر خواهد شد و بالا بودن سنگ کف باعث ایجاد یک سفره کم عمق با خصوصیات هیدرودینامیکی ضعیف تر خواهد شد.

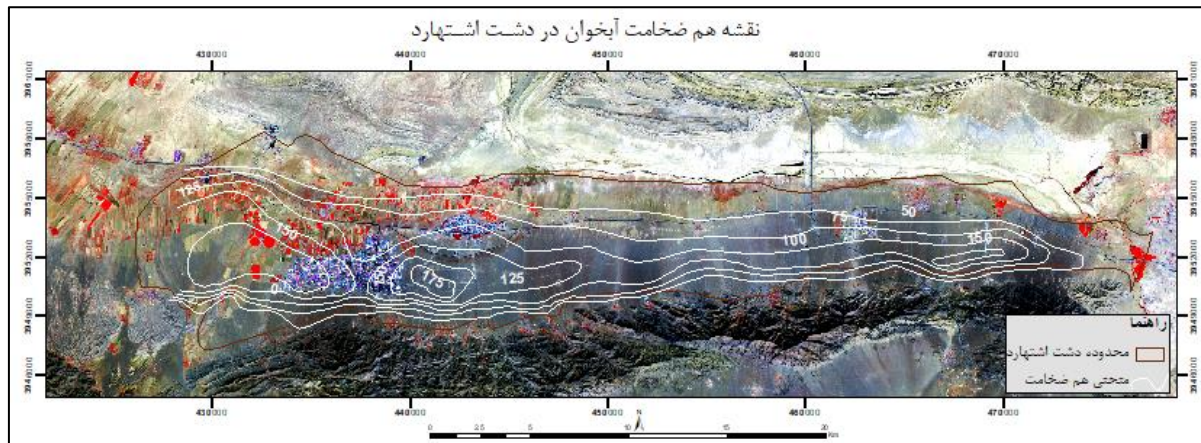


شکل ۹: موقعیت بیزومتر ها و سفره آب زیرزمینی دشت اشتهارد (برگرفته از مطالعات ژئوفیزیک دشت اشتهارد)

جنس و عمق سنگ کف

مطالعات ژئوفیزیک جامعی توسط شرکت مهندسین مشاور علوم زمین در سال ۱۳۸۴ صورت گرفته است. در این مطالعه ۸۰ سونداژ الکتریکی با طول الکترود های فرستنده جریان حداکثر ۱۰۰۰ متر انجام پذیرفته که نتایج آن بصورت پروفیل های عمقی و نقشه هم ضخامت دشت اشتهارد ارائه شده است (شکل ۱۰). بر اساس مطالعات ژئوفیزیک مهندسین مشاور کاوان دشت پیشگام و شرکت توسعه علوم زمین ضخامت آبرفت دشت اشتهارد تا ۱۸۰ متر برآورد شده است. در این مطالعات به وجود دو سفره کم عمق از ۵ تا ۱۵ متری بسته به ارتفاع توپوگرافی تا ۵۰ متر و سفره عمیق اصلی از عمق ۸۰ تا ۱۸۰ متر اشاره شده است.

ضخامت آبرفت در بخش های شرقی دشت از نواحی روستای مختارآباد تا منتهی الیه شرقی از حدود ۹۰ تا ۲۰ متر در تغییر است. مطالعات ژئوفیزیک دشت اشتهارد نیز وجود دو حوضه رسوبی مجزا را به خوبی نشان می دهد.



شکل ۱۰: نقشه هم ضخامت رسوب در دشت اشتهارد

وجود واحدهای آذرین در جنوب دشت با شیب به سمت شمال موید این مطلب است که در بخش های جنوبی جنس سنگ کف از جنس واحد آذرین است. در بخش های غربی بر اساس برداشت های ژئوفیزیک کنگلومرای پلیوکواترن در بخش های شمالی به دلیل وجود ارتفاعات حلقه دره از جنس مارن های میوسن است. بر اساس مطالعات انجام شده ضمن تایید وجود دو سفره آب زیرزمینی در دشت اشتهارد، مرز تفکیک آنها با توجه به شرایط هیدروژئولوژی و زمین شناسی در حاشیه شهرک صنعتی در نظر گرفته شده است.

علت پیدایش شکاف های سطحی دشت اشتهارد

در سال ۱۳۸۴ گزارشات مبنی بر ایجاد شکاف در سطح زمین و در جنوب شهرک صنعتی اشتهارد منتشر شده بود. دادستان و همکاران در یک مطالعه تفصیلی، علت پیدایش آنها و مسائلی که منجر به تشدید آن شده است را مسائل مربوط به جنس خاک بیان کرده اند. در سال ۱۳۹۵ نیز گزارشات خبری مبنی بر گسترش شکافها در منطقه فتح آباد اشتهارد و ریزش قنات ها به همراه کج شدگی تیرهای چراغ برق گزارش شده است و این شواهد به فرونشست زمین در نتیجه برداشت از منابع آب زیرزمینی متناسب شده است. این گسیختگی ها در غربی ترین بخش دشت اشتهارد و از نظر تقسیمات جغرافیایی در استان قزوین قرار دارد. اصلی ترین کاربری زمین در این بخش از دشت، کشاورزی و توسعه شهرک صنعتی است. کارخانه فولاد، کارگاه ماسه شویی، گلخانه ها و زمین های کشاورزی زیادی وجود دارد که آب مورد نیاز و مصرفی آنها توسط چاه های عمیق و برداشت از آبخوان های زیرزمینی تامین می شود. این شکافها در یک محدوده مشخص در جنوب فتح آباد تمرکز دارد. هر چند در بخش های دیگر بصورت خیلی محدود آثار این شکاف های سطحی مشاهده شد ولی تجمع آنها در محدوده ای است که در شکل ۱۱ ارائه شده است. عمده ترین روند شکافهای ثبت شده در محدوده شمالی- جنوبی است که بر اثر فرسایش و آبستگيها توسعه یافته و الگوی لانه زنبوری گرفته است. بیشینه عرض گسیختگی ۱۲۰ cm، بیشینه عمق گسیختگی ۲ متر و بیشترین درازای گسیختگی در حدود ۱۲۰ متر برداشت شده است.



شکل ۱۱: تجمع شکاف‌های سطحی در محدوده جنوب فتح آباد

به دلیل گسترش شکاف‌ها در محدوده، زیر ساخت‌های شهری از جمله دکل‌های انتقال نیرو و تیرهای برق، دهانه و میله‌های قنات و ساختمان‌ها مورد آسیب قرار گرفته است. به مرور زمان این فروریختگی‌ها متأثر از فرسایش آبی گسترش یافته و لایه زیرین که از جنس ماسه است خالی شده در نتیجه منجر به ریزش سقف تونل‌ها شده است و بدین ترتیب با توسعه این کانال‌ها سطح وسیعی از دشت درگیر این شکاف‌ها شده است. وجود میله‌های قنات و ریزش دهانه آن باعث هم‌افزایی این مخاطره و تشدید بحران شده است. در تحلیل این پدیده دو سوال مطرح است: اولاً دلیل پیدایش شکاف‌های سطحی چیست؟ و دوماً چه عواملی بر گسترش شکاف‌ها موثر است؟

با توجه به اینکه گسترش شکاف‌ها در فاصله ۷ کیلومتری شمال غرب شهرک صنعتی اشتهارد با مختصات جغرافیایی "۵۷'۴۴" عرض شمالی و "۱۹'۱۲" عرض شرقی گسترش پیدا کرده است، احتمال اینکه کشش سطحی بوجود آمده، نتیجه جابجایی افقی در حاشیه پهنه فرونشست به دلیل تخلیه سفره آب زیرزمینی باشد، بعید است زیرا شکاف‌های متأثر از فرونشست عمدتاً دارای روند مشخصی هستند و باید در دور تا دور سفره آب زیرزمینی مشاهده شود. فرضیه دوم در مورد علل پیدایش شکاف‌ها، مسائل مربوط به ژئوتکنیک و وجود خاک‌های واگرا در دشت اشتهارد است.

از نظر رسوب‌شناسی وجود یک لایه ۳ الی ۴ متری از رسوب دانه ریز سیلت و رس در تمامی محدوده‌هایی که درگیر شکاف شده، مشهود است (شکل ۱۲). این لایه رسی نسبت به عبور آب مقاوم و فاقد هدایت هیدرولیکی است. در اعماق بیش از ۳ متر لایه تراوای ماسه‌ای وجود دارد که با عبور جریان زیرسطحی و شسته شدن ماسه‌ها به مرور زمان، تونل‌های عمیقی ایجاد شده است. گسترش عرض شکاف‌ها تحت تاثیر فرسایش آبی منجر به ناپایداری و فروریختن سقف تونل‌ها شده و در نتیجه شکاف‌های عمیق در منطقه گسترش پیدا کرده است. بنابراین یکی از عوامل تاثیر گذار در توسعه این شکاف‌ها، فرسایش آبی لایه ماسه‌ای در زیر لایه رسی غیرقابل نفوذ است.



شکل ۱۲: لایه رسی با ضخامت ۳-۴ متر که بر روی ماسه قرار دارد

بمنظور بررسی خصوصیات مکانیک خاک منطقه، ۲۳ نمونه برداشت (شکل ۱۳) و ۸ نمونه جهت آزمایش مکانیک خاک و دانه بندی به آزمایشگاه مکانیک خاک ارسال و نتایج آن در جدول ۱ ارائه شده است.



شکل ۱۳: محل برداشت های نمونه در دشت اشتهارد

جدول ۱: نتایج آزمایش مکانیک خاک نمونه های اشتهارد

| ردیف | کد نمونه | کلاسه خاک | LL | PL | PI | درصد واگرایی (%) |
|------|----------|-----------|-----|-----|-----|------------------|
| 1 | ESH 5 | | | | | 88 |
| 2 | ESH 11 | | | | | 51.2 |
| 3 | ESH 14 | CL | 37 | 20 | 17 | 62.5 |
| 4 | ESH 16 | | | | | 80 |
| 5 | ESH 18 | | | | | 91 |
| 6 | ESH 23 | SC-SM | 17 | 13 | 4 | 17.9 |
| 7 | ESH 24 | SM | NLL | NPL | NPI | 22.7 |
| 8 | ESH 27 | ML | 19 | 15 | 4 | 8.2 |

نتایج آنالیز مکانیک خاک نشان می دهد نمونه های برداشت شده از محدوده فتح آباد بسیار واگرا است. از آنجا که خاک هایی با این مشخصات اساساً توانایی بارگذاری ندارند و در صورت مرطوب شدن ۷ برابر حجم می گیرند، تکرار مرطوب شدن و خشک شدن این خاک ها منجر به ایجاد ترک و شکاف های متعدد خواهد شد. دادستان و همکاران (۱۳۸۴) نیز در یک مطالعه تفصیلی، علت پیدایش شکاف در جنوب شهرک صنعتی اشتهارد و مسائلی که منجر به تشدید آن شده است را خاک های مساله دار با سدیم بالا بیان کرده اند.

مساله دیگر شرایط اقلیمی دشت اشتهارد است که اغلب با رخدادهای بارش های ناگهانی همراه است. این نوع بارش ها در زمان کمی می تواند حجم قابل توجهی رواناب تولید کند و با فرسایش های مداوم منجر به توسعه گالی های ایجاد شده شود. عوامل انسانی موثر بر گسترش این شکاف ها نیز به دو صورت است: بهره برداری بیش از حد از منابع آب زیرزمینی و کاربری نامناسب. در گذشته به دلیل بالا بودن تراز آب زیرزمینی خاک منطقه مرطوب بوده است، با توسعه چاه های بهره برداری و پایین رفتن سطح برخورد به آب زیرزمینی بیش از ۱۰۰ متر، شرایط هیدروژئولوژی تغییر کرد و خاک های دانه ریز منطقه، رطوبت دائم خود را از دست دادند. تکرار چرخه خشک و تر شدن این نوع خاک ها در گسترش شکاف ها اثر بسیار زیادی دارد. ارائه راه کارهای نامناسب جهت تثبیت خاک منطقه با درختکاری، منجر به خشک شدن بیشتر خاک شده است بطوریکه این شکاف ها در منطقه درختکاری شده بیشترین توسعه و عمق را داشته است (شکل ۱۱).

نتیجه گیری، پیشنهادها و ارائه راهکار

بر اساس مطالعات سنجش از دور، در بخش غربی دشت اشتهارد فرونشست مشاهده وجود دارد. بهره برداری زیاد از سفره آب زیرزمینی در بخش غربی در طول ۴۰ سال گذشته منجر به تراکم لایه های ریز دانه، افزایش تنش موثر و نهایتاً فرونشست با نرخ حداکثر ۳ سانتیمتر در سال بر اساس مطالعات سنجش از دور شده است. علاوه بر مشاهده نشست زمین در آبخوان غربی اشتهارد، شیب هیدرولیکی آبخوان برعکس شده، بنابراین مدیریت بهره برداری از منابع آب زیرزمینی در بخش غربی اشتهارد توصیه می شود. در آبخوان کم عمق شرقی، به دلیل کیفیت پایین آب و بهره برداری کمتر، مساله فرونشست در آن وجود ندارد. پیدایش شکاف های سطح زمین در ۷ کیلومتری غرب شهرک صنعتی اشتهارد به دلیل ویژگی های خاک شناسی و رسوب شناسی منطقه است که بهره برداری بیش از حد

منابع آب زیرزمینی و بر هم خوردن سیکل هیدرولوژی منطقه، خاک‌ها رطوبت خود را از دست داده‌اند و شکاف‌های متعدد بوجود آمده است. این گسیختگی‌ها در طول زمان متأثر از فرسایش آبی گسترش یافته است و با کاربری و بارگذاری‌های نامناسب شدت گرفته است.

سپاسگزاری

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

منابع:

- مهندسین مشاور آبخوان، (۱۳۹۲). گزارش بهنگام سازی بیلان منابع آب محدوده های مطالعاتی حوضه آبریز دریاچه نمک، گزارش بیلان آب محدوده مطالعاتی اشتهارد.
- مهندسین مشاور آب و توسعه پایدار، (۱۳۸۹). گزارش بهنگام سازی بیلان منابع آب محدوده های مطالعاتی حوضه آبریز دریاچه نمک، گزارش بیلان آب محدوده مطالعاتی اشتهارد.
- مهندسین مشاور کاوان دشت پیشگام، (۱۳۹۶). گزارش گزارش مقدماتی سفره آب شور و شیرین دشت اشتهارد.
- شرکت توسعه علوم زمین، (۱۳۸۴). گزارش مطالعات ژئوالکتریک دشت اشتهارد.
- شرکت آب منطقه ای البرز، (۱۳۹۵). مطالعات منابع آب زیرزمینی دشت اشتهارد، ۳۹۶.
- نوریان، م، دلاور، م، سپردار، م، (۱۳۹۰). ویژگی های مینرالوژی و میکرومورفولوژیکی پوسته های نمکی دشت اشتهارد، دوازدهمین کنگره علوم خاک ایران، تبریز.
- رنجبر، م، جعفری، ن، بررسی عوامل موثر در فرونشست زمین در دشت اشتهارد، نشریه علمی- پژوهشی انجمن جغرافیای ایران، سال ششم، شماره ۱۹ و ۱۸ پاییز و زمستان ۱۳۸۸.
- روستا، م، (۱۳۹۶). پایش فرونشست در استان البرز به کمک فناوری تداخل سنجی راداری: تصاویر Sentinel-1A، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- قاسمی، م، بلورچی، م، (۱۳۸۶). بررسی مخاطرات ناشی از فرونشست زمین در استان تهران، گزارش آب زمین شناسی، جلد چهارم، دشت اشتهارد، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- دادستان، ا، رضایی، ف، (۱۳۸۴). نشست خطی زمین در شهرک طالقانی اشتهارد؛ بررسی علتها، پیامدها و توصیه‌ها، بیست و چهارمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- نقشه فرونشست استان البرز، (۱۴۰۰). مرکز پژوهش های کاربردی سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

Joseph F.Poland, 1984, Chairman and Editor, Guidebook to studies of Land Subsidence due to ground-water withdrawal, Prepared International Hydrological Programme.
<https://hgsubsidence.org/science-research/measuring-subsidence/>