

مجله مخاطرات محیط طبیعی، دوره هشتم، شماره بیست و دوم، زمستان ۱۳۹۸

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۰۶/۱۱

تاریخ بازنگری اولیه مقاله: ۱۳۹۷/۰۹/۰۷

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۳/۱۲

صفحات: ۹۵ - ۱۱۰

بررسی فرونشست زمین ناشی از برداشت بی رویه آب زیرزمینی در دشت کردی شیرازی، استان هرمزگان

سیده محدثه موسوی^۱، هادی جعفری^{۲*}، علی اکبر مومنی^۳، جهانگیر سپهری^۴

چکیده

برداشت بیش از حد منابع آب زیرزمینی سبب مخاطرات زیست محیطی زیادی می شود که در بین آنها فرونشست زمین از اهمیت زیادی برخوردار می باشد. هدف از مقاله حاضر بررسی فرونشست و ایجاد شکاف زمین به عنوان یکی از مخاطرات زیست محیطی ناشی از افت سطح آب زیرزمینی در دشت کردی شیرازی می باشد. بدین منظور تغییرات سطح آب زیرزمینی و وضعیت سطحی و عمقی رسوبات موجود در دشت مورد بررسی قرار گرفته است. داده های سطح آب زیرزمینی اندازه گیری شده در پیزومترها در طی ۱۶ سال گذشته (۱۳۷۸-۱۳۹۴) نشان می دهد سطح ایستابی حدود ۳۵/۵ متر افت نموده و متوسط نرخ افت سطح آب زیرزمینی حدود ۲/۲ متر در سال می باشد. برداشت بیش از حد از آبخوان آبرفتی دشت کردی شیرازی ضمن افت سطح آب زیرزمینی سبب ایجاد بارفشاری قابل ملاحظه به رسوبات تشکیل دهنده آبخوان و بنابراین فشردگی و نشست آنها شده است. در نتیجه یک شکاف بزرگ به طول ۵۶۷/۶ متر در سال ۱۳۹۴ در بخش شمال غربی دشت ظاهر شده است. مطابق نتایج این تحقیق دو عامل افت سطح آب زیرزمینی و تغییرات ضخامت لایه ریزدانه رسی موجب نشست نامتقارن، ایجاد منطقه کششی و در نتیجه رخداد شکاف در دشت کردی شیرازی شده است. بر مبنای این عوامل نقشه خطرپذیری ایجاد شکاف ناشی از فرونشست زمین در دشت کردی شیرازی تهیه شده و پهنه های با خطر نسبی زیاد، متوسط و کم مشخص شده است.

واژگان کلیدی: مخاطرات زیست محیطی، افت سطح آب زیرزمینی، نشست زمین، کردی شیرازی

mohadese.7271@gmail.com

h_jafari@shahroodut.ac.ir

ali_moomeni@yahoo.com

^۱- دانشی آموخته کارشناسی ارشد هیدروژئولوژی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود

^۲- استادیار هیدروژئولوژی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود (نویسنده مسئول)

^۳- استادیار زمین شناسی مهندسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود

^۴- کارشناس امور منابع آب، شرکت آب منطقه ای استان هرمزگان

مقدمه

امروزه با توجه به رشد روز افزون جمعیت و کمبود منابع آب سطحی، برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی به منظور مصارف مختلف کشاورزی، صنعتی و آشامیدنی افزایش یافته است. افت سطح آب زیرزمینی، سبب تغییرات زیادی در چرخه‌ی هیدرولوژی شده و مخاطرات زیست محیطی متعددی را ایجاد می‌کند. از جمله مهمترین مخاطرات زیست محیطی ناشی از افت سطح آب زیرزمینی می‌توان به فرونشست زمین اشاره نمود. براساس اطلاعات کارگروه فرونشست در سازمان یونسکو، قدیمی‌ترین فرونشست شناخته شده در ایالت آلابامای ایالات متحده در سال ۱۹۰۰ میلادی به وقوع پیوسته است. همچنین در شهر ونیز ایتالیا طی سال‌های ۱۹۳۰ تا ۱۹۷۳ نشست حدود ۱۵ سانتی‌متر (Gambolati et al., 1974)، در دشت ساحلی تسالونیکه واقع در شمال یونان نشست حدود ۱۰ سانتی‌متر در سال و در مناطقی از کالیفرنیا نشست حدود ۸/۸ متر اندازه‌گیری شده است (Larson et al., 2001). در شهر بانکوک در تایلند در سال‌های ۱۹۳۳ تا ۲۰۰۲ حدود ۲۰۵ سانتی‌متر (Phien et al., 2006) نشست رخ داده است. تغییرات ارتفاع زمین در طول سال‌های ۱۹۷۵ تا ۲۰۰۳ در حوضه تاپیه (شمال تایوان) در اثر پمپاژ آب زیرزمینی مورد بررسی قرار گرفته است. در طول این سال‌ها برداشت بیش از حد منابع آب زیرزمینی برای مصارف آبیاری رخ داده است و نشست نامتقارن در منطقه ایجاد شده است (Chen et al., 2007). استخراج بیش از حد آب‌های زیرزمینی در غرب تایوان نیز باعث فرونشست زمین شده است. در این منطقه تغییرات سطح آب زیرزمینی مورد بررسی قرار گرفته و با استفاده از GPS، جابجایی عمودی و ارتباط آن با سطح آب زیرزمینی تجزیه و تحلیل شده است. نتایج نشان می‌دهد افزایش و کاهش سطح آب زیرزمینی در غرب تایوان تحت تأثیر باران و خشکسالی بوده، لیکن به دلیل برداشت بیش از حد از منابع آب زیرزمینی فرونشست زمین اتفاق افتاده است (Chen et al., 2010). در جیانگسو در طول سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۰، توزیع چاه‌های پمپاژ، مقدار بهره‌برداری از آب زیرزمینی و سطح آب زیرزمینی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد با افزایش مقدار بهره‌برداری از آبخوان، سطح آب زیرزمینی کاهش و نرخ فرونشست زمین افزایش می‌یابد (Hongdong et al., 2011). فرونشست زمین در مناطق کالچری (Kalochori) و سیندوس (Sindos) در شمال یونان مورد بررسی قرار گرفته است. در این بررسی فرونشست زمین ۳۵ میلی‌متر در سال برآورد شده است. بررسی‌های انجام‌شده در این مناطق نشان می‌دهد که فرونشست زمین در ارتباط با هیدروژئولوژی منطقه می‌باشد. در این مناطق کاهش سطح آب زیرزمینی عامل پدیده فرونشست زمین می‌باشد (Nikos et al., 2016). در دره سدار (Cedar) واقع در ایالت یوتای آمریکا شکاف‌هایی در مناطق شمال شرقی و جنوب غربی ایجاد شده است. کاهش سطح آب زیرزمینی به دلیل پمپاژ آب زیرزمینی سبب تراکم رسوبات ریزدانه شده است. در واقع تراکم رسوبات عامل اصلی رخداد فرونشست زمین شناخته شده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد در صورتی که سطح آب زیرزمینی در این محل سالانه ۶۰ سانتی‌متر کاهش یابد، بیشترین میزان فرونشست حدود ۳ سانتی‌متر در سال خواهد بود (Knudsen et al., 2014). مطالعات انجام‌شده در سایر مناطق دنیا نظیر دره کواتای پاکستان (Kakar et al., 2019)، دهلی (Malik et al., 2019)، مناطق مرکزی عربستان سعودی (Othman and Abotalib, 2019)، گجرات هند (Choudhury et al., 2018)، جیان چین (Wang et al., 2018)، مکزیک

(Figuroa-Miranda et al., 2018) و مالزی (Yong et al., 2018) رخداد فرونشست زمین در اثر برداشت از منابع آب زیرزمینی را اثبات نموده است.

در ایران نیز برداشت بیش از حد منابع آب زیرزمینی، افت سطح آب زیرزمینی و ایجاد مخاطرات زیست محیطی ناشی از آن نظیر فرونشست زمین در تعداد زیادی از دشت‌های آبرفتی گزارش شده است. برای مثال، برداشت بیش از حد منابع آب زیرزمینی در دشت اشتهارد موجب نشست زمین شده است (رنجبر و جعفری، ۱۳۸۸). در این منطقه نشست زمین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، داده‌های سطح آب زیرزمینی طی دوره ۸۳-۱۳۷۹، زمین‌شناسی منطقه و مشخصات مهندسی رسوبات مورد بررسی قرار گرفته است. در این بررسی مؤثرترین عوامل فرونشست شامل برداشت بیش از حد منابع آب زیرزمینی، ضخامت لایه‌های رسوبی و ویژگی‌های مهندسی رسوبات می‌باشد. در طی سال‌های ۱۳۷۹ تا ۸۳، سطح ایستابی در دشت حدود ۵ متر افت داشته است. افت سطح آب زیرزمینی در بخش‌هایی از دشت اشتهارد که لایه‌های زیر سطحی از جنس رس و مارن بوده باعث فرونشست بیشتری نسبت به قسمت‌هایی که رسوبات دانه درشت بوده، شده است (رنجبر و جعفری، ۱۳۸۸). فرونشست زمین در دشت مشهد ناشی از دو عامل بهره‌برداری بی‌رویه از آبخوان و جلوگیری از نفوذ آب برگشتی از بخش‌های کشاورزی، صنعت و شرب می‌باشد. پیامدهای ناشی از این پدیده با استفاده از تکنیک راداری اینترفرومتری و GPS بررسی گردیده است. بررسی نشان می‌دهد که میزان فرونشست در مناطق طوس و بلوار وکیل‌آباد به ترتیب ۲۰ و ۱۵ سانتی‌متر در سال بوده است (بهنیافر و همکاران، ۱۳۸۹). افت سطح آب زیرزمینی در محدوده‌هایی از آبخوان دشت مشهد باعث نشست و جابجایی زمین شده است. آثار نشست به صورت گسیختگی و کج‌شدگی لوله‌های جدار چاه‌ها نمایان شده و سبب ایجاد مشکلاتی از جمله تخریب سازه‌های زیرسطحی گردیده است (موسوی مداح و همکاران، ۱۳۹۲). در دشت کبودر آهنگ و فامنین در استان همدان نیز فرونشست زمین و تشکیل فروچاله در اثر افت سطح آب‌های زیرزمینی گزارش شده است (Khanlari et al., 2012). افت سطح آب زیرزمینی ناشی از برداشت بی‌رویه، عمق زیاد آبرفت روی بستر سنگی، تغییر ضخامت لایه‌های خاک در دامنه کوه و ضخامت زیاد لایه‌های ریزدانه رسی سبب فرونشست در دشت مرودشت شده به طوری که میزان فرونشست در روستای شول به ازای ۲۱ متر افت سطح آب زیرزمینی به طور متوسط ۱۶/۵ سانتی‌متر تعیین شده است. با فاصله گرفتن از روستا این میزان فرونشست به علت افزایش ضخامت آبرفت، به حدود ۲۲ سانتی‌متر افزایش یافته است (رهنما و میرانی، ۱۳۹۵). فرونشست زمین در جنوب غربی تهران در اثر برداشت بیش از حد منابع آب زیرزمینی می‌باشد. در فاصله بین سال‌های ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۲ عمق سطح آب زیرزمینی در این منطقه حدود ۱۱/۶۵ متر کاهش یافته است (Mahmoudpour et al., 2016). در استان یزد فرونشست زمین با استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری اندازه‌گیری و مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که در دوره زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۶ میزان نشست زمین حدود ۲۲ سانتی‌متر بوده که به دلیل کاهش سطح آب زیرزمینی می‌باشد (Amighpey and Arabi, 2016). در دشت رفسنجان سالانه بیش از ۵ میلی‌متر زمین نشست می‌کند. داده‌های سطح آب در این دشت نشان می‌دهد که فرونشست ناشی از استخراج بیش از حد آب‌های زیرزمینی بوده که منجر به تراکم رسوبات شده و تغییر شکل غیر قابل برگشت و ناپایدار آبخوان را در پی داشته است.

ذخیره آبخوان دشت رفسنجان در طی سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۶ حدود ۳۰۰ میلیون متر مکعب کاهش یافته است (Motagh et al., 2017). افت سطح ایستابی در دشت فامنین همدان در طی سال‌های ۱۹۸۸ تا ۲۰۰۸ بررسی شده است. در این دشت افت سطح ایستابی ناشی از برداشت بی‌رویه آب زیرزمینی در بخش کشاورزی می‌باشد. در این دشت سالانه ۱۵۵ میلیون مترمکعب آب از آبخوان برداشت می‌شود (Khanlari et al., 2012). مطالعات انجام‌شده در دشت یزد (Amin et al., 2019)، ورامین (Dehghaniand Nikoo, 2019) و علی‌آباد قم (Rajabi, 2018) نیز رخداد فرونشست ناشی از برداشت بیش از حد از منابع آب زیرزمینی را نشان می‌دهد.

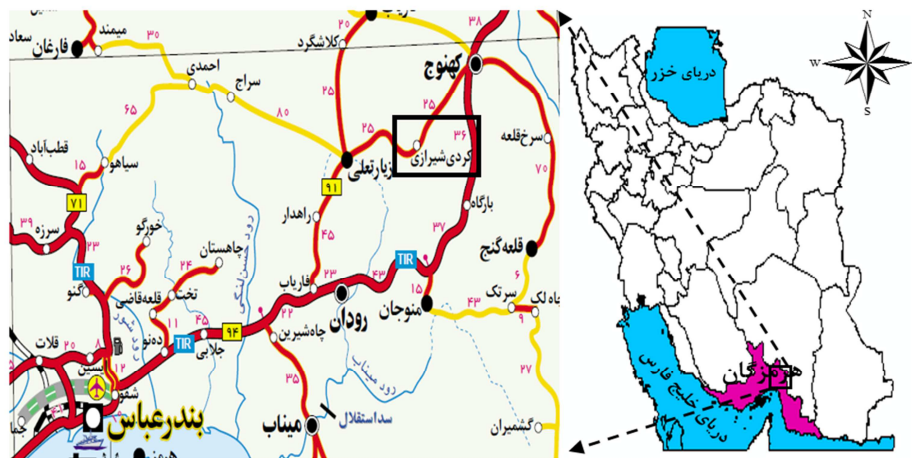
دشت کردی شیرازی به‌عنوان یکی از دشت‌های حاصل‌خیز در زمینه کشاورزی در استان هرمزگان می‌باشد. این دشت فاقد رودخانه دائمی بوده و بهره‌برداری از منابع آبی جهت مصارف مختلف متکی بر آبخوان کردی شیرازی می‌باشد. در سال‌های اخیر توسعه کشاورزی سبب برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی و فشار زیادی بر این منابع شده است. خشکسالی‌های اخیر و پایین رفتن سطح ایستابی نیز این وضعیت را تشدید نموده که باعث ایجاد مخاطرات زیست‌محیطی نظیر فرونشست زمین و ایجاد شکاف در بخش‌هایی از دشت شده است. با توجه به اهمیت موضوع و عدم وجود مطالعات قبلی در این دشت، هدف از تحقیق حاضر بررسی فرونشست و مکانیسم ایجاد شکاف زمین ناشی از افت سطح آب زیرزمینی در دشت کردی شیرازی می‌باشد.

موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

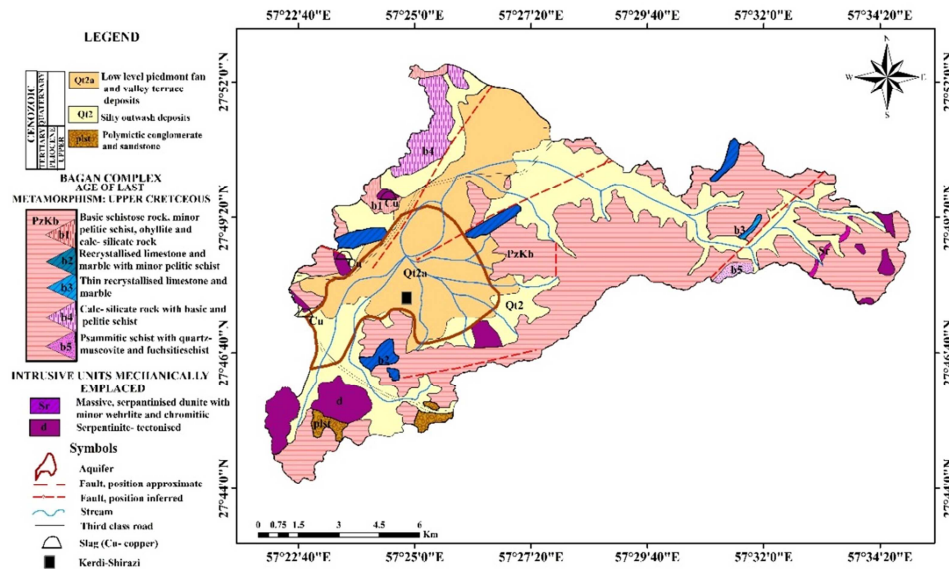
محدوده مطالعاتی کردی شیرازی جزء بخش رودخانه از توابع شهرستان رودان بوده که در شمال شرقی استان هرمزگان واقع شده است. این محدوده بین طول‌های جغرافیایی $57^{\circ}21'49''$ تا $57^{\circ}35'$ شرقی و عرض‌های جغرافیایی $27^{\circ}44'11''$ تا $27^{\circ}52'04''$ شمالی قرار دارد (شکل ۱).

از نظر زمین‌شناسی محدوده کردی شیرازی در قسمت غربی زون مکران قرار دارد. شکل (۲) نقشه زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد. این محدوده بخشی از مجموعه بجگان محسوب می‌شود و بخشی از یک توالی گسترده سنگ‌های دگرگونی با منشأ رسوبی یا آذرین می‌باشد. واحدهای نفوذی دونیت و سرپانتینیت درون مجموعه بجگان قرار گرفته‌اند. در قسمت جنوب محدوده کردی شیرازی کنگلومرا به صورت پراکنده و با مساحت کم رخنمون دارد که از نظر نفوذپذیری در حد متوسط بوده و نقشی در تغذیه آبخوان ندارد. حوضه آبریز دشت کردی شیرازی به صورت یک حوضه بسته می‌باشد. این دشت فاقد چشمه و رودخانه دائمی می‌باشد. آبخوان دشت کردی شیرازی از نوع آزاد و آبرفتی می‌باشد. رسوبات آبرفتی دشت از فرسایش ارتفاعات در طی دوره کوتاه‌تر به وجود آمده‌اند. این رسوبات در اثر عوامل مختلف به ویژه جریان آب تشکیل شده‌اند و از نظر دانه‌بندی و ضخامت در نقاط مختلف دشت متفاوت هستند. رسوبات آبرفتی دشت شامل مخروط افکنه‌های قدیمی و تراس‌های آبرفتی (Q^{12}) و رسوبات سیلتی شسته شده (Q^{12a}) می‌باشد. مخروط افکنه‌های قدیمی و تراس‌های آبرفتی در قسمت شرق و جنوب کردی شیرازی قرار گرفته‌اند و دانه‌بندی آنها شامل شن، ماسه، سیلت و رس می‌باشد. ضخامت رسوبات دشت بین ۵۰ تا ۲۰۰ متر متغیر بوده است. با توجه به اینکه دشت در بین ارتفاعات قرار گرفته، شیب توپوگرافی دشت از سمت جنوب به سمت

شمال دشت کاهش می‌یابد. مسیل‌های موجود در منطقه به سمت شمال و مرکز متمرکز می‌شود و نقش مؤثری در تغذیه آبخوان دارند. در منطقه مورد مطالعه چندین گسل در قسمت‌های شمال، شرق، جنوب و مرکز با راستای NE-SW و در غرب با راستای NW-SE وجود دارد. گسل‌های موجود در منطقه مجموعه بجان را تحت تأثیر قرار داده و باعث افزایش نفوذپذیری آنها شده است.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی دشت کردی شیرازی



شکل ۲: نقشه زمین‌شناسی حوضه آبریز کردی شیرازی و موقعیت آبخوان در آن

روش تحقیق

جهت دستیابی به هدف، روش انجام کار مطابق نمودار جریان‌ی تحقیق (شکل ۳) طی مراحل زیر پیش‌بینی شده است:

الف- مطالعات پایه و جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز: در این تحقیق از اطلاعات زمین‌شناسی، داده‌های ماهانه سطح آب پیژومترها در طول سال‌های ۱۳۷۸ تا ۱۳۹۴ و مقادیر برداشت سالانه چاه‌های بهره‌برداری استفاده شده است. لازم به ذکر است که آمار و اطلاعات مربوط به پیژومترها و چاه‌های بهره‌برداری از شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان هرمزگان اخذ شده است.

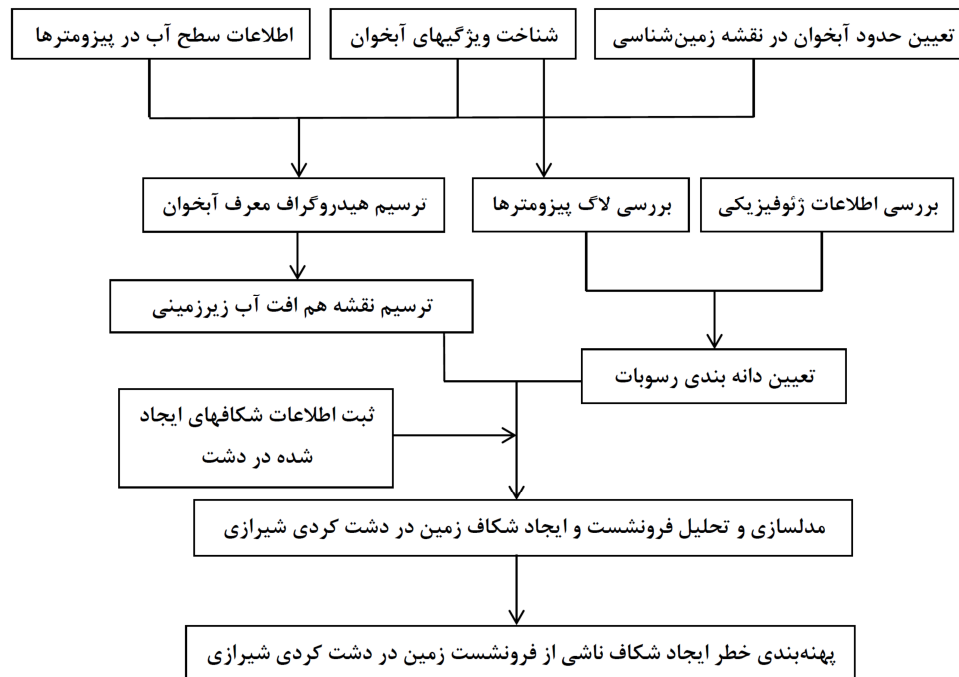
ب- ترسیم هیدروگراف معرف آبخوان و نقشه هم‌افت آب زیرزمینی: با استفاده از اطلاعات و آمار سطح ایستابی اندازه‌گیری شده در پیژومترها، نوسانات زمانی آب زیرزمینی در قالب ترسیم هیدروگراف معرف آبخوان بررسی شده است. بر اساس این اطلاعات، میزان افت سطح آب زیرزمینی در بخش‌های مختلف دشت تعیین و تغییرات مکانی میزان افت سطح آب زیرزمینی در بخش‌های مختلف دشت بررسی شده است.

ج- بررسی دانه‌بندی و ضخامت رسوبات: با استفاده از لاگ پیژومترها و چاه‌های حفر شده در منطقه و همچنین لاگ سونداژهای ژئوالکتریک انجام شده در دشت، عمق سنگ کف و دانه‌بندی رسوبات قرار گرفته در بالای آن تعیین شده است.

د- بازدید صحرایی و ثبت اطلاعات شکاف‌های ایجاد شده در دشت: طی بازدیدهای صحرایی مشخصات شکاف‌های ایجاد شده در دشت شامل طول، عمق و میزان بازشدگی ثبت شده است.

ه- تحلیل فرونشست و مکانیسم ایجاد شکاف زمین در دشت کردی شیرازی: با توجه به تغییرات مکانی افت سطح آب زیرزمینی، زمین‌شناسی آبخوان، وضعیت دانه‌بندی و لایه‌بندی رسوبات و اطلاعات شکاف‌های ایجاد شده در دشت، مدل فرونشست دشت کردی شیرازی تهیه شده و مکانیسم ایجاد شکاف زمین بررسی شده است.

و- ارزیابی خطر ایجاد شکاف ناشی از فرونشست زمین در دشت کردی شیرازی: پس از انجام مراحل فوق، پهنه-بندی خطر ایجاد شکاف ناشی از فرونشست زمین در بخش‌های مختلف دشت انجام شده است.

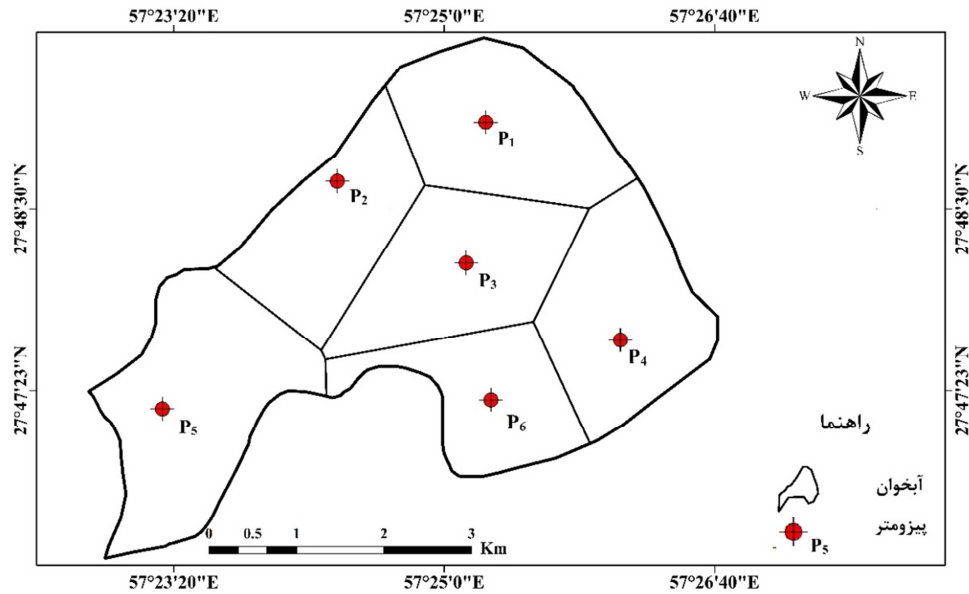


شکل ۳: نمودار جریانی مراحل انجام تحقیق

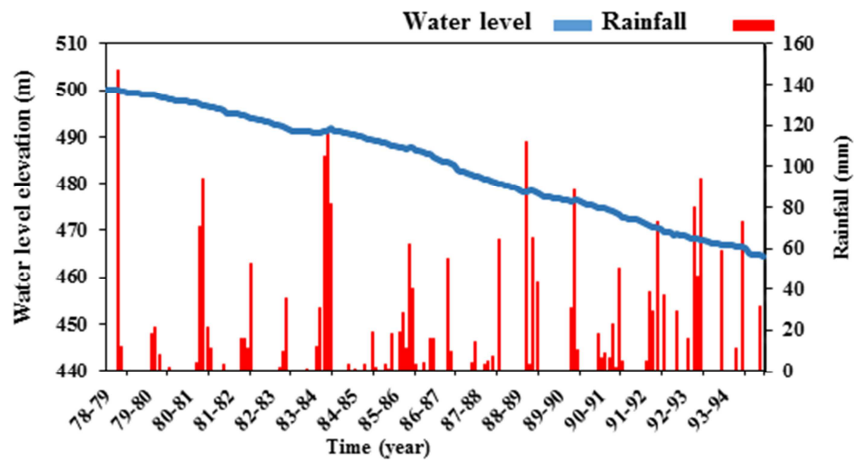
نتایج و بحث

الف- هیدروگراف معرف دشت کردی شیرازی

هیدروگراف معرف نشان دهنده‌ی تغییرات کلی سطح آب زیرزمینی دشت می‌باشد. برای ترسیم هیدروگراف معرف دشت از داده‌های ماهانه سطح آب زیرزمینی ۶ حلقه پیزومتر (شکل ۴) در طی سال‌های ۱۳۷۸ تا ۱۳۹۴ استفاده شده است. متوسط وزنی تراز سطح ایستابی در هر ماه بر اساس مساحت محدوده تیسن هر پیزومتر (شکل ۴) محاسبه شده است. به منظور بررسی ارتباط تغییرات سطح آب زیرزمینی و بارندگی، مقدار بارندگی دشت نیز بر روی هیدروگراف معرف (شکل ۵) نشان داده شده است. با توجه به هیدروگراف معرف، سطح آب زیرزمینی در دشت، نسبت به بارندگی نوسان داشته و روند نزولی نسبت به زمان نشان می‌دهد. متوسط ارتفاع سطح آب از ۵۰۰ متر در سال ۱۳۷۸ به ۴۶۴/۵ متر در سال ۱۳۹۴ کاهش یافته است. تغییرات سطح آب زیرزمینی در طی این دوره ۱۶ ساله، ۳۵/۵ متر افت را نشان می‌دهد. براساس هیدروگراف، متوسط افت سالانه در دشت حدود ۲/۲ متر می‌باشد. روند نزولی هیدروگراف معرف نشان دهنده افت مداوم سطح آب زیرزمینی می‌باشد. کاهش تغذیه ناشی از خشکسالی‌های اخیر به همراه افزایش برداشت بی‌رویه به عنوان عوامل اصلی باعث افت شدید سطح آب زیرزمینی در دشت کردی شیرازی شده است.



شکل ۴: موقعیت پیزومترها و شبکه تیسن آبخوان کردی شیرازی

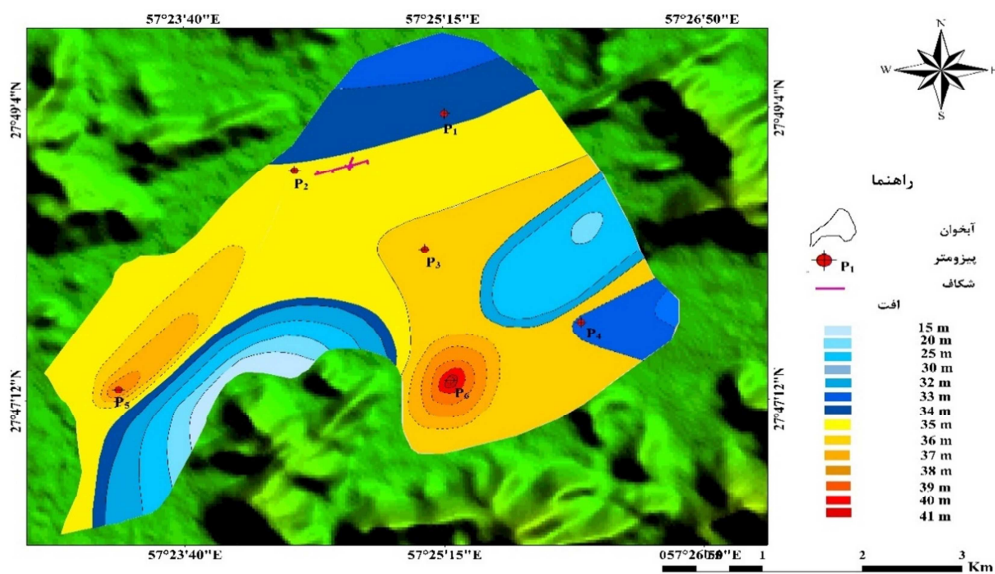


شکل ۵: هیدروگراف معرف آبخوان دشت کردی شیرازی

ب- افت سطح ایستابی

توزیع مقدار افت سطح آب زیرزمینی در طی دوره ۱۶ ساله بر اساس پیزومترها و چاه‌های بهره‌برداری در نقشه هم-افت آبخوان در شکل ۶ نشان داده شده است. با توجه به منحنی‌های هم-افت کمترین مقدار افت در جنوب غرب دشت به دلیل کوهپایه‌ای بودن این منطقه و تغذیه مناسب آن به دلیل درشت دانه بودن رسوبات، مشاهده می‌شود. از

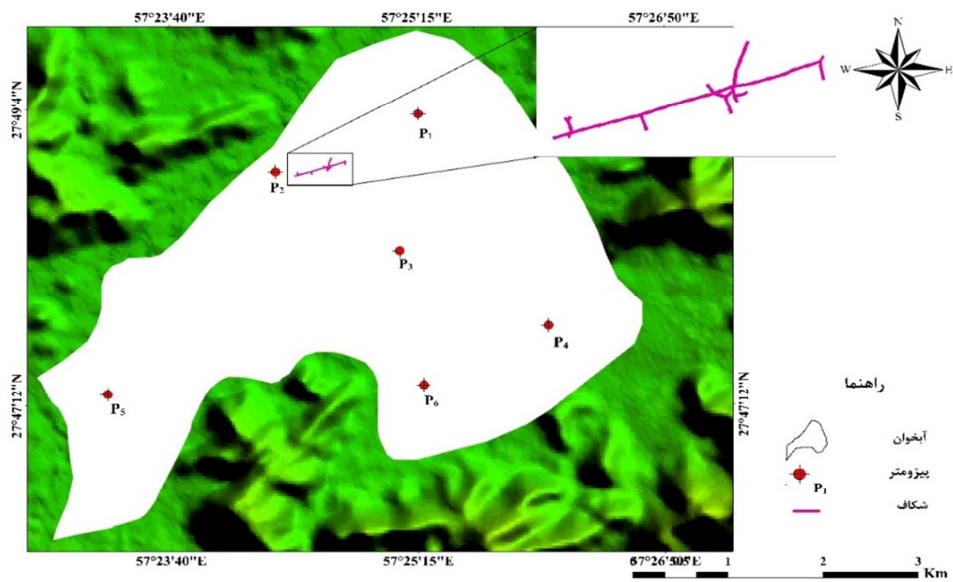
قسمت شمال به سمت مرکز دشت افت زیاد می‌شود. بیشترین مقدار افت اندازه‌گیری شده در قسمت جنوب دشت بوده و مقدار آن طی دوره ۱۶ ساله، ۴۰/۶ متر می‌باشد. افت زیاد در این قسمت از دشت ناشی از تمرکز چاه‌های بهره‌برداری و ریز دانه بودن رسوبات این قسمت از دشت می‌باشد. با توجه به نقشه هم‌افت بیشترین مقدار افت سطح آب زیرزمینی در جنوب می‌باشد.



شکل ۶: افت سطح آب زیرزمینی در بخش‌های مختلف دشت کردی شیرازی (۱۳۹۴-۱۳۷۸)

ج- تحلیل فرونشست زمین در دشت کردی شیرازی

همانطور که در مقدمه تحقیق بیان گردید یکی از پیامدهای زیست‌محیطی ناشی از بهره‌برداری بیش از حد آب‌های زیرزمینی فرونشست زمین می‌باشد. بررسی‌های انجام شده در دشت کردی شیرازی نشان می‌دهد یک شکاف اصلی در دشت بین طول‌های جغرافیایی $57^{\circ}24'27''$ تا $57^{\circ}24'47''$ شرقی و عرض‌های جغرافیایی $27^{\circ}48'38''$ تا $27^{\circ}48'44''$ شمالی در محل ذخیره‌گاه جنگل مور کردی در قسمت شمال غرب دشت ایجاد شده است (شکل ۷). این شکاف ابتدا در سال ۱۳۹۳ به صورت ترک‌هایی در سطح زمین ظاهر شده و در سال ۱۳۹۴ گسترش یافته است. شکاف اصلی یک شکاف بزرگ به طول $567/6$ متر بوده که عمق آن در بعضی از قسمت‌ها تا ۵ متر اندازه‌گیری شده و دارای الگوی V شکل است. راستای شکاف در دشت شمال شرقی- جنوب غربی بوده و از نوع کششی می‌باشد. علاوه بر شکاف اصلی یک سری شکاف فرعی که گاهاً طول آنها به ۲۰ متر می‌رسد، تقریباً عمود بر امتداد شکاف اصلی گسترش یافته‌اند. شکل (۸) تصاویری از این شکاف را نشان می‌دهد.

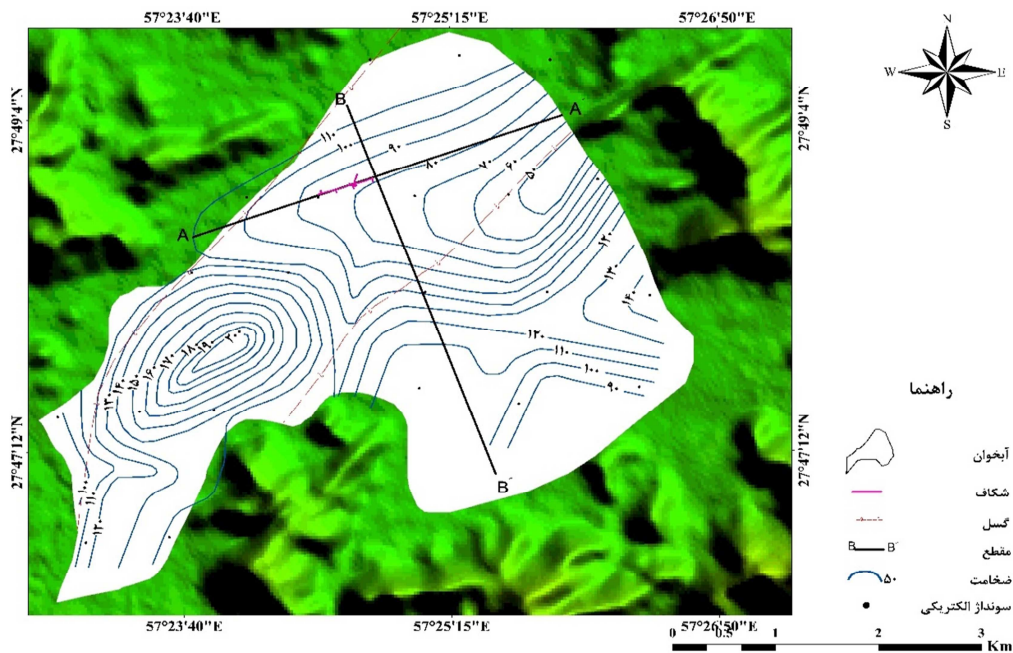


شکل ۷: موقعیت و الگوی هندسی شکاف‌های ایجاد شده در دشت کردی شیرازی



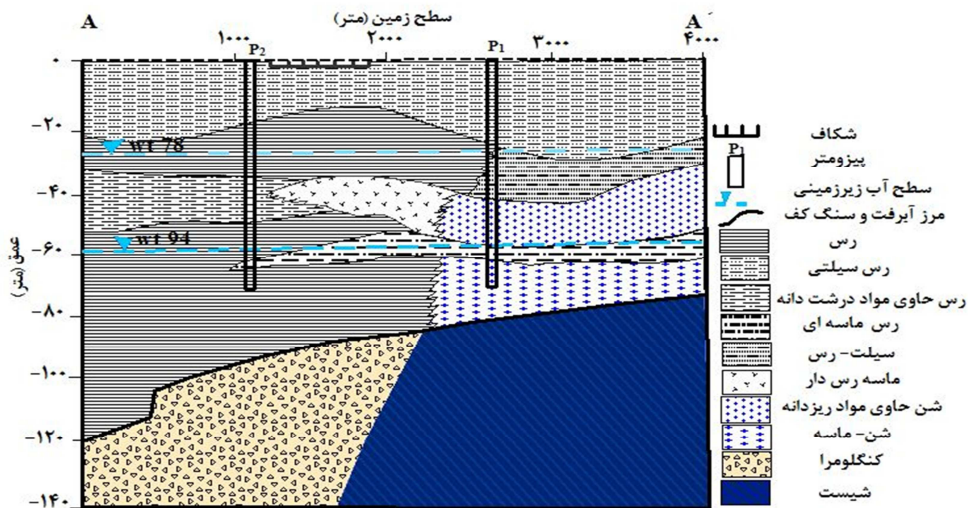
شکل ۸: تصاویری از شکاف اصلی ایجاد شده در دشت کردی شیرازی

بررسی جنس (اندازه) رسوبات بر اساس لاگ پیژومترها و لاگ سونداژهای ژئوالکتریک نشان می‌دهد که در قسمت جنوب شرق دشت رسوبات دانه درشت شامل ماسه، شن، قطعات شکسته شده و کمی سیلت و رس و در قسمت غرب رسوبات ماسه، سیلت و رس، قطعات شکسته همراه با سیمان و شن می‌باشد. همچنین در قسمت شمال دشت رسوبات شامل رس و سیلت، ماسه، ریگ و شن و در مرکز رسوبات ریزدانه رس و سیلت و مقدار کمی ماسه، شن و قطعات خرد شده همراه با سیمان وجود دارد. شکل (۹) تغییرات ضخامت آبرفت دشت کردی شیرازی را نشان می‌دهد. بیشترین ضخامت در قسمت غرب دشت ۲۰۰ متر می‌باشد. در این قسمت از دشت به دلیل عبور گسل، حوضه رسوبی عمیق شده و بیشترین ضخامت آبرفت در این قسمت دیده شده است. در قسمت‌های شمال و جنوب ضخامت حدود ۱۰۰ متر بوده و به سمت شمال شرق ضخامت آبرفت به دلیل نزدیک شدن به کوهپایه کم شده و به ۵۰ متر می‌رسد. در محدوده شکاف ایجاد شده در سطح رسوبات دشت، ضخامت آبرفت حدود ۸۵ متر می‌باشد.

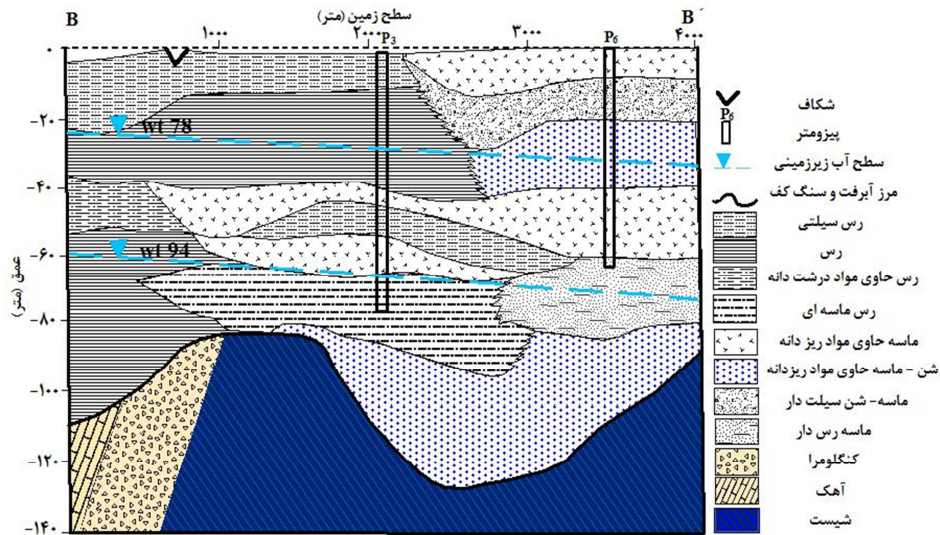


شکل ۹: نقشه هم‌ضخامت آبرفت دشت کردی شیرازی

با توجه به موقعیت شکاف، دو مقطع زمین‌شناسی به نام‌های AA' با راستای شمال شرق- جنوب غرب در جهت شکاف (شکل ۱۰) و BB' با راستای شمال غرب- جنوب شرق عمود بر جهت شکاف (شکل ۱۱) با استفاده از نقشه هم‌ضخامت آبرفت تهیه شد.



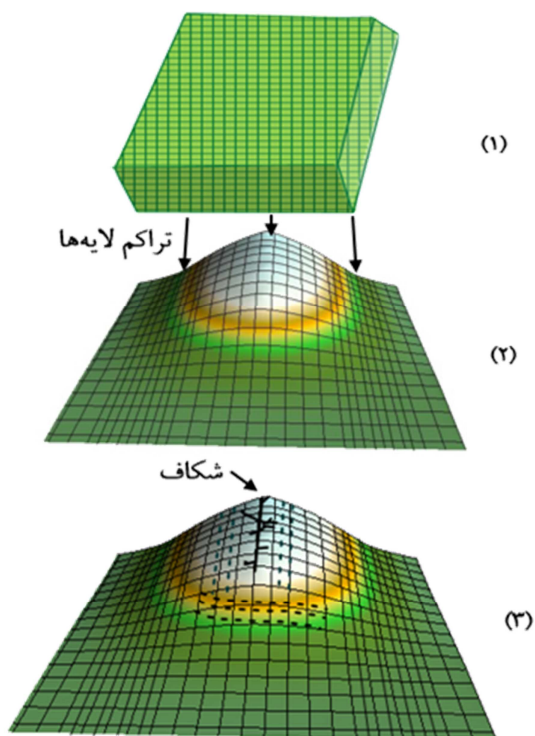
شکل ۱۰: مقطع AA' در دشت کردی شیرازی (موقعیت مقطع در شکل ۹ نشان داده شده است)



شکل ۱۱: مقطع BB' در دشت کردی شیرازی (موقعیت مقطع در شکل ۹ نشان داده شده است)

در مقطع AA' جنس سنگ بستر از شیست و کنگلومرا است. ضخامت لایه‌های ریزدانه در محدوده شکاف کمتر از محدوده جنوب غربی آن می‌باشد. در واقع در جنوب غربی شکاف، از سطح زمین تا سنگ بستر، رسوبات ریزدانه می‌باشند. در شمال شرق شکاف تا عمق ۳۵ متری لایه‌ها ریزدانه بوده و در اعماق بیشتر اندازه رسوبات درشت‌تر می‌شود. در مقطع BB' جنس سنگ بستر بیشتر از شیست و در بعضی قسمت‌ها کنگلومرا و آهک است. بررسی مورفولوژی سنگ کف نشان می‌دهد که در مرکز دشت به سمت شمال (حوالی شکاف ایجاد شده) سنگ کف دارای برآمدگی

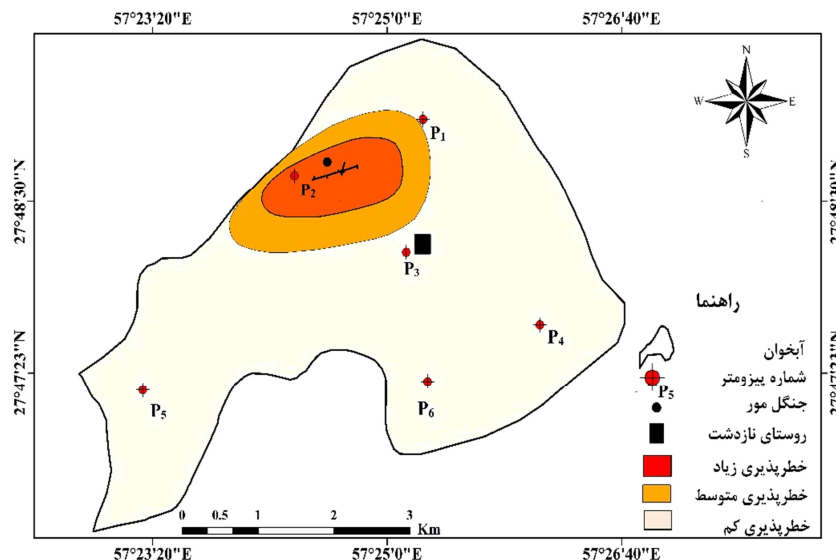
بوده و عمق رسوبات بالایی آن کم می‌باشد. ضخامت لایه‌های ریزدانه در قسمت شمال غرب شکاف (به سمت B) نسبت به محل ایجاد شکاف زیادتر شده، ولی این افزایش ضخامت در بخش جنوب شرقی شکاف تا قسمت مرکزی دشت زیاد نمی‌باشد. برآمدگی سنگ کف باعث شده تا کمترین ضخامت لایه رسی در حوالی شکاف ایجاد گردد. قسمت بالایی و پایینی این بخش به دلیل عبور گسل، ناگهان افزایش عمق داده و حوضه رسوبی عمیق‌تر شده است. بررسی وضعیت افت سطح آب زیرزمینی نشان می‌دهد که از سمت B به سمت مرکز دشت مقدار افت افزایش می‌یابد. با در نظر گرفتن روند B-B' از محدوده شکاف به سمت B علی‌رغم اینکه افت سطح آب ۲ متر کمتر شده ولی به علت کم بودن اختلاف افت از یک طرف و ضخامت بسیار بیشتر لایه ریزدانه نسبت به محدوده شکاف، نشست در بخش بالایی (به سمت B) بیشتر بوده است. در قسمت‌های پایین شکاف به سمت مرکز دشت نیز مقدار افت سطح آب بیشتر شده و از طرفی مقداری به ضخامت لایه ریزدانه افزوده شده است. بنابراین در قسمت‌های پایین شکاف نیز نشست زمین می‌بایستی بیشتر گردد. همانطور که در مدل نشان داده شده در شکل ۱۲ دیده می‌شود، اختلاف نشست باعث شده که دو طرف شکاف نشست بیشتری داشته و در نتیجه محدوده شکاف دچار تنش کششی شده و به دلیل کم بودن مقاومت کششی مصالح خاکی، عمود بر جهت تنش کششی، شکاف اصلی در دشت ایجاد گردد. در صورت تداوم افت سطح ایستابی، شکاف‌هایی نیز در آینده رخ خواهد داد که با خط‌چین بر روی شکل نمایش داده شده است.



شکل ۱۲: مدل نشست زمین در محدوده شکاف ایجاد شده در دشت کردی شیرازی (۱- حالت اولیه ۲- تراکم لایه ۳- ایجاد شکاف)

د- ارزیابی خطرپذیری ایجاد شکاف ناشی از فرونشست زمین در دشت کردی شیرازی

در تهیه نقشه خطرپذیری ایجاد شکاف ناشی از فرونشست دشت کردی شیرازی از تلفیق دو عامل اصلی ایجادکننده این پدیده، یعنی افت سطح آب زیرزمینی و دانه‌بندی رسوبات استفاده شده و نقشه خطرپذیری ایجاد شکاف ناشی از فرونشست دشت ترسیم شده است (شکل ۱۳). با توجه به وضعیت آبرفت دشت و افت سطح آب زیرزمینی، نشست زمین به خصوص در شمال غرب دشت در جنگل مور با راستای شمال شرق- جنوب غرب که همراه با آثار شکاف و ترک‌هایی در سطح زمین می‌باشد، با خطر نسبی زیاد پیش بینی می‌شود. بخش‌هایی از دشت که در حال حاضر فاقد شکاف بوده ولی دارای رسوبات ریزدانه هستند، در صورت تداوم افت سطح آب زیرزمینی در آینده با پدیده رخداد شکاف مواجه خواهند بود که این مناطق با خطرپذیری متوسط مشخص شده است. در پهنه‌ی با خطر نسبی کم احتمال ایجاد شکاف کم پیش‌بینی شده است. گرچه در برخی از مناطق واقع شده در این پهنه افت سطح آب زیرزمینی زیاد می‌باشد، لیکن درشت دانه بودن رسوبات واقع در این پهنه مانع از نشست زیاد این مناطق می‌گردد.



شکل ۱۳: نقشه خطرپذیری ایجاد شکاف ناشی از فرونشست دشت کردی شیرازی

نتیجه‌گیری

دشت کردی شیرازی به علت بهره‌برداری بیش از حد منابع آب زیرزمینی جهت کشاورزی با افت شدید سطح آبخوان مواجه شده است. سطح آب زیرزمینی آبخوان در طی سال‌های ۱۳۷۸ تا ۱۳۹۴ حدود ۳۵/۵ متر کاهش یافته و متوسط نرخ افت سالانه برابر ۲/۲ متر می‌باشد. با توجه به مقدار قابل توجه افت سطح آب زیرزمینی تنش زیادی به لایه‌های زیرسطحی موجود و به خصوص لایه‌های واقع شده در زیر سطح ایستایی اعمال گردیده است و سبب ایجاد شکاف‌هایی در شمال غربی دشت شده است. به دلیل برآمدگی سنگ کف در حومه شکاف رخ داده، ضخامت لایه رس

در این بخش نسبت به دو طرف آن کمتر بوده و نشست‌های رخ داده نامتقارن بوده است. به علت کم بودن میزان نشست در بخشی که شکاف رخ داده نسبت به اطراف آن، این محدوده دچار کشش و شکافی کششی عمود بر جهت راستای نیروی کششی تشکیل شده است. نقشه پهنه‌بندی خطر ایجاد شکاف ناشی از فرونشست زمین نشان می‌دهد که محدوده‌ای به موازات شکاف رخ داده پهنه خطرناک بوده و با فاصله گرفتن از محل شکاف، پهنه‌های دیگر با همان روند مشاهده می‌گردد.

تقدیر و تشکر

از مسئولین محترم گروه مطالعات آب‌های زیرزمینی شرکت سهامی آب منطقه‌ای هرمزگان بابت در اختیار گذاشتن اطلاعات مورد نیاز سپاسگزاری می‌گردد.

منابع

- رنجبر محسن، جعفری نسرين (۱۳۸۸)، بررسی عوامل مؤثر در فرونشست زمین دشت اشتهارد، نشریه علمی- پژوهشی انجمن جغرافیای ایران، سال ششم.
- شرکت سهامی آب منطقه‌ای هرمزگان (۱۳۹۴)، گزارش توجیهی تمدید ممنوعیت محدوده مطالعاتی کردی شیرازی.
- لشکری پور غلامرضا، غفوری محمد، رستمی بارانی حمیدرضا (۱۳۸۷)، بررسی علل تشکیل شکاف‌ها و فرونشست زمین در غرب دشت کاشمر، مجله مطالعات زمین‌شناسی، جلد ۱، شماره ۱.
- موسوی مداح سیدمحمد، غفوری محمد، لشکری پور غلامرضا، افشار سلیمه (۱۳۹۲)، بررسی پدیده نشست زمین و تأثیر آن بر روی گسیختگی لوله‌های جدار چاه‌های آب در محدوده شهر مشهد با استفاده از پهنه‌بندی تغییرات دانه‌بندی لایه‌های زمین، فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، سال چهارم شماره سیزدهم.
- Amighpey M., Arabi S., (2016), Studying land subsidence in Yazd province, Iran, by the integration of InSAR and leveling measurements, Remote Sensing Applications: Society and Environment, 4: 1-8.
- Amin P., Ghalibaf M.A., Hosseini M., (2019), Land subsidence and soil cracks monitoring by surveying on the clayey plain soils in Central Iran (case study: Yazd City). Arabian Journal of Geosciences, 12(3), 84.
- Chen C.T., Hu J.C.H., Lu Y., Lee J.C., Chan Y.C., (2007), Thirty-year land elevation change from subsidence to uplift following the termination of groundwater pumping and its geological implications in the Metropolitan Taipei Basin, Northern Taiwan, Engineering Geology 95: 30-47.
- Chen C.H., Wang C.H., Hsu Y.J., Yu S.B., Kuo L.C., (2010), Correlation between groundwater level and altitude variations in land subsidence area of the Choshuichi Alluvial Fan, Taiwan, Engineering Geology 115: 122-131.
- Choudhury P., Gahalaut K., Dumka R., Gahalaut, V.K., Singh A.K., Kumar S., (2018), GPS measurement of land subsidence in Gandhinagar, Gujarat (Western India), due to groundwater depletion. Environmental Earth Sciences, 77(22), 770.
- Dehghani M., Nikoo M.R., (2019), Monitoring and Management of Land Subsidence Induced by Over-exploitation of Groundwater. In Natural Hazards GIS-Based Spatial Modeling Using Data Mining Techniques (pp. 271-296). Springer, Cham.
- Figuroa-Miranda S., Vargas J.T., Ramos-Leal J.A., Hernández-Madriral V.M., Villaseñor-Reyes C.I., (2018), Land subsidence by groundwater over-exploitation from aquifers in tectonic valleys of Central Mexico: A review. Engineering Geology, 246: 91-106
- Gambolati G., Gatto P., Freeze A., (1974), Predictive simulation of the subsidence of Venice, Science, 183: 849-851.
- Hongdong F., Kazhong D., Chengyu J., Chuanguang Z., Jiqun X., (2011), Land subsidence monitoring by D-InSAR technique, Mining Science and Technology (China) 21: 869-872.

- Kakar N., Kakar D.M., Khan A.S., Khan S.D., (2019), Land Subsidence Caused by Groundwater Exploitation in Quetta Valley, Pakistan. *International Journal of Economic and Environmental Geology*, 10-19.
- Khanlari G.R., Heidari M., Momeni A., Ahmadi M. Taleb-Beydokhti A.R., (2012), The effect of groundwater overexploitation on land subsidence and sinkhole occurrences, western Iran. *Quarterly Journal of Engineering Geology and hydrogeology*, 45: 447-456.
- Knudsen T., Inkenbrandt P., LundW., Lowe M., Bowman S., (2014), Investigation of land subsidence and earth fissures in Cedar Valley, Iron County, special study 150 Utah geological survey.
- Larson K.J., Basagaoglu H., Marino M.A., (2001), Prediction of optimal safe groundwater yield and land subsidence in the Los Banos-Kettleman City area, California, using a calibrated numerical simulation model. *Journal of Hydrology*, 242: 79-102.
- Mahmoudpour M., Khamehchiyan M., Nikudel M.R., Ghassemi M.R., (2016), Numerical simulation and prediction of regional land subsidence caused by groundwater exploitation in the southwest plain of Tehran, Iran. *Engineering Geology*, 201, 6-28.
- Malik K., Kumar D., Perissin D., (2019), Assessment of subsidence in Delhi NCR due to groundwater depletion using TerraSAR-X and persistent scatterers interferometry. *The Imaging Science Journal*, 67(1), 1-7.
- Motagh M., Shamshiri R., Haghghi M.H., Wetzel H.U., Akbari B., Nahandchi H., Arabi S., (2017), Quantifying groundwater exploitation induced subsidence in the Rafsanjan plain, southeastern Iran, using InSAR time-series and in situ measurements. *Engineering Geology*, 218: 134-151.
- Nikos S., Loannis P., Constantinos L., Paraskevas T., Anastasia K., Charalambos K., (2016), Land subsidence rebound detected via multi-temporal InSAR and ground truth data in Kalochori and Sindos regions, Northern Greece. *Engineering Geology* 209: 175-186.
- Othman A., Abotalib A.Z., (2019), Land subsidence triggered by groundwater withdrawal under hyper-arid conditions: case study from Central Saudi Arabia. *Environmental Earth Sciences*, 78(7), 243.
- Phien-Wej N., Giao P.H., Nutalaya P., (2006), Land subsidence in Bangkok, Thailand. *Engineering Geology*, 82(4): 187-201.
- Rajabi A.M., (2018), A numerical study on land subsidence due to extensive overexploitation of groundwater in Aliabad plain, Qom-Iran. *Natural Hazards*, 93(2), 1085-1103.
- Wang Y.Q., Wang Z.F., Cheng W.C., (2018), A review on land subsidence caused by groundwater withdrawal in Xi'an, China. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 1-13.
- Yong C.Z., Denys P.H., Pearson, C.F., (2018), Groundwater extraction-induced land subsidence: a geodetic strain rate study in Kelantan, Malaysia. *Journal of Spatial Science*, 1-12.

Research Article

Investigating Land Subsidence due to Groundwater over-Exploitation in Kerdi-Shirazi plain, Hormozgan Province

Seyedeh Mohaddeseh Mousavi¹, Hadi Jafari^{*2}, Ali Akbar Momeni³, Jahangir Sepehri⁴

Received: 02-09-2018

Revised: 28-11-2018

Accepted: 02-06-2019

Abstract

Over-exploitation of the groundwater resources causes many environmental hazards among which land subsidence is more important. The main aim of this study is to evaluate the effect of groundwater level drawdown on land subsidence and fissure occurrence in the Kerdi- Shirazi plain, Hormozgan Province. For this reason, the groundwater level changes and distribution of the surface and subsurface sediments in the plain were investigated. Water level data from piezometers during the last 16 years from 1999 to 2015 indicate cumulative drawdown of about 40.6 m with an average annual declining rate of about 2.2 m. The groundwater level drawdown caused considerable stress loading on the aquifer forming sediments, resulted in compaction and settlement of aquifer materials. Consequently, a large fissure with a length of about 567.6 meters appeared at the northwest part of the plain in 1394. The results of this study indicate that two main factors including groundwater level drop down and changes in the thickness of the fine-grained clay layer caused unequal subsidence, creation of the tensile stress, and consequently occurrences of the fissure. Based on these factors, map of hazards of fissure occurrence due to land subsidence was prepared for the plain with three categories including the high, moderate and low hazard areas.

Keywords: Environmental hazards, Groundwater level drawdown, land subsidence, Kerdi- Shirazi.

1- Former MSc. Student of Hydrogeology, Faculty of Earth Sciences, Shahrood University of Technology, Iran.

2*- Assistant Professor of Hydrogeology, Faculty of Earth Sciences, Shahrood University of Technology, Iran.

Email: h_jafari@shahroodut.ac.ir

3- Assistant Professor of Engineering Geology, Faculty of Earth Sciences, Shahrood University of Technology, Iran.

4- Water Resources Expert in Hormozgan Regional Water Authority, Iran.

References

References (in Persian)

- Ranjbar M., Jafari N., (2009), Investigating the effective factors on land subsidence in Eshtehard Plain, Scientific and Research Journal of Iranian Geography Association, 6th year. [In Persian]
- Hormozgan Regional Water Authority, (2015), Justification report on restriction extension of Kerdi-Shirazi Plain. [In Persian]
- Lashkaripour Gh.R., Ghafoori M., Rostami Barani H.R., (2008), Investigating the reasons of formation of fissures and land subsidence in the west of Kashmar Plain, Journal of Geological Studies, 1:1. [In Persian]
- Mousavi Maddah S.M., Ghafoori M., Lashkaripour Gh.R., Afshar S., (2013), An investigation on land subsidence and its effect on the rupture of water well casings in Mashhad City area, Journal of Irrigation and Water Engineering 14(13): 56-66. [In Persian]

References (in English)

- Amighpey M., Arabi S., (2016), Studying land subsidence in Yazd province, Iran, by the integration of InSAR and leveling measurements, Remote Sensing Applications: Society and Environment, 4: 1-8.
- Amin P., Ghalibaf M.A., Hosseini M., (2019), Land subsidence and soil cracks monitoring by surveying on the clayey plain soils in Central Iran (case study: Yazd City). Arabian Journal of Geosciences, 12(3), 84.
- Chen C.T., Hu J.C.H., Lu Y., Lee J.C., Chan Y.C., (2007), Thirty-year land elevation change from subsidence to uplift following the termination of groundwater pumping and its geological implications in the Metropolitan Taipei Basin, Northern Taiwan, Engineering Geology 95: 30-47.
- Chen C.H., Wang C.H., Hsu Y.J., Yu S.B., Kuo L.C., (2010), Correlation between groundwater level and altitude variations in land subsidence area of the Choshuichi Alluvial Fan, Taiwan, Engineering Geology 115: 122-131.
- Choudhury P., Gahalaut K., Dumka R., Gahalaut, V.K., Singh A.K., Kumar S., (2018), GPS measurement of land subsidence in Gandhinagar, Gujarat (Western India), due to groundwater depletion. Environmental Earth Sciences, 77(22), 770.
- Dehghani M., Nikoo M.R., (2019), Monitoring and Management of Land Subsidence Induced by Over-exploitation of Groundwater. In Natural Hazards GIS-Based Spatial Modeling Using Data Mining Techniques (pp. 271-296). Springer, Cham.
- Figuroa-Miranda S., Vargas J.T., Ramos-Leal J.A., Hernández-Madriral V.M., Villaseñor-Reyes C.I., (2018), Land subsidence by groundwater over-exploitation from aquifers in tectonic valleys of Central Mexico: A review. Engineering Geology, 246: 91-106
- Gambolati G., Gatto P., Freeze A., (1974), Predictive simulation of the subsidence of Venice, Science, 183: 849-851.
- Hongdong F., Kazhong D., Chengyu J., Chuanguang Z., Jiqun X., (2011), Land subsidence monitoring by D-InSAR technique, Mining Science and Technology (China) 21: 869-872.
- Kakar N., Kakar D.M., Khan A.S., Khan S.D., (2019), Land Subsidence Caused by Groundwater Exploitation in Quetta Valley, Pakistan. International Journal of Economic and Environmental Geology, 10-19.
- Khanlari G.R., Heidari M., Momeni A., Ahmadi M. Taleb-Beydokhti A.R., (2012), The effect of groundwater overexploitation on land subsidence and sinkhole occurrences, western Iran. Quarterly Journal of Engineering Geology and hydrogeology, 45: 447-456.
- Knudsen T., Inkenbrandt P., Lund W., Lowe M., Bowman S., (2014), Investigation of land subsidence and earth fissures in Cedar Valley, Iron County, special study 150 Utah geological survey.
- Larson K.J., Basagaoglu H., Marino M.A., (2001), Prediction of optimal safe groundwater yield and land subsidence in the Los Banos-Kettleman City area, California, using a calibrated numerical simulation model. Journal of Hydrology, 242: 79-102.
- Mahmoudpour M., Khamsehchiyan M., Nikudel M.R., Ghassemi M.R., (2016), Numerical simulation and prediction of regional land subsidence caused by groundwater exploitation in the southwest plain of Tehran, Iran. Engineering Geology, 201, 6-28.
- Malik K., Kumar D., Perissin D., (2019), Assessment of subsidence in Delhi NCR due to groundwater depletion using TerraSAR-X and persistent scatterers interferometry. The Imaging Science Journal, 67(1), 1-7.
- Motagh M., Shamshiri R., Haghighi M.H., Wetzel H.U., Akbari B., Nahandchi H., Arabi S., (2017), Quantifying groundwater exploitation induced subsidence in the Rafsanjan plain, southeastern Iran, using InSAR time-series and in situ measurements. Engineering Geology, 218: 134-151.
- Nikos S., Loannis P., Constantinos L., Paraskevas T., Anastasia K., Charalambos K., (2016), Land subsidence rebound detected via multi-temporal InSAR and ground truth data in Kalochori and Sindos regions, Northern Greece. Engineering Geology 209: 175-186.
- Othman A., Abotalib A.Z., (2019), Land subsidence triggered by groundwater withdrawal under hyper-arid conditions: case study from Central Saudi Arabia. Environmental Earth Sciences, 78(7), 243.
- Phien-Wej N., Giao P.H., Nutalaya P., (2006), Land subsidence in Bangkok, Thailand. Engineering Geology, 82(4): 187-201.
- Rajabi A.M., (2018), A numerical study on land subsidence due to extensive overexploitation of groundwater in Aliabad plain, Qom-Iran. Natural Hazards, 93(2), 1085-1103.

Wang Y.Q., Wang Z.F., Cheng W.C., (2018), A review on land subsidence caused by groundwater withdrawal in Xi'an, China. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 1-13.

Yong C.Z., Denys P.H., Pearson, C.F., (2018), Groundwater extraction-induced land subsidence: a geodetic strain rate study in Kelantan, Malaysia. *Journal of Spatial Science*, 1-12.