Archive of SID

اکوهیدرولوژی

دورهٔ ۶، شمارهٔ ۱، بهار ۱۳۹۸، ص ۲۳۸-۲۲۳

ارزیابی بحران فرونشست زمین و پیشروی آب شور دریا در آبخوان دشت میناب

رضا جمور[1*]، مهدی ایل‌بیگی[2]، مسعود مرسلی[2]

۱. کارشناس ارشد هیدروژئولوژی، کارشناس فنی شرکت مهندسین مشاور ری‌آب

۲. دکترای هیدروژئولوژی، کارشناس فنی شرکت مهندسین مشاور ری‌آب

(تاریخ دریافت ۱۳۹۷/۰۹/۱۷؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۷/۱۱/۱۰)

چکیده

در پژوهش حاضر براساس وضعیت تراز آب زیرزمینی منطقه طی دورهٔ آماری ۳۰ ساله (۱۳۶۵-۱۳۹۵) و همچنین بررسی‌های صحرایی و حفر سه حلقه گمانه و بررسی وضعیت رسوبات در محل و آنالیز شیمیایی نمونه‌های برداشت‌شده از محل گمانه‌ها، وضعیت فرونشست و نفوذ آب شور در دشت میناب بررسی شده است. بررسی تراز آب زیرزمینی منطقه نشان می‌دهد افت سطح آب در این آبخوان از سال ۱۳۸۰ شدت گرفته و به‌طور متوسط سالانه حدود ۴۶ سانتی‌متر سطح آب افت کرده است. افت سطح آب در آبخوان موجب شده تا تراز سطح آب آبخوان نسبت به سطح دریا منفی شود و آب از سمت دریا به سمت آبخوان حرکت کند. بررسی‌های ژئوتکنیکی در منطقه نشان می‌دهد علاوه بر افت سطح آب، وجود رسوبات تورم‌پذیر و انحلال‌پذیر در منطقه سبب افزایش شدت بروز عوارض فرونشست در سطح دشت شده است. درنهایت، منطقه از نظر خطر فرونشست به سه بخش کلی تقسیم شده است. در بخش ابتدایی آبخوان، فرونشست بیشتر از نوع تراکم لایه‌های آبرفتی است. در بخش مرکزی، فرونشست بیشتر از نوع گودال و ترک بوده و در بخش انتهایی آبخوان نیز احتمال ایجاد فرونشست کم است. به‌طور کلی، این آبخوان هم‌زمان با پدیدهٔ فرونشست و پیشروی آب شور مواجه است و به برنامه‌ریزی مناسب به‌منظور جلوگیری از نابودشدن آبخوان نیاز دارد.

کلیدواژگان: افت سطح آب زیرزمینی، خاک‌های مسئله‌دار، دشت میناب، فرونشست.

*نویسندهٔ مسئول

Email:reza.jamoor@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

مسئلهٔ نشست عمومی زمین ناشی از تخلیهٔ آب‌های زیرزمینی به‌دلیل گستردگی آثار زیست‌محیطی آن و همه‌گیربودن این پدیده در سراسر جهان، مورد توجه خاص کارشناسان اقتصادی، اجتماعی و نیز مهندسان عمران و زمین‌شناسی قرار گرفته است. براساس اطلاعات موجود، دشت میناب یکی از مناطق حاصل‌خیز استان هرمزگان است که متأسفانه وجود خشک‌سالی‌های اقلیمی چندین سال اخیر از یک‌طرف و برداشت بی‌رویه از آب زیرزمینی منطقه از طرف دیگر، سبب پایین‌رفتن سطح آب زیرزمینی در منطقه شده است. مشکل بی‌آبی و حفر چاه‌های فراوان، علاوه بر کاهش شدید ذخایر آب زیرزمینی، سبب فشرده‌شدن لایه‌های خاک، پایین‌رفتن سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی و درنتیجه پیدایش پدیدهٔ خطرناک فروچاله‌ها در سطح دشت میناب شده است. با توجه به ساحلی‌بودن آبخوان میناب، افت تراز سطح آب زیرزمینی موجب شده تا تراز آب در این آبخوان نسبت به سطح دریا منفی شود و درنتیجه آبخوان در معرض هجوم آب شور قرار گیرد. در تحقیق حاضر براساس اطلاعات موجود، به بررسی علل ایجاد فرونشست و همچنین نفوذ آب شور به آبخوان پرداخته شده است. همچنین، وضعیت فرونشست منطقه از نظر نوع رسوبات نیز بررسی شده است.

درهٔ مرکزی کالیفرنیا به‌عنوان یکی از مراکز بزرگ تولیدات کشاورزی، به‌دلیل برداشت بیش‌ازحد از آب زیرزمینی دچار افت سطح آب و درنتیجه فرونشست زمین شده است [۱]. از نمونه‌های دیگر فرونشست در سطح دنیا می‌توان به نشست زمین به‌دلیل پمپاژ آب در ۳۵ سال گذشته در شهر بانکوک تایلند اشاره کرد. بیشترین نشست سالانه در این شهر ۱۲۰ میلی‌متر و در اوایل دههٔ ۱۹۸۰ گزارش شده است [۲].

براساس گزارش سازمان زمین‌شناسی کشور، متأسفانه در حال حاضر بیش از ۱۰۰ دشت کشور با مشکل فرونشست مواجه‌اند. دشت رفسنجان نخستین دشت در ایران است که در آن نشست زمین بر اثر افت سطح آب زیرزمینی گزارش شده است. نخستین گزارش‌های مربوط به نشست این دشت مربوط به سال ۱۳۴۶ است. در دشت رفسنجان به ازای هر ۱۰ متر افت سطح آب زیرزمینی، حدود ۴۲ سانتی‌متر نشست زمین گزارش شده است [۳].

برای برخی از دشت‌های کشور بررسی‌های جدیدی توسط پژوهشگران انجام شده است که روند افزایشی را در تعداد دشت‌های درگیر با این پدیده و میزان فرونشست نشان می‌دهد. برای مثال، دشت جنوب باختری تهران که در بررسی‌های سال ۱۳۸۴ بیشینهٔ میزان فرونشست ۱۷ سانتی‌متر بر سال داشته، در سال ۱۳۸۸ به ۲۴ سانتی‌متر بر سال افزایش یافته است. براساس نتایج به‌دست‌آمده از مدل‌سازی، بیشینهٔ میزان فرونشست زمین در این دشت برای سال ۱۳۹۷ خورشیدی، ۳۳ سانتی‌متر بر سال پیش‌بینی شده است [۴]. ارزیابی افت سطح آب زیرزمینی و ارتباط آن با فرونشست سطح زمین چندین سال است که مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. برای مثال، افت سطح آب زیرزمینی و نشست زمین در دشت دامغان بررسی شده است. در پژوهش یادشده با استفاده از مدل GMS و GEP و MLR وضعیت تراز سطح آب زیرزمینی و فرونشست سطح زمین در دشت دامغان ارزیابی شده و در نهایت مشخص شد که در مناطقی که سطح آب زیرزمینی حدود سه متر افت داشته است، سطح زمین حدود ۳۵ سانتی‌متر نشست کرده است [۵]. در مطالعهٔ شریفی‌کیا و همکارانش (۱۳۹۴) در همین دشت، پدیده‌های ژئومورفولوژیک ناشی از فرونشست بررسی شده و ضمن بررسی میزان و دامنهٔ فرونشست در دشت دامغان، آثار ناشی از این پدیده در سطح زمین بررسی و ارزیابی شده است [۶].

طی سال‌های اخیر، میزان فرونشست در دشت‌های مختلف کشور براساس تصاویر ماهواره‌ای محاسبه شده است. برای نمونه، صالحی و همکارانش (۱۳۹۲) در دشت مهیار استان اصفهان براساس روش تداخل‌سنجی راداری، میزان بیشینهٔ فرونشست دشت طی سال‌های ۲۰۰۳-۲۰۰۶ را برابر با ۸/۲ سانتی‌متر محاسبه کردند [۷].

پدیدهٔ فرونشست عواقب و خطرهای زیادی به همراه خواهد داشت که از آن جمله می‌توان به آسیب رساندن به بناها و ساختمان‌ها، خطوط انتقال آب و گاز و همچنین تأسیسات زیربنایی اشاره کرد. تخریب چاه‌ها و آسیب به لولهٔ جدار چاه‌ها نیز می‌تواند بر اثر این پدیده ایجاد شود. در زمینهٔ آسیب‌های ناشی از فرونشست نیز در سطح جهان و ایران تحقیقات زیادی صورت گرفته است. برای مثال، آل خمیس و همکاران در پژوهشی در سال ۱۳۸۵ تخریب لولهٔ

www.SID.ir

Archive of SID

جدار بر اثر فرونشست را بررسی کردند [۸]. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور نیز طی گزارش‌های متعددی به بررسی فرونشست و خطرهای ناشی از آن در سطح کشور پرداخته‌اند. برای مثال، در یکی از این گزارش‌ها علل به‌وجودآمدن شکاف‌های طولی و فروچاله‌ها در دشت ایج استان فارس بررسی شده و دلیل به‌وجودآمدن این پدیده در سطح دشت، مرتبط با افت تراز سطح آب زیرزمینی و وجود انحلال در سنگ‌بستر آهکی بیان شده است [۹]. در پژوهش انتظام سلطانی و قاسمی (۱۳۸۸)، شکاف‌های طولی زمین در دشت آزادشهر استان گلستان بررسی شده است [۱۰] نشست زمین و آسیب‌های واردشده به ساختمان‌های شهر ری نیز طی مطالعه‌ای جداگانه توسط میرتمیزدوست و قاسمی (۱۳۹۰) بررسی شده است [۱۱]. بررسی پدیدهٔ شکاف‌های طولی در زمین‌های کشاورزی شهرستان ورامین نیز از جمله مواردی است که در سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی توسط قاسمی و میزتمیزدوست (۱۳۸۹) به آن پرداخته شده است [۱۲].

در دشت میناب نیز تا کنون مطالعاتی انجام شده است که در یکی از این تحقیقات توسط جیریایی شراهی (۱۳۹۵) میزان فرونشست دشت براساس روش تداخل‌سنج راداری طی سال ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۶ معادل ۱۳/۷ سانتی‌متر در سال محاسبه شده و روند گسترش نشست از شمال غرب به سمت جنوب شرق اعلام شده است [۱۳]. در پژوهش ترکمانی تمبکی (۱۳۹۵)، وجود میان‌لایه‌های درشت‌دانه در بخش مرکزی و بهره‌برداری بیش‌ازحد از آب زیرزمینی در این بخش و درنتیجه افت سطح آب زیرزمینی، دلیل اصلی ایجاد فرونشست در دشت میناب بیان شده است [۱۴]. در مطالعات دیگری نیز وضعیت ارتباط افت سطح آب زیرزمینی و فرونشست زمین در این دشت بررسی شده است [۱۵ و ۱۶].

یکی از مخاطراتی که آبخوان‌های ساحلی با آن مواجه‌اند، پیشروی آب شور دریا به درون آبخوان است. در ایران نیز آبخوان‌های موجود در استان‌های شمالی و جنوبی کشور با این معضل روبه‌رو هستند. در این زمینه نیز تحقیقات مختلفی در سطح کشور انجام شده است. برای مثال، در تحقیقی پیشروی آب شور بر آبخوان‌های ساحلی به‌وسیلهٔ مدل SHARP بررسی شده است. نتایج بررسی مدل SHARP بیان‌کنندهٔ پیشروی آب شور به میزان ۱/۵ تا ۲ کیلومتر در آبخوان‌های ساحلی است. میزان برداشت از سفره‌های زیرزمینی به‌دلیل تأثیر بر سطح آب زیرزمینی، نقش درخور توجهی بر پیشروی آب شور دارد [۱۷]. در تحقیق دیگری نیز وضعیت نفوذ جبههٔ آب شور به آبخوان‌های اطراف دریاچهٔ ارومیه بررسی شده است. نتایج تحقیق یادشده نشان می‌دهد در آبخوان‌های تبریز، مهاباد، آذرشهر، عجب‌شیر، و شبستر-صوفیان جهت جریان آب زیرزمینی تغییر یافته و وسعت زیادی از این آبخوان‌ها با هجوم آب شور مواجه شده است [۱۸].

به طور کلی، نتایج تحقیقات انجام‌شده نشان می‌دهد افت سطح آب زیرزمینی در آبخوان‌ها در نهایت با نشست زمین و ازبین‌رفتن آبخوان‌ها همراه خواهد بود. علاوه بر این، در مواردی که آبخوان آبرفتی با دریا هم‌جوار بوده و ارتباط هیدرولیکی داشته باشد، نفوذ آب شور نیز می‌تواند موجب ازبین‌رفتن کیفیت آبخوان شود.

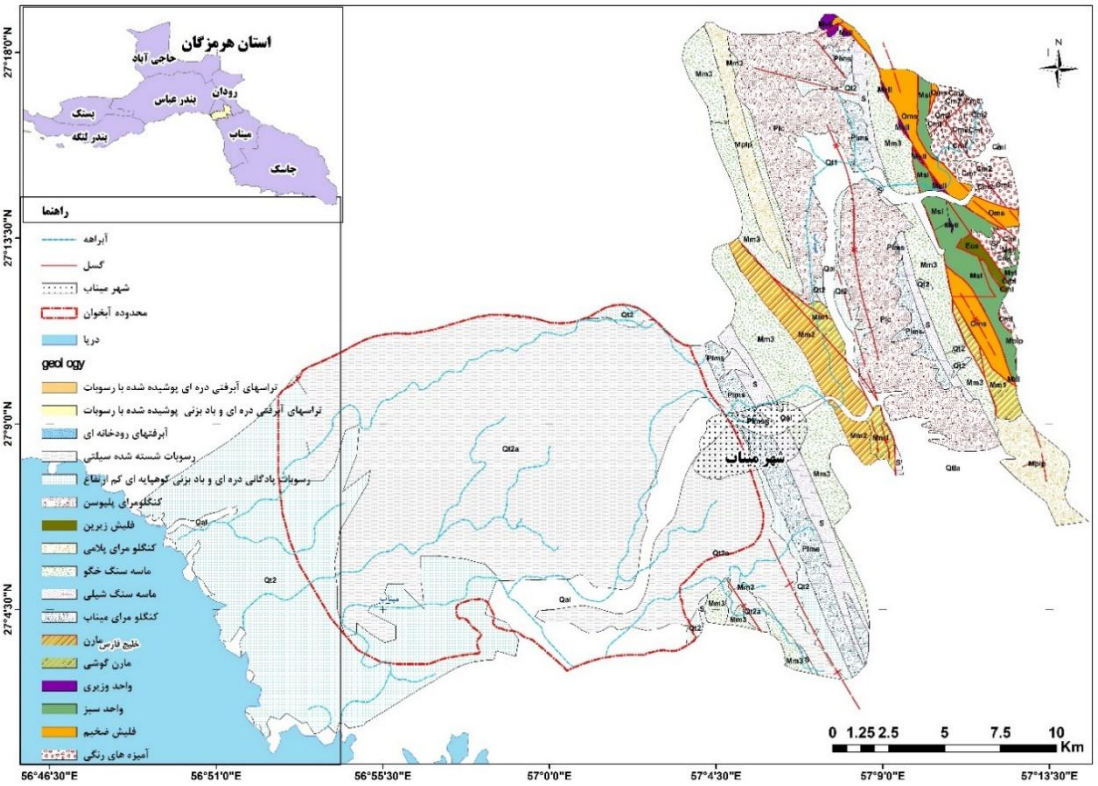
مواد و روش‌ها

منطقهٔ مد نظر در تحقیق حاضر محدودهٔ مطالعاتی میناب با کد ۲۸۰۷ یکی از محدوده‌های مطالعاتی حوضهٔ آبریز بندرعباس- سدیج است که مختصات جغرافیایی آن بین طول ۵۶ درجه ۴۹ دقیقه تا ۵۷ درجه و ۱۵ دقیقهٔ شرقی و ۲۷ درجه و ۱ دقیقه تا ۲۷ درجه و ۱۹ دقیقهٔ عرض شمالی در استان هرمزگان قرار گرفته است. وسعت کل این محدودهٔ مطالعاتی ۶۵۳/۶ کیلومترمربع است که از این میزان ۲۷۲/۱۴ کیلومترمربع به وسعت آبخوان آبرفتی مربوط است. ارتفاع متوسط این محدودهٔ مطالعاتی از سطح دریا ۲۵ متر است. مهم‌ترین شهر واقع در این محدودهٔ مطالعاتی، میناب است.

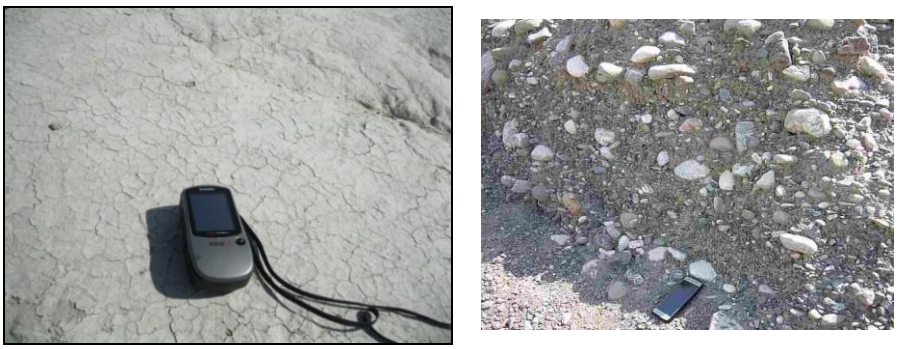
محدودهٔ مطالعاتی میناب در زون چین‌خوردهٔ مکران در جنوب فرورفتگی جازموریان قرار دارد و از سمت شرق و شمال شرق به گسل میناب و زندان و از جنوب غربی به دریای عمان منتهی می‌شود. زون مکران شامل مجموعه‌ای از سنگ‌های مختلف همچون توده‌های نفوذی آذرین، کمپلکس‌های دگرگونی و سنگ‌های رسوبی است. بررسی محدودهٔ مطالعاتی دشت میناب نشان می‌دهد توده‌های مختلف دگرگونی، آذرین و رسوبی در این محدوده رخنمون پیدا کرده‌اند (شکل ۱).

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱. موقعیت و وضعیت زمین‌شناسی محدودهٔ مطالعاتی میناب



شکل ۲. الف) رسوبات بستر رودخانهٔ میناب؛ ب) رسوبات ریزدانهٔ بخش‌های مرکزی و غربی دشت

رسوبات آبرفتی دشت در حواشی شرقی به‌ویژه در محل ورودی رودخانهٔ میناب، دانه‌درشت، به‌صورت مخلوطی از ریگ، شن و ماسه است که به‌تدریج به سمت دریا (غرب) از قطر ذرات کاسته شده و تبدیل به رسوبات دانه‌ریز سیلتی، ماسه‌ای و رسی محتوی آب شور می‌شود. مناسب‌ترین بخش سفرهٔ آب زیرزمینی در محل ورودی رودخانهٔ میناب تشکیل شده است که با نهشته‌های آبرفتی دانه‌درشت محتوی آب شیرین در شرق شروع شده و به سمت غرب با کاهش قطر ذرات و افزایش میزان شوری آب مشخص است (شکل ۲). مطابق مطالعات ژئوفیزیک، ضخامت آبرفت در نواحی مرکزی دشت در بازهٔ ۱۰۰ تا ۱۵۰ متر متغیر بوده و اغلب از جنس رسی همراه با ماسه تشکیل شده است.

براساس گزارش بیلان مربوط به سال ۱۳۸۹ــ ۱۳۹۰، به‌طور متوسط سالانه حجمی معادل ۶۰ میلیون مترمکعب توسط چاه‌ها تخلیه می‌شود. میزان آب ورودی از طریق جریان‌های زیرزمینی معادل ۱۹/۱ میلیون مترمکعب در سال و میزان آب خروجی نیز از طریق جبهه‌های خروجی معادل ۲/۵۵ میلیون مترمکعب است. ۵/۲۹ میلیون مترمکعب حاصل از بارش و ۱۲/۷۷ میلیون مترمکعب رواناب‌های سطحی به

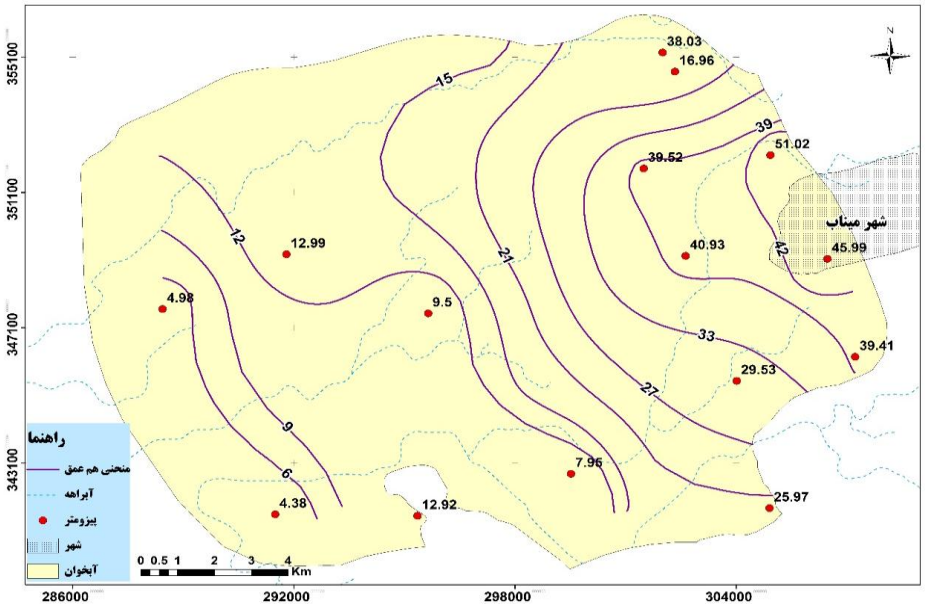
www.SID.ir

Archive of SID

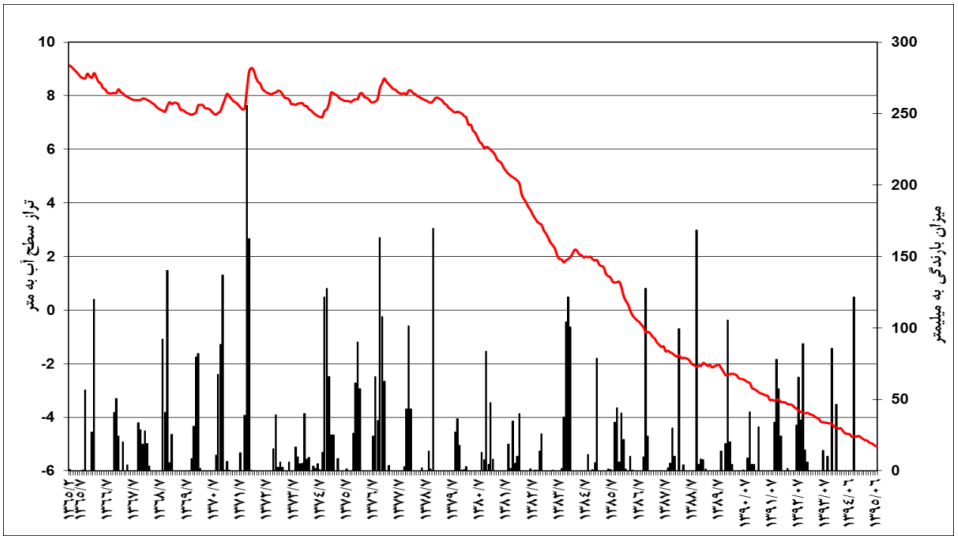
آبخوان نفوذ کرده و ۱۹/۲ میلیون مترمکعب نیز حاصل از بازگشت مصارف به آبخوان است. ۳/۰۶ میلیون مترمکعب نیز از بخش‌های انتهایی آبخوان تبخیر می‌شود. به‌طور کلی، میزان حجم تغذیه ۹/۲۵ میلیون مترمکعب کمتر از میزان تخلیه است و آبخوان میناب کسری مخزن دارد.

منحنی هم‌ارزش عمق برخورد به سطح آب زیرزمینی در آبخوان میناب که براساس اطلاعات شبکهٔ پیزومتری در شهریورماه ۱۳۹۵ ترسیم شده است (شکل ۳)، نشان می‌دهد بیشترین عمق سطح آب در آبخوان در بخش شرقی آبخوان و حدود ۵۰ متر، و کمترین عمق نیز در بخش غربی و حدود ۴ متر است. همان طور که در نقشه مشاهده می‌شود، عمق سطح آب در آبخوان از سمت غرب به سمت شرق افزایش می‌یابد و در حوالی شهر میناب به بیشترین مقدار خود می‌رسد.

هیدروگراف واحد آبخوان میناب نشان می‌دهد به‌طور کلی طی دورهٔ آماری ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۵ سطح آب زیرزمینی آبخوان میناب به میزان ۱۳/۸۸ متر افت داشته است (شکل ۴).



شکل ۳. منحنی هم‌عمق برخورد به سطح آب زیرزمینی در آبخوان محدودهٔ میناب



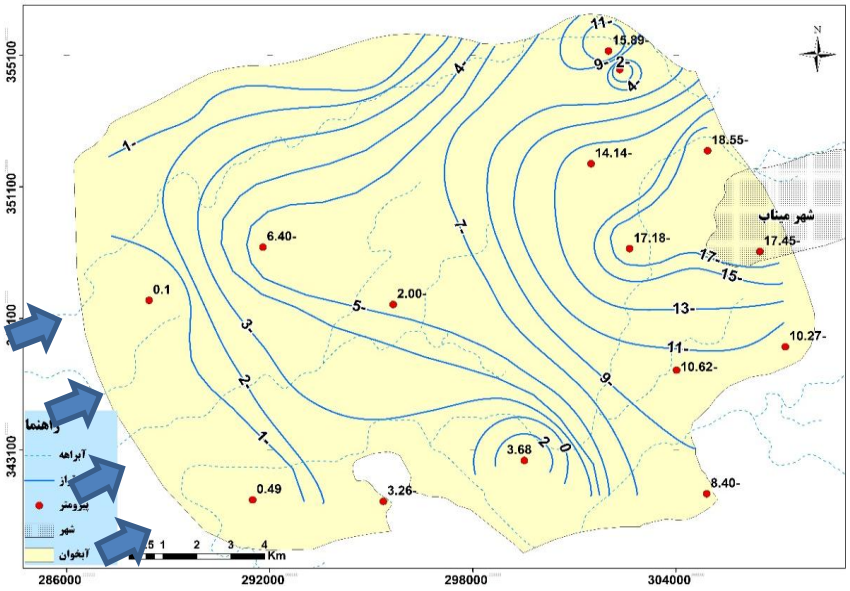
شکل ۴. هیدروگراف واحد تراز سطح آب زیرزمینی آبخوان میناب

www.SID.ir

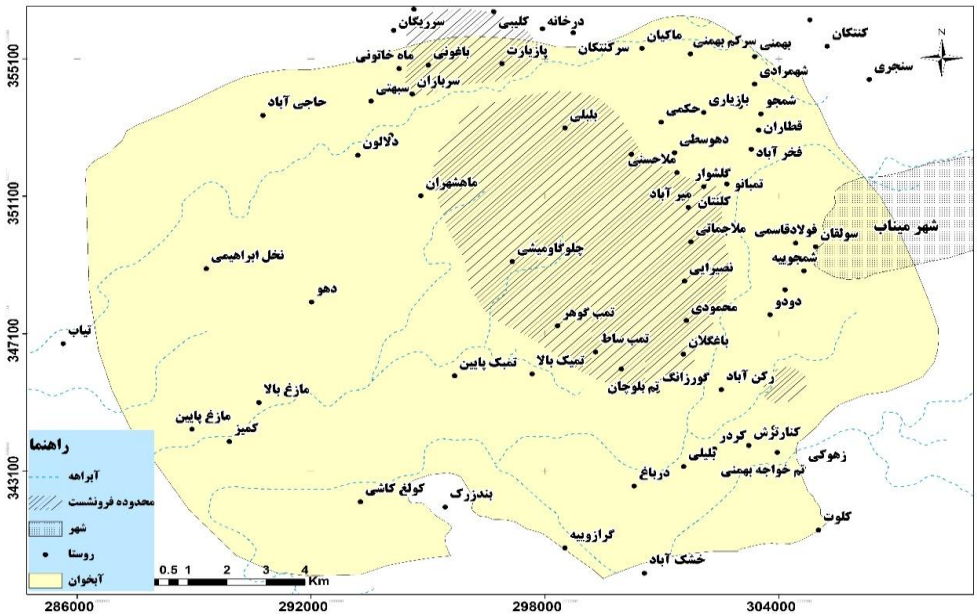
Archive of SID

منحنی هم‌تراز سطح آب زیرزمینی آبخوان میناب که براساس اطلاعات شبکهٔ پیزومتری در شهریورماه ۱۳۹۵ ترسیم شده است، نشان می‌دهد که در بخش مرکزی و شرقی آبخوان تراز سطح آب نسبت به دریا منفی شده و بیش از ۱۷ متر زیر سطح دریا قرار دارد (شکل ۵).

در بازدیدهای متعدد صحرایی که به‌منظور پژوهش حاضر از منطقه انجام شده است، تقریباً تمام دشت بررسی شده و مناطقی که دچار فرونشست شده‌اند، شناسایی و ثبت شده است. موقعیت کلی مناطقی که آثار فرونشست در آن به‌وضوح مشهود است در شکل ۶ ارائه شده است. متأسفانه، شدت فرونشست در این محدوده به حدی است که در برخی روستاها خسارت زیادی به خانه‌ها و بناهای زیرساختی وارد شده است. به‌طور کلی، می‌توان آثار مشهود و بارز فرونشست‌های ایجادشده در این دشت را به دو نوع تفکیک کرد: ۱. شکاف‌ها و ترک‌های طولی؛ ۲. گودال‌های عمقی (شکل ۷). طول برخی از شکاف‌های ایجادشده تا ۵۰ متر و عمق برخی از این گودال‌ها به بیش از ۵ متر می‌رسد.



شکل ۵. منحنی هم‌تراز سطح آب زیرزمینی آبخوان آزاد میناب



شکل ۶. مناطق بررسی‌شدهٔ دارای فرونشست در دشت میناب

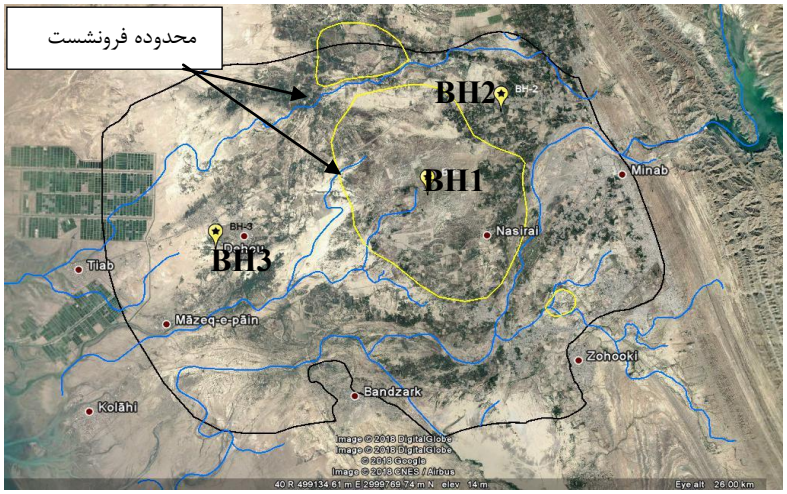
www.SID.ir

Archive of SID

خسارت به بناهای ساختمانی

ایجاد شکاف طولی — ایجاد گودال‌های عمقی

شکل ۷. عوارض ناشی از فرونشست در دشت میناب



شکل ۸. موقعیت گمانه‌های حفاری‌شده در دشت میناب

در ادامه، به‌منظور بررسی وضعیت فرونشست در سطح دشت میناب و وجود داشتن یا نداشتن خاک‌های مسئله‌دار، سه حلقه گمانه با عمق ۱۵ متر در منطقه حفر و آزمایش‌های لازم انجام شد. موقعیت گمانه‌های حفاری‌شده طوری انتخاب شد که یک حلقه در بالادست مناطق دارای عوارض فرونشست شدید، یک حلقه در مناطق با فرونشست شدید و یک حلقه نیز در مناطق پایین‌دست قرار داشته باشد. موقعیت گمانه‌های حفاری‌شده در شکل ۸ ارائه شده است. همچنین، برای بررسی وضعیت شیمیایی خاک منطقه، چهار نمونه خاک از گمانه‌ها برداشت و آنالیز شده است. دو نمونه از خاک‌ها از گمانهٔ BH2 و دو نمونهٔ بعدی، هریک از یک گمانهٔ دیگر، برداشت شده است.

نتایج و بحث

بررسی هیدروگراف واحد تراز سطح آب زیرزمینی دشت میناب نشان می‌دهد تغییرات تراز سطح آب زیرزمینی از ابتدا تا سال ۱۳۷۸ تقریباً متعادل بوده و از این سال به بعد دچار افت تراز شده است. وقوع خشک‌سالی در اواخر دههٔ

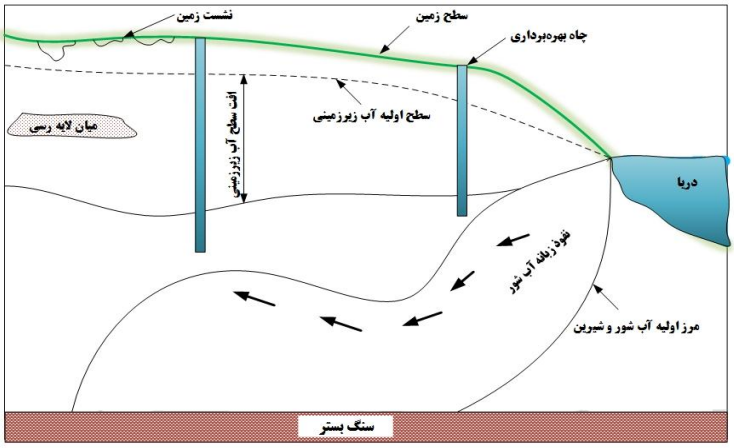
www.SID.ir

Archive of SID

۱۳۷۰ و در ادامه افزایش برداشت از آب زیرزمینی منطقه سبب افت تراز سطح آب در این آبخوان شده است. براساس هیدروگراف واحد به‌طور متوسط تراز سطح آب، سالانه به میزان ۰/۴۶ متر افت دارد. با توجه به ضریب ذخیرهٔ آبخوان و مساحت آبخوان، متوسط میزان کسری مخزن سالانه حدود ۸/۷۵ میلیون مترمکعب است.

$$\Delta V\left(m^3\right)=\Delta h(m)\times A\left(m^2\right)\times S=$$
$$۰/۴۶\times۲۷۲,۰۰۰,۰۰۰\times۰/۰۷=۸/۷۵\ MCM$$

به‌طور کلی، با توجه به وضعیت توپوگرافی منطقه، منابع تغذیهٔ این آبخوان ارتفاعات غربی است و به بیانی، جهت جریان آب زیرزمینی باید از سمت شرق به سمت غرب باشد. همین موضوع سبب شده تا جهت غالب جریان آب زیرزمینی از سمت غرب به شرق باشد. این امر به دلیل برداشت بیش‌ازحد آب زیرزمینی و درنتیجه، افت تراز سطح آب در بخش مرکزی و شرقی آبخوان بوده که به عکس شدن جهت جریان منجر شده است. بنابراین، با توجه به گرادیان هیدرولیکی (متوسط یک به هزار) به‌وجودآمده، جهت جریان زیرزمینی از سمت دریا به سمت آبخوان است. همچنین، نقشهٔ تراز سطح آب زیرزمینی، نشان می‌دهد تراز سطح آب در غالب مناطق آبخوان زیر سطح آزاد دریاست. این دو امر خطر هجوم آب شور دریا به سمت آبخوان و درنتیجه کاهش کیفیت آب زیرزمینی منطقه را نشان می‌دهد. بنابراین، با توجه به ساحلی‌بودن آبخوان میناب، افت سطح آب زیرزمینی علاوه بر فرونشست، سبب پیشروی آب شور شده که این مسئله بحران موجود در منطقه را دوبرابر کرده است. به‌طوری که دشت میناب یکی از معدود دشت‌های کشور است که متأسفانه فرونشست و پیش‌روی آب شور را هم‌زمان تجربه کرده است. در شکل ۹ نمایی از تأثیر افت تراز سطح آب زیرزمینی با نشست زمین و نفوذ آب شور ارائه شده است.



شکل ۹. نمایی از افت تراز سطح آب، نشست زمین و نفوذ آب شور (ترسیم توسط نگارنده)

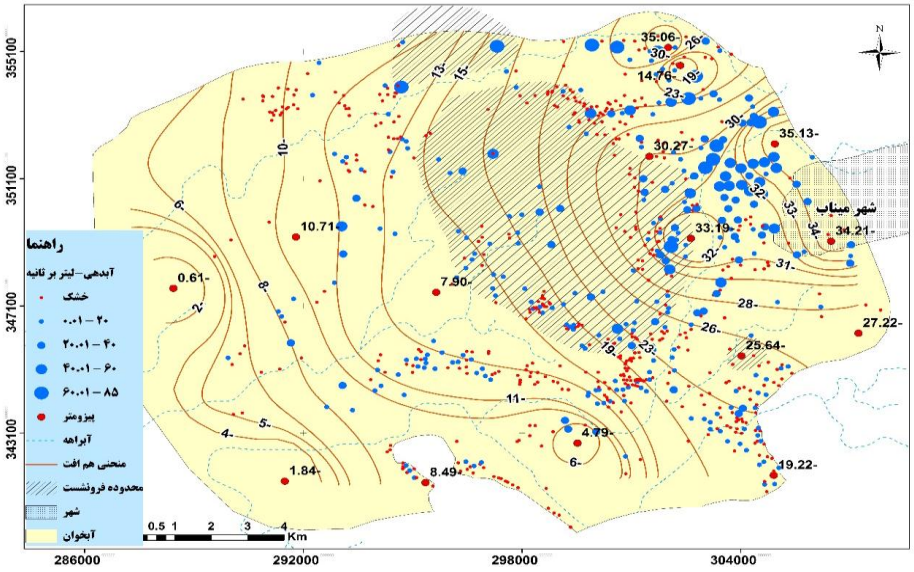
براساس نتایج آخرین آماربرداری سراسری منابع آب کشور، منابع آب زیرزمینی موجود در محدودهٔ مطالعاتی میناب ۷۹۶ حلقه چاه بهره‌برداری است که از این تعداد ۴۶۲ حلقه چاه متروکه و یا فاقد آبدهی، اعلام شده است. وجود ۴۶۲ چاه بدون آبدهی در این محدودهٔ مطالعاتی که غالباً چاه‌های کم‌عمق (کمتر از ۳۰ متر) نیز هستند، نشان‌دهندهٔ افت سطح آب زیرزمینی منطقه است. درمجموع، از تعداد ۳۳۴ حلقه چاه دارای آبدهی در این محدوده، سالانه حجمی معادل ۱۰۳/۱۱ میلیون مترمکعب برای مصارف شرب، کشاورزی و صنعت بهره‌برداری می‌شود. نقشهٔ تغییرات تراز سطح آب زیرزمینی طی دورهٔ آماری ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۵ نشان می‌دهد طی این دورهٔ آماری بیشترین افت سطح آب در بخش شرقی آبخوان، جایی که بیشترین تراکم چاه‌های بهره‌برداری و درنتیجه بیشترین برداشت از آب زیرزمینی وجود دارد، رخ داده است (شکل ۱۰). بررسی‌های انجام‌شده نیز نشان می‌دهد مناطق دارای فرونشست زمین در پایین‌دست محل‌های با بیشترین افت سطح آب قرار دارد. این موضوع ارتباط مستقیم افت سطح آب زیرزمینی و ایجاد فرونشست در سطح زمین را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، بیشتر فرونشست‌ها در مناطق پایین‌دست چاه‌های بهره‌برداری با دبی بیش از ۴۰ لیتر بر ثانیه قرار دارند.

www.SID.ir

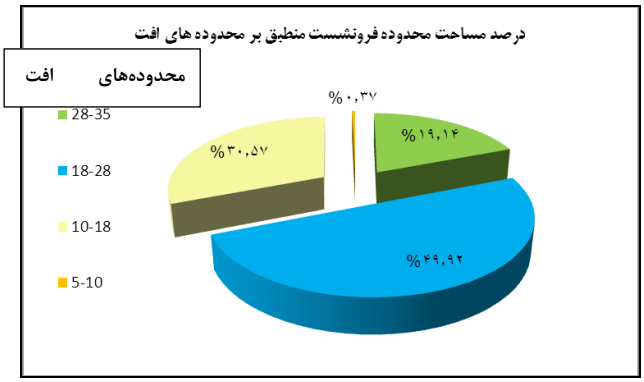
Archive of SID

همان طور که در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود، محدوده‌های دارای بیشترین افت در بالادست مناطق فرونشست قرار دارند و بخشی از مناطق فرونشست بر محدوده‌های دارای بیشترین افت منطبق‌اند. این موضوع ارتباط مستقیم افت سطح آب زیرزمینی با ایجاد فرونشست در منطقه را بیان می‌کند و نشان می‌دهد افت سطح آب از دلایل اصلی ایجاد فرونشست در منطقه است. اما با توجه به اینکه بخش‌های درخور توجهی از مناطق فرونشست بر مناطق دارای بیشترین افت منطبق نیست، دلایل دیگری نیز در ایجاد فرونشست در دشت میناب وجود دارد که در ادامه بررسی می‌شود.

مقایسهٔ بخش‌های دارای فرونشست با محدوده‌های افت در سطح آبخوان میناب نشان می‌دهد حدود ۱۹ درصد مناطق فرونشست در محدوده‌های با افت ۲۸ تا ۳۵ متر و حدود ۵۰ درصد مناطق فرونشست در محدوده‌های با افت بین ۱۸ تا ۲۸ متر اتفاق افتاده است (شکل ۱۱). سایر مناطق فرونشست نیز در محدوده‌های با افت ۱۰ تا ۱۸ متر است. با توجه به اینکه دلیل اصلی فرونشست، افت سطح آب زیرزمینی است، انتظار می‌رود که غالب مناطق فرونشست در محدودهٔ بیشترین افت قرار داشته باشند. به‌بیان دیگر، بررسی دقیق این موضوع نشان می‌دهد برخی مناطق دارای فرونشست در محدودهٔ بیشترین افت قرار نگرفته است. بنابراین، می‌توان بیان کرد که علاوه بر افت سطح آب به‌عنوان دلیل اصلی ایجاد فرونشست، دلایل دیگری نیز می‌تواند در ایجاد این پدیده در منطقه وجود داشته باشد که سبب به‌وجودآمدن نوع خاصی فرونشست در مناطقی با افت تقریباً متوسط شده است.



شکل ۱۰. موقعیت مناطق فرونشست در مقایسه با تغییرات تراز سطح آب زیرزمینی (دورهٔ آماری سی‌ساله)



شکل ۱۱. انطباق درصد مساحت محدوده‌های فرونشست با مناطق افت

www.SID.ir

Archive of SID

یکی از دلایل افت سطح آب زیرزمینی، کاهش تغذیهٔ آبخوان ناشی از کاهش بارش و کاهش آب نفوذی از رودخانهٔ میناب به‌خصوص بعد از بهره‌برداری از سد استقلال در سال ۱۳۶۵ است. براساس منحنی‌های هم‌باران ترسیم‌شده برای این منطقه، متوسط بارش محدودهٔ مطالعاتی میناب ۲۱۷/۵ میلی‌متر در سال است. برای بررسی تغییرات بارش در محدوده، سری زمانی بارش محدودهٔ دشت و ارتفاعات براساس ایستگاه‌های معرف (سینوپتیک میناب، سد استقلال) از سال آبی ۱۳۵۴ـ۱۳۵۵ تا ۱۳۹۳ـ ۱۳۹۴ تکمیل شده، و روند آن بررسی شده است (شکل ۱۲). همان طور که در این نمودار دیده می‌شود، روند تغییرات بارش به‌ویژه در سال‌های اخیر، کاهشی بوده است. به‌طور کلی، کاهش بارش به کاهش میزان تغذیهٔ آبخوان از طریق نفوذ مستقیم از سطح آبخوان و جبهه‌های ورودی از ارتفاعات منجر می‌شود و همچنین نفوذ از طریق رواناب را در پی خواهد داشت.

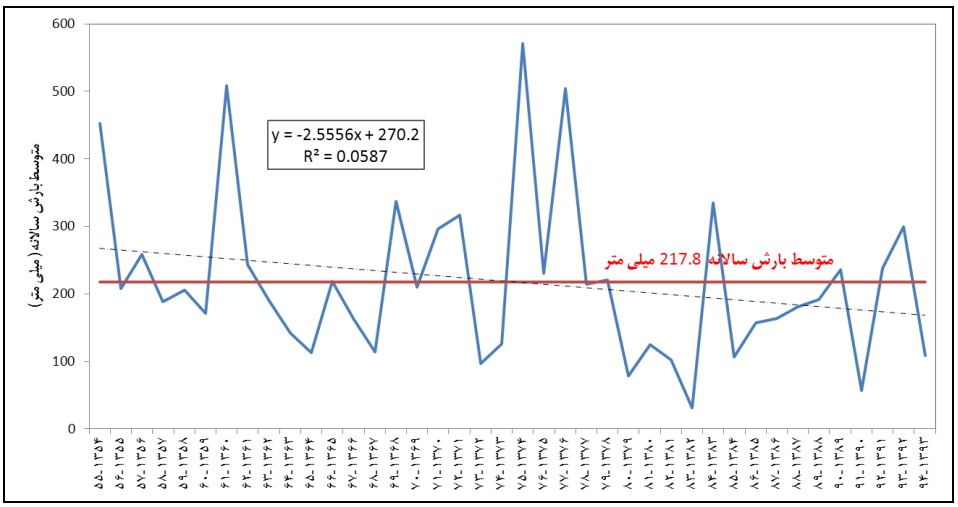
از طرفی، با توجه به اینکه رودخانهٔ میناب به‌عنوان رودخانهٔ اصلی و پرآب این محدوده محسوب می‌شود و رسوبات این رودخانه درشت‌دانه و نفوذپذیر است، بخش زیادی از آب سطحی عبوری از این منطقه سبب تغذیهٔ آبخوان می‌شود. براساس گزارش بیلان آبی محدودهٔ مطالعاتی میناب، میزان تغذیهٔ آبخوان ناشی از نفوذ رواناب رودخانه سالانه حجمی معادل ۱۲/۷۷ میلیون مترمکعب می‌شود که این حجم معادل ۲۲ درصد از کل تغذیهٔ آبخوان است. با توجه به شرایط موجود در بستر رودخانهٔ میناب، به طور قطع قبل از احداث سد میناب، حجم تغذیه از طریق رودخانه میزان بیشتری بوده است و با احداث سد میناب، این حجم از نفوذ به آبخوان از حالت طبیعی خارج شده و مقدار آب ورودی به آبخوان بسیار کم شده است.

انواع فرونشست در منطقه

تراکم لایه‌های آبرفتی

بروز نشست درون دشت‌های انباشته از رسوبات آبرفتی در نواحی مرکزی و حاشیه‌ها به صور مختلف نمود پیدا می‌کند. در نواحی مرکزی به علت ضخامت درخور توجه رسوبات پدیدهٔ فرونشست به‌صورت تراکمی ظاهر شده به‌طوری که ضخامت کلی رسوبات پس از بروز این پدیده، کاهش می‌یابد. رشد ظاهری لولهٔ جدار چاه‌ها از نمودهای مشهود این پدیده است. حرکت عمودی خاک در مرکز دشت، بخش عمدهٔ حرکت نشست رسوبات را در بر می‌گیرد. در نواحی حاشیه‌ای دشت‌ها نیز به علت ضخامت کم رسوبات حرکت عمقی کمتر مشاهده شده و میزان نشست نیز کمتر چشم‌گیر است، اما حرکات افقی و یا به بیانی جانبی رسوبات بارزتر است.

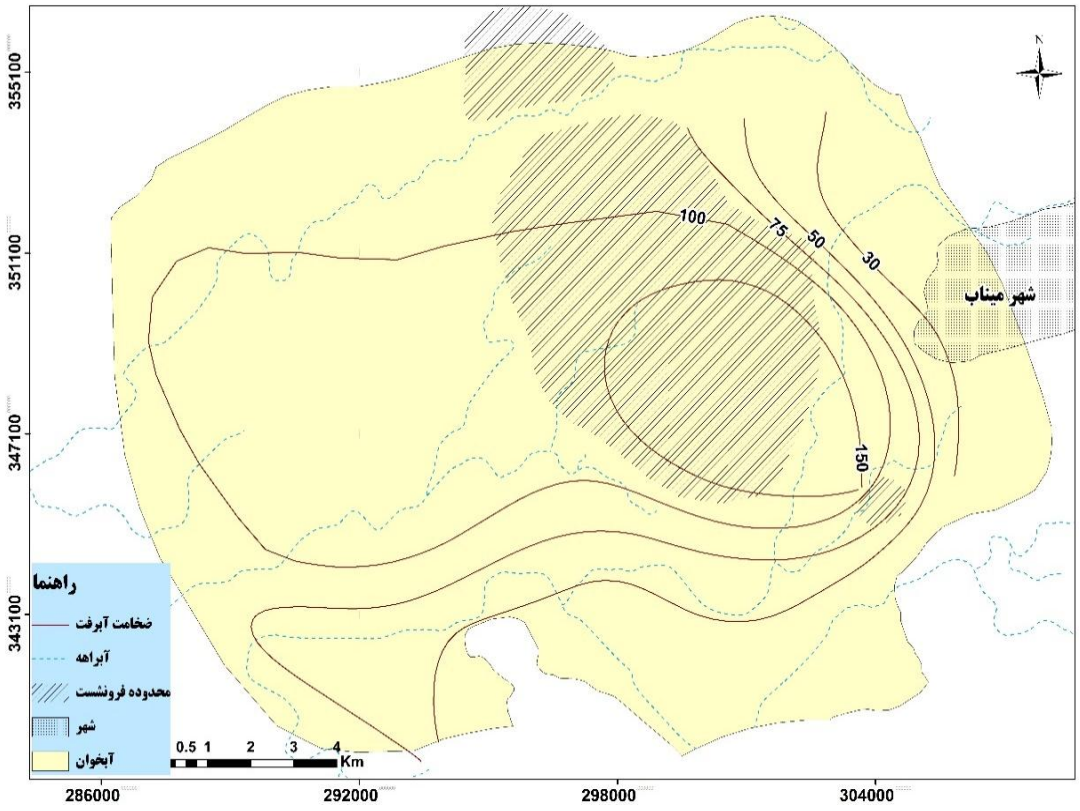
مقایسهٔ مناطق فرونشست دشت میناب و ضخامت آبرفت نشان می‌دهد بیشتر مناطق فرونشست در بخش‌هایی با ضخامت آبرفت حدود ۱۰۰ متر قرار دارند (شکل ۱۳). انطباق محدوده‌های فرونشست با ضخیم‌ترین بخش آبخوان به نوعی نشان‌دهندهٔ ایجاد فرونشست در اثر تراکم رسوبات آبرفتی است.



شکل ۱۲. تغییرات بارندگی سالانهٔ محدودهٔ مطالعاتی میناب طی دورهٔ آماری ۱۳۵۴ـ ۱۳۹۴

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱۳. موقعیت مناطق فرونشست و ضخامت آبرفت

ناهمواری سنگ کف و نشست نامتوازن

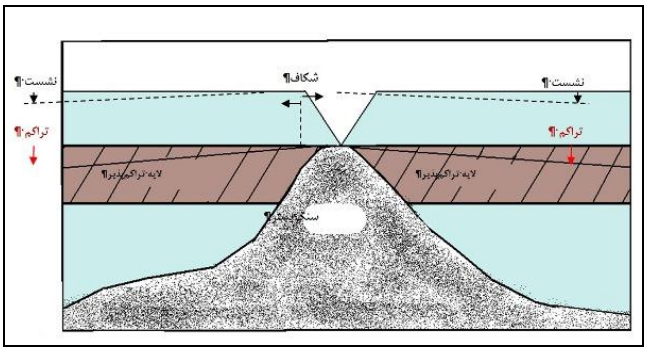
در مواردی مشاهده می‌شود که ترک‌های کششی با قطرهای متفاوت در بخش‌های داخلی دشت بروز کرده است. این پدیده را می‌توان به تغییرات توپوگرافی سنگ کف نسبت داد. در چنین مواردی که سنگ کف ناهمواری داشته باشد، در صورتی که آبخوان دچار افت سطح آب شود و در پی آن، به‌دلیل تراکم رسوبات دچار فرونشست شود در محل‌هایی که سنگ کف ناهمواری داشته باشد، در سطح زمین شکاف و ترک‌هایی به وجود می‌آید. همچنین، در صورتی که عدسی‌های رسی بین طبقات وجود داشته باشد، با توجه به اینکه تراکم‌پذیری لایهٔ رسی با رسوبات دیگر متفاوت است، در سطح زمین سبب ایجاد شکاف و ترک خواهد شد (شکل ۱۴).

افت ناموزون سطح آب زیرزمینی، متغیربودن ضخامت لایه‌های تراکم‌پذیر و ناهمگنی تراکم این لایه‌ها موجب فرونشست ناموزون سطح زمین می‌شود و شکاف‌هایی در پوستهٔ زمین به وجود می‌آورد. شکاف‌های ایجادشده در منطقه بر اثر بارش‌های شدید دچار آب‌شستگی شده و عریض‌تر و عمیق‌تر می‌شود. در محدودهٔ مطالعاتی میناب این‌گونه ترک‌های طولی با طول چند ده متر در مناطق مختلفی دیده می‌شود. تحقیقات محلی نیز بیان می‌کند که تمام فرونشست‌های منطقه بعد از بارش باران مشاهده شده است. به نظر می‌رسد که ایجاد شکاف‌های طولی اولیه در منطقه به دلیل وجود چنین مکانیسمی در آنجا باشد. شکاف‌های یادشده بر اثر بارش باران عریض‌تر و عمیق‌تر شده است. شواهد ظاهری برخی از مناطق نیز تا حدودی این موضوع را تأیید می‌کند (شکل ۱۵).

علاوه بر موارد یادشده براساس اطلاعات به‌دست‌آمده از لاگ حفاری چاه‌های پیزومتر موجود در منطقه و با استفاده از نرم‌افزار Rockworks پروفیلی از محدودهٔ آبخوان تهیه شده است. اطلاعات به‌دست‌آمده از این پروفیل نشان می‌دهد در بخش‌های مرکزی آبخوان، عدسی‌های ریزدانهٔ سیلت و رسی وجود دارد که می‌تواند سبب نشست نامتوازن رسوبات منطقه شود (شکل ۱۶).

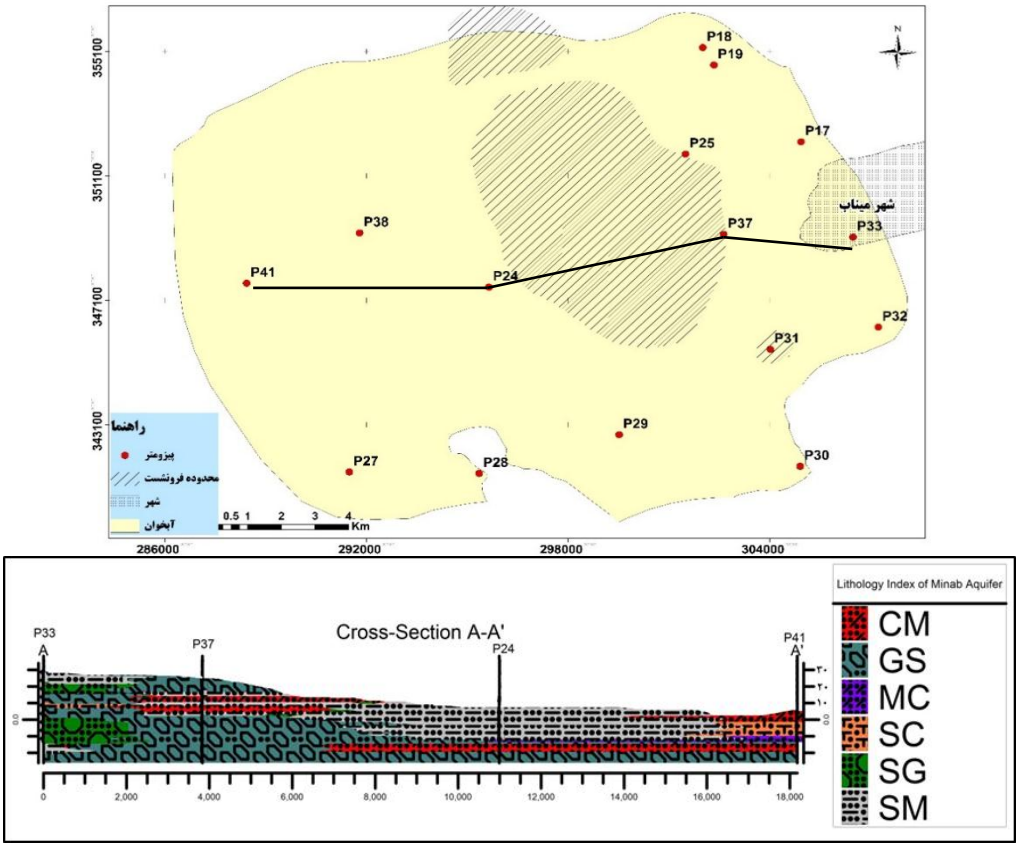
www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱۴. مکانیسم ایجاد ترک به‌دلیل ناهمواری سنگ کف آبخوان

شکل ۱۵. وجود شکاف‌های طولی در محدودهٔ مطالعاتی میناب



شکل ۱۶. پروفیل به‌دست‌آمده از لاگ پیزومترهای حفاری‌شده در سطح آبخوان

www.SID.ir

Archive of SID

نشست به‌دلیل وجود نوع رسوبات مسئله‌دار[1] در منطقه

یکی از دلایلی که می‌تواند در فرونشست دشت میناب مؤثر باشد، وجود نوعی از خاک‌های مسئله‌دار است که باید بررسی شود. شایان یادآوری است که در بسیاری موارد خاک‌هایی که در حالت عادی مشکلی ندارند و شرایط ژئوتکنیکی خوبی دارند، با تغییر برخی پارامترهای محیطی مانند رطوبت و تنش، دچار تغییر شکل‌های درخور توجه و ناگهانی می‌شوند [۱۹]. انواع خاک‌های مسئله‌داری که در این منطقه می‌توانند به ایجاد نوعی فرونشست خاص در منطقه منجر شوند، عبارت‌اند از: خاک‌های تورم‌پذیر و خاک‌های انحلال‌پذیر.

به‌طور کلی، بررسی لاگ ژئوتکنیک گمانه‌های حفاری‌شده نشان می‌دهد رسوبات منطقه از سمت شرق به غرب دشت، ریزدانه می‌شود. همچنین، عمق برخورد به سطح آب در محل گمانهٔ حفرشدهٔ انتهای دشت کم بوده و حدود ۹ متری سطح زمین است (شکل ۱۷). درشت‌دانه‌بودن رسوبات در ابتدای دشت می‌تواند به این نکته اشاره کند که بیشتر فرونشست در این بخش از دشت به‌صورت تراکم لایه‌های آبرفتی صورت می‌گیرد، همان طور که در بخش‌های ابتدایی دشت وجود عوارضی همچون گودال و چالهٔ ناشی از فرونشست به‌ندرت دیده می‌شود. همچنین، وجود لایه‌های رسی در بخش‌های میانی دشت (محل گمانهٔ BH1) نشان می‌دهد در این بخش خاصیت تورم‌پذیری وجود دارد و یکی از دلایل وجود عوارض شدید فرونشست در این بخش از دشت مرتبط با وجود رس‌های منطقه است. هرچند وجود کانی مونت‌موریلونیت و کائولینیت در رس‌های منطقه مشخص نشده است، وجود رس در منطقه، خاصیت تورم‌پذیری را به همراه خواهد داشت. از طرفی، بالابودن سطح آب در بخش‌های انتهایی دشت (که البته می‌تواند ناشی از نفوذ آب دریا باشد) سبب شده تا میزان رطوبت خاک در این منطقه تغییری نداشته باشد و درنتیجه عوارضی از فرونشست در این بخش مشاهده نشود.

یکی از سناریوهایی که می‌توان براساس آن به فرونشست در محدودهٔ مطالعاتی میناب پرداخت، ازدست‌دادن رطوبت موجود در خاک‌های ریزدانهٔ منطقه و درنتیجه فرونشست زمین است. کاهش رطوبت خاک در این محدوده به‌دلیل خشک‌سالی‌های چند سال اخیر، استفادهٔ رطوبت موجود توسط گیاهان و همچنین کاهش سطح آب زیرزمینی رخ داده است. درخور یادآوری است که عمق سطح آب در مناطق فرونشست در ابتدای تشکیل شبکهٔ پیزومتری کمتر از ۵ متر بوده است که به‌دلیل وجود خاصیت مویینگی در خاک‌های ریزدانه، بخشی از رطوبت خاک تأمین می‌شده است. در پی ازدست‌دادن رطوبت خاک در این مناطق، خاک‌های موجود دچار انقباض می‌شود و به‌تبع آن نشست در لایه‌های بالایی رخ می‌دهد. با توجه به اینکه در منطقه بارش‌ها غالباً شدید است، این نوع بارش می‌تواند محرک اولیه‌ای برای ایجاد نشست باشد. شایان یادآوری است که در پرس‌وجوهای محلی به‌عمل‌آمده طی مطالعات صحرایی، پاسخ تمام افراد نسبت به زمان وقوع فرونشست‌ها، به ایجاد آنها پس از بارندگی‌ها اشاره دارد. بر اثر این بارش‌ها لایه‌ای از سطح زمین مرطوب شده و به دلیل نداشتن مقاومت کافی در لایه‌های زیرین، فرونشست اتفاق افتاده است. به نظر می‌رسد گودال‌های ایجادشده در منطقه بر اثر چنین مکانیسمی به وجود آمده باشند (شکل ۱۸).

در شرایط طبیعی خاک‌های تورم‌پذیر در سطح زمین پس از کاهش رطوبت و انقباض، دارای شبکهٔ وسیع و عمیقی از درز و شکاف‌ها به‌صورت موزاییکی می‌شود. وجود این نوع ترک‌های مد نظر در رسوبات برجای‌مانده در بخشی از بستر رودخانهٔ میناب می‌تواند نشان‌دهندهٔ وجود این نوع رسوبات در لایه‌هایی پایین‌تر نیز باشد (شکل ۱۹).

با توجه به اینکه در بالادست دشت میناب و در ارتفاعات وجود سازند گچساران مشاهده می‌شود، امکان وجود رسوبات تبخیری هم به‌صورت لایه‌ای و هم به‌صورت وجود ذرات تبخیری در بین ذرات خاک وجود دارد. علاوه بر این، با توجه به اینکه عمق سطح آب زیرزمینی در اغلب مناطق دشت میناب در ابتدای تشکیل شبکهٔ پایش کمتر از ۵ متر بوده است، امکان ایجاد رسوبات تبخیری به‌علت خاصیت مویینگی نیز وجود دارد. از این راه که ذرات نمک موجود در آب از اعماق از طریق مویینگی به سطوح بالاتر آمده و سپس بر اثر تبخیر در میان ذرات خاک‌های سطحی رسوب‌گذاری کرده است. این پدیده تا زمانی که سطح آب زیرزمینی بالا بوده است در یک حالت تعادل قرار داشته و با افت سطح آب زیرزمینی و خشک‌سالی‌های چندین‌ساله در منطقه، این تعادل از بین رفته است. همچنین، بر اثر نفوذ آب حاصل از بارندگی‌ها، رسوبات موجود حل شده و بر اثر انحلال در لایه‌های زیرین، فرونشست زمین رخ داده است.

1. Problematic Soils

www.SID.ir

Archive of SID

عمق	توصیف	رده بندی	نماد
0تا 2 متر	رس با خاصیت خمیری کم به رنگ قهوه ای روشن	CL	
2 تا 4 متر			
4تا 6 متر			
6 تا 8 متر	لای ماسه دار به رنگ خاکستری تیره	ML	
8 تا 10 متر	ماسه با دانه بندی بد همراه با لای به رنگ خاکستری تیره	SP-SM	
10 تا 12 متر	ماسه با دانه بندی بد همراه با لای به رنگ خاکستری تیره	SP-SM	
12 تا 14 متر	ماسه لای دار همراه با شن به رنگ خاکستری تیره	SM	
14 تا 15 متر			

لاگ گمانه BH3

عمق	توصیف	رده بندی	نماد
0تا 2 متر	رس با خاصیت خمیری کم همراه با ماسه به رنگ قهوه ای روشن	CL	
2 تا 4 متر	شن لای دار همراه با ماسه به رنگ قهوه ای روشن	GM	
4تا 6 متر			
6 تا 8 متر			
8 تا 10 متر	ماسه با دانه‌بندی بد همراه با لای و شن به رنگ قهوه ای روشن	SP-SM	
10 تا 12 متر	شن با دانه‌بندی بد همراه با لای و ماسه به رنگ قهوه ای روشن	GP-GM	
12 تا 14 متر	ماسه لای دار همراه با شن به رنگ قهوه ای روشن	SM	
14 تا 15 متر			

لاگ گمانه BH2

عمق	توصیف	رده بندی	نماد
0تا 2 متر	رس با خاصیت خمیری کم به رنگ قهوه ای روشن	CL	
2 تا 4 متر			
4تا 6 متر			
6 تا 8 متر	رس با خاصیت خمیری کم همراه با ماسه به رنگ قهوه ای روشن	CL	
8 تا 10 متر	رس با خاصیت خمیری کم همراه با ماسه به رنگ قهوه ای روشن	CL	
10 تا 12 متر	ماسه لای دار به رنگ قهوه ای روشن	SM	
12 تا 14 متر			
14 تا 15 متر			

لاگ گمانه BH1

شکل ۱۷. لاگ حفاری گمانه‌های حفرشده در منطقه

شکل ۱۸. گودال‌های ایجادشده در محدودهٔ مطالعاتی میناب

شکل ۱۹. شبکهٔ ترک‌خوردگی خاک تورم‌پذیر در بستر رودخانهٔ میناب

بررسی میزان pH خاک در نمونه‌های برداشت‌شده از سه گمانهٔ حفاری‌شده در منطقه بیان می‌کند که میزان این پارامتر در کل منطقه بیش از ۸ است و این اتفاق قلیایی‌بودن خاک منطقه را نشان می‌دهد. بررسی دقیق‌تر میزان pH خاک نشان می‌دهد میزان این پارامتر در محل گمانهٔ BH3 بیشتر از نقاط دیگر است. دلیل این اتفاق را شاید بتوان به بالابودن سطح آب و نفوذ آب دریا به منطقه مرتبط دانست. البته، در کل زیادبودن pH در منطقه را می‌توان ناشی از وجود رسوباتی همچون سولفات کلسیم و املاح شور و سدیمی دانست.

به‌طور کلی، بررسی آنالیز شیمیایی خاک گمانه‌ها نشان می‌دهد درصد کلر و سولفات در محل گمانهٔ BH1 بیشتر از سایر مناطق است (جدول ۱). این موضوع می‌تواند نشان دهد میزان رسوبات سولفاته (همچون سولفات کلسیم) که قابلیت انحلال دارند در این منطقه بیشتر از بخش‌های ابتدایی و انتهایی آبخوان است. وجود این رسوبات در بخش میانی دشت نیز می‌تواند یکی دیگر از دلایل بروز عوارض شدید فرونشست در سطح منطقه باشد.

جدول ۱. نتایج آنالیز شیمیایی خاک

ردیف	نام گمانه	عمق (متر)	PH	CL (%)	SO4(%)
1	BH1	7-9	8.06	0.14	0.29
2	BH2	0-2	8.8	0.02	0.22
3	BH2	10-12	8.73	0.02	0.19
4	BH3	2-4.5	9.26	0.07	0.22

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، براساس مطالعات انجام‌شده در این منطقه مشاهده می‌شود که برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی سبب افت تراز سطح آب شده است، به گونه‌ای که در حال حاضر تراز سطح آب در بخش‌هایی از آبخوان بیش از ۱۷ متر زیر سطح دریا قرار دارد. همین امر سبب شده است شیب هیدرولیکی منطقه از حالت طبیعی خارج شده و با عکس‌شدن جهت جریان در منطقه، موجب نفوذ آب دریا به آبخوان شود. از این رو، وضعیت آبخوان میناب علاوه بر اینکه از نظر کمی در شرایط بحرانی قرار دارد، از نظر کیفی نیز در معرض خطر باشد که با ادامه‌دار بودن این وضعیت، متأسفانه به‌تدریج شاهد مرگ آبخوان میناب خواهیم بود.

www.SID.ir

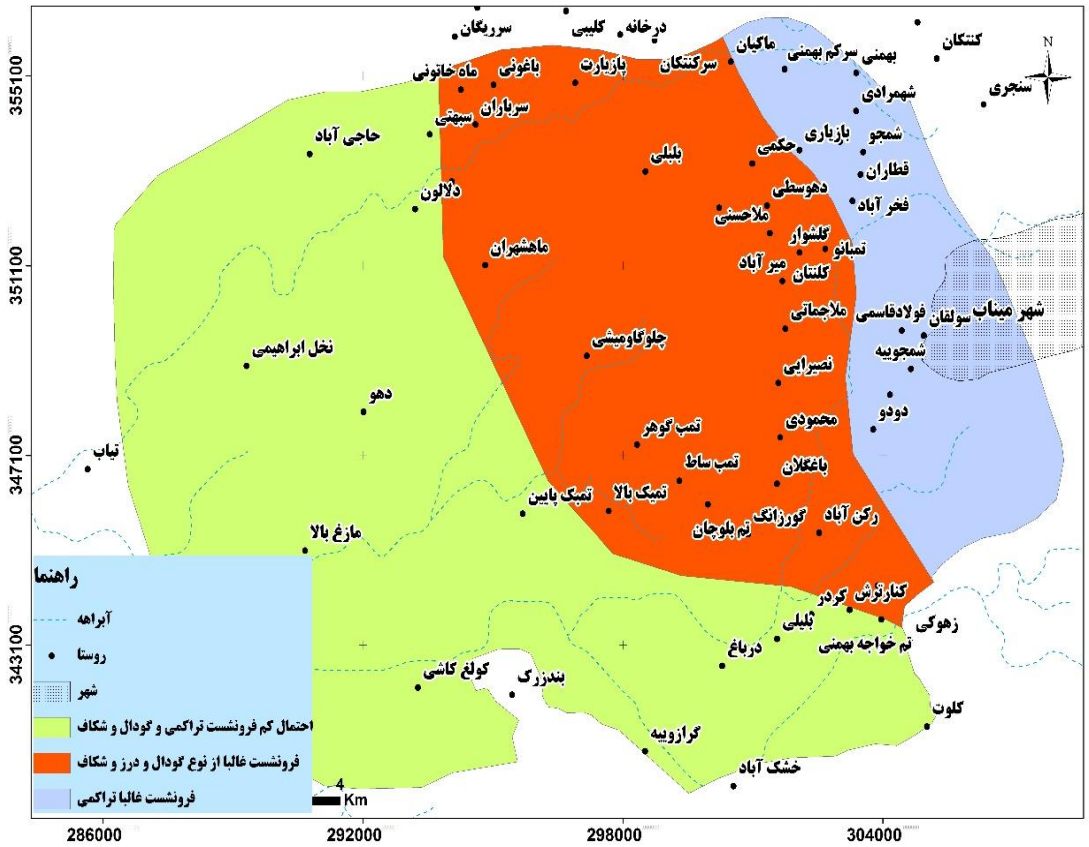
Archive of SID

افت سطح آب زیرزمینی منطقه و درنتیجه کاهش فشار هیدرواستاتیکی در خلل و فرج موجود، مهم‌ترین عامل در ایجاد فرونشست آبخوان میناب است. افت فشار هیدرواستاتیک در آبخوان سبب شده که رسوبات بخش آبخوان توان نگهداری فشار واردشدهٔ ناشی از رسوبات بالایی را نداشته باشند و درنتیجه دچار تراکم شوند.

تراکم رسوبات آبرفتی، وجود خاک‌های مسئله‌دار (خاک تورم‌پذیر و انحلال‌پذیر) و نشست نامتوازن به‌دلیل وجود لایه‌های با تراکم‌پذیری متفاوت به واقعیت منطقه نزدیک است که البته هر سه مورد می‌تواند هم‌زمان وجود داشته باشد. افت سطح آب زیرزمینی در هر صورت با تراکم آبرفت‌ها همراه خواهد بود که البته این موضوع در ابتدای آبخوان و جایی که رسوبات دانه‌درشت‌ترند بیشتر نمود دارد و در مناطق میانی و انتهایی آبخوان که رسوبات از سیلت رس تشکیل شده‌اند، کمتر مشاهده می‌شود.

براساس بررسی‌های انجام‌شده می‌توان منطقه را از نظر خطر فرونشست به سه بخش تقسیم کرد: در محدوده‌های غربی آبخوان به سمت دریا با توجه به بالابودن عمق سطح آب، احتمال وقوع فرونشست کمتر است. در بخش‌های ابتدایی آبخوان نیز با توجه به اینکه رسوبات غالباً دانه‌درشت هستند و ضخامت آبرفت به نسبت زیاد است، فرونشست بیشتر از نوع تراکم لایه‌های آبرفتی وجود دارد. در بخش مرکزی دشت احتمال ایجاد گودال و درز و شکاف‌ها با شدت زیاد وجود دارد.

به‌طور کلی، آبخوان میناب هم‌زمان با پدیدهٔ فرونشست و پیشروی آب شور مواجه است و بی‌توجهی به این موضوع موجب نابودی آبخوان خواهد شد. از این رو، توجه هرچه بیشتر به این آبخوان و برنامه‌ریزی مناسب به‌منظور جلوگیری از نابودشدن آبخوان یکی از اقدامات ضروری است. از طرفی، با توجه به اینکه بخشی از نیاز آب شرب شهر بندرعباس از محل آبخوان میناب تأمین می‌شود، احداث و راه‌اندازی سیستم‌های آب‌شیرین‌کن در این منطقه می‌تواند کمک فراوانی به آبخوان میناب کند.



شکل ۲۰. پهنه‌های تقریبی فرونشست

www.SID.ir

Archive of SID

منابع

[1].faunt C C, Sneed M, Traum j, Brandt J T. "Water availability and land subsidence in the Central Valley,California, USA," hydrogeol, 2016, pp. 675-684.

[2].Phien-wej, N, Giao, P.H, Nutalaya, P. "Land Subsidence In Bangkok, Thailand". Engineering Geology 2006, 82: 187– 201.

[3].Abbas Nejad A. "Review of the Situation and Issues of the Geology of the Environment of Rafsanjan Plain," in the Second Conference of the Geological Society of Iran, 1998. [Persian]

[4].Mahmoudpour M, Khamehchiyan M, Nikudel M R, Ghassemib M R. "Numerical simulation and prediction of regional land subsidence caused by groundwater exploitation in the southwest plain of Tehran, Iran.," *Engineering Geology*, 2016, vol. 201, pp. 6-28.

[5].Parhizkar S, Ajdary K, Kazemi G A, Emamgholizadeh S. "Predicting water level drawdown and assessment of land subsidence in Damghan aquifer by combining GMS and GEP models," *Geopersia*, 2015, pp. 63-80.

[6].Sharifi Kia M, Afzali A, Shayan S. "Extraction and evaluation of the effects of geomorphologic phenomena caused by subsidence in Damghan plain," Quantitative geomorphology studies, 2015, pp. 60-74. [Persian]

[7].Salehi R, Ghafouri M, Lashgipur Gh, Peasant M. "Investigation of subsidence of South Mahyar Plain Using Radar interferometry method," Journal of Irrigation and Water Engineering, 2013, pp. 47-57. [Persian]

[8].Al Khamis R, Karimi Nasab S, Ariana F. "Investigating the Effect of subsidence Due to Groundwater Drainage on the Damage of Pipeline," Water and Wastewater, 2006, pp. 77-88. [Persian]

[9].Entezam A, Ghasemi A, Yousefi T, Shafiei M. "Investigating the sinkholes and gaps of the Ayj plains of Fars province," Geological Survey & Mineral Exploration of Iran, 2015. [Persian]

[10]. Entezam Soltani A, Ghasemi A. "The study of longitudinal gaps in the Golestan Autonomous Region," Geological Survey & Mineral Exploration of Iran, 2009. [Persian]

[11]. Mirtamizdost M, Qassemi A. "Land subsidence survey and construction damage in Shahadat neighborhood of Ray", Geological Survey & Mineral Exploration of Iran, 2011. [Persian]

[12]. Ghasemi A, Mirtamizdost M. "Investigating the phenomenon of longitudinal gaps in agricultural land of Moin Abad village, Varamin County," Geological Survey & Mineral Exploration of Iran, 2010. [Persian]

[13]. Jiriyaei Sharahi H. "Maintenance of land subsidence with Radar Interference Technique in Minab Plain," Hormozgan University. Master's thesis, 2016. [Persian]

[14]. Turkmani Tambaki H. "Land subsidence in the plain of Minab and its relation to the decline of groundwater level", Islamic Azad University, Bandar Abbas Branch, 2016. [Persian]

[15]. Bemany Ahmadabad M, Ashjary J, Yaqubi A, malek Abbaslu A. "Study of the cause of subsidence in the Coastal aquifer of Minab Plain," 6th National Conference on Iranian Water Resources Management, 2016. [Persian]

[16]. Bahrami S, Bazrafshan O. "Factors Affecting land subsidence in the Plain of Minab," 4th International Conference on Environmental Planning and Management, 2017. [Persian]

[17]. Debiwand R, Shahnazari AS, Fazl Ovla R. "Simulation of saline water advancement on coastal aquifers in the Lahijan-Chaboksar area," University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Sari, 2011. [Persian].

[18]. Jafari F, Eftekhari M. "Investigating the exchange of water and the influence of the saline water of Lake Urmia on neighboring aquifers" Water Management and Irrigation, Volume 3, Issue 1, pp. 29-47, 2013. [Persian]

[19]. Rahimi H, Abbasi N. Geotechnical Engineering, Troublesome Soil, Tehran: Tehran University Press, 2014.[Persian]

www.SID.ir