

بررسی اثرات بالا آمدگی و پیش بینی نوسانات سطح آب زیرزمینی ناشی از توسعه شبکه جمع آوری فاضلاب در شهر کرمان

ایمان آقاملایی^۱، غلامرضا لشکری پور^{۲*}، محمد غفوری^۳، ناصر حافظی مقدس^۴

تاریخ ارسال: ۱۳۹۶/۰۷/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۹/۰۸

مقاله برگرفته از پایان نامه

چکیده

افزایش سطح آبهای زیرزمینی در محدوده شهرها به یک نگرانی عمده در سراسر جهان تبدیل شده است. در اکثر کشورها عوامل اصلی بالا آمدن سطح آب زیرزمینی کاهش برداشت آب زیرزمینی در نتیجه کاهش صنایع تولیدی، نفوذ آب آبیاری، نشت مخازن زیرزمینی فاضلاب و نشت سیستم آشامیدنی می باشد. مقایسه سطح برخورد به آب زیرزمینی (۱۳۹۵-۱۳۶۵) در دشت کرمان و محدوده شهر کرمان دو روند معکوس را نشان می دهد، به گونه ای که در برابر افت سالانه سطح آب در دشت، با افزایش سالانه سطح آب در محدوده شهر مواجه بوده ایم. اندازه گیری ارتفاع سطح آب در چاههای دستی در بعضی از نقاط شهر کرمان نشان می دهد که از محدوده مرکزی به سمت پیرامون شهر (بافت جدید) سطح آب از حدود ۶ متر تا ۲۵ متر افزایش می یابد. افزایش آب شرب مصرفی که ناشی از افزایش جمعیت و توسعه شهر کرمان می باشد، همراه با انسداد مجاری زیرزمینی مانند قنوات، تغییر کاربری اراضی کشاورزی، حذف چاههای بهره برداری و استفاده از چاه های جذبی، در شرایط فقدان شبکه فاضلاب شهری موجب بالا آمدن سطح ایستابی در محدوده شهر شده است. بالا آمدن سطح آب که ناشی از اختلاط آب فاضلاب با آب زیر زمینی می باشد ضمن اینکه باعث الوده شدن آبخوان و کاهش مقاومت خاک شده با توجه به اینکه در برخی از افق های خاک شهر کرمان، خاک خاصیت رمیندگی دارد اشباع شدن این افق های خاک باعث فروریزش خاک و آسیب جدی به سازه های شهری خواهد شد. به منظور بررسی اثر توسعه شبکه جمع آوری فاضلاب بر سطح آب زیر زمینی، پس از جمع آوری اطلاعات مورد نیاز از قبیل داده های پمپاژ، لاگ های حفاری مربوط به چاه ها، داده های سطح آب و داده های ژئوفیزیکی، از نرم افزار GMS در قالب کد کامپیوتری MODFLOW استفاده شده است. بر اساس نتایج حاصل در بخش مرکزی شهر پس از توسعه کامل شبکه جمع آوری فاضلاب سطح آب زیر زمینی می تواند از عمق ۵/۵ متر تا عمق ۱۸ متری از سطح زمین افت داشته باشد.

واژه های کلیدی: دشت کرمان، آبخوان، سطح آب زیر زمینی، سیستم فاضلاب، شهر کرمان

۱ دانشجوی دکتری زمین شناسی مهندسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران تلفن ۰۹۱۳۸۴۳۷۷۹۷

Email: imaneng189@gmail.com

۲ استاد گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران تلفن ۰۹۱۵۱۴۱۱۴۴۹

۳ استاد گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران تلفن ۰۹۱۵۱۱۳۵۷۵۲

۴ استاد گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران. Email: hmoghads@yahoo.com

مقدمه

محدوده شهری و آلودگی ناشی از دفع پساب توسط چاههای جذبی قرار گرفته و توانایی تأمین آب شرب موردنیاز شهر را ندارند. در این مرحله آب شرب موردنیاز شهر از منابع آب زیرزمینی و سطحی که در فاصله دورتری نسبت به شهر قرار دارند تأمین می‌شود. امروزه در خیلی از شهرهای کشورهای پیشرفته از منابع آب زیرزمینی به دلیل آلودگی ناشی از نفوذ فاضلابهای خانگی و صنعتی استفاده نمی‌شود. عدم استحصال این آبها و همچنین تغذیه زیاد این آبخوانها از منابع شهری سبب بالا آمدن سطح آب در این شهرها و ایجاد مشکلاتی برای سازههای شهری گردیده است. در بسیاری از مواقع افزایش سطح آبهای زیرزمینی بر روی ساختارهای زیرسطحی مانند تونلها، شالوده ها، تأسیسات زیرزمینی و... اثر می‌گذارد.

لذا امروزه افزایش سطح آبهای زیرزمینی به یک نگرانی عمده در سراسر جهان تبدیل شده است (Ray, 2005). در اکثر کشورها علت اصلی بالا آمدن سطح آب زیرزمینی کاهش برداشت آب زیرزمینی در نتیجه کاهش صنایع تولیدی می‌باشد (Oyedele et al, 2009) در خاورمیانه در شهرهای کویت، قطر (دوحه)، مصر (قاهره) و عربستان سعودی (در شهرهای ریاض، جدّه، جیزان، تبوک، مدینه) بالا آمدن سطح آب زیرزمینی گزارش شده است. با توجه به اینکه در خاورمیانه معمولاً بارش باران کم، پتانسیل تبخیر بالا و تغذیه سطح ایستابی کم و پراکنده است توسعه شهری اغلب باعث بالا آمدن سطح ایستابی شده است. در دوحه و کویت (Anon, 1987)، عواملی مانند نفوذ آب آبیاری، نشت مخازن زیرزمینی فاضلاب و نشت سیستم آب آشامیدنی به عنوان عوامل اصلی بالا آمدگی بودند. نتیجه مطالعات از سال ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۰ در جدّه نشان می‌دهد که میانگین بالا آمدگی سطح آب ۰/۴۱ متر بوده که حدود ۰/۱ متر در هر سال سطح آب زیرزمینی بالا آمده است (Saleh et al, 2006) که عدم وجود سیستم جمع آوری فاضلاب و نفوذپذیری پایین خاک عوامل اصلی بالا آمدن سطح آب در این شهر می

نقش آبخوانها در توسعه شهرها و اثرات شهرها بر آنها همواره مورد توجه محققین مختلف بوده و در نیمه دوم قرن بیستم تحقیقات مختلفی در مورد آن صورت گرفته است. فاستر و همکاران (۱۹۹۸) رابطه متقابل شهرها و آبخوانها برهم را با توجه به مطالعات محققین مختلف بررسی کرده و به صورت ۴ مرحله ارائه کردند. در مراحل اولیه تشکیل شهر، آبخوان به عنوان سهلاصولترین منبع نقش مهمی در تأمین آب شرب شهر ایفا میکند. در این مرحله از چاههای کم عمق برای تأمین آب شهر استفاده شده و بهره‌برداری از آب زیرزمینی باعث افت سطح آب شده و دفع پساب توسط چاههای جذبی شهر باعث ایجاد آلودگی در آبخوان می‌شود. با گسترش شهر، نیاز آب شرب افزایش یافته و برای تأمین آن چاهها عمیقتر شده و از بخش عمیق آبخوان بهره‌برداری می‌شود. بهره‌برداری از این عمق باعث افت بیشتر سطح آب زیرزمینی شده و دفع بیشتر پساب توسط چاههای جذبی باعث تشدید آلودگی آبخوان می‌شود. با افزایش جمعیت و گسترش بیشتر شهر، حجم آب شرب مورد نیاز افزایش یافته و دفع پساب تولیدی توسط چاههای جذبی باعث افزایش آلودگی آبخوان می‌شود. در این مرحله برای تأمین آب شرب مورد نیاز از میدانهای چاهی که در نزدیکترین فاصله نسبت به شهر قرار دارند استفاده می‌شود. بهره‌برداری از این بخش از آبخوان برای تأمین آب شرب باعث افت سطح آب زیرزمینی در این محدوده شده و انتقال آب زیرزمینی استحصالی برای تأمین آب شرب به محدوده شهری، باعث افزایش سطح آب زیرزمینی در محدوده شهر می‌شود. در این مرحله ایجاد مخروط افت در بخشهای مجاور شهر در سطح سفره باعث ایجاد شیب هیدرولیکی در آبخوان از طرف مرکز شهر به طرف خارج شده و حرکت آب زیرزمینی آلوده به طرف آنها می‌شود. با افزایش جمعیت و گسترش بیش‌تر شهر، از یکسو حجم آب شرب مورد نیاز شهر شدیداً افزایش می‌یابد و از سوی دیگر میدانهای چاهی اولیه که در نزدیکترین فاصله نسبت به شهر قرار داشتند، در

موجود استفاده شده است. برای این منظور داده های مربوط به ۵۰۰۰ سونداژ الکتریکی که در ۳۵ پروفیل بوسیله کمپانی جنرال ژئوفیزیک (C.G.G) در سال ۱۳۴۳ تولید شده اند جمع آوری و با استفاده از نرم افزار Gs^+ نرمال سازی شد و پس از تایید واریوگرامها با استفاده از نرم افزار Arc Gis نقشه های هم ضخامت آبرفت در دشت ترسیم گردید. جهت ارزیابی تاثیر توسعه شبکه جمع آوری فاضلاب بر سطح آب زیر زمینی در گستره شهر کرمان مدل مفهومی ابخوان شهر کرمان تهیه و سپس به مدل ریاضی تبدیل شد. برای تهیه مدل مفهومی نقشه زمین شناسی منطقه زمین مرجع شده و پس از زمین مرجع کردن نقشه، محدوده و مرز منطقه ترسیم شد و پارامترهایی (تعیین مرز های مدل، شناخت ویژگی های جریان و تعیین ضرایب هیدرو دینامیک ابخوان و ...) که در ساخت مدل مفهومی موثر است تعیین و وارد نرم افزار GMS گردید. جهت بررسی تاثیر میزان آلودگی ابخوان از نتایج نمونه های گرفته شده توسط سازمان زمین شناسی کرمان استفاده گردیده است. برای بررسی اثر اشباع شدگی روی خصوصیات خاک از بخش های مختلف شهر نمونه گیری و آزمایشات تحکیم مضاعف (ASTM D5333) و برش مستقیم بر اساس استاندارد ASTM D3080 انجام گردیده است.

بحث و بررسی

ویژگی های حوزه رسوبی دشت کرمان

دشت کرمان دارای مساحت ۲۲۵۰ کیلومتر مربع می-باشد. بیشترین ارتفاع دشت از سطح دریا ۲۰۰۰ متر در حاشیه ارتفاعات و کمترین ارتفاع ۱۷۰۰ متر در مرکز دشت، و متوسط ارتفاع ۱۸۳۰ متر می باشد. این دشت، یک چاله تکتونیک از نوع گرابن فشاری است به گونه ای که تحت تأثیر حرکت گسل های معکوس موجود در مرکز کوه با دشت و بالا رفتن کوهستان ایجاد شده است (عباس نژاد، ۱۳۸۳). از ویژگی های بسیار جالب این منطقه وجود توالی نسبتاً کاملی از سنگهای رسوبی است که محدوده سنی پروتروزوئیک

باشد. در طول چند سال گذشته افزایش مداوم سطح آب زیرزمینی در قسمت های مختلف شهر اسوان مشاهده شده است. علت اصلی بالا آمدن آب زیرزمینی می تواند توقف بهره برداری از تعدادی چاه و کاهش پمپاژ باشد (Selim et al. 2014).

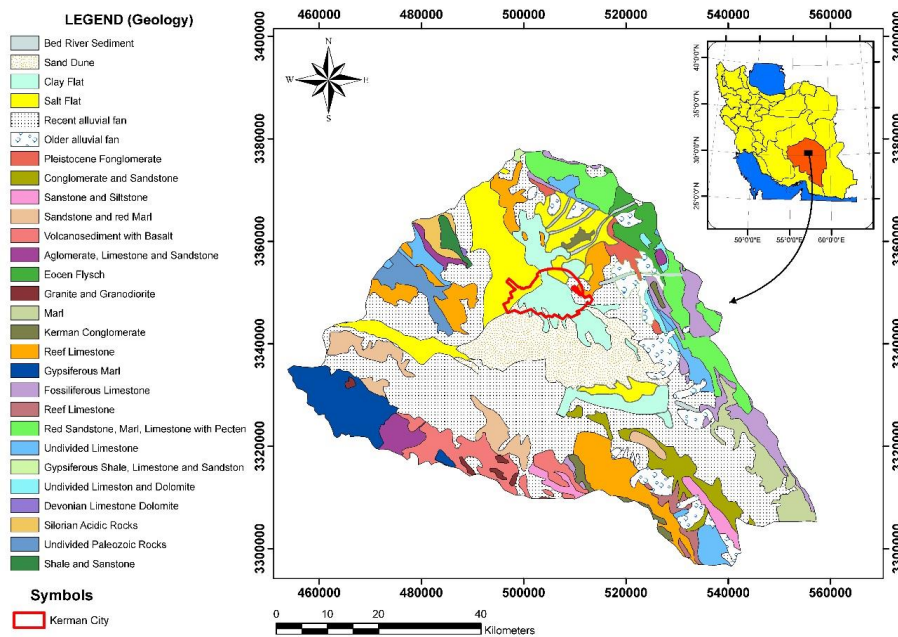
در دو قرن گذشته در لندن با برداشت آبهای زیرزمینی جهت توسعه صنعتی، سطح آب بیش از ۷۰ متر کاهش داشت و از اواخر سال ۱۹۶۰ میزان پمپاژ در لندن کاهش یافته و برداشت آب برای توسعه صنعت به شدت کم شده است. سطح آب در بسیاری از مناطق لندن بیش از ۸ متر در سال در حال افزایش است (Dean and Sholley, 2006). از جمله دیگر تحقیقات صورت گرفته در این مورد می توان به مطالعه بالا آمدگی سطح آب در شهرهای نیویورک (Soren, 1976) پاریس (Bergeron, 1983) قاهره (Hurst and Wilkinson, 1985) توکیو (Ohta, 1987)، لندن (Wilkinson, 1985)، لیورپول (Wilkinson and Brassington, 1991) اشاره کرد که عمده عامل بالا آمدن سطح آب در این شهرها کاهش برداشت آب به علت کاهش صنایع تولیدی (بسته شدن کارخانه ها و ...) بوده است. از اثرات عمده بالا آمدن سطح آب زیر زمینی در نتیجه تحقیقات اشاره شده می توان به اثرات مخربی که به سازه ها به طرق مختلف (تأثیر بر فنداسیون، ایجاد خوردگی مصالح بتنی و فلزی، کاهش مقاومت خاک زیر فنداسیون) وارد می کند اشاره کرد. که از جمله این تحقیقات می توان به پژوهش انجام شده توسط Stipho (۱۹۹۳) تحت عنوان اثرات بالا آمدن سطح آب روی رفتار ژئوتکنیکی خاک اشاره کرد. بالا آمدن سطح آب زیرزمینی در شهرهایی از ایران نیز مثل تهران، مشهد، شیراز، کرمان و نقده گزارش شده است.

مواد و روش ها

در این پژوهش ابتدا نقشه های پایه (زمین شناسی، توپوگرافی، ضخامت آبرفت، منابع آب و ...) دشت شهر کرمان ترسیم شده است. جهت تعیین ضخامت آبرفت از نتایج مطالعات ژئوفیزیک و حفاری های اکتشافی

چند صد متر می‌رسد که از دیدگاه منشأ تشکیل، حاصل تعامل دو فرآیند رسوبگذاری سیلابی و دریاچه-ای هستند (Kadjar et al, 1996). نقشه زمین شناسی محدوده مورد مطالعه در شکل (۲) آورده شده است. بی شک ضخامت رسوبات و عمق سنگ کف یکی از پارامترهای اصلی در مطالعات یک آبخوان می‌باشد. بررسی سابقه مطالعات گذشته نشان می‌دهد که در خصوص ضخامت نهشته های دشت کرمان مطالعه جامع و قابل استنادی وجود ندارد و مطالعات گذشته بصورت پراکنده و به منظور دست یابی به سطح سفره آب زیرزمینی و ضخامت بخش اشباع انجام شده اند. لذا داشتن اطلاعات مفید در رابطه با نوع و جنس رسوبات، ضخامت و تغییرات عمقی و جانبی آنها ضروری به نظر می‌رسد.

فوقانی - کامبرین زیرین تا اواخر دوران چهارم را شامل می‌گردند که فقط بخشی از آنها در محدوده حوضه رسوبی دشت کرمان دیده می‌شوند. شواهد زمین ریخت شناسی نشان می‌دهند دشت کرمان در طول پلیستوسن که اشکوب اصلی کواترنر است به گونه یک حوضه بسته کم ژرفا دریافت کننده همه جریان های سیلابی صادره از زمین های مرتفع حواشی دشت بوده است و حتی در برهه های معادل دوره های بین یخچالی، شرایط محیط های تبخیری و دریاچه های فصلی را نیز دارا بوده است (Kadjar et al, 1996). شهر کرمان با ارتفاع ۱۷۵۰ تا ۱۸۰۰ متر از سطح دریا در حاشیه شمالی دشت کرمان، برگستره‌ای از نهشته های ریزدانه رسی - سیلتی با ویژگی نفوذ پذیری کم بنا شده است. ضخامت این نهشته ها به

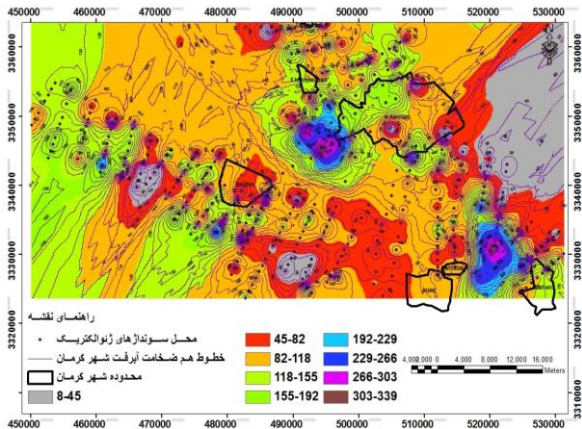


شکل ۱. نقشه زمین شناسی حوضه رسوبی کرمان اقتباس از نقشه زمین شناسی ۱:۵۰۰۰۰۰ کرمان

زیاد رسوبات در طی چهار دوره بین یخچالی در گستره دشت کرمان شده است (Kadjar et al, 1996). این نهشته ها به تناسب انرژی سیلاب و توپوگرافی و هندسه سنگ کف نهشته شده و در نقاط مختلف دشت دارای ضخامت متفاوت هستند. جهت تعیین ضخامت آبرفت در این پژوهش از نتایج مطالعات ژئو

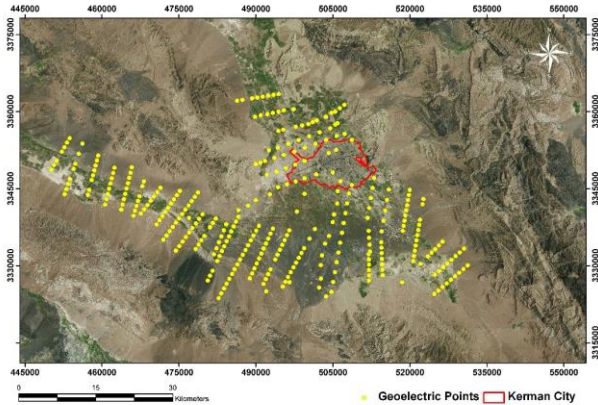
وجود عدسی ها و لایه هایی از ماسه های بادی که از طریق رسوبات مخروط افکنه ای رودخانه چاری تامین می شوند (Beckett, 1958) از مواردی است که باید مد نظر باشد، مدل حوضه رسوبی است که مهمترین عامل تاثیر گذار در شکل گیری نوع رسوبات و ضخامت آنها می باشد، موجب نهشته شدن ضخامت

فیزیک و حفاری های اکتشافی انجام شده استفاده شده است. برای این منظور داده های مربوط به ۵۰۰۰ سونداژ الکتریکی با خط فرستنده جریان AB معادل ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ متر که در ۳۵ پروفیل بوسیله کمپانی جنرال ژئوفیزیک (C.G.G) در سال ۱۳۴۳ تولید شده اند جمع آوری و نقشه پراکنش آنها در (شکل ۲) مشاهده می گردد.



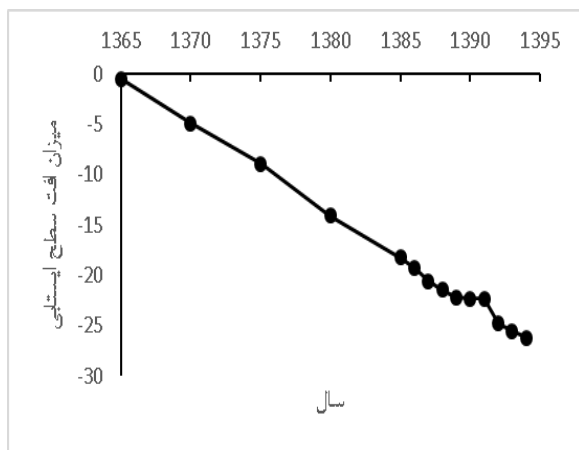
شکل ۳. نقشه توپوگرافی و کلاسهای ضخامت آبرفت

دشت کرمان به دلیل قرار گرفتن در منطقه خشک و کم آب و برداشت بی رویه از آبهای زیرزمینی از سال ۱۳۴۳ تا به امروز با افت سطح آب روبرو بوده است (شکل ۴) (جدول ۱). بر اساس گزارش ستیران در طول دهه ۱۳۴۳ تا ۱۳۵۳ سطح آب زیرزمینی دشت کرمان - باغین به طور متوسط ۵ متر پایین آمده است. (میانگین افت سالیانه ۵۰ سانتیمتر). در گزارش مقایسه ای امور مطالعات آب منطقه ای کرمان، افت متوسط سطح آب زیرزمینی در دهه ۱۳۵۳ تا ۱۳۶۳، ۶/۵ متر بوده است (میانگین افت سالیانه ۶۵ سانتیمتر) (مهندسی مشاور بررسی منابع آب، ۱۳۸۸). این افت به ویژه در محدوده پمپاژ چاههای بهره برداری (جنوب کرمان، غرب جاده کرمان - ماهان، شمال کرمان و غرب باغین) بیشتر بوده است. بر اساس آماربرداری سال ۱۳۷۳، توسط امور مطالعات آب منطقه ای کرمان، افت متوسط سطح آب زیرزمینی در دهه ۱۳۶۳ تا ۱۳۷۳، حدود ۸ متر بوده است (میانگین افت سالیانه ۸۰ سانتیمتر). بر اساس آماربرداری در سال ۱۳۸۳، توسط امور مطالعات آب منطقه ای کرمان، افت متوسط سطح آب زیرزمینی را در فاصله سالهای ۱۳۷۳ تا ۱۳۸۳، ۹/۲۱ متر اندازه گیری شده است (میانگین افت سالیانه ۹۲ سانتیمتر). افت متوسط سطح آب زیرزمینی در فاصله سالهای ۱۳۸۳ تا ۱۳۸۷، ۲/۸۰ متر و در فاصله سالهای ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۵، ۵/۶ متر می باشد. همانطور



شکل ۲. نقشه پراکنش سونداژهای ژئوالکتریک انجام شده

تعبیر و تفسیر نتایج بدست آمده از مطالعات ژئوفیزیک نشان می دهد که در غرب کرمان در منطقه طاهر آباد به علت شکستگی های ایجاد شده در سنگ کف حوضه عمیقی در آن نواحی وجود دارد. در جنوب کرمان سنگ کف از شرق به غرب عمیق می شود و ناهمبندی های فیزیکی که دیده می شود می تواند معرف عملکرد گسلها در این ناحیه باشد. بر اساس نقشه خطوط هم عمق سنگ کف دشت کرمان ضخامت آبرفت در دشت کرمان در دو محدوده (غرب شهر کرمان حوالی فرودگاه و جنوب غرب شهر در محدوده محی آباد) ۳۵۰ متر می باشد (شکل ۳). بنابراین دامنه تغییرات ضخامت آبرفت در دشت کرمان بین صفر تا ۳۵۰ متر می باشد.



شکل ۴. میزان افت سطح آب از سال ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۵

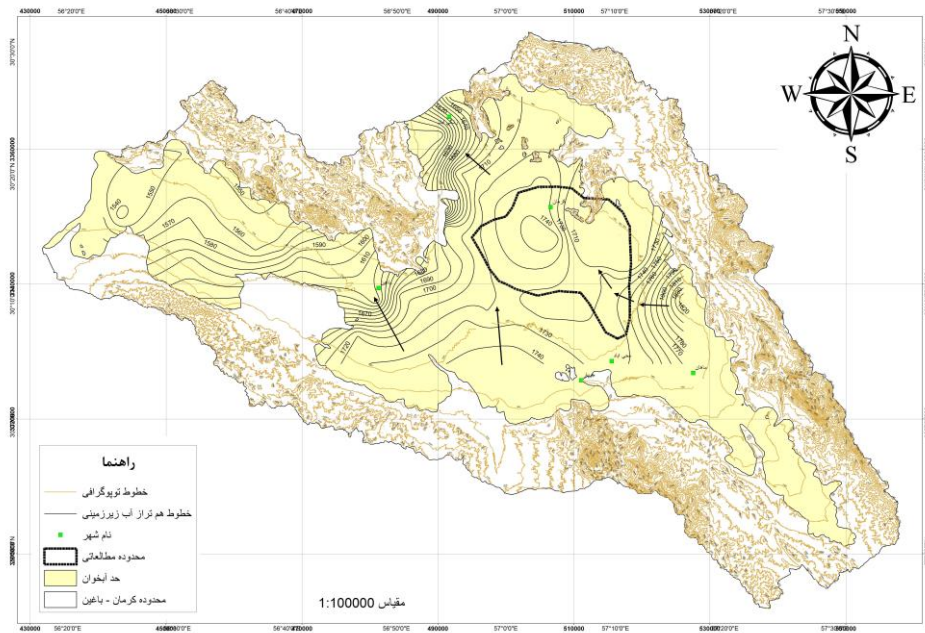
وضعیت سطح آب زیرزمینی در شهر کرمان

شهر کرمان و شهرک‌های پیرامون آن در مسیر جریان آب های سطحی و زیرزمینی قرار گرفته اند، جهت جریان آب زیرزمینی به طور کلی از شیب عمومی دشت تبعیت می کند (شکل ۵). ژئومورفولوژی دشت به اینگونه است که در قسمت شرقی شهر کوه های صاحب الزمان قرار گرفته است و بلافاصله بعد از کوهستان محله های شرقی شهر مثل محله سرآسیاب، خیابان سرباز تا بلوار سیدی و بخشی از بافت قدیمی شهر بر روی مخروط افکنه های حاصله از بخش کوهستان مثل مخروط افکنه های سیدی و سرآسیاب واقع شده اند. به طور کلی در مخروط افکنه ها از راس مخروط به سمت قاعده رسوبات دانه ریز می شوند و در نهایت به پلایا که رسوبات خیلی ریز دانه هستند می رسد. بخش عمده شهر کرمان و حومه آن بر روی پهنه های رسی - سیلتی پلایایی استقرار یافته اند. نهشته های زیر سطح شهر کرمان عمدتاً از خاک های رسی تشکیل شده اند. این نهشته ها ضریب آبگذری و نفوذپذیری خیلی کمی دارند (شکل ۶).

که ذکر شد سطح آب در دشت کرمان در حال افت است اما در محدوده شهر کرمان به عواملی که در ادامه توضیح داده خواهد شد در حال بالا آمدن است.

جدول ۱. میزان افت سطح آب (متر) از سال ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۵ (مطالعات منابع آب، ۱۳۹۵)

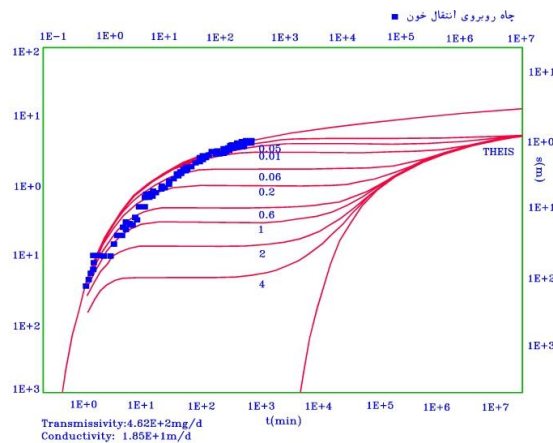
سال آبی	میانگین تغییر سطح ایستابی آبخوان	میانگین تجمعی تغییر سطح ایستابی آبخوان
۱۳۶۵	۶۶	-۰/۵۳
۱۳۷۰	۷۱	-۰/۴۷
۱۳۷۵	۷۶	-۰/۸۴
۱۳۸۰	۸۱	-۰/۶۸
۱۳۸۵	۸۶	-۱/۱۲
۱۳۸۶	۸۷	-۱/۰۳
۱۳۸۷	۸۸	-۱/۲۳
۱۳۸۸	۸۹	-۰/۹۱
۱۳۸۹	۹۰	-۰/۶۸
۱۳۹۰	۹۱	-۱/۱۳
۱۳۹۱	۹۲	۰/۰۰
۱۳۹۲	۹۳	-۱/۵۴
۱۳۹۳	۹۴	-۰/۷۲
۱۳۹۴	۹۵	-۰/۶۲



شکل ۵. نقشه تراز آب سال ۹۳ و جهت کلی جریان آب زیر زمینی

نشان می دهند. همانگونه اشاره شد، وضعیت سطح ایستابی دشت کرمان از سال ۱۳۶۵ تا پایان سال ۱۳۹۵ نشان می دهد که سطح سفره آب زیرزمینی در مجموع ۲۶/۱۶ متر افت داشته است. در محدوده شهر کرمان و شهرکهای پیرامون آن، طی یک دوره ۳۰ ساله (از سال ۱۳۶۵ تا سال ۱۳۹۵)، سطح برخورد به آب زیرزمینی در چاههای بهره برداری و مشاهده ای، روند افزایشی داشته، به گونه ای که در محدوده مرکزی شهر (بافت قدیم) به ۵ تا ۷ متری از سطح زمین افزایش یافته است.

در شرایطی که تغذیه بیشتر از ظرفیت آگذری باشد، در نتیجه ضعیف بودن زهکشی طبیعی خاک، تخلیه آب زیرزمینی به کندی صورت می گیرد و سبب تجمع آب در سفره و بالا آمدن سطح آب زیرزمینی می شود. فراوانی بیشتر رسوبات ریزدانه در مناطق مرکزی و شمالی شهر، باعث بالا آمدن بیشتر سطح آب زیرزمینی در این مناطق شده است (شکل ۷). بر اساس نمودارهای شکل (۸) تغییرات سطح آب در پیژومترهای خارج از محدوده شهر افت سطح آب را نشان می دهند در حالیکه پیژومترهای داخل شهر (فیروزه، بهمن یار، کمر بندی جوباری) بالا آمدن سطح آب را



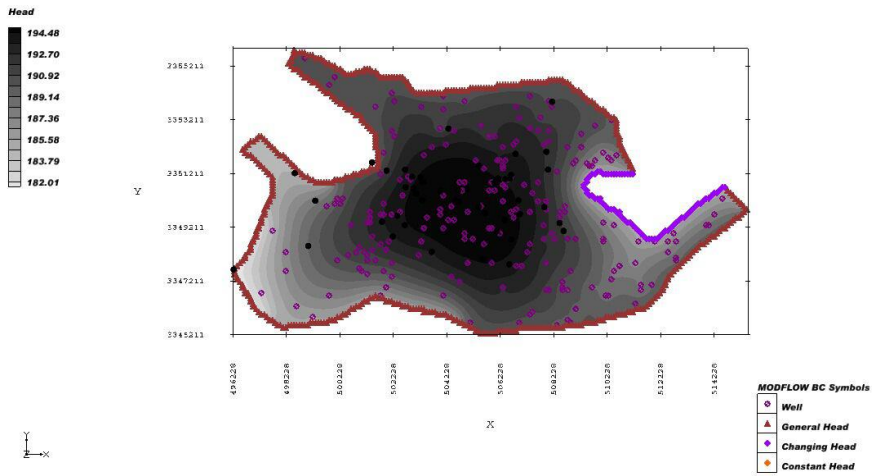
شکل ۶. منحنی افت - زمان در پیزومتر مجاور چاه اکتشافی مقابل سازمان انتقال خون کرمان روش نومن - مقدار قابلیت انتقال آبخوان در محل چاه پمپاژی برابر ۴۶۲ متر مربع در روز

افت سطح آب بوده ایم و روند صعودی سال های اخیر دیده نمی شود.

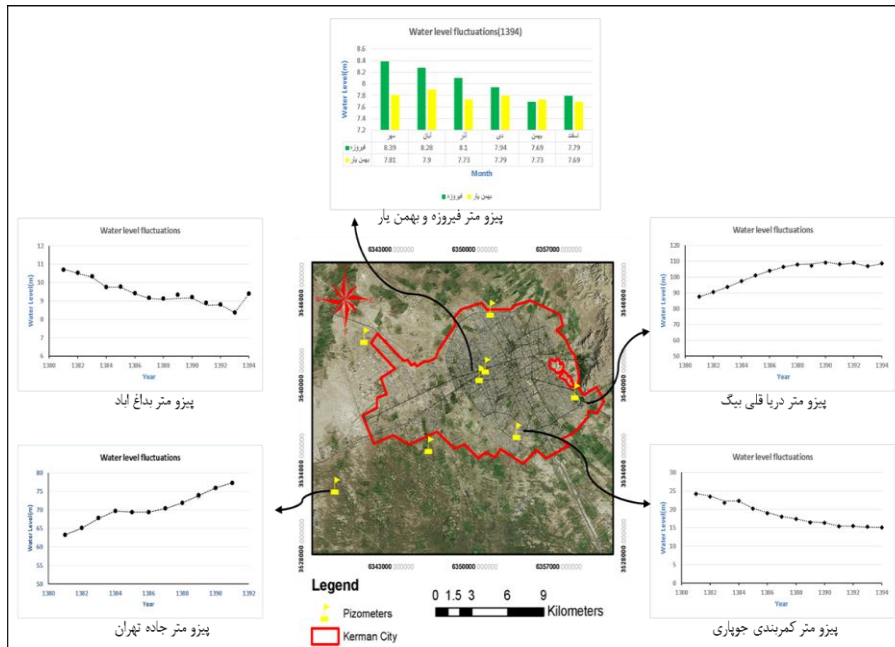
مقایسه سطح برخورد به آب زیرزمینی در دشت کرمان - باغین و محدوده شهر کرمان دو روند معکوس را نشان می دهد، به گونه ای که در برابر افت سالانه در سطح آب در دشت، با افزایش سالانه سطح آب در محدوده شهر مواجه بوده ایم. در بخش وسیعی از مناطق پیرامون شهر، تحت تاثیر تغذیه، سفره آب زیرزمینی افزایش محسوسی داشته است. عوامل موثر در بالا آمدن سطح آب زیرزمینی شهر کرمان را به صورت زیر می توان خلاصه کرد.

۱) زمین شناسی شهر (وضعیت شیب، ژئومورفولوژی و خصوصیات ژئوتکنیک خاک و نهشته های زیر شهر کرمان ۲) افزایش جمعیت ۳) فقدان شبکه جمع آوری فاضلاب ۴) فقدان شبکه جمع آوری و دفع آبهای سطحی ۵) تلفات آب شرب شهری ناشی از فرسوده بودن شبکه توزیع آب ۶) کاهش برداشت از آب زیرزمینی سفره.

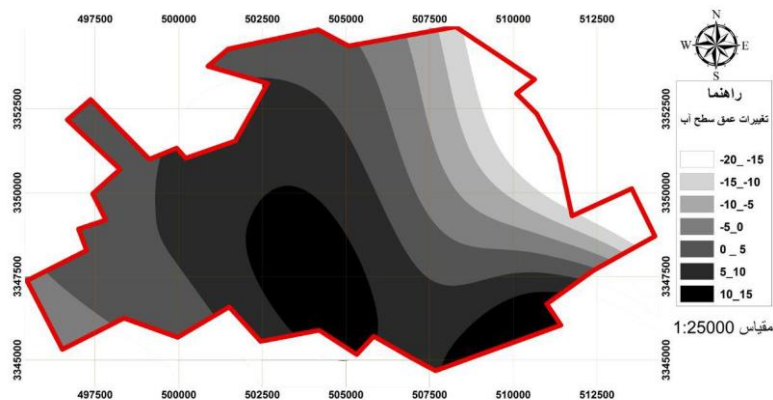
اندازه گیری ارتفاع سطح آب در چاههای دستی در بعضی از نقاط شهر کرمان نشان می دهد که از محدوده مرکزی به سمت پیرامون شهر (بافت جدید) سطح آب از حدود ۶ متر تا ۲۵ متر افزایش می یابد، به گونه ای که در میدان مشتاق و تقاطع خیابان کاظمی، ۶ متر، در بازار کرمان، میدان باغ ملی و تقاطع طهماسب آباد، ۷ متر، در میدان آزادی، ۸ متر، در خیابانهای دادبین، تقاطع آزادگان، برج بانک صادرات و تقاطع فرهنگیان، ۹ تا ۱۰ متر، در محل پروژه تعاونی مسکن مس، ۲۵ متر و در محدوده دانشگاه آزاد بیش از ۲۵ متر است. بررسی روند تغییرات سطح ایستابی در محدوده شهر کرمان نشان می دهد که سطح ایستابی در سال ۱۳۶۸ در محدوده بافت قدیم و جدید شهر، ۱۵ تا ۳۵ متر، در سال ۱۳۸۴، ۶ تا ۲۵ متر و در پاییز سال ۱۳۹۵ در بافت مرکزی ۵ تا ۶ متر، در جاده کمربندی جنوب و شمال شهر ۹ تا ۱۰ متر، در حوالی فرودگاه حدود ۱۵ متر بوده است. میزان تغییرات سطح آب زیرزمینی در بخش های مختلف شهر در دهه اخیر را می توان در شکل (۹) مشاهده کرد. در سال اخیر به علت پمپاژ آب از ناحیه میدان مشتاقیه (بافت قدیم شهر) کمی شاهد



شکل ۷. نقشه تراز آب زیر زمینی در محدوده شهر کرمان (مطالعه حاضر)



شکل ۸. پیزومتر های محدوده شهر کرمان و تغییرات سطح آب در این پیزومتر (مطالعه حاضر)



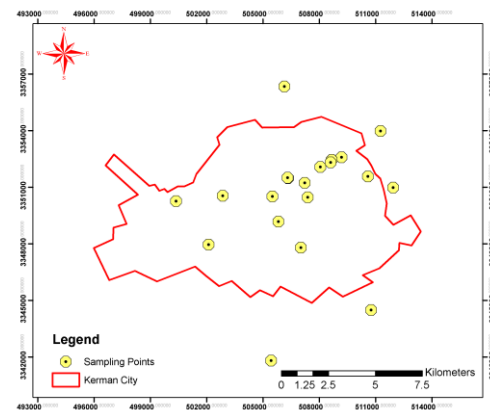
شکل ۹. تغییرات سطح آب زیر زمینی در بخش های مختلف شهر در دهه اخیر (مطالعه حاضر)

شهر دارای میانگین ۱۵۳/۵ میلی گرم بر لیتر می باشد که می تواند با مخلوط شدن سفره آب با فاضلاب در ارتباط باشد که در مقایسه با مقدار نیترات در خارج محدوده شهر با میانگین ۱۶/۵ بسیار بالاست. در بررسی مقدار سولفات، نمونه های برداشت شده از چاه چهار راه خورشید، پارک مطهری، چهار راه بافدرت دارای عیارهای قابل توجهی از سولفات می باشد که طبیعتاً در اثر تزریق آب های الوده می باشد. مقادیر سولفات در آب های زیر زمینی داخل و خارج از محدوده شهر به ترتیب دارای میانگین ۱۳۶۹/۶ و ۷۹۸/۹ میلی گرم بر لیتر می باشد.

تغییرات سدیم در آب زیر زمینی در محدوده شهری بین ۱۴۱ تا ۱۰۹۲ میلی گرم در لیتر متغیر می باشد. مقدار سدیم با میانگین ۴۸۷ میلی گرم در لیتر در آب زیر زمینی محدوده شهری بالاترین عیار را داشته و موید فراوانی رسوبات تبخیری و الاینده های زیست محیطی در آب زیر زمینی شهر می باشد. میانگین عیار کلسیم در آب های زیر زمینی محدوده شهر ۱۳۰ میلی گرم در لیتر می باشد. با توجه به اینکه مرز مجاز کلسیم در آب های زیر زمینی ۲۰۰ میلی گرم در لیتر می باشد میانگین عیار این عنصر در چاه های اندازه گیری شده قابل قبول است. در بررسی عناصر سنگین میانگین عیار مس ۲۴/۰۸ میانگین عیار مولیبدن، ۸/۱۵ میانگین عیار سرب ۱۸/۲۵ میانگین عیار روی

اثرات بالا آمدن سطح آب در شهر

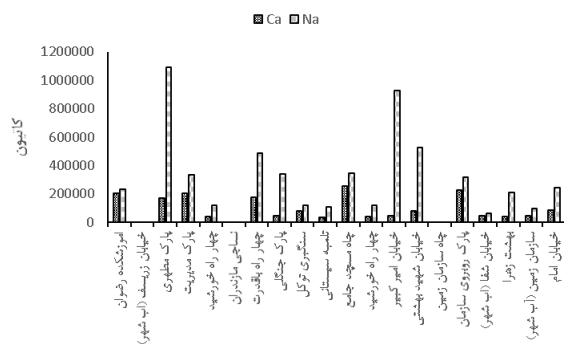
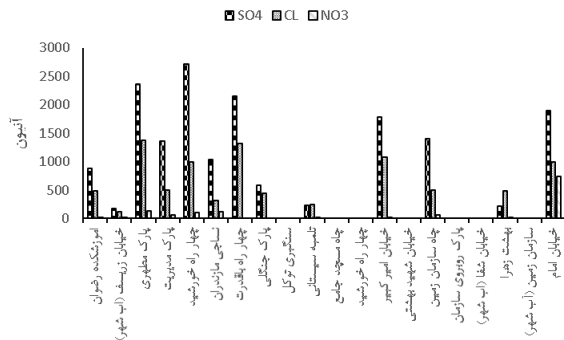
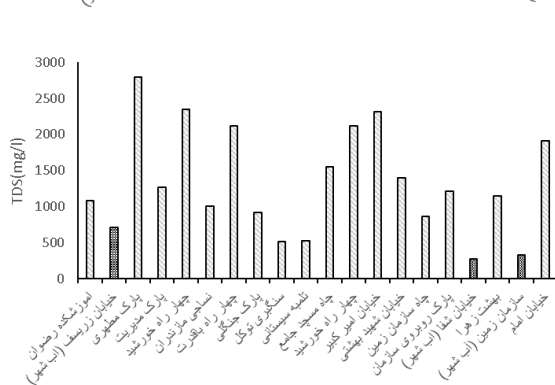
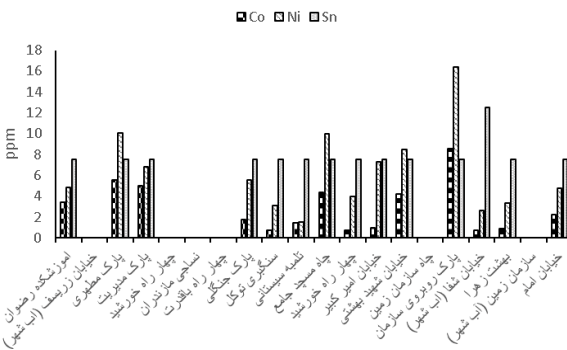
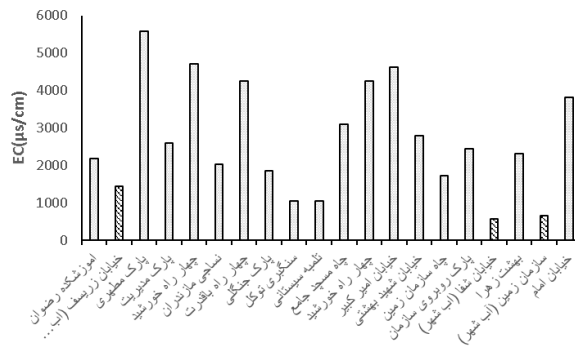
ورود فاضلاب به درون خاک و بالا آمدن سطح آب زیرزمینی باعث آلودگی آب شده و همواره تهدیدی برای سلامتی انسان و محیط زیست بشمار می رود. جهت بررسی آلودگی آب نمونه ها از چاه های داخل و حومه شهر برداشت شده اند که عمق برداشت بسیار کم (کمتر از ۱۰ متر) بوده است (شکل ۱۰).



شکل ۱۰. محل برداشت نمونه ها

بررسی نتایج نشان می دهد الودگیهای شهری باعث افزایش هدایت الکتریکی در آنها گردیده است به طوری که این پارامتر در محدوده شهر دارای میانگین ۳/۱۲ و در خارج از محدوده شهر ۲/۶۹ (μ s/cm) می باشد. بررسی مقدار کل مواد محلول (TDS) نیز نشان می دهد بیشترین مقدار این عوامل نیز با هدایت جریان سازگاری دارد. تغییرات عیار نیترات در محدوده

۱۹۲، کروم ۳/۹۷، کبالت نیز دارای میانگین ۳/۹۷ میکرو گرم بر لیتر میباشد که همه این عناصر مقدری بالاتر از حد استاندارد می باشند که متاثر از ورود فاضلاب می باشد (شکل ۱۱ و ۱۲). مقادیر میانگین عناصر قلع، وانادیم و استرانسیم نیز بالاتر از حد مجاز می باشد. میانگین استرانسیم در آب های زیر زمینی در محدوده شهر کرمان ۵۲۹۵ میکرو گرم در لیتر می باشد که در مقایسه با استاندارد بسیار بالاتر می باشد. فراوانی سنگ های اهکی و خاک های ناشی از آنها که کلسیم بالایی دارند می تواند از عوامل افزایش غلظت این عنصر در خاک ها در اثر جانشینی Sr به جای Ca و به همین شکل در آب های زیر زمینی باشد.

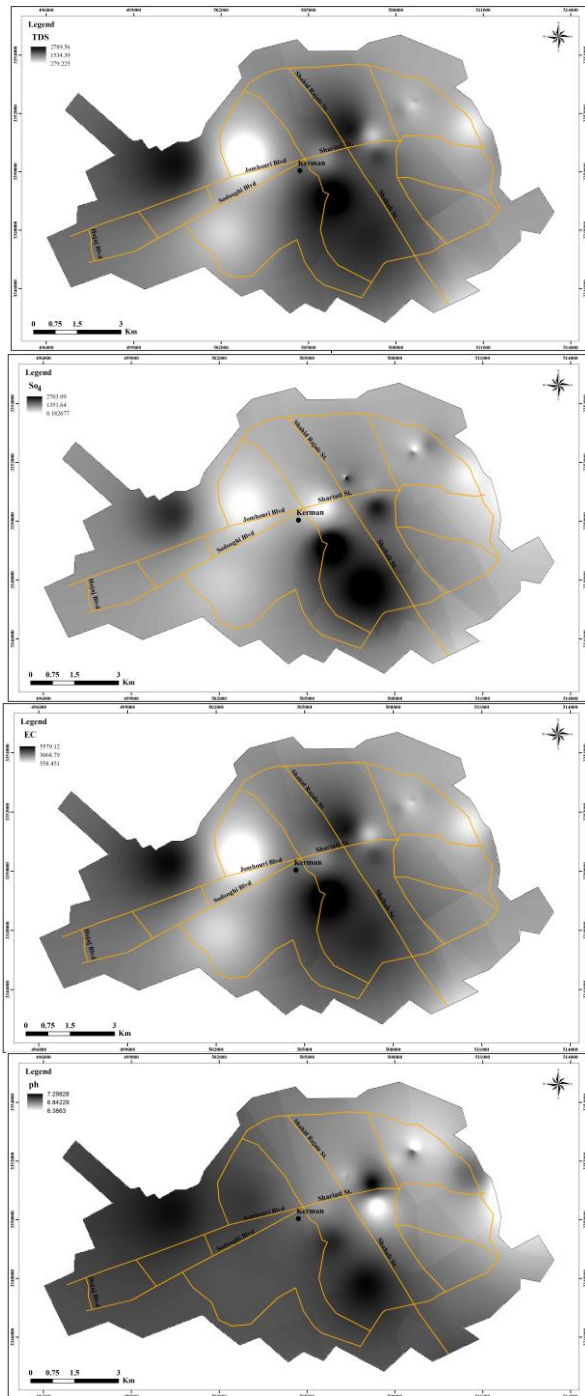


شکل ۱۱. نتایج آنالیز شیمیایی آب در نقاط مختلف شهر کرمان

علاوه بر آلودگی آب بالا آمدن سطح آب ناشی از ورود فاضلاب اثرات مخربی نیز بر ساختمان ها و معماری شهر دارد. بالا آمدن سطح آب زیرزمینی باعث رسیدن آب به خاک های زیر ساختمان ها شده و از طریق تاثیر بر فونداسیون و سازه های فلزی و تغییر خصوصیات خاک، صدماتی را به ساختمان ها وارد می کند. افزایش رطوبت و اشباع شدن خاک های مسئله دار پیامدهای مختلفی را به دنبال دارد. به طور کلی خاک شهر کرمان از نوع خاک های مسئله دار است.

جهت مطالعه اثرات بالا آمدن سطح آب روی خواص مهندسی خاک آزمایشات تحکیم مضاعف، برش مستقیم بر اساس استاندارد ASTM انجام گردیده است. بر اساس آزمایشات انجام گرفته در این پژوهش خاک های شهر کرمان در زمره خاک های مستعد رمبندگی قرار می گیرند. در برخی نواحی مثل شهرک مطهری، شهرک پدر و محدوده دانشگاه علوم پزشکی بعضا نمونه های خاک رمبندگی زیادی نشان میدهند (شکل ۱۴). بنابراین بالا آمدن سطح آب باعث کاهش مقاومت خاک (شکل ۱۵) و فروریزش ناگهانی خاک های رمبند و وارد شدن آسیب های جدی را به سازه های سطحی و زیر سطحی مثل شبکه های توزیع آب، جمع آوری فاضلاب وارد می کند. نشست های ناهمگن که در اثر اشباع شدن خاک ایجاد می شود، در سطح شهر به ویژه بافت قدیم مشهود است و آسیب هایی از جمله ترک خوردگی دیوارها، به ساختمان ها وارد کرده است. در بافت قدیم شهر که محل تمرکز آثار تاریخی است، روند بالا آمدن سطح آب زیرزمینی سرعت بیشتری دارد و در حال حاضر سطح برخورد به آب زیرزمینی به کمتر از ۶ متر نیز رسیده است، که باعث آبگرفتگی زیرزمین ها مانند حمام تاریخی باغ الله و زیرزمین ساختمان بانک مسکن مرکزی شده است. نم زدگی کف ساختمان ها و دیوارها به دلیل بالا آمدن سطح آب زیرزمینی و صعود مویینه آب به وفور در شهر دیده می شود. شوره زدن دیوار و تبلور گچ در اثر صعود مویینه آب، باعث آسیب به نمای ساختمان ها و ابنیه تاریخی شده است (شکل ۱۶).

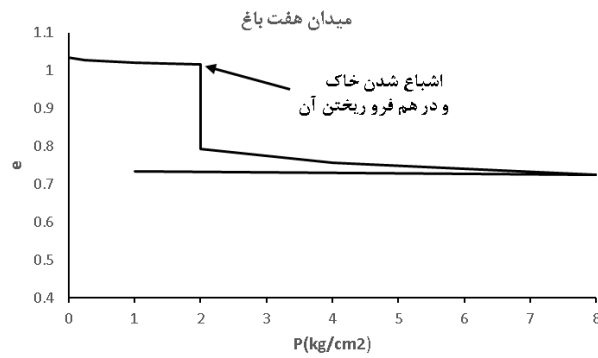
بالا آمدن سطح آب زیرزمینی شهر عاملی جهت تحریک و تغییر خصوصیات این خاک ها است، که ممکن است پدیده هایی مثل واگرایی، تورم و رمبندگی را به دنبال داشته باشد. وجود لایه های ماسه بادی در افق های مختلف خاک نیز از عوامل تهدید کننده در صورت بالا آمدن بیشتر آب می باشد (شکل ۱۳).



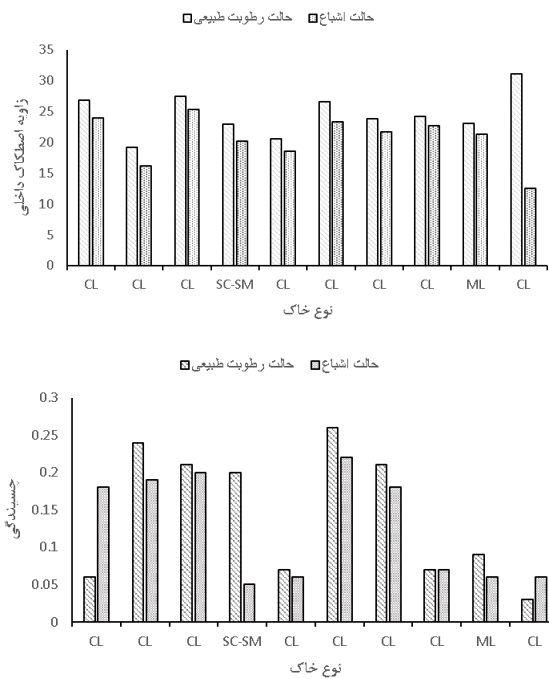
شکل ۱۲. پهنه بندی شیمی آب در شهر کرمان (مطالعه حاضر)



شکل ۱۳. الف) توالی رس و ماسه بادی خیابان وصال ب) نمونه خاک کاملاً رَمبند گرفته شده از عمق ۲ متری شهرک پدرج) وجود لایه های ماسه های بادی کاملاً ناپایدار در اعماق ۱ متری واقع در خیابان هلال احمر



شکل ۱۴. نمونه خاک رَمبند گرفته شده از میدان هفت باغ



شکل ۱۵. کاهش مقاومت خاک در اثر انشباع شدن



شکل ۱۶. بالا آمدن سطح آب چپ) در بخش های قدیم شهر (میدان مشتاقیه) راست) خیابان حافظ

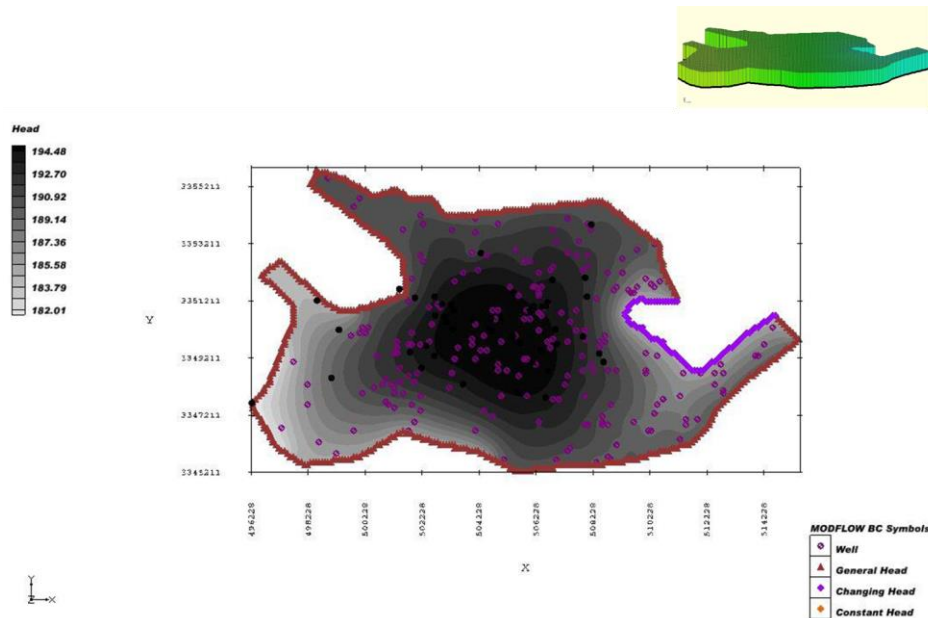
این فقدان چشمگیرتر می باشد. بنابراین یکی از راه های جلوگیری از بالا آمدن سطح آب زیر زمینی توسعه شبکه جمع آوری فاضلاب می باشد. در این پژوهش

یکی از مهمترین عوامل بالا آمدن سطح آب زیر زمینی در شهر کرمان نبود شبکه جمع آوری فاضلاب می باشد که با توجه به شرایط خاک ساختگاه شهر اثرات

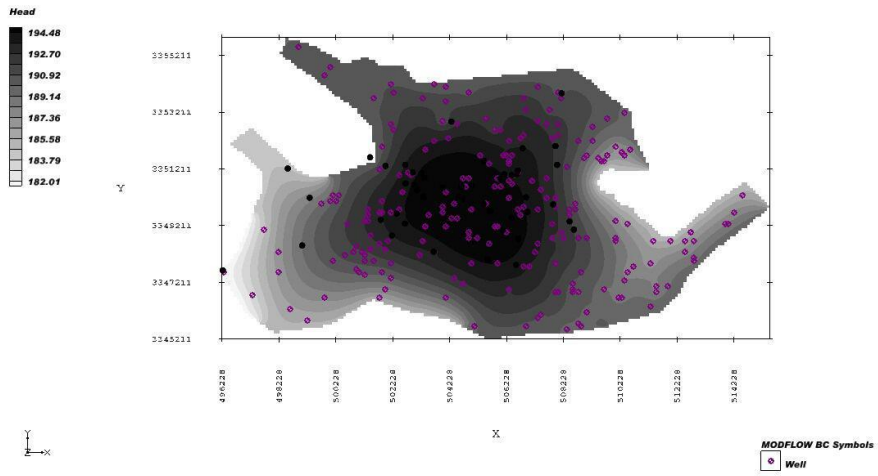
باعث می‌شود تا همواره درصدی از عدم اطمینان نسبت به نتایج حاصل از مدل وجود داشته باشد.

مراحل مدل سازی را می‌توان در چند مرحله تعیین هدف، طراحی مدل مفهومی، انتخاب کد، طراحی مدل، واسنجی مدل، آنالیز حساسیت، صحت سنجی، پیش بینی و بازرسی مجدد بیان نمود. پس از تهیه مدل آب زیر زمینی شهر کرمان، تغییرات سطح آب زیرزمینی در مراحل ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ درصدی توسعه شبکه جمع آوری فاضلاب بررسی شده است. پس از اجرای سناریوی توسعه شبکه جمع آوری فاضلاب همانطور که در شکل‌های (۱۷، ۱۸، ۱۹ و ۲۰) دیده می‌شود سطح آب زیر زمینی افت قابل توجهی نشان می‌دهد. در بخش مرکزی شهر پس از توسعه کامل شبکه جمع آوری فاضلاب سطح آب زیر زمینی می‌تواند از عمق ۵/۵ متر تا عمق ۱۸ متری از سطح زمین افت داشته باشد.

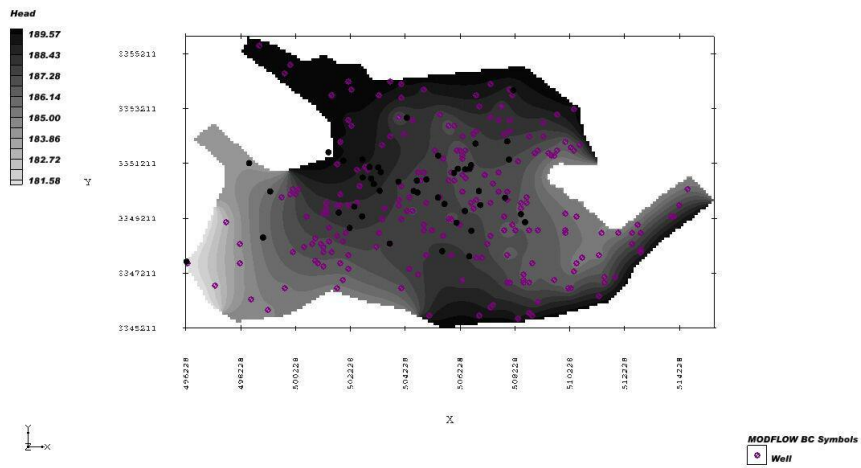
تاثیر توسعه سیستم فاضلاب بر میزان تغییرات سطح آب زیر زمینی با استفاده از نرم افزار GMS مورد مطالعه قرار گرفته است. برای این منظور آبخوان شهر کرمان مدل سازی شده است. مدل آب زیر زمینی سعی بر ارائه تصویری از سیستم واقعی جریان آب زیرزمینی دارد. در واقع مدل، بررسی واکنش آبخوان در مقابل تغییر متغیرهایی نظیر تغذیه طبیعی یا مصنوعی، پمپاژ، تخلیه و ... را ممکن می‌سازد. باید به این نکته اشاره کرد که ساخت مدل آب های زیر زمینی، کاری بسیار ظریف و دقیق می‌باشد و مستلزم داشتن داده های کامل و صحیح، شناخت کافی از سیستم و تبحر و تجربه در امر مدل سازی می‌باشد، به گونه ای که ضعف نسبی یکی از عوامل یاد شده می‌تواند خطاهای بزرگی را در نتایج مدل باعث شود. مجموعه عوامل یاد شده به اضافه ساده نگری‌ها و فرضیات مدل و نیز تقریبات وارد در محاسبات آن،



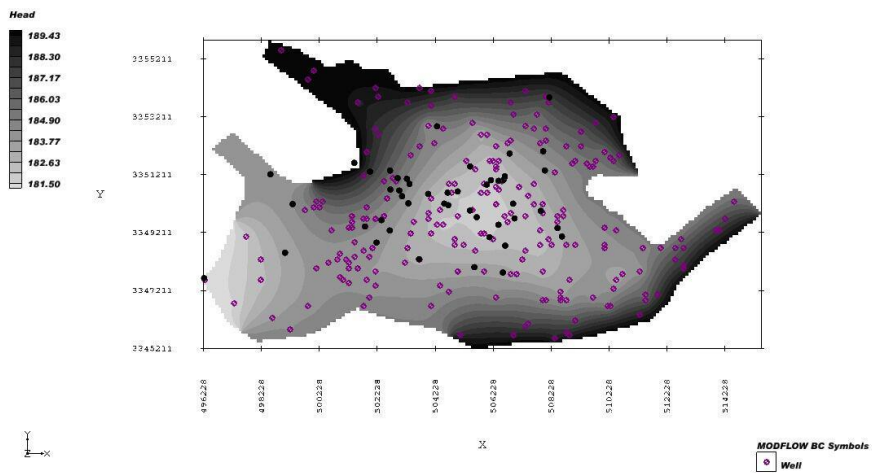
شکل ۱۷. سطح فعلی آب زیر زمینی در محدوده شهر کرمان



شکل ۱۸. سطح آب زیر زمینی پس از ۲۰ درصد توسعه شبکه جمع آوری فاضلاب



شکل ۱۹. سطح آب زیر زمینی پس از ۵۰ درصد توسعه شبکه جمع آوری فاضلاب



شکل ۲۰. سطح آب زیر زمینی پس از توسعه کامل شبکه جمع آوری فاضلاب

نتیجه گیری

افزایش آب شرب مصرفی که ناشی از افزایش جمعیت و توسعه شهر کرمان می‌باشد، همراه با انسداد مجاری زیرزمینی مانند قنوات، تغییر کاربری اراضی کشاورزی، حذف چاههای بهره‌برداری و استفاده از چاههای جذبی، در شرایط فقدان شبکه فاضلاب شهری موجب بالا آمدن سطح ایستابی در محدوده شهر شده است. مقایسه سطح برخورد به آب زیرزمینی در دشت کرمان و محدوده شهر کرمان دو روند معکوس را نشان می‌دهد، به گونه‌ای که در برابر افت سالانه در سطح آب در دشت، با افزایش سالانه سطح آب در محدوده شهر مواجه بوده‌ایم. اندازه‌گیری ارتفاع سطح آب در چاههای دستی در بعضی از نقاط شهر کرمان نشان می‌دهد که از محدوده مرکزی به سمت پیرامون شهر (بافت جدید) سطح آب از حدود ۶ متر تا ۲۵ متر افزایش می‌یابد، به گونه‌ای که در میدان مشتاق و تقاطع خیابان کاظمی، ۶ متر، در بازار کرمان، میدان باغ ملی و تقاطع طهماسب آباد، ۷ متر، در میدان آزادی، ۸ متر، در خیابانهای دادبین، تقاطع آزادگان، برج بانک صادرات و تقاطع فرهنگیان، ۹ تا ۱۰ متر، در محل پروژه تعاونی مسکن مس، ۲۵ متر و در محدوده دانشگاه آزاد بیش از ۲۵ متر است. بر اساس نتایج حاصل از آزمایشات تحکیم مضاعف خاک شهر کرمان

تقدیر و تشکر

نویسندگان این پژوهش از سازمان آب و منطقه ای استان کرمان جهت در اختیار قرار دادن اطلاعات موجود و همچنین از آقایان دکتر محمد رضا امینی زاده و مهندس حسین قلیزاده جهت همکاری صمیمانه شان کمال تشکر و قدردانی را دارند.

در برخی نواحی از جمله بخش هایی از شهرک مطهری، شهرک پدر و هفت باغ شدیداً رمبنده است و بالا آمدن سطح و اشباع شدن این افق های خاک باعث فرو ریزش های ناگهانی خواهد شد. همین طور نتایج آزمایشات مقاومتی خاک انجام شده حاکی از این است که بالا آمدن آب و اشباع شدن خاک باعث کاهش مقاومت خواهد شد. یکی از راه های جلوگیری از بالا آمدن سطح آب زیر زمینی توسعه سیستم جمع آوری فاضلاب می باشد با توجه به نتایج حاصل از مرحله پیش بینی مدل، سطح آب بعد از اجرای طرح فاضلاب در چاه های مشاهده ای به مقدار قابل توجهی پایین می آید. این پیرو مترها در محدوده شهر واقع بوده و تحت تاثیر تغذیه شهر می باشند. بنابراین حذف فاضلاب تاثیر زیادی بر سطح آب آنان داشته است. به طوریکه با توسعه ۲۰ درصد سیستم فاضلاب سطح آب در بخش مرکزی ۲ متر افت خواهد داشت. با توسعه ۵۰ و ۱۰۰ درصدی شبکه جمع آوری فاضلاب سطح آب به ترتیب در عمق ۱۳ متری و ۱۸ متری از سطح زمین قرار خواهد گرفت. پیش بینی می شود با توسعه کامل سیستم جمع آوری فاضلاب در بخش مرکزی شهر سطح آب زیر زمینی ۱۳ متر افت خواهد داشت.

منابع

- سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور. ۱۳۸۹. گزارش ژئوشیمی زیست محیطی سنگ، خاک، آب و گیاه در محدوده کرمان، ۴۶۶ صفحه.
- شرکت سهامی آب منطقه ای کرمان. ۱۳۹۵. گزارش مطالعات منابع آب دشت کرمان-باغین. ۶۰ صفحه.
- عباس نژاد، ا. ۱۳۸۳. حفره ی فروکش کارستی در اختیارآباد- شمال باختری کرمان. نشریه ی علوم زمین. بهار و تابستان ۱۳۸۳، سال یازدهم شماره ی ۵۱. ص ۳۵-۲۸.
- مهندسیین مشاور بررسی منابع آب. ۱۳۸۸. گزارش مرحله اول طرح تغذیه مصنوعی دشت کرمان، سازمان آب منطقه ای استان کرمان.
- Anon. A. 1987. Study of subsurface water rise in the residential areas of Kuwait. Kuwait Institute for Scientific Research.
- Beckett, P.H.T. 1958. The soils of Kerman, South Persia, Department of Agricultural University of Oxford, Journal of Soil Science, 9(1): 20-32.
- Bergeron. G., Dehays. M., Pointer, T. 1983. Remontees des mappes d'eau souterraine: cause et effects. BRGM, Orleans.
- Dean, J.L., Sholley, M.G. 2006. Groundwater basin recovery in urban areas and implications for engineering projects, Engineering Geology for Tomorrow's Cities, Theme 2, The Geological Society of London, Nottingham, CD-ROM.
- Foster, S.S.D., Lawrence, A.R., and Morris, B.L. 1998. Groundwater in urban development Assessing. management needs and formulating policy strategies, Washington DC, World Bank Technical Paper 390, 55 p.
- Hurst, C.W., Wilkinson, W.B. 1985. Rising groundwater levels in cities. Proceedings of the 21 st Annual Conference of the Engineering Group of the Geological Society of London.
- Kadjar, M.H., Nazemzadeh, M., Azizan, H., Rowshanravan, J. 1996 The history of Kerman basin during the neogene and quaternary, Geological Survey of Iran, Regional Center for S.E.Iran (Kerman), 74 Pages.
- Ohta. H. 1987. Deep excavation performed after restriction of deep well pumping in Tokyo. Proc. 9th European conference on soil mechanics and foundation engineering (ECSMFE), 2, 715-718.
- Oyedele, K.F., Ayolabi, E.A., Adeoti, L. Adegbola, R.B. 2009. Geophysical and hydrogeological evaluation of rising groundwater level in the coastal areas of Lagos, Nigeria, Bulletin of Engineering Geology and the Environment, Vol. 68 No. 1, pp. 137-43.
- Ray, A. 2005. Participatory Governance: Addressing the Problem of Rising Groundwater Level in Cities, J. Hum. Ecol., 18(2): 137-147.
- Saleh, A., Sefry. Al., Zekai, S. 2006. Groundwater Rise Problem and Risk Evaluation in Major Cities of Arid Lands – Jeddah Case in Kingdom of Saudi Arabia. Water Resources Management 20: 91-108.
- Selim, S.A., Hamdan, A.M., Rady, A.A. 2014. Groundwater Rising as Environmental Problem, Causes and Solutions: Case Study from Aswan City, Upper Egypt. Open Journal of Geology, 4, 324-341.
- Soren, J. 1976. Basement flooding and foundation damage from water table rise in the east New York section of Brooklyn. Water-Resources Investigation, Long Island, pp 76-95 US Geological Surve.
- Stipho, A.S. 1993. The Impact of Rising Ground Water Level on the Geotechnical Behavior of Soil in Hot Climate Regions. Third International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering. Pp. 1159-1164.
- Wilkinson, B. 1985. Rising groundwater levels in London and possible effects on engineering structures. In: Hydrogeology in the service of man, 145-157. Memoirs of the 18th Congr. Int. Assoc. Hydrogeol. Cambridge

Wilkinson, W.B., Brassington, F.C. 1991. Rising groundwater levels an international problem. Applied Groundwater Hydrology, Oxford Science Publication, Oxford, pp. 35-53.

Evaluating and forecasting groundwater level fluctuations resulting from the development of sewage collection network in Kerman

I. Aghamolaie¹, Gh. R. Lashkaripour², M. Ghafoori², Naser Hafezi Moghadas

Article based on thesis

Abstract

Increasing groundwater level in urban areas has become a major concern worldwide. In many countries, the main factors of rising groundwater level include reducing groundwater withdrawals and reduction in manufacturing industries, irrigation water infiltration, leaking sewage system underground storage, and drinking water leakage. A comparison between groundwater level (1986-2016) in Kerman plain and Kerman city demonstrated two reverse trends; a drop in annual water level occurred in the plain while in the urban areas an increase in annual water level was noticed. Water level measurement in hand wells in some areas of Kerman shows that it increases from 6 to 25 m in the central area to the suburban areas of the city (new structures). Increasing the usage of drinking water in city area due to an increase in population and development of Kerman, along with underground canal obstruction such as Qanat, agricultural land use change, removal of operational wells and use of absorption wells result in an increase in water table within the city in the lack of urban sewage network. The rise of the water level resulting from the mixing of sewage water with groundwater, while contributing to aquifer contamination and decreasing the soil resistance, due to the fact that in some of the soil horizons of Kerman, the soil has a collapsible property, saturation of this soil horizon will cause soil collapsible and serious damage to urban structures. To evaluate the effect of the development of sewage collection network on groundwater level, the collected data such as pumping data, drilling logs of wells, water level data, and geophysical data were analyzed using GMS software in MODFLOW format. The results show that after the development of sewage collection network in central parts of the city, the groundwater level could be dropped from 5.5m to 18m above ground level.

Keyword: Kerman plain, aquifer, groundwater level, sewage system, Kerman

1 PhD student, Department of Geology, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad. Iran/imaneng189@gmail.com.

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

3 Professor, Department of Geology, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad., Iran/ghafoori@um.ac.ir.

4 Professor, Department of Geology, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad., Iran/hmoghads@yahoo.com