

## ارزیابی آلودگی آبهای زیرزمینی محدوده شهر کرمان

رضا حسن زاده<sup>۱\*</sup>، احمد عباس نژاد<sup>۲</sup>، محمدعلی حمزه<sup>۳</sup>

۱- کارشناس ارشد زمین شناسی زیست محیطی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، مرکز بین المللی علوم، تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی

۲- استادیار بخش زمین شناسی دانشگاه شهید باهنر کرمان aabbas@mail.uk.ac.ir

۳- کارشناس ارشد زمین شناسی زیست محیطی، کارشناس مؤسسه ملی اقیانوس شناسی Hamzeh@inio.ac.ir

تاریخ دریافت: ۸۸/۵/۱ تاریخ پذیرش: ۸۹/۳/۳۱

### چکیده

در این مقاله، آلودگی آبهای زیرزمینی محدوده شهر کرمان در اثر فلزات سنگین، املاح حاصل از سازندهای زمین شناسی منطقه و فعالیت های انسانی بررسی شد. نمونه برداری از ۴۳ چاه پمپاژ در منطقه صورت پذیرفت و غلظت فلزات سنگین (Pb, Cu, Zn, Cd, Cr, Mn)، یون های اصلی ( $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$  و  $HCO_3^-$ ) و یون  $NO_3^-$  به علاوه EC, TDS, TH و pH با جذب اتمی کوره گرافیتی، تیتراسیون و پتانسیومتری در آنها سنجش شد. این غلظت ها با عبارهای استاندارد آب آشامیدنی و کشاورزی مقایسه شد. غلظت اکثر املاح عناصر جزئی و یون های اصلی افزایش چشمگیری در زیر شهر کرمان نشان دادند. نقشه های هم غلظت فلزات سنگین و یون های اصلی در آبهای زیرزمینی محدوده مورد مطالعه نشان داد غلظت عناصر جزئی سمی از جمله سرب، کادمیوم، کروم و منگنز در مرکز شهر بالاتر از حد مجاز آبهای آشامیدنی است که دلیل آن بر اساس ضرایب همبستگی برای عناصر سرب و کروم و منگنز آلودگی های انسانی و عنصر کادمیوم سازندهای زمین شناسی خاص موجود در منطقه است. همچنین غلظت برخی املاح مانند سولفات و نترات در مرکز شهر از حد مجاز آبهای آشامیدنی فراتر رفته که در اثر آلودگی ناشی از فاضلاب شهری و سازندهای تبخیری موجود در زیر شهر کرمان است. غلظت عناصر مس و روی آلودگی چندان در محدوده شهر کرمان نشان ندادند. شایان ذکر است که اکثر خاکهای کرمان حاوی مقادیر زیادی کانی های رسی و pH قلیایی بوده که باعث کاهش تحرک عناصر سمی و پاکسازی طبیعی محیط زیست شهری کرمان می شوند.

### کلید واژه

فلزات سنگین، یون های اصلی، آب زیرزمینی، آلودگی، کرمان

### سر آغاز

می رود (Nazari, et al., 1993). آبهای زیرزمینی یگانه منبع تأمین آب برای میلیون ها نفر در جهان بوده و آلوده شدن آنها تأثیرات عمده ای بر سلامت انسان ها، فعالیت صنایع، کشاورزی و محیط زیست دارد (Jousma, et al., 1987). متأسفانه به دلیل غیرقابل رؤیت بودن آبهای زیرزمینی، بسیاری از مردم در مورد اهمیت آنها و آثار زیانبار آلودگی محیط بر آنها آگاهی کافی ندارند (Davis, et al., 1994). فاضلاب های خانگی و صنعتی، رواناب های شهری، آبهای شور، معدنکاری، ترکیبات شیمیایی تولید شده به وسیله کارخانه ها و ذخیره سازی و حمل آنها و دفن غیربهداشتی و غیراصولی مواد زاید جامد از مهم ترین عوامل آلاینده آبهای زیرزمینی محسوب می شوند (Liu &

در گذشته فعالیت های زیست محیطی اغلب بر روی آثار آلودگی بر محیط زیست طبیعی خارج از محدوده شهرها معطوف بود و در نتیجه، عموم مردم توجه اندکی بر روی زمین شناسی شهری داشتند. به همین دلیل اکثر شهرنشینان مباحث زیست محیطی را در خارج از شهرها بررسی می کردند. اما اکنون وقت آن رسیده که توجه بیشتری بر روی محیط زیست شهری معطوف داشت، زیرا شهرنشینان در مرکز مهم ترین مسائل زیست محیطی قرار دارند (Botkin & Keller, 2003). آلودگی آبهای زیرزمینی یکی از مهم ترین مباحث زمین شناسی زیست محیطی، بخصوص در مناطقی که آبهای سطحی وجود ندارند، یا ناچیز هستند، به شمار

در محیط‌های مختلف در اثر عوامل طبیعی و انسانی در محدوده کرمان بررسی می‌شود.

### مواد و روشها

#### محدوده مورد مطالعه

کرمان در محدوده عرض جغرافیایی ۳۰/۲۸-۳۰/۱۰ شمالی و طول ۵۷/۱۸-۵۶/۵۳ شرقی واقع شده است. متوسط میزان بارندگی در کرمان طی سالهای ۱۳۶۴ تا ۱۳۸۳ به میزان ۱۴۷ میلی‌متر (حسن‌زاده، ۱۳۸۵)، رطوبت هوا ۳۱٪ و میزان درجه حرارت نیز بین ۴- تا ۴۰ درجه متغیر است (سازمان برنامه و بودجه، ۱۳۷۴). از این نظر این شهر را می‌توان جزء مناطق نیمه خشک و خشک طبقه‌بندی کرد. در اطراف شهر، رخنمون‌های سنگی مختلفی مانند آهک‌های ریفی کرتاسه، کنگلومرای کرمان با سن پالئوسن و رخنمون‌هایی از کنگلومرای جوان با سن نئوژن مشاهده می‌شود (شکل شماره ۱) (حسن‌زاده، ۱۳۸۵).

ارتفاع متوسط کرمان از سطح دریا ۱۷۴۰ متر است (آب منطقه‌ای، ۱۳۸۴). سفره آب زیرزمینی دشت کرمان در رسوبات آبرفتی دوران چهارم قرار دارد که این رسوبات از حاشیه دشت به سمت مرکز به تدریج ریزدانه می‌شوند (سازمان برنامه و بودجه، ۱۳۷۴). کرمان در بخش شمالی دشت واقع شده است که جهت حرکت آب‌های زیرزمینی از جنوب شرقی به شمال غرب دشت بوده و از زیر شهر کرمان می‌گذرد. بر اساس مطالعات ژئوفیزیکی و زمین‌شناسی، سفره آب زیرزمینی کرمان در محدوده عمقی ۱۵۰ تا ۲۰۰ متر قرار داشته و از شن، ماسه و قلوه سنگ (کنگلومرای سخت نشده) تشکیل یافته است (احمدی‌افزادی، ۱۳۸۱؛ راکشاب، ۱۳۵۷؛ Citra, 1965). طبق نقشه تراز آب دشت کرمان، منبع اصلی تغذیه سفره آب زیرزمینی دشت کرمان، آب‌های نفوذی کوهستان‌های شرقی و جنوبی دشت هستند.

#### نمونه‌برداری و تجزیه نمونه‌ها

نمونه‌برداری طی یک مرحله در محدوده زمانی ۷ روزه از ۴۳ چاه پمپاژ در منطقه انجام شد و با توجه به این‌که جهت جریان آب زیرزمینی در دشت کرمان بیشتر از جنوب شرق به سمت شمال غرب است از میان چاه‌های پمپاژ موجود در مناطق بالادست و پایین دست شهر و نیز در محدوده شهری، نمونه‌برداری به‌گونه‌ای انجام شد تا توزیع نمونه‌ها در نواحی بالا دست، بخش میانی و پایین دست سفره آب یکنواخت باشد (شکل شماره ۱). برای نمونه‌برداری از ظروف پلی‌اتیلن ۱/۵ لیتری برای هر نقطه ۲ ظرف استفاده شد،

(Liptak, 2000; Laws, 2000). آلودگی آب‌های زیرزمینی، در کشورهای در حال توسعه، بویژه شهرهایی که فاقد سیستم جمع‌آوری و تصفیه فاضلاب هستند، اجتناب‌ناپذیر است (Chilton, 1999). این خطر بخصوص در مناطق کارستی به دلیل وجود درز و شکاف زیاد و نفوذ پذیری فراوان از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار است (Davis, et al., 1994). به دلیل کمبود نزولات جوئی در محدوده کرمان و پایین رفتن سطح آب زیرزمینی که منجر به از بین رفتن منابع آب‌های سطحی شده است، وجود منابع آب زیرزمینی از اهمیت خاصی برخوردار است.

یکی از مهم‌ترین گروه آلاینده‌های آب‌های زیرزمینی که به‌طور طبیعی یا انسانی باعث آلودگی آنها می‌شوند، عناصر جزئی و کمیاب سمی هستند.

این عناصر نقش چندانی در تشکیل پوسته زمین ندارند، اما اهمیت زیاد آنها در اقتصاد، بوم‌شناسی، کشاورزی، پزشکی، سم‌شناسی و بسیاری زمینه‌های دیگر کاملاً با فراوانی آنها در پوسته بی‌تناسب است (Aiuppa, et al., 2005). این عناصر در ترکیبات مختلفی مانند یون‌های آزاد، ترکیبات پیچیده غیرآلی و آلی، گونه‌های فلزی در ترکیب با مواد آلی بزرگ مولکول (جربی‌ها، اسیدهای هیومیک، پلی‌ساکاریدها)، یا جذب شده توسط کانی‌های رسی و دیگر کلوئیدها در محیط زیست وجود دارند و می‌توانند آثار زیانباری بر سلامت جامعه داشته باشند که تاکنون بسیاری از این آثار بر ما پوشیده مانده است (Bowie & Thornton, 1985).

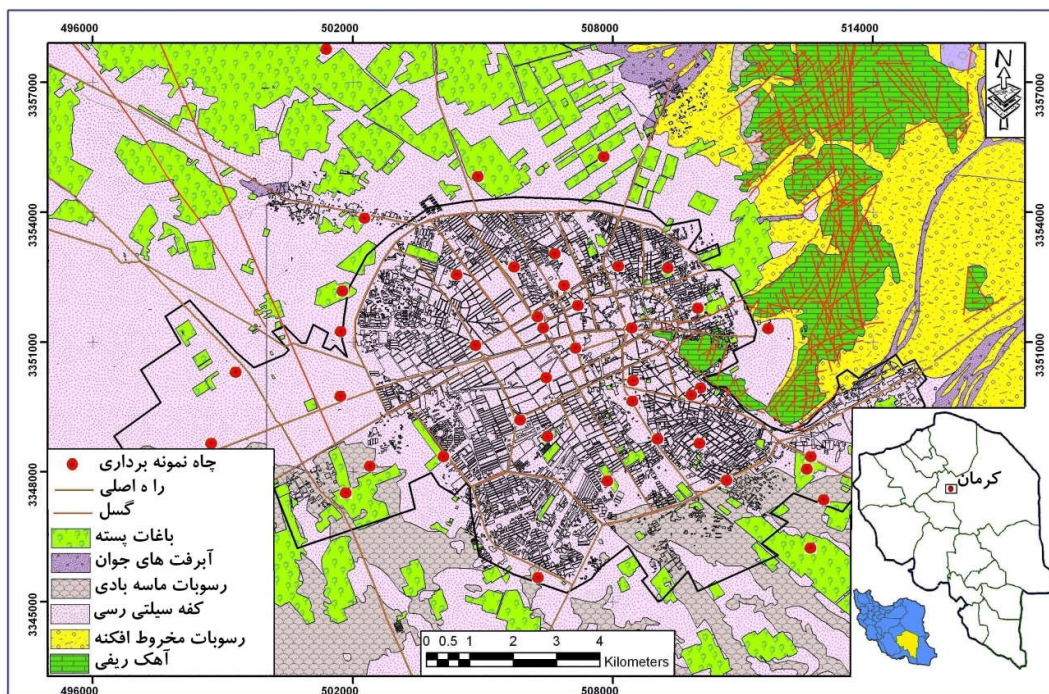
متأسفانه با وجود افزایش توجه جهانی به ژئوشیمی زیست محیطی در مناطق شهری، تاکنون مطالعات چندانی در این زمینه، بخصوص با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی در کشور ما و به تبع آن شهر کرمان انجام نگرفته است. از جمله مطالعات انجام گرفته در این زمینه می‌توان به نعمتی‌پور (۱۳۶۹)، حمزه (۱۳۸۵) و حسن‌زاده (۱۳۸۵) اشاره کرد.

هدف از این تحقیق، بررسی تغییرات غلظت برخی فلزات سنگین شامل سرب، روی، مس، کادمیوم، کروم و منگنز و آنیون سولفات و یون نیترات موجود در آب و دیگر عوامل کیفیت آب‌های زیرزمینی محدوده شهری با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و تعیین میزان همبستگی بین این عناصر و کاتیون‌های اصلی است. در این ارتباط تغییرات غلظت عناصر و ترکیبات یاد شده در این محیط‌ها، مقایسه این غلظت‌ها با غلظت‌های استاندارد و عوامل مختلف مؤثر در این تغییرات و ناهنجاری‌های احتمالی بوجود آمده

حمل شده و تجزیه شیمیایی شدند و مقادیر ۶ عنصر سرب، روی، مس، کادمیوم، کروم و منگنز، به علاوه کاتیون‌های اصلی سدیم، پتاسیم، کلسیم و منیزیم و آنیون‌های اصلی بیکربنات، سولفات، کلراید و نیترات و همچنین سختی کل و کل مواد جامد محلول در آنها مورد سنجش قرار گرفت.

اندازه‌گیری غلظت عناصر جزئی با استفاده از روش دستگاهی جذب اتمی کوره گرافیتی و غلظت آنیون‌ها با روش تیتراسیون و پتانسیومتری (Radojevic & Bashkin, 1999) صورت گرفت. مشخصات دستگاهها در جدول شماره (۱) ذکر شده است.

به طوری که یکی از نمونه‌ها پس عبور از فیلتر ۰/۴۵ میکرون، با اسید نیتریک خالص تا pH کمتر از ۲ اسیدی شد (Langmuir, 1997). این نمونه برای اندازه‌گیری فلزات سنگین و دیگر کاتیون‌ها در نظر گرفته شد و نمونه دیگر بدون اسیدی کردن برای اندازه‌گیری آنیون‌ها در نظر گرفته و برداشته شدند. در محل نمونه‌برداری pH، هدایت الکتریکی و دمای آب مورد سنجش قرار گرفت. موقعیت جغرافیایی مکان نمونه‌برداری با GPS مدل GARMIN تحت سیستم متریک ثبت شد. نمونه‌ها تا زمان تجزیه شیمیایی در دمای ۴ درجه سانتیگراد نگهداری (Shahid, 2000; Raja & Venkatesan, 2010) و سپس در فاصله ۲۴ ساعت به آزمایشگاه



شکل شماره (۱): نقشه زمین شناسی و موقعیت چاههای نمونه‌برداری محدوده کرمان

جدول شماره (۱): مشخصات دستگاههای مورد استفاده

ردیف	نام دستگاه	مدل	کاربرد	محل سنجش
۱	جذب اتمی کوره گرافیتی	Varian 220 SpectrAA	جهت تعیین کاتیون‌های اصلی و فلزات سنگین	آزمایشگاه دانشکده علوم محیطی در مرکز
۲	پتانسیومتری	Met Rohm 692- Ion meter	برای سنجش آنیون نیترات و سولفات	بین‌المللی علوم و تکنولوژی پیشرفته
۳	pH متر قابل حمل	WTW pH330i	برای سنجش pH و دمای آب در محل نمونه‌برداری	محل نمونه‌برداری
۴	EC متر قابل حمل	WTW Cond315i	برای سنجش میزان هدایت الکتریکی در محل نمونه‌برداری	محل نمونه‌برداری

**تهیه نقشه‌های ژئوشیمیایی و تحلیل داده‌ها به وسیله GIS**

غلظت عناصر و ترکیبات مختلف در محدوده کرمان به صورت جداول و نمودارهای مختلف بررسی شده و با حد مجاز آبهای آشامیدنی و کشاورزی بر اساس استانداردهای سازمان بهداشت جهانی (WHO, 2008)، آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا (US EPA, 2009)، اتحادیه اروپا (EU, 1998) و سازمان خوار و بار جهانی (Ayers & Westcot, 1994) مقایسه شد. به علاوه، غلظت عناصر، املاح و عوامل مهم کیفیت آب از نظر مطالعات زیست محیطی در محدوده کرمان، به عنوان داده‌های ورودی برای تهیه نقشه هم غلظت این عناصر با نرم افزار ArcGIS 9.1 انتخاب شد. نقشه‌های هم غلظت تهیه شده با نرم افزار پیش گفته بر روی نقشه کرمان قرار گرفت. تهیه نقشه‌های ژئوشیمیایی به وسیله فناوری سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، ما را قادر می‌سازد تا اطلاعات آماری کاملی از نحوه توزیع عناصر و ترکیبات مختلف در محیط‌های مختلف ژئوشیمیایی به دست آوریم (Xiangdong, et al., 2006). این اطلاعات ما را در مدیریت بهینه و صحیح محیط زیست کرمان

و ارائه راهکارهای مناسب جهت پاکسازی این محیط یاری می‌کند.

**نتایج**

در جدول شماره (۲) نتایج تجزیه شیمیایی برخی عناصر و ترکیبات در نمونه‌های آب زیرزمینی محدوده کرمان آمده است. همچنین این داده‌ها با عبارهای استاندارد آب آشامیدنی و کشاورزی متعلق به سازمان بهداشت جهانی، اتحادیه اروپا، آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا و سازمان خوار و بار جهانی مقایسه شده‌اند. با توجه به داده‌های این جدول مشاهده می‌شود که حداکثر غلظت املاح و عناصر جزئی اندازه‌گیری شده در تمامی موارد بیش از حداکثر غلظت مجاز برای آب آشامیدنی و در بسیاری از موارد بیش از غلظت مجاز برای آب کشاورزی است. در این میان غلظت مس و روی کمتر از مقادیر استاندارد است و آلودگی چندان نشان نمی‌دهند. غلظت یون‌هایی که در تشکیلات تخییری یافت می‌شود ناهنجاری بسیار بالایی نشان می‌دهد. برای نمونه متوسط غلظت آنیون سولفات، ۳/۵ برابر حداکثر غلظت مجاز برای آشامیدنی است. ضرایب همبستگی بین غلظت یون‌های اصلی، عناصر جزئی و دیگر عوامل کیفیت آب می‌توانند تا حد زیادی مبین منشأ این عوامل کیفیت آب باشند (جدول شماره ۳).

**جدول شماره (۲): نتایج تجزیه شیمیایی نمونه‌های آب زیرزمینی محدوده کرمان**

	<i>Cd</i> ( $\mu\text{g/l}$ )	<i>Cr</i> ( $\mu\text{g/l}$ )	<i>Cu</i> ( $\mu\text{g/l}$ )	<i>Mn</i> ( $\mu\text{g/l}$ )	<i>Pb</i> ( $\mu\text{g/l}$ )	<i>Zn</i> ( $\mu\text{g/l}$ )
میانگین	۶	۲۸	۱۳	۲۶	۴۵	۲۵
بیشینه	۱۲	۲۸۰	۱۵۰	۱۳۲	۱۲۰	۱۷۲
کمینه	۱	۱	۱	۱	۱۰	۰/۵
میانه	۵	۲۰	۵	۱۵	۴۰	۱۱
بیشینه مجاز برای آشامیدن (WHO, 2008; EPA, 2009)	۵	۵۰	۱۰۰۰	۵۰	۵۰	۵۰۰۰
بیشینه مجاز برای کشاورزی (Ayers & Westcot, 1994)	۱۰	۱۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۵۰۰۰	۲۰۰۰
	<i>Ca</i> <sup>2+</sup> ( $\text{mg/l}$ )	<i>Mg</i> <sup>2+</sup> ( $\text{mg/l}$ )	<i>Na</i> <sup>+</sup> ( $\text{mg/l}$ )	<i>K</i> <sup>+</sup> ( $\text{mg/l}$ )	<i>SO</i> <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ( $\text{mg/l}$ )	<i>Cl</i> ( $\text{mg/l}$ )
میانگین	۱۳۲	۱۴۷	۴۵۵	۲۲/۷	۸۷۷	۴۳۵
بیشینه	۲۴۰	۳۸۸	۱۷۱۵	۹۷	۲۶۹۶	۱۷۳۲
کمینه	۲۰/۴۵	۲۸	۹۲	۱۰	۱۴۸	۱۰۳
میانه	۱۲۶/۷	۱۱۲	۳۷۰	۲۱/۵	۷۰۳	۲۸۳
بیشینه مجاز برای آشامیدن (WHO, 2008; EPA, 2009)	۲۰۰	۱۵۰	۱۷۵	۱۲	۲۵۰	۲۵۰
بیشینه مجاز برای کشاورزی (Ayers & Westcot, 1994)	۴۰۰	۶۰	۹۰۰	۷۵	۹۵۰	۵۰۰
	<i>HCO</i> <sub>3</sub> <sup>-</sup> ( $\text{mg/l}$ )	<i>NO</i> <sub>3</sub> <sup>-</sup> ( $\text{mg/l}$ )	<i>TDS</i> ( $\text{mg/l}$ )	<i>EC</i> ( $\mu\text{m/cm}$ )	<i>TH</i> ( $\text{mg/lCaCO}_3$ )	<i>pH</i>
میانگین	۴۹۰	۱۱۹	۲۲۲۳	۳۴۸۵	۸۲۲	۷/۲۸
بیشینه	۱۰۰۸	۳۹۵	۵۸۰۱	۹۰۵۰	۲۱۶۷	۸/۴
کمینه	۱۶۵	۲۳	۶۸۶	۱۰۷۰	۱۶۶	۶/۷۴
میانه	۴۸۸	۶۱	۲۱۴۷	۳۳۵۰	۸۱۹	۷/۲
بیشینه مجاز برای آشامیدن (EU, 1998; EPA, 2009)	-	۴۵	۱۵۰۰	۲۰۰۰	۵۰۰	۶/۵-۸/۵
بیشینه مجاز برای کشاورزی (Ayers & Westcot, 1994)	۶۰۰	۶۰۰	۲۰۰۰	۲۷۰۰	-	۶/۵-۸/۵

جدول شماره (۳): میزان ضرایب همبستگی بین عوامل مختلف کیفیت آب زیرزمینی در محدوده کرمان

	pH	TH	TDS	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cd	Cr	Cu	Mn	Pb	Zn
pH	۱	۰/۱۲	۰/۰۱	۰/۰۷	۰/۰۱	۰/۳۱	۰/۰۲	۰/۱۲	۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۰
TH		۱	۰/۵۵	۰/۰۷	۰/۳۷	۰/۴۳	۰/۸۸	۰/۲۶	۰/۲۴	۰/۷۹	۰/۴۶	۰/۵۴	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۳	۰/۵۵	۰/۰۷
TDS			۱	۰/۰۹	۰/۸۸	۰/۰۸	۰/۶۳	۰/۲۶	۰/۲۴	۰/۸	۰/۴۶	۰/۵۴	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۳	۰/۵۵	۰/۰۷
K <sup>+</sup>				۱	۰/۴۳	۰/۰۱	۰/۱	۰/۰۳	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۴	۰/۱۷	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۱۶	۰/۰۴	۰/۰۲
Na <sup>+</sup>					۱	۰/۰۱	۰/۳۳	۰/۰۵	۰/۷۶	۰/۵۷	۰/۱۲	۰/۵۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۱۱	۰/۲	۰/۰۲
Ca <sup>++</sup>						۱	۰/۲۳	۰/۵۳	۰/۰۲	۰/۳۳	۰/۱۸	۰/۱۵	۰/۱۲	۰/۰۱	۰/۱۱	۰/۱۸	۰/۰۶
Mg <sup>++</sup>							۱	۰/۳۸	۰/۵۱	۰/۹۲	۰/۴۸	۰/۶۲	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۴۸	۰/۰۱
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>								۱	۰/۰۴	۰/۳۴	۰/۵۴	۰/۲	۰/۲۶	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۱۳	۰/۰۱
Cl <sup>-</sup>									۱	۰/۵	۰/۰۷	۰/۳۲	۰/۲۶	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۱۳	۰/۰۱
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>										۱	۰/۴۲	۰/۶۳	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۵	۰/۴۶	۰/۰۴
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>											۱	۰/۳۴	۰/۱۷	۰/۰۰	۰/۰۴	۰/۳۹	۰/۰۳
Cd												۱	۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۲	۰/۰۶
Cr													۱	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲
Cu														۱	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۳
Mn															۱	۰/۰۶	۰/۱۲
Pb																۱	۰/۰۶
Zn																	۱

طبیعی و ورود از طریق انحلال کودهای شیمیایی است. مقداری از یون سولفات نیز می‌تواند از همین طریق وارد آبهای زیرزمینی شده باشد. غلظت یون نیترات نیز همبستگی زیادی با دیگر یون‌ها ندارد که دلیل آن ورود آن از طریق فاضلاب‌های خانگی و یا کودهای شیمیایی است. برای تحلیل بهتر آلودگی سفره آب زیرزمینی شهر کرمان، میزان غلظت یون‌های  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $Cl^-$   $HCO_3^-$ ، سنجش شده در نمونه‌های ۶ چاه پمپاژ در این تحقیق با غلظت یون‌های مشابه مربوط به سال ۱۳۷۳ چاههای محدوده کرمان (آب منطقه‌ای استان کرمان، ۱۳۷۳) مقایسه شد (جدول شماره ۴). بر طبق این جدول غلظت یون‌های سدیم و کلر روند افزایشی دارند که این را می‌توان ناشی از ورود فاضلاب به سفره آب زیرزمینی دانست.

شایان ذکر است که یکی از ویژگی‌های فاضلاب‌های خانگی، بالا بودن غلظت نمک در آنهاست (Laws, 2000). همچنین در بخش‌هایی از شهر نیز به علت بالا آمدن سطح آب زیرزمینی، املاحی مثل نمک که قبلاً تحت تأثیر موئینگی بالا آمده و کانی‌های تبخیری تشکیل یافته‌اند، دوباره حل شده و سبب افزایش سدیم و کلر شده‌اند. مواد آلی موجود در فاضلاب حاوی گوگرد آلی هستند که در اثر اکسیداسیون به سولفات تبدیل می‌شوند (Langmuir, 1997). بنابراین عامل اصلی افزایش غلظت سولفات فاضلاب حاصل از چاههای جاذب است ولی احتمالاً بالا آمدن سطح

با توجه به ضرایب همبستگی مشخص می‌شود که به‌طور کلی غلظت فلزات سنگینی مانند مس، روی و کروم و تا حد زیادی سرب دارای همبستگی چندانی با یون‌های اصلی نیست که نشان‌دهنده ورود این عناصر از طریق آلودگی‌های انسانی است. از این میان کادمیوم دارای همبستگی نسبتاً قابل قبولی با یون‌های اصلی است که نشان می‌دهد منبع اصلی این عنصر، انحلال سنگها و رسوبات منطقه است و آلاینده‌های شهری تأثیر چندانی بر غلظت آن ندارند. بیشترین همبستگی این عنصر با آنیون سولفات و کاتیون منیزیم (حدود ۰/۶) است که مشخص می‌سازد بخش عمده آن متأثر از انحلال کانی‌های تبخیری، بویژه سولفات‌های منیزیم و کلسیم است. بعلاوه مقداری کادمیوم نیز می‌تواند در اثر ورود از طریق کودهای شیمیایی فسفات‌ه مورد استفاده در باغهای پسته وارد آبهای زیرزمینی منطقه شود (سازمان برنامه و بودجه، ۱۳۷۴). سرب نیز تا حدودی از روند مشابه با کادمیوم با میزان کمتر تبعیت می‌کند. نکته جالب توجه دیگر همبستگی زیاد یون‌های حاصل از انحلال رسوبات تبخیری مانند کاتیون‌های سدیم، منیزیم و آنیون‌های سولفات و کلراید است. برای مثال همبستگی بین سدیم و کلر ۰/۷۶ و منیزیم و سولفات ۰/۹۲ است. همبستگی زیاد این املاح با کل جامدات محلول در آبهای زیرزمینی کرمان نشان‌دهنده تأثیر زیاد رسوبات تبخیری در افزایش املاح در این آبهاست. غلظت یون پتاسیم دارای همبستگی کمی با دیگر یون‌هاست که دلیل آن منبع غیر مشترک

و ۴۰ به میزان بیش از ۱ ppm بوده که در مرکز شهر و در نزدیک پمپ بنزین شهید رجایی، یا پایانه مسافری شهر است. این مسئله را می‌توان به وجود سرب ورودی از طریق فاضلاب حاصل از شست‌وشوی خیابان‌ها که در اثر احتراق سوخت‌های فسیلی در موتور اتومبیل‌ها بر سطوح خیابان‌ها نشسته و همچنین ریخت و پاش‌های حاصل از سوخت‌رسانی و فاضلاب کارگاه‌های تعویض روغن، نقاشی ماشین و باتری‌سازی‌ها دانست. بر اساس مطالعات حمزه (۱۳۸۵)، غلظت سرب در خاک محل پمپ بنزین شهید رجایی و پایانه مسافری کرمان به ترتیب بیش از ۰/۵ و ۵ گرم بر کیلوگرم اندازه‌گیری شده است.

غلظت منگنز در محدوده مرکزی شهر افزایش اندکی نشان می‌دهد، اما در محدوده غربی شهر که محل استقرار کارگاه‌های صنعتی است، بالاست. همبستگی ضعیف این عنصر با کانیون‌های اصلی نشان می‌دهد که منشأ آن انسان‌زاد است و می‌تواند در اثر ورود فاضلاب صنایع مستقر در این منطقه وارد آب‌های زیرزمینی شده باشد (شکل شماره ۴). غلظت کروم به‌طور کلی در آب‌های زیر زمینی شهر کم است و در بیشتر نقاط کمتر از ۰/۰۵ میلی‌گرم بر لیتر است و فقط در چاه شماره ۱۳ که در محل شهرک صنعتی کرمان و همچنین چاه شماره ۳۹ که در نزدیک تعویض روغنی قرار دارد ناهنجاری نشان می‌دهد (شکل شماره ۵).

عناصر مس و روی چندان آلودگی نشان نمی‌دهند و فقط در برخی نمونه‌ها کمی افزایش غلظت دارند.

غلظت یون نترات در نیمی از چاه‌های نمونه‌برداری شده، بیش از حد مجاز بوده و در بخش‌های مرکزی شهر حداکثر است که در اثر ورود فاضلاب‌های خانگی به این مناطق است. این عامل نشان دهنده آلودگی آب زیرزمینی در اثر ورود فاضلاب‌های شهر است (شکل شماره ۶).

غلظت یون‌های کلسیم و بیکربنات در شرق کرمان که رخنمون‌های آهکی در آنجا قرار دارد، افزایش نشان می‌دهد و به سمت غرب شهر که محل تسلط رسوبات تبخیری است کاهش می‌یابد و در جنوب دشت که رسوبات بادی در آنجا گسترش دارند کاهش چشمگیری نشان می‌دهد. غلظت نسبتاً زیاد یون کلسیم در شمال غرب دشت کرمان در اثر انحلال کانی‌های سولفات کلسیم، بویژه ژپس است.

غلظت یون بی‌کربنات در مرکز شهر روند افزایشی دارد که این امر را می‌توان در اثر ورود فاضلاب غنی از مواد آلی دانست. در اثر

آب‌های زیرزمینی هم موجب انحلال گچ موجود در رسوبات ریزدانه نزدیک سطح زمین شده است.

### جدول شماره (۴): مقایسه غلظت برخی یون‌ها در سال ۱۳۸۵ و سال ۱۳۷۳ در تعدادی از چاه‌های محدوده کرمان

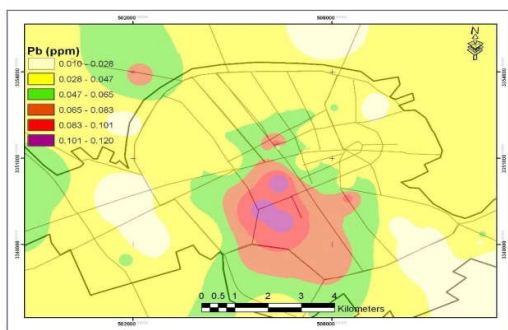
یون‌های محلول	متوسط در سال ۱۳۸۵ (mg/l)	متوسط در سال ۱۳۷۳ (mg/l)	ضریب افزایش طی ۱۲ سال	درصد افزایش سالانه
سدیم	۸۷۳/۳	۳۳۱/۳	۲/۷	۲۲
کلسیم	۹۵/۸	۹۵/۳	۱/۰۰۵	۸
منیزیم	۱۴۲/۸	۸۶/۹	۱/۶۴	۱۳/۷
کلراید	۵۱۷/۳	۴۸۵/۷	۱/۳۴	۱۱
سولفات	۸۵۱/۶	۵۸۶/۸	۱/۴۵	۱۲
بیکربنات	۴۵۵/۶	۲۷۲/۴	۱/۶۷	۱۴

به منظور بررسی تغییرات مکانی غلظت عناصر در آب‌های زیرزمینی محدوده کرمان، نقشه‌های ژئوشیمیایی مربوطه با استفاده از فناوری سیستم اطلاعات جغرافیایی تهیه شدند. این نقشه‌ها می‌توانند به‌طور کاملاً واضح توزیع آماری و میزان همبستگی غلظت عناصر و ترکیبات اندازه‌گیری شده را در این محدوده نشان دهند. همچنین با استفاده از این نقشه‌ها می‌توان نقاط با ناهنجاری بالا را تعیین کرد و با قرار دادن لایه‌های مراکز آلاینده بالقوه بر روی نقشه‌های هم غلظت، تأثیر این مناطق را بر آلودگی آب‌های زیرزمینی منطقه آشکار ساخت. با توجه به نقشه‌ها، در مورد عناصر جزئی سمی می‌توان گفت که غلظت تمامی آنها در مرکز شهر افزایش چشمگیری نشان می‌دهد که حاصل از آلودگی انسانی است.

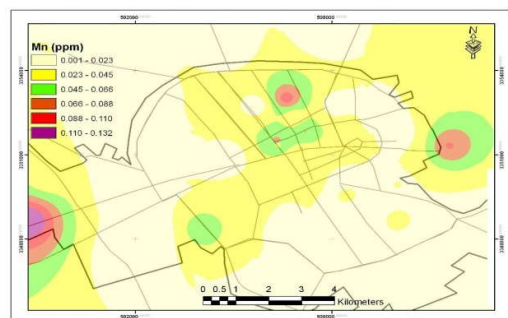
غلظت کادمیوم در بخش‌های مرکزی و همچنین در بخش کوچکی از غرب شهر در حد ۰/۰۱ تا ۰/۰۱۲ است، که بر اساس ضرائب همبستگی این افزایش در اثر انحلال کانی‌های خاص در سازندهای زمین‌شناسی در زیر شهر کرمان است. در میان فلزات سنگین مورد بررسی، عنصر کادمیوم بیشترین تمایل را در جانمایی در کانی‌های حاوی کلسیم دارد (Langmuir, 1997).

به دلیل کارستی بودن سفره آب زیرزمینی منطقه و وفور کانی کربنات کلسیم در محدوده مورد مطالعه، مهم‌ترین منبع این عنصر محیط طبیعی است. افزایش بیشتر این عنصر در غرب شهر را نیز می‌توان در اثر ورود فاضلاب صنایع و تعمیرگاه‌ها و کارگاه‌های کوچک مستقر در این بخش دانست (شکل شماره ۲).

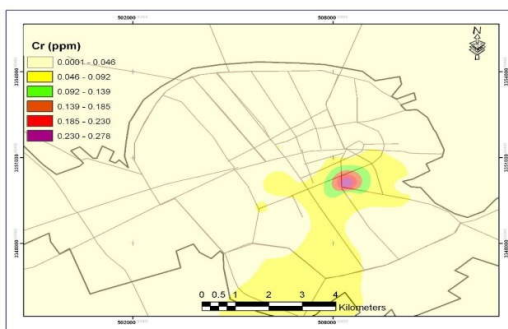
افزایش غلظت سرب در مرکز شهر کاملاً محسوس است (شکل شماره ۳). حداکثر غلظت سرب در چاه‌های شماره ۲، ۳، ۲۹



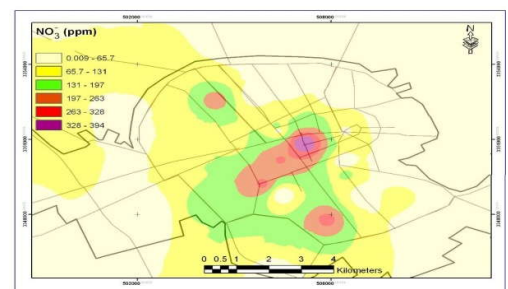
شکل شماره (۳): نقشه ژئوشیمیایی غلظت عنصر سرب در آبهای زیرزمینی محدوده مورد مطالعه (میلی گرم بر لیتر)



شکل شماره (۴): نقشه ژئوشیمیایی غلظت عنصر منگنز در آبهای زیرزمینی محدوده مورد مطالعه (میلی گرم بر لیتر)



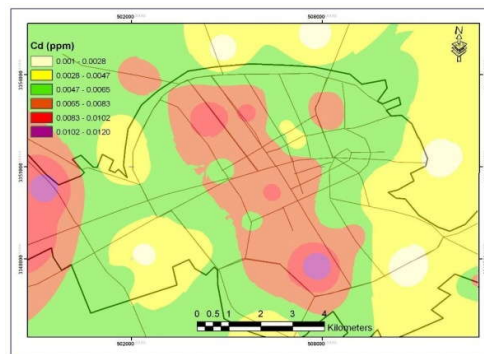
شکل شماره (۵): نقشه ژئوشیمیایی غلظت عنصر کروم در آبهای زیرزمینی محدوده مورد مطالعه (میلی گرم بر لیتر)



شکل شماره (۶): نقشه ژئوشیمیایی غلظت یون نیترات در آبهای زیرزمینی محدوده مورد مطالعه (میلی گرم بر لیتر)

تجزیه مواد آلی، دی اکسید کربن ( $CO_2$ ) تولید شده در آب تولید یون بی کربنات می کند و غلظت آن افزایش می یابد. بیشترین فراوانی غلظت یون کلسیم و بی کربنات در منطقه بر اساس نقشه های ژئوشیمیایی به ترتیب ۱۰۰ تا ۱۵۰ و ۳۰۰ تا ۶۰۰ میلی گرم بر لیتر است. غلظت دیگر یون ها که در رسوبات تبخیری تمرکز دارند از سمت شرق به غرب افزایش زیادی نشان می دهند که امری دور از انتظار نیست. انحلال کانی هایی مانند سولفات های کلسیم و منیزیم و هالیت مسئول افزایش غلظت یون های اصلی سولفات (شکل شماره ۷)، کلراید، منیزیم، سدیم و کلسیم است.

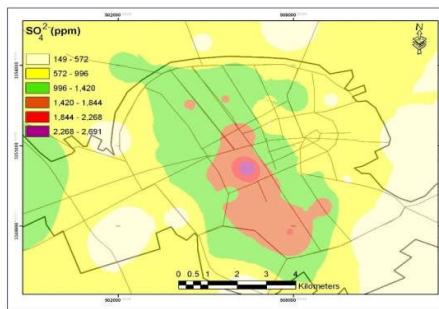
مطالعات شرکت های مهندسان مشاور راکشاب (۱۳۵۷) و سیترا (۱۹۶۵)، نیز مبین تسلط رسوبات تبخیری در غرب و شمال غرب کرمان است غلظت یون منیزیم و سولفات در مرکز شهر نیز ناهنجاری زیادی نشان می دهد که به دلیل آلودگی متأثر از محیط شهری است. بیشترین فراوانی غلظت یون های منیزیم، سدیم، پتاسیم، کلر و سولفات به ترتیب ۱۰۰ تا ۲۰۰، ۲۰۰ تا ۴۰۰، ۱۰ تا ۴۰، ۴۰۰ تا ۶۰۰ و ۵۰۰ تا ۱۵۰۰ است که در اکثر موارد بالاتر از حد مجاز آب آشامیدنی و کشاورزی است. همچنین با توجه به نقشه ها، میزان هدایت الکتریکی، کل مواد جامد محلول و سختی کل نیز از روندی مشابه با املاح موجود در رسوبات تبخیری تبعیت می کند که نشان دهنده همبستگی بالای آنهاست و نتایج موجود در جدول شماره (۵) را تأیید می کند. میزان pH در محدوده مرکزی شهر کمتر از ۷ و اسیدی است (شکل شماره ۸). عدم وجود همبستگی بین pH و غلظت عناصر سمی حاکی از افزایش انحلال پذیری این عناصر در pH های اسیدی است.



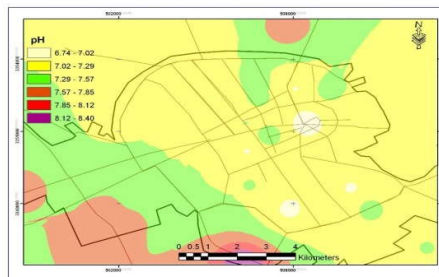
شکل شماره (۲): نقشه ژئوشیمیایی غلظت عنصر کادمیوم در آبهای زیرزمینی محدوده مورد مطالعه (میلی گرم بر لیتر)

هستند. برای مثال، فاضلاب شرکت سهامی فرش ایران مورد تصفیه قرار نمی‌گیرد. میزان آب مصرفی در این واحد طی سال ۱۳۷۰ در حدود ۱۴۴۰۰۰۰ لیتر بوده است. این فاضلاب بیشتر دارای رنگ‌های طبیعی و مصنوعی و خاصیت اسیدی است (سازمان برنامه و بودجه، ۱۳۷۴). این رنگ‌ها می‌توانند حاوی غلظت‌های بالایی از فلزات سنگین، بویژه سرب باشند (Laws, 2000).

مهاجرت افقی، و یا عمودی عناصر جزئی سمی در خاک شهرها بستگی به میزان رواناب سطحی مانند آب موجود در جوی‌های آب اطراف خیابان و جنس خاک دارد (غضبان، ۱۳۸۱). مهاجرت این عناصر با خواص خاک از قبیل pH، مواد آلی، ساختار افقی‌های خاک، ترکیب و اندازه دانه‌های خاک، توانایی جذب، فراوانی میکروارگانیزم‌ها و در نهایت انحلال پذیری اشکال مختلف شیمیایی آنها و توانایی جذب عناصر با کلوئیدهای خاک کنترل می‌شود (Eby, 2004). در اینجا نقش کلوئیدهایی مانند رس‌ها، اکسیدهای آهن و منگنز و ترکیبات آلی را که در جذب این عناصر مسمومیت‌زا و تصفیه و پاکسازی طبیعی آنها مؤثرند نمی‌توان نادیده گرفت. خاک‌های رسی کرمان با pH متوسط تا قلیایی (آب منطقه‌ای، ۱۳۸۴)، معمولاً باعث کاهش تحرک عناصر فرعی و کمیاب می‌شوند. بر اساس مطالعات بکت (۱۹۵۸) گونه‌ها و نسبت‌های مختلف کانی‌های رسی در افق‌های مختلف خاک در دشت کرمان سبب ایجاد ظرفیت تبادل کاتیونی  $35 \text{ m.Eq}/100\text{gr}$  شده است. تحقیقات حمزه (۱۳۸۵) و بکت (۱۹۵۸) با اشعه ایکس نشان‌دهنده حضور کانی‌های مونتورونیوت، کلریت، میکا، کائولینیت، ژپس، هالیت، کلسیت و مقادیر کمی کوارتز و فلدسپار در خاک‌های محدوده کرمان است. اما میزان مواد آلی در خاک‌های کرمان بسیار ناچیز است. از املاح نسبتاً زیاد این خاک‌ها می‌توان به نمک‌های محلول سدیم، پتاسیم و منیزیم اشاره نمود. این عوامل پاکسازی طبیعی باعث جذب میزان زیادی از آلاینده‌ها در سطح جلوگیری از آلودگی آب‌های زیرزمینی شهر می‌شوند. بر اساس مطالعات حمزه (۱۳۸۵) غلظت عناصر سرب، مس و روی در سطح خاک‌های کرمان بین دو تا سه برابر غلظت آنها در عمق ۲۰ تا ۲۵ سانتیمتری خاک است که مبین جذب این آلاینده‌ها در سطح خاک و رسوب است. از آنجا که اکثر فلزات سنگین در محلول خاک به صورت کاتیون‌های با دو بار مثبت حضور دارند، افزایش pH سبب کاهش تحرک و افزایش جذب آنها توسط کلوئیدهای خاک می‌شود (Langmuir, 1997). با بررسی داده‌ها می‌توان گفت مهم‌ترین



شکل شماره (۷): نقشه ژئوشیمیایی غلظت یون سولفات در آب‌های زیرزمینی محدوده مورد مطالعه (میلی گرم بر لیتر)



شکل شماره (۸): نقشه ژئوشیمیایی میزان pH در آب‌های زیرزمینی محدوده مورد مطالعه

### بحث و نتیجه‌گیری

در کرمان متأسفانه به دلیل نبود سیستم تخلیه فاضلاب، استفاده از چاه‌های جذبی در مورد فاضلاب‌های خانگی، فاضلاب‌های مناطق صنعتی، و یا ادارات، خطر آلودگی آب‌های زیرزمینی منطقه بشدت احساس می‌شود. استفاده از چاه‌های جذبی در دفع فاضلاب شهری باعث شده تا سطح آب زیرزمینی در کرمان افزایش چشمگیری داشته باشد. به عنوان مثال در مسجد جامع کرمان که ارتفاع آن پایین‌تر از سطح شهر است، سطح آب زیرزمینی به‌حدی بالا آمده که باعث وارد آوردن خساراتی به این بنای تاریخی شده است. باید یادآور شد که فاضلاب تعدادی از مراکز درمانی مانند بیمارستان‌های شفا، ارجمند کرمانی و شهید باهنر، به چاه‌های فاضلابی که در داخل محوطه بیمارستان حفر شده‌اند، تخلیه می‌شود که این موضوع خطر آلودگی میکروبیولوژیکی منابع آب زیرزمینی را به‌شدت افزایش می‌دهد (سازمان برنامه و بودجه، ۱۳۷۴). فاضلاب‌های صنعتی کرمان به دلیل تعدد فعالیت‌های تولیدی و صنعتی بسیار متنوع‌اند. در بین ارگان‌ها و واحدهای صنعتی مطالعه شده، زندان کرمان، کارخانه روغن نباتی، صنایع مس شهید باهنر و کارخانه شیر دارای امکانات تصفیه فاضلاب هستند و شرکت سهامی مزم کرمان و کشتارگاه کرمان فاقد سیستم تصفیه فاضلاب



عناصر جزئی سمی از جمله سرب، منگنز و کروم در این آبها شونند. افزایش جمعیت، تغییر الگوی مصرف و افزایش آگاهی‌های بهداشتی باعث مصرف هر چه بیشتر آب و متناسب با آن، تولید هر چه بیشتر فاضلاب می‌شود. در وضعیت موجود، متوسط سرانه مصرف آب شهری در کرمان بدون احتساب تلفات آب به ازای هر نفر در حدود ۱۸۰ لیتر در روز است که بین ۷۵ تا ۸۰ درصد از این مقدار به‌صورت فاضلاب در چاههای جاذب تخلیه می‌شود. این در حالی است که می‌دانیم کرمان در منطقه‌ای خشک و نیمه خشک قرار گرفته و منطقه در حال حاضر در یک دوره خشکسالی به سر می‌برد که برای چنین منطقه‌ای استفاده یک‌بار مصرف از آب با هیچ منطقی سازگاری ندارد. بنابراین تأسیس هرچه سریع‌تر شبکه جمع‌آوری و تصفیه فاضلاب شهری و صنعتی برای ممانعت از ورود فاضلاب به سفره آب شهر که باعث جلوگیری از آلودگی آبهای زیرزمینی می‌شود، ضروری است.

منبع آلودگی یون‌های سولفات، کلراید، سدیم، سازندهای خاص زمین‌شناسی از جمله رسوبات تبخیری (نمک و ژپس) هستند. البته ورود فاضلاب خانگی در افزایش غلظت نیترات بسیار مؤثر است و در افزایش غلظت یون‌های سدیم و کلراید نیز نقش بسزایی دارد. اثر غیرمستقیم فاضلاب در آلودگی آب زیرزمینی شامل آزادسازی یون کلسیم از سطح رس‌ها در اثر جایگزینی سدیم است که باعث افزایش غلظت کلسیم در آبهای زیرزمینی کرمان می‌شود. تشکیلات زمین‌شناسی مؤثر در افزایش غلظت یون‌های اصلی موجود در آب زیرزمینی شامل سنگ‌های آهکی شرق کرمان و رسوبات سیلتی-رسی حاوی کانی‌های تبخیری در زیر شهر و غرب و شمال غرب کرمان است. این تشکیلات تأثیر فراوانی در افزایش غلظت یون‌های اصلی محلول در آب زیرزمینی در زیر شهر و همچنین در غرب و شمال غرب آن دارند. رواناب‌های سطحی کوجه‌ها و خیابان‌ها و همچنین فاضلاب صنایع که از طریق چاههای جذبی به سفره آب زیرزمینی شهر تزریق می‌شوند، می‌توانند سبب افزایش غلظت

#### منابع مورد استفاده

- آب منطقه‌ای استان کرمان. ۱۳۷۳. گزارش مطالعات آب دشت کرمان در سال آبی ۱۳۷۲ تا ۱۳۷۳، دفتر امور مطالعات پایه منابع آب، ۶۷ص.
- آب منطقه‌ای استان کرمان. ۱۳۸۴. گزارش ادامه مطالعات آب دشت کرمان-باغین در سال آبی ۸۳ تا ۱۳۸۴، دفتر امور مطالعات پایه منابع آب، ۹۸ص.
- احمدی افزادی، ع. ا. ۱۳۸۱. مدل آبهای زیرزمینی دشت کرمان با تأکید بر راه حل‌های مدیریتی جهت مقابله با بالا آمدگی سطح آبهای زیر زمینی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید چمران اهواز، ۱۸۵ص.
- حسن زاده، ر. ۱۳۸۵. بررسی شرایط و مسائل زمین شناسی شهری کرمان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی زیست محیطی دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۲۲۱ص.
- حمزه، م. ع. ۱۳۸۵. نشانگرهای ژئوشیمیایی و زیست محیطی در محدوده شهری کرمان، پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی زیست محیطی دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۳۷۱ص.
- راکشاب (مهندسان مشاور). ۱۳۵۷. گزارش مرحله اول طرح تامین آب بیست ساله کرمان، ۲۳۰ص.
- سازمان برنامه و بودجه. ۱۳۷۴. مطالعات جامع اقتصادی- اجتماعی استان کرمان، همنهاد (خلاصه گزارش‌ها)، ۵۱۷ص و محیط زیست، ۳۰۰ص.
- غضبان، ف. ۱۳۸۱. زمین شناسی زیست محیطی، انتشارات دانشگاه تهران، دانشکده محیط زیست، ۴۱۶ص.
- نعمتی پورکرمانی، غ. ۱۳۶۹. بررسی منابع آب آشامیدنی شهر کرمان از نظر فلزات سنگین و سایر عوامل شیمیایی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، ۱۵۲ ص .

Aiuppa, A.C., et al. 2005. Trace metal modeling of groundwater-gas-rock interactions in a volcanic aquifer; mount Vesuvius, Southern Italy, Chemical Geology, Vol. 216, pp. 289-311.

Ayers, R.S. & D.W., Westcot. 1994. Water Quality for Agriculture, <http://www.fao.org/docrep/003/t0234e/t0234e00htm>.

- Beckett, R.H.T. 1958. The soils of Kerman, South Persia, *Journal of Soil Science*, Vol. 9, pp. 20-31.
- Botkin, D. & E.A., Keller. 2003. *Environmental science, Earth as a living planet*, 4th ed, John Willey, 668p.
- Bowie, S. U. & I., Thornton. 1985. *Environmental Geochemistry and health*, Kluwer academic, 285p.
- Chilton, J. 1999. *Groundwater in the Urban Environment*, A. A. Balkema, Rotterdam, 280p.
- Citra .1965. Consulting engineers company, Etude sur le Development De L Utilisation Des Eaux Souterraines Dans La Zones De Kerman.
- Davis, A., J.H., Kempton, & A., Nicholson. 1994. Groundwater transport of arsenic and chromium at a historical tannery, *Applied Geochemistry*, Vol. 9, pp. 569-582.
- Eby, G.N. 2004. *Principles of Environmental Geochemistry*, Thomson Learning Academic Resource Center, 516p.
- EU. 1998. Council Directive 98/83/EC on the quality of water intended for human consumption. Adopted by the Council, on 3 November 1998. <http://www.lenntech.com/applications/drinking/standards/eu-s-drinking-water-standards.htm>.
- Josuma, G., et al. 1987. *Groundwater contamination: Use of models in decision-making*, Kluwer Academic Publisher, 178p.
- Langmuir, D. 1997. *Aqueous environmental geochemistry*, Prentice – Hall, 600p.
- Laws, E.A. 2000. *Aquatic pollution*, 3rd ed., John Wiley, 320p.
- Liu, D.H.E. and B.G., Liptak. 2000. *Groundwater and surface water pollution*, Lewis publishers, 280p.
- Nazari, M.M., et al. 1993. Urban ground-water pollution: a case study from Coventry, United Kingdom, *Groundwater*, vol. 31, pp. 417-424.
- Radojevic, M.V. & N., Bashkin. 1999. *Practical environmental analysis*, London: Royal Society of Chemistry, 520p.
- Raja, G. and P., Venkatesan .2010. Assessment of Groundwater Pollution and its Impact in and around Punnam Area of Karur District, Tamilnadu, India, *Journal Of Chemistry*, vol. 7, pp. 473-478.
- Shahid, S. 2000. A study of groundwater pollution vulnerability using drastic/GIS West Bengal, India, *Journal of environmental hydrology*, vol. 8, pp. 1-9.
- USEPA. 2009. List of drinking water contaminants and their MCLs. <http://www.Epa.gov/safewater/contaminants/index/html#listmcl>.
- WHO. 2008. *Guidelines for Drinking-water quality*, Third ed., Incorporating the first and second addenda, Volume 1: Recommendations, Geneva. 668p. [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/fulltext.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/fulltext.pdf).
- Xiangdong, L., et al. 2006. The study of metal contamination in urban soils of Hong Kong using a GIS-based approach, *Environmental pollution*, Vol. 129, pp. 113-124.