نشریه

ترویج و توسعه آبخیزداری
Extension and Development of Watershed Management

سال دهم- شماره ۳۹- زمستان ۱۴۰۱

Vol. 10, No. 39, Winter 2023

ارزیابی و پهنه‌بندی کیفیت منابع آب زیرزمینی با تأکید بر مصارف شرب، کشاورزی و صنعت در حوزه آبخیز کرمان‌باغین، استان کرمان

سید مسعود سلیمان‌پور*[۱]، سکینه لطفی‌نسب[۲]، امید رحمتی[۳]، محبوبه معتمدنیا[۴]

تاریخ دریافت ۱۴۰۱/۰۹/۲۱ تاریخ پذیرش ۱۴۰۱/۱۲/۲۳

DOR: 20.1001.1.26454777.1401.10.39.6.6

چکیده

آب‌های زیرزمینی یک منبع اساسی و حیاتی برای انسان در سراسر کره زمین است. به همین منظور حفظ کیفیت آب‌های زیرزمینی و پایش مداوم تغییرات کیفی آن به دنبال توسعه ناپایدار جوامع انسانی امری ضروری می‌باشد. پژوهش حاضر باهدف ارزیابی و پهنه‌بندی کیفیت منابع آب زیرزمینی با تأکید بر مصارف شرب، کشاورزی و صنعت در حوزه آبخیز کرمان‌باغین استان کرمان انجام‌شده است. اطلاعات کیفیت شیمیایی منابع آب زیرزمینی از ۱۸۲۵ نمونه چاه‌های عمیق، نیمه عمیق، چشمه‌ها و قنات طی دوره آماری ۱۷ ساله (۱۳۹۸-۱۳۸۱) دریافت شد. پارامترهای کیفی آب ازجمله کاتیون‌ها، آنیون‌ها، هدایت الکتریکی، مجموع املاح محلول، میزان اسیدیته آب، درصد سدیم، درصد سدیم جذبی، کربنات، نیترات، سولفات و کلر به تفکیک دوره‌های آماری ۸۷-۸۱، ۹۲-۸۸ و ۹۷-۹۳ تعیین شدند. درنهایت برای ارزیابی وضعیت کیفی آب و نوع مصرف منابع آب زیرزمینی ازلحاظ شرب، کشاورزی و صنعت، به ترتیب از نمودارهای شولر و ویلکاکس و شاخص‌های اشباع لانژلیه و پایداری رایزنر استفاده شد. نتایج کیفیت آب ازلحاظ شرب برای دوره‌های ۸۷-۱۳۸۱، ۹۲-۱۳۸۸ و ۹۷-۱۳۹۳ در طبقه‌ی قابل‌قبول شولر با بیش‌ترین میزان ۳۲/۰۹ درصد قرار گرفتند. مطابق نمودار ویلکاکس، در اکثر دوره‌های موردبررسی و منابع سنجش کیفیت در کلاس C3-S1 قرار دارد؛ به عبارتی، آب این محدوده دارای کیفیت متوسط بوده و برای کشاورزی قابل‌استفاده می‌باشد. کیفیت خیلی شور نامناسب با میزان ۵۲/۹۰ درصد بیش‌ترین میزان داشته است. ازلحاظ مصرف صنعتی بر اساس دو شاخص، نتایج متفاوت بوده؛ بر طبق شاخص اشباع لانژلیه، اکثر منابع آب زیرزمینی تمایل به رسوب‌گذاری با بیش‌ترین میزان ۵۲/۸۹ درصد دارند درحالی‌که شاخص پایداری رایزنر، منابع آبی را رسوب‌گذار با میزان ۹۷/۳۹ درصد ارزیابی کرده است. پایش تغییرات مکانی و زمانی کیفیت آب‌های زیرزمینی چشم‌انداز روشنی را به مدیران و متخصصان برای تحلیل روند کیفیت و خطر آلودگی منابع آب ارائه می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: ***تغییرات زمانی و مکانی، رسوب‌گذاری، شاخص‌های کیفی آب، کیفیت آب.***

مقدمه

آب‌های زیرزمینی منابعی ضروری برای تولید آب آشامیدنی است که اهمیت این منابع هم‌سطح منابع آب‌های سطحی برای ساکنان مناطق خشک و نیمه‌خشک کره زمین است [۲۳] که در صورت مدیریت عاقلانه، آب قابل‌اطمینان، ایمن و پایدار را برای نسل‌های آینده فراهم می‌کند [۳۹]؛ اما با توجه به رشد جمعیت و افزایش نیاز به مصرف منابع آب زیرزمینی به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین منابع آب در جهان، تلاش‌های فراوانی برای به‌کارگیری راهکارهای نوین برای دستیابی به مقدار مناسب آب و کیفیت مطلوب در زمینه‌های شرب، کشاورزی و صنعت به وجود آمده است [۳۵]. در مقیاس جهانی، سفره‌های آب زیرزمینی حدود ٦٥ درصد از آب را برای مصارف خانگی، ۲۰ درصد برای آبیاری، ۱۵ درصد برای صنعت و بسیاری از فعالیت‌های دیگر ازجمله تولید برق‌آبی تأمین می‌کنند [۱]. بارش کم و میزان تبخیر زیاد در مناطق خشک و نیمه‌خشک، شوری آب را افزایش می‌دهد و باعث افزایش سمیّت برخی مواد شیمیایی در آب‌های زیرزمینی می‌شود [۳۳]. بر اساس پژوهش‌های اخیر، حدود ۲/۱ میلیارد نفر به آب شیرین باکیفیت کافی دسترسی ندارند [۸]. امنیت آبی که مشخصات کیفی مندرج در استانداردهای مربوطه را برآورده می‌کند، در حال حاضر پایه و اساس عملیات

۱- دانشیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران. * نویسنده مسئول:
Email: m.soleimanpour@areeo.ac.ir

۲- استادیار بخش تحقیقات بیابان، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

۳- استادیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کردستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، سنندج، ایران.

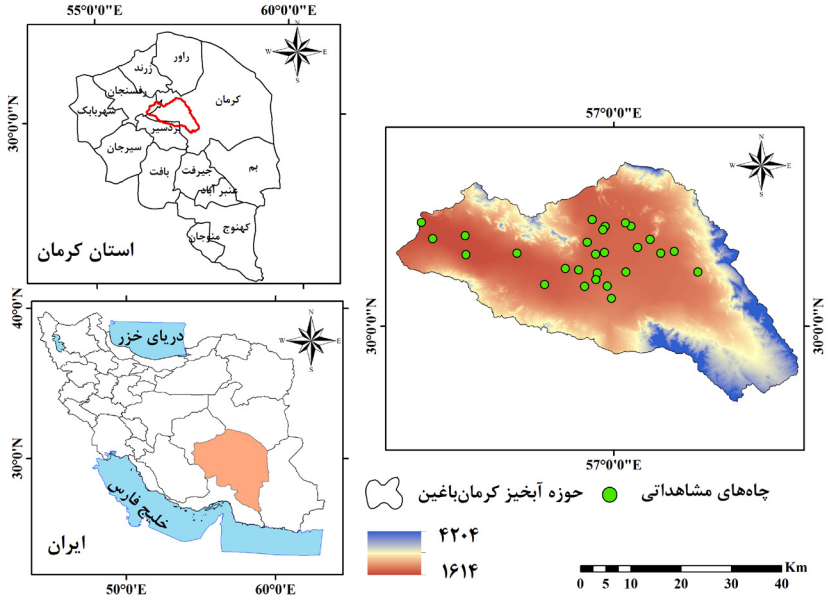
٤- دکتری تخصصی، اداره منابع طبیعی و آبخیزداری شهرستان بافق، استان یزد، ایران.

اکثر جوامع است [۲۸]. دراین‌بین، ایران جزو کشورهایی است که عمده مساحت آن در نواحی خشک و نیمه‌خشک قرارگرفته و با دارا بودن بارندگی متوسط حدود ۲۵۰ میلی‌متر با پراکنش زمانی و مکانی متفاوت جزء کشورهای کم آب جهان محسوب می‌شود. بخش کشاورزی حدود ۹۰ درصد آب استحصالی را مصرف می‌کند که ۸۰ درصد آن از منابع زیرزمینی تأمین می‌شود [۲۹]. آب‌های زیرزمینی، بخش مهمی از اکوسیستم قابل‌تجدید منابع آب می‌باشد که اتکای بیش‌ازحد بر این منابع در مناطق خشک همراه با برداشت‌های غیراصولی در کنار توسعه کارخانه‌ها و خشک‌سالی‌های اخیر باعث به خطر افتادن کمیت و کیفیت آن شده است [۲۷]. آب‌های زیرزمینی در برابر آلودگی آسیب‌پذیر هستند و بازیابی کیفیت اولیه پس از آلودگی بسیار دشوار است [۳۰]. کیفیت منابع آب زیرزمینی ازجمله خصوصیات فیزیکی و شیمیایی ثابت نبوده و تحت تأثیر شرایط محیطی و انسانی ازجمله زمین‌شناسی، آب‌وهوا، توپوگرافی، حجم برداشت و مجاورت با دریا، تخلیه فاضلاب، فعالیت‌های کشاورزی در طول زمان و مکان در حال تغییر است، بااین‌حال ویژگی‌های منطقه نقش مؤثری در توزیع مکانی کیفیت آب بر عهده دارد [۱۶، ۴۱ و ۴۲]. مدیریت مناسب مصرف آب زیرزمینی مستلزم داشتن دانش کافی از توزیع و گسترش آب‌های زیرزمینی شور و شیرین و تعیین فرآیندهای تأثیرگذار در سیر تکاملی آن است [۲۲].

کاهش کیفیت آب می‌تواند در بخش‌های شرب، کشاورزی و صنعت به‌صورت خوردگی و رسوب‌گذاری نمود بیش‌تری داشته باشد. شوری منابع آب‌وخاک از پدیده‌های آشکار پایین بودن کیفیت آب به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. عوامل متعددی می‌توانند بر شوری آب زیرزمین ازجمله عدم تغذیه مناسب، واکنش‌های بین آب و سنگ، مانند انحلال سنگ‌های تبخیری، پدیده تبادل یونی، نظیر وضعیت منطقه برداشت، اختلاط آب‌ها، مانند نفوذ آب‌شور دریا به آبخوان‌های ساحلی و آب‌های برگشتی کشاورزی اثر بگذارند [۴۰ و ۱۵]. خوردگی و رسوب‌گذاری آب درنتیجه عدم توجه به کیفیت شیمیایی آب، سبب ایجاد مشکلات بهره‌برداری و نگهداری تأسیسات آب به‌ویژه در منابع آب زیرزمینی می‌شود [۷]. به همین منظور پایش سامانه‌های توزیع آب امری ضروری قلمداد می‌شود. خوردگی یک پدیده فیزیکوشیمیایی است که تحت تأثیر عوامل متعددی ازجمله pH، دی‌اکسید کربن، سختی و قلیایت، درجه حرارت، سرعت آب، جامدات محلول، اکسیژن محلول و کلر باقیمانده، خستگی، تنش و برخورد (کاویتاسیون، فرسایش و سایش به‌وسیله ماسه‌ها) ایجاد می‌شود. رسوب‌گذاری نیز شامل ترکیب یون‌های فلزی دو ظرفیتی موجود در آب با عوامل سختی است. عمده‌ترین رسوبات شامل کربنات کلسیم، کربنات منیزیم، سولفات کلسیم و کلراید منیزیم می‌باشد [۲۵]. شاخص‌های اشباع لانژلیه[1] و پایداری رایزنر[2] برای بیان خورندگی و رسوب‌گذاری آب مطرح‌شده است. این شاخص‌ها درواقع تفاوت بین pH واقعی آب و pH اشباع‌شده توسط کربنات کلسیم را نشان می‌دهند [۹]. دیانتی‌تیلکی و محمودی [۱۱] به بررسی شاخص‌های اشباع لانژلیه و خورندگی منابع آب شرب برخی از شهرهای آمل، بابل، قائمشهر، ساری و نکا پرداختند. مطابق شاخص پایداری رایزنر ۷۶ درصد نمونه‌ها دارای خاصیت رسوب‌گذاری بوده و بر اساس شاخص اشباع لانژلیه ۸۱/۳ درصد از نمونه‌ها پتانسیل رسوب‌گذاری داشته است.

آگاهی از وضعیت تغییرات کیفیت آب زیرزمینی در برنامه‌ریزی و مدیریت پایدار منابع آب‌وخاک هر منطقه حائز اهمیت است. مطالعات فراوانی در راستای بررسی کیفیت آب ازنظر شرب، کشاورزی و صنعت انجام‌شده است [۲۱، ۳۱، ۳۸، ۳۲، ۳۹ و ۶]. که می‌توان به برخی از این مطالعات اشاره نمود. القاراوی و همکاران [۳]، با استفاده از بازتاب فرا طیفی و شاخص‌های کیفیت آب به ارزیابی کیفیت آب‌های زیرزمینی برای شرب در مناطق خشک، عربستان سعودی به مطالعه پرداختند. با توجه به نتایج شاخص‌های موردمطالعه مشخص شد که ۲/۵ درصد از نمونه‌های آب زیرزمینی به‌عنوان عالی، ۱۸ درصد خوب، ۲۸ درصد ضعیف، ۲۱/۵ درصد بسیار ضعیف و ۳۰ درصد نامناسب برای آشامیدن طبقه‌بندی شدند. تگه و همکاران [۳۹] به ارزیابی کیفیت آب‌های زیرزمینی برای شرب و آبیاری با استفاده از شاخص‌های مختلف در حوزه آبخیز گونابای اتیوپی پرداختند. یافته‌ها نشان داد که آب‌های زیرزمینی به دلیل استفاده بیش‌ازحد از کود در مناطق روستایی دارای سطوح نیترات بالاتری نسبت به حد مجاز استانداردهای WHO بوده است. دین‌پروژه و همکاران [۱۲]، در تحلیل روند تغییرات کیفیت آب زیرزمینی در دشت شبستر- صوفیان طی سال‌های آماری ۹۰-۱۳۷۷ نشان داد که در غالب ایستگاه‌های مربوط به چاه عمیق، متغیرهای کیفی روند افزایشی و در قنات‌ها غالب متغیرها روند کاهشی معنی‌دار و در برخی موارد روند افزایشی (فاقد معنی‌دار) داشته است. علاوه بر آن در دوره‌های پرآبی و کم‌آبی نیز کیفیت آب تغییر کرده است. اسمعیلی و همکاران [۱۴]، عوامل مؤثر بر کیفیت شیمیایی آب زیرزمینی دشت قره ضیاالدین، استان آذربایجان غربی را موردمطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که نفوذ آب‌شور برگشتی حاصل از کشاورزی، تعویض کاتیونی، هوازدگی و انحلال سنگ‌ها و کانی‌ها به‌ویژه کربنات‌ها، سیلیکات‌ها، ژیپس و هالیت و فرایند تبخیر به میزان اندک از عوامل مؤثر بر کیفیت شیمیایی آب زیرزمینی منطقه بوده است. معتمدراد و همکاران [۲۶]، در ارزیابی کیفیت منابع آبی ازنظر شرب، کشاورزی و صنعت در آبخوان کارستی روئین اسفراین استان خراسان شمالی نشان دادند که مطابق نمودار شولر، بیش‌تر آب چشمه‌های منطقه در رده خوب برای شرب قرارگرفته است. بر اساس نمودار ویلکاکس تنها برخی از چشمه‌ها دارای آب‌شور ولی قابل‌استفاده برای بخش کشاورزی است. همه چشمه‌های موردمطالعه دارای خاصیت رسوب‌گذاری و خورندگی بوده است.

1. Langelier saturation index
2. Reisner Sustainability Index



شکل ۱: موقعیت حوزه آبخیز کرمان‌باغین در استان کرمان و ایران

جمع‌بندی سوابق پژوهش‌ها نشان می‌دهد که با توجه به‌ضرورت و وابستگی به منابع آبی، تهیه اطلس کیفی آب به‌منظور ارائه راهکارهای مدیریتی امری لازم و ضروری است. بااین‌حال، حوزه آبخیز کرمان‌باغین یکی از پرجمعیت‌ترین و توسعه‌یافته‌ترین محدوده‌های استان کرمان می‌باشد که با توجه به وجود صنایع آب‌خواه نظیر کارخانه سیمان، روغن نباتی، صنایع آبزیست کرمانیت، لاستیک بارز، نیروگاه و غیره نیاز به استفاده از منابع آبی در کنار نیاز آب در بخش شرب و کشاورزی دوچندان شده است. به‌همین منظور، پژوهش حاضر باهدف ارزیابی و پهنه‌بندی کیفیت منابع آب زیرزمینی با تأکید بر مصارف شرب، کشاورزی و صنعت در حوزه آبخیز کرمان‌باغین استان کرمان انجام‌شده است. نتایج این پژوهش می‌تواند یافته‌های ارزشمندی از وضعیت کیفیت منابع آب زیرزمینی را به‌منظور استفاده صحیح از این ذخایر ارزشمند در اختیار مدیران و سیاست‌مداران حوزه آبخیز کرمان‌باغین و سایر حوضه‌های مشابه قرار دهد.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه موردمطالعه

حوزه آبخیز کرمان‌باغین در محدوده طول جغرافیایی ۵۷ درجه و ۳۶ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۱۳ دقیقه واقع‌شده است. مساحت و متوسط ارتفاع این محدوده به ترتیب حدود۶۸ /۵۴۰۳ کیلومترمربع و ۲۰۷۲/۰۷ متر می‌باشد. متوسط بارش و دما نیز برابر با ۱۰۴/۳ میلی‌متر و ۱۶/۵ درجه سانتی‌گراد و دارای آب‌وهوای خشک و بیابانی است. منطقه دارای شیب آرام از جنوب و جنوب‌شرق به سمت شمال و شمال شرق است و توسط رشته‌کوه‌های مختلفی احاطه‌شده است. نمایی از منطقه موردمطالعه در شکل ۱ ارائه‌شده است.

روش پژوهش

جمع‌آوری داده‌های آماری

به‌منظور بررسی کیفیت منابع آب زیرزمینی با تأکید بر مصارف شرب، آبیاری و صنعت از داده‌های آب زیرزمینی استفاده‌شده است. به همین منظور اطلاعات کیفیت شیمیایی منابع آب زیرزمینی ۱۸۲۵ نمونه شامل چاه‌های عمیق، نیمه عمیق، چشمه‌ها و قنات از سازمان تحقیقات منابع آب ایران (تماب) و سازمان آب منطقه‌ای استان کرمان اخذ شد. با توجه به تازه تأسیس بودن ایستگاه‌ها و وجود نقص آماری در بعضی سال‌ها، درنهایت دوره مشترک آماری ۱۷ ساله از سال آبی ۸۲-۱۳۸۱ تا سال آبی ۹۸-۱۳۹۷ برای این پژوهش در نظر گرفته شد. آزمون نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون آماری کلموگروف – اسمیرنوف انجام شد

پارامترهای فیزیکوشیمیایی

پارامترهای کیفی آب ازجمله کاتیون‌ها (کلسیم (Ca)، منیزیم (Mg)، سدیم (Na) و پتاسیم (K))، آنیون‌ها (کلر (Cl)، سولفات (SO4)، نیترات، کربنات، بی‌کربنات (HCO3) و کربنات)، هدایت الکتریکی (EC)، مجموع املاح محلول[1]، میزان اسیدیته آب (pH)، درصد سدیم، درصد سدیم جذبی[2]، کربنات، نیترات، سولفات و کلر به تفکیک دوره‌های آماری ۸۷-۸۱، ۹۲-۸۸ و ۹۷-۹۳ تعیین شد.

بررسی وضعیت کیفی و نوع مصرف منابع آب زیرزمینی

در راستای بررسی وضعیت کیفی آب و نوع مصرف منابع آب زیرزمینی ازلحاظ شرب، کشاورزی در محدوده مطالعاتی کرمان‌باغین از نمودارهای هیدروشیمیایی شولر و ویلکاکس استفاده شد [۵].

1. Total Dissolved Solutes
2. Sodium Absorbed Rate

جدول ۱: مقادیر متوسط سالانه‌ی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی حوزه آبخیز کرمان‌باغین به تفکیک سال

سال آماری	EC (µs/cm)	TDS (mg/l)	pH	SAR	Na%	Th (mg/l)	Na (meq/l)	Ca (meq/l)	Mg (meq/l)	k (meq/l)	HCo3 (meq/l)	Co3 (meq/l)	Cl (meq/l)	So4 (meq/l)
۱۳۸۱-۸۲	۲۲۱۷/٤٤	۱٤۲٥/۹۷	۷/٦۲	٥/٤۷	٤۸/۹۸	٥۰۰/۱٦	۱٤/٤۲	۳/٤	٦/۳٥	۰/۰۰	٤/۳۲	۰/۰۰	۱۲/٤۸	۷/٦۰
۱۳۸۲-۸۳	۲٦٦۲/٦۳	۱۷۰٤/۸۲	۷/٦۳	٦/۲۳	٤۹/۱۳	٦۰۰/۹۰	۱۷/۲۹	٤/۹۰	۷/۲۱	۰/۰۰	٤/۳۸	۰/۰۰	۱٦/٤۱	۸/٦۰
۱۳۸۳-۸٤	۲٤۱۰/۰٥	۱٥٦٦/۷۰	۷/٦۹	٥/۸٤	٤۹/۹۷	٥۱٦/۱۰	۱٥/٤۹	٤/۱٥	٦/۲٥	۰/۰۰	۳/۹٤	۰/۰۰	۱۳/۹۱	۸/۰٥
۱۳۸٤-۸٥	۲۱۳٦/۷٤	۱۳۸٤/۷۲	۷/٦۳	٤/٦۱	٤٤/۲۹	٥۲۳/٤۷	۱۲/۹۸	٤/٤٥	٦/۱۰	۰/۰۰	٤/٥۰	۰/۰۰	۱۱/۹٥	٤/۰۹
۱۳۸٥-۸٦	۲۲۱۷/۳٦	۱٤٤۱/٤۰	۷/٦٤	٥/۳٤	٤۸/٦۰	٥۰۱/۹۸	۱۳/۷٦	٤/۳۸	٥/۷۳	۰/۰۰	۳/۸۳	۰/۰۰	۱۳/۱۳	٦/۹۱
۱۳۸٦-۸۷	۲۲٥٥/۸۱	۱٤٦٦/٤۱	۷/۷۰	٥/۷۷	٥۱/۹٤	٤۹٥/۹۰	۱٤/۲۲	٤/۷٦	٥/۲۳	۰/۰۰	۳/٦۲	۰/۰۰	۱۳/۰۸	۷/٥۰
۱۳۸۷-۸۸	۲۳٦۸/٦۸	۱٥۳۹/۷۷	۷/٦٦	٥/٦٤	٤۹/۸۷	٥٤۱/۱٦	۱٥/۲٤	٤/٦۸	٦/۲۲	۰/۰۰	۳/۹۷	۰/۰۰	۱۳/۸۹	۸/۲۹
۱۳۸۸-۸۹	۲٤٤٤/۳۱	۱٥۸۸/۹۰	۷/٤۸	٥/۷۱	٥۰/۱۸	٥٤٤/۱۷	۱٥/٦۳	٤/۷٦	٦/۲۰	۰/۰۰	٤/۳٦	۰/۰۰	۱٤/۳۳	۷/۹۰
۱۳۸۹-۹۰	۲۳۱۳/۱۷	۱٥۰۳/۷۰	۷/۸۲	٥/۷۸	٥۰/٤۹	٥٤۱/۹٦	۱٥/۱۱	٥/۰۷	٥/۳۰	۰/۰۰	٤/۱۰	۰/۰۰	۱۳/٥۳	۷/۸۱
۱۳۹۰-۹۱	۲۲٦٥/۰٥	۱٤۹۷/۹۳	۷/۷٥	٥/۲۱	٤٦/٥۹	٥۲۱/٥۰	۱٤/۳٥	٤/۸۸	٥/٦۲	۰/۰۰	٤/۱۸	۰/۰۰	۱۳/٦۸	۷/۰۳
۱۳۹۱-۹۲	۲۲۷۰/٦٦	۱٥٤۱/۰۱	۷/٤٥	٥/٦۸	٤۹/٥۱	٥۰٤/۰۷	۱٥/۰۸	٤/۷۷	٥/۳۸	۰/۰۰	۳/۹۱	۰/۰۰	۱٤/۰۱	۷/۳٥
۱۳۹۲-۹۳	۲۲٦۸/٥۱	۱٤۷٤/٦٤	۷/٦۱	٥/۳۸	٤۷/٥۱	٥۰٥/۷۲	۱٤/٥۱	٤/۸۲	٥/۳۷	۰/۰۰	۳/۸۲	۰/۰۰	۱۳/٥۹	۷/۳۰
۱۳۹۳-۹٤	۲۲۲٦/٤۲	۱٤۷٤/۲۳	۷/٥۰	٥/۲۲	٤۷/۰٥	٥۱۲/۱۷	۱٤/۱۹	٤/۸۰	٥/٥۲	۰/۰۰	٤/۱۱	۰/۰۰	۱۳/٥٦	٦/۸٤
۱۳۹٤-۹٥	۲۲۷۳/۸۹	۱٤۷۸/۱٤	۷/۸۲	٥/٤۱	٤۷/٥۲	٥۰۸/۱٤	۱٤/٦۷	٤/۹۷	٥/۲٦	۰/۰۰	٤/۰۸	۰/۰۰	۱٤/۰۱	٦/۸۰
۱۳۹٥-۹٦	۲۲٤۹/۳۰	۱٤٦۲/۱۷	۸/۰۰	٥/۳۳	٤۸/۹۲	٥۰۳/۹۹	۱٤/۱۳	٤/۷۰	٥/٤٥	۰/۰۰	٤/۲۱	۰/۰۰	۱۳/۰٦	۷/۰۰
۱۳۹٦-۹۷	۲۳٤۲/۱۰	۱٥۲۲/٥۰	۷/۲٤	٥/۷۰	٥۰/٤٤	٤۹٤/۸٥	۱٥/۱۲	٤/۹۸	٤/۹۹	۰/۰۰	٤/۱۱	۰/۰۰	۱۳/٤٦	۷/٤۹
۱۳۹۷-۹۸	۲۲٦۲/٦۳	۱٥۳۹/۸۹	۷/۲۷	٥/۹٤	٥۱/۰۳	٥۰۷/۳٥	۱٥/۷٥	٥/۳٦	٤/۸٥	۰/۰۰	٤/۰۲	۰/۰۰	۱٤/۱۲	۷/۷۸

نمودار شولر مقادیر کاتیون‌های سدیم، پتاسیم، منیزیم و کلسیم و آنیون‌های کلر، سولفات و بی‌کربنات و نیز درجه سختی آب را نشان می‌دهد. نمودار ویلکاکس نیز طبقات کیفی آب ازنظر کشاورزی را در طبقات مختلف ازلحاظ آب‌های خیلی خوب، خوب، متوسط و نامناسب برای زراعت بیان می‌کند [۳٤ و ۲۰]. علاوه بر آن، در بخش صنعت نیز به‌منظور تعیین خاصیت خوردگی و رسوب‌گذار بودن منابع آب از شاخص‌های اشباع لانژلیه و پایداری رایزنر استفاده شد. بر اساس شاخص لانژلیه اگر مقدار شاخص منفی باشد، آب خورنده تلقی می‌شود و مقادیر مثبت مبین خاصیت رسوب‌گذاری بوده و چنانچه برابر صفر باشد پایدار محسوب می‌شود. فرمول شاخص لانژلیه بر اساس رابطه‌های (۱) و (۲) می‌باشد؛

$$LSI=pH-pHs \quad (1)$$

$$PHs=(9.3+A+B)-(C+D) \quad (2)$$

در رابطه فوق C، B، A و D به ترتیب ضرایب مربوط به TDS برحسب میلی‌گرم در لیتر، درجه حرارت برحسب سانتی‌گراد، سختی کلسیم برحسب میلی‌گرم در لیتر کربنات کلسیم و قلیایت کل برحسب میلی‌گرم در لیتر کربنات کلسیم می‌باشند. به‌منظور محاسبه شاخص پایداری رایزنر (RSI) از رابطه (۳) استفاده می‌گردد.

$$RSI=2pHs-pH \quad (3)$$

مطابق شاخص پایداری رایزنر، اگر مقدار شاخص محاسبه‌شده بزرگ‌تر از هفت باشد آب خورنده و چنانچه کوچک‌تر از شش باشد آب رسوب‌گذار و در محدوده ۷-٦ پایدار تلقی می‌شود.

درنهایت تحلیل تغییرات مکانی و زمانی ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی آب زیرزمینی در بخش‌های شرب، کشاورزی و صنعت با استفاده از روش کریجینگ[1] انجام شد [۱۷]. دلیل استفاده از این روش آن بود که در عمده پژوهش‌ها از روش کریجینگ به‌منظور برآورد کیفیت آب زیرزمینی استفاده‌شده است [۲].

نتایج

تعیین وضعیت پارامترهای فیزیکوشیمیایی

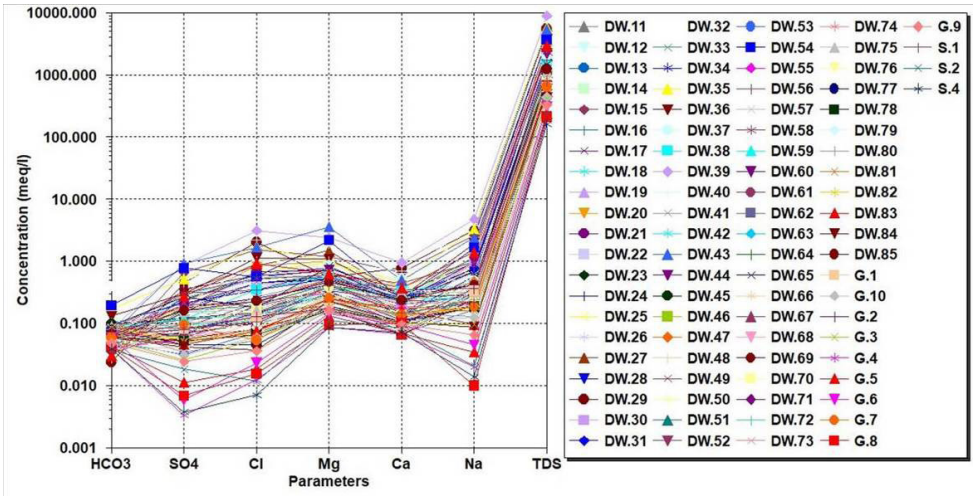
نتایج پارامترهای کیفی آب در جدول ۱ برای طول دوره آماری ۱۷ ساله ارائه‌شده است. مطابق با این نتایج در طول سال‌های موردمطالعه تغییرات چشم‌گیری در وضعیت پارامترهای فیزیکوشیمیایی دیده‌شده است. بیش‌ترین میزان این تغییرات در سال آبی ۸۳-۱۳۸۲ بوده است.

طبقه‌بندی منابع آب زیرزمینی ازنظر شرب

نتایج کیفیت منابع آب زیرزمینی ازلحاظ شرب در حوزه آبخیز کرمان‌باغین برای دوره‌های ۸۷-۱۳۸۱، ۹۲-۱۳۸۸ و ۹۷-۱۳۹۳، در جداول ۲ تا ٤ و شکل‌های ۲ تا ٤ ارائه‌شده است. درصد هر یک از کلاس‌های طبقه‌بندی شولر برای مصارف شرب در دوره‌های موردمطالعه نشان می‌دهد که وضعیت ویژگی‌های PH، Na، Cl و So^4 در طبقه خوب، TDS در وضعیت قابل‌قبول و TH متوسط قرارگرفته است. درنهایت می‌توان اذعان کرد که کیفیت آب شرب منابع آبی زیرزمینی موجود، در طبقه‌ی قابل‌قبول شولر قرارگرفته است (جدول ۸). نقشه‌های پهنه‌بندی نشان می‌دهد که در منطقه موردمطالعه کیفیت شرب منابع آب زیرزمینی در طبقات خوب، قابل‌قبول، متوسط، نامناسب، کاملاً نامطبوع و غیرقابل‌شرب قرار

1. Kriging

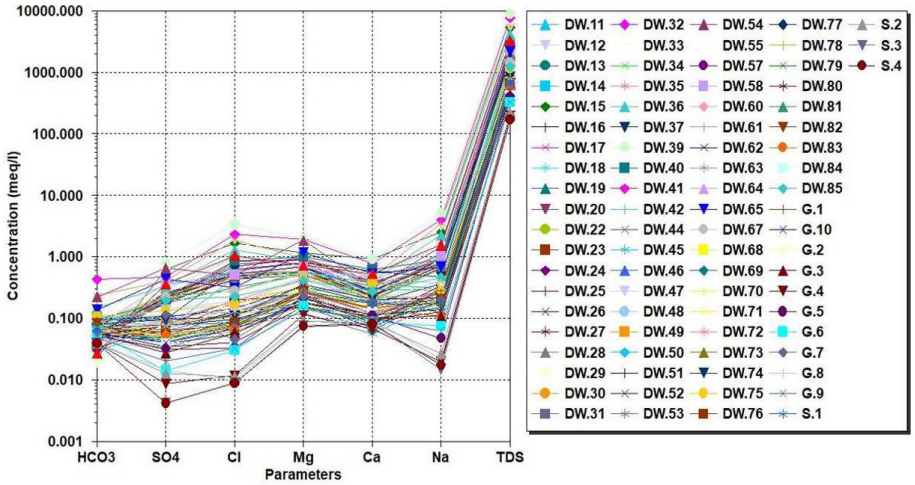
داشته است. کیفیت شرب قابل‌قبول در سال‌های مختلف در کل منطقه بیش‌ترین مساحت را داشته است. وسعت کیفیت قابل‌قبول با گذر زمان در دوره‌های ۸۷-۱۳۸۱، ۹۲-۱۳۸۸ و ۹۷-۱۳۹۳ افزایش‌یافته است، ولی در سال ۹۲-۱۳۸۸ بیش‌ترین میزان وسعت را با میزان ۳۲/٦٦ درصد داشته است. کیفیت شرب قابل‌قبول عمدتاً در بخش‌های شرقی و جنوب شرقی منطقه قرار دارد. وضعیت کیفیت کاملاً نامطلوب با گذر زمان از ۲۷/۳۷ به ۲۲/٤٤ درصد کاهش‌یافته است و به دنبال آن وضعیت کیفیت خوب از ۱/۲۵ تا ۲/۱۲ درصد و نامناسب ۲۳/۱۹ تا ۲۷/٤۵ درصد افزایش پیداکرده است. وضعیت غیرقابل‌شرب نیز در طول سال‌ها تغییرات ناچیزی داشته و عمدتاً در بخش‌های شمالی منطقه واقع‌شده است (شکل ۸).



شکل ۲: نمودار کیفیت آب شرب شولر در حوزه آبخیز کرمان‌باغین در دوره‌ی آماری ۸۷-۱۳۸۱

جدول ۲: درصد هر یک از کلاس‌های طبقه‌بندی شولر برای مصارف شرب در حوزه آبخیز کرمان‌باغین در دوره‌ی آماری ۸۷-۱۳۸۱

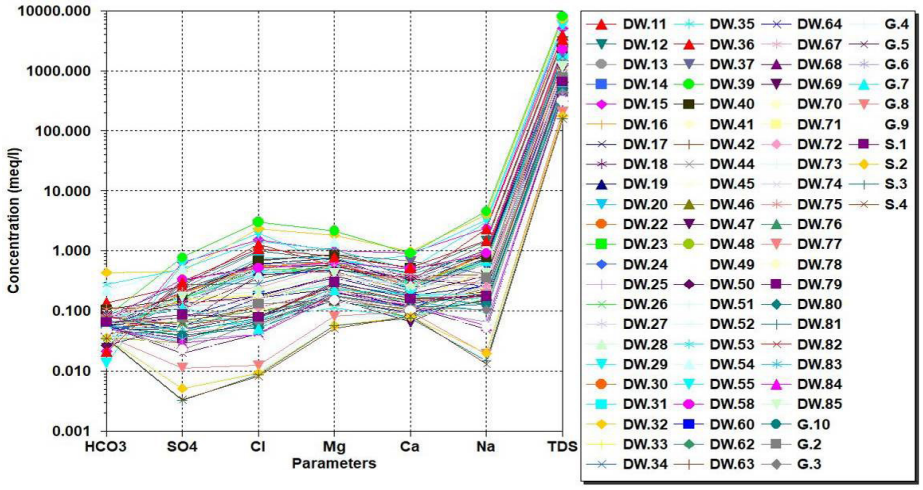
طبقه‌بندی آب	TDS	TH	PH	Na	Cl	So⁴
خوب	۱۲/۵	۲٦/۱٤	۷۰/٤۵	۲۹/۵۵	٤۳/۱۸	۲۸/٤۱
قابل‌قبول	۳۸/٦٤	۲۹/۵۵	۱۱/۳٦	۲۹/۵۵	۱۸/۱۸	۲۵
متوسط	۲٦/۱٤	۳۲/۹۵	۱۳/٦٤	۱۳/٦٤	۱٤/۷۷	۲٦/۱٤
نامناسب	۱۵/۹۱	۹/۰۹	۳/٤۱	۱۹/۳۲	۱۵/۹۱	۱٤/۷۷
کاملاً نامطبوع	۵/٦۸	۲/۲۷	۱/۱٤	۵/٦۸	٦/۸۲	۵/٦۸
غیرقابل‌شرب	۱/۱٤	۰	۰	۰	۱/۱٤	۰



شکل ۳: نمودار کیفیت آب شرب شولر در حوزه آبخیز کرمان‌باغین در دوره‌ی آماری ۹۲-۱۳۸۸

جدول ۳: درصد هر یک از کلاس‌های طبقه‌بندی شولر برای مصارف شرب در حوزه آبخیز کرمان‌باغین در دوره‌ی آماری ۹۲-۱۳۸۸

طبقه‌بندی آب	TDS	TH	PH	Na	Cl	So4
خوب	۱۲/۵	۲۶/۱٤	۷۰/٤۵	۲۹/۵۵	٤۳/۱۸	۲۸/٤۱
قابل‌قبول	۳۸/٦٤	۲۹/۵۵	۱۱/۳٦	۲۹/۵۵	۱۸/۱۸	۲۵
متوسط	۲٦/۱٤	۳۲/۹۵	۱۳/٦٤	۱۳/٦٤	۱٤/۷۷	۲٦/۱٤
نامناسب	۱۵/۹۱	۹/۰۹	۳/٤۱	۱۹/۳۲	۱۵/۹۱	۱٤/۷۷
کاملاً نامطبوع	۵/٦۸	۲/۲۷	۱/۱٤	۵/٦۸	٦/۸۲	۵/٦۸
غیرقابل‌شرب	۱/۱٤	۰	۰	۰	۱/۱٤	۰



شکل ٤: نمودار کیفیت آب شرب شولر در حوزه آبخیز کرمان‌باغین در دوره‌ی آماری ۹۷-۱۳۹۳

جدول ٤: درصد هر یک از کلاس‌های طبقه‌بندی شولر برای مصارف شرب در حوزه آبخیز کرمان‌باغین در دوره‌ی آماری ۹۷-۱۳۹۳

طبقه‌بندی آب	TDS	TH	PH	Na	Cl	So4
خوب	۱۸/۹۹	۳۰/۳۸	٦۸/۳۵	۳۵/٤٤	٤٦/۸٤	۳۷/۹۷
قابل‌قبول	۳۲/۹۱	۲۷/۸۵	۲۱/۵۲	۲٦/۵۸	۱۲/٦٦	۱٦/٤٦
متوسط	۲۲/۷۸	۳۰/۳۸	٦/۳۳	۱۵/۱۹	۲۰/۲۵	۳۰/۳۸
نامناسب	۱۸/۹۹	۸/۸٦	۱/۲۷	۱۵/۱۹	۱۲/٦٦	٦/۸٦
کاملاً نامطبوع	۵/۰٦	۲/۵۳	۱/۲۷	۵/۰٦	۵/۰٦	٦/۳۳
غیرقابل‌شرب	۱/۲۷	۰	۱/۲٦	۰	۲/۵۳	۰

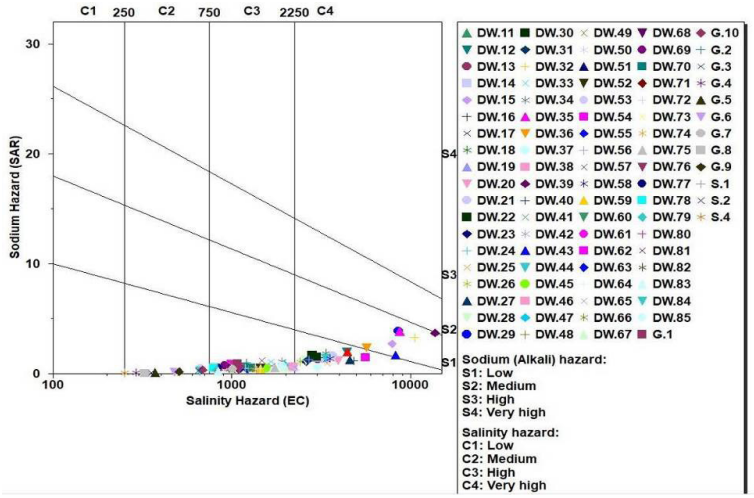
طبقه‌بندی منابع آب زیرزمینی ازنظر کشاورزی

کیفیت منابع آب زیرزمینی در حوزه آبخیز کرمان‌باغین بر اساس نمودار ویلکاکس مورد ارزیابی قرار گرفت. جدول‌های ۵ تا ۷ و شکل‌های ۵ تا ۷، نتایج کیفیت آب آبیاری را برای دوره‌های ۸۷-۱۳۸۱، ۹۲-۱۳۸۸ و ۹۷-۱۳۹۳ به تفکیک نوع منبع سنجش و دوره‌های مختلف زمانی و بر اساس طبقه‌بندی ویلکاکس، درصد سدیم محلول (%Na) و کربنات کلسیم باقی‌مانده (RSC) را نشان می‌دهند. همان‌گونه که این جدول‌ها نشان می‌دهند در اکثر دوره‌های موردبررسی و منابع سنجش کیفیت، آب با مقادیر ٤۳/۱۸، ٤۳/۱۸ و ۳۷/۹۷ درصد در کلاس C3-S1 ازنظر طبقه‌بندی ویلکاکس قرار داشته‌اند؛ به عبارتی، آب این محدوده دارای کیفیت متوسط بوده و برای کشاورزی قابل‌استفاده می‌باشد (جدول ۸). نقشه‌های پهنه‌بندی نشان می‌دهد که در منطقه موردمطالعه کیفیت منابع آب زیرزمینی ازلحاظ کشاورزی در طبقات کمی شور-مناسب، شور-قابل استفاده و خیلی شور-نامناسب قرار داشته است. کیفیت خیلی شور-نامناسب در سال‌های مختلف در کل منطقه بیش‌ترین مساحت را داشته است. وسعت کیفیت خیلی شور-نامناسب در سال‌های ۸۷-۱۳۸۱ تا ۹۲-۱۳۸۸ از ۵۲/۷۸ تا ۵۳/۸٤ درصد افزایش‌یافته است ولی در سال ۹۷-

۱۳۹۳ به مقدار ۵۲/۰۹ درصد کاهش پیداکرده است. کیفیت خیلی شور-نامناسب عمدتاً در بخش مرکزی به سمت غربی و شمال غربی منطقه گسترده پیدا کرده است. کیفیت شور-قابل استفاده بعد از کیفیت خیلی شور- نامناسب بیش‌ترین وسعت را در منطقه دارد و در سال‌های ۸۷-۱۳۸۱ تا ۹۲-۱۳۸۸ از ٤٥/٠٤ تا ٤٥/٦١ درصد افزایش‌یافته است ولی در سال ۹۷-۱۳۹۳ به مقدار ٤۳/٤٠ درصد کاهش پیداکرده است. کیفیت شور- قابل‌استفاده عمدتاً در بخش مرکزی به سمت شرقی و شمال شرقی منطقه گسترده پیدا کرده است. بااین‌حال وضعیت کمی شور-مناسب در سال‌های ۸۷-۱۳۸۱ تا ۹۲-۱۳۸۸ از ۲/۱۷ به ۰/۵۳ درصد کاهش‌یافته است ولی در سال ۹۷-۱۳۹۳ به مقدار ٤/٤۹ درصد افزایش پیداکرده است (شکل ۹).

جدول ۵: درصد هر یک از کلاس‌های طبقه‌بندی ویلکاکس برای مصارف کشاورزی در حوزه آبخیز کرمان‌باغین در دوره‌ی آماری ۸۷-۱۳۸۱

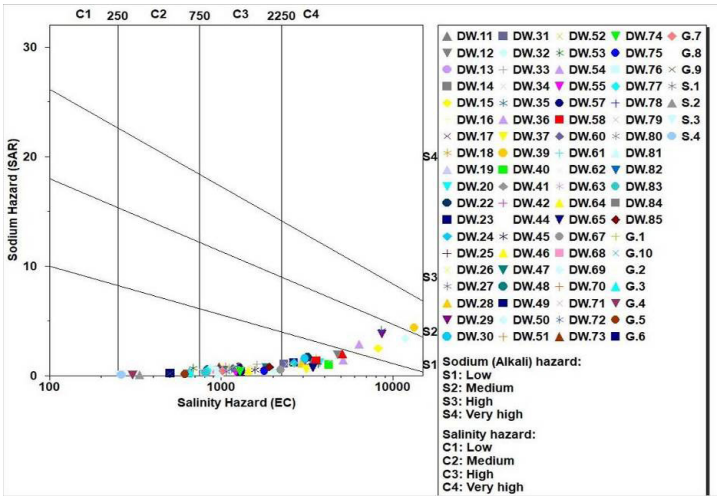
C4				C3				C2				C1			
S4	S3	S2	S1	S4	S3	S2	S1	S4	S3	S2	S1	S4	S3	S2	S1
۱۰/۲۳	١٤/٧٧	١١/٣٦	١/١٤	۰	۰	٦/٨٢	٤٣/١٨	۰	۰	۰	١٢/٥	۰	۰	۰	۰



شکل ۵: طبقه‌بندی آب آبیاری بر اساس نمودار ویلکاکس در حوزه آبخیز کرمان‌باغین در دوره‌ی آماری ۸۷-۱۳۸۱

جدول ٦: درصد هر یک از کلاس‌های طبقه‌بندی ویلکاکس برای مصارف کشاورزی در حوزه آبخیز کرمان‌باغین در دوره‌ی آماری ۹۲-۱۳۸۸

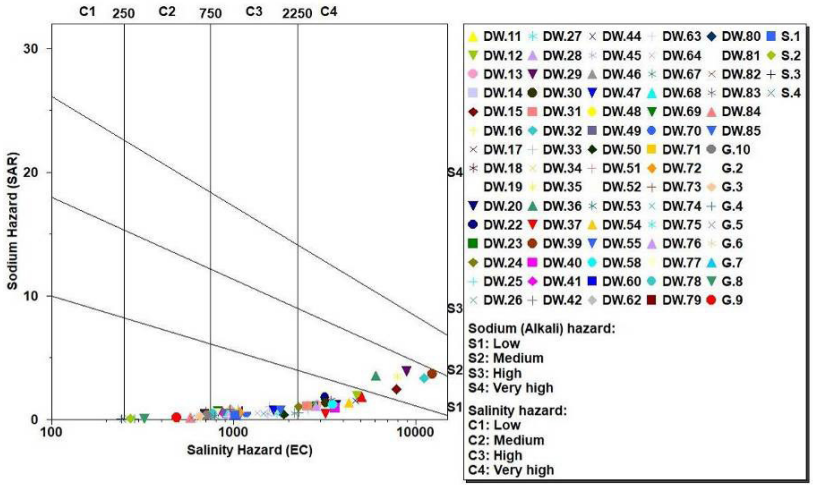
C4				C3				C2				C1			
S4	S3	S2	S1	S4	S3	S2	S1	S4	S3	S2	S1	S4	S3	S2	S1
۱۰/۲۳	١٤/٧٧	١١/٣٦	١/١٤	۰	۰	٦/٨٢	٤٣/١٨	۰	۰	۰	١٢/٥	۰	۰	۰	۰



شکل ٦: طبقه‌بندی آب آبیاری بر اساس نمودار ویلکاکس در حوزه آبخیز کرمان‌باغین در دوره‌ی آماری ۹۲-۱۳۸۸

جدول ۷: درصد هر یک از کلاس‌های طبقه‌بندی ویلکاکس برای مصارف کشاورزی در حوزه آبخیز کرمان‌باغین در دوره‌ی آماری ۹۷-۱۳۹۳

C4				C3				C2				C1			
S4	S3	S2	S1	S4	S3	S2	S1	S4	S3	S2	S1	S4	S3	S2	S1
۸/۸٦	۷/۵۹	۱۸/۹۹	۲/۵۳	۰	۰	۳/۸	۳۷/۹۷	۰	۰	۰	۱٦/٤٦	۰	۰	۰	۲/۵۳



شکل ۷: طبقه‌بندی آب آبیاری بر اساس نمودار ویلکاکس در حوزه آبخیز کرمان‌باغین در دوره‌ی آماری ۹۷-۱۳۹۳

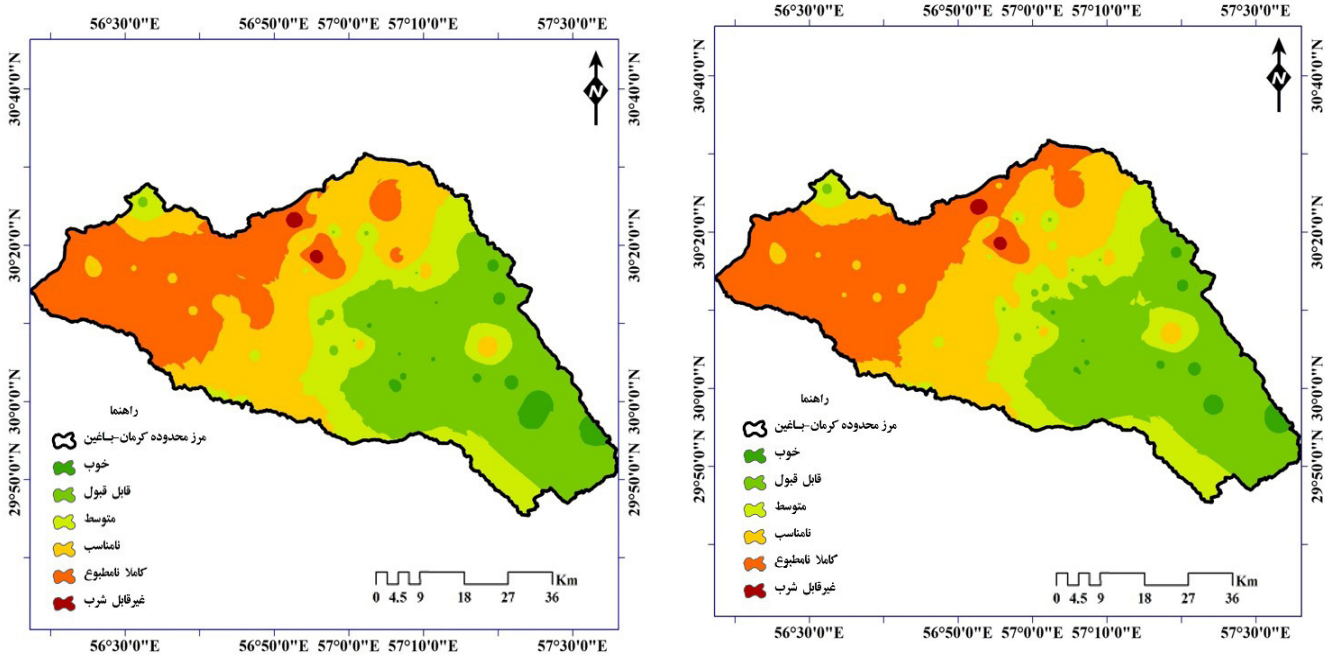
طبقه‌بندی منابع آب زیرزمینی ازنظر صنعت

نتایج ارزیابی کیفیت منابع آب زیرزمینی برای مصارف در حوزه آبخیز کرمان‌باغین برای دوره‌های آماری ۸۷-۱۳۸۱، ۹۲-۱۳۸۸ و ۹۷-۱۳۹۳ نشان داد بر طبق شاخص اشباع لانژلیه، در بازه‌ی زمانی اول (۸۷-۱۳۸۱)، ۷۸/٤ درصد منابع موجود رسوب‌گذار، ۱۹/۳ درصد خورنده و ۲ درصد دارای وضعیت متعادل بوده است. در بازه‌ی زمانی دوم (۹۲-۱۳۸۸)، منابع آبی با خاصیت متعادل وجود ندارد و ۱۸ و ۸۱ درصد به ترتیب خورنده و رسوب‌گذار می‌باشند. در بازه‌ی زمانی سوم (۹۷-۱۳۹۳)، نیز تعداد منابع متمایل به رسوب‌گذار نسبت به خورنده بیش‌تر بوده به‌طوری‌که در این دوره، ۷۵ درصد منابع رسوب‌گذار و ۲۵ درصد خورنده می‌باشند. کیفیت منابع آب زیرزمینی در حوزه آبخیز کرمان‌باغین بر طبق شاخص پایداری رایزنر نشان داد طی بازه‌ی زمانی اول، منابع خورنده بیش‌ترین فراوانی را نسبت به وضعیت پایدار و رسوب‌گذار دارند. به‌طوری‌که در این دوره ٤۷ درصد منابع آبی خورنده، ۳۱/۸ درصد رسوب‌گذار و ۲۰ درصد نیز دارای وضعیت پایدار می‌باشند. وضعیت منابع آب در بازه‌ی زمانی دوم (۹۷-۱۳۹۳) تقریباً مشابه بازه‌ی زمانی اول می‌باشد با این تفاوت که تعداد منابع پایدار کاسته شده است. در این دوره ۵۰ درصد منابع خاصیت خورنده، ۳۲ درصد رسوب‌گذار و ۱٦/۸ درصد نیز در وضعیت پایدار قرار دارند. در بازه‌ی زمانی سوم نیز منابع خورنده ٤۸ درصد، ۳۲/۹ درصد رسوب‌گذار و ۱۸/۹ درصد نیز منابع دارای وضعیت پایدار می‌باشند. به‌طورکلی نتایج ارزیابی کیفیت منابع آب زیرزمینی در حوزه آبخیز کرمان‌باغین نشان داد کیفیت آب به‌منظور مصرف صنعتی بر اساس دو شاخص متفاوت بوده؛ به‌طوری‌که بر طبق شاخص اشباع لانژلیه، اکثر منابع آب‌های زیرزمینی تمایل به رسوب‌گذاری دارند درحالی‌که شاخص پایداری رایزنر، منابع آبی را خورنده ارزیابی کرده است (جدول ۸). نقشه‌های پهنه‌بندی نشان می‌دهد که عمده مساحت منطقه موردمطالعه ازنظر صنعت و شاخص اشباع لانژلیه در وضعیت رسوب‌گذار قرار داد و فقط لکه‌های کوچکی از وضعیت خورنده در حوزه آبخیز مشاهده‌شده است. نقشه‌های پهنه‌بندی نشان می‌دهد که در منطقه موردمطالعه کیفیت منابع آب زیرزمینی ازلحاظ صنعت مطابق شاخص اشباع لانژلیه در طبقات خورنده، رسوب‌گذار و پایدار قرار داشته است. وضعیت رسوب‌گذار در سال‌های مختلف در کل منطقه بیش‌ترین مساحت را داشته است. وسعت وضعیت رسوب‌گذار در دوره‌های ۸۷-۱۳۸۱، ۹۲-۱۳۸۸ و ۹۷-۱۳۹۳ از ۵۵/۷۲ به ٤۸/۰٦ درصد کاهش‌یافته است. وضعیت پایدار بعد از وضعیت رسوب‌گذار بیش‌ترین وسعت را در منطقه دارد و در سال‌های ۸۷-۱۳۸۱ تا ۹۲-۱۳۸۸ از ۲۸/۵٦ به ۲۷/۹۰ درصد کاهش‌یافته است ولی در سال ۹۷-۱۳۹۳ به مقدار ۳٦/۱۳ درصد افزایش پیداکرده است. ازلحاظ خورندگی نیز در سال‌های ۸۷-۱۳۸۱ تا ۹۲-۱۳۸۸ از ۱۵/۷۱ به ۱۷/۲۹ درصد افزایش‌یافته است ولی در سال ۹۷-۱۳۹۳ به مقدار ۱۵/۸۰ درصد کاهش پیداکرده است. کل گستره منطقه در وضعیت رسوب‌گذار قرار دارد و فقط بخش‌های کوچکی که در سمت شرق و جنوب شرق واقع‌شده است دارای وضعیت خورنده است (شکل ۱۰). نقشه‌های پهنه‌بندی نشان می‌دهد که در منطقه موردمطالعه کیفیت منابع آب زیرزمینی ازلحاظ صنعت طبق شاخص پایداری رایزنر در طبقات متعادل، خورنده و رسوب‌گذار قرار داشته است.

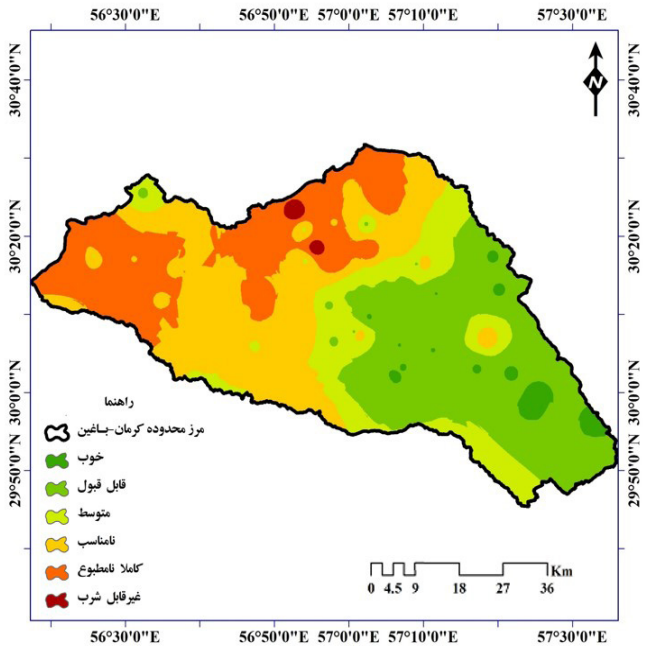
جدول ۸: درصد مساحت کیفیت آب زیرزمینی جهت مصارف مختلف در حوزه آبخیز کرمان‌باغین

نوع مصرف	کلاس	بازه زمانی ۸۷-۱۳۸۱	بازه زمانی ۹۲-۱۳۸۸	بازه زمانی ۹۷-۱۳۹۳
کشاورزی	کمی شور-مناسب	۲/۱۷	۰/۵۳	٤/٤۹
	شور-قابل استفاده	٤۵/۰٤	٤۵/۵۹	٤۳/۳۹
	خیلی شور-نامناسب	۵۲/۷۸	۵۳/۸٦	۵۲/۱۰
شرب	خوب	۱/۲۵	۲/۱۱	۲/۱۲
	قابل‌قبول	۳۱/۳۵	۳۲/٦٤	۳۲/۲۵
	متوسط	۱٦/٤۸	۱٦/۰۵	۱۵/۲۲
	نامناسب	۲۳/۱۹	۲۳/۹۷	۲۷/٤٦
	کاملاً نامطبوع	۲۷/۳۷	۲٤/۸۷	۲۲/٤٤
	غیرقابل‌شرب	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/٤۸
صنعت-شاخص رایزنر	خورنده	۱۵/۷۱	۱۷/۲۸	۱۵/۷۹
	رسوب‌گذار	۵۵/۷۲	۵٤/۷۸	٤۸/۰۳
	پایدار	۲۸/۵٦	۲۷/۹۲	۳٦/۱٦
صنعت- شاخص لانژلیه	خورنده	۳/۹۲	۱/۸۹	۱/۹۷
	رسوب‌گذار	۹٦/۰٦	۹۸/۱۰	۹۸/۰۲

وضعیت رسوب‌گذار در سال‌های مختلف در کل منطقه بیش‌ترین مساحت را داشته است. وسعت وضعیت رسوب‌گذار در دوره‌های ۸۷-۱۳۸۱، ۹۲-۱۳۸۸ و ۹۷-۱۳۹۳ از ۹٦/۰٦ به ۹۸/۰۱ درصد افزایش‌یافته است. وضعیت رسوب‌گذار عمدتاً در نیمه شرقی منطقه واقع‌شده است. وضعیت خورندگی بعد از وضعیت رسوب‌گذار بیش‌ترین وسعت را در منطقه دارد و در سال‌های ۸۷-۱۳۸۱ تا ۹۲-۱۳۸۸ از ۳/۹۲ به ۱/۸۹ درصد کاهش‌یافته است ولی در سال ۹۷-۱۳۹۳ به مقدار ۱/۹۸ درصد به‌صورت جزئی افزایش پیداکرده است، و در بخش‌های شرقی و جنوب شرقی قرار دارد. منطقه موردمطالعه در سال ۸۷-۱۳۸۱ تنها در وضعیت متعادل و در بخش غربی و جنوب غربی قرارگرفته است (شکل ۱۱).

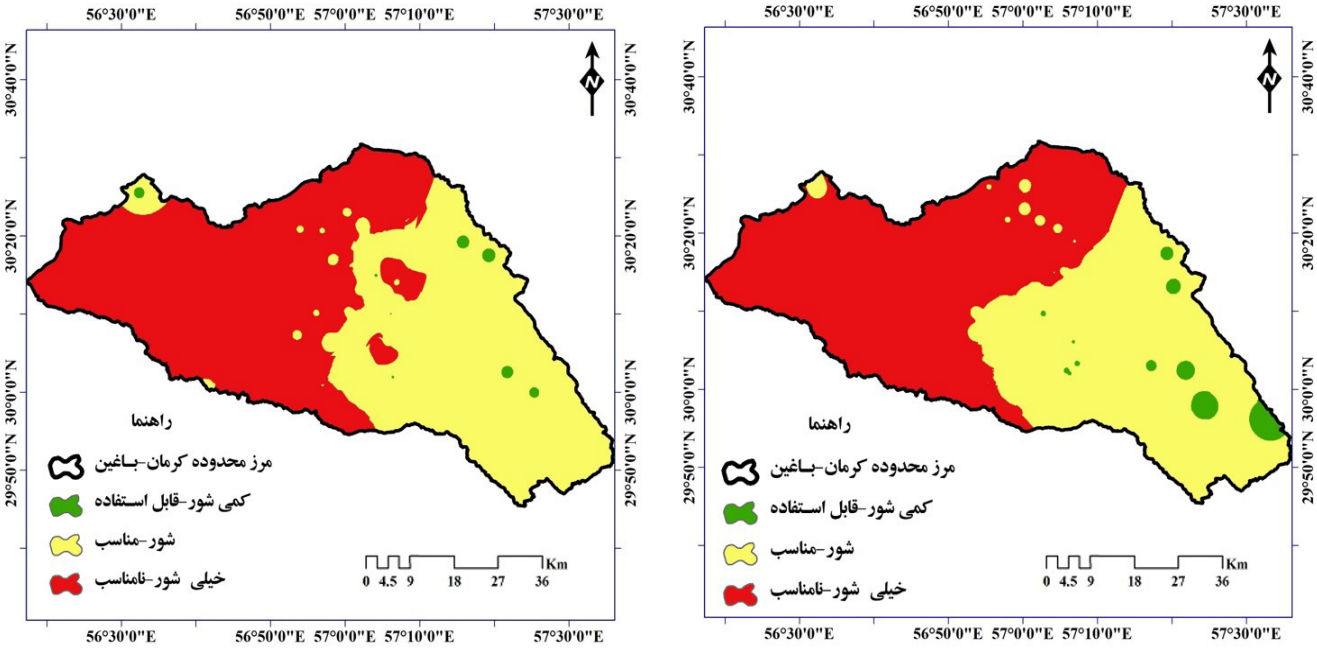


(الف) (ب)

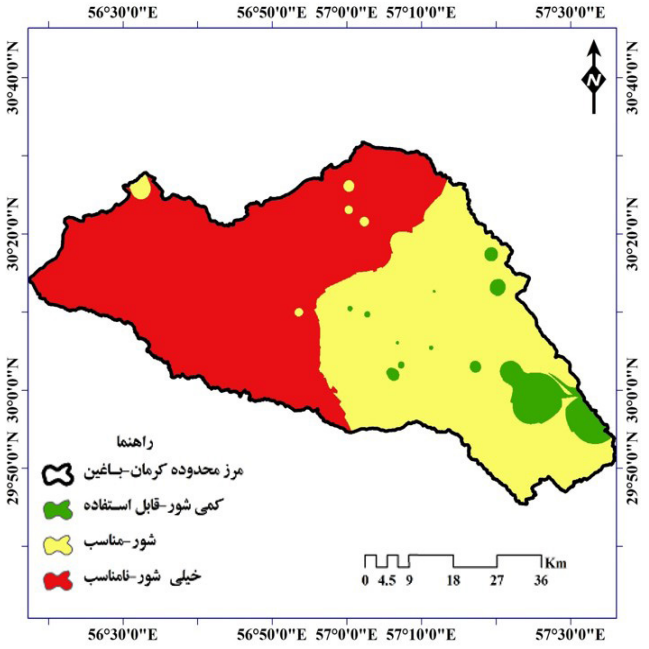


(ج)

شکل ۸: پهنه‌بندی کیفیت منابع آب زیرزمینی به‌منظور مصرف شرب در حوزه آبخیز کرمان‌باغین در طول دوره آماری (الف: ۸۷-۸۱، ب: ۹۲-۸۸ و ج: ۹۷-۹۳)

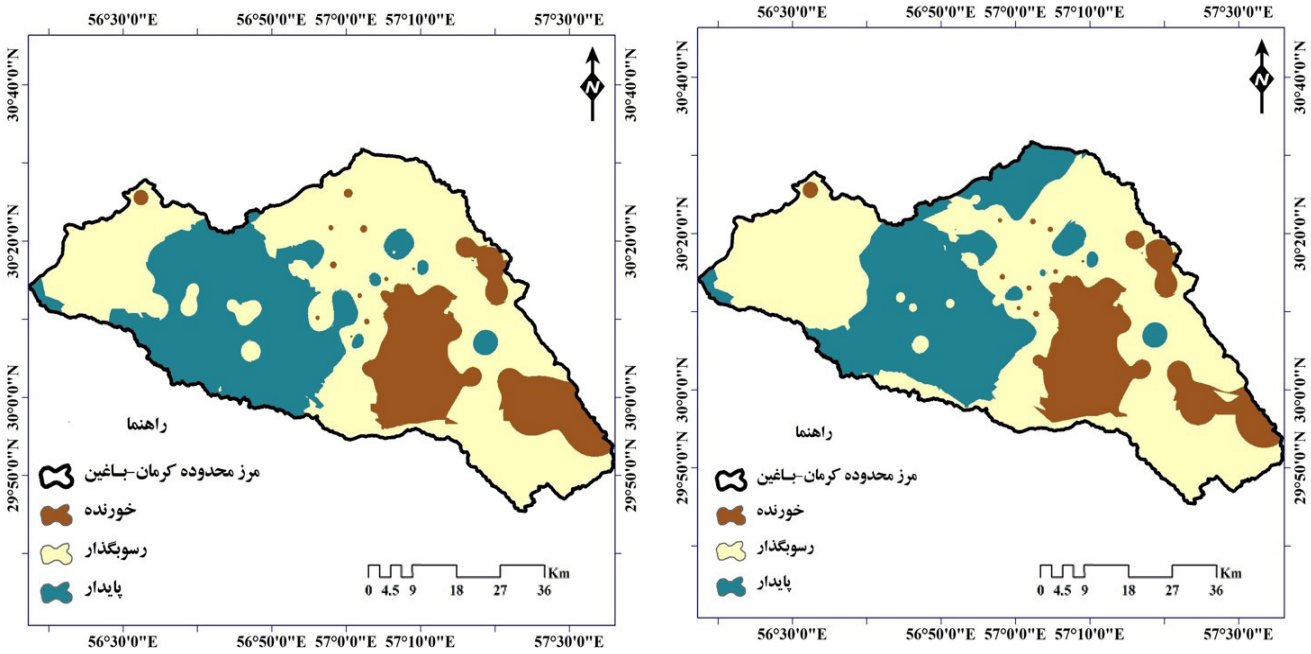


(ب) (الف)

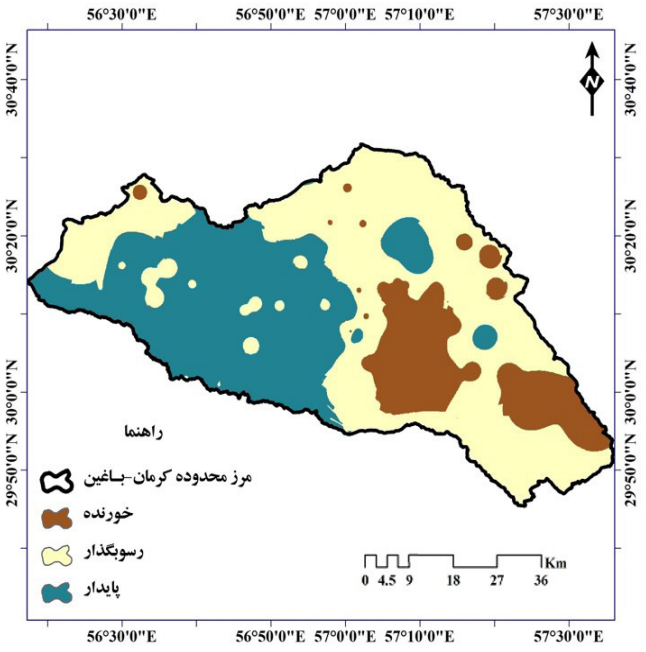


(ج)

شکل ۹: پهنه‌بندی کیفیت منابع آب زیرزمینی به‌منظور مصرف کشاورزی در حوزه آبخیز کرمان‌باغین در طول دوره آماری (الف: ۸۷-۸۱، ب: ۹۲-۸۸ و ج: ۹۷-۹۳)

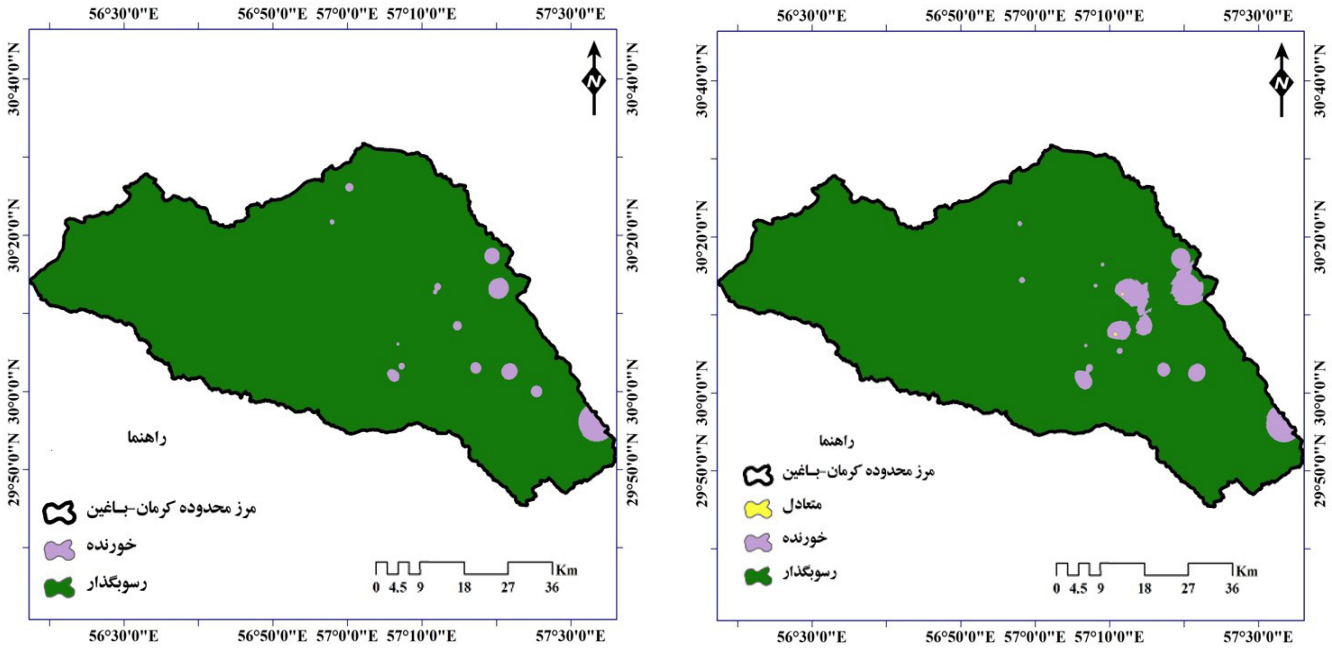


(ب) (الف)

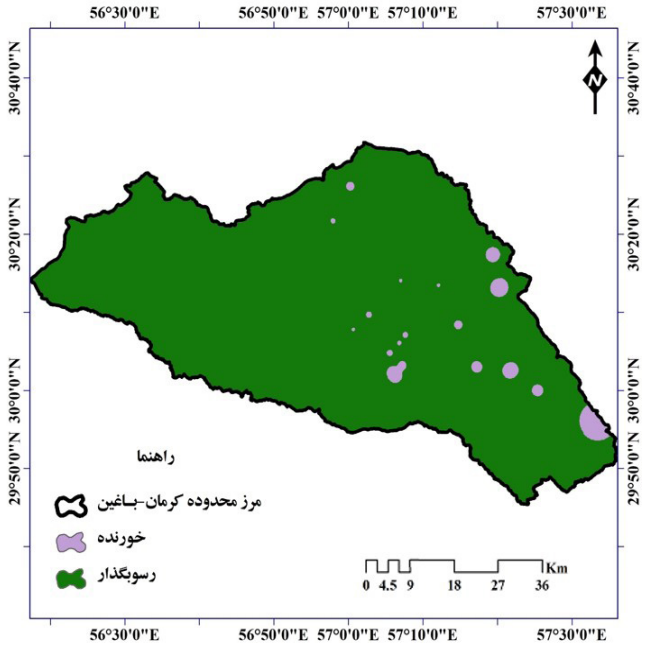


(ج)

شکل ۱۰: پهنه‌بندی کیفیت منابع آب زیرزمینی به‌منظور مصرف صنعتی در حوزه آبخیز کرمان‌باغین (شاخص رایزنر) در طول دوره آماری (الف: ۸۷-۸۱، ب: ۹۲-۸۸ و ج: ۹۷-۹۳)



(ب) (الف)



(ج)

شکل ۱۱: پهنه‌بندی کیفیت منابع آب زیرزمینی به‌منظور مصرف صنعتی در حوزه آبخیز کرمان‌باغین (شاخص لانژلیه) در طول دوره آماری (الف: ۸۷-۸۱، ب: ۹۲-۸۸ و ج: ۹۷-۹۳)

بحث و نتیجه‌گیری

مطابق نتایج آنالیز شیمیایی حاصل از نُه نوع منبع آب زیرزمینی و ۱۸۲۵ نمونه طی دوره‌ی آماری ۱۷ ساله (۱۳۹۸-۱۳۸۱) در حوزه آبخیز کرمان‌باغین مشخص شد کم‌ترین مقدار هدایت الکتریکی (معرف شوری آب زیرزمینی) برابر ۲۰۲ میکرو زیمنس بر سانتی‌متر واقع در منطقه سه‌کنج و بیش‌ترین میزان آن معادل ۱٤۲۸۰ میکرو زیمنس بر سانتی‌متر در چاه اختیارآباد و مقدار متوسط آن ۲۳۰۵/٤۵ میکرو زیمنس بر سانتی‌متر بوده است. دامنه تغییرات آنیون‌های بی‌کربنات، کلر و سولفات به ترتیب از حداقل ۰/۵۰، ۰/۲۰ و صفرتا حداکثر ۳۲، ۱٤۸ و ۵۱ میلی‌اکی‌والان در لیتر و در مورد کاتیون‌های سدیم، کلسیم، منیزیم و پتاسیم به ترتیب ۰/۲۰، ۱، ۰/۲۰ و ۰ تا ۱٤۰، ۲۵، ٤۳/٦۰ و صفر میلی‌اکی‌والان در لیتر گزارش‌شده است. تغییرات pH از ۵/۹۰ تا ۹/٦۰ میانگین آن در سطح محدوده برابر ۸ می‌باشد. میانگین متغیرهای کیفی نشان‌دهنده اولویت یون‌های سدیم و کلر در سطح منطقه می‌باشد. دامنه نوسان در مورد سختی آب بین ۹۹/۳٦ تا ۲٦۵۳/۹٤ میلی‌گرم در لیتر و به ترتیب مربوط به منطقه گوهرریز جوپار و مؤمن‌آباد بوده است.

نتایج کیفیت منابع آب زیرزمینی ازلحاظ شرب برای دوره‌های ۸۷-۱۳۸۱، ۹۲-۱۳۸۸ و ۹۷-۱۳۹۳ در طبقه‌ی قابل‌قبول شولر قرارگرفته است که با پژوهش‌های سلواکومار و همکاران [۳٦] و حسنعلی‌پور و همکاران [۱۹] مبنی بر کیفیت مناسب آب زیرزمینی ازلحاظ شرب برای منطقه تامیل نادو هند و استان اردبیل هم‌راستا می‌باشد. مطابق نمودار ویلکاکس در اکثر دوره‌های موردبررسی و منابع سنجش کیفیت در کلاس C3-S1 قرار دارد؛ به عبارتی، آب این محدوده دارای کیفیت متوسط بوده و برای کشاورزی قابل‌استفاده می‌باشد؛ که با یافته‌های لی و همکاران [۲٤] و اسلامی و همکاران [۱۳] مبنی بر مناسب بودن آب‌های شور برای آبیاری هم‌خوانی دارد. بر ازلحاظ مصرف صنعتی بر اساس دو شاخص متفاوت بوده؛ بر طبق شاخص اشباع لانژلیه، اکثر منابع آب زیرزمینی تمایل به رسوب‌گذاری دارند و یافته‌های القرنوی و همکاران [٤] تأییدکننده این امر می‌باشد که کیفیت آب منطقه شط‌العرب در وضعیت رسوب‌گذاری متوسط قرارگرفته است. درحالی‌که شاخص پایداری رایزنر، منابع آبی را خورنده ارزیابی کرده است و با مطالعات سینگ [۳۷]، کریگ و همکاران [۱۰] و هاپی‌نس و همکاران [۱۷] مبنی بر خورنده بودن آب‌های زیرزمینی هم‌راستا می‌باشد. پایش تغییرات مکانی و زمانی کیفیت آب‌های زیرزمینی چشم‌انداز روشنی را به مدیران و متخصصان برای تحلیل روند کیفیت و خطر آلودگی منابع آب ارائه می‌دهد. به‌طورکلی می‌توان بیان کرد کیفیت منابع آب زیرزمینی حوزه آبخیز کرمان‌باغین در وضعیت مناسب قرار دارد، ولی چنانچه مدیریت و راهبردهای صحیح در این منطقه صورت نگیرد می‌تواند شرایط را به وضعیت نامطلوب تغییر دهد.

پژوهش حاضر با تمرکز بر مفیدترین معیارهای کیفیت آب، ابزارهایی را برای تصمیم‌گیری بهتر در مورد ارزیابی کیفیت آب‌های زیرزمینی در مناطق خشک برای تضمین مدیریت موفق، کمک به شناسایی منابع آلودگی ارائه می‌کند. علاوه بر آن توصیه‌های پاک‌سازی رودخانه‌های آلوده، توقف پساب‌های فاضلاب صنعتی،

تنظیم فعالیت‌های انسانی و افزایش تحقیقات مرتبط با برای منطقه محلی و هم‌چنین سایر مناطقی که با موقعیت‌های مشابه روبرو هستند مفید خواهد بود.

سپاسگزاری

این اثر بر گرفته از بخشی از نتایج پروژه‌ی تحقیقاتی با عنوان "مطالعه‌ی کیفیت منابع آب زیرزمینی با تأکید بر مصارف شرب، آبیاری و صنعت در حوزه‌ی آبریز کویر درانجیر"، مصوب در مؤسسه‌ی تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور با کد ۹۹۰۵۴۲-۹۹۰۲۵-۰۲۹-۰۹-۰۱ می‌باشد. نویسندگان این مقاله بر خود فرض می‌دانند از همکاری و پشتیبانی آن مؤسسه سپاسگزاری و قدردانی نمایند.

منابع

1. Adimalla, N., Qian, H., Nandan, M. J. 2020. Groundwater chemistry integrating the pollution index of groundwater and evaluation of potential human health risk: A case study from hard rock terrain of south India. Ecotoxicology and Environmental Safety, 206: 111217.

2. Ahmed, S. 2002. Groundwater monitoring network design: Application of Geostatistics with a few Case studies from a granitic aquifer in a semiarid region. Groundwater hydrology, 2: 37-57.

3. Alqarawy, A., El Osta, M., Masoud, M., Elsayed, S., Gad, M. 2022. Use of hyperspectral reflectance and water quality indices to assess groundwater quality for drinking in arid regions, Saudi Arabia. Water, 14(15): 2311.

4. Al-Qurnawi, W. S., Ghalib, H. B., Alabadi, M. A., Hawash, A. B. A. 2022. Corrosion-scaling potentially of domestic water pipelines and evaluate the applicability of raw water sources in Basrah, Iraq. Iraqi Journal of Science, 2089-2102.

5. Asghari Moghadam, A., Jawanmard, Z., Wadayati, M., Najib, M. 2015. Evaluating the Quality of Mehraban Plain Groundwater Resources Using GQI and FGQI Methods. Hydrogeomorphology, 2(2): 79-98. (In Persian)

6. Asghari Moghaddam, A. 2016. Evaluation of Factors Affecting the Chemical Quality of Groundwater of Kahriz Plain Using Statistical and Hydrochemical Methods. Hydrogeology, 1(1): 76-92. (In Persian)

7. Azari, A., Nazemi, S., Kakavandi, B., Rastegar, A. 2016. Survey of scaling and corrosion potential in drinking water resources of Shahrood city by using stability indexes in 2013. Journal of Sabzevar University of Medical Sciences, 22(6): 944-954. (In Persian)

8. Benameur, T., Benameur, N., Saidi, N., Tartag, S., Sayad, H., Agouni, A. 2022. Predicting factors of public awareness and perception about the quality, safety of drinking water, and pollution incidents. Environmental Monitoring and Assessment, 194(1): 22.

9. Chalkesh Amiri, M. 2006. Principles of Water Purification, Arkan Publications.

10. Craig, P., Serkan, S., Hagan, P., Hebblewhite, B., Vandermaat, D., Crosky, A., Elias, E. 2016. Investigations into the corrosive environments contributing to premature failure of Australian coal mine rock bolts. International journal of mining science and technology, 26(1): 59-64.

11. Dianati Tilaki, R.A., Mahmoudi, M. 2018. Investigation of Sedimentation and Corrosion Indices of Drinking Water Resources in the Cities of Mazandaran Province. Journal of Health Research in Community,4(2): 57-67.

12. Dinpasho, Y., Fakhari Fard, A., Hassanpoor Eghdam, M. A., Beheshtee Vayghan, V. 2015. Trend Analysis of Groundwater Quality of Shabestar- Soofian Plain. Irrigation Sciences and Engineering, 38(1): 55-69. (In Persian)

13. Eslami, F., Yaghmaeian, K., Mohammadi, A., Salari, M., Faraji, M. 2019. An integrated evaluation of groundwater quality using drinking water quality indices and hydrochemical characteristics: a case study in Jiroft, Iran. Environmental Earth Sciences, 78: 1-10.

14. Esmaeili, S., Barzegar, R., Kazemian, N. 2018. The effective factors on the groundwater chemical quality of Qareh-Ziaeddin plain, West Azarbaijan province. Scientific Quarterly Journal of Geosciences, 27(108): 245-256. (In Persian)

15. Fathabadi, G., Rezaei, K., Pirkharati, Z., Kakoui, F. 2020. Investigating the qualitative changes of groundwater in Quaternary sediments of Jovin plain using statistical and hydrochemical methods, 6(1): 115-130.

16. Fetter, C. W. 1999. Contaminant Hydrogeology. 2d ed., Prentice HallInc., NJ. Pp. 506.

17. Gaus, I., Kinniburgh, D. G., Talbot, J. C., Webster, R. 2003. Geostatistical analysis of arsenic concentration in groundwater in Bangladesh using disjunctive kriging. Environmental geology, 44: 939-948.

18. Happiness, E. A., Iyenomie, T. A., Bright, A. 2022. Investigation of Underground Pipeline Corrosivity as a Function of Lithology and Pore Fluid in Parts of Rivers State, Nigeria Using Electrical Resistivity Method. Pakistan Journal of Geology (PJG), 6(2): 29-34.

19. Hassanalipour, Y., Mostafazadeh, R., Esmali-Ouri, A., Ahmadi, M., Imani, R. 2022. Evaluation of the effects of urban development on the quantity and quality of surface and groundwater in Ardabil plain. Journal of Environmental Science Studies, 7(3): 5374-5385.

20. He, S., Li, P. 2020. A MATLAB based graphical user interface

(GUI) for quickly producing widely used hydrogeochemical diagrams. Geochemistry, 80(4): 125550.

21. Hou, W., Sun, S., Wang, M., Li, X., Zhang, N., Xin, X., Sun, L., Li, W., Jia, R. 2016. Assessing water quality of five typical reservoirs in lower reaches of Yellow River, China: using a water quality index method. Ecological indicators, 61: 309-316.

22. Kalantari, N., sheikhzadeh, A., Mohammadi, H., chaghazardi, Z. 2022. Evaluation of the Aghili aquifer hydrochemical status with emphasis on multivariable statistics method. Hydrogeology, 6(2): 95-108. (In Persian)

23. Karangoda, R. C., Nanayakkara, K. G. N. 2023. Use of the water quality index and multivariate analysis to assess groundwater quality for drinking purpose in Ratnapura district, Sri Lanka. Groundwater for Sustainable Development, 21: 100910.

24. Li, P., Wu, J., Qian, H. 2016. Hydrochemical appraisal of groundwater quality for drinking and irrigation purposes and the major influencing factors: a case study in and around Hua County, China. Arabian Journal of Geosciences, 9: 1-17.

25. Mokhtari, S.A., Aalighadri, M., Hazrati, S., Sadeghi, H., Gharari, N., Ghorbani, L. 2010 Evaluation of Corrosion and Precipitation Potential in Ardebil Drinking Water Distribution System by Using Langelier & Ryznar Indexes. Journal of Health, Ardabil University of Medical Sciences, 1(1):14-23. (In Persian)

26. Motamedi, Rad M., Goli Mokhtari, L., Bahrami, S., zanganeh asadi, M A. 2021. Assessment of the quality of water resources for drinking, agriculture and industry in karstic aquifer of Roein Esfarayen basin of North khorasan province. Journal of Applied researches in Geographical Sciences, 21 (62):73-93. (In Persian)

27. Mukherjee, I., Singh, U. K., Chakma, S. 2022. Evaluation of groundwater quality for irrigation water supply using multi-criteria decision-making techniques and GIS in an agroeconomic tract of Lower Ganga basin, India. Journal of Environmental Management, 309: 114691.

28. Ober, J., Karwot, J. 2021. Tap water quality: Seasonal user surveys in Poland. Energies, 14(13): 3841.

29. Panahi, M., Misaqi, F., Ghanbari, F. 2017. Determining of trend variation in quality parameters of Shabestar plain underground water. Environmental Sciences, 15(3): 19-38. (In Persian)

30. Papadopoulou, M. P., Karatzas, G. P., Bougioukou, G. G. 2007. Numerical modelling of the environmental impact of landfill leachate leakage on groundwater quality–a field application. Environmental Modeling & Assessment, 12: 43-54.

31. Prapti, D. R., Mohamed Shariff, A. R., Che Man, H., Ramli, N. M., Perumal, T., Shariff, M. 2022. Internet of Things (IoT)-based aquaculture: An overview of IoT application on water quality monitoring. Reviews in Aquaculture, 14(2): 979-992.

32. Prest, E. I., Martijn, B. J., Rietveld, M., Lin, Y., Schaap, P. G. 2023. (Micro) Biological Sediment Formation in a Non-Chlorinated Drinking Water Distribution System. Water, 15(2): 214.

33. Ramalingam, S., Panneerselvam, B., Kaliappan, S. P. 2022. Effect of high nitrate contamination of groundwater on human health and water quality index in semi-arid region, South India. Arabian Journal of Geosciences, 15(3): 242.

34. Ramkumar, T., Venkatramanan, S., Anithamary, I., Ibrahim, S. M. S. 2013. Evaluation of hydrogeochemical parameters and quality assessment of the groundwater in Kottur blocks, Tiruvarur district, Tamilnadu, India. Arabian Journal of Geosciences, 6: 101-108.

35. Salehi Servak, A., Almodaresi, A., Merhosaeni, S. A., Sheshbor, M., Jamali, A. A., Kangazian, A. 2021. Investigation of the Sediment Formation Factors in Drinking Water Distribution Network of the City of Sough and its Relationship to Water Properties. Journal of Water and Wastewater; Ab va Fazilab, 32(1): 106-124. (In Persian)

36. Selvakumar, S., Ramkumar, K., Chandrasekar, N., Magesh, N. S., Kaliraj, S. 2017. Groundwater quality and its suitability for drinking and irrigational use in the Southern Tiruchirappalli district, Tamil Nadu, India. Applied Water Science, 7: 411-420.

37. Singh, G. 1986. A survey of corrosivity of underground mine waters from Indian coal mines. International journal of mine water, 5, 21-32.

38. Sokolova, E., Ivarsson, O., Lillieström, A., Speicher, N. K., Rydberg, H., Bondelind, M. 2022. Data-driven models for predicting microbial water quality in the drinking water source using E. coli monitoring and hydrometeorological data. Science of the Total Environment, 802: 149798.

39. Tegegne, A. M., Lohani, T. K., Eshete, A. A. 2023. Evaluation of groundwater quality for drinking and irrigation purposes using proxy indices in the Gunabay watershed, Upper Blue Nile Basin, Ethiopia. Heliyon, 9(4).

40. Vengosh, A. 2005. Salinization and Saline Environmental, chapter 9.09: in Environmental Geochemistry, Edited by Lollar. B.S., 1st Edition, Elsevier Science, 648 p.

41. Yuan, Y., Liang, D., Zhu, H. 2017. Optimal control of groundwater pollution combined with source abatement costs and taxes. Journal of Computational Science, 20: 17-29.

42. Zhao, C., Qiao, X., Cao, Y. Shao, Q. 2017. Application of hydrogen peroxide presoaking prior to ammonia fiber expansion pretreatment of energy crops. Fuel, 205: 184–191.

نشریه

ترویج و توسعه آبخیزداری

Extension and Development of Watershed Management

Vol. 10, No. 39, Winter 2023

سال دهم- شماره ۳۹- زمستان ۱۴۰۱

Abstract

Assessment and Zoning the Quality of GroundwaterResources with an Emphasis on Drinking, Agriculture and Industry in the Kerman-Baghin Watershed, Kerman Province

S.M. Soleimanpour[1]*, S. Lotfinasab[2], O. Rahmati[3] and M. Motamednia[4]

Received: 2022/12/12 Accepted: 2023/03/14

Ground waters is a vital resource for people around the world. For this reason, it is necessary to maintain the quality of ground waters and continuously monitor its quality changes due to the unstable development of human societies. The present study was conducted with the aim of assessment and zoning the quality of groundwater resources with an emphasis on drinking, agriculture and industry in the Kerman-Baghin watershed of Kerman province. From 1825 samples, information on the chemical quality of groundwater sources was obtained over a statistical period of 17 years (2002-2019). Water quality parameters such as cations, anions, EC, TDS, pH, sodium fraction, sodium fraction absorbed, CO2−3, NO−3, So-4, and Cl were determined separately for statistical periods 2002-2008, 2009-2013, and 2014-2019. Finally, to assess the quality of the water and the nature of the consumption of groundwater resources in relation to drinking water, agriculture and industry, Schuler's and Wilcox's diagrams and Langelier Saturation Index (LSI) and Reisner Sustainability Index (RSI) were used. Drinking water quality results for the periods 2002-2008, 2009-2013, and 2014-2019 are within Shuler's acceptable class with the highest rate of 32.09%. According to the Wilcox diagram, it is in the C3-S1 class in most study programs and quality measurement sources examined; In other words, the water in this area is of average quality and can be used for agriculture. The quality of very inappropriate salt has the highest rate with 52.90%. Industrial consumption is based on two different indicators; according to LSI, most underground water sources are prone to sedimentation with the highest rate of 52.89%, while RSI rates the water sources as sedimentation with a rate of 97.39%. Monitoring spatial and temporal changes in ground waters quality provides managers and professionals with a clear perspective to analyze quality trends and risk of water resources pollution.

Keywords: Sedimentation, Temporal and spatial changes, Water quality, Water quality indicators.

1. Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran. *Corresponding Author's E-mail: m.soleimanpour@areeo.ac.ir

2. Assistant Professor, Desert Research Department, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.

3. Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Kurdistan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Sanandaj, Iran.

4. Ph.D., Natural Resources and Watershed Management Department, Bafgh County, Yazd Province, Iran.