

بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی برای مصارف کشاورزی در بخش‌هایی از استان کرمان

سمیه صدر*

استادیار پژوهش، پژوهشکده پسته، موسسه تحقیقات و علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رفسنجان، ایران.

2716sadr@gmail.com

دریافت: اسفند ۱۴۰۱ و پذیرش: مهر ۱۴۰۲

چکیده

این پژوهش به منظور بررسی کیفی آب زیرزمینی بخش‌هایی از شمال و مرکز استان کرمان انجام شد و از محدوده هشت شهرستان (کرمان، زرنند، بم، بردسیر، جیرفت، بافت، فاریاب و رفسنجان) تعداد ۵۳۴ نمونه آب از منابع آب زیرزمینی برداشت گردید و غلظت یونهای Na^+ ، Ca^{+2} ، Mg^{+2} ، Cl^- ، SO_4^{-2} ، HCO_3^{-2} تعیین شد. همچنین شاخص‌هایی مانند کل مواد جامد محلول (TDS)، نسبت جذب سدیم (SAR)، شاخص نفوذپذیری (PI)، بی‌کربنات سدیم باقیمانده (RSBC)، هدایت الکتریکی (EC)، پتانسیل شوری (PS)، خطر منیزیم (MH)، سختی آب (TH)، درصد سدیم محلول در آب (SSP) تعیین و ارزیابی شد. برای رسم نمودارهای بررسی و مقایسه خصوصیات آب از نرم‌افزار AqQA استفاده گردید. بر اساس نتایج، بیش از ۳۷٪ از منابع مورد مطالعه از نظر شوری در ردیف آب‌های نامناسب (شوری بالاتر از ۲ dS/m) قرار داشت. شهرستان‌های زرنند و رفسنجان از نظر شاخص‌های کیفیت آب زیرزمینی در شرایط نامطلوبی قرار داشت چرا که شاخص‌های EC، SAR، PS، TH، SSP و MH در یکی یا هر دوی این شهرستان‌ها در شرایط بحرانی بود، ولی از نظر استانداردهای آب کشاورزی، اغلب دیگر مناطق مطالعه شده دارای آب با کیفیت مناسبی بود. تیپ ترکیبی آب زیرزمینی در تمامی مناطق Ca-Mg-SO₄-Cl به‌دست آمد، به طوری که در شهرستان‌های شمالی‌تر استان مانند رفسنجان، زرنند، بردسیر و همچنین شهرستان‌های بم و کرمان آنیون غالب آب کلر بود در حالی که در مناطق فاریاب، بافت و جیرفت وضعیت آنیونهای غالب آب کمی به سمت سولفات شده پیش می‌رود. در منابع آب مورد مطالعه در اغلب شهرستان‌ها $Ca^{2+} > Mg^{2+} > Na^+$ است و آنیون غالب کلر را دارند و بی‌کربنات کمی نسبت به سایر آنیون‌ها در نمونه‌های آب مشاهده گردید. همچنین بر اساس نتایج، رخساره غالب آب در تمامی مناطق Na-Cl و Mg-Cl بود، لذا لازم است آنها با مدیریت صحیح مورد استفاده قرار گیرند و متناسب با شرایط شیمیایی آنها گیاه مناسب انتخاب شود.

واژه‌های کلیدی: نرم‌افزار AqQA، خطر منیزیم، سختی آب

*- آدرس ایمیل نویسنده مسئول: 2716sadr@gmail.com



مقدمه

یکی از تنگناهای اساسی دنیای امروز آلودگی و کافی نبودن آب برای مصارف گوناگون اعم از شرب و کشاورزی است. آب زیرزمینی ۶۰ درصد از کل عرضه آب در ایران را تشکیل می‌دهد و تقریباً ۹۰٪ در بخش کشاورزی مصرف می‌شود (صفدری و همکاران، ۲۰۲۲). ایران یکی از بزرگ‌ترین مصرف‌کنندگان آب‌های زیرزمینی در جهان است و ۸۷ درصد از جمعیتش در مناطقی زندگی می‌کنند که برای شرب و آبیاری به شدت به آب‌های زیرزمینی وابسته هستند. ادامه رویکرد معمول در کاهش سفره‌های زیرزمینی، ایران را در معرض مخاطرات غذا و آب و همچنین مسائل امنیتی قرار می‌دهد (صفدری و همکاران، ۲۰۲۲). تقریباً ۸۵٪ از مساحت ایران را مناطقی با اقلیم خشک و نیمه‌خشک در بر گرفته است که کاملاً به منابع آب زیرزمینی وابسته بوده و به خاطر پراکنش زمانی-مکانی نامناسب بارش، منبع آب جایگزینی برای تأمین این منابع وجود ندارد (سائیمیان و همکاران، ۲۰۲۲). در چنین شرایطی افت کیفیت آب معیشت ساکنان را تهدید می‌نماید؛ لذا حفظ کیفیت منابع آب موجود اهمیت خود را نشان می‌دهد. آگاهی داشتن از وضعیت کیفیت آب مناطق تحت تنش آبی، بسیار حیاتی است. بنابراین در مطالعات هیدرولوژی علاوه بر مطالعه کمی، معیارهای کیفی آب نیز بررسی می‌شوند. تغییر کیفیت آب‌های زیرزمینی و شور شدن منابع آب هم‌اکنون خطری بزرگ در راه استقرار پایدار جمعیت در اراضی خشک است. افت کیفیت منابع آب زیرزمینی در درازمدت منجر به مواردی همچون اثرات مخرب اکولوژیکی اثر مخرب بر حاصلخیزی خاک و بروز اختلاف میان ذی‌نفعان و پدید آمدن بحران‌های اجتماعی می‌شود. مطالعات متعددی در زمینه بررسی هیدروشیمیایی کیفیت آب‌های زیرزمینی برای آشامیدن و کشاورزی در دنیا و ایران انجام شده است. ساپا و همکاران (۲۰۱۴) برای ارزیابی آب آبخوان‌های کربناته در منطقه جنوب التیوم ایتالیا، از جهت کشاورزی و آشامیدن از نرم‌افزار AqQA بهره بردند. نتایج تجزیه و تحلیل‌های شیمیایی و پارامترهای کیفیت آب

محاسبه شده توسط این نرم‌افزار نشان داد که اکثر نمونه‌های آب برای کشاورزی و آشامیدن مناسب هستند. حسینی‌فرد و همکاران (۲۰۱۵)، برای بررسی ویژگی‌های هیدروشیمیایی کیفیت آب‌های زیرزمینی برای آشامیدن و کشاورزی دشت رفسنجان از مدل AqQA استفاده کردند. نتایج نشان داد کیفیت آب منطقه برای آشامیدن و کشاورزی در وضعیت مناسبی قرار ندارد. گوپتا و میسرا (۲۰۱۶) به تجزیه و تحلیل کیفیت آب‌های زیرزمینی آبخوان‌های کواترنری، منطقه جاهجار در هند پرداختند. این مطالعه نشان داد کیفیت آب‌های زیرزمینی جاهجار برای اهداف نوشیدن کاملاً نامناسب است. همچنین حدود ۶۰-۷۰ درصد از نمونه‌ها، فلوراید بالا را نشان داد. داناسکرپاندیان و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی تغییرات مکانی و زمانی کیفیت آب زیرزمینی و مناسب بودن آن برای کشاورزی و آشامیدن با استفاده از AqQA پرداختند. نتایج نشان داد که آب‌های زیرزمینی منطقه به دلیل فعالیت‌های انسانی، بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی و تغییر الگوی استفاده زمین برای کشاورزی و آشامیدن مناسب نیستند. عبدالستار و همکاران (۲۰۱۷) به ارزیابی کیفیت آب‌های زیرزمینی و کشاورزی در منطقه هیل واقع در عربستان سعودی پرداختند. نتایج نشان داد حدود ۹۷ درصد از نمونه‌های آب زیرزمینی در رده عالی قرار دارند. چیتسازن و همکاران (۲۰۱۷) در مطالعه‌ای تحت عنوان ویژگی‌های هیدروشیمیایی و تأثیر فعالیت‌های انسان بر کیفیت آب‌های زیرزمینی در حومه شهر ارومیه - ایران، از نرم‌افزار AqQA استفاده کردند. نتایج نشان داد ماده اصلی آب‌های زیرزمینی منطقه حومه شهری و ۱۳ درصد مناطق روستایی ضعیف مشخص شد.

عباس‌نژاد و همکاران (۱۳۹۵) به بررسی فرآیندهای هیدروژئوشیمیایی مؤثر بر کیفیت آب زیرزمینی دشت راین، کرمان پرداختند. بدین منظور ارزیابی ژئوشیمی آبخوان و فرآیندهای هیدروژئوشیمیایی حاکم بر آن، نمایش گرافیکی و تحلیل‌های آماری داده‌های هیدروژئوشیمیایی

روش بررسی

منطقه مطالعاتی

در پژوهش حاضر، آب زیرزمینی در بخش‌هایی از مرکز و شمال استان کرمان مورد بررسی قرار گرفت. استان کرمان در جنوب شرقی فلات مرکزی ایران، بین ۲۶' ۵۳° تا ۲۹' ۵۹° شرقی و ۵۵' ۲۵° تا ۳۲' شمالی قرار دارد. این استان با وسعت ۱۸۳۲۸۵ کیلومتر مربع پهناورترین استان کشور است (<https://miras.kr.ir>) بر اساس گزارش اداره کل هواشناسی استان کرمان آب‌وهوای این استان تنها در شهر بافت نیمه‌خشک است و بیشتر مناطق آن دارای آب‌وهوای فراخشک و بیابانی می‌باشند (<https://kerman-met.ir>) از مشخصات بارز این منطقه رطوبت و بارندگی کم، تبخیر بالقوه فوق‌العاده زیاد و اختلاف زیاد درجه حرارت در فصول تابستان و زمستان در طول شبانه‌روز است. نواحی مختلف استان تحت تأثیر عوامل منطقه‌ای متعددی قرار دارد که از جمله این عوامل می‌توان به وجود امتداد رشته کوه‌های زاگرس و کوه‌های مرکزی، واقع شدن دشت لوت در شرق، عرض جغرافیایی پایین، مدت زیاد تابش خورشید، فیزیوگرافی منطقه و تأثیر توده‌های هوایی متعدد اشاره کرد. متوسط بارندگی بر اساس اطلاعات اداره هواشناسی استان حدود ۱۴۵ میلی‌متر در سال است که این مقدار حدود ۵۸ درصد متوسط بارش کشوری و حدود ۱۹ درصد میانگین بارش جهانی است (شاهی و عباس نژاد، ۱۳۸۹). موقعیت جغرافیایی استان کرمان و توزیع نقاط نمونه‌برداری شده در منطقه مورد مطالعه در شکل ۱ آورده شده است.

برداشت نمونه آب و آنالیز شیمیایی نمونه‌ها

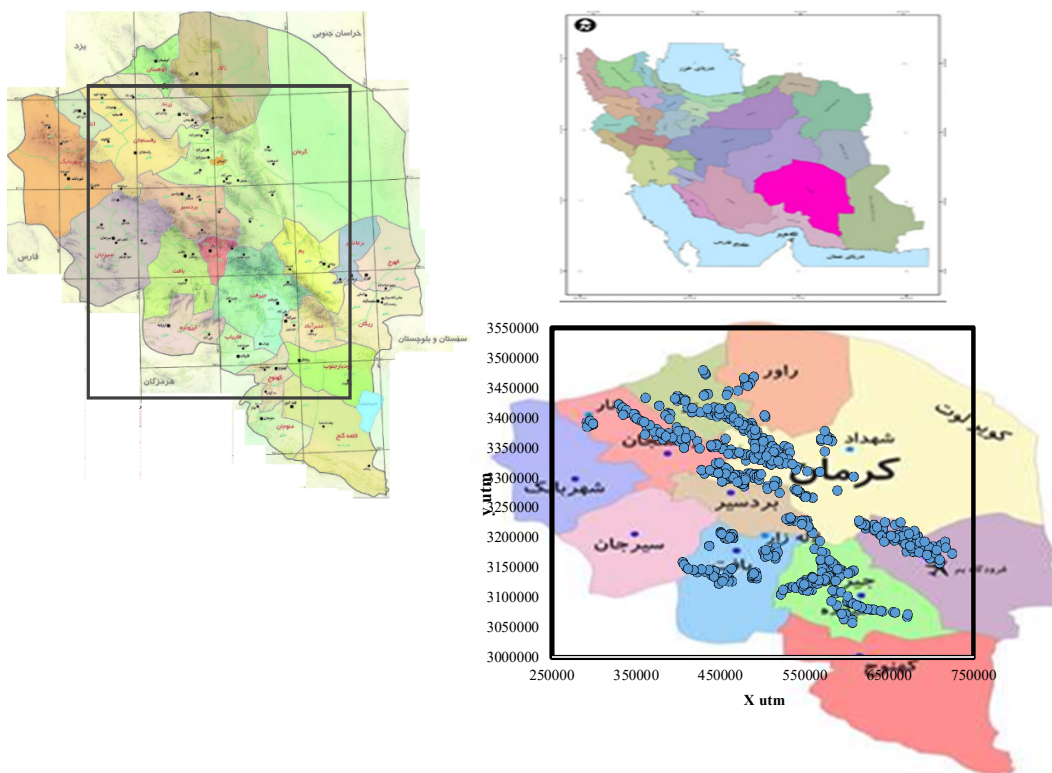
در این مطالعه از محدوده هشت شهرستان، تعداد ۵۳۴ نمونه آب از منابع مختلف آب زیرزمینی شامل چاه عمیق و نیمه عمیق، قنات و چشمه در بطری‌های پلی‌اتیلن (۲۵۰ میلی‌لیتری) نمونه‌برداری گردید. تعداد نقاط نمونه‌گیری شده از هر منطقه در جدول ۱ نشان داده شده است. دز این پژوهش جمعاً ۵۳۴ نمونه آب زیرزمینی از

انجام شد. با بررسی‌های هیدروژئوشیمیایی مشخص شد اصلی‌ترین عامل مؤثر بر کیفیت آب زیرزمینی منطقه، برهم‌کنش بین آب و مواد سازنده آبخوان است. فرآیندهای هیدروژئوشیمیایی حاکم بر ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی، انحلال کانی‌های تبخیری و کربناتی، هیدرولیز سیلیکات‌ها و تبادل یونی است. رسم داده‌ها روی نمودار گیبس نشان داد که انحلال کربنات‌ها و هیدرولیز سیلیکات‌ها و انحلال کانی‌های تبخیری از عوامل غالب کنترل‌کننده شیمی آب زیرزمینی منطقه محسوب می‌شود. بیگلری و سیاری در سال ۱۳۹۶ برای ارزیابی پارامترهای کیفی جریان آب قنات بم از مدل AqQA بهره بردند. بر اساس مقادیر بدست آمده از اجرای نرم‌افزار و مقایسه نقشه‌های شاخص کیفیت آب زیرزمینی و کلاس‌بندی آب توسط روش شولر مشخص گردید که آب این قنات‌ها از نوع کربناته و از کیفیت مناسبی برای مصارف کشاورزی برخوردار است. فرهادی و همکاران (۱۳۹۶) در بررسی وضعیت کیفی آب‌های زیرزمینی دشت ابر-زنجان از نرم‌افزار AqQA استفاده کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که اکثر آبخوان‌های ابر و سلطانیه تا شهر زنجان از کیفیت مناسبی برخوردار بوده و محدودیتی برای شرب، کشاورزی و صنعت وجود ندارد. در تحقیق حاضر، به تعیین کیفیت آب زیرزمینی در بخش‌هایی از استان کرمان پرداخته شده است. استان کرمان در جنوب ایران واقع شده است و به علت موقعیت خاص جغرافیایی و تأثیر دیگر عوامل از مناطق خشک ایران به شمار می‌رود. لذا، به دلیل کمبود بارندگی و عدم توزیع یکنواخت آن، آبیاری یک اصل مهم در کشاورزی این مناطق محسوب می‌شود. همچنین محدود بودن منابع آب سطحی و افزایش بیش از حد سطح زیرکشت، بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی به‌ویژه در مناطق تحت کشت خرما افزوده شده است. لذا در این پژوهش سعی شده است با استفاده از نرم‌افزار AqQA، چشم‌انداز و درک مناسبی از وضعیت کیفی منابع آب در این قسمت‌ها ارائه شود.

هشت شهرستان در استان کرمان، شامل ۴۱۹ حلقه چاه، ۱۶ دهه چشمه و ۹۹ رشته قنات برداشت گردید و در هر نمونه ۱۷ پارامتر مختلف شیمیایی آب زیرزمینی بر اساس دستورالعمل‌های استاندارد، مورد اندازه‌گیری قرار گرفت.

جدول ۱- تعداد نقاط نمونه‌گیری شده در هر منطقه

ردیف	نام منطقه	تعداد نمونه				ردیف	نام منطقه	تعداد نمونه								
		چاه	چشمه	قنات	کل			چاه	چشمه	قنات	کل					
۱	کرمان	۱۳۵	۱۱۲	۱۳	۱۰	۲	زرند	۶۲	۶۱	۱	۳	بم	۶۸	۴۰	-	۲۸
۳	بم	۶۸	۴۰	-	۲۸	۴	بردسیر	۶۱	۴۶	۱۵	-	۷	فاریاب	۲۸	۱۸	۱۰
۴	بردسیر	۶۱	۴۶	۱۵	-	۵	جیرفت	۱۰۱	۷۰	۲۴	۷	۶	بافت	۲۲	۲۲	-
						۸	رفسنجان	۵۷	۴۵	۱۲	-					



شکل ۱- الف. موقعیت جغرافیایی استان کرمان و ب. توزیع نقاط نمونه‌برداری در منطقه مطالعاتی

سیستم مختصات جغرافیایی (GPS)، تعیین و نقشه پراکنش نقاط نمونه‌برداری تهیه شد (شکل ۲).

آنالیزهای شیمیایی نمونه‌ها، ۴۸ ساعت پس از برداشت آغاز گردید. بر این اساس در نمونه‌های آب، ویژگی‌های رسانایی الکتریکی با استفاده از EC متر مدل "Metrohm AG Herisus, Switzerland Ohm-644", اسیدیته توسط پی-اچ متر مدل "691, M0065trohm"

نمونه‌های آب پس از حداقل ۳۰ دقیقه کار کردن سیستم پمپ آب، از چاه برداشت گردید و در قنات‌ها و چشمه‌ها نیز از نقطه خروج آب به فضای آزاد نمونه‌برداری انجام شد. نمونه‌ها برای اندازه‌گیری مشخصات شیمیایی مؤثر در کیفیت آب به آزمایشگاه منتقل گردید. پس از برداشت نمونه آب، مختصات هر یک از منابع توسط

(Cl⁻) توسط تیتراسیون با محلول نترات نقره (پایپر، ۲۰۱۰) و غلظت سولفات (SO₄²⁻) توسط کدورت‌سنجی اسپکتروفتومتری (پانوس و گاتیروس، ۲۰۰۶) اندازه‌گیری شد. سایر شاخص‌های مورد استفاده در تعیین کیفیت آب از روش‌های ذکر شده در جدول ۲ محاسبه گردید.

"AG Herisus, Switzerland"، غلظت کلسیم (Ca²⁺) و منیزیم (Mg²⁺) به روش تیتراسیون با EDTA (تاگر و کورتز، ۱۹۶۱)، غلظت سدیم (Na⁺) با روش نشر اتمی (چاپمن و پرات، ۱۹۶۲)، غلظت بی‌کربنات (HCO₃⁻) توسط روش تیتراسیون با اسید (زانگن، ۱۹۶۲)، غلظت کلر

جدول ۲- شاخص‌های مورد استفاده در تعیین کیفیت آب زیرزمین در مطالعه حاضر

منبع	روابط	علامت	ec
دلگادو و همکاران، ۲۰۱۰	$PS = Cl^- + \sqrt{SO_4^{2-}}$	PS	پتانسیل شوری Potential of salinity
ریچارد، ۱۹۵۴	$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{+2} + Mg^{+2}}{2}}}$	SAR	نسبت جذب سدیم Sodium Adsorption Ratio
جوشی و همکاران، ۲۰۰۹	$MAR = \frac{Mg^{2+}}{Ca^{+2} + Mg^{+2}} \times 100$	MH	خطر منیزیم Magnesium hazard
سلیمانی و همکاران، ۲۰۱۸	$SSP = \frac{Na^+}{Ca^{+2} + Mg^{+2} + Na^+} \times 100$	SSP	درصد سدیم محلول در آب Sodium soluble persente
گوپتا و گوپتا، ۱۹۸۷	$RSBC = HCO_3^- - Ca^{+2}$	RSBC	بی‌کربنات سدیم باقیمانده Residual Sodium becarbonate
حسینی فرد و همکاران، ۲۰۱۵	EC < 8 EC(ds m ⁻¹)*680 EC > 8 EC(ds m ⁻¹)*800	TDS	کل جامدات حل‌شده Total dissolved solids
	$TH (mg CaCO_3 * 1^{-1}) = (Ca^{+2} + Mg^{+2}) \times 50$	TH	سختی آب Total hardness

یافته‌ها و بحث

خلاصه‌ی گزارش آمار توصیفی مربوط به پارامترهای هیدروشیمیایی نمونه‌های آب زیرزمینی در منطقه‌ی مورد مطالعه در جدول ۲ ارائه شده است. EC یک تصویر کیفی از وضعیت آب‌های زیرزمینی ارائه می‌دهد. حداکثر مقدار مجاز EC برای آب‌های زیرزمینی به‌منظور کشت اغلب محصولات کشاورزی ۵ ds/m است (پارک و همکاران، ۲۰۰۵). میانگین EC آب‌های منطقه مورد مطالعه (۲/۶۲۸ ds/m) و حدود تغییرات این شاخص (۲۶-۰/۲۱۸ ds/m)، نشان‌دهنده تغییرات زیاد شوری در آب منطقه مورد مطالعه است. ۴۱ درصد از نمونه‌های آب زیرزمینی مورد مطالعه در محدوده قابل استفاده برای کشت محدوده وسیعی از محصولات قرار دارند درحالی‌که ۳۴ درصد از نمونه‌ها در شرایط مشکوک و نامناسب هستند و در انتخاب گیاه برای کشت باید به ویژگی گیاه و تحمل به شوری و همچنین وضعیت آب و هوایی منطقه و فراهمی

پس از تعیین ویژگی‌های کیفی آب، نتایج با استانداردهای آب برای کشاورزی مقایسه و تفسیر گردید. در این مطالعه برای رسم نمودارهای بررسی و مقایسه خصوصیات آب، از نرم‌افزار AqQA استفاده گردید. نرم‌افزار AqQA در سال ۲۰۰۵ توسط شیمیدان‌های آب، به‌منظور بررسی کیفیت منابع آب و ترسیم نمودارهای شیمیایی و محاسبات ژئومترال و خصوصیات آماری نمونه‌ها ابداع شد. این نرم‌افزار با قابلیت ترسیم انواع نگاره‌ها از جمله دررو، پایپر، استیف و همچنین دارا بودن بیش از ۲۰۰ نوع تحلیل از پیش تعیین شده ابزار مناسبی برای تجزیه و تحلیل و بررسی کیفیت آب است که در این مطالعه از آن استفاده شده است. در این مطالعه بررسی‌های آماری شیمیایی نمونه‌های آب توسط نرم‌افزار آماری SPSS انجام گرفت. همچنین برای رسم برخی نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نمک‌ها در خاک باقی می‌مانند (کارلبرگ و دورایس، ۲۰۰۴). دو فرآیند منجر به تجمع تدریجی املاح در منطقه ریشه می‌شود و گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد: (۱) با ایجاد خطرات شوری و کمبود آب (لیو و همکاران، ۲۰۱۲) و (۲) با ایجاد سمیت عناصر (بوستان و همکاران، ۲۰۰۴). روابط بین جذب یونی و رشد بسیار پیچیده است و در مجموع غلظت زیاد بسیاری از یون‌ها در محیط ریشه گیاهان باعث محدود شدن جذب برخی عناصر غذایی می‌شود. شدت سمیت یون‌ها برای گیاه، بستگی به نوع نمک غالب، محیط رشد و گونه گیاهی دارد. پیتمن (۱۹۱۸) نشان داد که اثر سمی نمک‌های کلره حداکثر، نمک‌های سولفات‌ها حداقل و نمک‌های کربناته حد متوسط است. تغییرات فشار اسمزی معمولاً به تغییرات کلر مربوط است و افزایش کلر و ترکیبات آن علاوه بر ایجاد فشار اسمزی در خاک، می‌تواند در سنتز آنیون‌های آلی، کاهش جذب نیترات و نیتروژن کل در گیاه، مختل شدن متابولیسم نیتروژن در گیاه و در نتیجه اختلال در سنتز پروتئین و اسید نوکلئیک تأثیر سوء خود را نشان دهد (مس، ۱۳۸۴). شکل ۲ وضعیت توزیع شوری و غلظت کلر را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد در راستای نتایج به دست آمده، از آنجا که در استان کرمان آب زیرزمینی به‌عنوان مهم‌ترین منبع قابل استفاده در کشاورزی است و کشاورزان مجبور به استفاده از این منابع هستند لذا شیوه‌های کشاورزی باید به سمت روش‌های بهینه مصرف آب هدایت گردد. در بهینه‌سازی مصرف آب در بخش کشاورزی، رعایت الگوی کشت متناسب با وضعیت آب و هوایی و توجه به ظرفیت آبی هر منطقه و همچنین بهره‌گیری از فناوری‌هایی که به افزایش بهره‌وری آب در مزرعه یا باغ می‌انجامد ضروری است.

نسبت جذب سدیم (SAR) به‌عنوان یک شاخص مؤثر در ارزیابی خطر بالقوه سدیم در محلول در حال تعادل با فاز جامد خاک است. همچنین یک معیار مناسب برای ارزیابی خطر قلیایی شدن خاک محسوب می‌شود (کایور و همکاران، ۲۰۱۷). بر اساس نتایج حاصل،

آب توجه کرد (شکل ۲.ب). میانگین شوری آب در مناطق زرنند و رفسنجان بالاتر از حدود مجاز شوری برای کشاورزی است (شکل ۲.الف) بخصوص در منطقه رفسنجان بیشینه مقدار EC آب در یکی از منابع آب به 26 dS/m رسیده است که به‌طور جدی از حدود مجاز بالاتر است. صالحی و همکاران (۱۴۰۱) در پژوهشی حداکثر شوری در دشت رفسنجان - انار را $19/970 \text{ dS/m}$ و در منطقه انار گزارش کردند. بر اساس نظر ایشان میزان شوری در قسمت شمال غربی دشت رفسنجان شدید بوده و با امتداد در راستای جنوب شرقی از میزان شوری کاسته می‌شود. حسینی فرد و همکاران (۲۰۱۵) نیز در بررسی آب‌های زیرزمینی شهرستان رفسنجان، چاه‌هایی با شوری آب بسیار بالاتر از حدود مجاز را گزارش کردند. در مناطق رفسنجان و زرنند محصول پسته مورد توجه زیاد کشاورزان قرار دارد و سال‌های طولانی مورد کشت بوده است. بر اساس مطالعات جعفری و همکاران (۱۳۹۵) عملکرد درختان پسته در شوری‌های آب آبیاری بالاتر از 8 dS/m به‌طور معنی‌داری کمتر از عملکرد درختانی است که با آب کمتر از 8 dS/m آبیاری می‌شوند. لذا حد آستانه شوری برای درختان پسته از سایر محصولات مورد کشت در استان بالاتر و حدود 8 dS/m است. نتایج حاصل از نقشه‌های تولیدشده به روش کریجینگ معمولی طی سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۰ از افزایش و گسترش اراضی با شوری آب زیرزمینی بیش از 8 dS/m گزارش می‌کند. در سال ۱۳۸۱ تنها ۲/۶ درصد از اراضی استان کرمان دارای آب زیرزمینی بیش از 8 dS/m بوده است و در سال ۱۳۹۲ این مقدار به ۳/۴ درصد رسیده است (زارع و خلدیان، ۱۳۹۶). در مطالعه حاضر حدود ۲۵ درصد از منابع زیرزمینی مورد مطالعه در منطقه رفسنجان و پنج درصد در زرنند در محدوده بیش از حد آستانه شوری برای پسته (8 dS/m) هستند. استفاده از آب آبیاری با مقادیر بالای EC، نمک‌ها را به خاک و ناحیه ریشه وارد می‌کند. ریشه گیاه آب را جذب کرده اما نمک بسیار کمی را از خاک جذب می‌کند (حسین و همکاران، ۲۰۰۸). همچنین، آب از سطح خاک تبخیر می‌شود اما

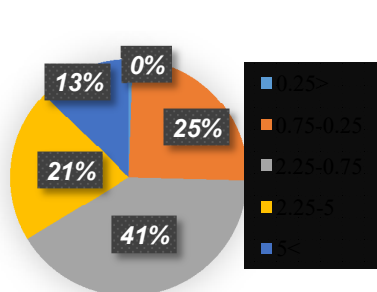
آستانه از پراکنده شدن ذرات خاک جلوگیری خواهد کرد (تقی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۸). با توجه به نمودار ویلکوکس (ویلکوکس، ۱۹۵۵) آب‌های زیرزمینی شهرستان‌های مورد مطالعه به لحاظ کشاورزی در کلاس‌های C_3S_1 ، C_4S_1 و C_4S_2 قرار می‌گیرند (جدول ۳). منابع آب مناطق بم، بردسیر، جیرفت، بافت و فاریاب که کلاس C_3S_1 دارند، غالباً برای آبیاری خاک‌هایی که زهکشی محدودی دارند نباید مورد استفاده قرار گیرند حتی در خاک‌های با زهکشی کافی نیز روش بخصوصی جهت کنترل شوری آب لازم است و گیاهانی که با این آب‌ها آبیاری می‌شوند باید در مقابل املاح مقاومت زیادی داشته باشند. در برخی از خاک‌های تحت آبیاری با این آب‌ها احتمال اندکی برای ازدیاد میزان سدیم قابل تعویض وجود دارد.

میانگین SAR در تمام مناطق مورد بررسی کمتر از ۱۸ است. ریچارد (۱۹۵۴) مقادیر بالاتر از ۱۸ را برای استفاده در کشاورزی مشکوک و مقادیر بالاتر از ۲۶ را نامناسب اعلام نمود. بیشترین SAR در منطقه رفسنجان با میانگین ۱۱/۳ مشاهده می‌شود. با توجه به بالا بودن مقدار بیشینه این شاخص در مناطق کرمان، زرنند، بافت و رفسنجان نسبت به مقدار مجاز، به نظر می‌رسد برخی از منابع آب این مناطق محصولات را در معرض خطر قلیائیت سدیم قرار می‌دهد؛ اما در کل ۹۶ درصد از منابع آبی مورد مطالعه در منطقه شرایط مطلوبی از نظر این شاخص دارند. مطالعات نشان داده است هنگامی که EC آب آبیاری پایین و SAR آن بالا باشد، پراکنده شدن ذرات خاک اتفاق خواهد افتاد ولی افزایش EC به مقادیر بیشتر از این حد

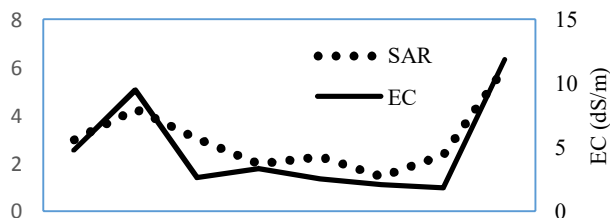
۳۱۲ / بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی برای مصارف کشاورزی در بخش‌هایی از استان کرمان

جدول ۲- خصوصیات آماری پارامترهای هیدروشیمیایی نمونه‌های آب زیرزمینی در مناطق مورد مطالعه

TH	PS	KR	PI	RSBC	SSP	MH	EC	SAR	TDS	%Na	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	pH		
۶۱۸	۱/۶	۱/۱	۶۲	-۱/۳	۴۸	۵۱	۲۵۵۱	۵/۶	۱۶۵۸	۴۸	۱/۴	۶/۵	۵/۸۷	۴/۵	۱۶/۱	۸	۷/۴	میانگین	کرمان
۱۰۰	۰/۵	۰/۱	۱۱	-۴۶/۵	۷/۴	۱۸/۲	۲۴۶	-۰/۲	۱۶۰	۷/۴	-۰/۲	-۰/۴	۱	-۰/۸	۲۰	-۰/۱	۴	کمینه	
۴۵۰۰	۱۷	۶/۱	۹۱	۲۱	۸۶	۸۱/۲	۱۹۲۰۰	۲۶	۱۲۵۴۵	۸۶	۱۶۰	۵۵	۵۰	۳۲	۱۹۰	۸۷	۸/۱	بیشینه	
۱۳۳۲	۳/۸	۱/۱	۶۱	-۹۷	۵۰	۵۲	۵۰۳۷	۸	۳۲۰۴	۵۰/۱	۳۲/۷	۱۳/۵	۱۳/۱	۵/۲	۳۴/۸	۱۹/۳۴	۷/۲۶	میانگین	زرنند
۲۳۰	۳/۹	۰/۳	۳۶	-۴۷/۸	۲۱/۵	۲۶/۵	۸۵۵	۱/۲	۵۵۶	۲۱/۴	۲/۲	۲	۲/۴	۱/۵	۲/۲	۲/۳	۶/۳	کمینه	
۴۵۰۰	۱۷۳	۲/۲	۱۰۰	۱/۴	۶۹/۲	۶۵/۲	۱۷۹۲۰	۲۳	۱۱۶۴۸	۶۹/۲	۱۵۰	۴۵	۵۰	۱۴	۱۶۵	۱۰۸/۵	۸/۲	بیشینه	
۲۵۲	۹/۸	۱/۸	۶۵	-۰/۱	۶۲	۳۲/۵	۱۴۰۵	۵/۷	۹۱۳	۶۲	۹/۸	۱/۷	۳/۳	۳/۲	۸	۳/۴	۷/۷	میانگین	بم
۶۰	-۰/۸	-۰/۵	۳۲	-۱۲	۳۵	۳/۲	۲۷۰	۱/۳	۱۷۶	۳۵/۲	۱/۴	-۰/۴	۸/۰	۱/۵	-۰/۴	-۰/۱	۷/۱	کمینه	
۱۱۰	۷۹/۳	۴/۷	۸۶	۴/۲	۸۲/۵	۳۲/۶	۸۵۳۰	۲۲/۱	۵۵۴۵	۸۲/۵	۷۰	۱۴	۱۵	۱۲/۲	۷۶	۱۴/۸	۸/۲	بیشینه	
۵۱۲	۱۱	-۰/۹	۷۰	-۰/۲۵	۴۳	۴۲	۱۷۸۲	۳/۷	۱۱۵۳	۴۲/۸	۸/۷	۴/۶	۵/۶	۵/۸	۹/۲	۳/۹	۷/۲۵	میانگین	بردسیر
۱۲۵	۱/۶	-۰/۲	۳۳	-۱۳	۱۵/۵	۱۶/۷	۴۰۰	-۰/۸	۲۶۰	۱۵/۵	۱	-۰/۵	۲	۱	-۰/۶	-۰/۵	۶/۲	کمینه	
۱۴۰۰	۴۵	۲/۷	۹۷	۲۰	۷۲/۶	۷۷/۳	۵۸۳۰	۹/۸	۳۷۹۰	۷۲/۶	۳۶	۱۷	۱	۲۵	۴۲	۱۲/۳	۸/۲	بیشینه	
۳۱۴	۷/۷	۱/۳	۷۰/۶	-۰/۷	۴۷/۸	۳۴/۵	۱۳۴۴	۳/۴	۸۷۳	۴۲/۸	۸	۲/۲	۴	۳/۴	۵/۶	۵/۲۵	۷/۲۵	میانگین	چیرفت
۷۰	-۰/۴	-۰/۱	۳۵	-۲۱/۸	۶/۷	۱۰	۲۱۸	-۰/۲	۱۴۲	۶/۷	-۰/۲	-۰/۲	۱	۱/۵	-۰/۳	۰	۶/۸	کمینه	
۱۸۰۰	۵۶/۷	۷۵	۱۱۴	۳	۱۵/۱	۷۱/۴	۶۵۰۰	۱۵/۴	۴۲۲۵	۸۵/۲	۴۴	۱۲	۲۴	۶	۵۲	۲۱/۸	۸	بیشینه	
۳۱۸	۶	۷۰	۷۳	-۰/۳	۳۵/۷	۵۵/۲	۱۱۰۸	۲/۷	۷۲۰	۳۵/۷	۵/۴	۳/۲	۳/۱	۳/۱	۴/۲	۴/۵	۷/۵۶	میانگین	بافت
۱۵۰	-۰/۴	-۰/۱	۵۳	-۵	۱۱/۸	۳۷/۷	۳۴۰	-۰/۳	۲۲۱	۱۱/۸	-۰/۴	۱/۵	۱	۲/۲	-۰/۴	۰	۷/۲	کمینه	
۸۲۵	۱۸/۴	۲	۱۰۱	۲	۶۷	۷۵	۳۲۰۰	۸	۲۰۸۰	۶۷	۲۰	۷/۵	۱۰	۵	۱۵	۱۹	۸	بیشینه	
۲۰۴	۵	۱/۸	۷۳	۱/۱	۵۷/۶	۳۸	۹۸۱	۴/۴	۶۳۸	۵۷/۶	۶	۱/۷	۲/۴	۳/۵	۳/۴	۳/۲	۷/۵۹	میانگین	قاریاب
۵۰	۱/۱۸	-۰/۵	۴۷	-۲/۸	۳۱/۴	۱۶/۷	۴۵۷	۱/۳	۲۹۷	۳۱/۴	۱/۶	-۰/۲	-۰/۸	۲/۲	۱	-۰/۶	۷	کمینه	
۵۶۰	۱۵/۴	۵/۳	۹۶	۳/۵	۸۴/۱	۶۸/۸	۲۴۷۰	۱۰/۱	۱۶۰۶	۸۴/۱	۱۶/۶	۵/۵	۷/۲	۶	۱۲/۵	۱۰	۸/۱	بیشینه	
۱۵۰۰	۵۸/۴	۱/۹	۶۸	-۱۳/۴	۶۰	۴۳	۶۳۲۶	۱۱/۳	۴۰۹۷	۵۹/۷	۴۴/۵	۱۳/۴	۱۶/۶	۳/۲	۵۴/۷	۱۶/۵	۷/۲۸	میانگین	رفسنجان
۱۰۰	۱/۶	-۰/۳	۳۱	-۸۸	۲۰/۸	۲۰	۴۴۰	-۰/۷	۲۸۶	۲۰/۸	۱	-۰/۸	۱	۱	-۰/۶	۱	۶	کمینه	
۷۹۰۰	۲۸۸	۸	۱۰۹	۵/۵	۸۹	۷۱/۵	۲۶۰۰۰	۳۲/۸	۱۶۹۰۰	۸۸/۹	۱۹۰	۶۸	۹۰	۱۱/۵	۲۸۰	۶۶	۸/۶	بیشینه	

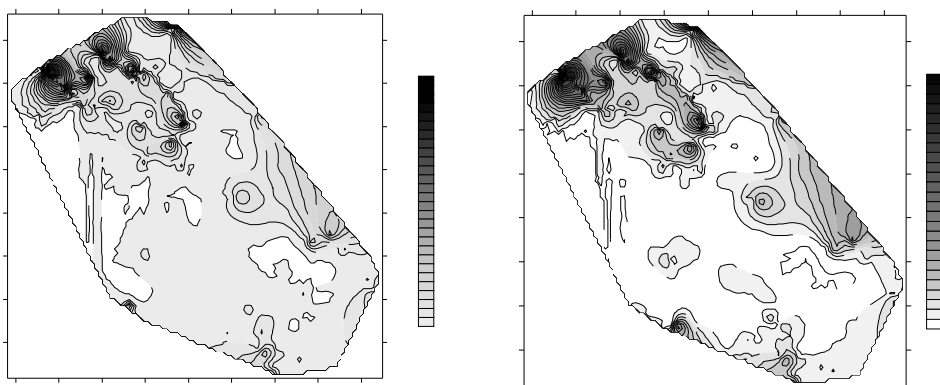


ب



الف

شکل ۲- الف. میانگین شوری (dS/m) و SAR در مناطق مطالعاتی و ب. دیاگرام شوری در منابع آب نمونه برداری شده



شکل ۳- (الف) توزیع شوری dS/m و غلظت کلر (ب) در منطقه مطالعاتی

کیفیت خوب و متوسط بودند و ۶۰/۲ درصد دارای کیفیت نامناسب و ۲۲/۱ درصد در شرایط بسیار بد بودند. شاخص پتانسیل شوری (PS) اثر غلظت بالای نمک را در رابطه با کلر و سولفات نشان می‌دهد. این شاخص با کاهش رطوبت خاک افزایش می‌یابد. میانگین این شاخص در منابع آب مورد بررسی در این مطالعه ۱۹/۸ است. بر اساس این شاخص، آب در سه کلاس خوب (PS کمتر از سه میلی مول بر لیتر)، متوسط (PS ۳ الی ۱۵ میلی مول بر لیتر) و غیرقابل استفاده (PS بیشتر از ۱۵ میلی مول بر لیتر) تقسیم‌بندی می‌شود. در این مطالعه ۳۵ درصد از منابع آب در کلاس غیرقابل استفاده قرار می‌گیرند. به نظر می‌رسد که این منابع آب در شهرستان‌های رفسنجان، زرنند و کرمان قرار دارند چرا که در میان مناطق مورد مطالعه، این سه شهرستان بالاترین میانگین PS را نشان می‌دهند. استفاده از آب منابعی که دارای شاخص پتانسیل شوری بالا هستند در سامانه‌های مدرن آبیاری تحت فشار می‌تواند مشکلاتی را

نمونه‌های آب در مناطق کرمان و زرنند که کلاس آب C_4S_1 است، غالباً برای آبیاری در شرایط عادی قابل استفاده نیستند، هرچند ممکن است اجباراً در موارد خیلی بخصوص از آن‌ها استفاده شود. خاک‌هایی که با این آب‌ها آبیاری می‌شوند باید قابلیت زهکشی خوبی داشته باشند مانند خاک‌های درشت‌بافت و آلی. آبخوبی زمین باید به دفعات و به مقدار زیاد انجام گیرد و نیز گیاهانی که برای آبیاری با این آب‌ها انتخاب شده‌اند باید مقاومت زیاد در مقابل غلظت‌های بالای املاح داشته باشند در این مناطق خطر سدیمی شدن خاک مانند موارد قبل چندان بالا نیست. در شهرستان رفسنجان که کلاس آب C_4S_2 است تمامی موارد گروه قبل را دارند با این تفاوت که خطر سدیمی شدن خاک بخصوص در خاک‌های ریزبافت بیشتر است. صالحی و همکاران (۱۴۰۱) در بررسی کیفیت آب زیرزمینی دشت رفسنجان و مقایسه نتایج با دیاگرام ویلکوکس اعلام کردند که تنها ۳/۵ درصد از نمونه‌های مورد مطالعه دارای

۵۰ برای کشاورزی مضر و نامناسب معرفی شده است (پالیوال، ۱۹۷۲). در مطالعه حاضر نتایج نشان می‌دهد که ۳۰ درصد از نمونه‌های مورد مطالعه در وضعیت بحرانی از نظر شاخص خطر منیزیم (MH) قرار دارند. با توجه به میانگین این شاخص در شهرستان‌های مورد مطالعه، به نظر می‌رسد که نمونه‌های آب بافت و زرد در شرایط بحرانی قرار دارند.

غلظت یون سدیم در آب در طبقه‌بندی کیفی آب برای آبیاری، بسیار مهم است (پورشتمان و همکاران، ۲۰۱۲). سدیم موجود در آب توسط ذرات باردار رس جذب می‌شوند. افزون بر این، یون سدیم بر اساس فرآیند تبادل یونی توانایی جایگزینی یون‌های دو ظرفیتی منیزیم و کلسیم موجود در ذرات خاک را دارد (کومار و همکاران، ۲۰۰۷). نتیجه این عمل کاهش نفوذپذیری خاک به همراه زهکشی داخلی ضعیف و در پی آن کاهش حرکت آب‌وهوا در شرایطی که خاک مرطوب است (غلامی و ربکانتسوامی، ۲۰۰۹) ولی در شرایطی که خاک خشک است، غلظت بالای یون سدیم باعث سخت شدن خاک می‌شود (صالح و همکاران، ۱۹۹۹). در این رابطه می‌توان درصد سدیم محلول در آب (SSP) را بررسی کرد. درصد بالای سدیم محلول در آب ممکن است رشد گیاه را متوقف کند و نفوذپذیری خاک را کاهش دهد. نتایج نشان می‌دهد که نزدیک به ۷۰ درصد از نمونه‌های آب مورد مطالعه مقدار SSP کمتر از ۶۰ را نشان می‌دهند که در محدوده قابل قبول قرار دارد (ویلکوکس، ۱۹۵۵). بیشترین میانگین این شاخص در شهرستان‌های بم و رفسنجان مشاهده می‌گردد. در این مطالعه خطر بی‌کربنات در آب‌های کشاورزی توسط شاخص بی‌کربنات سدیم باقیمانده (RSBC) برای تمامی نمونه‌ها بررسی گردید. بی‌کربنات در آب زیرزمینی می‌تواند رشد گیاهان را مختل کند و به رسوب کلسیت، کاهش نفوذپذیری خاک و افزایش فرسایش خاک منجر شود. مقدار این شاخص باید در نمونه‌های آب کمتر از ۱/۲۵ باشد (آییفونا و شریف، ۲۰۱۰). نمونه‌های آب مورد مطالعه در این پژوهش در این شاخص نیز در محدوده

ایجاد کند. طی دهه اخیر محققان تأکید زیادی بر استفاده از سامانه‌های آبیاری زیرسطحی در این مناطق داشته‌اند (صدقاتی و همکاران، ۱۳۹۸؛ عطایی و همکاران، ۱۳۹۸). همچنین آب‌هایی که شاخص کل جامدات حل‌شده (TDS) بالایی دارند در این زمینه می‌تواند مشکل ایجاد کند. مقدار مجاز TDS برای کشاورزی کمتر از ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر تعیین شده است (آیرز و وستکات، ۱۹۹۴). در منطقه مورد مطالعه میانگین این شاخص ۱۷۰۰ میلی‌گرم بر لیتر مشاهده شد که به تبعیت از شوری خاک شهرستان‌های رفسنجان و زرد بیشترین میانگین TDS را نشان دادند.

سختی آب (TH) نیز یک معیار مهم برای تعیین مناسب بودن آب برای اهداف مختلف است. سختی آب در منطقه مورد مطالعه میانگین ۶۴۳ را نشان داد. آب با سختی بالاتر از ۱۵۰ محدودیت‌هایی را در استفاده از آب ایجاد می‌کند. با تفکیک مناطق مطالعاتی مشاهده می‌شود که سختی آب در تمامی شهرستان‌ها در کلاس سخت و خیلی سخت طبقه‌بندی می‌شوند در این میان شهرستان‌های زرد و رفسنجان در بالاترین رده از نظر سختی آب قرار دارند. نشاط و غلامرضایی (۱۴۰۰) نیز در مطالعات خود آب‌های زیرزمینی رفسنجان را در محدوده سخت معرفی کردند. pH آب معمولاً بین ۶/۵ تا ۸/۴ متغیر است (آیرز و وستکات، ۱۹۹۴). بر اساس دستورالعمل‌های فائو در تمام مناطق، مقدار pH در سطح بهینه است و تغییرات اندکی را نیز نشان می‌دهد. تعیین pH آب در تصفیه آب برای رفع خوردگی احتمالی لوله آهنی مفید است (هم، ۱۹۹۱).

کلسیم، منیزیم و سدیم کاتیون‌های مهم از نظر آب مصرفی در بخش کشاورزی هستند. به‌طور کلی در بیشتر آب‌های طبیعی غلظت یون‌های Ca و Mg با هم در تعادل هستند. زمانی که میزان منیزیم در آب زیاد می‌شود اثر معکوس بر کیفیت خاک دارد. به‌طوری‌که سبب قلیایی شدن خاک و در نتیجه کاهش بازدهی محصول کشاورزی می‌شود. خطر منیزیم (MH) اولین بار توسط Szabolcs و darab (۱۹۶۴) ارائه شد. این شاخص در مقادیر بیش از

آبیاری زمین با این آب سبب بایر شدن زمین و رسوب بیکربنات سدیم می‌شود.

مورد قبول قرار دارند. با توجه به اسیدیته مناسب آب‌های مورد مطالعه این نتیجه دور از ذهن نیست چرا که آب‌های دارای RSBC بالا، دارای pH بالایی نیز هستند بنابراین

جدول ۳- کلاس شور و سدیمی آب زیرزمینی مناطق مورد مطالعه

کلاس شور سدیمی	شهرستان	کلاس شور سدیمی	شهرستان
C ₃ S ₁	جیرفت	C ₄ S ₁	کرمان
C ₃ S ₁	بافت	C ₄ S ₁	زرند
C ₃ S ₁	فاریاب	C ₃ S ₁	بم
C ₄ S ₂	رفسنجان	C ₃ S ₁	بردسیر

در این طبقه‌بندی‌ها آب بر اساس کاتیون‌ها به سه رخساره منیزیک، کلسیک و سدیک و نیز بر پایه آنیون‌ها به سه تیپ بی‌کربناته، سولفات و کلره تقسیم‌بندی می‌شود (رهنما و سیاری، ۱۳۹۸). شکل ۵ نمودار پایپر را در مناطق مطالعاتی نشان می‌دهد. همان‌طور که در این نمودارها مشاهده می‌گردد در شهرستان‌های کرمان و بم سختی‌های غیرکربناتی (دایم)، متجاوز از ۵۰ درصد است و غلظت‌های بالای منیزیم نسبت به سایر کاتیون‌ها مشاهده می‌شود و در سایر مناطق هیچ کاتیونی از مرز ۵۰ درصد تجاوز نمی‌کند و تعادل کاتیونی قابل مشاهده است درحالی‌که در تمامی مناطق وضعیت آنیونی آب‌ها در محدوده آب‌های کلوره مشاهده می‌گردد که خطر شوری و تجمع املاح توسط آب در خاک قابل پیش‌بینی است. تیپ ترکیبی آب زیرزمینی در تمامی مناطق بر اساس نمودار پایپر Ca-Mg-SO₄-Cl است.

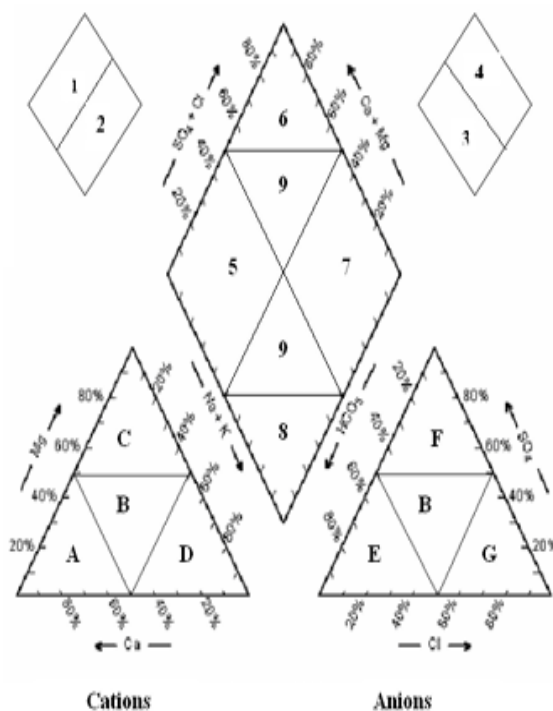
با استفاده از نمودار پایپر (piper diagram) تیپ و وضعیت شیمیایی آب مشخص شد. در این نمودار درصد آنیون‌ها و کاتیون‌ها در میدان‌های مثلثی و موقعیت ترکیبی آن‌ها در میدان لوزی شکل پیاده شد (درصدها بر اساس مجموع اکسی‌والان در میلیون یون‌ها محاسبه شده‌اند). شکل کلی میدان‌ها در نمودار پایپر در شکل ۴ نشان داده شده است. رسم این نمودار به این شکل است که در مثلث سمت راست آنیون‌ها پیاده می‌شوند و به این ترتیب که در روی ضلع مربوط به آنیون‌ها، درصد آن پیدا شده و خطی به موازات ضلعی که روبروی رأس ۱۰۰ درصد مربوط به آن آنیون است رسم می‌گردد به این ترتیب به خط که یکدیگر را در یک نقطه قطع می‌نمایند رسم می‌شود. سپس همین کار برای کاتیون‌ها در مثلث سمت چپ انجام‌شده تا نقطه دیگری به دست آید. آنگاه این دو نقطه به موازات اضلاع لوزی امتداد داده شده تا یکدیگر را در نقطه‌ای در میدان‌های لوزی قطع نمایند.

راه‌نمای میدانی مثلثی:

- A تیپ کلسیمی
- B هیچ یونی غالب نیست
- C تیپ منیزیمی
- D تیپ سدیم - پتاسیمی
- E تیپ بیکربنات
- F تیپ سولفات
- G تیپ کلرید

راه‌نمای میدان لوزی:

۱. قلیایی خاکی (Ca+Mg) بیشتر از قلیایی‌ها (Na+K)
۲. قلیایی‌ها بیشتر از قلیایی‌های خاک
۳. اسیدهای ضعیف ($\text{HCO}_3 + \text{CO}_3$) بیشتر از اسیدهای قوی SO_4 (+Cl)
۴. اسیدهای قوی بیشتر از اسیدهای ضعیف
۵. سختی کربنات از ۵۰ درصد تجاوز می‌کند، به عبارت دیگر قلیایی‌های خاک و اسیدهای ضعیف غالب هستند.
۶. سختی‌های غیرکربناتی متجاوز از ۵۰ درصد است.
۷. قلیایی غیرکربناتی بیش از ۵۰ درصد و غلبه با قلیایی‌ها و اسیدهای قوی است.
۸. قلیایی کربناتی متجاوز از ۵۰ درصد است. در اینجا آب‌هایی قرار می‌گیرند که سختی آنها در مقایسه با مواد محلول موجود در آنها خیلی کم باشد.
۹. هیچ زوج آنیون و کاتیونی از مرز ۵۰ درصد تجاوز نمی‌کنند

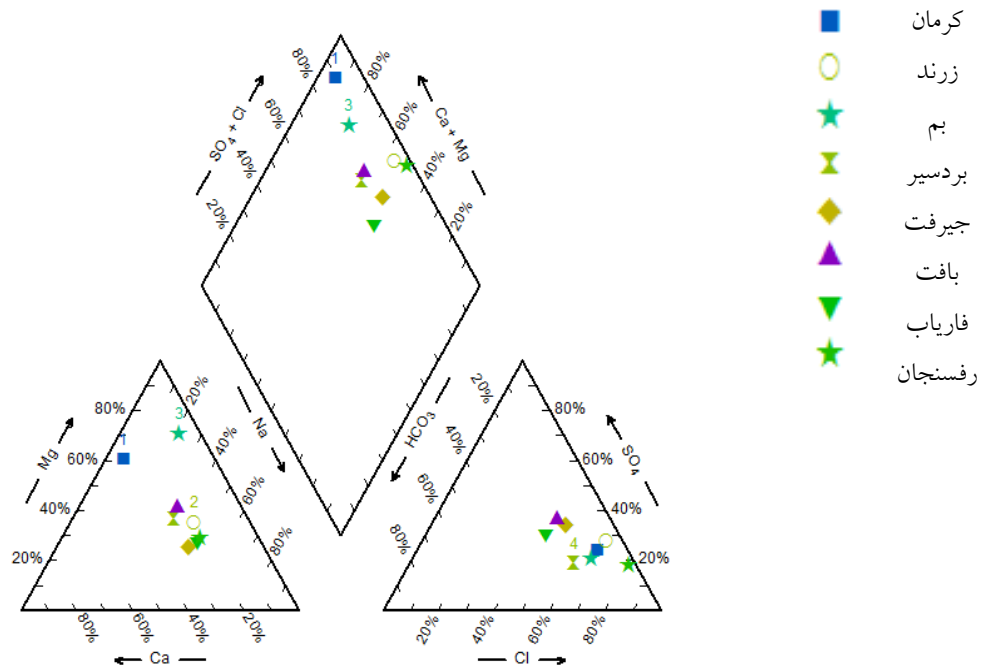


شکل ۴- راه‌نمای نمودار پایپر

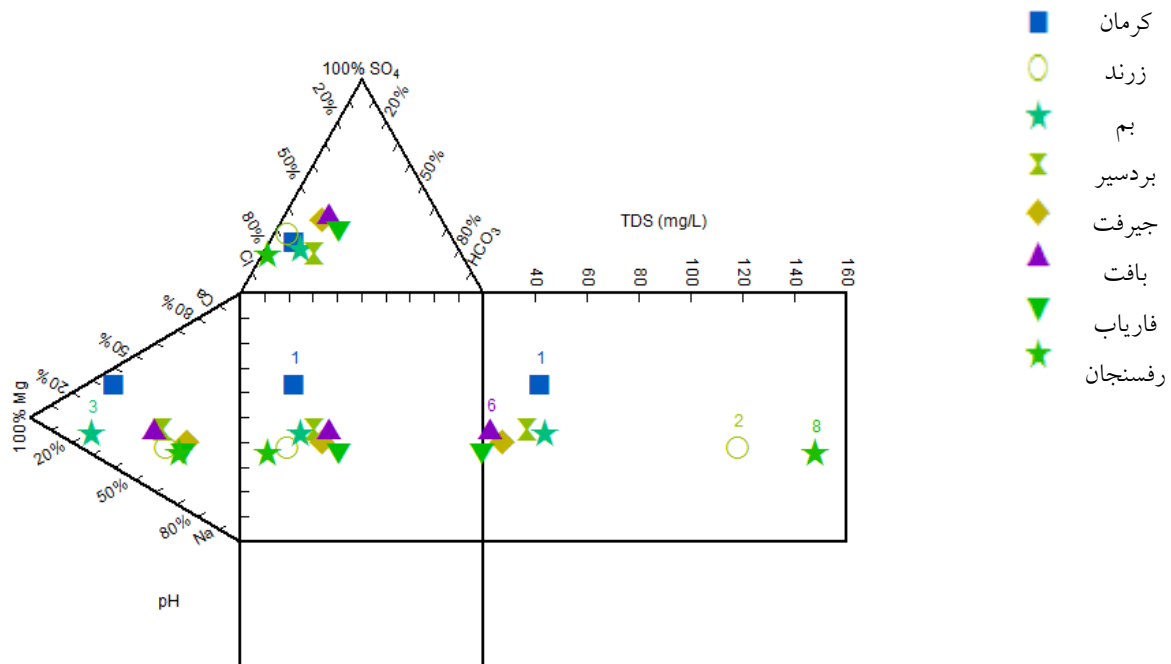
پیش می‌رود درحالی‌که سایر مناطق کاتیون سدیم در تعادل با منیزیم مشاهده می‌شود. این در حالی است که در شهرستان‌های شمالی‌تر استان مانند رفسنجان، زرنند، بردسیر و همچنین شهرستان‌های بزم و کرمان آنیون غالب آب کلر است درحالی‌که در مناطق فاریاب، بافت و جیرفت وضعیت آنیون‌های غالب آب کمی به سمت سولفات شده پیش می‌رود. همان‌طور که پیش‌ازاین اشاره شد در این نمودار نیز سختی زیاد آب در شهرستان‌های زرنند و رفسنجان قابل مشاهده است.

شکل ۶ نمودار دورو (Durov diagram) را نشان می‌دهد. از مزایای نمودار دورو نسبت به پایپر نمایش بهتر تیپ‌های مختلف آبی و فرایندهای هیدروشیمیایی مانند تبادل یونی است (سینگال و گوپتا، ۱۹۹۹). این نمودار نشان دهنده ترکیبات یون، pH و میزان TDS هر تعداد نمونه است. برای تعیین نوع و منشأ آب زیرزمینی که اساس آن مقادیر کاتیون‌ها و آنیون‌های عمده آب، بر حسب درصد است (دورو، ۱۹۵۹).

در نمودار دورو مشاهده می‌شود که منابع آب شهرستان‌های کرمان و بزم غلظت کاتیونی به سمت منیزیم



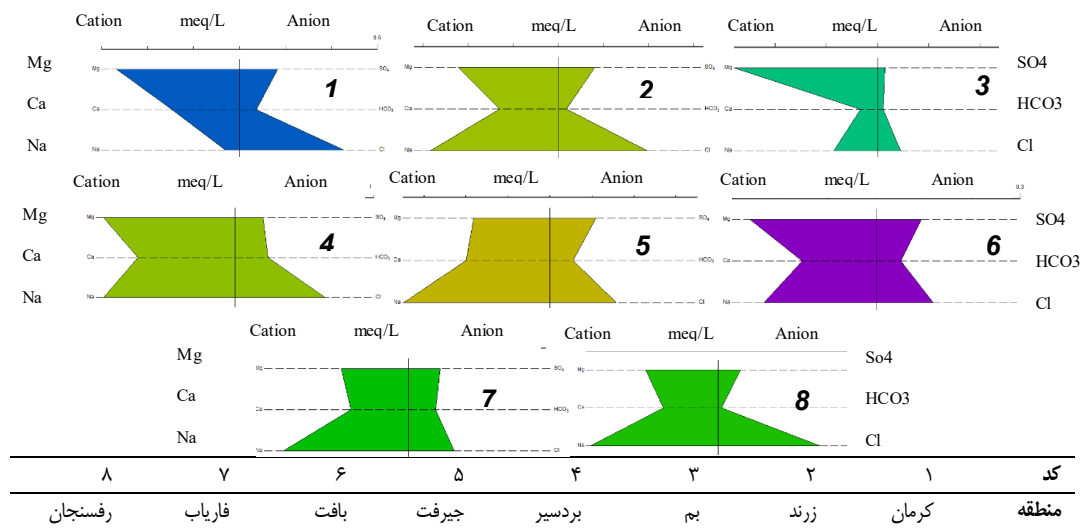
شکل ۵- نمودار پایپر منابع آب در منطقه مطالعه شده با استفاده از نرم افزار AqQa



شکل ۶- نمودار دورو منابع آب در منطقه مطالعه شده با استفاده از نرم افزار AqQa

مطلوب این نسبت بیش از یک اعلام شده است. خطر تخریب سدیم در خاک‌های منیزیمی و یا در صورت استفاده از آب‌های دارای منیزیم بالا افزایش پیدا می‌کند. بکبایف و همکاران (۲۰۰۵) در مطالعه‌ای در قراقرستان اعلام کردند در بیش از ۳۰ درصد خاک‌های تحت آبیاری با این نوع آب‌ها، درصد منیزیم تبدلی به ۲۵ تا ۴۵ و حتی ۶۰ درصد می‌رسد. این خاک‌ها به Takyer معروف‌اند و دارای سرعت نفوذ کم و هدایت هیدرولیکی آهسته هستند. با عنایت به موارد فوق استنباط می‌گردد که استفاده از آب آبیاری دارای نسبت کلسیم به منیزیم کوچک‌تر از یک به‌ویژه در شرایط شور باید با احتیاط صورت گیرد. بخصوص که در غالب مناطق مورد مطالعه به‌استثناء شهرستان کرمان غلظت سدیم نیز نسبت به کلسیم بالاتر است و این موضوع خطر سدیم را بسیار بیشتر مدنظر قرار می‌دهد. در منابع آب مورد مطالعه در اغلب شهرستان‌ها فراوانی کاتیون‌ها به‌صورت $(Na^+ > Mg^{2+} > Ca^{2+})$ است. از نظر غلظت غالب آنیون‌ها مشاهده می‌گردد که در اغلب مناطق مورد بررسی، آنیون غالب کلر است و بیکربنات کمی نسبت به سایر آنیون‌ها در نمونه‌های آب مشاهده می‌گردد.

در شکل ۷ نمودارهای استیف (Stiff diagram) مربوط به مناطق مختلف مشاهده می‌گردد. این نمودار امکان مقایسه‌ی کل آنیون‌ها و کاتیون‌ها را فراهم می‌کند. در این نمودار نتایج شیمیایی آب بر حسب meq/L بر روی محور افقی (کاتیون‌ها در سمت چپ عدد صفر و آنیون‌ها در سمت راست عدد صفر) پیاده می‌شوند. با اتصال نقاط به‌دست‌آمده به هم، شکل‌های مشخصی به وجود می‌آید که از لحاظ مقایسه سریع تعداد زیادی از نمونه‌ها بسیار مفید است. در نمودار استیف کلسیم در مقابل بیکربنات + کربنات، منیزیم در مقابل سولفات، سدیم و پتاسیم در برابر کلرور قرار می‌گیرند. هر چه کاتیون‌ها و آنیون‌ها از نظر مقدار به هم نزدیک باشند شکل حاصل منظم‌تر خواهد بود. بر اساس این نمودارها مشاهده می‌گردد که غلظت آنیون‌ها در نمونه‌های آب تمام مناطق کمتر از کاتیون‌ها است. این موضوع می‌تواند وابسته به زمان نمونه‌برداری نیز باشد. در تمامی مناطق مورد مطالعه غلظت کلسیم آب از منیزیم آن کمتر نشان داده می‌شود. لذا می‌توان انتظار داشت که در مناطق تحت آبیاری با این منابع آبی نسبت کلسیم به منیزیم کمتر از یک شود. در منابع مقدار



شکل ۷- نمودار استیف منابع آب در منطقه مطالعه شده با استفاده از نرم‌افزار AqQa

نتیجه‌گیری

سنج‌های گرافیکی متفاوت، تیپ شیمیایی آب‌های مناطق مورد نظر بررسی گردید. بر اساس نتایج حاصل بیش از ۳۵ درصد از منابع مورد مطالعه از نظر شوری در ردیف آب‌های

این پژوهش به‌منظور بررسی کیفی آب زیرزمینی بخش‌هایی از استان کرمان انجام گرفته است و با استفاده از

وجود دارند که علاوه بر عوامل انسانی، بر کیفیت آب مؤثر هستند. در زرنند وجود سنگ‌های متعلق به نئوژن به دلیل داشتن لایه‌های گچ و نمک و همچنین سنگ‌های آواری - تخییری متعلق به ژوراسیک و کامبرین در قسمت شمال غربی دشت زرنند، تأثیر نامطلوبی بر کیفیت آب‌های زیرزمینی دارند (ملکی و همکاران، ۱۳۸۷). نمودارهای ترسیمی در این مطالعه نکاتی را در مورد کلاس و تیپ ترکیب شیمیایی و آنیون و کاتیون غالب در آب زیرزمینی مناطق مورد مطالعه نشان می‌دهد. تیپ ترکیبی آب زیرزمینی در تمامی مناطق بر اساس نمودار پایپر $Ca-Mg-SO_4-Cl$ است. به طوری که در شهرستان‌های شمالی‌تر استان مانند رفسنجان، زرنند، بردسیر و همچنین شهرستان‌های بم و کرمان آنیون غالب آب کلر است در حالی که در مناطق فاریاب، بافت و جیرفت وضعیت آنیون‌های غالب آب کمی به سمت سولفات‌ها شدن پیش می‌رود. در منابع آب مورد مطالعه در اغلب شهرستان‌ها $Na^+ > Mg^{2+} > Ca^{2+}$ است و از نظر غلظت غالب آنیون‌ها مشاهده می‌گردد که اغلب مناطق مورد بررسی آنیون غالب کلر را دارند و بیکربنات کمی نسبت به سایر آنیون‌ها در نمونه‌های آب مشاهده می‌گردد همچنین بر اساس نتایج، رخساره غالب آب در تمامی مناطق $Na-Cl$ و $Mg-Cl$ هستند.

نامناسب قرار می‌گیرند و این امر همچنان اختلالات شوری آب‌های زیرزمینی در استان کرمان را که از سال‌ها پیش توسط پژوهشگران به آن اشاره شده است مورد تأکید قرار می‌دهد. در میان شهرستان‌های مورد مطالعه در استان کرمان، شهرستان‌های زرنند و رفسنجان از نظر شاخص‌های کیفیت آب زیرزمینی در شرایط نامطلوبی قرار دارند به طوری که SSP, TH, PS, SAR, EC در یکی یا هر دوی این شهرستان‌ها در شرایط بحرانی قرار دارند و اغلب مناطق دیگر استان که در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفته است از نظر استانداردهای آب کشاورزی دارای آب با کیفیت مناسبی هستند. شهرستان‌های زرنند و رفسنجان در استان کرمان به عنوان دو قطب صنعتی و کشاورزی شناخته می‌شوند. طی دهه‌های اخیر افزایش وسعت کاربری‌های شهری، رشد صنایع و بالا رفتن سطح زیرکشت بخصوص پسته در این شهرستان‌ها به طور مستقیم تقاضای آب را به شدت افزایش داده است و این امر باعث برداشت‌های بی‌رویه شده است و در نتیجه فشار زیادی به آبخوان‌های این دو منطقه وارد شده است (اسکندری و همکاران، ۱۳۹۸). البته مطالعات متعددی وخامت وضعیت کیفی آب زیرزمینی این دو شهرستان را مورد تأکید قرار داده‌اند (زمزم و همکاران، ۱۳۹۱؛ مرتضوی و همکاران، ۲۰۱۴؛ حسینی فرد و امینیان، ۲۰۱۵). در این دو منطقه سازندهای مختلفی نیز

فهرست منابع

۱. اسکندری، ح.، خسروی، ح.، و ابوالحسنی، ا.، ۱۳۹۸. ارزیابی تأثیر تغییرات کاربری بر کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت زرنند با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و زمین‌آماری. مجله مخاطرات محیط طبیعی. شماره ۸ جلد ۲۰ صفحه‌های ۶۷ تا ۸۲.
۲. بیگلری، ن.، و سیاری، ن.، ۱۳۹۶. ارزیابی پارامترهای کیفی جریان آب قنات بم با مدل $AqQa$ ، سومین کنفرانس سالانه پژوهش‌های معماری، عمران و مدیریت شهری، شیراز. ۲۱ اردیبهشت.
۳. جعفری مهدی‌آباد، ف.، عبدالمهدی عزت‌آباد، م.، و اسلامی، م. ر.، ۱۳۹۵. بررسی آثار اقتصادی و اجتماعی بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب در دشت رفسنجان - انار در استان کرمان. اقتصاد کشاورزی و توسعه. ۲۳(۹۳): ۱۹۳-۲۲۱
۴. رهنما، س.، و سیاری، ن.، ۱۳۹۸. بررسی روند تغییرات پارامترهای شیمیایی کیفیت آب رودخانه تجن با استفاده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی و نرم‌افزار $Aqua\ chem$. انسان و محیط‌زیست. شماره ۴۸: ۱۴ تا ۲۵.

۵. زارع، ح.، و خالدیان، م. ر.، ۱۳۹۶. بررسی تغییرات مکانی و زمانی شوری آب‌های زیرزمینی استان کرمان به‌منظور استفاده در آبیاری قطره‌ای پسته. *نشریه آبیاری و زهکشی ایران* ۱۱(۵): ۸۱۰-۸۲۱.
۶. زمزم، ع.، و رهنما، م. ب.، ۱۳۹۱. ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی با مدل ریاضی MT3DMS (مطالعه موردی: دشت رفسنجان). *مجله پژوهش آب ایران*، شماره ۶ جلد ۱۰ صفحه‌های ۲۰۳ تا ۲۰۷.
۷. شاهی دشت، ع. ر.، و عباس نژاد، ا.، ۱۳۸۹. مدیریت منابع آبی، چالش‌ها و راهکارها (مطالعه موردی: استان کرمان) چهارمین کنگره بین‌المللی جغرافیدانان جهان اسلام ۲۵ تا ۲۷ فروردین. زاهدان. ایران.
۸. صالحی، س.، اسماعیلی، ع.، و فرهادی، ه.، ۱۴۰۱. تعیین کیفیت آب‌های زیرزمینی با استفاده از سیستم GIS_AHP مبنای مقایسه آن با دیاگرام ویلکوکس (مطالعه موردی دشت رفسنجان)، *نشریه مهندسی عمران امیرکبیر*. شماره ۵۴ جلد ۱ صفحه‌های ۲۸۴ تا ۲۹۸.
۹. صدقاتی، ن.، حسینی فرد، ج.، عبدالمهدی عزت‌آبادی، م.، محمدی محمدآبادی، ا.، و نیکوئی دستجردی، م.، ۱۳۹۸. اثر تغییر سیستم آبیاری از روش سطحی (غرقابی) به زیرسطحی با لوله‌های پی‌وی‌سی (PVC) بر شوری خاک، رشد و عملکرد درختان پسته. *علوم و فناوری پسته*. ۴(۸): ۲۸-۴۲.
۱۰. عبا نژاد، ا.، و دهقانی، م.، ۱۳۹۵. بررسی فرآیندهای هیدروژئوشیمیایی مؤثر بر کیفیت آب زیرزمینی دشت راین، کرمان با استفاده از روش‌های زمین‌آمار، ژئوشیمی. شماره ۵ جلد ۲ صفحه‌های ۱۴۵ تا ۱۵۵.
۱۱. عطایی، ع.، اکبری، م.، نیشابوری، م. ر.، زارع حقی، د.، و عنابی میلانی، ا.، ۱۳۹۸. پاسخ گیاه پسته به توزیع رطوبت و شوری در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی. *نشریه آبیاری و زهکشی ایران*. ۱۳(۱): ۱۵-۱۲۸.
۱۲. فرهادی، ص.، محمدی، م.، محمدی، ج.، و بهرام‌خانی، ح.، ۱۳۹۶. بررسی کیفی آب‌های زیرزمینی دشت ابهر-زنجان، دهمین همایش ملی زمین‌شناسی دانشگاه پیام نور، ۱۳ و ۱۴ اردیبهشت.
۱۳. ملکی گنادیشی، ف.، و رهنما، م. ب.، ۱۳۸۷. بررسی کیفی آب‌های زیرزمینی دشت زرنند از نظر شرب با استفاده از زمین‌آمار و نرم‌افزار GS⁺. دومین همایش ملی آب و فاضلاب (با رویکرد بهره‌برداری) مهرماه ۱۶، تهران.
۱۴. نشاط، ع.، و غلامرضایی، ر.، ۱۴۰۰. کیفیت آب‌های زیرزمینی با استفاده از نرم‌افزار AqQA و تعیین مناسب‌ترین روش پهنه‌بندی (مطالعه موردی دشت رفسنجان). *علوم و تکنولوژی محیط‌زیست*. شماره ۲۰ جلد ۱۰ صفحه‌های ۱۶۱ تا ۱۷۷.
15. Abdel-Satar, A., Al-Khabbas, A., Alahmad, W., Yousef, W., Alsomadi, R., and Iqbal, T., 2017. Quality assessment of groundwater and agricultural soil in Hail region, Saudi Arabia, Egypt. *J. Aquat. Res.* 43(1):55-64.
16. Ayers, R S., and Westcot, D W., 1994. *Water Quality for Agriculture*, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Publication number 29, Rome, Italy.
17. Bekbaev, R., Vyshpolsky, F., Ibatullin, S., Mukhamedjanov, Kh., and Bekbaev, U., 2005. Influence of application of phosphogypsum on infiltration rate of solonchic soil. *Bull agriculture Science. Kazakhstan (in Russian)* 7: 18-20.A
18. Bustan, A., Sagi, M., De Malach, Y., and Pasternak, D., 2004. Effects of saline irrigation water and heat waves on potato production in an arid environment. *Field Crops Res* 90:275-285
19. Chapman, H D., and Pratt, P F., 1962. *Methods of analysis for soils, plants and waters*. *Soil Sci.* 93(1): 68
20. Chitsazan, M., Aghazadeh, N., Mirzaee, Y., and Golestan, Y., 2017. Hydrochemical characteristics and the impact of anthropogenic activity on groundwater quality in suburban area of Urmia city, Iran, *Environ Dev Sustain* 21: 331-351.

21. Delgado, C., Pacheco, J., Cabrera, A., Batllori, E., Orellana, R., and Bautista, F., 2010. Quality of groundwater for irrigation in tropical karst environment: The case of Yucatan, Mexico. *Agric. Water Manag.* 97: 1423–1433.
22. Dhanasekarapandian, M., Chandran, S., SaranyaDevi, D., and Kumar, V., 2016. Spatial and temporal variation of groundwater quality and its suitability for irrigation and drinking purpose using GIS and WQI in an urban fringe, *J. African Earth Sci.* 124:270-288.
23. Doneen, L D., 1964. Notes on Water Quality in Agriculture published as a Water Science and Engineering Paper 4001, Department of Water Science And Engineering, University of California.
24. Durov, S A., 1959. Geometriceskij metod v gidrochimii. Rostovskoje kniznoje izdatelstvo, Rostov. USSR. (Geometrical methods in hydrochemistry).
25. Eaton, F M., 1950. Significance of carbonate in irrigation waters. *Soil Sci.* 67(3): 128-133.
26. Gholami, S., Srikantaswamy, S., 2009. Analysis of agricultural impact on the Cauvery river water around KRS dam. *World Appl Sci J.* 6:1157–1169.
27. Gupta, R., and Misra, A., 2016 Groundwater quality analysis of quaternary aquifers in Jhajjar District, Haryana, India: Focus on groundwater fluoride and health implications. *Alex. Eng. J.* 57(1): 375-381.
28. Gupta, S K., and Gupta, I C., 1987. Management of Saline Soils and Water. Oxford and IBH publication, New Delhi, India.
29. Hem, J D., 1991. Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water. Geological Survey Water-Supply Paper 1973, U.S. Government Printing Office, Washington DC, 363 p.
30. Hosseinifard, S j., Mirzaei Aminiyan, M., 2015, Hydrochemical Characterization of Groundwater Quality for Drinking and Agricultural Purposes: A Case Study in Rafsanjan Plain, Iran. *Water Qual Expo Health* 7:531-544.
31. Hussain, M., Ahmed, S M., and Abderrahman, W., 2008. Cluster analysis and quality assessment of logged water at an irrigation project, eastern Saudi Arabia. *J Environ Manag* 86:297–307
32. Joshi, D M., Kumar, A., and Agrawal, N., 2009. Assessment of the irrigation water quality of river Ganga in Haridwar district. *Rasayan. J. Chem.* 2(2): 285-292.
33. Karlberg, L., and de Vries, FWP, 2004. Exploring potentials and constraints of low-cost drip irrigation with saline water in sub-Saharan Africa. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C* 29: 1035-1042.
34. Kaur, T., Bhardwaj, R., and Arora, S., 2017. Assessment of groundwater quality for drinking and irrigation purposes using hydrochemical studies in Malwa region, southwestern part of Punjab, India. *Appl. Water Sci.* 7(6): 3301-3316.
35. Kumar, M., Kumari, K., Ramanathan, A L., and Saxena, R., 2007. A comparative evaluation of groundwater suitability for irrigation and drinking purposes in two intensively cultivated districts of Punjab, India. *J. Environ. Geol.* 53: 553-574.
36. Liu, M X., Yang, J S., Li, X M., Mei, Y u., Wang, J., 2012. Effects of irrigation water quality and drip tape arrangement on soil salinity, soil moisture distribution, and cotton yield (*Gossypium hirsutum* L.) under mulched drip irrigation in Xinjiang, China. *J Integr Agric* 11(3):502–511.
37. Mass, E V., 1984. Salt tolerance of plants. In: B. R. Christie (Ed.), *Hand book of Plant Science in Agriculture*. CRC Press, Boca Raton, FL:P:1- 25.
38. Mortazavi, S M., Solaimani, K., Matkan, A A., Habibnejad, M., and Ahmadi, MKZT., 2014 The Effect of degradation of ground water resources on capital of pistachio growers in Kerman province. *Curr World Environ.* 9(3):932–939.
39. Obiefuna, G I., and Sheriff, A., 2010. Assessment of shallow groundwater quality of Pindiga Gombe area, Yola Area, NE, Nigeria for irrigation and domestic purposes. *Research Journal of Environmental and Earth Sciences* 3(2): 131-141.
40. Palliwal, K V., 1972. Irrigation with Saline Water, ICARI Monograph No.2, New Delhi, p198.

41. Pansu, M., and Gautheyrou, J., 2006, Handbook of Soil Analysis Mineralogical, Organic and Inorganic Methods. Springer.
42. Park, S., 2005. Regional hydrochemical study on salinization of coastal area of South Korea. *J. Hydrol.*, 313(3-4): 182-194.
43. Piper., C S., 2010. Soil and plant analysis: A Laboratory Manual of Methods for the Examination of Soils and Determination of the Inorganic Constituents of Plants. Scientific Publishers, India.
44. Pittman, D W., 1918. Soil factors affecting the toxicity of alkali. *Journal of Agricultural Research*. 15:235-243.
45. Purushothman, P., Rao, M S., Kumar, B., Rawat, Y S., Krishan, G., Gupta, S., Marwah, S., Bhatia, A K., Kaushik, Y B., Angurala, M P., and Singh, G P., 2012. Drinking and irrigation water quality in Jalandhar and Kapurthala Districts, Punjab, India: using hydrochemistry. *Int. J. Earth Sci. Eng.* 5(6), 1599-1608.
46. Richards, L A., 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. *Agriculture Handbook 60*. USDA and IBH Publications, New Delhi, India.
47. Safdari, Z., Nahavandchi, H., and Joodaki, G., 2022. Estimation of Groundwater Depletion in Iran's Catchments Using Well Data. *Water*. 14(1):131.
48. Saemian, P., Tourian, M J., AghaKouchak, A., Madani, K., Sneeuw, N., 2022. How much water did Iran lose over the last two decades? *Journal of Hydrology: Regional Studies*: 41,
49. Saleh, A., Al-Ruwaih, F., and Shehata, M., 1999. Hydrogeochemical processes operating within the main aquifers of Kuwait. *J. Arid Environ.* 42:195-209.
50. Sappa, G., Ergul, S., and Ferranti, F., 2014. Water quality assessment of carbonate aquifers in southern Latium region, Central Italy: a case study for irrigation and drinking purposes. *Appl Water Sci* 4:115-128.
51. Singhal, B B S., and Gupta, R P., 1999. *Applied Hydrogeology of Fractured Rocks*. Kluwer Academic Publisher, 400 pp
52. Soleimani, H., Abbasnia, A., Yousefi, M., Mohammadi, A A., and Changani Khorasgani, F., 2018. Data on assessment of groundwater quality for drinking and irrigation in rural area Sarpol-e Zahab city, Kermanshah province, Iran. *Data in Brief* 17: 148–156.
53. A User's Guide to RockWare Aq.Qa, Version 1.1, Golden, Colorado 80401, USA, 2003-2004.
54. Szabolcs, I., and Darab, C., 1964. The Influence of Irrigation Water of High Sodium Carbonate Content of Soils. *Proceedings of 8th International Congress of ISSS*, 2, 803-812.
55. Tucker, B B., and Kurtz, L T., 1961. Calcium and magnesium determinations by EDTA titrations. *Soil Sci Soc Am J.* 25: 27-29.
56. Wilcox, L., 1955. *Classification and Use of Irrigation waters*. United States Department of Agriculture. Washington.
57. Zangen, M., 1962. Titration of carbonate-bicarbonate leach solutions. *J. Appl. Chem.* 12: 92-96.

Investigating the Quality of Groundwater for Agricultural Purposes in Parts of Kerman Province

S. Sadr*

Research Assistant, Pistachio Research Center, Horticulture Science Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rafsanjan, Iran. 2716sadr@gmail.com

Received: February 2023 and Accepted: September 2023

Abstract

This research was conducted in order to investigate the quality of groundwater for agricultural use in the northern and central parts of Kerman Province. In this study, there were 534 water samples from 8 counties (Kerman, Zarand, Bam, Bardsir, Jiroft, Baft, Faryab, and Rafsanjan), which were collected from different sources, and concentration of Na^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Cl^- , SO_4^{-2} , and HCO_3^{-2} was determined. Also, indicators such as Total Dissolved Solids (TDS), Sodium Absorption Ratio (SAR), Permeability Index (PI), Residual Sodium Bicarbonate (RSBC), Electrical Conductivity (EC), Salinity Potential (PS), Magnesium Hazard (MH), Water Hardness (TH), percentage of sodium soluble in water (SSP) were determined and evaluated. After determining the quality characteristics of water, the results were compared and interpreted with water standards for agriculture. AqQA software was used to draw graphs to investigate and compare water characteristics. Based on the results, more than 37% of the studied resources were classified as unsuitable (salinity above 2 dS/m) in terms of salinity. Zarand and Rafsanjan counties had unfavorable conditions in terms of groundwater quality indicators, with EC, SAR, PS, TH, SSP and MH in critical conditions in one or both counties, but, in terms of agricultural water standards, the other sites had good quality water. The combined type of underground water in all areas was Ca-Mg-SO₄-Cl: while in the northern parts of the province, such as Rafsanjan, Zarand, Bardsir, as well as Bam and Kerman, the predominant anion of water was chlorine, in Faryab, Baft and Jiroft, the status of the predominant anions was slightly sulfate. In most of the counties, $\text{Na}^+ > \text{Mg}^{+2} > \text{Ca}^{+2}$ were the dominant anions of chlorine-waters, and little bicarbonate was observed. Also, the dominant water in all areas were Na-Cl and Mg-Cl. Therefore, it is necessary to manage water properly and plant crops suitable for the chemical conditions of waters.

Keywords: AqQA software, Magnesium hazard, Water hardness

* - Corresponding author's email: 2716sadr@gmail.com