

ارزیابی کیفی آب زیرزمینی دشت صحرای باغ برای مصارف کشاورزی و صنعت

توران شیروانی^۱، ایمان شیروانی سارویی^۲، محمدحسین بوچانی^{۳*}، فرشید عارف^۴

۱. کارشناس ارشد آبیاری و زهکشی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد فیروزآباد

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد اکوهیدرولوژی، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران

۳. دانشجوی دکتری برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه شهید بهشتی

۴. استادیار گروه خاک‌شناسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد فیروزآباد

(تاریخ دریافت ۱۳۹۴/۱۰/۲۶ تاریخ تصویب ۱۳۹۴/۱۲/۲۰)

چکیده

بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی و پهنه‌بندی پارامترهای کیفی برای ارزیابی این منابع برای مصارف مختلف اهمیت بسزایی دارد. هدف از این مطالعه ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی دشت صحرای باغ و پهنه‌بندی آن برای مصارف کشاورزی و صنعتی است. برای این منظور از اطلاعات ده‌ساله (۱۳۸۲ تا ۱۳۹۲) کیفی آب‌های زیرزمینی این دشت استفاده شد. در این پژوهش برای بررسی خاصیت خوردگی و رسوب‌گذاری آب منطقه از شاخص‌های اشباع لانتزلیه و پایداری رایزرن استفاده شد و پارامترهای کیفی شامل کاتیون‌ها (کلسیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم) و آنیون‌ها (کلر، بی‌کربنات) و دیگر شاخص‌های وابسته مانند TDS، TH و SAR ارزیابی شدند. نتایج نشان داد میانگین شاخص LSI در آبخوان دشت ۰/۴۸ بود که به این لحاظ، آب‌های زیرزمینی این منطقه پتانسیل متوسط رسوب‌گذاری دارند. همچنین میانگین شاخص RSI، ۶/۴ شد که براساس این شاخص آب زیرزمینی پتانسیل کم‌خوردگی دارد. ضریب تغییرات LSI بزرگ‌تر از ضریب تغییرات RSI است؛ بنابراین، شاید بتوان گفت که LSI شاخص حساس‌تری در مقایسه با RSI است. نتایج نشان داد میانگین مقدار $6978 \mu\text{S/cm}\cdot\text{EC}$ است که آب زیرزمینی دشت صحرای باغ را در کلاس نامرغوب برای آبیاری قرار می‌دهد و مقدار pH در آبخوان منطقه بازی است و از حداقل ۷/۰ تا حداکثر ۷/۵ تغییر می‌کند. میانگین مقدار $493 \text{ mg/L}\cdot\text{TDS}$ است که آب زیرزمینی دشت صحرای باغ را در کلاس نامرغوب برای آبیاری قرار می‌دهد. نتایج نشان داده است کلسیم، پتاسیم و سدیم کاتیون‌های غالب این آبخوان بودند.

کلیدواژگان: پهنه‌بندی آب زیرزمینی، خوردگی و رسوب‌گذاری آب، دشت صحرای باغ، کیفیت آب.

مقدمه

ایران که حدود یک درصد از خشکی‌های جهان را داراست، فقط ۰/۰۰۰۲ درصد از منابع آب شیرین را در اختیار دارد [۱]. تسلط اقلیم خشک و نیمه‌خشک بر کشور توأم با تغییرات آب و هوایی و تخریب محیط زیست همراه با بروز پدیده‌های خشکسالی چشم‌انداز نامطلوبی را به دلیل تأمین نیازهای فزاینده برای مصرف آب ترسیم می‌کند. وقوع چنین شرایطی مدیریت منابع آب کشور را با چالش‌های متعددی روبه‌رو می‌کند. رفع موانع موجود جز با شناخت کافی از پتانسیل‌ها و محدودیت‌های منابع آب کشور و برنامه‌ریزی لازم و منطبق با شرایط موجود و در اقل‌های زمانی مختلف امکان‌پذیر نخواهد بود. از این‌رو مدیریت منابع آب کشور نیازمند ابزارهای مناسبی است که بتواند امکان شناخت منابع آب را فراهم کند [۵]. همچنین بررسی کیفیت آب زیرزمینی در مناطق مختلف، موجب تعیین سطح کاربری خاص منابع آب زیرزمینی منطقه خاص خواهد شد. دشت صحرای باغ یکی از دشتهای کشاورزی لارستان در جنوب استان فارس است. بخش عمده آب مورد نیاز کشاورزی و صنعتی ساکنان این دشت از آب زیرزمینی تأمین می‌شود. از آنجاکه آب زیرزمینی آبخوان صحرای باغ مهم‌ترین منبع استفاده‌شده برای مصارف مختلف در این دشت است و همچنین یکی از ویژگی‌های مهم آب، پتانسیل رسوب‌گذاری و خوردگی آب است که ممکن است هزینه‌های زیادی در صنعت و کشاورزی ایجاد کند؛ بنابراین، ارزیابی کیفی این منابع به‌صورت جامع از جمله با بررسی‌های زمانی و مکانی ضروری به نظر می‌رسد. اهداف اصلی در این پژوهش بررسی پتانسیل آب‌های زیرزمینی، تعیین شاخص‌های پتانسیل رسوب‌گذاری (LSI) و خوردگی (RSI) در آب زیرزمینی و بررسی تغییرات زمانی و مکانی کیفیت آب و ارزیابی کاربری کشاورزی و صنعتی کیفیت آب در دشت صحرای باغ است. در این زمینه تحقیقات مختلفی در ایران و خارج انجام گرفته است که در زیر به برخی از مهم‌ترین این تحقیقات اشاره شده است:

استواری و همکارانش [۲] تغییرات مکانی شاخص‌های کیفی آب زیرزمینی دشت لردگان را برای آبیاری قطره‌ای بررسی کردند. در این مطالعه شاخص‌های EC، TDS، TSS، pH و شاخص LI در ۳۲ حلقه چاه کشاورزی بررسی شد. در مقایسه دو روش کریجینگ و معکوس فاصله، روش

کریجینگ دقت بیشتری داشت. دامنه تأثیر EC و TDS با مدل گوسی حدود ۲۸۰۰ متر و دامنه تأثیر کدورت و TSS با مدل گوسی حدود ۳۵۰۰ متر به دست آمد. نقشه‌ها نشان داد آب آبخوان لردگان به‌جز قسمت شمالی برای آبیاری قطره‌ای مناسب بود. اکبرپور و ابراهیمی (۱۳۹۱) رده‌بندی کیفی منابع آب کشاورزی در ترکیب با سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی را بررسی کردند. براساس نتایج، کیفیت آب هر دو محدوده برای کشاورزی محدودیت‌هایی دارد که به‌منظور حفظ شرایط پایدار کشاورزی باید مدیریت لازم در استفاده از منابع آب و خاک به عمل آید. همچنین آبیاری بارانی برای مناطق یادشده توصیه می‌شود. افزون بر اینکه کیفیت آب‌های زیرزمینی نیمه شرقی هر دو محدوده مطالعاتی در مقایسه با سایر قسمت‌های آن‌ها برای کشاورزی مناسب‌تر است. زینتی‌زاده و همکارانش [۷] کیفیت فیزیکی و شیمیایی منابع تأمین آب روستاهای شهرستان کرمانشاه را با استفاده از نرم‌افزار GIS مقایسه و بررسی بررسی کردند. براساس نمودارهای خروجی از نرم‌افزار AqQA، تیپ آب در ۶۷ درصد موارد بی‌کربنات کلسیم، ۲۳ درصد موارد بی‌کربنات منیزیم، ۶ درصد موارد بی‌کربنات سدیم، ۲ درصد موارد سولفات منیزیم و ۲ درصد موارد کلرور کلسیم است. امیری و همکارانش [۴] به بررسی کیفی آب زیرزمینی براساس طبقه‌بندی ویلکوکس با استفاده از GIS (منطقه مطالعه‌شده: شهرستان شیراز) پرداختند. نتایج نشان داد ۴۸ درصد از منطقه مطالعه‌شده در گروه C₃S₁، ۴۲ درصد در گروه C₄S₁، ۶ درصد در گروه C₂S₁ و ۴ درصد در گروه C₄S₂ قرار گرفت، که می‌توان گفت آب‌های زیرزمینی قسمت شرق و جنوب شرقی منطقه مطالعه‌شده کیفیت مناسبی نداشته، که علت آن را می‌توان وجود دریاچه نمک در این مناطق دانست. به‌دلیل اهمیت خوردگی و رسوب‌گذاری در سامانه‌های انتقال آب، پژوهشگران مطالعاتی را در این زمینه با استفاده از شاخص‌های LI و RI انجام داده‌اند. وضعیت یون‌های اصلی در آب زیرزمینی شهر جاپور (هند) توسط کومارتنک و چاندل^۱ [۱۷] بررسی شد. براساس نتایج EC و TDS همبستگی مثبت و معناداری با آنیون‌ها و کاتیون‌ها داشتند. بلخیری و همکارانش [۱۴] تناسب کیفیت آب زیرزمینی دشت آزل (الجزایر) را برای شرب و کشاورزی

نمونه برداری

برای ارزیابی کیفیت آبخوان دشت صحرای باغ از داده‌های کیفی ۱۷ چاه مطالعاتی سازمان آب منطقه‌ای طی سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۲ استفاده شد. براساس اطلاعات، موقعیت جغرافیایی چاه‌ها با GPS ثبت شد. دمای آب در محل نمونه‌برداری با دماسنج اندازه‌گیری شد. نمونه‌ها پس از اضافه کردن چند قطره تولوئن، برای جلوگیری از واکنش‌های زیستی در داخل یخدان در زیر یخ نگهداری و به سرعت به آزمایشگاه منتقل شدند. نمونه‌های برداشت‌شده براساس استانداردهای (APHA 1998) تجزیه شدند. علاوه بر نمونه‌برداری از چاه‌ها از داده‌های چندساله سازمان آب منطقه‌ای استان فارس برای ارزیابی تغییرات زمانی کیفیت آب و تغییرات مکانی کمی سطح آب استفاده شد.

تجزیه‌های آزمایشگاهی

دمای آب در محل نمونه‌برداری با دماسنج اندازه‌گیری شد. EC و pH نمونه‌ها با دستگاه استک مقدار TDS نمونه‌ها با تبخیر ۱۰۰ mL و توزین مانده اندازه‌گیری شد. آنیون کلراید (Cl) در نمونه‌ها بلافاصله پس از انتقال به آزمایشگاه به روش تیتراسیون با نیترات نقره اندازه‌گیری شد. سدیم (Na^+) و پتاسیم (K^+) به روش شعله‌سنجی، کلسیم (Ca^{2+}) و منیزیم (Mg^{2+}) به روش تیتراژ با EDTA، بی‌کربنات (HCO_3^-) و کربنات (CO_3^{2-}) به روش تیتراژ با اسیدسولفوریک و سولفات به روش اسپکتروفتومتری اندازه‌گیری شدند. آهن (Fe^{2+}) و منگنز (Mn^{2+}) با دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شدند. از یون‌های Na^+ ، K^+ ، HCO_3^- ، CO_3^{2-} ، Ca^{2+} و Mg^{2+} به منظور محاسبه نسبت جذب سدیم (SAR)، کربنات سدیم مانده (RSC)، سختی کل (TH)، کلیاتیت کل (TA)، شاخص نفوذپذیری (PI) و شاخص لائزلیه (LI) استفاده شد.

خوردگی و رسوب‌گذاری

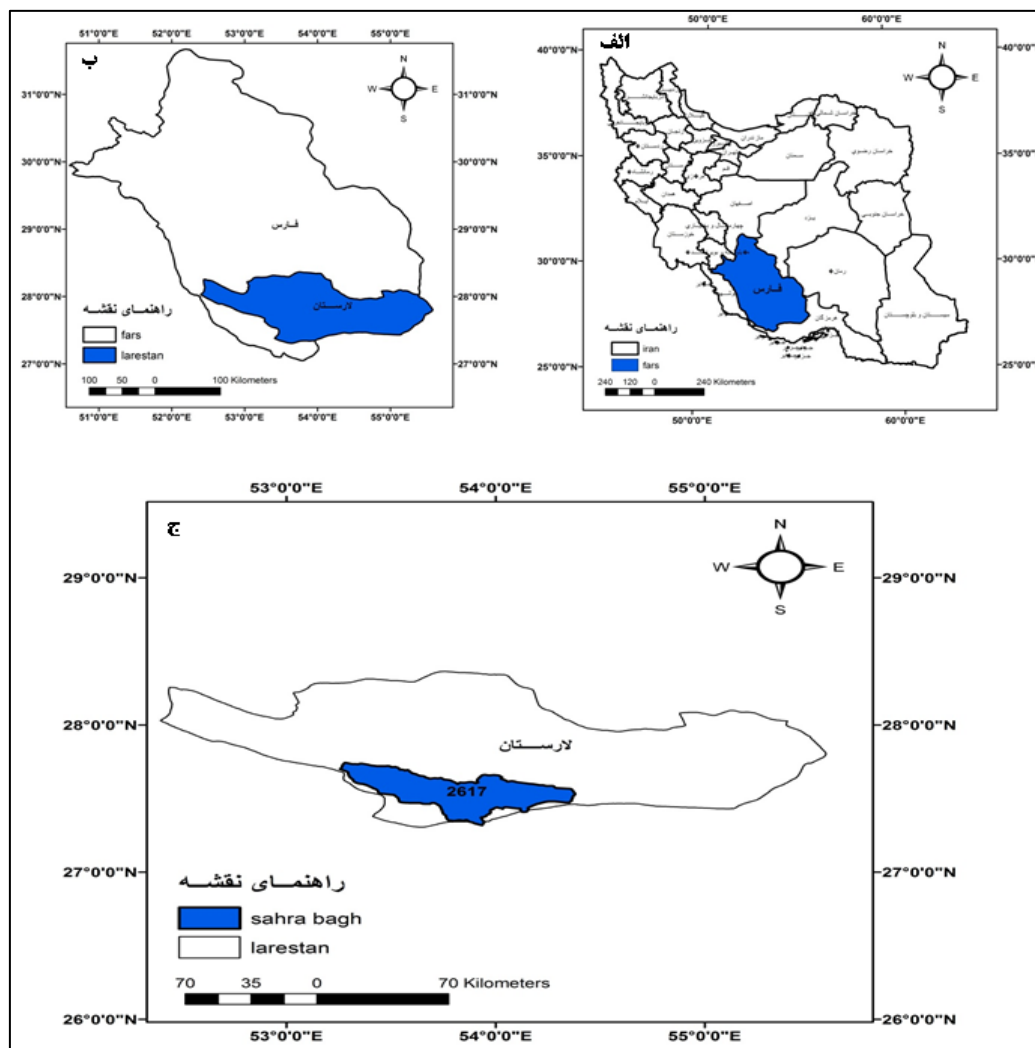
فراایندهای خوردگی و رسوب‌گذاری سلامت خاک و گیاه و درنهایت دام و انسان را به خطر می‌اندازد. شدت خوردگی و رسوب‌گذاری یک آب به کیفیت آن مانند غلظت املاح، نوع املاح، pH (واکنش آب) و دمای آب بستگی دارد [۱۰]. پتانسیل رخداد پدیده رسوب‌گذاری و یا خوردگی با شاخص اشباع لائزلیه (LSI) و شاخص پایداری رایزیر (RSI) بیان می‌شود. شاخص اشباع لائزلیه، درجه اشباع آب با کربنات کلسیم را نشان می‌دهد و مدلی است

تعیین کردند. تجزیه داده‌ها نشان داد اغلب نمونه‌های آب از نوع Ca-Mg-Cl-SO_4 و Ca-Mg-HCO_3 بودند. نمودارهای شوری نشان داد بیشتر نمونه‌های آب خطر شوری زیاد و خطر سدیم کم (C3S1) داشتند. دیجایدل^۱ و همکارانش [۱۵] اثر کیفیت آب زیرزمینی عمیق را در مناطق بیابانی جنوب الجزایر بر سلامت انسان، خاک و گیاه و نیز در صنعت بررسی کردند. براساس نتایج شاخص RI رسوب‌گذاری در لوله‌ها و دیگ‌های بخار در صنایع را نشان می‌داد.

مواد و روش‌ها

معرفی دشت صحرای باغ

بخش صحرای باغ یکی از بخش‌های شهرستان لارستان در استان فارس ایران است. صحرای باغ جلگه‌ای بلوکی است که در جنوب شهرستان لار و در مرز استان فارس و استان هرمزگان قرار گرفته است. محدوده مطالعاتی صحرای باغ با کد ۲۶۱۷ است که بین عرض‌های جغرافیایی ۲۷° تا ۲۷° ۲۰' و طول‌های جغرافیایی ۴۰° ۵۳' تا ۲۵° ۵۴' واقع شده است (شکل ۱). محدوده یادشده از شمال به محدوده مطالعاتی گراش و گرمشت، از غرب و جنوب غرب به بیرم و علامرودشت، از شرق و شمال شرق به محدوده مطالعاتی باشد، گرمسوج و لار و از جنوب به محدوده مطالعاتی لامرد محدود می‌شود. مساحت حوضه برابر ۱۴۷۲ کیلومترمربع و وسعت دشت برابر ۵۴۹ کیلومترمربع است. ارتفاع متوسط محدوده حدود ۶۶۰ متر است. مرتفع‌ترین نقطه با ارتفاع ۲۱۶۵ متر قله کوه گاوپست و کم‌ارتفاع‌ترین نقطه با ارتفاع ۵۲۰ متر در انتهای جنوبی دشت واقع شده است. براساس آمار ایستگاه اداره هواشناسی لار حداکثر، حداقل و میانگین سالانه بارندگی ۴۷ ساله (۳۷-۳۸) تا (۸۳-۸۴) به ترتیب ۲۳۱/۱ و ۷۴۶،۳۱/۵ میلی‌متر است. حداکثر، حداقل و میانگین دمای سالانه به ترتیب ۲۸/۸، ۲۰/۲ و ۲۴/۲ درجه سانتی‌گراد و متوسط تبخیر سالانه ۲۶۷۱/۳ میلی‌متر است. محدوده صحرای باغ فاقد جریان سطحی دائمی است و شیب عمومی منطقه از شرق به طرف غرب است و رواناب حاصل از بارندگی از طریق آبراهه‌های کوچک و بزرگ به سمت انتهای دشت وارد مسیل اصلی می‌شود و به رودخانه فداغ می‌پیوندد.



شکل ۱. موقعیت منطقه مطالعه شده

ارائه شد. مقدار شاخص LSI از منفی تا مثبت متغیر است. در سال ۱۹۴۴ جان رایزنر با اصلاح شاخص اشباع لانژلیه، شاخص پایداری رایزنر (RSI) را تعریف کرد. RSI نیز بر مبنای سطح اشباع شدگی است و ارتباط بین حالت اشباع کربنات کلسیم و تشکیل پوسته را به صورت کمی نشان می‌دهد. این شاخص تمایل به رسوب‌گذاری و خوردگی شدید را بهتر تخمین می‌زند. مقدار این شاخص همیشه مثبت است و گفته می‌شود بین شاخص لانژلیه و شاخص رایزنر یک رابطه معکوس وجود دارد به طوری که آبی که خاصیت رسوب‌گذاری داشته باشد دیگر تمایلی به خوردگی ندارد [۱۸].

هر دو شاخص LSI و RSI براساس ۵ مؤلفه کیفی آب و با استفاده از چندین رابطه قابل محاسبه هستند. مؤلفه‌های قابل استفاده در محاسبه LSI و RSI شامل دمای آب، pH،

مشتق شده از مفهوم تئوریک اشباع و شاخصی از درجه اشباع آب با کربنات کلسیم ارائه می‌کند. میزان LSI، مفهوم اشباع را با استفاده از pH به عنوان یک متغیر اصلی بیان می‌کند. به بیان دیگر LSI می‌تواند به عنوان تغییر مورد نیاز pH برای رسیدن آب به تعادل تعبیر شود (Standard method for the examination of water & wastewater, Edition 2005). شاخص‌های لانژلیه و رایزنر در واقع تفاوت بین pH واقعی آب و pH اشباع شده توسط کربنات (CaCO₃) است و به عنوان شاخصی برای بیان خوردگی و رسوب‌گذاری آب به کار می‌روند [۶]. شاخص رایزنر ارتباط بین حالت اشباع از کربنات کلسیم و تشکیل پوسته در لوله را به صورت کمی نشان می‌دهد [۱۰]. شاخص LSI که توسط لانژلیه در سال ۱۹۳۶ برای پیش‌بینی تمایل آب به رسوب یا انحلال کربنات کلسیم

آبیاری اهمیت دارند. هدایت الکتریکی (EC) و TDS خطر شوری را برای خاک و محصول زراعی بیان می‌کند. بالارفتن EC و TDS آب سبب افزایش پتانسیل اسمزی خاک می‌شوند و جذب آب و عناصر غذایی را توسط گیاه کاهش می‌دهند. خطر شوری حاصل از آب آبیاری زمانی رخ می‌دهد که هدایت الکتریکی آب آبیاری آنقدر بالا باشد که نمک‌ها در ناحیه توسعه ریشه‌ها تجمع یابند و رشد گیاه را کاهش دهند. شاخص‌های SAR، Na%، RSC و PI خطر درازمدت سدیم آب آبیاری را نسبت به خاک نشان می‌دهند. انباشت سدیم آب در خاک سبب تخریب ساختمان خاک می‌شود و نفوذپذیری آن را کاهش می‌دهد [۳]. با توجه به تأثیری که سدیم روی خاک و تولید محصول در گیاهان دارد یکی از عوامل اصلی تعیین کیفیت آب آبیاری محسوب می‌شود. جدول ۲ طبقه‌بندی کردا را در کیفیت آب برای آبیاری براساس EC، TDS، SAR و Na% نشان می‌دهد [۱۹].

جدول ۲. طبقه‌بندی آب برای آبیاری [۱۹]

		کلاس			ویژگی	
نامرغوب	قابل استفاده	خوب	خیلی خوب	واحد		
>۲۰۰۰	۷۵۰ - ۲۰۰۰	۲۵۰ - ۷۵۰	۲۵۰ <	S/cm	EC	
>۱۴۰۰	۵۲۵ - ۱۴۰۰	۱۷۵ - ۵۲۵	<۱۷۵	mg/L	TDS	
> ۲۶	۱۸ - ۲۶	۱۰ - ۱۸	<۱۰	(mmol/L)	SAR	
>۶۰	۴۰ - ۶۰	۲۰ - ۴۰	<۲۰	%	% Na	

S3: آب حاوی سدیم زیاد که در بیشتر خاک‌ها مشکل ایجاد می‌کند و نیاز به مدیریت ویژه، زهکشی مناسب، آبیاری زیاد و افزایش مواد آلی را دارد. اصلاح این نوع آب آبیاری با افزودن گچ امکان‌پذیر است.

S4: آبی که برای آبیاری مطلوب نیست مگر در سطوح کم یا متوسط شوری

در طبقه‌بندی ویلکوکس مقدار شوری نیز به چهار کلاس به حرف C به شرح زیر است:

C1: آبی که شوری کمتر از ۲۵۰ میکرو زیمنس بر سانتی‌متر دارد و برای آبیاری تمام خاک‌ها می‌تواند استفاده شود.

C2: آب حاوی مقدار متوسط شوری و املاح (بین ۲۵۰ - ۷۵۰ میکرو زیمنس بر سانتی‌متر) را دارد.

جامدات محلول (TDS)، سختی کل (TH) و قلیائیت کل (TA) هستند.

وضعیت رسوب‌دهی و خوردگی آب براساس شاخص‌های LI و RI در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱. رسوب‌دهی و خوردگی آب براساس دو شاخص LI و [۱۸RI]

رفتار آب	RI	LI
رسوب‌گذاری کم	۵-۶	۰/۵
متعادل	۶-۷	۰
خوردگی کم	۷-۷/۵	-۰/۵
خوردگی زیاد	۷/۵-۹	-۲

کیفیت آب برای آبیاری

کیفیت آب آبیاری به وجود انواع نمک‌ها در آب و اثر آن‌ها بر گیاه و خاک بستگی دارد. شاخص‌های هدایت الکتریکی (EC)، نسبت جذب سدیم (SAR)، درصد سدیم (Na%) و ماده کربنات سدیم (RSC) در تعیین تناسب آب برای

آب آبیاری براساس خطر سدیم و شوری براساس طبقه‌بندی ویلکوکس ۱۶ کلاس می‌تواند وجود داشته باشد. در این طبقه‌بندی خطر سدیم با SAR بیان می‌شود و این به ۴ کلاس با حرف S به شکل زیر طبقه‌بندی می‌شود.

S1: آبی که سدیم کمی دارد و برای آبیاری تمام خاک‌ها می‌تواند استفاده شود. پیشرفت سدیم در این حالت کم است، ولی محصولات حساس به سدیم مانند درختان میوه هسته‌دار احتمال دارد مقادیری از سدیم را در برگ‌های خود جمع‌آوری کنند که زیان‌آور است.

S2: آب حاوی مقدار متوسط سدیم که می‌تواند خطر سدیم را در خاک‌های رسی تا حدی داشته باشد. این آب را می‌توان در خاک‌های شنی یا خاک‌های آلی که به‌خوبی آب را جذب می‌کنند، مصرف کرد.

مناطق دشت در کلاس TDS خیلی زیاد قرار می‌گیرد. محاسبه شاخص‌های لائزلیه (LSI) و رایزنر (RSI) برای محاسبه LSI (لائزلیه) و RSI (رایزنر) ابتدا واکنش آب در حالت اشباع از کربنات کلسیم (pHs) محاسبه شد [۱۰]:

$$pHs = \left[\left(\frac{9}{3} + A + B \right) - (C + D) \right] \quad (1)$$

که در آن:

$$A = \left(\text{Log} [TDS] - 1 \right) / 1.0 \quad (2)$$

$$B = -3 / 12 \times \text{Log} \left(C^{\circ} + 273 \right) + 34 / 55 \quad (3)$$

$$C = \text{Log} [TH] - 0.4 \quad (4)$$

$$D = \text{Log} [TA] \quad (5)$$

که در این روابط، TDS: کل جامدات محلول به mg/L ، C° : دما به درجه سلسیوس است.

در نهایت مقدار شاخص لائزلیه (LSI) و رایزنر (RSI) از روابط زیر محاسبه شدند:

$$LI = pH - pHs \quad (6)$$

$$RI = 2pHs - pH \quad (7)$$

که در آن‌ها، pH: واکنش واقعی آب است. محاسبه شاخص‌های مربوط به کیفیت آب برای آبیاری نسبت جذب سدیم (SAR) و درصد سدیم ($\text{Na}\%$) با معادلات زیر محاسبه شد [۳]:

$$SAR = \left(Na^+ \right) / \left[\left(Ca^{2+} \right) + \left(Mg^{2+} \right) \right]^{1/2} \quad (8)$$

$$\% Na = \left[\left(Na^+ + K^+ \right) / \left(Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+ \right) \right] \times 100 \quad (9)$$

که در این دو معادله تمام غلظت‌ها برحسب meq/L است. نمودار ویلکوکس نمونه‌ها براساس شوری و SAR با استفاده از نرم‌افزار *AqQaChem* ترسیم شد. باقی‌مانده سدیم کربنات (RSC) از معادله زیر به دست آمد [۳]:

$$RSC = \left(HCO_3^- + CO_3^{2-} \right) - \left(Ca^{2+} + Mg^{2+} \right) \quad (10)$$

که در آن تمام غلظت‌ها برحسب meq/L است. برای برآورد قابلیت نفوذ آب از شاخص تراوایی با نفوذ (PI) استفاده شد [۳]:

$$PI = \left(Na^+ + HCO_3^- \right) / \left(Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ \right) \times 100 \quad (11)$$

که در آن تمام غلظت‌ها برحسب meq/L است.

C3: آب حاوی شوری زیاد (بین ۷۵۰ تا ۲۲۵۰ میکرو زیمنس بر سانتی‌متر) که در بیشتر خاک‌ها مشکل ایجاد می‌کند.

C4: آبی که برای آبیاری مطلوب نیست با شوری بیشتر از ۲۲۵۰ میکرو زیمنس بر سانتی‌متر [۸].

براساس طبقه‌بندی کیفی آب زیرزمینی (USSL (1954) دشت صحرای باغ در ۲ کلاس کیفی مشکوک به نامناسب با مساحت ۲۳۰۵ هکتار (۴/۲ درصد) و کلاس نامناسب ۵۲۴۹۴ هکتار (۹۵/۸ درصد) از نظر TDS قرار می‌گیرد. مطابق طبقه‌بندی ویلکوکس (1955) آب زیرزمینی دشت صحرای باغ در کلاس کیفی آب دارای خطر برای آبیاری با مساحت ۲۳۰۵ هکتار (۴/۲ درصد) و کلاس مناسب برای گیاهان مقاوم ۵۲۴۹۴ هکتار (۹۵/۸ درصد) از نظر TDS قرار می‌گیرد. آب زیرزمینی دشت صحرای باغ براساس تقسیم‌بندی روبینو و همکاران (1958) در ۲ کلاس کیفی شوری ناچیز به نامناسب با مساحت ۲۳۰۵ هکتار (۴/۲ درصد) و کلاس نسبتاً شور ۵۲۴۹۴ هکتار (۹۵/۸ درصد) از نظر TDS قرار می‌گیرد. براساس استانداردهای تیپتن و کالمبک (1965) و استاندارد آب برای آبیاری (1964) در تمام مناطق دشت صحرای باغ آب زیرزمینی در کلاس دارای خطر قرار می‌گیرد. پژوهشگرانی چون وانگ^۱ و همکارانش (1999)، تانگ و ژانگ^۲ (2001) و دینگ و ژانگ^۳ (2002) گزارش کرده‌اند که استخراج بیش از حد آب‌های سطحی و آب‌های زیرزمینی، سبب کاهش کیفیت این آب‌ها در دشت‌های چین شده‌اند.

براساس پیشنهاد آکادمی مهندسی و علوم (1973) آب زیرزمینی دشت صحرای باغ در تمام مناطق در کلاس مناسب برای گیاهان مقاوم قرار می‌گیرد. براساس NRC (1974) آب زیرزمینی در ۳ کلاس مناسب برای ماکیان با مساحت ۱۵۳۷ هکتار (۲/۸ درصد)، کلاس ضعیف برای ماکیان با مساحت ۱۵۳۱۷ هکتار (۲۷/۹ درصد) و کلاس غیرقابل قبول برای ماکیان با مساحت ۳۸۰۴۵ هکتار (۶۹/۳ درصد) تقسیم‌بندی شد. آب زیرزمینی دشت صحرای باغ براساس ۴ استاندارد آیر و وسکات (1985)، USDA (2001)، PNW (2007) و ایسمان (2008) در تمام

تجزیه و تحلیل آماری و رسم نمودارها

محاسبه خلاصه آماری، بررسی نرمال بودن توزیع داده‌ها و تجزیه تحلیل همبستگی، تجزیه واریانس، مقایسه میانگین‌ها و رگرسیون در محیط STATISTICA 8.0 انجام شد (Statsoft Inc., 2008). به منظور بررسی رابطه EC با TDS و کدورت با TSS نمودار پراکنش داده‌ها در هر بار نمونه‌برداری رسم و مدل رگرسیون خطی به آن‌ها برازش داده شد.

یافته‌ها

پتانسیل خوردگی و رسوب‌گذاری

جدول ۳ خلاصه آماری شاخص لائزلیه (LSI) و رایزنر (RSI) و پارامترهای آن‌ها در آب زیرزمینی دشت صحرای باغ را نشان می‌دهد. مقدار pH در آبخوان دشت صحرای باغ بازی است و از حداقل ۷/۰ تا حداکثر ۷/۵ تغییر می‌کند.

مقدار LSI در ۱۰۰ درصد نمونه‌ها مثبت است که نشان‌دهنده تمایل به رسوب‌گذاری آب زیرزمینی دشت صحرای باغ براساس شاخص لائزلیه است. در ۶۸ درصد نمونه‌های آب شاخص LSI بین ۰ تا ۰/۵ بود که تمایل به رسوب‌گذاری کم را نشان می‌دهد. در ۳۸ درصد از نمونه‌ها مقدار شاخص LSI بین ۰/۵ تا ۱ بود که بیانگر تمایل به رسوب‌گذاری متوسط در این نمونه‌هاست. میانگین مقدار شاخص پایداری رایزنر ۶/۴ بوده که پتانسیل خوردگی متوسط آبخوان دشت صحرای باغ را نشان می‌دهد. مقدار شاخص رایزنر در ۳۷ درصد نمونه‌ها بین ۵ تا ۶ و بیانگر

پتانسیل رسوب‌گذاری ضعیف این نمونه‌هاست. شاخص RSI در ۶۳ درصد نمونه‌ها بین ۶ تا ۷ است که پتانسیل رسوب‌گذاری و خوردگی ناچیز این نمونه‌ها را نشان می‌دهد. براساس شاخص LSI حدود ۹۴ درصد نمونه‌ها تمایل به رسوب‌گذاری و براساس شاخص RSI ۸۶ درصد نمونه‌ها تمایل به خوردگی دارند. ضریب تغییرات عوامل مؤثر بر شاخص‌های پایداری LSI و RSI عموماً کمتر از ۳۰ درصد است که نشان‌دهنده یکنواختی نسبی آن‌ها در آبخوان دشت صحرای باغ است (رضایی و میبیدی، ۱۳۸۴). ضریب تغییرات LSI بزرگ‌تر از ضریب تغییرات RSI است؛ بنابراین، شاید بتوان گفت که LSI شاخص حساس‌تری در مقایسه با RSI است. جدول ۴ ضریب همبستگی اسپیرمن شاخص‌های کیفی pH، TDS، TH، قلیائیت، LSI و RSI آبخوان دشت صحرای باغ را نشان می‌دهد.

تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی شاخص‌های پتانسیل خوردگی و رسوب‌گذاری و پارامترهای آن‌ها

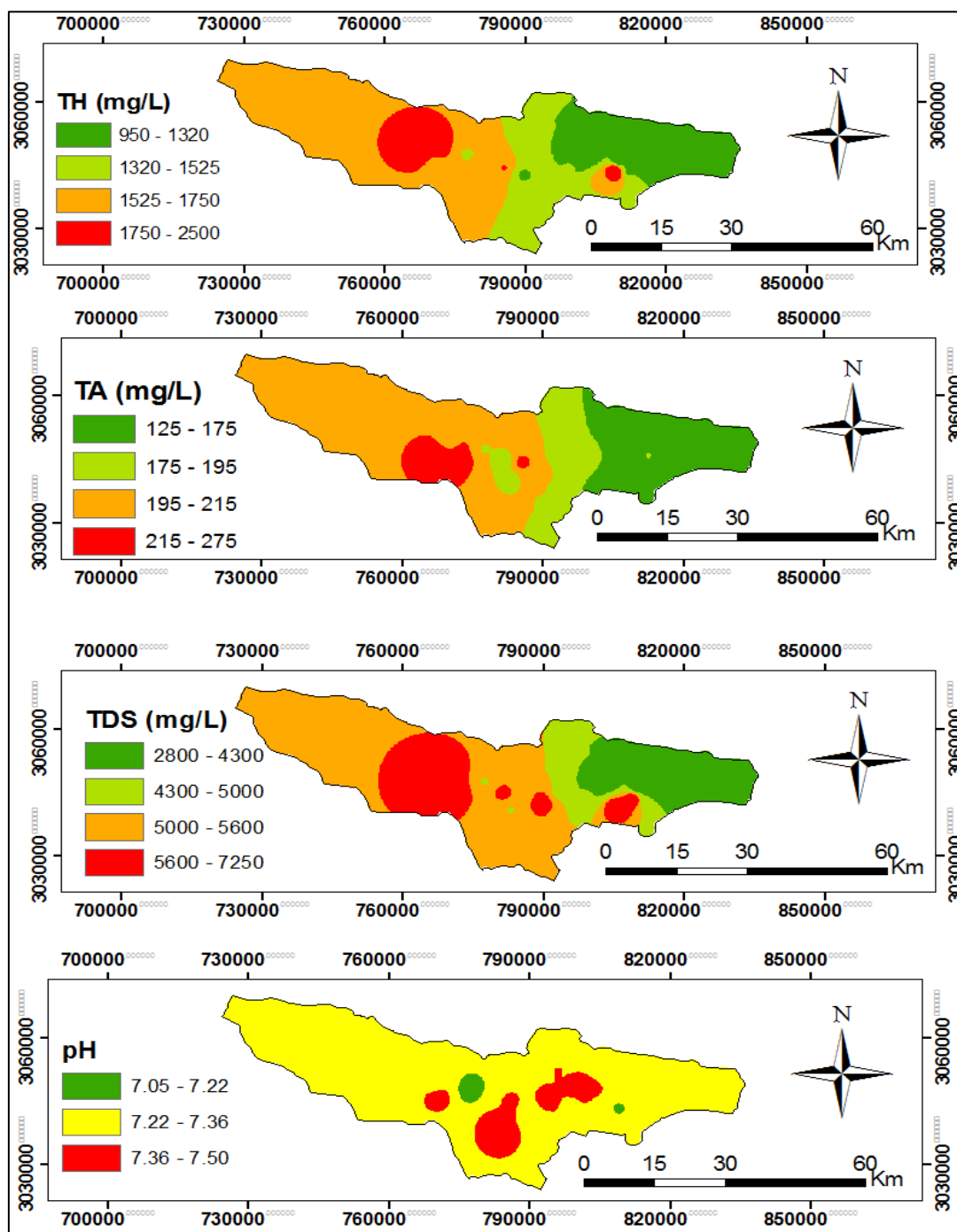
شکل ۲ نقشه پهنه‌بندی به روش وزن‌دهی معکوس فاصله را برای پارامترهای مؤثر در پتانسیل‌های رسوب‌گذاری و خوردگی (pH، TDS، TH و TA) نشان می‌دهد. چنانچه در شکل ۲ مشخص است برای ۳ پارامتر TDS، TH و TA، نقشه‌های پهنه‌بندی روند مشابهی دارند و مقادیر این مؤلفه‌ها در قسمت‌های شرقی کمتر و در قسمت‌های مرکزی و غربی بیشتر است.

جدول ۳. مقادیر شاخص‌های LSI و RSI

Parameter	Mean	Median	Min	max	Std	CV
TH	۱۴۵۰	۱۳۶۸	۹۵۳	۲۴۴۸	۷۳۸	۳۰/۲
HCO3-	۱۸۳	۱۸۲	۱۲۷	۲۷۵	۳۵	۱۹/۲
TDS	۴۸۳	۵/۳۱	۲۸۴۸	۷۲۶۲	۱۴۰۴	۲۸/۵
Ph	۷/۳	۷/۴	۷/۰	۷/۵	۰/۱۱	۱/۵
LSI	۰/۴۸	۰/۴۵	۰/۲۵	۰/۷۸	۰/۱۸	۳۷/۸
RSI	۶/۴	۶/۴	۵/۸	۶/۸	۰/۳۱	۴/۸

جدول ۴. میزان همبستگی پارامترها

Parameter	pH	TDS	TH	TA	LSI
TDS	۰/۳۳				
TH	-۰/۲۵	*۰/۷۶			
TA	۰/۲۹	۰/۱۳	۰/۱۱		
LSI	*۰/۵۹	۰/۳۱	*۰/۵۰	*۰/۷۲	
RSI	-۰/۳۴	-۰/۸۳	*-۰/۶۷	*-۰/۷۳	۰/۶۹*



شکل ۲. پهنه‌بندی پارامترهای مختلف

یعنی پتانسیل رسوب‌گذاری کم قرار می‌گیرد. در پژوهش استواری [۲] نیز روند مشابهی بین TH و TDS با شاخص لانژلیه مشاهده شد. در قسمت‌های مرکزی و غربی آب زیرزمینی دشت صحرای باغ مقدار شاخص LSI بین ۰/۵- ۱/۰ قرار می‌گیرد که پتانسیل رسوب‌گذاری متوسط این قسمت از آب زیرزمینی دشت صحرای باغ را نشان می‌دهد

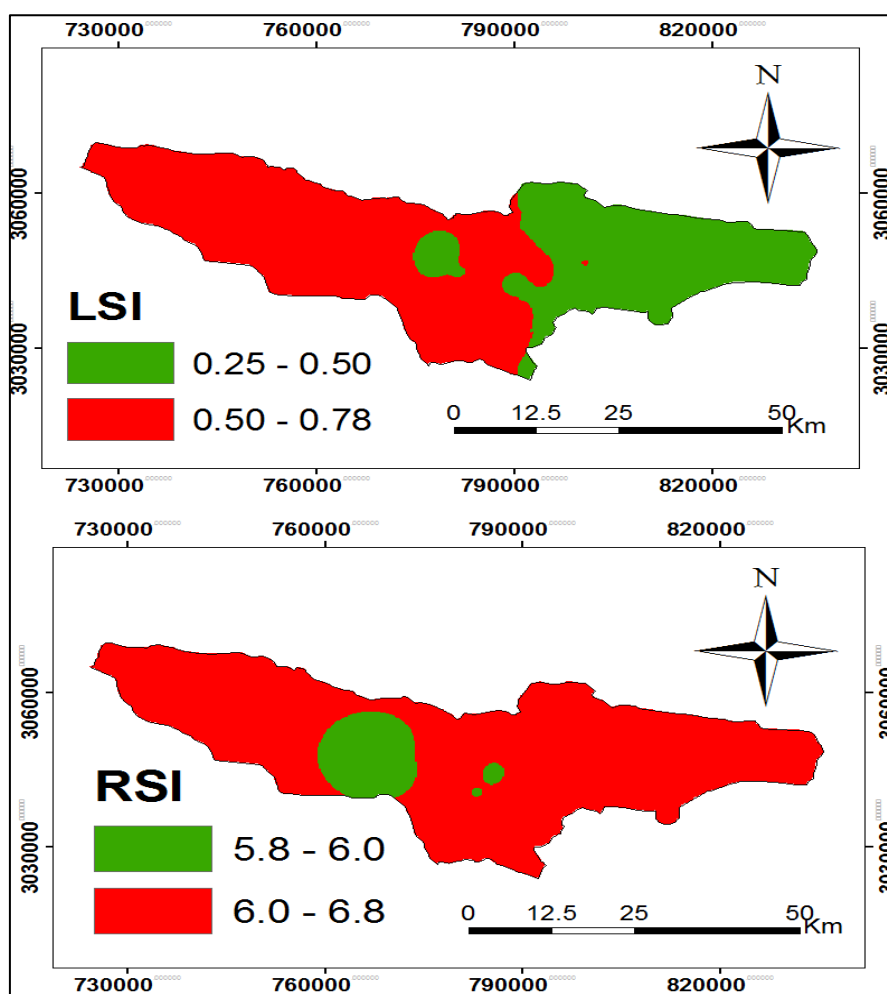
شکل ۳ نقشه پهنه‌بندی پارامترهای رسوب‌گذاری (LSI) و خوردگی (RSI) آبخوان دشت صحرای باغ را نشان می‌دهد. براساس شکل ۳ برای شاخص پتانسیل رسوب‌گذاری لانژلیه (LSI) همانند پارامترهای مؤثر در محاسبه این شاخص TDS، TH و TA در قسمت‌های شرقی دشت مقادیر این شاخص کم است و در محدوده ۰-۰/۵

مقدار ۹۱۲ کیلومترمربع پتانسیل رسوب‌گذاری متوسط دارد (جدول ۵). براساس شاخص خوردگی رایزنر ۸۹ درصد از دشت به میزان ۱۵۵۰ کیلومترمربع پتانسیل خوردگی کم و ۱۱ درصد از دشت یعنی به میزان ۱۶۲ کیلومترمربع پتانسیل خوردگی متوسط دارد. به‌طورکلی، می‌توان نتیجه گرفت آب زیرزمینی دشت صحرای باغ به‌دلیل سازندهای کربناتی و شور و مقادیر بالای سختی و پارامترهای مؤثر در رسوب‌گذاری مانند کلسیم و منیزیم دارد، بنابراین آب زیرزمینی دشت صحرای باغ بیشتر پتانسیل رسوب‌گذاری دارد تا پتانسیل خوردگی.

(شکل ۳). می‌توان بیان داشت سازندهای زمین‌شناسی در قسمت‌های مرکزی و غربی عامل افزایش پتانسیل رسوب‌گذاری بیشتر در این قسمت آبخوان نسبت به سایر قسمت‌هاست. براساس شاخص خوردگی رایزنر (RSI) بیشتر قسمت‌های دشت در محدوده ۶/۰ تا ۷/۰ قرار می‌گیرد که پتانسیل خوردگی کم را نشان می‌دهد. جدول ۵ درصد مساحت دشت براساس شاخص‌های خوردگی و رسوب‌گذاری را نشان می‌دهد. براساس شاخص LSI ۳۸ درصد از دشت یعنی ۵۵۹ کیلومترمربع از دشت پتانسیل کم رسوب‌گذاری دارد درصورتی‌که ۶۲ درصد از دشت یعنی

جدول ۵. مقادیر پارامترهای LSI و RSI

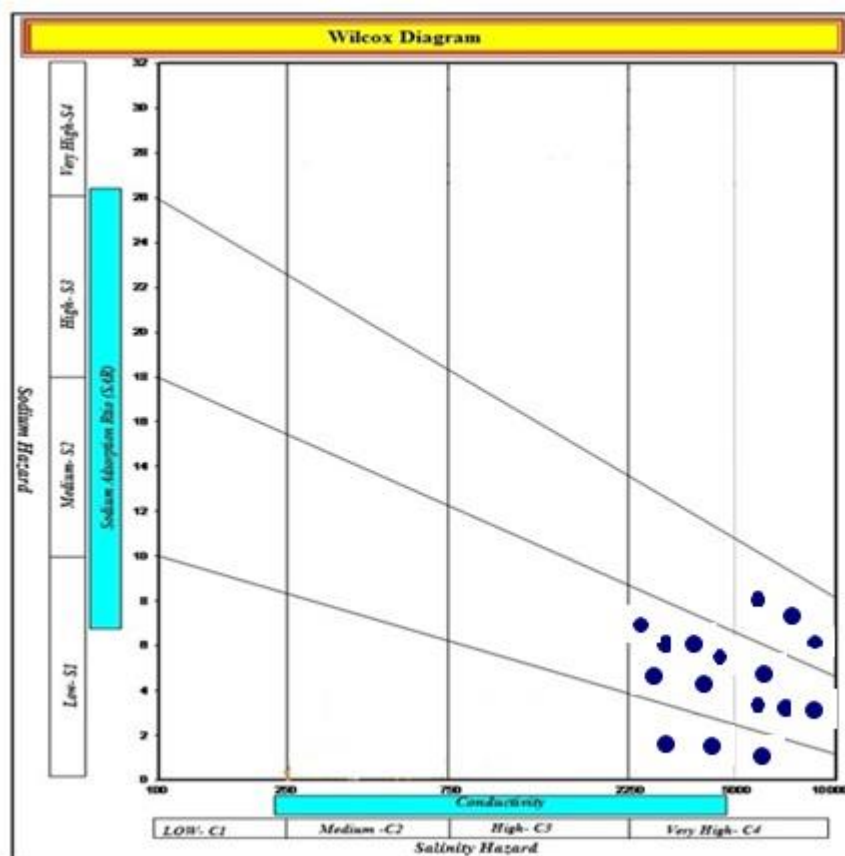
Parameter	(LSI)		(RSI)	
	Low (0-0.5)	Moderate (0.5-1)	Low (6.0-7.0)	moderate (5-6)
Area	38% (559 km ²)	62% (912 km ²)	89% (1550 km ²)	11% (162 km ²)



شکل ۳. نقشه پهنه‌بندی پارامترهای رسوب‌گذاری (LSI) و خوردگی (RSI)

(۲۵۰-۷۵۰ میکروموس بر سانتی‌متر)، متوسط (۷۵۰-۲۲۵۰ میکروموس بر سانتی‌متر)، مشکوک (۲۲۵۰-۴۰۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر) و نامناسب (بیشتر از ۴۰۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر) قرار دادند.

شکل ۴ نمودار ویلکوکس کیفیت آب برای آبیاری در آب زیرزمینی دشت صحرای باغ را نشان می‌دهد. ویلکوکس در سال ۱۹۹۵ به بررسی کیفی آب از نظر هدایت الکتریکی پرداخته و این فاکتور را در پنج گروه اصلی عالی (کمتر از ۲۵۰ میکروموس بر سانتی‌متر)، خوب



شکل ۴. نمودار ویلکوکس آب زیرزمینی دشت صحرای باغ

نتیجه‌گیری

۱. میانگین شاخص LSI در آبخوان دشت صحرای باغ ۰/۴۸ بود که از این نظر، آب‌های زیرزمینی این منطقه پتانسیل متوسط رسوب‌گذاری دارند. میانگین شاخص RSI ۶/۴ شد که براساس این شاخص آب زیرزمینی پتانسیل کم‌خوردگی دارد. نقشه‌های مؤلفه‌های TH و TDS با LSI شباهت خوبی داشتند که می‌تواند ارتباط مستقیم شاخص لانژلیر با این دو مؤلفه را نشان دهد. نقشه‌های پهنه‌بندی نشان می‌دهند که در قسمت غربی و مرکزی نسبت به سایر قسمت‌های آبخوان مقادیر مؤلفه‌های مؤثر بر پتانسیل رسوب‌گذاری بیشتر است. نتایج نشان داد که آب زیرزمینی دشت صحرای باغ از نظر شاخص لانژلیر پتانسیل رسوب‌گذاری کم تا متوسط و از نظر

براساس نمودار ویلکوکس آب زیرزمینی دشت صحرای باغ در کلاس‌های C_4S_1 ، C_4S_3 و C_4S_2 قرار می‌گیرد؛ بنابراین، آب زیرزمینی دشت صحرای باغ در کلاس‌های نامرغوب برای آبیاری طبقه‌بندی می‌شود. از نظر خطر سدیم، آب زیرزمینی دشت صحرای باغ مشکل زیادی برای خاک ایجاد نمی‌کند ولی از نظر خطر شوری بسیار برای خاک مشکل‌زا خواهد بود که با استفاده از روش‌های زراعی و اعمال آبشویی کاملاً قابل حل است. کیفیت آب زیرزمینی دشت صحرای باغ از نظر میانگین‌های $Na\%$ ، RSC و PI تقریباً مناسب است و خطر درازمدت از جانب سدیم خاک را تهدید می‌کند [۳].

منابع

- شاخص رایزنر عمدتاً پتانسیل خوردگی ضعیف تا متوسط دارد. به طور کلی، می‌توان نتیجه گرفت که آب زیرزمینی دشت صحرای باغ پتانسیل رسوب‌گذاری متوسط دارد که می‌تواند به دلیل سازندهای کربناتی موجود در این منطقه باشد. همچنین آب زیرزمینی دشت صحرای باغ وضعیت متوسطی از نظر پتانسیل‌های خوردگی و رسوب‌گذاری دارد.
۲. میانگین مقدار $6978 \mu\text{S/cmEC}$ است که آب زیرزمینی دشت صحرای باغ را در کلاس نامرغوب برای آبیاری قرار می‌دهد. میانگین مقدار 493 TDSmg/L است که آب زیرزمینی دشت صحرای باغ را در کلاس نامرغوب برای آبیاری قرار می‌دهد. میانگین شاخص SAR، 4 (mmol/L) است که آبخوان دشت صحرای باغ را در کلاس خیلی خوب برای آبیاری قرار می‌دهد. براساس نمودار ویلکوکس آب زیرزمینی دشت صحرای باغ در ۳ کلاس نامناسب تا غیرقابل استفاده برای آبیاری طبقه‌بندی می‌شود.
۳. براساس نتایج کلسیم، پتاسیم و سدیم کاتیون‌های غالب بودند. همچنین کلرید و سولفات نیز آنیون‌های غالب این آبخوان بودند. به طور کلی، نوع اصلی تیپ آب این آبخوان منیزیم کلریدی است. به دلیل وجود سازندهای کربناتی و مارنی که حاوی کانی‌های دولومیتی هستند، منیزیم کاتیون اصلی این آبخوان است. با توجه به افزایش خطی منیزیم با افزایش TDS و نیز اینکه نسبت $\text{Mg}/(\text{Ca}+\text{Mg})$ در اغلب نمونه‌های آبخوان کمتر از $0/5$ بود، می‌توان نتیجه گرفت که منشأ منیزیم ناشی از هوازدگی دولومیت است، ولی در نمونه‌های قسمت شرقی آبخوان دشت صحرای باغ مقدار این نسبت بیشتر از $0/5$ بود که نشان‌دهنده سولفات‌بودن نمونه‌های آن قسمت و رخداد دولومیتیزاسیون است.
- در نهایت پیشنهادهایی به منظور مدیریت بهینه منابع آب در این منطقه در زیر آورده شده است:
- با توجه به کمبود منابع آب در استان فارس و در دشت صحرای باغ، توسعه سیستم‌های آبیاری تحت فشار در این منطقه پیشنهاد می‌شود.
 - از برداشت بی‌رویه آب زیرزمینی جلوگیری به عمل آید.
 - هرچند سال یک بار نقشه‌های کیفی و کمی آب زیرزمینی تهیه و براساس نقشه‌ها مدیریت‌های لازم اعمال شود.
- [۱]. اختری، یوسف، ۱۳۸۵، ارزیابی پتانسیل آلودگی آبخوان دشت‌های زویپرچی و خران با استفاده از مدل DRASTIC و GIS. پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید چمران اهواز، ص ۱۱۴.
- [۲]. استواری، یاسر، ۱۳۹۰، ارزیابی کیفیت آب آبخوان منطقه لردگان و تأثیر سازندهای زمین‌شناسی بر کیفیت این آبخوان‌ها، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، ص ۱۱۶، دانشگاه شهرکرد.
- [۳]. اصغری‌مقدم، اصغر؛ آقازاده، نصرت، ۱۳۸۵، «ارزیابی هیدروژئولوژیکی و مدیریت منابع آب زیرزمینی آبخوان دشت هرزندات با استفاده از مدل ریاضی»، فصلنامه دانش کشاورزی پایدار، ۳۵: ۶۱-۴۲.
- [۴]. امیری، میثم؛ طباطبایی، سیدمحمود؛ بحرینی مطلق، مسعود؛ حسن‌پور، فرزاد، ۱۳۹۱، «بررسی کیفی آب زیرزمینی براساس طبقه‌بندی ویلکوکس با استفاده از GIS (منطقه مطالعه‌شده: شهرستان شیراز)، اولین همایش ملی بیابان، تهران.
- [۵]. بینا، بیژن؛ اسدی، مهدی؛ قیصری، علی، ۱۳۸۱، «ارزیابی زیست‌محیطی سد زاینده‌رود»، مجله آب و فاضلاب، ش ۴۴، ص ۱۵-۲۴.
- [۶]. چالک‌شامیری، محمد، اصول تصفیه آب، انتشارات ارکان، چاپ ۱۳۸۵.
- [۷]. زینتی‌زاده، علی‌اکبر؛ بادفر، کامران؛ محمدی، پرویز و خاموشی، سیدمراد، ۱۳۹۱، مقایسه و بررسی کیفیت فیزیکی و شیمیایی منابع تأمین آب روستاهای شهرستان کرمانشاه با استفاده از نرم‌افزار GIS. ششمین همایش ملی مهندسی محیط زیست، تهران، دانشگاه تهران، دانشکده محیط زیست.
- [۸]. غلامعلی‌زاده آهنگر، احمد، کیفیت و ارزیابی کیفی آب آبیاری، نشر علوم کشاورزی، ۱۳۸۱، ص ۱۱۴.
- [۹]. کریم‌پور، مسلم؛ نیازی، بهناز؛ مهرآور، طیبه، ۱۳۸۶، تعیین وضعیت خوردگی شبکه توزیع آب آشامیدنی

- [14].Belkhiri L. Boudoukha A. and Mouni L. 2010. Groundwater quality and its suitability for drinking and agricultural use in Ain Azel plain, Algeria. *Journal of Geography and Regional planning*, 3(6): 151-157.
- [15].Dijidel M. Kheriki H. and Nezli I. 2010. The Minerality impact of deep groundwater in esert region on human and the environment, southeast Algeria. *European journal of scientific research*, 45(4): 540-551.
- [16].Aghazadeh, N., and Asghari Mogaddam, A. (2010) Assessment of groundwater quality and its suitability for drinking and agricultural uses in the Oshnavieh area, northwest of Iran. *Journal of Environmental Protection*, 1: 30-40.
- [17].Kumar, R.C.P., And Chandel, S. (2008) A hydro chemical profile for assessing the groundwater quality of Jaipur City. *Environmental Monitoring & Assessment*, 143: 337-343.
- [18].Rafferty. 2000, Scaling in geothermal heat pump systems, Geo- Heat Center Oregon Institute of Technology 3201 Campus Drive Klamath Falls. PP 11-15
- [19].Kirda, C. (1997) Assessment of irrigation quality. *Options Mediterranean's*, 367-377
- [20].Wilcox L.V.1955. Classification and use of irrigation water, US Department of Agriculture., Circ. 696, Washington, DC.
- [21].WHO. 2008. Guidelines for drinking-water quality. 3rd edition. 668 pages. Downloadable at www.WHO.int.
- شهر ملایر در تابستان ۱۳۸۵، دهمین همایش ملی بهداشت محیط همدان، ۸ تا ۱۰ آبان ماه.
- [۱۰]. مختاری سیداحمد؛ عالیقدری، مرتضی؛ حضرتی، صادق؛ صادقی، هادی؛ قراری، نورالدین؛ قربانی لقمان، ۱۳۸۹، ارزیابی وضعیت خورندگی و رسوب گذاری شبکه توزیع آب آشامیدنی شهر اردبیل با استفاده از شاخص های Ryznar و Langelier. *مجله سلامت و بهداشت اردبیل*، (۱)۱: ص ۱۴-۲۳.
- [۱۱]. دیندارلو، کاووس؛ علیپور، ولی؛ فرشیدفر غلامرضا، ۱۳۸۵، «کیفیت شیمیایی آب شرب بندرعباس»، *مجله پزشکی هرمزگان* سال دهم، ش اول. ص ۵۷-۶۲.
- [۱۲]. دهقانی کاظمی، واحد؛ حسین یار حسینی؛ بهرام ملک محمدی، ۱۳۸۹، پهنه بندی سختی آب در شهرستان اسلامشهر با استفاده از GIS. *همایش ملی آب با رویکرد آب پاک، تهران دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور)*، ۱۱ و ۱۲ اسفند.
- [۱۳]. خواه طهران، پروانه، ۱۳۹۰، مقایسه کیفی منابع آب زیرزمینی از نظر شوری برای مصارف مختلف در شرق و غرب آبخوان ساحلی حوضه رودخانه های تالار - بابل - هراز، چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، تهران - دانشگاه صنعتی امیرکبیر، سال ۱۳۹۰.