

ارزیابی کیفی و تهیه نقشه پتانسیل‌های خوردگی و رسوب‌گذاری آب زیرزمینی مرودشت - خرامه

افشین هنربخش^{۱*}، یاسر استواری^۲، سید علی اکبر موسوی^۳

(۱) دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد

(۲) پژوهشگر پسا دکتری، بخش علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

(۳) دانشیار بخش علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

*نویسنده مسئول: afshin.honarbakhsh@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۲۴

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۰/۱۹

چکیده

تعیین پتانسیل خوردگی و رسوب‌گذاری یکی از با اهمیت‌ترین جنبه‌های کیفی منابع آب‌های زیرزمینی در مصارف مختلف می‌باشد. لذا هدف از این پژوهش تعیین پتانسیل‌های رسوب‌گذاری و خوردگی با استفاده از شاخص‌های لائزیر و رایزنر و مولفه‌های آنها در آب زیرزمینی دشت مرودشت - خرامه است. برای این منظور از تعداد ۴۹ حلقه چاه کشاورزی در ۵ سال نمونه‌برداری و مولفه‌های سختی کل (TH)، کل جامدات محلول (TDS)، قلیانیت کل (TA) و اسیدیته (pH) اندازه‌گیری شد. از روش زمین‌آماری کریجینگ ساده برای پهنه‌بندی شاخص رایزنر و لائزیر و مولفه‌های آنها استفاده گردید. نتایج نشان داد مدل کروی بهترین برازش را برای شاخص‌های لائزیر و رایزنر و مولفه‌های آنها دارد. دامنه تأثیر از ۱۵۷۵۲ تا ۳۲۷۱۱ متر برای مولفه‌ها متغیر بود. کلاس هم‌بستگی مکانی از خوب تا متوسط تغییر داشت. میانگین شاخص لائزیر ۰/۵۸ بود که پتانسیل رسوب‌گذاری کم تا متوسط را نشان داد. میانگین شاخص رایزنر ۶/۳ بود که پتانسیل خوردگی کم را در آبخوان دشت مرودشت - خرامه نشان می‌دهد. بر اساس نقشه‌های پهنه‌بندی در قسمت‌های شمالی منطقه مولفه‌های TH و TDS و به دنبال آنها شاخص لائزیر بیشترین مقدار را داشت که پتانسیل رسوب‌گذاری متوسط را نشان می‌دهد. در این قسمت تأثیر سازندهای کربناتی احتمالاً عامل افزایش شاخص لائزیر ارزیابی شد. به طور کلی، منابع آب‌های زیرزمینی مرودشت - خرامه از نظر پتانسیل‌های خوردگی و رسوب‌گذاری کیفیت متوسطی دارد.

واژه‌های کلیدی: شاخص رایزنر، شاخص لائزیر، کیفیت آب، کریجینگ.

مقدمه

یکی از اهداف آب‌شناسی، تامین آب با ویژگی‌ها و معیارهای کیفی مناسب برای بخش‌های شرب، کشاورزی و صنعت است. تمامی آب‌ها کم و بیش دارای مقداری نمک به عنوان ناخالصی و عاملی برای خوردگی یا رسوب‌گذاری هستند. آب می‌تواند باعث خوردگی خطوط انتقال و توزیع و نیز ایجاد لایه‌های ضخیم رسوبی بر روی سطوح و دیواره‌های لوله‌های خط انتقال آب کشاورزی گردد (هادی، ۱۳۸۸؛ بدیعی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۴). این مسئله یکی از مهمترین مشکلات در صنعت آب بوده و می‌تواند سلامت عمومی، کیفیت و هزینه تولید آب سالم را تحت تأثیر قرار دهد (Rafferty, 2000). خوردگی و رسوب‌گذاری می‌تواند سبب مسدود شدن لوله‌ها، کاهش دبی عبوری و عیوب غیرمنتظره در لوله‌ها گردد و همچنین می‌تواند باعث سوراخ شدن لوله‌ها شود که در این حالت آب زیادی از لوله‌ها نشت کرده و میزان آب از دست رفته بسیار قابل توجه خواهد بود (استواری، ۱۳۹۰؛ آذری و همکاران، ۱۳۹۴). مسیرهای انتقال آب نقطه مشترک بسیاری از بخش‌های مصرف‌کننده آب در شرب و بهداشت، صنایع و کشاورزی محسوب می‌شود. تحلیل مجاری انتقال و ذخیره آب در اثر خوردگی و یا در اثر رسوب‌گذاری سالانه هزینه‌های بسیار زیادی را جهت تعمیر، جابگزینی و حفظ سیستم توزیع آب تحمیل می‌کند (زارع ابیانه، ۱۳۸۹). راهکارهای زیادی به منظور جلوگیری از پدیده‌های خوردگی و رسوب‌گذاری در خطوط انتقال و توزیع آب ارائه شده است. با این وجود بهره‌گیری از روش‌های پیش‌بینی‌کننده، توأم با استفاده از روش‌های کنترل، می‌تواند به نحو مطلوب‌تری اثرات و خسارات ناشی از این دو پدیده را در صنعت تصفیه، انتقال و تحویل آب کاهش دهد (مختاری و همکاران، ۱۳۸۹). شاخص‌های مختلفی برای پیش‌بینی پتانسیل خوردگی و رسوب‌گذاری آب‌ها ارائه شده است. شاخص اشباع لانژلیه (LSI) و شاخص پایداری رایزنر (RSI^2) از پرکاربردترین این شاخص‌ها هستند. شاخص LSI برای پیش‌بینی تمایل آب به رسوب یا انحلال کربنات کلسیم، درجه اشباع آب با کربنات کلسیم را با استفاده از PH آب به عنوان یک متغیر اصلی نشان می‌دهد و مقدار آن از منفی تا مثبت در تغییر است (Rafferty, 2000). شاخص RSI نیز بر مبنای سطح اشباعیت می‌باشد و ارتباط بین حالت اشباع کربنات کلسیم و تشکیل پوسته را به صورت کمی نشان می‌دهد. مقدار این شاخص همیشه مثبت بوده و تمایل به رسوب‌گذاری و خوردگی شدید را بهتر از LSI تخمین می‌زند. گفته می‌شود بین شاخص لانژلیه و شاخص رایزنر یک رابطه معکوس وجود دارد به صورتی که آبی که خاصیت رسوب‌گذاری داشته باشد دیگر تمایل کمتری به خوردگی دارد (Rafferty, 2000). هر دو شاخص LSI و RSI بر اساس ۵ مولفه کیفی آب و با استفاده از چندین رابطه قابل محاسبه هستند. مولفه‌های قابل استفاد در محاسبه LSI و RSI شامل درجه حرارت آب، pH ، جامدات محلول (TDS)، سختی کل (TH) و قلیائیت کل (TA) می‌باشند. از این دو شاخص در بررسی پتانسیل

¹ Langelier Saturation Index

² Ryznar Stability Index

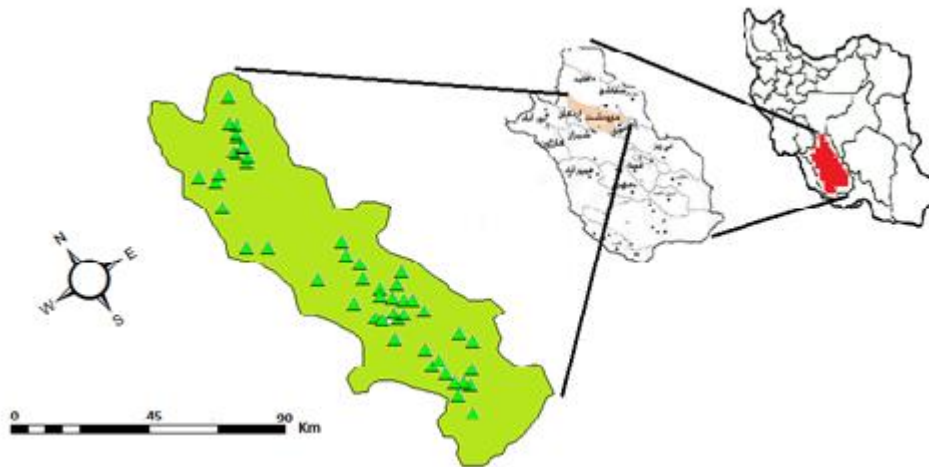
خوردگی و رسوب‌گذاری برخی از منابع آب‌های زیرزمینی مناطق مختلف کشور استفاده شده است. زارع‌ایبانه و همکاران (۱۳۸۹) به بررسی پتانسیل خوردگی و رسوب‌گذاری آب‌های زیرزمینی دشت همدان - بهار پرداختند. نتایج آنها نشان داد که شاخص لانژلیه در ۶۴ درصد نمونه‌ها و شاخص رایزور در ۸۵ درصد نمونه‌ها پتانسیل کم خوردگی و رسوب‌گذاری را نشان می‌دهد. در مجموع منابع آب زیرزمینی دشت همدان - بهار در محدوده کم تا متوسط رسوب‌گذاری و خوردگی قرار داشت. Dehghani و همکاران (۲۰۱۰) برای ارزیابی پتانسیل خوردگی و رسوب‌گذاری شبکه آبرسانی شیراز از شاخص لانژلیه استفاده کردند. آنها از تعداد ۱۱۸ چاه و منبع آب سطحی در تابستان و پاییز ۲۰۰۷ نمونه‌برداری کردند. نتایج میانگین شاخص لانژلیه ۰/۴۱۷ به دست آمد که پتانسیل کم تا متوسط رسوب‌گذاری (در ۹۲/۴ درصد نمونه‌ها) و پتانسیل کم خوردگی (در ۱/۳ درصد نمونه‌ها) را نشان داد. تعیین الگوی تغییرات مکانی و سپس پهنه‌بندی آبخوان می‌تواند در جایابی صنایع، مدیریت جلوگیری از خوردگی و یا رسوب‌گذاری و تعیین جنس مناسب مصالح مفید باشد. یکی از روش‌های تخمین تغییرات مکانی متغیرهای کیفیت آب یک منطقه استفاده از روش‌های زمین‌آمار می‌باشد (Sanchez, 2001؛ استواری و همکاران، ۱۳۹۶). تفاوت اصلی این روش با آمار کلاسیک این است که در آمار کلاسیک نمونه‌های گرفته شده از یک جامعه آماری، مستقل از یکدیگر بوده و وجود یک نمونه هیچگونه اطلاعاتی درباره نمونه بعدی نمی‌دهد، اما روش‌های زمین‌آمار وجود هم‌بستگی مکانی بین مقادیر یک متغیر در یک ناحیه را بررسی می‌نمایند. به طور کلی می‌توان گفت زمین‌آمار به بررسی آن دسته از متغیرهایی می‌پردازد که دارای ساختار مکانی هستند و یا به عبارتی بین مقادیر مختلف آنها، فاصله و جهت قرار گرفتن آنها یک ارتباط فضایی وجود دارد (Sanchez, 2001). Mehrjerdi و همکاران (۲۰۰۸) با نمونه‌برداری از ۷۳ حلقه چاه در دشت اردکان یزد به وسعت ۱۶ هزار کیلومتر مربع به تحلیل مکانی سختی کل (TH)، کل جامدات محلول (TDS)، سولفات، کلرید، کلسیم و برخی شاخص‌های کیفی دیگر آب‌های زیرزمینی منطقه پرداختند. آنها با استفاده از سه روش زمین‌آماري وزن‌دهی معکوس فاصله، کریجینگ و کوکریجینگ پهنه‌بندی دشت اردکان را بر اساس این شاخص‌ها انجام دادند. برای TDS مدل واریوگرام کروی و برای TH مدل نمایی بهترین برازش را داشت. ارزیابی نتایج حاصله نشان داد که روش پهنه‌بندی کریجینگ بر دو روش دیگر برتری دارد و با استفاده از این روش نقشه‌های خصوصیات کیفی آب ترسیم شد. استواری و همکاران (۱۳۹۴) به بررسی تغییرات مکانی و پهنه‌بندی شاخص‌های لانژلیه و رایزور و مولفه‌های موثر بر این دو شاخص در آبخوان لردگان به وسعت ۶۰ کیلومتر مربع پرداخت. در این پژوهش پارامترهای TH، TDS، TA و pH در ۳۲ حلقه چاه اندازه‌گیری شدند. از روش کریجینگ ساده برای پهنه‌بندی شاخص‌های خوردگی و رسوب‌گذاری و مولفه‌های آنها استفاده گردید. نتایج نشان داد مدل کروی برای pH، TH، شاخص لانژلیه و رایزور و مدل گوسی برای TDS و مدل نمایی برای TA بهترین برازش را داشت. دامنه تأثیر از ۳۲۲۸ تا ۵۹۶۱ متر تغییر داشت. بین TH با TDS و TA همبستگی معنی‌دار مثبتی دیده شد. بر اساس شاخص لانژلیه

۴۲ درصد منطقه دارای رسوب گذاری کم، ۴۲ درصد رسوب گذاری متوسط و ۱۶ درصد رسوب گذاری شدید داشت. بر اساس شاخص رایزنر ۷۶ درصد منطقه خوردگی ضعیف، ۱۳ درصد خوردگی کم، ۱۰ درصد خوردگی متوسط و ۴ درصد خوردگی زیاد دارد. Hooshmand و همکاران (۲۰۱۱) در پژوهشی در بوکان واقع در استان آذربایجان غربی از روش های کریجینگ و کوکریجینگ برای تخمین پارامترهای کلرید و SAR آب های زیرزمینی استفاده کردند. مدل واریوگرام گوسی بهترین برازش را هر دو پارامتر داشت. مقایسه نتایج نشان داد که برای هر دو پارامتر کلرید و SAR روش کوکریجینگ در مقایسه با روش کریجینگ صحت بیشتری داشت و بنابراین از روش کوکریجینگ برای تخمین این پارامتر استفاده شد. دشت مرودشت- خرامه از دشت های مهم استان فارس و همچنین ایران از لحاظ کشاورزی و صنعتی است، و با توجه به اینکه آب های زیرزمینی منبع اصلی تأمین نیاز آب برای این مصارف می باشد، بنابراین بررسی پتانسیل خوردگی و رسوب گذاری منابع این منطقه و تغییرات مکانی آنها می تواند به مدیریت انتقال و ذخیره سازی منابع آب زیرزمینی این دشت کمک موثری بنماید. لذا هدف از این مطالعه (۱): شاخص های لانژلیه و رایزنر و مولفه های آنها؛ (۲): تعیین الگوهای تغییرات مکانی شاخص های لانژلیه و رایزنر و مولفه های آنها؛ (۳): تهیه نقشه های هم مقدار شاخص های RSI و LSI و نیز مولفه های آنها؛ و (۴): ارزیابی تناسب روش کریجینگ برای پهنه بندی شاخص های RSI و LSI در دشت مرودشت- خرامه است.

مواد و روش ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی مرودشت - خرامه با مساحت 3941 km^2 در مرکز استان فارس بین طول های جغرافیایی $15^\circ 52'$ تا $27^\circ 53'$ شرقی و عرض های $19^\circ 25'$ تا $29^\circ 19'$ شمالی در حوضه آبریز بختگان قرار دارد و از نظر موقعیت جغرافیایی موقعیت محدوده مطالعاتی شمال غربی و جنوب شرقی است که از پنج دشت به نام های زیر تشکیل شده است. ۱- دشتک و درودزن، ۲- مائین - بیدکل، ۳- دشت بال و لانه طاووس، ۴- مرودشت و کربال، ۵- خرامه (۷۰ کیلومتری شرق شیراز). با توجه به چین خوردگی های منطقه، دشت مرودشت- خرامه در ناحیه چین های ساده زاگرس واقع شده است. در حاشیه ی سد درودزن آهک های کرتاسه و در دامنه های آن مارن های پابده گورپی گسترش دارد. تشکیلات زمین شناسی در مرکز دشت آهک های سروک بوده و بسیار فشرده، سخت و صخره ساز می باشند. در اطراف دشت سازندهایی از جنس آهک و در قسمت جنوب غربی دشت مرودشت- خرامه سازندهایی نظیر ساچون و سری هرمز وجود دارد. همچنین در قسمت شمالی وجود سازندهای کربناته گروه خامی و جهرم- آجاجاری وجود دارد (سنگاب زاگرس، ۱۳۸۸). شکل (۱) موقعیت مرودشت- خرامه و چاه های نمونه برداری را نشان می دهد.



شکل ۱: موقعیت دشت مرو دشت - خرامه و چاه‌های نمونه‌برداری

نمونه‌برداری و تجزیه‌های آزمایشگاهی

در مجموع از داده‌های ۴۹ چاه در نگارش این مقاله بهره گرفته شد و از آنجایی که تغییرات مکانی مد نظر نبود، از میانگین داده‌های ۵ ساله مربوط به هر چاه استفاده شد. موقعیت چاه‌ها، چشمه‌ها و قنات‌ها با دستگاه GPS ثبت شد. نمونه‌های آب در بطری‌های ۲۵۰ میلی‌متری که قبلاً اسیدشوئی و با آب مقطر شسته شده بودند جمع‌آوری شدند. در موقع نمونه‌برداری نیز هر بطری سه بار با آب نمونه شستشو شد. نمونه‌ها پس از اضافه کردن چند قطره تولوئن برای جلوگیری از واکنش‌های زیستی در داخل یخدان در زیر یخ نگهداری و سریعاً به آزمایشگاه منتقل شدند. نمونه‌های برداشت شده بر اساس استانداردهای (APHA, 1988) تجزیه شدند. pH نمونه‌ها با دستگاه ISTEK (مدل PDC ۹۱۵) و کل جامدات محلول (TDS) نمونه‌ها با تبخیر ۱۰۰ mL آب و توزین رسوبات مانده اندازه‌گیری شد. به منظور محاسبه شاخص لانتزلیر غلظت‌های کلسیم (Ca^{2+})، منیزیم (Mg^{2+})، کربنات (CO_3^{2-}) و بی‌کربنات (HCO_3^-) به روش تیتراسیون اندازه‌گیری شدند (APHA, 1988). در این پژوهش از میانگین دمای آب سالانه دشت مرو دشت - خرامه (۱۶ درجه سلسیوس) برای محاسبه شاخص LSI و RSI استفاده شده است. نرمال بودن داده‌های اندازه‌گیری شده با استفاده از آزمون کلموگراف-اسمیرنوف و تجزیه و تحلیل‌های آماری کلاسیک در محیط STATISTICA 8.0 از شرکت (StatSoft Inc, 2008) انجام شد.

سختی کل (TH) از رابطه (۱) و قلیائیت کل (TA) از رابطه (۲) محاسبه شدند:

$$TH \text{ (CaCO}_3 \text{ mg/L)} = 50 \times (Ca^{2+} + Mg^{2+})$$

رابطه ۱:

$$TA \text{ (CaCO}_3 \text{ mg/L)} = (HCO_3^- + CO_3^{2-})$$

رابطه ۲:

که در آن: غلظت کلسیم، منیزیم، کربنات و بی کربنات بر حسب meq/L است. pH آب در حالت اشباع از کربنات کلسیم (PHs) از رابطه‌ی (۳) محاسبه شد:

$$PHs = [(9.3 + A + B) - (C + D)] \quad \text{رابطه ۳:}$$

که در آن :

$$A = (\text{Log} [\text{TDS}] - 1) / 10 \quad \text{رابطه ۴:}$$

$$B = -13.12 \times \text{Log} (^\circ\text{C} + 273) + 34.55 \quad \text{رابطه ۵:}$$

$$C = \text{Log} [\text{TH}] - 0.4 \quad \text{رابطه ۶:}$$

$$D = \text{Log} [\text{TA}] \quad \text{رابطه ۷:}$$

که در این روابط : TDS کل جامدات محلول به mg/L، درجه حرارت آب به درجه سلسیوس $^\circ\text{C}$ ، سختی کل (TH) بر حسب کربنات کلسیم معادل mg/L و TA قلیائیت کل معادل کربنات کلسیم به mg/L است. شاخص لانژلیئر (LSI) و شاخص رایزنر (RSI) با استفاده از pH واقعی آب و PHs محاسبه شدند:

$$L \text{ LSI} = \text{pH} - \text{PHs} \quad \text{رابطه ۸:}$$

$$\text{RSI} = 2 \text{ pHs} - \text{P} \quad \text{رابطه ۹:}$$

اگر $\text{pH} > \text{PHs}$ باشد، $\text{LSI} > 0$ است. در این حالت آب از کربنات کلسیم اشباع بوده و رسوب گذار است. ولیکن اگر $\text{LSI} < 0$ باشد آب خورنده است. اگر شاخص رایزنر کمتر از ۶/۵ باشد آب تمایل به رسوب گذاری دارد و در صورتی که این شاخص از ۶/۵ بیشتر شود آب خورنده است (Rafferty, 2000). جدول (۱) درجات مختلف خوردگی و رسوب گذاری را بر اساس مطالعات Carrier (۱۹۶۵) نشان می دهد.

جدول ۱: درجات مختلف خوردگی و رسوب گذاری آب بر اساس پیشنهاد Carrier (۱۹۶۵).

مقدار شاخص LSI	رفتار آب	مقدار شاخص RSI	رفتار آب
۰ - ۰/۵	رسوب گذاری کم	۵ - ۶	رسوب گذاری ضعیف
۰/۵ - ۱	رسوب گذاری متوسط	۶ - ۷	رسوب گذاری و خوردگی کم
۱ - ۲	رسوب گذاری شدید	۷ - ۷/۵	خوردگی متوسط
		> ۷/۵	خوردگی زیاد

روش کریجینگ

ابتدا سمی واریوگرام تجربی $\gamma(h)$ محاسبه گردید:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad \text{رابطه ۱۰:}$$

که در آن N : تعداد جفت مشاهدات، $Z(x_i)$ و $Z(x_i+h)$ مقدار مشاهدات متغیرها در نقطه‌های x_i و x_i+h است. سپس مدل‌های تئوری سمی‌واریوگرام کروی، نمائی و گوسی برازش داده شد و بهترین مدل انتخاب گردید (Scott, 2000). برای ارزیابی مدل‌های واریوگرام انتخاب شده با استفاده از مدول x -valid نرم افزار GeoEas 1.2.1 دو معیار زیر محاسبه شد:

$$ME = \sum_{j=1}^n \frac{X(p)_j - X(m)_j}{n} \quad \text{رابطه ۱۱:}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (X(p)_j - X(m)_j)^2}{n}} \quad \text{رابطه ۱۲:}$$

که در آن‌ها، ME : میانگین خطا، $RMSE$: ریشه میانگین مربعات خطا، $X(p)$: مقادیر برآورد شده هر شاخص کیفی آب، $X(m)$: مقادیر اندازه‌گیری شده هر شاخص کیفی آب، و n : تعداد نمونه‌ها است (Scott, 2000). پس از تعیین مدل واریوگرام، از آن برای محاسبه وزن در روش کریجینگ استفاده می‌شود. معادله اساسی کریجینگ به شکل زیر است (Scott, 2000):

$$F(x, y) = \sum_{i=1}^n w_i \times f_i \quad \text{رابطه ۱۳:}$$

که در آن: $F(x, y)$ مقدار غلظت تخمین زده شده در نقطه‌ای با مختصات x و y ; n تعداد نقاط اندازه‌گیری شده؛ w_i وزن نسبت داده شده به هر نقطه i ؛ و f_i مقادیر شاخص در هر نقطه اندازه‌گیری i است. نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه تأثیر شاخصی از قدرت ساختار مکانی متغیرهاست. چنانچه این نسبت کمتر از ۰/۲۵ شود نشان‌دهنده وابستگی مکانی قوی و اگر این نسبت بین ۰/۲۵ تا ۰/۷۵ قرار گیرد بیانگر وابستگی مکانی متوسط و چنانچه این نسبت بزرگ‌تر از ۰/۷۵ گردد نشان‌دهنده وابستگی مکانی ضعیف خواهد بود (Shi et al., 2007). وابستگی قوی مکانی به این معنی است که در دامنه تأثیر می‌توان متغیر مورد نظر را به خوبی تخمین زد. پهنه‌بندی و ترسیم نقشه‌های توزیع مکانی هر شاخص و نیز همبستگی نقشه‌ها در محیط ArcMap 9.3 از شرکت (ESRI Inc, 2008) انجام شد.

نتایج و بحث

جدول (۲) خلاصه آماری شاخص‌های LSI و RSI و مولفه‌های موثر بر آن‌ها را در آبخوان دشت مرودشت - خرامه نشان می‌دهد. مقدار pH در آبخوان دشت مرودشت - خرامه تقریباً بازی بوده و از حداقل ۶/۹ تا حداکثر ۸/۰۰ تغییر می‌کند. قلیائیت آب سفره‌ی زیرزمینی مرودشت - خرامه از متوسط تا خیلی زیاد متغیر است (Boyed, 2000) ولی با توجه به میانگین (۳۱۴ mg/L) آن، آبی با قلیائیت خیلی زیاد است (Boyed, 2000). معمولاً قلیائیت و pH یک آب

ارتباط نزدیک و مستقیم با یکدیگر دارند. با توجه به کمینه سختی کل (۱۹۹ mg/L) آب مرودشت - خرامه آبی سخت است و بر اساس میانگین در رده خیلی سخت قرار می‌گیرد (Scott, 2000). مقدار LSI در ۹۴ درصد نمونه‌ها مثبت بوده که نشان دهنده تمایل به رسوب‌گذاری آب زیرزمینی مرودشت - خرامه بر اساس شاخص لائزلیر است. در ۳۲ درصد از نمونه‌های آب شاخص LSI بین ۰ تا ۰/۵ بود که تمایل به پتانسیل رسوب‌گذاری کم را نشان می‌دهد. در ۳۸ درصد از نمونه‌ها مقدار شاخص LSI بین ۰/۵ تا ۱ و در ۳۰ درصد از نمونه‌ها مقدار شاخص LSI بین ۱ تا ۲ بود که به ترتیب، حاکی از تمایل رسوب‌گذاری متوسط و رسوب‌گذاری شدید این نمونه‌ها است.

جدول ۲: خلاصه آماری شاخص‌های LSI و RSI و مولفه‌های موثر بر آنها را در آبخوان دشت مرودشت - خرامه

چولگی	ضرب تغییرات	انحراف معیار	دهک آخر	دهک اول	حداکثر	حداقل	میانه	میانگین	
-۰/۲	۲/۸	۰/۲	۷/۷	۷	۸	۷	۷/۵	۷/۵	PH
۱/۵۱	۱۱۷	۲۸۲۳	۸۴۷۵	۳۹۱	۱۰۲۷۰	۳۴۷	۸۹۱	۲۴۰۰	TDS
۱/۷۴	۱۲۱	۱۳۶۴	۴۰۰۰	۲۴۰	۵۴۷۰	۱۹۹	۳۹۳	۱۱۲۳	TH
۰/۷۸	۲۶	۸۴	۴۴۸	۲۱۹	۵۵۲	۱۶۸	۲۹۵	۳۱۴	TA
-۰/۲۶	۵۴/۲	۰/۳۱	۰/۹۹	۰/۱۳	۱/۲	-۰/۰۶	۰/۶	۰/۵۸	LSI
-۰/۱۶	۱۰/۵	۰/۷	۷/۲	۵/۳	۷/۵	۵/۲	۶/۴	۶/۳	RSI

میانگین مقدار شاخص پایداری رایزتر ۶/۳ بوده که پتانسیل خوردگی متوسط آب آبخوان دشت مرودشت - خرامه را نشان می‌دهد. مقدار شاخص رایزتر در ۳۳ درصد نمونه‌ها بین ۵ تا ۶ بوده که بیانگر پتانسیل رسوب‌گذاری ضعیف این نمونه‌ها است. شاخص RSI در ۵۳ درصد نمونه‌ها بین ۶ تا ۷ بود که پتانسیل رسوب‌گذاری و خوردگی ناچیز این نمونه‌ها را نشان می‌دهد. شاخص RSI در ۱۴ درصد از نمونه‌ها بین ۷ تا ۷/۵ بود که پتانسیل خوردگی متوسط را نشان می‌دهد. بر اساس LSI حدود ۹۴ درصد نمونه‌ها تمایل به رسوب‌گذاری و بر اساس RSI ۸۶ درصد نمونه‌ها تمایل به خوردگی دارند. ضریب تغییرات عوامل موثر بر شاخص‌های پایداری LSI و RSI عموماً بیشتر از ۳۰ درصد است که نشان دهنده عدم یکنواختی نسبی آن‌ها در آبخوان مرودشت - خرامه است (رضائی 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 (۳) ضریب همبستگی اسپیرمن شاخص‌های کیفی pH، TDS، TH، قلیائیت، LSI و RSI آبخوان دشت مرودشت - خرامه را نشان می‌دهد. بین pH با سختی کل و TDS همبستگی منفی معنی‌دار و نسبتاً قوی‌تر وجود دارد ($p < ۰/۰۵$) و pH با قلیائیت رابطه ندارد ($p > ۰/۰۵$); از طرف دیگر قلیائیت کل نیز با سختی کل همبستگی دارد. Rafferty (۲۰۰۰) و Mehrjerdi و همکاران (۲۰۰۸) نیز همبستگی معنی‌دار قلیائیت کل و سختی کل را گزارش کرده‌اند. استواری (۱۳۹۰) نیز همبستگی قوی بین TH و TDS را گزارش کردند. شاخص‌های پایداری LSI با pH و TA همبستگی نداشته ولی با TH و TDS همبستگی دارد.

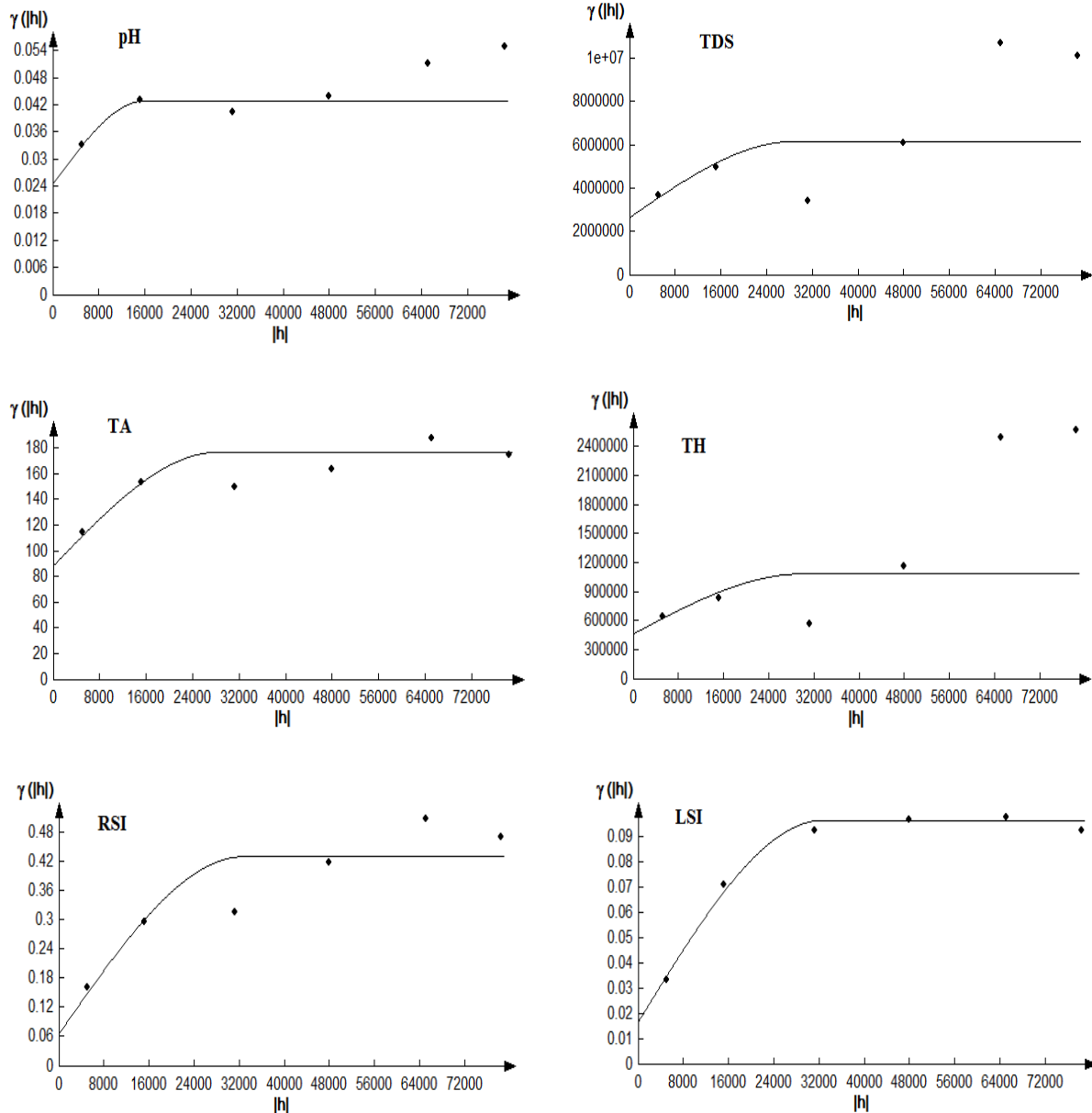
شاخص RSI با pH همبستگی مثبت معنی دار و با TDS و TH همبستگی منفی معنی دار و با TA همبستگی ندارد. به نظر می‌رسد که دو شاخص LSI و RSI با تغییرات قلیائیت کل در تغییر نیستند و بیشتر با TH تغییر می‌کنند (جدول ۳). با توجه به اینکه سازندهای منطقه اکثراً کربناتی و آهکی هستند لذا TH تأثیر بیشتری بروی کیفیت آب داشته و در پتانسیل خوردگی و رسوب‌گذاری اثر گذاری بیشتری دارد.

جدول ۳- ضریب همبستگی اسپیرمن شاخص‌های کیفی pH، TDS، TH، قلیائیت، LSI و RSI آبخوان دشت

مروودشت- خرامه					
LSI	TA	TH	TDS	pH	
				۰/۶۹*	TDS
			۰/۹۷*	۰/۶۸*	TH
		۰/۲۹*	۰/۲۴	۰/۲۳	TA
	۰/۱۶	۰/۶۲*	۰/۶۴*	۰/۰۱	LSI
۰/۹۵*	۰/۰۸	۰/۸*	۰/۸۳*	۰/۳۲*	RSI

تجزیه و تحلیل واریوگرام‌ها

همه شاخص‌ها طبق واریوگرام سطحی همسانگرد بودند. شکل (۲) واریوگرام‌های تجربی و مدل نظری برازش داده شده به شاخص‌های کیفی آب زیرزمینی دشت مروودشت - خرامه را نشان می‌دهد. برای RSI، LSI و همه مولفه‌های آن‌ها مدل کروی بهترین برازش را داشت. شکل (۲). Mehrjerdi و همکاران (۲۰۰۸) و شعبانی (۱۳۸۷) نیز از مدل کروی برای توصیف شاخص‌های pH و TH آب استفاده کردند. در پژوهش استواری (۱۳۹۰) نیز برای RSI، LSI، TDS و pH مدل کروی بهترین برازش را داشت. واریوگرام‌های شاخص‌های RSI و LSI شباهت زیادی به یکدیگر داشتند که احتمالاً ارتباط نزدیک این دو شاخص را به یکدیگر نشان می‌دهد. جدول (۴) نتایج تجزیه و تحلیل زمین آماری شاخص‌های RSI و LSI و مولفه‌های آنها در آبخوان دشت مروودشت - خرامه را نشان می‌دهد. دامنه تأثیر از ۱۵۷۵۲ متر برای pH تا ۳۲۷۱۱ متر برای RSI در آبخوان دشت مروودشت - خرامه متغییر است. دامنه تأثیر TA، TH و TDS تقریباً مشابه هم و نزدیک هستند که می‌تواند به دلیل همبستگی آنها باشد (جدول ۳ و ۴). مقدار نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه تأثیر برای شاخص لانزلیر ۰/۱۷ بود که همبستگی قوی مکانی در دامنه تأثیر را نشان می‌دهد (Shi et al., 2007). مقدار نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه برای سایر مولفه‌ها بین ۰/۲۵ تا ۰/۷۵ شد که همبستگی متوسط مکانی در دامنه تأثیر را نشان می‌دهد. مقدار ME برای تمامی مولفه‌ها مقداری مثبت شد که نشان دهنده بیش برآوردی تخمین می‌باشد. مقدار RMSE برای مولفه‌ها pH، TH، TDS و RSI مقدار زیادی هست که خطای نسبی متوسطی در برآورد این پارامترها را نشان می‌دهد.



شکل ۲: واریوگرام‌های تجربی و مدل نظری برازش داده شده به شاخص‌های کیفی آب زیرزمینی دشت مرودشت - خرامه

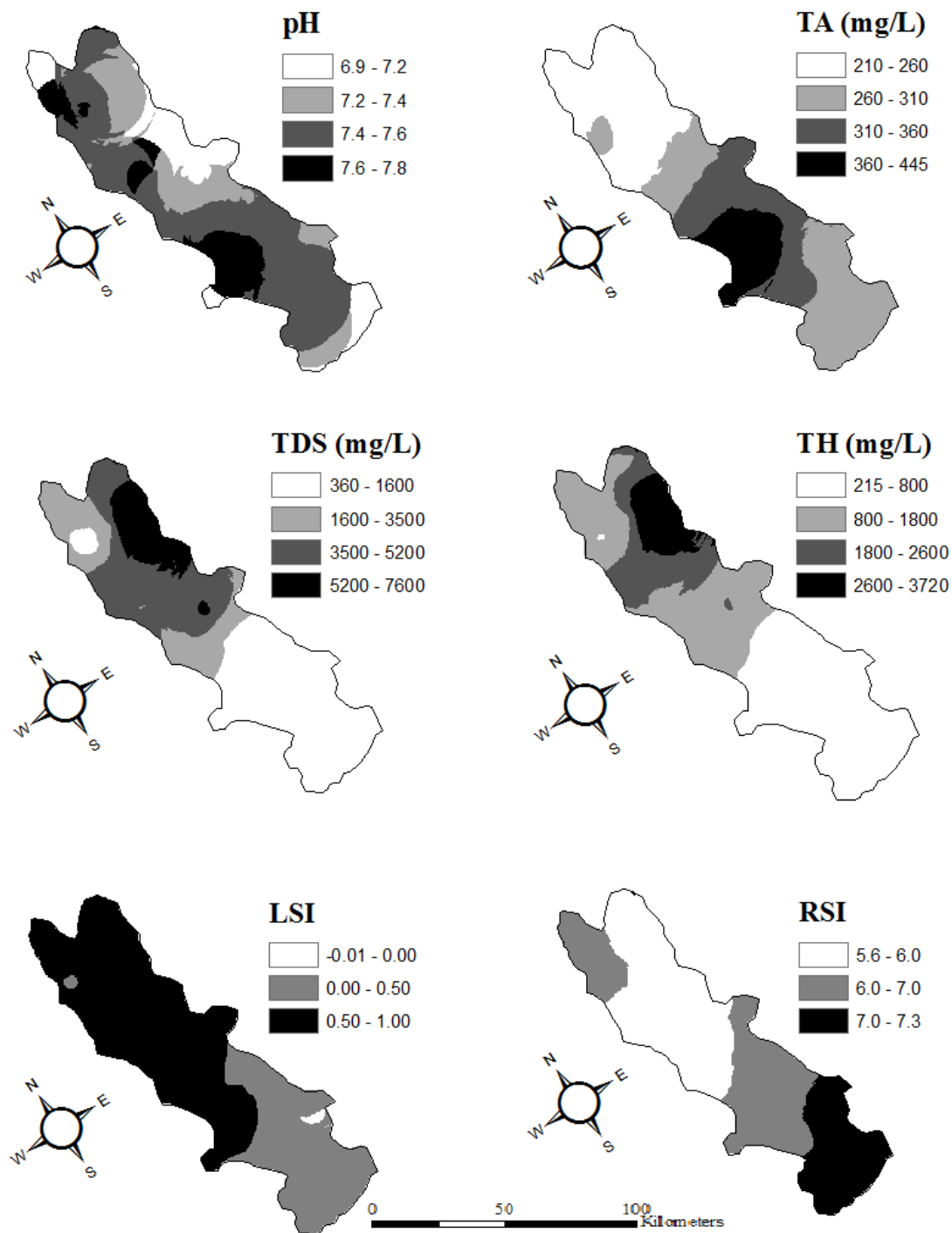
پهنه‌بندی LSI و RSI و مولفه‌های آنها

شکل (۳) نقشه‌های پهنه‌بندی LSI و RSI و مولفه‌های آنها با روش کریجینگ ساده را نشان می‌دهد. مولفه TA در قسمت جنوب غربی دشت مرودشت- خرامه دارای حداکثر مقدار 445 mg/L و در ناحیه شمال دشت دارای حداقل مقدار 210 mg/L می‌باشد (شکل ۳). دلیل این افزایش در ناحیه جنوب غربی وجود سازندهایی نظیر ساچون که از لایه‌های ژئوسی، دولومیتی و گچی تشکیل شده است. همچنین سری هرمز شامل رسوبات گچی- نمکی و نیز گنبد‌های نمکی قلعه گچی و سروستان می‌باشد. چنین بنظر می‌رسد این عوامل می‌تواند عامل اصلی نزول کیفیت آب و افزایش کلیتیت آب در ناحیه غرب و جنوب غربی باشد (سنگاب زاگرس، ۱۳۸۸).

جدول ۴: نتایج تجزیه و تحلیل زمین آماری شاخص‌های LSI و RSI و مولفه‌های آن‌ها در آبخوان مرودشت-خرامه

پارامتر	مدل	دامنه تأثیر	آستانه تأثیر (C ₀ +C)	اثر قطعه‌ای (C ₀)	$\frac{C_0}{C_0+C}$	ME	RMSE
TA	کروی	۲۸۱۳۴	۱۷۷/۵۹	۸۹/۳	۰/۵	۰/۱۰۸	۱/۱
PH	کروی	۱۵۷۵۲	۰/۰۴۳	۰/۰۲۴۷	۰/۵۷	۱/۷	۴۱۷/۱
TDS	کروی	۲۸۶۹۸	۵۸۶۸۰۰۰	۲۳۶۰۰۰۰	۰/۴	۱/۱	۱۹۴۳
TH	کروی	۲۹۹۰۶	۱۰۹۴۶۵۳	۴۷۵۰۰۰	۰/۴۳	۲۵/۷	۹۴۴
LSI	کروی	۳۲۶۳۲	۰/۰۹۷	۰/۰۱۷	۰/۱۷	۰/۰۲	۰/۹
RSI	کروی	۳۲۷۱۱	۰/۱۰۴۳	۰/۰۶۸	۰/۶۵	۰/۲	۵۱۷۶۹۰

بر اساس نقشه TH مقدار این مولفه از قسمت جنوب (۲۱۵ mg/L) به سمت شمال دشت (۳۷۲۰ mg/L) در حال افزایش است (شکل ۳). مولفه TH دارای دامنه تغییرات بسیار وسیعی در گستره دشت می‌باشد. وجود سازندهای گروه خامی (که جنس سنگ‌های آن عمدتاً کربناته و دارای لایه‌های مارنی دولومیتی) و نیز سازند کربناته جهرم- آغاچاری می‌تواند از دلایل افزایش مقدار TH در بخش شمالی دشت باشد. مولفه TDS یک روند مشابه به مولفه TH را دنبال می‌کند که می‌تواند به دلیل تأثیرسازندهای بیان شده در قسمت شمالی دشت باشد (شکل ۳). مقدار TDS از ۳۶۰ mg/L در قسمت جنوب دشت تا ۷۶۰۰ mg/L در قسمت شمال دشت تغییر دارد (شکل ۳). نقشه شاخص لانژلیر (LSI) یک روند مشابهی با نقشه‌های TH و TDS دارد که می‌تواند هم‌بستگی این دو مولفه را با شاخص لانژلیر تأیید نماید (شکل ۳). جدول ۴. در پژوهش استواری (۱۳۹۰) نیز یک روند مشابهی بین TH و TDS با شاخص لانژلیر مشاهده شد. دامنه LSI از ۰/۱- به صورت ناچیز در قسمت جنوب شرقی تا ۱ در قسمت‌های شمالی متغیر است (شکل ۳). با توجه به روابط (۳) تا (۷)، با افزایش مقدار TA لزوماً مقدار شاخص LSI کاهش می‌یابد. لذا این گفته با توجه به نقشه‌های TA و LSI صدق می‌کند به طوری که در قسمت جنوبی دشت که مقدار TA زیاد شده، ولی روند افزایش LSI نسبت به افزایش TA زیاد نشده است. با در نظر داشتن ارتباط عکس بین LSI و RSI (روابط ۸ و ۹)، می‌توان این ارتباط معکوس را در نقشه‌های پهنه‌بندی این دو شاخص مشاهده کرد (شکل ۳) و به طور کلی در هر قسمت که شاخص LSI افزایش پیدا می‌کند مقدار شاخص RSI کاهش می‌یابد. مقدار شاخص RSI از ۵/۶ در قسمت‌های شمالی دشت تا ۷/۳ تغییر دارد. می‌توان گفت که با افزایش TA مقدار شاخص RSI افزایش یافته است. جدول (۵) درصد مساحت اشغال شده و مساحت (Km²) مربوط به هر پهنه‌ی شاخص‌های رایزنر و لانژلیر را نشان می‌دهد.



شکل ۳: نقشه‌های پهنه‌بندی LSI و RSI و مولفه‌های آن‌ها با روش کریجینگ ساده.

جدول ۵: درصد مساحت اشغال شده و مساحت (ha) مربوط به هر پهنه‌ی شاخص‌های رایزنر و لانژیر

مساحت (Km ²)	مساحت (درصد)	مقدار شاخص LSI	شدت خوردگی و رسوب‌گذاری
۱۸۵۲	۴۷	۰ - ۰/۵	رسوب‌گذاری کم
۲۰۸۴	۵۲/۹	۰/۵ - ۱	رسوب‌گذاری متوسط
۴	۰/۱	۱ - ۲	رسوب‌گذاری شدید
مساحت (Km ²)	مساحت (درصد)	مقدار شاخص RSI	شدت خوردگی و رسوب‌گذاری
۲۰۴۹	۵۲	۵ - ۶	خوردگی ضعیف
۱۱۸۲	۳۰	۶ - ۷	خوردگی کم
۷۰۹	۱۸	۷ - ۷/۵	خوردگی متوسط

بر اساس شاخص لانژیر دشت مرودشت خرامه به سه ناحیه تقسیم گردید. قسمت شمالی دشت دارای پتانسیل رسوب-گذاری کم است که پهنه‌ای با مساحت ۱۸۵۲ کیلومتر مربع (۴۷ درصد دشت) و بیشترین قسمت دشت را شامل می‌شود. قسمت مرکزی به سمت جنوب دشت دارای پتانسیل رسوب‌گذاری متوسط است که ۲۰۸۴ کیلومتر مربع (۵۲/۹ درصد دشت) را در بر می‌گیرد (جدول ۵). بر اساس شاخص رایزنر بیشترین مساحت دشت مربوط به پهنه با خوردگی ضعیف به مساحت ۲۰۴۹ کیلومتر مربع (۵۲ درصد دشت) می‌باشد. پهنه‌ای با پتانسیل خوردگی کم ۱۱۸۲ کیلومتر مربع (۳۰ درصد دشت) و پهنه‌ای با پتانسیل خوردگی متوسط ۷۰۹ کیلومتر مربع (۱۸ درصد) دشت مرودشت- خرامه را شامل می‌شود.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد مدل کروی بهترین برازش را برای شاخص‌های لانژیر و رایزنر و مولفه‌های آنها دارد. دامنه تأثیر از ۱۵۷۵۲ تا ۳۲۷۱۱ متر برای مولفه‌ها متغیر بود. کلاس هم‌بستگی مکانی از خوب تا متوسط تغییر داشت. میانگین شاخص لانژیر ۰/۵۸ بود که پتانسیل رسوب‌گذاری کم تا متوسط را نشان داد. نتایج نشان داد که آب زیرزمینی دشت مرودشت- خرامه از نظر شاخص لانژیر دارای پتانسیل رسوب‌گذاری کم تا متوسط و از نظر شاخص رایزنر عمدتاً دارای پتانسیل خوردگی ضعیف تا متوسط می‌باشد. به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که آب زیرزمینی دشت مرودشت- خرامه دارای پتانسیل رسوب‌گذاری متوسط است که به می‌تواند دلیل سازندهای کربناتی موجود در این منطقه باشد. به طور کلی آب زیرزمینی مرودشت- خرامه وضعیت متوسطی از نظر پتانسیل‌های خوردگی و رسوب‌گذاری دارد.

منابع

- استواری، ی. (۱۳۹۰). ارزیابی کیفیت آبخوان‌های منطقه لردگان و تأثیر سازندهای زمین‌شناسی بر آنها، پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاکشناسی، دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد.
- استواری، ی.، بیگی‌هرچگانی، ح. و داودیان، ع. (۱۳۹۴). پردازش زمین‌آماری پتانسیل رسوب‌گذاری و خوردگی آب زیرزمینی دشت لردگان. فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره ۱۷، شماره ۲، ص ۴۵-۶۱.

استواری، ی.، بیگی هرچگانی، ح. و داودیان، ع. (۱۳۹۶). ارزیابی شاخص کیفیت آب زیرزمینی (GWQI) و پردازش زمین‌آماری آن در آبخوان دشت لردگان. فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره نوزدهم، ویژه نامه شماره ۵، ص ۲۲۸-۲۲۷.

آذری، ع.، ناظمی، س.، کاکاوندی، ب. و رستگار، ا. (۱۳۹۴). بررسی پتانسیل خوردگی و رسوب‌گذاری منابع آب شرب شهر شاهرود با استفاده از شاخص‌های پایداری در سال ۱۳۹۲. مجله دانشکاع علوم پزشکی سبزوار، دوره ۲۲، شماره ۶، ص ۹۵۴-۹۴۴.

بدیعی‌نژاد، ا.، حیدری، م. و فرزادکیا، م. (۱۳۹۴). بررسی پتانسیل خوردگی و رسوب‌گذاری شبکه توزیع آب آشامیدنی جنوب شهر شیراز. مجله ره آورد سلامت، دوره ۱ شماره ۱، ص ۶۱-۵۱.

رضائی، ع. و میرمحمدمیبدی، ع. (۱۳۸۴). آمار و احتمالات (کاربرد در کشاورزی). انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان، چاپ اول، ۵۸۶ صفحه.

زارع‌ایبانه، ح.، عبدالصالحی، ا. و کاظمی، ا. (۱۳۸۹). مطالعه خوردگی و رسوب‌گذاری آب‌های زیرزمینی دشت همدان - بهار. علوم و تکنولوژی محیط زیست دوره ۱۲، شماره ۲، ص ۱۰۱-۸۹.

سنگاب زاگرس. (۱۳۸۸). بروز رسانی انتخاب منابع آب انتخابی کمی در ۴۶ محدوده مطالعاتی استان فارس، محدوده مطالعاتی مرودشت. سازمان آب منطقه ای فارس.

مختاری، ا.، عالیقدری، م.، حضرتی، ص. و قربانی، ل. (۱۳۸۹). ارزیابی وضعیت خوردگی و رسوب‌گذاری شبکه توزیع آب آشامیدنی شهر اردبیل با استفاده از شاخص‌های Lonelier و Ryznar. مجله سلامت و بهداشت اردبیل، دوره ۱، شماره ۱، ص ۲۳-۱۴.

هادی، م. (۱۳۸۸). تهیه نرم افزار محاسبه کننده هشت ایندکس مهم خوردگی آب. دوازدهمین همایش ملی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، آبان ماه، ۱۳۸۸.

APHA. (1998). Standard methods for examination of water and waste water. 20th edition American Public Health Association, Washington, DC.

Boyd, C. E. (2000). Water quality, an introduction. Kluwer Academic Publishers, 323 pages.

Carrier air conditioning company. (1965). Handbook of air conditioning system design. McGraw-Hill Books, New York.

Dehghani, M., Tex, F. and Zamanian, Z. (2010). Assessment of potential of scale formation and corrosive of tap water resources and the network distribution system in Shiraz. South Iran, Pakistan Journal of Biological Science, 13(2), pp: 88-92.

Hooshmand, A., Delghandi, A. and Ails, A. (2011). Application of kriging and cokriging in spatial estimation of groundwater quality parameters. African Journal of Agricultural Research, 6(14), pp: 3402-3408.

Mehrjerdi, R., Zareian, M., Mahmodi, S. and Heidari, A. (2008). Spatial distribution of groundwater quality with geostatistics (Case study: Yazd-Ardakan plain). World Applied Science Journal, 4(1), pp: 9-17

Pannatier, Y. (1998). Variowin: software for data analysis in 2D. Version 2.21. Springer Verlag, 93 pages.

Rafferty, K. (2000). Scaling in geothermal heat pump systems. Geo- Heat Center Oregon Institute of Technology, 3201 Campus Drive Klamath Falls. PP :11-15.

Sanches, F. (2001). Mapping groundwater quality variables using PCA and geostatistics: a case study of Bajo Andarax, southeastern Spain. *Hydrological Sciences-Journal-des Sciences Hydrologiques*, 46(2), pp:227-242.

Scott, H.D. (2000). Soil Physics, Agricultural and Environmental Application. Iowa State University Press, 415 pages.

Shi, J., Wang, H., Xu, J., Wu, J., Lie, X., Zhu, H. and Yu, C. (2007). Spatial distribution of heavy metals in soils: a case study of changxing, china. *Environ Geol*, 52, PP:1-10.

Qualitative assessment and mapping of corrosion and sedimentation potential of Marvdasht-Kharameh groundwater

Afshin Honarbakhsh^{1*}, Yaser Ostovari², Ali-Akbar Mousavi³

1) Associate Professor in Watershed Engineering, Department of Rangeland and Watershed Engineering, Faculty of Natural Resource and Earth Science. Shahrekord University, Shahrekord, Iran.

2) PostDOC, Department of Soil Science, College of agriculture, Shiraz University, Shahrekord Iran.

3) Associate Professor, Department of Soil Science, College of agriculture, Shiraz University, Shahrekord Iran.

* Correspondence author: afshin.honarbakhsh@gmail.com

Received Date: 2018. 01. 09

Accepted Date: 2021. 07. 18

Abstract

Determining corrosion and sedimentation potentials is one of the most significant quality aspects of groundwater in different expenses. So, the aim of this study is to appoint corrosion and sedimentation potentials by applying Langelier and Ryznar indexes and their compilers in Marvdasht-Kharameh plain underground water. For this purpose, 49 wells of agriculture well were sampled in five years and compilers of total hardness (TH), total dissolved solubility (TDS), total alkalinity (TA) were measured. Simple kiriging statistical earth method was used for mapping of Ryznar and Langelier indexes and their compilers. The results demonstrated that spherical model is the best fitting for Langelier and Ryznar indexes and their compilers. The effect scope for variable compilers was from 15752 to 32711.local correlation class modified from good to intermediate quality. The average of Langelier index was 0.58 that displayed low sedimentation potential to intermediate. The average of Ryznar index was 6.3 which exhibited low corrosion potential in Marvdasht-Kharameh plain aquifer. Based on mapping plots, in the northern parts, TH and TDS compilers and consequently the Langelier index had the most quantity that it displayed intermediate sedimentation potential. Probably in the northern part, carbonate compositor's effect was evaluated as an increasing factor .By regarding to sedimentation and corrosion potentials, Marvdasht-Kharameh underground water has entirely intermediate quality.

Keywords: kiriging, Langelier index, Ryznar index, water quality