



مقایسه پتانسیل‌های رسوب‌گذاری و خوردگی و مولفه‌های آن‌ها در سفره‌های آب زیرزمینی دشت‌های لردگان و جمال (مطالعه موردی استان چهارمحال و بختیاری)

یاسر استواری^{۱*} و حبیب‌الله بیگی هرچگانی^۲

^۱ دانشجوی دکتری گروه مهندسی علوم خاک، دانشگاه شهرکرد

^۲ استادیار گروه مهندسی علوم خاک، دانشگاه شهرکرد

چکیده

یکی از جنبه‌های مهم کیفیت آب، پتانسیل خوردگی و رسوب‌گذاری آن است. رخداد یکی از این دو پدیده می‌تواند هزینه‌های نگهداری را افزایش و عمر سامانه‌های ذخیره، انتقال و توزیع آب آشامیدنی، کشاورزی و صنعتی را کاهش یابد. هدف اصلی از انجام این تحقیق، ارزیابی پتانسیل رسوب‌گذاری و خوردگی آب زیرزمینی دو آبخوان منطقه لردگان واقع در استان چهارمحال و بختیاری است. برای این منظور از داده‌های ۳۲ حلقه چاه، ۵ قنات و ۵ چشمه واقع در دشت لردگان و ۱۵ چاه در دشت جمال برای محاسبه دو شاخص لانژلیه و رایزنر استفاده شد. نتایج تجزیه و تحلیل هم‌بستگی نشان داد که شاخص‌های لانژلیه و رایزنر در هر دو آبخوان به ترتیب با مولفه‌های خود (pH، جامدات حل شده، سختی و قلیائیت) هم‌بستگی مثبت قوی و هم‌بستگی منفی قوی دارند به استثنای جامدات حل شده در آبخوان دشت لردگان که با شاخص‌های لانژلیه و رایزنر ارتباط و هم‌بستگی نشان نداد. در هر دو آبخوان LSI و RSI با TA نسبت به سایر مولفه‌ها قوی‌ترین هم‌بستگی را داشتند که تأثیر بیشتر این مولفه را بر این دو شاخص نشان می‌دهد.

کلمات کلیدی: دشت لردگان؛ دشت جمال؛ لانژلیه؛ رایزنر.

۱- مقدمه

آب می‌تواند باعث خوردگی خطوط انتقال، توزیع و نیز ایجاد لایه‌های ضخیم رسوبی بر روی سطوح و دیواره‌های تاسیسات و مجاری انتقال آب شود [۱]. خوردگی یک واکنش فیزیکی شیمیایی بین آب و محیط اطراف آن است. این فرایند اثرات سوء بهداشتی، اقتصادی، فنی و زیباشناختی به جا می‌گذارد [۲]. رسوب‌گذاری نیز یکی از واکنش‌های شیمیایی آب با محیط اطراف خود است که در نتیجه آن، آب نمک‌های خود را به صورت لایه‌ای بر سطوح و مجاری انتقال رسوب می‌دهد [۸].

تحلیل مجاری انتقال و ذخیره آب در اثر خوردگی و یا در اثر رسوب‌گذاری سالانه هزینه‌های بسیار زیادی را جهت تعمیر، جایگزینی و حفظ سیستم توزیع آب تحمیل می‌کند. رسوب‌گذاری می‌تواند سبب انسداد لوله‌ها، کاهش سطح مقطع جریان و افزایش افت و در نتیجه کاهش دبی گردد [۲]. خوردگی نیز می‌تواند باعث افت و کاهش دبی و در

شرایط پیشرفته باعث سوراخ شدن لوله‌ها شود که در این حالت میزان آب از دست رفته قابل توجه خواهد بود [۴]. رسوب کربنات‌های کلسیم و منیزیم از عوامل شایع ایجاد گرفتگی شیمیایی قطره چکان‌ها در آبیاری قطره‌ای هستند [۲].

شاخص‌های مختلفی برای پیش‌بینی پتانسیل خوردگی و رسوب‌گذاری آب‌ها ارائه شده است. شاخص اشباع لانژلیه (LSI^1) و شاخص پایداری رایزنر (RSI^2) از پرکاربردترین این شاخص‌ها هستند. شاخص LSI که توسط لانژلیه در سال ۱۹۳۶ برای پیش‌بینی تمایل آب به رسوب یا انحلال کربنات کلسیم ارائه شد. درجه اشباع آب با کربنات کلسیم را با استفاده از pH به عنوان یک متغیر اصلی نشان می‌دهد. مقدار شاخص LSI از منفی تا مثبت در تغییر است [۸].

¹ - Langelier Saturation Index

² - Ryznar Stability Index

دهقان و همکاران^[۹]، برای ارزیابی پتانسیل خوردگی و رسوب‌گذاری شبکه آبرسانی شیراز از شاخص لانتزلیه استفاده کردند. آن‌ها از تعداد ۱۱۸ چاه و منبع آب سطحی در تابستان و پاییز ۱۳۸۶ نمونه‌برداری کردند. میانگین شاخص لانتزلیه ۰/۴۱۷ به دست آمد که پتانسیل کم تا متوسط رسوب‌گذاری (در ۹۲/۴٪ نمونه‌ها) و پتانسیل کم خوردگی (در ۱/۳٪ نمونه‌ها) را نشان داد.

منطقه لردگان یکی از مناطق مهم کشاورزی استان چهارمحال و بختیاری محسوب می‌شود و آب زیرزمینی آن منبع اصلی تأمین آب شرب، فعالیت‌های کشاورزی و فعالیت‌های صنعتی محتمل در آینده است. بنابراین تعیین پتانسیل خوردگی و رسوب‌گذاری آب زیرزمینی لردگان برای مدیریت پیش‌گیری رسوب‌گذاری و با خوردگی در مجاری انتقال و ذخیره آب شرب و صنایع و نیز مجاری تحویل آب در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای مفید خواهد بود. لذا هدف از این مطالعه: (۱) ارزیابی و مقایسه شاخص‌های لانتزلیه و رایزنر و مولفه‌های موثر بر آن‌ها در دو آبخوان منطقه لردگان؛ و (۲) بررسی و مقایسه ارتباط و هم‌بستگی شاخص‌های LSI و RSI با مولفه‌های آن‌ها در دو آبخوان است.

۲- مواد و روش‌ها

منطقه لردگان بین طول‌های جغرافیائی ۴۷° و ۵۰° و ۱۰° و ۵۰° شرقی و عرض‌های ۱۸° و ۳۱° و ۳۷° قرار دارد. این منطقه از طرف شمال به زیر حوضه‌های اردل-ارمند و از جنوب و غرب به استان کهگیلویه و بویراحمد و حوضه آبریز رودخانه خرسان و از شرق به دشت خامیرزا منتهی می‌گردد. میانگین دمای سالانه این منطقه ۱۵/۵ درجه سلسیوس و میانگین بارش سالانه آن ۵۶۰ میلی‌متر است که آن را در اقلیم نیمه گرمسیری قرار می‌دهد. شهرستان لردگان با جمعیت حدود ۲۳۰۰۰ نفر و چندین روستا در این زیر حوضه قرار دارند. فعالیت عمده مردم در این منطقه کشاورزی و دامپروری بوده و بیشتر آب مورد نیاز این فعالیت‌ها و شرب از آب‌های زیرزمینی تأمین می‌شود. دشت لردگان در زیر زون زاگرس چین خورده واقع شده است. علاوه بر سازند آسماری،

در سال ۱۹۴۴ رایزنر با اصلاح شاخص اشباع لانتزلیه، شاخص پایداری رایزنر (RSI) را تعریف کرد. RSI نیز بر مبنای میزان اشباع آب از کربنات کلسیم می‌باشد و ارتباط بین حالت اشباع کربنات کلسیم و تشکیل پوسته را به صورت کمی نشان می‌دهد [۸]. مقدار این شاخص همیشه مثبت بوده و تمایل به رسوب‌گذاری و خوردگی شدید را بهتر تخمین می‌زند. گفته می‌شود بین شاخص لانتزلیه و شاخص رایزنر یک رابطه معکوس وجود دارد به صورتی که آبی که خاصیت رسوب‌گذاری داشته باشد دیگر تمایلی به خوردگی ندارد [۸]. هر دو شاخص LSI و RSI بر اساس ۵ مولفه کیفی آب قابل محاسبه هستند. این مولفه‌ها شامل درجه حرارت آب، pH، جامدات محلول (TDS)، سختی کل (TH) و قلیائیت کل (TA) هستند.

زارع‌ابیانه و همکاران^[۲]، به بررسی پتانسیل خوردگی و رسوب‌گذاری آب‌های زیرزمینی دشت همدان-بهار پرداختند. نتایج نشان داد شاخص لانتزلیه در ۶۴٪ نمونه‌ها و شاخص رایزنر در ۸۵٪ 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.

مصرقانی و همکاران^[۳]، در مطالعه‌ای به بررسی پتانسیل خوردگی و رسوب‌گذاری در شبکه توزیع آب آشامیدنی شهرستان بردسیر پرداختند. برای این منظور تعداد ۷۲ نمونه آب از ۳۲ حلقه چاه، ۳۵ چشمه و ۵ قنات برداشت و مولفه‌های دما، جامدات محلول، سختی کل و قلیائیت کل در آن‌ها اندازه‌گیری شد. از شاخص لانتزلیه و رایزنر برای تعیین پتانسیل رسوب‌گذاری و خوردگی استفاده شد. میانگین شاخص لانتزلیه (۰/۴۱) حاکی از آن است که آب شرب موجود در شبکه توزیع شهرستان بردسیر رسوب‌گذار است. در ۹ نمونه آب (۱۲/۵٪) مقدار شاخص لانتزلیه منفی شد که تمایل این نمونه‌ها به خوردگی را نشان می‌دهد. میانگین شاخص رایزنر آب شرب شهرستان بردسیر ۷/۱۰ شد که دارای پتانسیل خوردگی متوسط است. بر اساس شاخص رایزنر در ۶۶/۷٪ نمونه‌ها آب رسوب‌گذار بود و بر طبق شاخص خوردگی ۸۳/۷٪ نمونه‌ها آب شرب شهرستان بردسیر فاقد خوردگی بود.

¹ Dehghan et al.

$$TH (CaCO_3 \text{ mg/L}) = 50 \times (Ca^{2+} + Mg^{2+}) \quad (1)$$

$$TA (CaCO_3 \text{ mg/L}) = (HCO_3^- + CO_3^{2-}) \quad (2)$$

که در آن غلظت کلسیم، منیزیم، کربنات و بی کربنات به meq/L است. pH آب در حالت اشباع از کربنات کلسیم (pHs) از رابطه‌ی زیر محاسبه شد:

$$pHs = [(9.3+A+B)-(C+D)] \quad (3)$$

متغیرهای A, B, C و D در رابطه بالا مطابق روابط ۴، ۵، ۶ و ۷ محاسبه می‌شوند:

$$A = (\text{Log [TDS]} - 1) / 10 \quad (4)$$

$$B = -3.12 \times \text{Log } (°C + 273) + 34.55 \quad (5)$$

$$C = \text{Log [TH]} - 0.4 \quad (6)$$

$$D = \text{Log [TA]} \quad (7)$$

که در این روابط: TDS کل جامدات محلول به mg/L درجه حرارت به درجه سلسیوس $°C$ ، سختی کل (TH) بر حسب کربنات کلسیم معادل mg/L و TA قلیابیت کل معادل کربنات کلسیم به mg/L است.

شاخص لائزلیه (LSI) و شاخص رایزنر (RSI) با استفاده از pH واقعی آب و pHs محاسبه شدند:

$$sLLSI = pH - pHs \quad (8)$$

$$RSI = 2 \text{ pHs} - \text{pHs} \quad (9)$$

اگر شاخص $pH > pHs$ باشد، $LSI > 0$ است در این حالت آب از کربنات کلسیم اشباع خواهد بود و آب رسوب‌گذار است و بر عکس اگر $LSI < 0$ باشد آب خورنده است.

اگر شاخص رایزنر کمتر از ۶/۵ باشد آب تمایل به رسوب‌گذاری دارد و بر عکس اگر این شاخص از ۶/۵ بیشتر شود آب خورنده است [۸]. جدول ۱ درجات مختلف خورندگی و رسوب‌گذاری را نشان می‌دهد.

برای مقایسه شاخص‌ها در دو آبخوان از آزمون t مستقل استفاده شد. محاسبات آماری در محیط استاتیستیکا (STATISTICA 8.0) از شرکت استات سافت (StatSoft Inc.) [۱۲]، انجام شد.

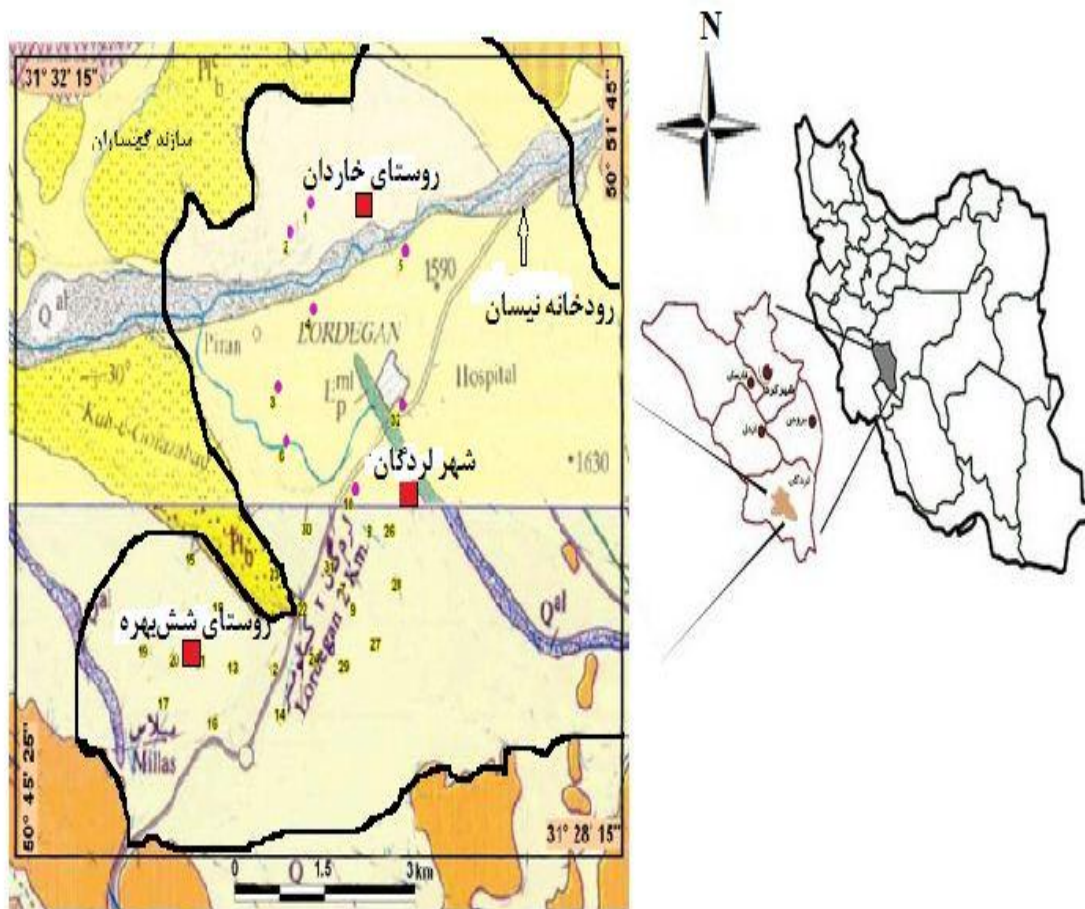
بخش‌های کوچکی از تاقدیس ریگ از سازند جهرم شامل سنگ‌های آهکی و دولومیتی خاکستری روشن و توده‌ای به سن ائوسن تشکیل شده است. در شرق و شمال شرقی دشت سازند آسماری و در غرب دشت سازند بختیاری شامل کنگلومرا و ماسه‌سنگ به سن پلیوسن می‌باشد. در شمال غرب دشت سازند گچساران شامل مارن‌های خاکستری و قرمز همراه با گچ ملاحظه می‌شوند (شرکت آب منطقه‌ای استان اصفهان، ۱۳۷۱). شکل (۱) موقعیت دشت و نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

۲-۱- نمونه برداری و تجزیه‌های آزمایشگاهی

در سه فصل بهار (خرداد)، تابستان (دو بار در مرداد و شهریور) و پاییز (آبان) ۳۲ حلقه چاه از دشت لردگان و از ۱۵ حلقه چاه از دشت جمال نمونه‌برداری صورت گرفت. علاوه بر این از داده‌های مربوط به ۲ حلقه چاه دیگر، ۵ چشمه و ۵ قنات در دشت لردگان و ۵ چاه در دشت جمال که در طی ۹ سال به وسیله شرکت آب منطقه‌ای استان چهارمحال و بختیاری جمع‌آوری شده بودند نیز استفاده شد. نمونه‌های برداشت شده بر اساس استانداردهای ۱۹۸۸-APHA [۱۰]، تجزیه شدند. pH نمونه‌ها با دستگاه istek مدل ۹۱۵ PDC و کل جامدات محلول (TDS) نمونه‌ها با تبخیر ۱۰۰ mL آب و توزین مانده اندازه‌گیری شد. به منظور محاسبه شاخص لائزلیه غلظت‌های کلسیم (Ca^{2+})، منیزیم (Mg^{2+})، کربنات (CO_3^{2-}) و بی‌کربنات (HCO_3^-) به روش تیتراسیون اندازه‌گیری شدند. ولی در این مقاله مقادیر آن‌ها ارائه نمی‌شود. در این پژوهش از میانگین دمای سالانه آب زیرزمینی (۱۱/۵ درجه سلسیوس) برای محاسبه شاخص LSI و RSI استفاده شده است.

۲-۲- محاسبات

سختی کل (TH) و قلیابیت کل (TA) از رابطه‌های زیر محاسبه شدند:



شکل ۱- موقعیت و محدوده دشت لردگان (سمت راست) و نقشه زمین شناسی دشت (سمت چپ)

جدول ۱ درجات مختلف خوردگی و رسوب گذاری آب [۱۱].

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 ناچیز
۱ - ۲	رسوب گذاری شدید	۷ - ۷/۵	خوردگی متوسط
		> ۷/۵	خوردگی زیاد

۳- نتایج و بحث

جدول ۲ خلاصه آماری شاخص های LSI و RSI و مولفه های موثر بر آن ها را در آبخوان دشت لردگان نشان می دهد. مطابق جدول ۲، مقدار pH در دو آبخوان منطقه لردگان همیشه بازی بوده و از حداقل ۷/۴۰ تا حداکثر ۸/۰۰ در آبخوان دشت لردگان و از حداقل ۷/۵۲ تا حداکثر ۷/۹۴ در

آبخوان دشت جمال تغییر می کند. قلیائیت در دو آب سفره ی زیرزمینی لردگان از متوسط تا خیلی زیاد متغیر است [۱۴] ولی با توجه به میانگین (۲۰۴ mg/L) آن در آبخوان دشت لردگان و میانگین (۱۹۰ mg/L) در آبخوان دشت جمال قلیائیت آب ها زیاد است [۱۴].

اساس LSI حدود ۰/۷۶٪ نمونه‌ها تمایل به رسوب‌گذاری و بر اساس RSI ۰/۷۶٪ نمونه‌ها تمایل به خوردندگی دارند.

در هر دو آبخوان منطقه لردگان ضریب تغییرات عوامل موثر بر شاخص‌های پایداری LSI و RSI عموماً کمتر از ۰/۳۰٪ است که نشان دهنده یکنواختی نسبی آن‌ها در سطح آبخوان است [۶]. در هر دو آبخوان ضریب تغییرات کلیتاً از ۰/۳۰٪ بیشتر است که نشان‌دهنده تغییرات مکانی بیشتر این مولفه در هر دو آبخوان است. ضریب تغییرات LSI بزرگتر از ضریب تغییرات RSI و عوامل موثر بر این دو است. بنابراین شاید بتوان گفت که LSI شاخص حساس‌تری در مقایسه با RSI است.

مقایسه خلاصه آماری شاخص‌های آبخوان دشت لردگان و شاخص‌های دشت جمال (جدول ۲) نشان می‌دهد که میانگین TH و TA در هر دو آبخوان تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند ($p > 0/05$). این موضوع می‌تواند به دلیل تشابه در نوع کانی‌های سازندهای تشکیل دهنده آن‌ها باشد [۱۵]. در هر دو آبخوان نوع سازندهای عمده کربناتی بوده و به دلیل تأثیر کربنات‌ها بر TH و TA، مقدار این دو شاخص در این دو آبخوان تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند [۱۵]. میانگین pH در آبخوان دشت جمال از میانگین pH در آبخوان دشت لردگان بیشتر است ($p < 0/05$). با توجه به تشابه در نوع سازندهای کربناتی موجود در هر دو آبخوان، این موضوع می‌تواند به دلیل تغذیه آبخوان دشت لردگان با آب چشمه برم ($pH=7/4$) باشد. همچنین تشکيلات تبخیری گچساران در تغییر کیفیت آب زیرزمینی قسمت شمال غرب دشت لردگان تأثیر داشته و میزان هدایت الکتریکی و مقدار یون SO_4^{2-} این منابع را به شدت افزایش می‌دهد که می‌تواند یکی از دلایل کاهش مقدار pH این آبخوان نسبت به آبخوان دشت جمال باشد [۵].

میانگین TDS آبخوان دشت لردگان از میانگین TDS آبخوان دشت جمال بیشتر است ($p < 0/05$). در آبخوان دشت لردگان، به دلیل وجود و اثر سازندهای گچی و شور گچساران و نیز وجود سازندهای کربناتی، میزان EC و TDS در مقایسه با آبخوان دشت جمال بیشتر است [۵].

با توجه به تشابه در نوع سازندهای کربناتی موجود در هر دو آبخوان، این موضوع می‌تواند به دلیل تغذیه آبخوان دشت لردگان با آب چشمه برم ($pH=7/4$) باشد. همچنین تشکيلات

معمولاً کلیتاً و pH یک آب ارتباط نزدیک و مستقیم با یکدیگر دارند و آب‌هایی که pH بین ۷ تا ۸/۵ دارند معمولاً دارای کلیتاً متوسط تا زیاد هستند. با توجه به کمینه سختی کل آب لردگان آبی سخت است و گاهی هم در رده خیلی سخت قرار می‌گیرد [۱۴]. در آبخوان دشت لردگان مقدار LSI در تمام نمونه‌ها مثبت بوده که نشان دهنده تمایل به رسوب‌گذاری آب زیرزمینی لردگان بر اساس شاخص لائزلیه است (جدول ۲). در آبخوان دشت جمال میانگین مقدار شاخص لائزلیه ۰/۲۶ شد که پتانسیل رسوب‌گذاری کم را نشان می‌دهد (جدول ۲).

مقدار شاخص LSI تنها در ۱۰ درصد نمونه‌های آب دشت جمال منفی بود که پتانسیل خوردندگی کم این نمونه‌ها را نشان می‌دهد. در آبخوان دشت لردگان در ۷۵/۶ درصد از نمونه‌های آب و در آبخوان دشت جمال در ۷۵ درصد از نمونه‌های آب شاخص LSI بین ۰ تا ۰/۵ بود که تمایل به پتانسیل رسوب‌گذاری کم را نشان می‌دهد (جدول ۱). در آبخوان دشت لردگان در ۱۷ درصد از نمونه‌ها و در آبخوان دشت جمال در ۱۵ درصد مانده نمونه‌ها مقدار شاخص LSI بین ۰/۵ تا ۱ بوده که حاکی از تمایل متوسط به رسوب‌گذاری می‌باشد. تنها در آبخوان دشت لردگان در ۷/۴ درصد از نمونه‌ها مقدار شاخص LSI بین ۱ تا ۲ بود که نشان‌دهنده رسوب‌گذاری شدید این نمونه‌ها است (جدول ۱).

در دو آبخوان منطقه لردگان میانگین مقدار شاخص پایداری رایزور ۷/۳ بوده که پتانسیل خوردندگی متوسط آب این دو آبخوان را نشان می‌دهد (جدول ۲). در آبخوان دشت لردگان مقدار شاخص رایزور در ۷ درصد نمونه‌ها بین ۵ تا ۶ بوده بیانگر پتانسیل رسوب‌گذاری ضعیف این نمونه‌ها است. شاخص RSI در آبخوان دشت لردگان در ۱۷ درصد نمونه‌ها و در آبخوان دشت جمال در ۲۰ درصد نمونه‌ها بین ۶ تا ۷ بوده که پتانسیل رسوب‌گذاری و خوردندگی ناچیز این نمونه‌ها را نشان می‌دهد. در آبخوان دشت لردگان شاخص RSI در ۳۸ درصد از نمونه‌ها و در آبخوان دشت جمال در ۶۰ درصد نمونه‌ها بین ۷ تا ۷/۵ بوده بین ۷ تا ۷/۵ بوده که پتانسیل خوردندگی متوسط را نشان می‌دهد. همچنین مقدار شاخص RSI در ۳۸ درصد از نمونه‌ها در آبخوان دشت لردگان و در ۲۰ درصد نمونه‌ها در آبخوان دشت جمال بزرگتر از ۷/۵ بوده که پتانسیل خوردندگی شدید این نمونه‌ها را نشان می‌دهد. بر

می‌دهد که می‌تواند یکی از دلایل کاهش مقدار pH این آبخوان نسبت به آبخوان دشت جمال باشد [۵].

تبخیری گچساران در تغییر کیفیت آب زیرزمینی قسمت شمال غرب دشت لردگان تأثیر داشته و میزان هدایت الکتریکی و مقدار یون SO_4^{2-} این منابع را به شدت افزایش

جدول ۲ خلاصه آماری شاخص‌های LSI، RSI و عوامل موثر بر آن‌ها در دو آبخوان منطقه لردگان

شاخص	واحد	میانگین	میانه	دهک اول	کمینه	بیشینه	دهک آخر	انحراف معیار	ضریب تغییرات (%)
آبخوان دشت لردگان (n=۱۶۸)									
pH	—	۷/۶۰	۷/۵۰	۷/۴۴	۷/۴۰	۸/۰۰	۷/۸۵	۰/۱۶	۲/۲
*TA	mg/L	۲۰۴	۱۷۹	۱۳۶	۱۱۴	۳۸۲	۳۴۹	۷۶	۳۷
TDS	mg/L	۳۹۰	۳۷۶	۳۱۳	۲۷۱	۵۶۳	۴۸۰	۶۸	۱۸
*TH	mg/L	۲۲۸	۲۱۶	۱۸۳	۱۵۴	۳۷۹	۲۹۵	۴۹	۲۲
LSI	—	۰/۴۵	۰/۳۲	۰/۲۱	۰/۱	۱/۴	۰/۹۰	۰/۳۱	۷۰
RSI	—	۷/۳	۷/۵	۶/۱۲	۵/۲	۷/۹	۷/۸	۰/۷	۱۰
آبخوان دشت جمال (n=۷۲)									
pH	—	۷/۷۵	۷/۷۴	۷/۶۵	۷/۵۲	۷/۹۴	۷/۹۰	۰/۰۹	۱/۲۵
*TA	mg/L	۱۹۰	۱۷۶	۱۲۹	۸۴	۳۳۰	۲۷۵	۶۰	۳۲
TDS	mg/L	۳۰۰	۲۹۵	۲۶۷	۲۴۹	۴۵۰	۳۳۲	۴۲	۱۴
*TH	mg/L	۲۲۷	۲۲۷	۱۸۴	۱۸۱	۳۱۵	۲۶۰	۳۲	۱۴
LSI	—	۰/۲۶	۰/۲۱	۰/۰۰	-۰/۲۵	۰/۸۰	۰/۶۱	۰/۲۵	۹۳
RSI	—	۷/۳	۷/۳	۶/۷	۶/۳	۸/۲	۷/۷	۰/۴	۶

* سختی کل و کلیانیت کل برحسب mg/L معادل کربنات کلسیم

می‌یابد. حضور املاح گچی به صورت رگه نیز می‌تواند سبب کاهش کیفیت آب‌هایی شود که در مسیر خود از این سازند عبور کرده و وارد دشت لردگان می‌شوند و (۲) تغذیه این بخش از آبخوان با آب رودخانه شور نیسان، که از گنبدهای نمکی دشت مجاور خانمیرزا عبور و وارد دشت لردگان می‌شود [۵].

میانگین شاخص LSI آبخوان دشت لردگان از میانگین شاخص LSI آبخوان دشت جمال بیشتر است ($p < 0.05$). در آبخوان دشت جمال حداکثر شاخص لانتزلیه ۰/۸ بود در حالی که در آبخوان دشت لردگان حداکثر شاخص لانتزلیه ۱/۴ بود که پتانسیل رسوب‌گذاری شدیدتر این آبخوان را نشان می‌دهد. این تفاوت می‌تواند به دلیل وجود سازند گچی گچساران واقع در دشت لردگان باشد. به دلیل حلالیت بالای ترکیبات گچی، میزان املاح محلول افزایش یافته و پتانسیل

میانگین TDS آبخوان دشت لردگان از میانگین TDS آبخوان دشت جمال بیشتر است ($p < 0.05$). در آبخوان دشت لردگان، به دلیل وجود و اثر سازندهای گچی و شور گچساران و نیز وجود سازندهای کربناتی، میزان EC و TDS در مقایسه با آبخوان دشت جمال بیشتر است [۵].

شوری و TDS بالاتر قسمت شمال غربی آبخوان دشت لردگان از سایر قسمت‌های آبخوان بیشتر است. زیادی میزان EC و TDS در این قسمت آبخوان دشت لردگان می‌تواند به دلایل زیر باشد: (۱) در بخش شمال و شمال غربی دشت لردگان سازند شور و گچی گچساران دیده می‌شود. بخشی از آب‌های ورودی به دشت لردگان در مسیر خود از سنگ‌های این سازند عبور می‌کنند. با توجه به حضور املاح گچ در این سازند کیفیت آب‌هایی که در مسیر خود از این سنگ‌ها عبور می‌کنند، به لحاظ انحلال گچ و سایر املاح به شدت کاهش

TDS احتمالاً از آنجا ناشی می‌شود که دو یون Ca^{2+} و Mg^{2+} کاتیون‌های عمده تشکیل دهنده سختی و جامدات حل شده در آب زیرزمینی منطقه لردگان بوده و احتمالاً همین دو یون pH آب را نیز بازی و حدود ۷/۶۰ در آبخوان دشت لردگان و حدود ۷/۷۵ نگه می‌دارند (جدول ۲).

از طرف دیگر قلیائیت کل نیز با سختی و pH آن هم‌بستگی دارد. [۸ و ۱۶] نیز هم‌بستگی معنی‌دار قلیائیت کل و سختی کل را گزارش کرده‌اند. در هر دو آبخوان منطقه لردگان شاخص‌های پایداری LSI و RSI با شاخص‌هایی که بر اساس آن‌ها محاسبه شده‌اند (یعنی pH، TDS، TH و TA) به ترتیب هم‌بستگی مثبت و هم‌بستگی منفی نشان می‌دهند که در این میان هم‌بستگی این دو با TDS کم بوده ($p > 0.05$) و بر عکس با قلیائیت کل بسیار قوی است (جدول ۳، $p < 0.05$). بنابراین به نظر می‌رسد که دو شاخص LSI و RSI با تغییرات قلیائیت کل در تغییر است اگرچه تغییرات LSI با قلیائیت آب رابطه‌ی مستقیم و با تغییرات RSI با قلیائیت آب رابطه‌ی معکوس دارد (جدول ۳).

قلیائیت با شاخص RSI هم‌بستگی بیشتری نسبت به شاخص LSI دارد ($p < 0.05$) بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که شاخص RSI با قلیائیت ارتباط بیشتری دارد.

مقایسه ضرایب اسپیرمن شاخص‌ها دشت لردگان با ضرایب اسپیرمن شاخص‌های نظیر دشت جمال (جدول ۳) نشان می‌دهد که بر خلاف آبخوان دشت لردگان که بین pH با TDS هم‌بستگی وجود ندارد ($p > 0.05$)، در آبخوان دشت جمال هم‌بستگی نسبتاً قوی معنی‌داری بین pH با TDS وجود دارد. همچنین در آبخوان دشت لردگان بین TDS با TA، LSI و RSI هم‌بستگی وجود ندارد ولی بین TDS با TA، LSI و RSI در آبخوان دشت جمال هم‌بستگی مثبت معنی‌دار نسبتاً قوی وجود دارد ($p < 0.05$).

در آبخوان دشت لردگان بین pH با TH هم‌بستگی نسبتاً قوی معنی‌داری وجود دارد در حالی‌که در آبخوان دشت جمال بین این مولفه هم‌بستگی معنی‌داری وجود ندارد ($p > 0.05$). ضرایب هم‌بستگی بین pH با RSI و LSI در دشت لردگان با ضرایب هم‌بستگی بین pH با RSI و LSI در دشت جمال تفاوت ندارند ($p > 0.05$). همچنین ضرایب هم‌بستگی بین TH با RSI و LSI نیز در دو آبخوان تفاوتی نداشتند ($p > 0.05$). ضرایب هم‌بستگی بین TA با RSI و

رسوب‌گذاری افزایش می‌یابد [۷]. میانگین شاخص RSI آبخوان دشت لردگان با میانگین شاخص RSI آبخوان دشت جمال تفاوت معنی‌داری نداشت ($p > 0.05$). در آبخوان دشت لردگان بر اساس کمینه شاخص RSI در تعدادی از نمونه‌ها پتانسیل رسوب‌گذاری کم دیده می‌شود در حالی‌که در آبخوان دشت جمال بر اساس شاخص RSI در هیچکدام از نمونه‌ها پتانسیل رسوب‌گذاری دیده نمی‌شود.

۳-۱- ارتباط شاخص‌های لانتزلیه و رایزرنر با مولفه‌ها در دو آبخوان لردگان

شکل ۲ رابطه‌ی شاخص LSI با pH، سختی کل، قلیائیت کل و جامدات محلول را در دو آبخوان دشت لردگان نشان می‌دهد. در آبخوان دشت جمال بین LSI با هر چهار مولفه pH، TA، TH و TDS ارتباط مستقیم و خطی دیده می‌شود (شکل ۲). این ارتباط در مرجع [۸] نیز مشاهده شده است. در بین این ۴ مولفه، TA ارتباط قوی‌تری با LSI دارد. در آبخوان دشت لردگان نیز همانند آبخوان دشت جمال بین LSI با pH، TH و TA ارتباط مستقیم و خطی دیده شد (شکل ۲). در این آبخوان بین TDS با LSI ارتباطی دیده نشد (شکل ۲). شکل ۳ رابطه شاخص RSI با pH، سختی کل، قلیائیت کل و جامدات محلول در دو آبخوان دشت لردگان را نشان می‌دهد. در دو آبخوان بین RSI با pH، TA و TH ارتباط خطی معکوس دیده شد (شکل ۳). در آبخوان دشت لردگان بر خلاف آبخوان دشت جمال بین RSI با TDS ارتباط خطی خوبی دیده نشد (شکل ۳). این ارتباط در مرجع ۸ نیز مشاهده شده است. ارتباط RSI با TH و TA به ویژه در آبخوان دشت جمال بسیار مشخص است (شکل ۳). از آنجائیکه بین LSI و RSI با مولفه‌های pH، TA، TH و TDS یک ارتباط خطی دیده شد، لذا در جدول ۳ ضرایب هم‌بستگی اسپیرمن شاخص‌های pH، TDS، TH، قلیائیت، LSI و RSI در دو آبخوان دشت لردگان نشان داده شده است.

در هر دو آبخوان منطقه لردگان بین pH با سختی کل و قلیائیت کل هم‌بستگی مثبت معنی‌دار و نسبتاً قوی وجود دارد و هم‌بستگی pH با قلیائیت قوی‌تر از هم‌بستگی آن با سختی کل است (جدول ۳، $p < 0.05$). TDS با سختی و سختی با قلیائیت به هم وابسته‌اند ($p < 0.05$). تشابه هم‌بستگی مثبت معنی‌دار و نسبتاً قوی سختی کل با pH و

معکوس، و از نظر تئوری، با شیب ۲- و عرض از مبدا برای pH آب به هم مربوط باشند. عرض از مبدأ معادلات میل به میانگین pH آب هر سفره و شیب خطوط میل به ۲- دارند. روابط رگرسیونی بسیار معنی‌دار بوده ($p < 0.01$) و با توجه به ضریب تعیین بسیار بالای هر دو معادله می‌توان در هر دو آبخوان شاخص RSI را از LSI (یا بالعکس) برآورد کرد.

۴- نتیجه گیری

در این پژوهش شاخص‌های لانژلیه و رایزنر در درجه حرارت میانگین سالانه آب زیرزمینی دشت محاسبه شد. بنابراین شاخص‌های فعلی برای نشان دادن پتانسیل رسوب‌گذاری و خوردگی در درجه حرارت طبیعی آب است. میانگین شاخص LSI در آبخوان دشت لردگان ۰/۵ و در آبخوان دشت جمال ۰/۲۷ شد که به مفهوم پتانسیل متوسط رسوب‌گذاری است. میانگین شاخص RSI در هر دو آبخوان دشت لردگان و دشت جمال ۷/۳ شد که بر اساس این شاخص آب زیرزمینی هر دو دشت پتانسیل متوسط خوردگی دارند. در آبخوان دشت لردگان TDS فقط با TH هم‌بستگی دارد و با LSI و RSI و دیگر مولفه‌ها هم‌بستگی ندارد در حالی که در آبخوان دشت جمال TDS با LSI و RSI و سایر مولفه‌ها هم‌بستگی معنی‌داری دارد. در هر دو آبخوان LSI و RSI با TA نسبت به سایر مولفه‌ها هم‌بستگی بیشتری دارند که تأثیر بیشتر این مولفه‌ها را بر این دو شاخص نشان می‌دهد.

LSI در آبخوان دشت جمال از ضرایب هم‌بستگی متناظر آبخوان دشت لردگان قوی‌تر است ($p < 0.05$).

۳-۲- ارتباط LSI با RSI در دو آبخوان

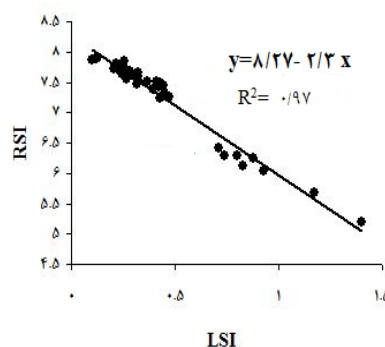
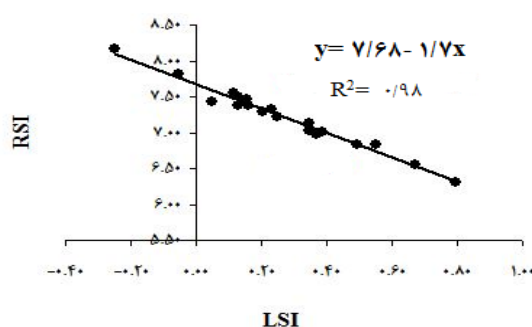
گاهی اوقات مفید یا لازم خواهد بود که به توان مقدار شاخص رایزنر را از مقدار شاخص لانژلیه تخمین زد. مانند هنگامی که مقدار شاخص لانژلیه گزارش شده ولی مقدار برخی مولفه‌ها گزارش نشده باشد که محاسبه شاخص RSI را غیر ممکن می‌سازد. در این صورت با وجود رابطه‌ی واقعی بین دو شاخص لانژلیه و رایزنر می‌توان مقدار شاخص رایزنر را در صورت نیاز برآورد کرد.

رابطه‌ی نظری شاخص لانژلیه و شاخص رایزنر با توجه به معادلات (۸) و (۹) به صورت زیر است:

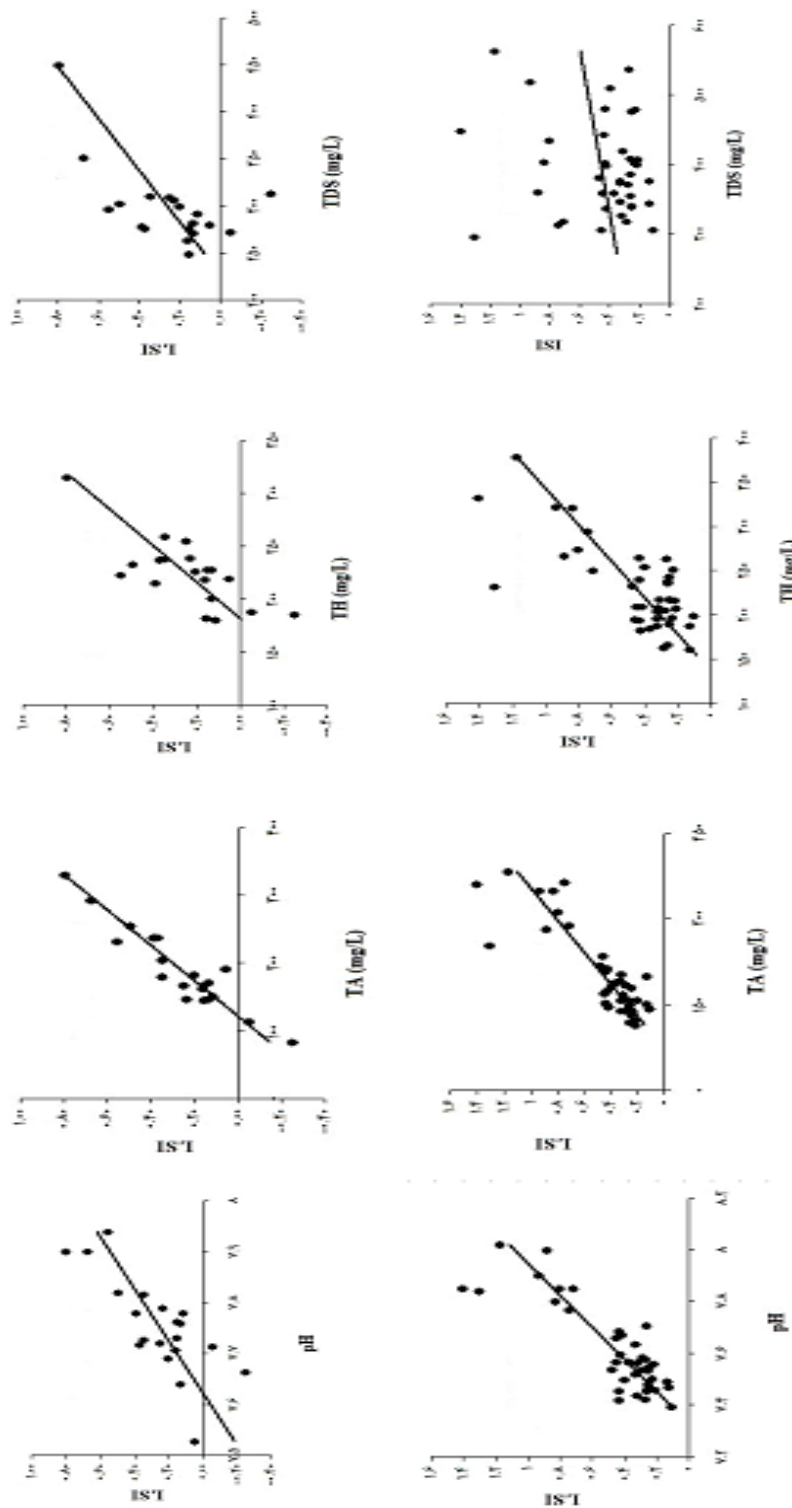
$$RSI = pH - 2LSI \quad (13)$$

که با استفاده از آن می‌توان شاخص لانژلیه را از روی شاخص رایزنر یا بالعکس حساب کرد منوط به اینکه pH نمونه آب در دسترس باشد. اندازه‌گیری pH چندین سخت نیست ولی نمونه‌گیری از آب ممکن است راحت نباشد. در آن صورت وجود رابطه‌ی بین دو شاخص نیاز به دانستن یا اندازه‌گیری pH را هم مرتفع می‌کند. در شکل (۴) رابطه‌ی این دو شاخص در دو آبخوان همراه با معادلات رگرسیونی مربوط دیده می‌شود.

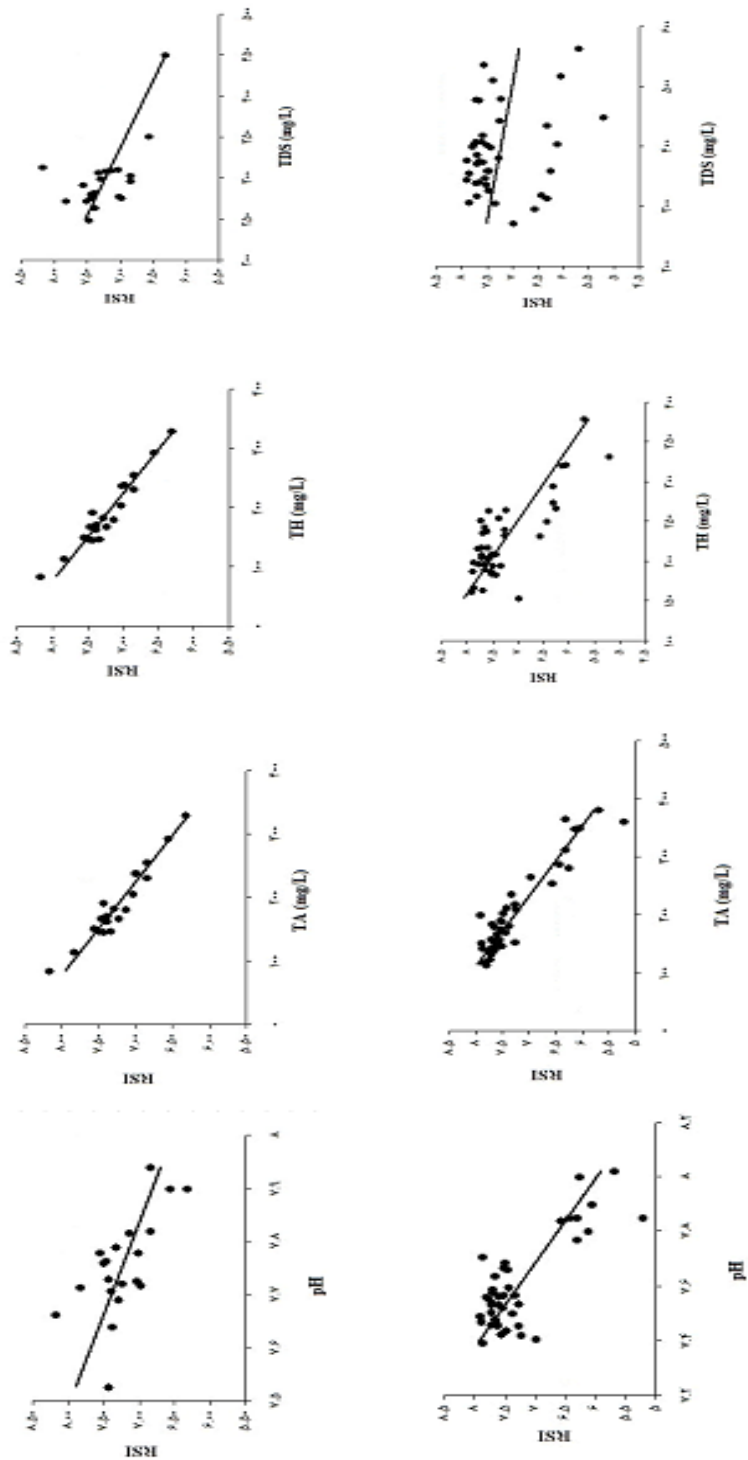
رابطه‌ی معکوس LSI و RSI (شکل ۴) دور از انتظار نیست. زیرا طبق معادله (۱۳) بایستی این دو به طور



شکل ۴ ارتباط شاخص LSI با RSI در آب زیرزمینی دشت جمال (راست) و در آب زیرزمینی دشت لردگان (چپ)



شکل ۲ رابطه شاخص LSI با pH، سختی کل و قلیائیت کل در آب زیرزمینی دشت جمال (ستون راست) و در آب زیرزمینی دشت لردگان (ستون چپ)



شکل ۳ رابطه شاخص RSI با pH، سختی کل و قلیائیت کل در آب زیرزمینی دشت جمال (ستون راست) و در آب زیرزمینی دشت لردگان (ستون چپ)

جدول ۳ ضرایب همبستگی اسپیرمن pH، TDS، TH، قلیائیت، LSI و RSI در دو آبخوان منطقه لردگان

آب زیرزمینی دشت لردگان (n=۱۶۸)						
LSI	TA	TH	TDS	pH		
				۰/۱۲	TDS	
			*۰/۶۳	*۰/۶۰	TH	
		*۰/۶۸	۰/۱۵	*۰/۷۱	TA	
	*۰/۸۶	*۰/۶۹	۰/۱۴	*۰/۸۰	LSI	
*-۰/۹۳	*-۰/۹۲	*-۰/۷۱	-۰/۱۶	*-۰/۷۲	RSI	
آب زیرزمینی دشت جمال (n=۷۲)						
LSI	TA	TH	TDS	pH		
				۰/۴۹*	TDS	
			*۰/۷۸	۰/۳۷	TH	
		۰/۷۳	۰/۶۳	*۰/۵۶	TA	
	*۰/۹۴	*۰/۷۷	۰/۶۳*	*۰/۷۶	LSI	
*-۰/۹۸	*-۰/۹۶	*-۰/۸۱	-۰/۶۱*	*-۰/۶۵	RSI	

قدردانی

بدین وسیله از دانشگاه شهرکرد جهت تأمین منابع مالی این پژوهش تشکر و قدردانی می‌شود.

مراجع

- [۱] مختاری، ا. عالیقدری، م. حضرتی، ص. صادقی، ه. قراری، ن. قربانی ل (۱۳۸۹) ارزیابی وضعیت خوردگی و رسوبگذاری شبکه توزیع آب آشامیدنی شهر اردبیل با استفاده از شاخص‌های Langelier و Ryznar. مجله سلامت و بهداشت اردبیل (۱): ۱۴-۲۳.
- [۲] زارع‌ایبانه، ح. عبدالصالحی، ا. کاظمی (۱۳۸۹) مطالعه خوردگی و رسوبگذاری آب‌های زیرزمینی دشت همدان-بهار. مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست (۲): ۸۹-۱۰۱.
- [۳] مصرقانی، م. ایزانلو، ح. مومنی، ج. محمودیان، م. ح (۱۳۸۹) بررسی پتانسیل خوردگی و رسوبگذاری در شبکه توزیع آب آشامیدنی شهرستان بردسیر. همایش ملی آب با رویکرد آب پاک، تهران دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور)، ۱۱ و ۱۲ اسفند.
- [۴] مظلومی، س. بابایی، ع. فضل‌زاده، د. ربیعی‌نژاد، ا. نوروزی، م. حاج‌پور-سوق، خ (۱۳۸۸) پتانسیل خوردگی و رسوبگذاری آب شرب شهر شیراز. دوازدهمین همایش ملی بهداشت محیط ایران، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، دانشکده بهداشت، آبان ۱۳۸۸.
- [۵] سازمان آب منطقه‌ای استان اصفهان (امور آب استان چهارمحال و بختیاری) (۱۳۷۱) گزارش منابع آب‌های زیرزمینی دشت لردگان.
- [۶] رضائی، ع. میرمحمدی، ع. ل (۱۳۸۴) آمار و احتمالات (کاربرد در کشاورزی). انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان، چاپ اول، صفحه ۵۸۶.
- [۷] کرمی، غ (۱۳۸۹) بررسی منابع آلاینده آب‌های زیرزمینی حوضه گرگانرود استان گلستان. مجموعه مقالات نخستین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران. ۲۱ تا ۲۳ اردیبهشت کرمانشاه: ۲۲۷-۲۳۲.
- [8] Rafferty R(2000) ScaLSIng in geothermal heat pump systems. Geo- Heat Center Oregon Institute of Technology: 11-15.
- [9] Dehghani M, Tex F, 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): 88-92.
- [10] APHA(1998) Standard methods for examination of water and wastewater 20th edition. American PublSic Health Association, Washington, DC.
- [11] Carrier air conditioning company(1965) Handbook of air conditioning system design. McGraw-Hihh Books. New York.
- [12] StatSoft Inc(2008) STATISTICA (data analysis software system). Version 8. www.statsoft.com.

- [16] Mehrjerdi R, Zareian M, Mahmodi Sh, Heidari A (2008) Spatial distribution of groundwater quality with geostatistics (Case study: Yazd-Ardakan plain). World Applied Science Journal 4(1): 9-17.
- [13] ESRI Inc (2008) ArcMap™. Version 9.3. www.esri.com.
- [14] Boyd CE (2000) Water quality, an introduction. Kluwer Academic Publishers: 323.
- [15] Mayer J (1999) Spatial and temporal variations of groundwater chemistry in Petyjohns cave northwest Georgia, USA. Journal of Cave and Karst Studies 61(3):131-138.



shahrood University

Vol. 1, No. 2, Fall 2013: 15- 26

Iranian Journal of

Water & Environment Engineering



Comparison of scaling and corrosion potentials and their components in two aquifers of the Lordegan and Jamal plains (Case study in Charmahal-va-Bakhtiari province)

Y. Ostovari^{1*} and H. Beigi-Harchegani²

¹PhD. student in soil science, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

²Assistant Professor of soil science, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

*Corresponding author: Yaser.ostovary@gmail.com (Y. Ostovari)

Abstract

One important aspect of water quality is the potential for scaling and/or corrosion. The occurrence of either of these processes can increase maintenance costs and decrease the lifespan of storage, conveyance, and distribution systems used in drinking, agricultural and industrial sectors. The main aims of this study were to (i) evaluate the potential for scaling and corrosion; (ii) assess components of scaling/corrosion; and (iii) compare potential indices and components in two aquifers of the Lordegan region located in Charmahal-va-Bakhtiari province. For this purpose, data collected from 32 wells, 5 qanats and 5 springs located in the Lordegan plain and 15 wells from the Jamal plain were used to calculate Langelier and Ryznar indices. Correlation analysis indicated that, at both aquifers, Langelier index was positively related with pH, total dissolved solids, hardness and alkalinity, and Ryznar index was linearly but reversely and strongly related to the same variables except for total dissolved solids in the Lordegan aquifer. At both aquifers, the Langelier and Ryznar indices were best correlated to total alkalinity indicating alkalinity's primary effect on either of indices

Keywords: Lordegan plain, Jamal plain, Langelier index, Ryznar index, alkalinity, hardness, TDS.