

تغییرات مکانی و پهنه‌بندی توان رسوب‌گذاری و خورندگی و عوامل مؤثر بر آن در آب‌زیرزمینی شهرکرد

سمیرا حشمتی و حبیب بیگی هرچگانی^{*۱}

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۱۲/۲۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۶/۲۱)

چکیده

آب‌زیرزمینی شهرکرد تنها منبع آب برای شرب و فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی ساکنان این دشت است. توان رسوب‌گذاری و خورندگی آب می‌تواند مشکلاتی را در مجاری و مخازن فلزی سامانه‌های آب‌رسانی در بخش شرب، صنعت و آبیاری ایجاد کند. هدف اصلی این پژوهش بررسی الگوهای تغییرات مکانی و پهنه‌بندی توان خورندگی و رسوب‌گذاری آب‌زیرزمینی شهرکرد با استفاده از شاخص‌های لانزلیه (LI) و رایزنر (RI) و نیز مؤلفه‌های آنها یعنی pH، TDS (کل جامدات حل شده)، TH (سختی کل) و TA (قلیائیت کل) بود. به این منظور، از ۹۷ حلقه چاه نمونه‌برداری و در نمونه‌های آب، دما، pH و TDS، TH، TA اندازه‌گیری و شاخص‌های LI و RI محاسبه شدند. مدل واریوگرام گوسی برای TDS و واریوگرام کروی برای توصیف تغییرات مکانی سایر شاخص‌ها مناسب بود. آبخوان شهرکرد با توجه به میانگین‌های LI و RI به ترتیب با مقادیر ۰/۱۳- و ۹/۷ دارای پتانسیل خورندگی کم و متعادل بود. به غیر از RI، مقدار تمام شاخص‌ها در شمال غرب آبخوان کمترین و در جنوب آبخوان بیشترین بود. توزیع مکانی RI تقریباً قرینه معکوس توزیع مکانی LI بود. در شمال غرب آبخوان مقدار LI بین ۰/۶- تا ۵/۰- بود که تمایل به اندکی رسوب‌گذاری را نشان می‌دهد. در بخش اعظم و میانی دشت مقدار LI بین ۵/۰- تا صفر و حاکی از رسوب‌گذاری ناچیز است. در مجموع حدود ۷۸ درصد از آب‌زیرزمینی شهرکرد از نظر خورندگی و رسوب‌گذاری متعادل و حدود ۲۲ درصد در جنوب دشت مقداری رسوب‌گذار است. شاخص LI با تمام مؤلفه‌های هم‌بستگی قوی مثبت معنی‌دار (بین ۹۱/۰ تا ۹۰/۰) و RI با تمام مؤلفه‌ها هم‌بستگی معنی‌دار قوی منفی (بین ۶۶/۰- تا ۹۰/۰-) دارد. بیشترین هم‌بستگی LI و RI به ترتیب با pH (۹۰/۰- r) و قلیائیت کل (۹۰/۰- r) بود.

واژه‌های کلیدی: لانزلیه، رایزنر، pH، TDS، سختی، قلیائیت، واریوگرام، کریجینگ

۱. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد
* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: beigi.habib@gmail.com

مقدمه

از مشکلات جاری در سامانه‌های ذخیره و انتقال آب رسوب‌گذاری و خوردگی در آنهاست. شدت خوردگی و رسوب‌گذاری یک آب به غلظت کل املاح، نوع املاح و pH آن بستگی دارد (۷). رسوب‌گذاری با تنگ کردن مجرای لوله و خوردگی با افزایش زبری مجاری باعث افت انرژی و کاهش دبی می‌شوند. حل تدریجی جدار لوله‌ها و مخازن فلزی، ورود ترکیبات به آب و در نهایت سوراخ شدن مجرا از پیامدهای خوردگی است (۱۲). این دو پدیده منجر به تحمیل هزینه‌هایی مانند رسوب‌زدایی با اسید و در نهایت هزینه تعویض قطعات و لوله‌ها می‌شوند (۶). به علاوه، خوردگی و رسوب‌گذاری در سامانه‌ی آب رسانی شهری کاهش بهداشت عمومی، کاهش کیفیت آب و نیز ناراحتی‌های گوارشی را به دنبال دارد (۱۱).

سامانه‌های آبیاری قطره‌ای به گرفتگی شیمیایی و فیزیکی حساس هستند. از عمده‌ترین عوامل گرفتگی شیمیایی، رسوب ترکیب‌های کربناتی به ویژه در قطره‌چکان‌ها در pH بازی و در غلظت‌های زیاد کلسیم، منیزیم و بی‌کربنات است (۹). رسوب‌گذاری در قطره‌چکان‌ها توزیع یکنواخت آب را کاهش می‌دهد (۱۶). از طرف دیگر، خوردگی جدار لوله‌ها در سامانه آبیاری قطره‌ای منجر به ورود آلاینده‌هایی مانند مس، سرب و کادمیوم به داخل آب می‌شود (۹). این فرآیند سلامت خاک، گیاه و در نهایت دام و انسان را به خطر می‌اندازد. جدول ۱ طبقه‌بندی ناکایاما و باکس (۲۲) را از پتانسیل گرفتگی شیمیایی نازل‌ها در آبیاری قطره‌ای نشان می‌دهد.

پتانسیل رخداد پدیده رسوب‌گذاری و یا خوردگی با شاخص اشباع لانتزلیه (LI) و شاخص پایداری رایزنر (RI) قابل بیان است. وضعیت رسوب‌دهی و خوردگی آب بر اساس شاخص‌های LI و RI در جدول ۲ آمده است (۲۴).

علاوه بر پژوهشگران خارجی، محققین داخلی هم مطالعاتی را با استفاده از شاخص‌های LI و RI انجام داده‌اند. از جمله آنها، بررسی خوردگی و رسوب‌گذاری آب به‌شهر با استفاده از داده‌های ۹ حلقه چاه و محاسبه شاخص‌های LI و RI توسط

نیکپور و همکاران (۱۱)، مطالعه پتانسیل خوردگی و رسوب‌گذاری آب شیراز با نمونه‌برداری از ۷۲ حلقه چاه (۹)؛ و ارزیابی خوردگی و رسوب‌گذاری آب زیرزمینی دشت همدان - بهار بر اساس LI و RI با استفاده از ۱۷۳ نمونه آب چاه، چشمه و قنات توسط زارع ایبانه و همکاران (۴) است.

به منظور کاهش مصرف آب در کشاورزی استفاده از سامانه‌های آبیاری قطره‌ای در مزرعه و گلخانه ناگزیر خواهد بود. مصطفی‌زاده و معیدی‌نیا (۸) تأثیر غلظت املاح و pH آب آبیاری را بر گرفتگی قطره‌چکان‌ها در محیط گلخانه بررسی کردند. نتایج نشان داد با افزایش غلظت املاح و pH آب، گرفتگی شیمیایی قطره‌چکان‌ها افزایش و در نتیجه دبی خروجی کاهش یافت. با افزایش غلظت یون‌های کلسیم و بی‌کربنات، شاخص LI اعداد مثبت‌تری را نشان داد که بیانگر افزایش پتانسیل رسوب‌گذاری و در نتیجه گرفتگی بود (۸). کاپرا و سایکلون با محاسبه شاخص LI در ۲۱ نمونه آب کیفیت آب آبیاری را بر توزیع یکنواخت آب در آبیاری قطره‌ای در جنوب ایتالیا (۱۶)، و میرزایی و همکاران (۱۰) تناسب آب رودخانه کرخه را برای آبیاری قطره‌ای در ۵ ایستگاه با محاسبه‌ی LI و RI بررسی کردند.

در مورد تغییرات مکانی شاخص‌های LI و RI در منابع مطلبی یافت نمی‌شود و به نظر می‌رسد تاکنون تغییرات مکانی LI و RI و پهنه‌بندی آنها فقط اخیراً در دشت لردگان توسط استواری و بیگی (۱ و ۲) انجام شده باشد. استواری و بیگی دریافتند ۷۶ درصد آبخوان لردگان دارای پتانسیل رسوب‌گذاری کم تا متوسط بوده لذا مشکل رسوب‌گذاری در مجاری و مخازن انتقال آب و آبیاری قطره‌ای قابل ملاحظه نخواهد بود (۱).

برای محاسبه شاخص‌های LI و RI از مؤلفه‌های درجه حرارت آب، pH، TDS، TH و TA استفاده می‌شود (۲۴). تغییرات مکانی و پهنه‌بندی برخی مؤلفه‌های مؤثر بر خوردگی و رسوب‌گذاری کمابیش مطالعه و انجام شده است: شعبانی (۵) تغییرات مکانی pH و TDS را در آب زیرزمینی ارسنجان با

جدول ۱. طبقه‌بندی آب از نظر پتانسیل گرفتگی شیمیایی قطره‌چکان‌ها بر اساس pH و TDS (۲۲)

دسته بندی خطر			واحد	عامل مسدود کننده
شدید	متوسط	ضعیف		
> ۸	۷ - ۸	< ۷	-	pH
> ۱۰۰۰	۱۰۰۰ - ۵۰۰	< ۵۰۰	mg/L	TDS

جدول ۲. رسوب‌دهی و خوردگی آب بر اساس دو شاخص RI و LI (۲۴)

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

مواد و روش‌ها

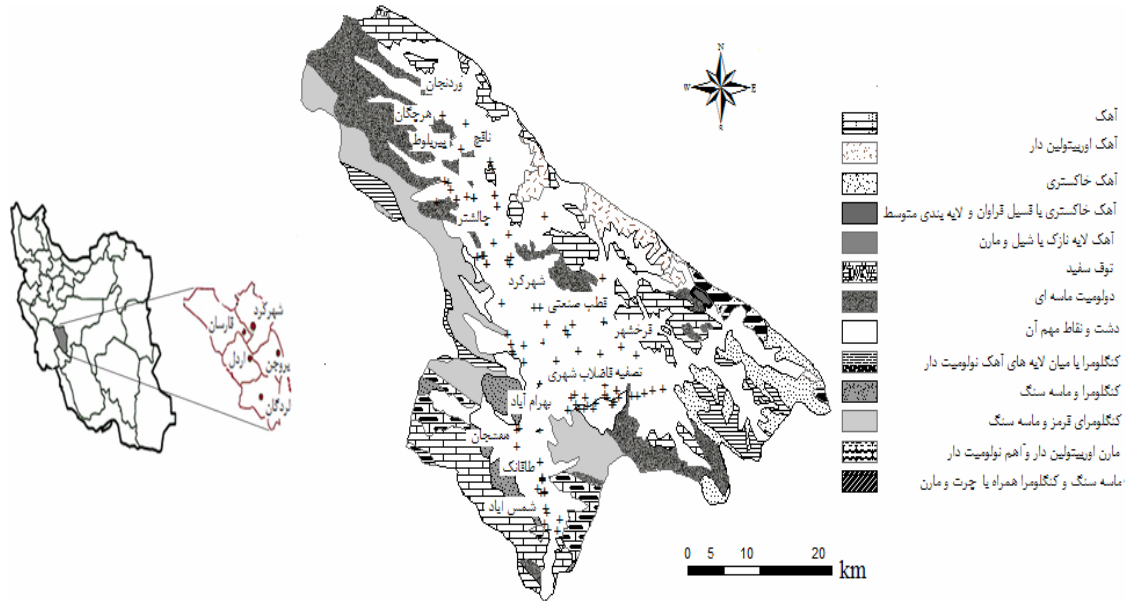
دشت شهرکرد یکی از دشت‌های مهم استان چهارمحال و بختیاری است. این دشت با وسعتی نزدیک به ۵۵۱ کیلومتر مربع در در "۵۰' ۱۰' ۵۱° طول جغرافیایی و در "۷' ۳۵' ۳۳° عرض جغرافیایی قرار دارد. درصد بالایی از آب‌های زیرزمینی دشت در بخش کشاورزی استفاده می‌شود. بخشی از آب شرب مردم شهرستان شهرکرد نیز از همین آبخوان تأمین می‌شود. از نظر زمین‌شناسی این دشت روی سازندهای آهکی کرتاسه واقع شده است. نتایج حفاری‌های انجام شده نشان می‌دهد که جنس آبرفت از دانه‌های آهکی شیلی، ذرات آنزیتی و ماسه سنگ است و به لحاظ دانه‌بندی اندازه آنها بین گراول تا رس است. نقشه زمین‌شناسی دشت شهرکرد به همراه موقعیت نقاط نمونه‌برداری و نقاط مهم دشت در شکل ۱ داده شده است (۱۰).

نمونه‌برداری و تجزیه‌های آزمایشگاهی

در این پژوهش از ۹۷ حلقه چاه، سه بار (تیر، شهریور و آبان ۱۳۸۹) نمونه‌برداری شد. چاه‌ها به خوبی در سطح دشت پراکنده بودند. در این مطالعه از میانگین نتایج سه نوبت نمونه‌برداری استفاده شده است. نمونه‌ها در بطری‌های پلی اتیلنی

نمونه‌برداری از ۸۳ حلقه چاه بررسی و از روش کریجینگ برای پهنه‌بندی استفاده کرد. طبق نتایج وی، مدل مناسب واریوگرام برای TDS کروی و برای pH نمایی بود (۵). تقی‌زاده‌مهرجردی و همکاران توزیع مکانی TH و TDS آب زیرزمینی دشت اردکان را با استفاده از ۷۳ نمونه آب چاه بررسی و مدل مناسب واریوگرام برای TH و TDS را به ترتیب نمایی و کروی تشخیص دادند (۲۷). نتایج این پژوهش‌ها نشان‌دهنده تفاوت در الگوی تغییرات مکانی مؤلفه‌ها در یک آبخوان و نیز در بین آبخوان‌هاست.

با توجه به اهمیت آب زیرزمینی شهرکرد در زندگی و فعالیت روزمره مردم و با توجه به تشویق و شیوع استفاده از روش آبیاری قطره‌ای در دشت شهرکرد ارزیابی توان رسوب‌گذاری و خوردگی آن مفید به نظر می‌رسد. دو هدف اصلی این پژوهش: [۱] بررسی الگوهای تغییرات مکانی و پهنه‌بندی pH، TDS، سختی کل و قلیائیت کل، و شاخص‌های LI و RI؛ و [۲] مطالعه هم‌بستگی شاخص‌ها و ویژگی‌های مذکور در آب زیرزمینی شهرکرد است. نتایج این مطالعه در جایابی صنایع و اجرای سامانه‌های آبرسانی، آبیاری گلخانه‌ای و آبیاری قطره‌ای در سطح دشت شهرکرد مفید خواهد بود.



شکل ۱. نقشه زمین شناسی دشت شهرکرد. موقعیت جاه‌های نمونه‌برداری شده در دشت شهرکرد با علامت + نشان داده شده است.

$$TH(\text{mg of CaCO}_3) = (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) * 50 \quad [1]$$

$$TA(\text{mg of CaCO}_3) = (\text{HCO}_3^-) * 50 \quad [2]$$

در این معادلات، TH: سختی کل به Ca^{2+} و Mg^{2+} : کاتیون‌های کلسیم و منیزیم بر حسب TA me/L: قلیائیت کل آب به HCO_3^- mg/L: بی‌کربنات آب بر حسب me/L است. از آنجائی که یک میلی‌اکیوالان کربنات کلسیم (CaCO_3) معادل ۵۰ میلی‌گرم CaCO_3 است بنابراین از ضریب ۵۰ به منظور تبدیل میلی‌اکیوالان‌های کلسیم و منیزیم و یا میلی‌اکیوالان‌های بی‌کربنات به میلی‌گرم کربنات کلسیم استفاده می‌شود (۱۵).

به منظور محاسبه شاخص لائزله و رایزنر ابتدا واکنش آب در حالت اشباع از کربنات کلسیم (pHs) محاسبه شد (۲۴):

$$pH_s = (3/9 + A + B) - (C + D) \quad [3]$$

که در آن:

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

$$B = -3/12 \times \text{Log}(C + 273) + 34/55 \quad [5]$$

$$C = \text{Log}[TH] - 4/0 \quad [6]$$

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

که در این روابط، TDS: کل جامدات محلول به mg/L : °C: درجه حرارت به درجه سلسیوس، TH: سختی کل بر مبنای

تیره‌رنگ که از قبل اسیدشویی و سپس با آب مقطر شستشو داده شده بودند جمع‌آوری شدند. درجه حرارت نمونه‌ها در محل به وسیله دماسنج قرائت شد. بطری‌های محتوی نمونه در داخل یخدان به آزمایشگاه منتقل، در یخچال نگهداری و در اسرع وقت بر اساس استانداردهای APHA (۱۹۸۸) تجزیه شدند (۱۴). واکنش آب (pH) بلافاصله پس از انتقال به آزمایشگاه با یون‌متر ساخت istek مدل 915PCD قرائت گردید. مقدار TDS نمونه‌ها با تبخیر ۱۰۰ mL و توزین مانده با ترازوی آنالیتیک اندازه‌گیری شد. به منظور محاسبه سختی کل، کاتیون‌های کلسیم و منیزیم به روش تیتراسیون با EDTA و به منظور محاسبه قلیائیت کل، آنیون‌های کربنات و بی‌کربنات به روش تیتراسیون با اسیدسولفوریک اندازه‌گیری شدند (۱۴).

محاسبات

سختی کل آب بر مبنای کربنات کلسیم معادل و قلیائیت کل آب به ترتیب از معادلات ۱ و ۲ به دست آمدند (۱۵). از آنجایی که غلظت کربنات نمونه‌ها صفر بود، قلیائیت برابر غلظت بی‌کربنات بوده و بر مبنای کربنات کلسیم و با واحد mg/L بیان شد.

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

$$RMSE = \sqrt{\{\sum [X(p)_j - X(o_j)]^2 / n\}} \quad [14]$$

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 نمونه‌هاست. از آنجایی که معیار RMSE نسبت به داده‌های پرت حساس است می‌توان از RMSE% استفاده کرد (۲۰):

$$RMSE\% = (RMSE / \bar{X}) * 100 \quad [15]$$

که در آن، \bar{X} میانگین هر شاخص کیفی آب بوده و RMSE از معادله ۱۴ به دست می‌آید. اگر مقدار این معیار زیر ۴۰٪ باشد دقت مدل واریوگرام قابل قبول و اگر بالاتر از ۷۰٪ باشد به معنی عدم دقت مدل واریوگرام است (۲۰).

پهنه‌بندی شاخص‌ها

روش کریجینگ از مدل واریوگرام هر شاخص برای میان‌یابی استفاده می‌کند (۵). در این مطالعه به منظور پهنه‌بندی شاخص‌های کیفی، از واریوگرام‌های گوسی و کروی و تخمین‌گر کریجینگ معمولی استفاده شد. پهنه‌بندی و ترسیم نقشه در محیط ArcGIS 9.3 انجام شد (۱۹). هم‌بستگی نقشه‌ها، مساحت هر کلاس نقشه (پهنه‌ها) به همراه درصد پوشش آنها نیز با استفاده از این نرم افزار استخراج شد. خلاصه آماری، بررسی نرمال بودن داده‌ها و هم‌بستگی پیرسون در محیط STATISTICA 8.0 انجام شد (۲۶).

نتایج و بحث

براساس آزمون شاپیرو-ویلکس توزیع داده‌ها نرمال بود. خلاصه آماری مؤلفه‌ها و دو شاخص LI و RI در آب‌زیرزمینی شهرکرد در جدول ۳ نشان داده شده است.

با توجه به جدول ۳ شباهت بسیار میانه و میانگین تمام شاخص‌ها به هم بر نرمال بودن توزیع داده‌ها تأکید می‌کند.

کربنات کلسیم معادل به mg/L و TA: قلیابیت کل بر مبنای کربنات کلسیم به mg/L است. در محاسبات از میانگین درجه حرارت (°C) آب زیرزمینی شهرکرد استفاده شده است.

در نهایت مقدار شاخص لانتزلیه (LI) و رایزنر (RI) از روابط زیر محاسبه شد (۲۴):

$$LI = pH - pHs \quad [8]$$

$$RI = 2 pHs - pH \quad [9]$$

که در آنها، pH: واکنش واقعی آب است و pHs قبلاً تعریف شد.

برازش مدل واریوگرام و انتخاب مدل مناسب

پس از اطمینان از نرمال بودن توزیع داده‌ها، واریوگرام تجربی $\gamma(h)$ هر شاخص در محیط variowin 2.21، ترسیم گردید (۲۳) واریوگرام تجربی از رابطه زیر به دست آمد:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i+h)]^2 \quad [10]$$

که در آن N: تعداد جفت مشاهدات، $Z(x_i)$ و $Z(x_i+h)$ مقدار مشاهده شاخص متغیرها در نقطه‌های x_i و x_i+h است.

پس از رسم واریوگرام تجربی هر شاخص، مدل نظری واریوگرام در محیط variowin 2.21 به مشاهدات برازش داده شد و بهترین مدل برای هر شاخص انتخاب شد. مناسب‌ترین مدل‌ها شامل مدل کروی و مدل گوسی به ترتیب با معادلات ۱۱ و ۱۲ بیان می‌شوند:

$$(h) = C_0 + C_1 [(3h/2a) - (h^3/2a^3)] \quad (0 \leq h \leq a) \quad [11]$$

$$(h) = C_0 + C_1 [1 - \exp(-3h^2/a^2)] \quad [12]$$

برای ارزیابی مدل‌های واریوگرام انتخاب شده و کارایی کریجینگ معمولی از مدول X-Valid نرم افزار GeoEas 1.2.1 استفاده (۲۹) و دو معیار زیر محاسبه شد:

$$ME = \sum_{j=1}^n \frac{X(p)_j - X(m)_j}{n}$$

$$ME = \sum \{ [X(p)_j - X(o_j)] / n \} \quad [13]$$

جدول ۳. خلاصه آماری مؤلفه‌ها و دو شاخص LI و RI در آب زیرزمینی شهرکرد (n=۲۹۱)

ویژگی	واحد	دهک اول	میانگین	میان	دهک آخر	انحراف معیار	ضریب تغییرات (%)
pH	-	۴/۷	۶/۷	۶/۷	۹/۷	۲/۰	۲
TDS	mg/L	۲۰۴	۲۹۶	۲۸۴	۳۹۹	۷۸	۲۶
TH	mg/L	۱۷۴	۲۲۰	۲۱۹	۲۷۱	۳۵	۱۶
TA	mg/L	۷۴	۱۱۸	۱۱۱	۱۶۷	۳۴	۲۹
LI	-	-۶۲/۰	-۱۳/۰	-۱۶/۰	۳۳/۰	۳/۰	۱۶۹
RI	-	۲۸/۷	۹/۷	۹/۷	۸/۶۸	۵/۰	۶

استانداردگفته شده فراتر نرفته است بنابراین به نظر می‌رسد که نصب آبیاری قطره‌ای در دشت شهرکرد مشکل حادی از لحاظ گرفتگی شیمیایی نخواهد داشت. نتیجه پژوهش گلخانه‌ای در اصفهان (۸) نیز نشان داد با کاهش pH و غلظت املاح گرفتگی قطره‌چکان‌ها کاهش می‌یابد.

با توجه به میانگین سختی، آب در گروه خیلی سخت قرار می‌گیرد (۱۵) که طبق آن خاصیت رسوب‌گذاری دارد (۲۴). قلیائیت کل از متوسط تا زیاد تغییر می‌کند و با توجه به میانگین آن، آب سفره شهرکرد در گروه با قلیائیت زیاد قرار می‌گیرد (۱۵). دو شاخص LI و RI برآیندی از مؤلفه‌های سختی و قلیائیت هستند. میانگین LI با مقدار ۱۳/۰- متعادل بودن آب زیرزمینی شهرکرد را از نظر رسوب‌گذاری و خوردگی نشان می‌دهد. با این حال این آب می‌تواند در برخی نقاط دارای خوردگی کم و در برخی نقاط اندکی تمایل به رسوب‌گذاری داشته باشد (جدول ۲). اکثر نمونه‌های آب دارای LI منفی بودند که تمایل آب به خوردگی را نشان می‌دهد. میانگین شاخص RI نیز حاکی از خوردگی آب است. آب زیرزمینی دشت لردگان نیز در همین استان بر اساس مقادیر LI دارای خاصیت رسوب‌گذاری کم تا متعادل بود و مشکل رسوب‌گذاری در مجاری و مخازن انتقال آب را نداشت (۱). آب رودخانه کرخه بر اساس شاخص LI و RI خاصیت رسوب‌گذاری کم و خوردگی کم را در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای نشان داد (۲۱). نتایج تحقیق حاضر با نتایج دو تحقیق

ضریب تغییرات همه شاخص‌ها به جز LI کمتر از ۳۰ شده است که نشان‌دهنده یکنواختی نسبی مقادیر شاخص‌ها در سطح دشت است (۳). بر خلاف RI، ضریب تغییرات LI بسیار بزرگ است که به نظر ما ناشی از وجود مقادیر منفی و نه لزوماً حاکی از تغییرات زیادتر آن در نقاط مختلف آبخوان است. با این حال، کم بودن ضریب تغییرات RI نشان‌دهنده حساسیت ذاتی کم آن در مقایسه با LI است.

اگر آبی دارای pH بزرگتر از ۵/۷ و یا TDS بیشتر از ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر باشد خاصیت رسوب‌گذاری و اگر آبی دارای pH کمتر از ۵/۶ باشد خاصیت خوردگی خواهد داشت (۲۴). بر اساس میانگین pH با مقدار ۶/۷ آب زیرزمینی شهرکرد دارای اندکی خاصیت رسوب‌گذاری است ولی آب بر اساس میانگین TDS با مقدار ۲۹۶ mg/L رسوب‌گذار نیست (۲۴). پس در مجموع به نظر می‌رسد پتانسیل رسوب‌گذاری آب زیرزمینی شهرکرد چشم‌گیر نباشد.

ارزیابی نتایج برای گرفتگی قطره‌چکان‌ها و مقایسه آنها با مقادیر استاندارد در جدول ۱ نشان می‌دهد آب زیرزمینی شهرکرد با توجه به میانگین pH با مقدار ۶/۷ برای گرفتگی قطره‌چکان‌ها پتانسیل متوسط و بر اساس میانگین TDS با مقدار ۲۹۶ برای گرفتگی قطره‌چکان‌ها پتانسیل ضعیف دارد. مقادیر pH بیشتر از ۸ و مقادیر TDS بیشتر از ۱۰۰۰ mg/L در آب باعث گرفتگی شدید قطره‌چکان‌ها می‌شوند (جدول ۱). از آنجایی که در آب زیرزمینی شهرکرد مقادیر pH و TDS از حدود

۲۴۰۰ متر به دست آمد. علت نزدیک بودن دامنه‌های تأثیر این شاخص‌ها را می‌توان به وجود هم‌بستگی‌های معنی‌دار بین آنها نسبت داد (جدول ۶). نسبت اثر قطعه‌ای به واریانس کل $\{C_0/(C_0+C)\}$ برای تمام شاخص‌ها کمتر از ۲۵/۰ به دست آمد که وجود وابستگی مکانی قوی را نشان می‌دهد (۱۷).

معیار $\%RMSE$ برای تمام مؤلفه‌ها و شاخص RI کمتر از ۴۰٪ شده است که نشانه دقت مدل است (۲۰). فقط $\%RMSE$ مربوط به LI بزرگ است که احتمالاً عدم تناسب این معیار را برای قضاوت در مورد شاخص LI می‌رساند زیرا معیارهای دیگر یعنی $C_0/(C_0+C)$ ، ME و $RMSE$ حاکی از دقت خوب مدل واریوگرام کروی در تخمین LI است.

پهنه‌بندی شاخص‌های کیفی در آب‌زیرزمینی شهرکرد

نقشه مربوط به شاخص‌های کیفی آب‌زیرزمینی شهرکرد در شکل ۳ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۳، نقشه pH و TDS تقریباً مشابه هم هستند و بیشترین مقادیر این دو مؤلفه در جنوب و جنوب شرقی دشت مشاهده می‌شود. علت بالا بودن pH در جنوب دشت را می‌توان به وجود قطب صنعتی (در شهرستان فرخشهر) در این ناحیه نسبت داد. حلالیت کانی‌های سازندهای آهکی، شیل و مارن در جنوب شرقی دشت غلظت املاح و در نتیجه TDS را در این قسمت از دشت افزایش می‌دهد. با توجه به این که آب زیرزمینی شهرکرد در نیمه جنوبی دارای بیشترین مقادیر pH و TDS است، پتانسیل رسوب‌گذاری در سامانه‌های انتقال آب از جمله قطره‌چکان‌ها در آبیاری قطره‌ای را دارد (۲۴). با توجه به نقشه سختی کل (TH) و کلیائیت کل (TA) بیشترین مقدار این دو مؤلفه در جنوب دشت مشاهده می‌شود. می‌توان گفت انحلال سازندهای کربناتی باعث افزایش کاتیون‌های Ca^{2+} و Mg^{2+} و آنیون HCO_3^- و در نتیجه افزایش سختی و کلیائیت در جنوب دشت شده است.

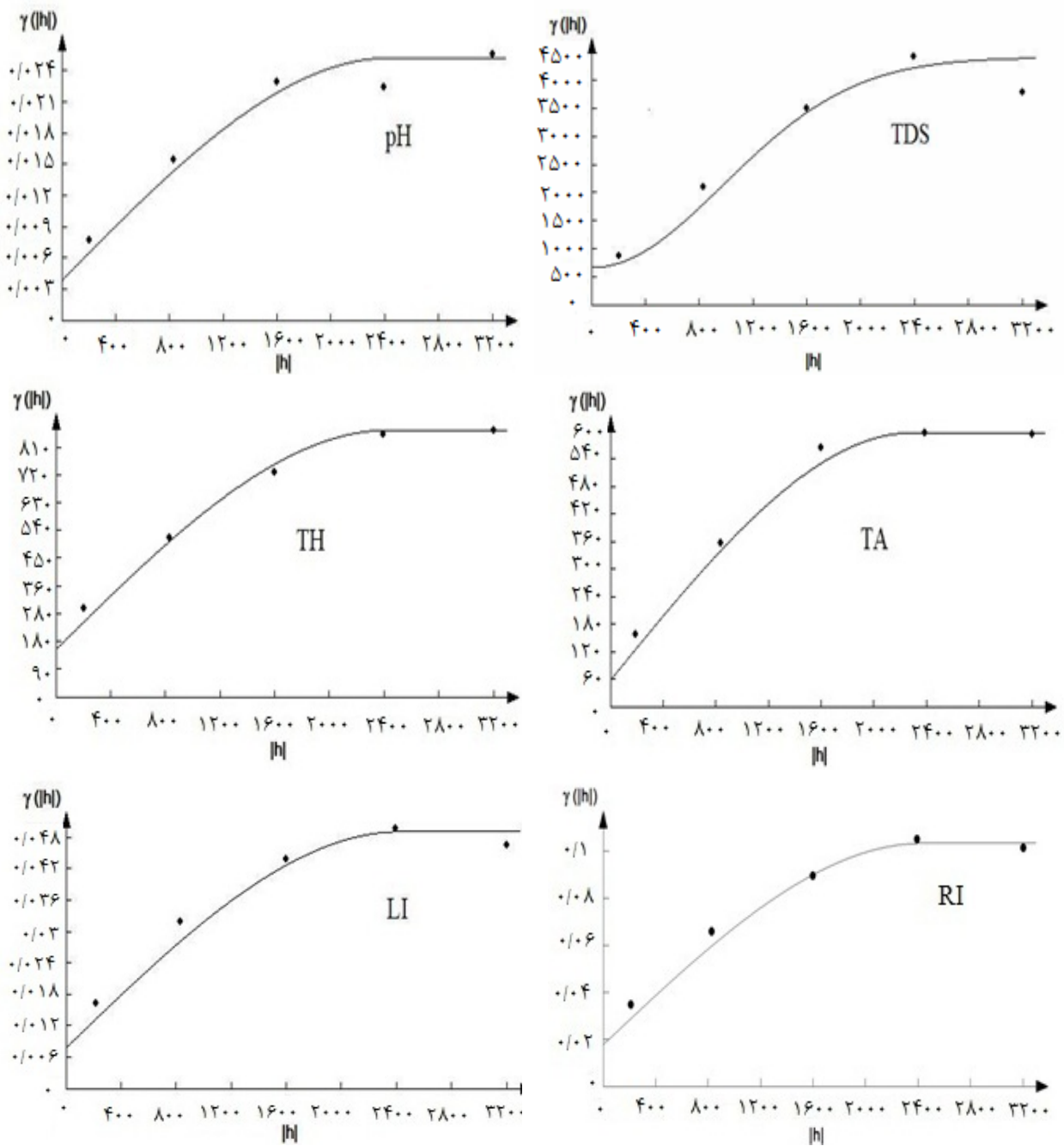
نقشه LI نشان می‌دهد که این شاخص با تأثیر از مؤلفه‌هایش، بیشترین مقدار را در جنوب دشت دارد. مقدار این شاخص از کمترین مقدار (۶/۰-) در شمال تا بیشترین مقدار (۵/۰) در

ذکر شده هم‌خوانی دارد. با این حال در برخی مطالعات نتایج حاکی از رسوب‌گذار بودن آب‌زیرزمینی است مثلاً در جنوب تالوک ایالت کارناتاکا (هند) در ۹۰٪ نمونه‌ها شاخص LI مثبت و از ۰/۰۲ تا ۰/۴۱ متغیر بود که بر اساس آن آب زیرزمینی خاصیت رسوب‌گذاری داشت. در حالی که بر اساس شاخص RI حدود ۵۳٪ نمونه‌ها متعادل و حدود ۲۰٪ آنها رسوب‌گذار بودند (۲۵). در استان همدان مقدار شاخص LI از ۵۸/۰ در دشت بهار تا ۸۲/۰ در دشت ملایر متغیر بود که رسوب‌گذار بودن آب زیرزمینی استان همدان را نشان داد (۱۳). در درودزن واقع در ۸۰ کیلومتری شرق شیراز اکثر نمونه‌ها که از سد درودزن و از چاه‌ها جمع‌آوری شده بود دارای LI مثبت با میانگین ۴۱/۰ بودند و به این جهت خاصیت خوردگی نداشتند بنابراین در سیستم‌های انتقال آب خطر ورود فلزاتی مانند کادمیوم، سرب و مس به آب وجود نداشت (۱۸). با توجه به این‌که در آب‌زیرزمینی شهرکرد خوردگی محسوس‌تر از رسوب‌گذاری به نظر می‌رسد، بنابراین احتمال ورود آلاینده‌ها به آب در سامانه‌های انتقال آب شرب و نیز سامانه‌های آبیاری قطره‌ای نباید از نظر دور نگهداشته شود. لذا پیشگیری از خوردگی در این سامانه‌ها در دراز مدت شاید ضروری باشد.

نتایج مربوط به واریوگرام‌ها و تجزیه و تحلیل آنها

واریوگرام هر متغیر کیفی آب‌زیرزمینی دشت شهرکرد به همراه مدل برازش داده شده بر آن در شکل ۲ آورده شده و نتایج مربوط به تحلیل واریوگرام‌ها و دقت آنها در جدول ۴ خلاصه شده است. مدل واریوگرام مناسب برای TDS گوسی و برای دیگر شاخص‌ها کروی به دست آمد. در دشت لردگان واقع در استان چهارمحال و بختیاری نیز برای TDS گوسی، برای شاخص‌های LI ، TH و RI کروی ولی برای TA مدل نمایی به دست آمد (۲). در دشت ارسنجان مدل مناسب واریوگرام برای TDS و pH به ترتیب کروی و نمایی بود (۵). در پژوهش انجام شده در دشت اردکان یزد مدل مناسب برای TDS و سختی به ترتیب کروی و نمایی بود (۲۷).

دامنه‌های تأثیر شاخص‌ها بسیار نزدیک به هم و حدود



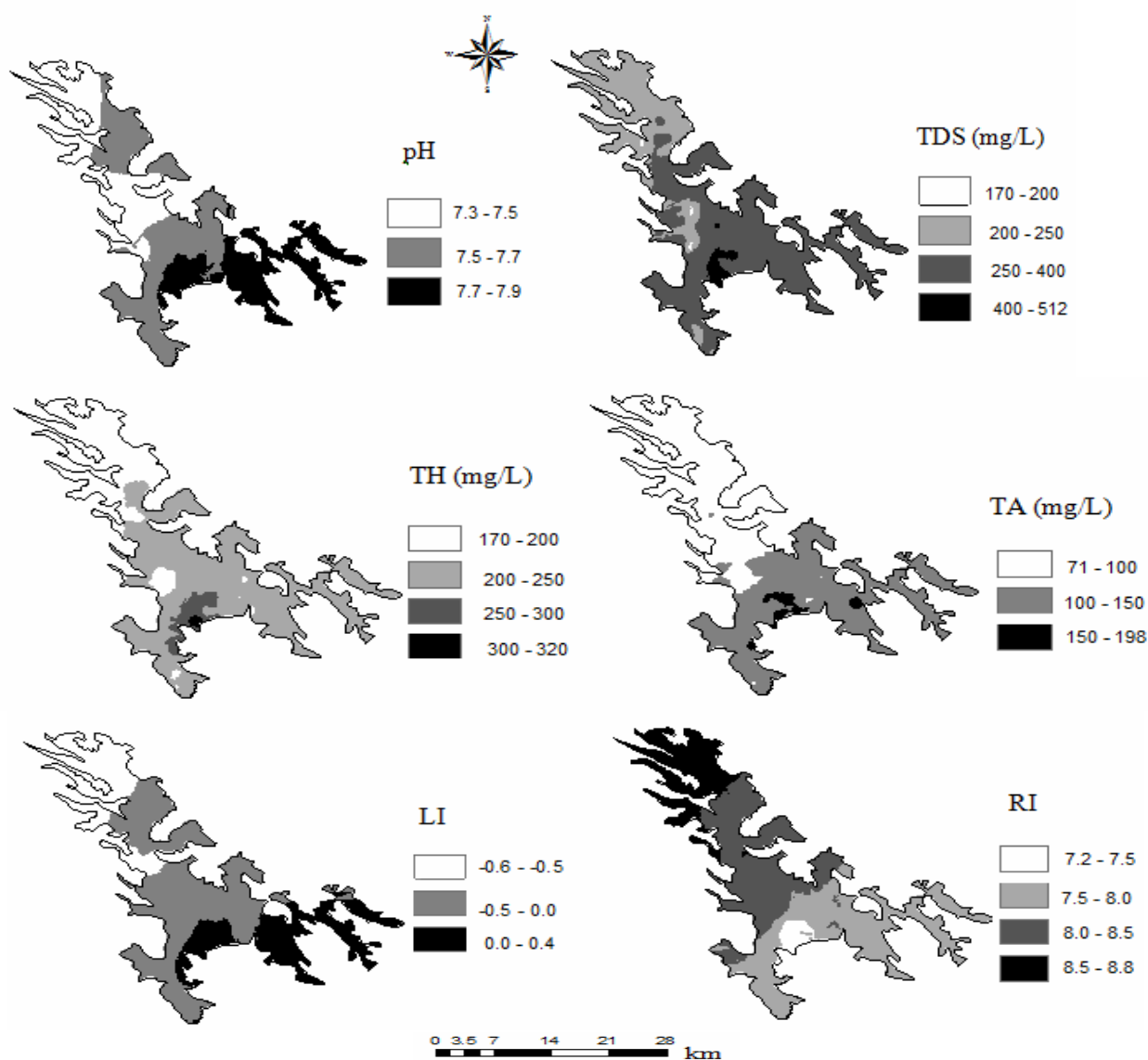
شکل ۲. واریوگرام تجربی به همراه مدل برازش داده شده به pH، TDS، TH، TA، LI و RI در آب زیرزمینی شهرکرد

خوردگی زیاد می‌دهد. نقشه‌های LI و RI آب آشامیدنی تبریز نشان داد در اکثر قسمت‌های شهر آب خورنده بوده (میانگین RI برابر ۴۳/۸) و در جنوب شرقی دشت مقدار RI حتی به ۵/۹ می‌رسید که شدیداً خورنده است (۲۸). مساحت کلاس‌های مختلف خوردگی و رسوب‌گذاری

جنوب دشت متغیر است. بنابراین آب زیرزمینی شهرکرد در جنوب دشت پتانسیل کمی برای رسوب‌گذاری دارد. از آنجایی که دو شاخص LI و RI رابطه معکوسی دارند، و با توجه به نقشه RI، آب در جنوب دشت دارای کمترین پتانسیل خوردگی است. بیشترین مقدار RI با مقدار ۸/۸ در شمال دشت به آب خاصیت

جدول ۴. مشخصات واریوگرام منتخب برای هر ویژگی کیفی از آب‌زیرزمینی شهرکرد به همراه خطای تخمین‌گر کریجینگ

ویژگی	مدل	دامنه تأثیر (متر)	آستانه تأثیر (C ₀ +C)	اثر قطعه‌ای (C ₀)	$\frac{C_0}{C_0+C}$	کلاس وابستگی مکانی	ME	RMSE	RMSE%
pH	کروی	۲,۴۱۹	۰۲/۰	۰۰۳/۰	۱۵/۰	قوی	۰۱/۰	۲۱/۰	۳
TDS	گوسی	۲,۳۹۰	۳۵۴۸	۶۸۲	۱۹/۰	قوی	۲/۱	۷۴	۲۵
TH	کروی	۲,۴۲۵	۷۱۰	۱۵۶	۲۱/۰	قوی	۲۶/۰	۲۸	۱۳
TA	کروی	۲,۲۸۹	۵۳۷	۶۱	۱۱/۰	قوی	-۰۲/۰	۲۵	۲۱
LI	کروی	۲,۴۲۸	۰۳/۰	۰۰۷/۰	۲۳/۰	قوی	۰۱/۰	۲۵/۰	۱۹۰
RI	کروی	۲,۴۲۷	۰۸/۰	۰۱۹/۰	۲۳/۰	قوی	-۰۱/۰	۳۴/۰	۴



شکل ۳. پهنه‌بندی pH, TDS, TH, TA, LI و RI در آب‌زیرزمینی شهرکرد

جدول ۵. درصد و مساحت مربوط هر کلاس رسوب گذاری و خوردگی

مساحت (km ²)	درصد (%)	بازه یا پهنه	کلاس خوردگی یا رسوب گذاری
بر اساس شاخص لانزلیه (LI)			
۱۱۹	۲۲	-۵/۰ تا -۶/۰	خوردگی کم
۳۱۱	۵۶	۰ تا -۵/۰	خوردگی کم تا متعادل
۱۲۱	۲۲	۰ - ۴/۰	متعادل تا رسوب گذاری کم
بر اساس شاخص رایزنر (RI)			
۱۹	۴/۳	۲/۷ - ۵/۷	خوردگی کم
۲۱۷	۳۹	۵/۷ - ۰/۸	خوردگی زیاد
۳۱۵	۵۷	۰/۸ - ۸/۸	خوردگی زیادت

جدول ۶. ضرایب همبستگی پیرسون مشاهدات و همبستگی نقشه‌های LI، RI و مؤلفه‌های آنها در آب زیرزمینی شهرکرد

همبستگی مشاهدات (n=۲۹۱)					
				۴۲/۰*	TDS
			۷۶/۰*	۴۳/۰*	TH
		۷۰/۰*	۶۲/۰*	۶۱/۰*	TA
	۸۵/۰*	۷۰/۰*	۶۱/۰*	۹۰/۰*	LI
-۹۸/۰*	-۹۰/۰*	-۷۷/۰*	-۶۶/۰*	-۸۳/۰*	RI
همبستگی نقشه‌ها (N=۱۲,۸۵۱)					
				۵۳/۰*	TDS
			۹۱/۰*	۵۷/۰*	TH
		۷۸/۰*	۷۲/۰*	۷۸/۰*	TA
	۹۴/۰*	۷۷/۰*	۷۱/۰*	۹۱/۰*	LI
-۹۶/۰*	-۹۵/۰*	-۸۰/۰*	-۷۲/۰*	-۸۴/۰*	RI
LI	TA	TH	TDS	pH	شاخص

* همبستگی در $\alpha=0.05$ معنی دار است. n تعداد مشاهدات. N تعداد پیکسل‌های نقشه

مساحت ۱۲۱ km² دارای پتانسیل رسوب گذاری کم تا متعادل است. براساس شاخص RI فقط سطح اندکی از پهنه آبخوان (۴/۳ درصد) دارای پتانسیل خوردگی کم بوده (جدول ۵) در حالی که عمده‌ی آبخوان حدود ۹۷٪ با مساحت ۵۳۲ km² دارای پتانسیل خوردگی زیاد است. به طور کلی در اکثر قسمت‌های دشت، آب زیرزمینی شهرکرد دارای پتانسیل خوردگی کم و

(براساس دو شاخص LI و RI) به همراه درصد پوشش هر یک که از شکل ۳ استخراج شده است در جدول ۵ نشان داده شده است. بر اساس شاخص LI، دشت شهرکرد به ۳ پهنه تقسیم شده است. دو پهنه با مجموع مساحت ۴۳۰ km² دارای پتانسیل خوردگی کم تا متعادل بوده و ۷۸٪ مساحت آبخوان شهرکرد را پوشش می‌دهد. حدود ۲۲٪ آبخوان (پهنه‌ای با

متعادل است. در پژوهش انجام شده در دشت لردگان ۷۶ درصد آب آبخوان دارای پتانسیل رسوب‌گذاری کم تا متوسط بود لذا مشکل رسوب‌گذاری در مجاری و مخازن انتقال آب و آبیاری قطره‌ای قابل ملاحظه نبود (۱).

هم‌بستگی شاخص‌های LI و RI و مؤلفه‌های آنها

هم‌بستگی شاخص‌های LI و RI و مؤلفه‌های آنها به دو روش آماری (بر مبنای مشاهدات) و بر مبنای نقشه‌ها محاسبه شد (جدول ۶). با توجه به جدول ۶ هم‌بستگی بین تمام ویژگی‌ها معنی‌دار بود ($P < 0.05$). هم‌بستگی pH با TDS و TH مشابه و متوسط (حدود $r = 0.42$) ولی هم‌بستگی pH با قلیائیت کل ($r = 0.61$) بزرگ‌تر بود ($P < 0.05$). بنابراین می‌توان گفت نقش آنیون بی‌کربنات در قلیائی کردن pH آب تا حداکثر ۹/۷ مؤثرتر بوده است. در دشت لردگان نیز هم‌بستگی pH با قلیائیت کل ($r = 0.71$) از هم‌بستگی آن با TH ($r = 0.60$) و TDS ($r = 0.12$) بزرگ‌تر بود (۲).

بین TDS با TH و TA هم‌بستگی قوی و معنی‌داری وجود دارد ($P < 0.05$). از آنجایی که TDS از مجموع غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌ها منشأ می‌گیرد بنابراین طبیعی است که با TH و TA که به ترتیب بیانگر غلظت کاتیون‌های Ca^{2+} و Mg^{2+} و آنیون بی‌کربنات هستند هم‌بستگی مثبت و معنی‌داری داشته باشد. هم‌بستگی مثبت و معنی‌داری بین TDS و TH در اردکان یزد ($r = 0.90$) و دشت لردگان ($r = 0.63$) نیز گزارش شده است (۲ و ۲۷). در پژوهش حاضر هم‌بستگی TDS با TH به طور معنی‌داری از هم‌بستگی TDS با TA بزرگ‌تر است ($P < 0.05$). در دشت لردگان نیز هم‌بستگی TDS با TH ($r = 0.63$) به طور معنی‌داری ($P < 0.05$) از هم‌بستگی TDS با TA ($r = 0.15$) بزرگ‌تر بود (۲). هم‌چنین در بنگلر ایالت کارناتاکا (هند) هم‌بستگی TDS با TH ($r = 0.83$) از هم‌بستگی TDS با TA ($r = 0.53$) بزرگ‌تر بود (۲۵). نتایج تحقیق حاضر با نتایج این دو تحقیق (۲ و ۲۵) همخوانی دارد. می‌توان نتیجه گرفت کاتیون‌های Ca^{2+} و Mg^{2+} نقش بیشتری نسبت به آنیون HCO_3^-

در ایجاد جامدات محلول آب (TDS) داشته‌اند. شاخص LI با تمام مؤلفه‌های هم‌بستگی مثبت و معنی‌داری دارد که در بین آنها بیشترین هم‌بستگی ($r = 0.90$) را با pH و پس از آن با TA نشان داده ($P = 0.85$) و بنابراین می‌توان احتمال داد اثر pH و TA بر مقدار LI بیشتر از سایر مؤلفه‌هاست. در دشت همدان هم‌بستگی LI با pH ۹۹/۰ گزارش شد (۱۳). شاخص RI با تمام مؤلفه‌ها هم‌بستگی معنی‌دار، منفی و قوی دارد و هم‌بستگی آن با قلیائیت کل ($r = -0.90$) و سپس با pH ($r = -0.83$) از همه بیشتر است ($P < 0.01$). در دشت لردگان نیز شاخص LI و RI با TA هم‌بستگی‌های قوی به ترتیب با مقادیر ۶۸/۰ و ۹۲/۰ داشت (۲). ضمناً LI و RI هم‌بستگی منفی و بسیار قوی ($r = -0.98$) دارند که قوی‌تر از مقدار نظیر ($r = -0.93$) در آبخوان لردگان (۱) است ($P < 0.01$).

آنچه در مورد هم‌بستگی پیرسون مشاهدات گفته شد در مورد هم‌بستگی نقشه‌ها نیز صادق است. هم‌بستگی نقشه‌های مؤلفه‌ها با نقشه‌های LI و RI حتی از هم‌بستگی پیرسون نظیر در مشاهدات هم اندکی قوی‌تر هستند ($P < 0.05$). این هم‌خوانی هم‌بستگی‌ها که به دو طریق مختلف محاسبه شده‌اند حاکی از دقت خوب مدل‌های واریوگرام و تخمین‌گر کریجینگ در میان‌یابی و پهنه‌بندی شاخص‌های آب‌زیرزمینی شهرکرد است.

نتیجه‌گیری

هدف از انجام این پژوهش بررسی الگوهای تغییرات مکانی و پهنه‌بندی زمین‌آماري شاخص‌های پتانسیل رسوب‌گذاری و خوردگی و مؤلفه‌های آنها در آب‌زیرزمینی شهرکرد به روش کریجینگ بود. مدل واریوگرام گوسی برای TDS و مدل کروی برای دیگر شاخص‌ها مناسب بود. دامنه‌های تأثیر اکثر شاخص‌ها حدوداً ۲۴۰۰ متر به دست آمد و در این دامنه‌های تأثیر وابستگی مکانی قوی بود. کریجینگ معمولی روش مناسبی برای پهنه‌بندی LI و RI و مؤلفه‌های آنها بود. غلظت مؤلفه‌های پتانسیل رسوب‌گذاری و خوردگی شامل

با توجه به نقشه LI و RI آب زیرزمینی در جنوب دشت دارای بیشترین پتانسیل رسوب گذاری و کمترین پتانسیل خوردندگی بود که علت آن را می توان به وجود سازندهای آهکی نسبت داد. بالا بودن مقدار یا غلظت مؤلفه ها در نواحی جنوبی دشت، شامل شهرهای فرخ شهر، شمس آباد، بهرام آباد و هفشجان، ممکن است به انحلال کانی ها از سازندهای آهکی، شیل و مارن نسبت داده شود. همچنین شهرهای نام برده جزو مناطق صنعتی دشت شهرکرد هستند و احتمالاً نفوذ زهاب های صنعتی می تواند علت دیگری برای باعث افزایش غلظت شاخص ها باشد. وجود تصفیه خانه فاضلاب شهری در جنوب دشت (شکل ۲) که در آن سطح ایستابی دارای عمق کمتری است نیز می تواند بر غلظت مؤلفه ها و نهایتاً مقدار شاخص های لائزلیه و رایزنر اثر بگذارد.

pH، TDS، TH و TA در جنوب دشت حداکثر بود. بیست و دودرصد (۲۲٪) آب زیرزمینی شهرکرد دارای خوردندگی کم، همین مقدار دارای رسوب گذاری کم، و ۵۶٪ مانده آبی متعادل داشت. در مجموع بر اساس شاخص LI با میانگین ۱۳/۰- آب زیرزمینی شهرکرد از نظر رسوب گذاری و خوردندگی در گروه متعادل قرار می گیرد. شاخص لائزلیه در جنوب دشت دارای بیشینه ۵/۰ بود که این نیز نشان دهنده پتانسیل کم رسوب گذاری آب زیرزمینی شهرکرد است.

شاخص LI با تمام مؤلفه های هم بستگی قوی مثبت معنی دار (بین ۶۱/۰ تا ۹۰/۰) و RI با تمام مؤلفه ها هم بستگی معنی دار قوی منفی (بین ۶۶/۰- تا ۹۰/۰-) نشان داد. در این آبخوان، بیشترین هم بستگی LI و RI به ترتیب با $pH (r=90/0)$ و قلیانیت کل ($r=-90/0$) بود.

منابع مورد استفاده

- استواری، ی. و ح. بیگی هرچگانی. ۱۳۹۲. مقایسه پتانسیل های رسوب گذاری و خوردندگی و مؤلفه های آن ها در سفره های آب زیرزمینی دشت های لردگان و جمال (مطالعه موردی استان چهارمحال و بختیاری). مجله مهندسی آب و محیط زیست ایران ۱۵-۲۶: (۱)۲.
- استواری، ی. و ح. بیگی هرچگانی. ۱۳۹۰. ارزیابی کیفیت آب آبخوان منطقه لردگان و تأثیر سازندهای زمین شناسی بر کیفیت این آبخوان ها. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهرکرد.
- رضایی، م.، ن. دواتگر، خ. تاجداری و ب. ابولپور. ۱۳۸۹. بررسی تغییرات مکانی برخی شاخص های کیفی آب های زیرزمینی استان گیلان با استفاده از زمین آمار. نشریه آب و خاک ۲۴(۵): ۹۳۲-۹۴۱.
- زارع ایبانه، ح.، س. عبدالصالحی و آ. کاظمی. ۱۳۸۹. مطالعه خوردگی و رسوب گذاری آب های زیرزمینی دشت همدان- بهار. علوم و تکنولوژی محیط زیست ۱۲(۲): ۸۹-۱۰۳.
- شعبانی، م. ۱۳۸۷. تعیین مناسب ترین روش زمین آمار در تهیه نقشه تغییرات pH و TDS آب های زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت ارسنجان). مجله مهندسی آب (۱): ۴۷-۵۷.
- غنی زاده، ق. و م. ت. قانعیان. ۱۳۸۸. پتانسیل خوردگی و رسوب گذاری آب آشامیدنی در سیستم های آب رسانی مراکز نظامی. مجله طب نظامی ۱۱(۳): ۱۵۵-۱۶۰.
- مختاری، س.ا.، م. عالیقدری، ص. حضرتی، ه. صادقی، ن. قراری و ل. قربانی. ۱۳۸۹. ارزیابی وضعیت خوردندگی و رسوب گذاری شبکه توزیع آب آشامیدنی شهر اردبیل با استفاده از شاخص های لائزلیه و رایزنر. مجله علمی پژوهشی سلامت و بهداشت اردبیل ۱۱(۱): ۱۴-۲۳.
- مصطفی زاده، ب. و ع. ح. معیدی نیا. ۱۳۷۹. تأثیر ترکیبات شیمیایی مختلف آب آبیاری بر گرفتگی قطره چکان ها در آبیاری قطره ای.

مجله علوم کشاورزی ایران ۳۱ (۳): ۴۹۷-۵۱۱.

۹. مظلومی، س.، ع. ا. بابایی، م. فضل‌زاده، ا. ابویی، ا. و. بدیعی‌نژاد و خ. حاج‌پورسوق. ۱۳۸۷. بررسی پتانسیل خوردگی و رسوب‌گذاری آب شهر شیراز. فصل‌نامه پژوهشی دانشکده بهداشت یزد (۱): ۶۴-۷۲.
۱۰. میرزایی، س. ۱۳۸۸. ارزیابی آسیب‌پذیری و تهیه نقشه‌های خطر آلودگی آبخوان دشت شهرکرد با استفاده از GIS و مدل‌های دراستیک و سیتکس. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهرکرد.
۱۱. نیکپور، ب.، م. نوشادی، م. ص. مرتضوی و ذ. یوسفی. ۱۳۸۵. بررسی کیفیت آب شرب شهر بهشهر از نظر شاخص‌های خوردگی و رسوب‌گذاری. اولین همایش تخصصی محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، ۸ صفحه.
۱۲. هیبتی، ب.، س. مظلومی، م. فضل‌زاده، ش. درخشان و م. نوروزی. ۱۳۸۸. بررسی پتانسیل خوردگی و رسوب‌گذاری آب شهر میانه در سال ۱۳۸۷. دوازدهمین همایش ملی بهداشت محیط ایران، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی دانشکده بهداشت، آبان ۹۶۶-۱۰۰۵.

13. Abyaneh, H.Z., M. Bayat, K. Mohammadi, K. Howard and S. Marofi. 2011. Assessment of groundwater corrosivity in Hamedan Province, Iran using an adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS). *Geosci. J.* 15(4): 433-439.
14. APHA. 1998. Standard methods for examination of water and wastewater. 20th ed., American Public Health Association Inc. Washington, USA.
15. Boyd, C. E. 2000. *Water Quality, An Introduction*. Kluwer Academic Pub., 323 pages.
16. Capra, A. and B. Sciolone. 1998. Water quality and distribution uniformity in drip trickle irrigation systems. *Eng. Res.* 70: 355-365.
17. Cambardella, C.A., T.B. Moorman, J.M. Novak, T.B. Parkin, D.L. Karlen, R.F. Turco and A.E. Koropaka. 1994. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 58: 1501-1511.
18. Dehghani, M. F. and Z. Zamanian. 2010. Assessment of the potential of scale formation and corrosivity of tap water resources and the network distribution system in Shiraz, south of Iran. *Pakistan J. Biol. Sci.* 13(2):88-92.
19. ESRI, Inc. 2008. ArcGIS TM. Version 9.3. www.esri.com.
20. Hengel, T. G., B. M. Huvelink and A. Stein. 2004. A generic framework for spatial prediction of soil variables based on regression-kriging. *Geoderma* 120:75-93.
21. Mirzaei, F., H. A. Alizadeh and A. Taheri-Grarand. 2011. Study of water quality in different stations of Karkheh River based on Langelier and Ryznar indices for determining potential clogging of droppers. *Res. J. Appl. Sci. Eng. Technol.* 3(1): 66-76.
22. Nakayama, F.S. and D.A. Bucks. 1979. Water quality for drip trickle irrigation. *Irrig. Sci.* 12:187-192.
23. Pannatier, Y. 1998. *Variowin: Software for Ddata Analysis in 2D*. Version 2.21. Springer Verlag. 93 pages.
24. Rafferty, K. 2000. Scaling in geothermal heat pump systems. *Geo-Heat Center Bulletin*. Oregon Institute of Technology, Klamath Falls, OR. PP: 11-15.
25. Ravikumar, P. and R.K. Somashekar. 2012. Assessment and modeling of groundwater quality data and evaluation of their corrosiveness and scaling potential using environmetric methods in Bangalore south Taluk, Karnataka State, India. *Water Resour.* 39(4): 446-473.
26. StatSoft Inc. 2008. *STATISTICA (Data Analysis Software System)*. Version 8. www.statsoft.com.
27. Taghizade Mehrjardi, R., M. Zareian, SH. Mahmoudi and A. Heidari. 2008. Spatial distribution of groundwater quality with geostatistics (case study: Yazd-Ardakan plain). *World Appl. Sci. J.* 4(1): 9-17.
28. Taghipour, H., M. Shakerkhatibi, M. Pourakbar and M. Belvasi. 2012. Corrosion and scaling potential in drinking water distribution system of Tabriz, northwestern Iran. *Health Promotion Perspectives* 2(1):103-111.
29. US EPA. 1991. *GeoEas 1.2.1; Geostatistical environmental assessment software. User's guide*, 186 pages.