

ارزیابی کیفی و تهیه نقشه‌های پتانسیل خوردگی و رسوب گذاری آب زیرزمینی مرودشت

افشین هنربخش، محمدمهدی سوری و یاسر استواری

دوره ۴، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۷، صفحات ۲۲۹ - ۲۴۰

Vol. 4(3), Autumn 2018, 229 - 240

DOI: 10.22034/jewe.2018.116506.1230

**Qualitative Assessment and Mapping of
Corrosion and Sedimentation Potential of
Marvdasht Groundwater**

Honarbakhsh A., Souri M.M. and Ostavari Y.



www.jewe.ir

OPEN ACCESS

ارجاع به این مقاله: هنربخش ا.، سوری م. م.، و استواری. ی. (۱۳۹۷). ارزیابی کیفی و تهیه نقشه‌های پتانسیل خوردگی و رسوب گذاری آب زیرزمینی مرودشت. مجله محیط زیست و مهندسی آب، دوره ۴، شماره ۳، صفحات: ۲۲۹ - ۲۴۰.

Citing this paper: Ostovari Y., Honarbakhsh A. and Souri M.M. (2018). Qualitative assessment and mapping of corrosion and sedimentation potential of Marvdasht groundwater. J. Environ. Water Eng., 4(3), 229 - 240. DOI: 10.22034/jewe.2018.116506.1230

ارزیابی کیفی و تهیه نقشه‌های پتانسیل خوردگی و رسوب‌گذاری آب زیرزمینی مرودشت افشین هنربخش^{۱*}، محمد مهدی سوری^۲ و یاسر استواری^۳

^۱ دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

^۲ مربی گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی جیرفت، جیرفت، ایران

^۳ پژوهشگر پسادکتر، بخش علوم خاک، دانشگاه فنی مونیخ، فرایزینگ، آلمان

*نویسنده مسئول: afshin.honarbaksh@gmail.com

مقاله اصلی

تاریخ دریافت: [۱۳۹۶/۱۱/۰۵]

تاریخ بازنگری: [۱۳۹۷/۰۲/۲۱]

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۷/۰۷/۱۸]

چکیده

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

واژه‌های کلیدی: شاخص رایزنر؛ شاخص لانژلیر؛ کیفیت آب؛ کریجینگ

۱- مقدمه

یکی از اهداف مهندسی آب تأمین آب با ویژگی‌ها و معیارهای کیفی مناسب برای بخش‌های شرب، کشاورزی و صنعت است. تمامی آب‌ها کم و بیش دارای مقداری نمک به‌عنوان 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 (Badinejad et al. 2016; Hadi 2010). 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 (Ostovari 2011; Azari et al. 2016).

راهکارهای زیادی به‌منظور 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 به‌نحو مطلوب‌تری اثرات و خسارات ناشی از این دو پدیده را در صنعت تصفیه، انتقال و تحویل آب کاهش دهد (Zareibineh et al. 2010).

شاخص‌های مختلفی برای پیش‌بینی پتانسیل خوردگی و رسوب‌گذاری آب‌ها ارائه شده است. شاخص سیرشدگی لانژلیر (LSI¹) و شاخص پایداری رایزنر (RSI²) از پرکاربردترین این شاخص‌ها هستند. شاخص LSI برای پیش‌بینی تمایل آب به رسوب یا انحلال کلسیم کربنات، درجه‌ی سیرشدن آب با کلسیم کربنات را با استفاده از pH آب به‌عنوان یک متغیر اصلی نشان می‌دهد و مقدار آن از منفی تا مثبت در تغییر است (Rafferty 2000). شاخص RSI نیز بر مبنای سطح سیرشدگی می‌باشد و ارتباط بین حالت سیرشدگی کلسیم کربنات و تشکیل پوسته را به‌صورت کمی نشان می‌دهد.

¹ - Langelier Saturation Index

² - Ryznar Stability Index

مؤلفه‌های قابل‌استفاده در محاسبه LSI و RSI شامل درجه حرارت آب، pH، کل جامدات محلول (TDS)، سختی کل (TH) و قلیائیت کل (TA) می‌باشند.

از این دو شاخص در بررسی پتانسیل خوردگی و رسوب‌گذاری برخی از منابع آب‌های زیرزمینی مناطق مختلف کشور استفاده شده است. (Zareibineh et al. 2010) به بررسی پتانسیل خوردگی و رسوب‌گذاری آب‌های زیرزمینی دشت همدان- بهار پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که شاخص لانژلیر در ۶۴٪ نمونه‌ها و شاخص رایزنر در ۸۵٪ نمونه‌ها پتانسیل کم خوردگی و رسوب‌گذاری را دارا می‌باشد. در مجموع منابع آب زیرزمینی دشت همدان- بهار در محدوده کم تا متوسط رسوب‌گذاری و خوردگی قرار داشت. et al. (2010) Dehghani برای ارزیابی پتانسیل خوردگی و رسوب‌گذاری شبکه آبرسانی شیراز از شاخص لانژلیر استفاده کردند. آن‌ها از تعداد ۱۱۸ چاه و منبع آب سطحی در تابستان و پاییز ۲۰۰۷ نمونه‌برداری کردند. نتایج میانگین شاخص لانژلیر ۰/۴۱۷ به‌دست آمد که پتانسیل کم تا متوسط رسوب‌گذاری (در ۹۲/۴٪ نمونه‌ها) و پتانسیل کم خوردگی (در ۱/۳٪ نمونه‌ها) را نشان داد.

تعیین الگوی تغییرات مکانی و سپس پهنه‌بندی آبخوان می‌تواند در جابجایی صنایع، 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 زمین آمار است (Sánchez et al. 2017; Ostovari et al. 2001). 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 زمین آماری وجود همبستگی مکانی بین مقادیر یک متغیر در یک ناحیه را بررسی می‌نمایند (Sánchez et al. 2001).

(Mehrerjedi et al. 2008) با نمونه‌برداری از ۷۳ حلقه چاه در دشت اردکان یزد به وسعت 16000 km^2 به تحلیل مکانی TH، TDS، سولفات، کلرید، کلسیم و برخی شاخص‌های کیفی دیگر آب‌های زیرزمینی منطقه پرداختند. برای TDS

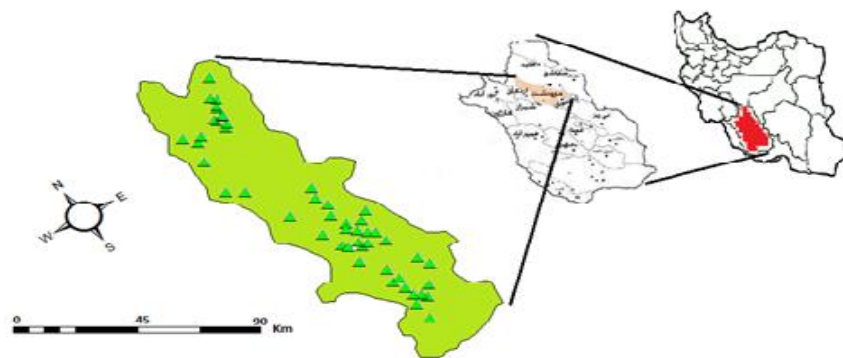
صحت بیشتری داشت و بنابراین از روش کوکریجینگ برای تخمین این پارامتر استفاده شد. دشت مرودشت از دشتهای مهم استان فارس و همچنین ایران از لحاظ کشاورزی و صنعتی است و با توجه به این که آب‌های زیرزمینی منبع عمده تأمین نیاز آب برای این مصارف شرب، کشاورزی و صنعت می‌باشد، بنابراین بررسی پتانسیل خوردگی و رسوب‌گذاری منابع این منطقه و تغییرات مکانی آن‌ها می‌تواند به مدیریت انتقال و ذخیره‌سازی منابع آب زیرزمینی این دشت کمک مؤثری کند. لذا هدف از این مطالعه (۱): محاسبه شاخص‌های لانتلیور و رایزنر و مؤلفه‌های آن‌ها؛ (۲) تعیین الگوهای تغییرات مکانی شاخص‌های لانتلیور و رایزنر و مؤلفه‌های آن‌ها؛ (۳) تهیه نقشه‌های هم مقدار شاخص‌های RSI و LSI و نیز مؤلفه‌های آن‌ها؛ و (۴) ارزیابی تناسب روش کریجینگ برای پهنه‌بندی شاخص‌های RSI و LSI در دشت مرودشت بود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- معرفی منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی مرودشت با مساحت 3941 Km^2 در مرکز استان فارس بین طول‌های جغرافیایی $15' 52^\circ$ تا $27' 53^\circ$ شرقی و عرض‌های $19' 29^\circ$ تا $25' 30^\circ$ شمالی در حوضه آبریز بختگان قرار دارد. موقعیت جغرافیایی موقعیت محدوده مطالعاتی شمال غربی و جنوب شرقی است که از پنج دشت به نام‌های زیر تشکیل شده است: ۱- دشتک و درودزن، ۲- مائین - بیدکل، ۳- دشت بال و لانه طاووس، ۴- مرودشت و کربال، و ۵- خرامه (شکل ۱).

مدل واریوگرام کروی و برای TH مدل نمایی بهترین برازش را داشت. ارزیابی نتایج حاصله نشان داد که روش پهنه‌بندی کریجینگ بر دو روش وزن‌دهی معکوس فاصله و کوکریجینگ برتری دارد و با استفاده از این روش نقشه‌های ویژگی‌های کیفی آب ترسیم شد. (Ostovari et al. (2016) به بررسی تغییرات مکانی و پهنه‌بندی شاخص‌های لانتلیور و رایزنر و مؤلفه‌های مؤثر بر این دو شاخص در آبخوان لردگان پرداختند. 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 مؤلفه‌های آن‌ها استفاده گردید. نتایج نشان داد مدل کروی برای pH، TH، شاخص لانتلیور و رایزنر و مدل گوسی برای TDS و مدل نمایی برای TA بهترین برازش را داشت. دامنه تأثیر از ۳۲۲۸ تا ۵۹۶۱ m تغییر داشت. بین TH با TDS و TA همبستگی معنی‌دار مثبتی دیده شد. بر اساس شاخص لانتلیور ۴۲٪ منطقه دارای رسوب‌گذاری کم، ۴۲٪ رسوب‌گذاری متوسط و ۱۶٪ رسوب‌گذاری شدید داشت. بر اساس شاخص رایزنر ۷۶٪ منطقه خوردگی ضعیف، ۱۳٪ خوردگی کم، ۱۰٪ خوردگی متوسط و ۴٪ خوردگی زیاد دارد. (Hooshmand et al. (2011) در پژوهشی در بوکان آذربایجان غربی از روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ برای تخمین پارامترهای کلرید و SAR آب‌های 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



شکل ۱- موقعیت دشت مرودشت و چاه‌های نمونه‌برداری

Fig. 1 Location of Marvdasht Plain and sampling wells

۲-۳- محاسبات

TH و TA از رابطه‌های (۱) و (۲) محاسبه شدند:

$$\text{TH (CaCO}_3 \text{ mg/l)} = 50 \times (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) \quad (1)$$

$$\text{TA (CaCO}_3 \text{ mg/l)} = (\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}) \quad (2)$$

که در آن غلظت کلسیم، منیزیم، کربنات، و بی‌کربنات بر حسب meq/l است (Scoot 2000).

pH آب در حالت سیرشدگی از کلسیم کربنات (pHs) از رابطه‌ی (۳) محاسبه شد.

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

که در آن،

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

$$B = -13.12 \times \text{Log } (^\circ\text{C} + 273) + 34.55 \quad (5)$$

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

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

که در روابط (۴) تا (۷)، TDS = کل جامدات محلول بر حسب mg/l، TH = سختی کل بر حسب کلسیم کربنات معادل mg/l و TA = قلیابیت کل معادل کلسیم کربنات به mg/l است (Scoot 2000).

شاخص‌های LSI و RSI با استفاده از pH واقعی آب و pHs محاسبه شدند (روابط (۸) و (۹)):

$$\text{LLSI} = \text{pH} - \text{pHs} \quad (8)$$

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

اگر شاخص $\text{pH} > \text{pHs}$ باشد، $\text{LSI} > 0$ است. در این حالت آب از کلسیم کربنات اشباع بوده و رسوب‌گذار است. لیکن اگر $\text{LSI} < 0$ باشد، آب خورنده است. اگر شاخص رایزنر کمتر از ۶/۵ باشد آب تمایل به رسوب‌گذاری دارد و در صورتی که این شاخص از ۶/۵ بیشتر شود آب خورنده است (Rafferty 2000). جدول (۱) درجات مختلف خوردگی و رسوب‌گذاری را بر اساس مطالعات Carrier air conditioning company (1965) نشان می‌دهد.

با توجه به چین‌خوردگی‌های منطقه، دشت مرودشت در ناحیه چین‌های ساده زاگرس واقع شده است. در حاشیه‌های سد درودزن آهک‌های کرتاسه و در دامنه‌های آن مارن‌های پابده گورپی گسترش دارد. تشکیلات زمین‌شناسی در مرکز دشت آهک‌های سروک بوده و بسیار فشرده، سخت و صخره‌ساز می‌باشند. در اطراف دشت سازندهایی از جنس آهک و در قسمت جنوب غربی دشت مرودشت سازندهایی نظیر ساچون و سری هرمز وجود دارد. همچنین در قسمت شمالی وجود سازندهای کربناته گروه خامی و جهرم-آغاچاری وجود دارد (Anonymous, 2010).

۲-۲- نمونه‌برداری و تجزیه‌های آزمایشگاهی

در مجموع از داده‌های ۴۹ چاه در نگارش این مقاله بهره گرفته شد و از آنجایی که تغییرات زمانی 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 mm که قبلاً اسیدشویی و با آب مقطر شسته شده بودند، جمع‌آوری شدند. در زمان نمونه‌برداری هر بطری سه بار با آب 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 استاندارد APHA (1988) تجزیه و تحلیل شدند.

pH نمونه‌ها با دستگاه ISTEK (مدل PDC 915) و کل جامدات محلول (TDS) نمونه‌ها با تبخیر ml ۱۰۰ آب و توزین رسوبات مانده اندازه‌گیری شد. به‌منظور محاسبه شاخص لائزلیر 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 مرودشت (16°C) برای محاسبه شاخص LSI و RSI استفاده شد. نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کلموگرف-اسمیرنف و تجزیه و تحلیل‌های آماری کلاسیک در محیط STATISTICA 8.0 (شرکت StatSoft) انجام شد.

جدول ۱- درجات مختلف خوردگی و رسوب گذاری آب بر اساس پیشنهاد (1965) Carrier air conditioning company
Table 1 Various degrees of corrosion and deposition of water based on the offer of Carrier air conditioning company (1965)

مقدار شاخص LSI	رفتار آب	مقدار شاخص RSI	رفتار آب
0-0.5	رسوب گذاری کم	5-6	رسوب گذاری ضعیف
0.5-1.0	رسوب گذاری متوسط	6-7	رسوب گذاری و خوردگی کم
1-2	رسوب گذاری شدید	7-7.5	خوردگی متوسط
		>7.5	خوردگی زیاد

$$F(x, y) = \sum_{i=1}^n w_i \times f_i \quad (13)$$

که در آن: $F(x, y)$ مقدار غلظت تخمین زده شده در نقطه-ای با مختصات x و y ؛ n تعداد نقاط اندازه گیری شده؛ w_i وزن نسبت داده شده به هر نقطه i ؛ و f_i مقادیر شاخص در هر نقطه اندازه گیری i است. نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه تأثیر شاخصی از قدرت ساختار مکانی متغیرهاست. چنانچه این نسبت کمتر از ۰/۲۵ شود نشان دهنده 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 نشان دهنده 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. پهنه-بندی و ترسیم نقشه‌های توزیع مکانی هر شاخص و نیز همبستگی نقشه‌ها در محیط ArcMap 9.3 از شرکت (ESRI Inc 2008) انجام شد.

۳- یافته‌ها و بحث

جدول (۲) خلاصه آماری شاخص‌های LSI و RSI و مؤلفه-های مؤثر بر آن‌ها را در آبخوان دشت مرودشت نشان می‌دهد. مقدار pH در آبخوان دشت مرودشت تقریباً بازی بوده و از حداقل ۶/۹ تا حداکثر ۸/۰۰ تغییر می‌کند. قلیائیت آب سفره-ی زیرزمینی مرودشت 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 آبی سخت است و بر اساس میانگین در رده خیلی سخت قرار می‌گیرد (Scott 2000). مقدار LSI در ۹۴٪

۲-۴- روش کریجینگ

ابتدا سمی‌واریوگرام تجربی $\gamma(h)$ محاسبه گردید (رابطه ۱۰):

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

که در آن N : تعداد جفت مشاهدات، $Z(x_i)$ و $Z(x_i+h)$ مقدار 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 مطابق رابطه‌های (۱۱) و (۱۲) محاسبه شد:

$$ME = \sum_{j=1}^n \frac{X(p)_j - X(m)_j}{n} \quad (11)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (X(p)_j - X(m)_j)^2}{n}} \quad (12)$$

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. پس از تعیین مدل واریوگرام، از آن برای محاسبه وزن در روش کریجینگ استفاده می‌شود. معادله اساسی کریجینگ به شکل رابطه (۱۳) است (Scott 2000):

مقدار شاخص LSI بین ۰/۵ تا ۱ و در ۳۰٪ از نمونه‌ها مقدار شاخص LSI بین ۱ تا ۲ بود که به ترتیب، حاکی از تمایل - رسوب‌گذاری متوسط و رسوب‌گذاری شدید این نمونه‌ها است.

نمونه‌ها مثبت بوده که نشان‌دهنده تمایل به رسوب‌گذاری آب زیرزمینی مرودشت بر اساس شاخص لانزلیر است. در ۳۲٪ نمونه‌های آب شاخص LSI بین ۰ تا ۰/۵ بود که تمایل به پتانسیل رسوب‌گذاری کم را نشان می‌دهد. در ۳۸٪ از نمونه‌ها

جدول ۲- خلاصه آماری شاخص‌های LSI و RSI و مؤلفه‌های مؤثر بر آن‌ها را در آبخوان دشت مرودشت

Table 2 Statistical summary of LSI and RSI indices and their effective components in Marvdasht plain aquifer

پارامتر	میانگین	میانه	حداقل	حداکثر	دهک اول	دهک آخر	انحراف معیار	ضریب تغییرات	چولگی
pH	7.5	7.5	7	8	7	7.7	0.2	2.8	-0.2
TDS	2400	891	347	10270	391	8475	2823	117	1.51
TH	1123	393	199	5470	240	4000	1364	121	1.74
TA	314	295	168	552	219	448	84	26	0.78
LSI	0.58	0.6	-0.06	1.2	0.13	0.99	0.31	54.2	-0.26
RSI	6.3	6.4	5.2	7.5	5.3	7.2	0.7	10.5	-0.16

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

Table 3 Spearman correlation coefficient. Indicators of pH, TDS, TH, alkalinity, LSI and RSI of Marvdasht plain aquifer

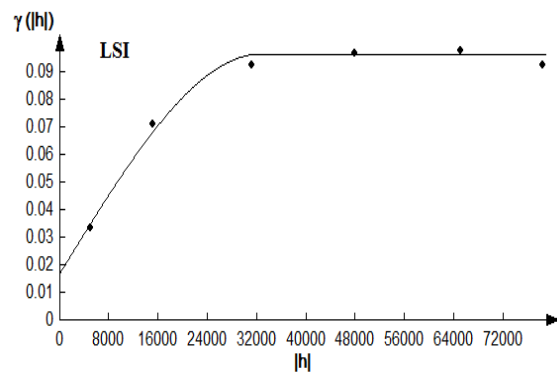
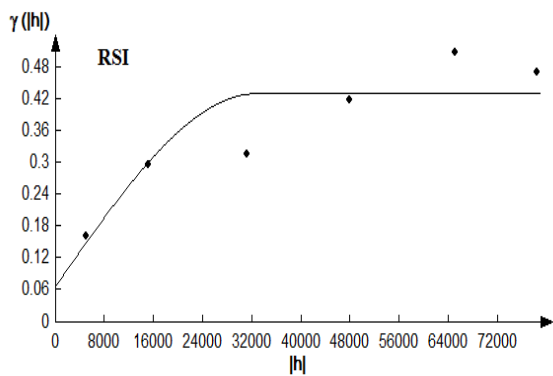
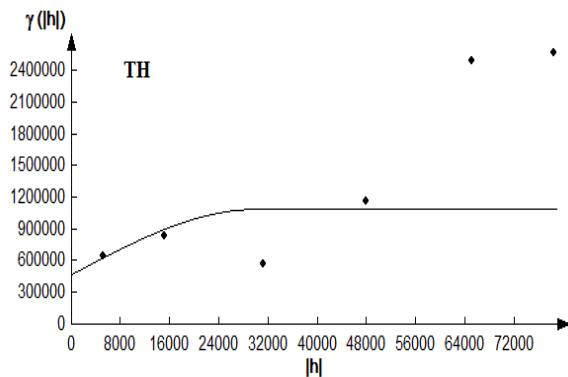
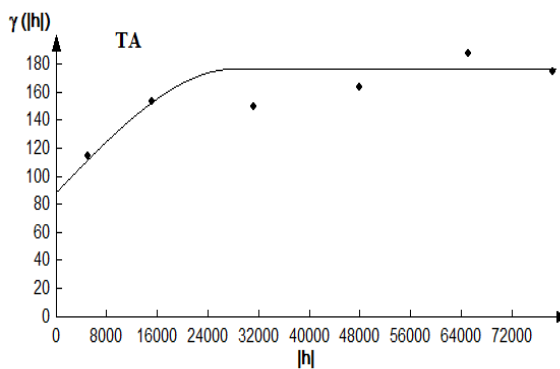
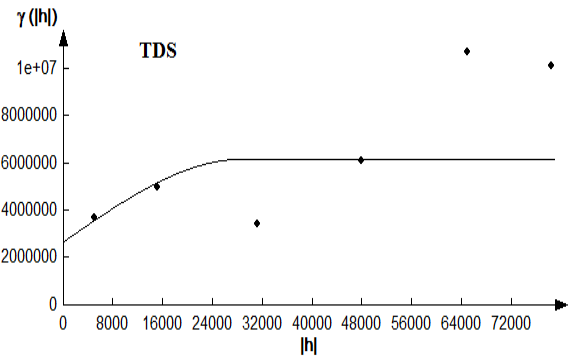
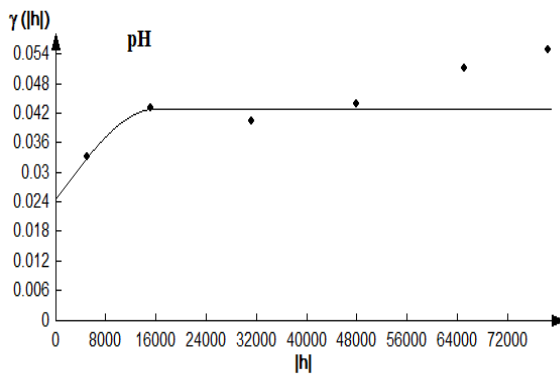
LSI	TA (mg/l)	TH (mg/l)	TDS (mg/l)	pH	
				-0.69*	TDS
			0.77*	-0.68*	TH
		-0.29*	-0.24	0.23	TA
	0.16	0.62*	0.64*	0.01	LSI
-0.85*	-0.08	-0.80*	-0.83*	0.32*	RSI

جدول (۳) ضریب همبستگی اسپیرمن شاخص‌های کیفی pH، TDS، TH، قلیائیت، LSI و RSI آبخوان دشت مرودشت را نشان می‌دهد. بین pH با TH و TDS هم‌بستگی منفی معنی‌دار و نسبتاً قوی‌تر وجود دارد ($p < 0.05$) و pH با قلیائیت همبستگی ندارد ($p > 0.05$) از طرف دیگر TA نیز با TH آن هم‌بستگی دارد. (Rafferty (2000) و Mehrjerdi et al. (2008) نیز همبستگی معنی‌دار TA و TH را گزارش کرده‌اند. (Ostovari et al. (2011) 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 معنی‌دار و با TDS و TH هم‌بستگی منفی معنی‌دار 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 این که سازندهای منطقه بیش‌تر کربناتی و آهکی هستند لذا TH تأثیر بیشتری بروی

میانگین مقدار شاخص پایداری رایزور ۶/۳ بوده که پتانسیل خوردگی متوسط آب آبخوان دشت مرودشت را نشان می‌دهد. مقدار شاخص رایزور در ۳۳٪ نمونه‌ها بین ۵ تا ۶ بوده بیانگر پتانسیل رسوب‌گذاری ضعیف این نمونه‌ها است. شاخص RSI در ۵۳٪ نمونه‌ها بین ۶ تا ۷ بوده که پتانسیل رسوب‌گذاری و خوردگی ناچیز این نمونه‌ها را نشان می‌دهد. شاخص RSI در ۱۴٪ از نمونه‌ها بین ۷ تا ۷/۵ بوده که پتانسیل خوردگی متوسط را نشان می‌دهد. بر اساس LSI حدود ۹۴٪ نمونه‌ها تمایل به رسوب‌گذاری و بر اساس RSI ۸۶٪ نمونه‌ها تمایل به خوردگی دارند. ضریب تغییرات عوامل مؤثر بر شاخص‌های پایداری LSI و RSI عموماً بیشتر از ۳۰٪ است که نشان‌دهنده‌ی عدم یکنواختی نسبی آن‌ها در آبخوان مرودشت است (Rezaei and Mir-Mohammad-meybodi (2006). ضریب تغییرات LSI بزرگتر از ضریب تغییرات RSI است. بنابراین شاید بتوان گفت که LSI شاخص حساس‌تری در مقایسه با RSI است.

گذاری بیشتری دارد.

کیفیت آب داشته و در پتانسیل خوردگی و رسوب گذاری اثر



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

Figure 2 Experimental variograms and theoretical model fitted to groundwater quality indices of Marvdasht plain

al. نیز از مدل کروی برای توصیف شاخص‌های pH و TH

آب استفاده کردند. در پژوهش Ostovari et al. (2011) نیز برای TDS, RSI, LSI و pH مدل کروی بهترین برازش را داشت. واریوگرام‌های شاخص‌های LSI و RSI شباهت زیادی به یکدیگر داشتند که احتمالاً ارتباط نزدیک این دو شاخص را به یکدیگر نشان می‌دهد.

۳-۱- 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 مرودشت را نشان می‌دهد. برای LSI, RSI و همه مؤلفه‌های آن‌ها مدل کروی بهترین برازش را داشت (شکل ۲). (Mehrjerdi et 2008)

جدول (۴) نتایج تجزیه و تحلیل زمین آماری شاخص‌های LSI و RSI و مؤلفه‌های آن‌ها در آبخوان دشت مرودشت را نشان می‌دهد. دامنه تأثیر از ۱۵۷۵۲ m برای pH تا ۳۲۷۱۱ m برای RSI در آبخوان دشت مرودشت متغییر است. دامنه تأثیر TA، TH و TDS تقریباً مشابه هم و نزدیک هستند که می‌تواند به دلیل هم‌بستگی آن‌ها باشد (جدول ۴، جدول ۳).

۳-۲- پهنه‌بندی LSI و RSI و مؤلفه‌های آن‌ها

شکل ۳ نقشه‌های پهنه‌بندی LSI و RSI و مؤلفه‌های آن‌ها با روش کریجینگ ساده را نشان می‌دهد. مؤلفه TA در قسمت جنوب غربی دشت مرودشت دارای حداکثر مقدار ۴۴۵ mg/l و در ناحیه شمال دشت دارای حداقل مقدار ۲۱۰ mg/l می‌باشد (شکل ۳). دلیل این افزایش در ناحیه جنوب غربی وجود سازندهایی نظیر ساچون که از لایه‌های ژیبسی، دولومیتی و گچی تشکیل شده است. همچنین سری هرمز شامل رسوبات گچی‌نمکی و نیز گنبد‌های نمکی قلعه گچی و سروس‌ستان می‌باشد. چنین بنظر می‌رسد این عوامل می‌تواند عامل اصلی نزول کیفیت آب و افزایش قلیائیت آب در ناحیه غرب و جنوب غربی باشد (Anonymous 2010).

جدول ۴- نتایج تجزیه و تحلیل زمین آماری شاخص‌های LSI و RSI و مؤلفه‌های آن‌ها در آبخوان دشت مرودشت را نشان می‌دهد. دامنه تأثیر از ۱۵۷۵۲ m برای pH تا ۳۲۷۱۱ m برای RSI در آبخوان دشت مرودشت متغییر است. دامنه تأثیر TA، TH و TDS تقریباً مشابه هم و نزدیک هستند که می‌تواند به دلیل هم‌بستگی آن‌ها باشد (جدول ۴، جدول ۳). مقدار نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه تأثیر برای شاخص لائیر 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 مؤلفه‌ها بین ۰/۲۵ تا ۰/۷۵ شد که هم‌بستگی متوسط مکانی در دامنه تأثیر را نشان می‌دهد. مقدار ME برای تمامی مؤلفه‌ها مقداری مثبت شد که نشان دهنده بیش برآوردی تخمین می‌باشد. مقدار RMSE برای مؤلفه‌ها

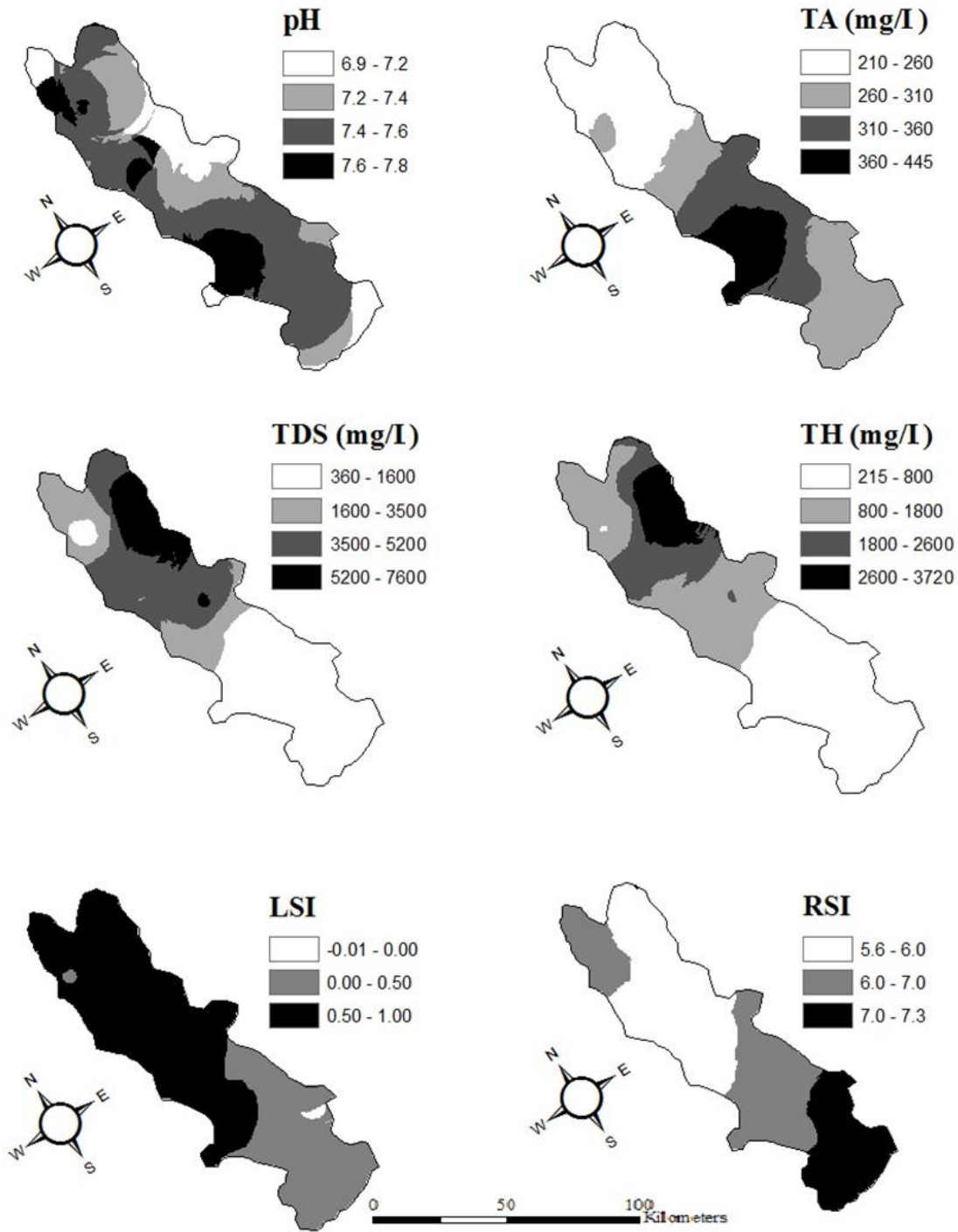
جدول ۴- نتایج تجزیه و تحلیل زمین آماری شاخص‌های LSI و RSI و مؤلفه‌های آن‌ها در آبخوان مرودشت

Table 4 Geostatistical analysis results of LSI and RSI and their components in Marvdasht basin

RMSE	ME	$\frac{C_0}{C_0+C}$	اثر قطعه‌ای (C ₀)	آستانه تأثیر (C ₀ +C)	دامنه تأثیر	مدل	پارامتر
1.1	0.108	0.5	89.3	177	28134	کروی	TA
417.1	1.7	0.57	0.024	0.04	15752	کروی	PH
1943	1.1	0.4	2360000	5868000	28698	کروی	TDS
944	25.7	0.43	475000	1094653	29906	کروی	TH
0.9	0.02	0.17	0.017	0.09	32632	کروی	LSI
517690	0.02	0.65	0.068	0.10	32711	کروی	RSI

می‌تواند از دلایل افزایش مقدار TH در بخش شمالی دشت باشد. مؤلفه TDS یک روند مشابه به مؤلفه TH را دنبال می‌کند که می‌تواند به دلیل تأثیر سازندهای کربناتی 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).

بر اساس نقشه TH مقدار این مؤلفه از قسمت جنوب (mg/l) ۲۱۵) به سمت شمال دشت (۳۷۲۰ mg/l) در حال افزایش است (شکل ۳). مؤلفه 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



شکل ۳- نقشه‌های پهنه‌بندی LSI و RSI و مؤلفه‌های آن‌ها با روش کریجینگ ساده

Fig. 3 LSI and RSI mapping maps and their components by simple Kriging method

et al. نیز یک روند مشابهی بین TH و TDS با شاخص LSI مشاهده شد. دامنه LSI از ۰/۰۱- به صورت ناچیز در قسمت جنوب شرقی تا ۱ در قسمت‌های شمالی متغیر است

نقشه شاخص LSI یک روند مشابهی با نقشه‌های TH و TDS دارد که می‌تواند هم‌بستگی این دو مؤلفه را با شاخص LSI تأیید نماید (جدول ۳). در پژوهش Ostovari (2016)

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 (Km^2) مربوط به هر پهنه‌ی شاخص‌های LSI و RSI را نشان می‌دهد.

جدول ۵- درصد مساحت اشغال شده و مساحت (ha) مربوط به هر پهنه‌ی شاخص‌های RSI و LSI

Table 5 Percentage of occupied area and area (ha) for each zone of RSI and LSI

مقدار شاخص LSI	مساحت (%)	مساحت (Km^2)	شدت خوردگی و رسوب‌گذاری
0-0.5	47	1852	رسوب‌گذاری کم
0.5-1	52.9	2084	رسوب‌گذاری متوسط
1-2	0.1	4	رسوب‌گذاری شدید
مقدار شاخص RSI	مساحت (%)	مساحت (Km^2)	شدت خوردگی و رسوب‌گذاری
5-6	52	2049	خوردگی ضعیف
6-7	30	1182	خوردگی کم
7-7.5	18	709	خوردگی متوسط

(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

- ۱- مدل کروی بهترین برازش را برای شاخص‌های لانژلیر و رایزنر و مؤلفه‌های آن‌ها دارد. دامنه تأثیر از ۱۵۷۵۲ تا ۳۲۷۱۱ m برای مؤلفه‌ها متغیر بود.
- ۲- میانگین شاخص لانژلیر ۰/۵۸ بود که پتانسیل رسوب‌گذاری کم تا متوسط را نشان داد. نتایج نشان داد که آب زیرزمینی دشت مرودشت از نظر شاخص لانژلیر دارای پتانسیل رسوب‌گذاری کم تا متوسط و از نظر شاخص رایزنر عمدتاً دارای پتانسیل خوردگی ضعیف تا متوسط می‌باشد.
- ۳- آب زیرزمینی مرودشت وضعیت متوسطی از نظر پتانسیل‌های خوردگی و رسوب‌گذاری دارد. با در نظر داشتن پتانسیل خوردگی در این منطقه بهتر است تا حد امکان از لوله پلی اتیلن برای انتقال آب استفاده گردد.

بر اساس شاخص LSI دشت مرودشت به سه ناحیه تقسیم گردید. قسمت شمالی دشت دارای پتانسیل رسوب‌گذاری کم است که پهنه‌ای با مساحت $1852 km^2$ (۴۷٪ دشت) و بیشترین قسمت دشت را شامل می‌شود. قسمت مرکزی به سمت جنوب دشت دارای پتانسیل رسوب‌گذاری متوسط است که $2084 km^2$ (۵۲/۹٪ دشت) را در بر می‌گیرد (جدول ۵). بر اساس شاخص رایزنر بیشترین مساحت دشت مربوط به پهنه با خوردگی ضعیف به مساحت $2049 km^2$ (۵۲٪ دشت) می‌باشد. پهنه‌ای با پتانسیل خوردگی کم $1182 km^2$ (۳۰٪ دشت) و پهنه‌ای با پتانسیل خوردگی متوسط $709 km^2$ (۱۸٪) دشت مرودشت را شامل می‌شود.

۴- نتیجه گیری

از یافته‌های این پژوهش می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که:

References

- Anonymous. (2010). Update on selection of selected selected water resources in 46 study areas of Fars province, Marvdasht study area. Fars Regional Water Organization.
- APHA. (1998). Standard methods for examination of water and waste water 20th edition American Public Health Association, Washington, DC.
- Azari A. S., Nazemi S. and Kakavandi B. (2016). Investigating the corrosion and sedimentation capacity of drinking water resources of shahroud city using sustainability indicators in 2013. J. Sabzevar Uni. Med. Sci., 22(6), 944-954.
- Badinejad A., Heydari M. and Faradkiah M. (2016). Investigating corrosion potential and sedimentation of drinking water distribution network in the south of Shiraz City. J. Rahed Health, 1(1), 51-61.
- 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 J. Bio. Sci., 13(2), 88-92.
- Hadi M. (2010). Preparation of software for calculation of eight important water corrosion indexes. Twelfth National Conference on Environmental Health. Shahid Beheshti Uni. Med. Sci., Iran.
- Hooshmand A. Delghandi A. and Ails A. (2011). Application of kriging and cokriging in spatial estimation of groundwater quality parameters. African J. Agri. Res., 6(14), 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 Appl. Sci. J., 4(1), 9-17.
- Ostovari Y. (2011). Assessment of the quality of aquifers in the Lordegan region and the impact of geological formations on them. Master of Science in Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahrekord University.
- Ostovari Y., Beigi H. and Davoudian A. (1394). Geochemical processing of land degradation and corrosive potential of Lordegan Plain. J. Environ. Sci. Technol., 17(2), 45-61 [In Persian].
- Ostovari Y., Beigi H. and Davoudian A. (2017). Evaluation of groundwater quality index (GWQI) and its land-use analysis in Lordegan Plain Aquifer. J. Environ. Sci. Technol. 9(5), 227-238.
- 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.
- Rezaei A. S. and Mir-Mohammad-meybodi A. S. (2006). Statistics and probabilities (application in agriculture). Jihad University of Isfahan Industrial Division. First edition, 586 pages.
- Sánchez-Martos F., Jiméñez-Espinosa R. and Pulido-Bosch A. (2001). Mapping groundwater quality variables using PCA and geostatistics: a case study of Bajo Andarax, southeastern Spain. Hydrol. Sci. J., 46(2), 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, 1-10.
- Zareibineh H., Abdul-Salahi A. and Kazemi A. (2010). Study of corrosion and sedimentation of groundwater of Hamadan plain – spring. Environ. Sci. Technol., 12(2), 89-101.

Qualitative Assessment and Mapping of Corrosion and Sedimentation Potential of Marvdasht Groundwater

Afshin Honarbakhsh^{1*}, Mohammad Mehdi Souri² and Yaser Ostovari³

¹Associate Professor, Department of Irrigation, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Shahrekord, Shahrekord, Iran

²Lecturer, Department of Environmental Health, Faculty of Health, Jiroft University of Medical Sciences, Jiroft, Iran

³Postdoctoral Researcher, Department of Soil Science, Technical University of Munich, Freising, Germany

*Corresponding author: afshin.honarbaksh@gmail.com

Original Paper

Received: December 22, 2017

Revised: May 17, 2018

Accepted: May 29, 2018

Abstract

Determination of corrosion and scaling potential is one of the most important quality aspects of groundwater resources in different uses. Therefore, the aim of this research work was to determine the corrosion and scaling potential of Marvdasht Plain groundwater using Langelier saturation and Ryznar stability indices and their mapping through GIS. For this purpose, 49 agricultural wells were sampled for five years and total hardness (TH), total dissolved solids (TDS), total alkalinity (TA) and pH were measured. The ordinary kriging geostatistical method was applied for mapping the Langelier saturation and Ryznar stability indices and their components. The results showed that the spherical model was most fitted for these indices. The effective domain varied from 15752 to 32711 m for the components and the spatial correlation class changed from good to fair. The mean Langelier index was 0.58 showing low to fair scaling potential. The mean Ryznar index was 6.2 indicating low corrosion potential of Marvdasht Plain Aquifer. Based on the zoning maps, the northern parts of the area showed the highest TH and TDS components followed by Langelier index, showing fair scaling potential. In this part, the effect of carbonate formations was evaluated as the probable contributor of the increasing the Langelier index. In general, the Marvdasht groundwater has fair quality in terms of corrosion and scaling potential.

Ke

Keywords: Ryznar Index; Langelier Index; Water Quality; Kriging