علوم و تکنولوژی محیط زیست ، دوره هفدهم، شماره دو، تابستان۹٤

پردازش زمین‌آماری پتانسیل رسوب‌گذاری و خورندگی آب زیرزمینی دشت لردگان

یاسر استواری [1]*

Yaser.ostovary@gmail.com

حبیب‌الله بیگی‌هرچگانی [2]

علیرضا داودیان [3]

تاریخ دریافت: ۹۰/۲/۲۱ **تاریخ پذیرش: ۹۰/۸/۲۲**

چکیده

زمینه و هدف: یکی از جنبه‌های مهم کیفیت آب، پتانسیل خورندگی و رسوب‌گذاری آن است. رخداد یکی از این دو پدیده می‌تواند هزینه‌های نگهداری سامانه‌های ذخیره، انتقال و توزیع آب آشامیدنی، کشاورزی و صنعتی را افزایش، عمر آن‌ها کاهش و نیزبر جنبه‌های بهداشتی و زیباشناختی آب موثر باشد.

روش بررسی: هدف اصلی از انجام این تحقیق، ارزیابی پتانسیل رسوب‌گذاری و خورندگی آب زیرزمینی دشت لردگان و تهیه نقشه‌های شاخص‌های خورندگی و رسوب‌گذاری بود. برای این منظور از داده‌های ۳۲ حلقه چاه، ۵ قنات و ۵ چشمه واقع در دشت لردگان برای محاسبه دو شاخص لانژلیه و رایزنر استفاده شد. از روش کریجینگ برای تهیه نقشه‌های شاخص‌های پایداری استفاده شد.

بحث و نتایج: بر اساس شاخص لانژلیه ۹۳ درصد نمونه‌ها پتانسیل رسوب‌گذاری کم تا متوسط و تنها ۷ درصد نمونه‌ها پتانسیل رسوب-گذاری شدید دارند. بر اساس شاخص رایزنر۶ درصد نمونه‌ها دارای پتانسیل خورندگی کم تا متوسط و ۳۸ درصد نمونه‌ها پتانسیل خورندگی شدید دارند. به طور کلی، به دلیل حضور سازندهای کربناتی پتانسیل رسوب‌گذاری آب زیرزمینی این دشت بر پتانسیل خورندگی آن غلبه دارد. بر اساس شاخص لانژلیه ۷۶ درصد آبخوان دشت لردگان (۴۵۰۰ هکتار) دارای پتانسیل رسوب‌گذاری کم و بر اساس شاخص رایزنر ۸۴ درصد از آبخوان دشت لردگان (۵۰۴۰ هکتار) پتانسیل خورندگی کم تا متوسط داشت. با توجه به این‌که بیشترین مساحت آبخوان دشت لردگان دارای پتانسیل رسوب‌گذاری کم است، لذا به نظر می‌رسد مشکل رسوب‌گذاری در مجاری و مخازن انتقال آب و سیستم‌های آبیاری قطره‌ای قابل ملاحظه نخواهد بود. این نتایج فقط برای درجه حرارت‌های معمولی آب صادق است.

کلمات کلیدی: شاخص لانژلیه، شاخص رایزنر، کریجینگ، پهنه‌بندی

۱- دانشجوی دکتری، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد*(مسئول مکاتبات).

۲- استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

۳- دانشیار دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد

Archive of SID

www.SID.ir

مقدمه

آب می‌تواند باعث خورندگی خطوط انتقال، توزیع و نیز ایجاد لایه‌های ضخیم رسوبی بر روی سطوح و دیواره‌های تاسیسات و مجاری انتقال آب شود (۱). خورندگی 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 و نمک‌های خود را به صورت لایه‌ای بر سطوح و مجاری انتقال رسوب می‌دهد (۳).

مسیرهای انتقال آب نقطه مشترک بسیاری از بخش‌های مصرف کننده آب در شرب و بهداشت، صنایع و کشاورزی محسوب می‌شود. خوردگی و رسوب گذاری دو مشکل عمده تمامی مسیرهای انتقال است. تحلیل مجاری انتقال و ذخیره آب در اثر خورندگی و یا در اثر رسوب‌گذاری سالانه هزینه‌های بسیار زیادی را جهت تعمیر، جایگزینی و حفظ سیستم توزیع آب تحمیل می‌کند. رسوبگذاری می‌تواند سبب مسدود شدن لوله‌ها، کاهش سطح مقطع جریان و افت و در نتیجه کاهش دبی گردد (۲). خورندگی نیز می‌تواند باعث افت و کاهش دبی و در شرایط پیشرفته باعث سوراخ شدن لوله ها 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).

رسوب‌گذاری در سامانه‌های آبی که گرم می‌شوند، مثلاً در مبدل‌های حرارتی، گرمکن‌ها و سامانه‌های نمک‌زدایی می‌تواند هزینه‌ها را به شدت افزایش دهد (۵). در درجه حرارت‌های کم هم ممکن است کربنات کلسیم و منیزیم نیز رسوب کند، مثلاً این اتفاق در قطره چکان‌های در آبیاری قطره-ای رخ می‌دهد. در مراحل اولیه رسوب‌زدایی جداره‌ها و لوله با صرف هزینه امکان‌پذیر است ولی در نهایت ممکن است سرمایه‌گذار مجبور به تعویض مجاری و مخازن شود (۲).

خورندگی می‌تواند یکی از مشکلات پر هزینه تولید آب آشامیدنی باشد. خورندگی می‌تواند بر روی سلامتی عمومی، پذیرش عمومی یک منبع آب و هزینه‌های تأمین آب آشامیدنی اثر بگذارد (۴). پژوهش‌ها نشان می‌دهند که محصولات خوردگی آب سطوح لوله می‌تواند در شبکه‌های توزیع تجمع یافته یا ته‌نشین شوند و میکروارگانیسم‌ها را از اثر گندزداها محافظت نمایند و مشکلاتی از قبیل طعم و بوی بد و توده‌های زیستی ایجاد نماید (۳).

راهکارهای زیادی به منظور جلوگیری از پدیده‌های خورندگی و رسوبگذاری در تاسیسات ارایه شده است. با این وجود بهره‌گیری از روش‌های پیش‌بینی کننده، 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 (۱).

شاخص‌های مختلفی برای پیش‌بینی پتانسیل خورندگی و رسوبگذاری آب‌ها ارایه شده است. شاخص اشباع لانژلیه (LSI) و شاخص پایداری رایزنر (RSI) از پرکاربردترین این شاخص‌ها هستند. شاخص LSI که توسط لانژلیه در سال ۱۹۳۶ برای پیش‌بینی تمایل آب به رسوب یا انحلال کربنات کلسیم ارایه 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 (۳). شاخص پایداری رایزنر (RSI) نیز بر مبنای سطح اشباعیت می‌باشد و ارتباط بین حالت اشباع کربنات کلسیم و تشکیل پوسته را به صورت کمی نشان می‌دهد (۳). این شاخص تمایل به رسوب‌گذاری و خورندگی شدید را بهتر تخمین می‌زند (۳). مقدار این شاخص همیشه مثبت است و گفته می‌شود بین شاخص لانژلیه و شاخص رایزنر یک رابطه معکوس وجود دارد به صورتی که آبی که خاصیت رسوب‌گذاری داشته باشد دیگر تمایلی به خورندگی ندارد (۳).

هر دو شاخص LSI و RSI بر اساس پنج مولفه کیفی آب و با استفاده از چندین رابطه قابل محاسبه هستند.

Archive of SID

www.SID.ir

مولفه‌های قابل استفاد در محاسبه LSI و RSI شامل درجه حرارت آب، pH، جامدات محلول ، سختی کل و قلیاییت کل هستند.

کریم‌پور و همکاران (۱۳۸۶) در تابستان ۱۳۸۵ به تعیین وضعیت خورندگی شبکه توزیع آب آشامیدنی شهر ملایر پرداختند. برای این منظور در مدت سه ماه تعداد ۲۵ نمونه آب به طور تصادفی جمع‌آوری و pH، جامدات محلول، سختی کل، قلیائیت کل و اکسیژن محلول را در آن‌ها اندازه‌گیری شد. نتایج آن‌ها نشان داد که آب آشامیدنی این شهر دارای پتانسیل خورندگی بوده است (۶).

زارع‌ابیانه و همکاران (۸۹) به بررسی پتانسیل خورندگی و رسوب‌گذاری آب‌های زیرزمینی دشت همدان- بهار پرداختند. نتایج نشان داد شاخص لانژلیه در ۶۴ درصد نمونه‌ها و شاخص رایزنر در ۸۵ درصد نمونه‌ها پتانسیل کم خورندگی و رسوب‌گذاری را نشان می‌دهد. در مجموع منابع آب زیرزمینی دشت همدان – بهار در محدوده کم تا متوسط رسوب‌گذاری و خورندگی قرار داشت (۲).

دهقانی و همکاران (۲۰۱۰) برای ارزیابی پتانسیل خورندگی 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 خورندگی (در ۱/۳ درصد نمونه‌ها) را نشان داد (۷).

کاپرا و سایکولون (۱۹۹۸) اثر کیفیت آب را بریکنواختی توزیع آب در سیستم آبیاری قطره‌ای بررسی کردند. آن‌ها کیفیت آب آبیاری را آزمایش و ضریب پخش آب را در قطره‌چکان‌ها محاسبه کردند. در این تحقیق مهم‌ترین علّت کاهش دبی آب در قطره‌چکان‌ها به هدایت الکتریکی، جامدات محلول و معلق، آهن، کلسیم، منیزیم، منگنز و پتانسیل بالای رسوب کربنات کلسیم ارتباط داده شد (۸).

تعیین الگوی تغییرات مکانی و سپس پهنه‌بندی آبخوان می‌تواند در جایابی صنایع، مدیریت جلوگیری از خورندگی 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 آماری می‌باشد (۹). 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. به طورکلی می‌توان گفت زمین آمار به بررسی آن دسته از متغیرهایی می پردازد که دارای ساختار مکانی هستند و یا به عبارتی بین مقادیر مختلف آن‌ها، فاصله و جهت قرار گرفتن آن‌ها یک ارتباط فضایی وجود دارد (۱۰).

تقی‌زاده‌مهجردی و همکاران (۲۰۰۸) با نمونه‌برداری از ۷۳ حلقه چاه در دشت اردکان یزد به وسعت ۱۶ هزار کیلومتر مربع به تحلیل مکانی سختی کل، کل جامدات محلول و برخی شاخص‌های کیفی دیگر آب زیرزمینی پرداختند. آن‌ها با استفاده از سه روش زمین‌آماری: وزن دهی معکوس فاصله، کریجینگ وکوکریجینگ پهنه‌بندی دشت اردکان را بر اساس این شاخص‌ها انجام دادند. برای کل جامدات محلول مدل واریوگرام کروی و برای سختی کل مدل نمایی بهترین برازش را داشت. ارزیابی نتایج حاصله نشان داد که روش پهنه‌بندی کریجینگ بر دو روش دیگر برتری داشته و با استفاده از این روش نقشه‌های خصوصیات کیفی آب ترسیم شد (۱۱).

شعبانی (۱۳۸۷) در مطالعه‌ای به تعیین مناسب ترین روش زمین‌آماری تهیه‌ی نقشه‌ی تغییرات pH و کل جامدات محلول آب‌های زیرزمینی دشت ارسنجان به وسعت ۱۰۱ کیلومتر مربع پرداخت. از تعداد ۸۳ چاه نمونه‌برداری صورت گرفت و مقدار pH و کل جامدات محلول در نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. از روش‌های زمین آماری کریجینگ، وزن‌دهی معکوس فاصله و تابع شعاعی استفاده شد. برای pH مدل واریوگرام کروی مقدار دامنه تأثیر ۱۷۱۰ متر و برای کل جامدات محلول مدل کروی دامنه‌ی تأثیر ۶۰۳۰ متر به دست آمد. با مقایسه‌ی روش‌های میان‌یابی نتیجه‌گیری شد که

Archive of SID

www.SID.ir

روش کریجینگ نسبت به سایر روش‌ها برتری داشته و نقشه‌های پهنه‌بندی pH و کل جامدات محلول با استفاده از این روش ترسیم شد. این مطالعه نشان می‌دهد (۷). اگرچه الگوی تغییرات مکانی مولفه‌های پتانسیل رسوب‌گذاری و خورندگی مانند سختی، کل جامدات حل شده و pH مطالعه شده است ولی از بررسی منابع چنین بر می‌آید که تاکنون کمتر به تجزیه و تحلیل الگوهای تغییرات مکانی و پهنه‌بندی شاخص‌های رسوب‌گذاری و خورندگی آب پرداخته شده است.

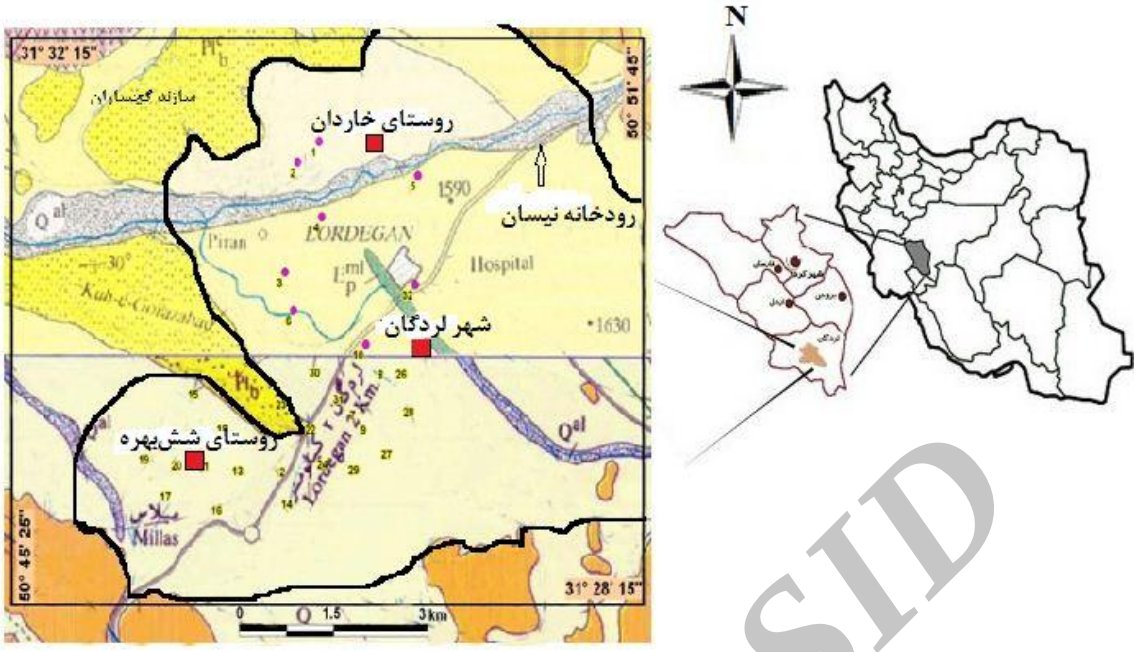
دشت لردگان یکی از دشت‌های مهم استان چهار محال و بختیاری محسوب می‌شود و آب زیرزمینی آن منبع اصلی تأمین آب شرب، برای فعالیت‌های کشاورزی و فعالیت‌های صنعتی محتمل در آینده است. از طرف دیگر با توجه به قرار داشتن دشت لردگان در اقلیم خشک و نیمه خشک و کمبود منابع آب در این منطقه، استفاده از سامانه‌های آبیاری قطره‌ای به منظور کاهش مصرف آب زراعی توصیه می‌شود. بنابراین تعیین پتانسیل خورندگی و رسوب‌گذاری آب زیرزمینی لردگان برای مدیریت پیش‌گیری رسوب‌گذاری و با خورندگی 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 شاخص‌های لانژلیه و رایزنر و مولفه‌های بر آن‌ها؛ (۲) تعیین الگوی‌های تغییرات مکانی شاخص‌های لانژلیه و رایزنر و مولفه‌های آن‌ها ؛ و (۳) تهیه نقشه‌های هم مقدار شاخص‌های LSI و RSI و نیز مولفه‌های آن‌ها؛ و (۴) ارزیابی تناسب روش کریجینگ برای پهنه‌بندی شاخص‌های LSI و RSI در دشت لردگان بود.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه‌مورد مطالعهدشت لردگان به مساحت ۶۰ کیلومتر مربع بین طول‌های جغرافیائی ۴۷˙، ۵۰˙ و ۱۰˙، ۵۱˙ شرقی و عرض‌های ۱۸˙، ۳۱˙ و ۳۷، ۳۱˙ قرار دارد. این منطقه از طرف شمال به زیر حوضه‌های اردل- ارمند و از جنوب و غرب به استان کهکیلویه و بویراحمد و حوضه آبریز رودخانه خرسان و از شرق به دشت خانمیرزا منتهی می‌گردد. میانگین دمای سالانه این منطقه ۱۵/۵درجه سانتی‌گراد و میانگین بارش سالانه ۵۶۰ میلی‌متر است که در منطقه نیمه گرمسیری قرار می‌گیرد. 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 (۱۳). منطقه لردگان برروی زون زاگرس چین خورده قرار دارد که از دشت خوزستان شروع و تا زاگرس مرتفع ادامه دارد. سازندهای زمین‌شناسی منطقه شامل آهک‌های فسیل دار و رسوبات آهکی- آهک مارنی تشکیلات آسماری در جنوب تشکیلات گچساران شامل آهک نازک لایه‌ای، آهک مارنی، ژیپس و میزان کمی نمک در شمال شرقی و شرق دشت لردگان و تشکیلات آغاجاری شامل: آهک‌های نازک لایه خاکستری روشن، آهک-های ماسه‌ی ضخیم لایه حاشیه دشت لردگان رخنمون دارد. در شمال آبخوان دشت لردگان سازند بختیاری شامل کنگلومرا همراه با ماسه‌سنگ رخنمون دارند (۱۳). شکل (۱) نقشه حوضه آبریز منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱- موقعیت و محدوده منطقه لردگان (سمت راست) و نقشه زمین‌شناسی دشت (سمت چپ)

نمونه‌برداری و تجزیه‌های آزمایشگاهی

۳۲ حلقه چاه واقع در دشت لردگان در سه فصل بهار (خرداد)، تابستان (دو بار در مرداد و شهریور) و پاییز (آبان) نمونه‌برداری شد. علاوه بر این از داده‌های مربوط به دو حلقه چاه دیگر، پنج چشمه و پنج قنات که در طی نه سال به وسیله سازمان آب منطقه‌ای استان چهار محال و بختیاری جمع‌اوری شده بودند نیز استفاده شد. در مجموع از داده‌های ۱۶۸ نمونه آب در نگارش این مقاله بهره گرفته شد و از آنجایی‌که تغییرات مکانی مد نظر نبود، از میانگین داده‌های مربوط به هر منبع استفاده شده است. موقعیت چاه‌ها، چشمه‌ها و قنات‌ها با GPS ثبت شد. نمونه‌های آب در بطری‌های ۲۵۰ میلی‌لیتری که قبلاً اسیدشویی 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(۱۹۸۸) تجزیه شدند. دمای آب در محل نمونه‌برداری با دما سنج اندازه‌گیری شد. pH نمونه‌ها با دستگاه istek مدل PDC ۹۱۵و کل جامدات محلول نمونه‌ها با تبخیر ۱۰۰ میلی‌لیتر آب و توزین مانده اندازه‌گیری شد. به منظور محاسبه شاخص لانژلیه غلظت‌های کلسیم (Ca^{2+})، منیزیم ($Mg2^{+}$)، کربنات (CO_3^{2-}) و بی-کربنات (HCO_3^{-}) به روش تیتراسیون اندازه‌گیری شدند (APHA,۱۹۸۸) ولی در این مقاله مقادیر آن‌ها ارایه نمی-شود. در این پژوهش از میانگین دمای آب سالانه دشت لردگان (۱۱/۵ درجه سانتی‌گراد) برای محاسبه شاخص LSI و RSI استفاده شده است.

سختی کل و قلیاییت کل از طریق رابطه‌های ۱ و ۲ محاسبه شدند:

رابطه (۱) $$TH\ (CaCO_3\ mg/L)= 50\times (Ca^{2+}+ Mg^{2+})$$

رابطه (۲) $$TA(CaCO_3\ mg/L)= (HC0_3^{-} + CO_3^{2-})$$

که در آن غلظت کلسیم، منیزیم،کربنات و بی‌کربنات به میلی اکی والان *بر لیتر* است.

pH آب در حالت اشباع از کربنات کلسیم (pHs) از رابطه‌ی زیر محاسبه شد:

رابطه (۳) $$pHs= [(9.3+A+B)-(C+D)]$$

Archive of SID

www.SID.ir

که در آن :

$A = (\text{Log [TDS]} - ۱) / ۱۰$

$B = -۳/۱۲ \times \text{Log } (^{o}C + ۲۷۳) + ۳۴/۵۵$

$C = \text{Log [TH]} - ۰/۴$

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

که در این روابط : کل جامدات محلول بـه میلـی‌گـرم بـر لیتـر، درجه حرارت به درجه سانتی گراد (^{O}C)، سختی کل بر حسب کربنات کلسیم معادل بر حسب میلی‌گرم برلیتر و قلیاییت کـل معادل کربنات کلسیم بر حسب میلی گرم بر لیتر است.

شاخص لانژلیر و شاخص رایزنر با استفاده از pH واقعی آب و pHs توسط روابط زیر محاسبه شدند :

رابطه (۴) $LSI=pH-pH$

رابطه (۵) $RSI = 2\ pHs - pH$

اگر شاخص pH>pHs باشد، LI >0 است در این حالت آب از کربنات کلسیم اشباع خواهد بـود و آب رسـوبگذار محسـوب می‌شود و بر عکس اگر LI< 0 باشد آب خورنده محسوب مـی-شود. اگر شاخص رایزنر کمتر از ۶/۵ باشد آب تمایل به رسوب-گذاری دارد و بر عکس اگر این شاخص از ۶/۵ بیشـتر شـود آب خورنده است (۳). جدول ۱ درجات مختلف خورندگی و رسوب-گذاری را بر اساس مطالعات کریر (۱۹۶۵) نشان می‌دهد.

جدول ۱- درجات مختلف خورندگی و رسوب‌گذاری آب بر اساس پیشنهاد کریر(۱۹۶۵) (۳)

مقدار شاخص LSI	رفتار آب		مقدار شاخص RSI	رفتار آب
۰ - ۰/۵	رسوب‌گذاری کم		۶ – ۵	رسوب‌گذاری ضعیف
۰/۵ – ۱	رسوب‌گذاری متوسط		۷ – ۶	رسوب‌گذاری و خورندگی ناچیز
۱ - ۲	رسوب‌گذاری شدید		۷/۵ -۷	خورندگی متوسط
			> ۷/۵	خورندگی زیاد

نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کلموگرف-اسمیرنف و تجزیه و تحلیل‌های آماری کلاسیک در محیط نرم افزار STISTICA ویرایش ۸ شرکت (StateSoft Inc, 2008) انجام شد.

برازش مدل واریوگرام و انتخاب مدل مناسب

پس از اطمینـان از نرمـال بـودن توزیـع داده‌هـا، در محیط variowin ویرایش ۲/۲۱ ، ابتـدا واریـوگرام تجربـی $\gamma(h)$ مولفه‌ها ترسیم گردید:

رابطه (۶) $$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2$$

که در آن N میانگین تعداد جفت مشاهدات، $Z(x_i)$ و $Z(x_i+h)$ مقدار مشاهدات متغیرها در نقطه‌های x_i و x_i+h است (۱۹). مشخصه‌های واریوگرام مشتمل بر دامنه تأثیر، آستانه تأثیر و اثر قطعه‌ای می‌باشد (۱۲). مدل‌های نظری واریوگرام نیز در محیط variowin ویرایش ۲/۲۱ به مشاهدات برازش داده شد و بهترین مدل برای هر شاخص انتخاب گردید. این مدل‌ها کروی، نمایی و گوسی بودند.

معادله‌ی مدل کروی به صورت زیر است (۲۰):

رابطه (۷) $$\gamma(h) = C_0 + C_1\left[(3h/2a) - (h^3/2a^3)\right] \quad (0 \le h \le a)$$

معادله‌ی مدل نمایی نیز به صورت زیر است (۲۰):

رابطه (۸) $$\gamma(h) = C_0 + C_1\left[1 - \exp(-3h/a)\right]$$

معادله‌ی مدل گوسی به صورت زیر است (۲۰):

رابطه (۹) $$\gamma(h) = C_0 + C_1\left[1 - \exp(-3h^2/a^2)\right]$$

که در h مقدار فاصله نقاط، $C_0 + C_1$ مقدار آستانه تأثیر، C_0 اثر قطعه‌ای و a مقدار دامنه تأثیر واریوگرام است (۲۰).

Archive of SID

www.SID.ir

برای ارزیابی مدل‌های واریوگرام انتخاب شده با استفاده از مدول x-valid نرم افزار GeoEas 1.2.1 دو معیار زیر محاسبه شد (۱۲):

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

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

که در این روابط 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 (۱۲).

معرفی روش میان‌یابی کریجینگ

روش کریجینگ بر اساس تعریف واریوگرام استوار و موفقیت روش کریجینگ به انتخاب مدل مناسب یا بهینه‌ی واریوگرام بستگی دارد (۹). پس از تعیین مدل واریوگرام، از آن برای محاسبه وزن در روش کریجینگ استفاده می‌شود. معادله اساسی کریجینگ به شکل زیر است:

رابطه (۱۰) $$F(x, y) = \sum_{i=1}^{n} w_i \times f_i$$

که در آن: $F(x, y)$ مقدار تخمین زده شده شاخص در نقطه‌ای با مختصات x و y؛ n تعداد نقاط اندازه‌گیری شده؛ w_i وزن نسبت داده شده به نقطه i ؛ و f_i مقادیر شاخص در نقطه اندازه‌گیری i است (۱۰). مقدار وزن از طریق مدل واریوگرام تأمین می‌شود.

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 نشان‌دهنده‌ی وابستگی مکانی ضعیف خواهد بود (۱۹ و ۲۱). وابستگی قوی مکانی به این معنی است که در دامنه تأثر می‌توان متغیر مورد نظر را به خوبی تخمین زد.

پهنه‌بندی و ترسیم نقشه‌های توزیع مکانی هر شاخص و نیز همبستگی نقشه‌ها در محیط ArcMap ویرایش ۹/۳ 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 لردگان نشان می‌دهد.

جدول ۲- خلاصه آماری شاخص‌های LSI و RSI، و عوامل موثر بر آن‌ها در آبخوان دشت لردگان (n=۱۶۸)

شاخص	واحد	میانگین	میانه	کمینه	بیشینه	دهک اول	دهک نهم	انحراف معیار	ضریب تغییرات (٪)
pH	—	۷/۶۰	۷/۵۰	۷/۴۰	۸/۰۰	۷/۴۴	۷/۸۵	۰/۱۶	۲/۲
TH	*mg/L*	۲۰۴	۱۷۹	۱۱۴	۳۸۲	۱۳۶	۳۴۹	۷۶	۳۷
TDS	*mg/L*	۳۹۰	۳۷۶	۲۷۱	۵۶۳	۳۱۳	۴۸۰	۶۸	۱۸
*TH	*mg/L*	۲۲۸	۲۱۶	۱۵۴	۳۷۹	۱۸۳	۲۹۵	۴۹	۲۲
LSI	—	۰/۴۵	۰/۳۲	۰/۱	۱/۴	۰/۲۱	۰/۹۰	۰/۳۱	۷۰
RSI	—	۷/۳	۷/۵	۵/۲	۷/۹	۶/۱۲	۷/۸۰	۰/۷	۱۰

* TH (سختی کل) و TA (قلیائیت کل) و TDS (کل جامدات محلول) است.

Archive of SID

www.SID.ir

مقدار pH در آبخوان دشت لردگان همیشه بازی بوده و از حداقل ۷/۴۰ تا حداکثر ۸/۰۰ تغییر می‌کند. قلیاییت آب سفره-ی زیرزمینی لردگان از متوسط تا خیلی زیاد متغیر است (۲۲) ولی با توجه به میانگین (میلی گرم بر لیتر ۲۰۴) آن آبی با قلیاییت زیاد است (۲۲). معمولاً قلیاییت و pH یک آب ارتباط نزدیک و مستقیم با یکدیگر دارند و آب‌هایی که pH بین ۷ تا ۸/۵ دارند معمولاً دارای قلیاییت متوسط تا زیاد هستند. با توجه به کمینه سختی کل آب لردگان آبی سخت است و گاهی هم در رده خیلی سخت قرار می‌گیرد (۲۲).

مقدار LSI در تمام نمونه‌ها مثبت بوده که نشان دهنده تمایل به رسوب‌گذاری آب زیرزمینی لردگان بر اساس شاخص لانژلیه است. در ۷۵/۶ درصد از نمونه‌های آب شاخص LSI بین ۰ تا ۰/۵ بود که تمایل به پتانسیل رسوب‌گذاری کم را نشان می‌دهد. در ۱۷ درصد از نمونه‌ها مقدار شاخص LSI بین ۰/۵ تا و در ۷/۴ 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.

میانگین مقدار شاخص پایداری رایزنر ۷/۳ بوده که پتانسیل خورندگی متوسط آب آبخوان دشت لردگان را نشان می‌دهد. مقدار شاخص رایزنر در ۷ درصد نمونه‌ها بین ۵ تا ۶ بوده بیانگر پتانسیل رسوب‌گذاری ضعیف این نمونه‌ها است. شاخص RSI در۱۷ درصد نمونه‌ها بین ۶ تا ۷ بوده که پتانسیل رسوب‌گذاری و خورندگی ناچیز این نمونه‌ها را نشان می‌دهد. شاخص RSI در ۳۸ درصد از نمونه‌ها بین ۷ تا ۷/۵ بوده که پتانسیل خورندگی متوسط و همچنین در ۳۸ درصد از نمونه‌ها بزرگتر از ۷/۵ بوده که پتانسیل خورندگی شدید این نمونه‌ها را نشان می‌دهد. بر اساس LSI حدود ۷۶ درصد نمونه-ها تمایل به رسوب‌گذاری و بر اساس RSI ۷۶ درصد نمونه‌ها تمایل به خورندگی دارند.

ضریب تغییرات عوامل موثر بر شاخص‌های پایداری LSI و RSI عموماً کمتر از ۳۰ درصد است که نشان دهنده‌ی یکنواختی نسبی آن‌ها در آبخوان لردگان است (۲۱). ضریب تغییرات LSI بزرگتر از ضریب تغییرات RSI و بزرگتر از ضریب تغییرات عوامل موثر بر این دو است. بنابراین شاید بتوان گفت که LSI شاخص حساس‌تری در مقایسه با RSI است. جدول ۳ ضریب همبستگی اسپیرمن شاخص‌های کیفی pH، کل جامدات محلول، سختی کل، قلیائیت،LSI و RSI آبخوان دشت لردگان را نشان می‌دهد.

جدول ۳- ضرایب همبستگی اسپیرمن pH، کل جامدات محلول، سختی کل، قلیاییت، LSI و RSI در آب زیرزمینی لردگان (n=۱۶۸)

	pH	TDS	TH	TA	LSI
TDS	۰/۱۲				
TH	*۰/۶۰	*۰/۶۳			
TA	*۰/۷۱	۰/۱۲	*۰/۶۸		
LSI	*۰/۸۰	۰/۱۴	*۰/۶۹	*۰/۸۶	
RSI	*-۰/۷۲	-۰/۱۶	*-۰/۷۱	*-۰/۹۲	-۰/۹۳

*معنی‌دار بودن ضریب همبستگی را نشان می‌دهد ($p< ۰/۰۵$) TH. (سختی کل) و TA (قلیائیت کل) بر حسب میلی گرم بر لیتر معادل کربنات کلسیم و TDS (کل جامدات محلول) است.

Archive of SID

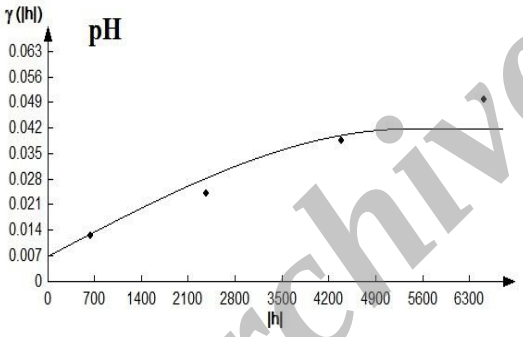
www.SID.ir

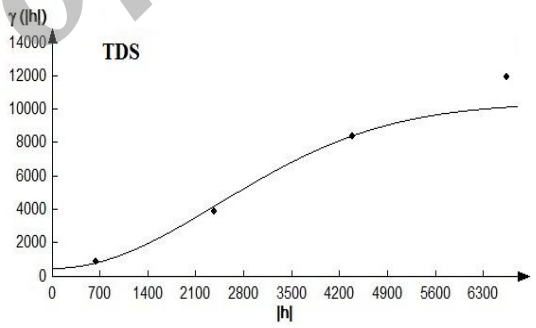
بین pH با سختی کل و قلیاییت کل همبستگی مثبت معنی‌دار و نسبتاً قوی‌تر وجود دارد و همبستگی pH با قلیاییت قوی‌تر از همبستگی آن با سختی کل است ($p< ۰/۰۵$) تشابه همبستگی مثبت معنی‌دار و نسبتاً قوی سختی کل با pH و کل جامدات محلول احتمالاً از آنجا ناشی می‌شود که دو یون Ca^{2+} و Mg^{2+} کاتیون‌های عمده تشکیل دهنده‌ی سختی و جامدات حل شده در آب زیرزمینی لردگان بوده و احتمالاً همین دو یون pH آب را نیز بازی و حدود ۷/۶۰ نگه می‌دارند (جدول۲). از طرف دیگر قلیاییت کل نیز با سختی و pH آن همبستگی دارد. رفرتی (۲۰۰۰) و تقی‌زاده مهجردی و همکاران (۲۰۰۸) نیز از همبستگی معنی‌دار قلیاییت کل و سختی کل را گزارش کرده‌اند.

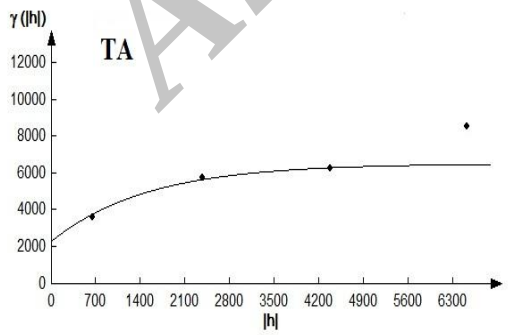
شاخص‌های پایداری LSI و RSI با شاخص‌هایی که بر اساس آن‌ها محاسبه شده‌اند (یعنی pH، کل جامدات محلول؛ سختی کل و قلیائیت کل) به ترتیب همبستگی مثبت و همبستگی منفی نشان می‌دهند که در این میان همبستگی این دو با کل جامدات محلول بسیار ضعیف و غیر معنی‌دار بوده ($p>۰/۰۵$) و بر عکس با قلیاییت کل بسیار قوی است ($p<۰/۰۵$) . بنابراین به نظر می‌رسد که دو شاخص LSI و RSI با تغییرات قلیاییت کل در تغییر است اگرچه تغییرات LSI با قلیاییت آب رابطه‌ی مستقیم و با تغییرات RSI با قلیائیت آب رابطه‌ی معکوس دارد (جدول۳). قلیائیت با شاخص RSI با همبستگی بشتری نسبت به شاخص LSI دارد ($p<۰/۰۵$) بنابرای می‌توان نتیجه گرفت که شاخص RSI با قلیاییت ارتباط بیشتری دارد.

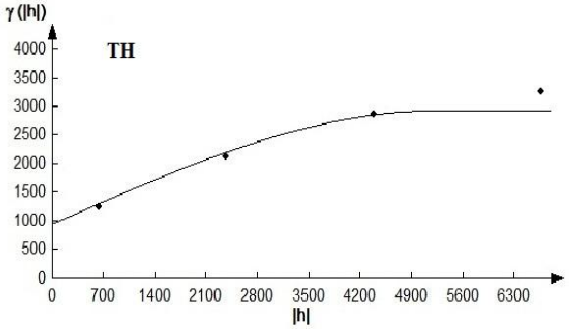
پردازش واریوگرام‌ها

همه شاخص‌ها طبق واریوگرام سطحی همسانگرد بودند. شکل ۲ واریوگرام‌های تجربی و مدل نظری برازش داده شده به شاخص‌های کیفی آب زیرزمینی دشت لردگان را نشان می‌دهد.



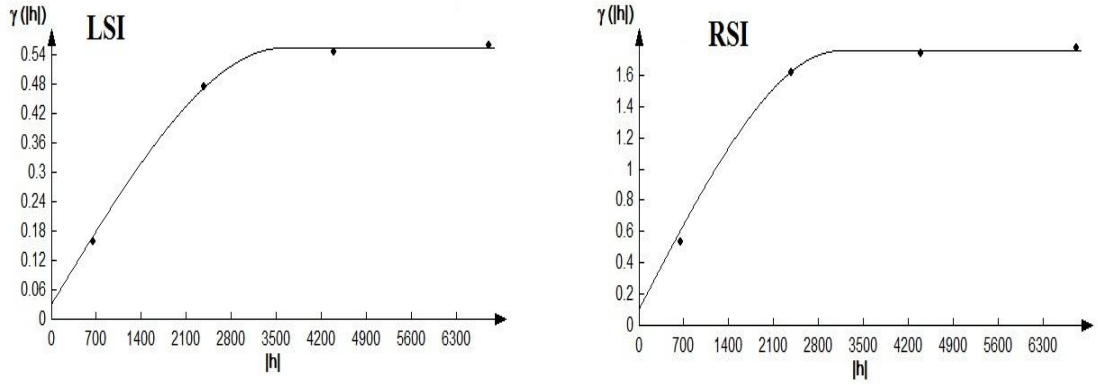






Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۲- واریوگرام تجربی و مدل برازش داده شده به شاخص‌های اندازه‌گیری و محاسبه شده در آبخوان دشت لردگان. TH (سختی کل) و TA (قلیائیت کل) وTDS (کل جامدات محلول) است.

برای pH، سختی کل، LSI و RSI مدل کروی بهترین برازش را داشت. مهجردی و همکاران (۲۰۰۷) و شعبانی (۱۳۸۷) نیز از مدل کروی برای توصیف شاخص‌های pH، و سختی کل آب استفاده کردند. کل جامدات محلول از مدل گوسی و قلیاییت از مدل نمایی پیروی کردند (شکل۲). واریوگرام‌های شاخص‌های LSI و RSI شباهت زیادی به یکدیگر داشتند که احتمالاً ارتباط نزدیک این دو شاخص را به یکدیگر نشان می‌دهد. جدول ۴ نتایج پردازش زمین آماری شاخص‌های LSI و RSI و مولفه‌های آن‌ها در آبخوان دشت لردگان را نشان می‌دهد.

جدول ۴ - نتایج تجزیه و تحلیل زمین آماری شاخص‌های LSI و RSI و مولفه‌های آن‌ها در آبخوان دشت لردگان

شاخص	مدل	دامنه تأثیر (متر)	آستانه تأثیر (C_0+C)	اثر قطعه‌ای (C_0)	$\frac{C_0}{C_0+C}$	کلاس همبستگی مکانی	*ME*	*RMSE*
pH	کروی	۵۴۱۲	۰/۰۴۲	۰/۰۰۷	۰/۱۶	قوی	-۰/۰۲۹	۰/۱۹۷
TDS	گوسی	۵۹۶۱	۱۰۴۱۷	۵۱۷	۰/۰۵	قوی	-۷/۱	۳۸/۵
TH	کروی	۵۲۱۲	۲۹۳۹	۹۵۶	۰/۳۲	متوسط	-۷/۸	۴۳/۵
TA	نمائی	۴۵۰۶	۶۵۶۷	۲۳۳۵	۰/۳۵	متوسط	-۱۰/۸	۷۷/۱
LSI	کروی	۳۶۰۴	۰/۵۶۲	۰/۰۳۲	۰/۰۶	قوی	-۰/۰۵	۰/۸۳۹
RSI	کروی	۳۲۲۸	۱/۷۶۹	۰/۱۰۹	۰/۰۷	قوی	-۰/۰۴	۱/۲۵

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

Archive of SID

www.SID.ir

مقدار دامنه‌ی تأثیر شاخص‌های اندازه‌گیری شده از ۴۵۰۰ متر (قلیاییت کل) تا ۵۹۶۱ متر (کل جامدات محلول) بود. دامنه‌ی تأثیر LSI و RSI از دامنه‌ی تأثیر مولفه‌های آن‌ها کوچکتر بوده و مشابه به نظر می‌رسد. مقدار نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه‌ی تأثیر برای pH و کل جامدات محلول کمتر از ۰/۲۵ به دست آمد که هم‌بستگی قوی مکانی قوی این را نشان می‌دهد (۲۱). در حالی‌که وابستگی مکانی دو مولفه‌ی دیگر (قلیاییت کل و سختی کل) متوسط بود. نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه تأثیر برای دو شاخص LSI و RSI مشابه و کم و کلاس وابستگی مکانی دو شاخص قوی بود. مقدار ME برای تمام شاخص‌ها منفی به دست آمد که کم برآوردی ناچیز مدل واریوگرام هر مولفه را نشان می‌دهد.

پهنه‌بندی شاخص‌های LSI و RSI و مولفه‌های آن‌ها

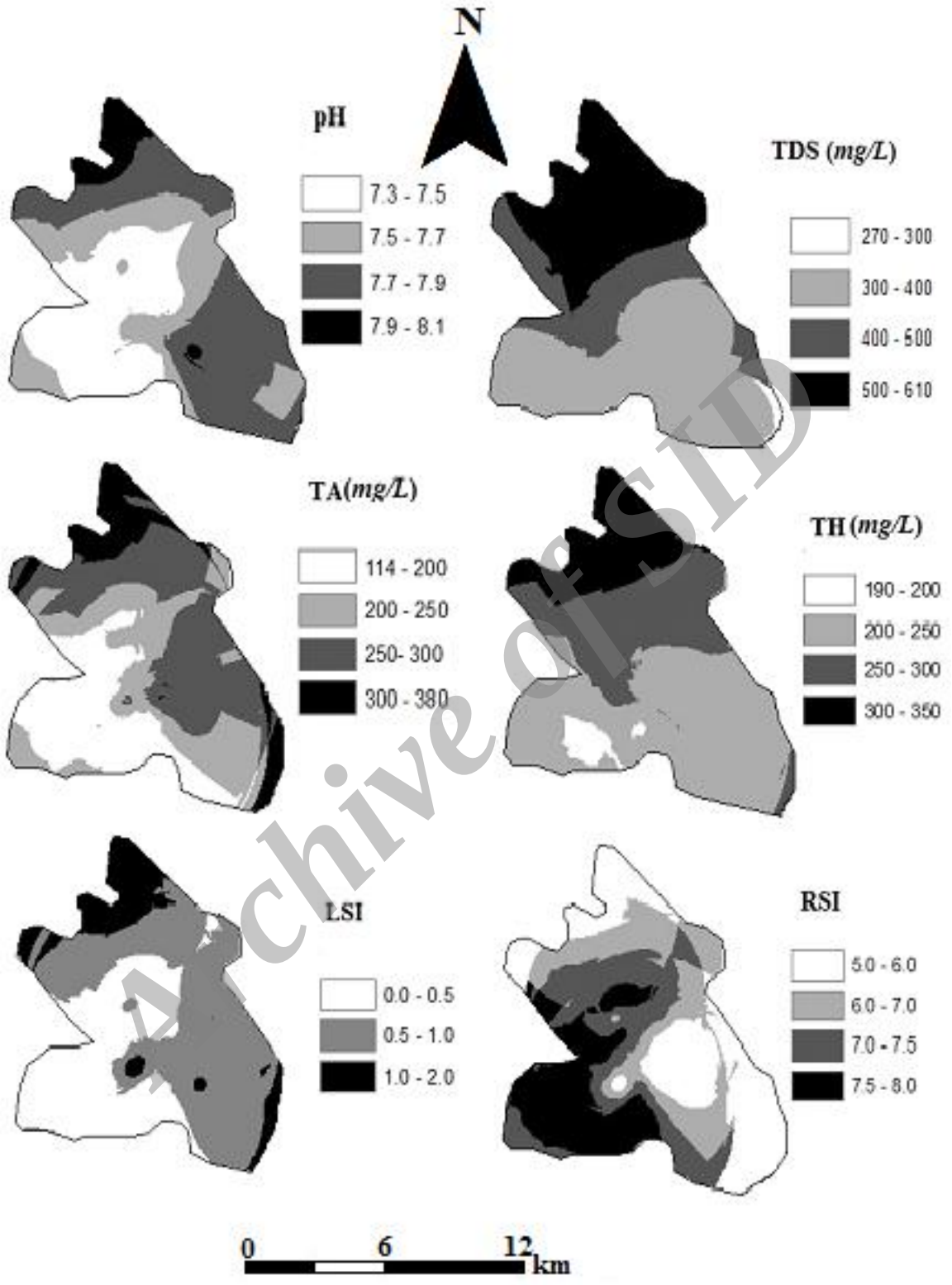
بر اساس مدل‌های واریوگرام بهینه و روش میان‌یابی کریجینگ نقشه‌های پهنه‌بندی شاخص‌های LSI و RSI و نیز مولفه‌های آن دو ترسیم شد. این نقشه‌ها در شکل ۳ نشان داده شده است. توزیع مکانی pH و قلیاییت آب زیرزمینی لردگان شبیه هم است (شکل۳). در قسمت شمال شرقی آبخوان pH و قلیاییت از سایر قسمت‌های آبخوان بیشتر و در ناحیه جنوب غربی pH و قلیائیت آب کمترین مقدار است (شکل۳). مقدار بالای pH با تأثیر در حل شدن کانی‌های سازندها بر شاخص لانژلیه تأثیر مستقیم دارد. در قسمت جنوب‌غربی آبخوان احتمالاً به علت اختلاط آب زیرزمینی این منطقه با آب رودخانه چشمه برم (pH=۷/۴) میزان pH از قسمت‌های شمالی آبخوان کمتر است.

توزیع مکانی کل جامدات محلول و سختی کل در آبخوان دشت لردگان نیز تقریباً مشابه یکدیگر است (شکل ۳). بیشترین مقدار کل جامدات محلول و سختی کل در قسمت شمال و شمال شرقی دشت و کمترین مقدار کل جامدات محلول و سختی کل در جنوب و جنوب شرقی دشت لردگان مشاهده می‌شود. کل جامدات محلول و سختی کل از مرکز دشت به سمت شمال و شمال شرقی دشت افزایش می‌یابند.

در شمال و شمال شرقی آبخوان شوری و کل جامدات محلول بالا می‌تواند (۱) بخش شمال و شمال غربی دشت لردگان در مجاورت سازند بختیاری، سازند گچساران دیده می‌شود که شامل مارن‌های رنگین خاکستری، کرم، قرمز و سبز همراه با گچ به سن میوسن میانی می‌باشد. بخشی از آب‌های ورودی به دشت لردگان در مسیر خود از سنگ‌های این سازند عبور می‌کنند.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۳- نقشه‌های پهنه‌بندی شاخص‌های LSI و RSI و مولفه‌های آن‌ها. TH (سختی کل)، TA (قلیاییت کل) و TDS (کل جامدات محلول)

Archive of SID

www.SID.ir

با توجه به حضور املاح گچ در این سازند آب‌هایی که در مسیر خود از این سنگ‌ها عبور می‌کنند، به لحاظ انحلال گچ و سایر املاح کیفیت آنها به شدت کاهش می‌یابد. حضور املاح گچی به صورت رگه نیز می‌تواند سبب کاهش کیفیت آب‌هایی شود که در مسیر خود از این سازند عبور می‌کنند و وارد دشت لردگان می‌شوند ؛ (۲) تغذیه این بخش از آبخوان با آب رودخانه شور نیسان، که از دشت مجاور خانمیرزا می‌آید، در مجاورت دشت خانمیرزا حضور گنبدهای نمکی سبب ورود آب‌های شور به این دشت شده باشد.

با توجه به ارتباط مستقیم شاخص لانژلیه با pH، کل جامدات محلول، قلیائیت و سختی‌کل توزیع مکانی شاخص LSI نیز شبیه به توزیع این مولفه‌ها بوده و روند مشابهی را دنبال می‌کند (شکل ۳). مقدار شاخص لانژلیه از ۰/۱ در جنوب تا ۱/۴ در شمال آبخوان دشت لردگان تغییر دارد. تغییرات مکانی شاخص لانژلیه نشان می‌دهد که در قسمت شمال و شمال شرقی آبخوان دشت لردگان حداکثر پتانسیل رسوب‌گذاری در قسمت‌های جنوب غربی این آبخوان حداقل پتانسیل رسوب‌گذاری وجود دارد. مقدار شاخص RSI از ۵ در قسمت شمالی آبخوان تا ۷/۸ در قسمت جنوب و جنوب غربی آبخوان تغییر دارد (شکل ۳). با توجه به ارتباط عکس بین شاخص رایزنر و شاخص لانژلیه، در قسمت‌های شمال و شمال‌غربی آبخوان که حداکثر مقدار شاخص لانژلیه و پتانسیل رسوب‌گذاری وجود دارد در این قسمت آبخوان حداقل شاخص رایزنر و حداقل پتانسیل خورندگی آب دیده می‌شود(شکل۳). همچنین در قسمت‌های جنوبی آبخوان که حداقل شاخص لانژلیه و پتانسیل رسوب‌گذاری وجود دارد، در این ناحیه از آبخوان حداکثر شاخص رایزنر و پتانسیل خورندگی آبخوان دیده می‌شود (شکل۳).

جدول ۵ هم‌بستگی نقشه‌های شاخص‌های کیفی اندازه‌گیری شده آب زیرزمینی دشت لردگان را نشان می‌دهد.

جدول ۵- ضرایب همبستگی نقشه‌های شاخص‌های کیفی اندازه‌گیری شده آب زیرزمینی دشت لردگان

	pH	TDS	TH	TA	LSI
TDS	۰/۱۰				
TH	۰/۵۰	۰/۸۶			
ALK	۰/۶۸	۰/۳۸	۰/۶۷		
LSI	۰/۷۸	۰/۲۶	۰/۶۱	۰/۸۴	
RSI	-۰/۶۷	-۰/۰۹	-۰/۴۴	-۰/۷۷	-۰/۸۲
TH (سختی کل) و TA (قلیائیت کل) و TDS (کل جامدات محلول) است.					

ضرایب هم‌بستگی نقشه‌های پهنه‌بندی شاخص‌های کیفی آب زیرزمینی دشت لردگان (جدول ۵) با ضرایب هم‌بستگی اسپیرمن این شاخص‌های کیفی (جدول ۳) همخوانی وجود دارد. بین نقشه pH با سایر شاخص‌ها به غیر از کل جامدات محلول هم‌بستگی معنی‌دار مثبت وجود دارد (جدول ۵). بین نقشه‌های سختی کل با کل جامدات محلول بیشترین هم‌بستگی و بین نقشه‌های pH با کل جامدات محلول کمترین همبستگی وجود دارد.

نقشه‌های LSI و RSI با تمام نقشه‌های عوامل سازنده‌ی آن به ترتیب هم‌بستگی مثبت و هم‌بستگی منفی دارند و ظاهراً هر دو با شاخص قلیاییت قوی‌ترین هم‌بستگی را دارند (جدول۵). شاخص RSI با LSI همبستگی قوی، منفی و معنی‌دار (r =۰/۸۲) دارد که می‌تواند به دلیل رابطه معکوس این دو شاخص با یکدیگر باشد. مقایسه نظیر به نظیر ضرایب هم‌بستگی حاصل از نقشه‌های (جدول۵) با ضرایب هم‌بستگی ساده‌ی اسپیرمن (جدول۳) نشان‌دهنده تناسب تشابه ضرایب است. تشابه ضرایب نظیر روش‌های

Archive of SID

www.SID.ir

زمین آماری به کار گرفته شده (شامل مدل واریوگرام و روش کریجینگ) برای نقشه‌کشی شاخص‌های LSI و RSI و مولفه‌های آن‌هاست.

درصد و مساحت (بر حسب هکتار) مربوط به هر پهنه‌ی شاخص‌های رایزنر و لانژلیه در جدول ۶ داده شده است.

جدول ۶ - درصد مساحت اشغال شده و مساحت(ha) مربوط به هر پهنه‌ی شاخص‌های رایزنر و لانژلیه

شدت خورندگی و رسوب‌گذاری		مقدار شاخص LSI		مساحت (٪)		مساحت (ha)
رسوب‌گذاری کم		۰ - ۰/۵		۴۲		۲۵۲۰
رسوب‌گذاری متوسط		۰/۵ – ۱		۴۲		۲۵۲۰
رسوب‌گذاری شدید		۱ -۲		۱۶		۹۶۰
شدت خورندگی و رسوب‌گذاری		**مقدار شاخص RSI**		**مساحت (٪)**		**مساحت (ha)**
خورندگی ضعیف		۵ - ۶		۷۶		۴۵۰۰
رسوب‌گذاری و خورندگی کم		۶ - ۷		۱۳		۷۸۰
خورندگی متوسط		۷ -۷/۵		۱۰		۶۵۰
خورندگی زیاد		> ۷/۵		۴		۲۴۰

بر اساس شاخص لانژلیه دو پهنه با پتانسیل رسوب‌گذاری کم و رسوب‌گذاری متوسط (مساحت هر پهنه ۲۵۲۰ هکتار) حدود ۸۴ درصد از منطقه را پوشش می‌دهند. کم‌ترین پهنه بر اساس شاخص لانژلیه با مساحت ۹۶۰ هکتار مربوط به پهنه‌ی با پتانسیل رسوب‌گذاری شدید است که ۱۶ درصد از کل مساحت دشت لردگان را شامل می‌شود. این ناحیه از آبخوان در قسمت شمال غربی آبخوان قرار دارد (شکل۳). در این ناحیه از آبخوان چنان‌که گفته شد وجود سازندهای گچی گچساران و کربناتی آغاجاری باعث افزایش میزان ترکیبات کربناتی آب شده و به همین دلیل پتانسیل رسوب‌گذاری در این قسمت از آبخوان شدیدتر از سایر قسمت‌های آبخوان است (۱۳).

بر اساس شاخص رایزنر دشت لردگان به چهار پهنه تقسیم شده است. بیشترین مساحت (۴۵۰۰ هکتار) مربوط به پهنه با خورندگی ضعیف (قسمت شمالی آبخوان، (شکل۳)) است که ۷۶ درصد کل آبخوان دشت لردگان را پوشش می‌دهد. کوچک‌ترین پهنه (۲۴۰هکتار) بر اساس شاخص رایزنر مربوط به خورندگی زیاد (در قسمت جنوبی آبخوان، شکل۳) است که چهار درصد از کل آبخوان دشت لردگان را شامل می‌شود. ۱۴۳۰ هکتار (۲۳ درصد آبخوان) دارای پتانسیل خورندگی کم و متوسط می‌باشد (جدول۶، شکل ۳). در مجموع ۸۹ درصد مساحت دشت لردگان دارای آب زیرزمینی با پتانسیل خورندگی یا رسوب‌گذاری کم است.

نتیجه‌گیری

مدیریت بهینه‌ی منابع آبی و حفظ و ارتقای کیفیت آنها نیازمند وجود داده‌ها در زمینه‌ی موقعیت، مقدار و پراکنش عامل‌های شیمیایی آب در یک منطقه‌ی جغرافیایی معین می‌باشد. هدف از انجام این پژوهش تحلیل مکانی پتانسیل رسوب‌گذاری و خورندگی آب زیرزمینی دشت لردگان بود. برای این منظور از روش زمین‌آماری کریجینگ استفاده شد. یکی از عوامل موثر در محاسبه شاخص لانژلیه و رایزنر درجه حرارت است. در این مقاله این شاخص‌ها در درجه حرارت میانگین آب دشت محاسبه و ارایه شده است. بنابراین شاخص‌های محاسبه

Archive of SID

www.SID.ir

شده فعلی برای نشان دادن توان رسوب‌گذاری و خورندگی در شرایط طبیعی (درجه حرارت طبیعی آب) است. در صورتی که قرار باشد صنایعی که جوشاندن آب بخشی از فرایند صنعتی باشد در در برخی نقاط دشت مستقر و از آب زیرزمینی تغذیه کند، در آن صورت با استفاده از از نقشه‌های pH،کل جامدات محلول، سختی کل و قلیاییت کل می‌توان شاخص‌های لانژلیه و رایزنر را برای درجه حرارت‌های مورد نظر دوباره محاسبه کرد. میانگین شاخص LSI در آبخوان دشت لردگان ۰/۵ بود که از نظر این شاخص، آب‌های زیزمینی پتانسیل متوسط رسوب‌گذاری داشت. میانگین شاخص RSI ۷/۳ شد که بر اساس این شاخص آب زیرزمینی پتانسیل متوسط خورندگی دارد. نقشه‌های پهنه‌بندی نشان می‌دهد که در قسمت شمالی نسبت به سایر قسمت‌های آبخوان مقادیر مولفه‌های موثر بر پتانسیل خورندگی و رسوب‌گذاری بیشتر است (شکل۳). نتایج نشان داد که آب زیرزمینی دشت لردگان از نظر شاخص لانژلیه دارای پتانسیل رسوب‌گذاری کم تا متوسط و از نظر شاخص رایزنر عمدتاً دارای پتانسیل خورندگی ضعیف می‌باشد. به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که آب زیرزمینی دشت لردگان دارای اندکی پتانسیل رسوب‌گذاری است که آن هم به دلیل سازندهای کربناتی موجود در این منطقه باشد. با توجه به پتانسیل کم رسوب‌گذاری و خورندگی در آبخوان دشت لردگان آب این آبخوان از نظر بهداشتی کیفیت مناسبی داشته و برای سلامتی اثرات سویی ندارد. در مصارف صنعتی با توجه به خورندگی کم این آب‌ها خسارات زیادی به دستگاه‌ها وارد نمی‌شود.

منابع

۱. مختاری ا، عالیقدری م، حضرتی ص، صادقی ه، قراری ن و قربانی ل. ۱۳۸۹. ارزیابی وضعیت خورندگی و رسوب گذاری شبکه توزیع آب آشامیدنی شهر اردبیل با استفاده از شاخص‌های Langelier و Ryznar. مجله سلامت و بهداشت اردبیل. دوره اول، شماره اول، تابستان ۱۳۸۹، صفحات ۱۴ تا ۲۳.

۲. زارع‌ابیانه ح، عبدالصالحی ا و کاظمی آ. ۱۳۸۹. مطالعه خوردگی و رسوبگذاری آب های زیرزمینی دشت همدان – بهار. علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره دوازدهم، شماره دو، تابستان ۱۳۸۹. صفحات ۸۹ تا ۱۰۱.

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

۴. مظلومی س، ع ا بابایی، فضل‌زادع‌دویل، ابوئی ا، ربیعی‌نژاد ا، نوروزی م و حاج پورسوق خ. ۱۳۸۸. پتانسیل خوردگی و رسوب گذاری آب شرب شهر شیراز.

۵. قضاوتی م، نوشادی م و مرندی ر. ۱۳۸۸. بررسی کیفیت شیمیایی و پتانسیل خوردگی آب های آشامیدنی تولیدی در پالایشگاه بندرعباس و ورودی به آن. دوازدهمین همایش ملی بهداشت محیط ایران، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، دانشکده بهداشت، آبان ۱۳۸۸.

۶. کریم‌پور م، نیازی ب و مهرآور ط. ۱۳۸۶. تعیین وضعیت خورندگی شبکه توزیع آب آشامیدنی شهر ملایر در تابستان ۸۵. دهمین همایش ملی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی همدان. ۸ الی ۱۰ آبان ۱۳۸۶.

7. 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. Pakestan Journal of Biological Science 13(2): 88-92.

8. Capra A. and Scicolone B.1998. Water quality and distribution uniformity in

Archive of SID

www.SID.ir

drip/trikle irrigation systems. Journal of Agricultural Engineering Research, 70. 353-365.

9. 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) April.

۱۰. حسنی پاک ع. ۱۳۷۷. زمین آمار (ژئواستاتیستیک). انتشارات دانشگاه تهران. چاپ اول.

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

۱۲. شعبانی م. ۱۳۸۷. تعیین مناسب ترین روش زمین آمار در تهیه ی نقشه ی تغییرات pH و TDS آب های زیرزمینی (مطالعه ی موردی :دشت ارسنجان). مجله ی مهندسی آب، سال اول، پاییز ۱۳۸۷.

۱۳. سازمان آب منطقهای استان اصفهان امور آب استان چهارمحال و بختیاری. ۱۳۷۱. گزارش منابع آب‌های زیرزمینی دشت لردگان.

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

15. Carrier air conditioning Company. 1965. Handbook of air conditioning system design. McGraw-Hihh Books. New York.

16. StatSoft (2007) STATISTICA (data analysis software system). Version 8. www.statsoft.com.

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

18. US EPA (1991) GeoEas 1.2.1 (Geostatistical environmental assessment software). User's guide, 186 pages.

19. Hengel T, Huvelink G. B. M. and Stein A.2004. A generic framework for spatial prediction of soil variables based on regression–kriging. Geoderma, 120:75-93.

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

21. Cambardella C. A. , Moorman T. B., Novak J. M., Parkin T. B., Karlen D. L., Turco R. F., and Koropaka A. E (1994) Field –scale variability of soil properties in central Iowa soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 58: 1501-1511.

22. ESRI Inc (2008) ArcMap™. Version 9.3. www.esri.com.

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

24. Boyd C.E. 2000. Water quality, an introduction. Kluwer Academic Poblishers. 323 pages.

25. Ahmed S. 2002. Groundwater monitoring network design: Application of geostatistics with a few case studies from a granitic aquifer in a semi-arid region. In: Groundwater Hydrology, M.M. Sherif, V.P. Singh and M. Al-Rashed (Eds.), Balkema, Tokyo, Japan. 2: 37-57.

Archive of SID

www.SID.ir