

پردازش زمین آماری پتانسیل رسوب گذاری و خورندگی آب زیرزمینی دشت لردگان

ياسر استواری^{۱*}

Yaser.ostovary@gmail.com

حبیب الله بیگی هرچگانی^۲

علیرضا داودیان^۳

تاریخ دریافت: ۹۰/۲/۲۱

تاریخ پذیرش: ۹۰/۸/۲۲

چکیده

زمینه و هدف: یکی از جنبه‌های مهم کیفیت آب، پتانسیل خورندگی و رسوب گذاری 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 نیز بر جنبه‌های بهداشتی و زیباشناختی آب موثر باشد.

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

بحث و نتایج: بر اساس شاخص لانژلیه ۹۳ درصد نمونه‌ها پتانسیل رسوب گذاری کم تا متوسط و تنها ۷ درصد نمونه‌ها پتانسیل رسوب گذاری شدید دارند. بر اساس شاخص رایزرن ۶ 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 رسوب گذاری آب زیرزمینی این دشت بر پتانسیل خورندگی آن غلبه دارد. بر اساس شاخص لانژلیه ۷۶ درصد آبخوان دشت لردگان (۴۵۰۰ هکتار) دارای پتانسیل رسوب گذاری کم و بر اساس شاخص رایزرن ۸۴ درصد از آبخوان دشت لردگان (۵۰۴۰ هکتار) پتانسیل خورندگی کم تا متوسط داشت. با توجه به این که بیشترین مساحت آبخوان دشت لردگان دارای پتانسیل رسوب گذاری کم است، لذا به نظر می‌رسد مشکل رسوب گذاری در مجاری و مخازن انتقال آب و سیستم‌های آبیاری قطره‌ای قابل ملاحظه نخواهد بود. این نتایج فقط برای درجه حرارت‌های معمولی آب صادق است.

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

آب می‌تواند باعث خوردگی خطوط انتقال، توزیع و نیز ایجاد لایه‌های ضخیم رسوبی بر روی سطوح و دیواره‌های تاسیسات و مجاری انتقال آب شود (۱). خوردگی یک واکنش فیزیکی-شیمیایی بین آب و محیط اطراف آن است. این فرایند اثرات سوء بهداشتی، اقتصادی، فنی و زیباشناختی به جا می‌گذارد (۲). رسوب‌گذاری نیز یکی از واکنش‌های شیمیایی آب با محیط اطراف خود است که در نتیجه آن آب 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 رسوب‌گذاری دو مشکل عمده تمامی مسیرهای انتقال است. تحلیل مجاری انتقال و ذخیره آب در اثر خوردگی و یا در اثر رسوب‌گذاری سالانه هزینه‌های بسیار زیادی را جهت تعمیر، جایگزینی و حفظ سیستم توزیع آب تحمیل می‌کند. رسوب‌گذاری می‌تواند سبب مسدود شدن لوله‌ها، کاهش سطح مقطع جریان و افت در نتیجه کاهش دبی گردد (۲). خوردگی نیز می‌تواند باعث افت و کاهش دبی و در شرایط پیشرفته باعث سوراخ شدن لوله‌ها شود که در این حالت میزان آب از دست رفته قابل توجه خواهد بود (۴). رسوب کربنات‌های کلسیم و منیزیم از عوامل شایع ایجاد گرفتگی شیمیایی قطره چکان‌ها در آبیاری قطره‌ای هستند (۲).

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 قطره‌ای 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).

خوردگی می‌تواند یکی از مشکلات پر هزینه تولید آب آشامیدنی باشد. خوردگی 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 گذرها محافظت نمایند و مشکلاتی از قبیل طعم و بوی بد و توده‌های زیستی ایجاد نماید (۳).

راهکارهای زیادی به منظور جلوگیری از پدیده‌های خوردگی 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 خوردگی 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 خوردگی 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 خوردگی ندارد (۳).

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

خورندگی و یا رسوب گذاری و تعیین جنس مناسب مصالح مفید باشد. یکی از روش های تخمین تغییرات مکانی متغیرهای کیفیت آب یک منطقه استفاده از روش های زمین آماری می باشد (۹). تفاوت اصلی این روش با آمار کلاسیک این است که در آمار کلاسیک نمونه های گرفته شده از یک جامعه آماری، مستقل از یکدیگر بوده و وجود یک نمونه هیچگونه اطلاعاتی درباره نمونه بعدی نمی دهد. اما روش های زمین آماری، وجود هم بستگی مکانی بین مقادیر یک متغیر در یک ناحیه را بررسی می نمایند. به طور کلی می توان گفت زمین آمار به بررسی دسته از متغیرهایی می پردازد که دارای ساختار مکانی هستند و یا به عبارتی بین مقادیر مختلف آن ها، فاصله و جهت قرار گرفتن آن ها یک ارتباط فضایی وجود دارد (۱۰).

تقی زاده مهرجودی و همکاران (۲۰۰۸) با نمونه برداری از ۷۳ حلقه چاه در دشت اردکان یزد به وسعت ۱۶ هزار کیلومتر مربع به تحلیل مکانی سختی کل، کل جامدات محلول و برخی شاخص های کیفی دیگر آب زیرزمینی پرداختند. آن ها با استفاده از سه روش زمین آماری: وزن دهی معکوس فاصله، کریجینگ و کوکریجینگ پهنه بندی دشت اردکان را بر اساس این شاخص ها 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 پهنه بندی کریجینگ بر دو روش دیگر برتری داشته و با استفاده از این روش نقشه های خصوصیات کیفی آب ترسیم شد (۱۱).

شعبانی (۱۳۸۷) در مطالعه ای به تعیین مناسب ترین روش زمین آماری تهیهی نقشه ی تغییرات pH و کل جامدات محلول آب های زیرزمینی دشت ارسنجان به وسعت ۱۰۱ کیلومتر مربع پرداخت. از تعداد ۸۳ چاه نمونه برداری صورت گرفت و مقدار pH و کل جامدات محلول در نمونه ها اندازه گیری شد. از روش های زمین آماری کریجینگ، وزن دهی معکوس فاصله و تابع شعاعی استفاده شد. برای pH مدل واریوگرام کروی مقدار دامنه تأثیر ۱۷۱۰ متر و برای کل جامدات محلول مدل کروی دامنه ی تأثیر ۶۰۳۰ متر به دست آمد. با مقایسه ی روش های میان یابی نتیجه گیری شد که

مولفه های قابل استفاد در محاسبه LSI و RSI شامل درجه حرارت آب، pH، جامدات محلول، سختی کل و قلیائیت کل هستند.

کریم پور 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 جمع آوری و pH، جامدات محلول، سختی کل، قلیائیت کل و اکسیژن محلول را در آن ها اندازه گیری شد. نتایج آن ها نشان داد که آب آشامیدنی این شهر دارای پتانسیل خورندگی بوده است (۶).

زارع ایبانه و همکاران (۸۹) به بررسی پتانسیل خورندگی و رسوب گذاری آب های زیرزمینی دشت همدان - بهار پرداختند. نتایج نشان داد شاخص لانژلیه در ۶۴ درصد نمونه ها و شاخص رایزور در ۸۵ درصد نمونه ها پتانسیل کم خورندگی و رسوب گذاری را نشان می دهد. در مجموع منابع آب زیرزمینی دشت همدان - بهار در محدوده کم تا متوسط رسوب گذاری و خورندگی قرار داشت (۲).

دهقانی و همکاران (۲۰۱۰) برای ارزیابی پتانسیل خورندگی و رسوب گذاری شبکه آبرسانی شیراز از شاخص لانژلیه استفاده کردند. آن ها از تعداد ۱۱۸ چاه و منبع آب سطحی در تابستان و پاییز ۲۰۰۷ نمونه برداری کردند. نتایج میانگین شاخص لانژلیه ۰/۴۱۷ به دست آمد که پتانسیل کم تا متوسط رسوب گذاری (در ۹۲/۴ درصد نمونه ها) و پتانسیل کم خورندگی (در ۱/۳ درصد نمونه ها) را نشان داد (۷).

کاپرا و سایکولون (۱۹۹۸) اثر کیفیت آب را بریکنواختی توزیع آب در سیستم آبیاری قطره ای بررسی کردند. آن ها کیفیت آب آبیاری را آزمایش و ضریب پخش آب را در قطره چکان ها محاسبه کردند. در این تحقیق مهم ترین علت کاهش دبی آب در قطره چکان ها به هدایت الکتریکی، جامدات محلول و معلق، آهن، کلسیم، منیزیم، منگنز و پتانسیل بالای رسوب کربنات کلسیم ارتباط داده شد (۸).

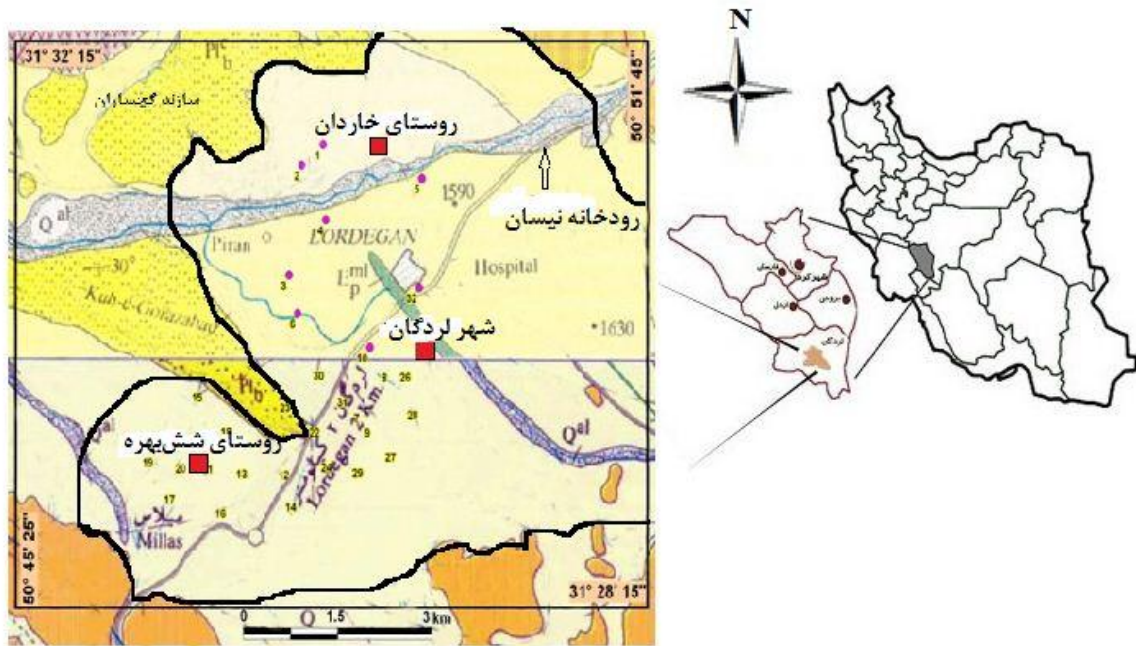
تعیین الگوی تغییرات مکانی و سپس پهنه بندی آبخوان می تواند در جایابی صنایع، مدیریت جلوگیری از

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه دشت لردگان به مساحت ۶۰ کیلومتر مربع بین طول‌های جغرافیایی 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 کهگیلویه و بویراحمد و حوضه آبریز رودخانه خرسان و از شرق به دشت خانمیرزا منتهی می‌گردد. میانگین دمای سالانه این منطقه ۱۵/۵ درجه 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 بر روی 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، ژیبس و میزان کمی نمک در شمال شرقی و شرق دشت لردگان و تشکیلات آجاجاری 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.

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 خوردندگی 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 خوردندگی آب پرداخته شده است.

دشت لردگان یکی از دشت‌های مهم استان چهارمحال 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 خوردندگی و رسوب‌گذاری آب زیرزمینی لردگان برای مدیریت پیش‌گیری رسوب‌گذاری و با خوردندگی 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 هم‌مقدار شاخص‌های LSI و RSI و نیز مولفه‌های آن‌ها؛ و (۴) ارزیابی تناسب روش کریجینگ برای پهنه‌بندی شاخص‌های LSI و RSI در دشت لردگان بود.



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

نمونه برداری و تجزیه های آزمایشگاهی

محلول نمونه ها با تبخیر ۱۰۰ میلی لیتر آب و توزین مانده اندازه گیری شد. به منظور محاسبه شاخص لائزلیه غلظت های کلسیم (Ca^{2+})، منیزیم (Mg^{2+})، کربنات (CO_3^{2-}) و بی-کربنات (HCO_3^-) به روش تیتراسیون اندازه گیری شدند (APHA, ۱۹۸۸) ولی در این مقاله مقادیر آن ها ارایه نمی-شود. در این پژوهش از میانگین دمای آب سالانه دشت لردگان (۱۱/۵ درجه سانتی گراد) برای محاسبه شاخص LSI و RSI استفاده شده است.

سختی کل و قلیابیت کل از طریق رابطه های ۱ و ۲ محاسبه شدند:

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

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

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

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

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

۳۲ حلقه چاه واقع در دشت لردگان در سه فصل بهار (خرداد)، تابستان (دو بار در مرداد و شهریور) و پاییز (آبان) نمونه برداری شد. علاوه بر این از داده های مربوط به دو حلقه چاه دیگر، پنج چشمه و پنج قنات که در طی نه سال به وسیله سازمان آب منطقه ای استان چهار محال و بختیاری جمع آوری شده بودند نیز استفاده شد. در مجموع از داده های ۱۶۸ نمونه آب در نگارش این مقاله بهره گرفته شد و از آنجایی که تغییرات مکانی مد نظر نبود، از میانگین داده های مربوط به هر منبع استفاده شده است. موقعیت چاهها، چشمه ها و قناتها با GPS ثبت شد. نمونه های آب در بطری های ۲۵۰ میلی لیتری که قبلاً اسیدشویی و با آب مقطر شسته شده بودند جمع آوری شدند. در موقع نمونه برداری نیز هر بطری سه بار با آب نمونه شستشو شد. نمونه ها پس از اضافه کردن چند قطره تولوئن برای جلوگیری از واکنش های زیستی در داخل یخدان در زیر یخ نگهداری و سریعاً به آزمایشگاه منتقل شدند. نمونه های برداشت شده بر اساس استانداردهای APHA (۱۹۸۸) تجزیه شدند. دمای آب در محل نمونه برداری با دما سنج اندازه گیری شد. pH نمونه ها با دستگاه istek مدل PDC ۹۱۵ و کل جامدات

که در آن :

$$LSI = pH - pH \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$RSI = 2 pHs - pH \quad \text{رابطه (۵)}$$

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

$$B = -2/12 \times \text{Log} (^\circ\text{C} + 273) + 34/55$$

$$C = \text{Log} [\text{TH}] - 0.4$$

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

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

که در این روابط: کل جامدات محلول به میلی گرم بر لیتر، درجه حرارت به درجه سانتی گراد ($^\circ\text{C}$)، سختی کل بر حسب کربنات کلسیم معادل بر حسب میلی گرم بر لیتر و قلیابیت کل 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:

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

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

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):

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left[\frac{3h}{2a} - \left(\frac{h^3}{2a^3} \right) \right] \quad (0 \leq h \leq a) \quad \text{رابطه (۷)}$$

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

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left[1 - \exp\left(-\frac{3h}{a}\right) \right] \quad \text{رابطه (۸)}$$

معادله‌ی مدل گوسی به صورت زیر است (۲۰):

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left[1 - \exp\left(-\frac{3h^2}{a^2}\right) \right] \quad \text{رابطه (۹)}$$

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

نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کلموگرف-اسمیرنوف و تجزیه و تحلیل‌های آماری کلاسیک در محیط نرم افزار STISTICA ویرایش ۸ شرکت (StateSoft Inc, ۲۰۰۸) انجام شد.

برازش مدل واریوگرام و انتخاب مدل مناسب

پس از اطمینان از نرمال بودن توزیع داده‌ها، در محیط variowin ویرایش ۲/۲۱، ابتدا واریوگرام تجربی $\gamma(h)$ مولفه‌ها ترسیم گردید:

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

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

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

پهنه‌بندی و ترسیم نقشه‌های توزیع مکانی هر شاخص و نیز همبستگی نقشه‌ها در محیط ArcMap ویرایش ۹/۳ از شرکت (ESRI Inc, ۲۰۰۸) 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.

برای ارزیابی مدل‌های واریوگرام انتخاب شده با استفاده از مدول x-valid نرم افزار ۱,۲,۱ GeoEas دو معیار زیر محاسبه شد (۱۲):

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

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

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 میان‌بایی 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:

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

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	دفع اول	دفع دوم	انحراف معیار	تغییرات (%)	ضریب
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.

نشان می‌دهد. مقدار شاخص رایزنر در ۷ درصد نمونه‌ها بین ۵ تا ۶ بوده بیانگر پتانسیل رسوب‌گذاری ضعیف این نمونه‌ها است. شاخص RSI در ۱۷ درصد نمونه‌ها بین ۶ تا ۷ بوده که پتانسیل رسوب‌گذاری و خوردگی ناچیز این نمونه‌ها را نشان می‌دهد. شاخص RSI در ۳۸ درصد از نمونه‌ها بین ۷ تا ۷/۵ بوده که پتانسیل خوردگی متوسط و همچنین در ۳۸ درصد از نمونه‌ها بزرگتر از ۷/۵ بوده که پتانسیل خوردگی شدید این نمونه‌ها را نشان می‌دهد. بر اساس LSI حدود ۷۶ درصد نمونه‌ها تمایل به رسوب‌گذاری و بر اساس RSI ۷۶ درصد نمونه‌ها تمایل به خوردگی دارند.

ضریب تغییرات عوامل موثر بر شاخص‌های پایداری LSI و RSI عموماً کمتر از ۳۰ درصد است که نشان دهنده 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.

مقدار pH در آبخوان دشت لردگان همیشه بازی بوده و از حداقل ۷/۴۰ تا حداکثر ۸/۰۰ تغییر می‌کند. قلیائیت 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 قلیائیت زیاد است (۲۲). معمولاً قلیائیت و pH یک آب ارتباط نزدیک و مستقیم با یکدیگر دارند و آب‌هایی که pH بین ۷ تا ۸/۵ دارند معمولاً دارای قلیائیت 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 خوردگی متوسط آب آبخوان دشت لردگان را

جدول ۳- ضرایب همبستگی اسپیرمن pH، کل جامدات محلول، سختی کل، قلیائیت، LSI و RSI

در آب زیرزمینی لردگان (n=۱۶۸)

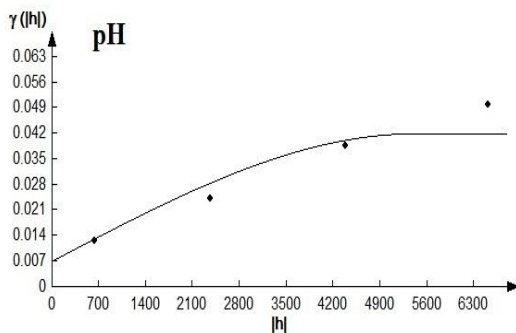
LSI	TA	TH	TDS	pH	
				۰/۱۲	TDS
			*۰/۶۳	*۰/۶۰	TH
		*۰/۶۸	۰/۱۲	*۰/۷۱	TA
	*۰/۸۶	*۰/۶۹	۰/۱۴	*۰/۸۰	LSI
-۰/۹۳	*-۰/۹۲	*-۰/۷۱	-۰/۱۶	*-۰/۷۲	RSI

*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.

همبستگی منفی نشان می‌دهند که در این میان همبستگی این دو با کل جامدات محلول بسیار ضعیف و غیر معنی‌دار بوده ($p > 0.05$) و بر عکس با قلیائیت کل بسیار قوی است ($p < 0.05$). بنابراین به نظر می‌رسد که دو شاخص LSI و RSI با قلیائیت آب رابطه‌ی مستقیم و با تغییرات RSI با LSI قلیائیت آب رابطه‌ی معکوس دارد (جدول ۳). قلیائیت با شاخص RSI با همبستگی بیشتری نسبت به شاخص LSI دارد ($p < 0.05$) بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که شاخص RSI با قلیائیت ارتباط بیشتری دارد.

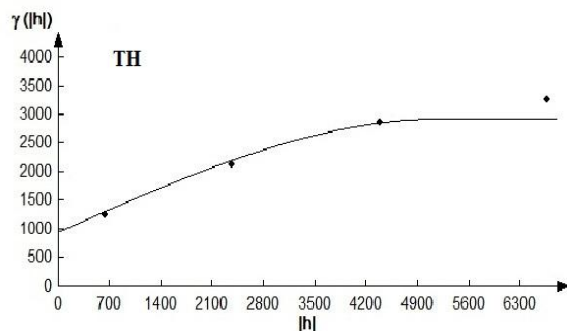
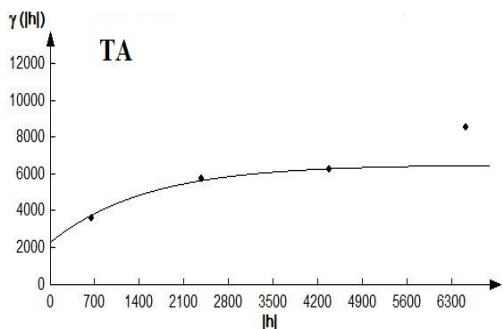
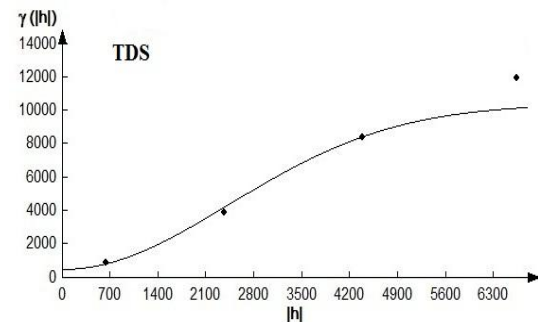
پردازش واریوگرام‌ها

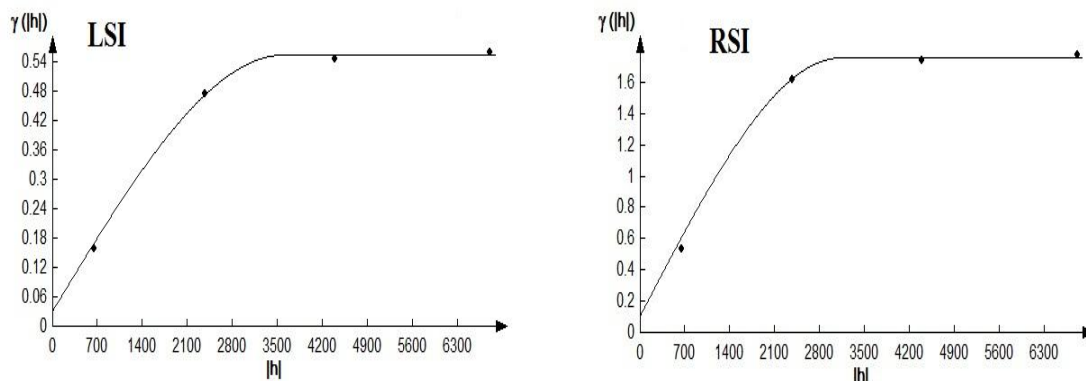
همه شاخص‌ها طبق واریوگرام سطحی همسانگرد بودند. شکل ۲ واریوگرام‌های تجربی و مدل نظری برازش داده شده به شاخص‌های کیفی آب زیرزمینی دشت لردگان را نشان می‌دهد.



بین pH با سختی کل و قلیائیت کل همبستگی مثبت معنی‌دار و نسبتاً قوی‌تر وجود دارد و همبستگی pH با قلیائیت قوی‌تر از همبستگی آن با سختی کل است ($p < 0.05$). 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 دهنده 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 (جدول ۲). از طرف دیگر قلیائیت کل نیز با سختی و pH آن همبستگی دارد. رفتی (۲۰۰۰) و تقی‌زاده مهجردی و همکاران (۲۰۰۸) نیز از همبستگی معنی‌دار قلیائیت 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





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) و TDS (کل جامدات محلول) است.

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.

برای pH، سختی کل، LSI و RSI مدل کروی بهترین برازش را داشت. مهجودی 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 قلیائیت از مدل نمایی پیروی کردند (شکل ۲). واریوگرام‌های

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.+C)	اثر قطعه‌ای (C.)	$\frac{C_0}{C_0+C}$	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	نمایی	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.

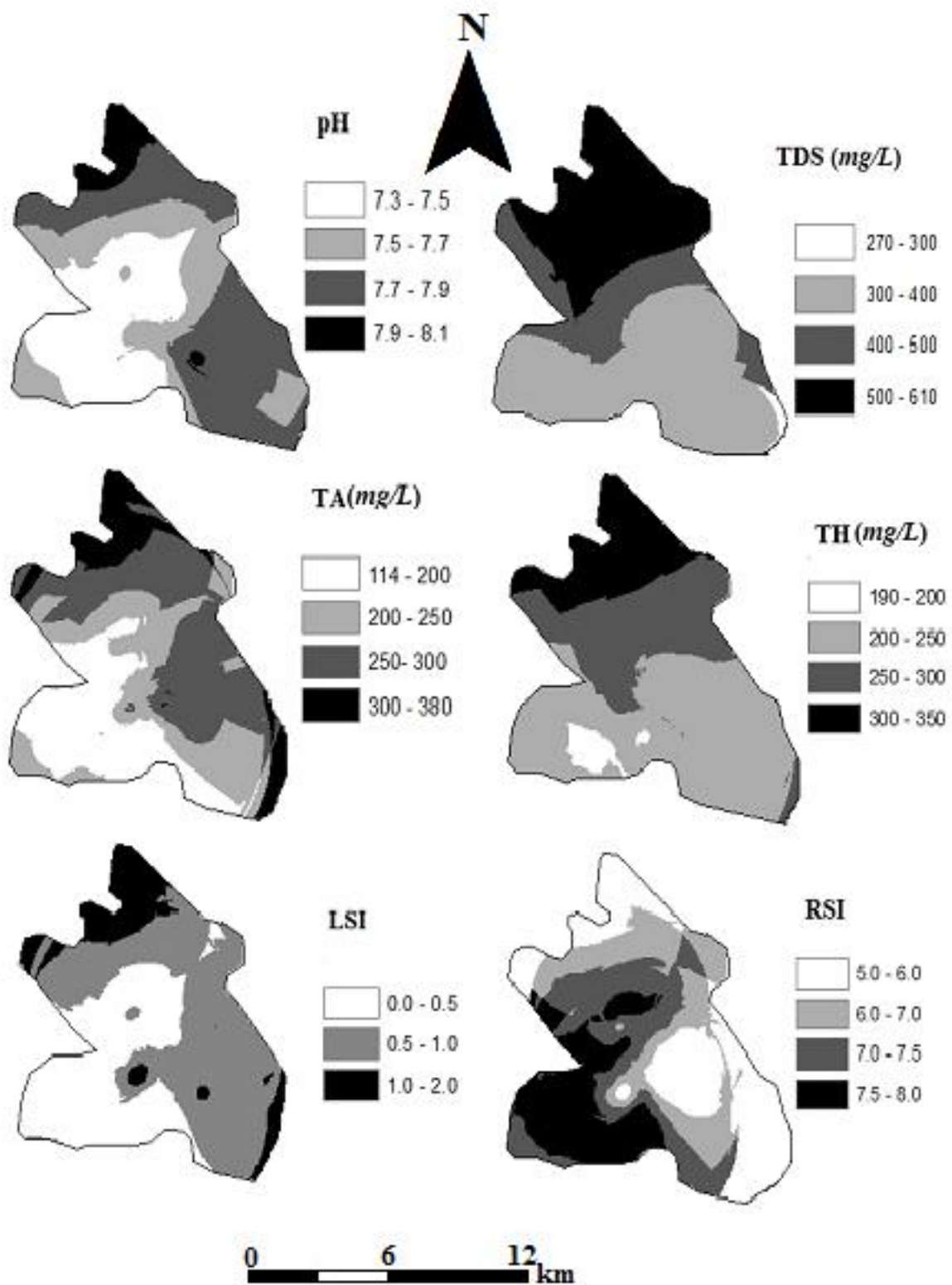
غربی pH و قلیائیت آب کمترین مقدار است (شکل ۳). مقدار بالای pH با تأثیر در حل شدن کانی‌های سازندها بر شاخص لائزلیه تأثیر مستقیم دارد. در قسمت جنوب غربی آبخوان احتمالاً به علت اختلاط آب زیرزمینی این منطقه با آب رودخانه چشمه برم ($pH=7/4$) میزان pH از قسمت‌های شمالی آبخوان کمتر است.

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.

مقدار دامنه‌ی تأثیر شاخص‌های اندازه‌گیری شده از ۴۵۰۰ متر (قلیائیت 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 (قلیائیت 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 قلیائیت آب زیرزمینی لردگان شبیه هم است (شکل ۳). در قسمت شمال شرقی آبخوان pH و قلیائیت از سایر قسمت‌های آبخوان بیشتر و در ناحیه جنوب



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

شمال شرقی آبخوان دشت لردگان حداکثر پتانسیل رسوب گذاری در قسمت های جنوب غربی این آبخوان حداقل پتانسیل رسوب گذاری 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 قسمت های شمال و شمال غربی آبخوان که حداکثر مقدار شاخص لانژلیه و پتانسیل رسوب گذاری وجود دارد در این قسمت آبخوان حداقل شاخص رایزنر و حداقل پتانسیل خوردگی آب دیده می شود (شکل ۳). همچنین در قسمت های جنوبی آبخوان که حداقل شاخص لانژلیه و پتانسیل رسوب گذاری وجود دارد، در این ناحیه از آبخوان حداکثر شاخص رایزنر و پتانسیل خوردگی آبخوان دیده می شود (شکل ۳).

جدول ۵ همبستگی نقشه های شاخص های کیفی اندازه گیری شده آب زیرزمینی دشت لردگان را نشان می دهد.

جدول ۵- ضرایب همبستگی نقشه های شاخص های کیفی اندازه گیری شده آب زیرزمینی دشت لردگان

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

نقشه های LSI و RSI با تمام نقشه های عوامل سازنده آن به ترتیب همبستگی مثبت و همبستگی منفی دارند و ظاهراً هر دو با شاخص قلیائیت قوی ترین همبستگی را دارند (جدول ۵). شاخص RSI با LSI همبستگی قوی، منفی و معنی دار ($r = -0/82$) دارد که می تواند به دلیل رابطه معکوس این دو شاخص با یکدیگر باشد. مقایسه نظیر به نظیر ضرایب همبستگی حاصل از نقشه های (جدول ۵) با ضرایب همبستگی ساده اسپیرمن (جدول ۳) نشان دهنده تناسب تشابه ضرایب است. تشابه ضرایب نظیر روش های

با توجه به حضور املاح گچ در این سازند آب هایی که در مسیر خود از این سنگ ها عبور می کنند، به لحاظ انحلال گچ و سایر املاح کیفیت آنها به شدت کاهش می یابد. حضور املاح گچی به صورت رگه نیز می تواند سبب کاهش کیفیت آب هایی شود که در مسیر خود از این سازند عبور می کنند و وارد دشت لردگان می شوند؛ (۲) تغذیه این بخش از آبخوان با آب رودخانه شور نیسان، که از دشت مجاور خانمیرزا می آید، در مجاورت دشت خانمیرزا حضور گنبد های نمکی سبب ورود آب های شور به این دشت شده باشد.

با توجه به ارتباط مستقیم شاخص لانژلیه با pH، کل جامدات محلول، قلیائیت و سختی کل توزیع مکانی شاخص LSI نیز شبیه به توزیع این مولفه ها بوده و روند مشابهی را دنبال می کند (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 می دهد که در قسمت شمال و

ضرایب همبستگی نقشه های پهنه بندی شاخص های کیفی آب زیرزمینی دشت لردگان (جدول ۵) با ضرایب همبستگی اسپیرمن این شاخص های کیفی (جدول ۳) همخوانی وجود دارد. بین نقشه pH با سایر شاخص ها به غیر از کل جامدات محلول همبستگی معنی دار مثبت وجود دارد (جدول ۵). بین نقشه های سختی کل با کل جامدات محلول بیشترین همبستگی و بین نقشه های pH با کل جامدات محلول کمترین همبستگی وجود دارد.

زمین آماری به کار گرفته شده (شامل مدل وارپوگرام 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

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

به خورندگی زیاد (در قسمت جنوبی آبخوان، شکل ۳) است که چهار درصد از کل آبخوان دشت لردگان را شامل می‌شود. ۱۴۳۰ هکتار (۲۳ درصد آبخوان) دارای پتانسیل خورندگی کم و متوسط می‌باشد (جدول ۶، 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 زمین‌آماري 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 ارائه شده است. بنابراین شاخص‌های محاسبه

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 (شکل ۳). در این ناحیه از آبخوان چنان‌که گفته شد وجود سازندهای گچی گچساران و کربناتی آغاچاری 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، شکل ۳) است که ۷۶ درصد کل آبخوان دشت لردگان را پوشش می‌دهد. کوچک‌ترین پهنه (۲۴۰ هکتار) بر اساس شاخص رایزنر مربوط

اردبیل. دوره اول، شماره اول، تابستان ۱۳۸۹، صفحات ۱۴ تا ۲۳.

۲. زارع‌ابیانہ 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.

۳. Rafferty. ۲۰۰۰, Scaling in geothermal heat pump systems, Geo- Heat Center Oregon Institute of Technology ۳۲۰۱ Campus Drive Klamath Falls. PP ۱۱-۱۵.

۴. مظلومی س، ع ا بابایی، فضل‌زادع‌دویل، ابویی 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 خوردگی شبکه توزیع آب آشامیدنی شهر ملایر در تابستان ۸۵. دهمین همایش ملی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی همدان. ۸ الی ۱۰ آبان ۱۳۸۶.

۷. Dehghani M, Tex F and Zamanian Z. ۲۰۱۰. Assessment of potential of scale formation and corrosive of tap water resources and the network distribution system in Shiraz, South Iran. Pakistan Journal of Biological Science ۱۳(۲): ۸۸-۹۲.

شده فعلی برای نشان دادن توان رسوب‌گذاری و خوردگی 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 قلیابیت 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 زیرزمینی پتانسیل متوسط رسوب‌گذاری داشت. میانگین شاخص RSI ۷/۳ شد که بر اساس این شاخص آب زیرزمینی پتانسیل متوسط خوردگی دارد. نقشه‌های پهنه‌بندی نشان می‌دهد که در قسمت شمالی نسبت به سایر قسمت‌های آبخوان مقادیر مولفه‌های موثر بر پتانسیل خوردگی و رسوب‌گذاری بیشتر است (شکل ۳). 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 خوردگی 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 خوردگی 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 خوردگی 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 خوردگی و رسوب گذاری شبکه توزیع آب آشامیدنی شهر اردبیل با استفاده از شاخص‌های Ryznar و Langelier. مجله سلامت و بهداشت

۱۶. StatSoft (۲۰۰۷) STATISTICA (data analysis software system). Version ۸. www.statsoft.com.
۱۷. Pannatier Y. ۱۹۹۸. Variowin: software for data analysis in ۲D. Version ۲,۲۱. Springer Verlag. ۹۳ pages.
۱۸. US EPA (۱۹۹۱) GeoEas ۱,۲,۱ (Geostatistical environmental assessment software). User's guide, ۱۸۶ pages.
۱۹. Hengel T, Huvelink G. B. M. and Stein A. ۲۰۰۴. A generic framework for spatial prediction of soil variables based on regression-kriging. Geoderma, ۱۲۰:۷۵-۹۳.
۲۰. Scott H.D. ۲۰۰۰. Soil Physics, Agricultural and Environmental Application. Iowa State University Press. ۴۱۵ pages.
۲۱. Cambardella C. A. , Moorman T. B., Novak J. M., Parkin T. B., Karlen D. L., Turco R. F., and Koropaka A. E (۱۹۹۴) Field -scale variability of soil properties in central Iowa soils. Soil Sci. Soc. Am. J., ۵۸: ۱۵۰۱-۱۵۱۱.
۲۲. ESRI Inc (۲۰۰۸) ArcMap™. Version ۹,۳. www.esri.com.
۲۳. رضائی ع و میرمحمدیبدی ع. ل. ۱۳۸۴. آمار و احتمالات (کاربرد در کشاورزی). انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان. چاپ اول، ۵۸۶ صفحه.
۲۴. Boyd C.E. ۲۰۰۰. Water quality, an introduction. Kluwer Academic Publishers. ۳۲۳ pages.
۲۵. Ahmed S. ۲۰۰۲. Groundwater monitoring network design:
۸. Capra A. and Scicolone B. ۱۹۹۸. Water quality and distribution uniformity in drip/trickle irrigation systems. Journal of Agricultural Engineering Research, ۷۰. ۳۵۳-۳۶۵.
۹. Sanches F. ۲۰۰۱. Mapping groundwater quality variables using PCA and geostatistics : a case study of Bajo Andarax, southeastern Spain. Hydrological Sciences-Journal-des Sciences Hydrologiques, ۴۶(۲) April.
۱۰. حسینی پاک ع. ۱۳۷۷. زمین آمار (ژئواستاتستیک). انتشارات دانشگاه تهران. چاپ اول.
۱۱. Mehrjerdi R, Zareian M, Mahmodi Sh and Heidari A. ۲۰۰۸. Spatial distribution of groundwater quality with geostatistics (Case study: Yazd-Ardakan plain). World Applied Science Journal. ۴(۱): ۹-۱۷. ۹
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 منطقه ای استان اصفهان امور آب استان چهارمحال و بختیاری. ۱۳۷۱. گزارش منابع آب های زیرزمینی دشت لردگان.
۱۴. APHA. ۱۹۹۸. Astandard methods for examination of water and waste water ۲۰th edition American Public Health Association, Washington,DC.
۱۵. Carrier air conditioning Company. ۱۹۶۵. Handbook of air conditioning system design. McGraw-Hihh Books. New York.

and M. Al-Rashed (Eds.), Balkema,
Tokyo, Japan. ۲: ۳۷-۵۷.

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

