

ارزیابی، بررسی تغییرات مکانی و پهنه‌بندی برخی از شاخص‌های کیفی آب برای کاربرد در طراحی آبیاری قطره‌ای در دشت لردگان

یاسر استواری^۱، حبیب‌ا... بیگی هرچگانی^{۲*} و علیرضا داودیان^۳

چکیده

تعمیم داده‌های نقطه‌ای به سطح در بیشتر مطالعات منابع آب از اهمیت ویژه ای برخوردار است. روش‌های درون‌یابی به عنوان راه حل مناسبی در تخمین محل‌های نمونه‌برداری نشده مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این پژوهش به بررسی زمین‌آماری مولفه‌های موثر در طراحی سیستم آبیاری قطره-ای شامل EC، TDS، کدورت، TSS، pH و شاخص لائزیرلر در دشت لردگان واقع در استان چهارمحال بختیاری پرداخته می‌شود. برای این منظور از تعداد ۵۲ حلقه چاه کشاورزی که به خوبی در دشت لردگان پراکنده بودند در چهار نوبت (خرداد، مرداد، شهریور، آبان) در سال ۱۳۸۹ نمونه‌برداری صورت گرفت و مولفه‌های مورد نیاز کیفیت آب در آن‌ها اندازه‌گیری شد. از روش کریجینگ و وزن دهی معکوس فاصله برای تخمین مولفه‌ها استفاده و نقشه پهنه‌بندی مولفه‌ها ترسیم شد. برای تمام مولفه‌ها، بر اساس معیارهای R^2 و ME کریجینگ روش مناسبتری نسبت به روش معکوس فاصله است. مقدار EC در این آبخوان بین ۴۵۰ تا $۹۶۰ \mu S/cm$ است که آب را در کلاس C_2 و C_3 برای آبیاری قرار می‌دهد. مقدار TDS در قسمت شمالی آبخوان به $۵۰۰ mg/L$ می‌رسد که خطر متوسط گرفتگی قطره چکان‌ها را پی دارد. مثبت بودن مقدار شاخص لائزیرلر (تغییرات بین ۰/۸ تا ۰/۱۷) با میانگین ۰/۱۲) در تمام قسمت‌های آبخوان نشان دهنده پتانسیل کم رسوبگذاری آب در سیستم آبیاری قطره‌ای است. وجود سازندهای کربناتی در دشت لردگان احتمالاً دلیل اصلی مثبت بودن شاخص لائزیرلر می‌باشد. به طور کلی در قسمت شمالی آبخوان نسبت به سایر قسمت‌ها مقدار مولفه‌های اندازه‌گیری و محاسبه شده بیشتر است. بنابراین در قسمت شمالی دشت لردگان مقدار کمی محدودیت برای آبیاری قطره‌ای وجود دارد و خطر گرفتگی قطره چکان‌ها بیشتر است. با این حال، آب این آبخوان، و به ویژه در بخش‌های شرقی و غربی برای آبیاری قطره‌ای مناسب است.

واژه‌های کلیدی: کیفیت آب، آبیاری قطره‌ای، تغییرات مکانی، پهنه‌بندی

مقدمه ۳۲۱

با توجه به قرار گرفتن ایران در منطقه خشک و نیمه خشک یکی از شیوه‌های آبیاری که می‌توان با مصرف کمتر آب به بازده مطلوبی رسید آبیاری تحت فشار است. آبیاری قطره‌ای از جمله‌ی این سیستم‌هاست که در آن گرفتگی قطره‌چکان‌ها ارتباط نزدیکی با کیفیت آب آبیاری دارد. بالا بودن میزان جامدات محلول (TDS) و جامدات معلق (TSS) در آب معمولترین عوامل گرفتگی قطره‌چکان‌ها هستند (Hasanlee, 2001). اثرات EC و TDS در آبیاری از هر عامل دیگر مهم‌تر هستند. آبیاری با آب حاوی EC و TDS بالا نتایج سوئی روی کارایی سیستم‌های آبیاری قطره‌ای دارد، به خصوص در مناطقی که تبخیر و تعرق سالانه از میزان بارندگی بیشتر است. بالا بودن شوری آب به علاوه pH بیشتر از ۷ سبب رسوب املاح به ویژه کربنات کلسیم در سیستم‌های آبیاری قطره‌ای می‌شود (et al. 2004). یکی از شاخص‌های مهم در آبیاری قطره‌ای شاخص لائزیرلر است. مقدار مثبت این شاخص نشانگر پتانسیل رسوبگذاری و مقدار منفی این شاخص نشانگر پتانسیل خوردگی آب می‌باشد. جدول (۱) طبقه‌بندی کیفیت آب (Nakayama and Bucks, 1979) جهت تعیین پتانسیل آب برای گرفتگی قطره چکان‌ها را نشان می‌دهد.

منابع آب زیرزمینی در کشور ایران از مهمترین منابع آب مورد استفاده در کشاورزی و شرب بشمار می‌آیند. تغییر کیفیت آب‌های زیرزمینی و شور شدن منابع آب هم اکنون خطری بزرگ در راه توسعه‌ی کشاورزی کشور بویژه در اراضی خشک می‌باشد. کیفیت آب زیرزمینی همچون آب سطحی همواره در حال تغییر است، اما این تغییرات نسبت به آب‌های سطحی بسیار کندتر صورت می‌گیرد. تهیه‌ی نقشه‌های تغییرات شوری و املاح می‌تواند گامی مهم در بهره برداری صحیح از منابع آب باشد. افزون بر آن نقشه‌های تغییرات ویژگی‌های شیمیایی آب‌های زیرزمینی، نقشی ارزنده‌ای را در فرایند تصمیم‌گیری و مدیریت بهره برداری از آب‌های زیرزمینی ایفا می‌کند (Shaabani, 2009).

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

۲- استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد
(Email: beigi.habib@gmail.com) *نویسنده مسئول:

۳- استادیار گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد

جدول ۱- عوامل موثر بر پتانسیل گرفتگی قطره چکان‌ها (ناکایاما و باکس ۱۹۷۹)

دسته بندی خطر			عوامل مسدود کننده
شدید	متوسط	ضعیف	
>۸	۷-۸	<۷	pH
>۱۰۰	۵۰-۱۰۰	<۵۰	mg/L جامدات معلق)
>۲۰۰۰	۵۰۰-۲۰۰۰	<۵۰۰	mg/L جامدات محلول)

بالا تر دارند، به گونه‌ای که از بین روش‌های زمین آماری، روش کوکریجینگ و از میان روش‌های معین، روش تابع شعاعی از دقتی بالاتر برای بیشتر عامل‌ها برخوردار بود.

(Nejati-Jahromi *et al.* (2009) در مطالعه‌ای به بررسی زمین

آماري توزیع نیترا در آبخوان ابرفتی دشت عقیلی (شمال شهرستان شوشتر در استان خوزستان) در محیط GIS پرداختند. آن‌ها از تعداد ۲۰ حلقه چاه نمونه‌برداری و مقدار نیترا را در آن چاه‌ها اندازه‌گیری کردند. این محققین از روش کوکریجینگ و وزن دهی معکوس فاصله برای نشان دادن تغییرات مکانی نیترا استفاده نمودند. بررسی نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل شیمیایی نشان داد که کوکریجینگ معمولی بهترین روش درونیابی جهت بررسی مکانی نیترا در آبخوان دشت عقیلی می‌باشد.

(Fetouani *et al.* (2008) در مطالعه‌ای به بررسی کیفیت آب-

های زیرزمینی دشت تریفا در شمال شرق مراکش از نظر نیترا، آمونیوم و آلودگی‌های باکترولوژیکی پرداختند. آن‌ها از روش کوکریجینگ برای مطالعه و پهنه‌بندی نقشه کیفی آب‌های زیرزمینی استفاده نمودند. نتایج آن‌ها نشان دهنده تغییرات معنی‌دار کیفیت آب در مقایسه با مطالعات قبلی بود. چنین نتیجه گرفته شد که اگر هیچ نوع برنامه‌ی درازمدت بازدارنده اجرا نشود، توسعه‌ی اراضی کشاورزی در این مناطق باعث تخریب بیشتر کیفیت آب‌های زیرزمینی خواهد شد. چنین به نظر می‌رسد که مناسب‌ترین روش درونیابی و پهنه‌بندی متغیرهای مختلف کیفی آب از دشتی به دشت دیگر متفاوت است. در مطالعه فعلی دو روش کوکریجینگ و وزن‌دهی- معکوس فاصله از نظر دقت و صحت مقایسه شده و روش مناسب‌تر برای پهنه‌بندی مورد استفاده قرار خواهد گرفت.

(Sanchez (2001) در مطالعه‌ای کیفیت آب زیرزمینی منطقه

آندراکس واقع در جنوب شرقی اسپانیا را با استفاده از آنالیزهای مولفه-های اصلی (PCA) و زمین آمار پهنه‌بندی کرد. در این مطالعه از ۳۱ حلقه چاه نمونه‌برداری صورت گرفت و برخی از مولفه‌های کیفیت آب اندازه‌گیری شد. با کاربرد PCA سه متغیر، تأثیر سولفات، تأثیر حرارتی و اثر دریایی تعریف شد که در ارتباط با فرایند اصلی شور شدن آب بر اثر شستشوی سریع رسوبات و تجمع نمک بود. سانچز بیان کرد که استفاده از تکنیک زمین آماری کوکریجینگ برای مطالعه

یکی از روش‌های تخمین تغییرات مکانی متغیرهای کیفیت آب یک منطقه استفاده از روش‌های زمین آماری می‌باشد. 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 طور کلی می‌توان گفت زمین آمار به بررسی آن دسته از متغیرهایی می‌پردازد که دارای ساختار مکانی هستند و یا به عبارتی بین مقادیر مختلف آن‌ها، فاصله و جهت قرار گرفتن آن‌ها یک ارتباط فضایی وجود دارد (Hasanipak, 1999).

از جمله روش‌های زمین آماری جهت تهیه نقشه‌های تغییرات کیفیت آب‌های زیرزمینی می‌توان به روش‌های میان‌یابی کوکریجینگ، کوکریجینگ، روش عکس فاصله و تابع شعاعی اشاره کرد. Malegi- (2009) Gonadishi *et al.* به بررسی کیفی آب‌های زیرزمینی دشت زرنند در طی سال‌های ۱۳۷۳ تا ۱۳۸۵ از نظر شرب با استفاده از زمین آمار پرداخت. در این پژوهش ده ویژگی هدایت الکتریکی، کلر، کلسیم، منیزیم، سدیم، سولفات، بیکربنات، pH، TDS و SAR آب-های زیرزمینی دشت زرنند بررسی و آب‌ها از نظر شرب طبقه‌بندی شدند. با بررسی نقشه‌های ده مولفه ذکر شده به جز بیکربنات و pH، بقیه مولفه‌ها در شمال غربی دشت زرنند بیشترین مقدار را دارا بوده و تقریباً منطبق بر محدوده خروجی دشت می‌باشد. از عوامل موثر بر شاخص‌های کیفیت آب در دشت زرنند می‌توان به سیر تکاملی آب، افزایش برداشت آب زیرزمینی، ورود فاضلاب‌های شهری-صنعتی، فعالیت‌های زیست‌محیطی و اثر سازنده‌های زمین‌شناسی آبخوان و دشت اشاره کرد.

(Zehtabiyani and Asgari (2009) در مطالعه‌ای به بررسی و

تحلیل مکانی ویژگی‌های کیفی آب‌های زیرزمینی در حوزه‌ی آبخیز گرمسار واقع در استان سمنان پرداختند. آن‌ها تعداد ۴۱ حلقه چاه و قنات انتخاب کردند و برخی از کاتیون‌ها و آنیون‌ها را در آن‌ها اندازه-گیری کردند. آن‌ها در این پژوهش با استفاده از برخی از روش‌های زمین آماری به تخمین مولفه‌های اندازه‌گیری شده پرداختند. نتایج نشان داد که روش‌های زمین آماری نسبت به روش‌های معین دقتی

زیرزمینی دشت تأمین می‌شود. Regional Water Authority, (1993). شکل ۱ نقشه موقعیت و زمین‌شناسی دشت مورد مطالعه را نشان می‌دهد. علی‌رغم کاهش بارش و افت سطح ایستابی در سال‌های اخیر و علی‌رغم تشویق مسولین منابع آب به استفاده از آبیاری تحت فشار، فقط تعداد معدودی از باغات موجود در دشت از آبیاری قطره‌ای استفاده می‌کنند.

زمین‌شناسی آبخوان

دشت لردگان از نظر ژئومورفولوژی یک دشت میانکوهی بوده که محصور بین کوه‌های مرتفع زاگرس است. در جنوب و جنوب شرق این دشت کوه ریگ بر مبنای نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ برگه چنگ (Ehsanbakhsh-Kermani, 1996) از جنس سازند آسماری است که شامل سنگ‌های آهکی کرم و خاکستری روشن توده‌ای و متخلخل است.

علاوه بر سازند آسماری، بخش‌های کوچکی از تاق‌دیس ریگ از سازند چهارم شامل سنگ‌های آهکی و دولومیتی خاکستری روشن و توده‌ای تشکیل شده است. در شرق و شمال شرقی دشت، کوه کلار قرار دارد که شبیه به کوه ریگ از سازند آسماری تشکیل شده است. این دو کوه که به صورت غالب از سازندهای کربناته تشکیل شده‌اند، نقش مهمی در تغذیه آبخوان دشت لردگان به عهده دارند. در غرب دشت نیز کوه گرازآباد مشاهده می‌شود که جنس آن سازند بختیاری شامل کنگلومرا و ماسه‌سنگ می‌باشد. در شمال غرب دشت سازند گچساران شامل مارن‌های خاکستری و قرمز همراه با گچ ملاحظه می‌شوند. خود دشت نیز از سازندهای آبرفتی جوان کواترنری تشکیل گردیده است (Regional Water Authority, 1993).

نمونه‌برداری و اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی

در این مطالعه ۵۲ حلقه چاه در دشت لردگان به گونه تصادفی و با پراکنش مناسب انتخاب گردید. از این چاه‌ها در چهار نوبت در سال ۱۳۸۹ (یکبار در بهار، دو بار در تابستان و یکبار در پاییز) نمونه‌برداری صورت گرفت. نمونه‌های برداشت شده بر اساس استانداردهای APHA (۱۹۸۸) تجزیه شدند. هدایت الکتریکی (EC) و pH نمونه‌ها با دستگاه istek مدل PDC ۹۱۵ و کل جامدات محلول (TDS) نمونه‌ها با تبخیر ۱۰۰ mL آب و توزین مانده اندازه‌گیری شد. دمای آب در محل نمونه‌برداری اندازه‌گیری شد. به منظور محاسبه شاخص لانتزیرر مولفه‌های دیگر کیفی آب شامل کلسیم (Ca^{2+})، منیزیم (Mg^{2+})، کربنات (CO_3^{2-}) و بی‌کربنات (HCO_3^-) به روش تیتراسیون اندازه‌گیری شدند (APHA ۱۹۸۸). کدورت نمونه‌ها با کدورت سنج مدل PC Compact قرائت و با واحد NTU بیان گردید. جامدات معلق (TSS)، با عبور ۱۰۰ mL آب از صافی ۰/۴۵ μm و خشکاندن صافی در ۱۰۵°C و توزین با ترازوی آنالیتیک به دست آمد (APHA, 1988).

تعبیرپذیری مکانی در فرایندهای هیدروژئولوژی مفید است زیرا که قادر است توزیع و تغییرات مکانی متغیرهای آبخوان را به خوبی تخمین بزند.

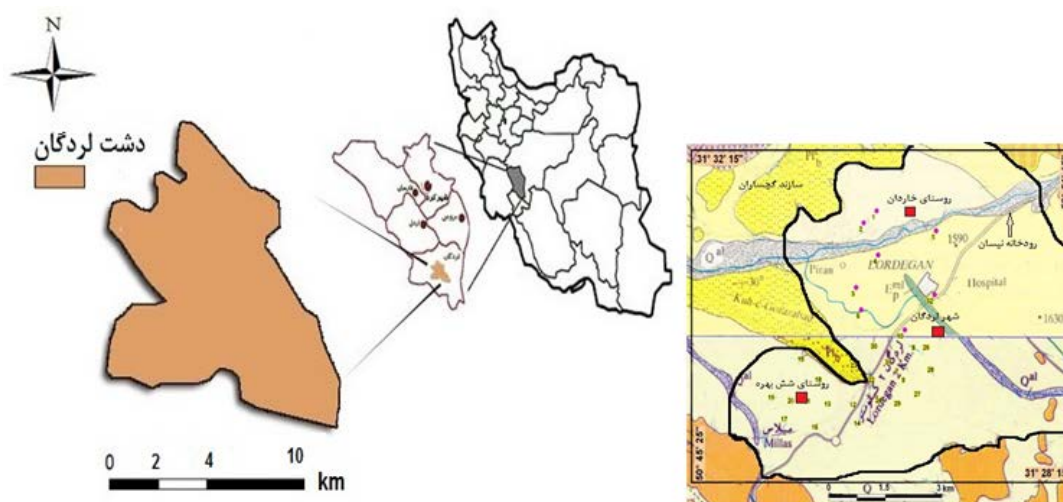
(Mehrerjedi et al. 2008) در مطالعه‌ای در دشت اردکان یزد به تحلیل مکانی برخی از ویژگی‌های کیفی آب‌های زیرزمینی مانند نسبت جذب سدیم (SAR)، هدایت الکتریکی (EC)، سختی کل (TH)، کل جامدات محلول (TDS) و کلرید (Cl^-) با استفاده از سه روش وزن دهی معکوس فاصله، کریجینگ و کوکریجینگ پرداختند. آن‌ها از ۷۳ حلقه چاه نمونه‌برداری کردند. ارزیابی نتایج حاصله بر اساس معیار RMSE نشان داد که روش کریجینگ بر دو روش دیگر برتری داشته و در نهایت به عنوان تخمین‌گر ویژگی‌های کیفی آب-های زیرزمینی منطقه انتخاب گردید و با استفاده از این روش نقشه-های پهنه‌بندی خصوصیات کیفی آب ترسیم شد.

در سال‌های اخیر مطالعات فراوانی در جهان (به عنوان مثال؛ Sanches, 2001; Fetouani et al. 2008) و ایران (Rezai et al. 2009) برای بررسی تغییرات مکانی و کیفی آب‌های زیرزمینی با استفاده از روش‌های زمین آماری انجام شده است. این مطالعات نشان‌دهنده تناسب برخی از روش‌های زمین آماری برای بررسی تغییرات مکانی کیفی آب‌های زیرزمینی است. تاکنون هیچ مطالعه‌ای برای بررسی تغییرات مکانی مولفه‌های کیفیت آب‌های زیرزمینی منطقه لردگان که از دشت‌های مهم کشاورزی استان چهارمحال و بختیاری بشمار می‌رود صورت نگرفته است. هدف از این مطالعه (۱) بررسی تغییرات مکانی مولفه‌های EC، TDS، بار معلق، کدورت، pH و شاخص لانتزیرر؛ (۲) مقایسه روش کریجینگ و روش وزن دهی معکوس فاصله برای نقشه‌کشی مولفه-های نامبرده در آبخوان دشت لردگان؛ و (۳) تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی این مولفه‌ها به ویژه برای اهداف طراحی آبیاری قطره‌ای است.

مواد و روش‌ها

معرفی دشت لردگان

دشت لردگان با وسعت ۵ هزار هکتار بین طول‌های جغرافیائی ۳۱°، ۳۷° و ۳۱°، ۱۸° شرقی و عرض‌های ۵۱°، ۱۰° و ۴۷°، ۵۰° و ۴۷° شمال چهارمحال بختیاری واقع شده است. 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 شمال شرق به دشت خان‌میرزا منتهی می‌گردد. میانگین دمای سالانه این دشت ۱۵/۵ درجه سلسیوس و میانگین بارش سالانه آن ۵۶۰ میلی متر است که آن را بر اساس روش آمبرژه در آب و هوای نیمه‌گرمسیری قرار می‌دهد. علاوه بر شهر لردگان با جمعیت حدود ۲۳۰۰۰ نفر، چندین روستا هم در این دشت قرار دارند. فعالیت عمده مردم در این منطقه کشاورزی و دامپروری بوده و بیشتر آب مورد نیاز این فعالیت‌ها از آب



شکل ۱- موقعیت چاه‌ها و محدوده دشت لردگان (نقشه سمت چپ) و نقشه زمین‌شناسی منطقه (نقشه سمت راست). در نقشه سمت راست موقعیت چاه‌ها، شهر لردگان، برخی روستاها و رودخانه نیسان نیز مشخص است.

حالت اشباع از کربنات کلسیم است. در این پژوهش سختی و قلیائیت به منظور محاسبه شاخص LI به کار رفته‌اند و پهنه‌بندی آن‌ها بررسی نخواهد شد.

درون‌یابی مکانی و معرفی روش‌های کریجینگ و معکوس فاصله

از تکنیک زمین‌آمار به صورت گسترده‌ای در مطالعات هیدروژئوشیمیایی استفاده می‌شود. این تکنیک با آنالیز پیوستگی مکانی و تغییرات زمانی متغیرهای هیدروژئوشیمیایی انجام می‌شود. برای این منظور، تغییر پذیری مکانی متغیرها با متغیرنماهای تجربی مشخص می‌شود و متغیرها با کریجینگ معمولی پهنه‌بندی می‌گردند (Sanches, 2001). Kersic (1997) روش کریجینگ را به عنوان بهترین و قویترین ابزار برای درون‌یابی داده‌ها و تهیه نقشه‌های هیدروژئوشیمیایی آب‌های زیرزمینی معرفی کرد.

روش کریجینگ

این روش متکی بر میانگین متحرک وزنی است و بهترین تخمین گر ناریب می‌باشد که علاوه بر مقادیر برآورد شده، میزان خطای تخمین در هر نقطه را نیز مشخص می‌نماید. در دهه گذشته کریجینگ به عنوان یک تکنیک قدرتمند درون‌یابی معرفی و در رشته‌های مختلف علوم زمین مانند هیدروژئولوژی، علوم خاک و معدن بکار رفته است. علی‌رغم تمام مزایای این روش، نرم کردن تغییرات در هنگام تخمین سبب می‌شود که واریانس نمونه‌های تخمین زده شده نسبت

سختی کل (TH) با رابطه زیر محاسبه شد که در آن غلظت کلسیم و منیزیم به meq/L است (Mostafazade and Moidiniya, 2001).

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

قلیائیت آب (alkalinity) از مجموع کربنات و بی‌کربنات به دست آمد. جهت محاسبه اندیس لانژلیئر ابتدا pH آب در حالت اشباع از کربنات کلسیم (pHs) محاسبه شد (Mostafazade and Moidiniya, 2001):

$$pHs = [9.3 + A + B] - (C + D) \quad (2)$$

که در آن:

$$A = (\text{Log [TDS]} - 1) / 10 \quad (3)$$

$$B = -3.12 \text{ Log } (^\circ\text{C} + 273) + 34.55 \quad (4)$$

$$C = \text{Log [TH]} - 0.4 \quad (5)$$

$$D = \text{Log [alkalinity as CaCO}_3] \quad (6)$$

که در این روابط: TDS کل جامدات محلول به mg/L ، درجه حرارت به درجه سلسیوس $^\circ\text{C}$ ، $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ مقدار کلسیم و منیزیم به کربنات کلسیم معادل به mg/L و alkalinity قلیائیت کل به mg/L است.

در نهایت مقدار اندیس لانژلیئر (LI) محاسبه شد (Mostafazade and Moidiniya, 2001):

$$LLI = pH - pHs \quad (7)$$

که در آن: pH: واکنش واقعی آب و pHs: واکنش آب در

تغییرپذیری متغیر را نسبت به فاصله مکانی یا زمانی شناخت. برای این کار لازم است مجموع مربع تفاضل زوج نقاطی که به فاصله معلوم h از یکدیگر قرار دارند، محاسبه و در مقابل h (فاصله) رسم گردد (Sanches, 2001). شکل ۲ نمایی از یک سمی‌واریوگرام را نشان می‌دهد. هر واریوگرام دارای چند مشخصه مهم است که در زیر به آن پرداخته می‌شود (Rezai et al, 2001).

دامنه تأثیر (Range)

فاصله‌ای که در آن واریوگرام به حد ثابتی رسیده و به حالت خط افقی نزدیک می‌شود، دامنه یا شعاع تأثیر نامیده می‌شود (شکل ۲). این دامنه محدوده‌ای را مشخص می‌کند که می‌توان از داده‌های موجود در آن برای برآورد مقدار متغیر مجهول استفاده کرد. دامنه تأثیر بزرگ تر دلالت بر پیوستگی مکانی گسترده‌تری دارد (Shabani et al, 2009).

آستانه تأثیر (Sill)

به مقدار ثابتی که واریوگرام در دامنه‌ی تأثیر به آن می‌رسد آستانه گفته می‌شود. مقدار آستانه برابر واریانس کل تمام نمونه‌هایی است که در محاسبه‌ی تغییرنا بکار رفته‌اند. در روش کریجینگ، واریوگرام‌هایی که دارای آستانه مشخصی هستند، اهمیت بیشتری دارند (شکل ۲).

اثر قطعه‌ای (Nugget)

مقدار واریوگرام در مبدأ مختصات، یعنی به ازای $h=0$ را اثر قطعه ای (C_0) می‌نامند (شکل ۲). در حالت آرمانی مقدار C_0 باید صفر باشد، اما در بیشتر مواقع بزرگتر از آن است. در این حالت بخش تصادفی و یا ناساختار متغیر ظاهر می‌شود (شعبانی ۲۰۰۹). نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه تأثیر (C_0/C_0+C) شاخصی از قدرت ساختار مکانی در متغیرها می‌باشد چنانچه این نسبت کمتر از ۰/۲۵ گردد نشان دهنده همبستگی مکانی قوی است. اگر این نسبت بین ۰/۲۵ تا ۰/۷۵ قرار گیرد بیانگر همبستگی مکانی متوسط و چنانچه این نسبت بزرگتر از ۰/۷۵ گردد نشان دهنده وابستگی مکانی ضعیف خواهد بود. همبستگی قوی مکانی به این معنی است که در دامنه تأثیر می‌توان متغیر مورد نظر را تخمین زد (Cambardella et al. 1994).

ارزیابی صحت مدل واریوگرام

اعتبار سنجی مدل با استفاده از معیارهای ارزیابی زیر انجام شد (Mehrerjedi et al. 2008):

به نقاط واقعی تغییرات کمتری داشته باشد بدین معنی که مقدار تغییرات در پیش‌بینی مدل، کمتر از واقعیت می‌باشند (Xu et al. 2006). در مجموع موفقیت این روش در درون‌یابی متغیرها کاملاً وابسته به دقت در انتخاب مدل داده‌ها با تجربی سمی‌واریوگرام دارد. اگر در انتخاب مدل دقت کافی نشود نتیجه درون‌یابی مناسب نخواهد بود. در برخی مواقع به دلایلی از جمله همساز نبودن ساختار مکانی ساختار عمومی، دقت کم داده‌ها و عدم تجانس مکانی داده‌ها نتایج از این روش از دقت کافی برخوردار نیستند.

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

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (7)$$

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 تنوری سمی‌واریوگرام کروی، نمائی و گوسی برازش داده شد و بهترین مدل انتخاب گردید.

روش معکوس فاصله^۱

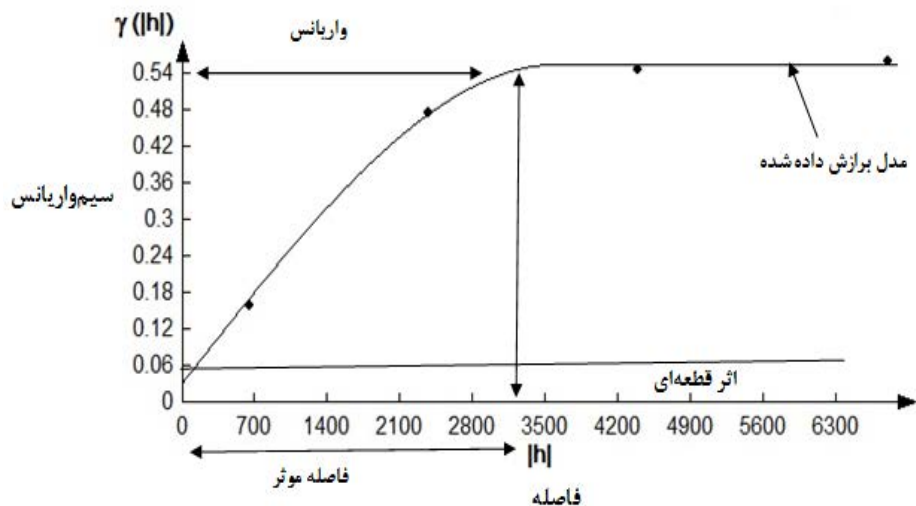
معکوس فاصله یک روش وزن دهی متوسط بوده که در آن داده‌ها از طریق رابطه انحراف معیار یک نقطه از سایر نقاط با استفاده از گره‌های شبکه‌بندی شده، وزن‌دهی می‌شوند. هنگامی که گره شبکه بر آورد می‌گردد، وزن‌های تخصیص یافته به نقاط، برابر ۱ می‌باشد. زمانی که یک نقطه بر گره شبکه منطبق شود، فاصله این نقطه تا گره برابر با صفر بوده، بنابراین در این حالت وزن تخصیص داده شده به نقطه یاد شده برابر ۱ و وزن سایر نقاط اطراف گره برابر با صفر می‌باشد. روابط مورد استفاده در این روش به شکل زیر است:

$$Z_j = \frac{\sum_{i=1}^N Z_i \cdot h_{ij}}{\sum_{i=1}^N h_{ij}^B} \quad (8)$$

$$h_{ij} = \sqrt{d_{ij}^2 + \sigma^2} \quad (9)$$

که در آن h_{ij} : اختلاف فاصله مؤثر بین گره شبکه (i) و نقطه همسایگی گره $Z_j(i)$: مقدار تخمین زده شده پارامتر Z_j : مقدار واقعی پارامتر Z در همسایگی گره i ، d_{ij} : فاصله بین گره شبکه (i) و نقطه همسایگی گره i ، β : توان وزن داده شده، σ : ضریب هموارکننده می‌باشند (Shabani, 2009). هدف اصلی از محاسبه‌ی واریوگرام این است که بتوان

1- Inverse Distance Method (وزن دهی معکوس فاصله)



شکل ۲- نمونه‌ای از یک واریوگرام و مشخصه‌های مربوط به آن. (Shaabani, 2009)

شده بیان کردند.

برای مقایسه دو روش کریجینگ و وزن‌دهی معکوس فاصله از شاخص‌های R^2 ، $RMSE$ و ME استفاده شد. نرمال بودن داده‌ها که از شرایط استفاده از واریوگرام است با استفاده از آزمون کلموگراف-اسمیرنوف بررسی شد. تجزیه و تحلیل‌های آماری با استفاده از STATISTICA 8.0 انجام شد. مدل واریوگرام‌ها با 2.21 variowin تعیین شد. روش وزن‌دهی معکوس فاصله با استفاده از GS+ صورت گرفت. پهنه‌بندی و تهیه نقشه‌های توزیع مکانی مولفه‌ها در محیط ArcMap 9.3 انجام شد.

نتایج و بحث

خلاصه آماری برخی از خصوصیات اندازه‌گیری شده آبخوان دشت لردگان در جدول (۲) نشان داده شده است. در نمونه‌های آب کربنات و آهن و منگنز مشاهده نشد.

از آنجائی که حداقل EC در این آبخوان از $250 \mu S/cm$ بیشتر است آب در کلاس C_2 و C_3 قرار می‌گیرد که کیفیت متوسط برای آبیاری دارد (Wilcox, 1955). متوسط مقدار TDS در این آبخوان $271 mg/L$ است. در برخی از قسمت‌های آبخوان مقدار TDS اندکی از حد $500 mg/L$ تجاوز می‌کند که خطر متوسط گرفتگی قطره چکان‌ها را در پی دارد (Nakayama and Bucks, 1979).

مقدار کدورت و به دنبال آن TSS در این آبخوان کم بوده و خطر گرفتگی قطره چکان‌ها کم است (Nakayama and Bucks, 1979). مقدار pH در آبخوان دشت لردگان بیشتر از ۷ و کمی قلیایی است. مقدار شاخص لانتزیر در آبخوان دشت لردگان کمی بزرگتر از صفر

$$ME = \frac{\sum_{j=1}^n X(p)_j - X(m)_j}{n} \quad (10)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (X(p)_j - X(m)_j)^2}{n}} \quad (11)$$

$$\%RMSE = (RMSE / \mu) \times 100 \quad (12)$$

که در آن‌ها، ME: میانگین خطا، RMSE: ریشه میانگین مربعات خطا، $X(p)$: مقادیر برآورد شده هر مولفه کیفی آب، $X(m)$: مقادیر اندازه‌گیری شده هر مولفه کیفی آب، n: تعداد نمونه‌ها و μ : میانگین هر مولفه اندازه‌گیری شده است.

آماره ME نشان دهنده وجود اریبی است. مقادیر مثبت آن تخمین بیش از مقدار واقعی و مقادیر منفی آن تخمین کمتر از مقدار واقعی را نشان می‌دهد. هر اندازه آماره ME کوچکتر باشد پیش بینی روش درون‌یابی از اریبی کمتری برخوردار است. مقدار RMSE در حالت پهنه یا حالتی که مقادیر برآورد شده و اندازه‌گیری شده مساوی باشند صفر است. هر اندازه مقدار RMSE کوچکتر باشد پیش بینی روش درون‌یابی از صحت بیشتری برخوردار است (Rezai et al. 1379). معیار RMSE نسبت به داده‌های پرت حساس است، به همین دلیل می‌توان از $\%RMSE$ استفاده کرد. کوچکتر بودن این ویژگی، دلیلی بر دقت بالاتر تخمین‌ها و یا اختلاف کم بین مقادیر واقعی و مقادیر تخمین زده شده می‌باشد (Hengel et al. 2004). حد قابل قبول $\%RMSE$ را ۴۰ و $\%RMSE$ بالاتر از ۷۰ درصد را نشانه عدم دقت در تخمین نقاط و تغییرات زیاد بین مقادیر اندازه‌گیری شده و تخمین زده

است که نشان دهنده پتانسیل اندک رسوب‌گذاری آب این آبخوان می‌باشد.

مقدار نسبت اثر قطعه‌ای EC به TDS برابر $3/2$ و نیز نسبت آستانه تأثیر EC به TDS برابر $3/8$ است. نزدیکی این دو مقدار می‌تواند به دلیل ارتباط مستقیم این دو مولفه به یکدیگر باشد (جدول ۳). دامنه تأثیر کدورت و TSS با مدل گوسی شبیه به هم و حدوداً 3500 متر به دست آمد که از دامنه تأثیر EC و TDS بزرگتر است (جدول ۳).

مقایسه روش‌های میان‌یابی کریجینگ و وزن‌دهی معکوس فاصله

جدول ۴، مقادیر R^2 ، RMSE و ME حاصل از اعمال روش‌های کریجینگ و وزن‌دهی معکوس فاصله را برای مولفه‌های EC، TDS، کدورت، TSS، pH و LI را نشان می‌دهد. برای تمام مولفه‌ها مقدار ضریب تعیین (R^2) در روش کریجینگ از روش وزن‌دهی معکوس فاصله بیشتر است. همچنین مقدار ME روش کریجینگ در مجموع از ME روش وزن‌دهی معکوس فاصله کمتر است (جدول ۴). با این حال روش وزن‌دهی معکوس در تخمین TDS و به ویژه EC مقدار RMSE کمتری دارد. با توجه به نتایج جدول ۴ روش میان‌یابی کریجینگ به عنوان روش مناسب‌تر برای تخمین و پهنه‌بندی مولفه‌های اندازه‌گیری شده می‌باشد. (Shabani et al. (2009) ، (Mehrerjerdi et al. (2008) و (Fetouani et al. (2008) نیز کریجینگ را روش مناسب تری از وزن‌دهی معکوس فاصله معرفی کردند. لذا در این پژوهش از روش میان‌یابی کریجینگ برای تخمین مولفه‌ها، پهنه‌بندی و ترسیم نقشه‌ها استفاده گردید. شکل ۴ نقشه پهنه‌بندی مولفه‌های EC، TDS، کدورت، TSS، pH و شاخص LI را نشان می‌دهد.

همه مولفه‌ها طبق واریوگرام سطحی همسانگرد بودند. شکل ۳ واریوگرام‌های مربوط به مولفه‌های اندازه‌گیری شده کیفیت آب زیرزمینی دشت لردگان را نشان می‌دهد. pH با مدل کروی، و تمام مولفه‌های اندازه‌گیری شده دیگر این دو مولفه با مدل گوسی توصیف شدند. (Mehrerjerdi et al. (2008) نیز نشان دادند که مدل کروی و گوسی می‌تواند همبستگی مکانی خصوصیات کیفی آب زیرزمینی را به خوبی توصیف نماید. واریوگرام‌های مولفه‌های EC با TDS و نیز واریوگرام‌های کدورت با TSS مشابه هستند (شکل ۳). مشابهت واریوگرام‌های EC با TDS و کدورت با TSS نشان‌دهنده تشابه ساختار مکانی و تشابه الگوی تغییرات مکانی آن‌ها است. با توجه به روابط مستقیم EC با TDS و کدورت با TSS این تشابه دور از انتظار نیست. (Sanchez (2001) و (Shabani (2009) نیز از مدل کروی برای توصیف pH استفاده کرد. نتایج برآزش بهترین مدل متغیرنما برای شاخص‌های اندازه‌گیری شده در جدول ۳ ارائه شده است.

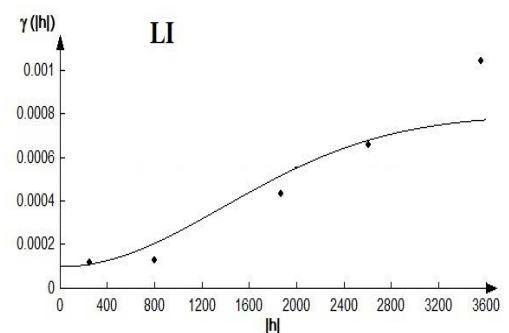
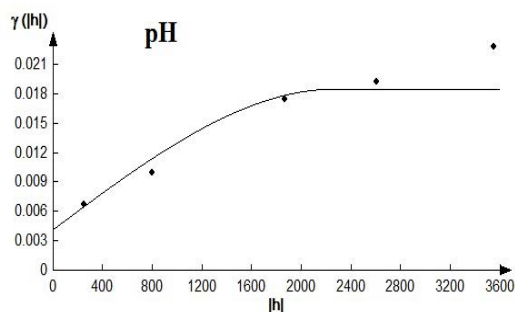
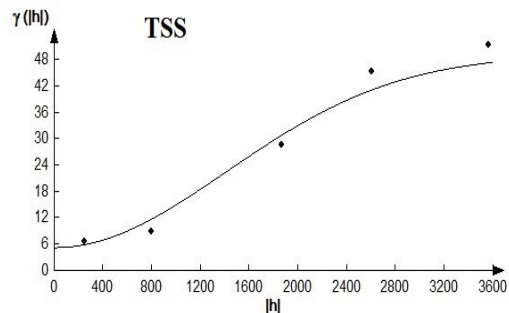
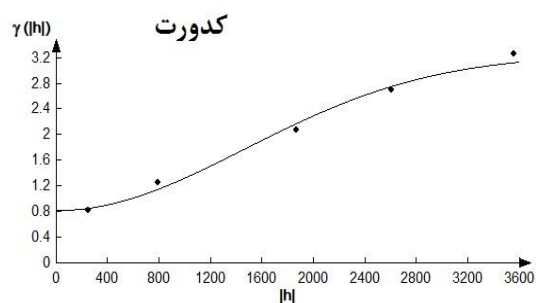
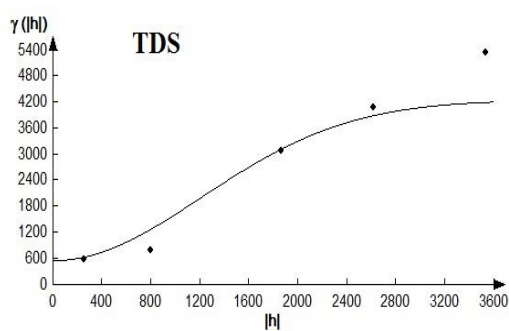
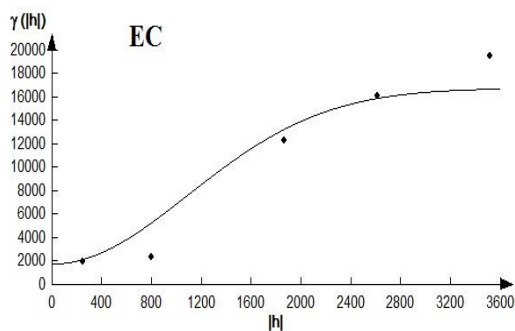
تحلیل واریوگرام‌ها

مقدار نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه تأثیر برای تمام مولفه‌ها کمتر از $0/25$ به دست آمد که همبستگی قوی مکانی این مولفه‌ها را در دامنه تأثیرشان نشان می‌دهد (Cambardella et al. 1994). مقدار ME برای تمام مولفه‌ها کمتر از یک واحد بدست آمد که بیش برآوردی ناچیزی مدل گوسی و کروی را نشان می‌دهد (جدول ۳). مقدار RMSE % برای تمام مولفه‌های اندازه‌گیری شده کمتر از ۱۵ بود که نشانگر دقت بسیار خوب مدل‌های واریوگرام و تخمین‌ها است (Hengel et al. 2004).

دامنه تأثیر برای دو مولفه EC و TDS با مدل گوسی مشابه هم و حدوداً 2800 متر به دست آمد. مقدار RMSE برای EC برابر

جدول ۲- میانگین و دامنه EC، TDS، کدورت و TSS، pH و شاخص لائزیر (LI) در آب آبخوان دشت لردگان

مولفه	واحد	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات (%)
EC	$\mu S/cm$	۴۵۰	۹۶۰	۶۹۲	۱۲۱	۱۸
TDS	mg/L	۲۷۱	۵۳۶	۳۸۵	۶۱	۱۶
کدورت	NTU	۴/۹	۱۱/۴۱	۷/۶	۱/۶	۲۱
TSS	mg/L	۲۰	۴۵	۳۰	۶	۲۱
pH	—	۷/۴	۷/۸	۷/۶	۰/۱۳	۲
LI	—	۰/۰۸	۰/۱۷	۰/۱۲	۰/۰۲	۱۹



شکل ۳- واریوگرام‌های مولفه‌های اندازه‌گیری شده کیفیت آب در آبخوان دشت لردگان (محور افقی بر حسب متر می‌باشد)

جدول ۳- نتایج تجزیه و تحلیل زمین آماری مولفه‌های اندازه‌گیری شده کیفیت آب در آبخوان دشت لردگان

مولفه	مدل	دامنه تأثیر (متر)	آستانه تأثیر (C ₀ +C)	اثر قطعه‌ای (C ₀)	$\frac{C_0}{C_0+C}$	ME	RMSE	% RMSE
						mg/L		
EC	گوسی	۲۶۷۷	۱۶۸۰۰	۱۸۰۰	۰/۱۰	۰/۳۸	۸۱/۲	۱۱/۷
TDS	گوسی	۲۶۶۵	۴۴۶۳	۵۶۳	۰/۱۲	-/۸۱	۴۳/۰	۱۱/۲
کدورت	گوسی	۳۴۹۲	۳/۱۷۵	-/۸۲۵	۰/۱۱	-/۰۲	۱/۱	۱۴/۴
TSS	گوسی	۳۴۵۰	۴۹/۳۲	۵/۳۲	۰/۱۰	-/۱۳	۴/۴	۱۴/۶
pH	کروی	۲۲۶۸	-/۰۱۸۸	-/۰۰۴۴	۰/۳۳	-/۰۰۲	۰/۰۱	۱۳/۰
LI	گوسی	۳۳۷۴	-/۰۰۰۸	-/۰۰۰۱	۰/۱۲۵	-/۰۰۱	۰/۰۲	۱۴/۰

جدول ۴- مقادیر ME ، $RMSE$ ، R^2 و حاصل از اعمال روش‌های کریجینگ و وزن دهی معکوس فاصله در تخمین مولفه‌های EC، TDS، کدورت، TSS، pH و LI در آبخوان دشت لردگان

روش وزن دهی معکوس فاصله			روش میانبایی کریجینگ			مولفه
ME	RMSE	R ²	ME	RMSE	R ²	
mg/L			mg/L			
۴/۳	۴۰/۱۳	۰/۴۲	۰/۳۷	۷۹/۱	۰/۵۵	EC
۳/۹	۳۲/۱	۰/۳۹	۰/۶	۴۲/۳	۰/۵۰	TDS
۰/۰۰۱	۰/۸	۰/۴۶	-۰/۰۰۲	۱/۰۸	۰/۵۲	کدورت
۰/۱۰	۶/۹	۰/۴۶	۰/۱۳	۴/۳۲	۰/۵۱	TSS
۰/۰۰۷	۰/۰	۰/۳۵	-۰/۰۰۳	۰/۰۸	۰/۳۸	pH
۰/۰۰۴	۰/۰	۰/۴۷	-۰/۰۰۵	۰/۰۰۱	۰/۸۰	LI

آبخوان کمتر است. در این ناحیه احتمالاً به دلیل غالبیت و حضور گسترده سازندهای کربناتی در مجاورت سفره آب زیر زمینی، میزان کدورت و TSS کمتر از سایر نقاط است (Mayer, 1999). مقدار TSS در این آبخوان کمتر از ۵۰ mg/L است که خطر کم گرفتگی قطره چکان‌ها را در بر دارد (Nakayama and Bucks, 1979).

با توجه به اینکه سازندهای دشت لردگان عمدتاً کربناتی هستند، آب زیرزمینی این دشت خاصیت قلیایی دارد. مقدار pH از ۷/۴ در قسمت‌های جنوبی آبخوان تا ۷/۸ در ناحیه شمال شرقی آبخوان تغییر دارد. در قسمت شمال شرقی آبخوان pH از سایر قسمت‌های آبخوان بیشتر است (شکل ۴). زیادی pH با تأثیر بر حل شدن کانی‌های موجود در سازندها بر شاخص لانتیپلر تأثیر مستقیم دارد. در قسمت جنوبی آبخوان احتمالاً به علت مخلوط شدن آب زیرزمینی این منطقه با آب رودخانه چشمه برم (pH=۷/۴) میزان pH از قسمت‌های شمالی آبخوان کمتر است. یک همخوانی کلی بین pH و LI در نقشه‌های قابل مشاهده است (شکل ۴).

توزیع مکانی شاخص لانتیپلر به مقدار توزیع‌های مکانی شوری و TDS شبیه‌تر است. احتمالاً در این آبخوان شاخص LI بیشتر از شوری آب تأثیر می‌پذیرد (شکل ۴). مقدار شاخص لانتیپلر از ۰/۱ در جنوب تا ۰/۱۸ در شمال آبخوان دشت لردگان تغییر دارد. تغییرات مکانی شاخص لانتیپلر نشان می‌دهد که در قسمت شمال و شمال شرقی آبخوان دشت لردگان حداکثر پتانسیل رسوبگذاری و خطر گرفتگی قطره چکان‌ها و در قسمت‌های جنوبی این آبخوان حداقل پتانسیل رسوبگذاری وجود دارد. در قسمت شمالی آبخوان، بیشتری EC و TDS احتمالاً سبب بالا رفتن LI شده است.

بحث و نتیجه گیری

برآورد شاخص‌های مورد نیاز در طراحی آبیاری قطره‌ای در سطح یک دشت ممکن است مفید باشد زیرا موجب کاهش وقت و هزینه اندازه‌گیری می‌شود. برای برآورد یک شاخص با دقت کافی می‌توان

پهنه‌بندی مولفه‌های کیفیت آب

توزیع مکانی EC و TDS در آبخوان دشت لردگان مشابه یکدیگر است (شکل ۴). بیشترین مقدار EC و TDS در قسمت شمال و شمال شرقی دشت و کمترین مقدار EC و TDS در جنوب و جنوب شرقی دشت لردگان مشاهده می‌شود. EC و TDS از مرکز دشت به سمت شمال و شمال شرقی دشت افزایش می‌یابند. در شمال و شمال شرقی آبخوان شوری و TDS بالا می‌تواند (۱) به دلیل حلالیت سازند شور و گچی گچساران در این قسمت آبخوان است (Regional Water Authority, 1993)؛ (۲) تغذیه این بخش از آبخوان با آب رودخانه شور نیسان که از دشت خان‌میرزا می‌آید (در مجاورت دشت خان‌میرزا گندهای نمکی وجود دارد)، سبب ورود آب‌های شور به این قسمت دشت شده باشد. در قسمت شمالی آبخوان مقدار EC به S/cm 970μ نزدیک می‌شود (شکل ۴) که این مقدار شوری آب را در کلاس C_3 قرار می‌دهد که خطر متوسطی برای خاک دارد (Wilcox, 1955). مقدار TDS در قسمت شمالی آبخوان به $550 mg/L$ می‌رسد که پتانسیل متوسط گرفتگی قطره چکان‌ها را دارد (Nakayama and Bucks, 1979). در دیگر قسمت‌های آبخوان EC و TDS کمتر از قسمت شمالی آبخوان بوده و محدودیت کمتری ایجاد می‌کند. به خصوص در قسمت جنوبی آبخوان احتمالاً به دلیل تغذیه سفره آب زیرزمینی ناحیه با آب چشمه برم (EC کمتر از $420 \mu S/cm$) میزان EC و TDS از قسمت‌های شمال شرقی آبخوان کمتر است.

توزیع‌های مکانی کدورت و TSS در آبخوان دشت لردگان مشابه هستند (شکل ۴). روند تغییرات مکانی کدورت و TSS مشابه و مقدار این دو از جنوب به سمت شمال و شمال شرقی مقدار این دو مولفه در حال افزایش است (شکل ۴). در قسمت شمالی آبخوان به دلیل کشت محصولاتی مانند صیفی جات (که نیاز زیاد به آب دارند) میزان پمپاژ از چاه‌ها زیاد است. با افزایش پمپاژ از این چاه‌ها میزان کدورت و بار معلق (سیلت و رس) آب بیشتر می‌شود (Ribeiro et al. 2004). در قسمت جنوبی آبخوان مقدار کدورت و TSS از سایر قسمت‌های

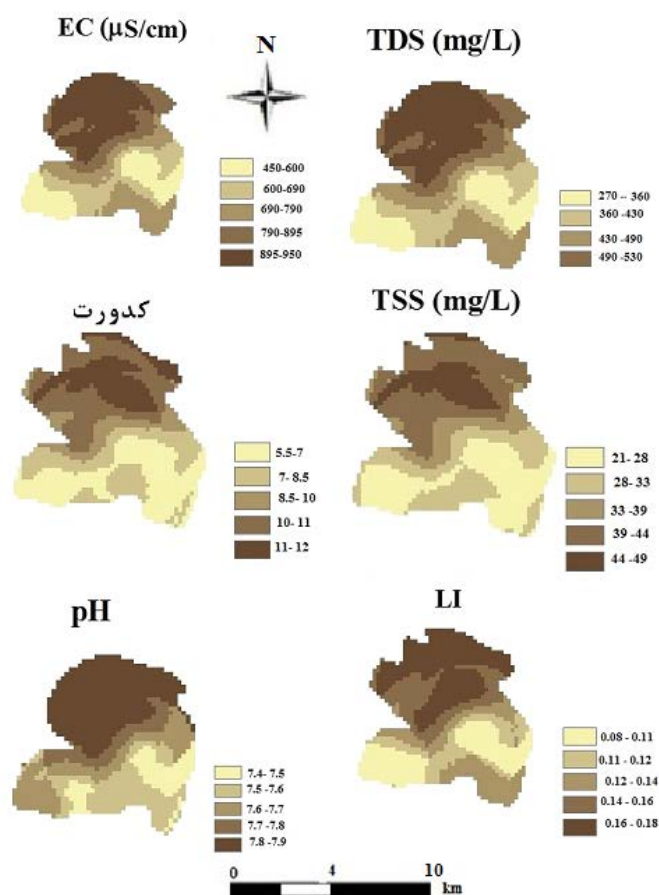
در تمام قسمت‌های آبخوان مقدار pH بین ۷ تا ۸ به دست آمد که خطر متوسط دارد (Nakayama and Bucks, 1979). بر اساس شاخص لانژیلر، آبخوان دشت لردگان پتانسیل کم تا متوسط رسوبگذاری ترکیبات کربناتی را دارد. دشت لردگان در ناحیه خشک و نیمه خشک قرار گرفته است و کمبود منابع آب یکی از اساسی‌ترین مشکل این دشت مهم کشاورزی استان چهارمحال و بختیاری محسوب می‌شود. با توجه به نتایج این مطالعه، استفاده از آب آبخوان در آبیاری قطره‌ای در مجموع مناسب است و فقط اندکی خطر گرفتگی قطره‌چکان در قسمت شمالی آبخوان وجود دارد.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از شرکت آب منطقه‌ای چهارمحال و بختیاری و دانشگاه شهرکرد که منابع مالی این پژوهش را تأمین کردند تشکر و قدردانی می‌شود.

از نقشه‌هایی استفاده کرد که با وقت کافی و با استفاده از فروش‌های آماری تهیه شده‌اند.

نقشه‌های پهنه‌بندی دیجیتالی شاخص‌های طراحی که در مقاله‌ی حاضر تنها در مقیاس کوچک ارائه شده‌اند، در اندازه‌ی اصلی می‌توانند برای برآورد شاخص‌های مورد نظر در هر نقطه از سطح دشت یا چاه فرضی در دشت لردگان به کار گرفته شوند. برای اینکه تنها مختصات x و y نقطه که با یک GPS به دست آیند کافی است. برآوردها دقت کافی برای استفاده در طراحی سیستم را دارند و حداقل در مطالعات اولیه و اکتشافی قابل استفاده هستند. نقشه‌های پهنه‌بندی نشان می‌دهد که در قسمت شمالی نسبت به سایر قسمت‌های آبخوان مقادیر مولفه‌های اندازه‌گیری شده بیشتر است. میزان EC آب را در کلاس C_2 و C_3 قرار می‌دهد (Wilcox, 1955). مقدار TDS و TSS در حدود مجاز طبقه‌بندی پتانسیل گرفتگی قطره‌چکان‌ها قرار دارد ولی در قسمت‌های شمالی مقدار این دو مولفه به حدود متوسط خطر گرفتگی قطره‌چکان‌ها نزدیک می‌شود (Nakayama and Bucks., 1979).



شکل ۴- نقشه پهنه‌بندی مولفه‌های EC، TDS، کدورت، TSS، pH و شاخص لانژیلر آبخوان دشت لردگان

- of various chemical compounds of the irrigation water in on dripper clogging in trickle irrigation. Iranian Journal of Agricultural Sciences. 31 (3): 511-497.
- Nakayama F.S. and Bucks D.A. 1991. Water quality drip/trickle irrigation. Irrigation Science. 12:187-192.
- Nejati-Jahromi Z, Chitsazan M. and Mirzai Y. 2008. Geostatistical investigation of nitrate distribution in alluvial aquifer of Aghili plain (north of Shooshtar county in Khoozestan) in GIS environment. Conference on Geotechnic. Power and Water University of Technology. Tehran February, 2008.
- Pannatier Y. 1998. Variowin: software for data analysis in 2D. Version 2.21. Springer Verlag. 93 pages.
- StatSoft. 2007. STATISTICA (data analysis software system). Version 8. www.statsoft.com
- 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):227-242.
- Shaabani M. 2009. Determination of the most suitable geostatistical method for mapping of groundwater pH and TDS (a case study: Arsanjan plain). Journal of Water Engineering. 1:47-59.
- Regional water authority of Esfahan and Charmahal-va-Bakhtiari province. 1993. Report on Lordegan Plains groundwater resources.
- Rezaei M., Dvatgr N., Tajdar H., and Abolpour B. 2009. Spatial variation of some water quality indices in groundwaters of Gilan province using geostatistics. Journal of soil and water. 24(5):932 - 941.
- Ribeiro T, Paterniani J, Airoidi R and Silva M. 2004. Performance of non-woven synthetic fabric and disc filters for ferttrigation water treatment. Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.), p: 127-133.
- Wilcox L.V. 1955. Classification and use of irrigation water, US Department of Agriculture., Circ. 696, Washington, DC.
- Xu C. , Gong L., Jiang T., Chen D., and Singh V.P. 2006. Analysis of spatial distribution and temporal trend of reference evapotranspiration and pan evaporation in Changjiang (Yangtze River) catchment. Journal of Hydrology, 327: 81- 93.
- Zehtabiyan G.H. and Asgari H. 2009. Spatial analysis of groundwater quality characteristics of Garmsaar watershed. Research project, Tehran University.
- APHA. 1998. Standard methods for the examination of water and waste water 20th edition. American Public Health Association, Washington, DC.
- Ehsanbakhsh-Kermani M. H. 1996. Report of geological map of Bargechang. Geological Survey of Iran.
- ESRI Inc. 2008. ArcMapTM. Version 9.3. www.esri.com.
- 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.
- Fetouani S., Sbaa M., Vanclooster M. and Bendra, B. 2008. Assessing groundwater quality in the irrigated plain of Triffa (North-east Morocco). Journal of Agricultural Water Management 95: 133-142.
- Hassanipak A. 1999. Geostatistics. First edition. Tehran University Press.
- Hassanlee A. S. 2001. Dripper clogging in tricle irrigation (case study) and its control strategy. Journal of Agricultural Science. 10 (3): 59-49.
- 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.
- Kresic N. 1997. Hydrogeology and groundwater modeling. Lewis Publishers. New York. 460 page.
- Malegi-Gonadishi F, Rahnama M. B, and Rezai AS. 2009. The study of drinking quality of Zarand plain groundwater using geostatistics and GS+ software. Second National Conference on Water and Wastewater reuse. Power and Water University of Technology. Tehran November, 2009.
- Mayer J. 1999. Spatial and temporal variation of groundwater chemistry in Petyjohns cave northwest Georgia, USA. Journal of Cave and Karst Studies, 61(3):131-138.
- 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.
- Mostafazadeh B., and Moidynia A.S. 2001. The effect

مراجع

تاریخ دریافت: ۸۹/۱۲/۴

تاریخ پذیرش: ۹۰/۵/۲۵

Assessment, Spatial Variability and Mapping of Some Water Quality Parameters for Use in Drip Irrigation Design in Lordegan Plain, Iran

Y. Ostovari¹, H. Beigi Harchegani^{2*}, A.R. Davoodian³

Abstract

Generalizing point measurements of water quality characteristics to maps can be useful for estimation purposes. Interpolation techniques may be used to estimate unknown parameter values. Such characteristics as EC, TDS, turbidity, TSS, pH, and Langelier Saturation Index (LI) play a role in drip irrigation system design. In this study, the spatial patterns of these water quality parameters in the Lordegan plain located in Charmahal-va-Bakhtiari is investigated using geostatistical interpolation techniques of kriging and inverse distance method (IDM). For this purpose 52 agricultural wells, well-scattered across the plain, was sampled four times during year 1389 and relevant water qualities were measured. For all studied parameters, kriging had a lower ME and R² compared to IDM and was, therefore, selected for mapping. EC values were between 450 to 960 $\mu S/cm$ that placing water in class C₂ and C₃ for irrigation. TDS in northern part of the aquifer reaches 500 mg/L which presents medium clogging risk in drippers. LI index was always positive ranging from 0.08 to 0.17 with a mean of 0.12, therefore indicating a slight potential for calcium precipitation in drip irrigation system. The presence of carbonatic geological formations in the plain may be the main reason for positive LI index. Overall, the values of water quality parameters in the northern part of the plain tended to be higher than in the other parts of the aquifer. Therefore, in the northern part of this plain there exist some restriction for drip irrigation and slight risk of system clogging. Overall, the water quality of this aquifer is suitable for drip irrigation particularly in the eastern and western parts of the aquifer.

Keywords: Water quality, Drip irrigation, Spatial variability, Mapping

1 -Graduate student, Department of Soil Science. University of Shahrekord, Shahrekord

2 -Assistant professor, Department of Soil Science. University of Shahrekord, Shahrekord

(*- Corresponding Author Email: beigi.habib@gmail.com)

3 -Assistant professor, Department of Natural Resources and Earth Sciences. University of Shahrekord, Shahrekord