

بررسی تغییرات مکانی شاخصهای کیفی آب زیرزمینی دشت دزفول با استفاده از زمین آمار

آرش ادیب^{۱*}، رضا زمانی^۲

چکیده

بررسی روند تغییرات کیفیت آب زیرزمینی و مدیریت پایدار منابع آب در دشتها از اهمیت فراوانی برخوردار است. با توجه به اهمیت اطلاع از وضعیت کیفیت آبهای زیرزمینی، وقت گیر بودن و هزینه بر بودن اندازه گیری فراسنجهای کیفی این منابع استفاده از تخمینگرهای مرسوم و یافتن روشی برای تخمین یک فراسنج با استفاده از دیگر فراسنجهایی، که برداشت آنها کم هزینه تر است، ضروری به نظر می رسد. در این پژوهش از اطلاعات برداشت شده از ۹۴ حلقه چاه در دشت دزفول شامل فراسنجهای (SAR, Na, Ca, TDS, EC, TH) برای بررسی وضعیت کیفی آبهای زیرزمینی دشت مزبور، و انتخاب بهترین روش زمین آماری برای تخمین فراسنجهای مورد مطالعه، استفاده شده است. مطابق با نتایج روش کوکریجینگ با شبیه نیم تغییرنما و نیم تغییرنمای گوسین، با توجه به معیارهای ارزیابی ضریب همبستگی (R^2)، میانگین خطای مطلق بهنجار (NMAE)، و ریشه ی میانگین مربعات خطای بهنجار (NRMSE)، به عنوان بهترین روش زمین آماری برای پهنه بندی کیفی دشت دزفول انتخاب، و در ادامه اقدام به پهنه بندی فراسنجهای کیفی مکان مزبور شده است. نتایج حاصل از رسم نقشه های پهنه بندی فراسنجهای مورد مطالعه حاکی از وضعیت نامطلوب کیفی منابع آب زیرزمینی در قسمتهای جنوب شرقی و شرقی دشت می باشد.

واژه های کلیدی: آب زیرزمینی، پهنه بندی کیفی، زمین آمار، دشت دزفول

^۱ - دانشیار گروه مهندسی عمران - آب، دانشکده مهندسی، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران.

^۲ - دانشجوی دکتری منابع آب، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران.

* نویسنده مسوول مقاله: arashadib@yahoo.com

مقدمه

از جمله منابع مهم در زندگی انسان کمیت و کیفیت آب در بحث شرب و کشاورزی می‌باشند (هوک و همکاران، ۲۰۰۱). افزایش آلودگی آبهای سطحی و زیرزمینی در کشورهای پیشرفته و در حال توسعه، تهدیدی خطرناک برای سلامتی و رفاه اجتماعی انسان به شمار می‌رود. سازمان ملل متحد پیش‌بینی کرده است که تا سال ۲۰۵۰ بیش از ۴/۵ میلیارد نفر از مردم دنیا در معرض صدمات و زیانهای ناشی از کمبود آلودگی آب قرار خواهند گرفت (کری، ۱۹۹۸). استفاده‌های مختلف از آب، کاربری اراضی متنوع و وجود یا نبودن آلاینده‌های مختلف در مسیر رودها با منابع آبی سطحی و زیرزمینی، می‌تواند از عوامل آلوده‌کننده منابع آب باشند؛ یک راهکار مناسب برای بررسی نقش هر یک از این عوامل، و اطلاع از وضعیت منابع آبی، پهنه‌بندی کیفی آب است. پهنه‌بندی کیفی منابع آبی، می‌تواند در ارتقاء کیفی و کمی بهره‌برداری از منابع آب موثر باشد. بررسیهای کیفی آب معمولاً مبتنی بر تجزیه و تحلیل شیمیایی است. سازمان بهداشت جهانی (WHO) راهنمای کیفیت آب برای آشامیدن را منتشر کرده است، که در آن حد مجاز ترکیبات موجود در آب آشامیدنی از جمله مقدار کلراید، منگنز، سدیم و ... مشخص شده است (سازمان بهداشت جهانی، ۲۰۱۱). سازمان فائو نیز راهنمای استفاده از آب را برای مصارف کشاورزی منتشر کرده است (آیرس و وستکوت، ۱۹۸۵). پهنه‌بندی آلودگی و ارائه‌ی تصویر صحیح از وضعیت کیفی آبهای سطحی علاوه بر افزایش مشارکت مردمی در حفظ سلامت و کیفیت آبهای سطحی، ابزار مفیدی را در اختیار قرار داده تا هر گونه تصمیم‌گیری مدیریتی، که اثرات زیست محیطی آن به صورت مستقیم یا غیرمستقیم متوجه آبهای سطحی کشور باشد، با آگاهی بیشتری اتخاذ شده، و ضرورت اعمال شیوه‌های مدیریتی منابع آب در هر نقطه مشخص گردد. کیفیت آب آبیاری ممکن است محصولات و خاک منطقه را مورد تاثیر قرار دهد، که این امر بخصوص در مناطقی با خاک شور نمود بیشتری پیدا می‌کند؛ لذا وجود سدیم و شوری خاک، می‌تواند از جمله عواملی باشد که باعث جستجوی مناسبتر برای کشاورزی گردد (آیرس و وستکوت، ۱۹۸۵؛ البسام و الرمیحانی،

۲۰۰۳؛ ریچاردز ۱۹۵۴). از جمله پژوهشهای انجام شده در زمینه‌ی پهنه‌بندی کیفی منابع آب می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

یدانا (۲۰۱۰) به پهنه‌بندی کیفی آبهای زیرزمینی جنوب غنا با استفاده از روشهای چندمتغیره‌ی آماری پرداخت. وی با استفاده از حالت تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی خوشه‌ای به طبقه‌بندی نمونه‌های آب زیرزمینی تعیین منابع احتمالی شوری پرداخته و دو عامل مواد معدنی و آلودگی ناشی از فعالیت‌های انسانی را به عنوان مهمترین عوامل موثر بر شوری آب دانست. آمر و همکاران (۲۰۱۲) به بررسی کیفی آب زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه‌خشک در غرب صحرای مصر پرداخته‌اند. آنها با تجزیه و تحلیل شیمیایی آب هر نوع سفره، بیان کردند که شوری بالا در هر آبخوان با آب شویی خاک و نفوذ آب شور دریا به آبخوان مرتبط است. جمشیدیان و میرباقری (۲۰۱۱) به ارزیابی کمی و کیفی آب زیرزمینی دشت کاشان پرداخته‌اند. آنها به این نتیجه رسیدند که در قسمتهای عمده‌ی دشت، وضعیت کیفی آب مناسب نیست. اسمیت و همکاران (۲۰۰۹) در پژوهش خود به چگونگی تضعیف آلاینده‌های موثر بر آبهای زیرزمینی و آبهای سطحی بر اساس شاخصهای پهنه‌بندی و تجزیه و تحلیل‌های آماری پرداخته‌اند. ایشان راهکارهای مدیریتی مشترک را بین آبهای زیرزمینی و سطحی موثرتر از بررسی و مدیریت هر یک از منابع به صورت جداگانه پیشنهاد کرده‌اند. سو و همکاران (۲۰۱۱) به مطالعه‌ی منابع آلوده‌کننده و روند زمانی آلودگی در نقطه‌ای با کاربردهای مختلف رود کیانتانگ چین پرداخته‌اند. بررسی نوع کاربری هر یک از مناطق مورد مطالعه، شناسایی فراسنجهای کیفی معنی‌دار و مقایسه منابع آلوده‌کننده‌ی آب در هر منطقه، تهیه‌ی یک طرح کلی برای سیاست-گذاری کلان و نحوه‌ی استفاده مدیریتی از مناطق مختلف رودخانه، از جمله اهداف این پژوهش معرفی شده است. ایزدی و همکاران (۱۳۹۰) به برآورد مکانی نسبت جذب سدیم (SAR) و میزان کلر آب زیرزمینی منطقه‌ی بوکان با استفاده از روشهای زمین آماری پرداخته‌اند. نتایج حاکی از دقت بالاتر روش کوکریجینگ نسبت به روش کوکریجینگ در برآورد میزان نسبت جذب سدیم و کلر در

پرایس و همکاران (۲۰۰۶) و گندوز و همکاران (۲۰۱۰) اشاره کرد.

از اساسی‌ترین موارد در مدیریت کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی، تخمین منغیر مورد نظر با استفاده از داده‌های برداشت شده از شبکه چاههای مشاهده‌ای و شبکه پایش کیفی می‌باشد. امروزه جهت پیش‌بینی، یافتن و درک روابط بین فراسنجهای موثر در تخمین و بررسی نوسانهای کمی و کیفی آب زیرزمینی (زمانی و مکانی) از روشهای پیشرفته استفاده می‌گردد. که یکی از آنها شبیه‌های ریاضی می‌باشد، که با توجه به پیشرفتهای قابلیت‌های کامپیوتر گسترش چشم‌گیری در دهه‌های اخیر یافته است. از جمله این روشها و شبیه‌های ریاضی که در دو دهه اخیر به کار گرفته شده است می‌توان به علم زمین آمار اشاره کرد (زمانی، ۱۳۹۱). زمین آمار شاخه‌ای از آمار کاربردی می‌باشد که اولین بار به وسیله‌ی ژورژ مترون در سال ۱۹۷۱ در مرکز ریاضیات ریخت‌شناسی فونتبلو فرانسه مطرح شد. این علم شامل مجموعه‌ی مطالعاتی است که به بررسی تغییرات یک پدیده در زمان و مکان پرداخته و قادر به شبیه‌سازی آن پدیده به صورت قطعی یا غیرقطعی زمانی و مکانی می‌باشد. زمین آمار بر پایه‌ی مفاهیم متغیرهای ناحیه‌ای، توابع تصادفی و ایستایی قرار دارد (مدنی، ۱۳۷۴). انگاره‌ی متغیرهای منطقه‌ای پایه‌ی ریاضی زمین آمار را تشکیل می‌دهند. در واقع متغیرهای منطقه‌ای متغیرهایی می‌باشند که دارای پیوستگی مکانی بوده و نشان دهنده‌ی پدیده‌های دارای توزیع جغرافیایی می‌باشند (ایزاک و سریواستاوا، ۱۹۸۹). بطور کلی، تخمین زمین آمار فرایندی است که طی آن می‌توان مقدار مجهول یک کمیت را در نقاطی با مختصات معلوم با استفاده از مقادیر مشخص همان کمیت در نقاط دیگری با ویژگیهای معلوم به دست آورد (محمدی، ۱۳۸۵). لذا با توجه به اهمیت موضوع، در این پژوهش به مقایسه‌ی سه روش زمین آمار کریجینگ، کوکریجینگ و روش معین عکس فاصله برای تخمین و پهنه‌بندی کیفی پارمترهای Ca, Ec, Na, SAR, TDS, TH در دشت دزفول پرداخته شده است.

منطقه‌ی مورد مطالعه می‌باشد. رحیم سوری و همکاران (۱۳۹۰) به بررسی کیفیت آب چشمه‌ها و آبهای آشامیدنی روستاهای واقع در حوضه‌ی آبخیز رود آغ‌دره، واقع در استان آذربایجان غربی پرداخته‌اند. نتایج این پژوهش نشان داده‌اند که متغیرهای فیزیکی و شیمیایی اندازه‌گیری شده، آب چشمه‌ها و آبهای آشامیدنی روستاهای منطقه مورد مطالعه دارای تفاوت‌های چشمگیری می‌باشند. رضایی و همکاران (۱۳۹۰) به بررسی تغییرات کیفی آبهای زیرزمینی در دشتهای گیلان با استفاده از روش کریجینگ پرداخته‌اند. نتایج حاکی از وضعیت مطلوب منابع از نظر فراسنج SAR می‌باشند. محمدی و همکاران (۱۳۹۰) به بررسی تغییرات زمانی و مکانی کیفیت آب زیرزمینی دشت قزوین در دوره‌ی آماری (۱۳۸۶-۱۳۸۲) پرداخته‌اند. نتایج این پژوهش نشان دادند که در فصلهای تر سالهای مورد مطالعه، کیفیت آب زیرزمینی کاهش یافته است. صاحب‌جلال و همکاران (۱۳۹۲) به بررسی تغییرات زمانی و مکانی فراسنجهای کیفی آبهای زیرزمینی با استفاده از روش زمین آمار کریجینگ در دشت بهادران مهریز پرداخته‌اند. آنها در این مطالعه از فراسنجهای (B و CL, SAR, EC) استفاده کرده‌اند. نتایج حاکی از کاهش شوری آبهای زیرزمینی در ۳۱/۱ درصد و افزایش آن در ۲۶/۵ درصد از منطقه‌ی مورد مطالعه می‌باشند. چیکا-اولمو و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از روش کریجینگ به تهیه‌ی نقشه پهنه بندی نترات در آبخوان وگا دی گرانا اسپانیا پرداختند. آنها آبخوان را به سه ناحیه‌ی باکیفیت خوب (غلظت نترات کمتر از ۳۷/۵ ppm)، با کیفیت متوسط (غلظت نترات بین ۳۷/۵ ppm تا ۵۰ ppm) و با کیفیت بد (غلظت نترات بیش از ۵۰ ppm) تقسیم نموده و مشاهده کردند که بیش از ۵۰ درصد آبخوان، که شامل مناطق شهری است، دارای کیفیت بد است. ۲۱ درصد آبخوان کیفیت متوسط و ۲۸ درصد آبخوان کیفیت خوب داشته و متوسط غلظت نترات در آبخوان ۷۲ ppm است.

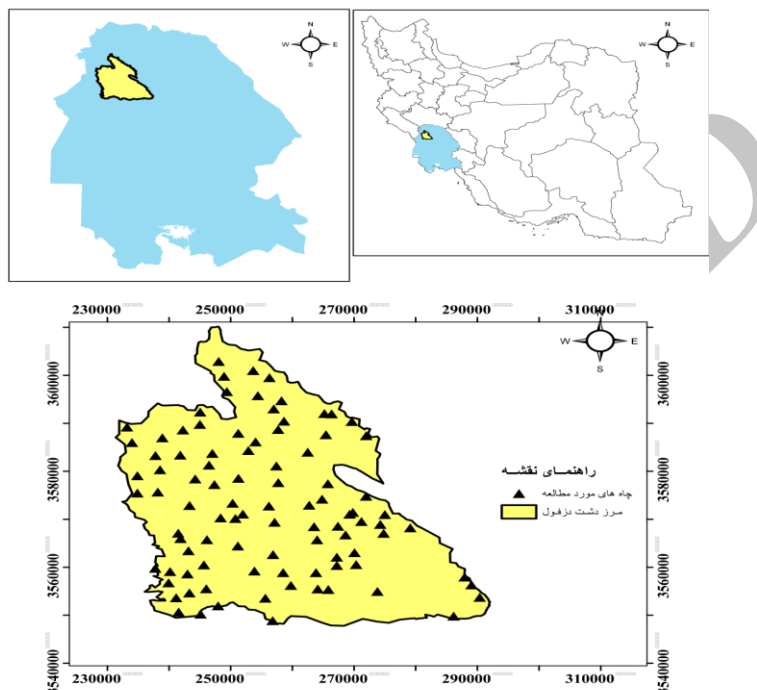
از جمله دیگر پژوهشهای مربوط به پهنه‌بندی کیفی آبهای زیرزمینی می‌توان به مواردی چون چن و همکاران (۱۹۷۴)، باکستر و کلارک (۱۹۸۴)، فوین (۲۰۰۲)،

مواد و روشها

الف) منطقه‌ی مورد مطالعه

دشت دز فول به عنوان پهناورترین دشت در حوضه‌ی آبخیز دز و از جمله دشتهای وسیع استان خوزستان است که با وسعتی بالغ بر ۲۴۸۷ کیلومترمربع از مناطق کوهستانی شمال استان تا مناطق کم ارتفاع مرکز استان را در برمی گیرد. رود دز از شمال وارد دشت گردیده و با

پیوستن رودهای فرعی به آن به سمت جنوب به مسیر خود ادامه می‌دهد. در این پژوهش از اطلاعات برداشت شده از ۹۴ حلقه چاه در محدوده‌ی دشت دز فول، در زمستان ۱۳۸۹ استفاده شده است. تصویر شماره ۱ موقعیت مکانی محدوده‌ی مورد نظر و پراکنش نقاط نمونه برداری را در محدوده‌ی دشت دز فول نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت دشت دز فول و چاههای نمونه برداری در محدوده‌ی دشت.

ب) مبانی انگاره‌ی زمین آمار

نیم تغییرنما (Semi Variogram)

اساس تعدادی از تخمینگرهای زمین آمار از جمله کریجینگ بر مبنای تعریف نیم تغییرنما استوار است. در اصل هدف از برقراری تابع نیم تغییرنما آن است که بتوان ساختار تغییرپذیری متغیر را نسبت به فاصله‌ی مکانی شناسایی نمود. تابع نیم تغییرنمای یک فراسنج را با در نظر گرفتن فاصله به صورت رابطه‌ی شماره ۱ نشان می‌دهد:

(۱)

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

در رابطه‌ی بالا $Z(x)$ و $Z(x+h)$ مقادیر متغیر در نقاط x و $x+h$ و $N(h)$ تعداد جفت نمونه‌های به کار رفته بازا هر فاصله‌ی h می‌باشند. یک تغییرنمای مطلوب دارای سه فراسنج شامل اثر قطعه‌ای (nugget effect)، حد آستانه (sill) و دامنه‌ی مؤثر (range of influence) می‌باشد. اثر قطعه‌ای بیان کننده مؤلفه‌ی غیرساختاری (تصادفی) واریانس است. حد آستانه‌ی تقریبی از واریانس کل را ارائه نموده و مقدار دامنه بیانگر فاصله‌ای است که در ماورای آن نمونه‌ها را می‌توان مستقل از یکدیگر به حساب آورد (محمدی، ۱۳۸۵).

روش کریجینگ (Kriging)

که در آن λ_i : وزن ایستگاه i ام، D_i : فاصله‌ی ایستگاه i ام تا نقطه‌ی مجهول و α : توان وزن دهی می‌باشند. روش انجام کار

همان طور که پیشتر یاد شد در این پژوهش از اطلاعات برداشت شده از ۹۴ حلقه چاه در محدوده‌ی دشت دزفول طی سالهای اخیر استفاده شده است. قبل از بهره‌وری از تخمینگرهای زمین آماری، با کاربرد نرم‌افزار spss16 فراسنجهای توصیفی حداقل، حداکثر، میانگین، میان، چولگی و کشیدگی، انحراف معیار، ضریب تغییرات و آزمون بهنجار بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگوروف-اسمرینوف (Kolmogorov-Smirnov) داده‌ها محاسبه، و متناسب با نتایج حاصله، از تبدیل لاگ بهنجار (log-normal transform) یا تبدیل ریشه‌ی مربعات (root square transform) در محیط نرم‌افزار GS+9 استفاده شد. همچنین، برای بررسی رابطه‌ی همبستگی بین متغیرهای کیفی (Ca, Ec, Na, SAR, DS) و (TH) از تجزیه‌ی همبستگی با کاربرد روش پیرسون در محیط نرم‌افزار spss16 استفاده شد. بعد از برآزش و مشخص گشتن بهترین شبیه نیم‌تغییرنما و نیم‌تغییرنمای متقابل در هر دشت با استفاده از نرم‌افزار GS+9، و انتخاب بهترین روش زمین آماری با توجه به معیارهای ارزیابی، در محیط نرم‌افزار GIS 9.3 اقدام به رسم نقشه‌های پهنه‌بندی کیفی برای هریک از فراسنجهای ذکر شده در دشت دزفول گردید.

معیارهای ارزیابی

قابل ذکر است که ارزیابی شبیه‌های نیم‌تغییرنمای برآزش داده شده بر داده‌ها با استفاده از فراسنجهای آماری ضریب تبیین (R^2)، مجموع مربعات باقیمانده Residual Sums of Squares (RSS) و نسبت $(\frac{c}{c_0+c})$ که شاخصی از قدرت ساختار مکانی در داده‌های مورد مطالعه است، انجام شد. برای ارزیابی میزان دقت و انتخاب بهترین روش تخمین معیارهای مختلفی مانند میانگین خطای مطلق بهنجار normalized mean absolute error (NMAE) و ریشه میانگین مربعات خطای بهنجار normalized root mean squared error (NRMSE) استفاده شده است.

یکی از روشهای مناسب جهت تخمین مقادیر مجهول در شبکه داده‌ها با استفاده از نقاط اندازه‌گیری شده‌ی موجود، روش کریجینگ می‌باشد که بر منطق میانگین متحرک وزن دار استوار بوده و بهترین تخمینگر خطی ناریب می‌باشد (زمانی، ۱۳۹۱). در روش کریجینگ مقدار متغیر مورد نظر در نقطه‌ی تخمین به صورت رابطه‌ی شماره ۲ محاسبه می‌شود:

$$Z(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i)$$

در رابطه‌ی بالا $N(h)$: تعداد جفتهای جدا شده در فاصله‌ی گام (h) ، $Z(x_i)$: مقدار متغیر اندازه‌گیری شده در موقعیت مکانی X_{i+h} است.

روش کوکریجینگ (Co Kriging)

در زمین آمار همبستگی بین متغیرهای مختلف بر اساس روش کوکریجینگ تخمین زده می‌شود که باعث افزایش دقت تخمینها و صرفه‌جویی در هزینه‌ها می‌گردد. در صورتی که از یک متغیر به اندازه‌ی کافی نمونه در دسترس نبوده، و یا هدف تخمین با چند متغیر باشد، از روش کوکریجینگ استفاده می‌شود. در این روش، با در نظر گرفتن یک متغیر کمکی در الگوریتم میان‌یابی و بر اساس رابطه‌ی مکانی بین متغیرهای اصلی و کمکی تخمین صورت می‌پذیرد.

روش معکوس فاصله (inverse distance weight)

روش معکوس فاصله یا IDW را برای هر یک از نقاط اندازه‌گیری وزنی بر اساس فاصله‌ی بین آن نقطه تا موقعیت نقطه‌ی مجهول در نظر می‌گیرد. سپس این اوزان با کاربرد توان وزن دهی تنظیم می‌شود، بطوری که توانهای بزرگتر اثر نقاط دورتر از نقطه مورد برآورد را کاهش داده و توانهای کوچکتر وزنها را بطور یکنواخت تری بین نقاط هم‌جوار توزیع می‌کنند. مقدار عامل وزنی با استفاده از رابطه‌ی شماره ۳ محاسبه می‌گردد:

$$\lambda_i = \frac{D_i - \alpha}{\sum_{i=1}^n D_i - \alpha} \quad (3)$$

نتایج و بحث

همبستگی بین فراسنجهای کیفی مورد مطالعه در جدول شماره ۲ عرضه گردیده اند. مطابق نتایج، فراسنجهای در سطح اطمینان ۹۹ درصد دارای رابطه‌ی معنی‌داری باهم می‌باشند.

خلاصه‌ی آماری فراسنجهای کیفی مورد مطالعه (میانگین فصل زمستان ۱۳۸۹) دشت دز فول در جدول شماره ۱ ذکر شده است. همچنین، نتایج حاصل از بررسی

جدول ۱- خصوصیات آماری فراسنجهای کیفی مورد مطالعه در دشت دز فول.

	میانگین	انحراف معیار	میانگین	حداقل	حداکثر
SAR	۱/۷۰۷	۱/۶۱۸	۱/۷۰۷	۰/۱۶	۸/۰۸
Na(mg/l)	۳/۲۰۵	۳/۲۳۱	۳/۲۰۵	۰/۲	۱۵/۶۲
Ca(mg/l)	۳/۷۵۸	۱/۲۸۳	۳/۷۵۸	۱/۵۲	۸/۴۹
TDS(mg/l)	۵۹۶/۶	۲۸۸/۲	۵۹۶/۶	۱۷۰	۱۴۶۹
Ec(μmho/cm)	۹۰۹/۱	۴۳۷/۲	۹۰۹/۱	۲۶۵	۲۳۰۰
TH(mg/l)	۲۳۶/۹	۱۰۷/۵	۲۳۶/۹	۱۳۴/۲	۸۱۸

جدول ۲- نتایج حاصل از بررسی همبستگی بین فراسنجهای کیفی مورد مطالعه.

	SAR	Na	Ca	TDS	Ec	TH
SAR	۱	۰/۹۷۲**	۰/۲۰۱	۰/۶۶۴**	۰/۷۰۹**	۰/۱۹۱
Na	۰/۹۷۲**	۱	۰/۲۸۹**	۰/۸۰۶**	۰/۸۴۲**	۰/۳۹۲**
Ca	۰/۲۰۱	۰/۲۸۹**	۱	۰/۷۷۰**	۰/۷۳۸**	۰/۹۷۴**
TDS	۰/۶۶۴**	۰/۸۰۶**	۰/۷۷۰**	۱	۰/۹۹۵**	۰/۸۴۸**
Ec	۰/۷۰۹**	۰/۸۴۲**	۰/۷۳۸**	۰/۹۹۵**	۱	۰/۸۱۸**
TH	۰/۱۹۱	۰/۳۹۲**	۰/۹۷۴**	۰/۸۴۸**	۰/۸۱۸**	۱

برازش و انتخاب بهترین شبیه نیم‌تغییرنا برای هر یک از فراسنجهای با توجه به معیارهای ارزیابی در جدول شماره ۳ ذکر شده اند.

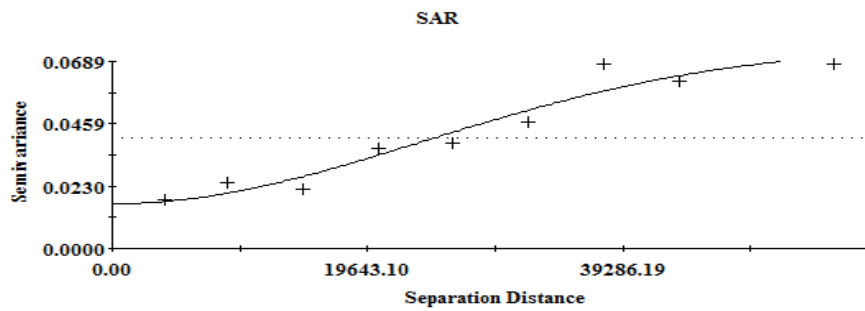
همان طور که قبلاً ذکر شد، برای بررسی همبستگی مکانی، و انتخاب ساختار مکانی مناسب برای تخمین متغیرها از چهار نوع نیم‌تغییرنا و نیم‌تغییرنمای متقابل خطی، کروی، نمایی و گوسین بهره بردیم. نتایج حاصل از

جدول ۳- نتایج حاصل از برازش شبیه‌های نیم‌تغییرنا بر فراسنجهای کیفی مورد مطالعه.

	Model	Nugget (C ₀)	Sill (C ₀ +C)	Range Parameter (A ₀)	RSS	R ²
SAR	Gaussian	۰/۰۱۶۵	۰/۰۷۴۶	۳۳۸۰۰	۱/۹۲۶×۱۰ ^{-۴}	۰/۹۴۸
Na	Spherical	۰/۲۴	۰/۵۲۶	۱۲۵۷۰۰	۱/۸۷۸×۱۰ ^{-۳}	۰/۹۷۲
Ca	Gaussian	۰/۱۲۵	۰/۸۲۷	۱۳۴۸۰۰	۲/۸۲۸×۱۰ ^{-۴}	۰/۹۶۱
TDS	Gaussian	۰/۱۲۶	۲/۲۶۲	۱۰۸۳۰۰	۶/۳۵۴×۱۰ ^{-۳}	۰/۹۶۳
EC	Gaussian	۰/۱۲۹	۲/۰۱۱	۱۱۵۲۰۰	۹/۴۴۵×۱۰ ^{-۴}	۰/۹۷۶
TH	Gaussian	۰/۰۸	۱/۳۹۷۰	۱۶۴۹۰۰	۱/۱۰۵×۱۰ ^{-۳}	۰/۹۵۵

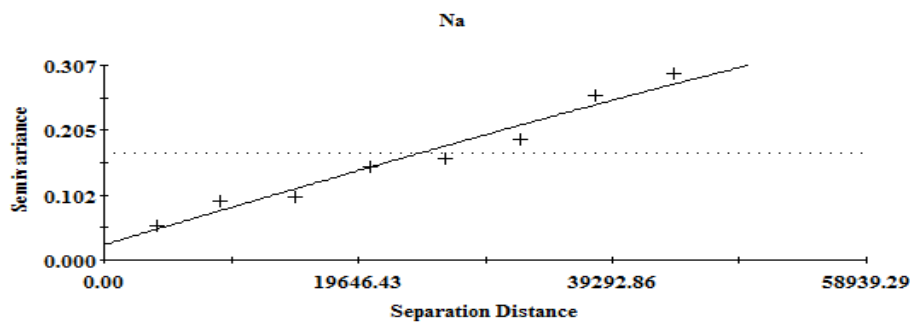
جولوگیری از طولانی شدن مطلب، در ادامه فقط سه مورد از نیم‌تغییرنماهای برازش داده شده، در تصویرهای شماره ۲ تا ۴ عرضه گردیده اند.

شبیه گوسین مطابق نتایج بالا، به عنوان بهترین شبیه نیم‌تغییرنا برای برازش بر داده‌های هر یک از فراسنجهای کیفی مورد مطالعه انتخاب شد. برای



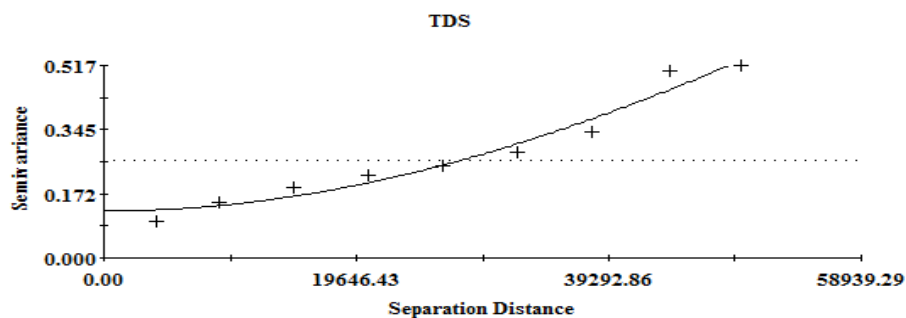
Gaussian model ($C_0 = 0.01650$; $C_0 + C = 0.07460$; $A_0 = 33800.00$; $r^2 = 0.948$; $RSS = 1.926E-04$)

شکل ۲- شبیه نیم تغییرنمای برازش داده شده برداده‌های فراسنج SAR.



Spherical model ($C_0 = 0.0240$; $C_0 + C = 0.5260$; $A_0 = 125700.00$; $r^2 = 0.972$; $RSS = 1.878E-03$)

شکل ۳- شبیه نیم تغییرنمای برازش داده شده بر داده‌های فراسنج Na.



Gaussian model ($C_0 = 0.1260$; $C_0 + C = 2.2620$; $A_0 = 108300.00$; $r^2 = 0.963$; $RSS = 6.354E-03$)

شکل ۴- شبیه نیم تغییرنمای برازش داده شده بر داده‌های فراسنج TDS.

حاصل از تشکیل ماتریس همبستگی بین فراسنجهای می- باشد، از فراسنجی که دارای بیشترین همبستگی با متغیر (فراسنج) مورد نظر می‌باشد، به عنوان متغیر کمکی برای برازش شبیه‌های نیم تغییرنمای متقابل و به دنبال آن

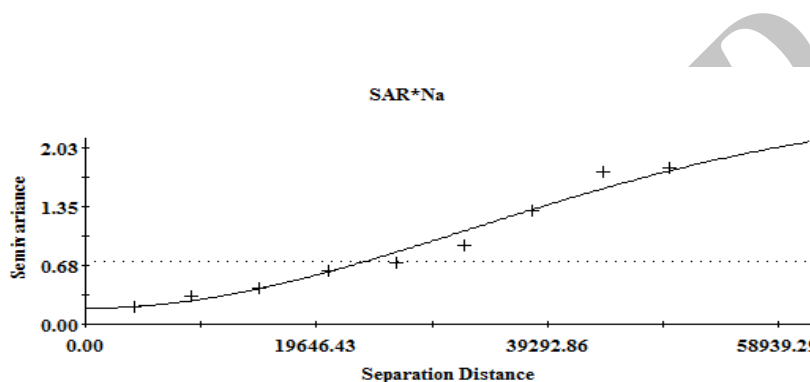
برای استفاده از روش کوکریجینگ در تخمین فراسنجهای کیفی مورد مطالعه، نیاز به استفاده از متغیر کمکی در برازش شبیه‌های نیم تغییرنمای متقابل می‌باشد. با استفاده از نتایج حاصل از جدول شماره ۱ که

های شماره ۵ و ۶ دو نوع از نیم تغییرنماهای متقابل برازش داده شده، نشان داده شده اند.

تخمین فراسنج مورد نظر با استفاده از روش کوکریجینگ استفاده شده است. نتایج حاصل از برازش نیم تغییرنماهای متقابل در جدول شماره ۴ ذکر و در ادامه نیز در تصویر-

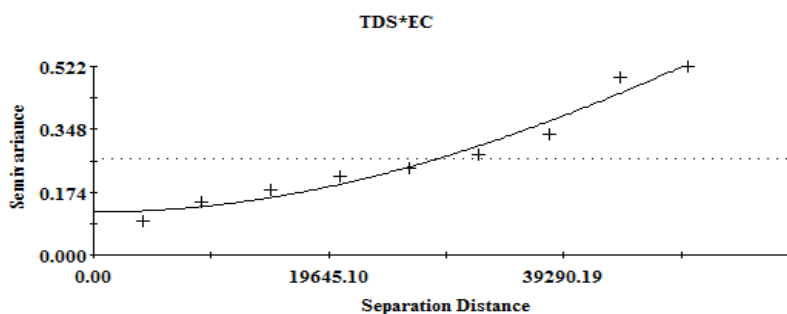
جدول ۴- نتایج حاصل از برازش شبیه‌های نیم تغییرنمای متقابل بر فراسنجهای کیفی مورد مطالعه.

	Model	Nugget (C_0)	Sill (C_0+C)	Range Parameter (A_0)	RSS	R^2
SAR×Na	Gaussian	۰/۱۸۳۰	۲/۴۷۶	۴۶۲۰۰	۰/۰۸۴۱	۰/۹۷۱
TDS×EC	Gaussian	۰/۱۱۹۰	۲/۲۴۸	۱۰۷۵۰۰	$۵/۷۱۹ \times 10^{-3}$	۰/۹۶۷
TH×Ca	Gaussian	۰/۴۲۱	۲/۹۵۲۰	۱۳۸۴۰۰	۰/۰۱۹۹	۰/۸۶۵



Gaussian model ($C_0 = 0.1830$; $C_0 + C = 2.4760$; $A_0 = 46200.00$; $r_2 = 0.971$;
RSS = 0.0841)

شکل ۵- شبیه نیم تغییرنمای متقابل برازش داده شده بر داده‌های فراسنج SAR*Na.



Gaussian model ($C_0 = 0.1190$; $C_0 + C = 2.2480$; $A_0 = 107500.00$; $r_2 = 0.967$;
RSS = 5.719E-03)

شکل ۶- شبیه نیم تغییرنمای متقابل برازش داده شده بر داده‌های فراسنج TDS*EC.

عمومی هریک از روشها با آزمون و لغزش به نحوی تنظیم گشته‌اند که معیارهای ارزیابی آنها مناسبتر باشد. مطابق نتایج ذکر شده در جدول شماره ۵ روش کوکریجینگ به- عنوان بهترین روش تخمین فراسنجهای کیفی آب زیرزمینی دشت دز فول انتخاب گردیده است.

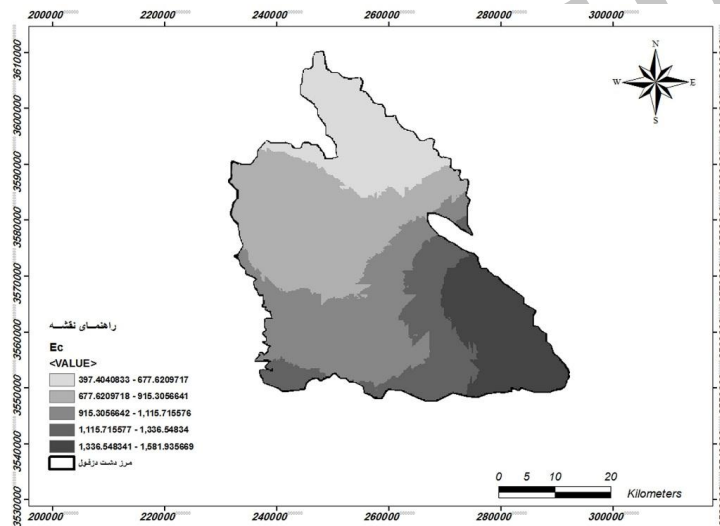
در ادامه و بعد از انتخاب شبیه‌های نیم تغییرنما و نیم تغییرنمای مناسب، به تخمین هریک از مولفه‌های کیفی مورد مطالعه با استفاده از روشهای زمین آماری کوکریجینگ، کریجینگ و روش معین عکس فاصله پرداخته شده است. لازم به ذکر است که مشخصات

جدول ۵- معیارهای ارزیابی هریک از روشهای زمین آماری مورد استفاده.

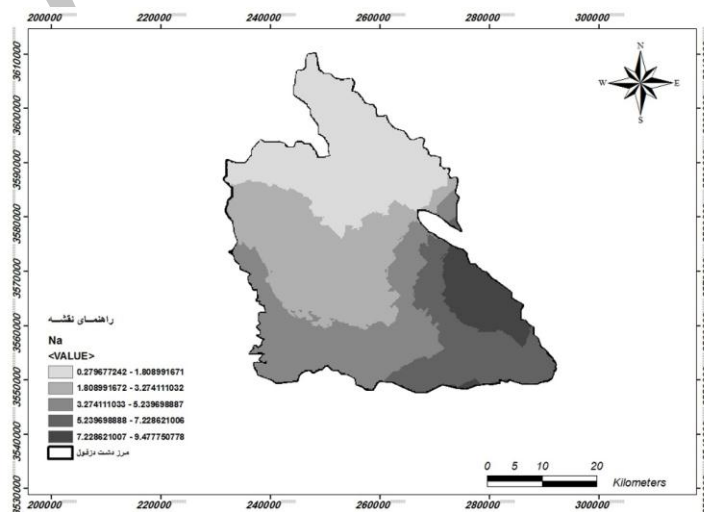
فراسنج کیفی	کوکریجینگ		کریجینگ		عکس فاصله	
	NMAE	NRMSE	NMAE	NRMSE	NMAE	NRMSE
SAR	۰/۱۶	۰/۳۸	۰/۲۲۱	۰/۴۲۳	۰/۲۳۱	۰/۴۷۶
Na(mg/l)	۰/۰۶۹	۰/۱۲۳	۰/۱۰۱	۰/۱۵۴	۰/۱۴۵	۰/۱۸۷
Ca(mg/l)	۰/۱۴۴	۰/۱۷	۰/۱۵۵	۰/۱۹۹	۰/۱۷۷	۰/۲۳
TDS(mg/l)	۰/۱۲۱	۰/۲۳۶	۰/۱۳۴	۰/۲۵۸	۰/۱۶۶	۰/۲۹۸
Ec(μmho/cm)	۰/۱۱۴	۰/۲۰۸	۰/۱۲۱	۰/۲۳	۰/۱۱۸	۰/۲۲
TH(mg/l)	۰/۱۴۴	۰/۱۹۷	۰/۱۵۱	۰/۲۲۱	۰/۱۱۹	۰/۲۷۳

کیفی دشت دزفول انتخاب گردیده، و در ادامه نقشه‌های پهنه‌بندی کیفی دشت دزفول با استفاده از این روش در تصویرهای شماره ۷ تا ۱۰ رسم شده است.

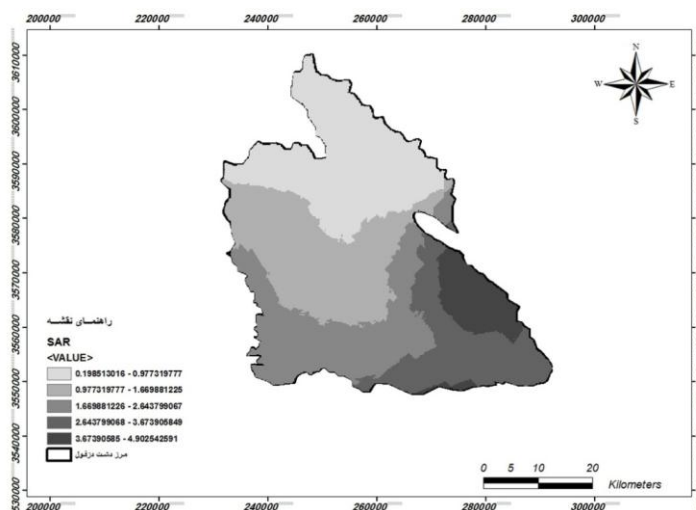
توجه به نتایج جدول شماره ۵، روش کوکریجینگ با شبیه نیم‌تغییرنما و نیم‌تغییرنمای متقابل گوسین، به عنوان بهترین روش زمین آماری برای تخمین فراسنجهای



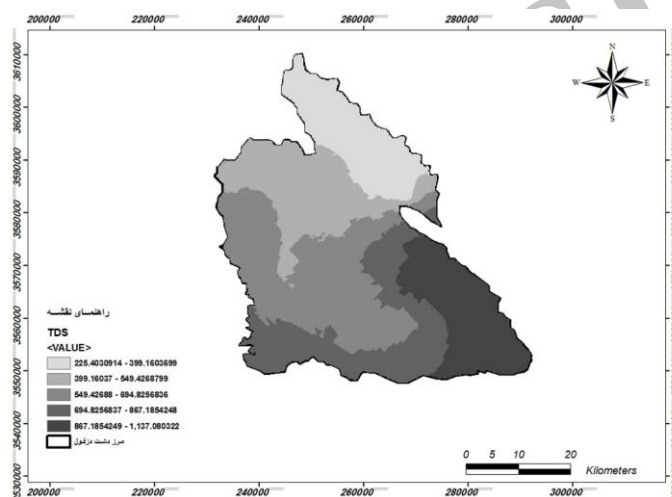
شکل ۷- نقشه‌ی پهنه‌بندی فراسنج کیفی EC.



شکل ۸- نقشه‌ی پهنه‌بندی فراسنج کیفی Na.



شکل ۹- نقشه‌ی پهنه‌بندی فراسنج کیفی SAR.



شکل ۱۰- نقشه‌ی پهنه‌بندی فراسنج کیفی TDS.

نتیجه‌گیری

بهره‌برداری بی‌رویه و روزافزون از منابع آب، ورود و نشت آلاینده‌های مختلف، استفاده‌های مختلف از منابع آب، شورشیدن اراضی و ... از جمله عوامل تاثیرگذار بر کیفیت منابع آب زیرزمینی می‌باشند. بنابراین، اطلاع از وضعیت کیفی منابع آبی بخصوص منابع آب زیرزمینی، می‌تواند در برنامه‌ریزیهای کوتاه و دراز مدت مفید باشد. همچنین به علت هزینه‌بر بودن روشهای اندازه‌گیری میزان آلاینده‌های مختلف در آبهای زیرزمینی، امکان روی دادن خطا در اندازه‌گیری و نیاز به صرف وقت زیاد برای آن، امروزه استفاده از روشهای نوین هوشمند و ریاضی برای تخمین و برآورد مولفه‌های کیفی منابع آب

مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. در همین راستا، در این پژوهش، بعد از بررسی وضعیت فراسنجهای کیفی آب ۹۴ حلقه چاه در محدوده‌ی دشت دزفول، از روشهای زمین آماری برای تخمین و پهنه‌بندی این فراسنجهای استفاده شد. مطابق نتایج حاصل از این پژوهش، شبیه‌گوسین به عنوان بهترین شبیه‌نیم‌تغییرنما انتخاب شد (جداول ۳ و ۴). همچنین، روش کوکریجنگ نیز دارای معیارهای ارزیابی مناسبتری نسبت به روشهای کریجینگ و روش معین عکس فاصله بوده است (جدول ۵). نتایج حاصل از رسم نقشه‌های پهنه‌بندی فراسنجهای مورد مطالعه نشان دهنده‌ی این مطلبند که وضعیت کیفی منابع آب زیرزمینی در قسمتهای جنوب شرقی و شرقی

۶. محمدی، ج. ۱۳۸۵. پدومتری: آمار مکانی. انتشارات پلک، ۴۵۴ صفحه.
۷. محمدی، م.، م. محمدی قلعه نی، و ک. ابراهیمی. ۱۳۹۰. تغییرات زمانی و مکانی کیفیت آب زیرزمینی دشت قزوین. مجله پژوهش آب ایران. ۸: ۴۱-۵۲.
۸. مدنی، ح. ۱۳۷۴. مبانی زمین آمار. انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، واحد تفرش، ۶۶۸ صفحه.
9. Al-Bassam, A.M., and Y.A. Al-Rumikhani. 2003. Integrated hydrochemical method of water quality assessment for irrigation in arid areas: Application to the Jilh aquifer, Saudi Arabia. *J. Afr. Earth Sci.* 36: 345-356.
10. Amer, R., R. Ripperdan, T. Wang, and J. Encarnación. 2012. Groundwater quality and management in arid and semi-arid regions: Case study, Central Eastern Desert of Egypt. *J. Afr. Earth Sci.* 69: 13-25.
11. Ayers, R.S., and D.W. Westcot. 1985. *Water Quality for agriculture*. FAO, Rome.
12. Baxter, K.M., and L. Clark. 1984. The effects of effluent recharge on groundwater quality. Technical Report 199, Water Research Center, United Kingdom, 189p.
13. Chen, K.Y., C.S. Young, T.K. Jan, and N. Rohatgi. 1974. Trace metals in Wastewater effluent. *Water Pollu. Cont. Fed.* 46: 2663-2675.
14. Chica-Olmo, M., J.A. Luque-Espinar, V. Rodriguez-Galiano, E. Pardo-Igúzquiza, and L. Chica-Rivas. 2014. Categorical indicator Kriging for assessing the risk of groundwater nitrate pollution: The case of Vega de Granada aquifer (SE Spain). *Sci. Total Environ.* 470-471: 229-239.
15. Currie, J.C. 1998. *Water and environment*. New York: E. Harvad.
16. Foppen, J.W.A. 2002. Impact of high-strength wastewater infiltration on groundwater quality and drinking water supply: The case of Sana'a, Yemen. *J. Hydrol.* 263(1-4): 198-216.
- دشت در وضعیت مطلوبی قرار ندارد (تصاویر ۷ تا ۱۰). این مطلب به وضوح در نقشه‌های پهنه‌بندی رسم شده، قابل مشاهده می‌باشد. لذا، بررسی و ارائه‌ی راهکارهایی برای بهبود کیفیت آب این مناطق دشت امری ضروری به نظر می‌رسد. پیشنهاد می‌گردد که در مورد منابع آلوده کننده و استفاده از روشهای دیگر پهنه‌بندی کیفی آبهای زیرزمینی در این دشت و دشتهای مهم کشور بررسی جامعی انجام گیرد، تا علاوه بر درک صحیح از وضعیت این منابع، بتوان با اعمال مدیریت مناسب از آلوده‌تر شدن آنها جلوگیری کرد.

منابع

۱. ایزدی، ع.، م. دلقدی، ع. هوشمند، و م. فراستی. ۱۳۹۰. برآورد مکانی نسبت جذب سدیم (SAR) و میزان کلر آب زیرزمینی منطقه بوکان با استفاده از روشهای زمین آمار. مجله علوم و مهندسی آبیاری. ۳۴: ۱۱-۲۰.
۲. رحیم سوری، ی.، ع. یعقوب پور، و س. مدبری. ۱۳۹۰. هیدروژئوشیمی و بررسی کیفیت آب چشمه‌ها و آبهای آشامیدنی روستاهای واقع در حوضه آبخیز رودخانه آغ دره، شمال باختر تکاب، استان آذربایجان غربی. فصلنامه علوم زمین. ۸۲: ۷۷-۸۲.
۳. رضایی، م.، ن. دواتگر، خ. تاجداری، و ب. ابولپور. ۱۳۸۹. بررسی تغییرات مکانی برخی شاخصهای کیفی آبهای زیرزمینی استان گیلان با استفاده از زمین آمار. نشریه آب و خاک. ۲۴: ۹۳۲-۹۴۱.
۴. زمانی، ر. ۱۳۹۱. کاربرد روش ترکیبی زمین آمار و شبکه عصبی بهینه شده با روش ژنتیک الگوریتم در میانبایی سطح آب زیرزمینی. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز، ۱۵۱ صفحه.
۵. صاحب‌جلال، ا.، ف. دهقانی، و م. طباطبایی‌زاده. ۱۳۹۲. تغییرات زمانی و مکانی فراسنجهای کیفی آبهای زیرزمینی با استفاده از روش زمین آماری کریجینگ (مطالعه موردی: دشت بهادران مهریز). مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک. ۱۷(۶۵): ۵۱-۶۱.

22. Richards, L.A. 1954. Diagnosis improvement saline alkali soils. US Dep. Agric. Handbook No 60.
23. Smith, J.W.N., B.W.J. Surrige, T.H. Haxton, and D.N. Lemer. 2009. Pollutant attenuation at the groundwater-surface water interface: A classification scheme and statistical analysis using national-scale nitrate data. *J. Hydrol.* 369(3-4): 392-402.
24. Su, S., D. Li, Q. Zhang, R. Xiao, F. Huang, and J. Wu. 2011. Temporal trend and source apportionment of water pollution in different functional zones of Qiantang River, China. *Water Res.* 45: 1781-1795.
25. World Health Organization. 2011. Guidelines for drinking-water Quality. World Health Organization: fourth edition.
26. Yidana, S.M. 2010. Groundwater classification using multivariate statistical methods: Southern Ghana. *J. Afr. Earth Sci.* 57: 455-469.
17. Gunduz, O., C. Simsek, and A. Hasozbek. 2010. Arsenic pollution in the groundwater of Simav Plain, Turkey. Its impact on water quality and human health. *Water, Air, & Soil Pollut.* 205: 43- 62.
18. Hoek, W.V.D., F. Konradsen, J.H.J. Ensink, M. Mudasser, and P.K. Jensen. 2001. Irrigation water as a source of drinking water: Is safe use possible? *Tropical Medi. Int. Health.* 6: 46-54.
19. Isaaks, E.H., and R.M. Srivastava. 1989. An Introduction to applied geostatistics. Oxford University Press, New York, 541p.
20. Jamshidzadeh, Z., and S.A. Mirbagheri. 2011. Evaluation of groundwater quantity and quality in the Kashan Basin, Central Iran. *Desalin.* 270:23-30.
21. Price, R.M., J.W. Fourqurean, and P.K. Swart. 2006. Geochemical evidence of brackish ground water discharge to coastal freshwater. *Geol. Soc. Am. Abst.* 38: 103-112.

Archive