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، وقت‌گیر بودن و هزینه‌بر بودن اندازه‌گیری فراسنجهای کیفی این منابع استفاده از تخمینگرهای مرسوم و یافتن روشی برای تخمین یک فراسنج با استفاده از دیگر فراسنجهایی، که برداشت آنها کم هزینه‌تر است، ضروری به نظر می‌رسد. در این پژوهش از اطلاعات برداشت شده از ۹۴ حلقه چاه در دشت دزفول شامل فراسنجهای (SAR، Na، Ca، TDS، EC و 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 نیم‌تغییرنما و نیم‌تغییرنمای گوسین، با توجه به معیارهای ارزیابی ضریب همبستگی (R^2)، میانگین خطای مطلق بهنجار (NMAE)، و ریشه‌ی میانگین مربعات خطای بهنجار (NRMSE)، به‌عنوان بهترین روش زمین آماری برای پهنه‌بندی کیفی دشت دزفول انتخاب، و در ادامه اقدام به پهنه‌بندی فراسنجهای کیفی مکان مزبور شده است. نتایج حاصل از رسم نقشه‌های پهنه‌بندی فراسنجهای مورد مطالعه حاکی از وضعیت نامطلوب کیفی منابع آب زیرزمینی در قسمتهای جنوب شرقی و شرقی دشت می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: آب زیرزمینی، پهنه‌بندی کیفی، زمین آمار، دشت دزفول

[۱] - دانشیارگروه 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 درحال 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 ملیارد 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 هریک 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 معمولا 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 الرمیخانی، 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 و 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 آلوده کننده‌ی 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 پرداخته اند. نتایج حاکی از دقت بالاتر روش کوکریجینگ نسبت به روش کریجینگ در برآورد میزان نسبت جذب سدیم و کلر در

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 داده اند 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 آماری کریجینگ در دشت بهادران مهریز پرداخته‌اند. آنها در این مطالعه از فراسنجهای (EC، SAR، CL وB) 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 کرجینگ به تهیه‌ی نقشه پهنه بندی نیترات در آبخوان وگا دی گرانادا اسپانیا پرداختند. آنها آبخوان را به سه ناحیه‌ی باکیفیت خوب (غلظت نیترات کمتر از ppm ۳۷/۵)، با کیفیت متوسط (غلظت نیترات بین ppm ۳۷/۵ تا ppm ۵۰) و با کیفیت بد (غلظت نیترات بیش از ppm ۵۰) 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 نیترات در آبخوان ppm ۷۲ است.

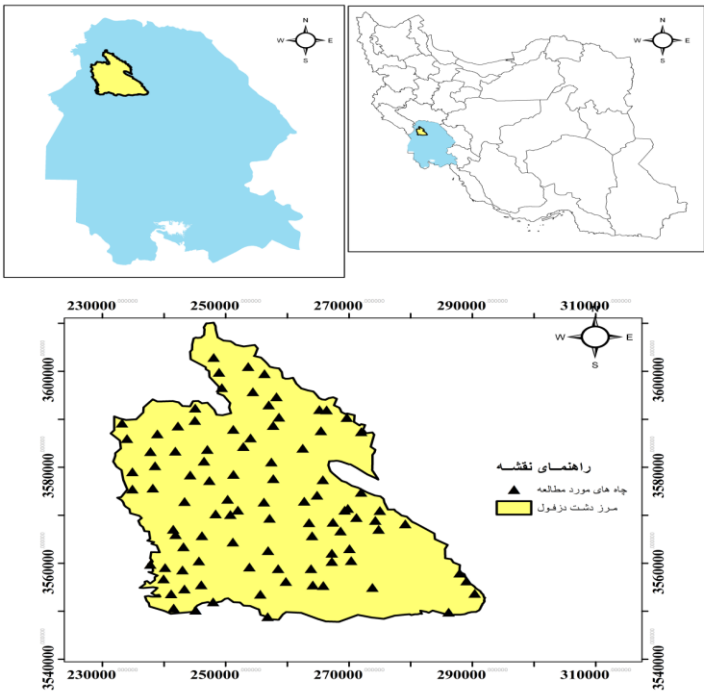
از جمله دیگر پژوهشهای مربوط به پهنه‌بندی کیفی آبهای زیرزمینی می‌توان به مواردی چون چن و همکاران (۱۹۷۴)، باکستر و کلارک (۱۹۸۴)، فوپن (۲۰۰۲)، پرایس و همکاران (۲۰۰۶) و گندوز و همکاران (۲۰۱۰) اشاره کرد.

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 پیشرفتها و 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 ریخت شناسی فونتنبلو 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 می باشند که دارای پیوستگی مکانی بوده و نشان دهنده‌ی پدیده‌های دارای توزیع جغرافیایی می‌باشند (ایزاک و سریواستاوا، ۱۹۸۹). بطور کلی، تخمین زمین آماری 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 آماری کریجینگ، کوکریجینگ و روش معین عکس فاصله برای تخمین و پهنه‌بندی کیفی پارمترهای TDS, SAR ,Na ,Ec ,Ca و TH در دشت دزفول پرداخته شده است.

مواد و روشها

الف) منطقه‌ی مورد مطالعه

دشت دزفول 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 برمی‌گیرد. 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 دزفول، در زمستان ۱۳۸۹ استفاده شده است. تصویر شماره ۱ موقعیت مکانی محدوده‌ی مورد نظر و پراکنش نقاط نمونه‌برداری را در محدوده‌ی دشت دزفول نشان می‌دهد.



شکل۱- موقعیت دشت دزفول و چاههای نمونه‌برداری در محدوده‌ی دشت.

ب) مبانی انگاره‌ی زمین آمار

نیم‌تغییرنما (Semi Variogram)

اساس تعدادی از تخمینگرهای زمین آمار از جمله کریجینگ بر مبنای تعریف نیم‌تغییرنما استوار است. در اصل هدف از برقراری تابع نیم‌تغییرنما آن است که بتوان ساختار تغییرپذیری متغیر را نسبت به فاصله‌ی مکانی شناسایی نمود. تابع نیم‌تغییر نمای 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 متغییر در نقاط x و x+h و N(h) تعداد جفت نمونه‌های به کار رفته بازاء هر فاصله‌ی h می‌باشند. یک تغییر نمای 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)

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 وزن‌دار استوار بوده و بهترین تخمینگر خطی ناااریب می‌باشد (زمانی، ۱۳۹۱). در روش کریجینگ مقدار متغیر مورد نظر در نقطه‌ی تخمین به‌صورت رابطه‌ی شماره ۲ محاسبه می‌شود:

(۲)

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

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

روش کوکریجینگ (Co Kriging)

در زمین آمار همبستگی بین متغییرهای مختلف بر اساس روش کوکریجینگ تخمین زده می‌شود که باعث افزایش دقت تخمینها و صرفه‌جویی در هزینه‌ها می‌گردد. در صورتی که از یک متغییر به اندازه‌ی کافی نمونه در دسترس نبوده، و یا هدف تخمین با چند متغییر باشد، از روش کوکریجینگ استفاده می‌شود. در این روش، با در نظر گرفتن یک متغییر کمکی در الگوریتم میان‌یابی و بر اساس رابطه‌ی مکانی بین متغییرهای 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 وزن‌دهی تنظیم می‌شود، بطوری که توانهای بزرگتر اثر نقاط دورتر از نقطه مورد براورد را کاهش داده و توانهای کوچکتر وزنها را بطور یکنواخت‌تری بین نقاط هم‌جوار توزیع می‌کنند. مقدار عامل وزنی با استفاده از رابطه‌ی شماره ۳ محاسبه می‌گردد:

$$\lambda_i=\frac{D_i-\alpha}{\sum_{i=1}^{n}D_i-\alpha} \qquad (۳)$$

که در آن λ_i: وزن ایستگاه i ام، D_i: فاصله‌ی ایستگاه i ام تا نقطه‌ی مجهول و α: توان وزن‌دهی 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، میانه، چولگی و کشیدگی، انحراف معیار، ضریب تغیرات و آزمون بهنجار بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف- اسمرینوف (Kolmogorov- Smirnov) داده-ها 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 برازش 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 برازش داده شده بر داده‌ها با استفاده از فراسنجهای آماری ضریب تبیین (R^2)، مجموع مربعات باقیمانده (RSS) Residual Sums of Squares 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 (NRMSE) normalized root mean squared error استفاده شده است.

نتایج و بحث

خلاصه‌ی آماری فراسنجهای کیفی مورد مطالعه (میانگین فصل زمستان ۱۳۸۹) دشت دزفول در جدول شماره ۱ ذکر شده است. همچنین، نتایج حاصل از بررسی همبستگی بین فراسنجهای کیفی مورد مطالعه در جدول شماره ۲ عرضه گردیده اند. مطابق نتایج، فراسنجها در سطح اطمینان ۹۹ درصد دارای رابطه‌ی معنی‌داری باهم می‌باشند.

جدول۱- خصوصیات آماری فراسنجهای کیفی مورد مطالعه در دشت دزفول.

	حداکثر	حداقل	میانگین	انحراف معیار	میانه
SAR	۸/۰۸	۰/۱۶	۱/۷۰۷	۱/۶۱۸	۱/۱۷۵
Na(mg/l)	۱۵/۶۲	۰/۲	۳/۲۰۵	۳/۲۳۱	۲/۱۶
Ca(mg/l)	۸/۴۹	۱/۵۲	۳/۷۵۸	۱/۲۸۳	۳/۷۳۵
TDS(mg/l)	۱۴۶۹	۱۷۰	۵۹۶/۶	۲۸۸/۲	۵۳۰
Ec(µmho/cm)	۲۳۰۰	۲۶۵	۹۰۹/۱	۴۳۷/۲	۷۹۹/۵
TH(mg/l)	۸۱۸	۱۳۴/۲	۲۳۶/۹	۱۰۷/۵	۳۲۵/۱

جدول۲- نتایج حاصل از بررسی همبستگی بین فراسنجهای کیفی مورد مطالعه.

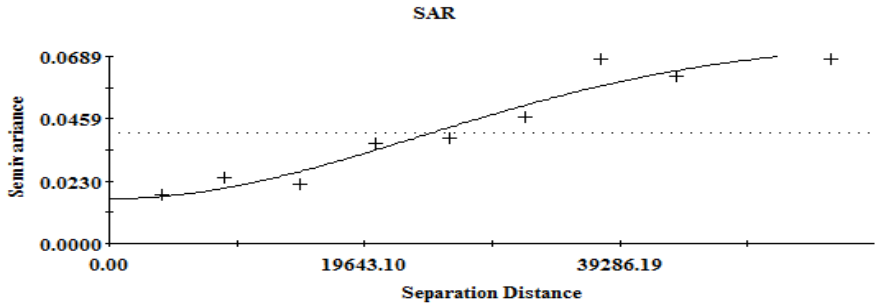
	SAR	Na	Ca	TDS	Ec	TH
SAR	۱	۰/۹۷۲**	۰/۲۰۱	۰/۶۶۴**	۰/۷۰۹**	۰/۱۹۱
Na	۰/۹۷۲**	۱	۰/۲۸۹**	۰/۸۰۶**	۰/۸۴۲**	۰/۳۹۲**
Ca	۰/۲۰۱	۰/۲۸۹**	۱	۰/۷۷۰**	۰/۷۳۸**	۰/۹۷۴**
TDS	۰/۶۶۴**	۰/۸۰۶**	۰/۷۷۰**	۱	۰/۹۹۵**	۰/۸۴۸**
Ec	۰/۷۰۹**	۰/۸۴۲**	۰/۷۳۸**	۰/۹۹۵**	۱	۰/۸۱۸**
TH	۰/۱۹۱	۰/۳۹۲**	۰/۹۷۴**	۰/۸۴۸**	۰/۸۱۸**	۱

همان طور که قبلا ذکر شد، برای بررسی همبستگی مکانی، و انتخاب ساختار مکانی مناسب برای تخمین متغیرها از چهار نوع نیم‌تغییرنما و نیم‌تغییرنمای متقابل خطی، کروی، نمایی و گوسین بهره بردیم. نتایج حاصل از برازش و انتخاب بهترین شبیه نیم‌تغییرنما برای هریک از فراسنجها با توجه به معیارهای ارزیابی در جدول شماره ۳ ذکر شده اند.

جدول۳- نتایج حاصل از برازش شبیه‌های نیم‌تغییرنما بر فراسنجهای کیفی مورد مطالعه.

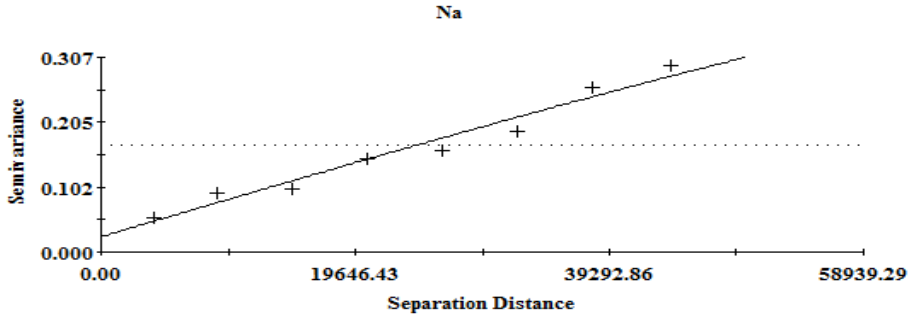
	Model	Nugget (C_0)	Sill (C_0+C)	Range Parameter (A_0)	RSS	R^2
SAR	Gaussian	۰/۰۱۶۵	۰/۰۷۴۶	۳۳۸۰۰	$۱/۹۲۶\times۱۰^{-۴}$	۰/۹۴۸
Na	Spherical	۰/۲۴	۰/۵۲۶	۱۲۵۷۰۰	$۱/۸۷۸\times۱۰^{-۳}$	۰/۹۷۲
Ca	Gaussian	۰/۱۲۵	۰/۸۲۷	۱۳۴۸۰۰	$۲/۸۲۸\times۱۰^{-۴}$	۰/۹۶۱
TDS	Gaussian	۰/۱۲۶	۲/۲۶۲	۱۰۸۳۰۰	$۶/۳۵۴\times۱۰^{-۳}$	۰/۹۶۳
EC	Gaussian	۰/۱۲۹	۲/۰۱۱	۱۱۵۲۰۰	$۹/۴۴۵\times۱۰^{-۴}$	۰/۹۷۶
TH	Gaussian	۰/۰۸	۱/۳۹۷۰	۱۶۴۹۰۰	$۱/۱۰۵\times۱۰^{-۳}$	۰/۹۵۵

شبیه گوسین مطابق نتایج بالا، به عنوان بهترین شبیه نیم‌تغییرنما برای برازش بر داده‌های هریک از فراسنجهای کیفی مورد مطالعه انتخاب شد. برای جلوگیری از طولانی شدن مطلب، در ادامه فقط سه مورد از نیم‌تغییرنماهای برازش داده شده، در تصویرهای شماره ۲ تا ۴ عرضه گردیده اند.



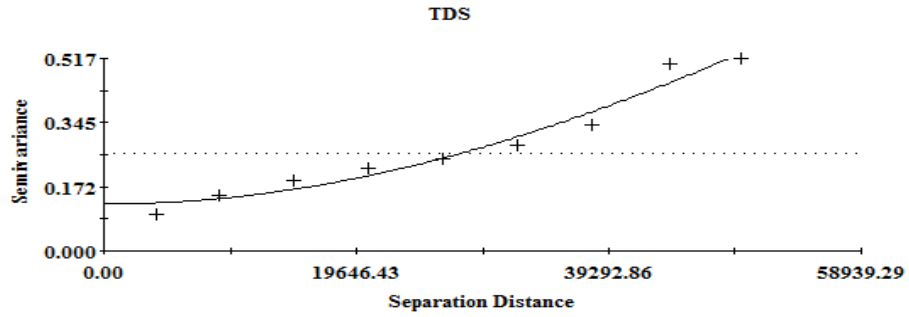
Gaussian model (Co = 0.01650; Co + C = 0.07460; Ao = 33800.00; r2 = 0.948; RSS = 1.926E-04)

شکل۲- شبیه نیم‌تغییرنمای برازش داده شده برداده‌های فراسنج SAR .



Spherical model (Co = 0.0240; Co + C = 0.5260; Ao = 125700.00; r2 = 0.972; RSS = 1.878E-03)

شکل۳- شبیه نیم‌تغییرنمای برازش داده شده بر داده‌های فراسنج Na .



Gaussian model (Co = 0.1260; Co + C = 2.2620; Ao = 108300.00; r2 = 0.963; RSS = 6.354E-03)

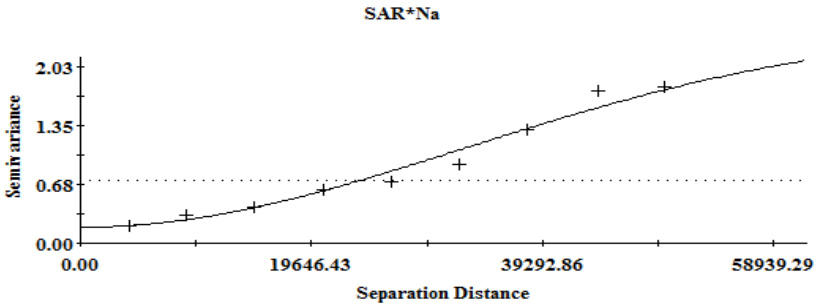
شکل۴- شبیه نیم‌تغییرنمای برازش داده شده بر داده‌های فراسنج TDS .

برای استفاده از روش کوکریجینگ در تخمین فراسنجهای کیفی مورد مطالعه، نیاز به استفاده از متغیرکمکی در برازش شبیه‌های نیم‌تغییرنمای متقابل می‌باشد. با استفاده از نتایج حاصل از جدول شماره ۱ که حاصل از تشکیل ماتریس همبستگی بین فراسنجها می‌باشد، از فراسنجی که دارای بیشترین همبستگی با متغیر (فراسنج) مورد نظر می‌باشد، به عنوان متغیرکمکی برای برازش شبیه‌های نیم‌تغییرنمای متقابل و به دنبال آن

تخمین فراسنج مورد نظر با استفاده از روش کوکریجینگ استفاده شده است. نتایج حاصل از برازش نیم‌تغییرنماهای متقابل در جدول شماره ۴ ذکر و در ادامه نیز در تصویر-های شماره ۵ و ۶ دو نوع از نیم‌تغییرنماهای متقابل برازش داده شده، نشان داده شده اند.

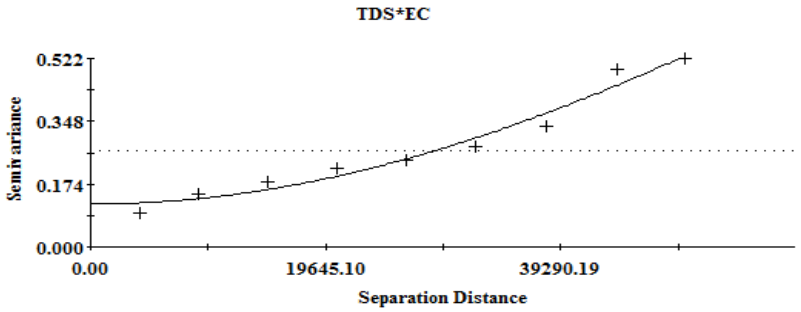
جدول۴- نتایج حاصل از برازش شبیه‌های نیم‌تغییرنمای متقابل بر فراسنجهای کیفی مورد مطالعه.

	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	۵/۷۱۹×۱۰$^{-۳}$	۰/۹۶۷
TH×Ca	Gaussian	۰/۴۲۱	۲/۹۵۲۰	۱۳۸۴۰۰	۰/۰۱۹۹	۰/۸۶۵



Gaussian model (Co = 0.1830; Co + C = 2.4760; Ao = 46200.00; r2 = 0.971; RSS = 0.0841)

شکل۵- شبیه نیم‌تغییرنمای متقابل برازش داده شده بر داده‌های فراسنج SAR*Na .



Gaussian model (Co = 0.1190; Co + C = 2.2480; Ao = 107500.00; r2 = 0.967; RSS = 5.719E-03)

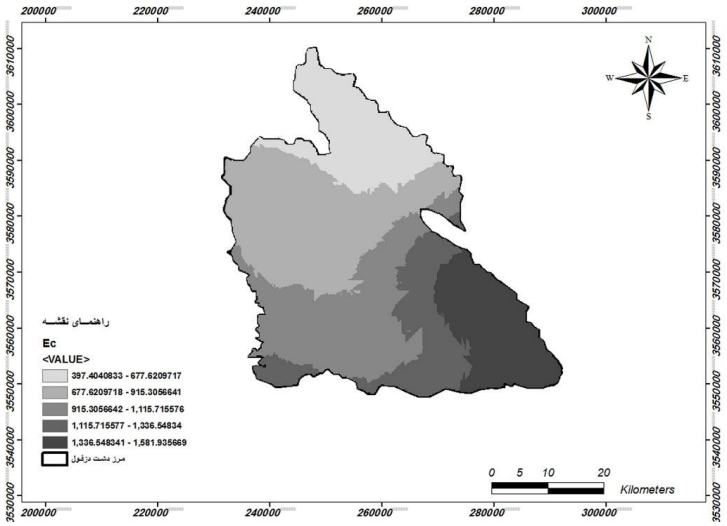
شکل۶- شبیه نیم‌تغییرنمای متقابل برازش داده شده بر داده‌های فراسنج TDS*EC .

در ادامه و بعد از انتخاب شبیه‌های نیم‌تغییرنما و نیم‌تغییرنمای مناسب، به تخمین هریک از مولفه‌های کیفی مورد مطالعه با استفاده از روشهای زمین آماری کوریجینگ، کریجینگ و روش معین عکس فاصله پرداخته شده است. لازم به ذکر است که مشخصات عمومی هریک از روشها با آزمون و لغزش به‌نحوی 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 دزفول انتخاب گردیده است.

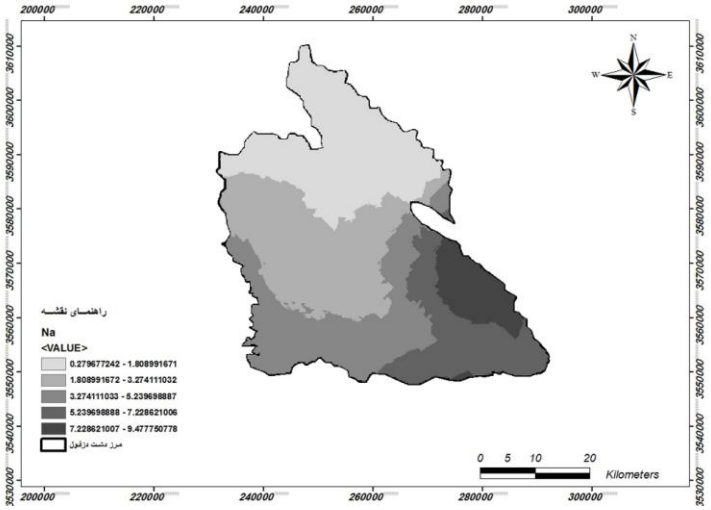
جدول۵- معیارهای ارزیابی هریک از روشهای زمین آماری مورد استفاده.

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

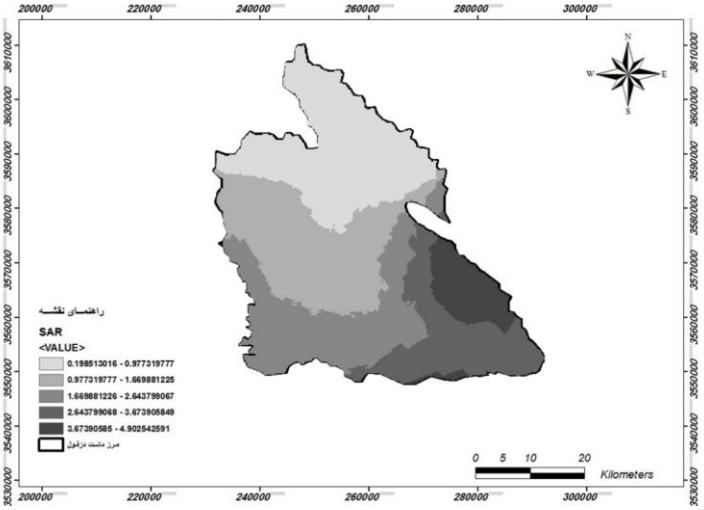
توجه به نتایج جدول شماره ۵، روش کوکریجینگ با شبیه نیم‌تغییرنما و نیم‌تغییرنمای متقابل گوسین، به عنوان بهترین روش زمین آماری برای تخمین فراسنجهای کیفی دشت دزفول انتخاب گردیده، و در ادامه نقشه‌های پهنه‌بندی کیفی دشت دزفول با استفاده از این روش در تصویرهای شماره ۷ تا ۱۰ رسم شده است.



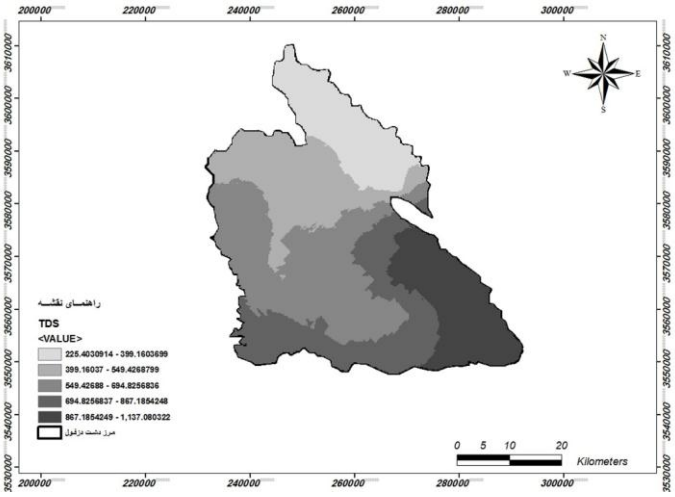
شکل۷- نقشه‌ی پهنه‌بندی فراسنج کیفی EC.



شکل۸- نقشه‌ی پهنه‌بندی فراسنج کیفی Na.



شکل۹- نقشه‌ی پهنه‌بندی فراسنج کیفی SAR .



شکل۱۰- نقشه‌ی پهنه‌بندی فراسنج کیفی TDS .

نتیجه‌گیری

بهره‌برداری بی‌رویه و روزافزون از منابع آب، ورود و نشت آلاینده‌های مختلف، استفاده های مختلف از منابع آب، شورشدن 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 اندازه گیری میزان آلاینده های 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 براورد 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 فراسنجها استفاده شد. مطابق نتایج حاصل از این پژوهش، شبیه گوسین به عنوان بهترین شبیه نیم‌تغییرنما انتخاب شد (جداول ۳ و۴). 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

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 می گردد 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. دلقندی، 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: (۲) ۱۱-۲۰.

۲. رحیم سوری، ی.، ع. یعقوب پور، و س. مدبری. ۱۳۹۰. هیدروژئوشیمی و بررسی کیفیت آب چشمه ها 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 میانیابی 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. (۶۵)۱۷: ۵۱-۶۱.

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.

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.
22. Richards, L.A. 1954. Diagnosis improvement saline alkali soils. US Dep. Agric. Handbook No 60.
23. Smith, J.W.N., B.W.J. Surridge, 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.