

بررسی گسترش فلزات سنگین و نیترات در آب زیرزمینی با استفاده از اندیس موران و کریجینگ بیزین (مطالعه موردی: دشت آذرشهر)

علیرضا دوچشمه گرگیج^{۱*} و اصغر اصغری مقدم^۲

چکیده

این بررسی روشی برای ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی با استفاده از شاخص خود همبستگی فضایی موران و روش کریجینگ بیزین ارائه می‌دهد. در این پژوهش غلظت آرسنیک، سرب، منگنز، آهن و نیترات همچنین سطح آب زیرزمینی و میزان مواد جامد محلول، برای ۲۱ نقطه از دشت آذرشهر (آذربایجان شرقی) اندازه‌گیری شد. سپس با استفاده از شاخص خودهمبستگی فضایی هر پارامتر و استاندارد جهانی کیفیت آب، به هر پارامتر وزن متناسب اختصاص داده شد. برای کاهش عدم قطعیت حاصل از استفاده روش‌های متداول درون‌یابی، شیوه پیش‌بینی بیزین کریجینگ برای تعمیم گسترش هر پارامتر به کل دشت استفاده شده و برای بررسی صحت نتایج، شیوه صحت‌سنجی متقاطع به کار گرفته شد. در نهایت منطقه مطالعاتی از منظر کیفی به ۴ بخش مطلوب، قابل قبول، متوسط و غیرقابل قبول جدا شده گردیده و نقشه نهایی با برهم نهی لایه‌های رستری ایجاد شده، رسم گردید. نقشه منتج نشان داد که بخش‌های شرق و جنوب شرق دارای کیفیت مطلوب تا قابل قبول با مساحت به ترتیب ۳۲/۵۳ و ۴۴/۳۸ کیلومترمربع، مرکز و غرب متوسط با مساحت ۶۹/۳۲ و بخش‌هایی از شمال و جنوب غرب منطقه مطالعاتی دارای کیفیت غیر قابل قبول با مساحت ۲۷/۲۱ کیلومترمربع است.

واژه‌های کلیدی: آذرشهر، شاخص خودهمبستگی فضایی موران، صحت‌سنجی متقاطع، کریجینگ بیزین تجربی.

ارجاع: دوچشمه گرگیج ع. و اصغری مقدم ا. ۱۳۹۸. بررسی گسترش فلزات سنگین و نیترات در آب زیرزمینی با استفاده از اندیس موران و کریجینگ بیزین (مطالعه موردی: دشت آذرشهر). مجله پژوهش آب ایران. ۳۳: ۲۱-۳۱.

۱- استادیار گروه معدن، دانشکده صنعت و معدن خاش، دانشگاه سیستان و بلوچستان.

۲- استاد هیئت‌دوئولوژی، گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز.

* نویسنده مسئول: gorgij.a.d@eng.usb.ac.ir

تاریخ پذیرش: 1394/11/17

تاریخ دریافت: 1393/11/01

مقدمه

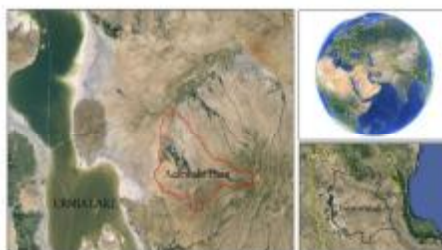
فضایی یک بخش مهم در بررسی و ساختن مدل‌های داده فضایی است (ویلسون و فوترینگهام، ۲۰۰۷).

یکی از مدل‌های پیشرفته جغرافیایی که به وسیله آن امکان تحلیل فضایی پدیده‌های جغرافیایی فراهم شده و الگوی پراکنش پدیده‌ها در فضا مشخص می‌شود، مدل خودهمبستگی فضایی^۱ است. براساس این مدل، الگوی فضایی دارای ۳ حالت خوشه‌ای (Clustered)، پراکنده^۲ یا تصادفی^۳ است (رهنما و آقاجانی، ۱۳۸۸). خودهمبستگی فضایی، تطابق بین مقدار یک متغیر منفرد است که به صورت دقیقی قابل نسبت دادن به مجاورت این مقدار در فضای جغرافیایی است (گریفیث، ۲۰۰۳). در مقایسه با دیگر شاخص‌های خودهمبستگی فضایی به نظر می‌رسد شاخص خودهمبستگی فضایی موران (انسلین، ۱۹۹۵) یک روش رایج در خوشه‌بندی فضایی در بررسی‌ها است (فو و همکاران، ۲۰۱۴).

وجه تمایز این پژوهش نسبت به سایر پژوهش‌های انجام شده از یک سو، تاکید بر خود همبستگی فضایی غلظت فلزات سنگین آرسنیک و سرب همچنین نیترات در تحلیل سلسله مراتبی کیفیت آب زیرزمینی آبخوان دشت آذرشهر و از سوی دیگر استفاده از روش کریجینگ بیزین برای ایجاد لایه‌های رستری دقیق در ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی منطقه مطالعاتی بوده است.

مواد و روش‌ها

محدوده مطالعاتی آذرشهر در غرب استان آذربایجان شرقی و در حد فاصل طول‌های جغرافیایی ۴۵ درجه و ۴۶ دقیقه تا ۴۵ درجه و ۵۰ دقیقه شرقی و عرض‌های ۳۷ درجه و ۴۳ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۵۲ دقیقه شمالی است. شکل ۱ موقعیت منطقه مورد بررسی را نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد بررسی

آب‌های زیرزمینی به‌عنوان اصلی‌ترین منبع تأمین آب شرب دنیا (علیزاده، ۱۳۸۷) و برطرف کننده بسیاری از نیازهای بشر در بخش‌های کشاورزی و صنعت همیشه مهم بوده‌اند. افزایش جمعیت و توسعه شهرها، تعیین مکان‌های آب با کیفیت مطلوب از آب‌های محصور در سفره‌های زیرزمینی را به یکی از مهم‌ترین چالش‌های مورد بحث تبدیل کرده است (کشاورز و همکاران، ۱۳۹۳).

یکی از خصوصیات مربوط به داده‌های کیفیت آب زیرزمینی دارا بودن موقعیت مکانی آن‌ها است. رویکردهای متفاوتی در جمع‌آوری و آنالیز داده‌های آب زیرزمینی به کار می‌روند. این رویکردها می‌توانند به سه دسته تقسیم شوند: روش‌های اندیس (فو و همکاران، ۲۰۱۴)، روش‌های آماری (نولان و همکاران، ۲۰۰۲؛ مازتی و همکاران، ۲۰۰۹)، روش‌های فرایند محور (نئوکوم و عظام، ۲۰۰۹) و یا ترکیبی از این روش‌ها (یو، ۲۰۰۲).

از آنجا که در روش‌های آماری کلاسیک ویژگی‌های اساسی داده‌ها همانند روند موجود در منطقه و یا پیوستگی بین داده‌ها را نمی‌تواند بررسی کند، زمین آمار یک روش کاربردی است (مختاری، ۱۳۹۰) زیرا در این روش علاوه بر مقدار یک کمیت معین در یک نمونه به موقعیت فضایی نمونه نیز توجه می‌شود. مبنای تئوری زمین آمار به صورت کامل از سوی نویسندگان زیادی شرح داده شده است به‌عنوان مثال می‌توان به موارد زیر اشاره کرد (چیلس و دلفاینر، ۲۰۱۲؛ هنگل، ۲۰۰۹؛ دیگل و ریبریو، ۲۰۰۷؛ گووئرت، ۱۹۹۷ و ایساک و اسریواستوا، ۱۹۸۹).

دلهوم (۱۹۷۸) برای اولین بار برای شبکه‌بندی محدوده مورد بررسی خویش از روش زمین آمار استفاده کرد و پس از آن دامنه استفاده از این روش گسترش یافت (به‌عنوان مثال: ساتاگوپان و راجاگوپالان، ۱۹۹۴؛ شاجی و کیتاؤورا، ۲۰۰۶ و دوچشمه گرگیج و اصغری‌مقدم، ۲۰۱۴).

زمین‌آمار ترکیب شده با دیگر آمارهای فضایی در بررسی داده‌های فضایی می‌تواند موقعیت، بزرگی و شکل الگوهای معنی‌دار آماری را در منطقه مطالعاتی شرح داده و توصیف کند (لی و مرچنت، ۲۰۱۳). بررسی خوشه‌بندی

1- Spatial Autocorrelation
2- Dispersed
3- Random

پس از آنالیز نمونه‌های برداشت شده از منطقه مطالعاتی اقدام به بررسی رابطه فضایی مقدار هر پارامتر در محدوده مورد مطالعاتی شد. شاخص خودهمبستگی فضایی مورد استفاده در این پژوهش شاخص همبستگی فضایی موران بوده است که به صورت زیر بیان می‌شود:

$$I = \frac{n \sum \sum w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{w \sum (x_i - \bar{x})^2} \quad (1)$$

x_i ضریب متغیر فاصله در واحد i ، n تعداد واحدهای ناحیه‌ای، وزن w_{ij} است. شاخص موران بین -1 تا 1 متغیر است. -1 برابر تعامل فضایی منفی و 1 برابر تعامل فضایی مثبت است. اگر تعامل فضایی وجود نداشته باشد شاخص مورد انتظار موران برابر صفر است. هرچه شاخص موران به سمت 1 تمایل داشته باشد نشان از تمرکز بالاتر دارد یعنی داده‌های پارامتر خوشه‌بندی شده‌اند. از طرف دیگر چنانچه شاخص برابر 1 باشد بر توزیع تصادفی فضایی دلالت دارد. شاخص هرچه از عدد 1 به سمت صفر پیش می‌رود از درجه خوشه‌بندی آن کم شده و به سمت تصادفی می‌رود و در عدد -1 به صورت کاملاً پراکنده است (رهنما و ذبیحی، ۱۳۹۰). جدول ۱ شاخص موران و توزیع فضایی پارامترهای هفت‌گانه مورد بررسی را نشان می‌دهد. بر این اساس بیشترین همبستگی فضایی پارامترها متعلق به آرسنیک و سرب و پس از آن‌ها متعلق به کل مواد جامد محلول در آب زیرزمینی منطقه مطالعاتی است.

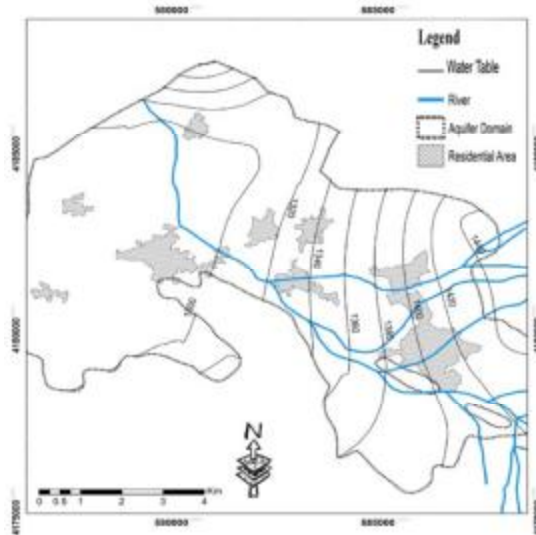
گسترش فضایی پارامترها نیاز به پیش‌بینی دقیق دارد، برای دستیابی به این هدف درون‌یابی یک روش معمول است. در رویکردهای متداول زمین آمار برای درون‌یابی یعنی کریجینگ، از مفهومی تحت عنوان سمی واریوگرام (γ_h) استفاده می‌شود که می‌تواند به صورت نیمی از واریانس از تفاوت بین اندازه مشخصه تمامی نقاط گسترش یافته با یک فاصله h از یکدیگر تعریف شود.

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

که در آن Z_u بزرگی متغیر و $N(h)$ مجموع تعداد جفت متغیرهاست.

کریجینگ بیزین تجربی یک درون‌یابی زمین آماری نوین است که بیشترین بخش‌های ساختن یک مدل کریجینگ را به صورت خودکار انجام داده و علاوه بر آن به کاهش عدم قطعیت در پیش‌بینی پارامترها می‌پردازد (چیلِس و دلفایندر، ۲۰۱۲).

وسعت کل محدوده مطالعاتی آذرشهر برابر ۴۵۷ کیلومتر مربع است (مؤسسه تحقیقات منابع آب، ۱۳۹۳). متوسط سالانه بارندگی منطقه در طول دوره آماری ۳۰ ساله (۱۳۶۲ تا ۱۳۹۲) ۲۲۱/۲ میلی‌متر و متوسط سالانه تبخیر برابر ۱۵۷۹ میلی‌متر بوده است. مهم‌ترین رودخانه منطقه، آذرشهرچای بوده و آب‌های سطحی منطقه را زهکشی می‌کند. در منطقه آذرشهر، جمع تخلیه سالانه منابع آب زیرزمینی برابر با ۹۰/۶۴ میلیون مترمکعب است (شرکت آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی، ۱۳۸۹). از آنجا که دشت آذرشهر از جمله دشت‌های آبرفتی مجاور دریاچه ارومیه است، خطر بالا رفتن مقدار شوری آب زیرزمینی آن به دلیل نفوذ آب‌های شورزارهای کنار دریاچه ارومیه از یک سو و وجود پساب‌های صنعتی و کشاورزی موجود در منطقه از سوی دیگر سبب تغییر کیفیت آب زیرزمینی منطقه شده و به همین دلیل بررسی و مطالعه تغییرات کیفیت شیمیایی آبخوان آن مهم است. برای اطلاع از وضعیت تراز آب زیرزمینی آبخوان، اقدام به تهیه نقشه تراز آب زیرزمینی برای خرداد ۱۳۹۲ شد (شکل ۲).



شکل ۲- تراز آب زیرزمینی آبخوان آذرشهر - خرداد ۱۳۹۲

برای بررسی وضعیت کیفی آب زیرزمینی دشت آذرشهر در خردادماه سال ۱۳۹۲ اقدام به نمونه‌برداری از منابع آب زیرزمینی منطقه مطالعاتی شده و غلظت فلزات سنگین آرسنیک و سرب همچنین غلظت عناصر آهن و منگنز و ترکیب نترات برای تعداد ۲۱ نمونه برداشت شده، اندازه‌گیری شد که این پژوهش است.

پس از بررسی نتایج آنالیز اقدام به استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی شد. پس از تعیین کردن ضوابط لایه‌ها، محاسبات مربوط به مدل تحلیل سلسله‌مراتبی ابتدا با تعریف ماتریس مقایسه دوتایی در محیط نرم‌افزار Export Choice و تعیین ارجحیت لایه‌ها نسبت به یکدیگر، وزن نهایی هر لایه با ضریب ناپایداری 0.08 به دست آمد که با توجه به کمتر بودن آن از 0.1 مدل نهایی قابل قبول است (پورمحمدی، ۱۳۸۹) (جدول ۲).

برای هر منطقه، پیش‌بینی با استفاده از یک پخش سمی واریوگرام که از مجموع وزنی زیرمجموعه‌هایی که در اطراف منطقه پیش‌بینی هستند به دست می‌آید (مترن و همکاران، ۲۰۱۲). برای فاصله h کریجینگ بی‌زین یک مدل نیمه‌واریوگرام به صورت زیر را استفاده می‌کند:

$$g(h) = \text{Nugget} + b |h|^a \quad (3)$$

جایی که b شیب و a توان است (ازری، ۲۰۱۴).

جدول ۱- شاخص موران و توزیع فضایی پارامترهای مطالعاتی

پخش	P-Value	Z-Score	Variance	Moran's I
خوشه‌ای	۰/۰۰۰۰۶۸	۳/۹۸۳۵۶۶	۰/۰۳۶۶۹۲	۰/۷۱۳۰۵۹
خوشه‌ای	۰/۰۰۵۱۵۳	۲/۷۹۷۳۱۸	۰/۰۳۸۶۷۳	۰/۵۰۰۱۰۳
تصادفی	۰/۶۲۵۸۵۲	۰/۴۸۷۵۷۴	۰/۰۳۶۲۶۷	۰/۰۴۲۸۵۳
تصادفی	۰/۲۶۲۸۹۱	۱/۱۱۹۵۸۳	۰/۰۰۲۸۳۱	۰/۰۰۹۵۶۶
تصادفی	۰/۲۸۰۴۳۱	۱/۰۷۹۳۵۲	۰/۰۱۰۹۶۰	۰/۰۶۲۹۹۵
خوشه‌ای	۰/۰۰۴۵۲۱	۲/۸۳۹۳۵۰	۰/۰۳۵۴۱۵	۰/۴۸۴۳۳۰
خوشه‌ای	۰/۰۵۴۴۵۰	۱/۹۲۳۲۴۲	۰/۰۲۵۵۲۸	۰/۲۷۵۰۲۷

جدول ۲- وزن نهایی معیارها با نرم‌افزار Export Choice

کل مواد جامد محلول	تراز آب	آهن	منگنز	نیترات	سرب	آرسنیک
۰/۷۱۰	۰/۳۰۱	۰/۱۶۹	۰/۱۴۴	۰/۰۶۴	۰/۶۲۴	۱/۰۰
۰/۰۳۰	۰/۰۲۷	۰/۰۵۲	۰/۰۵۸	۰/۱۳۸	۰/۳۴۹	۰/۳۴۶
۰/۰۲۱	۰/۰۰۸	۰/۰۰۸	۰/۰۰۸	۰/۰۰۸	۰/۲۱۷	۰/۳۴۶
۰/۰۳۴	۰/۰۱۳	۰/۰۱۳	۰/۰۱۳	۰/۰۱۳	۰/۳۵۲	۰/۵۶۲

نتایج و بحث

ترکیب شیمیایی آب‌های زیرزمینی در اثر فاکتورهای مختلف دچار تغییر می‌شود که در این بین تأثیر فعالیت انسانی، به ویژه در بخش‌های صنعت و کشاورزی بر کیفیت آب زیرزمینی غیرقابل انکار است. با توجه به اهمیت بالای فلزات سنگین و سمی بودن آن‌ها و نیاز به پایش مداوم این عناصر، بیشترین وزن به سرب و آرسنیک اختصاص داده شد و پس از آن به دلیل پتانسیل بالای کشاورزی منطقه (رجب‌پور، ۱۳۸۲)، نیترات در درجه دوم قرار گرفت. سپس پارامترهای آهن و منگنز به همراه سطح آب زیرزمینی و کل مواد محلول منطقه مطالعاتی قرار گرفتند. استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی و روش کریجینگ بی‌زین، سبب ترسیم نقشه‌های پیش‌بینی برای پارامترهای ۷ گانه (شکل ۳) و گراف‌های صحت‌سنجی متقاطع مربوط به هر

پس از به دست آمدن وزن نهایی هر یک از لایه‌ها، با توجه به استاندارد جهانی کیفیت آب (WHO، ۲۰۰۹)، هر لایه به چهار زیرگروه تقسیم شد و پس از استاندارد سازی به هر یک از زیرگروه‌ها وزن متناسب اختصاص داده شد (جدول ۳).

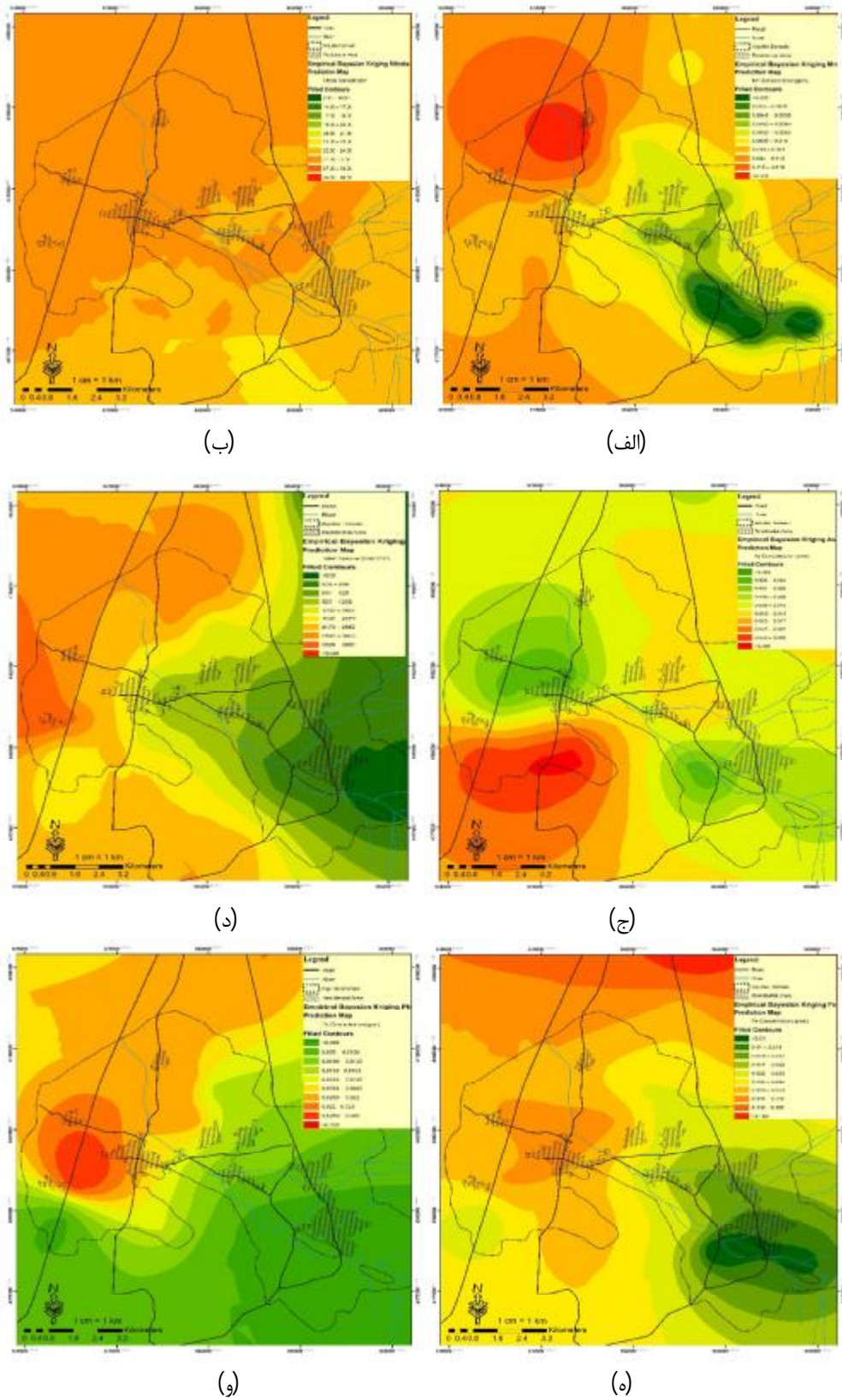
پس از آن هر کدام از نقاط ۲۱ گانه نمونه‌برداری شده با توجه به موقعیت قرارگیری مکانی خود دارای ۷ وزن به ازای هر معیار شدند و برای تعمیم مقادیر اوزان به کل دشت، از روش کریجینگ بی‌زین استفاده شد و پس از آن صحت هر لایه پیش‌بینی شده با صحت سنجی متقاطع بررسی شد (شکل ۳ و ۴) و در نهایت با برهم نهی لایه‌های ۷ گانه ایجاد شده نقشه نهایی ترسیم شده و منطقه مطالعاتی به ۴ بخش با کیفیت آب زیرزمینی مطلوب، قابل قبول، متوسط و غیرقابل قبول تقسیم شد.

روش بیزین کریجینگ پی برد و این نشان از کارا بودن این روش در پیش‌بینی گسترش فضایی پارامترهای مؤثر بر کیفیت آب‌زیرزمینی است.

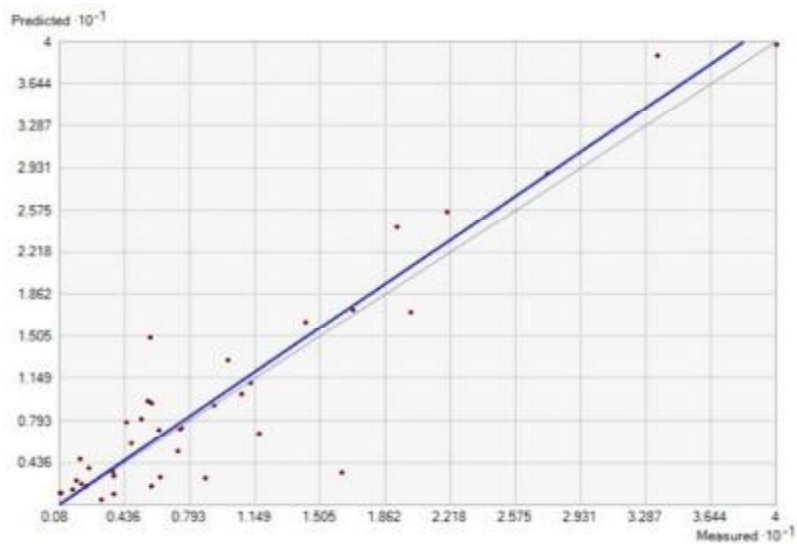
یک از پارامترها (شکل ۴) شد. جدول ۴ میزان خطای میانگین و مجذور مربعات خطای پیش‌بینی را نشان می‌دهد که با بررسی خطای میانگین و مجذور مربعات خطاها می‌توان به دقت و صحت عمل

جدول ۳- وزن زیر گروه‌های متعلق به هر معیار

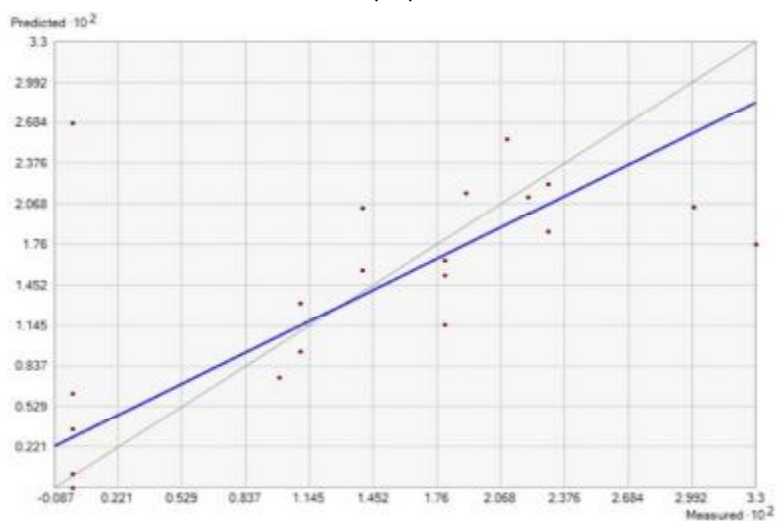
آرسنیک			سرب			نیترات			منگنز		
دامنه	زیرگروه وزنی	دامنه	زیرگروه وزنی	دامنه	زیرگروه وزنی	دامنه	زیرگروه وزنی	دامنه	زیرگروه وزنی	دامنه	زیرگروه وزنی
<۰/۰۰۷	۰/۳۳۳	<۰/۰۰۵	۰/۳۳۸	<۲/۰۱۶	۰/۳۳۳	<۰/۰۰۷	۰/۳۳۳	<۰/۰۰۷	۰/۳۳۳	<۰/۰۰۷	۰/۳۳۳
۰/۰۰۷-۰/۰۰۹	۰/۰۹۵	۰/۰۰۵-۰/۰۰۱	۰/۱۴۲۸	۲۰/۱۶-۲۵/۵۲	۰/۳۳۸	۰/۰۰۷-۰/۰۷۸	۰/۳۳۸	۰/۰۰۷-۰/۰۷۸	۰/۰۴۷	۰/۰۰۷-۰/۰۷۸	۰/۰۴۷
۰/۰۰۹-۰/۰۱۵	۰/۲۸۵	۰/۰۰۱-۰/۰۱۹	۰/۳۳۸	۲۵/۵۲-۳۰/۰۰	۰/۳۳۵	۰/۰۷۸-۰/۰۸۷	۰/۳۳۵	۰/۰۷۸-۰/۰۸۷	۰/۳۳۸	۰/۰۷۸-۰/۰۸۷	۰/۳۳۸
>۰/۰۱۵	۰/۲۸۵	۰/۰۱۹-۰/۰۲۷	۰/۳۸۰۹	>۳۰/۰۰	۰/۱۴۲	>۰/۰۸۷	۰/۱۴۲	>۰/۰۸۷	۰/۳۳۳	>۰/۰۸۷	۰/۳۳۳
کل مواد جامد محلول											
آهن			سطح آب زیرزمینی			سرب			نیترات		
دامنه	زیرگروه وزنی	دامنه	زیرگروه وزنی	دامنه	زیرگروه وزنی	دامنه	زیرگروه وزنی	دامنه	زیرگروه وزنی	دامنه	زیرگروه وزنی
<۰/۰۱۷	۰/۱۹۰۴	<۱۳۰۰	۰/۴۷۶	<۱۲۰۰	۰/۱۴۲	<۰/۰۱۷	۰/۱۴۲	<۰/۰۱۷	۰/۱۴۲	<۰/۰۱۷	۰/۱۴۲
۰/۰۱۷-۰/۰۲۷	۰/۳۳۸	۱۳۰۰-۱۳۴۲	۰/۳۳۸	۱۲۰۰-۲۵۰۰	۰/۳۳۳	۰/۰۱۷-۰/۰۲۷	۰/۳۳۳	۰/۰۱۷-۰/۰۲۷	۰/۳۳۳	۰/۰۱۷-۰/۰۲۷	۰/۳۳۳
۰/۰۲۷-۰/۰۴۷	۰/۲۸۵	۱۳۴۲-۱۳۹۷	۰/۰۹۵۲	۲۵۰۰-۵۰۰۰	۰/۴۷۶	۰/۰۲۷-۰/۰۴۷	۰/۴۷۶	۰/۰۲۷-۰/۰۴۷	۰/۴۷۶	۰/۰۲۷-۰/۰۴۷	۰/۴۷۶
>۰/۰۴۷	۰/۲۸۵	>۱۳۹۷	۰/۱۹۰۴	>۵۰۰۰	۰/۰۴۷	>۰/۰۴۷	۰/۰۴۷	>۰/۰۴۷	۰/۰۴۷	>۰/۰۴۷	۰/۰۴۷



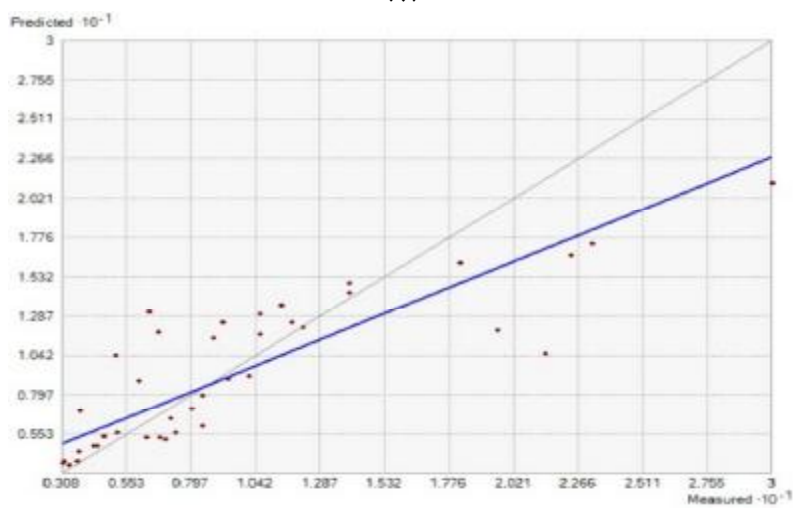
شکل ۳- نقشه پیش‌بینی گسترش پارامترها، (الف) منگنز (ب) نیترات (ج) آرسنیک (د) کل مواد جامد محلول (ه) آهن (و) سرب



(الف)

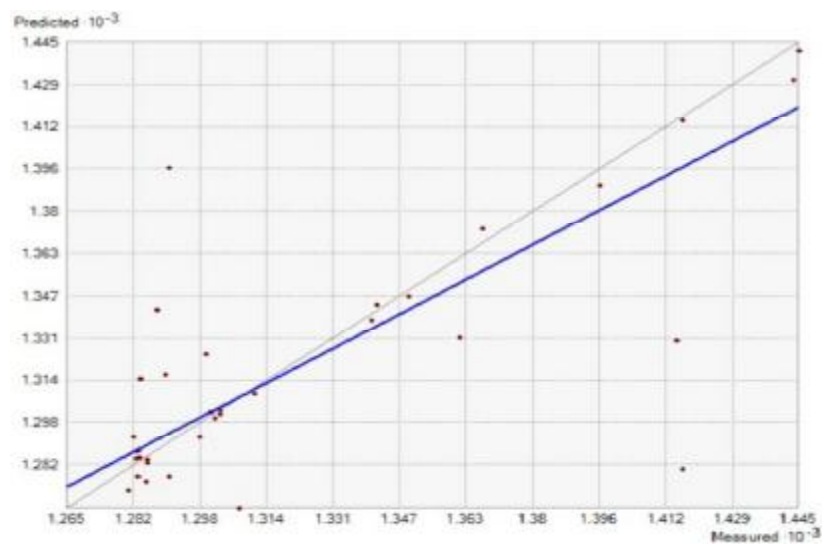


(ب)

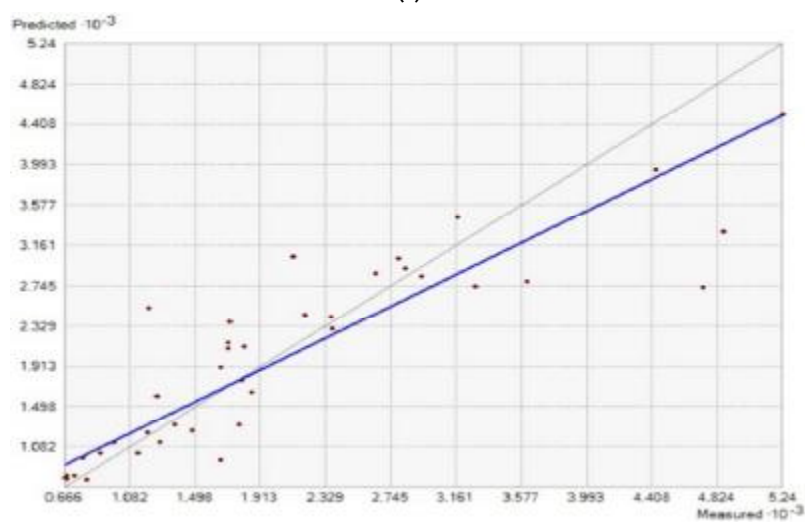


(ج)

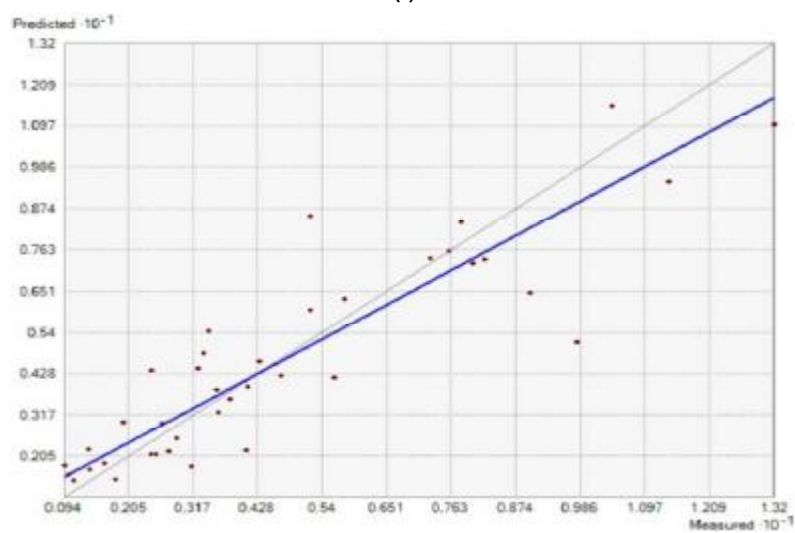
شکل ۴- صحت‌سنجی متقاطع شکل‌ها، الف، منگنز ب، آرسنیک ج، نیترات



(د)



(ه)



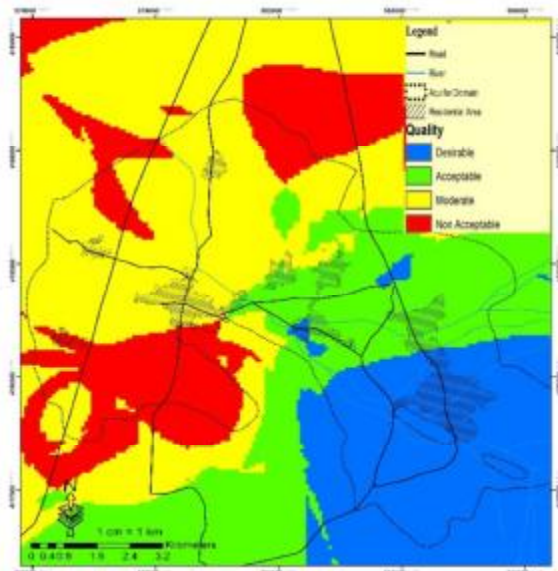
(و)

ادامه شکل ۴-د (آهن ه) کل مواد جامد محلول و (و) سرب

جدول ۴- خطای میانگین و مجذور مربعات خطا در پارامترها

کل مواد محلول	تراز آب	منگنز	آهن	نیترات	سرب	آرسنیک	پارامتر
۰/۰۷۸	۰/۰۰۵۱	-۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۰۱۳	۰/۰۰۰۲۲	-۰/۰۰۰۲	خطای میانگین
۰/۶۰۸	۰/۱۰۳	۰/۰۰۸۹	۰/۰۲۳۱	۰/۰۰۹۶	۰/۰۰۷۷	۰/۰۰۴۵	مجذور مربعات خطا

مساحت مربوط به هریک از گروه‌های کیفی در جدول ۵ آمده است.



شکل ۵- نقشه نهایی کیفیت آب زیرزمینی دشت آدرشهر

پس از ترسیم و اطمینان از صحت لایه‌های رستری پارامترهای مورد بررسی، اقدام به ترسیم نقشه نهایی کیفیت آب زیرزمینی منطقه مطالعاتی شد که با برهم‌نهی و اعمال وزن هریک از لایه‌ها انجام شد. شکل ۵ نقشه نهایی ایجاد شده از کیفیت آب زیرزمینی آبخوان دشت آدرشهر را نشان می‌دهد. آنچنان که در نقشه نهایی مشخص شده است، آب‌زیرزمینی در ورودی دشت و در امتداد جهت جریان دارای کیفیت مطلوب تا خوب است و هرچه به پایین‌دست دشت نزدیک می‌شویم کیفیت دچار افت شده به مرز متوسط و غیرقابل قبول می‌رسد و احتمال مخاطرات حاصل از سمی بودن فلزات سنگین سمی و نیترات افزایش می‌یابد. در بخش جنوب غرب منطقه مورد بررسی کیفیت غیرقابل قبول شاید به دلیل پتانسیل بالای کشاورزی در آن منطقه از یک سو و همجواری با دریاچه ارومیه از سوی دیگر باشد (شکل ۱). محاسبه مساحت هریک از مناطق کیفی ترسیم شده نشان داد که بخش‌های با کیفیت متوسط و غیرقابل قبول آب زیرزمینی دشت آدرشهر بیشترین مساحت را دارند.

جدول ۵- مساحت گروه‌های کیفی محدوده مورد بررسی

گروه کیفی	مطلوب	قابل قبول	متوسط	غیرقابل قبول
مساحت (کیلومتر مربع)	۳۲/۵۳	۴۴/۴۰	۶۹/۳۲	۲۷/۲۱

قسمت جنوب شرقی دشت و ورودی آب زیرزمینی به دشت وجود داشته و کیفیت قابل قبول آب زیرزمینی در منطقه شرق و جنوب شرقی دشت تمرکز دارد. بخش‌های مرکزی، غربی و شمال‌غربی دشت دارای کیفیت متوسط بوده و آب‌زیرزمینی در بخش‌های شمال، شمال‌غرب و جنوب‌غربی دشت دارای کیفیت غیرقابل قبول است که به نظر می‌رسد در اثر فعالیت‌های انسانی (کشاورزی و صنعتی) روبه‌رشد در سال‌های اخیر است. مدل خود

نتیجه‌گیری

براساس تحلیل‌های انجام شده، آبخوان دشت آدرشهر با در نظر گرفتن موقعیت قرارگیری آن از یک سو و پتانسیل بالای کشاورزی و در نتیجه مصرف بالای کودهای شیمیایی، در معرض خطر کاهش کیفیت آب زیرزمینی مداوم قرار دارد. همان‌گونه که در نقشه نهایی نتیجه شده از تلفیق روش‌های تحلیل سلسله‌مراتبی و کریجینگ بیزین به روشنی قابل رویت است، کیفیت مطلوب فقط در

- توجیهی برای تمديد ممنوعیت دشت آذرشهر. ۱۳۵ ص.
۶. علیزاده الف. ۱۳۸۷. اصول هیدرولوژی کاربردی. انتشارات آستان قدس رضوی، ۸۷۰ ص.
۷. کشاورز الف. خاشعی سیوکی ع. و نجفی م. ۱۳۹۳. مکانیابی مناسب استحصال آب شرب با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی فازی (مطالعه موردی: آبخوان بیرجند). مجله آب و فاضلاب. ۳: ۱۳۵-۱۴۲.
۸. مختاری ز. ۱۳۹۰. پیش‌بینی زمانی و مکانی نوسانات تراز آب زیرزمینی و هدایت هیدرولیکی با استفاده از مدل‌های آماری (مطالعه موردی دشت شبستر). پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبشناسی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد مراغه. ۱۲۱ ص.
۹. مؤسسه تحقیقات منابع آب. ۱۳۹۳. گزارش شناسایی سازندهای سخت و کارستی محدوده مطالعاتی آذرشهر. ۱۷۲ ص.

10. Anselin L. 1995. Local indicators of spatial association – LISA. *Geographic Analysis*. 27: 93-115.
11. Chiles J. and Delfiner P. 2012. *Geostatistics, Modeling Spatial Uncertainty*. John Wiley & Sons. 731 p.
12. Delhomme J. P. 1978. Kriging in hydro sciences. *Advances of Water Resources*. 1(5): 251-266.
13. Diggle P. and Ribeiro J. 2007. *Model-based Geostatistics*. Springer Science. 242 p.
14. Docheshmeh Gorgij A. and Asghari Moghaddam A. 2014. Spatial Prediction of Chloride Concentration in Azarshahr plain Aquifer-Iran, Using EC, Ca and Mg as Auxiliary Co-kriging Variables. *Agricultural Advances*. 3(7): 1-16.
15. ESRI, Inc. 2014. Arc Map Tutorial, Online Service: <http://resources.arcgis.com>.
16. Fu W. J. Jiang P. K. Zhou G. M. and Zhao K. L. 2014. Using Moran's I and GIS to study the spatial pattern of forest litter carbon concentration in a subtropical region of southeastern China. *Biological Geoscience*. 11: 2401-2409.
17. Goovaerts P. 1997. *Geostatistics for natural resources evaluation*. Oxford University Press. 489 p.
18. Griffith D. A. 2003. *Spatial Autocorrelation and Spatial Filtering, Gaining Understanding Through Theory and Scientific Visualization*. Springer. 260 p.

همبستگی فضایی پارامترهای مؤثر بر کیفیت آب از یک‌سو و روش کریجینگ بیزین با دقت بالای خود در امر تقریب و پیش‌بینی مناطق بدون اطلاعات کیفی دارای کارایی بسیار بالایی است و روش صحت‌سنجی متقاطع در اثبات دقت مدل پیش‌بینی شده وسیله‌ای ارزشمند است که هر سه روش در بهبود و ارتقاء روش تحلیل سلسله‌مراتبی کیفیت آب زیرزمینی دشت آذرشهر نقشی مهم ایفا کردند. براساس تحلیل سلسله‌مراتبی دشت آذرشهر از نظر کیفی، مشخص شد که در حدود ۱۶ درصد از آبخوان دارای کیفیت غیرقابل قبول و در حدود ۴۰ درصد آن دارای کیفیت متوسط بوده و بقیه دارای کیفیت مطلوب تا خوب هستند که مجموع درصد مناطق با کیفیت غیرقابل قبول و متوسط که بالغ بر ۵۶ درصد منطقه مطالعاتی را در بر می‌گیرد، لزوم پایش دقیق منابع آب زیرزمینی منطقه را آشکار می‌کند.

سیاس‌گذاری

نویسندگان از زحمات سرکار خانم کاظمی‌نیا که آنالیز نمونه‌های برداشت شده را برعهده داشتند و سازمان آب و فاضلاب استان آذربایجان شرقی که از این پژوهش حمایت مالی کردند، تشکر و قدردانی می‌کند.

منابع

۱. پورمحمدی م. ۱۳۸۹. برنامه‌ریزی کاربری اراضی. انتشارات سمت. ۱۶۰ ص.
۲. رجب پور ح. ۱۳۸۲. هیدروژئوشیمی آب‌های زیرزمینی دشت آذرشهر. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبشناسی. دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز.
۳. رهنما م. و آقاجانی ح. ۱۳۸۸. تحلیل توزیع فضایی کتابخانه‌های عمومی در شهر مشهد. مجله کتابداری و اطلاع‌رسانی. ۱۲(۲): ۲۸-۷.
۴. رهنما م. و ذبیحی ج. ۱۳۹۰. تحلیل توزیع تسهیلات عمومی شهری در راستای عدالت فضایی با مدل یکپارچه دسترسی در مشهد. مجله جغرافیا و توسعه. ۲۳: ۲۶-۵.
۵. شرکت آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی، واحد مطالعات آب‌های زیرزمینی. ۱۳۸۹. گزارش

- Hierarchy Process. *Journal of Production Economy*. 97(1): 89-117.
31. Wilson J. P. and Fotheringham A. S. 2007. *The Handbook of Geographic Information Science: Spatial Cluster Analysis*. Wiley-Blackwell. 652 p.
 32. World Health Organization. 2009. *Guideline for Drinking Water Quality*. WHO Press. 595 p.
 33. Yu C. 2002. A GP-AHP method for solving group decision-making Fuzzy AHP problems. *Journal. Of. Computer. And. Operations. Research*. 29(14): 1969-2001.
 19. Hengl T. 2009. *A Practical Guide to Geostatistical Mapping*. Office of European Communities. 292 p.
 20. Isaaks E. and Srivastava R. M. 1989. *An introduction to applied geostatistics*. Oxford University Press. 575 p.
 21. Jothiprakash V. and Sathe Mandar V. 2009. Evaluation of Rain water Harvesting methods and Structures using Analytical Hierarchy Process for a large scale Industrial Area. *Water. Resource. Protocol*. 1: 427-438.
 22. Li R. Merchant J. W. 2013. Modeling vulnerability of groundwater to pollution under future scenarios of climate change and biofuels-related land use change: A case study in North Dakota USA. *Sci. Total. Environ*. 447: 32-45.
 23. Masetti M. Sterlacchini S. Ballabio C. Sorichetta A. and Poli S. 2009. Influence of threshold value in the use of statistical methods for groundwater vulnerability assessment. *Science. Total. Environment*. 407: 3836-3846.
 24. Mattern S. Raouafi W. Bogaert P. Fasbender D. and Vanclooster M. 2012. Bayesian Data Fusion (BDF) of Monitoring Data with a Statistical Groundwater Contamination Model to Map Groundwater Quality at the Regional Scale. *Journal Water. Resource. Protocol*. 4: 929-943.
 25. Neukum C. and Azzam R. 2009. Quantitative assessment of intrinsic groundwater vulnerability to contamination using numerical simulations. *Sci. Total. Environ*. 408: 245-254.
 26. Nolan B. T. Hitt K. J. and Ruddy B. C. 2002. Probability of nitrate contamination of recently recharged groundwater in the conterminous United States. *Environmental. Science. Technology*. 36: 2138-2145.
 27. Satagopan J. and Rajagopalan B. 1994. Comparing spatial estimation techniques for precipitation analysis. *Stoch. Stat. Method. Hydrological. Environmental. Engineering*. 3: 317-330.
 28. Shaji T. and Kitaura H. 2006. Statistical and Geo-statistical analysis of rainfall in central pan. *Computational. Geosciences*. 32: 1007-1024.
 29. Shakib Danesh M. and Fazli P. 2009. Distinguish between successful and unsuccessful companies using approach (FAHP-TOPSIS) in the Tehran Stock Exchange. *Journal of. Management. Science*. 4(11): 88-115.
 30. Tolga E. Demircan L. and Kahraman C. 2005. Operating system selection using fuzzy replacement analysis and Analytic

