



امیرپویا صراف<sup>۱</sup>

## ارزیابی روش‌های زمین‌آماری در تهیه نقشه‌های کیفی آب‌های زیرزمینی و پهنه‌بندی آن‌ها (آبخوان حوضه آبریز هراز، دشت پلور)

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۴/۳۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۱/۲۳

### چکیده

اطلاع از میزان و تغییرات غلظت عناصر و خواص فیزیکو-شیمیایی آب‌های زیرزمینی و تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی آن‌ها، نقش اساسی در مدیریت کیفی منابع آب زیرزمینی را ایفا کرده و بر این اساس، اتخاذ راهکارهای مناسب جهت جلوگیری از آلودگی بیش از حد در آبخوان یک منطقه را ضروری می‌نمایاند. روش‌های مختلفی جهت مطالعه، پایش و پیش‌بینی پراکنش غلظت خواص فیزیکو-شیمیایی آب‌های زیرزمینی وجود دارد که انتخاب روش مناسب، بستگی به هدف، شرایط منطقه و وجود آمار و اطلاعات دارد.

در پژوهش حاضر در دشت پلور که واقع در قسمتی از حوضه آبریز رودخانه هراز-پلور می‌باشد، نمونه‌برداری کیفی از پارامترهای شیمیایی به انجام رسید و سپس غلظت نوترینت‌هایی نظیر نیترات، فسفات و سولفات در ۳۷ حلقه چاه مختلف موجود در منطقه، اندازه‌گیری گردید. سپس با به‌کارگیری روش‌های زمین‌آماری یا درون‌یابی مکانی از قبیل کریجینگ معمولی و روش‌های معین مانند عکس‌فاصله، تابع شعاعی، تخمین‌گر موضعی و تخمین‌گر عام، به ارزیابی تحلیل مکانی جبهه‌های تغییرات میزان غلظت فسفات، نیترات و سولفات، پرداخته شد.

**کلید واژه‌ها:** روش‌های درون‌یابی مکانی، آلودگی آب‌های زیرزمینی، آبخوان دشت پلور و جبهه‌های تغییرات غلظت.

## مقدمه

در سال‌های اخیر منابع آب‌های زیرزمینی کشور مورد تهدید انواع آلودگی‌ها قرار گرفته‌اند. جهت پیشگیری و کنترل آلودگی‌ها و حفظ کیفیت طبیعی آب‌ها، مدیریت آن‌ها همواره ضروری به نظر می‌رسد. مدیریت منابع آب در هر زمینه‌ای به معنی استفاده صحیح و بهینه از آن است، حفظ کیفیت آب‌های طبیعی مستلزم شناخت دقیق خصوصیات آن و شناخت منابعی است که باعث آلودگی آب می‌شوند. مسایل متعددی که منابع آب‌های زیرزمینی را با مشکلات جدی آلودگی مواجه ساخته‌اند را عموماً می‌توان متأثر از تخلیه فاضلاب‌های شهری و روستایی به رودخانه‌ها، تخلیه زه‌آب‌ها و پساب‌های کشاورزی به رودخانه‌ها، استقرار برخی از صنایع مصرف‌کننده آب در اماکن نامناسب در حاشیه رودخانه‌ها و انواع عملکردهای مطالعه نشده ساختمانی در حریم رودخانه‌ها دانست (هومونیک<sup>۲</sup>، ۲۰۱۰: ۲۴۶۷). فاضلاب‌های شهری و روستایی در نتیجه مصارف خانگی و اماکن عمومی مانند هتل‌ها، رستوران‌ها و مراکز درمانی بوجود می‌آیند. این نوع فاضلاب‌ها دارای مواد مغذی بسیار و عوامل پاتوژن هستند. پساب حاصل از باغ‌ها، مزارع کشاورزی، حاوی مقادیر کودهای شیمیایی، حشره‌کش‌ها، علف‌کش‌ها و دیگر آفت‌کش‌ها می‌باشند. همچنین آب خروجی از زهکش‌ها باعث افزایش غلظت نیترات در رودخانه‌ها و به تبع آن افزایش غلظت در سفره‌های آبدار زیرزمینی شده است. شایان ذکر است که کودهای نیترا، مهم‌ترین منبع آلودگی کشاورزی در آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌باشند (آرتگا<sup>۳</sup>، ۲۰۰۳: ۱۷۷). اغلب مناطق کشاورزی که در حاشیه آبیگرهای رودخانه، واقع شده‌اند به شیوه سنتی آبیاری می‌شوند. نیترات و فسفات دو ماده اصلی برای رشد گیاهان هستند که به مقدار زیاد در کودهای کشاورزی به کار گرفته می‌شوند. این ارتباط آبی نادرست بین رودخانه و زمین‌های کشاورزی که اغلب هم در بالادست رودخانه‌ها قرار دارند باعث می‌گردد که غلظت مواد آلاینده در آب از حد معمول بالاتر رفته و این آلودگی به بسترهای زیرزمینی انتقال یابد. اگر این مواد در آنجا ساکن بماند، فرصت شرکت در واکنش‌ها و زنجیره‌های غذایی را پیدا خواهند کرد و مشکلات کیفی و تسریع مغذی‌شدن را به همراه خواهند داشت (نیکولایدیس<sup>۴</sup>، ۲۰۰۸: ۴۳). همچنین جانداران آبی که در رودخانه‌ها زندگی می‌کنند در واکنش‌ها و چرخه‌های مواد غذایی شرکت می‌کنند و مستقیماً بر کیفیت آب تأثیر می‌گذارند. دفع نهایی مواد زاید به عنوان محصول نهایی سوخت و ساز پروتئین در ماهی قزل‌آلا در آبخوان حوضه آبریز هراز (دشت پلور)، ۴ تا ۹ درصد از نیتروژن دفعی را شامل می‌شود و همچنین تجزیه مواد آلی نیتروژن‌دار مانند غذای مصرف نشده، جلبک‌ها و بقایای جانداران، به وسیله باکتری‌های هتروتروف

2- Homonick

3- Ortega

4- Nikolaidis

باعث تولید آمونیاک می‌گردند (ناز<sup>۵</sup>، ۲۰۰۵: ۴۹) و لذا در ادامه افزایش این قبیل آلودگی‌ها و انتقال تدریجی آن‌ها به سفره‌های زیرزمینی، افزایش غلظت و آلودگی آب‌های زیرزمینی به‌وجود خواهد آمد که این مهم خود جزو بحران‌های جدی در مسائل مربوط به مدیریت کیفی آب‌های زیرزمینی استحصالی است.

#### تحلیل‌گر زمین‌آماری در ArcGIS

تحلیل‌گر زمین‌آماری یک قابلیت جدید در نرم‌افزار ArcGIS است که در نرم‌افزارهای Arc info، Arc editor و Arc view قابل استفاده می‌باشد. این قابلیت یک محیط پویا و دینامیک به همراه ابزارهای مختلف به منظور کشف همبستگی داده‌های مکانی، تشخیص داده‌های پرت، ارزیابی خطا در مدل‌های پیش‌بینی، تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها و ایجاد نقشه مطلوب و بهینه را در اختیار کاربر قرار می‌دهد. این تحلیل‌گر توانایی ارائه نقشه‌های متفاوتی نظیر نقشه‌های پیش‌بینی<sup>۶</sup>، خطای پیش‌بینی<sup>۷</sup>، احتمالاتی<sup>۸</sup>، چارک<sup>۹</sup> و مانند آن‌ها را دارد. نقشه‌های خروجی می‌تواند در قالب شبکه سلولی<sup>۱۰</sup>، خطوط تراز<sup>۱۱</sup>، Hillshades، Filled contours و یا به صورت ترکیبی از موارد فوق ارائه گردد (ثقفیان، ۱۳۹۱: ۱۱۵).

همچنین خاطر نشان می‌گردد که در این نرم‌افزار روش‌های گوناگونی جهت پهنه‌بندی تغییرات غلظت، پیش‌بینی و پایش مولفه‌های شیمیایی آب‌های زیرزمینی وجود دارد که هر کدام از آن‌ها بسته به شرایط منطقه و وجود آمار و اطلاعات، دارای دقت‌های مختلفی می‌باشند. از جمله روش‌های درونیابی مکانی جهت تهیه نقشه‌های تغییرات کیفیت آب‌های زیرزمینی، می‌توان به روش‌های زمین‌آماري کوریجینگ و روش‌های معین مانند عکس فاصله، تابع شعاعی، تخمین‌گر عام و تخمین‌گر موضعی اشاره نمود (گولر<sup>۱۲</sup>، ۲۰۱۲: ۴۳۵). لذا در این خصوص، انتخاب روش مناسب از میان روش‌های یاد شده، گامی اساسی و مهم در مدیریت منابع آب زیرزمینی منطقه به‌شمار می‌رود.

امینی (۱۹۹۹: ۱۲۰)، در مطالعه‌ای جهت بررسی خاک‌های شور منطقه رودشت اصفهان نشان داد که استفاده از تخمین‌گر کوریجینگ با توجه به همبستگی بالای کُلر و EC، تخمین‌های بهتری را نسبت به سایر روش‌های دیگر ارائه کرده است ولی عدم رابطه معنی‌دار بین نترات و هدایت الکتریکی، باعث شده تا تخمین‌گرهای کوریجینگ-رگرسیون و کوریجینگ بهبودی در تخمین، ایجاد نمایند.

5- Naz

6- Prediction

7- Error Predictions

8- Probability

9- Quantile

10- Grids

11- Contour

12- Guler

ملکی‌گنادیشی و همکاران (۱۳۸۷)، ضمن تخمین برخی پارامترهای کیفی موجود در آب‌های زیرزمینی دشت زرنده با استفاده از روش کریجینگ، پارامترهای موجود را پهنه‌بندی کرده و به طبقه‌بندی آب‌های زیرزمینی دشت مذکور پرداختند.

شعبانی (۱۳۸۸: ۷۱)، در مطالعه‌ای تحت عنوان تحلیل مکانی آلودگی آب‌های زیرزمینی منطقه ارسنجان، خصوصیات کیفی آب‌های زیرزمینی منطقه را از نظر EC (شوری)، pH (قلیائیت)،  $\text{NO}_3$  (نیتрат) و  $\text{TDS}^{13}$  (سختی) با استفاده از روش‌های زمین‌آمار و معین مورد بررسی قرار داد و نتایج حاکی از آن بود که روش کریجینگ به دلیل دارا بودن ضریب همبستگی بالاتر و ریشه‌دوم میانگین مربع خطای کم‌تر نسبت به روش‌های معین در تهیه نقشه تغییرات ویژگی‌های کیفی آب‌های زیرزمینی دشت ارسنجان از دقت بالاتری برخوردار بوده و دارای ارجحیت می‌باشد.

تقی‌زاده مهرجردی و همکاران (۲۰۰۸، ۹)، در مطالعه‌ای در دشت یزد-اردکان، به تحلیل مکانی برخی از خصوصیات کیفی آب‌های زیرزمینی مانند  $\text{TDS}$ ،  $\text{TH}$ ،  $\text{EC}$ ،  $\text{SAR}$ ،  $\text{CL}^-$ ،  $\text{SO}_4^{2-}$  با استفاده از سه روش معکوس فاصله، کریجینگ و کوکریجینگ پرداختند. ارزیابی نتایج حاصله بر اساس معیار ریشه‌دوم میانگین مربع خطا نشان داد که روش کریجینگ بر دو روش دیگر برتری داشته و در نهایت به‌عنوان روش نهایی و مناسب جهت تهیه نقشه خصوصیات کیفی آب‌های زیرزمینی در منطقه، انتخاب گردید.

فتوانی و همکاران (۲۰۰۸: ۱۳۳)، در مطالعه کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت‌های کشاورزی تریفه<sup>۱۴</sup> در شمال شرقی مراکش از نظر میزان نیترات آمونیوم و آلودگی‌های باکتریولوژیک از روش کریجینگ معمولی جهت مطالعه و پهنه‌بندی نقشه کیفی آب‌های زیرزمینی استفاده نمودند و نتایج نشان‌دهنده تغییرات معنی‌دار در مقایسه با مطالعات قبلی بود و همچنین بیان نمودند که اگر هیچ نوع استراتژی بازدارنده صورت نگیرد، توسعه اراضی کشاورزی در این مناطق، موجبات آلودگی شدید آب‌های زیرزمینی را فراهم می‌آورد.

قادرمزی (۱۳۸۹)، در مطالعه‌ای به بررسی و پهنه‌بندی عناصر مختلف کیفی آب در محدوده شهرستان قروه، توسط نرم‌افزار ArcGIS و روش‌های زمین‌آماري پرداخته است. بدین منظور از تمامی سرچشمه‌هایی که در این منطقه، جهت تأمین آب شرب و کشاورزی استفاده می‌گردد، نمونه‌برداری پارامترهای کیفی آب انجام داده است. سپس تمامی اطلاعات در محیط نرم‌افزار، تحت لایه‌های توصیفی وارد شده و درون‌یابی با استفاده از روش کریجینگ، جهت تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی به انجام رسید. در نتیجه این نقشه‌ها روند معناداری را برای اکثر پارامترها از خود

13- Total Dissolved Salts

14- Triffa

نشان دادند. همچنین بیان نمود که با توجه به شیوع بیماری‌های مختلف مربوط به آب آشامیدنی در این منطقه، این مطالعه می‌تواند راه‌گشای تصمیمات آتی جهت برداشت صحیح آب در این منطقه باشد.

پَردل (۱۳۹۰)، در پژوهشی با هدف بررسی مکانی چند پارامتر مهم آب زیرزمینی دشت گناباد از جمله نسبت جذب سدیم<sup>۱۵</sup>، EC، pH، Cl<sup>-</sup> و Na<sup>+</sup> با استفاده از روش معکوس فاصله و مقایسه نتایج پهنه‌بندی با استانداردهای موجود در مورد آب آبیاری، به این نتیجه رسید که با توجه به بررسی‌های صورت گرفته، آب زیرزمینی منطقه در قسمت‌های شمال دشت بر اثر تغذیه با آب رودخانه کال‌شور، دارای کیفیت نامناسب (C<sub>۱</sub>-S<sub>۲</sub>) می‌باشد و تنها نواحی کوچکی در مرکز دشت از نظر کیفیت تقریباً مساعد (C<sub>۲</sub>-S<sub>۱</sub> و C<sub>۲</sub>-S<sub>۲</sub>) است. همچنین اکثر نواحی دشت از نظر شوری در شرایط نامناسبی (C<sub>۱</sub>) قرار داشته و از نظر سمیت عناصر نیز، بیش‌تر نواحی دشت، وضعیت متوسط و بدی دارند.

خاشعی‌سیوکی (۱۳۹۰)، در مطالعه‌ای به تعیین ساختار مکانی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی در سطح دشت نیشابور پرداخته است. در این راستا مدل‌های مختلف زمین‌آماری را با استفاده از نرم‌افزارهای GS<sup>+</sup> و ArcGIS بررسی نمود به طوری که نتایج نشان داد که روش کوکریجینگ، خطای کم‌تر و همبستگی بیش‌تری را نسبت به روش‌های کریجینگ و معکوس فاصله از خود نشان می‌دهد. همچنین با توجه به وجود نقاط کمکی در روش کوکریجینگ، نتایج حاکی از تأثیرپذیری شوری از یون کلر و بالابودن همبستگی بین این دو پارامتر  $R^2 = 0/985$  بوده و کُلر به عنوان عنصر کمکی در تخمین پارامتر شوری در روش کوکریجینگ دقت مناسبی را ارائه می‌نماید.

احمد (۲۰۰۲: ۳۷)، کاربرد روش کریجینگ را در تخمین وابستگی مکانی متغیرهای کیفیت آب مانند TDS به کار برد و نتیجه گرفت که روش کریجینگ قابلیت بالایی برای این هدف دارد.

باجالی (۲۰۰۵)، تأثیر چهار سد تغذیه مصنوعی را بر روی کیفیت آب‌های زیرزمینی از نظر TDS در عمان با استفاده از سه روش کریجینگ، عکس فاصله<sup>۱۶</sup> و تخمین‌گر<sup>۱۷</sup>، مدل‌بندی نمود. نتایج نشان‌دهنده برتری روش‌های کریجینگ و عکس فاصله در مطالعه کیفیت آب‌های زیرزمینی و پهنه‌بندی نقشه تغییرات سختی در منطقه مورد مطالعه بود.

## مواد و روش‌ها

### معرفی محدوده‌ی مورد مطالعه

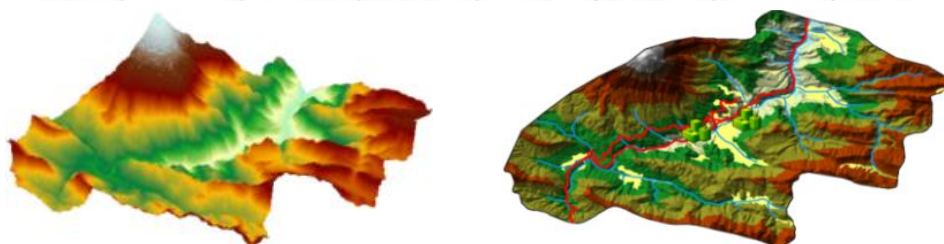
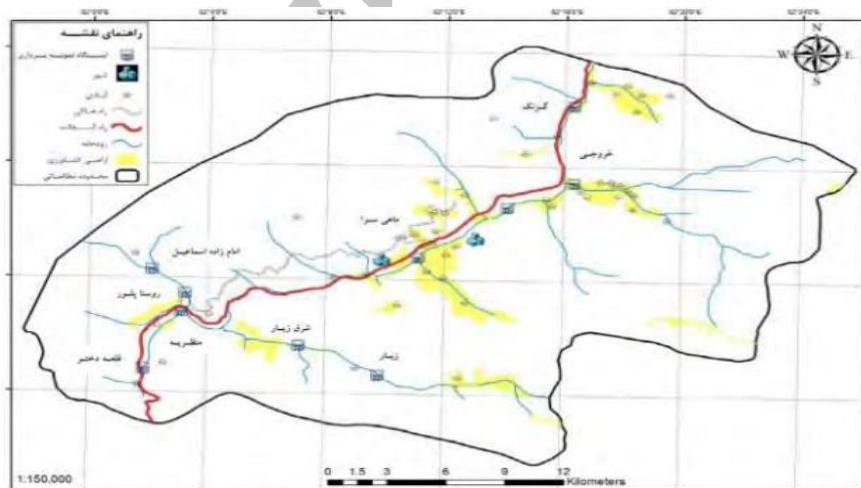
منطقه‌ی مورد مطالعه، کوهستانی و همراه با پوشش قطور برف در فصول سرد سال است و همچنین به لحاظ افزایش ارتفاع در منطقه‌ی پلور، بخش عمده‌ای از ریزش‌های جوی به صورت برف می‌باشد (آلباخ، ۱۳۴۹). حوضه رودخانه

15- Sodium Adsorption Ratio (SAR)

16- Inverse Distance Weights

17- Global Polynomial Interpolation

هراز در استان مازندران در بخش مرکزی سلسله جبال البرز بین  $۴۵^{\circ}$  و  $۳۵^{\circ}$  تا  $۴۲'$  و  $۳۶^{\circ}$  عرض شمالی و  $۲۷'$  و  $۵۱^{\circ}$  تا  $۳۶'$  و  $۵۲^{\circ}$  طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ واقع شده است. ارتفاع حداکثر در منطقه ۵۶۷۱ متر (قله‌ی دماوند) و حداقل ۴۲۰ متر می‌باشد. ابتدای رودخانه هراز در منطقه پلور تا امامزاده علی، رود پلور نامیده می‌شود. بعد از روستای پلور، رودخانه هراز، مهم‌ترین و طویل‌ترین شعبه خود را دریافت می‌دارد که به رود لار موسوم است. از این محل است که مقدار آب رودخانه هراز که قسمت اعظم آن از رودخانه‌ی لار تأمین می‌گردد به طور ناگهانی افزایش می‌یابد. طول رودخانه‌ی هراز حدود ۱۸۵ کیلومتر با جهت کلی شمالی-جنوبی می‌باشد که حدود ۱۳۵ کیلومتر آن در منطقه‌ی کوهستانی البرز جاری است و ۵۰ کیلومتر از آن در بخش جلگه‌ای حوضه جریان دارد. رودخانه لار پس از عبور از دره‌های نسبتاً عمیق به روستای پلور می‌رسد و رودخانه پلور نامیده می‌شود و پس از امامزاده علی، به نام هراز خوانده می‌شود (شکل شماره ۱)، نمایی از رودخانه‌ی پلور را در محدوده‌ی مطالعاتی مشخص می‌نماید). سپس حدود  $۳/۵$  کیلومتر، مسیری شرقی و جنوب شرقی را طی کرده و بعد از پیوستن رودخانه لاسم، رودخانه هراز در مسیر کلی شمالی-جنوبی خود امتداد می‌یابد. به‌طور کلی رودخانه لار، پلور و لاسم ابتدای رودخانه‌ی هراز را در بخش کوهستانی تشکیل می‌دهند. از نظر کیفیت آب، رودخانه‌های این حوضه در ارتفاعات از مناطق بی‌کربناته کلسیک، بی‌کربناته در سازندهای سیلیکاته، بی‌کربناته سولفاته به‌صورت پراکنده و ناپیوسته و در نواحی پست از مناطق بی‌کربناته، سولفاته، کلروره و سولفاته بی‌کربناته عبور می‌کنند (درویش‌زاده، ۱۳۸۲).



شکل ۱: موقعیت حوضه‌ی آبریز رودخانه پلور و نقشه‌ی سه‌بعدی آن در دامنه‌ی ارتفاعات قله‌ی دماوند

در این مطالعه ۳۷ حلقه چاه در دشت پلور واقع در حوضه‌ی آبریز هراز-پلور به‌طور تصادفی و با پراکنش مناسبی انتخاب گردیدند. پس از انتخاب چاه‌ها، به کمک بطری‌های نمونه‌برداری به حجم ۲۰۰ سانتی‌متر مکعب نمونه‌هایی برداشت و جهت تعیین میزان نیترات، فسفات و سولفات، برحسب میلی‌گرم بر لیتر، به آزمایشگاه ارسال گردیدند. همچنین مختصات جغرافیایی هر چاه به کمک GPS در سیستم UTM یادداشت گردید. در گام بعدی، کلیه داده‌های مربوط به هر پارامتر به لحاظ نرمال بودن آن‌ها توسط آزمون اندرسون-دارلینگ<sup>۱۸</sup> در محیط نرم‌افزار جامع آماری Easyfit Professional 5.5 مورد آزمون و بررسی قرار گرفت و پس از انجام مراحل یاد شده، جهت تبدیل داده‌های نقطه‌ای مذکور به اطلاعات ناحیه‌ای در محیط نرم‌افزاری GS<sup>+</sup> و ArcGIS 9.3 از روش‌های زمین‌آماري<sup>۱۹</sup> (درون‌یابی مکانی) کریجینگ ساده<sup>۲۰</sup> و معمولی<sup>۲۱</sup> و روش‌های معین<sup>۲۲</sup> مانند عکس فاصله<sup>۲۳</sup>، تابع شعاعی<sup>۲۴</sup>، تخمین‌گر عام<sup>۲۵</sup> و تخمین‌گر موضعی<sup>۲۶</sup> استفاده گردید. همچنین به منظور تشریح پیوستگی مکانی متغیرها، نیم تغییرنما (واریوگرام) داده‌ها به‌طور جداگانه در محیط نرم‌افزاری GS<sup>+</sup> ترسیم گردید. جهت انتخاب روش مناسب درون‌یابی مکانی در تهیه نقشه تغییرات غلظت ویژگی‌های کیفی آب‌های زیرزمینی و پایش و پیش‌بینی آن‌ها در محدوده مورد مطالعه از روش<sup>۲۷</sup> ارزیابی متقابل استفاده گردید.

تحلیل تغییرنما یا واریوگرام

اولین گام در محاسبات کریجینگ، محاسبه‌ی واریوگرام یا تغییرنماست. تغییرنما یا واریوگرام، تابعی است که به وسیله آن تغییرپذیری مکانی داده‌ها اندازه‌گیری می‌شود و در واقع مهم‌ترین ابزار همبستگی فضایی داده‌هاست که اساس علم زمین‌آمار می‌باشد (بابی‌کر<sup>۲۸</sup>، ۲۰۰۷: ۶۹۹). در روش‌های زمین‌آمار عملاً فقط از این نوع واریوگرام استفاده می‌شود. نیم تغییرنما که با علامت  $\gamma$  نشان داده می‌شود از طریق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n [Z_i(x) - Z_i(x+h)]^2 \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن:

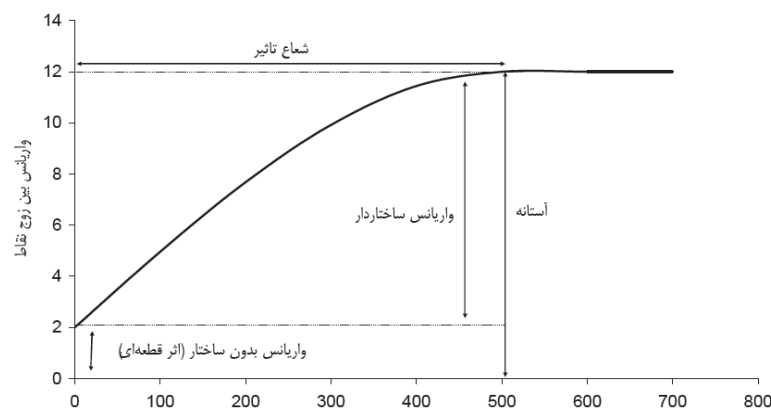
- 18- Anderson - Darling
- 19- Geostatistical Method
- 20- Simple Kriging
- 21- Ordinary Kriging
- 22- Deterministic Method
- 23 - Inverse Distance Weights
- 24- Radial Basis Function
- 25- Global Polynomial Interpolation
- 26- Local Polynomial Interpolation
- 27- Cross Validation
- 28- Babiker

$n$  = تعداد جفت نمونه‌ها به ازای هر فاصله‌ی  $h$

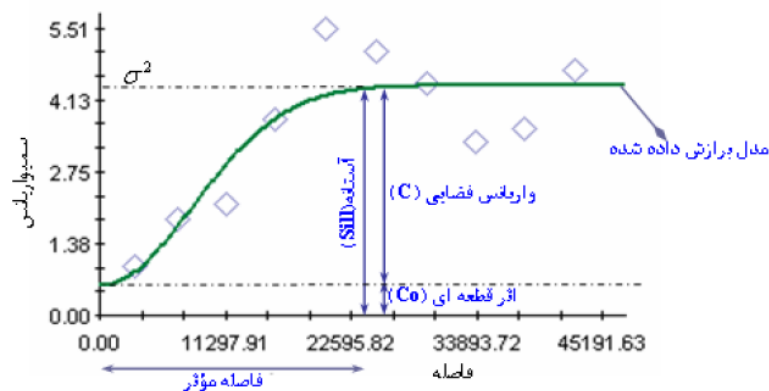
$Z_i(x)$  = مقدار متغیر در نقطه‌ی  $i$ ام

$Z_i(x+h)$  = مقدار متغیر در نقطه‌ای به فاصله  $h$  از نقطه‌ی  $i$ ام.

نمودار نیم تغییرنا با ترسیم مجموع مربع تفاضل زوج نقاطی که به فاصله معلوم  $h$  از یکدیگر قرار دارند در مقابل  $h$  به دست می‌آید. اشکال (۲) و (۳)، نمونه‌ای از یک نیم تغییرنا و واریوگرام را نشان می‌دهند.



شکل ۲: فاصله‌ی بین جفت نقاط (متر)



شکل ۳: واریوگرام و پارامترهای مربوط به آن

خصوصیات مهم نیم تغییرنا عبارتند از:

الف - دامنه یا شعاع تأثیر<sup>۲۹</sup>: هنگامی که فاصله بین جفت نقاط افزایش می‌یابد تا جایی که مقدار نیم تغییرنا معمولاً افزایش می‌یابد با وجود افزایش در فاصله جدا کننده بین زوج نقاط هیچ افزایشی در میانگین مجذور تفاضل بین مقادیر زوج نقاط ایجاد نمی‌شود و نیم تغییرنا به یک مقدار ثابت می‌رسد. فاصله‌ای که در آن نیم تغییرنا به این مقدار ثابت میل می‌کند، دامنه یا شعاع تأثیر نام دارد.



ب- آستانه<sup>۳۰</sup>: عبارت است از مقدار ثابت نیم تغییرنما در فاصله دامنه تأثیر؛

ج- اثر قطعه‌ای<sup>۳۱</sup>: اگرچه مقدار نیم‌تغییرنما برای  $h=0$  باید برابر صفر باشد، اما چندین عامل نظیر خطای نمونه‌برداری و تغییرات کوچک مقیاس باعث می‌شوند که مقادیر نمونه‌هایی که در فاصله‌ی کوچکی از یکدیگر قرار دارند، کاملاً با یکدیگر برابر نباشند. این واقعیت باعث ایجاد عرض از مبدأ نیم تغییرنما می‌شود. پرش عمودی نیم تغییرنما در مبدا مختصات اثر قطعه‌ای نامیده می‌شود. نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه، تحت عنوان اثر قطعه‌ای نسبی و بر حسب درصد بیان می‌شود.

#### مدل اثر قطعه‌ای

بسیاری از مدل‌های نیم‌تغییرنما، در مبدا ناپیوستگی دارند. چنین ناپیوستگی را می‌توان با استفاده از یک مدل انتقالی ناپیوسته که در  $h=0$  مقدار آن صفر بوده و در سایر موارد مقدار واحد را به خود اختصاص می‌دهد، شبیه‌سازی نمود. چنین مدلی را مدل اثر قطعه‌ای می‌نامند و معادله آن را بدین صورت بیان داشته‌اند:

$$\gamma(h) = \begin{cases} 0 & \text{if } h = 0 \\ 1 & \text{Otherwise} \end{cases} \quad \text{رابطه (۲)}$$

در علوم زمین‌آمار، مدل اثر قطعه‌ای به عنوان یک مدل اصلی به کار نمی‌رود، اما به عنوان یک مقدار ثابت  $C$  در معادله نیم تغییرنما مورد استفاده قرار می‌گیرد (مزی‌پر<sup>۳۲</sup>، ۲۰۱۲: ۱۰).

#### معرفی معیار اعتبارسنجی

روش‌های مختلفی برای اعتبارسنجی روش‌های درون‌یابی وجود دارد که یکی از مهم‌ترین آن‌ها روش<sup>۳۳</sup> اعتبارسنجی تقاطعی می‌باشد. در این روش برای هر یک از نقاط مشاهده‌ای که معمولاً تنها ابزار مقایسه می‌باشند، تخمین با به کارگیری روش درون‌یابی مورد نظر انجام گرفته و سپس مقدار تخمین با مقدار مشاهده‌ای مقایسه می‌گردد. بدین ترتیب که در روش اعتبارسنجی تقاطعی، یک نقطه به‌طور موقت حذف و با استفاده از سایر نقاط و اعمال روش درون‌یابی مورد نظر برای این نقطه، تخمین صورت می‌گیرد. سپس این نقطه به محل خود برگردانده شده و نقطه بعدی حذف می‌گردد و به همین ترتیب برای تمام نقاط، چنین برآوردی صورت می‌گیرد. در پایان ستون مقادیر مشاهده‌ای و ستون مقادیر برآورد شده در قالب معیارهای مختلف خطا مقایسه می‌شوند (ثقفیان، ۱۳۹۱: ۴۶).

30- Sill  
31- Nugget Effect  
32- Messier  
33- Cross Validation

معیارهای مختلفی برای مقایسه مقادیر مشاهده‌ای و برآورد شده وجود دارد که در زیر چند نمونه از کاربردی‌ترین آن‌ها معرفی می‌شود:

الف- میانگین قدر مطلق خطا<sup>۳۴</sup> که به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{MAE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |z^*(x_i) - z(x_i)| \quad \text{رابطه (۳)}$$

که در آن:

$z^*(x_i)$  مقدار برآورد شده متغیر در  $x_i$ ؛  $Z(x_i)$  مقدار مشاهده‌ای متغیر در  $x_i$  و  $n$  تعداد نقاط با متغیر مشاهده‌ای است.

معیار میانگین قدر مطلق خطا هرچقدر به صفر نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده‌ی دقت بیش‌تر روش می‌باشد. مقدار این معیار همواره مثبت است.

ب- میانگین انحراف خطا<sup>۳۵</sup>

$$\text{MBE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (z^*(x_i) - z(x_i)) \quad \text{رابطه (۴)}$$

میانگین انحرافات خطا در حقیقت اختلاف بین میانگین مقادیر مشاهده‌ای و برآوردی است و بیانگر انحراف از میانگین می‌باشد. این مقدار می‌تواند مثبت یا منفی باشد که نشان‌دهنده برآورد بیش (مثبت) و یا کم‌تر (منفی) از میانگین داده‌ها می‌باشد. این معیار نیز هر چقدر به صفر نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده‌ی اختلاف کم‌تر مقادیر برآورد شده نسبت به مقادیر مشاهده‌ای می‌باشد. در شرایطی که میانگین قدر مطلق خطا و میانگین انحرافات خطا برابر صفر باشند، مدل، درون‌یابی متغیر مورد نظر را به‌طور دقیق، برآورد می‌کند.

در این پژوهش برای مشخص شدن روش مناسب درون‌یابی، از دو معیار ریشه‌ی دوم میانگین مربع خطا<sup>۳۶</sup> که دقیق‌تر از دو روش یادشده‌ی فوق است و ضریب همبستگی<sup>۳۷</sup> مقادیر مشاهده‌ای و برآوردی، استفاده گردیده است که روابط مربوط به آن‌ها به صورت زیر می‌باشد (ثقفیان، ۱۳۹۱: ۴۸-۴۷):

$$\text{RMSE} = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n [Z_{\text{Observe}}(x_i) - Z_{\text{Compute}}(x_i)]^2} \quad \text{رابطه (۵)}$$

34- Mean Absolute Error (MAE)

35- Mean Bias Error (MBE)

36- Root Mean Square Error (RMSE)

37- Correlation Coefficient

$$R = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [z_{\text{Compute}(x_i)} - \bar{z}_{\text{Observe}(x_i)}]^2}{\sum_{i=1}^n [z_{\text{Observe}(x_i)} - \bar{z}_{\text{Observe}(x_i)}]^2}} \quad \text{رابطه (۶)}$$

### بحث و یافته‌ها

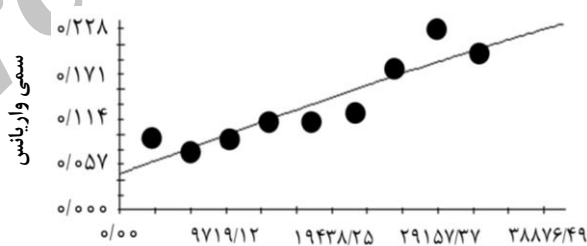
نتایج مربوط به نرمال بودن داده‌های سولفات، فسفات و نترات

نتایج مربوط به آزمون اندرسون-دارلینگ نشان داد که داده‌های مربوط به نترات نرمال و هیچ یک از داده‌های مربوط به پارامترهای سولفات، فسفات و شوری ... نرمال نبوده و لذا از لگاریتم داده‌های آن‌ها که نرمال می‌باشد جهت ادامه‌ی محاسبات استفاده می‌گردد. لازم به ذکر است که نرمال بودن داده‌ها تنها برای روش کریجینگ ضروری است و برای روش‌های معین شرطی محسوب نمی‌گردد. جداول ۱، ۲ و ۳ به ترتیب مقادیر برخی از آماره‌های سولفات، فسفات و نترات را در دو حالت لگاریتمی و غیرلگاریتمی نشان می‌دهد.

تحلیل واریوگرام سولفات

از تحلیل سیمی واریوگرام این پارامتر نتیجه‌گیری می‌شود که مدل واریوگرام به دست آمده گروهی است و این پارامتر دارای اثر قطعه‌ای ۰/۰۴۵۶ است. شکل شماره ۴ واریوگرام تجربی و مدل برازش داده شده بر آن را برای حالت تبدیل لگاریتمی نشان می‌دهد. جدول شماره ۴ نیز پارامترهای مربوط به واریوگرام سولفات را نشان می‌دهد.

واریوگرام ایزوتروپیک



فاصله جداگانه

شکل ۴: واریوگرام و سیمی واریوگرام تجربی سولفات

جدول ۱- مقادیر برخی از آماره‌های پارامتر شیمیایی سولفات در دو حالت لگاریتمی و غیرلگاریتمی

آماره / پارامتر	تعداد	میانگین نمونه‌ها	انحراف معیار	حداکثر	حداقل	چولگی	کشیدگی
SO <sub>4</sub>	۳۷	۳۹/۹۶	۱۶/۷۲	۹۲/۰۰	۲۰/۰۰	۱/۵۳	۲/۰۱
Log (SO <sub>4</sub> )	۳۷	۳/۶۲	۰/۳۷	۴/۵۲	۳/۰۰	۰/۶۵	۰/۱۱

جدول ۲- مقادیر برخی از آماره‌های پارامتر شیمیایی فسفات در دو حالت لگاریتمی و غیرلگاریتمی

آماره / پارامتر	تعداد	میانگین نمونه‌ها	انحراف معیار	حداکثر	حداقل	چولگی	کشیدگی
PO <sub>4</sub>	۳۷	۰/۳۱	۰/۱۹	۰/۷۰	۰/۰۴	۰/۱۴	-۰/۷۴
Log (PO <sub>4</sub> )	۳۷	-۱/۴۶	۰/۸۸	-۰/۳۶	-۳/۲۲	-۰/۹۸	-۰/۸۸

جدول ۳- مقادیر برخی از آماره‌های پارامتر شیمیایی نترات در حالت غیرلگاریتمی

آماره / پارامتر	تعداد	میانگین نمونه‌ها	انحراف معیار	حداکثر	حداقل	چولگی	کشیدگی
NO <sub>3</sub>	۳۷	۳/۳۵۱۱	۱/۲۸۲۳	۷/۳۰	۱/۲۰	۰/۷۳	۰/۷۷

جدول ۴- پارامترهای مربوط به واریوگرام سولفات

مدل	اثر قطعه‌ای	آستانه	شعاع تأثیر (m)
کُروی	۰/۰۴۵۶	۰/۳۲۰۲	۸۱۱۰۰

جداول شماره ۵ و ۶، مقادیر ضریب همبستگی و ریشه‌ی دوم میانگین مربع خطای مربوط به داده‌های پارامتر سولفات را برای هریک از روش‌های معین و کریجینگ، نشان می‌دهند.

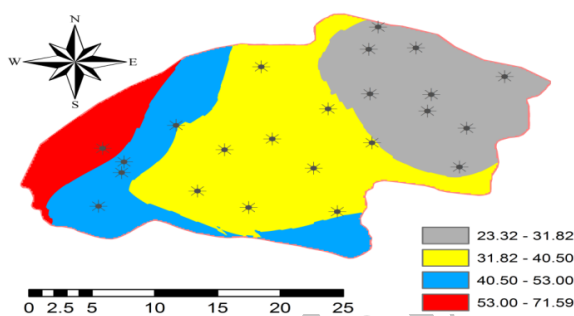
جدول ۵- مقادیر R و RMSE برای هریک از روش‌های معین مربوط به داده‌های سولفات

روش	R	RMSE
معکوس فاصله (IDW)	۰/۶۶	۲/۰۶
تابع شعاعی (RBF)	۰/۷۸	۱/۷۳
تخمین گرِ عام (GPI)	۰/۵۶	۲/۴۸
تخمین گرِ موضعی (LPI)	۰/۷۲	۲/۰۸

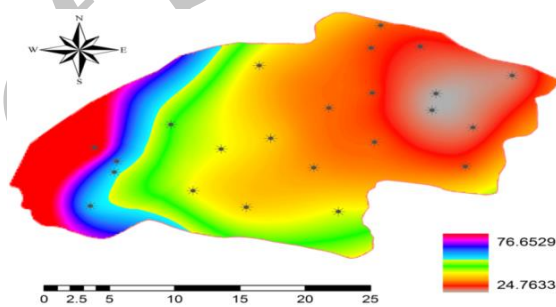
جدول ۶- مقادیر R و RMSE برای هریک از روش‌های کریجینگ مربوط به داده‌های سولفات

روش	R	RMSE
کریجینگ ساده (SK)	۰/۹۰	۲/۱۷
کریجینگ معمولی (OK)	۰/۸۹	۲/۱۹

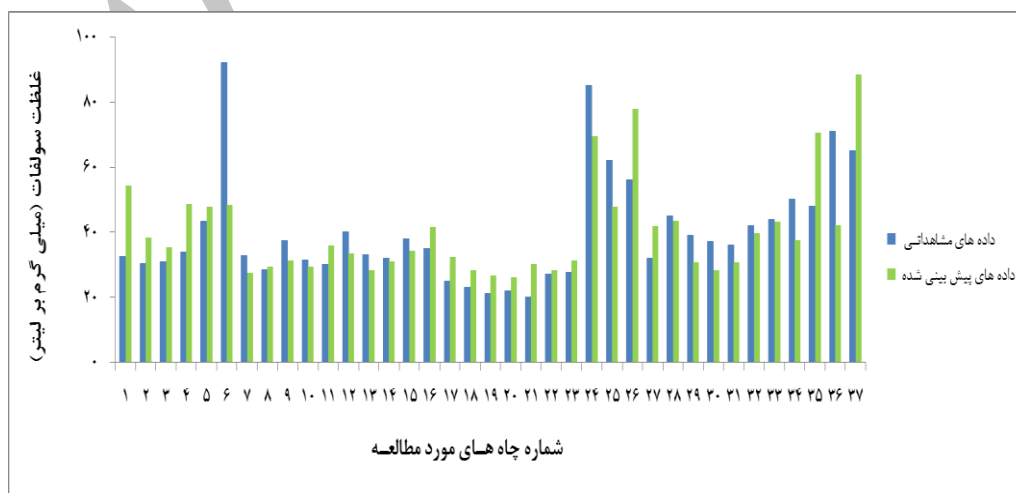
با توجه به جداول ۵ و ۶، چون روش کریجینگ ساده دارای ضریب همبستگی بالاتر و ریشه دوم میانگین مربعات خطای پایین‌تری نسبت به سایر روش‌ها می‌باشد، لذا روش کریجینگ ساده به‌عنوان مناسب‌ترین روش جهت تهیه نقشه تغییرات مقادیر غلظت سولفات در سفره آبدار زیرزمینی دشت پلور انتخاب می‌شود. شکل شماره ۵، نقشه‌ی تغییرات مقادیر غلظت سولفات را بر اساس روش کریجینگ ساده و شکل شماره ۶، نقشه‌ی هم سولفات دشت پلور را نشان می‌دهد. جدول شماره ۷ نیز مساحت مربوط به طبقات سولفات را نشان داده و همان‌گونه که از این جدول بر می‌آید، ۵۳ درصد سطح دشت پلور دارای بالاترین مقادیر سولفات بوده و متوسط مقدار آن در دشت پلور برابر با ۴۷/۵ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. همچنین شکل‌های شماره‌های ۷ و ۸ نیز به ترتیب نمایش‌دهنده‌ی مقایسه‌ی مقادیر مشاهداتی و پیش‌بینی‌شده‌ی غلظت سولفات با به‌کارگیری روش درون‌یابی مکانی منتخب کریجینگ ساده و همبستگی بین مقادیر داده‌های مشاهداتی و پیش‌بینی‌شده‌ی غلظت سولفات بر اساس مدل رگرسیون توانی می‌باشند.



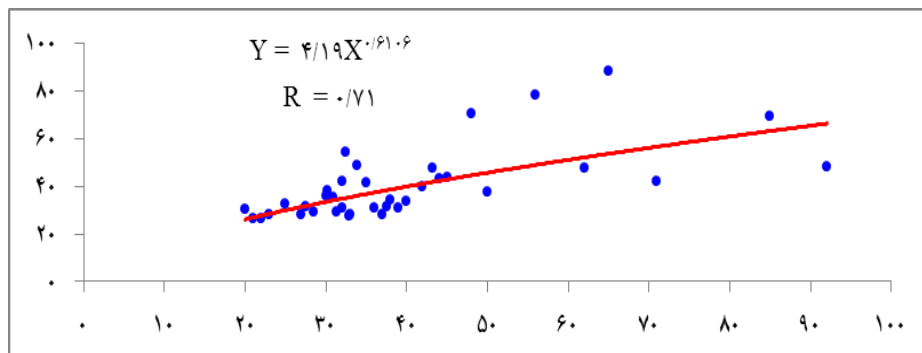
شکل ۶: نقشه هم سولفات ( $SO_4$ ) آب‌های زیرزمینی بر حسب میلی‌گرم بر لیتر



شکل ۵: نقشه تغییرات آب‌های زیرزمینی بر اساس روش کریجینگ ساده (SK) بر حسب میلی‌گرم بر لیتر



شکل ۷: نمودار مقایسه‌ی مقادیر مشاهداتی و پیش‌بینی‌شده‌ی غلظت سولفات با به‌کارگیری روش درون‌یابی مکانی منتخب کریجینگ ساده



شکل ۸: نمایش همبستگی بین مقادیر داده‌های مشاهداتی و پیش‌بینی‌شده غظت سولفات بر اساس مدل رگرسیون توانی

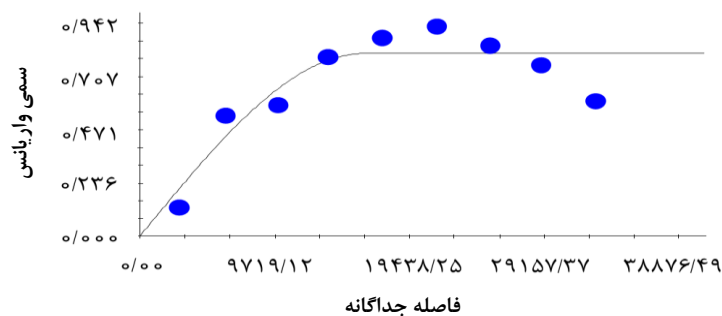
جدول ۷- مساحت مربوط به هریک از طبقات سولفات در محدوده‌ی مطالعاتی بر حسب میلی‌گرم بر لیتر

سطح سولفات (میلی‌گرم بر لیتر)	مساحت (هکتار)	مساحت (درصد)
۲۳/۳۲ - ۳۱/۸۲	۳۶۴۹۴	۵۳
۳۱/۸۲ - ۴۰/۵۰	۲۱۰۱۱	۳۰
۴۰/۵۰ - ۵۳/۰۰	۷۱۱۱	۱۰
۵۳/۰۰ - ۷۱/۵۹	۴۶۰۱	۷

تحلیل واریوگرام فسفات

از تحلیل سیمی واریوگرام این پارامتر نتیجه‌گیری می‌شود که مدل واریوگرام به‌دست آمده گروهی است و این پارامتر دارای اثر قطعه‌ای ۰/۰۰۱ است. شکل شماره ۹ واریوگرام تجربی و مدل برازش داده شده بر آن را برای حالت تبدیل لگاریتمی نشان می‌دهد. جدول شماره ۸ نیز پارامترهای واریوگرام فسفات را نشان می‌دهد.

واریوگرام ایزوتروپیک



شکل ۹: واریوگرام و سیمی واریوگرام تجربی فسفات

جدول ۸- پارامترهای مربوط به واریوگرام فسفات

مدل	اثر قطعه‌ای	آستانه	شعاع تأثیر (m)
کروی	۰/۰۰۱	۰/۸۰۸	۱۶۱۶۰

جداول شماره‌های ۹ و ۱۰ نیز مقادیر ضریب همبستگی و ریشه دوم میانگین مربعات خطای مربوط به داده‌های پارامتر فسفات را برای هر یک از روش‌های معین و کریجینگ، نشان می‌دهند.

جدول ۹- مقادیر R و RMSE برای هر یک از روش‌های معین مربوط به داده‌های فسفات

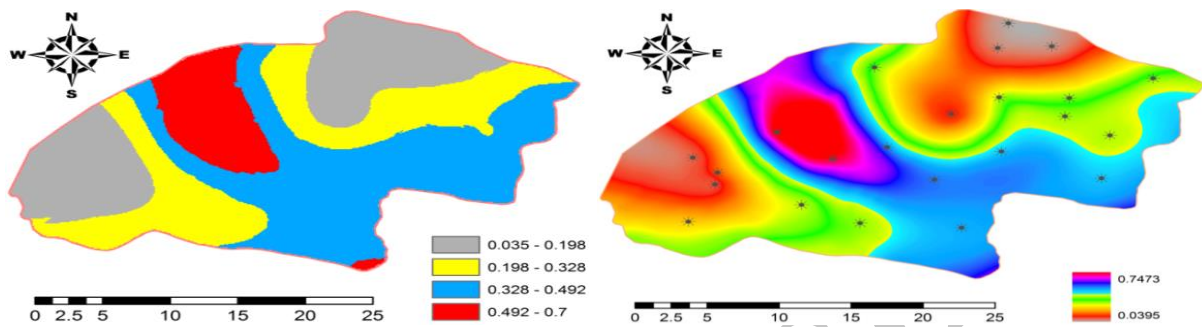
روش	R	RMSE
معکوس فاصله (IDW)	۰/۸۷	۰/۰۱۸
تابع شعاعی (RBF)	۰/۸۶	۰/۰۱۶
تخمین گر عام (GPI)	۰/۳۶	۰/۰۳۱
تخمین گر موضعی (LPI)	۰/۸۲	۰/۰۲۱

جدول ۱۰- مقادیر R و RMSE برای هر یک از روش‌های کریجینگ مربوط به داده‌های فسفات

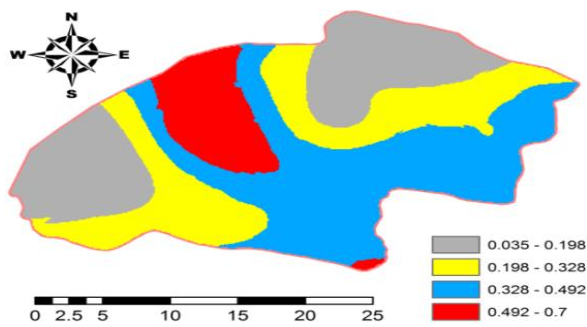
روش	R	RMSE
کریجینگ ساده (SK)	۰/۸۱	۰/۰۱۹
کریجینگ معمولی (OK)	۰/۹۳	۰/۰۲۰

با توجه به جداول شماره‌های ۹ و ۱۰، چون روش کریجینگ معمولی دارای ضریب همبستگی بالاتر و ریشه دوم میانگین مربع خطای پائین‌تری نسبت به سایر روش‌ها می‌باشد، لذا روش کریجینگ معمولی به‌عنوان مناسب‌ترین روش جهت تهیه نقشه تغییرات مقادیر غلظت فسفات در سفره آبدار زیرزمینی دشت پلور انتخاب می‌شود. شکل شماره ۱۰ نقشه تغییرات مقادیر غلظت فسفات را بر اساس روش کریجینگ معمولی و شکل شماره ۱۱، نقشه‌ی هم‌فسفات دشت پلور را نشان می‌دهد. جدول شماره ۱۱ نیز مساحت مربوط به طبقات فسفات را نشان داده و همان گونه که از این جدول بر می‌آید، ۳۶/۵ درصد سطح دشت پلور دارای بالاترین مقادیر فسفات بوده و متوسط فسفات دشت پلور برابر با ۰/۳۶۷ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. همچنین شکل‌های شماره‌های ۱۲ و ۱۳ نیز به ترتیب

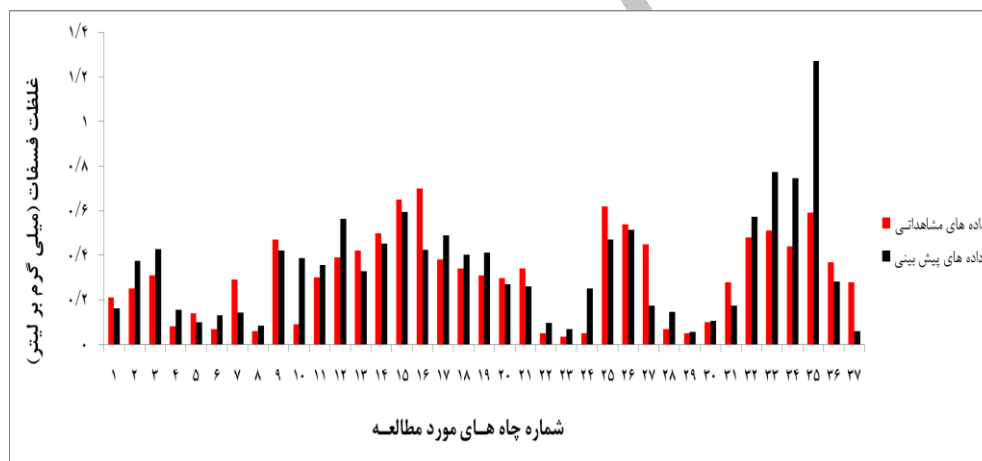
نمایش‌دهنده‌ی مقایسه‌ی مقادیر مشاهداتی و پیش‌بینی‌شده‌ی غظت فسفات با به‌کارگیری روش درون‌یابی مکانی منتخب کریجینگ معمولی و همبستگی بین مقادیر داده‌های مشاهداتی و پیش‌بینی‌شده‌ی غظت فسفات بر اساس مدل رگرسیون نمایی می‌باشند.



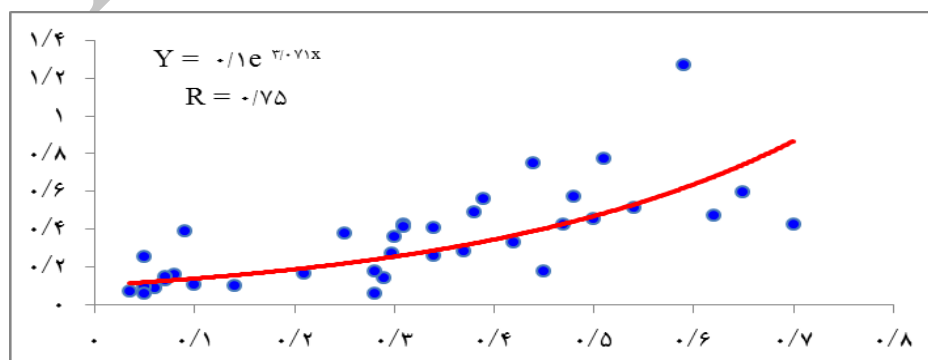
شکل ۱۰: نقشه تغییرات آب‌های زیرزمینی بر اساس روش کریجینگ معمولی (OK) بر حسب میلی‌گرم بر لیتر



شکل ۱۱: نقشه هم‌فسفات آب‌های زیرزمینی بر حسب میلی‌گرم بر لیتر



شکل ۱۲: مقایسه‌ی مقادیر مشاهداتی و پیش‌بینی‌شده‌ی غظت فسفات با به‌کارگیری روش درون‌یابی مکانی منتخب کریجینگ معمولی



شکل ۱۳: نمایش همبستگی بین مقادیر داده‌های مشاهداتی و پیش‌بینی‌شده‌ی غظت فسفات بر اساس مدل رگرسیون نمایی



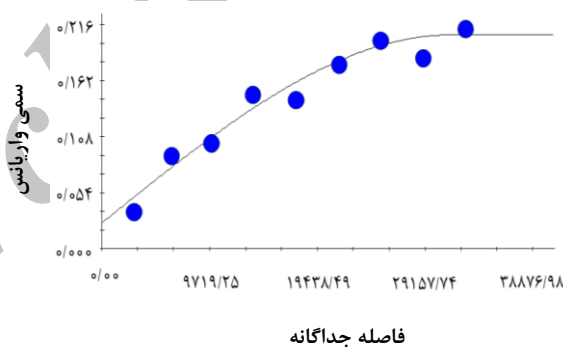
جدول ۱۱- مساحت مربوط به هر یک از طبقات فسفات در محدوده‌ی مطالعاتی بر حسب میلی‌گرم بر لیتر

طبقات نیترات (میلی‌گرم بر لیتر)	مساحت (هکتار)	مساحت (درصد)
۰/۲۰ - ۰/۰۴	۱۸۶۱۳	۲۶/۵
۰/۲۰ - ۰/۳۳	۱۸۰۹۰	۲۶/۰
۰/۳۳ - ۰/۴۹	۲۴۷۰۴	۳۶/۵
۰/۴۹ - ۰/۷۰	۷۷۹۹	۱۱/۰

تحلیل واریوگرام نیترات

از تحلیل سیمی واریوگرام این پارامتر نتیجه‌گیری می‌شود که مدل واریوگرام به‌دست آمده، نمایی است و این پارامتر داری اثر قطعه‌ای ۰/۰۰۷۳ است. شکل شماره ۱۴ واریوگرام تجربی و مدل برازش داده شده بر آن را برای حالت تبدیل لگاریتمی نشان می‌دهد. جدول شماره ۱۲ نیز پارامترهای واریوگرام نیترات را نشان می‌دهد.

واریوگرام ایزوتروپیک



شکل ۱۴: واریوگرام و سیمی واریوگرام تجربی نیترات

جدول ۱۲- پارامترهای مربوط به واریوگرام نیترات

مدل	اثر قطعه‌ای	آستانه	شعاع تأثیر (m)
نمایی	۰/۰۰۷۳	۰/۲۴۸۶	۵۲۲۶۰

جداول شماره‌های ۱۳ و ۱۴ مقادیر ضریب همبستگی و ریشه‌ی دوم میانگین مربعات خطای مربوط به داده‌های پارامتر نیترا را برای هریک از روش‌های معین و کریجینگ، نشان می‌دهند.

جدول ۱۳-مقادیر R و RMSE برای هریک از روش‌های معین مربوط به داده‌های نیترا

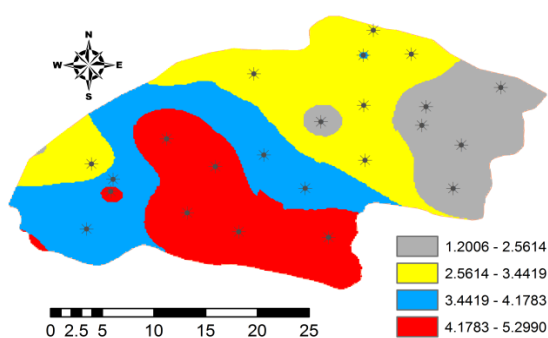
روش	R	RMSE
معکوس فاصله (IDW)	۰/۸۴	۰/۱۳۲
تابع شعاعی (RBF)	۰/۶۸	۰/۱۵۴
تخمین‌گر عام (GPI)	۰/۵۸	۰/۱۸۷
تخمین‌گر موضعی (LPI)	۰/۶۵	۰/۱۶۸

جدول ۱۴-مقادیر R و RMSE برای هریک از روش‌های کریجینگ مربوط به داده‌های نیترا

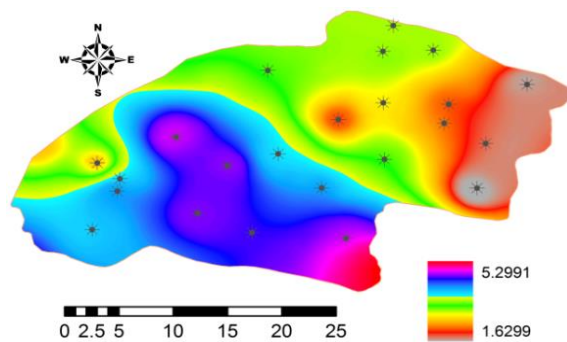
روش	R	RMSE
کریجینگ ساده (SK)	۰/۵۹	۰/۱۵۷
کریجینگ معمولی (OK)	۰/۷۶	۰/۱۶۲

با توجه به جداول ۱۳ و ۱۴، چون روش معکوس فاصله دارای ضریب همبستگی بالاتر و ریشه‌ی دوم میانگین مربعات خطای پایین‌تری نسبت به سایر روش‌ها می‌باشد، لذا روش معکوس فاصله به عنوان مناسب‌ترین روش جهت تهیه نقشه تغییرات مقادیر غلظت نیترا در سفره آبدار زیرزمینی دشت پلور انتخاب می‌شود. شکل شماره ۱۵، نقشه تغییرات مقادیر غلظت نیترا را بر اساس روش معکوس فاصله و شکل شماره ۱۶ نقشه هم‌نیترا دشت پلور را نشان می‌دهد. جدول شماره ۱۵ نیز، مساحت مربوط به طبقات غلظت نیترا را نشان داده و همان‌گونه که از این جدول بر می‌آید، ۳۱/۴ درصد سطح دشت پلور دارای بالاترین مقادیر نیترا بوده و متوسط نیترا دشت پلور برابر با ۳/۲۵ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. همچنین شکل‌های شماره‌های ۱۷ و ۱۸ نیز به ترتیب نمایش‌دهنده‌ی مقایسه‌ی

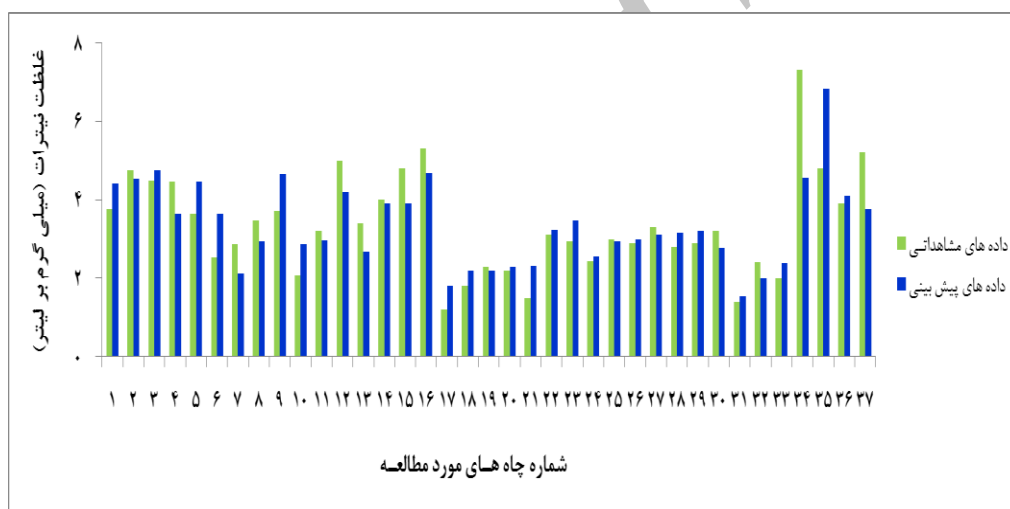
مقادیر مشاهداتی و پیش‌بینی‌شده‌ی غظت نیترات با به‌کارگیری روش درونیابی مکانی منتخب معکوس فاصله و همبستگی بین مقادیر داده‌های مشاهداتی و پیش‌بینی‌شده‌ی غظت نیترات، بر اساس مدل رگرسیون توانی می‌باشند.



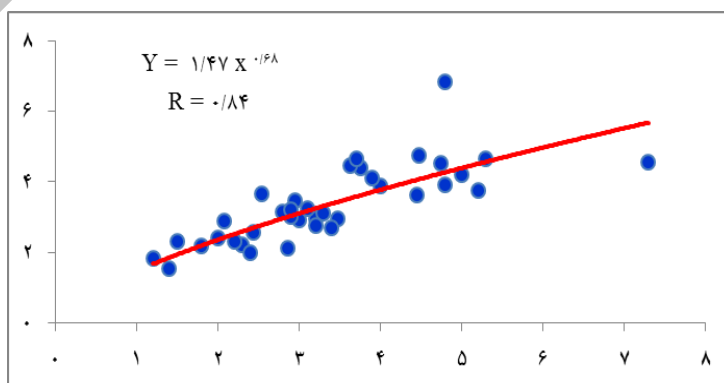
شکل ۱۶: نقشه هم (NO<sub>3</sub>) آب‌های زیرزمینی بر حسب میلی‌گرم بر لیتر



شکل ۱۵: نقشه تغییرات (NO<sub>3</sub>) آب‌های زیرزمینی بر اساس روش معکوس فاصله (IDW) بر حسب میلی‌گرم بر لیتر



شکل ۱۷: مقایسه‌ی مقادیر مشاهداتی و پیش‌بینی‌شده‌ی غظت نیترات با به‌کارگیری روش درونیابی مکانی منتخب معکوس فاصله



نمودار ۱۸: نمایش همبستگی بین مقادیر داده‌های مشاهداتی و پیش‌بینی‌شده‌ی غظت نیترات بر اساس مدل رگرسیون توانی

جدول ۱۵- مساحت مربوط به هریک از طبقات نیترات در محدوده‌ی مطالعاتی بر حسب میلی‌گرم بر لیتر

طبقات نیترات (میلی‌گرم بر لیتر)	مساحت (هکتار)	مساحت (درصد)
۱/۲۰ - ۲/۵۶	۱۲۱۱۹	۱۷/۶
۲/۵۶ - ۳/۴۴	۲۱۷۴۵	۳۱/۴
۳/۴۴ - ۴/۱۷	۱۸۲۴۱	۲۶/۳
۴/۱۷ - ۵/۲۹	۱۷۰۹۸	۲۴/۷

### نتیجه‌گیری

تهیه‌ی نقشه‌ی بهنگام تغییرات شوری و املاح آب زیرزمینی، گامی مهم در مدیریت و بهره‌برداری صحیح از منابع آب‌های زیرزمینی می‌باشد. انتخاب و دقت روش‌های مناسب پهنه‌بندی و تهیه‌ی نقشه‌ی تغییرات ویژگی‌های کیفی آب‌های زیرزمینی، بستگی به شرایط منطقه و وجود آمار و اطلاعات موجود در آن دارد به‌طوری‌که انتخاب صحیح آن‌ها، نقشی کلیدی و اساسی در مدیریت منابع آب‌های زیرزمینی را ایفا می‌نماید.

هدف از انجام این تحقیق، ارزیابی روش‌های زمین‌آماری در تهیه‌ی نقشه‌های کیفی آب‌های زیرزمینی از نظر میزان عناصر شیمیایی نیترات، سولفات و فسفات در ۳۷ حلقه چاه مختلف موجود در منطقه با به‌کارگیری روش‌های زمین‌آماری یا درون‌یابی مکانی از قبیل کریجینگ معمولی و روش‌های معین مانند عکس فاصله، تابع شعاعی، تخمین‌گر موضعی و تخمین‌گر عام بود. بر این اساس، نتایج نشان داد که از میان روش‌های یادشده به جهت تهیه‌ی پهنه‌های آلوده به سولفات، روش کریجینگ ساده، به دلیل دارا بودن ضریب همبستگی و پایین‌تر بودن ریشه دوم میانگین مربعات خطا، ( $R=0/90$  و  $RMSE=2/17$ ) نسبت به سایر روش‌ها، مناسب‌تر می‌باشد (جدول شماره‌ی ۶). همچنین در مورد فسفات، روش کریجینگ معمولی، به دلیل دارا بودن ضریب همبستگی و پایین‌تر بودن ریشه دوم میانگین مربعات خطا، ( $R=0/93$  و  $RMSE=0/02$ ) نسبت به سایر روش‌ها، مناسب‌تر (جدول شماره‌ی ۱۰) و در مورد عنصر نیترات، روش معکوس فاصله، به دلیل دارا بودن ضریب همبستگی و پایین‌تر بودن ریشه دوم میانگین مربعات خطا، ( $R=0/84$  و  $RMSE=0/132$ ) نسبت به سایر روش‌های معین، مناسب‌تر تشخیص داده شد (جدول شماره‌ی ۱۳). شایان ذکر است که بر این اساس، تغییرات غلظت فسفات در منطقه پرورش ماهی، بیش‌ترین تراکم را داشته و به عبارت دیگر آلودگی آب‌های زیرزمینی ناشی از این ماده در منطقه‌ی مذکور، بیش از حد مجاز است که

علت آن نیز وجود فسفات در مواد غذایی و دفعی ماهیان است. همچنین تغییرات پراکندگی غلظت نترات نیز نشان می‌دهد که غلظت نترات در مناطق بالادست رودخانه، افزایش یافته که علت آن می‌تواند به دلیل ورود پساب‌های کشاورزی به این مناطق باشد. در نهایت نیز پراکندگی غلظت سولفات در لایه‌های آبدار زیرزمینی محدوده‌ی مطالعاتی بیانگر آن است که بیش‌ترین میزان سولفات در منطقه‌ی امامزاده اسماعیل و اطراف آن وجود دارد که با توجه به عدم وجود مراکز صنعتی در این مناطق، علت آن می‌تواند وجود بستر گوگردی آب باشد. لذا این پژوهش نشان می‌دهد که برای جلوگیری و همچنین گسترش پهنه‌های آلوده به عناصر شیمیایی لازم است که راهکارهای مدیریت کیفی منابع آب در اولویت سیاست‌گذاری‌ها قرار گرفته و به موازات، به کمیت منابع آب سطحی و زیرزمینی و پایش کیفیت آن‌ها نیز توجه و نگاه ویژه‌ای شود.

Archive of SID

## منابع

- آلباخ، پیتر (۱۳۴۹)، «زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی دماوند و اطراف آن (البرز مرکزی)»، ترجمه‌ی علی انتظام و منوچهر مهرنوش، تهران، سازمان زمین‌شناسی کشور.
- پردل، م (۱۳۹۰)، «پهنه‌بندی کیفی آب‌های زیرزمینی دشت گناباد با استفاده از زمین‌آمار»، اولین کنگره‌ی ملی علوم و فناوری‌های نوین کشاورزی، دانشگاه زنجان، ۱۹ تا ۲۱ شهریور ماه سال ۱۳۹۰.
- ثقفیان، ب (۱۳۹۱)، «راهنمای روش‌های توزیع مکانی عوامل اقلیمی با استفاده از داده‌های نقطه‌ای»، نشریه شماره-۵۱۵ دفتر مهندسی و معیارهای فنی معاونت آب و آبیاری وزارت نیرو، تهران، معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری.
- خاشعی‌سیوکی، ع (۱۳۹۰)، «پهنه‌بندی کیفی آب‌های زیرزمینی دشت نیشابور با استفاده از روش‌های زمین‌آمار و شناسایی آب‌های نامتعارف»، یازدهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۱۳۹۰.
- درویش‌زاده، علی (۱۳۸۲)، «زمین‌شناسی ایران»، تهران، انتشارات دانشگاه امیرکبیر.
- شعبانی، م (۱۳۸۸)، «بررسی تغییرات کیفی آب‌های زیرزمینی دشت ارسنجان»، فصلنامه‌ی جغرافیای طبیعی، سال اول، شماره‌ی ۳، صص ۷۱-۸۲.
- قادرمزی، ف (۱۳۸۹)، «پهنه‌بندی کیفی منابع تأمین آب شهرستان قروه با استفاده از روش‌های زمین‌آمار و GIS»، چهارمین همایش تخصصی مهندسی محیط زیست، دانشگاه تهران، سال ۱۳۸۹.
- ملکی‌گنادیشی، ف؛ رهنما، م؛ رضایی، ع (۱۳۸۷)، «تخمین برخی پارامترهای کیفی موجود در آب زیرزمینی با استفاده از نرم‌افزار  $GS^+$  و روش کریجینگ (مطالعه‌ی موردی دشت زرنده)»، اولین کنفرانس بین‌المللی بحران آب، زابل.

- Amini, M., (1999), "Assessment of soil salinity and alkalinity using geostatistic technique in a part of Rudasht district (Esfahan province)", M.Sc thesis, Esfahan University of Technology, College of Agriculture, Isfahan, Iran, 120 p.
- Ahmed, S., (2002), "Groundwater monitoring network design: Application of geostatistics with a few case studies from a granitic aquifer in a sem-arid region", In: **Groundwater Hydrology**, M.M. Sherif, V.P. Singh and M.Al, Rashed (Eds.), Balkema, Tokyo, Japan, PP 37-57.
- Babiker, S., Mohamed, M., Hiyama, T., (2007), "Assessing groundwater quality using GIS", **Water Resources Management**, 21 (4): 699-715.
- Bajjali, W., (2005), "Model the Effect of Four Artificial Recharge Dams on the Quality of Groundwater Using Geostatistical Methods in GIS Environment, Oman", **Journal of Spatial Hydrology**, 5 (2): 67-80

- Guler, C., Ali Kurt, M., Alpaslan, M., Akbulut, C., (2012), "Assessment of the impact of anthropogenic activities on the groundwater hydrology and chemistry in Tarsus coastal plain (Mersin, SE Turkey) using fuzzy clustering", *Multivariate Statistics and GIS Techniques*, 24: 435-451.
- Fetouani, S., Sbaa, M., Vanclooster, M., Bendra, B., (2008), "Assessing Groundwater Quality in the Irrigated Plain of Triffa (North-East Morocco)", *Journal of Agricultural Water Management*, 95: 133-142.
- Homonick, S., MacDonald, A., Heal, K., Dochartaigh, B., Ngwenya, B. (2010). Manganese concentrations in Scottish groundwater, *Science of the Total Environment*, 408: 2467-2473.
- Messier, A., Shehee, K, Rudo, K., Serre, M., Fry, R., (2012), "Arsenic in North Carolina (Public Health Implications)", *Environment International*, 38: 10-16.
- Naz M., Turkman, M., (2005), "Phytoplankton Biomass and Species Composition of LakeG.lbaşý (Hatay-Turkey)", *Turk J Biol*, 29: 49-50.
- Nikolaidis, C., Mandalos, P., Vantarakis, A., (2008), "Impact of intensive agricultural practices on drinking water Quality in the EVROS Region (NE GREECE) by GIS analysis. *Environ Monit Assess*, 143 (1-3): 43-50.
- Ortega-Mayagoitia, E., Rojo C., Rodrigo M.A., (2003), "Controlling factors of phytoplankton assemblages in wetlands: an experimental approach", *Hydrobiologia*, 502: 177-186.
- Taghizadeh Mehrjerdi, R., Zareian, M., Mahmodi, Sh., Heidari, A., (2008), Spatial Distribution of Groundwater Quality with Geostatistics (Case Study: Yazd-Ardakan Plain), *World Applied Science Journal*, 4 (1): 9-17.