تعیین مناسب‌ترین روش تهیه نقشه تغییرات TDS، pH و EC آب‌های زیرزمینی دشت مازندران

نادره طایفه
کارشناس ارشد عمران آب و عضو باشگاه پژوهشگران جوان واحد مهاباد
n_tayefeh@yahoo.com

دریافت: ۹۰/۱/۳۱ پذیرش: ۹۰/۳/۷

چکیده

انتخاب و دقت روش‌های مناسب پهنه‌بندی و تهیه نقشه تغییرات ویژگی‌های کیفی آب‌های زیرزمینی بستگی بـه شـرایط منطقـه و وجـود آمـار و داده‌های کافی در آن دارد، که انتخاب صحیح آنها گامی اساسی و مهم در مدیریت منابع آبی منطقه به شمار می‌رود. هدف از انجـام ایـن پـژوهش تعیین مناسبترین روش میان‌یابی به منظور بررسی و تحلیل مکانی مقادیر pH , TDS وEC آب‌های زیرزمینی دشت مازندران بود. بدین منظـور، پس از انتخاب ۸۰۰ نمونه آمار چاههای موجود در منطقه و بررسی داده ها از نظر نرمال بودن، از داده‌ها متوسط گیری شد و سپس به صورت نقطـه ای وارد محیط GIS گردید. پس از آن برای بررسـی و انتخـاب مناسـبترین روش درون یـابی از روش‌هـای زمـین آمـار ماننـد کریجینـگ سـاده (SK)،کریجینگ معمولی (OK) و کریجینگ عمومی (UK) و روش‌های معین مانند عکس فاصله (IDW) با توان های ۱ تا ۵، توابع پایه شعاعی (RBF)، تخمینگر موضعی (LPI) و تخمینگر عام (GPI) استفاده شد. نتایج نشان دادند که در بین روش‌های مختلف، روش کریجینگ معمولی جهت تهیه نقشه تغییرات EC و TDS به ترتیب با RMSE برابر ۵۵۱/۲ و ۳۷۱/۷ و روش کریجینگ ساده با RMSE برابر۰/۱۰۶۳ جهت تهیه نقشه تغییرات pH در منطقه مناسب‌ترین هستند.

واژه‌های کلیدی: کیفیت آب زیرزمینی، روش‌های درون‌یابی، دشت مازندران

مقدمه

تغییر کیفیت آب‌های زیرزمینی و شور شدن منابع آب هم اکنون خطری بزرگ در راه توسعه کشاورزی کشور به ویژه در اراضی خشک می‌باشد. کیفیت آب زیرزمینی همچون آب سطحی همواره در حال تغییر است، اما این تغییرات نسبت به آب‌های سطحی بسیار کندتر صورت می‌گیرد[۵]. تهیه نقشه‌های به هنگام تغییرات شوری و املاح می‌تواند گامی مهم در بهره‌برداری صحیح از منابع آب باشد. افزون بر آن نقشه‌های تغییرات ویژگی‌های شیمیایی آب‌های زیرزمینی، نقشی ارزنده در فرایند تصمیم‌گیری و مدیریت استفاده و بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی ایفا می‌کند. روش‌های گوناگونی برای مطالعه و پهنه‌بندی تغییرات ویژگی‌های آب‌های زیرزمینی وجود دارد که هر کدام از آنها بسته به شرایط منطقه و وجود آمار و داده‌های کافی دارای دقت‌های گوناگون می‌باشند. از جمله روش‌های پهنه بندی آب زیرزمینی می‌توان روش‌های زمین آمار کریجینگ و کوکریجینگ و روش‌های معین مانند روش عکس فاصله، توابع پایه شعاعی و غیره را نام برد. انتخاب روش مناسب پهنه‌بندی و تهیه نقشه تغییرات ویژگی‌های کیفی آب‌های زیرزمینی گامی اساسی و مهم در مدیریت منابع آبی منطقه به شمار می‌رود. در داخل و خارج از کشور مطالعاتی گوناگون در مورد کاربرد روش‌های میان‌یابی در مطالعه آب‌های زیرزمینی انجام گرفته است که به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود. از روش زمین آمار در بررسی تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی دشت بالارود استفاده شده است [۶]. در مطالعه‌ای که در خصوص آب‌های زیرزمینی حوضه آبخیز گرمسار واقع در استان سمنان با استفاده از روش‌های میان‌یابی زمین آمار صورت گرفته است، به این نتیجه رسیدند که روش‌های زمین آماری نسبت به روش‌های معین دقتی بالاتر دارند [۲]. در بررسی‌های انجام یافته، از بین روش‌های زمین آماری، روش کوکریجینگ و از میان

روش‌های معین، روش تابع شعاعی از دقتی بالاتر برای بیش‌تر عامل‌ها برخوردار بوده است. اما به دلیل درون-یابی مناسب‌تر روش‌های زمین آمار و تک متغیره بودن روش کریجینگ، این روش به عنوان بهترین و قوی‌ترین ابزار درون‌یابی جهت تهیه نقشه‌های آب زیرزمینی معرفی شده است [۱۲].

در سایر پژوهش‌های مشابه نیز نتایج نشان دهنده این بود که استفاده از ابزارهای زمین آمار مثل کریجینگ برای شبیه سازی متغیرهای کیفیت آب زیرزمینی بهتر است [۱۱]. در تحقیقاتی کاربرد روش کریجینگ در تخمین وابستگی مکانی متغیرهای کیفیت آب مثل غلظت املاح محلول (TDS[1]) بررسی شده و نتیجه نشان داده است که کریجینگ قابلیت بالایی برای این هدف دارد [۷]. در بررسی غلظت آرسنیک در آب‌های زیرزمینی بنگلادش نیز از روش‌های زمین آمار مانند کریجینگ گسسته استفاده شده است [۱۰]. در مطالعه‌ای در دشت رفسنجان، به تحلیل مکانی برخی از ویژگی‌های کیفی آب‌های زیرزمینی مانند TDS، TH[2]، EC[3]، SAR[4]، Cl^- و SO_4^{2-} با استفاده از سه روش IDW[5]، کریجینگ و کوکریجینگ پرداختند. ارزیابی نتایج نشان داد که روش کریجینگ بر دو روش دیگر برتری دارد [۱۳]. جهت تهیه نقشه خطر نیترات در دشت مادنا در ایتالیا از روش کریجینگ گسسته و روش‌های شبیه سازی استفاده شد [۸]. در مطالعه کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت‌های کشاورزی تریفا در شمال شرق مراکش از نظر اندازه نتیرات و آلودگی‌های باکتریولوژیکی از روش کریجینگ معمولی برای مطالعه و پهنه‌بندی نقشه کیفی آب‌های زیرزمینی استفاده شد [۹]. پهنه‌بندی مکانی پارامترهای کیفی آب‌های زیرزمینی دشت ارومیه نیز با روش IDW انجام یافته و وضعیت آب‌های این دشت بر اساس مصارف شرب و کشاورزی بررسی شده است [۳]. هدف از پژوهش حاضر نیز تعیین و ارزیابی مناسب‌ترین روش میان‌یابی به منظور مطالعه تغییرات کیفی و مکانی ویژگی‌های آب زیرزمینی از نظر اندازه pH ، TDS و EC در دشت مازنداران واقع در شمال ایران می‌باشد.

منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه در این طرح دشت مازندران می‌باشد که در حاشیه جنوبی دریای خزر قرار داد و در موقعیت جغرافیایی ´۳۶ °۵۰ تا ´۳ °۵۴ طول شرقی و ´۲۱ °۳۶ تا ´ ۵۷ ° ۳۶ عرض شمالی به مساحت ۴۵۳۰ کیلومتر مربع و طول۳۰۰ کیلومتر می باشد که در شکل (۱) نشان داده شده است.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه با توجه به اهداف پژوهش از ۸۰۰ نمونه مربوط به چاه‌های دشت مازندران به گونه تصادفی و با پراکنش مناسب استفاده گردید. به دلیل اینکه نمی‌توان از آمار کوتاه مدت برای تعمیم به آمار بلند مدت استفاده کرد و همچنین جهت افزایش دقت در نتیجه‌گیری و اینکه کمتر از سه نمونه آمار نمی‌تواند نشانگر وضعیت دراز مدت آمار باشد، ابتدا نمونه‌های با آمار کمتر از ۳ مورد حذف شد. در مرحله بعد تمامی داده‌های مربوط به هر عامل از نظر نرمال بودن به وسیله آزمون کلموگراف – اسمیرنف در محیط SPSS بررسی شد. با استفاده از آمار نمونه‌برداری موجود مقدار متوسط pH، TDSو EC تعیین گردید. در نهایت از ۳۵۶ نمونه استفاده شد. پس از انجام این مراحل برای تبدیل داده‌های نقطه‌ای یاد شده به داده‌های ناحیه‌ای در محیط نرم افزاری ARCGIS، از روش‌های زمین آمار کریجینگ ساده[6]، کریجینگ معمولی[7] و کریجینگ عمومی[8] و روش‌های معین مانند عکس فاصله[9] با توان‌های ۱ تا ۵، توابع پایه شعاعی[10]، تخمین‌گر عام[11] و تخمین‌گر موضعی[12] استفاده شد. به منظور تشریح پیوستگی مکانی متغیرها، نیم متغیر نمای (متغیرنمای) داده‌ها نیز ترسیم گردید [۱]. سپس برای انتخاب روش

[1] Total Dissolved Solids
[2] Total Hardness
[3] Electrical Conductivity
[4] Sodium Absorption Ratio
[5] Inverse Distance Weighted

[6] Simple Kriging
[7] Ordinary Kriging
[8] Universal Kriging
[9] Inverse Distance Weighting
[10] Radial Basis Functions
[11] Global Polynomial Interpolation
[12] Local Polynomial Interpolation

مناسب میان‌یابی جهت تهیه نقشه تغییرات دشت مازندران از روش ارزیابی متقابل[13] استفاده شد. در این روش یک نقطه به طور موقتی حذف شده و با اعمال روش مورد نظر برای آن نقطه، مقداری برآورد می‌گردد. سپس مقدار حذف شده به جای خود برگردانیده شده و برای سایر نقاط به صورت مجزا این برآورد صورت می‌گیرد. این کار برای هر یک از نقاط مشاهده‌ای تکرار می‌شود. به گونه‌ای که در آخر به تعداد نقاط مشاهده‌ای برآورد وجود خواهد داشت [۱]. سپس با استفاده از معیار RMSE روش مناسب میانیابی تشخیص و نقشه تغییرات عامل‌های کیفی به گونه جداگانه ترسیم می‌شود.

نتایج

نتایج مربوط به آزمون کلموگراف- اسمیرنف نشان داد که تمامی داده‌ها نرمال می‌باشند. جدول (۱) مقادیر برخی آماره‌ها را برای TDS, pH و EC نشان می‌دهد. طبق نتایج بدست آمده کم‌ترین، بیش‌ترین و متوسط مقدار TDS به ترتیب برابر ۱۸۸/۸۵، ۴۰۴۷/۵و ۷۴۴/۶۲ میلی گرم در لیترمی‌باشد. میزان آنها به ترتیب برای pH برابر ۷/۴۳، ۷/ ۸ و ۷/۷۹ و برای EC برابر ۲۶۹/۷، ۶۲۸۹/۶۳ و ۱۱۱۸/۸۱ دسی زیمنس بر متر می‌باشد.

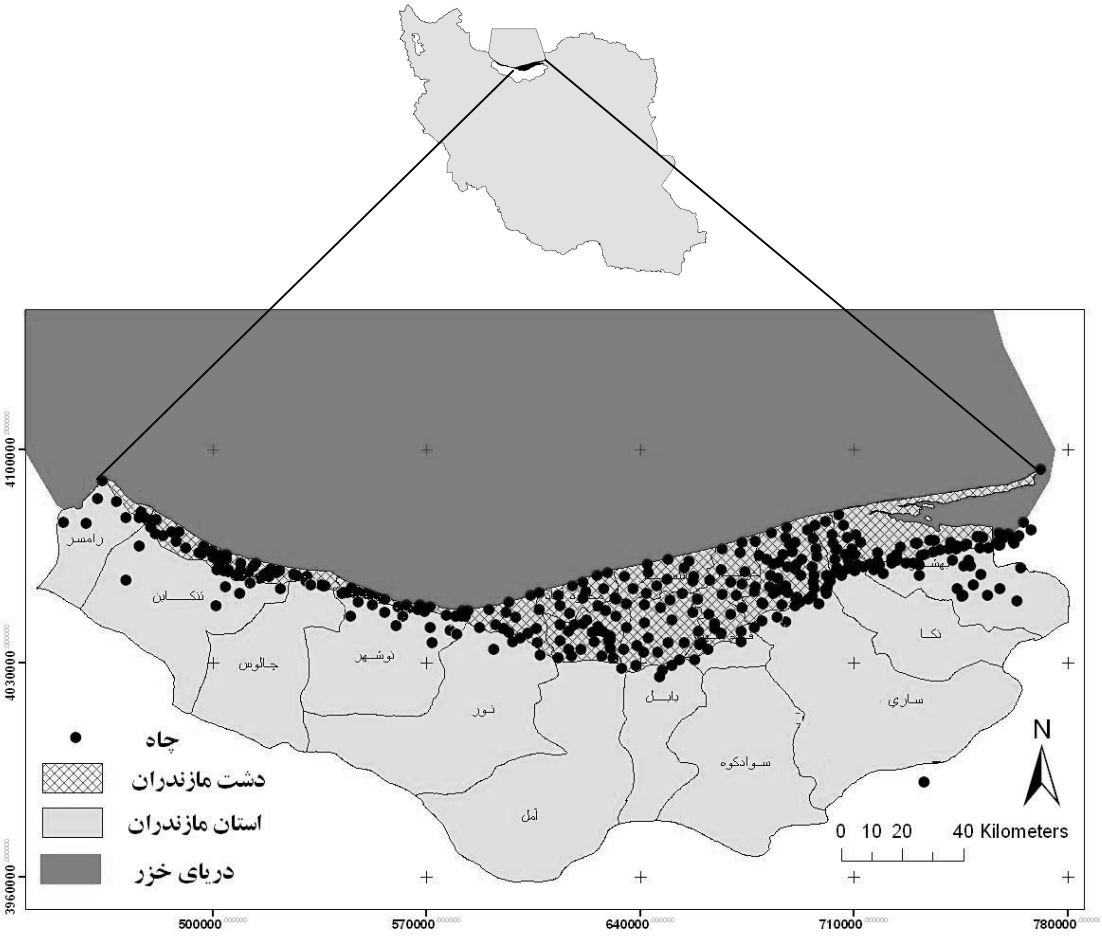
متغیر نمای

هدف اصلی از محاسبه متغیر نمای این است که بتوان تغییرپذیری متغیر را نسبت به فاصله مکانی یا زمانی شناخت. برای این کار لازم است مجموع مربع تفاضل زوج نقاطی که به فاصله معلوم از یکدیگر قرار دارند محاسبه و در مقابل فاصله رسم گردد [۱]. هر واریوگرام دارای چند فرانسج مهم از جمله شعاع تاثیر، آستانه و اثر قطعه‌ای است. شعاع تاثیر محدوده‌ای را مشخص می‌کند که می‌توان از داده‌های موجود در آن برای تخمین مقدار متغیر مجهول استفاده کرد. بدیهی است که شعاع تاثیر بزرگ‌تر دلالت بر پیوستگی مکانی گسترده‌تر دارد [۱]. به مقدار ثابتی که متغیر نمای در شعاع تاثیر به آن می‌رسد، آستانه گفته می‌شود. مقدار آستانه برابر با واریانس کل تمام نمونه‌هایی است که در محاسبه تغیر نما بکار رفته‌اند [۱]. در روش کریجینگ متغیر نمای‌هایی که به سقف مشخص می‌رسند، اهمیت بیش-تری دارند. مقدار متغیر نما در مبدا مختصات را اثر قطعه‌ای می‌نامند. در حالت بهینه مقدار آن باید صفر باشد، اما در بیش‌تر مواقع بزرگ‌تر از صفر است. در این حالت جزء تصادفی و یا غیر ساختار دار متغیر ظاهر می‌شود [۱]. محور عمودی در نیم متغیرنما $\gamma = z^*(x) = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i z(x_i)$ می‌باشد که در آن $z^*(x)$ عیار برآوردی، λ_i وزن یا اهمیت کمیت وابسته به نمونه i ام و $z(x)_i$ مقدار متغیر اندازه‌گیری شده می‌باشد. مهم-ترین قسمت کریجینگ تعیین وزن‌های آماری λ_i می‌باشد که جهت نا اریب بودن برآوردها، این اوزان بایستی به نحوی تعیین گردند که مجموع آن‌ها برابر ۱ باشد، یعنی $\sum_{i=1}^{n} \lambda_i = 1$.

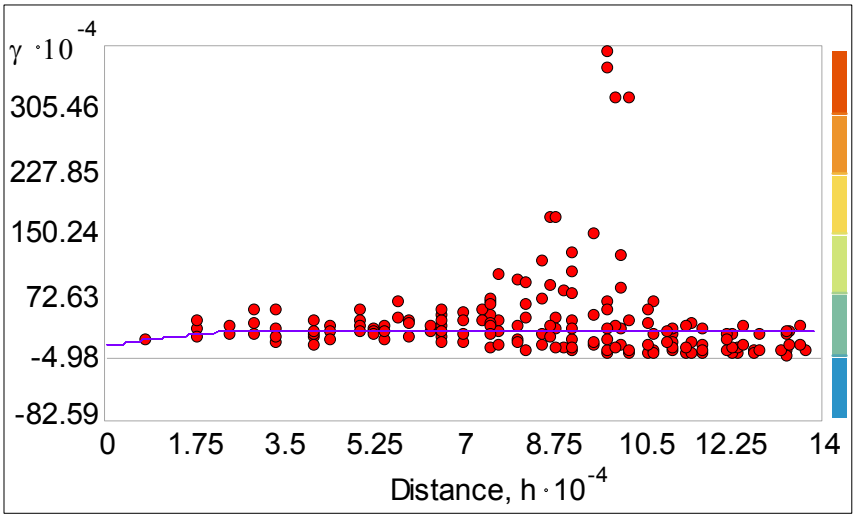
۱-متغیر نمای TDS

شبیه متغیر نمای به دست آمده عامل TDS کروی می‌باشد. شعاع تاثیر این عامل ۲/۶۵ کیلومتر، آستانه ۳۸/۴ کیلومتر و اثر قطعه‌ای آن۱۵/۴ کیلومتر می‌باشد. شکل (۲) متغیر نمای تجربی و شبیه برازش داده شده بر آن و جدول (۲) عامل‌های مربوط به آن را نشان می‌دهند. جدول (۳) مقادیر RMSE را برای هر یک از روش‌های معین و کریجینگ عامل TDS نشان می‌دهد. طبق این نتایج میزان خطا برای روش عکس فاصله با توان ۲ و ۵ برابر ۳۷۳/۱ و کمتر از سایر توان‌ها می‌باشد. میزان خطا از بین سایر روش‌های معین برای توابع پایه شعاعی کمتر از بقیه و برابر ۳۷۲/۱ می‌باشد. از بین روش‌های کریجینگ نیز کمترین خطا متعلق به کریجینگ معمولی (۳۷۱/۷) می‌باشد. بیش‌ترین میزان خطا نیز مربوط به روش تخمین‌گر عام (۴۹۱/۶) می‌باشد. شکل (۵) نقشه تغییرات مقادیر TDS آب‌های زیرزمینی دشت مازندران را بر اساس روش کریجینگ معمولی نشان می‌دهد. طبق این نقشه میزان این پارامتر از غرب به شرق و از ۲۰۲/۱ تا ۳۶۳۴/۶ میلی‌گرم در لیتر افزایش می‌یابد.

[13] Cross Validation



شکل۱- نقشه منطقه مورد مطالعه



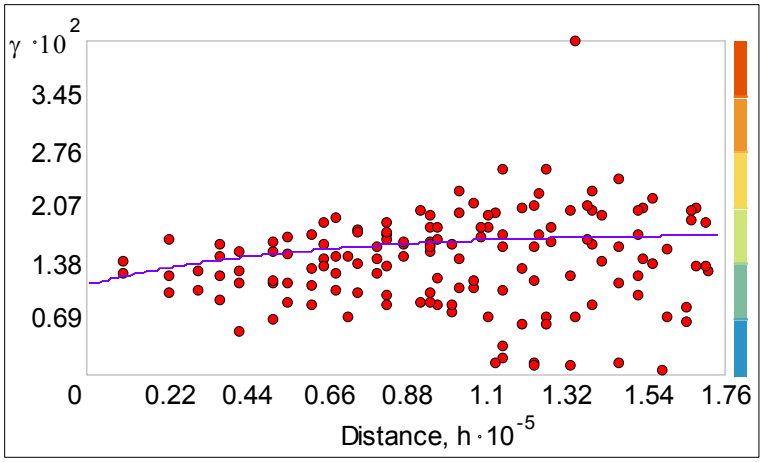
شکل۲- نیم متغیر نمایTDS که به دلیل شعاع تاثیر بزرگ تر (۲/۶۵ کیلومتر) پیوستگی داده‌های مورد استفاده در برآورد داده مجهول گسترده‌تر می‌باشد.

۲-متغیر نمای pH

شبیه متغیر نمای pH، نمایی می‌باشد. شکل (۳) متغیر نمای تجربی و شبیه برازش یافته بر آن را نشان می‌دهد. جدول (۲) نیز عامل‌های متغیر نمای pH را نشان می‌دهد. طبق این جدول شعاع تاثیر ۱/۴۳ کیلومتر، آستانه ۱/۷۲ و اثر قطعه‌ای ۱/۱۵ می‌باشد. مقادیر مربوط به RMSE داده‌های pH برای روش‌های معین و کریجینگ در جدول (۳) آورده شده است. طبق نتایج میزان خطا برای روش عکس فاصله با افزایش توان زیاد شده و برای توان‌های ۱ و۲ کمتر از بقیه توان‌ها و برابر ۰/۱۰۷۸ می‌باشد. از بین سایر روش‌های معین نیز روش توابع پایه شعاعی خطای کمتری دارد که میزان آن با توان‌های ۱ و ۲ روش عکس فاصله یکسان است. در مورد روش‌های مختلف کریجینگ، کمترین میزان خطا مربوط به کریجینگ ساده می‌باشد (۰/۱۰۶۳). شکل (۶) نقشه تغییرات مقادیر pH آب‌های زیرزمینی در دشت مازندران به روش کریجینگ ساده را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل مشخص است میزان نوسان pH در کل دشت متغیر بوده و از روند ثابتی پیروی نمی‌کند. البته این تغییرات رنج محدودی داشته و در محدوده خنثی بین ۷/۶ تا۷/۹ قرار دارد.

۳-متغیر نمای EC

شبیه متغیر نمای به دست آمده EC کروی می‌باشد. شکل (۴) متغیر نمای تجربی و شبیه برازش یافته بر آن را نشان می‌دهد. جدول (۲) نیز عامل‌های متغیر نمای EC را نشان می‌دهد. طبق این جدول آستانه ۷/۳۱، شعاع تاثیر ۳/۶۲ کیلومتر و اثر قطعه‌ای ۲/۴۴ می‌باشد. مقادیر مربوط به RMSE داده‌های EC برای روش‌های معین و کریجینگ در جدول (۳) آورده شده است. طبق این جدول کمترین خطا در توان‌های مختلف روش عکس فاصله مربوط به توان‌های ۲ و ۳ با میزان خطایی برابر ۵۵۵/۹ می‌باشد. برای سایر روش‌های معین کمترین خطا مربوط به روش توابع پایه شعاعی با خطای ۵۵۷/۷ می‌باشد. در بین روش‌های مختلف کریجینگ، روش کریجینگ معمولی کمترین خطا را دارد (۵۵۱/۲). شکل (۷) نقشه تغییرات مقادیر EC به روش کریجینگ معمولی در آب‌های زیرزمینی دشت مازندران را نشان می‌دهد. مطابق شکل میزان EC از غرب به شرق و از ۴۰۹/۵- تا ۵۹۱۷/۱ افزایش می‌یابد.



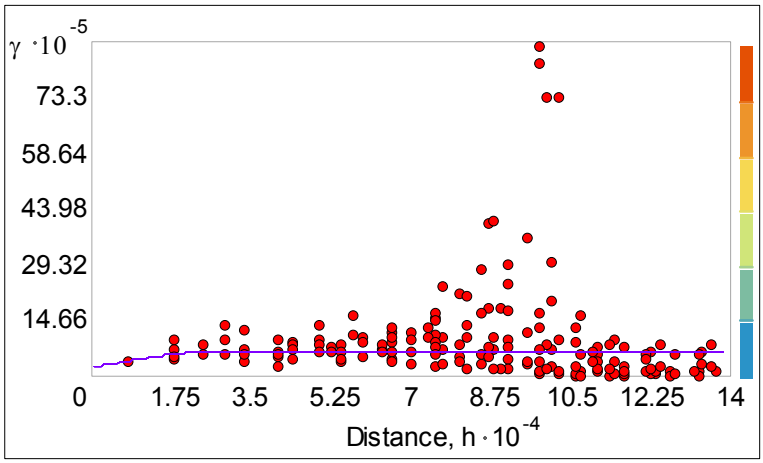
شکل ۳- نیم متغیر نمایpH که شعاع تاثیر نسبتاً کوچک (۱/۴۳ کیلومتر) در آن نشان دهنده پیوستگی کمتر داده‌های مورد استفاده در برآورد داده مجهول می‌باشد.

جدول۱- مقادیر برخی آماره های TDS , pH و EC

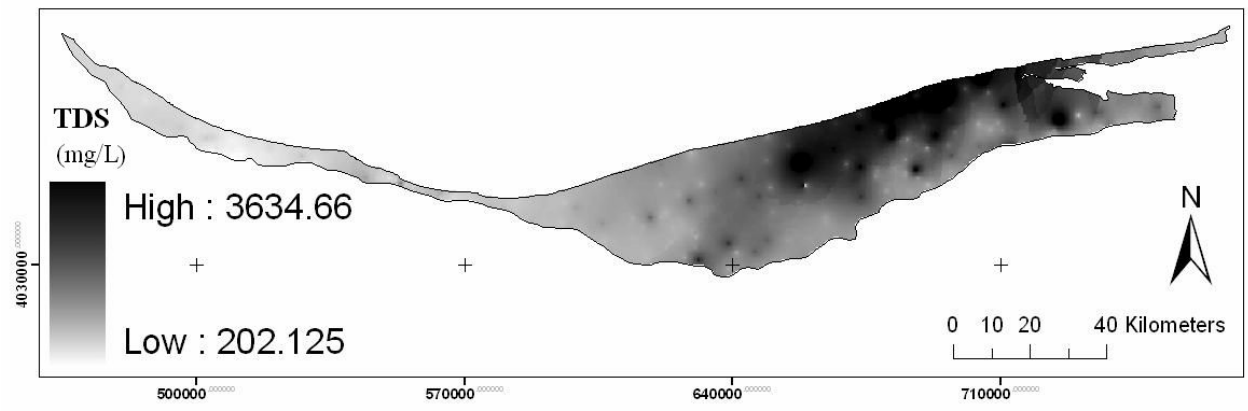
آماره / عامل	تعداد نمونه	میانگین	انحراف معیار	حداکثر	حداقل	چولگی	کشیدگی
TDS	۳۵۶	۷۴۴/۶۲	۵۲۵/۸	۴۰۴۷/۵	۱۸۸/۸۵	۲/۶۶	۹/۷
pH	۳۵۶	۷/۷۹	۰/۱۲۴	۸/۷	۷/۴۳	۱/۴	۸
EC	۳۵۶	۱۱۱۸/۸۱	۷۹۵/۱۵	۶۲۸۹/۶۳	۲۶۹/۷	۲/۶۹	۹/۹۴

جدول۲- عامل های مربوط به متغیر نماهای پارامترهای مورد بررسی

پارامتر کیفی	مدل شبیه	آستانه	شعاع تاثیر(km)	اثر قطعه ای
TDS	کروی	۳۸/۴	۲/۶۵	۱۵/۴
pH	نمایی	۱/۷۲	۱/۴۳	۱/۱۵
EC	کروی	۷/۳۱	۳/۶۲	۲/۴۴



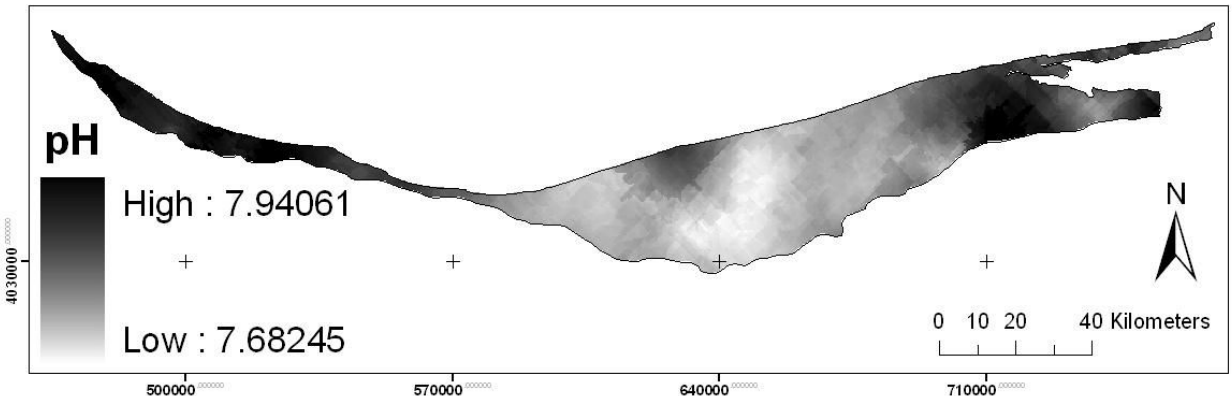
شکل۴- نیم متغیر نمایEC که در آن شعاع تاثیر مقدار بزرگی می‌باشد(۳/۶۲ کیلومتر) و نشان دهنده پیوستگی بسیار گسترده داده ها در برآورد داده مجهول می‌باشد.



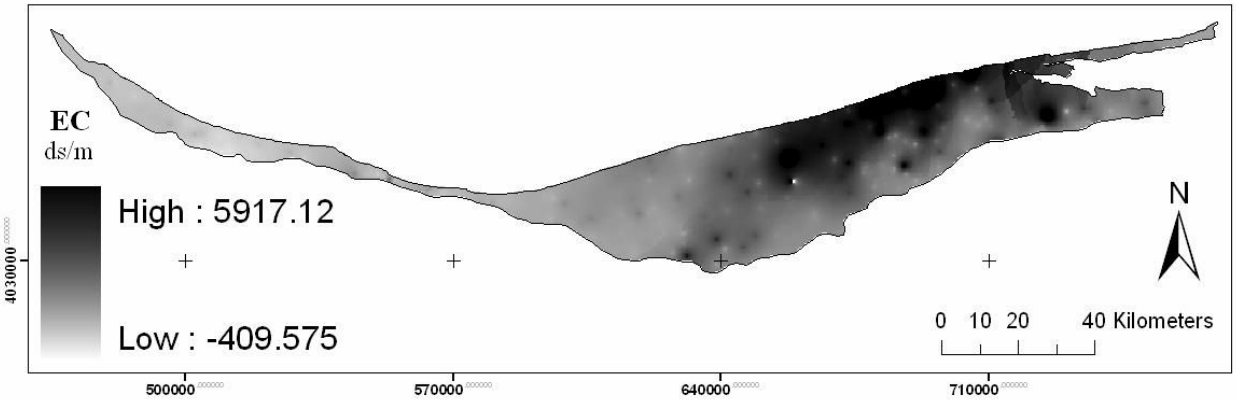
شکل۵- نقشه وضعیت TDS آب های زیرزمینی منطقه که در آن میزان TDS از سمت غرب به شرق افزایش می‌یابد.

جدول۳- مقادیر RMSE هر یک از روش ها

روش	RMSE		
	TDS	pH	EC
عکس فاصله (توان ۱)	۳۷۵/۳	۰/۱۰۷۸	۵۶۱/۵
عکس فاصله (توان ۲)	۳۷۳/۱	۰/۱۰۷۸	۵۵۵/۹
عکس فاصله (توان ۳)	۳۷۵/۳	۰/۱۱۴۳	۵۵۵/۹
عکس فاصله (توان ۴)	۳۹۵/۹	۰/۱۲۱۹	۵۸۵/۱
عکس فاصله (توان ۵)	۳۷۳/۱	۰/۱۲۷۳	۵۸۵/۱
تخمین گر عام(GPI)	۴۹۱/۶	۰/۱۲۳۴	۷۴۳/۹
تخمین گر موضعی(LPI)	۳۹۰/۷	۰/۱۱۰۶	۵۸۸/۴
توابع پایه شعاعی(RBF)	۳۷۲/۱	۰/۱۰۷۸	۵۵۵/۷
کریجینگ ساده(simple)	۳۷۲/۵	۰/۱۰۶۳	۵۶۵/۱
کریجینگ معمولی(ordinary)	۳۷۱/۷	۰/۱۰۷۱	۵۵۱/۲
کریجینگ عمومی(universal)	۳۷۲/۷	۰/۱۰۷۱	۵۶۱/۳



شکل۶- نقشه وضعیت pH آب های زیرزمینی منطقه که درآن نوسان pH روند ثابتی را دنبال نمی‌کند و در غرب و شرق دشت میزان آن بیش‌تر از بخش مرکزی است.



شکل۷- نقشه وضعیت EC آب های زیرزمینی منطقه که درآن میزان EC از سمت غرب به شرق روند رو به افزایشی را می‌پیماید.

بحث و نتیجه‌گیری

مدیریت بهینه منابع آبی، حفظ و ارتقای کیفیت آن‌ها نیازمند وجود داده‌ها در زمینه موقعیت، مقدار و پراکنش عامل‌های شیمیایی آب در یک منطقه جغرافیایی معین می‌باشد. بدین منظور از روش‌های زمین آمار مانند روش‌های کریجینگ معمولی (OK)، کریجینگ ساده (SK) و کریجینگ عمومی (UK) و روش‌های معین مانند عکس فاصله (IDW)، توابع پایه شعاعی (RBF) و تخمین‌گر عام (GPI) استفاده گردید. با توجه به نقشه‌های به دست آمده برای منطقه، مشخص می‌شود که وضعیت پارامترهای مورد بررسی در قسمت شمال شرقی دشت تا حدودی نامطلوب بوده و در این بخش (دشت بابل و آمل و منطقه فریدون کنار) متاسفانه غلظت املاح بالا بوده و منابع آب زیرزمینی آلوده هستند و بدون تصفیه تا حدودی برای بسیاری مصارف، غیر قابل استفاده می‌باشند [۴]. دلیل آلودگی بالا در این بخش از منطقه‌ی مطالعه عبارت است از: ۱- ورود آب-های زهکشی شده از مزارع برنج به رودخانه‌ها، ۲- وجود چندین آلاینده نقطه‌ای از جمله شهرک صنعتی آمل، کارگاه‌های چوب‌بری، مراکز دامداری و کارخانه‌های لبنی، ۳- کم بودن شیب زمین و در نتیجه کندی خروج آب‌ها از منطقه. هر چند وضع pH در کل منطقه دارای تغییرات چندانی نیست و در کل آب‌های زیرزمینی در این منطقه حالت خنثی و تا حدودی خاصیت بازی دارند. در مورد روش‌های مورد بررسی نیز نتایج نشان داد که از بین روش‌های معین، روش توابع پایه شعاعی بهترین نتیجه و کمترین خطا را دارد. در خصوص روش IDW با افزایش توان که موجب کاهش اثر فاصله می-گردد، نتایج متغیر بوده و روند خاصی ندارد، لذا نمی‌توان نتیجه‌گیری مورد اطمینانی در این زمینه ارائه کرد و در خصوص هر پارامتر کیفی لازم است که توان‌های مختلف جهت حصول بهترین نتیجه امتحان گردد. اما نتایج نشان داد که از بین روش‌های مورد استفاده جهت تهیه نقشه تغییرات TDS در منطقه، روش کریجینگ معمولی (OK) نسبت به سایر روش‌ها به دلیل خطای کمتر مناسب‌تر است (جدول ۳). لذا به عنوان روش نهایی در تهیه نقشه تغییرات TDS در منطقه انتخاب می‌شود. همچنین نتایج به دست آمده نشان داد که روش کریجینگ ساده (SK) با داشتن RMSE کمتر (۰/۱۰۶۳) نسبت به سایر روش‌ها جهت تهیه نقشه تغییرات pH برتری دارد و در خصوص تغییرات EC کمترین میزان RMSE (۵۵۱/۲) مربوط به روش کریجینگ معمولی (OK) می‌باشد، لذا برای تعیین نقشه تغییرات EC منطقه از این روش استفاده گردید. نتایج حاصل از این پژوهش با نتایج پژوهشگرانی چون زهتابیان و محمد عسگری [۲]، کرسیک [۱۲]، جاگر [۱۱]، احمد [۷]، تقی‌زاده مهرجردی و همکاران [۱۳]، بارکای و پارسالا [۸] و فتانی و همکاران [۹] که در بخش مقدمه به آن‌ها اشاره شد همخوانی دارد. پژوهشگران بالا روش‌های زمین آمار مانند کریجینگ معمولی، ساده، گسسته و کوکریجینگ را به عنوان ابزار مناسب جهت مطالعه کیفیت آب‌های زیرزمینی و نقشه-بندی آن‌ها در مناطق گوناگون جهان پیشنهاد کرده بودند که نتایج به دست آمده از این پژوهش نیز بیانگر نظر آن‌هاست .

منابع

[۱] حسنی پاک، ع.،(۱۳۷۷)، زمین آمار (ژئواستاتیستیک)، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ اول.

[۲] زهتابیان، غ. و محمد عسکری، ح. ،(۱۳۸۶)، طرح تحقیقاتی بررسی وتحلیل مکانی خصوصیات کیفی آبهای زیرزمینی در حوزه آبخیز گرمسار ، دانشگاه تهران.

[۳] طایفه نسکیلی، ن.، (۱۳۸۹)، بررسی کیفی منابع آب زیرزمینی حاشیه دریاچه ارومیه از نظر مصارف شرب و کشاورزی با استفاده از GIS، چهاردهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران.

[۴] طایفه نسکیلی، ن. و حصاری، ب.، (۱۳۸۹)، بررسی وضع کیفی منابع آب زیرزمینی دشت بابل و آمل استان مازندران با استفاده از GIS، نخستین کنفرانس ملی پژوهش های کاربردی منابع آب ایران.

[۵] مهدوی، م.، (۱۳۸۴)، هیدرولوژی کاربردی، جلد دوم، انتشارات دانشگاه تهران.

[۶] نظری‌زاده، ف. ، ارشادیان، ب. و زند وکیلی، ک.، (۱۳۸۵)، بررسی تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی دشت بالارود در استان خوزستان ، اولین همایش منطقه‌ای بهره برداری بهینه از منابع حوزه‌های کارون و زاینده رود دانشگاه شهرکرد.

[7] Ahmed, S., (2002), Groundwater monitoring network design: Application

of Geostatistics with a few case studies from a granitic aquifer in a semi-arid region, In: Groundwater Hydrology, M.M.sherif V.P.Singh & M.Al – Rashed (Eds.), Balkema,Tokyo, Japan, 2,37- 57.

[8] Barcae, E. & Passarella, G., (2008), spatial evaluation of the risk of groundwater quality degradation: A comparison between disjunctive kriging & Geostatistical simulation, Journal of Environmental Monitoring & Assessment, 133, 261- 273.

[9] Fetouani, S., Sbaa, M., Vanclooster, M., & Bendra, B., (2008), Assessing groundwater quality in the Irrigated plain of Tariff (Nnorth-east Morocco), Journal of Agricultural Wather Management, 95,133- 142.

[10] Gasus, I., Kinniburgh, D.G., Talbot, J.C. & Webster, R., (2003), Geostatistical analysis of arsenic Concentration in groundwater in Bangladesh using disjunctive kriging, Environmental Geology, 44,939-948.

[11] Jager, N., (1990), Hydrogeology & groundwater simulation, Lewis Publishers.

[12] Kresic, N., (1997), Hydrogeology & Groundwater Modeling, Lewis Publishers.

[13] 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.