ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی جهت مصارف کشاورزی بر اساس تحلیل‌های زمین‌آماری (مطالعه موردی: استان بوشهر)

مسعود صفوی[۱*]، حسین اسلامی[۲]

۱) دانشجوکارشناسی ارشد گروه مهندسی آب، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران

۲) استادیارگروه مهندسی علوم آب، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران.

[*]نویسنده مسئول: masoudsafavi79@gmail.com

تاریخ دریافت: ۹۹/۱۰/۰۷ **تاریخ دریافت: ۹۹/۱۱/۱**

چکیده

منابع آب زیرزمینی از مهمترین منابع آب مورد استفاده در کشاورزی محسوب می‌شود. خطر آلودگی کمتر نسبت به آب‌های سطحی، باعث شده حتی در مناطقی که کمبودی از لحاظ آب سطحی وجود ندارد، نیز استفاده از آب‌های زیرزمینی رونق داشته باشد. برآورد دقیق خصوصیات کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی مستلزم صرف زمان و هزینه زیاد می‌باشد. بنابراین روش‌های میان‌یابی به عنوان راه‌حل مناسبی در تخمین پارامترهای کیفی آب زیرزمینی مورد استفاده قرار می‌گیرد. هدف از انجام این پژوهش تعیین مناسب‌ترین روش میان‌یابی به منظور بررسی و تحلیل مکانی متغیرهای EC و SAR آب‌های زیرزمینی استان بوشهر است. بدین منظور از روش‌های عکس فاصله وزن‌دار، کریجینگ و کوکریجینگ استفاده شد. نتایج نشان داد که روش کوکریجینگ به دلیل داشتن RMSE پایین‌تر برای تهیه تغییرات مکانی EC و SAR مناسب‌تر است. مقادیر EC و SAR از شمال و شمال‌غربی به سمت شرق و جنوب‌شرقی کاهش می‌یابد. بیشتر مناطق آب شور و خیلی شور دارند. بخش‌های کوچکی از شرق و جنوب شرق از نظر کیفیت آب‌زیرزمینی شور بوده و برای کشاورزی با تمهیداتی قابل استفاده هستند.

واژه های کلیدی: بوشهر، میان‌یابی، کوکریجینگ، EC، SAR

مقدمه

آب‌های زیرزمینی بخشی از آب قابل استحصال از زیر سطح زمین است که از طریق چاه‌ها، گالری‌ها و قنوات به سطح زمین انتقال داده شده و یا به‌طور طبیعی توسط چشمه‌ها از درون زمین تخیله می‌گردد. آب‌های زیرزمینی منبع عمده تامین آب شیرین در بسیاری از مناطق دنیا به ویژه در اقلیم‌های خشک و نیمه خشک، مانند ایران است. حجم آب‌های شیرین ذخیره شده در زیر سطح زمین به مراتب بیشتر از کل ذخائر سطحی در رودخانه‌ها، مخازن و دریاچه‌های طبیعی و مصنوعی است (صفوی، ۱۳۸۸). تغییر کیفیت آب‌های زیرزمینی و شور شدن منابع آب هم اکنون خطری بزرگ در راه توسعه‌ی کشاورزی بویژه 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(مهدوی، ۱۳۸۴). در استان بوشهر نیز آب زیرزمینی مهمترین منبع تامین آب برای کشاورزی محسوب می‌شود. به علت برداشت بی‌رویه آب برای آبیاری، سطح آب‌های زیرزمینی استان بوشهر در حال افت است. تهیه‌ی نقشه‌های به هنگام تغییرات خصوصیات کیفی و کمی آب‌های زیرزمینی (مثل شوری و املاح) می‌تواند گامی مهم در بهره‌برداری صحیح از منابع آب باشد. افزون بر آن، نقشه‌های تغییرات ویژگی‌های شیمیایی آب‌های زیر زمینی، نقشی ارزنده‌ای را در فرایند تصمیم‌گیری و مدیریت استفاده و بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی ایفا می‌کند. روش‌هایی گوناگون 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 دقت‌هایی گوناگون می‌باشند. از جمله روش‌های میان‌یابی جهت تهیه‌ی نقشه‌های تغییرات کیفیت آب‌های زیرزمینی می‌توان به روش‌های زمین آماری کریجینگ و کوکریجینگ و روش‌های معین مانند روش عکس فاصله نام برد. تقی زاده مهرجردی و همکاران(۲۰۰۸) توزیع مکانی کیفیت آب زیرزمینی دشت اردکان یزد را با استفاده از روش‌های زمین آماری مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق، روش‌های کوکریجینگ،کریجینگ و معکوس فاصله برای درون‌یابی مکانی SAR وEC و TDS مقایسه شدند. نتایج نشان داد روش کریجینگ و کوکریجینگ برای میان‌یابی به روش معکوس فاصله ارجحیت دارد. سالاری جزی و همکاران(۱۳۸۸) روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ را برای محاسبه تراز سطح آب زیرزمینی در سطح دشت میان‌آب بکار گرفتند. نتایج نشان داد که در طی دوره یک‌ساله تحت بررسی عمق آب زیرزمینی دارای نوسان می‌باشد. در این تحقیق هر دو روش کریجینگ و کوکریجینگ تراز سطح آب زیرزمینی را در حالت نقطه‌ای بیشتر از مقدار واقعی برآورد کردند، اما در حالت درون‌یابی نشان داده شده است که مقدار تراز سطح آب زیرزمینی از مقدار مورد انتظار کمتر می‌باشد. معیار RMSE نشان داد که روش کوکریجینگ نسبت به روش کریجینگ در محاسبه تراز سطح آب زیرزمینی از دقت بالاتری برخوردار بوده که البته این تفاوت شاخص نمی‌باشد. Dagostino و همکاران(۱۹۹۸) به بررسی زمانی و مکانی غلظت نیترات در آب‌های زیرزمینی پرداختند. در این مطالعه از سه مجموعه داده در سه زمان متفاوت استفاده گردید؛ و از روش‌های کوکریجینگ و کریجینگ معمولی استفاده شد. نتایج نشان داد که افزایش عدم قطعیت باعث افزایش میزان واریانس می‌گردد و همچنین کاربرد روش کوکریجینگ باعث

کاهش عدم قطعیت در تخمین غلظت نیترات شده وکاهش هزینه نمونه‌برداری صحرایی و کارهای آزمایشگاهی را در پی دارد. Barcae و Passarella (۲۰۰۸) جهت تهیه‌ی نقشه‌ی خطر نیترات در دشت مادنا در ایتالیا از روش کریجینگ گسسته و روش‌های شبیه‌سازی استفاده نمودند. نتایج نشان دادند که روش کریجینگ گسسته برای مطالعه خطر تخریب کیفیت آب‌های زیرزمینی مناسب است. حاجی هاشمی‌جزی و همکاران (۱۳۸۹) در مطالعه‌ای به بررسی برآورد مکانی مولفه‌های کیفی آب‌های زیرزمینی دشت گلپایگان با استفاده از روش‌های آماری کریجینگ و کوکریجینگ پرداختند. ایشان پارامترهای مختلفی از جمله EC و SAR را مورد بررسی قرار دادند و نتایج نشان داد که روش کوکریجینگ از دقت بالاتری برای میان‌یابی این پارامترها برخوردار است. سلاجقه و همکاران(۱۳۹۱) کیفیت آب زیرزمینی شهر کرج را با استفاده از روش‌های مختلف میان‌یابی بررسی نمودند و به این نتیجه رسیدند که روش کریجینگ از دقت بالاتری برخوردار هستند. هدف از این پژوهش تعیین مناسب‌ترین روش میان‌یابی به منظور مطالعه‌ی تغییرات مکانی EC و SAR آب‌های زیرزمینی استان بوشهر و امکان استفاده از آب‌های زیرزمینی در کشاورزی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان بوشهر در جنوب غربی ایران و در فاصله ۲۷ درجه و ۱۸ دقیقه تا ۳۰ درجه و ۱۴ دقیقه عرض جغرافیایی و ۵۰ درجه و ۸ دقیقه تا ۵۲ درجه و ۵۷ دقیقه طول جغرافیایی واقع گردیده است. این استان با ۲۳۱۶۷/۵۶۷ کیلومترمربع وسعت حدود ۱/۴ درصد از مساحت کل ایران را به خود اختصاص داده است. از نظر پستی و بلندی، به دو قسمت جلگه‌ای و کوهستانی تقسیم می‌شود. متوسط بارندگی سالیانه در استان بوشهر ۲۲۵ میلی‌متر است که این بارندگی‌ها در فصول پاییز و زمستان روی می‌دهد. استان بوشهر به دلیل نزدیکی به خط استوا و کمی ارتفاع به طور کلی دارای آب و هوای گرم است. میانگین دمای سالانه استان بوشهر حدود ۲۵ درجه سانتی‌گراد است. آب و هوای استان بوشهر بطور کلی گرم (بیابانی ساحلی) است که در نواحی ساحلی گرم و مرطوب و در قسمت‌های داخلی گرم و خشک است. مناطق وسیعی از استان بوشهر تحت سلطه اقلیم خشک گرم واقع شده است. در این پژوهش ابتدا منطقه مورد مطالعه مورد بررسی قرار گرفت و نقشه‌های مورد نیاز تهیه شد. پس از تهیه و تولید نقشه‌های مناسب منطقه با مراجعه به سازمان آب و برق استان بوشهر داده‌ها و آمارهای نمونه‌های اندازه‌گیری شده از منابع آب زیرزمینی منطقه از جمله خصوصیات کمی و کیفی تهیه شدند. نمونه‌ها با پراکنش مناسب انتخاب گردید. با توجه به نمونه‌برداری چاه‌های موجود، ۴۱۸ نمونه که پراکنش مناسبی در استان بوشهر داشتند انتخاب گردید.

شکل۱: منطقه مورد مطالعه و موقعیت نمونه‌های انتخاب شده در استان بوشهر

شاخص‌های کیفی آب

EC با کاربرد هدایت سنج الکتریکی اندازه‌گیری می‌شود. واحد اندازه‌گیری EC زیمنس بر سانتی‌متر یا موس بر سانتی‌متر می‌باشد. میزان SAR با استفاده از فرمول (۱) محاسبه شد؛ که در آن غلظت‌ها برحسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر بیان شده است (Srinivasamoorthy et al., 2014):

$$SAR = \frac{Na^{+}}{\sqrt{\frac{Ca^{++}+Mg^{++}}{2}}}$$ **رابطه ۱**

که در این رابطه تمامی واحدها برحسب میلی‌اکی‌والان در لیتر می‌باشد. ارزیابی و تحلیل و طبقه‌بندی متغیرهای کیفی آب زیرزمینی و مناسب بودن پارامترها برای کشاورزی با توجه به طبقه‌بندی دیاگرام ویلکوکس (جدول ۱) انجام گرفت. که درآن آب‌ها را به ۱۲ رده مختلف تقسیم نموده است؛ که C_1S_1 مناسب‌ترین و C_4S_4 نامناسب‌ترین آب، برای استفاده در کشاورزی می‌باشد.

جدول ۱ : معیارهای طبقه بندی آب از لحاظ کشاورزی به همراه دیاگرام ویلکوکس

کیفیت آب	هدایت الکتریکی (**EC**)	رده	نسبت جذب سدیم (**SAR**)	رده
عالی	EC<250	C1	SAR<10	S1
خوب	250<EC<750	C2	10<SAR<18	S2
متوسط	750<EC<2250	C3	18<SAR<26	S3
نامناسب	2250<EC	C4	SAR>26	S4

پس از نرمال‌سازی داده‌ها، جهت پهنه‌بندی EC و SAR از روش IDW و دو روش زمین آماری کریجینگ و کوکریجینگ استفاده گردید. به منظور ارزیابی روش‌های درون‌یابی از آزمون ارزیابی متقابل استفاده شد. در نهایت بر اساس بهترین روش میان‌یابی و به کارگیری سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) اقدام به نقشه مورد نظر گردید.

روش‌های میان‌یابی

روش کریجینگ

کریجینگ عبارت از یک روش برآورد زمین آماری است که بر پایه میانگین متحرک وزن‌دار استوار است. به طوری که می‌توان گفت این روش بهترین برآوردکننده خطی نااریب می‌باشد. این برآورد کننده به صورت فرمول (۲) تعریف می‌شود:

$$Z^*(x_i) = \sum \lambda_i . Z(x_i)$$ رابطه ۲

که در آن: $Z^*(x_i)$: مقدار تخمینی متغیر، $Z(x_i)$: مقدار مشاهده شده متغیر، λ_i وزن یا اهمیت نمونه i ام می‌باشد. این نوع کریجینگ را کریجینگ خطی می‌نامند زیرا ترکیب خطی از n داده است که شرط استفاده از این برآورد کننده این است که، متغیر Z دارای توزیع نرمال باشد. در غیر این صورت یا باید از کریجینگ غیرخطی استفاده کرد و یا اینکه به نحوی توزیع متغیرها را به نرمال تبدیل نمود. (محمدی،۱۳۸۵ و مهدیان،۱۳۸۵)

مهمترین قسمت کریجینگ تعیین وزن‌های آماری λ_i می باشد که جهت نااریب بودن برآوردها، این اوزان بایستی به نحوی تعیین گردند که مجموع آنها برابر ۱ باشد. (مهدیان، ۱۳۸۵)

$$\sum \lambda i = 1$$ رابطه ۳

روش کوکریجینگ

همانطور که در آمار کلاسیک نیز روش‌های چند متغیره وجود دارد، در زمینه آمار نیز می‌توان از روش کوکریجینگ و بر اساس همبستگی بین متغیرهای مختلف، برای برآورد استفاده کرد. معادله کوکریجینگ به شرح زیر می‌باشد (مدنی،۱۳۷۷).

$$Z^*(x_i) = \sum \lambda_i . Z(x_i) . \sum \lambda_k . y(x_k)$$ رابطه ۴

که در آن $Z^*(x_i)$: مقدار تخمین زده شده برای نقطه xi، λ_i: وزن مربوط به متغیر z، λ_k: وزن مربوط به متغیر کمکی، $Z(x_i)$: مقدار مشاهده شده متغیر اصلی، $y(x_k)$: مقدار مشاهده شده متغیر کمکی می‌باشد.

روش عکس فاصله وزن‌دار

در این روش موقعیت هر نقطه به صورت جداگانه لحاظ شده و موقعیت نسبی نقاط در نظر گرفته نمی‌شود و به نقاط با فاصله یکسان از نقطه مورد تخمین وزن یکسانی داده می‌شود و به نقاط نزدیک‌تر وزن بیشتری اختصاص داده می‌شود. در این

روش وزن تابعی از عکس فاصله و نقاط نزدیک‌تر تاثیر بیشتری در برآورد نقطه مجهول دارند. فرمول کلی روش عکس فاصله وزن‌دار به صورت فرمول (۵) تعریف می‌گردد:

$$Z^*(x_i) = \sum \lambda_i \, . \, Z(x_i)$$ رابطه ۵

که درآن: $Z^*(x_i)$: مقدار تخمینی متغیر، $Z(x_i)$: مقدار مشاهده شده متغیر، λ_i وزن یا اهمیت نمونه i ام در این روش λ_i بر اساس انتخاب یک شعاع تاثیر برای تمامی نقاطی که در داخل این شعاع تاثیر قرار می‌گیرند، عبارت است از:

$$\begin{cases} \lambda_i = d_i^{-u} / \sum d_i^{-u} & d_i < R \\ \lambda_i = 0 & d_i \geq R \end{cases}$$

که در آن d_i: فاصله داده مشاهده شده i ام تا نقطه مورد تخمین، u: توان و R : شعاع تاثیر می‌باشد.

انتخاب روش مناسب میان‌یابی

برای انتخاب روش مناسب میان‌یابی برای تبدیل اطلاعات نقطه‌ای به ناحیه‌ای از تکنیک ارزیابی متقابل استفاده می‌شود. در این روش در هر مرحله یک نقطه مشاهده‌ای حذف شده و با استفاده از بقیه نقاط مشاهده‌ای، آن نقطه برآورد می‌شود. این کار برای کلیه نقاط مشاهده‌ای تکرار می‌شود به طوری که در آخر به تعداد نقاط مشاهده‌ای، برآورد وجود خواهد داشت. برای ارزیابی میزان دقت و خطا میان مقادیر واقعی و تخمینی معیارهای میانگین خطای اریب یا انحراف (MBE)، ریشه دوم میانگین مربع خطا (RMSE) استفاده می‌شود(گورتس، ۱۹۹۹).

روش محاسبه این معیارها به شرح زیر می‌باشد:

$$\mathrm{MBE} = \frac{1}{n} \sum_{i-1}^{n} \left(Z^*(x_i) - Z(x_i) \right)$$ رابطه ۶

$$\mathrm{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i-1}^{n} [Z^*(x_i) - Z(x_i)]^2}{n}}$$ رابطه ۷

که در آن: $Z^*(x_i)$ مقادیر برآورده شده متغیر x در نقطه i، $Z(x_i)$ مقادیر مشاهده شده متغیر x در نقطه i و n تعداد متغیر مشاهده شده می‌باشد.

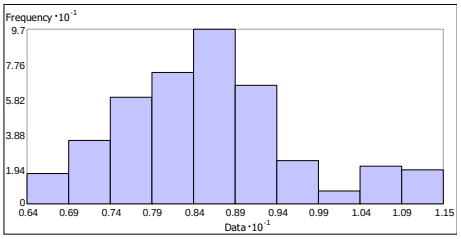
هر قدر این معیارها به صفر نزدیک‌تر باشند نشان‌دهنده اختلاف کمتر مقادیر برآورد شده نسبت به مقادیر مشاهده‌ای است. در این تحقیق مقایسه بر اساس معیار ریشه دوم میانگین مربع خطا صورت گرفت.

نتایج

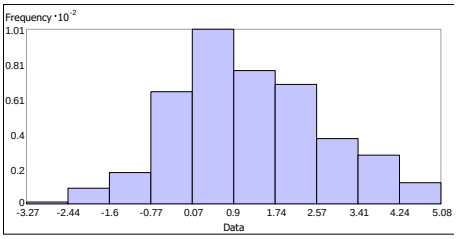
متغیرهای کیفی آب زیرزمینی منطقه، اطلاعات کافی در مورد چگونگی توزیع و تغییرات مکانی متغیرها ارائه نمی‌کند. از این رو، برای رسیدن به این امر ابتدا پارامترهای کیفی آب زیرزمینی منطقه مطالعاتی تعیین گردید که بر این اساس میانگین SAR، ۱۰/۷۲ به دست آمد که با توجه به معیار کیفیت آب در رده S_2 و کیفیت خوب قرار گرفت و EC با میانگین ۱۰۷۱۷، در رده C_4 و دارای کیفیت نامناسب بود. خطر شوری و خطر سدیم در آب زیرزمینی منطقه با استفاده از نمودار ویلکاکس در رده C_4S_2 قرار گرفت. سپس به بررسی زمین آماری متغیرها پرداخته شد. خلاصه آمار توصیفی خصوصیات اندازه‌گیری شده در جدول (۲) نشان داده شده است. با توجه به چولگی زیاد دو پارامتر، از تبدیل لگاریتمی برای نرمال نمودن داده‌ها استفاده شد. اشکال ۲ و۳ نشان‌دهنده هیستوگرام فراوانی متغیرهای مورد بررسی بعد از تبدیل لگاریتمی هستند و نرمال شده‌اند.

جدول ۲ : آمار توصیفی متغیرهای مورد بررسی

آماره	حداقل	حداکثر	متوسط	دامنه	کشیدگی	چولگی	انحراف معیار	ضریب تغییرات	میانه
EC(µmhos/cm)	۵۸۹	۹۴۴۶۸	۱۰۷۱۷	۹۳۸۷۹	۱۱/۶۱	۲/۹۷	۱۶۷۳۶	۱/۵۶	۵۲۹۹
$SAR(mmol/l)^{0.5}$	۰/۰۳۸	۱۶۰/۷۵	۱۰/۷۲۳	۱۶۰/۷۰۹	۱۹/۳۶۳	۳/۷۱۳	۲۱۸۷۹	۱/۹۷۵	۲/۹۴۱



شکل ۲: هیستوگرام فراوانی EC



شکل ۳: هیستوگرام فراوانی SAR

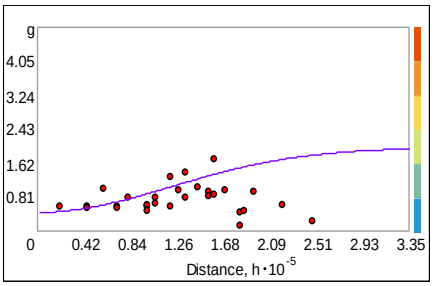
در این تحقیق از دو روش زمین آماری کریجینگ و کوکریجینگ جهت میان‌یابی استفاده شد. به منظور استفاده از این روش‌ها ابتدا عملیات واریوگرافی انجام می‌گیرد و مدل مناسب تئوری به واریوگرام‌های تجربی برازش می‌یابد و سپس با توجه به مدل مناسب برازش یافته میان‌یابی انجام می‌گیرد. مدل‌های مورد بررسی شامل دایره‌ای، کروی، نمائی و گوسی است. در روش کوکریجینگ که از متغیر کمکی برای میان‌یابی استفاده می‌شود برای انتخاب متغیر کمکی از متغیرهایی که همبستگی بیشتری با متغیر مورد بررسی دارند، استفاده می‌شود. مدل برازش داده شده بر تغییر نماهای تجربی در روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ از نوع نمایی است (جدول۳). واریوگرام برازش داده شده در شکل ۴ و ۵ برای متغیرهای مورد بررسی ارائه شده است. نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه یا $(\frac{C_0}{C_0+C})$ شاخصی از قدرت ساختار مکانی در متغیرها می‌باشد. چنانچه این نسبت

کمتر از ۰/۲۵ گردد نشان‌دهنده همبستگی مکانی قوی می‌باشد. اگر این نسبت بین ۰/۷۵ – ۰/۲۵ قرار بگیرد بیان‌گر وابستگی مکانی متوسط و چنانچه این نسب بزرگ‌تر از ۰/۷۵ گردد نشان‌دهنده وابستگی مکانی ضعیف خواهد بود (cambardella,1994).

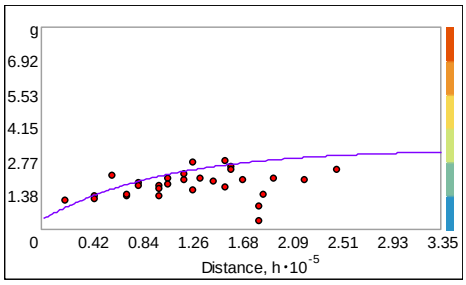
نتایج ارزیابی میان‌یابی متغیرهای کیفی آب زیرزمینی استان بوشهر با استفاده از دو روش زمین آماری کریجینگ و کوکریجینگ، توان‌های مختلف روش معکوس فاصله وزن‌دار در (جدول ۴) ارائه شده است.

جدول۳: نتایج تجزیه و تحلیل زمین آماری مولفه‌های اندازه‌گیری شده کیفیت آب استان بوشهر

ویژگی	مدل	دامنه تاثیر (متر)	آستانه تاثیر (C0+C)	اثر قطعه ای (C0)	C0/C0+C	وابستگی مکانی
EC	نمایی	۳۰۷۹۴۹	۱/۶۳۸۷	۰/۱۳۵۹	۰/۰۹۷	قوی
SAR	نمایی	۳۰۷۹۴۳	۲/۸۹۳۹	۰/۴۲۲۳	۰/۱۴۵۹	قوی



شکل ۴: واریوگرام EC



شکل ۵: واریو گرام SAR

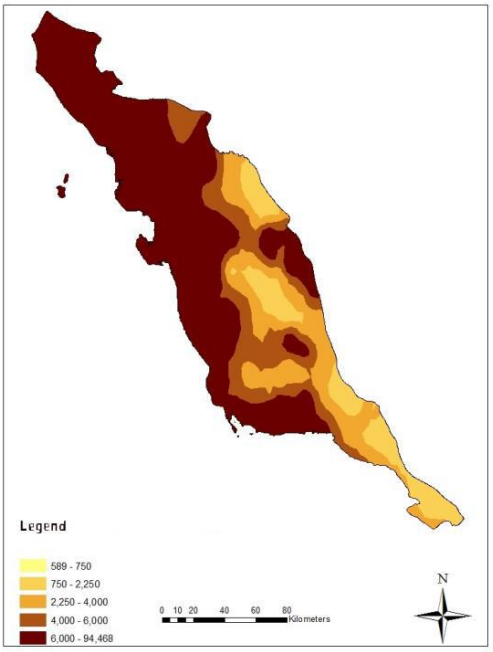
در مقایسه روش‌های میان‌یابی کریجینگ، کوکریجینگ و معکوس فاصله وزن‌دار برای متغیرهای مختلف کیفی آب‌های زیرزمینی استان بوشهر بر اساس RMSE، روش کوکریجینگ بیشترین دقت و کمترین خطا را داراست و به عنوان بهترین روش میان‌یابی انتخاب گردید و نقشه‌های میان‌یابی متغیرهای مورد بررسی بر اساس روش کوکریجینگ و متغیرهای کمکی انتخاب شد. با توجه بررسی همبستگی بین متغیرهای مختلف، از متغیر TDS با ضریب همبستگی ۰/۹۹۶ برای EC و از متغیر Na با ضریب همبستگی ۰/۹۷۶ برای SAR استفاده شد.

جدول ۴: نتایج ارزیابی روش‌های مختلف میان‌یابی برای تهیه نقشه پارامترهای کیفی آب‌های زیرزمینی استان بوشهر

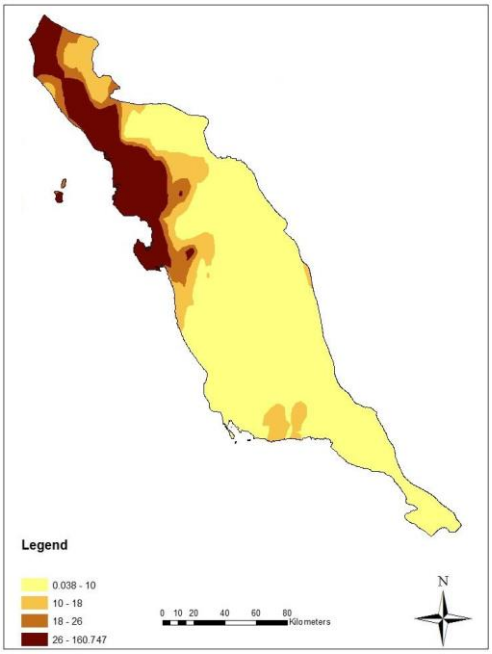
روش درون‌یابی	کریجینگ	کوکریجینگ	IDW			
			توان۱	توان۲	توان۳	توان۴
معیار ارزیابی	RMSE	RMSE	RMSE	RMSE	RMSE	RMSE
EC	۱۳۳۰۰	۱۲۴۷۰	۱۳۰۰۰	۱۳۰۵۰	۱۳۴۸۰	۱۴۰۱۰
SAR	۱۶/۳۴	۱۵/۳۱	۱۵/۸۸	۱۵/۵۱	۱۵/۶۴	۱۶

نقشه‌های پراکنش مکانی EC و SAR آب‌های زیرزمینی استان بوشهر

نقشه پراکنش مقادیر EC آب‌های زیرزمینی استان بوشهر به روش میان‌یابی کوکریجینگ و متغیر کمکی TDS در شکل (۶) نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود مقدار EC از شمال و شمال غربی به سمت شرق و جنوب شرقی کاهش می‌یابد. نقشه پراکنش مقادیر SAR آب‌های زیرزمینی استان بوشهر به روش میان‌یابی کوکریجینگ و متغیر کمکی سدیم در شکل (۷) نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود مقدار EC از شمال و شمال غربی به سمت جنوب و جنوب شرقی کاهش می‌یابد و از الگوی پراکنش مقادیر شوری تبعیت می‌کند.



شکل ۶: نقشه پهنه بندی EC(mmhos/cm)



شکل ۷: نقشه پهنه بندی $SAR(mmol/l)^{0.5}$

بحث و نتیجه‌گیری

با بررسی روش‌های میان‌یابی عکس فاصله وزنی و روش‌های زمین آماری مشخص گردید که روش‌های زمین آماری از دقت بیشتری در میان‌یابی متغیرهای مکانی EC و SAR آب‌های زیرزمینی برخوردارند. همچنین از بین روش‌های زمین آماری روش کوکریجینگ دارای دقت بیشتر و خطای کمتری نسبت به روش کریجینگ برخوردارست و به عنوان بهترین روش میان‌یابی شناخته شده و نقشه تغییرات مکانی متغیرهای مورد بررسی با استفاده از آن تهیه گردید. سالاری جزی و همکاران(۱۳۸۸)، هاشمی جزی و همکاران(۱۳۸۹)، سلاجقه و همکاران(۱۳۹۱) و Dagostino و همکاران(۱۹۹۸) نیز با بررسی روش‌های مختلف میان‌یابی، روش کوکریجینگ را برای میان‌یابی خصوصیات کیفی آب‌های زیرزمینی مناسب تشخیص دادند. Barcae و Passarella(۲۰۰۸)، در بررسی‌های خود روش کریجینگ را مناسب‌تر دانسته‌اند. نقشه تهیه شده نشان می‌دهد که بیشتر منطقه

مورد مطالعه دارای آب شور و خیلی شور بوده و بخش‌های کوچکی از شرق و جنوب شرق از نظر کیفیت آب زیرزمینی شور بوده و برای کشاورزی با تمهیداتی قابل استفاده هستند و بیشتر منطقه مورد بررسی در بخش‌های شمال، شمال غرب و غرب منطقه مورد مطالعه که در کلاس‌های C_4S_1 تا C_4S_4 قرار دارند شامل آب‌های خیلی شور می‌شوند که برای کشاورزی مضر هستند.

منابع

حاجی هاشمی، م. ر.، آتشگاهی، م. و حمیدیان، ا. (۱۳۸۹). برآورد مکانی مولفه‌های کیفی آب‌های زیرزمینی با استفاده از روش‌های زمین آمار (مطالعه موردی: دشت گلپایگان). نشریه محیط زیست طبیعی، مجله منابع طبیعی ایران، دوره۶۳، شماره۴، ص۳۵۷-۳۴۷.

سالاری جزی، م.، زارعی، ح. و تقیان، م. (۱۳۸۸). کاربرد و ارزیابی روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ در محاسبه تراز سطح آب زیرزمینی در سطح دشت میان‌آب (سال آبی ۱۳۸۶-۱۳۸۵). دومین همایش ملی اثرات خشک‌سالی و راه‌کارهای مدیریت آن، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی، ۲۵ اردیبهشت‌ماه ۱۳۸۸، اصفهان، ایران.

سلاجقه، س.، آذره، ع. و خراسانی، ن. (۱۳۹۱). بررسی تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی شهر کرج با استفاده از روش‌های زمین آمار، اولین همایش ملی بیابان. دانشگاه تهران، ۲۷ خرداد ۱۳۹۱، تهران، ایران.

صفوی، ح. (۱۳۸۸). هیدرولوژی مهندسی. انتشارات ارکان دانش. ۶۰۴ صفحه.

محمدی، ج. (۱۳۸۵). پدومتری، جلد دوم آمار مکانی، نشر پلک، ۴۵۳ صفحه.

مدنی، ح. (۱۳۷۷). مبانی زمین آمار. انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، واحد تفرش. ۶۵۹ صفحه.

مهدوی، م. (۱۳۸۴). هیدرولوژی کاربردی. جلد دوم. انتشارات دانشگاه تهران. ۴۴۱صفحه.

مهدیان، م. (۱۳۸۵). کاربرد زمین آمار در خاکشناسی، کارگاه آموزشی کاربرد زمین آمار در خاکشناسی، اولین همایش خاک، توسعه پایدار و محیط زیست، دانشگاه تهران، ۱۷-۱۸ آبان ماه ۱۳۸۵، تهران، ایران.

Barcae, E. and Passarella, G. (2008). Spatial evaluation of the risk of groundwater quality degradation: A comparison between disjunctive kriging and geostatistical simulation. Journal of Environmental Monitoring and Assessment, 133, pp: 261-273.

Cambardella, C. A., Moorman, T. B., Novak, J. M., Parkin, T. B., Karlen, D. L., Turco, R. F. and Koropaka, A. E. (1994). Field-scale variability of soil properties in centeral Iowa soils. Soil Sci. Soc. Am. J, 58, pp:1501-1511.

Dagostino, V., Greene, E. A., Passarella, G. and Vurro, M. (1998). Spatial and temporal study of co regionalization. Environmental geology, 36, pp: 285-295.

Goovaerts, P. (2000). Geostatistical approach for incorporating elevation into spatial interpolation of rainfall. Journal of Hydrology, 228(1-2), pp:113-129.

Srinivasamoorthy, K., Gopinath, M., Chidambaram, S., Vasanthavigar, M. and Sarma, V.S. (2014). Hydrochemical characterization and quality appraisal of groundwater from Pungar sub basin, Tamilnadu, India. Journal of King Saud University-science, 26, pp:37-52.

Taghizade-Mehrjardi, R. M., ZareianMahmodi, S. h. and Heidari, A. (2008). Spatial distribution of groundwater quality with geo statistics (case study: Yazd-Ardakan plain). World Applied Science Journal, 4(1), pp: 9-17.

Groundwater Quality Assessment Based on geostatistical analyses for agricultural use(Case study: Boushehr Province)

Masoud Safavi[1*] and Hossein Eslami[2]

1) Msc student of Department of Water Engineering, Shoushtar Branch, Islamic Azad University, Shoushtar, Iran

2) Department of Water Engineering, Shoushtar Branch, Islamic Azad University, Shoushtar, Iran

***Correspondence author:** Masoudsafavi79@gmail.com

Accepted Data: 2020. 12. 28 **Received Data: 2021. 01. 21**

Abstract

Ground water is the main sources for agricultural uses. Because of Less risk of pollution, groundwater use has increased rather than surface water even in areas where there is no shortage of surface water seen. Accurate estimation of quantitative and qualitative characteristics of groundwater takes time and costs. Thus, interpolation methods as a proper option in estimating water quality parameters will be used. The aim of this study was to determine the most appropriate interpolation method to analyze spatial variations in groundwater (EC and SAR) of the Boushehr province. For this purpose, the method of inverse distance weighted, kriging and co-kriging was used. The results showed that co-kriging method due to having lower RMSE is more suitable for the preparation of spatial variation map of EC and SAR. EC and SAR values from the north and northwest to the East and Southeast decreases. In most areas, the quality of ground water is salty and very salty. Small parts of East and South East have saline ground water quality and can be used for agriculture With some consideration.

Key words: Bushehr, Interpolation, co-kriging, EC, SAR