

بررسی تغییرات مکانی برخی شاخص‌های کیفی آبهای زیرزمینی استان گیلان با استفاده از زمین‌آمار

مجتبی رضایی^۱ - ناصر دواتگر^{۲*} - خسرو تاجداری^۳ - بهروز ابولپور^۴

تاریخ دریافت: ۸۸/۱۱/۵

تاریخ پذیرش: ۸۹/۲/۱۹

چکیده

کم‌آبی سالهای اخیر باعث گرایش برنجکاران گیلانی به استفاده از منابع آب زیرزمینی برای تولید برنج و نگرانی‌هایی در مورد کیفیت این منابع شده است. این پژوهش با هدف بررسی تغییرات مکانی چند شاخص مهم کیفیت آبهای زیرزمینی در سطح استان گیلان با استفاده از زمین‌آمار و با داده‌های شاخص کیفیت آب شامل EC، Na و SAR نمونه‌برداری شده از ۱۳۵ حلقه چاه مربوط به شهریور سال ۱۳۸۶ در سطح این استان انجام گرفته است. ابتدا دقت روش‌های کریجینگ معمولی (OK) و معکوس فاصله (IDW) با سه توان مختلف (۱، ۲ و ۳) بررسی و در نهایت نقشه‌های پهنه‌بندی این خصوصیات در سطح استان رسم شد. نتایج نشان داد این خواص از ساختار مکانی خوبی برخوردار هستند. مدل کروی بهترین مدل برای برازش واریوگرام می‌باشد. روش‌های مورد بررسی از نظر دقت تفاوت زیادی ندارد ولی در مجموع روش‌های کریجینگ و معکوس فاصله با توان یک دقت بیشتری در درون‌یابی این خواص داشته‌اند. پهنه‌بندی خواص کیفی نشان داد میزان هدایت الکتریکی آبهای زیرزمینی در اکثر مناطق استان پایین است. ولی در مناطق پایین دست حوضه سفیدرود مخصوصاً در منطقه تالاقی سفیدرود با دریای خزر این شاخص از ۱ دسی‌زیمنس بر متر بیشتر می‌باشد. به همین ترتیب در این منطقه میزان Na و SAR نیز در مقایسه با دیگر مناطق بالاتر می‌باشد ولی از نظر کشاورزی برای کشت برنج مشکلی بوجود نخواهد آورد. نتایج این پژوهش نشان داد از نظر شاخص SAR، کیفیت آبهای زیرزمینی استان در مجموع مناسب است ولی از نظر هدایت الکتریکی کیفیت آبهای زیرزمینی استان خصوصاً در مناطق مرکزی و مرکزی شرق همچوار با دریا پایین بوده و می‌تواند پایداری تولید برنج در این مناطق را که از مناطق عمده برنجکاری استان می‌باشد به خطراندازد.

واژه‌های کلیدی: آب زیرزمینی، کیفیت، تغییرات مکانی

مقدمه

شده است، تعداد و میزان برداشت آب از این چاه‌ها طی ده سال منتهی به سال ۱۳۸۶ به ترتیب رشدی معادل ۷۰ و ۳۰ درصد داشته است (۱). اگرچه به نظر می‌رسد تأثیرپذیری آبهای زیرزمینی از محیط اطراف کمتر از منابع آبهای سطحی باشد. اما، پژوهش‌ها نشان داد که همگام با منابع سطحی، کمیت و کیفیت آبهای زیرزمینی نیز از عوامل محیطی تأثیر می‌پذیرد (۷ و ۲۲) و حتی در پاره‌ای از موارد این تأثیرات شدیدتر و ماندگارتر است (۱۹). این در حالی است که برنج شدیداً تحت تأثیر کیفیت آب مورد استفاده می‌باشد. مطالعات مختلف هدایت الکتریکی آستانه کاهش عملکرد را ۲-۱/۱ دسی‌زیمنس بر متر و میزان SAR مناسب را کمتر از ۱۵ گزارش کردند (۵، ۸، ۱۵، ۱۶، ۲۷، ۲۱، ۴۱). مسایل فوق می‌تواند بر روند تولید برنج، به ویژه در سال‌های کم‌آب تأثیرگذار باشد. مسله مهم دیگری که به موازات این مسایل قابل تعمق می‌باشد این است که کیفیت آب زیرزمینی در

استان گیلان از دیرباز به عنوان یکی از مناطق مهم تولید برنج در ایران شناخته شده است. اگرچه رودخانه و شبکه آبیاری سفیدرود به همراه رودخانه‌های محلی وظیفه تامین آب مورد نیاز شالیزارهای این استان را به عهده دارند. اما خشکسالی و کم‌آبی سالهای اخیر باعث گرایش برنجکاران گیلانی به استفاده حداکثری از منابع آب زیرزمینی به عنوان یک منبع مطمئن برای تولید برنج شده است. آمارها نشان می‌دهد بدون در نظر گرفتن چاه‌هایی که در دوره‌های خشکسالی حفر

۱ و ۲- به ترتیب مربی پژوهش و استادیار موسسه تحقیقات برنج کشور- رشت

(*) نویسنده مسئول: (Email: Mrezaei@yahoo.com)

۳- کارشناس ارشد سازمان آب منطقه‌ای استان گیلان

۴- استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی فارس

نخواهد بود. در برخی از مواقع به دلایلی از جمله همساز نبودن ساختار مکانی داد ها با ساختار عمومی، دقت کم داده ها و عدم تجانس مکانی داده ها نتایج بدست آمده از این روش از دقت کافی برخوردار نیستند (۳۳).

در روش وزن دادن عکس فاصله فرض بر این است که هر مشاهده یک اثر نقطه ای دارد که با فاصله گرفتن از آن محو می شود (۳۱ و ۳۸). اگر چه این روش به دلیل سرعت بالای تجزیه و قابل قبول بودن دقت در تجزیه و تحلیل مسایل آبهای زیرزمینی از کربجینگ معمولی کاربردی تر است (۳۹) اما توانایی ارائه واریانس خطا و دیگر مزایای آماری کربجینگ را ندارد (۲۴). یکی دیگر از مشکلات عمده این روش این است که پارامتر توان را در کل سطح پهنه بندی شده بدون توجه به پراکنش و توزیع نقاط مشاهداتی ثابت در نظر می گیرد (۲۵).

در سالهای اخیر مطالعات فراوانی در سطح جهان (۱۷، ۲۰، ۲۹، ۳۰، ۳۷) و ایران (۳، ۶، ۱۲، ۹، ۱۴، ۳۶) برای بررسی تغییرات مکانی خواص کمی و کیفی آبهای زیرزمینی انجام شده است. اما تاکنون هیچ مطالعه ای برای بررسی تغییرات مکانی کیفیت آبهای زیرزمینی استان گیلان انجام نشده است. این پژوهش با هدف تعیین بهترین روش درون یابی در پهنه بندی و بررسی دقیق تغییرات مکانی شاخص های مهم کیفیت آب شامل: هدایت الکتریکی (EC)، نسبت فعالیت سدیم (SAR) و سدیم محلول (Na) در آبهای زیرزمینی استان گیلان انجام شده است.

مواد و روش ها

منطقه مورد مطالعه

استان گیلان با مساحت ۱۴۷۰۹ کیلومتر مربع در مختصات جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۲۷ دقیقه پهنای شمالی و ۴۸ درجه و ۲۵ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳۴ دقیقه طول شرقی از نصف النهار گرینویچ قرار دارد که از شمال به دریای خزر و از جنوب به رشته کوه البرز محدود شده است. این پژوهش با استفاده از داده های شاخص کیفیت آب نمونه برداری شده از ۱۳۵ حلقه چاه مربوط به سازمان آب منطقه ای استان گیلان در شهریور سال ۱۳۸۶ شامل: سدیم محلول Na (میلی اکی والان در لیتر)، هدایت الکتریکی EC، (دسی زیمنس بر متر) و نسبت فعالیت سدیم SAR، (بدون واحد) در سطح تقریبی ۷۰۰۰ کیلومتر مربع انجام شد. موقعیت جغرافیایی چاه ها در شکل (۱) نشان داده شده است.

آمار کلاسیک

آماره های توصیفی حداقل، حداکثر، میانگین، میانه، چولگی، کشیدگی، انحراف معیار و ضریب تغییرات متغیرها با استفاده از بسته نرم افزار SPSS11 مشخص شدند.

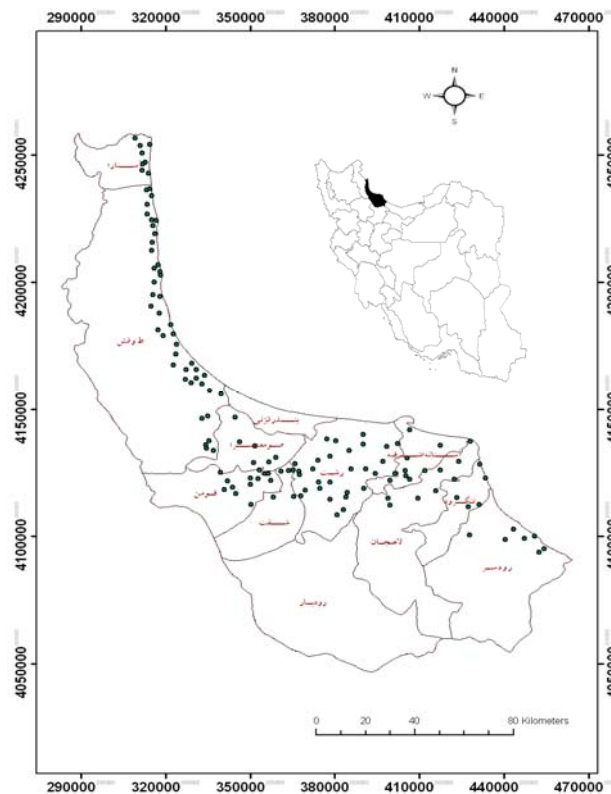
مقیاس مکانی نیز تغییر زیادی کرده و نمی توان آن را در گستره مکان ثابت فرض کرد (۱۳ و ۳۵).

علیرغم اهمیت این موضوع، تاکنون به تغییرات مکانی کیفیت منابع آبهای زیرزمینی کشور توجه لازم نشده است. یکی از مهمترین دلایل این کاستی، فقدان توانایی روش های سنتی مورد استفاده در آمار کلاسیک برای ارائه اطلاعات مورد نیاز در مورد موقعیت مکانی و تغییرات موضعی آن در سطح می باشد (۱۲). اما پیشرفت های اخیر در معرفی و بسط روش های غیر کلاسیک باعث افزایش تمایل برای استفاده از آمار مکانی یا زمین آمار^۱ به منظور بررسی و شناخت بیشتر این تغییرات شده است. مبنای نظری زمین آمار^۲ این است که بر خلاف روش های آماری قطعی^۳، داده ها و مشاهدات تصادفی نبوده بلکه دارای همبستگی مکانی هستند (۱۹).

منظور از داده های مکانی مجموعه داده هایی است که در آن علاوه بر مقادیر کمی متغیرها، موقعیت جغرافیایی و مکانی داده ها نیز برداشت می شود. پدیده ها و فرایندهایی که در فضای چند بعدی اتفاق می افتند در قلمرو آمار مکانی مورد تحلیل قرار می گیرند (۲ و ۱۲) یا بطور خلاصه می توان گفت تحلیل زمین آماری به بررسی پدیده های متغیر در زمان و مکان می پردازد (۲۳). در این روش با داشتن مقادیر یک کمیت در یک نقطه می توان مقدار همان کمیت را در نقطه ای دیگر با مختصات معلوم برآورد نمود به شرط اینکه مختصات آن نقطه در دامنه ای که ساختار مکانی حاکم است قرار گیرد (۲).

از روش های مورد استفاده در آمار مکانی می توان به کربجینگ^۴ و وزن دادن عکس فاصله^۵ اشاره نمود (۲۶). در دهه گذشته کربجینگ به عنوان یک تکنیک قدرتمند درون یابی معرفی شده است که در رشته های مختلف علوم زمین مانند هیدرولوژی، علوم خاک و معدن شناخته شده و بکار رفته است. علیرغم تمام محسنات این روش، نرم کردن تغییرات^۶ در هنگام تخمین سبب می شود که واریانس نمونه های تخمین زده شده نسبت به نقاط واقعی تغییرات کمتری داشته باشد. بدین معنی که مقدار تغییرات در پیش بینی مدل، کمتر از واقعیت می باشند. از دیگر مشکلات کاربردی، نیاز این روش به حداقل ۱۰۰ مشاهده برای اطمینان از حصول برازش یک مدل مناسب نیم تغییرنا است (۱۰، ۴۰). در مجموع موفقیت این روش در درون یابی متغیرها کاملاً وابسته به دقت در انتخاب مدل تجربی نیم تغییرنا دارد. اگر در انتخاب مدل دقت کافی نشود نتیجه درون یابی مناسب

- 1 - Spatial Statistics
- 2 - Geostatistics
- 3 - Deterministic
- 4 - Kriging
- 5 - Inverse Distance Weighting Method - IDW
- 6 - Smoothing



شکل ۱- نقشه استان گیلان بر اساس سیستم مختصات UTM و پراکنش چاه‌های نمونه‌برداری (نقاط نشان دهنده چاه می باشند)

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} \{z_{(x_i)} - z_{(x_{i+h})}\}^2 \quad (1)$$

که در آن N : تعداد جفت مشاهدات، z_{x_i} و $z_{(x_{i+h})}$ مقدار مشاهدات متغیرها در نقطه‌های x_i و $x_{(i+h)}$ ، سپس مدل‌های تئوری نیم‌تغییرنا مانند کرووی، توانی، گوسی و اثر قطعه‌ای برآزش داده شد (۱۱، ۱۲). ارزیابی بهترین مدل برآزش شده بر نیم‌تغییرنا با استفاده از ضریب تبیین (R^2) و مجموع مربعات باقیمانده (RSS) انجام شد. در روش درون‌یابی کریجینگ با استفاده از مولفه‌های تابع همبستگی نیم‌تغییرنا، وزن متغیرها (λ_i) برای پیش‌بینی متغیر Z در نقطه نمونه‌برداری نشده بر پایه داده‌های موجود در موقعیت‌های معلوم نقطه نمونه برداری نشده، تعیین شدند.

$$z_{(x_0)} = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot z_{(x_i)} \quad (2)$$

روش‌های درون‌یابی مکانی

روش‌های رایج برای تخمین متغیرها در نواحی نمونه‌برداری نشده و پهنه‌بندی شامل کریجینگ و وزن‌دادن عکس فاصله می‌باشد. کریجینگ یک روش خطی درون‌یابی بهینه در زمین‌آمار می‌باشد که بهترین تخمین نارایب خطی را برای کمی کردن متغیرهای ناحیه‌ای انجام می‌دهد (۱۰). وزن‌دادن عکس فاصله از روش‌های موجود در محدوده آمار قطعی است که کاربرد زیادی در محاسبات مسائل متنوع در علوم مربوط به منابع آب دارد.

الف) کریجینگ معمولی (OK)

به علت عدم تبعیت داده‌های متغیرهای اندازه‌گیری شده از توزیع فراوانی نرمال تمامی داده‌ها با تبدیل لگاریتمی نرمال شدند و سپس الگوی تغییرات مکانی و درجه پیوستگی مکانی متغیرها با استفاده از نیم‌تغییرنا ارزیابی شدند. در ابتدا نیم‌تغییرنمای تجربی $\gamma(h)$ محاسبه گردید (۱۱):

آماره ME نشان دهنده وجود اریب است. مقادیر مثبت آن تخمین بیش از مقدار واقعی و مقادیر منفی آن تخمین کمتر از مقدار واقعی را نشان می دهد. هر اندازه آماره ME کوچکتر باشد پیش بینی روش درون یاب از اریب کمتری برخوردار است. هر اندازه مقدار ریشه میانگین مربع خطا کوچکتر باشد پیش بینی روش درون یابی از صحت بیشتری برخوردار است. مقدار RMSE در حالت بهینه یا حالتی که مقادیر برآورد شده و اندازه گیری شده مساوی باشند برابر با صفر می باشد.

نتایج و بحث

خلاصه آمار توصیفی خصوصیات اندازه گیری شده در جدول (۱) نشان داده شده است. آماره ها نشان می دهد که برای تمام متغیرهای مورد مطالعه میانگین و میانه از یکدیگر متفاوت، چولگی و کشیدگی زیاد ومعنی دار و در نتیجه توزیع فراوانی غیر نرمال است. ضریب تغییرات متغیرها زیاد و معیاری از پراکندگی زیاد مشاهدات است که می تواند ناشی از عوامل بیرونی اثر گذار بر وضعیت هیدرولوژی، ساختار زمین شناسی و کاربری کاملاً متفاوت اراضی باشد.

بر اساس گروه بندی دابرمن و همکاران (۲۱) برای کشت برنج، آب آبیاری با EC کمتر از ۰/۵ دسی زیمنس بر متر و SAR کمتر از ۱۵ دارای کیفیت مناسب است. آب آبیاری با EC بین ۰/۵ تا ۲ دسی زیمنس بر متر و SAR بین ۶۵-۲۵ در گروه متوسط تا ضعیف قرار می گیرد و در نهایت آب آبیاری با EC بیشتر از ۲ دسی زیمنس بر متر و SAR بزرگ تر از ۲۵ دارای کیفیت نامناسب است. مقادیر اعلام شده در این درجه بندی بسته به نوع رقم، مرحله رشد و حتی نوع خاک تغییر می کند. میانگین هدایت الکتریکی در نمونه های آب چاهها برابر ۰/۸۵۷ دسی زیمنس بر متر است که بر اساس تقسیم بندی دوبرمن دارای کیفیت متوسط می باشد ولی از نظر میزان SAR در وضعیت مناسبی قرار دارد.

نتایج برازش مدل های نیم تغییر نما نشان داد که تمام شاخص های مورد مطالعه از مدل کروی پیروی می کنند (شکل ۲). مدل برازش داده شده بر نیم تغییر نما ی تجربی از بالاترین ضریب تبیین (R^2) و کمترین میزان مجموع مربعات خطا (RSS) برخوردار بود (جدول ۲). تقی زاده مهرجردی و همکاران (۳۶) نشان دادند که مدل کروی می تواند همبستگی مکانی خصوصیات کیفی آب زیرزمینی را به خوبی شبیه سازی نماید. نسبت واریانس قطعه ای به آستانه یا واریانس

کل $(\frac{C_0}{C_0 + C})$ شاخصی از قدرت ساختار مکانی در متغیرها می باشد.

چنانچه این نسبت کمتر از ۰/۲۵ گردد نشان دهنده همبستگی مکانی قوی می باشد. اگر این نسبت بین ۰/۷۵ - ۰/۲۵ قرار گیرد بیانگر وابستگی مکانی متوسط و چنانچه این نسبت بزرگ تر از ۰/۷۵ گردد نشان دهنده وابستگی مکانی ضعیف خواهد بود (۱۸).

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \quad (3)$$

$Z_{(x_0)}$: مقدار تخمین متغیر Z در نقطه نمونه برداری نشده x_0
 $Z_{(x_i)}$: مقدار مشاهداتی متغیر Z در نقطه های نمونه برداری x_i ،
 λ_i : وزن تعلق گرفته به هر مشاهده در نقطه x_i .
 برازش مدل های نیم تغییر نما با استفاده از نرم افزار GS+ v5.1 انجام گردید. پس از برازش مدل، مجدداً داده های لگاریتمی به روش وزنی به داده های واقعی تبدیل شد. سپس پهنه بندی متغیرها با استفاده از روش کریجینگ در نرم افزار ArcGIS9.2 انجام شد.

وزن دادن معکوس فاصله (IDW)

پایه روش وزن دادن معکوس فاصله، وزن دهی براساس عکس فاصله تا نقطه تخمین است. به عبارت دیگر وزن دهی بیشتر به نزدیک ترین نمونه ها و اختصاص وزن کمتر به نمونه هایی است که در فاصله بیشتر قرار گرفته اند. در این روش مقدار متغیر در نقاط نمونه برداری نشده از رابطه زیر مشخص شد (۱۲):

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{Z_i}{d_i^m}}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{d_i^m}} \quad (4)$$

که در آن Z مقدار برآورد متغیر در منطقه نمونه برداری نشده، d_i فاصله نقطه نمونه برداری شده تا نقطه تخمین، N تعداد کل نمونه ها و پارامتر m توان فاصله است که تغییرات آن باعث قابلیت انعطاف روش IDW می شود بگونه ای که با نزدیک شدن این پارامتر به صفر تخمین گر IDW رفتاری شبیه میانگین حسابی و با افزایش بیش از حد آن رفتاری شبیه چند ضلعی تیسن از خود نشان می دهد. در این تحقیق از سه پارامتر توان (۳ و ۲ و ۱) استفاده و نتیجه آن با کریجینگ از روش اعتبار سنجی متقابل و با استفاده از معیارهای ارزیابی زیر مقایسه شدند:

$$ME = \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)) \quad (5)$$

$$RMSE = (\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2 / n)^{0.5} \quad (6)$$

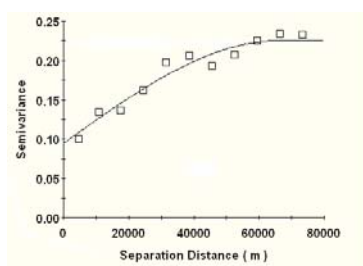
در این روابط: pi = مقدار برآورد شده، O_i = مقدار اندازه گیری شده، n = تعداد نمونه ها (تعداد چاه ها)، \bar{O} = میانگین مقادیر اندازه گیری شده متغیر، ME: میانگین خطا، RMSE = ریشه میانگین مربع خطا است.

جدول ۱- آماره‌های داده‌های کیفی شاخص‌های اندازه‌گیری شده

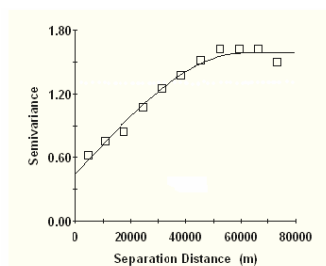
| واحد اندازه گیری | حداکثر | حداقل | متوسط | میانگین | انحراف معیار | چولگی | کشیدگی | ضریب تغییرات |
|----------------------------|--------|-------|-------|---------|--------------|-------|--------|--------------|
| Na میلی اکی والانت در لیتر | ۴۰۳۰ | ۰/۰۲ | ۲/۳ | ۱/۱۵ | ۳/۲۲ | ۴/۱۶ | ۲۵/۶۷ | ۱۴۰ |
| SAR بدون واحد | ۱۲/۳۹ | ۰/۰۲ | ۱/۳ | ۰/۷۴ | ۱/۷۸۲ | ۳/۷۶ | ۱۸/۳۷ | ۱۳۷ |
| EC دسی زیمنس برمتر | ۲/۶۴ | ۰/۲۵ | ۰/۸۵۷ | ۰/۷۹۳ | ۰/۴۸۶ | ۱/۲۳ | ۲/۳۱۳ | ۵۷ |

جدول ۲- نتایج برازش مدل کروی در واریوگرام برای شاخص‌های اندازه‌گیری شده

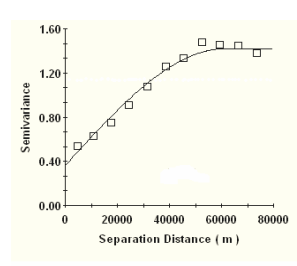
| متغیر | واریانس قطعه‌ای (nugget) | آستانه (Sill) | نسبت واریانس قطعه‌ای به آستانه | شعاع تأثیر (Range) متر | ضریب همبستگی مکانی R ² | RSS |
|-------|--------------------------|---------------|--------------------------------|------------------------|-----------------------------------|--------|
| Na | ۰/۴۴۴ | ۱/۵۸۳ | ۲۸ | ۶۰۷۰۰ | ۰/۹۸ | ۰/۰۲۶ |
| SAR | ۰/۳۵۷ | ۱/۴۲ | ۲۹ | ۶۱۰۰۰ | ۰/۹۸ | ۰/۰۲۵۳ |
| EC | ۰/۰۹۴۷۰ | ۰/۲۲۵۴۰ | ۴۲ | ۶۶۱۰۰ | ۰/۹۱۲ | ۰/۰۰۲ |



الف



ب



ج

شکل ۲- واریوگرام صفت مختلف اندازه‌گیری شده

الف: هدایت الکتریکی EC، ب: محلول Na، ج: نسبت فعالیت سدیم SAR

اعتبارسنجی متقابل^۱

نتایج ارزیابی اعتبار روش‌های وزن دادن عکس فاصله با نماهای مختلف (IDW1، IDW2 و IDW3) و کریجینگ در جدول ۳ نشان داده شده است. بر پایه آماره ME برای متغیر سدیم محلول در هر دو روش IDW و OK مقدار پیش‌بینی کمتر از مقدار واقعی آن بوده است. همچنین روش کریجینگ نسبت به IDW از اریب کمتری برخوردار بود. ریشه میانگین مربعات خطا RMSE در روش‌های OK، IDW-1 و IDW-3 مشابه و از روش IDW-2 بیشتر بودند. در مورد SAR، بر پایه RMSE روش‌های OK، IDW-1 و IDW-2، مشابه و پیش‌بینی‌ها نسبت به IDW-3 صحیح‌تر بودند. برای EC،

براین پایه متغیرهای EC، SAR و Na از وابستگی مکانی متوسط برخوردار بودند. دامنه تأثیر در متغیرهای مورد مطالعه بزرگ است (جدول ۲). دامنه تأثیر بزرگ نشان دهنده ساختار مکانی گسترده است و با گستردگی این دامنه به تعداد نقاط کمتری برای تعیین نقاط نمونه برداری نشده نیاز است. دامنه تأثیر در متغیر EC نسبت به دو متغیر SAR و Na بیشتر است (شکل ۲). هدایت الکتریکی معیار مستقیمی از شوری و در شکل غیر مستقیم، مجموع کاتیون‌ها و آنیون‌های خاک است که امکان دارد از نظر تحرک نسبت به یون‌های سدیم و کلسیم و منیزیم متفاوت و بیشتر باشند و برآیند آنها سبب می‌گردد EC از دامنه تأثیر بیشتری برخوردار باشند.

1 - Cross Validation

کشت برنج قرار دارد. در این منطقه هدایت الکتریکی به نحو بارزی از دیگر مناطق استان بیشتر می باشد. این منطقه که در محدوده انتهایی حوضه آبخیز سفیدرود قرار دارند دارای پراکنشی به شکل مخروط است که قاعده آن در شمال (که محل تلاقی سفیدرود به دریا و یا به عبارت دیگر خروجی حوضه است) قرار دارد و راس آن به سمت سراب سفیدرود می باشد. خاک های بخش شمالی حوضه سفیدرود که منطبق با بیشترین هدایت الکتریکی سفره زیرزمینی هستند از نوع دشت های آبرفتی رودخانه ای و دارای بافت سبکتری نسبت به بقیه نواحی هستند (۴). این امکان وجود دارد که در اثر آبیاری این بخش از اراضی کشاورزی از شبکه آبیاری سفیدرود و شاخه های فرعی آن املاح و یون ها به همراه آب از راه نفوذ عمقی در این خاک های سبک بافت وارد سفره زیرزمینی گردد و سبب افزایش هدایت الکتریکی شود. ملکی گنادیشی و همکاران (۱۳) نشان دادند به علت انتقال املاح و یون ها توسط رودخانه به سمت خروجی میزان املاح و به دنبال آن EC، در قسمت خروجی حوضه ها بیشتر می باشد بنابراین قسمتی از این پدیده را می توان به عملیات کشاورزی و شستشوی مواد شیمیایی استفاده شده در شالیزارهای استان به سمت پایین دست نسبت داد. از سوی دیگر می توان بخشی از این افزایش شوری در این منطقه را ناشی از پیشروی آب دریا به خشکی به دو صورت زیرزمینی و یا پیشروی و ورود آب دریا به بستر رودخانه در مواقع کم آبی دانست (۱۹). این پدیده به ویژه در سال های کم آب که مصرف آب زیرزمینی بیشتر می شود و در همین حال سطح آب رودخانه سفیدرود پایین تر از معمول است تشدید می گردد که در صورت استمرار و افزایش احتمال شوری در آینده اثرات سویی بر کشت برنج در سطح بزرگی از منطقه وارد می آورد.

روش های OK و IDW-1 مشابه در مقایسه با دیگر روش ها از اعتبار بیشتری برخوردار بودند. نتایج بدست آمده از تحقیقات کارایی روش IDW را در پاره ای از درون یابی ها و تجزیه تحلیل مسایل آب های زیرزمینی به اثبات رسانیده است (۳۶). سان و همکاران (۳۵) در ارزیابی روش های درون یابی برای تغییرات مکانی عمق سفره های آب زیرزمینی در شمال چین نشان دادند روش وزن دادن عکس فاصله در مقایسه با روش های کریجینگ ساده و عام، برتر و دقیق تر بود. تقی زاده جهرمی و همکاران (۳۶) در ارزیابی تغییرات مکانی آب های زیرزمینی نشان دادند روش وزن دادن عکس فاصله شباهت زیادی به کریجینگ معمولی دارد. لو و همکاران (۲۵) نشان دادند در شرایطی که تغییرات محلی بسیار زیاد باشد می توان از طریق تصحیح مقدار توان نتایج بهتری در مقایسه با کریجینگ بدست آورد. بر پایه ضریب تغییرات متغیرهای مورد مطالعه از تغییرات شدیدی برخوردارند (جدول ۱). به نظر می رسد خاصیت هموارسازی در روش OK باعث کمتر شدن میزان واریانس داده های میان یابی شده در مقایسه با داده های برداشت شده می شود و در نتیجه نقشه بدست آمده یکنواخت تر می شود (۱۲).

پهنه بندی

پهنه بندی شاخص های کیفی اندازه گیری شده در شکل ۳ نشان داده شده است. هدایت الکتریکی آب های زیرزمینی در بیشتر مناطق غربی استان گیلان که شامل شهرهای طالش، فومن، صومعه سرا، شفت، انزلی و همچنین در برخی مناطق شرقی استان کم است. در مناطق مرکزی و مرکزی متمایل به شرق استان، شامل شهرهای رشت، آستانه، لنگرود و قسمتی از رودسر هدایت الکتریکی بین ۱/۵- ۱ دسی زیمنس بر متر است. که در محدوده حد بحرانی EC برای

جدول ۳- نتایج ارزیابی متقابل روش های درون یابی

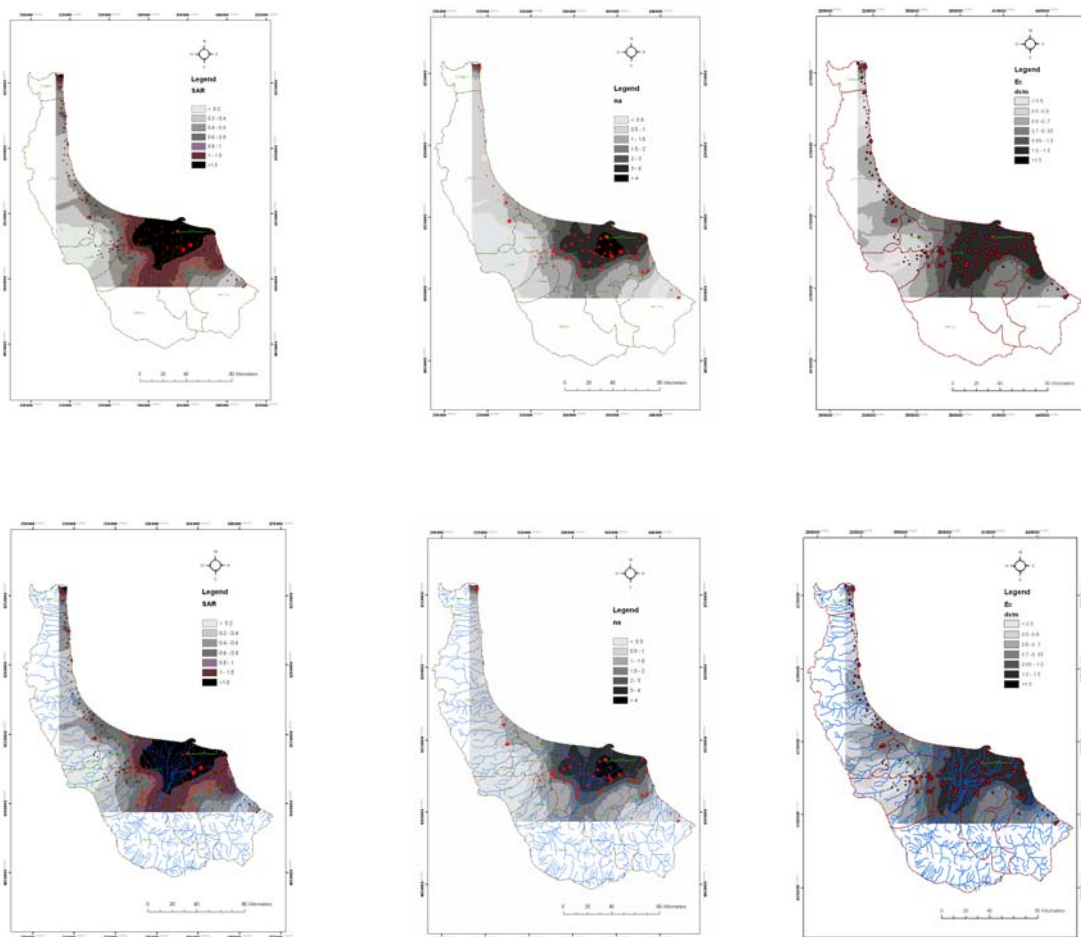
| R ² | RMSE | ME | | |
|----------------|-------|--------|----------------|-----|
| ۰/۲۹۳ | ۱/۷۱ | -۰/۲۹۶ | کریجینگ معمولی | |
| ۰/۳۰۹ | ۱/۷۱ | -۰/۴۳۱ | IDW-1 | Na |
| ۰/۲۴۶ | ۱/۷۹ | -۰/۳۴۱ | IDW-2 | |
| ۰/۱۸۴ | ۱/۷۱ | -۰/۴۵ | IDW-3 | |
| ۰/۳۲۴ | ۰/۹۹ | -۰/۱۶ | کریجینگ معمولی | |
| ۰/۳۴۵ | ۰/۹۸ | -۰/۲۱ | IDW-1 | SAR |
| ۰/۳۳۰ | ۰/۹۸ | -۰/۱۷ | IDW-2 | |
| ۰/۳۱۱ | ۱/۰۰ | -۰/۱۲ | IDW-3 | |
| ۰/۳۰۹ | ۰/۳۳۵ | -۰/۰۳۸ | کریجینگ معمولی | |
| ۰/۳۱۶ | ۰/۳۳۵ | -۰/۰۵۲ | IDW-1 | EC |
| ۰/۳۰۳ | ۰/۳۳۹ | -۰/۰۳۵ | IDW-2 | |
| ۰/۲۲۷ | ۰/۳۵۱ | ۰/۰۲ | IDW-3 | |

زیرزمینی استان در مجموع مناسب است. اما از نظر هدایت الکتریکی کیفیت آبهای زیرزمینی استان به ویژه در مناطق مرکزی و مرکزی متمایل به شرق استان که در محدوده شمالی حوضه آبخیز سفیدرود قرار دارند در محدوده آستانه کاهش عملکرد برنج قرار دارد که در آینده می‌تواند پایداری تولید برنج در این مناطق را که از مناطق عمده برنجکاری استان می‌باشد به خطر بیندازد. پیشنهاد می‌شود تعداد نمونه برداری‌های معمول در این منطقه افزایش یابد تا پهنه‌بندی‌ها و پژوهش‌هایی که در آینده انجام می‌گیرد با دقت بیشتری انجام شود.

بررسی تغییرات SAR و سدیم نشان داد که هماهنگ با توزیع مکانی EC، این شاخص‌ها در مناطق همجوار دریا بیشترین مقدار خود را دارا هستند. توزیع مکانی شاخص SAR کاملاً مشابه با EC است. اما توزیع مکانی سدیم محلول کمی متفاوت می‌باشد. مناطقی که دارای بیشترین مقدار سدیم محلول هستند در بخش مرکزی و شرق رشت در موقعیت رودخانه سفیدرود قرار دارند که یافتن علت آن نیاز به بررسی بیشتر دارد.

نتیجه گیری

نتایج این پژوهش نشان داد از نظر شاخص SAR کیفیت آبهای



شکل ۳- پهنه بندی خصوصیات کیفی به دو صورت با و بدون نقشه رودخانه‌های استان

منابع

- ۱- بی نام، ۱۳۸۷. سالنامه آماری استان گیلان-۱۳۸۶. انتشارات سازمان مدیریت و برنامه ریزی.
- ۲- حسنی پاک ع. ا. ۱۳۷۷. زمین آمار (ژئواستاتستیک). انتشارات دانشگاه تهران. ۳۱۴ ص.
- ۳- چیت سازان م.، و اختری ی. ۱۳۸۵. پتانسیل یابی آلودگی آبهای زیر زمینی در دشت های زویرچری و خران با استفاده از مدل دراستیک و سیستم اطلاعات جغرافیایی. آب و فاضلاب. ۱۷(۳) (مسلسل ۵۹): ۳۹-۵۱.
- ۴- خرمی زاده ف. ۱۳۸۸. بررسی پراکنش برخی عناصر کم مصرف در محدوده گیلان مرکزی و تعیین ارتباط آن با برخی ویژگی های خاک با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی. پایان نامه کارشناسی ارشد گروه خاک شناسی. دانشگاه گیلان.
- ۵- شهدی کومله ع. ۱۳۷۳. تاثیر منبع و سطوح شوری و میزان ازت بر رشد و ترکیب شیمیایی دو رقم برنج (*Oryza sativa L.*). پایان نامه کارشناسی ارشد. گروه خاک شناسی. دانشگاه شیراز. ۹۹ ص.
- ۶- صفری، م. ۱۳۸۲. تعیین شبکه بهینه پایش آب زیرزمینی با استفاده از روشهای زمین آماری. پایان نامه کارشناسی ارشد. گروه آبیاری دانشگاه تربیت مدرس. ۸۲ ص.
- ۷- عزیزی ق. ۱۳۸۲. ارتباط خشکسالی های اخیر و منابع آب زیرزمینی در دشت قزوین. پژوهشهای جغرافیایی. ۴۶: ۱۴۳-۱۳۱.
- ۸- کاووسی م. ۱۳۷۴. تعیین مدل مناسب پیش بینی عملکرد برنج در شوریه های مختلف برای ارقام سپیدرود، حسن سرابی و خزر. پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه خاک شناسی. دانشگاه تبریز. ۹۰ ص.
- ۹- قهرمان ب.، حسینی م. و عسگری ح. ر. ۱۳۸۲. کاربرد زمین آمار در ارزیابی شبکه های پایش کیفی آب زیرزمینی. فنی ومهندسی- مهندسی عمران امیر کبیر. دوره: ۱۴، شماره ۵۵: ۹۷۱ - ۹۸۱.
- ۱۰- قهرودی تایی م. ۱۳۸۱. ارزیابی درون یابی به روش کریجینگ. پژوهشهای جغرافیایی. ۴۳: ۱۰۸-۹۵.
- ۱۱- محمدی ج. ۱۳۸۰. مروری بر مبانی ژئواستاتستیک و کاربرد آن در خاک شناسی. مجله خاک و آب. ج ۱۵. ش ۱: ۱۲۱-۹۹.
- ۱۲- محمدی ج. ۱۳۸۵. پدومتری. ۲. جلد (آمار مکانی). انتشارات پلک. ۴۵۳ ص.
- ۱۳- ملکی گنادیشی ف.، رهنما م. ب.، و رضایی ع. ۱۳۸۷. بررسی کیفی آبهای زیرزمینی دشت زرنند از نظر شرب با استفاده از زمین آمار و نرم افزار GS^+ . دومین همایش ملی آب و فاضلاب با رویکرد بهره برداری.
- ۱۴- ناصری ح.، رقیمی م.، یخکشی م. ا.، شاه پسند زاده م.، و دهقان ح. ۱۳۸۵. بررسی عوامل موثر در تغییرات مکانی غلظت نیترات آبهای زیرزمینی حوضه آخیز قره سو استان گلستان. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۳(۱): ۱۰۸-۱۱۶.
- ۱۵- همایی م. ۱۳۸۱. واکنش گیاهان به شوری. انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. ۹۷ ص.
- ۱۶- یوسفی فلکدهی. ع. ۱۳۸۵. برهمکنش اثر تنش آب و شوری آب بر عملکرد برنج. پایان نامه کارشناسی ارشد گروه آبیاری. دانشگاه شیراز. ۱۸۰ ص.
- 17- Caeiro S., Painho M., Goovaerts P., Costa H., and Sousa S. 2003. Spatial sampling design for sediment quality assessment in estuaries. *Environmental Modeling & Software* 18, 853-859.
- 18- 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 central Iowa soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58: 1501-1511.
- 19- Chandrasekharana H., Sarangia A., Nagarajanb M., Singha V. P., RAOA D. U. M., Stalinc P., Natarajanc K., Chandrasekaranc B., and Anbazhagan S. 2009. Variability of soil-water quality due to Tsunami-2004 in the coastal belt of Nagapattinam district, Tamilnadu. *Journal of Environmental Management* 89: 63-72.
- 20- Desbarats A. J., Logan C. E., Hinton M. J., and Sharpe D. R. 2002. On the kriging of water table elevations using collateral information from a digital elevation model. *Journal of Hydrology* 255: 25-38.
- 21- Doberman A., and fairhurst H. T. 2000. Rice nutrient disorder and nutrient management. Potash and phosphate institute, International rice research institute, Makati city, Singapore.
- 22- DuNing X., LI X. Y., Song D., and Yang G. 2007. Temporal and spatial dynamical simulation of groundwater characteristics in Minqin Oasis. *Sci China Ser D-Earth Sci.* vol. 50 no. 2: 261-273.
- 23- Johnston K., Jay M., Hoef V., Krivoruchko K., and Lucas N. 2001. Using Geostatistical Analyst, Environmental Systems Research Institute Inc (ESRI).
- 24- Kravchenko A. N. 2003. Influence of spatial structure on accuracy of interpolation methods. *Soil Science Society of American Journal* 67 (5), 1564-1571.
- 25- Lu G., David Y., and Wong W. 2008. An adaptive inverse-distance weighting spatial interpolation technique. *Computers & Geosciences.* 34: 1044- 1055.
- 26- Marinoni, O. 2003. Improving geological models using a combined ordinary indicator kriging approach.

- Engineering Geology 69, 37-45.
- 27- Motamed M. K., Asadi R., Rezaei M., and Amiri E. 2008. Response of high yielding rice varieties to NaCl salinity in greenhouse circumstances. *African Journal of Biotechnology* Vol. 7 (21), pp. 3866-3873.
 - 28- Nicolaos T., and Latinopoulos P. 2006. Evaluation and optimization of groundwater observation networks using the Kriging methodology *Environmental Modelling and Software*. 21: 991- 1000
 - 29- Olea R., and Davis J. 1999a. Optimizing the High Plains aquifer water-level observation network, K.G. S. Open File Report 1999-15.
 - 30- Olea, R., and Davis J. 1999b. Sampling analysis and mapping of water levels in the High Plains aquifer of Kansas, K.G.S. Open File Report 1999-11.
 - 31- Panagopoulos T., Jesus J., Antunes M. D.C., and Beltrao, J. 2006. Analysis of spatial interpolation for optimising management of a salinized field cultivated with lettuce. *European Journal of Agronomy* 24 (1), 1–10.
 - 32- Rajesh J. P. 2003. Developments in Petroleum Science, 51 Editors: M. Nikravesh, E Aminzadeh and L.A. Zadeh Chapter 5 Introduction to geostatistics. Los Alamos National Laboratories, Los Alamos, NM, USA
 - 33- Sen Z., and Sahin, A. D. 2001. Spatial interpolation and estimation of solar irradiation by cumulative semivariograms. *Solar Energy* 71 (1), 11–21.
 - 34- Sepaskhah A. R., and Yousofi-Falakdehi A. 2009. Interaction between the effects of deficit irrigation and water salinity on yield and yield component of rice in pot experiment. *Plant Prod. Sci.* 12(2):168-175.
 - 35- Sun Y., Shaozhong K., Li F., and Zhang L. 2009. Comparison of interpolation methods for depth to groundwater and its temporal and spatial variations in the Minqin oasis of northwest China. *Environmental Modelling & Software*. 24: 1163–1170
 - 36- Taghizadeh-mehrjardi R, Zareian-Jahromi M., Mahmodi Sh., and Heidari A. Spatial Distribution of Groundwater Quality with Geostatistics (Case Study: Yazd-Ardakan Plain). *World Applied Sciences Journal* 4 (1): 09-17, 2008
 - 37- Thangarajan M. (Editor). 2007. Groundwater Resource Evaluation, augmentation, Contamination, Restoration, Modeling and Management Springer London.
 - 38- Teegavarapu R. S. V., and V. Chandramouli. 2005. Improved weighting methods, deterministic and stochastic data-driven models for estimation of missing precipitation records. *Journal of Hydrology* 312 191–206
 - 39- Wu J., Chunmiao Z., and Calvin C. C. 2005. Cost-effective sampling network design for contaminant plume monitoring under general hydrogeological conditions. *Journal of Contaminant Hydrology*. 77 : 41– 65
 - 40- Xu C., Gong L., Jiang T., Chen D., and Singh V.P. 2006. Analysis of spatial distribution and temporal trend of reference evapotranspiration and pan evaporation in Changjiang (Yangtze River) catchment. *Journal of Hydrology* 327: 81– 93.
 - 41- Zeng L., and Shannon M. C. 2000. Salinity effects on seedling growth and yield components of rice. *Crop Sci.* 40:996–1003 (b)

Investigation the Spatial Variability of Some Important Groundwater Quality Factors in Guilan, Iran

M. Rezaei¹ - N. Davatgar^{2*} - K. Tajdari³ - B. Abolpour⁴

Received: 4-2-2010

Accepted: 9-5-2010

Abstract

Guilan is a famous province in growing rice in Iran. Recently, due to shortage of water, farmers' desire to use groundwater in order to grow rice in northern part of Iran has been increasing rapidly. The fact that rice is sensitive to water quality, caused concern about rice cultivation sustainability in the area, especially in drought years. This study was done to investigate the spatial variability of some important ground water quality factors including EC, SAR and Na of samples taken from 135 wells over the region during the summer of 2007. First, the accuracy of Kriging (Ok) and Inverse Distance Weighting (IDW) with 3 different powers (1, 2 and 3) in mapping the studied parameters were evaluated. Then the final map was presented. The result showed that spherical model gave the best result to simulate the Variograms. Although negligible difference was observed between the methods, Ok and IDW1 performed better in comparison to the IDW2 and IDW3. The final map showed that Ec in central part of the region, where the Sepidrod River meets the Caspian Sea is dramatically high which will threaten the sustainability of rice cultivation in the area. The other factors were in suitable level.

Keywords: Groundwater, quality, spatial variability, Iran

1,2-Rice Research Inst. of Iran

(*- Corresponding author Email: Mrezaei@yahoo.com)

3- Msc Degree Regional Water Company

4- Assistant Prof., Fars Agricultural Research Center