

پهنه بندی کیفیت منابع آب زیرزمینی استان گیلان

خسرو تاجداری^۱، محمد رضایی^۲، ناصر دوانگر^{۲*} و محمدرضا خالدیان^۳

۱ - کارشناس ارشد شرکت آب منطقه ای گیلان دفتر مطالعات پایه

۲- اعضاء هیأت علمی موسسه تحقیقات برنج کشور

۳- عضو هیأت علمی دانشگاه گیلان

Email: Khosro.taj@gmail.com

*: نویسنده مسئول

چکیده

این پژوهش با هدف بررسی چند شاخص مهم کیفیت آبهای زیرزمینی و تغییرات مکانی آنها با استفاده از زمین آمار و با داده های شاخص کیفیت آب شامل EC، Na و SAR نمونه برداری شده از ۱۳۵ حلقه چاه در شهر یور سال ۱۳۸۶ در استان انجام گرفته است. دقت روش های کریجینگ معمولی (OK) و معکوس فاصله (IDW) با سه توان ۱ تا ۳ بررسی و نقشه های پهنه بندی آنها رسم شد. نتایج نشان از مناسب بودن شاخص SAR و بالا بودن هدایت الکتریکی خصوصاً در مناطق مرکزی و مرکزی متمایل به شرق، همجوار با دریا است و می تواند پایداری تولید برنج را به خطر اندازد.

کلمات کلیدی: آب زیرزمینی، کیفیت، تغییرات مکانی

۱. مقدمه

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 رودخانه های محلی وظیفه تامین آب مورد نیاز شالیزارهای این استان را به عهده دارند. اما خشکسالی و کم آبی 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 می دهد بدون در نظر گرفتن چاه هایی که در دوره های خشکسالی حفر شده است، تعداد و میزان برداشت آب از این چاه ها طی ده سال منتهی به سال ۱۳۸۶ به ترتیب رشدی معادل ۷۰ و ۳۰ درصد داشته است [۱]. اگرچه به نظر می رسد تاثیر پذیری آبهای زیرزمینی از محیط اطراف کمتر از منابع آبهای سطحی باشد. اما، پژوهش ها نشان داد که همگام با منابع سطحی، کمیت و کیفیت آبهای زیرزمینی نیز از عوامل محیطی تاثیر می پذیرد [۲]، [۳] و حتی در پاره ای از موارد این تاثیرات شدیدتر و ماندگارتر است [۴]. این در حالی است که برنج شدیداً تحت تاثیر کیفیت آب مورد استفاده می باشد. مطالعات مختلف هدایت الکتریکی آستانه کاهش عملکرد را ۲- ۱/۱ دسی زیمنس بر متر و میزان SAR مناسب را کمتر از ۱۵ گزارش کردند [۵]. مسائلی فوق می تواند بر روند

همایش ملی آب با رویکرد آب پاک

(۱۱ و ۱۲ اسفند ۱۳۸۹، دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور))

تولید برنج، به ویژه در سال‌های کم آب تاثیرگذار باشد. مسله مهم دیگری که به موازات این مسایل قابل تعمق می‌باشد این است که کیفیت آب زیرزمینی در مقیاس مکانی نیز تغییر زیادی کرده و نمی‌توان آن را در گستره مکان ثابت فرض کرد. پیشرفت‌های اخیر در معرفی و بسط روش‌های غیر کلاسیک باعث افزایش تمایل برای استفاده از آمار مکانی یا زمین آمار^۱ به منظور بررسی و شناخت بیشتر این تغییرات شده است. [۴] از روش‌های مورد استفاده در آمار مکانی می‌توان به کریجینگ^۲ و وزن دادن عکس فاصله^۳ اشاره نمود [۶]. در دهه گذشته کریجینگ به عنوان یک تکنیک قدرتمند درون‌یابی معرفی شده است که در رشته‌های مختلف علوم زمین مانند هیدرولوژی، علوم خاک و معدن شناخته شده و بکار رفته است. موفقیت این روش در درون‌یابی متغیرها کاملاً وابسته به دقت در انتخاب مدل تجربی تغییرنا است. اگر در انتخاب مدل دقت کافی نشود نتیجه درون‌یابی مناسب نخواهد بود. در برخی از مواقع به دلایلی از جمله همساز نبودن ساختار مکانی داده‌ها با ساختار عمومی، دقت کم داده‌ها و عدم تجانس مکانی داده‌ها نتایج بدست آمده از این روش از دقت کافی برخوردار نیستند [۷]. در روش وزن دادن عکس فاصله فرض بر این است که هر مشاهده یک اثر نقطه‌ای دارد که با فاصله گرفتن از آن محو می‌شود [۸]. اگر چه این روش به دلیل سرعت بالای تجزیه و قابل قبول بودن دقت در تجزیه و تحلیل مسایل آبهای زیرزمینی از کریجینگ معمولی کاربردی‌تر است [۹] اما توانایی ارائه واریانس خطا و دیگر مزایای آماری کریجینگ را ندارد [۱۰]. 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 می‌گیرد [۱۱]. این پژوهش با هدف تعیین بهترین روش درون‌یابی در پهنه‌بندی و بررسی دقیق تغییرات مکانی شاخص‌های مهم کیفیت آب شامل: هدایت الکتریکی (EC)، نسبت جذب سدیم (SAR) و سدیم محلول (Na) در آبهای زیرزمینی استان گیلان انجام شده است.

۲. مواد و روش‌ها

۲-۱. منطقه مورد مطالعه

این پژوهش با استفاده از داده‌های شاخص کیفیت آب نمونه برداری شده از ۱۳۵ حلقه چاه مربوط به سازمان آب منطقه‌ای استان گیلان (شکل ۱) در شهریور سال ۱۳۸۶ شامل: سدیم محلول Na (میلی اکی والان در لیتر)، هدایت الکتریکی EC، (دسی زیمنس بر متر) و نسبت جذب سدیم SAR، (بدون واحد) در سطح تقریبی ۷۰۰۰ کیلومتر مربع انجام شد. موقعیت جغرافیایی چاه‌ها در شکل (۱) نشان داده شده است.

۲-۲. روش‌های درون‌یابی

الف) کریجینگ معمولی (OK) ξ

به علت عدم تبعیت داده‌های متغیرهای اندازه‌گیری شده از توزیع فراوانی نرمال تمامی داده‌ها با تبدیل لگاریتمی نرمال شدند. در ابتدا نیم

تغییرنمای تجربی با استفاده از نیم تغییرنما $\gamma(h)$ محاسبه گردید [۱۲]:

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

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 نیم تغییرنما مانند کروی، توانی، گوسی و اثر قطعه‌ای برازش داده شد [۱۳]، [۱۴]. ارزیابی بهترین مدل برازش شده بر نیم تغییرنما با استفاده از ضریب تبیین (R^2) و مجموع مربعات باقیمانده (RSS) انجام شد. در روش درون‌یابی کریجینگ با استفاده از مولفه‌های تابع همبستگی نیم تغییرنما، وزن متغیرها (λ_i) برای پیش‌بینی متغیر Z در نقطه نمونه برداری نشده بر پایه داده‌های موجود در موقعیت‌های معلوم نقطه نمونه برداری نشده، تعیین شدند.

۱ - Spatial Statistics

۲ - Kriging

۳ - Inverse Distance Weighting Method

۴ - Ordinary Kriging

همایش ملی آب با رویکرد آب پاک

(۱۱ و ۱۲ اسفند ۱۳۸۹، دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور))

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

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

$z_{(x_0)}$: مقدار تخمین متغیر Z در نقطه نمونه برداری نشده x_0 ، $z_{(x_i)}$: مقدار مشاهداتی متغیر Z در نقطه‌های نمونه برداری x_i ، λ_i : وزن تعلق گرفته به هر مشاهده در نقطه x_i .

برازش مدل های نیم تغییرنا با استفاده از نرم افزار ۷۵.۱ GS+ انجام گردید. پس از برازش مدل، مجدداً داده‌های لگاریتمی با روش وزنی به داده‌های واقعی تبدیل شدند. سپس پهنه‌بندی متغیرها با استفاده از روش کریجینگ در نرم افزار ArcGIS ۹.۲ انجام شد. (ب) وزن دادن معکوس فاصله (IDW)

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 نمونه‌ها و پارامتر m توان فاصله است. در این تحقیق از سه پارامتر توان (۳ و ۲ و ۱) استفاده و نتیجه آن با کریجینگ از روش اعتبارسنجی متقابل با استفاده از معیارهای ارزیابی زیر مقایسه شدند.

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

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

در این روابط: P_i مقدار برآورد شده، O_i مقدار اندازه‌گیری شده، n = تعداد نمونه‌ها (تعداد چاه‌ها)، \bar{O} = میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده متغیر، ME : میانگین خطا، $RMSE$ = ریشه میانگین مربع خطا است.

۳. نتایج و بحث

خلاصه آمار توصیفی خصوصیات اندازه‌گیری شده در جدول (۱) نشان داده شده است. نتایج برازش مدل‌های نیم تغییرنا نشان داد که تمام شاخص‌های مورد مطالعه از مدل گروهی پیروی می‌کنند (شکل ۲). مدل برازش داده شده بر نیم تغییرنا تجربی از بالاترین ضریب تبیین (R^2) و کمترین میزان مجموع مربعات خطا (RSS) برخوردار بود (جدول ۲) برای پایه متغیرهای EC، SAR و Na از وابستگی مکانی متوسط برخوردار بودند.

۳-۱. اعتبارسنجی متقابل^۱

نتایج ارزیابی اعتبار روش‌های وزن دادن عکس فاصله با نماهای مختلف (IDW_1 ، IDW_2 و IDW_3) 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 ، روش‌های OK و $IDW-1$ مشابه در مقایسه با دیگر روش‌ها از اعتبار بیشتری برخوردار بودند. نتایج بدست آمده از

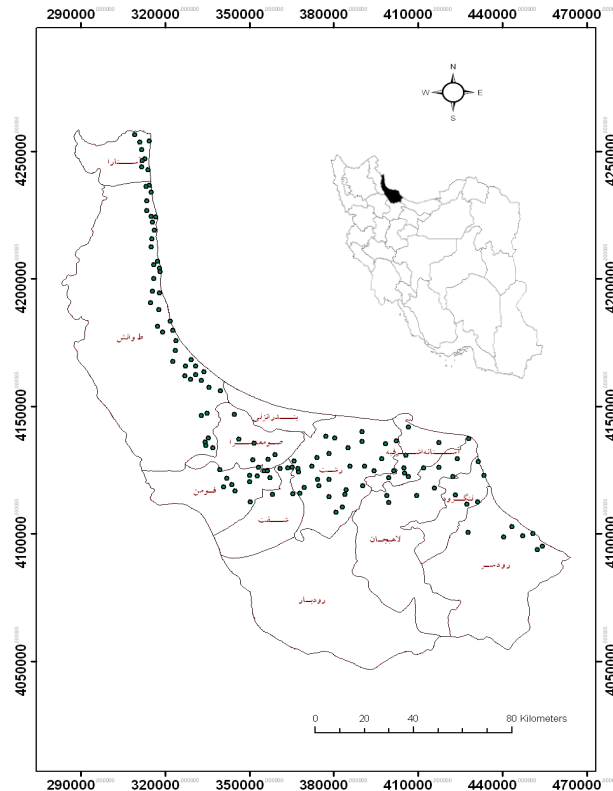
همایش ملی آب با رویکرد آب پاک

(۱۱ و ۱۲ اسفند ۱۳۸۹، دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور))

تحقیقات کارایی روش IDW را در پاره‌ای از درون‌یابی‌ها و تجزیه تحلیل مسایل آبهای زیرزمینی به اثبات رسانیده است [۱۴]. سان و همکاران [۱۲] در ارزیابی روش‌های درون‌یابی برای تغییرات مکانی عمق سفره‌های آب زیرزمینی در شمال چین نشان دادند روش وزن دادن عکس فاصله در مقایسه با روش‌های کریجینگ ساده و عام، برتر و دقیق‌تر بود. تقی زاده جهرمی و همکاران [۱۴] در ارزیابی تغییرات مکانی آبهای زیرزمینی نشان دادند روش وزن دادن عکس فاصله شباهت زیادی به کریجینگ معمولی دارد. لو و همکاران [۱۱] نشان دادند در شرایطی که تغییرات محلی بسیار زیاد باشد می‌توان 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).

۳-۲. پهنه‌بندی

پهنه‌بندی شاخص‌های کیفی اندازه‌گیری شده در شکل ۳ نشان داده شده است. هدایت الکتریکی آبهای 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 ژیمنس بر متر است. که در محدوده حد بحرانی EC برای کشت برنج قرار دارد. در این منطقه هدایت الکتریکی به نحو بارزی از دیگر مناطق استان بیشتر می‌باشد. این امکان وجود دارد که در اثر آبیاری این بخش از اراضی کشاورزی از شبکه آبیاری سفیدرود و شاخه‌های فرعی آن املاح و یون‌ها به همراه آب از راه نفوذ عمقی در این خاک‌های سبک بافت وارد سفره زیرزمینی گردد و سبب افزایش هدایت الکتریکی شود. می‌توان 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 [۲]. این پدیده به ویژه در سالهای کم آب که مصرف آب زیرزمینی بیشتر می‌شود و در همین حال سطح آب رودخانه سفیدرود پایین‌تر از معمول است تشدید می‌گردد که در صورت استمرار و افزایش احتمال شوری در آینده اثرات سوایی بر کشت برنج در سطح بزرگی از منطقه وارد می‌آورد. 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.



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

همایش ملی آب با رویکرد آب پاک

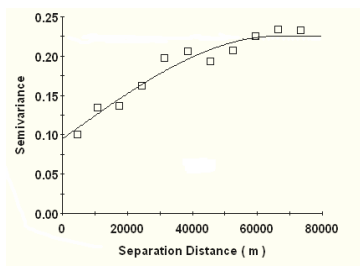
(۱۱ و ۱۲ اسفند ۱۳۸۹، دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور))

جدول ۱- آماره‌های داده‌های کیفی شاخص‌های اندازه‌گیری شده

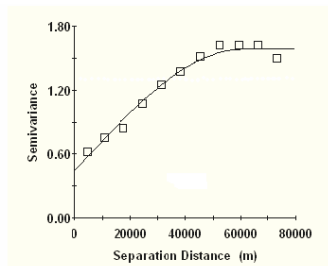
ضریب تغییرات	کشیدگی	چولگی	انحراف معیار	میانگین	متوسط	حداقل	حداکثر	واحد اندازه‌گیری	
۱۴۰	۲۵/۶۷	۴/۱۶	۳/۲۲	۱/۱۵	۲/۳	۰/۰۲	۴۰۳۰	میلی اکی والان در لیتر	Na
۱۳۷	۱۸/۳۷	۳/۷۶	۱/۷۸۲	۰/۷۴	۱/۳	۰/۰۲	۱۲/۳۹	بدون واحد	SAR
۵۷	۲/۳۱۳	۱/۲۳	۰/۴۸۶	۰/۷۹۳	۰/۸۵۷	۰/۲۵	۲/۶۴	دسی زیمنس برمتر	EC

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

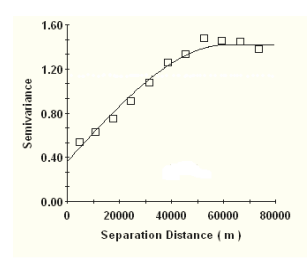
RSS	ضریب همبستگی مکانی R^2	شعاع تاثیر (Range) متر	نسبت واریانس قطعه‌ای به آستانه	آستانه (Sill)	واریانس قطعه‌ای (nugget)	متغیر
۰/۰۲۶	۰/۹۸	۶۰۷۰۰	۲۸	۱/۵۸۳	۰/۴۴۴	Na
۰/۰۲۵۳	۰/۹۸	۶۱۰۰۰	۲۹	۱/۴۲	۰/۳۵۷	SAR
۰/۰۰۲	۰/۹۱۲	۶۶۱۰۰	۴۲	۰/۲۲۵۴۰	۰/۰۹۴۷۰	EC



الف



ب



ج

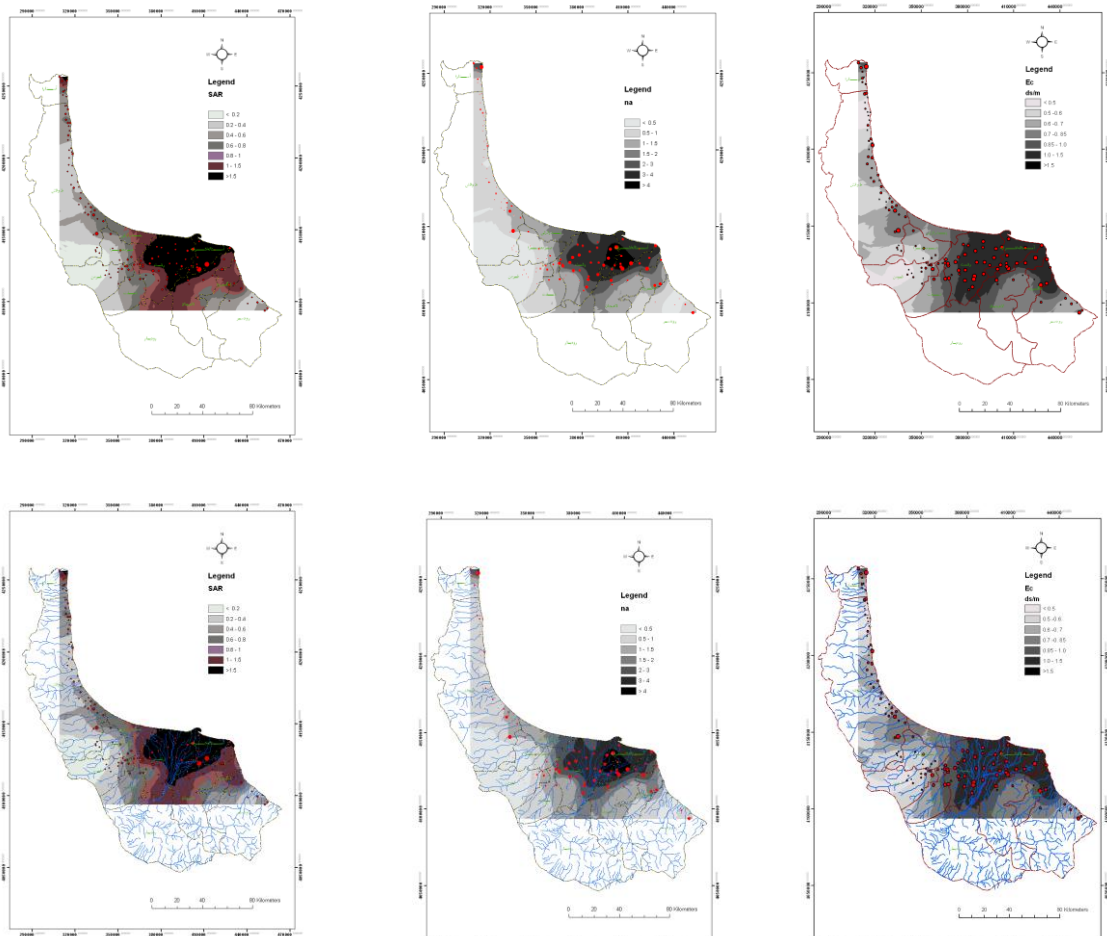
شکل ۲- واریوگرام صفات مختلف اندازه‌گیری شده
الف: هدایت الکتریکی EC ، ب: محلول Na، ج: نسبت فعالیت سدیم SAR

همایش ملی آب با رویکرد آب پاک

(۱۱ و ۱۲ اسفند ۱۳۸۹، دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور))

جدول ۳- نتایج ارزیابی متقابل روش‌های درون‌یابی

R^2	RMSE	ME		
۰/۲۹۳	۱/۷۱	-۰/۲۹۶	کریجینگ معمولی	Na
۰/۳۰۹	۱/۷۱	-۰/۴۳۱	IDW-۱	
۰/۲۴۶	۱/۷۹	-۰/۳۴۱	IDW-۲	
۰/۱۸۴	۱/۷۱	-۰/۴۵	IDW-۳	
۰/۳۲۴	۰/۹۹	-۰/۱۶	کریجینگ معمولی	SAR
۰/۳۴۵	۰/۹۸	-۰/۲۱	IDW-۱	
۰/۳۳۰	۰/۹۸	-۰/۱۷	IDW-۲	
۰/۳۱۱	۱/۰۰	-۰/۱۲	IDW-۳	
۰/۳۰۹	۰/۳۳۵	-۰/۰۳۸	کریجینگ معمولی	EC
۰/۳۱۶	۰/۳۳۵	-۰/۰۵۲	IDW-۱	
۰/۳۰۳	۰/۳۳۹	-۰/۰۳۵	IDW-۲	
۰/۲۲۷	۰/۳۵۱	۰/۰۲	IDW-۳	



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

همایش ملی آب با رویکرد آب پاک

(۱۱ و ۱۲ اسفند ۱۳۸۹، دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور))

۴. نتیجه گیری

نتایج این پژوهش نشان داد از نظر شاخص SAR کیفیت آبهای 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 می تواند پایداری تولید برنج در این مناطق را که از مناطق عمده برنجکاری استان می باشد به خطر بیندازد. پیشنهاد می شود تعداد نمونه برداری های معمول در این منطقه افزایش یابد تا دقت پهنه بندی ها و پژوهش هایی که در آینده انجام می گیرد با دقت بیشتری انجام شود.

۵. منابع

- ۱- بی نام. ۱۳۸۷. سالنامه آماری استان گیلان-۱۳۸۶. انتشارات سازمان مدیریت و برنامه ریزی.
- ۲- DuNing X., LI X. Y., Song D., and Yang G. ۲۰۰۷. Temporal and spatial dynamical simulation of groundwater characteristics in Minqin Oasis. *Sci China Ser D-Earth Sci* . vol. ۵۰ no. ۲: ۲۶۱-۲۷۳.
- ۳- عزیزی ق. ۱۳۸۲. ارتباط خشکسالی های اخیر و منابع آب زیرزمینی در دشت قزوین. پژوهشهای جغرافیایی. ۴۶: ۱۴۳-۱۳۱.
- ۴- Chandrasekharana H., Sarangia A., Nagarajanb M., Singha V. P., RAOA D. U. M., Stalinc P., Natarajanc K., Chandrasekaranc B., and Anbazhagan S. ۲۰۰۹. Variability of soil-water quality due to Tsunami-۲۰۰۴ in the coastal belt of Nagapattinam district, Tamilnadu. *Journal of Environmental Management* ۸۹: ۶۳-۷۲.
- 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- Marinoni, O. ۲۰۰۳. Improving geological models using a combined ordinary indicator kriging approach. *Engineering Geology* ۶۹, ۲۷-۴۵.
- ۷- Sen Z., and Sahin, A. D. ۲۰۰۱. Spatial interpolation and estimation of solar irradiation by cumulative semivariograms. *Solar Energy* ۷۱ (۱), ۱۱-۲۱.
- ۸- Panagopoulos T., Jesus J., Antunes M. D. C., and Beltrao, J. ۲۰۰۶. Analysis of spatial interpolation for optimising management of a salinized field cultivated with lettuce. *European Journal of Agronomy* ۲۴ (۱), ۱-۱۰.
- ۹- Wu J., Chunmiao Z., and Calvin C. C. ۲۰۰۵. Cost-effective sampling network design for contaminant plume monitoring under general hydrogeological conditions. *Journal of Contaminant Hydrology*. ۷۷ : ۴۱-۶۵
- ۱۰- Kravchenko A. N. ۲۰۰۳. Influence of spatial structure on accuracy of interpolation methods. *Soil Science Society of American Journal* ۶۷ (۵), ۱۵۶۴-۱۵۷۱.

همایش ملی آب با رویکرد آب پاک

(۱۱ و ۱۲ اسفند ۱۳۸۹، دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور))

۱۱-Lu G., David Y., and Wong W. ۲۰۰۸. An adaptive inverse-distance weighting spatial interpolation technique. *Computers & Geosciences*. ۳۴: ۱۰۴۴- ۱۰۵۵.

۱۲-Sun Y., Shaozhong K., Li F., and Zhang L. ۲۰۰۹. Comparison of interpolation methods for depth to groundwater and its temporal and spatial variations in the Minqin oasis of northwest China. *Environmental Modelling & Software*. ۲۴: ۱۱۶۳-۱۱۷۰.

۱۳- محمدی ج. ۱۳۸۵. پدومتری. ۲ جلد (آمار مکانی). انتشارات پلک. ۴۵۳ ص.

۱۴-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* ۴ (۱): ۰۹-۱۷, ۲۰۰۸