بررسی توزیع مکانی فاکتورهای فیزیکی و شیمیایی خلیج گرگان در سال ۱۳۹۰

- **حسن محمدخانی***: مرکز تحقیقات ذخایر آبزیان آب‌های داخلی، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات و آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران
- **طیبه عنایت‌غلام‌پور**: گروه شیلات، دانشگاه پیام نور، صندوق پستی ۳٦۹۷-۱۹۳۹۵، تهران، ایران

تاریخ دریافت: آذر ۱۳۹۷ تاریخ پذیرش: اسفند ۱۳۹۷

چکیده

خلیج گرگان از اکوسیستم‌های نادر کشور است که از نظر اکولوژیک و اقتصادی واجد ارزش‌های ویژه‌ای در مقایسه با سایر منابع آبی کشور است. نمونه‌گیری و آنالیز ماهانه پارامترهای کیفی آب خلیج شامل نیترات، نیتریت، قلیائیت، آمونیاک، شوری، pH، اکسیژن محلول و دمای آب از ۱۹ نقطه مختلف خلیج گرگان برای توزیع مکانی پارامترهای کیفی آب خلیج انجام شد. نمونه‌برداری به‌صورت ماهانه در سال ۱۳۹۰ صورت گرفت. سپس داده‌های ماهانه با استفاده از نرم‌افزار Surfer ۹,۰ مورد درون‌یابی توسط روش‌های درون‌یابی مختلف (کریجینگ، عکس فاصله، رگرسیون چندجمله‌ای، چندجمله‌ای موضعی و اسپلاین) قرار گرفتند. روش‌های ذکر شده با به‌کارگیری روش اعتبارسنجی متقابل براساس معیار ارزیابی جذر میانگین مجموع مربعات خطا مورد مقایسه قرار گرفتند. نتایج، برتری روش رگرسیون چندجمله‌ای را نسبت به سایر روش‌ها نشان داد. بنابراین توزیع مکانی ماهانه پارامترهای مورد مطالعه خلیج با استفاده از این روش و نرم‌افزارهای MATLAB ۷,۱۰ و Surfer ۹,۰ استخراج و میانگین پارامترهای نیترات، نیتریت، قلیائیت، آمونیاک، شوری، pH، DO و دمای آب در خلیج محاسبه شدند. برطبق نتایج تحقیق حاضر، حداکثر مقادیر پارامتر دما ۳۰ درجه ساتی‌گراد، پی اچ ۸/۸۸، اکسیژن محلول ۱٦/۰۷، شوری ۱۷، قلیائیت ٤۰۰، نیترت ۳/۹٦، نیتریت ۰/۱۹ و آونیاک ۱/۵ اندازه‌گیری شد. مقایسه بین میانگین این پارامترها در خلیج گرگان و استانداردهای موجود نشان می‌دهد که خلیج گرگان مکان مناسبی برای پرورش گونه‌هایی مانند کپور، قزل‌آلا و فیل‌ماهی می‌باشد.

کلمات کلیدی: خلیج گرگان، توزیع مکانی، قلیائیت، شوری، اکسیژن محلول، پی اچ

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول: khanihm@yahoo.com

مقدمه

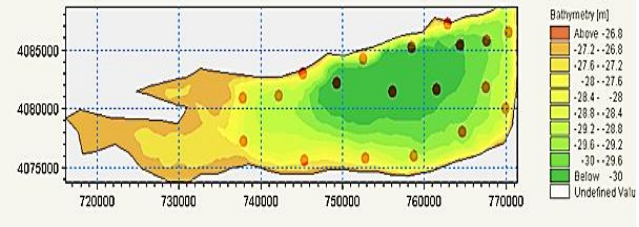
اهمیت زیست‌محیطی خلیج‌ها و تالاب‌ها ازجمله مسائلی است که انجام مطالعات را برای اهداف مختلف زیست‌محیطی، آبزی‌پروری، توریستی،اقتصادی و...ضروری می‌سازد.خلیج گرگان ازاکوسیستم‌های نادر کشور است که از نظر اکولوژیک، اقتصادی، پژوهشی، آموزشی و توریسم واجد ارزش‌های ویژه‌ای در مقایسه با سایر منابع آبی کشور است. اگرچه خلیج گرگان و شبه‌جزیره میانکاله به‌عنوان محدوده زیستی حفاظت‌شده درآمده‌ولی‌وجودصید بی‌رویه، افزایش ورود پساب شهری، صنعتی، دامداری و کشاورزی از یک‌سو و لزوم بهره‌برداری بیش‌تر از منابع غذایی این پهنه آبی برای جمعیت فزاینده کشور با توجه به اهمیت زیست‌محیطی خلیج گرگان از سوی دیگر ازجمله مسائلی است که لزوم توجه بیش‌تر و انجام پژوهش‌های افزون‌تر در خصوص منابع خلیج گرگان و شبه‌جزیره میانکاله را توجیه می‌کند. خلیج گرگان از دیرباز نقش به‌سزایی در مناسبات اجتماعی اقتصادی مردم حاشیه‌نشین در استان‌های مجاور دارد، لذا بهبود کیفیت بهره‌وری از این اکوسیستم همواره از دغدغه‌های اصلی بوده است و در این راستا فعالیت‌های پراکنده‌ای صورت گرفته که نتوانسته حاوی شیوه استفاده بهینه از بتانسیل‌های بالقوه آن باشد (Kazemi و Hosseini، ۲۰۱۱). تاکنون روش‌های مختلف درون‌یابی مکانی به‌طور وسیعی در مدل‌سازی توزیع مکانی پارامترهای مختلف در آب‌های سطحی مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Bai و همکاران، ۲۰۰۱؛ Fotsyth و Jakube، ۲۰۰۴؛ Forsyth و Marvin، ۲۰۰۵؛ Kazemi و Hoseini، ۲۰۱۱). Bai و همکاران (۲۰۰۱) به‌منظور دستیابی به توزیع مکانی و ارزیابی خطر زیست‌محیطی فلزات سنگین موجود در سطح رسوبات تالابی در چین، از روش درون‌یابی مکانی کریجینگ استفاده کردند. Jakubek و Forsythe (۲۰۰۴) با به‌کارگیری روش کریجینگ معمولی و استفاده از ۷۰ نمونه از دریاچه Ontario، نقشه‌های توزیع آلودگی‌های سرب، جیوه، HCB و PCBsو هم‌چنین شاخص کیفی رسوب (SQI) (Sediment Quality Index) را تهیه کردند. نتایج تحقیق آن‌ها دقت بیش‌تر تخمین آلودگی با روش کریجینگ را نشان داد. Forsythe و Marvin (۲۰۰۵) توزیع مکانی آلاینده‌های سرب، جیوه، HCB و PCBs را با استفاده از GIS و روش کریجینگ به‌منظور بررسی کیفیت رسوبات دریاچه‌های Erie و Ontario به‌دست آوردند و مقادیر آلودگی‌ها را با استانداردهای کیفی کانادا مورد مقایسه قرار دادند. Wang و Liu (۲۰۰۵) برای ارزیابی مقدار کلروفیل در دریاچه Taihu در چین و تعیین مدل توزیع مکانی آن از روش کریجینگ استفاده کردند. معروفی و همکاران (۱۳۸۸) با استفاده از روش‌های کریجینگ،حداقل انحناء، عکس فاصله، همسایگی طبیعی، چندجمله‌ای موضعی و توابع شعاع محور، تغییرات مکانی مقادیر هدایت الکتریکی و pH زه آب‌های دشت همدان را مورد ارزیابی قرار دادند. Kazemi و Hosseini (۲۰۱۱) برای به‌دست آوردن الگوی توزیع مکانی برخی فلزات سنگین در رسوبات دریای خزر، از چهار روش کریجینگ معمولی (OK)، الگوریتم ژنتیک براساس شبکه‌های عصبی مصنوعی (GA-ANN)، سیستم استنتاج انطباقی فازی (ANFIS) و شبیه‌سازی شرطی (CS) استفاده کردند. نتایج نشان داد بهترین روش از نظر حفظ خصوصیات آماری داده‌ها روش GA-ANN است ولی کم‌ترین خطای درون‌یابی مربوط به‌روش ANFIS می‌باشد.باتوجه به مروری که بر مطالعات گذشته انجام شد می‌توان گفت که در مورد خلیج گرگان تاکنون تحقیقی به‌منظور مدل‌سازی توزیع مکانی پارامترهای کیفی آب آن صورت نگرفته است از طرفی روش مناسب درون‌یابی مکانی در برآورد یک متغیر، به نوع متغیر و عوامل منطقه‌ای تاثیرگذار برآن بستگی دارد و نمی‌توان روش منتخب در یک منطقه را به سایر مناطق تعمیم داد (صفری، ۱۳۸۱). لذا هدف این مطالعه، مدل‌سازی توزیع مکانی مقادیر نیترات، نیتریت، قلیائیت، آمونیاک، شوری، DO، pHو دمای آب خلیج گرگان و تهیه نقشه پراکندگی مکانی آن‌ها می‌باشد که با روش‌های گوناگون درون‌یابی مکانی صورت می‌گیرد و با روش اعتبارسنجی متقابل و معیار ارزیابی RMSE بهترین روش برای مدل‌سازی مکانی انتخاب می‌شود.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی: مختصات جغرافیایی مورد مطالعه خلیج گرگان از '۲۵ ۵۳ º۵ تا'۲ ۵۴ º۵ شرقی و از '۴۶ ۳۶ º۳۶ تا'۵۴ ۳۶ º۳۶ شمالی می‌باشد که بخشی از این خلیج در استان گلستان و بخش دیگر آن در استان مازندران واقع شده است.

روش‌های درون‌یابی مکانی: روش‌های درون‌یابی قطعی که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته‌اند عبارتند از: روش عکس فاصله با توان‌های مختلف (Inverse distance to power)، روش رگرسیون چندجمله‌ای (Polynomial regression)، روش چندجمله‌ای موضعی (Local polynomial) و روش اسپلاین (Thin Plate Smooth Splines). روش کریجینگ (Kriging) از روش‌های درون‌یابی آماری می‌باشد که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است. کلیه درون‌یابی‌ها در محیط نرم‌افزار Surfer ۹,۰ انجام شده است و سپس نتایج جهت انجام تحلیل بیش‌تر به محیط MATLAB ۷,۱۰ منتقل و در این محیط نمایش داده شده است.

اندازه‌گیری فاکتورهای فیزیکی و شیمیایی و ایجاد پایگاه داده: برای انجام این تحقیق از ۱۹ نقطه خلیج نمونه‌گیری انجام شد. انتخاب محل این نقاط به گونه‌ای صورت گرفت که به‌نحو مناسبی در خلیج توزیع شده باشند و برای درون‌یابی مکانی مناسب باشند. شکل ۱، موقعیت و پراکنش نقاط نمونه‌برداری شده در خلیج را نشان می‌دهد.



شکل ١: موقعیت مکانی ایستگاه‌های درون خلیج گرگان

جدول ١: موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های درون خلیج گرگان

ایستگاه	X (m)	Y (m)
١	٧٧٠٣١٣,٠۴	۴٠٨۶٥٢١
٢	٧۶٩٩٢٣,١٥	۴٠٨٠٠۶٠
٣	٧۶٧٥٨٥,٩٩	۴٠٨٥٧٥۶
۴	٧۶٧۴٨۶,٢٣	۴٠٨١٨٣۴
٥	٧۶٢٨٥٥,۴٢	۴٠٨٧٢۴۴
۶	٧۶۴٣٩٨,٣٩	۴٠٨٥۴۴٠
٧	٧۶۴۶٢٨,٣٣	۴٠٧٨٠۴٢
٨	٧۶١٥۴٠,۶	۴٠٨١۶۴٩
٩	٧٥٨۴٥٥,۴١	۴٠٨٥٢٥٧
١٠	٧٥٨٧٣۶,٣٠	۴٠٧۶٠١٠
١١	٧٥۶٠٩٠,٥۴	۴٠٨١۴٨٣
١٢	٧٥٢٥٣٧,٢۴	۴٠٨۴٢۴٧
١٣	٧٥٢٧٨۶,٩۴	۴٠٧٥٨٣١
١۴	٧۴٩٢٥٢,٧٩	۴٠٨٢١۴۴
١٥	٧۴٥١٣٧,٣۶	۴٠٨٣٠١٢
١۶	٧۴٥٣٥٠,٣٨	۴٠٧٥۶١۴
١٧	٧۴٢٢١٨,٠١	۴٠٨١٠٧٧
١٨	٧٣٧٧٥٩,٠٩	۴٠٨٠٩٥٢
١٩	٧٣٧٨۶٢,٣۶	۴٠٧٧٢٥٣

پارامترهایی که مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند شامل نیترات، نیتریت، قلیائیت، آمونیاک کل، شوری، DO، pH و دمای آب خلیج می‌باشند. نمونه‌برداری به‌صورت ماهانه‌ودر ١٢ ماه سال ١٣٩٠ صورت گرفت.درجه‌حرارت‌آب‌و هوا به‌کمک دماسنج‌جیوه‌ای، غلظت اکسیژن محلول به‌وسیله دستگاه اکسیژن‌سنج پرتابل (Hach)، pH به‌وسیله دستگاه پی‌اچ‌متر (Hach) اندازه‌گیری گردید. هدایت‌الکتریکی (EC) و کدورت و شوری: از طریق دستگاه هدایت‌سنجی مدل Hach تعیین شد. اندازه‌گیری نیتریت و آمونیوم و نیترات: اندازه‌گیری نیتریت با استفاده از سولفانیل آمید در طول موج ۵۴۳ و آمونیوم با استفاده از معرف نسلر در طول موج ۴۲۰، نیترات با استفاده ازمعرف بروسین در طول موج ۴۱۰ به‌وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری گردید. ازت کل: هضم نمونه به‌وسیله پرسولفات پتاسیم در دستگاه اتوکلاو و با استفاده از ستون کاهش کادمیم با معرف سولفانیل آمید در طول موج ۵۴۳ اندازه‌گیری شد. فسفات وکل فسفات: هضم نمونه به‌وسیله پرسولفات پتاسیم توسط دستگاه‌اتوکلاو و فسفات محلول به‌وسیله‌معرف اسیداسکوربیک در طول موج ۸۸۵ به‌وسیله دستگاه اسپکتروفتومتری CECEIL3021 اندازه‌گیری شد (Lenore و همکاران، ۱۹۸۹).

اجرای روش‌های درون‌یابی مکانی بر روی اندازه‌گیری‌های میدانی: تمامی پنج روش درون‌یابی مکانی تشریح شده (عکس فاصله، رگرسیون چندجمله‌ای، اسپلاین، چندجمله‌ای موضعی و کریجینگ) با استفاده‌از نرم‌افزار Surfer ۹,۰ بر روی داده‌های ماهانه مربوط به پارامترهای مورد بررسی اعمال شد. قبل از اجرای روش کریجینگ ابتدا از نرمال بودن توزیع داده‌ها با به‌کارگیری تست‌های Jarque-Bera، Lilliefors و Kolmogorov-Smirnov در محیط‌نرم افزار MATLAB ۷,۱۰ اطمینان حاصل شد. در صورت عدم نرمال بودن توزیع داده‌ها با الگاریتم‌گیری و جذر گرفتن اقدام به نرمال‌سازی توزیع داده‌ها گردید (طاهری‌شهرآئینی، ۱۳۹۰).

انتخاب روش بهینه برای پارامترهای مورد بررسی ماهانه: روش‌های مختلفی برای اعتبارسنجی روش‌های درون‌یابی وجوددارد که یکی از مهم‌ترین آن‌ها روش اعتبار می‌باشد((Cross Validation (CV) سنجی متقابل. روش کار بدین‌صورت است که در روش اعتبارسنجی متقابل، یک نقطه به‌طور موقت‌حذف و با استفاده از سایر نقاط و اعمال روش درون‌یابی مورد نظر، مقداری برای این نقطه تخمین زده و سپس این نقطه به محل خود برگردانده شده و نقطه بعدی حذف می‌گردد و به‌همین ترتیب برای تمام نقاط برآوردصورت می‌گیرد. در پایان ستون مقادیر مشاهده‌ای و ستون مقادیر برآورد شده در قالب معیارهای مختلف خطا مقایسه می‌شود. معیارهای مختلفی برای مقایسه مقادیر مشاهده‌ای و برآورد شده وجود دارد، مانند میانگین قدر مطلق خطا ((Mean Absolute Error (MAE)، میانگین انحراف خطا (Mean Bias Error (MBE)) و جذر میانگین مجموع مربعات خطا (Root Mean Square Error (RMSE)). در این تحقیق از معیار RMSE برای ارزیابی روش‌های درون‌یابی مختلف و انتخاب‌روش‌بهینه‌برای‌پارامترهای مورد بررسی در هر ماه استفاده گردید. این معیار به‌صورت رابطه زیر بیان شده و هر چقدر به صفر نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده اختلاف کم‌تر مقادیر برآورد شده نسبت به مقادیر مشاهده‌ای و بیانگر خطای کم‌تر روش می‌باشد:

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

با توجه به تئوری روش‌ها، هر روش درون‌یابی پارامترهایی دارد که انتخاب این پارامترها بر روی مقادیر برآورد آن روش تأثیر زیادی دارد. لذا لازم است که ابتدا پارامترهای هر روش بهینه گردد. پارامترهای بهینه هر روش درون‌یابی باید بهترین دقت را در برآورد ارائه نماید. از این‌رو به‌منظور بهینه‌سازی پارامترهای روش‌های درون‌یابی نیز از روش

اعتبارسنجی متقابل و معیار ارزیابی RMSE در این تحقیق استفاده شده است. بنابراین در قالب روش اعتبارسنجی هر یک از پارامترها تغییر داده شد و مناسب‌ترین آن (دارای کم‌ترین خطای برآورد) در نهایت انتخاب گردید.

تهیه‌نقشه توزیع مکانی ماهانه برای پارامترهای کیفی: پس از انتخاب روش بهینه برای مدل‌سازی توزیع مکانی، پارامترهای مورد بررسی در خلیج گرگان، نقشه‌های توزیع مکانی ماهانه با استفاده از روش بهینه برای هر پارامتر در محیط نرم‌افزار MATLAB ۷,۱۰ ترسیم شد.

تهیه‌نقشه‌های توزیع مکانی پارامترهای آلودگی برای نیمه اول و دوم سال و هم‌چنین نقشه‌های سالانه: پس از استخراج نقشه‌های توزیع آلودگی ماهانه در خلیج گرگان، مقادیر میانگین پارامترهای کیفی خلیج گرگان شامل نیترات، نیتریت، قلیائیت، آمونیاک، شوری، DO، pH و دمای آب در نیمه اول، نیمه دوم و کل سال از طریق تلفیق و میانگین‌گیری نقشه‌های کیفی ماهانه محاسبه و با نرم‌افزار MATLAB ۷,۱۰ ترسیم شد.

نتایج

مقادیر RMSE دوره نیمه اول و دوم و کل سال برای روش‌های درون‌یابی مختلف در شرایط تخمین پارامترهای کیفی مختلف در جداول ۱ تا ۳ ارائه شده اند. توجه شود که آن‌چه در این جداول ارائه شده است بهترین جواب‌های حاصله از هر روش است که با تغییر پارامترهای هر روش و با سعی و خطا حاصل شده است. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که برای تمامی پارامترهای مورد بررسی در تمامی دوره‌های زمانی، روش رگرسیون چندجمله‌ای بهترین جواب را ارائه می‌کند. از این‌رو با استفاده از روش رگرسیون چندجمله‌ای، نقشه‌های توزیع مکانی ماهانه پارامترهای مورد بررسی با استفاده از نرم‌افزار MATLAB ۷,۱۰ ترسیم شد. سپس با تلفیق نقشه‌های توزیع آلودگی ماهانه، نقشه‌های توزیع آلودگی سالانه و نیمه اول و دوم سال ۱۳۹۰ استخراج شد. به‌عنوان نمونه، نقشه‌های توزیع مکانی پارامترهای کیفی سالانه استخراج شده به همراه هیستوگرام فراوانی داده‌ها در شکل ۲ ارائه شده است. فراوانی داده‌ها براساس تعداد پیکسل با اندازه ۲۲×۲۲ متر بیان شده است. در نهایت برنامه‌ای در محیط MATLAB نگارش شد که قابلیت نمایش نقشه پارامترهای کیفی مختلف به‌همراه هیستوگرام آن‌ها و هم‌چنین قابلیت ارائه مقادیر غلظت را به‌صورت جدول برای مختصات درخواستی کاربر را در نیمه اول، نیمه دوم و کل طول سال را داراست. از آن‌جایی‌که استفاده از روش رگرسیون چندجمله‌ای در برخی مناطق خلیج باعث بروز برون‌یابی به‌جای درون‌یابی می‌شود، در نتیجه در نقشه‌های توزیع مکانی پارامترهای کیفی مختلف خلیج مقادیر بیش از ماکزیمم و کم‌تر از مینیمم مقادیر اندازه‌گیری شده میدانی پارامترها مشاهده خواهد شد. این مقادیر قابل قبول نبوده و بایستی مقادیر بیش از ماکزیمم به اندازه مقدار ماکزیمم و هم‌چنین مقادیر کم‌تر از مینیمم به اندازه مقدار مینیمم اندازه‌گیری شده میدانی پارامترها درنظر گرفته شود. در جدول ۴ مینیمم و ماکزیمم مقادیر پارامترهای اندازه‌گیری شده میدانی در دوره‌های زمانی نیم‌سال اول، نیم‌سال دوم و کل سال ارائه شده است.

جدول ۱: مقادیر RMSE روش‌های مختلف درون‌یابی مربوط به داده‌های قلیائیت، آمونیاک و DO در نیمه اول، نیمه دوم و کل سال ۹۰

روش‌ها	RMSE (نیم‌سال اول)			RMSE (نیم‌سال دوم)			RMSE (سال ۹۰)		
	قلیائیت	آمونیاک	DO	قلیائیت	آمونیاک	DO	قلیائیت	آمونیاک	DO
عکس فاصله	۳۳/۰۴	۰/۰۸۶	۰/۳۹	۲۸/۱۹	۰/۰۸۳	۰/۴۶	۳۰/۸۹	۰/۰۸۷	۰/۴۲۶
	توان۲	توان۱	توان۲	توان۱	توان۳	توان۲	توان۱	توان۱	توان۲
چندجمله‌ای موضعی	۳۹/۳۸	۰/۰۹۲	۰/۴۰۹	۳۱/۳۵	۰/۱۰۴	۰/۴۷۱	۳۵/۳۷	۰/۰۹۸	۰/۴۴
رگرسیون چندجمله‌ای	۲۴/۲	۰/۰۶۵	۰/۱۶۸	۲۳/۳۸	۰/۰۷۷	۰/۳	۲۴/۷۹	۰/۰۷۱	۰/۲۳۴
	مرتبه۲	مرتبه۲	مرتبه۲	مرتبه۲	مرتبه۲	مرتبه۲	مرتبه۲	مرتبه۲	مرتبه۲
اسپلاین	۳۸/۳۹	۰/۰۹	۰/۴۲۷	۳۱/۹۳	۰/۱۰۱	۰/۴۵۹	۳۵/۴۴	۰/۰۹۷	۰/۴۵
کریجینگ	۳۶/۹۶	۰/۰۸۳	۰/۳۶	۲۹/۲۱	۰/۰۹	۰/۴۷۴	۳۳/۰۸	۰/۰۸۷	۰/۴۱۷

جدول ۲: مقادیر RMSE روش‌های مختلف درون‌یابی مربوط به داده‌های نیترات، نیتریت و pH در نیمه اول، نیمه دوم و کل سال ۹۰

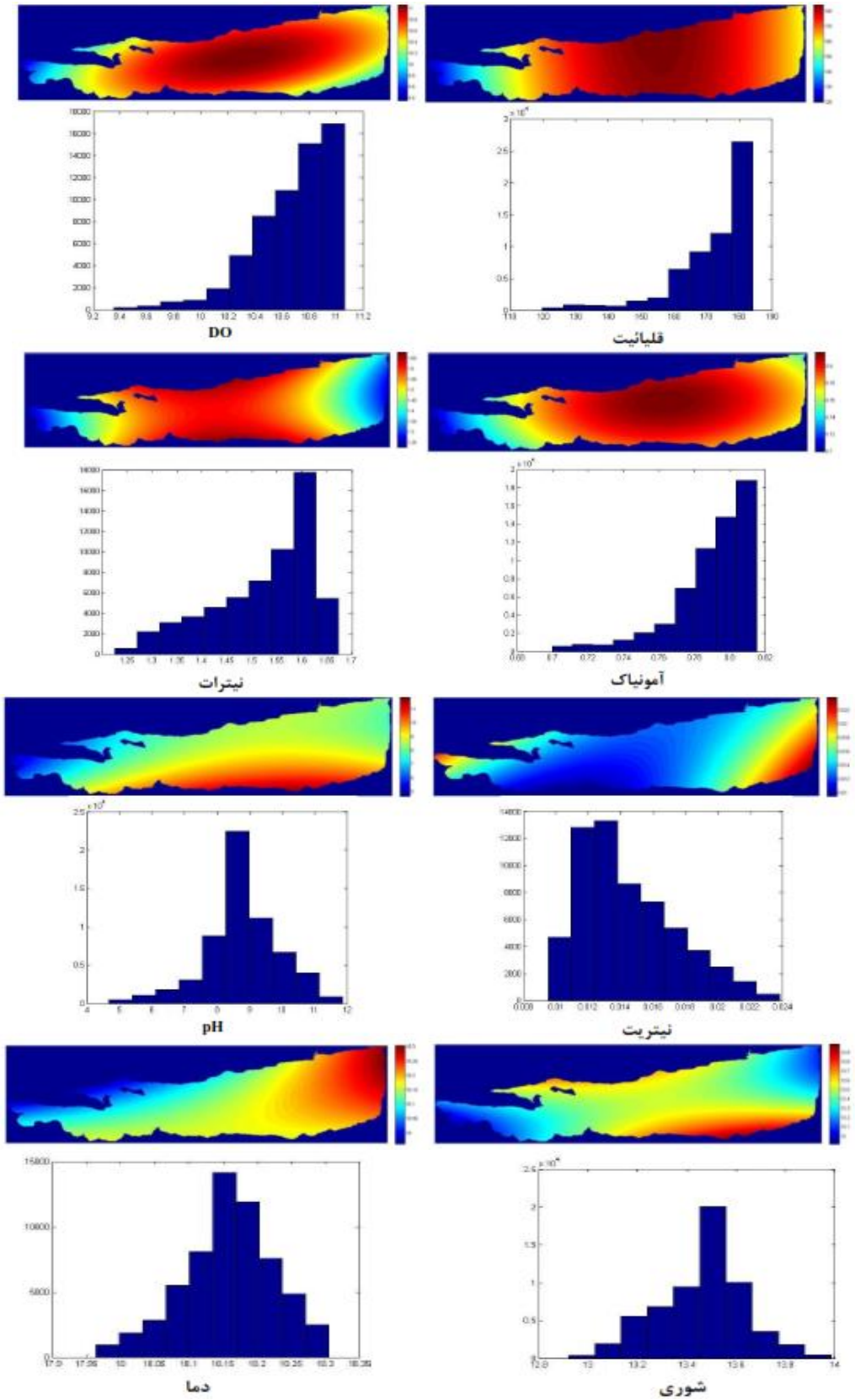
روش‌ها	RMSE (نیم‌سال اول)			RMSE (نیم‌سال دوم)			RMSE (سال ۹۰)		
	نیترات	نیتریت	pH	نیترات	نیتریت	pH	نیترات	نیتریت	pH
عکس فاصله	۳۹۳/۰	۰۰۳/۰	۱۰۲/۰	۱۸/۰	۰۱۵/۰	۱۱/۴	۲۸۸/۰	۰۰۹/۰	۱۲/۲
چندجمله‌ای موضعی	توان۲	توان۱	توان۱	توان۱	توان۱	توان۶	توان۲	توان۱	توان۱
رگرسیون چندجمله‌ای	۴۴۷/۰	۰۰۳/۰	۱۱۷/۰	۲۰۷/۰	۰۱۷/۰	۲/۵	۳۲۷/۰	۰۱/۰	۶۵۹/۲
اسپلاین	۲۹۶/۰	۰۰۲/۰	۷۱/۱	۱۴/۰	۰۱۱/۰	۳۴/۳	۲۲/۰	۰۰۷/۰	۰۸۱/۰
کریجینگ	مرتبه۲	مرتبه۱	مرتبه۲	مرتبه۲	مرتبه۲	مرتبه۲	مرتبه۲	مرتبه۲	مرتبه۲
	۴۳۷/۰	۰۰۳/۰	۱۱۸/۰	۲/۰	۰۱۸/۰	۹۵/۴	۳۲۷/۰	۰۱۱/۰	۵۴/۲
	۴۰۷/۰	۰۰۳/۰	۱/۰	۲/۰	۰۱۵/۰	۰۹/۰	۳۰۵/۰	۰۰۹/۰	۱/۰

جدول ۳: مقادیر RMSE روش‌های مختلف درونیابی مربوط به داده‌های شوری و دما در نیمه اول، نیمه دوم و کل سال ۹۰

روش‌ها	RMSE (نیمسال اول)		RMSE (نیمسال دوم)		RMSE (سال ۹۰)	
	شوری	دما	شوری	دما	شوری	دما
عکس فاصله	۵۷/۰	۵۱۸/۰	۲۸۹/۰	-	۴۳/۰	۵۱۸/۰
چندجمله‌ای موضعی	توان۱	توان۱	توان۱	-	توان۱	توان۱
رگرسیون چندجمله‌ای	۶۴۸/۰	۵۵۵/۰	۳۱/۰	-	۴۹/۰	۵۵۵/۰
اسپلاین	۴۳۷/۰	۴۰۱/۰	۲/۰	-	۳۱۹/۰	۴۰۱/۰
کریجینگ	مرتبه۲	مرتبه۲	مرتبه۲	-	مرتبه۲	مرتبه۲
	۶۱۱/۰	۵۵۵/۰	۲۷/۰	-	۴۷/۰	۵۵۵/۰
	۶۰۲/۰	۸۸۹/۰	۲۹۶/۰	-	۴۴۹/۰	۸۸۹/۰

جدول ۴: حداقل وحداکثر مقادیر پارامترهای اندازه‌گیری شده میدانی (خلیج گرگان)

پارامتر	نیم‌سال اول		نیم‌سال دوم		کل سال	
	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر
دما (درجه سانتی‌گراد)	۱۸/۹	۳۰	۹	۱۶	۹	۳۰
PH	۷/۳۷	۸/۵۸	۷/۸	۸/۸۸	۷/۳۷	۸/۸۸
اکسیژن محلول (میلی‌گرم بر لیتر)	۶/۷۹	۱۰/۱۹	۹/۹	۱۶/۰۷	۶/۷۹	۱۶/۰۷
شوری (ppt)	۱۲/۴۹	۱۷	۱۰	۱۴/۵	۱۰	۱۷
قلیائیت	۱۰۰	۴۰۰	۱۷	۲۰۰	۱۷	۴۰۰
نیترات (میلی‌گرم بر لیتر)	۰/۰۹	۳/۹۶	۰/۳۳	۳/۷	۰/۰۹	۳/۹۶
نیتریت (میلی‌گرم بر لیتر)	۰	۰/۰۲	۰	۰/۱۹	۰	۰/۱۹
آمونیاک (میلی‌گرم بر لیتر)	۰/۶	۱/۵	۰/۵	۱	۰/۵	۱/۵



شکل ۲: نقشه‌های توزیع مکانی پارامترهای کیفی مختلف به همراه هیستوگرام فراوانی آن‌ها در خلیج گرگان مربوط به دوره کل سال ۹۰

بحث

Forsythe و Marvin (۲۰۰۵) توزیع مکانی آلاینده‌های سرب، جیوه، HCB و PCBs را با استفاده از GIS و روش کریجینگ به‌منظور بررسی کیفیت رسوبات دریاچه‌های Erie و Ontario به‌دست آوردند و مقادیر آلودگی‌ها را با استانداردهای کیفی کانادا مورد مقایسه قرار دادند. در نهایت نتایج قابل قبولی از تخمین غلظت تمامی آلاینده‌های مورد بررسی در این دو دریاچه به‌دست آمد. Wang و Liu (۲۰۰۵) برای ارزیابی مقدار کلروفیل در دریاچه Taihu در چین و تعیین مدل توزیع مکانی آن از روش کریجینگ استفاده کردند. آن‌ها با ۷۵ نمونه از دریاچه به درون‌یابی مکانی پرداختند و از مدل کروی برای تمامی واریوگرام‌های تجربی استفاده نمودند. نتایج نشان داد روش‌های زمین آماری می‌تواند برای تعیین توزیع مکانی پارامترهای کیفی آب مانند کلروفیل، در پهنه های آبی کم‌عمق مثل دریاچه Taihu مناسب باشد و در ارزیابی کیفی آب و تشخیص عوامل دخیل در یوتریفیکاسیون در دریاچه‌هایی مثل Taihu موثر باشد. Barca و Passarella (۲۰۰۷) برای تهیه نقشه خطر نیترات در دو حد آستانه ۱۰و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر، در دشت مودنای ایتالیا از دو روش کریجینگ گسسته و شبیه‌سازی استفاده نمودند. نتایج این دانشمندان داد که روش کریجینگ گسسته روشی مناسب جهت بررسی میزان تخریب آب زیرزمینی می‌باشد. با توجه به مروری که برمطالعات گذشته انجام شد می‌توان گفت که در موردخلیج گرگان تاکنون تحقیقی به‌منظور مدل‌سازی توزیع مکانی پارامترهای کیفی آب آن صورت نگرفته است. از طرفی روش مناسب درون‌یابی مکانی در برآورد یک متغیر، به نوع متغیر و عوامل منطقه‌ای تاثیرگذار برآن بستگی دارد و نمی‌توان روش منتخب در یک منطقه را به سایر مناطق تعمیم داد (صفری، ۱۳۸۱). با استفاده از روش اعتبارسنجی متقابل و براساس معیار RMSE، بهترین روش برای مدل‌سازی‌مکانی پارامترهای‌مختلف در خلیج گرگان، روش رگرسیون چندجمله‌ای بهترین روش درون‌یابی مکانی می‌باشد. جداول ۱ تا ۳ به روشنی نشان می‌دهد که بعد از روش رگرسیون چندجمله‌ای، برای تخمین قلیائیت، نیترات و شوری به‌ترتیب روش‌های عکس فاصله و روش کریجینگ و برای تخمین اکسیژن محلول و نیتریت به‌ترتیب روش کریجینگ و عکس فاصله روش‌های مناسبی می‌باشند. هم‌چنین روش مناسب پس از روش رگرسیون چندجمله‌ای برای تخمین pH، روش کریجینگ و برای تخمین دما، روش عکس فاصله می‌باشد. در تخمین آمونیاک روش‌های مناسب پس از روش رگرسیون چندجمله‌ای، روش عکس فاصله و کریجینگ بودند که عملکرد مشابهی داشتند. لذا آن‌چه در مجموع می‌توان گفت این است که پس از روش رگرسیون چندجمله‌ای، روش‌های عکس فاصله و روش کریجینگ با عملکردهای مشابه می‌توانند مطرح باشند. انجام عملیات درون‌یابی توسط روش کریجینگ در مقایسه با روش عکس فاصله بسیار مشکل‌تر و زمان‌برتر است زیرا در روش کریجینگ نیاز به تعیین مدل واریوگرام و تست نرمال بودن توزیع داده‌ها می‌باشد و چنان‌چه توزیع داده‌ها نرمال نباشد نیاز به عملیات نرمال‌سازی می‌باشد. لذا روش عکس فاصله به‌علت سادگی در انجام عملیات به‌عنوان گزینه دوم و روش کریجینگ به‌عنوان گزینه سوم جهت مدل‌سازی کیفیت آب خلیج گرگان انتخاب می‌شوند. هم‌چنین روش‌های اسپلاین و چندجمله‌ای موضعی روش‌های مناسبی برای انجام مدل‌سازی مکانی در خلیج گرگان نمی‌باشند. نتایج به‌دست آمده تنها برای این خلیج قابل استفاده و معتبر می‌باشد و نمی‌توان آن‌را به سایر پهنه‌های آبی تعمیم داد. زیرا همان‌طورکه در مقدمه ذکر گردید روش مناسب درون‌یابی مکانی در برآورد یک متغیر، به نوع متغیر و عوامل منطقه‌ای تاثیرگذار برآن بستگی دارد. با میانگین‌گیری از نقشه‌های مدل‌سازی کیفی ۶ ماهه اول سال، میانگین ۶ ماهه اول پارامترهای کیفی خلیج گرگان محاسبه شد. با میانگین‌گیری از نقشه‌های پارامترهای نیتریت، قلیائیت، آمونیاک، شوری، DO، pH و دمای آب خلیج گرگان برای نیم‌سال اول، نیم‌سال دوم و کل سال، میانگین پارامترهای کیفی شش ماهه اول و دوم سال و هم‌چنین کل سال محاسبه شد. برطبق نتایج تحقیق حاضر، حداکثر مقادیر پارامتر دما ۳۰ درجه ساتی‌گراد، پی‌اچ ۸/۸۸، اکسیژن محلول ۱۶/۰۷، شوری ۱۷، قلیائیت ۴۰۰، نیترت ۳/۹۶، نیتریت ۰/۱۹ و آونیاک ۱/۵ و حداقل آن‌ها به‌ترتیب معادل با ۹، ۷/۳۷، ۶/۷۹، ۱۰، ۱۷، ۰/۰۹، اندازه‌گیری شد.

منابع

۱. **صفری، م.؛ ۱۳۸۱.** تعیین شبکه بهینه پایش آب‌های زیرزمینی با استفاده از روش‌های زمین آماری. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد. دانشکده کشاورزی. دانشگاه تربیت مدرس. ۸۹ صفحه.

۲. **معروفی، ص.؛ ترنجیان، ا. و زارعابیانه، ح.، ۱۳۸۸.** ارزیابی روش‌های زمین آمار جهت تخمین هدایت الکتریکی و pH زه آب‌های آبراهه‌ای دشت همدان- بهار. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. سال ۱۶، شماره ۲، صفحات ۱۶۹-۱۸۷.

۳. **طاهری‌شهرآئینی، ح.، ۱۳۹۰.** جزوه درس مدل‌سازی کیفی منابع آب. دانشگاه تربیت مدرس، ۸۰ صفحه.

۴. **Bai, J.; Cui, B.; Chen, B.; Zhan, K.; Deng, W.; Gao, H. and Xiao, R., 2001.** Spatial distribution and ecological risk assessment of heavy metals in surface sediments from a typical plateau lake wetland China. Ecological Modelling. Vol. 222, pp: 301-306.

۵. **Barca, E. and Passarella, G., 2007.** Spatial evaluation of the risk of groundwater quality degradation. A comparison between disjunctive kriging and geostatistical simulation, Environ Monit Assess.

۶. **Forsythe, K.W. and Marvin, C.H., 2005.** Analyzing the spatial distribution of sediment contamination in the Lower

Great Lakes. Water Quality Resources Canada. Vol. 40, No. 4, pp: 389-401.

۷. **Forsythe, K.W. and Marvin, C.H., 2005.** Analyzing the Spatial Distribution of Sediment Contamination in the Lower Great Lakes. Journal of Water Qual. Res. Canada. Vol. 40, No. 4, pp: 389-401.

۸. **Jakubek, D.J. and Forsythe, K.W., 2004.** A GIS-based kriging approach for assessing Lake Ontario sediment contamination. Great Lakes Geographer. Vol. 11, No. 1, pp: 1-14.

۹. **Johnston, K.; VerHoef, J.M.; Krivoruchko, K. and Lccas, N., 2001.** Using ArcGIS Geostatistical Analyst. New Yourk, USA. 309 P.

۱۰. **Kazemi, S.M. and Hosseini, S.M., 2011.** Comparison of spatial interpolation methods for estimating heavy metals in sediments of Caspian Sea. Expert Systems with Applications. Vol. 38, pp: 1632-1649.

۱۱. **Lenore, S.; Clesceri, A.E.; Greenberg, P.R. and Trusse, T., l989**. Standard Methods for the Examination of water and waste water American Public Health Association.

۱۲. **Liu, Y.; Guo, H.C.; Yu, Y.J.; Huang, K. and Wang, Z., 2007.** Sediment chemistry and the variation of three altiplano lakes to recent anthropogenic impacts in south western China. Water SA. Vol. 33, No. 2, pp: 305-310.

۱۳. **Viera, S.R.; Rielson, D.R. and Biggar J.W., 1983.** Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. Hilgardia. Vol. 51, No. 3, pp: 1-75.

۱۴. **Wang, X.J. and Liu, R.M., 2005.** Spatial analysis and eutrophication assessment for chlorophyll in Taihu Lake. Environmental Monitoring and Assessment. Vol. 101, pp: 167-174.