

## 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 ۳۶۹۷-۱۹۳۹۵، 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 نترات، نیتريت، قلیانیت، آمونیاک، شوری، pH، اکسیژن محلول و دمای آب از ۱۹ نقطه مختلف خلیج گرگان برای توزیع مکانی پارامترهای کیفی آب خلیج انجام شد. نمونه‌برداری به صورت 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 به کارگیری 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 نترات، نیتريت، قلیانیت، آمونیاک، شوری، pH، DO و دمای آب در خلیج محاسبه شدند. برطبق نتایج تحقیق حاضر، حداکثر مقادیر پارامتر دما ۳۰ درجه سانی گراد، پی اچ ۸/۸۸، اکسیژن محلول ۱۶/۰۷، شوری ۱۷، قلیانیت ۴۰۰، نیتريت ۳/۹۶، نیتريت ۰/۱۹ و آمونیاک 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، قلیانیت، شوری، اکسیژن محلول، پی اچ



## مقدمه

قرار دادند. Hosseini و Kazemi (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 به روش ANFIS می‌باشد. با توجه 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 بر آن 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، نیتريت، قلیائیت، آمونیاک، شوری، DO، pH و 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° ۲۵' تا ۲۵° ۵۴' شرقی و از ۴۶° ۳۶' تا ۳۶° ۵۴' 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 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.

اهمیت زیست‌محیطی خلیج‌ها و تالاب‌ها از جمله مسائلی است که انجام مطالعات را برای اهداف مختلف زیست‌محیطی، آبریز پروری، توریستی، اقتصادی و... ضروری می‌سازد. خلیج گرگان از اکوسیستم‌های 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 درآمده ولی وجود صید بی‌رویه، افزایش ورود پساب شهری، صنعتی، دامداری و کشاورزی از یک سو و لزوم بهره‌برداری بیش‌تر از منابع غذایی این پهنه آبی برای جمعیت فزاینده کشور با توجه به اهمیت زیست‌محیطی خلیج گرگان از سوی دیگر از جمله 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 (Hosseini و Kazemi، 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؛ Hoseini و Kazemi، 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. Jakube و Forsythe (۲۰۰۴) با به‌کارگیری روش کریجینگ معمولی و استفاده از ۷۰ نمونه از دریاچه Ontario، نقشه‌های توزیع آلودگی‌های سرب، جیوه، HCB و PCBs و هم‌چنین شاخص کیفی رسوب (SQI) (Sediment Quality Index) را تهیه کردند. نتایج تحقیق آن‌ها دقت بیش‌تر تخمین آلودگی با روش کریجینگ را نشان داد. Marvin و Forsythe (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. Liu و Wang (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



موج ۵۴۳ اندازه گیری شد. فسفات و کل فسفات: هضم نمونه به وسیله پرسولفات پتاسیم توسط دستگاه اتوکلاو و فسفات محلول به وسیله معرف اسیداسکوربیک در طول موج ۸۸۵ به وسیله دستگاه اسپکتروفتومتری CECEIL3021 اندازه گیری شد (Lenore و همکاران، ۱۹۸۹).

### اجرای روش های درون یابی مکانی بر روی اندازه گیری های

میدانی: تمامی پنج روش درون یابی مکانی تشریح شده (عکس فاصله، رگرسیون چند جمله ای، اسپلاین، چند جمله ای موضعی و کریجینگ) با استفاده از نرم افزار ۹,۰ Surfer بر روی داده های ماهانه مربوط به پارامترهای مورد بررسی اعمال شد. قبل از اجرای روش کریجینگ ابتدا از نرمال بودن توزیع داده ها با به کارگیری تست های Lilliefors, Jarque-Bera و Kolmogorov-Smirnov در محیط نرم افزار ۷,۱۰ MATLAB اطمینان حاصل شد. در صورت عدم نرمال بودن توزیع داده ها با لگاریتم گیری و جذر گرفتن اقدام به نرمال سازی توزیع داده ها گردید (طاهری شهرآئینی، ۱۳۹۰).

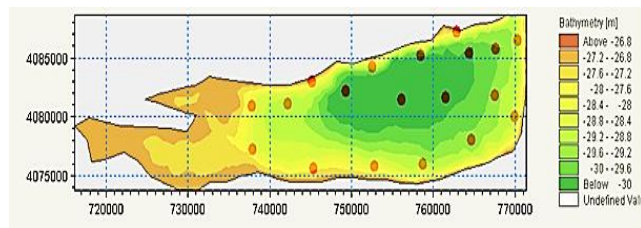
### انتخاب روش بهینه برای پارامترهای مورد بررسی ماهانه:

روش های مختلفی برای اعتبارسنجی روش های درون یابی وجود دارد که یکی از مهم ترین آن ها روش اعتبار می باشد (Cross Validation (CV)) سنجی متقابل. روش کار بدین صورت است که در روش اعتبارسنجی متقابل، یک نقطه به طور موقت حذف و با استفاده از سایر نقاط و اعمال روش درون یابی مورد نظر، مقداری برای این نقطه تخمین زده و سپس این نقطه به محل خود برگردانده شده و نقطه بعدی حذف می گردد و به همین ترتیب برای تمام نقاط برآورد صورت می گیرد. در پایان ستون مقادیر مشاهده ای و ستون مقادیر برآورد شده در قالب معیارهای مختلف خطا مقایسه می شود. معیارهای مختلفی برای مقایسه مقادیر مشاهده ای 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 روش های درون یابی مختلف و انتخاب روش بهینه برای پارامترهای مورد بررسی در هر ماه استفاده گردید. این معیار به صورت رابطه زیر بیان شده و هر چقدر به صفر نزدیک تر باشد نشان دهنده اختلاف کم تر مقادیر برآورد شده نسبت به مقادیر مشاهده ای و بیانگر خطای کم تر

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

روش می باشد:

با توجه به ثنوری روش ها، هر روش درون یابی 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 درون یابی باید بهترین دقت را در برآورد ارائه نماید. از این رو به منظور بهینه سازی پارامترهای روش های درون یابی نیز از روش



شکل ۱: موقعیت مکانی ایستگاه های درون خلیج گرگان

جدول ۱: موقعیت جغرافیایی ایستگاه های درون خلیج گرگان

ایستگاه	X (m)	Y (m)
۱	۷۷۰۳۱۳,۰۴	۴۰۸۶۵۲۱
۲	۷۶۹۹۲۳,۱۵	۴۰۸۰۰۶۰
۳	۷۶۷۵۸۵,۹۹	۴۰۸۵۷۵۶
۴	۷۶۷۴۸۶,۲۳	۴۰۸۱۸۳۴
۵	۷۶۲۸۵۵,۴۲	۴۰۸۷۲۴۴
۶	۷۶۴۳۹۸,۳۹	۴۰۸۵۴۴۰
۷	۷۶۴۶۲۸,۳۳	۴۰۷۸۰۴۲
۸	۷۶۱۵۴۰,۰۶	۴۰۸۱۶۴۹
۹	۷۵۸۴۵۵,۴۱	۴۰۸۵۲۵۷
۱۰	۷۵۸۷۳۶,۳۰	۴۰۷۶۰۱۰
۱۱	۷۵۶۰۹۰,۵۴	۴۰۸۱۴۸۳
۱۲	۷۵۲۵۳۷,۲۴	۴۰۸۴۲۴۷
۱۳	۷۵۲۷۸۶,۹۴	۴۰۷۵۸۳۱
۱۴	۷۴۹۲۵۲,۷۹	۴۰۸۲۱۴۴
۱۵	۷۴۵۱۳۷,۳۶	۴۰۸۳۰۱۲
۱۶	۷۴۵۳۵۰,۳۸	۴۰۷۵۶۱۴
۱۷	۷۴۲۲۱۸,۰۱	۴۰۸۱۰۷۷
۱۸	۷۳۷۷۵۹,۰۹	۴۰۸۰۹۵۲
۱۹	۷۳۷۸۶۲,۳۶	۴۰۷۷۲۵۳

پارامترهایی که مورد اندازه گیری قرار گرفتند شامل نیترات، نیتريت، قلیائیت، آمونیاک کل، شوری، DO، pH و دمای آب خلیج می باشند. نمونه برداری به صورت ماهانه در ۱۲ ماه سال ۱۳۹۰ صورت گرفت. درجه حرارت آب و هوا به کمک دماسنج جیوه ای، غلظت اکسیژن محلول به وسیله دستگاه اکسیژن سنج پرتابل (Hach)، pH به وسیله دستگاه پی اچ متر (Hach) اندازه گیری گردید. هدایت الکتریکی (EC) و کدورت و شوری: از طریق دستگاه هدایت سنجی مدل Hach تعیین شد. اندازه گیری نیتريت و آمونیوم و نیترات: اندازه گیری نیتريت با استفاده از سولفانیل آمید در طول موج ۵۴۳ و آمونیوم با استفاده از معرف نسلر در طول موج ۴۲۰، نیترات با استفاده از معرف بروسین در طول موج ۴۱۰ به وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه گیری گردید. ازت کل: هضم نمونه به وسیله پرسولفات پتاسیم در دستگاه اتوکلاو و با استفاده از ستون کاهش کادمیم با معرف سولفانیل آمید در طول

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 آنجایی که 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 در نظر گرفته شود. در جدول ۴ مینیمم و ماکزیمم مقادیر پارامترهای اندازه‌گیری شده میدانی در دوره‌های زمانی نیمه‌سال اول، نیمه‌سال دوم و کل سال ارائه شده است.

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.

#### تهیه نقشه 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.

#### تهیه نقشه‌های 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 شده‌اند. 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

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
چندجمله‌ای موضعی	توان ۲	توان ۱	توان ۲	توان ۱	توان ۳	توان ۲	توان ۱	توان ۱	توان ۲
رگرسیون چندجمله‌ای	۳۹/۳۸	۰/۰۹۲	۰/۴۰۹	۳۱/۳۵	۰/۱۰۴	۰/۴۷۱	۳۵/۳۷	۰/۰۹۸	۰/۴۴
اسپلین	۲۴/۲	۰/۰۶۵	۰/۱۶۸	۲۳/۳۸	۰/۰۷۷	۰/۳	۲۴/۷۹	۰/۰۷۱	۰/۲۳۴
کریجینگ	مرتب ۲	مرتب ۲	مرتب ۲	مرتب ۲	مرتب ۲	مرتب ۲	مرتب ۲	مرتب ۲	مرتب ۲
	۳۸/۳۹	۰/۰۹	۰/۴۲۷	۳۱/۹۳	۰/۱۰۱	۰/۴۵۹	۳۵/۴۴	۰/۰۹۷	۰/۴۵
	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، نیتريت و pH در نیمه اول، نیمه دوم و کل سال ۹۰

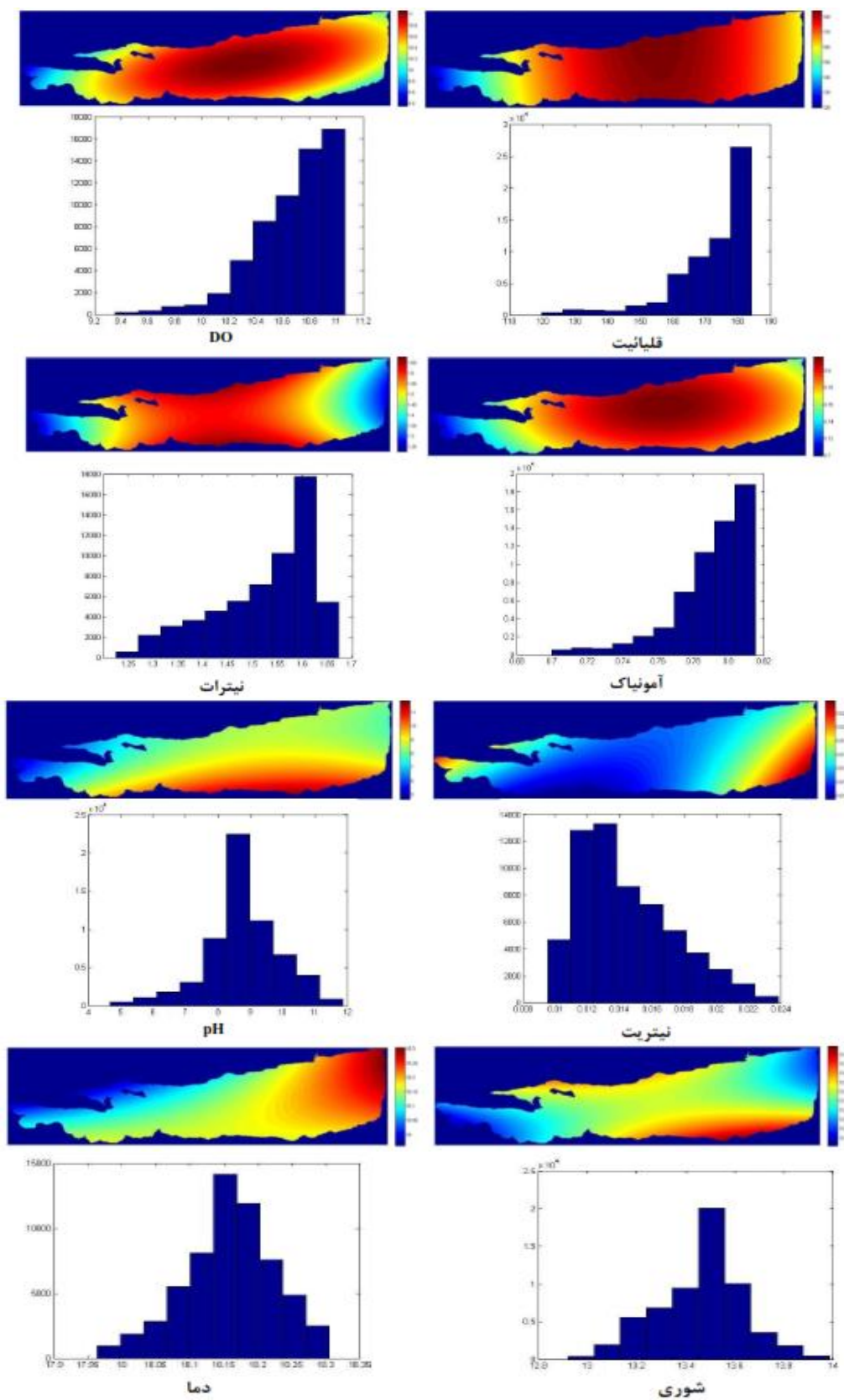
روش‌ها	RMSE (نیم‌سال اول)			RMSE (نیم‌سال دوم)			RMSE (سال ۹۰)		
	نیترات	نیتريت	pH	نیترات	نیتريت	pH	نیترات	نیتريت	pH
عکس فاصله	۳۹۳/۰	۰۰۳/۰	۱۰۲/۰	۱۸/۰	۰۱۵/۰	۱۱/۴	۲۸۸/۰	۰۰۹/۰	۱۲/۲
چندجمله‌ای موضعی	۴۴۷/۰	۰۰۳/۰	۱۱۷/۰	۲۰۷/۰	۰۱۷/۰	۲/۵	۳۲۷/۰	۰۱/۰	توان ۱
رگرسیون چندجمله‌ای	۲۹۶/۰	۰۰۲/۰	۷۱/۱	۱۴/۰	۰۱۱/۰	۳۴/۳	۲۲/۰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

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	۶۴۸/۰	۵۵۵/۰	۳۱/۰	-	۴۹/۰	۵۵۵/۰
رگرسیون چندجمله‌ای	۴۳۷/۰	۴۰۱/۰	۲/۰	-	۳۱۹/۰	۴۰۱/۰
اسپلاین	۶۱۱/۰	۵۵۵/۰	۲۷/۰	-	۴۷/۰	۵۵۵/۰
کریجینگ	۶۰۲/۰	۸۸۹/۰	۲۹۶/۰	-	۴۴۹/۰	۸۸۹/۰

جدول ۴: حداقل و حداکثر 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
نیتريت (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

مقایسه با روش عکس فاصله بسیار مشکل تر و زمان برتر 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 به علت 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 آن را به سایر پهنه‌های آبی تعمیم داد. زیرا همان‌طور که در مقدمه ذکر گردید روش مناسب درون‌یابی مکانی در برآورد یک متغیر، به نوع متغیر و عوامل منطقه‌ای تاثیرگذار بر آن 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 نیتريت، 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 سانی‌گراد، پی‌اچ ۸/۸۸، اکسیژن محلول ۱۶/۰۷، شوری ۱۷، قلیائیت ۴۰۰، نیتريت ۳/۹۶، نیتريت ۰/۱۹ و آمونیاک 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 زمین‌آماري. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد. دانشکده کشاورزی. دانشگاه تربیت مدرس. ۸۹ صفحه.
۲. معروفی، ص.؛ ترنجیان، ا. و زارعیان، ح.؛ ۱۳۸۸. ارزیابی روش‌های زمین‌آمار 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

Marvin و Forsythe (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. Liu و Wang (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 زمین‌آماري می‌تواند برای تعیین توزیع مکانی پارامترهای کیفی آب مانند کلروفیل، در پهنه‌های آبی کم‌عمق مثل دریاچه Taihu مناسب باشد و در ارزیابی کیفی آب و تشخیص عوامل دخیل در یوتریفیکاسیون در دریاچه‌هایی مثل Taihu موثر باشد. Passarella و Barca (۲۰۰۷) برای تهیه نقشه خطر نیتريت در دو حد آستانه ۱۰ و 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 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 بر آن 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 مدل‌سازی مکانی پارامترهای مختلف در خلیج گرگان، روش رگرسیون چندجمله‌ای بهترین روش درون‌یابی مکانی می‌باشد. جداول ۱ تا ۳ به روشی نشان می‌دهد که بعد از روش رگرسیون چندجمله‌ای، برای تخمین قلیائیت، نیتريت و شوری به‌ترتیب روش‌های عکس فاصله و روش کریجینگ و برای تخمین اکسیژن محلول و نیتريت 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



- 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., 1989.** 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.

