

تغییرات زمانی - مکانی غلظت نیترات و فسفات در خلیج گرگان

عاطفه جوانی*، کارشناس ارشد مهندسی عمران - محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

حمید طاهری شهرآئینی، استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه شاهرود، شاهرود، ایران.

پژوهشکده هواشناسی، دانشگاه برلین، آلمان.

حسن محمد خانی، عضو هیئت علمی موسسه تحقیقات شیلات ایران، گلستان، گرگان، ایران.

بهروز منصوری، کارشناس ارشد مرکز تحقیقات شیلات استان گلستان، گرگان، ایران.

احمد حامی طبری، کارشناس ارشد مرکز تحقیقات شیلات استان گلستان، گرگان، ایران.

E-mail* : atefe.javani@modares.ac.ir

دریافت: ۱۳۹۲/۰۸/۱۴ - پذیرش: ۱۳۹۳/۰۱/۰۹

چکیده

در این تحقیق به منظور تهیه نقشه پهنه‌بندی و توزیع مکانی غلظت نیترات و فسفات در خلیج گرگان در فصل بهار، تابستان، پاییز و زمستان، ابتدا نمونه‌گیری و آنالیز ماهانه غلظت نیترات و فسفات در ۱۲ ماه سال ۱۳۹۰ از ۱۹ نقطه مختلف در خلیج گرگان انجام شد. به منظور مدل‌سازی توزیع مکانی نیترات و فسفات در خلیج، داده‌های ماهانه مورد درون‌یابی توسط روش‌های درون‌یابی مختلف مثل روش‌های کریجینگ، عکس فاصله با توای نه‌ای مختلف، رگرسیون چند جمله‌ای، چند جمله‌ای موضعی و اسپلاین قرار گرفتند. روش‌های ذکر شده با بکارگیری روش اعتبار سنجی متقابل بر اساس معیار ارزیابی جذر میانگین مجموع مربعات خطا مورد مقایسه قرار گرفتند. نتایج نشان داد که روش رگرسیون چند جمله‌ای مرتبه ۲ برای تهیه نقشه پهنه‌بندی ماهانه غلظت نیترات و فسفات در خلیج گرگان، بهتر از دیگر روش‌های مورد مطالعه می‌باشد. بدین ترتیب نقشه‌های ماهانه توزیع مکانی غلظت نیترات و فسفات ایجاد شدند. سپس از تلفیق نقشه‌های غلظت نیترات و فسفات ماهانه، نقشه‌های فصلی توزیع مکانی غلظت نیترات و فسفات ایجاد شدند و تغییرات زمانی (فصلی) فسفات و نیترات خلیج گرگان بیان شد.

واژه‌های کلیدی: خلیج گرگان، نیترات و فسفات، روش‌های درون‌یابی، تغییرات فصلی، رگرسیون چند جمله‌ای.

۱- مقدمه

مطالعات و تحقیقات در زمینه آلودگی آن‌ها و بطور کلی مدیریت کیفی خلیج برای اهداف مختلف زیست محیطی، اقتصادی و ... ضروری به نظر می‌رسد. به منظور برآورد میزان آلودگی پهنه‌بندی، اندازه‌گیری پارامترهایی همچون نیترات، فسفات و ... ضروری است. نیترات و فسفات مواد مغذی اصلی بوده و علت اصلی وقوع پدیده تغذیه

جایگاه پهنه‌های آبی در حیات بشر انکار ناپذیر است. خلیج‌ها از جمله پهنه‌های آبی با اهمیت و اکوسیستم‌های بسیار حساس در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان از جمله ایران می‌باشند. در شرایط کنونی که با کم‌آبی ناشی از خشکسالی و کاهش بارش در کشور روبرو هستیم، حفظ پهنه‌های آبی از جمله خلیج‌ها و تالاب‌ها و انجام

کیفی آب‌های زیرزمینی دشت رفسنجان پرداختند. Forsythe و همکاران (۲۰۱۰) از روش کریجینگ برای دستیابی به توزیع مکانی غلظت روی در رسوبات دریاچه Ontario استفاده کردند. کاظمی و حسینی (۲۰۱۱) به منظور مدلسازی توزیع مکانی فلزات سنگین در رسوبات دریای خزر به مقایسه چهار روش کریجینگ معمولی (OK)، الگوریتم ژنتیک بر اساس شبکه‌های عصبی مصنوعی (GA-ANN)، سیستم استنتاج انطباقی فازی (ANFIS) و شبیه سازی شرطی (CS) پرداختند. معروفی و همکاران (۱۳۸۸) برتری روش‌های چند جمله‌ای موضعی و عکس فاصله را به ترتیب برای تخمین هدایت الکتریکی و pH زه آب‌های دشت همدان، نسبت به روش‌های کریجینگ، حداقل انحنای، همسایگی طبیعی و توابع شعاع محور نشان دادند.

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). در مورد خلیج گرگان تاکنون تحقیقی به منظور مدلسازی تغییرات زمانی- مکانی پارامترهای کیفی آب آن صورت نگرفته است. هدف این پژوهش مدلسازی تغییرات زمانی- مکانی و تهیه نقشه پهنه بندی مقادیر نیترات و فسفات در سراسر خلیج گرگان با روش‌های درونیابی مکانی مختلف و انتخاب روش بهینه برای این خلیج می‌باشد. انتخاب بهترین روش با استفاده از روش اعتبار سنجی متقابل و بر اساس معیار ارزیابی جذر میانگین مجموع مربعات خطا صورت می‌گیرد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

خلیج گرگان با وسعت بیش از ۴۰۰ کیلومتر مربع، در جنوب شرقی دریای خزر واقع شده و بزرگترین خلیج کرانه خزر به شمار می‌آید. مختصات جغرافیایی آن از ۲۵° ۵۳' تا ۵۴° ۰۲' شرقی و از ۳۶° ۴۶' تا ۳۶° ۵۴' شمالی

گرایی در پهنه‌های آبی هستند. در اثر تشکیل توده‌های جلبکی و رشد کنترل نشده گیاهان آبی به علت تغذیه گرای، مشکلات جدی در کیفیت آب به وجود می‌آید (موسوی، ۱۳۸۸). مقدار نیترات و فسفات در پرورش آبزیان از جمله ماهی‌ها بسیار با اهمیت است. افزایش مواد مغذی (نیترات و فسفات) می‌تواند باعث وقوع پدیده‌های زیست محیطی همچون مرگ و میر دسته جمعی ماهیان و کاهش سریع ذخایر ماهیان خاویاری گردد. بنابراین کنترل مواد مغذی برای جلوگیری و یا کاهش اثرات زیانبار و جبران ناپذیر بر محیط زیست و آبزیان ضروری است (نجات خواه و همکاران، ۱۳۸۸). اندازه گیری پارامترهای آلودگی در کل محدوده خلیج به صورت برداشت در محل، بسیار هزینه بر و در مواقعی ناممکن می‌باشد. از اینرو استفاده از روش‌های گوناگون درونیابی مکانی به منظور مدلسازی توزیع مکانی پارامترهای آلودگی در پهنه‌های آبی همچون خلیج می‌تواند از لحاظ اقتصادی بسیار مفید باشد.

از روش‌های مختلف درونیابی مکانی تاکنون در پهنه‌های آبی استفاده‌های بسیاری شده است. Bai و همکاران (۲۰۰۱) به منظور دستیابی به توزیع مکانی فلزات سنگین موجود در سطح رسوبات تالابی در چین، از روش درونیابی مکانی کریجینگ استفاده کردند. Jakubek و Forsythe (۲۰۰۴) با بکارگیری روش کریجینگ معمولی، نقشه‌های توزیع آلودگی‌های سرب، جیوه، HCB و PCBs و همچنین شاخص کیفی رسوب (Sediment Quality Index) در دریاچه Ontario را تهیه کردند. Liu و Wang (۲۰۰۵) برای تعیین مدل توزیع مکانی کلروفیل در دریاچه Taihu در چین، از روش کریجینگ استفاده کردند. در پژوهشی دیگر Lee و همکاران (۲۰۰۷) از روش درونیابی کریجینگ شاخص برای برآورد میزان غلظت آرسنیک موجود در آب‌های زیرزمینی یک دشت در تایوان استفاده کردند. تقی زاده مهرجردی و همکاران (۱۳۸۷) به بررسی روش‌های درونیابی مکانی جهت تعیین تغییرات مکانی ویژگی‌های

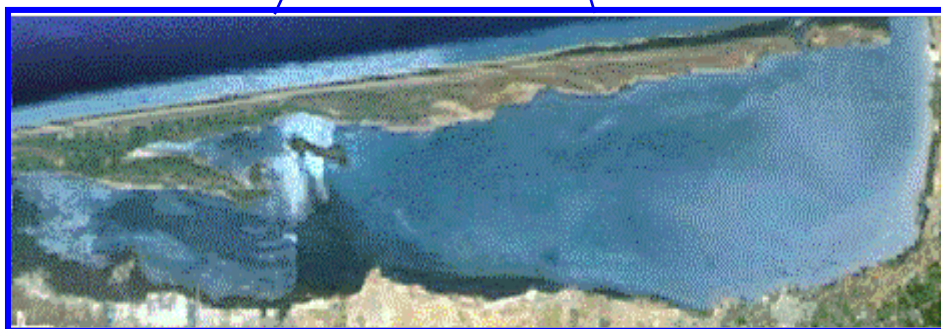
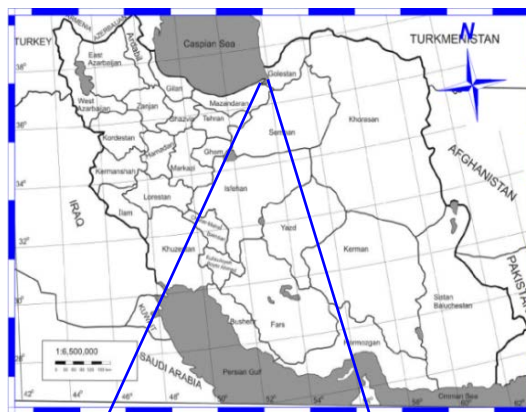
تغییرات زمانی - مکانی غلظت نیترات و فسفات در خلیج گرگان

شد. انتخاب محل این نقاط به گونه‌ای صورت گرفت که به طور مناسبی در خلیج توزیع شده باشند تا بتوان از آنها در مدلسازی توزیع مکانی استفاده نمود. از نظر زمانی، نمونه برداری به صورت ماهانه و در ۱۲ ماه سال ۱۳۹۰ صورت گرفت. شکل ۲، موقعیت و پراکنش نقاط نمونه برداری شده در خلیج را نشان می‌دهد و در جدول ۱، متوسط مقادیر نیترات و فسفات اندازه گیری شده میدانی در فصل‌های بهار، تابستان، پاییز و زمستان سال ۱۳۹۰ ارائه شده است.

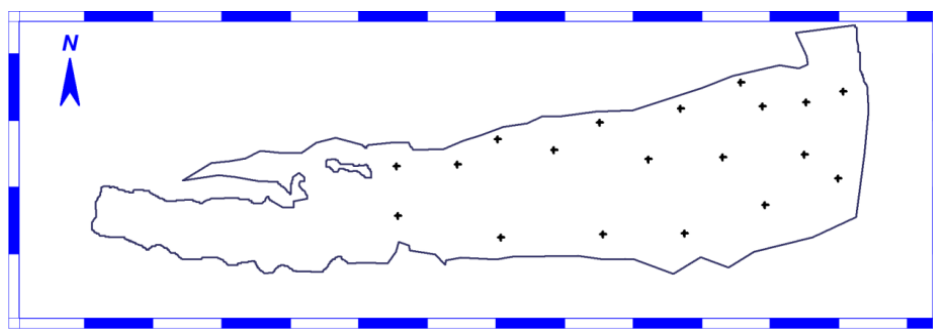
می‌باشد. بخشی از این خلیج در استان گلستان و بخشی از آن در استان مازندران واقع شده است. خلیج گرگان از لحاظ دارا بودن ذخایر ارزشمند آبی، تاریخی و گردشگری و همچنین به دلیل نقش بسزا در تولید مواد پروتئینی از اهمیت بالایی برخوردار است. شکل ۱، موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

۲-۲- داده های میدانی

برای انجام این تحقیق از ۱۹ نقطه خلیج نمونه برداری



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه



شکل ۲. وضعیت پراکنش نقاط نمونه برداری در منطقه مورد مطالعه

جدول ۱. متوسط مقادیر نیترات و فسفات اندازه گیری شده در فصول سال ۱۳۹۰ بر حسب (mg/L)

شماره ایستگاه	بهار		تابستان		پاییز		زمستان	
	نیترات	فسفات	نیترات	فسفات	نیترات	فسفات	نیترات	فسفات
۱	۱/۲۶	۰/۰۸۳	۱/۷۲	۰/۰۴۷	۱/۲۳	۰/۴۵۳	۰/۷۱	۰/۵۵
۲	۰/۹۵	۰/۰۸	۲/۳۸	۰/۲۲۷	۱/۴۲	۰/۶۳۳	۰/۷۲	۰/۵۷۳
۳	۱/۰۷	۰/۱۰۳	۲/۳۶	۰/۰۴۳	۱/۳۹	۰/۶۱	۰/۷۱	۰/۳۴
۴	۱/۱۹	۰/۱۵۵	۱/۹۸	۰/۰۳۳	۱/۲۸	۰/۳۴۳	۰/۷۶	۰/۵۸۳
۵	۱/۲۷	۰/۱۱	۲/۲۶	۰/۰۴	۱/۸۱	۰/۵۵۳	۰/۹۴	۰/۷۱۷
۶	۱/۶۴	۰/۰۲۵	۲/۲۳	۰/۰۵۷	۱/۳۸	۰/۳۳۳	۰/۸۸	۰/۸۰۷
۷	۱/۸۵	۰/۰۳	۲/۲۹	۰/۰۴۷	۱/۵	۰/۳۵۷	۰/۷۴	۰/۵۵
۸	۱/۶۹	۰/۰۱۳	۲/۴۳	۰/۹۶	۱/۴۸	۰/۳۵۷	۰/۷۳	۰/۵۷
۹	۱/۷۹	۰/۰۳۷	۱/۹۶	۰/۰۴	۱/۵۵	۰/۶۷	۰/۷۵	۰/۷۲۷
۱۰	۱/۷۵	۰/۰۲۳	۲/۱۳	۰/۱۵	۱/۳۷	۰/۴۳۷	۰/۸۲	۰/۷۲
۱۱	۱/۷۸	۰/۰۱۷	۲/۳۶	۰/۰۴۷	۱/۴۲	۰/۵۵	۰/۷۸	۰/۷۳
۱۲	۲/۲۷	۰/۰۲۳	۲/۵۵	۰/۱۲	۱/۶۳	۰/۵	۰/۸۵	۰/۶۰۳
۱۳	۱/۷۷	۰/۰۶	۲/۲۱	۰/۰۴۳	۱/۴۳	۰/۵۵۳	۰/۹۱	۰/۵۷۳
۱۴	۱/۶۴	۰/۰۰۷	۱/۸۸	۰/۶۲	۱/۵۱	۰/۵۱	۰/۷۳	۰/۷۴
۱۵	۱/۹۷	۰/۰۲۳	۲/۰۳	۰/۰۴	۱/۳۱	۰/۴۷۷	۰/۶۶	۰/۶۴۷
۱۶	۲/۲۶	۰/۱۸۷	۲/۳۸	۰/۰۵	۱/۴	۰/۴	۰/۶۷	۰/۵۵
۱۷	۲/۳۸	۰/۰۴۳	۲/۲۳	۰/۰۵	۱/۳۲	۰/۳۸	۰/۷۱	۰/۷۶
۱۸	۲/۰۷	۰/۰۲	۲/۵۲	۰/۰۴۳	۱/۳۹	۰/۴۳	۰/۷۷	۰/۵۶۳
۱۹	۲/۴۴	۰/۰۱۷	۱/۸۶	۰/۰۳۳	۱/۳۲	۰/۳۵	۰/۷۳	۰/۴۸۳

۲-۳- روش تحقیق

در این تحقیق از پنج روش درون‌یابی مکانی مختلف استفاده شده است که عبارت‌اند از: روش عکس فاصله با توان‌های مختلف (Inverse distance to power)، روش کریجینگ (Kriging)، روش رگرسیون چند جمله‌ای (Polynomial Regression)، روش چند جمله‌ای موضعی (Local polynomial) و روش اسپلاین. قبل از انجام محاسبه‌های زمین آماری، بررسی‌های متداول آماری از قبیل تست نرمال بودن بر روی داده‌ها صورت گرفت. کلیه درون‌یابی‌ها در محیط نرم افزار 9 surfer انجام شد.

در ادامه به اختصار روش‌های درون‌یابی مورد استفاده در این مطالعه معرفی می‌شوند.

روش کریجینگ: کریجینگ یک روش تخمین است که بر پایه میانگین وزن دار است و این تخمینگر به عنوان بهترین تخمینگر خطی ناریب شناخته می‌شود. شرط استفاده از روش کریجینگ آن است که متغیر Z دارای توزیع نرمال باشد. در غیر این صورت باید از روش کریجینگ غیر خطی استفاده نمود و یا با استفاده از تبدیلاتی توزیع متغیر مورد نظر نرمال گردد. رابطه کلی کریجینگ به صورت رابطه ۱ است:

$$Z_x^* = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z_{xi} \quad (1)$$

که در آن Z_x^* مقدار تخمینی متغیر، λ_i وزن مربوط به متغیر i ام و Z_{xi} مقدار مشاهده شده متغیر i ام و n تعداد مشاهدات است. در روش کریجینگ مقادیر وزن هر متغیر بر اساس تحلیل تغییر نما محاسبه می‌شود. تغییر نمای تجربی با استفاده از رابطه ۲ محاسبه می‌شود.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^n [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (2)$$

که در آن $\gamma(h)$ مقدار تغییر نما برای جفت نقاطی است که به فاصله h از هم قرار دارند، $n(h)$ تعداد زوج نقاطی است که به فاصله h از هم قرار دارند، $Z(x_i)$ مقدار مشاهده شده متغیر i ام و $Z(x_i + h)$ مقدار مشاهده‌ای

متغیر در فاصله h از x_i است. پس از محاسبه تغییر نمای تجربی بر اساس رابطه ۲، مدل‌های مختلف ریاضی به آن برازش داده می‌شود و با استفاده از مدل تغییر نما حاصله و روش‌های بهینه سازی، وزن‌های رابطه ۱ محاسبه می‌گردد. مدل‌های کروی، نمایی، گوسی و خطی از جمله مدل‌های رایج برای تغییر نما می‌باشند (حسنی پاک، ۱۳۷۷).

روش عکس فاصله با توان‌های مختلف: در این روش برای تعیین مقدار ارزش هر نقطه، از ارزش‌های نقاط نمونه برداری شده مجاور استفاده کرده و با گرفتن میانگین از آن‌ها، ارزش نقطه مجهول را برآورد می‌نماید. این روش درون یابی بر این فرض استوار است که همگام با زیاد شدن فاصله و دور شدن از یک نقطه نمونه برداری شده، مقدار درصد تأثیر آن نقطه در برآورد نقطه مجهول کاهش می‌یابد. در این روش وزن نقاط نمونه برداری شده بر روی نقطه مجهول براساس فاصله بین نقاط بیان می‌شود. این وزن‌ها توسط توان وزن دهی کنترل می‌شود. معادله ۳ چگونگی محاسبه اوزان روش عکس فاصله را نشان می‌دهد (Viera, ۱۹۸۳).

$$W_i = \frac{D_i^{-m}}{\sum_{i=1}^n D_i^{-m}} \quad (3)$$

که در آن W_i وزن نمونه نقطه i ام می‌باشد. D_i فاصله بین نقطه نمونه i ام و نقطه مجهول، m توان وزن دهی و n تعداد نقاط همسایگی می‌باشد.

روش اسپلاین: در این تحقیق از روش TPS (Thin Plats Spline) استفاده شده است که از جمله توابع شعاع محور کاربرد در درون‌یابی می‌باشد. روش توابع شعاع محور تابعی را می‌یابد که مشابه یک ورقه نازک است که به طور همواری خم شده است و مقید به گذشتن از تمامی داده‌ها می‌باشد.

روش رگرسیون چند جمله‌ای: در این روش یک رویه چند جمله‌ای از مرتبه n بر داده‌ها برازش داده می‌شود و بر اساس روش کمترین مجموع مربعات خطا رابطه چند

جمله‌ای مرتبه n ام تعیین می‌شود. مثلاً برای مرتبه ۳، سعی می‌شود که تابع زیر:

$$Z = a + bx + cy + dxy + ex^2 + fy^2 + gx^3 + hx^2y + ixy^2 + jy^3$$

بر داده‌ها برازش داده شده و ضرایب a, b, \dots, j تعیین شوند.

روش چند جمله‌ای موضعی: در این روش، یک رویه هموار توسط توابع ریاضی بر روی نقاط ورودی برازش داده می‌شود. در درونبایی جهانی فقط یک چند جمله‌ای بر تمامی داده‌ها برازش داده می‌شود (Johnston و همکاران، ۲۰۰۱). در حالی که در درونبایی موضعی، بر هر مجموعه داده محدود در یک همسایگی معین، یک چند جمله‌ای مستقل برازش داده می‌شود.

با اعمال هرکدام از روش‌های درونبایی فوق روی داده‌های نیترات و فسفات ماهانه خلیج گرگان در سال ۱۳۹۰، نقشه‌های توزیع مکانی ماهانه نیترات و فسفات ایجاد شد. برای بررسی خطای هر روش و انتخاب روش بهینه برای هر یک از پارامترهای مورد بررسی، از روش اعتبارسنجی متقابل (Cross-validation)، استفاده شد. این روش به این صورت می‌باشد که در هر مرحله یک نقطه مشاهده‌ای حذف شده و با استفاده از بقیه نقاط، آن نقطه برآورد می‌شود. پس از اینکه این کار برای تمامی نقاط مشاهده‌ای تکرار شد، در آخر به تعداد نقاط مشاهده‌ای، برآورد وجود خواهد داشت. مقادیر مشاهده‌ای و برآورد شده مقایسه شده و با استفاده از معیارهای ارزیابی مختلف می‌توان بهترین روش را انتخاب نمود. از جمله معیارهای ارزیابی که می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد، جذر میانگین مجموع مربعات خطا (RMSE) (رابطه ۵) می‌باشد که در این تحقیق از آن جهت مقایسه روش‌های درونبایی استفاده شده است.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z^*(x_i) - Z(x_i))^2} \quad (5)$$

این معیار هر چقدر به صفر نزدیکتر باشد بیانگر خطای کمتر روش می‌باشد. بنابراین با مقایسه مقادیر RMSE

بدست آمده از هر روش برای داده‌های هر ماه، روش بهینه درونبایی مکانی برای تخمین مقادیر نیترات و فسفات ماهانه در سراسر خلیج قابل استحصال خواهد بود. پس از محاسبه مقادیر RMSE و انتخاب روش بهینه، نقشه پهنه بندی مقادیر نیترات و فسفات ماهانه خلیج تهیه شد. بدین ترتیب با داشتن نقشه ماهانه توزیع مکانی مقادیر نیترات و فسفات، نقشه توزیع مکانی مقادیر نیترات و فسفات در فصل‌های بهار، تابستان، پاییز و زمستان با تلفیق نقشه‌های ماهانه ایجاد شد. در نهایت با مقایسه نقشه‌های فصلی حاصله، تغییرات زمانی نیترات و فسفات در مقیاس زمانی فصلی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. مراحل انجام کار در جدول ۲، به صورت خلاصه ارائه شده است.

۳- نتایج و بحث

مقادیر RMSE محاسبه شده برای روش‌های درونبایی مکانی مورد استفاده در این تحقیق، در جدول ۳ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که بهترین روش به منظور تخمین مقادیر نیترات و فسفات در خلیج گرگان، روش رگرسیون چند جمله‌ای مرتبه ۲ می‌باشد. پس از رگرسیون چند جمله‌ای، روش عکس فاصله با توان ۲ می‌تواند بعنوان یک گزینه مناسب مطرح باشد. بدترین نتایج نیز در مقایسه با سایر روش‌ها مربوط به روش چند جمله‌ای موضعی می‌باشد.

مقادیری که در جدول ۳ مشاهده می‌شود کمترین مقدار RMSE هر روش است که با استفاده از بهینه سازی پارامترهای هر روش حاصل شده است. برای روش عکس فاصله، عملیات درونبایی تحت مقادیر توان‌های ۱-۶ انجام شد و توانی که بهترین نتیجه را با استفاده از روش اعتبارسنجی متقابل ارائه کرد انتخاب شد. به عنوان نمونه، نتایج ارزیابی‌های مذکور برای آذر ماه در جدول ۴ ارائه شده است و همانطور که در این جدول می‌بینید توان ۱ بهترین نتیجه را ارائه کرده است.

تغییرات زمانی - مکانی غلظت نیترات و فسفات در خلیج گرگان

جدول ۲. خلاصه مراحل مختلف الگوریتم تحقیق

مرحله ۱	تعیین محل نمونه گیری در خلیج گرگان و تهیه داده های نیترات و فسفات خلیج
مرحله ۲	بررسی نرمال بودن توزیع داده ها به منظور اجرای روش کریجینگ (در صورت نرمال نبودن استفاده از تبدیلات مناسب برای نرمال کردن توزیع داده ها) و اجرای روش های دیگر درونیابی مکانی برای داده های ماهانه نیترات و فسفات
مرحله ۳	بکارگیری روش اعتبار سنجی متقابل و محاسبه معیار ارزیابی RMSE برای مقایسه روش ها و تعیین بهترین روش برای داده های ماهانه نیترات و فسفات
مرحله ۴	تهیه نقشه های توزیع مکانی نیترات و فسفات ماهانه
مرحله ۵	تهیه نقشه توزیع مکانی نیترات و فسفات در فصل های بهار، تابستان، پاییز و زمستان با تلفیق نقشه های نیترات و فسفات ماهانه و ارزیابی تغییرات فصلی نیترات و فسفات در خلیج گرگان

جدول ۳. مقادیر RMSE روشهای مختلف درونیابی مربوط به داده های نیترات و فسفات در فصل های بهار، تابستان، پاییز و زمستان سال ۹۰

RMSE(زمستان)		RMSE(پاییز)		RMSE(تابستان)		RMSE(بهار)		روش ها
فسفات	نیترات	فسفات	نیترات	فسفات	نیترات	فسفات	نیترات	
۰/۲۲	۰/۱۶	۰/۱۸	۰/۲	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۰۶	۰/۴۴	عکس فاصله
(توان ۱)	(توان ۱)	(توان ۱)	(توان ۱)	(توان ۱)	(توان ۱)	(توان ۱)	(توان ۲)	
۰/۲۴	۰/۱۹	۰/۲۱	۰/۲۲	۰/۳۵	۰/۴۱	۰/۰۶	۰/۴۸	چند جمله ای موضعی
۰/۱۸	۰/۱۲	۰/۱۵	۰/۱۶	۰/۲۵	۰/۲۶	۰/۰۴	۰/۳۳	رگرسیون چند جمله ای
(مرتبه ۲)	(مرتبه ۲)	(مرتبه ۲)	(مرتبه ۲)	(مرتبه ۲)	(مرتبه ۲)	(مرتبه ۲)	(مرتبه ۲)	
۰/۲۷	۰/۱۸	۰/۱۹	۰/۲۳	۰/۳۲	۰/۳۸	۰/۰۶	۰/۴۷	اسپلاین
۰/۲۴	۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۲۳	۰/۳۱	۰/۳۸	۰/۰۶	۰/۴۴	کریجینگ

جدول ۴. مقادیر RMSE روش عکس فاصله تحت مقادیر توان های ۱-۶ مربوط به نیترات و فسفات آذر ۹۰

RMSE(آذر)		توان
فسفات	نیترات	
۰/۱۶۷	۰/۳۱۹	۱
۰/۱۷۳	۰/۳۲۸	۲
۰/۱۸۳	۰/۳۵۲	۳
۰/۱۹۵	۰/۳۷۵	۴
۰/۲۰۴	۰/۳۹۳	۵
۰/۲۱	۰/۴۰۴	۶

تغییرنا توسعه داده شده در شرایط مختلف در جدول ۶ ارائه شده است. همانطور که در این جدول می‌بینید برای تمامی ماه‌های سال بهترین نتیجه مربوط به مدل خطی می‌باشد. بنابراین از این مدل برای درونیابی با روش کریجینگ استفاده شد و نتایج آن با سایر روش‌ها مقایسه گردید.

روش کریجینگ جهت انجام عملیات درونیابی از داده‌های با توزیع نرمال استفاده می‌کند. بنابراین ابتدا نرمال بودن داده‌ها مورد آزمون آماری قرار گرفته است. همچنین در مواردی که داده‌ها نرمال نبودند اقدام به نرمال سازی داده‌ها شده است که روش بکار برده شده جهت نرمال سازی در شرایط مختلف در جدول ۵ ارائه شده است. در ضمن روش کریجینگ نیاز به محاسبه مدل تغییرنا دارد که مدل

جدول ۵. تبدیلات انجام شده روی داده‌ها جهت نرمال سازی آنها

پارامتر	ماه	تبدیل استفاده شده
فسفات	فروردین	ریشه دوم
فسفات	اردیبهشت	ریشه دوم
فسفات	تیر	تبدیل جانسون با نرم افزار Minitab 15
فسفات	مرداد	تبدیل باکس-کاکس با نرم افزار Minitab 15
فسفات	شهریور	تبدیل باکس-کاکس با نرم افزار Minitab 15
فسفات	آذر	تبدیل باکس-کاکس با نرم افزار Minitab 15
نیترات	دی	تبدیل باکس-کاکس با نرم افزار Minitab 15

جدول ۶. مدل‌های تغییرنا محاسبه شده روی داده‌های نیترات و فسفات

پارامتر	ماه	مدل تغییرنا	ماه	مدل تغییرنا
نیترات	فروردین	خطی + اثر قطعه‌ای	مهر	خطی
فسفات	فروردین	خطی	مهر	خطی
نیترات	اردیبهشت	خطی + اثر قطعه‌ای	آبان	خطی
فسفات	اردیبهشت	خطی + اثر قطعه‌ای	آبان	خطی + اثر قطعه‌ای
نیترات	خرداد	خطی	آذر	خطی
فسفات	خرداد	خطی + اثر قطعه‌ای	آذر	خطی
نیترات	تیر	خطی + اثر قطعه‌ای	دی	خطی + اثر قطعه‌ای
فسفات	تیر	خطی	دی	خطی
نیترات	مرداد	خطی	بهمن	خطی + اثر قطعه‌ای
فسفات	مرداد	خطی	بهمن	خطی
نیترات	شهریور	خطی	اسفند	*
فسفات	شهریور	خطی	اسفند	خطی

* تمامی داده‌های مربوط به این پارامتر در ماه ذکر شده یکسان است.

جدول ۷. مقادیر RMSE روش چند جمله‌ای موضعی تحت مقادیر مختلف مرتبه و توان مربوط به نیترات و فسفات اردیبهشت ۹۰

RMSE (اردیبهشت)												پارامتر
مرتبه ۳				مرتبه ۲				مرتبه ۱				
توان ۱۰	توان ۱	توان ۵	توان ۲	توان ۱۰	توان ۱	توان ۵	توان ۲	توان ۱۰	توان ۱	توان ۵	توان ۲	
۵/۴۳	۵/۳۱	۴/۶۹	۲/۲۲	۲/۳۶	۱/۸۲	۱/۰۸	۰/۸۰	۰/۶۵	۰/۶۰	۰/۵۸	۰/۵۷	نیترات
۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۰۹	۰/۰۵	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۱	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۶	۰/۰۴	فسفات

هیستوگرام فراوانی داده‌ها در خلیج گرگان را نشان می‌دهند. فراوانی داده‌ها بر اساس تعداد پیکسل با اندازه ۲۲×۲۲ متر بیان شده است و نقشه‌ها با روش رگرسیون چند جمله‌ای در محیط نرم افزار MATLAB تهیه شده‌اند. نتایج بدست آمده نشان می‌دهند که میزان نیترات در خلیج گرگان در فصل‌های تابستان و بهار نسبت به فصل‌های پاییز و زمستان بیشتر است. میزان نیترات در فصل بهار در محدوده ۱ تا ۲/۵ میلی گرم بر لیتر تغییر می‌کند که در قسمت غرب خلیج بیشتر از سایر نقاط آن می‌باشد. اما در تابستان قسمت غربی خلیج به همراه دهانه ورودی آن، دارای کمترین میزان نیترات در مقایسه با سایر نقاط خلیج می‌باشد. محدوده تغییرات غلظت نیترات در این فصل، ۱/۸ تا ۲/۴ میلی گرم بر لیتر می‌باشد. این محدوده در فصل پاییز، ۰/۸ تا ۱/۶ میلی گرم بر لیتر و در فصل زمستان، ۰/۵ تا ۰/۹ میلی گرم بر لیتر می‌باشد که نشان دهنده کاهش غلظت نیترات نسبت به نیمه اول سال در خلیج می‌باشد. در این فصول نیز همانند فصل تابستان قسمت غربی خلیج دارای میزان نیترات کمتری نسبت به سایر نقاط خلیج می‌باشد.

نتایج مدل‌سازی توزیع مکانی میزان فسفات در خلیج گرگان نشان می‌دهد که میزان فسفات در فصل‌های زمستان و پاییز بیشتر از بهار و تابستان می‌باشد. دامنه تغییرات فسفات در فصل بهار، در محدوده ۰/۰۵ تا ۰/۱۵ میلی گرم بر لیتر می‌باشد که میزان فسفات در قسمت انتهایی غرب خلیج بیشتر از سایر نواحی است و کمترین

برای روش چند جمله‌ای موضعی نیز، عملیات درونیابی تحت مقادیر توان‌های ۱-۳ و مرتبه‌های مختلف انجام شد و در نهایت توان و مرتبه‌ای که بهترین نتیجه را با استفاده از روش اعتبارسنجی متقابل ارائه کرد، انتخاب شد. به عنوان نمونه، در جدول ۷ نتایج ارزیابی‌های مربوط به اردیبهشت ماه ارائه شده است و همانطور که در این جدول می‌بینید مرتبه ۱ با توان ۲ بهترین نتیجه را ارائه کرده است.

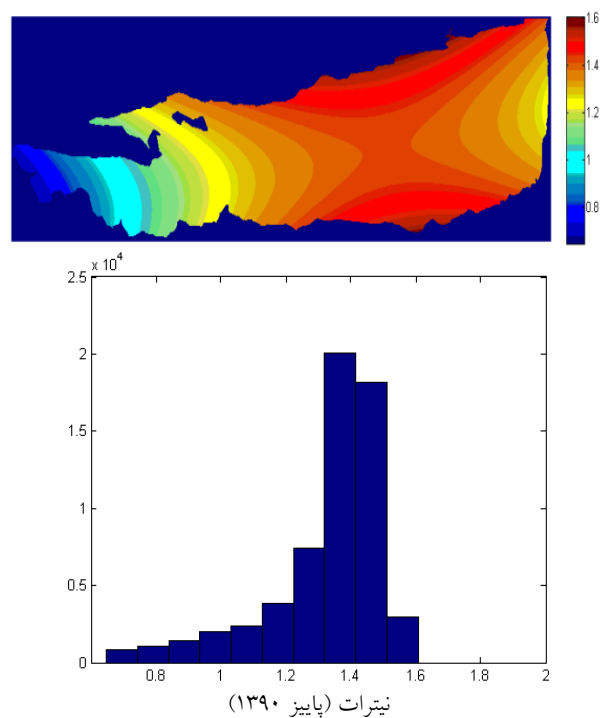
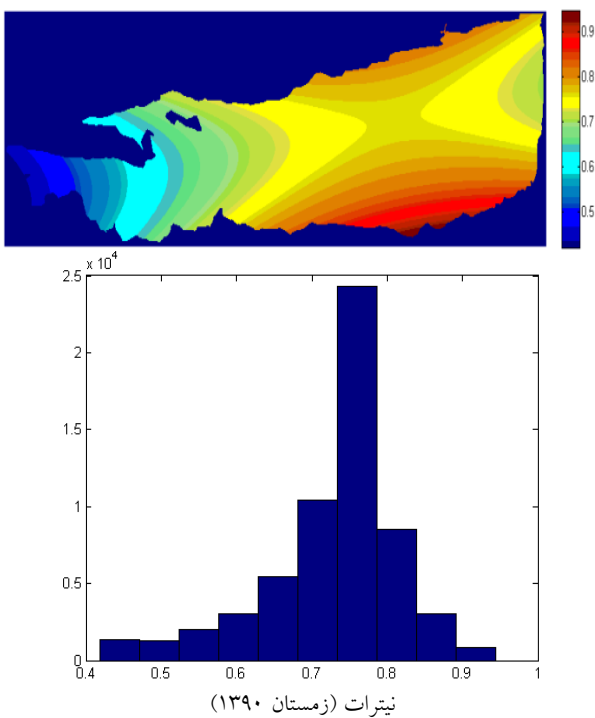
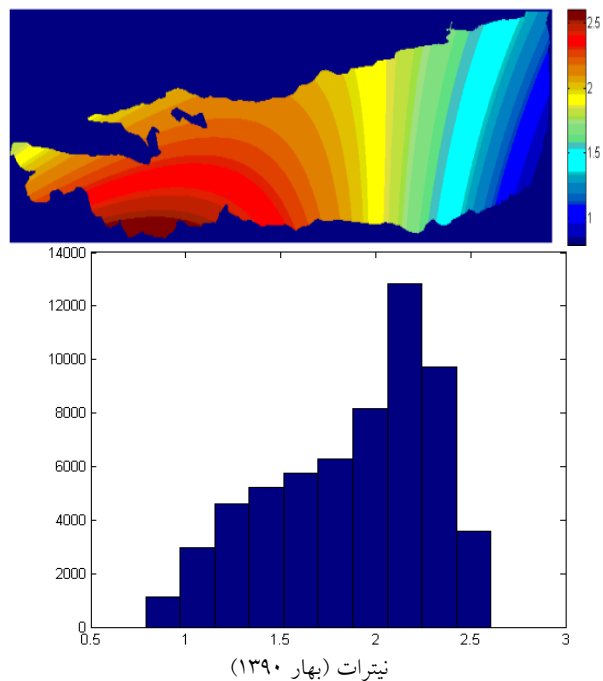
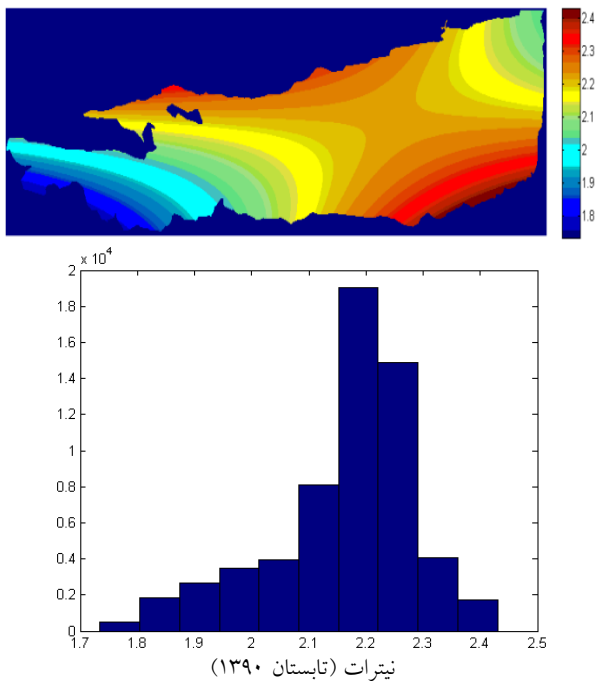
برای دستیابی به بهترین نتیجه درونیابی با استفاده از روش اسپلین، درونیابی تحت پارامترهای هموارسازی مختلف انجام شد. سپس نتایج با استفاده از روش اعتبارسنجی متقابل مورد مقایسه قرار گرفتند و بهترین نتایج درونیابی با این روش در جدول ۳ با سایر روش‌ها مورد مقایسه قرار گرفته است.

برای روش رگرسیون چند جمله‌ای نیز، عملیات درونیابی تحت مرتبه‌های ۱ و ۲ انجام شد. مقایسه نتایج درونیابی با استفاده از روش اعتبارسنجی متقابل نشان داد که این روش تحت مرتبه ۲ بهترین نتیجه درونیابی را در تمامی ماه‌ها ارائه می‌دهد. بنابراین در جدول ۳، نتایج درونیابی این روش تحت مرتبه ۲ با سایر روش‌ها مورد مقایسه قرار گرفته است.

پس از استخراج نقشه‌های غلظت ماهانه فسفات و نیترات با روش رگرسیون چند جمله‌ای مرتبه ۲، اقدام به ایجاد نقشه‌های فصلی شد. شکل‌های ۳ و ۴، نقشه‌های توزیع مکانی نیترات و فسفات فصلی استخراج شده به همراه

تا 0.7 میلی گرم بر لیتر می باشد که در فصل پاییز کمترین غلظت فسفات مربوط به آب های بخش غربی خلیج است. در فصل زمستان نیز، قسمت انتهایی غربی خلیج دارای کمترین میزان فسفات نسبت به سایر قسمت های خلیج می باشد.

مقدار نیز مربوط به نواحی نزدیک به مرز شمالی این خلیج می باشد. در تابستان در قسمت میانی خلیج، میزان فسفات موجود در آب نسبت به سایر قسمت های خلیج بیشتر است و محدوده تغییرات غلظت فسفات، 0.05 تا 0.4 میلی گرم بر لیتر می باشد. در فصل پاییز و زمستان دامنه تغییرات غلظت فسفات به ترتیب 0.2 تا 0.6 و 0.1

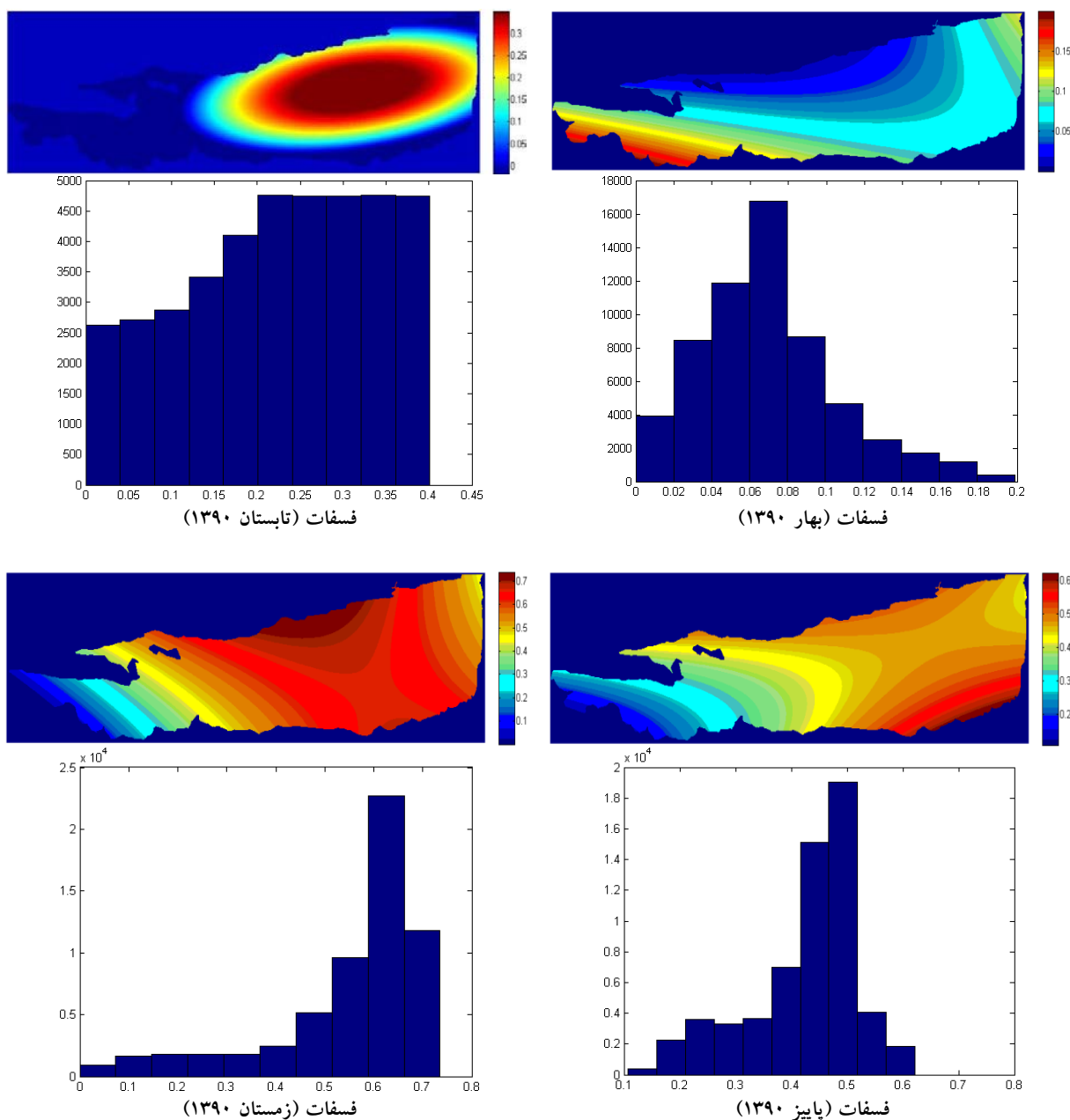


شکل ۳- نقشه های فصلی توزیع مکانی نیترات به همراه هیستوگرام فراوانی آن ها در خلیج گرگان (mg/L)

تغییرات زمانی - مکانی غلظت نیترات و فسفات در خلیج گرگان

ترتیب برابر با ۰/۸۳ و ۰/۸۹ می باشد. این ضریب همبستگی بالا باعث می شود که در فصول زمستان و پاییز با اندازه گیری یکی از دو پارامتر فسفات و یا نیترات بتوان پارامتر دیگر را از روی پارامتر اندازه گیری تخمین زد و هزینه اندازه گیری میدانی را کاهش داد. روند افزایش و کاهش مشابه نیترات و فسفات در خلیج می تواند بطور تلویحی بیانگر این مطلب باشد که احتمالاً فسفات و نیترات دارای منابع آلودگی مشترکی هستند.

مقایسه نقشه های تغییرات مکانی غلظت فسفات و نیترات در فصول مختلف نشان می دهد که همبستگی مثبتی بین غلظتهای نیترات و فسفات وجود دارد و زمانی که غلظت فسفات در بخشی از خلیج زیاد باشد در همان بخش غلظت نیترات نیز زیاد است و بالعکس. این شباهت تغییرات مکانی در فصول پاییز و زمستان بسیار آشکار است. محاسبات نشان می دهد که ضریب همبستگی بین غلظت فسفات و نیترات در فصول پاییز و زمستان به



شکل ۴- نقشه های فصلی توزیع مکانی فسفات به همراه هیستوگرام فراوانی آنها در خلیج گرگان (mg/L)

۴- نتیجه گیری

در این تحقیق اقدام به مدلسازی مکانی نیترات و فسفات خلیج گرگان در فصل های بهار، تابستان، پاییز و زمستان سال ۱۳۹۰ شده است. پنج روش درونیابی مختلف (روش عکس فاصله، کریجینگ، اسپلاین، چندجمله ای موضعی و رگرسیون چند جمله ای) به منظور تخمین میزان نیترات و فسفات در خلیج گرگان مورد مقایسه قرار گرفتند. نتایج نشان داد که روش رگرسیون چند جمله ای مرتبه ۲ بهترین روش درونیابی جهت تخمین میزان نیترات و فسفات در خلیج گرگان است و با استفاده از این روش نقشه های ماهانه نیترات و فسفات در خلیج گرگان تخمین زده شد و با میانگین گیری نقشه های توزیع مکانی ماهانه نیترات و فسفات، نقشه های توزیع مکانی غلظت نیترات و فسفات در کل خلیج گرگان در فصل های بهار، تابستان، پاییز و زمستان ایجاد شدند. در ادامه نحوه تغییرات زمانی (در مقیاس فصلی) و مکانی میزان نیترات و فسفات در خلیج گرگان بیان شد. در فصول پاییز و زمستان همبستگی بالایی بین غلظت فسفات و نیترات مشاهده شد، به نحوی که می توان در این فصول هر کدام از این پارامترها را از روی پارامتر دیگر تخمین زد.

۵- مراجع

- معروفی، ص.، ترنجیان، ا.، زارعیان، ح.، (۱۳۸۸) "ارزیابی روش های زمین آمار جهت تخمین هدایت الکتریکی و pH زه آبهای آبراهه ای دشت همدان- بهار"، مجله پژوهش های حفاظت آب و خاک، جلد شانزدهم، شماره دوم.
- موسوی، غ.، (۱۳۸۸) "مهندسی آب (جلد اول)"، انتشارات حفیظ، تهران، چاپ دوم.
- نجات خواه معنوی، پ.، پاسندی، ع. ا.، سقلی، م.، بهشتی نیا، ن.، میر شکار، د.، (۱۳۸۸) "بررسی میزان نیترات و فسفات در حوضه جنوب شرقی دریای مازندران در فصل بهار و تابستان"، پژوهش های علوم و فنون دریایی، دوره چهارم، شماره ۳.
- Bai J., Cui B., Chen B., Zhang K., Deng W., Gao H., Xiao R., (2001) "Spatial distribution and ecological risk assessment of heavy metals in surface sediments from a typical plateau lake wetland China", *Ecological Modelling* 222:301-306.
- Forsythe K. W., Paudel K., Marvin C. H., (2010) "Geospatial Analysis of Zinc Contamination in Lake Ontario Sediments", *Environmental Informatics* 16(1): 1-10.
- Jakubek D. J., Forsythe K. W., (2004) "A GIS-based kriging approach for assessing Lake Ontario sediment contamination", *Great Lakes Geographer* 11(1): 1-14.
- Johnston K., VerHoef J. M., Krivoruchko K., Lccas N., (2001) "Using ArcGIS Geostatistical Analyst", New Yourk, USA.
- Kazemi S. M., Hosseini S. M., (2011) "Comparison of spatial interpolation methods for estimating heavy metals in sediments of Caspian Sea", *Expert Systems with Applications* 38: 1632-1649.
- Lee J., Jang C., Wang S., Liu C., (2007) "Evaluation of potential health risk of arsenic-affected groundwater using indicator kriging and dose response model", *Science of the Total Environment* 384: 151-162.
- Viera S. R., Rielson D. R., Biggar J.W., (1983) "Geostatistical Theory and Application to Variability of Some Agronomical Properties",

eutrophication assessment for chlorophyll in Taihu Lake", Environmental Monitoring and Assessment 101: 167-174.

Hilgardia 51(3): 1-75.

-Wang X. J., Liu R. M.(2005) "Spatial analysis and

