



فصلنامه علوم محیطی، دوره پانزدهم، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۶

۱۵۳-۱۷۲

ارزیابی و برآورد تغییرات کیفیت آب با استفاده از نقشه‌های پهنه‌بندی و نرم‌افزار تحقیقاتی توسعه‌یافته (بررسی موردی: رودخانه پیربازار)

مجید حمامی، سیداحمد میرباقری*، سیدمهدی برقی و مجید عباسپور

گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۹۶/۸/۶

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۱/۱۲

حمامی، م.، س.ا. میرباقری، س.م. برقی و م. عباسپور. ۱۳۹۶. ارزیابی و برآورد تغییرات کیفیت آب با استفاده از نقشه‌های پهنه‌بندی و نرم‌افزار تحقیقاتی توسعه‌یافته (بررسی موردی: رودخانه پیربازار). فصلنامه علوم محیطی. ۱۵(۳): ۱۷۲-۱۵۳.

سابقه و هدف: رودخانه‌ها از مهمترین منابع آبی و اکوسیستم‌های مهم و آسیب‌پذیر داخل خشکی به حساب می‌آیند. امروزه به علت مصرف بی‌رویه آب و آلوده شدن آب رودخانه‌ها توسط منابع غیرطبیعی و انسانی، کیفیت این نوع منابع آبی تهدید شده است. رودخانه پیربازار و تالاب انزلی در دو دهه گذشته دچار یوتروفیکاسیون شدید شده است؛ به همین دلیل ارزیابی و برآورد تغییرات کیفیت آب مصب رودخانه اصلی تغذیه‌کننده تالاب انزلی (رودخانه پیربازار)، در اولویت قرار دارد.

مواد و روش‌ها: این پژوهش وضعیت یوتروفیکاسیون و پیش‌بینی تغییرات زمانی-مکانی غلظت مواد مغذی مانند آمونیاک-نیترژن (NH_3 -N)، نیترات (N-NO_3) یا به‌طور کلی نیترژن کل (TN)، فسفر (PO_4^{3-}) و یا TP، اکسیژن محلول (DO) را در رودخانه پیربازار بررسی و ارزیابی می‌کند. نمونه‌گیری از ۱۰ نقطه حوضه آبریز طی مدت ۱۸ ماه از دی ۱۳۹۳ تا پایان خرداد ۱۳۹۵ انجام شد. هدف این پژوهش تهیه نقشه پهنه‌بندی و برآورد دقیق وضعیت پارامترهای کیفی موجود و آینده حوضه آبی با استفاده از نقشه‌های پهنه‌بندی و نرم‌افزار تحقیقاتی توسعه‌یافته توسط نگارندگان و بهره‌گیری از پنج روش درون‌یابی کریجینگ، اسپلاین، رگرسیون چندجمله‌ای، عکس فاصله، چندجمله‌ای موضعی و انتخاب روش بهینه است. انتخاب بهترین روش با استفاده از روش اعتبارسنجی متقابل و بر اساس معیار ارزیابی جذر میانگین مجموع مربعات خطا (RMSE) صورت گرفت.

نتایج و بحث: نتایج نشان داد که در این حوضه آبریز روش رگرسیون چندجمله‌ای مرتبه ۲ (با میانگین $\text{RMSE} = 0/2075$ برای نیترژن کل و $\text{RMSE} = 0/1475$ برای فسفر کل) برای برآورد غلظت نیترات و فسفات در حوضه آبریز، بهترین روش بوده و روش چندجمله‌ای موضعی با توان ۱۰ از مرتبه ۳ (با میانگین $\text{RMSE} = 0/331$ برای نیترژن کل و $\text{RMSE} = 0/22$ برای فسفر کل) بدترین روش در مقایسه با سایر روش‌ها است. برای تهیه نقشه پهنه‌بندی، ابتداء نقشه‌های ماهانه و سپس نقشه‌های فصلی توزیع مکانی غلظت نیترات و فسفات ایجاد شدند و تغییرات زمانی (فصلی) مواد مغذی در دهانه ورودی به تالاب (مصب رودخانه پیربازار) بیان شد. نتایج نشان داد که میانگین غلظت مواد مغذی آب رودخانه پیربازار ($0/616$ میلی‌گرم در لیتر برای نیترژن کل و $0/325$ میلی‌گرم در لیتر برای فسفر کل)، طبق دستورعمل اروپایی

* Corresponding Author. E-mail Address: mirbagheri@kntu.ac.ir

80/778/EEC و استاندارد OECD بالاتر از حد مجاز هستند (حد مجاز این ماده در حالت عادی و در بیشتر آب‌های شیرین ۰/۱ تا ۰/۵ میلی‌گرم در لیتر برای نیتروژن کل و ۰/۰۱ تا ۰/۱ میلی‌گرم در لیتر برای فسفر کل است). همچنین طبق نتایج به‌دست‌آمده از این نرم‌افزار، متوسط نسبت نیتروژن کل به فسفر کل (TN/TP) در ورودی تالاب، ماکزیمم مقدار (۳۳/۷) بوده که بالاتر از حد مجاز ۱۶ است. بنابراین آب منطقه در شرایط نوع یوتروفیک پیشرفته و بحرانی قرار دارد. با توجه به مقدار مثبت و بالای ضریب همبستگی برای فسفر کل و نیتروژن کل که بین ۰/۸۷ تا ۰/۹۱۸ (میانگین ۰/۸۹۴) به دست آمد، می‌توان استدلال کرد که فسفر و نیتروژن در این حوضه آبی به احتمال زیاد دارای منشأ یکسان و مشترکی هستند؛ ضمن اینکه مقدار ضریب عملکرد نیز بین ۰/۱۸۷ تا ۰/۷۲۱ متغیر بوده که به ترتیب برای نترات و فسفات بهترین عملکرد را نشان داده است.

نتیجه‌گیری: با استفاده از نقشه‌های پهنه‌بندی و بهره‌گیری از تکنیک بهترین روش درون‌یابی می‌توان تغییرات پارامترهای کیفیت آب را با دقت زیاد ارزیابی و برآورد کرد. پیش‌بینی‌های حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد متوسط غلظت سالیانه آمونیم، نترات، نیتريت، فسفات و املاح محلول در آب رودخانه پیربازار در سال ۱۴۰۰ و ۱۴۱۰ به ترتیب حدود ۰/۱۲٪، ۰/۳۲٪، ۰/۵٪، ۰/۷٪ و ۰/۳۴٪، ۰/۹٪، ۰/۸۷٪، ۰/۱۴٪، ۱۶/۵٪ نسبت به وضعیت کنونی، افزایش رشد خواهند داشت که در نوع خود یک یافته جدید محسوب می‌شود که در مدیریت کیفی حوضه آبریز یک نوآوری قابل اعتماد است.

واژه‌های کلیدی: تغییرات فصلی - روش‌های درون و برون‌یابی - روش اعتبارسنجی - جذر مجموع مربعات خطا - رودخانه پیربازار.

مقدمه

شود (Nejatkhah *et al.*, 2010). از این رو پیش‌بینی و برآورد دقیق غلظت این مواد ضروری است. Mirbagheri *et al.* (1981, 1988a, 1988b, 2008, 2010a, 2010b, 2011, 2012, 2013, 2015) از برخی شبیه‌سازهایی نظیر QUAL2KW و خانواده‌های WASP و MIKE و مانند آنها پارامترهای کیفیت آب را در رودخانه‌ها، دریاچه‌ها، مخازن و تالاب‌ها بررسی کرده‌اند. در تعدادی از این تحقیقات رسوبات و تأثیر جریان‌های هیدرولیکی بر غلظت منابع آبی بررسی شده است.

از طرفی اندازه‌گیری پارامترهای آلودگی در رودخانه‌ها به‌صورت برداشت در محل، بسیار هزینه‌بر و در مواقعی ناممکن است. از این رو استفاده از روش‌های گوناگون درون‌یابی برای مدل‌سازی توزیع مکانی-زمانی پارامترهای آلودگی در پهنه‌های آبی می‌تواند از لحاظ زمانی و اقتصادی بسیار مفید باشد.

از روش‌های مختلف درون‌یابی تاکنون در منابع آبی استفاده‌های بسیاری شده است. Bai *et al.* (2001) برای دست‌یابی به توزیع مکانی فلزات سنگین موجود

رودخانه‌ها از مهمترین منابع آبی جهان از جمله ایران هستند (Hayatolghaib *et al.*, 2016). با توجه به کاهش بارش و خشک‌سالی‌های اخیر در کشور، حفظ منابع آبی و بررسی و تحقیق درباره آلودگی آنها و به‌طور کلی مدیریت کیفی پهنه‌های آبی برای اهداف مختلف زیست‌محیطی، اقتصادی و ... ضروری است. از پارامترهای مهم ارزیابی کیفیت آب، وجود مواد مغذی در آن است. نیتروژن و فسفر، مواد مغذی اصلی بوده و علت اصلی وقوع پدیده یوتروفیکاسیون^۱ در پهنه‌های آبی هستند (Mousavi, 2010). از بین بردن اثرات زیان‌بار و جبران‌ناپذیر ناشی از تشکیل توده‌های جلبکی^۲ و رشد کنترل‌نشده گیاهان آبی به علت افزایش پدیده تغذیه‌گرایی که در دهه‌های اخیر از جدی‌ترین تهدیدهای زیست‌محیطی، به‌خصوص پرورش آبزیان در محیط‌های آبی محسوب می‌شود، نگرانی بزرگی ایجاد کرده است (Li *et al.*, 2009). افزایش مواد مغذی می‌تواند باعث وقوع پدیده‌های زیست‌محیطی همچون مرگ‌ومیر دسته‌جمعی ماهیان و کاهش سریع ذخایر ماهیان خاویاری

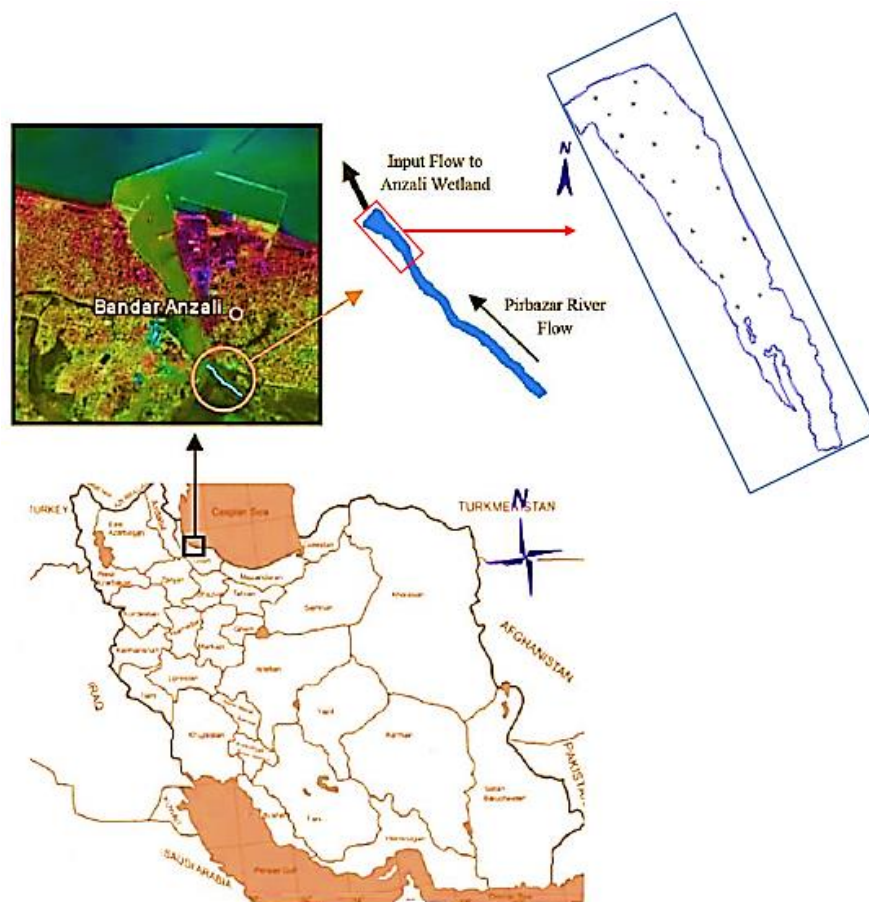
ارزیابی شد. با توجه به تحقیقات انجام شده، از میان رودخانه‌های ورودی به تالاب بین‌المللی انزلی، رودخانه پیربازار مهمترین و اصلی‌ترین رودخانه تغذیه‌کننده این تالاب تشخیص داده شده است (Zebardast and Jafari, 2014). اندازه‌گیری‌ها در سال ۱۹۹۷ میلادی نشان داد که میانگین ورودی سالانه رسوب، نیتروژن، فسفر و فسفات به این رودخانه به ترتیب ۸۶۰۰۰، ۹۳۱، ۱۸۴ و ۲۱/۳ تن بودند (Pirasteh and Eimandel, 1997). پژوهش‌ها نشان داده است که تنها در سال ۱۹۹۸ میلادی ۱/۳۴ میلیون مترمکعب فاضلاب تصفیه‌نشده از طریق رودخانه پیربازار وارد تالاب انزلی شده است (Ministry of Energy, 1998).

در مورد رودخانه پیربازار تاکنون تحقیقی برای ارزیابی و برآورد تغییرات زمانی-مکانی پارامترهای کیفی آب آن صورت نگرفته است. هدف این پژوهش بررسی وضعیت یوتریفیکاسیون و برآورد و پیش‌بینی دقیق تغییرات و توزیع پارامترهای کیفی (مواد مغذی) موجود و آینده حوضه آبی با استفاده از تکنیک تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی و نرم‌افزار تحقیقاتی توسعه‌یافته توسط نگارندگان است. بررسی و شناسایی منابع آلاینده و بهره‌گیری از پنج روش درون‌یابی کریجینگ، اسپلین، رگرسیون چندجمله‌ای، عکس فاصله، چندجمله‌ای موضعی و انتخاب بهترین روش درون‌یابی، برای کاهش زمان بررسی و ارزیابی هر یک از پارامترها و کاهش هزینه‌های سنگین نمونه‌برداری از جمله اهداف دیگر این پژوهش است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد بررسی: رودخانه پیربازار در جنوب شرقی تالاب بین‌المللی انزلی در استان گیلان قرار دارد (شکل ۱). این رودخانه پساب‌های صنعتی، بیمارستانی، کشاورزی و شیلات (پرورش ماهی) را با خود به تالاب وارد می‌کند. این پساب‌ها شامل همه انواع آلاینده‌ها مانند فلزات سنگین، مواد مغذی و غیره هستند (JIK, 2012).

در سطح رسوبات تالابی در چین، از روش درون‌یابی مکانی کریجینگ استفاده کردند. Forsythe *et al.* (2004) با به کارگیری GIS و روش رگرسیون چندجمله‌ای، نقشه‌های توزیع آلودگی‌های سرب، جیوه، HCB و PCBs و همچنین شاخص کیفی رسوب^۳ در دریاچه انتاریو در کانادا را تهیه کردند. Wang and Liu (2009) با استفاده از روش اسپلین موفق به تهیه مدل توزیع مکانی کلروفیل در دریاچه تای در شرق چین شدند. در پژوهشی دیگر Lee *et al.* (2011) از روش درون‌یابی چندجمله‌ای موضعی برای برآورد میزان غلظت آرسنیک موجود در آب‌های زیرزمینی یک دشت در تاپوان استفاده کردند. (2013) *et al.* Taghizadeh Mehrjardi روش‌های درون‌یابی مکانی عکس فاصله را برای تعیین تغییرات مکانی ویژگی‌های کیفی آب‌های زیرزمینی دشت رفسنجان بررسی کردند. Forsythe *et al.* (2015) پارامترهای مربوط به توزیع غلظت روی را با استفاده از روش‌های رگرسیون چندجمله‌ای و کریجینگ به منظور بررسی کیفیت رسوبات دریاچه انتاریو در کانادا به دست آوردند و مقادیر آنها را با استانداردهای کیفی کانادا مقایسه کردند. Kazemi and Hosseini (2014) برای 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 شبیه‌سازی شرطی (CS) پرداختند. *et al.* Marofi (2012) برتری روش‌های چندجمله‌ای موضعی و عکس فاصله را به ترتیب برای تخمین هدایت الکتریکی و pH زهاب‌های دشت همدان، نسبت به روش‌های اسپلین، کریجینگ، حداقل انحنای همسایگی طبیعی و توابع شعاع محور نشان دادند. در این پژوهش وضعیت کیفی آب رودخانه پیربازار به‌عنوان یکی از رودخانه‌های مهم شمال ایران بررسی و



شکل ۱- موقعیت منطقه نمونه‌برداری
Fig. 1- Location of sampling region

داده‌های میدانی

برای انجام این پژوهش علاوه بر اطلاعات و داده‌های موجود مربوط به سال ۹۱-۱۳۹۰ اداره کل حفاظت محیط زیست استان گیلان، از ۱۰ نقطه مصب رودخانه پیربازار در حد فاصل قلم‌گوده تا پایین‌دست سوسر (به دلیل ورود منابع آلاینده در این محدوده) که مسافتی در حدود ۵ کیلومتر را در بر می‌گیرد، نمونه‌برداری شد. نمونه‌برداری‌ها طی ۱۸ ماه از دی ماه ۱۳۹۳ تا خرداد ۱۳۹۵ انجام شد. نمونه‌ها در اواسط هر فصل به وسیله ظروف پلی‌اتیلنی به حجم یک لیتر و از اعماق مختلف آب (۱ تا ۳ متر) برداشته شد. در طول نمونه‌برداری برای به حداقل رساندن آشفستگی از یک قایق کوچک استفاده شد. علاوه بر

پارامترهای اصلی مربوط به مواد مغذی، سایر پارامترها از قبیل اکسیژن محلول، املاح محلول، عمق بستر، دمای آب، دمای هوا، pH و رسانای الکتریکی به کمک یک مولتی‌پارامتر مدل ۸۶۰۳ و توسط دستگاه پرتال (DR 5000 TM UV-VIS Spectrophotometer model Hatch) ثبت شد. بطری‌های نمونه‌های جمع‌آوری‌شده مطابق با روش استاندارد (Standard Methods, 2005) در محل نمونه‌برداری تثبیت و به آزمایشگاه اداره کل محیط زیست استان گیلان منتقل شدند. نکته قابل ذکر اینکه روش آنالیز شیمیایی نمونه‌های آب (سه بار تکرار برای هر پارامتر) بر اساس روش استاندارد انجام شد.

روش تحقیق

کریجینگ مقادیر وزن هر متغیر بر اساس تحلیل تغییرنا محاسبه می‌شود. تغییرنمای تجربی با استفاده از رابطه (۲) محاسبه می‌شود.

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

که در آن $\gamma(h)$ مقدار تغییرنا 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، $Z(xi)$ مقدار مشاهده شده متغیر i ام و $Z(xi+h)$ مقدار مشاهده ای متغیر در فاصله h از xi است. پس از محاسبه تغییرنمای تجربی بر اساس رابطه (۲)، مدل‌های مختلف ریاضی به آن برازش داده می‌شود و با استفاده از مدل تغییرنا حاصله و روش‌های بهینه‌سازی، وزن‌های رابطه (۱) محاسبه می‌شود. مدل‌های کروی، نمایی، گوسی و خطی از جمله مدل‌های رایج برای تغییرنا هستند (Hasani Pak, 2013).

روش عکس فاصله با توان‌های مختلف: معادله

(۳) چگونگی محاسبه اوزان روش عکس فاصله را نشان می‌دهد.

$$W_i = \frac{D_i^{-m}}{\sum_{i=1}^n D_i^{-m}} \quad (4)$$

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

روش رگرسیون چندجمله‌ای: در این روش یک

رویه چند جمله‌ای از مرتبه n بر داده‌ها برازش داده می‌شود و بر اساس روش کمترین مجموع مربعات خطا رابطه چندجمله‌ای مرتبه n ام تعیین می‌شود. مثلاً برای مرتبه ۳، سعی می‌شود که تابع زیر:

$$Z = a + bx + cy + dxy + ex^2 + fy^2 + gx^3 + hx^2y + icy^2 + jy^3 \quad (4)$$

بر داده‌ها برازش داده شده و ضرایب a ، b ، ... و

در این تحقیق از پنج روش درون‌یابی مختلف استفاده شد که عبارت‌اند از: روش کریجینگ^۴، روش عکس فاصله با توان‌های مختلف^۵، روش رگرسیون چندجمله‌ای^۶، روش چندجمله‌ای موضعی^۷ و روش اسپلاین^۸. قبل از انجام محاسبات، بررسی‌های متداول آماری از قبیل تست نرمال بودن روی داده‌ها صورت گرفت. کلیه محاسبات درون و برون‌یابی در محیط نرم‌افزار Code Blocks و طراحی برنامه مدل ریاضی توسط نگارندگان انجام شد. این نرم‌افزار به زبان C++ نوشته شده و در آن از متوسط اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی به دست آمده از این پژوهش، استفاده شده است.

شکل (۲) فلوجارت انجام عملیات محاسباتی مربوط به انواع روش‌های درون و برون‌یابی برای تعیین انتخاب بهترین روش برآورد و همچنین پیش‌بینی غلظت هر یک از پارامترهای کیفی آب (مواد مغذی درون آب) توسط نرم‌افزار تحقیقاتی توسعه یافته توسط نگارندگان را نشان می‌دهد که با استفاده از آن می‌توان تغییرات مواد مورد نظر را برای دهه‌های آینده در محیط‌های آبی با دقت زیاد تعیین کرد. با اعمال هر یک از روش‌های درون‌یابی فوق روی داده‌های ماهانه نیترات و فسفات، نقشه‌های توزیع مکانی ماهانه غلظت مواد مغذی در محیط نرم‌افزار MATLAB ایجاد شد.

در ادامه مختصری از روش‌های مورد استفاده در این پژوهش معرفی می‌شوند.

روش کریجینگ: 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. شرط استفاده از این روش آن است که متغیر Z دارای توزیع نرمال باشد. در روش

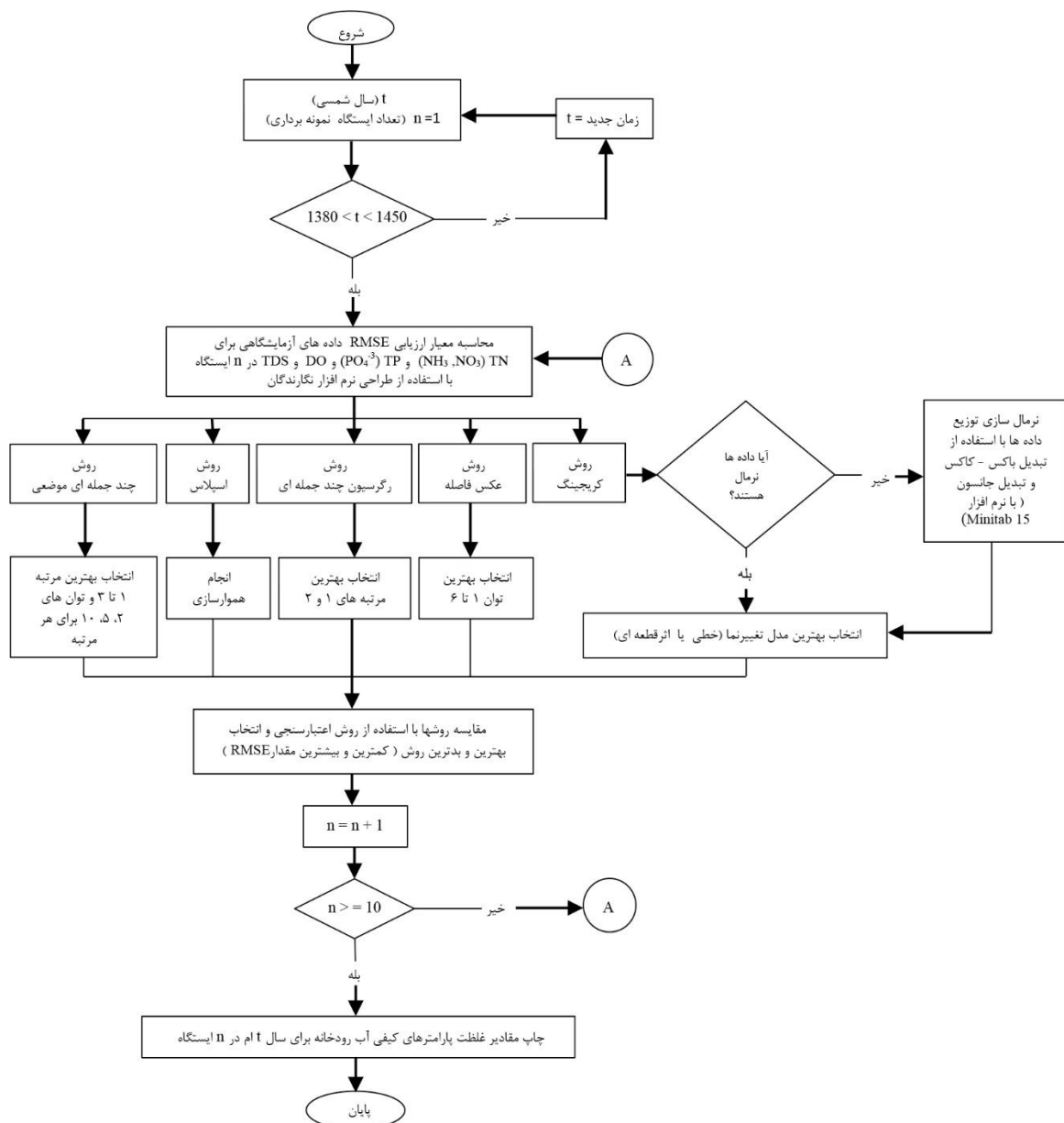
به زمان آینده t ، یعنی (t_2+t) است.

روش اسپلاین: در این تحقیق از روش TPS^۹ استفاده شده است که از جمله توابع شعاع محور پر کاربرد در درون‌یابی است. 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 است.

تعیین شوند. انجام محاسبات برون‌یابی نیز با استفاده از رابطه (۵) انجام می‌شود:

$$\frac{\ln a - \ln b}{\ln t_1 - \ln t_2} = \frac{\ln b - \ln x}{\ln t_2 - \ln(t_2 + t)} \quad (5)$$

که در آن a و b مقادیر معلوم به دست آمده از اندازه‌گیری‌ها و t_1 زمان گذشته مربوط به مقدار a و t_2 زمان کنونی مربوط به مقدار b است. مقدار متغیر x مربوط



شکل ۲- فلوجارت طراحی مدل برآورد غلظت مواد مغذی در آب رودخانه
Fig. 2- Flowchart of water quality model for estimating the nutrient

خلاصه به شرح زیر ارائه شده است.

مرحله اول - تعیین محل نمونه‌گیری در مصب رودخانه پیربازار و انجام نمونه‌برداری به منظور تهیه داده‌های مربوط به مواد مغذی درون آب.

مرحله دوم - بررسی نرمال بودن توزیع داده‌ها (در صورت نرمال نبودن استفاده از تبدیلات مناسب نظیر تبدیل جانسون و تبدیل باکس-کاکس برای نرمال کردن توزیع داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار 15 Minitab).

مرحله سوم - طراحی و تدوین برنامه تحقیقاتی توسعه‌یافته توسط نگارندگان، در محیط نرم‌افزار Code Blocks.

مرحله چهارم - اجرای روش‌های درون و برون‌یابی بر اساس روابط موجود و استفاده از داده‌های آزمایشگاهی با بهره‌گیری از برنامه تدوین شده مرحله قبل.

مرحله پنجم - انجام محاسبات RMSE برای هر یک از روش‌های درون و برون‌یابی و انتخاب بهترین توان و مرتبه برای هر کدام از روش‌های مورد نظر.

مرحله ششم - ارزیابی و مقایسه روش‌ها با استفاده از روش اعتبارسنجی و انتخاب بهترین روش.

مرحله هفتم - ترسیم نقشه‌های پهنه‌بندی ماهانه و فصلی توزیع مکانی غلظت نیترات و فسفات در محیط نرم‌افزار MATLAB و چاپ مقادیر مربوط به غلظت مواد مغذی (پارامترهای کیفی آب) برای دهه‌های آینده در حوضه آبی مورد بررسی.

نتایج و بحث

در جدول (۱)، مقادیر غلظت اندازه‌گیری شده میدانی برخی از پارامترهای کیفی آب این رودخانه ارائه شده است. همچنین در جدول (۲)، متوسط مقادیر غلظت نیترژن و فسفر کل در فصل‌های بهار، تابستان، پاییز و زمستان در نقاط مختلف نمونه‌برداری از مصب رودخانه پیربازار ملاحظه می‌شود.

روش چندجمله‌ای موضعی: در این روش، یک

رویه هموار توسط توابع ریاضی روی نقاط ورودی برازش داده می‌شود. در درون‌یابی جهانی فقط یک چندجمله‌ای بر تمامی داده‌ها برازش داده می‌شود، در حالی که در درون‌یابی موضعی، بر هر مجموعه داده محدود در یک همسایگی معین، یک چندجمله‌ای مستقل برازش داده می‌شود.

روش اعتبارسنجی: در این تحقیق، انتخاب

بهترین روش با استفاده از روش اعتبارسنجی متقابل^{۱۰} و بر اساس معیار ارزیابی جذر میانگین مجموع مربعات خطا انجام شد. 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 برآوردشده، مقایسه شده و با استفاده از معیارهای ارزیابی مختلف می‌توان بهترین روش را انتخاب کرد. از جمله معیارهای ارزیابی که می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد، جذر میانگین مجموع مربعات خطا^{۱۱} (RMSE) (رابطه ۶) است که در این تحقیق از آن برای مقایسه روش‌های درون و برون‌یابی استفاده شده است.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [Z^*(x_i) - Z(x_i)]^2} \quad (6)$$

این معیار هر چقدر به صفر نزدیکتر باشد بیانگر خطای کمتر روش است. بنابراین با مقایسه مقادیر RMSE به دست آمده از هر روش برای داده‌های آزمایشگاهی، روش بهینه درون و برون‌یابی برای تخمین مقادیر مواد مغذی قابل استحصال خواهد بود. مراحل انجام کار به صورت

جدول ۱- غلظت برخی از پارامترهای کیفی آب در نمونه برداری از مصب رودخانه پیربازار طی سال‌های ۹۵-۱۳۹۳
 Table 1. Concentration of some quality parameters of water in the estuary of the Peer-bazar River in 2014-2016

PO ₃ (mg/l) Mean ± SD	NH ₄ (mg/l) Mean ± SD	NO ₂ (mg/l) Mean ± SD	NO ₃ (mg/l) Mean ± SD	DO (mg/l) Mean ± SD	TDS (mg/l) Mean ± SD	شماره ایستگاه No. Station
0.56 ± 0.277	1.611 ± 0.361	0.020 ± 0.011	2.341 ± 0.480	9.03 ± 1.89	1138 ± 624	1
0.60 ± 0.370	2.243 ± 0.826	0.037 ± 0.033	2.390 ± 0.087	5.34 ± 3.53	1172 ± 615	2
0.48 ± 0.252	3.791 ± 0.590	0.013 ± 0.011	2.451 ± 0.224	7.39 ± 1.46	1141 ± 629	3
0.52 ± 0.349	3.931 ± 0.623	0.033 ± 0.031	3.892 ± 0.371	5.42 ± 5.10	864 ± 265	4
1.14 ± 0.686	3.565 ± 0.399	0.032 ± 0.028	4.691 ± 0.753	8.72 ± 1.93	763 ± 338	5
0.85 ± 0.359	2.682 ± 0.466	0.091 ± 0.082	4.871 ± 0.775	6.74 ± 2.78	1116 ± 468	6
0.26 ± 0.163	1.893 ± 0.629	0.014 ± 0.006	5.022 ± 0.489	7.76 ± 0.38	1016 ± 314	7
0.49 ± 0.171	1.532 ± 0.378	0.023 ± 0.019	3.232 ± 0.591	6.27 ± 3.35	1197 ± 482	8
0.53 ± 0.379	2.466 ± 0.258	0.038 ± 0.035	2.030 ± 0.535	7.42 ± 2.91	1244 ± 486	9
0.99 ± 0.569	3.518 ± 0.268	0.041 ± 0.032	2.521 ± 0.328	4.63 ± 4.05	1029 ± 259	10
0.64 ± 0.377	2.723 ± 0.780	0.034 ± 0.029	3.344 ± 0.464	6.58 ± 2.50	1068 ± 411	میانگین Average

جدول ۲- میانگین غلظت نیتروژن کل و فسفر کل (mg/lit) در فصول و نقاط مختلف رودخانه پیربازار طی سال‌های ۹۱-۱۳۹۰ و ۹۵-۱۳۹۳
 Table 2. Mean of total nitrogen concentration (mg/lit) in different seasons and points of the Peer-bazar River during 2012-2013 and 2014-2016

میانگین غلظت در فصول Average (In Seasons)	شماره ایستگاه No. Station										فصول سال Seasons	
	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1		
0.982	1.303	1.044	1.102	1.175	0.688	0.690	0.622	1.371	1.09	0.735	TN	بهار Spring
0.529	0.966	0.571	0.698	0.241	0.260	0.259	0.588	0.532	0.706	0.471	TP	تابستان Summer
0.456	0.593	1.047	0.216	0.142	0.178	1.151	0.223	0.592	0.303	0.11	TN	پاییز Fall
0.236	0.532	0.572	0.185	0.139	0.058	0.104	0.077	0.28	0.28	0.227	TP	زمستان Winter
0.230	0.091	1.068	0.075	0.470	0.068	0.079	0.096	0.160	0.088	0.101	TN	
0.124	0.061	0.538	0.052	0.063	0.054	0.041	0.217	0.05	0.104	0.062	TP	
0.797	1.814	1.328	0.704	0.727	0.742	0.791	0.819	0.291	0.334	0.422	TN	
0.412	1.486	0.622	0.158	0.312	0.283	0.290	0.305	0.264	0.153	0.250	TP	
0.616	0.950	1.122	0.524	0.628	0.419	0.678	0.440	0.603	0.545	0.342	TN	میانگین در ایستگاه‌ها Average
0.325	0.761	0.576	0.273	0.189	0.170	0.173	0.297	0.251	0.311	0.252	TP	

روش تحقیق

توان‌های ۲، ۵، ۱۰ و مرتبه ۱ (از میان مرتبه‌های ۱، ۲ و ۳) بهترین توان و مرتبه برای روش چندجمله‌ای موضعی است (خاطر نشان می‌شود انتخاب این توان با استفاده از روش اعتبارسنجی متقابل به‌دست آمده است). برای روش رگرسیون چندجمله‌ای نیز، عملیات درون و برون‌یابی تحت مرتبه‌های ۱ و ۲ انجام شد. مقایسه نتایج به‌دست آمده با استفاده از روش اعتبارسنجی متقابل نشان داد که این روش تحت مرتبه ۲ بهترین نتیجه درون

برای انتخاب بهترین RMSE و انتخاب بهترین توان و مرتبه برای روش‌های درون و برون‌یابی مورد استفاده در این پژوهش، لازم است یک سری محاسبات انجام شود. نتایج RMSE ارائه شده در جداول ۳ و ۴ نشان می‌دهد که توان ۱ (از میان توان‌های ۱ تا ۶) بهترین توان (دارای کمترین مقدار RMSE) برای انجام عملیات درون‌یابی به روش عکس فاصله و توان ۲ (از میان

مقایسه قرار گرفته است. مقادیری که در این جدول مشاهده می‌شود کمترین مقدار RMSE هر روش است که با استفاده از بهینه‌سازی پارامترهای هر روش حاصل شده است. مقایسه نتایج به دست آمده در جدول (۵) نشان می‌دهد که بهترین روش برای برآورد مقادیر غلظت نیتروژن و فسفر کل در رودخانه پیربازار، روش رگرسیون چندجمله‌ای مرتبه ۲ (با میانگین $RMSE = 0.2075$ برای نیتروژن کل و $RMSE = 0.1475$ برای فسفر کل) است. پس از آن روش عکس فاصله با توان ۲ می‌تواند به عنوان یک روش مناسب مطرح باشد. بدترین نتایج نیز در مقایسه با سایر روش‌ها مربوط به روش چندجمله‌ای موضعی (با میانگین $RMSE = 0.331$ برای نیتروژن کل و $RMSE = 0.22$ برای فسفر کل) است.

و برون‌یابی را در تمامی فصول سال ارائه می‌دهد. برای روش کریجینگ با استفاده از داده‌های نرمال، محاسبات مربوط به مدل تغییرنا انجام شد که برای تمام ماه‌های سال بهترین نتیجه مربوط به مدل خطی (از میان دو مدل خطی و اثر قطعه‌ای + خطی) به دست آمد. بنابراین از این مدل برای برآورد غلظت‌ها با روش کریجینگ استفاده شد و نتایج آن با سایر روش‌ها مقایسه شد.

برای دست‌یابی به بهترین نتیجه با استفاده از روش اسپلاین، عملیات درون و برون‌یابی تحت پارامترهای هموارسازی مختلف انجام و سپس نتایج با استفاده از روش اعتبارسنجی متقابل مقایسه شد و بهترین نتایج درون و برون‌یابی با این روش در جدول (۵) با سایر روش‌ها مورد

جدول ۳- متوسط مقادیر RMSE روش عکس فاصله برای توان‌های ۱-۶ مربوط به نیتروژن و فسفر کل در پاییز ۱۳۹۴
Table 3. RMSE average values using inverse distance method to power of 6-1 for nitrogen total (TN) and phosphorus total (TP) in the fall (2015)

		توان Power					
		6	5	4	3	2	1
TN	RMSE	0.406	0.392	0.377	0.354	0.329	0.320
TP	(پاییز) (Fall)	0.211	0.203	0.198	0.184	0.175	0.169

جدول ۴- متوسط مقادیر RMSE روش چندجمله‌ای موضعی تحت مقادیر مختلف مرتبه و توان مربوط به نیتروژن و فسفر کل در بهار ۱۳۹۵
Table 4. RMSE average values using local polynomial method for nitrogen total (TN) and phosphorus total (TP) in the spring (2016)

RMSE (بهار) (Spring)									پارامتر Parameter
مرتبه 3 Order 3			مرتبه 2 Order 2			مرتبه 1 Order 1			
توان 10 Power 10	توان 5 Power 5	توان 2 Power 2	توان 10 Power 10	توان 5 Power 5	توان 2 Power 2	توان 10 Power 10	توان 5 Power 5	توان 2 Power 2	
5.33	4.71	2.23	1.84	1.09	0.81	0.62	0.60	0.59	TN
0.07	0.08	0.06	0.14	0.14	0.12	0.07	0.06	0.04	TP

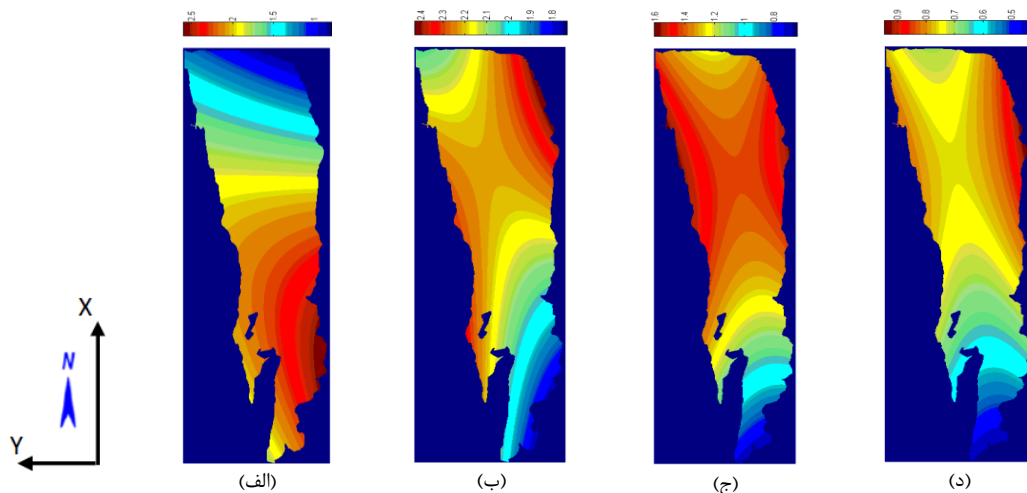
جدول ۵- مقایسه مقادیر RMSE روش‌های مختلف درون و برون‌یابی داده‌های نیتروژن و فسفر کل طی سال‌های ۱۳۹۰-۹۱ و ۱۳۹۳-۹۵
Table 5. Compare RMSE values of different methods of extrapolated and interpolated data at 2012-2013 and 2014-2016 for nitrogen total and phosphorus total

RMSE (زمستان) (Winter)		RMSE (پاییز) (Fall)		RMSE (تابستان) (Summer)		RMSE (بهار) (Spring)		روش‌ها Methods
TP	TN	TP	TN	TP	TN	TP	TN	
0.25	0.19	0.19	0.24	0.32	0.39	0.06	0.45	کریجینگ Kriging
0.22	0.17	0.19	0.21	0.34	0.34	0.06	0.44	عکس فاصله Inverse distance
0.17	0.11	0.14	0.15	0.24	0.25	0.04	0.32	رگرسیون چندجمله‌ای Polynomial regression
0.28	0.18	0.20	0.24	0.33	0.39	0.06	0.48	اسپلاین S-plus
0.25	0.20	0.22	0.23	0.35	0.40	0.06	0.49	چند جمله‌ای موضعی Local polynomial

بررسی نقشه‌های پهنه‌بندی ترکیبات نیتروژن و فسفر

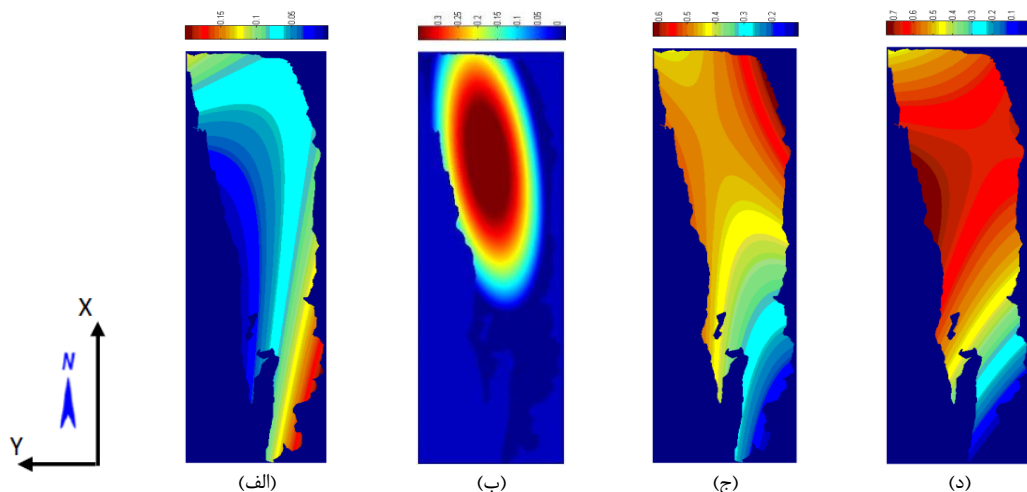
و فسفر در مکان‌هایی که در آن سرعت و جهت جریان آب کم است، به‌ویژه در لبه‌ها و نی‌زارهای حاشیه رودخانه، زیاد است. همچنین هر قدر از بالادست رودخانه به دهانه ورودی به تالاب انزلی پیش می‌رویم به علت تجمع آلاینده‌ها، مقدار این مواد در آب افزایش یافته است و در انتهای مسیر به علت باز شدن مصب و بستر رودخانه و کاهش سرعت جریان آب و افزایش گل‌ولای رسوبات معلق به تالاب، به میزان غلظت مواد مغذی افزوده شده است.

از آنجا که بررسی تغییرات فصلی کیفیت آب‌های سطحی، جنبه مهمی در ارزیابی تغییرات موقتی آلودگی آب است (Ouyang *et al.*, 2006)؛ از این رو نقشه‌های توزیع مکانی فصلی نیترات و فسفات ترسیم‌شده (شکل های ۳ و ۴) و کردارهای هیستوگرام فراوانی توزیع مواد مغذی (شکل‌های ۵ و ۶) در این حوضه آبی نشان می‌دهند که غلظت نیتروژن



شکل ۳- نقشه‌های فصلی توزیع مکانی نیترات (mg/lit) در حوضه آبریز در فصل (الف) بهار (ب) تابستان (ج) پاییز (د) زمستان طی سال ۱۳۹۳-۹۵

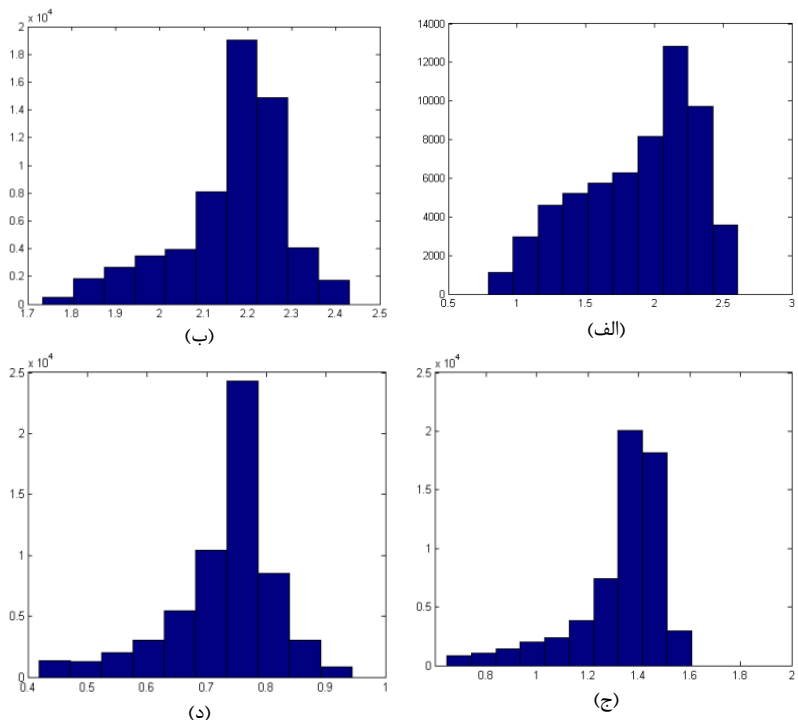
Fig. 3- Seasonal nitrate spatial distribution maps (mg/lit) in the catchment area in (A) spring (B) summer (C) autumn (D) winter, (2014-2016)



شکل ۴- نقشه‌های فصلی توزیع مکانی فسفات (mg/lit) در حوضه آبریز در فصل

(الف) بهار (ب) تابستان (ج) پاییز (د) زمستان طی سال‌های ۱۳۹۳-۹۵

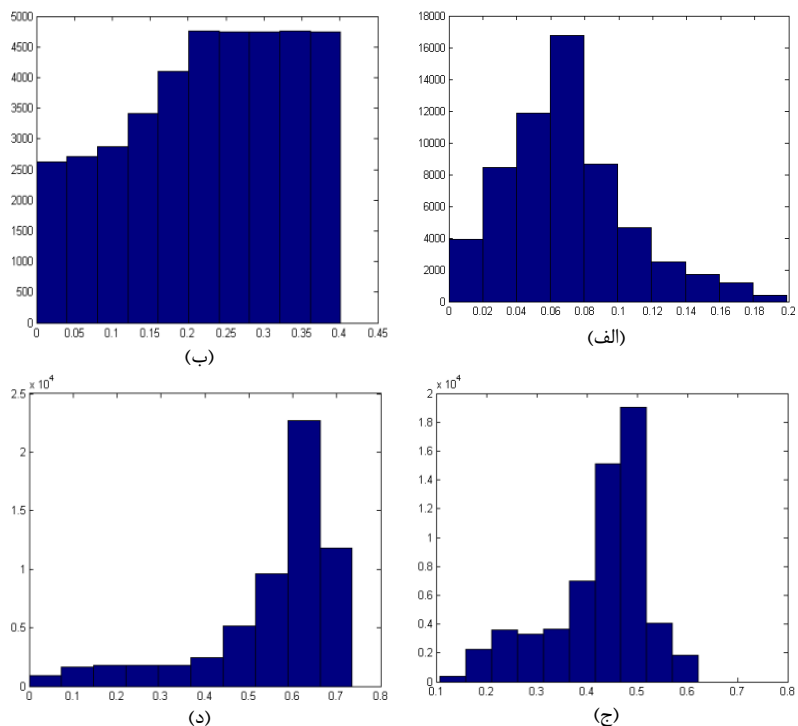
Fig. 4- Seasonal phosphate spatial distribution maps (mg/lit) in the catchment area in (A) spring (B) summer (C) autumn (D) winter, (2014-2016)



شکل ۵- هیستوگرام فراوانی توزیع مکانی نیترات در حوضه آبریز (mg/L) در فصول

(الف بهار (ب تابستان (ج پاییز (د زمستان

Fig. 5- Histogram the frequency of spatial distribution of nitrate in the catchment area (mg / L) in seasons (A) spring (B) summer (C) autumn (D) winter, (2014-2016)



شکل ۶- هیستوگرام فراوانی توزیع مکانی فسفات در حوضه آبریز (mg/L) در فصول

(الف بهار (ب تابستان (ج پاییز (د زمستان

Fig. 6- Histogram the frequency of spatial distribution of phosphate in the catchment area (mg / L) in seasons (A) spring (B) summer (C) autumn (D) winter, (2014-2016)

شدن تدریجی حوضه آبی می‌شوند. با توجه به مقدار متوسط pH در فصل تابستان ($pH = 8/29$) و افزایش درجه حرارت آب، این احتمال وجود دارد که با قلیایی‌شدن محیط، یون آمونیوم به هیدرواکسید آمونیوم (NH_4OH) تبدیل شود. این ماده سمی بوده و می‌تواند باعث مرگومیر آبزیان شود (Rafiee et al., 2013). در مصب رودخانه‌ها و تالاب‌ها به دلیل کاهش سرعت جریان آب، جلبک‌ها فرصت کافی برای استفاده از فسفر و تجمع و انباشتگی دارند. حضور متوسط غلظت بالای فسفر (جدول ۲) در نمونه‌های آب به میزان $0/124$ میلی‌گرم در لیتر (در پاییز) تا $0/529$ میلی‌گرم در لیتر (در بهار) نشان از کاهش کیفیت آب در نمونه‌های آب رودخانه پیربازار دارد که می‌تواند عمل نوترینت و یوتروفیکاسیون آب منطقه را تسریع کند. طبق استانداردهای جهانی معمولاً فسفر به مقدار $0/01$ تا $0/1$ میلی‌گرم در لیتر برای تسریع یوتروفیکاسیون کافی است (Naseri and Ghaneian, 2004).

با توجه به روند صعودی و معنی‌دار تغییرات غلظت مواد مغذی آب در مصب رودخانه، مشاهده می‌شود که غلظت این مواد (نیتروژن کل و فسفر کل) بر اساس برنامه مدل ریاضی طراحی شده، طی سال‌های آینده (1400 و 1410) تشدید می‌شود (جدول ۶).

مقایسه غلظت نیتروژن-آمونوم (NH_4^+-N) با میزان حداکثر مجاز جهانی این ماده در رودخانه‌ها نشان می‌دهد که غلظت آن ($1/532$ تا $3/931$ میلی‌گرم در لیتر) در بیشتر نقاط نمونه‌برداری بالاتر از حد مجاز میانگین است (طبق استاندارد (OECD, 1982). و دستورالعمل اروپایی (1994) 80/778/EEC حد مجاز این ماده در حالت عادی و در بیشتر آب‌های شیرین $0/1$ تا $0/5$ میلی‌گرم در لیتر است). با توجه به زیاد بودن میزان متوسط آمونیوم ($2/723$ mg/lit) حاصل از این تحقیق و مقایسه آن با بررسی‌های مشابه قبلی در سایر رودخانه‌ها (Mirbagheri et al., 2011, Aliverdi and Eslami, 2014, Salmani and Salmani Jajaei, 2016)، می‌توان آن را یکی از شاخص‌های مهم یوتروف بودن محیط آبی دانست و نتیجه گرفت که حوضه آبی مورد بررسی در شرایط یوتروفیکاسیون پیشرفته قرار دارد. عامل اصلی آن به فعالیت‌های کشاورزی (زهاب‌های ناشی از مزارع برنج و شالیزارهای حاشیه رودخانه که حاوی مواد مغذی هستند) و استفاده از کودهای معدنی و فسفات و سموم دفع آفات در باغات پایین‌دست رودخانه و همچنین رشد نامتعارف جلبک‌ها و تولید سمومی نظیر اوسیلاتورها و آنابنا مربوط می‌شود که باعث افزایش پدیده یوتروفیکاسیون، یا پیر

جدول ۶- برآورد مقادیر غلظت برخی از پارامترهای کیفی آب در رودخانه پیربازار در سال ۱۴۰۰ و ۱۴۱۰ توسط نرم‌افزار تحقیقاتی توسعه یافته

Table 6. An Estimate of Water Quality Changes by Developed Research Software in Peer-bazar River at 2022 and 2032

TDS (mg/l)	PO ₃ (mg/l)	NH ₄ (mg/l)	NO ₂ (mg/l)	NO ₃ (mg/l)	شماره ایستگاه No. Station					
					1410	1400				
1325.8	1218.8	0.638	0.588	1.665	1.630	0.037	0.026	2.552	2.416	1
1365.4	1255.2	0.684	0.630	2.319	2.270	0.069	0.049	2.605	2.466	2
1329.3	1222	0.547	0.504	3.920	3.836	0.024	0.017	2.671	2.529	3
1006.5	925.3	0.593	0.546	4.064	3.978	0.062	0.043	4.242	4.016	4
888.9	817.2	1.299	1.197	3.686	3.608	0.060	0.042	5.113	4.841	5
1300.1	1195.2	0.969	0.892	2.773	2.714	0.170	0.120	5.309	5.027	6
1183.6	1088.1	0.296	0.273	1.957	1.916	0.026	0.018	5.474	5.182	7
1394.5	1282	0.558	0.514	1.584	1.550	0.043	0.030	3.522	3.335	8
1449.3	1332.3	0.604	0.556	2.550	2.495	0.071	0.050	2.213	2.095	9
1198.7	1102	1.128	1.039	3.560	3.560	0.077	0.054	2.749	2.601	10
1244.2	1143.8	0.731	0.672	2.816	2.755	0.064	0.045	3.645	3.451	میانگین Average

فصول تابستان و پاییز بیشتر است.

طبق محاسبات به عمل آمده، متوسط نسبت نیتروژن کل به فسفر کل (TN/TP) در ورودی به تالاب انزلی (پایین دست رودخانه پیربازار) به مقدار ۳۳/۵ ماکزیمم مقدار بوده و در تمام ایستگاه‌های اندازه‌گیری شده بالاتر از حد مجاز ۱۶ است. بنابراین با توجه به استاندارد OECD میل شدید حوضه آبی به یوتروف شدن غیرقابل انکار است. کاهش متوسط نسبی اکسیژن محلول در آب (۶/۵۸ میلی گرم در لیتر) و رشد بیش از حد گیاهان آبی به ویژه گیاه آزولا و افزایش بیوماس پلانکتونی در حوضه آبی، بر این موضوع تأیید دارد. گیاه آزولا با مصرف زیاد اکسیژن در شب‌ها، آزیان با ارزش را با خطر مرگ روبه‌رو می‌کند. نکته‌ای که لازم است به آن اشاره شود، غلظت اکسیژن محلول در آب در طول نمونه‌برداری بین ۴/۶۳ تا ۹/۰۳ میلی گرم در لیتر بود ولی آب‌های فاقد اکسیژن (۰/۴ میلی گرم در لیتر) نیز در بین نمونه‌ها وجود داشت که ممکن است به علت ورود آلاینده‌های منابع غیرنقطه‌ای کشاورزی و نیز تخلیه فاضلاب شهری (منابع نقطه‌ای) و حوضچه‌های پرورش ماهی و فاضلاب ناشی از مصرف آب در مرغداری‌ها باشد.

با استفاده از فرمول خطای استاندارد

$$S_e = \left(\frac{1}{n-2} \sum e^2 \right)^{0.5}$$

و انحراف معیار

$$S_y = \left\{ \frac{1}{n-1} \left[\sum y_i^2 - \frac{(\sum y_i)^2}{n} \right] \right\}^{0.5}$$

مقدار ضریب همبستگی^{۱۲} از رابطه

$$r = \left(1 - \frac{S_y^2}{S_e^2} \right)^{0.5}$$

(Zarrati et al., 2004) برای فسفر کل و نیتروژن کل در فصول مختلف محاسبه شد که مقدار آن بین ۰/۸۷ تا ۰/۹۱۸ (میانگین ۰/۸۹۴) به دست آمد. همبستگی مثبت و بالایی که بین غلظت این دو ماده غذایی مشاهده شد می‌توان استدلال کرد که فسفر و نیتروژن به احتمال زیاد منشاء یکسان و مشترکی دارند و عمدتاً به فعالیت‌های کشاورزی و فاضلاب‌های روستایی مربوط‌اند. این همبستگی به شکلی است که می‌توان هر یک از پارامترها

مقادیر مندرج در جداول (۱) و (۲) نشان می‌دهد میانگین پارامترهای کیفی آب شامل NO_2 , NO_3 و NH_4 در فصول مختلف به ترتیب در محدوده ۰/۰۹۱-۰/۱۴ و ۵/۰۲۲-۲/۰۳۰ و ۳/۹۳۱-۱/۵۳۲ میلی گرم بر لیتر است. متوسط غلظت بالای ترکیبات نیتروژنی در نمونه‌های آب که معمولاً از طریق روان‌آب‌های زیرزمینی وارد رودخانه می‌شود، منشاء آن ممکن است از تجزیه ترکیبات آلی حاوی نیتروژن مانند پروتئین و اوره باشد که در اثر تخلیه فاضلاب‌های شهری به محیط وارد شده است. همچنین طبق تحقیقات انجام شده در این پژوهش، علل دیگری در افزایش این غلظت‌ها موثرند که از مهمترین آنها می‌توان به تعمیر مرفولوژیکی بستر و مسیر رودخانه، فرسایش کناره رودخانه، آلودگی‌های ناشی از مواد زائد جامد ساکنان محلی و گردشگران، آلودگی آب با فرآورده‌های نفتی ناشی از نشت مواد سوختی و روغن مورد استفاده در موتور پمپ‌های نصب شده در سواحل و قایق‌های موتوری گردشگران و زهکشی‌های کشاورزی، اشاره کرد. با توجه به نتایج به دست آمده، از بین عوامل مورد بررسی تنها نیترات در وضعیت مطلوب قرار دارد؛ ولی بقیه عوامل بیشتر از حد مجاز هستند که نشانگر وضعیت آلوده بودن رود است.

بررسی نسبت نیتروژن کل به فسفر کل

با توجه به اینکه بررسی تغییرات فصلی کیفیت آب‌های سطحی، جنبه مهمی در ارزیابی تغییرات موقتی آلودگی رودخانه‌ها می‌باشد (Ouyang et al., 2006)؛ از این رو توزیع تغییرات غلظت فسفر و نیتروژن کل در فصول تابستان و زمستان بر اساس مدل تعیین شد (جدول ۲). مقادیر متوسط غلظت مواد غذایی و توزیع مکانی و زمانی آنها در جدول (۲) تاییدکننده کاهش کیفیت آب منطقه مورد بررسی در فصل تابستان (نسبت به زمستان) است؛ درضمن مشخص شد که در فصول زمستان و بهار میزان متوسط غلظت این مواد نسبت به

وسیع‌تری از منطقه آبی به دست آورد. با توجه به آلودگی بالای رودخانه پیربازار، سیستم‌های نمونه‌برداری و سنجش کیفیت ثبات آب در رودخانه نصب شود و از آن مهمتر اینکه تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهرها و کارخانه‌های مجاور رودخانه تکمیل و گسترش یابد. همچنین ضرورت دارد با بهره‌گیری از این شبیه‌ساز و اتخاذ تدابیر اصولی و توان‌های بالقوه موجود و نیز تدوین راهبردهای لازم، برنامه‌ریزی، هماهنگی، نظارت و کنترل توسط دستگاه‌ها و سازمان‌های ذیربط و به‌خصوص اعمال مدیریت واحد، حیات پاک و سالمی برای آینده این حوضه آبی رقم زده شود.

سپاسگزاری

بدین وسیله از معاونت پژوهشی دانشکده محیط زیست کرج برای حمایت مالی از این تحقیق تشکر و قدردانی می‌کنیم. همچنین از مساعدت و همکاری بی‌دریغ مسئولان اداره کل حفاظت محیط زیست استان گیلان، به‌ویژه خانم دکتر اعظم‌السادات میر روشندل، ریاست محترم آزمایشگاه آن اداره کل که در بررسی‌های میدانی این پژوهش مشارکت کردند، صمیمانه سپاسگزاریم.

پی‌نوشت‌ها

- ¹ Eutrophication
- ² Algae
- ³ Sediment Quality Index
- ⁴ Kriging
- ⁵ Inverse distance to power
- ⁶ Polynomial Regression
- ⁷ Local polynomial
- ⁸ Spline-plus
- ⁹ Thin Plat Spline
- ¹⁰ Cross-validation
- ¹¹ Root-Mean-Square Error (RMSE)
- ¹² Correlation coefficient

را از روی دیگری تخمین زد و هزینه‌های اندازه‌گیری میدانی را کاهش داد؛ به‌طوری که اقدامات کنترلی روی هر یک از آنها، بر دیگری نیز موثر خواهد بود. مقدار ضریب عملکرد نیز بین ۰/۱۸۷ تا ۰/۷۲۱ متغیر است که به ترتیب برای نیترات و فسفات بهترین عملکرد را نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که با استفاده از تکنیک استفاده از بهترین روش درون‌یابی، می‌توان نقشه پهنه‌بندی فصول و تغییرات توزیع زمانی-مکانی پارامترهای کیفی آب از جمله نیترات، فسفات را در حوضه‌های آبی تهیه و غلظت مواد مغذی را با استفاده از نرم‌افزار تحقیقاتی توسعه‌یافته توسط نویسندگان، پیش‌بینی کرد.

با توجه به دستورعمل‌ها و استانداردهای ملی و بین‌المللی موجود، طبق پیش‌بینی‌های این تحقیق، شرایط منطقه در آینده نه چندان دور، وخیم‌تر شده و به حالت بحرانی پایدار و غیرقابل کنترل خواهد رسید. با توجه به اینکه تغییرات هر یک از پارامترهای کیفی آب همواره روند صعودی داشته، پیش‌بینی می‌شود متوسط غلظت سالیانه آمونیوم، نیترات، نیتريت، فسفات و املاح محلول در آب طی ۵ سال آینده به ترتیب حدود ۱/۱۲٪، ۳/۳۲٪، ۰/۵٪ و ۰/۷٪ نسبت به وضعیت کنونی، افزایش رشد خواهند داشت. این ارقام در ۱۵ سال آینده به ترتیب به رقم حدود ۳/۴٪، ۰/۹٪، ۰/۸۷٪، ۰/۱۴٪ و ۰/۱۶/۵٪ خواهند رسید (جدول ۶).

پیشنهاد می‌شود که نمونه‌برداری در بازه‌های زمانی طولانی انجام شود، رودخانه‌های بیشتر و ایستگاه‌های نمونه‌برداری کیفی بیشتری در مسیر رودخانه‌ها سنجش شود و با ایستگاه‌های آب‌سنجی انطباق یابند. همچنین با استفاده از نقشه‌های فصلی و بهره‌گیری از نتایج برنامه حاصل از این تحقیق، می‌توان نقشه‌های پهنه‌بندی و توزیع مکانی و زمانی غلظت پارامترهای آب را در سطح

- Aliverdi, A.R. and Eslami, H., 2014. Modeling quality parameters nitrate and ammonia in the river between the bridge Elhayi using software WASP6: <http://www.civilica.com/Paper>
- European Directive 80/778/EEC relating to the quality of water intended for human consumption, 1994.
- Forsythe, K.W., Paudel, K. and Marvin, C.H., 2010. Geospatial analysis of zinc contamination in lake Ontario sediments. *Environmental Informatics*. 16(1), 1-10.
- Haji, A.H., Mirbagheri, S.A. and Javid, A.H., 2013. A wavelet support vector machine combination model for daily suspended sediment forecasting. *International Journal of Engineering Transaction Aspects*. 27(6), 855.
- Hasani Pak, A.A., 2013. Geostatistical. Tehran University Published, Tehran, Iran.
- Hayatolghaib, M., Gheshlaghi, A., Jafari, H. and Forghani Tehrani, G., 2016. Measure performance and efficiency of water consumption Tehran by data envelopment analysis. *Journal of Natural Environment*. 68(4), 619-628. (In Persian with English abstract).
- JICA (Japan International Cooperation Agency), 2012. Zoning plan in the Anzali wetland, Anzali wetland ecological management project in Islamic Republic of Iran. Report number: 2, p. 95.
- Kazemi, S.M. and Hosseini, S.M., 2014. 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. and Liu, C., 2011. Evaluation of potential health risk of arsenic-affected groundwater using indicator kriging and dose response model. *Science of the Total Environment*. 384, 151–162.
- Liu, S., Gu, S., Tan, X. and Zhang, Q., 2009. Water quality in the upper Han river basin, China: The impacts of land use land cover in riparian buffer zone. *Journal of Hazardous Materials*. 165, 317-324.
- Marofi, C., Tornjiyan, A. and Zarabyaneh, H., 2012. Evaluation of geostatistical methods for estimating electrical conductivity and pH water drainage channel Hamedan-Bahar plain. *Journal of Soil and Water Conservation researches*. 16(2), 41-53. (In Persian with English abstract).
- Ministry of Energy., 1998. An extensive plan for monitoring of water quality in Anzali Watershed. p. 15, 48.
- Mirbagheri, S.A. and Tanji, K.K., 1981. Sediment characterization and transport modeling in Colusa Drain. California. University of California at Davis, Department of Land, Air, and Water Resources.
- Mirbagheri, S.A., Tanji, K.K. and Krone, R.B., 1988a. Sediment characterization and transport model in Colusa Basin Drain. *ASCE. Journal of Environmental Engineering*. 114(6), 1257-1273.
- Mirbagheri, S.A., Tanji, K.K., Krone and R.B., 1988b. Simulation of suspended sediment in Colusa Basin Drain, California. *Journal of Environmental Engineering ASCE*. 114(6), 1275-1294.
- Mirbagheri, S.A. and Hashemi, S.A.H., 2008. Nutrient transport model in Chah nimeh manmade reservoir. *Proceedings of the 8th conference on*

systems theory and scientific.

Mirbagheri, S.A., Nourani, V. and Rajaei, T., 2010a. Neuro-fuzzy models employing wavelet analysis for suspended sediment concentration prediction in rivers. *Hydrological Science Journal*. 55(7).

Mirbagheri, S.A., Nouri, J., Farokhian, F. and Jafarzadeh, N., 2010b. Water quality variability and eutrophic state in wet and dry years in wetlands of the semiarid and arid regions. *Environmental Earth Science*. 59(7), 1397-1407.

Mirbagheri, S.A., Mahmodi, S. and Khezri, S.M., 2011. Simulation modeling of nitrogen and phosphorous change in Chalous river. *Civil and Environmental Engineering University of Tabriz*. 40(3), 47-59. (In Persian with English abstract).

Mirbagheri, S.A., Sadrnejad, S.A. and Hashemi, M. S. A., 2012. Phytoplankton and zooplankton modeling of Pishin Reservoir by means of an advection-diffusion drought model. *International Journal of Environmental Research (IJER)*, 6(1).

Mousavi, G., 2010. *Water Engineering*. Hafiz Published. 2(1), p.78.

Naseri, S. and Ghaneian, M.T., 2004. *Quality management lakes and tributary rivers*. Nas Publishers, One Edition. p. 54.

Nejatkhah Manavi, P., Passandi, A., Sogholi, M., beheshtinia, N. and Mirshekari, D., 2010. Evaluation of nitrate and phosphate in the south-eastern basin of the Caspian Sea in the spring and summer. *Journal of Researches Marine Science and Technology*. 4(3), 27-35. (In Persian with English abstract).

OECD, Vollenweider, R. A. and Kerekes, J., 1982. *Eutrophication of waters. Monitoring, assessment and control*. OECD Cooperative programme on

monitoring of inland waters (Eutrophication control). Environment Directorate, Paris. p.154.

Ouyang, Y., Nkedi-Kizza, P., Wu, Q.T., Shinde, D. and Huang, C.H., 2006. Assessment of seasonal variations in surface water quality. *Water Research*. 40(20), 3800-3810. (In Persian with English abstract).

Pirasteh, K. and Eimandel, B., 1997. Investigation the effects of industrial pollutant sources on the water quality of Siahroud river. *Proceeding of the third Conference on Potable Water Conservation, Iran*. pp. 55-58.

Rafiee, M., Akhond Ali, A.M., Moazed, H., Jaafarzadeh, N. and Zahraie, B., 2013. A Case Study of water quality modeling of the Gargar River, Iran. *Journal of Hydraulic Structures*. p. 10-22. (In Persian with English abstract).

Salmani, M.H. and Salmani Jajaei, E., 2016. Forecasting models for flow and total dissolved solids in Karoun river-Iran. *Hydrology*. 535, 148-159.

Shoaei, S.M., Mirbagheri, S.A. and Zamani, A., 2015. Seasonal variation of dissolved heavy metals in the reservoir of Shahid Rajaei Dam, Sari, Iran. *Desalination and Water Treatment*. 56(12), 3368-3379.

Standard Methods Handbook for water and wastewater., 2005. Publications Washington DC, APHA, ANWA. WPC press. 20th edition, ISBN: 0875532357, Standard No. 1020 B. & 1020 C., pp. 39-53 & 111-119.

Taghizadeh Mehrjardi, R. A., Zare'ian Jahromi, M., Mahmoudi, S., Heidari, A. and Sarmedian, F., 2013. Investigation of spatial interpolation methods for spatial variation of groundwater qualitative properties of Rafsanjan plain. *Science and Engineering Watershed of Iran, Volume 2, No.*

5, pp. 23-31. (In Persian with English abstract).

Zarrati, A.R., Tamai, N. and Islam, G.M.T., 2001.
Huang G. Prediction of water surface elevation in
a channel with continuous bends. Proceedings of
29th IAHR Congress, Beijing, China. pp. 95-104

Zebardast, L. and Jafari, H.R., 2014. Evaluation
process changes in Anzali wetland using remote
sensing and providing management solution.

Environmental Studies. 37(57), 57-64. (In Persian
with English abstract).





Environmental Sciences Vol.15 / No.3 / Autumn 2017

153-172

Evaluation and estimation of changes in water quality using a zoning map and researcher-developed Software (Case Study: Pir-Bazar River)

Majid Homami, Seyed Ahmad Mirbagheri,* Seyed Mehdi Borghei and Majid Abbaspour

Department of Environmental Engineering, Faculty of Environment and Energy, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran

Received: 2017.01.31

Accepted: 2017.10.28

Homami, M., Mirbagheri, S.A., Borghei, S.M., and Abbaspour, M., 2017. Evaluation and estimation of changes in water quality using a zoning map and researcher - developed Software (Case Study: Pir-Bazar River). Environmental Sciences. 15(3): 153-172.

Introduction: Rivers are among the major water resources and represent important and vulnerable inland ecosystems (Hayatolghaib *et al.*, 2016). Today, the quality of such water resources has been threatened due to the irregular consumption of water and the pollution of rivers from non-natural and human sources (Li *et al.*, 2009). The Pir-Bazar River and Anzali International Wetland have been subjected to severe eutrophication over the past two decades (Zebardast and Jafari, 2014). As a result, evaluation and estimation of changes in water quality the mouth area of the main feeding river estuary in the Anzali wetland (the Pir-Bazar River) is a first priority.

Materials and methods: The present study was aimed at evaluating the eutrophication status and prediction of temporal-spatial changes in nutrients concentrations, such as ammonium-nitrogen (N-NH₃), nitrate (N-NO₃), total nitrogen (TN), phosphorous (PO₄⁻³), TP, in the estuary of Pir-Bazar River as the main and most important stream feeding the Anzali International Wetland. Sampling was performed from 10 points of the drainage basin during 18 months from December 2014 to June 2016. In this research, zoning maps were prepared and the status of present and future water quality parameters of the basin were accurately estimated using a researcher-developed software application and the five interpolation methods of Kriging, S-PLUS, polynomial regression, inverse distance to power and local polynomial; finally, the optimal method was selected through a root-mean-square error (RMSE) based cross validation approach.

Result and discussion: The results showed that in this drainage basin, the second order quadratic polynomial

*Corresponding Author. *E-mail Address:* mirbagheri@kntu.ac.ir

regression (with a mean RMSE of 0.2075 for TN and of 0.1475 for TP) and the topical polynomial with power of 10 (order of 3) (with a mean RMSE of 0.331 for TN and of 0.22 for TP) were the best and the worst methods for estimation of nitrate and phosphate levels in the drainage basin, respectively, as compared with other methods. In order to prepare the zoning map, monthly and seasonal maps of spatial distribution of nitrate and phosphate concentrations were created, and temporal (seasonal) changes in nutrients at the wetland entrance (estuary of Pir-Bazar River) were expressed. The results showed that the mean levels of nutrients in Pir-Bazar River water (0.616 mg/L for TN and 0.325 mg/L for TP) were higher than the allowed limits, according to the EU Directive 80/778/EEC and the OECD standard (under normal conditions, the limits are 0.1-0.5 mg/L for TN and 0.01-0.1 mg/L for TP in fresh water). Also, according to the results of the software, the mean TN to TP ratio at the wetland entrance was maximally 33.7 and so greatly exceeded the limit of 16. Therefore, the region's water is subject to an advanced and critical eutrophication. Considering the positive and high values of the coefficient of performance for TP and TN between 0.87 and 0.918 (mean 0.894), it can be argued that phosphorus and nitrogen in this water basin are likely to share the same source; meanwhile the coefficient of performance varied between 0.187 and 0.721, showing the best performance for nitrate and phosphate, respectively.

Conclusion: The results predicted by this software show that the mean annual concentration of ammonium, nitrate, nitrite, phosphate, and dissolved salts in this river will increase about 1.2%, 3.2%, 32%, 5%, and 7% by 2020, compared to the current situation. These figures will be about 3.4%, 9%, 87%, 14%, and 16.5% in 2030; this is a new finding and a reliable innovation in water quality management in the wetland.

Keywords: Seasonal changes, Interpolation and extrapolation methods, Validation method, Root-mean-square error (RMSE), Peer-Bazar River.

