



Comparing the performance of different interpolation methods in the monitoring and zoning of Karoon river water based on quality and pollution indicators (Case study: Bavi county)

Kobra Hamidi¹ | Mitra Cheraghi^{2✉} | Kamran Almasieh³

1. Department of Nature Engineering, Faculty of agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran. E-mail: kobra.hmd77@gmail.com

2. Corresponding Author, Department of Nature Engineering, Faculty of agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran. E-mail: cheraghi.mitra@asnrukh.ac.ir

3. Department of Nature Engineering, Faculty of agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran. E-mail: almasieh@asnrukh.ac.ir

Article Info	ABSTRACT	
Article type: Research Article	The increase in population and human activities, followed by the entry of effluents into rivers, are among the main factors that threaten health in human societies and ecosystems. Due to the impact of these activities on river water quality, continuous monitoring and evaluation of river quality are necessary. Considering that human factors such as industrial pollutants increase the concentration of pollutants in river water, its assessment plays an important role in the health of rivers. Since monitoring the river from point to point is time consuming and expensive, using different geostatistical methods is necessary to determine the best method of zoning the quality indicators and water pollution of the Karoon River from April to March 1402 in the city. Bavi was paid. Thus, after checking the normality of the data and choosing the best interpolation model based on the semivariograms, the zoning for each parameter was drawn with the best interpolation method. The results showed that the Kriging method is the best interpolation method compared to other methods. According to the zoning maps, the water quality of the Karoon River at the water pumping stations of Ramin Power Plant and Kot Seyed Sultan is in an average state, which is caused by the high level of agricultural activities in the region and the entry of industrial and urban wastewater.	
Article history: Received 11 June 2024 Received in revised form 30 July 2024 Accepted 2 August 2024 Published online 01 July 2025		
Keywords: <i>Bavi,</i> <i>Interpolation,</i> <i>Qualitative and Pollution index,</i> <i>Water quality,</i> <i>Zoning.</i>		
Cite this article: Hamidi, K., Cheraghi, M., & Almasieh, K. (2025). Comparing the performance of different interpolation methods in the monitoring and zoning of Karoon river water based on quality and pollution indicators (Case study: Bavi county). <i>Journal of Natural Environment</i> , 78 (Monitoring and Management of Natural Environmental Pollutants), 19-31. DOI: http://doi.org/10.22059/jne.2024.377023.2676		
 © The Author(s). Publisher: University of Tehran Press. DOI: http://doi.org/10.22059/jne.2024.377023.2676		

مقایسه عملکرد روش های مختلف درون یابی در پایش و پهنه بندی آب رودخانه کارون بر پایه شاخص های کیفی و آلودگی (مطالعه شهرستان باوی)

کبری حمیدی^۱ | میترا چراغی^۲ | کامران الماسیه^۳

۱. گروه مهندسی طبیعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاتانی، ایران. رایانامه: kobra.hmd77@gmail.com
۲. نویسنده مسئول، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاتانی، ایران. رایانامه: cheraghi.mitra@asnrukh.ac.ir
۳. گروه مهندسی طبیعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاتانی، ایران. رایانامه: almasieh@asnrukh.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	افزایش جمعیت و فعالیت های انسانی و به دنبال آن ورود پساب ها به رودخانه ها از عوامل اصلی تهدیدکننده سلامت جوامع انسانی و اکوسیستم ها می باشد. با توجه به تأثیر این فعالیت ها بر کیفیت آب رودخانه ها، پایش مداوم و ارزیابی کیفیت رودخانه ها ضروری است. با توجه به آنکه عوامل انسانی مانند آلاینده های صنعتی باعث افزایش غلظت آلاینده ها در آب رودخانه می شوند، بنابراین ارزیابی آن نقش مهمی در سلامت رودخانه ها دارد. از آنجا که پایش نقطه به نقطه رودخانه زمان بر و هزینه بر است، از این رو، با استفاده از روش های مختلف درون یابی، به تعیین بهترین روش پهنه بندی شاخص های کیفی و آلودگی آب رودخانه کارون از فروردین تا اسفند ماه ۱۴۰۲ در بازه شهرستان باوی پرداخته شد. نتایج نشان داد که روش کریجینگ در مقایسه با سایر روش ها، بهترین روش درون یابی است. در ادامه با انتخاب بهترین مدل درون یابی براساس سمی واریوگرام ها، پهنه بندی مربوط به هر پارامتر با بهترین مدل کریجینگ ترسیم شد. براساس نقشه های پهنه بندی، کیفیت آب رودخانه کارون در ایستگاه های پمپاژ آب نیروگاه رامین و کوت سید سلطان در وضعیت متوسط قرار می گیرند که ناشی از بالا بودن فعالیت های کشاورزی در منطقه و نیز ورود فاضلاب های صنعتی و شهری است.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۲۲	
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۵/۰۹	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۱۲	
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۴/۱۰	
کلیدواژه ها: باوی، پهنه بندی، درون یابی، شاخص کیفی و آلودگی، کیفیت آب.	

استناد: حمیدی، کبری؛ چراغی، میترا؛ و الماسیه، کامران (۱۴۰۴). مقایسه عملکرد روش های مختلف درون یابی در پایش و پهنه بندی آب رودخانه کارون بر پایه شاخص های کیفی و آلودگی (مطالعه شهرستان باوی). *محیط زیست طبیعی*، ۷۸ (ویژه نامه پایش و مدیریت آلاینده های محیط زیست طبیعی)، ۳۱-۱۹.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jne.2024.377023.2676>



© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

مقدمه

آب‌های زیرزمینی و آب‌های سطحی، به‌عنوان منابع اصلی، دارای اهمیت زیادی است. آب‌های سطحی بیش از دو و نیم درصد از منابع آب شیرین را در بر می‌گیرد که ۳۰ درصد آن منعکس‌کننده آب‌های زیرزمینی است (USGS, 2016). بنابراین، فعالیت‌های انسانی همراه با عوامل طبیعی اغلب باعث بدتر شدن کیفیت آب‌های زیرزمینی و سطحی می‌شود، بنابراین، محرک‌های کلیدی کاهش کیفیت آب‌های سطحی صنعتی شدن، رشد جمعیت و مدیریت ناکافی پسماند شناخته می‌شوند (Foster et al., 2002). شهرنشینی سریع، صنعتی‌شدن، مصرف بی‌رویه آب‌های سطحی و تغییر سبک زندگی تقاضای آب را افزایش می‌دهد (Zhu et al., 2022). آب یک ماده بسیار ضروری برای حفظ فعالیت‌های مهم انسان است در حالی که، آب آلوده می‌تواند باعث انتقال بیماری‌هایی مانند حصه، اسهال خونی، اسهال، وبا و فلج اطفال شود (Mohsin Khan et al., 2023).

بنابراین ارزیابی کیفیت آب یک اقدام مفید در اکثر نقاط جهان است و اطلاعات ارزشمندی جهت مدیریت بهتر محیط‌زیست رودخانه، منابع آلاینده و تغییر محل تخلیه پساب‌ها صورت پذیرد و همچنین وزارتخانه‌های کشاورزی، آب و آلودگی با همکاری هم به مشارکت و پژوهش در رابطه با روند ورودی و خروجی پساب آلاینده‌ها بر روی رودخانه‌ها همکاری کنند. با توجه به اینکه استفاده از روش‌های سنتی اندازه‌گیری پارامترهای آلودگی در رودخانه‌ها و بررسی وضعیت کیفیت آب، کاری پرهزینه و زمان‌بر است از این‌رو روش‌های گوناگون زمین آماری برای کمک به تهیه نقشه‌های کیفی آب در رودخانه‌ها می‌تواند از نظر صرف زمان و هزینه بسیار مقرون به صرفه باشد. پیشرفت‌های اخیر در معرفی و توسعه روش‌های غیرکلاسیک باعث افزایش تمایل برای استفاده از تکنیک زمین آمار به‌منظور بررسی و شناخت بیشتر این تغییرات شده است (Chandrasekharan et al., 2009). زمین آمار به‌عنوان شاخه‌ای از آمار علمی، امکان بررسی همراه با مقدار متغیرها و نحوه زمانی و مکانی مشاهدات در تحلیل داده‌ها فراهم می‌نماید (Goovaert 1999). با استفاده از این تکنیک‌ها می‌توان، سطحی پیوسته از خصوصیات آماری نقاط معلوم را به‌دست آورد (Ahmadi and Sedghamiz, 2008).

Yue Sun و همکاران (۲۰۰۹) با ارزیابی روش‌های درون‌یابی برای تعیین عمق آب زیرزمینی در حوزه مینکوبین اوسیس در شمال غرب چین، نشان دادند که روش کریجینگ ساده بهترین روش برای تعیین عمق آب زیرزمینی در این منطقه است و عمق آب در طول دوره مورد مطالعه افزایش بسیاری داشته است. Karandish و Shahnazari (۲۰۱۳) به‌منظور ارزیابی سه روش درون‌یابی شامل روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ و معکوس فاصله وزن‌دار با استفاده از داده‌های جمع‌آوری شده از ۲۳ چاه در استان مازندران در فصل‌های پاییز و بهار، به بررسی پارامترهای فیزیکوشیمیایی پرداختند. تحلیل پارامترهای کیفی با استفاده از برنامه توسعه زمین آمار در محیط GIS انجام شد. همه روش‌های درون‌یابی براساس میانگین خطای مطلق ارزیابی شدند که نشان‌دهنده بهتر بودن واریوگرام کروی برای پارامترها و تعیین روش کریجینگ به‌عنوان بهترین روش پهنه‌بندی داده‌های کیفی آب بود. Khatrak و همکاران (۲۰۱۴) به بررسی و تعیین سطح شوری در چاه‌های با عمق کمتر از ۳۰ متر در لاهور پاکستان و مقایسه آن با موارد استانداردهای آبیاری روش کریجینگ پرداختند. آن‌ها روش کریجینگ معمولی و کریجینگ ساده را با هم مقایسه نمودند که نتایج نشان داد روش کریجینگ ساده، با مجموع مربعات خطای کمتر روش بهتری برای پهنه‌بندی این منطقه است. Nikbakht و Delbari (۲۰۱۴) با بررسی روش‌های مختلف درون‌یابی برای برآورد سطح آب زیرزمینی در دشت زاهدان براساس روش‌های زمین آماری، روش کوکریجینگ را به‌عنوان بهترین روش درون‌یابی معرفی کردند. بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که روش کریجینگ در بسیاری از موارد، روش مناسبی برای درون‌یابی تشخیص داده شده است. Chalchaw Mulat و همکاران (۲۰۲۲)، کیفیت آب زیرزمینی در اتیوپی و مطالعه پارامترهای کیفیت آب زیرزمینی از جمله pH، کدروت، مواد جامد محلول، نیترات، فسفات، سختی کل و تهیه نقشه این پارامترها توسط نرم‌افزار GIS مورد بررسی قرار دادند همچنین روش وزن فاصله معکوس IDW در این مطالعه مدل‌سازی شد. درون‌یابی جغرافیایی منطقه نشان داد که کیفیت آب‌های زیرزمینی و ۲۵٪ نمونه‌ها برای آشامیدن مناسب نیستند.

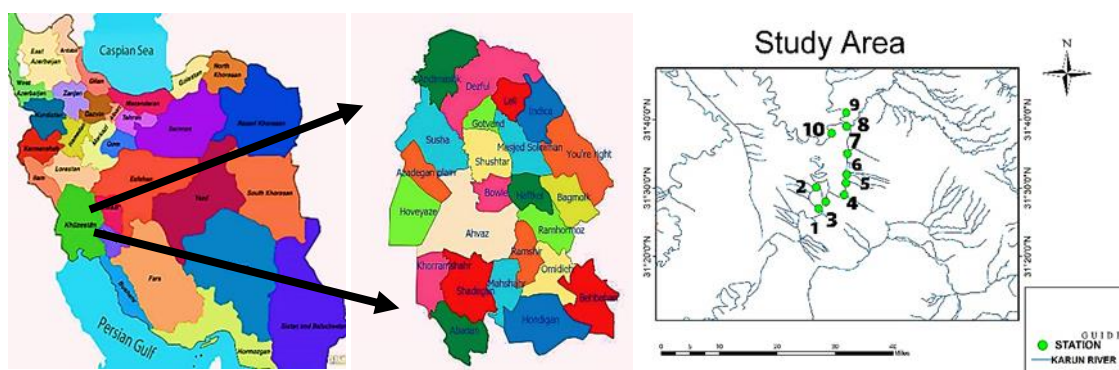
به‌طور کلی در منابع آب شیرین تمرکز بیشتر بر کیفیت آب رودخانه‌ها است. رودخانه کارون با داشتن بیشترین طول در ایران، صنایع مختلفی را در اطراف خود جای داده است. این رودخانه از شهرستان باوی واقع در استان خوزستان و از کنار شهرهای ملاتانی، ویس و شیبان می‌گذرد. رودخانه کارون منبع اصلی تأمین نیازها و مصارف گسترده اطراف این رودخانه بوده و به‌طور هم‌زمان

پذیرنده اصلی زهاب‌های کشت و صنایع، شبکه‌های آبیاری و زهکشی و کشاورزی منطقه، پساب صنایع مختلف حاشیه رودخانه و فاضلاب جوامع انسانی است. مقادیر فراوانی از انواع آلاینده‌های نفتی، صنعتی، فاضلاب شهری و پساب کشاورزی وارد این رودخانه می‌شود (Soleimani et al., 2021). معمولاً کیفیت آب رودخانه کارون به‌ویژه در ماه‌های تابستان افت پیدا کرده و نگرانی‌هایی را از نظر تخریب کیفی این منبع مهم ایجاد می‌کند. افزایش بحران کمبود آب و کمبود کیفیت رودخانه‌ها به‌منظور بررسی کیفی آب رودخانه کارون در بسیاری از مطالعات بررسی شده است. رشد و توسعه کشت و صنعت‌ها، افزایش صنایع و توسعه شهرنشینی و به‌طور همزمان عدم اتخاذ و اجرای سیاست‌های بازدارنده کیفی، سبب شده کیفیت رودخانه کارون کاهش یابد (Diagomanolin et al., 2004). استان خوزستان مهم‌ترین طرح‌های توسعه منابع آب و خاک را داراست که متأسفانه این رودخانه پذیرای بیشترین انواع آلاینده‌ها در منابع تولید را دارد و به‌دلیل تمرکز اکثر عوامل آلاینده‌های صنعتی، کشاورزی، شهری، آبی‌پروری و طرح‌های اجرایی در زمینه کیفیت منابع آب یا خاک، این موضوع را به حیاتی‌ترین موضوع تبدیل کرده است. بخش بسیاری از زمین‌های اطراف رودخانه کارون و دز در بخش جلگه‌ای خوزستان واقع شده‌اند که استعداد فراوانی برای توسعه کشاورزی داشته‌اند (Hoseini et al., 2011).

با توجه به بررسی مطالعات انجام شده در رودخانه کارون، مشاهده می‌شود که کیفیت آب رودخانه در بازه‌های زمانی مختلف تحت تأثیر آلاینده‌های مختلفی از جمله زه‌آب‌های کشاورزی و فاضلاب‌های شهری و صنعتی قرار داشته است. بنابراین پایش وضعیت کیفیت رودخانه و روند تغییرات آن در طول زمان و مکان با هدف آگاهی از وضع حاکم و اتخاذ تمهیدات مورد نیاز احتمالی در آینده، ضروری به‌نظر می‌رسد. در موضوعات آلودگی و تعیین کیفیت آب، پایش دوره‌ای بسیار مهم است و با توجه به اینکه شاخص‌های مختلفی در این زمینه استفاده می‌شود، از این‌رو ارزیابی مقایسه‌ای این شاخص‌ها و ارائه آن‌ها به‌صورت نقشه‌های پهنه‌بندی، یک رویکرد جامع برای ارزیابی و مدیریت کیفیت آب فراهم می‌کند تا امکان درک بهتر سلامت و پایداری منابع آب توسط مدیران و تصمیم‌گیرندگان صورت گیرد. به‌عبارت دیگر، شاخص‌های تعیین کیفیت و آلودگی، تصویر جامعی از وضعیت یک بدنه آبی را ارائه می‌دهند که براساس آن، می‌توان برای اهداف مختلفی مانند شرب، کشاورزی، ماهی‌گیری و ... برنامه‌ریزی کرد. تفاوت اصلی بین این شاخص‌ها در نحوه ارزیابی آلودگی، تعداد، انواع و وزن پارامترهای مورد استفاده در شاخص است. بنابراین این مطالعه در تلاش است تا ضمن پایش آلاینده‌های رودخانه کارون در حوضه شهرستان باوی، به مقایسه روش‌های مختلف درون‌یابی پرداخته و پس از تعیین بهترین روش تخمین، نقشه‌های پهنه‌بندی کیفیت آب این رودخانه را با استفاده از شاخص آلودگی و شاخص‌های کیفیت آب تهیه نماید. همچنین تاکنون مطالعه‌ای به بررسی بهترین روش درون‌یابی در رودخانه کارون حوضه شهرستان باوی پرداخته نشده است.

روش‌شناسی پژوهش

موقعیت جغرافیایی: رودخانه کارون از ارتفاعات زاگرس سرچشمه گرفته با طول ۹۵۰ کیلومتر یکی از طولانی‌ترین رودخانه‌های ایران است. حوضه آبریز رودخانه‌های کارون و دز بزرگ‌ترین حوضه آبریز در استان خوزستان بوده و در مختصات جغرافیایی " ۴۸°۱۰'۰۶" طول شرقی و " ۳۱°۰۵'۱۲" عرض شمالی در ارتفاعات زاگرس واقع شده است که مساحت حوضه آبخیز آن ۶۵۲۳۰ کیلومتر مربع است. در مساحت این رودخانه ۱۱ سد بر روی کارون در مرحله بهره‌برداری ساخت یا مورد پژوهش هستند که حجم کل آن‌ها در هنگام کامل شدن به ۲۱ میلیارد و ۵۵۹ میلیون مترمکعب خواهد رسید. حجم مفید هفت میلیارد و نهصد و هشتاد و شش میلیون مترمکعب برآورد شده و متوسط آبدهی روزانه، ماهانه و زیست‌بومی رود کارون به‌ترتیب ۵۳۶، ۶۳۱ و ۲۹۰ متر مکعب بر ثانیه گزارش شده است (Azhdari and Rostami, 2005). سرشاخه‌های اصلی رودخانه از استان‌های مجاور سرچشمه می‌گیرد و به جلگه خوزستان وارد می‌شود این رودخانه در مسیر خود آب مورد نیاز شهرها و روستاهای متعدد، کارخانه‌های صنعتی و هزاران هکتار اراضی کشاورزی، مراکز پرورش ماهی و کشت و صنعت را تأمین می‌کند. حوضه آبریز این رودخانه در استان‌های خوزستان، لرستان، چهارمحال و بختیاری و کهگیلویه و بویراحمد واقع شده است (Saif and Najmi, 2013). موقعیت ایستگاه‌های نمونه برداری در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

جدول ۱- نحوه سنجش پارامترهای مورد بررسی (Amin Pourshiani et al., 2016)

پارامترها	روش
DO	روش وینکلر
PO4 , NO3	اسپکتوفتومتر
BOD, pH	روش تقاضای وزنی، اسیدیته‌سنج
TSS	روش وزنی
Fecal coliform	روش MPN
Temperature	دماسنج جیوه ای
Turbidity	کدورت‌سنج
EC	هدایت الکتریکی سنج
NH4	اسپکتوفتومتر
COD	تیتراسیون
Total Hardness	

انتخاب ایستگاه‌های مورد نظر و نمونه‌برداری: جهت نیل به اهداف پژوهش ۱۰ ایستگاه در منطقه مورد مطالعه در طی فروردین ماه تا اسفند ۱۴۰۲ نمونه‌برداری شد. نمونه‌برداری با سه تکرار صورت گرفت. برای نمونه‌برداری آب از ظروف یک لیتری که ابتدا اسیدشویی شده و سپس با آب مقطر شسته شدند، استفاده شد. سپس در هر نقطه نمونه‌برداری هر بطری ابتدا با نمونه آب مورد نظر پر و خالی شده و نمونه از آب مورد نظر پر شد. نحوه سنجش پارامترها در جدول ۱ ارائه شده است. سپس با استفاده از شاخص‌های کیفیت آب و شاخص‌های آلودگی به شرح ذیل، وضعیت آب رودخانه کارون در محدوده شهرستان باوی تعیین شد.

انواع مدل‌های درون‌یابی: روش‌های بسیاری برای بررسی و درون‌یابی تغییرات ویژگی‌های رودخانه‌ها وجود دارد که هر کدام از این روش‌ها با توجه به شرایط منطقه مورد مطالعه و وجود داده‌های مورد نیاز و همچنین نمونه‌برداری مداوم دقت متفاوتی دارند (Soleimani et al., 2021). برای شناخت وضعیت آب‌های سطحی، بررسی و ارزیابی تغییرات مکانی آلاینده‌ها و پارامترهای کیفی آب و وضعیت آبخوان و منابع آلوده‌کننده، همچنین تعیین بهترین روش و راهکار مدیریتی، امری مهم و ضروریست؛ با توجه به وسعت زیاد رودخانه کارون و سخت بودن نمونه‌برداری در تک تک نقاط با به‌دست آوردن اطلاعاتی در چند نقطه می‌توان از وضعیت کل منطقه برخوردار شد. به‌همین دلیل می‌توان از روش‌های زمین‌آمار و نرم‌افزار GIS به‌عنوان ابزاری مهم و کمک‌کننده در جهت حفظ و تعیین کیفیت رودخانه‌ها استفاده کرد (Osati et al., 2013).

مدل کریجینگ: در روش‌های زمین‌آمار (Geostatistics) مقدار پارامترها و فرمول‌های ریاضی برای تعیین مقدار داده‌ها به کمک ما می‌آیند و قابلیت تخمین و پیش‌بینی خطا را برای ما فراهم می‌کنند. دو نوع روش آماری که در این مطالعه استفاده شده به شرح زیر می‌باشند:

در زمین‌آمار می‌توان با دانستن مقدار یک کمیت در یک مختصات معلوم، مقدار آن کمیت در یک مختصات نامعلوم را برآورد کرد این برآورد کریجینگ نامیده شده است. درون‌یابی مکانی شامل برآورد مقدار یک متغیر با استفاده داده‌های معلوم در مکان‌هایی است که داده وجود ندارد (Maghami et al., 2011)

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

در این رابطه U_k : تخمین کریجینگ و λ_i : بردار وزن اختصاص داده شده به نمونه‌هاست. در واقع یک مقدار حساب شده با نسبت دادن وزن‌های λ_i به مقادیر مشخص اندازه‌گیری شده در نقاط مجاور به دست می‌آید.

مدل معکوس فاصله وزن دار^۱ (IDW): روش درونیابی IDW بر این فرض استوار است که تأثیر پدیده مورد نظر با افزایش مسافت کاهش می‌یابد به بیانی دیگر پدیده پیوسته در نقاط اندازه‌گیری نشده، بیشترین شباهت را به نزدیک‌ترین نقاط برداشت شده دارد، بنابراین برای تخمین نقاط مجهول، نمونه‌های اطراف باید مشارکت بیشتری نسبت به آن‌هایی که در فاصله دورتر قرار دارند، داشته باشند. در این مدل از فاصله به عنوان وزن متغیر معلوم در پیش‌بینی نقاط اندازه‌گیری نشده استفاده می‌شود زیرا نقش متغیر پیوسته در تأثیرگذاری با فاصله از مکان نقطه مجهول کاهش می‌یابد. بنابراین هر چه فاصله داده معلوم از نقطه مجهول افزایش می‌یابد، لازم است وزن‌ها براساس فاصله کاهش یابد، بنابراین فاصله‌ها معکوس می‌شود به بیان دیگر از معکوس فاصله به عنوان وزن نقاط اندازه‌گیری شده در پیش‌بینی نقاط مجهول استفاده می‌شود به همین دلیل است که این مدل، معکوس فاصله وزن دار نامیده می‌شود. از طرف دیگر، تأثیر شدت وابستگی مکانی در داده‌ها را با استفاده از توان در معکوس فاصله می‌توان اعمال نمود. توان دوم معکوس فاصله از این مدل به طور مکرر توسط پژوهشگران استفاده شده است (Ghahrvardi tali et al., 2006).

$$z(x) = \frac{1}{n} \sum_{x=1}^n (x) \quad (2)$$

ارزیابی اعتبار مدل و برآوردها با محاسبه آمارهای مجذور میانگین مربعات خطا با استفاده فرمول RMSE براساس رابطه زیر صورت می‌گیرد (Fetouani et al., 2007).

$$RMSE = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n z(x) - z(xi)}}{n} \quad (3)$$

از مزایایی این روش سادگی در مواجه با مقدار زیاد داده است. این روش به تغییر وزن‌ها حساس هست و توزیع نامتوازن داده‌ها روی آن تأثیر نامطلوب می‌گذارد (Almasri, 2004).

تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی کیفیت آب: جهت تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی کیفیت آب با استفاده از شاخص‌های آلودگی و شاخص‌های کیفیت آب، ابتدا شاخص‌ها با استفاده از نرم‌افزار Excel محاسبه شدند و نتایج حاصل از آن در نرم‌افزار GS⁺ وارد شد. پس از ترسیم نیم‌تغییرنما، میزان ارتباط مکانی هر متغیر تعیین خواهد شد. نیم تغییرنماها یک کمیتی برداری هستند که قادر به تعیین میزان ارتباط مکانی بین نقاط برآورد شده را برحسب مربع تفاضل مقدار بین دو نقطه و با در نظر گرفتن فاصله و جهت آنها دارند. نیم تغییرنماها نیز، با استفاده از داده‌های معلوم داده‌های مجهول را ارزیابی می‌کنند. سپس روش‌های مختلف درونیابی با هم مقایسه شده و بهترین روش انتخاب خواهد شد تا براساس آن نقشه‌های پهنه‌بندی کیفیت آب رودخانه کارون با استفاده از نرم‌افزار GIS 10.3 در محدوده شهرستان باوی تهیه گردد.

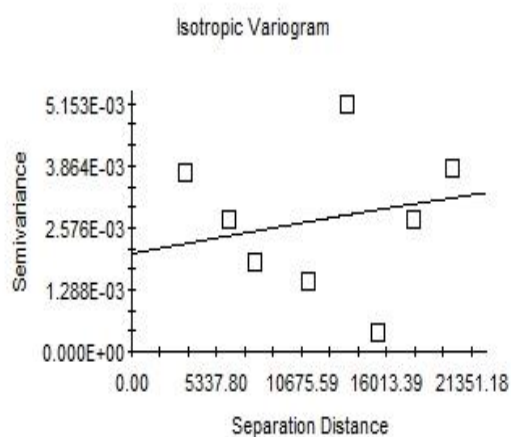
یافته‌های پژوهش

با توجه به اینکه در روش‌های زمین آمار اساس کار بر پایه متغیر مکانی استوار است می‌بایست مختصات نقاطی را که در آن‌ها نقاط، متغیر مورد نظر مورد آزمایش اندازه‌گیری شده است و همچنین مقدار متغیر مورد نظر در آن نقاط را به عنوان اطلاعات ورودی در نظر گرفته و با استفاده از داده‌های موجود و نرم‌افزار GS⁺ به رسم واریوگرام مناسب پرداختیم (شکل‌های ۲ تا ۴). در جدول ۲ دقت و صحت روش‌های درونیابی کریجینگ و IDW با توجه به شاخص‌های کیفی و آلودگی و مقادیر خطای آن‌ها ارائه شده است. پس از تعیین بهترین روش درونیابی پارامترهای کیفی آب سطحی محدوده، نقشه پهنه‌بندی این پارامترها در نرم‌افزار ARCGIS10.3 تهیه شد.

¹Inverse Distance Weighted

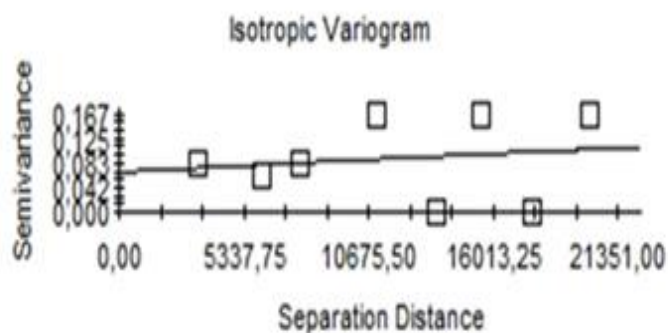
جدول ۲- بهترین روش درون‌یابی با استفاده از میانگین پارامترها

R ²	RMSE	Method
۰/۵	۰/۴۵	Kriging
۰/۳	۰/۵۸	RBF ^۲
۰/۳۳	۰/۴۷	LPI ^۳
۰/۳۵	۰/۵۲	GPI ^۴
۰/۴۷	۰/۴۵	IDW



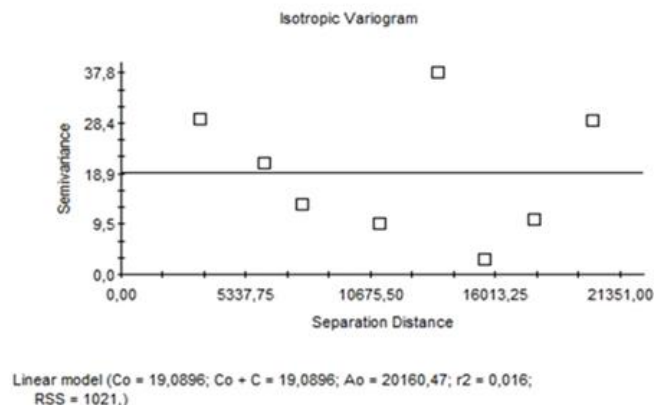
Spherical model ($C_0 = 2.044E-003$; $C_0 + C = 4.098E-003$; $A_0 = 51100.00$; r_2
 RSS = $1.647E-05$)

شکل ۲- واریوگرام خطی شاخص NSFQI



Spherical model ($C_0 = 0.0679$; $C_0 + C = 0.1368$; $A_0 = 51100.00$; $r_2 = 0.020$;
 RSS = 0.0340)

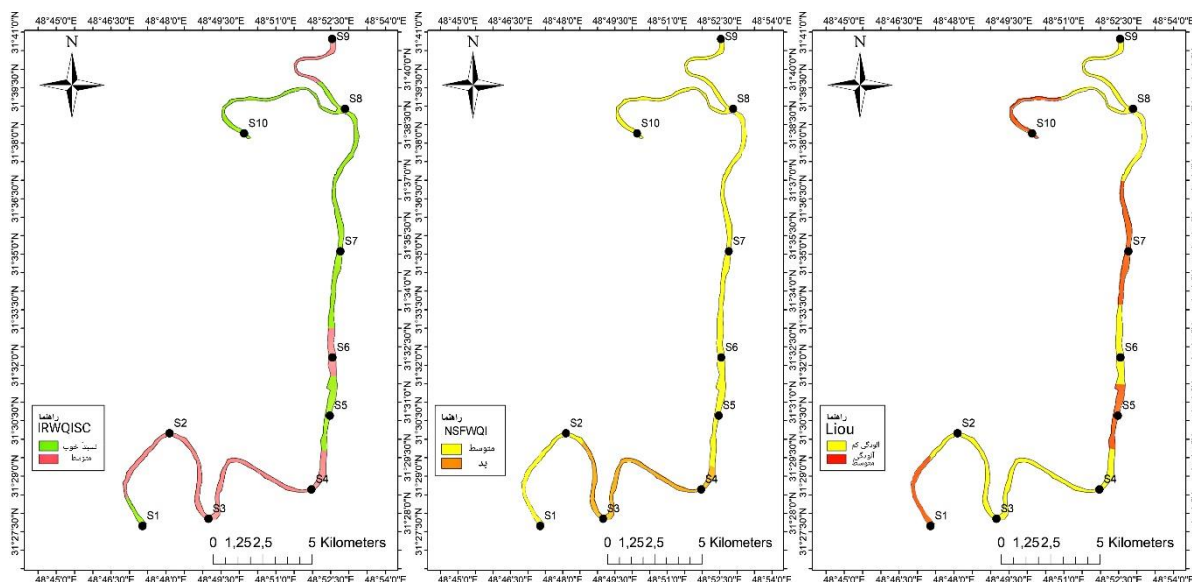
شکل ۳- واریوگرام خطی شاخص Liou



شکل ۴- واریوگرام خطی شاخص IRWQIsc

جدول ۳- نتایج حاصل از مقایسه میانگین و انحراف معیار پارامترها در ماه های مختلف (میانگین $\pm$ انحراف معیار)

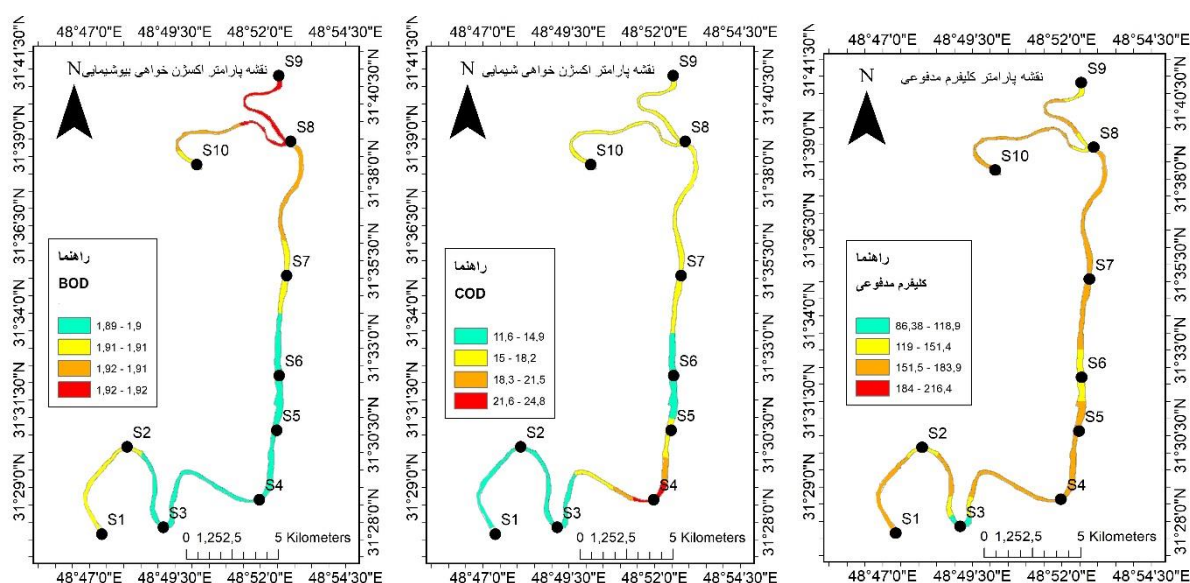
اسفند	بهمن	دی	آذر	آبان	مهر	شهریور	مرداد	تیر	خرداد	اردیبهشت	فروردین	
$2/8 \pm 1/3$	$2/1 \pm 1$	$2/2 \pm 1/3$	$1/5 \pm 1/4$	$2/4 \pm 1$	$-0/7 \pm -0/8$	$1/4 \pm -0/7$	$1/9 \pm -0/6$	$1/8 \pm 2/2$	$2/4 \pm 1/1$	$2/1 \pm 1/2$	$1/5 \pm -0/8$	BOD
$16/3 \pm 5/3$	$17/5 \pm 2/9$	$14/6 \pm 6/6$	$11/2 \pm 3/1$	$16/4 \pm 7/4$	$20/3 \pm 8/9$	$35/8 \pm 41/6$	$12/5 \pm 2/5$	$12/9 \pm 5/2$	$10/2 \pm 3/8$	$9/9 \pm 4/3$	$11/7 \pm 6/7$	COD
$66/5 \pm 9/9$	$62/5 \pm 6/8$	$56/8 \pm 9/6$	$63/1 \pm 1/1$	$86/8 \pm 2/6$	$63/9 \pm 1/3$	$62/8 \pm 1/8$	$70/7 \pm 1/1$	$70/3 \pm 1/6$	$70/7 \pm 3/2$	$82/7 \pm 2/2$	$7/8 \pm 17/3$	DO
1874 ± 554	2270 ± 664	1613 ± 416	2315 ± 1267	2971 ± 1403	4335 ± 4732	4310 ± 2350	1832 ± 519	2567 ± 1134	1569 ± 873	1243 ± 43	$1665/5 \pm 751$	EC
144 ± 44	1996 ± 44	$59/7 \pm 2/8$	133 ± 46	184 ± 75	$134 \pm 66/2$	251 ± 125	259 ± 134	$178 \pm 69/3$	116 ± 74	101 ± 70	99 ± 55	FC
$-0/6 \pm -0/2$	$-0/5 \pm -0/1$	$-0/5 \pm -0/1$	$-0/6 \pm -0/2$	$-0/6 \pm -0/2$	$1/7 \pm 1/4$	$-0/7 \pm -0/4$	$-0/5 \pm -0/1$	$-0/5 \pm -0/2$	$1/1 \pm -0/7$	$-0/7 \pm -0/2$	$-0/9 \pm -0/5$	NH4
$2/7 \pm -0/3$	$2 \pm -0/3$	$2/2 \pm 1/4$	$2/4 \pm -0/8$	$1/2 \pm -0/8$	$2/2 \pm -0/4$	$1/5 \pm -0/4$	$-0/7 \pm -0/6$	$1/9 \pm -0/8$	$1/2 \pm -0/6$	$1/2 \pm -0/9$	$1/3 \pm -0/9$	NO3
$-0/1 \pm -0$	$-0/1 \pm -0/3$	$-0/1 \pm -0/1$	$-0/1 \pm -0/1$	$-0/2 \pm -0/1$	$-0/2 \pm -0/1$	$-0/3 \pm -0/1$	$-0/1 \pm -0$	$-0/2 \pm -0/3$	$-0/2 \pm -0/1$	$-0/3 \pm -0/1$	$-0/2 \pm -0/1$	PO4
511 ± 89	$422 \pm 53/3$	464 ± 123	585 ± 170	699 ± 220	990 ± 701	840 ± 367	$467 \pm 97/7$	$464 \pm 11/3$	$409/7 \pm 17$	$425 \pm 96/5$	455 ± 155	TH
$175/3 \pm 40$	$62/8 \pm 5/4$	$150 \pm 85/6$	$63/6 \pm 6/1$	$31/7 \pm 1/5$	$52/9 \pm 8/1$	$47/9 \pm 4/4$	$28/5 \pm 20$	$23/4 \pm 1/6$	$28/6 \pm 3/5$	$175/6 \pm 18$	$176/7 \pm 18$	Tur
$7/5 \pm -0/2$	$7/5 \pm -0/2$	$7/5 \pm -0/2$	8 ± 16	$7/7 \pm 16/5$	$7/5 \pm -0/2$	$8 \pm -0/3$	$7/9 \pm -0/2$	$7/8 \pm -0/5$	$6/6 \pm 2/7$	$8 \pm -0/6$	$7/8 \pm -0/4$	pH
$20/9 \pm 2/9$	$17/4 \pm 1/1$	$18/8 \pm 8/6$	$19 \pm -0/9$	$22/1 \pm 1/4$	$27/3 \pm 2/2$	$23/5 \pm -0/5$	$28/9 \pm 3/5$	$25/9 \pm 3$	$28/1 \pm 1/8$	$25 \pm 4/6$	$22/5 \pm 2/2$	TEM
849 ± 289	1043 ± 358	744 ± 353	987 ± 705	941 ± 375	1073 ± 412	$1123/7 \pm 803$	$739/8 \pm 163$	$939 \pm 400/9$	$688/1 \pm 395$	$495/5 \pm 751$	$709/5 \pm 337$	TSS



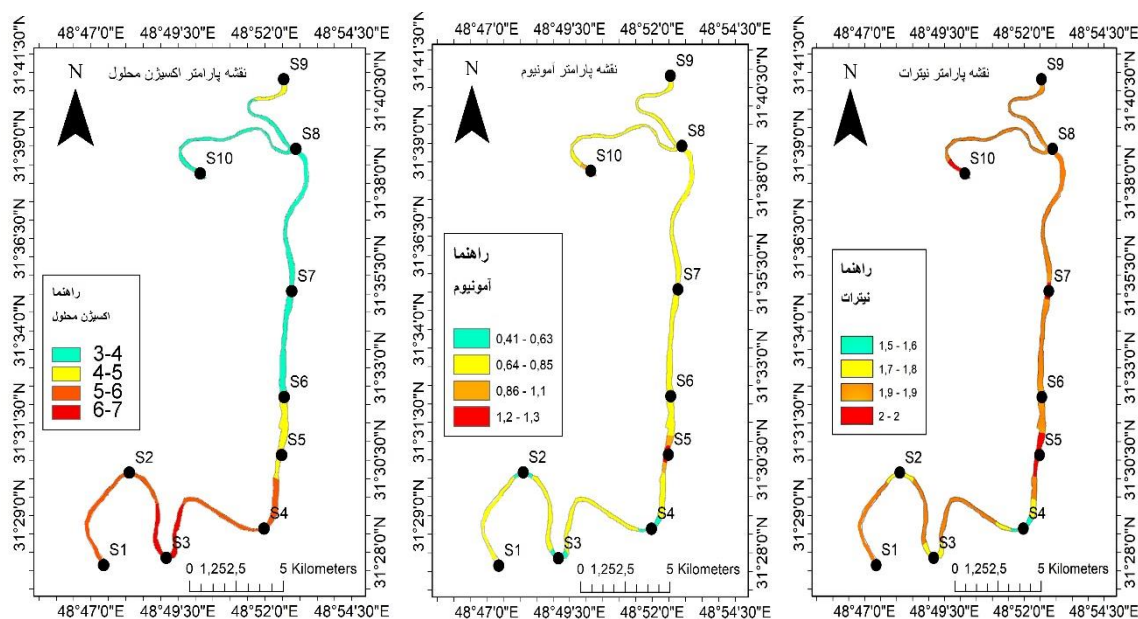
براساس نتایج پهنه بندی صورت گرفته براساس شاخص NSFQI (شکل ۵) با توجه به رنگ های دستورالعمل این شاخص، بیشترین مقدار مربوط به ایستگاه شماره ۳ یعنی کوت سید سلطان با رنگ نارنجی و کیفیت بد و کمترین مقدار با رنگ زرد مربوط به ایستگاه شماره ۷، ۸، ۹ و ۱۰ بود که کیفیت متوسط آب رودخانه را نشان می دهد.

براساس نتایج پهنه‌بندی صورت گرفته براساس شاخص IRWQISC (شکل ۵) با توجه به رنگ‌های دستورالعمل این شاخص بیشترین مقدار مربوط به ایستگاه‌هایی با رنگ صورتی و کیفیت متوسط، و کمترین مقدار با رنگ سبز مربوط به ایستگاه‌های شماره ۵، ۸ و ۱۰ است که نشان‌دهنده کیفیت نسبتاً خوب آب رودخانه کارون است.

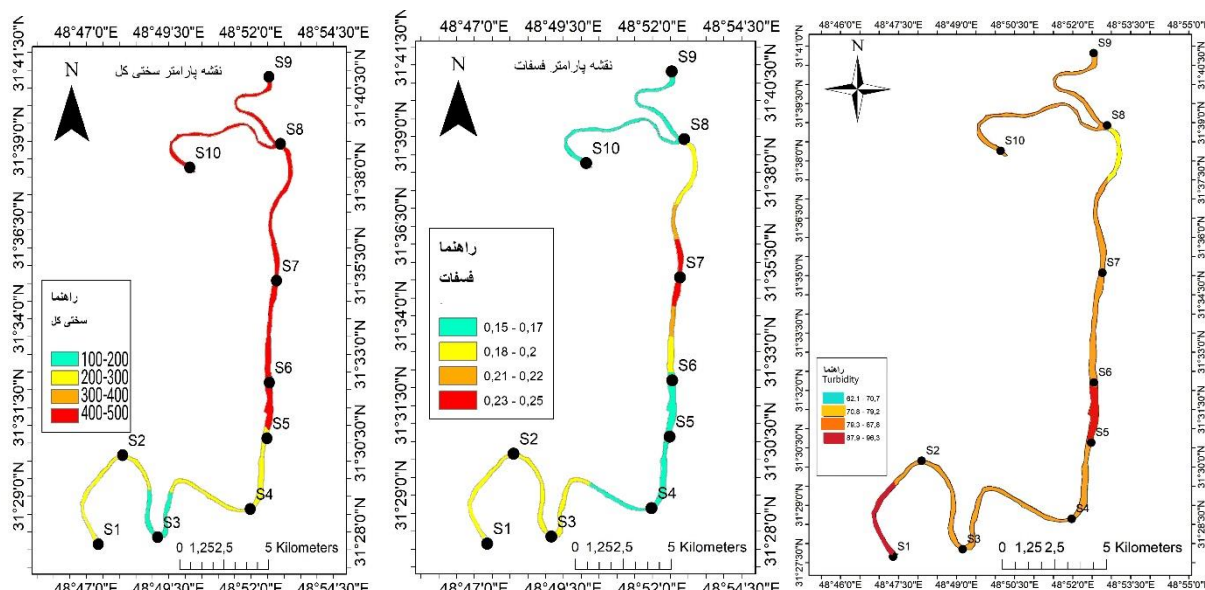
براساس نتایج پهنه‌بندی صورت گرفته شاخص Liou (شکل ۵) با توجه به رنگ‌های دستورالعمل این شاخص، بیشترین مقدار مربوط به ایستگاه شماره ۵، ۷ و ۱۰ یعنی زرگان و ایستگاه پمپاژ آب نیروگاه رامین، ملائانی و دهستان عنافچه با رنگ نارنجی آلودگی متوسط، و کمترین مقدار با رنگ زرد مربوط به ایستگاه شماره ۳ (کوت سید سلطان) بود که نشان‌دهنده آلودگی کم آب رودخانه است. براساس نتایج در شکل‌های ۶ تا ۹ سلول‌های با رنگ قرمز نشان‌دهنده آلودگی زیاد و ایستگاه‌های آبی کمترین میزان آلودگی در مجموع پارامترهای اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهند. با توجه به کاهش کیفیت آب از ایستگاه‌های بالادست به سمت پایین دست محدوده مورد مطالعه، تأثیر فعالیت‌های صنعتی، زه‌آب‌های کشاورزی و فاضلاب‌های شهری را نباید نادیده گرفت و پایش مداوم کیفیت آب در این محدوده ضروری است.



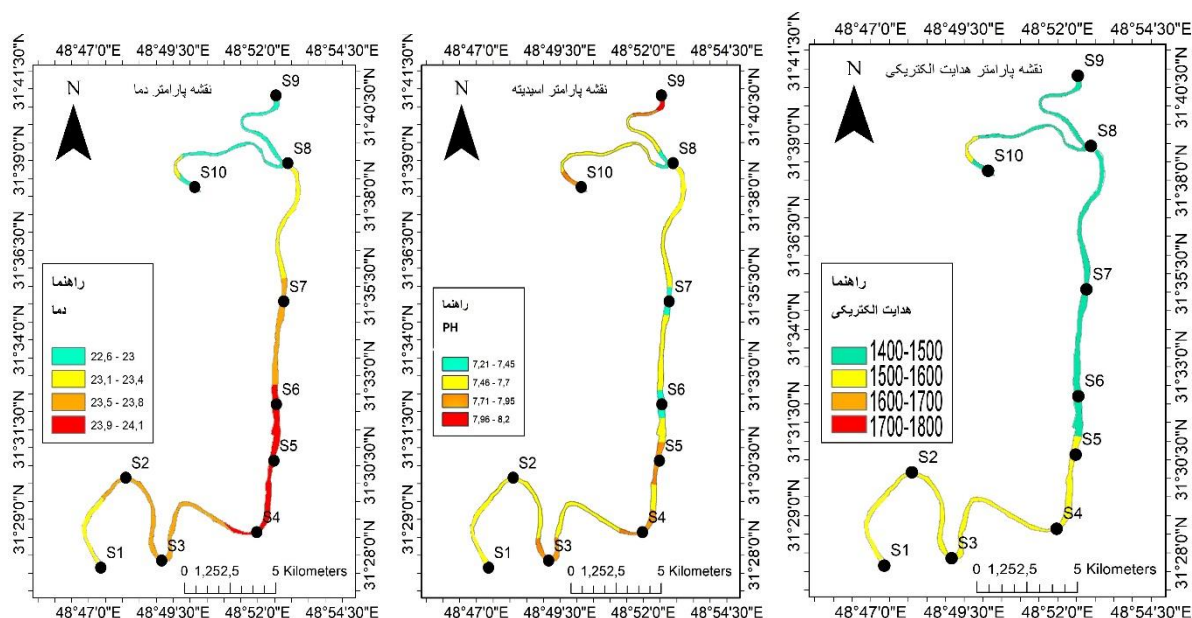
شکل ۶- نقشه پهنه‌بندی پارامترهای، اکسیژن خواهی شیمیایی و بیو شیمیایی و کلیریم مدفوعی



شکل ۷- نقشه پهنه‌بندی پارامترهای نیترات، آمونیوم و اکسیژن محلول



شکل ۸- نقشه پهنه‌بندی پارامترهای فسفات، سستی کل و کدورت



شکل ۹- نقشه پهنه‌بندی پارامترهای اسیدیته، هدایت الکتریکی و دما

بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش برای تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی از نقاط برآورد شده، با استفاده از پارامترهای کیفی در محیط GIS، کیفیت آب رودخانه کارون با استفاده از روش کریجینگ و IDW، پارامترهای فیزیکوشیمیایی و کیفی آب مورد بررسی قرار گرفت. در واقع، با تعیین نقشه‌های پهنه‌بندی کیفیت آب می‌توان به بررسی مناطق دارای کیفیت کمتر و در مرحله بعد، به علت و منبع آلودگی آب در رودخانه‌ها پرداخت. با ارزیابی و تعیین عوامل ایجاد آلودگی، باید برای کاهش منابع آلوده‌کننده تلاش نمود زیرا بیماری‌هایی که با استفاده و شرب این آب‌های آلوده؛ خصوصاً دارای آلاینده‌های صنعتی ایجاد می‌شوند، نیازمند بررسی و ارزیابی مداوم و مستمر هستند. Merchán و همکاران (۲۰۲۰)، نشان دادند که فضولات انسانی و حیوانی و فاضلاب‌های شهری در کنار رودخانه‌ها می‌تواند باعث افزایش نیترات در آب شود که بیانگر وجود کلیفرم مدفوعی به دلیل وجود فعالیت‌های دامپروری در کنار رودخانه‌ها است که باعث آزادسازی باکتری کلیفرم مدفوعی و که باعث ایجاد بیماری سرطان و اسهال در بدن انسان است. که مطابقت آن با غیرمجاز بودن مقدار کلیفرم مدفوعی در ایستگاه نیروگاه رامین و منجر شدن به بیماری اطفال منطقه ویس شده است. Hossieni و

همکاران (۲۰۱۳)، به بررسی کیفیت آب رودخانه کارون با استفاده از شاخص کیفیت آب NSFQI در طی ۴ سال در ایستگاه‌های زرگان تا کوت امیر پرداختند. نتایج نشان داد کیفیت آب رودخانه کارون، براساس پهنه‌بندی این شاخص متوسط می‌باشد که با نتایج مطالعه حاضر همخوانی دارد. Kollahkaj و همکاران (۲۰۱۶)، به‌منظور بررسی روند تغییرات کیفی آب رودخانه کارون با استفاده از پارامترهای کیفی بین ایستگاه‌های مورد مطالعه، بیان داشتند که ایستگاه‌های گرگر، شوشتر و اهواز و پل پنجم بیش‌ترین آلودگی را نسبت به سایر ایستگاه‌ها داشته که نشان‌دهنده وجود تراکم جمعیتی در این نقاط بوده به‌طوری که فاضلاب‌های شهری وارد این رودخانه شده و تأثیر بسیاری در پارامترهای کیفی آب دارند بنابراین بعد از تصفیه مناسب می‌توانند وارد رودخانه شوند در این مطالعه نیز با توجه به افزایش جمعیت و وجود نیروگاه رامین و تخلیه شدن پساب این صنایع به رودخانه کارون می‌توان به تطبیق این موضوع اشاره کرد.

با توجه به نتایج به‌دست آمده از بررسی و اندازه‌گیری پارامترهای کیفی آب رودخانه کارون و محاسبه شاخص‌های آلودگی و کیفی و همچنین ایجاد نقشه‌های پهنه‌بندی نقاط، می‌توان چنین استنباط و نتیجه‌گیری کرد که:

۱. آب رودخانه کارون با توجه به شاخص‌های کیفی در محدوده ۷۰-۵۰ (متوسط) قرار دارد و با توجه به شاخص آلودگی Liou در محدوده ۶-۳ (آلودگی متوسط) نیز قرار دارد.
۲. نتایج حاصل از نرم‌افزار GS⁺ نشان‌دهنده واریوگرام خطی و بهتر بودن روش کریجینگ نسبت به دیگر روش‌های پهنه‌بندی بوده است.
۳. نتایج حاصل از تغییرات پارامترهای کیفی آب نیز بدین‌صورت است که مقدار پارامترهای سختی کل، مواد جامد محلول، فسفات، کدورت، اکسیژن‌خواهی شیمیایی و اکسیژن محلول در ایستگاه‌های ملاثانی، پمپاژ آب نیروگاه رامین و یادگار امام بیشتر از حد استاندارد است که به‌دلیل وجود جمعیت انسانی و فاضلاب‌های شهری و صنعتی شهر ملاثانی و نیروگاه رامین است.

پیشنهادهای

با توجه به نتایج به‌دست آمده و آلودگی متوسط در منطقه مورد مطالعه، اهمیت اکولوژیک و سلامت رودخانه کارون، راهکارها و پیشنهادها زیر جهت بهبود وضعیت فعلی رودخانه ارائه شده است:

۱. تهیه الگوی کشت مناسب برای کشاورزان.
۲. ترویج و آموزش کشاورزان به استفاده نکردن از سموم و کودهای شیمیایی و از بین بردن آفات و علف‌های هرز با استفاده از روش‌های زیستی و پاک
۳. توجه و اهمیت به کمیت و کیفیت فاضلاب‌های ورودی به رودخانه‌ها، ایجاد قوانین برای شرکت‌های صنعتی و نیروگاه‌هایی که فاضلاب خود را در رودخانه‌ها تخلیه می‌کنند.
۴. تصفیه آب فاضلاب‌ها در حد استاندارد برای آبیاری زمین‌های کشاورزی.
۵. پهنه‌بندی و تعیین کیفیت آب با در نظر گرفتن مجموعه عوامل برای هر منطقه انجام گیرد. در مورد آب‌های کشاورزی و صنعتی نیز بهتر است که پهنه‌بندی در هر منطقه با توجه به فاکتورهای استاندارد مؤثر بر آن‌ها صورت گیرد.

سپاسگزاری

این مقاله جزئی از پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان است که نویسندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند از حمایت‌های مالی دانشگاه کمال تشکر و قدردانی را داشته باشند. همچنین نویسندگان مقاله کمال تشکر و قدردانی را از اداره آب و فاضلاب استان خوزستان جهت همکاری در نمونه‌برداری و آنالیزهای آزمایشگاهی دارند.

References

- Ahmadi, S.H., Sedghamiz, A., 2008. Application and evaluation of kriging and cokriging methods on groundwater depth mapping. *Environmental Monitoring and Assessment* 138(1-3), 357-368.
- Almasri, M.N., 2004. Assessment of intrinsic vulnerability to contamination for Gaza coastal aquifer, Palestin. *Journal of Environmental Management* 88(26), 577-593.
- AminPourshiani, S., Mohammadi, M., Khaledian, M R., MirRoshandel, A., 2016. Water quality assessment of Gazrod bar river using NSFQI quality index and Liou pollution index. *Wetland Ecobiology Research Quarterly, Islamic Azad University, Ahvaz Branch* 8(27). (In Persian)
- Azhdari, A., Rostami. A., 2005. Investigating the pattern of the Karun River in the area of Ahvaz city and its relationship with dynamic terrain. (In Persian)
- Chalachew Mulat, A.Y., Fentahun Aycheh., G.S., Angualie., K.M.E., 2022. Modelling on Comprehensive Evaluation of Groundwater Quality Status using Geographic Information System (GIS) and Water Quality Index (WQI) in case of Bahir Dar City, Amhara, Ethiopia. *Water Practice and Technology* 19(4), 1084-1098.
- Chandrasekharan, H., Sarangi, A., Nagarajan, M., Singha, V.P., Rao, D.U., M. Stalin., K. Natarajan., K., Chandrasekharan., B., Anbazhagan, S., 2009. Variability of soil water quality due to Tsunami-2004 in the coastal belt of Nagapattinam district, Tamilnadu. *Journal of Environmental Management* 89(1), 63-72.
- Diagomanolin, V., Farhang, M., GhaziKhansari, M., Jafarzadeh, N., 2004. Heavy metals (Ni, Cr, Cu) in the karoon waterway river, Iran. *Toxicology Letters* 151, 63-67.
- Goovaert, P., 1999. Geostatistic in soil science: State of the art and perspective, *Geoderma. Journal of Geoderma* 38(1), 45-93.
- Fetouani, M., Sbaa, M., Vanclooster, M., Bendra, B., 2007. Assessing ground water quality in the irrigated plain of Triffa (north-east Morocco), *Agricultural Water Management* 95(2), 133-140.
- Foster, S.; Hirata, R.; Gomes, D.; Paris, E.M.; Washington, D.C. 2002. *Groundwater Quality Protection: A Guide for Water Utilities, Municipal Authorities, and Environment Agencies*; The World Bank: Washington, DC, USA.
- Hosseini, P., Ildrumi, A., Hosseini, A., 2013. Investigating the water quality of the Karun River using the NSFQI index in the Zargan to Kot Amir area. *Human and Environment Quarterly* 26(25). (In Persian)
- Khattak, A., Ahmed, N., Hussein, I., Qazi, A., Alikhan, S., Rehman, A., 2014. Spatial distribution of salinity in shallow groundwater used for crop irrigation. *Pakistan Journal Botany* 46(2), 531-537.
- KolahKaj, A., Panahpour, E., Gholami, A., 2016. Evaluation of the quality change of some water parameters of the Karun River in a period of four years, *Specialized Quarterly Journal of Water Science and Engineering, Islamic Azad University Ahvaz Branch* 6(17). (In Persian)
- Karandish, F., Shahnazari, A., 2013. Appraisal of the geostatistical methods to estimate Mazandaran coastal ground water quality. *Caspian Journal of Environmental Sciences* 12(1), 129-146.
- Gahrvardi Tali, M., Rahimzadeh, Z., 2006. Application of weight model in landslide potential zoning case study of Abriz Sorkhab Basin, Lorestan Province., *Sarzmin* 4(3). (In Persian)
- Merchán, D., Sanz, L., Alfaro, A., Pérez, I., Goñi, M., Solsona, F., Casali, J., 2020. Irrigation implementation promotes. increases in salinity and nitrate concentration in the lower reaches of the Cidacos River (Navarre, Spain). *Journal Science of Total Enviroment* 706(1), 135701.
- Maghami, Y., Ghadavi, R., Vali, Abbas A., Sharfi, S., 2011. evaluation of different interpolation methods for water quality zoning using GIS, a case study of Abadeh city, *Journal of Geography and Environmental Planning* 42(2). (In Persian)
- Mohsin Khan, M.A., Almazah, Asad Ellahi., Rizwan Niaz., A.Y., Al-Rezami, B.Z., 2023. Spatial interpolation of water quality index based on Ordinary kriging and Universal kriging, *Geomatics, Natural Hazards and Risk* 14(1), 2190853.
- Nikbakht, S., Delbari, M., 2014. Estimation of groundwater levels using geostatistical methods. Case study: Zahedan Plain. *Journal Water Sustainable Development* 1(1), 49-56. (In Persian)
- Osati, K., Salajegheh, A., Arekhi, S., 2013. Spatial Variation of Nitrate Concentrations in Groundwater by Geostatistics (Case Study: Kurdan Plain). *Journal of Range and Watershed Management (Iranian Journal of Natural Resources)* 65(4), 461-472. (In Persian)
- Saif, A., Najmi, N., 2013. Clarifying changes in the meandering of Karun rivers using IRS and Landsat multi-temporal images. *Scientific Journal* 3(2). (In Persian)
- Soleimani, K., Zandi, J., Zandi, S., 2021 Evaluation of Geostatical Methods Efficacy for pH and TDS Mapping of Springs (Case Study: Watershead of Mirde, Kordestan) 2012. *Quarterly Journal of Environmental Studies* 38(64), 57-66.
- USGS. Where Is Earth's Water U.S. Geological Survey: Reston, VA, USA, 2016.
- Yue, S., Shaozhong, K., Fusheng, L., Lu, Z., 2009. Comparison of interpolation methods for depth to

- groundwater and its temporal and spatial variations in the Minqin oasis of northwest China. Environmental Modelling & Software.
- Zhu, G., Liu, Y., Shi, P., Jia, W., Zhou, J., Liu, Y., Ma, X., Pan, H., Zhang, Y., Zhang, Z., Sun, Z., Yong, L., Zhao, K., 2022. Stable Water Isotope Monitoring Network of Different Water Bodies in Shiyang River Basin, a Typical Arid River in China. Journal Earth System Science Data 14(8), 3773-3789.