

مطالعه پارامترهای کیفی آب رودخانه تجن با ارائه یک روش پیشنهادی بر مبنای ترکیب کریجینگ کور و رگرسیون خطی

رنا قاسم^۱، بابک امیدوار^{۲*}، عبدالرضا کرباسی^۳، امین سارنگ^۴

۱. دانشجوی دکتری مهندسی محیط‌زیست، دانشکده محیط‌زیست، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران
rana.kasem@ut.ac.ir

۲. دانشیار گروه مهندسی محیط‌زیست، دانشکده محیط‌زیست، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران

۳. استاد گروه مهندسی محیط‌زیست، دانشکده محیط‌زیست، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران
akarbasi@ut.ac.ir

۴. استادیار گروه مهندسی محیط‌زیست، دانشکده محیط‌زیست، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران
sarang@ut.ac.ir

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۱/۱۷

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۸/۰۹/۱۵

چکیده

روش کریجینگ معمولی برای درون‌یابی و پیش‌بینی پارامترهای کیفی آب‌های سطحی به‌طور گسترده‌ای استفاده شده است. از مهم‌ترین نقاط ضعف آن، فرض ثابت بودن میانگین متغیرها است. در این تحقیق روشی بر مبنای کریجینگ کور پیشنهاد شده است. به‌طوری‌که از رگرسیون خطی به جای استنباط بیزی برای تعیین پارامترهای اثرگذار در مدل استفاده شد. عملکرد روش کریجینگ پیشنهادی و روش کریجینگ معمولی در تخمین عناصر آهن، نیکل، کبالت، کرم، توریم، باریم، آرسنیک، سرب و شاخص کیفیت آب مقایسه و ارزیابی شد. تعداد ۲۱ پارامتر کیفی در ده ایستگاه روی رودخانه تجن آنالیز شد. نتایج نشان داد که مقدار شاخص کیفیت آب در قسمت میان‌دست کم‌تر از ۴۰ بود. دقت روش کریجینگ پیشنهادی نسبت به کریجینگ معمولی برای تخمین اغلب پارامترها بیشتر بود. درصد بهبود نتایج آن به ۱۶۹ درصد برای تخمین شاخص کیفیت آب، ۶۲ درصد برای تخمین آرسنیک، ۵۶ درصد برای تخمین سرب، ۴۴ درصد برای تخمین باریم و ۸/۸ درصد برای تخمین کرم رسیده است. نتایج این تحقیق می‌تواند در تدوین برنامه پایش کیفیت آب رودخانه تجن مفید باشد.

کلیدواژه

رودخانه تجن، زمین‌آمار، شاخص کیفیت آب، کریجینگ جهانی، کریجینگ معمولی

سرآغاز

دریای خزر می‌ریزد. مساحت حوضه آبریز این رودخانه حدود ۴۷۰۰ کیلومترمربع است. این رودخانه دارای آب دائمی است و کیفیت آن برای فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی مناسب است (سعیدی و همکاران، ۱۳۸۵). انواع فعالیت‌های کشاورزی تقریباً در تمامی سطوح حوضه هر جا که شرایط طبیعی شیب و خاک اجازه داده باشد، وجود دارد. مراکز جمعیتی و به‌ویژه شهر ساری و

رودخانه تجن از مهم‌ترین رودخانه‌های استان مازندران است. این رود به طول حدود ۱۴۰ کیلومتر از ناحیه کوهستانی هزار جریب در دامنه‌های شمالی رشته کوه البرز سرچشمه می‌گیرد و با گذشتن از شرق شهر ساری، در نزدیک آبادی خزرآباد (در حدود ۲۶ کیلومتری شمال ساری) در ۲۵ متری پایین‌تر از سطح آب‌های آزاد به

احمدالی وهمکاران (۱۳۸۷) با هدف بررسی و تعیین پراکنش مکانی شوری و اسیدیته در عمق‌های مختلف خاک سطحی در منطقه بوکان انجام گرفت. برای این منظور روش کوکریجینگ برای تخمین و تهیه نقشه پراکنش پارامترهای مذکور استفاده شد.

ناس^۳ از روش کریجینگ برای ارائه خلاصه‌ای از کیفیت آب‌های زیرزمینی و بررسی توزیع مکانی پارامترهای کیفیت آب زیرزمینی در منطقه Konya ترکیه استفاده کرد (Nas, 2009). چن و همکاران (۲۰۱۶) روش کریجینگ را در محیط نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) برای بهینه‌سازی موقعیت ایستگاه‌های پایش موجود در خلیج کوآنزو^۱ در چین به کار برده‌اند. باقری و همکاران (۱۳۹۶) نقشه‌های پراکندگی پارامترهای کیفی آب سطحی در دشت نیشابور را با استفاده از روش کریجینگ ترسیم کردند. شارما^۲ و همکاران (۲۰۱۷) تغییرات زمانی و مکانی پارامترهای رودخانه یامونا^۴ در هندوستان را توسط شاخص کیفیت آب و روش کریجینگ بررسی کردند.

انواع مختلفی از کریجینگ توسعه شده است ولی معروف‌ترین آن‌ها، کریجینگ معمولی^۵ (OK) است. فرض ثابت بودن میانگین متغیرها و پیش‌بینی بر اساس ساختار فضایی نقاط مورد مطالعه مهم‌ترین نقطه ضعف OK است. علاوه بر آن، OK تأثیر پارامترهای مهم اثرگذار بر نتیجه تخمین را در نظر نمی‌گیرد و در بعضی حالات ممکن است مقادیر پیش‌بینی شده توسط کریجینگ معمولی خارج از دامنه باشند به‌طوری‌که مقادیر پیش‌بینی شده منفی به دست می‌آید (Mukhopadhyay et al., 2017; Montero and Mateu, 2015). برای غلبه بر این مشکلات، کریجینگ جهانی^۶ و کریجینگ کور^۷ توسعه داده شده‌اند. کریجینگ جهانی مبتنی بر ایجاد روند داده‌ها به منظور رسیدن به بیشترین دقت تخمین است به‌طوری‌که میانگین به صورت تابع چند جمله‌ای در نظر

روستاهای پایین‌تر در مجاورت رودخانه قرار دارد. انواع فعالیت‌های صنعتی و کارخانه‌های مختلف و سایر صنایع خدماتی در حوضه رودخانه تجن وجود دارند. با توجه به اهمیت رودخانه تجن در تأمین آب شرب و کشاورزی ساکنین اطراف آن و همچنین تخلیه آلاینده‌های متعدد به آن، ارزیابی کیفی آب این رودخانه و مشخص کردن منابع آلاینده آن مورد توجه محققان بود. زاده ساروی و واردی (۱۳۸۱) کیفیت آب تجن را بر اساس شاخص کیفیت آب بنیاد ملی بهداشت آمریکا در چهار ایستگاه بررسی کردند. سعیدی و همکاران (۱۳۸۵) غلظت فلزات سنگین در فصول مختلف را در آب تجن اندازه‌گیری کردند. آبکنار و همکاران (۱۳۹۳) غلظت بقایای سموم کشاورزی ارگانوکلره را در سه ایستگاه اندازه‌گیری کردند. یوسفی و همکاران (۱۳۹۴) کیفیت آب برای مصرف کشاورزی در ایستگاه کردخیل را بررسی کردند.

بررسی تغییرات مکانی پارامترهای کیفی آب یکی از موضوعات مهم برای استفاده بهینه از منابع آب است. روش‌های مختلفی برای برآورد و تخمین متغیرها و ایجاد توزیع مکانی آن وجود دارد. در سالیان اخیر تحقیقات زیادی با استفاده از روش‌های زمین آمار انجام شده است. برتری روش‌های زمین آمار نسبت به آمار کلاسیک این است که ساختار فضایی بین داده‌ها در آن در نظر گرفته می‌شود. کریجینگ از معروف‌ترین و پرکاربردترین این روش‌هاست که امروزه کاربرد آن در زمینه‌های گوناگون اثبات شده است (Oliver and Webster, 2015; Yang et al., 2018). کاربرد کریجینگ در حوزه محیط‌زیست به چهار بخش عمده تهیه نقشه بارش، وضعیت کمی و کیفی آب زیرزمینی، ارزیابی کمی و کیفی آب‌های سطحی و پیش‌بینی مکانی کیفیت هوا معطوف شده است. در یک مطالعه در ترکیه از روش کریجینگ معمولی به منظور ترسیم منحنی‌های هم غلظت ذرات معلق هوا در شهر ارزروم بر اساس اطلاعات موجود در شش ایستگاه کیفیت هوا استفاده شده است (Hanefi Bayraktar, 2005). مطالعه

مراکز صنعتی نقاط نمونه‌برداری انتخاب شد. موقعیت و مختصات این نقاط از طریق موقعیت‌یاب جهانی GPS روی نقشه مشخص شد. نقاط نمونه‌برداری از ۱ در پایین دست (در نزدیکی دریای مازندران) تا ۱۰ در بالادست (سد شهید رجایی) نام‌گذاری شده‌اند. موقعیت نقاط نمونه‌برداری در شکل (۱) نشان داده شده است. نمونه‌برداری در بهار سال ۱۳۹۶ انجام شد. ایستگاه‌های ۱، ۲ و ۳ در انتهای حوضه رودخانه تجن قرار داشته و با توجه به تعدد منابع آلاینده بالادست آن، این محل از رودخانه نیازمند پایش است. در بالا دست، ایستگاه ۴ منابع آلاینده متعددی از قبیل نقاط جمعیتی و کارخانه آنتی‌بیوتیک وجود دارد. موقعیت ایستگاه ۵ بعد از تصفیه خانه فاضلاب شهری و کارخانه فرآورده‌های لبنی پایین دست شهر ساری است. ایستگاه ۶ تقریباً در خروجی رودخانه از شهر ساری است و نزدیک آن مکان‌های گاوداری وجود دارد. ایستگاه ۷ زیر پل تجن در وسط شهر ساری است. ایستگاه ۸ در موقعیت اختلاط دو شاخه بسیار مهم از رودخانه تجن (زارم رود و شاخه اصلی تجن) و در محل وجود صنایع کاغذ و چوب و کارگاه‌های سنگ و شن قرار دارد. پایش این نقطه از رودخانه از اهمیت بالایی برخوردار است. ایستگاه ۹ بعد از ورود دو شاخه مهم (چهار دانگه و لاجیم) به شاخه اصلی رودخانه تجن است. ایستگاه ۱۰ بعد از مجتمع تفریحی سد شهید رجایی قرار دارد.

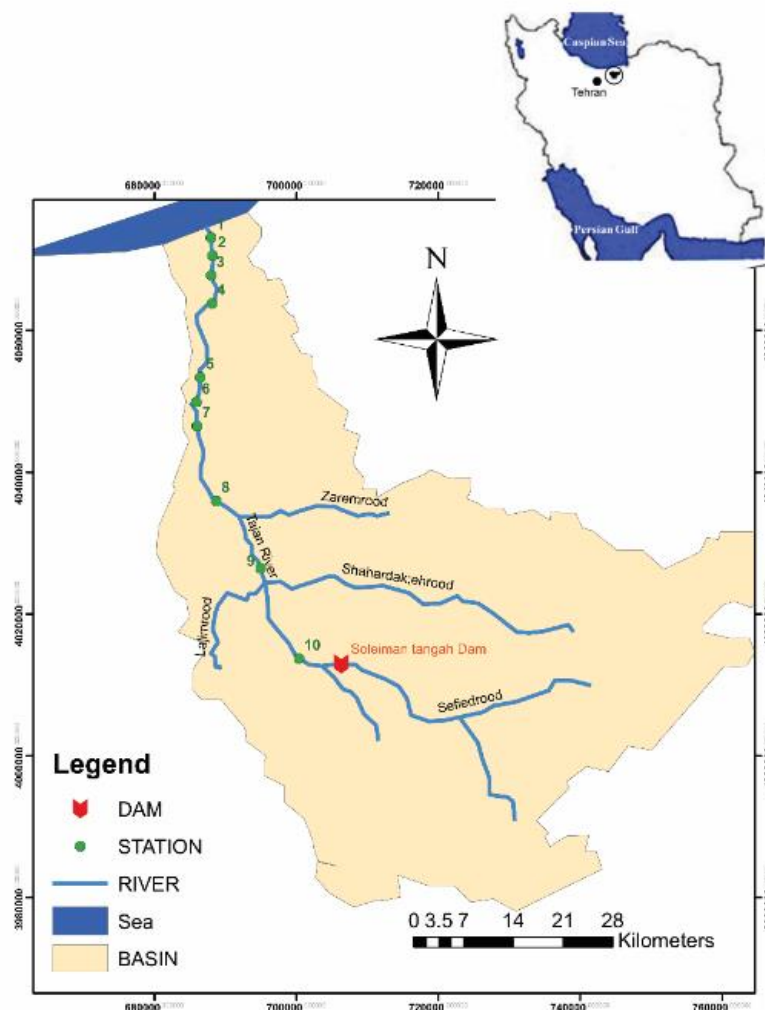
نمونه‌برداری و آنالیز برای ۲۱ پارامتر فیزیکی و شیمیایی شامل دما، pH، هدایت الکتریکی (EC)، اکسیژن محلول (DO)، کل جامدات محلول (TDS)، پتانسیل ردکس (Eh) و کدورت (Tur)، اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی ۵ روزه (BOD₅)، اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD)، فسفات (PO₄)، نیترات (N-NO₃)، کلیفرم مدفوعی (F.coli)، آرسنیک (As)، کلسیم (Ca)، کبالت (Co)، کروم (Cr)، مس (Cu)، آهن (Fe)، نیکل (Ni)، سرب (Pb) و توریم (Th) در ایستگاه‌های مطالعاتی انجام شد.

گرفته می‌شود. ولی شاید پارامترهای مشمول در تابع میانگین اثرگذار نباشند و این یکی از مهم‌ترین نقاط ضعف کریجینگ جهانی محسوب می‌شود. در کریجینگ کور از روش استنباط بیزی برای انتخاب پارامترهای اثرگذار در تابع میانگین استفاده می‌شود. روش استنباط بیزی زمان بر است و محاسبات را پیچیده‌تر می‌کند. ترکیب رگرسیون کریجینگ در علوم آب و خاک، مطالعه‌های جنگلداری و هواشناسی برای ترسیم نقشه‌های توزیع مکانی و پیش‌بینی پارامترها استفاده شده است و نتایج خوبی داده است (واعظی و همکاران، ۱۳۹۶؛ تقی‌زاده مهرجردی و همکاران، ۱۳۹۴؛ احدی و همکاران، ۱۳۹۴).

با توجه به اهمیت رودخانه تجن و با استفاده از مزایای روش کریجینگ کور، اهداف این تحقیق شامل ارزیابی کیفیت آب رودخانه بر اساس شاخص کیفیت آب سطحی ایران است. به این منظور روشی ترکیبی از کریجینگ کور و رگرسیون خطی به منظور بررسی توزیع مکانی و تخمین پارامترهای کیفی رودخانه تجن پیشنهاد شده است. در ادامه نتایج تخمین پارامترهای کیفی توسط روش کریجینگ معمولی و روش کریجینگ پیشنهادی مقایسه و بررسی شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق از ایستگاه سد سلیمان تنگه در بالا دست تا پایین دست رودخانه اصلی تجن است که به دریای مازندران می‌ریزد. برای انجام نمونه‌برداری نخست نقشه‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی، هیدرولوژی، و کاربری اراضی منطقه و راه‌های دسترسی محدوده مورد مطالعه تهیه و بررسی شد. سپس بازدید میدانی از رودخانه تجن در بهار سال ۱۳۹۶ انجام شد. با توجه به شرایط طبیعی و امکان دسترسی به رودخانه و در نظر داشتن عوارض طبیعی و انسانی، از جمله شاخه‌های فرعی رودخانه، تغییر ساختارهای زمین‌شناسی و منابع آلاینده شامل اراضی کشاورزی، استقرار مراکز مسکونی و



شکل ۱. موقعیت نقاط نمونه‌برداری - رودخانه تجن

اندازه‌گیری آن بر اساس دستورالعمل ذکر شده در استاندارد متد (APHA, 2005) انجام شد. روش‌ها و دستگاه‌های مورد استفاده برای آنالیز نمونه‌ها در جدول (۲) آمده است. در مرحله بعد، کیفیت آب رودخانه تجن از طریق محاسبه شاخص پارامترهای متداول کیفیت منابع آب سطحی ایران (IRWQI) ارزیابی شده است. این شاخص با استفاده از رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

$$IRWQI = (\prod_{i=1}^n I_i^{w_i})^{\frac{1}{\sum w_i}} \quad (1)$$

که در آن n تعداد پارامترها، I_i مقدار شاخص برای پارامتر i ام از منحنی رتبه‌بندی، w_i وزن پارامتر نام است. برای تعیین معادل توصیفی شاخص، از جدول زیر استفاده شود.

پس از تعیین محل ایستگاه‌های نمونه‌برداری در امتداد رودخانه، نمونه‌های آب با بطری‌های نارسن جمع‌آوری شد و به بطری‌های یک لیتری که با اسید نیتریک (۰/۱ نرمال) و بعد با آب مقطر شستشو داده شدند، انتقال یافت. دما، pH، هدایت الکتریکی (EC)، اکسیژن محلول (DO)، کل جامدات محلول (TDS)، پتانسیل رداکس (Eh) و کدورت (NTU) از هر نمونه آب در ایستگاه‌های نمونه‌گیری توسط دستگاه پرتابل ملتی پارامتر اندازه‌گیری شد. بقیه پارامترها قبل از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه، آماده‌سازی آن با مواد شیمیایی مورد نیاز انجام شد. سپس در شرایط مناسب دما و در حداقل زمان ممکن به آزمایشگاه منتقل شد. روش آماده‌سازی نمونه‌ها و

جدول ۱. معادل توصیفی شاخص پارامترهای متداول کیفیت منابع آب سطحی ایران (IRWQI)

بسیار خوب	خوب	نسبتاً خوب	متوسط	نسبتاً بد	بد	خیلی بد	معادل توصیفی
بیشتر از ۸۵	۸۵ - ۷۰/۱	۷۰ - ۵۵/۱	۵۵ - ۴۵	۴۴/۹ - ۳۰	۲۹/۹ - ۱۵	کمتر از ۱۵	مقدار شاخص

جدول ۲. پارامترهای اندازه‌گیری شده در رودخانه تجن، واحدها و تکنیک‌های آنالیز

پارامتر	اختصار	واحد اندازه‌گیری	روش / دستگاه اندازه‌گیری
پتانسیل اکسید	Eh	mV	
پ‌هاش	pH	واحد استاندارد	
اکسیژن محلول	DO	mg/L	دستگاه پرتابل ملتی پارامتر
هدایت الکتریکی	EC	μs/cm	
مواد جامد محلول	TDS	mg/L	
فسفات	TP	mg/L	
نیتрат	TN	mg/L	اسپکتروفتومتر
اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی ۵ روزه	BOD5	mg/L	Winkler azide method
اکسیژن مورد نیاز شیمیایی	COD	mg/L	Dichromate reflex method
کلیرم مدفوعی	F.coli	MPN/100ml	تکنیک لوله چندگانه
کرم	Cr	μg/L	
کبالت	Co	μg/L	
آهن	Fe	μg/L	
نیکل	Ni	μg/L	
آرسنیک	As	μg/L	
توریم	Th	μg/L	طیف‌سنجی پلاسمای جفت شده القایی (ICP-OES)
باریم	Ba	μg/L	
مس	Cu	μg/L	
سرب	Pb	μg/L	
کلسیم	Ca	mg/l	Flame AAS

درون‌یابی پارامترهای کیفی آب رودخانه تجن تعیین شد. تمام محاسبات در این تحقیق در محیط نرم‌افزارهای Excel 2016، SPSS 22 و GIS 10.4.1 انجام شده است.

روش کریجینگ معمولی^۵ (OK) و کریجینگ کور (BK)^۶
روش کریجینگ معمولی، روش برآورد زمین آماری است. که به عنوان روش درون‌یابی در زمینه‌های مختلف معرفی شده است (Krige, 1951). و سپس توسعه داده شده است

سپس، به منظور تعیین توزیع مکانی و انجام مکان‌یابی، یک روش بر مبنای ترکیب رگرسیون خطی با کریجینگ کور پیشنهاد شده است. توابع رگرسیونی که به دست آمده برای پارامترهای مورد مطالعه از لحاظ فرضیه‌های رگرسیون خطی (توزیع نرمال باقیمانده‌ها، تصادفی بودن باقیمانده‌ها و ثابت بودن واریانس) و معنادار مدل‌ها چک شد. مقایسه نتایج این روش با کریجینگ معمولی توسط معیارهای آماری مختلف انجام شد و بهترین مدل برای

$\omega(0) = 1, \omega(-h) = h$ و h فاصله است.

با توجه به اینکه در واقعیت روندها به ندرت معلوم هستند، از حالت خاص زیر که به کریجینگ معمولی (OK) معروف است، استفاده می‌شود.

$$Y(x) = \mu_0 + Z(x) \quad (۶)$$

که در آن μ_0 میانگین ثابت است. با جایگزینی مقدار تابع تصادفی $Z(x)$ در رابطه (۳) و با فرض n نقطه $\{x_1, \dots, x_n\}$ دارای مقدار تابع

$y = (y_1, \dots, y_n)$ ، رابطه تخمین $\hat{y}(x)$ توسط

کریجینگ معمولی به شکل زیر نوشته می‌شود:

$$\hat{y}(x) = \hat{\mu}_0 + \omega(x) \varphi^{-1} (y - \hat{\mu}_0 \mathbf{1}) \quad (۷)$$

که در آن $\mathbf{1}$ یک بردار واحد با طول n ، $\omega(x) = (\omega(x - x_1), \dots, \omega(x - x_n))$ ماتریس با بعد $(n \times n)$ شامل عناصر $\omega(x_i - x_j)$ و $\hat{\mu}_0 = \mathbf{1} \varphi^{-1} y$ هستند (Joseph et al., 2008).

تخمین کریجینگ معمولی در رابطه (۶) ساده است ولی در حالی که پدیده مورد مطالعه دارای روندهای قوی و زیاد باشند، نتایج آن ضعیف است و توانایی تفسیر عوامل اثرگذار را ندارد. لذا روش کریجینگ کور توسط Joseph و همکاران (۲۰۰۸) توسعه داده شده است.

کریجینگ کور یک نسخه کامل‌تر از کریجینگ جهانی است که در آن علاوه بر مؤلفه همبستگی مکانی بین نقاط، از تابع تخمین بیرونی (معمولاً چند جمله‌ای) به عنوان تابع قطعی و تابع تصادفی با میانگین معلوم و ثابت ترکیب می‌شود. ایده اصلی این نوع از کریجینگ این است که تابع قطعی استفاده شده بیشترین واریانس (روند کلی) داده‌های ورودی را توصیف می‌کند، سپس باقیمانده‌ها توسط فرآیند گوسی درونیابی می‌شود.

تفاوت کریجینگ کور با کریجینگ جهانی در تابع روند است. در رابطه‌های (۳) و (۴) توابع روند $v_i(x)$ معلوم هستند ولی در کریجینگ کور مجهول‌اند و از اینجا اسم روش کور اقتباس شده است. رابطه کریجینگ کور به شکل زیر نوشته می‌شود:

$$Y(x) = v(x) \mu_m + Z(x) \quad (۸)$$

(Matheron, 1963; Cressie, 1990). این روش برای پیش‌بینی مقدار مجهول متغیر Z در نقطه x_0 بر اساس مقدار معلوم متغیر در n نقطه و ایجاد بهترین تخمین گر نااریب (LUP) توسعه داده شده است (Montero and Mateu, 2015; Stein, 2012).

امکان محاسبه واریانس خطا و ترسیم نقشه خطاها یکی از ویژگی‌های منحصر به فرد درونیابی کریجینگ معمولی است. ساختار فضایی و همبستگی مکانی اطلاعات، توسط نیمه پراش نگار توصیف می‌شود، وزن‌های کریجینگ بر اساس رفتار تابع نیمه پراش نگار محاسبه می‌شوند و در نتیجه این روش قابل اعتمادتر و انعطاف پذیرتر نسبت به بقیه روش‌های درونیابی است (Oliver and Webster, 2015).

$$Z_{x_0} = \sum_{i=1}^n Z_{x_i} * W_i \quad (۲)$$

که در آن Z_{x_i} و W_i به ترتیب مقدار مشاهده شده و وزن محاسبه شده متغیر مورد مطالعه Z در نقطه x_i است.

در تحقیقات متعدد گزارش شده است که برای پدیده‌هایی که در طبیعت بسیار غیر خطی هستند، روش کریجینگ معمولی مناسب نیستند. لذا به منظور رسیدگی به این موضوع، کریجینگ جهانی و کریجینگ کور در تحقیقات دیگری پیشنهاد شده است. (Tonkin and Larson, 2002; Matias and Gonzalez-Manteiga, 2006; Couckuyt et al., 2012; Mukhopadhyay et al., 2017)

کریجینگ جهانی به وسیله رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$Y(x) = \mu(x) + Z(x) \quad (۳)$$

$\mu(x)$ یک تابع قطعی است به شکل زیر نوشته می‌شود:

$$\mu(x) = \sum_{i=1}^m \mu_i v_i(x) \quad (۴)$$

که در آن v_i ها توابع معلوم روند (معمولاً $v_0 = 1$) و μ_i ها پارامترهای نامعلوم هستند. $Z(x)$ تابع تصادفی با میانگین ثابت و کوواریانس $\sigma^2 \omega$ است که به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\text{cov}\{Y(x+h), Y(x)\} = \sigma^2 \omega(h) \quad (۵)$$

که در آن $\omega(h)$ تابع همبستگی است که در تعریف آن

پهنه‌بندی کیفیت آب رودخانه تجن بر اساس شاخص کیفیت آب سطحی ایران

مقادیر مشاهده شده پارامترهای مورد مطالعه در این تحقیق در جدول‌های (۳) الف و (۳) ب ارائه شده است. مقدار pH نمونه‌های آب از ۷/۶۷ تا ۸/۱۱ تغییر کرد و این نشانه قلیایی بودن آب رودخانه و ظرفیت بالای بافر آن است. مقادیر بالای آن بعلت ورود فاضلاب شهری و کشاورزی است. کیفیت آب از لحاظ pH برای فعالیت‌های تفریحی و شیلات مناسب است. دامنه تغییرات پتانسیل رداکس بین ۱۴۲ و ۲۰۱ میلی ولت بود. بازه تغییرات هدایت الکتریکی EC بین ۵۸۲ تا ۱۸۳۸۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر است که با ورود رودخانه به جلگه‌ها در پایین دست (ایستگاه‌های ۳، ۲ و ۱) افزایش یافته است. تغییرات مقادیر کل جامدات محلول TDS با تغییرات هدایت الکتریکی مشابه است. در مقایسه با دستورالعمل‌های سازمان حفاظت از محیط‌زیست ایران، مشاهده شد که آب رودخانه تجن متعلق به کلاس خیلی خوب در نقاط بالادست و کلاس خوب در نقاط پایین دست است. تأثیر دریا در محل نقطه ۱ مشخص است زیرا مقدار TDS بسیار بالا (۹۱۸۵ میلی گرم در لیتر) بود و آب این منطقه در کلاس فقیر قرار گرفت. پارامترهای اکسیژن محلول کمتر از حد مجاز و پارامترهای اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی و کلیفرم مدفوعی بیشتر از حد مجاز در استاندارد کیفیت آب ایران برای حفاظت اکوسیستم‌های آبی بودند.

همان‌طور که در جدول (۳) بیان شده است، غلظت فلزات سنگین در آب رودخانه تجن اندازه‌گیری شده در این تحقیق از الگوی زیر پیروی می‌کند:

Ca > Fe > Ba > Ni > As > Cr > Cu > Th > Co > pb. میانگین غلظت باریم از حد مجاز استانداردهای ایران برای آب آشامیدنی و آبیاری، به‌ویژه در نقاط بالادست (۸)

که در آن $\mu_m = v(x)' = (1, v_1, \dots, v_m)$ و m نامعلوم هستند. قسمت تابع تصادفی $Z(x)$ در کر بیجنگ جهانی، توصیف شده است.

در کریجینگ کور (BK)، تعیین $v(x)\mu_m$ مورد نظر است. تکنیک‌های مختلفی مانند روش استنباط بیزی برای نیل به این هدف وجود دارد. تحقیقات قبلی نشان داده است که استفاده از روش بیزی در BK نتایج رضایت‌بخش می‌دهد. یکی از معایب آن زمان‌بر بودن استنباط بیزی علاوه بر پیچیدگی مراحل انجام محاسبات آماری نسبت به تکنیک‌های ساده کریجینگ است. لذا به دلیل پیچیدگی محاسبات روش بیزی، در مقاله حاضر پارامترهای مؤثر در کریجینگ کور توسط روش ساده‌تری ایجاد می‌شود. در این تحقیق، ایجاد تابع میانگین قطعی در رابطه کریجینگ کور توسط تکنیک‌های مختلف رگرسیون مانند روش انتخاب پارامترها گام به گام و پیش‌رو پیشنهاد می‌شود. در روش رگرسیون، پیش‌بینی‌ها بر اساس مدل کردن رابطه بین پارامتر وابسته و پارامترهای کمکی مستقل در نقاط مشاهده، انجام می‌شوند. باقیمانده‌ها در نقاط معلوم از تفاوت مقدار مشاهده شده در نقاط معلوم و مقدار تابع روند انتخاب شده محاسبه می‌شوند. سپس میانگین باقیمانده در نقطه مجهول با استفاده از روش کریجینگ معمولی، با میانگین معلوم و ثابت حل می‌شوند.

معادله ترکیب رگرسیون با کریجینگ کور به شکل زیر نوشته می شود.

$$\hat{y}(x) \tag{9}$$

قسمت تابع میانگین قطعی (رگرسیون)

$$= \overbrace{\mu_0 + \mu_1\mu_0 + \mu_2v_2 + \cdots + \mu_mv_m}$$

قسمت کر بجینگ معمولی، تابع، تصادفی

$$+ \overbrace{\omega(x') \varphi^{-1} (y - V_m \hat{\mu}_m)}$$

که در آن $\mu_0, \mu_1, \dots, \mu_m$ ضرایب رگرسیون،

V_m ، v_1, v_2, \dots, v_m مقادیر پارامترهای کمکی رگرسیون،
ماتریس $n \times (m+1)$ با بعد n تعداد نمونه‌ها و m

رودخانه است. نتایج این تحقیق با تحقیقات قبلی مشابه بوده است. در تحقیق Azami و همکاران (۲۰۱۵) گزارش شده است که شش شاخص عمومی و بیولوژیکی برای بررسی کیفیت آب تجن نشان دادند که کیفیت آب از بالا دست به پایین دست کاهش می‌یابد و بدترین وضعیت در قسمت عبور شهر ساری ثبت شده است.

۹ و ۱۰) تجاوز کرده است در حالیکه غلظت بقیه عناصر مورد مطالعه در حد مجاز بودند.

نتایج پهنه‌بندی کیفیت آب رودخانه تجن بر اساس شاخص کیفیت آب سطحی ایران در شکل (۲) نشان می‌دهد که بدترین وضعیت کیفیت آب در قسمت میان‌دست رودخانه است. این به علت عبور رودخانه تجن از شهر ساری و ورود فاضلاب‌های مختلف به آب



شکل ۲ تغییرات شاخص IRWQIsc در طول رودخانه تجن

جدول ۳ الف. مقادیر مشاهدات پارامترهای شاخص کیفی آب سطحی ایران در ده ایستگاه روی رودخانه تجن

Station	pH واحد استاندارد	EC (μs/cm)	Turb (NTU)	N-NO ₃ (mg/l)	PO ₄ (mg/l)	BOD ₅ (mg/l)	COD (mg/l)	DO (mg/l)	F.Coli (MPN/100 ml)
۱	7.67	2190	10	0.140	0.12	8	21	5.30	2400
۲	8.01	2160	26	0.200	0.15	3	8	6.70	2400
۳	7.87	606	291	0.501	0.24	14	37	5.09	1675
۴	8.11	687	43	0.110	0.60	14	35	5.30	2400
۵	8.04	599	18	0.315	0.13	21	46	5.2	2400
۶	8.11	582	56	0.027	0.235	26	57	4.9	1100
۷	8.1	656	44	0.215	0.46	17	44	4.5	1100
۸	8.1	550	130	0.325	0.150	13	40	5.3	75
۹	8.09	532	89	0.005	0.005	10	24	5.9	1100
۱۰	7.98	510	167	0.068	0.14	8	22	6.30	1089
وزن	0.051	0.096	0.062	0.108	0.087	0.117	0.093	0.097	0.140
حد اکثر	8.11	2190	291	0.501	0.60	26	57	6.70	2400
حد اقل	7.67	510	10	0.005	0.01	3	8	4.50	75
میانگین	8.008	907.2	95	0.191	0.22	13	33	5.45	1574

جدول ۳ ب. مقادیر مشاهدات پارامترهای کیفی آب در ده ایستگاه روی رودخانه تجن

Station	AS μg/l	Co μg/l	Cr μg/l	Ni μg/l	Pb μg/l	Ba μg/l	Ca mg/l	Fe μg/l	TDS mg/l	Th μg/l	Cu μg/l	Elh (mv)
۱	6.01	1.05	1.15	3.06	0.21	510	152	550	1101	0.79	1	142
۲	5.83	1.12	1	4.06	0.44	490	154	660	1078	0.83	1	151
۳	4.76	1	1	3.11	0.1	270	149	340	390	0.7	1	152
۴	4.76	1	1	3.11	0.1	70	97.26	1150	346	0.38	1	158
۵	0.99	1.33	1.15	5.42	0.1	130	96.08	1380	280	0.38	1	173
۶	3.1	2.03	3.15	10.5	0.7	142	96.7	2010	275	4.03	1.13	183
۷	2.9	1.9	2.61	18.5	0.5	138	95.2	1960	332	3.3	2.5	188
۸	3.03	2.81	4.68	22.1	0.31	171	97.1	2953	276	5.01	6.3	163
۹	3.27	4.97	8.26	21.18	1.34	0.12	108	3530	264	6.49	7.44	198
۱۰	3.37	4.76	8.04	21.6	1.35	0.11	114	3170	259	8.53	8.17	201
حداکثر	6.01	4.97	8.26	22.1	1.35	510	154	3530	1101	8.53	8.17	201
حداقل	0.99	1	1	3.06	0.1	0.11	95.2	340	276	0.38	1	142
میانگین	8.80	2.19	3.20	11.26	0.515	192.1	115.934	1770	460.1	3.04	3.05	170.9

نتایج کریجینگ معمولی و کریجینگ پیشنهادی و مقایسه بین آنها

به منظور مقایسه عملکرد مدل کریجینگ معمولی و کریجینگ پیشنهادی، پارامترهای (Ba, As, Pb, Th, Fe, Co, Ni, Cr) اندازه گیری شده در تجن و شاخص کیفیت آب محاسبه شده برای تجن با این دو روش کریجینگ تخمین زده شد. برای اعمال کریجینگ معمولی یک نکته خیلی مهم وجود دارد که انتخاب نوع نیمه پراش نگار یا واریوگرام^۷ برای محاسبه وزن ها در کریجینگ مؤثر است. واریوگرام بر اساس مدل های مختلف در محیط نرم افزار GIS مورد آزمون قرار گرفت و ملاحظه شد که بهترین مدل برای برازش و تخمین متغیرهای مورد مطالعه مدل گوسی بود. سپس بر اساس آن، نتایج مدل کریجینگ معمولی به دست آمده است.

برای اعمال روش کریجینگ پیشنهادی، پارامترهای تابع میانگین قطعی (تأثیرگذار بر نتیجه تخمین) توسط رگرسیون

خطی انتخاب می شوند. لذا، نخست مدل های مختلف توسط رگرسیون خطی با استفاده از روش انتخاب پارامترها به صورت گام به گام و پیش رو تعیین شد. سپس قسمت تابع تصادفی با روش کریجینگ معمولی حل شده است.

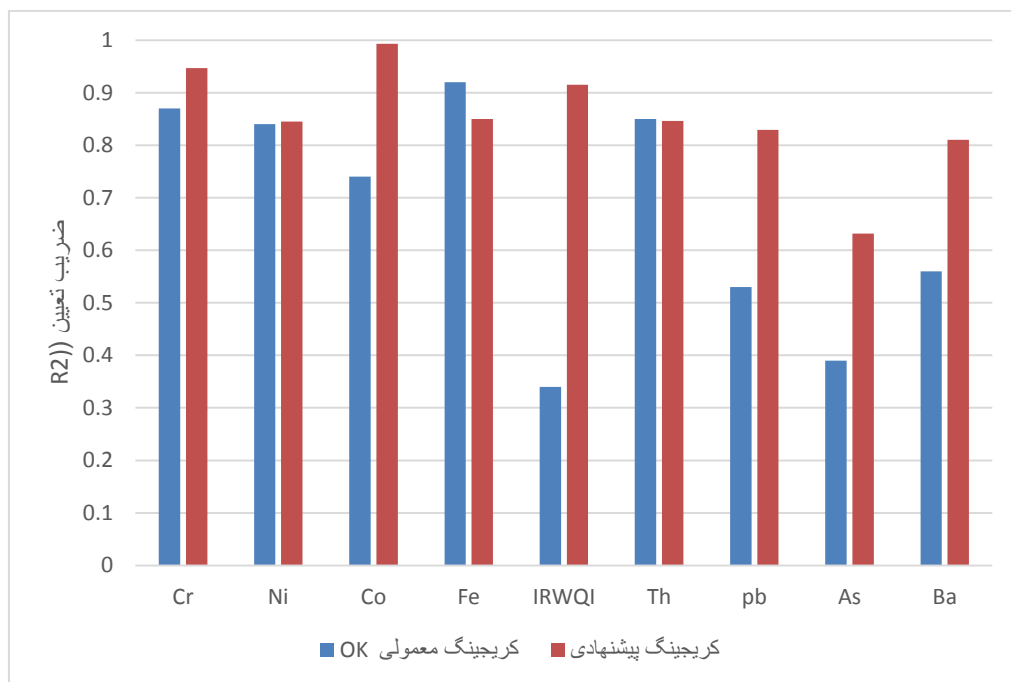
معادلات کریجینگ پیشنهادی برای پارامترهای مختلف مورد مطالعه در جدول (۴) ارائه شده است. مقایسه نتایج کریجینگ پیشنهادی و کریجینگ معمولی بر اساس جاذب میانگین مربعات خطا (RMSE)، ضریب واریانس (C.V.) و ضریب تعیین (R^2) انجام گرفت. مقادیر این معیارها در جدول (۵) و شکل (۳) آمده است.

با توجه به جدول (۳) مشخص است که پتانسیل ردکس و هدایت الکتریکی در رودخانه تجن از پارامترهای مؤثر بر عناصر فلزات است به طوری که با استفاده از آنها می تواند تابع میانگین قطعی را برای (Cr و Ba, Pb) تخمین زد. ملاحظه می شود که تابع میانگین قطعی برای آهن به فاصله بستگی زیادی دارد.

جدول ۴. معادلات کریجینگ پیشنهادی برای پیش‌بینی پارامترهای کیفی رودخانه تجن

ردیف	معادله کریجینگ پیشنهادی
۱	$\widehat{Cr}(x) = -5.786 + 0.732 * Cu + 0.04 * Eh + \omega(x) \varphi^{-1} (Cr - V_2 \hat{\mu}_2)$
۲	$\widehat{Ni}(x) = -1.123 + 0.007Fe + \omega(x) \varphi^{-1} (Ni - V_1 \hat{\mu}_1)$
۳	$\widehat{Co}(x) = 0.507 + 0.527Cr + \omega(x) \varphi^{-1} (Co - V_1 \hat{\mu}_1)$
۴	$\widehat{Fe}(x) = 246.999 + 50.591dis.Accum + \omega(x) \varphi^{-1} (Fe - V_1 \hat{\mu}_1)$
۵	$\widehat{IRWQI}(x) = 54.017 - 12.157NO3 - 14.271PO4 - 1.366BOD5 + 0.332COD + \omega(x) \varphi^{-1} (IRWQI - V_4 \hat{\mu}_4)$
۶	$\widehat{Ba}(x) = -29.79 + 0.245 * Ec + \omega(x) \varphi^{-1} (Ba - V_1 \hat{\mu}_1)$
۷	$\widehat{As}(x) = -1.753 + 0.048 * Ca + \omega(x) \varphi^{-1} (As - V_1 \hat{\mu}_1)$
۸	$\widehat{Pb}(x) = -2.715 + 0.019 * Eh + \omega(x) \varphi^{-1} (Pb - V_1 \hat{\mu}_1)$
۹	$\widehat{Th}(x) = 0.314 + 0.894 * Cu + \omega(x) \varphi^{-1} (Th - V_1 \hat{\mu}_1)$

در جدول (۴) متغیر $dis.Accum$ نشان‌دهنده فاصله نقطه از مصب رودخانه در دریای مازندران می‌باشد.



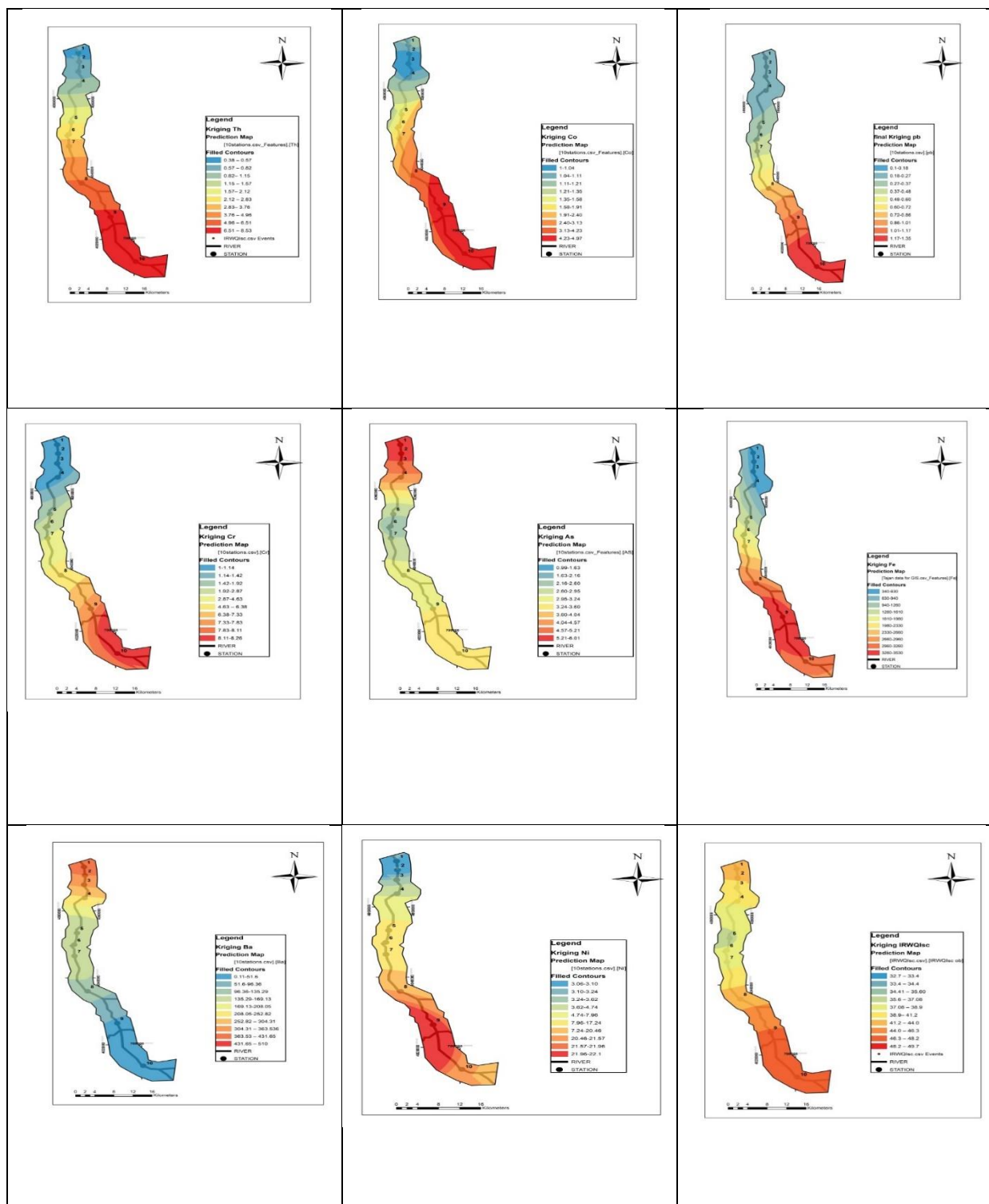
شکل ۳. دقت مدل‌های کریجینگ معمولی و کریجینگ پیشنهادی در تخمین پارامترهای کیفی رودخانه تجن

جدول ۵. مقایسه نتایج دو روش کریجینگ معمولی و کریجینگ پیشنهادی برای پیش‌بینی پارامترهای کیفی آب رودخانه تجن

پارامتر	کریجینگ معمولی (OK)			کریجینگ اصلاح شده (روش پیشنهادی)			بهبود عملکرد کریجینگ پیشنهادی نسبت به OK (%)
	R ²	C.V.	RMSE	پارامترهای رگرسیون انتخاب شده	R ²	C.V.	RMSE
Cr	0.87	0.34	1.2	Cu, Eh	0.947	0.197	0.63
Ni	0.84	0.28	3.17	Fe	0.845	0.28	3.21
Co	0.74	0.41	0.996	Cr	0.993	0.05	0.12
Fe	0.92	0.18	0.321	dis. Accum	0.85	0.25	0.443
IRWQI	0.34	0.12	4.96	NO ₃ , PO ₄ , COD BOD ₅	0.915	0.013	0.54
Th	0.85	0.356	1.085	Cu	0.846	0.11	0.34
Pb	0.53	0.61	0.31	Eh	0.829	0.39	0.2
As	0.39	0.25	0.94	Ca	0.632	0.07	0.28
Ba	0.56	0.6	116.1	EC	0.81	0.39	76.2

کریجینگ پیشنهادی که ترکیبی از رگرسیون خطی و کریجینگ کور است، نتایج خیلی خوبی داد. درصد بهبود نتایج آن به ۱۶۹ درصد برای تخمین شاخص کیفیت آب، ۶۲ درصد برای تخمین آرسنیک، ۵۶ درصد برای تخمین سرب، ۴۴ درصد برای تخمین باریم، و ۸/۸ درصد برای تخمین کرم رسیده است. در جدول (۵) ملاحظه می‌شود که عملکرد روش کریجینگ پیشنهادی برای پیش‌بینی اغلب پارامترها (به جز آهن) بهتر از OK است. علاوه بر آن، دقت هر دو روش برای پیش‌بینی توریم و نیکل تقریباً یکسان بود. عملکرد OK در پیش‌بینی آهن خوب و بهتر از کریجینگ پیشنهادی بود. این امر شاید به خاطر این است که برای پارامترهایی که همبستگی آن‌ها با فاصله قوی است، قدرت کریجینگ معمولی برای پیش‌بینی آن بیشتر از پارامترهایی است که همبستگی آن‌ها با فاصله ضعیف است. قسمت تابع قطعی میانگین آهن، تابعی از فاصله با ضریب تعیین $R^2 = 0.889$ بود و به این دلیل نتایج کریجینگ معمولی بهتر بوده است. در شکل (۴) توزیع مکانی پارامترهای مورد بررسی بر اساس روش کریجینگ ترسیم شده است.

از شکل (۴) مشخص می‌شود که میانگین غلظت عناصر (Co, Fe, Cr, Ni, Cu, Pb و Th) از بالادست به پایین‌دست در امتداد رودخانه کاهش یافته، در حالیکه میانگین غلظت عناصر آرسنیک و باریم در نقاط مختلف از بالادست به سمت پایین‌دست افزایش می‌یابد. می‌توان نتیجه گرفت که منبع این فلزات یکسان است. بیشترین غلظت فلزات آهن، سرب، کرم، کبالت، نیکل و توریم در قسمت بالا دست وجود دارد و به سمت پایین دست کاهش می‌یابد. این به علت فرسایش شدید خاک در قسمت جنوبی حوضه تجن و وجود کارگاه سنگ و شن در بالا دست رودخانه است. افزایش غلظت آرسنیک به سمت پایین دست حاکی از ورود رواناب‌های کشاورزی و به‌ویژه از مزارع شالیزاری در اطراف رودخانه است. توزیع مکانی شاخص کیفیت آب رودخانه تجن نشان می‌دهد که بهترین وضعیت آن در بالا دست است و با عبور رودخانه از شهر ساری و روستاهای موجود مقدار شاخص به بدترین وضعیت تبدیل می‌شود.



شکل ۴ توزیع مکانی پارامترهای کیفی آب رودخانه تجن برآورد شده با روش کریجینگ پیشنهادی

بحث و نتیجه‌گیری

بر مبنای ترکیب رگرسیون خطی و کریجینگ کور انجام شد. برای نیل به این هدف، ۲۱ پارامتر کیفی در ده ایستگاه مختلف روی رودخانه تجن اندازه‌گیری و بررسی شده است.

این تحقیق به منظور تعیین کیفیت آب رودخانه تجن و ارائه روش مناسب تخمین و درونیابی پارامترهای کیفی آن

مورد پارامتر Fe که توزیع آن به فاصله بستگی زیادی دارد، کریجینگ معمولی نتیجه بهتر داده است. این نتیجه تأکید می‌کند که برای پارامترهایی که با ساختار فضایی ارتباط دارند، روش کریجینگ معمولی می‌تواند نتیجه خوبی در مدل کردن آنها داشته باشد.

پیشنهادهای

یکی از محدودیت‌های روش کریجینگ پیشنهادی این است که تحلیلگر باید مراحل مختلف را در محیط نرم‌افزارهای مختلف، هر دو آماری و GIS انجام دهد و به هزینه بیشتری ناشی از اندازه‌گیری پارامترهای مورد استفاده در ایجاد تابع میانگین قطعی (رگرسیون) نیاز دارد. لذا لازم است که در مطالعات بعدی به این محدودیت توجه شود. عدم قطعیت در تمام موضوعات مرتبط با علوم مهندسی و به‌ویژه در مدل‌های تجربی مانند مدل رگرسیون قطعی وجود دارد که ناشی از عدم وجود مشاهدات کافی و همچنین پیچیدگی مسئله است. برای بررسی عدم قطعیت در روش کریجینگ پیشنهاد شده (در قسمت رگرسیون و هم در قسمت تقریب واریوگرام توزیع مکانی پارامترهای مختلف) در این تحقیق نیازمند تولید و استفاده از اطلاعات بلند مدت است. لذا انجام پایش کیفی میان مدت و بلند مدت و کنترل حوضه آبریز برای ادامه تحقیق توسط دیگر پژوهشگران توصیه می‌شود. نتایج این تحقیق می‌تواند در تدوین برنامه پایش کیفیت آب رودخانه تجن مفید باشد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان از دانشگاه تهران به خاطر در اختیار دادن امکانات آزمایشگاهی قدردانی می‌کنند. همچنین، نویسندگان اول از وزارت آموزش عالی در سوریه قدردانی می‌کند.

یادداشت‌ها

1. Quanzhou
2. Sharma
3. Nas
4. Yamuna
5. Ordinary Kriging
6. Blind Kriging
7. Semivariogram

از مهم‌ترین معایب کریجینگ معمولی این است که پیش‌بینی مقادیر پارامترها تنها بر اساس همبستگی مکانی بین نقاط است. علاوه بر آن، میانگین متغیرها ثابت فرض می‌شود و این فرض برای پدیده‌هایی که در طبیعت بسیار غیر خطی هستند، مناسب نیست و در نتیجه نتایج روش کریجینگ معمولی ضعیف است و قادر به تفسیر عوامل اثرگذار نیستند.

برای رفع این معایب، یک روش مناسب برای تخمین پارامترهای کیفی ارائه شد. مبنای این روش کریجینگ کور است به‌طوری که به جای روش استنباط بیزی برای تعیین پارامترهای تابع میانگین قطعی از روش ساده‌تر و با محاسبات کم‌تر (رگرسیون خطی) استفاده شد. در نتیجه رگرسیون خطی با کریجینگ کور ترکیب شد. ایده اصلی این ترکیب این است که تابع میانگین قطعی استفاده شده بیشترین واریانس (روند کلی) داده‌های ورودی را توصیف می‌کند، سپس باقیمانده‌ها با میانگین ثابت به‌عنوان تابع تصادفی توسط کریجینگ معمولی حل می‌شوند رابطه پیشنهادی نشان می‌دهد که مقادیر پیش‌بینی شده نه فقط به ساختار مکانی نقاط بستگی دارد، بلکه تأثیر مقادیر واقعی داده‌ها و توزیع مکانی آن‌ها در منطقه مورد مطالعه نیز در نظر گرفته می‌شوند. عملکرد روش‌های کریجینگ معمولی و روش پیشنهادی توسط سه معیار آماری جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، ضریب واریانس (C.V.) و ضریب تعیین (R^2) ارزیابی شد.

نتایج این تحقیق نشان داد کیفیت آب تجن بر اساس شاخص کیفیت آب سطحی ایران در طبقه‌بندی متوسط و نسبتاً بد قرار گرفته است. پارامترهای اکسیژن محلول، باریم، اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی و کلیفرم مدفوعی با استاندارد کیفیت آب‌های ایران برای حفاظت اکوسیستم‌های آبی مطابق نبودند. علاوه بر آن مشاهده شد که دقت روش کریجینگ اصلاح شده نسبت به روش OK در مطالعه انجام شده بهتر بود و درصد بهبود نتایج آن به ۱۶۹ درصد (برای شاخص کیفیت آب) رسیده است. در

منابع

آبکنار، د.، حسینی، س.، قزوم، ح. ا.، خدابخشی، ق.، و مهرداد، ن. (۱۳۹۳). اندازه‌گیری بقایای سموم کشاورزی ارگانوکلره در رودخانه‌های استان مازندران از طریق دستگاه GC-ECD پس از پیش تغلیظ به روش استخراج فاز جامد، *مجله محیط‌شناسی*، سال چهارم، شماره ۳ صص ۷۶۵-۷۷۳.

احدی، ه.، علوی، س.ج.، و حیدری، م.ج. (۱۳۹۴). بررسی استفاده از تکنیک رگرسیون کریجینگ در تهیه نقشه توان تولید رویشگاه‌های جنگلی، دومین همایش ملی افق‌های نوین در توانمند سازی و توسعه پایدار معماری عمران، گردشگری انرژی و محیط‌زیست شهری و روستایی، شهر همدان - دانشکده شهید مفتاح

احمدالی، خ.، نیکمهر، س.، و لیاقت، ع. (۱۳۸۷). ارزیابی روشهای کریجینگ و کوکریجینگ در تخمین شوری و اسیدیته عمقی خاک (منطقه مورد مطالعه: اراضی بوکان)، *مجله پژوهش آب ایران*، سال دوم، شماره ۳ صص ۵۵-۶۴.

باقری، س.، علی‌پور، ع.، علی‌پوری، ا.، شیروانی سارویی، ا. (۱۳۹۶). تحلیل روند پهنه‌بندی پارامترهای کیفی منابع آب سطحی دشت نیشابور، یازدهمین کنگره ملی پیشگامان پیشرفت، مرکز الگوی اسلامی ایرانی پیشرفت، تهران.

تقی‌زاده مهرجردی، ر.، قرائی منش، س.، و فتح‌زاده، ع. (۱۳۹۴). پیش‌بینی توزیع مکانی عمق برف با استفاده از روش رگرسیون کریجینگ و عوارض زمین در منطقه سخوید یزد، *مجله علوم و مهندسی آبخیزداران ایران*، جلد ۹، شماره ۲۸، صص ۴۱-۴۸.

سعیدی، م.، کرباسی، ع. ا.، نبی بیده‌ندی، غ.، مهرداد، ن. (۱۳۸۵). اثر فعالیت‌های انسانی بر تجمع فلزات سنگین در آب رودخانه تجن در استان مازندران، *مجله محیط‌شناسی*، سال سی و دوم، شماره ۴۰، صص ۴۱-۵۰.

واعظی، ع.، بابائی، ف.، طاهری، ه.، و عباسی، م. (۱۳۹۶). تغییرپذیری مکانی عملکرد دانه گندم و ویژگیهای خاک در کشتزارهای دیم منطقه نیمه خشک در جنوب استان زنجان، *نشریه دانش آب و خاک*، جلد ۲۷، شماره ۳، صص ۶۵-۷۸.

یوسفی، م.، امامقلی زاده، ص.، و قربانی، ه. (۱۳۹۴). بررسی کیفی آب رودخانه تجن مازندران تن جنبه مصرف کشاورزی، اولین همایش ملی کیفیت منابع آب و توسعه پایدار، دانشگاه اراک

Aazami, J., Esmaili-Sari, A., Abdoli, A., Sohrabi, H., and Van den Brink, P. J. (2015). Monitoring and assessment of water health quality in the Tajan River, Iran using physicochemical, fish and macroinvertebrates indices. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 13(1): pp. 29.

American Public Health Association (APHA). (2005). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21st Edn. American Public Health Association: Washington DC.

Bayraktar, H., and Turalioglu, F. S. (2005). A Kriging-based approach for locating a sampling site—in the assessment of air quality. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 19(4): pp. 301-305.

Chen, K., Ni, M., Cai, M., Wang, J., Huang, D., Chen, H., Wang, X. and Liu, M. (2016). Optimization of a Coastal Environmental Monitoring Network Based on the Kriging Method: A Case Study of Quanzhou Bay, China. *BioMed research international*.

Couckuyt, I., Forrester, A., Gorissen, D., De Turck, F., and Dhaene, T. (2012). Blind Kriging: Implementation and performance analysis. *Advances in Engineering Software*. 49:pp.1-13.

Cressie, N. (1990). The origins of kriging. *Mathematical geology*, 22(3): pp. 239-252

Joseph, V. R., Hung, Y., and Sudjianto, A. 2008. Blind kriging: A new method for developing metamodells. *Journal of mechanical design*. 130(3): 031102.

Krige, D. G. (1951). A statistical approach to some basic mine valuation problems on the Witwatersrand. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 52(6):pp. 119-139.

- Matheron, G. (1963). Principles of geostatistics. *Economic geology*, 58(8):pp. 1246-1266.
- Matias, J. M., and Gonzalez-Manteiga, W. (2006). Regularized kriging as a generalization of simple, universal, and bayesian kriging. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*. 20(4): pp. 243-258.
- Montero, J.M. and Mateu, J.(2015). Spatial and spatio-temporal geostatistical modeling and kriging (Vol. 998). *John Wiley & Sons*.
- Mukhopadhyay, T., Chakraborty, S., Dey, S., Adhikari, S. and Chowdhury, R. (2017). A critical assessment of Kriging model variants for high-fidelity uncertainty quantification in dynamics of composite shells. *Archives of Computational Methods in Engineering*. 24(3): pp.495-518.
- Nas, B. (2009). Geostatistical Approach to Assessment of Spatial Distribution of Groundwater Quality. *Polish Journal of Environmental Studies*, 18(6).
- Oliver, M.A. and Webster, R., (2015). *Basic steps in geostatistics: the variogram and kriging* (Vol. 106). New York: Springer.
- Sharma, S., Jha, P.K., Ranjan, M.R., Singh, U.K. and Jindal, T. (2017). Water quality monitoring of Yamuna River by using GIS based water quality index in Delhi, India. *International journal of current microbiology and applied sciences*. 6(2): pp.1249-1263.
- Stein, M. L. (2012). Interpolation of spatial data: some theory for kriging. *Springer Science & Business Media*.
- Tonkin, M. J., and Larson, S. P. (2002). Kriging water levels with a regional-linear and point-logarithmic drift. *Groundwater*. 40(2): pp. 185-193.
- Yang, K., Yu, Z., Luo, Y., Yang, Y., Zhao, L. and Zhou, X. (2018). Spatial and temporal variations in the relationship between lake water surface temperatures and water quality-A case study of Dianchi Lake. *Science of the total environment*. 624: pp.859-871.