بررسی خود پالایی و کیفیت رودخانه قره‌سو با استفاده از مدل $Qual2k_w$ و WQI

یاسر حسینی[1*]

۱. دانشیار، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی مغان، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

***مسئول مکاتبات:**
y_hoseini@uma.ac.ir

کد مقاله: ۱۳۹۸۰۳۰۶۲۶
تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۷/۰۲
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۷/۰۸
این مقاله برگرفته از طرح پژوهشی است.

چکیده

رودخانه قره‌سو در مسیر جریان خود محل ورود و تخلیه فاضلاب‌های خانگی، پساب‌های صنعتی و زه آب‌های کشاورزی بسیاری است. با توجه به اینکه هر رودخانه تا حدود معینی ظرفیت پذیرش آلاینده‌های ورودی و خود پالایی آن‌ها را دارد، بنابراین امروزه آگاهی از روند تغییرات کیفیت و توان‌خودپالایی از اهمیت زیادی برخوردار است. در این پژوهش ابتدا کارایی مدل $Qual2k_w$ در بررسی خود پالایی رودخانه قره‌سو در استان اردبیل در سال ۱۳۹۴ در بازه آلادیزگه تا ارباب‌کندی به طول ۹۰/۶ کیلومتر موردتحقیق قرار گرفت. بدین منظور ابتدا تغییرات پارامترهای NO_3، BOD، DO، pH و دما برای دو ماه دی و تیر توسط مدل کالیبره شده $Qual2k_w$ شبیه‌سازی گردید، سپس با داده‌های مشاهداتی در ایستگاه‌های آلادیزگه، سامیان و انزاب ارباب‌کندی مقایسه شد. جهت مقایسه داده‌های مشاهداتی با داده‌های محاسباتی از ضریب همبستگی (R) و متوسط خطای مطلق(MAE) استفاده‌شده است. بهترین شبیه‌سازی مدل برای پارامتر pH به دست آمد و در رتبه‌های بعدی به ترتیب پارامتر DO، BOD، NO_3 و دما قرار گرفتند. نتایج نشان‌دهنده خود پالایی کم پارامترها و عدم کارایی مناسب مدل $Qual2k_w$ بدون در نظر گرفتن منابع غیر نقطه‌ای در رودخانه قره‌سو بود. همچنین در ادامه کیفیت آب رودخانه قره‌سو با شاخص کیفیت آب NSFWQI در طی ماه‌های دی و اردیبهشت، سال ۱۳۹۴ در بازه ایستگاه‌های نیارق تا کنگرلو بر اساس نمونه‌های گرفته‌شده توسط سازمان حفاظت محیط‌زیست موردبررسی قرار گرفت. نتایج حاصله نشان داد که کیفیت آب رودخانه قره‌سو، در ماه دی در طبقه کیفی متوسط و در ماه اردیبهشت در طبقه کیفی خوب قرار می‌گیرد. ایستگاه کنگرلوبا شاخص ۵۶ در دی‌ماه کمترین کیفیت آب را در طول رودخانه داشته است.

واژگان کلیدی: رودخانه قره‌سو، خود پالایی، پارامترهای فیزیکی شیمیایی، $Qual2k_w$، NSF، WQI.

مقدمه

آلوده‌کننده‌های آب شامل موادی هستند که خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آب را تغییر می‌دهند که به‌طور عمده این مواد در اثر فعالیت‌های انسانی ایجاد می‌شود و به سه گروه عمده منابع آلوده‌کننده صنعتی، شهری و کشاورزی تقسیم‌بندی می‌شوند (عرفان منش و افیونی، ۱۳۸۵). رودخانه قره‌سو از رشته‌کوه‌های تالش (باغرو) در شرق استان اردبیل سرچشمه می‌گیرد و در مسیر خود ضمن عبور از دشت اردبیل، آب‌های جاری این قسمت ازجمله بالخلی‌چای را جمع‌آوری می‌نماید و سرانجام در محل اصلاندوز به رودخانه مرزی ارس تخلیه می‌شود. رودخانه قره‌سو در مسیر جریان خود محل ورود پساب‌های صنعتی و زه آب‌های کشاورزی زیادی است (محمدی و همکاران، ۱۳۹۴). لذا توجه به نقش و توان خود پالایی رودخانه قره‌سو به‌عنوان یکی از مهم‌ترین رودخانه‌های دائمی استان اردبیل اهمیت ویژه‌ای دارد. توان خود پالایی به مجموعه فعل‌وانفعالاتی گفته می‌شود که به‌صورت طبیعی در یک منبع آبی اتفاق می‌افتد و درنتیجه آن میزان آلودگی آب طی فرآیندهای طبیعی کاهش یافته و کیفیت آب تا حد استاندارد مطلوب افزایش می‌یابد. عواملی که بر این پدیده مؤثرند شامل میزان انتقال، نفوذ و پخش، ته‌نشینی و تجزیه آلاینده‌ها می‌باشد (حسینی و همکاران، ۱۳۸۶). مدل‌سازی کیفی رودخانه‌ها یکی از ابزارهای کم‌هزینه و مهم در بررسی مشکلات و راه‌حل‌ها، در

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-25]

جهت بهبود وضعیت کیفی رودخانه می‌باشد. در این تحقیق از مدل یک‌بعدی $Qual2k_w$ استفاده شده است. این مدل متغیرهای کیفی آب را در حالت جریان پایدار و غیریکنواخت در نظر می‌گیرد. مدل $Qual2k_w$، ۱۹ متغیر کیفی آب، شامل مواد پایستار، دما، پاتوژن‌ها، اکسیژن‌خواهی زیست‌شیمیایی (BOD)، اکسیژن‌محلول (DO)، آمونیاک، نیتریت، نیترات، نیتروژن آلی، فسفات و فسفر آلی را در حالت جریان پایدار و غیریکنواخت مدل می‌نماید و اثر بارگذاری را به دو صورت نقطه‌ای و غیر نقطه‌ای منظور می‌نماید. تولیدات جلبکی و اکسیژن‌محلول را با تأثیر بستر آبی و تقاضای کربنی در جریان‌ها، مدل‌سازی می‌کند (Chapra,1997). Oliveir و همکاران (۲۰۱۱) به ارزیابی کاربرد مدل کیفیت آب $Qual2k_w$ برای حوضه رودخانه‌های کوچک و پاسخ رودخانه سرتیما پرتغال به بارگذاری‌های متفاوت نیتروژن و فسفر با کمک این مدل پرداختند. نتایج شبیه‌سازی نشان داد برای کاهش واقعی آلودگی‌های حاصل از بارگذاری نیتروژن و فسفر به ترتیب ۵ و ۱۰ دوره لازم است تا کلاس این رودخانه از یوتروفیک به مزوفیک تغییر کند. در سال ۲۰۱۰ میلادی از مدل $Qual2k_w$ به‌منظور شبیه‌سازی حداقل و حداکثر دمای آب، در سه رودخانه کشور آمریکا استفاده شد. هدف اصلی از این شبیه‌سازی، بررسی اثر پوشش گیاهی اطراف رودخانه بر دمای آب، طی چند دهه آینده بوده و پس از بررسی سناریوهای مختلف، پیشنهاد به افزایش پوشش گیاهی در امتداد رودخانه به‌منظور حفظ حیات آبزیان داده شد (Cristea and Burges, 2010). Kannel و همکاران (۲۰۱۱) به شبیه‌سازی اکسیژن محلول در یک رودخانه در آمریکا، با ۶ مدل مختلف به نام‌های: (SIMCAT, WASP7, TOMCAT, Qual2eu, QUASAR, $Qual2k_w$) پرداختند. نتایج نشان داد؛ خروجی‌های دو مدل TOMCAT،SIMCAT بسیار ساده گرایانه، ولی به‌منظور بررسی کلی منابع نقطه‌ای مفید بوده‌اند. دو مدل QUASAR و WASP7 به علت در نظر گرفتن اثر مرگ‌ومیر جلبک‌ها، نسبت به مدل Qual2eu بسیار مناسب‌تر است. همچنین ایشان بیان داشتند که خروجی مفید از یک مدل ریاضی، بستگی به هدف مطلوب و مشخصی دارد که شبیه‌سازی برای آن انجام می‌شود. نجفی و محمودپور (۱۳۹۱) به بررسی کیفیت آب رودخانه قره‌سو در ورودی آن به استان خوزستان پرداختند، در این مقاله جهت درک بهتر از وضعیت کیفی رودخانه و مسائل آن مدل Qua12k برای این رودخانه بر اساس غلظت اکسیژن محلول و مقدار کل بار نیتروژن و فسفر کالیبره شده و نتایج آن مورد تحلیل واقع شد نتایج مدل نشان داد که مقدار اکسیژن محلول به‌طورکلی از مقادیر مجاز ۵ میلی‌گرم در لیتر کمتر بوده و بحرانی‌ترین بازه، بازه بعد از کرمانشاه است که بیش‌ترین مقدار TP,TN و کمترین مقدار DO را دارا می‌باشد. رزاقیان و همکاران (۱۳۹۴) به بررسی وضعیت کیفی رودخانه قره‌سو در محدوده شهرستان کرمانشاه با استفاده از مدل Qual2kw پرداختند و نمودارهای خروجی مدل شامل پارامترهای مهم کیفی آب DO، BOD، نیتروژن کل و فسفر کل را بررسی نمودند، ضمناً فرایند کالیبره کردن مدل نیز با استفاده از داده‌های تابستان انجام شد، نتایج دقت مدل را در برآورد کیفی رودخانه، نشان داد. محمدی و همکاران (۱۳۹۵) به بررسی مدل Qual2kw بر روی رودخانه یامونا پرداختند، در این تحقیق توانایی مدل Qual2kw و روند کالیبراسیون اتوماتیک آن با استفاده از داده‌های کیفی، ازجمله DO BOD، TN موردبررسی قرار گرفت. نتایج به‌دست‌آمده حاکی از رضایت‌بخش بودن عملکرد مدل است. همچنین نتایج نشان‌داد که تفاوت بین مقادیر مشاهده‌شده و شبیه‌سازی‌شده، به‌خصوص برای DO، کم بوده، درنتیجه مدل Qual2kw به‌خوبی قادر به شبیه‌سازی عناصر در طول مسیر رودخانه بود. ونائی و همکاران (۱۳۹۶) در تحقیقی ظرفیت خود پالایی رودخانه عباس‌آباد همدان با استفاده از مدل Qual2kw، مبتنی بر شبیه‌سازی پارامترهای DO، BOD، COD، NH_4، NO_3 و PO_4، با در نظر گرفتن استانداردهای کیفی آب در دو بازه طولی ۱/۸۶ و ۴/۳۳ کیلومتر ارزیابی نمودند. نتایج نشان‌داد، توان خود پالایی رودخانه در بازه اول به دلیل هوادهی مناسب رودخانه نسبت به بازه دوم بیشتر می‌باشد و بیشترین ظرفیت خود پالایی در کل رودخانه مربوط به شاخص BOD و کمترین میزان نیز مربوط به شاخص‌های COD و NO_3، به ترتیب در بازه‌های اول و دوم می‌باشد. باباخانی و همکاران (۱۳۹۸) به بررسی روند تغییرات خود پالایی رودخانهٔ دیواندره برای پارامترهای اکسیژن محلول، اکسیژن‌خواهی بیولوژیکی، اکسیژن‌خواهی شیمیایی، اسیدیته، هدایت الکتریکی، دما و محاسبهٔ درصد خودپالایی برای پارامترهای زوال‌پذیر BOD و COD پرداختند و به‌منظور پیش‌بینی چگونگی تغییرات آن‌ها از مدل شبیه‌ساز کیفی Qual2kw استفاده نمودند. نتایج نشان‌داد، به دلیل افزایش سکونت‌گاه‌های انسانی، تأثیر فاضلاب‌ها، رواناب‌های کشاورزی و همچنین ورود رودخانه‌های فرعی چم‌زرد و یول‌گشتی، وضعیت زیست‌محیطی رودخانهٔ دیواندره در بازه‌های انتهایی آن نگران‌کننده است.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-25]

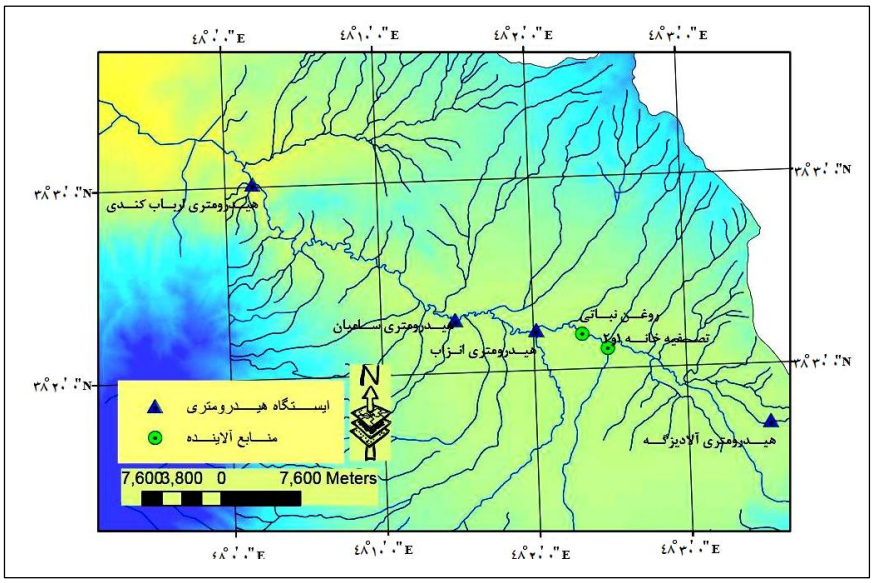
همچنین از میان دو پارامتر کیفی زوال‌پذیر بررسی‌شده، خودپالایی BOD به میزان ۷۵ درصد بیشتر از COD بوده و دقیق‌ترین شبیه‌سازی مربوط به pH و درعین‌حال کمترین دقت شبیه‌سازی مختص به EC گردید. در تحقیق Arruda camargo و همکاران (۲۰۱۰) محاسبات حاصل از شبیه‌سازی کیفیت آب با مدل $Qual2k_w$ کالیبره و اعتبارسنجی شده و توانایی خود پالایی آبخیز کوچک کارستیک در بار آلایندگی منابع غیر نقطه‌ای مورد ارزیابی قرار گرفت که طی آن پارامترهای قلیاییت، کلیفرم، فسفر کل، اکسیژن‌محلول، کل مواد جامد محلول، هدایت الکتریکی، pH برای دو دوره خشک و بارانی بررسی شد. نتایج نشان‌داد که کمترین اکسیژن محلول در طول دوره‌ها ۴/۷ و ۵/۴ میلی‌گرم بر لیتر بود که بالاتر از مینیمم استاندارد تعیین‌شده توسط آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا برای حفاظت جوامع آبزی است. عاشق معلا و همکاران (۱۳۹۳) با به‌کارگیری مدل $Qual2k_w$ شبیه‌سازی دو سناریو را روی رودخانه قشلاق کردستان انجام دادند. سناریو اول غلظت DO و BOD به ترتیب ۲ و ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر بر اساس حدود مجاز استاندارد فعلی تخلیه پساب بود و سناریو دوم بر اساس توان خود پالایی رودخانه به‌شرط حداقل مقدار DO، ۵ میلی‌گرم بر لیتر، حد مجاز ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر برای پارامتر BOD در نظر گرفته و توسط مدل شبیه‌سازی شد. مقایسه اقتصادی این دو سناریو، برتری سناریو دوم با اختلاف هزینه اقتصادی ۱۰ میلیارد ریالی را نشان داد. میر محمد حسینی (۱۳۹۰) در تدوین شاخص کیفیت آب برای رودخانه گرگان‌رود ابتدا نرم‌افزار NSF را برای رودخانه گرگان‌رود به‌صورت معمول اجرا نمود و سپس با استفاده از روش AHP نسبت به اصلاح پارامترها و ضرایب آن‌ها به‌نوعی که جوابگوی شرایط محلی باشد، اقدام نمود. در شاخص کیفی آب به‌دست‌آمده از این روش، پارامترهای اکسیژن محلول، کلیفرم مدفوعی و اکسیژن خواهی زیست‌شیمیایی به ترتیب به میزان ۰/۰۹۳، ۰/۰۳۸ و ۰/۰۴۸ نسبت به شاخص قدیمی NSF افزایش یافتند، همچنین کیفیت آب رودخانه یک درجه تقلیل یافت. در تحقیقی که توسط برمکی و احمدی ندوشن (۲۰۱۸) صورت گرفت، توان خودپالایی رودخانه زاینده رود با استفاده از نرم افزار $Qual2k_w$ مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان‌داد که در کلیه پارامترهای اندازه‌گیری شده از جمله BOD، DO، COD، مقادیر پیش‌بینی و اندازه‌گیری شده به خوبی بر هم منطبق می‌باشند و فقط در تعیین مقدار NO_3 مدل برآورد دقیقی نداشته است. همچنین Sharma و همکاران (۲۰۱۷) با بررسی رودخانه یومانای هند با استفاده مدل $Qual2k_w$ پرداختند و نتیجه گرفتند که مدل برای تعیین دقیق پارامترهای کیفی آب رودخانه به شدت به آلودگی‌های نقطه‌ای مسیر رودخانه حساس می‌باشد. Moghimi Nezad و همکاران (۲۰۱۸) کیفیت آب ۱۱۳ کیلومتر از طول رودخانه کارون را تحت سناریوهای مختلف کاهش و افزایش ۳۰ درصدی بار آلودگی مورد بررسی قرار دادند و نتایج نشان داد که با کاهش ۳۰ درصدی نیترات در ماه‌های ژانویه و فوریه و کاهش BOD می‌توان تا ۳۷ درصد کیفیت آب رودخانه را بهبود بخشید. در این پژوهش، ابتدا تغییرات پارامترهای کیفی آب در طول بازه مطالعاتی به کمک مدل $Qual2k_w$ با توجه به حجم بار آلاینده ورودی برای دو ماه تیر (کم‌آبی) و دی در سال ۱۳۹۴ شبیه‌سازی‌شده و در انتها خود پالایی رودخانه و کارایی مدل $Qual2k_w$ با توجه به مقادیر نقاط اندازه‌گیری شده در محل ایستگاه‌ها و نمودار شبیه‌سازی‌شده توسط مدل مورد تحلیل قرار گرفت. در ادامه کیفیت آب رودخانه قره‌سو با کمک شاخص NSF WQI بررسی‌شده است.

مواد و روش‌ها

دشت اردبیل بسیار هموار و دارای شیب مقعر ملایمی در حدود ۰/۵درصد است. ارتفاع متوسط دشت ۱۳۵۰ متر از سطح دریا است. مرتفع‌ترین نقطه آن در جنوب‌غرب با ۱۵۰۰ متر ارتفاع و پست‌ترین نقطه در شمال ۱۲۰۰ متر ارتفاع دارد. اصلی‌ترین شریان دشت، رودخانه قره‌سو می‌باشد که از ارتفاعات باغرو داغ سرچشمه گرفته و رودخانه‌های بـالیخلی‌چای ، حاجی محمد چای و قره‌چای به آن ملحق می‌شوند. رودخانه قره‌سو با ۲۸۵ کیلومتر طول و حدود ۵۵۴ میلیون مترمکعب متوسط آبدهی سالانه، طویل‌ترین و پرآب‌ترین رودخانه داخلی استان به شمار می‌رود. تحقیق حاضر رودخانه قره‌سو را از ایستگاه آلادیزگه تا ایستگاه ارباب‌کندی موردبررسی کیفی آب قرار می‌دهد. در این مطالعه، حدود ۹۰/۶ کیلومتر از طول رودخانه موردبررسی کیفی قرار گرفت. در این پژوهش از اطلاعات چهار ایستگاه هیدرومتری که اطلاعات آن از سازمان منابع آب استان اردبیل و

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-25]

سازمان حفاظت محیطزیست استان اردبیل جمع‌آوری گردیده است، استفاده شد. این اطلاعات شامل مقادیر پارامترهای فیزیکی شیمیایی DO, BOD, NO_3, pH، دبی و دما در تیرماه و دی‌ماه ۱۳۹۴ می‌باشد. ایستگاه‌های واقع بر روی رودخانه عبارت‌اند از: ایستگاه آلادیزگه، سامیان (در تیرماه)، انزاب (در دی‌ماه) و ایستگاه ارباب‌کندی. لازم به ذکر است به جهت این‌که در دی‌ماه ۱۳۹۴ اطلاعات ایستگاه سامیان موجود نبوده است از اطلاعات ایستگاه انزاب که نزدیک‌ترین ایستگاه به آن می‌باشد، استفاده شد. شکل ۱ موقعیت منطقه موردمطالعه و ایستگاه‌های جمع‌آوری اطلاعات شیمیایی آب و منابع آلودگی نقطه‌ای را بر روی رودخانه قره‌سو نشان می‌دهد. منابع آلاینده واردشده در مدل، منابع نقطه‌ای می‌باشند که اطلاعات مقادیر پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آن شامل: نیترات، قلیاییت، دما، EC، pH، COD، BOD و DO از سازمان محیطزیست استان اردبیل جمع‌آوری گردید. منابع آلاینده نقطه‌ای ورودی به رودخانه قره‌سو شامل پساب‌های کارخانه روغن نباتی به عرض $38^{\circ}24'$ شمالی و طول $48^{\circ}23'$ شرقی و فاضلاب تصفیه‌خانه شهرک صنعتی شماره ۲ اردبیل به عرض $38^{\circ}20'$ شمالی و طول $48^{\circ}24'$ شرقی بوده است.



شکل ۱: موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری منتخب و منابع نقطه‌ای آلاینده در رودخانه قره‌سو (سال ۱۳۹٤).

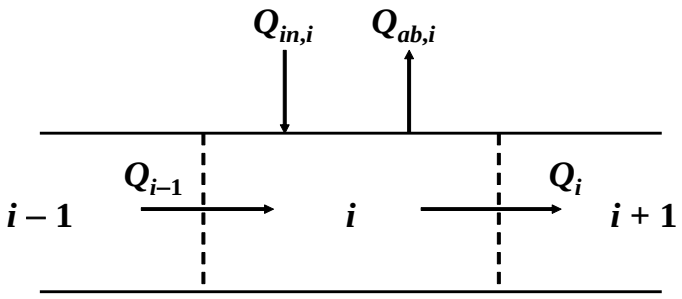
در این تحقیق با کمک مدل کالیبره شده $Qual2k_w$ خود پالایی رودخانه قره‌سو در سال ۱۳۹۴ شبیه‌سازی‌شده است؛ سپس نمودار شبیه‌سازی‌شده تغییرات پارامترهای BOD (برحسب $CBOD_{fast}$)، DO، NO_3 و pH و دما با نقاط اندازه‌گیری شده در بازه مطالعاتی (ایستگاه آلادیزگه تا ارباب‌کندی) مقایسه گردیده است.

معادله اصلی که مدل مذکور به حل عددی آن می‌پردازد، معادله جابجایی- پخش یک‌بعدی است که در شکل ۲ و رابطه ۱ بیان‌شده است (Pellerire and Chapra, 2008).

رابطه ۱:

$$Q_i = Q_{i-1} + Q_{in,i} - Q_{ab,i}$$

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-25]



شکل ۲: معادله جابجایی- انتشار یک‌بعدی.

مقادیر اکسیژن‌خواهی زیست‌شیمیایی نهایی (BODu) با استفاده از رابطه ۲ به‌دست‌آمده آمد و در مدل لحاظ گردید (عاشق معلا و همکاران، ۱۳۹۳؛ Pellerire and Chapra, 2008).

رابطه ۲:

$$CBODu = \frac{CBOD5}{1-e^{-k_1 5}}$$

که در این معادله، مقدار رنج k برابر (1/day) ۰/۳- ۰/۰۵ می‌باشد (Chapra, 1997). اگر نرخ کاهش BOD در هرروز ثابت فرض شود مقدار معمول k برابر (1/day) ۰/۲۳ است (عاشق معلا و همکاران، ۱۳۹۳). به‌منظور استفاده از مدل نیاز است که طول بازه موردمطالعه به تعدادی بازه کوچک‌تر تقسیم شود، بدین منظور مسیر رودخانه به ۱۳ بازه تقسیم‌بندی شد. پارامترهای هیدرولیکی ورودی مدل شامل شیب کانال در هر بازه، مقدار پارامتر ثابت مانینگ و عرض کف رود بود. شیب کانال بر اساس اختلاف ارتفاع ابتدا و انتهای بازه تقسیم‌بر طول بازه محاسبه گردید. ضریب مانینگ در کانال‌های رو باز طبیعی از ۰/۰۲۵ تا ۰/۲ در نظر گرفته می‌شود (Pellerire and Chapra, 2008). در این تحقیق ضریب مانینگ (ضریب زبری) ۰/۰۲۵ در نظر گرفته شد. همچنین مشخصات هواشناسی روزهای موردبررسی در مدل شامل: سرعت باد، نقطه شبنم، درصد ابرناکی، انرژی تابشی خورشید، دمای هوا طی ۲۴ ساعت از داده‌های سایت بین‌المللی هواشناسی گرفته شد. برای محاسبه ضریب بازدمش، روش‌های مختلفی برای محاسبهٔ این ضریب در نرم‌افزار موجود می‌باشد. در این تحقیق از رابطه اوکانر- دابین استفاده شد تا محدودهٔ تغییرات این ضریب در فصول مختلف نزدیک به هم باشد. همچنین مدل موج‌کوتاه براس و طول‌موج بلند برانت محاسبه و مورداستفاده قرار گرفت. جدول ۱ ضرایب سینتیکی به کار گرفته‌شده در مدل را نشان می‌دهد.

جدول ۱: ضرایب سینتیکی به کار گرفته‌شده در مدل Qual2kw (حسینی، ۱۳۹۱).

پارامتر	مقدار	واحد	علامت
استوکیومتری			
کربن	۴۰	gr	gC
نیتروژن	۷/۲	gr	gN
فسفر	۱	gr	gP
وزن خشک	۱۰۰	gr	gD
کلروفیل	۱	gr	gA
مواد معلق غیر آلی			
سرعت ته‌نشینی	۰/۵۸۴۵۳	m/d	v_i
اکسیژن			
مدل بازدمش	O'Connor-Dobbins		
ضریب تصحیح دما	۱/۰۲۴		θ_a

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-25]

اکسیژن برای اکسیداسیون کربن	۲/۶۹	gr/gr	r_{oc}
اکسیژن برای نیتروفیکشن آمونیاک	۴/۵۷	gr/gr	r_{on}
اکسیژن‌خواهی زیست‌شیمیایی کند			
نرخ هیدرولیز	۰/۲۷۹۸۵	/d	k_{hc}
ضریب تصحیح دما	۱/۰۴۷		θ_{hc}
نرخ اکسیداسیون	۰/۱۰۵۴۹	/d	k_{dcs}
اکسیژن‌خواهی زیست‌شیمیایی تند			
نرخ اکسیداسیون	۰/۲۰۵۷۵	/d	k_{dc}
ضریب تصحیح دما	۱/۰۴۷		θ_{dc}
نیترات			
دنیتریفیکشن	۱/۷۹۰۹۲	/d	k_{dn}
ضریب تصحیح دما	۱/۰۷		θ_{dn}
انتقال دنیترفیکشن بستر	۰/۸۳۴۹۱	m/d	v_{di}

با توجه به اینکه کیفیت آب رودخانه تحت تأثیر دبی و درجه حرارت می‌باشد، برای تعیین ماه بحرانی با تحلیل دبی در شرایط کم‌آبی در ۲۰ سال آماری در ایستگاه‌های منتخب، ماه تیر به‌عنوان ماه کم‌آبی انتخاب گردید. شبیه‌سازی تغییرات کیفی رودخانه قره‌سو توسط مدل $Qual2k_w$ در ماه تیر و دی برای هفت روز انجام و با میزان پارامترهای کیفی اندازه‌گیری شده در همان ماه‌ها در سال ۱۳۹۴ مقایسه گردید. پس از واردکردن اطلاعات موردنیاز ورودی، مدل در زمان چند دقیقه در دو فرمت Fortran و VBA قابل‌اجرا می‌باشد. نتایج هر دو فرمت درنهایت یکی بوده اما سرعت شبیه‌سازی در Fortran کمی بیشتر است که در این تحقیق از فرمت VBA استفاده‌شده است. برای ارزیابی دقت هر یک از پارامترهای شبیه‌سازی‌شده، با مقادیر مشاهداتی از ضریب همبستگی (R) و متوسط خطای مطلق (MAE) استفاده شد. در پارامترهای شبیه‌سازی‌شده هرچه میزان ضریب همبستگی به عدد یک و متوسط خطای مطلق به صفر نزدیک‌تر باشد، کارکرد مدل از اطمینان بالاتری برخوردار است. مقدار MAE مطابق رابطه ۳ محاسبه‌شده است.

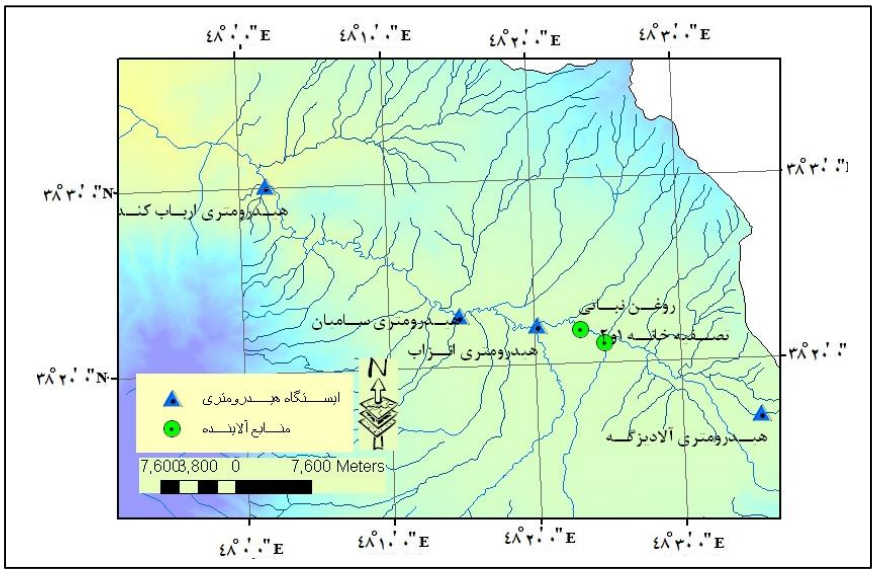
رابطه ۳:

$$MAE = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}|Q_i - P_i|$$

p_i: مقادیر مشاهده‌شده، Q_i: مقادیر شبیه‌سازی‌شده، N: تعداد نمونه

جهت بررسی کیفیت آب رودخانه قره‌سو بر اساس اطلاعات پارامترهای فیزیکی و شیمیایی موجود، ۶ ایستگاه (نیارق، دورجین، نوجده، انزاب، ارباب‌کندی، کنگرلو) در دی‌ماه و ۳ ایستگاه (نیارق سرچشمه، نیارق، دورجین) در اردیبهشت‌ماه سال ۹۴ انتخاب شد و اطلاعات پارامترهای کیفی آن شامل: pH، BOD، TP، NO_3، TDS، DO، کلیفرم‌مدفوعی، کدورت و دما از بخش آزمایشگاه سازمان محیط‌زیست استان اردبیل جمع‌آوری گردید. در این پژوهش برای تجزیه‌وتحلیل داده‌های کیفی آب در ایستگاه‌های مختلف، از شاخص کیفیت آب NSF WQI بهره گرفته‌شده است. این شاخص کیفی کاهشی در سال ۱۹۷۰ با حمایت بهداشت ملی آمریکا توسط بروان و همکارانش بر اساس نظرسنجی تعداد زیادی از افراد متخصص ارائه گردید که از مزایای آن سادگی و در دسترس بودن مشخصه‌های کیفی مورداستفاده، شامل ۹ پارامتر ذکرشده می‌باشد. بدین ترتیب رودخانه قره‌سو از ایستگاه نیارق به عرض $^{/}$۱۷ °۳۸ شمالی و طول $^{/}$۳۹ و ^{o}۴۸ شرقی و ارتفاع متوسط ۱۳۵۶ متر از سطح دریا تا ایستگاه کنگرلوبه طول شرقی $^{/}$۳۶ و ^{o}۴۸ و عرض $^{/}$۱۳ و ^{o}۳۱ شمالی و به ارتفاع متوسط ۹۵۷ متر از سطح دریا موردبررسی کیفی آب قرار گرفت. شکل ۳ موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری دستی را در بازه مطالعاتی را نشان می‌دهد.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-25]



شکل ۳: موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری شده در رودخانه قره‌سو (سال ۱۳۹٤).

ابتدا عیار مقادیر از منحنی‌های معیار هر پارامتر توسط نرم‌افزار WQI Calculator استخراج‌شده، سپس با قرار دادن عیار در رابطه ۴ و با توجه به فاکتور وزنی هر پارامتر در جدول ۲، شاخص NSF محاسبه گردید و در ادامه با استفاده از جدول‌های ۳ و ۴ رده کیفی رودخانه مشخص شد.

رابطه ۴:

$$NSFWQI = \Sigma w_i q_i$$

q_i عیار یا زیر شاخص محاسبه‌شده از هر نمودار (۱ تا ۱۰۰)

w_i فاکتور وزنی هر پارامتر

جدول ۲: مقادیر فاکتور وزنی درروش NSF. WQI (Oram, 2012).

پارامتر	DO	100ml/Fc.Coli colony	BOD mg/L	Temperature C°	pH	TP mg/L	No_3 mg/L	Turbidity NTU	TS mg/L
وزن	۰/۱۷	۰/۱۵	۰/۱۲	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۰۸	۰/۰۸

جدول ۳: طبقه‌بندی کیفیت آب درروش NSF.WQI(Oram, 2012).

محدوده شاخص	۰-۲۵	۲۶-۵۰	۵۱-۷۰	۷۱-۹۰	۹۱-۱۰۰
وضعیت آب	خیلی بد	بد	متوسط	خوب	خیلی خوب

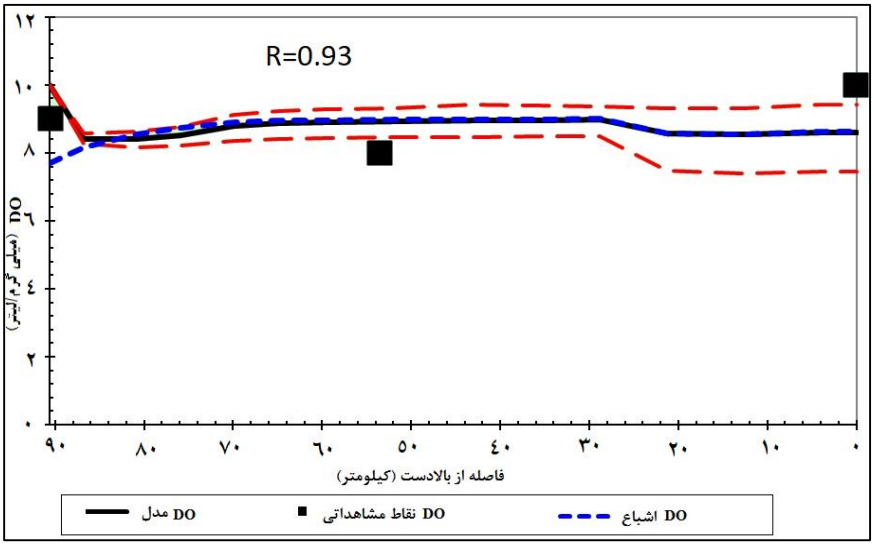
جدول ٤: طبقه‌بندی کیفیت آب با استفاده از شاخص NSF.WQI (حیدری نیا و همکاران،۱۳۸۸).

شاخص کیفیت NSFWQI	طبقه‌بندی	شرح
۶۳-۱۰۰	خوب تا عالی	منبع آب آشامیدنی بدون تصفیه سنتی ولی پس از گندزدایی
۵۰-۶۲	متوسط تا خوب	نیازهای بیرونی مانند حمام، شنا و ورزش‌های مرتبط با آب
۳۸-۴۹	بد	منبع آب آشامیدنی با تصفیه سنتی به دنبال گندزدایی
۰-۳۷	بد تا خیلی بد	استفاده در طبیعت، آبیاری، سرمایش صنعتی و فاضلاب کنترل‌شده

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-25]

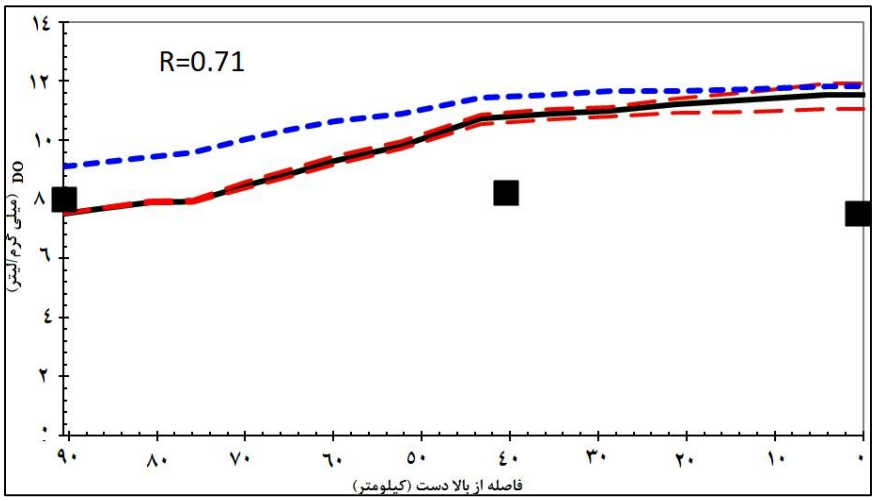
نتایج

شکل‌های ۴ و ۵ میزان اکسیژن محلول (DO) پیش‌بینی‌شده توسط مدل، اکسیژن محلول اشباع و مقادیر اندازه‌گیری شده را به ترتیب در ماه تیر و دی در رودخانه قره‌سو نشان می‌دهد. میزان اکسیژن محلول در رودخانه‌ها به عوامل متعددی ازجمله دمای آب، میزان هوادهی مجدد، بار آلی موجود و یا ورودی به رودخانه بستگی دارد. همان‌طور که در شکل۴ مشاهده می‌گردد، میزان اکسیژن شبیه‌سازی‌شده توسط مدل $Qual2k_w$ در ایستگاه اول (آلادیزگه) کمتر از مقادیر اندازه‌گیری می‌باشد لیکن در ایستگاه میانی (سامیان) و ایستگاه انتهایی (ارباب‌کندی) مقادیر مشاهداتی کمتر از مقادیر پیش‌بینی‌شده توسط مدل است. به نظر می‌رسد دبی منابع نقطه‌ای در کیلومتر ۳۸ (پساب کارخانه روغن نباتی) پایین بوده و تأثیر چندانی در میزان اکسیژن محلول رودخانه در این فاصله نگذاشته است. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد، در کل بازه موردنظر و در ماه‌های کم‌آبی و پرآبی، میزان DO بیش‌تر از حد مجاز ۵ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد که بیش از مقادیر حاصل از نتایج تحقیق نجفی و همکاران (۱۳۹۱) می‌باشد. همچنین با تحقیق محمدی و همکاران (۱۳۹۴) مطابقت دارد. همان‌طور که شکل ۵ نشان می‌دهد مقادیر اکسیژن محلول در ماه دی در ایستگاه ابتدایی و میانی پایین‌تر از مقادیر شبیه‌سازی‌شده بود، به نظر می‌رسد انجماد آب رودخانه در این فصل بخصوص در منطقه کوهستانی سراب رودخانه قره‌سو باعث کاهش جریان هوا در آب و درنتیجه کاهش DO در مقادیر اندازه‌گیری شده حتی نسبت به تیرماه شده باشد. مقادیر DO در ایستگاه انتهایی هم‌خوانی خوبی با نتایج مدل دارد اگرچه مقدار آن از مقادیر تیرماه کمتر است. مقدار R و MAE برای این پارامتر به ترتیب ۰/۷۱ و ۲/۴ محاسبه گردید.



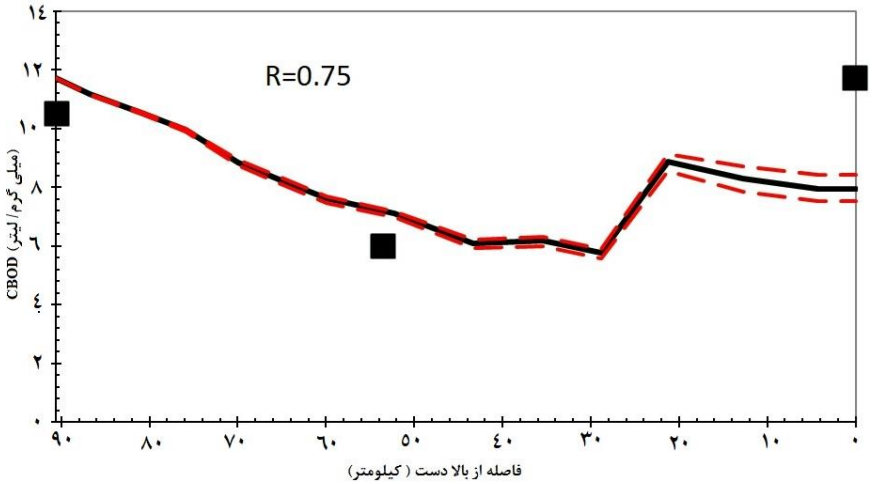
شکل ٤: تغییرات DO اندازه‌گیری و شبیه‌سازی‌شده تیرماه ۱۳۹٤.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-25]



شکل ۵: تغییرات DO اندازه‌گیری و شبیه‌سازی‌شده دی‌ماه ۱۳۹۴.

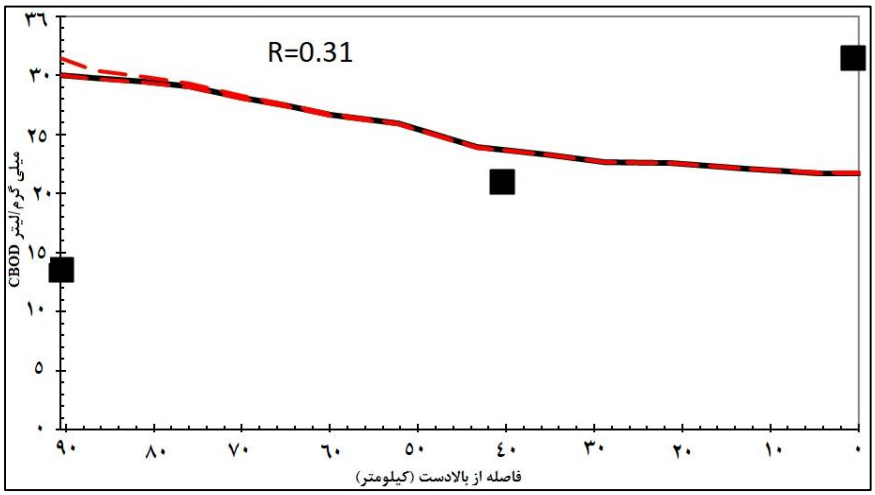
شکل ۶ تغییرات اکسیژن خواهی آهسته (BOD_f) را در ماه تیر در بازه مطالعاتی نشان می‌دهد. مقدار BOD مشاهداتی در ایستگاه اول (آلادیزگه) بالاتر از مقادیر شبیه‌سازی‌شده توسط مدل است که می‌تواند به علت ورود رواناب‌های کشاورزی در بالادست باشد. همان‌طور که نمودار نشان می‌دهد مقادیر این پارامتر در کیلومتر ۲۱-۲۹ با شیب تندی کاهش می‌یابد به‌طوری‌که مقدار آن از ۸/۸۷ به ۵/۹ میلی‌گرم در لیتر می‌رسد. این در حالی است که در این ناحیه فاضلاب شهرک صنعتی ۲ و شرکت روغن نباتی وارد رودخانه قره‌سو می‌شود به نظر می‌رسد آبراهه‌های ورودی در این مسیر سبب کاهش BOD باوجود منابع نقطه‌ای شده است. نمودار ۶ در ادامه تا ایستگاه آخر افزایش این پارامتر را تا حد ۱۱/۲ میلی‌گرم در لیتر نشان می‌دهد که وجود زمین‌های کشاورزی فراوان از کیلومتر ۳۰ به بعد و رواناب‌های ناشی از آبیاری آن‌ها را می‌توان از دلایل این افزایش برشمرد. مقادیر اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های سامیان و ارباب‌کندی نیز تا حدودی کمتر از مقادیر پیش‌بینی مدل می‌باشند اما روند افزایش این پارامتر را تا انتهای مسیر نشان می‌دهند. مقدار R و MAE برای این پارامتر به ترتیب ۰/۷۵ و ۱/۸۷ محاسبه گردید.



شکل ٦: تغییرات BOD_f اندازه‌گیری و شبیه‌سازی‌شده در تیرماه ۱۳۹٤.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-25]

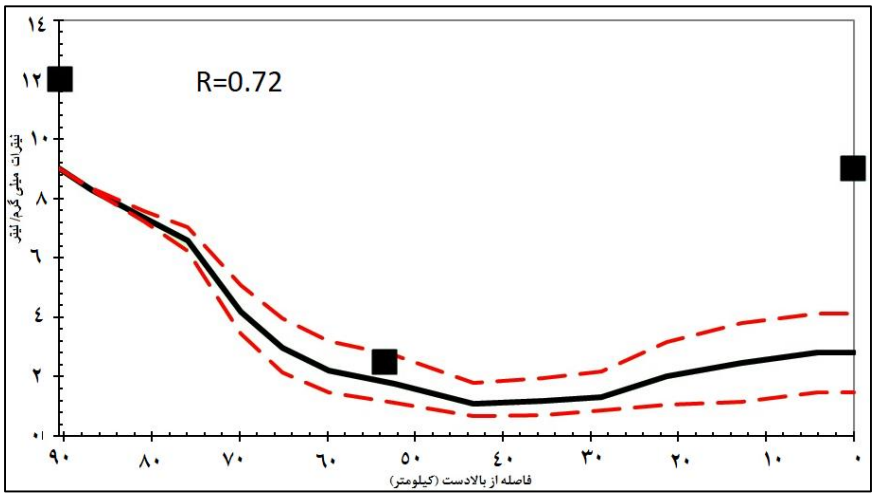
شکل ۷ میزان تغییرات BOD_f در دی‌ماه را نشان می‌دهد، میزان این پارامتر در این ماه به علت افزایش رواناب‌ها و مواد آلی حاصل از شستشوی مزارع، بخصوص از کیلومتر ۳۰ به سمت پایین‌دست رودخانه قره‌سو نسبت به ماه تیر افزایش قابل توجه‌ای داشته است. به‌طوری‌که مقادیر اندازه‌گیری شده در این بازه نوسانی از ۲۱/۷۵ تا ۲۹/۷۱ میلی‌گرم بر لیتر داشت. در دی‌ماه نیز مانند تیرماه در ایستگاه آلادیزگه مقادیر BOD_f مشاهداتی نسبت به مقادیر پیش‌بینی‌شده توسط مدل‌بالاتر بوده و در ایستگاه میانی (انزاب) مقادیر اندازه‌گیری شده به مقادیر پیش‌بینی‌شده توسط مدل نزدیک بوده است، اما در ایستگاه ارباب‌کندی مقادیر اندازه‌گیری شده کمتر از مقادیر شبیه‌سازی‌شده بود که اختلاف بین نتایج آزمایشگاهی و نتایج مدل، می‌تواند به علت تفاوت زمان نمونه‌برداری از آب رودخانه با نمونه‌برداری از منابع آلاینده دانست. R و MAE برای این نمودار به ترتیب ۰/۹۶ و ۹/۷ محاسبه‌شده است.



شکل ۷: تغییرات BOD_f اندازه‌گیری و شبیه‌سازی‌شده دی‌ماه ۱۳۹٤.

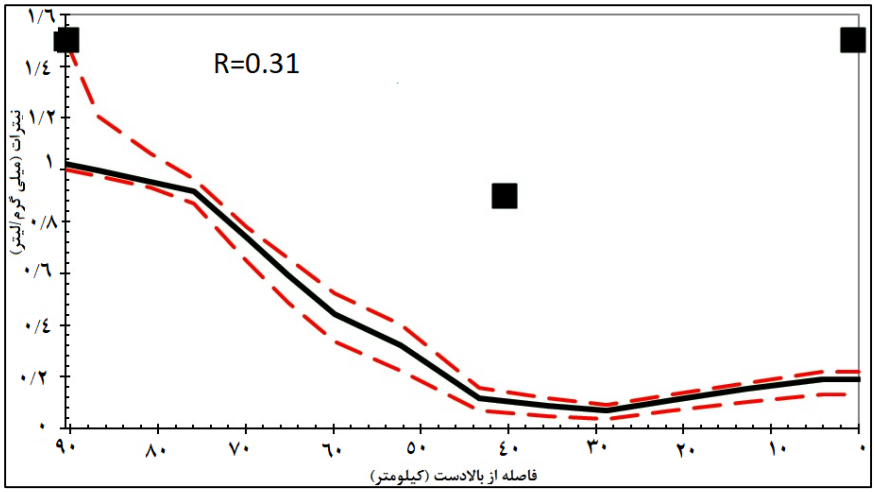
شکل ۸ تغییرات مقادیر نیترات (NO_3) را در بازه مطالعاتی در تیرماه نشان می‌دهد. در اواسط ماه تیر افزودن کود ازته به خاک زراعی در زمین‌های زیر کشت سیب‌زمینی که یکی از محصولات عمده استان اردبیل می‌باشد باعث افزایش قابل‌توجه این پارامتر در خاک و آب رودخانه شده است. در ایستگاه اول (آلادیزگه) مقادیر اندازه‌گیری شده NO_3 بالاتر از مقادیر شبیه‌سازی‌شده است و در کیلومتر ۵۳ بازه موردمطالعه هم‌خوانی خوبی بین مقادیر اندازه‌گیری شده در ایستگاه سامیان و مقادیر شبیه‌سازی‌شده توسط مدل وجود دارد. لیکن در ایستگاه آخر (ارباب‌کندی) نزدیکی به مزارع و شستشو کودهای شیمیایی این زمین‌ها باعث افزایش قابل‌توجه نیترات در آب این رودخانه گردیده است که این امر در اندازه‌گیری‌های انجام‌شده و نتایج مدل در این ایستگاه‌ها کاملاً مشهود می‌باشد. مقدار R و MAE برای این نمودار به ترتیب ۰/۷۲ و ۳/۵ بوده است.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-25]



شکل ۸: تغییرات No_3 اندازه‌گیری و شبیه‌سازی‌شده تیرماه ۱۳۹٤.

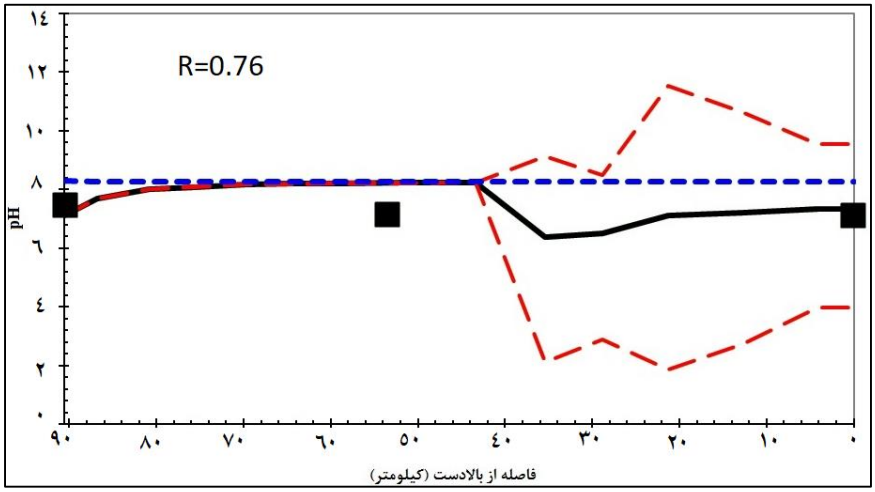
شکل ۹ تغییرات نیترات (NO_3) را در دی‌ماه توسط مدل $Qual2k_w$ نشان می‌دهد. با توجه به آن‌که در زمستان دبی زه‌کش‌های ورودی نسبت به فصل تابستان افزایش می‌یابد که در تحقیق نوشادی و حاتمی‌زاده (۱۳۸۹) نیز نشان داده‌شده است. لذا در ایستگاه اول (آلادیزگه) مقادیر اندازه‌گیری شده و مقادیر مدل تفاوت فاحشی دارند. این روند در ایستگاه میانی (انزاب) و انتهایی (ارباب‌کندی) نیز به سبب اثر رواناب‌ها ادامه پیدا می‌کند که می‌تواند به علت جریان‌های ورودی غیر نقطه‌ای در این مسیر به داخل رودخانه باشد که با توجه به ماه بارندگی و افزایش ورودی زه‌کش‌های مختلف قابل‌قبول می‌باشد. به جهت اینکه میزان پالایش نیترات مربوط به فرایند دی‌نیتریفیکاسیون بوده و این فرآیند، در محیط‌های ساکن (مانند عمق زمین) سریع‌تر عمل می‌کند؛ به همین دلیل رودخانه‌ها دارای قدرت کم‌تری در تجزیه نیترات هستند. در کل در بازه موردمطالعه طبق نمودار شبیه‌سازی‌شده پارامتر نیترات تا کیلومتر ۲۸ روند کاهشی را نشان می‌دهد. سپس تا انتهای مسیر روند افزایشی در پیش می‌گیرد. مقدار R و MAE برای این نمودار به ترتیب ۰/۳۱ و ۰/۸۵ محاسبه گردید.



شکل ۹: تغییرات No_3 اندازه‌گیری و شبیه‌سازی‌شده دی‌ماه ۱۳۹٤.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-25]

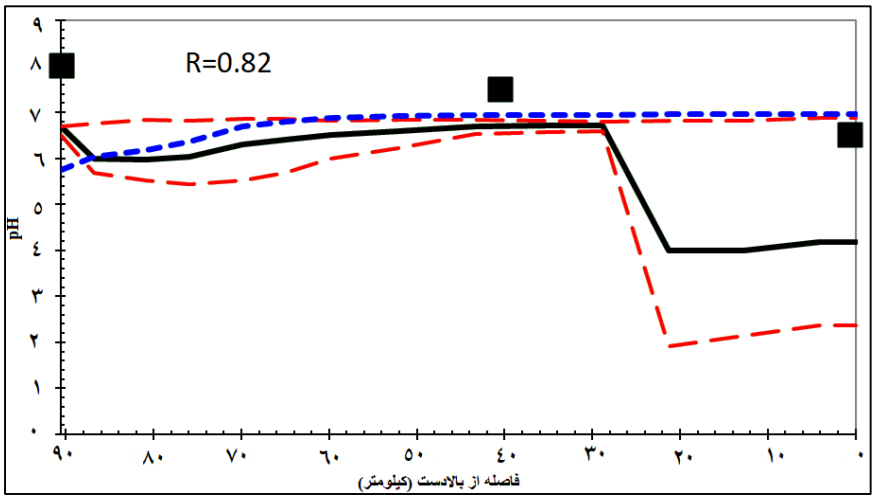
شکل ۱۰ تغییرات اسیدیته یا pH را در طول رودخانه در تیرماه نشان می‌دهد. برای تعیین میزان pH توسط مدل معادلات تعادل، موازنه جرم و الکترون خنثی که در آن‌ها کربن غیر آلی عامل تعیین‌کننده است، به کار می‌رود. همان‌طور که از نمودار پیداست مقادیر اندازه‌گیری شده و مدل شده در ایستگاه اول (آلادیزگه) هم‌خوانی خوبی باهم دارند و شبیه‌سازی در این پارامتر به‌خوبی صورت گرفته است. در ادامه مقدار این پارامتر کاهش‌یافته تا در کیلومتر ۳۵ به ۶/۴ واحد می‌رسد سپس با ورود پساب کارخانه روغن‌نباتی تا کیلومتر ۴۳ افزایش می‌یابد و به عدد ۸/۲۵ می‌رسد، در ادامه pH آب رودخانه قره‌سو ثابت می‌ماند و از کیلومتر ۷۰ به بعد با شیب ملایم در ایستگاه انتهایی به عدد ۷/۶ می‌رسد. در کل شبیه‌سازی برای این پارامتر خوب انجام‌شده است. مقدار ضریب همبستگی (R) و متوسط خطای مطلق (MAE) برای این ماه به ترتیب برابر ۰/۷۶ و ۰/۵ محاسبه گردید. بالا بودن دقت برآورد مدل از مقادیر pH در بازه موردمطالعه با تحقیق باباخانی و همکاران(۱۳۹۸) مطابقت می‌نماید. در تحقیق ایشان بالاترین دقت شبیه‌سازی مربوط به پارامترpH اندازه‌گیری شده بود.



شکل ۱۰: تغییرات pH اندازه‌گیری و شبیه‌سازی‌شده در تیرماه ۱۳۹٤.

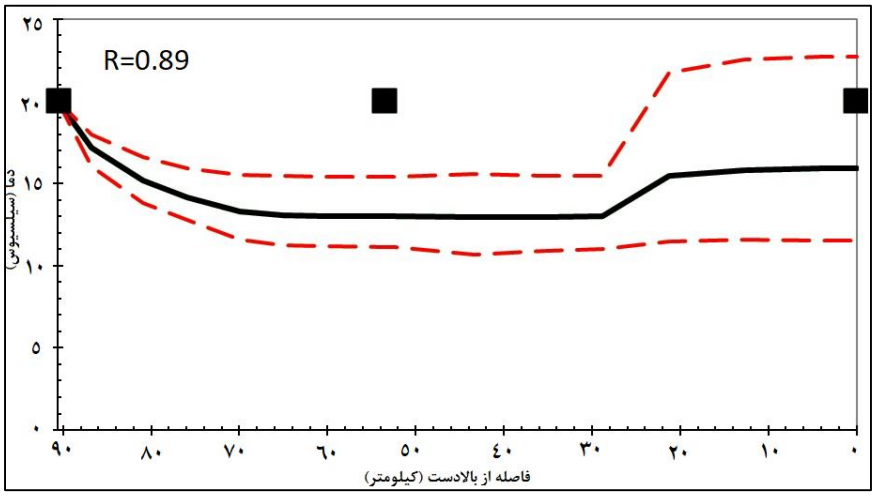
شکل ۱۱ تغییرات pH را در رودخانه قره‌سو در دی‌ماه نشان می‌دهد. طبق پیش‌بینی مدل مقادیر pH از ۴/۱۷ واحد آغازشده و در کیلومتر ۲۱/۳ به ۳/۹۹ می‌رسد و سپس با شیب تندی در کیلومتر ۲۸/۸ به ۶/۸ واحد می‌رسد. روند افزایش pH در دی‌ماه در منحنی نمودار و همچنین در مقادیر مشاهداتی در ایستگاه‌های موردبررسی کاملاً مشهود است. این در حالی است که مقادیر اندازه‌گیری شده در ایستگاه اول (آلادیزگه) و انتهایی (ارباب‌کندی) بالاتر از منحنی شبیه‌سازی‌شده توسط مدل بوده است به‌طورکلی آب رودخانه عموماً قلیایی است. مقدار R=۰/۸۲ و MAE =۱/۴ محاسبه‌شده است.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-25]



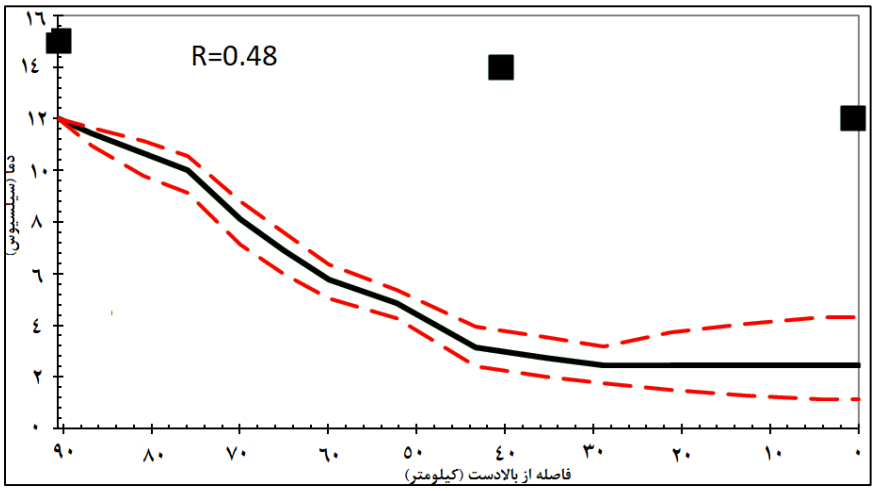
شکل ۱۱: تغییرات pH اندازه‌گیری و شبیه‌سازی‌شده دی‌ماه ۱۳۹٤.

در شکل ۱۲و ۱۳ تغییرات دما آب رودخانه قره‌سو در بازه مطالعاتی ماه تیر آورده شده است. مقادیر اندازه‌گیری شده دمای آب رودخانه قره‌سو در تمام ایستگاه‌ها به‌جز ایستگاه ارباب‌کندی بالاتر از مقادیر پیش‌بینی‌شده توسط مدل می‌باشد. در این نمودار R و MAE به ترتیب ۰/۸۹ و ۳/۶ محاسبه گردید. شکل ۱۳ تغییرات دما را در دی‌ماه توسط مدل نشان می‌دهد، دمای آب به‌طور طبیعی در این ماه کاهش چشمگیری می‌یابد، به‌طوری‌که مقادیر منحنی شبیه‌سازی‌شده اعداد ۲/۴ را در ایستگاه اول و ۱۱/۶۶ درجه را در ایستگاه آخر نشان می‌دهد اما مقادیر مشاهداتی در هر سه ایستگاه (آلادیزگه، انزاب و ارباب‌کندی) دمای آب را بالاتر از ۱۲ درجه سلسیوس نشان داد. درواقع هم‌خوانی خوبی بین نتایج مدل و مقادیر اندازه‌گیری‌شده در این ماه دیده نمی‌شود و مدل این پارامتر را به‌خوبی شبیه‌سازی نکرده است. در این ماه مقدار R=۰/۴۸ و MAE =۷/۹ محاسبه‌شده است.



شکل ۱۲: تغییرات دما اندازه‌گیری و شبیه‌سازی‌شده تیرماه ۱۳۹٤.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-25]



شکل ۱۳: تغییرات دما اندازه‌گیری و شبیه‌سازی‌شده دی‌ماه ۱۳۹٤.

جدول ۵ نتایج حاصل از محاسبه شاخص کیفیت (بر اساس درصد) با استفاده از منحنی‌های شاخص کیفیت NSF ایستگاه‌های موردبررسی را در دی‌ماه، سال ۱۳۹۴ نشان می‌دهد.

جدول ۵: مقادیر شاخص کیفیت آب NSF WQI رودخانه قره‌سو، دی‌ماه ۱۳۹٤.

پارامترها / ایستگاه‌ها	BOD mg/L	PO_4 mg/L	Turbidity NTU	Temperature C°	NO_3 mg/L	DO mg/L	TDS mg/L	pH	F_{Cf} 100ml/colony	NSFWQI
از بالادست										
نیارق	۵۶	۸۸	۷۲	۳۶	۹۶	۹۹	۸۳	۸۳	۶۲	۷۶
دورجین	۱۱	۸۸	۴۷	۳۶	۹۶	۸۹	۶۳	۷۲	۴۲	۶۱
نوجده	۷	۹۶	۴۹	۳۶	۹۶	۹۷	۶۲	۹۳	۴۲	۶۵
انزاب	۲۳	۹۶	۵۱	۳۳	۹۶	۹۸	۶۶	۹۳	۵۹	۷۰
ارباب‌کندی	۳۸	۹۶	۴۷	۳۱	۹۶	۹۶	۷۲	۸۴	۴۵	۶۸
کنگرلو	۲۸	۸۶	۵۱	۲۹	۹۶	۵۰	۶۶	۷۲	۴۲	۵۶

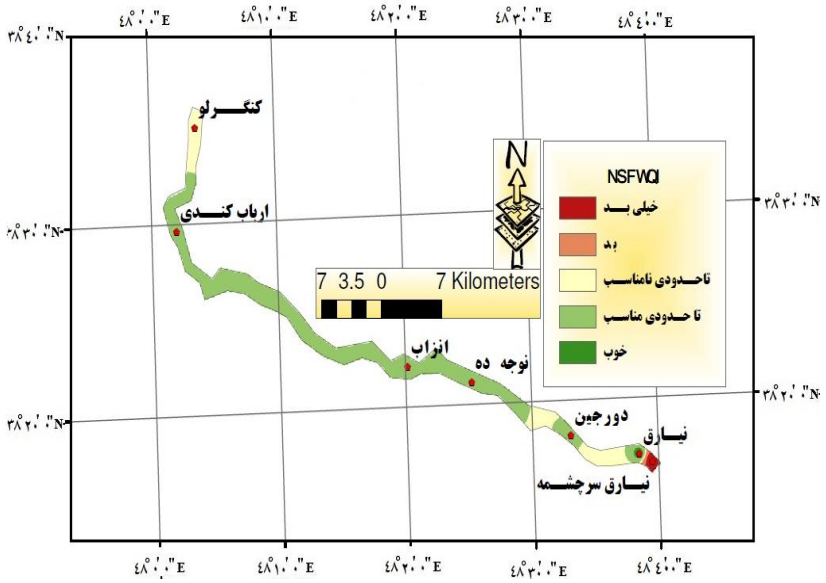
لازم به ذکر است این شاخص کیفی کاهشی است و هرچه اعداد جدول به عدد صفر نزدیک‌تر باشد، گزینه موردبررسی از کیفیت پایین‌تری برخوردار است. با توجه به جدول بالا به‌خوبی می‌توان فهمید مقادیر BOD در ایستگاه دورجین و نوجده بالاتر از حد استاندارد بوده است. به نظر می‌رسد وجود مزارع کشاورزی فراوان در آن منطقه و شهرک صنعتی ۲ اردبیل دلیل افزایش آن باشد؛ ورود آب از شاخه‌های فرعی رودخانه تغییر محسوسی را در مقادیر اکسیژن محلول نشان نمی‌دهند. جدول ۶ نتایج حاصل از محاسبه شاخص کیفیت NSF WQI موردبررسی را در اردیبهشت‌ماه، سال ۱۳۹۴ نشان می‌دهد. همان‌طور که از اطلاعات جدول مذکور پیداست در اردیبهشت‌ماه با افزایش نزولات جوی و افزایش دبی رودخانه مقادیر پارامترها و درنهایت شاخص NSF از شرایط بهتری برخوردارند.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-25]

جدول ٦: مقادیر شاخص کیفیت آب NSF WQI رودخانه قره‌سو، اردیبهشت‌ماه ۱۳۹٤.

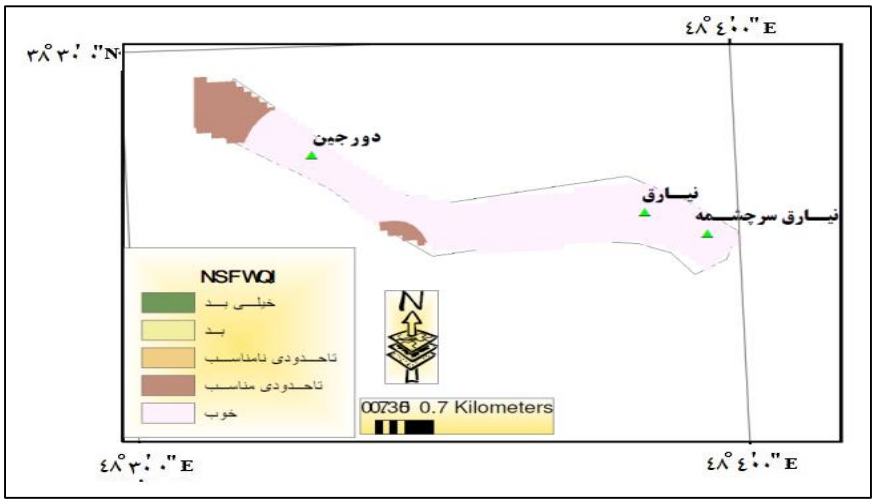
پارامترها از بالادست رودخانه / ایستگاه‌ها	BOD mg/L	PO_4 mg/L	Turbidity NTU	Temperature C°	NO_3 mg/L	DO mg/L	TDS mg/L	pH	F_{Cf} 100ml/colony	NSFWQI
نیارق سرچشمه	۸۰	۹۶	۷۲	۳۱	۹۶	۹۸	۸۵	۸۸	۴۹	۷۷
نیارق	۵۶	۹۶	۶۲	۳۳	۹۶	۹۸	۸۵	۹۰	۴۷	۷۴
دورجین	۵۱	۹۶	۶۶	۲۶	۹۶	۹۸	۸۱	۹۲	۴۲	۷۲

شکل ۱۴ شاخص NSF ایستگاه‌های موردمطالعه را در دی‌ماه و شکل ۱۵ نشان‌دهنده شاخص NSF در تیرماه در بازه دورجین تا نیارق سرچشمه را در اردیبهشت‌ماه نشان می‌دهند. آب ایستگاه‌های کنگرلو و دورجین در دی‌ماه ۱۳۹۴ و دورجین در اردیبهشت‌ماه کمترین کیفیت را داشته‌اند. کیفیت آب رودخانه قره‌سو در دی‌ماه از ایستگاه نیارق به سمت دورجین کاهش ناگهانی را نشان می‌دهد در ادامه مسیر، کیفیت آب رودخانه تا ایستگاه ارباب کندی افزایش‌یافته و سپس مجدداً به سمت پایاب کاهش می‌یابد به‌طوری‌که به استثنا ایستگاه نیارق در نزدیکی سراب رودخانه بقیه ایستگاه‌ها در طبقه متوسط کیفیت هستند. در اردیبهشت‌ماه نیز کیفیت آب رودخانه قره‌سو به سمت ایستگاه دورجین کاهش می‌یابد اما درمجموع در طبقه کیفی خوب باقی است.



شکل۱٤: شاخص NSF.WQI رودخانه قره‌سو در دی‌ماه ۱۳۹٤.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-25]



شکل۱۵: شاخص NSF.WQI رودخانه قره‌سو در دی‌ماه ۱۳۹۴.

بحث و نتیجه‌گیری

مقادیر نمودار تغییرات DO از سراب به پایاب این رودخانه در ماه تیر افزایش و در ماه دی کاهش می‌یابد اما در کل مقادیر آن بالاتر از ۷ میلی‌گرم در لیتر و در حد استاندارد می‌باشد و همچنین با توجه به مقادیر R و متوسط خطای مطلق (MAE) شبیه‌سازی در ماه تیر بهتر از ماه دی انجام‌شده است. در نمودار تغییرات پارامتر BOD_f افزایش این پارامتر را از سراب تا پایاب محدوده موردمطالعه در هر دو ماه شاهد هستیم که حاکی از عدم خود پالایی رودخانه برای این پارامتر دارد. با توجه به R و MAE برای نمودار BOD_f نتایج نشان می‌دهد، شبیه‌سازی در ماه تیر بهتر از ماه دی صورت گرفته است. پارامتر NO_3 طبق نمودار تغییرات پیش‌بینی‌شده توسط مدل در طی مسیر ۹۰ کیلومتری خود در رودخانه قره‌سو از ایستگاه آلادیزگه تا ارباب‌کندی در هر دو ماه دی و تیر افزایش‌یافته و رودخانه قادر به خود پالایی این پارامتر در هر دو ماه نبوده است. شبیه‌سازی پارامتر نیترات توسط مدل با توجه به R و متوسط خطای مطلق در دی‌ماه بهتر از ماه تیر بوده است. نمودار تغییرات pH در طول مسیر رودخانه، نشان داد که میزان pH در طول رودخانه افزایش‌یافته است و رودخانه قادر به خود پالایی نبوده است. همچنین با توجه به ضریب همبستگی و متوسط خطای مطلق درمجموع نتایج شبیه‌سازی‌شده در ماه تیر شبیه‌سازی، نسبت به ماه دی بهتر بوده است. نمودار تغییرات دما نیز حاکی از افزایش دمای آب در هر دو ماه تیر و دی در طول رودخانه قره‌سو بوده و مقادیر R و MAE برای این پارامتر نشان داد که شبیه‌سازی در ماه تیر نسبت به ماه دی بهتر انجام‌شده است که با نتایج محمدی و همکاران (۱۳۹۵) مطابقت دارد. به‌طورکلی با توجه به ضریب همبستگی و متوسط خطای مطلق پارامترها، دقت شبیه‌سازی برای pH بیش‌ترین و سپس به ترتیب از DO, BOD, NO_3, Temperature کاهش داشته است و تمام نمودارها شبیه‌سازی‌شده در هر دو ماه تیر و دی افزایش پارامترهای موردبررسی را از سراب رودخانه قره‌سو به پایاب آن نشان داد، در تحقیق Barmaki و Ahmadi Nadoushan (۲۰۱۸) کمترین دقت برآورد پارامترهای کیفی رودخانه مربوط به برآورد نیترات می‌باشد و دلیل آن را زه‌کشی نیترات حاصل از کشاورزی به منابع رودخانه‌ای می‌داند لیکن در این تحقیق برآورد نیترات با دقت بیشتری نسبت به پارامترBOD و DO برآورد گردید.

با توجه به ضریب همبستگی R و متوسط خطای مطلق MAE، بهترین شبیه‌سازی برای پارامتر pH و سپس به ترتیب برای دما، DO، BOD و NO_3 انجام‌شده است و به‌استثنای نیترات، برای دیگر پارامترها شبیه‌سازی در تیرماه بهتر از دی‌ماه انجام‌شده است. که این می‌تواند به دلیل جریان‌های سطحی ناشی از بارندگی در فصول بارش باشد همچنین افزایش نسبی مقادیر کدورت در اردیبهشت‌ماه نسبت به دی‌ماه در

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-25]

ایستگاه‌های منتخب، می‌تواند به دلیل افزایش میزان نزولات جوی و افزایش رسوبات باشد که سبب کدورت بیش‌تر آب گردیده است، این موضوع با تحقیق Costafilho و همکاران (۲۰۱۸) مطابقت دارد که افزایش کدورت را در ماه‌های پربارش به دلیل افزایش مواد معلق و رسوبات رودخانه‌ای می‌دانند.

بررسی کیفیت آب قره‌سو نیز نشان داد، آب رودخانه در دی‌ماه ۱۳۹۴ در طبقه کیفی متوسط و در اردیبهشت‌ماه، در طبقه کیفی خوب قرار دارد. پایین‌ترین کیفیت مربوط به ایستگاه کنگرلو در دی‌ماه با شاخص کیفی ۵۶ بوده است که طبق طبقه‌بندی سازمان جهانی در طبقه متوسط قرار می‌گیرند؛ بدین ترتیب آب آن می‌تواند فقط تأمین‌کننده نیازهای بیرونی مانند، حمام، شنا و ورزش‌های مرتبط با آب باشد. کیفیت آب دیگر ایستگاه‌های رودخانه قره‌سو در هر دو ماه در طبقه خوب تا عالی بوده است که می‌تواند تأمین‌کننده منبع آب آشامیدنی بدون تصفیه سنتی ولی پس از گندزدایی باشد. همچنان که محمدی و همکاران(۱۳۹۴) در تحقیق خود در مورد این رودخانه اشاره‌کرده است؛ مهم‌ترین عوامل آلوده‌کننده رودخانه قره‌سو مواد محلول در آب مثل سموم شیمیایی و همچنین ورود کودهای تغذیه‌کننده خاک به آب این رودخانه می‌باشد به‌بیان‌دیگر اثر منابع غیر نقطه‌ای ورودی شامل زهکش‌های کشاورزی فراوان، رواناب‌های حاصل از شستشوی زمین‌های کشاورزی و بارندگی‌ها در اطراف رودخانه قره‌سو بیشتر از اثر منابع نقطه‌ای مانند پساب صنایع و فاضلاب‌های روستایی است و رودخانه قره‌سو توان خود پالایی کمی برای تجزیه مواد آلاینده حاصل از آن دارد. شبیه‌سازی نمودار تغییرات پارامترهای BOD_f، DO، NO_3، pH و دما رودخانه قره‌سو در استان اردبیل نشان داد: اگرچه مقادیر پارامترها از سراب رودخانه به پایاب در حد نرمال است اما برای هر دو ماه در تمام نمودارهای شبیه‌سازی‌شده، روند افزایش مقادیر پارامترها را در طول مسیر رودخانه شاهد هستیم. به‌عبارت‌دیگر رودخانه قره‌سو از توان خود پالایی اندکی جهت تجزیه مواد آلاینده ورودی در طول مسیر خود برخوردار است. که با نتایج Cahyadi (۲۰۱۹) مطابقت دارد ایشان بیان کردند درصورتی‌که نواحی رودخانه‌ها توسط انسان‌ها برای فعالیت‌های کشاورزی و غیره مورداستفاده قرار گیرد واکنش‌های شیمیایی و خود پالایی رودخانه به‌شدت تحت تأثیر قرار خواهد گرفت. این نتایج با تحقیق محمدی و همکاران (۱۳۹۴) در رودخانه قره‌سو مطابقت دارد، ایشان نیز اشاره نموده‌اند که اگرچه میزان پارامتر BOD در محدوده نرمال قرار دارد اما مقدار آن در ایستگاه‌های موردمطالعه نسبتاً بالا است و این نشان‌دهنده توان خود پالایی پایین این رودخانه می‌باشد. Bianchi و همکاران (۲۰۱۹) بیان کردند که مقادیر BOD در مطالعات کیفیت آب بین ۷-۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر متغیر می‌باشد که با نتایج این تحقیق مغایرت دارد، در این تحقیق برای دی‌ماه مقادیر اندازه‌گیری شده BOD تا ۳۳ میلی‌گرم بر لیتر نیز افزایش داشته است. مشابه نتایج تحقیق Mehrdadi و همکاران (۲۰۰۶) در ارزیابی پتانسیل خود پالایی رودخانه تجن با استفاده از مدل Qual2e، مقادیر پارامتر BOD رودخانه قره‌سو در دی‌ماه بیشتر از مقادیر آن در تیرماه بوده است، ایشان بیان داشته‌اند میزان BOD و اکسیژن خواهی شیمیایی (COD) در نیمه دوم هرسال بیش‌تر از نیمه اول آن است.

در رودخانه قره‌سو به‌مانند نتایج تحقیق میرزایی و همکاران (۱۳۹۱) در رودخانه بابل رود، میزان DO در ماه تیر نزدیک به خط اشباع بوده است که نشان از تبادل خوب اکسیژن با آب رودخانه دارد. در ماه تیر مقدار نیترات در پایین‌دست رودخانه بیشتر از بالادست رودخانه بود، این وضعیت با نتایج حاصل از تحقیق Selong و Helfrich (۲۰۰۲) بر رودخانه ویرجینیا مشابهت دارد. افزایش پارامتر نیترات رودخانه قره‌سو در دی‌ماه به‌واسطه منابع غیر نقطه‌ای در بررسی خود پالایی پارامتر نیترات در رودخانه سفیدرود توسط عظیمی و همکاران (۱۳۸۹) با اجرای مدل $Qual2k_w$ نیز دیده‌شده است. کاربرد مدل $Qual2k_w$ در رودخانه قره‌سو بدون در نظر گرفتن منابع غیر نقطه‌ای مناسب نیست؛ به‌عبارت‌دیگر تأثیر منابع غیر نقطه‌ای ورودی شامل زه‌کش‌های کشاورزی فراوان، رواناب‌های حاصل از شستشوی زمین‌های کشاورزی در اطراف رودخانه قره‌سو بیشتر از اثر منابع نقطه‌ای مانند پساب صنایع و فاضلاب‌های روستایی در این رودخانه است. این نتیجه متفاوت از بررسی شکری و همکاران (۱۳۹۴) در شبیه‌سازی آمونیوم و نیترات رودخانه گرگر به‌دست‌آمده آمد که اهم منابع و مراکز آلوده‌کننده این رودخانه را فاضلاب‌های روستاهای مسیر، پساب‌ها و فاضلاب‌های ماهی‌سراها و حوضچه‌های پرورش ماهی و زه‌کش‌های کشاورزی ذکر کرده‌اند. به‌طورکلی نتایج بیان‌گر این مطلب بود که با شبیه‌سازی نمودارهای تغییرات پارامترهای کیفی رودخانه قره‌سو در استان اردبیل در ماه‌های اردیبهشت و دی در سال۱۳۹۴ توسط مدل

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-25]

$Qual2k_w$ مشخص شد؛ اگرچه مقادیر پارامترها از سراب رودخانه به پایاب در حد نرمال می‌باشد ولی در هر دو ماه در تمام نمودارهای شبیه‌سازی‌شده افزایش مقادیر پارامترها را شاهد هستیم و رودخانه قره‌سو توان خود پالایی کمی برای تجزیه مواد آلاینده ورودی در طول مسیر خود را دارد. نتایج نشان داد کاربرد مدل $Qual2k_w$ در رودخانه قره‌سو بدون در نظر گرفتن منابع غیر نقطه‌ای مناسب نمی‌باشد. درواقع این تحقیق نشان‌داد تأثیر منابع غیر نقطه‌ای ورودی شامل زه‌کش‌های کشاورزی فراوان، رواناب‌های حاصل از شستشوی زمین‌های کشاورزی در اطراف رودخانه قره‌سو بیش‌تر از اثر منابع نقطه‌ای مانند پساب صنایع و فاضلاب‌های روستایی در این رودخانه است.

منابع

باباخانی، ز.، سرائی تبریزی م. و بابازاده، ح. ۱۳۹۸. تعیین ظرفیت خودپالایی رودخانهٔ دیواندره با استفاده از مدل QUAL2Kw اکوهیدرولوژی، (۳)۶: صفحات ۶۸۴-۶۷۳.

حسینی، ی.، حسینی، ع، ر.، معاضد، ه. و میر بهرسی، ح، ر.، ۱۳۸٦. محاسبه توان خود پالایی قسمتی از رودخانه کرخه جهت ورود فاضلاب شهری و مقایسه آن با وضعیت کنونی رودخانه. اولین کنفرانس مهندسی بهداشت محیط. تهران.

حسینی، پ.، ۱۳۹۱. ارزیابی خود پالایی رودخانه کارون در محدوده شهر اهواز. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه ملایر، دانشکده منابع طبیعی و محیطزیست.

حیدری نیا، م.، معاضد، ه. و حسینی زارعی، ن.، ۱۳۸۸. طبقه‌بندی کیفیت رودخانه کارون در بازه ملاثانی تا کوت امیر با استفاده از شاخصNSFWQI، هشتمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه، اهواز، ایران.

رزاقیان, ف.، سبزی پور ب. و سارنگ، ا.، ۱۳۹٤، مدل‌سازی کیفی رودخانه قره‌سو محدوده شهرستان کرمانشاه با مدل QUAL2KW، دهمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران، تبریز، دانشگاه تبریز دانشکده مهندسی عمران.

شکری، س.، هوشمند، ع. و معاضد، ه.، ۱۳۹٤. شبیه‌سازی کیفی آمونیوم و نیترات در طول رودخانه گرگر با استفاده از مدل $Qual2k_w$. فصلنامه اکوبیولوژی تالاب، سال ششم، شماره۲۳: صفحات ۶۸-۵۷.

عرفان منش، م. و افیونی، م.، ۱۳۸۵. آلودگی محیطزیست آب، خاک و هوا، انتشارات اردکان، چاپ چهارم، صفحه ۶۷.

عاشق معلا، م.، محمدی فاضل، آ. و حمامی، م.، ۱۳۹۳. نقش توان خود پالایی رودخانه‌ها در تعیین حدود مجاز پارامترهای کیفی پساب‌ها. علوم و مهندسی محیطزیست، شماره ۴: صفحات ۳۷-۴۹.

عظیمی، م. م.، غواصیه، آ. ر.، هاشمی، ح.، برکتین، س. و جعفری گل، ف.، ۱۳۸۹. ارزیابی قدرت خود پالایی رودخانه به کمک نتایج حاصل از شبیه‌سازی کیفی مطالعه موردی: رودخانه سفیدرود. همایش ملی آب با رویکرد آب پاک، دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور).

محمدی، ب.، زین‌العابدینی، ن.، فتایی، آ. و نادری و.، ۱۳۹٤. ارزیابی کیفیت آب رودخانه قره‌سو از دیدگاه توان خود پالایی رودخانه، اولین کنفرانس ملی علوم و مدیریت محیطزیست ایران، اردبیل.

محمدی, م.، قادری،ک. و احمدی، م. م.، ۱۳۹۵، ارزیابی کیفیت آب رودخانه با استفاده از مدلQUAL2Kw ، سومین کنفرانس بین‌المللی محیطزیست و منابع طبیعی، شیراز، موسسه عالی علوم و فناوری خوارزمی.

میرزایی، م.، امینی راد، ح.، گلبابایی کوتنایی، ف. و یوسفی کبریا، د.، ۱۳۹۱. بررسی کیفیت آب در حوضه رودخانه بابل رود توسط نرم‌افزار Qual2k. ششمین همایش ملی و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیطزیست، تهران.

میر محمد حسینی، ف.، ۱۳۹۰. تدوین شاخص کیفیت آب برای رودخانه گرگان رود. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، تهران.

نوشادی، م. و حاتمی‌زاده، م.، ۱۳۸۹. اندازه‌گیری و شبیه‌سازی کیفی رودخانه کر با استفاده از مدل QUAL2K. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، شماره ۳(۴): صفحات ۲۳۸-۲۴۹.

نجفی, ح. و محمودپور، ط.، ۱۳۹۱. مدل‌سازی کیفی رودخانه قره‌سو با استفاده از مدلQUAL2K. اولین همایش ملی جریان و آلودگی آب، تهران، دانشگاه تهران، موسسه آب.

ونائی, ع.، معروفی, ص. و آذری, آ.، ۱۳۹٦. بررسی خود پالایی بازه کوهستانی رودخانه عباس‌آباد همدان. محیط‌شناسی، ۴۳(۴): صفحات ۷۴۲-۷۲۷.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-25]

Arruda Camargo, R., Calijuri, M. L. and Fonseca Santiago, A., 2010. Water quality prediction using the QUAL2Kw model in a small karstic watershed in Brazil. Acta Limnologica Brasiliensia, Vol. 22(4): 486-*498.

Barmaki, F. and Ahmadi Nadoushan, M., 2018. Simulation of Water Pollution Load Reduction in the Zayandehrood River, Isfahan, IranUsing Qual2kw Model, Journal of Materials and Environmental Sciences, 9(8): 2280-2287.

Bianchi, E., Dalzochio, T., Simões L. A. R., Rodrigues, G. Z. P., da Silva, C. E. M., Gehlen, G., do Nascimento, C. A., Spilki, F. R., Ziulkoski, A. L. and da Silva, L. B., 2019. Water quality monitoring of the Sinos River Basin, Southern Brazil, using physicochemical and microbiological analysis and biomarkers in laboratory-exposed fish. Ecohydrology and Hydrobiology, 19: 328–338.

Cahyadi, A., 2019. Analisis kerentanan airtanah terhadap pencemaran di pulau koral sangat kecil dengan menggunakan metode GOD [Groundwater vulnerability analysis in very small coral island using GOD method]. JurnalGeografi, 16: 48–53.

Chapra, S. C., 1997. Surface water Quality modeling. McGraw-Hill, New York.

Cristea, N. C. and Burges, S. J., 2010. An assessment of the current and future thermal regimes of three streams located in the Wenatchee River basin Washington State: some implications for regional river basin systems. Climatic Change, 102: 493 – 520.

Costafilho, E., Cruz, K. K. T. and Gomes, M. M. A., 2017. Estudo sobre a influência do escoamento superficial no parâmetro de turbidez na bacia hidrográfica do rio Pirapama, Pernambuco, Brasil. In: Encontro Internacional Das Águas, 9., Recife, Trabalhos...Recife: Unicap.

Kannel, P. R., kannel, S. R., Lee, S., Lee, y. s. and Thian, Y. G., 2011. A Review of Public Domain Water Quality Models for Simulating Dissolved Oxygen in Rivers and Streams. Environmental Modeling and Assessment. 16: 183-204.

Mehrdadi, N., Ghobadi, M. and Nasrabadi, T., 2006. Evaluation of the quality and self-purification potential of Tajan river using qual2e model. Environmental Health Science and Engineering, 3: 199-20.

Moghimi Nezad, S., Ebrahimi, k. and Kerachian, R., 2018. Investigation of Seasonal Self-purification Variations of Karun River, Iran. Amirkabir Journal of Civil Engineering, 49: 193-196.

Oram, P. G. B., 2012. The Water Quality, monitoring the Quality of surface waters, 2012. http:// www.water-research. net.

Oliveir, B., Bola, J., Nadais, H. and Arroja, L., 2011. Application of Qual2Kw model as a tool for water quality management, Certima River as a case study. Environmental Monitoring and Assessment, 184: 197-210.

Pellerire, G. J. and Chapra, S. C., 2008. Qual2kw-Theory and documentation (Version 5.1) A modeling framework for simulating river and stream quality. Wshington Department of Ecology-Washington State.

Selong, J. H. and Helfrich, L. A., 2002. Impact of trout culture effluent on water quality and biotic communitiesin Virginia Headwater Streams. The progressive fish culturist, 76: 247-262.

Sharma, D., Kansal, A. and Pelletier, G., 2017. Water quality modeling for urban reach of Yamuna river, India (1999–2009), using QUAL2Kw. Applied Water Science, 7: 1535–1559.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-25]

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-25]