# شبیه‌سازی کیفیت آب رودخانه سالند با استفاده مدل QUAL2K

محمد فلاح[۱]، مریم زلقی[۲*]، علی افروس[۳] و غلامرضا میرزاوند[۴]

۱) دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی عمران سازه، سازمان آب و فاضلاب خوزستان

۲) باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، ایران.

۳) گروه مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاداسلامی، اهواز، ایران.

۴) گروه مهندسی عمران، واحد دزفول، دانشگاه آزاداسلامی، دزفول، ایران.

* نویسنده مسئول: **m97.zallaghi@gmail.com**

**تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۳۰** **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۲۵**

## چکیده

**استفاده از خودپالایی رودخانه‌ها برای بهبود کیفیت آب اقتصادی‌ترین و پایدارترین راه برای آب پاک است. در مطالعه حاضر، مدل QUAL2Kw برای بررسی کیفیت آب و ظرفیت خودپالایی در رودخانه کوهستانی سالند استفاده شده است. هدف این مطالعه بررسی کیفیت آب رودخانه‌ی سالند در رابطه با مصارف آشامیدنی و کشاورزی است. پارامترهای کیفی BOD5، کلیفرم کل و فسفات در دو ماه دی ۱۳۹۸ و مرداد ۱۳۹۹ شبیه‌سازی و با داده‌های میدانی مقایسه شدند. نتایج حاصل از مدل تا حدود زیادی گویای شرایط واقعی رودخانه می‌باشد که این امر نشان دهنده توانا بودن مدل QUAL2Kw در شبیه‌سازی پارامترهای کیفی است. با توجه به نتایج مشاهداتی، پارامترهای فسفات و کلیفرم کل از لحاظ کاربری کشاورزی همچنین پارامترهای BOD5 در بازه مورد مطالعه عامل تهدید کننده‌ای برای حیات آبزیان محسوب نمی‌باشد. از لحاظ کاربری شرب بر اساس استاندارد اتحادیه اروپا، سازمان محیط‌زیست آمریکا وطبقه‌بندی آب‌های سطحی ملی پاکستان، پارامترهای BOD5 و کلیفرم کل طی دوره نمونه‌برداری، این استاندارد رعایت شده است. سرعت جریان رودخانه تأثیر بیشتری در خودپالایی آب رودخانه‌های کوهستانی دارد و محل آلودگی منبع نقطه‌ای تأثیر بسیار محدودی دارد. با توجه به نتایج دو پارامتر RMSE و CV مدل بهترین انطباق را به‌ترتیب برای پارامترهای BOD5، فسفات و کلیفرم کل داشته است.**

**واژه‌های کلیدی:** رودخانه سالند، کیفیت آب، QUAL2Kw، $BOD_5$

**مقدمه**

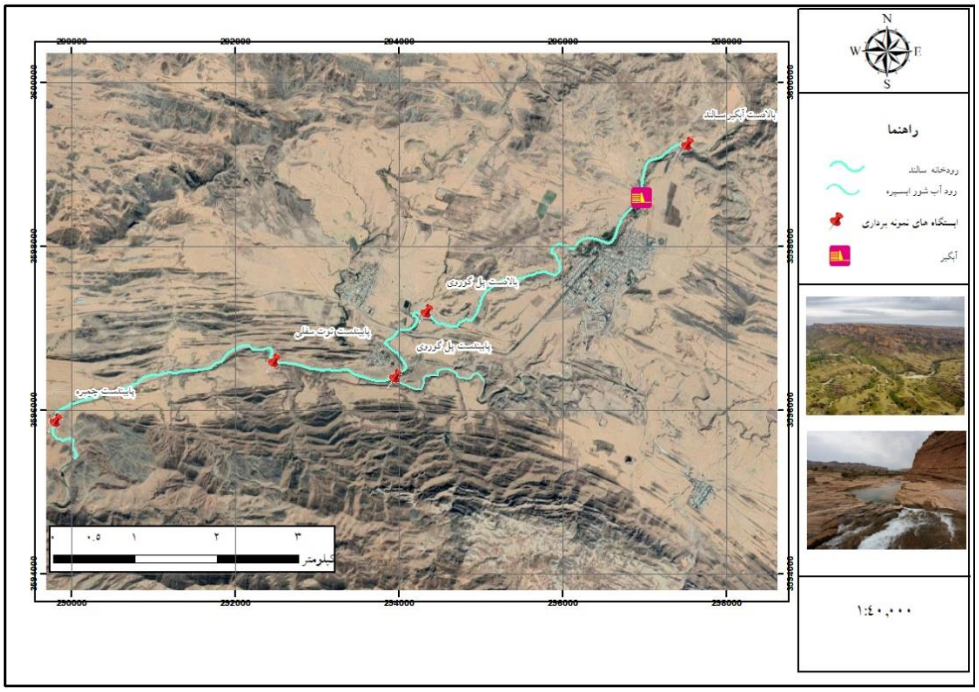
توسعه روز افزون فعالیت‌های کشاورزی، صنعتی و افزایش قابل توجه حجم فاضلاب‌های شهری موجب آلودگی منابع آب، به ویژه رودخانه‌ها شده است. شناخت رابطه علت - معلولی بین کیفیت آب رودخانه و بارگذاری آلاینده‌ها، از اولین اقدامات لازم برای تعیین ظرفیت خودپالایی یک رودخانه است. این رابطه تابع عوامل مختلف فیزیکی و ویژگی‌های شیمیایی – زیستی مانند اکسیژن‌خواهی بستر، فتوسنتز، تنفس جلبک‌ها و نیتریفیکاسیون است. با توسعه جامعه و اقتصاد ، مشکلات آلودگی آب به یکی از مهمترین عوامل محدود کننده برای توسعه پایدار جهان تبدیل می‌شود (Tang et al., 2018). حداکثر بار روزانه (TMDL) به حداکثر تعداد آلاینده‌های دفع شده در یک عنصر محیط آب تحت اهداف مشخص محیط اشاره می‌کند و بیانگر این است که تخلیه مجاز آلودگی‌ها نباید عملکردهای عنصر محیطی را خراب کند(Zhang, 1992 ؛ USEPA, 2008). در میان منابع آبی، رودخانه‌ها از مهمترین منابع تامین آب می‌باشند که جهت مصارف شرب، کشاورزی، آبیاری، صنعت و...مورد استفاده قرار می‌گیرند (Bordalo et al., 2001). آلودگی رودخانه‌ها یکی از مهمترین مشکلات دنیای امروز و به ویژه در کشورهای در حال توسعه می‌باشد که کشور ایران نیز با تمدن چهار هزار ساله‌اش با این مشکل رو به‌رو است (Zhang et al., 2012). رشد جمعیت و افزایش فعالیت‌های انسانی در حوضه آبریز رودخانه‌ها، تخلیه فاضلاب‌های خانگی و صنعتی، فعالیت‌های کشاورزی، رواناب و شیرابه محل‌های دفع زباله باعث کاهش کیفیت آب این منابع مهم شده است (wmng et al., 2016). در واقع فعالیت‌های انسانی هم‌پای فرآیندهای طبیعی اثرات نامطلوبی را بر پیکره آبی رودخانه‌ها وارد آورده و موجب افزایش غلظت آلاینده‌ها می‌شوند (Xiaoyun et al., 2012). فرآیند خودپالایی یک فرآیند مهم برای بهبود وضعیت رودخانه است. این فرآیند معمولاً به طور طبیعی انجام می‌شود. با این حال، برخی عوامل ممکن است فرآیند خودپالایی رودخانه را مختل کند (Yustiani et al., 2018). در صورتی که آلاینده‌های دیگری در مسیر پایین دست وارد نشود، آب خود را پالایش خواهد کرد. البته این فرایند مخصوص آلاینده‌های آلی غیرقابل تجزیه و فلزات نمی‌گردد. متاسفانه آلودگی روز افزون رودخانه‌ها به دلایل متعدد از حد خودپالایی گذشته و خسارات زیادی به محیط زیست آن وارد می‌کند (Vanaei et al., 2018). آگاهی از کیفیت منابع آب یکی از نیازمندی‌های مهم در برنامه‌ریزی و توسعه منابع آب و حفاظت و کنترل آن‌ها می‌باشد. Gupta و همکاران (۲۰۱۳) نیز نشان دادند که مدل Qual2kw بعد از کالیبراسیون و اعتبارسنجی برای شبیه‌سازی DO و BOD در رودخانه کشپیرا در هند خوب عمل کرده و به عنوان ابزار مدیریتی قابل اعتماد، مورد استفاده است. BagherianMarzouni و همکاران (۲۰۱۴) از مدل Qual2k برای شبیه‌سازی DO و BOD رودخانه کارون در ایران استفاده کردند. ابتدا این مدل با داده‌های برداشت شده از این رودخانه کالیبره و اعتبارسنجی شد، سپس از این مدل برای گرفتن تصمیم‌های مدیریتی با استفاده از سناریوهای مختلف استفاده شد. نتایج این مطالعه نشان داد که با تغییر مکان ورود آلاینده‌ها به رودخانه، می‌توان از اثرات مخرب زیست‌محیطی آنها کاست. Ain و همکاران (۲۰۱۹) در تحقیقی به بررسی

توان خودپالایی رودخانه سرینگین پرداخته اند. نتایج تحقیق نشان داد که تغییرات DO واقعی اندازه‌گیری شده تطابق خوبی با تئوری محاسبه شده با فرمول استریتر-فلپز داشته است. در این تحقیق ضرایب اکسیژن‌گیری و اکسیژن‌زدایی رودخانه به عنوان پارامترهای موثر در خودپالایی تخمین زده شد.

## مواد و روش‌ها

### انتخاب ایستگاه‌های نمونه‌برداری

در این تحقیق اثرات تغییرات پارامترهای فیزیکی و شیمیایی کیفی رودخانه سالند مورد ارزیابی قرار گرفت به این منظور در این تحقیق پارامترهای مختلف کیفی رودخانه سالند در حدفاصل بازه مکانی آبگیر شهر سالند تا پایین‌دست روستای چمبره به فاصله ۱۲ کیلومتر مورد ارزیابی قرار گرفت و پارامترهایی نظیر BOD5، فسفات و کلیفرم کل در فاصله زمانی دی ماه ۹۸ تا مرداد ماه ۹۹ اندازه‌گیری شد. نمونه‌برداری در جهت جریان رودخانه سالند از ایستگاه‌های بالادست آبگیر شهر سالند، بالادست پل گوروی، پایین‌دست پل گوروی، پایین‌دست روستای توت سفلی و پایین‌دست روستای چمبره صورت گرفت شکل (۱). مختصات جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا با استفاده از GPS و نرم‌افزار Google Earth برداشت شدند. سپس با استفاده از اختلاف ارتفاع بین نقاط در طول رودخانه شیب بازه به‌دست آمد و اطلاعات به‌دست آمده به مدل وارد شدند. از ۵ ایستگاه انتخاب شده به‌صورت ماهانه از اسفند ماه ۹۸ تا مرداد ماه ۹۹ به‌صورتی متوالی از محل جریان آب در طول رودخانه نمونه‌برداری صورت گرفت. حجم نمونه فاضلاب و پساب برداشت شده جهت آزمایشات فوق ۲ لیتر بود که از ظروف استریل استفاده شد و نمونه‌های برداشت شده جهت انجام آزمایشات به آزمایشگاه منتقل شدند. تمام آزمایشات آنالیز آب مطابق کتاب استاندارد متود برای آزمایشات آب و فاضلاب انجام شد. نمونه‌های برداشت شده جهت انجام اندازه‌گیری فسفات، کلیفرم‌کل و BOD5 به آزمایشگاه مهندسی آب دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول منتقل شدند. آزمایشات فسفات با استفاده از دستگاه رنگ‌سنج پرتابل مدل DR-900 کمپانی HACH، آزمایشات BOD5 به‌وسیله دستگاه اندازه‌گیری BOD5 مدل OXITOP IS 6 ساخت کمپانی WTW انجام گرفت شکل (۲)، سپس نتایج به‌دست آمده از اندازه‌گیری با استفاده از نرم‌افزار QUAL2Kw شبیه‌سازی شد.




**شکل ۱: موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری بر روی نقشه**

**شکل ۲: دستگاه DO سنج HQ30d و دستگاه BOD سنج**

### مدل QUAL2Kw

رودخانه را به بازه‌های مختلفی تقسیم‌بندی می‌کند که هر یک از این بازه‌ها دارای شرایط هیدرولیکی یکسانی می‌باشند (مانند شیب طولی، عرض کف، شیب دیواره‌ها و ...). بازه‌ها به‌صورت صعودی به ترتیب از بالادست جریان اصلی رودخانه به پایین‌دست شماره‌گذاری می‌شوند و منابع نقطه‌ای یا غیرنقطه‌ای می‌توانند در هر قسمت رودخانه وارد شده یا از آن خارج

گردند. همچنین مدل می‌تواند هر بازه‌ای را به تعداد دلخواهی عنصر با حجم کنترل (واحد محاسباتی بنیادی مدل) تقسیم-بندی کند، که عناصر مربوط به هر بازه دارای طول یکسانی هستند و طول عناصر از بازه‌ای به بازه دیگر می‌تواند متفاوت باشد. مدل QUAL2Kw برای هر یک از شاخه‌های فرعی همانند شاخه اصلی رودخانه شبیه‌سازی انجام داده و برای هر یک از آنها نمودارهای جداگانه‌ای ترسیم می‌کند.

### واسنجی و ارزیابی دقت مدل

هدف از کالیبراسیون حداقل کردن اختلاف بین خروجی پیش‌بینی شده و مشاهده شده است و این کار ممکن است به وسیله اندازه‌گیری دقیق پارامترها و یا به وسیله روش‌های بهینه‌سازی انجام شود. پس از وارد کردن تمامی اطلاعات جمع-آوری شده در مرحله واسنجی، مدل برای دی ماه ۱۳۹۸ اجرا شد. قبل از عمل کالیبراسیون ابتدا می‌بایستی دبی جریان واسنجی شود، که این کار از طریق ضریب مانینگ انجام می‌شود، پس از واسنجی مدل به روش خودکار بر روی داده‌های دی ماه ۱۳۹۸، با استفاده از داده‌های مرداد ۱۳۹۹ مدل مورد صحت‌سنجی قرار گرفت؛ بدین‌صورت که ضرایب بدست آمده در مرحله قبلی را ثابت در نظر گرفته و مدل را با داده‌های مشاهداتی جدید اجرا و میزان تطابق داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده بررسی می‌شود. برای ارزیابی خطا از شاخص مجذور میانگین مربع خطا (RMSE) و درصد ضریب تغییرات مجذور میانگین مربعات خطا (CV) استفاده شد رابطه‌های (۱) و (۲). در تحقیقات مشابه داخلی و خارجی نیز از جمله شاهی‌نژاد و همکاران (۱۴۰۰) از معیارهای خطای RMSE، NRMSE و MAE؛ باباخانی و همکاران (۱۳۹۸)، از معیارهای خطا MAPE، RMSE و MAE؛ آریایی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۸)، از دو معیار MAE و $R^2$، امامقلی و یاسی (۱۳۹۸) از معیارهای MAPE، RMSE و حسین و همکاران (۲۰۱۴) از معیار RMSE٪ استفاده شده است. معیار NRMSE بر حسب درصد و معیار RMSE بر حسب واحد پارامتر مورد بررسی بیان می‌شوند. مقدار NRMSE ۱۰ درصد، ۱۰ تا ۲۰ درصد و ۲۰ تا ۳۰ درصد به ترتیب نشانگر وضعیت عالی، مناسب و متوسط مدل در شبیه‌سازی است. زمانی که مقدار این ضریب بیش از ۳۰ درصد باشد نشان دهنده‌ی عدم اطمینان از مدل است. معیار RMSE متوسط پراکندگی اختلاف مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه-سازی شده را نشان می‌دهد. هر چه میزان معیارهای فوق به صفر نزدیک‌تر باشد، مدل از کارائی بهتری برخوردار است، به‌طوری که اگر تمامی مقادیر شبیه‌سازی و مشاهده‌ای با هم برابر شوند، مقدار عددی این شاخص‌ها برابر صفر خواهند بود.

رابطه ۱:
$$\mathbf{RMSE} = \frac{\sqrt{\sum\left((\mathbf{Oi}) - (\mathbf{Pi})\right)^2}}{\mathbf{N}}$$

رابطه ۲:
$$\mathrm{NRMSE(CV)} = \frac{\mathrm{RMSE}}{\sum\frac{(O_i)}{N}} \times 100$$

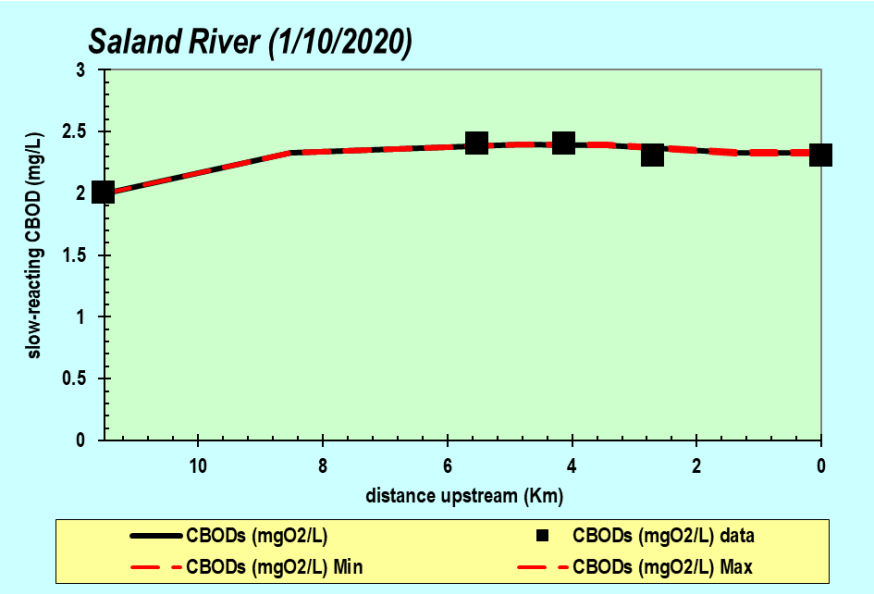
که در آن: RMSE، مجذور میانگین مربعات خطا و Oi، داده‌های مشاهداتی و Pi، داده‌های شبیه‌سازی شده توسط مدل، N تعداد مشاهدات (ایستگاه‌ها) و CV، ضریب تغییرات مجذور میانگین مربعات خطا می‌باشد.

## تحلیل نتایج

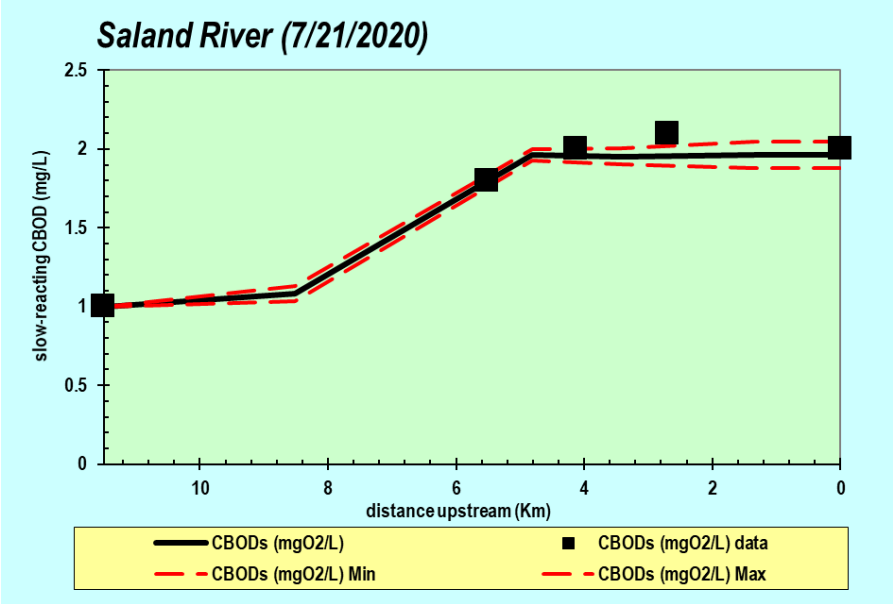
به‌منظور تحلیل اطلاعات و آمار آلاینده‌ها، میزان تغییرات پارامترهای مختلف کیفی نسبت به زمان ترسیم و تحلیل‌های لازم در رابطه با نحوه تغییرات زمانی و مکانی به‌عمل آمد. با استفاده از میزان تغییرات بار آلودگی‌ها، شاخص‌های مختلف کیفی رودخانه در ایستگاه‌های مختلف مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت.

### روند تغییرات نیاز اکسیژن خواهی بیوشیمیایی

BOD (تقاضای بیوشیمیایی اکسیژن) با DO رابطه قوی دارد زیرا این امر نشان دهنده نیاز به اکسیژن برای تجزیه مواد آلی موجود در آب‌ها است. بنابراین، BOD به یک عامل مهم برای ارزیابی میزان آلودگی مواد آلی در رودخانه تبدیل می‌شود (siwiec et al., 2011). نرخ اکسیژن‌زدایی فرآیند کاهش میزان اکسیژن است که به دلیل استفاده از اکسیژن توسط میکروارگانیسم‌ها برای تجزیه آلاینده‌ها در بدن آبزیان اتفاق می‌افتد (kumarasami, 2015). نمودار شکل‌های (۳) تغییرات اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی آهسته از نوع ($BOD_5$) شبیه‌سازی شده توسط مدل QUAL2Kw را به‌ترتیب در دی ماه سال ۱۳۹۸ و مرداد ماه ۱۳۹۹ بر روی رودخانه سالند نشان می‌دهد. که میزان $BOD_5$ در هر دو ماه مورد مطالعه به علت حجم پایین ورود فاضلاب‌های شهری و روستایی، رواناب‌های کشاورزی در بازه مورد بررسی نوسان‌های کمی دارد. با توجه به شکل (۳) از کیلومتر ۱۱/۵ تا کیلومتر ۸/۵۱ به‌صورت افزایشی ادامه داشته است و از کیلومتر ۸/۵۱ تا کیلومتر ۴/۸ با شیب نامحسوسی افزایش داشته است سپس از کیلومتر ۴/۸ تا کیلومتر ۳ روند کاهشی پیدا کرده و از حدود کیلومتر ۳ تا انتهای مسیر ثابت بوده است در تمام ایستگاه‌های نمونه‌برداری داده‌های خروجی مدل با ورودی مدل از انطباق خوبی برخوردار می‌باشد.




**شکل ۳: شبیه‌سازی BOD5 در دی ماه ۱۳۹۸**




**شکل ۴: شبیه‌سازی BOD5 در مرداد ماه ۱۳۹۹**

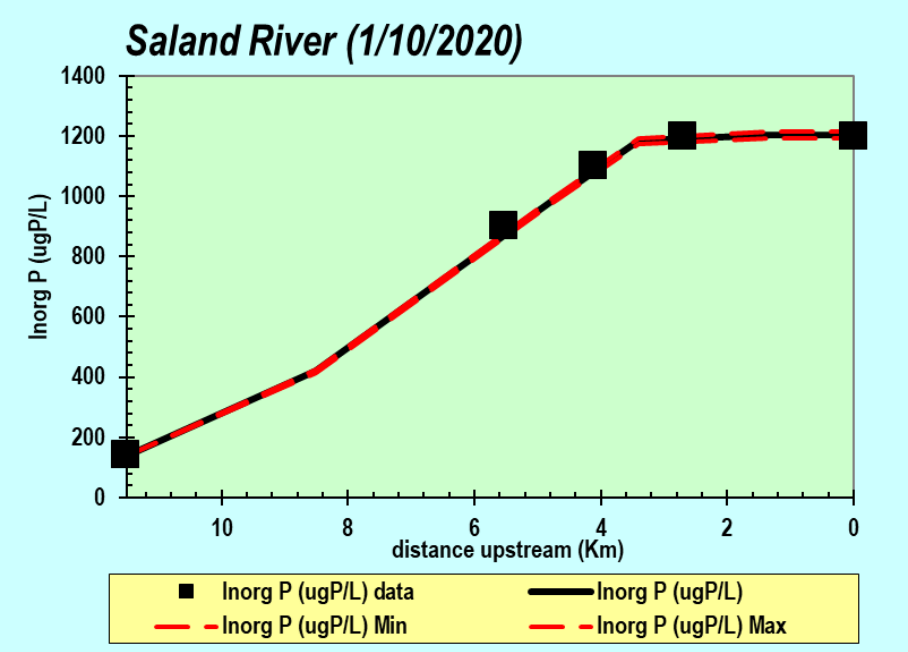
با توجه به شکل (۴) در مرداد ماه ۱۳۹۹ پارامتر $BOD_5$ شبیه‌سازی از ابتدای بازه، ایستگاه بالادست آبگیر سالند تا کیلومتر ۸/۴ با شیب کم روند افزایشی داشته سپس از این کیلومتر تغییر شیب داده و با شیب بالایی تا کیلومتر ۴/۵ پل گوروی روند افزایشی مشاهده شد. سپس از پایین‌دست پل گوروی تا انتهای مسیر به صورت ثابت ادامه داشت. با توجه به شکل (۴) در مرداد ماه ۱۳۹۹ در تمام ایستگاه‌های نمونه‌برداری به استثناء ایستگاه پایین‌دست توت سفلی خروجی مدل شبیه‌سازی با داده‌های اندازه‌گیری ورودی مدل از انطباق خوبی برخوردار بود. نتایج ارزیابی کیفی رودخانه‌های دز و زرینه رود با استفاده مدل Qual2kw حاکی از این بود که در طی فصول خشک، واکنش و فرآیند انتقال هر دو بر تغییرات غلظت

پارامترهای کیفیت اثرگذار هستند، در حالی که در فصل، تر فرآیند انتقال غالب و اثر گذار است. متعاقباً، تحلیل منابع آلاینده نشان می‌دهند منابع گسترده مانند زباله‌ها و فضولات انباشته شده در ساحل رودخانه بیشترین سهم را در آلودگی آب (مواد مغذی) دارند (بیگلری و همکاران، ۲۰۱۹؛ جمالیان‌زاده و همکاران، ۲۰۲۲). میانگین پارامترهای مجذور میانگین مربعات خطا و درصد ضریب تغییرات مجذور میانگین مربعات خطا برای این مؤلفه به‌ترتیب معادل ۰/۰۹ و ۰/۰۴ می‌باشد. با توجه به پارامتر RMSE و CV مدل بهترین شبیه‌سازی را به‌ترتیب برای دی و مرداد ماه داشته است.

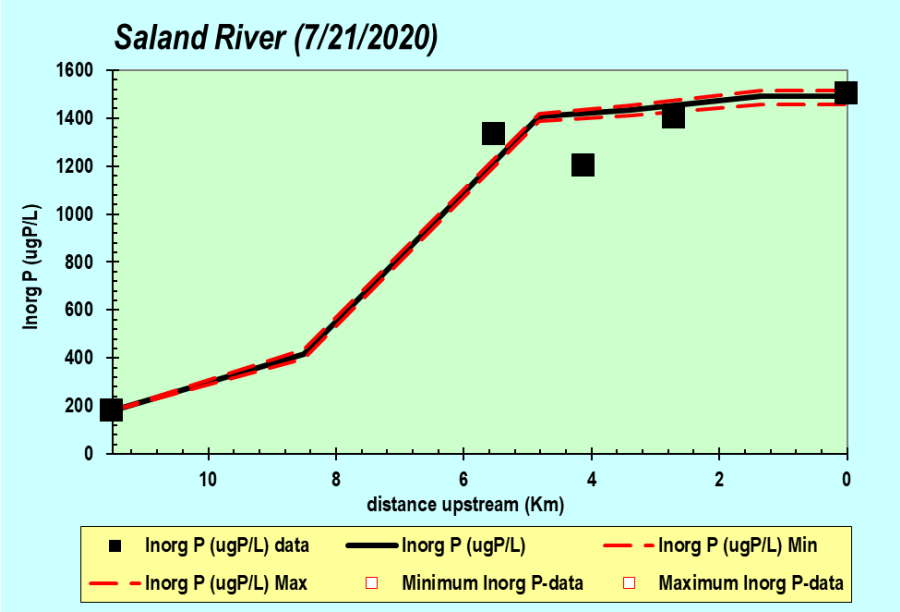
**فسفر فسفاته**

میزان فسفر غیر آلی در فرایندهای هیدرولیز فسفر آلی و تنفس فیتوپلانکتون‌ها افزایش و در اثر فتوسنتز گیاهان کاهش می‌یابد (میرباقری و همکاران، ۱۳۹۰). شکل (۵) روند تغییرات فسفات در ماه دی ۱۳۹۸ را نشان می‌دهد با توجه به شکل، کمترین و بیشترین میزان شبیه‌سازی شده فسفات در ایستگاه‌های ابتدایی و انتهای مسیر به‌ترتیب ۱۴۰ و ۱۲۰۵/۸۹ میکروگرم در لیتر فسفات بود؛ همچنین کمترین و بیشترین میزان اندازه‌گیری شده ۱۴۰ میکروگرم در لیتر فسفات در ایستگاه آبگیر سالند و ۱۲۰۰ میکروگرم در لیتر فسفات در ایستگاه‌های پایین‌دست توت سفلی و چمبره بود. به‌دلیل ورود فاضلاب‌های شهری و روستایی بالادست از ابتدای مسیر با شیب ثابتی تا کیلومتر ۸/۵۱ افزایش و از این کیلومتر شیب افزایش بیشتر شده تا کیومتر ۴/۸۲ و سپس تا انتهای مسیر با شیب کمی به‌صورت تقریبا خطی افزایش یافته است. شبیه‌سازی مدل در تمام ایستگاه‌ها از انطباق خوبی با داده‌های اندازه‌گیری شده برخوردار بود. این فصل کمترین میزان فسفات در رودخانه مشاهده شد، رودخانه در فصل سرما به‌دلیل بارندگی و افزایش دبی پایه از ظرفیت خودپالایی خوبی برخوردار بود. شکل (۶) روند تغییرات فسفات در ماه مرداد ۱۳۹۹ را نشان می‌دهد با توجه به شکل کمترین و بیشترین میزان شبیه‌سازی شده فسفات در ایستگاه‌های ابتدایی و انتهای مسیر به‌ترتیب ۱۸۰ و ۱۴۹۰/۷میکروگرم در لیتر فسفات بود و همچنین کمترین و بیشترین میزان اندازه‌گیری شده ۱۸۰ میکروگرم در لیتر فسفات در ایستگاه آبگیر سالند و ۱۵۰۰ میکروگرم در لیتر فسفات در ایستگاه‌های پایین‌دست چمبره بود. به‌دلیل ورود فاضلاب‌های شهری و روستایی بالادست از ابتدای مسیر با شیب ثابتی تا کیلومتر ۸/۵۱ افزایش و از این کیلومتر شیب افزایش بیشتر شده تا کیومتر ۴/۸۲ و سپس تا انتهای مسیر با شیب کمی همراه با نوسانات کمی افزایش یافته است. شبیه‌سازی مدل در ایستگاه‌های بالادست و پایین‌دست به استثنا ایستگاه‌های میانی از انطباق خوبی با داده‌های اندازه‌گیری شده برخوردار بوده است. ولی در ایستگاه‌های میانی داده‌های اندازه‌گیری و شبیه‌سازی انطباق ندارند. در مرداد گرم‌ترین ماه مورد مطالعه مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده بیشتر از سایر ماه‌ها بوده است ظرفیت خودپالایی رودخانه در این ماه ضعیف بوده است و به‌دلیل کاهش دبی پایه رودخانه و بارگذاری منابع آلاینده به صورت روزانه باعث افزایش غلظت این مؤلفه در رودخانه گردیده است. به علت تغذیه‌گرایی رودخانه اکسیژن‌محلول نیز در

این ماه کاهش چشم‌گیری داشته است. میانگین پارامترهای مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) و درصد ضریب تغییرات مجذور میانگین مربعات خطا (CV) برای این مؤلفه به‌ترتیب معادل ۱۶۵/۲ و ۰/۱۵ می‌باشد. با توجه به پارامتر RMSE و CV مدل بهترین شبیه‌سازی را به‌ترتیب برای ماه‌های دی و مرداد داشته است.



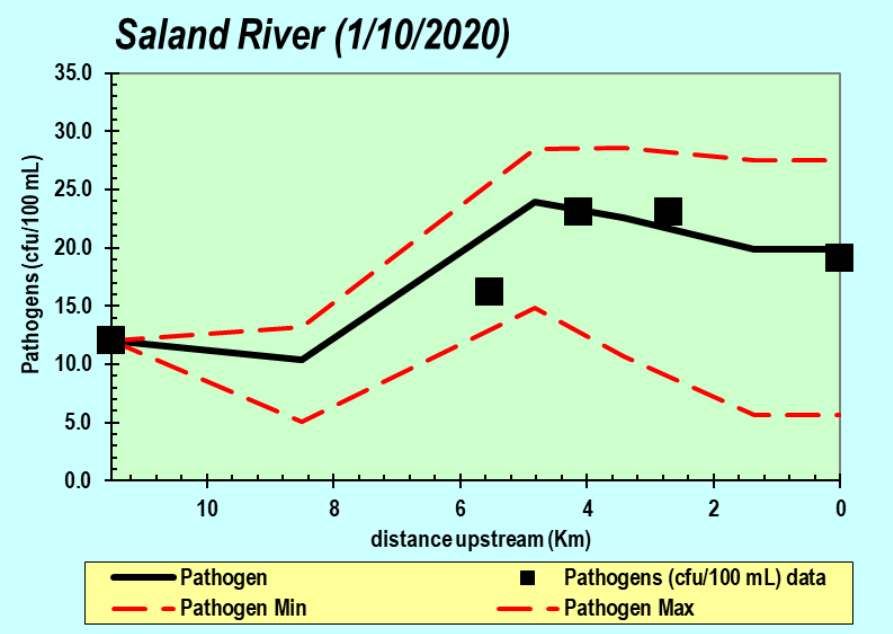

**شکل ۵: شبیه‌سازی فسفات دی ماه ۱۳۹۸**



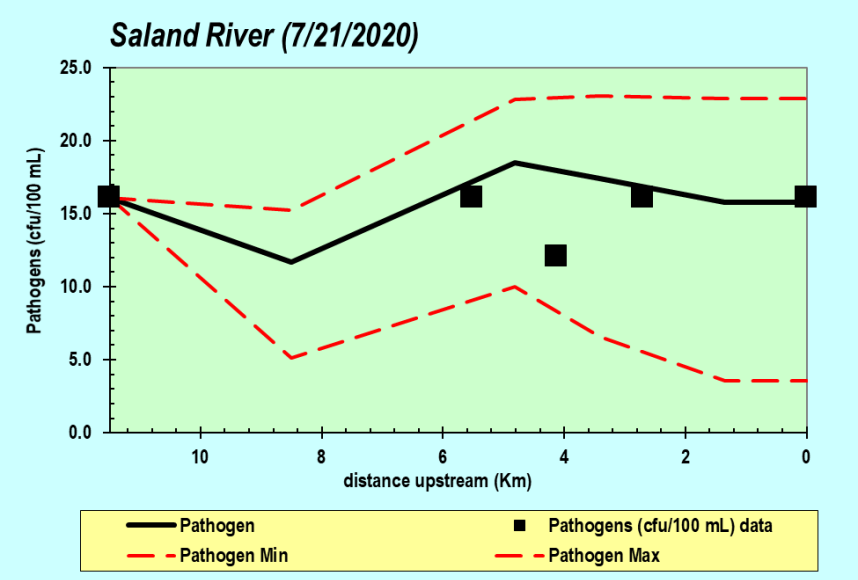

**شکل ۶: شبیه‌سازی فسفات در مرداد ماه ۱۳۹۹**

**شمارش تاییدی کلیفرم**

باکتری‌های کلیفرم گروه وسیعی از باکتری‌ها هستند که در سراسر محیط‌زیست یافت می‌شوند. آن‌ها معمولاً در خاک و آب سطحی هستند و حتی ممکن است روی پوست شما دیده شوند. کلی‌فرم‌ها به عنوان شاخص میکروبی مناسبی برای نشان دادن آلودگی مدفوعی در نمونه‌های آب مورد استفاده قرار می‌گیرند. موجودات آبزی بر کیفیت آب اثر قابل ملاحظه‌ای دارند و باعث بو و طعم آب شده و حتی باعث گرفتگی صافی‌های شنی و یا ایجاد توده‌های لزج روی دستگاه‌ها، تانک‌ها و دیواره مخازن می‌شوند. همین امر گاهی باعث بیماری می‌گردد. از گروهی از میکروب‌ها به نام گروه کلیفرم به عنوان نشانهٔ آلودگی بیولوژیکی استفاده می‌شود و چنانچه در آب وجود داشته باشد. نشانهٔ وجود میکروب‌های بیماری‌زا در آب می‌باشد (حلم‌سرشت و دل‌پیشه، ۱۳۷۶). نمودار شکل (۷ و ۸) تغییرات کلیفرم کل در ماه‌های دی و مرداد در بازه‌ی مورد مطالعه رودخانه سالند نشان می‌دهد با توجه به شکل (۷) دی ماه ۱۳۹۸ کلیفرم از بالادست به سمت پایین‌دست روند افزایشی داشته است. میزان کلیفرم‌کل از بالادست به سمت پایین‌دست نوسان داشته است. به‌طوری‌که در تمام ماه‌های مورد مطالعه میانگین شمارش کمترین مقدار کلیفرم‌کل در ایستگاه آبگیر سالند در بالادست معادل ۹/۱ در صد میلی‌گرم و بیشترین مقدار در برخی ایستگاه‌ها معادل ۲۳ در صد میلی‌گرم مشاهده شده است. با توجه به شکل (۸) روند شبیه‌سازی پارامتر کلیفرم در مرداد ماه ۱۳۹۹ دارای نوسانات افزایشی و کاهشی بوده است. در دو ایستگاه ابتدایی و انتهایی مسیر نمونه‌برداری مدل شبیه‌سازی و داده‌های اندازه‌گیری از انطباق خوبی برخوردار می‌باشند ولی ایستگاه‌های میانی داده‌های اندازه‌گیری نزدیک به شبیه‌سازی می‌باشند. داده‌های خروجی مدل‌سازی از داده‌های اندازه‌گیری بیشتر می‌باشند. با توجه به شکل (۸) نمودار حاصل از شبیه‌سازی از ابتدای بازه تا کیلومتر ۱۱/۵ با شیب ملایمی کاهش و از کیلومتر ۱۱/۵ تا حدود کیلومتر ۸/۵ با شیب تندی افزایش یافته است در این محدوده عمده فاضلاب‌های نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای ورودی به رودخانه از جمله فاضلاب خانگی محله‌های حاشیه رودخانه در مدل لحاظ شده‌اند و از کیلومتر ۸/۵ تا حدود کیلومتر ۱/۳۵ با شیب کمی کاهش یافته و سپس از کیلومتر ۱/۳۵ انتهای مسیر تقریبا با یک مقدار ثابتی ادامه یافته است. میانگین پارامترهای مجذور میانگین مربعات خطا RMSE و درصد ضریب تغییرات مجذور میانگین مربعات خطا CV برای این مؤلفه به‌ترتیب معادل ۱/۴ و ۰/۰۹۳ می‌باشد. با توجه به پارامتر RMSE و CV مدل بهترین شبیه‌سازی را به‌ترتیب برای ماه‌های دی و مرداد داشته است.




**شکل ۷: شبیه‌سازی کلیفرم کل در دی ماه ۱۳۹۸**




**شکل ۸: شبیه‌سازی کلیفرم کل در مرداد ماه ۱۳۹۹**

## نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج دو پارامتر RMSE و CV مدل بهترین انطباق را به‌ترتیب برای پارامترهای $BOD_5$، فسفات و کلیفرم کل داشته است. تجزیه و تحلیل حساسیت برای شناسایی پارامترهای تأثیرگذار در شبیه‌سازی کیفیت آب برای رودخانه‌های کوهستانی انجام می‌شود. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که پارامترهای نرخ اکسیداسیون، نرخ نیتریفیکاسیون و نرخ نیترات-

زدایی بیشترین تأثیر را بر شبیه‌سازی کیفیت آب برای رودخانه‌های کوهستانی با استفاده از QUAL2Kw دارند. بر اساس استاندارد اتحادیه اروپا میزان پارامتر $PO_4^{-3}$ بیشتر از حد استاندارد ۰/۵ میلی‌گرم در لیتر برای ماهیان گرمابی می‌باشد که عامل تهدید کننده‌ایی برای حیات آبزیان در رودخانه سالند محسوب می‌شود. میزان فسفات اندازه‌گیری شده از تمام منابع آلوده کننده بیش از حد مجاز تخلیه به آب‌های سطحی بوده است. که سبب نیزاری شدن ساحل رودخانه در حاشیه ورودی منابع آلاینده‌ها و همین‌طور رشد بی‌رویه جلبک‌ها در رودخانه گردیده است. میزان فسفات اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های پایین‌دست اختلاف قابل توجه‌ی با میزان فسفات در ایستگاه‌های بالادست دارد که از عوامل آن می‌توان به کاهش دبی رودخانه در پایین‌دست به علت برداشت آب جهت مصارف صنعتی و شهری، برداشت بالای آب از آبگیر جهت آب مورد نیاز شرب شهر سالند و روستاهای اطراف و متمرکز بودن منابع آلاینده در پایین‌دست اشاره کرد. سبب کم شدن سرعت جریان آب شده، طول تماس کمتر شده در نتیجه غلظت آلاینده‌ها افزایش یافته به‌طوریکی باعث رشد جلبک‌ها شده است. کاهش دبی پایه رودخانه و بارگذاری منابع آلاینده به صورت روزانه باعث افزایش غلظت این مؤلفه در رودخانه گردیده است. سرعت جریان رودخانه تأثیر بیشتری در توان خودپالایی رودخانه‌های کوهستانی دارد و محل آلودگی منبع نقطه‌ای تأثیر بسیار محدودی دارد. فاضلاب‌های شهری سالند و روستاهای مسیر رودخانه محتوی انواع میکروب‌ها و مواد پاک‌کننده می‌باشند مستقیماً و بدون هیچ‌گونه عمل تصفیه و پالایش وارد رودخانه می‌شوند از جمله منابع آلوده کننده برای رودخانه سالند به شمار می‌آید. ورود فاضلاب خانگی دارای نیترات و فسفات و پساب‌های کشاورزی که از بالادست وارد رودخانه می‌شود نیز از دلایل اصلی رشد گیاهان آبزی در رودخانه سالند است. از جمله راه‌کارهای زیست‌محیطی به منظور حفظ کیفیت آب رودخانه سالند در طول مسیر می‌توان به ساماندهی فاضلاب‌های خانگی شهر سالند و روستای بوالحسن در بالادست رودخانه، روستاهای توت سفلی، توت علیا و چمبره در پایین‌دست اشاره نمود. با توجه به مطالعات و بررسی‌های به‌عمل آمده، اهم منابع و مراکز آلوده کننده رودخانه سالند را می‌توان فاضلاب‌های روستاهای مسیر، پساب‌ها و فاضلاب‌های شهری و کشاورزی در بالادست دانست و این نتایج با نتایج مطالعات قاسمی‌دهنوی و همکاران (۱۳۹۵) بر روی رودخانه ازنا لرستان، سهامی و همکاران (۱۴۰۰) بر روی رودخانه آزاد رود کردستان، شکوهی و همکاران (۲۰۱۱) بر روی رودخانه آیدوغموش، هادی‌پور نیک‌تراش و همکاران (۲۰۱۹) روی رودخانه طالقان، نیک‌اختر (۲۰۲۰) بر روی رودخانه ارداک، بابامیری و همکاران (۲۰۲۱) بر روی رودخانه عباس‌آباد و جمالیان‌زاده و همکاران (۲۰۲۲) بر روی رودخانه دز مطابقت دارد.

**منابع**

**اترک، ک.، پورنصرت، م.، کابلی، ر. و زمانی، ع. (۱۳۹۱).** مقدار یون پتاسیم در آب‌های آشامیدنی استان زنجان آیا لازم هست تا استانداردی برای مقدار یون پتاسیم در آب داشته باشیم. ششمین همایش ملی و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست. دانشگاه تهران، ۲۷ آبان ۱۳۹۲، تهران، ایران.

**انصاری‌پور، ا. م.، ابراهیمی، ک. و امید، م. ح. (۱۳۹۲).** بررسی خودپالایی جریان‌های رودخانه‌ای با توسعه و کاربرد مدل‌های ریاضی مطالعه موردی: رودخانه پسیخان- گیلان. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، جلد ۱۴، ص ۴۲-۳۱.

**زلقی، م. و افروس، ع. (۱۳۹۸).** شبیه‌سازی کیفی نیترات و فسفات در طول رودخانه دز با استفاده از مدل QUAL2Kw. مجله تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۰، شماره ۹، ص ۲۱۱۱ – ۲۰۹۹.

**سازمان حفاظت محیط‌زیست. (۱۳۹۵).** استاندارد کیفیت آب‌های ایران، ۱۴ صفحه.

**سهامی، س.، شکوهی، ع.، ختار، ب. و چهرزاد، ف. (۱۴۰۰).** مدل‌سازی کیفی برای مدیریت بهره‌برداری از جریان آب در رودخانه‌ها. نشریه حفاظت منابع آب و خاک (علمی - پژوهشی)، دوره ۱۱، شماره ۳، ص ۴۶-۳۱.

**عبدالخانی، ع.، نیکبخت شهبازی، ع. ر. و ظهرابی، ن. (۱۳۹۴).** مدل‌سازی کیفی رودخانه کرخه در بالادست و پایین-دست شهرستان شوش با بکارگیری نرم‌افزار Qual2k. فصلنامه تخصصی علوم و مهندسی آب، دوره ۵، شماره ۱۲، ص ۶۷-۵۱.

**فریدگیگلو، ب.، نجفی‌نژاد، ع.، مغانی‌بیله سوار، و. و غیاثی، ا. (۱۳۹۲).** بررسی تغییرات کیفیت آب رودخانه زرین گل استان گلستان. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، دوره ۲۰، شماره ۱، ص ۹۵-۷۷.

**قاسمی دهنوی، آ.، ساریخانی، ر.، حسینی، ح.، احمدنژاد، ز. و ابراهیمی، ب. (۱۳۹۵).** ارزیابی کیفی و کمی آب‌های سطحی با استفاده از آنالیز آماری در رودخانه ازنا لرستان. مجله محیط زیست و مهندسی آب، دوره ۲، شماره ۴، ص ۳۲۱-۳۰۶.

**معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس‌جمهور. (۱۳۹۱).** راهنمای کاربرد مدل‌های ریاضی و فیزیکی در مطالعات مهندسی و ساماندهی رودخانه، وزارت نیرو. نشریه شماره ۵۸۴، ۱۵۳ صفحه.

**مقصودی، ر.، عابدی‌کوهپایی، ج. و میرعباسی نجف‌آبادی، ر. (۱۴۰۰).** بررسی اثرات برداشت آب رودخانه بهشت آباد بر کیفیت آب پایین دست با استفاده از مدل QUAL2Kw. مجله تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۲، شماره ۹، ص ۲۴۹۹-۲۴۸۵.

**موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران. (۱۳۸۹).** آب آشامیدنی- استاندارد ملی شماره ۱۰۵۳، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی. تجدید نظر پنجم.

**میرزایی، م.، ریاحی‌بختیاری، ع.، سلمان ماهینی، ع. ر. و غلامعلی‌فرد، م. (۱۳۹۲).** آنالیز کیفیت فیزیکی و شیمیایی آب رودخانه‌های استان مازندران با استفاده از روش‌های چند متغییره آماری. مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران، شماره ۱۰۸، ص ۴۱-۵۲.

**نادعلی، ا. و امامیان، م. (۱۳۹۴).** دستور کار آزمایشگاه شیمی و میکروبیولوژی آب و فاضلاب (بر اساس کتاب استاندارد متد). چاپ اول، انتشارات آوای قلم، تهران.

**هاشمی، س. ز.، غلامی‌سفیدکوهی، م. ع. و تباراحمدی، م. خ. ض. (۱۳۹۵).** بررسی روند تغییرات هدایت الکتریکی و اسیدیته در رودخانه تالار با استفاده از مدل Qual2kw. دومین گنگره سراسری در مسیر توسعه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، گرگان، دانشگاه فرهنگیان استان گلستان، ۲۲ اردیبهشت ۱۳۹۵، گرگان، ایران.

**Ain, C., Rudiyan, S.H. and Sari, H.P. (2019).** Purification Capacity and Oxygen Sag in Sringin River. Semarang, International Journal of Applied Environmental Sciences, 4 (1), pp: 1-16.

**BagherianMarzouni, M., Akhoundalib, A.M., Moazed, H., Jaafarzadeh, N., Ahadian, J. and Hasoonizadeh, H. (2014).** Evaluation of Karun river water quality scenarios using simulation model results. International journal of Advanced Biological and Biomedical Research, 2 (2), pp: 339-358.

**Bulsathaporn, A., Bhaktikul, K., Arunlertaree, C.h., Sueadee, W. and Suttigarn, A. (2013).** The Application of Mathematical Models for an Environmental Flow Assessment and Total Maximum Daily Load (TMDL) of Prachinburi-Bangpakong River. Thai National Committee on Irrigation Drainage, World Water, Mahidol University, Thailand.

**Curtis, J. and Morgenroth, E. (2013).** Estimating the effects of land-use and catchment characteristics on lake water quality: Irish lakes 2004-2009. Journal of the Statistical and Social Inquiry Society of Ireland, 42, pp: 64-80.

**Chaturvedi, A.D. and Tiwari, KL. (2013).** Surfactants (surface-active agent) are diverse and amphiphilic compounds which can reduce surface and interfacial tensions by accumulating at the interface of immiscible fluids and increase the solubility, mobility, bioavailability and subsequent biodegradation of hydrophobic or insoluble organic compounds. Recent Research in Science and Technology, 5 (5), pp: 12-16.

**EPA – Environmental Protection Agency. (2016).** Implementing CleanWater Act Section 303(d): Impaired Waters and Total Maximum Daily Loads (TMDLs). available at: https://www.epa.gov/tmdl, last access.

**Gupta, R.C., Gupta, A.K. and Shrivastava, R.K. (2013).** Water quality modeling of a stretch of river Kshipra (India). Nature Environment and Pollution Technology, 12 (3), pp: 511-516.

**Hadgu, L., Nyadawa, M., Mwangi, J., Kibetu, P. and Mehari, B. (2014).** Application of water quality model QUAL2K to model the dispersion of pollutants in river Ndarugu. Kenya, Computational water, energy, and environmental engineering, 3 (4), pp: 162-169.

**Haider, H., Ali, W. (2010).** Development of Dissolved Oxygen Model for Highly Variable Flow River: A Case Study of Ravi River in Pakistan. Environmental Model Assessment, 15, pp: 583-599.

**Huang, J., Huang, Y. and Zhang, Z. (2014).** Coupled effects of natural and anthropogenic controls on seasonal and spatial variations of river water quality during baseflow in a coastal watershed of Southeast China. PloS one, 9 (3), pp:1-19.

**Idris, S., Abdu, A.Y. and Saini, G. (2016).** Assessment of Surface Water Quality Using Qual2k Software: A Case Study of River Yamuna. India, European Journal of Advances in Engineering and Technology, 3 (7), pp: 16-23.

**Ismail, H. and Robescu, D. (2017).** Application of a one-dimensional steady state model for simulation the water quality in a large river: A case study of the danube river. UPB Scientific Bulletin, Series D: Mechanical Engineering, 79, pp: 183-192.

**Kim, S.J. (1985).** Effect of Heavy Metals on Natural Population of Bacteria from Surface Microlayers and Subsurface Water. Marine Ecology, 26, pp: 203-206.

**Kovalenkoa, V.F. and Goncharuka, V.V. (2019).** Ecological State of Aquatic Ecosystems of Ukraine Using the Dnipro River as an Example. Journal of Water Chemistry and Technology, 41 (3), pp: 151–157.

**Lee, A.H. and Nikraz, H. (2015).** BOD: COD ratio as an Indicator for River Pollution. International Proceeding of Chemical, Biological and Environmental Engineering, 88.

**Leta, M.K. and Dibaba, W.T. (2019).** Assessment of Physico-Chemical Parameters of Awetu River, Jimma, Oromia, Ethiopia. Journal of Water Sustainability, 9 (1), pp: 13-21.

**Safitri, R., Priadie, B., Miranti, M. and Astuti, A.W. (2015)**. Ability of Bacterial Consortium: Bacillus coagulans, Bacillus licheniformis, Bacillus pumilus, Bacillus subtilis, Nitromonas sp. And Pseudomonas putida In Bioremediation of Waste Water in Cisirung Waste Water Treatment Plan. AgroLife Scientific Journal, 4 (1), pp: 146-152.

**TANG, J., ZHAI, W.L. and CAO, H.Q. (2018)**. Calculation of Water Environmental Capacity in the Lower Reaches of the Lancang River Basin. 2nd International Workshop on Renewable Energy and Development, IOP Conf, Series: Earth and Environmental Science, 153, pp: 58-62.

**Vanaei, A., Marofi, S. and Azari, A. (2018).** Self-study of mountain range of Abbas Abad river in Hamadan. Journal of Ecology, 43 (4), pp: 742-727.

**Wetzel, R.G. (2001).** Limnology: Lake and River Ecosystems. Elsevier Academic Press, pp: 153.

**Wilk, P., Orlinska-Wozniak, P. and Gebala, J. (2018).** The river absorption capacity determination as a tool to evaluate state of surface water. Hydrol, Earth Syst, Sci, 22, pp: 1033–1050.

**Wmng, A., jcperea, B. and d tran, H. (2016).** Improvment of river water quality through a seasonal effluent dischargebprogram(sedp). Water, Air, and Soil Pollution, 176, pp: 113-37.

**Mehrasbi, M.R. and Farahmand Kia, Z. 2015.** Water quality modeling and evaluation of nutrient control strategies using qual2k in the small sivers. J Hum Environ, Health Promot, 1 (1), pp: 1-11.

**Yustiani, Y.M. (2016).** Determination of Deoxygenation Rate of Rivers Located in the Urban Areas to Characterized the Pollutants. Pollution Research, 35 (3), pp: 475-481.

**Yustiani, Y.M. and Komariah, I. (2017).** Investigation on the Biodegradation Capacity of Urban Rivers in Jakarta, Indonesia. International Journal of GEOMATE, 12 (34), pp: 45-50.

**Yustiani, Y.M., Nurkanti, M., Suliasih, N. and Novantri, A. (2018).** Influencing parameter of self purification process in The urban area of Cikapundung River, Indonesia. International Journal of GEOMATE, March, 14 (43), pp: 50-54.

**Zhang, Y., Yang, H. and Wang, Z. (2016).** Simulating Water Quality of Wei River with QUAL2K Model, a Case Study of Hai River Basin in China. MATEC Web of Conferences 6, pp: 5.

# Simulation of Saland river water quality using QUAL2Kw model

Mohammad Fallah[1], Maryam Zalqi[*2], Ali Afros[3] and Gholamreza Mirzavand[4]

1) Master's student in civil engineering, Khuzestan Water and Sewer Organization
2) Club of Young and Elite Researchers, Dezful Branch, Islamic Azad University, Iran.
3) Department of Water Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.
4) Department of Civil Engineering, Dezful Branch, Islamic Azad University, Dezful, Iran.

*** Responsible author:** m97.zallaghi@gmail.com

**Received Data: 2023. 07. 21** **Accepted Data: 2023. 09.16**

## Abstract

**Using self-purification of rivers to improve water quality is also the most economical and sustainable way for clean water. In the present study, the QUAL2Kw model is used to investigate water quality and self-purification capacity in Saland mountain river. The purpose of this study is to investigate the water quality of Saland River in relation to drinking and agricultural uses. The qualitative parameters of BOD5, total coliform and phosphate were simulated and compared with field data in January 2018 and August 2019. The results obtained from the model are to a large extent indicative of the real conditions of the river, which indicates the ability of the QUAL2Kw model to simulate qualitative parameters. According to the observational results, parameters of phosphate and total coliform in terms of agricultural use, as well as parameters of BOD5 in the studied period are not considered a threatening factor for aquatic life. In terms of potable use, according to the standard of the European Union, the American Environmental Organization and the national surface water classification of Pakistan, the parameters of BOD5 and total coliform have been observed during the sampling period of this standard. The speed of the river flow has a greater effect on the self-purification of mountain rivers, and the place of pollution of the point source has a very limited effect. According to the results of RMSE and CV parameters, the model has the best fit for BOD5, phosphate and total coliform parameters, respectively.**

**Keywords:** Saland River, water quality, QUAL2Kw, BOD5