تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۲، شماره ۹، آذر ۱۴۰۰ (ص ۲۵۱۴-۲۵۰۱)
(علمی - پژوهشی)
https://dx.doi.org/10.22059/ijswr.2021.327872.668971

Adaptive Survivability-based Approach to Assess the Health Condition of the Rivers Receiving Wastewaters, Using SOD Rate and Its Associated Parameters (Case study: Karkheh River, Target Zones beside the Pay-e-Pol Plains, SW-Iran)

AZIM ASHAYERI[1*], NASSER MEHRDADI[2], TAGHI EBADI [3]
1. Water and Wastewater Engineering Group, Department of Civil and Environmental Engineering, International Campus (AIC), University of Tehran, Tehran, Iran
2. College of Engineering, Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran.
3. Department of Water and Environmental Engineering, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Amirkabir University of Technology (Tehran Polytechnic), Tehran, Iran.
(Received: May. 17, 2021- Revised: Aug. 12, 2021- Accepted: Aug. 22, 2021)

ABSTRACT

As the veins of the Earth, Rivers have a determinative role in regulating the functional behaviors of their linked ecosystems and supporting human life. This research was conducted to address the major issue to assess the river's health and survival condition alongside its vulnerability potential, using a benthic-based sustainability index. For this purpose, river-bed sediment oxygen demand (SOD) rate and its associated factors, including Texture, fine-PSD, Nutrients (TOM), besides some basic field parameters of river-water were measured. All required samples were collected from 9 sampling points located on the target zones of Karkheh River in due course. SOD data with regard to related factors were calculated and analyzed. The rates of SOD ranged from 0.71 to 1.74 g O_2/m^2/day. Further, this index was classified in varied quality domains. Afterward, a predictive equation was determined among SOD rate and its associated parameters using MATLAB software. Finally, the results revealed that the river health suitability in the research area is in categories moderately clean and slightly degraded during the study period. Additionally, the increase in TOM concentrations, together with a decrease in sediment particle size, led to an increase in SOD-rate accordingly. The source pollution load reduction rate under the optimal suites of BMPs in the range of 15 to 66 percent was also one of the outputs of this research. In conclusion, the consequences of this study can be used as a rapid diagnostic tool to support regional water authorities and other stakeholders to promote the best practices for protecting the health condition of the riverine system, focusing on selecting the appropriate discharge points along the receiving watercourse and on effectively managing the drain-waters/effluents.

Keywords: SOD Rate, Benthic-Based Approach, River Health, Aquatic Ecosystem, Karkheh Sub-Basin.

* Corresponding Author's Email: ashayeri_a@ut.ac.ir

رویکرد زنده‌مانی سازگار-محور بر ارزیابی شرایط سلامت پیکره‌های آبی پذیرنده‌ی پساب‌ها و زهاب‌ها با بهره‌گیری از نرخ SOD بستر و پارامترهای وابسته
(مطالعه‌ی موردی: رودخانه‌ی کرخه، محدوده‌ی اثرِ دشت‌های پای‌پل، جنوب‌غربی ایران)

عظیم عشایری[1*]، ناصر مهردادی[2]، تقی عبادی[3]

۱. گروه مهندسی آب و فاضلاب، دپارتمان مهندسی عمران و محیط‌زیست، پردیس بین‌المللی دانشگاه تهران، تهران، ایران.
۲. گروه مهندسی، دانشکده تحصیلات تکمیلی محیط‌زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
۳. گروه آب و محیط‌زیست، دانشکده مهندسی عمران و محیط‌زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۲/۲۷- تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۵/۲۱- تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۵/۳۱)

چکیده

رودخانه‌ها به‌عنوان شریان‌های حیات‌بخش زمین، نقش تعیین‌کننده‌ای را در تنظیم رفتارهای عملکردی اکوسیستم‌های مرتبط و پشتیبانی از زندگی انسان‌ها بر عهده دارند.با توجه به اهمیت موضوع، در تحقیق حاضر با هدف بررسی شرایط سلامت و زنده‌مانی رودخانه‌ها و آگاهی از پتانسیل آسیب‌پذیری آنها،در چارچوب رویکرد مبتنی بر شاخص پایدار-مدار و بستر-محور، از نرخ اکسیژن‌خواهی رسوب (SOD) و فاکتورهای وابسته به آن شامل بافت، توزیع ذرات ریزدانه، مواد مغذی (کل مواد آلی) همراه با برخی پارامترهای پایه‌ی آب رودخانه استفاده بعمل آمده است. نمونه‌های موردنیاز از ۹ ایستگاه واقع بر رودخانه‌ی کرخه، در محدوده‌ی زون‌های هدف، برداشت گردید. سپس، آزمایش‌های لازم با استفاده از تجهیزات مدرن و روش‌های استاندارد انجام گرفت و داده‌های SOD با در نظر گرفتن روابط و پارامترهای دخیل، محاسبه و آنالیز شدند. نتایج نشان داد که دامنه‌ی تغییرات SOD بین ۰/۷۱ تا ۱/۷۴ $g\ O^2/m^2/day$ قرار دارد. همچنین، یک معادله‌ی تجربی برای استفاده در منطقه‌ی پروژه با بهره‌گیری از برنامه‌ی MATLAB پیش‌بینی و کلاس‌های کیفی مختلف تعریف گردید. خروجی مطالعات بیانگر آن شد که تناسب کیفی و شرایط سلامت رودخانه در کلاس‌های B و C واقع می‌باشد. علاوه بر آن، هرچه میزان غلظت مواد مغذی رسوبات زیادتر و دانه‌بندی ذرات آنها ریزتر می‌شود، به تبع آن، نرخ SOD نیز افزایش می‌یابد. نرخ کاهش بار آلودگی از منشا، تحت یک سری اقدامات موثر BMPs در دامنه‌ای از ۱۵ تا ۶۶ درصد نیز از خروجی‌های این تحقیق بوده است. در نهایت، یافته‌های حاصل از این مطالعه، به‌عنوان یک ابزار تشخیصی سریع، می‌تواند سیاستگزاران، متولیان و ذینفعان منابع آب منطقه را در جهت حفظ شرایط سلامت سامانه‌ی رودخانه‌ای، با تمرکز بر مدیریت موثر زهاب‌ها و پساب‌ها، و انتخاب مناسب مکان‌های تخلیه، یاری نماید.

واژه‌های کلیدی: نرخ SOD، رویکرد بستر-محور، سلامت رودخانه، اکوسیستم آبی، زیرحوضه کرخه.

مقدمه

آب‌های سطحی جاری (رودخانه‌ها) به‌عنوان شریان‌های حیات‌بخش زمین (Moghimi, 2009)، نقش تعیین‌کننده‌ای را در تنظیم رفتارهای عملکردی اکوسیستم‌های وابسته و نیز در پشتیبانی از زندگی انسان‌ها بر عهده دارند (Zhang *et al.*, 2018; Falkenmark, 2020). این پیکره‌های آبی، همچنین از ارزش بالایی از منظرتامین آب موردنیاز فعالیت‌های مختلف مانند کشاورزی، صنعت، شرب و زنده‌مانی اکوسیستم‌ها برخوردار هستند و بسیاری از برنامه‌ریزی‌های منابع آب درکشورها بر اساس پتانسیل بالقوه‌ی این منابع صورت می‌گیرد (Ashayeri *et al.*, 2014). با این وجود، تخلیه‌ی آلاینده‌های مختلف از منابع آلوده‌ساز نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای در رودخانه‌ها آثارمنفی زیادی بر محیط‌زیست آنها بر جای می‌گذارد ودر قبال آن، احیای محیط‌زیست تخریب‌شده نیازمند صرف وقت، هزینه وتلاش فراوانی خواهد بود (Bernhardt *et al.*, 2007). به‌طوری که ورودآلاینده‌های تجزیه‌پذیر زیستی به رودخانه‌ها و کاربرد بی‌رویه‌ی سموم و موادشیمیایی در کشاورزی باعث ایجاد اختلال درتوازن اکسیژن محلول شده و ورود مواد مغذی ازمنابع مختلف، خصوصا فاضلاب‌های بهداشتی و پساب‌های کشاورزی و صنعتی، موجب تغذیه‌گرایی رودخانه‌ها می‌شود (Berg *et al.*, 2017). بدین‌ترتیب، آگاهی از شرایط سلامت کیفی این پیکره‌های ارزشمند و فاکتورهای موثر بر آنها، یکی از نیازمندی‌های مهم

* نویسنده مسئول: ashayeri_a@ut.ac.ir

دربرنامه‌ریزی و توسعه‌ی منابع آب وحفاظت وکنترل آنها تلقی می‌شود و در این مسیر، بررسی شرایط کیفی رسوبات بستر پهنه‌های آبی از جمله عوامل و شاخص‌های تعیین‌کننده و ترسیم‌کننده‌ی شرایط سلامت این منابع محسوب می‌شود.

رسوبات بستر، مواد پویا(دینامیک)، پیچیده و مختلطی هستند که نقش مهمی را در اکوسیستم‌های آبی از دیدگاه فراهم ساختن زیستگاه برای جامعه‌ی بسیار متنوعی از موجودات زنده بر عهده دارند. در این راستا، اکسیژن‌خواهی این رسوبات و ارگانیزم‌ها، بخش بزرگی از میزان مصرف اکسیژن در آب‌های سطحی را در بر می‌گیرد (Cardoso *et al*., 2019). اکسیژن‌خواهی رسوبات بستر (SOD) در هر نقطه از سامانه‌ی پیکره‌های آبی، به‌طور عمده ناشی ازانتقال و ته‌نشینی مواد آلی می‌باشد و این مواد ممکن است از منبعی خارج از سیستم مانند خُرده‌برگ‌ها، پساب‌ها، زهاب‌ها، فاضلاب‌ها و یا از مواد محلی در درون سیستم تولید شده باشند (Li *et al*., 2015).همچنین، اندازه‌ی ذرات، ترکیب شیمیایی، فرم ژئومتریک و شکل این رسوبات می‌توانند متغیر باشند (Mudroch & Macknight, 1994; Ziadat, 2004). درضمن، علاوه بر اکسیژن‌خواهی منتج از تجزیه و تخریب مواد آلی، بی‌مهرگان ساکن و کف‌زی نیز می‌توانند اکسیژن‌خواهی بالایی ایجاد کنند (Mezgebu *et al*., 2019; Sasha-Musonge *et al*., 2020). بدین ترتیب، SOD شامل نرخ حاصل از فرایند بیولوژیکی (B-SOD) و نیز فرایند شیمیایی (C-SOD)می‌شود (Chau, 2002; Hu *et al*., 2001).

مصرف اکسیژن و میزان افت آن توسط رسوبات، مهم‌تر و متنوع‌تر از مصرف آن در ستون آب می‌باشد و به همین‌خاطر است که نرخ اکسیژن‌خواهی رسوب در اکثر برنامه‌های جامع پایش کیفی منابع آب، گنجانده شده است. در این راستا، ترکیب رسوب و قابلیت دست‌یابی زیستی (Bio-availability) مواد آلی و مغذی می‌توانند فاکتورهای کلیدی و تعیین‌کننده برای نرخ SOD باشند و عواملی همچون دما، عمق آب و رسوب، جمعیت بیولوژیکی، مواد قابل‌احیا، میزان غلظت اکسیژن، ویژگی‌های فیزیکی و آلی مواد ته‌نشین‌شده، سرعت جریان عبوری از روی مواد ترسیبی و شیمی آب درون‌شبکه‌ای را نیز می‌توان موثر در نظر گرفت (Utley *et al*., 2008). از دیدگاه مکانیک سیالات، اختلاف قابل‌توجه در داده‌های اندازه‌گیری، به دلیل تفاوت در طرح و ساخت محفظه‌ی سنجش SOD و ویژگی‌های ابعادی آنها و یا عدم تناسب وسیله‌ی مورد استفاده نیز گزارش شده است (Lee-Joseph *et al*., 2000).

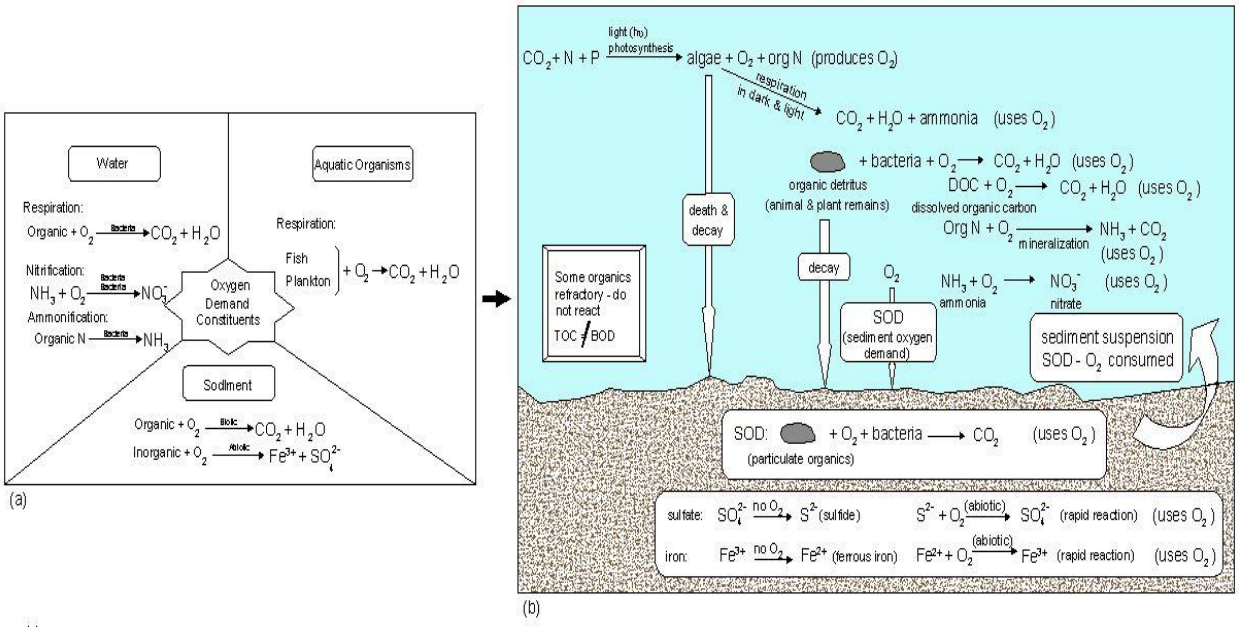
بنابر تعریف سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (US-EPA, 1985 & 1997)، شاخص SOD مجموع فرایندهای بیولوژیکی و شیمیایی در رسوباتی است که اکسیژن را مصرف می‌کنند و از نتایج حاصل از آن، می‌توان در مدل‌سازی‌های ریاضی جهت تعیین میزان تحمل و تخصیص بار آلودگی مواد زائد و فاضلاب‌های وارده بر منابع آب پذیرنده و برآورد حداکثر بار آلودگی روزانه (TMDL) و میزان مجاز تخلیه‌ی آلاینده‌های غیرنقطه‌ای استفاده کرد. به عبارت دیگر، نرخ SOD نقش مهمی را در تعیین میزان پاسخ پهنه‌های آبی به تخلیه‌ی زهاب‌ها، پساب‌ها و آلاینده‌ها و نیز مدیریت کیفی آنها بازی می‌کند(Medine *et al*. 1980, Jingshui Huang, *et al*., 2017; Akomeah, E. and Lindenschmidt K.E., 2017).

یک مطالعه‌ی تحقیقی در آرژانتین (Chalimond *et al*., 2019) در ارتباط با نیاز اکسیژن مواد بستر رودخانه Tercero نشان داده است که نرخ SOD در رسوبات معدنی با بافت ماسه‌ای و شنی در این پهنه‌ی آبی، دامنه‌ای بین ۰/۰۴۰ تا ۰/۴۸۴ گرم اکسیژن بر مترمربع در روز را شامل می‌شود. همچنین، فاکتورهایی مانند ویژگی‌های رسوب، سرعت و میزان جریان آب، دما و تخلیه‌ی فاضلاب‌ها و پساب‌ها از جمله عوامل موثر بر تغییرات نرخ اکسیژن‌خواهی رسوبات تشخیص داده شده است. در مطالعه‌ی دیگری در کره‌ی جنوبی (Yee *et al*., 2011) بر روی رودخانه‌ی Santubong، نرخ SOD بین ۴/۵ تا ۹/۸ گرم اکسیژن بر مترمربع در روز بدست آمده است که بیشترین مقدار آن در ایستگاه‌های مجاور استخرهای پرورش آبزیان مشاهده شده است. در ضمن، فسفر کل و کربن کل آلی مربوط به رسوبات، حدود ۹۶ درصد تغییرات همسوی نرخ SOD را باعث شده است.در یک تحقیق انجام شده در ایالات متحده‌ی آمریکا (Doyle & Rounds, 2003; Doyle & Lynch, 2005) دامنه‌ی تغییرات اکسیژن‌خواهی رسوب بین ۰/۳ تا ۲/۹ گرم اکسیژن بر مترمربع در روز تعیین شده و میانه‌ی معادل ۱/۸ گرم اکسیژن بر مترمربع در روز به عنوان نرخ معرف جهت استفاده در مدل‌های ارزیابی کیفیت آب رودخانه در کل محدوده‌ی مطالعه در نظر گرفته شده است. به‌علاوه، شکوفایی جلبک‌ها از جمله عوامل مهم و منبع عمده‌ی مواد آلی ناپایدار در رخداد پدیده‌ی کاهش اکسیژن تشخیص داده شده است. تحقیق دیگری در ایالات متحده‌ی آمریکا (Matlock *et al*., 2007) بر روی رودخانه‌ی Arroyo Colorado، متوسط نرخ SOD را در دامنه‌ی بین ۰/۱۳ تا ۱/۲ گرم اکسیژن بر مترمربع در روز معرفی کرده و همچنین نتیجه گرفته شده است که ایستگاه‌های دارای توان بارگذاری بیشتر رسوب، از نرخ اکسیژن‌خواهی بالاتری نسبت به سایر سایت‌ها برخوردار هستند.

بدین ترتیب، SOD به‌عنوان یک فاکتور مهم اثرگذار بر

غلظت اکسیژن محلول در اکوسیستم‌های آبی، شناسایی و تشخیص شده است. مطالعات بسیار محدودی در ارتباط با بررسی کیفیت سلامت رودخانه‌ها با بهره‌گیری از شاخص اندازه‌گیری شده‌ی SOD در سطوح بین‌المللی توسط محققین و سازمان‌های مختلف انجام گرفته است و در واقع می‌توان گفت که این تحقیق به عنوان یکی از مطالعات اولین در ایران و نادر در کشورهای منطقه تحت پوشش رویکرد SAM (دیدگاه پایدارنگرانه‌ی سازگار-محور)، جهت بررسی رفتار رسوبات بستر رودخانه و فاکتورهای وابسته به آنها در تغییر میزان شاخص اکسیژن‌خواهی و با بهره‌گیری از دستگاه اصلاح‌شده‌ی سنجش نرخ SOD صورت پذیرفته است و نتایج حاصل از آن می‌تواند محققین و کارشناسان مدل‌ساز را در جبران کمبود داده‌های موجود اندازه‌گیری شده در ارتباط با پارامتر SOD در منطقه‌ی مطالعاتی و یا حتی نواحی مشابه در سطح ملی، یاری دهد چراکه به‌طور معمول، در اکثر برنامه‌های مدلسازی کیفی منابع آب، برای وارد کردن مقادیر موردنیاز SOD ، صرفاً به داده‌های توصیه‌شده در مقاله‌ها (بدون توجه به بومی‌سازی آنها) اکتفا می‌گردد (Chen *et al*., 2012; Beirise, 2016; Coenen (*et al*., 2019.

در شکل (۱) مدل مفهومی مربوط به فرایندهای کاهش دهنده‌ی اکسیژن محلول ارائه شده است.



شکل ۱- مدل مفهومی مربوط به فرایندهای کاهش‌دهنده‌ی اکسیژن محلول
[Adapted from: Lawrence P. Belo (2008); Lee, G. F.& Lee, A.J. (2007)]

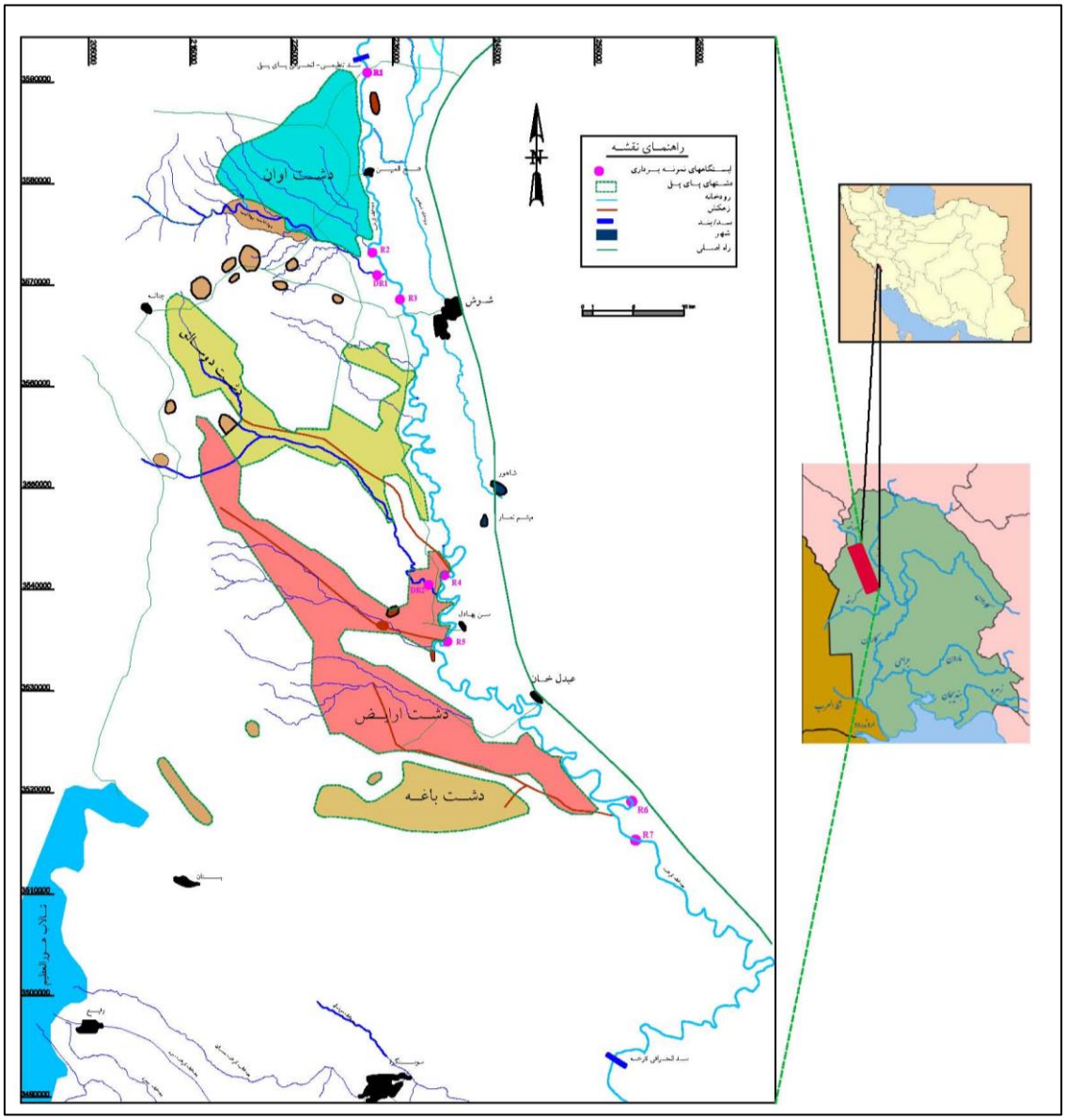
با در نظر گرفتن نکات ذکر شده در بالا و اهمیت موضوع، تحقیق حاضر با هدف بررسی شرایط سلامت و زنده‌مانی رودخانه‌ها و آگاهی از پتانسیل آسیب‌پذیری آنها، در چارچوب رویکرد مبتنی بر شاخص پایدار-مدار و بستر-محور با بهره‌گیری از نرخ SOD و فاکتورهای وابسته به آن شامل بافت، توزیع ذرات ریزدانه، مواد مغذی (کل مواد آلی) همراه با برخی پارامترهای پایه‌ی آب رودخانه همچون دما، اسیدیته، کدورت، هدایت الکتریکی، اکسیژن محلول، سرعت جریان،و اکسیژن‌خواهی شیمیایی (COD)، تعریف و انجام گرفته است. در این راستا، می‌توان مواردی همچون ایده‌پردازی نوین، اولین بار انجام شدن در سطح ملی و محلی، ارزش‌آفرینی خروجی‌های مطالعات، رقابت‌پذیری وسیله‌ی بکارگرفته شده و رفع کمبودهای اطلاعاتی جهت مدلسازی اکسیژن محلول را به عنوان نکات نوآورانه‌ی وابسته به این تحقیق در نظر گرفت.

مواد و روش‌ها

محدوده‌ی موردمطالعه و مشخصات عمومی آن

منطقه‌ی مورد مطالعه شامل رودخانه‌ی کرخه و محدوده‌ی اثر دشت‌های پای‌پل (اوان، دوسالق، ارایض و باغه)، در استان خوزستان و جنوب غربی ایران واقع می‌باشد و خروجی آن به تالاب هورالعظیم منتهی می‌شود (شکل ۲). ناحیه‌ی تحت پوشش این تحقیق، طولی معادل ۱۴۸/۵ کیلومتر از رودخانه‌ی کرخه را شامل می‌شود.بر اساس گزارش اداره کل هواشناسی استان خوزستان (دوره‌ی آماری ۱۳۹۶ - ۱۳۸۹)، میانگین سالیانه‌ی بارندگی و دما در بازه‌ی مطالعاتی بر مبنای اطلاعات ایستگاه شوش، به ترتیب معادل ۲۱۳/۴ میلی‌متر و ۲۵/۸ درجه‌ی سانتی‌گراد می‌باشد. برای انجام این تحقیق، نُه ایستگاه نمونه برداری در نظر گرفته شدند (شکل ۲) که در طرح و انتخاب آنها

فاکتورهایی همچون امکان دسترسی، نزدیکی به محل تلاقی شاخه‌های فرعی و مجاورت با مکان‌های تخلیه‌ی منابع نقطه‌ای و غیر نقطه‌ای در امتداد رودخانه و انشعابات آن مورد توجه قرار گرفته است (UNEP/WHO, 1996).



شکل ۲- نقشه‌ی محدوده‌ی مطالعاتی و موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری

خاک‌های موجود در منطقه‌ی مورد مطالعه، بر اساس کتاب راهنمای طبقه بندی خاک ایالات متحده آمریکا (USDA, 2014)، به‌طور عمده در سه رده‌ی Aridisols، Inceptisols و Entisols دسته‌بندی می‌شوند. از نظر زمین‌شناسی، نهشته‌های دوره‌ی کواترنری شامل آبرفت‌های جوان و رسوبات کوهپایه‌ای، قسمت عمده‌ای از محدوده‌ی مورد تحقیق را پوشش می‌دهند. همچنین، جهت دست‌یابی به خروجی بهتر، در مطالعات مربوط به ارزیابی شرایط سلامت رودخانه‌ها و کیفیت آب آنها، توصیه شده است (Ashayeri, 2014) که برداشت نمونه‌ها در بازه‌ی زمانی با استرس بالا مشتمل بر «دوره‌ی کم بودن جریان، بعد از برداشت محصولات کشاورزی و قبل از دوره‌ی تر» صورت پذیرد. در تطابق بیشتر با این روند، در این مطالعه، عملیات نمونه‌برداری آب و رسوب در مهر ماه ۱۳۹۶انجام گرفت.

روش‌های اندازه‌گیری نرخ SOD و روابط حاکم بر آن

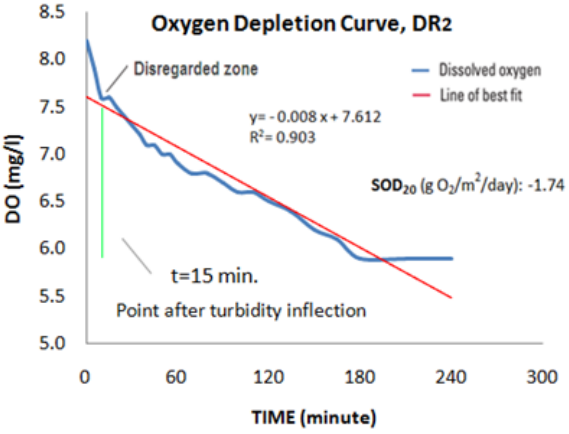
برای تعیین و پیش‌بینی میزان مصرف اکسیژن توسط رسوبات، روش‌های اندازه‌گیری و شیوه‌های مدل‌سازی متنوعی وجود داردکه این تنوع به نوعی، بازتاب کننده‌ی نیاز به توصیف بهتر فرایند و بهینه‌سازی روش‌های اندازه‌گیری می‌باشد (USEPA, 1985). همچنین میزان اکسیژن‌خواهی رسوب را می‌توان به دو صورت آزمایشگاهی و میدانی (در محل) اندازه‌گیری و برآورد نمود

(USGS, 2005-2016). روش معمول اندازه‌گیری اکسیژن‌خواهی رسوب(SOD)، عبارت از محصور کردن رسوبات در یک محفظه‌ی تخصصی و اندازه‌گیری تغییرات غلظت اکسیژن محلول در زمان‌های مختلف می‌باشد (USGS, 2003). همچنین، این فاکتور بر مبنای نرخ میزان جرم اکسیژن مصرفی نسبت به سطح و زمان ($g\ O_2/\ m^2/day$) بیان می‌شود. با این شیوه، مقدار مصرف اکسیژن توسط کلیه‌ی فرایندهای محصور در محفظه از جمله واکنش‌های شیمیایی، واکنش‌های باکتریایی وابسته به شرایط اکسایش و کاهش محیطی و واکنش‌های تنفسی ارگانیزم‌ها (ماکرو بنتوزها مانند بی‌مهرگان) اندازه‌گیری می‌شود (USEPA, 1985). در این خصوص، تنفس پایه‌ی ستون آب را از این نرخ کم می‌کنند تا مولفه‌ی رسوب به‌دست آید. معمولاً فرض بر این است که SOD، اجزای محلول در آب مانند DO را در برگرفته و ته‌نشین می‌کند و بدین‌ترتیب مواد شیمیایی ستون آب کاهش می‌یابد.

به دلیل مزیت‌های روش‌های آزمایشگاهی تعیین SOD نسبت به متدهای میدانی همچون فراهم بودن شرایط کاملاً کنترل شده، امکان تکرارپذیری آزمون‌ها و تغییرات اجزای آن، و نیز برخورداری از دقت بالا (Chau, 2002;Rong *et al*., 2016)، در تحقیق حاضر از تکنیک آزمایشگاهی و محفظه‌ی سنجش تخصصی وابسته به آن استفاده به‌عمل آمده است. دقت اندازه گیری این روش‌ها، به توانایی آنها برای شبیه سازی شرایط طبیعی از جمله دما، کدورت و جریان بستگی دارد (Boynton *et al*., 1981; Lee-Joseph, 2000; Chalimond, 2019). دستگاه اندازه‌گیری به‌کارگرفته شده در این مطالعه، با رفع نواقص و محدودیت‌های دستگاه‌های موجود و استفاده شده در تحقیقات بسیار محدود قبلی و نیز لحاظ شرایط شبیه‌سازی شده با ویژگی‌های طبیعی رودخانه، برای اولین بار در ایران و کشورهای منطقه، توسط نویسنده و مولف اصلی مقاله طراحی و ساخته شده است (شکل ۳). جزئیات مربوط به طرح و ساخت این دستگاه، و نوآوری‌ها، ابتکارات و اصلاحات لحاظ شده در آن در مقایسه با نمونه‌های موجود، بعداً در قالب یک مقاله‌ی تحقیقی جداگانه تبیین و ارائه خواهد شد.

شکل ۳- دستگاه اندازه‌گیری SOD (طراح و سازنده: عشایری، ع.) همراه با دستگاه پرتابل سنجش پارامترهای کیفی آب (ساخت شرکت ژاپنی HORIBA)

سنجش SOD همراه با محفظه‌ی کنترل استفاده شد، میزان کاهش اکسیژن محلول نسبت به زمان در طی حدود ۲ الی ۴ ساعت قرائت گردید. چنین مقادیری برای ساعت‌های اول، دوم، سوم و چهارم به‌ترتیب در هر ۵، ۱۰، ۱۵ و ۳۰ دقیقه ثبت شد و بدین‌ترتیب، بر اساس منحنی کاهش غلظت اکسیژن محلول نسبت به زمان، یک شیب معرف اکسیژن محلول ترسیم و بر مبنای آن نرخ SOD محاسبه و تعیین گردید.پس از آماده‌سازی دستگاه برای شروع اندازه‌گیری، ممکن است که در ۱۰ الی ۲۰ دقیقه‌ی اول آزمایش، کاهش سریعی در نرخ اکسیژن محلول در آب داخل محفظه رخ دهد، که این کاهش می‌تواند به دلیل راه‌اندازی اولیه‌ی پمپ‌های مستقر بر جدار محفظه برای گردش آب داخل آن باشد که منجر به پخشیدگی مجدد رسوبات در



شکل ۴- مثال موردی از منحنی تقلیل اکسیژن محلول نسبت به زمان

در این تحقیق که از محفظه‌های اصلاح‌شده و تخصصی

ستون آب برای مدت زمان کوتاه می‌گردد تا اینکه ذرات معلق دوباره بر روی لایه‌ی رسوبات ته‌نشین می‌شوند (USGS, 2005 & 2010). این محدوده‌ی زمانی اولیه و قرائت‌های مربوط به آن در محاسبات نهایی لحاظ نمی‌شوند (شکل ۴).

در تحقیق حاضر، برای محاسبه‌ی نرخ SOD، از معادله‌ی زیر با توجه به پذیرش و توصیه‌ی آن توسط مراجع معتبر جهانی (USGS, 2010) استفاده شده است:

$$SOD_T = -1.44(V/A)^b$$

که در آن، SOD_T: اکسیژن‌خواهی رسوب ($day/g\ O_2/m^2$) در زمان T، V:حجم آب داخل محفظه (L)، A: سطح رسوب (m^2)، b: شیب رگرسیونی غلظت اکسیژن محلول نسبت به زمان (mg/L/min)، و ۱/۴۴ معادل ضریب تبدیل واحد $mg/m^2/min$ به واحد $g/m^2/day$ می‌باشد.

همچنین، نرخ SOD اندازه‌گیری شده با استفاده از معادله‌ی ونت هوف (Van't Hoff) و رابطه‌ی آرنیوس به‌صورت زیر تا ۲۰ درجه‌ی سانتی‌گراد اصلاح می‌شود.

$$SOD_{20} = \frac{SOD_T}{1.065^{(T-20)}}$$

که در آن، SOD_{20}: اکسیژن‌خواهی رسوب در ۲۰درجه‌ی سانتی‌گراد ($g\ O_2/\ m^2/day$) و T: درجه‌ی حرارت آب در زمان انجام آزمایش (^{o} C) تعریف شده است.

با لحاظ ماهیت رویکرد SAM مطرح در این تحقیق، و نیز اطلاعات پایه‌ی قابل دسترس در زمان تعریف برنامه‌ی عملیات میدانی و ستادی در چارچوب دامنه‌ی کار پژوهش، بازه‌ی مطالعاتی تحت پوشش تحقیق، به‌طور بسیار عمده تحت تاثیر عامل اساسی فرسایش و رسوبات منتج از آن که به سمت کانال رودخانه و بستر آن منتهی می‌شود و زهاب‌ها و رواناب‌های کشاورزی همراه با اثر مصرف کودها و سموم شیمیایی قرار دارد (Iran-DOE, 2010; KWPA, 2015). بنابراین می‌توان گفت که دو عامل بنیادین بار آلودگی رسوبات بستر و مواد آلی ناشی از زهاب‌های کشاورزی نقش اساسی را در آلوده‌سازی رودخانه و تهدید آن بازی می‌کنند. بر این مبنا، نرخ SOD و فاکتورهای فیزیکوشیمیایی وابسته به آن و نیز ویژگی‌های رسوب همچون دانه‌بندی ذرات، بافت و غلظت کل مواد آلی رسوبات، عوامل تعیین کننده‌ی شاخص موردنظر در نظر گرفته شده‌اند. همچنین پارامترهایی از آب رودخانه که نقش اساسی در تغییرات نرخ SOD داشته و در شبیه‌سازی شرایط طبیعی رودخانه در داخل دستگاه و محفظه‌ی آزمایشگاهی موثر هستند نیز در برنامه‌ریزی مطالعات لحاظ شده است.

روش‌ها و دستورالعمل‌های استاندارد برای اندازه‌گیری SOD و پارامترهای وابسته به آن در جدول شماره (۱) و کلاسه‌بندی شاخص کیفی نرخ SOD بر مبنای متد گزارش شده توسط سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (USEPA) و بخش ارزیابی آب ایالت Illinois آمریکا در جدول شماره (۲) ارائه شده است.

جدول ۱-روش‌ها و دستورالعمل‌های استاندارد برای اندازه‌گیری SOD و پارامترهای وابسته به آن

بخش اول: رسوبات بستر

Variable	Unit	No. of Stations	Frequency	Standard method/Guideline
Fine-PSD Silt + Clay	%	9	1 [3 samples each site]	US-EPA, 1981 & 2001 UNEP/WHO, 1996 USGS, 2005 ASTM, 2014
Texture	Tex. name			
TOM	%			
SOD	$g\ O_2/\ m^2/day$		Sampling Date: October 2017	USGS, 2005 & 2010 US-EPA, Ohio, 2012 ASTM, 2014

بخش دوم: آب رودخانه

Variable	Unit	No. of Stations	Frequency	Standard method/Guideline
Temperature	°C	9	1 [3 samples each site]	Standard Method, APHA,2005 Manual of HORIBA U-10, 1991
pH	s.u			
Turbidity	NTU			
EC	µs/cm			
DO	mg/l			
COD	mg/l			
Discharge, Q	m^3/s		Sampling Date: October 2017	USGS, 1982, Discharge Measurement HYDRO-BIOS RHCM, Current Meter
$H_{ave.}$	m			
V_{ave}	m/s			

Demand H_{ave}: average depth, V_{ave}: average flow velocity, COD: Chemical Oxygen

جدول ۲- کلاسه‌بندی شاخص کیفی نرخ SOD (گزارش شده توسط USEPA و بخش ارزیابی آب ایالتIllinois آمریکا)

دامنه‌ی نرخ SOD*	شرایط عمومی رسوبات کف رودخانه	روند گزارش شده توسط USEPA
۰/۵<	پاک (کلاس A)	خاک معدنی: ۰/۱ – ۰/۰۵
۰/۵ – ۱	با پاکی متوسط (کلاس B)	بسترهای با دانه‌بندی ریز و شنی-ماسه‌ای: ۱ – ۰/۲
۱ – ۲	با تخریب کم (کلاس C)	رسوبات مصب: ۲ - ۱
۲ – ۳	آلودگی متوسط (کلاس D)	لجن کهنه‌ی پساب شهری در پایین‌دست خروجی آن
۳ – ۵	آلوده (کلاس E)	---
۵ – ۱۰	آلودگی شدید (کلاس F)	---
۱۰>	مشابه لجن فاضلاب (کلاس G)	---

روش‌های تجزیه و تحلیل داده‌ها

در طول این مطالعه، برای دستیابی به نتایج دقیق و صحیح، کلیه‌ی گام‌های مربوط به فرایند تضمین و کنترل کیفیت (QA/QC) در ارتباط با عملیات میدانی و آزمایشگاهی مطابقِ توصیه‌های مراجع معتبر دنبال و رعایت گردید (UN/ECE, 2003; APHA, 2005;US-EPA, 2001). همچنین، جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها، از روش‌های آماری مناسب و تجربه‌شده مانند آنالیز خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی (HCA)، آنالیز رگرسیون، ماتریس همبستگی، متد استنباطی مبتنی بر آزمون t، آنالیز بر اساس معیارها و سطوح مجاز استاندارد و هدفگذاری‌شده (Shrestha & Kazama, 2007; Andrade Costa *et al*., 2020) و نیز روش قضاوت کارشناسی (Brownstein *et al*., 2019)، استفاده‌ی لازم بعمل آمده است. بعلاوه، برنامه‌ی MATLAB (جهت تعیین معادله‌ی تجربی SOD نسبت به پارامترهای وابسته) و نرم‌افزار SPSS-16(جهت محاسبات و آنالیزهای آماری) هم به عنوان ابزار پشتیبان به‌کار گرفته شده‌اند.

نتایج و بحث

بر اساس رویکرد و روش‌شناسی ارائه شده در بخش قبلی، در این تحقیق، محفظه‌ی اصلاح شده و تخصصی سنجش SOD همراه با جریان‌سنج و دستگاه پرتابلِ اندازه‌گیری پارامترهای کیفی آب، بکار گرفته شد. از جمله اصلاحات و تسهیلات لحاظ‌شده در ساختار این محفظه، می‌توان به نصب و کارگذاری دو دستگاه پمپ پریستالتیک و دیفیوزر (چرخاننده و اسپری‌کننده) آب در دو جایگاه مناسب بر روی دیواره‌ی محفظه با هدف به حداقل رساندن میزان اغتشاش در سطح آب و کاهش محدودیت‌های پخشیدگی اولیه‌ی رسوب به‌علاوه‌ی شبیه‌سازی شرایط جریان در داخل محفظه و نصب دوربین هوشمند چشمی جهت پایش عملکرد داخل محفظه اشاره نمود. همچنین می‌توان امکانات اضافی دیگر مانند نصب دستگیره‌های مناسب جهت راحتیِ حمل محفظه و تجهیزات وابسته، امکان استقرار ایمن دستگاه دیتالاگر و قابل‌حمل HORIBA بر روی آن، کاربرد دو منظوره‌ی فیلد و آزمایشگاهی (امکان باز و بسته‌بودن سطح تحتانی)، قابل کنترل بودن شرایط و سایر موارد مشابه را نیز نام برد. نتایج آزمایشات و اندازه‌گیری‌های فیلد و آزمایشگاهی در ارتباط با رسوبات کف و آب رودخانه در جدول شماره‌ی (۳) ارایه شده است.

همانطوریکه در جدول شماره (۳) مشاهده می‌گردد تغییرات نرخ SOD در ایستگاه‌های مطالعاتی، دامنه‌ی بین ۰/۷۱ تا ۱/۷۴ گرم اکسیژن بر مترمربع در روز را شامل می‌شود که بیشترین و کمترین مقدار آن به‌ترتیب به ایستگاه‌هایDR_2 و R_5 تعلق دارد. همچنین، نرخ SOD در ایستگاه‌های DR_1، DR_2 و R_4 بالاتر از حد میانگین داده‌ها (۰/۹۷) می‌باشد. به‌علاوه، نرخ داده‌های حاصل از اندازه‌گیری اکسیژن‌خواهی رسوب، با دامنه‌ی مقادیر گزارش شده توسط سازمان محیط زیست آمریکا (جدول ۲) همخوانی و توافق دارد. در ادامه، فاکتورهای دخیل و موثر بر نرخ SOD و روند تغییرات وابسته به آن، مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

نرخ SOD و کل مواد آلی (TOM)

مقادیر اندازه‌گیری شده‌ی TOM در رسوبات بستر رودخانه (جدول ۳) از ۰/۲۳ تا ۰/۶۳ درصد در تغییر می‌باشد که بیشترین مقدار آن در ایستگاه DR_2 مشاهده شده است. همچنین، داده‌های این پارامتر در چهار ایستگاه R_1، DR_1، DR_2 و R_4 بالاتر از حد میانگین داده‌ها (۰/۴۱) قرار گرفته و نتایج نشان داده است که همبستگی مثبت و بسیار بالایی (۰/۸۱) بین نرخ SOD و غلظت TOM برقرار می‌باشد (جدول ۵). نرخ مصرف اکسیژن توسط مواد آلی رسوبات بستر رودخانه‌ها در چارچوب فرایند و چرخه‌ی بیوژئوشیمیایی، به‌طور نسبی بستگی به منبع تولید این مواد دارد (Collins, *et al*., 2017). در توافق با این نکته، منشا این مواد، می‌تواند شامل رسوبات رودخانه‌ای، نهشته‌های حاصل از منابع نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای، و نیز بقایا و بازمانده‌های آلی گیاهی و جانوری باشد (Rong *et al*., 2016). از جمله عوامل موثر بر این رخداد در محدوده‌ی موردمطالعه، می‌توان به عواملی همچون

زهکشی رواناب‌ها، زهاب اراضی زراعی و نیز ورود پساب‌های روستایی و کشاورزی به پیکره‌ی رودخانه اشاره کرد که منجر به بالارفتن میزان تقاضای اکسیژن محلول جهت تجزیه‌ی مواد آلی و تنفس ارگانیسم‌های وابسته، می‌شود(Zhang P. *et al*., 2015). بنابراین، عواملی مانند اراضی زراعی و ذرات کربن آلی منتج از آنها، فرسایش حوضه و پهنه‌ی رودخانه‌ای، منابع زمینی، مواد آلی زائد ناشی از فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی، فاضلاب‌های خانگی، و تخریب زون ریپارین رودخانه و اختلال حاصله در عملکرد تصفیه‌ای آن، نقش مهمی را در این عرصه بازی می‌کنند. بعلاوه، نتایج آنالیز خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی (HCA) و استقرار پارامترهای SOD و TOM در یک خوشه، نیز دلیلی تاییدکننده بر ارتباط نزدیک بین دو فاکتور مذکور می‌باشد(شکل ۵).

جدول ۳- نتایج اندازه‌گیری نرخ اکسیژن‌خواهی رسوب و پارامترهای وابسته، همراه با آنالیز پارامترهای پایه‌ی آب

Variable	Unit	ایستگاه‌های نمونه‌برداری[نوع نمونه: رسوبات بستر]							
		R_1	R_2	DR_1	R_3	DR_2	R_4	R_5	R_6	R_7
fine-PSD	%	۳۸	۱۹	۴۴	۲۶	۵۳	۳۷	۱۷	۳۰	۱۲
Texture	Tex. name	SL	LS	SL	SL	L	SL	LS	SL	LS
TOM	%	۰/۵۲	۰/۳۱	۰/۵۸	۰/۲۹	۰/۶۳	۰/۴۷	۰/۲۶	۰/۳۶	۰/۲۳
SOD_{20}	$\frac{g}{O_2/m^2/day}$	۰/۸۷	۰/۷۶	۱/۰۷	۰/۷۳	۱/۷۴	۱/۱۷	۰/۷۱	۰/۹۳	۰/۷۸
Variable	Unit	[نوع نمونه: آب رودخانه]								
Temperature	°C	۲۵/۳	۲۵/۵	۲۶/۷	۲۶/۴	۲۷/۹	۲۶/۱	۲۵/۴	۲۷/۱	۲۷/۲
pH	s.u	۷/۴۶	۷/۶۹	۷/۵۷	۷/۸۳	۸/۱۱	۷/۹۲	۷/۹۵	۷/۸۴	۷/۸۱
Turbidity	NTU	۱۵	۱۲	۳۳	۹	۱۱۹	۸	۱۷	۲۱	۲۵
EC	µs/cm	۱۵۸۰	۱۳۹۰	۲۶۸۰	۱۴۰۰	۱۰۲۰۰	۱۴۲۰	۱۴۴۰	۱۶۲۰	۱۶۵۰
DO	mg/l	۸/۳	۸/۹	۸/۱	۸/۷	۵/۹	۸/۵	۹/۳	۸/۶	۸/۳
COD	mg/l	۱۳/۷۳	۹/۲۱	۱۷/۴۶	۱۶/۱۵	۱۸/۶۸	۱۶/۵۲	۱۲/۰۴	۱۱/۶۵	۱۰/۷۷

نرخ SOD و درصد توزیع مواد ریزدانه (fine-PSD)

نتایج آنالیز توزیع ذرات ریزدانه (مجموع رس و سیلت، کمتر از ۶۳ میکرون) در نمونه‌های رسوب برداشت‌شده از رودخانه نشان داده است که مقادیر این ذرات بین ۱۲ تا ۵۳ درصد در نوسان می‌باشد (جدول ۳).همچنین، خروجی آنالیز آماری (جدول ۵)، بیانگرآن است که همبستگی مثبت و بسیار بالایی (۰/۸۴) بین نرخ SOD و fine-PSD برقرار می‌باشد.همانطوریکه در یک مطالعه‌ی قبلی (USGS, 2010) نتیجه‌گیری شده است، تغییرات نرخ کاهش و مصرف اکسیژن در فصل‌مشترک آب و رسوب می‌تواند ناشی از ترکیب و نوع مواد ترسیب‌شده در بستر رودخانه باشد. در این راستا، در ایستگاه‌های نمونه‌برداری تحت پوشش این تحقیق، رسوبات بستر ترکیبی از سیلت، رس، ماسه و شن همراه با مواد آلی ته‌نشین‌شده در بستر را شامل می‌شود. ذرات ریزدانه در مقایسه با نوع درشت‌تر، به دلیل داشتن سطح تماس گسترده‌تر، مواد مغذی و ذرات آلی بیشتری رادر سطح خود جذب و درگیر می‌کنند و همین عامل، سبب افزایش نرخ مصرف اکسیژن توسط این مواد می‌گردد.همچنین، دامنه‌ی تغییرات نرخ SOD به‌دست آمده در این مطالعه، تطابق بیشتری را با نرخ گزارش‌شده توسط USEPA در ارتباط با ذرات ریزدانه نشان می‌دهد (جدول ۲). همچنین، نتایج آنالیز خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی(شکل ۵) نیز تاییدی بر برقراری رابطه‌ی موثرتر بین نرخ SOD و fine-PSD می‌باشد.

نرخ SOD و اکسیژن‌خواهی شیمیایی آب (COD)

COD یکی از شاخص‌های مهم جهت بررسی شرایط آلودگی پهنه‌های آبی پذیرنده‌ی پساب‌ها و زهاب‌ها می‌باشد و در واقع مقدار اکسیژن لازم برای اکسیداسیون کامل مواد آلی و معدنی موجود در آب از طریق واکنش‌های شیمیایی را بیان می‌کند. هرچه مقدار آن بیشتر باشد، نشان می‌دهد که مقدار مواد خارجی آلاینده که در آب وارد شده است نیز بیشتر است. در این تحقیق، غلظت COD در ایستگاه‌های مختلف، دامنه‌ای از ۹/۲۱ تا ۱۸/۶۸میلی‌گرم بر لیتر را شامل می‌شود (جدول ۳).کمترین و بیشترین مقدار آن به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های R_2وDR_2می‌باشد.نتایج آنالیز آماری نیز همبستگی مثبت و بالایی (۰/۷۱) را بین SOD و COD نشان می‌دهد.

سایر پارامترهای پایه‌ی اندازه‌گیری شده در آب

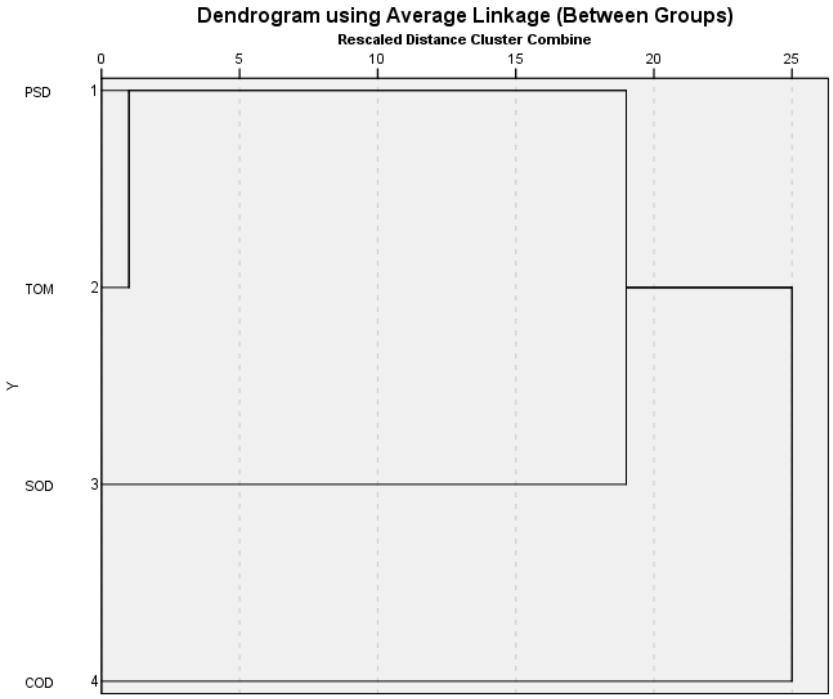
از نتایج سایر پارامترهای آب که بصورت فیلد اندازه‌گیری شده است (جدول ۳) صرفاً به عنوان فاکتورهایی جهت شبیه‌سازی و کنترل شرایط، استفاده بعمل آمده است. همچنین، از نرخ کدورت به‌عنوان معیاری جهت تشخیص دامنه‌ی اولیه‌ی قابل چشم‌پوشی (Disregarded Zone) در منحنی تقلیل اکسیژن نسبت به

زمان(شکل ۴) برای برآورد نرخ SOD نیز بهره‌گیری شده است.

پیش‌بینی معادله‌ی تجربی تخمین نرخ SOD

آنالیز خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی (شکل ۵) و نیز خروجی ماتریس همبستگی (جدول ۵) ضمنِ تایید همدیگر، نشان می‌دهند که بین نرخ SOD و پارامترهای TOM، fine-PSD و COD رابطه‌ی موثر و همبستگی معنی‌داری وجود دارد. بر این مبنا و با بهره‌گیری از برنامه‌ی MATLAB، معادله‌ی تجربی زیر جهت تخمین نرخ SOD در منطقه‌ی مورد مطالعه پیشنهاد شده است.

SOD_{20} = 0.3308- (0.1594× TOM) + (0.0212×FP) + (0.0043×COD)



شکل ۵- نمودار درختی آنالیز خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی بین نرخ SOD و پارامترهای موثر

جدول ۵- ماتریس همبستگی بین نرخ SOD و پارامترهای موثر (بر مبنای آنالیز رگرسیون Spearman)

COD	TOM	fine-PSD	SOD	Parameter
*۰/۷۱۳	**۰/۸۰۷	**۰/۸۳۷	۱/۰۰۰	SOD
**۰/۸۳۱	**۰/۹۷۲	۱/۰۰۰		fine-PSD
*۰/۷۵۵	۱/۰۰۰			TOM
۱/۰۰۰				COD

**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

بحث تکمیلی

با در نظر گرفتن کلاسه‌بندی ارائه شده در جدول شماره (۲)، شرایط عمومی رسوبات رودخانه‌ی کرخه در کلاس‌های B (پاکی متوسط) و C (تخریب کم) قرار می‌گیرد در حالیکه با مدیریت موثر پساب‌های روستایی، شهری، صنعتی و نیز زهاب‌های وارده از زهکش‌های دشت‌های پای‌پل، کلاس رودخانه در کل به سمت کلاس B قابل ارتقا خواهد بود به‌طوریکه بدون در نظر گرفتن نتایج ایستگاه‌های واقع بر روی زهکش‌های وارده بر پهنه‌ی آبی (DR_1 و DR_2)و نیز نتایج نقطه‌ی با اثرپذیری بیشتر بعد از تلاقی زهکش DR_2 (ایستگاه R_4)، میانگین داده‌های SOD کانال اصلی رودخانه در بازه‌ی مطالعاتی معادل ۰/۸±۰/۰۸(کلاس B) می‌شود. در این راستا، در گام اول اصلاح، با پذیرش حداکثر ۲۰ درصد بار اضافی بر رقم مرزی کلاس A و B وابسته به SOD معادل ۰/۶(۰/۵×۱/۲)، مطابق جدول شماره (۶)، نرخ حسابداری اقدامات برتر مدیریتی (BMP) دامنه‌ای از ۱۵ تا ۶۶ درصد را در ایستگاه‌های نه‌گانه شامل می‌گردد که بیشترین آن مربوط به ایستگاه‌های DR_2، DR_1 و R_4 می‌شود. در این خصوص، فهرستی از اقدامات شامل اجرای طرح‌های مهندسی و ساماندهی رودخانه‌ها، فعالیت‌های سازه‌ای و مدیریتی حفاظت از آب و خاک و پوشش حوضه‌های مشرف بر رودخانه‌ها، کنترل فرسایش و رسوب حوضه‌ها و دیواره‌ی رودخانه‌ها، اصلاح الگوی کشت و روش‌های آبیاری، مدیریت زهاب‌ها و پساب‌ها، حفاظت زون

ریپارین رودخانه‌ها، تصفیه‌ی زهاب‌ها و پساب‌های آلاینده با توجه به توان خودپالایی و ظرفیت تحمل‌پذیری رودخانه‌ها، مدیریت مصرف نهاده‌های کشاورزی (کودها و سموم)، طرح مناسب سیستم‌های زهکشی و استفاده از سامانه‌های کنترل‌شده، تعیین نرخ مالیات نسبت به میزان تولید بار اضافی آلودگی، انجام مطالعات TMDL برای سامانه‌ی رودخانه‌ای، اصلاح کاربری اراضی، اصلاح الگوی اسکان در سطح حوضه و اطراف رودخانه‌ها، مکانیابی صحیح صنایع و مراکز تولیدی همراه با تعیین مناسب نقاط تخلیه‌ی آنها، تدوین نظام‌نامه‌ی سلامت رودخانه‌ای، آموزش ذینفعان و گروه‌های هدف، و نهایتاً پایش و ارزیابی عملکرد سامانه‌ی رودخانه‌ای را می‌توان در قالب برنامه‌ی BMP محدوده‌ی مطالعاتی تحقیق در نظر گرفت.

با توجه به فقدان داده‌های اندازه‌گیری‌شده‌ی دقیق در ارتباط با نرخ SOD و استفاده‌ی عمده از ضرایب معرفی‌شده در نوشتجات، می‌توان از نرخ میانه‌ی SOD معادل ۰/۸۷ گرم اکسیژن بر مترمربع در روز به‌عنوان ضریبی نماینده جهت مدلسازی کیفی آب رودخانه در طول کانال اصلی آن در بازه‌ی موردمطالعه استفاده نمود، همان‌طوری که در یک تحقیق انجام شده در ایالات متحده‌ی آمریکا نیز همین روند توصیه شده است (Doyle & Rounds, 2003; Doyle & Lynch, 2005).

جدول ۶- داده‌های آماری SOD همراه با تخمین میزان اقدامات مدیریتی لازم جهت اصلاح شرایط (نرخ BMP)

Sampling Station	R1	R2	DR1	R3	DR2	R4	R5	R6	R7
Number of samples	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳
Mean value of SOD	۰/۸۷	۰/۷۶	۱/۰۷	۰/۷۳	۱/۷۴	۱/۱۷	۰/۷۱	۰/۹۳	۰/۷۸
Standard deviation of SOD	۰/۰۷۰۹	۰/۰۵۱۳	۰/۰۷۲۱	۰/۰۶۰۰	۰/۰۸۵۰	۰/۰۹۲۹	۰/۰۵۶۹	۰/۰۴۰۴	۰/۰۵۰۳
SOD range	۰/۷۹-۰/۹۳	۰/۷۲-۰/۸۲	۰/۹۹-۱/۱۳	۰/۶۷-۰/۷۹	۱/۶۵-۱/۸۲	۱/۰۹-۱/۲۷	۰/۶۶-۰/۷۷	۰/۸۹-۰/۹۷	۰/۷۳-۰/۸۳
μ_1= ۰/۵	t-value	۴/۱۱۶۹۶۲		The result is significant at p < ۰/۰۵					
Sig. level = ۰/۰۵	p-value	۰/۰۰۴۴۷۷							
μ_2= ۱/۵	t-value	-۴/۱۵۸۳۳۸		The result is significant at p < ۰/۰۵					
Sig. level = ۰/۰۵	p-value	۰/۰۰۴۲۵۱							
Mean value of SOD rates at all sampling stations = ۰/۹۷				Median value of SOD rates at all sampling stations = ۰/۸۷					
Standard deviation of SOD rates at all sampling stations = ۰/۳۲۷۸									
BMP (Best Management Practices) Aspects									
Recommended Target Level (TL) for the SOD rate (first stage)= ۰/۶						CL(Current Level)= Mean value of SOD at each station			
	R1	R2	DR1	R3	DR2	R4	R5	R6	R7
Required BMP (%): (CL-TL)100/CL	۳۱	۲۱	۴۴	۱۸	۶۶	۴۹	۱۵	۳۵	۲۳

SOD at 20°C ($gO_2/m^2/day$)

همان‌طوری‌که برخی محققین نیز در مطالعات خود به نتیجه‌ی مشابه دست یافته‌اند (Masson *et al.*, 2010; Sasha-Musonge, P.L. *et al.* 2020; Desrosiers *et al.*, 2020)، شاخص‌های پایدار-مدار و بستر-محور همچون SOD و ماکروبنتوزها، پاسخ مناسب‌تری از تاثیرات عوامل فیزیکی و شیمیایی بر زنده‌مانی و شرایط سلامت پهنه‌های آبی رادر طی زمان‌های قبل از نمونه‌برداری به‌دست می‌دهند در صورتی‌که بررسی‌های فیزیکوشیمیایی غیرمستمر تنها تصویری گذرا و در برخی موارد حتی گمراه‌کننده از کیفیت آب فراهم می‌سازند. به‌عبارت دیگر، بطور معمول، نمونه‌برداری‌ها و آنالیزهای فیزیکوشیمیایی صرفا یک انعکاس موقت از شرایط محیطی فراهم می‌کنند در حالیکه پیشینه‌ی شرایط کیفی-زیست‌محیطی پیکره‌های آبی، اغلب توسط تجزیه و تحلیل‌های مواد بستر با لحاظ رویکرد پایدار مدارانه‌ی سازگار-محور حاصل می‌شود (Ashayeri, 2014). در تایید این موضوع، در تحقیق حاضر، بر مبنای شاخص‌های کیفی مرتبط با آب جاری مانند COD و DO، و نیز لحاظ استانداردهای تخلیه، سلامت کیفی رودخانه در کلاس گمراه‌کننده‌ی برتر (1A) قرار می‌گیرد در صورتی که بر مبنای شاخص‌های پایدار-محور وابسته به بستر همچنون SOD، شرایط کیفی در کلاس‌های B و C واقع می‌شود. بنابراین می‌توان گفت که صِرف رعایت استانداردهای تخلیه، به تنهایی پاسخگوی تامین شرایط لازم برای تضمین سلامت پهنه‌های آبی پذیرنده‌ی پساب‌ها و زهاب‌ها نمی‌باشد و ضرورت دارد که ظرفیت تحمل بار آلودگی و پتانسیل آسیب‌پذیری آنهادر برنامه‌ریزی‌ها و مدیریت آنها مورد توجه ویژه قرار گیرد.

از منظر مهندسی ارزش (Value Engineering)، همانطوریکه در یک مطالعه‌ی قبلی انجام شده توسط نویسنده‌ی اصلی این مقاله در سال ۲۰۱۴ نتیجه گرفته شده است، شاخص‌های پایدار-مدار وابسته به بستر مانند SOD و نیز متدهای ارزیابی زیستی همچون ماکروبنتوزها، مقرون به صرفه‌تر (حدود ۲ تا ۳ برابر) از سایر روش‌ها همچون آنالیزهای تفصیلی فیزیکوشیمیایی در مطالعات مشابه هستند. بنابراین، توصیه می‌گردد که جهت مدیریت زمان و هزینه‌ها در پروژه‌های تحقیقاتی مرتبط، بهره‌گیری از این شاخص‌ها در شرح خدمات و

دامنه‌ی کاری آنها به ویژه در گام‌های آغازین (فازهای شناخت، پیش‌امکان‌سنجی و امکان‌سنجی) گنجانده شود.

نتیجه‌گیری

بر اساس رویکرد و متدولوژی بکار گرفته‌شده در این تحقیق، نتایج حاصل نشان داد که تغییرات نرخ متوسط اندازه‌گیری‌شده‌ی SOD، دامنه‌ای از ۰/۷۱ تا ۱/۷۴ گرم اکسیژن بر مترمربع در روز را شامل می‌شود و بدین ترتیب، کلاس کیفی عمومی و شرایط سلامت رودخانه و زهکش‌های جانبی تخلیه‌شده به آن، بر مبنای نرخ شاخص مذکور به ترتیب در گروه‌های B (با پاکی متوسط) و C (با تخریب کم) قرار می‌گیرد. در این راستا، برخی از خروجی‌های مهم منتج از این پژوهش را می‌توان در قالب موارد زیر در نظر گرفت: الف) با در نظر گرفتن آنالیزهای آماری و معادله‌ی تجربی پیش‌بینی‌شده، فاکتورهایی از رسوب بستر همچون کل مواد آلی (TOM)، میزان توزیع ذرات ریزدانه (fine-PSD) و نیز نرخ اکسیژن‌خواهی شیمیایی آب (COD) نقش موثر و تعیین‌کننده‌ای را در میزان تغییرات نرخ اکسیژن‌خواهی رسوب (SOD) در منطقه‌ی موردمطالعه بازی می‌کنند به‌طوریکه هرچه میزان غلظت مواد مغذی و آلی رسوبات زیادتر و دانه‌بندی ذرات آنها ریزتر می‌شود، به تبع آن، نرخ SOD نیز افزایش می‌یابد. ب) در محدوده‌ی تحت پوشش تحقیق، آلاینده‌های حاصل از منابع نقطه‌ای (مانند پساب‌های روستایی، شهری و صنعتی) و منابع غیرنقطه‌ای (همچون زهاب‌های کشاورزی، بازمانده‌های گیاهی و جانوری، رواناب‌های حوضه‌ای) از جمله عوامل افزایش‌دهنده‌ی میزان موادآلی و تولید نهشته‌های ریزدانه هستند و به تبع آن، میزان نرخ SOD نیز افزایش می‌یابد. ج) از آنجایی‌که به‌طور معمول، در اکثر برنامه‌های مدلسازی کیفی منابع آب، برای وارد کردن مقادیر موردنیاز SOD، صرفاً به داده‌های توصیه‌شده در مقاله‌ها (بدون توجه به بومی‌سازی آنها) اکتفا می‌شود، نتایج حاصل از این تحقیق می‌تواند محققین و کارشناسان مدل‌ساز را در جهت جبران کمبود داده‌های موجود اندازه‌گیری شده در ارتباط با پارامتر SOD در منطقه‌ی مطالعاتی و یا حتی نواحی مشابه در سطح ملی، یاری دهد. همچنین، می‌توان از نرخ میانه‌ی SOD معادل ۰/۸۷ گرم اکسیژن بر مترمربع در روز به عنوان ضریبی نماینده جهت مدلسازی کیفی آب رودخانه در طول کانال اصلی آن در بازه‌ی موردمطالعه استفاده نمود. د) از دیدگاه مهندسی ارزش (Value Engineering)، شاخص‌های پایدار-مدار وابسته به بستر مانند SOD از لحاظ مدیریت زمان و هزینه‌ها، مقرون به صرفه‌تر از روش‌های تفصیلی فیزیکوشیمیایی می‌باشند. ه) شاخص‌های پایدار-مدار و بستر-محور بر خلاف آنالیزهای مقطعی و گذرا، تصویر تاریخچه‌ای، پایا و مناسب‌تری از تاثیرات عوامل فیزیکی و شیمیایی بر زنده‌مانی و شرایط سلامت پهنه‌های آبی در طی زمان‌های قبل از نمونه‌برداری بدست می‌دهند.بنابراین، دستیابی به نتایج بهتر، ایجاب می‌کند که مطالعه‌ی نرخ SOD رودخانه‌ها در کنار ارزیابی‌های زیستی وابسته به بستر و نیز همراه با شاخص‌های ژئومورفوهیدرولیک صورت پذیرد. و) از کلاسه‌بندی نرخ SOD می‌توان به‌عنوان معیاری جهت مدیریت موثر زهاب‌ها و پساب‌ها، انتخاب مناسب مکان‌های تخلیه و نیز تخصیص بار آلودگی و مواد زائد به پهنه‌ی آبی پذیرنده استفاده نمود. ز) صِرف رعایت استانداردهای تخلیه، به تنهایی پاسخگوی تامین شرایط لازم برای تضمین سلامت پهنه‌های آبی پذیرنده‌ی پساب‌ها و زهاب‌ها نمی‌باشد و ضرورت دارد که توان تحمل بار آلودگی و پتانسیل آسیب‌پذیری آنها نیز تحت چتر رویکرد زنده‌مانی سازگار-محور مورد توجه ویژه قرار گیرد. ح) در منطقه‌ی مورد مطالعه، در چارچوب گام اول اصلاح، نرخ حسابداری BMP در دامنه‌ای از ۱۵ تا ۶۶ درصد مورد توصیه قرار گرفته است. ط) در مطالعات مربوط به ارزیابی شرایط سلامت رودخانه‌ها و کیفیت آب آنها، برای تحقق نتیجه‌ی بهتر، پیشنهاد می‌گردد که برداشت نمونه‌ها در بازه‌ی زمانی با استرس بالا مشتمل بر "دوره‌ی کم بودن جریان، بعد از برداشت محصولات و قبل از دوره‌ی تر" انجام گیرد. ی) به‌طور کلی داده‌های حاصل از این تحقیق و مقایسه‌ی خروجی آن با مقادیر مدل‌شده و توصیه‌شده در تحقیقات مختلفِ فرامرزی، می‌تواند مبنا و راهگشایی جهت بهبود و اصلاح مقادیر پیش‌بینی شده در مدل‌ها و تکنیک‌های فعلی ارزیابی کیفی پهنه‌های آبی به‌ویژه در منطقه‌ی مطالعاتی باشد. ک) در نهایت، نتایج بدست‌آمده از این تحقیق به‌عنوان یک ابزار تشخیصی سریع، می‌تواند سیاستگزاران، متولیان و سایر ذینفعان مرتبط با اکوسیستم‌های آبی منطقه را در جهت برنامه‌ریزی و فراهم‌سازی تمهیدات مناسب برای بهبود و ارتقای شرایط کیفی و سلامت سامانه‌ی رودخانه‌ای، با تمرکز بر مدیریت موثر زهاب‌ها و پسابها، و انتخاب مناسب مکان‌های تخلیه، یاری نماید.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

REFERENCES

Adib Arash, Fouladfar Hessam and Heydarali Kashkouli. (2015). Assessment of Karkheh Dam Construction Impacts on the River Morphology at the Downstream Area. Research-based Project Report (prepared for KWPA), Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran.

Andrade Costa, D., Azevedo, J.P., Santos, M., and Santos

Akomeah, E. and Lindenschmidt K.E. (2017).Seasonal Variation in Sediment Oxygen Demand in a Northern Chained River-Lake System. Water (Switzerland). (9) 254

Facchetti, R. (2020). Water quality assessment based on

multivariate statistics and water quality index of a strategic river in the Brazilian Atlantic Forest. Scientific reports, 10(1), 22038.

APHA. (2005). Standard methods for the examination of water and waste water, 21st edition. (Washington, DC: American Public Health Association).

Ashayeri, A. (2014). Systematic Evaluation of the River Pollution Load and its Vulnerability Potential using Integrated Approach to Bio-Engineering Aspects, Considering Physicochemical and Eco-geomorphologic Indices for determination of its Health Condition and Qualitative Fringe. MS Thesis Report, AIC, University of Tehran, Iran.

Ashayeri, A.; Karbassi, A.R. and Baghvand, A. (2014). Assessing Darreh-rood river water quality for irrigation using sustainable conservation approach and CCME-WQI model. *WSRCJ*, 3(4), 51-61.

ASTM. (2014-2017). Standard Test Methods for Particle-Size Distribution (Gradation) of Soils Using Sieve Analysis. (West Conshohocken, PA: ASTM International).

Beirise, Adrian (2016). Evaluating a Measure-Calculate Method for Determining Sediment Oxygen Demand in Lakes. Theses & Dissertations 1678 (University of Arkansas, Fayetteville)

Berg, M., Meehan, M. and Scherer, T. (2017). Environmental Implications of Excess Fertilizer and Manure on Water Quality. NDSU Extension Service, NM1281, pp.2. (North Dakota: NDSU).

Bernhardt, E. S., Sudduth, E.B., Palmer, M.A., Allan, J.D., Meyer, J.L., Alexander, G., Follastad-Shah, J., Hassett, B., Jenkinson, R., Lave, R., Rumps, J. and Pagano, L. (2007). Restoring Rivers One Reach at a Time: Results from a Survey of U.S. River Restoration Practitioners. *Restoration Ecology*, 15(3), 482-493.

Boynton, W.R., Kemp, W.M., Osborne, C.G., Kaumeyer, K.R. and Jenkins, M.C. (1981). Influence of water circulation rate on in situ measurements of benthic community respiration. *Marine Biology*, 65, 185-190.

Brownstein, N.C., Louis, T.A., O'Hagan, A. and Pendergast, J. (2019). The Role of Expert Judgment in Statistical Inference and Evidence-based Decision-making. *The American Statistician*, 73(0 1), 56-68.

Cardoso, S.J., Quadra, G.R., Nathália da Silva Resende, N.S. and Roland, F. (2019). The role of sediments in the carbon and pollutant cycles in aquatic ecosystems. *Acta Limnologica Brasiliensia*, (31), 15-23.

Chalimond, M.L., Ferreyra, M. and Cossavella, A.M. (2019). Measurement of sediment oxygen demand rates for benthic demand of Tercero (Ctalamochita) River, Córdoba province, Argentina. *J-TYCA*, 10(2), 241-257.

Chau, K.W. (2002). Field Measurements of SOD and sediment nutrient fluxes in a land locked embayment in Hong Kong. *Advances in Environmental Research*, 6, 135-142.

Chen, W.B., Liu, W.C. and Huang, L.T. (2012). Measurement of sediment oxygen demand for modeling the dissolved oxygen distribution in a subalpine lake. *International Journal of Physical Sciences*, 7(27): 5036-5048.

Coenen, E.N., Christensen, V.G., Kreiling, R.M. and Richardson, W.B. (2019). Sediment Oxygen Demand: A review of in-situ methods. Journal of Environmental Quality, 48(2), 403-411

Collins, A.L., Zhang, Y., McMillan, S., Dixon, E.R., Stringfellow, A., Bateman, S. and Sear, D.A. (2017). Sediment-associated organic matter sources and sediment oxygen demand in a Special Area of Conservation (SAC): A case study of the River Axe, UK. *River Res Applic.*, 33 (10), 1539–1552.

Desrosiers, M., Pinel-alloul, B. and Spilmont, C. (2020). Selection of macroinvertebrate indices and metrics for assessing sediment quality in the St. Lawrence River (QC, Canada). *Water*, 12,3335.

Doyle, M.C. and Lynch, D.D. (2005). Sediment oxygen demand in Lake Ewauna and the Klamath River, Oregon. U.S. Geological Survey, Scientific Investigations Report2005–5228, 14 p. (Portland, OR: USGS).

Doyle, M.C. and Rounds, S.A. (2003). The effect of chamber mixing velocity on bias in measurement of sediment oxygen demand rates in the Tualatin River Basin, Oregon.U.S. Geological Survey,Water-Resources Investigations Report 03–4097, 16 p. (Portland, OR: USGS).

Falkenmark, M. (2020). Water resilience and human life support - global outlook for the next half century. *International Journal of Water Resources Development*, 36:2-3, 377-396.

Foster, G.M., King, L.R., and Graham, J.L. (2016). Sediment oxygen demand in eastern Kansas streams, 2014 and 2015. U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2016–5113, 19 p. (Reston, VA: USGS).

Heckathorn, H.A. and Jacob Gibs, J. (2010). Sediment Oxygen Demand in the Saddle River and Salem River Watersheds, New Jersey, July–August 2008.Scientific Investigations Report 2010–5093, 10 p. (Reston, VA: USGS).

ingshui Huang, Hailong Yin, Steven C. Chapra and Qi Zhou (2017). Modelling Dissolved Oxygen Depression in an Urban River in China. Water (Switzerland). (9) 520

Iran-DOE & MGCE Co. (2010). Karkheh River's Study for the Prevention, Control and Reduction of its Pollution. Technical Report, Soil and Water Office, Department of Environment, Tehran, Iran.

Krenkel, P.A. and Novotny, V. (1980). Water quality management, 1st edition. (New York: Academic Press).

Lee, G.F. and Lee, A.J. (2007). Role of aquatic plant nutrients in causing sediment oxygen demand, part II- sediment oxygen demand. (El Macero, CA: G. Fred Lee and Associates).

Lee-Joseph, H.W., Kuang, C.P. and Yung, K.S. (2000). Analysis of three-dimensional flow in cylindrical sediment Oxygen demand chamber. *Applied Mathematical Modeling*, 24, 263-278.

Li, Z., Peterse, F., Wu, H., Bao, H., Eglinton, T.I. and Zhang, J. (2015). Sources of organic matter in Changjiang (Yangtze River) bed sediments: Preliminary insights from organic geochemical proxies. *Organic Geochemistry*, 85, 11-21.

Masson, S., Desrosiers, M., Pinel-alloul, B. and Martel, L. (2010). Relating macroinvertebrate community structure to environmental characteristics and sediment contamination at the scale of the St. Lawrence River. *Hydrobiologia*, 647: 35-50.

Matlock, M., Kasprzak, K.R. and Osborn, G.S. (2007). Sediment Oxygen Demand in the Arroyo Colorado River. *JAWRA*, 39(2), 267-275.

Medine, A., D. B. Porcella & D. V. Adams, 1980. Heavymetal and nutrient effects on sediment oxygen demand in three-phase aquatic microcosms. Microcosms in Ecological Research. Technical Information Center, U.S. Department of Energy, Washington, D.C. (USA) 52: 279–303.

Mezgebu, A., Lakew, A. and Lemma, B. (2019). Water quality assessment using benthic macroinvertebrates as bioindicators in streams and rivers around Sebeta, Ethiopia, *African Journal of Aquatic Science*, 44:4, 361-367.

Moghimi, E. (2009). River Eco-Geomorphology and Rights. (Tehran: University of Tehran Press).

Mudroch, A. and MacKnight, S.D. (1994). Handbook of Techniques for Aquatic Sediments Sampling, pp 256. (Boca Raton: CRC Press).

Mueller, D.S. and Wagner, C.R. (2009). Measuring discharge with acoustic Doppler current profilers from a moving

boat: U.S. Geological Survey Techniques and Methods 3A-22, 72 p.(Reston, Virginia: USGS).

Ohio Environmental Protection Agency (Ohio EPA). (2012). Sediment Sampling Guide and Methodologies, 3rd Edition. Division of Surface Water. (Columbus: Ohio-EPA).

Rong, N., Shan, B., and Wang, C. (2016). Determination of Sediment Oxygen Demand in the Ziya River Watershed, China: Based on Laboratory Core Incubation and Microelectrode Measurements. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 13(2), 232.

Sasha-Musonge, P.L., Boets, P., Lock, K., Damanik Ambarita, M.N., Eurie Forio, M.A. and Goethals, P. LM. (2020). A Benthic Macroinvertebrate Index for Biomonitoring Rivers and Streams in the Rwenzori Region, Uganda. *Sustainability*, 12 (24), 10473.

Shrestha, S. and Kazama. F. (2007). Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: A case study of the Fuji river basin, Japan. Environ. *Model. Software*, 22 (4), 464-475.

UN/ECE. (2003). Task Force on Laboratory Quality Management and Accreditation, Technical Report: Guidance to Operation of Water Quality Laboratories, 89 p. (Geneva: UNECE).

UNEP/WHO. (1996). Water Quality Monitoring: A Practical Guide to the Design and Implementation of Freshwater Quality Studies and Monitoring Programmes. (NBO/GN: UNEP/WHO).

USDA. (2014). Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. Twelfth Edition. NRCS Handbook. (Washington, DC: USDA, NRCS Office).

USEPA. (1981). Procedures for Handling and Chemical Analysis of Sediment and Water Samples, Technical Report: EPA/CE-81-1. (Mississippi: Environmental Laboratory, USAE/USEPA).

USEPA. (1985). Rates, constants and kinetics formulation in surface water quality modeling, second edition. *EPA*/600/3-85/040. (Georgia: USEPA).

USEPA. (1997). Technical Guidance Manual for Performing Waste-load Allocations, Book II: Streams and Rivers-Part 1: Biochemical Oxygen Demand/Dissolved Oxygen and Nutrients/Eutrophication.Document Number: EPA-823-B-97-002. (Washington, DC: USEPA Standards and Applied Science Division).

USEPA. (2001). Methods for Collection, Storage and Manipulation of Sediments for Chemical and Toxicological Analyses, Technical Manual: EPA 823-B-01-002. (Washington, DC: Office of Water, USEPA).

USGS. (1982). Measurement and Computation of Stream-flow: Volume 1. Measurement of Stage and Discharge. (Washington, DC: USGS).

USGS. (2005). Handbooks for Water-Resources Investigations, Chap A8: Bottom-Material Samples, National Field Manual for the Collection of Water-Quality Data,Book 9. (Reston, VA: USGS).

Utley, B. C., Vellidis, G., Lowrance, R. and Smith, M.C. (2008). Factors Affecting Sediment Oxygen Demand Dynamics in Blackwater Streams of Georgia's Coastal Plain. *JAWRA*, 44(3), 742-753.

Yee, L.T., Hazel Pusin, N.M.F., Nyanti, L. and Miod, M.C. (2011). Sediment Oxygen Demand of the Santubong River and Their Contributing Factors. *IJAST*, 1(6), 162-168.

Zhang, H., Jin, G. and Yu, Y. (2018). Review of River Basin Water Resource Management in China. *Water*, 10, 425.

Zhang, P., Pang, Y., Pan, H., Shi, C., Huang, Y. and Wang, J. (2015). Factors contributing to hypoxia in the Minjiang river estuary, Southeast China. International Journal of Environmental Research and Public Health, 12(8), 9357-9374.

Ziadat, A.H. and Berdanier, B.W. (2004). Stream Depth Significance During in-Situ Sediment Oxygen Demand Measurements in Shallow Streams. *JAWRA*, 40(3), 631-638.