شبیه‌سازی عددی کیفیت آب مخزن سد علویان با نرم‌افزار CE-QUAL-W2

کامله آقاجانلو[1]*
علی اسدی آسیابدری[2]

۱. استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران.
۲. دانشجوی مهندسی مدیریت منابع آب، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران.

***مسئول مکاتبات:**
aghajanloo@maragheh.ac.ir

کد مقاله: ۱۴۰۰۰۴۰۹۰۵
تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۷/۲۹
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۲۴
این مقاله پژوهشی و برگرفته از طرح پژوهشی است.

چکیده

کیفیت آب مخازن سدها به دلایل مختلف همچون لایه‌بندی حرارتی، تجمع مواد جامد محلول ناشی از آب‌های ورودی، زمان‌ماند بالا و تغذیه گرایی همواره دستخوش تغییرات است. به همین دلیل تحقیق حاضر باهدف تعیین الگوی حرارتی و بررسی شرایط کیفی آب مخزن سد علویان با استفاده از نرم‌افزار CE-QUAL-W2 در سال ۱۳۹۴ (۲۰۱۶) انجام‌گرفته است. نتایج نشان می‌دهد از میانه خرداد تا میانه شهریور مخزن لایه‌بندی حرارتی نسبتاً قوی را تجربه می‌کند به‌طوری‌که در این دوره اختلاف دمای لایه‌های فوقانی و زیرین سد به‌طور متوسط برابر ۱۲/۳۱ درجه سانتی‌گراد می‌گردد. همچنین با توجه به اکوسیستم فعال در رودخانه پایین‌دست و شناسایی انواع خاصی از ماهیان در آن، اختلاف دمای آب رودخانه با آب خروجی از آبگیرها موردبررسی قرار گرفت که این اختلاف برای آبگیر تراز ۱۵۳۰ متر در فصل تابستان به‌طور متوسط در حدود ۶/۷ درجه سانتی‌گراد محاسبه گردید که بالاتر از مقادیر مجاز می‌باشد. به دلیل وقوع طبقه‌بندی کیفی در مخزن هم‌زمان با لایه‌بندی حرارتی و کاهش غلظت اکسیژن محلول در لایه‌های زیرین مخزن در تابستان به ۵/۳۵ میلی‌گرم در لیتر، پیش‌بینی وضعیت مخزن برای سال ۲۰۲۱ به ازای سناریوهای مختلفی ناشی از تغییرات اقلیمی و کاهش مقدار اکسیژن محلول آب ورودی به مخزن هدف قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهند که در بحرانی‌ترین شرایط (۱۰ درصد افزایش دمای محیط و ۱۰ درصد کاهش اکسیژن محلول) مقدار این پارامتر تا ۴/۴ میلی‌گرم در لیتر افت خواهد داشت که وقوع شرایط بی‌هوازی و تولید بو، رنگ و طعم نامطبوع را می‌بایست انتظار داشت. در ارتباط با تغییرات شوری نتایج نشان می‌دهند که لایه‌های زیرین نسبت به لایه‌های بالاتر آب املاح بیشتر دارند، اما بااین‌وجود به دلیل مقادیر پایین شوری در آب رودخانه صوفی‌چای، این مقدار در مخزن در بحرانی‌ترین حالت از ۱۲۵/۴۵ میلی‌گرم در لیتر تجاوز نمی‌کند و اختلاف قابل‌ملاحظه‌ای با مقدار مجاز اعلام‌شده در استاندارد کیفی آب‌های ایران دارد.

واژگان کلیدی: کیفیت آب، سد علویان، نرم‌افزار CE-QUAL-W2.

مقدمه

آب ذخیره‌شده در مخازن سدها به‌عنوان یکی از مهم‌ترین منابع آب شیرین محسوب می‌شود که حفظ کیفیت آن در شرایطی کنونی که جهان با کمبود این منابع مواجه است اهمیت ویژه‌ای می‌یابد. لایه‌بندی عمودی دریاچه‌ها و وقوع چرخش سالانه به‌عنوان مؤثرترین عامل در تغییر ویژگی‌های زیستی و شیمیایی دریاچه‌ها شناخته می‌شوند (NALMS, 2001). لایه‌بندی به دلایل گوناگون همچون اختلاف چگالی ناشی از دما، شوری و مواد جامد معلق می‌تواند رخ دهد که متداول‌ترین آن‌ها تغییرات چگالی ناشی از اختلاف دمایی می‌باشد. لایه‌های سطحی آب در مخازن انرژی گرمایی را به‌طور مستقیم از نور خورشید و گرمای اضافی هوا جذب می‌کنند و در مقابل اختلاط ناشی از باد باعث توزیع این گرما در لایه‌های زیرین می‌شود. اما به دلیل عمق زیاد، اختلاط کامل در راستای عمودی رخ نمی‌دهد و محدود به آب‌های نزدیک به لایه سطحی می‌شود (Ji, 2017). وقوع لایه‌بندی موجب کاهش کیفیت آب در لایه‌های زیرین مخازن می‌گردد و به دنبال آن کاربری‌های مورد انتظار آب مانند شرب، کشاورزی، صنعت و حفظ اکوسیستم پایین‌دست مختل می‌گردد. جهت تشخیص شرایط لایه‌بندی حرارتی و کیفی دریاچه‌ها می‌توان از نمونه‌برداری‌های میدانی به‌طور مستقیم استفاده نمود، اما باید توجه داشت که پایش کیفی لایه‌های مختلف آب مخازن نیازمند استمرار و صرف

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-06-05]

هزینه بسیار است. بنابراین به نظر می‌رسد به‌کارگیری هم‌زمان مدل‌های ریاضی و نتایج نمونه‌برداری‌ها می‌تواند در برآورد وضعیت مخزن مؤثرتر واقع شود و همچنین پیش‌بینی وضعیت کیفی مخزن تحت شرایط مختلف اقلیمی و نیز تزریق بارهای آلودگی احتمالی را ممکن می‌سازد. در جدول ۱ رده‌بندی دریاچه‌ها بر اساس الگوی طبقه‌بندی حرارتی و اختلاط در آن‌ها ارائه گردیده است (Boehrer and Schultze, 2008):

جدول ۱: رده‌بندی دریاچه‌ها بر اساس شرایط چرخش آب.

نام رده	وضعیت دریاچه
دریاچه‌های هولومیکتیک	در این دریاچه‌ها حداقل سالی یک‌بار واژگون و اختلاط کامل صورت می‌گیرد و می‌توان آن‌ها را به سه گروه اصلی طبقه‌بندی نمود: دریاچه‌های مونومیکتیک: یک‌بار اختلاط کامل در این دریاچه‌ها رخ می‌دهد. بسته به تراز و عرض جغرافیایی به دودسته مونومیکتیک سرد و گرم طبقه‌بندی می‌شوند. دریاچه‌های دیمیکتیک: در سال دو بار اختلاط در آن‌ها رخ می‌دهد. دریاچه‌های پلی‌میکتیک: دریاچه‌هایی کم‌عمق که مدام در حال اختلاط هستند.
دریاچه‌های مرومیکتیک	دریاچه‌هایی هستند که در آن‌ها گردش آب به‌طور کامل در آن‌ها صورت نمی‌گیرد و معمولاً یک‌لایه زیرین بی‌اکسیژن دارند.
دریاچه‌های آمیکتیک	این دریاچه‌ها یک چرخش عمیق را تجربه نمی‌کنند و پخشیدگی باعث انتشار گرما و املاح می‌گردد. معمولاً دریاچه‌های دائمی پوشیده از یخ در این کلاس گنجانده می‌شوند.

بر این اساس تعیین رژیم حرارتی مخازن سدها و ارزیابی مقادیر اکسیژن محلول و دیگر پارامترهای کیفی در فصول مختلف، اهمیت بسیار زیادی می‌یابد. در دهه‌های اخیر همراه با پیشرفت‌هایی که درزمینه‌ی مطالعات کیفیت آب صورت گرفته، مدل‌های ریاضی در این زمینه توسعه یافتند که می‌توانند به‌عنوان ابزار مناسبی جهت پیش‌بینی رفتار هیدرودینامیکی و کیفیت آب دریاچه‌ها و مخازن در اختیار مهندسین محیط‌زیست و مدیریت منابع آب قرار بگیرند. یکی از این مدل‌های ریاضی، نرم‌افزار CE-QUAL-W2 می‌باشد که در دهه‌های اخیر قابلیت‌های آن درزمینه‌ی شبیه‌سازی پارامترهای کیفی آب در مخازن مورد تأیید بسیاری از محققین قرارگرفته است. به‌عنوان‌مثال، در مطالعه‌ای که روی تغییرات دما در دریاچه سویانگ کره با استفاده از این نرم‌افزار انجام شد، برای کالیبراسیون از داده‌های سال ۱۹۹۶ و برای اعتبارسنجی از داده‌های سال‌های ۱۹۹۵–۲۰۰۵ استفاده گردید. نتایج این تحقیق اثبات‌کننده قابلیت بالای مدل در پیش‌بینی توزیع دمایی، حرکت جریان چگال و به‌طورکلی شبیه‌سازی کیفیت آب مخازن می‌باشد (Jin and Ji, 2004). در مطالعه‌ای دیگر، تغییرات شرایط دمایی در دریاچه لورانس نیز با این نرم‌افزار مدل‌سازی گردید و بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، سناریوهایی را برای تغییر دبی خروجی به کار گرفته شد تا در رژیم حرارتی دریاچه تغییراتی ایجاد شود (Berger *et al*., 2005). در پروژه بررسی اثرات طرح‌های برداشت انتخابی آب بر لایه‌بندی حرارتی در سد کوریس در قبرس با نرم‌افزار CE-QUAL-W2 نتایج نشان دادند الگوی حرارتی و دمای آب پیش‌بینی‌شده در مخزن به‌طور محسوسی تحت تأثیر طرح‌های برداشت آب قرار می‌گیرند (Ma *et al*., 2008) همچنین این مدل برای مخزن سد شهید رجایی در مازندران با کاربری آب شرب مورداستفاده قرار گرفت که نتایج مطالعات نشان داد با استمرار وضعیت مخزن، در سال‌های بعد شرایط کاملاً بی‌هوازی در لایه‌های زیرین مخزن رخ می‌دهد (Saeidi *et al*., 2014). خواجه پور و همکاران (۱۳۹۴) در مطالعه لایه‌بندی حرارتی در مخزن سد پانزده خرداد از نرم‌افزار CE-QUAL-W2 استفاده نمودند و علاوه بر تائید قابلیت آن در شبیه‌سازی کیفی آب مخزن، دریافتند لایه‌بندی تابستانه در مخزن رخ می‌دهد که همراه با یک‌بار واژگونی در سال می‌باشد. در مطالعه بررسی رژیم حرارتی و شوری در مخزن سد ماملو در استان تهران با استفاده از نرم‌افزار CE-QUAL-W2، تغییرات حرارتی و شوری این مخزن تا سال ۲۰۲۰ بر اساس سناریوهای مختلف دبی آب ورودی و خروجی پیش‌بینی گردید (Sabeti and Jamali, 2017). طلاکش و همکاران (۱۳۹۸) در مطالعات خود بر روی مخزن سد کارون ۳ به این نتیجه رسیدند که لایه‌بندی حرارتی پایدار تابستانی در مخزن رخ می‌دهد که همراه با کاهش دما در فصول سرد این شرایط از بین رفته و مخزن اختلاط کامل را در فصل سرد تجربه می‌کند. همچنین

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-06-05]

در تحقیقی که بر روی کیفیت آب در دو ایستگاه بالادست و پایین‌دست در سد جره در خوزستان در دوره ۵ ساله با مدل CE-QUAL-W2 انجام شد، کاهش فعالیت‌های کشاورزی به‌عنوان راهکاری جهت کاهش میزان آلودگی در مخزن پیشنهاد گردید (Neissi *et al.*, 2019).

در تحقیق انجام‌شده بر روی کیفیت آب مخزن دیفن‌بیکر در کانادا، شش سناریو جهت برداشت آب از ترازهای مختلف مخزن طراحی شد و با مدل‌سازی کیفی آب با استفاده از مدل CE-QUAL-W2 تأثیر سناریوهای استخراج بر خصوصیات مخزن موردبررسی قرار گرفت (Lindenschmidt *et al.*, 2019). در تکمیل این تحقیق، Carr و همکاران (۲۰۱۹) نتیجه گرفتند در طول تابستان به دلیل حجم بالای آب خروجی از سرریزها، آب با غلظت بالای مواد مغذی و دمای کم در طول سطح مخزن با بالاترین سرعت جریان می‌یابد و اختلاط در ستون آب به تأخیر می‌افتد. در تحقیقی دیگر روی مخزن سد کرخه، نتایج مدل‌سازی ریاضی CE-QUAL-W2 با تکنیک‌های داده‌کاوی ترکیب شد تا روش جدیدی برای شناسایی دامنه‌های کنترل زمانی و مکانی بحرانی ایجاد شود. برای این منظور، تغییرات طولانی‌مدت سه پارامتر کیفیت ازجمله سطح نیتریت-نیترات، سطح اکسیژن محلول و درجه حرارت آب در نزدیکی خروجی سد مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، مخزن سد کرخه در هرسال دوره‌ای از لایه‌بندی حرارتی شدید را تجربه می‌کند که در طی آن لایه ترموکلاین باضخامت ۳۰ متر تشکیل می‌شود. این لایه‌بندی از ماه ژوئن آغاز می‌شود، در اگوست به اوج می‌رسد و تا اکتبر ادامه دارد (Yoosef Doost *et al.*, 2020). همچنین برای بررسی وضعیت کیفی آب مخزن سد امیرکبیر (Arefinia *et al.*, 2020) از تکنیک‌های برنامه‌ریزی ژنتیکی، شبکه عصبی مصنوعی و دستگاه بردار پشتیبانی برای مدل‌سازی کیفیت مخزن استفاده کردند که داده‌های ورودی موردنیاز با استفاده از نرم‌افزار CE-QUALW2 به دست آمد. این مطالعه قابلیت به‌کارگیری ابزارهای داده‌کاوی برای شبیه‌سازی غلظت املاح در مخازن را اثبات می‌کند. با توجه به اهمیت انجام مطالعات کیفی آب مخازن سدها، در این تحقیق سد علویان بر روی رودخانه صوفی‌چای به‌عنوان نمونه مطالعاتی انتخاب گردید و تعیین الگوی حرارتی مخزن در طول سال و بررسی روند تغییرات کیفی تحت تأثیر تغییر شرایط اقلیمی و کیفیت آب رودخانه بالادست با استفاده از نرم‌افزار CE-QUAL-W2 هدف قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

رودخانه صوفی‌چای از ارتفاعات سهند در شمال غرب ایران سرچشمه می‌گیرد و با عبور از شهرهایی همچون مراغه و بناب درنهایت به دریاچه ارومیه می‌ریزد. سد علویان بر روی رودخانه صوفی‌چای و در فاصله ۳/۵ کیلومتری از شهر مراغه، باهدف کنترل آب‌های سطحی، تأمین آب شرب شهرهای اطراف و آب موردنیاز کشاورزان منطقه احداث گردیده است. در جدول ۲ اطلاعات و مشخصات سد علویان و در شکل ۱ موقعیت جغرافیایی سد آورده شده است.

جدول ۲: مشخصات ساختمان سد و مشخصات هیدرولیکی سد.

ارتفاع سد از پی	۷۶ متر	حجم مخزن	۵۷/۷ (MCM)(میلیون مترمکعب)
طول تاج	۹۳۵ متر	دریچه‌های تخلیه	در ترازهای ۱۵۲۵، ۱۵۳۰ و ۱۵۴۵ از سطح دریا

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-06-05]

شکل ۱: موقعیت جغرافیایی سد علویان.

همان‌گونه که عنوان گردید، در تحقیق حاضر نرم‌افزار CE-QUAL-W2 که یک مدل دوبعدی (طولی/ عمودی) هیدرودینامیکی و کیفی آب با تکنیک حل اختلاف محدود می‌باشد، جهت شبیه‌سازی کیفیت آب مخزن سد علویان انتخاب گردید. با توجه به فرضیات به‌کاررفته بر مبنای همگنی در راستای جانبی، این نرم‌افزار برای آب‌های به نسبت طولانی و باریک که دارای گرادیان کیفیت آب در راستای طولی و عمودی هستند، مناسب می‌باشد (Cole and Wells, 2008). این مدل قادر است تراز سطح آب، سرعت، دما و تعداد زیادی از پارامترهای کیفی آب مانند اکسیژن محلول، مواد مغذی، جلبک‌ها و غیره را پیش‌بینی نماید. همچنین انواع ورودی‌های جریان و آلودگی مانند منابع نقطه‌ای/ غیر نقطه‌ای، شاخه‌های فرعی و بارش و نیز انواع سازه‌های هیدرولیکی از قبیل سرریزها و لوله‌ها به‌عنوان خروجی در آن قابل‌تعریف هستند. از دیگر ویژگی‌های خاص آن می‌توان به وجود تعامل و ارتباطات پیچیده میان پارامترهای کیفی آب گنجانده‌شده در آن و درعین‌حال روش‌های ساده مورداستفاده برای شبیه‌سازی این پارامترها اشاره نمود که درنتیجه آن‌ها نرم‌افزار قابلیت بالایی در این زمینه پیداکرده است (Cole and Wells, 2003).

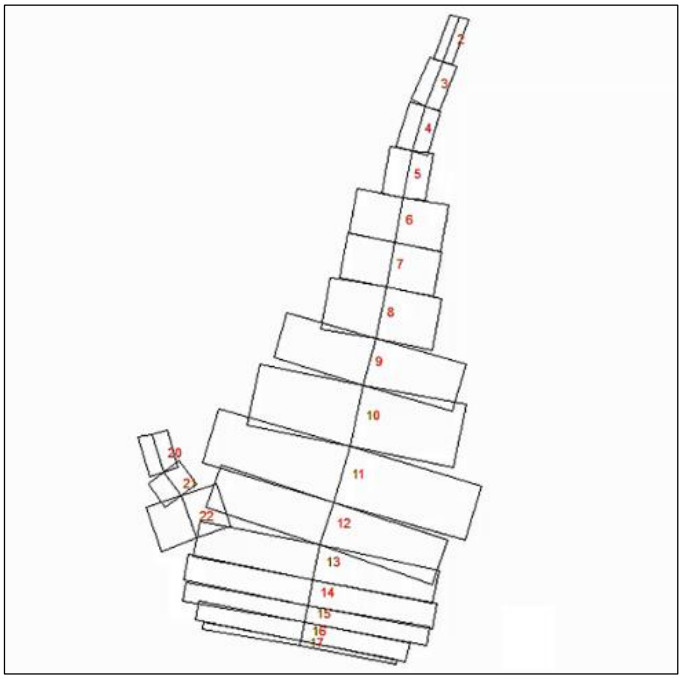
در مرحله بعد، به‌منظور شبیه‌سازی کیفی مخزن سد علویان نیاز به داده‌هایی شامل اطلاعات هواشناسی (مانند دمای هوا، نقطه شبنم، سرعت و جهت باد و ساعات ابرناکی، در بازه‌های ۳ ساعته)، مقاطع عرضی برداشت‌شده از سد، بیلان آبی، داده‌های مربوط به پارامترهای کیفی آب (مانند دما، اکسیژن محلول و کل مواد جامد محلول) در رودخانه صوفی‌چای و مخزن سد علویان که این داده‌ها از سازمان آب منطقه‌ای و سازمان هواشناسی آذربایجان شرقی جمع‌آوری گردیدند. پس از بررسی داده‌های موجود، بازه زمانی دوساله از اول ژانویه ۲۰۱۶ (۱۱ دی ۱۳۹۴) الی ۳۱ دسامبر ۲۰۱۷ (۱۰ دی ۱۳۹۶) به‌عنوان دوره شبیه‌سازی انتخاب گردید.

با استناد به داده‌های دریافتی، بیشترین دبی ورودی به مخزن مربوط به دو ماه ابتدایی فصل بهار با مقدار متوسط ۸/۶۶ مترمکعب در ثانیه می‌باشد و در بقیه ماه‌های سال متوسط دبی ورودی به مخزن در حدود ۰/۹۵ مترمکعب در ثانیه گزارش گردید. علاوه بر این با توجه به نیاز آبی کشاورزی منطقه، بیشترین برداشت آب از مخزن سد مربوط به فصل بهار و تابستان با مقدار متوسط ۵/۸۱ مترمکعب در ثانیه می‌باشد و در بقیه روزهای سال مقدار دبی خروجی متوسط ۰/۸۶ مترمکعب در ثانیه اندازه‌گیری شد. بر این اساس در پرآب‌ترین و کم آب‌ترین حالت در دوره شبیه‌سازی دوساله، عمق متوسط آب در مخزن به ترتیب در حدود ۳۸ و ۱۸ متر گزارش گردید. همچنین طبق اطلاعات هواشناسی، دمای حداکثر، متوسط و حداقل منطقه به ترتیب ۳۸/۸۰، ۱۲/۸۳ و ۱۵/۸۰- درجه سانتی‌گراد در بازه دوساله شبیه‌سازی می‌باشد.

با تکمیل داده‌های ورودی، مدل‌سازی ریاضی مخزن سد علویان در نرم‌افزار CE-QUAL-W2 با پیاده‌سازی هندسه مخزن آغاز می‌شود. بر اساس اطلاعات مربوط به توپوگرافی منطقه (دریافتی از سازمان آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی مربوط به عملیات نقشه‌برداری هیدروگرافیک مخزن سد در سال ۱۳۹۴)، مخزن به‌صورت یک پیکره آبی با دو انشعاب شبیه‌سازی گردید که در انشعابات قطعه‌هایی بافاصله‌هایی مابین ۵۰ الی ۳۵۰ متر (بسته به عرض مقاطع و زوایای مسیر رودخانه در پلان) تعریف شدند. به‌این‌ترتیب کل بدنه سد با تعداد ۲۲ قطعه پوشش داده شد (شکل

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-06-05]

۲). همچنین برای بررسی دقیق‌تر پارامترهای کیفی آب در راستای عمودی، عمق مخزن به ۶۲ لایه باضخامت‌های برابر یک متر تقسیم‌بندی گردید.



شکل ۲: قطعه‌بندی سد علویان در نرم‌افزار CE-QUAL-W2.

پس از ورود اطلاعات هندسه مخزن به نرم‌افزار CE-QUAL-W2 و اجرای آن، با استفاده از داده‌های حجم-تراز-سطح مخزن سد علویان کالیبراسیون هندسی مخزن صورت پذیرفت. این بخش در چندین مرحله و با اعمال ضرایب اصلاحی در عرض قطعه‌ها در عمق‌های مختلف انجام گرفت. جهت مقایسه نتایج این بخش، از شاخص‌های آماری میانگین قدر مطلق خطا (MAE) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب نش- ساتکلیف (NS) مطابق روابط زیر استفاده گردید:

رابطه ۱:
$$AME = \frac{\sum \left| X_{obs} - X_{comp} \right|}{N}$$

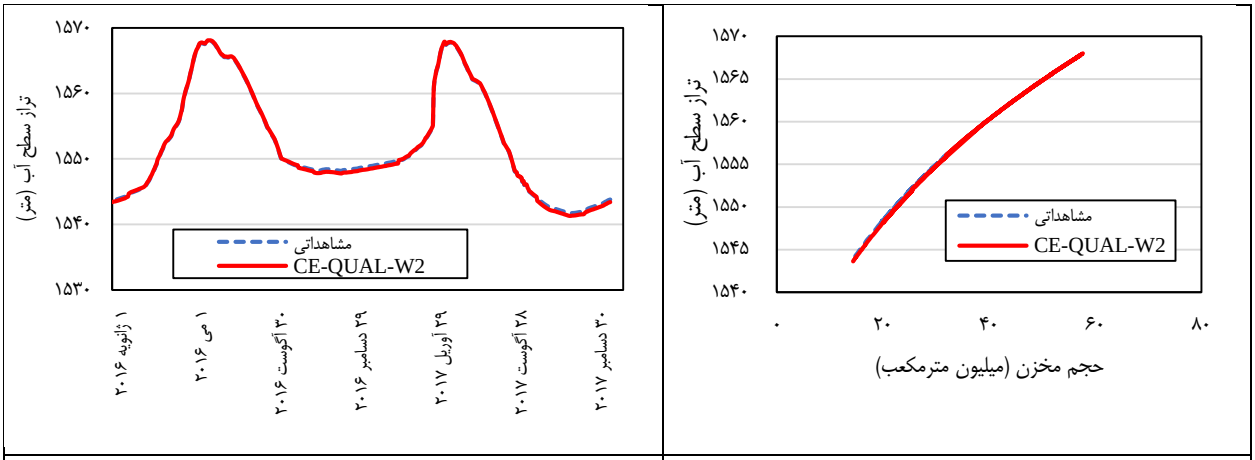
رابطه ۲:
$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum \left(X_{obs} - X_{comp} \right)^2}{N}}$$

رابطه ۳:
$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{N} \left(X_{comp} - X_{obs} \right)^2}{\sum_{i=1}^{N} \left(X_{comp} - X_{comp} \right)^2}$$

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-06-05]

که در آن‌ها X_{obs} مقدار مشاهداتی، X_{comp} مقدار محاسباتی و N تعداد نمونه‌های مشاهداتی می‌باشند. بر همین اساس، جهت بررسی صحت نتایج در شکل ۳-الف تغییرات تراز – حجم مخزن سد برای داده‌های مشاهداتی و نتایج مدل ریاضی بعد از کالیبراسیون با مقادیر نهایی MAE، RMSE و NS به ترتیب ۰/۶۳۲ ، ۰/۷۵۶ مترمکعب و ۰/۹۹۷ نشان داده‌شده است. پس‌ازاین مرحله، نوبت به کالیبراسیون تراز سطح آب مخزن در بازه زمانی دوساله شبیه‌سازی می‌رسد. این مرحله از کالیبراسیون باید بسیار با دقت انجام شود زیرا واردکردن مقادیر غیرواقعی ضرایب و داده‌ها می‌تواند نتایج شبیه‌سازی رفتار حرارتی و پارامترهای کیفی مخزن را با خطا همراه سازد. در شکل ۲-ب تغییرات تراز سطح آب مخزن سد در بازه زمانی اول ژانویه ۲۰۱۶ (معادل ۱۱ دی ۱۳۹۴) الی ۳۱ دسامبر ۲۰۱۷ (معادل ۱۰ دی ۱۳۹۶) مربوط به نتایج مدل CE-QUAL-W2 و مقادیر مشاهداتی ارائه‌شده است که MAE، RMSE و NS این مرحله به ترتیب ۰/۶۰۸، ۰/۶۸۵ متر و ۰/۹۹۲ محاسبه گردیدند.

پس از اطمینان از صحت شبیه‌سازی هندسه مخزن سد و تراز سطح آب، مرحله کالیبراسیون و شبیه‌سازی دما به‌عنوان مهم‌ترین پارامتر مؤثر در مدل‌سازی کیفیت آب مخزن انجام گرفت. داده‌های کیفی اندازه‌گیری شده در مخزن در نقطه‌ای به فاصله ۱/۷۲۳ کیلومتری از بدنه سد و به‌صورت ماهانه برداشت‌شده‌اند. در ابتدا، با توجه به تعدد ضرایب مورداستفاده در نرم‌افزار که در رژیم حرارتی مخزن مؤثر هستند، آنالیز حساسیت روی این ضرایب صورت پذیرفت و میزان تأثیر آن‌ها بر الگوی حرارتی مخزن سنجیده شد. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده در این مرحله، ضریب پوشش باد، پارامتر دمای رسوب و ضریب جذب نور برای آب خالص بیشترین تأثیر را بر روی پروفیل‌های حرارتی مخزن سد علویان داشتند.



الف) تغییرات تراز – حجم مخزن سد | **ب) تغییرات تراز سطح آب مخزن در دوره شبیه‌سازی**

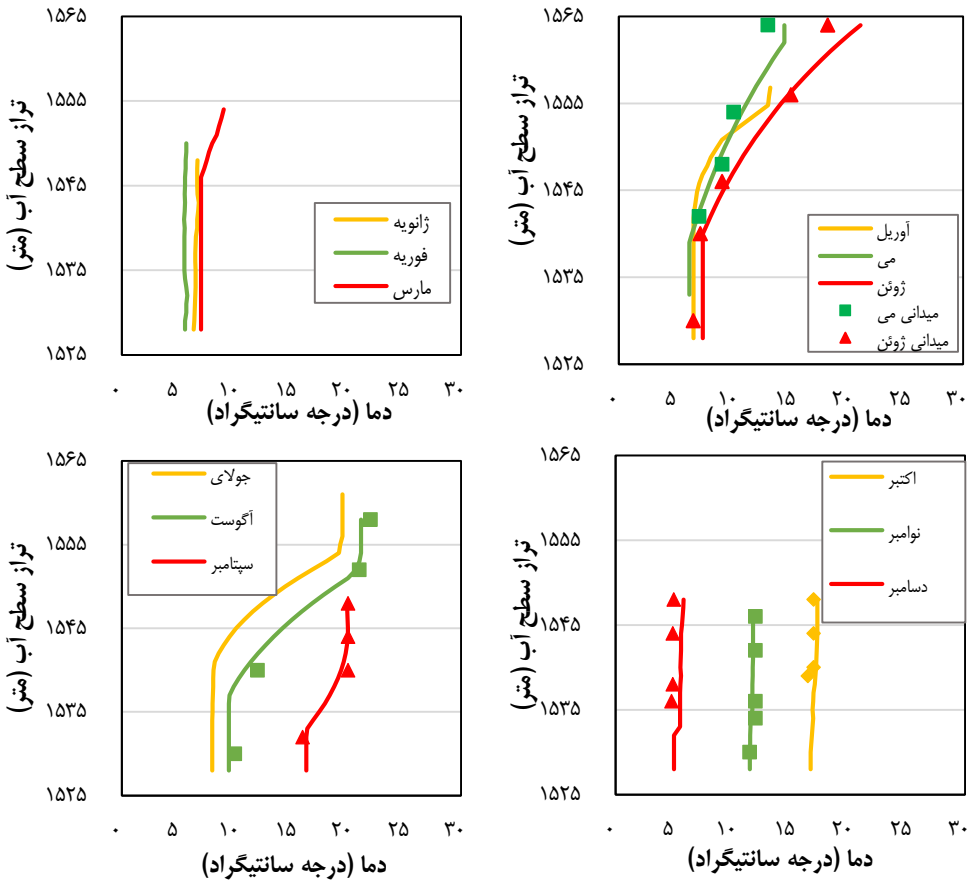
شکل ۳: نتایج کالیبراسیون هندسی مخزن سد علویان.

درنهایت مرحله کالیبراسیون دمایی با مقدار حداکثر MAE و RMSE به ترتیب برابر ۱/۰۰۶ و ۱/۰۸۴ درجه سانتی‌گراد به پایان رسید. در شکل ۴ نتایج شبیه‌سازی مدل ریاضی برای الگوی حرارتی آب مخزن در راستای عمودی برای ماه‌های مختلف سال آورده نشان داده‌شده است که در این نمودارها مقادیر اندازه‌گیری شده دمای آب مخزن در عمق‌های مختلف به‌صورت نقاط مجزا دیده می‌شود.

با بررسی شکل‌ها می‌توان دید که در فصل زمستان همراه با دمای پایین هوا و عمق کم آب در مخزن، الگوی حرارتی آب در تمامی لایه‌های مخزن به نسبت یکنواخت است. البته در ماه مارس (اسفند) همراه با گرم شدن تدریجی هوا و افزایش تشعشعات خورشیدی، لایه‌های سطحی آب به‌تدریج افزایش دما خواهند داشت که این روند در فصل بهار شدت می‌یابد. بررسی نمودارهای فصل بهار نشان می‌دهد که از اوایل فصل بهار با شروع بارش‌ها و ذوب برف افزایش قابل‌توجهی در تراز سطح آب رخ می‌دهد. به‌طور هم‌زمان، پروفیل دمایی در عمق مخزن شیب بسیار تندی می‌یابد که نشان‌دهنده اختلاف دمایی زیاد آب سطحی با لایه‌های زیرین مخزن است، به‌طوری‌که در ماه ژوئن (خرداد) از سطح آب تا عمق ۲۴

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-06-05]

متری اختلاف دمایی حدود ۱۴ درجه سانتی‌گراد دیده می‌شود. در این ماه تشکیل لایه ترموکلاین را می‌توان به‌وضوح دید. با ادامه گرمای هوا در تابستان، در ماه‌های جولای و آگوست (تیر و مرداد) مخزن لایه‌بندی حرارتی را تجربه می‌کند و لایه ترموکلاین باضخامت حدود ۱۵ متر به‌طور کامل تشکیل می‌شود. بااین‌حال در ماه سپتامبر (شهریور) همراه با پایین آمدن تراز سطح آب، تغییر رژیم حرارتی مخزن کاملاً محسوس است که درنتیجه آن اختلاف دمایی شدید لایه‌ها از بین می‌رود. به‌طوری‌که در فصل پاییز با سرد شدن هوا، کاهش دمای آب مخزن نیز دیده می‌شود و در این دوره، لایه‌های آب اختلاف دمای بسیار جزئی حدود یک تا دو درجه سانتی‌گراد را در عمق حدود ۱۸ متر تجربه می‌کنند.

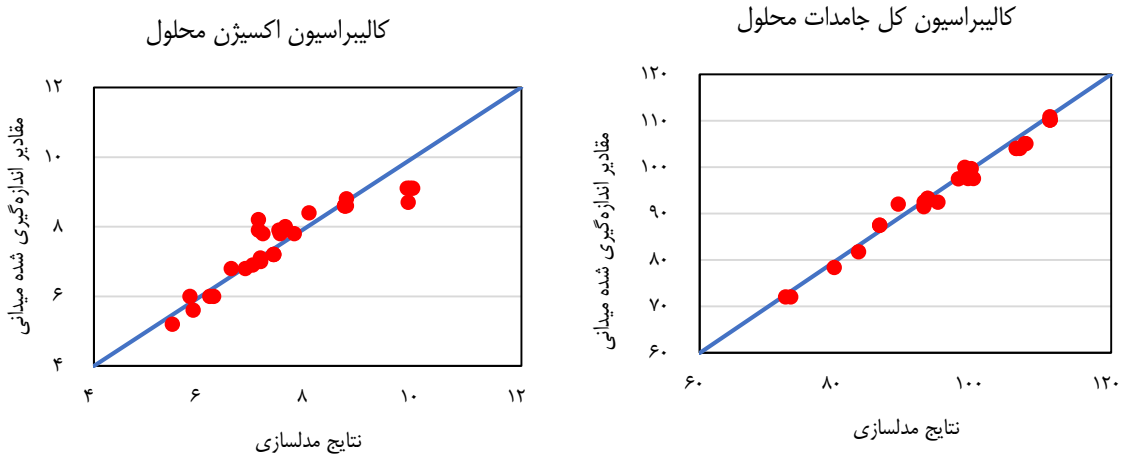


شکل ۴: نمودار تغییرات درجه حرارت نسبت به عمق در مخزن سد علویان.

درنهایت پس از تعیین الگوی حرارتی مخزن، نوبت به کالیبراسیون و شبیه‌سازی پارامترهای کیفی مخزن سد می‌رسد. اکسیژن محلول در آب را می‌توان به‌عنوان یکی از مهم‌ترین شاخص‌های سلامت آب دانست (Kuo *et al.*, 2007). کاهش غلظت این پارامتر در توده‌های آبی که می‌تواند نشانه‌ای از حضور آلودگی باشد، زندگی ماهیان و دیگر آبزیان را دچار تنش می‌نمایند (Ji, 2017). یکی دیگر از عوامل کاهش اکسیژن محلول در آب، لایه‌بندی حرارتی مخازن و دریاچه است. نتایج نشان می‌دهند همراه با لایه‌بندی حرارتی در مخزن سد، طبقه‌بندی پارامترهای کیفی آب نیز به وقوع می‌پیوندد، به‌طوری‌که لایه‌های زیرین نسبت لایه‌های سطحی، غلظت کمتر اکسیژن محلول و غلظت بالاتر املاح را تجربه می‌کنند. در مطالعه حاضر، کالیبراسیون این بخش با استفاده از اطلاعات موجود از سد شامل اندازه‌گیری‌های میدانی پارامترهای اکسیژن محلول و کل مواد جامد محلول در عمق‌های مختلف، صورت پذیرفت که نتایج آن در شکل ۵ ارائه گردیده است. در این شکل محور افقی نتایج حاصل

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-06-05]

از مدل‌سازی با نرم‌افزار CE-QUAL-W2 و محور قائم مقادیر اندازه‌گیری شده میدانی هستند و خط رسم شده بیانگر حالتی است که این مقادیر با یکدیگر برابر باشند. در این مرحله از مطالعات MAE و RMSE برای اکسیژن محلول به ترتیب ۰/۶۸۷ و ۰/۷۸۲ میلی‌گرم در لیتر و برای کل مواد جامد محلول به ترتیب ۰/۵۳۶ و ۰/۵۹۶ میلی‌گرم در لیتر محاسبه گردیده‌اند.



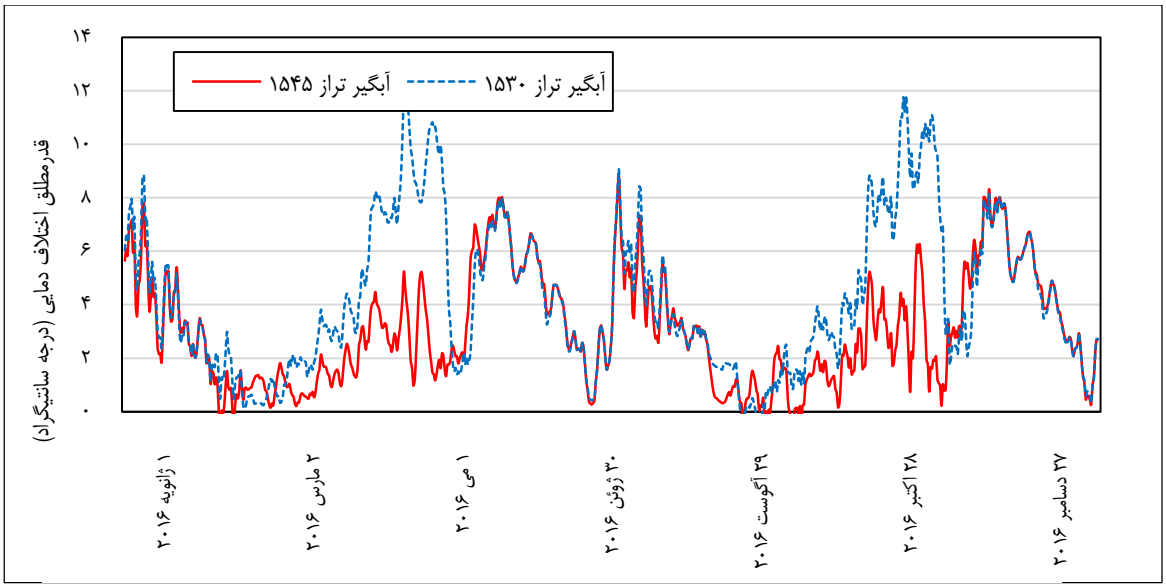
شکل ۵: نتایج کالیبراسیون غلظت اکسیژن محلول و کل مواد جامد محلول

(در هر دو نمودار محور افقی نتایج مدل ریاضی CE-QUAL-W2 و محور قائم مقادیر اندازه‌گیری شده میدانی برحسب میلی‌گرم بر لیتر هستند)

نتایج

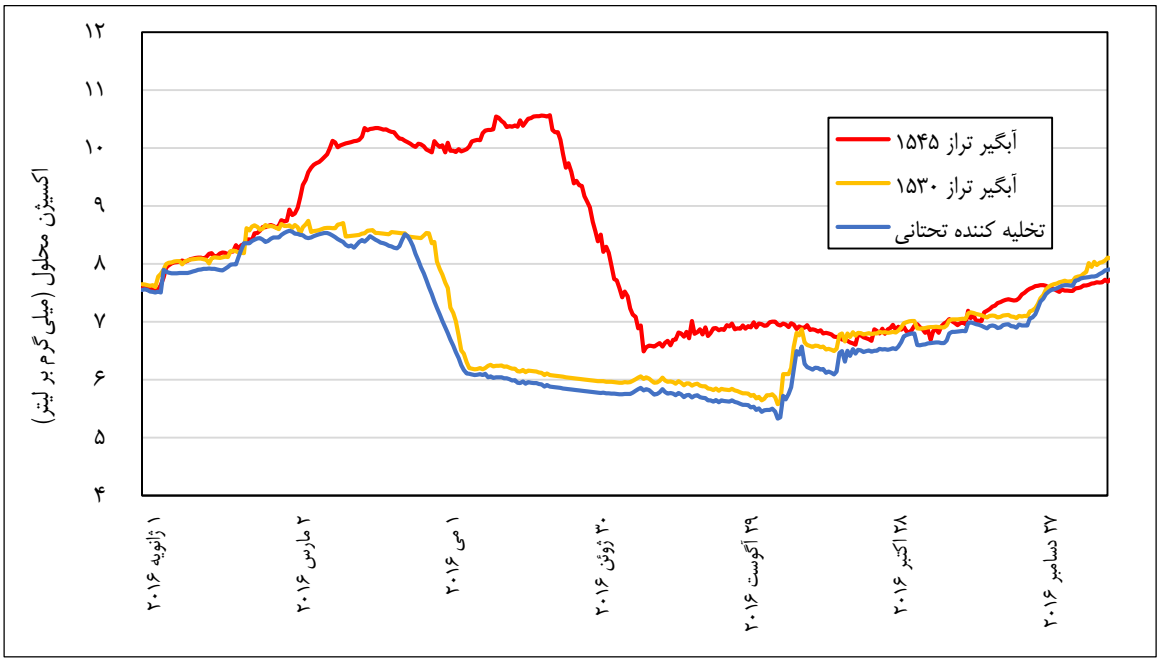
برای مخزن سد علویان دو آبگیر در ترازهای ۱۵۳۰ و ۱۵۴۵ متر و یک تخلیه کننده در تراز ۱۵۲۵ تعبیه‌شده است که بسته به فصول مختلف سال و تراز سطح آب در مخزن خروج آب از سیستم توسط این تأسیسات انجام می‌شود. درنتیجه در این بخش از مطالعات تمرکز بر روی بررسی و پیش‌بینی کیفیت آب در ترازهای خروج آب از سد قرار گرفت. یکی از مهم‌ترین اثرات زیست‌محیطی احداث سدها، برهم خوردن شرایط طبیعی رودخانه در پایین‌دست است که می‌تواند باعث وارد شدن آسیب به اکوسیستم آبی منطقه گردد. یکی از دلایل این پدیده، وقوع لایه‌بندی حرارتی در مخزن سد و به دنبال آن ایجاد اختلاف دمایی میان آب تخلیه‌شده از دریچه‌های خروجی سد با آب رودخانه پایین‌دست است که می‌تواند باعث ایجاد شوک حرارتی برای آبزیان گردد. با استناد به "استاندارد کیفیت آب‌های سطحی کشور (۱۳۹۵)" برای حفاظت اکوسیستم‌های آبی، می‌بایست در هنگام تخلیه جریان‌ها به داخل رودخانه‌ها از اختلاف دمایی شدید جلوگیری نمود. درواقع اختلاف درجه حرارت در پایین‌دست نقطه تخلیه آلودگی حرارتی (در مرز ناحیه اختلاط) با بالادست آن نباید بیش از مقادیر مجاز اعلام‌شده باشد. این مقادیر برای اکوسیستم‌های مناسب برای ماهیان سرد آبی و ماهیان گرماب به ترتیب برابر ۱/۵ و ۳ درجه سانتی‌گراد ذکرشده است. به همین منظور اختلاف دمایی آب برداشتی از لایه‌های مختلف آبگیری (آبگیر تراز ۱۵۴۵ و تراز ۱۵۳۰) و دمای آب رودخانه پایین‌دست محاسبه گردید. در شکل ۶ قدر مطلق اختلاف دمای آب‌ترازهای تخلیه آب سد و دمای آب رودخانه صوفی‌چای در پایین‌دست سد علویان در بازه دوساله شبیه‌سازی (اول ژانویه ۲۰۱۶ الی ۳۱ دسامبر ۲۰۱۷) ارائه‌شده است.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-06-05]



شکل ۶: اختلاف دمایی آب لایه‌های مختلف مخزن سد و رودخانه پایین‌دست در بازه دوساله شبیه‌سازی.

با بررسی الگوی حرارتی مخزن سد علویان و همچنین تغییرات اکسیژن محلول در آب مشخص شد که در طی ماه‌های تیر و مرداد طبقه‌بندی قوی در آب رخ می‌دهد که می‌تواند باعث کاهش مقدار اکسیژن محلول تا میزان حدود ۵/۳ میلی‌گرم‌درلیتر در عمیق‌ترین بخش مخزن گردد که این مقدار بسیار نزدیک به تشکیل شرایط بی‌هوازی در عمق مخزن و افت سطح کیفی آب می‌باشد. بر این اساس، ضروری است احتمال بروز وضعیت بی‌هوازی در اعماق مخزن در صورت استمرار وضعیت حاضر و یا در شرایط تغییرات در میزان آلودگی و شرایط اقلیمی منطقه موردبررسی قرار گیرد. به همین دلیل در ادامه تحقیق، تمرکز بر پیش‌بینی شرایط کیفی مخزن در ۵ سال بعد از بازه شبیه‌سازی یعنی سال ۲۰۲۱ (سال ۱۴۰۰) قرار گرفت.

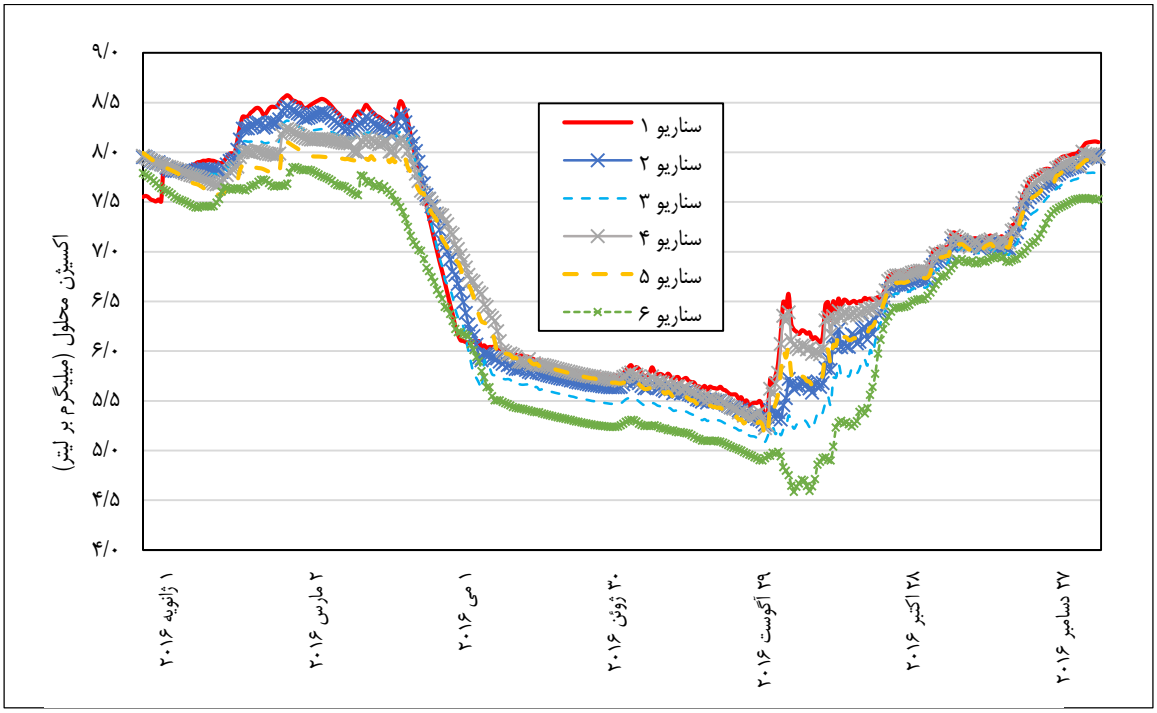


شکل ۷: تغییرات مقدار اکسیژن محلول آب مخزن در ترازهای مختلف در سال ۲۰۱۶.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-06-05]

به همین منظور سناریوهایی جهت بررسی میزان تأثیر تغییرات شرایط اقلیمی منطقه (افزایش دما) و آلودگی رودخانه بالادست (تغییرات اکسیژن محلول آب ورودی به مخزن) بر کیفیت آب مخزن سد علویان طراحی گردید. این سناریوها شامل (۱) سناریوی نرمال (ادامه شرایط فعلی ازنظر اکسیژن محلول و دمای هوا تا سال ۲۰۲۱)، (۲) افزایش ۱۰ درصدی دمای هوا؛ (۳) افزایش ۲۰ درصدی دمای هوا؛ (۴) کاهش ۱۰ درصدی اکسیژن محلول آب ورودی به مخزن؛ (۵) کاهش ۲۰ درصدی اکسیژن محلول آب ورودی به مخزن و (۶) افزایش ۱۰ درصدی دمای هوا و هم‌زمان کاهش ۱۰ درصدی اکسیژن محلول آب ورودی به مخزن می‌باشند.

در شکل ۸ تغییرات میزان اکسیژن محلول در لایه زیرین مخزن در سال ۲۰۲۱ به ازای سناریوهای مختلف ارائه‌شده است. بر اساس نتایج مدل‌سازی ریاضی، شدیدترین افت اکسیژن محلول مربوط به سناریوی شماره ۶ (افزایش ۱۰ درصدی دما هم‌زمان با کاهش ۱۰ درصدی اکسیژن محلول آب ورودی به مخزن سد) می‌باشد. در این شرایط به‌طور متوسط نسبت به سناریوی نرمال (استمرار وضعیت حاضر) ۱۰/۶۳ درصد کاهش اکسیژن رخ می‌دهد که در ماه سپتامبر غلظت اکسیژن محلول را به حدود ۴/۴ میلی‌گرم در لیتر می‌رساند. با توجه به این‌که در این ماه به دلیل افت شدید تراز سطح آب، آبگیری معمولاً از خروجی تراز ۱۵۳۰ متری انجام می‌شود، این افت کیفیت آب هزینه بالایی را به واحدهای تصفیه‌خانه تحمیل می‌نماید. نکته قابل‌توجه این است که در فصل زمستان و اوایل بهار سناریو شماره ۵ (کاهش ۲۰ درصدی اکسیژن محلول جریان ورودی) بیشترین تأثیر را در کاهش غلظت اکسیژن داشته است و باعث کاهش ۴/۴۳ درصدی متوسط غلظت می‌گردد. درحالی‌که در بقیه فصول تأثیر سناریو ۳ (افزایش ۲۰ درصدی دما) بارزتر می‌باشد و به‌طور متوسط ۸/۷۹ درصد غلظت را کاهش می‌دهد.

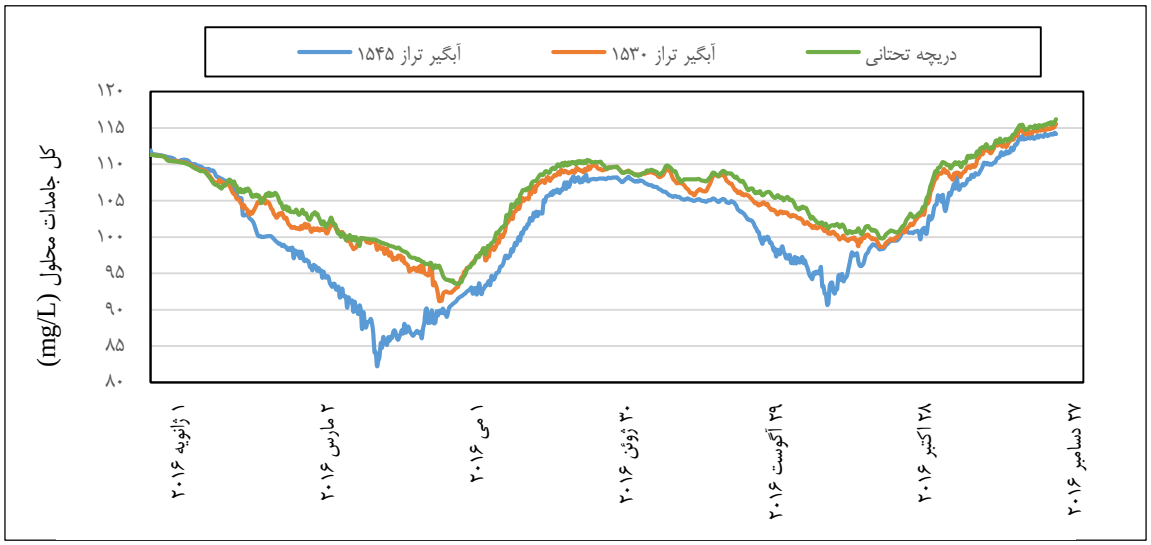


شکل ۸: پیش‌بینی مقدار اکسیژن محلول آب لایه زیرین مخزن ازای سناریوهای مختلف در سال ۲۰۲۱.

در شکل ۹ نمودار تغییرات کل جامدات محلول برای دوره شبیه‌سازی دوساله نشان داده‌شده است. همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود، در فصل‌های بهار و تابستان مقدار این شاخص در لایه‌های بالایی کمتر از لایه‌های زیرین مخزن بوده و این اختلاف در حدود ماه اکتبر به دلیل چرخش آب از بین می‌رود. با توجه به که در استاندارد کیفیت آب ایران، معیار مشخصی برای کل جامدات محلول ذکر نشده است، نیاز به

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-06-05]

جایگزینی معیار دیگری برای کنترل این شاخص کیفی می‌باشد. یکی از این معیارها هدایت الکتریکی می‌باشد که با استناد به نتایج مطالعه (Rusydi, 2008) می‌توان ارتباط معناداری میان هدایت الکتریکی آب و کل مواد جامد محلول برقرار نمود. به‌این‌ترتیب، داده‌های اندازه‌گیری شده پارامترهای هدایت الکتریکی آب و کل مواد جامد محلول در رودخانه بالادست جهت استخراج رابطه میان آن‌ها موردسنجش قرار گرفتند و درنهایت رابطه توانی $TDS=0.705(EC)^{0.983}$ (با مقدار تقریبی $R^2=0.973$) به‌عنوان بهترین رابطه برازش داده‌شده بین این دو شاخص انتخاب گردید. در رابطه فوق EC، ضریب هدایت الکتریکی (برحسب میکرو زیمنس بر سانتی‌متر) و TDS کل مواد جامد محلول در آب (برحسب میلی‌گرم در لیتر) می‌باشند. به‌این‌ترتیب، مقادیر محاسباتی TDS در مخزن برای دوره دوساله، به‌دست‌آمده از نرم‌افزار CE-QUAL-W2 به EC تبدیل شد و به‌این‌ترتیب حداکثر مقدار EC در مخزن برای کل اعماق مخزن در دوره شبیه‌سازی دوساله برابر ۲۶۸/۳۲ میکرو زیمنس بر سانتی‌متر محاسبه گردید.



شکل ۹: نمودار تغییرات مواد جامد محلول در تراز آبگیرها و تخلیه کننده مخزن سد در بازه دوساله شبیه‌سازی.

بحث و نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر الگوی حرارتی و کیفیت آب مخزن سد علویان با استفاده از نرم‌افزار CE-QUAL-W2 صورت پذیرفت. نتایج نشان می‌دهد، این مخزن در طول سال یک چرخه دمایی مشخص را تجربه می‌کند. به‌عبارت‌دیگر تقریباً در نیمی از سال یعنی در دو فصل بهار و تابستان لایه‌های سطحی و زیرین آب اختلاف دمایی قابل‌توجهی دارند که این موضوع در تابستان به اوج خود (در حدود ۱۶/۱۰ درجه سانتی‌گراد) می‌رسد که دلیل این اختلاف را می‌توان با وقوع لایه‌بندی حرارتی تابستانه مرتبط دانست. به‌مرور با سرد شدن هوا در پاییز همه لایه‌ها کاهش دما را تجربه می‌کنند و اختلاف دمایی بین لایه‌ها نیز از بین می‌رود و در کل عمق مخزن دمای تقریباً یکسانی مشاهده می‌شود. در ادامه در روزهای آخر سال و نزدیک شدن به فصل بهار، مجدد اختلاف دمایی لایه‌های سطحی با لایه‌های زیرین آغاز می‌گردد. بر این اساس مخزن سد علویان در رده دریاچه‌های مونومیکتیک قرار می‌گیرد که با توجه به شرایط جغرافیایی منطقه و ایران، نتایج مشابهی توسط دیگر محققین برای سایر سدهای کشور به‌دست‌آمده است. نتایج مطالعات بر روی مخزن سد پانزده خرداد (خواجه پور و همکاران، ۱۳۹۴)، مخزن سد ماملو (Sabeti and Jamali, 2017)، مخزن سد کارون ۳ (طلا کش و همکاران، ۱۳۹۸)، مخزن سد کرخه (Yoosef Doost *et al.*, 2020)، مخزن سد

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-06-05]

امیرکبیر (Arefinia *et al*., 2020) نشان می‌دهد تمامی این مخازن یک دوره لایه‌بندی حرارتی که بسته به موقعیت جغرافیایی و شرایط توپوگرافی مخزن و وضعیت اقلیمی منطقه می‌تواند از اواخر بهار تا اوایل پاییز متغیر باشد، تجربه می‌کنند و پس‌ازآن اختلاط کامل رخ می‌دهد.

همچنین نتایج حاصل از شبیه‌سازی کیفی نشان می‌دهند که تغییرات دما در توده‌های آبی و وقوع لایه‌بندی دمایی در مخزن می‌تواند بر دیگر پارامترهای کیفی آب تأثیرگذار باشد. به‌عبارت‌دیگر عدم وقوع چرخش آب در این شرایط، امکان اختلاط آب لایه سطحی با اکسیژن بالاتر با آب لایه‌های زیرین را ایجاد نمی‌کند و می‌تواند این ناحیه را به منطقه بی‌هوازی تبدیل نماید. بر اساس بررسی‌های به‌عمل‌آمده لایه‌بندی حرارتی قوی در حدفاصل اواسط خرداد الی اواسط شهریور موجب ایجاد تغییرات در شرایط فیزیکی و شیمیایی و بیولوژیکی مخزن می‌گردد. در این دوره مشخص، در لایه زیرین مخزن (باضخامتی در حدود ۱۰ متر) سطح اکسیژن نزدیک ۵/۰ میلی‌گرم در لیتر خواهد رسید که بسیار نزدیک به شرایط بی‌هوازی است. در این شرایط، کیفیت آب به دلیل تجمع املاح و رسوبات، ایجاد شرایط بی‌هوازی و درنتیجه تولید ترکیبات مولد بو و طعم نامطبوع، نامناسب اعلام می‌گردد. کیانی صدر (۱۳۹۶) در نتایج تحقیقات خود بر روی لایه‌بندی حرارتی مخزن سد گرشا، اعلام نمود در فصل تابستان پایین‌ترین مقدار اکسیژن محلول در اعماق مخزن و در نزدیکی بدنه سد رخ می‌دهد که دلیل آن را با طبقه‌بندی دمایی مرتبط دانستند. صالحی و همکاران (۱۳۹۸) با شبیه‌سازی وضعیت کیفی مخزن سد مهاباد به این نتیجه رسیدند که از اواسط تابستان تا اواسط پاییز در لایه‌های زیرین شرایط بی‌هوازی ایجاد می‌شود که به دنبال آن بوی بد، طعم و رنگ نامطلوب آب انتظار می‌رود. بنابراین پیشنهاد دادند در طول دوران لایه‌بندی، آب خروجی از سد هوادهی گردد.

در ادامه، بررسی نتایج شبیه‌سازی کیفی مخزن سد علویان بیانگر افزایش اکسیژن محلول در اواخر زمستان و اوایل بهار است که می‌تواند نشان‌دهنده چرخش آب در عمق مخزن باشد. این چرخش موجب جابه‌جایی آب لایه سطحی با اکسیژن بیشتر با آب لایه‌های زیرین که معمولاً غلظت اکسیژن در آن‌ها به‌شدت افت کرده است، می‌گردد. Saeidi و همکاران (۲۰۱۴) در مطالعاتی مشابه بر روی سد شهید رجایی شکست لایه‌بندی حرارتی در زمستان را مهم‌ترین عامل افزایش غلظت اکسیژن محلول در این دوره اعلام کردند.

به دلیل نگرانی ایجادشده از بابت پایین بودن غلظت اکسیژن محلول در لایه‌های زیرین مخزن سد علویان در فصل گرم سال، پیش‌بینی وضعیت مخزن در سال ۲۰۲۱ با سناریوهای مختلف تغییر اقلیم و تغییر در سطح اکسیژن محلول آب رودخانه صوفی‌چای هدف قرار گرفت. نتایج این مرحله بیانگر کاهش مقدار اکسیژن محلول تا مقدار ۴/۴ میلی‌گرم در لیتر در سناریو مربوط به شرایط ۱۰ درصد افزایش دمای محیط و ۱۰ درصد کاهش اکسیژن محلول آب ورودی به سد می‌باشد. در نتایجی مشابه Morales-Marin و همکاران (۲۰۲۰) در تحقیقات خود تغییرات در ساختار دمای آب دریاچه Diefenbaker را بیشتر به تغییر شرایط هواشناسی و افزایش دمای هوا در آینده مربوط دانستند. بر این اساس تدوین راهکارهای مدیریت کیفی آب در بالادست مخزن سد علویان جهت مقابله با وقوع شرایط بی‌هوازی در مخزن ضروری به نظر می‌رسد.

همچنین نتایج نشان می‌دهد که در محدوده ماه‌های ژوئن الی آگوست (میانه خرداد تا میانه شهریور) متوسط اختلاف دمای آب گرم‌تر در رودخانه پایین‌دست و آب سردتر لایه‌های زیرین مخزن در حدود ۶/۴ درجه سانتی‌گراد است که به‌طور قابل‌توجهی بیشتر از مقادیر مجاز استاندارد جهت حفظ اکوسیستم پایین‌دست می‌باشد و این موضوع بسیار قابل‌تأمل است. البته می‌بایست توجه داشت که پارامترهای متعددی مانند میزان دبی آب خروجی از مخزن، انتقال آب از طریق تونل‌ها و سرریزها، دمای محیط مجاور، دبی آب رودخانه در فصول کم‌آبی و دیگر شرایط اقلیمی و محیطی می‌توانند بر این اختلاف دمایی اثرگذار باشند. بحث اختلاف دمایی ناشی از تخلیه آب مخازن سدها در مطالعات He و همکاران (۲۰۲۰) موردتوجه قرار گرفت. ایشان اعلام نمودند در رودخانه یانگ‌تسه در چین دمای آب تخلیه‌شده مخزن در بهار و تابستان ۲ تا ۵ درجه سانتی‌گراد کمتر از دمای رودخانه پایین‌دست است. بدین ترتیب نسبت به تغییرات در رژیم حرارتی و شرایط زیستگاه و جوامع بیولوژیکی رودخانه هشدار دادند. قابل‌ذکر است که رودخانه صوفی‌چای جزو رودخانه‌های دائمی کشور می‌باشد و در اغلب فصل‌های سال آب در آن جاری است و به همین دلیل این رودخانه به‌عنوان یک زیستگاه مناسب برای انواع آبزیان و ماهیان شناخته می‌شود. در اکوسیستم طبیعی رودخانه گونه‌های مختلفی از آبزیان و ماهیان آب شیرین شناسایی‌شده‌اند. قاسمی و رامین (۱۳۹۱) بامطالعه تنوع ماهیان رودخانه‌های حوضه شرق دریاچه ارومیه، حضور سه گونه

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-06-05]

ماهی *Barbus lacerta ciyeri*، *Chalcalburnus atropatenae* و *Oxynoemacheilus angorae* را در رودخانه صوفی‌چای تأیید نمودند. بنابراین ضروری است با شناسایی دقیق‌تر اکوسیستم آبی پایین‌دست سد و مطالعه بیشتر بر روی ماهیان موجود در آن و شناخت حساسیت‌های زیستی آن‌ها، مطالعات جامع‌تری در این زمینه انجام گیرد تا با مدیریت صحیح تخلیه آب در پایین‌دست، مانع از وارد شدن آسیب به اکوسیستم آبی رودخانه صوفی‌چای شد.

نتایج به‌دست‌آمده از تحقیق حاضر نشان می‌دهد در دوره دوساله شبیه‌سازی مقدار کل جامدات محلول و هدایت الکتریکی آب به‌این‌ترتیب از ۱۱۶/۲۰ میلی‌گرم‌درلیتر و ۲۶۸/۳۲ میکرو زیمنس بر سانتی‌متر تجاوز نمی‌کنند. با توجه به این‌که در استاندارد کیفیت آب ایران مقدار هدایت الکتریکی مجاز برای آب مورداستفاده در بخش صنعت و کشاورزی کمتر از ۱۰۰۰ و ۳۰۰۰ میکرو زیمنس بر سانتی‌متر اعلام‌شده است، تفاوت زیادی میان مقادیر محاسباتی این شاخص در مخزن سد با مقادیر مجاز ذکرشده در استاندارد دیده می‌شود. این موضوع بیانگر مقادیر پایین کل مواد جامد محلول در مخزن سد می‌باشد که دلیل اصلی آن را می‌توان به پایین بودن مقدار این شاخص در رودخانه صوفی‌چای به‌عنوان ورودی مخزن سد مرتبط دانست. مشابه این نتیجه را صالحی و همکاران (۱۳۹۸) برای سد مهاباد مشاهده نمودند که باوجود افزایش مقدار TDS با عمق مخزن در هیچ فصلی مقدار آن از ۱۸۰ میلی‌گرم بر لیتر تجاوز نکرد. این در حالی است که حیدر زاده و نیساری (۱۳۹۸) مقدار کل جامدات محلول سد میمه را حداقل ۴۰۰۰ و حداکثر ۷۷۳۳ میلی‌گرم بر لیتر اعلام نمودند که از حد مجاز تعیین‌شده توسط استانداردها برای استفاده کشاورزی بالاتر می‌باشد. ایشان دلیل این افزایش را کاهش دبی جریان ورودی به مخزن و افزایش TDS ورودی عنوان نمودند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت مقدار TDS آب‌های ورودی به سد که از حوضه‌های آبریز جمع‌آوری می‌شوند می‌تواند نقش مهمی در کیفیت آب مخازن داشته باشد.

منابع

استاندارد کیفیت آب‌های ایران، ۱۳۹۵. سازمان حفاظت محیطزیست ایران.

حیدر زاده، ن. و نیساری تبریزی، ن.، ۱۳۹۸. مدل‌سازی و تحلیل حساسیت کیفیت آب خروجی مخزن سد میمه با استفاده از نرم‌افزار CE-QUAL-W2، علوم و تکنولوژی محیطزیست، ۲۱ (۵): صفحات ۶۴-۴۷.

خواجه پور، م.ا.، اقبال زاده، ا.، افتخاری، م. و جوان، م.، ۱۳۹۴. شبیه‌سازی عددی لایه‌بندی حرارتی در مخزن سد پانزده خرداد. مجله پژوهش آب ایران، ۹ (۱): صفحات ۱۷-۱۳.

صالحی، م.، خانی تملیه، ذ.، پرچمی، ن. و احمد پور، ظ.، ۱۳۹۸. مدل‌سازی عددی لایه‌بندی حرارتی و کیفیت آب مخزن سد با استفاده از مدل کیفی CE-QUAL-W2، نشریه پژوهش‌های حفاظت آب‌وخاک، ۲۶ (۴): ۵۳-۷۳.

طلاکش، ش.، فتاحی، ر.، صمدی، ح.، میرعباسی، ر. و خواجه پور، ا.، ۱۳۹۸. بررسی لایه‌بندی حرارتی و اکسیژن محلول در مخزن یک سد بزرگ (مطالعه موردی سد کارون ۳). مجله پژوهش آب ایران، ۱۳ (۱): صفحات ۵۷-۴۹.

قاسمی، ح. و رامین، م.، ۱۳۹۱. مطالعه تنوع و غنای گونه‌های ماهیان رودخانه‌های حوضه شرق دریاچه ارومیه. مجله علمی شیلات ایران، ۲۱ (۴): صفحات ۷۳-۶۷.

کیانی صدر، م.، ۱۳۹۶. شبیه‌سازی لایه‌بندی حرارتی و غلظت اکسیژن محلول با کاربرد مدلCE-QUAL-W2 (مطالعه موردی: سد گرشا). فصلنامه علمی پژوهشی اکو بیولوژی تالاب، ۹ (۲۳): صفحات ۵۲-۳۹.

Arefinia, A., Bozorg-Haddad, O., Oliazadeh, A. and Loáiciga, H., 2020. Reservoir water quality simulation with data mining models. Environmental Monitoring Assessment, 192:482.

Berger, C. J., Wells, S. A. and Annear, R., 2005. Laurence Lake Temperature Model. Maseeh College of Engineering and Computer Science Department of Civil and Environmental Engineering, Portland State University, Portland, Oregon.

Boehrer, B. and Schultze, M., 2008. Stratification of lakes. Reviews of Geophysics. 46(2): 1-27.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-06-05]

Carr, M. K., Sadeghian, A., Lindenschmidt, K., Rinke, K. and Morales-Marin, L., 2019. Impacts of Varying Dam Outflow Elevations on Water Temperature, Dissolved Oxygen, and Nutrient Distributions in a Large Prairie Reservoir. Environmental Engineering Science, 37(1): 1-20.

Cole, T. M. and Wells, S. A., 2008. CE-QUAL-W2: A Two-Dimensional, Laterally Averaged, Hydrodynamic and Water Quality Model, Version 3.6. Department of Civil and Environmental Engineering, Portland State University, Portland, OR.

He, T., Deng, Y., Tuo, Y., Yang, Y. and Liang, N., 2020. Impact of the Dam Construction on the Downstream Thermal Conditions of the Yangtze River. International journal of environmental research and public health, 17(8), 2973.

Ji, Z. G., 2017, Hydrodynamics and Water Quality Modeling Rivers, Lakes, and Estuaries, Wiley.

Jin, K. R. and Ji, Z. G., 2004. Case study: modeling of sediment transport and wind-wave impact in Lake Okeechobee. Journal of Hydraulic Engineering, 130(11): 1055–67.

Kuo, J. T., Hsieh, M. H., Lung, W. S., and She, N., 2007. Using artificial neural network for reservoir eutrophication prediction. Ecological modelling, 200(1-2): 171-177.

Lindenschmidt, K. E., Carr, M. K., Sadeghian, A. and Morales-Marin, L., 2019. CE-QUAL-W2 model of dam outflow elevation impact on temperature, dissolved oxygen and nutrients in a reservoir. Scientific Data, 6(1): 1–7.

Ma, S., Kassinos, S. C., Fatta-Kassinos, D. and Akylas, E., 2008. Effects of Selective Withdrawal Schemes on Thermal Stratification in Kouris Dam in Cyprus. Lakes and Reservoirs Management, 13(1): 51-61.

Morales-Marin, L. A., Carr, M., Sadeghian, A. and Lindenschmidt, K. E., 2021. Climate change effects on the thermal stratification of Lake Diefenbaker, a large multi-purpose reservoir. Canadian Water Resources Journal/Revue canadienne des ressources hydriques, 46(1-2): 1-16.

NALMS, **2001.** Managing Lakes and Reservoirs. 3rd Edition, 841-B-01-006, Madison, WI.

Neissi, L., Tishehzan, P. and Albaji, M., 2019. Chemical Assessment of Surface Water Quality in Upstream and Downstream of Jare Dam, Khuzestan, Iran. Environmental Earth Sciences, 78(3).

Rusydi, A. F., 2017. Correlation between Conductivity and Total Dissolved Solid in Various Type of Water: A Review. Earth and Environmental Science, 118: 12-19.

Sabeti, R., Jamali, S. and Jamali, H. H., 2017. Simulation of Thermal Stratification and Salinity Using the CE-QUAL-W2 Model (Case Study: Mamloo Dam). Engineering, Technology and Applied Science Research, 7(3): 1664-1669.

Saeidi, P., Mehrdadi, N., Ardesani, M. and Baghvand, A., 2014. Simulation of thermal Stratification and Dissolved Oxygen Concentrations Using CE-QUAL-W2 Model (Case Study: Shahid Rajaee Dam). Journal of Environmental Studies, 39(4): 171-180.

Yoosef Doost, A., Karrabi, M., Rezazadeh, N. and Mirabi, M., 2020. Development of the delta-normal stress combining CE-QUAL-W2 as a novel method for spatio-temporal monitoring of water quality in Karkheh Dam Reservoir. Environmental Monitoring and Assessment, 192: 1–13.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-06-05]