بررسی پدیده لایه بندی حرارتی سد میناب با استفاده از مدل Ce-qual-w2 و تاثیر آن بر کیفیت آب بندرعباس

ماشاالله مریدی[۱]
عبدالرحیم پذیرا[۲*]
نعمت الله جعفرزاده[۳]
فاضل امیری[۴]
اسماعیل کوه گردی[۵]

۱، ۲، ۴ و ۵ گروه مهندسی محیط زیست، واحد بوشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، بوشهر، ایران.
۳. مرکز تحقیقات سم شناسی، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز، اهواز، ایران.

***مسئول مکاتبات:**
abpazira@gmail.com

کد مقاله: ۱۴۰۱۰۱۰۹۳۱
تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۱۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۳۰
این مقاله پژوهشی و برگرفته از رساله دکتری است.

چکیده

یکی از عوامل تأثیرگذار در کیفیت آب پشت سدها بروز فرآیندهایی نظیر لایه‌بندی حرارتی و تغذیه گرایی است که موجب افت شدید کیفیت آب می‌شود. هدف اصلی این مطالعه هم ارزیابی تأثیر لایه‌بندی حرارتی و تغذیه گرایی مخزن سد میناب و اثر لایه‌بندی بر کیفیت آب آشامیدنی شهر بندرعباس می‌باشد. جهت شبیه‌سازی و بررسی روند لایه‌بندی حرارتی و تغذیه گرایی مخزن سد، نمونه‌ها از ۳ ایستگاه داخل سد و به مدت یک سال از اول خرداد ۱۳۹۷ تا پایان اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۸ برداشت و با استفاده از مدل دوبعدی کیفیCE-QUAL-W2 چگونگی لایه‌بندی بررسی گردید. بررسی‌های حاصل از مدل‌سازی نشان داد که مخزن سد میناب دارای یک سیکل لایه‌بندی ۱۰ ماهه از آذرماه تا اسفند بوده و با کاهش دما لایه‌بندی قطع و اختلاط صورت می‌گیرد. اختلاط کامل در دی‌ماه صورت می‌گیرد. مخزن ازنظر تغذیه گرایی در شرایط مغذی قرار دارد. بیشترین اختلاف دما بین لایه‌های بالایی و پایینی آب در حدود ۲۳ درجه و در اواخر مردادماه بود. همچنین یافته‌ها نشان داد که وجود لایه‌بندی حرارتی در دریاچه سد عامل و بیانگر تغییرات کیفیت فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آب در ترازهای مختلف می‌باشد. با تداوم ۱۰ ماهه این تغییرات، لایه‌بندی کیفیت آب مصرفی پایین‌دست سد دچار تغییر شده و تغییرات کیفی آب شرب شهر بندرعباس هم در همین رابطه تفسیر می‌شود. لذا بهتر است که در فصول مختلف سال خصوصاً فصل پرآبی با برداشت بیشتر آب از دریچه‌های تحتانی مخزن، به اختلاط قایم مخزن کمک شود که در این حالت با کاهش فسفات رهاشده از رسوبات کف، شرایط تغذیه گرایی مخزن بهبود می‌یابد.

واژگان کلیدی: سد میناب، کیفیت آب، لایه‌بندی حرارتی، تغذیه گرایی، W2-QUAL-CE.

مقدمه

توسعه کشاورزی، صنعت و شهرنشینی باعث افزایش استفاده از آب‌شده و این روند منجر به افزایش آلاینده‌های آب و تنزل کیفیت منابع آبی گشته است. لذا چنانچه مواد آلاینده ورودی و بار تخلیه مواد آلاینده اکسیژن خواه در منابع آب بیش از توانایی خود پالایی آن‌ها باشد ضمن تسریع در رشد جلبک‌ها و گیاهان آبزی، موجب افت اکسیژن محلول شده و با ایجاد شرایط بی‌هوازی موجب مرگ‌ومیر آبزیان شده و باعث از بین رفتن منابع آب خواهد شد (شاه منصوری، ۱۳۸۵). دو پارامتر مهم تأثیرگذار بر کیفیت آب مخازن سدها زمان‌ماند هیدرولیکی و پدیده لایه‌بندی در مخازن می‌باشد. وجود لایه‌بندی حرارتی در دریاچه سدها عامل و بیانگر تغییرات کیفیت فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آب در ترازهای مختلف است که در صورت تداوم می‌تواند منجر به نامناسب شدن شرایط کیفی آب در مخزن و افزایش هزینه‌های برداشت و تصفیه آب گردد (حمزه پور، ۱۳۹۱). کیفیت آب دریاچه می‌تواند تحت تأثیر حوزه آبریز، اکوسیستم درون دریاچه، ورود مواد مغذی، ورود آلاینده‌های آلی و غیر آلی، فاضلاب خانگی و شهری و همچنین منابع غیر نقطه‌ای که نتیجه فعالیت‌های انسانی است، باشد. این پدیده‌ها به‌طور مستقیم موجب اختلال در تعادل موجودات زنده دریاچه و همچنین افت کیفیت آب دریاچه شده و منجر به ایجاد پدیده اوتروفیکاسیون در مخازن می‌شود (Effendi *et al*., 2020). لایه‌بندی

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-09]

حرارتی و تغذیه گرایی ازجمله مسائل مهم در مدیریت منابع آب ازنظر کیفیت می‌باشد (صالحی و همکاران، ۱۳۹۸). تشکیل این دو پدیده در مخازن سدها، کیفیت آب مخازن سدها و پایین‌دست آن‌ها را به مخاطره می‌اندازد و سبب زوال کیفیت آب می‌شوند (کاوه و مریدی، ۱۳۹۵). تشکیل لایه‌بندی حرارتی در مخازن سدها از دریافت اکسیژن از منابع خارجی جلوگیری کرده و ارتباط مخزن با هوای اطراف را قطع می‌کند و سبب تغییرات اساسی در کیفیت آب مخازن می‌شود (جعفر دهقان، ۱۳۸۰). همچنین تغذیه گرایی که از ورود مواد مغذی مانند نیترات و فسفات به منابع آبی به وجود می‌آید، موجب زوال کیفیت آب می‌شود (ویسی و همکاران، ۱۳۹۲). معمولاً تخلیه مواد مغذی مانند نیتروژن و فسفر در اثر ورود فاضلاب‌های شهری و صنعتی در محیط‌های آبی منجر به ایجاد چنین مشکلی می‌شود. کیفیت آب در منابعی که دچار پدیده یوتریفیکاسیون شده‌اند به‌شدت پایین می‌آید و مصرف چنین آب‌هایی برای آشامیدن مناسب نمی‌باشد (Zhang, 2006 ؛Fernandez, 2009). Agwanda و Iqbal (۲۰۱۹) نشان دادند که منابع غیر نقطه‌ای، رسوب اتمسفری و رواناب‌ها بیشترین منابع غالب فسفر و نیتروژن ورودی به منابع آبی دریاچه ویکتوریا در کنیا است و سهم تخلیه پساب تصفیه‌خانه به دریاچه بسیار اندک (کمتر از ۲۰ درصد) است. یکی از اثرات مضر پدیده یوتریفیکاسیون، رشد بیش‌ازحد سیانوباکترها (آنابنا، اسیلیاتوریا، نوستوک، میکروسیستیس) می‌باشد که منجر به تولید سموم در آب می‌گردند (Karadzic ,۲۰۱۰ and et al). حذف سموم ناشی از این پدیده در این نوع منابع آبی بسیار مشکل بوده و توسط روش‌های تصفیه متداول که در تصفیه‌خانه‌های آب وجود دارد، قابل‌حذف نمی‌باشند (Dokulil and Teubner, 2011). لذا از دیدگاه عملیات پایش، شناسایی وضعیت تغذیه گرایی مخزن دارای اهمیت ویژه است. برای این منظور بر اساس میانگین غلظت‌های اندازه‌گیری شده فسفر و در درجات بعدی، غلظت کلروفیلa ، اکسیژن محلول و عمق قابل‌مشاهده دیسک سکی در آب مخزن در هنگام لایه‌بندی و اختلاط آب، طبقه‌بندی وضعیت تغذیه گرایی مخزن باید انجام شود (ویسی و همکاران، ۱۳۹۲). نیتروژن و فسفر ازجمله مواد مغذی هستند که در رشد جلبک‌ها و افزایش کلروفیل a تأثیر مستقیم دارند (Smith, 2005). مطالعات Shamlou و همکاران (۲۰۰۴) انجام گرفت نشان دادند که پدیده لایه‌بندی حرارتی در مخازن می‌تواند بر روی میزان وقوع شاخص‌های تغذیه گرایی دریاچه‌ها تأثیر داشته باشد رژیم حرارتی دریاچه و میزان اختلاط آب ازجمله فاکتورهای مهمی است که می‌تواند تأثیرات مهمی را بر روی بروز تغذیه گرایی دریاچه داشته باشد. (سلطانی و علوی، ۱۳۸۴). کاهش انتقال اکسیژن از سطح مخزن به کف در اثر کاهش اختلاط قائم در مخزن، کیفیت آب را دچار تغییر کرده و حیات آبزیان را به خطر می‌اندازد. معمولاً رژیم حرارتی دریاچه‌ها در اثر انتقال انرژی گرمایی از سطح دریاچه و تأثیر نیروی جاذبه در اختلاف چگالی است (Chung and Oh, 2006). افزایش پتانسیل تغذیه گرایی باعث افزایش توده جلبک‌ها در سیستم‌های آبی ازجمله دریاچه‌ها، رودخانه‌ها و بخش ساحلی دریاها و مخازن می‌شود (Camargo, 2005 ؛Kurz, 2005) بر اساس نسبت تغذیه گرایی در یک پیکره آبی نیتروژن یا فسفر می‌تواند عامل محدودکننده رشد جلبک باشد. در مطالعه‌ای که (Li *et al.*, 2015) روی مخزن Yuqiaoدر شمال چین انجام دادند، فسفر عامل کنترل‌کننده تغذیه گرایی در این مخزن شناخته شد. بررسی روند طبقه‌بندی حرارتی در رودخانه Xiangxi یک شاخه معمولی از مخزن Three Gorges Reservoir (TGR)در چین توسط Jin و همکاران (۲۰۱۹) موردمطالعه قرار گرفت. نتایج تجزیه‌وتحلیل داده‌های میدانی و همچنین داده‌های شبیه‌سازی‌شده نشان داد که طبقه‌بندی حرارتی در ماه‌های تابستان (از آوریل تا سپتامبر) قابل‌توجه بود. معمولاً بررسی فرایند تغذیه گرایی و تعیین لایه‌بندی با استفاده از مدل‌های کیفی انجام می‌گیرد. تبادل بین پیچیدگی‌های مدل، زمان و هزینه ازجمله پارامترهای اصلی انتخاب یک مدل کیفی آب است (صالحی و همکاران، ۱۳۹۸). مدل‌سازی دوبعدی (افقی و عمودی) با استفاده از نرم‌افزار CE-QUAL-W2 یک روش مناسب و دقیق از مدل‌سازی هیدرودینامیک جریان و پارامترهای کیفی آب است که با استفاده از معادلات بقای جرم، مومنتوم و انرژی انجام می‌گیرد (باغوند و همکاران، ۱۳۹۲). این مدل در سال ۱۹۹۵ از سوی واحد مطالعات آبراهه‌های مهندسان ارتش امریکا (WES) تهیه‌شده است. بنابراین ازآنجایی‌که کیفیت از مخزن سدها تحت تأثیر لایه حرارتی و تغذیه گرایی و شدت آن است، بررسی تاثیر لایه‌بندی حرارتی و تغذیه گرایی بر دیگر پارامترهای کیفی آب در مخزن سد می‌تواند نتایج ارزشمندی را برای مدیریت بهتر کیفیت آب به همراه داشته باشد. طبقه‌بندی حرارتی به‌طور مستقیم بر رژیم کیفیت آب مخزن سدها تأثیر می گذارد (Duka *et al.*, 2012). Ziaie و همکاران (۲۰۱۹) ارزیابی طبقه‌بندی حرارتی و اوتروفیکاسیون در مخزن سد زاینده‌رود را با استفاده از مدل دوبعدی CE-

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-09]

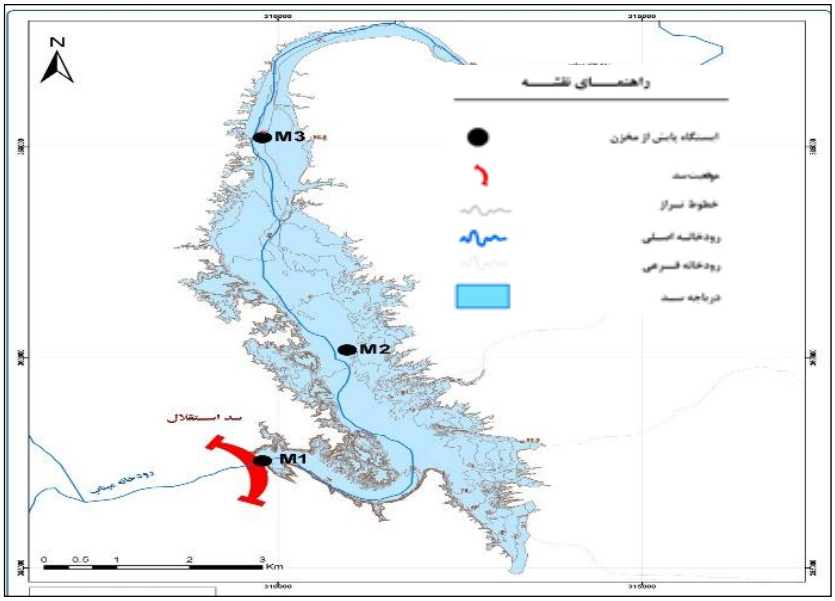
QUAL-W2 موردبررسی قراردادند. در این مطالعه بررسی تأثیر لایه‌بندی حرارتی و تغذیه گرایی مخزن سد استقلال میناب بر کیفیت آب آشامیدنی پایین‌دست سد موردبررسی قرارگرفته و راهکاری عملی برای مدیریت بهینه کیفیت آب شرب ارائه‌شده است.

مواد و روش‌ها

حوضه آبریز میناب پرآب‌ترین و مهم‌ترین حوضه آبریز استان هرمزگان با وسعتی معادل ۱۰۷۰۲ کیلومترمربع است که در عرض جغرافیایی ۲۶ درجه و ۵۷ دقیقه تا ۲۸ درجه و ۲۴ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۶ درجه و ۴۹ دقیقه تا ۵۷ درجه و ۵۳ دقیقه شرقی واقع‌شده است. شکل ۱، نقشه حوزه آبریز سد و موقعیت آن در استان و شکل ۲، دریاچه سد و نقاط نمونه‌برداری مورداستفاده را نشان می‌دهد. سد میناب جهت تأمین آب کشاورزی دشت میناب و شرب شهر بندرعباس در حوضه آبریز اصلی خلیج‌فارس و حوضه آبریز فرعی بندرعباس- سدیج واقع‌شده است که در ۱۳۶۲ مورد بهره‌برداری قرارگرفته است. جدول ۱، مشخصات سد استقلال میناب را نشان می‌دهد.

شکل ۱: نقشه حوزه آبریز سد و موقعیت آن در استان.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-09]



شکل ۲: دریاچه سد و نقاط نمونه‌برداری.

جدول ۱: مشخصات سد استقلال میناب.

مشخصات سد استقلال میناب	
نوع سد	بتونی وزنی پایدار با ارتفاع از پی ۵۹/۲۵ و ارتفاع از کف ۵۲/۵ متر
عرض سد در تاج	۳ متر
عرض سد درکف	۸۵ متر
حجم کل مخزن در رقوم نرمال	۲۵۷/۷ میلیون مترمکعب
حجم مفید مخزن	۲۱۷ میلیون مترمکعب
رقوم بستر رودخانه در محل سد:	۴۸ متر از سطح دریا
مساحت دریاچه در رقوم نرمال	۱۹/۵۷ کیلومترمربع
طول دریاچه در رقوم نرمال:	۱۴ کیلومتر
دبی استثنایی (حداکثر سیل هزارساله)	۱۳۰۰۰ مترمکعب در ثانیه
حجم آب قابل تنظیم سالیانه:	۲۳۶ میلیون مترمکعب
تعداد دریچه:	۱۴ دستگاه و نوع آن‌ها قطاعی (قوسی)
ابعاد ارتفاع و عرض دریچه	۱۱ متر ارتفاع و ۱۱ متر عرض
حداکثر دبی خروجی از هر دریچه	۸۹۲ مترمکعب در ثانیه
حداکثر دبی خروجی از هر دریچه‌ها	۱۲۵۰۰ مترمکعب در ثانیه
تعداد دریچه: ۲ دستگاه و ارتفاع و عرض هر دو دریچه:	۲ متر
حداکثر دبی خروجی ازهر دریچه:	۱۰۰ مترمکعب در ثانیه

برای انجام مطالعات، برنامه نمونه‌برداری و اندازه‌گیری پارامترهای مختلف کیفیت آب در مخزن برای یک دوره ۱۲ ماهه از اول خرداد ۱۳۹۷ تا آخر اردیبهشت ۱۳۹۸ اقدام به نمونه‌برداری شد. در این دوره جمعاً ۳۶ نمونه از ۳ ایستگاه مختلف و بافاصله از سد و جهت تعیین پارامترهای نیترات، فسفات، سختی کل، آنیون‌ها، کاتیون‌ها و فسفر کل، BOD و COD برداشت شد. سایر پارامترها شامل، هدایت الکتریکی، TDS، TSS،

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-09]

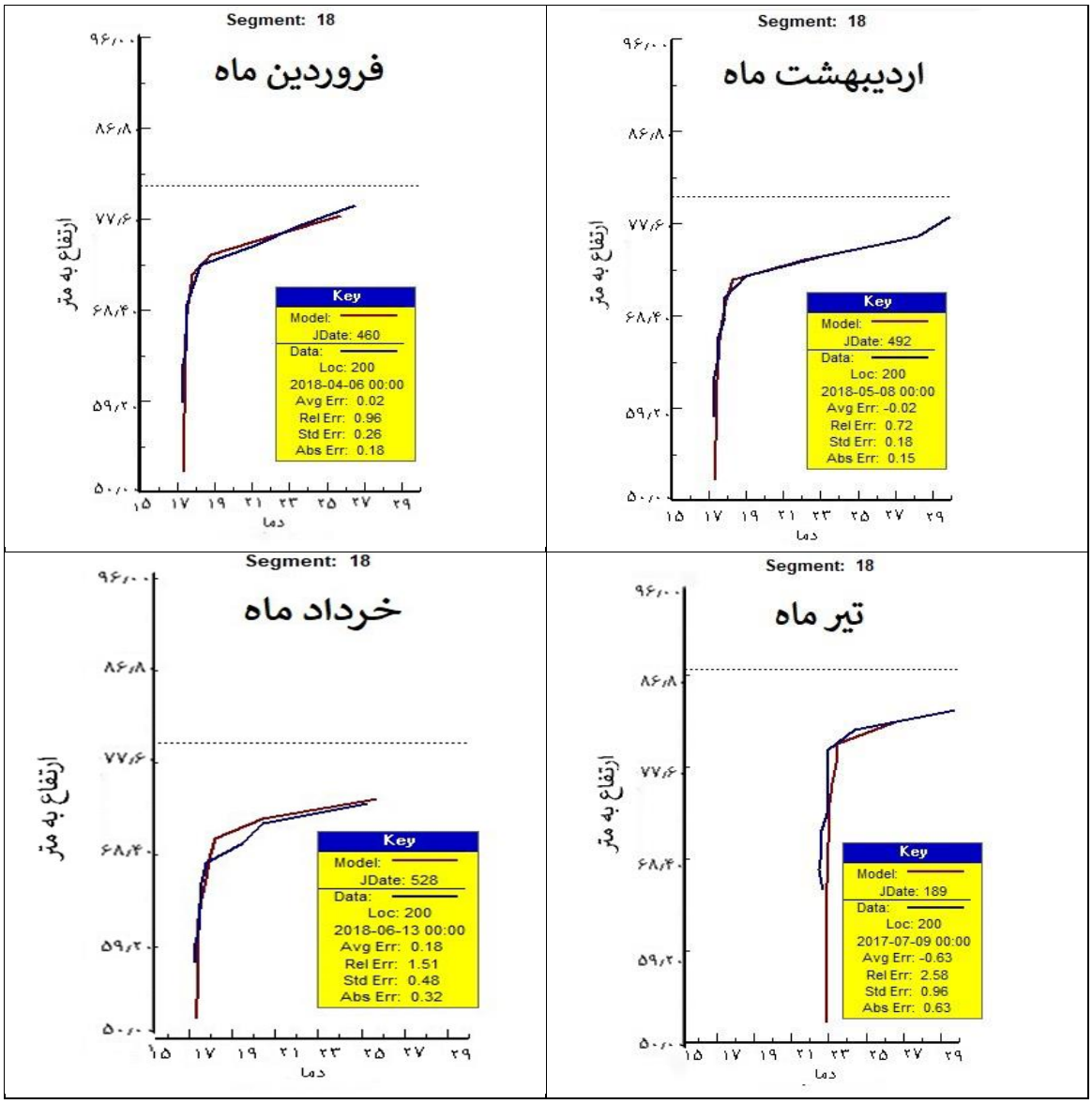
DO، pH، توسط دستگاه ctd و دستگاه الکاتورچ و در هر ایستگاه به‌صورت جداگانه و یک‌بار در ماه نمونه‌برداری انجام و داده‌ها در محل برداشت شد. در جدول ۲، مشخصات دستگاه‌های مورداستفاده در سنجش و روش کار آن‌ها آورده شده است. ایستگاه‌های ثابت طبق دستورالعمل پایش کیفی مخازن سدها تدوین شرکت مدیریت منابع آب ایران مشخص شدند. در انتخاب نقاط به‌عنوان ایستگاه نمونه‌برداری در سطح آب، ابتدا عمق‌یابی شد و با توجه به عمق‌های به‌دست‌آمده سه‌نقطه بر اساس دستورالعمل مدیریت منابع آب ایران انتخاب شدند. عمیق‌ترین نقطه مخزن که در مجاورت دیوار ه سد بود در نظر گرفته شد (۲۰۰ متری دیواره سد). با توجه به وسعت، موقعیت و عمق‌های مختلف آب در مخزن سد، یک ایستگاه پایش هم در وسط مخزن (عمق میانی) و ایستگاه سوم در ورودی مخزن سد که ایستگاه هیدرومتری ورودی سد بود در نظر گرفته شد. (ایستگاه شماره ۳). در هر بار نمونه‌برداری در ظروفی با حجم مشخص ۱,۵ لیتر طبق راهنمایی‌های نشریه شماره ۵۵۱ وزارت نیرو نمونه برداشت و در آزمایشگاه از منطقه‌ای هرمزگان پارامترهای نیترات، آمونیاک، فسفر کل، BOD، منیزیم، کلسیم، پتاسیم، سدیم سنجش شد.

جدول ۲: مشخصات دستگاه‌های مورداستفاده در سنجش و روش کار آن‌ها.

مشخصات دستگاه‌های مورداستفاده در سنجش و روش کار آن‌ها		
ردیف	**نام دستگاه**	**مشخصات فنی**
۱	سی تی دی مدل ctm1080	برای اندازه‌گیری پارامترهای کیفی آب در اعماق مختلف مخزن سدهای استقلال و میناب، شامل سنسورهای pH، دما، EC، اکسیژن محلول، عمق (حداکثر ۱۰۰ متر)
۲	آلگاتورچ مدل bbeمدل ویزن ۲/۴	اندازه‌گیری کلروفیل آ و سیانوباکتری و کدورت تا عمق ۱۰۰ متری مخزن سد استقلال میناب
۳	نیسکین هیدروبایاس آلمان	نمونه‌بردار ۱/۷ لیتری از اعماق دریاچه به همراه قرقره ۱۰۰ متری
۴	عمق‌یاب (اکوساندر)	فیش فایندر دستی کوچک، برای تشخیص عمق حدودی دریاچه در محل اندازه‌گیری حداکثر تا عمق ۱۰۰ متری
۵	دیسک سچی	صفحه فلزی به همراه کابل مدرج برای اندازه‌گیری عمق دیسک سچی

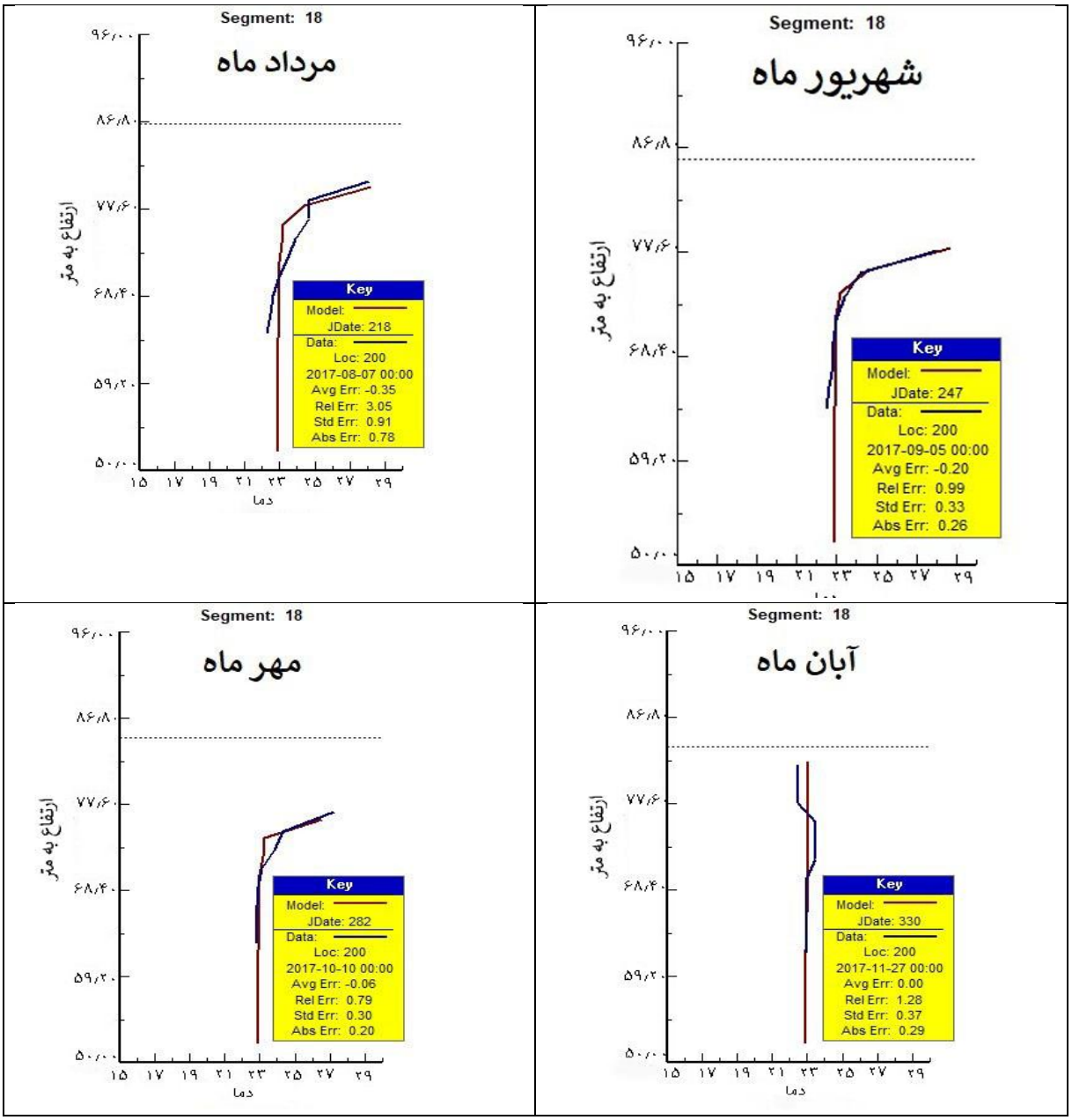
تمامی مراحل فوق ازجمله تعیین نقاط نمونه‌برداری، تعداد نمونه‌ها برابر استانداردهای موجود و طبق دستورالعمل شرکت مدیریت منابع آب انجام گرفت. اطلاعات ۵ ساله هواشناسی از اداره کل هواشناسی استان و سایر اطلاعات موردنیاز شامل دبی از منطقه‌ای هرمزگان اخذ گردید. به دلیل پراکندگی داده‌های اندازه‌گیری شده و ناپیوسته بودن آن‌ها، مقادیر داده‌های کیفیت آب با استفاده از روابط همبستگی و روند تغییرات آن‌ها، برای دوره ۵ ساله شاخص بسط داده‌شده است. به‌منظور بررسی اثر لایه‌بندی حرارتی و تغذیه گرایی مخزن بر کیفیت آب مخزن و آب خروجی از سد مدل شبیه‌سازی برای دوره ۵ ساله شاخص اجراشده است. سپس با استفاده از مدل دوبعدی CE-QUAL-W2 شبیه‌سازی مخزن سد میناب بنا بر داده‌های آزمایش‌شده پرداخته‌شده و پارامترهای حرارت، اکسیژن محلول، نیترات و فسفر در طی دوره‌ی طرح بررسی گردید و وضعیت سد ازلحاظ لایه‌بندی حرارتی و تغذیه گرایی بررسی‌شده است. داده‌های ورودی به سیستم شامل هندسه مخزن، شرایط آب و هوایی، شدت‌جریان ورودی، دما و غلظت، پارامترهای کیفی جریان ورودی به مخزن می‌باشند. پارامترها و ضرایب انتخاب‌شده در کالیبراسیون مدل، شامل پارامترهای مؤثر بر دما، غلظت ارتوفسفات، آمونیوم، نیترات و اکسیژن محلول بود. از سایر پارامترهای شبیه‌سازی‌شده می‌توان به مواد آلی محلول معلق، جامدات معلق، جامدات محلول، CBOD و pH اشاره کرد. کالیبراسیون و صحت‌سنجی مدل بر اساس پروفیل‌های قائم دما (شکل‌های ۱ تا ۶) و غلظت پارامترهای کیفی در مقاطع مختلف مخزن نیز انجام‌گرفته است.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-09]



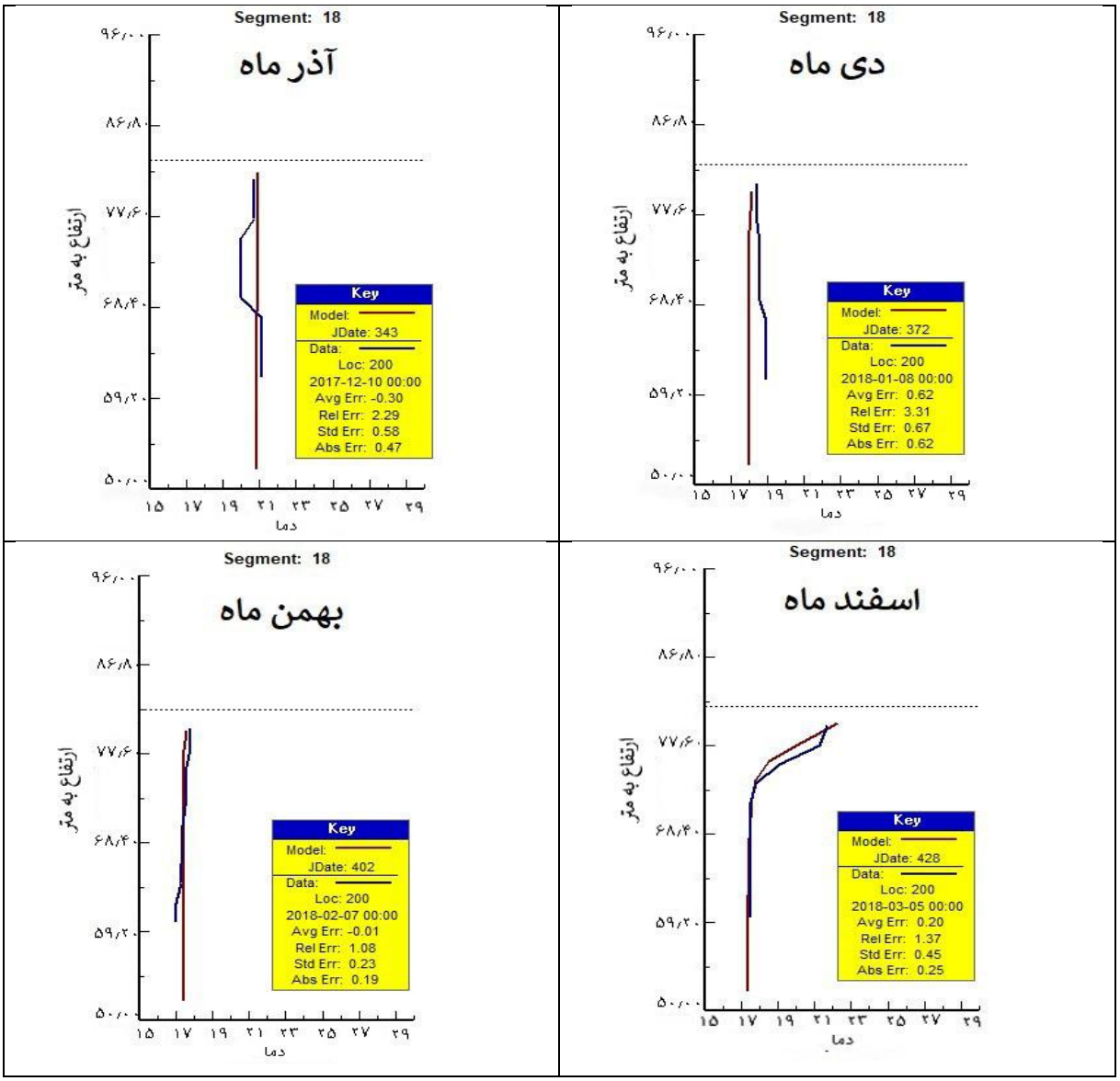
شکل ۱: مقایسه پروفیل عمقی دمای حاصل از شبیه‌سازی عددی با داده‌های میدانی (فروردین تا تیرماه ۱۳۹۸ -۱۳۹۷).

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-09]



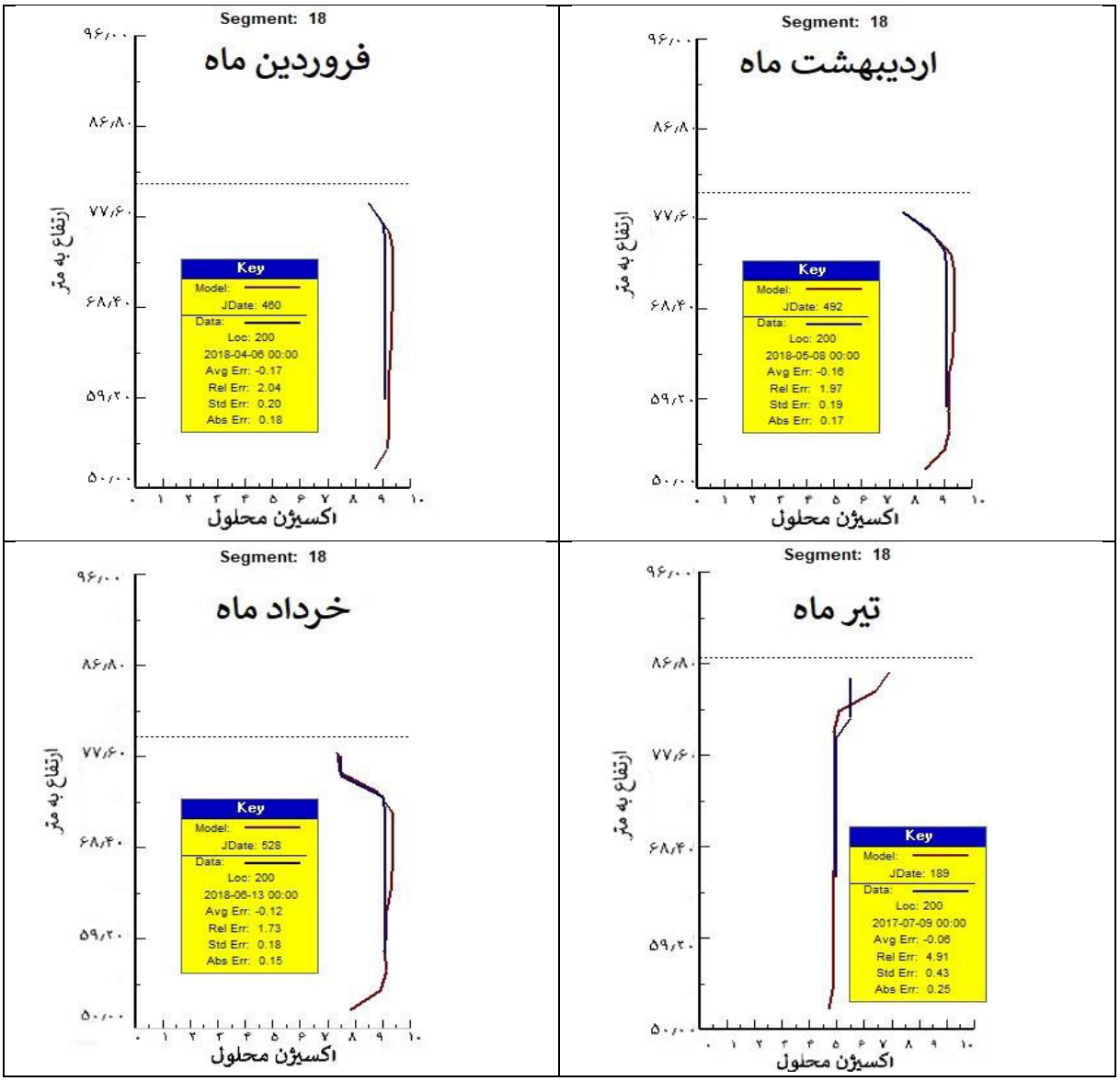
شکل ۲: مقایسه پروفیل عمقی دمای حاصل از شبیه‌سازی عددی با داده‌های میدانی (مرداد تا آبان (۱۳۹۸ -۱۳۹۷).

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-09]



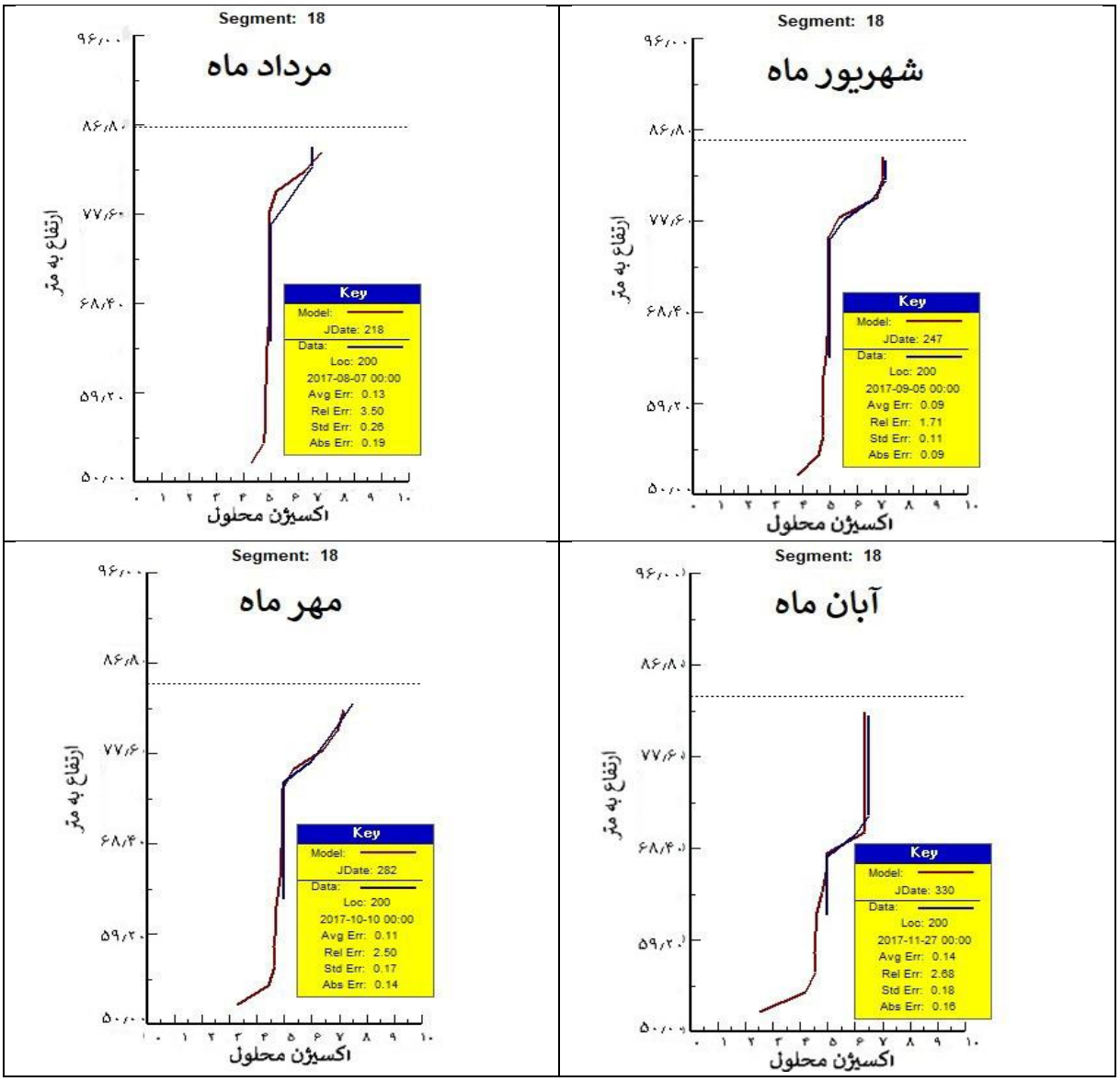
شکل ۳: مقایسه پروفیل عمقی دمای حاصل از شبیه‌سازی عددی با داده‌های میدانی (آذر تا اسفند) (۱۳۹۸ -۱۳۹۷).

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-09]



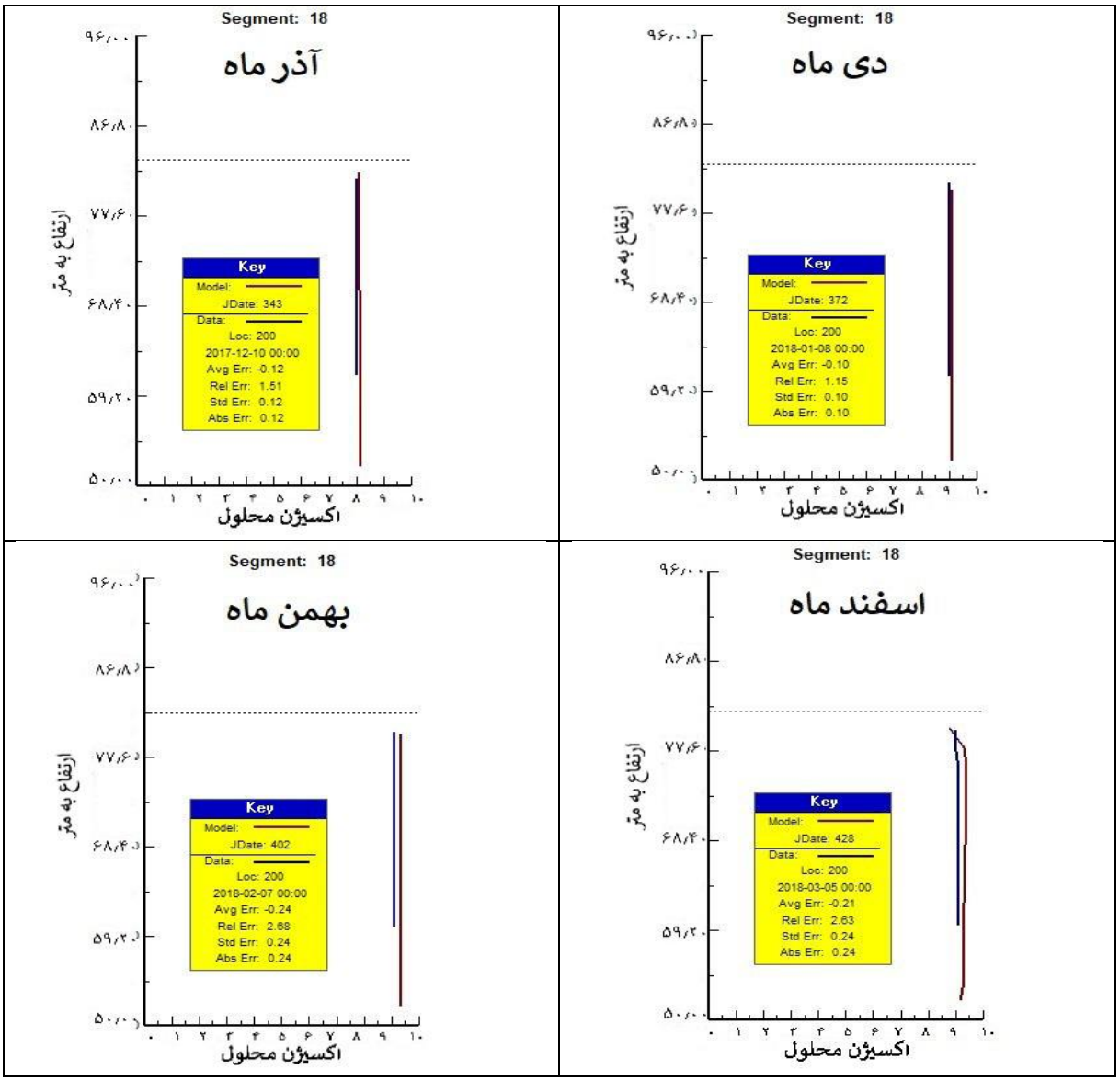
شکل ۴: مقایسه پروفیل عمقی اکسیژن محلول حاصل از شبیه‌سازی عددی با داده‌های میدانی (فروردین تا تیرماه ۱۳۹۸ -۱۳۹۷).

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-09]



شکل ۵: مقایسه پروفیل عمقی اکسیژن محلول حاصل از شبیه‌سازی عددی با داده‌های میدانی (مرداد تا آبان) (۱۳۹۸ -۱۳۹۷).

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-09]



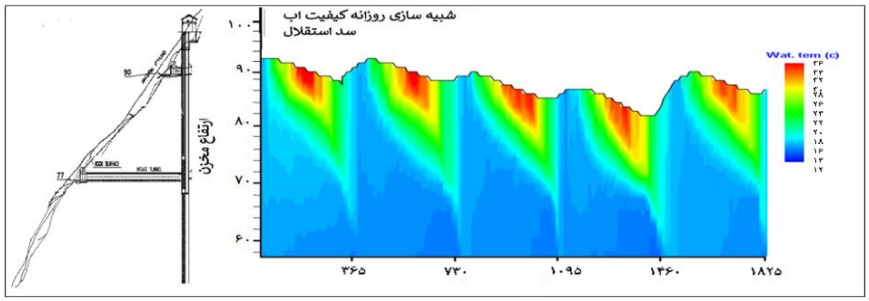
شکل ۶: ادامه مقایسه پروفیل عمقی اکسیژن محلول حاصل از شبیه‌سازی عددی با داده‌های میدانی (آذر تا اسفند ۱۳۹۸ -۱۳۹۷).

نتایج

مهم‌ترین پدیده در مخازن، لایه‌بندی حرارتی می‌باشد که می‌تواند پارامترهای کیفیت آب را متأثر نماید. شکل ۵ نتایج شبیه‌سازی دمای آب را در دوره ۵ ساله در سد را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در این شکل مشاهده می‌شود مخزن دارای یک سیکل لایه‌بندی تابستانی می‌باشد. لایه‌بندی از اواخر زمستان آغاز می‌شود و به مدت ۱۰ ماه یعنی تا پایان پاییز ادامه می‌یابد. با کاهش انرژی ورودی به مخزن لایه‌بندی ضعیف می‌شود. با ضعیف شدن لایه‌بندی در اواخر پاییز، در دی‌ماه اختلاط کامل روی می‌دهد و لایه‌بندی از بین می‌رود. در بهمن‌ماه نیز مخزن به‌صورت اختلاط کامل می‌باشد. در اسفندماه با گرم شدن هوا و افزایش انرژی ورودی به مخزن مجدداً لایه‌بندی شکل می‌گیرد. بیشترین اختلاف دما بین

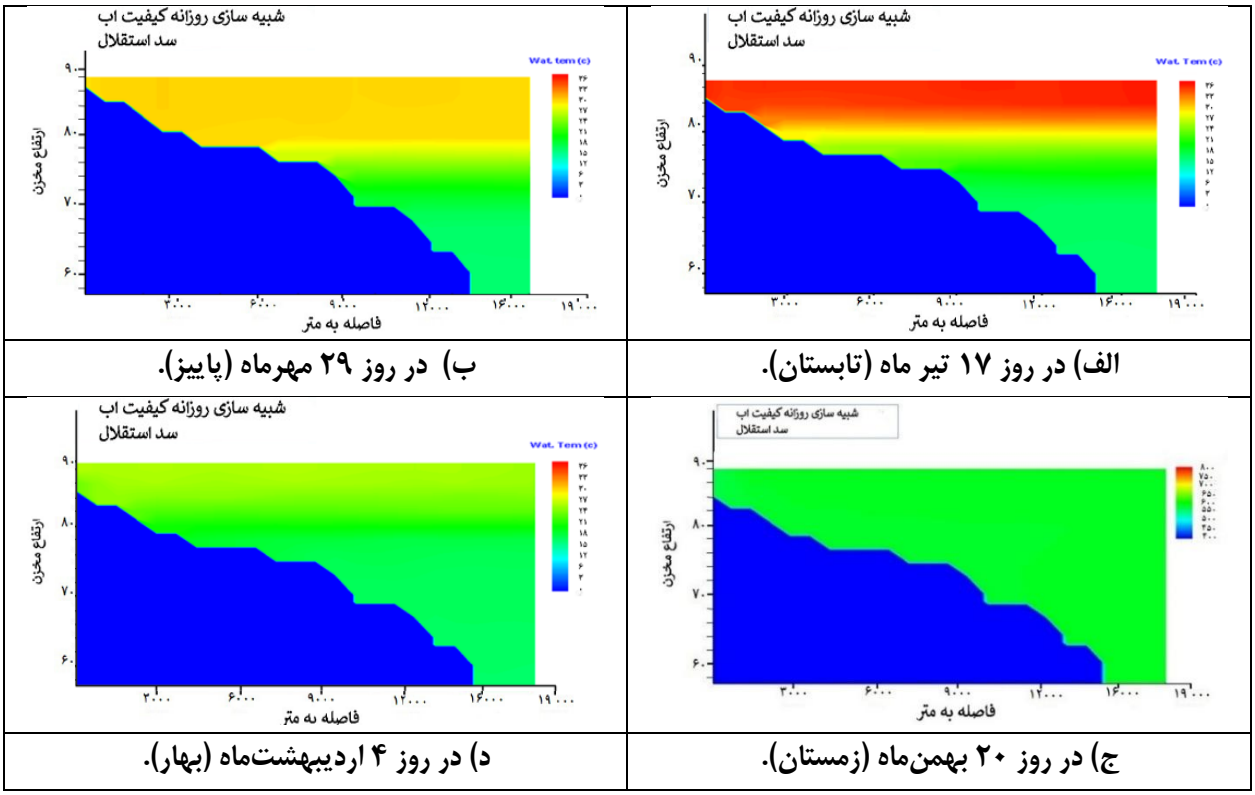
[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-09]

لایه‌های بالایی و پایینی آب در حدود ۲۳ درجه و در اواخر مردادماه به وقوع خواهد پیوست. در ماه‌های گرم چون تیر و مرداد عمق رولایه به حدود ۵ تا ۸ متر و عمق میان لایه به ۱۵ تا ۲۰ متر می‌رسد ولی با کاهش انرژی خورشیدی ورودی عمق رولایه افزایش و به بیش از ۱۵ متر می‌رسد. با ادامه این روند عمق رولایه افزایش‌یافته و عمق میان لایه به‌تدریج کاهش می‌یابد تا سرانجام لایه‌بندی به‌هم‌خورده و پدیده واژگونی رخ می‌دهد. در شکل ۷، نتایج شبیه‌سازی دمای آب در دوره ۵ ساله در نزدیکی محور سد نشان داده شده است.



شکل ۷: نتایج شبیه‌سازی دمای آب در دوره ۵ ساله در نزدیکی محور سد.

در شکل ۸ (الف تا د) تغییرات دمای آب در طول و عمق مخزن در روزهای مختلف زمستان، بهار، تابستان و پاییز به‌عنوان نمونه نشان داده‌شده است. در زمستان تغییرات دمای آب در لایه‌های مختلف مخزن به‌ویژه در نزدیکی محور سد بسیار اندک می‌باشد که بیانگر برهم خوردن لایه‌بندی حرارتی می‌باشد.



الف) در روز ۱۷ تیر ماه (تابستان).

ب) در روز ۲۹ مهرماه (پاییز).

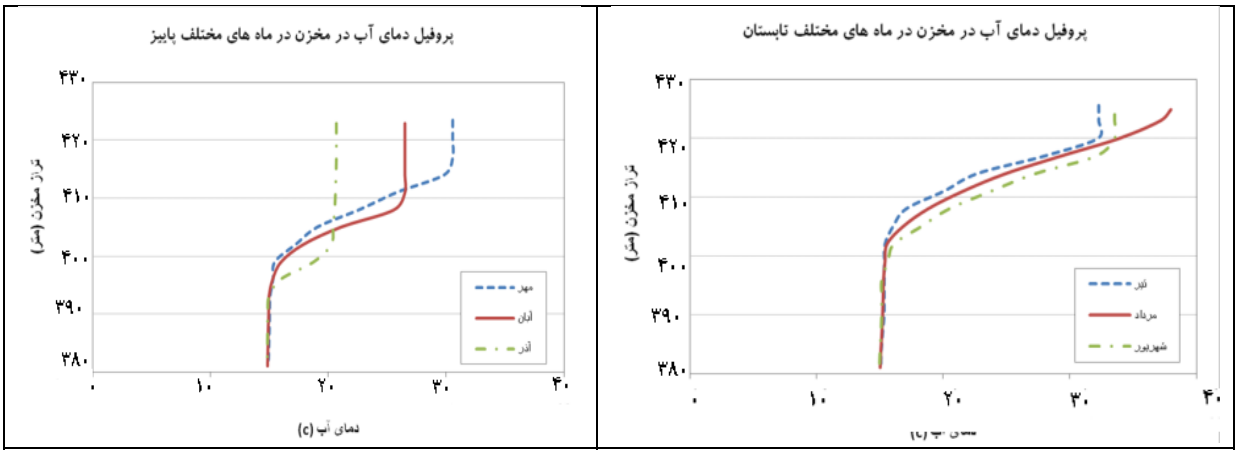
ج) در روز ۲۰ بهمن‌ماه (زمستان).

د) در روز ۴ اردیبهشت‌ماه (بهار).

شکل ۸: تغییرات دمای آب در طول و عمق مخزن در روزهای اندازه گیری شده در فصول مختلف (۱۳۹۸ -۱۳۹۷).

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-09]

در شکل ۹، الف تا د پروفیل دمای آب در نزدیکی محور سد برای ماه‌های مختلف نشان داده‌شده است. همان‌گونه که در این نمودار مشاهده می‌شود لایه‌بندی زمستانی و برهم خوردن آن در ماه‌های زمستان و شکل‌گیری لایه‌بندی تابستانی در فصول بهار، تابستان و ضعیف شدن آن در پاییز قابل‌تشخیص است.



الف) پروفیل دمای آب در ماه‌های تابستان

ب) پروفیل دمای آب در ماه‌های پاییز

ج) پروفیل دمای آب در ماه‌های زمستان

د) پروفیل دمای آب در ماه‌های بهار

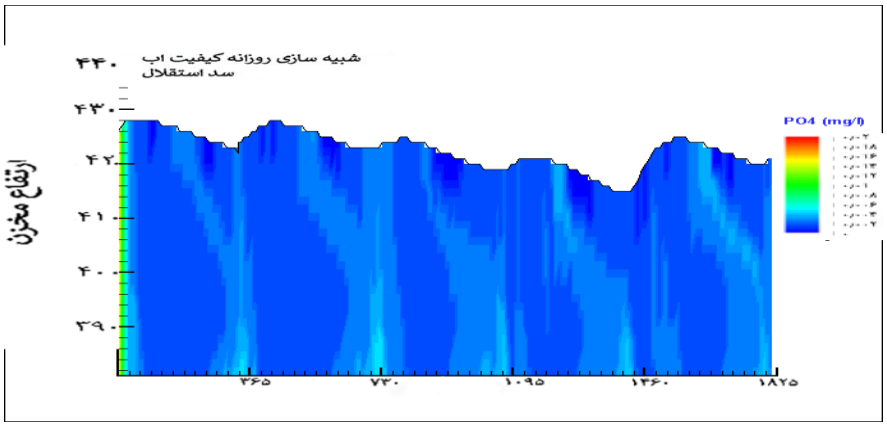
شکل ۹: پروفیل دمای آب در نزدیکی محور سد برای ماه‌های تابستان، پاییز، زمستان و بهار (۱۳۹۸ -۱۳۹۷).

شکل ۱۰، نتیجه شبیه‌سازی فسفات را در دوره ۵ ساله در سد را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که تغییرات فسفات در مخزن در دوره شبیه‌سازی نوسانی است.

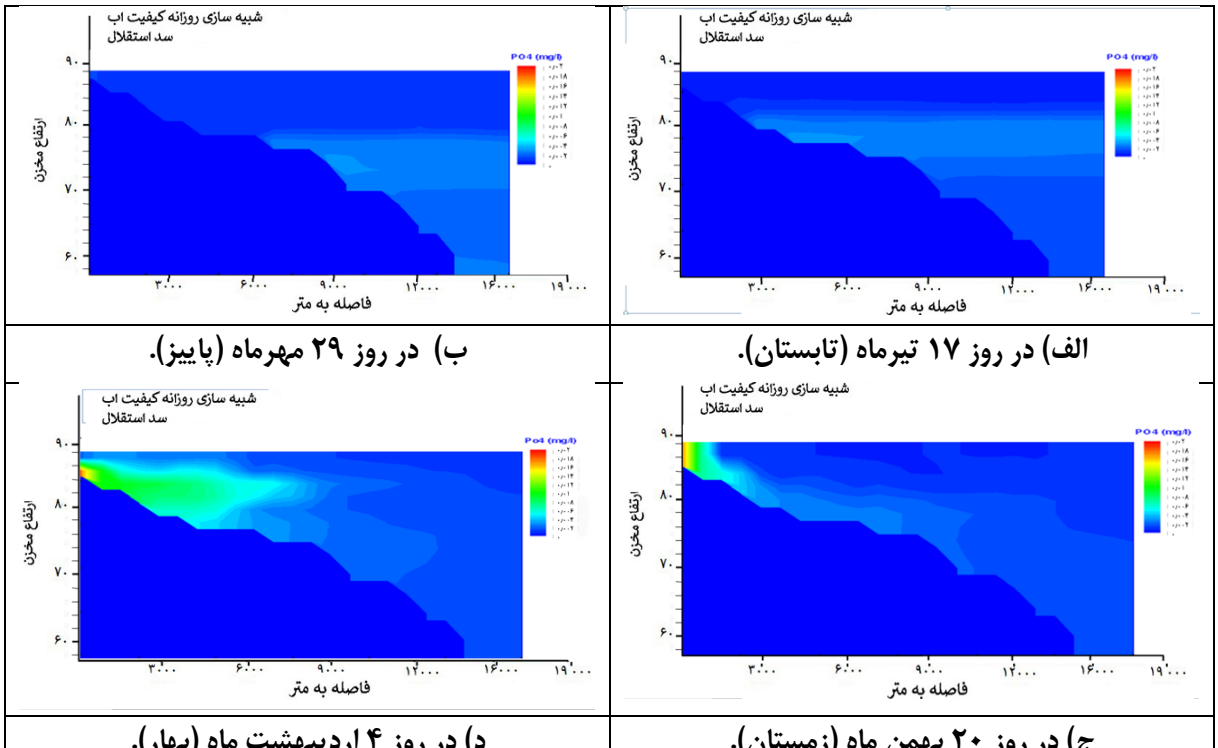
در شکل‌های ۱۱ الف تا د، تغییرات غلظت فسفات (PO_4) در طول و عمق مخزن در روزهای مختلف زمستان، بهار، تابستان و پاییز به‌عنوان نمونه نشان داده‌شده است. با توجه به این نمودارها، در بهار غلظت ورودی فسفات به مخزن افزایش می‌یابد ولی با ورود به تابستان از مقادیر غلظت فسفات در مخزن به‌شدت کاسته می‌شود. در فصول تابستان و پاییز غلظت آن به کمترین مقدار می‌رسد به‌گونه‌ای که در لایه‌های بالایی مقدار آن حتی به صفر نیز می‌رسد و بیشترین غلظت مشاهده در مخزن کمتر از ۰/۰۰۴ میلی‌گرم در لیتر یا ۴ میکروگرم در لیتر می‌باشد. در ماه‌های پایانی پاییز و اوایل زمستان غلظت فسفات در لایه‌های زیرین کمتر از لایه‌های سطحی است. غلظت این پارامتر در مخزن در این دوره و در

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-09]

لایه‌های مختلف در محدوده صفر تا ۰/۰۱ میلی‌گرم در لیتر تغییر می‌کند. همچنین مشاهده می‌شود که تغییرات غلظت فسفات غالباً در لایه‌های میانی و پایینی بیشتر است، ولی محدوده تغییرات آن در لایه‌های مختلف بین صفر تا ۰/۰۰۳ میلی‌گرم در لیتر قرار دارد.



شکل ۱۰: تغییرات غلظت فسفات (PO_4) در نزدیکی سد در دوره ۵ ساله شبیه‌سازی.



الف) در روز ۱۷ تیرماه (تابستان).

ب) در روز ۲۹ مهرماه (پاییز).

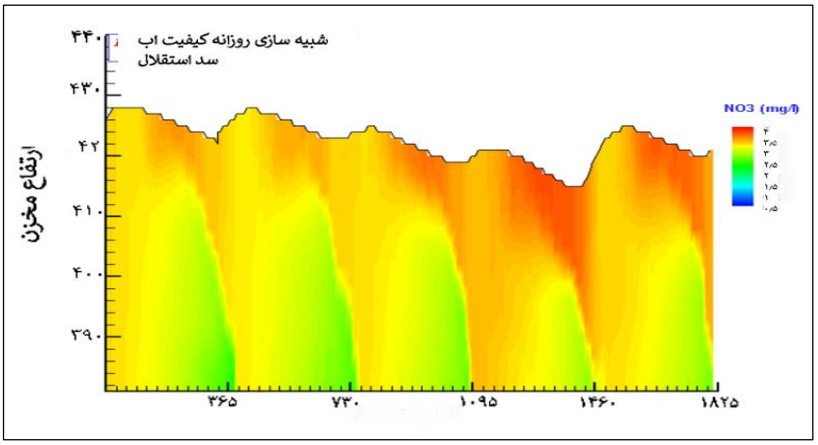
ج) در روز ۲۰ بهمن ماه (زمستان).

د) در روز ۴ اردیبهشت ماه (بهار).

شکل ۱۴: تغییرات غلظت PO4 در طول و عمق مخزن در روزهای مختلف در فصول مختلف (۱۳۹۸ -۱۳۹۷).

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-09]

شکل ۱۲، نتیجه شبیه‌سازی پارامتر نیترات را در دوره ۵ ساله و در نزدیکی سد نشان می‌دهد. همان‌گونه که در این شکل مشاهده می‌شود تغییرات نیترات در مخزن در دوره شبیه‌سازی نوسانی می‌باشد به‌گونه‌ای که کمترین مقدار آن در ابتدای دوره شبیه‌سازی (زمستان) و بیشترین مقدار آن در پایان همان سال (پاییز) می‌باشد. غلظت این پارامتر به‌تدریج در لایه‌های بالایی افزایش می‌یابد و در تابستان و پاییز به بیشترین مقدار خود می‌رسد. با برهم خوردن لایه‌بندی، غلظت در عمق یکنواخت می‌شود و مجدداً با شکل‌گیری لایه‌بندی، غلظت نیترات در لایه‌های بالایی افزایش می‌یابد. غلظت این پارامتر در مخزن در محدوده صفر تا ۴ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد. تغییرات این پارامتر در عمق فصول تابستان و پاییز به ۱ میلی‌گرم در لیتر نیز می‌رسد. همچنین در این نمودارها روند افزایشی غلظت نیترات در لایه‌های بالایی در طول دوره شبیه‌سازی قابل‌مشاهده است که محدوده تغییرات غلظت نیترات بین ۲ تا ۴ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد.



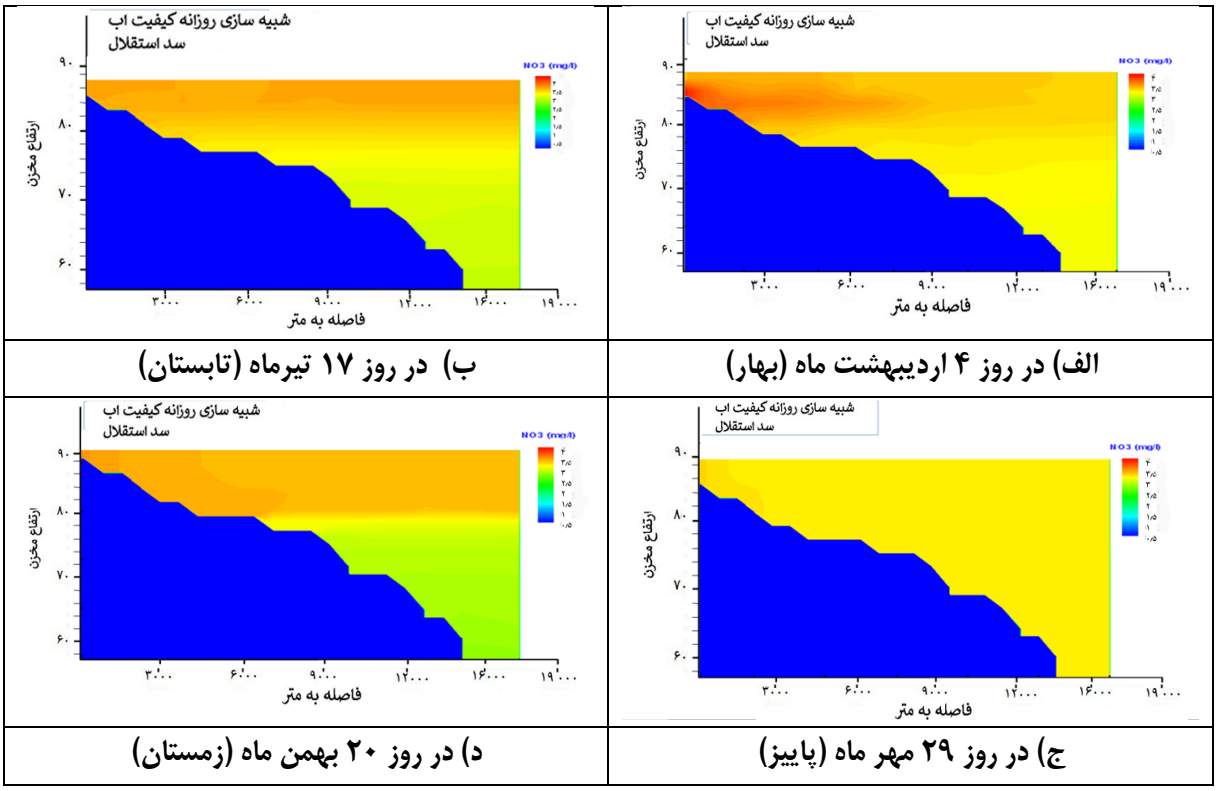
شکل ۱۲: تغییرات غلظت NO3 در نزدیکی سد در دوره ۵ ساله شبیه‌سازی.

در شکل ۱۳ الف تا د تغییرات غلظت NO3 در طول و عمق مخزن در روزهای مختلف زمستان، بهار، تابستان و پاییز به‌عنوان نمونه نشان داده‌شده است. با توجه به این نمودارها، افزایش تدریجی غلظت نیترات از بهار تا پاییز به‌ویژه در لایه‌های بالایی به‌خوبی مشخص است.

شکل ۱۴، نتیجه شبیه‌سازی اکسیژن محلول را در دوره ۵ ساله و در نزدیکی سد را نشان می‌دهد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که تغییرات این پارامتر در مخزن در دوره شبیه‌سازی نوسانی بوده به‌گونه‌ای که بیشترین مقدار آن در شروع دوره شبیه‌سازی (زمستان) و کمترین مقدار آن در فصل پاییز به‌ویژه در لایه‌های زیرین می‌باشد. غلظت این پارامتر در نزدیکی سد در محدوده صفر تا ۹ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد.

در شکل‌های ۱۵ الف تا د تغییرات غلظت DO در طول و عمق مخزن در روزهای مختلف زمستان، بهار، تابستان و پاییز به‌عنوان نمونه نشان داده‌شده است. با توجه به این نمودارها، کاهش تدریجی غلظت اکسیژن محلول از بهار تا پاییز به‌ویژه در لایه‌های پایینی و افزایش آن از اواخر پاییز به‌خوبی نمایان است.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-09]



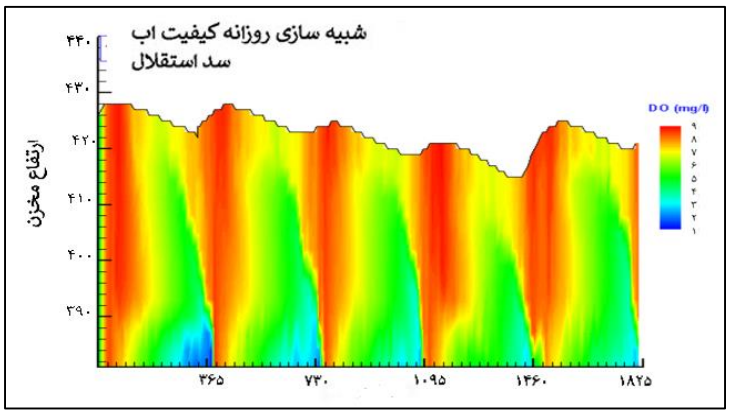
الف) در روز ۴ اردیبهشت ماه (بهار)

ب) در روز ۱۷ تیرماه (تابستان)

ج) در روز ۲۹ مهر ماه (پاییز)

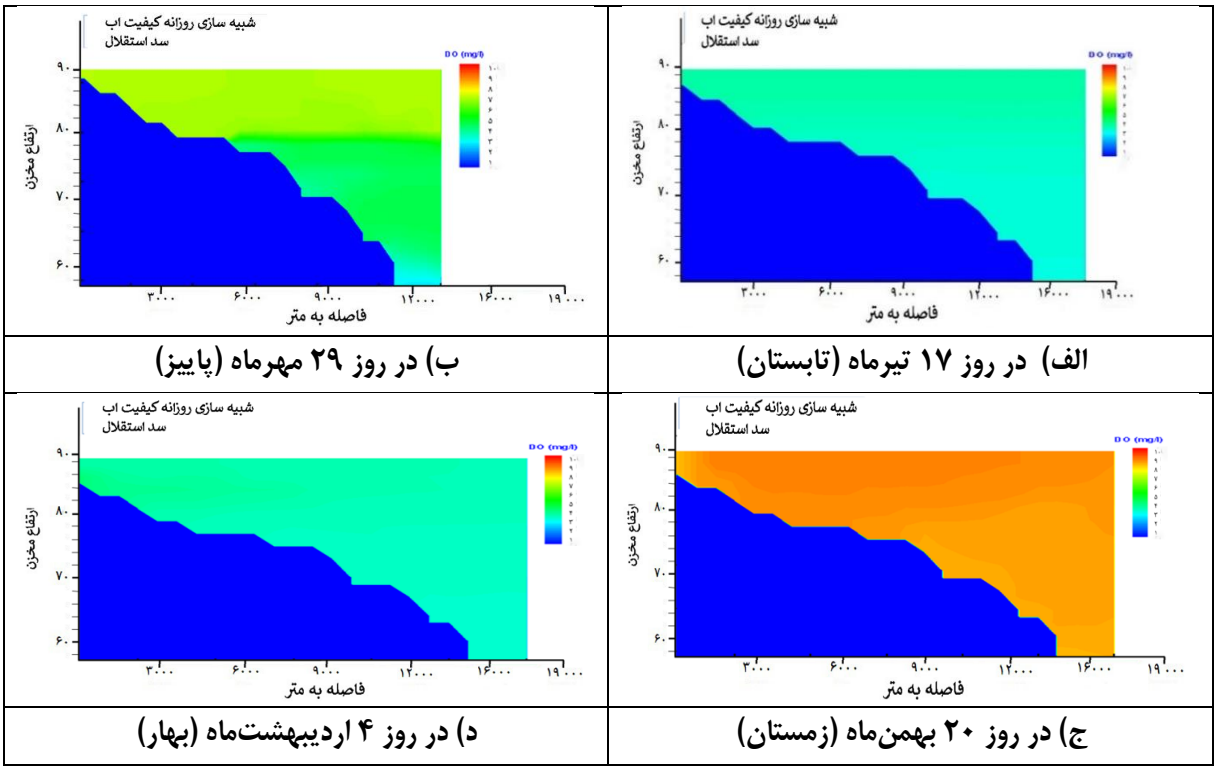
د) در روز ۲۰ بهمن ماه (زمستان)

شکل ۱۳: تغییرات غلظت NO3 در طول و عمق مخزن در روزهای محتلف در غصول مختلف (۱۳۹۸ -۱۳۹۷).



شکل ۱۴: تغییرات غلظت DO در نزدیکی سد در دوره ۵ ساله شبیه‌سازی.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-09]



الف) در روز ۱۷ تیرماه (تابستان)

ب) در روز ۲۹ مهرماه (پاییز)

ج) در روز ۲۰ بهمن‌ماه (زمستان)

د) در روز ۴ اردیبهشت‌ماه (بهار)

شکل ۱۵: تغییرات غلظت DO در طول و عمق مخزن در روزهای مختلف در فصول مختلف (۱۳۹۸ -۱۳۹۷).

بحث و نتیجه‌گیری

لایه‌بندی یک‌روند اساسی تأثیرگذار بر کیفیت آب در دریاچه‌ها و مخازن است. تعیین وجود لایه‌بندی و مشخصات آن برای منابع آبی، مسئله‌ای ضروری است. ساده‌ترین روش جهت تشخیص نوع لایه‌بندی، اندازه‌گیری مستقیم کیفیت آب و دما در لایه‌های مختلف مخزن یا دریاچه است. برای مخازن سدها از روش‌های اندازه‌گیری‌های میدانی و روش‌هایی برای تخمین پتانسیل لایه‌بندی پیشنهاد گردیده است (صالحی و همکاران، ۱۳۹۸). وجود لایه‌بندی حرارتی در مخزن سد عامل و بیانگر تغییرات کیفیت فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آب در ترازهای مختلف است. خصوصیات دمایی مخازن سدها را می‌توان با استفاده از مدل‌های ریاضی پیش‌بینی کرد. مدل CE-QUAL-W2 یک مدلی دوبعدی هیدرودینامیکی و کیفی است که با توجه به قابلیت‌های فراوان آن، برای لایه‌بندی حرارتی از آن استفاده می‌گردد (شعبانی و همکاران، ۱۳۹۸). تغییرات شدید دما، چگالی و املاح محلول در عمق مخزن، کم شدن غلظت اکسیژن محلول، طعم و بوی نامطبوع آب از پیامدهای ایجاد لایه‌بندی مخزن سد است (شهرکی و همکاران ۱۳۹۴). در این مطالعه از مدل دوبعدی CE- CE-QUAl-W2 جهت مدل‌سازی پارامترهای هیدرودینامیکی، دما و همچنین پارامترهای کیفی در مخزن سد میناب جهت شبیه‌سازی لایه‌بندی حرارتی و پدیده تغذیه گرایی استفاده‌شده است. نتایج مدل‌سازی مخزن سد استقلال میناب با استفاده از مدل‌های مختلف نشان داد که مخزن سد دارای لایه‌بندی ۱۰ ماهه است (اواخر زمستان تا پایان پاییز) که با که با نتایج خلف و نوشادی در سال ۱۳۸۹ در مورد سد درودزن هم‌خوانی دارد. در مقایسه با مطالعات دیگر، ازجمله سد مارون لایه‌بندی از اواخر فروردین شروع و در مردادماه به اوج می‌رسد (حمزه پور و همکاران، ۱۳۹۱). مطالعه لایه‌بندی در سد ماملو نشان داد که لایه‌بندی از اواخر فروردین شروع‌شده و در آذرماه از بین می‌رود (زهره وند و همکاران، ۱۳۹۰). Ebrahimi و همکاران در سال ۲۰۱۵ نیز در تحقیقی مشابه به این نتیجه رسیدند که نه ماه از سال در مخزن سد بافت پدیده لایه‌بندی حرارتی اتفاق میافتد. شعبانی و همکاران در سال ۱۳۹۸ در تحقیقی

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-09]

تحت عنوان لایه‌بندی حرارتی سد سیمره با استفاده از مدل W2 QUAL CE به این نتیجه رسیدند که لایه‌بندی سد سمیره از اسفندماه تا دی‌ماه ادامه دارد و در پاییز به اوج می‌رسد که نتایج به‌دست‌آمده با تحقیق حاضر مشابهت دارد. Kiani Sadr (۲۰۱۷) شبیه‌سازی لایه‌بندی حرارتی و غلظت اکسیژن محلول با کاربرد مدل W2-QUAL-CE موردمطالعه قراردادند که نتایج نشان‌دهنده ایجاد لایه‌بندی حرارتی در فصل تابستان است. رضایی برندق و همکاران (۲۰۱۸) به بررسی لایه‌بندی حرارتی و کیفی سد تهم زنجان با استفاده از نرم‌افزار CE QUALW2 پرداختند. نتایج حاصل از پژوهش آن‌ها بیانگر وجود یک دوره لایه‌بندی حرارتی در مخزن است که حدود هشت ماه از سال به طول می‌انجامد. تشکیل لایه‌بندی حرارتی در مخزن سد به‌تدریج باعث افزایش ضخامت رو لایه شده و در انتهای فصل پاییز ضخامت این‌رو لایه به بیشترین حد خود می‌رسد. گرادیان حرارتی ایجادشده در دوره لایه‌بندی در مخزن سد میناب ناشی از جریانات سطحی باد و تشعشعات خورشیدی است (شعبانی، ۱۳۹۸). Ma و همکاران (۲۰۰۸) به بررسی لایه‌بندی حرارتی در مخزن سد کوریس در قبرس توسط مدل دوبعدی کیفی W2-QUAL-CE پرداختند که نتایج حاکی از آن بود که این مخزن در اغلب طول سال دارای لایه‌بندی حرارتی بوده و در اوایل بهمن اختلاط در مخزن رخ می‌دهد. سطح دریاچه‌ها و مخازن سدها در بیشتر مناطق جهان یک چرخه دمایی مشخص را در سال طی می‌کنند. همچنان که نتایج این مطالعه نشان داد، لایه‌بندی حرارتی در بیشتر ماه‌های سال در مخزن سد استقلال وجود دارد. هم‌زمان با کاهش دمای هوا بخصوص در فصل زمستان لایه‌بندی حرارتی از بین می‌رود و درعین‌حال با گرم شدن دمای زمین مجدداً لایه‌بندی حرارتی شکل می‌گیرد. در فصل زمستان با شروع دوره سرما اختلاط در مخزن سد اتفاق می‌افتد و این اختلاط باعث یکنواخت شدن دما در کلیه ترازها می‌گردد. دمای آب عامل مهمی در محیط‌ها و زیستگاه‌های آبی است. سدسازی به‌ویژه ساخت چندین سد در رودخانه‌ها می‌تواند تا حد زیادی درجه حرارت آب پایین‌دست را تخریب (Rolland و همکاران،۲۰۱۳؛ Effendi و همکاران، ۲۰۲۰). برخی از گونه‌های ماهی به دمای آب حساس هستند و در صورتی که دمای آب به یک حد مشخص برسد قادر به تخم‌ریزی هستند (Ito and Momii, 2015). در مهروموم‌های اخیر تأثیرات منفی ساخت سد بر روی دمای آب رودخانه‌های پایین‌دست ثبت‌شده است. توجه گسترده چند نمونه از این موارد را می‌توان در سد گثریت، سد شستا در ایالات‌متحده، سد Burrendong و سد Keepit در استرالیا را نام برد (Olden and Naiman, 2010). لایه‌بندی حرارتی مانع دریافت اکسیژن از منابع خارجی در داخل مخازن می‌شود، کمبود اکسیژن و ایجاد شرایط بی‌هوازی بر بسیاری از فرایندهای بوم‌شناختی و شیمیایی در مخازن تأثیر منفی می‌گذارد. در این شرایط رهاسازی جریان از زیر لایه در زمان لایه‌بندی باعث می‌شود که جریان آب سردتری از جریان پایه، آزاد و رها شود. جریان آب سرد از مخازن بالادست در شرایط گرم تابستان می‌تواند باعث تقویت لایه‌بندی در مخازن پایین‌دست شود. افزایش حجم زی‌توده فیتوپلانکتون‌ها، کاهش اکسیژن محلول، مشکلات مربوط به بو رنگ و کیفیت آب برای مصرف شرب و کاهش شفافیت آب ازجمله اثرات پدیده تغذیه گرایی در مخازن سدها است (شعبانی و همکاران، ۱۳۹۸). در سد میناب و به دلیل عمق سد و لایه‌بندی معمولاً شرایط غیر هوازی اتفاق افتاده و مواد غذایی فسفر دار و نیتروژن آمونیوم بیشتر حل می‌شوند و از رسوبات بستر به درون هایپولیمنیون آزاد می‌شوند. در طول تابستان، دریاچه‌های لایه‌بندی شده، برخی مواقع می‌توانند به‌طور ناقص مخلوط شوند که در این صورت مواد غذایی به درون اپی‌لیمنیون فرار می‌کنند و باعث افزایش رشد جلبک‌ها می‌شوند. بررسی روند تغییرات فسفات در مخزن سد نشان داد که در بهار غلظت ورودی فسفات به مخزن افزایش می‌یابد ولی با ورود به تابستان از مقادیر غلظت فسفات در مخزن به‌شدت کاسته می‌شود. فسفات که عامل محدودکننده رشد جلبکی در سدها می‌باشد در زمان لایه‌بندی و ایجاد شرایط بی‌هوازی در عمق مخزن سد از رسوبات کف رهاسازی شده و به دنبال این پدیده کاهش نیترات در عمق مخزن مشاهده می‌شود. با استمرار ته‌نشینی فسفات در رسوبات در زمان ایجاد شرایط بی‌هوازی در فصل تابستان، غلظت فسفر رهاشده از رسوبات افزایش‌یافته و به دنبال این فرآیند شرایط مخزن از حالت تغذیه گرایی متوسط به حالت تغذیه گرا تغییر می‌کند. تغییرات نیترات در مخزن در دوره شبیه‌سازی نوسانی می‌باشد به‌گونه‌ای که کمترین مقدار آن در ابتدای دوره شبیه‌سازی (زمستان) و بیشترین مقدار آن در پایان همان سال (پاییز) می‌باشد. غلظت این پارامتر به‌تدریج در لایه‌های بالایی افزایش می‌یابد و در تابستان و پاییز به بیشترین مقدار خود می‌رسد. با برهم خوردن لایه‌بندی، غلظت در عمق یکنواخت می‌شود و مجدداً با شکل‌گیری لایه‌بندی، غلظت نیترات در لایه‌های بالایی افزایش می‌یابد. غلظت این پارامتر در مخزن

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-09]

در محدوده صفر تا ۴ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد. درصورتی‌که که آورده ورودی مخزن سد به دلیل کاهش بارندگی کم شود و میزان آب خروجی از سد بیشتر از ۵۰ درصد باشد، در این صورت در مهروموم‌های آتی مدت‌زمان رهاسازی فسفات از رسوبات کاهش‌یافته که علت اصلی این تغییر افزایش نیروی اختلاط قائم درنتیجه تخلیه بیشتر آب از ترازهای پایین‌تر است. لذا بهتر است که در فصول پرآبی با برداشت بیشتر آب از دریچه‌های تحتانی مخزن به اختلاط قایم مخزن کمک شود که در این حالت با کاهش فسفات رهاشده از رسوبات کف، شرایط تغذیه گرایی مخزن بهبود می‌یابد. این نتایج با نتایج مطالعات روستایی و همکاران (۱۳۹۳) درباره سد لتیان هم‌خوانی دارد.

در این مطالعه مدل دوبعدی CE-QUAl-W2 جهت مدل‌سازی پارامترهای هیدرودینامیکی، دما و همچنین پارامترهای کیفی در مخزن سد میناب جهت شبیه‌سازی لایه‌بندی حرارتی و پدیده تغذیه گرایی استفاده‌شده است. کالیبراسیون و صحت‌سنجی مدل بر اساس پروفیل‌های قائم دما و غلظت پارامترهای کیفی در مقاطع مختلف مخزن انجام‌گرفته است. نتایج بررسی‌ها نشان داد که تغییرات زمانی و مکانی دما و همچنین پارامترهای کیفی آب مدل‌سازی شده با داده‌های مشاهداتی تطابق نسبت خوبی دارند. نتایج مدل‌سازی نشان داد که مخزن سد میناب دارای لایه‌بندی تابستانی می‌باشد که از اواخر اسفند آغاز و به مدت ۱۰ ماه تا آذرماه ادامه دارد. بررسی‌های میدانی در طول مدت‌زمان لایه‌بندی مخزن نشان داد که در ماه‌هایی که لایه‌بندی حرارتی در مخزن سد میناب رخ می‌دهد، بو و رنگ آب شرب شهر بندرعباس تغییر پیداکرده و برای مصرف‌کنندگان ایجاد مشکل می‌کنند که یکی از دلایل آن ایجاد شرایط بی‌هوازی در عمق مخزن و جلوگیری از انتقال قائم اکسیژن محلول در عمق می‌باشد. همچنین مشخص شد که مخزن در طول سال به مدت دو ماه اختلاط کامل را تجربه کرده و در دسته دریاچه‌های مونومیکتیک گرم قرار دارد. بررسی‌ها نشان داد که پارامترهای ازجمله تغییرات دمای آب ورودی و سایر پارامترهایی آب و هوایی مانند حداقل و حداکثر دما، سرعت و جهت وزش باد، میزان رطوبت ازجمله پارامترهای بسیار مؤثر بر دمای آب مخزن هستند. روند تغییرات غلظت اکسیژن محلول نیز نشان داد که غلظت اکسیژن محلول متأثر از دمای آب مخزن و میزان اکسیژن خواهی رسوبات کف می‌باشد. بررسی شاخص‌های مختلف تغذیه گرایی مخزن نشان داد که ازنظر شاخص‌های والن وایدر مخزن سد میناب در محدوده مغذی و ازنظر شاخص کارلسون دسته‌بندی مخازن شاداب قرار می‌گیرد. همچنین بررسی روند تغییرات فسفات و نیترات در مخزن نشان داد که غلظت ورودی فسفات به مخزن در فصل بهار روندی افزایشی و در فصل تابستان روندی کاهشی دارد. درحالی‌که کمترین میزان نیترات در فصل زمستان و بیشترین مقدار آن در فصل تابستان و پاییز می‌باشد. آب شرب شهر بندرعباس که در طول سال از سد میناب برداشت می‌شود در اواخر تابستان و آذرماه بوی شدید همراه با تغییر در طعم به همراه داشته که با یافته‌های موجود در سد و تغییرات سد تطابق کامل داشته و این موضوع به‌طور مستقیم کیفیت آب شرب شهر بندرعباس را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

سپاسگزاری

این پژوهش با هماهنگی و کمک و مساعدت معاونت بهره‌برداری و دفتر محیطزیست شرکت آب منطقه‌ای استان هرمزگان انجام گردیده لذا بدین‌وسیله از همه این عزیزان تقدیر و تشکر می‌نماییم.

منابع

باغوند. ا.، اردستانی. م.، مهردادی. ن. و سعیدی. پ.، ۱۳۹۲. شبیه‌سازی لایه‌بندی حرارتی و غلظت اکسیژن محلول با استفاده از مدل W2-Qual-Ce (مطالعه موردی: مخزن سد شهید رجایی)، محیط‌شناسی، دورهٔ ۳۹ (۴): صفحات ۱۸۰ -۱۷۱.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-09]

حمزه پور، ص.، ۱۳۹۱. بررسی لایه‌بندی حرارتی و تاثیر آن بر کیفیت آب مخزن، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دولتی – وزارت علوم، تحقیقات، و فناوری – دانشگاه ارومیه – دانشکده کشاورزی . دهقان، ج ؛ لایه‌بندی حرارتی در مخازن متوالی ، مطالعه موردی مخازن سدهای کارون یک ، دو و سه . پایان‌نامه کارشناسی ارشد ، دانشگاه علم و صنعت.

خلف، آ. و نوشادی، م.، ۱۳۹۸. تحلیل لایه‌بندی حرارتی مخزن سد درود زن با استفاده از مدلCE - QUAL - W2 ، یازدهمین کنگره ملی مهندسی عمران، شیراز .https://civilica.com/doc/918228

رضایی برندق، ه.، سلمانی، ف. و صاحبی، ف.،۱۳۹۳. مطالعه لایه‌بندی حرارتی و کیفی سد تهم زنجان با استفاده از نرم‌افزارCE-QUAL-W2 ، نشریه علمی پژوهش‌های آب‌وخاک، دوره ۲۵، شماره ۱، فروردین و اردیبهشت ۱۳۹۷، صفحات ۱۴۵-۱۲۷.

روستایی، ج.، فاضلی، م.، هاشمی، ح. و عطاری، ج.،۱۳۹۳. ارزیابی شرایط کیفی از در مخازن سدها با استفاده از مدل دوبعدی W2-Qual-Ceمطالعه موردی سد لتیان، اولین همایش ملی مدیریت منابع آب اراضی ساحلی.

زهره وند، م.، سراج، م. و هاشمی، س.، ۱۳۹۰. ارزیابی وضعیت کیفیت آب در مخازن سدها با استفاده از مدل Ce-Qual-W2 (مطالعه موردی: سد ماملو). اولین کنفرانس بین‌المللی سدها و انرژی آبی. تهران ایران.

سلطانی. ج. و علوی مقدم. س. م. ر.، ۱۳۸۴. تجربیات حاصل از مطالعات تأثیر لایه‌بندی حرارتی در کیفیت آب تعدادی از سدهای کشور، دوازدهمین کنفرانس دانشجویی مهندسی عمران، شناسه (COI) مقاله:.CESC12_038

شعبانی ن.، رحمانی ع. و عابسی ع.، ۱۳۹۸. لایه‌بندی حرارتی مخزن سد سیمره با استفاده از مدل دوبعدی هیدرودینامیکی و کیفی ce-qual-w2، علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، ۲۱ (۷): صفحات ۸۷-۷۷.

شاه‌منصوری. م.، ۱۳۸۵. تعیین لایه بندی حرارتی و کلاس کیفی مخزن سد حنا در سال۱۳۸۳، نهمین همایش ملی بهداشت محیط . دولتی – وزارت بهداشت، درمان، و آموزش پزشکی – دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی اصفهان.

شهرکی م.، نوشادی م.، علی زاده، ا.، ۱۳۹۴. بررسی و شبیه‌سازی لایه‌بندی حرارتی و شوری در مخزن سد استقلال میناب به‌وسیله مدل HEC-5Q، کنگره ملی آبیاری و زهکشی ایران، دوره ۱.

صالحی. م.، خانی تملیه. ذ.، نوید. پ. و احمدپور. ض.، ۱۳۹۸. مدل‌سازی عددی لایه‌بندی حرارتی و کیفیت آب مخزن سد با استفاده از مدل کیفی-W2 QUAL-CE. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب‌وخاک ، ۲۸ (۴): صفحات ۷۳-۵۳. DOI: 10.22069/jwsc.2019.14971.3010

کیانی صدر، م.، ۱۳۹۳. شبیه سازی لایه بندی حرارتی و غلظت اکسیژن محلول با کاربرد مدل Ce Qual W2 (مطالعه موردی: سد گرشا)، مجله علمی پژوهشی اکو بیولوژی تالاب، دانشگاه آزاد اهواز، ۹ (۲): صحات ۵۱-۳۹.

کاوه، م.، مریدی ع. و نوریان س.، ۱۳۹۷. راهکارهای بهبود کیفیت آب در مخازن سدها مطالعه موردی ایلام، مجله مهندسی منابع آب، ۱۱ (۳۷): صفحات ۹۷-۸۷.

ویسی، ک.، سمرقندی، م. ر. و نورمرادی، ح. ا.، ۱۳۹۳. پایش پدیده تغذیه گرایی در دریاچه سد مخزنی اکباتان با بهره گیری از شاخص غنی شدگی کارلسون، مجله علمی پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی ایلام، دوره بیست دوم، صفحات ۵۰-۴۲.

Agwanda, P. A. and **Iqbal, M. M., 2019**. Engineering Control of Eutrophication: Potential Impact Assessment of Wastewater Treatment Plants Around Winam Gulf of Lake Victoria in Kenya, Journal of Coastal Research, 91(sp1): 221-225.

Camargo, J. A., Alonso, A. and M. Puente, C., 2005. Eutrophication downstream from small reservoirs in mountain rivers of Central Spain. Water Research, 39: 3376-3384.

Chung, S. W. and Oh, J. K., 2006.Calibration of CE-QUAL-W2 for a monomictic reservoir in a monsoon climate area." Water Science Technology., 54 (11-12): 29-37.

Dokulil, M. T. and Teubner, K., 2011. Eutrophication and climate change: present situation and future scenarios, in Eutrophication: causes, consequences and control Journal Health, 5: 1.

Duka, M. A., Shintani, T. Y. and okoyama, K., 2021. Thermal stratification responses of a monomictic reservoir under different seasons and operation schemes, journal of Science of The Total Environment, 767, 144423. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144423.

Ebrahimi, M., Jabbari E. and Abbasi, H., 2015. Simulationof Thermal Stratification and Salinity in Dam Reservoir Using CE-QUAL-W2 Software (Case study: Baft Dam) Journal Civil Eng, Urban, 5 (1): 07-11.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-09]

Effendi, A. F., Bahri, A. S., Nadira Roslan, A. N., Rosli, M. Z., Shahbodin, N. A., Faiz, M., Amin, M. and Husin, S. M., 2020. Characteristics of Pergau Reservoir Water Quality Profile, 2nd International Conference on Tropical Resources and Sustainable Sciences, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 549 (2020) 012008, doi:10.1088/1755-1315/549/1/012008.

Fernandez, C., Parodi. E. R. and Cáceres. E. J., 2009. Limnological characteristics and trophic state of Paso de las Piedras Reservoir: an inland reservoir in Argentina. Lake Reserv,, 14: 85-101.

Jin, J., Wells, S. A., Liu, D., Yang, G., Zhu, S., Ma, J. and Yang, Z., 2019. Effects of water level fluctuation on thermal stratification in a typical tributary bay of Three Gorges Reservoir, China. Peer Journal, 7:e6925 DOI 10.7717/peerj.6925.

Ito, Y., Momii, K., 2015. Impacts of regional warming on long-term hypolimnetic anoxia and dissolved oxygen concentration in a deep lake. Hydrology Process, 2015, 29, 2232–2242...

Karadzic, V., Subakov-Simić, G., Krizmanić, J. and Natić, D., 2010. Phytoplankton and eutrophication development in the water supply reservoirs Garaši and Bukulja (Serbia). Desalination 2010; 255:91-6.

Kurz, I., Coxon, C., Tunney, H. and Ryan, D., 2005. Effects of grassland management practices and environmental conditions on nutrient concentrations in overland flow. Journal of Hydrology, 304: 35-50.

Kiani Sadr, M., 2017. Simulation of thermal layering and dissolved oxygen concentration using the CE-QUAL-W2 model. (Case study: Garshah Dam). Journal Quar Wetland Ecology, 9 th year, 32: 39-52.

Li, X., Xu, Y., Zhao, G., Shi, C. Wang, Z. L. and Wang, Y., 2015. Assessing threshold values for eutrophication management using Bayesian method in Yuqiao Reservoir, North China. Environmental Monitoring and Assessment, 187-195. DOI 10.1007/s10661-015- 4399-4.

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 & Reservoirs: Journal Research Manage, 13: 51-61.

Olden, J.D. and Naiman, R. J., 2010. Incorporating thermal regimes into environmental flows assessments: Modifying dam operations to restore freshwater ecosystem integrity. Freshw. Biol. 2010, 55, 86–107.

Ziaie, R., Mohammadnezhad, B., Taheriyoun, M., Karimi, A. and Amiri, S., 2019. Evaluation of Thermal Stratification and Eutrophication in Zayandeh Roud Dam Reservoir Using Two-Dimensional CE-QUAL-W2 Model, Journal of Environmental Engineering, 145(6): https://doi.org/10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0001529.

Rolland, D. C., Bourget, S., Warren, A., Laurion, I. and Vincent, W. F., 2013. Extreme variability of cyanobacterial blooms in an urban drinking water supply. Journal Plankton Research, 2013, 35, 744–758.

Shamlou, A, Naseri, S. andNadafi, K., 2004. Water quality monitoring of the Gilarlo reservoir. Journal Water, 15: 51-8.

Smith, D. R., Haggard, B. E., Warnemuende, E. A. and Huang, C., 2005. Sediment phosphorus dynamics for three tile fed drainage ditches in Northeast Indiana. Agricultural Water management, 71: 19-32.

Zhang H., 2006. Evaluating lake eutrophication with enhanced thematic mapper data in Wuhan. Chinese Journal Oceanol Limnology, 2006, 24: 285-90.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-09]

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-09]