علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و یکم، شماره هفت، مهر ماه ۹۸

لایه‌بندی حرارتی مخزن سد سیمره با استفاده از مدل دو بعدی هیدرودینامیکی و کیفی CE-QUAL-W2

نسیم شعبانی [۱]

علی رحمانی فیروزجائی [۲*]

rahmani@nit.ac.ir

عزیر عابسی [۳]

تاریخ دریافت:۹۵/۰۹/۱۹ **تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۱/۱۳**

چکیده:

زمینه و هدف: 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 می توان با استفاده از مدل‌های ریاضی پیش‌بینی کرد. مدل CE-QUAL-W2 یک مدلی دو بعدی هیدرودینامیکی و کیفی است که با توجه به قابلیت‌های فراوان آن، برای لایه‌بندی حرارتی از آن استفاده می‌گردد.

روش بررسی: برای لایه‌بندی حرارتی سد سیمره در استان ایلام از مدلCE-QUAL-W2 استفاده گردید. گام نخست در مدل‌سازی فرآیند کالیبراسیون است. کالیبراسیون یک فرآیند چند مرحله‌ای برای اصلاح پارامترها است تا بتوان بین داده‌های مشاهده شده و مدل تطابق ایجاد نمود. برای لایه‌بندی حرارتی در مدل CE-QUAL-W2 سه مرحله کالیبراسیون شامل کالیبراسیون هندسه مخزن، سطح آب و بهره‌برداری مخزن و دمایی وجود دارد که جهت اجرای بهینه مدل انجام گرفت. پس از انجام کالیبراسیون، نتایج لایه‌بندی برای ماه-های مختلف سال استخراج شد.

یافته‌ها: میزان خطای جذر میانگین مربعات برای کالیبراسیون که با مقایسه داده‌های واقعی و داده‌های مشاهده ای، به ترتیب ۰/۵، ۰/۰۵ و ۱/۶۲ محاسبه گردید، بیان‌گر آن است که مدل برای لایه‌بندی حرارتی دارای قابلیت مناسبی است. این لایه‌بندی از اسفند ماه تا دی ماه ادامه دارد و در پاییز به اوج می‌رسد. ضخامت لایه سطحی آب که رولایه نام دارد از ماهی به ماه دیگر متفاوت است. ضمن آن‌که این تفاوت در لایه میانی یا ترموکلاین نیز در ماه‌های مختلف دیده می‌شود. ضخامت رولایه در آذرماه بیش از سایر ماه‌ها می‌باشد.

بحث و نتیجه‌گیری: بر اساس اطلاعات مربوط به مدل‌سازی، مشخص گردیده است که سد سیمره دارای یک دوره لایه‌بندی حرارتی است. وجود این لایه‌بندی در مخازن باعث می‌شود تا به تدریج مواد آلی و رسوبات ته‌نشین شده در کف زیاد شده و در هنگام اختلاط مخزن موجب گسترش پدیده تغذیه‌گرایی در مخزن شود.

واژه‌های کلیدی: لایه‌بندی حرارتی، مدل CE-QUAL-W2، ترموکلاین، سد سیمره

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، رشته مهندسی عمران، گرایش آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

۲- استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل (مسئول مکاتبات)

۳- استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

J. Env. Sci. Tech., Vol 21, No.7, September, 2019

Thermal Stratification of Seymareh Dam Using Two-Dimensional, Hydrodynamic and Water Quality Model: CE-QUAL-W2

Nasim Shabani[1]
Ali Rahmani Firoozjaee[2*]
rahmani@nit.ac.ir
Ozeair Abessi[3]

Accepted: 2017.02.01 Received: 2016.12.09

Abstract:

Background: Thermal stratification in the reservoir changes the physical, chemical and biological quality at different levels. Temperature conditions of the reservoirs can be predicted using mathematical models. CE-QUAL-W2 is a two-dimensional, hydrodynamic and water quality model that is used for thermal stratification regarding its capabilities.

Material and Methods: CE-QUAL-W2 is used for thermal stratification in Seymareh dam. Calibration is first step in modeling. Calibration is an iterative process whereby model coefficients are adjusted until an adequate fit of observed versus predicted data is obtained. CE-QUAL-W2 model has three calibrations phase including volume-elevation, water balance and thermal calibrations, all have done for model optimum performance. After the calibration, stratification results are extracted for the various months.

Results: The root mean square error of calibration calculated by comparing the actual data and the observed data were 0.5, 0.05 and 1.62, respectively, indicating that the model for the layer ¬ Thermal conditioning is suitable. This stratification continues from March to December and culminates in autumn. The thickness of the surface layer of water, called the roller, varies from month to month. This difference is also seen in the middle layer or the thermocline in different months. The thickness of roller in December is more than other months.

Discussion and Conclusion: Based on modeling information, it has been determined that the Seymareh Dam has a thermal stratification period. The presence of this layering in the reservoirs causes the organic matter and sedimentation of sediments to gradually increase in the bottom of the reservoir**.**

Keywords: Thermal stratification, CE-QUAL-W2 Model, Thermocline, Seymareh Dam.

1- Msc Graduate of Civil Engineering, Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran.
2- Assistant professor of Civil Engineering, Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran.
3- Assistant professor of Civil Engineering, Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran.

مقدمه

خصوصیات طبیعی حوضه آبخیز، کمیت و کیفیت آب‌های ورودی به مخزن، خصوصیات اقلیمی و میزان فعالیت‌های مختلف انسان در حوضه آبخیز از جمله عواملی هستند که کیفیت آب مخازن سدها را تحت تاثیر قرار می دهند (۱). احداث سد به عنوان مانعی مهم در برابر جریان‌های طبیعی رودخانه نقش تعدیلی ویژه‌ای در رژیم رودخانه‌ای داشته و در حقیقت به صورت یک دام منجر به تله‌اندازی جریان‌های سطحی می‌گردد (۲). با احداث سد در مسیر رودخانه‌ها، جریان پویا و در حال حرکت رودخانه به آبی ایستا و راکد تبدیل می‌گردد. این تغییر، اکوسیستم رودخانه‌ای را به اکوسیستم دریاچه‌ای تبدیل می‌نماید. مهم‌ترین تفاوت این دو اکوسیستم را می‌توان در زمان ماند و لایه‌بندی آب دانست که باعث می‌شود کیفیت آب رودخانه قبل از مخزن سد و بعد از آن متفاوت باشد. لایه‌بندی به معنی ایجاد لایه‌هایی از جرم‌های سیال می‌باشد که در اثر اختلاف در دانسیته ایجاد می‌گردد و می‌تواند ناشی از اختلاف در حرارت و یا وجود مواد محلول و معلق باشد. لایه‌بندی حرارتی مرسوم‌ترین نوع لایه‌بندی است و در سدهای بزرگ تأثیر بسزایی بر اکوسیستم مخازن سدها دارد (۳، ۴).

ساخت و بهره‌برداری از مخازن سدها اصولا منجر به دو تغییر عمده در روند به ظاهر نابهنجار جریان‌های طبیعی رودخانه‌ها می‌شود. اول آن‌که احداث مخزن باعث افزایش زمان ماند آب گردیده و از سوی دیگر باعث ایجاد پدیده لایه‌بندی آب در مخزن می‌شود(۵). یکی از عوامل بسیار مهم که خصوصیات آب دریاچه-ها و مخازن سدها را تحت تأثیر قرار می دهد، لایه بندی حرارتی است که در اواخر بهار و در طی تابستان در مخازن عمیق اتفاق می‌افتد (۱). لایه‌بندی عبارت است از شکل‌گیری لایه‌هایی در پروفایل عمقی بدنه آبی که باعث تغییر ناگهانی در کیفیت آب می‌گردد. (۶). در اغلب مخازن و دریاچه‌ها، لایه‌بندی حاصل موازنه حرارتی بین آب ذخیره شده و سایر ورودی‌ها به مخزن می‌باشد. در زمان لایه‌بندی سه لایه مشخص در مخزن به وجود می‌آید (۷):

۱. رولایه یا اپیلیمنیون، که منطقه بالاتر، گرم‌تر و با دانسیته کم‌تر می‌باشد. این لایه، یک لایه نازک و نسبتا یکنواخت از نظر درجه حرارت می‌باشد. ضخامت رولایه از دریاچه‌ای به دریاچه دیگر و از ماهی به ماه دیگر متفاوت است.

۲. میان‌لایه یا متالیمنیون، که منطقه میان رولایه و زیرلایه می باشد و صفحه ترموکلاین در آن قرار دارد. در میان‌لایه گرادیان شدید دانسیته و درجه حرارت وجود دارد، که این پدیده انتقال قایم گرما و مومنتم و مواد داخل دریاچه را محدود کرده و باعث جدایی مشخصه های هیدرولیکی، دمایی و اکولوژیکی در دو لایه دریاچه می‌شود.

۳. زیرلایه یا هیپولیمنیون، که منطقه پایین‌تر، سردتر و با دانسیته بیش‌تر است. این لایه سرد با گرادیان حرارتی کم‌تر در کف مخزن قرار دارد. وجود لایه‌های سنگین‌تر، سردتر و با اکسیژن محلول کم‌تر در کف مخازن تغییرات عمده‌ای در کیفیت آب ایجاد کرده و اهمیت شناخت لایه‌بندی را دو چندان می‌کند.

وجود لایه‌بندی حرارتی در مخزن سد 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 گردد (۸، ۹).

خصوصیات دمایی مخازن سدها را می توان با استفاده از مدل‌های ریاضی پیش‌بینی کرد و در صورت پیش‌بینی مشکلات محیط-زیستی می‌توان از طرق مختلف برای تخفیف و تسکین آن، راه درمانی را در پیش گرفت (۱۰).

اکثر مدل‌های موجود جهت بررسی رفتار کیفی مخازن آبی مدل-های توسعه‌یافته فیزیکی بوده و معادلات حاکم بر واکنش‌های کیفی و بنیادی کم‌تر تغییر کرده و تلاش‌ها بیش‌تر متوجه افزایش ابعاد و روش‌های حل موثرتر و مفیدتر بوده است. توسعه مدل‌های شبیه‌سازی کیفیت مخزن با مدل‌های شبیه‌سازی رفتار حرارتی مخازن آغاز شد. در دهه گذشته محققین زیادی در طرح‌های پژوهشی و اجرایی خود از مدل CE-QUAL-W2 ستفاده

کرده‌اند که حکایت از کارایی مدل فوق دارد. بر مبنای این مدل امکان پیش‌بینی اثرات فرایندهای طبیعی و فعالیت‌های انسانی را برروی ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آب در مخازن فراهم می‌آید (۱۱).

مدل CE-QUAL-W2 مدلی دو بعدی، طولی – عمقی، هیدرودینامیکی و کیفی است. به دلیل فرض همگن بودن جانبی این مدل برای پیکره‌های آبی طویل و باریک مناسب است. توسعه و تکامل این مدل از سه دهه پیش آغاز شده و برای مخازن، دریاچه‌ها، رودخانه‌ها و خورها در سراسر دنیا استفاده شده است .مدل اولیه CE-QUAL-W2 که به عنوان LARM شناخته می‌شود توسط ادینگر و بوچاک (۱۲) توسعه داده شد. این مدل هیدرودینامیک، دما و مشخصه‌های کیفی آب مانند TDS (Total Dissolved Solids) را شبیه‌سازی می‌کرد. توسعه بیش‌تر امکان شبیه‌سازی چندین انشعاب و خور را در مدل GLVHT توسط کول و ولز (۱۳) فراهم کرد. پس از افزودن الگوریتم‌های کیفی آب مدل به‌نام CE-QUAL-W2 نسخه یک شناخته شد.

برخی از قابلیت های مدل CE-QUAL-W2 جهت شبیه‌سازی ریاضی به قرار زیر است:

۱. تغییرات سطح آب، سرعت آب و دما به صورت دینامیک قابل پیش‌بینی است.

۲. عوامل مختلف تعیین کیفیت آب با انتخاب کاربر می تواند شبیه‌سازی شده و یا از شبیه‌سازی حذف گردد.

۳. این مدل در سامانه‌های مختلف آبی از قبیل رودخانه، مخزن سد، دریاچه و مصب و ترکیب آن‌ها قابل کاربرد است.

۴. با تقسیم بدنه اصلی سیستم آبی (Water body) و تعیین مقاطع (Segment) و لایه‌های عمقی (Layer) در اشکال متنوع محیط‌های آبی با ابعاد و عمق های مختلف قابلیت بکارگیری دارد.

۵. مدل دارای انعطاف کافی جهت انتخاب نوع و تعداد نتایج محاسبات قابل اخذ است.

از مدلCE-QUAL-W2 در مطالعات متعددی در داخل کشور انجام شده است. جدول ۱ نمونه ای از این مطالعات را نشان می-دهد.

جدول ۱-مطالعات انجام شده برای مدل‌سازی کیفی آب

Table 1- Case studies for water quality modeling

نویسندگان	موارد مدل‌سازی	نتیجه
مدیری و همکاران (۱۴)	اثر تغییر اقلیم بر رژیم حرارتی سد لتیان	حساس بودن سد لتیان به تغییر دما
نظریها و همکاران (۱۰)	لایه‌بندی حرارتی برای سه سال تر، خشک و نرمال	هر چه تأثیر وجود سد روی رژیم آبی بیش‌تر باشد (سال خشک)، امکان نزدیکی شرایط به وضعیت دریاچه‌ای بیش‌تر است.
سعیدی و همکاران (۱۵)	رژیم حرارتی و غلظت اکسیژن محلول در سد شهید رجایی	دریاچه سد شهید رجایی در دسته دریاچه‌های منومیکتیک گرم قرار دارد.
ظهره‌وند و همکاران (۱۶)	شرایط کیفی آب در مخزن سد ماملو	وجود لایه‌بندی تابستانه حرارتی و گسترش پدیده تغذیه‌گرایی
ویسی و همکاران (۱۷)	لایه‌بندی حرارتی در دریاچه سد مخزنی اکباتان	دریاچه مورد نظر جزء دریاچه‌های یک گردشی گرم با یک گردش زمستانه به مدت ۴ ماه

روش بررسی

منطقه‌ی مورد مطالعه

رودخانه‌های سیمره و کشکان سرشاخه‌های رود کرخه هستند و حوزه آبریز بالای آن را با وسعت ۳۸۰۰۰ کیلومتر مربع تشکیل می‌دهند. رود سیمره به طول ۴۱۷ کیلومتر و شیب ۰/۳ درصد از به هم پیوستن رودخانه‌های قره‌سو و گاماسیاب تشکیل شده و مهم‌ترین شاخه‌های فرعی آن چرداول و شیروان می‌باشد. متوسط بارندگی سالانه حوزه آب‌ریز در دوره ۴۶ ساله برابر با ۴۲۲/۷ میلی‌متر می‌باشد.

بهار ۲۵/۷ درصد، تابستان کم‌تر از ۱ درصد، پاییز ۲۹/۳ درصد و زمستان ۴۴/۸ درصد از باران سالیانه سهم دارند و حداکثر میزان بارندگی در ماه اسفند با ۱۷ درصد سهم می باشد. مرداد گرم‌ترین و بهمن سردترین ماه سال است. تعداد روزهای یخبندان ۳۳/۵ روز و متوسط سالانه سرعت باد ۱/۴۵ متر بر ثانیه می باشد (۱۸). ساختگاه سد سیمره در حدود ۴۰ کیلومتری شمال‌غربی شهرستان دره‌شهر و در ۱۰۶ کیلومتری جنوب‌شرقی شهرستان ایلام واقع است. مختصات جغرافیایی آن به طول شرقی ۴۷° ۱۲´ و عرض شمالی ۳۷° ۱۷´ می‌باشد (شکل ۱). جدول ۲ مشخصات بدنه سد و مخزن سد را نشان می‌دهد.

شکل ۱-موقعیت سد سیمره

Figure 1- Location of Seymareh Dam

در این مطالعه از نسخه ۳,۷,۲ مدل CE-QUAL-W2 برای لایه‌بندی حرارتی مخزن سد سیمره استفاده شد.

جدول ۲- مشخصات مخزن سد (۱۸)

Table 2- Dam reservoir attributes (18)

مشخصات بدنه سد	مشخصات مخزن سد
نوع سد: بتنی دو قوسی	رقوم نرمال مخزن: ۷۲۰ متر از سطح دریا
ارتفاع از پی: ۱۸۰ متر	رقوم حداقل بهره‌برداری از نیروگاه: ۷۰۵ متر از سطح دریا
حداکثر عرض در پی: ۲۸ متر	رقوم حداکثر آب: ۷۳۱/۴۵ متر از سطح دریا
عرض در تاج: ۶ متر	حجم کل مخزن: ۳۲۵۱ میلیون مترمکعب در تراز ۷۳۱/۵
طول تاج: ۲۰۲ متر	حجم مفید مخزن: ۸۱۰ میلیون مترمکعب
رقوم تاج: ۷۳۰ متر از سطح دریا	حجم مخزن در تراز نرمال: ۲۴۷۳ میلیون مترمکعب
حجم بدنه سد و بلوک‌های رانشی: ۵۵۸۹۳۲ مترمکعب	مساحت مخزن در تراز نرمال: ۶۲/۷ کیلومتر مربع
	مساحت مخزن در تراز ۷۳۱/۵: ۷۲/۹ کیلومتر مربع

داده های ورودی به مدل

ورودی‌های مورد نیاز مدل برای انجام شبیه‌سازی های مذکور، شامل اطلاعات هندسه مخزن، اطلاعات هواشناسی (دمای هوا، نقطه شبنم، سرعت و جهت باد، پوشش ابر)، شرایط اولیه و شرایط مرزی مدل بود. داده‌های شرایط اولیه مدل شامل مقادیر تراز و پروفیل دمایی اولیه مخزن سد بود. داده‌های شرایط مرزی مدل شامل دبی و دمای آب خروجی مخزن سد و همچنین دبی و دمای آب ورودی به مخزن است.

اولین گام در مدل‌سازی، تعریف هندسه مخزن است که در آن می‌بایست ژئومتری مخزن به مدل معرفی شود. در این بررسی مخزن سد سیمره به ۲۸ بخش طولی و ۶۲ لایه در جهت قائم تقسیم شده است که عمق هر لایه به میزان ثابت دو متر در نظر گرفته شده و فاصله طولی بخش‌ها ۲۰۰۰ متر است.

برای ساخت مدل، داده‌های سال آبی ۱۳۹۰تا ۱۳۹۲ استفاده و مدل هیدرودینامیکی ساخته شد. داده‌های هواشناسی منطقه از سازمان هواشناسی استان ایلام و داده‌های مربوط به دبی ورودی و خروجی و نیز اطلاعات دمای عمقی آب نیز از شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران تهیه شده است.

برای لایه‌بندی حرارتی در مدل CE-QUAL-W2 سه مرحله کالیبراسیون وجود دارد که جهت اجرای بهینه مدل باید انجام گیرد. این سه مرحله کالیبراسیون عبارتند از:

الف) کالیبراسیون هندسه مخزن: با استفاده از نمودار حجم - ارتفاع، طی یک فرآیند آزمون سعی و خطا با تغییر در پهنا و ضخامت لایه‌ها انجام می‌گیرد.

ب) کالیبراسیون سطح آب و بهره‌برداری مخزن: که با مقایسه تراز بهره‌برداری مخزن با تراز بهره‌برداری مدل انجام می‌گیرد.

ج) کالیبراسیون دمایی: مقایسه دمای پیش‌بینی شده توسط مدل با دمای واقعی و اصلاح ضرایب اثرگذار بر آن جهت کاهش خطای مدل‌سازی. برخی از ضرایب اثرگذار بر کالیبراسیون دمایی عبارتند از دمای آب ورودی، اطلاعات هواشناسی، سایه روی سطح آب و ضریب کاهش نور.

در اولین گام، هندسه مخزن مورد کالیبراسیون قرار گرفت و هندسه مناسبی از مخزن برآورد شد. در ادامه با استفاده از داده-های سال آبی ۱۳۹۰تا ۱۳۹۲، سطح آب و بهره‌برداری مخزن و دمای مخزن سد سیمره مورد کالیبراسیون قرار گرفت. در طی فرآیند کالیبراسیون، داده‌های مشاهده شده مربوط به مخزن با داده‌های شبیه‌سازی شده توسط مدل مقایسه می‌گردد. نتیجه مقایسه دو حالت، استخراج خطای کالیبراسیون است. خطای کالیبراسیون به دو صورت متوسط خطای مطلق و خطای جذر میانگین مربعات ارایه می‌گردد (رابطه ۱ و ۲):

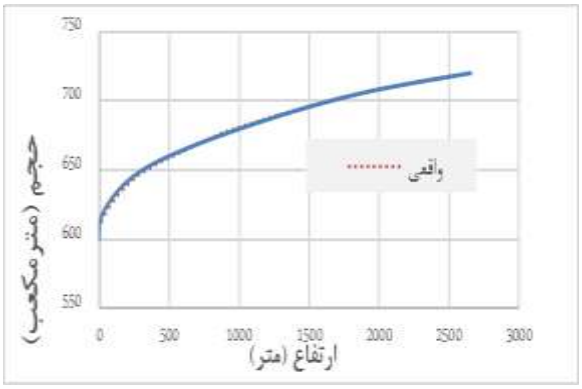
رابطه ۱:
$$RMS = \sqrt{\frac{\sum(\text{مقدار مشاهده شده} - \text{مقدار پیش‌بینی شده})^2}{\text{تعداد مشاهدات}}}$$

رابطه ۲:
$$AME = \frac{\sum|\text{مقدار مشاهده شده} - \text{مقدار پیش‌بینی شده}|}{\text{تعداد مشاهدات}}$$

یافته‌ها

کالیبراسیون هندسه مخزن

شکل ۲ نمودار کالیبراسیون هندسه مخزن را نشان می‌دهد. در این شکل، نسبت ارتفاع به حجم واقعی مخزن و نمودار ارتفاع به حجم مدل پس از ۴ بار آزمون سعی و خطا و با تغییر در ضخامت لایه‌ها نشان داده شده است.



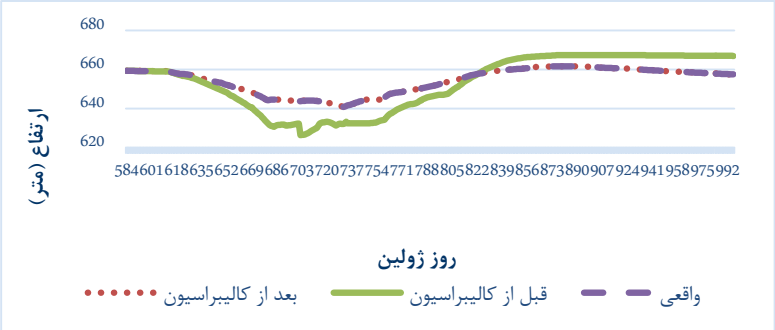
شکل ۲. نمودار کالیبراسیون حجم-ارتفاع

Figure 2- volume-elevation calibration chart

کالیبراسیون سطح آب و بهره‌برداری مخزن

جهت انطباق تراز ذخیره مخزن در شرایط اجرای مدل و شرایط برنامه‌ریزی منابع آب، واسنجی بهره‌برداری مخزن انجام می‌شود. در این مرحله، تراز سطح آب مشاهداتی با نتایج مدل‌سازی مقایسه می‌گردد.

شکل ۳ تغییرات تراز سطح آب در طول دوره شبیه‌سازی را نشان می‌دهد.

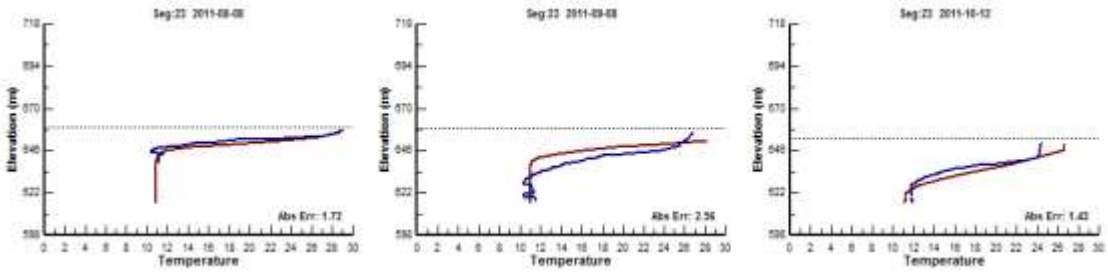


شکل ۳- نمودار کالیبراسیون سطح آب

Figure 3- Water balance calibration chart

کالیبراسیون دما

در این مرحله با مقایسه دمای حاصل از شبیه‌سازی و مشاهدات واقعی و تصحیح پارامترهای تاثیرگذار بر دما، بیش‌ترین تطابق بین مدل و مشاهدات ایجاد گردید. شکل ۴ نتایج کالیبراسیون دمایی برای روزهای منتخب را نشان می‌دهد.



شکل ۴. نتایج کالیبراسیون دما برای روزهای منتخب

(نمودار آبی: مشاهده شده؛ نمودار قرمز: شبیه‌سازی)

Figure 4- Thermal calibration for candidate days (Blue: Observed, Red: Simulation)

نتایج موفقیت فرآیند مدل‌سازی دمایی سد سیمره را نشان می-دهد.

لایه‌بندی حرارتی سد سیمره

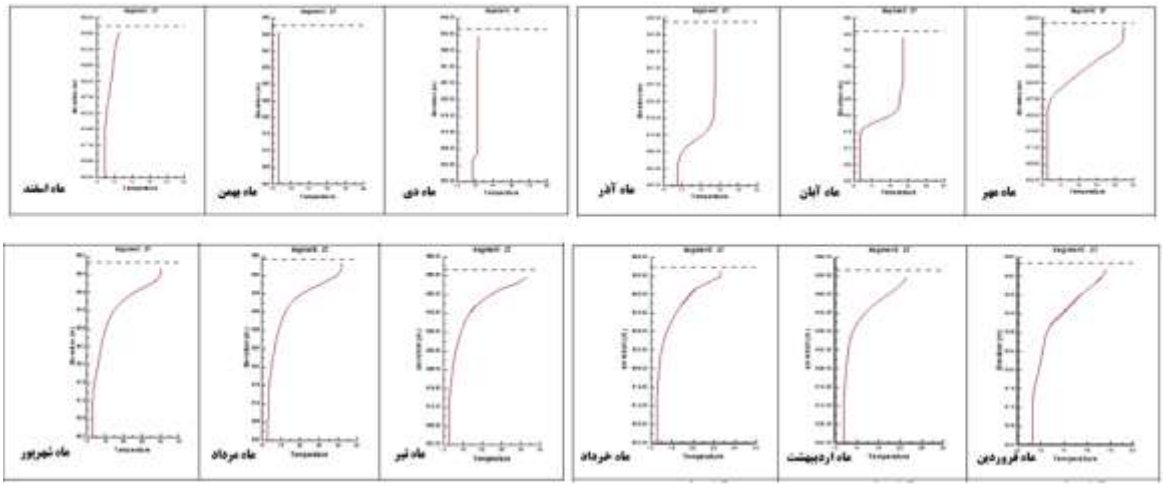
پس از ورود داده‌های مختلف به نرم‌افزار و انجام فرآیند سه مرحله‌ای کالیبراسیون، فرآیند شبیه‌سازی به مدل پایدار و قابل قبولی منتهی گردید که تخمین حرارتی عمق‌های مختلف سد سیمره را برای دوره‌های زمانی مختلف ارایه می‌دهد. فرآیند کالیبراسیون در سه مرحله انجام گرفت که جدول ۳ میزان خطای مدل را نشان می‌دهد.

جدول ۳- خطای کالیبراسیون سه مرحله‌ای

Table 3- Three-stages calibration error

کالیبراسیون	RMS	AME
کالیبراسیون هندسه مخزن	۰/۵	۰/۲
کالیبراسیون سطح آب و بهره‌برداری مخزن	۰/۰۵	۰/۰۴
کالیبراسیون دمایی	۱/۶۲	۱/۵۲

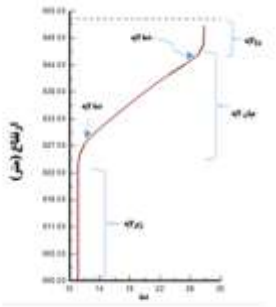
بر اساس اطلاعات مربوط به مدل‌سازی، مشخص گردیده است که سد سیمره دارای یک دوره لایه‌بندی حرارتی است. شکل ۵ لایه‌بندی حرارتی سد سیمره را در یک دوره یک‌ساله می‌دهد.



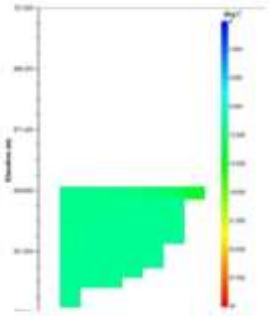
شکل ۵- لایه‌بندی سد سیمره در دوره یک‌ساله

Figure 5- Seymareh dam stratification during one-year period

این لایه‌بندی از اسفند ماه به صورت تدریجی شروع می‌شود. این لایه‌بندی حدودا از دی ماه از بین می‌رود و اختلاط در سد اتفاق می‌افتد. اوج اختلاط در بهمن ماه رخ می‌دهد. ضخامت لایه سطحی آب که رولایه نام دارد از ماهی به ماه دیگر متفاوت است. ضمن آن‌که این تفاوت در لایه میانی یا ترموکلاین نیز در ماه‌های مختلف دیده می‌شود. ضخامت رولایه در آذرماه بیش از سایر ماه-ها می‌باشد. شکل ۶ لایه‌بندی سد سیمره در ماه مهر را نشان می-دهد که در آن سه لایه حرارتی کاملا مشخص و از هم تفکیک شده هستند. شکل ۷ نیز اختلاط کامل لایه‌های آب سد سیمره را برای ماه بهمن نشان می‌دهد.



شکل ۶. لایه‌بندی حرارتی مهرماه سد سیمره
Figure 6- Thermal stratification of Seymareh Dam in October



شکل ۷. پروفایل دمایی بهمن‌ماه سد سیمره
Figure 7- Thermal profile of Seymareh Dam in February

بحث و نتیجه گیری

کیفیت آب مخزن به عوامل مختلفی چون حوضه آبریز، اقلیم منطقه به ویژه هندسه و مشخصات و فرآیندهای داخلی مخزن بستگی دارد. علاوه بر آن کیفیت آب متاثر از نوع و موقعیت مخزن و چگونگی بهره‌برداری از قابلیت های کنترل مخزن است. نتایج مدل‌سازی نشان داده است که مخزن سد سیمره دارای لایه‌بندی ۱۰ ماهه است. این لایه‌بندی تقریبا از اواخر اسفند ماه شروع می‌شود و در مهرماه به اوج خود می‌رسد و حدودا اواخر آذر به پایان می‌رسد. در مقایسه با مطالعات دیگر، در سد مارون لایه-بندی از اواخر فروردین شروع و در مرداد ماه به اوج می‌رسد (۲). همچنین در سد ماملو نیز اواخر فروردین شروع و در آذر ماه از بین می‌رود (۱۶). تشکیل لایه‌بندی حرارتی در مخزن، به تدریج باعث افزایش ضخامت رولایه شد به طوری که در انتهای فصل پاییز ضخامت این لایه به بیش‌ترین حد خود رسید. گرادیان حرارتی سطحی ایجاد شده در دوره لایه بندی مخزن سد سیمره، به دو دلیل: جریانات سطحی ناشی از باد و تشعشعات خورشیدی، می‌تواند می‌باشد.

سطح دریاچه‌ها و مخازن در بیش‌تر مناطق زمین یک چرخه دمایی مشخص را در سال طی می‌کنند. همچنان‌که نتایج این پژوهش نشان داد لایه‌بندی حرارتی سد سیمره در بیش‌تر ماه‌های سال وجود دارد. یکی از دلایل ایجاد لایه‌بندی حرارتی، تماس آب با اتمسفر و دریافت انرژی خورشید است. همزمان با کاهش دمای هوا خصوصا در فصل زمستان لایه‌بندی حرارتی از بین می‌رود و در عین‌حال با گرم شدن هوا لایه‌بندی شکل می‌گیرد. با شروع فصل زمستان و آغاز دوره سرما، اختلاط در مخزن سد اتفاق افتاده است. اختلاط آب مخزن در این دوره، باعث یکنواخت شدن دما در تمامی ترازها می شود.

لایه‌بندی حرارتی در مخازن سدها مانع دریافت اکسیژن از منابع خارجی می‌شود و ارتباط طبیعی مخزن با هوای اطراف را قطع می‌کند (۱۹). وجود این لایه‌بندی در مخازن باعث می‌شود تا به تدریج مواد آلی و رسوبات ته‌نشین شده در کف زیاد شده و در هنگام اختلاط مخزن موجب گسترش پدیده تغذیه‌گرایی در مخزن شود.

لایه‌بندی حرارتی مانع دریافت اکسیژن از منابع خارجی در داخل مخازن می‌شود، کمبود اکسیژن و ایجاد شرایط بی‌هوازی بر بسیاری از فرایندهای بوم شناختی و شیمیایی در مخزن تاثیر منفی می‌گذارد. در این شرایط رهاسازی جریان از زیرلایه 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 یا حتی القای لایه‌بندی در مخازن پایین‌دست شود. افزایش حجم زی‌توده فیتوپلانکتون-ها، کاهش اکسیژن محلول، مشکلات مربوط به بو، رنگ و کیفیت آب برای مصرف شرب و کاهش شفافیت آب برخی از اثرات پدیده تغذیه گرایی در مخازن سد است که به دلیل مصرف شرب سد سیمره می‌تواند بر سلامت جوامع انسانی نیز اثرگذار باشد.

منابع

1. Khayammi, M., Danesh, Sh., Khodashenas, S., Davari, K. 2009. Simulation of Water Quality in Dam's Basins (Case Study – Torogh Dam Basin). Journal of Water and Soil, 23(1): 17-29. (In Persian)
2. Hamzepour, S., Behmanesh, J., Mohamadnejad, B. 1391. Evaluation of Water Quality within dam reservoirs using CE-QUAL-W2 Model, a two-dimensional (Case Study: Maroon Dam). The 11th Conference on Iranian Hydraulic, Oromieh University, Iran.
3. Ford, D. E. 1990. Reservoir transport processes. P.15-41. In K. W. Thornton,B. L. Kimmel & F. E. Payne(eds) . Reservoir Limnology: Ecological Perspectives, John Wiley & Sons, New York.
4. Nogueira, M. G., Henry, R., & Maricatto, F. E. 1999. Spatial and temporal heterogeneity in the Jurumirim Reservoir, Sao Paulo, Brazil. Lake Reserv. Res. Manage, 4: 107–120.
5. Amiri, L., Vafaie, F., Ardalan, M. 2009. Thermal Stratification in Sefidrood Dam. The 8th International Conference on Civil Engineering, Shiraz University, Iran.
6. Perks, C. 2006. Dealing With Stratification within a Water Supply Reservoir. 69th Annual Water Industry Engineers and Operators' Conference Bendigo Exhibition Centre.
7. Mikio, H. 1994. Water quality and its control, IAHR, A.A. Balkema, Rotterdam, Netherlands.
8. Kermani, M., Naseri, S. 2002. Impacts of Dam construction on water quality. Journal of Water and Environment, 51: 6-11. (In Persian)
9. Ford, D. E., Thornton, K. W. 1979. Time and length scales for the one-dimensional assumption and its relation to ecological models. Water Resources Res, 15: 113-120.
10. Nazariha, M., Danaei, E., Hashemi, S., Izad Doustdar, A. 2010. Prediction of Thermal Stratification in Proposed Bakhtyari Reservoir With CE-QUAL-W2. Journal of Environmental Studies, 36 (54), 11-18. (In Persian)
11. Madadi, H., Najmi, N. 2008. Stratification of Des Dam Reservior usin CE-QUAL-W2 Model. The Second Conference on Environmental Engineering, Tehran University, Iran. (In Persian)
12. Edinger, J. E., Buchak, E. M. 1975. A Hydrodynamic, Two-Dimensional Reservoir Model: The Computational Basis, Prepared for US Army Engineer Division, Ohio River, Cincinnati, Ohio.
13. Cole, T. M., Wells, S. A. 2007. A Two-Dimensional, Laterally Advanced, Hydrodynamic and Water Quality Model, Version 3. Army Engineering and Research Development Center.
14. Modiri-Gharehveran, M., Etemad-Shahidi, A., & Jabbari, E. 2014. Effects of climate change on the thermal regime of a reservoir, Water Management, 167: 601-911. (In Persian)
15. Saeidi, P., Mehrdadi, N., Ardestani, M., 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. (In Persian)

16. Zohrevand, M., Seraji, M., Hashemi, S. 2011. Water Quality Condition Evaluation in Dam Reserviors Using Ce-Qual-W2 Model (Case Study: Mamloo Dam). The First International Conference on Dams and Hydropower. Tehran. Iran. (In Persian)
17. Weysi, K., Samarghandi, M., Samadi, M., Safaee, M., Nourmoradi, H., MoghimBeigi, A. 2014. Monitoring of the Undesirable Phenomenon of Thermal Stratification in Reservoir Dam of Ekbatan, Hamadan. Journal of Health System Research, 9: 1005-1013. (In Persian)
18. Mahab Ghodss Consulting Engeneering Company. 2015. Seymareh Dam Overview, www.mahabghodss.net (In Persian)
19. Dehghan, J. 2001. Thermal stratification in tandem reservoirs, case study :reservoirs of karun1,karun2 and karun3 dams. Master of science in Environmental Engineering. Iran University of Science and Technology. 125 pages. (In Persian)