شبیه سازی سه بعدی لایه بندی حرارتی و اکسیژن محلول جهت تطبیق سازه سدها با راهبردهای زیست محیطی (مطالعه موردی: سد ابوالعباس)

بهنام زمانی[1*]، احمد فاخری فرد[2] و علی مریدی[3]

۱*- نویسنده مسئول، دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب ، دانشگاه تبریز. behnam.zamani88@ms.tabrizu.ac.ir

۲- استاد مهندسی منابع آب، دانشگاه تبریز.

۳- استادیار مدیریت منابع آب، دانشگاه شهید بهشتی تهران.

تاریخ دریافت: ۹۲/۴/۱۲ تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۱/۵

چکیده

در این پژوهش با استفاده از داده‌های کیفی برداشت شده از رودخانه ابوالعباس در استان خوزستان، در ساختگاه انتخابی سد پیشنهادی ابوالعباس با استفاده از مدل سه بعدی هیدرودینامیک و کیفیت ELCOM-CAEDYM ، شبیه سازی لایه بندی حرارتی، توزیع اکسیژن محلول در مخزن و آب خروجی طی دوره یک ساله به منظور تعیین عمق مناسب تعبیه دریچه‌های برداشت آب و پیش بینی کیفیت آب برداشتی جهت نیازهای زیست محیطی پایاب انجام گرفته است. بر اساس نتایج، دریاچه مخزن سد ابوالعباس از نوع مونومیکتیک گرم بوده و پس از تعیین الگوهای زمانی و مکانی لایه بندی و اختلاط، خروجی‌های مدل تطبیق قابل قبولی با داده‌های فیزیکی دمای برداشتی از نزدیکترین سد دارای داده موجود (کرخه) نشان داد. در شرایط نرمال مشکل خاصی از لحاظ ایجاد لایه‌های بدون اکسیژن در ترازهای زیرین مخزن ملاحظه نگردید. با وقوع شرایط خشکی و افزایش شدت آن، کاهش غلظت اکسیژن محلول به عنوان یکی از شاخص‌های اصلی ارزیابی کیفیت زیست محیطی آب کاملاً مشهود و ایجاد لایه‌های بدون اکسیژن در ترازهای زیرین مخزن و افزایش آن با افزایش شدت خشکی ملاحظه شد؛ بنحوی که در بدترین شرایط، حدود پنج ماه از سال آب خروجی بدون اکسیژن بوده و در داخل مخزن نیز لایه ای به ضخامت ۴۰ متر از کف در طول سال دچار بی اکسیژنی کامل بود. به منظور کاهش تأثیرات نامطلوب خشکسالی، تراز تعبیه دریچه تحتانی مخزن در مدل در حدود ۱۰ متر از مقدار طراحی شده کاهش یافت که بر اساس آن، بسته شدن دریچه آبیاری و برداشت آب از دریچه تحتانی موجب کاهش ۲۰ متری تراز بی اکسیژنی مخزن، افزایش غلظت و توزیع بیشتر اکسیژن محلول در ترازهای بالاتر هایپولیمنیون (لایه تحتانی دریاچه) و نهایتاً کاهش زمان بی اکسیژنی جریان خروجی از ۵ ماه به ۳ ماه شد.

کلیدواژه ها: مدل سازی سه بعدی، مخزن، هیدرودینامیک، لایه بندی، کیفیت آب، ابوالعباس.

Three-dimensional simulation of dissolved oxygen and thermal stratification in order to adapting the dams to environmental strategies (case study: Abolabbas Reservoir)

B. Zamani[*1], A. Fakheri-Fard[2] and A. Moridi[3]

1*- MSc in Water Resources Engineering, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran.

2- Professor of Water Resources Engineering, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran.

3- Assistant Professor of Water Resources Engineering and Management, Shahid Beheshti University, Iran.

Received: 3 July 2013 Accepted: 25 January 2014

Abstract

In this study, a three-dimensional hydrodynamic model (ELCOM) coupled to a water quality and ecosystem model (CAEDYM) were used to simulate limnological processes, stratification and mixing, and prediction of the released water quality in the proposed designed reservoir in

southwest Iran (Abolabbas Reservoir). Also, investigating and defining the appropriate outlet levels on the dam wall was the other prospective of this study. Different scenarios were analyzed and designed to simulate different conditions of drought periods in different severities. The results indicated that, in all scenarios, the reservoir regulated the inflow quality parameters very well via both power plant and irrigation outlets. No hypolimnetic anoxia were observed in the reservoir in normal conditions. The simulation of drought scenarios showed an overall degradation of all parameters when the drought severity increases. The drought affected the dissolved oxygen concentration directly as one of the major environmental water quality indices. During the worst drought scenarios, the anoxia in a 40-meter bottom layer of the hypolimnion throughout the year and the anoxic outflow for 5 months were observed. In order to reduce the hypolimnetic anoxia, a scenario with a decreased bottom outlet by 10 meters below the designed level (to be 14 meters below the irrigation outlet) and hypolimnetic withdrawal was designed and simulated. While the irrigation outlet was closed, the hypolimnetic withdrawal via bottom outlet reduced the anoxic layer from 40 to 20 meters thickness and also reduced the anoxic outflow from 5 to 3 months.

Keywords: Three-dimensional modeling, Reservoir, Hydrodynamics, Stratification, Water quality, Abolabbas

مقدمه

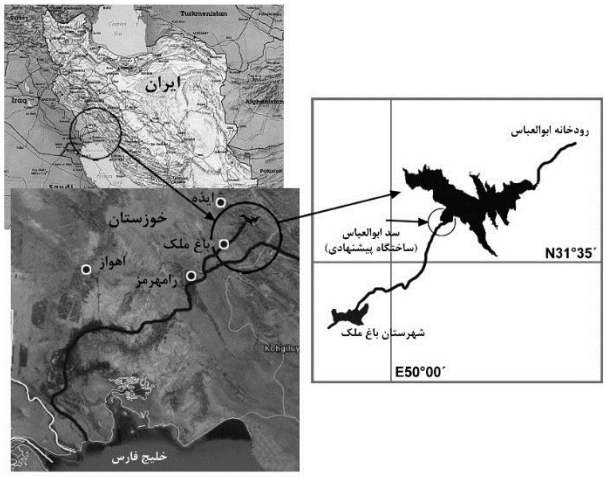
کشور ایران با توجه به روند توسعه سریع خود، در سالهای گذشته شاهد ساخته شدن سدهای بزرگ و کوچک متعددی در نقاط مختلف و با اهداف متعددی بوده است. علیرغم پیشرفتهای قابل توجه در این عرصه، به دلیل تفکر و رویکرد سازه ای در کشورهای در حال توسعه، مسئله ای که همانند بسیاری از کشورها، در کشور ما نیز به دور از توجه مانده و چندان به آن پرداخته نشده است، مسئله کیفیت آب مخازن سدها، تأثیرات متقابل سد و محیط و تأثیر آن بر محیط زیست می باشد.

یکی از مهم‌ترین مسائل مرتبط با بهره برداری و محیط زیست مخازن سدها، مسئله پیش بینی کیفیت آب مخازن و جریان خروجی از آن طی دوران بهره برداری می باشد. بروز لایه بندی حرارتی و افزایش مواد مغذی آب[1] (یوتروفیکاسیون یا تغذیه گرایی) در مخازن موجب افت شدید کیفیت آب و عدم توانایی آن در تأمین حد مطلوب نیازهای مختلف و به مخاطره افتادن حیات آبی اکوسیستم پایین دست رودخانه می شود. این پدیده با افزودن بر رشد جلبک ها و گیاهان آبزی در مخازن و در نتیجه کاهش مقادیر اکسیژن محلول در آب، افت کیفیت آب و افزایش رسوبگذاری در مخزن را سبب می گردد (ووربز و جیمز ۲۰۰۹).

پدیده گرمایش جهانی[2] نیز که در دهه‌های اخیر تأثیرات شگرفی بر تغییرات اقلیمی داشته بر دامنه این نگرانی ها و دغدغه ها افزوده است. به طورکلی نتایج تحقیقات نشان داده است که یکی از مهمترین تأثیرات مخرب هیدرولوژیکی پدیده گرمایش جهانی و تغییرات اقلیمی[3] ناشی از آن روی مخازن، کاهش بارندگی در مناطق خشک و نیمه خشک و در نتیجه کاهش ورودی به مخازن، کاهش نرخ تجدید آب توسط بارش‌های تابستانی و افزایش زمان ماند آب در مخازن می باشد (جرج ۲۰۰۲، جرج و هیورلی ۲۰۰۳) که این امر تأثیر شدیدی در افت کیفیت آب مخازن می گذارد. بنابراین تعیین محل مناسب و طراحی و برنامه ریزی صحیح دریچه‌های برداشت آب از سد، شرایط هیدرولوژیک حاکم و وضعیت اکوسیستم مناطق سیل گیر حوضه بالادست، مهمترین عوامل موثر بر کیفیت و کمیت آب مخازن می باشند که می بایست پیش از طراحی و ساخت سد بررسی شده و با توجه به وضعیت لایه بندی حرارتی و کیفی آب مخزن در زمان‌های برداشت آب، در طراحی لحاظ گردند. عدم لحاظ هریک از عوامل اخیر در طراحی سد، موجب ایجاد مشکلات متعددی برای برنامه ریزان و مدیران منابع آب خواهد شد. چرا که حل مشکلات ناشی از آن پس از ساخت سد، و هر گونه تغییر مورد نیاز در سازه سد، بسیار مشکل، پرهزینه و تقریباً ناشدنی خواهد بود (مارسه و همکاران ۲۰۱۰، EPA ۱۹۸۸).

لایه بندی[4] حرارتی و ایجاد گرادیان غلظت پارامترهای کیفی آب ورودی به مخزن همچنین ایجاد لایه‌های دارای مقادیر مختلف اکسیژن محلول در داخل آن و نیز در ساختگاه سد، به عنوان محل تعبیه دریچه‌های برداشت آب، اهمیت شبیه سازی لایه بندی مخزن را جهت تعیین عمق (تراز) دارای مناسب ترین کیفیت برای برداشت جهت مصارف مختلف و نیز برای تأمین نیاز حیات طبیعی رودخانه مشخص می سازد.

1- Eutrophication
2- Global warming
3- Climate change
4-Stratification



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه و موقعیت سد ابوالعباس

در این تحقیق با استفاده از داده‌های کیفی برداشت شده از رودخانه ابوالعباس در خوزستان، در ساختگاه مصوب سد پیشنهادی ابوالعباس، با استفاده از یک مدل سه بعدی، شبیه سازی لایه بندی حرارتی و چرخه اکسیژن محلول در فصول مختلف به منظور شناسایی و تشخیص لایه‌های دارای کم اکسیژن و تعیین عمق مناسب جهت نصب دریچه‌های برداشت آب در سد و جلوگیری از روی دادن پدیده کم اکسیژنی و بی اکسیژنی در لایه‌های زیرین آن انجام گرفته است. همچنین پیش بینی کیفیت آب برداشتی جهت مصارف زیست محیطی نیز از اهداف این تحقیق می باشد.

مواد و روش ها

منطقه مورد مطالعه

سد ابوالعباس جهت احداث در جنوب غربی ایران، در استان خوزستان و بر روی رودخانه ابوالعباس مورد نظر می‌باشد. ساختگاه پیشنهادی و مصوب این سد با مساحت حوزه آبریز معادل ۱۵۵/۶کیلومتر مربع جهت احداث در بالادست شهرستان باغ ملک (محل روستای مال آقا) و به منظور تأمین نیازهای کشاورزی منطقه و نیز تولید انرژی برقآبی در نظر گرفته شده است. رودخانه ابوالعباس از دامنه‌های شرقی سفید کوه و کوه منگشت سرچشمه می گیرد و از محل سد جره با نام رودخانه زرد ادامه مسیر می دهد که با پیوستن رودخانه اعلاء در پایین دست تشکیل رودخانه الله را داده و در نهایت پس از تلاقی با رودخانه مارون با نام رودخانه جراحی به خلیج فارس منتهی می گردد (شکل۱). بر اساس مطالعات هیدرولوژی، رودخانه ابوالعباس دارای آبدهی ماهانه متوسط ۳/۳۹ مترمکعب در ثانیه است. مطالعات و طراحی سد ابوالعباس توسط شرکت مهندسی مشاور مهاب قدس انجام گرفته و سد مذکور از نوع بتنی دو قوسی با ارتفاع تاج ۱۴۰ متر، طول تاج ۱۰۷ متر و رقوم تراز نرمال بهره برداری ۱۱۵۳ متر (از سطح دریا) می¬باشد. مخزن سد ابوالعباس دارای حجمی معادل ۱۱۴ میلیون متر مکعب و مساحتی در حدود ۲ کیلومتر مربع در تراز سرریز می‌باشد (مهاب قدس ۱۳۸۴).

داده‌های مورد استفاده

به منظور مدل سازی و انجام شبیه سازی کیفی مخزن سد، داده‌های مورد نیاز به دو دسته داده‌های شبیه سازی هیدرودینامیک و داده‌های مورد نیاز جهت کوپل کردن مدل کیفی به مدل هیدرودینامیک تقسیم بندی شدند. با توجه به برداشت داده‌های کیفی از رودخانه ابوالعباس در سال ۲۰۰۷ در دوازده دوره ماهانه، مدل سازی و انجام شبیه سازی سد برای سال مذکور انجام گرفت. لذا سایر داده ها نیز برای این سال (و دو سال منتهی به آن) از سازمان‌های مربوطه اخذ و مورد استفاده قرار گرفت. داده‌های مورد نیاز شبیه سازی هیدرودینامیک شامل توپوگرافی مخزن[1]، اطلاعات سازه سد، داده‌های جریان ورودی و خروجی سد، اطلاعات هواشناسی و نیز دما و کیفیت آب ورودی به مخزن می باشد. داده‌های کیفی برداشتی از مقاطع مختلف رودخانه در محدوده ساختگاه پیشنهادی سد برداشت شدند که در این پژوهش از نتایج دو مقطع اساسی ذیل استفاده شد: ۱) داده‌های برداشتی از محل ورود رودخانه به مخزن آینده سد جهت ورود به مدل و ۲) داده‌های برداشتی از محل محور پیشنهادی سد جهت کنترل تغییرات احتمالی در کیفیت آب خروجی از سد و مقایسه آن با شرایط کیفی طبیعی رودخانه. این داده ها شامل بار کربن‌آلی، فسفر، نیتروژن، مواد معلق، شوری و اکسیژن محلول ورودی به مخزن می باشد.

1- bathymetry

مدل به کار رفته

در این پژوهش از دو مدل کوپل شده ELCOM و CAEDYM جهت شبیه‌سازی مخزن استفاده شده است. مدل‌های مذکور تا کنون در پروژه‌های موجود در ایران مورد استفاده قرار نگرفته و لذا جهت انجام تحقیق حاضر از مؤسسه پدید آورنده آن (دانشگاه استرالیای غربی) اخذ شد. مدل هیدرودینامیک ELCOM یک مدل سه بعدی جهت شبیه سازی و پیش بینی تغییرات دما و شوری در زمان و مکان در داخل دریاچه ها و مخازن بوده و نیز به عنوان پیشران هیدرودینامیک مدل کیفیت آب CAEDYM به کار می رود. مدل مذکور از روش تفاضلات محدود[1] با مش سه بعدی جهت حل معادلات حاکم دیفرانسیلی استفاده می نماید. الگوریتم عملیات محاسبات مدل ELCOM برای هر گام زمانی بشرح زیر می باشد (هوجز و دالیمور ۲۰۱۰):

- تعریف تبادلات حرارتی (گرمایش/سرمایش) در لایه سطحی آب
- اختلاط غلظت مواد و مومنتوم با استفاده از مدل اختلاط
- تعریف انرژی باد به عنوان منبع مومنتوم در لایه تحت تأثیر اختلاط ناشی از باد
- حل معادلات سرعت و توسعه سطح آب
- انتشار افقی مومنتوم
- جابجایی مواد
- انتشار افقی مواد

معادلات انتقال شامل معادلات ناویر استوکس غیر ماندگار نظیر میانگین‌های رینولد[2] با استفاده از تقریب بوزینسک[3] می باشند که در آنها از اجزای فشار غیر استاتیک صرفنظر شده که با در نظر گرفتن دانسیته ثابت بترتیب برای امتداد x و y به صورت زیر می باشد (کاسولی و چنگ ۱۹۹۲):

(۱)

$$\frac{\partial u}{\partial t}+u\frac{\partial u}{\partial x}+v\frac{\partial u}{\partial y}+w\frac{\partial u}{\partial z}=$$

$$-g\frac{\partial \eta}{\partial x}+\mu\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(\nu\frac{\partial u}{\partial z}\right)+fv$$

$$\frac{\partial v}{\partial t}+u\frac{\partial v}{\partial x}+v\frac{\partial v}{\partial y}+w\frac{\partial v}{\partial z}=$$

$$+\mu\left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 v}{\partial y^2}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(\nu\frac{\partial v}{\partial z}\right)+fu$$

1-Finite difference
2- Unsteady Reynolds averaged Navier-Stokes (RANS)
3- Boussinesq approximation

$$\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}+\frac{\partial w}{\partial z}=0 \qquad (۲)$$

در معادلات اخیر u ، v و w مؤلفه‌های سرعت بترتیب در سه امتداد x ، y و z ، η ارتفاع سطح آزاد آب، ، f ثابت کوریولیس، t زمان، g شتاب گرانشی زمین و μ و ν مؤلفه‌های افقی و قائم ویسکوزیته گردابی[4] می باشند.

گسسته سازی معادلات حاکم ذکر شده توسط مدل روی یک شبکه بندی دکارتی انجام می گیرد. به صورتی که مؤلفه‌های برداری سرعت در روی دیواره جعبه[5] هر سلول شبکه و پارامترهای اسکالر کیفی در مرکز هر سلول گسسته سازی و تعریف می شوند.

مدل به کار رفته جهت شبیه سازی کیفیت آب و اکوسیستم مخزن (CAEDYM) جهت اجرا می بایست به یک پیشران هیدرودینامیک یک، دو یا سه بعدی کوپل گردد که در این پژوهش پیشران آن مدل هیدرودینامیک سه بعدی فوق الذکر می باشد. مدل شامل فرآیندهای وسیعی جهت شبیه سازی چرخه کربن، نیتروژن، فسفر، سیلیس، اکسیژن محلول، مواد معلق معدنی و فیتوپلانکتون ها و سایر آبزیان در نواحی مختلف مخزن (ستون آب، بنتیک و داخل رسوبات) حسب نیاز می باشد. لذا با توجه به فراگیر بودن آن و توانایی حل هم زمان معادلات مربوط به گونه‌های اکولوژیک، تعاملات و تبادلات بین آنها، بسیار پیشرفته تر از مدل‌های قدیمی و ساده شبیه سازی دریاچه ها (اصطلاحاً مدل‌های N-P-Z) است (هیپسی و همکاران ۲۰۱۰).

روش شبیه سازی و کالیبراسیون مدل

با توجه به برداشت داده‌های کیفی رودخانه ابوالعباس در سال‌های ۸۵ و ۸۶ (۲۰۰۷) برنامه ریزی شبیه سازی برای انجام آن در سال فوق الذکر انجام گرفت. به دلیل پیشنهادی بودن سد ابوالعباس، دسترسی به داده‌های فیزیکی برداشتی از ستون آب جهت تعریف وضعیت مخزن در ابتدای شبیه سازی امکان پذیر نیست. لذا با توجه به بکر بودن منطقه و عدم وجود نواحی مسکونی، صنعتی و کشاورزی در حوضه بالادست محور سد، فرض بر این شد که داده‌های کیفی در دو سال پیش از سال ۲۰۰۷ تغییرات چندانی نداشته است. با فرض آبگیری اولیه مخزن در پیش از سال ۲۰۰۷، با استفاده از داده‌های جریان، هواشناسی و هیدرولوژیک سال‌های ۲۰۰۵ و ۲۰۰۶، مدل برای دو سال مذکور اجرا شد. پس از انجام شبیه سازی مذکور و حصول اطمینان از به تعادل رسیدن وضعیت مخزن، وضعیت ستون آب در روز پایان شبیه سازی اولیه (۳۱ دسامبر ۲۰۰۶) به عنوان شرایط اولیه ستون آب در روز بعد از آن،

4- eddy viscosity
5- Cell face

یعنی روز آغاز شبیه سازی اصلی (۱ ژانویه ۲۰۰۷) فرض و اطلاعات آن وارد مدل شد. سپس شبیه سازی مخزن برای دوره اصلی مورد نظر انجام گرفت.

با توجه به اینکه برای انجام شبیه سازی، دو مدل هیدرودینامیک و اکوسیستم به یکدیگر کوپل شدند، آماده سازی هریک از مدل‌ها طی فرآیند جداگانه ای انجام گرفت. مدل هیدرودینامیک به دلیل استفاده از معادلات حاکم دیفرانسیلی و عدم وجود معادلات تجربی در آن (هوجز و دالیمور ۲۰۱۰) نیز فرآیند محور بودن و منطق عددی حاکم، با ورود شرایط مرزی شامل داده‌های توپوگرافی مخزن ، هواشناسی و مختصات و دبی جریان‌های ورودی و خروجی، و شرایط اولیه شامل پارامتر دما و شوری ستون آب مخزن در اعماق مختلف در حداقل یک نقطه مرجع، برای محل شبیه سازی آماده اجرا می گردد.

در بحث شبیه سازی کیفیت آب (مدل اکوسیستم) نیز برای طرح‌های بزرگ با استفاده از مدل‌های پیشرفته و پیچیده که دارای متغیرهای متعدد و در نتیجه پارامترهای زیاد هستند(نظیر مدل به کار رفته در این تحقیق)، کالیبراسیون و حساسیت سنجی دقیق عملاً امکانپذیر نبوده و هدف واقعی به شمار نمی رود (بک ۱۹۸۶، همیلتون و اشکلادو ۱۹۹۷). از طرف دیگر، در فاز اولیه مطالعات (نظیر پژوهش حاضر) مقادیر موجود در منابع[1] نسبت به مقادیر آزمایشگاهی یا مقادیر برداشتی از محل مطالعه در اولویت می باشند (همیلتون و اشکلادو ۱۹۹۷). باید توجه داشت که این پژوهش نخستین تحقیق انجام یافته در ایران با استفاده از مدل‌های مذکور می باشد و با توجه به عدم احداث سد ابوالعباس، دسترسی به داده-های فیزیکی مخزن آن امکانپذیر نبود. نتیجتاً برای کالیبراسیون پارامترهای مدل، از اطلاعات معتبر مطالعات مشابه در سایر نقاط دنیا (موجود در منابع) استفاده شده است. جدول ۱ مقادیر ضرایب مذکور در پژوهش حاضر و منابع مورد استفاده برای کالیبراسیون مدل را نشان می دهد.

مبانی طراحی سناریوهای شبیه سازی سناریوهایی را که به منظور شبیه سازی مخزن طراحی شدند می توان به دو دسته مختلف تقسیم بندی نمود.

۱)- شبیه سازی مخزن در شرایط کاملاً نرمال با استفاده از داده‌های واقعی و دست نخورده می باشد که شامل داده‌های هیدرولوژی سال ۲۰۰۷ و مقادیر واقعی کیفیت آب برداشتی نظیر آن ها است که در سال مذکور انجام یافته است.

۲)- شبیه سازی مخزن در شرایط خشکسالی با استفاده از داده‌های سری حداقل جریان رودخانه، با داده‌های بار آلودگی تغییر یافته برای شرایط خشکی.

شبیه سازی شرایط نرمال ذکر شده نیاز به تحلیل خاصی نداشته و به صورت عادی شبیهسازی شد که نتایج آن در بخش آینده مورد بررسی قرار خواهد گرفت. در ادامه به تحلیل بار آلاینده‌های ورودی در شرایط خشکسالی و ترسالی پرداخته می شود.

تحلیل کیفیت آب در شرایط خشکسالی

به طور کلی می توان منابع ورود بار آلودگی به رودخانه ها را به دو دسته نقطه ای و غیر نقطه ای تقسیم کرد. منابع نقطه ای شامل پساب‌های مستقیمی است که از منابعی نظیر خروجی تصفیه خانه ها و کارخانه ها یا رواناب‌های حاصل از کشاورزی وارد رودخانه ها می شوند. منابع غیر نقطه ای نیز شامل جذب سطحی مواد از اتمسفر و ورود رواناب‌های سطحی به رودخانه ها می باشد (پُست و همکاران ۲۰۱۱). بنابراین مقدار کل بار آلودگی را می توان برابر با مجموع بار ورودی از منابع نقطه ای و غیر نقطه ای در نظر گرفت. با قائل شدن دو فرض ۱) ثابت ماندن بار نقطه ای ورودی آلودگی به رودخانه در دوره خشکسالی؛ و ۲) کاهش یافتن بارهای غیر نقطه ای به نسبت کاهش دبی رودخانه؛ و با توجه به عدم وجود مراکز جمعیتی و صنعتی در بالادست ساختگاه سد ابوالعباس (روستای مال آقا به عنوان تنها روستای بالا دست سد در داخل مخزن قرار می گیرد) هیچگونه منبع آلاینده‌ای ناشی از فعالیت‌های صنعتی و جمعیتی در بالا دست سد قرار نخواهد داشت (مهاب قدس ۸۹). لذا فرض اول مبنی بر ورود آلاینده‌های نقطه ای حذف می گردد. در نتیجه می توان نتیجه گرفت که با کاهش جریان رودخانه ابوالعباس (ناشی از کاهش رواناب حوضه) بار آلاینده‌های ورودی از منابع غیر نقطه ای نیز به همان نسبت کاهش یافته و در نتیجه غلظت آلاینده ها در شرایط خشکی ثابت می ماند.

نتایج و بحث

نتایج شبیه سازی لایه بندی حرارتی و اختلاط

نتایج شبیه سازی تغییرات دما در ستون آب، در شکل۲ نشان داده شده است. بر اساس پروفیل فوق الذکر، مخزن از دی ماه تا اواخر اسفند در شرایط اختلاط کامل بوده و دمای تعادل اختلاط آن در حدود ۱۳ درجه است. دمای هوای زیر ۱۰ درجه (شب ها تا زیر ۴ درجه) در منطقه نیز مؤید وجود شرایط اختلاط است. دوره لایه بندی حرارتی به مدت حدوداً ۱۵۰ روز با آغاز فصل بهار بتدریج آغاز و از اواخر اردیبهشت این شرایط در پروفیل دمای آب قابل مشاهده می باشد. لایه بندی حرارتی در مرداد ماه و در زمان پیک دمای هوا (تا ۴۳ درجه) به حداکثر خود می رسد به طوری که اختلاف دما بین سطح و کف آب در عمیق ترین نقطه در حدود ۱۸ درجه مشاهده می گردد (دمای سطح ۳۰ و کف ۱۲ درجه). با آغاز روند سرمایشی دمای هوا از اواسط شهریور ماه، روند اضمحلال لایه بندی حرارتی و

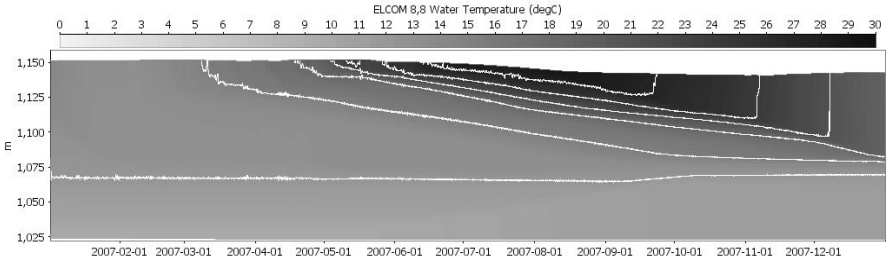
1- Literature values

تشکیل و گسترش لایه مختلط مشاهده و این وضعیت تا دی ماه ادامه یافته و سرانجام در طول دی ماه با رسیدن دمای هوا به حداقل خود اختلاط کلی روی می دهد. در نهایت پروفیل مذکور قرار گرفتن مخزن سد ابوالعباس را در رده مونومیکتیک گرم را (در رده بندی دمایی دریاچه ها توسط هاچینسن ۱۹۵۷) تأیید می نماید. شکل۳ نشان دهنده پروفیل طولی مخزن (در امتداد خط القعر کف رودخانه) در زمان‌های اختلاط کامل، لایه بندی حداکثر و اضمحلال لایه بندی می باشد. بر این اساس در طول زمان پیکِ لایه بندی ، تشکیل پرده حرارتی یا ترموکلاین در حد فاصل عمق ۱۸ الی ۲۳ متری از سطح آب مشاهده شد. همچنین با توجه تغییرات سریع دما در فاصله عمق ۱۸ الی ۴۸ متر (تراز ۱۱۳۵ الی ۱۱۰۵متر در شرایط مخزن پر) فاصله مذکور را می توان به عنوان عمق تشکیل متالیمنیون دریاچه مخزن در نظر گرفت. همانطور که در شکل۲ مشاهده می گردد، در طول سال دمای بخش زیرین مخزن (زیر تراز ۱۱۰۰ متر) تقریباً ثابت می ماند. نهایتاً با توجه به موارد فوق الذکر می توان طبقه بندی حرارتی مخزن را به سه طبقه حرارتی اپیلیمنیون (لایه فوقانی)، متالیمنیون (لایه میانی) و هایپولیمنیون (لایه تحتانی) مانند آنچه در شکل۴ نشان داده شده است انجام داد.

***جدول ۱- مقادیر ضرایب به کار رفته در مدل CAEDYM**

پارامتر	مقدار	توضیح
K_{DOs}	۰/۵	ثابت نیم اشباع اکسیژن برای شار رسوب اکسیژن محلول
K_{SOD}	۵/۰	ثابت نیم اشباع اکسیژن برای اکسیژن خواهی رسوب
k_{OP} , k_{ON}	۰/۰۱	نرخ معدنی شدن هوازی نیتروژن و فسفر آلی
$K_{OP,}$ K_{ON}	۵/۰	ثابت نیم اشباع اکسیژن برای معدنی شدن نیتروژن و فسفر آلی
$Y_{P:chla}$	۰/۳	نسبت تبدیل فسفر تثبیت شده جلبک ها به کلروفیل a
$Y_{N:chla}$	۹/۰	نسبت تبدیل نیتروژن تثبیت شده جلبک ها به کلروفیل a
k_n	۰/۰۲	نرخ نیتریفیکاسیون$(1/day)$
k_d	۰/۰۱	نرخ دنیتریفیکاسیون $(1/day)$
K_d	۰/۵	ثابت نیم اشباع اکسیژن برای دنیتریفیکاسیون
$Y_{O:C}$	۲/۶۷	نسبت فتوسنتتیک اکسیژن محلول به کربن
$Y_{C:chla}$	۴۰	نسبت کربن به کلروفیل
$v_{G,B}$	-۰/۰۱ ، -۰/۰۲	سرعت ته نشینی جلبک ها (G جلبک سبز، B جلبک سبزآبی)
$T_{S,G,B}$	۲۰	دمای استاندارد رشد جلبک ها (سانتیگراد)
$T_{S,G,B}$	۳۰،۲۸	دمای بهینه رشد جلبک ها (سانتیگراد)
$T_{M,G,B}$	۳۵ ،۳۹	دمای حداکثر رشد جلبک ها (سانتیگراد)
$\tau_{C,G,B}$	۰/۰۰۱	تنش برشی بحرانی تعلیق مجدد جلبک ها (Nm^{-2})

* رومرو و ایمبرگر (۲۰۰۳)، رومرو و همکاران (۲۰۰۴)، چونگ و همکاران (۲۰۰۹)، مارسه و همکاران (۲۰۱۰)، اشکلادو و همیلتون (۱۹۹۷)



شکل۲-پروفیل تغییرات زمانی دما در ستون آب در محل محور سد

مقایسه نتایج شبیه سازی حرارتی مخزن با یک مخزن مشابه

هنگامی که دو دریاچه از دیدگاه حرارتی در یک رده دمایی طبقه بندی شده و دارای ویژگی‌های جغرافیایی (نظیر عرض جغرافیایی) و مورفولوژیک مشابهی هستند (نظیر عمق که در مخازن سدها یکی از مهم‌ترین آنهاست)، به دلیل تطابق الگوی تغییرات دمایی، پروفیل-های دمایی آنها با یکدیگر قابل مقایسه خواهد بود (کل ۱۹۸۳، هاچینسن و لوفلر ۱۹۵۶، لوفلر ۲۰۰۴). با توجه به اندازه گیری ۹ پروفیل دمای ستون آب از مخزن سد کرخه در سال ۸۴ (تقریباً همزمان با سال شبیه سازی این پژوهش) که از لحاظ جغرافیایی به ناحیه مورد مطالعه نزدیک بوده و همانند سد ابوالعباس در رده مونومیکتیک گرم قرار دارد، نتایج مدل با مقادیر اندازه گیری شده سد یاد شده مورد مقایسه قرار گرفت. بر اساس پروفیل‌های اندازه گیری شده (شکل۵) زمان واژگونی و اختلاط در مخزن سد کرخه در دی ماه و دمای تعادل آن حدوداً ۱۵ الی ۱۶ درجه می باشد. لایه بندی حرارتی از اردیبهشت ماه شکل گرفته و در مرداد و شهریور به حداکثر خود می‌رسد. اختلاف دمای سطح آب و کف مخزن سد کرخه در شرایط حداکثر لایه بندی ۱۷ درجه بوده است (۳۲ درجه در سطح و ۱۵ درجه در هایپولیمنیون).

اضمحلال لایه بندی و تشکیل لایه مختلط از مهر ماه آغاز و این روند تا دی ماه که مخزن به اختلاط کامل می رسد ادامه می یابد (مهاب قدس ۱۳۸۵). همینطور با توجه به شکل۵ ملاحضه می گردد که عمق تشکیل ترموکلاین در مخزن سد کرخه برابر با ۲۰ الی ۲۵ متر در زمان پیک لایه بندی حرارتی می باشد که این مقدار با مقدار حاصل از مدل برای سد ابوالعباس (۱۸ الی ۲۳ متر) با توجه به اختلاف دمای هوای متوسط ۲ الی ۴ درجه در ساختگاه دو سد مذکور، تطبیق خوبی را نشان می دهد. لذا مشاهده می گردد که الگوی لایه بندی حاصل از مدل سد ابوالعباس با مقادیر اندازه گیری شده از سدِ مشابه تطابق داشته و لذا با توجه به تشابه حاصله می توان صحت نتایج خروجی از مدل را تأیید نمود.

لازم به ذکر است که به منظور بررسی کیفیت آب خروجی از سد جهت تأمین نیازهای زیست محیطی اکوسیستم پایین دست، با توجه به تخلیه آب خروجی از نیروگاه به رودخانه (با صرفنظر از تأثیرات عبور آب از داخل نیروگاه روی دما و سایر پارامترهای کیفی) مقادیر اکسیژن محلول خروجی از دریچه نیروگاه مورد بررسی قرار گرفت. این بررسی تنها در سناریوی شرایط بحرانی به دلیل افت آب مخزن از تراز بهره برداری نیروگاه، بر روی آب برداشتی از دریچه آبیاری انجام گرفته است که در بخش‌های آتی به آن اشاره خواهد شد.

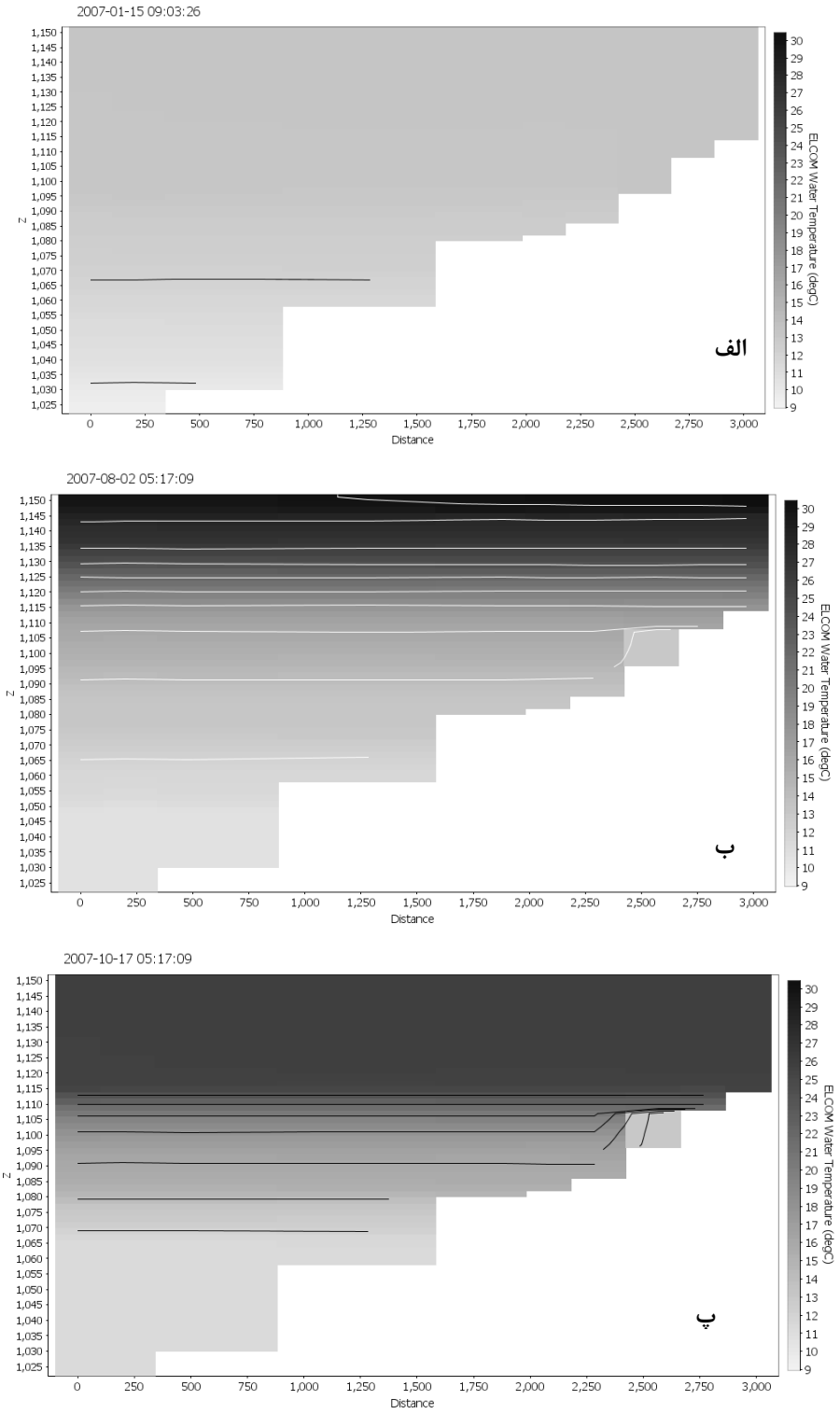
جهت تأمین جریان پایه زیست محیطی رودخانه، در برنامه ریزی منابع آب سد ابوالعباس مقدار ۲۰۰ لیتر بر ثانیه به عنوان نیاز حیات رودخانه جهت تأمین در پایاب سد ابوالعباس در نظر گرفته شده است. مقدار مذکور برابر با حداقل دبی ماهانه با احتمال ۹۵ درصد می باشد (مهاب قدس ۱۳۸۴) که در تمامی سناریوها این مقدار لحاظ شده است.

تحلیل سناریوها

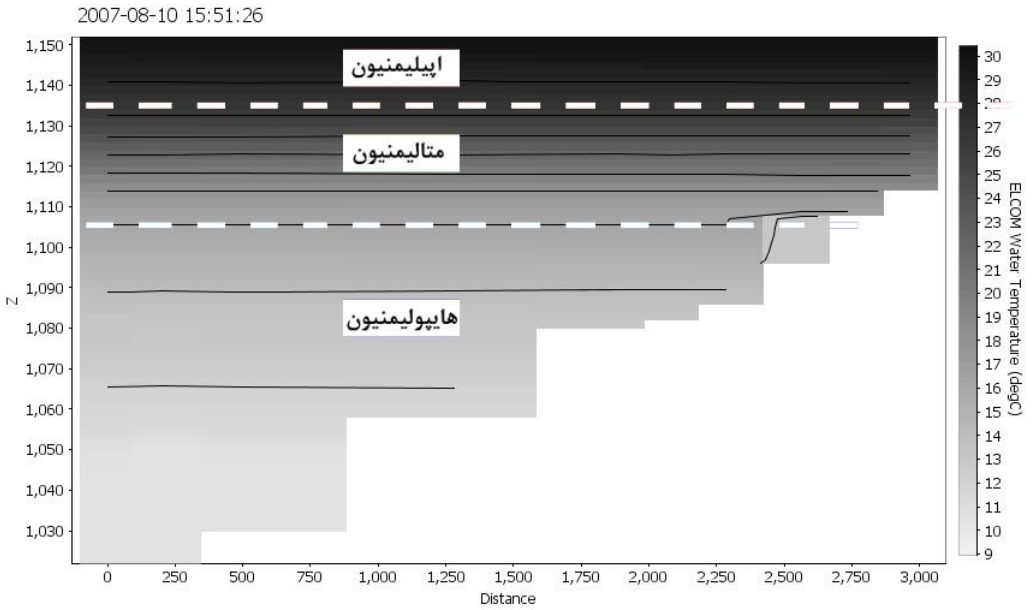
سناریوی شرایط نرمال

در سناریوی مذکور، داده‌های جریان نرمال سال ۲۰۰۷ رودخانه ابوالعباس، داده‌های کیفی برداشتی از ساختگاه مصوب سد و برنامه ریزی برداشت عادی از دریچه ها در تراز طراحی شده وارد مدل شده و نتایج مورد بررسی قرار گرفت. پروفیل خروجی شبیه سازی اکسیژن محلول در ستون آب در محل محور سد در شکل۶ نشان داده شده است. با توجه به کیفیت بالای آب طبیعی رودخانه ابوالعباس در مقطع ورودی مخزن، اولویت‌های کمی و کیفی زیست محیطی در تأمین آب پایین دست پس از احداث سد را می توان دو فاکتور تأمین دائمی حداقل جریان، و تطبیق حداکثری کیفیت جریان در پایاب سد با کیفیت آب طبیعی رودخانه بر شمرد. در سناریوی شرایط نرمال با توجه به افت نکردن تراز آب از تراز حداقل بهره برداری نیروگاه، دریچه نیروگاه باز بوده و تأمین حداقل جریان از این دریچه در شبیه سازی مد نظر قرار گرفت. با توجه به خروجی‌های مدل، یکی از امتیازات تأمین آب زیست محیطی از دریچه نیروگاه، پایین تر بودن نیاز اکسیژن بیولوژیک و نیز غلظت بیشتر اکسیژن محلول و عدم روی دادن پدیده کم اکسیژنی یا بی اکسیژنی در خروجی این دریچه می باشد. دو پارامتر مذکور به عنوان شاخص‌های اصلی سنجش کیفیت کلی آب در مطالعات زیست محیطی به شمار می‌روند (کارآموز و کراچیان ۱۳۸۷). با توجه به شکل۶ الف و ب ملاحظه می گردد که در شرایط نرمال، غلظت اکسیژن در جریان تخلیه شونده از دریچه نیروگاه سد به پایاب در طول سال همواره بالاتر از ۸ میلیگرم بر لیتر (بالاتر از حداقل مجاز برابر ۵ میلیگرم بر لیتر) می باشد. در داخل مخزن نیز همین وضعیت حاکم بوده و تنها در مقطع بسیار کوتاهی از سال مقدار اکسیژن محلول در لایه تحتانی از مقدار مجاز پایین تر آمده و به ۳ میلیگرم بر لیتر می رسد. دامنه تغییرات مقادیر اکسیژن محلول برداشت شده از محل محور سد (قبل از احداث در شرایط طبیعی رودخانه) برابر با ۸/۷ الی ۹/۵ میلیگرم بر لیتر است که در رده بندی سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا[1] در رده کیفی *1A* (بهترین کیفیت) قرار می گیرد. با مقایسه این مقدار با خروجی مدل از دریچه نیروگاه (۸ الی ۹/۵ میلیگرم بر لیتر) نتیجه می شود که احداث سد، در شرایط نرمال تأثیر نامطلوبی در وضعیت اکسیژن محلول پایاب نخواهد داشت.

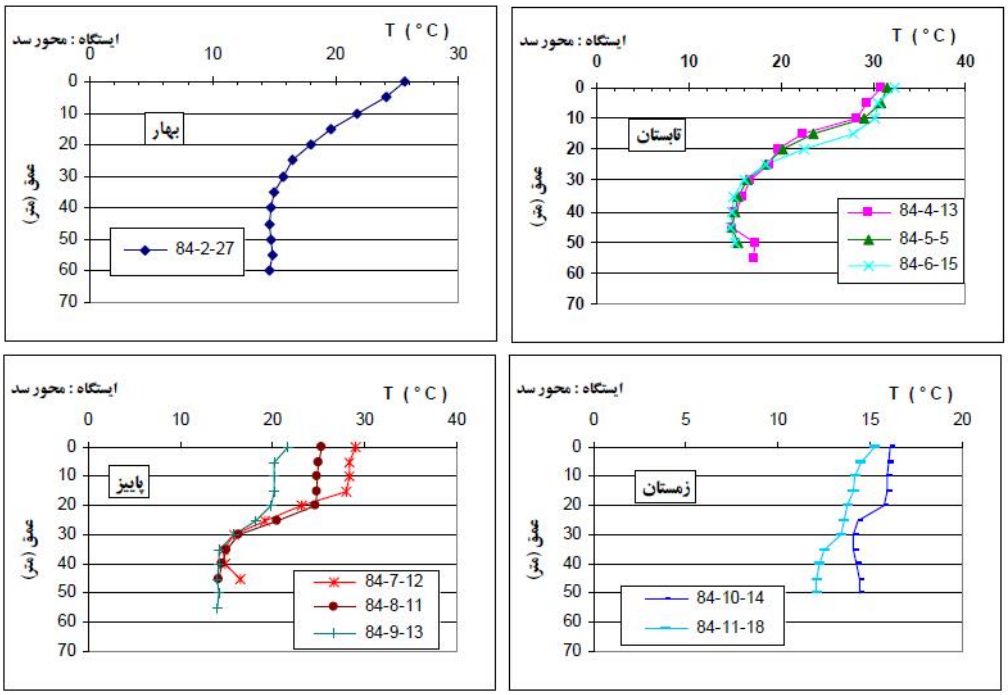
1- Environmental Protection Agency (EPA)



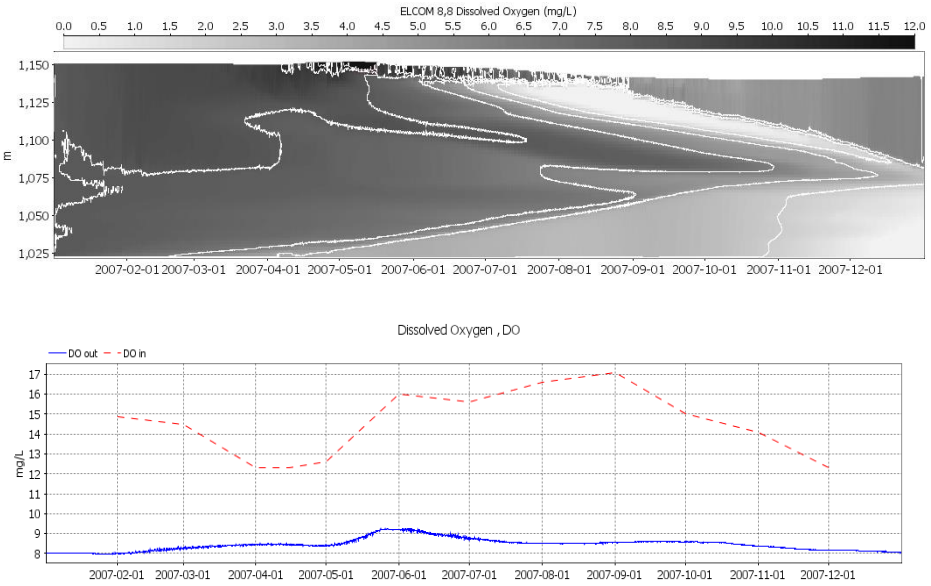
شکل۳- پروفیل طولی توزیع مکانی دمای مخزن در: الف. اختلاط کامل در دی ماه، ب: لایه بندی کامل در مرداد ماه، پ: اضمحلال لایه بندی و ایجاد لایه مختلط در مهر ماه



شکل۴- طبقه بندی حرارتی مخزن سد ابوالعباس: اپیلیمنیون (بالای تراز ۱۱۳۵)، متالیمنیون (مابین تراز ۱۱۰۵ و ۱۱۳۵) و هایپولیمنیون (زیر تراز ۱۱۰۵)



شکل۵- پروفیل های دمایی برداشتی از مخزن سد کرخه (مهاب قدس ۱۳۸۵)



ب

شکل۶- شرایط نرمال بهره برداری، الف): پروفیل توزیع زمانی اکسیژن محلول در ستون آب در محل محور سد؛ ب): تغییرات غلظت اکسیژن محلول در جریان خروجی از دریچه های سد (خط ممتد) در مقابل جریان ورودی به مخزن (خط چین)

سناریوی شرایط کم آبی در تراز اولیه نرمال

سناریوی مذکور، جهت شبیه سازی و بررسی رفتار مخزن در شرایط ورود جریان با دبی پایین در شرایط خشکی طراحی گردید. دبی‌های جریان ورودی به مخزن با استفاده از ضریب کاهش دبی استخراجی از داده‌های بلند مدت جریان رودخانه کاهش داده شده و غلظت پارامترهای کیفی و آلاینده‌های ورودی به همراه جریان مذکور بر اساس نتیجه مورد بحث در بخش ۲-۶ بدون تغییر در نظر گرفته شد. بر اساس نتایج خروجی مدل تراز آب مخزن در طول دوره شبیه سازی در صورت روی دادن شرایط خشکی در حدود ۳۰ متر (از تراز ۱۱۵۳ تا ۱۱۲۲) افت می نماید (شکل۷). با استفاده از اطلاعات برنامه ریزی منابع آب پروژه (مهاب قدس ۱۳۸۴) برنامه ریزی برداشت آب برای شرایط خشکسالی صورت گرفته و دبی‌های خروجی از دریچه‌های سد برای تنظیم نیاز آبی حداقل در شرایط خشکی تنظیم شدند.

با توجه به شکل۷ مقدار اکسیژن محلول خروجی از دریچه نیروگاه در این سناریو در طول سال به طور کلی افت داشته و از ۷/۵ میلیگرم بر لیتر در ابتدای شبیه سازی به صفر می رسد. این مقدار پس از یک دوره بسیار کوتاه بی اکسیژنی (حدود ۱۵روز) در پایان شبیه سازی، با وقوع پدیده واژگونی و اختلاط زمستانی و تبادل اکسیژن محلول لایه‌های بالاتر با لایه‌های زیرین، اندکی افزایش را نشان می دهد. به طور کلی غلظت اکسیژن محلول در شرایط کاهش جریان، نسبت به شرایط نرمال دو الی چهار پله کاهش را در رده بندی سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا در زمان‌های مختلف سال نشان می دهد. در شکل۷ پ، توزیع زمانی اکسیژن محلول در داخل مخزن در ستون آب (مجاورت محور سد) نشان داده شده است. ملاحظه می گردد که بر اثر وقوع کم آبی و خشکسالی، پدیده کم اکسیژنی تحتانی[1] تشدید و در لایه‌های زیرین مخزن به بی اکسیژنی تحتانی[2]، تقریباً در سراسر طول سال منجر می شود. وقوع لایه‌های کم اکسیژن در دوره لایه بندی حرارتی در تابستان، در لایه‌های بالایی مخزن و در متالیمنیون نیز مشاهده می گردد.

سناریوی وقوع شرایط خشکی در تراز حداقل بهره برداری نیروگاه

با توجه به اهمیت وقوع خشکسالی در شرایط مختلف مخزن و تأثیر آن بر کیفیت آب خروجی و آب ذخیره شده، شرایط خشکسالی علاوه بر سناریوی پیشین، در شرایط بدتر یعنی وقوع خشکسالی در زمانی که تراز آب در تراز حداقل بهره برداری از نیروگاه می باشد،

1- Hypolimnetic hypoxia
2- Hypolimnetic anoxia

شبیه سازی شد. در حقیقت در این سناریو بحرانی ترین وضعیتی که مخزن در شرایط بهره برداری می تواند درگیر آن شود شبیه سازی گردید. در طراحی سد ابوالعباس، تراز حداقل بهره برداری نیروگاه در کد ۱۱۰۰ متر و تراز حداقل بهره برداری مخزن در کد ارتفاعی ۱۰۶۰ متر تعریف شده است. به منظور پیشگیری از ایجاد خطاهای احتمالی اجرای مدل در صورت افت تراز آب از تراز حداقل بهره برداری مخزن، آغاز شبیه سازی از تراز ۱۱۰۰ متر یعنی تراز حداقل نیروگاه برنامه ریزی شد. لذا واضح است که در طول اجرای این سناریو، دریچه نیروگاه بسته و نیروگاه غیر فعال در نظر گرفته شد. بنابراین در این سناریو تأمین جریان حداقل پایاب رودخانه نیز به جای دریچه نیروگاه از دریچه آبیاری برنامه ریزی شد. شکل۸ میزان افت تراز آب، تغییرات اکسیژن محلول در داخل مخزن و اکسیژن محلول تخلیه شونده از مخزن (دریچه آبیاری) به پایاب را در این سناریو نشان می دهد.

با توجه به نتایج شکل۸، کاهش چشمگیر غلظت اکسیژن محلول، افزایش شدت و دفعات وقوع پدیده بی اکسیژنی در طول سال و نیز افزایش ارتفاع لایه بی اکسیژن از کف، و نیز افزایش ۱۰ درجه ای دمای جریان خروجی واضح می باشد. یکی از علل به صفر رسیدن غلظت اکسیژن محلول در طول دوره لایه بندی حرارتی، افزایش کلی دمای آب مخزن است که به شدت روی کاهش ظرفیت نگهداری اکسیژن آن تأثیر گذار است. با آغاز روند کاهشی دما، از طرفی اضمحلال لایه بندی حرارتی که موجب اختلاط لایه-های بالاتر اکسیژن دار با لایه‌های بی اکسیژن زیرین می گردد، غلظت اکسیژن محلول اندکی روند افزایشی به خود می گیرد. از طرفی افت تراز مخزن در طول دوره گرما، موجب پایین آمدن تراز ترموکلاین و قرار گرفتن آن در تراز دریچه آبیاری می شود (شکل۸ الف). همین امر موجب ایجاد اختلاط بیشتر و تخلیه آب از اپیلیمنیون می گردد که دارای مقادیری از اکسیژن محلول می باشد.

سناریوی برداشت آب از دریچه تحتانی

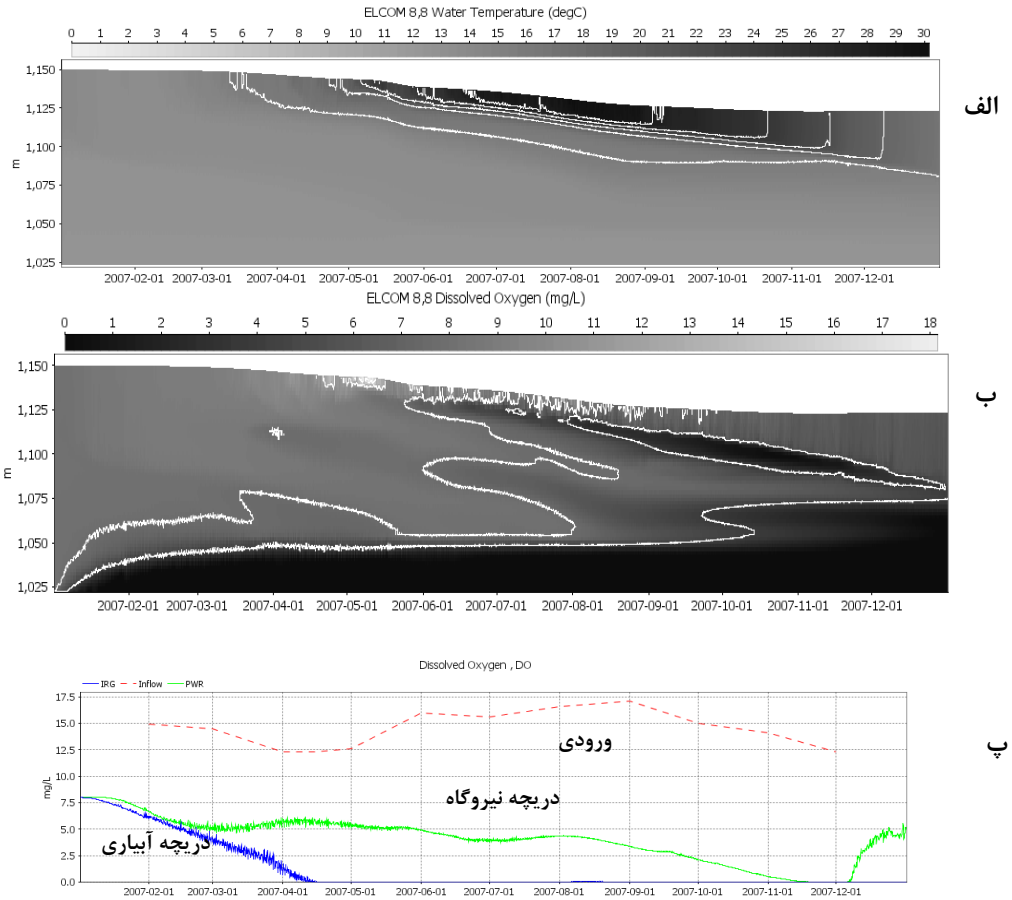
این سناریو جهت امکان سنجی آبگیری از دریچه تحتانی سد به منظور کاهش شدت تأثیر بی اکسیژنی در آب خروجی و هایپولیمنیون در شرایط بحرانی طراحی شد. با توجه به اطلاعات طراحی سازه سد ابوالعباس، یک دریچه تحتانی در تراز ۱۰۵۰ متر (۴ متر پایین تر از دریچه آبیاری) در نظر گرفته شده است. شبیه سازی آبگیری از دریچه تحتانی در تراز فوق الذکر نتیجه مطلوبی در بر نداشته و تغییری در وضعیت مخزن ایجاد ننمود. لذا با صرفنظر از افزایش تراز پروفیل رسوب بستر مخزن در بلند مدت، تراز دریچه تحتانی جهت بررسی برداشت عمیق در مدل ۱۰ متر پایین تر آورده شده و در تراز ۱۰۴۰ متر (۱۴ متر پایین تر از دریچه آبیاری) قرار گرفت. در سناریوی مذکور، تمامی مقادیر ورودی کیفیت و جریان بر اساس سناریوی بخش پیشین (کم آبی در تراز حداقل نیروگاه) طراحی و تنها برداشت آب جهت مصارف آبیاری و زیست محیطی در شرایط بحرانی تراز آب و جریان، به جای دریچه آبیاری از دریچه تحتانی صورت پذیرفت. نتایج اجرای این سناریو در شکل۹ مشاهده می شود. با توجه به شکل۹ب مشخص می گردد که کاهش تراز و آبگیری از دریچه تحتانی، موجب گسترش قابل توجه توزیع اکسیژن محلول در داخل مخزن می شود. همچنین زمان روی دادن بی اکسیژنی در هایپولیمنیون به نحو چشمگیری کاهش یافته و بی اکسیژنی آن در طول سال تنها در زیر تراز ۱۰۴۰ روی می دهد (۲۰ متری زیرین مخزن) در حالی که با توجه به شکل۸ ب می توان بی اکسیژنی مداوم هایپولیمنیون را در حالت پیشین تا تراز ۱۰۶۰ متر (۴۰ متری زیرین مخزن) نیز ملاحظه نمود که رقم قابل توجهی می باشد. بنابراین تأثیر مثبت کاهش تراز دریچه تحتانی و آبگیری از آن در افزایش کیفیت آب درون مخزن کاملاً مشخص است.

با توجه به شکل۹پ و مقایسه آن با شکل۸پ، می‌توان کاهش دوره بی اکسیژنی جریان خروجی را از ۵ ماه (در آبگیری از دریچه نیروگاه) به ۳ ماه (در آبگیری از دریچه تحتانی) ملاحظه نمود. لذا تغییر طراحی سازه سد و تعبیه تراز دریچه تحتانی از کد ۱۰۵۰ به کد ارتفاعی ۱۰۴۰ متر از سطح دریا، و آبگیری از دریچه تحتانی به جای دریچه آبیاری در شرایط بحرانی نظیر آنچه که بررسی شد، در افزایش کیفیت آب زیست محیطی پایاب و نیز کاهش دوره بی اکسیژنی هایپولیمنیون بسیار مؤثر خواهد بود.

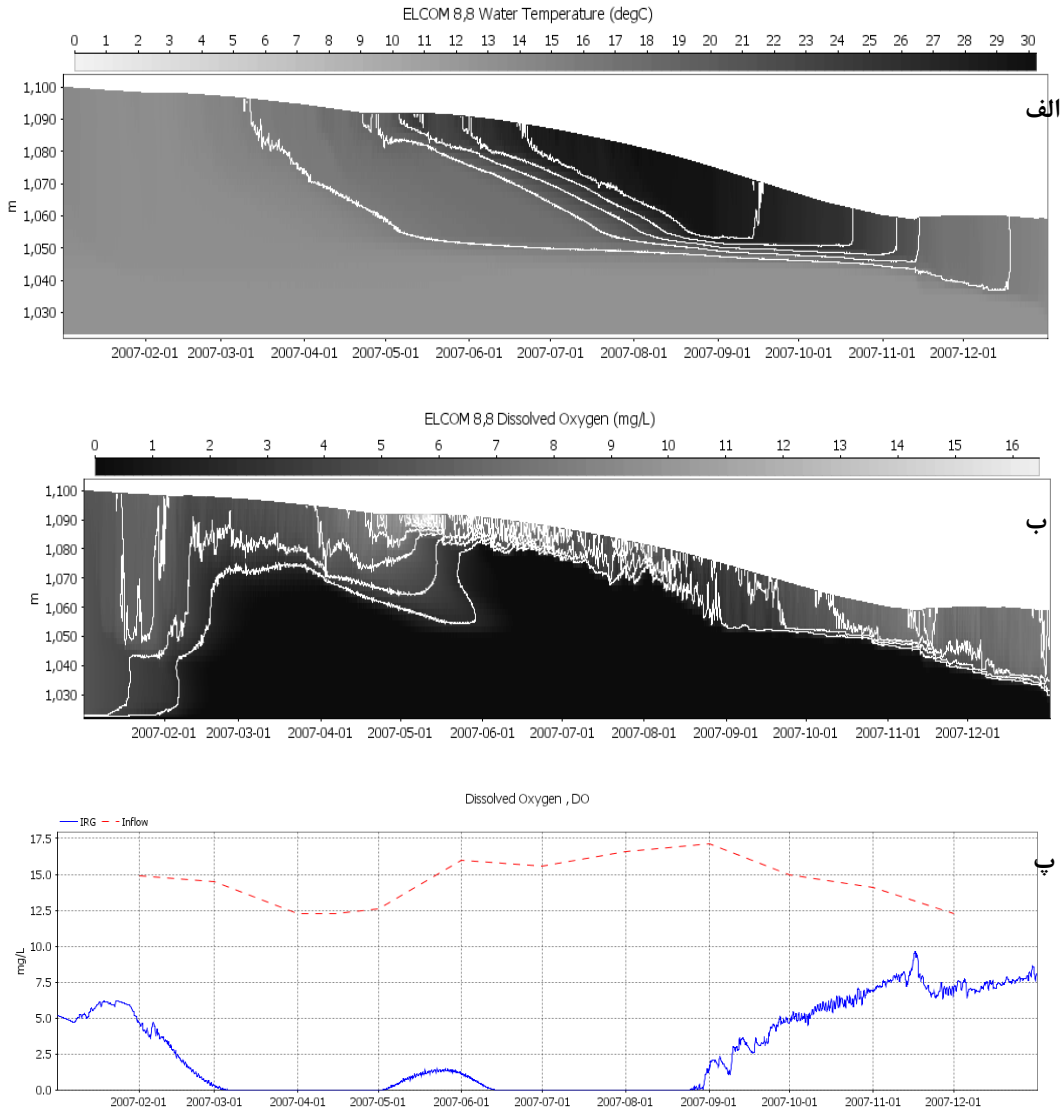
نتیجه گیری

یکی از امتیازات مدل سازی کیفی مخازن با استفاده ازمدل‌های سه بعدی، توانایی شبیه سازی ورود و حرکت جریان‌های مختلف در داخل آنها و دخیل کردن تمامی اجزای فیزیکی مخزن در حل معادلات و ایجاد حداکثر تطابق ممکن با شرایط فیزیکی واقعی مخزن است. با شبیه سازی مخزن سد پیشنهادی ابوالعباس، قبل از احداث، وضعیت لایه بندی حرارتی مخزن، رده بندی و ویژگی‌های لیمنولوژی دریاچه آن نظیر عمق تشکیل لایه‌های مختلف، ترموکلاین، زمان‌های تشکیل، تشدید، پیک تابستانی و اضمحلال لایه بندی، تشکیل لایه مختلط و نهایتاً اختلاط زمستانی آن مشخص و تعیین گردید. بر اساس نتایج، مخزن سد ابوالعباس در رده مونومیکتیک گرم قرار گرفته که در طول سال، یک بار لایه بندی حرارتی و یک بار واژگونی و اختلاط کامل در آن روی می دهد. مقایسه نتایج الگوی حرارتی مخزن با داده‌های فیزیکی برداشت شده از مخزن سد کرخه (که از نظر جغرافیایی به سد مورد مطالعه این پژوهش نزدیک بوده و از دیدگاه لیمنولوژیک در یک رده با آن قرار می گیرد) صحت نتایج خروجی از مدل را برای پارامتر کلیدی دما تأیید می کند.

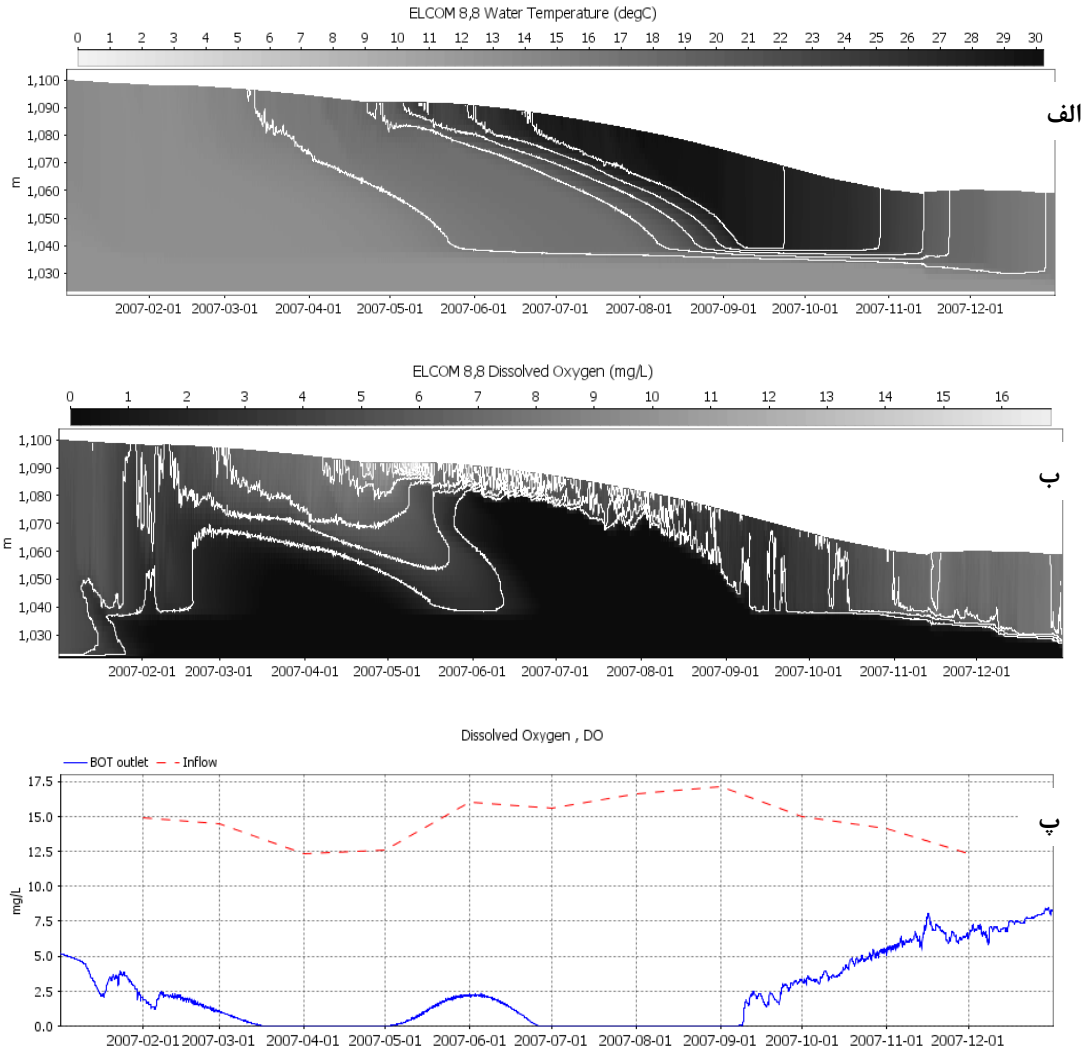
با طراحی سناریوی شرایط نرمال بهره برداری با داده‌های واقعی هواشناسی، هیدرولوژی و کیفیت آب سال ۲۰۰۷ و شبیه سازی مخزن برای دوره یک ساله مذکور، کیفیت آب خروجی برای نیازهای زیست محیطی اکوسیستم پایین‌دست با استفاده از استانداردهای مربوطه مورد بررسی قرار گرفت. در شرایط نرمال، سد ابوالعباس قادر به تأمین آب دارای کیفیت کاملاً مناسب برای اکوسیستم پایاب بوده و غلظت اکسیژن محلول تخلیه شونده از دریچه نیروگاه به پایاب تطابق کاملی را با مقدار آن اندازه گیری شده آن در آب رودخانه در محل محور پیشنهادی سد (قبل از احداث) نشان می دهد. در طول شبیه سازی مخزن، تنها در زمان-هایی از فصول گرم سال کاهش غلظت اکسیژن محلول در ترازهای زیرین هایپولیمنیون (لایه تحتانی دریاچه) به کمتر از ۵ میلیگرم در لیتر مشاهده شد ولی پدیده بی اکسیژنی اتفاق نیافتاد.



شکل۷- سناریوی شروع خشکی از تراز نرمال بهره برداری: الف): پروفیل تغییرات دما در ستون آب در محل محور سد ؛ ب): پروفیل توزیع زمانی اکسیژن محلول در ستون آب؛ پ): تغییرات غلظت اکسیژن محلول در جریان خروجی از دریچه های سد در مقابل جریان ورودی.



شکل۸- سناریوی شروع خشکی از تراز حداقل بهره برداری نیروگاه: الف): پروفیل تغییرات دما در ستون آب در محل محور سد؛ ب): پروفیل توزیع زمانی اکسیژن محلول در ستون آب ؛ پ): تغییرات غلظت اکسیژن محلول در جریان خروجی از دریچه آبیاری در مقابل جریان ورودی به مخزن



شکل۹- سناریوی آبگیری از دریچه تحتانی؛ الف): پروفیل تغییرات دما در ستون آب در محل محور سد؛ ب): پروفیل توزیع زمانی اکسیژن محلول در ستون آب؛ پ): تغییرات غلظت اکسیژن محلول در جریان خروجی از دریچه آبیاری در مقابل جریان ورودی.

جهت بررسی رفتار مخزن در شرایط خشکسالی‌های احتمالی، دو سناریوی مختلف طراحی و داده‌های مورد نیاز آنها پس از تحلیل داده‌های موجود برای شرایط خشکی استخراج و وارد مدل شد. بر این اساس با شروع دوره خشکی، در صورتی که مخزن در تراز نرمال بهره برداری خود باشد، در طی یک دوره یک ساله در حدود ۳۰ متر افت نموده و در طی آن، براساس استانداردهای زیست محیطی کیفیت آب به طور کلی افت می کند و این افت در پارامتر اکسیژن محلول نیز مشاهده می گردد. در همین حال در داخل مخزن نیز در هایپولیمنیون، طی فصل لایه بندی حرارتی، برای یک مدت کوتاه ۱۵ روزه پدیده بی اکسیژنی به وقوع می پیوندد که با کاهش تراز مخزن و آغاز ایجاد اختلاطهای فصول سرد از بین می رود. با آغاز شرایط خشکی در زمانی که تراز مخزن در تراز حداقل بهره برداری می باشد، کاهش کیفیت از نظر غلظت اکسیژن محلول تشدید می گردد. وقوع پدیده بی اکسیژنی در سراسر طول سال در هایپولیمنیون، در لایه ای به ارتفاع ۴۰ متر در بخش زیرین، و نیز تخلیه آب بدون اکسیژن به پایاب در حدود پنج ماه از سال از دیگر عوارض دوره خشکی است که در سناریوی مذکور مشاهده شد. به طور کلی نیز یکی از علل این افت کیفیت در شرایط خشکسالی و کمبود آب، افزایش مصرف اکسیژن توسط رسوبات کف (ناحیه بنتیک) مخزن، افزایش زمان ماند آب و عدم تجدید آن و ایجاد شرایط بی هوازی در لایه های زیرین مخزن می باشد (چاپرا ۱۹۹۷).

به منظور کاهش شدت و دوره بی اکسیژنی هایپولیمنیون، کم کردن وقوع آن، و پیشگیری از وقوع شرایط نامطلوب زیست محیطی در داخل مخزن و پایاب سد، با کاهش ۱۰ متری تراز دریچه تحتانی، آبگیری از دریچه تحتانی در شرایط بحرانی بند پیشین شبیه سازی گردید. بر اساس نتایج به دست آمده، بستن دریچه آبیاری، کاهش تراز دریچه تحتانی و آبگیری از آن به جای دریچه آبیاری، موجب کاهش ۲۰ متری تراز بی اکسیژنی مخزن، افزایش غلظت و توزیع اکسیژن محلول در ترازهای بالاتر هایپولیمنیون و نهایتاً کاهش زمان بی اکسیژنی جریان خروجی از ۵ ماه به ۳ ماه می گردد.

سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله مراتب سپاس خود را از مدیریت مرکز تحقیقات آب دانشگاه استرالیای غربی که با فراهم آوردن امکان استفاده از مدل‌های خود انجام این پژوهش را ممکن کرده و در مراحل مختلف از این پژوهش حمایت نمودند اعلام و نیز از همکاری و حمایت ها مدیریت محترم بخش مهندسی محیط زیست شرکت مهندسی مشاور مهاب قدس سرکار خانم مهندس میترا توفیق و همینطور جناب آقای مهندس سید آرش میلانی نهایت سپاس و قدردانی را دارند.

منابع

۱- کارآموز، محمد و کراچیان، رضا. ۱۳۸۷. برنامه ریزی و مدیریت کیفی سیستم های منابع آب. چاپ دوم. انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران.

۲- مهاب قدس ۱۳۸۴، مطالعات مرحله اول طرح سد مخزنی ابوالعباس، گزارش برنامه ریزی منابع آب، گزارش فنی، شرکت مهندسی مشاور مهاب قدس.

۳- مهاب قدس.۱۳۸۵. مطالعات شبیه‌سازی لایه‌بندی حرارتی و تغذیه‌گرایی مخزن سد سازبن، گزارش فنی، شرکت مهندسی مشاور مهاب قدس.

۴- مهاب قدس. ۱۳۸۹. مطالعات ارزیابی زیست محیطی سد ابوالعباس، گزارش فنی، شرکت مهندسی مشاور مهاب قدس.

5- Beck, M.B. 1986. A procedure for modeling. In: G.T. Orlob and G.T. John (Editors), Mathematical Modeling of Water Quality: Streams, Lakes and Reservoirs. International Series on Applied Systems Analysis. Wiley and Sons, 11-41.

6- Casulli, V., Cheng, R.T. 1992. Semi-implicit finite difference methods for three-dimensional shallow flow. International journal for numerical methods, 15: 629-648.

7- Chapra, S. C. 1997. Surface water-quality modeling. 1st Ed. Mc Graw Hill, USA.

8- Chung, S.W., Hipsey, M.R., Imberger, J. 2009. Modelling the propagation of turbid density inflows into a stratified lake: Dancheong reservoir, Korea. Environmental modelling and software, 24: 1467-1482.

9- Cole, G.A. 1983. Textbook of Limnology, 3rd Ed. C.V. Mosby Company, USA.

10- EPA, 1988. The Lake and Reservoir Restoration Guidance Manual. US Environmental Protection Agency, Washington D.C.

11- George, D.G., 2002. Regional-scale influences on the long-term dynamics of lake plankton. In: Le B. Williams, P.J., Thomas, D.N., Reynolds, C.S. (Eds.), Phytoplankton Productivity: Carbon Assimilation in Marine and Freshwater Ecosystems. Blackwell Science, Oxford.

12- George, D.G., Hurley, M.A., 2003. Using a continuous function for residence time to quantify the impact of climate change on the dynamics of thermally stratified lakes. Journal of Limnology 62 (1), 21–26.

13- Hamilton, D.P., Schladow, S.G. 1997. Prediction of water quality in lakes and reservoirs: Part I-Model description. Ecological Modelling, 96: 91-110.

14- Hipsey, M.R., Romero, J.R., Antenucci, J.J. and Hamilton, D. 2010. Computational Aquatic Ecosystem Dynamics Model: CAEDYM v3.2 Science Manual. Centre for Water Research, University of Western Australia.

15- Hodges, B.R., Dallimore, C.J., 2010. Estuary, Lake and Coastal Ocean Model: ELCOM v2.2 Science Manual. Centre for Water Research, University of Western Australia.

16- Hutchinson, G.E. 1957. A Treatise on Limnology, Vol. 1, Geography, Physics, Chemistry. John Wiley, New York, 1015 pp.

17- Hutchinson, G.E., Löffler, H., 1956. The thermal classification of lakes. Proc. Nat. Acad. Sci., 42: 84-86.

18- Löffler, H. 2004. The origin of lake basins. In: O'Sullivan, P.E., Reynolds, C.S., (editors), The lakes handbook, Vol.1 2nd Ed. Blackwell Publishing, United Kingdom., pp 8-60.

19- Marce, R., Moreno-Ostos, E., Garcia-Barcina, J.M. and Armengol, J. 2010. Tailoring dam structures to water quality predictions in new reservoir projects: Assisting decision-making using numerical modeling. Journal of Environmental Management. 91:1255–1267.

20- Post, G.B., Atherholt , T.B., Cohn, P.D. 2011. Health and aesthetic aspects of drinking water in: Edzwald, J.K. (editor), Water Quality and treatment: a handbook on drinking water, 6th ed. Mc Graw Hill Inc., USA.

21- Romero, J.R. and Imberger, J. 2003, Effect of a flood underflow on reservoir water quality: Data and three-dimensional modelling, Archiv für Hydrobiologie, 157(1): 1-25.

22- Romero, J.R., Antenucci J.P., Imberger, J. 2004. One- and three-dimensional biochemical simulations of two differing reservoirs. Ecological Modelling, 174: 143-160.

23- Schladow, S.G., Hamilton, D.P. 1997. Prediction of water quality in lakes and reservoirs: Part II-Model calibration, sensitivity analysis and application. Ecological Modelling, 96: 11-123.

24- Wurbs, R.A., James, W.P., 2009. Water Resources Engineering, 3rd Ed. Prentice-Hall, Inc. USA.