نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۱، جلد۸، فروردین - اردیبهشت ۱۳۹۳، ص. ۱۰۷-۹۶

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 1, Vol. 8, Mar-Apr 2014, p. 96-107

بررسی تغذیه‌گرایی مخازن سدها با استفاده از مدل CE-QUAL-W2

(مطالعه موردی: سد شیرین‌دره بجنورد، استان خراسان شمالی)

محمد ابراهیم خواجه‌پور[۱]، لیلا کریمی[۲]، مجتبی شیاسی ارانی[۳*]، حسین انصاری[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۷/۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۱/۹

چکیده

در دهه‌های اخیر و در شروع قرن جدید یکی از نگرانی‌های مردم ساکن کرهٔ زمین و خصوصاً کشورهای واقع در مناطق خشک از جمله کشور ما مسئله آب است. به گونه‌ای که دسترسی به آب با کمیت و کیفیت مناسب به یک چالش مهم تبدیل شده است. خصوصیات دمایی و پایداری آب مخازن سدها را می‌توان با استفاده از مدل‌های ریاضی پیش‌بینی کرد و در صورت پیش‌بینی مشکلات زیست محیطی، می‌توان از طرق مختلف برای تخفیف و تسکین آن، راه درمانی را در پیش گرفت. در این مقاله مدل دو بعدی متوسط‌گیری شده در عرض CE-QUAL-W2 برای شبیه‌سازی تراز سطح آب، دمای آب و شرایط کیفی مخزن سد شیرین‌دره در یک دوره یازده ماهه سال ۹۱-۹۰ انتخاب شد. با توجه به اینکه روند تغذیه‌گرایی مخزن سد شیرین‌دره بجنورد از اوایل مردادماه تشدید یافته و در شهریور ماه به بیشترین میزان خود می‌رسد بطوری که وضعیت مخزن در مرحله مغذی (یوتروفیک) قرار می‌گیرد. لذا پس از کالیبراسیون و تایید مدل، از مدل برای شبیه‌سازی پاسخ کیفیت آب به سناریوهای مختلف کاهش مواد مغذی مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد که با کاهش ۶۰ تا ۷۰ درصدی میزان فسفر در ورودی به مخزن شرایط مخزن از یوتروفیک به مزوتروفیک تغییر وضعیت خواهد داد. ضمن این که در بلندمدت هم می‌توان با اعمال مدیریت صحیح فسفر در حوضه آبریز و کاهش میزان آن در ورودی به سد وضعیت کیفی مخزن را از لحاظ میزان فسفر کل بهبود بخشید. نتایج حاصل از این مدل‌سازی می‌تواند اطلاعات ارزشمندی را برای ارزیابی استراتژی‌های مختلف مدیریت کاهش بار مغذی در حوضه آبریز در اختیار تصمیم‌گیرندگان قرار دهد.

واژه‌های کلیدی: تغذیه‌گرایی، دمای آب، بار فسفر، مخزن سد، مدل CE-QUAL-W2.

مقدمه

دریاچه‌ها و مخازن منابع مهم آب‌های سطحی می‌باشند. از جمله اهداف احداث سد می‌توان به تأمین آب شرب، کشاورزی و صنعتی، کنترل سیلاب، تولید انرژی برقابی و مقاصد تفریحی اشاره کرد که آلودگی‌های ناشی از فعالیت‌های انسانی به همراه تأثیر پدیده‌های مختلف در مخازن سدها می‌تواند باعث کاهش کیفیت آب این مخازن شود. یکی از مشکلات عمده کیفیت آب در مخازن تغذیه‌گرایی می‌باشد. افزایش رشد جلبک‌ها در مخازن می‌تواند مشکلات زیادی را در رابطه با کیفیت آب از جمله کاهش اکسیژن در آب‌های عمقی، تغییر رنگ و بوی منابع آب، مشکلات در زمینه تصفیه آب و محدودیت‌های کاربری آب را به همراه داشته باشد. لذا پرداختن به مسائل زیست‌محیطی سدها می‌تواند راهکار مناسبی برای کمک به مسئولین و تصمیم‌گیرندگان در پیش‌بینی و جلوگیری از تخریب و زوال آب‌های سطحی شود که با صرف هزینه‌های زیاد، تأمین و ذخیره شده‌اند (افشار و سعادت پور ، ۱۳۸۸).

در دهه‌های اخیر با پیشرفت چشم‌گیر در زمینه رایانه از یک سو و از سوی دیگر پیچیدگی روابط حاکم بین پارامترهای کیفی درون مخازن سدها، مدل‌های عددی بسیاری برای حل مسائل مربوط به کیفیت آب در مخازن تولید شده‌اند از جمله این مدل‌ها می‌توان به مدل WQRRS (Willey RG., et al., 1996)، مدل WASP (Ambrose RB. Et al., 1987)، مدل HEC-5Q (Willey RG., Cole TM., Wells et al., 1996)، مدل CE-QUAL-W2 (SA,2000) و مدل ELCOM (Hodges B., Dallimore C, 2001) اشاره کرد. با توجه به هزینه نسبتاً ارزان استفاده از این مدل‌ها و قابلیت بالای آن‌ها در زمینه تشخیص، ارزیابی و پیش‌بینی شرایط کیفی آب مخزن در شرایط موجود و آینده، به عنوان یک روش مناسب و کارآمد برای مدیریت و حفظ کیفیت آب در مخازن در نقاط مختلف جهان به‌کار گرفته شده‌اند. در میان این مدل‌ها، مدل‌های دو

۱- کارشناس ارشد مهندسی عمران، آب دانشگاه رازی کرمانشاه
۲- کارشناس ارشد مهندسی محیط زیست، منابع آب دانشگاه آزاد، واحد علوم و تحقیقات
۳- کارشناس ارشد مهندسی کشاورزی، آبیاری و زهکشی، دانشگاه فردوسی مشهد
۴- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(* نویسنده مسئول: (Email: m.shiasi@gmail.com

بعدی متوسط‌گیری شده در عرض به‌طور گسترده‌ای در مخازن برای نشان دادن تغییرات هیدرودینامیک و کیفیت آب در طول و عمق به کار گرفته شده‌اند. به‌طوری که مدل CE-QUAL-W2 با بیش از ۱۰۰۰ کاربرد در سراسر جهان سهم قابل توجهی را به خود اختصاص داده است (Xu et al., 2007).

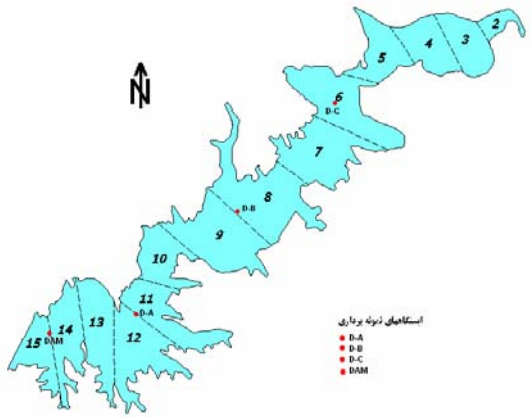
وو و همکاران مدلCE-QUAL-W2 را برای شبیه‌سازی حرارت و پارامترهای کیفی نظیر اکسیژن محلول، مواد مغذی و کلروفیل a کالیبره کردند. بعد از کالیبراسیون و صحت‌سنجی مدل، مدل را برای شبیه‌سازی غلظت کلروفیل a تحت سناریوهای مختلف تخصیص بار آلاینده به‌کار بردند. بر اساس نتایج ایشان، کاهش ۹۰٪ تخصیص بار آلاینده‌ها، وضعیت مخزن را از حالت مغذی به شاداب تغییر می‌دهد (Wu et al, 2004). کو و همکاران مخازن تیسنگ‌ون و تی‌چای را در تایوان توسط مدل CE-QUAL-W2 برای شبیه‌سازی حرارت، فسفر، آمونیوم، نیترات، کلروفیل a و اکسیژن محلول واسنجی کردند و سپس مدل کالیبره شده را برای شبیه‌سازی کیفیت آب مخزن در اثر کاهش بار مواد مغذی به‌کار بردند. نتایج نشان داد که کاهش ۳۰ تا ۵۵ درصد بار فسفر می‌تواند وضعیت مخزن تی‌چای را از حالت مغذی به شاداب تغییر دهد (Kou et al., 2006). دیه‌گو و همکاران با به کارگیری این مدل به شبیه‌سازی حرارت، فسفات و نیترات در سد چند منظوره آلکوئوا در کشور پرتغال پرداختند. سپس با هدف ارزیابی استراتژی‌های کنترل مواد مغذی در حوضه این سد سناریوهای ۹۰ ٪ کاهش آلودگی‌های منابع شهری و ۱۰۰٪ کاهش کل آلودگی‌ها (منابع شهری و صنعتی) را بررسی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که تخلیه فاضلاب شهری سهم بیش‌تری از افت کیفیت آب را به خود اختصاص داده است اما حتی با کاهش ۱۰۰٪ کاهش کل آلودگی‌ها کیفیت آب مخزن از لحاظ مغذی بودن بهبود نیافت و در مرحله یوتروفیک باقی ماند (Diogo et al., 2008). افشار و سعادت‌پور به شبیه‌سازی دما و پارامترهای کیفی شامل فسفر کل، نیترات، کلروفیل a، آمونیوم و اکسیژن محلول در مخزن سد کرخه توسط این مدل پرداختند. ایشان با استفاده از داده‌های میدانی اردیبهشت تا آذرماه ۱۳۸۴ به کالیبراسیون مدل پرداخته و با استفاده از داده‌های دی ماه ۱۳۸۴ تا تیر ماه ۱۳۸۵ صحت‌سنجی مدل را انجام دادند. نتایج شبیه‌سازی تطابق نسبتاً مناسبی را با داده‌های مشاهداتی ارائه داد. پس از کالیبراسیون مدل حساسیت مدل را نسبت به برخی از پارامترها و ضرایب کالیبراسیون از جمله ضریب پوشش باد بررسی کردند (افشار و سعادت پور، ۱۳۸۸).

در این مقاله با استفاده از مدل شبیه‌سازی CE-QUAL-W2 و با استفاده از داده‌های میدانی و آزمایشگاهی (آذرماه ۱۳۹۰ تا آبان ماه ۱۳۹۱) مدل تغذیه‌گرایی مخزن سد شیرین‌دره بجنورد شبیه‌سازی گردید (دوره کالیبراسیون آذر ۱۳۹۰ تا تیر ۱۳۹۱ و دوره صحت‌سنجی مرداد تا آبان ۱۳۹۱). پس از کالیبراسیون و تایید، مدل برای بررسی اثر کاهش فسفر ورودی روی غلظت فسفر داخل مخزن مورد استفاده قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

سد مخزنی شیرین‌دره، سدی خاکی با هسته رسی است در طول جغرافیایی "۲۸ '۶ °۵۷ و عرض جغرافیایی "۶ '۴۳ °۳۷ در ۶۵ کیلومتری شهر بجنورد و انتهای حوضه آبریز شیرین‌دره واقع شده است که مساحت حوضه آبریز آن ۱۷۵۰ کیلومتر مربع می‌باشد. مطالعات این سد از سال ۱۳۷۵ شروع شده و در سال ۱۳۸۴ با هدف تأمین آب شرب شهر بجنورد به بهره‌برداری رسیده است. موقعیت جغرافیایی محدوده طرح در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری در مخزن سد شیرین‌دره

عملیات نمونه‌برداری و انجام آزمایشات کیفی مخزن سد شیرین‌دره در ۴ ایستگاه نمونه‌برداری داخل مخزن (شکل ۱) از آذر ماه ۱۳۹۰ تا انتهای آبان ۱۳۹۱ برداشت شده‌اند. نمونه‌ها برای تعیین غلظت نیترات و فسفات از یک متری سطح آب و به فواصل ۵ متری در عمق، در ایستگاه DAM (شکل ۱) برداشت شده و در آزمایشگاه مورد آزمایش قرار گرفته اند. اندازه‌گیری دما و غلظت اکسیژن محلول در چهار ایستگاه D-A, D-B, D-C و DAM توسط دستگاه CTD در فواصل عمقی ۰/۵ متری انجام شده است. دستگاه CTD مورد استفاده از نوع Ocean seven 316 ساخت شرکت ایتالیایی Idronaut می‌باشد که درجه حرارت را با دقت ۰/۰۰۳ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری می‌کند.

بر اساس بررسی‌های انجام گرفته در حوضه آبریز شیرین‌دره مهم‌ترین منابع آلاینده انسان‌ساخت این حوضه شامل زه‌آب تولیدی از ۳۶۹ کیلومتر مربع اراضی کشاورزی، مواد زائد تولیدی ۴۶ روستا و دامداری سنتی و پراکنده در مراتع واقع در محدوده می‌باشند.

وضعیت تغذیه گرایی مخزن سد شیرین‌دره توسط اطلاعات برداشت شده

کارلسون در سال ۱۹۷۷ با استفاده از روابط (۱) بین سه پارامتر اصلی عمق سچی[1]، غلظت کلروفیل a و غلظت فسفر کل شاخصی را تحت عنوان TSI برای بررسی تغذیه‌گرایی مخازن سدها ارائه نمود.

$$TSI = 60 - 14.43\ Ln\ (SD)$$
$$TSI = 30.56 - 9.81\ Ln\ (Chl\ a) \qquad (۱)$$
$$TSI = 4.14 + 14.43\ Ln\ (TP)$$

در این روابط SD عمق سچی، Chl a غلظت کلروفیل a و TP هم غلظت فسفر کل می‌باشد.

بر اساس این شاخص اگر TSI<40 باشد، شرایط کیفی مخزن در وضعیت شاداب و اگر TSI>50 باشد، در وضعیت مغذی قرار می‌گیرد و در حالتی که 40<TSI<50 باشد، مخزن در وضعیت نیمه‌مغذی قرار دارد (Cheng et al., 2001). در پژوهش‌های زیادی با بهره‌گیری از سایر پارامترها سعی گردیده تا این شاخص اصلاح شده و نتایج بهتری را به‌دست دهد. بهترین و پرکاربردترین این اصلاحات توسط پژوهشگران صنعت آب ایالت فلوریدا در آمریکا انجام گرفت. ایشان پس از بررسی‌های زیاد و اعمال اثر نیتروژن کل به عنوان یکی از پارامترهای مؤثر در تغذیه‌گرایی شاخص اصلاح شده کارلسون را تحت عنوان Florida TSI معرفی نمودند. در این شاخص کلیه پارامترهای موثر بر تغذیه‌گرایی مخزن مدنظر قرار گرفته است.

در این تحقیق، شاخص اصلاح شده کارلسون مبنای بررسی شرایط تغذیه‌گرایی سد شیرین‌دره در نظر گرفته شده که نتایج حاصل از این بررسی در جدول ۱ آمده است.

همانگونه که در این جدول مشخص است روند تغذیه‌گرایی مخزن سد شیرین‌دره از اوایل مرداد ماه در محدوده نفوذ نور (زیر سطح تا ۱۵ متر) و در اعماق مخزن تشدید یافته و در شهریور ماه به بیشترین حد خود می‌رسد. شاخص TSI در بیشترین زمان برابر ۶۱ بوده و در مرحله مغذی قرار می‌گیرد. از طرفی قرار گرفتن محل برداشت آب در ترازهای پایینی و نیز تأثیر بسزای تغذیه‌گرایی بر کاهش اکسیژن محلول آب باعث تشدید پیامدهای ناخوشایند یوتروفیکاسیون از جمله ایجاد طعم و بو در آب برداشت شده می‌شود.

روش تحقیق

با توجه به هزینه نسبتاً ارزان استفاده از مدل‌های ریاضی و نیز قابلیت بالای آنها در زمینه تشخیص، ارزیابی و پیش‌بینی شرایط کیفی آب مخزن در شرایط موجود و آینده، در این تحقیق پس از کالیبراسیون مدل کیفی CE-QUAL-W2 برای مخزن سد شیرین‌دره، از مدل کالیبره شده به عنوان ابزاری جهت مدیریت مخزن سد استفاده شد. بدین ترتیب که با ارائه سناریوهایی، اثرات کاهش و افزایش میزان غلظت فسفر در جریان ورودی به مخزن بر افزایش روند تغذیه‌گرایی مخزن بررسی شد. ورود فسفر به مخزن عمدتاً از منابعی چون فضولات انسانی، شوینده‌های فسفری، پساب‌های صنعتی و رواناب کشاورزی اتفاق می‌افتد. سناریوهای بررسی شده شامل:

- وضع موجود (بدون تغییر در میزان فسفر ورودی) در طی دوره چهار ساله پس از پایان شبیه‌سازی
- کاهش فسفر ورودی به مخزن به میزان ۲۵٪ نسبت به وضعیت موجود
- کاهش فسفر ورودی به مخزن به میزان ۵۰٪ نسبت به وضعیت موجود
- افزایش فسفر ورودی به مخزن به میزان ۲۰٪ در هر سال نسبت به سال قبل
- و افزایش فسفر ورودی به مخزن به میزان ۴۰٪ در هر سال نسبت به سال قبل بودند.

شکل (۲) نمودار توسعه مدل کیفی مخزن سد شیرین‌دره را نشان می‌دهد.

معیارهای ارزیابی مدل

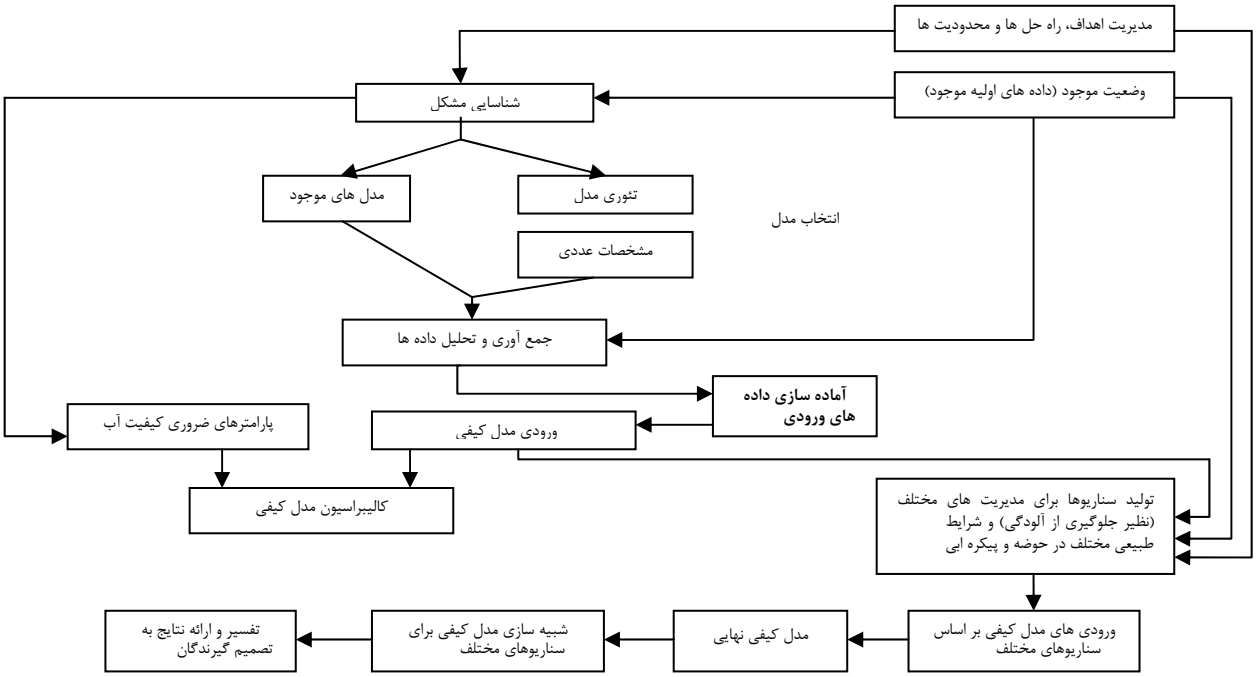
در مدل‌های شبیه‌سازی برای مقایسه نتایج داده‌های مشاهداتی و داده‌های شبیه‌سازی شده از پارامترهای آماری مختلفی استفاده می‌شود.

---

1 -Secchi depth: عمقی که برای تعیین کدورت آب در مخازن و رودخانه ها بکار می‌رود.

جدول ۱- شرایط تغذیه‌گرایی مخزن سد شیرین‌دره براساس شاخص TSI (نمونه‌گیری در ایستگاه DAM) کمتر از ٤٠ وضعیت شاداب، بیشتر از ٥٠ وضعیت مغذی و بین ٤٠ و ٥٠ وضعیت نیمه‌مغذی

تاریخ نمونه‌برداری	عمق از سطح (متر)						
	۱	٦	۱۱	۱٦	۲۱	۲٦	۳۰
آذر ۹۰	۷			۷			۱۲
اسفند ۹۰	۲۸			۲۶			۲۴
فروردین ۹۱	۳۸			۳۹			۳۸
اردیبهشت ۹۱	۴۱			۳۵			۳۲
تیر ۹۱	۳۵	۳۹	۲۴	۳۵	۴۰	۳۴	
نیمه اول مرداد ۹۱	۳۷	۴۵	۴۸	۳۷	۵۳	۶۳	۶۳
نیمه دوم مرداد ۹۱	۵۰	۵۰	۴۷	۲۵	۳۳	۵۵	۵۵
نیمه اول شهریور ۹۱	۵۶	۴۷	۵۷	۶۱	۵۲	۵۱	۶۱
نیمه دوم شهریور ۹۱	۳۰	۳۷	۴۵	۳۷	۳۷	۵۳	۳۲
نیمه اول آبان ۹۱	۳۷	۳۷	۵۰	۳۷	۲۸	۶۱	۵۸
نیمه دوم آبان ۹۱	۵۰	۵۰	۵۸	۳۷	۳۷	۵۰	۴۵



شکل ۲- نمودار توسعه مدل کیفی مخزن سد شیرین‌دره و تجزیه و تحلیل سناریوها

در این تحقیق علاوه بر نمایش گرافیکی، از دو پارامتر آماری خطای میانگین مطلق و ریشه میانگین مربعات خطا استفاده شده است.

خطای میانگین مطلق که رابطه آن به‌صورت رابطه ۲ می‌باشد، مقدار متوسط خطاها را در مجموعه‌ی پیش‌بینی‌ها بدون در نظرگرفتن جهت آنها اندازه‌گیری می‌کند.

$$AME = \frac{\sum |\mathrm{Pr}diction - Observed|}{number - of - observations} \qquad (۲)$$

رابطه ریشه میانگین مربعات خطا نیز به‌صورت رابطه ۳ می‌باشد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left(X_{i,obs} - X_{i,pre}\right)^2} \qquad (۳)$$

نتایج و بحث

کالیبراسیون هندسه مخزن و تراز سطح آب

در این شبیه‌سازی مخزن سد شیرین‌دره به یک شاخه که دارای ۱۴ بخش طولی بوده تقسیم شده و طول بخش‌ها از ۲۷۰ متر تا ۶۰۰ متر متغیر است. هر بخش به لایه‌های یک متری تقسیم شده است و تعداد کل سلول‌های فعال در شبکه محاسباتی ۳۰۸ سلول می‌باشد. به منظور کالیبراسیون هندسه و رسیدن به منحنی‌های سطح- حجم مخزن در پارامتر عرض مخزن تغییراتی انجام شد. پس از انجام کالیبراسیون هندسه مخزن و تطابق هندسه مخزن با منحنی حجم- سطح – ارتفاع واقعی مخزن، با استفاده از داده‌های روزانه ثبت شده توسط اشلی که در داخل مخزن و نزدیک تاج سد قرار داشته و قرائت آن به‌صورت روزانه انجام گرفته بود، تراز سطح آب با خطای متوسط مطلق۰/۰۷ متر شبیه‌سازی شد.

کالیبراسیون حرارت

قبل از شبیه‌سازی پروفیل‌های دمایی و پس از انجام آنالیز حساسیت نسبت به ضرایب کالیبراسیون، ضرایب کالیبراسیون مؤثر بر لایه‌های مختلف دسته‌بندی شده و ابتدا ضرایب با بیشترین تأثیر مورد بررسی قرار می‌گیرند. با نزدیک شدن شکل پروفیل‌های شبیه‌سازی شده به شکل پروفیل‌های مشاهداتی سایر ضرایب کالیبراسیون مورد استفاده قرار می‌گیرد تا دقت شبیه‌سازی بالا برده شود. ضرایبی که تأثیر بیشتری روی پروفیل‌های حرارتی مخزن سد شیرین‌دره داشتند ضرایب WSC[1] (ضریب پوشش باد) ، TSED[2] (ضریب دمای رسوب)، CBHE[3] (ضریب تبادل حرارت کف مخزن) و EXH2O[4] (ضریب انقراض نور) بودند. جدول ۲ ارزش ضرایب مؤثر در کالیبراسیون دمای آب مخزن سد شیرین‌دره را نشان می‌دهد.

در نمودارهای شکل ۴ به‌طور مجزا داده‌های شبیه‌سازی شده توسط مدل با داده‌های اندازه‌گیری شده در ماه‌های فروردین، اردیبهشت، تیر، مرداد، شهریور و آبان سال ۱۳۹۱ (فروردین، اردیبهشت و تیر دوره کالیبراسیون و مرداد، شهریور و آبان دوره صحت‌سنجی) در نزدیک‌ترین پروفیل به مخزن سد مورد مقایسه قرار گرفته‌اند.

نتایج شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد که مدل قادر است دما را در دوره کالیبراسیون و صحت‌سنجی به ترتیب با متوسط خطای مطلق ۰,۹۷ °c و ۱,۰۱ °c شبیه‌سازی کند. در ابتدای شبیه‌سازی (اواخر آذر ماه) لایه‌بندی حرارتی در مخزن سد شیرین‌دره وجود نداشته است. این شرایط تا اواخر اسفند ماه حاکم بوده و با گرم‌شدن هوا و افزایش میزان تشعشع خورشیدی لایه‌بندی حرارتی کم کم شروع به شکل‌گیری نموده‌است. با شروع فصل تابستان این پدیده نیز تشدید گردیده به طوریکه در اواسط تیر ماه ضخامت میان‌لایه به حداکثر خود در حدود ۶/۵ متر رسیده و تغییرات درجه حرارت در ستون آب ۱۵ درجه سانتی‌گراد گردیده است. با سردتر شدن هوا و در نتیجه کاهش دمای سطح آب در اوایل مهرماه (حدود ۲۱ درجه سانتی‌گراد) و از سوی دیگر کاهش دمای آب ورودی و افزایش چگالی آن شاهد حرکت جریان ورودی به لایه‌های پایینی مخزن و در نتیجه افزایش رولایه و متعاقب آن کاهش عمق میان‌لایه خواهیم بود. با ادامه این روند به تدریج عمق و دانسیته رولایه افزایش یافته و مقاومت میان‌لایه در مقابل اختلاط کاهش می‌یابد تا این که مخزن از حالت لایه‌بندی حرارتی خارج شده و شروع به همگن شدن در عمق می‌نماید. به طوری که در اواسط آبان‌ماه میان‌لایه به طور کامل شکسته شده و اختلاط در مخزن را شاهد خواهیم بود. از این رو مخزن سد شیرین‌دره جزء مخازن دارای لایه‌بندی تابستانه بوده که یک‌بار واژگونی در سال در این مخزن رخ می‌دهد. تناوب این لایه‌بندی حدود چهار ماه است و دمای آب در این مخزن هیچ گاه به کمتر از ۴ درجه سانتی‌گراد نمی‌رسد.

کالیبراسیون اکسیژن محلول

اکسیژن محلول (DO) از طریق انتشار از هوای مجاور، هوادهی براساس سرعت آب، شیب بستر و بدنه رودخانه و مخزن و همچنین به عنوان محصول ن‌های ی عمل فتوسنتز ایجاد می‌گردد. تنها گیاهان سبز و برخی از باکتری‌ها از طریق فتوسنتز و فرآیندهای مشابه قادر به تولید اکسیژن می‌باشند و سایر گونه‌های آبزی بیش‌تر مصرف کننده اکسیژن محلول آب هستند. از این‌رو، در اثر ورود هرزآب حاوی فسفات و نیترات و در نتیجه رشد زیاد موجودات آبزی میزان اکسیژن محلول آب کاهش می‌یابد. میزان اکسیژن محلول در مخازن یکی از شاخص‌های مهم برای سلامت آب به شمار می‌آید. لذا کاهش آن به‌طور مستقیم بر کاهش کیفیت آب اثرگذار خواهد بود. مخازن آب ممکن است علی‌رغم عاری بودن از مواد مصرف کننده اکسیژن، حاوی مقدار بسیار کمی‌اکسیژن و یا اصولاً فاقد آن باشند. زیرا فقط قسمت‌های سطحی آب در تماس با هوا هستند و در صورتی که لایه‌بندی حرارتی آب در آن اتفاق بیفتد، لایه‌های زیرین کمتر می‌توانند به صورت مستقیم اکسیژن هوا را دریافت کنند. در شکل ۵ غلظت اکسیژن محلول در دوره‌های کالیبراسیون و صحت‌سنجی مورد مقایسه قرار گرفته است.

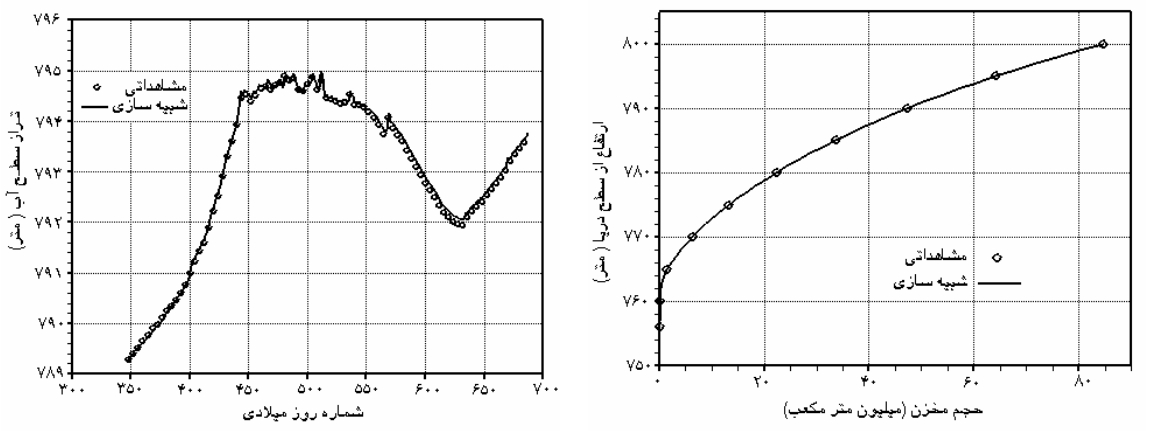
ضرایب فرمول هواگیری که در کالیبراسیون مدل مورد استفاده قرار می‌گیرد، توسط رابطه زیر مشخص می‌شود.

1- Wind Sheltering Coefficient
2- Sediment temperature
3- Coefficient of bottom heat exchange
4- Extinction coefficient

$$K_a = \frac{C_1 + C_2 W^{C_3}}{H} \quad (۴)$$

که در آن Ka ضریب هواگیری، C1، C2 و C3 ضرایبی هستند که توسط کاربر تعریف می‌شوند، W سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری و H عمق می‌باشد. مدل امکان استفاده از فرمولاسیون‌های مختلفی را برای ضریب هواگیری می‌دهد که پس از انجام آنالیز حساسیت از رابطه ی پیشنهادی بنک و هرا در سال ۱۹۷۷ استفاده شد.

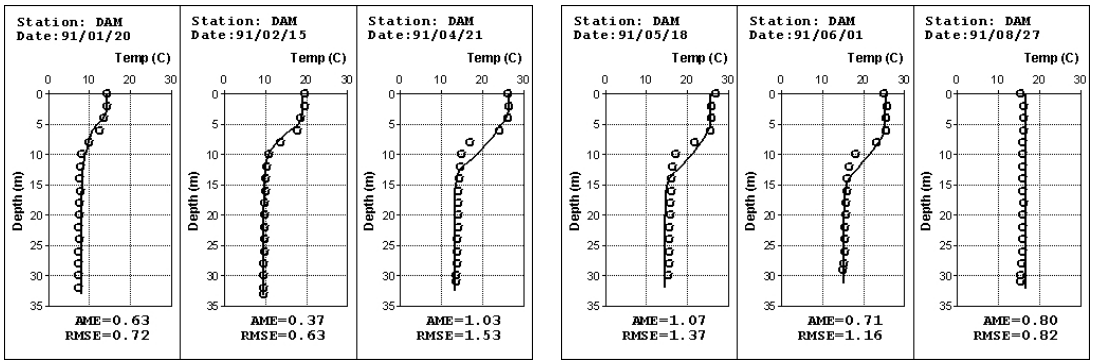
با توجه به نتایج بدست آمده از کالیبراسیون اکسیژن محلول، در جدول ۳ نتایج حاصل از کالیبراسیون حاصل با نتایج کالیبراسیون این پارامتر در چند مخزن مقایسه شده‌اند.



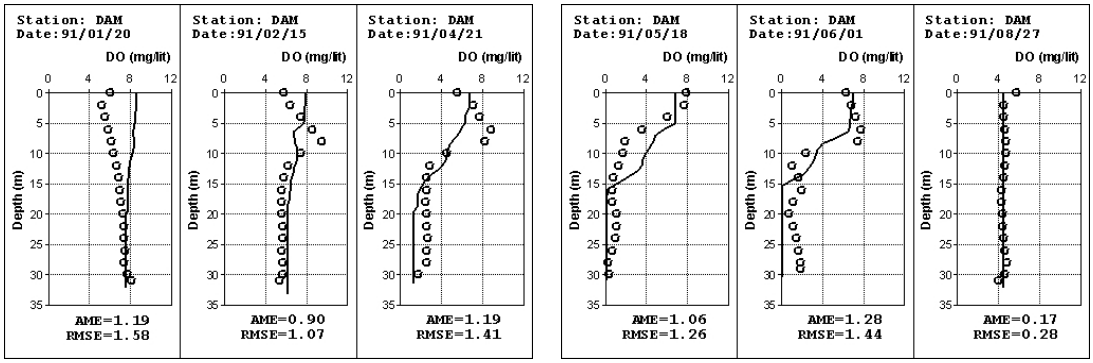
شکل ۳- مقایسه نمودارهای سطح-حجم-ارتفاع و تراز سطح آب مشاهداتی و شبیه سازی شده

جدول ۲- ارزش ضرایب موثر در کالیبراسیون دمای آب مخزن سد شیرین‌دره

عنوان ضریب	علامت اختصاری	ارزش نهایی ضریب
Lungitudinal eddy viscosity	AX	1 m^2s^{-1}
Lungitudinal eddy diffusivity	DX	1 m^2s^{-1}
Manning	CHEZY	70
Solar radiation absorbed in surface layer	BETA	0.61
Extinction coefficient for pure water	EXH2O	متغیر
Solar radiation shading	SHD	0.9
Wind sheltering coefficient	WSC	متغیر



شکل ٤- مقایسه داده‌های دمای شبیه‌سازی شده توسط مدل (خط ممتد تیره) با داده‌های واقعی (دایره توخالی)



شکل ۵- مقایسه داده‌های اکسیژن محلول شبیه‌سازی شده توسط مدل (خط ممتد تیره) با داده‌های واقعی (دایره توخالی)

جدول ۳- مقایسه نتایج کالیبراسیون اکسیژن محلول با نتایج سایر محققین

مخزن	پارامتر AME	پارامتر RMSE
مخزن شیرین‌دره در ایران	۰/۹۶	۱/۱۷
مخزن Te-Chi در تایوان	۳/۱	۳/۹۸
مخزن Tseng-Wen در تایوان	۰/۹۵	۱/۱۷
مخزن Shihmen در تایوان	۱/۷۶	۱/۹۳
مخزن Conowingo در آمریکا	۰/۹۶	۱/۱۷

کالیبراسیون نیترات

نیترات مهم‌ترین منبع نیتروژن موجودات آبزی به شمار می‌آید. از این‌رو، افزایش غلظت این ماده مغذی می‌تواند روند یوتروفیکاسیون را تشدید نماید. نیترات به عنوان یک جزء مهم در کودهای شیمیایی بوده و برای تولید محصولات کشاورزی لازم است. لذا اراضی زراعی غالباً آلوده به این پارامتر می‌باشند. در هنگام بارندگی غلظت بالایی از نیترات از زمین‌های کشاورزی شسته شده و به رودخانه‌ها راه خواهد یافت و در نهایت وارد دریاچه‌ها و مخازن سد خواهد شد. نیترات همچنین در اثر ورود فاضلاب‌های انسانی و یا فضولات دامی وارد محیط می‌شود. در این مطالعه نرخ نیتریفیکاسیون آمونیاک معادل با $0/1\ day^{-1}$ در نظر گرفته شد. شکل ۶ داده‌های نیترات شبیه‌سازی شده توسط مدل و داده‌های واقعی را در زمان‌های مختلف نمونه‌برداری و در ایستگاه DAM نشان می‌دهد.

با توجه به نتایج به دست آمده از کالیبراسیون نیترات، در جدول ۴ نتایج حاصل از کالیبراسیون حاصل با نتایج کالیبراسیون این پارامتر در چند مخزن مقایسه شده‌اند.

مقدار نیترات مخزن در دوره نمونه‌برداری نسبت به سایر مخازن بالا می‌باشد درصد خطای بالای پارامترهای AME و RMSE در سد شیرین‌دره به همین موضوع بر می‌گردد و به‌کار بردن پارامتر درصد خطا می‌تواند در این مورد بهتر باشد. مقدار متوسط نیترات در نمونه‌برداری‌های فروردین، اردیبهشت و تیر در حدود ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر و در نمونه‌برداری‌های مرداد، شهریور و آبان در حدود ۷ میلی‌گرم بر لیتر بوده است. این در حالی است که در مخازن Te-Chi و Tseng-Wen این مقدار کم‌تر از ۱ میلیگرم بر لیتر و در مخزن Congowingo کمتر از ۲/۵ میلی‌گرم بر لیتر بوده است.

جدول ٤- مقایسه نتایج کالیبراسیون نیترات با نتایج سایر محققین

مخزن	پارامتر AME	پارامتر RMSE
مخزن شیرین‌دره در ایران	۲/۶۴	۳/۲۲
مخزن Te-Chi در تایوان	۰/۴۱	۰/۴۸
مخزن Tseng-Wen در تایوان	۰/۰۷	۰/۱۱
مخزن Shihmen در تایوان	۰/۲۹	۰/۵۳
مخزن Conowingo در آمریکا	۰/۵۴	۰/۷

کالیبراسیون فسفات و فسفرکل

فسفات‌ها دارای بار منفی قوی (۳-) هستند و تمایل زیادی به واکنش با کاتیون‌های چند ظرفیتی مثل Fe^{3+} و Fe^{2+} و Mg^{2+} ، Ca^{2+} برای تشکیل نمک‌های نامحلول دارند.

عنصر فسفر برای رشد گیاهان و جانوران ضروری می‌باشد. تقریباً تمامی کودهای شیمیایی حاوی فسفات‌ها (ترکیبات شیمیایی حاوی عنصر فسفر) می‌باشند. در زمان بارندگی مقادیر مختلفی از ترکیبات فسفات از خاک‌های کشاورزی به منبع آبی اطراف این مناطق منتقل می‌شود. فسفر مهم‌ترین عنصر در اکوسیستم‌های آبزی محسوب می‌شود، فسفات یکی از مواد مغذی اولیه است که موجب تحریک رشد فیتوپلانکتون‌ها و گیاهان آبزی (که به عنوان غذا برای ماهی‌ها بکار می‌روند) می‌شوند. به عبارت دیگر، فسفات از فاکتورهای مهم در ایجاد پدیده تغذیه‌گرایی در مخازن می‌باشد. فسفات‌ها از طریق کودهای شیمیایی، صنعت و ترکیبات شوینده وارد محیط می‌شوند. فسفات‌ها از طریق پسماندهای انسان و حیوان و صخره‌های حاوی فسفات، نیز می‌توانند وارد محیط‌های آبی شوند.

فسفات‌ها به سه شکل در محیط یافت می‌شوند. ارتوفسفات، متافسفات و فسفاتی که به ترکیبات آن پیوند برقرار می‌نماید. میزان PO_4^{-3}، در صورت مصرف کودهای فسفاته در اراضی کشاورزی موجود در محدوده مطالعات و ورود زه‌آب‌های کشاورزی تغییر می‌کند.

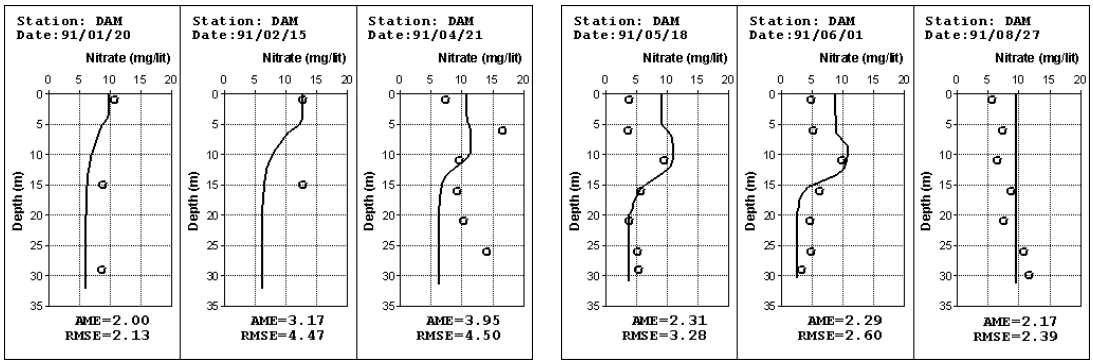
با برآورد میزان غلظت فسفر ورودی به مخزن بر اساس نمونه‌گیری‌ها و با توجه به مدل‌سازی انجام شده، بر اساس مشخصات فیزیکی و هیدرولیکی مخزن، میزان PO_4 در ۵ عمق و در ماه‌های سال آبی تعریف شده، مدل اجرا و نمودارهای حاصل از نتایج مدل با نمودارهای مشاهده‌ای مقایسه شد. لازم بذکر است که با توجه به میزان کم فسفر آلی در مخزن سد مقدار فسفات و فسفر کل چه در ورودی و چه در اعماق مختلف در روزهای نمونه گیری در ایستگاه DAM یک مقدار گزارش شده بود. ضریب نیم اشباع فسفر ۰/۰۵میلی‌گرم در لیتر و تعادل استوکیومتری بین توده حیاتی و فسفر نیز در ۰/۰۰۵ کالیبره شد. در نمودارهای شماره مقایسه گرافیکی داده‌های حاصل از اندازه‌گیری و مقادیر پیش‌بینی شده غلظت فسفر کل توسط مدل در ایستگاه DAM بر حسب میلی‌گرم بر لیتر آمده است.

شکل ۷ داده‌های نیترات شبیه‌سازی شده توسط مدل و داده‌های واقعی را در زمان‌های مختلف نمونه‌برداری و در ایستگاه DAM نشان می‌دهد. در این شکل‌ها در سه ماه فرودین، اردیبهشت و تیر، غلظت فسفر کل و نیز فسفات کم‌تر از ۰/۰۱ میلی‌گرم بر لیتر گزارش شده است.

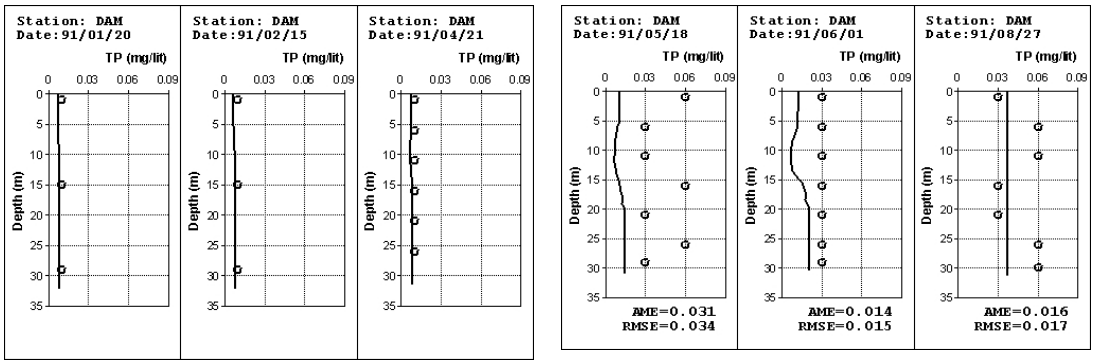
با توجه به نتایج بدست آمده از کالیبراسیون فسفات در جدول ۵ نتایج حاصل از کالیبراسیون حاصل با نتایج کالیبراسیون این پارامتر در چند مخزن مقایسه شده‌اند.

جدول ۵- مقایسه نتایج کالیبراسیون فسفرکل با نتایج سایر محققین

مخزن	پارامتر AME	پارامتر RMSE
مخزن شیرین‌دره در ایران	۰/۰۲۱	۰/۰۲۲
مخزن Te-Chi در تایوان	۵/۹۴	۶/۷۸
مخزن Tseng-Wen در تایوان	۶/۶۹	۸/۲۱
مخزن Shihmen در تایوان	۰/۰۱۳	۰/۰۱۵
مخزن Conowingo در آمریکا	۰,۰۲	۰,۰۴



شکل ٦- مقایسه داده‌های نیترات شبیه‌سازی شده توسط مدل (خط ممتد تیره) با داده‌های واقعی (دایره توخالی)



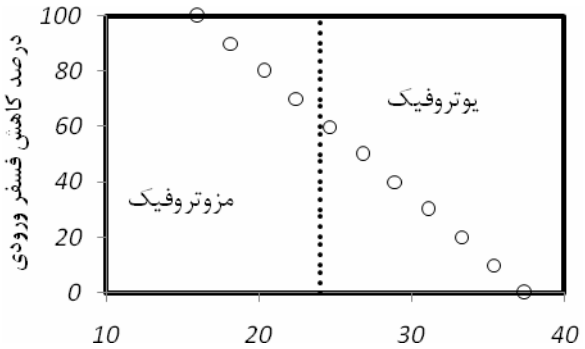
شکل ۷- مقایسه داده‌های فسفر کل و فسفات شبیه‌سازی شده توسط مدل (خط ممتد تیره) با داده‌های واقعی (دایره توخالی)

کاهش میزان فسفر ورودی به مخزن

با توجه به این که مخزن سد شیرین‌دره در ابتدای دوره شبیه‌سازی (۲۳ آذر ماه ۱۳۹۰) از نظر میزان فسفر داخل مخزن در وضعیت شاداب بسر برده و پس از طی یک دوره ۱۱ ماهه در انتهای دوره شبیه‌سازی (۲۷ آبان ماه ۱۳۹۱) از لحاظ میزان غلظت فسفر داخل مخزن به وضعیت فوق مغذی رسیده است، لزوم اعمال راهکارهایی به‌منظور خروج از وضعیت کنونی احساس می‌شود.

پس از کالیبراسیون مدل CE-QUAL-W2، از مدل به منظور تأثیر سناریوهای کاهش و افزایش میزان فسفر ورودی به مخزن استفاده شده است. با توجه به این که مدل شبیه‌سازی شده برای مخزن سد شیرین‌دره در انتهای دوره شبیه‌سازی که مخزن در حالت اختلاط کامل به سر می‌برد، دارای میزان فسفر در حدود ۳۷ میکروگرم بر لیتر می‌باشد، در سناریوهای موجود میزان کاهش و افزایش فسفر مخزن با وضعیت مخزن در این زمان مورد مقایسه قرار گرفته است.

در سناریوهای کاهش میزان فسفر، فسفر ورودی به مخزن در طول دوره شبیه‌سازی به ترتیب از ۱۰ تا ۱۰۰ درصد در ورودی کاهش داده شده و تأثیر آن بر کیفیت مخزن در اواخر آبان (انتهای دوره شبیه‌سازی) در شکل ۸ آورده شده است.



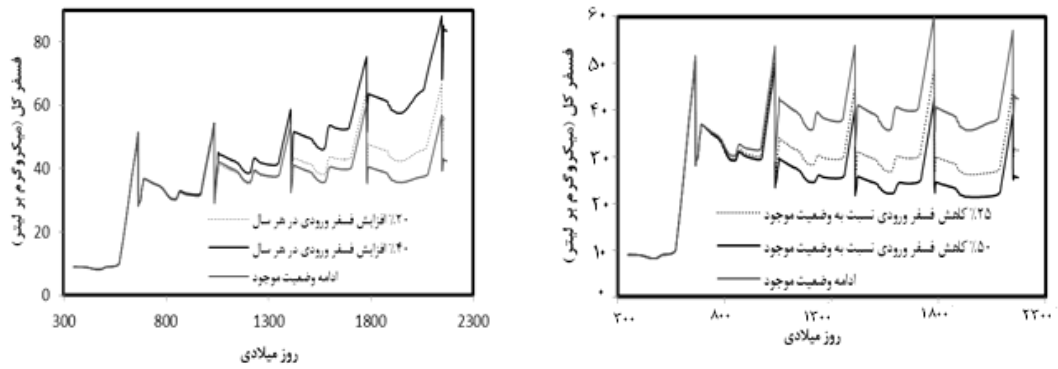
شکل ۸- غلظت فسفر در نزدیک بدنه سد در اواخر آبان (برحسب میکروگرم در لیتر)

همانطور که در شکل ۸ مشخص است، با کاهش ۶۰ تا ۷۰ درصدی غلظت فسفر ورودی در طی دوره شبیه‌سازی، دریاچه از شرایط یوتروفیک (مغذی) وارد شرایط مزوتروفیک (نیمه مغذی) در انتهای دوره شبیه‌سازی خواهد شد.

در ادامه به‌منظور بررسی بیشتر سناریوهای کاهش و افزایش فسفر بر وضعیت کیفی مخزن در اواخر آبان با ثابت فرض کردن وضعیت مخزن از لحاظ دبی و نیز ثابت فرض کردن شرایط هواشناسی منطقه پس از دوره شبیه‌سازی (که تقریباً یک سال به طول انجامید) به مدت ۴ سال با لحاظ کردن سناریوهای کاهش و افزایش فسفر وضعیت کیفی مخزن بررسی شده است.

جدول ٦- میزان غلظت فسفر کل بر حسب میکروگرم بر لیتر در اواخر آبان ماه در سناریوهای مختلف

شماره سناریو	سال اول	سال دوم	سال سوم	سال چهارم
سناریوی اول	۳۵,۷	۳۲,۵	۳۰,۹	۲۶,۵
سناریوی دوم	۳۲,۱	۲۸,۲	۲۶,۶	۲۲,۶
سناریوی سوم	۲۸,۵	۲۳,۸	۲۲,۳	۱۸,۱
سناریوی چهارم	۳۸,۶	۳۸,۳	۴۰	۵۱
سناریوی پنجم	۴۱,۵	۴۵	۵۱,۵	۷۰



شکل ۹- میزان غلظت فسفر در سناریوهای کاهشی و افزایشی

همانطور که از جدول ۶ و شکل ۹ مشخص می‌شود می‌توان با اعمال مدیریت صحیح فسفر در حوضه آبریز و کاهش میزان آن در ورودی به سد (سناریوهای دوم و سوم) در بلندمدت وضعیت کیفی مخزن را از لحاظ میزان فسفر کل بهبود بخشید و بالعکس با توسعه کشاورزی و نبود مدیریت صحیح در این امر که منجر به افزایش فسفر ورودی به مخزن خواهد شد، مخزن هر چه بیشتر به سمت مغذی شدن پیش خواهد رفت.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق مدل دو بعدی متوسط‌گیری شده در عرض CE-QUAL-W2 به‌منظور مدل‌سازی هیدرودینامیک، دما و بررسی روند تغذیه‌گرایی در مخزن سد شیرین‌دره بکار گرفته شد. هیدرودینامیک سیستم (سطح آب)، دما و پارامترهای کیفی شامل نیترات، اکسیژن محلول و فسفر در طی دوره مدل‌سازی (دوره کالیبراسیون آذر ۱۳۹۰ تا تیر ۱۳۹۱ و دوره صحت‌سنجی مرداد تا آبان ۱۳۹۱) کالیبره و تایید شد. در این دوره تغییرات زمانی و مکانی دما و پارامترهای کیفی نتایج حاصل از مدل‌سازی تطابق نسبتاً مناسبی با داده‌های مشاهداتی داشتند. با توجه به داده‌های برداشت شده و نیز نتایج حاصل از شبیه‌سازی، لایه‌بندی حرارتی در مخزن سد شیرین‌دره از ابتدای اسفندماه شروع گردیده است. با شروع فصل تابستان لایه‌بندی تشدید گردیده، بطوری که در اواسط تیرماه ضخامت میان‌لایه به حداکثر خود در حدود ۶/۵ متر رسیده و تغییرات درجه حرارت در ستون آب ۱۵ درجه سانتی‌گراد گردیده است. به تدریج با شرایط پاییز لایه‌بندی ضعیف‌تر می‌شود. به‌طوریکه در اواسط آبان‌ماه میان‌لایه به طور کامل شکسته شده و اختلاط در مخزن را شاهد خواهیم بود. از این رو مخزن سد شیرین‌دره جزء مخازن دارای لایه‌بندی تابستانه بوده که یک‌بار واژگونی در سال در این مخزن رخ می‌دهد. تناوب این لایه‌بندی حدود چهار ماه است و دمای آب در این مخزن هیچ‌گاه به کمتر از ۴ درجه سانتی‌گراد نمی‌رسد. تغییرات غلظت اکسیژن محلول در عمق مخزن نشان داد که در فصل تابستان میزان غلظت اکسیژن محلول در زیرلایه بسیارکم شده، به‌طوریکه شرایط تقریباً در این لایه بی‌هوازی می‌شود و با توجه به این که خروجی آبگیر مخزن سد در زیرلایه قرار دارد، باعث کاهش کیفیت آب خروجی از سد می‌شود.

روند تغذیه‌گرایی مخزن سد شیرین‌دره از اوایل مرداد ماه در محدوده نفوذ نور (زیر سطح تا ۱۵ متر) و در اعماق مخزن تشدید یافته و در شهریورماه به بیشترین حد خود می‌رسد. اگرچه شاخص TSI این مخزن در بیشترین زمان خود برابر ۶۰ بوده و در نیمه مرحله یوتروفیک قرار می‌گیرد، اما قرار گرفتن محل برداشت آب در منطقه یوتروفیک و از سوی دیگر تأثیر بسزای تغذیه‌گرایی بر کاهش اکسیژن محلول آب باعث تشدید پیامدهای ناخوشایند یوتروفیکاسیون از جمله ایجاد طعم و بو در آب برداشت شده می‌شود. لذا در ادامه مدل کالیبره شده برای پیش‌بینی تأثیر کاهش غلظت ورودی فسفر به مخزن به کار گرفته شد.

ابتدا فسفر ورودی به مخزن در طول دوره شبیه‌سازی به ترتیب از ۱۰ تا ۱۰۰ درصد در ورودی کاهش داده شده و تأثیر آن بر کیفیت مخزن مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که با کاهش ۶۰ تا ۷۰ درصدی از غلظت فسفر در ورودی در طی دوره شبیه‌سازی دریاچه از شرایط یوتروفیک (مغذی) وارد شرایط مزوتروفیک (نیمه مغذی) در انتهای دوره شبیه‌سازی خواهد شد.

در ادامه با تعریف پنج سناریوی مختلف کاهش و افزایش فسفر ورودی وضعیت کیفیت آب دریاچه در بلند مدت مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که می‌توان با اعمال مدیریت صحیح فسفر، از طریق کنترل فسفر ورودی از حوضه آبریز به مخزن سد، در بلندمدت وضعیت کیفی مخزن را از لحاظ میزان فسفر کل بهبود بخشید و بالعکس با توسعه کشاورزی و نبود مدیریت صحیح در این امر که منجر به افزایش فسفر ورودی به مخزن خواهد شد، مخزن هر چه بیش‌تر به سمت مغذی شدن پیش خواهد رفت.

تشکر و قدردانی

در پایان از شرکت آب منطقه‌ای خراسان شمالی و مهندسین مشاور طوس آب که نویسندگان را در انجام این تحقیق یاری نمودند تشکر و قدردانی می‌شود.

مراجع

افشار،ع و سعادت پور،م. ۱۳۸۸. تغذیه‌گرایی مخازن سدها: مدل‌سازی دوبعدی مخزن کرخه. مجله علمی-پژوهشی آب و فاضلاب، شماره ۳ سال ۸۸، ۸۰-۹۳.

Ambrose,R.B., Wool,TA., Connolly,JP., Schanz R.W.1987. WASP4, a hydrodynamic and water quality model-model theory, user's manual, and programmers' guide. by Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency in Athens, Ga. EPA/600/3-87/039.

Cheng,K.S., LeiT.C. 2001. Reservoir tropic state evaluation using Landsat TM images. Journal of the American Water Resources Association, 37(5):1321–1334.

Cole,T.M., WellsS.A. 2000. CE-QUAl-W2: a two-

modelling of reservoirs in Taiwan. Environmental Modelling & Software, 21(6):829-844.

Liu,W.C., Chen,H.H., Hsieh,W.H., Chang,C.H., 2006. Linking watershed and eutrophication modeling for the Shihmen Reservoir, Taiwan. Water Science & Technology, 54(11):39–46.

Willey,R.G., Smith,D.J., Duke,J.H. 1996. Modeling water resource systems for water-quality management. J Water Res Plan Manag Div ASCE, 122(3):171–179.

Wu,R.S., LiuW.C., Hsieh,W.H. 2004. Eutrophication modeling in Shihmen Reservoir,Taiwan, J. Environ Sci Health A Tox Hazard Subst Environ Eng, 39(6): p. 1455-1477.

Xu,Z., Godrej,A.N., Grizzard,T.J. 2007. The hydrological calibration and validation of a complexlylinked watershed–reservoir model for the Occoquan watershed, Virginia. J. Hydrol, 345:167–183.

dimensional, laterally averaged, hydrodynamic and water quality model, version 3.0. Instruction Report EL-2000, US Army Engineering and Research Development Center, Vicksburg.

Diogo,P.A., Fonseca.M., Coelho.P.S., Mateus N.S., Almeida,M.C., Rodrigues,A.C. 2008. Reservoir phosphorous sources evaluation and water quality modeling in a transboundary watershed. Desalination, 226:200–214.

Deliman,P.N., Gerald,J.A. 2002. Application of the Two-Dimensional Hydrothermal and Water Quality Model, CE-QUAL-W2, to the Chesapeake Bay - Conowingo Reservoir. Lake and Reservoir Management, 18: 1, 10-19.

Hodges,B., Dallimore,C. 2001. Estuary and lake computer model, ELCOM, science manual, code version 1.5.0. Centre for Water Research, University of Western Australia.

Kou,J.T., Lung,W.S., Yang,Ch.P., Liu,W.Ch., Yang,M.D., Tang.T.Sh. 2006. “Eutrophication

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 1, Vol. 8, Mar-Apr 2014, p. 96-107

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۱، جلد۸، فروردین - اردیبهشت ۱۳۹۳، ص. ۱۰۷-۹۶

Eutrophication Check of Reservoirs with CE-QUAL-W2 (Case study: Shirin Darre dam reservoir)

M.E.Khajehpour,[1] L.Karimi,[2] M.Shiasi Arani,[3] H.Ansari [4]
Received: Sep.23,2013 Accepted: Jan.29,2014

Abstract

In recent decades and by beginning of new century, one of earth planet's inhabitant population's worries and particularly countries located in dry lands such as our country is water problem in a way that availability to water with appropriate quality and quantity has been converted to a challenge. Temperature related features and stability of reservoirs could be predicted by use of mathematical modeling and in case of environmental problem, can be taken remedial way for decreasing problems by various ways. A vertical two-dimensional laterally averaged hydrodynamic and water quality model (CE-QUAL-W2) was used to simulate the hydrodynamics, temperature, and water quality in the Shirin Darre Reservoir over the years 2011 through 2012.Considering that the eutrophication of the Shirin Darre reservoir have been increased since in early August and reached to the highest level in September until that the reservoir entered in eutrophication condition, the calibrated model was then applied to simulate water quality response to various nutrient reduction scenarios. Results of the model reveal that a 60% to 70% reduction of phosphorus loads will improve the water quality from eutrophic to mesotrophic. Also that, in the long term, with proper management strategies of reducing watershed nutrient loads can improve the water quality of this reservoir. The modeling effort has yielded valuable information that can be used for decision makers for the evaluation of different management strategies of reducing watershed nutrient loads.

Keywords: Eutrophication, Water temperature, Phosphorus load, Dam reservoir, CE-QUAL-W2 model.

1- Former M.S.C Student, Department of Civil Engineering, Razi University
2- Former M.S.C Student, Department of Environmental Engineering, Islamic Azad University of Science and Research of Tehran
3- Former M.S.C. Student, Department of Water Engineering, Ferdowsi University of Mashhad
4- Associated Professor, Department of Water Engineering, College of Agriculture Ferdowsi University of Mashhad
(*Corresponding Author Email m.shiasi@gmail.com)