Archive of SID

تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال دهم، شماره ۱، بهار و تابستان۱۳۹۳
Volume 10, No. 1, Spring and Summer 2014 (IR-WRR)
۳۹-۵۰

شناسایی رفتار کیفی مخازن سطحی در صورت تزریق ناگهانی بار آلاینده

محسن علی حمزه[۱] و محمود محمد رضاپور طبری[۲*]

چکیده

بروز بار آلاینده ناگهانی در منابع آب به هر یک از دو صورت تصادفی و انسان‌ساخت باعث ایجاد بحران می‌گردد. به طور مثال ورود بار آلاینده MTBA در سد قشلاق سنندج، وارد شدن ناگهانی بار آلاینده مشتقات نفتی در رودخانه زاینده‌رود و همچنین در رودخانه کرخه، نمونه‌ای از این قبیل بحران‌ها می‌باشد. هدف از تحقیق حاضر ارزیابی و شبیه‌سازی رفتار کیفی مخزن در شرایط ورود بار آلاینده ناگهانی می‌باشد که می‌تواند در مواجهه با بحران‌های کیفی به مدیران و تصمیم‌گیران در اتخاذ سیاست‌های کارا کمک نماید. در این مقاله با استفاده از نسخه سوم نرم‌افزار شبیه‌سازی کیفی دو بعدی میانگین عرضی (CE-QUAL-W2)، مدل شبیه‌سازی مخزن سد کرج تهیه شده و آلودگی بیولوژیکی با شاخص کلیفرم به عنوان بار آلاینده ناگهانی در نظر گرفته شد. سپس با در نظر گرفتن عوامل دخیل بر چگونگی پخش، جابه‌جایی و زوال کلیفرم، پنج سری سناریوی مختلف که شامل گزینه‌های مختلف نرخ زوال کلیفرم، حجم آب ذخیره مخزن، محل ورود بار آلاینده، دمای آب، آبدهی ورودی به مخزن و نرخ ته‌نشینی کلیفرم می‌باشد، برای ۱۲ ماه سال تولید شد. بر اساس سناریوی‌های تعریف شده، میزان تأثیر هر یک از عوامل بر رفتار آلودگی بررسی گردید. نتایج نشان می‌دهد که محل ورود بار آلاینده تأثیر زیادی در میزان بیشینه غلظت آلودگی خروجی از سد و دوره بحران ناشی از آن دارد. به طوری که غلظت آلودگی خروجی و دوره بحران ناشی از ورود بار آلاینده در یک‌سوم پایینی مخزن به ترتیب ۱۵ برابر غلظت آلودگی خروجی و ۲ برابر دوره بحران ناشی از ورود بار آلاینده در یک سوم بالایی مخزن است.

کلمات کلیدی: شبیه‌سازی کیفی، آلودگی ناگهانی بیولوژیکی، کلیفرم، بحران، بهره‌برداری از مخزن.

تاریخ دریافت مقاله: ۳۰ بهمن ۱۳۹۱
تاریخ پذیرش مقاله: ۲۳ مرداد ۱۳۹۲

۱- کارشناس ارشد منابع آب، شرکت مهندسین مشاور ری‌آب، تهران، ایران
۲- استادیار گروه عمران، دانشکده فنی دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران
*- نویسنده مسئول

Qualitative Behavior Identification of Surface Reservoir in Case of Sudden Injection of Contaminant Load

M. Alihamzeh [1] and
M. Mohammad Rezapour Tabari [2]*

Abstract

Sudden contaminant load in water resources either man made or in circumstantial process causes crisis. Appearance of MTBE contaminant load in Geshlagh Dam in Sanandaj city, entering the sudden contaminant load of oil determinatives into Zayandehrood River and Karkhe River are examples of such crisis that have occurred in Iran. The purpose of this study is evaluating and simulation of reservoir quality behavior in case of sudden contaminant load. This can help the managers and planners in selecting the applicable policies in the situation of quality crisis. In this paper, Karaj Dam reservoir simulation model has been created by the third version of two-dimensional mean transverse (CE-QUAL-W2) and a biological contaminant with coliform index has been considered as a sudden contaminant load. By considering the factors affecting the behavior of advection, dispersion, diffusion, and deterioration of coliform, five different scenarios have been created for 12 months of the studied year. These included coliform deterioration rate, the effect of reservoir water storage volume, contaminant load input location, the effect of water temperature, discharge into the reservoir, and the coliform sediment rate. Based on the defined scenarios, the rate of influences of each abovementioned factor on the behavior of pollutant has been investigated. The result shows that the input location of the contaminant load has a severe effect on the maximum output contaminant and crisis period. Therefore entering the contaminant load at the lower third of reservoir comparing to those of at the upper third of the reservoir has 15 times more output contaminant and the crisis period due to entering the contaminant load at the lower one third of the reservoir is two times of the crisis period due to entering the contaminant load at the upper one third of the reservoir.

Keywords: Quality simulation, Biological suddenly contaminant, Coliform, Crisis, Reservoir operation.

Received: February 18, 2013
Accepted: August 14, 2013

1- M.Sc of Water Resources Management, RayAb Consulting Engineering, Tehran, Iran.
2-Assistant Prof., Dep. of Engineering, Shahrekord University, Shahrekord, Iran, E-mail: mrtabari@eng.sku.ac.ir
*- Corresponding Author

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

آب‌های سطحی، رودخانه‌ها و مخازن سدها به عنوان یکی از اصلی‌ترین منابع تأمین نیازهای شرب کشور به شمار می‌روند. با عنایت به این که آب شرب، مورد مصرف تمام انسان‌ها می‌باشد، لذا کوچکترین تغییری در کیفیت آن می‌تواند تأثیرات گسترده‌ای را ایجاد نماید. به همین دلیل منابع و تأسیسات برداشت، انتقال، تصفیه و توزیع آب از مهمترین مراکز سیاسی و اقتصادی کشور به شمار می‌آیند و تداوم توسعه اقتصادی- اجتماعی را در سطح ملی و بین‌المللی تضمین می‌نمایند. از این رو تهیه و ارایه یک سیستم مدیریتی برای پیش‌بینی رفتار و جلوگیری از آلودگی بیش از حد محیط، بر اساس سیستم پایش و ارزیابی مستمر کیفی و بهره‌گیری از مدل‌های ریاضی مناسب جهت شبیه‌سازی کیفی و پیشنهاد سناریوهای مدیریتی مناسب می‌تواند ضامن کنترل کیفیت محیط باشد. ضرورت سالم نگه‌داشتن آب آشامیدنی و آماده بودن در شرایط بحرانی در این زمینه بر هیچکس پوشیده نیست. از طرفی نحوه برخورد با سناریوهایی که منجر به بحران کیفی می‌گردند و حداقل نمودن صدمات ناشی از بروز آلودگی‌های ناگهانی از بایستگی‌های مدیریت بحران در زیرساخت‌های کشور است. ورود آلودگی‌های ناگهانی به پیکره‌های آبی امری اجتناب‌ناپذیر است که به طریق‌های مختلف می‌تواند وارد منابع آب گردد که به عنوان نمونه برخی از تهدیدات و بحران‌های کیفی آب که در جهان و ایران رخ داده عبارتند از: آلوده نمودن منابع آب شهر کوزوو توسط صرب‌ها در سال ۱۹۹۹میلادی، آلودگی آب در سد قشلاق سنندج در اثر واژگونی کامیون حاوی مشتقات نفتی در سال ۱۳۸۲ شمسی، آلودگی آب رودخانه زاینده‌رود در اثر ترکیدن لوله خط انتقال نفت و انتشار مواد نفتی در بالادست سد چم‌آسمان و آلوده شدن رودخانه کرخه در اثر نشت حجم وسیعی از مواد نفتی در سال ۱۳۸۷ شمسی. لذا مدل‌سازی کیفی سیستم رودخانه و مخزن و پیش‌بینی رفتار آن در چنین شرایطی، می‌تواند ابزار مناسبی را برای تحلیل عکس‌العمل سیستم در مقابل آلاینده‌های ناگهانی و ضرورت یا چگونگی اعمال برنامه‌های مدیریتی، در اختیار کارشناسان قرار دهد. بررسی سوابق مطالعاتی صورت گرفته حاکی از تحقیقات وسیع انجام شده در جنبه‌های مختلف مرتبط با کیفیت آب مخازن می‌باشد. در این بخش روند مطالعات صورت گرفته در این خصوص ارائه می‌گردد. مطالعات اولیه مرتبط با شبیه‌سازی رفتار حرارتی دریاچه‌های عمیق را می‌توان به کار Orlob and Selna (1970) نسبت داد. در این مطالعه، انتقال انرژی در عمق آب لایه‌بندی شده با چهار فرآیند انتقال همرفت، تابش مستقیم آفتاب، انتقال در اثر سرد شدن سطح و پخش مؤثر که معرف انتقال در تودهٔ آب بود، در مخزن فونتانا مدل شد.

Labadie et al. (1985) مدل لایه‌بندی حرارتی یک بعدی مخزن Westex را با یک مدل بهینه‌سازی پویا تحت عنوان OSDP[1] ترکیب کردند. هدف از این تحقیق، تعیین محل خروجی‌های سد برای دسترسی به دمای آب مطلوب در پایین‌دست بود و تأمین نیازهای کمی به طور مجزا مورد توجه قرار گرفت. با توجه به ضرورت شبیه‌سازی مخازن با استفاده از کدهای کامپیوتری، در دهه نود، اولین نسخه مدل شبیه‌سازی کیفی مخازن CE-QUAL-W2 ایجاد گردید که بر این اساس مطالعات زیادی توسط این نرم‌افزار جهت ارزیابی شرایط کیفی مخازن صورت گرفته است. Lence and Takyi (1992) جهت کاهش اثرات نامطلوب زیست‌محیطی ناشی از تخلیه پساب نیروگاه‌های حرارتی در رودخانه، سیاست‌های بهره‌برداری از مخازن بالادست را به صورتی تدوین نمودند که رقیق‌سازی جریان رودخانه پایین‌دست در حد مطلوبی قرار گیرد.

Adam et al. (1993) در یک طرح تحقیقاتی مدل دینامیکی کیفیت آب رودخانه کوبرلند را تهیه کردند. Risley (1997) با استفاده از مدل CE-QUAL-W2 تغییرات دمای رودخانه توالاتین در ایالت ارگان آمریکا را با عوامل طبیعی و انسان‌ساخت مورد مطالعه قرار داد. پس از تولید نسخه سوم نرم‌افزار CE-QUAL-W2، Anner and Wells (2002) از این نسخه برای مدل کردن دما در یک سیستم رودخانه و مخزن استفاده نمودند. Bowen and Heironymuas (2003) در یک کار تحقیقاتی گسترده بر روی رودخانه و خور نئوس در ایالت کارولینا عملکرد سه مدل مختلف کیفی را مورد ارزیابی و سنجش قرار دادند و در نهایت مدل CE-QUAL-W2 به عنوان مدل برتر برای این کار شناسایی شد و رفتار این پیکرهٔ آبی را برای یک دورهٔ ۴۳ ماهه شبیه‌سازی نموده و مورد ارزیابی قرار دادند.

شرکتی آذین (۱۳۸۲) با استفاده از نرم‌افزار CE-QUAL-W2 روند نفوذ شوری را در رودخانه اروند مدل‌سازی کرده و جواب‌های حاصل را با مدل‌های تجربی مقایسه کرد. Waldon (2005) مدلی به نام R-TOT، جهت بررسی زمان انتقال آب برای رودخانه می‌سی‌سی‌پی ایجاد نمودند و به بررسی رفتار بار آلاینده پیوسته و ناگهانی در این رودخانه پرداخت. بر اساس شبیه‌سازی انجام شده در این مدل، قابلیت پیش‌بینی زمان انتقال بار آلاینده در طول مسیر رودخانه مشخص شد. رستم‌افشار و همکاران (۱۳۸۵) یک مدل کمی- کیفی برای سیستم رودخانه- مخزن سد کرخه به منظور مدل‌سازی کل جامدات محلول[2] به‌عنوان بار آلایندهٔ تصادفی توسط نرم‌افزار CE-QUAL-W2 ایجاد نمودند. بررسی وضعیت لایه‌بندی حرارتی

www.SID.ir

Archive of SID

در مخازن متوالی توسط زرگرپور و همکاران (۱۳۸۶) صورت گرفت. در این تحقیق اثر مخازن بالادست بر روی وضعیت لایه‌بندی مخازن پایین‌دست در مخازن کارون ۱، ۲ و ۳ بررسی گردید. نتایج نشان می‌دهد روند تغییرات لایه‌بندی در مخازن بالادست طبیعی و عادی است.

همچنین Mays (2004) تحقیقاتی بر روی انواع آلودگی‌های بیولوژیکی انجام دادند. Lopez et al. (2009) با استفاده از مدل شبیه‌سازی اثر شکست یک سد با کاربری انباشت مواد معدنی را بر روی حوضه آبریز هولوا بررسی نمودند. Hi et al. (2011) به بررسی راه‌های توسعه و کاربرد پاسخ سریع به آلودگی آب در سد تری گرجز[۳] پرداختند. آنها با فرض اینکه در محدوده این سد و حوضه آبریز بالادست آلودگی تصادفی اعم از آلودگی‌های نفتی یا شیمیایی وارد این سد گردد، مطالعات خود را با استفاده از یک مدل کیفی و همچنین استفاده از GIS و برنامه ویژوال بیسیک به اجرا درآوردند. آنها بار آلاینده را برابر با ۱۰ تن فنل که در یک بازه دو ساعته درون رودخانه بالادست مخزن رها می‌شود، در نظر گرفتند. نتایج حاصله نشان داد که با استفاده از این مدل می‌توان در پیش‌بینی محل فراگیر آلودگی و ادامه رفتار آلودگی در مخزن کمک گرفت. Zhang et al. (2011) سیستم پایش سریع و مدیریتی را برای آلودگی‌های تصادفی در حوضه آبریز نینگ‌بو مورد مطالعه قرار دادند. این سیستم پایش سریع بیولوژیکی بر پایه پایش فیزیکی تهیه گردیده بود و در شش ایستگاه پایش در نظر گرفته شد. این سیستم به صورت آنلاین قابلیت ارسال مشاهدات و اعلام هشدار جهت تصمیم‌گیری کاربران را داشت. Bi and Si (2012) به بررسی ارزیابی ریسک پویا با فرض سناریو افتادن مواد نفتی در سد تری‌گرجز بر پایه شبیه‌سازی عددی نمودند.

در این تحقیق خسارات ناشی از این سناریو که شامل خسارات زیست‌محیطی، خسارات مالی، تأثیرات سلامت و اجتماعی است، مورد بررسی قرار گرفت. اثرات این سناریو آنقدر که تصور می‌شد فاجعه‌انگیز برآورد نگردید که از علل آن انتقال آرام نفت در سطح آب، رفتار شبه استاتیک سیال و باد مؤثر بسیار ملایم و همچنین وضعیت صنعتی و کشاورزی و همچنین اورژانس در محدوده مورد مطالعه بود. با بررسی مطالعات گذشته به نظر می‌رسد مطالعات کیفی با گذر زمان اهمیت دوچندانی پیدا نموده است و مطالعات کمی- کیفی جایگاه خاصی در تحقیقات صورت گرفته داشته است. از طرفی بررسی بروز آلودگی به صورت ناگهانی در رودخانه و مخزن نیز به عنوان یکی از سناریوهایی که از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد، مورد توجه بوده است. در این میان روندیابی آلودگی در رودخانه بیشتر از نحوه رفتار آلودگی درون مخزن مورد مطالعه قرار گرفته است. همچنین مطالعات کمتری بر روی آلاینده‌های بیولوژیکی صورت گرفته است. بر این اساس در این تحقیق به بررسی نحوه رفتار آلودگی ناگهانی از نوع بیولوژیکی در مخازن پرداخته شده است.

۲- موارد و روش‌ها

عوامل مختلفی بر کیفیت آب خروجی از مخزن مؤثر می‌باشند. از این عوامل می‌توان به لایه‌بندی حرارتی مخزن و پدیده‌های جابه‌جایی و پخش اشاره کرد. مدیریت کیفی مخازن و دریاچه‌ها، عموماً از طریق کنترل آلودگی‌های ورودی، تغییر رژیم هیدرولیکی، تغییر وضعیت فرآیندهای شیمیایی و بیولوژیکی داخل مخزن و برداشت انتخابی از لایه‌های مختلف صورت می‌گیرد. لایه‌بندی حرارتی و کیفی آب مخازن و دریاچه‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد و موجب تغییر کیفیت آب در اعماق مختلف می‌گردد. بنابراین تراز برداشت آب، در کیفیت آب خروجی و کیفیت آب موجود در مخزن مؤثر است. نرم‌افزار CE-QUAL-W2 یک برنامه دوبعدی است که هیدرودینامیک و کیفیت آب پیکره‌های آبی را در دو راستای قائم و طولی (میانگین جانبی[۴]) مدل می‌نماید. به لحاظ هیدرودینامیک، این نرم‌افزار می‌تواند تغییرات تراز سطح آب، سرعت و دما را پیش‌بینی کند. علاوه بر دما، در نسخه ۳/۵ این برنامه، متغیرهای کیفی زیادی از جمله پارامترهای عمومی کیفی با نرخ زوال مرتبه صفر و یک و یا سرعت ته‌نشینی[۵] مشخص برای تعریف ردیاب‌های پایستار، زمان ماند هیدرولیکی یا عمر آب، باکتری‌های کلیفرم، آلاینده‌ها، گروه‌های جامدات معلق غیرآلی و بیش از ۶۰ پارامتر دیگر کیفی گنجانده شده است (Cole and Wells, 2006).

۲-۱- ساختار مدل ارزیابی و شبیه‌سازی پاسخ‌های کیفی مخزن

جهت بررسی وضعیت کیفی مخزن پس از ورود بار آلودگی ناگهانی، ساختار ارائه شده در شکل ۱ جهت شبیه‌سازی وضعیت کیفی مخزن ارائه گردید. مطابق این شکل، پس از مقایسه میان کارایی، سرعت و دقت مدل‌های شبیه‌سازی و انتخاب مدل مورد نظر، داده‌های مورد نیاز اعم از داده‌های هواشناسی، هیدرولوژیکی و هیدروگرافی جمع‌آوری و تولید گردید و مدل ساخته شد. پس از ساخت مدل شبیه‌سازی، کالیبراسیون هندسه مخزن مدل با هندسه واقعی مخزن انجام گردید و پس از آن پروفیل لایه‌بندی حرارتی مخزن، خروجی از مدل با نتایج نمونه‌برداری‌های انجام شده کالیبره گردید. لازم به ذکر است در صورت وجود داده‌های اندازه‌گیری شده لازم است صحت‌سنجی مدل جهت شبیه‌سازی در شرایط واقعی صورت گیرد.

www.SID.ir

Archive of SID

در این مطالعه بدلیل عدم وجود داده‌های واقعی تنها به کالیبراسیون مدل بسنده شد. پس از آن فرضیاتی برای مقادیر ۶ عامل مؤثر در رفتار کیفی مخزن در نظر گرفته شد و مدل شبیه‌سازی برای تمامی فرضیات در ۱۲ ماه سال شمسی اجرا گردیده و میزان آلودگی خروجی مخزن مورد بررسی قرار گرفت.

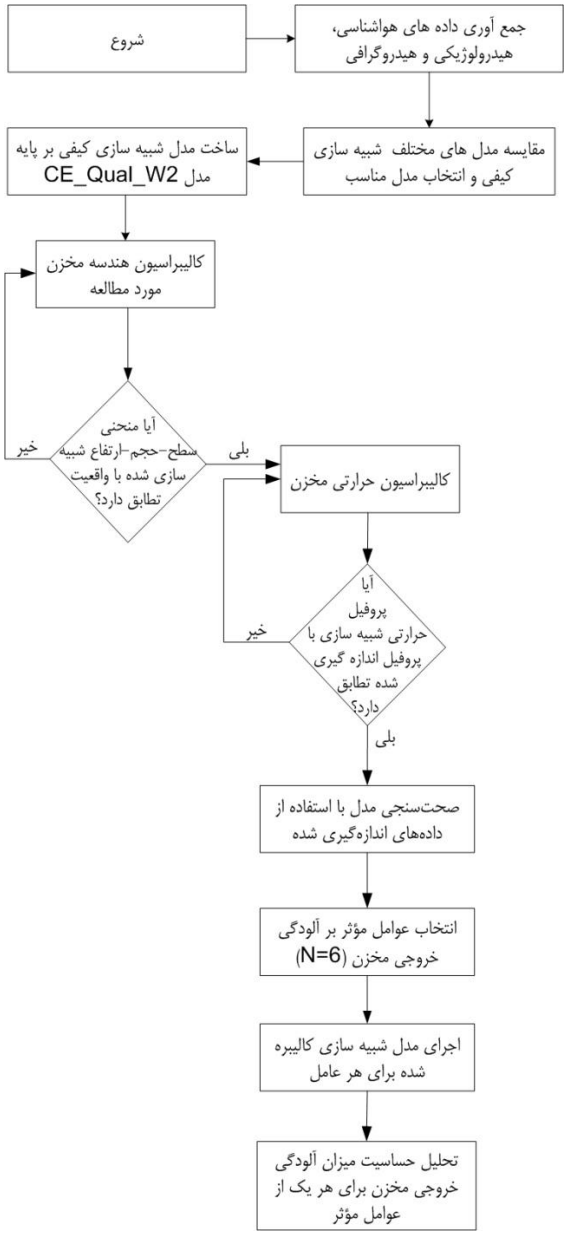
۲-۱-۱- فرضیات مدل‌سازی

سناریو آلودگی مورد نظر، ورود بار آلاینده به صورت ناگهانی و متمرکز در مخزن سد می‌باشد. بار آلاینده از نوع آلودگی بیولوژیکی با شاخص کلیفرم می‌باشد. کلیفرم هیچ‌گونه واکنش فیزیکی و شیمیایی با سایر پارامترهای کیفی موجود در آب ندارد. در نتیجه جهت رویت بهتر روند جابه‌جایی و پخش کلیفرم شرایط اولیه مدل، عاری از هرگونه پارامتر آلودگی در نظر گرفته شده است. مدل CE-QUAL-W2 کلیفرم را بر اساس رابطه ۱ شبیه‌سازی می‌کند.

$$S_{col} = \underbrace{-k_{col}\theta^{(T-20)}\Phi_{col}}_{\text{سینتیک ساده مرتبه اول}} \underbrace{-\omega_{col}\frac{\partial \Phi_{col}}{\partial z}}_{\text{ته نشینی}} \qquad (۱)$$

که در آن θ، فاکتور دما (از دو برابر کردن نرخ واکنش برای هر ده درجه سانتیگراد افزایش دما به دست می‌آید)، T، دمای آب (^oC)، k_{col}، نرخ زوال باکتری در ۲۰ درجه سانتیگراد (sec-1)، Φ_{col}، غلظت کلیفرم، S_{col}، غلظت کلیفرم بر زمان، ω_{col}، سرعت ته‌نشینی (m/s) می‌باشد. واحد اندازه‌گیری کلیفرم MPN۶ است و مقدار آن در آب شرب باید صفر باشد. بر اساس استانداردهای خروجی فاضلاب ایران، غلظت مجاز کلیفرم کل ۱۰۰۰ (MPN) در ۱۰۰ میلی‌لیتر معادل MPN ۱۰۷ در هر متر مکعب تعیین گردیده است. در این تحقیق، بازه زمانی که در آن غلظت آلودگی خروجی از سد بیش از میزان فوق باشد، دوره بحران نامیده شده است.

جهت تحلیل حساسیت رفتار آلودگی، سناریوهای بروز آلاینده با شرایط زیر مورد ارزیابی قرار گرفته است، که شامل: ۱) نرخ زوال کلیفرم، ۲) حجم آب ذخیره مخزن، ۳) محل ورود بار آلاینده، ۴) آبدهی ورودی به مخزن و ۵) نرخ ته‌نشینی کلیفرم می‌باشد. از آن جا که رقوم سطح آب و حجم ذخیره مخزن و همچنین شرایط آب و هوایی در ۱۲ ماه سال متفاوت می‌باشد، سناریو بروز بار آلاینده در هر ۱۲ ماه سال، شبیه‌سازی و در ابتدای هر ماه شمسی در نظر گرفته شده است. جهت مقایسه نتایج سناریوهای فرض شده، یک سناریو پایه در نظر گرفته شده است.



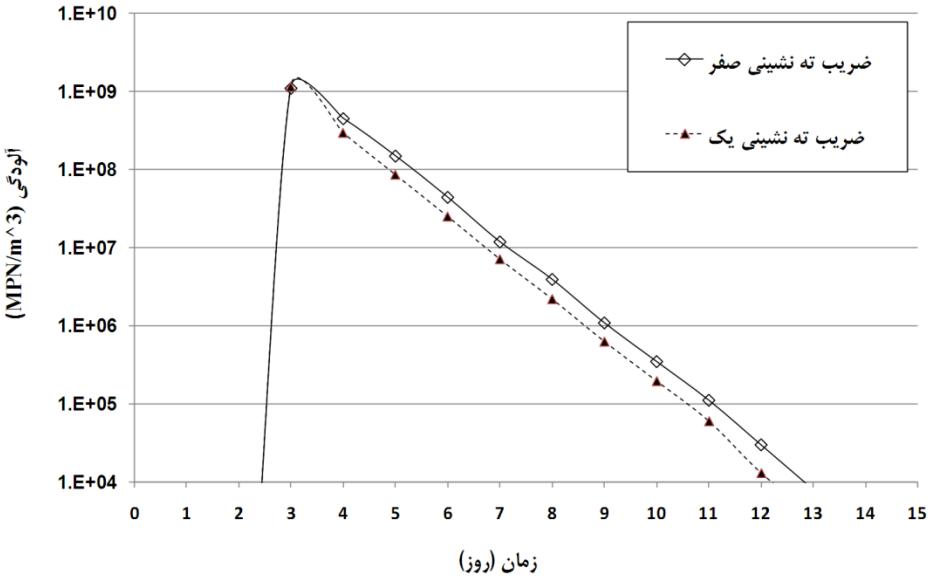
شکل ۱- ساختار مدل شبیه‌سازی جهت تحلیل پارامترهای مؤثر بر کیفیت آب خروجی مخزن

این سناریو همانند دیگر سناریوها در دوازده ماه اجرا شده است، به صورتی که در آن تنها عوامل مورد بررسی دستخوش تغییر می‌گردند و بقیه عوامل ثابت می‌مانند. در سناریو پایه میزان رهاسازی از مخزن برابر با رهاسازی واقعی در دوره شبیه‌سازی و میزان ورود بار آلاینده برابر با 10^{13} MPN در هر متر مکعب در نظر گرفته شده است. نرخ زوال کلیفرم برابر با ۱/۴ (بر روز) و ارتفاع دریچه خروجی سد در تراز دریچه خروجی برابر با ۱۶۶۰ متر بالاتر از سطح آزاد دریا در نظر گرفته شده است. حجم آب ذخیره مخزن برابر با حجم آب

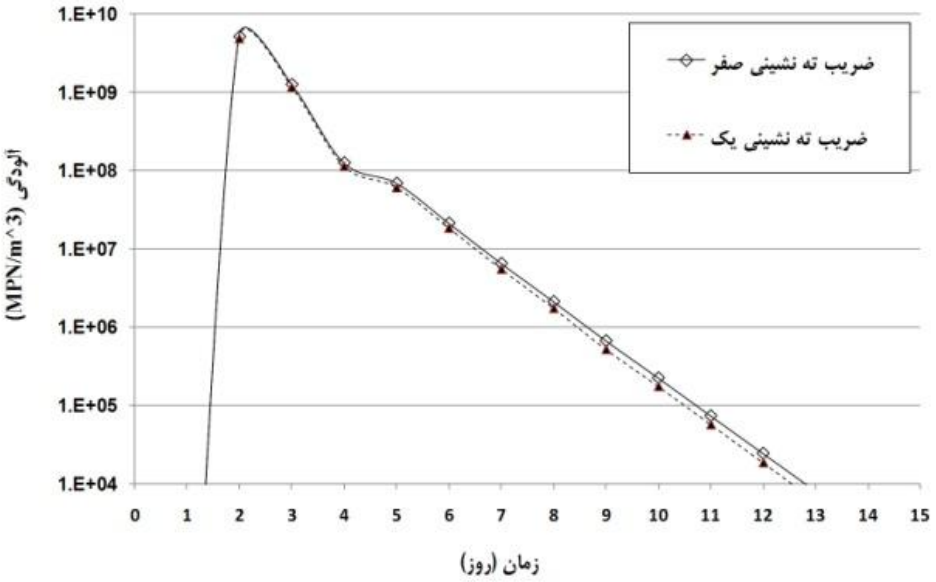
www.SID.ir

Archive of SID

ذخیره شده واقعی در مخزن در دوره شبیه‌سازی در نظر گرفته شده است. محل ورود بار آلاینده در قسمت میانی طولی دریاچه سد با فاصله ۲۵۰ متر از بدنه سد در نظر گرفته شده و میزان آبدهی ورودی به مخزن برابر با آبدهی واقعی در دوره شبیه‌سازی در نظر گرفته شده است. از آنجا که اطلاعاتی در خصوص نرخ ته‌نشینی کلیفرم در مخزن سد کرج در دسترس نبود، پس از واسنجی مدل که در ادامه توضیح داده شده است، ابتدا تحلیل حساسیتی به منظور تعیین اهمیت ترم ته‌نشینی در رابطه ۱ انجام گردید. به این منظور نرخ‌های ته‌نشینی صفر (به معنی حذف ترم ته‌نشینی در رابطه ۱) و نرخ ته‌نشینی یک (متر بر روز) در نظر گرفته شد و با هم مقایسه گردید. نتایج آنالیز نشان می‌دهد با در نظر گرفتن ترم ته‌نشینی، تفاوت ناچیزی در زوال کلیفرم ایجاد می‌شود. لذا به نظر می‌رسد، قسمت دوم رابطه ۱ یعنی قسمت ته‌نشینی کلیفرم در مخزن مورد مطالعه از اهمیت کمتری نسبت به عبارت زوال کلیفرم برخوردار است. شکل ۲ و شکل ۳ نتایج آنالیزهای انجام شده را برای دو فصل تابستان و زمستان نشان می‌دهد. بر این اساس نرخ ته‌نشینی در این مطالعه صفر در نظر گرفته شده است.



شکل ۲- نمودار آلودگی خروجی نسبت به عامل نرخ ته‌نشینی در ماه شهریور



شکل ۳- نمودار آلودگی خروجی نسبت به عامل نرخ ته‌نشینی در ماه اسفند

www.SID.ir

Archive of SID

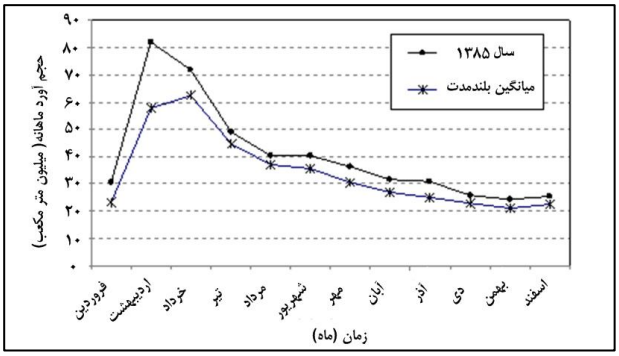
۳- مطالعه موردی

محدوده مورد مطالعه، مخزن سد امیرکبیر (کرج) به عنوان یکی از اصلی‌ترین منابع آب سطحی استان تهران در نظر گرفته شده است. این سد در ۶۳ کیلومتری شهر تهران و بر روی رودخانه کرج واقع در حوضه آبریز دریاچه نمک قرار دارد. مساحت حوضه آبریز سد امیرکبیر ۸۴۶ کیلومترمربع و متوسط رواناب سالانه حدود ۴۰۰ میلیون‌مترمکعب می‌باشد. این سد از نوع بتنی دو قوسی با حداکثر ارتفاع ۱۸۰ متر از پی می‌باشد. مساحت دریاچه در حداکثر رقوم آب معادل ۴ کیلومترمربع است. مشخصات سرریزها و خروجی‌های سد امیرکبیر در جدول ۱ ارائه شده است.

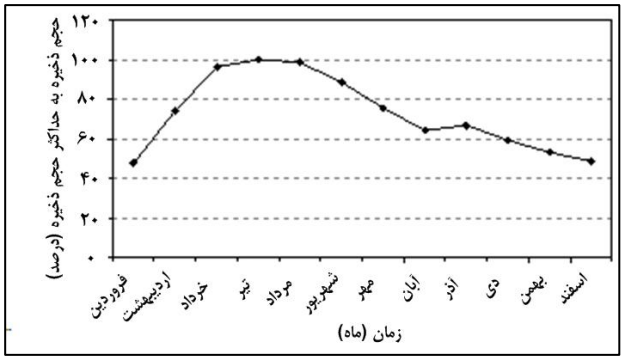
جدول ۱- مشخصات سرریزها و خروجی‌های سد امیرکبیر (شرکت مهندسین مشاور ری‌آب، ۱۳۸۶)

مشخصه	مقدار
تعداد سرریز	۲
نوع سرریز	اوجی[۷]
تراز کف سرریز	۱۷۵۷
تراز بالای سرریز	۱۷۶۵
تعداد دریچه خروجی آب	۲
نوع دریچه‌های خروجی آب	دریچه[۸]
تراز دریچه‌های خروجی عمقی	۱۶۶۰
تراز آبگیری توربین	۱۷۰۰

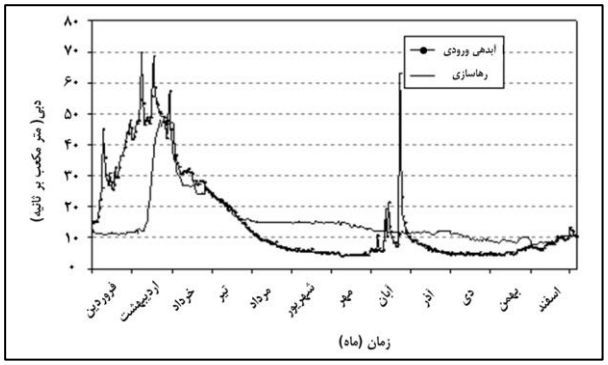
داده‌های موجود آب‌سنجی در محل مورد مطالعه برابر با ۲۱ سال، مربوط به سال‌های ۱۳۶۵ تا ۱۳۸۶ است. داده‌های هواشناسی نیز از سال ۱۳۳۲ تا سال ۱۳۸۵ موجود می‌باشد. با توجه به دسترسی داده‌های موجود اعم از داده‌های آب‌سنجی و هواشناسی در سال ۱۳۸۵ و همچنین بنا بر آزمایشات کیفی صورت گرفته در این سال، در این تحقیق جهت دقت بیشتر در ساخت و واسنجی مدل، دوره مدل‌سازی در سال ۱۳۸۵، به صورت سال کامل ۳۶۵ روزه از اول فروردین ۱۳۸۵ تا ۲۹ اسفند ۱۳۸۵ شبیه‌سازی شده است. در این مطالعه با استفاده از آخرین نقشه هیدروگرافی مخزن سد کرج برای مدل‌سازی فیزیکی مخزن تعداد بازه[۹] ۳۸ عدد (شامل دو بازه مرزی) و تعداد لایه‌ها با توجه به عمق مخزن برابر با ۴۶ لایه با عمق‌های یک، پنج و ده متری (شامل دو لایه مرزی) انتخاب شدند. انتخاب عمق متفاوت لایه‌ها به جهت افزایش سرعت اجرای مدل بوده است و فاصله مناسب از لایه حرارتی ترموکلاین برای لایه‌های با عمق بالا مورد توجه بوده به طوری که عمق کمتر برای لایه‌های بالایی مخزن و عمق بیشتر برای لایه‌های پایینی مخزن لحاظ شده است. طول مخزن در راستای خط القعر ۸۵۵۹ متر در نظر گرفته شده است. لازم به ذکر است طول بازه‌ها متغیر بوده و با توجه به ساختار فیزیکی مخزن سد در نظر گرفته شده است. نمودار مقایسه‌ای حجم آورد متوسط ماهانه در سال ۱۳۸۵ با میانگین حجم آورد بلندمدت مخزن، مطابق شکل ۴ است. شکل ۵، درصد حجم آب ذخیره مخزن در دوره شبیه‌سازی را به حجم کل مفید مخزن سد نشان می‌دهد و در شکل ۶ آورد و رهاسازی روزانه مخزن ارائه شده است.



شکل ۴- حجم آورد ماهانه بلندمدت و در دوره شبیه‌سازی



شکل ۵- درصد آب ذخیره درون مخزن در دوره شبیه‌سازی



شکل ۶- آورد و رهاسازی مخزن سد امیرکبیر در دوره شبیه‌سازی

www.SID.ir

Archive of SID

۴- ارائه نتایج

بر پایه فرضیات تشریح شده، مدل مخزن سد کرج بر پایه نرم‌افزار CE-QUAL-W2 ایجاد و واسنجی گردید. برای واسنجی هندسی مدل، اختلاف منحنی سطح- حجم- ارتفاع مدل شبیه‌سازی و منحنی حجم- سطح- ارتفاع شرایط واقعی و همچنین مقایسه تراز سطح آب روزانه مخزن در مدل‌شبیه‌سازی و شرایط واقعی بررسی شد. سپس پروفیل دمای آب شبیه‌سازی شده با پروفیل‌های دمای آب اندازه‌گیری شده در مناطق خاص مورد بررسی و تطابق قرار گرفت. نتایج واسنجی نشان از اختلاف ناچیز میان مدل شبیه‌سازی و شرایط واقعی می‌باشد. در شکل ۷ لایه‌بندی حرارتی مشاهداتی و نمونه‌برداری برای فصل تابستان در ماه مرداد و همچنین برای فصل زمستان در ماه بهمن نشان داده شده است. اندازه‌گیری حرارتی مخزن در ۱۵ مرداد و ۱۵ بهمن در نزدیکی دیواره سد با استفاده از دستگاه CTD در بازه‌های یک متری از سطح دریاچه تا کف دریاچه اندازه‌گیری شده است. با مقایسه داده‌های لایه‌بندی حرارتی نمونه‌برداری و مدل‌سازی شده میزان مجموع مربعات خطا برای ماه مرداد برابر با ۰/۷۸ و در ماه بهمن برابر با ۰/۵۵ به دست آمده است. پس از واسنجی نیاز است صحت‌سنجی مدل انجام گردد. ولی با توجه به فقر داده‌ها و عدم وجود داده‌ی مناسبی جهت صحت‌سنجی مدل امکان صحت‌سنجی مدل وجود نداشت و مدل واسنجی شده به عنوان مدل نهایی در نظر گرفته شد. همانگونه که در شکل ۷ لایه‌بندی حرارتی را در چهار فصل سال را نشان داده شده است در فصل بهار و تابستان لایه‌بندی حرارتی تابستانه دیده می‌شود به گونه‌ای که با افزایش عمق آب دمای آب کاهش می‌یابد. با این تفاوت که در فصل بهار لایه حرارتی ترموکلاین نسبت به فصل تابستان در فاصله کمتری از سطح آب قرار دارد. در فصل پاییز، اختلاط کامل در مخزن دیده می‌شود و در فصل زمستان این اختلاط به صورت جزیی به چشم می‌خورد. پس از واسنجی مدل، هر یک از سناریوهای مورد بررسی با نتایج سناریو پایه مقایسه و نتایج به دست آمده مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌اند. جهت ارایه نتایج در هر تحلیل انجام شده نتایج دو فصل که بیشترین و کمترین تاثیر تغییرات آن پارامتر در آن فصول رخ داده است جهت ارایه انتخاب و با هم مقایسه شدند.

زوال کلیفرم به صورت سینتیک مرتبه اول مدل‌سازی می‌گردد. نرخ زوال کلیفرم متفاوت است و لازم است با توجه به شرایط مورفولوژی، آب و هوایی، هیدرولوژیکی و هیدرودینامیکی مورد ارزیابی قرار گیرد و در فصول مختلف سال با استفاده از آزمایش‌های شیمیایی میزان زوال کلیفرم مشخص گردد. بنابر گستردگی آلودگی‌های بیولوژیکی، نـرخ‌های مختلف زوال کلیفـرم در نظر گـرفته شده است. بر اسـاس مطالعات پیشین انجـام شده در مناطق مختلف آمریکا (ترابیان و هاشمی، ۱۳۸۱) نرخ زوال برابر با سه مقدار ۰/۵، ۱/۴ و ۲/۵ (بر روز) در نظر گرفته شد. در این مطالعه با توجه به نبود اطلاعات اندازه‌گیری شده، نرخ زوال در نظر گرفته شده به صورت استاتیک در مدل دیده شده و جرم کلیفرم ثابت فرض شده است. شکل ۸ نحوه خروج آلودگی از سد را برای سه نرخ زوال در نظر گرفته شده، در فصل بهار و پاییز نشان می‌دهد. با توجه به اهمیت تعیین بازه بحران کیفی برای شرایط واقعی اعمال نرخ زوال کلیفرم، که ممکن است مقادیر متفاوتی از آنچه که در مقادیر حدی در نظر گرفته شده است باشد، در این مطالعه اقدام به استخراج رابطه‌ای بین بازه بحران کیفی و نرخ زوال کلیفرم گردید. در واقع این رابطه تخمینی از دوره زمانی که مخزن می‌تواند در صورت ورود ناگهانی بار آلاینده در شرایط بحران کیفی قرار گیرد ارائه می‌نماید و راهنمای مناسبی را برای بهره‌برداران از مخزن ایجاد می‌نماید. بر این اساس، نتایج حاصل از اجرای این سناریو در ۱۲ ماه سال با برازش داده‌های نتایج به دست آمده (شکل ۹) از مدل‌سازی میان نرخ زوال کلیفرم و بازه بحران برای دوازده ماه سال رابطه‌ای خطی با رابطه (۲) با R^2 برابر با ۰/۹۲ به دست آمد.

$$T = -5.2965R_{col} + 13.927 \qquad (۲)$$

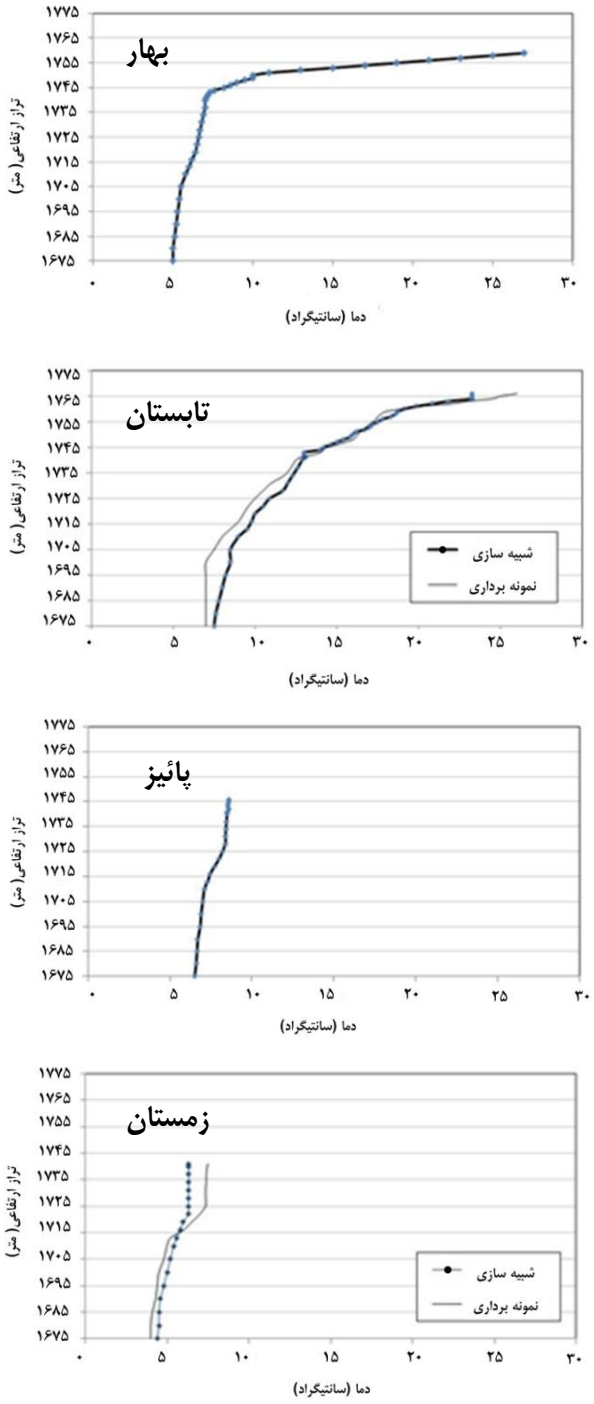
در این رابطه T، بازه بحران (روز) و R_{col}، میزان نـرخ زوال کلیفرم (بر روز^{۱۰}) می‌باشد. با توجه به شکل ۹ می‌توان دریافت که تعیین بازه بحران بر اساس نرخ زوال کلیفرم به صورت تقریبی و احتمالاتی می‌باشد و نمی‌توان یک مقدار دقیق را ارائه نمود. در واقع این رابطه تخمینی از بازه بحران را جهت مدیریت بهره‌برداری در شرایط بحران کیفی بیان می‌نماید. با توجه به بررسی‌های انجام شده در خصوص حجم ذخیره مخزن، نتایج نشان می‌دهد این عامل در غلظت آلودگی خروجی از سد بسیار تأثیرگذار است. همچنین کمترین تغییرات در بیشترین میزان غلظت آلودگی خروجی با تغییر در حجم مخزن در فصل تابستان رخ می‌دهد که با کاهش و افزایش ۲۵٪ حجم مخزن، میزان متوسط افزایش غلظت آلودگی خروجی به ترتیب ۲ برابر و نصف می‌شود.

این حالت بدلیل پر بودن نسبی مخزن و همچنین بالا بودن نرخ زوال کلیفرم در این فصل نسبت به سایر فصول کمترین تغییرات در بیشترین میزان غلظت آلودگی خروجی رخ می‌دهد. مقادیر ارائه شده تحت عنوان حساسیت بیشینه غلظت آلودگی خروجی به تغییر حجم مخزن به خصوصیت فیزیکی، وضعیت هیدرولوژیکی جریان ورودی به مخزن مورد بررسی و خروجی از آن وابسته است و این اعداد برای هر سدی می‌تواند متفاوت باشد و به طور قطع نمی‌تواند دلیل

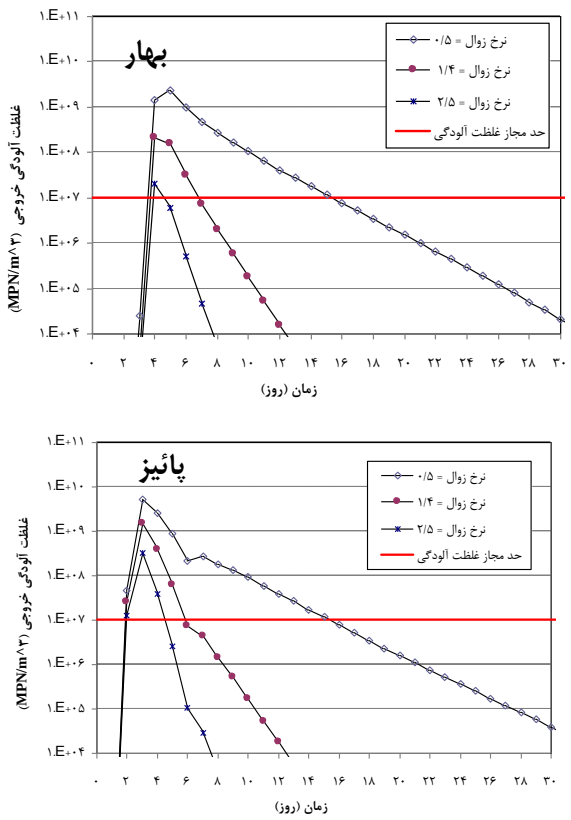
www.SID.ir

Archive of SID

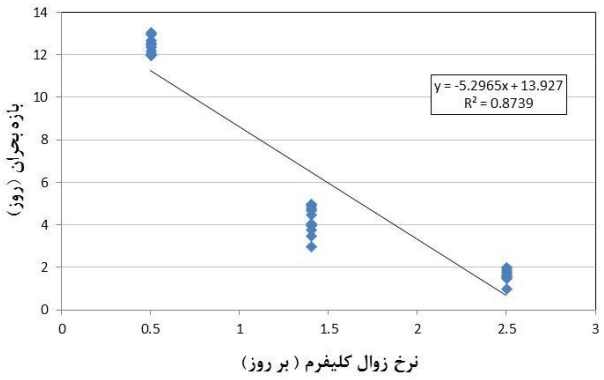
مشخصی برای آن ارائه نمود. همچنین بیشترین تفاوت در غلظت آلودگی خروجی در بهار می‌باشد که با کاهش ۲۵٪ حجم مخزن، میزان تغییرات غلظت آلودگی در حدود ۱۰ تا ۱۵ برابر برآورد شده است.



شکل ۷- تغییرات عمقی دما در مخزن سد کرج



شکل ۸- نمودار آلودگی خروجی از مخزن بر اساس نرخ‌های زوال متفاوت



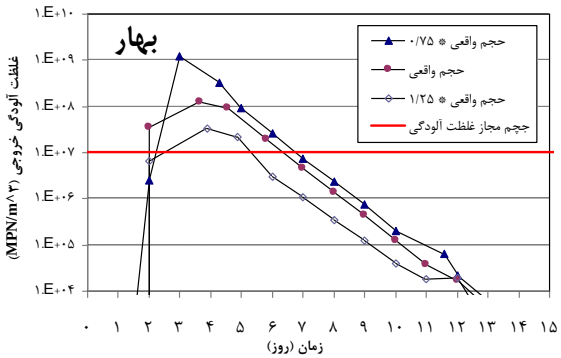
شکل ۹- رابطه بین نرخ زوال کلیفرم و بازه بحران

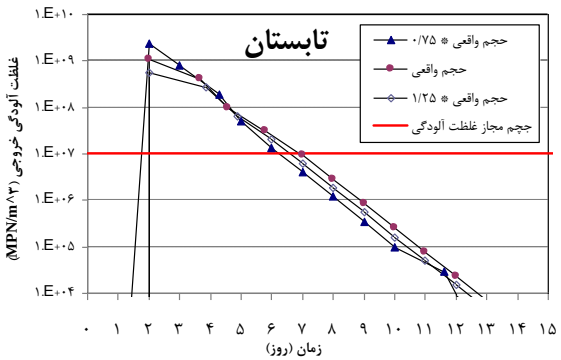
در این فصل به دلیل پایین بودن حجم مخزن نسبت به فصل تابستان و همچنین وجود لایه‌بندی حرارتی و برداشت آب از لایه زیرین (هایپولیمنیون[11])، بر اساس سناریوی فرض شده، بیشترین تغییرات غلظت در بیشینه آلودگی خروجی از مخزن رخ می‌دهد (شکل ۱۰). لازم به ذکر است مصارف دیده شده برای سد کرج صرفاً جهت تخصیص به نیازهای شرب و زیست‌محیطی بوده و هیچ گونه تخصیصی برای بخش کشاورزی برای آن در نظر گرفته نشده است.

www.SID.ir

Archive of SID

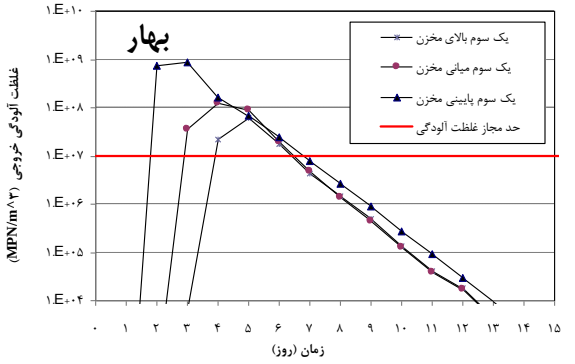
همچنین مطابق شکل ۶، میزان برداشت در ماه مرداد نسبت به ماه پیک (اردیبهشت‌ماه) متعادل‌تر می‌باشد و نسبت به سایر ماه‌ها دارای روند نسبتا مشابهی می‌باشد. جهت بررسی وابستگی محل بروز بار آلاینده و غلظت آلودگی خروجی، مخزن مورد مطالعه به سه قسمت بالایی، میانی و پایینی تقسیم شده است. با بررسی انجام شده در خصوص محل ورود بار آلاینده نتایج به دست آمده نشان می‌دهد، محل ورود بار آلاینده در غلظت آلودگی خروجی از مخزن مؤثر است (شکل ۱۱). نتایج به دست آمده نمایانگر در حدود ۱۵ برابر شدن بیشینه آلودگی خروجی از مخزن در شرایط ورود بار آلاینده در قسمت یک‌سوم پایینی مخزن نسبت به ورود بار آلاینده در قسمت یک‌سوم بالایی می‌باشد. بر این اساس می‌توان مناطق نزدیک بدنه سد را مناطق بحرانی‌تری نسبت به دیگر نقاط مخزن در نظر گرفت. در نتیجه نیاز به ایستگاه‌های پایش در نزدیکی بدنه سد، از اهمیت بیشتری نسبت به دیگر نقاط برخوردار می‌باشد.

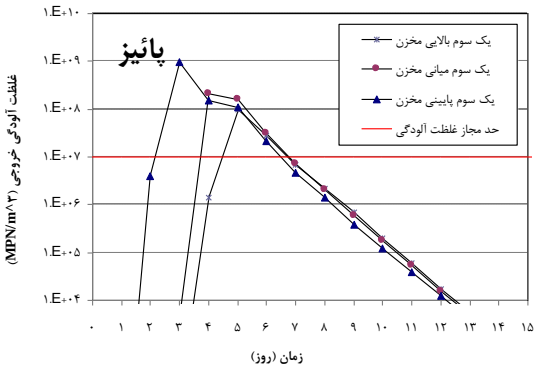




شکل ۱۰- نمودار آلودگی خروجی از مخزن بر اساس حجم ذخیره مخزن

از طرفی هر چه محل ورود بار آلاینده به بدنه سد نزدیک‌تر باشد، دوره بحران بیشتر خواهد بود به طوری که دوره بحران ناشی از ورود بار آلاینده در یک‌سوم پایینی مخزن در حدود ۲ برابر دوره بحران ایجاد شده ناشی از بروز بار آلاینده در یک‌سوم بالایی مخزن می‌گردد. بازه‌های در نظر گرفته شده جهت تعیین رفتار مخزن‌های طویل که طول مخزن بسیار بیشتر از عرض آن می‌باشد می‌تواند تا حدی مصداق داشته باشد.





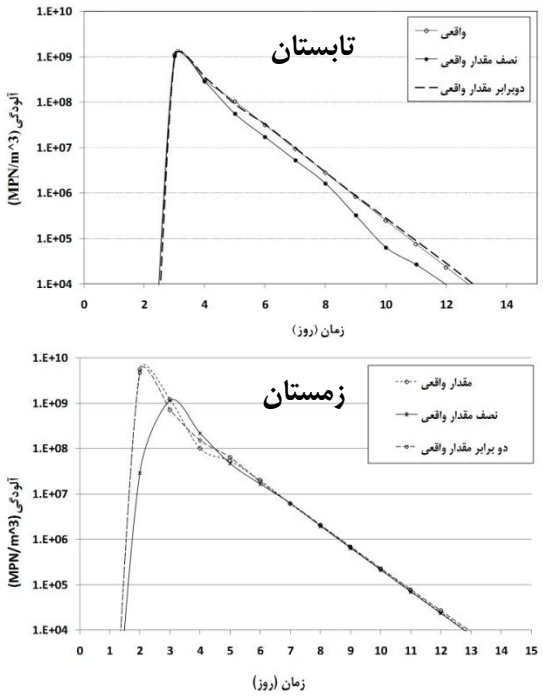
شکل ۱۱- نمودار آلودگی خروجی نسبت به محل ورود آلاینده

نتایج به دست آمده از تحلیل رفتار مخزن تحت شرایط بروز بار آلاینده در بازه‌های مختلف نشان می‌دهد، محل ورود بار آلاینده تأثیر قابل توجهی در میزان آلودگی خروجی از مخزن دارد. به عبارتی هر چه محل ورود بار آلاینده به بدنه سد نزدیک‌تر باشد، بار آلودگی خروجی و همچنین طول بازه بحران بیشتر است. بر این اساس اهمیت این موضوع در سدهای با مخازن عریض و همچنین در مخازن با چند شاخه ورودی که احتمال ورود بار آلاینده در نزدیکی بدنه سد وجود دارد، می‌تواند اهمیت زیادی پیدا کند، که نیاز به مطالعه بیشتر در این خصوص می‌باشد. نکته قابل توجه اینکه موضوع مورد مطالعه برای اکثر سدهایی که در آن‌ها تأمین آب شرب صورت می‌گیرد بدلیل اینکه حفاظت از تمامی شاخه‌های و سرشاخه‌های ورودی به مخزن انجام نمی‌شود، مصداق دارد. به عنوان نمونه یکی از مصادیق عدم حفاظت کیفی از مخزن را می‌توان علاوه بر سد کرج، به سد زاینده‌رود اشاره نمود که درجه حفاظت کیفی مخزن سد، بر اساس بررسی‌ها و بازدیدهای میدانی صورت گرفته بسیار پایین گزارش شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

جهت بررسی میزان تأثیر آبدهی ورودی به مخزن و نحوه خروج آلودگی سه سری سناریو ایجاد گردید (سناریو پایه، سناریویی با نصف آبدهی سناریو پایه و سناریویی با دو برابر آبدهی سناریو پایه). بر اساس نتایج به دست آمده مشخص‌گردید بیشترین تغییرات میزان غلظت خروجی آلودگی در فصل زمستان و کمترین تغییرات غلظت آلودگی در فصل تابستان رخ می‌دهد. در ماه مرداد در فصل تابستان با افزایش آبدهی ورودی دو برابر میزان مشاهداتی، حداکثر غلظت آلودگی خروجی ۱۱٪ کاهش پیدا می‌کند و در همین ماه با کاهش آبدهی ورودی به مخزن به میزان نصف آبدهی مشاهداتی حداکثر غلظت آلودگی خروجی از مخزن ۹٪ افزایش می‌یابد. در ماه بهمن در فصل زمستان، با افزایش آبدهی ورودی به مخزن برابر با دو برابر میزان مشاهداتی، غلظت آلودگی خروجی از مخزن ۱۳٪ کاهش می‌یابد و با کاهش آبدهی ورودی به مخزن به میزان ۳۸۱٪ افزایش حداکثر غلظت آلودگی خروجی از مخزن افزایش خواهد یافت. یکی از دلایل تفاوت تغییرات در فصل تابستان و زمستان حجم ذخیره مخزن می‌باشد، در فصل زمستان تراز مخزن به حداقل تراز خود می‌رسد و این در حالی است که در فصل تابستان مخزن حداکثر تراز خود را تجربه می‌کند. بر این اساس نسبت آب ورودی به مخزن نسبت به حجم مخزن در فصل تابستان بسیار کمتر از این نسبت در فصل زمستان می‌باشد (شکل ۱۲).



شکل ۱۲- نمودار آلودگی خروجی نسبت به عامل تأثیر آبدهی ورودی به مخزن

۵- جمع‌بندی

با توجه به اهمیت منابع آب سطحی در تأمین نیازها، بروز ناگهانی تغییرات کیفی در این منابع، که ممکن است به صورت انسان‌ساخت و یا طبیعی باشد، می‌تواند منجر به ایجاد بحران گردد. جهت شناسایی عوامل مؤثر بر رفتار آلودگی در مخازن سطحی، اقدام به ارائه رویکردی بر پایه مدل شبیه‌سازی CE-QUAL-W2 گردید.

در این رویکرد، رفتار آلودگی ۵ عامل مورد بررسی قرار گرفت، که برخی آن‌ها تأثیری چندانی در رفتار آلودگی نداشته و برخی دیگر تأثیر زیادی داشته‌اند. بنابر نتایج حاصل شده، حجم مخزن تأثیر بسزایی در غلظت آلودگی خروجی از سد دارد، به گونه‌ای که با کاهش یا افزایش دادن ۲۵٪ حجم ذخیره مخزن، تغییرات عمده‌ای در غلظت آلودگی خروجی نمایان می‌گردد. کمترین تغییرات در فصل تابستان با دو برابر تغییر در غلظت آلودگی خروجی و بیشترین تغییرات در فصل بهار با ۱۰ الی ۱۵ برابر تغییر در غلظت آلودگی خروجی بدست آمده است.

محل ورود بار آلاینده نیز تأثیر زیادی در غلظت آلودگی خروجی از مخزن دارد. هرچه محل ورود بار آلاینده به دریچه خروجی سد نزدیک‌تر باشد، غلظت آلودگی خروجی بیشتر است. در این تحقیق در سه نقطه بار آلاینده وارد مخزن گردید که نتایج نمایانگر ۱۵ برابر شدن بیشینه آلودگی خروجی از مخزن در نزدیک‌ترین نقطه در مدل نسبت به دورترین نقطه در نظر گرفته شده می‌باشد. در نتیجه نیاز به ایستگاه‌های پایش در نزدیکی بدنه سد از اهمیت بیشتری برخوردار است. همچنین تأثیر آبدهی ورودی به مخزن در زمان بروز بار آلاینده به این صورت است که بیشترین تغییرات میزان غلظت خروجی آلودگی در فصل زمستان و کمترین تغییرات غلظت آلودگی در فصل تابستان رخ می‌دهد که با کاهش و افزایش ۲۵٪ حجم مخزن، میزان متوسط افزایش غلظت آلودگی خروجی به ترتیب ۲ برابر و نصف می‌شود.

همچنین عبارت ته‌نشینی در مخزن مورد بررسی، نسبت به عبارت زوال سینتیک مرتبه یک دارای اهمیت کمتری می‌باشد. بر اساس نتایج حاصله، فصل زمستان بیشترین غلظت آلودگی خروجی را دارا می‌باشد که دلیل آن حجم پایین آب درون مخزن نسبت به دیگر فصول سال است. همچنین پس از فصل زمستان، فصل تابستان بیشترین غلظت آلودگی خروجی از سد را به خود اختصاص داده است (جدول ۲).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲- خلاصه نتایج تحلیل حساسیت پارامترهای مختلف بر روی وضعیت کیفی آب خروجی از مخزن سد

ردیف	متغیر	فرضیات	نتایج
۱	نرخ زوال کلیفرم (R_{col})	R_{col}= (0.5, 1.4, 2.5) (1/day)	$T = -5.2965R_{col} + 13.927$
۲	حجم ذخیره مخزن (V_{rsv})	• حجم مشاهده‌ای • ۷۵٪ حجم مشاهده‌ای • ۱۲۵٪ حجم مشاهده‌ای	کمترین تغییرات در بیشترین میزان غلظت آلودگی خروجی با تغییر در حجم مخزن در فصل تابستان رخ می‌دهد که با کاهش و افزایش ۲۵٪ حجم مخزن، میزان متوسط افزایش غلظت آلودگی خروجی به ترتیب ۲ برابر و نصف می‌شود. همچنین بیشترین تفاوت در غلظت آلودگی خروجی در بهار می‌باشد که با کاهش ۲۵٪ حجم مخزن، میزان تغییرات غلظت آلودگی در حدود ۱۰ تا ۱۵ برابر برآورد شده است. در این فصل بدلیل پایین بودن حجم مخزن نسبت به فصل تابستان و همچنین وجود لایه‌بندی حرارتی و برداشت آب از لایه زیرین، بیشترین تغییرات غلظت در بیشینه آلودگی خروجی از مخزن رخ می‌دهد.
۳	محل ورود بار آلاینده (C_{loc})	• ۱/۳ بالایی سطح مخزن • ۱/۳ میانی سطح مخزن • ۱/۳ پایینی سطح مخزن	آلودگی خروجی در محل ۱/۳ پایینی سطح مخزن معادل حدود ۱۵ برابر آلودگی خروجی در محل ۱/۳ بالایی سطح مخزن دوره بحران در محل ۱/۳ پایینی سطح مخزن معادل دو برابر دوره بحران ۱/۳ بالایی سطح مخزن
۴	آبدهی ورودی به مخزن (Q_{in})	• دبی روردی مشاهده‌ای • ۵۰٪ دبی ورودی مشاهده‌ای • ۲۰۰٪ دبی ورودی مشاهده‌ای	بیشترین تغییرات میزان غلظت خروجی آلودگی در فصل زمستان و کمترین تغییرات غلظت آلودگی در فصل تابستان رخ می‌دهد. در ماه مرداد با افزایش آبدهی ورودی دو برابر میزان مشاهداتی، حداکثر غلظت آلودگی خروجی ۱۱ ٪ کاهش پیدا می‌کند و در همین ماه با کاهش آبدهی ورودی به مخزن به میزان نصف آبدهی مشاهداتی حداکثر غلظت آلودگی خروجی از مخزن ۹٪ افزایش می‌یابد. در ماه بهمن، با افزایش آبدهی ورودی به مخزن برابر با دو برابر میزان مشاهداتی، غلظت آلودگی خروجی از مخزن ۱۳٪ کاهش می‌یابد و با کاهش آبدهی ورودی به مخزن به میزان ۳۸۱٪ افزایش حداکثر غلظت آلودگی خروجی از مخزن افزایش خواهد یافت.
۵	نرخ ته نشینی (V_{col})	V_{col}= (0, 1) (m/day)	تأثیر بسیار اندک در رفتار آلودگی و مقدار آلودگی خروجی از مخزن

۶- تقدیر و تشکر

از آقای دکتر حسین هاشمی که با نظرات خود نویسندگان این مقاله را یاری رساندند قدردانی و تشکر می‌شود.

پی‌نوشت‌ها

1- Operation System Dynamic Program
2- Total Dissolved Solids (TDS)
3- Three Gorges
4- Laterally Averaged
5- Settling Velocity
6- Most Probable Number
7- Ogee
8- Gate
9- Section
10- 1/Day
11- Hypolimnion

۷- مراجع

رستم افشار ن، افشار ع، جلیلی ن (۱۳۸۵) پیش‌بینی رفتاری مدل تهیه عکس‌العمل سیستم رودخانه در مورد بار تصادفی آلاینده ورودی- مطالعه موردی رودخانه کرخه. اولین همایش منطقه‌ای بهره‌برداری بهینه از منابع آب حوضه‌های کارون و زاینده رود، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران، ۱۴-۱۵ شهریور.

زرگرپور ح، غروی م، دهقان ج (۱۳۸۶) لایه‌بندی حرارتی در مخازن متوالی- مطالعه موردی مخازن سدهای کارون ۱، ۲ و ۳. تحقیقات منابع آب ایران، سال ۳، شماره ۲: ۷۱-۷۷.

شرکت مهندسین مشاور ری‌آب (۱۳۸۶) طرح مطالعات کمی و کیفی حوضه آبریز سد کرج. گزارش کیفی مخزن سد کرج، جلد ۱۷.

شرکتی‌آذین ب (۱۳۸۲) پیش‌بینی نفوذ شوری در خورهای رودخانه‌های به هم آمیخته. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران.

www.SID.ir

Archive of SID

ترابیان ع، هاشمی ح (۱۳۸۱) مدلسازی کیفی آب‌های سطحی. انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ۵۲۹ صفحه.

Adam RW, Thackson EL, Speece RE, Wilson DJ, Cardozo R (1993) Effect of Nashvillle's combined sewer overflows on the water quality of cumberland river. Technical Report No. 42, Enviromental and Water Reservoir Engineering, Vanderbit University, Nashvilles, TN.

Anner R, Wells S (2002) The Bull Run river- reservoir system model. Proceeding of 2nd Federal Interagency Hydraulic Modeling Conference, 28 July-1 August, Las Vegas, NV.

Bi H, Si H (2012) Dynamic risk assessment of oil spill scenario for Three Gorges Reservoir in China based on numerical simulation. Safety Science 50(4): 1112–1118.

Bowen JD, Heironymuas JW (2003) A CE-QUAL-W2 model of Neuse Estuary for total maximum daily load development. Water Resources Planning and Management 129(4): 283-294.

Cole MT, Wells AS (2006) CE-QUAL-W2: A two – dimensional, laterally averaged. hydrodynamic and water quality model, Version 3.5, User Manual. U.S Army Crops of Engineers, Washington, DC.

Hi Q, Peng S, Zahi J, Xiao H (2011) Development and application of a water pollution emergency response system for the Three Gorges Reservoir in the Yangtze River, China. Journal of Environmental Sciences 23(4): 595–600.

Labadie JW, Loftis B, Fontane DG (1985) Optimal operation of a system of lakes for quality and quantity. Proceedings of the Specially Conference of Computer Application in Water Resources, 10-12 June, Hyatt Regency, Buffalo, New York, United States, 693-702.

Lence BJ, Takyi AK (1992) Data requirements for seasonal discharge programs: an application of a regionalized sensitivity analysis. Water Resources Research 28(7): 1781-1789.

Lopez PR, Saez R, Valero AM, Nieto JM, Pace G (2009) Combination of sequential chemical extraction and modeling of dam-brake wave propagation to aid assessment of risk related to the possible collapse of roasted sulphide tailings dam. Science of the Total Environment 407(21):5761-5771.

Mays LW (2004) Water supply system security. McGrow-Hill Companies, Inc, 464p.

Orlob GT, Selna LG (1970) Temperature variation in deep reservoirs. Journal of the Hydraulics Division (ASCE) 96(HY2): 391-410.

Risley JC (1997) Relations of Tualation River water temperatures to natural and human caused factors. U.S. Geological Survey water Resources Investigation Report, 143:97-4071.

Waldon GM (2005) River Time of Travel Model: Project Summary, University of South Western, Lousinia.

Zhang G, Chen L, Liu Y, Chon T, Ren Z, Wang Z, Zhao J, Zhao Y (2011) A new online monitoring and management system for accidental pollution events developed for the regional water basin in Ningbo, China. Water Science & Technology 64(9): 1828-1834.

www.SID.ir