Simulation of Emergency Spill of MTBE into Surface Water Reservoir and Remediation Techniques using Modified CE-QUAL-W2 Model: A Case Study for Gheshlagh Reservoir

M. Saadatpour¹, A. Yousefi Moghadam², M. Kolahdouzan³

1. Assist. Prof., School of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran (Corresponding Author) msaadatpur@iust.ac.ir

2. Former Graduate Student of Civil and Environmental Engineering, College of Environment, Karaj, Alborz, Iran

3. Assist. Prof., School of Civil and Environmental Engineering, Amir Kabir University of Technology (Tehran Polytechnic), Iran

(Received July 31, 2016 Accepted Jan. 18, 2017)

To cite this article :

Saadatpour, M., Yousefi Moghadam, A., Kolahdouzan, M., 2018, "Simulation of emergency spill of MTBE into surface water reservoir and remediation techniques using Modified CE-QUAL-W2 Model: A Case Study forGheshlagh Reservoir."Journal of Water and Wastewater, 29(3), 17-30. Doi: 10.22093/wwj. 2017. 58499.2229 (In Persian)

Abstract

Due to the importance and widespread applications of oil products as well as their threats to surface water bodies in Iran, it is inevitable to apply suitable simulation models to develop management plans, actions, and appropriate scenarios. There are two modified versions of CE-QUAL-W2 and both can be used for simulations of emergency pills of toxic waste in transpotation roadways. In this research, both modified versions were employed to simulate the fate of Methyl tert-butyl ether (MTBE) (a gasoline oxygenated addetive) during an emergency spill. As a case study, the application of both models was used to evaluate the MTBE emergy spill that occurred on March 2003 near Khalifeh Torkhan river. Several remediation techniques including artificial turbulent, mixing, and aeration were used during the simulation study. Results showed that the modified version of the model (CE-QUAL-W2) depicted a better temporal and spatial distribution of MTBE pollution in reservoir compared compared to the first version of the model. Multiple scenarios were simulated in this study under various meteorological, hydrological, and MTBE loading for Gheshlagh reservoir. The simulation results showed that lower air temperature and higher wind speed are among the factors that reduces the reservoir recovery time. In addition,, another parameter that found to decrease the recovery time of Gheshlagh reservoir is an increase in reservoir inflow and/or outflow rate.

Keywords: 2D Hydrodynamic and Water Quality Model, Gheshlagh Reservoir, Modified CE-QUAL- W2 Model (Ver. 1), MTBE, Volatile Organic Compound.



Journal of Water and Wastewater

شبیه سازی سرریز ناگهانی آلودگی MTBE و اقدامات بهسازی مخزن آب سطحی با استفاده از مدل اصلاح یافته CE-QUAL-W2: مطالعه موردی مخزن سد قشلاق

مطهره سعادت پور '، آمنه يوسفي مقدم'، مرتضى كلاهدوزان "

۱ – استادیار، گروه آب و محیط زیست، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران (نویسنده مسئول) msaadatpur@iust.ac.ir ۲– دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی عمران– محیط زیست، دانشکده محیط زیست کرج، البرز، ایران ۳– استادیار، گروه آب و محیط زیست، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

(دریافت ۹۵/۵/۱۰ پذیرش ۹۵/۵/۱۹)

برای ارجاع به این مقاله به صورت زیر اقدام بفرمایید: سعادتپور، م.، یوسفیمقدم، ۱.، کلاهدوزان، م.، ۱۳۹۷، " شبیهسازی سرریز ناگهانی آلودگی MTBE و اقدامات بهسازی مخزن آب سطحی با استفاده از مدل اصلاح یافته CE-QUAL-W2: مطالعه موردی مخزن سد قشلاق " مجله آب و فاضلاب، ۲۹(۳)، ۲۰–۱۷. Doi: 10.22093/wwj.2017.58499.2229

چکیدہ

با توجه به اهمیت و کاربرد گسترده فراوردههای نفتی و نیز خطرات ناشی از این فراوردهها بر منابع آبهای سطحی در کشور، به کارگیری مدلهای مناسب به منظور ارائه اقدامات و برنامههای مدیریتی مهم و ضروری است. در این پژوهش دو نسخه از مدل اصلاح شده CE-QUAL-W2 به منظور شبیه سازی رویداد سقوط تانکر حاوی سوخت ماده فرار آلی MTBE در مجاورت رودخانه خلیفه ترخان در اسفند ۱۳۸۱ مورد استفاده قرار گرفت. در این مدل، روش های بهسازی شامل استفاده از ابزارها و تجهیزات مکانیکی به منظور ایجاد آشفتگی، اختلاط و هوادهی مصنوعی به کار گرفته شد. بر اساس نتایج حاصل شده، نسخه دو مدل -CE مکانیکی میدانی ثبت شده با نسخهٔ یک مدل، قادر به ترسیم مناسب تری از توزیع زمانی و مکانی شرایط کیفی آلودگی در رابطه با دادههای میدانی ثبت شده برای MTBE است. علاوه بر این، محاسبه زمان پاکسازی مخزن سد قشلاق در سناریوهای متعدد هواشناسی و هیدرولوژیکی، مقدار بار MTBE است. علاوه بر این، محاسبه زمان پاکسازی مخزن سد قشلاق در سناریوهای متعدد مواشناسی و هیدرولوژیکی، مقدار بار MTBE و نحوه بهره برداری از مخزن سد نسبت به سناریوی پایه مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل از این قسمت پژوهش نشان داد که کاهش دمای هوا و افزایش سرعت باد، سبب کاهش زمان پاکسازی مخزن سد می شود. همچنین، عامل دیگری که سبب کاهش زمان پاکسازی مخزن سد قشلاق موران پاکسازی مخزن سد می شود. و می نسب کاه ش زمان یا داد که کاه ش دمای هوا و افزایش سرعت باد، سبب کاه ش زمان پاکسازی مخزن سد می شود. همچنین، عامل دیگری که سبب کاه ش زمان پاکسازی مخزن سد قشلاق می شود عبارت است از افزایش جریان دبی می شود. و یا دبی خروجی.

واژههای کلیدی: ماده آلی فرار، مخزن سد قشلاق، مدل دو بعدی هیدرودینامیک و کیفیت آب، نسخهٔ یـک مـدل MTBE ،CE-QUAL-W2 اصلاح یافته

۱ – مقدمه

حدود سه درصد از آب موجود در جهان، آب شیرین است. بدون دسترسی به منابع آب شیرین با کمیت و کیفیت مناسب و مورد قبول، توسعه پایدار ناممکن خواهد بود (,Bartram and Balance (1996). مخازن آبهای سطحی، تأمین کننده منابع آبی مورد نیاز بشر در فعالیت های کشاورزی، صنعتی، شرب، فعالیت های تفریحی،

قایقرانی و نیز زیستگاهی برای گونه های آبی هستند. با توجه به منافع حاصل از این منابع با ارزش برای انسان، لازم است مباحث کمیت و کیفیت این منابع آبی به صورت توأم مورد توجه قرار گیرد. در دهه های اخیر، همزمان با توسعه صنعتی، آلودگی های محیط زیست به طور فزاینده ای افزایش یافته است و یکی از تهدیدات قابل توجه برای منابع آبی محسوب می شوند (2009, Camp). از این رو



Journal of Water and Wastewater

همواره پایش و بررسی آلودگیها در رودخانهها و مغازن، همچنین شناخت ویژگی پیکرههای آبی بهمنظور مقابله با آلودگیها ضروری است. این شناخت شامل مقدار، نوع آلودگی ورودی و همچنین چگونگی پاسخ پیکره آبی به عوامل محیطی و انسانی است (Feizi, 2012).

مدل، ابزاری است که امکان پیش بینی اثرات فرایندهای طبیعی و فعالیت های انسانی را بر روی ویژگی های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آب در پیکرهای مورد بررسی، فراهم می آورد. از مدل ها در سطح گسترده ای برای سنجش اثرات بارهای آلاینده های تخلیه شده به پیکره های آبی، اثرات سنار یوهای مختلف هواشناسی و هیدرولوژیکی استفاده می شود (Chapra, 1997). علاوه بر این، مدل های شبیه سازی، قادر هستند پاسخ پیکره های آبی را در اثر اتخاذ تصمیمات مختلف، در ارزیابی سنار یوهای تصمیم گیری، فراهم نمایند. البته استفاده از مدل باید توأم با برنامه های پایش و بررسی آلودگی در رودخانه ها و مخازن، همچنین شناخت پیکره های آبی به منظور مقابله با آلودگی باشد (Camp, 2009).

در چند دهه اخیر، با توجه به اتفاقات ناگهانی آلودگی های نفتی منابع آبي رودخانهها و مخازن در دنيا و نيـز ايـران، ناشـي از نقـص شبکهها و سیستمهای حمل و نقل مواد نفتی و /یا تصادم ناگهانی آنها، لزوم دسترسي به مدل هايي كه قابليت شبيهسازي اين نوع از آلایندهها را دارا میباشند، بیش از پیش ضروری است. بهعبارتی فراهم بودن امکان پیشبینی چگونگی توزیع زمانی و مکانی آلاینده های نفتی در پیکره های آبی، برای اعمال شیوه های مدیریتی مطلوب و قابل اعتماد بسيار حائز اهميت است (Camp, 2009). در سیستمهای بزرگ و نامنظمی که رفتار دو بعدي داشته و چگونگي پخش و جابجايي آلاينده در پيکره آبي، تابعي از زمان وقوع رويداد، آورد رودخانه، حجم آب موجود در مخزن و دیگر یارامترهای هیدرودینامیکی و ضرایب و یارامترهای مؤثر در معادلات پخشیدگی-فرارفت- واکنش است، پیش بینی زمانی و مکانی توزیع آلاینده ابزار مناسبی برای مدیریت سیستم در اختيار قرار مي دهد. مهمتر از آن پيش بيني و تعيين زمان لازم براي بازیابی مخزن و بازگشت به حالت عادی قبل از وقوع رویداد است .(Saadatpour and Afshar, 2013)

رویدادهای چند دهه اخیر در کشور لزوم بررسی تـأثیر اقـدامات و راهکارهای مـدیریتی در بهبـود کیفیـت منـابع آبـی و پـاکسـازی

سیستم با ترسیم تصویر روشن و دقیق تر برای مدیران و تصمیمگیران و نیز امکان ارزیابی سناریوهای مدیریتی قبل از بهکارگیری آن را به یک ضرورت اجتناب ناپذیر تبدیل نموده است. بر اساس مطالعات صورت گرفته در این زمینه مدل های محدودی قابلیت شبیه سازی آلاینده های نفتی در پیکره آبهای سطحی را دارند و دسترسی به این مدل های اندک نیز به دلیل ویژگی های انحصاری و/یا تجاری آنان، محدود است (2015 Moghaddam). در مقایسه با مدل های مرور شده در پژوهش اخیر، مدل توسعه یافته مقایسه با مدل های مرور شده در پژوهش اخیر، مدل توسعه یافته میدرودینامیکی و ترکیبات آلی فرار مانند BTBE و بنزن در پیکرهای آبی سطحی همچون رودخانه ها و مخازن و نیز قابلیت دسترسی آسان به منظور شبیه سازی آلودگی های مواد فرار نفتی، مناسب است (Feizi et al., 2015).

پس از انتخاب و تشخیص مناسب بودن "نسخه یک مدل اصلاح یافته CE-QUAL-W2 " برای شبیه سازی مواد آلی فرار در مخازن و رودخانه ها، به منظور ترسیم تغییرات مکانی و زمانی، پاسخ های کیفی مخزن در ورود بار آلودگی ناشی از ترکیبات آلی فرار و قابلیت ارائه نتایج ارزیابی سناریوهای مدیریتی قبل از به کارگیری آن، از این مدل به منظور شبیه سازی یک رویداد واقعی در کشور استفاده می شود. با توجه به استفاده از روش هایی به منظور ایجاد تلاطم و آشفتگی و هوادهی مصنوعی در مخزن (با استفاده از حرکت سریع قایق های موتوری بر سطح آب، دستگاه های جت هوا این پژوهش قابلیت شبیه سازی این اقدامات به سازی به "نسخه یک مدل توسعه یافته یا CE-QUAL-W2 " افزوده می شود مدل توسعه یافته که CE-QUAL-W2 " افزوده می شود

رویداد منتخب، رویداد آلودگی ناگهانی مخزن سد قشلاق در اثر واژگونی تانکر حاوی MTBE در اسفند ماه ۱۳۸۱ بود که بهمنظور کاهش اثرات منفی ناشی از این آلودگی، از تجهیزات و ابزار مکانیکی بهمنظور کاهش زمان پاکسازی مخزن استفاده شده است. در این پژوهش رویداد آلودگی مورد اشاره و روشهای مدیریتی مواجهه با این رویداد، در نسخه اصلاح شده این پژوهش شبیهسازی و عملکرد این نسخه، با نسخه قبلی مدل اصلاح یافته



Vol. 29, No. 3, 2018

¹Air Jet

² Blower

Journal of Water and Wastewater

CE-QUAL-W2 مورد ارزيابی قرار می گیرد ,Feizi et al.). 2015) همچنین تأثیر سناریوهای آب و هوایی و نیز عوامل انسانی (نحوه بهرهبرداري از مخزن، حجم آلودگي ورودي و محل ورود آلودگی) بهدلیل تأثیر بر فرایندهای چرخش جرم و انرژی در مخزن و در نتیجه بر پاسخهای کیفی مخزن سد قشلاق و زمان پاکسازی آن مورد بررسي و نتايج آن ارائه ميشود.

۲ – روش کار

-۱-۲ مدل اصلاح یافته CE-QUAL-W2 (نسخه دو)

مدل CE-QUAL-W2 مدلی دوبعدی است که برای حل معادلات مرومنتم افقرى، انتقرال جررم، ترراز سرطح آزاد آب، فشرار هیدرواستاتیکی، پیوستگی و چگالی از روش عددی تفاضل محدود بهره میبرد. این مدل قابلیت شبیهسازی پارامترهای عمومی کیفی با آهنگ میرائی مرتبه صفر و یا یک و یا سرعت ترسیب مشخص یا ضريب آرينيوس مختلف براي تعريف پارامترهاي كيفي ردياب پايستار، زمان ماند هيدروليكي يا عمر آب، بـاكترىهـاي كليفرم و آلاینده ها به هر تعداد از گروه های جامدات معلق معدنی، فيتوپلانكتون، اپيفيتون، CBOD، آمونياك، نيترات، ارتوفسفات، مواد آلى محلول و دانهاى نايايدار /يايدار، كل كربن غير آلى، قلياييت، آهن، اكسيژن محلول، رسوبات آلي، حلاليت گازهـا، هـر تعداد از گروههای ماکروفیت، زئوپلانکتون، مواد معدنی محلول و ذر،ای ناپایدار / پایدار فسفری و نیتروژنی را دارد. اضافه بر موارد فوق حدود ۶۰ متغير حالت شامل TON ،DOC ،TOC ،pH فوق حدود ۲۰ DOP، TOP و غيره توسط اين مدل محاسبه مي شود. به لحاظ بررسیهای کیفیت آب عملاً هر ترکیبی از پارامترهای کیفی را می توان در شبیه سازی منظور و یا از مرحله شبیه سازی حـذف نمـود .(Cole and Wells, 2006)

در مدل توسعه یافته CE-QUAL-W2، سرنوشت و انتقال مواد آلی فرار در پیکر،های آبی بهصورت انتقال جرم ماد،ای پایستار تعریف شده است. در پژوهش فیضی و همکاران در سال ۲۰۱۵، زیر برنامه شبيهسازي تركيبات آلي فرار به كـد برنامـه نويسـي اصـلي مـدل دو بعدی هیدرودینامیک و کیفیت آب CE-QUAL-W2 نسخه ۳/۵ افزوده شد تا امکان شبیهسازی فرایندهای فیزیکی و شیمیایی حاکم بر سرنوشت مواد آلی فرار توسط مدل فراهم شود. اساس این

معادلات بر مدلسازی فرایند مبادله جرم ماده آلی فرار میان محیط هوا و آب و بر اساس رابطه موازنه جرمی به شرح معادله استوار شد (Feizi, 2012)

$$\frac{dC}{dt} = \frac{K_{OL} A (C_s - C)}{V}$$
(1)

که در این معادله

، غلظت آلاینده در حال اشباع در آب بر حسب گرم بر مترمکعب $C_{\rm s}$ K_{OL} ، غلظت آلاینده در سطح آب بر حسب گرم بر مترمکعب C سرعت انتقال کل بر حسب متر بر ثانیه، A سطح مقطع بر حسب مترمربع و V حجم بر حسب مترمکعب است. بر اساس قانون هنری و وجود موازنه جرمي در لايه سطحي تبادل، معادله زير برقرار است (Feizi, 2012)

$$\frac{1}{K_{OL}} = \frac{1}{K_L} + \frac{RT_W}{HK_g}$$
(Y)

که در این معادله

سرعت انتقال برای فاز مایع بر حسب متر بر ثانیه، $K_{\rm g}$ سرعت $K_{\rm L}$ انتقال هوا بر حسب متر بر ثانیه، R ثابت جهانی گازها، Tw دمای آب بر حسب درجه کلوین و H ضریب هنری مربوط به MTBE بر حسب m³. atm/ mole است.

معادلات واكنش ها و فرايندهاي فيزيكي و شيميايي مورد استفاده در این زیربرنامه با هدف شبیهسازی سرنوشت مواد آلی فرار و با مراجعه به منابع علمي معتبر انتخاب شدند. زيربرنامه شبيهسازي تركيبات آلي فرار، فرايندهاي زوال مواد آلاينده آلي فرار مانند تبخير (فراريت)، هيدروليز و /يا اكسيداسيون را همراه بـا زوال بیولوژیکی (گنجانده شده در کد اصلی برنامه نویسی CE-QUAL-W2) شبيهسازي مي نمايد. خصوصيات فيزيكي و شیمیایی ماده آلی فرار و ضرایب واکنش ها نیز در قالب فایل دادههای ورودی به زیر برنامه شبیهسازی ماده آلی فرار ارائه می شود (Feizi et al., 2015). جزئيات بيشتر در مورد معادلات مورد استفاده و نحوه توسعه مدل CE-QUAL-W2 در پژوهش فیضی در سال ۲۰۱۲ ار ائه شده است.

در مدل CE-QUAL-W2، پارامترهای مدل انتقال (ضریب ويسكوزيته گردابي افقي'، ضريب يخشيدگي افقي' و ضريب

Journal of Water and Wastewater

Vol. 29, No. 3, 2018



¹ Hor. Eddy Viscosity (AX) ² Hor. Eddy Diffusity (DX)

سنندج – دیواندره در حاشیه رودخانه خلیفه ترخان، بر اثر واژگون شدن یک دستگاه تانکر حاوی ۳۰۴۰۰ لیتر ماده مکمل بنزین با نام اختصاری MTBE. از محموله تانکر وارد جریان رودخانه خلیفه ترخان شد و با طی مسیر کوتاهی با ورود به مخزن سد قشلاق موجب آلودگی آن شد (Iran Ministry of Energy, 2003). ستاد مدیریت بحران طرح قشلاق، به منظور کاهش زمان پاکسازی مخزن، عملیات هوادهی با استفاده از ایجاد آشفتگی از طریق حرکت دمنده هوا و جت هوا را از تاریخ ۱۲/۱۲/۱۸ در دستور کار سه دستگاه جت هوا را از تاریخ ۱۳۸۱/۱۲/۱۸ در دستور کار سه دستگاه جت هوا به منظور ایجاد آشفتگی در آب و عملیات هوادهی شروع به کار نموده و در تاریخ ۱۳۸۱/۱۲/۲۴، دو دستگاه دمنده هوا نیز به مجموعه سایر تجهیزات هوادهی افزوده شد. استفاده از این تجهیزات به منظور مقابله با بحران تا تاریخ ۱۳۸۲/۱/۱۶ داده یوانی (Iran Ministry of Energy, 2003).

MTBE - اثرات مخرب

نتایج پژوهش بر روی انسان و حیوان نشان میدهد که MTBE به سرعت از طریق استنشاق وارد جریان خون می شود. در حیوانات این ماده در کبد، کلیه و مغز توزیع می شود. از دیگر اثرات MTBE و محصولات آن موارد افزایش آسم، قابلیت تخدیر اعصاب، اثر بر باروری (به ویژه در حیوانات)، سرطانزایی، ناراحتی تنفسی و حساسیت پوستی است.

ارزیابی ریسک اکولوژیکی^۲ نشان میدهد که MTBE و ترکیبات آن در ایجاد مشکلات اکولوژیکی به ویژه برای اکوسیستمهای آبی مختلف نقش دارند Major Planning Office). of Iran Electricity and Energy, 2000)

۲-۴-کاربرد مدل توسعه یافته CE-QUAL-W2 در یک مورد مطالعاتی واقعی ۲-۴-۲-اطلاعات هندسی مخزن قشلاق

دادههای هندسی و ژرفاشناسی سیستم مخزن سد قشلاق با رسم پروفیلهای عمودی بر نقشه توپوگرافی مخزن که از نقشههای اتوکد با مقیاس ۱:۲۰۰۰ از شرکت مهندسین مشاور دریا نقشـه تهیـه شـده

Journal of Water and Wastewater

Vol. 29, No. 3, 2018

ویسکوزیته گردابی عمودی (و واکنش ضریب واکنشهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی) آلودگی، بهصورت ضرایب ثابت توسط کاربر تنظیم می شوند و با تغییر در سرعت جریان و دما در دوره شبیه سازی توسط مدل اصلاح می شوند. این در حالی است که در صورت به کارگیری اقدامات به سازی با استفاده از دستگاه های جت هوا، دستگاه های دمنده هوا و حرکت قایق های مو توری به منظور هوادهی مصنوعی و ایجاد تلاطم و اغتشاش در پیکره آبی با هدف حذف سریع تر آلودگی ماده فرار نفتی، ضرایب انتقال و واکنش در مدت زمان به کارگیری این روش ها متغیر خواهند شد. از این رو در این پژوهش با تغییر در کد برنامه "نسخه یک مدل اصلاح یافته 2012-2013 (Feizi, 2012)، امکان تعریف تغییرات زمانی این ضرایب در مدل Feizi, 2012)، امکان تعریف تأثیر به کارگیری اقدامات مدیریتی بر نتیایج مدل شبیه سازی و پاسخهای پیکره آبی بر ورود ماده فرار نفتی، مطالعه شود.

۲-۲- مورد مطالعاتی ۲-۲-۱- سد قشلاق

سد قشلاق واقع در ۱۲ کیلومتری شمال غربی شهر سنندج، منبع اصلی تأمین آب شرب شهر سنندج و حدود ۴۰۰۰ هکتار اراضی کشاورزی پایاب است. حجم مخزن سد ۲۲۴ میلیون مترمکعب و آب قابل تنظیم آن ۱۰۵ میلیون متر مکعب است. این سد خاکی سنگریزهای دارای طول تاج ۳۳۰ متر و دارای سرریز از نوع آزاد است. متوسط بارش سالانه منطقه ۴۶۴/۲ میلیمتر و میانگین دمای سالانه ۲/۱۴ درجه سلسیوس است. متوسط رطوبت نسبی ۵۳ درصد و متوسط سرعت باد ۲ متر در ثانیه است for (Iran Ministry of میلی متر و میانگین دمای درصد و متوسط سرعت باد ۲ متر در ثانیه است for (Iran Ministry of ترخان و چهل گزی بوده و مساحت حوضه آبریز هر یک به تر تیب ترخان و چهل گزی بوده و مساحت حوضه آبریز هر یک به تر تیب ترخان و چهل گزی بوده و مساحت حوضه آبریز هر یک به تر تیب نیز به تر تیب ۲/۷۷ و ۲۸۹ متر مکعب در ثانیه است. مجم جریانات سطحی طی سه ماهه اسفند، فروردین و اردیبهشت از رودخانه گذر و به مخزن سد قشلاق وارد می شوند (Iran Ministry).

در روز چهارشنبه مورخ ۱۳۸۱/۱۲/۱۴ در کیلومتر ۳۵ جاده

¹ Max Vertical Eddy Viscosity (AZMAX)



² Ecological Risk Assessment (ERA)

بود، استخراج شد (شکل ۱). مخزن قشلاق از دو شاخه جریان رودخانههای چهلگزی و خلیفه ترخان تغذیه می شود. شاخه سمت راست شاخه خليفه ترخان و شاخه سمت چپ آن، شاخه چهلگزي است. با استفاده از نقشه تو بوگرافی مخزن قشلاق، ۲۹ بازه محاسباتی با متوسط طولی ۳۵۰ متر در شاخه خلیفه ترخان و ۶ بازه محاسباتی در شاخه چهلگزی با متوسط طولی ۵۴۰ متر تعریف شد. متوسط عرض بازهها نیز از ۲ متر تا ۲۲۰۰ متر در بازههای محاسباتی مختلف بر اساس نقشه های توپوگرافی مخزن قشلاق برای مدل توسعه یافته CE-QUAL-W2 تعریف شد. ۴۷ لایه محاسباتی با مقدار متوسط ۲ متر، برای تعریف عمق مخزن در فایل هندسه مدل وارد شد. این مخزن به صورت دو شاخه در مدل CE-QUAL-W2 تعريف شد که شاخه اول از بازه ۱ تا ۳۱ و شاخه دوم از بازه ۳۲ تا ۳۹ به مدل معرفی شد. سازه های هیدرولیکی تعريف شده براي مدل، آبگير و سرريز به ترتيب در رقوم ارتفاعي ۱۵۵۴ و ۱۵۷۰ متر بالاتر از سطح دریا می باشند (Mahab). Ghodss Consulting Engineering Company, 2014)



Fig. 1. Topographic Map of Reservoir شکل ۱- نقشه توپوگرافی مخزن سد

۲-۴-۲ - دادههای آبسنجی؛ دبی آب ورودی به مخزن قشلاق اطلاعات مربوط به دبی جریان ورودی به مخزن قشلاق از سایت Irandams تهیه شد. همچنین بر اساس مطالعات هیدرولوژیکی طرح از گزارش وزارت نیرو، مقادیر دبی شاخههای خلیفه ترخان و چهلگزی استخراج شد (Iran Ministry of Energy, 2003).

۲-۴-۳ <mark>دادههای ه</mark>واشناسی دادههای هواشناسی شامل دمای هوا، دمای نقطـه شبنـم، سـرعت و

جهت باد و پوشـش ابـر از ایسـتگاه سینوپتیک سـنندج در مقیـاس زمانی ۶ ساعته استخراج شد.

۲-۴-۴- دادههای دمای آب بر اساس معادله توازن گرمایی در یک واحد حجم محدود و برای یک سیستم فرضی با اختلاط کامل:

(۳) میزان تبادل گرمای سطحی ± جریان گرمای خروجی - جریان
 گرمای ورودی = میزان تجمع گرما

جریان گرمای ورودی، میزان جریان گرمایی ورودی از دبی جریان های ورودی به پیکره آبی است، همچنین جریان دمایی خروجی، جریان گرمایی خروجی از طریق جریان خروجی رودخانه، برداشت آب از آبگیرها، جریان نفوذی به منابع آب زیرزمینی و غیره است. تبادل گرمایی، گرمای تبادل شده میان محیط هوا و آب است که بر اساس موقعیت پیکره آبی و حالت اتمسفر می تواند به عنوان منبع وارد کننده یا برداشت گرما تلقی شود. میزان تجمع گرما از معادله زیر حاصل می شود

$$\rho C_{P} V \frac{dT}{dt} = Q_{in} \rho C_{P} T_{in}(t) - Q_{out} \rho C_{P} T(t) + A_{s} J$$

که در این معادله

J، T، T_{in}(t) و A_s دمیای آب ورودی در زمیان t، دمیای المیان محاسباتی، شدت جریان گرمایی و سطح آن واحد محاسباتی میباشند. مجموع جریان های انتقال گرما را می توان به صورت معادله ۵ نشان داد

$$J = J_{sn} + J_{an} - (J_{br} + J_c + J_e)$$
 (Δ)

که در آن

ی J_c J_br J_{an} J_{sn} بابترتیب تابش خالص امواج خورشیدی با طول موج کوتاه، تابش خالص امواج اتمسفری با طول موج بلند، تابش بازگشتی امواج با طول موج بلند، فرارفت و تبخیر هستند. در این پژوهش معادلات مربوط به هر ترم از مراجع معتبر استخراج و در فرمول بندی محاسبه دمای آب بر اساس اطلاعات هواشناسی گنجانده شد (Chapra, 1997). این روابط در نرمافزار VB

برنامهنویسی و بر اساس اطلاعات هواشناسی منطقه مورد مطالعه (ایستگاه سینوپتیک سنندج) دمای آب جریان ورودی به مخزن قشلاق محاسبه شد (Moghaddam, 2015).

۳- مدلسازی ۳-۱-کالیبراسیون هندسه مخزن

شکل ۲ المانهای محاسباتی تعریف شده از مخزن سد قشلاق را که بر اساس اطلاعات فایل هندسه مخزن و سایر داده های ورودی به مدل CE-QUAL-W2، ایجاد شد، نمایش می دهد. مخزن سد قشلاق به صورت یک پیکره آبی و دو شاخه برای مدل تعریف شده است. یکی از روش های حصول اطمینان در کالیبراسیون هندسه مدل مخزن، تطابق نمودار سطح حجم ارتفاع حاصل از مدل سازی با داده های استخراج شده نقشه برداری است که در این پژوهش با داده های استخراج شده نقشه برداری است که در این پژوهش تطابق بسیار مناسبی میان داده های حجم ارتفاع مدل و واقعی (Mahab Ghodss Consulting Engineering Company, (2014)

A STATISTICS STATISTIC

Fig. 2. Segmentation of Gheshlagh Reservoir used in CE-QUAL-W2 Mode CE-QUAL-W2 شکل ۲- شبکهبندی مخزن سد قشلاق در مدل ۲

۲-۲-کالیبراسیون هیدرودینامیک مخزن

به منظور کالیبراسیون تراز سطح آب در مخزن، نتایج شبیه سازی تراز سطح آب شبیه سازی شده در مدل تو سعه یافته ۲۵۰ CE-QUAL-W2 با داده های آماری موجود بین ۱۳ دی ماه ۱۳۸۰ (۱ ژانویه ۲۰۰۲) تا ۱۳ دی ۱۳۸۲ (۱ ژانویه ۲۰۰۴) مقایسه شد (شکل ۳). متوسط خطا در طول دوره شبیه سازی دو ساله، ۴۰ سانتی متر بود که با توجه به عدم قطعیت های مربوط به داده های در

> مجله آب و فاضلاب ID.ir وره ۲۹۸ میدواو ۲۰ . سال ۱۳۹۷

دسترس، نسبتاً مناسب و قابل قبول است. پارامترهای کنترل کننده تبخیر و سرعت وزش باد در فایلهای ورودی مدل با سعی و خطا به گونهای انتخاب شدند که حداکثر تطابق میان دادههای میدانی و نتایج شبیهسازی بهمنظور کالیبراسیون تراز سطح آب ایجاد شود (جدول ۱).



Fig. 3. Comparison of observed and simulated water surface elevation resulted from CE-QUAL-W2 and observed data

شکل ۳- مقایسه نتایج شبیهسازی تراز سطح آب مخزن توسط مدل

CE-QUAL-W2 و دادههای اندازهگیری شده میدانی

جدول ۱- پارامترهای کنترل کننده دما و تبخیر در مدل CE-QUAL-W2 Table 1. Calibrated parameters used in CE-QUAL-W2 model affecting water temperature and evaporation

Parameter	AF W	BFW	CFW
Default Value	9.2	0.46	2
Calibrated Value	9.5	0.6	3

* CE-QUAL-W2 Model Parameter name

به منظور کالیبراسیون دمای آب مخزن، دسترسی به پروفیل داده های دمایی اندازه گیری شده در عمق مخزن در دوره مشخصی، میسر نبوده است. اما با توجه به کالیبراسیون ضرایب مؤثر در تبخیر در مدل CE-QUAL-W2 و نیز نزدیکی میان مقادیر متوسط ثبت شده از دمای آب در سطح مخزن در دوره های زمانی ماهانه و مقادیر شبیه سازی شده توسط مدل، می توان با تقریب قابل قبولی نتایج شبیه سازی دما توسط مدل را پذیرفت. در شکل ۴ پروفیل عمودی دما در ماه های مختلف سال در مخزن قشلاق نمایش داده شده است. همانگونه که ملاحظه می شود دمای آب در ماه های آبان، دی و اسفند از دمای هوا بیشتر و در ماه های اردیبهشت تا شهریور از دمای هوا کمتر است. همچنین لایه بندی حرارتی قابل توجهی در



Fig. 4. Temperature profile in various months based on the results of 2D hydrodynamic and water quality model شکل ۴- پروفیل عمودی دما در مخزن قشلاق در ماههای مختلف بر اساس نتایج شبیه سازی مدل دو بعدی هیدرودینامیک و کیفیت آب

ماههای گرم سال وجود دارد؛ اردیبهشت با لایهبندی ضعیف شروع میشود و در شهریور به اوج خود میرسد و در ماههای آبان به بعد، شروع واژگونی و یکنواختی دما در لایههای مختلف مخزن مشاهده میشود.

۳-۳- شبیهسازی کیفیت آب پس از رویداد سقوط تانکر حاوی MTBE در مخزن قشلاق

به منظور شبیه سازی رویداد واژگونی تانکر حاوی MTBE، ابتدا شرایط هیدرودینامیکی مدل سازی و کالبیر، شد و سپس شبیه سازی این رویداد صورت پذیرفت. این رویداد در فاصله زمانی بین ۱۴ اسفند ماه ۱۳۸۱ (۴ مارس ۲۰۰۳) تا ۲۰ فروردین ۱۳۸۲ (۹ آوریل ۲۰۰۳) گزارش شده است. برای این منظور، داده های دبی ورودی و خروجی و اطلاعات هواشناسی این دوره به مدل هیدرودینامیک کالبره شده مخزن قشلاق در محیط هیدرودینامیک انجام شد. در گام نخست، تراز سطح آب مدل سازی شده با داده های میدانی اندازه گیری شده مقایسه شد که تطابق مناسبی نیز وجود داشت (Iran Ministry of Energy, 2003).

شبیه سازی این رویداد، یک روز پس از سقوط تانکر حاوی MTBE بود و در نتیجه بخشی از این آلودگی مسیری را طی نموده و طول و عمق محدودی از مخزن متأثر از این رویداد بود (Iran Ministry of Energy, 2003). با توجه به این مسئله و نیز

داده های محدود ارائه شده از نقاط مختلف مخزن در روز اول شبیه سازی، در روز اول شبیه سازی طولی از مخزن به ویژه در لایه های سطحی خود با جرمی از آلودگی مواجه شده بود و دارای غلظت اولیه بود. اطلاعات ورودی مدل توسعه یافته نظرت اولیه بود. اطلاعات ورودی مدل توسعه یافته نتبت شده از رخداد، جریان ورودی به مخزن قشلاق از روز ۱۵ تا ۲۲ اسفندماه سال ۱۳۸۱ حاوی جرم و غلظت آلاینده MTBE است و از روز ۲۳ اسفند میزان غلظت MTBE جریان ورودی در گزارش صفر ارائه شده است (Iran Ministry of Energy, 2003).

بهمنظور كاليبراسيون غلظت MTBE در سطح و عمق مخزن، لازم است برخى پارامترهاى مدل مانند ضريب ويسكوزيته گردابي افقی، ضریب پخشیدگی افقی و ضریب ویسکوزیته گردابی عمودی طی فرایند سعی و خطا کالیبره شوند. ضریب ویسکوزیته گردابی افقی، انتشار مومنتم در راستای x را نمایش میدهد و ضریب پخشیدگی افقی در انتقال گرما و کیفیت آب مؤثر است. بیشینه ضريب ويسكوزيته گردابي عمودي نيز در انتقال گرما و جرم به لايههاي عمقي جريان نقش دارد. آناليز حساسيتهايي نيـز بـر روى الگوریتم محاسبه شد و ویسکوزیته گردابی عمودی (توابع W2، TKE ،NICK ،RNG ،W2N و RNG) در معادله مومنتم افقى و روشهای صریح یا ضمنی انتقال عمودی مومنتم افقی صورت پذیرفت که تأثیر قابل توجهی در بهبود نتایج کالیبراسیون غلظت MTBE در مخزن قشلاق نداشت. با توجه به استفاده از روش های مديريتي در كاهش زمان پاكسازي مخزن سد قشلاق و نيز محدوديتهاي "نسخه يک مدل اصلاح يافته CE-QUAL-W2"، در این پژوهش قابلیت مدلسازی این اقدامات مدیریتی از طریق اصلاح در کدنویسی برنامه CE-QUAL-W2 ایجاد شد و نتایج دو نسخه مدل اصلاح یافته CE-QUAL-W2 با یکدیگر مقایسه شدند. در جداول ۲ و ۳ ضرایب کالیبره شده پارامترهای مورد نظر در دو نسخه اصلاح شده CE-QUAL-W2 ارائه شده است. همانگونه که در جدول ۳ ملاحظه می شود، در "نسخه دو مدل اصلاح یافته CE-QUAL-W2 " بەمنظور گنجاندن اثرگذارى اقدامات مديريتى بر فرایندهای انتقال و واکنش آلودگی ماده فـرار نفتـی در طـی دوره زمانی مشخص، این ضرایب به دو صورت متغیر با زمان و

مجله آب و فاضلاب ۲۶.۴۳۳۶ مهلوره ۳. سال ۱۳۹۷

¹ Vertical Transport of Horizontal Momentum

بر اساس نتایج ارائه شده در شکل ۵، تطابق بیشتری میان دادههای مشاهداتی و نتایج شبیه سازی مدل به ویژه در روزهای نخست پس از رویداد سرریز آلودگی MTBE، در "نسخه دو مدل اصلاح يافته CE-QUAL-W2 "مشاهده می شود. به عبارتی در نسخه یک، امکان تعریف ضرایب AZMAX ،DX ،AX و ضریب واکنش (در اثر فرایندهای شیمیایی و بیولوژیکی) در طی زمان شبیهسازی بهصورت اعداد ثابتی به مدل امکان یذیر است. این در حالي است كه اين ضرايب در اثر تغيير در آشفتگي جريان سيال و ورود اکسیژن به درون آب در اثر دستگاههای مختلف در طی دوره مشخصی از زمان، باید مقادیر متفاوتی در طول زمان داشته باشند. با توجه به عدم توانایی مدل CE-QUAL-W2 در شبیه سازی روشهای هوادهی و آشفتگی مصنوعی، بهکارگیری ایـن روشهـا از طريق امكان معرفي تغييرات زماني ضرايب انتقال و واكـنش در "نسخه دو مدل اصلاح یافته CE-QUAL-W2" برای مدل فراهم شد. بر اساس نتایج ارائه شده، هر دو نسخه مدل اصلاح یافته CE-QUAL-W2 در روزهای اول شبیهسازی قادر به شبیهسازی با دقت مناسب از غلظت MTBE در سطح نیست. در حالی که عملكرد مدل اصلاح يافته نسخه دو، به مراتب بهتر است. دليل اين رويداد ممكن است به عدم توانايي CE-QUAL-W2 توسعه يافته در شبیهسازی تأخیر زمانی میان تبخیر و انحـلال مـرتبط باشـد. بـر اساس آنچه در مورد ترکیبات نفتی مطرح است، فرایند انحلال با تأخير زماني نسبت بـه تبخيـر بـهوقـوع مـي پيونـدد. بـهعبـارتي در روزهای نخست، انحلال MTBE و ورود به لایههای عمقی جریان ناچیز است و در نتیجه غلظت بیشتری در سطح باقی میماند. این در حالی است که در مدل CE-QUAL-W2 انعالال از لحظه نخست و همزمان با تبخیر آغاز می شود. به عبارتی در مدل CE-QUAL-W2، ماده MTBE ریخته شده در سطح در طبی زمان در اثر انحلال و تحت تأثير فرايند پخشيدگي بـه لايـههـاي زيـرين وارد می شود و نیز به طور همزمان در اثر تبخیر از سطح حذف می شود. با همه این موارد، در مجموع از نتایج شبیه سازی MTBE در طي كل دوره توسط مدل CE-QUAL-W2 توسعه يافته رضايت نسبی وجود دارد. مقایسه میان نتایج شبیهسازی MTBE در عمق مخزن قشلاق در دو نسخه اصلاح یافته و دادههای اندازهگیری شده (میدانی) در سطح و نیز عمق ۱۰ متری از سطح آب به شرح شکل ۶ است. همچنین مقایسه غلظت MTBE در سطح مخرن در

ل ۲- پارامترهای کنترل کننده انتقال جرم (کیفیت) در "نسخه	جدو
یک مدل اصلاح یافته CE-QUAL-W2"	

Table 2. Calibrated parameters used in modified CE-QUAL-W2 model affecting the transport of constituent

Parameter	K(20°C)	AX^*	DX*	AZMAX*
Default Value	0.045	0.001	0.001	0.0001
Calibrated Value		1	1	1

* CE-QUAL-W2 Model Parameter name

جدول ۳- پارامترهای کنترل کننده انتقال جرم (کیفیت) در "نسخه

دو مدل اصلاح يافته CE-QUAL-W2"

Table 3. Calibrated parameters used in modified CE-QUAL-W2 model affecting constituent transportation

K(20°C)	AX*	DX*	AZMAX*
0.0003	0.0005	0.0001	0.00001
0.095	0.001	0.04	0.02
0.1	0.001	0.04	0.02
0.0003	0.0005	0.0001	0.00001
	K(20°C) 0.0003 0.095 0.1 0.0003	K(20°C) AX* 0.0003 0.0005 0.095 0.001 0.1 0.001 0.0003 0.0005	K(20°C) AX* DX* 0.0003 0.0005 0.0001 0.095 0.001 0.04 0.1 0.001 0.04 0.0003 0.0005 0.0001

* CE-QUAL-W2 Model Parameter name

متناسب با زمان به کارگیری این اقدامات، تعریف شدند. نتایج شبیه سازی MTBE در سطح مخزن در موقعیت ۶ کیلومتری فاصله از تاج سد با استفاده از نسخه های یک و دو مدل اصلاح یافته CE-QUAL-W2 در مقایسه با داده های اندازه گیری شده این رویداد در شکل ۵ نمایش داده شده است.



Fig. 5. MTBE concentration at 6 km distance from dam structure during March 05, 2003 to April 9, 2003; comparing the performance of two versions of modified CE-QUAL-W2 model with observed data شکل ۵- غلظت MTBE در فاصله ۶ کیلومتری بدنه سد از تاریخ شکل ۵- غلظت ۸۲/۱/۲۰ دمقایسه عملکرد نسخههای مدل اصلاح شده CE-QUAL-W2 با دادههای میدانی





Fig. 6. Comparing the performance of two versions of modified CE-QUAL-W2 model with observed data; depth profile of MTBE concentration at MTBE spill event in different temporal and spatial monitoring situations
 MTBE concentration at MTBE spill event in different temporal and spatial monitoring situations
 MTBE concentration at MTBE spill event in different temporal and spatial monitoring situations
 MTBE concentration at MTBE spill event in different temporal and spatial monitoring situations
 MTBE concentration at MTBE spill event in different temporal and spatial monitoring situations
 MTBE concentration at MTBE spill event in different temporal and spatial monitoring situations
 MTBE concentration at MTBE spill event in different temporal and spatial monitoring situations

1000 MTBE Concentration (µgr/L) 900 800 700 Observed Data 600 Modified CE-QUAL 500 (Ver. 2) 400 300 200 100 0 438 448 458 428 468 **Julian Days**

Fig. 7. Comparing the performance of two versions of modified CE-QUAL-W2 model with observed data at water surface elevation; 9 km from dam structure شکل ۷- مقایسه عملکرد نسخههای یک و دو مدل اصلاح شده CE-QUAL-W2 با دادههای میدانی در سطح آب مخزن قشلاق؛ کیلومتر ۹ از بدنه سد قشلاق کیلومتر ۹ از تاج سد در دورهای از روزهای شبیهسازی در شکل ۷ ارائه شده است.

۴-۳- مقایسه زمان پاکسازی مخزن قشلاق پس از رویداد سقوط تانکر حاوی MTBE

پس از شبیه سازی شرایط هیدرودینامیکی و کیفی مخزن قشلاق در اثر این رویداد، ارائه زمان پاک سازی مخزن برای مدیران و برنامه ریزان بسیار حائز اهمیت است. برای تعیین این زمان، در مدل توسعه یافته توسط فیضی و همکاران در سال ۲۰۱۵، بیشترین غلظت MTBE از میان المان های محاسباتی مخزن در بازه های زمانی شبیه سازی در فایلی ثبت شد. همچنین متوسط غلظت نیز در مخزن مورد محاسبه در فایلی ذخیره شد (Feizi et al., 2015).

Journal of Water and Wastewater

مجله آب و فاضلاب ۲**۰۱ کی ۱۳۹۷ تنها**ره ۳، سال ۱۳۹۷

در شکل ۸ سری زمانی بیشترین غلظت MTBE در مغزن قشلاق نمایش داده شده است. غلظت مجاز MTBE در منابع آب برای مصارف شرب، ۵ میکروگرم در لیتر است که بر اساس این معیار، پاکسازی کامل مخزن قشلاق از آلودگی MTBE در روز پانصد و چهلم، یعنی ۱۱۲روز بعد از رویداد به وقوع پیوسته است. متأسفانه به دلیل عدم اندازه گیری این پارامتر کیفی در اعماق بیش از ۱۰ متر در مخزن قشلاق در زمان رویداد این حادثه، زمان پاکسازی بر اساس داده های اندازه گیری شده در گزارش حدود ۴۰ روز تخمین زده می شود.

لازم بهذکر است هیچگونه برداشت جریان در سال ۱۳۸۲ از مخزن صورت نگرفته و دبی خروجی از مخزن قشلاق در سایت Irandams در این سال، صفر گزارش شده است.



Fig. 8. Time series of maximum MTBE concentration in base scenario during simulation period در مخزن قشلاق در سناریوی پایه در طی روزهای شبیهسازی

۳–۵– بررسی تأثیر سناریوهای مختلف بر پاسخ پیکره آبی در این قسمت برای بررسی عوامل مختلف بر روی توزیع زمانی و مکانی آلودگی MTBE، سناریوهایی بر اساس شرایط آب و هوایی یا عوامل انسانی تعریف شد. توزیع زمانی و مکانی پاسخهای سامانه مخزن با تعریف سناریوهای هواشناسی و هیدرولوژیکی متفاوتی چون شرایط دمای هوا، سرعت وزش باد و جریان دبی ورودی مورد ارزیابی قرار گرفت. همچنین سناریوهایی بر اساس تأثیر عوامل انسانی مانند مقادیر جرم آلودگی ورودی و الگوهای بهرهبرداری از مخزن تعریف و نتایج آنها مورد بررسی قرار گرفت.

> مجله آب و فاضلاب ID.ir وره ۲۹۷ منبلوه ۳. سال ۱۳۹۷

۳-۶- بررسی تأثیر دمای هوا بر نتایج رویداد

دمای هوا با تأثیر بر مقدار تبادل گرمایی سطح آب و هوا بر دمای پیکرههای آبی تأثیر میگذارد و با تغییر دمای سیستم مورد بررسی، نرخ واکنشهای موجود در سیستم تغییر میکند. همچنین دمای آب ورودی نیز نقش قابل توجهی بر دمای آب مخزن و در نتیجه نرخ ضرائب واکنشهای بیولوژیکی و شیمیایی خواهد داشت.

برای بررسی اثر دما بر غلظت آلودگی یارامتر کیفی MTBE، دمای هوا ۸/۸ و ۱/۲ برابر شده و به تبع آن دمای آب ورودی نیز تغییر یافته است. نتایج این تغییر در شرایط آب و هوایی در مخـزن قشلاق آن در شکل ۹ مشاهده میشود. بر اساس نتایج مشاهده شده، کاهش دمای هوا و به تبع آن کاهش دمای آب ورودی به مخرن و نیز دمای آب مخزن سبب کاهش زمان پاکسازی مخزن از ۱۱۲ روز به ۱۰۵ روز می شود. افزایش دمای هوا، سبب افزایش زمان یاکسازی مخزن از ۱۱۲ روز به ۱۳۲ روز می شود. اگرچه افزایش دمای هوا و دمای آب سبب افزایش ضریب هنری، ضریب انتقال از فاز گازی و ضریب انتقال از فاز مایع میشود و در نهایت با افزایش ضريب انتقال تبادلي سطح همراه است، اما افزايش دما، سبب افزایش انحلال ماده نفتی و ورود آن به لایه های زیرین مخزن می شود و در نتیجه جرم کمتری در سطح باقی مانده و همراه با آن، جرم کمتری امکان حذف از طریق فرایند تبخیر را مییابد. بررسی يروفيل عمقي غلظت MTBE نيز مؤيد ورود جرم بيشتري به اعماق مخزن در طی رویداد شبیهسازی سناریوهای دمایی تعریف شده است (Moghaddam, 2015).



Fig. 9. Time series of maximum MTBE concentration in various air temperature scenarios during simulation period شکل ۹- بیشینه غلظت MTBE در مخزن قشلاق در طی روزهای شبیه سازی در سناریوهای مختلف تغییرات دمای هوا



Vol. 29, No. 3, 2018



Fig. 10. Time series of maximum MTBE concentration under various hydrological scenarios during simulation period شکل ۱۰ - سری زمانی تغییرات بیشینه غلظت MTBE در مخزن

قشلاق در سناريوهاي هيدرولوژيكي تعريف شده

ورودی سبب کاهش زمان پاکسازی از ۱۱۲ روز به ۱۱۱ روز می شود و کاهش دبی ورودی سبب افزایش زمان پاکسازی به می شود و کاهش دبی ورودی سبب افزایش زمان پاکسازی به شرایط هیدرولوژیکی به صورت سال پر آبی /کم آبی) به میزان ۴۰ شرایط هیدرولوژیکی به صورت سال پر آبی /کم آبی) به میزان ۱ درصد به تر تیب سبب کاهش و افزایش زمان پاکسازی به میزان ۱ و ۲ روز می شود. افزایش دبی با تأثیر بر فرایندهای انتقال، سبب گسترده شدن جرم در حجم بیشتری شده و به این تر تیب زمان پاکسازی مخزن کاسته می شود. علاوه بر این با افزایش دبی ورودی، حجم آب بیشتری در مخزن تجمیع می شود و جرم آلودگی اگر چه زمانهای محاسبه شده به نظر ناچیز می آیند، اما قطعاً از نظر مدیران و برنامه ریزانی که مدیریت پیکره آبی با تأمین شرب را به عهده دارند، این زمان به دلیل مباحث اجتماعی، سیاسی و اقتصادی بسیار حائز اهمیت است.

 ۳-۹-بررسی پاسخ سیستم در صورت تغییر مقدار بار آلودگی برای بررسی اثرات مقدار آلودگی وارد شده بر توزیع زمانی و مکانی غلظت آلاینده و نیز زمان پاکسازی مخزن، یکی از سناریوهای مورد بررسی مقدار آلودگی ورودی است. با در نظر گرفتن این نکته، فرض ورود نصف و دو برابر بار آلودگی MTBE (سقوط تانکری با نصف ظرفیت و یا سقوط دو تانکر حاوی (MTBE) برای بررسی پاسخ سیستم در نظر گرفته شده است. بررسیها نشان میدهد زمان پاکسازی مخزن در صورت سقوطی با ۳–۷– بررسی تأثیر کاهش و افـزایش سـرعت بـاد بـر نتـایج رویداد

براي بررسي اثر سرعت وزش باد بر غلظت آلودگي پارامتر كيفي MTBE، سرعت وزش باد ۸/۰و ۱/۲ برابر شده است. با تغییر در سرعت وزش باد، دمای آب ورودی به مخزن و نیز دمای آب مخزن تغییر خواهد یافت. بر اساس نتایج مشاهده شده، افزایش سرعت باد و به تبع آن کاهش دمای آب ورودی به مخزن و نیز دمای آب مخزن سبب کاهش زمان پاکسازی مخزن از ۱۱۲ روز به ۹۴ روز می شود و کاهش سرعت وزش باد، سبب افزایش زمان پاکسازی مخزن از ۱۱۲ روز به ۱۱۸ روز می شود. افزایش سرعت باد سبب کاهش دمای هوا و به تبع آن کاهش ضریب هنری میشود. همچنین پارامترهای سرعت باد و دمای آب بر ضریب انتقال از فاز مایع تأثیرگذار هستند. با توجه به تأثیر معکوس دمای آب از سرعت وزش باد و نیز تغییرات ضریب انتقال از فاز مایع در اثر افزایش سرعت باد، افزایش ضریب تبادل آلاینده MTBE در سطح مشاهده می شود. به عبارتی در محاسبه ضریب انتقال تبادلی سطح، نقش سرعت وزش باد و ضريب انتقال از فاز مايع و دماي آب غالب بوده و سبب افزایش تبادل در سطح و در نتیجه افزایش تبخیر MTBE در لایه سطحی میشود. علاوه بر این با افزایش سرعت باد، دمای آب ورودی به مخزن و در نتیجه دمای آب مخزن کاهش می یابد. با کاهش دما، فرایند انحلال و ورود به لایههای زیرین کاهش یافتـه و در نتیجه جرم بیشتری از طریق تبخیر از لایههای سطحی حذف می شود. به این ترتیب زمان پاکسازی مخزن در سناریوی افزایش سرعت وزش باد نسبت به بقیه سنار یو ها کمتر است.

۳–۸– بررسی تأثیر کاهش و افـزایش دبـی ورودی بـر نتـایج رویداد

دبی جریان ورودی و نیز حجم آب درون مخزن بر زمان پاکسازی مخزن بسیار تأثیرگذار است. به منظور بررسی این تأثیر، با ثابت نگه داشتن جرم آلودگی MTBE ورودی به مخزن، میزان دبی ورودی به مخزن ۴۰ درصد افزایش و کاهش داده شد. سری زمانی بیشینه غلظت MTBE در مخزن قشلاق در سناریوهای هیدرولوژیکی تعریف شده در شکل ۱۰ ارائه شده است.

با بررسی های صورت گرفته بر نتایج مدل سازی، افزایش دبی



نصف ظرفیت حاوی MTBE، ۱۰۸ روز و در صورت سقوط دو تانکر ۱۱۹ روز به طول خواهد انجامید.

۳-۱۰- بررسی تأثیر نحوه بهرهبرداری از مخزن

تنظیم میزان رهاسازی از مخزن ممکن است در زمان پاکسازی مخزن و نیز غلظت جریان خروجی از مخزن تأثیرگذار باشد. بهرهبرداری از مخازن میتواند بر اساس تعداد و رقوم مختلف دریچههای خروجی سد، میزان رهاسازی از دریچهها را بهمنظور اهداف سد شامل شود. در سد قشلاق تنها یک آبگیر خروجی تعريف شده است و در نتيجه امكان بررسي برداشت انتخابي مطرح نبوده است. لذا در این پژوهش برای بررسی تأثیر نحوه بهرهبرداری از مخزن، دو سناريو بر ميزان برداشت آب خروجي از مخزن شامل ۰/۷۵ و ۲۵/۰ مترمکعب بر ثانیه تعریف شده است. لازم به یاد آوری است در سناریوی پایه، در طول رویداد، با توجه به حساسیتهای سلامت انسان و اکوسیستم در پاییندست رودخانه، هیچگونه برداشتی از آبگیرهای مخزن صورت نپذیرفت. بر اساس بررسیهای انجام شده، خارج نمودن آب در هر دو سناریوی تعریف شده تأثير قابل توجهي بر زمان پاکسازي نسبت به سناريوي پايه نداشته است. بهعبارتی تأثیر این سناریوها بر زمان پاکسازی حدود یک روز است، این در حالی است که با تعریف ایـن سـناریوها، آب آلوده نیز به پاییندست منتقل میشد. بر اساس نتایج حاصل از شبیهسازی در مخزن قشلاق، بیشینه غلظت MTBE در مخزن در صورت برداشت آب از مخزن نسبت به سناریوی پایه یا عدم برداشت از آبگیرهای مخزن، بیشتر است.

۴-نتیجهگیری

در نسخه دو مدل اصلاح شده CE-QUAL-W2 ، اثر به کارگیری روشهای ایجاد آشفتگی، اختلاط و هوادهی مصنوعی در مخزن، بر ضرایب معادلات انتقال و واکنش ماده فرار نفتی نیز به قابلیت های نسخه قبلی مدل افزوده شد. نتایج حاصل از شبیه سازی توسط این نسخه با نسخه یک مدل توسعه یافته CE-QUAL-W2 در مقایسه با داده های میدانی رخداد سرریز MTBE در مخزن قشلاق، بیانگر قابلیت بهتر نسخه توسعه یافته این پژوهش در مقایسه با نسخه یک، به ویژه در روزهای نخست پس از رخداد سرریز آلودگی ماده فرار نفتی بود. از جمله کاستی های مدل توسعه یافته

CE-QUAL-W2 می توان به در نظر نگرفتن تأخیر زمانی میان تبخیر و انحلال اشاره نمود؛ زیرا بر اساس مرور منابع علمی، در ساعات اول رخداد حادثه انحلال صورت نمی گیرد (یا با نرخ بسیار ناچیز صورت می پذیرد)، و تنها تبخیر فرایند مؤثر بر استهلاک است. اما این قابلیت در مدل توسعه یافته CE-QUAL-W2 وجود ندارد و این قابلیت را دارد که یکی از زمینههای پژوهش های آتی برای تکمیل قابلیتهای این مدل باشد.

با استفاده از مدل توسعه یافته CE-QUAL-W2 زمان پاکسازی مخزن از کل آلودگی MTBE (غلظت ۵ میکروگرم بر ليتر)، سرى زمانى بيشينه و متوسط غلظت MTBE در مخزن قشلاق استخراج شد تا اطلاعات لازم براي مديران و برنامهريزان فراهم شود. همچنین تأثیر سناریوهای مختلف هواشناسی (دمای هوا و سرعت وزش باد)، هیدرولوژیکی، نحوه بهرهبرداری از مخزن، ورود جرمهای متغیر آلودگی بر زمان پاکسازی مخزن قشلاق مورد بررسی قرار گرفت و نتایج آن در این پژوهش در بخشهای مورد نظر ارائه شد. بر اساس نتایج حاصل سناریوهای هواشناسی و هیدرولوژیکی مانند کاهش دمای هوا، افزایش سرعت باد و افزایش دبي جريان ورودي به مخزن، سبب كاهش زمان يـاكسـازي مخـزن می شود. علاوه بر این، برداشت آب از آبگیری سد قشلاق تا میزان ۰/۷۵ مترمکعب بر ثانیه تأثیر قابل توجهی بر زمان پاکسازی مخزن نخواهد داشت ضمن اينكه آب آلوده به پايين دست نيز منتقل می شود. اگرچه همواره این انتظار می رود که با افزایش دبی خروجی جریان، ضرایب انتقال طولی نیز افزایش یابد و زمان پاکسازی را تسريع بخشد، اما تأثير مقادير دبي برداشت شده از مخزن قشلاق بسیار ناچیز است و منجر به تغییر زمان پاکسازی به حدود فقط یک روز میشود. اما در مجموع می توان گفت میزان و نحوه بهرهبرداری از مخزن بـر روی غلظت آلـودگی خروجـی از مخـزن و زمان پاکسازی مخزن تأثیرگذار است. با افزایش میزان دبی خروجی از مخزن، سرعت انتقال طولی و در نتیجه انتقال طولی افزایش می یابد و در نتیجه جرم آلودگی در بازه زمانی کوتاهتری به نقطه خروجی مخزن رسیده و غلظت خروجی افزایش می یابد. از طرف دیگر خروج جرم بیشتر آلودگی از مخزن، منجر به کاهش زمان بازپروری مخزن شده و نیز فرصت فرایند تبخیر برای جرم آلودگي نيز کاهش مي يابد.

با توجه به عملکرد موفـق مـدل CE-QUAL-W2 در این پژوهش،



شبیهسازی CE-QUAL-W2، افزودن قابلیت شبیهسازی آلایندههای دیگری مانند مواد سمی، فلزات سنگین و غیره برای پژوهشهای آینده در زمینه مباحث مدلسازی کیفیت آب در مخازن و رودخانهها توصیه میشود. همچنین می توان تغییرات مکانی به کارگیری این روشهای مدیریتی در رویدادهای آلودگی مواد فرار نفتی به ویژه در مخازن و پیکرههای آبی طولی را علاوه بر تغییرات زمانی منظور نمود. امکان ایجاد ار تباط این مدل با مدلهای بهینهسازی با هدف بهینه نمودن راهکارهای مدیریتی از جمله تعیین ظرفیت بهینه سیستم انحراف جریانهای متعدد ورودی به مخزن و تعیین سیاست بهینه بهرهبرداری از مخزن در ساختار برداشت انتخابی، در رودخانههایی که حساسیت در پاییندست به لحاظ مباحث سلامتی انسان و اکوسیستم جدی نباشد، در کاهش زمان پاکسازی مخزن وجود خواهد داشت. با توجه به دسترسی آزاد کدهای برنامهنویسی مدل

References

Bartram, J. & Balance, R. 1996. *Water quality monitoring*, 5th Ed., New York: Van Nostrand Reinhold. Camp, J.V.S. 2009. Design and implementation of an advanced spill management information system for surface

- water. PhD. Thesis, USA: Vanderbilt University.
- Chapra, S.D. 1997. Surface water quality modeling, 1st Ed., New York: Mc Graw-Hill.
- Cole, M.T. & Wells, S.A. 2006. *CE-Qual-W2: A two-dimensional, laterally averaged, hydrodynamic and water quality model, version 3.5, user manual*, Washington, DC: U.S Army Crops of Engineers.
- Feizi, F. 2012. Resevoir operation under accidental or intentional pollution spill (Karkhe river-reservoir case study)", MSc Thesis, Tehran, Iran: Iran University of Science and Technology. (In Persian)
- Feizi, F., Afshar, A., Saadatpour, M. & Faraji, E. 2015. "CE-QUAL-W2 model modification to simulate volatile organic compounds in river-reservoir systems" *Journal of Water and Wastewater*, 26(5), 35-47. (In Persian)
- Iran Ministry of Energy. 2003. *Pollution removal in Gheshlagh reservoir*, Kordestan Regional Water Company: Iranian Water Resources Management Company. (In Persian)
- Moghadam, A.Y. 2015. Oil pollution modeling and management in reservoir systems. MSc Thesis, Karaj, Alborz, Iran: College of Environment. (In Persian)
- Major Planning Office of Iran Electricity and Energy. 2000. *Energy balance sheet, global development in energy sector*, Tehran, Iran: Iran Ministry of Energy. (In Persian)
- Mahab Ghodss Consulting Engineering Company. 2014. Updating water resources studies in garmsiri watershed, Tehran, Iran. (In Persian)
- Saadatpour, M. & Afshar, A. 2013. Multiobjective simulation-optimization approach in pollution spill response management model in reservoirs. *Water Resource Management*, 27, 1851-1865.

