

مقایسه مدل‌های CE-QUAL-W2 و DYRESM در شبیه‌سازی توزیع دما در مخزن سد پانزده

خرداد

محمدابراهیم خواجه پور^۱ - افشین اقبال زاده^{۲*} - مجتبی شیباسی ارانی^۳ - مرتضی افشاری^۴ - میترا جوان^۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۴/۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱/۲۶

چکیده

احداث سد بر روی رودخانه، جریان پویا و در حال حرکت (اکوسیستم رودخانه‌ای) را به آبی ایستا و راکد (اکوسیستم دریاچه‌ای) تبدیل می‌نماید. مهم‌ترین تفاوت این دو اکوسیستم زمان ماند و لایه‌بندی شدن آب است که باعث می‌شود کیفیت آب رودخانه قبل از مخزن سد و بعد از آن متفاوت باشد. در این تحقیق در ابتدا به شبیه‌سازی توزیع حرارت در مخزن سد پانزده خرداد طی سال ۱۳۷۶ توسط مدل دوبعدی متوسط‌گیری شده در عرض CE-QUAL-W2 پرداخته شد. در ادامه نتایج حاصل از این مدل با نتایج حاصل از شبیه‌سازی مدل یک‌بعدی عمقی DYRESM و نیز با داده‌های صحرایی مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد که هر دو مدل در شبیه‌سازی پروفیل‌های حرارتی مخزن در دوران اختلاط مخزن و نیز پیش‌بینی زیرلایه و میان‌لایه در دوران لایه‌بندی موفق عمل کرده‌اند اما مدل DYRESM در پیش‌بینی دمای رولایه در دوران لایه‌بندی ضعیف عمل کرده است. در ادامه روابطی که دو مدل برای محاسبه شار حرارتی مورد استفاده قرار می‌دهند، با هدف دستیابی به علت این اختلاف بررسی شد. با توجه به اینکه مخزن سد پانزده خرداد در منطقه ای قرار دارد که تبخیر عامل مهمی می‌باشد وجود روابط متفاوتی که دو مدل برای محاسبه شار حرارتی تبخیر مورد استفاده قرار می‌دهند، باعث شده تا تبخیر در مدل DYRESM نسبت به میزان واقعی آن کمتر برآورد شده و سبب اختلاف در شبیه‌سازی دمای رولایه در مقایسه با داده‌های اندازه‌گیری شده گردد.

واژه‌های کلیدی: مدل‌های شبیه‌سازی مخازن، لایه‌بندی حرارت، DYRESM، CE-QUAL-W2

مقدمه

می‌تواند ناشی از اختلاف در حرارت و یا وجود مواد محلول و معلق باشد. لایه‌بندی حرارتی مرسوم‌ترین نوع لایه‌بندی است و در سدهای بزرگ تأثیر بسزایی بر اکوسیستم مخازن سدها دارد (۳ و ۵). پیشرفت چشمگیر در زمینه رایانه در کنار استفاده از ابزار و وسایل جدید مربوط به اندازه‌گیری در مدل‌های فیزیکی، پیشرفت‌های قابل توجهی را در مبحث هیدرودینامیک محاسباتی به وجود آورده، بطوری که در حال حاضر برنامه‌های رایانه‌ای متعددی جهت استفاده در حل مسائل آبی تولید شده است (۲). مدل CE-QUAL-W2 نخستین بار توسط Edinger و Buchack در سال ۱۹۷۵ عرضه شد. این مدل یک مدل دوبعدی متوسط‌گیری شده در عرض می‌باشد که به زبان FORTRAN نوشته شده و به صورت رایگان از طریق اینترنت قابل دسترسی است. این مدل به طور گسترده‌ای در شبیه‌سازی حرارت، هیدرودینامیک و کیفیت آب در مخازن عمیق و دریاچه‌ها و در مناطق جغرافیایی مختلف بکار رفته است (۶ و ۸). گلد و همکاران (۹) مدل CE-QUAL-W2 را برای شبیه‌سازی دما در مخزن کانونسویل در

با احداث سد در مسیر رودخانه‌ها، جریان پویا و در حال حرکت رودخانه به آبی ایستا و راکد تبدیل می‌گردد. این تغییر، اکوسیستم رودخانه‌ای را به اکوسیستم دریاچه‌ای تبدیل می‌نماید. مهم‌ترین تفاوت این دو اکوسیستم را می‌توان در زمان ماند و لایه‌بندی شدن آب دانست که باعث می‌شود کیفیت آب رودخانه قبل از مخزن سد و بعد از آن متفاوت باشد. لایه‌بندی^۶ به معنی ایجاد لایه‌هایی از جرم‌های سیال می‌باشد که در اثر اختلاف در دانسیته ایجاد می‌گردد و

۱، ۲ و ۵- به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد و استادیاران گروه مهندسی عمران، دانشگاه رازی، کرمانشاه

(*) نویسنده مسئول: Email: afeghbal@yahoo.com

۳- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۴- مدیر پژوهشکده منابع آب- موسسه تحقیقات آب

میزان خطای میانگین مطلق در نقاط مختلف برای مدل SNTEMP بین ۰/۲ تا ۱/۸ درجه سانتی‌گراد و برای مدل CE-QUAL-W2 بین ۰/۵ تا ۱/۴ درجه سانتی‌گراد بدست آمد. بس و همکاران (۱۵) نیز در گزارشی به بررسی شبیه‌سازی حرارت با استفاده از مدل‌های DYRESM و CE-QUAL-W2 در چند مخزن در آفریقای جنوبی پرداختند.

در این پژوهش، با استفاده از داده‌های برداشت شده در طی سال ۷۶ که در چند نقطه طولی از مخزن سد پانزده خرداد و نیز در اعماق مخزن به فاصله ۲ متری برداشت شده بود، شبیه‌سازی با مدل دوبعدی متوسط‌گیری شده CE-QUAL-W2 انجام گرفته است. با توجه به این که این مخزن توسط مدل یک‌بعدی قائم DYRESM توسط اعتماد شهیدی و همکاران (۱۶) شبیه‌سازی شده بود، در این مطالعه پس از کالیبراسیون مدل دوبعدی متوسط‌گیری شده در عرض CE-QUAL-W2، با هدف انتخاب مدل برتر در زمینه شبیه‌سازی توزیع حرارت در مخزن سد پانزده خرداد، به مقایسه این مدل با مدل DYRESM از لحاظ داده‌های ورودی مورد نیاز برای اجرا و میزان دقت در نتایج شبیه‌سازی پرداخته شده است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی حرارت در مخزن سد توسط مدل DYRESM از مرجع شماره ۱۶ گرفته شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

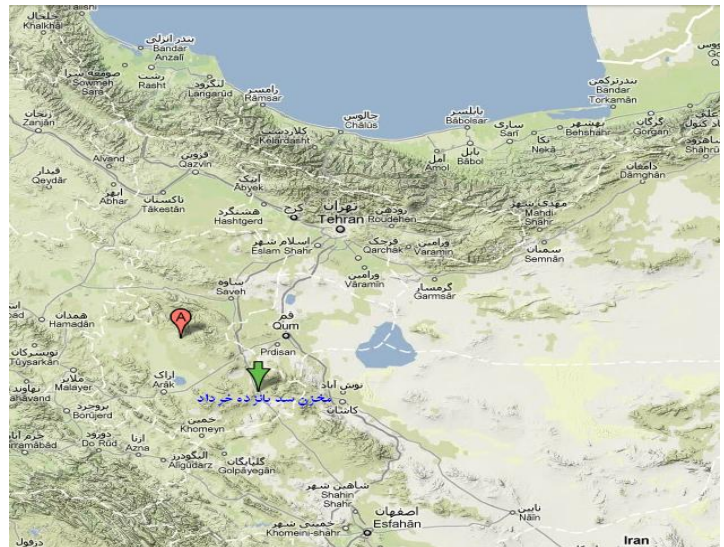
سد مخزنی پانزده خرداد در موقعیت عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۱۰ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۳۰ دقیقه شرقی، با ظرفیت مخزن ۲۰۰ میلیون متر مکعب و ظرفیت تنظیم آب برابر با ۸۵ میلیون متر مکعب و با ارتفاع ۵۴ متر از بستر رودخانه بر روی رودخانه لب شور قم‌رود در نزدیکی روستای عباس‌آباد دلیجان و در ۲۱۰ کیلومتری جنوب تهران در سال ۱۳۷۲ احداث گردیده است. هدف از احداث این سد کنترل و مهار آب‌های سطحی، تأمین آب شرب شهرستان قم به میزان ۳۷/۴ میلیون متر مکعب و حقایه‌های حدود ۸۰۰۰ هکتار از اراضی پایین دست محل سد به میزان ۲۸/۳ میلیون متر مکعب در حاشیه رودخانه دشت قم می‌باشد. مشخصه عمده سد پانزده خرداد این است که اولین سد مخزنی است که بر روی یکی از رودخانه‌های لب‌شور کشور و با هدف تأمین آب شرب شهری احداث گردیده است. در شکل شماره ۱ محدوده مخزن و تصویر ماهواره‌ای دریاچه مخزن سد پانزده خرداد نشان داده شده است.

ایالات متحده بکار بردند. مدل توسط داده‌های دمای بدست آمده در فاصله زمانی آوریل تا نوامبر ۱۹۹۵ که به صورت هفتگی برداشت شده بود، واسنجی و سپس توسط داده‌های سال ۱۹۹۴ تا ۱۹۹۸ صحت‌سنجی شد. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که مدل به خوبی توانسته است زمان شروع اختلاط، دوره لایه‌بندی، ضخامت رولایه و زیرلایه را در دوره لایه‌بندی و نیز دمای لایه‌ها را شبیه‌سازی کند. در این مطالعه مقدار RMSE برای دما ۱/۷۷ درجه سانتی‌گراد بدست آمد.

بر اساس تجربیاتی که از مدل‌سازی بیش از ۴۰۰ پیکره آبی در سرتاسر جهان توسط این مدل بدست آمده، این مدل از کارایی مناسبی جهت شبیه‌سازی حرارت و دیگر پارامترهای کیفی آب برخوردار است (۱۰).

مدل هیدروپنمیک یک‌بعدی DYRESM برای پیش‌بینی توزیع حرارت عمودی، شوری و چگالی در دریاچه‌ها و مخازن سدها کاربرد دارد. نسخه اولیه این مدل در سال ۱۹۷۸ در مرکز تحقیقات آب دانشگاه وسترن استرالیا توسعه داده شده است. این مدل به دلایل مختلف از جمله دقت محاسباتی بالا و امکان استفاده در کلیه شرایط آب و هوایی کاربرد وسیعی را در بررسی و پیش‌بینی خصوصیات کیفی آب دریاچه‌ها و مخازن در سرتاسر جهان پیدا کرده است. هن و همکاران (۱۱) با استفاده از این مدل اقدام به شبیه‌سازی توزیع دمای مخزن سد ساو در اسپانیا نمودند و سپس تأثیر ورودی و خروجی را بر شرایط لایه‌بندی این مخزن مورد بررسی قرار دادند. ایشان با استفاده از داده‌های دمایی موجود از مخزن سد، اقدام به تست مدل کرده و تأثیر ورودی و خروجی‌ها را در شرایط لایه‌بندی دمایی مخزن مورد بررسی قرار دادند. بوید و همکاران (۱۲) از مدل DYRESM برای شبیه‌سازی دما و شوری در دریاچه مید در ایالت‌های نوادا و آریزونا ای آمریکا استفاده کردند. نتایج شبیه‌سازی داده‌های حاصل از نمونه‌برداری‌ها در مخزن را تایید کرده و نشان داد که مخزن در فصول پاییز و زمستان در شرایط اختلاط بسر می‌برد. همچنین، در فصول بهار و تابستان مخزن حالت لایه‌ای داشته، بطوری که در فصل تابستان لایه‌بندی شدید در مخزن اتفاق می‌افتد. در دوران لایه‌بندی مخزن، نتایج شبیه‌سازی، عمق میان‌لایه را کمتر از داده‌های مشاهداتی برآورد کرده و میزان دما در لایه سطحی بین ۱ تا ۳ درجه سانتی‌گراد بیشتر از داده‌های مشاهداتی برآورد گردید.

کوروپ و همکاران (۱۳) به مقایسه دو مدل TISAT و CE-QUAL-W2 در خلیج رودخانه سون پرداختند. هر دو مدل توانستند به خوبی داده‌های اندازه‌گیری شده را شبیه‌سازی کنند. ولی نتایج حاصل از مدل CE-QUAL-W2 نسبت به TISAT بهتر بود و این امر به طرح انتقال مورد استفاده در مدل CE-QUAL-W2 نسبت داده شد. نورتون و بردفرد (۱۴) به مقایسه دو مدل SNTEMP و CE-QUAL-W2 در شبیه‌سازی حرارت رودخانه اسپید پرداختند.



شکل ۱- محدوده مخزن و تصویر ماهواره‌ای دریاچه مخزن سد پانزده خرداد

چگالی آب، t زمان، P فشار، g شتاب ثقل، q دبی ورودی و خروجی، α شیب کف پیکره آبی، ϕ غلظت اجزا متوسط‌گیری شده در جهت عرضی، D_x و D_z ضرایب پخش حرارت و اجزا در جهت‌های x و z ، τ_{xz} و τ_{zx} تنش برشی آشفته در جهت x و z ، q_ϕ غلظت اجزای ورودی و خروجی، S_ϕ ترم مربوط به منبع تولید یا هدررفت اجزای کیفی، β_η عرض سطح آب که با زمان و مکان متغیر می‌باشد، η محل سطح آزاد آب و h عمق می‌باشد. در معادله حالت نیز چگالی تابعی از دمای آب T_w ، غلظت مواد جامد محلول ϕ_{TDS} و غلظت مواد جامد معلق ϕ_{SS} می‌باشد.

اطلاعات لازم برای استفاده از مدل CE-QUAL-W2

اطلاعات مورد نیاز جهت شبیه‌سازی شامل اطلاعات هندسی، هواشناسی، شرایط اولیه، شرایط مرزی، اطلاعات ضرایب پوشش گیاهی و ضرایب اصلاح باد می‌باشند که در ادامه توضیحاتی در خصوص آن‌ها ارائه می‌شود.

داده‌های هندسی: اولین فایل ورودی به مدل فایل هندسه مخزن است که در آن بایستی ژئومتری مخزن به مدل معرفی شود. در این بررسی سد ۱۵ خرداد به ۱۴ بخش طولی و ۳۷ لایه در جهت قائم تقسیم شده است که عمق همه لایه‌ها به میزان ثابت یک متر در نظر گرفته شده، اما فاصله طولی بخش‌ها از ۳۰۰ تا ۱۳۰۰ متر متغیر می‌باشد. شکل ۲، هندسه مخزن را در طول و عمق نشان می‌دهد.

معادلات حاکم در مدل عددی CE-QUAL-W2

این مدل بر اساس روش تفاضل محدود، معادلات متوسط‌گیری شده در عرض شامل معادله سطح آزاد آب (رابطه ۱)، مومنتم در جهت z (رابطه ۲)، مومنتم در جهت x (رابطه ۳)، پیوستگی (رابطه ۴۰)، انتقال اجزا (رابطه ۵۰) و معادله حالت (رابطه ۶۰) که ارتباط بین دانسیته، دمای آب و غلظت مواد جامد محلول و معلق را برقرار می‌کند، مورد حل قرار داده و قادر به محاسبه تراز سطح آزاد، فشار، دانسیته، سرعت قائم و افقی و غلظت اجزا می‌باشد.

$$\frac{\partial B_\eta \eta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \int_\eta^h UB dz - \int_\eta^h qB dz \quad (1)$$

$$\frac{\partial P}{\partial z} = \rho g \cos \alpha \quad (2)$$

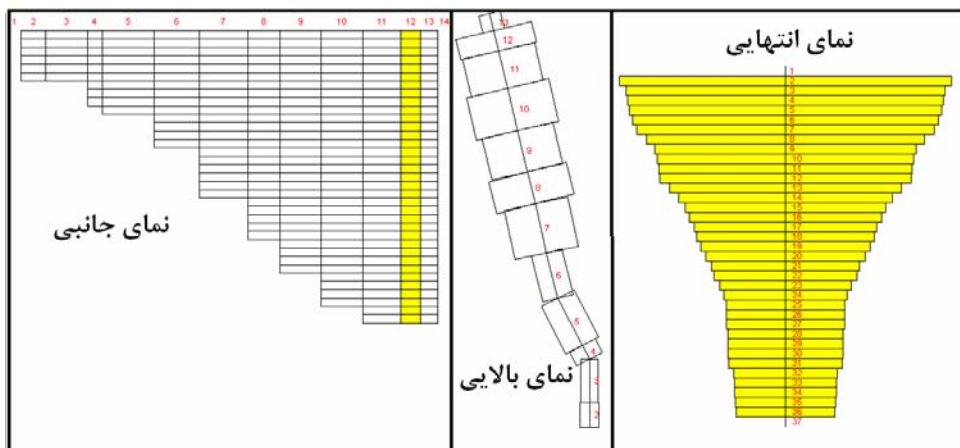
$$\frac{\partial UB}{\partial t} + \frac{\partial UUB}{\partial x} + \frac{\partial WUB}{\partial z} = gB \sin \alpha + g \cos \alpha B \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{g \cos \alpha B}{\rho} \int_\eta^z \frac{\partial \rho}{\partial x} dz + \frac{1}{\rho} \frac{\partial B \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial B \tau_{xz}}{\partial z} + qBU_x \quad (3)$$

$$\frac{\partial UB}{\partial x} + \frac{\partial WB}{\partial z} = qB \quad (4)$$

$$\frac{\partial B \Phi}{\partial t} + \frac{\partial UB \Phi}{\partial x} + \frac{\partial WB \Phi}{\partial z} - \frac{\partial (BD_x \frac{\partial \Phi}{\partial x})}{\partial x} - \frac{\partial (BD_z \frac{\partial \Phi}{\partial z})}{\partial z} = q_\phi B + s_\phi B \quad (5)$$

$$\rho = f(T_w, \Phi_{TDS}, \Phi_{SS}) \quad (6)$$

در این روابط، x و z مختصات افقی و قائم، B عرض پیکره آبی، U سرعت افقی میانگین عرضی، W سرعت قائم میانگین عرضی، ρ



شکل ۲- هندسه مخزن در طول و عمق

بودن داده‌ها می‌توان آنها را وارد نمود.

شرایط مرزی جریان که شامل دبی ورودی و خروجی مخزن و نیز تراز سطح آب می‌باشد نیز در دو مدل لازم است. همچنین هر دو مدل نیز نیاز به وارد کردن شرایط اولیه در آغاز و شرایط مرزی در طول شبیه‌سازی برای پارامترهایی که مورد شبیه‌سازی قرار می‌گیرند، دارند. مدل CE-QUAL-W2 مدل دوبعدی متوسط‌گیری شده در عرض می‌باشد. با این وجود، هندسه مدل بصورت سه بعدی (بخش در جهت طولی، لایه در جهت عمقی و مشخص کردن عرض متوسط هر لایه در هر بخش در جهت عرضی) در فایلی بنام هندسه مخزن معرفی می‌شود. این فایل اولیه در یک روند سعی و خطایی مورد کالیبراسیون قرار می‌گیرد تا آن که فایل هندسه جدید بتواند نمودار سطح-حجم-ارتفاع مخزن را تولید نماید. این مرحله از کالیبراسیون در مدل DYRESM وجود نداشته و باعث کاهش زمان اجرای این مدل در قیاس با مدل CE-QUAL-W2 می‌شود.

در مدل‌های شبیه‌سازی برای مقایسه نتایج داده‌های مشاهداتی و داده‌های شبیه‌سازی شده از پارامترهای آماری مختلفی استفاده می‌شود. از مهمترین این پارامترها می‌توان به میانگین خطای مطلق (MAE) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) اشاره نمود. MAE قدر مطلق خطاها را در مجموعه‌ی پیش‌بینی‌ها بدون در نظر گرفتن جهت آن‌ها اندازه‌گیری می‌نماید. رابطه شماره ۷ میانگین خطای مطلق را معرفی می‌کند:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (|O_i - P_i|) \quad (7)$$

RMSE میانگین انحراف مقادیر شبیه‌سازی شده را از مقادیر اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد. هرچه RMSE به صفر نزدیکتر باشد، نشان می‌دهد که مدل در شبیه‌سازی بهتر عمل نموده است. رابطه شماره ۸، ارتباط مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده را در محاسبه

داده‌های هواشناسی: داده‌های هواشناسی شامل دمای هوا، دمای نقطه شبنم، سرعت و جهت باد و میزان ابری بودن است. این داده‌ها از نزدیک‌ترین ایستگاه مجاور به سد و به صورت متوسط روزانه به مدل معرفی شد.

شرایط اولیه: که شامل اطلاعات دما در اولین روز شبیه‌سازی بوده و به صورت پروفیل‌های دمایی به مدل معرفی گردید.

شرایط مرزی: در این بخش دبی ورودی و خروجی و دمای ورودی آب به مدل معرفی شد.

اطلاعات جنبی: ضرایب پوشش گیاهی منطقه و ضرایب اصلاح باد برای مقاطع مختلف طولی نیز به مدل به عنوان فایل‌های ورودی معرفی شد که مقدار نهایی آن‌ها پس از کالیبراسیون بدست می‌آیند.

مقایسه مدل‌ها از حیث داده‌های ورودی و زمان اجرا

مدل CE-QUAL-W2 برای انجام کالیبراسیون هندسه نیاز به برداشت پروفیل‌های عرضی در چندین نقطه در طول سد می‌باشد که توسط این پروفیل‌ها هندسه مخزن به مدل معرفی می‌شود. اما مدل DYRESM نیاز به این داده‌ها نداشته و برای معرفی هندسه مخزن تراز آبیگری، تراز سرریز، شیب کف مخزن و نمودار سطح - حجم - ارتفاع مخزن کفایت می‌کند (مدل CE-QUAL-W2 از این نمودار برای کالیبراسیون تراز سطح آب استفاده می‌کند).

هر دو مدل به داده‌های هواشناسی تقریباً یکسانی همچون دمای هوا، میزان پوشش ابری و سرعت باد نیاز دارند. در مدل CE-QUAL-W2 جهت باد هم مورد نیاز است. همچنین، رطوبت منطقه در مدل DYRESM توسط فشار بخار و در مدل CE-QUAL-W2 توسط دمای نقطه شبنم به مدل معرفی می‌شود. ورود داده‌های مربوط به تابش موج کوتاه خورشیدی در مدل DYRESM الزامی می‌باشد. اما در مدل CE-QUAL-W2 اختیاری بوده و در صورت در دسترس

کالیبره شدند. با نزدیک شدن شکل پروفیل‌های شبیه‌سازی شده به شکل پروفیل‌های مشاهداتی سایر ضرایب کالیبراسیون مورد استفاده قرار گرفتند تا دقت شبیه‌سازی بالا برده شود. جدول زیر نشان دهنده ارزش نهایی ضرایب موثر بر دمای آب در مخزن سد پانزده خرداد می‌باشد که طی فرآیند کالیبراسیون دماپی حاصل شده است.

جدول ۱- ارزش نهایی ضرایب کالیبراسیون در مخزن سد پانزده خرداد

عنوان ضریب	علامت اختصاری	ارزش ضریب
ویسکوزیته گردابه افقی	AX	۱
پخش گردابه افقی	DX	۱
عمق نفوذ آب (ضریب خاموشی نور)	EXH ₂ O	۰/۳۵
ضریب سایه اندازی	SHD	۱
ضریب تبخیر a در تابع باد	AFW	۱۴
ضریب تبخیر b در تابع باد	BFW	۵/۵۲
ضریب تبخیر c در تابع باد	CFW	۲

مقایسه نتایج بین مدل‌ها

در مدل CE-QUAL-W2 نتایج از عمیق‌ترین پروفیل (پروفیل شماره ۱۲) استخراج و با نتایج مشاهداتی مورد مقایسه قرار گرفته است. نتایج حاصل از مدل CE-QUAL-W2 نشان داد که این مدل بخوبی توانسته است زمان شروع اختلاط، دوره لایه‌بندی، ضخامت رولایه و زیرلایه در دوره لایه‌بندی و نیز دمای لایه‌ها را شبیه‌سازی کند که نشان از همخوانی این نتایج با نتایج حاصل از مطالعات گلد و همکاران (۹) دارد. در این تحقیق میزان میانگین مطلق خطا و ریشه میانگین مربعات خطا در طول دوره شبیه‌سازی بترتیب ۰/۴۵ و ۰/۵۲ درجه سانتی‌گراد برای کلیه بخش‌ها بدست آمد که نشان از کالیبراسیون موفقیت‌آمیز مدل بوده است. در جداول ۲ و ۳ میزان خطای MAE و RMSE در بخش‌های مختلف مخزن و در دوره‌های کالیبراسیون و صحت‌سنجی در تعدادی از بخش‌های مختلف (که در بخش هندسه مخزن به آنها اشاره شد) به تفکیک نشان داده شده است. با توجه به دوره کوتاه اجرای مدل، ماه‌های فرد به عنوان دوره کالیبراسیون در نظر گرفته و صحت‌سنجی مدل در ماه‌های زوج انجام شده است.

در شکل ۴ خطای متوسط مطلق حاصل از نتایج شبیه‌سازی شده توسط دو مدل با داده‌های مشاهداتی در طول دوره شبیه‌سازی مورد مقایسه قرار گرفته است. نتایج مربوط به مدل DYRESM از مرجع ۱۶ اخذ شده است. این نمودار به وضوح دقت بالاتر شبیه‌سازی توسط مدل CE-QUAL-W2 را نسبت به مدل DYRESM نشان می‌دهد.

RMSE را نشان می‌دهد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{n}} \quad (8)$$

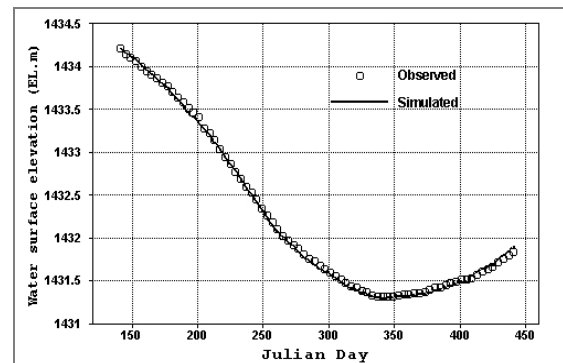
در معادلات بالا، O_i مقدار مشاهده شده، P_i مقدار پیش‌بینی شده و n تعداد مشاهدات می‌باشد.

نتایج و بحث

کالیبراسیون هندسه مخزن و تراز سطح آب

در این مطالعه، برای انجام کالیبراسیون هندسه از نمودار حجم - ارتفاع مخزن استفاده گردید (۱). بر این اساس، حداکثر میزان درصد خطای نسبی شبیه‌سازی شده نسبت به مشاهداتی ۰/۲ درصد می‌باشد که نشان می‌دهد نمودار خروجی مدل به نحو مناسبی توانسته است نمودار حجم - ارتفاع مخزن را شبیه‌سازی نماید.

پس از انجام کالیبراسیون هندسه، با داشتن تراز سطح آب میانگین روزانه در مخزن (۱)، مقدار تراز سطح آب شبیه‌سازی شده از مدل استخراج و با هم مقایسه شد که این نتایج در شکل ۳ آورده شده است. همان‌طور که دیده می‌شود نتایج حاصل از مدل بخوبی توانسته است مقدار تراز سطح آب را نیز در مخزن شبیه‌سازی نماید. به طوری که مقدار MAE (میانگین خطای مطلق) حاصل از این مقایسه در طول دوره شبیه‌سازی ۰/۰۲۵ متر بدست آمده است که حاکی از دقت کالیبراسیون تراز سطح آب می‌باشد.



شکل ۳- مقایسه تراز سطح آب مشاهداتی و واقعی در مخزن سد پانزده خرداد

کالیبراسیون حرارت

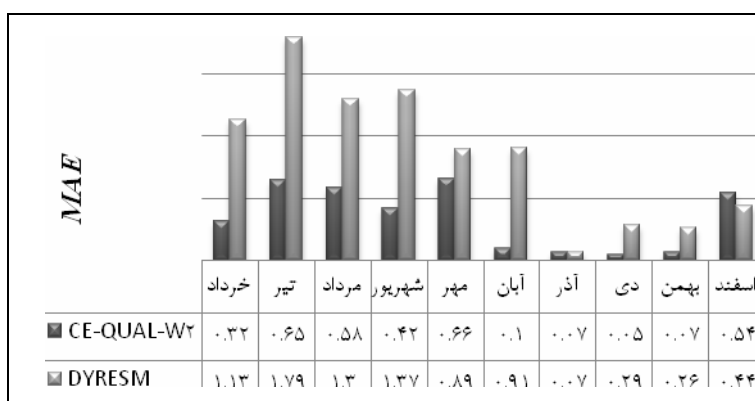
در این مطالعه، برای انجام کالیبراسیون حرارت از اندازه‌گیری‌های صورت گرفته در پروفیل‌های مختلف مخزن که به صورت ماهانه و در اواخر هر ماه انجام شده بود استفاده گردید (۱). پس از انجام آنالیز حساسیت نسبت به ضرایب کالیبراسیون، ضرایب کالیبراسیون موثر بر لایه‌های مختلف دسته‌بندی شده و ابتدا ضرایب با بیشترین تأثیر

جدول ۲- میانگین مطلق خطا (MAE) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) در بخش‌های مختلف مخزن در دوره کالیبراسیون

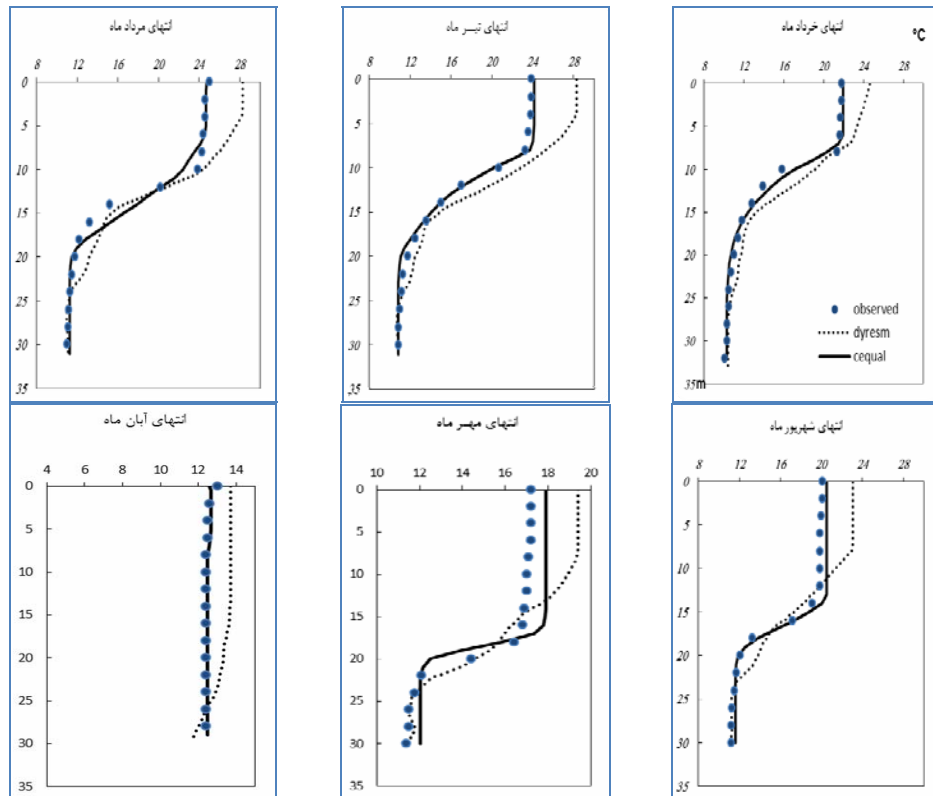
بخش/ماه	پارامتر آماری خطا	بخش ۴	بخش ۶	بخش ۹	بخش ۱۲	میانگین کلیه بخش‌ها
خرداد	میانگین مطلق خطا	۰/۵۹	۰/۶۸	۰/۲۷	۰/۳۱	۰/۵۱
	ریشه میانگین مربعات خطا	۰/۶۶	۰/۸۲	۰/۳۱	۰/۴۶	۰/۵۸
مرداد	میانگین مطلق خطا	۰/۲	۰/۷۱	۰/۴۹	۰/۵۹	۰/۴۳
	ریشه میانگین مربعات خطا	۰/۲۲	۰/۸۴	۰/۷۱	۰/۹۶	۰/۵۸
مهر	میانگین مطلق خطا	۰/۳	۰/۵۴	۰/۹	۰/۶۵	۰/۶۴
	ریشه میانگین مربعات خطا	۰/۳۷	۰/۵۷	۰/۹۱	۰/۸	۰/۶۹
آذر	میانگین مطلق خطا	۰/۲۴	۰/۰۵	۰/۱	۰/۰۶	۰/۱۲
	ریشه میانگین مربعات خطا	۰/۲۴	۰/۰۵	۰/۱۱	۰/۰۸	۰/۱۲
بهمن	میانگین مطلق خطا	۰/۱۱	۰/۱۴	۰/۴۱	۰/۰۶	۰/۲۵
	ریشه میانگین مربعات خطا	۰/۱۲	۰/۱۶	۰/۴۱	۰/۰۸	۰/۲۶
میانگین	میانگین مطلق خطا	۰/۲۹	۰/۴۲	۰/۴۴	۰/۳۴	۰/۳۹
	ریشه میانگین مربعات خطا	۰/۳۲	۰/۴۹	۰/۴۹	۰/۴۸	۰/۴۵

جدول ۳- میانگین مطلق خطا (MAE) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) در بخش‌های مختلف مخزن در دوره صحت‌سنجی

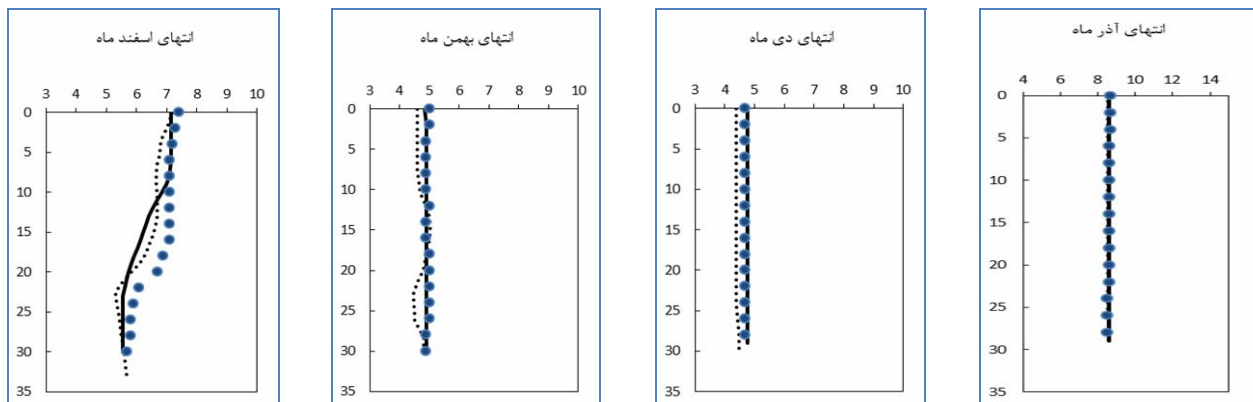
بخش/ماه	پارامتر آماری خطا	بخش ۴	بخش ۶	بخش ۹	بخش ۱۲	میانگین کلیه بخش‌ها
تیر	میانگین مطلق خطا	۱/۳۷	۱/۱۲	۰/۵۶	۰/۶۵	۰/۷۷
	ریشه میانگین مربعات خطا	۱/۳۷	۱/۳	۰/۷	۰/۸۹	۰/۸۶
شهریور	میانگین مطلق خطا	۰/۶۲	۰/۲۷	۰/۴۳	۰/۴۲	۰/۵۹
	ریشه میانگین مربعات خطا	۰/۷۶	۰/۳۵	۰/۸۲	۰/۴۹	۰/۷۱
آبان	میانگین مطلق خطا	۰/۲۴	۰/۲۶	۰/۱۸	۰/۱۱	۰/۲۱
	ریشه میانگین مربعات خطا	۰/۲۶	۰/۲۶	۰/۱۹	۰/۱۴	۰/۲۳
دی	میانگین مطلق خطا	۱/۷۵	۰/۶۷	۰/۲۳	۰/۰۶	۰/۹۸
	ریشه میانگین مربعات خطا	۱/۷۵	۰/۷۴	۰/۲۳	۰/۰۶	۱/۰۱
اسفند	میانگین مطلق خطا	۱/۱۷	۰/۵۳	۰/۳۹	۰/۴۶	۰/۸۸
	ریشه میانگین مربعات خطا	۱/۲۰	۰/۵۴	۰/۴۹	۰/۵۷	۰/۹۲
میانگین	میانگین مطلق خطا	۱/۰۳	۰/۵۷	۰/۳۶	۰/۳۴	۰/۶۹
	ریشه میانگین مربعات خطا	۱/۰۷	۰/۶۴	۰/۴۹	۰/۴۳	۰/۷۴



شکل ۴- مقایسه میزان خطای متوسط مطلق دو مدل



شکل ۵- مقایسه پروفیل حرارتی در مدل‌های DYRESM و CE-QUAL-W2 با داده‌های مشاهداتی در ماه‌های مختلف



ادامه شکل ۵- مقایسه پروفیل حرارتی در مدل‌های DYRESM و CE-QUAL-W2 با داده‌های مشاهداتی در ماه‌های مختلف

رسیده و با افزایش دمای سطح آب تا حدود ۲۴ درجه سانتی‌گراد، تغییرات درجه حرارت در عمق تا ۱۴ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد. در این دوره مدل CE-QUAL-W2 در میزان دمای لایه‌ها و ضخامت آنها موفق عمل نموده است. در حالی که نتایج حاصل از شبیه‌سازی توسط مدل DYRESM نشان می‌دهد که در دوره لایه‌بندی، میزان اختلاف دمای لایه اپی‌لیمنون در دو حالت شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده زیاد بوده، بطوری که این میزان اختلاف در اواخر تیرماه به حدود ۴/۵ درجه سانتیگراد رسیده است.

در نمودارهای شکل ۵ داده‌های مشاهداتی در قیاس با داده‌های شبیه‌سازی حاصل از دو مدل در طول دوره شبیه‌سازی و در اواخر هر ماه بصورت گرافیکی نمایش داده شده است.

با توجه به این شکل سیکل لایه‌بندی در مخزن قابل توصیف است. در ابتدای شبیه‌سازی (اواخر اردیبهشت) لایه‌بندی در مخزن وجود دارد. با روند گرم‌تر شدن هوا، به علت افزایش میزان تشعشع خورشیدی و ورودی، لایه‌بندی در مخزن تشدید می‌شود. بطوری که در اواخر مردادماه، میان لایه به حداکثر عمق خود در حدود ۱۵ متر

میان لایه کاسته می‌شود. با ادامه روند سرد شدن هوا، به تدریج عمق و چگالی رولایه افزایش یافته، به حدی که در اواسط آبان ماه به دلیل سنگین تر شدن لایه‌های بالایی نسبت به لایه‌های پایینی پدیده واژگونی رخ می‌دهد. این پدیده وضعیت مخزن را از حالت لایه‌بندی به حالت اختلاط تغییر می‌دهد. در این حالت دمای آب مخزن در عمق ثابت خواهد شد. در ماه‌های بعد با کاهش بیشتر دمای هوا، دمای ثابت مخزن نیز کاهش می‌یابد (شکل ۵ - ماه‌های آذر تا بهمن). دوره اختلاط در مخزن تا اواخر اسفند ماه ادامه می‌یابد تا این که با گرم‌تر شدن تدریجی هوا و افزایش درجه حرارت سطح مخزن، مخزن دوباره به سمت وضعیت لایه بندی پیش می‌رود. در دوره اختلاط دو مدل به نحو مناسبی در پیش‌بینی دمای مخزن موفق عمل کرده‌اند. با توجه به الگوی حرارتی، مخزن سد پانزده خرداد جزء مخازن دارای لایه‌بندی تابستانه بوده که یکبار واژگونی در سال در آن رخ می‌دهد.

این نتایج، با نتایج حاصل از مدل‌سازی مخزن «مید» با استفاده از مدل DYRESM که در دوران لایه‌بندی، دمای ایلی‌مینون را بین ۱ تا ۳ درجه بیشتر از واقعیت برآورد کرده بود، همخوانی دارد (۱۲). با توجه به این که تبخیر در منطقه سد پانزده خرداد از اهمیت بالایی برخوردار است، می‌توان دریافت که مدل DYRESM در دوران لایه‌بندی در برآورد تبخیر دقت مناسبی نداشته و لذا دمای رولایه را بیشتر از واقعیت برآورد کرده است. در حالی که استفاده از رابطه تابع باد در محاسبه انرژی حرارتی ناشی از تبخیر در مدل CE-QUAL-W2 و کالیبراسیون ضرایب تبخیر موجود در این رابطه توسط کاربر باعث شده است تا تبخیر در این مدل به نحو مناسبی مدل‌سازی شود و نتایج شبیه‌سازی شده توسط این مدل در دوران لایه‌بندی از دقت بالاتری برخوردار باشد.

با خنک‌تر شدن هوا، دمای سطح آب در اواخر شهریور ماه به ۲۰ درجه سانتی‌گراد کاهش می‌یابد. در این ماه همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، ارتفاع رولایه نسبت به ماه قبل افزایش و از ارتفاع

منابع

- ۱- مطالعات جامع کیفیت آب مخزن سد پانزده خرداد. جلد چهارم. تیر ۱۳۸۸. اندازه‌گیری‌ها و بررسی‌های کیفی آب دریاچه. مرکز تحقیقات آب وزارت نیرو.
- ۲- افتخاری م. ۱۳۸۷. شبیه‌سازی عددی دوبعدی لایه‌بندی حرارت و شوری در مخزن سد پانزده خرداد. رساله دکتری. دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس تهران.
- 3- Ford D.E. 1990. Reservoir transport processes. p.15-41. In K. W. Thornton, B. L. Kimmel & F. E. Payne (eds). Reservoir Limnology: Ecological Perspectives, John Wiley & Sons, New York.
- 4- Henery R. 1999. Heat budgets, thermal structure and dissolved oxygen in Brazilian reservoirs. p.125-151. In J. G. Tundishi & M. Straskraba (eds). Theoretical Reservoir Ecology and its Applications. Backhuys Publishers, Leiden, the Netherlands.
- 5- Nogueira M.G., Henry R. and Maricatto F.E. 1999. Spatial and temporal heterogeneity in the Jurumirim Reservoir, Sao Paulo, Brazil. Lake Reserv. Res. Manage, 4:107-120.
- 6- Garvey E., Tobiason J.E., Hayes M., Wolfram E., Reckhow D.A. and Male J.W. 1998. Coliform transport in a pristine reservoir: Modeling and field studies, Water Sci. Technol., 37:137-144.
- 7- Boegman L., Loewen M.R., Hamblin P.F. and Culver D.A. 2001. Application of a two-dimensional hydrodynamic reservoir model to Lake Erie, Can. J. Fish Aquat. Sci., 58:858-869.
- 8- Kuo J.T., Lung W.S., Yang C.P., Liu W.C., Yang M.D. and Tang T.S. 2006. Eutrophication modeling of reservoir in Taiwan, Environ. Model. Software, 21:29-844.
- 9- Gelda R.K., Owens E.M. and Effler S.W. 1998. Calibration, Verification, and an Application of a Two-Dimensional Hydrothermal Model [CE-QUAL-W2(t)] for Cannonsville Reservoir, Lake and Reservoir Management, 14(2):186-196.
- 10- Cole T.M. and Wells S.A. 2008. CE-QUAL-W2: A Two-Dimensional, Laterally Averaged, Hydrodynamic and Water Quality Model, Version 3.6. Department of Civil and Environmental Engineering, Portland State University, Portland.
- 11- Han P., Armengol J., Garcia C.J., Comerma M., Roura M., Dolz J. and Straskraba M. 2000. The thermal structure of Sau Reservoir (NE: Spain): A simulation approach, Ecological Modelling, 125(2-3):109-122.
- 12- Boyd R., Newlin J., Fecko B., Yadav M. and Toepfer J. 2005. Lake Mixing Project, Lake Mead. Pennsylvania State University, Report No CE-580.
- 13- Kurup R.G., Hamilton D.P. and Phillips R.L. 2000. Comparison of two 2-dimensional, laterally averaged hydrodynamic model applications to the Swan River Estuary, Math. Comput. Simul., 51:627-638.
- 14- Norton E.G. and Bradford A. 2009. Comparison of two stream temperature models and evaluation of potential management alternatives for the Speed River, Southern Ontario, Journal of Environmental Management, 90:866-878.

- 15- Gorgens A.H.M., Bath A.J., De Smidt K. and Larsen. 1997. The application of hydrodynamic reservoir models for water quality management of stratified water bodies in South Africa: Application of DYRESM and CE-QUAL-W2. WRC Report No. 304/2/97.
- 16- Etemad shahidi A., Faghihi M., and Imberger J. 2010. Modelling thermal stratification and artificial de-stratification using DTRESM; case study: 15 Khordad reservoir, Int. J. Environ. Res, 4(3):395-406.

Comparison of CE-QUAL-W2 and DYRESM Models in Simulating Heat Distribution within 15 Khordad Reservoir

M.E. Khajepour¹ – A. Eghbalzadeh^{2*} – M. Shiasi Arani³ – M. Eftekhari⁴ – M. Javan⁵

Received:22-06-2013

Accepted:15-04-2014

Abstract

Dynamic stream flow (River Ecosystem) becomes static mound (Lake Ecosystem) after constructing dam on the river. The most important difference between them is of retention time and stratification which induce different qualification to water river prior to reservoir and afterwards. In this study, heat distribution within 15-Khordad Reservoir was simulated using 2-D laterally averaged CE-QUAL-W2 model during the year 1997. Then, results which obtained through this model were made comparison by those of 1-D DYRESM model and field data as well. Results showed that both of models are succeeded in simulation of the reservoir temperature profiles in turn over period, hypolimnion and metalimnion forecasting. But DYRESM model was weak in simulation of epilimnion temperature forecasting in stratification period. In the following, two models were used to calculate the heat flux relationships that are aimed at achieving these differences. Since 15Khordad dam is located in an area which evaporation is an important factor, two different equations to calculate the heat flux model is used to evaporate, lead to underestimation of the actual amount of evaporation in the DYRESM model and the difference in temperature epilimnion simulations compared with measured values.

Keywords: CE-QUAL-W2, DYRESM, Reservoir simulation models, Temperature stratification

1,2,5- Former M.S.c Student and Assistant Professors, Department of Civil Engineering, Razi University (*- Corresponding Author Email:afeghbal@yahoo.com)

3- Former M.S.c Student, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University

4- Manager of Water Resource, Water Research Institute