محور مقاله: فرسایش آبی، سیلاب و حفاظت خاک و آب

شبیه‌سازی پروفیل دمایی آب مخزن سد علویان به منظور حفاظت کیفی و کمی آب مخزن

قربان مهتابی[۱]، فرشید تاران[۲]، الهه حجتی*[۳]

[۱] استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان

[۲] دکتری مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

[۳] دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان

چکیده

مسأله کمبود آب و مدیریت بهینه منابع آبی یکی از مهم‌ترین چالش‌های دنیا به‌ویژه در کشورهای خشک و نیمه خشک است. تبخیر از سطوح آزاد آب یکی از پدیده‌های مؤثر بر مدیریت منابع آب مانند دریاچه‌ها و مخازن سدها است که خود متأثر از عوامل مختلفی مانند دمای آب مخزن است. از آنجا که اندازه‌گیری میدانی پروفیل دمایی مخزن سد پرهزینه و زمان‌بر است، می‌توان آن را شبیه‌سازی نمود. در این مطالعه، پروفیل دمایی مخزن سد علویان مراغه با استفاده از مدل CE-QUAL-W2 شبیه‌سازی شد. برای این کار از داده‌های هواشناسی و هیدرومتری، داده‌های اندازه‌گیری شده دمای آب در عمق مخزن، داده‌های هیدرولیکی و اطلاعات هندسه مخزن سد استفاده شد. دوره زمانی ۱۳۹۲/۰۲/۱۷ تا ۱۳۹۴/۰۶/۳۱ برای واسنجی و دوره یک‌ساله ۱۳۹۴/۰۷/۱ تا ۱۳۹۵/۰۶/۳۱ برای صحت‌سنجی به کار رفت. نتایج نشان داد که مدل CE-QUAL-W2 می تواند پروفیل عمقی دمای آب را با دقت بالا (میانگین مطلق خطا MBE برابر با ۱/۴ درجه سانتی‌گراد) شبیه‌سازی کند. نتایج نشانگر تغییرات محسوس دمای عمقی آب مخزن در طول سال بود و لایه‌بندی مثبت و منفی و دوره اختلاط کامل مشاهده گردید.

کلمات کلیدی: لایه بندی دمایی، مدل سازی، دمای سطح آب، CE-QUAL-W2

مقدمه

یکی از منابع آبی مهم تامین‌کننده نیاز آبی شرب، کشاورزی و صنعت، به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک، آب ذخیره شده در دریاچه سدهای احداث شده برروی رودخانه‌ها است. از جمله علل هدر رفت آب در دریاچه‌های آب شیرین و مخازن سدها، تبخیر از سطح آن‌ها بوده و این مسئله به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌تواند نقش تعیین‌کننده‌ای در مدیریت منابع آبی ایفا کند (زمانی و رحیم¬زادگان، ۱۳۹۵). از این رو ضرورت دارد در جهت مدیریت تلفات آب، میزان دقیق تلفات تبخیر اندازه گیری و روش های کاهش آن نیز بررسی شود. تبخیر از سطوح آزاد آب پدیده‌ای است که تحت تأثیر عوامل متعددی مانند میزان تشعشع خورشیدی، عرض جغرافیایی، دمای هوا، کمبود فشار بخار هوا، سرعت باد، فشار اتمسفر، مساحت سطح آب، عمق آب، کیفیت آب و دمای سطح آب قرار دارد (بروتسارت، ۱۹۸۲).

یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر میزان تبخیر از سطح آزاد آب، دمای عمقی یا پروفیل دمایی مخزن آب است. در یک دریاچه عمیق نظیر مخزن سد، لایه‌بندی دمای قابل ملاحظه‌ای به وجود می‌آید که تبخیر را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در واقع، لایه‌هایی از جرم‌های سیال به دلیل اختلاف در چگالی یا درجه دما و مومنتوم از لایه سطحی آب و نیروی جاذبه تشکیل می‌شود. لایه‌بندی دمای در مخازن به چگونگی تغییرات چگالی آب با دما بستگی دارد. در آب، برخلاف سایر مایعات، چگالی بین دماهای صفر تا چهار درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد و بین دماهای چهار تا صد درجه سانتی‌گراد به صورت غیرخطی کاهش می‌یابد. این مشخصه آب موجب می‌شود که با تغییر دمای محیط در فصول مختلف و در نتیجه، تغییر دمای لایه‌های مختلف آب مخزن، یک نوع لایه‌بندی با چگالی‌های مختلف ایجاد شود. نحوه شکل‌گیری این لایه‌بندی به این شکل است که در تابستان، گرمای وارد شده از سطح آب در فاصله محدودی از عمق آب مخلوط می‌شود. در نتیجه، منطقه‌ای از آب گرم در لایه سطحی آب با درجه دما یکنواخت و گرم‌تر از بقیه عمق آب، در مخزن تشکیل شده و به این ترتیب، لایه‌بندی تابستانی (لایه‌بندی مثبت) ایجاد می‌گردد. در زمستان، با توجه به این که کاهش دمای آب از چهار درجه تا صفر درجه با افزایش حجم و در نتیجه، کاهش چگالی همراه است، لذا آب‌های سنگین با دمای چهار درجه، در نزدیکی کف مخزن و آب‌های سبک تقریباً یخزده، در سطح قرار می‌گیرند. در نتیجه لایه-بندی زمستانی یا لایه‌بندی معکوس شکل می‌گیرد. به تدریج با گرم شدن هوا، دمای سطح آب افزایش می‌یابد و اختلاف دما و اختلاف چگالی

* ایمیل نویسنده مسئول: elahe.hojjati@gmail.com

در لایه‌های مختلف نیز کاهش می‌یابد. در این شرایط (فصول بهار و پاییز) در اثر یک نیروی خارجی کوچک، مخزن به حالت اختلاط کامل می‌رسد. در مجموع، در تابستان درجه دما آب کمتر از درجه دما هوا و در زمستان درجه دما هوا کمتر از درجه دما آب است.

به دست آوردن دمای دقیق آب در اعماق مختلف مخزن، امری بسیار زمان‌بر و پرهزینه و نیازمند تجهیزات پیشرفته‌ای است که در تمام طول سال آبی باید در دیواره مخزن و دیگر نقاط مختلف پیکره آبی مورد نظر به کار گرفته شوند. به همین دلایل، این اندازه‌گیری در حال حاضر در بسیاری از مخازن به‌ویژه در ایران میسر نیست. از طرفی، جهت مطالعه و مدیریت مصرف منابع آبی، برآورد تبخیر از سطوح آزاد، به‌ویژه آب مخازن سدها ضروری است. برای این برآورد، روش‌های مختلفی مانند بیلان انرژی وجود دارد که به نوبه خود نیازمند داده‌های مربوط به پروفیل دمایی آب مخزن است. برای حل این مشکل، می‌توان از مدل‌های شبیه‌سازی پروفیل دمایی آب استفاده نمود. یکی از دقیق‌ترین مدل-های کامپیوتری برای این منظور، مدل CE-QUAL-W2 است. این مدل می‌تواند شبیه سازی دمای عمقی آب مخازن را به صورت دوبعدی (افقی و عمودی) انجام دهد. در زمینه استفاده از CE-QUAL-W2 و ارزیابی آن، مطالعات مختلفی انجام گرفته است. در ایران، خواجه‌پور و همکاران (۱۳۹۳)، جلالی جشوقانی و همکاران (۱۳۹۴)، شبان و همکاران (۱۳۹۶)، رضایی برندق و همکاران (۱۳۹۶)، فیروزی و همکاران (۱۳۹۷)، جمشیدی و نودهی (۱۳۹۷) با استفاده از مدل CE-QUAL-W2 به ترتیب پروفیل دمایی مخازن سدهای پانزده خرداد، کارون ۴، سیمره، تهم، لتیان و طرق را با دقت خوب شبیه‌سازی نمودند.

گلدا و همکاران (۱۹۹۸) طی تحقیقی جهت شبیه‌سازی حرارتی مخزن سد کانونسویل در ایالات متحده از مدل CE-QUAL-W2 استفاده نمودند. مطابق نتایج شبیه‌سازی حرارت (بر مبنای داده‌های اندازه‌گیری شده هفتگی)، خطای ریشه میانگین مربعات برابر RMSE = ۱/۱۷ درجه سانتی‌گراد به‌دست آمد. کیم و کیم (۲۰۰۶) در تحقیقی با استفاده از مدل دوبعدی CE-QUAL-W2 به شبیه‌سازی پروفیل حرارتی در مخزن سد سویانگ کره‌جنوبی پرداختند. نتایج حاصل بیانگر لایه‌بندی تابستانی می‌باشد. میزان ریشه میانگین مربعات خطا برای کلیه روزهای نمونه‌برداری RMSE = ۱/۴۴ درجه سانتی‌گراد بدست آمد. نورتون و بردفرد (۲۰۰۹) طی تحقیقی به مقایسه دو مدل SNTEMP و CE-QUAL-W2 در شبیه‌سازی حرارت رودخانه اسپید پرداختند. میزان میانگین خطا 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. حسن اوغلو و گونسو (۲۰۱۸) طی تحقیقی یک حوضچه کوچک در غرب ترکیه را توسط مدل دوبعدی CE-QUAL-W2 مورد بررسی قرار داد. مطابق نتایج، متوسط خطای شبیه‌سازی دما ۰/۷۷ درجه سانتی‌گراد برآورد شد.

با توجه به مرور منابع می توان گفت، به علت عدم دسترسی به تجهیزات اندازه‌گیری دمای آب در اعماق مختلف مخزن در بسیاری از سدهای ایران، تعداد چنین مطالعاتی در کشورمان اندک است. لذا هدف تحقیق حاضر، شبیه‌سازی پروفیل دمایی مخزن سد علویان مراغه با استفاده از مدل CE-QUAL-W2 و بررسی تغییرات دمای آب مخزن در طول یک سال آبی بود.

مواد و روش‌ها

معرفی سد مورد مطالعه

سد علویان در استان آذربایجان شرقی در ۳/۵ کیلومتری شمال غربی شهر مراغه به طول شرقی '۱۵ °۴۶ و عرض شمالی '۲۵ °۳۷ بر روی رودخانه صوفی‌چای احداث شده است. صوفی‌چای در حوضه آبریز دریاچه ارومیه قرار دارد. جمع‌آوری و کنترل جریان‌های سطحی صوفی‌چای جهت تأمین آب آشامیدنی شهر مراغه، جبران قسمتی از کمبود نیازهای کشاورزی دشت مراغه و بناب و نواحی صنعتی و همچنین تولید انرژی برقابی از اهداف اصلی احداث سد علویان است.

داده‌های مورد استفاده

داده‌های مورد استفاده شامل داده‌های هواشناسی ایستگاه سینوپتیک شهر مراغه، داده‌های هیدرومتری ایستگاه تازه‌کند واقع در بالادست سد علویان، داده‌های اندازه‌گیری شده دمای عمقی آب مخزن (در بازه زمانی مشترک از مهر ماه سال ۱۳۹۲ تا مهر ماه سال ۱۳۹۵) و همچنین اطلاعات هیدرولیکی و هندسه مخزن سد است.

مدل CE-QUAL-W2

مدل CE-QUAL-W2 که نخستین بار توسط ادینگر و بوچاک در سال ۱۹۷۵ عرضه شد، به طور گسترده‌ای در شبیه-

سازی دما، هیدرودینامیک و کیفیت آب در مخازن عمیق و دریاچه‌ها به کار رفته است. این مدل بر اساس حل معادلات دوبعدی غیردائمی هیدرودینامیک و پخش-انتقال عمل می‌کند. در واقع، به 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 ۴)، انتقال اجزا (رابطه ۵) و معادله حالت (رابطه ۶)، که ارتباط بین چگالی، دمای آب و غلظت مواد جامد محلول و معلق را ایجاد می‌کند، حل شده و تراز سطح آزاد، فشار چگالی، سرعت قائم و افقی و غلظت اجزا تعیین می‌شود.

$$\frac{\partial B_\eta \eta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z}\int_\eta^h UBdz - \int_\eta^h qBdz \quad (۱)$$

$$\frac{\partial P}{\partial z} = \rho g \cos\alpha \quad (۲)$$

$$\frac{\partial UB}{\partial t} + \frac{\partial UUB}{\partial x} + \frac{\partial WUB}{\partial z} = gB\sin\alpha + g\cos\alpha\, B\frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{g\cos\alpha B}{\rho}\int_\eta^z \frac{\partial \rho}{\partial x}dz + \frac{1}{\rho}\frac{\partial B\tau_{xx}}{\partial x} + \frac{1}{\rho}\frac{\partial B\tau_{xz}}{\partial z} + qBU_x \quad (۳)$$

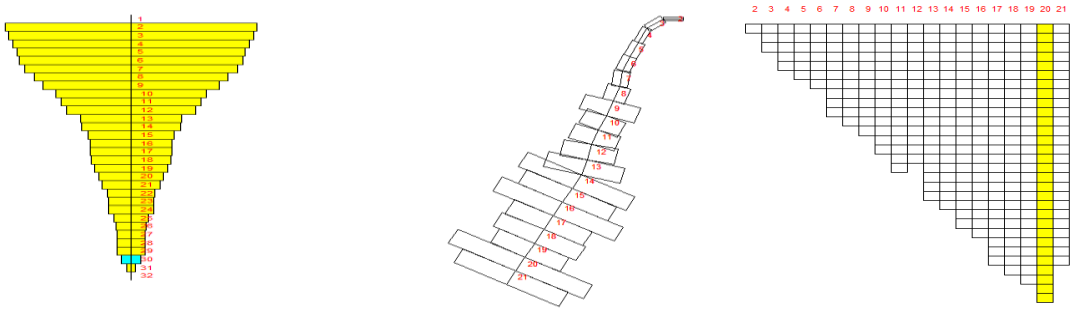
$$\frac{\partial UB}{\partial x} + \frac{\partial WB}{\partial z} = qb \quad (۴)$$

$$\frac{\partial B\phi}{\partial t} + \frac{\partial UB\phi}{\partial x} + \frac{\partial WB\phi}{\partial z} - \frac{\partial\left(BD_x\frac{\partial \phi}{\partial x}\right)}{\partial x} - \frac{\partial\left(BD_z\frac{\partial \phi}{\partial z}\right)}{\partial z} = q_\phi B + S_\phi B \quad (۵)$$

$$\partial = f(T_w \cdot \phi_{TDS} \cdot \phi_{ss}) \quad (۶)$$

که در آنها، x و z مختصات افقی و قائم، B عرض پیکره آبی، U و W سرعت افقی و قائم میانگین عرضی، ρ چگالی آب، t زمان، P فشار، g شتاب ثقل، q دبی ورودی و خروجی، α شیب کف پیکره آبی، Φ غلظت اجزای متوسط‌گیری شده در جهت عرضی، D_X و D_Z ضرایب پخش دما و اجزا در جهات x و z، τ_{XX} و τ_{XZ} تنش برشی آشفته در جهات 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 (متغیر با زمان و مکان)، η تراز سطح آزاد آب و h عمق آب است. چگالی تابعی از دمای آب T_W، غلظت مواد جامد محلول Φ_{TDS} و غلظت مواد جامد معلق Φ_{SS} است. اما مشکل‌ترین بخش کار با این مدل، جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز برای انجام عمل شبیه‌سازی است. به طور کلی داده‌های ورودی مورد نیاز برای مدل‌سازی توسط این نرم - افزار عبارتند از: داده‌های هندسه مخزن، داده‌های هواشناسی، سایه روی مخزن و ضریب پوشش باد، شرایط مرزی (دبی ورودی، دبی خروجی، دمای آب ورودی)، و پروفیل عمقی دمای آب برای واسنجی مدل می‌باشد.

هندسه مخزن: اولین فایل ورودی به مدل، اطلاعات هندسه و ژرفشناسی مخزن است که عمده این اطلاعات از نقشه‌های توپوگرافی مخزن سد علویان استخراج گردید. این فایل ورودی شامل اطلاعات مربوط به طول قطعه‌ها (طول پیکره آبی به قطعات کوچکتر تقسیم‌بندی می‌شود که این تقسیم‌بندی در محل تغییر در عرض یا مسیر جریان رودخانه انجام می‌گیرد. در این مطالعه، هندسه مخزن به صورت یک پیکره آبی شامل یک شاخه ورودی به طول تقریبی ۳/۵ کیلومتر است که به صورت ۲۲ قطعه با فاصله بین قطعات ۲۰۰ متر تقسیم‌بندی شد)، ارتفاع سطح آب (در اولین روز شبیه‌سازی، بر اساس داده‌های مشاهداتی، تراز سطح آب برابر با ۱۵۶۱/۵۴ متر وارد شد)، زاویه امتداد قطعه‌ها با شمال واقعی یا یک راستای مرجع، اصطکاک کف یا ضریب شزی (در مرحله واسنجی کنترل گردید و عدد ۷۰ بهترین گزینه به دست آمد) و ضخامت لایه‌ها یا طول قائم از مخزن برای یک لایه (عمق مخزن به ۳۲ لایه ۲ متری تقسیم‌بندی شد) است. در شکل ۱، هندسه مخزن سد علویان همراه با قطعه‌بندی و لایه‌بندی مورد نظر به ترتیب در جهت عمقی، پلان و طولی نشان داده شده است.



نمای جانبی (طولی) نمای بالایی (پلان) نمای انتهایی (عمقی)

شکل ۱- هندسه مخزن سد علویان در جهت عمقی، پلان و طولی

داده‌های هواشناسی: داده‌ها به صورت روزانه یا ساعتی (سه ساعته) وارد مدل می‌شود (در نرم‌افزار، داده‌های ماهانه قابل استفاده نیست). این داده‌ها شامل دمای هوا، نقطه شبنم، جهت باد، سرعت باد و پوشش ابری است. این داده‌ها از نزدیک‌ترین ایستگاه مجاور به سد علویان و به صورت متوسط روزانه (بر حسب تاریخ میلادی) به مدل معرفی شد.

سایه روی مخزن و ضریب پوشش باد: ضریب پوشش گیاهی یا سایه روی مخزن و ضریب پوشش باد، پارامترهایی هستند که در مرحله واسنجی مدل مورد ارزیابی قرار گرفتند. این پارامترها برای سد علویان به ترتیب ۰/۶ و ۰/۷ به دست آمدند.

شرایط مرزی و واسنجی مدل: شرایط مرزی بالادست با استفاده از داده‌های دبی ورودی به مخزن و دمای آب ورودی و شرایط مرزی پایین دست به صورت دبی خروجی از مخزن و تراز سطح آب مخزن به مدل معرفی شد. دبی‌های ورودی مربوط به داده‌های ایستگاه هیدرومتری تازه‌کند واقع در بالادست سد علویان، داده‌های دبی‌های خروجی و ترازهای سطح آب مربوط به آمار بهره‌برداری از سد و داده‌های دمای آب ورودی مربوط به داده‌های مشاهداتی دمای آب در ورودی رودخانه به سد علویان بود. برای واسنجی مدل از داده‌های پروفیل عمقی دمای اب مخزن در یک دوره دو ساله از ۱۳۹۲/۰۲/۱۷ تا ۱۳۹۴/۰۶/۳۱ و برای دوره صحت‌سنجی از داده‌های یک دوره یک ساله از ۱۳۹۴/۰۷/۱ تا ۱۳۹۵/۰۶/۳۱ استفاده شد. علت انتخاب تاریخ ۱۳۹۲/۰۲/۱۷، زمان شروع اندازه‌گیری‌های میدانی دمای آب عمق مخزن بود.

در مدل‌های شبیه‌سازی، برای مقایسه نتایج داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده، از پارامترهای آماری مختلفی استفاده می‌شود. در این تحقیق علاوه بر نمایش گرافیکی، از دو پارامتر آماری میانگین خطای مطلق MBE و مجذور میانگین مربعات خطا $RMSE$ مطابق روابط (۱) و (۲) استفاده شده است.

$$MBE = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(X_{i,pre} - X_{i,obs}) \quad (۱)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(X_{i,pre} - X_{i,obs})^2} \quad (۲)$$

نتایج و بحث

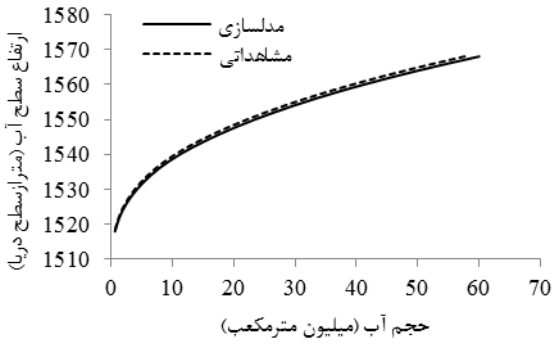
نتایج واسنجی و صحت سنجی مدل

واسنجی این نرم افزار، در سه مرحله واسنجی هندسه مخزن (حجم مخزن)، تراز سطح آب و دمای عمقی آب صورت می‌گیرد.

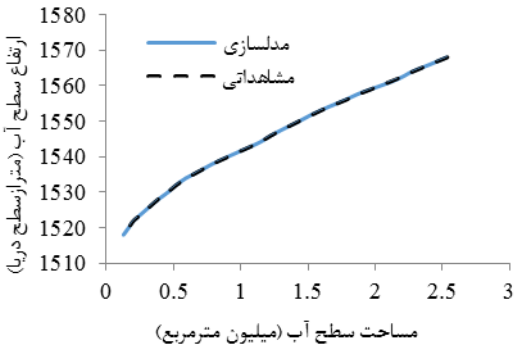
هندسه مخزن (حجم مخزن)

شکل ۲، منحنی‌های حجم-ارتفاع مشاهداتی و شبیه‌سازی مخزن سد علویان را نشان می‌دهد. در ساخت هندسه مخزن، تمام ابعاد قطعات و زوایای راستاها بر اساس نقشه توپوگرافی با دقت تعیین و وارد مدل گردید و بعد از اجرای مدل، منحنی حجم-ارتفاع شبیه‌سازی شده

استخراج شد. اختلاف مقادیر واقعی و شبیه‌سازی حجم ناچیز بود (RMSE=۱/۲۵ و MBE=۱/۲ میلیون متر مکعب). حجم واقعی کل مخزن و مقدار شبیه‌سازی شده به ترتیب برابر با ۵۷/۶۷۰۲ و ۶۰/۰۳۵ میلیون متر مکعب بود (۴/۱ درصد اختلاف). در شکل ۳، منحنی‌های مساحت سطح-ارتفاع مخزن مشاهداتی و شبیه‌سازی ارائه شده که انطباق دو منحنی بر روی هم، نشانگر دقت بالای مدل در شبیه‌سازی هندسه مخزن است. مطابق نظر خواجه پور و همکاران (۱۳۹۴)، دقت عملیات هیدروگرافی در دریاچه سد، ترسیم دقیق هندسه مخزن و انجام سعی و خطاهای مکرر در مرحله واسنجی منجر به افزایش دقت مدل در بخش شبیه سازی هندسه مخزن گردیده است.



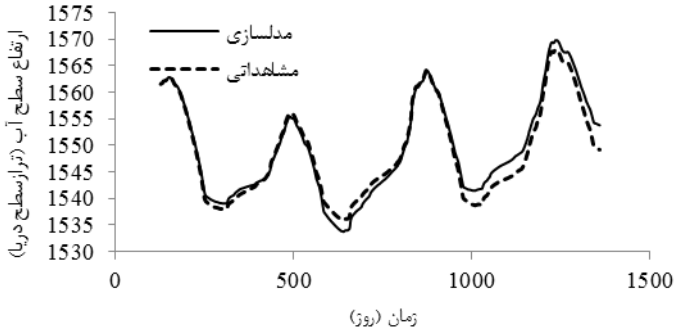
شکل ۲- منحنی حجم-ارتفاع مشاهداتی و شبیه‌سازی مخزن



ش‌کل ۳- مساحت سطح-ارتفاع مشاهداتی و شبیه‌سازی مخزن

تراز سطح آب

پس از انجام واسنجی هندسه، با داشتن تراز سطح آب به صورت میانگین روزانه در مخزن، مقدار تراز سطح آب شبیه‌سازی شده از مدل استخراج و با داده‌های مشاهداتی مقایسه شد (شکل ۴). خطای مقادیر تراز سطح آب پس از واسنجی در قالب مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) و متوسط خطای مطلق (MBE) به ترتیب ۱/۷۹و ۰/۶۵متر به دست آمد. ترسیم دقیق هندسه مخزن و دقت بالای واسنجی هندسه مخزن در مدل موجب انطباق زیاد نتایج شبیه‌سازی تراز سطح آب با تراز مشاهداتی شد (خواجه پور و همکاران، ۱۳۹۳)

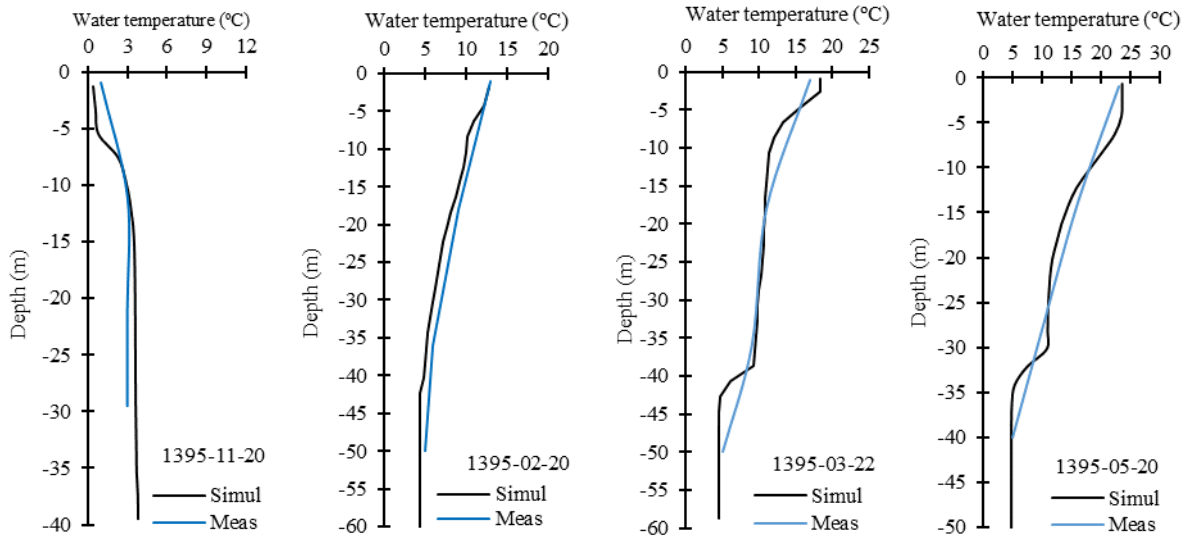


شکل ۴- تراز سطح آب مشاهداتی و شبیه‌سازی مخزن سد

پروفیل دمایی آب مخزن

پس از اجرای مدل و شبیه‌سازی دمایی، ضرایب کالیبراسیون مؤثر بر لایه‌بندی دمایی مخزن بررسی شد. در واسنجی دمایی، با نزدیک شدن شکل مقاطع شبیه‌سازی شده به شکل مقاطع مشاهداتی، سایر ضرایب کالیبراسیون مورد بررسی قرار گرفت تا دقت شبیه‌سازی بالا برده شود. بر اساس اندازه‌گیری‌های ماهانه دمای عمقی آب مخزن (در نزدیکی بدنه سد) و پس از انجام سعی و خطاهای مکرر، مقادیر نهایی ضرایب مدل به دست آمد. در ادامه، به منظور صحت‌سنجی مدل، نتایج پروفیل‌های شبیه‌سازی و مشاهداتی برای دوره یک ساله (۱۳۹۴/۰۷/۱ تا ۱۳۹۵/۰۶/۳۱) استخراج گردید. بر اساس نتایج، میانگین خطای مطلق شبیه‌سازی (MBE) پروفیل عمقی دمای آب مخزن برابر ۱/۴ درجه سانتی‌گراد به دست آمد که مطابقت خوبی با نتایج جلالی جشوقانی و همکاران (۱۳۹۴) در بررسی لایه‌بندی دمای سد مخزنی کارون ۴ (با میانگین خطای ۱/۵ درجه سانتی‌گراد) دارد. همچنین نتایج این تحقیق هماهنگی خوبی با نتایج کیم و کیم (۲۰۰۶) در شبیه-

سازی پروفیل حرارتی در مخزن سد سویانگ کره‌جنوبی دارد. مطابق نتایج ایشان میزان ریشه میانگین مربعات خطا برای کلیه روزهای نمونه-برداری برابر ۱/۴۴ درجه سانتی‌گراد بدست آمد. شایان ذکراست که طبق نظر جلالی جشوقانی و همکاران (۱۳۹۴) این مقدار خطای بدست آمده نسبت به بزرگی و عمق سد مناسب می¬باشد. از طرفی دقت بالای مدل می‌تواند به علت انجام سعی و خطاهای مکرر در مرحله واسنجی جهت انتخاب بهینه پارامترهای موثر در شبیه سازی دمای آب باشد. در شکل ۵، پروفیل‌های دمایی مشاهداتی و شبیه‌سازی در دوره صحت-سنجی مدل ارائه شده است. نتایج نشان داد که تغییرات دمای عمقی آب مخزن سد علویان در طول سال قابل توجه است، به طوری که دارای لایه‌بندی دمایی مثبت (بهار، تابستان تا اواسط پاییز) و منفی (در فصل زمستان) بوده و دوره اختلاط کامل (اواخر پاییز و اواخر زمستان) است. رضایی برندق و همکاران (۱۳۹۶)، فیروزی و همکاران (۱۳۹۷)، جمشیدی و نودهی (۱۳۹۷) و کیم و کیم (۲۰۰۶) نیز وجود لایه‌بندی تابستانی را در مخازن مورد بررسی خود گزارش کردند.



شکل ۵- پروفیل‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی دمای عمقی آب مخزن

نتیجه‌گیری

این مطالعه نشان داد که مدل کامپیوتری دوبعدی CE- QUAL-W2 می‌تواند ابزار مناسبی برای حل مشکل اندازه‌گیری میدانی دمای سطح و لایه‌های عمقی یک پیکره آبی مانند دریاچه یا مخزن سد باشد. با استفاده از این مدل، شبیه‌سازی پروفیل دمایی مخزن سد علویان با دقت بالایی انجام شد. نتایج نشان داد که دمای آب در لایه‌های عمقی مخزن سد علویان در طول سال تغییرات محسوسی دارد و این مخزن در طول سال دارای لایه‌بندی دمایی مثبت (بهار، تابستان تا اواسط پاییز) و منفی (در فصل زمستان) و دوره اختلاط کامل (اواخر پاییز و اواخر زمستان) است. به طور کلی، برای به دست آوردن نتایج دقیق‌تر، شبیه‌سازی با این مدل باید بعد از واسنجی مناسب و صحت‌سنجی با استفاده از داده‌های کامل و حتی‌الامکان دقیق هواشناسی و هیدرومتری و اطلاعات هندسه مخزن انجام پذیرد.

منابع

جلالی جشوقانی، ز.، صمدی بروجنی، ح.، فتاحی ناقچی، ر. و نجف‌آبادی، ر.م.ع. ۱۳۹۴. بررسی تأثیر پارامترهای مختلف بر شبیه‌سازی لایه-بندی حرارتی در مخازن سد (مطالعه موردی: سد کارون ۴). دومین کنفرانس بین‌المللی محیط زیست و منابع طبیعی، شیراز، مؤسسه عالی علوم و فناوری خوارزمی.

جمشیدی، م. , نودهی، د.ا. ۱۳۹۰. بررسی لایه‌بندی حرارتی مخزن سد طرق با استفاده از مدل CE- QUAL-W2. اولین همایش ملی راهبردهای مدیریت منابع آب و چالش‌های زیست محیطی. ساری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

خواجه‌پور، م.ا.، اقبال‌زاده، ا.، شیاسی ارانی، م.، افتخاری، م. و جوان، م. ۱۳۹۳. مقایسه مدل‌های CE- QUAL-W2 و DYRESM در شبیه-سازی توزیع دما در مخزن سد پانزده خرداد. مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۸ (۲)، ۳۵۲-۳۴۳.

خواجه‌پور، م.ا.، اقبال‌زاده، ا.، افتخاری، م. و جوان، م. ۱۳۹۴. شبیه سازی عددی لایه بندی حرارتی در مخزن سد پانزده خرداد. مجله پژوهش آب ایران، ۹ (۱)، ۱۷-۱۳.

رضایی برندق، ه.، سلماسی، ف. و صاحبی، ف. ۱۳۹۶. مطالعه لایه‌بندی حرارتی و کیفی سد تهم زنجان با استفاده از نرم‌افزار CE- QUAL-W2. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲۵ (۱)، ۱۴۵-۱۲۷.

شبان، ا. و کتابچی، ح. ۱۳۹۶. شبیه‌سازی لایه‌بندی حرارتی مخزن سد سیمره با استفاده از CE- QUAL-W2. شانزدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، اردبیل، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه محقق اردبیلی.

فیروزی، ف.، روزبهانی، ع. و مساح بوانی، ع.ر. ۱۳۹۷. بررسی اثرات تغییر اقلیم بر لایه‌بندی حرارتی مخزن سد لتیان. تحقیقات منابع آب ایران، ۱۴ (۳)، ۲۷۷-۲۶۷.

Brutsaert, W. and Yu, S.L. 1968. Mass transfer aspects of pan evaporation. Journal of Applied Meteorology, 7, 563-566.

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.

Hasanoğlu, E. and Göncü, S. 2018. Irrigation Pond Stratification Structure Determination and Temperature - Dissolved Oxygen Modeling Using CE-QUAL-W2. Applied Ecology and Environmental Research, 16(2):1199-1219.

Kim, Y. and Kim, B. 2006. Application of a 2-Dimensional Water Quality Model (CE-QUAL-W2) to the Turbidity Interflow in a Deep Reservoir (Lake Soyang, Korea). Lake and Reservoir Management, 22 (3), 213-222.

Norton, E.G. and Bradford, A. 2009. Comparision of two stream temperature models and evaluation of potential management alternatives for the Speed River, Southern Ontario. Journal of Environmental Management, 90:866-878.

Topic: Water Erosion, Flood, Soil and Water Conservation

Simulation of Water Temperature Profile of the Alavian Dam Reservoir for Quality and Quantity Protection of Reservoir Water

Ghorban Mahtabi[1], Farshid Taran[2], Elahe Hojjati*[3]

[1] Assistant Professor, Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zanjan
[2] PhD, Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz
[3] MSc. Student, Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zanjan

Abstract

The issue of water scarcity and the optimal management of water resources is one of the most important challenges of the world especially in arid and semi-arid countries. Evaporation from free water surfaces is one of the phenomena affecting water resources such as lakes and dam reservoirs which, in turn, is affected by various factors such as water temperature. Since field measurement of water temperature profile is expensive and time-consuming, it can be simulated instead. In this study, the water temperature profile of the Alavian dam reservoir was simulated by using the model CE-QUAL-W2. For this purpose, the meteorological and hydrometric data, the measured data of water temperature at the reservoir's wall, the hydraulic data and the geometry of the dam reservoir were used. The time periods of 2013.05.07-2015.09.22 and 2015.09.23-2016.09.21 were used for model calibration and verification, respectively. The Results showed that CE-QUAL-W2 can simulate the water temperature profile with a high precision (MBE=1.4 °C). The results indicated that the water temperature variation with the reservoir depth is significant during the year and there are positive and negative temperature layering and the complete mixing period.
Keywords: Alavian dam, Reservoir, Simulation, Water temperature profile

* Corresponding author, Email: elahe.hojjati@gmail.com