نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و پنجم، شماره اول، ۱۳۹۷
http://jwsc.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jwsc.2017.12528.2723

مطالعه لایه‌بندی حرارتی و کیفی سد تهم زنجان با استفاده از نرم‌افزار CE-QUAL-W2

هادی رضایی‌برندق[۱]، فرزین سلماسی[۲] و *فرزانه صاحبی[۳]

[۱]دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه مهندسی عمران، واحد مراغه، دانشگاه آزاد اسلامی، مراغه، ایران، [۲]دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه تبریز، [۳]دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه مهندسی آب، دانشگاه تبریز

تاریخ دریافت: ۹۶/۲/۳۱ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۱/۳۰

چکیده

سابقه و هدف: در راستای توسعه پایدار، کنترل کیفی منابع آب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این راستا شناخت پدیده لایه‌بندی از اهمیت خاصی برخوردار است. همچنین بررسی کیفیت منابع آب سطحی سدها که به‌عنوان اصلی‌ترین منبع تأمین نیازهای شرب کشور به‌شمار می‌آیند، از نظر شوری یکی از چالش‌های مدیریت منابع آب می‌باشد. به‌منظور مطالعه لایه‌بندی جریان در مخازن می‌بایست دینامیک اختلاط و جریانات داخلی در مخزن را آنالیز نمود. از آن‌جائی‌که پدیده‌های فراوانی در ایجاد لایه‌بندی مخازن مؤثر است، مطالعه این پدیده در مخازن تنها از طریق مدل‌های دینامیکی امکان‌پذیر است. از این‌رو استفاده از مدل‌های عددی در کنار اندازه‌گیری‌های میدانی اجتناب‌ناپذیر است.

مواد و روش‌ها: با توجه به کاربری آب مخزن سد تهم به‌منظور آب آشامیدنی زنجان، مطالعه کیفیت آن از اهمیت بسیاری برخوردار است. بنابراین در مطالعه حاضر جهت شناخت وضعیت کیفی آب سد تهم، شبیه‌سازی دمای آب و کل مواد جامد محلول با استفاده از نرم‌افزار CE-QUAL-W2 در دوره ۱ ساله از تاریخ ۳۰ آذر ۱۳۹۰ تا ۳۰ آذر ۱۳۹۱ انجام شده است. همچنین مقادیر دما و شوری آب که در نقاط مختلف مخزن اندازه‌گیری‌شده با نتایج به‌دست آمده از مدل شبیه‌سازی‌شده مقایسه شده است. با استفاده از نتایج مدل شبیه‌سازی‌شده، روند تغییرات پارامترهای مذکور و پدیده لایه‌بندی حرارتی در مخزن سد مطالعه شده است.

یافته‌ها: در پژوهش حاضر مقادیر دما و شوری اندازه‌گیری‌شده و نتایج شبیه‌سازی از تطابق مناسبی برخوردار بودند. نتایج بیانگر وجود یک دوره لایه‌بندی حرارتی در مخزن است که حدود هشت ماه از سال به‌طول می‌انجامد. این پدیده از اواخر فروردین‌ماه شروع در مرداد و شهریور به اوج خود می‌رسد (اختلاف ۲۰ درجه سانتی‌گراد بین رولایه و زیرلایه) همچنین در ماه‌های دی تا فروردین نیز اختلاط مشاهده می‌شود. در فصل پاییز با کاهش اختلاف دمای آب در لایه‌های بالایی و پایینی لایه‌بندی حرارتی در مخزن تضعیف می‌شود و در فصل زمستان کاملاً ناپدید می‌شود. همچنین نتایج دلالت بر وجود لایه‌بندی شوری هم‌زمان با لایه‌بندی حرارتی در مخزن دارد.

* مسئول مکاتبه: sahebi.farzaneh@yahoo.com

نتیجه‌گیری: از منظر لایه‌بندی، مخزن سد تهم در دسته مخازن مونومیکتیک گرم قرار دارد. در فصول پاییز و زمستان، مقادیر شوری در همه اعماق به مقدار ثابتی می‌رسد. این روند تا اردیبهشت‌ماه ادامه دارد و به‌دلیل شروع لایه‌بندی به‌تدریج اختلاف مقادیر در عمق بیش‌تر شده و در فصل تابستان این اختلاف بیش‌تر می‌شود.

واژه‌های کلیدی: مدل‌های دینامیکی، شوری، مونومیکتیک گرم

مقدمه

تأمین آب مورد نیاز و با کیفیت قابل‌قبول، یکی از ابتدائی‌ترین و مهم‌ترین مسائل زندگی بشری است. منابع تأمین‌کننده آب شیرین گرچه تجدیدشونده هستند، ولی مقدار آن‌ها محدود می‌باشد. همان‌طور که از دیرباز نیز مرسوم بوده، نیاز به ذخیره آب از طریق احداث سد، یک راه‌حل مناسب برای تأمین آب جهت مصارف کشاورزی، صنعت، شرب، کنترل سیلاب، تولید برقابی و... می‌باشد.

زمانی‌که آب به میزان زیاد ذخیره شود و مخزن‌های زیادی داشته باشیم، می‌توان این مقادیر را در اختیار استفاده‌کنندگان قرار داد. کیفیت آب ذخیره شده در این مخازن و آبی که در اختیار دیگران قرار می‌گیرد، موضوعی است که همیشه تحت بررسی بوده تا مشخص شود که این آب برای اهداف گوناگون مناسب هست یا خیر. بنابراین توانایی پیش‌بینی و بررسی کیفیت آب در مخازن در مدیریت منابع آبی موضوع بسیار مهمی است که باعث پیشرفت‌های کاری می‌شود.

به‌منظور مطالعه لایه‌بندی[1] جریان در مخازن باید دینامیک اختلاط و جریانات داخلی در مخزن را آنالیز نمود. از آن‌جائی‌که پدیده‌های فراوانی در ایجاد لایه‌بندی در مخازن مؤثر است، مطالعه این پدیده در مخازن تنها از طریق مدل‌های دینامیکی امکان‌پذیر است از این‌رو استفاده از مدل‌های عددی در کنار اندازه‌گیری‌های میدانی اجتناب‌ناپذیر است. انتخاب ابعاد مدل مورد استفاده (یک‌بعدی، دوبعدی و یا سه‌بعدی) بسته به شرایط مخزن و نیازهای طرح انجام می‌گیرد. جهت شناخت و درک بهتر فرایند پدیده لایه‌بندی در داخل و خارج کشور پژوهشگران زیادی روی سدها و دریاچه‌های مختلف انجام شده است.

ما و همکاران (۲۰۰۸)، اثرات طرح خروج آب در لایه‌بندی حرارتی سد کوریس قبرس را با استفاده از مدل دوبعدی CE-Qual-w2 مطالعه نموده‌اند. بر اساس نتایج حاصله لایه‌بندی حرارتی پیش‌بینی‌شده و پروفیل دمای آب در مخزن، ناشی از طرح خروج آب قابل‌توجه می‌باشد. به‌طوری‌که برداشت آب‌های عمیق موجب تسهیل انتقال گرما در ستون آبی اختلاط آب‌های عمیق، به‌ویژه از ماه سپتامبر تا ژانویه شده است. بنابراین باید طرح خروجی آب بر پایه استراتژی مدیریت کیفیت آب با احتیاط انجام گیرد (۷). چای و همکاران (۲۰۱٤)، شبیه‌سازی مخزن هیهه در شهر ژیان کشور چین را از نظر مشخصات آلودگی در اثر لایه‌بندی حرارتی مورد مطالعه قرار داده‌اند و دریافته‌اند که این مخزن لایه‌بندی حرارتی ثابتی داشته و در تابستان لایه‌های پایینی فاقد اکسیژن می‌گردد که عمده مشکلات مخزن از نظر کیفی ناشی از آزادسازی آلاینده از رسوبات می‌باشد. بنابراین جهت برهم‌زدن لایه‌بندی، هوادهی لایه کف را جهت بهبود مشکلات کیفی آب پیشنهاد نموده‌اند (٤). الچی و همکاران (۲۰۰۸)، تأثیر لایه‌بندی حرارتی و اختلاط آب بر روی کیفیت آب

1- Stratification

مخزن تحقیقاتی در کشور ترکیه روی سد تاهتالی که برای تأمین آب شرب شهر ازمیر ترکیه احداث شده را انجام داده و حساسیت پارامترهای کیفی آب نسبت به باد و لایه‌بندی را مورد بررسی قرار داده است. مشاهدات نشان داد که خط گرادیان دمایی به‌عنوان مانعی برای اکسیژن محلول می‌باشد و بر طبق نتایج حاصله تغییرات دمای هوا و رطوبت نیز باید در ارزیابی رفتار اکسیژن محلول مدنظر باشد. همچنین نتایج تحلیل‌های آماری نشان داده که دمای هوا، سرعت باد و رطوبت پارامترهای مؤثر بر کیفیت آب بوده ولی در تحلیل‌های بدون بعد به تنهایی کافی نیست و باید سایر فاکتورهای جوی نیز مورد ارزیابی قرار گیرند (۵). آبای‌سینگ و همکاران (۲۰۰۵)، لایه‌بندی حرارتی سد مخزن کوتمال سریلانکا را به‌وسیله نرم‌افزار یک‌بعدی طرح هیدرودینامیک پیش‌بینی و الگوهای مختلف برداشت از مخزن را ارائه نموده است. بر اساس این طرح لایه‌بندی شدن مخزن قابل پیش‌بینی بوده و در نتیجه مدیران مخزن را قادر می‌سازد تا در چنین موقعیت‌های از معیارهای دقیق‌تری استفاده کرده تا بتوانند کیفیت مخزن را تحت کنترل داشته باشند (۱). امیری (۲۰۰۹)، طرح لایه‌بندی حرارتی و اکسیژن محلول را در مخزن سد سفیدرود با استفاده از نرم‌افزار CE-QUAL-W2 به انجام رسانده است. کالیبراسیون مدل در یک دوره یک‌ساله و واسنجی برای یک دوره چهارماهه صورت گرفته است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی و مقادیر اندازه‌گیری‌شده تطابق خوبی داشتند. همچنین نتایج بیانگر عدم وجود لایه‌بندی در مخزن مطالعاتی می‌باشد (۲). روستائی و همکاران (۲۰۰۹)، شرایط کیفی مخزن سد لتیان را با استفاده از مدل دوبعدی CE-Qual-w2 ارزیابی نموده و نتیجه گرفته‌اند که این سد دچار لایه‌بندی حرارتی هفت‌ماهه می‌گردد و باعث می‌گردد تا به‌تدریج مواد آلی و رسوبات ته‌نشین‌شده در کف زیاد شده و در هنگام اختلاط مخزن موجب گسترش پدیده تغذیه‌گرایی در مخزن می‌شود (۸). بختیاری (۲۰۱۰) با استفاده از مدل سه‌بعدی (Mike3) به شبیه‌سازی وضعیت هیدرودینامیک و لایه‌بندی حرارتی و تغییرات اکسیژن محلول در مخزن سد تهم پرداخته است. واسنجی مدل در یک دوره سه‌ماهه و اعتبارسنجی آن برای یک دوره یک‌ساله صورت گرفته است. مدل به‌خوبی توانسته الگوی تغییرات لایه‌بندی حرارتی را برای مخزن سد تهم در دوره‌های مختلف سال شبیه‌سازی نماید و نتایج مدل با دما اندازه‌گیری‌شده و نتایج حاصل از شبیه‌سازی از تطابق مناسبی برخوردار می‌باشند. بررسی‌ها نشان داده که سد تهم در دسته مخازن مونومیکتیک گرم قرار دارد که در فصل تابستان لایه‌بندی در آن به شدیدترین حالت خود می‌رسد و در فصل زمستان به‌صورت کامل محو می‌گردد (۳). ظهره‌وند و همکاران (۲۰۱۱) شرایط کیفی آب مخزن سد ماملو را با استفاده از مدل CE-QUAL-W2 ارزیابی نموده و دریافته‌اند که لایه‌بندی در یک دوره نه‌ماهه اتفاق می‌افتد. پیشنهاد داده‌اند که قبل از اختلاط کامل در مخزن، آب از لایه‌های زیرین تخلیه شود تا نیتروژن، فسفر و مواد غذایی دیگر از سد تخلیه گردد و در هنگام واژگونی مواد غذایی کم‌تری در مخزن پراکنده شود (۱۰). حمزه‌پور و همکاران (۲۰۱۱) شرایط کیفی آب سد مارون را ارزیابی نموده و نتایج حاصل، بیانگر وجود لایه‌بندی حرارتی هشت‌ماهه و اختلاف دما حداکثر بین لایه‌های سطحی و زیرین ۱۵ درجه سانتی‌گراد به ثبت رسیده است (٦). سعیدی و همکاران (۲۰۱۳) لایه‌بندی حرارتی و غلظت اکسیژن محلول (DO) مخزن سد شهید رجایی را با استفاده از مدل CE-QUAL-W2 شبیه‌سازی نموده‌اند. در این راستا مدل هیدرودینامیک مخزن برای سال‌های ۱۳۸۰

تا ۱۳۹۰ به‌وسیله نرم‌افزار ساخته و کالیبره و برای شبیه‌سازی رژیم حرارتی و اکسیژن محلول سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۳ استفاده شده است. نتایج نشان‌دهنده ایجاد لایه‌بندی حرارتی در تابستان و اختلاط قائم در زمستان بوده است. از نتایج مدل‌سازی اکسیژن محلول نیز مشخص شد در زمان شکل‌گیری لایه‌بندی حرارتی، غلظت این پارامتر در کف مخزن به صفر می‌رسد و در زمان اختلاط قائم زمستانی شرایط بی‌هوازی کف مخزن از بین می‌رود و مخزن در جهت قائم همگن می‌شود (۹).

از آن‌جائی‌که آب سد تهم جهت مصارف شرب مورد استفاده قرار می‌گیرد ضرورت دارد در مورد پارامترهای کیفی مهم آن مانند کل جامدات محلول (TDS) و زمان‌بندی رخداد لایه‌بندی حرارتی تحقیقاتی صورت می‌گرفت. بنابراین در مطالعه حاضر جهت شناخت وضعیت کیفی آب سد تهم، شبیه‌سازی دمای آب و کل جامدات محلول با استفاده از نرم‌افزار CE-QUAL-W2 انجام شده است. با استفاده از نتایج مدل شبیه‌سازی‌شده، روند تغییرات پارامترهای مذکور و پدیده لایه‌بندی حرارتی در مخزن سد مطالعه شده است.

مواد و روش‌ها

لایه‌بندی حرارتی: لایه‌بندی به معنی ایجاد لایه‌هایی از جرم‌های سیال می‌باشد که در اثر اختلاف در دانسیته یا درجه حرارت و مومنتوم از لایه سطحی آب و نیروی جاذبه به‌وجود می‌آید. دریاچه‌های بزرگ به‌علت پروفیل چگالی دمای آب دچار تغییرات فصلی می‌شوند. این تغییرات به‌طور مشخص به خصوصیات مختلف دریاچه تأثیر می‌گذارد. با توجه به فصل سال، انتقال حرارت از سطح باعث افزایش یا کاهش دمای آب از سطح دریاچه یا مخزن می‌شود. در اغلب مخازن و دریاچه‌ها، لایه‌بندی نتیجه موازنه حرارتی بین آب مهار شده و سایر ورودی‌ها به مخزن می‌باشد. حرارت ورودی شامل تشعشع اتمسفری و خورشیدی، تبادل حرارتی بین آب و اتمسفر و حرارت حاصل از جریان‌های ورودی به مخزن می‌باشد.در زمان لایه‌بندی سه لایه مشخص زیر در مخزن به وجود می‌آید.

الف: رولایه[1]: لایه‌ای نسبتاً تازه با درجه حرارت تقریباً ثابت و زیاد که منطقه بالاتر، گرم‌تر و با دانسیته کم‌تر است.

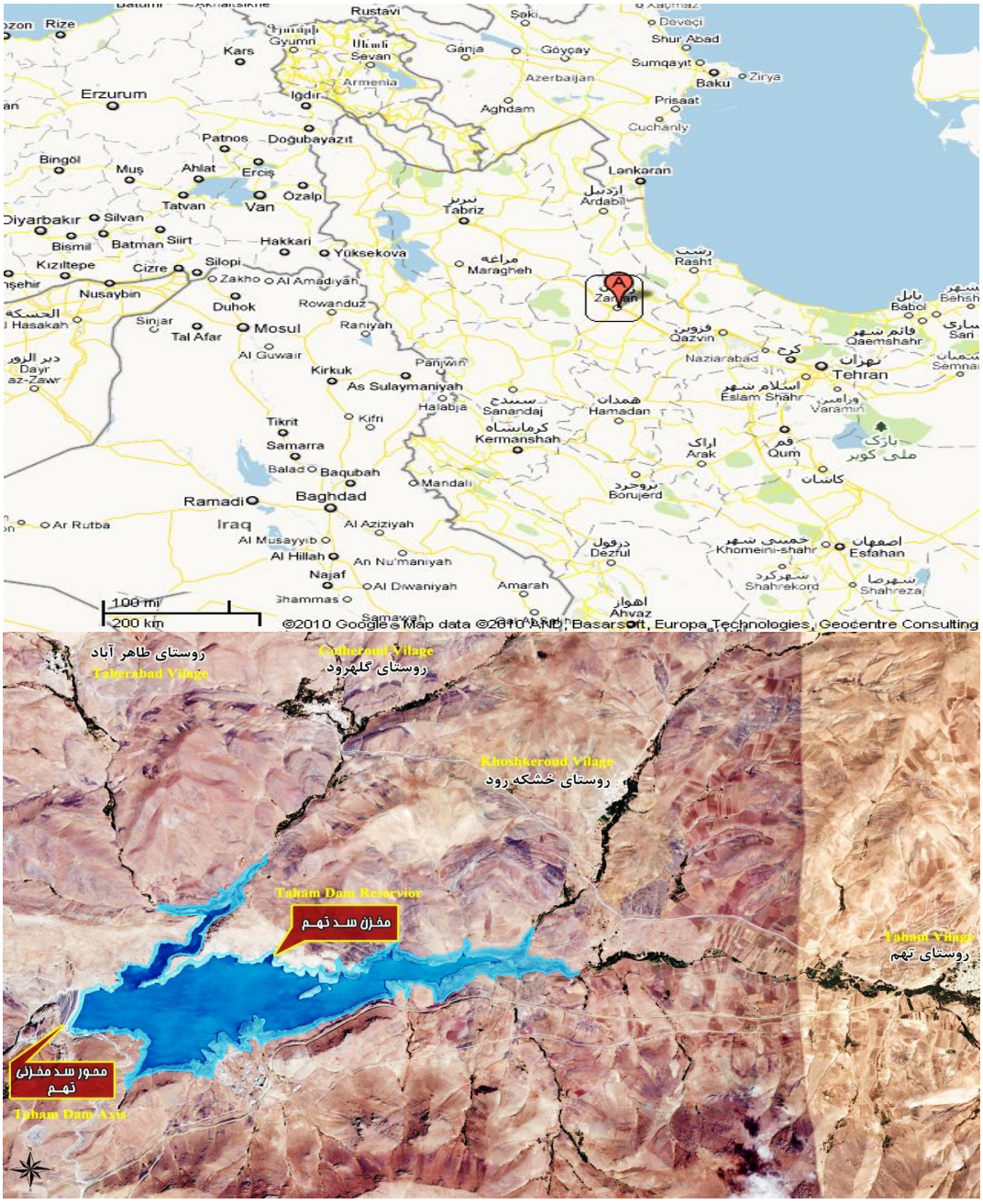
ب: زیرلایه[2]: که منطقه پایین‌تر، سردتر و با دانسیته بیش‌تر است.

پ: میان‌لایه[3]: منطقه انتقالی بین دو لایه قبلی می‌باشد. که گرادیان و شیب خط دمایی و چگالی نسبت به لایه بالایی و زیری خیلی بیش‌تر است و باعث جدایی مشخصه‌های هیدرولیکی، دمایی و اکولوژیکی در دو لایه دریاچه می‌شود.

محدوده مورد مطالعه و اطلاعات پایه

مشخصات عمومی سد تهم: سد تهم در ۱۵ کیلومتری شمال‌غربی شهرستان زنجان، واقع شده است. این سد با ارتفاع ۱۱۸ متر از بستر و حجم آب ۷۸/۸۷ میلیون مترمکعب در فاصله حدود ۳۰۰ متری پایین‌دست محل تقاطع رودخانه تهم و گلهرود که تشکیل‌دهنده رودخانه سارمساقلو می‌باشد احداث گردیده است. هدف از احداث سد، کنترل و جمع‌آوری آب رودخانه سارمساقلو جهت تأمین آب شرب شهر زنجان می‌باشد. در شکل ۱ حدود منطقه مورد مطالعه و پلان دریاچه سد آورده شده است.

1- Epilimnion
2- Hypolimnion
3- Thermocline



شکل ۱- جانمایی سد تهم و نمایی از مخزن.

Figure 1. Location of Taham Dam and reservoir view.

نمونه‌برداری: اندازه‌گیری‌های پارامتر دمای آب و EC در عمق‌های مختلف و در سه موقعیت ورودی رودخانه در شاخه تهم‌چای، ورودی رودخانه در شاخه گلهرود و تاج سد در بازه زمانی یک‌ساله از آذر ۱۳۹۰ تا آذر ۱۳۹۱ در ۱۰ نوبت و در ماه‌های مختلف توسط "آزمایشگاه نوین ره‌آورد" انجام شده است. همچنین اندازه‌گیری نوسانات سطح آب دریاچه از طریق مشاهدات ثبت‌شده روزانه توسط اپراتورهای سد به‌دست آمده است. شکل ۲ جانمایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری مورد استفاده در پروژه حاضر در سد تهم نمایش داده شده است.

شکل ۲- جانمایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری در سد تهم.

Figure 2. Location of Taham Dam sampling stations.

انتخاب مدل شبیه‌سازی: در انتخاب مدل اولین قدم تعیین رفتار مخزن است (به این معنی که مخزن به‌صورت چندبعدی عمل می‌کند) تا بتوان مدلی که با شرایط واقعی تناسب دارد را انتخاب کرد. نتیجه بررسی و مقایسه مدل های مختلف شبیه‌سازی کیفی مخازن از جمله DYRESEM، WASP6، HEC-5Q، WQRRS و CE-QUAL-W2 نشان داد که مدل شبیه‌سازی CE-QUAL-W2 شکل واقعی‌تری از مخزن را برای شبیه‌سازی ارائه می‌دهد. برنامه مذکور قابلیت مدل‌کردن پارامترهای کیفی مختلف را دارد و به‌علت استفاده از الگوریتم تعیین گام‌های زمانی، میزان خطای عددی کم‌تری تولید می‌کند. بنابراین در مطالعه حاضر از این مدل جهت شبیه‌سازی پارامترهای دما و کل مواد جامد محلول استفاده شده است. (۲)

مدل هیدرودینامیک: مدل هیدرودینامیک CE-QUAL-W2 می‌تواند جهت تعیین سطح آب، سرعت جریان و درجه حرارت استفاده شود. اساس این مدل حل معادلات میانگین عرضی مومنتوم، پیوستگی و انتقال به روش تفاضل محدود ضمنی (Implicit Finite Difference) می‌باشد. همچنین جهت حل معادله انتقال از طرح تفاضل محدود QUICKEST استفاده شده است. معادلات به‌کار گرفته شده در مدل عبارتنداز:

معادله اندازه حرکت در جهت x در کانال شیب‌دار:

$$\frac{\delta uB}{\delta t}+\frac{\delta uuB}{\delta X}+\frac{\delta WUB}{\delta Z}=gBSin\alpha+gBCos\alpha\frac{\delta\eta}{\delta x}-\frac{gBCos\alpha}{\rho}\int_{\eta}^{z}\frac{\delta\rho}{\delta x}dz+\frac{1}{\rho}\frac{\delta B_{TXX}}{\delta x}+\frac{1}{\rho}\frac{\delta B_{TXZ}}{\delta \tau}+qBU_X \qquad (۱)$$

معادله اندازه حرکت در جهت Z کانال شیب‌دار:

$$0=gBCos\alpha-\frac{1}{\rho}\frac{\delta\rho}{\delta z} \qquad (۲)$$

معادله سطح آزاد آب:

$$B\eta\frac{\delta\eta}{\delta t}=\frac{\delta}{\delta x}\int_{\eta}^{h}UBdz-\int_{\eta}^{h}qBdz \qquad (۳)$$

که در آن‌ها، U سرعت افقی، w سرعت عمودی، B عرض کانال، P فشار، g شتاب ثقل، T_{XX} متوسط عرض تنش برشی در جهت x، T_{Xz} متوسط عرض تنش برشی در جهت z، ρ دانسیته آب، η سطح آب، α شیب کانال.

تنش برشی برای هر بخش نیز از فرمول زیر محاسبه می‌گردد.

$$\tau_b = \frac{\rho w_g}{C^2} U\,|U| \qquad (٤)$$

که در آن، ρ_w چگالی آب، C ضریب شزی (ضریب مانینگ)، U سرعت افقی.

تنش برشی عمودی نیز از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$\frac{\tau_{xz}}{\rho} = V_T \frac{\delta U}{\delta Z} = A_Z \frac{\delta U}{\delta T} \qquad (٥)$$

که در آن، V_T لزجت و پخشیدگی گردابی قائم[1].

ساخت مدل CE-QUAL-W2: داده‌های زیر برای اجرای مدل مورد نیاز می‌باشند:

۱- اطلاعات هندسی (داده‌های ژئومتری): در این شبیه‌سازی، مخزن سد تهم در قالب یک پیکره آبی با دو انشعاب (رودخانه تهم و گلهرود) در طول به ٦٠ المان (SEGMENT) و در عمق به ٤٧ لایه (layer) به ضخامت‌های ۲ متری تقسیم‌بندی شد.

۲- شرایط اولیه: در مدل شرایط اولیه شامل:

زمان: زمان شروع و پایان شبیه‌سازی که همدوره با دوره نمونه‌برداری در یک دوره یک‌ساله از ۳۰ آذر سال ۱۳۹۰ تا ۳۰ آذر ۱۳۹۱ در نظر گرفته شده است.

دماها و پارامترهای کیفیت: در مدل شبیه‌سازی‌شده مقادیر پروفیل عمقی دما و TDS به‌عنوان شرایط اولیه در قالب فایل (VPR) به مدل معرفی می‌گردد.

نوع آب مخزن: در مدل حاضر با توجه به نوع آب گزینه fresh water انتخاب شده است.

ضخامت یخ: ضخامت اولیه یخ که در مدل برابر صفر در نظر گرفته شده است.

۳- شرایط مرزی: شامل جریان ورودی بالادست، جریان ورودی از انشعابات، انشعاب شاخه فرعی ورودی، بارش، جریان‌های ورودی داخلی، جریان خروجی پایین‌دست، تبخیر و جریان خروجی داخلی می‌باشد که در صورت نیاز به مدل تعریف شده است. فایل‌های جانبی نیز مانند ضرایب پوشش گیاهی منطقه (shading)، ضریب اصلاح سرعت باد برای مقاطع مختلف طولی (wind shelding) نیز به مدل تعریف شد

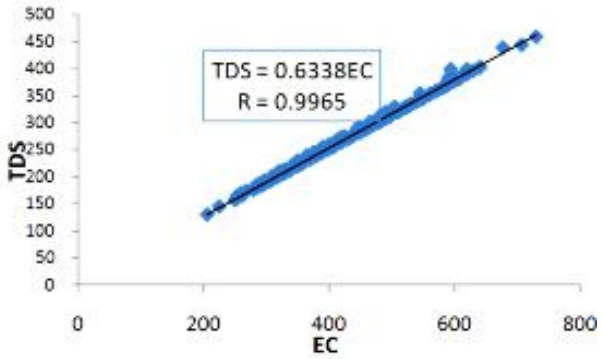
٤- پارامترهای هیدرولیکی شامل ضریب تجزیه یا انتشار نور و اصطکاک در کف می‌باشد. با توجه به توصیه‌های راهنمای نرم‌افزار در این مدل ضریب شزی به‌میزان ۷۰ جذر متر بر ثانیه در نظر گرفته و استفاده شده است.

۵- پارامترهای سینتیکی: ضرایب مؤثر در عناصر سینماتیکی در فایل کنترل w_2_con.npt به مدل معرفی گردید.

٦- داده‌های کالیبراسیون: پس از شبیه‌سازی اولیه مدل باید حجم مخزن، تراز سطح آب و پارامترهای موردنظر در طراحی با مقادیر واقعی کالیبره گردند.

پس از وارد نمودن تمامی ورودی‌های مدل و اجرای آن و انجام همه مراحل کالیبراسیون در دوره شبیه‌سازی یک‌ساله، مقادیر پروفیل های دما و EC اندازه‌گیری‌شده با مقادیر شبیه‌سازی‌شده مقایسه می‌گردد و نتایج مطالعه تغییرات پارامترهای فوق در لایه‌های مختلف مخزن ارائه خواهد شد. از آن‌جایی‌که در مدل پیش‌رو پارامتر EC جهت شبیه‌سازی موجود نیست، پارامتر TDS که رابطه معنی‌داری با EC دارد (شکل ۳) و با استفاده از آمار موجود در ایستگاه هیدرومتری بالادست منتهی به سد (ایستگاه هیدرومتری تهم- پالتی) استخراج شده است در مخزن شبیه‌سازی گردید و با استفاده از خروجی‌های مدل، نتایج مقادیر EC نیز در مخزن سد ارائه گردید.

1- Vertical Eddy Viscosity

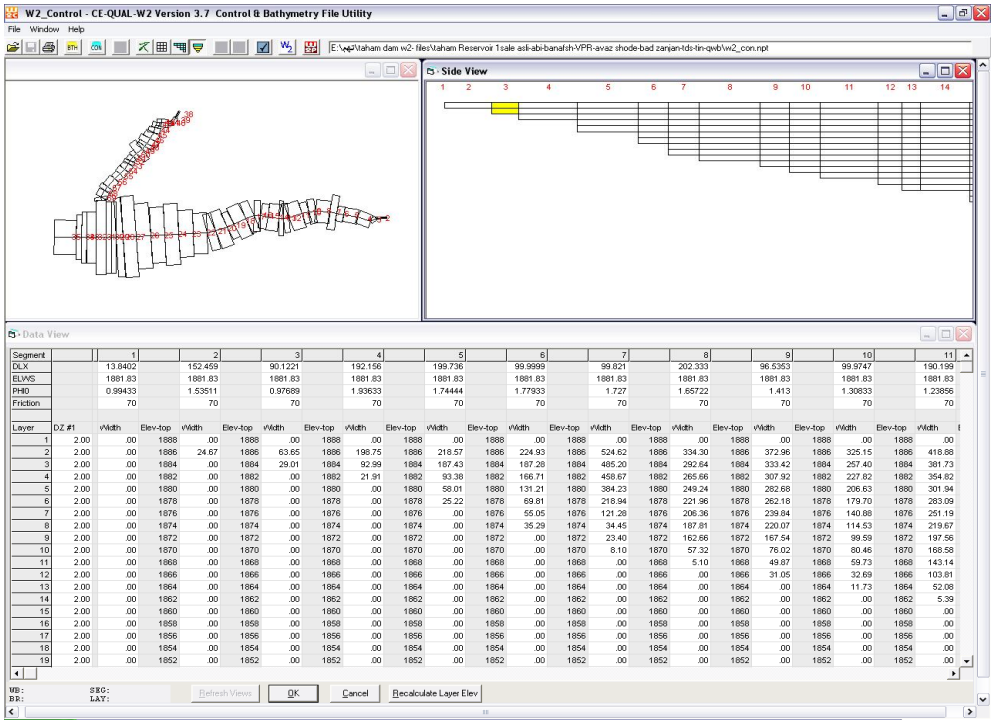


شکل ۳- رابطه EC-TDS در ایستگاه بالادست سد تهم (پالتی).

Figure 3. The TDS–EC equation in Paleti station upstream of taham dam.

تعیین مدت زمان شبیه‌سازی: مطابق با برنامه‌ریزی انجام شده زمان شبیه‌سازی مدل یک دوره یک‌ساله (هم‌زمان با انجام مطالعات میدانی) از ۳۰ آذر سال ۱۳۹۰ آغاز و در ۳۰ آذر ۱۳۹۱ در نظر گرفته شده است.

هندسه مخزن: اولین فایل ورودی به مدل، فایل هندسه مخزن می‌باشد که در آن باید ژئومتری مخزن سد تهم برای مدل تعریف گردد. به‌طورکلی پیکره آبی در قالب ٦٠ مقطع در طول مخزن (شامل دو شاخه اصلی و فرعی) به مدل معرفی شد. شکل ٤ نمای ساخته شده توسط مدل را نشان می‌دهد.



شکل ٤- نمایی از تقسیمات مخزن در نرم‌افزار CE-QUAL-W2.

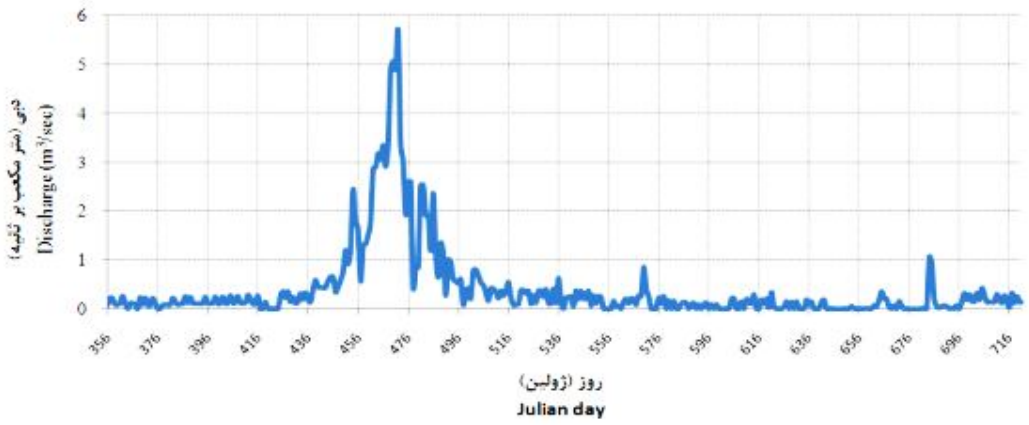
Figure 4. The view of reservoir bathymetry in CE-QUAL-W2 software.

داده‌های هواشناسی: اطلاعات هواشناسی شامل دمای هوا، دمای نقطه شبنم، ابرناکی، جهت و سرعت باد با استفاده از آمار ایستگاه سینوپتیک زنجان به‌صورت روزانه در طول دوره شبیه‌سازی به مدل داده شده است.

شرایط اولیه مخزن در اولین روز شبیه‌سازی: در این فایل، اطلاعات مربوط به پارامترهای موردنظر در اولین روز شبیه‌سازی، برای مدل تعریف می‌گردد. در مدل حاضر، پروفیل قائم دما و کل مواد جامد محلول (TDS) در اولین روز شبیه‌سازی برای مدل تعریف گردیده است. همچنین تراز اولیه مخزن در فایل ورودی هندسه مخزن تعریف شده است که برابر با ۱۸۸۱/۸۳ متر می‌باشد.

دبی ورودی و خروجی: اطلاعات مربوط به دبی جریان ورودی روزانه به مخزن برای دو شاخه تهم و گلهرود به‌طور جداگانه در قالب فایل‌های تکس (txt) برای مدل تعریف گردید و همچنین دبی روزانه خروجی از تخلیه‌کننده‌های سد شامل تخلیه‌کننده تحتانی با اعمال شرایط هندسی و تراز مخصوص به مدل معرفی شده‌اند. شکل ۵ تغییرات دبی ورودی از شاخه رودخانه تهم به سد را در طول دوره شبیه‌سازی نمایش می‌دهد.

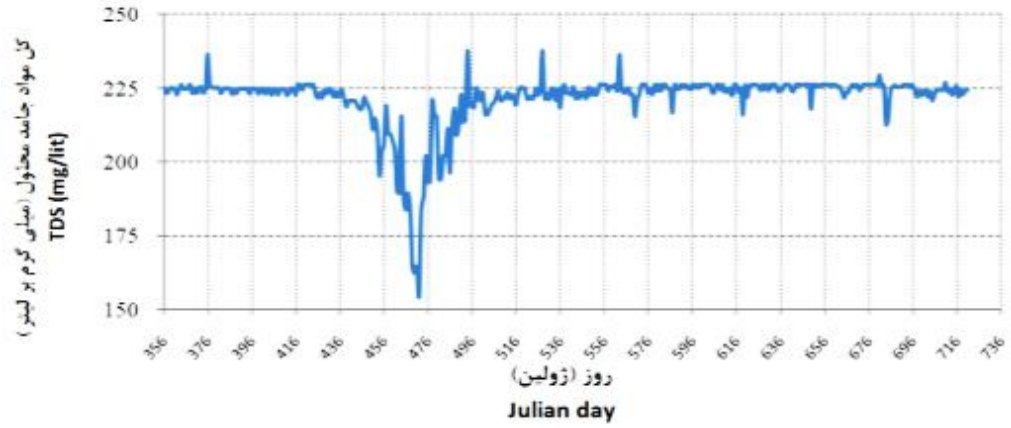
در اینجا لازم به ذکر است از آن‌جایی‌که مدل CE-QUAL-W2 بر مبنای تاریخ میلادی و روز ژولین عمل می‌نماید و اول ژانویه را به‌عنوان روز نخست سال می‌شناسد، بنابراین با تبدیل تاریخ شمسی به میلادی، روز اول شبیه‌سازی مصادف با ۳۵٦ امین روز سال ۲۰۱۰ میلادی تعیین گردید.



شکل ۵- دبی ورودی به مخزن سد تهم از شاخه تهم.

Figure 5. The input discharge of taham brtanch into taham reservoir.

دمای آب و غلظت مواد ورودی: دمای آب ورودی به مخزن سد تهم (دمای جریان پایه در رودخانه) و مقادیر TDS آب ورودی به سد در طول دوره یک‌ساله شبیه‌سازی در ورودی هر دو شاخه به مدل تعریف شده است. در شکل ٦ مقادیر TDS آب ورودی از بالادست شاخه تهم به مخزن سد تهم نشان داده شده است.



شکل ٦- مقادیر TDS آب ورودی از بالادست شاخه تهم به مخزن سد تهم.

Figure 6. TDS value of input water from upstream of taham brtanch into taham reservoir.

تهیه فایل‌های جنبی و اجرای برنامه: با توجه به توصیه‌های راهنمای نرم‌افزار و با توجه به خصوصیات مخزن، توپوگرافی، پوشش گیاهی و ... ضرایب به مدل معرفی گردید. بدین‌ترتیب ضرایب پوشش گیاهی در قالب فایل Shading برابر با مقدار ۱ برای مدل تعیین گردید. همچنین ضریب پوشش باد برای مقاطع مختلف طولی در قالب wind sheltering برای مدل در مقاطع زمانی برابر ۰/۹ فرض شد. پس از ورود تمامی اطلاعات مورد نیاز مدل از طریق فایل‌های تکس (txt) و از طریق پنجره‌های W2Control37 تنظیمات لازم صورت گرفت و مدل به‌وسیله برنامه w2_ivf اجرا شد. پس از پایان اجرا اطلاعات در فایل‌های نوشتاری ذخیره گردید که با استفاده از این اطلاعات نتایج مورد بررسی قرار گرفت.

کالیبراسیون: کالیبراسیون مدل در قالب سه مرحله در دوره شبیه‌سازی مدل و پس از اجرای اولیه آن توسط برنامه‌های جنبی مدل انجام گردید. برای بررسی صحت مدل شبیه‌سازی عددی از معیار جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)[1] استفاده شده است که به‌صورت زیر محاسبه می‌شوند:

$$RMSE = \left[\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(y_{oi} - y_{ci})^2\right]^{0.5} \qquad (٦)$$

که در آن‌ها، y_{ci} پارامتر شبیه‌سازی‌شده، y_{oi} پارامتر اندازه‌گیری‌شده در گام زمانی i و n نیز تعداد پارامترها می‌باشد.

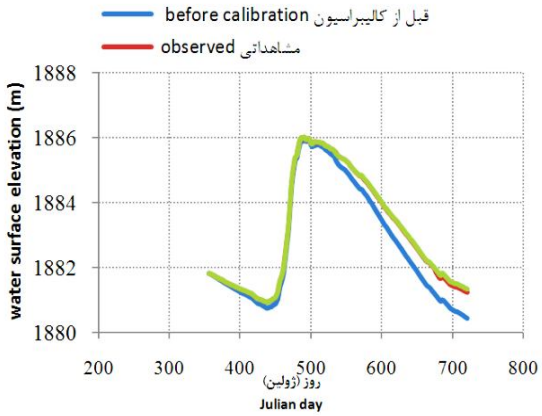
مرحله اول، کالیبراسیون حجم مخزن که توسط مقایسه اختلاف نمودارهای ارتفاع- حجم مخزن و مقادیر برآوردشده با برنامه پیش‌پردازش pre.exe صورت می‌گیرد (شکل ۸) همان‌طور که از نمودار نیز برمی‌آید اختلاف مقادیر حجم مشاهداتی و برآوردی بسیار ناچیز است (RMSE=۰/٤) و حجم کل مخزن واقعی و شبیه‌سازی‌شده به‌ترتیب برابر ۸٤/۷۷ و ۸٤/٦۲ میلیون مترمکعب برآورد شده است که نیازی به تغییر در فایل ورودی نمی‌باشد.

مرحله دوم کالیبراسیون تراز سطح آب می‌باشد که توسط مقایسه اختلاف تغییرات تراز سطح آب مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده صورت می‌گیرد (شکل ۷). تغییرات توسط برنامه waterbal_ivf37.exe به ورودی‌ها اعمال می‌شود. برنامه فوق تراز سطح آب مشاهداتی را با نتایج مدل‌سازی مقایسه کرده و میزان افزایش و یا کاهش دبی ورودی را به‌صورت روزانه

1- Root Mean Square of Error

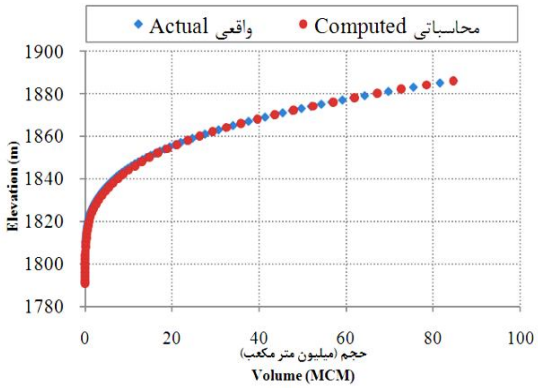
مشخص می‌کند. خطای مقادیر سطح آب پس از کالیبراسیون در قالب پارامتر جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) برابر ۰/۰٤ محاسبه گردید و ماکزیمم اختلاف موجود بین تراز آب واقعی با محاسبه شده برابر ۱۰ سانتی‌متر به‌دست آمده است

کالیبراسیون دما و کیفیت آب نیز بر اساس اندازه‌گیری‌های درجه حرارت و کل مواد جامد محلول دریاچه سد تهم و پس از انجام سعی و خطاهای مکرر، مقادیر نهایی ضرایب مدل به‌دست آمد و به مدل معرفی گردید.



شکل ۷- تغییرات تراز سطح آب در مخزن سد تهم در طول دوره شبیه‌سازی قبل و بعد از کالیبراسیون.

Figure 7. The variation of water surface elevation of taham reservoir during simulation period before and after calibration.



شکل ۸- منحنی ارتفاع حجم واقعی و شبیه‌سازی‌شده سد تهم.

Figure 8. The actual and simulated elevation-volume curve of taham dam.

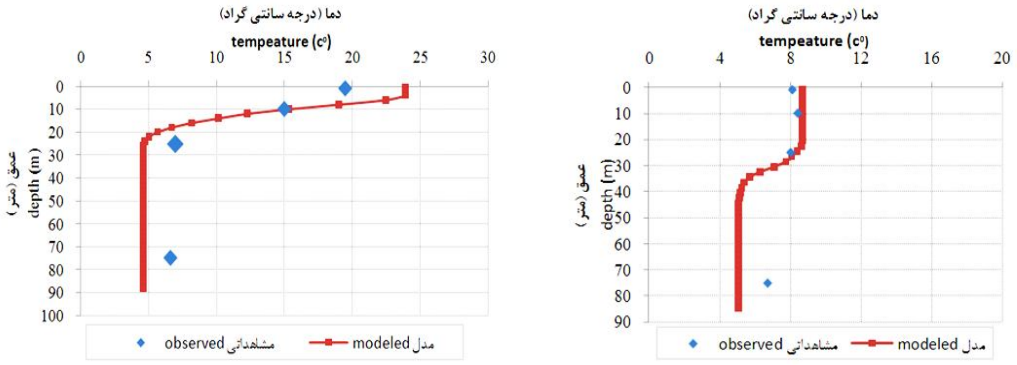
نتایج و بحث

با استفاده از پروفیل‌های دما و کل مواد جامد محلول مستخرج از مدل شبیه‌سازی‌شده در دوره یکساله در محل سد و مقایسه با مقادیر نمونه‌برداری‌شده در همان مقاطع و زمان‌ها، مدل صحت‌سنجی گردید. در ادامه مقایسه نتایج مدل و مقادیر نمونه‌برداری‌شده ارائه گردیده است.

مقایسه نتایج مدل شبیه‌سازی‌شده دما و شوری در مخزن سد تهم: پس از اجرای مدل و استخراج نتایج در دوره شبیه‌سازی یکساله، خروجی پروفیل‌های دما

و هدایت الکتریکی در محل تاج سد از مدل با مقادیر نمونه‌برداری‌شده در همان تاریخ‌ها مقایسه گردیدند در شکل‌های ۹ الی ۱۲ مقایسه پروفیل‌های دما و شوری (EC) در چند تاریخ به‌صورت نمونه نمایش داده شده است. همان‌طورکه از نمودارها نیز برمی‌آید اختلاف مقادیر برآوردی از مدل و اندازه‌گیری‌شده دما و هدایت الکتریکی بسیار ناچیز می‌باشد و پروفیل‌های برداشت‌شده با نتایج مدل شبیه‌سازی‌شده مطابقت دارد.

لازم به ذکر است اختلاف مقادیر دما (حداکثر اختلاف برابر ٤ درجه سانتی‌گراد) در اعماق را می‌توان به‌دلیل دقیق نبودن اندازه‌گیری‌ها درباره این پارامتر و همچنین کالیبره نبودن دستگاه اندازه‌گیری نسبت داد. همچنین خطای مقادیر دما و EC شبیه‌سازی‌شده و مشاهداتی در قالب پارامتر جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) به‌ترتیب برابر ۱/۷ و ٤/٥ محاسبه گردید.

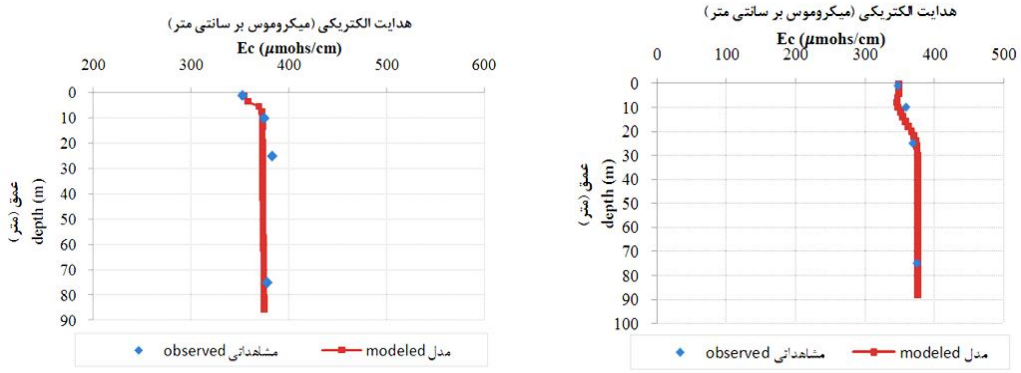


شکل ۱۰- مقایسه پروفیل تغییرات دمای مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده در تاریخ ۹۱/۰٤/۲٥.

Figure 10. The Comparison Between observed and simulated temperature at 2012.07.15.

شکل ۹- مقایسه پروفیل تغییرات دمای مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده در تاریخ ۹۱/۰۹/۲۰.

Figure 9. The Comparison Between observed and simulated temperature at 2012.12.10.



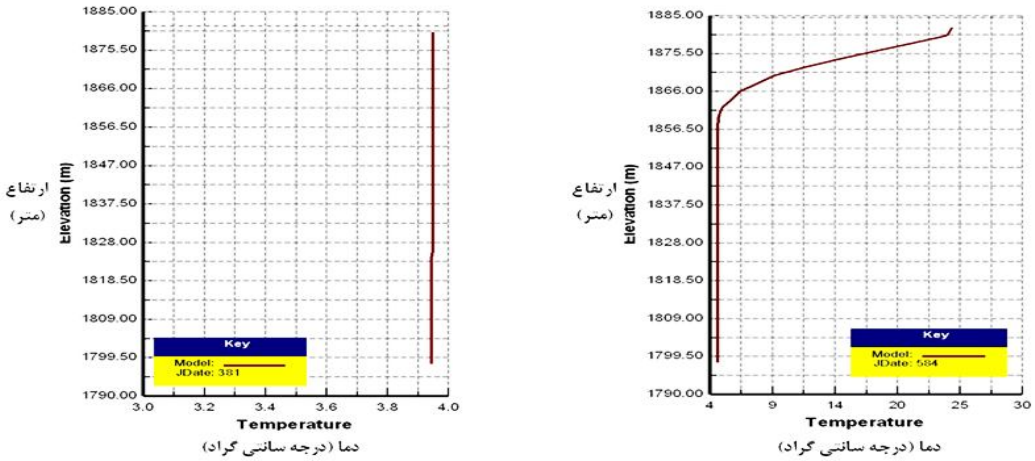
شکل ۱۲- مقایسه پروفیل تغییرات هدایت الکتریکی مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده در تاریخ ۹۱/۰۱/۱۹.

Figure 12. The Comparison Between observed and simulated EC at 2012.04.07.

شکل ۱۱- مقایسه پروفیل تغییرات هدایت الکتریکی مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده در تاریخ ۹۱/۰٤/۲٥.

Figure 11. The Comparison Between observed and simulated EC at 2012.07.15.

بررسی رفتار مدل در طول دوره شبیه‌سازی: جهت بررسی رفتار مدل در طول دوره شبیه‌سازی، پروفیل‌های دما و کل مواد جامد محلول در مقطع محل سد و در زمان‌های مختلف از نرم‌افزار استخراج گردید که در شکل‌های ۱۳ الی ۱۶به‌طور نمونه ارائه شده است.

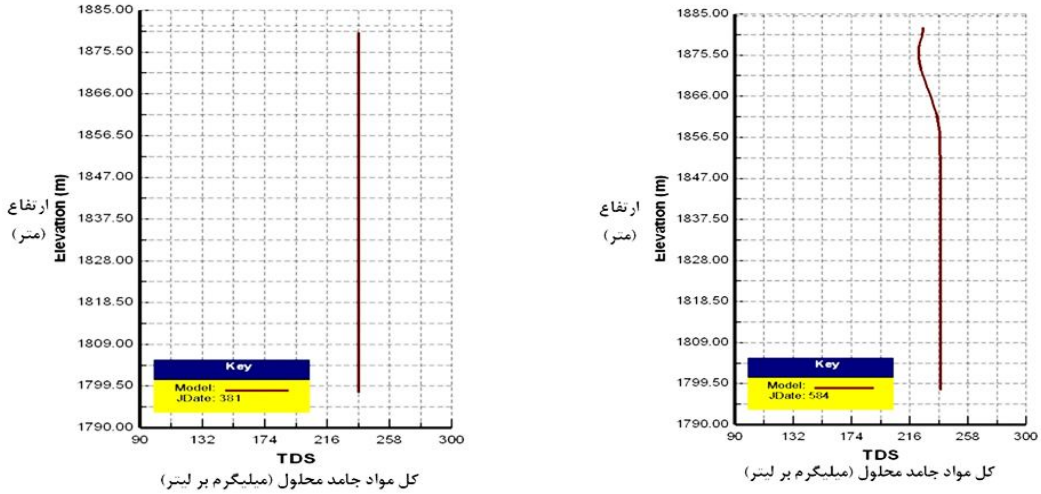


شکل ١٤- پروفیل تغییرات دمای شبیه‌سازی‌شده در محل سد تهم در تاریخ ۹۰/۱۰/۲۵.

Figure 14. The simulated temperature profile in taham dam section at date 2012.01.15.

شکل ١٣- پروفیل تغییرات دمای شبیه‌سازی‌شده در محل سد تهم در تاریخ ۹۱/۰۵/۱۵.

Figure 13. The simulated temperature profile in taham dam section at date 2012.08.05.



شکل ١٦- پروفیل تغییرات TDSشبیه‌سازی‌شده در محل سد تهم در تاریخ ۹۰/۱۰/۲۵.

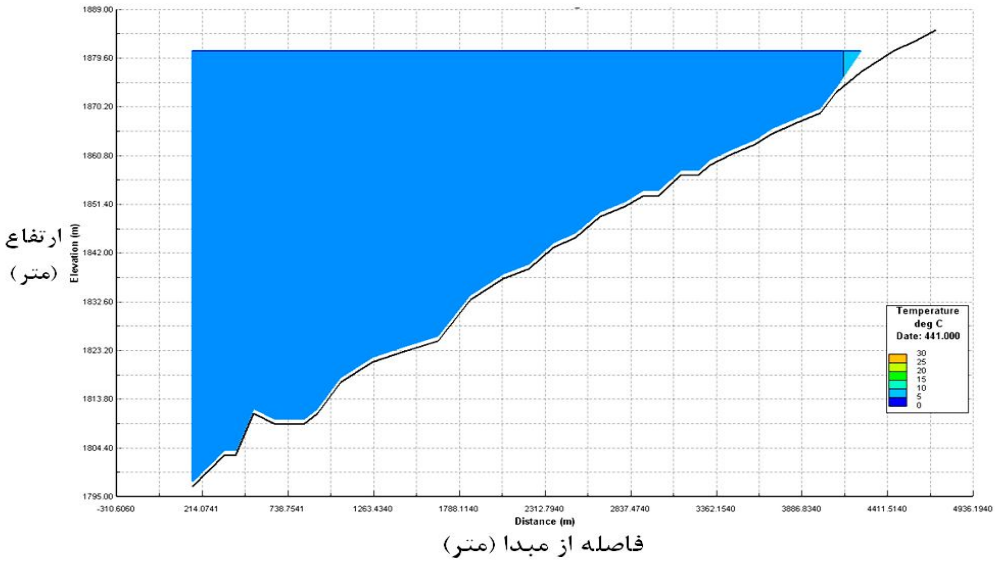
Figure 16. The simulated TDS profile in taham dam section at date 2012.01.15.

شکل ١٥- پروفیل تغییرات TDSشبیه‌سازی‌شده در محل سد تهم در تاریخ ۹۱/۰۵/۱۵.

Figure 15. The simulated TDS profile in taham dam section at date 2012.08.05.

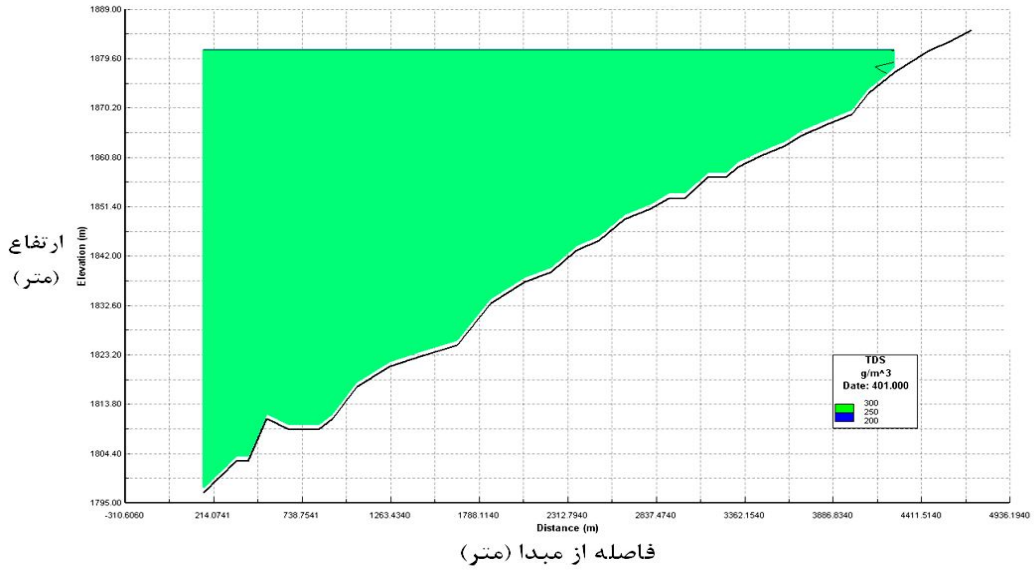
برای درک بهتر روند لایه‌بندی حرارتی و تغییرات پارامتر TDS در مخزن سد، الگوی تغییرات عمقی نیز در پروفیل سد و در تعدادی از روزها ارائه گردید. (شکل‌های ۱۷ الی ۲۲). با استفاده از الگوی لایه‌بندی در زمان‌های مختلف برای دو پارامتر دما و TDS، وجود یا عدم وجود لایه‌بندی در فصول مختلف کاملاً مشهود می‌باشد. در فصول پاییز و زمستان لایه‌بندی کاملاً تضعیف شده و یا وجود ندارد. در فصل بهار لایه‌بندی شروع شده و در تابستان حداکثر میزان تغییرات در عمق در مورد دو پارامتر شبیه‌سازی‌شده ملاحظه می‌گردد. همچنین با حرکت به سمت بدنه سد و آب‌های عمیق‌تر اختلاف دمایی در ستون آب نیز افزوده شده است. همچنین در سطح نیز تغییرات دمایی مشاهده می‌شود هر چند که این تغییرات به حدود چند درجه می‌رسد اما در مناطق کم‌عمق‌تر دمای آب امکان افزایش بیش‌تری خواهد داشت.

مقایسه نتایج مطالعه حاضر با تنها مطالعه لایه‌بندی حرارتی انجام شده در مخزن سد تهم که توسط بختیاری (۱۳۹۰) برای پارامترهای دما و اکسیژن محلول و با استفاده از نرم‌افزار Mike 3 انجام شده است، نشان می‌دهد که روند پروفیل‌های حاصله از مدل شبیه‌سازی‌شده و زمان‌بندی رخداد لایه‌بندی حرارتی در مخزن مطابقت کامل دارد (۳). نتایج سایر مدل‌سازی‌های صورت گرفته در مورد سایر سدها هم‌چون حمزه‌پور و همکاران (۲۰۱۱)، ظهره‌وند و همکاران (۲۰۱۱)، سعیدی و همکاران (۲۰۱۳) و ... با به‌کارگیری مدل CE-QUAL-W2 نیز کارآمد بودن این مدل را در پیش‌بینی روند تغییرات زمانی و مکانی پارامترهای کیفی و حرارتی در مخازن سدها را نشان می‌دهد (٦، ۹ و ۱۰).



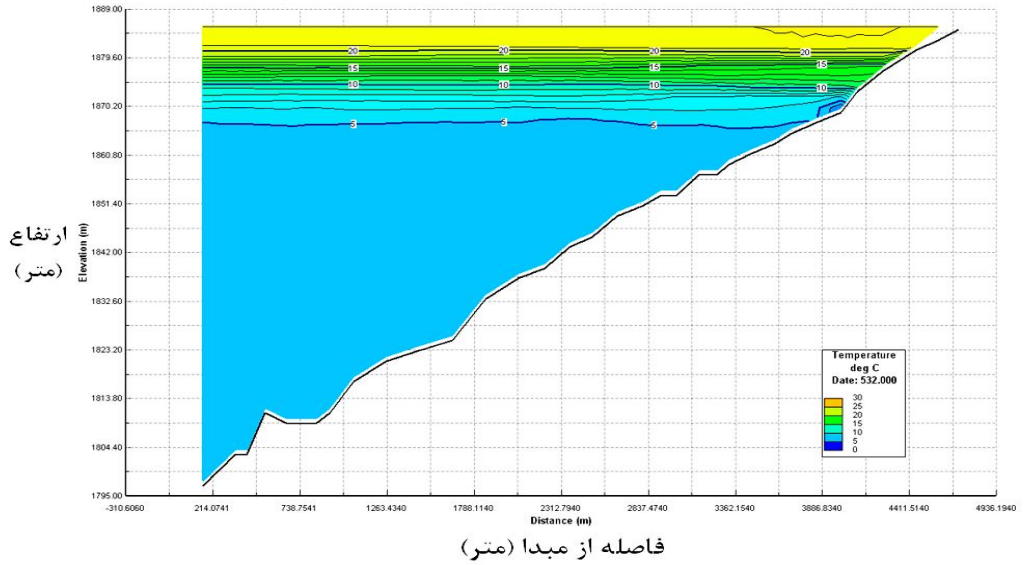
شکل ۱۷- الگوی لایه‌بندی حرارتی در اواخر زمستان (تاریخ ۹۰/۱۲/۲۵).

Figure 17. The pattern of tempreature stratification at the end of winter at 2012/02/14.



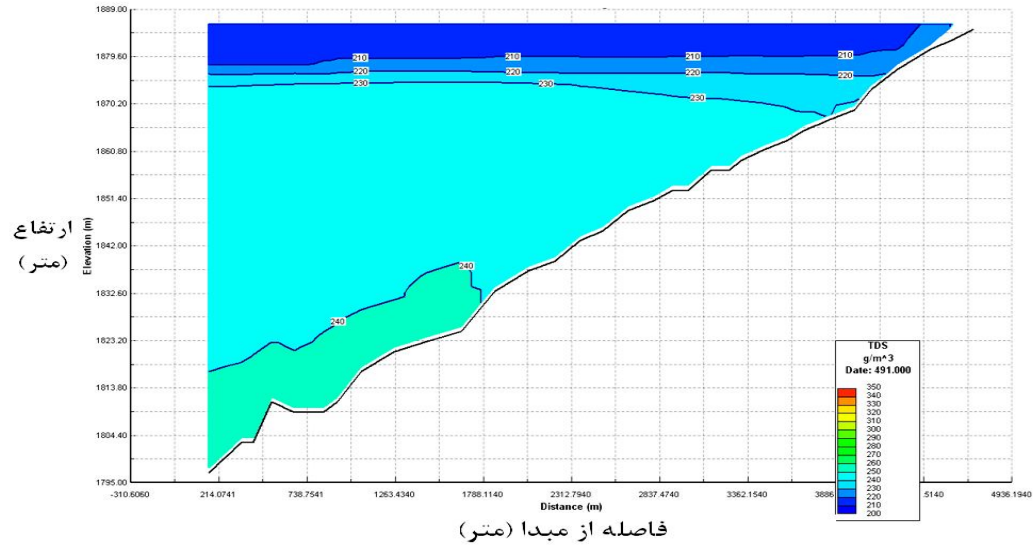
شکل ۱۸- الگوی لایه‌بندی پارامتر TDS در اواسط زمستان (تاریخ ۹۰/۱۱/۱۵).

Figure 18. The pattern of TDS stratification at mid-winter at2012/02/04.



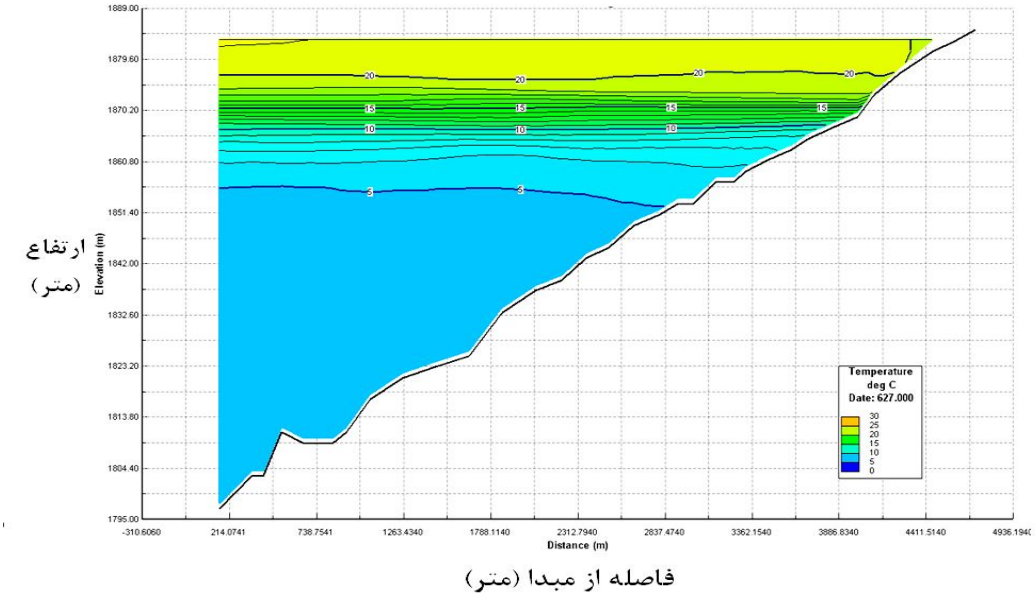
شکل ۱۹- الگوی لایه‌بندی حرارتی دراواخر بهار (تاریخ ۹۱/۰۳/۲۵).

Figure 19. The pattern of tempreature stratification at the end of spring at 2012/06/14.



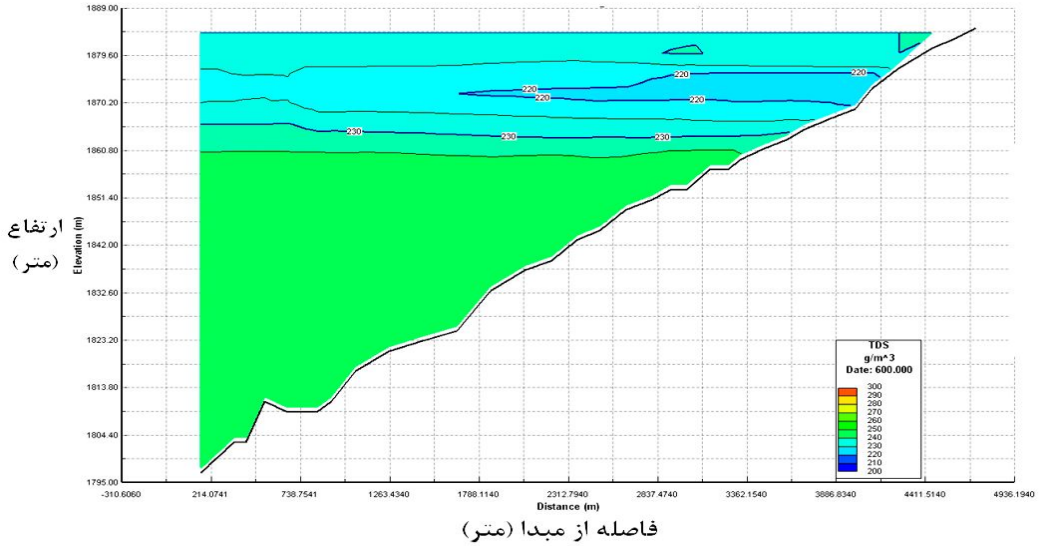
شکل ۲۰- الگوی لایه‌بندی پارامترTDS در اواسط بهار (تاریخ ۹۱/۰۲/۱۵).

Figure 20. The pattern of TDS stratification at mid-spring at 2012/05/04.



شکل ۲۱- الگوی لایه‌بندی حرارتی در اواخر تابستان (تاریخ ۹۱/۰۶/۲۷).

Figure 21. The pattern of temperature stratification at the end of summer at 2012/09/17.



شکل ۲۲- الگوی لایه‌بندی پارامتر TDS در اواسط تابستان (۹۱/۰۵/۳۱).

Figure 22. The pattern of TDS stratification at mid-summer at2012/08/21.

نتیجه‌گیری کلی

در این مطالعه شناخت وضعیت کیفی آب سد تهم زنجان از نظر تغییرات ماهیانه پارامترهای دما و میزان کل مواد جامد محلول (TDS) با به‌کارگیری نرم‌افزار CE-QUAL-W2 مورد ارزیابی قرار گرفته است. پس از بررسی روند تغییرات پارامترهای فوق، الگوی لایه‌بندی حرارتی در محل سد و نحوه تغییرات پارامتر TDS تحلیل گردید. نتایج بیانگر وجود یک دوره لایه‌بندی حرارتی در مخزن است که حدود هشت ماه از سال به‌طول می‌انجامد. بدین‌ترتیب در فصل بهار مخزن شروع به جذب انرژی می‌کند و لایه‌بندی مخزن از اردیبهشت‌ماه به‌تدریج آغاز می‌شود و در فصل تابستان (اوایل مرداد و شهریور) این الگو به شدیدترین حالت خود می‌رسد به‌طوری‌که اختلاف بین رولایه و زیرلایه به ۲۰ درجه سانتی‌گراد می‌رسد. با نزدیک شدن به پایان تابستان از شدت این پدیده کاسته می‌شود. در فصل پاییز با کاهش اختلاف دمای آب در لایه‌های بالایی و پایینی لایه‌بندی حرارتی در مخزن سد رو به کاهش گذاشته و تضعیف می‌شود. در فصل زمستان لایه‌بندی حرارتی در مخزن سد کاملاً ناپدید شده و تغییرات دمای آب در عمق مخزن به حداقل خود می‌رسد. درباره روند پارامتر TDS یا EC نیز لازم به ذکر است که در فصول پاییز که لایه‌بندی در سد بسیار تضعیف شده و در زمستان که اتفاق نمی‌افتد، مقادیر این پارامتر نیز در همه اعماق به مقدار ثابتی می‌رسد. این روند تا اردیبهشت‌ماه ادامه دارد. بعد از این زمان به‌دلیل شروع لایه‌بندی در مخزن به‌تدریج اختلاف مقادیر در سطح و کف بیش‌تر شده که در فصل تابستان مقادیر این اختلاف بیش‌تر می‌شود.

منابع

1.Abeysinghe, K., Nandalal, K., and Piyasiri, S. 2005. Prediction of thermal stratification of the Kotmale reservoir using a hydrodynamic model. J. Natn. Sci. Foundation Sri Lanka. 33: 1. 25-36.

2.Amiri, L. 2009. Water temperature dissolved oxygen and stratification modeling reservoirs with CE-QUAL-W2 software (Case study Sefidroud dam), environmental engineering master thesis, civil engineering group. Civil engineering collage of Khajenasir University. (In Persian)

3.Bakhtiyari, A. 2010. Water temperature stratification of Taham dam Reservoir. Applied Research project of Zanjan Regional Water Authority. (In Persian)

4.Chai, B., Li, Y., Huang, T., and Zhao, X. 2014. Pollution characteristics of thermally-stratified reservoir: A case study of the Heihe reservoir in Xian city, China. J. Chem. Pharm. Res. USA. 6: 7. 1231-1240.

5.Elci, S. 2008. Effects of thermal stratification and mixing on reservoir water quality. The Japanese Society of Limnology. 9: 135-142.

6.Hamzehpoor, S., Behmanesh, J., and Mohammadnejhad, B. 2011. Water quality analyze in dam reservoirs with two dimensional modeling CE-QUAL-W2 software (case study Maroon dam). The 11th conference of Iran Hydraulic. November. Urmia University. (In Persian)

7.Ma, Sh., Kassinos, S., Kassinos, D., and Akylas, E. 2008. Effects of selective water withdrawal schemes on thermal stratification in Kouris Dam in Cyprus. J. Lake. Manage. 13: 51-61.

8.Roustaee, J., Fazeli, M., and Hashemi, S. 2009. Water quality analyze with two dimensional modeling CE-QUAL-W2 software (Case study Latian dam),.The first conference of water management of beach. September 13, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Water Engineering Group. (In Persian)

9.Saeidi, P., Mehrdadi, N., Ardestani, M., and Baghvand, A. 2013. Simulation of dissolved oxygen and Temperature Stratification Modeling Of Shahid Rajaei Dam with CE-QUAL-W2 model. J. Environ. Stud. Tehran University. 32: 4. 171-180. (In Persian)

10.Zohrevand, S., and Hashemi, M. 2011. Estimating Water Quality Term of dam reservoirs with two dimensional modeling CE-QUAL-W2 software. The first international conference and third national conference of dam and Hydroelectric Power Plants, IRIB International Conference center. February 14. (In Persian)

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 25(1), 2018
http://jwsc.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jwsc.2017.12528.2723

Water quality and temperature stratification of Zanjan Taham Dam with CE-QUAL-W2 software

H. Rezaei Barandagh[1], F. Salmasi[2] and *F. Sahebi[3]

[1]M.Sc. Graduate, Dept. of Civil Engineering, Maragheh Branch, Islamic Azad University, Maragheh, Iran, [2]Associate Prof., Dept. of Water Engineering, University of Tabriz, [3]M.Sc. Graduate, Dept. of Water Engineering, University of Tabriz

Received: 05/21/2017; Accepted: 02/19/2018

Abstract

Background and Objectives: For sustainable development, water recourses quality control has special importance. In this way, recognizing the stratification of reservoirs is very important. Also surveying water quality in the case for salinity of surface water resources of dams that figures as the main resource of drinking water of a country is one of the challenges of water resources management. For studying the stratification in reservoirs, turbulence dynamic and internal flows must be analyzed in reservoir. Because of many phenomenons that effect on stratification, studying this phenomenon is possible just with the using of dynamic models. In this way using numerical models beside yield measurements are unavoidable.

Materials and Methods: Because of the the Taham dam's water usage as for drinking water of Zanjan city, so studying the water quality of has more importance, so in this research for studying the status of the water quality of taham dam, modeling of temperature and TDS (Total dissolved solids) with CE-QUAL-W2 software in one year period from (December 21, 2011) until (December 20, 2012) was done. The value of observed temperature and TDS were compared with modeled data. With the results of modeled data, variation trend of said parameters and the stratification phenomena in taham dam was studied.

Results: In this research, the value of the observed temperature and salinity were in good agreement with modeled data. The results showed that the stratification phenomena happens in reservoir and lasts 8 months in the year. This phenomena begins at the end of March and improves in August and September (with 20 degrees difference between temperature of upper and lower water layers). Turbulence is also seen from January until March. In fall, because of decreasing the difference between temperature of upper and lower water layers, stratification in the reservoir is decreased and in winter it disappears. Results also shows the salinity stratification happens simultaneous with temperature stratification in the reservoir.

Conclusion: From the view point of stratification, Taham dam is in the case of Thermal Monomictic reservoirs. In fall and summer seasons, the value of salinity for all of depths of dam is a constant value. This process is continued until May and after this time because of beginning the stratification phenomenon the difference between layers in depth increase and at summer the difference become maximum.

Keywords: Dynamic models, Salinity, Thermal monomictic

* Corresponding Author; Email: sahebi.farzaneh@yahoo.com