

Temperature variation of water in reservoir depth under climate change conditions (Case study: Aidoghmoush dam reservoir)

FIROOZEH AZADI^{1*}, PARISA-SADAT ASHOFTEH²

1. M.Sc. Student, Department of Civil Engineering, University of Qom, Qom, Iran.
 2. Assistant Professor, Department of Civil Engineering, University of Qom, Qom, Iran.
- (Received: Jan. 28, 2018- Revised: March. 13, 2018- Accepted: Apr. 21, 2018)

ABSTRACT

Reservoirs are among the most important sources of water supply that can affect the quality of water by changing the temperature. Conditions affected by climate change could affect the thermal regime of reservoirs water. This study investigates the temperature variation of water in Aidoghmoush reservoir depths under climatic conditions in the 10-year period of climate change (2030-2039). Temperature and precipitation are extracted by the CGCM2 model (IPCC's Third Assessment Report) under a B2 emission scenario in the 10-year period of time (1991-2000) and then they were estimated for future conditions. In the following, thermal stratification simulation is performed by the CE-QUAL-W2 qualitative model. The results show that the temperature at the water surface and the floor of the reservoir will increase in conditions of climate change relative to the baseline conditions. The water temperature will increase by an average of 1.5 °C. The findings of this study will help managers and planners to optimize water resources management.

Keywords: Thermal regime, CE-QUAL-W2 model, Quality management of reservoirs, B2 emission scenario

* Corresponding Author's Email: f.azadi@stu.qom.ac.ir

تغییرات دمایی آب در عمق مخازن در شرایط تغییر اقلیم (مطالعه موردی: مخزن سد آیدوغموش)

فیروزه آزادی^۱ و پریسازادات آشفته^۲

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد آب و سازه‌های هیدرولیکی دانشگاه قم، قم، ایران
 ۲. استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه قم، قم، ایران
- (تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۱/۸ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۶/۱۲/۲۲ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۲/۱)

چکیده

مخازن سدها از جمله مهمترین منابع تأمین آب به شمار می‌روند که می‌توانند کیفیت آب را با تغییر دما تحت تاثیر قرار دهند. شرایط متأثر از تغییرات اقلیمی می‌توانند بر رژیم حرارتی آب مخازن موثر باشد. این پژوهش تغییرات دمایی آب را در عمق مخزن آیدوغموش تحت شرایط متأثر از تغییرات اقلیمی در بازه زمانی ۱۰ ساله (۲۰۳۹-۲۰۳۰) بررسی می‌کند. دما و بارش توسط مدل CGCM2 (گزارش سوم IPCC) تحت یک سناریو انتشار B2 در بازه زمانی ۱۰ ساله پایه (۲۰۰۰-۱۹۹۱) استخراج و سپس برای شرایط آینده برآورد می‌شوند. در ادامه، شبیه‌سازی لایه‌بندی حرارتی، توسط مدل کیفی CE-QUAL-W2 انجام می‌شود. نتایج نشان می‌دهند که دما در سطح آب و کف مخزن در شرایط تغییر اقلیم نسبت به شرایط پایه افزایش خواهد یافت. دما در سطح آب به‌طور متوسط ۱/۵ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت. یافته‌های این پژوهش مدیران و برنامه‌ریزان را در راستای مدیریت بهینه منابع آب یاری خواهد کرد.

واژه‌های کلیدی: رژیم گرمایی، مدل CE-QUAL-W2، مدیریت کیفی مخازن

مقدمه

افزایش جمعیت، توسعه شهرها، گسترش صنعت، کشاورزی و از طرفی کاهش منابع آب، ضرورت مدیریت کیفی منابع آب را دوچندان می‌کند. جریان پویای رودخانه با ورود به مخزن، به دام افتاده و دچار سکون می‌شود. این سکون و افزایش زمان ماند آب در مخزن سبب ایجاد لایه‌بندی حرارتی می‌گردد. لایه‌بندی بر کیفیت آب مخزن اثر می‌گذارد و سبب تفاوت کیفیت بین آب ورودی به مخزن و خروجی از آن می‌شود. در این میان بروز تغییرات اقلیمی می‌تواند بر کیفیت آب اثرگذار باشد. محققان بسیاری کیفیت آب مخازن را مورد بررسی قرار داده‌اند (Amirkani et al., 2016; Saadatpour et al., 2017).

(Saeidi et al., 2012)، رژیم حرارتی و غلظت اکسیژن محلول را در سد مخزنی شهید رجایی استان مازندران بررسی نمودند. در این راستا ابتدا مدل هیدرودینامیک مخزن سد شهید رجایی برای سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۰ به وسیله نرم‌افزار CE-QUAL-W2 ساخته و واسنجی و برای شبیه‌سازی رژیم حرارتی و اکسیژن محلول سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۳ استفاده شد. نتایج نشان‌دهنده ایجاد لایه‌بندی حرارتی در تابستان و اختلاط قائم در زمستان بود. از نتایج مدل‌سازی اکسیژن محلول

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. لایه‌بندی حرارتی در مخازن متوالی و اثر مخازن بالادست در وضعیت لایه‌بندی مخازن پایین‌دست برای مخازن کارون ۱، ۲ و ۳ در دو حالت تک‌مخزنی و چند مخزنی توسط Zargarpour et al. (2007) بررسی شد. ایشان برنامه HEC5Q را برای شبیه‌سازی استفاده نمودند. نتایج نشان داد که روند تغییرات لایه‌بندی در مخزن کارون ۳ عادی بوده و در مخزن کارون ۲ در اوایل زمستان دمای آب مخزن گرم و در حدود ۶ درجه سانتی‌گراد با حالت مخزن تک در همان زمان متفاوت بود. در مخزن کارون ۱ شروع فصل لایه‌بندی و دامنه تغییرات دمای آب در اثر وجود مخازن بالادست متفاوت است. در شبیه‌سازی انجام شده توسط Nazariha et al. (2009)، لایه بندی حرارتی مخزن سد بختیاری با استفاده از نرم‌افزار CE-QUAL-W2 در سه سناریو مختلف جریان براساس سال خشک، نرمال و تر بررسی شد. نتایج نشان داد که در سال خشک لایه بندی در آوریل شروع شده و تا سپتامبر ادامه دارد. این در حالی است که نتایج سال نرمال نشان دادند که لایه‌بندی بین می و نوامبر است و در سال تر این روند متفاوت با دو سناریو قبلی بوده و دما در لایه‌های میانی، تابع دمای آب ورودی است.

قشلاق در کردستان استفاده نمودند. نتایج نشان داد که توانایی مدل CE-QUAL-W2 اصلاح شده برای پیش‌بینی تغییرات زمانی و مکانی MTBE قابل قبول است. هم‌چنین بررسی‌ها نشان داد که تحت سناریوهای مختلف اقلیمی و هیدرولوژیکی، نتایج شبیه‌سازی متفاوتی ایجاد خواهد شد.

باتوجه به اهمیت کیفیت آب در بهره‌برداری بهینه از منابع آب و تأثیر دما و پارامترهای اقلیمی بر کیفیت آب، در این پژوهش، تغییر رژیم حرارتی آب در عمق مخزن سد آیدوغموش (آذربایجان شرقی) در شرایط آینده (تغییر اقلیم) شبیه‌سازی می‌شود که به‌عنوان نوآوری تحقیق حاضر مدنظر قرار خواهد گرفت و می‌تواند به‌عنوان رهیافتی جدید در تحقیقات مشابه مطرح گردد. در نهایت، رژیم حرارتی آب مخزن برای بازه زمانی ۱۰ ساله تغییر اقلیم (۲۰۳۹-۲۰۳۰) با بازه زمانی ۱۰ ساله پایه (۲۰۰۰-۱۹۹۱) مقایسه می‌شود.

مواد و روش‌ها

در این بخش به روش‌های انجام تحقیق و شبیه‌سازی اقلیمی داده‌های آبی و هم‌چنین شبیه‌سازی مخزن توسط مدل CE-QUAL-W2 برای شرایط پایه و تغییر اقلیم پرداخته می‌شود.

۱- شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی

با توجه به داده‌های هواشناسی و هیدرومتری موجود، بازه زمانی ۱۰ ساله، سال‌های پایه ۲۰۰۰-۱۹۹۱ در نظر گرفته شده است. بازه متناظر آن برای دوره آبی به توصیه هیأت بین دول تغییر اقلیم (IPCC)، بازه زمانی ۲۰۳۹-۲۰۳۰ در نظر گرفته شده است (IPCC, 2001). مدل CGCM2 و سناریوی انتشار B2، برای تولید سناریوهای اقلیمی استفاده شده است (IPCC-DDC, (IPCC, 2001; IPCC, 1998). زیرا سناریوی انتشار B2 به شرایط آینده ایران از نظر اقتصادی نزدیک‌تر است. بنابراین برای منطقه از سناریوی انتشار B2 استفاده شد. ضمناً علت انتخاب مدل CGCM2 این بود که این مدل تحت سناریوی انتشار B2 و مدل HadCM3 تحت سناریوی انتشار A2 بهترین عملکرد را در شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی در مقایسه با مقادیر متناظر مشاهداتی در منطقه داشتند و از آنجایی که از ابتدا سناریوی B2 در منطقه انتخاب گردید، بنابراین مدل CGCM2 به تبع آن انتخاب گردید (برای دما $RMSE=1.2^{\circ}C$ و برای بارندگی $RMSE=5.1mm$).

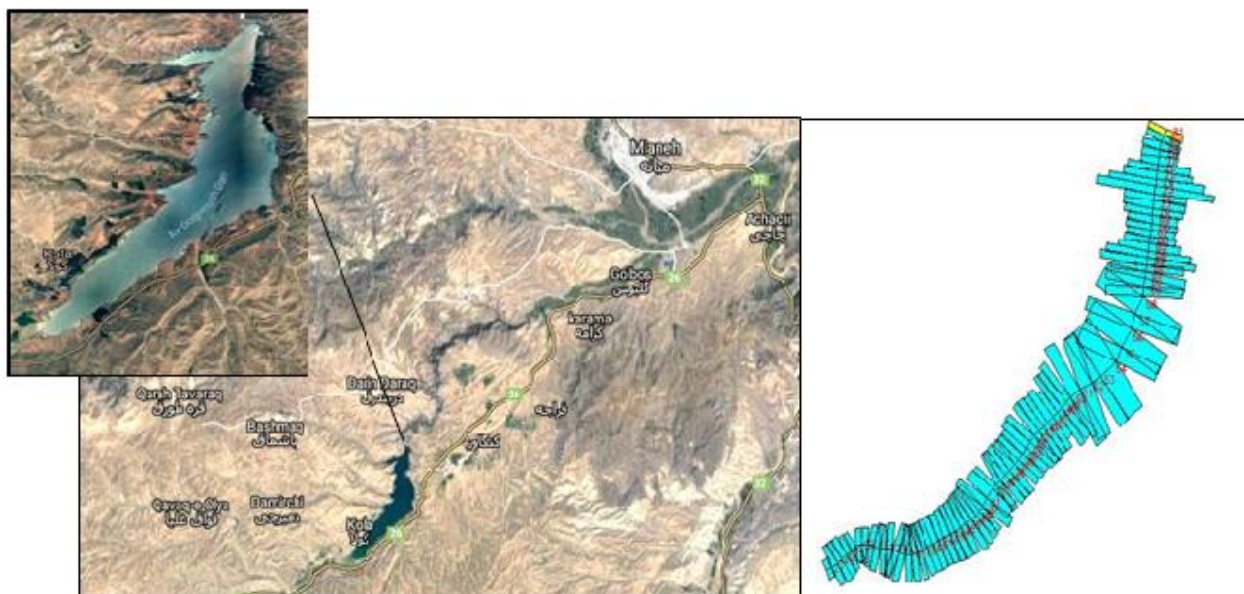
۲- ساخت مدل CE-QUAL-W2

مدل مورد استفاده در این پژوهش، مدل CE-QUAL-W2 است که یک مدل هیدرودینامیک میانگین‌گیری شده در عرض و

بهینه‌سازی ازدحام ذرات برای واسنجی خودکار مدل کیفی آب مخزن (CE-QUAL-W2) توسط Afshar *et al.* (2011) انجام گرفت. برای در نظر گرفتن اثرات هم‌زمان تغییرات دمای آب بر ارتفاع آب در مخزن، یک روش چندهدفه به کار گرفته شد. رویکرد واسنجی خودکار در واسنجی دما و بودجه آبی مخزن کرخه در ایران استفاده شد. نتایج نشان می‌دهد مدل CE-QUAL-W2 موفقیت‌آمیز بود. اثرات تغییرات اقلیمی بر مخازن گرم و معتدل با مدل‌سازی سناریوهای کیفیت آب توسط Obregon *et al.* (2011) بررسی شد. ایشان مدل CE-QUAL-W2 را برای یک مخزن در منطقه معتدل در دیرکریک (Deer Creek) ایالات متحده (United States) و یک مخزن در منطقه گرمسیری آگامیلپا (Aguamilpa) مکزیک (Mexico) بر اساس سه سال داده (۲۰۰۷-۲۰۰۹) واسنجی و مقایسه نمودند. اثر تغییرات اقلیمی برای ارزیابی سناریوهای کیفی آب که بر مبنای برآوردهای فعلی تغییرات اقلیمی جهانی (GCC) می‌توانند رخ دهند، بررسی شدند. نتایج نشان داد که کل غلظت جلبک در دیرکریک به تغییرات فسفات و در آگامیلپا به تغییر در دیگر متغیرها بیش‌تر حساس بود. غلظت جلبک در آگامیلپا نسبت به تغییرات دمای هوا حساسیت بیش‌تری داشت. این درحالی است که غلظت جلبک در دیرکریک نسبت به آگامیلپا حساسیت بیش‌تری نسبت به تغییر در نرخ جریان داشت. Saadatpour and Heravi. (2016) با انتخاب سد مخزنی کرخه به عنوان مورد مطالعاتی، شرایط دمایی مناسب را برای تخم‌ریزی ماهیان پایاب سد کرخه با اصلاح اتوماتیک نحوه بهره‌برداری از سد تحت سناریوهای مختلف بهره‌برداری بررسی نمودند. نتایج نشان داد که با اصلاح اتوماتیک نحوه بهره‌برداری از مخزن با ساختار برداشت انتخابی، دمای پایاب به میزان ۰/۸۶ درجه سانتی‌گراد برای حیات‌آزبان بهبود می‌یابد. اثر تغییر اقلیم بر لایه‌بندی حرارتی مخزن سد لتیان توسط Firoozi *et al.* (2016) مورد مطالعه قرار گرفت. ایشان لایه‌بندی حرارتی در شرایط تغییر اقلیم را برای سال‌های ۲۰۳۹-۲۰۲۰ مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که میانگین دما در دوره (۲۰۳۹-۲۰۲۰)، ۰/۳۳ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره مشاهداتی (۲۰۰۹-۱۹۹۰) افزایش خواهد یافت. هم‌چنین میزان رواناب ورودی به سد به میزان ۹۰ درصد کاهش خواهد یافت و لایه‌بندی حرارتی در دوره آبی افزایش می‌یابد و دمای سطح و کف به ترتیب به میزان ۳/۷۴ درجه سانتی‌گراد افزایش و ۰/۷۳ درجه سانتی‌گراد کاهش می‌یابد. شبیه‌سازی آب حاوی متیل‌تریپ‌بوتیل‌اتر (MTBE) در مخزن توسط Afshar *et al.* (2017) انجام گرفت. ایشان از مدل CE-QUAL-W2 اصلاح‌شده برای این امر در مخزن

خروجی و دمای آب ورودی و اطلاعات مربوط به هندسه مخزن به مدل معرفی شده است. شکل (۱) پلان هندسه مخزن سد آیدوغموش و هندسه مدل شده توسط نرم افزار را نشان می‌دهد.

کیفی آب است و می‌تواند پیکره‌های آبی شامل مخزن و رودخانه را مدل کند. مخزن در ۸۲ بخش و ۳۸ لایه مدل شده و اطلاعاتی شامل اطلاعات هواشناسی و میزان دبی‌های ورودی و

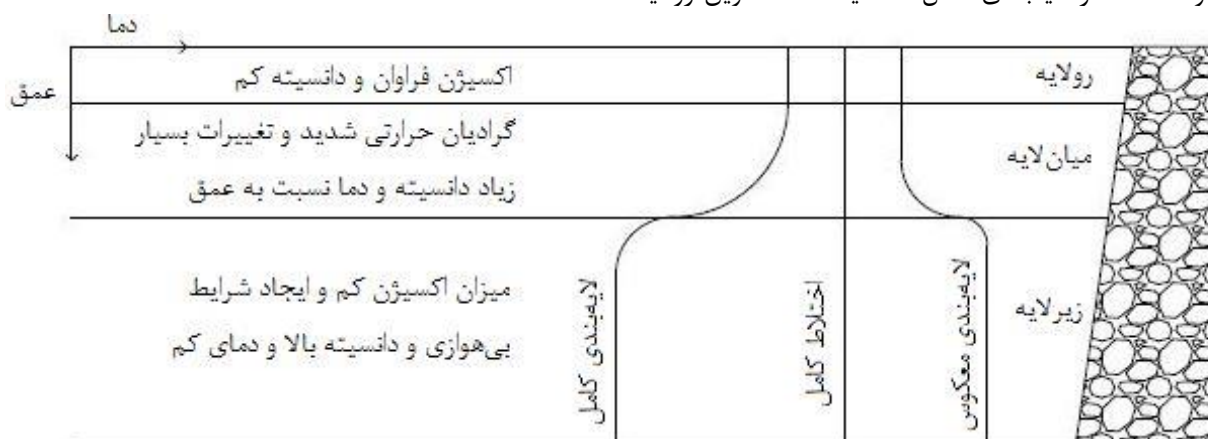


شکل ۱- پلان مخزن سد آیدوغموش و هندسه مدل شده در نرم‌افزار

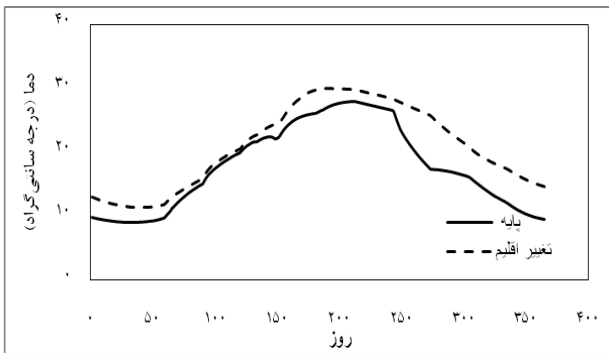
میان‌لایه و زیرلایه دیده می‌شوند که کیفیت و دمای آب در هرکدام از این لایه‌ها متفاوت است. لایه سطحی، رولایه نام دارد که دارای دمای بیش‌تر، چگالی کم‌تر و اکسیژن محلول بیش‌تر است. میان‌لایه دارای گرادیان حرارتی شدید است و تغییرات دانسیته و دما نسبت به عمق در این لایه بسیار زیاد است. این لایه به‌عنوان سدی بین رولایه و زیرلایه عمل کرده، مانع ورود جریان و اکسیژن از رولایه به زیرلایه می‌گردد. در این میان زیرلایه دارای چگالی بالا و دمای پایین و اغلب فاقد اکسیژن است. نیروی باد و تشعشعات خورشیدی و عمق مخزن و شرایط جغرافیایی منطقه بر لایه‌بندی و عمق لایه‌ها مؤثر است. شکل (۲) لایه‌بندی و تغییرات دمایی عمقی مخزن را نشان می‌دهد.

این سد بر روی رودخانه آیدوغموش می‌باشد که دارای دو برج آبگیر و تخلیه تحتانی است، در برج آبگیر چهار دریچه در ارتفاع‌های ۱۳۰۵/۸۸، ۱۳۱۷/۷۴، ۱۳۲۶/۴۹ و ۱۳۳۲/۵ متری از سطح دریا قرار گرفته است. هم‌چنین دریچه تخلیه تحتانی واقع در برج تخلیه تحتانی در ارتفاع ۱۳۱۹/۵۵ متری از سطح دریا قرار دارد. حجم بدنه سد، حجم نرمال، مفید و مرده مخزن به ترتیب برابر با ۱/۵، ۱۴۵/۷، ۱۳۶/۸ و ۸/۷ میلیون متر مکعب می‌باشد. تراز نرمال آب و تراز بیشینه سیلاب طرح به‌ترتیب برابر با ۱۳۴۱/۵ و ۱۳۴۸/۳ متر از سطح دریا است.

لایه‌بندی در واقع قرارگیری لایه‌هایی با دانسیته‌های متفاوت بر روی یکدیگر است و کیفیت و دمای این لایه‌ها باهم متفاوت است. در لایه‌بندی کامل، سه‌لایه تحت عناوین رولایه،

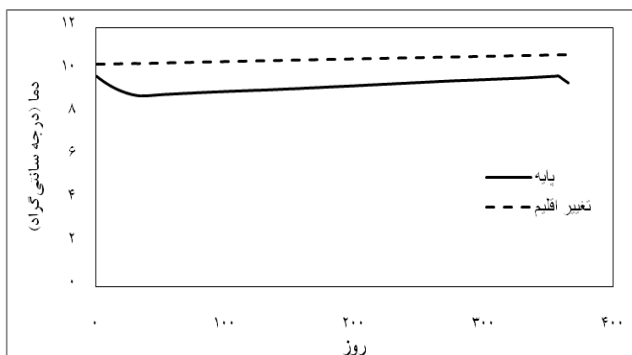


شکل ۲- لایه‌بندی و رژیم حرارتی در مخزن



شکل ۳- مقایسه گرادیان حرارتی سطح آب در شرایط تغییر اقلیم نسبت به پایه در مجاورت سد

همان‌طور که مشاهده می‌شود، دمای سطح آب در شرایط تغییر اقلیم نسبت به زمان متناظر خود در شرایط پایه افزایش خواهد یافت. بیشینه و کمینه دمای سطح آب در شرایط تغییر اقلیم نسبت به پایه به ترتیب ۲ و ۲/۴۵ درجه سانتیگراد بیش‌تر خواهد بود. دمای بیشینه در شرایط تغییر اقلیم ۲۴ تا ۲۵ روز و دمای کمینه یک روز زودتر از شرایط پایه اتفاق خواهد افتاد. هم‌چنین فاصله زمانی بین بیشینه و کمینه دما در شرایط تغییر اقلیم ۱۵۴ روز و در پایه ۱۷۹ تا ۱۸۰ روز خواهد بود. مقایسه روند تغییرات دما در کف مخزن برای شرایط تغییر اقلیم (۲۰۳۹) نسبت به شرایط پایه (۲۰۰۰) در مجاورت سد در شکل (۴) نشان داده شده است.



شکل ۴- مقایسه گرادیان حرارتی در کف مخزن در شرایط تغییر اقلیم نسبت به پایه در مجاورت سد

همان‌طور که مشاهده می‌شود، دمای کف مخزن در شرایط تغییر اقلیم (۲۰۳۹) نسبت به شرایط پایه (۲۰۰۰) افزایش خواهد یافت. بیشینه دمای کف مخزن در شرایط تغییر اقلیم ۰/۹۷ درجه سانتیگراد و کمینه دمای آن ۱/۵ درجه سانتیگراد از دمای کف مخزن در شرایط پایه بیش‌تر خواهد بود.

معادلات پیوستگی و ممنتوم ساده‌سازی شده حاکم بر

مدل:

معادلات اندازه حرکت:

(رابطه ۱)

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + u \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + v \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + \omega \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} = g \sin \alpha - \frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial^2 \bar{\tau}_{xx}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{\tau}_{yy}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \bar{\tau}_{zz}}{\partial z^2} \right)$$

(رابطه ۲)

$$\frac{\partial \bar{v}}{\partial t} + u \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} + v \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + \omega \frac{\partial \bar{v}}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial y} + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial^2 \bar{\tau}_{xx}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{\tau}_{yy}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \bar{\tau}_{zz}}{\partial z^2} \right)$$

(رابطه ۳)

$$\frac{\partial \bar{\omega}}{\partial t} + u \frac{\partial \bar{\omega}}{\partial x} + v \frac{\partial \bar{\omega}}{\partial y} + \omega \frac{\partial \bar{\omega}}{\partial z} - 2\Omega_y \bar{u} + 2\Omega_x \bar{v} = g \cos \alpha - \frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial x} + \frac{1}{\rho}$$

روابط (۱)، (۲) و (۳)، به ترتیب معادلات ساده‌شده اندازه

حرکت در جهت x، y و z هستند.

معادله پیوستگی:

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{\omega}}{\partial z} = 0$$

(رابطه ۴)

که در آنها، $\bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + \bar{\omega} \frac{\partial \bar{u}}{\partial z}$ بخش شتاب انتقالی در

جهت x، $\bar{u} \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + \bar{\omega} \frac{\partial \bar{v}}{\partial z}$ بخش شتاب انتقالی در جهت y،

بخش شتاب انتقالی در جهت z، $\bar{u} \frac{\partial \bar{\omega}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{\omega}}{\partial y} + \bar{\omega} \frac{\partial \bar{\omega}}{\partial z}$

جاذبه، $g \cos \alpha = \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial^2 \bar{\tau}_{xx}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{\tau}_{yy}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \bar{\tau}_{zz}}{\partial z^2} \right)$ تنش برشی در

جهت x، $\frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial^2 \bar{\tau}_{yx}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{\tau}_{yy}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \bar{\tau}_{yz}}{\partial z^2} \right)$ تنش برشی در جهت y

می‌باشند.

نتایج و بحث

مقایسه دمای سطح و کف مخزن در شرایط تغییر اقلیم نسبت

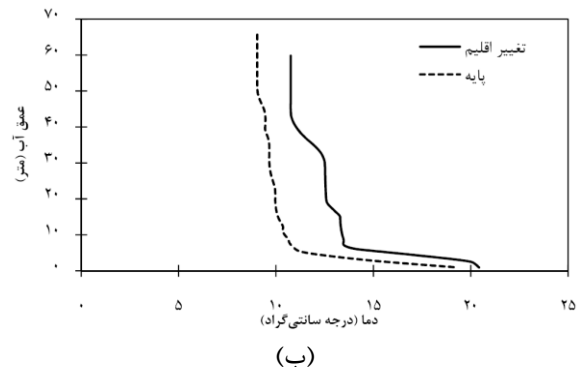
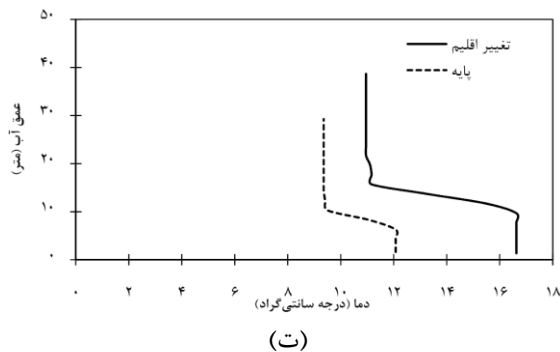
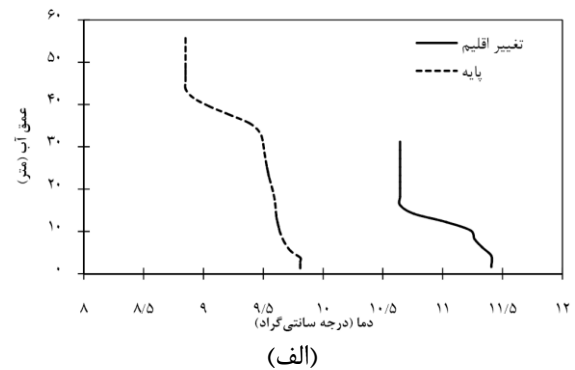
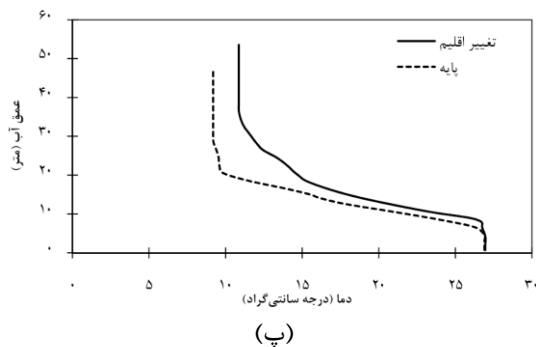
به شرایط پایه برای سال آخر دوره شبیه‌سازی

پس از شبیه‌سازی مخزن و معرفی اطلاعات مورد نیاز نرم‌افزار، مدل با ضریب تعیین ۹۹/۷ درصد واسنجی شد. پس از مدل سازی، واسنجی و تحلیل مخزن توسط CE-QUAL-W2، نتایج مورد نظر استخراج شدند. شکل (۳) روند تغییرات دما در سال آخر شبیه‌سازی برای شرایط تغییر اقلیم (۲۰۳۹) نسبت به شرایط پایه (۲۰۰۰)، در سطح آب در مجاورت سد را نشان می‌دهد.

۲- تغییرات عمقی دما و لایه‌بندی حرارتی در شرایط تغییر اقلیم

شکل (۵) مقایسه پروفیل عمقی حرارتی مخزن در شرایط تغییر اقلیم (۲۰۳۴) نسبت به شرایط پایه (۱۹۹۵) در مجاورت سد را نشان می‌دهد. سال میانی شبیه‌سازی در هر فصل، ماه میانی و روز وسط آن ماه به‌عنوان شاخص در نظر گرفته شده است. همان‌طور که شکل (۵-الف تا ۵-ت) نشان می‌دهند، در زمستان (الف)، برای شرایط پایه لایه‌بندی حرارتی در عمق اتفاق خواهد افتاد. دمای آب در شرایط تغییر اقلیم بیش‌تر از پایه است و رولایه نیز تقریباً دیده نمی‌شود و میان‌لایه نیز در نزدیکی سطح آب است. میزان تابش نور خورشید و نیروی باد در ضخامت رولایه موثر است. در فصل تابستان لایه‌بندی حرارتی در هر دو

شرایط پایه و تغییر اقلیم دیده می‌شود. شروع لایه‌بندی در شرایط تغییر اقلیم نسبت به پایه در عمق بیش‌تری بوده و گرادیان شدید حرارتی در حدود ۱۶ درجه دیده می‌شود. ضخامت رولایه در هر دو حالت کم است و در شرایط تغییر اقلیم این ضخامت بیش‌تر از شرایط پایه است. در فصل بهار (ب)، در شرایط تغییر اقلیم و پایه رولایه دیده نمی‌شود و دما در شرایط تغییر اقلیم بیش‌تر از پایه خواهد بود. در فصل پاییز ضخامت رولایه افزایش یافته و میان‌لایه به سمت عمق حرکت کرده است. دما و گرادیان حرارتی در تغییر اقلیم بیش‌تر از پایه خواهد بود. تفاوت دمای بیشینه و کمینه در شرایط تغییر اقلیم ۵/۶۷ و در شرایط پایه ۲/۷۱۴ درجه سانتی‌گراد خواهد بود.



شکل ۵- مقایسه پروفیل عمقی دما در مجاورت سد در شرایط تغییر اقلیم نسبت به پایه در (الف) زمستان، (ب) بهار، (پ) تابستان و (ت) پاییز در مجاورت سد

این در حالی است که در فصل بهار، شکل (۶-ب)، لایه بندی حرارتی شکل گرفته و گرادیان شدید حرارتی در نزدیکی سطح آب مشاهده می‌شود و در رولایه دیده نمی‌شود. این روند برای فصل تابستان، شکل (۶-پ) متفاوت است. با افزایش دمای هوا و تابش شدیدتر نور خورشید، دمای سطح آب افزایش یافته و گرادیان شدید حرارتی در حدود ۱۰ درجه سانتی‌گراد (از ۱۶ تا ۲۶ درجه سانتی‌گراد) دیده می‌شود. در فصل تابستان لایه‌بندی کامل شکل گرفته به طوری که رولایه، میان‌لایه و زیرلایه دیده می‌شود.

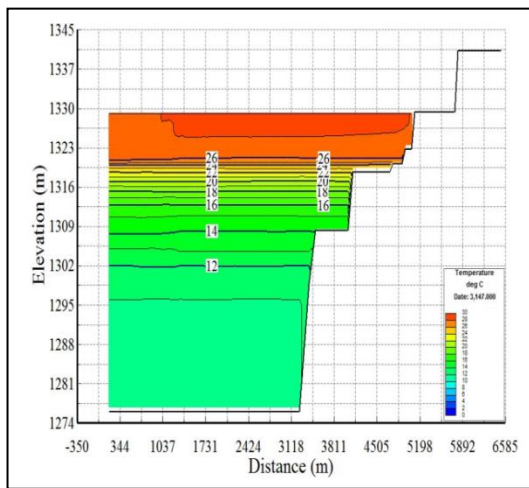
۳- لایه‌بندی در مقطع عرضی مخزن

شکل (۶) روند لایه‌بندی حرارتی در مقطع عرضی مخزن برای میانه دوره شبیه‌سازی در شرایط تغییر اقلیم (۲۰۳۴) را نشان می‌دهد. در هر فصل، ماه میانی و روز وسط آن ماه به‌عنوان شاخص در نظر گرفته شده است.

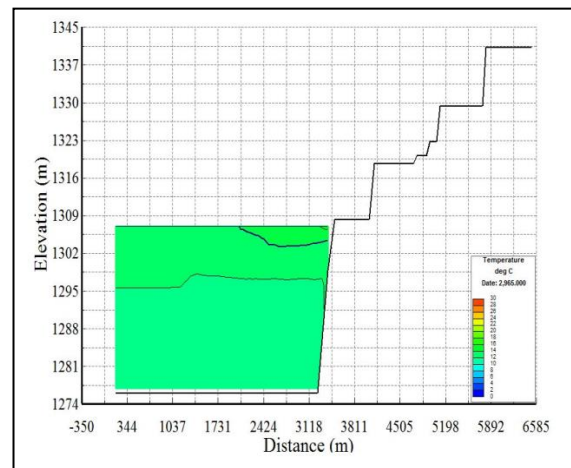
شکل (۶-الف)، منحنی‌های هم‌دما در مقطع عرضی سد برای شرایط تغییر اقلیم (۲۰۳۴) در فصل زمستان را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در فصل زمستان در مخزن لایه‌بندی دیده نمی‌شود.

اتفاق می‌افتد. این در حالی است که مخزن سد آیدوغموش در فصول بهار، تابستان و پاییز لایه‌بندی حرارتی را تجربه می‌کند و در فصل زمستان دارای یک گردش است که در شرایط تغییر اقلیم این روند نیز رفته‌رفته به سمت لایه‌بندی پیش می‌رود. این موضوع به دلیل وابستگی نتایج لایه‌بندی به عوامل بسیار زیادی از جمله موقعیت جغرافیایی مخزن، داده‌های هواشناسی، مورفولوژی دریاچه سد، پارامترهای اقلیمی، دبی ورودی و خروجی و عوامل دیگر است که به طور مشخص بر کیفیت آب مخزن موثر هستند.

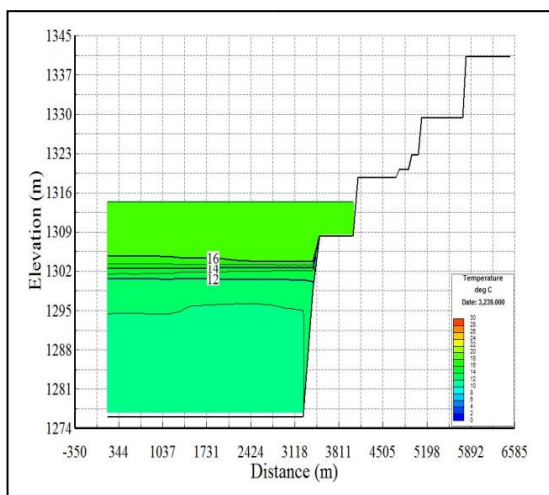
همان‌طور که در شکل (۶-ت) دیده می‌شود، در فصل پاییز از شدت لایه‌بندی کاسته شده ولی لایه‌بندی ضعیفی با گرادیان در حدود ۴ درجه سانتی‌گراد شکل گرفته است. میان لایه به عمق مخزن منتقل شده و ضخامت آن کاهش یافته است که می‌تواند به دلیل افزایش نیروی باد و جابه‌جایی و اختلاط لایه‌های فوقانی باشد. مقایسه نتایج این پژوهش با نتایج محققان دیگر، تفاوت زمان لایه‌بندی و شدت آن در مخازن مختلف را نشان می‌دهد. به طور مثال در نتایج لایه‌بندی سد شهید رجایی (Saeidi et al., 2012) نشان داده شده است که لایه‌بندی برای این مخزن در فصل تابستان و اختلاط قائم در فصل زمستان



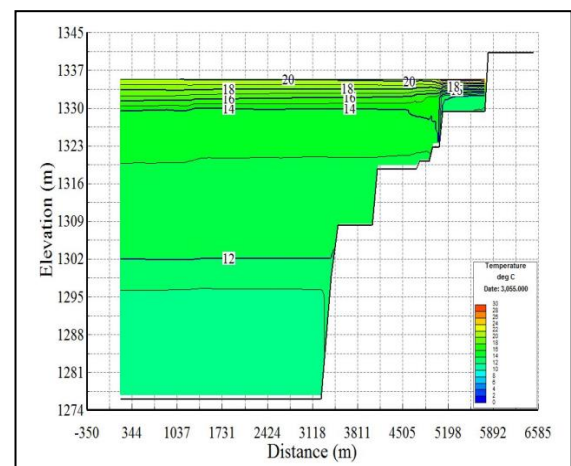
(پ)



(الف)



(ت)



(ب)

شکل ۶- لایه بندی حرارتی در مقطع عرضی مخزن در شرایط تغییر اقلیم در (الف) زمستان، (ب) بهار، (پ) تابستان و (ت) پاییز

شرایط پایه خواهد بود. به طور میانگین، افزایش دمای سطح آب در شرایط تغییر اقلیم نسبت به شرایط پایه ۱/۵ درجه سانتی‌گراد در طول دوره شبیه‌سازی خواهد بود. در فصل زمستان اختلاط کامل و گاهی لایه‌بندی خفیف با گرادیان ضعیف (کمتر

نتیجه‌گیری

در این پژوهش لایه‌بندی حرارتی مخزن آیدوغموش (استان آذربایجان شرقی) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان دادند که دمای سطح آب و کف مخزن در شرایط تغییر اقلیم بیشتر از

مهم در شرایط تغییر اقلیم) بررسی گردد. ضمن این که عدم قطعیت‌های ناشی از تغییر اقلیم (به‌عنوان مثال، انتخاب مدل‌های مختلف GCM و سناریوهای انتشار) در مقاله حاضر در نظر گرفته نشده که پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی مورد مطالعه قرار گیرد.

معرفی نمادها و علائم

u : سرعت در جهت x

v : سرعت در جهت y

w : سرعت در جهت z

Ω : معرفی شتاب کوریولیس

τ_{xx} (τ_{yy}): تنش برشی آشفتگی فعال در جهت x (y) و در وجه

$(y)x$ حجم کنترل

τ_{xy} (τ_{yx}): تنش برشی آشفتگی فعال در جهت x (y) و در وجه

$(x)y$ حجم کنترل

τ_{xz} (τ_{yz}): تنش برشی آشفتگی فعال در جهت x (y) و در وجه

z حجم کنترل

\bar{U} و $\bar{\omega}$: میانگین سرعت در جهت x (y و z)

از ۵/۰ درجه سانتی‌گراد) دیده شد. این در حالی است که در فصل بهار لایه‌بندی در نزدیکی سطح آب شکل گرفته و رولایه دیده نمی‌شود، این شرایط ممکن است به دلیل افزایش دمای هوا و تبادلات حرارتی سطح آب با هوا بوده و کاهش نیروی باد نیز می‌تواند سبب کاهش ضخامت رولایه شده و به این ترتیب میان لایه به سمت سطح آب حرکت خواهد کرد. در فصل تابستان گرادیان حرارتی شدیدتر شده و لایه‌بندی کامل شکل خواهد گرفت. در فصل پاییز نیز لایه‌بندی حرارتی ضعیفی مشاهده می‌شود که در آن ضخامت میان لایه بسیار کم است و میان لایه به عمق مخزن منتقل شده است. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که مخزن سد آیدوگوموش در سه فصل بهار، تابستان و پاییز در شرایط تغییر اقلیم لایه‌بندی خواهد داشت. دمای آن هرگز در طول دوره شبیه‌سازی، از چهار درجه سانتی‌گراد کم‌تر نخواهد شد و سطح دریاچه مخزن در شرایط آبی هرگز یخ نمی‌زند. یافته‌های این پژوهش می‌تواند در بهره‌برداری بهینه از مخازن موثر باشد. در رابطه با تحقیقات پیش‌تر در رابطه با موضوع تحقیق پیشنهاد می‌شود که شبیه‌سازی نحوه پخش آلاینده در شرایط تغییر اقلیم نیز بررسی شده و حساسیت تغییرات غلظت آلاینده به تغییر دما و تغییر در دبی (دو مورد

REFERENCES

- Afshar, A., Feizi, F., Yousefi Moghadam, A., and Saadatpour, M. (2017). Enhanced CE-QUAL-W2 model to predict the fate and transport of volatile organic compounds in water body: Gheshlagh reservoir as case study. *Environmental Earth Science*, 76: 803, Doi: 10.1007/s12665-017-7108-5.
- Afshar, A., Kazemi, H., and Saadatpour, M. (2011). Particle swarm optimization for automatic calibration of large scale water quality model (CE-QUAL-W2): Application to Karkheh Reservoir, Iran. *Water Resources Management*, 25 (10), 2613-2632.
- Amirkani, M., Bozorg-Haddad, O., Ashofteh, P.-S., and Loáiciga, H. A. (2016). Determination of the optimal level of water releases from a reservoir to control water quality. *Journal of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste*, 20 (2), Doi:10.1061/(ASCE)HZ.2153-5515.0000295.
- IPCC (2001). Summary for Policymakers, in McCarthy, J.J., Canziani, O.F., Leary, N.A., Dokken, D.J. and White, K.S. (eds.) (2001) *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*, Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, 1-1042.
- IPCC-TGCI (Intergovernmental Panel on Climate Change, Task Group on Scenarios for Climate Impact Assessment). (1999). *Guideline on the use of scenario data for climate impact and adaptation assessment*. Version 1, T .R. Carter, M. Hullme, and M. Lal, eds., Intergovernmental Panel on Climate Change, Task Group on Scenarios for Climate Impact Assessment, 69.
- IPCC-DDC. (1988). Data distribution center, from <http://ipcc-ddccru.uea.ac.uk/>
- Firoozi, F., Roozbahany, A., Massah-Bavani, A., and Lotfi, S. (2016). Evaluation of the effect of climate change on the thermal stratification phenomenon of the latan dam reservoir. *International Climate Change Conference*. (In Farsi)
- Nazariha, M., Danaei, E., Hashemi, S-H., and Izad-Doustdar, A. H. (2009). Prediction of Thermal Stratification in Proposed Bakhtyari Reservoir with CE-QUAL-W2. *World Environmental and Water Resources Congress*, 142(12), DOI: 10.1061/41036(342)398.
- Obregon, O., Chilton, R. E., Williams, G. P., James Nelson, E., and Miller, J. B. (2011). Assessing climate change effects in tropical and temperate reservoirs by modeling water quality scenarios. *World Environmental and Water Resources Congress*, Palm Springs, California, United States, 22-26 May, DOI: 10.1061/41173(414)407.
- Saeidi, P., Mehrdadi, N., Ardestani, M., and Baghvand, A. (2012). Simulation of thermal stratification and dissolved oxygen concentration CE-QUAL-W2 model (case study: shahid rajaee dam

- reservoir. *Ecology*. (In Farsi)
- Saadatpour, M., Heravi, A. (2016). Study of Environmental Performance Criteria in Karkhe Reservoir Using Enhanced Model of CE-QUAL-W2 (V3.72). *Iran-Water Resources Research*. (In Farsi)
- Saadatpour, M., Afshar, A., Edinger, J. E. (2017). Meta-model Assisted 2D Hydrodynamic and Thermal Simulation Model (CE-QUAL-W2) in Deriving Optimal Reservoir Operational Strategy in Selective Withdrawal Scheme. *Water Resources Management*, DOI: 10.1007/s11269-017-1658-x.
- Zargarpour, H., Gheravi, M., and Dehghan, J. (2007). Thermal stratification in tandem reservoirs- case study: karun 1, karun 2, and karun 3 reservoirs. *Iran-Water Resources Research Engineering*. (In Farsi)