

Technical Note

Evaluation of Climate Change Effects on Thermal Stratification of Latian Dam Reservoir

F. Firoozi¹, A. Roozbahani^{2*}
and A.R. Massah Bavani³

Abstract

In this study, effects of climate change on thermal stratification of Latian Dam Reservoir have been evaluated in the period of 2020-2039 and the water temperature in the reservoir has been simulated for this period. For this purpose, temperature data, precipitation, wind speed and dew point from two general circulation models of MIROC-ESM and EC-EARTH were used under RCP8.5 scenario. The results of the two models in scenario RCP8.5 showed that the air temperature in the upcoming period increases by 0.31 degrees, mean annual precipitation decreases about 8.6 percent, and the inflow to the dam increases about 2 percent compared to the baseline period. The simulation results by two-dimensional model of CE-QUAL-W2 in the period of 2020-2039 showed that under the impact of climate change, thermal stratification period increased by 28 days and depth of the thermocline is decreased. Also, the mean value of temperature has increased by 0.14 °C in epilimnion and has decreased by 0.08 °C in hypolimnion. The obtained results can be applied for more effective water quality management of reservoir under the climate change effects.

Keywords: Climate Change, Latian Dam, Thermal stratification, CE-QUAL-W2, IHACRES.

Received: March 18, 2017

Accepted: September 15, 2017

یادداشت فنی

بررسی اثرات تغییر اقلیم بر لایه‌بندی حرارتی مخزن سد لتیان

فاطمه فیروزی^۱، عباس روزبهانی^{۲*} و علیرضا مساح بوانی^۳

چکیده

در این تحقیق اثر تغییر اقلیم بر لایه‌بندی حرارتی مخزن سد لتیان در دوره ۲۰۲۰-۲۰۳۹ میلادی مورد بررسی قرار گرفته و وضعیت دمای آب در مخزن در این دوره شبیه‌سازی شده است. در این راستا از داده‌های دما، بارش، سرعت باد و نقطه شبنم دو مدل گردش عمومی جو شامل MIROC-ESM و EC-EARTH تحت سناریوی RCP8.5 استفاده شد. نتایج دو مدل نشان داد دمای هوا در دوره آتی در سناریوی RCP8.5، ۰/۳۱ درجه افزایش و مقدار بارندگی به میزان ۸/۶ درصد کاهش می‌یابد و رواناب ورودی به سد نیز ۲ درصد افزایش می‌یابد. نتایج شبیه‌سازی لایه‌بندی حرارتی با استفاده از مدل مدل دو بعدی CE-QUAL-W2 تحت تأثیر تغییر اقلیم نشان داد در دوره ۲۰۲۰-۲۰۳۹ دوره لایه‌بندی حرارتی به میزان ۲۸ روز افزایش و عمق ترموکلاین کاهش می‌یابد. همچنین، دمای متوسط رولایه ۰/۱۴ درجه سلسیوس افزایش و در زیر لایه ۰/۰۸ درجه سلسیوس کاهش می‌یابد. نتایج این تحقیق می‌تواند در راستای مدیریت کیفی مؤثرتر مخزن تحت تأثیر تغییر اقلیم مورد استفاده قرار گیرد.

کلمات کلیدی: تغییر اقلیم، سد لتیان، لایه‌بندی حرارتی، مدل CE-QUAL-W2، مدل IHACRES.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۵/۱۲/۱۸

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۶/۶/۲۴

1- Graduate Student of Water Resources Engineering, Department of Irrigation and Drainage Engineering, Aburaihan Campus, University of Tehran.

2- Assistant Professor, Department of Irrigation and Drainage Engineering, Aburaihan Campus, University of Tehran, Tehran, Iran. Email: roozbahany@ut.ac.ir

3- Associate Professor, Department of Irrigation and Drainage Engineering, Aburaihan Campus, University of Tehran, Tehran, Iran.

*- Corresponding Author

۱- کارشناس ارشد مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران.

۲- استادیار گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران.

۳- دانشیار گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران.
* - نویسنده مسئول

بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان زمستان ۱۳۹۷ امکانپذیر است.

Firooz et al. (2017) اثر تغییر اقلیم بر لایه‌بندی حرارتی مخزن سد لتیان را با اثرگذاری پارامترهای دمای هوا، سرعت باد، رطوبت نسبی و رواناب ورودی به سد با یک مدل AOGCM تحت سناریوی RCP2.6 بررسی کرده‌اند و به این نتیجه رسیدند که تغییر اقلیم موجب افزایش دوره‌ی لایه‌بندی حرارتی به مدت ۴۸ روز و دمای سطح آب در مخزن می‌گردد. Li et al. (2017) تأثیر بهره‌برداری از مخزن و تغییر اقلیم بر لایه‌بندی حرارتی یک مخزن در شمال غربی چین را با استفاده از ۱۳ سناریو شامل تغییرات شدید حجم جریان، سطح آب، دمای هوا، تابش، دمای آب ورودی و خروجی به صورت انتخابی بدون استفاده از سناریوهای AOGCM را بررسی کرده‌اند. ایشان در نتایج نشان داده‌اند که مدت زمان شکل‌گیری لایه‌بندی حرارتی، پایداری ستون آب و دمای سطح آب تحت تأثیر افزایش درجه حرارت هوا قرار دارد.

اگرچه تحقیقات انجام شده قبلی روش‌های قابل قبولی را برای ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر لایه‌بندی حرارتی مخازن سد ارائه کردند ولی در این تحقیق ضمن استفاده از سناریوهای RCP از پنجمین گزارش IPCC، علاوه بر شبیه‌سازی رواناب ورودی در آینده، اثر باد و رطوبت نسبی تحت تأثیر تغییر اقلیم در دوره‌ی آبی بر لایه‌بندی حرارتی مخزن سد لتیان نیز بررسی شده است.

۲- روش تحقیق

در این تحقیق سد لتیان در حوزه آبریز لواسانات که به عنوان یکی از منابع تأمین‌کننده آب شرب تهران، که روی رودخانه‌های جاجرود و لوارک واقع شده‌است مورد مطالعه قرار گرفت. اطلاعات مورد استفاده در این تحقیق شامل اطلاعات هواشناسی از ایستگاه سینوپتیک شمال تهران، ۱۲ ایستگاه باران‌سنجی بالادست سد لتیان، ۴ ایستگاه هیدرومتری بالادست سد و اطلاعات هندسه‌ی مخزن می‌باشد. شکل ۱ موقعیت سد لتیان، ایستگاه‌های باران‌سنجی، دبی‌سنجی و سینوپتیک مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

از بین ۱۹ مدل AOGCM برای بررسی تغییرات دما و بارندگی در منطقه در دوره (۲۰۲۰-۲۰۳۹) دو مدل EC-EARTH و MIROC-ESM بهترین وضعیت آب و هوایی را نشان داد. در این تحقیق از سناریوی RCP8.5 به علت اینکه این سناریو بدون اتخاذ هیچ‌گونه سیاست‌های کاهش آثار و مقابله با پیامدهای اقلیم، آب و هوای کره زمین در خط سناریوی انتشار پیش خواهد برد، استفاده شد. در واقع این سناریو بدبینانه‌ترین وضعیت وقوع تغییر اقلیم را در دوره‌ی آبی بررسی می‌کند. یکی از مشکلات عمده در استفاده از خروجی

گسترش روزافزون فعالیت‌های صنعتی و انسانی مثل استفاده از سوخت‌های فسیلی منجر به افزایش گازهای گلخانه‌ای از جمله دی‌اکسیدکربن، متان و نیتروژن و ایجاد پدیده‌ی گرمایش جهانی کره‌ی زمین می‌شود (Lee et al., 2012). تغییر اقلیم اثرات گسترده‌ای با افزایش دما و تغییرات در الگوی آب رودخانه‌ها بر روی کیفیت آب شیرین دارد (Georgakakos et al., 2014). مدارک و شواهد نشان‌دهنده‌ی افزایش دمای رودخانه و دریاچه تحت تأثیر تغییر اقلیم می‌باشد (Kaushal et al., 2010; & Schneider and Hook, 2010).

Sahoo et al. (2011) اثر تغییر اقلیم بر ویژگی‌های حرارتی مخازن و پیامدهای احتمالی با تأثیر پارامتر دما، باد و بارندگی تحت تأثیر تغییر اقلیم را بررسی کرده‌اند و از تأثیر رواناب ورودی به سد تحت تأثیر تغییر اقلیم چشم‌پوشی کرده‌اند و به این نتیجه رسیده‌اند که دمای سطح آب ۱۳/۰ درجه سلسیوس در سال افزایش می‌یابد. همچنین، پیش‌بینی درجه حرارت جریان از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۴۰ نشان‌دهنده افزایش دمای سطح دریاچه و کاهش دوره اختلاط می‌باشد. (Wang et al. 2012) اثر آب و هوای محلی و شرایط هیدرولوژیکی در رژیم حرارتی یک مخزن در مدار راس‌السرطان، در جنوب چین را مطالعه کرده‌اند. ایشان برای اندازه‌گیری اثرات تغییر اقلیم و هیدرولوژیکی بر ساختار حرارتی دریاچه از یک مدل شبیه‌سازی عددی برای ایجاد سناریوهایی با ترکیب دماهای مختلف هوا، حجم جریان و سطح آب استفاده کرده‌اند. نتایج تحقیقات ایشان نشان داده است که پایداری لایه‌بندی حرارتی، مدت زمان اختلاط در مخزن، دمای سطح و تحت تأثیر عوامل طبیعی و انسانی مانند تغییر اقلیم و بهره‌برداری از مخزن قرار دارد. (Modiri et al. 2014) تنها اثر دما تحت تأثیر تغییر اقلیم بر لایه‌بندی حرارتی مخزن سد لتیان را بررسی کرده‌اند و اثر رطوبت نسبی و سرعت باد را در دوره‌ی آبی نسبت به دوره‌ی پایه ثابت فرض کرده و از اطلاعات سال پایه برای شبیه‌سازی استفاده کرده‌اند. در این تحقیق ایشان از نتایج اجرای مدل آب و هوایی OGCMs تحت سناریوهای B1، A1B، A2 و از سه سناریوی جریان مختلف بر روی رودخانه جاجرود برای شبیه‌سازی جریان بدون در نظر گرفتن اثر تغییر اقلیم و از مدل CE-QUAL-W2 برای شبیه‌سازی پروفیل دما در دوره آبی استفاده کرده‌اند. نتایج تحقیقات ایشان نشان می‌دهد تغییر دمای ناشی از تغییرات اقلیمی موجب افزایش دوره‌ی لایه‌بندی حرارتی تا سال ۲۱۰۰ به میزان ۴۰ روز می‌شود.

و سپس با دوره‌ی پایه مقایسه شد (جدول ۱). بر اساس جدول ۱ میانگین بلند مدت سالانه‌ی دما در دوره‌ی (۲۰۲۰-۲۰۳۹) نسبت به دوره (۱۹۹۰-۲۰۰۹) میلادی در مدل MIROC-ESM، ۰/۲۹ درجه سلسیوس و در مدل EC-EARTH، ۰/۳۲ درجه سلسیوس افزایش می‌یابد. میزان تغییرات بارندگی نیز در دو مدل ثابت نبوده و میزان بارندگی در مدل EC-EARTH (۲۰۲۰-۲۰۳۹) نسبت به دوره پایه ۲۲/۹ درصد کاهش می‌یابد. این در حالی است که بارندگی در مدل MIROC-ESM نسبت به دوره‌ی پایه ۵/۶ درصد افزایش می‌یابد. میانگین بلند مدت سالانه سرعت باد در دوره‌ی آتی تحت تأثیر تغییر اقلیم ۱۸ درصد نسبت به دوره‌ی (۱۹۹۰-۲۰۰۹) کاهش می‌یابد. میانگین بلند مدت رطوبت نسبی نیز در دوره (۲۰۲۰-۲۰۳۹)، ۱۱ درصد نسبت به دوره‌ی پایه کاهش می‌یابد. پس از واسنجی و صحت‌سنجی مدل بارش-رواناب IHACRES برای منطقه مطالعاتی رواناب ورودی به سد برای دوره‌ی (۲۰۲۰-۲۰۳۹) شبیه‌سازی شد. بر اساس جدول ۱ در مدل MIROC-ESM و EC-EARTH میانگین دراز مدت رواناب ورودی به سد در دوره (۲۰۲۰-۲۰۳۹) نسبت به دوره پایه به ترتیب ۴۷ درصد افزایش و ۴۳ درصد کاهش می‌یابد. اما نتایج برای بررسی اثرات تغییر اقلیم بر لایه‌بندی مخزن سد لتیان در دوره‌ی (۲۰۲۰-۲۰۳۹) تحت سناریوی RCP8.5 با میانگین‌گیری از نتایج حاصل از دو مدل MIROC-ESM و EC-EARTH نشان داد در سناریوی RCP8.5 دما در دوره‌ی (۲۰۲۰-۲۰۳۹) نسبت به دوره‌ی پایه، ۰/۳۱ درجه افزایش و مقدار بارندگی به میزان ۸/۶ درصد کاهش و رواناب ورودی به سد ۲ درصد افزایش می‌یابد. با توجه به اینکه در یکی از مدل‌ها افزایش رواناب و در مدل دیگر کاهش رواناب مشاهده شد میانگین‌گیری از این دو مدل افزایش رواناب شبیه‌سازی شده در دوره آتی را در سناریوی RCP8.5 را نشان داد. همچنین نظر به اینکه در تمامی مدل‌های AOGCM عدم قطعیت وجود دارد بنابراین نمی‌توان به طور قطع تغییرات هیچ کدام از مدل‌ها را پذیرفت و تنها می‌توان حدود تغییرات پارامترها را بر اساس این مدل‌ها مشخص کرد.

برای بررسی لایه‌بندی حرارتی با استفاده از مدل CE-QUAL-W2 با توجه به اطلاعات هندسه مخزن مدل هیدرودینامیک مخزن ساخته شد و پس از کالیبراسیون مدل در دو گام (کالیبراسیون هندسه مخزن و آنالیز حساسیت و واسنجی دمایی مدل) نهایتاً صحت‌سنجی مدل و شبیه‌سازی لایه‌بندی حرارتی در دوره‌ی (۲۰۲۰-۲۰۳۹) صورت گرفت. برای واسنجی دمایی مدل ابتدا به آنالیز حساسیت پارامترهای مؤثر بر دما در مخزن پرداخته شد.

مدل‌های AOGCM در مطالعات ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم در سطوح منطقه‌ای، بزرگ بودن مقیاس مکانی سلول محاسباتی، نسبت به منطقه مورد مطالعه می‌باشد. از جمله روش‌های مورد استفاده برای ریزمقیاس نمایی عبارتند از: استفاده از اطلاعات سلول اصلی و روش‌های آماری که روش آماری منطقی‌تر و در افزایش وضوح خروجی‌های مدل‌های AOGCM، محاسبه تغییرات مشاهداتی متغیر سطحی مورد مطالعه در مقیاس منطقه‌ای بعنوان تابعی از خصوصیات آماری متغیرهای مشاهداتی اقلیمی بزرگ مقیاس (میانگین فشار در سطح دریاها) می‌باشد (Trzaska et al., 2014). در این تحقیق از مدل آماری LARS برای ریزمقیاس‌نمایی داده‌های دما و بارش و برای شبیه‌سازی رواناب ورودی به سد از بسته نرم‌افزاری IHACRES استفاده شد. پس از آن از مدل دو بعدی (میانگین‌گیری شده در عرض) هیدرولیک و کیفیت آب (Version 3.7.1) CE-QUAL-W2 برای بررسی وضعیت دمای مخزن و لایه‌بندی استفاده شد.

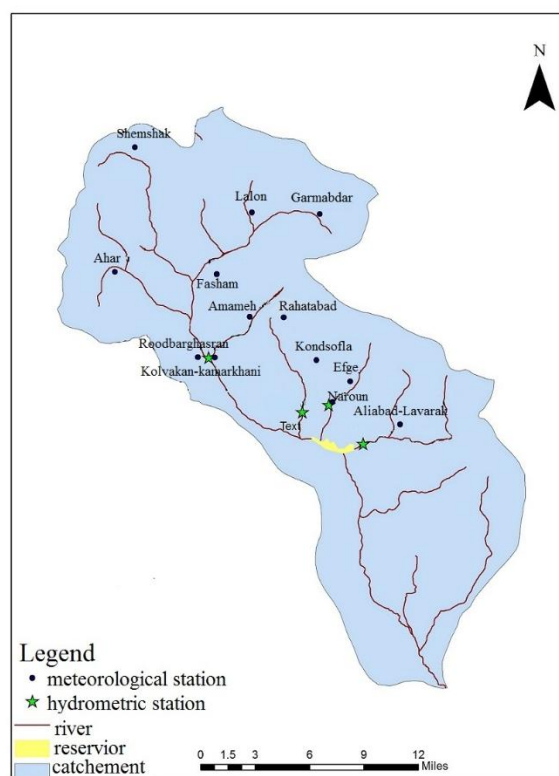


Fig. 1- Location of Latian Dam and meteorological and hydrometric stations in the study area
شکل ۱- موقعیت سد لتیان و ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری استفاده شده در تحقیق

۳- نتایج و بحث

برای بررسی نتایج ابتدا داده‌های مربوط به دما، بارش، سرعت باد و رطوبت نسبی در مقیاس روزانه برای دوره‌ی (۲۰۲۰-۲۰۳۹) ریزمقیاس

Table 1- Variation of temperature, precipitation, relative humidity and runoff under the RCP8.5 scenario
جدول ۱- تغییرات دما، بارندگی، سرعت باد، رطوبت نسبی و رواناب تحت سناریوی RCP8.5

Model	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Temperature												
MIROC-ESM	-0.34	-0.12	0.87	-1.10	0.20	-1.33	-0.57	0.03	0.01	2.28	2.49	1.10
EC-EARTH	-0.30	-0.25	0.65	-0.70	0.26	-0.71	-0.66	0.08	0.17	2.57	2.47	0.51
Precipitation												
MIROC-ESM	6.27	-1.28	-5.24	3.44	4.71	38.00	8.21	1.94	48.00	-19.43	-4.08	-12.84
EC-EARTH	-50.78	-17.98	-25.57	-13.1	-24.75	13.11	1.04	4.76	-55.55	-54.95	-5.92	-39.76
Wind speed												
MIROC-ESM	0.11	-0.07	-0.30	-0.43	-0.47	-0.25	-0.10	-0.06	-0.25	-0.31	-0.16	0.06
Relative humidity												
MIROC-ESM	-4.59	-2.62	-0.83	2.73	4.94	-6.19	-12.67	-9.54	-6.49	-10.90	-9.70	-8.13
Runoff												
MIROC-ESM	0.56	0.53	0.54	0.57	0.34	0.49	0.56	0.61	0.68	0.68	0.15	0.06
EC-EARTH	-0.60	-0.58	-0.40	-0.35	-0.46	-0.43	-0.35	-0.33	-0.31	-0.42	-0.52	-0.52

تحت مدل MIROC-ESM در فصل بهار در عمق پنج متری از سطح آب می‌باشد با گرم شدن هوا گرادیان حرارتی افزایش می‌یابد. طول مدت لایه‌بندی ۲۷۰ روز است که نسبت به سال ۲۰۰۹، ۲۳ روز افزایش می‌یابد. حداکثر اختلاف رولایه و زیرلایه در دوره‌ی لایه‌بندی ۱۸ درجه می‌باشد. در فصل تابستان لایه ترموکالین با گرادیان شدید دمایی و در عمق چهار متری از سطح آب تشکیل می‌شود. بر اساس شکل ۳-B با گذشت زمان لایه ترموکالین به سمت عمق آب حرکت می‌کند و طول مدت لایه‌بندی در سال ۲۰۳۹، ۲۸۰ روز محاسبه شد و طول مدت لایه‌بندی نسبت به سال (۲۰۰۹) ۳۳ روز افزایش می‌یابد. حداکثر اختلاف دما در رولایه و زیرلایه در دوره‌ی لایه‌بندی ۱۸ درجه سلسیوس می‌رسد. با توجه به زمان وقوع اختلاط در هر دو مدل در فصل پاییز می‌توان نتیجه گرفت کاهش بیشتر سرعت باد و سایر عوامل هواشناسی مورد بررسی نسبت به سال ۲۰۰۹ موجب تعویق افتادن زمان اختلاط شده است.

بررسی تغییرات دما در سطح و عمق مخزن سد لتیان در سال ۲۰۰۹ و سال‌های ۲۰۲۰ و ۲۰۳۹ تحت مدل MIROC-ESM نشان داد میانگین افزایش دمای سطح آب در دوره ۲۰۲۰-۲۰۳۹ در مدل MIROC-ESM، ۰/۰۵ درجه سلسیوس افزایش و میانگین دمای کف مخزن ۰/۰۲۵ درجه سلسیوس نسبت به سال ۲۰۰۹ کاهش می‌یابد و در مدل EC-ERATH میانگین افزایش دمای سطح آب در دوره ۰/۲۳ درجه سلسیوس افزایش و میانگین دمای کف مخزن ۰/۱۵ درجه سلسیوس نسبت به سال ۲۰۰۹ کاهش می‌یابد. افزایش دمای رولایه و کاهش دمای زیرلایه تحت تأثیر تغییر اقلیم نشان‌دهنده این موضوع

پس از مشخص شدن پارامترهای حساس (ضریب تصحیح سرعت باد، ضریب پخشیدگی طولی، لزجت گردابی طولی، ضریب جذب نور در آب و ضریب کاهش نور در آب) این پارامترها کالیبره شد.

ضریب تأثیر باد به عنوان مؤثرترین ضریب در کالیبراسیون دمایی مخزن شناسایی شد. با توجه به توپوگرافی این منطقه پس از چند مرحله تغییر مقدار ضریب تأثیر باد به ۰/۸ تغییر پیدا کرد. در واسنجی مدل برای محاسبه ضریب پخشیدگی قائم از الگوریتم W2 استفاده که از نتایج بهتری نسبت به سایر الگوریتم‌ها برخوردار است. شکل ۲ نتایج حاصل از واسنجی دمایی در مخزن سد لتیان را نشان می‌دهد. پس از واسنجی دمایی مخزن صحت‌سنجی با داده‌های سال ۱۳۹۴ برای هندسه مخزن صورت گرفت نتایج نشان داد مقدار خطای مربوط به سطح آب $RMS=0.88$ و $AME=0.69$ می‌باشد.

پس از بررسی پروفیل دما در مخزن سد در سال ۲۰۰۹ مشخص شد طول مدت لایه‌بندی حرارتی در دریاچه‌ی سد ۲۴۷ روز می‌باشد. شدیدترین حالت لایه‌بندی حرارتی در فصل تابستان و با اختلاف دمای ۱۲ درجه سلسیوس بین رولایه و زیرلایه می‌باشد. سپس لایه‌بندی حرارتی برای مخزن در دوره (۲۰۲۰-۲۰۳۹) میلادی در دو مدل AOGCM تحت سناریوی RCP8.5 بررسی شد. برای رسم نتایج روز ۱۵ هر ماه به منزله شاخص هر ماه در نظر گرفته شد.

شکل ۳-A و ۳-B به ترتیب لایه‌بندی حرارتی در مخزن سد لتیان در سال ۲۰۳۹ در مدل‌های MIROC-ESM، EC-EARTH تحت سناریوی RCP8.5 را نشان می‌دهد. بر اساس شکل ۳-A ترموکالین

اختلاف دمای دو لایه نقش داشته و باعث پایداری لایه‌بندی حرارتی می‌گردد. همچنین، افزایش سرعت باد و کاهش دمای هوا در فصل زمستان در دوره‌ی آبی سبب شده تا لایه‌بندی حرارتی نسبت به سال ۲۰۰۹، ۸ روز دیرتر آغاز شود. نتایج تحقیق حاضر نشان داد در سناریوی RCP8.5 دوره‌ی لایه‌بندی حرارتی ۲۸ روز تا انتهای سال ۲۰۳۹ افزایش می‌یابد در حالی که مدیری و همکاران به این نتیجه رسیدند طول دوره‌ی لایه‌بندی حرارتی تحت تأثیر دما در تغییر اقلیم ۴۰ روز تا سال ۲۱۰۰ نسبت به سال ۲۰۰۹ افزایش می‌یابد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت کاهش سرعت باد و رطوبت نسبی و همچنین تغییرات کم رواناب ورودی به سد در دوره‌ی آبی موجب پایداری بیشتر لایه‌بندی حرارتی می‌گردد.

۴- نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد مدل‌سازی اثرات تغییر اقلیم بر لایه‌بندی حرارتی با مطالعات قبلی سازگار است (Modiri et al., 2014; Sahoo et al., 2011) و متوسط درجه حرارت سطح آب تا سال ۲۰۳۹ نسبت به زیر لایه افزایش می‌یابد و گرادیان حرارتی در ترموکلاين در طول دوره لایه‌بندی حرارتی افزایش می‌یابد.

است که وجود ترموکلاين با عمق کم و گرادیان شدید دمایی موجب کاهش تبادلات دمای بین رولایه و زیرلایه می‌شود در نتیجه موجب ثابت باقی ماندن دما در عمق مخزن و ایجاد سایر فرایندهای شیمیایی می‌شود. افزایش بارندگی موجب شده تا در مدل MIROC-ESM دمای سطح آب نسبت به مدل دیگر با سرعت کمتری افزایش یابد در نتیجه اختلاف دمای سطح آب و کف کمتر شده و موجب شده تا پایداری لایه‌بندی حرارتی نسبت به مدل دیگر کمتر باشد.

همانطور که در مقدمه عنوان شد (Modiri et al., 2014) اثر دمای ناشی از تغییر اقلیم بر اساس سناریوهای A2، A1B، B1 بر لایه‌بندی حرارتی مخزن سد لتیان را با استفاده نتایج ۲۱ مدل AOGCM و سه سناریوی تغییرات جریان در رودخانه جاجرود (شامل جریان در حالت کم آبی، جریان در حالت پر آبی و جریان با تغییرات ثابت) بررسی کرده‌اند و به این نتیجه رسیده‌اند که تا سال ۲۱۰۰ میلادی اختلاف دمای رو لایه و زیر لایه نسبت به سال ۲۰۰۹ به ۱۵ درجه سلسیوس می‌رسد و دوره لایه‌بندی حرارتی نسبت به سال ۲۰۰۹، ۴۰ روز زودتر آغاز می‌شود در حالی که در تحقیق حاضر اختلاف دمای رولایه و زیر لایه به ۱۸ درجه سلسیوس می‌رسد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت علاوه بر دما، سرعت باد، رطوبت نسبی و جریان ورودی به مخزن در

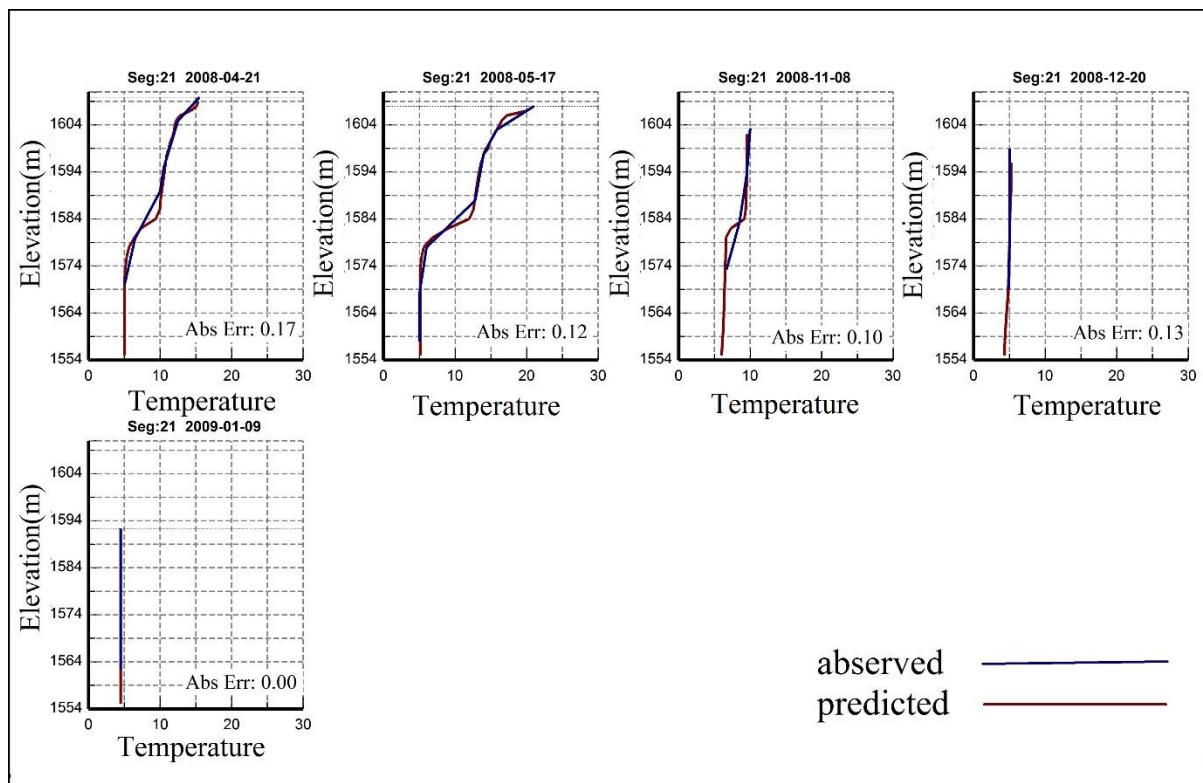


Fig. 2- Thermal calibration results for Latian Dam Reservoir in CE-QUAL-W2 model

شکل ۲- نتایج واسنجی دمایی مخزن سد لتیان در مدل CE-QUAL-W2

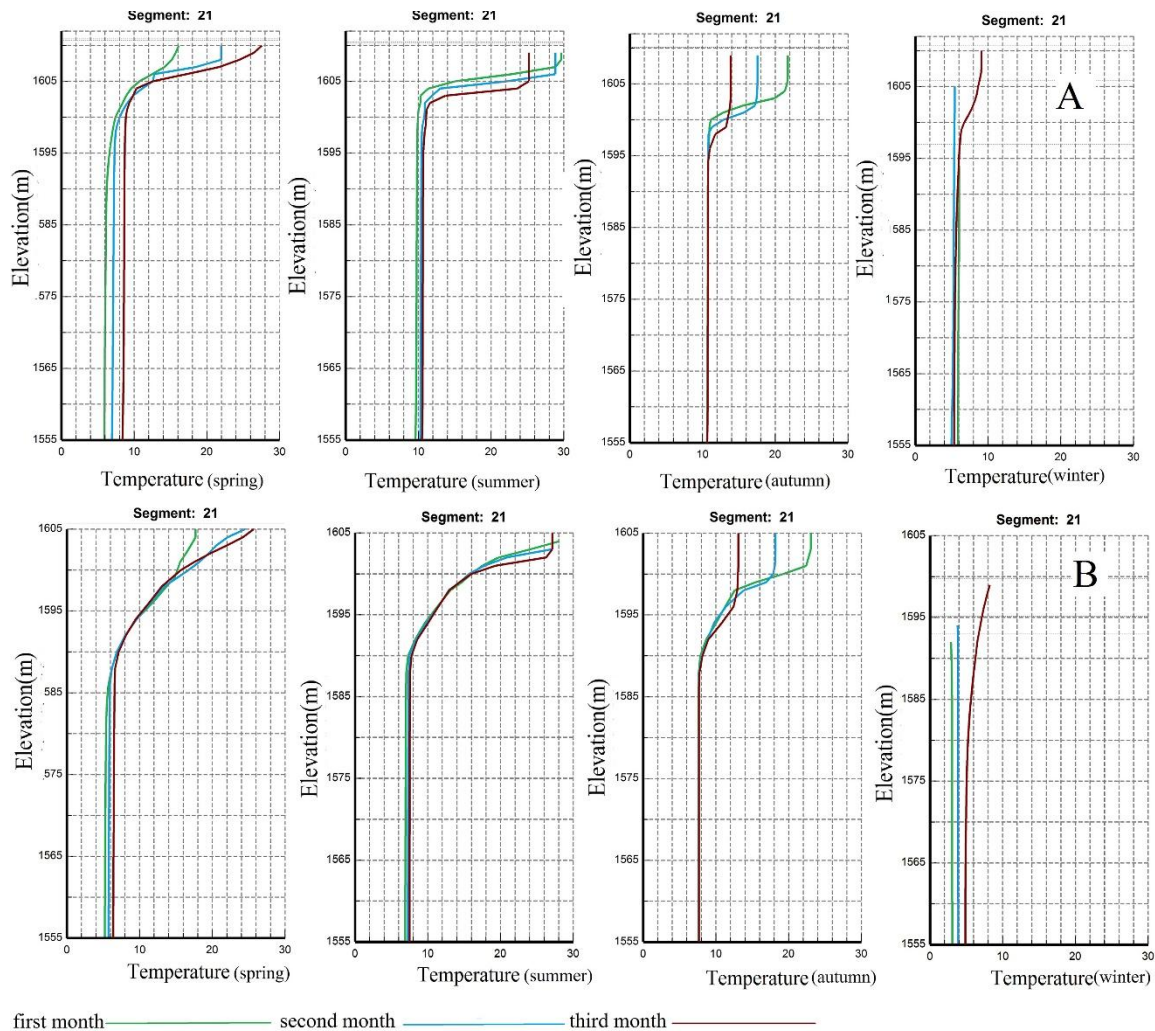


Fig. 3- Reservoir's temperature profile next to the dam body in 2039 for (A) EC-EARTH and (B) MIROC-ESM models

شکل ۳- پروفیل دمای عمیق مخزن در مجاورت بدنه سد در ۲۰۳۹ در مدل (A) MIROC-ESM و (B) EC-EARTH

stratification of reservoir. In: Proc. International conference on climate change (climatec3-01270128), 27-28 Feb, ministry of energy, Iran (In Persian)

Georgakakos A, Fleming P, Dettinger M, Peters-Lidard C, Richmond T, Reckhow KYates D (2014) Climate change impacts in the United States. The Third National Climate Assessment, Ch 3:69-112

IPCC (2014) Fifth Assessment Report. Cambridge: Cambridge University Press

Kaushal S, Likens G, Jaworski N, Pace M, Sides A, Seekell D, Wingate R (2010) Rising stream and river temperatures in the United States. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 8(9):461-466

میانگین بلند مدت دما در رولایه در دوره ۲۰۲۰-۲۰۳۹ در مدل MIROC-ESM، ۰/۰۵ و در مدل EC-EARTH، ۰/۲۳ افزایش می‌یابد و میانگین بلند مدت دما در زیر لایه در دوره ۲۰۲۰-۲۰۳۹ به ترتیب در مدل‌های MIROC-ESM و EC-EARTH، ۰/۲۵ و ۰/۱۵ درجه کاهش می‌یابد. همچنین، دوره لایه‌بندی حرارتی در سال ۲۰۳۹ میلادی در سناریوی RCP8.5 ۲۸ روز افزایش می‌یابد. در حالی که گرادیان حرارتی نیز تحت تأثیر تغییر اقلیم افزایش می‌یابد که موجب شده تبادلات دمایی سطح آب و زیر لایه کاهش یابد و در نتیجه لایه‌بندی حرارتی پایدار تشکیل شود.

۵- مراجع

Firoozi F, Roozbahani A, Massah Bavani A, Lotfi S (2017) The impact climate change on thermal

- Environmental Research and Risk Assessment 25(4):445-456
- Schneider P, Hook S (2010) Space observations of inland water bodies show rapid surface warming since 1985 Geophys. ResLett 37:1-5
- Trzaska S, Schnarr E (2014) A review of downscaling methods for climate change projections. United States Agency for International Development by Tetra Tech ARD, 1-42
- Wang S, Qian X, Han B, Luo L, Hamilton D (2012) Effects of local climate and hydrological conditions on the thermal regime of a reservoir at Tropic of Cancer, in southern China. Water research 46(8):2591-2604
- Lee H, Kim E, Park S, Choi J (2012). Effects of climate change on the thermal structure of lakes in the Asian Monsoon Area. Climatic change 112(3-4):859-880
- Li Y, Huang T, Zhou Z, Long S, Zhang H (2017) Effects of reservoir operation and climate change on thermal stratification of a canyon-shaped reservoir, in northwest China. Water Science and Technology, Water Supply, ws:2017068
- Modiri-Gharehveran M, Etemad-Shahidi A, & Jabbari E (2014) Effects of climate change on the thermal regime of a reservoir. Proceedings of the ICE-Water Management 167(10):601-611
- Sahoo G, Schladow S, Reuter J, Coats R (2011) Effects of climate change on thermal properties of lakes and reservoirs, and possible implications. Stochastic