

بررسی اثر افزایش ارتفاع سد دز و آبگیر غدیر بر رژیم حرارتی و تغییرات تراز سطح آب مخزن

محمد خرم آبادی^۱، محمد ذاکر مشفق^{۲*} و سعید رئوفی نسب^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آب و سازه های هیدرولیکی، دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول

۲- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول

۳- کارشناس ارشد مدیریت اجرایی، مدیر عامل شرکت بهره برداری از سد و نیروگاه دز

*moshfegh@jsu.ac.ir

تاریخ دریافت [۱۳۹۹/۰۳/۱۸]

تاریخ پذیرش [۱۳۹۹/۱۰/۲۳]

چکیده

سد دز با حجم ۳/۳ میلیارد متر مکعب و ارتفاع ۲۰۳ متر با هدف تولید انرژی برق آبی، کنترل سیل و تامین نیازهای کشاورزی ساخته شده است. با از دست رفتن حدود ۷۰۰ میلیون متر مکعب از ظرفیت مخزن سد به علت رسوب گذاری و نزدیک شدن تراز رسوبات به آبگیر نیروگاه و از سوی دیگر افزایش تقاضای آب در پایین دست و کاهش آورد ورودی به مخزن برای طرح های توسعه بالادست، بهره وری مطلوب از سد دز با مشکل مواجه شده است. در راستای علاج بخشی این مشکلات، طرح افزایش ارتفاع سد مطرح شده است. از طرفی طرح آبرسانی غدیر با دبی طرح ۲۴ مترمکعب بر ثانیه برای انتقال آب از مخزن سد به برخی شهرهای استان خوزستان در دست اجرا هست که تاکنون آثار طرح های مذکور بر تغییرات تراز سطح آب و لایه بندی حرارتی مخزن سد بررسی نشده است. در این مقاله با بکارگیری مدل دو بعدی CE-QUAL-W2 پس از تحلیل حساسیت، واسنجی و درستی آزمایی مدل در شبیه سازی تراز آب، پروفیل حرارتی و کل جامدات محلول، به بررسی تاثیر آب استحصال از آبگیر غدیر و تغییرات تراز سطح آب در شرایط ترسالی و خشک سالی، پیش و پس از افزایش ارتفاع با لحاظ کاهش و عدم کاهش آورد ورودی به مخزن پرداخته شده است. با توجه به نتایج تحلیل حساسیت مدل، به ترتیب پارامترهای سایه اندازی و ضرایب تجربی a ، b و c بیشترین تاثیر را بر رژیم حرارتی مخزن دارند. همچنین تاثیر برداشت آب از آبگیر نیروگاه و آبگیر غدیر، بر لایه بندی حرارتی ناچیز است. با بهره برداری از طرح غدیر و در صورت عدم افزایش ارتفاع سد، میانگین کاهش تراز سطح آب در سال های آبی نرمال حدود ۱۰،۶۸ متر و همچنین بیشینه کاهش تراز سطح آب حدود بیست متر نسبت به حالت پیش از آبیگری از طرح غدیر است. با افزایش ارتفاع سد دز، شاهد کاهش تعداد روزهای بحرانی-روزهایی که تراز سطح آب پایین تر از کمینه تراز بهره برداری است- از ۲۲۱ روز به ۱۰۹ روز در دوره کم آبی و کاهش روزهای بحرانی از ۴۲ روز به صفر روز در دوره پرآبی، خواهیم بود.

واژگان کلیدی: تحلیل حساسیت، لایه بندی حرارتی، آبگیر غدیر، افزایش ارتفاع سد دز، مدل CE-QUAL-W2

۱- مقدمه

سدها و نیروگاه‌های برقابی بیشتر برای تولید انرژی پاک و نیز به عنوان مهارکننده سیلاب و تامین کننده آب مورد نیاز کشاورزی و شرب ساخته می‌شوند. با وجود فواید مذکور، ساخت مخازن می‌تواند موجب تغییر رژیم حرارتی مخازن و به تبع آن تغییر اکوسیستم گیاهی و جانوری رودخانه شود (2018 Huang and Wang). با توجه به محدودیت منابع آب‌های در دسترس و از طرفی توسعه شهری، صنعتی، کشاورزی و مطرح شدن پروژه‌های انتقال آب بین حوضه‌ای، بررسی کمی و کیفی منابع آب و تغییرات رژیم حرارتی مخازن به ضرورتی اجتناب ناپذیر برای کاهش آثار سوء ساخت سدها تبدیل شده است (2013 Phillips et al). به منظور بررسی کمی و کیفی آب مخازن از مدل‌های شبیه‌سازی استفاده می‌شود که می‌توان این مدل‌ها را به دو بخش هیدرودینامیک و کیفیت تقسیم نمود. در بخش هیدرودینامیک مشخصه‌های جریان مانند عمق، سرعت و دمای آب محاسبه و در گام بعد با استفاده از نتایج گام نخست، متغیرهای کیفی شبیه‌سازی می‌شوند (Guidelines for Water Quality 2011). در مواردی نیز که بحث آبگیری انتخابی یا انتقال آب از لایه‌های مختلف مخزن مطرح باشد بیشتر جنبه هیدرودینامیک و تاثیرپذیری رژیم حرارتی مخزن، مورد توجه قرار می‌گیرد (2017 Zheng et al). مدل هیدرودینامیک دوبعدی متوسط گیری شده در عرض $CE-QUAL-W2$ ، از جمله مدل‌های شناخته شده‌ای است که به خوبی بخش هیدرودینامیک و کیفیت آب را تشریح می‌کند (2015 Gelda et al). مدل مذکور به طور گسترده‌ای برای مخازن و دریاچه‌ها در مناطق جغرافیایی مختلف به کار گرفته شده است (2015 Cole and Wells). از جمله مطالعات موفقیت‌آمیز به کمک مدل $CE-QUAL-W2$ ، می‌توان به شبیه سازی تراز سطح آب و دما در مخازن Schoharie, Gorges و Sejnane و همچنین دریاچه Spaulding و رودخانه Speed توسط (2015 Ma et al); (2012 Dai et al); (2007 Zouabi-Aloui); (2015 Rheinheimer et al); (2009 Norton and Bradford); (2015 et al). اشاره کرد.

(Carr et al 2020) به بررسی تاثیر تغییر تراز آبگیر بر دمای

آب و اکسیژن محلول با استفاده از مدل دوبعدی متوسط‌گیری شده در عرض $CE-QUAL-W2$ در مخزن سد گاردینر واقع در کانادا پرداختند. نتایج بیان‌گر تاثیر تغییر تراز آبگیر بر لایه بندی حرارتی و اکسیژن محلول است. در پژوهش دیگری با استفاده از مدل $CE-QUAL-W2$ به بررسی اثر تغییر اقلیم بر لایه‌بندی حرارتی مخزن سد لتیان پرداخته شده است. نتایج این پژوهش بیان‌گر افزایش دوره لایه‌بندی حرارتی، کاهش عمق ترموکلاین و افزایش $0/14$ درجه‌ای دمای آب در رولایه و کاهش $0/08$ درجه‌ای در زیرلایه است (2017 Firoozi et al). در مخزن سد سفیدرود نیز با استفاده از مدل $CE-QUAL-W2$ به بررسی رژیم حرارتی مخزن تحت سناریوهای کم آبی و بهره‌برداری پرداخته شده است که نتایج بیان‌گر اختلاط کامل مخزن و عدم تشکیل لایه‌بندی حرارتی است. دلیل اختلاط کامل، وزش بادهای شدید و تنش برشی سطحی نسبتاً زیاد در مخزن سد بیان شده است (2008 Zakermoshfegh).

در راستای کنترل تغذیه‌گرایی در مخزن سد کرخه در پژوهش دیگری، ابتدا نقاطی از مخزن که مقادیر شاخص‌های کیفی (اورتوفسفات، نیتрат، کلروفیل a و اکسیژن محلول) در طول زمان دارای تغییرات قابل توجه بوده اند شناسایی شدند. سپس با استفاده از سری زمانی شاخص‌های کیفی در سلول های مدل $CE-QUAL-W2$ ، مقادیر واریانس زمانی محاسبه شده و نقاطی که دارای واریانس زمانی بیشتری هستند به عنوان نقاط بحرانی از نظر پایش کیفی معرفی شده‌اند. نتایج بدست آمده بیان‌گر کارایی متدولوژی پیشنهادی در تعیین نقاط بحرانی به‌منظور پایش کیفی مخازن سدها است (2016 Jabbari et al). نتایج بررسی تامین شرایط دمایی مناسب در زمان تخم‌ریزی ماهیان پایاب سد کرخه با اصلاح اتوماتیک چگونگی بهره‌برداری از سد با ساختار برداشت انتخابی با استفاده از مدل $CE-QUAL-W2$ ، بیان‌گر بهبود دمای پایاب به میزان $0/86$ درجه‌سانتی‌گراد برای حیات آبریان تحت تاثیر اصلاح اتوماتیک چگونگی بهره‌برداری از مخزن با ساختار برداشت انتخابی است (2016 Saadatpour).

عرض شمالی و $۲۰^{\circ} ۴۸'$ تا $۳۸^{\circ} ۴۸'$ طول شرقی احداث شده است (Mahab ghodss 2012). موقعیت مخزن سد دز در شکل (۱) نشان داده شده است.

شکل ۱. موقعیت مخزن سد دز

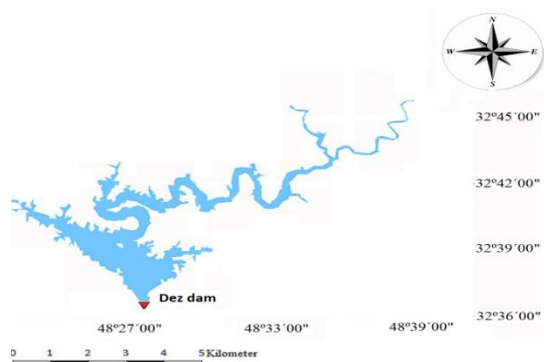


Fig. 1. The Dez dam location

۲-۲- طرح افزایش ارتفاع سد دز

از جمله چالش‌های مهم در بیشتر سدهای مخزنی، رسوب گذاری و تجمع رسوب در مخازن سدها است. در این بین حدود ۷۰۰ میلیون متر مکعب از ظرفیت مخزن سد دز به علت رسوب‌گذاری از دست رفته و تراز رسوبات به آبگیر نیروگاه نزدیک شده است (Behan Sadd 2011). در راستای علاج بخشی این معضل، طرح افزایش ارتفاع سد دز، برای افزایش تولید انرژی برق‌آبی و بهبود تامین نیاز آبی پایین‌دست مطرح شده است. با تعیین محدوده تمامی برداشت‌های حوضه سزار و بختیاری در بالادست سد دز و مدل‌سازی‌های پیشین برای انجام مطالعات منابع آب، اجرای طرح‌های بالادستی سبب کاهش ۹/۲ درصدی آورد ورودی به مخزن و به تبع آن موجب کاهش ۹ تا ۱۴ درصدی تولید انرژی برق‌آبی نسبت به شرایط عدم انتقال آب در بالادست می‌شود (Behan Sadd 2011). لازم به ذکر است، شرایط مذکور بدون لحاظ نمودن آب‌گیر غدیر گزارش شده‌اند.

۲-۳- طرح آب‌رسانی غدیر

طرح تأمین آب شرب مناطق جنوبی استان خوزستان که شامل ۲۵ شهر و ۱۶۰۸ روستا است در قالب طرحی موسوم به غدیر از دی ماه ۱۳۸۷ مدنظر قرار گرفته است که منبع تأمین

طرح‌های انتقال آب در بالادست سد دز از قبیل انتقال آب قمرود، انتقال آب به چشمه لنگان و ساخت و سازهای در حال اجرا مانند سد بختیاری روی شاخه بختیاری و طرح‌های آتی توسعه منابع آب در حوضه آبریز سزار و همچنین افزایش تقاضای آب در پایین‌دست سد دز، افزایش بهره‌وری از مخزن سد دز را اجتناب ناپذیر می‌نماید. پس در راستای کاهش آثار منفی برداشت آب از بالادست بر کاهش تولید انرژی برق‌آبی و تامین آب پایین دست، طرح افزایش ارتفاع سد دز مطرح شده است (Behan Sadd 2011). با بررسی پژوهش‌های انجام شده روی سد دز، علیرغم اهمیت طرح‌های مذکور، تاکنون تأثیر همزمان افزایش ارتفاع سد دز و آبگیری از آب‌گیر غدیر در کنار کاهش آورد به مخزن سد، بر شاخصه‌های بهره‌برداری همچون تراز سطح آب و رژیم حرارتی مخزن دیده نشده است. پس در این مقاله با تحلیل حساسیت مدل در قالب بررسی تأثیر تغییر پارامترهای موجود بر خروجی مدل، ضرایب موثر بر خروجی مدل مشخص و ضرایب کم اثر از فرایند واسنجی مدل حذف شده‌اند. پس از انجام تحلیل حساسیت، واسنجی مدل برای شبیه‌سازی تراز آب، پروفیل‌های حرارتی و کل جامدات محلول به انجام رسیده است. سپس برای اطمینان از عملکرد صحیح مدل در بازه‌های زمانی و شرایط هیدرولوژیکی مختلف، درستی‌آزمایی مدل با داده‌هایی متفاوت از داده‌های واسنجی انجام شده است. پس از گذراندن مراحل مذکور و اطمینان از عملکرد مطلوب مدل در شبیه‌سازی پیکره آبی مورد مطالعه، به بررسی تأثیر آبگیر غدیر پیش از افزایش ارتفاع و پس از افزایش ارتفاع سد دز بر لایه‌بندی حرارتی و تغییر تراز سطح آب تحت سناریوهای ترسالی و خشک‌سالی با لحاظ کاهش و عدم کاهش جریان ورودی به مخزن پرداخته شده است.

۲- روش تحقیق

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

رودخانه‌های سزار و بختیاری دو شاخه اصلی تشکیل‌دهنده رودخانه دز هستند و سد مخزنی دز روی این رودخانه در شمال شهر دزفول در موقعیت جغرافیایی $۳۶^{\circ} ۳۲'$ تا $۴۴^{\circ} ۳۲'$

آب بخش‌های غربی، مرکزی و جنوبی استان خوزستان از سد دز با دبی طرح ۲۴ متر مکعب در ثانیه است. آبگیری از مخزن سد دز توسط سه دستک بتنی به قطر ۳/۵ متر که در دیواره جناح راست مخزن سد تعبیه خواهند شد صورت می‌پذیرد (Ghoreishvandi and anjamrooz 2014).

۲-۴-۲ مدل CE-QUAL-W2

۲-۴-۱-۱- معادلات حاکم

مدل هیدرودینامیک و کیفیت آب دو بعدی متوسط‌گیری شده در عرض CE-QUAL-W2 از شش معادله و شش مجهول استفاده می‌نماید. شش معادله استفاده شده در مدل شامل پیوستگی، مومنتم در جهت x ، مومنتم در جهت z ، معادله سطح آزاد آب، انتقال اجزا و معادله حالت (که چگالی را به دما، کل جامدات محلول و مواد معلق غیر آلی ارتباط می‌دهد) هستند.

$$\frac{\partial UB}{\partial x} + \frac{\partial WB}{\partial z} = qB \quad (1)$$

$$\frac{\partial WUB}{\partial z} + \frac{\partial UUB}{\partial x} + \frac{\partial UB}{\partial t} = gB \sin \alpha - \frac{B}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial B \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial B \tau_{xz}}{\partial z} \right) + qBU_x \quad (2)$$

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} = g \cos \alpha \quad (3)$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} = \frac{1}{B\eta} \left(\frac{\partial}{\partial x} \int_{\eta}^h UB dz - \int_{\eta}^h qB dz \right) \quad (4)$$

$$\frac{\partial B\phi}{\partial t} + \frac{\partial BU\phi}{\partial x} + \frac{\partial BW\phi}{\partial z} - \frac{\partial}{\partial x} [D_x B \frac{\partial \phi}{\partial x}] - \frac{\partial}{\partial z} [D_z B \frac{\partial \phi}{\partial z}] = q_{\phi} B + S_{\phi} B \quad (5)$$

$$\rho = f(T_w, \phi_{TDS}, \phi_{ISS}) \quad (6)$$

در روابط فوق، U سرعت متوسط در عرض در جهت محور x ، W سرعت متوسط در عرض در جهت محور z ، B عرض سلول‌ها، q به عنوان جریان جانبی خالص در واحد حجم سلول، t زمان، g شتاب گرانش، α زاویه کف کانال با افق، ρ چگالی، P فشار، h تراز کف کانال، η تراز سطح آب، $B\eta$ عرض در سطح آزاد، ϕ عرض جغرافیایی محل مورد مطالعه، τ_{xx} نیروی برشی متوسط در جهت x در صفحه‌ای با بردار نرمال در جهت x ، S_{ϕ} منبع مولد یا مصرف کننده آلاینده، q_{ϕ} آهنگ ورودی و خروجی مواد در جریان‌های جانبی، τ_{xz} نیروی برشی متوسط در جهت x در صفحه‌ای با بردار نرمال در جهت z ، T_w دمای آب، D_x ضریب پخش طولی، D_z ضریب

پخش قائم، ϕ_{TDS} غلظت کل مواد جامد محلول و ϕ_{ISS} غلظت مواد معلق غیر آلی هستند. با حل معادلات فوق شش مجهول (تراز سطح آب، فشار، دانسیته، سرعت قائم، سرعت افقی و غلظت اجزا) محاسبه می‌شوند.

۲-۴-۲- آماده‌سازی مدل

۲-۴-۱-۲- هندسه مخزن، اطلاعات هواشناسی و شرایط

مرزی

با توجه به عدم ورود جریان شاخه‌های متعدد به مخزن سد دز، سیستم مورد مطالعه بصورت یک پیکره آبی تک شاخه تعریف شده است. پیکره آبی مورد مطالعه به ۶۸ بخش عمودی (سگمنت) که طول هر یک در ورودی مخزن ۱۰۰۰ متر و با نزدیک شدن به ساختگاه سد و جهت افزایش دقت در شبیه‌سازی ۲۵۰ متر انتخاب شده است؛ تقسیم می‌شود. بعد قائم مخزن نیز به ۴۷ لایه با فواصل مساوی دو متری تقسیم شده است. اطلاعات هواشناسی مخزن شامل پارامترهای دمای هوا، دمای نقطه شبنم، جهت باد، سرعت باد و پوشش ابر هستند که در این پژوهش داده‌های هواشناسی مورد استفاده به صورت سه ساعته و بر اساس اطلاعات دریافتی از ایستگاه سینوپتیک صفی‌آباد دزفول به مدل معرفی شده است. ایستگاه تله‌زنگ در فاصله ۶۰ کیلومتری سد دز و تونل آب‌گیر نیروگاه سد دز به عنوان تنها خروجی فعال در پایین دست به ترتیب به عنوان شرط‌های مرزی بالادست و پایین‌دست به مدل معرفی شده‌اند. خروجی‌های پایین دست شامل سرریز جانبی در تراز ۳۳۵ متر از سطح دریا و تونل آب‌گیر توربین نیروگاه در تراز ۲۷۵ متر از سطح دریا هستند. شرایط مرزی بالادست به وسیله دبی ورودی و دمای آب ورودی و شرایط مرزی پایین دست نیز به وسیله دبی خروجی از مخزن به مدل معرفی شده‌اند.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- تحلیل حساسیت مدل

بررسی تاثیرپذیری متغیرهای خروجی از پارامترهای یک مدل تحلیل حساسیت نامیده می‌شود (Saltelli et al 2008). به عبارت دیگر تحلیل حساسیت روشی سازمان‌یافته، برای پیش

روشن است مقادیر بزرگ‌تر شاخص حساسیت، نشان دهنده حساسیت بیشتر خروجی مدل نسبت به تغییر پارامتر مورد نظر است. همان‌گونه که در جدول فوق نشان داده شده است مدل به ترتیب بیشترین حساسیت را به پارامترهای سایه‌اندازی و ضرایب تجربی a، c و b با مقادیر ۳/۲۵، ۲/۵۸، ۲/۳۴ و ۱/۲۳ واحد نشان می‌دهد. لازم به ذکر است مقادیر اولیه و ثانویه‌ای که برای سنجش میزان حساسیت هر پارامتر در نظر گرفته شده است، ۵۰ درصد کمتر و بیشتر از پیش فرض مدل است و در مواردی که مدل مقادیر پیش فرض را لحاظ نکرده و به توصیه اکتفا کرده است؛ کمینه و بیشینه مقدار توصیه شده برای سنجش میزان حساسیت مدل مبنا قرار داده شده است.

۳-۲-۲- واسنجی مدل

تنظیم پارامترهای مدل در معادلات حاکم، برای دستیابی به یک سازگاری بهینه بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده، واسنجی نامیده می‌شود. در این پژوهش واسنجی مدل شامل تنظیم پارامترهای مدل برای شبیه‌سازی تراز سطح آب، دمای آب و کل جامدات محلول است که در ادامه به بیان موارد مذکور پرداخته می‌شود. از سوی دیگر برای مقایسه میزان خطای داده‌های مدل‌سازی شده نسبت به داده‌های مشاهداتی از میانگین قدر مطلق خطا که به اختصار AME نامیده می‌شود استفاده می‌شود.

$$AME = \frac{\sum | \text{مقدار مشاهداتی} - \text{مقدار مدل‌سازی} |}{\text{تعداد داده مشاهداتی}} \quad (۸)$$

۳-۲-۱- واسنجی و درستی‌آزمایی مدل برای تراز سطح آب

در این مرحله برای هماهنگی هرچه بهتر تراز سطح آب شبیه‌سازی شده با تراز سطح آب مشاهداتی، از ضرایب تجربی تبخیر، ضریب بادپناهی و سایه‌اندازی استفاده شده است. واسنجی تراز سطح آب با استفاده از داده‌های هیدرولوژیکی سال آبی ۱۳۸۵-۱۳۸۴ صورت پذیرفته است. در شکل (۲) تراز سطح آب در شرایط پیش و پس از واسنجی برای مقایسه با تراز سطح آب مشاهداتی نمایش داده شده است.

بینی تاثیر تغییر پارامترها بر خروجی مدل است. با توجه به تعدد پارامترهای دخیل در مدل‌سازی و زمان‌بر بودن فرایند واسنجی مدل، لازم است با تحلیل حساسیت، پارامترهای تاثیرگذار بر خروجی مدل مشخص و پارامترهای غیر موثر از گردونه واسنجی حذف شوند. برای تشخیص میزان حساسیت مدل نسبت به تغییرات یک پارامتر خاص، با ثابت نگه‌داشتن سایر پارامترها و اعمال یک نمو به پارامتر مربوطه، متوسط قدر مطلق تغییرات دمای آب در یک مقطع عرضی محاسبه شده است. در این پژوهش از رابطه زیر برای تعیین میزان حساسیت پارامترها استفاده شده است:

$$S = \frac{\sum_{i=1}^n |t_i^1 - t_i^2|}{n} \quad (۷)$$

در این رابطه S بیان‌گر شاخص حساسیت، n تعداد لایه‌های فعال مقطع عرضی، t_i^1 دمای آب در لایه i به ازای مقدار اولیه یک پارامتر خاص و t_i^2 دمای آب در همان لایه به ازای مقدار ثانویه همان پارامتر در شرایطی که سایر پارامترها ثابت بمانند؛ هستند (Zakermoshfegh 2008). با توجه به لزوم اجراهای متوالی برای تحلیل حساسیت و به دلیل صرفه‌جویی در زمان، روزهای وسط هر ماه در بازه یکساله شبیه‌سازی، به منظور تحلیل حساسیت انتخاب شده‌اند و مقادیر دمای آب در مقطع شماره ۶۷ مبنای تحلیل حساسیت است. در ادامه و در جدول (۱) میزان حساسیت مدل نسبت به ضرایب موثر بر کالیبراسیون ارایه شده است.

جدول ۱. نتایج تحلیل حساسیت مدل نسبت به پارامترها

Parameter	Model default	Model offer	Primary value	Secondary value	Sensitivity
Shade	-	0-1	0	1	3.25
a	9.2	-	4.6	14	2.58
c	2	-	1	3	2.34
b	0.46	-	0.23	0.92	1.23
WSC	-	0.5-1	0.5	1	0.54
TSED	10 °C	-	5	15	0.41
BETA	0.45	0.24-0.7	0.24	0.7	0.35
CBHE	0.3 W/m ² °C	0-1	0.1	0.9	0.23
Chezy	70 m ² /sec	-	40	100	0.15
AX	1 m ² /sec	-	0.1	10	0.01
DX	1 m ² /sec	-	0.1	10	0.01

Table 1-Results of the model sensitivity analysis

شکل ۲. مقایسه تراز سطح آب مشاهداتی و مدل سازی شده پیش و پس از واسنجی

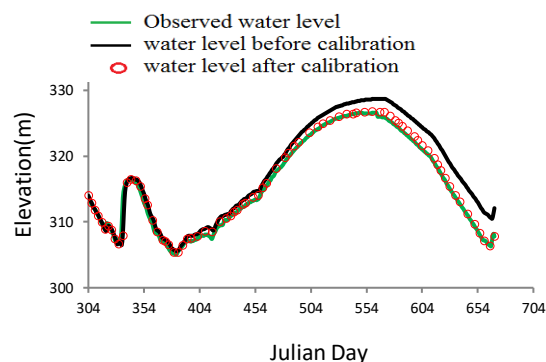


Fig. 2- Comparison of observed and simulated water surface elevation before and after calibration

بر اساس نتایج واسنجی مدل، میانگین قدرمطلق خطای محاسبه شده تراز سطح آب پیش از واسنجی ۱/۷۹ متر و پس از واسنجی ۰/۰۹ متر است. کاهش خطای تراز سطح آب به ۹ سانتی متر در سد دز که در محدوده نزدیک به بدنه دارای عمق ۹۰ متری است حاکی از عملکرد مناسب مدل در شبیه سازی تراز سطح آب می باشد. در ادامه و در راستای اطمینان از درستی عملکرد مدل در شبیه سازی تراز سطح آب، لازم است شرایطی متفاوت از شرایط هیدرولوژیکی زمان واسنجی تعریف شود. در همین راستا از داده های هیدرولوژیکی سال آبی ۱۳۹۳-۱۳۹۴ برای درستی آزمایی تراز سطح آب استفاده شده است که شکل (۳) بیانگر مقایسه تراز سطح آب مشاهداتی با تراز سطح آب شبیه سازی شده در دوره درستی آزمایی سنجی است.

شکل ۳. درستی آزمایی مدل در شبیه سازی تراز سطح آب در مخزن سد دز

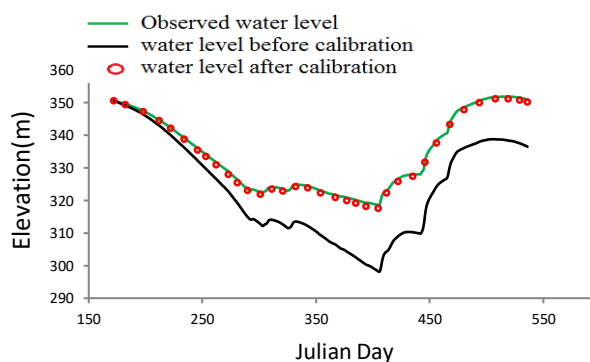


Fig. 3-Model verification for water surface simulation

مقدار میانگین قدرمطلق خطا در شبیه سازی تراز سطح آب در نمودار فوق ۰/۱۱ متر می باشد که بیانگر وجود اختلاف ۱۱ سانتی متری تراز سطح آب شبیه سازی شده با تراز سطح آب مشاهداتی است. این مقدار اختلاف در مرحله درستی آزمایی بیانگر عملکرد مناسب مدل در شبیه سازی تراز سطح آب در شرایط هیدرولوژیکی مختلف است.

۳-۲-۲- واسنجی مدل در شبیه سازی دمای آب

در این مقاله برای واسنجی مدل در شبیه سازی پروفیل های حرارتی مخزن، با استفاده از نتایج بخش تحلیل حساسیت و تعیین درجه تاثیرگذاری هر یک از پارامترها، مقدار نهایی پارامترهای موثر بر واسنجی تعیین می شود. بدین منظور در تعیین مقدار نهایی پارامترهای موثر، ابتدا با استفاده از پارامترهای با تاثیرگذاری بیشتر، به واسنجی مدل پرداخته شده و سپس با نزدیک شدن پروفیل های شبیه سازی به پروفیل های مشاهداتی، از پارامترهای با درجه تاثیرگذاری کمتر کمک گرفته و بر دقت شبیه سازی افزوده می شود. در جدول (۲) مقادیر نهایی هر یک از پارامترهای موثر بر واسنجی دما نشان داده شده است.

جدول ۲. مقدار نهایی پارامترهای موثر مدل

Parameter	Definition	final value
A_x	Longitudinal eddy viscosity	1
D_x	Longitudinal eddy diffusivity	1
WSC	Wind-sheltering coefficient	0.9
SHD	Shading factor	0.7
TSED	Sediment temperature	14
CBHE	Coefficient of bottom heat exchange	0.5
BETA	Solar radiation absorbed in surface layer	0.65
FRICC	Bottom friction solution	70
a	Experimental coefficient of evaporation in wind function	4.6
b	Experimental coefficient of evaporation in wind function	0.23
c	Experimental coefficient of evaporation in wind function	1.6

Table 2- The final values of the effective parameters

پس از تعیین مقدار نهایی هر یک از پارامترهای موثر بر واسنجی، برای سنجش میزان خطای مدل، پروفیل های حرارتی شبیه سازی شده با داده های مشاهداتی مقایسه می شوند. شکل

شکل ۵- مقایسه پروفیل‌های مواد جامد محلول شبیه‌سازی شده با داده‌های مشاهداتی

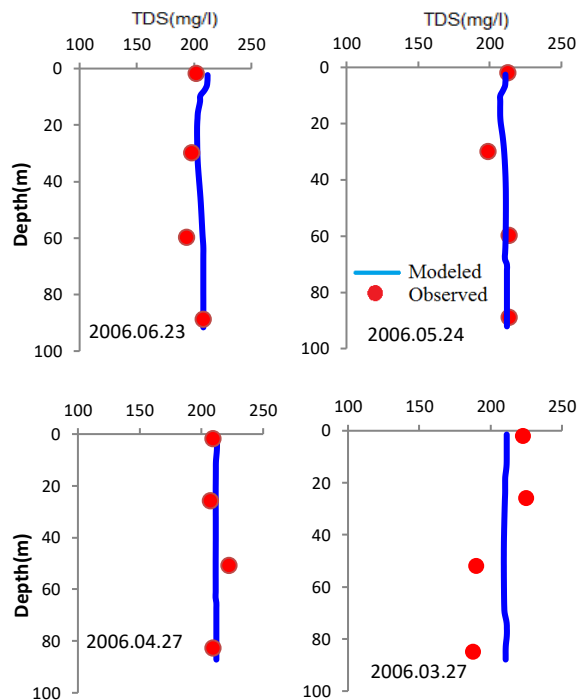


Fig. 5- Comparison of simulated vs observed TDS profiles

متوسط خطای مطلق محاسبه‌شده که بیان‌گر اختلاف غلظت مواد جامد محلول در مرحله شبیه‌سازی نسبت به داده‌های مشاهداتی می‌باشد، ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر بدست آمده است. این مقدار اختلاف در شبیه‌سازی مواد جامد محلول، حاکی از عملکرد مناسب مدل در شبیه‌سازی غلظت مواد جامد محلول در مخزن سد دز می‌باشد.

۳-۲-۴- تاثیر همزمان آب‌گیر نیروگاه و طرح غدیر بر لایه‌بندی حرارتی

آب‌گیر نیروگاه سد دز در تراز ۲۷۵ متری از سطح دریا با ظرفیت انتقال ۴۸۰ مترمکعب بر ثانیه در فاصله ۹۵ متری از بدنه سد قرار دارد (مهاب قدس، ۱۳۹۱). متوسط دبی خروجی از آب‌گیر نیروگاه بیش از ۱۵۰ متر مکعب بر ثانیه می‌باشد که این مقدار، حدود شش برابر دبی طرح انتقال آب غدیر با خروجی ۲۴ مترمکعب بر ثانیه است. از این رو با هم افزایی دبی نیروگاه و دبی آب‌گیر غدیر به بررسی تاثیر این آب‌گیری بر رژیم حرارتی مخزن سد دز می‌پردازیم.

(۴) بیان‌گر مقایسه پروفیل‌های حرارتی شبیه‌سازی شده با داده‌های مشاهداتی در بازه زمانی چهار ماه نخست سال ۱۳۸۵ است.

شکل ۴. مقایسه پروفیل‌های حرارتی شبیه‌سازی شده با داده‌های مشاهداتی

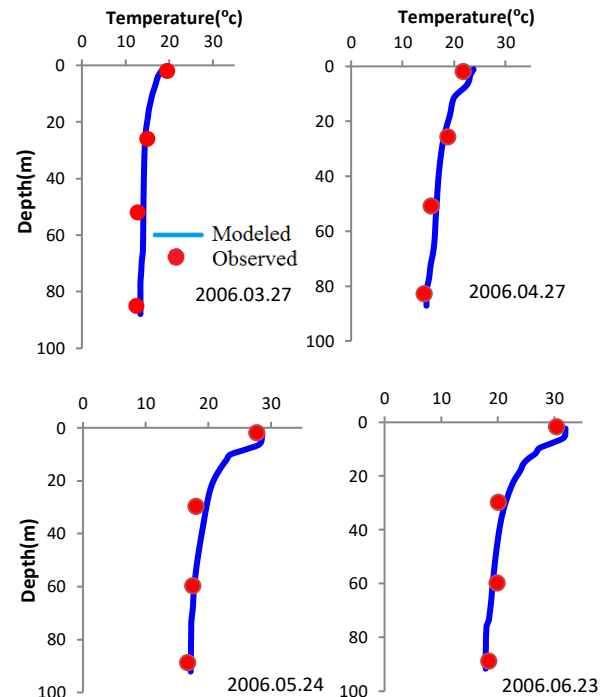


Fig. 4- Comparison of simulated vs observed thermal profiles

میانگین قدرمطلق خطای داده‌های شبیه‌سازی شده نسبت به داده‌های مشاهداتی ۰,۷۹ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. از طرفی در راهنمای مدل، گزارشی از متوسط قدرمطلق خطا (AME) محاسبه شده برای ۷۰ مخزن در شرایط آب و هوایی متفاوت ارائه شده است که محدوده میانگین خطای مطلق برای مخازن مذکور ۰,۳ تا ۰,۹ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (Cole and Wells 2002). از این رو متوسط خطای مطلق بدست آمده حاکی از عملکرد مناسب مدل در شبیه‌سازی دمای آب مخزن می‌باشد.

۳-۲-۳- شبیه‌سازی کل جامدات محلول

دقت در شبیه‌سازی کل مواد جامد محلول وابسته به واسنجی دما می‌باشد. از این رو در شکل (۵) بدون تغییر ضرایب استفاده شده در واسنجی دما، پروفیل‌های مواد جامد محلول شبیه‌سازی شده نمایش داده می‌شوند.

۳-۳- تاثیر آبگیر غدیر بر تغییرات تراز سطح آب پیش از افزایش ارتفاع سد (سال ۱۳۹۳)

در این بخش با در نظر گرفتن آبگیر طرح غدیر و خارج نمودن دبی طرح -۲۴ مترمکعب بر ثانیه- از مخزن سد دز به بررسی تغییرات تراز سطح آب پرداخته شده است. شکل (۷) بیانگر میزان تاثیر آبگیر غدیر بر تغییرات تراز سطح آب در شرایط هیدرولوژیکی سال آبی ۱۳۹۳-۹۴ می باشد. سال آبی مذکور میانگینی از شرایط هیدرولوژیکی سالهای آبی ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۲ می باشد. لازم به ذکر است که حداکثر و حداقل تراز بهره برداری در مخزن سد دز به ترتیب ۳۵۲ و ۳۰۰ متر نسبت به سطح دریا است.

شکل ۷- تغییرات تراز سطح آب پس از آبگیری از طرح غدیر (سال ۱۳۹۳)

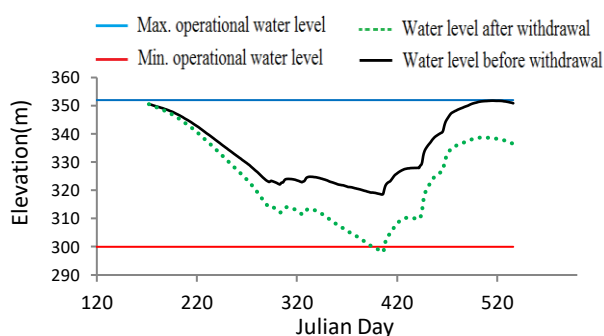


Fig. 7- Water surface changes after withdrawal (year 2014)

همان گونه که در شکل (۷) مشاهده می شود با خارج نمودن دبی طرح غدیر از مخزن سد دز، تراز سطح آب کاهش چشم گیری داشته و در روزهای ۳۹۷ تا ۴۰۷ روز میلادی (۱۳ بهمن تا ۲۳ بهمن ماه)، تراز سطح آب پایین تر از حداقل تراز بهره برداری -۳۰۰ متر از سطح دریا- قرار می گیرد. با توجه به شکل فوق، میانگین کاهش تراز سطح آب ناشی از آبگیر غدیر در سال آبی ۱۳۹۳-۹۴ حدود ۱۰,۶۸ متر و همچنین حداکثر کاهش تراز سطح آب متعلق به روزهای ۴۰۰ تا ۴۱۰ روز میلادی (۱۶ بهمن تا ۲۶ بهمن ماه) با کاهش حدود ۲۰ متری نسبت به حالت پیش از آبگیری از طرح غدیر می باشد. همان گونه که پیش تر بیان گردید در روزهای ۱۳ بهمن تا ۲۳ بهمن ماه، تراز سطح آب پایین تر از حداقل تراز بهره برداری است از این رو جهت افزایش تراز سطح آب به حداقل تراز

با توجه به هندسه تعریف شده، آبگیر نیروگاه سد دز در بخش عمودی (سگمنت) ۶۸ و لایه های ۳۴، ۳۵، ۳۶ و آبگیر طرح غدیر در همان بخش عمودی ۶۸ و در لایه های ۱۶ و ۱۷ قرار می گیرد. در ادامه با مقایسه پروفیل های دما در شرایط آب گیری هم زمان و عدم آبگیری از نیروگاه و طرح غدیر، میزان اثرگذاری آبگیری بر پروفیل های دما مشخص می گردد. در شکل ۶، پروفیل های دما، تحت دو سناریوی آبگیری و عدم آبگیری برای روزهای ۲۱۹، ۳۱۱، ۴۰۱ و ۴۹۱ میلادی که به ترتیب معادل نیمه های مرداد، آبان، بهمن و اردیبهشت ماه ۱۳۹۳ می باشند؛ ترسیم شده اند. لازم به ذکر است که در سناریوی آبگیری از آبگیر نیروگاه، دبی خروجی در روزهای مذکور به ترتیب ۲۰۴، ۱۱۶، ۱۳۳ و ۱۶۴ مترمکعب بر ثانیه می باشد که دبی طرح غدیر با ۲۵ مترمکعب بر ثانیه نیز هم زمان لحاظ شده است.

شکل ۶- مقایسه پروفیل های حرارتی شبیه سازی شده در شرایط آبگیری و عدم آبگیری از نیروگاه و طرح غدیر

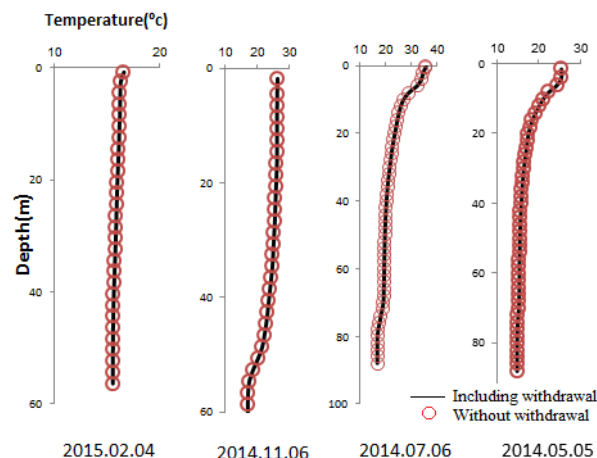


Fig. 6- Comparison of simulated thermal profiles with and without withdrawals of Powerhouse and Ghadir project

همان گونه که در شکل بالا نشان داده شده است، آبگیری از آبگیرهای نیروگاه و غدیر تاثیری بر پروفیل های حرارتی نخواهد داشت و علت این رخداد عدم توانایی غلبه نیروهای برشی ناشی از آبگیرها بر نیروهای شناوری ناشی از اختلاف چگالی آب در لایه های مختلف است.

بهره برداری از طرح غدیر موجب کاهش قابل توجه تراز سطح آب به تراز پایین تر از حداقل تراز بهره برداری می گردد. به عبارت دیگر برداشت دبی طرح به میزان ۲۴ مترمکعب بر ثانیه از مخزن سد دز در دوره کم آبی، سبب می شود که در بازه زمانی روزهای مدل سازی ۲۸۶ تا ۴۱۵ (۲۰ مهرماه تا ۳۰ بهمن ماه) تراز سطح آب به تراز پایین تر از حداقل تراز بهره برداری کاهش یابد. این رخداد سبب اجبار به عدم آب گیری از آب گیر به مدت ۱۳۰ روز خواهد شد. حال با اعمال کاهش آورد ۹٫۲ درصدی به مخزن، کاهش تراز سطح آب بیش از پیش گشته و جهت حفظ حداقل تراز بهره برداری، عملاً آب گیری از آب گیر غدیر متفی می گردد. شکل (۹) بیان گر کاهش تراز سطح آب ناشی از کاهش آورد و آب گیری از آب گیر غدیر می باشد.

شکل ۹. تغییرات تراز سطح آب پس از آب گیری و کاهش آورد در دوره کم آبی

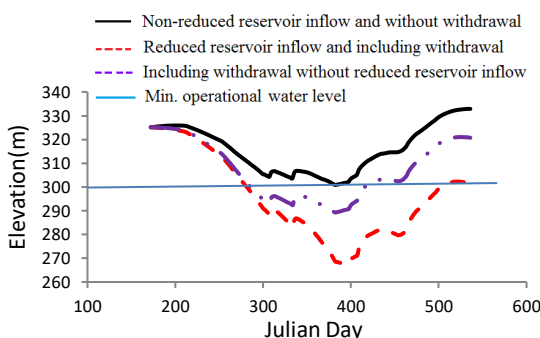


Fig. 9- Water surface changes after withdrawal and reduced inflow in dry period

با توجه به شکل فوق، میانگین کاهش تراز سطح آب ناشی از آب گیر غدیر همراه با کاهش آورد در دوره کم آبی حدود ۲۰/۴۲ متر می باشد به شکلی که تراز سطح آب به مدت ۲۲۱ روز پایین تر از حداقل تراز سطح آب قرار می گیرد. پس نخستین گام برای حفظ حداقل تراز سطح آب، متوقف نمودن آب گیری از آب گیر غدیر در مدت مذکور است.

۳-۵- تغییرات تراز سطح آب پیش از افزایش ارتفاع، کاهش آورد و آب گیری از طرح غدیر (دوره پر آبی)

با بررسی شرایط هیدرولوژیکی ۵۰ ساله منتهی به سال آبی ۱۳۹۳-۹۴ مخزن سد دز، سال آبی ۷۲-۷۳ با میانگین دبی

بهره برداری، نیاز به اصلاح الگوی آبگیری است. پس از آزمون های مختلف مشخص گردید که اگر از روز ۳۷۰ تا ۴۰۷ مدل سازی (۲۰ دی تا ۲۳ بهمن ماه) خروجی آب گیر غدیر از ۲۵ به ۱۲ مترمکعب بر ثانیه تقلیل داده شود؛ تراز سطح آب مخزن همواره بالاتر از حداقل تراز بهره برداری خواهد بود و این مشکل بهره برداری مرتفع می گردد.

۳-۴- تغییرات تراز سطح آب پیش از افزایش ارتفاع، با کاهش آورد و آب گیری از طرح غدیر (دوره کم آبی)

با بررسی شرایط هیدرولوژیکی و محاسبه میزان آورد مخزن سد دز در یک دوره ۵۰ ساله منتهی به سال آبی ۹۴-۱۳۹۳، سال آبی ۸۸-۱۳۸۷ با میانگین حجم ورودی ۸۸٫۹۴ متر مکعب بر ثانیه به عنوان کم آب ترین سال آبی شناخته شده است. پیش از بررسی تغییرات تراز سطح آب ناشی از کاهش آورد و آب گیری از آب گیر غدیر در دوره کم آبی (سال آبی ۸۸-۱۳۸۷) ابتدا تغییرات تراز سطح آب ناشی از آب گیر غدیر ترسیم می شود. علت این امر بیان شرایط، جهت جلوگیری از کاهش تراز سطح آب به تراز پایین تر از حداقل تراز بهره برداری می باشد. شکل (۸) بیان گر تغییرات تراز سطح آب در شرایط مختلف آب گیری در دوره کم آبی می باشد.

شکل ۸- تغییرات تراز سطح آب پس از آب گیری از طرح غدیر در دوره کم آبی

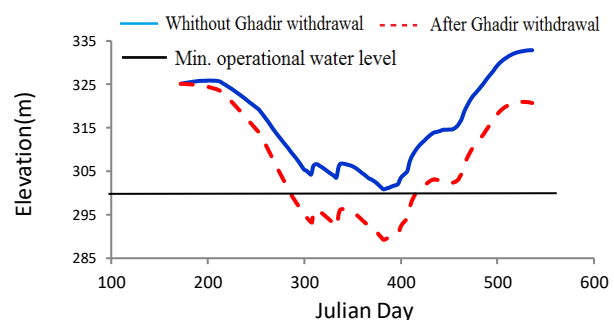


Fig. 8- Water surface changes after withdrawing in drought period

همان گونه که در شکل (۸) نشان داده شده است، تراز سطح آب در دوره کم آبی در شرایط عدم آب گیری از طرح غدیر، همواره بالاتر از حداقل تراز بهره برداری قرار دارد. اما

شکل ۱۱. تغییرات تراز سطح آب پس از افزایش ارتفاع، آب‌گیری و کاهش‌آورد در دوره کم‌آبی

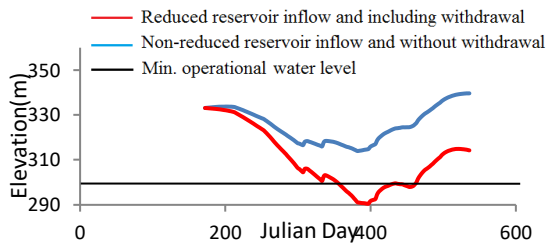


Fig. 11. Water surface changes after heightening, withdrawal and reduced inflow in dry period

با توجه به شکل فوق، میانگین کاهش تراز سطح آب پس از افزایش ارتفاع سد و همچنین کاهش‌آورد و آب‌گیری از آب‌گیر غدیر در دوره کم‌آبی، حدود ۱۵/۶۳ متر است و تراز سطح آب به مدت ۱۰۹ روز در بازه ۳۵۵ تا ۴۶۳ روز میلادی (۱ دی‌ماه تا ۱۷ فروردین ماه) پایین‌تر از حداقل تراز بهره‌برداری قرار دارد. بنابراین برای حفظ حداقل تراز بهره‌برداری، برداشت دبی طرح از مخزن در بازه‌ای از سال متوقف می‌شود که نسبت به "عدم افزایش ارتفاع، آب‌گیری و کاهش‌آورد در دوره کم‌آبی" بهبود حدود ۵۰ درصدی مشاهده می‌شود بدین معنا که تعداد روزهایی که تراز سطح آب پایین‌تر از حداقل تراز بهره‌برداری قرار می‌گیرد از ۲۲۱ روز به ۱۰۹ روز کاهش می‌یابد.

۳-۷- تغییرات تراز سطح آب پس از افزایش ارتفاع، با کاهش‌آورد و آب‌گیری از طرح غدیر (دوره پرآبی)

تغییرات تراز سطح آب هم‌زمان با کاهش‌آورد به مخزن و آب‌گیری در دوره پرآبی پس از افزایش ارتفاع سد در شکل (۱۲) نشان داده شده است.

شکل ۱۲. تغییرات تراز سطح آب پس از افزایش ارتفاع، آب‌گیری و کاهش‌آورد در دوره پرآبی

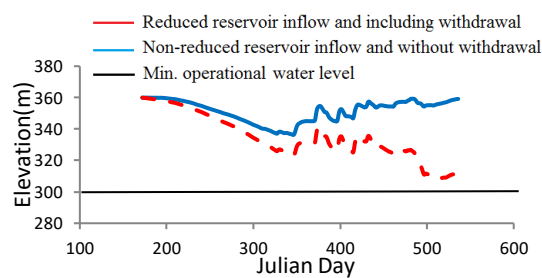


Fig. 12. Water surface changes after heightening, withdrawal and reduced inflow in wet period

ورودی ۴۹۲/۰۷ مترمکعب بر ثانیه به عنوان پرآب‌ترین سال آبی شناخته شده است. در شکل (۱۰) با اعمال کاهش‌آورد و آب‌گیری از آب‌گیر غدیر، تغییرات تراز سطح آب نشان داده می‌شود.

شکل ۱۰. تغییرات تراز سطح آب پس از آب‌گیری و کاهش‌آورد در دوره پرآبی

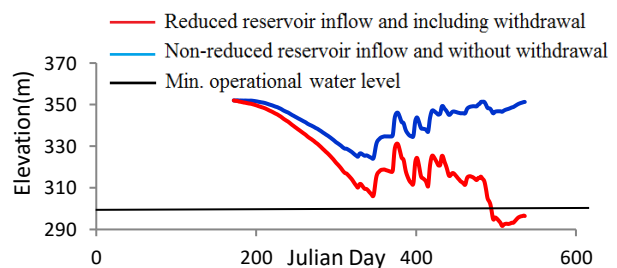


Fig. 10. Water surface changes after withdrawal and reduced inflow in wet period

همان‌گونه که در شکل (۱۰) نشان داده شده است با کاهش‌آورد و آب‌گیری از آب‌گیر غدیر در دوره پرآبی، میانگین کاهش تراز سطح آب حدود ۱۹/۸۷ متر است اما بدلیل بالا بودن تراز سطح آب در این دوره، تراز سطح آب در ۳۲۳ روز از سال آبی بالاتر از حداقل تراز بهره‌برداری قرار گرفته و تنها در مدت ۴۲ روز از سال آبی، تراز سطح آب پایین‌تر از حداقل تراز بهره‌برداری قرار می‌گیرد. از این‌رو با کاهش دبی برداشتی به دبی کمتر از دبی طرح و یا آزادسازی دبی بیشتر از بالادست (در شرایطی که کاهش ۹/۲ درصدی آورد ناشی از طرح‌های توسعه بالادست فرض شده است)، می‌توان تراز سطح آب را در تراز بالاتر از حداقل تراز بهره‌برداری حفظ نمود. پس با کاهش‌آورد و آب‌گیری از آب‌گیر غدیر در زمان پرآبی، احساس نیاز به افزایش ارتفاع کمتر احساس می‌شود.

۳-۶- تغییرات تراز سطح آب پس از افزایش ارتفاع، کاهش‌آورد و آب‌گیری (دوره کم‌آبی)

شکل (۱۱) تغییرات تراز سطح آب تحت تاثیر کاهش‌آورد و آب‌گیری از آب‌گیر غدیر پس از افزایش ارتفاع را نشان می‌دهد.

با توجه به شکل (۱۲) تراز سطح آب همواره در تراز بالاتر از حداقل تراز بهره‌برداری قرار داشته و تامین دبی طرح و نیاز آبی پایین‌دست بدون مشکل میسر می‌شود. پس از حیث حفظ حداقل تراز بهره‌برداری افزایش ارتفاع سبب بهبود حداکثری-بالاتر بودن تراز سطح آب از حداقل تراز بهره‌برداری در کل سال آبی- نسبت به حالت عدم افزایش ارتفاع می‌شود بدین معنا که تعداد روزهایی که تراز سطح آب پایین‌تر از حداقل تراز بهره‌برداری قرار می‌گیرد از ۴۲ روز در شرایط "عدم افزایش ارتفاع، آب‌گیری و کاهش آورد در دوره پرآبی" به صفر روز در شرایط "افزایش ارتفاع، آب‌گیری و کاهش آورد در دوره پرآبی" کاهش می‌یابد. از طرفی با توجه به شکل بالا، کاهش آورد ورودی و آب‌گیری از آب‌گیر غدیر در دوره پرآبی منجر به متوسط کاهش ۱۷/۱۱ متری تراز سطح آب نسبت به حالت افزایش ارتفاع، عدم کاهش آورد ورودی و عدم آب‌گیری می‌شود که در قیاس با شرایط عدم افزایش ارتفاع، کاهش آورد و آب‌گیری از طرح غدیر شکل (۱۰)، ۲/۷۶ متر تقلیل در میانگین کاهش تراز سطح آب مشاهده می‌شود.

۴- خلاصه و جمع‌بندی

در این پژوهش با تحلیل حساسیت مدل مشخص شد که مدل بیشترین حساسیت را به ترتیب به پارامترهای سایه‌اندازی و ضرایب تجربی a ، c و b با مقادیر ۳/۲۵، ۲/۵۸ و ۲/۳۴ و ۱/۲۳ واحد نشان می‌دهد. پس از تحلیل حساسیت به واسنجی مدل نسبت به تراز سطح آب، دما و کل جامدات محلول پرداخته شد. بر اساس نتایج واسنجی مدل، میانگین قدر مطلق خطای محاسبه شده تراز سطح آب، دما و غلظت مواد جامد محلول پس از واسنجی به ترتیب ۹ سانتی‌متر، ۰٫۷۹ درجه سانتی‌گراد و ۱۵ میلی‌گرم برلیتر است. از سوی دیگر با بررسی تاثیر آب‌گیری از آب‌گیرهای نیروگاه و طرح غدیر بر لایه‌بندی حرارتی مشاهده شد که به دلیل عدم توانایی غلبه نیروهای برشی بر نیروهای شناوری، پروفیل‌های حرارتی تغییر محسوسی را تجربه نمی‌کنند.

همچنین با بررسی میزان تاثیر آب‌گیر غدیر و کاهش آورد ورودی به مخزن سد دز بر کاهش تراز سطح آب در شرایط هیدرولوژیکی مختلف، تاثیر مثبت اجرای طرح افزایش ارتفاع سد دز برای تقلیل آثار سوء انتقال آب و امکان بهره‌برداری مستمر از مخزن سد، نمایان شد. به‌گونه‌ای که در شرایط هیدرولوژیکی سال ۹۴-۱۳۹۳ که میانگینی از شرایط هیدرولوژیکی ده ساله (سال‌های ۱۳۹۲-۱۳۸۳) است، کاهش آورد ورودی و آب‌گیری از آب‌گیر غدیر به‌ترتیب به‌طور میانگین موجب کاهش حدود ۱۰/۶۷ متری و ۷/۸ متری تراز سطح آب می‌شوند. با مقایسه تراز سطح آب در شرایط افزایش و عدم افزایش ارتفاع سد دز در دوره‌های کم‌آبی و پرآبی، به ترتیب بهبود حدود ۵۰ درصدی-کاهش تعداد روزهایی که تراز پایین‌تر از حداقل تراز بهره‌برداری است از ۲۲۱ روز به ۱۰۹ روز و بهبود حداکثری کاهش تعداد روزهایی که تراز پایین‌تر از حداقل تراز بهره‌برداری است از ۴۲ روز به صفر روز در حفظ حداقل تراز بهره‌برداری در شرایط افزایش ارتفاع نسبت به عدم افزایش ارتفاع مشاهده می‌شود. پس در صورت عدم اجرای طرح افزایش ارتفاع سد دز، آب‌گیری از طرح غدیر برای تامین آب شرب بخش‌هایی از استان خوزستان با چالش جدی مواجه خواهد شد.

References

۵- مراجع

- [1] Huang, Z., and Wang, L. 2018 Yangtze dams increasingly threaten the survival of the Chinese sturgeon. *Current Biology*, 28(22), 3640-3647.
- [2] Phillips, G. A., Lyche-Solheim, B., Skjelbred, U., Mischke, S., Drakare, G., Free M., Järvinen, C. D., Hoyos, G., Morabito, and S. Poikane. 2013 A phytoplankton trophic index to assess the status of lakes for the water framework directive. *Hydrobiologia*, 704 (1), 75-95.
- [3] Guidelines for water quality. 2011 studies of large dam reservoirs, 313(A). (In Persian).
- [4] Zheng, T., Sun, S., Liu, H., Xia, Q., and Zong, Q. 2017 Optimal control of reservoir release temperature through selective withdrawal intake at hydropower dam. *Water Supply*, 17(1), 279-299.
- [5] Gelda RK., King AT., Effler SW., Schweitzer SA, Cowen EA. 2015 Testing and application of a two-dimensional hydrothermal/transport model for a long, deep, and narrow lake with moderate Burger number. *Inland Waters*, 5(4), 387-402.

- [20] Ghoreishvandi A., anjamrooz B. 2014 Investigating the impact and function of the defective defense in the Ghadir water supply project .2nd International Congress on Structure, Architecture and Urban Development, Tabriz, Iran (In Persian).
- [21] Saltelli, A., Ratto, M., Andres, T., Campolongo, F., Cariboni, J., Gatelli, D. Saisana, M., and Tarantola, S. 2008 Global Sensitivity Analysis. *The Primer*, John Wiley & Sons (book).
- [22] Cole TM., Wells SA. 2002 CE-QUAL-W2 a two dimensional, laterally averaged, hydrodynamic and water quality model, version 3.0. Instruction Report EL-2000. *US Army Engineering and Research Development Center, Vicksburg*.
- [6] Cole TM., Wells SA. 2015 CE-QUAL-W2 a two dimensional, laterally averaged, hydrodynamic and water quality model, version 3.72. *Department of Civil and Environmental Engineering, Portland State University, Portland, OR*.
- [7] Ma J., Liu D., Wells SA., Tang H., Ji D., Yang Z. 2015 Modeling density currents in a typical tributary of the Three Gorges reservoir, China. *Ecological Modelling*, 296(Supplement C), 113-125.
- [8] Dai L., Dai H., Jiang D. 2012 Temporal and spatial variation of thermal structure in Three Gorges reservoir: a simulation approach. *Food, Agriculture and Environment*, 10(2), 1174-1178.
- [9] Gelda RK., Effler SW. 2007 Simulation of operations and water quality performance of reservoir multilevel intake configurations. *Water Resources Planning and Management*, 133(1), 78-81.
- [10] Rheinheimer DE, Null S.E, Lund JR 2015 Optimizing selective withdrawal from reservoirs to manage downstream temperatures with climate warming. *Water Resources Planning and Management*, 141(4), 595-608.
- [11] Zouabi-Aloui B., Adelana SM., Gueddari M. 2015 Effects of selective withdrawal on hydrodynamics and water quality of a thermally stratified reservoir in the southern side of the Mediterranean Sea: a simulation approach. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187(5), 292-304.
- [12] Norton GE, Bradford A. 2009 Comparison of two stream temperature models and evaluation of potential management alternatives for the Speed River, Southern Ontario. *Environmental Management*, 90(2), 866-878.
- [13] Meghan K., Carr, Amir Sadeghian, Karl-Erich Lindenschmidt, Karsten Rinke, and Luis Morales-Marin 2020 Impacts of Varying Dam Outflow Elevations on Water Temperature, Dissolved Oxygen, and Nutrient Distributions in a Large Prairie Reservoir. *Environmenaal Engineering Science*, 37(1), 78-97.
- [14] Firoozi F., Roozbahani A., Massah Bavani A. 2017 Evaluation of climate change effects on thermal stratification of Latian reservoir. *Water Resources Research*, 13(3), 345-351. (In Persian)
- [15] Zakermoshfegh M. 2008 Numerical modeling of water quality in the reservoir of Sefidrud Dam. *Water research institute, ministry of energy* (In Persian).
- [16] Jabbari E., Chavoshian A., Boroumand A., Masoumi F. 2016 A new approach to selecting optimum locations of sampling stations in Karkheh dam reservoir using CE-QUAL-W2 model. *Modares Civil Engineering*, 15(4), 171-178 (In Persian).
- [17] Saadatpour M. 2016 Study of environmental performance criteria in Karkheh reservoir using enhanced model of CE-QUAL-W2 (V3.72). *Water Resources Research*, 12(3), 50-64 (In Persian).
- [18] The Dez dam heightening project, 2011 *behan sad Consulting Engineers* (In Persian).
- [19] Mahab Ghodss Consulting Engineering Co. 2012 Feasibility studies for design of the Dez dam new bottom outlet structures. *Environmental Studies Report* (In Persian).

Investigating the effect of Dez dam heightening and Ghadir projects on the reservoir thermal regime and water level variations

Mohammad Khorramabadi¹, Mohammad Zakermoshfegh^{2*}, Saeed Raufi Nasab³

1. MSc Student of Water and Hydraulic Structures, Jundi-shapur University of Technology, Dezful, Iran.
2. Assistant Professor, Department of Water Engineering, Jundi-shapur University of Technology, Dezful, Iran.
3. Managing Director of Dez Dam and Hydroelectric Power Plant Operation and Generation Company, Iran.

*moshfegh@jsu.ac.ir

Abstract

The Dez dam, with a volume of 3.3 billion cubic meters and 203 meters height, was built with the aim of generating hydropower, flood control and meeting agricultural demands. With the loss of about 700 million cubic meters of dam reservoir capacity due to sedimentation and approaching the level of sediments to the power plant intake, as well as increasing downstream water demand and reducing the reservoir inflow due to the upstream development projects, the optimal operation of the Dez Dam has faced problems. In order to overcome these problems, a plan to increase the height of the dam has been proposed. On the other hand, the Ghadir water supply project with design discharge of 24 cms for transferring water from the dam reservoir to some cities of Khuzestan province is underway. So far, the effects of these projects on the water level variations and thermal regime changes in the dam reservoir have not been studied.

In this paper, first by using the two-dimensional CE-QUAL-W2 hydrodynamics and water quality model, the sensitivity analysis, model calibration and confirmation for simulation of water level, thermal profile and total dissolved solids was performed. Then, the effect of Ghadir project in the thermal regime as well as water level changes in the wet and dry conditions, before and after dam heightening while reducing and not reducing the reservoir inflow has been studied.

By performing model sensitivity analysis, it was found that the model showed the highest sensitivity respectively to the shading parameter and empirical coefficients a, c and b with the sensitivity index values of 3.25, 2.58, 2.34 and 1.23, respectively. After the sensitivity analysis, the model was calibrated for water level, temperature and total dissolved solids. The results showed that the calibration mean absolute error of water level, temperature and TDS was 9 cm, 0.79 °C and 15 mg/l, respectively. On the other hand, by examining the effect of power plant and Ghadir project on thermal stratification, it was observed that the thermal profiles do not experience a significant change due to the inability of the shear forces to overcome the buoyant forces. Also, by evaluating the effect of Ghadir project while reducing the reservoir inflow on the water level in different hydrological conditions, the positive effect of implementing the Dez Dam heightening plan to reduce the effects of water transfer and the possibility of continuous operation of the dam reservoir, Appeared. In this regard, in the hydrological conditions of 2014, which is an average of the hydrological conditions, the decrease in reservoir inflow and operation of the Ghadir project, leads to decrease in the water level of 10.68 meters and 7.8 meters, respectively. By comparing the water level in the conditions of increasing and not increasing the height of Dez Dam in dry and wet periods, improvement of about 50% and maximum improvement, respectively, in maintaining the minimum operational water level in the conditions of increasing the dam height can be seen. Therefore, in case of non-implementation of the Dez Dam heightening project, operation of Ghadir project to supply drinking water to parts of Khuzestan province will face a serious challenge.

Keywords: Sensitivity analysis, Thermal stratification, Ghadir intake, Dez dam heightening, CE-Qual-W2