



Study of Environmental Performance Criteria in Karkheh Reservoir Using Enhanced Model of CE-QUAL-W2 (V3.72)

M. Saadatpour ^{1*} and A. Heravi ²

Abstract

Nowadays, water quality simulation models help the experts to evaluate future potential scenarios according to extensive variety of conditions. The enhanced version of CE-QUAL-W2 (V3.72) as a 2D hydrodynamic and water quality model can help managers to find potential optimal solutions for downstream water temperature managements, determination of suitable aquatic habitat volume, and evaluation of environmental performance criteria according to various reservoir operation scenarios. Karkheh reservoir has been selected as the case for this research and providing suitable water temperature in March to May as downstream fish spawning months through the automatic selection of withdrawal port, surveying the habitat volume of biological valuable river fishes (*Glyptothorax Silviae* and *Leuciscus cephalus*), and evaluation of the environmental performance criteria (temperature and water quality parameters) have been studied according to various reservoir operation scenarios. Also the effects of probable pisciculture activity in Karkheh reservoir have been studied considering Phosphorus and *Chla* indices. The results showed that adjusting the automatic selection of withdraw ports in Karkheh reservoir could improve downstream water temperature for 0.86 °C. Also the evaluation of environmental performance criteria indicated high priority of scenario 1 compared to other scenarios.

Keywords CE-QUAL-W2, Environmental performance, Karkheh Reservoir, Reservoir Operation, Selective Withdraw, Water Quality Management.

Received: May 12, 2016

Accepted: July 27, 2016

بررسی عملکردهای زیستی مخزن کرخه با استفاده از مدل ارتقاء یافته هیدرودینامیک و کیفیت آب-CE-QUAL-W2 (V3.72)

مطهره سعادت‌پور^{۱*} و آفرین هروی^۲

چکیده

امروزه مدل‌های شبیه‌سازی کیفی امکان ارزیابی گستره‌ای متنوع از سناریوهای بالقوه در آینده را برای متخصصین منابع آب فراهم می‌نمایند. مدل دو بعدی هیدرودینامیک و کیفیت آب CE-QUAL-W2 با قابلیت‌های جدید و ارتقاء یافته در نسخه ۳/۷۲، امکان ارائه راه‌حلهای بالقوه برای مدیریت دمای آب پایاب سد، تعیین ظرفیت زیستگاهی مناسب آبزیان و ارزیابی عملکردهای زیست‌محیطی را تحت سناریوهای مختلف بهره‌برداری فراهم می‌نماید. در این تحقیق با انتخاب سد مخزنی کرخه به عنوان مورد مطالعاتی، تامین شرایط دمایی مناسب در طی ماههای اسفند تا اردیبهشت برای تخم‌ریزی ماهیان پایاب سد با اصلاح اتوماتیک نحوه بهره‌برداری از سد با ساختار برداشت انتخابی، بررسی جایگاه زیستی گونه‌های ماهی ارزشمند رودخانه در مخزن سد، ارزیابی عملکردهای زیستی در مخزن (دما و پارامترهای کیفیت آب) تحت سناریوهای مختلف بهره‌برداری مورد بررسی قرار می‌گیرد. همچنین تأثیر فعالیت احتمالاتی پرورش ماهی در مخزن بر کیفیت آب مخزن با در نظر گرفتن شاخص فسفر و کلروفیل آ مورد مطالعه قرار خواهد گرفت. نتایج این مطالعات نشان می‌دهد با اصلاح اتوماتیک نحوه بهره‌برداری از مخزن با ساختار برداشت انتخابی، دمای پایاب به میزان ۰/۸۶ درجه سانتی‌گراد برای حیات آبزیان بهبود می‌یابد. همچنین مقایسه عملکردهای زیستی مخزن تحت سناریوهای مختلف بهره‌برداری گویای برتری سناریوی ۱، نسبت به بقیه سناریوها است.

کلمات کلیدی: بهره‌برداری از مخزن، برداشت انتخابی، عملکرد زیستی، مدیریت کیفی منابع آب، مخزن کرخه، CE-QUAL-W2.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۵/۲/۲۳

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۵/۵/۶

1- Assistant Professor, School of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran. Email: msaadatpour@iust.ac.ir.

2- M. Sc. Graduate of Civil and Environmental Engineering, College of Environment, Karaj, Alborz, Iran.

*- Corresponding Author

۱- استادیار گروه آب و محیط زیست، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران.

۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، مهندسی عمران - محیط زیست، دانشکده محیط‌زیست، کرج، البرز، ایران.

*- نویسنده مسئول

در پی رشد اقتصادی، اجتماعی و صنعتی جوامع، آب موجود در رودخانه‌ها، خورها و دریاچه‌های طبیعی، از منظر کمی و کیفی و توزیع جغرافیایی، دیگر جوابگوی خواستها و نیازهای بشر نبودند. به منظور فائق آمدن بر این مشکل، سدهای متعددی در نقاط مختلف دنیا ساخته شدند. ساخت و بهره‌برداری از سدها تأثیرات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی بر رودخانه‌هایی که بر روی آن احداث شده‌اند، خواهد داشت. این تأثیرات دارای جنبه‌های مثبت و منفی مانند کنترل سیلاب، تولید انرژی برقی، تامین آب بهنگام مصارف کشاورزی و شرب و نیز اثرات ژرف بر محیط‌زیست آب شامل تغییر در ساختار دمایی مخزن و نیز آب خروجی خواهد بود (Dai et al. 2012).

بحران آب و مسائل مربوط به آن سبب شده است مباحث مدیریت کیفی منابع آب در کنار مدیریت کمی آن، از موضوعات مهم و حیاتی برای جوامع امروزی باشند. در طی چند دهه اخیر، مدل‌های نرم افزاری متعددی به منظور پیش بینی وضعیت تغذیه‌گرایی در مخازن و مناطق پایین‌دست آنان، لایه‌بندی حرارتی، شوری، میزان اکسیژن خواهی رسوبات کف و مدل‌سازی شاخص‌های کیفی موجود در پیکره‌های آبی و ... مورد استفاده قرار گرفتند. این بررسی‌ها اغلب با هدف تامین آب مناسب برای مصارف شرب و یا کشاورزی و یا تولید انرژی‌های برقی بوده است. اما متأسفانه در بحث مدیریت منابع آب بالاخص در ایران، کمتر به ایجاد شرایط مطلوب برای حیات موجودات زنده در پیکره‌های آبی و یا تأثیر حیات آنان در کیفیت منابع آبی خصوصاً در مباحث پرورش ماهیان پرداخته شده است. این در حالی است که با افزایش جمعیت انسانی، نیاز برای منابع غذایی پروتئینی افزایش یافته و این نیاز تنها از طریق تولید دامی و یا پرورش ماهی طبیعی فراهم نمی‌گردد و امروزه می‌باید تکنیک‌های متعدد و جدیدی به منظور افزایش تولیدات فرآورده‌های دریایی به کار گرفته شود. در این خصوص در طی چند دهه اخیر، تحقیقاتی در کشورهای مختلفی مانند استرالیا، کانادا، امریکا، نروژ و ... صورت پذیرفته است. مطالعات و برنامه‌ریزی در خصوص مدیریت زیستگاه ماهیان در کانادا به ارائه دستورالعملی در سال ۱۹۸۶ منجر گردید تا بر اساس آن بتوانند در آمد خالصی از ماهیان استحصال نمایند. ارزیابی، نظارت و ارائه مدلی برای تعیین ظرفیت تولیدی زیستگاه ماهی در محیط‌های آبی از الزامات دستیابی به اهداف آنان بوده است (Kupren et al. 2008). در تعیین حجم زیستگاه ماهیان، مدل‌های نرم افزاری مختلفی (PHABSIM, FVM-BASED CCHE2D, ELAM - Fish, CASIMIR-Fish module, RHABSIM

SALMOD, Surrogate Model و ... با استفاده از اطلاعات منطقه‌ای و شرایط آب و هوایی و ... تاکنون مورد استفاده قرار گرفته است. (Campbell et al. 2002) به منظور ارزیابی سناریوهای مختلف تخصیص منابع آبی و تامین نیازهای پائین دست در رودخانه کلامات، از مدل پشتیبان تصمیم‌گیری SIAM که متشکل از مدل‌های MODSIM, HEC5Q و SALMOD استفاده نمودند. شبیه‌سازی کمی منابع آب توسط مدل MODSIM، شبیه‌سازی کیفیت منابع آب (دما و اکسیژن محلول) توسط HEC5Q و شبیه‌سازی حیات و مرگ و میر ماهیان توسط SALMOD صورت پذیرفت تا تأثیر و اندرکنش کمیت و کیفیت منابع آبی بر یکدیگر و بر حیات ماهیان رودخانه مورد مطالعه و بررسی قرار گیرد. (Bartholow et al. 2003) با استفاده از مدل SALMOD، به بررسی تأثیر نرخ جریان فصلی در رودخانه و دمای آب بر گونه شاه ماهی آزاد^۱ در رودخانه ساکرامنتو^۲ در کالیفرنیا پرداخت و به این نتیجه رسید که فاکتور دما بیشترین تأثیر را بر روی حیات این نوع ماهی دارد.

تأثیرات مزرعه پرورش ماهی قزل‌آلا با میزان تولیدات بالا در رودخانه‌ای واقع در سیبری بر کیفیت آب و گونه‌های ماکروزوبتن^۳ توسط Zivic et al. (2009) مورد مطالعه قرار گرفت. بر اساس یافته‌های آنان، تأثیر این فعالیت بر خصوصیات شیمیایی آب پائین‌دست بسیار اندک بوده و به محدوده مناطق نزدیک به خروجی فاضلاب مزرعه پرورش ماهی محدود شده است. تغییرات اندک در خصوصیات شیمیایی آب، تأثیراتی را بر گونه‌های ماکروزوبتن در فواصل حدود ۵۰۰ متر تا ۳/۵ کیلومتری پائین‌دست داشته است. (Degefu et al. 2011) به بررسی تأثیر پرورش ماهی تیلاپیا بر کیفیت آب، محصولات جانبی و ترکیبات بیولوژیکی آن بر پیکره آبی واقع در اتیوپی پرداختند. در مطالعات آنان، تأثیر پرورش ماهی در قفس و به صورت آزاد بر کیفیت آب که متأثر از زائادات مربوط به ماهیان و باقیمانده‌های غذایی ماهیان است، مورد مطالعه قرار گرفت.

یکی از مدل‌های نرم‌افزاری برای مدیریت کیفی منابع آب مدل CE-QUAL-W2 است. در نسخه جدید این نرم افزار قابلیت برای اندازه‌گیری حجم زیستگاه مناسب برای حیات گونه‌های مختلف ماهی گنجانده شده است. در این مدل حجم زیستگاه براساس دما و اکسیژن محلول لازم برای رشد ماهی محاسبه می‌شود. (McKillip 2008) مدل دو بعدی CE-QUAL-W2 را با مدل زیست-انرژی^۴ ماهیان مبتنی بر مدل استوک ول و جانسون^۵ به منظور ارزیابی اثرات هیدرودینامیک مخزن بر زنجیره غذایی جلبک-ژئوپلانکتون و ماهی

کُکائی^۶ در مخزن رزولت مورد بررسی قرار داد. مدل زیست-انرژی به منظور ارائه پتانسیل توزیع رشد مکانی و زمانی ماهیان در تمام محدوده مخزن مورد استفاده قرار گرفت. مدل مورد مطالعه در گامهای زمانی کمتر از روز به آنالیز داده‌ها می‌پرداخت و استراتژی بهینه جستجوی غذا را در راستای عمودی ارائه می‌نمود. بر اساس نتایج مدل، پتانسیل رشد ماهی کُکائی به صورت فصلی، توسط هر دو عامل گرمای آب و چگالی شکار محدود می‌گردد. بر اساس یافته‌های این محقق، اگرچه اکولوژی مخزن متأثر از نحوه بهره‌برداری آن است اما پتانسیل رشد ماهیان به نحوه بهره‌برداری چندان حساس نیست.

Wells et al. (2012) به منظور ایجاد توازن میان تامین نیازهای شهری و حفاظت از گونه‌های حساس ماهیان، مدل دوبعدی هیدرودینامیک و کیفیت آب CE-QUAL-W2 در مخزن چستر مرس و رودخانه کِدار پایینی در واشنگتن توسعه دادند. مدل CE-QUAL-W2 به مدل زیست-انرژی و زیستگاه ماهیان ارتباط داده شد تا به این صورت امکان ارزیابی تأثیرات مقدار افت سطح آب، میزان و زمان برداشت آب از مخزن و نحوه بهره‌برداری از پمپ بر زیستگاه ماهیان قزل‌آلا و پتانسیل رشد آنان فراهم گردد.

Ruane et al. (2013) با استفاده از مدل CE-QUAL-W2 به بررسی حجم زیستگاه برای دو گونه ماهی خاردار^۷ و باس راه راه هیبرید^۸ در سه پیکره آبی، دریاچه مورای^۹ در جنوب کالیفرنیا، دریاچه کلیتور^{۱۰} در ویرجینیا و مخزن جی‌استروم تارموند^{۱۱} پرداخت و به این نتیجه رسید که شرایط بهره‌برداری برای بدست آوردن نیروی برقابی بر روی این دو گونه ماهی در دریاچه مورای تأثیرگذار است، اما بر روی دریاچه کلیتور تأثیری ندارد. همچنین با در نظر گرفتن تزریق اکسیژن به آب در مخزن جی‌استروم تارموند، شاهد بهبود شرایط محیطی برای این دو گونه ماهی شد. Deus et al. (2013) به بررسی تأثیر پرورش ماهی بر کیفیت منابع آب مخزن سدی با هدف تولید انرژی برقابی در برزیل پرداختند. سفر و کلروفیل آ به عنوان شاخصهای کیفی منابع آب در بررسی وضعیت تغذیه‌گرایی مخزن در نظر گرفته شدند. بر اساس یافته‌های آنان، پرورش ماهی باعث تغییر شرایط شاداب مخزن به شرایط مغذی می‌گردد.

توجه به مباحث بهره‌برداری بهینه از مخزن با در نظر گرفتن اهداف کمی توام با شرایط زیست‌محیطی اکوسیستم پایاب، اهمیت حفاظت کیفی از منابع آبی و لزوم بهره‌وری بهتر از منابع طبیعی، ضرورت مطالعه در خصوص تأثیر نحوه بهره‌برداری از مخزن بر کیفیت منابع

آبی و اکوسیستم آن، توسعه فعالیتهای پرورش ماهی و نیز تأثیر این فعالیتهای بر کیفیت منابع آبی را نمایان می‌سازد. به منظور ارائه این مطالعه، مخزن کرخه در ایران و مدل CE-QUAL-W2 (V3.72) با توجه به قابلیت‌های جدید آن، برای این مورد تحقیق انتخاب گردید. بررسی معیارهای عملکرد زیست محیطی، تعیین حجم زیستگاه ماهیان و بهبود شرایط دمایی پایین دست برای حیات ماهیان رودخانه کرخه با قابلیت انتخاب اتوماتیک برداشت جریان خروجی^{۱۲}، ایجاد شرایط مطلوب دمایی و کیفی منابع آب خروجی مخزن کرخه با تغییر در محل برداشت آب و همچنین بررسی تأثیر فعالیتهای پرورش ماهی بر کیفیت منابع آبی مخزن با استفاده از مدل CE-QUAL-W2 (V3.72) و قابلیت‌های جدید آن در این تحقیق، مورد نظر است که تاکنون در این قالب، به آن پرداخته نشده است.

۲- روش تحقیق

۲-۱- مورد مطالعاتی

رودخانه کرخه یکی از بزرگترین رودخانه‌های کشور است که در استان خوزستان واقع گردیده است. این رودخانه از به هم پیوستن رودخانه‌های کوچک و بزرگ متعددی از جمله سه رودخانه بزرگ گاماسیاب، قره‌سو و کشکان تشکیل و در نهایت به هورالعظیم وارد می‌شود. مخزن کرخه بر روی رودخانه کرخه در قسمت جنوب غربی ایران واقع شده است. مخزنی با حجم ۵ میلیارد مترمکعب، مساحت ۱۶۲ کیلومترمربع و طول ۶۴ کیلومتر در تراز نرمال در طول و عرض جغرافیایی به ترتیب ۳۲' ۵۰° و ۱۵' ۴۸° قرار گرفته است. عمق متوسط و ماکزیمم این مخزن به ترتیب ۶۱/۸ و ۱۱۷ متر است. کنترل و تنظیم جریان مورد نیاز اراضی کشاورزی پایاب سد، تولید انرژی برقابی و کنترل سیلاب از مهم‌ترین اهداف طرح مورد مطالعه است. دو آبگیر برداشت کشاورزی و برقابی در بدنه سد و یک تونل برداشت آب طولی در راستای محور طولی مخزن، امکان برداشت آب از این مخزن آبی را فراهم می‌آورند (Afshar and Saadatpour, 2009).

استفاده گسترده از آب رودخانه کرخه در امور مختلف نظیر کشاورزی و شرب و نیز وجود اکوسیستم‌های با ارزش و منحصر بفرد (نظیر هورالعظیم) در پایین‌دست رودخانه کرخه، حساسیت عملکرد رودخانه کرخه را بیش از پیش آشکار می‌سازد. مطالعات انجام شده بر روی سد مخزنی تنگ معشوره (واقع در بالادست سد کرخه) در سال ۲۰۱۱، اهمیت زیستی دو گونه گربه ماهی آرتشی^{۱۳} و عروس ماهی^{۱۴} واقع در پایین دست سد تنگ معشوره و در دریاچه سد کرخه، را

مشخص نمود. گربه ماهی اگرچه ارزش خوراکی و صید ورزشی ندارد، ولی ارزش تزئینی داشته و به دلیل اینکه خاص کشور ایران می‌باشد، باید از آن حفاظت شود. عروس ماهی نیز پراکنش نسبتاً وسیعی در سطح کشور دارد ولی تعداد آن در رودخانه‌ها و تالابها زیاد نمی‌باشد. در نتیجه از نظر حفاظتی باید توجه بیشتری به آن شود. علاوه بر این، اهمیت دمای آب رودخانه کرخه در طی ماههای اسفند تا اردیبهشت به منظور فراهم نمودن شرایط تخم‌ریزی ماهیان پایاب سد کرخه، حائز اهمیت است. دمای مناسب برای پایین دست مخزن کرخه در طی این ماهها، 20°C گزارش شده است (Mahab Ghodss Consulting Engineering, 2011).

با توجه به مسدود و راکد نمودن جریان جاری آب رودخانه در پشت سد، تغییر در شرایط هیدرولوژیکی و کیفی منابع آب رودخانه کرخه و نیز لزوم حفاظت از اکوسیستم بارزش رودخانه کرخه، می‌باید به شناخت، ارزیابی و مدیریت شرایط مناسب حیات آبریان پرداخت تا تأثیرات نامطلوب تغییرات شرایط هیدرولوژیکی و کیفی منابع آب را کاهش داد. استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی هیدرودینامیک و کیفیت آب عددی (CE-QUAL-W2 (V3.72 می‌تواند در تعیین جایگاه زیستی مناسب، کنترل و مدیریت بهره‌برداری از مخزن سد کرخه به منظور دستیابی به شرایط مطلوب دمایی پایاب سد در این تحقیق پیشنهاد گردد.

۲-۲- پرورش ماهی در بیکره‌های آبی

در پی افزایش جمعیت انسانی، نیاز برای منابع غذایی پروتئینی افزایش یافته و تامین این نیاز تنها از طریق تولیدات دامی و یا پرورش ماهی طبیعی ممکن نخواهد بود. امروزه، تکنیک‌های متعدد و جدیدی به منظور افزایش تولیدات فرآورده‌های دریایی به کار گرفته شده‌اند (FAO, 2006). آمار و اطلاعات بیانگر کاهش ذخایر طبیعی آبریان دریایی و افزایش تقاضای این منابع در کشور است. محدودیت منابع آبی در کشور، کاهش برخی گونه‌های دریایی/آبزی، روند صعودی تولیدات آبزی پروری در دنیا و پشتیبانی مطلوب صنایع دریایی، ظرفیت تولید بالا در برخی منابع آبی، کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری، شرایط مناسب پرورشی، وجود امکانات و پتانسیل‌های مناسب تکثیر و پرورش ماهیان بومی و با ارزش از جمله مزایایی است که جاذبه‌های لازم به منظور سرمایه‌گذاری در زمینه تکثیر و پرورش ماهی را در کشور بوجود آورده است (Izadi et al. 2008).

بر اساس مطالعات انجام شده، رودخانه کرخه و تالاب منتهی به آن (هورالعظیم)، زیستگاه ماهیانی با ارزش ذخیره ژنتیکی بالا و گاهی منحصر بفرد و یا با ارزش غذایی و/یا اقتصادی بالایی است. در طی سالهای اخیر، تلاشهایی به منظور ارتقاء تولید و پرورش ماهی از طریق تکنیک‌های قفس درجا در مخازن طبیعی و انسان ساخت در مناطق گرمسیری دنیا انجام شده است (Guo and Li, 2003). در طی سالهای اخیر در کشور ما نیز طرحهای متعددی مانند مطالعات پرورش ماهیان سردآبی در بیکره‌های آبی، برنامه‌های توسعه پرورش ماهیان خاویاری و ... در آبهای سطحی و مخازن طبیعی در استان خوزستان و مخزن کرخه صورت پذیرفته است (International Sturgeon Research Institute 2008;) (Izadi et al. 2010; Khalifeh Nilsaz 2010). تکنیک قفس درجا، قابلیت‌های بسیار مناسبی در بیکره‌های آبی مانند مخازن بزرگ و یا مخازن طبیعی، حوضچه‌های کشاورزی، رودخانه‌ها و خورها و حتی سدهای کوچک برای کاربرد دارا هستند (Izadi et al. 2008; Degefu et al. 2011). در مقایسه با تکنیک پرورش در حوضچه، پرورش در قفس مزایایی مانند امکان پرورش ماهیان با جنسیت‌های متفاوت بدون مشکل تولد و زاد و ولد ناخواسته و محدودیت رشد، مدیریت آسان و هزینه کم و امکان پایش نزدیک رشد ماهیان در این تکنیک وجود دارد. با همه این موارد، نگرانی‌های متعددی در خصوص تأثیرات زیست‌محیطی تکنیک قفس درجا بر کیفیت آب بیکره‌های آبی و ترکیبات بیولوژیکی در مخازن وجود دارد. در مباحث پرورش ماهی، یکی از خطرات بالقوه تأثیرات پسماندهای بیولوژیکی مانند مدفوع ماهیان و باقیمانده‌های غذایی آنان است. این تأثیرات شامل اثرات فیزیولوژیکی هستند که سبب کاهش غلظت اکسیژن محلول در ستون آب، تأثیرات سمی گاز H_2S و آمونیم ناشی از زوال پسماندهای بیولوژیکی و توده‌های جلبکی مضر مرتبط با مباحث تغذیه‌گرایی هستند. علاوه بر این، افزایش پاتوژنهای بیماریزای ماهیان در محیط‌های آبی و افزایش بیماری میان گونه‌های متعدد آبزی، از جمله ریسک‌های مرتبط با تکنیک پرورش ماهیان در قفس هستند (Nash, 2001; Leon et al. 2003).

با توجه به مشکلات ایجاد شده در اثر تغذیه‌گرایی در بهره‌برداری از مخازن آبی و نیز زوال کیفیت منابع آبی پایاب که ورودی آبهای حساس هستند، در این مطالعه به بررسی تأثیر مزرعه‌های پرورش ماهی قفس درجا بر کیفیت آب مخازن با استفاده از مدل دو بعدی هیدرودینامیک و کیفیت آب عددی، CE-QUAL-W2، پرداخته خواهد شد.

۲-۳- مدلسازی

خروجی به صورت مساوی (Sc3)، ۴ برداشت ۷۰ درصد آب از سازه خروجی اول و ۳۰ درصد آب از سازه خروجی دوم (Sc4) و ۵ برداشت ۸۰ درصد آب از سازه خروجی اول و ۲۰ درصد آب از سازه خروجی دوم (Sc5)، تعریف گردید. میزان برداشت از هر آبگیر علاوه بر تأثیر بر عملکرد زیست‌محیطی و شرایط کیفیت و دمای آب مخزن بر میزان تولید انرژی برقی نیز تأثیرگذار است که در این مطالعه به آن پرداخته نشده است. یقیناً برداشت از آبگیر پایینی میزان تولید انرژی برقی کمتری را در مقایسه با برداشت از آبگیر بالایی به دنبال خواهد داشت اما برداشت از آبگیر پائینی به خروج منابع آبی با کیفیت نامناسب و نیز روند اختلاط در مخزن، کمک شایان توجهی خواهد نمود. به این ترتیب ملاحظه می‌گردد بهره‌برداری از مخزن با در نظر گرفتن جنبه‌های کمی و کیفی منابع آبی، پیچیدگی‌های بسیاری خواهد داشت.

۲-۳-۲- تعیین حجم زیستگاه مناسب

به منظور تعیین حجم مناسب زیستگاهی برای ماهیان با گونه‌های متفاوت با توجه به معیار دما و اکسیژن محلول، مدل CE-QUAL-W2 قادر است اطلاعات مفیدی را در اختیار مدیران، تصمیم‌گیران و برنامه‌ریزان قرار دهد. همچنین متوسط وزنی حجم المان‌های محاسباتی بر اساس پارامترهای کیفی اکسیژن محلول، نیترات، آمونیم، فسفات، مجموع غلظت فسفر و کلروفیل‌آ را نیز ارائه می‌نماید.

اطلاعات مربوط به نوع ماهی/ماهیان مورد مطالعه، دمای ماکزیمم و مینیمم و حداقل اکسیژن مورد نیاز ماهی در فایل داده‌های ورودی مدل مشخص می‌گردد. همانگونه که در قسمتهای پیشین عنوان شد، دو نوع ماهی با ارزش و مورد توجه در مطالعات بررسی شرایط زیستگاهی مناسب کرخه (نوعی گربه ماهی و عروس ماهی) مورد بررسی قرار گرفته‌اند. بر اساس گزارش‌های ارائه شده دمای مناسب برای تخم‌ریزی عروس ماهی بین ۱۵ تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد (Kupren et al. 2010) و برای گونه‌های مختلف گربه ماهی بین ۱۸ تا ۲۸ درجه سانتی‌گراد و کمترین میزان اکسیژن مورد نیاز آنها ۵ میلی‌گرم بر لیتر است. همچنین این ماهیان در فصل بهار تخم‌ریزی می‌نمایند. بر اساس داده‌های فوق، آنالیزهایی توسط مدل CE-QUAL-W2 صورت پذیرفت و نتایجی در خصوص زیستگاه مناسب پرورش ماهی در ادامه ارائه گردید.

به منظور ارزیابی معیارهای عملکرد زیست‌محیطی، تعیین حجم زیستگاه مناسب، بهبود شرایط دمایی و کیفیت آب در پایاب کرخه و نیز بررسی تأثیر پرورش ماهی بر کیفیت آب مخزن، از مدل دوبعدی هیدرودینامیک و کیفیت آب CE-QUAL-W2 استفاده گردید. برای این هدف، مدل کالیبره و صحت‌سنجی شده دو بعدی دما و تغذیه‌گرایی مخزن کرخه (Afshar and Saadatpour, 2009) مورد بهره‌برداری قرار گرفت. در واقع اطلاعات مربوط به مشخصات هندسی، هیدرولیکی، هیدرولوژیکی و کیفیت آب و نیز ضرایب و پارامترهای نسخه ۳/۲ مدل CE-QUAL-W2 به نسخه ۳/۷۲ وارد گردید تا از قابلیت‌های جدید این نسخه استفاده گردد.

اطلاعات ورودی مدل شامل اطلاعات هواشناسی، شرایط اولیه مدل، شرایط مرزی مدل، دبی ورودی و خروجی (دبی خروجی برای حالت پایه به مدل معرفی می‌شود)، دمای آب ورودی، غلظت مواد مغذی ورودی و سازه‌های موجود در سیستم است. در این مطالعه به منظور ارزیابی شرایط کیفی مخزن متأثر از نحوه بهره‌برداری به مطالعه مبحث تغذیه‌گرایی شامل ذرات معلق، نیترات، فسفات، اکسیژن محلول، کلروفیل‌آ، pH و نیز دما پرداخته شد که می‌توانند شاخص‌های خوبی برای تعیین شرایط تغذیه‌گرایی در یک پیکره آبی باشند.

۲-۳-۱- ارزیابی معیارهای عملکرد زیست‌محیطی متأثر از سناریوهای مختلف بهره‌برداری از مخزن

حجم، میزان و محل برداشت آب در پیکره‌های آبی بر عملکرد زیست‌محیطی آنان تأثیرگذار است. در این تحقیق، با تغییر محل برداشت آب (تغییر در درجه‌های برداشت آب) در مخزن کرخه، شاخص تغذیه‌گرایی محاسبه و مورد ارزیابی قرار گرفت تا تأثیر نحوه بهره‌برداری از مخزن بر شرایط کیفی مشخص گردد. پارامترهای کیفی ذرات معلق، نیترات، فسفات، اکسیژن محلول، کلروفیل‌آ، pH و نیز دما در محاسبه شاخص تجمیع‌یافته تغذیه‌گرایی^{۱۵} از مدل دو بعدی هیدرودینامیک و کیفیت آب CE-QUAL-W2 استخراج گردیدند. ۵ سناریو متفاوت بهره‌برداری از مخزن بر اساس درصدهای برداشت متفاوت از آبگیرهای پایینی و بالایی مخزن کرخه (واقع در ترازهای ۱۶۱/۵ و ۱۸۰ متر ارتفاع از سطح دریا) به شرح (۱) برداشت ۲۰ درصد آب از سازه خروجی اول و ۸۰ درصد آب از سازه خروجی دوم (Sc1)، (۲) برداشت ۳۰ درصد آب از سازه خروجی اول و ۷۰ درصد آب از سازه خروجی دوم (Sc2)، (۳) برداشت از سازه‌های

۲-۳-۳- تأثیر پرورش ماهی بر کیفیت آب مخزن

نیاز روزافزون به مواد غذایی و رشد جمعیت، توسعه فعالیتهای پرورش ماهی در پیکره‌های آبی را مستلزم می‌نماید. امکان پرورش ماهی در مخازنی که پتانسیل مناسبی به لحاظ منابع آبی دارند، فراوانی گونه‌های ماهی مناسبی در آبهای آنها وجود دارد و نیز شرایط آب و هوایی مساعدی دارند، امکان تولید محصولات و فرآورده‌های آن را با هزینه کمی فراهم می‌نماید (Degefu et al. 2011).

با توجه به اینکه غذای مورد استفاده در مزارع پرورش ماهی نقش اساسی در مشارکت شرایط تغذیه‌گرایی دارد، به نظر می‌رسد که بکارگیری تکنیک‌ها و مدیریت برای حفاظت می‌تواند در شرایط تغذیه‌گرایی مؤثر باشد. بر اساس مطالعات صورت گرفته در مخزن کرخه، نسبت نیتروژن به فسفر بیش از ۱۰ است که نشان دهنده محدودکنندگی پارامتر کیفی فسفر است. بر این اساس، شبیه‌سازی در مخزن بر اساس افزایش ۱۰ تا ۹۰ درصدی بار آلودگی فسفر ورودی در مخزن متناسب با غذای مورد استفاده در مزرعه پرورش ماهی صورت گرفت. سناریوی پایه متناسب با شرایط فعلی بار آلودگی ورودی به پیکره آبی است. افزایش بار فسفر به دلیل افزایش تولیدات ماهی در پیکره آبی است تا به ارزیابی تأثیرات این فعالیت بر کیفیت آب مخزن (که به طور غیر مستقیم بر رشد جلبکی و پدیده تغذیه‌گرایی مؤثر هست) بپردازد. سناریوهای تعریف شده بر اساس شاخص فسفر در مخزن مورد مطالعه، بر اساس شاخص کلروفیل‌آ و فسفر مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. با توجه به اینکه داده‌های مربوط به مواد مغذی ناشی از غذای ماهیان در دسترس نیستند، سه شدت مختلف تغییر در غلظت (بار ورودی) فسفر برای این مطالعه در نظر گرفته شده‌است. در این مطالعه ارتباط میان علت و معلول، میان بار مواد مغذی ناشی از فعالیت آبی‌پروری و کیفیت آب در مخزن مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۲-۳-۴- الگوریتم برداشت انتخابی

همانگونه که قبلاً نیز اشاره گردید سدهای بزرگ سبب تغییر در هیدرولوژی و کیفیت آب در یک رودخانه می‌شوند. دبی‌های پیک سیلاب و نیز دبی‌های حداقل اصلاح می‌گردند، مقادیر رسوب در رودخانه کاهش می‌یابد، الگوهای دمایی روزانه و فصلی تغییر می‌یابد. موارد بر شمرده اخیر در ترکیب با سایر عوامل سبب تغییر در مورفولوژی و اکولوژی رودخانه می‌گردند. تغییر در مورفولوژی و اکولوژی رودخانه سبب ایجاد تغییراتی در گونه‌های آبی پائین دست می‌گردد. اگرچه سدها منافع بی‌شماری در زمینه کنترل سیلاب، تولید

انرژی برقی، تامین آب مورد نیاز کشاورزی و صنعت دارند، تأثیرات آنها بر خصوصیات اکولوژیکی نیز مطالعه شده‌است. البته مطالعات در این خصوص تنها با هدف درک بهتر این تأثیرات نبوده بلکه به منظور کمک به کاهش اثرات منفی آنان است (Rounds and Sullivan, 2006). در بسیاری از سدهای بزرگ رهاسازی جریان تنها از یک یا حداکثر دو آبگیر صورت می‌پذیرد که اغلب هدف ماکزیمم نمودن تولید انرژی برقی دنیال می‌گردد. در مخازنی که شرایط لایه‌بندی شدید را تجربه می‌نمایند آبگیر پایینی به آب با دمای سرد و چگالتر در مقایسه با آبگیر بالایی در ارتباط قرار می‌گیرد. دمای آب در پایاب سدی با آبگیری عمیق، اغلب در تابستان سردتر و در پائیز گرمتر نسبت به شرایط عدم احداث سد خواهد بود. جابجایی در الگوی دمایی فصلی جریان در رودخانه‌های پایاب سدهای عمیق پدیده‌ای معمول بوده و تأثیرات اکولوژیکی مهمی دارد. زمان و موفقیت مهاجرت ماهیان، تخم‌گذاری و پرورش آنها مشابه نوع و فراوانی گونه‌های ماهی با تغییر در الگوی فصلی جریان متاثر می‌گردد (Kunz et al. 2013). برای کاهش اثرات اکولوژیکی احداث سدها، برخی سدها با تجهیزات و ابزار برداشت انتخابی تجهیز می‌شوند که امکان برداشت و اختلاط آب از لایه‌های مختلف را فراهم می‌نماید که به این ترتیب امکان کنترل دمای آب تخلیه شده فراهم می‌گردد.

مدل دو بعدی هیدرودینامیک و کیفیت آب CE-QUAL-W2 این قابلیت را داراست که به مدیران و بهره‌برداران از سد این کمک را نماید که راه‌حل بهینه‌ای برای مدیریت دمای پائین‌دست در مخازن با لایه‌بندی دمایی ارائه نمایند. این اقدام مدیریتی از طریق برداشت و اختلاط آب از آبگیرهای مختلف در ترازهای مختلف ارتفاعی و دماهای مختلف صورت می‌پذیرد. به این ترتیب می‌توان سری زمانی دمای هدف جریان خروجی را برای مدل مشخص نمود تا مدل با در نظر گرفتن محدودیت‌های هد آب و نیز میزان جریان خروجی از مخزن، مقادیر متفاوت برداشت آب را از آبگیرهای واقع در ترازهای مختلف تعیین نماید.

۲-۳-۵- شاخص تجمیع یافته کیفیت آب

به منظور تشریح شرایط کیفی منابع آبی می‌باید از شاخصی به منظور تجمیع متغیرهای کیفی متفاوت استفاده نمود. انواع متفاوتی از شاخص‌ها مانند NSFQI، شاخص اورگان، شاخص‌های کانادایی و... در طی دهه‌های اخیر توسعه داده شده‌اند. به دلیل برخی محدودیت‌هایی که شاخص‌های برشمرده دارند،

q از مقدار بهینه کاهش می‌یابد. این رفتار با رابطه زیر نمایش داده می‌شود.

$$s = \frac{pr + (n+p)(1-r) \left(\frac{q}{q^*}\right)^n}{p + n(1-r) \left(\frac{q}{q_T}\right)^{n+p}} \quad (3)$$

مقادیر ثابت r ، p و n در جدول ۳، ارائه شده‌اند.

جدول ۲- مقادیر غلظت آستانه برای متغیرهای کاهش غیر

| پارامتر کیفی | q_T |
|--------------|-------|
| آلومینیم | ۰/۲ |
| آرسنیک | ۰/۰۵ |
| کادمیم | ۰/۰۰۵ |
| کرم | ۰/۰۵ |
| مس | ۰/۰۵ |
| آهن | ۰/۱ |
| سرب | ۰/۰۵ |
| منگنز | ۰/۰۵ |
| جیوه | ۰/۰۰۱ |
| سلنیم | ۰/۰۱ |
| روی | ۵ |

جدول ۳- ضرایب رابطه زیر شاخص Unimodal

| پارامتر کیفی | R | P | n | q^* |
|--------------------------------|-----|-----|-----|-------|
| اکسیژن محلول (نسبت) | * | ۱ | ۳ | ۱ |
| فلوراید (میلیگرم در لیتر) | * | ۴ | ۴ | ۱ |
| pH | * | ۶ | ۴ | ۷ |
| دما (درجه سانتی گراد) | * | ۷ | ۰/۵ | ۲۰ |
| مجموع جامدات (میلیگرم در لیتر) | ۰/۸ | ۱ | ۱ | ۷۵ |

برای محاسبه شاخص آلودگی و به منظور اصلاح برخی روشهای تجمیع زیر شاخص‌ها، روش تجمیع کلی بر اساس رابطه زیر را ارائه گردید (Swamee and Tyagi, 2000).

$$I = \left(1 - N + \sum_{i=1}^N s_i^{-1/k}\right)^{-k} \quad (4)$$

k یک مقدار مثبت است که مقدار ۰/۴ برای آن توصیه شده است.

(Swamee and Tyagi, 2000) شاخصی به شرح زیر به منظور تجمیع متغیرهای کیفی متفاوت ارائه نمودند. در کار ارائه شده توسط آنان، زیر شاخص‌های محاسبه شده به نوع پارامتر کیفی وابسته است. بر اساس ویژگی‌های متفاوت پارامترهای کیفی، زیر شاخص‌ها به انواع متفاوتی تقسیم‌بندی می‌گردند.

زیر شاخص‌های کاهش یکنواخت

این شاخص‌ها با افزایش میزان متغیرهای کیفی کاهش می‌یابند. رابطه زیر برای نمایش تغییرات این زیر شاخص‌ها استفاده می‌گردد.

$$s = \left(1 + \frac{q}{q_c}\right)^{-m} \quad (1)$$

در رابطه فوق q ، q_c و m به ترتیب مقدار متغیر کیفی، مقدار مشخصه پارامتر کیفی q و m عددی مثبت می‌باشد. مقادیر مناسب پارامترهای q_c و m در جدول ارائه شده است.

جدول ۱- ضرایب زیر شاخص‌های کاهش یکنواخت

| پارامتر کیفی | q_c | m |
|---------------------------|-------|-----|
| کلیفرم (MPN/100mL) | ۴ | ۰/۳ |
| نیترات (میلی گرم در لیتر) | ۴۰ | ۳ |
| فسفات | ۰/۶۷ | ۱ |
| کدورت (JTU) | ۵۰ | ۱/۵ |
| BOD (mg/L) | ۲۰ | ۳ |

MPN: بیشترین تعداد محتمل، JTU: واحد کدورت جکسون

زیر شاخص‌های کاهش غیر یکنواخت

در برخی پارامترهای کیفی، زیر شاخص‌ها با شدت کمتر یا بیشتری نسبت به حالت یکنواخت کاهش می‌یابند. تغییرات این زیر شاخص‌ها با رابطه زیر نمایش داده می‌شود. در رابطه زیر، q_T غلظت آستانه می‌باشد.

$$s = \frac{1 + \left(\frac{q}{q_T}\right)^4}{1 + 3\left(\frac{q}{q_T}\right)^4 + 3\left(\frac{q}{q_T}\right)^8} \quad (2)$$

زیر شاخص‌های Unimodal

این زیر شاخص‌ها دارای ماکزیمم مقدار در $s=1$ در مقدار بهینه $q=q^*$ می‌باشند. مقدار این زیر شاخص با فاصله گرفتن مقدار متغیر

در این تحقیق پارامترهای کیفی اکسیژن محلول، فسفات، آمونیم، نیترات، ذرات معلق و pH آب خروجی از مخزن تحت سناریوهای مختلف بهره‌برداری با ساختار برداشت انتخابی با شاخص معرفی شده اخیر تجمیع می‌گردند و سپس مورد مقایسه قرار می‌گیرد.

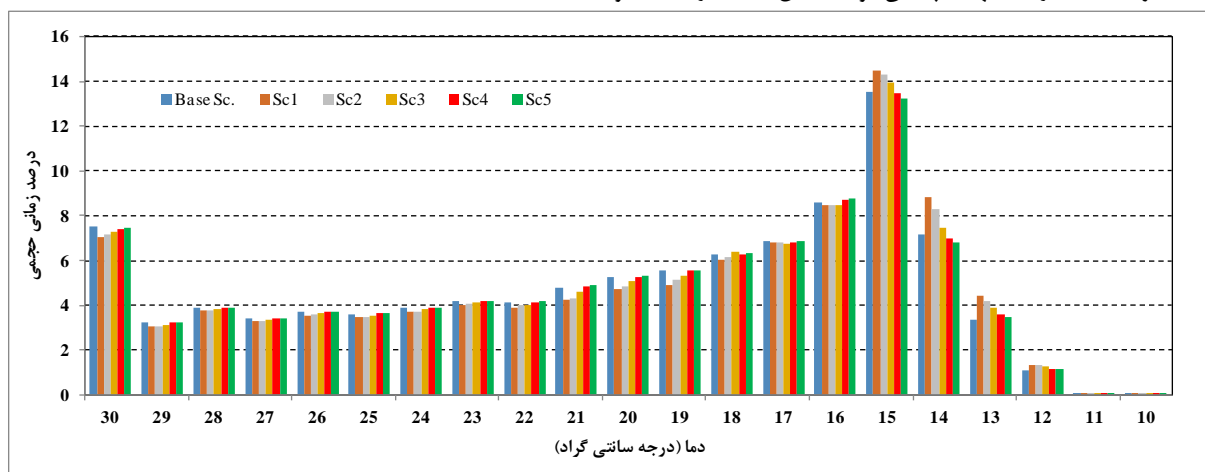
۳- نتایج مدل

همانگونه که در قسمتهای پیشین عنوان گردید مدل‌های شبیه‌سازی ابزارهایی مؤثر در پیش‌بینی سرنوشت و انتقال آلودگی‌ها تحت سناریوهای مختلف تصمیم‌گیری هستند. تأثیر شدت شار جریان ورودی و استراتژی بهره‌برداری از مخزن بر پایه ساختار برداشت انتخابی می‌تواند قبل از اعمال توسط مدل‌های شبیه‌سازی ریاضی و عددی در مخزن ارزیابی گردد. به این ترتیب، دسترسی به مدل شبیه‌سازی کالیبره و صحت‌سنجی شده در یک مخزن با اهداف سیاسی و/یا تکنیکی به منظور ارزیابی و آنالیز سناریوهای "چگونه می‌شود اگر ... " در فرآیند تصمیم‌گیری بسیار مورد ارجحیت است. برای مثال تامین اهداف کیفی پایاب سد از طریق مقایسه و ارزیابی استراتژی‌های مختلف بهره‌برداری بر پایه ساختار برداشت انتخابی به کمک مدل شبیه‌سازی کالیبره و صحت‌سنجی شده در یک مخزن، امکان‌پذیر است. در این کار تحقیقاتی مدل کالیبره و صحت‌سنجی شده CE-QUAL-W2 به منظور منظور ارزیابی و آنالیز سناریوهای "چگونه می‌شود اگر ... " در خصوص هیدرودینامیک و کیفیت آب مخزن کرخه بکار برده می‌شود. دما، اکسیژن محلول، جامدات معلق، نیترات، آمونیم، فسفات از جمله پارامترهای کیفی معمول مورد بررسی در تضمین اهداف کیفی در این مطالعه هستند. با توجه به قابلیت‌های جدید نسخه ۳/۷۲ مدل CE-QUAL-W2 سناریوهای ۵ گانه تعریف شده در قسمتهای پیشین توسط مدل شبیه‌سازی شده و

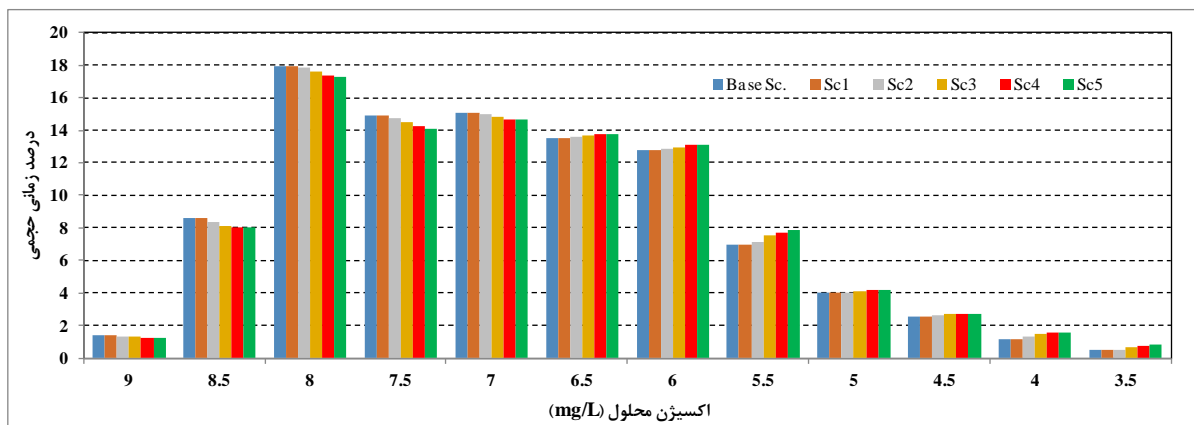
درصد فراوانی معیارهای عملکرد زیست‌محیطی توسط مدل استخراج و ارائه گردید. در شکل ۱ و شکل ۲ نمودارهای مربوط به عملکردهای زیستی دما و اکسیژن محلول در مخزن مربوط به سناریوهای مختلف بهره‌برداری در مقایسه با سناریوی پایه (Base Sc.) بر اساس نتایج شبیه‌سازی ۱۵ ساله مخزن کرخه ارائه شده‌است. همانگونه که در شکل ۱ ملاحظه می‌گردد دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد بیشترین فراوانی را در مقایسه با سایر دماها در طی دوره شبیه‌سازی ۱۵ ساله، تجربه می‌نماید. حداکثر و حداقل دما در مخزن بین ۱۰ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد است.

بررسی نتایج نشان می‌دهد (شکل ۱) در سناریوی یک که برداشت آب بیشتری از آبگیر فوقانی صورت می‌پذیرد، آبهای گرم جریانهای ورودی در فصول و ماههای گرم، که وارد لایه هم‌چگالی خود در لایه‌های فوقانی مخزن می‌گردند، از لایه‌های فوقانی خارج می‌گردند و مخزن با فراوانی کمتری نسبت به سایر سناریوها، دمای بالاتر را تجربه می‌نماید. البته این فراوانی در خصوص دماهای پایین‌تر برعکس می‌گردد. به‌عبارتی الگوی بهره‌برداری متناسب با سناریوی ۱، متوسط دمای آب مخزن را پایین‌تر از سایر سناریوهای مورد بررسی، قرار خواهد داد. همچنین بر اساس نتایج حاصل، الگوی بهره‌برداری متناسب با سناریوی ۵ سبب افزایش دمای آب مخزن نسبت به سایر سناریوهای تعریف شده در این تحقیق می‌گردد.

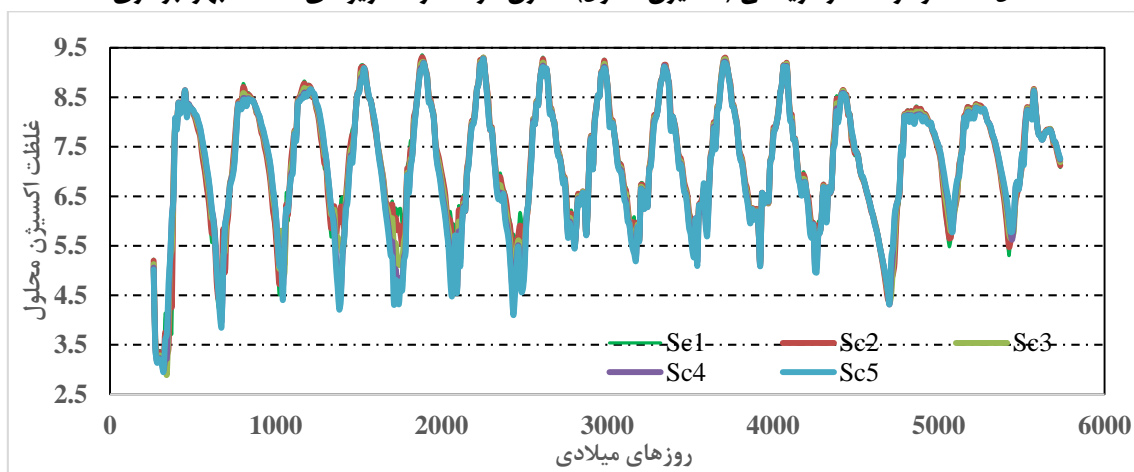
در شکل ۲ فراوانی معیار زیستی اکسیژن محلول در مخزن کرخه ارائه شده است. با توجه به نتایج حداقل و حداکثر غلظت اکسیژن محلول در مخزن بین ۳/۵ تا ۹ میلی‌گرم در لیتر است که بیشترین فراوانی غلظت مقدار ۸ میلی‌گرم در لیتر است.



شکل ۱- نمودار عملکرد زیستی (دما) مخزن کرخه در سناریوهای مختلف بهره‌برداری



شکل ۲- نمودار عملکرد زیستی (اکسیژن محلول) مخزن کرخه در سناریوهای مختلف بهره‌برداری



شکل ۳- سری زمانی غلظت اکسیژن محلول خروجی مخزن کرخه تحت سناریوهای مختلف بهره‌برداری

شرایط تغذیه‌گرایی و مشکلات مربوط به زوال اکسیژن در این سناریو نسبت به سایر سناریوهای تعریف شده در این تحقیق، کاهش می‌یابد. سری زمانی غلظت اکسیژن محلول خروجی مخزن در طول دوره شبیه‌سازی ۱۵ ساله در شکل ۳ تحت سناریوهای مختلف بهره‌برداری با ساختار برداشت انتخابی ارائه شده است. غلظت‌های ماکزیمم در روزها و فصول سرد سال و حداقل غلظت‌ها در روزهای گرم دوره شبیه‌سازی بوقوع می‌پیوندد. بر اساس نتایج حاصل غلظت اکسیژن محلول خروجی از مخزن در غالب دوره شبیه‌سازی بیش از ۴/۵ میلی‌گرم بر لیتر است. همانگونه که در شکل دیده می‌شود غلظت اکسیژن محلول خروجی از مخزن در سناریوی یک به مراتب شرایط بهتری نسبت به سایر سناریوها داراست.

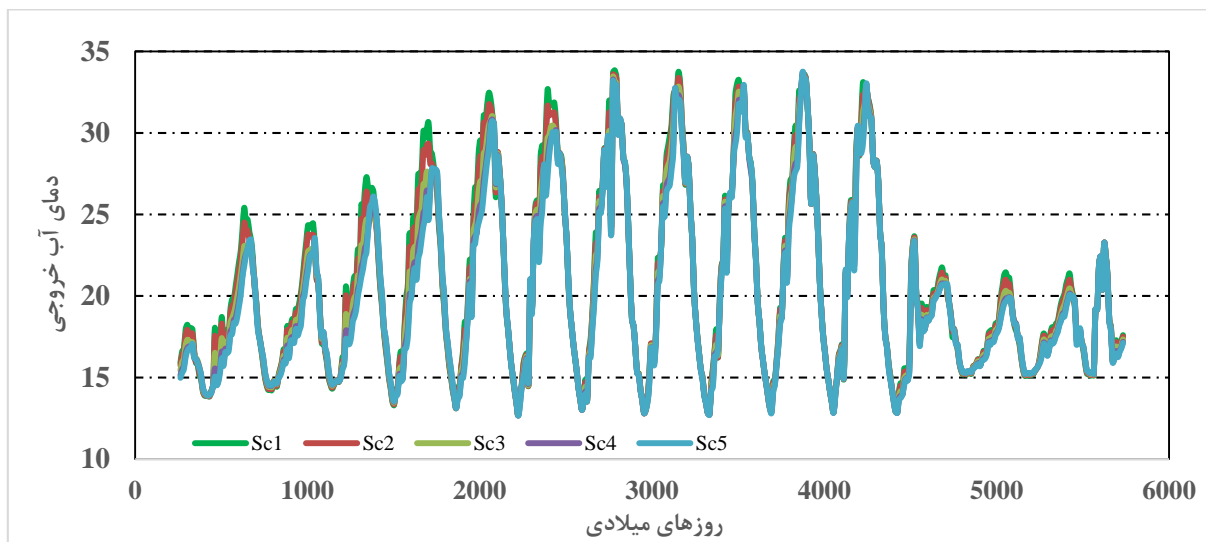
بر اساس نتایج بنظر می‌رسد در سناریوی یک، شرایط کیفی بهتری به لحاظ اکسیژن محلول در مخزن برقرار است چرا که فراوانی بیشتر در خصوص غلظت بالاتر اکسیژن محلول در این سناریو مشاهده می‌گردد.

نمودار فراوانی غلظت اکسیژن محلول در الگوهای مختلف بهره‌برداری انتخابی (شکل ۲) نشان می‌دهد غلظت اکسیژن محلول مخزن در سناریوی یک بیش از سایر الگوهای بهره‌برداری است. پایین‌تر بودن متوسط دمای آب مخزن در سناریوی یک نسبت به سایر سناریوها، امکان انحلال اکسیژن محلول بیشتری را فراهم می‌نماید. علاوه بر این، جریانهای ورودی حاوی مواد مغذی ضمن برداشت و خروج دبی از لایه‌های فوقانی، امکان ورود به لایه‌های پایینی و ته‌نشینی را محدود نموده و در نتیجه امکان شکل‌گیری

یک و مقایسه آن با سایر سناریوهای مختلف بهره‌برداری از مخزن، می‌تواند مؤید این مهم باشد.

با توجه به تأثیر پارامترهای کیفی متعدد مانند دما، اکسیژن محلول، جامدات معلق، نیترات، فسفات بر عملکرد زیستی پیکره‌های آبی، در این تحقیق همه پارامترهای برشمرده اخیر در سناریوهای متعدد بهره‌برداری مخزن در ساختار برداشت انتخابی، مورد مطالعه قرار گرفتند. از طرفی در نظر گرفتن پارامترهای کیفی متعدد سبب افزایش تضادها و پیچیدگیهای فرآیند تصمیم‌گیری می‌شود. به منظور مواجهه با این مشکل و لحاظ نمودن تأثیر کلیه پارامترهای کیفی، از شاخص تجمیع‌یافته کیفیت آب معرفی شده در بخشهای پیشین بهره گرفته شد و نتایج ارزیابی برای سناریوهای متعدد بهره‌برداری مخزن به شرح جدول ۴ است.

سری زمانی دمای آب خروجی مخزن در طول دوره شبیه‌سازی ۱۵ ساله در شکل ۴ تحت سناریوهای مختلف بهره‌برداری در ساختار برداشت انتخابی ارائه شده است. آبهای واقع در لایه‌های بالایی مخازن، به دلیل امکان تبادل گرمایی بیشتر با محیط و نیز قرارگیری آبهای با دمای بیشتر و چگالی کمتر در لایه‌های بالایی، دمای بالاتری دارند. به این ترتیب، در سناریوی یک به دلیل برداشت آب بیشتر از لایه‌های بالایی، دمای حداکثر بالاتری در جریان آب خروجی مخزن نسبت به سایر سناریوها مشاهده می‌گردد. همچنین پائین‌تر بودن متوسط دمای آب مخزن در سناریوی یک نسبت به سایر سناریوها سبب می‌گردد در فصول سرد که جریانهای ورودی به مخزن دارای دمای کمتری هستند، نقش تعدیل‌کنندگی مخزن در افزایش دما (تعدیل دما) در دوره‌های سرد نسبت به سایر سناریوها کاهش یابد. توجه به حداقل دمای آب خروجی از مخزن در سناریوی



شکل ۴- سری زمانی دمای آب خروجی مخزن تحت سناریوهای مختلف بهره‌برداری

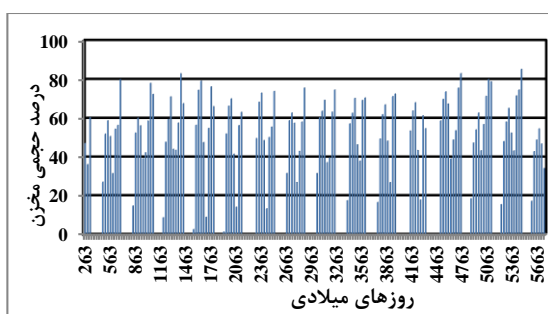
جدول ۴- مقادیر زیرشاخص‌ها و شاخص تجمیع‌یافته در سناریوهای مختلف بهره‌برداری مخزن کرخه

| شاخص تجمیع یافته Swamee and) (Tyagi 2000) | شاخص‌های فرعی (S) | | | | | | سناریو |
|--|-------------------|------|--------------|-------------|------------------|--------|-----------|
| | pH | دما | اکسیژن محلول | جامدات معلق | نیترات و آمونیوم | فسفات | |
| ۰/۷۶۰۹ | ۰/۹ | ۰/۹۹ | ۰/۹۱ | ۰/۹۹ | ۱/۲۰۰ | ۰/۹۳۸۸ | حالت پایه |
| ۰/۷۶۸۴ | ۰/۹۲ | ۱ | ۰/۹۱۲ | ۱ | ۱/۲۰۷ | ۰/۹۳۷۵ | سناریو ۱ |
| ۰/۷۶۴۷ | ۰/۹ | ۱ | ۰/۹۱۱ | ۱ | ۱/۲۰۷ | ۰/۹۳۷۶ | سناریو ۲ |
| ۰/۷۵۹۱ | ۰/۹ | ۰/۹۹ | ۰/۹۱۱ | ۰/۹۹ | ۱/۲۰۵ | ۰/۹۳۷۹ | سناریو ۳ |
| ۰/۷۵۷۰ | ۰/۸۹ | ۰/۹۹ | ۰/۹۱ | ۰/۹۹ | ۱/۲۰۲ | ۰/۹۳۸۵ | سناریو ۴ |
| ۰/۷۵۷۰ | ۰/۸۹ | ۰/۹۹ | ۰/۹۱ | ۰/۹۹ | ۱/۲۰۰ | ۰/۹۳۸۸ | سناریو ۵ |

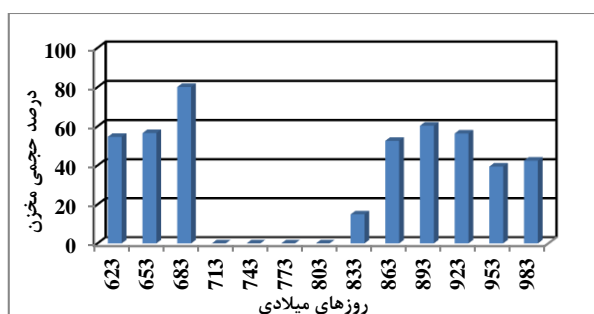
توسط مدل در تعیین جایگاه زیستی دما و اکسیژن محلول است که برای هر گونه از مراجع استخراج و به مدل وارد شده است. نتایج بر اساس سناریوی پایه برای گربه ماهی و عروس ماهی در شکل ۵ ارائه شده است. همانگونه که در شکل مشاهده می شود در دوره هایی از سال، مخزن اصلا شرایط زیستی مناسبی برای این گونه ها ندارد. توجه به جزییات شبیه سازی نشان می دهد در مواردی که مخزن اصلا شرایط زیستی مناسبی برای زیست این گونه ها ندارد (درصد حجمی مناسب برای حیات برابر صفر است) و اغلب توسط دما محدود شده است به این معنی که شرایط دمایی در کلیه حجم مخزن در بازه مناسب برای حیات این گونه ها نیست. این در حالی است که در خصوص اکسیژن محلول (غلظت ۵ میلی گرم در لیتر برای این گونه ها)، هیچگاه در تمام حجم مخزن، غلظت کمتر از ۵ میلی گرم در لیتر نخواهد بود و قطعا بخشی از حجم مخزن غلظتی بیش از ۵ میلی گرم بر لیتر دارا خواهد بود. نتایج شبیه سازی با مقیاس بزرگتری برای یکسال در شکل ۵- ب ارائه شده است. بر اساس نتایج مشاهده شده ماههای فصل پائیز شرایط زیستی مناسبی برای حیات این گونه ها در مخزن کرخه فراهم است اما ماههای فصل زمستان و ابتدای بهار (فروردین) به لحاظ شرایط دمایی محدودیتی برای حیات زیستی فراهم می گردد. در ادامه سال در فصل تابستان دو معیار اکسیژن محلول و تا حدودی دما (افزایش دما) شرایط محدود کنندگی ایجاد می نماید. در صورتی که معیار غلظت اکسیژن محلول مورد نیاز برای حیات زیستی مناسب، از ۵ میلی گرم در لیتر به ۶ میلی گرم در لیتر ارتقاء یابد در اینصورت همانگونه که در شکل ۶ دیده می شود، حجم محدودتری از مخزن شرایط مناسب برای حیات را خواهد داشت.

بر اساس نتایج حاصل، سناریوی ۱ در مقایسه با سایر سناریوها شرایط کیفی بهتری را با لحاظ نمودن پارامترهای کیفی متعدد دارا می باشد. در سناریوی یک به دلایل مرور شده اخیر، شرایط اکسیژن محلول جریان خروجی به مراتب بهتر از سایر سناریوها است اما به دلیل هدایت جریانهای ورودی حاوی جامدات معلق، فسفات و نیترات به لایه های فوقانی و به عبارتی غالب بودن فرارفت^{۱۶} افقی به پخشیدگی^{۱۷} قائم، جریانهای خروجی از مخزن در این سناریو حاوی غلظتهای بالاتری از آلاینده های برشمرده اخیر است. عبارتی در سناریوهایی که برداشت بیشتر (خروج دبی) از لایه های پائینی صورت می پذیرد امکان ورود این آلاینده ها (جامدات معلق، نیترات، آمونیم و فسفات) به لایه های گسترده تری فراهم گردیده و در نتیجه جریانهای خروجی از لایه های پائینی حاوی غلظتهای کمتری از این آلاینده ها می باشند. البته باید توجه نمود در این سناریوها، زمان ماند بیشتری برای مواد آلی در مخزن فراهم گردیده و در نتیجه امکان ایجاد شرایط تغذیه گرای و زوال غلظت اکسیژن محلول نیز بیشتر می گردد. شاخص مورد استفاده در این مطالعه به منظور تشریح شرایط تغذیه گرای نیز موید این نتیجه است. البته در مباحث طراحی و بهره برداری از مخازن و آبگیرهای برداشت جریانهای خروجی، محدودیتهای هیدرولیکی، سازه ای و اقتصادی نقش قابل توجهی دارند.

همانگونه که در قسمتهای پیشین اشاره گردید یکی از قابلیتهای جدید مدل دو بعدی هیدرودینامیک و کیفیت آب CE-QUAL-W2 تعیین جایگاه زیستی در پیکره های آبی است. در این تحقیق، بررسی جایگاه زیستی گربه ماهی و عروس ماهی به عنوان گونه های ارزشمند در مخزن کرخه مورد بررسی قرار گرفتند. معیارهای مورد توجه

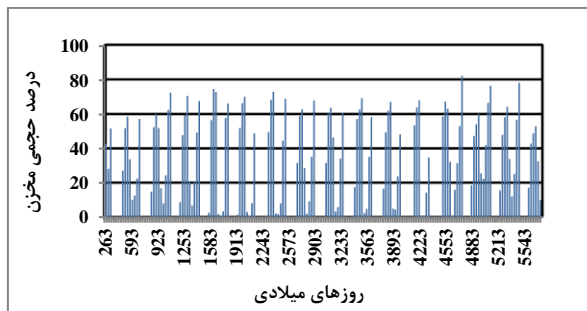


الف

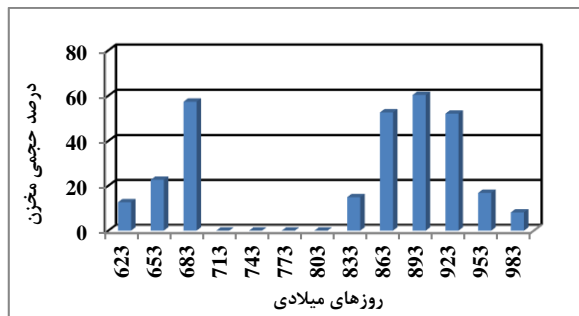


ب

شکل ۵- درصد حجمی مناسب حیات زیستی گونه های عروس ماهی و گربه ماهی در مخزن کرخه
الف: در طی دوره شبیه سازی ۱۵ ساله ب: در طی یکسال

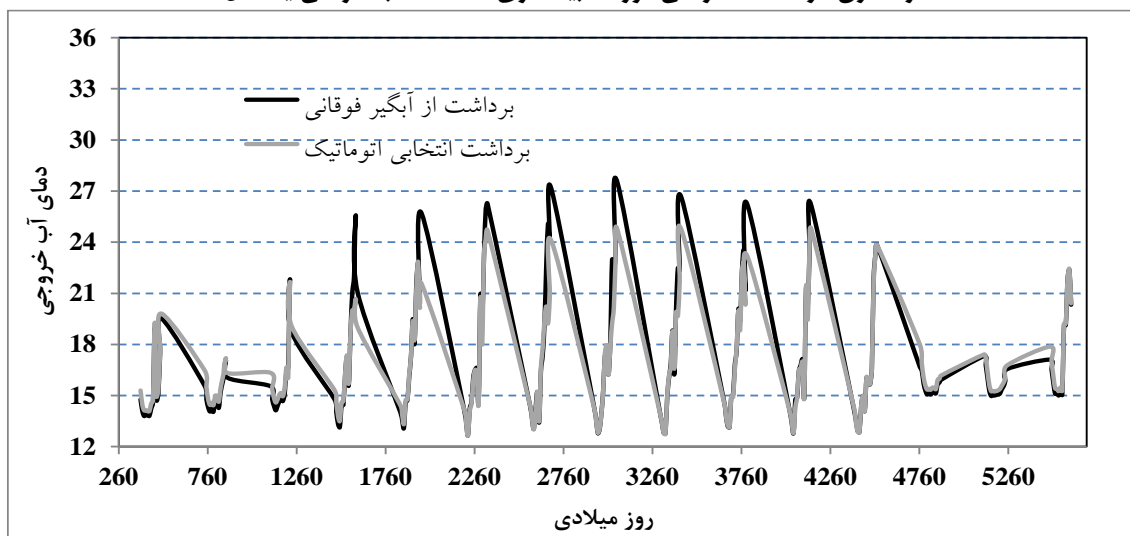


الف



ب

شکل ۶- درصد حجمی مناسب حیات‌زیستی با معیار دمای مطلوب گونه‌های عروس ماهی و گربه ماهی و اکسیژن محلول 6 mg/L در مخزن کرخه الف: در طی دوره شبیه‌سازی ۱۵ ساله ب: در طی یکسال



شکل ۷- سری زمانی دمای آب خروجی مخزن کرخه در سناریوهای بهره‌برداری آبگیر فوقانی و برداشت انتخابی اتوماتیک

سانتی‌گراد و در سناریوی برداشت انتخابی اتوماتیک $4/99$ درجه سانتی‌گراد است.

یکی دیگر از موارد مورد بررسی در این تحقیق، بررسی تأثیر پرورش ماهی بر حالت تغذیه‌گرایی مخزن کرخه با توجه به شاخص کروفیل‌آ و فسفر است. مطالعات نشان می‌دهد غلظت کلروفیل‌آ در کلیه گزینه‌ها به مقدار کمتر از 4 میکروگرم در لیتر محدود می‌گردد اما افزایش فسفر در مخزن نشان از شرایط کیفی مغذی مخزن (Chapra 1997) است. همانگونه که در قسمتهای پیشین اشاره گردید غلظت فسفر عاملی محدود کننده در رشد و نمو جلبکی در مخزن بزرگی مانند کرخه است ($N:P > 10$). با توجه به این مهم، کنترل غلظت فسفر می‌تواند نقشی تعیین کننده در بهبود شرایط کیفی مخزن به لحاظ تغذیه‌گرایی داشته باشد. از طرف دیگر با در نظر گرفتن این نکته که ترکیبات مواد غذایی مورد استفاده در مزرعه

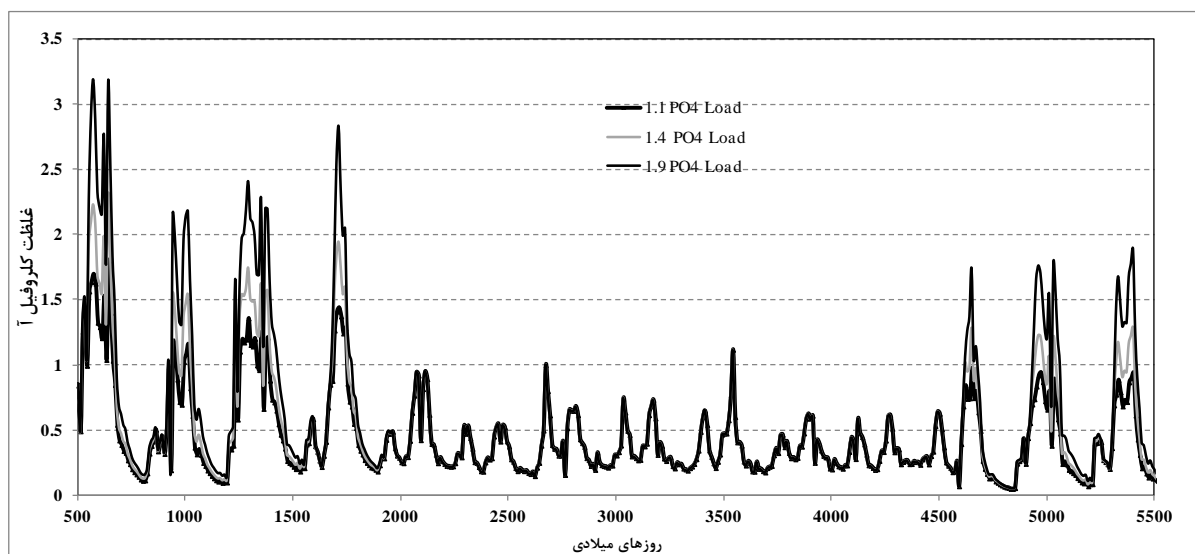
همانگونه که در قسمتهای بالا اشاره گردید به منظور کاهش تغییرات الگوی فصلی دما ناشی از احداث سد و راکد نمودن جریان آب، تکنیکهای سازه‌ای و/یا بهره‌برداری در سدها مورد بررسی قرار می‌گیرد. در نسخه جدید مدل CE-QUAL-W2 به منظور کاهش تغییرات الگوی فصلی دما در پایاب سد کرخه و دستیابی به دمای هدف 20 درجه سانتی‌گراد (مناسب برای تخم‌گذاری ماهیان) در ماههای اسفند تا اردیبهشت از گزینه الگوریتم برداشت انتخابی اتوماتیک استفاده گردید. برای این منظور، مدل مقادیر برداشت از هر آبگیر را به گونه‌ای تنظیم می‌نماید که میزان تخطی از دمای هدف تا حد امکان کاهش یابد. در شکل ۷ سری زمانی دمای آب خروجی مخزن کرخه در سناریوی برداشت از آبگیر فوقانی و سناریوی برداشت انتخابی اتوماتیک ارائه شده است. بر اساس مشاهدات، متوسط تخطی دمای خروجی نسبت به دمای هدف در طی ماههای اسفند تا اردیبهشت در سناریوی برداشت از آبگیر فوقانی $4/85$ درجه

۴- نتیجه گیری

در این تحقیق از مدل دو بعدی هیدرودینامیک و کیفیت آب کالبیره و صحت‌سنجی شده مخزن کرخه به منظور ارزیابی سناریوهای متعدد بهره‌برداری مخزن در خصوص معیارهای عملکرد زیستی، تعیین جایگاه زیستی ماهیان رودخانه کرخه (عروس ماهی و گربه‌ماهی)، بهبود شرایط دمایی پایاب سد کرخه در طی ماههای اسفند تا اردیبهشت (ماههای تخم‌گذاری ماهیان رودخانه) و بررسی تاثیر فعالیت پرورش ماهی بر کیفیت آب مخزن بهره گرفته شد و نتایج آن ارائه گردید. در نسخه ۳/۷۲ مدل CE-QUAL-W2 قابلیت‌های جدیدی در خصوص بررسی مباحث زیست‌محیطی، کیفیت آب و اصلاح نحوه بهره‌برداری از مخزن در ساختار برداشت انتخابی به صورت اتوماتیک به منظور بهبود عملکردهای زیستی پایاب سد (پارامتر دما) گنجانده شده‌است تا به این ترتیب شرایط زیستی مناسب‌تری برای آبزیان پایاب سد فراهم گردد. تعیین جایگاه زیستی در پیکره‌های آبی از دیگر قابلیت‌های جدید این مدل، می‌تواند اطلاعات ارزشمندی در خصوص حجم آبی قابل دسترسی مناسب برای حیات آبزیان بر اساس معیارهای دما و اکسیژن محلول فراهم نماید. به این ترتیب ارزیابی تأثیر احداث سد بر جایگاه زیستی آبزیان برای مدیران و برنامه‌ریزان و دوست‌داران محیط‌زیست قابل دسترسی است. همچنین تأثیر احداث سد بر عملکردهای زیستی (دما، ذرات معلق، نیترات، آمونیم، فسفات و اکسیژن محلول) به صورت درصدی فراوانی در طی دوره شبیه‌سازی قابل دسترسی خواهد بود.

پرورش ماهی در ایجاد شرایط تغذیه‌گرایی پیکره آبی نقشی اساسی دارد بنظر می‌رسد بکارگیری تکنیک‌های مناسب و نیز مدیریت صحیح به منظور محافظت از پیکره آبی می‌تواند در بهبود شاخص تغذیه‌گرایی مخزن مؤثر واقع گردد. داده‌هایی در خصوص غلظت مواد مغذی ورودی ناشی از غذای ماهیان در فعالیتهای پرورش ماهی در دسترس نبوده و بنابراین در این تحقیق سه شدت متفاوت شار مواد مغذی پیشنهاد گردید. مواد مغذی ورودی ناشی از فعالیت پرورش ماهی در این مطالعه به صورت غلظت بار مواد مغذی ورودی در بازه ورودی به مخزن لحاظ شده‌است.

سری زمانی غلظت کلروفیل آ در شکل ۸ ارائه شده‌است. به منظور ترسیم شرایط کیفی مخزن ناشی از افزایش بار فسفر ورودی، غلظت کلروفیل آ از روز ۵۰۰ شبیه‌سازی نمایش داده شده‌است تا تأثیر شرایط اولیه منتفی شده و شرایط هیدرولوژیکی، آب و هوایی و غلظت مواد آلاینده ورودی ترسیم کننده شرایط کیفی مخزن باشند. بررسی‌ها در این تحقیق نشان می‌دهد در دوره‌های کم‌آبی (روزهای ۲۰۰۰ تا ۴۵۰۰)، افزایش بار مواد مغذی ورودی تأثیری در غلظت کلروفیل آ ندارد. به عبارتی کاهش دبی در دوره‌های کم‌آبی سبب کاهش بار مواد مغذی در مقایسه با دوره پرآبی می‌گردد که این مقدار بار آلودگی برای افزایش رشد و نمو جلبکی کافی نمی‌باشد. علاوه بر این، در دوره‌های کم‌آبی امکان ذخیره‌سازی حجم کمتری از آب در مخزن فراهم است و در نتیجه زمان ماند مواد مغذی در مخزن نسبت به شرایط پرآبی، محدودتر می‌گردد و در نتیجه غلظت کلروفیل، تغییر قابل توجهی نخواهد داشت.



شکل ۸- سری زمانی غلظت کلروفیل آ متاثر از افزایش بار آلودگی فسفات

7. Striped Bass
8. Hybrid Striped Bass
9. Lake Murray
10. Claytor Lake
11. J.Strom Thurmond Reservoir
12. Automatic Port Selection
13. Glyptothorax Silviae
14. Leuciscus cephalus
15. Advection
16. Diffusion

۵- مراجع

- Afshar A, Saadatpour M (2009) Reservoir eutrophication modelling, sensitivity analysis, and assessment; application to Karkheh reservoir, Iran. *Environmental Engineering Science* 26 (7): 1227-1238
- Bartholow JM (2003) Modeling Chinook Salmon with SALMOD on the Sacramento river. *Hydroecologie Appliquee* 14(1):193-219
- Campbell SG, Flug M, and Hanna RB (2002) Evaluating water allocations for drought management. In Proc. of the Second Federal Interagency Hydrologic Modeling Conference, Subcommittee on Hydrology of the Interagency Advisory Committee on Water Information, July 29 - August 1, Las Vegas, NV, USA
- Chapra SD (1997) Surface water quality modeling. McGraw-Hill, New York
- Cole TM, Wells SA (2008) User's guide for CE-QUAL-W2: a two-dimensional, laterally averaged, hydrodynamic and water quality model, version 3.5. Washington, DC: U.S. Army Corps of Eng., Draft File report, 20314-1000
- Dai L, Dai h, Jiang D (2012) Temporal and spatial variation of thermal structure in three Gorges reservoir: a simulation approach. *Journal of Food, Agriculture & Environment* 10 (2): 1174-1178
- Degefu F, Mengistu S, Schagerl M (2011) Influence of fish cage farming on water quality and plankton in fish ponds: a case study in the Rift Valley and North Shoa reservoirs, Ethiopia. *Aquaculture* 316: 129-135
- Deus R, Brito D, Mateus M, Kenov I, Fornaro A, Neves R, Alves CN (2013) Impact evaluation of a pisciculture in the Tucuruí reservoir (Pará, Brazil) using a two-dimensional water quality model. *Journal of Hydrology* 487: 1-12
- FAO (2006) FishStat Plus. Software, Rome, Italy

به منظور بررسی تأثیر بهره‌برداری از مخزن با ساختار برداشت انتخابی و نیز بهبود شرایط کیفی پایاب سد، سناریوهایی مختلف بهره‌برداری از مخزن تعریف و شاخصهای کیفی متعدد مورد مطالعه قرار گرفتند. به منظور تجمیع اثرات پارامترهای کیفی متعدد، از شاخص تجمیع یافته کیفیت آب معرفی شده توسط (Swamee and Tyagi (2000) استفاده گردید. با توجه به مباحث استفاده بهینه از منابع آبی و فراهم نمودن امکان استفاده مجدد از این منابع بارزش، در این مطالعه تأثیر فعالیت پرورش ماهی بر کیفیت منابع آب مخزن کرخه نیز مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به معیار کلروفیل-ا، غلظت این پارامتر در اثر افزایش بار مواد مغذی منتج از غذای ماهیان و فضولات آنان تأثیر قابل توجهی نخواهد یافت اما غلظت فسفر به عنوان یکی از شاخصهای تغذیه‌گرایی در این مخزن، افزایش قابل توجهی خواهد یافت به گونه‌ای که شرایط کیفی مخزن حالت مغذی خواهد یافت. مطالعات و بررسی‌ها نشان می‌دهد کنترل مقدار بار فسفر ورودی به پیکره آبی از طریق کنترل مواد غذایی مورد استفاده توسط ماهیان و نیز بار آلودگی ورودی از سطح حوضه آبریز، می‌تواند نقش مؤثری در بهبود شاخصهای تغذیه‌گرایی در مخزن کرخه داشته باشد.

افزودن قابلیت‌های جدید به مدل CE-QUAL-W2 در خصوص اصلاح بهره‌برداری از مخزن با ساختار برداشت انتخابی به صورت اتوماتیک به منظور بهبود عملکردهای زیستی مانند اکسیژن محلول و یا مواد مغذی (فسفات، نیترات و آمونیم)، اصلاح سری زمانی میزان جریان خروجی از مخزن با هدف ارتقاء کیفیت می‌تواند از تحقیقات پیش‌روی در آینده باشد. همچنین ایجاد ارتباط میان مدل CE-QUAL-W2 با مدل‌های کمی دیگر مانند WEAP، MODSIM و ... به منظور در نظر گرفتن تأثیر بهره‌برداری بر اهداف کمی مخازن در کنار اهداف کیفی برای ماطالعات آینده پیشنهاد می‌گردد. علاوه بر این ایجاد ارتباط میان مدل CE-QUAL-W2 با مدل‌های اکولوژیکی مانند SALMOD یا مدل زیست - انرژی به منظور ارزیابی تأثیر شرایط کیفی، هیدرودینامیک و دمای آب بر فراوانی، تنوع و حیات ماهیان می‌تواند برای ادامه این تحقیق پیشنهاد گردد.

پی‌نوشت‌ها

1. Chinok Salmon
2. Sacramento
3. Macrozoobenthos
4. Bioenergetics
5. Stockwell and Johnson
6. Algae-zooplankton-kokanee food web

- McKillip ML (2008) Coupling the hydrodynamic and water quality model CE-QUAL-W2 with a multi-trophic fish bio-energetics model for lake Roosevelt, Washington. Ph. D. Thesis Dissertation, Portlan State University
- Nash CE (2001) The net-pen Salmon farming industry in the Pacific northwest. U.S. Dept. of Commer., NOAA Tech. Memo. NMFS-NWFSC-46
- Rounds S, Sullivan A (2006) Development and use of new routines in CE-QUAL-W2 to blend water from multiple reservoir outlets to meet downstream temperature targets. Proceedings of the Third Federal Interagency Hydrologic Modeling Conference, April 2-6, Reno, Nevada, USA
- Ruane RJ, Hauser GE, Sawyer AF (2013) Water quality modeling as a management tool for Striped Bass and Hybrid Striped Bass. American Fisheries Society Symposium 80:161–179
- Schladow SG, Hamilton DP (1997) Prediction of water quality in lakes and reservoirs: Part II. model calibration, sensitivity analysis, and application. *Ecological Modeling* 96 (1–3):111–123
- Soyupak S, Mukhallalati L, Yemisenm D, Bayer A, Yurteri C (1997) Evaluation of eutrophication control strategies for the Keban dam reservoir. *Ecological Modeling* 97 (2): 99–110
- Swamee PK, Tyagi A (2000) Describing water quality with aggregate index. *Journal of Environmental Engineering* 126(5):451-455
- Wells V, Wells S (2012) CE-QUAL-W2 water quality and fish-bioenergetics model of Chester Morse lake and the Cedar river. World Environmental and Water Resources Congress (ASCE), May 20-24, Albuquerque, New Mexico, USA
- Zivic I, Markovik Z, Filipovic-rojka Z and Zivic M (2009) Influence of a Trout farm on water quality and macrozoobenthos communities of the receiving stream (Trešnjica river, Serbia). *International Review of Hydrobiology* 94(6): 673 –687
- Guo L, Li Z (2003) Effect of nitrogen and phosphorus from fish cage on the communities of shallow lake in middle Yangtze river basin of China. *Aquaculture* 226: 201–212
- International Sturgeon Research Institute (Rasht) (2008) Feasibility studies on potential breeding Sturgeon aquaculture in Khouzestan province. <http://aeshilatahvaz.blogfa.com/post-153.aspx> (In Persian)
- Izadi A, Hasani AS, Seyedi Ghomi SMK (2008) Investment opportunities in aquaculture; pisciculture activity on marine fish. Iran Fisheries Organization, Technical Report of Fisheries (In Persian)
- Kerckhove DT, Smokorowski KE, Randall RG (2008) A primer on fish habitat models. Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences 2817
- Khalife Nilsaz M (2010) Estimation of fish production capacity in Abbaspour, Masjed-Soleyman, Karoun III, Maroun, Dez, and Karkheh reservoirs in Khouzestan province, 1th Iranian National Conference on Applied Research in Water Resources, May 10-12, Kermanshah, Iran (In Persian)
- Kupren K, Mamcarz A, Kucharczyk D (2010) Effects of temperature on survival, deformations rate and selected parameters of newly hatched larvae of three rheophilic cyprinids (genus *leuciscus*). *Journal of Natural Sciences* 25(3): 299-312
- Kunz MJ, Senn DB, Wehrli B, Mwelwa EM and Wuest A (2013) Optimizing turbine withdrawal from a tropical reservoir for improved water quality in downstream wetlands. *Water Resources Research* 49 (9): 5570–5584
- Leon LF, Lam DC, McCrimmon C, Swayne DA (2003) Watershed management modelling in Malawi: application and technology transfer. *Environmental Modeling and Software* 18: 531–539
- Mahab Ghodss Consulting Engineering, (2011) Environmental impact assessment study on Tange-mashoure dam and hydro power plant (In Persian)