Archive of SID

تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال پانزدهم، شماره ۱، بهار ۱۳۹۸
Volume 15, No. 1, Spring 2019 (IR-WRR)
۲۹۸-۲۸۰

شبیه‌سازی-بهینه‌سازی چندهدفه برای مدیریت کمی-کیفی مخازن سدها برمبنای رویکرد برداشت انتخابی و تلفیق مدل‌ها

معصومه حقیقت[۱]، محمدرضا نیکو[۲*]، محمد پروین‌نیا[۳] و نرگس طراوت‌روی[۴]

چکیده

بهره‌برداری کمی-کیفی از مخازن سدها یکی از موضوعات مهم در مدیریت منابع آب می‌باشد. در این تحقیق، یک مدل چندهدفه شبیه‌سازی-بهینه‌سازی با رویکرد برداشت انتخابی از مخزن سد، با درنظر گرفتن سناریوهای مختلف آب رهاسازی شده از ۴ دریچه مخزن، تکنیک تلفیق مدل‌ها (Models Fusion)، مدل چندهدفه بهینه‌سازی NSGA-II و مدل شبیه‌سازی کالیبره شده CE-QUAL-W2 توسعه داده شده است. به منظور تولید رهاسازی‌های ممکن از دریچه‌های سد و اجرای مکرر مدل شبیه‌سازی CE-QUAL-W2، دو کد در محیط نرم‌افزار MATLAB® به صورت جداگانه تدوین شده است. سه توابع هدف اصلی مدل بهینه‌سازی چندهدفه در این تحقیق، حداقل‌کردن اختلاف بین آب تخصیص داده شده از مخزن سد برای بخش کشاورزی و تقاضاهای این بخش و حداکثرکردن شاخص کیفیت آب ایران ($IRWQI_{SC}$) و حجم مخزن سد می‌باشند. برمبنای این متدولوژی، پس از اجرای مکرر مدل شبیه‌سازی کالیبره‌شده CE-QUAL-W2 برای تمام سناریوها، داده‌های ورودی و خروجی مدل شبیه‌سازی به صورت مجموعه داده‌های ورودی-خروجی ذخیره شده است و سه مدل شبکه عصبی پرسپترون چندلایه (MLP)، شبکه عصبی رگرسیونی تعمیم‌یافته (GRNN) و شبکه عصبی شعاع مبنا (RBF) که به عنوان مدل‌های هوش مصنوعی منفرد مورد استفاده قرار گرفته‌اند، آموزش و صحت‌سنجی می‌گردند. برای تلفیق مدل‌های مذکور نیز از روش وزن‌دهی رتبه‌بندی شده، استفاده شده است که در آن، برای تعیین وزن مدل‌ها از روش Orness استفاده گردیده است. سپس، با اتصال مدل تلفیقی به مدل بهینه‌سازی الگوریتم چندهدفه NSGA-II، منحنی تعامل بین اهداف گرودارن مختلف تعیین می‌گردد. برای به دست آوردن نقطه مناسب بر روی منحنی تعامل از مدل چانه‌زنی نش-ارسنی و روش‌های مختلف قوانین گزینش اجتماعی استفاده شده است. در انتها، با استفاده از مدل چانه‌زنی بازگشتی بهترین راه‌حل مورد سازش بین ذی‌نفعان در برداشت انتخابی از مخزن سد انتخاب گردیده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که مدل‌های نش-ارسنی، کندروسه و قوانین اجتماعی بردا برای پیدا کردن نقطه مناسب بر روی منحنی تعامل بین اهداف گروداران اصلی مختلف، کاراتر هستند.

کلمات کلیدی: بهره‌برداری کمی-کیفی از مخزن سد، برداشت انتخابی، تلفیق مدل‌ها (Models Fusion)، روش‌های قوانین گزینش اجتماعی، روش چانه‌زنی بازگشتی.
تاریخ دریافت مقاله: ۹۷/۳/۱۹
تاریخ پذیرش مقاله: ۹۷/۹/۲۴

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی و مدیریت منابع آب، بخش مهندسی عمران، دانشگاه یاسوج.
۲- دانشیار، بخش مهندسی عمران و محیط‌زیست، دانشکده مهندسی، دانشگاه شیراز.
۳- استادیار، بخش مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه یاسوج.
۴- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی و مدیریت منابع آب، بخش مهندسی عمران، دانشگاه یاسوج.
*- نویسنده مسئول
بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان تابستان ۱۳۹۸ امکانپذیر است.

Multi-Objective Simulation-Optimization for Reservoir Quality-Quantity Management based on Selective Withdrawal and Model Fusion

M. Haghighat[1] , M.R. Nikoo[2], M. Parvinnia[3] and N. Taravatroy[4]*

Abstract

Water quantity and quality criteria in the reservoirs operation is one of the most important issues in the water resources management. In this paper, a multi-objective simulation-optimization model is developed for reservoir selective withdrawal considering different releases scenarios from 4 reservoir outlets of dam, model fusion technique, NSGA-II multi-objective optimization model and calibrated CE-QUAL-W2 simulation model. To generate possible reservoir releases as well as automatic running of calibrated CE-QUAL-W2 model for different possible scenarios, two individual codes are developed in MATLAB® software. The three main objective functions of this study were minimizing difference between allocated water from the reservoir to agricultural sector and its demands, maximizing Iran Water Quality Index ($IRWQI_{SC}$) of reservoir and the reservoir storage. Based on this methodology, the input-output data sets of automatic running of CE-QUAL-W2 simulation model for all of the scenarios were saved and utilized for training and validating the MLP (Multi-Layer Perceptron), GRNN (Generated Regression Neural Network) and RBF (Radial Basic Function) individual Meta models. The Ordered Weighted Average was utilized to fuse the individual Meta models in order to determine the model's weighting based on Orness method. Then, the fusion model was linked to NSGA-II multi-objective optimization model to determine the Pareto optimal solutions between the objectives of the different stakeholders. For obtaining an appropriate solution considering different involved stakeholders on the Pareto front, Nash-Harsaniy bargaining theory and different social choice rules method were utilized. At the end, the fallback bargaining theory was used to choose the best compromise solution between stakeholders in the reservoir's selective withdrawal. The results showed that Nash-Harsanyi bargaining theory, Condorect choice and Borda social rules were most efficient models to find the compromise solutions on the Pareto front between the objectives of the involved main stakeholders.

Keywords: Quantity-Quality Reservoir Operation, Selective Withdrawal, Model Fusion, Social Choice Rules Method, Fallback Bargaining Theory.
Received: June 9, 2018
Accepted: December 15, 2018

1- M.Sc. Student, School of Engineering, Department of Civil Engineering, Yasouj University, Yasouj, Iran.
2- Associate Professor, School of Engineering, Department of Civil and Environmental Engineering, Shiraz University, Shiraz, Iran. Email: nikoo@shirazu.ac.ir
3- Assistant Professor, School of Engineering, Department of Civil Engineering, Yasouj University, Yasouj, Iran.
4- M.Sc. Student, School of Engineering, Department of Civil Engineering, Yasouj University, Yasouj, Iran.
*- Corresponding Author

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

بهره‌برداری بهینه کمی-کیفی از مخازن سدها یکی از مسائل بسیار مهم در بحث مدیریت منابع آب می‌باشد، زیرا بایستی رویکردهای مختلفی مانند انتخاب متغیرهای مناسب برای لحاظ کیفیت آب و تخصیص آب با کمیت و کیفیت مطلوب بین بخش‌های مختلف، در نظر گرفته شوند (Castelletti et al., 2013; Saadatpour et al., 2017). لایه‌بندی حرارتی یک مخزن، نتیجه فرایندهای فیزیکی مختلف است که گرما را از سطح مخزن به لایه‌های عمیق‌تر مخزن توزیع می‌کند (Casamitjana et al., 2013; Rheinheimer et al., 2015; Zhang et al., 2016). لایه‌بندی حرارتی باعث ایجاد تغذیه‌گرایی در مخزن شده که منجر به تغییرات دما و پارامترهای کیفی آب در عمق‌های مختلف مخزن سد می‌گردد. بنابراین اگر رهاسازی‌های آب در مخزن فقط از یک خروجی باشد، لزوماً به دما و کیفیت آب خروجی مناسبی دست نخواهیم یافت (Olden and Neiman, 2010). از این رو، از ساختار برداشت انتخابی که شامل رهاسازی آب از چندین دریچه در ترازهای ارتفاعی مختلف مخزن می‌باشند، می‌توان استفاده نمود. در بهره‌برداری از مخازن سدها با رویکرد برداشت انتخابی، چندین دریچه خروجی به طور همزمان باز می‌شوند تا آب خارج شده از ارتفاع‌های مختلف با هم ترکیب شوند (Rheinheimer et al., 2015; Javaheri and Saadatpour, 2017). در خصوص مدل شبیه‌سازی-بهینه‌سازی چندهدفه برداشت انتخابی از مخازن سدها، گرودارن مختلفی با اولویت‌های متفاوت وجود دارند که این اولویت‌ها تابع هدف‌های مدل بهینه‌سازی چندهدفه را تشکیل می‌دهند. لذا، لازم است که اختلافات بین آن‌ها در یک چارچوب بهینه‌سازی چندهدفه با مدل‌های تصمیم‌گیری و حل اختلاف مختلف دیده شود. اما یک نکته حایز اهمیت که در مطالعات گذشته به آن پرداخته نشده، بحث‌های چانه‌زنی برمبنای رویکرد مدل‌های چانه‌زنی و گزینش انتخاب اجتماعی و ملاحظات مربوط به نحوه رسیدن به یک گزینه مورد پذیرش بین گروداران مختلف در بحث برداشت انتخابی است. همچنین، یکی از نکات مهم دیگر در بحث‌های مربوط به رویکرد برداشت انتخابی، زمان اجرای بالای محاسبات مدل‌های شبیه‌سازی به دلیل اتصال به مدل‌های بهینه‌سازی می‌باشد که در این زمینه معمولاً مدل‌های هوش مصنوعی استفاده می‌شوند، اما دقت این مدل‌ها ممکن است مناسب نباشند. یک روش مناسب برای حل این مشکل که در مطالعات گذشته به آن توجه‌ای نشده است، روش تلفیق مدل‌ها (Models Fusion) می‌باشد.

محققین گذشته، در زمینه شبیه‌سازی پارامترهای کیفی آب خروجی از مخزن سد در برداشت انتخابی، از مدل‌های شبیه‌سازی یک‌بعدی، دوبعدی و سه‌بعدی مختلفی استفاده کرده‌اند (Deng et al., 2003a, 2003b, 2004 and 2006; Hugo et al., 2007; Ma et al., 2008; Politano et al., 2006 and 2008; Alkan and Eli, 2009; Gao et al., 2010; Saadatpour and Afshar, 2011; Gao et al., 2012; Alihamze and Mohammad rezapour, 2014; Javaheri and Saadatpour, 2017). همچنین، در رویکرد برداشت انتخابی، تدوین مدل شبیه‌سازی-بهینه‌سازی رهاسازی آب از مخزن سد با در نظر گرفتن ملاحظات کمی-کیفی، به صورت تک‌هدفه و چندهدفه صورت پذیرفته است (Castelletti et al., 2013; Rheinheimer et al., 2015; Amirkhani et al., 2016; Saadatpour et al., 2017). امروزه به دلیل کارایی بالای مدل‌های شبکه‌های عصبی برای پیش‌بینی مسائل غیرخطی و پیچیده و کاهش زمان محاسبات، با توجه به ماهیت خروجی مدل و ویژگی‌های آن، محققان زیادی از این سیستم‌های هوشمند در زمینه مدیریت منابع آب استفاده کرده‌اند (Castelletti et al., 2013; Arab et al., 2014; Moderesi et al., 2015; Soleimani et al., 2016; Balouchi et al., 2017; Javaheri and Saadatpour, 2017). برای افزایش دقت شبیه‌سازی متغیرهای کیفی آب خروجی از مخزن سد می‌توان از تکنیک تلفیق مدل‌ها استفاده کرد که در تحقیقات پیشین، استراتژی OWA در زمینه‌های مختلف مدیریت منابع آب مورد استفاده قرار گرفته است (Moderesi et al., 2015; Hosseini and Kerachian, 2017; Alizadeh et al., 2018). اما هیچ کدام از مطالعات پیشین از تکنیک تلفیق مدل‌ها و همچنین بحث‌های تعیین راه‌حل مورد سازش و مقبول همه گروداران، از منظر مدل‌های پرکاربردی مثل مدل‌های چانه‌زنی بازگشتی مختلف و انتخاب اجتماعی در بحث برداشت انتخابی، استفاده نکرده‌اند. این مدل‌ها از جهت اینکه گزینه مورد سازش را نسبت به سایر مدل‌های حل اختلاف به صورت مناسب‌تری ارائه می‌دهند، بسیار پرکاربرد هستند. برای بحث حل اختلاف بین آببران مختلف سد، محققانی در زمینه‌های مختلف مدیریت منابع آب، به این موضوع پرداخته‌اند (Kerachian and Karamouz, 2007; Shirangi et al., 2008; Karamouz et al., 2009; Sadegh et al., 2010). اما، مرور تحقیقات گذشته نشان می‌دهد که هیچ‌کدام از مطالعات پیشین از استراتژی تلفیق مدل‌ها نظیر OWA برای دقیق‌ترکردن نتایج شبیه‌سازی کیفیت آب خروجی از مخزن سد با رویکرد برداشت انتخابی و لحاظ سناریوهای رهاسازی مختلف و همچنین بحث‌های تعیین راه‌حل مورد سازش و مقبول همه گروداران، استفاده نکرده‌اند.

در این تحقیق، متدولوژی شبیه‌سازی-بهینه‌سازی چندهدفه برداشت انتخابی از مخازن سدها برمبنای مدل‌های CE-QUAL-W2، روش تلفیق مدل‌ها و مدل بهینه‌سازی چندهدفه NSGA-II ارائه شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

در متدولوژی مذکور، با استفاده از روش‌های مختلف گزینش اجتماعی، گزینه مورد قبول گرودارن مختلف را تعیین کرده و با مدل چانه‌زنی بازگشتی از بین روش‌های انتخابی، مورد سازش‌ترین راه‌حل انتخاب می‌شود. در این تحقیق، برای شبیه‌سازی دما و پارامترهای کیفی آب خروجی از مخزن سد، از مدل شبیه‌سازی کالیبره‌شده CE-QUAL-W2 با رویکرد برداشت انتخابی استفاده گردیده است. این شبیه‌سازی براساس سناریوهای مختلف رهاسازی ممکن آب از دریچه‌های مختلف سد صورت پذیرفته است که به این منظور، دو کد در محیط نرم‌افزار MATLAB® به صورت جداگانه برای تولید رهاسازی‌های ممکن از دریچه‌های مختلف سد و اجرای مکرر مدل شبیه‌سازی تدوین شده است. در ادامه، ۳ مدل هوش مصنوعی MLP[۱]، GRNN[۲] و RBF[۳] برای کاهش زمان محاسبات شبیه‌سازی و نیز به عنوان یک فرامدل جایگزین مدل شبیه‌سازی عددی CE-QUAL-W2، براساس داده‌های ورودی و داده‌های خروجی توسعه داده شده و صحت‌سنجی گردیده‌اند. سپس، با استفاده از استراتژی OWA بر مبنای وزن‌های محاسبه شده به روش Orness، تلفیق مدل‌ها با هدف بهبود دقت پیش‌بینی کیفیت آب رهاسازی‌شده با در نظر گرفتن فرآیند برداشت انتخابی تدوین گردیده است. در ادامه، مدل تلفیقی به مدل بهینه‌سازی چندهدفه NSGA-II متصل گردیده است تا منحنی تعامل بین توابع مطلوبیت گرودارن مختلف تعیین شود و زمان شبیه‌سازی-بهینه‌سازی کاهش یابد. سپس، بهترین جواب از بین منحنی تعامل حاصله با استفاده از مدل چانه‌زنی نش-ارسنی[۴] و قوانین گزینش اجتماعی مختلف برای حل اختلاف بین گرودارن تعیین گردیده و جواب‌ها با هم مقایسه می‌گردند. در انتها با استفاده از چانه‌زنی بازگشتی با تأیید q چانه‌زن[۵] بهترین راه‌حل برداشت انتخابی از مخزن سد از بین روش‌های تئوری نش-ارسنی، کندروسه[۶]، امتیازدهی بردا[۷]، قانون رأی‌گیری میانه[۸]، قانون چندگانه[۹] و جواب حداکثری[۱۰] انتخاب گردیده است. با استفاده از نتایج حاصله مشاهده می‌شود که سه مدل نش-ارسنی، کندروسه و امتیازدهی بردا بهترین جواب را بین منحنی تعامل حاصل از بین توابع مطلوبیت گرودارن مختلف، انتخاب می‌کنند.

۲- روش تحقیق

ساختار مدل پیشنهادی برای شبیه‌سازی-بهینه‌سازی چندهدفه مدیریت کمی-کیفی مخازن سدها با رویکرد برداشت انتخابی و تلفیق مدل‌ها در شکل ۱ ارائه شده است. این فلوچارت شامل ۷ گام است که در گام اول، به جمع آوری داده‌های مورد نیاز برای شبیه‌سازی کیفیت‌های خروجی آب از مخزن سد براساس برداشت انتخابی و سناریوهای رهاسازی مختلف پرداخته می‌شود. این داده‌ها شامل داده‌های تاریخی جریان ورودی و خروجی به سد برای لحاظ منحنی عملکرد دریچه، داده‌های تاریخی دمای آب ورودی به مخزن سد و ویژگی‌های فیزیکی سد از جمله، تعداد و تراز خروجی‌ها، منحنی حجم-سطح-ارتفاع و حداکثر و حداقل حجم مخزن سد می‌باشند. در گام دوم، با توجه به سناریوهای مختلف رهاسازی از مخزن سد، جریان خروجی از دریچه‌های مختلف سد با تدوین کدی در نرم‌افزار MATLAB®، تولید می‌شوند. این کد، جهت تولید سناریوهای مختلف رهاسازی ممکن از دریچه‌های مختلف مخزن سد با لحاظ محدودیت‌های فیزیکی سد و دریچه‌ها تدوین گردیده است. در این کد با استفاده از منحنی حجم-سطح-ارتفاع، تراز آب در هر گام زمانی تعیین می‌شود و با مقایسه تراز دریچه‌ها، تعداد دریچه‌های فعال در هر گام زمانی انتخاب می‌گردد. منحنی عملکرد دریچه‌های سد باید در مدل بهینه‌سازی لحاظ گردد تا قید مربوط به حداکثر خروجی ممکن از سد به ازای حجم‌های مختلف آب در مخزن، در مدل بهینه‌سازی درنظر گرفته شود. لذا با توجه به داده‌های تاریخی درازمدت مقدار آب رهاسازی از مخزن سد در گام‌های مختلف به ازای هر حجم، حداکثر آب رهاسازی تاریخی از مخزن سد را تعیین و در قالب یک منحنی پراکندگی نقاط ترسیم کرده‌ایم. محور افق این منحنی حجم مخزن و محور قائم آن حداکثر مقدار رهاسازی آب می‌باشد. سپس یک پوش بالا برای منحنی مذکور در نظر گرفته‌ایم که به عنوان منحنی عملکرد دریچه به صورت تابعی از حجم مخزن ($R_{max}=f(S)$) در قالب قید $R<R_{max}$ در مدل بهینه‌سازی به منظور لحاظ قید حداکثر خروجی ممکن به ازای حجم‌های مختلف استفاده گردیده است. همچنین، معادله بیلان مخزن برای هر سناریوی رهاسازی تولید شده چک گردیده است تا تنها سناریوهایی که در آن قید معادله بیلان ارضا می‌گردند، لحاظ گردند. در گام سوم، با توجه به سناریوهای تعریف شده، کیفیت آب مخزن با مدل شبیه‌سازی دوبعدی CE-QUAL-W2 برای تمامی سناریوهای رهاسازی شبیه‌سازی می‌شود. در گام چهارم، فرامدل‌های MLP، GRNN و RBF به صورت جداگانه براساس مجموعه داده‌های ورودی-خروجی حاصله از مرحله قبل، آموزش و صحت‌سنجی می‌گردند. در گام پنجم، به وسیله مدل استراتژی وزن‌دهی رتبه‌بندی شده (OWA) برمبنای وزن‌های محاسبه شده براساس روش Orness، مدل‌های منفرد صحت‌سنجی شده در گام قبل، ترکیب می‌گردد. در گام ششم، با در نظر گرفتن تابع مطلوبیت گرودارن مختلف، مدل بهینه‌سازی چندهدفه برداشت انتخابی تدوین می‌شود. سپس، مدل بهینه‌سازی چندهدفه NSGA-II تدوین شده، به مدل تلفیقی متصل گردیده است. در گام آخر، براساس روش چانه‌زنی نش-ارسنی و قوانین گزینش اجتماعی مختلف، بهترین جواب از منحنی تعامل بین اهداف به دست آمده و جواب‌ها با هم مقایسه می‌شوند و در نهایت با استفاده از مدل چانه‌زنی بازگشتی، بهترین روش انتخاب، تعیین می‌گردد.

www.SID.ir

Archive of SID

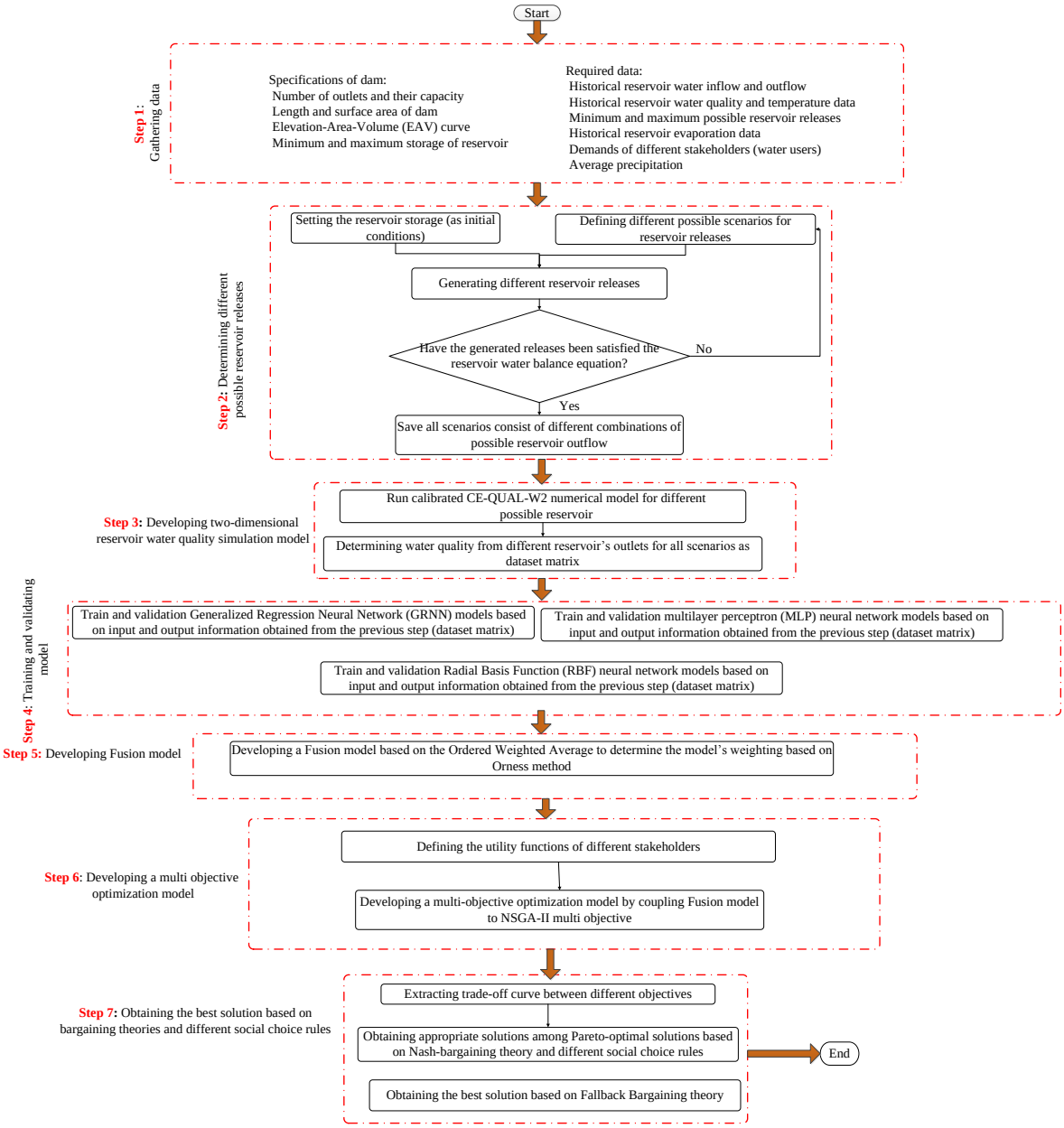


Fig. 1- The flowchart of multi-objective simulation-optimization model for water quantity-quality management in the reservoirs considering selective withdrawal and model fusion

شکل ۱- فلوچارت مربوط به شبیه‌سازی-بهینه‌سازی چندهدفه برای مدیریت کمی-کیفی مخازن سدها با رویکرد برداشت انتخابی و تلفیق مدل‌ها

در ادامه به تفضیل درمورد هرکدام از مدل‌ها و نحوه استفاده آن‌ها در این تحقیق، پرداخته می‌شود.

۲-۱- مدل شبیه‌سازی عددی دوبعدی CE-QUAL-W2

مدل CE-QUAL-W2 یک مدل دو بعدی طولی-عمقی برای شبیه‌سازی هیدرودینامیک (ناپایدار) و کیفیت آب بوده که توسط گروه مهندسی ارتش آمریکا توسعه یافته است. این مدل علاوه بر مخازن، در خورها و رودخانه‌ها هم کاربرد دارد که از روش حل تفاضل محدود برای شبیه‌سازی توزیع قائم و طولی انرژی حرارتی و متغیرهای شیمیایی و بیولوژیکی، استفاده می‌نماید. این مدل همچنین قادر به شبیه‌سازی حجم، سطح آب، چگالی، سرعت‌های قائم و طولی و غلظت اجزای کیفی آب مخزن می‌باشد. استفاده رایج این مدل برای مخازن و دریاچه‌های نسبتاً طولانی و باریک می‌باشد. در این مدل شبیه‌سازی، دو نوع مدول شبیه‌سازی هیدرودینامیکی جریان غیردائمی و مدول

www.SID.ir

Archive of SID

کیفی وجود دارد که مدول شبیه‌سازی هیدرودینامیکی، تغییرات چگالی و تأثیرات آن را بر جریان اعمال می‌کند و مدول کیفی توانایی مدل‌سازی حدود ۳۰ پارامتر فیزیکی و فاکتورهای شیمیایی را دارد. حداقل داده‌های اصلی مورد نیاز این مدل شامل توپوگرافی مخزن سد، سری زمانی دمای آب ورودی، سری زمانی دبی ورودی و خروجی، پارامترهای کیفی ورودی به سد، اطلاعات هواشناسی و غیره می‌باشند (Zhang et al., 2015; Saadatpour and Haravi, 2016).

در این پژوهش، مدل CE-QUAL-W2 توسعه داده شده توسط نیکو و همکاران (۲۰۱۷) برای سناریوهای مختلف ممکن ۵ ساله اجرا شده است. مدل مذکور با مجموعه داده‌های تاریخی در سال‌های ۲۰۰۸-۲۰۰۴ کالیبره و صحت‌سنجی گردیده است (Nikoo et al., 2017). در این تحقیق، مدل شبیه‌سازی کالیبره‌شده CE-QUAL-W2 برای ۵۰۰ سناریوی رهاسازی مختلف ممکن در بازه زمانی ۵ ساله اجرا شده است. در مخزن سد برای شبیه‌سازی دما و کیفیت آب مخزن به وسیله مدل کالیبره‌شده CE-QUAL-W2، چندین خروجی برای بحث برداشت انتخابی در نظر گرفته شده است. برای استفاده از برداشت انتخابی، موضوع مهم این است که دما و کیفیت آب مخزن از چندین دریچه شبیه‌سازی شود. سد کرخه دو دریچه خروجی در ترازهای ۱۶۳ و ۱۸۱ متر بالاتر از سطح دریا دارد. در این تحقیق، دو دریچه دیگر در ترازهای ۱۲۰ و ۱۴۵ متر بالاتر از سطح دریا برای به‌دست آوردن دما و کیفیت آب خروجی مخزن از ارتفاع‌های مختلف، برمبنای تحقیقات پیشین لحاظ شده است (Soleimani et al., 2016). دما و کیفیت آب خروجی از مخزن با مدل شبیه‌سازی دوبعدی CE-QUAL-W2 و برای سناریوهای مختلف به دست آمده، شبیه‌سازی می‌شوند. سپس تمام اطلاعات ورودی به مدل و اطلاعات خروجی سد در یک مجموعه دادهای ورودی-خروجی برای آموزش و صحت‌سنجی فرامدل‌ها ذخیره می‌گردد.

۲-۲- مدل‌های هوش مصنوعی

در این تحقیق، به دلیل آشنایی اکثر محققین با دو مدل هوش مصنوعی مبتنی بر شبکه عصبی مصنوعی MLP و GRNN، تنها توضیحات مدل RBF ارائه شده است. برای مطالعه بیشتر در مورد دو مدل هوش مصنوعی MLP و GRNN و کاربردهای مختلف آن می‌توان به (Li et al., 2006; Balouchi et al., 2017; Saadatpour et al., 2017; Farboudfan et al., 2018) مراجعه کرد.

۲-۲-۱- شبکه عصبی شعاع مبنا (RBF)

شبکه‌های عصبی RBF، ساختار دولایه‌ای پیش‌خور دارند که شامل یک تک‌لایه پنهان با تابع انتقال گوسین هستند که در آن تعداد نرون‌های لایه میانی به تعداد مشاهدات می‌باشد. شبکه‌های RBF به نسبت شبکه‌های پس‌انتشار، نیاز به نرون‌های بیشتری دارند، اما حسن آن‌ها در زمان اجرا کوتاه‌تر آن‌ها نسبت به شبکه‌های استاندارد پس‌انتشار می‌باشد. این شبکه‌ها زمانی که بردارهای آموزشی بسیار زیاد می‌باشند، کارایی قابل‌ملاحظه‌ای از خود نشان می‌دهند. شبکه‌های RBF اطراف هرکدام از داده‌های مشاهداتی، شعاعی را در نظر می‌گیرد که هر کدام از داده‌های ورودی که در داخل آن شعاع قرار گیرد، شبکه داده مذکور را در تخمین خود برای یک مقدار ورودی جدید، درگیر می‌کند. ورودی شبکه‌های RBF، غیرخطی و خروجی‌های این مدل خطی می‌باشد. تفاوت اساسی شبکه‌های شعاع مبنا با شبکه‌های پرسپترون چندلایه، در بردار ورودی و تابع محرکی است که در این شبکه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد (Razavi et al., 2012). تعداد نرون و شعاع تأثیر مناسب مدل RBF را باید برمبنای رسیدن به بهترین میزان عملکرد، براساس سعی و خطا و یا بهینه‌یابی تعیین نمود (توضیحات بیشتر در مورد شبکه عصبی شعاع مبنا در پیوست ۱ ارائه شده است).

در این تحقیق، ورودی‌های مدل هوش مصنوعی شامل میانگین ماهانه دمای آب ورودی به مخزن، سرعت باد، حجم مخزن، دمای هوا، جریان آب ورودی به مخزن، کیفیت آب ورودی مخزن و رهاسازی‌های مختلف از ۴ دریچه برای ۵۰۰ سناریوی ۵ ساله می‌باشند (Saadatpour et al., 2017). همچنین، خروجی‌های مدل عددی CE-QUAL-W2 که شامل دما، نیتریت-نیترات، فسفات و TDS می‌باشند به صورت داده‌های خروجی فرامدل‌ها در نظر گرفته می‌شوند. لازم به‌ذکر است که برای هر کدام از متغیرهای کیفی آب خروجی از ۴ دریچه مخزن سد، یک فرامدل GRNN، RBF و MLP تدوین گردیده است. بدین ترتیب، ۴ فرامدل صحت‌سنجی شده برای به‌دست آوردن دما و کیفیت آب از دریچه‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفته است. تعداد نرون‌ها و شعاع تأثیر برای مدل‌های RBF مذکور به ترتیب ۴۰ و ۵۰ می‌باشد که با استفاده از سعی و خطا به‌دست آمده است.

۲-۳- استراتژی OWA براساس وزن‌های محاسبه شده به روش Orness

تکنیک تلفیق مدل‌ها زیرمجموعه‌ای از تکنیک ترکیب اطلاعات می‌باشد به‌گونه‌ای که نتیجه حاصل از آمیختن داده‌های به دست آمده از منابع مختلف، جامع‌تر، دقیق‌تر و مطمئن‌تر از هر یک از منابع اولیه باشد. تلفیق مدل‌ها در قالب دیدگاه‌های موازی، سری و ترکیب آن‌ها صورت می‌گیرد. در دیدگاه ترکیب موازی مدل‌ها، نتایج حاصل از

www.SID.ir

Archive of SID

چندین مدل منفرد با روش‌هایی نظیر وزن‌دهی و خوداه‌اندازی با یکدیگر ترکیب می‌شوند تا نتایج دقیق‌تری حاصل شود. در حالیکه در دیدگاه ترکیب سری مدل‌ها، نتایج حاصل از یک مدل به عنوان ورودی به مدل دیگر وارد می‌شود و در دیدگاه ترکیبی نتایج حاصل از چندین مدل منفرد به عنوان ورودی یک مدل دیگر وارد می‌شود (Modaresi et al., 2015; Alizadeh et al., 2018). در این تحقیق، از دیدگاه ترکیبی استفاده گردیده است و نتایج حاصل از مدل‌های MLP، GRNN و RBF به عنوان ورودی‌های مدل در نظر گرفته می‌شوند.

روش OWA با ابعاد n، به صورت $F : R^n \rightarrow R$ تعریف می‌شود که در آن n تعداد مدل‌های منفرد استفاده شده در تحقیق می‌باشند (در این تحقیق برابر با ۳ می‌باشد).

Yager (1988) برای تعیین نحوه پراکندگی وزن‌ها حول مقدار میانه آن‌ها، پارامتر Orness و Dispersion را به صورت زیر تعریف کرد:

$$\mathrm{orness(w)} = \sum_{\mathrm{i=1}}^{\mathrm{n}} \frac{(\mathrm{n-i})}{(\mathrm{n-1})} \mathrm{w_i} \qquad (۲)$$

$$\mathrm{orness\ (w)} \in [0,1]$$

$$\mathrm{Dispersion(w)} = -\sum_{\mathrm{i=1}}^{\mathrm{n}} \mathrm{w_i \ln(w_i)} \qquad (۳)$$

مقدار ۰/۵ برای Orness نشان‌دهنده این است که یا همه وزن‌ها یکسان هستند و یا وزن‌ها به صورت توزیع نرمال حول میانه قرار دارند. همچنین، مقادیر بین ۰/۵ و ۱ نشان‌دهنده این است که توزیع وزن‌ها دارای چولگی مثبت است و این بدان معناست که وزن بیشتری به مدل بهتر اختصاص یافته است. در این تحقیق، برای اجرای فرآیند بهینه‌سازی تعیین وزن‌ها از مدل بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک برای مقدارهای متفاوت α بین صفر و یک استفاده می‌شود که در آن به ازای مقدار مشخصی از پارامتر Orness، بیشینه مقدار برای پارامتر پراکندگی ایجاد می‌شود (O'Hagan, 1988).

$$Maximize \quad Dispersion(w) = -\sum_{i=1}^{n} w_i \ln(w_i) \qquad (۴)$$

Subject to:

$$orness(w) = \sum_{i=1}^{n} \frac{(n-i)}{(n-1)} w_i = \alpha \qquad (۵)$$

$$\alpha \in [0,1]$$

$$\sum_{i=1}^{n} w_i = 1 \qquad \mathrm{w_i} \in [0,1] \qquad (۶)$$

در این پژوهش، سه مدل منفرد MLP، GRNN و RBF ابتدا صحت‌سنجی گردیده‌اند و سپس با روش OWA براساس وزن‌های محاسبه شده به روش Orness، با هم ترکیب گردیده‌اند.

۲-۴- مدل بهینه‌سازی چندهدفه NSGA-II و استخراج منحنی تعامل بین توابع مطلوبیت گرودارن

در سال ۲۰۰۰، الگوریتم NSGA-II به خاطر عدم استفاده از نخبه‌گرایی و نیاز به تعیین پارامتر اشتراکی، مورد انتقاد قرار گرفت. Deb et al., (2002) هر دو نقص فوق را برطرف کرده و از دو مفهوم رتبه‌بندی ناغالب و فاصله ازدحام استفاده کردند (Zahrai et al., 2014; Mazandaranizadeh, 2016).

کیفیت و کمیت آب موجود در مخزن سد از جمله مسائلی است که مورد نظر گرودارن متعدد با اهداف و توابع مطلوبیت متضاد می‌باشد. لذا برآورده شدن میزان رضایت گرودارن، نقش بسزایی در بهبود قابلیت اجرای سیاست‌های برداشت انتخابی از مخزن سد خواهد داشت. در این تحقیق، با توجه به ملزومات مرتبط با رهاسازی و کیفیت آب مخزن، توابع مطلوبیت تدوین شده براساس رسیدن مقدار مناسب آب به پایین‌دست، حجم مخزن سد و کیفیت آب برداشت شده می‌باشند. سه هدف مهم برای گرودارن مختلف از جمله شرکت مدیریت منابع آب ایران، جهادکشاورزی و آبفا برای مدل بهینه‌سازی چندهدفه مرتبط با اهداف رهاسازی‌های مختلف در نظر گرفته شده اند که به صورت ذیل قرار داده شده است:

۱) حداکثرسازی حجم مخزن

۲) حداقل‌سازی تفاوت بین مقدار تقاضای آب بخش کشاورزی و مقدار آب تخصیص داده شده به این بخش

۳) حداکثرسازی شاخص کیفیت آب ایران در مخزن سد

با توجه به پژوهش‌های صورت‌گرفته در زمینه بهینه‌سازی کیفیت‌های آب خروجی از مخزن سد، اهداف بسیاری در مرحله بهینه‌سازی مورد توجه بوده است. میزان آب خروجی از مخزن سد باید به نحوی باشد که اولویت‌های سازمانی گرودارن تأثیرپذیر از این طراحی را تأمین نماید. از این رو پس از تعیین سازمان‌های تصمیم‌گیرنده و تأثیرگذار، اولویت و مطلوبیت هریک از اهداف سه‌گانه مشخص می‌گردد. توابع مطلوبیت هر یک از گرودارن، به عنوان توابع هدف مدل بهینه‌سازی چندهدفه NSGA-II در نظر گرفته شده است. توابع مطلوبیت ذی‌نفعان دخیل در این مسأله بهینه‌سازی چندهدفه به صورت زیر لحاظ گردیده است:

www.SID.ir

Archive of SID

شرح مختصری از نمادهای مورد استفاده در این معادلات در ادامه ارائه می‌شود:

$$\text{Minimize}\, Z_1 = \sum_{y=1}^{ny}\sum_{m=1}^{12}\left[\frac{(Al^{y}_{agr,\,m} - d^{y}_{agr,m})}{d^{y}_{agr,m}}\right]^2 \quad (۷)$$

$$\text{Maximize}\, Z_2 = \sum_{y=1}^{ny}\sum_{m=1}^{12} S^{y}_{m} \quad (۸)$$

$$\text{Maximize}\ Z_3 = \sum_{y=1}^{ny}\sum_{m=1}^{12}\left(\frac{Irw^{y}_{dr,m}}{Irw_{max}}\right) - \left(\frac{abs\,(t^{y}_{in,m} - temp^{y}_{dr,m})}{t^{y}_{in,m}}\right) \quad (۹)$$

Z_1, Z_2, Z_3 توابع مطلوبیت ذی‌نفعان

m شمارنده ماه

Al_{agr} آب تخصیص داده شده به بخش کشاورزی (MCM)

d_{agr} نیاز بخش کشاورزی (MCM)

S^{y}_{m} حجم مخزن در ماه m ام و سال y ام (MCM)

Irw_{max} حداکثر مقدار شاخص کیفی آب ایران

ny تعداد سال‌های شبیه‌سازی

$Irw^{y}_{dr,m}$ شاخص کیفی آب ایران برای بخش شرب در ماه m ام و سال y ام

$temp^{y}_{dr,m}$ دمای آب تخصیص داده شده به بخش شرب در ماه m ام و سال y ام (^{0}c)

$t^{y}_{in,m}$ دمای آب ورودی به سد درماه mام وسال yام (^{0}c)

۲-۵- مدل‌های چانه‌زنی و گزینش اجتماعی

نتایج نهایی از مدل بهینه‌سازی، یک منحنی تعامل بین توابع مطلوبیت گرودارن مختلف است. در این تحقیق، به منظور کمک به تصمیم‌گیرندگان، برای پیدا کردن نقطه مناسب بر روی منحنی تعامل حاصل از بهینه‌سازی چندهدفه برای مدیریت کمی-کیفی مخازن سدها با رویکرد برداشت انتخابی با درنظر گرفتن گروداران مختلف، از مدل نش-ارسنی و قوانین گزینش اجتماعی مختلف (شامل امتیازدهی بردا، روش کندروسه، قانون رأی‌گیری میانه، قانون چندگانه، سازش حداکثری) استفاده گردیده است و در انتها با استفاده از تئوری چانه‌زنی بازگشتی، روش مناسب و کاراتر انتخاب شده است. لازم به ذکر است که روش‌های مختلف ممکن است منجر به نتایج مختلف شود، لذا تصمیم‌گیر بسته به اینکه از کدام روش استفاده می‌کند، می‌تواند به جواب‌های مختلف دست یابد. روش‌های گزینش اجتماعی بیشتر یک هم‌آرایی است که به راه‌حل بهینه اجتماعی برسند. بنابراین، ما از روش‌های مختلف برای بررسی مقدار اختلاف بین نتایج به دست آمده، استفاده می‌کنیم تا در نهایت راه‌حل مقبول‌تر توسط تصمیم‌گیر انتخاب گردد. در این تحقیق، وزن‌های مورد استفاده در مدل نش-ارسنی را با استفاده از قضاوت مهندسی که کدام ارگان مهم‌تر است، انتخاب کرده‌ایم. در مدل نش فاصله هندسی جواب از محل نقطه عدم توافق حداکثر می‌گردد و بهترین جواب گزینه‌ای است که مجموعاً برای تمام اهداف بهترین حالت را دارد. در روش بردا، هر گزینه تصمیم به تعداد نفرات رأی‌دهنده امتیاز اولیه‌ای کسب می‌کند و در نهایت گزینه‌ای به عنوان برنده بردا انتخاب می‌شود که امتیاز آن بیشتر باشد. در روش کندروسه، هر گزینه به تعداد دفعاتی که نسبت به گزینه‌های دیگر ترجیح داده می‌شود در یک ماتریس قرار می‌گیرد در نهایت برنده کندروسه، گزینه‌ایی است که اکثریت آن را به دیگر گزینه‌ها ترجیح داده‌اند. در روش قانون رأی‌گیری میانه، رتبه هریک از گزینه‌ها به ترتیب تا انتها مشخص می‌گردد و درنهایت گزینه‌ای که در بالاترین سطح کیفی ممکن در دریافت حمایت حداکثری سازمان‌ها دارد، به عنوان گزینه نهایی انتخاب می‌گردد. در روش قانون چندگانه، قوانین براساس حمایت از اولین انتخاب و بی‌اعتنایی به حمایت‌هایی که با کیفیت ضعیف می‌باشند، مشخص می‌شوند. در روش سازش حداکثری با غربالگری بین گزینه‌های موجود در روش قانون رأی‌گیری میانه گزینه مورد نظر خود را انتخاب می‌کند که این گزینه از لحاظ پشتیبانی در بالاترین کیفیت ممکن قرار دارد (Sheikhmohammadi and Madani, 2008).

۳- مورد مطالعاتی

سد کرخه ششمین سد بزرگ در جهان و بزرگترین سد در ایران است که بر رودخانه کرخه که رودخانه آخر حوضه کرخه می‌باشد، احداث گردیده است. نمایی از این سد در شکل ۲ نشان داده شده است.

این سد دارای سطحی به وسعت ۱۶۲ کیلومترمربع، طول ۶۴ کیلومتر و حجم ۵/۹ میلیارد مترمکعب در تراز نرمال (۲۲۰ متر بالاتر از سطح دریا) می‌باشد. متوسط و حداکثر عمق مخزن کرخه به‌ترتیب ۶۱/۸ و ۱۱۷ متر است. در سد مذکور، دو دریچه برای بحث برداشت انتخابی شبیه‌سازی دما و متغیرهای کیفیت آب خروجی از مخزن سد وجود دارد، که برای شبیه‌سازی آن‌ها از مدل شبیه‌سازی کالیبره‌شده CE-QUAL-W2 استفاده گردیده است. این دو دریچه در ترازهای ۱۶۳ و ۱۸۱ متر بالاتر از سطح دریا قرار دارند.

www.SID.ir

Archive of SID

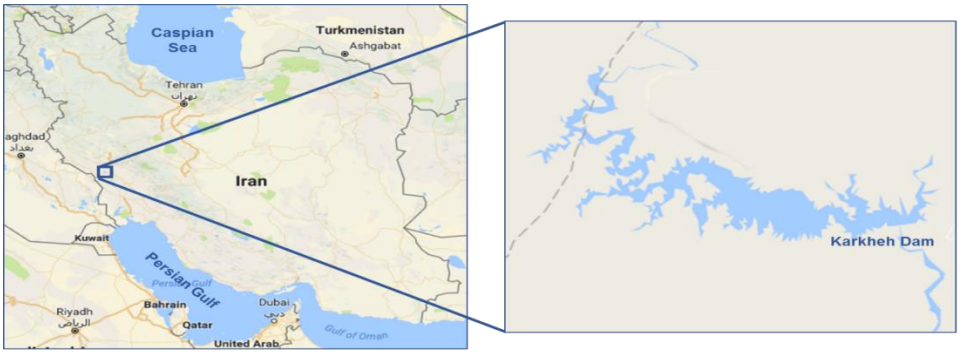


Fig. 2- The situation of Karkheh dam in Iran

شکل ۲- موقعیت سد کرخه در ایران

Table 1- Monthly water demands of different stakeholders

جدول ۱- نیازهای آبی ماهانه ذی‌نفعان مختلف

Month	Agriculture (MCM)	Industrial (MCM)	Domestic (MCM)
October	37.61	0.973	1.63
November	18.756	0.973	1.46
December	0.226	0.973	1.21
January	25.095	0.973	1.17
February	0.00	0.973	1.17
March	29.447	0.941	1.29
April	130.458	1.006	1.45
May	239.596	1.006	1.70
June	311.174	1.006	2.00
July	316.855	1.006	2.22
August	292.227	1.006	2.35
September	183.623	1.006	2.01
Total	**1585.1**	**11.84**	**19.67**

در این تحقیق، دو دریچه دیگر در ترازهای ۱۲۰ و ۱۴۵ متـــر بالاتر از سطح دریا فرض گردیده و ۴ دریچه خروجی از مخزن ســد بـــرای بحث رویکرد برداشت انتخابی در نظر گرفته شده است (Soleimani et al., 2016). نیازهای ذی‌نفعان مختلف پایین‌دست سد کرخه در ماه‌های مختلف در جدول ۱ آورده شده است.

۴- نتایج و تفاسیر

همانطور که پیش از این ذکر گردید، در پژوهش حاضر، با لحاظ سناریوهای مختلف رهاسازی از دریچه‌های مختلف مخزن سد کرخه و رویکرد برداشت انتخابی، با استفاده از مدل عددی دوبعدی شبیه‌سازی CE-QUAL-W2، کیفیت‌های مختلف آب خروجی از دریچه‌های مختلف مخزن سد، شبیه‌سازی گردیده است. برای تولید سناریوهای مختلف رهاسازی از دریچه‌های مختلف سد و اجرای مکرر مدل شبیه‌سازی CE-QUAL-W2 به‌ترتیب کدهای جداگانه‌ای در محیط نرم‌افزار MATLAB® تدوین شده است. سپس، با جمع‌آوری داده‌های ورودی-خروجی مورد نیاز از مدل شبیه‌سازی CE-QUAL-W2، یک مجموعه اطلاعات جهت تدوین فرامدل‌های منفرد هوش مصنوعی MLP، GRNN و RBF فراهم گردیده است. با استفاده از فرامدل‌های تدوین شده، می‌توان کیفیت آب خروجی از مخزن سد را تخمین زد. از آنجا که هدف این تحقیق، افزایش دقت نتایج شبیه‌سازی کیفیت آب خروجی از مخزن سد است، نتایج حاصل از اجرای مدل‌های منفرد هوش مصنوعی با استفاده از روش تلفیق مدل‌ها براساس وزن‌های محاسبه شده به روش Orness با هم ترکیب گردیده‌اند. با توجه به مقایسه نتایج در شکل ۳ در می‌یابیم که براساس هر دو شاخص خطای آماری ریشه میانگین مربع خطا (RMSE)[۱۱] و نش-ساتکلیف (NS)[۱۲] برای مدل‌های منفرد مختلف، مدل GRNN دقت

www.SID.ir

Archive of SID

بهتری بین مدل‌های منفرد ارائه شده در این تحقیق دارد ولی روش تلفیق مدل‌ها از دقت بالاتری در شبیه‌سازی کیفیت آب خروجی از مخزن سد نسبت به مدل هوش مصنوعی منفرد GRNN برخوردار می‌باشد. در روش تلفیق مدل‌ها، شاخص‌های خطای RMSE و NS برای میانگین دمای ۴ دریچه به ترتیب، (^{o}c) ۰/۰۸ و ۰/۹۷ می‌باشند. این دو شاخص برای متغیر کیفی فسفات به ترتیب(mg/l) ۰/۰۲ و ۰/۹۶، برای متغیر کیفی TDS، (mg/l) ۰/۰۰۲ و ۱ و همچنین برای متغیر کیفی نیتریت–نیترات، (mg/l) ۰/۰۹ و ۰/۹۵ می‌باشند. با مشاهده مقدار معیار خطاهای به دست آمده در روش تلفیق مدل‌ها مشخص می‌گردد که این روش از دقت بالاتری نسبت به مدل‌های هوش مصنوعی منفرد برای شبیه‌سازی متغیرهای کیفی آب خروجی از دریچه‌های مخزن سد برخوردار می‌باشد.

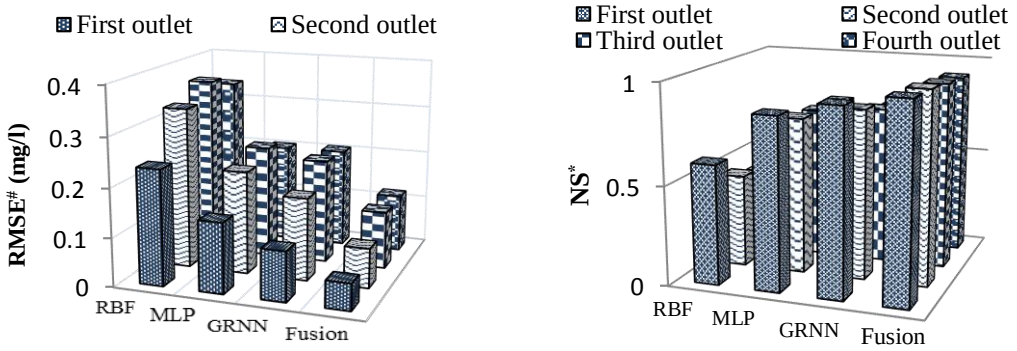
با تدوین و توسعه روش تلفیق مدل‌ها و اتصال آن به مدل بهینه‌سازی چندهدفه NSGA-II، مدل شبیه‌سازی–بهینه‌سازی چندهدفه‌ای ایجاد می‌گردد که با توجه به تابع مطلوبیت گرودارن مختلف، مقدار رهاسازی بهینه از دریچه‌های مختلف مخزن سد در قالب راه‌حل‌های مختلف روی منحنی تعامل بین این اهداف به‌دست می‌آید. در این تحقیق، بازه زمانی متغیرهای تصمیم، ماهانه و برای دوره زمانی برنامه‌ریزی، ۵ ساله می‌باشد. تعداد متغیرهای تصمیم این تحقیق برابر با تعداد خروجی‌های ماهانه از ۴ دریچه مخزن سد طی ۵ سال (۴×۵×۱۲=۲۴۰) می‌باشند. تعداد نسل در مدل بهینه‌سازی چندهدفه برابر ۱۰۰ و جمعیت مدل، ده برابر تعداد متغیرهای تصمیم (۱۰×۲۴۰=۲۴۰۰) برمبنای تحلیل حساسیت انجام شده برای رسیدن به بهینه عمومی، درنظر گرفته شده است.

در شکل ۴، ارتباط بین توابع مطلوبیت گرودارن بخش کشاورزی، شرکت مدیریت منابع آب ایران و بخش آبفا که به‌ترتیب، کاهش اختلاف بین مقدار تقاضای بخش کشاورزی و مقدار رهاسازی آب از مخزن سد، حداکثر کردن کل حجم مخزن سد و حداکثر کردن شاخص کیفیت آب ایران ($IRWQI_{SC}$) می‌باشند، نشان داده شده است.

به منظور بررسی اثر مقادیر مختلف وزن‌دهی و میزان اهمیت متفاوت هر یک از اهداف از منظر ذی‌نفعان دخیل در مدل نش–ارسنی، بر مبنای قضاوت مهندسی ۵ سناریوی وزن‌دهی مورد بررسی قرار گرفته است (جدول ۲).

بعد از تعیین منحنی تعامل بین اهداف، برای پیدا کردن مناسب‌ترین نقطه بر روی منحنی تعامل از روش‌های قوانین گزینش اجتماعی و نش–ارسنی استفاده گردیده است. در شکل ۵ و جدول ۳ خصوصیات راه‌حل‌های مورد توافق اهداف مختلف بر روی منحنی تعامل بین اهداف بهینه‌سازی که توسط مدل نش–ارسنی به‌دست آمده است، ارائه گردیده است. بر اساس تحلیل حساسیت انجام‌شده بر روی سناریوهای وزن‌دهی متفاوت به اهداف از منظر ذی‌نفعان مختلف، مشاهده شده است. میزان تغییرات توابع مطلوبیت بخش شرب که تنها حداکثرکردن شاخص کیفیت آب ایران ($IRWQI_{SC}$) را مدنظر دارد، حجم مخزن و اختلاف آب رهاشده از مخزن سد با مقدار تقاضاهای ذی‌نفعان مختلف در بخش کشاورزی محسوس نمی‌باشد که نقاط برتر از بین ۳۵ گزینه موجود بر روی منحنی تعامل اهداف به دست آمده است.

در جدول ۴ نتایج حاصل از انتخاب نقاط برتر بر روی منحنی تعامل حاصله بین اهداف مختلف بر مبنای روش‌های امتیازدهی بردا، کندروسه، قانون رأی‌گیری میانه، قانون چندگانه و سازش حداکثری و مدل نش–ارسنی ارائه شده است که به ترتیب مناسب‌ترین نقطه متعلق به راه‌حل‌های شماره‌های ۲۲، ۲۲، ۳۳، ۱۲، ۳۳ و ۲۲ می‌باشند. مقادیر مختلف توابع هدف مدل بهینه‌سازی چندهدفه NSGA-II برای نقاط برتر به دست آمده از هر شش روش بر روی منحنی تعامل، در جدول ۴ نشان داده شده است.



a. Nitrite-Nitrate

www.SID.ir

Archive of SID

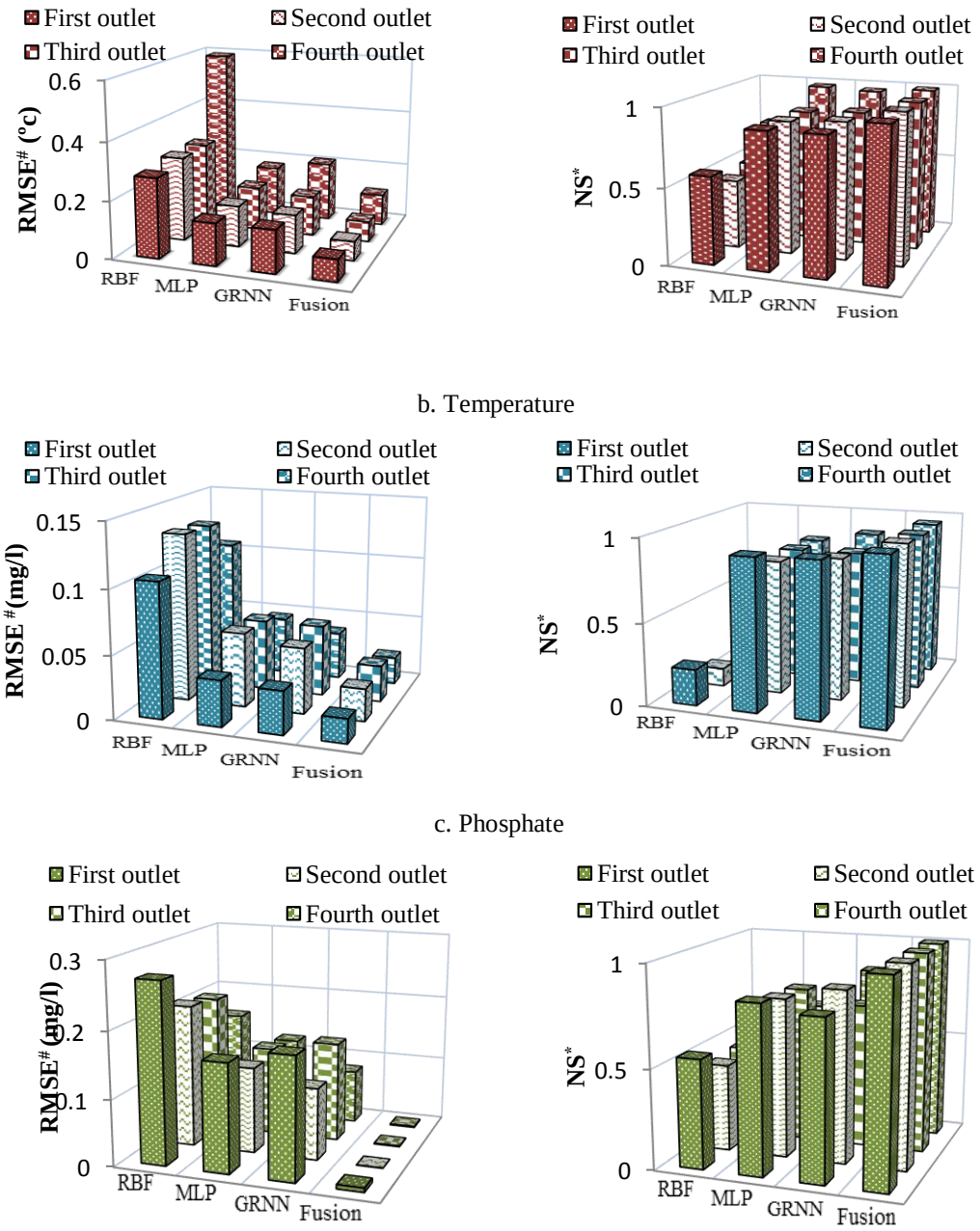


Fig. 3- The values of the two statistical error indices for different Artificial Neural Networks and fusion models in the validation period

شکل ۳- مقادیر دو شاخص خطای آماری برای مدل‌های مختلف شبکه عصبی مصنوعی و مدل تلفیقی در دوره صحت‌سنجی

MLP: مدل شبکه عصبی پرسپترون چندلایه؛ RBF: مدل شبکه عصبی شعاع مبنا؛ GRNN: مدل شبکه عصبی رگرسیونی تعمیم‌یافته؛ Fusion: مدل تلفیقی

*NS: شاخص خطای آماری نش–ساتکلیف؛ # RMSE: شاخص خطای آماری ریشه‌ی میانگین مربع خطا

www.SID.ir

Archive of SID

Table 2- The weighting scenarios of each objective of different stakeholders

جدول ۲- سناریوهای وزن‌دهی هریک از اهداف ذی‌نفعان مختلف

Objectives	Weighting				
	W_1	W_2	W_3	W_4	W_5
Reservoir	0.5	0.3	0.4	0.35	1
IRWQI$_{SC}$[#]	0.2	0. 5	0.4	0.5	0
Deficit-Agr[**]	0.3	0.2	0.2	0.15	0

Deficit-Agr[**] :difference between water allocated from the reservoir to agricultural sector and its demands

Different weighting scenarios: W_1 ,W_2 ,W_3 ,W_4, W_5

IRWQI$_{SC}$[#]: Iran Water Quality Index (IRWQI$_{SC}$) of reservoir

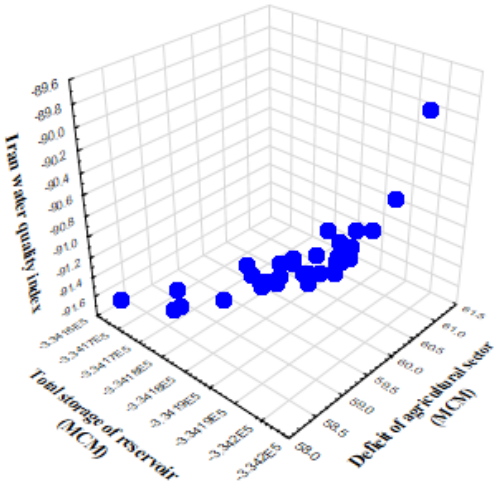


Fig. 4- Trade-off curve among the objectives based on multi-objective simulation-optimization model

شکل ۴- منحنی تعامل بین اهداف برمبنای مدل شبیه‌سازی- بهینه‌سازی چندهدفه

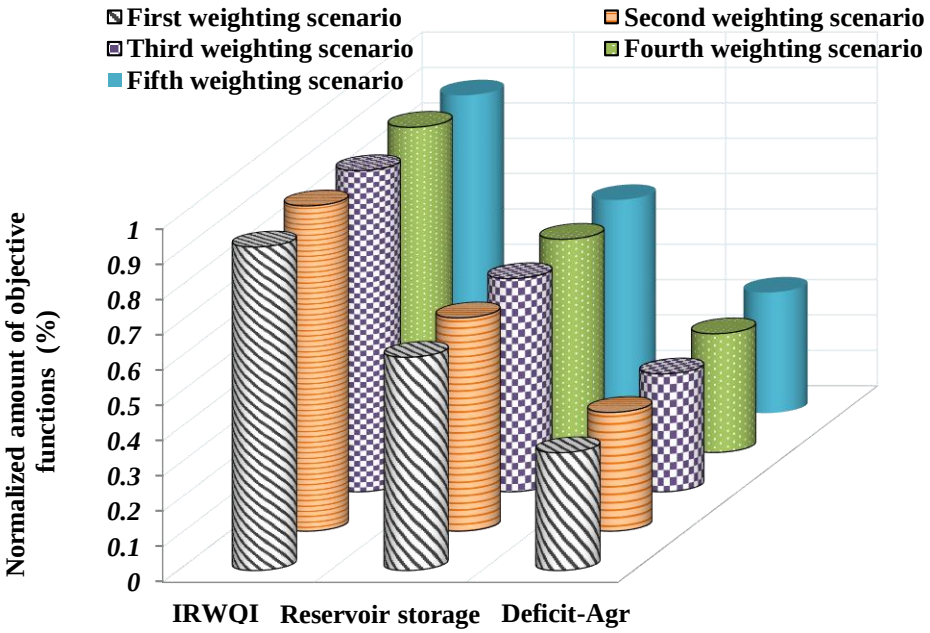


Fig. 5- The normalized objective functions of stakeholders based on selected solution using Nash-Harsenyi model

شکل ۵- مقادیر توابع هدف نرمال‌شده ذی‌نفعان به ازای سناریوهای منتخب توسط مدل نش-ارسنی

www.SID.ir

Archive of SID

Table 3- The values of objective functions of stakeholders based on best solution achieved from Nash-Harsenyi model

جدول ۳- مقادیر توابع هدف به‌دست آمده برای ذی‌نفعان مختلف به ازای راه‌حل منتخب توسط مدل نش-ارسنی

Weighting Scenarios	Best solution	Total Storage (MCM)	IRWQIsc#	Deficit-Agr** (MCM)
1	6	334178	91.48	59.56
2	22	334195	91.97	59.67
3	9	334180.2	90.97	60.07
4	22	334195	91.97	59.67
5	1	334185	89.89	61.05

Deficit-Agr**: difference between water allocated from the reservoir to agricultural sector and its demands

IRWQISC#: Iran Water Quality Index (IRWQISC) of reservoir

Table 4- The superior solutions obtained on the trade-off curve among the objectives based on Nash-Harsenyi and different social choice approaches

جدول ۴- راه‌حل‌های برتر به دست آمده از روی منحنی تعامل بین اهداف برمبنای روش‌های نش-ارسنی و گزینش اجتماعی مختلف

Approach	Best solution	Total Storage (MCM)	$IRWQI_{sc}$	Deficit-Agr** (MCM)
Borda count	22	334195	91.97	59.67
Condorcet Method	22	334195	91.97	59.67
Median Voting Rule	33	334178	91.41	59.94
The Plurality Rule	12	334187	91.82	60.25
Majoritarian Compromise	33	334178	91.41	59.94
Nash-Harsenyi	22	334195	91.97	59.67

Deficit-Agr** difference between water allocated from the reservoir to agricultural sector and its demands

همانطور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود روش‌های مختلف، لزوماً پاسخ‌های یکسانی انتخاب نمی‌کنند. لذا برای انتخاب بهترین روش از بین روش‌های مختلف گزینش اجتماعی و مدل نش-ارسنی با وزن‌های یکسان، مدل چانه‌زنی بازگشتی با تأیید q چانه‌زن استفاده گردیده است. با توجه به این مدل، روش‌های امتیازدهی بردا، کندروسه و نش-ارسنی بهترین روش برای انتخاب نقطه مناسب بر روی منحنی تعامل به دست آمده از مدل بهینه‌سازی چندهدفه می‌باشند (راه‌حل شماره ۲۲). تغییرات دمای آب خروجی از دریچه‌های مختلف مخزن سد کرخه در بهره‌برداری بهینه از مخزن سد با لحاظ برداشت انتخابی به ازای راه‌حل برتر شماره ۲۲ در شکل ۶ نشان داده شده است. با توجه به شکل مذکور، دمای آب خروجی از دریچه اول مخزن (ارتفاع ۱۲۰ متر بالاتر از سطح دریا) کمترین مقدار را دارد و دمای آب خروجی از دریچه چهارم (ارتفاع ۱۸۱ متر بالاتر از سطح دریا) تقریباً دارای بیشترین مقدار می‌باشد. همانطور که در شکل ۶ مشاهده می‌گردد، با بالاتر رفتن تراز دریچه و نزدیک شدن به سطح مخزن سد، میزان تغییرات دمای آب شدیدتر گردیده است. به طوری که، از دریچه اول به چهارم، شدت تغییرات افزایش داشته است.

مقدار شاخص کیفیت آب ایران ($IRWQI_{SC}$) آب خروجی از دریچه‌های مختلف سد کرخه نیز در حالت بهره‌برداری بهینه از مخزن سد با لحاظ برداشت انتخابی در شکل ۷ ارائه گردیده است. با توجه به شکل مذکور، شاخص کیفیت آب ایران به طور کلی (به جز در چند ماه) از دریچه چهارم (ارتفاع ۱۸۱ متر بالاتر از سطح دریا)، بیشتر (کیفیت بهتر) و دریچه اول (ارتفاع ۱۲۰ متر بالاتر از سطح دریا)، کیفیت آب پایین‌تری نسبت به بقیه دریچه‌های مخزن سد دارد. این نشان‌دهنده این است که آب خروجی از دریچه چهارم دارای کیفیت مناسب‌تری می‌باشد.

همچنین، تغییرات مقدار کل آب خروجی از مخزن سد کرخه در شکل ۸، نشان داده شده است. با توجه به شکل ۱۰، کمترین و بیشترین مقدار کل آب رهاسازی شده از مخزن سد به‌ترتیب، بین ۲/۵۹ تا ۱۸/۸۶ میلیون‌مترمکعب می‌باشند.

www.SID.ir

Archive of SID

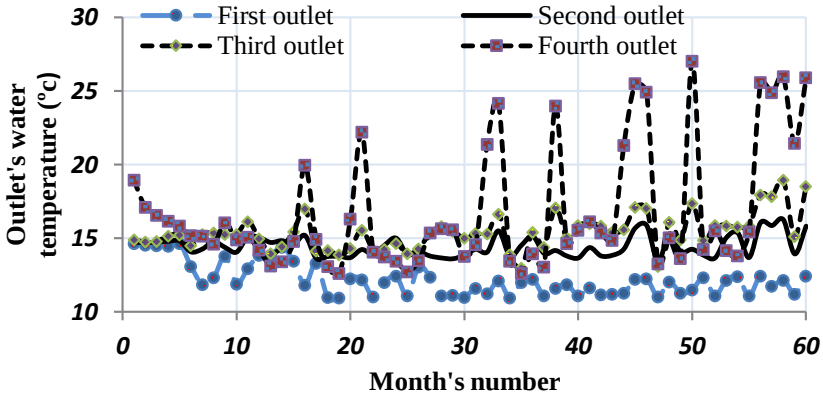


Fig. 6- The variation of outlet's water temperature from four Karkheh reservoir outlets in the superior solution number 22

شکل ۶- تغییرات مقدار دمای آب خروجی از چهار دریچه مخزن سد کرخه در راه‌حل برتر شماره ۲۲

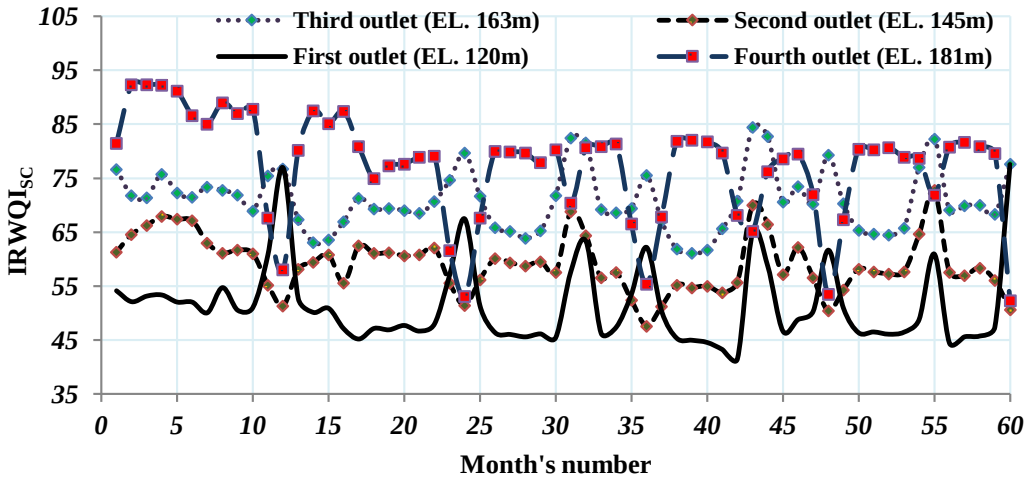


Fig. 7- The variation of IRWQI from four Karkheh reservoir outlets in the superior solution number 22

شکل ۷- تغییرات مقدار شاخص کیفیت آب ایران (IRWQISC) از چهار دریچه مخزن سد کرخه در راه‌حل برتر شماره ۲۲

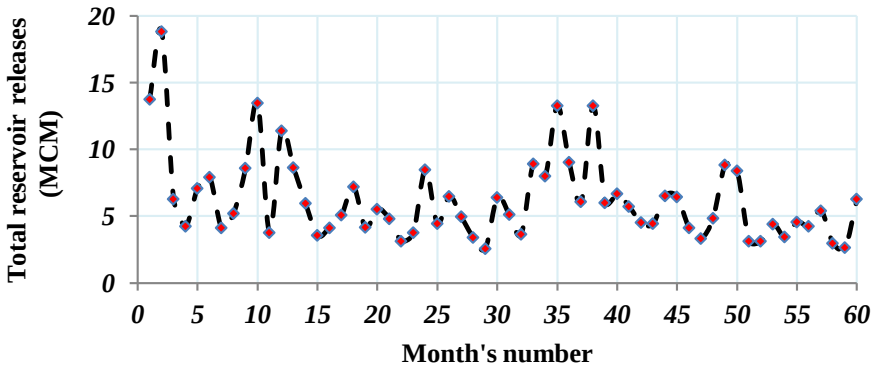


Fig. 8- The variation of total water releases from Karkheh reservoir in the superior solution number 22

شکل ۸- تغییرات مقدار کل آب خروجی از مخزن سد کرخه در راه‌حل برتر شماره ۲۲

www.SID.ir

Archive of SID

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در این تحقیق، متدولوژی برمبنای شبیه‌سازی-بهینه‌سازی برای مدیریت کمی-کیفی مخازن سدها برمبنای رویکرد برداشت انتخابی ارائه شده است. در این متدولوژی، ابتدا با توجه به سناریوهای رهاسازی آب از ۴ دریچه مختلف مخزن سد و روش تلفیق مدل‌ها، کیفیت‌های آب خروجی از مخزن سد شبیه‌سازی گردیده‌اند. بدین منظور، به‌ترتیب برای تولید رهاسازی‌های ممکن از دریچه‌های مختلف سد و اجرای مکرر مدل شبیه‌سازی عددی CE-QUAL-W2، کدهایی به صورت جداگانه در محیط نرم‌افزار MATLAB® تدوین شده است. سپس با استفاده از داده‌های ورودی و خروجی مدل شبیه‌سازی، مدل‌های هوش مصنوعی (شامل، شبکه عصبی پرسپترون چندلایه (MLP)، شبکه عصبی رگرسیونی تعمیم‌یافته (GRNN) و شبکه عصبی شعاع مبنا (RBF)) که به‌عنوان مدل‌های منفرد برای شبیه‌سازی کیفیت آب خروجی از مخزن سد مورد استفاده قرار گرفته‌اند، آموزش و صحت‌سنجی گردیده‌اند. برای ترکیب نتایج مدل‌های منفرد، در تحقیق حاضر از استراتژی وزن‌دهی رتبه‌بندی‌شده به مدل‌های منفرد و تعیین وزن مدل‌ها به روش Orness استفاده شده است و کارایی روش ذکر شده با سه مدل منفرد نیز مقایسه گردیده است. بین مدل‌های هوش مصنوعی منفرد، مدل شبکه عصبی رگرسیونی تعمیم‌یافته (GRNN) از دقت خوبی برخوردار است ولی در کل، روش تلفیق مدل‌ها، مناسب‌ترین روش برای شبیه‌سازی کیفیت آب خروجی از مخزن سد کرخه بوده است. این امر به دلیل این است که در روش تلفیق مدل‌ها، شاخص خطای آماری NS برای میانگین متغیرهای کیفی TDS، فسفات، دما و نیتریت-نیترات از چهار دریچه مخزن سد، به‌ترتیب ٪۲۱، ٪۱۱، ٪۷ و ٪۱۷ نسبت به مدل GRNN (بهترین مدل منفرد) افزایش دقت داشته است. همچنین شاخص خطای آماری RMSE برای میانگین متغیرهای کیفی TDS، فسفات، دما و نیتریت-نیترات از چهار دریچه مخزن سد، به ترتیب ٪۸۴، ٪۷۵، ٪۴۷ و ٪۴۳ نسبت به مدل GRNN (بهترین مدل منفرد) افزایش دقت داشته است. لذا با توجه به گرودارن مختلف در این تحقیق، توابع مطلوبیت هر یک از ذی‌نفعان، به‌عنوان توابع هدف مدل بهینه‌سازی چندهدفه NSGA-II در نظر گرفته شده است و با توجه به عملکرد مناسب مدل تلفیقی، مدل مذکور به مدل بهینه‌سازی اتصال داده شده است. درنهایت برای رسیدن به نقطه مناسب بر روی منحنی تعامل حاصل از بهینه‌سازی چندهدفه از روش‌های مختلف قوانین گزینش اجتماعی و مدل چانه‌زنی نش-ارسنی استفاده گردیده است. سپس برای پیدا کردن راه‌حل مناسب اکثریت گروداران از بین روش‌های مذکور، از روش چانه‌زنی بازگشتی با تأیید q چانه‌زن استفاده گردیده است. با مقایسه نتایج روش‌ها مشاهده گردید که روش امتیازدهی بردا، روش کندروسه و مدل نش-ارسنی جواب بهتر و مناسب‌تری را بر روی منحنی تعامل بهینه‌سازی چندهدفه بین ذی‌نفعان مختلف به‌دست آورده‌اند. در تحقیقات آینده می‌توان به مقایسه توابع هدف کمی و کیفی مستخرج از این تحقیق با سناریوی شرایط موجود در مخزن کرخه پرداخت. به عبارت دیگر، مقایسه کیفیت‌های آب خروجی از مخزن سد با رویکرد برداشت انتخابی با درنظر گرفتن دو و چهار دریچه از پیشنهادات برای تحقیقات آینده می‌باشد. همچنین، می‌توان ریسک‌های عدم تأمین نیاز و کیفیت مطلوب بخش‌های مختلف را با توسعه یک مدل بهینه‌سازی ریسک-مبنا برمبنای روش احتمال شرطی در معرض ریسک (CVaR[13])، برای برداشت انتخابی از مخازن سدها تعیین کرد. در نظر گرفتن هر یک از کشاورزان به عنوان گروداران زیرمجموعه و استفاده از مدل بازی پیش‌رو-دنباله‌رو[14]، درنظر گرفتن تأخیر زمانی در داده‌های ماهانه و بکارگیری شاخص‌های کیفی متناسب با ویژگی‌های پیکره آبی و مسأله مورد بررسی، گسترش دوره شبیه‌سازی با هدف منظور نمودن شرایط مختلف هیدرولوژیکی، لحاظ نمودن پارامترهای کیفی متعدد و توصیف کننده شرایط کیفی مخزن هم می‌توانند از دیگر پیشنهادات برای تحقیقات آتی باشند.

پیوست ۱

۱) مقایسه جواب‌های حاصل از مدل شبیه‌سازی-بهینه‌سازی مبتنی بر فرامدل و مدل شبیه‌سازی CE-QUAL-W2

جواب‌های حاصل از مدل شبیه‌سازی-بهینه‌سازی مبتنی بر فرامدل در انتها توسط مدل CE-QUAL-W2، شبیه‌سازی مجدد گردید و همچنین با جواب‌های به دست آمده با فرامدل برتر مقایسه گردید.

متوسط تغییرات نیتریت-نیترات خروجی از دریچه‌های مختلف مخزن سد کرخه در بهره‌برداری بهینه از مخزن سد با لحاظ برداشت انتخابی در شکل ۹ نشان داده شده است. همانطور که در شکل ۹ هم مشاهده می‌گردد مقادیر خروجی به دست آمده از دو مدل CE-QUAL-W2 و روش تلفیق مدل‌ها با هم اختلاف کمی دارند.

متوسط تغییرات TDS خروجی از دریچه‌های مختلف مخزن سد کرخه در شکل شماره ۱۰ نشان داده شده است. همانطور که در شکل ۱۰ هم مشاهده می‌گردد، مقادیر خروجی به دست آمده از دو مدل CE-QUAL-W2 و روش تلفیق مدل‌ها با هم اختلاف کمی دارند و خطای متغیر کیفی مذکور ناچیز می‌باشد.

متوسط تغییرات دمای آب خروجی از دریچه‌های مختلف مخزن سد کرخه در شکل شماره ۱۱ نشان داده شده است. همانطور که در شکل

www.SID.ir

Archive of SID

۱۱ هم مشاهده می‌گردد مقادیر خروجی به دست آمده از دو مدل CE-QUAL-W2 و روش تلفیق مدل‌ها با هم اختلاف کمی دارند و خطای دمای آب خروجی ناچیز می‌باشد.

متوسط تغییرات مقدار متغیر کیفی فسفات از دریچه‌های مختلف مخزن سد کرخه در شکل شماره ۱۲ نشان داده شده است. همانطور که در شکل ۱۲ هم مشاهده می‌گردد به دلیل خطای کم متغیر کیفی فسفات از مخزن سد، مقادیر خروجی به دست آمده از دو مدل CE-QUAL-W2 و روش تلفیق مدل‌ها با هم اختلاف کمی دارند.

۲) شبکه شعاع مبنا

یک شبکه شعاع مبنا با R ورودی در شکل ۱۳ نشان داده شده است.

برای نرون‌های ورودی تابع انتقال شعاعی، بردار فاصله بین بردار وزن‌های W و بردار ورودی P که در اریب (b) ضرب شده است، می‌باشد. تابع انتقال نورون شعاع مبنا به‌صورت معادله ۱۰ است:

$$radbas(n) = e^{-n^2} \qquad (۱۰)$$

این تابع در شکل ۱۴ نشان داده شده است.

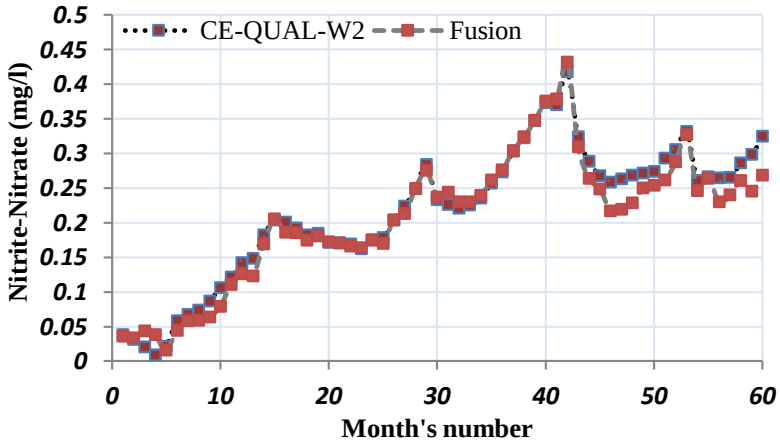


Fig. 9- The average of Nitrite-Nitrate's variation from two CE-QUAL-W2 and fusion models from Karkheh reservoir dam in the best solution number 22

شکل ۹- متوسط تغییرات نیتریت-نیترات به دست آمده از دو مدل CE-QUAL-W2 و روش تلفیق مدل‌ها از مخزن سد کرخه در راه‌حل برتر شماره ۲۲

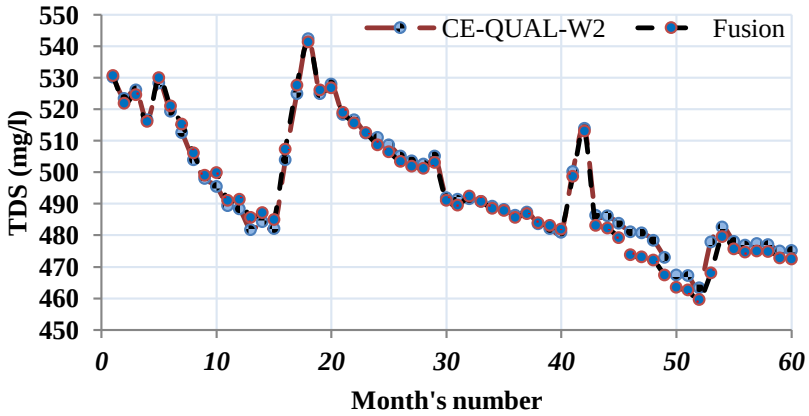


Fig. 10- The average of TDS's variation from two CE-QUAL-W2 and fusion models from Karkheh reservoir dam in the best solution number 22

شکل ۱۰- متوسط تغییرات TDS به دست آمده از دو مدل CE-QUAL-W2 و روش تلفیق مدل‌ها از مخزن سد کرخه در راه‌حل برتر شماره ۲۲

www.SID.ir

Archive of SID

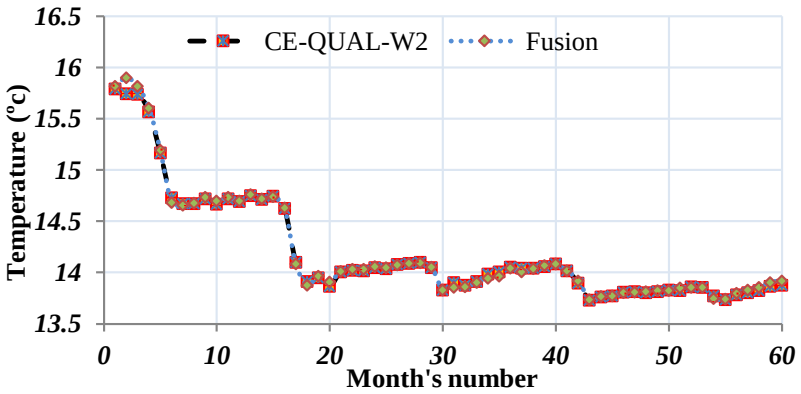


Fig. 11- The average of temperature's variation from two CE-QUAL-W2 and fusion models from Karkheh reservoir dam in the best solution number 22

شکل ۱۱- متوسط تغییرات دمای آب خروجی به دست آمده از دو مدل CE-QUAL-W2 و روش تلفیق مدل‌ها از مخزن سد کرخه در راه‌حل برتر شماره ۲۲

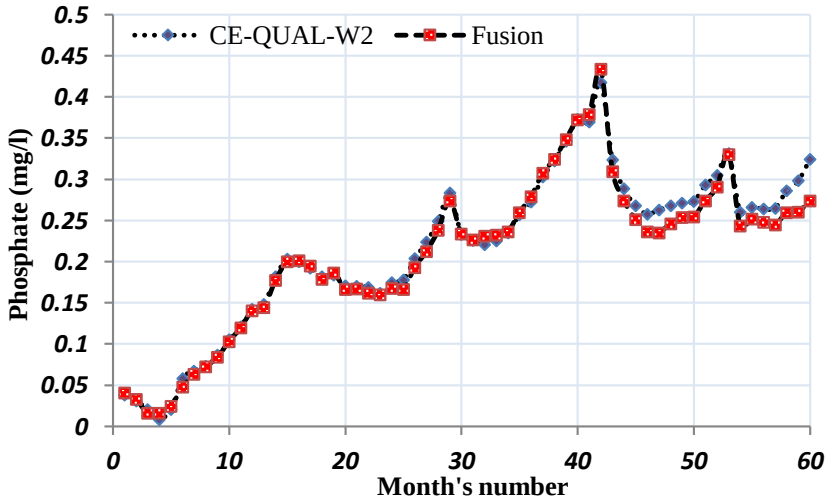


Fig. 12- The average of Phosphate's variation from two CE-QUAL-W2 and fusion models from Karkheh reservoir dam in the best solution number 22

شکل ۱۲- متوسط تغییرات متغیر کیفی فسفات به دست آمده از دو مدل CE-QUAL-W2 و روش تلفیق مدل‌ها از مخزن سد کرخه در راه‌حل برتر شماره ۲۲

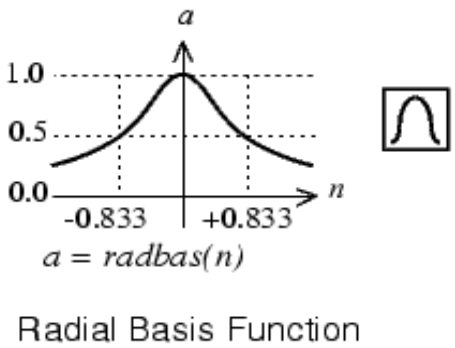


Fig. 14- Radial Basis Function

شکل ۱۴- تابع انتقال شعاعی

(MATLAB. User manual)

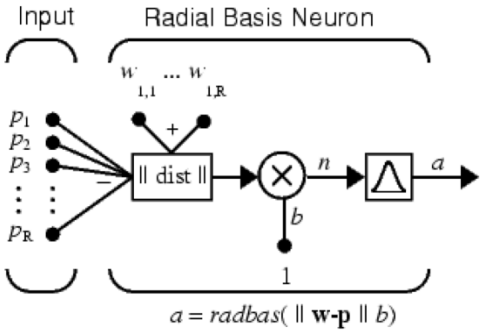


Fig. 13- A form of Radial Basic network (MATLAB. User manual)

شکل ۱۳- شمایی از یک شبکه شعاع مبنا

(MATLAB. User manual)

www.SID.ir

Archive of SID

این تابع با ورودی صفر دارای حداکثر مقدار خود یعنی ۱ می‌باشد. به این ترتیب با کاهش فاصله بین W و P، خروجی تابع انتقال شعاعی افزایش می‌یابد. بنابراین نرون شعاع مبنا به‌عنوان یک تشخیص‌دهنده یکسان شدن W و P، عمل می‌کند. به این معنی که زمانی که W و P یکسان شوند، تابع انتقال شعاعی، خروجی ۱ را تولید می‌کند. مقدار اریب (b)، تنظیم میزان حساسیت نرون شعاع مبنا را میسر می‌سازد. عملگر ||dist||، بردار ورودی و بردار وزن‌های ورودی را به‌عنوان ورودی دریافت کرده و یک بردار با S-1 عنصر تولید می‌کند. سپس خروجی ||dist|| و بردار b^1 با عملگر *. باهم ترکیب شده (ضرب درایه با درایه) و خروجی این لایه تولید می‌شود. به این ترتیب خروجی لایه مخفی، میزان فاصله بردار ورودی از وزن‌های متناظر با آن‌ها می‌باشد. اگر ورودی‌ها با وزن‌ها فاصله زیادی داشته باشند، خروجی تابع انتقال شعاعی یک مقدار نزدیک به صفر خواهد بود. این مقدار کوچک تأثیر بسیار کمی بر روی خروجی لایه خطی (لایه دوم) خواهد داشت و بلعکس، در صورت نزدیک بودن بردار ورودی به وزن‌ها خروجی تابع شعاعی ۱ خواهد بود و به این ترتیب، وزن‌های لایه دوم تأثیر بیشتری در شبکه از خود نشان خواهند داد (Razavi et al., 2012).

پی‌نوشت‌ها

1- Multi-Layer Perceptron (MLP)
2- Generalized Regression Neural Network (GRNN)
3- Radial Basis Function (RBF)
4- Nash-Harsanyi Model
5- q-Approval Fallback Bargaining Model
6- Condorcet Method
7- Borda Count
8- Median Voting Rule
9- The Plurality Rule
10- Majoritarian Compromise
11- Root Mean Square Error (RMSE)
12- Nash-Sutcliffe (NS)
13- Conditional Value at Risk (CVaR)
14- Leader-Follower Game

۶- مراجع

Alihamzeh M, Mohammad Rezapour Tabari M (2014) Qualitative behavior identification of surface reservoir in case of sudden injection of contaminant load. Iran-Water Resource Research 10(1):39-50 (In Persian)

Alizadeh MR, Nikoo MR, Rakhshandehroo GR (2018) Hydro-environmental management of groundwater resources: A fuzzy based multi objective compromise approach. Journal of Hydrology 55(1):540-554

Amirkhani M, Bozorg-Hadad O, Fallah-Mehdipour E, Hugo AL (2016) Multiobjective reservoir operation for water quality optimization. American Society of Civil Engineers 142(12)

Arab M, Nikoo MR, Afzali SH (2014) Optimization of the jumper dams dimensions: Application of simulation-optimization method. In: Proc. of 13th Iran Hydraulic National Conference, Tabriz, Iran (In Persian)

Balouchi B, Nikoo MR, Shafai Bajestan M, Dehghani M (2017) Application of SVR and GRNN models in estimating maximum scour depth at river confluence under live-bed condition. Ferdosi Civil Engineering National Congress, 29th year, number 1 (In Persian)

Çalışkan A, Elçi Ş (2009) Effects of selective withdrawal on hydrodynamics of a stratified reservoir. Water Resource Manage 23(7):1257-1273

Casamitjana X, Serra T, Colomer J, Baserba C, Perez-Losada J (2003) Effects of the water withdrawal in the stratification patterns of a reservoir. Reservoir Limnology and Water Quality 504(1-3):21-28

Castelletti A, Yajima H, Giuliani M, Soncini-Sessa R, Webe E (2013) Planning the optimal operation of a multi-outlet water reservoir with water quality and quantity targets. Journal of Water Resources Planning and Management 140(4)

Deb K, Agrawal S, Pratap A, Meyarivan T (2002) A fast and elitist multi-objective genetic algorithm: NSGA-II. IEEE Transactions on Evolutionary Computation 6 (2):182-197

Deng Y, Li J, Li KF, Zhao WQ (2003a) A simulation on thermal stratification of Zipingpu reservoir. Water Resources and Hydropower Engineering (Transactions of the WRHE) 34(9):50-52

Deng Y, Li J, Luo L, Zhao WQ (2003b) Temperature prediction model for reservoirs. Journal of Hydraulic Engineering (Transactions of the JHE) 7:7-11

Deng Y, Li J, Luo L (2004) Simulation on thermal stratification of the river-like deep reservoir. Journal of Hydrodynamics (Transactions of the JH) 19 (5):604-609

Deng Y, Li J, Li R, Li KF (2006) Impact of reservoir operation on the water temperature downstream of Xiluodu power station. Journal of Sichuan University (Transactions of the JSU) 38(5):65-69

Farboudfan N, Nourani V, Aminnejad B (2018) Spatial-temporal disaggregation of rainfall time series using wavelet-artificial neural network hybrid model. Iran-Water Resource Research 14(5):490-495 (In Persian)

www.SID.ir

Archive of SID

Nikoo MR, Pourshahabi S, Rezazadeh N, Shafiee ME (2017) Stakeholder engagement in multi-objective optimization of water quality monitoring network, case study: Karkheh dam reservoir. Water Science and Technology, 18(3), DOI: 10.2166/ws.2016.6

O'Hagan M (1988) Aggregating template rule antecedents in real-time expert systems with fuzzy set logic. Annual IEEE Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers. Pacific Grove, CA: IEEE and Maple

Olden JD, Naiman RJ (2010) Incorporating thermal regimes in to environmental flows assessments: modifying dam operations to restore freshwater ecosystem integrity. Freshwater Biology 55(1):86-107

Politano M, Haque M, Constantinescu G, Weber L (2006) A three-dimensional thermal model for McNary dam. World Environmental and Water Resources Congress, Omaha, Nebraska, USA.

Politano M, Haque M, Weber L (2008) A numerical study of the temperature dynamics at McNary dam. Ecological Modeling 212:408-421

Razavi S, Tolson BA, Burn DH (2012) Review of surrogate modeling in water resources. Water Resources Research 48(7)

Rheinheimer DE, Null SE, Lund JR (2014) Optimizing selective withdrawal from reservoir to manage downstream temperature with climate warming. Journal of Water Resources Planning and Management DOI:10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000447

Rheinheimer DE, Null SE, Lund JR (2015) Optimizing selective withdrawal from reservoirs to manage downstream temperatures with climate warming. Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE 141(4):631-639

Saadatpour M, Afshar A (2011) Multi objective simulation optimization approach in pollution spill response management model in reservoirs. Water Engineering and Management in a Changing Environment 27(6):1851-1865

Saadatpour M, Heravi A (2016) Study of environmental performance criteria in Karkheh reservoir with enhanced model of CE-QUAL-W2 (V3.72). Iran-Water Resource Research 3(37):50-64 (In Persian)

Saadatpour M, Afshar A, Edinger JE (2017) Meta-model assisted 2D hydrodynamic and thermal simulation model (CE-QUAL-W2) in deriving optimal reservoir operational strategy in selective withdrawal scheme. Water Resource Manage 31(9):2729-2744

Sadegh M, Mahjouri N, Kerachian R (2010) Optimal inter-basin water allocation using crisp and fuzzy

Gao XP, Chen H, Wang AR, Dong SR, Zhang ZL, Zhao YN (2010) Experimental study on water temperature released from multi-level intake structure of Nuozhadu hydropower Station. Journal of Hydroelectric Engineering (Transactions of the JHE) 29(3):126-131

Gao X, Zhang S, Zhang C (2012) 3-D Numerical simulation of water temperature released from the multi-level intake of Nuozhadu hydropower station. Journal of Hydroelectric Engineering (Transactions of the JHE) 31(1):195-201

Haque M, Constantinescu G, Weber L (2007) Validation of a 3D RANS model to predict flow and stratification effectsrelated to fish passage at hydropower dams. Journal of Hydraulic Research 45(6):787-796

Hosseini M, Kerachian R (2017) A data fusion-based methodology for optimal redesign of groundwater monitoring networks. Journal of Hydrology 552:267-282

Javaheri S, Saadatpour M (2017) Deriving hydropower reservoir operation rules in selective withdrawal framework considering quality and quantity objectives; simulation-optimization approach based on Meta-modelling. Iran-Water Resources Research 13(3):128-142 (In Persion)

Karamouz M, Ahmadi A, Moridi A (2009) Probabilistic reservoir operation using Bayesian stochastic model and support vector machine. Advances in Water Resources 32(11):1588-1600

Kerachian R, Karamouz M (2007) A stochastic conflict resolution model for water quality management in reservoir river systems. Water Resources Research 30:866-882

Li CF, Zhang JB, Wang ST (2006) Comparative study on input-expansion-based improved general regression neural network and Levenberg-Marquardt BP network. Lecture Notes in Computer Science 41(13):83-93

Ma J, Jiang Y, Jiang Y, Sun Y, Zhao X (2008) Expression of nerve growth factor and tyrosine kinase receptor A and correlation with perineural invasion in pancreatic cancer. Journal of Gastroen Hepatol 23:1852-1859

Mazandarani Zadeh H (2016) Drainage system design by multi-objective algorithm NSGA-II with economic and environmental approach. Iran-Water Resource Research 3(37):142-152 (In Persian)

Modaresi F, Araghinejead K, Ebrahimi K (2015) Assessment of model fusion strategy for increasing the accuracy of autumn rainfall forecasting. Journal of Agricultural Meteorology 3(2):1-13 (In Persian)

www.SID.ir

Archive of SID

Yager RR (1988) On ordered weighted averaging aggregation operators in multi criteria decision making. IEEE, Transactions on Systems, Man, and Cybernetics 18(1):183-190

Zahraei B (2014) Genetic algorithm and engeenering optimization. 2th number, 298p (In Persian)

Zheng T, Sun S, Liu H, Xia Q, Zong Q (2017) Optimal control of reservoir release temperature through selective withdrawal intake at hydropower dam. Water Science and Technology 18(3) DOI:10.2166

Zhang Z, Johnson BE (2014) Aquatic nutrient simulation modules (NSMs) developed for hydrologic and hydraulic models. ERDC/EL TR-14-X U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS

shapley games. Water Resources Management 24(10):2291-2310

Sheikhmohammady M, Madani K (2008) Bargaining over the Caspian sea-the largest lake on the earth. World Environmental and Water Resources Congress, ASCE, Honolulu, HI

Shirangi E, Kerachian R, Shafai Bajestan M (2008) A simplified model for reservoir operation considering the water qality issues: application of the Young conflict resolution theory. Environmental Monitoring and Assessment 146:77-89

Soleimani S, Bozorg-Hadad O, Saadatpour M, Hugo AL (2016) Optimal selective withdrawal rules using a coupled data mining model and genetic algorithm. Jornal of Water Resources Planing and Management 142(12)

www.SID.ir