Application of multi-objective particle swarm optimization algorithm in quantitative-qualitative exploitation of water resources

Case study: Dez Dam and River

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:

Keywords:
Multi-objective optimization, MOPSO, Quantitative-qualitative model, Dez River

ABSTRACT

The Dez-River's surface water resources system between the Dez regulatory dam and Bandar-e-Ghir is the focus of the current study to create a qualitative-quantitative-model that can be used to determine the best operating strategies. for replicate the existing operational state, a dynamic link between quantitative and qualitative models is built under the "reference-scenario" such that hydraulic linkages are generated between all of the system's components in the coupled system. The monthly environmental demands of the river are one of the choice factors in the optimization-scenario. The goals are to maximize the percentage of needs met and minimize quality standard violations. The implementation of the optimization scenario increased the reliability of providing all the needs of the plain with any priority. This problem illustrates how the reservoir should operate in an ideal state. In many places along the river, particularly the agricultural water withdrawal sites, the minimum violation of water quality standards has happened, according to a comparison of the pollution and quality parameters in the optimization scenario and the reference scenario. The amount of pollution and quality parameters has also improved. The findings show that it is possible to plan more effectively for the appropriate use of currently available water resources by taking into account all stakeholders and utilizing the qualitative-quantitative dynamic connection method of water resources to develop a coupled model using the MOPSO-algorithm. This will ensure that, in addition to meeting needs, the quality and pollution of the river remain close to the standard limits during the operation period.

Cite this article: Author, A. A., Author, B. B., & Author, C. C. (year). Article title. *Journal Title*,

© The Author(s).
Publisher: University of Tehran Press.
DOI: http//doi.org/00000000000000000000

کاربرد الگوریتم چندهدفه بهینه‌سازی ازدحام ذرات در بهره‌برداری کمی–کیفی از منابع آب مطالعه موردی: سد و رودخانه دز

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت:
تاریخ بازنگری:
تاریخ پذیرش:
تاریخ انتشار:

کلیدواژه‌ها:
بهینه‌سازی چندهدفه، MOPSO، مدل کمی– کیفی، رودخانه دز

چکیده

در تحقیق حاضر سیستم منابع آب سطحی رودخانه دز حد فاصل سد تنظیمی دز تا بندقیر برای توسعه یک مدل کمی– کیفی که قادر به استخراج سیاست‌های بهره‌برداری بهینه باشد انتخاب شد. برای شبیه‌سازی وضع موجود بهره‌برداری، تحت عنوان سناریوی مرجع، اتصال دینامیک بین مدل‌های کمی و کیفی ایجاد شد. طوری که در سیستم کوپل شده، روابط هیدرولیکی بین تمام اجزای سیستم برقرار گردید. در سناریوی بهینه سازی متغیرهای تصمیم شامل نیاز زیست محیطی ماهیانه رودخانه و اهداف شامل حداکثر سازی در صد تامین نیازها و حداقل سازی تخطی از ا ستانداردهای کیفی بودند. اجرای سناریوی بهینه‌سازی موجب افزایش اطمینان‌پذیری تأمین تمامی نیازهای دشت با هر اولویتی که دارند، گردید. همچنین نتایج سناریوی بهینه‌سازی نسبت به سناریوی مرجع نشان داد که نه تنها غلظت پارامترهای آلودگی و کیفی بهبود یافته ا ست، بلکه در بسیاری از نقاط رودخانه بخصوص در محل‌های برداشت آب کشاورزی، حداقل تجاوز از استانداردهای کیفی و آلودگی آب رودخانه وجود دارد. نتایج نشان داد با بهره‌گیری از روش اتصال دینامیک کمی–کیفی منابع آب و توسعه مدل کوپل‌شده با ا ستفاده از الگوریتم MOPSO، می‌توان برنامه‌ریزی بهتری برای ا ستفاده منا سب از منابع آب موجود با در نظر گرفتن تمامی ذینفعان انجام داد. طوری که علاوه بر تأمین نیاز ها، رو ند کیفیت و آلودگی رودخانه نیز در طول دوره بهره‌برداری نزدیک به حدود استاندارد باشد.

استناد: نام خانوادگی، نام؛ نام خانوادگی، نام؛ و نام خانوادگی، نام (سال). عنوان مقاله. *عنوان مجله*،

DOI:

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

ویراستاری نشده

مقدمه

رودخانه‌ها مهم‌ترین منابع حیاتی طبیعت هستند. توسعه شهری، کشاورزی و صنعتی در امتداد رودخانه‌ها اثرات تجمعی منفی و نامطلوب بر وضعیت زیست محیطی آنها دارد. در پی افزایش جمعیت و رقابت در مصرف، تعارض و تضاد در چگونگی بهره‌برداری از رودخانه‌ها رو به فزونی است. لذا برای بهره‌برداری درست از این منابع، درک خصوصیات و رفتار طبیعی رودخانه‌ها به منظور حفظ سلامت رودخانه‌ها و حیات جامعه بشری امری ضروری و اجتناب ناپذیر است. پیش‌بینی رفتار هر رودخانه بر پایه تحلیل کمی و کیفی جریان رودخانه و شناخت اثرات متغیرهای فیزیکی و شیمیایی بر رفتار کلی رودخانه میسر خواهد بود. محققین حوزه منابع آب طی سال ها مطالعه روی فرآیندهای پیچیده رودخانه‌ای، توانسته‌اند به ابعاد مختلفی از خصوصیات و تغییرات فیزیکی و شیمیایی جریان رودخانه‌ها دست یابند. بیشتر مدل‌های شبیه‌سازی کیفیت آب، سناریوهای تولید و تصفیه فاضلاب‌ها را شبیه سازی می‌کنند (Deksissa et al. 2004; Cox 2003). مدل‌های کیفی از جمله QUAL2K و MIKE11، با وجود اینکه اطلاعات دقیقی در مورد شرایط آب در یک سیستم رودخانه‌ای ارائه می‌دهند اما مسائل مربوط به تنظیم سیاست‌های بهره‌برداری را بطور دقیق در نظر نمی‌گیرند (Mishra et al. 2017).

مدل WEAP که برای برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب توسعه یافته می‌تواند به سایر مدل‌های شبیه‌سازی مانند مدل کیفی QUAL2K متصل گردد. پارامترهای کیفی که امکان شبیه سازی آن‌ها در مدل WEAP وجود دارد محدود هستند. اما از طریق اتصال بین دو مدل QUAL2K و WEAP می‌توان حداقل ۲۰ پارامتر کیفی آب را به طور همزمان شبیه‌سازی نمود (Yates et al. 2005)

Da Silva et al. (2016) با ترکیب مدل‌های QUAL2K و WEAP اثر رشد جمعیت بر تغییرات غلظت BOD در حوضه رودخانه Descoberto را در سناریوهای مدیریتی مختلف مورد ارزیابی قرار دادند. Mishra et al. (2017) با تحلیل پارامترهای کیفیت آب (DO و BOD)، پایداری منابع آب سطحی دره‌ی Kathmandu را ارزیابی نمودند و سناریوهای تولید و تصفیه فاضلاب‌های کنونی و آینده بر اساس دو شاخص مهم سلامت آبزیان اجرا نمودند. در این تحقیق برای شبیه‌سازی جریان و پارامترهای کیفی آب از ابزار اتصال QUAL2K و مدل WEAP استفاده گردید. تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد با حرکت تدریجی جوامع به سوی عصر جدید و افزایش تعداد بهره‌برداران منابع آب و تخلیه انواع پساب‌های صنعتی و کشاورزی و فاضلاب‌های شهری به بدنه رودخانه، تهیه یک الگوی جامع و سامان‌یافته برای رودخانه‌ها که اطلاعات آن براحتی به روز شود، الزامی و اجتناب ناپذیر است.

از جمله ابزارهای مناسب در حوزه مدیریت منابع آب استفاده از روش‌های ترکیب شبیه‌سازی– بهینه‌سازی می‌باشد. در روش‌های شبیه سازی می‌توان سامانه منابع آب موجود را با تمامی جزئیات مدل نمود و با سرعت بیشتری به یک دید کلی از سامانه مورد نظر رسید و در فرآیند بهینه‌سازی می‌توان مناسب‌ترین مقادیر ممکن برای متغیرهای تصمیم در یک مسئله را پیدا کرد طوری‌که به ازای مقدارهای یافت شده، اهداف مسئله با بهترین مطلوبیت تامین شود (Jalilian et al., 2022; Zeinali et al., 2020; Zarei et al., 2022). در میان روش های بهینه‌سازی، الگوریتم‌های فراکاوشی توانایی بالایی در حل مسائل غیر خطی و پیچیده دارند. دو الگوریتم پرکاربرد در این زمینه الگوریتم‌های PSO و GA می باشند. الگوریتم PSO نسبت به الگوریتم GA زمان همگرایی بهتری دارد (Hassan et al., 2005; Kachitvichyanukul, 2012; Jia and Lichti, 2017; Azarafza et al., 2012).

استفاده از الگوریتم‌های چندهدفه یکی از راهکارهای موثر برای بهره‌برداری بهینه از سیستم‌های منابع آب در مناطق نیمه خشک و کم آب است (Azari *et al*. 2018; Bayesteh & Azari, 2021).

در سال‌های اخیر مدل‌های کمی– کیفی برای تامین نیازهای کمی و رها سازی بهینه جریان زیست محیطی در رودخانه تو سعه داده شده‌اند که برای ایجاد تعادل بین محیط زیست و نیازهای انسانی بسیار راهگشا می‌باشند (Karamian et al., 2023; Chen et al., 2016; Yarmohammadi et al., 2022; Moghadam et al., 2020; Fallahi et al., 2023; Jalili et al., 2023; Mao et al., 2016; Hu et al., 2016). استفاده از توابع هدف کیفی در کنار توابع هدف کمی در ساختار الگوریتم‌های بهینه سازی باعث تبادل بین اهداف کمی و کیفی و استخراج جواب‌های سازگار با محیط زیست و فعالیت‌های انسان می‌گردد (Goorani and Shabanlou, 2021).

الگوریتم چندهدفه ازدحام ذرات بر اساس الگوریتم PSO توسعه داده شده است و Coello et al. (2004) برای اولین بار آن را معرفی کردند. برخی از تحقیقات نیز نشان داده است این الگوریتم نتایج بهتری از نظر زمان همگرایی و کیفیت جواب‌ها در آخرین تکرار نسبت به NSGA-II دارد (Nourbakhsh et al., 2011). با توجه به قابلیت‌های این الگوریتم، استفاده از آن در مسایل بهره‌برداری کمی- کیفی از منابع آب که علاوه بر پیچیدگی روابط و معادلات، دارای توابع هدف گوناگون و در تضاد با هم می‌باشند بسیار حائز اهمیت است.

لذا هدف از این تحقیق توسعه الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه ازدحام ذرات برای اتصال به بدنه یک مدل بهره‌برداری کمی-کیفی است طوری که قادر باشد راهکارهای بهینه بهره‌برداری از سیستم را ارایه دهد و ضمن تأمین نیاز مصارف گوناگون اعم از شرب، صنعت، کشاورزی و زیست محیطی، مطلوبیت کیفی رودخانه را نیز در حد استانداردهای جهانی تأمین نماید. برای این منظور ابتدا اتصال دینامیک بین مدل‌های کمی و کیفی ایجاد شد. طوری که در سیستم کوپل شده، روابط هیدرولیکی بین تمام اجزای سیستم برقرار است. در این صورت داده‌ها و اطلاعات موجود بین این دو مدل گردش می‌کنند تا اثرات کمی و کیفی آب سطحی مدل گردد. سپس با ایجاد اتصال بین الگوریتم چندهدفه ازدحام ذرات با بدنه مدل کوپل شده کمی- کیفی، سعی در استخراج قوانین بهینه بهره‌برداری از سیستم سد و رودخانه گردید. با بکار بردن این روش، بهره‌برداران قادر خواهند بود از نتایج منفی اقدامات خود و تجاوزات به حریم رودخانه‌ها و تبعات مرتبط با آنها آگاهی یابند. در چنین سیستمی تغییرات کمی مانند میزان رهاسازی سد، اثرات برداشت و انتقال آب و همچنین تخصیص به مصارف مختلف در مدل WEAP سریعا به مدل کیفی QUAL2K وارد شده و با در نظر گرفتن مقاطع رودخانه‌ای، خصوصیات هیدرولیکی مسیر و اثرات تخلیه آلاینده‌های مختلف به رودخانه در آن، مدل سازی کمی- کیفی منابع آب میسر خواهد شد. در مدل کوپل شده، گردش اطلاعات در هر یک از بازه‌های زمانی ماهیانه اتفاق خواهد افتاد و تغییرات در یکی از مدل‌ها سریعا به مدل دیگر منتقل می شود.

روش‌شناسی

تهیه مدل شبیه‌سازی-بهینه‌سازی

با پیشرفت تدریجی جوامع در عصر جدید و افزایش تعداد بهره‌برداران منابع آب و تخلیه انواع پساب‌های صنعتی و کشاورزی و فاضلاب‌های شهری به بدنه رودخانه، تهیه یک مدل کوپل شده دینامیک کمی-کیفی (WEAP-QUAL2K) برای شبیه‌سازی پاسخ سیستم به سناریوهای مدیریتی مختلف ضروری است. برای بهره‌برداری بهینه از چنین سیستمی با اتصال الگوریتم MOPSO به بدنه مدل کمی- کیفی یک ساختار نوین شبیه ساز- بهینه ساز توسعه داده شد که قادر است راه حل‌های مدیریتی بهینه را در بین مجموعه‌ای از تصمیمات امکان پذیر، تعیین کند.

مدل QUA2Kw

Chapra et al. (2006) مدل QUAL2Kw را توسعه دادند که در واقع ویرایش مدرنی از مدل Qual2e می باشد. QUAL2Kw آخرین مدل از سری مدل‌های QUAL می‌باشد که مورد تأیید سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا بوده و به طورگسترده‌ای جهت شبیه سازی کیفیت آب رودخانه‌ها مورد استفاده قرار گرفته است (Kannel et al., 2007). این مدل با در نظر گرفتن داده‌های در دسترس، زمان و دقت محاسبه و متغیرهای خروجی مورد نظر و همچنین با توجه به قابلیت اتصال با مدل برنامه‌ریزی منابع آب (WEAP) برای شبیه‌سازی کیفیت و آلودگی رودخانه دز انتخاب گردید.

مدلQUAL2Kw رودخانه را به صورت یک بعدی (یک بعد در راستای طول رودخانه) همراه با جریان دائمی غیریکنواخت شبیه سازی می‌کند و می‌تواند اثر بارگذاری را هم بصورت نقطه‌ای و هم غیرنقطه‌ای در نظر بگیرد. در این مدل به منظور تعیین غلظت پارامترهای کیفی، از روش تفاضل محدود برای حل عددی معادله جابجایی- پخش استفاده می‌شود (Chapra et al., 2006). مدلQUAL2Kw قادر است بیش از ۱۵ پارامتر کیفی آب از جمله اکسیژن محلول (DO)، نیاز اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی (BOD)، دما (T)، نیتروژن نیتراتی (N-NO3)، نیتروژن آمونیاکی (N-NH4) و غیره را در رودخانه شبیه‌سازی نماید.

مدل WEAP

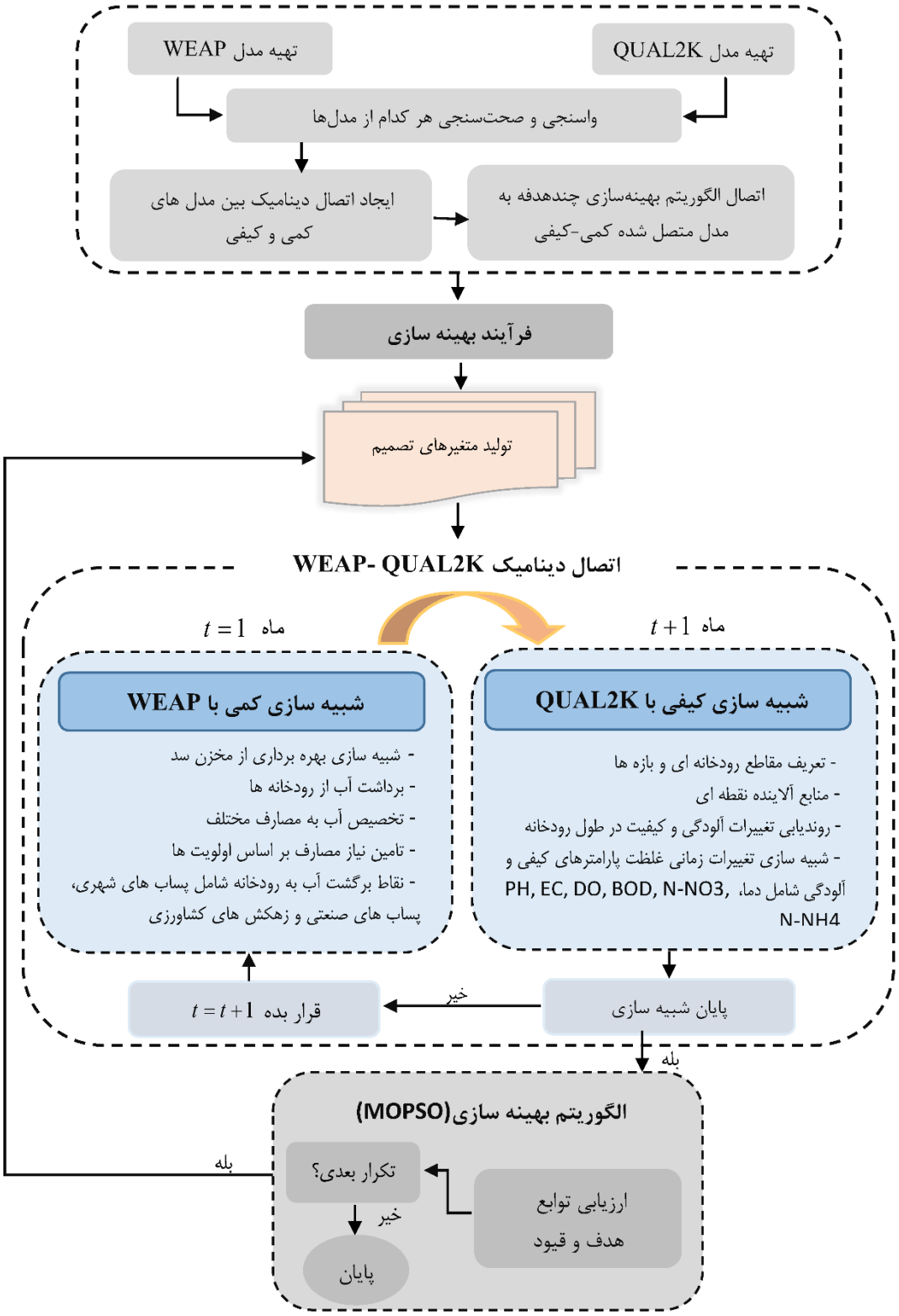
برای مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب در منطقه مطالعاتی از مدل WEAP استفاده شد. این مدل بر اساس اصل مقدماتی موازنه‌ی آب عمل می‌کند و می‌توان آن را در سامانه‌های شهری و کشاورزی در یک حوضه آبریز یا در چندین سامانه رودخانه‌ای مورد استفاده قرار داد. همچنین قادر به شبیه‌سازی طیف وسیعی از مولفه‌های طبیعی و ساخته شده این سامانه‌ها از قبیل رواناب، دبی پایه، تغذیه طبیعی آب‌های زیرزمینی، تحلیل نیازها، ذخیره آب، حقابه‌ها و اولویت‌های تخصیص، بهره‌برداری از مخزن، تولید برقابی، روندیابی آلودگی و کیفیت آب، ارزیابی‌های آسیب‌پذیری و نیازهای اکوسیستم و مقایسه سود و هزینه طرح‌ها می‌باشد (Sulis and Sechi, 2013). همچنین این مدل به دلیل قابلیت اتصال آن با مدل QUAL2K برای اهداف این تحقیق مناسب بوده و در صورت اتصال درست بین آنها، روند کمی-کیفی رودخانه تحت تاثیر سیاست های مختلف در طول دوره برنامه‌ریزی قابل شبیه‌سازی خواهد بود.

اتصال دینامیک مدل کمی و کیفی WEAP و QUAL2K

برای این کار ابتدا تمامی اطلاعات لازم برای هر بازه از رودخانه، مانند داده‌های هواشناسی، هیدرولوژیکی و کیفیت آب وارد مدل WEAP شد. پس از واسنجی و صحت‌سنجی مدل QUAL2K، این دو مدل با استفاده از ابزارهای موجود در مدل WEAP به هم متصل شدند. در مدل کوپل شده، مدل WEAP مقادیر کمی مانند رهاسازی از سد و برداشت از رودخانه و برگشت آب از زهکش ها را شبیه‌سازی می کند و مدل QUAL2K روندیابی تغییرات کیفی و آلودگی آب در تمامی گام‌های زمانی و برای همه بازه‌های رودخانه‌ای انجام می‌دهد. لذا شبیه سازی و بهره‌برداری کمی- کیفی آب برای هر سناریوی بهره‌برداری در زمان حال و آینده قابل انجام خواهد بود. در هر گام زمانی، مدل WEAP اطلاعات دبی و کیفیت سر شاخه‌ها، اطلاعات هواشناسی، مقادیر برداشت آب، منابع آلودگی نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای را در فایل QUAL2K بروزرسانی می‌کند و مدل QUAL2K با استفاده از معادلات حاکم و بر اساس اطلاعات فیزیکی و هیدرولیکی مسیر روندیابی کیفیت و آلودگی را در طول رودخانه و در مقاطع مختلف انجام می‌دهد. در صورت اتصال صحیح، داده‌ها و نتایج می‌توانند بین این دو مدل گردش کنند. در نتیجه اثرات تغییرات کیفیت در آب سطحی و یا تغییرات برداشت از آب سطحی و زیرزمینی بر کل سیستم را می‌توان مشاهده نمود.

چارچوب مدل شبیه‌سازی-بهینه‌سازی

پس از کوپل دینامیک مدل‌های کمی و کیفی، مدل تلفیقی به یک الگوریتم بهینه‌ساز لینک شد. در این تحقیق از الگوریتم Multi Objective Particle Swarm Optimization (MOPSO) برای بهینه سازی بهره‌برداری از سیستم استفاده شد. در ساختار پیشنهادی در هر تکرار، یک سری متغیرهای تصمیم توسط الگوریتم MOPSO تولید و به عنوان متغیرهای ورودی در مدل کوپل شده WEAP-QUAL2K وارد شدند. پس از اجرای مدل بر اساس این متغیرهای تصمیم، نتایج حاصل از آن با توجه به توابع هدف و قیود تعریف شده مورد ارزیابی قرار گرفتند. اگر پس از اجرای مدل توابع هدف تأمین نشوند، متغیرهای جدید با اعمال شرایط مدیریتی جدید به محیط مدل کوپل شده کمی- کیفی وارد شده و سپس توابع هدف مجددا مورد آزمون قرار گرفتند. این چرخه تا رسیدن به مقادیر نهایی بهینه تکرار شد. جهت درک بهتر مراحل انجام کار، فلوچارت ساده ای در شکل (۱) ارائه شده است. اهداف بهینه‌سازی شامل حداکثر نمودن مجموع درصد تامین نیازها و حداقل نمودن تخطی از مقادیر مجاز پارامترهای کیفی در طول دوره بهره‌برداری بودند. همچنین مقدار جریان زیست محیطی در پایین دست رودخانه در ماه‌های مختلف به عنوان متغیرهای تصمیم گیری در مسئله بهینه‌سازی در نظر گرفته شد. لذا در کل ۱۲ متغیر تصمیم گیری برای ماه‌های مختلف در نظر گرفته شد که این متغیرها در کل دوره بهره‌برداری اعمال شدند. در پایان روند بهینه سازی، مقدار جریان زیست محیطی بهینه در پایین دست رودخانه در ماه‌های مختلف مشخص شد.

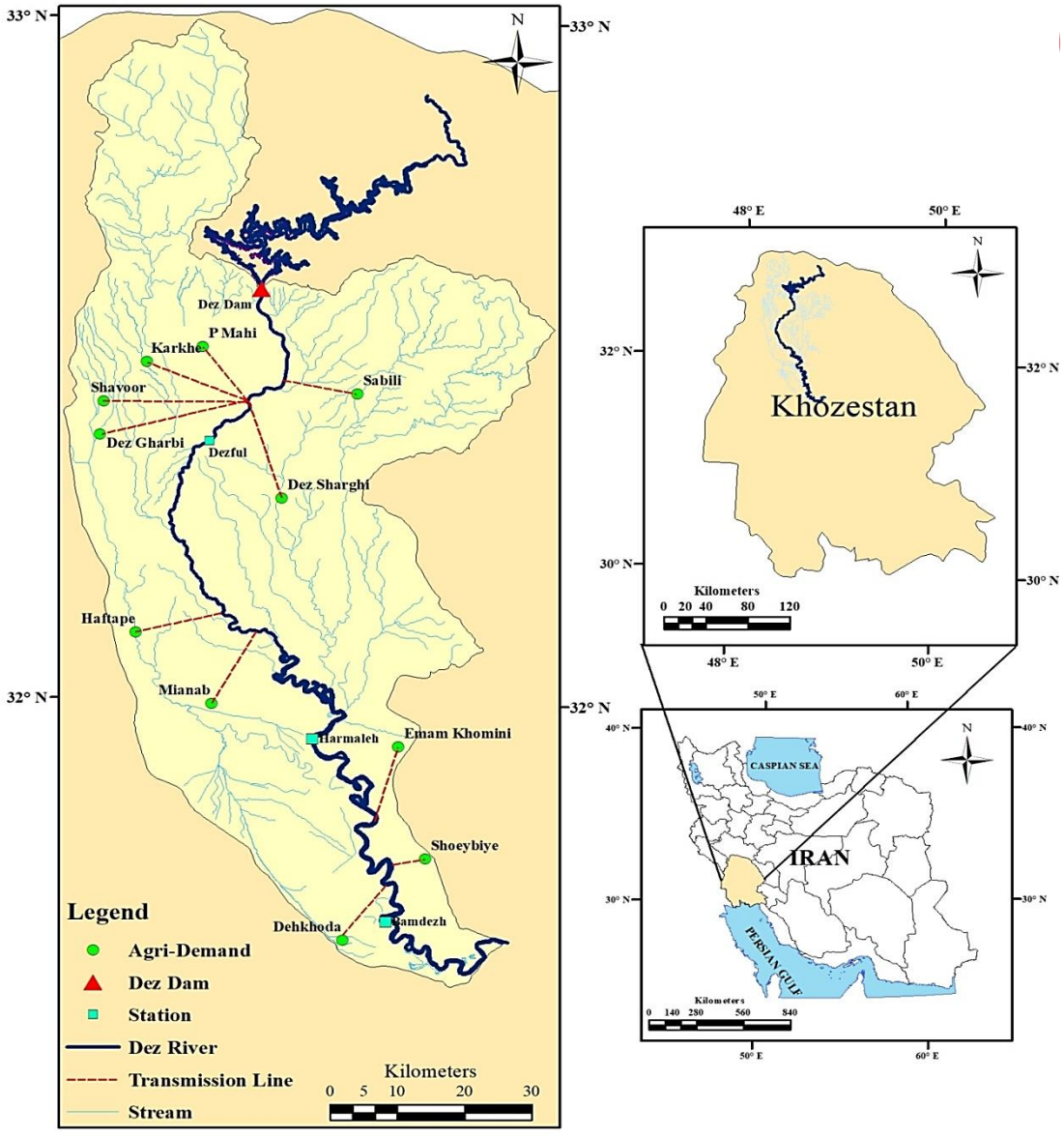


شکل ۱. ساختار مدل کوپل شده شبیه‌ساز- بهینه‌ساز

منطقه مطالعاتی

رودخانه دز سومین رودخانه پرآب ایران است و نقشی اساسی در حیات اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی شمال خوزستان دارد. تهیه مدل جامع کمی- کیفی بهره‌برداری از سـد و رودخانه دز به عنوان مهم ترین منبع تامین کننده آب منطقه با توجه به تخلیه

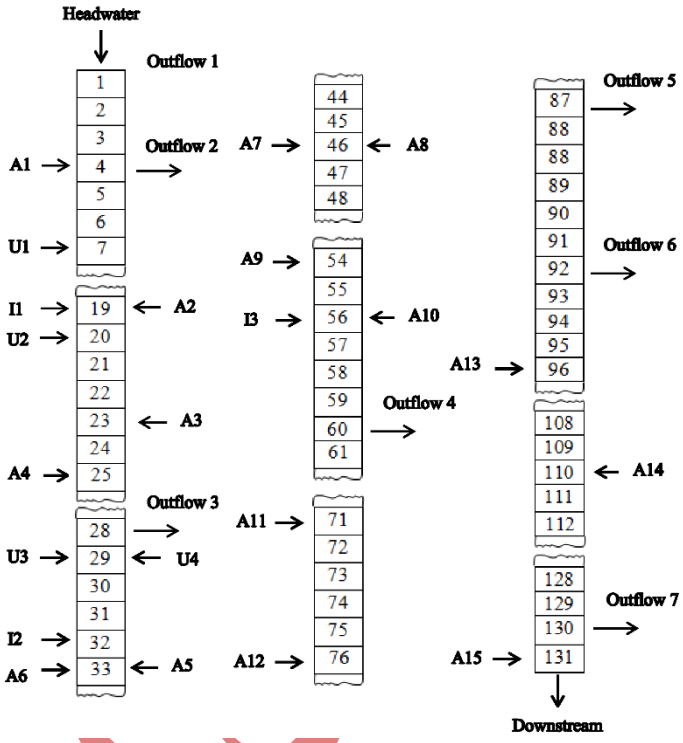
پساب‌های مختلف در آن بسیار ضروری است. این رودخانه با گذر از شهر دزفول و طی مسافتی به طول ۱۹۴ کیلومتر، در فاصله ۴۰ کیلومتری شـمال شـهر اهواز و در محلی به نام بندقیر به رودخانه کارون بزرگ می ریزد و نقش بسـزایی در کاهش شـوری رودخانه کارون دارد. مساحت ناخالص اراضی قابل‌کشت در اطراف رودخانه دز در بازه (دزفول- بند قیر) در حدود ۲۴۵ هزار هکتار بوده که ۷۱۰۰۰ هکتار آن تحت کشت نیشکر می‌باشد. برای توسعه پایدار منطقه، توسعه یک مدل جامع بهره‌برداری بهینه از منابع آب با در نظر گرفتن اثر متقابل پارامترهای کمی- کیفی و تغییرات آن ها در مسـیر رودخانه از اهمیت ویژه ای برخوردار است. در این صورت علاوه بر مسئله تامین آب مصارف مختلف از منابع آب سطحی و زیرزمینی، تاثیر برداشت آب و همچنین برگشت پساب فاضلاب های شهری، کشاورزی و صنعتی در نقاط مختلف مسیر بر روند کیفی و آلودگی رودخانه قابل بررسی خواهد بود. منبع آب سطحی منطقه سد و رودخانه دز است. منبع دیگر تأمین آب اراضی منطقه، چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق در سـطح دشـت دز می‌باشـد. بیش از ۳۰۰۰ حلقه چاه، در منطقه مطالعاتی وجود دارد که از این میان حدود ۲۴۵۰ حلقه چاه فعال می¬باشد. از هر دو منبع آب‌سطحی و زیرزمینی جهت تامین نیاز مصارف کشاورزی، شرب و صنعت در منطقه استفاده می¬شود. در شکل (۲) منطقه مطالعاتی، موقعیت دشت‌ها، شهرها، رودخانه‌های منطقه و ایستگاه‌های هیدرومتری نشان داده شده است.



شکل ۲. محدوده مطالعاتی، موقعیت دشت‌ها، رودخانه‌ها، شهرها و ایستگاه‌های هیدرومتری

شبیه‌سازی کیفی رودخانه دز

برای شبیه¬سازی روند کیفی سیستم رودخانه دز، مدل QUAL2K مورد استفاده قرار گرفت و داده‌ها و اطلاعات لازم به مدل وارد شد. این داده¬ها شامل بازه‌بندی و تعیین مشخصات هیدرولیکی رودخانه، داده¬های هواشناسی و داده‌های کیفی مربوط به رودخانه و منابع آلاینده ورودی به آن می‌باشند. بازه‌بندی رودخانه، متناسب با شرایط هیدرولیکی رودخانه و محل تخلیه آلاینده‌ها صورت گرفت. حدفاصل دزفول تا محل بندقیر به ۱۳۱ بازه با طول‌های متغیر تقسیم شد. بازه‌های رودخانه، محل ورود منابع آلاینده‌ی نقطه‌ای و محل برداشت آب از رودخانه در شکل (۳) نشان داده شده است. علامت‌های اختصاری A، U، I و S در این شکل به ترتیب نشان دهنده پساب‌های کشاورزی، شهری، صنعتی و ایستگاه‌های کنترل آلودگی می‌باشد که مشخصات آن ها در جدول (۱) آورده شده است.



شکل ۳. بازه‌بندی رودخانه و منابع نقطه‌ای ورودی و خروجی

جدول ۱. منابع آلاینده نقطه‌ای ورودی به رودخانه دز

فرم آلاینده ورودی	معرف آلاینده	منبع آلایندگی	فاصله تا انتهای رودخانه(km)
زهکش کشاورزی	A1	لور	۱۸۹
	A2	سبز آب	۱۷۰/۲۳
	A3	بنه حسن	۱۶۲/۳۶
	A4	ساغری	۱۶۰/۵۲
	A5	هفت‌تپه (۶)	۱۴۹/۴۳
	A6	هفت‌تپه (۸)	۱۴۹
	A7	سلیمه	۱۳۸/۴۱
	A8	عجیرب	۱۳۸
	A9	تاپ درین	۱۳۰/۵
	A10	عتیج	۱۲۸/۵

	A11	کهنک– لوره	۱۰۹/۷۷
	A12	کارون	۱۰۴/۹
	A13	میاناب	۶۶/۲
	A14	خارور	۳۹
	A15	شعیبیه	۶
فاضلاب شهری	U1	دزفول	۱۸۵/۱
	U2	صفی‌آباد	۱۶۸
	U3	حر	۱۵۴/۱
	U4	میانرود	۱۵۳/۲
فاضلاب صنعتی	I1	پرورش ماهی	۱۷۰/۵
	I2	مجموع کارخانه‌های هفت‌تپه	۱۵۰
	I3	کاغذسازی پارس	۱۲۷/۵

توصیه‌های مختلفی برای مقادیر استاندارد پارامترهای کیفی و آلودگی برای بهره‌برداری درست از آب رودخانه وجود دارد. در جدول (۲) غلظت متغیرهای کیفی آب رودخانه در چهار گروه مختلف آورده شده است. در این دسته‌بندی، گروه یک (A۱، 1B) نشانگر کیفیت مناسب آبی است که برای کلیه کاربردهای عمومی مناسب می‌باشد و گروه چهار بدترین کیفیت آب را نشان می‌دهد که برای اغلب کاربردها نامناسب است. با توجه به شرایط اقلیمی و اقتصادی ایران و وضعیت منطقه مورد مطالعه، در این تحقیق برای بررسی بیشتر پارامترها، استانداردهای ارائه شده کیفیت آب در گروه 1B مورد استفاده قرار گرفت.

جدول ۲- نمونه‌ای از توصیه‌های موجود برای کیفیت آب رودخانه‌ها (Krenkel and Novotny, 1980)

پارامتر	واحد سنجش	گروه‌های مختلف				محدوده مناسب استاندارد ملی ایران		استاندارد منتخب
		1A	1B	2	3	4		
دما	°C	<=۲۰	۲۲–۲۰	۲۵–۲۲	۳۰–۲۵	> ۳۰	< ۲۱	1B
PH	-	۶/۸–۵/۵	۶/۸–۵/۵	۶/۸–۵/۵	۵/۹–۵/۵	> ۹/۵ یا <۵/۵	۷/۵	1B
EC	umhos	<=۴۰۰	۷۵۰–۴۰۰	۱۵۰۰–۷۵۰	۳۰۰۰–۱۵۰۰	> ۳۰۰۰	< ۵۰۰	1B
DO	mg/l	> ۷	۷–۵	۵–۳	–	< ۳	> ۷	1A
BOD_5	mg/l	<=۳	۵–۳	۱۰–۵	۱۰-۲۵	> ۲۵	< ۱۰	1B
NO_3	mg/l	–	<=۴۴	–	۱۰۰–۴۴	> ۱۰۰	< ۴۴	1B
NH_4	mg/l	<=۰/۱	۰/۰–۱/۵	۰/۲–۵	۸–۲	> ۸	< ۰/۵	1B

واسنجی و صحت سنجی مدل QUAL2K

برای حصول اطمینان از عملکرد مدل شبیه‌سازی کیفی رودخانه، مدل QUAL2K مورد واسنجی و صحت سنجی قرار گرفت. در مرحله واسنجی پس از ورود اطلاعات هیدرولیکی، هواشناسی و کیفی، مدل برای ماه تیر (ماه کم‌آب) در چهار سال آماری متوالی (۸۷ تا ۹۰) اجرا شد و مقادیر محاسباتی توسط مدل با مقادیر مشاهداتی مقایسه گردید. سپس صحت سنجی مدل برای تیر ماه سال‌های ۹۱ تا ۹۳ اجرا شد. برای ارزیابی دقت هر یک از پارامترهای شبیه سازی شده، از آماره های آزمون ضرایب همبستگی (r)، RMSE، NRMSE و شاخص نش (NASH) که در فرمولهای ۱ تا ۴ نشان داده شده اند، استفاده گردید.

$$r = \frac{\sum (Y_m - \bar{Y}_m)(Y_p - \bar{Y}_p)}{\sqrt{\sum (Y_m - \bar{Y}_m)^2 \sum (Y_p - \bar{Y}_p)^2}} \quad (۱)$$

$$NRMSE = \frac{RMSE}{X_{max} - X_{min}} \quad (۲)$$

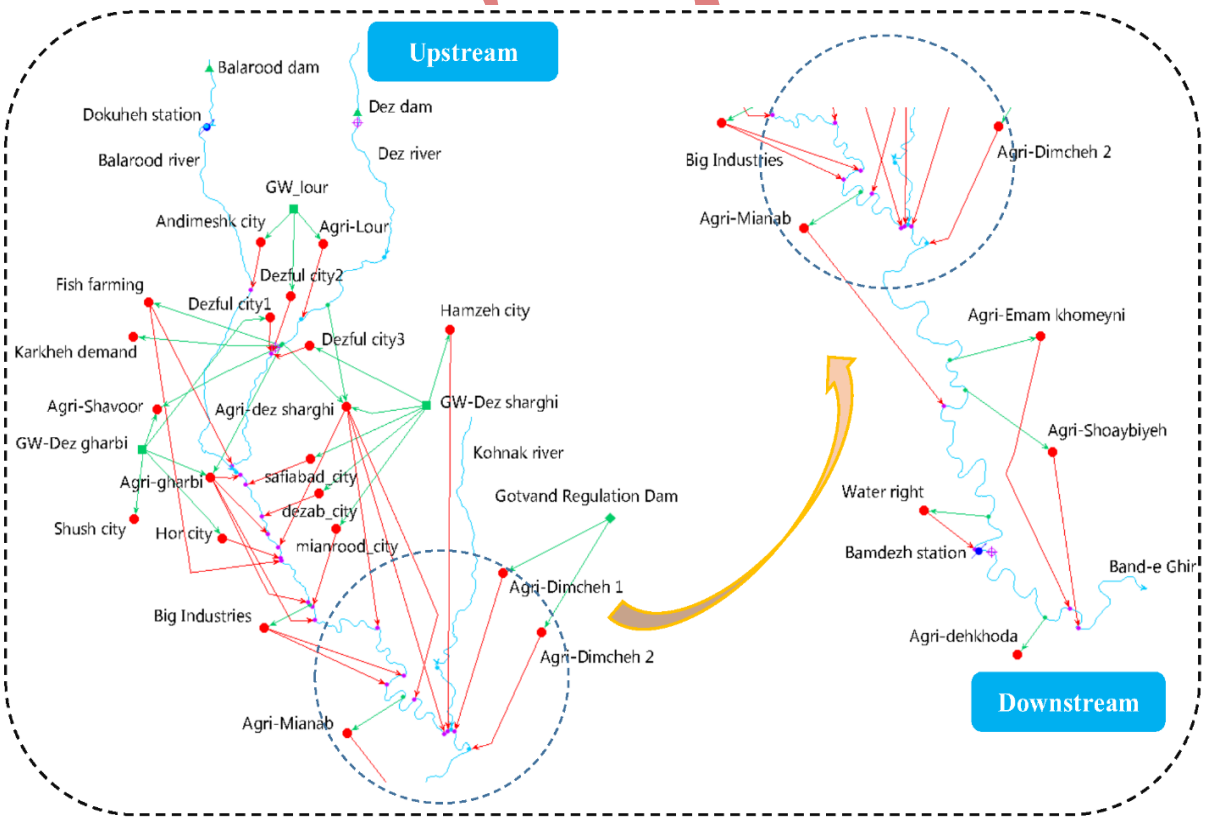
$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}(Y_m - Y_p)^2} \quad (۳)$$

$$NASH = 1 - \frac{\sum_{t=1}^{n}(Y_m - Y_p)^2}{\sum_{t=1}^{n}(Y_m - \bar{Y}_p)^2} \quad (۴)$$

که در آن Ym مقدار مشاهداتی، $\bar{Y}m$ میانگین مقادیر مشاهداتی، Yp مقدار پیش‌بینی شده، $\bar{Y}p$ میانگین مقادیر پیش‌بینی شده، Xmax و Xmin به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار مشاهداتی می‌باشد. در پارامترهای شبیه سازی شده هرچه میزان ضریب همبستگی وآماره نش به یک و مجذور میانگین مربعات خطا نرمال‌شده به صفر نزدیکتر باشد، نتایج مدل از اطمینان بالاتری برخوردار خواهد بود.

شبیه‌سازی منابع آب سطحی

برای شبیه‌سازی کمی و برنامه‌ریزی منابع آب موجود از مدل WEAP استفاده شد. ابتدا برای تعیین چارچوب اصلی مدل، نقشه‌های پایه در محیط GIS تهیه شده و سپس به مدل WEAP وارد شد. بر این اساس مسیر رودخانه دز، محل سدها (سدمخزنی دز، سد تنظیمی دز و سد انحرافی دز)، محل ایستگاه‌های هیدرومتری، کانال‌های برداشت آب، کانال‌های انتقال آب بین حوضه‌ای، محل شهرها، محل کارخانه‌ها و صنایع بزرگ، کانال‌های برگشت آب شهری و زهکش‌های کشاورزی و غیره مشخص شدند. برای آشنایی بیشتر با تمامی منابع و مصارف موجود در محدوده مورد مطالعه، شماتیک و چارچوب مدل تهیه شده در WEAP در شکل (۴) نشان داده شده است.



شکل ۴. الف وب- طرح چارچوب و اجزای مدل WEAP در بالادست و پایین دست منطقه مطالعاتی

مطابق آنچه که در چارچوب مدل نشان داده شد، از هر یک از منابع تأمین آب منطقه اعم از سطحی یا زیرزمینی یک خط انتقال به محل مصرف کشاورزی یا گره مربوط به هر دشت متصل شد. سپس از هر گره مصرف یک خط برگشت آب به رودخانه در نظر گرفته شد که رواناب سطحی و آب مازاد کشاورزی را از طریق زهکش‌ها به رودخانه منتقل می‌کند. لازم به ذکر است که نقاط برگشت آب بر اساس تصاویر ماهواره‌ای و مختصات محل تخلیه زهکش‌ها در نظر گرفته شد. محل این نقاط در مدل WEAP دقیقاً منطبق با کیلومتراژ محل تخلیه زهکش در مدل کیفی QUL2K می‌باشد. همچنین تمامی مصارف کشاورزی واقع شده در محدوده مطالعاتی که از رودخانه دز آب برداشت می کنند یا پساب آنها به رودخانه دز تخلیه می شود، در مدل WEAP وارد شد. همچنین واحدهای صنعتی مانند کارخانه نیشکر هفت‌تپه و شرکت کاغذسازی پارس در داخل محدوده مطالعاتی قرار داشته و نیاز آبی ماهانه خود را از رودخانه دز تأمین می کنند. واحدهای پرورش ماهی منطقه اندیمشک نیز آب مورد نیاز خود را از طریق کانال غربی متصل به رودخانه دز تأمین می‌کنند. مقادیر ماهانه نیاز این مصارف و جانمایی محل برداشت آن‌ها در مدل تعریف شد. متوسط نیاز ماهانه هر یک از این مصارف در جدول (۳) آورده شده است.

جدول ۳. نیاز ماهانه مصارف کشاورزی در محدوده منطقه مطالعاتی (متر مکعب بر ثانیه)

نوع مصرف	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
دشت لور	۱/۸	۱۶/۳	۴/۸	۰/۸	۰/۰	۳/۷	۸/۱	۶/۳	۱/۵	۲/۳	۳/۳	۳/۶
دز شرقی	۲۷/۲	۲۰/۱	۱۶/۷	۲۹/۷	۳۴/۴	۲۲/۷	۵۵/۲	۳۹/۵	۴۷/۰	۵۲/۴	۴۷/۳	۵۶/۳
دز غربی	۳۷/۲	۱۲/۹	۱۳/۸	۱۰/۴	۳/۱	۲۳/۸	۳۵/۷	۱۴/۹	۲۸/۹	۲۹/۶	۵۰/۲	۵۵/۵
اراضی شاوور	۲۱/۷	۷/۴	۷/۷	۳/۳	۲/۳	۱۳/۲	۲۰/۷	۸/۶	۱۶/۷	۱۷/۳	۲۹/۶	۳۲/۵
اراضی دیمچه	۱۹/۸	۱۱/۲	۶/۴	۲/۸	۳/۱	۶/۴	۱۶/۹	۲۱/۴	۲۷/۶	۲۸/۹	۲۸/۸	۳۱/۴
میاناب	۵/۲۹	۵/۶۶	۶/۵۵	۰/۱۳	۵/۹۴	۴/۵۲	۶	۵/۲۵	۸/۵۲	۶/۹۶	۸/۹۴	۶/۶۷
امام خمینی	۲/۶۸	۲/۸۷	۳/۳۲	۲/۰۹	۳/۰۱	۲/۲۹	۳/۰۵	۲/۶۶	۴/۳۲	۳/۵۳	۴/۵۳	۳/۳۸
شعیبیه غربی	۲/۱	۲/۹۸	۰/۴۵	۰/۹۶	۴/۷۲	۹/۰۵	۱۲/۸۴	۶/۶۵	۱/۶۹	۱/۸۱	۴/۰۳	۳/۱
دهخدا	۹/۸۷	۱۰/۵۷	۱۲/۲۳	۷/۷	۱۱/۰۹	۸/۴۴	۱۱/۲۲	۹/۷۹	۱۵/۹	۱۲/۹۹	۱۶/۶۹	۱۲/۴۶
حقابه سنتی	۱۳/۵۴	۸/۰۶	۰/۱۱	۰/۸۶	۵/۷۲	۱۱/۷۶	۱۷/۹۷	۷/۱۷	۳/۱۴	۱۴/۶۴	۱۶/۷۶	۱۱/۵

جهت محاسبه آب شرب موردنیاز شهری و روستایی، آمار و اطلاعات جمعیتی تمام شهرها و آبادی موجود و مکانهای سکونتی مختلف در محدوده دشت مربوط به سرشماری های ۱۳۸۵، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ از استانداری خوزستان و اداره آب و فاضلاب این استان اخذ گردید. نرخ رشد جمعیت بین دو سرشماری متوالی در هر شهر و مناطق روستایی بر اساس سرشماری های متوالی اندازه گیری شد و در نهایت با توجه به میزان جمعیت در سال مبنا و نرخ رشد، جمعیت آینده تخمین زده شد. سپس مقدار نیاز شرب شهری و روستایی بر اساس جمعیت و سرانه آب مصرفی شهری و روستایی محاسبه شد. میزان آب برگشتی بصورت فاضلاب در هر شهر با توجه به نمونه‌های آماری اداره آب و فاضلاب استان خوزستان حدود ۸۳ درصد از کل نیاز شرب در نظر گرفته شد. در روستاها به دلیل عدم وجود شبکه فاضلاب، آب برگشتی در نظر گرفته نشد.

همچنین برای شبیه‌سازی میزان رهاسازی جریان از سد و نیروگاه دز به عنوان یکی از منابع تأمین آب‌سطحی، اطلاعات مورد نیاز از جمله منحنی های حجم- سطح- ارتفاع مخزن، حجم سد در تراز حداقل و حداکثر، حجم مرده مخزن، ظرفیت نیروگاه و غیره در مدل تعریف شد.

ساختار مدل بهره‌برداری کمی- کیفی پیشنهادی

بهره‌برداری کمی- کیفی سیستم‌های منابع آب منطقه مورد مطالعه، با استفاده از یک الگوریتم چند هدفه انجام شد. طوری که هدف اول حداکثر نمودن درصد تامین نیازهای طرح در طی دوره برنامه‌ریزی در مقابل هدف دوم یعنی حداقل نمودن تخطی از مقادیر مجاز پارامترهای کیفی در طول دوره بهره‌برداری (مطابق با تابع مطلوبیت کیفی) قرار گرفت. معادلات توابع هدف و قیود در این تحقیق به صورت زیر تعریف شدند.

توابع هدف:

۱- حداکثر نمودن درصد تأمین نیاز مصارف در کل دوره t

$$F_1 = \text{Maximize(coverage)} = \text{Maximize}\left(\sum_{t=1}^{n}\sum_{z=1}^{k}\sum_{d=1}^{nd}(Cov_{tzd})\right) = \text{Maximize}\sum_{t=1}^{n}\sum_{z=1}^{k}\sum_{d=1}^{nd}\left(\frac{TAW_{tzd}}{DM_{tzd}}\right) \quad (۵)$$

به دلیل اینکه الگوریتم بهینه‌ساز مورد استفاده به دنبال کمینه کردن توابع هدف است می‌توان تابع فوق را بصورت زیر نوشت:

$$F_1=\text{Minimize}\left(\sum_{t=1}^{n}\sum_{z=1}^{k}\sum_{d=1}^{nd}(1-Cov_{tzd})\right) = \text{Minimize}\left(\sum_{t=1}^{n}\sum_{z=1}^{k}\sum_{d=1}^{nd}\left(1-\frac{TAW_{tzd}}{DM_{tzd}}\right)\right) \quad (۶)$$

که در این فرمول:

Cov_{tzd} : درصد تأمین نیاز نوع d در دوره t از منطقه z

TAW_{tzd} : میزان کل آب تخصیص داده شده به بخش d در دوره t از منطقه z

DM_{tzd} : نیاز آبی بخش d در دوره t از منطقه z

n : تعداد دوره‌های زمانی برنامه‌ریزی

k : تعداد مناطق نیاز

nd : تعداد بخش‌های مصرف‌کننده آب در هر منطقه نیاز

۲- حداقل نمودن تخطی از مقادیر مجاز پارامترهای کیفی در کل دوره t (تابع مطلوبیت کیفی آب مصرفی)

$$F_2=\text{Minimize}\left(\sum_{t=1}^{n}\sum_{p=1}^{q}\sum_{r=1}^{nr}\left(\frac{\text{Concentration}_{tpr}-\text{Accepted Concentration}_{p}}{\text{Accepted Concentration}_{p}}\right)\right) \quad (۷)$$

که در این فرمول:

$\text{Concentration}_{tpr}$: غلظت هر پارامتر p در هر دوره t در هر بازه رودخانه ای r

$\text{Accepted Concentration}_{p}$: غلظت مجاز هر پارامتر مطابق با استانداردهای موجود

n : تعداد دوره‌های زمانی برنامه‌ریزی

q : تعداد پارامترهای کیفی شبیه‌سازی شده

nr : تعداد بازه‌های رودخانه

محدودیت‌ها:

$$TAW_{tzd}=RS_{tzd}+RG_{tzd}\ , \quad t=1,\ldots,m\times y, \quad z=1,\ldots,nz, \quad d=1,\ldots,nd \quad (۸)$$

ویرایش اولیه نشده

RS_{tzd} : حجم کل آب سطحی تخصیص داده شده به بخش d در دوره t از منطقه z

RG_{tzd} : حجم کل آب زیرزمینی تخصیص داده شده به بخش d در دوره t از منطقه z

nz : تعداد مناطق نیاز

nd : تعداد بخش‌های مصرف‌کننده آب در هر منطقه نیاز

m : تعداد دوره‌های برنامه‌ریزی در هر سال

y : تعداد سال‌های دوره برنامه‌ریزی

حداکثر ظرفیت برداشت کانال‌های سبیلی، دز شرقی، دز غربی و سبیلی به عنوان محدودیت در مدل تعریف شدند.

$$R_{c\text{-}s} \le 16 \qquad R_{c\text{-}e} \le 92 \qquad R_{c\text{-}w} \le 157 \qquad R_{c\text{-}g} \le 60 \qquad (۹)$$

$R_{c\text{-}s}$: حداکثر ظرفیت برداشت کانال سبیلی در دوره t

$R_{c\text{-}e}$: حداکثر ظرفیت برداشت کانال شرقی در دوره t

$R_{c\text{-}w}$: حداکثر ظرفیت برداشت کانال غربی در دوره t

$R_{c\text{-}g}$: حداکثر ظرفیت برداشت کانال گتوند در دوره t

$$ARS_{tzd}=\begin{cases} DM_{tzd} & \text{if} \left(TSR_t - \sum_{z=1}^{z-1}\sum_{d=1}^{d} DM_{tzd} - \sum_{z=1}^{z}\sum_{d=1}^{d-1} DM_{tzd} \right) \ge DM_{tzd} \\ \left(TSR_t - \sum_{z=1}^{z-1}\sum_{d=1}^{d} DM_{tzd} - \sum_{z=1}^{z}\sum_{d=1}^{d-1} DM_{tzd} \right) & \text{otherwise} \end{cases} \qquad (۱۰)$$

ARS_{tzd} : میزان کل آب سطحی تخصیص داده شده به بخش d در دوره t از منطقه z (با در نظر گرفتن اولویت‌های منابع تأمین و اولویت نیاز مصارف)

$$TDF_{tzd}=DM_{tzd}+ARS_{tzd} \qquad (۱۱)$$

TDF_{tzd} : حجم کل کمبود آب بخش d در دوره t از منطقه

$$ARG_{tzd}=\begin{cases} TDF_{tzd} & if \left(G_{t-max} - \sum_{z=1}^{z}\sum_{d=1}^{d-1} TDF_{tzd} \right) \ge TDF_{tzd} \\ \left(G_{t-max} - \sum_{z=1}^{z}\sum_{d=1}^{d-1} TDF_{tzd} \right) & otherwise \end{cases} \qquad (۱۲)$$

$G_{t\text{-}max}$: حد مجاز برداشت ماهانه از منبع آب زیرزمینی (این حد طوری در نظر گرفته شده که حداکثر برابر برداشت فعلی باشد و از این مقدار تجاوز نکند)

یکی دیگر از محدودیت‌های بهینه‌سازی اولویت تأمین می‌باشد که در طول شبیه‌سازی ابتدا از آب سطحی و سپس از آب زیرزمینی تأمین می‌شود.

فرضیات مدل و سناریوها

با توجه به قابلیت سناریوپذیری مدل‌های شبیه‌ساز، می‌توان شرایط آتی را تحت سیاست‌های بهره‌برداری کمی- کیفی مختلف در قالب سناریوهایی مورد ارزیابی قرار داد. در تحقیق حا ضر نیز برای بهره‌برداری از سیستم‌های منابع آب، دو سناریو متفاوت اجرا شد که در ادامه به بررسی آن‌ها خواهیم پرداخت.

سناریوی مرجع: سناریوی مرجع بیانگر ادامه شرایط موجود و بدون تغییر اساسی در سیاست‌های مدیریتی در آینده می‌باشد که در آن شبیه‌سازی کمی- کیفی، برای یک افق شش ساله، سال آبی ۹۷-۱۳۹۶ تا ۰۲-۱۴۰۱ انجام گردید. در این سناریو نیازهای کشاورزی در محدوده مطالعاتی بر اساس الگوی کشت هر دشت محاسبه شد و در طول دوره بهره‌برداری در سالهای آتی ثابت در نظر گرفته شد. نیاز شرب در سالهای آتی با توجه به نرخ رشد جمعیت محاسبه شده و در مدل وارد شد. مطابق با وضع موجود بهره‌برداری، میزان جریان زیست محیطی در پایین دست رودخانه برابر با دبی های ثبت شده در ایستگاه هیدرومتری بامدژ واقع در انتهای مسیر در نظر گرفته شد. در این سناریو، نیاز شرب تماماً از بخش آب زیرزمینی تأمین می‌گردد و در بخش آب سطحی، نیاز صنعت به عنوان اولویت اول تخصیص، نیاز زیست محیطی بامدژ به عنوان اولویت دوم و در نهایت نیاز کشاورزی دشت‌ها و انتقال به کرخه با اولویت سوم در مدل تعریف گردید لازم به ذکر است، نیاز زیست محیطی تعریف شده در محل ایستگاه بامدژ، برابر با سری زمانی دبی ثبت شده در این ایستگاه می‌باشد.

سناریوی بهینه: این سناریو با هدف بهینه‌سازی میزان نیاز زیست محیطی در آخرین گره رودخانه (بندقیر) در شرایط بهره‌برداری کمی-کیفی سیستم‌های منابع آب انجام شد. در این سناریو تمامی نیازها، اولویت‌های تأمین و تخصیص نیازها مطابق سناریوی اول در نظر گرفته شد. در پایان فرآیند بهینه سازی از مقادیر بهینه جریان زیست محیطی به دست آمده در پایین دست رودخانه برای مدیریت بهره‌برداری کمی- کیفی منابع آب در منطقه مورد مطالعه استفاده شد.

نتایج و بحث

پیش از اتصال مدل‌های کمی و کیفی، مدل کیفیت آب برای پارامترهای کیفی و آلودگی شامل دما، PH، هدایت الکتریکی(EC)، اکسیژن محلول(DO)، نیاز اکسیژن‌خواهی بیولوژیکی(BOD)، نیتروژن نیتراتی($N\text{-}NO_3$)، و نیتروژن آمونیاکی($N\text{-}NH_4$) واسنجی و صحت‌سنجی شد. سپس برای اطمینان از صحت شبیه‌سازی، مدل طی تیر ماه سه سال(۹۱-۹۳) مورد ارزیابی و صحت‌سنجی قرار گرفت. جدول (۴)، نتایج حاصل از صحت سنجی، بر اساس آماره‌های ضریب همبستگی (R)، مجذور میانگین مربعات خطا نرمال شده (NRMSE) و آماره Nash را نشان می‌دهد. بر اساس پارامترهای ذکر شده، هر چه مقدار آماره‌های R و Nash به یک و NRMSE به صفر نزدیکتر باشد، مدل دقت بیشتری خواهد داشت.

جدول ۴. مقدار آماره‌های آزمون در مرحله صحت‌سنجی

Parameters	Temperature	PH	EC	DO	CBOD Fast	$N\text{-}NO_3$	$N\text{-}NH_4$
r	۰/۹۷	۰/۹۹	۰/۹۸	۱	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۳
NRMSE	۰/۰۹	۰/۳	۰/۱	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۱۱	۰/۲
NASH	۰/۹۴	۰/۹۵	۰/۹۳	۰/۹۹	۰/۹۵	۰/۹۳	۰/۹۳

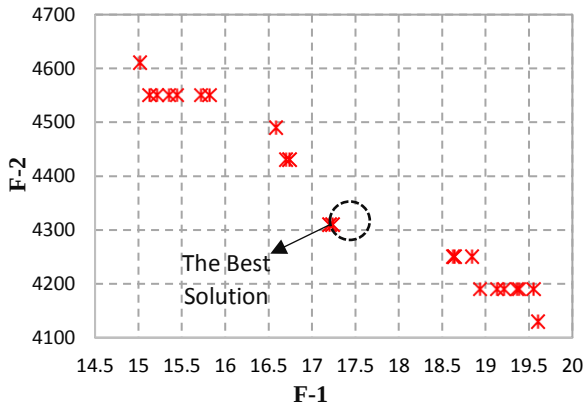
نتایج حاصل از سناریوهای مدیریتی مختلف

قبل از شروع فرآیند بهینه‌سازی دو سناریوی مدیریتی در نظر گرفته و نتایج حاصل از آن‌ها با یکدیگر مقایسه شد. در این سناریوها به دلیل محدودیت زمان اجرای مدل لینک شده، طول دوره بهینه سازی ۶ سال و از سال آبی ۹۷-۱۳۹۶ تا ۰۲-۱۴۰۱ در نظر گرفته شد. از سناریوهای مورد بررسی، سناریو اول یا سناریوی مرجع با فرض ادامه بهره‌برداری کمی- کیفی سیستم‌های

منابع آب مطابق با شرایط موجود و برای دوره ۶ ساله فوق اجرا شد. سناریوی دوم یا سناریوی بهینه، با هدف بهینه‌سازی میزان نیاز زیست محیطی در انتهای رودخانه (بند قیر) اجرا شد. در این سناریو تمامی نیازها، اولویت‌های تأمین و تخصیص نیازها مطابق سناریوی اول می‌باشد.

نتایج حاصل از اجرای الگوریتم بهینه‌سازی کمی- کیفی

همانطور که قبلا اشاره شد فرآیند بهینه‌سازی با استفاده از الگوریتم چند هدفه MOPSO انجام شد. در این فرآیند تعداد ۱۲ متغیر تصمیم (دبی زیست محیطی پایین‌دست رودخانه در ماههای مختلف) با در نظر گرفتن یک تابع چند هدفه بهینه شد. اجراهای مکرر مدل نشان داد برای رسیدن به نتایج بهتر، جمعیت اولیه ذرات باید حداقل دو برابر تعداد متغیرهای تصمیم باشد لذا در این تحقیق تعداد جمعیت اولیه حدود ۲۴ انتخاب شد. نتایج نشان داد که در تکرارهای پایین‌تر میزان تابع درصد تأمین نیاز و تابع تخطی از مقادیر مجاز پارامترهای کیفی، هر دو تغییرات محسوسی دارند اما در تکرارهای بالاتر دامنه تغییرات تابع تأمین نیاز ثابت شده و مدل بر روی کاهش تخطی از مقادیر مجاز پارامترهای کیفی متمرکز می‌شود. تعداد تکرار الگوریتم جهت رسیدن به همگرایی در حدود ۱۰۰۰ در نظر گرفته شد. با توجه به جمعیت اولیه ۲۴، در کل ۲۴۰۰۰ بار مدل کوپل شده کمی-کیفی اجرا شد. در الگوریتم MOPSO، در هر تکرار بهترین جواب‌ها بر اساس ارزش‌گذاری توابع هدف انتخاب می شوند و تحت عنوان مجموعه ذخیره بهینه[1] جهت انتقال به مرحله بعد ذخیره می‌گردند. در آخرین تکرار، منحنی تبادل بهینه (گراف پارتو[2]) بین اهداف بهینه سازی (تابع حداکثر سازی درصد تأمین نیاز مصارف و تابع حداقل سازی تخطی از مقادیر مجاز پارامترهای کیفی) به دست آمد. شکل (۵) گراف پارتو را نشان می‌دهد که در آن نقاط ترسیم شده همان جواب‌های بهینه مدل بوده و محورهای این گراف نیز توابع هدف مورد نظر می‌باشند. در آخرین تکرار مدل، ۲۲ جواب بهینه به دست آمد که از این بین با توجه به ارزش‌گذاری توابع هدف، راه‌حلی که بطور همزمان دارای بیشترین میزان درصد تأمین نیاز و کمترین میزان تخطی از مقادیر مجاز پارامترهای کیفی بود به عنوان جواب برتر انتخاب شده و نتایج اجرای آن در مدل کمی-کیفی بررسی شد.



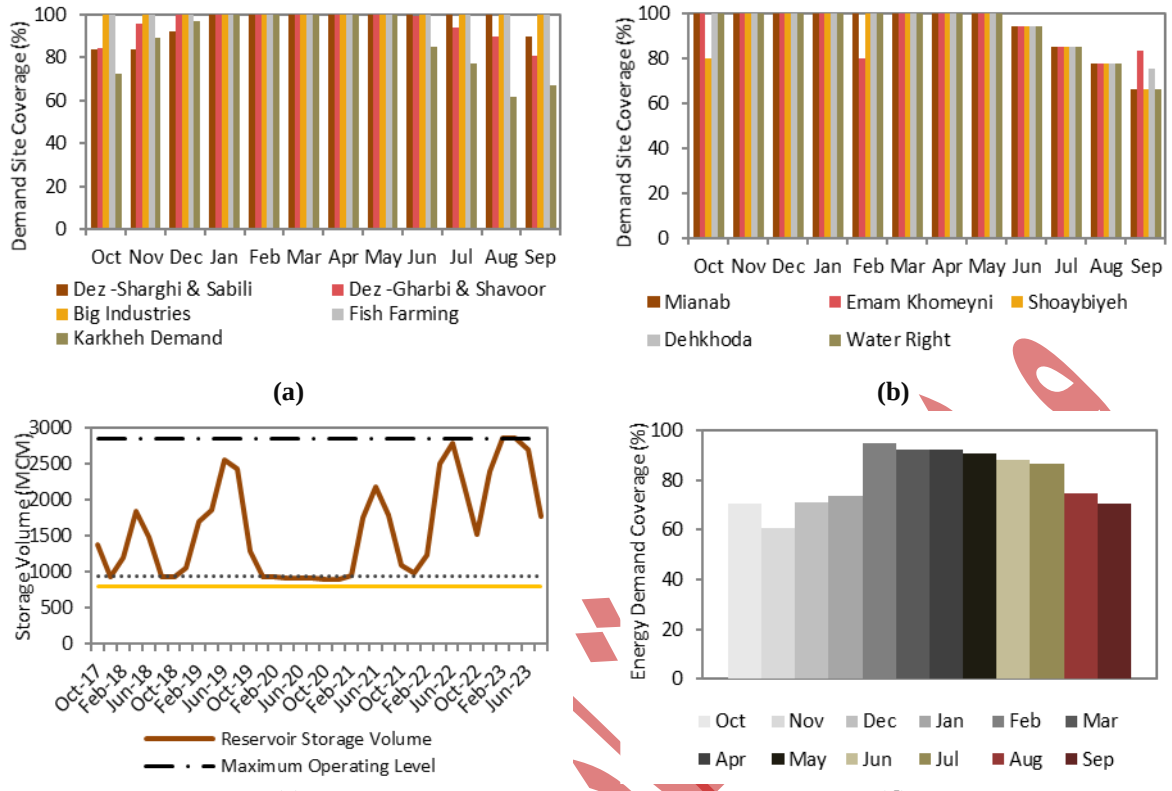
شکل ۵. منحنی تبادل بهینه بین اهداف بهینه‌سازی (منحنی پارتو) در تکرار ۱۰۰۰

مقایسه سناریوها

در سناریوی مرجع، سیستم پس از تأمین نیاز مصارف صنعتی دشت، ملزم به تأمین نیاز زیست محیطی بامدژ که مطابق با دبی ثبت شده در این ایستگاه هیدرومتری است، می‌باشد. متوسط درصد تأمین نیاز ماهانه هر یک از مصارف بالادست دشت دز در شکل (۶) نشان داده شده است. طی این سناریو بدلیل اختصاص اولین اولویت به نیاز صنایع بزرگ (کارخانجات هفت‌تپه و کاغذ سازی پارس) و پرورش ماهی، این نیازها در همه ماه‌های شبیه‌سازی بطور کامل تأمین شده‌اند. اما در خصوص نیاز اراضی کشاورزی که بطور همزمان تحت تأثیر برداشت از آب سطحی و زیرزمینی هستند، در برخی از ماه‌های فصل تابستان و

[1] Repository
[2] Pareto-Optimal Front

پائیز با کمبود مواجه شـده¬اند. کمترین درصـد تأمین به میزان ٪ ۳۳/۵ مربوط به نیاز کرخه اسـت که تنها از رودخانه دز تأمین می¬گردد.



شکل ۶- نتایج اجرای سناریوی اول: a- متوسط درصد تأمین نیاز مصارف بالادست منطقه مطالعاتی دز b- متوسط درصد تأمین نیاز مصارف پایین‌دست منطقه مطالعاتی c- تغییرات حجم ذخیره ماهانه مخزن سد دز در طول دوره بهره‌برداری ۶ ساله d- متوسط درصد تأمین نیاز برق تولیدی

با توجه به شکل (۶) درصد تأمین نیاز اراضی کشاورزی پایین دست نسبت به بالادست کمتر است. چرا که مصارف پایین¬دست دشت دز بطور کامل توسط آب سطحی تامین می شود. اراضی نیشکر دهخدا به سبب اینکه در انتهای رودخانه و بعد از نیاز زیست محیطی بامدژ واقع شـده، در تمامی ماه‌های بهره‌برداری بطور کامل تأمین شـده اسـت. کمترین درصـد تأمین نیاز نیز با ٪۳۳/۵ مربوط به اراضی نیشکر امام¬خمینی و شعیبیه در ماه شهریور می¬شود.

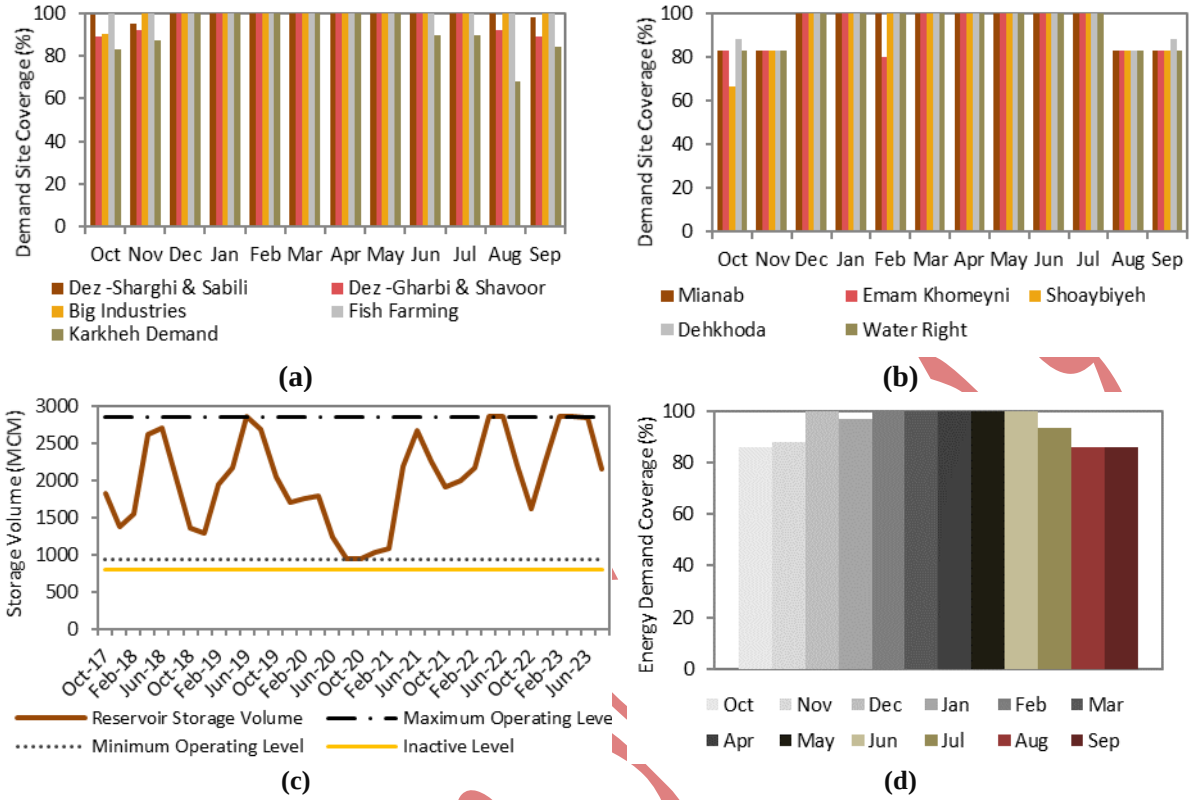
شکل (۶) وضعیت بهره‌برداری از مخزن سد دز در طول دوره‌ی ۷۲ ماهه شبیه سازی را در سناریوی مرجع نشان می‌دهد. حجم مخزن در ۳۰ ماه از کل دوره، شـامل ماه‌های اواخر تابسـتان (شـهریور) تا اوایل زمسـتان (دی) کمتر از حداقل تراز بهره‌برداری می‌باشد. همچنین در هیچ ماهی از کل دوره، حجم مخزن سد به حداکثر تراز بهره‌برداری نرسیده است.

شکل (۶) درصد تأمین نیاز برق توسط نیروگاه سد دز را نشان می‌دهد. کمترین درصد تأمین نیاز برق با مقدار ٪ ۴۵/۳۵ مربوط به ماه شهریور می‌باشد همچنین درصد اطمینان‌پذیری تأمین نیاز نیز ٪۵۸/۳ به دست آمد.

بعد از اعمال سناریوی بهینه، متوسط درصد تأمین نیاز ماهانه در هر یک از مصارف در بالادست و پایین دست دشت دز در شکل شکل (۷) نشان داده شده است. درصد تأمین نیازهای بالادست به غیر از نیاز کرخه، بالای ٪۹۰ می‌باشد.

همچنین شکل (۷) تغییرات حجم مخزن سد دز در طول دوره‌ی ۷۲ ماهه بهره‌برداری را در سناریوی بهینه‌سازی نشان می‌دهد. همانطور که مشخص است پس از اجرای سناریوی بهینه به علت در نظر گرفتن محدودیت حداقل تراز بهره‌برداری، حجم مخزن تنها در ۵ ماه از کل دوره، نزدیک به تراز حداقل بهره‌برداری می‌باشد. شکل (7-D) درصد تأمین برق تولیدی توسط نیروگاه سد دز

را در سناریوی دوم نشان می‌دهد. در این سناریو، نیروگاه با اطمینان‌پذیری ۹۱/۶۷٪ در تمامی ماه‌ها برق مورد نیاز را تولیده نموده و کمترین درصد اطمینان‌پذیری نیز با مقدار ۸۵/۹٪ مربوط به شهریورماه است.



شکل ۷. نتایج اجرای سناریوی دوم: a- متوسط درصد تأمین نیاز مصارف بالادست منطقه مطالعاتی دز b- متوسط درصد تأمین نیاز مصارف پایین‌دست منطقه مطالعاتی c- تغییرات حجم ذخیره ماهانه مخزن سد دز در طول دوره بهره‌برداری ۶ ساله d- متوسط درصد تأمین نیاز برق تولیدی

اطمینان‌پذیری تأمین نیازهای منطقه شامل مصارف شهری، صنعتی، کشاورزی و انتقال آب به خارج از محدوده دشت که بطور همزمان از آب سطحی و زیرزمینی تأمین می‌گردند، در جدول (۵) نشان داده شده است. این جدول نشان می‌دهد، در سناریوی بهینه، اطمینان‌پذیری تأمین نیاز اکثر مصارف نسبت به سناریوی مرجع بهبود یافته است.

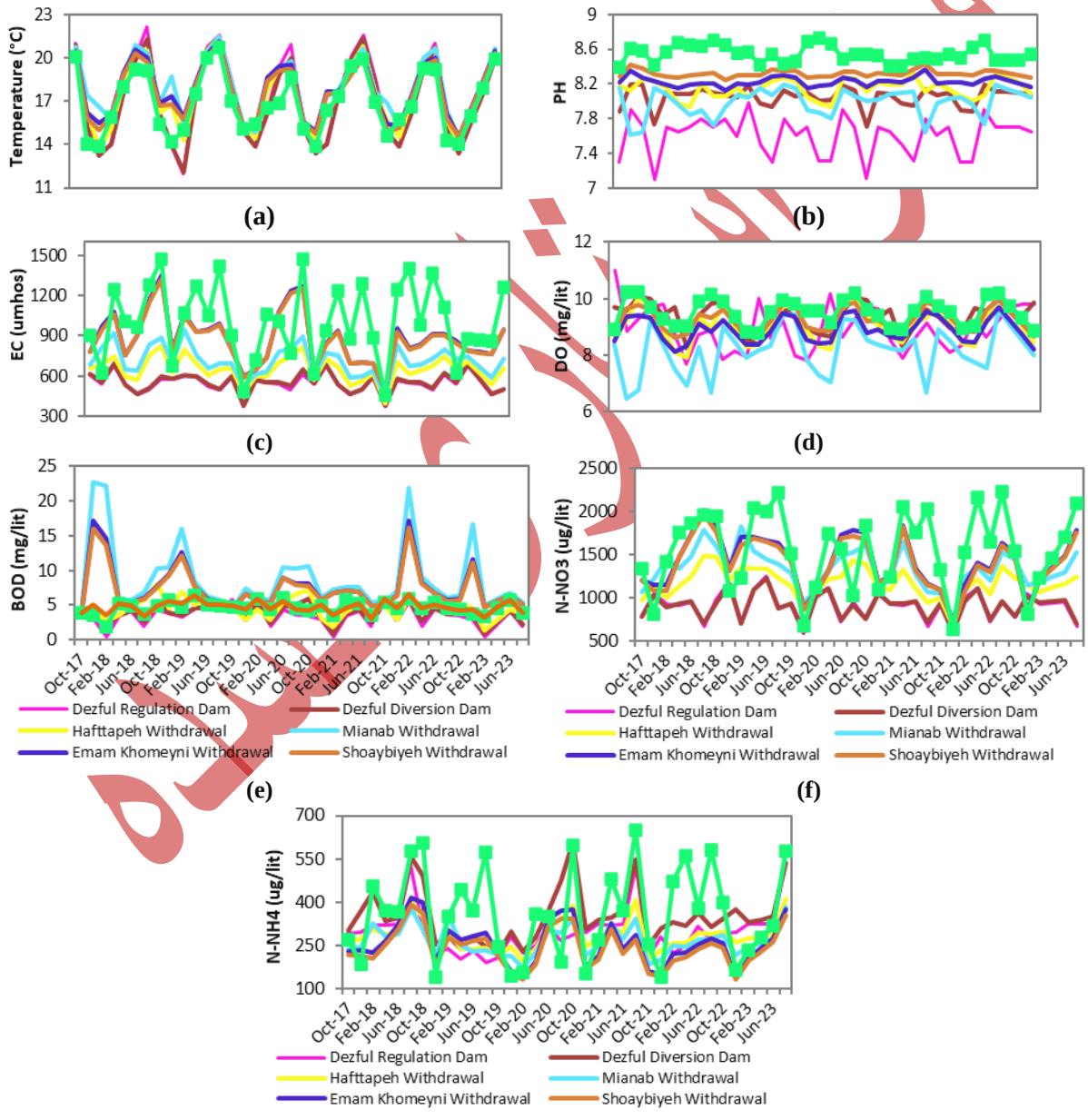
جدول ۵. اطمینان‌پذیری تأمین نیازها

نام نیاز	سناریوی اول	سناریوی دوم
لور	۱۰۰	۱۰۰
دز شرقی و سبیلی	۸۶/۱۱	۹۵/۸۳
دز غربی و شاوور	۷۵	۹۴/۴۴
دیمچه	۱۰۰	۱۰۰
میاناب	۸۱/۹۴	۹۴/۴۴
امام خمینی	۷۲/۲۲	۸۶/۱۱
شعیبیه غربی	۷۲/۲۲	۸۷/۵
دهخدا	۱۰۰	۹۴/۴۴
شرب شهری و روستایی	۱۰۰	۱۰۰

کارخانجات و صنایع بزرگ	۱۰۰	۹۸/۶۱
واحدهای پرورش ماهی	۱۰۰	۹۸/۶۱
انتقال به کرخه	۵۵/۵۶	۷۰/۸۳

روند تغییرات پارامترهای کیفی و آلودگی در رودخانه دز

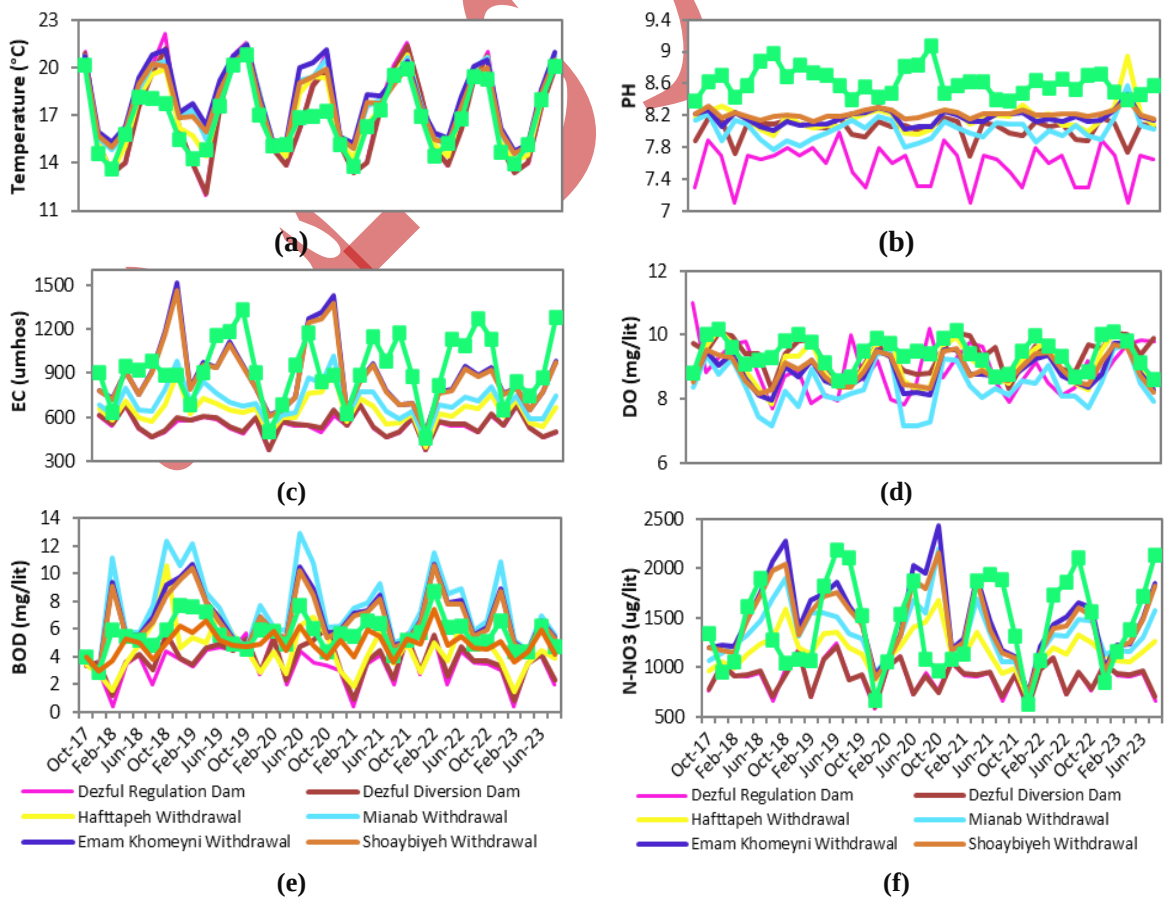
سناریوی اول: با توجه به اینکه عمده برداشت‌ها از رودخانه دز جهت تأمین نیازهای کشاورزی دشت می‌باشد، بنابراین روند تغییرات پارامترهای کیفی و آلودگی شامل دما، PH، هدایت الکتریکی (EC)، اکسیژن محلول (DO)، نیاز اکسیژن‌خواهی بیولوژیکی (BOD)، نیتروژن نیتراتی ($N\text{-}NO_3$) و نیتروژن آمونیاکی ($N\text{-}NH_4$)، در محل‌های برداشت آب در حدفاصل سد تنظیمی دز تا بند قیر بررسی شد. شکل (8) روند تغییرات هر یک از پارامترهای کیفی و آلودگی را در محل های برداشت آب کشاورزی از ابتدا تا انتهای مسیر رودخانه نشان می‌دهد.

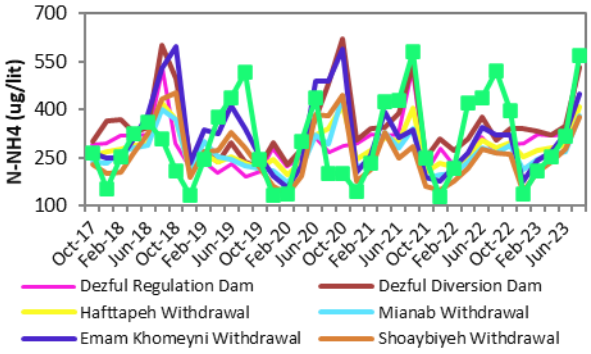


شکل ۸. تغییرات پارامترهای مختلف در طول دوره بهره‌برداری در سناریوی اول: a- دما b- PH c- EC d- DO e- BOD f- NH_4 g- NO_3

با توجه به شکل (۸)، تغییرات دما در طول رودخانه و در طول سری زمانی دارای روندی یکنواخت و مشخص است بدین صورت که دما در ماه‌های سرد سال کاهش و در ماه‌های گرم سال افزایش می‌یابد همچنین نسبت به دمای آب سرشاخه رودخانه تغییرات شدیدی ندارد. دامنه تغییرات PH بین ۷ تا ۹ و متناسب با استاندارد کیفیت آب رودخانه‌ها می‌باشد. به سمت انتهای رودخانه میزان هدایت الکتریکی (EC) در هر یک از نقاط برداشت آب در مقایسه با EC شبیه‌سازی شده در محل سدتنظیمی و انحرافی دزفول و با توجه به استانداردهای موجود افزایش شدیدی یافته است. بیشترین مقدار EC در محل بند قیر و در مرداد ماه می‌باشد. کمترین مقدار اکسیژن محلول شبیه‌سازی شده مربوط به محل برداشت میاناب است اما به طور کلی روند تغییرات DO نسبت به سرشاخه رودخانه شدید نیست. میزان نیاز اکسیژن‌خواهی بیولوژیکی (BOD) از محل سدتنظیمی تا برداشت میاناب به وا سطه تخلیه متوالی زهکش‌های کشاورزی، فاضلاب‌های شهری و صنعتی، همچنین پیوستن شاخه کهنک به رودخانه دز، افزایش یافته و حتی در برخی از ماه‌های سال از حد مجاز ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر نیز فراتر رفته است. اما پس از برداشت میاناب، به دلیل قابلیت خودپالایی بالای رودخانه دز مقدار BOD به سمت انتهای رودخانه کاهش یافته است. بیش‌ترین مقدار نیتروژن نیتراتی شبیه‌سازی به سبب تخلیه زهکش‌های اراضی نیشکر در نیمه انتهایی رودخانه، در محل برداشت نیشکر دهخدا و بندقیر می‌باشد اما مغایرتی با استانداردهای مربوطه ندارد. شکل (۸) افزایش مقدار نیتروژن آمونیاکی درمحل سد انحرافی دزفول به دلیل تخلیه زه‌آب اراضی لور و در انتهای رودخانه به دلیل تخلیه زهکش اراضی طرح نیشکر را نشان می‌دهد. با توجه به اینکه بیش‌ترین مقدار مجاز نیتروژن آمونیاکی رودخانه‌ها، ۳۸۸ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد می‌توان گفت رودخانه دز از نظر آلایندگی آمونیاک در شرایط بحرانی قرار دارد.

در سناریوی بهینه‌سازی پس از الزام سیستم به رعایت جریان زیست محیطی بهینه محاسبه شده توسط الگوریتم در طول دوره بهره‌برداری، روند تغییرات پارامترهای کیفی آلودگی در حدفاصل سد تنظیمی دز تا بند قیر و در محل برداشت‌های آب کشاورزی به طور جداگانه شبیه‌سازی شد. شکل (۹) تغییرات این پارامترها در طول رودخانه دز را پس از اجرای سناریوی بهینه‌سازی نشان می‌دهد.





(g)

شکل ۹. تغییرات پارامترهای مختلف در طول دوره بهره‌برداری در سناریوی دوم: a- دما b- PH c- EC d- DO e- BOD f- NO_3 g- NH_4

با توجه به شکل (۹)، میزان دما و PH در مقایسه با سناریوی قبل تغییری نداشته است. با توجه به آنچه که قبلاً گفته شد، طی سناریوی اول بیش‌ترین میزان هدایت الکتریکی مربوط انتهای رودخانه یعنی محل برداشت دهخدا و بندقیر می‌باشد، اما با محاسبه دبی بهینه زیست محیطی در محل بند قیر طی سناریوی بهینه‌سازی، روند پارامتر EC تغییر نمود. بدین صورت که میزان هدایت الکتریکی به واسطه تخلیه متوالی زهکش‌های کشاورزی به سمت انتها رودخانه تا محل برداشت شعبیه و امام خمینی افزایش می‌یابد اما در محل ریزش رودخانه دز به کارون (بند قیر) مجدداً کاهش می‌یابد.

مقایسه روند پارامترهای آلودگی در سناریوی بهینه با دو سناریوی قبل نشان داد که نه تنها غلظت پارامترهای آلودگی بهبود یافته است بلکه در بسیاری از نقاط رودخانه بخصوص محل‌های برداشت آب کشاورزی، حداقل تجاوز از استانداردهای کیفیت آب رودخانه صورت گرفته است.

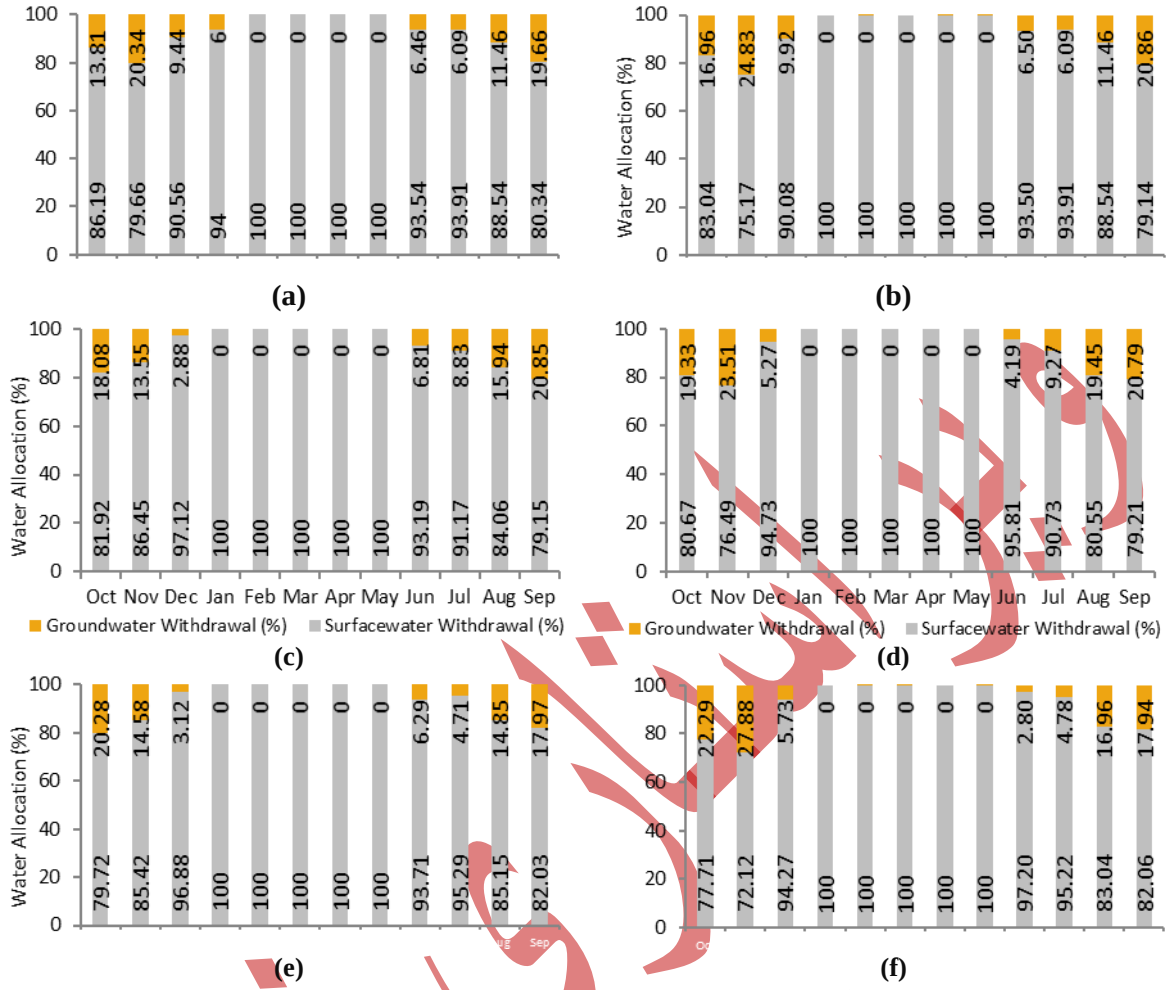
اگرچه افزایش مطلوبیت پارامترهای کیفی بخصوص در ماه‌های کم آب دستاورد خوبی برای مدل بکار برده شده در این تحقیق محسوب می‌گردد، اما در برخی از ماه‌ها همچنان شوری آب نزدیک به آستانه مجاز است. Goorani and Shabanlou (2021) نیز در تحقیقات خود در بالادست تالاب شادگان به نتیجه مشابهی دست یافتند که حاکی از لزوم استفاده از اقدامات مدیریتی دیگر در کنار روش‌های بهینه‌سازی برای پایداری محیط زیست است.

این امر نشان می‌دهد برای اصلاح وضعیت موجود باید در کنار استفاده از این روش، تمهیدات دیگری را نیز بکار برد. ازجمله می‌توان پیشنهاد داد در نقاط بحرانی رودخانه تصفیه‌خانه‌های فاضلاب احداث شود تا با انتقال پساب‌های شهری و کشاورزی و صنعتی به این محل، مقدار شوری آب آنها پس از تصفیه به حد مجاز رسانده شده و سپس در رودخانه تخلیه شود. این امر مستلزم حمایت دولت ایران برای تامین هزینه لازم برای احداث این تصفیه‌خانه‌ها است. راهکار دیگر کاهش سطح زیرکشت اراضی کشاورزی جهت کاستن میزان برداشت از رودخانه است که با توجه به اینکه درآمد و حیات کشاورزان منطقه وابسته به این موضوع است و باعث نارضایتی اجتماعی خواهد شد، راهکار مشکلی به نظر می‌رسد. راهکار دیگری که قابل اجرا بوده و دولت می‌تواند از طریق مراکز تحقیقات کشاورزی بر روی آن نظارت داشته باشد، تغییر الگوی کشت منطقه و جایگزین کردن گیاهان کم‌مصرف بجای گیاهان پرمصرف با در نظر گرفتن درآمد حاصل از آن است. همچنین دولت می‌تواند با اعطای وام به کشاورزان و حمایت مالی از آنان روش‌های آبیاری نوین مانند سیستم‌های آبیاری قطره‌ای و بارانی را جایگزین روش آبیاری سنتی منطقه (آبیاری سطحی) نماید تا با افزایش راندمان مصرف و کاهش آب برداشتی از رودخانه باعث بهبود وضعیت کیفی رودخانه گردد.

درصد تخصیص نیاز از منابع آب سطحی و زیرزمینی

همانطورکه قبلاً گفته شده، از بین اراضی کشاورزی بالادست، سه دشت دز شرقی، دز غربی و شاوور بطور همزمان از آب سطحی و زیرزمینی برداشت می‌کنند. شکل (۱۰) درصد تخصیص از منابع آب سطحی و زیرزمینی در سناریوی اول و دوم را در هر یک از دشت‌های دز شرقی، دز غربی و شاوور نشان می‌دهد. در سناریوی دوم با توجه به لزوم رعایت جریان زیست محیطی بهینه در

انتهای رودخانه، سیستم در ماه‌های کم آبی یا پرآبی، بر اساس توابع هدف تعریف شده، میزان برداشت از منابع آب سطحی و زیرزمینی را نسبت به سناریوی مرجع اصلاح نموده است.



شکل ۱۰. درصد تخصیص از منابع آب سطحی و زیرزمینی: a و b: سناریوی اول و دوم در دز شرقی، c و d: سناریوی اول و دوم در دز غربی، e و f: سناریوی اول و دوم در اراضی شاوور

نتیجه گیری

به دنبال افزایش روز افزون جمعیت، نیاز آبی در بخش‌های شرب، صنعت و کشاورزی نیز افزایش یافته است. تخصیص منابع محدود آب برای تامین این نیازها و تخلیه فاضلاب‌های شهری و پساب‌های صنعتی و کشاورزی به رودخانه‌ها باعث کاهش آلودگی آب‌ها و کاهش کیفیت آب مصرفی و اثرات مخرب زیست محیطی در رودخانه‌ها می‌گردد. مقادیر ثبت شده پارامترهای کیفی و آلودگی در ایستگاه‌های پایش کیفی و نتایج اجرای مدل QUAL2K برای رودخانه دز، نشان داد که رودخانه از نظر آلایندگی BOD به دلیل تخلیه فاضلاب‌های شهری و صنعتی، از نظر آلایندگی EC به سبب تخلیه زهکش‌های اراضی کشاورزی (عمدتاً طرح نیشکر) و از نظر آلایندگی NH4 به علت فاضلاب‌های شهری، صنعتی و زه‌آب اراضی کشاورزی در شرایط بحرانی قرار دارد. همچنین بررسی‌ها نشان داد در تمام مسیر رودخانه در برنامه‌ریزی مشخصی برای کنترل میزان برداشت از رودخانه با هدف کنترل غلظت این پارامترها و همچنین سایر پارامترهای مهم مانند دما، PH، DO و N-NO3 وجود ندارد.

در چنین مناطقی سیاست‌های استفاده پایدار ازمنابع آب اهمیت زیادی دارد. برای این منظور در این تحقیق، بهره‌برداری بهینه از سد و رودخانه دز با ایجاد کوپل دینامیک بین مدل‌های کمی و کیفی و اتصال آن به یک الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه مورد توجه قرار گرفت. سناریوی بهینه‌سازی با هدف بهینه‌سازی بهره‌برداری کمی-کیفی منابع آب بر اساس توابع هدف حداکثر سازی تأمین نیازها و حداقل سازی تخطی از استانداردهای کیفی انجام شد. در سناریوی بهینه سازی با توجه به ناکارآمدی وضع موجود

بهره‌برداری منابع آب در منطقه (سناریوی مرجع)، دبی زیست محیطی در ماه‌های مختلف سال به روش بهینه‌سازی محاسبه شد. نتایج ن شان داد که طی سناریوی بهینه تمامی نیازهای د شت با هر اولویتی که دارند با اطمینان‌پذیری بالایی تأمین شده ا ست. همچنین به استثنای یک دوره خشکسالی (۱۳۹۹)، حجم ذخیره سد فراتر از تراز حداقل بهره‌برداری بوده و تنها در در ۵ ماه از کل دوره بهره‌برداری، تا حد تراز حداقل کاهش یافته ا ست. این مو ضوع ن شان‌دهنده رویه‌ی بهره‌برداری مطلوب از مخزن می‌با شد. مقای سه پارامترهای آلودگی و کیفی در سناریوی بهینه سازی ن سبت به سناریوی مرجع ن شان داد که نه تنها میزان پارامترهای آلودگی و کیفی بهبود یافته ا ست بلکه در ب سیاری از نقاط رودخانه بخ صوص محل‌های برد ا شت آب ک شاورزی، حداقل تجاوز از ا ستانداردهای کیفی آب رودخانه اتفاق افتاده ا ست. این نتایج ن شان داد که با بهره‌گیری از روش کوپل دینامیک مدلهای کمی–کیفی و بهبود عملکرد آن با اتصال به بدنه الگوریتم بهینه‌ساز MOPSO، می‌توان برنامه‌ریزی بهتری برای استفاده مناسب از منابع آب موجود با در نظر گرفتن تمامی ذینفعان انجام داد. طوری که علاوه بر تأمین نیازها روند کیفیت و آلودگی رودخانه نیز در طول دوره بهره‌برداری نزدیک به حدود ا ستاندارد با شد. این مدل می‌تواند به عنوان الگویی برای برنامه‌ریزان منابع آب بخ صوص در مناطقی با مصارف گوناگون و طیف متنوعی از آلاینده‌ها مورد استفاده قرار گیرد. برای افزایش دقت این ساختار توسعه ایستگاه‌های آنلاین برداشت آمار کمی و کیفی در طول رودخانه توصیه می‌گردد. در منطقه مورد مطالعه نیز با توجه به ضعف اطلاعات کیفی و آلودگی بخصوص در نقاط حساسی چون حرمله و آب‌شیرین، احداث ایستگاه‌های مانیتورینگ پیشنهاد می‌شود تا پارامترهای کیفی و آلودگی با دقت بالاتر و بطور پیوسته اندازه‌گیری شود. با توجه به پیوستن رودخانه دز به رودخانه کارون و اهمیت آن در کاهش شوری این رودخانه، احداث یک ایستگاه پایش کیفی در انتهای رودخانه دز و در محل بند قیر پیشنهاد می شود. برای اجرایی شدن این راه حل‌ها در منطقه، لازم ا ست برد ا شت از رودخانه تو سط مدیران محلی با ایجاد تعاونی آب بران و تعریف حقابه مجاز کنترل شود و با ن صب ابزار دقیق و Data Logger در ورودی کانال‌های برد ا شت آب و نقاط برد ا شت آب رودخانه راه‌حل‌های پیشنهادی توسط مدل بهینه‌ساز اجرایی گردد. در این راستا می‌توان جریمه‌هایی را برای مدیران محلی که برداشت آب فراتر از حد مجاز دارند در نظر گرفت تا پشتوانه‌ای برای اجرای این قوانین باشد.

ویرایش شده

منابع

Azarafza, H., Rezaei, H., Behmanesh, J., & Besharat, S. (2012). Results Comparison of Employing PSO, GA and SA Algorithms in Optimizing Reservoir Operation (Case Study: Shaharchai Dam, Urmia, Iran). Journal of Water and Soil, 26(5), 1101-1108. (In Persian)

Azari, A., Hamzeh, S., & Naderi, S. (2018). Multi-objective optimization of the reservoir system operation by using the hedging policy. Water Resour. Manage. 32 (6): 2061–2078. https://doi.org/10.1007/s11269-018-1917-5

Bayesteh, M and Azari, A. (2021). Stochastic Optimization of Reservoir Operation by Applying Hedging Rules. J. Water Resour. Plann. Manage., 147(2), 04020099

Chapra, S., Pelletier, G., & Tao, H. (2006). QUAL2K: A Modeling Framework for Simulating River and Stream Water Quality (Version 2.04) Documentation. Civil and Environmental Engineering Department, Tufts University, Medford, MA .

Chen, D., Chen, Q., Leon, A.S., & Li, R. (2016). A Genetic Algorithm Parallel Strategy for Optimizing the Operation of Reservoir with Multiple Eco-Environmental Objectives. Water Resources Management 30(7), 2127–2142.

Coello, C. A., Pulido G. T., & Lechuga M. S. (2004). Handling Multiple Objectives with Particle Swarm Optimization. IEEE Transactions on Evolutionary Computation Journal, 8(3), 256 – 279.

Cox, B. 2003. A review of currently available in-stream water-quality models and their applicability for simulating dissolved oxygen in lowland rivers. Science of the total environment, 314, 335-377 .

Da Silva, T. D., & Albuquerque Alves, C. D. M. (2016). WEAP and QUAL2K Model Integration for Water Quality Evaluations as a Result of Urban Expansion Scenarios in the Federal District of Brazil. Paper presented at the World Environmental and Water Resources Congress 2016.

Deksissa, T., Meirlaen, J., Ashton, P. J., & Vanrolleghem, P. A. 2004. Simplifying dynamic river water quality modelling: A case study of inorganic nitrogen dynamics in the Crocodile River (South Africa). Water, Air, and Soil Pollution, 155(1-4), 303-320.

Fallahi, M.M., Shabanlou, S., Rajabi, A. Yosefvand, F., & IzadBakhsh, M.A. (2023). Effects of climate change on groundwater level variations affected by uncertainty (case study: Razan aquifer). Appl Water Sci 13, 143.

Goorani, Z., & Shabanlou, S. (2021). Multi-objective optimization of quantitative-qualitative operation of water resources systems with approach of supplying environmental demands of Shadegan Wetland. Journal of Environmental Management. 292, 112769. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112769

Hassan, R., Cohanim, B., Weck, O.D. & Venter, G. (2005). A Comparison of Particle Swarm Optimization and the Genetic Algorithm. 46th AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics and Materials Conference. 18-21 April 2005, Austin, Texas.

Hu, M., Huang, G.H., Sun, W., Ding, X., Li, Y.P., & Fan, B. (2016). Optimization and Evaluation of Environmental Operations for Three Gorges Reservoir. Water Resources Management, 30(10), 3553–76.

Jalili, A.A., Najarchi, M., Shabanlou, S., & Jafarinia R. (2023). Multi-objective Optimization of water resources in real time based on integration of NSGA-II and support vector machines. Environ Sci Pollut Res 30, 16464–16475.

Jalilian, A., Heydari, M., Azari, A., & Shabanlou, S. (2022). Extracting Optimal Rule Curve of Dam Reservoir Base on Stochastic Inflow. Water Resources Management, 36, 1763–1782. https://doi.org/10.1007/s11269-022-03087-3

Jia, F., & Lichti, D. (2017). A comparison of simulated annealing, genetic algorithm and particle swarm optimization in optimal first-order design of indoor TLS networks. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, V(IV-2/W4), 18–22 September, Wuhan, China.

Kachitvichyanukul, K. (2012). Comparison of Three Evolutionary Algorithms: GA, PSO, and DE. Industrial Engineering and Management Systems, 11(3), 215-223.

Kannel, P. R., Lee, S., Lee, Y.-S., Kanel, S., & Pelletier, G. (2007) .Application of automated QUAL2Kw for water quality modeling and management in the Bagmati River, Nepal. ecological modelling, 202(3), 503-517

Karamian, F., Mirakzadeh, A. A., & Azari, A. (2023). Application of multi-objective genetic algorithm for optimal combination of resources to achieve sustainable agriculture based on the water-energy-food nexus framework. Science of The Total Environment, 860, 160419. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160419

Mao, J., Zhang, P., Dai, L., Dai, H., & Hu, T., (2016). Optimal Opeartion of a Multi-Reservoir System for Environmental Water Demand of a River-Connected Lake. Hydrology Research 47, 206-224.

Mishra, B. K., Regmi, R. K., Masago, Y., Fukushi, K., Kumar, P., & Saraswat, C. (2017). Assessment of Bagmati River Pollution In Kathmandu Valley: Scenario-Based Modeling and Analysis for Sustainable Urban Development. Sustainability of Water Quality and Ecology

Moghadam, R.G., Shabanlou, S., & Yosefvand, F. (2020). Optimization of ANFIS Network Using Particle Swarm Optimization Modeling of Scour around Submerged Pipes. J. Marine. Sci. Appl. 19, 444–452. https://doi.org/10.1007/s11804-020-00166-y

Nourbakhsh, A., Safikhani, H., & Derakhshan, S. (2011). The comparison of multi-objective particle swarm optimization and NSGA-II algorithm: applications in centrifugal pumps. Engineering Optimization, 43 (10), 1095–1113.

Sulis ,A., & Sechi, G. M. (2013). Comparison of generic simulation models for water resource systems. Environmental modelling & software, 40, 214-225.

Yarmohammadi, E., Izadbakhsh, M.A., Rajabi, A., Yosefvand, F. & Shabanlou, S. (2022). Optimal operation of water resources systems using MOICA algorithm with reservoir hedging approach in low-water regions. Irrigation and Drainage, 71(2), 406–417. https://doi.org/10.1002/ird.2660

Yates, D., Sieber, J., Purkey, D., & Huber-Lee, A. (2005). WEAP21—A demand-, priority-, and preference-driven water planning model: part 1: model characteristics. Water International, 30(4), 487-500.

Zarei, N., Azari, A., & Heidari, M. M. (2022). Improvement of the performance of NSGA-II and MOPSO algorithms in multi-objective optimization of urban water distribution networks based on modification of decision space. Applied Water Science, 12 (133), 1-12.

Zeinali, M., Azari, A., & Heidari, M. M. (2020). Multiobjective Optimization for Water Resource Management in Low-Flow Areas Based on a Coupled Surface Water–Groundwater Model. American Society of Civil Engineers. J. Water Resour. Plann. Manage., 146(5), 04020020

Application of multi-objective particle swarm optimization algorithm in quantitative-qualitative exploitation of water resources

Case study: Dez Dam and River

Introduction

As the most significant and essential sources of water supply for lakes and oceans, rivers also serve as the primary conduits for the movement and distribution of water in most situations for use in urban, agricultural, and industrial settings. The environmental status of the rivers is negatively and unfavorably affected by the cumulative consequences of urban, agricultural, and industrial growth. Rivers operating at their best on both a qualitative and quantitative level are thought to be ideal for managing water supplies. The Dez River's surface water resources system between the Dez regulatory dam and Bandar-e-Ghir is the focus of the current study in order to create a qualitative-quantitative model that can be used to determine the best operating strategies. In order to ensure the river's qualitative desirability at the level of international standards, the goal of this research is to develop a multi-objective particle swarm optimization algorithm that can be connected to the body of a quantitative-qualitative operation model to provide optimal solutions for the system's operation while meeting the needs of various uses, including drinking, industry, agriculture, and environmental.

Materials and Methods

In the research region, water resources are managed and planned using the WEAP model. Next, the pattern of pollution and quality in several Dez River sections is predicted using the QUAL2KW model. In order to replicate the existing operational state, a dynamic link between quantitative and qualitative models is built under the "reference scenario" such that hydraulic linkages are generated between all of the system's components in the coupled system. To replicate the quantitative and qualitative consequences of the surface water operation, this structure exchanges information and data between these two models. Then, a novel structure to extract the optimal rules for the operation of the dam and river system is built by connecting the body of the quantitative-qualitative coupled model with the multi-objective particle swarm optimization method. The monthly environmental demands of the river are one of the choice factors in the optimization scenario. The goals are to maximize the percentage of needs met and minimize quality standard violations.

Results and discussion

The river is in a critical condition with regard to BOD pollution from the discharge of urban and industrial sewage, EC pollution from the discharge of agricultural land drains (primarily the Neyshekar project), and NH4 pollution from the discharge of urban and industrial sewage and drainage of agricultural lands, according to the recorded values of quality parameters and pollution in the quality monitoring stations and the results of the QUAL2K model implementation for the Dez River. Additionally, studies show that no particular plans have been made to regulate the amount of water withdrawal from the Dez River along its whole course in

order to regulate the concentration of these and other crucial factors like temperature, PH, DO, and N-NO3. The optimization approach is used to compute the environmental discharge in various months of the year in the reference scenario, which is the optimal scenario pertaining to the inefficiency of the current water resource operation in the region. The findings demonstrate that, in the ideal situation, all of the plain's demands, regardless of priority, were met with a high degree of dependability. Additionally, the reservoir volume of the dam is higher than the minimal level of operation and has only dropped to the minimum level in five months of the whole operation history, with the exception of a drought spell (2020). This problem illustrates how the reservoir should operate in an ideal state. In many places along the river, particularly the agricultural water withdrawal sites, the minimum violation of water quality standards has happened, according to a comparison of the pollution and quality parameters in the optimization scenario and the reference scenario. The amount of pollution and quality parameters has also improved.

Conclusion

The findings show that it is possible to plan more effectively for the appropriate use of currently available water resources by taking into account all stakeholders and utilizing the qualitative-quantitative dynamic connection method of water resources to develop a coupled model using the MOPSO algorithm. This will ensure that, in addition to meeting needs, the quality and pollution of the river remain close to the standard limits during the operation period. The operators will be able to understand the repercussions of their acts, the invasion of the river's privacy, and the bad effects of their actions by employing this strategy. Water resource planners can use this model as a guide, particularly in locations with a range of contaminants and consumptions

ویرایش شده