مدل بهینه‌سازی منحنی فرمان جهت بهره‌برداری از مخزن سد دز با استفاده از الگوریتم فراکاوشی

عمادالدین شیرالی[۱] ، علیرضا نیکبخت شهبازی*[۲] و نرگس ظهرابی [۳]

۱) کارشناسی ارشد، گروه سازه های آبی، پردیس علوم و تحقیقات خوزستان، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.
۲) گروه مهندسی منابع آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.
۳) استادیار گروه مهندسی علوم آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

***نویسنده مسئول: ar_nikbakht@yahoo.com**

تاریخ دریافت: ۹۲/۱۰/۳۰ **تاریخ پذیرش: ۹۳/۲/۲۱**

چکیده

هدف از این مطالعه تهیه منحنی فرمان بهره‌برداری از سد دز با مدل بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک و سیاست بهره‌برداری استاندارد است. بدین منظور شبیه‌سازی سیستم منابع آب سد دز با استفاده از اطلاعات پایه بمنظور تعیین قابلیت مخزن سد دز در تأمین اهداف طرح انجام گرفت. برای تهیه منحنی‌های فرمان بهره‌برداری (تقسیم بندی حجم مخزن) از روش الگوریتم که جزء روش های بهینه سازی فراکاوشی است استفاده شد. منحنی‌های فرمان ابتدا با روش الگوریتم (GA) به‌دست آمد و سپس با شبیه سازی سیستم و مقایسه نتایج بهینه‌سازی با سیاست بهره برداری استاندارد (SOP) که یک روش پایه و مبنا برای بهره برداری مخازن معرفی شده است، نتایج مقایسه شد. سیاست جیره‌بندی در دو سطح منحنی فرمان برای خشکسالی‌های خفیف و شدید انجام گرفت. نتایج نشان داد که با بکارگیری منحنی فرمان، از کمبودهای شدید جلوگیری می شود و کمبودهای ماهانه کاهش می‌یابد. همچنین نتایج سیاست بهره برداری بر اساس منحنی فرمان و ضریب جیره‌بندی بهینه، کارآمدتر از روش SOP است. به دلیل تلفیق دو مدل شبیه سازی و بهینه سازی، امکان تحلیل و بهینه سازی سیستم های پیچیده با در نظر گرفتن همبستگی‌های متغیرهای مورد نظر، جریان های ورودی و مؤلفه های مصرف فراهم شد.

واژه‌های کلیدی: بهینه‌سازی، منحنی فرمان، روش الگوریتم GA و مخزن سد دز.

مقدمه

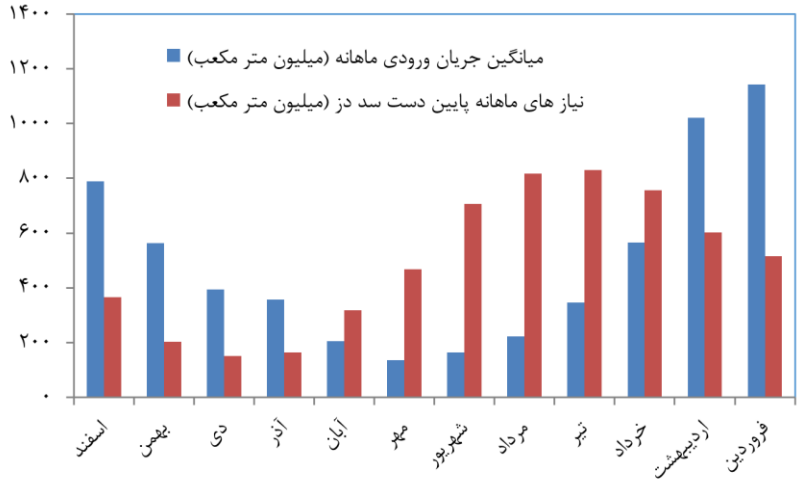
از آنجا که مسائل بهینه سازی سیستم های منابع آب به لحاظ تنوع ضوابط تصمیم‌گیری و توابع هدف دارای پیچیدگی هایی است که گاهی حل آن‌ها با روش های بهینه سازی معمول امکان پذیر نیست و یا مستلزم صرف هزینه و وقت بسیار است، بنابراین استفاده از ابزارهای نوین و روش های جدید در حل این مسائل امری اجتناب ناپذیر است. روش‌های کاوشی در زمینه بهره برداری از منابع آب که در سال های اخیر مورد توجه قرار گرفته اند، اغلب روش های الهام گرفته از طبیعت هستند که تقریباً از دهه ۱۹۶۰ در حل مسائل مختلف مورد استفاده قرار گرفتند. این روش ها جواب های قابل قبولی (نزدیک به بهینه) را با رعایت معیارهای مشخص و با یک هزینه محاسباتی معقول جستجو می کنند، بی آنکه قادر به تضمین بهینگی مطلق جواب باشند. روش های کاوشی شناخته شده عبارتند از: شبیه سازی آنیلینگ، الگوریتم ژنتیک، جستجوی ممنوعه، الگوریتم مورچه و روش های جدید تری مانند هجوم ذرات. برای استفاده صحیح و اصولی از منابع طبیعی و از جمله مخزن می بایستی یک سیاست بهره برداری صحیح و اصولی تعیین شود. امروزه آشکار است که تنها ساختن سد مشکل کمبود آب را نمی تواند برطرف کند، بلکه سیاست بهره برداری صحیح که می بایست حتی قبل از اجرای سد مشخص شود، برای مواجه با کمبودهای احتمالی آب بسیار حائز اهمیت است. در این تحقیق سعی بر این است تا کارایی یک مورد از این روش های کاوشی یعنی الگوریتم ژنتیک در زمینه منابع آب بررسی شود و در این فصل درباره تاریخچه آن و سایر روش های کاوشی توضیحاتی داده می شود. Oliveira and Loucks (۱۹۹۷) از الگوریتم ژنتیک برای پیدا کردن منحنی های فرمان یک سیستم چند مخزنه استفاده کردند و نشان دادند که الگوریتم ژنتیک می تواند به شکل موثری در سیاست های بهره برداری به‌کار گرفته شود. سادگی استفاده از این روش باعث می شد که بتواند در حل مسائل پیچیده مفید واقع شود. در خلال دوره های خشکسالی بهره برداران بیش‌تر تمایل دارند به جای یک کمبود شدید فاجعه انگیز، با یک دوره متوالی از کمبودهای کوچک‌تر مواجه شوند (Lund and Reed, 1995). به منظور تعدیل نمودن این کمبودهای شدید، محدودیت های آب یا جیره‌بندی به طور موقت برقرار می شوند تا ذخیره مخزن و جریان ورودی را برای مصارف آینده حفظ نماید. این ذخیره بخشی از آب موجود و قابل استفاده، به منظور جلوگیری از کمبودهای شدید آتی است (Bayazit and Unal, 1990). در عمل با کاربرد قاعده جیره‌بندی، کمبود آب در افق طولانی‌تری توزیع گشته و راندمان بهره‌برداری از مخزن بهبود می یابد (Shih and ReVelle, 2000; Neelakantan and Pundarikanthan ، 1994). ایجاد یک قانون موثر و کارا جهت کاهش نیاز و لذا خروجی در طول دوره خشکی و شرایط پیش از آن، دست کم با دو سوال زیر مواجه می شود: از چه زمانی و در چه سطحی از ذخیره بایستی جیره‌بندی آغاز شود؟ و میزان کاهش خروجی در طول هر دوره جیره‌بندی چه اندازه باید باشد؟ تحقیقات انجام شده برای پاسخ به سوالات مذکور را می توان به

دو دسته جیره‌بندی پیوسته و گسسته تقسیم نمود. در جیره‌بندی پیوسته، رابطه بین آب موجود در مخزن و خروجی مخزن در هر ماه با یک یا چند منحنی نمایش داده می شود (Srinivasan and Philipose, 1998). در حالت پیوسته، سوالات مذکور به صورت همزمان پاسخ داده می شوند. اما برای افزایش انعطاف در مدیریت بهره‌برداری مخازن نیاز است که این سوالات به طور مستقل از یکدیگر پاسخ داده شوند. بر این اساس جیره‌بندی گسسته در شرایط بهره برداری واقعی مناسبتر است (Tu *et. al.*, 2008). در این حالت سوال اول به وسیله رقوم آستانه ماهانه مخازن (منحنی فرمان بهره‌برداری) و سوال دوم بوسیله ضرایب جیره‌بندی پاسخ داده می شود. در جیره‌بندی پیوسته با توجه به اینکه بهره برداران یک درجه‌بندی و اشل مشخص از گزینه های آب موجود ندارند، متوجه وضعیت خشکسالی و نزدیک شدن آن به صورت شفاف نخواهند شد. لذا قاعده جیره‌بندی پیوسته را به جیره‌بندی گسسته چندگانه تبدیل نمودند که برای بهره‌برداری در شرایط واقعی و عملی مناسب تر است. مدل ریاضی جیره‌بندی گسسته مذکور با کاربرد برنامه ریزی اعداد صحیح برای تأمین یک سیستم تک سدی به‌کار رفت. هدف اولیه این مدل کاهش تعداد ماه‌هایی است که در آن‌ها جیره‌بندی نیاز بوده است. در جیره‌بندی گسسته می توان جیره‌بندی را در گام های جداگانه بر اساس احجام آستانه مخزن اعلام کرد مثلاً می توان دو مرحله برای جیره‌بندی در نظر گرفت و کسر $\alpha 1$ از نیازها را برای شرایط خشکسالی خفیف و کسر $\alpha 2$ از نیازها را برای خشکسالی شدید رها سازی نمود ($\alpha 2<\alpha 1$). (Labadie, 2004)، در مروری بر استراتژی‌های حل مسائل بهینه‌سازی بهره برداری از سیستم مخازن، کاربرد الگوریتم ژنتیک در مسائل بهینه سازی بهره‌برداری از منابع آب را به دو نوع تقسیم می کند که شامل بهینه‌سازی رها سازی آب از مخزن در هر دوره زمانی و بهینه‌سازی پارامترهای سیاست بهره‌برداری است. چارچوب بهینه‌سازی بهره برداری از نوع اول به قاعده مدل برنامه ریزی پویا بر می‌گیرد که در آن هیچ پیش فرضی برای سیاست بهره برداری به جز گسسته سازی فضای حالت مساله وجود ندارد. روش دوم بر مبنای جستجوی مستقیم با کاربرد الگوریتم ژنتیک به‌عنوان یکی از معدود روش‌های مناسب بهینه سازی آن است. در این حالت متغیرهای تصمیم گیری پارامترهای سیاست بهره برداری هستند که به طور عمومی تعداد آن‌ها کمتر از متغیرهای تصمیم‌گیری در روش اول است. لذا با کاهش طول کروموزوم محاسبات الگوریتم ژنتیک در روش دوم موثرتر خواهد بود. بنابراین روش دوم در این تحقیق به کار می‌رود. برای استفاده بهینه از مخازن و منابع آب، نیاز به برنامه ریزی تحت مدیریت مناسب است. برای استفاده از این آب موثر برای مقاصد مختلف مانند تقاضای تامین آب، شهری و آبیاری تامین آب، تولید انرژی برق آبی و غیره، نیاز به بهینه سازی تکنیک های عملیات مخزن وجود دارد. برخی از تکنیک های بهینه سازی برنامه نویسی پویا (SDP) مدل تصادفی، مدل سیستم پویا (SD)، پشتیبانی تصمیم‌گیری هوشمند سیستم (IDSS) است (Bysani Mythili *et al.*, 2013). در این تحقیق یک مدل شبیه ساز و یک مدل بهینه‌ساز برای بهره برداری بهینه

از مخزن سد دز به‌کار رفته است. مدل شبیه ساز بر اساس رویکرد منحنی فرمان عمل می‌کند. با استفاده از این سیاست، رهاسازی از مخزن در گام های جداگانه صورت می‌گیرد

مواد و روش‌ها

رودخانه دز از ارتفاعات اشترانکوه و بختیاری ایران سرچشمه گرفته و پس از الحاق شاخه‌های متعددی به آن در پایین دست ایستگاه تله زنگ، وارد دریاچه مخزن می‌شود. پس از تنظیم آب به وسیله مخزن دز، در محلی به نام بند قیر به رودخانه کارون متصل شده و به خلیج فارس منتهی می‌شود. طول رودخانه دز از سرچشمه تا محل تلاقی با کارون، حدود ۵۲۰ کیلومتر است. سد دز، بلندترین سد بتنی دو قوسی ایران است که در فاصله ۲۵ کیلومتری شمال شرقی شهر دزفول و ۲۳ کیلومتری شمال شرقی اندیمشک در دره ای عمیق با دیواره های عمودی که تا ارتفاع ۵۰۰ متر بالا رفته اند، بر روی شاخه اصلی رودخانه دز احداث گردیده است. دریاچه این سد ۶۵ کیلومترمربع مساحت داشته و گنجایش نهایی آن ۳/۳ میلیارد مترمکعب می‌باشد. حجم رسوبات پشت بدنه به حدی بالا آمده که در آینده نزدیک نیروگاه را از حیز انتفاع خارج خواهد کرد. میانگین حجم ورودی به مخزن سد دز و نیازهای ماهانه پایین دست سد دز در شکل ۱ ذکر شده است.

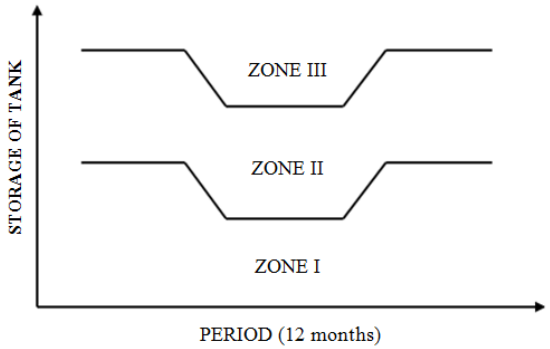


شکل ۱: میانگین حجم ورودی به مخزن سد دز و نیازهای ماهانه پایین دست سد دز

الگوریتم ژنتیک از روش های جستجوی استوکاستیک است که از پروسه تکامل طبیعت و خصوصیات ژنتیکی موجودات الهام گرفته شده است. این الگوریتم اولین بار توسط هولند در سال ۱۹۷۵ ارائه گردید. الگوریتم ژنتیک حل یک مسأله را با مجموعه ای از جواب های تصادفی که جمعیت نامیده می شوند، آغاز می کند. هر جمعیت از تعدادی کروموزوم تشکیل می شود و هر کروموزوم هم شامل ژن هایی است که این ژن ها می توانند اعداد باینری، حقیقی، نشانه‌ها و از این قبیل باشند. پس از تولید تصادفی نسل اول، کروموزوم های موجود در این نسل ارزیابی می شوند و براساس برازش بدست آمده

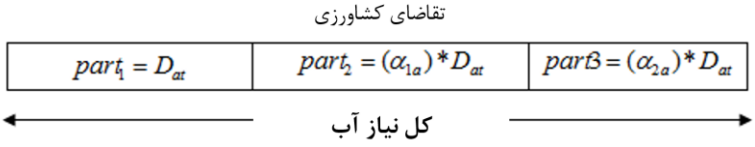
از هر کروموزوم جمعیت نسل بعد به گونه ای تشکیل می‌شود که مسأله را به سمت حل بهینه هدایت کند. در واقع الگوریتم ژنتیک بر این اصل استوار است که کروموزوم های بهتر (یعنی آن‌هایی که برازش مناسب تر داشته اند) شانس بیش‌تری برای بقاء خواهند داشت. مراحل الگوریتم ژنتیک عبارتند از کدگذاری: یعنی تبدیل متغیرهای مسأله به شکل کروموزوم، انتخاب: روش های انتخاب کروموزوم های موجود به عنوان والدین نسل بعد، ترکیب: شیوه ترکیب کروموزوم ها، جهش: شیوه جهش در ژن کروموزوم ها. از نقطه نظر عملی، در مدل سازی منابع آب، آگاهی از جواب های نزدیک به بهینه به اندازه خود جواب های بهینه بسیار ارزشمند خواهد بود. یک شبیه سازی ممکن است قطعی یا اتفاقی باشد. اگر سیستم در معرض پیشامدهای ورودی تصادفی باشد یا آن‌ها را در درون خود تولید کند، مدل را نسبتاً اتفاقی گویند. اگر مدل با مؤلفه های تصادفی سروکار نداشته باشد، آن را قطعی گویند. برخی از مدل ها نمی توانند به هر دو صورت عمل کنند و بسته به حالت سیستم از یک نوع به نوع دیگر تغییر وضعیت دهند. سیاست بهره برداری و پارامترهای سیستم باید برای اجرای مدل شبیه سازی از قبل معلوم و مشخص باشند در حالی که هر یک از آن‌ها را می توان از طریق اجرای متعدد مدل شبیه سازی تعیین نمود. ساختار مدل بهره برداری به دو صورت در نظر گرفته شده است، یک: استفاده از یک منحنی فرمان و یک ضریب جیره بندی نیاز، دو: استفاده از دو منحنی فرمان برای و دو ضریب جیره‌بندی برای هر دسته از نیازها برای دو مرحله خشکسالی خفیف و خشکسالی شدید که گزینه متداول در مطالعات قبلی جیره‌بندی است. برای تعریف یک سیستم و مدل‌سازی آن اولین گام تعریف تابع هدف و پارامترهای تصمیم است که باید با توجه به توابع حد و این تابع بهینه‌سازی شده و میزان متغیرهای تصمیم حالت بهینه به‌دست آیند. در این تحقیق یک مدل شبیه ساز و یک مدل بهینه‌ساز بکار گرفته شده است. مدل شبیه ساز بر اساس رویکرد منحنی فرمان عمل می‌کند. با استفاده از این سیاست، رهاسازی از مخزن در گام‌های جداگانه صورت می‌گیرد، مثلاً می‌توان دو یا چند مرحله برای رهاسازی در نظر گرفت و کسر $\alpha 1$ از نیازها را برای شرایط خشکسالی خفیف و کسر $\alpha 2$ از نیازها را برای خشکسالی شدید رها سازی نمود ($\alpha 2 < \alpha 1$). منحنی‌های فرمان براساس رقوم آستانه ماهانه مخازن به‌دست می‌آیند که اگر دو منحنی فرمان بکار گرفته شود، ۲۴ متغیر تصمیم بوجود می‌آید. این رقوم مشخص می‌کنند که در هر دوره چه مقدار رهاسازی صورت گیرد. با توجه به شکل ۲ اگر آب حجم مخزن موجود در ناحیه یک قرار گیرد کسر $\alpha 1$ از نیازها به عنوان رهاسازی بدست می‌آید. مدل مورد نظر یک بهسازی در بیلان جرم ایجاد می‌نماید و با توجه به بیلان آب مخزن مورد نظر، تخصیص آب به مصارف کشاورزی و تقسیم بندی حجم مخزن برای مصارف و کاربردهای مختلف را فراهم می سازد. سیاست جیره‌بندی در دو سطح منحنی فرمان برای خشکسالی های خفیف و شدید انجام گرفت. لذا حجم مخزن با دو منحنی فرمان مذکور به سه منطقه تقسیم شد.

همچنین شبکه کشاورزی به سه شبکه مجزا تقسیم بندی گردید. این تقسیم بندی نیاز در تناظر با تقسیم بندی حجم مخزن، سیاست جیره‌بندی مورد نظر را القا می‌کند.



شکل ۲: منحنی‌های فرمان بهره‌برداری

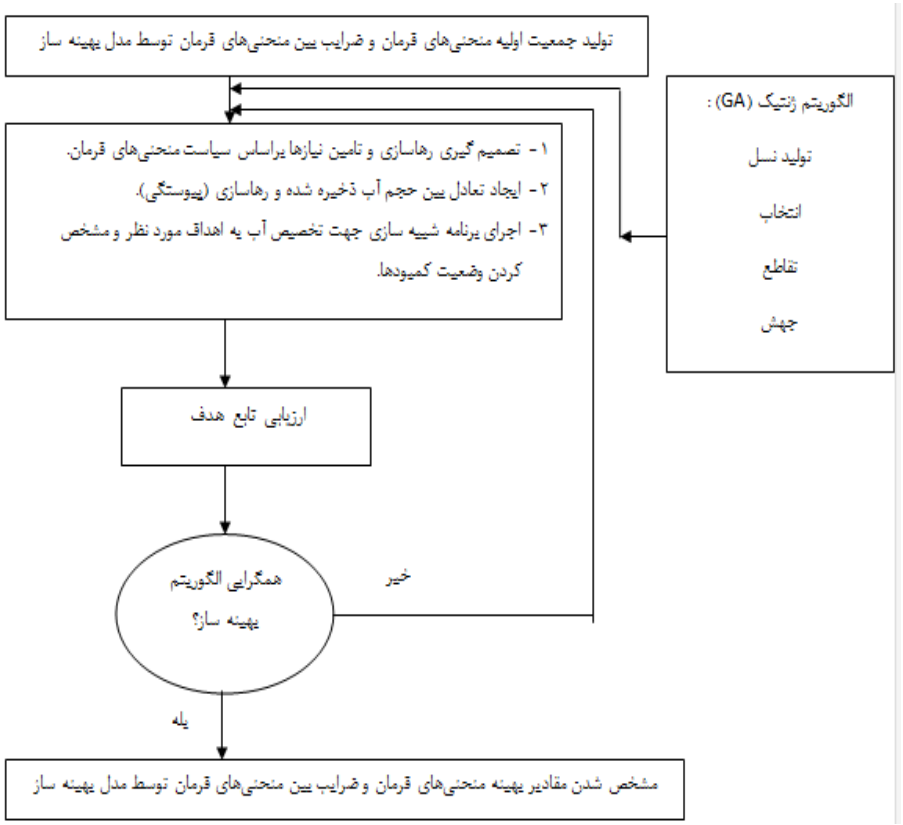
منحنی فرمان بکار گرفته جهت رهاسازی، در واقع قاعده جیره بندی را پیاده‌سازی می‌کنند و از کمبودهای شدید جلوگیری می‌کنند. سیاست جیره‌بندی می‌تواند در یک سطح یا در دو سطح منحنی فرمان به‌کار گرفته شود. اگر فرضاً در دو سطح بکار گرفته شود، حجم مخزن با دو منحنی فرمان مذکور به سه منطقه تقسیم می‌شود. هرگاه حجم مخزن بالای هر دو منحنی فرمان قرار گرفت کل نیازها تأمین می‌شود. هرگاه حجم مخزن بین آن دو قرار گرفت مرحله خفیف جیره‌بندی آغاز می‌شود و هرگاه حجم مخزن پایین تر از هر دو قرار گرفت مرحله شدیدتر جیره‌بندی اعمال می‌شود. مختصات هر دو منحنی فرمان برای سد مخزنی مورد بررسی و ضرایب کسر نیاز در هر دو مرحله جیره بندی در مدل تلفیقی به کار رفته در این تحقیق بهینه می‌شود. برای پیاده کردن قاعده جیره‌بندی، از سیستم شبیه ساز کد بندی شده در محیط MATLAB استفاده گردید. در این راستا هر یک از نیازهای این سیستم مطابق شکل ۳ کسری از نیاز کل است که با ضرایب جیره‌بندی کشاورزی α_{1a} و α_{2a} نشان داده شده است. ضرائب نشان داده شده در شکل ۱ به صورت $0<\alpha_{2a}<\alpha<1$ تعریف شده‌اند. اکثر سیستم‌های منابع آب از نظر ابعادی بزرگ و برای مدل سازی در قالب مدل بهینه‌سازی بسیار پیچیده هستند.



شکل ۳: ساختار نیازهای مختلف در مدل شبیه ساز

اغلب کاربرد یک مدل بهینه سازی به تنهایی، منجر به پیچیدگی مسئله و غیر قابل حل شدن آن در سیستم های چند هدفه می شود. در این صورت اعمال فرضیات بسیار ساده کننده در سیستم ناگزیر به خواهد بود. یکی از مزایای تلفیق مدل

شبیه‌سازی و بهینه‌سازی در اکثر موارد آن است که فرآیندهای فیزیکی نظیر توازن جرم، انرژی و دما با مدل شبیه‌سازی و خارج از مدل بهینه‌سازی ارزیابی می شود. لذا از این نظر منجر به کاهش اندازه و پیچیدگی مدل بهینه‌سازی می‌شود. هدف از تلفیق مدل شبیه سازی و بهینه سازی در این تحقیق، تعیین رقوم ماهانه منحنی فرمان برای سد مخزنی دز و ضرایب جیره‌بندی نیازها در سیستم است. در این شرایط رقوم ماهانه سطح آب در مخزن که معرف منحنی فرمان سد می‌باشند و ضرایب کسر نیاز (جیره‌بندی) به عنوان متغیرهای تصمیم گیری بهینه‌سازی معرفی می‌شوند. برای ارزیابی جواب‌های بدست آمده متغیرها توسط مدل مورد نظر، از تابع هدف مسئله استفاده می‌شود. بدین منظور شبیه سازی سیستم با برنامه‌ای که در محیط MATLAB کد نویسی شده، برای نمایش عملکرد سیستم با منحنی فرمان و ضرایب جیره‌بندی، تشکیل می‌شود و تخصیص آب به سایر نیازها در هر گام زمانی بهینه می‌شود. در این فرآیند مقادیر انتخاب شده برای متغیرهای تصمیم مسئله به عنوان ورودی به مدل شبیه سازی داده می‌شوند. پس از اجرای مدل، مقدار تابع هدف از نتایج فایل های خروجی مدل شبیه ساز استخراج می‌شود. مقادیر تابع هدف مذکور، معیار مقایسه و انتخاب جواب برتر است. لذا در یک فرآیند تکامل تدریجی با اعمال عملگرهای تزویج و جهش و تولید نسل بهتر، راه حل بهینه و نسل برتر تولید می‌شود.



شکل ۴: الگوریتم نحوه تلفیق مدل بهینه ساز و شبیه ساز

در سیستم مذکور، منحنی‌های فرمان ماهانه سد دز و ضرایب جیره‌بندی نیازها بایستی بهینه شوند. لذا تعداد متغیرهای تصمیم‌گیری در مسئله حاضر شامل ۲۴ مختصات حجم مخزن و دو ضریب جیره‌بندی برای نیازهای کشاورزی و در مجموع ۲۶ متغیر است. عملگرهای الگوریتم ژنتیک که در بهینه سازی این سیستم در نظر گرفته شده اند به قرار ذیل هستند: اندازه جمعیت=۱۰۰، احتمال تزویج ۰/۸، احتمال خطی متغیر جهش ۰/۳- ۰/۰۱. پس از انجام تنظیمات یاد شده، فرآیند تکامل در الگوریتم ژنتیک با فراخوانی مدل شبیه‌سازی آغاز می‌شود. این مدل شبیه ساز، ضمن رعایت کردن قیود، با ورود متغیرهای تصمیم به آن با در نظر گرفتن قواعد مربوط به منحنی‌های فرمان رهاسازی را با توجه به این منحنی‌ها تعیین می‌کند. سپس با استفاده از رابطه بیلان جرمی میزان حجم مخزن را در هر دوره مشخص می‌کند. در مطالعات برنامه‌ریزی معمولاً فرض می‌شود که مجموع حجم آب موجود در مخزن در ابتدای هر بازه زمانی و میزان ورودی به مخزن در طی بازه زمانی، برابر با حجم آب موجود در مخزن در انتهای بازه زمانی و میزان خروجی از مخزن در طی بازه زمانی باشد. بعبارت دیگر اگر S_t معرف حجم آب موجود در مخزن در ماهtام، Q_t معرف حجم آب ورودی به این مخزن در طول ماهt، R_t بیانگر متغیر تصمیم‌گیری مربوط به حجم آب خروجی از مخزن در طی ماه t و E_t میزان تبخیر در ماه t باشد، موازنه بین مقادیر فوق با معادله زیر نمایش داده می‌شود که به معادله پیوستگی معروف می‌باشد:

رابطه ۱: $$S_{t+1} = Q_t + S_t - R_t - E_t - Sp_t \qquad t=1,2,3,4,\ldots,T$$

منحنی‌ها را نیز در داخل مدل بهره‌برداری بهینه از سیستم‌های تولید آبی منظور نمود، اما معمولاً مطالعات مربوط به کنترل جریان‌های سیلابی بطور جداگانه انجام می‌شود و خروجی آن‌ها در قالب منحنی‌های فرمان در مدل‌های بهینه‌سازی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این تحقیق مجموعه محدودیت‌های فوق، در قالب منحنی‌های فرمان، در مدل زیر منظور شده‌اند. به این ترتیب حجم هر مخزن در هر بازه زمانی t، باید بین حد فوقانی و حد تحتانی قرار داشته باشد، بعبارت دیگر، S_{max} همان حجم ماکزیمم مخزن در تراز نرمال مخزن است.

رابطه ۲: $$R_{\min} \le R_t \le R_{\max}$$

R_{min} وR_{max} به ترتیب محدوده‌های حداقل و حداکثر حجم رهاسازی از مخزن می‌باشند. این مقادیر به گونه‌ای تعیین می‌شوند که از یک طرف حداقل میزان آب ورودی به پائین دست را جهت کنترل کیفیت آب و حفظ بقای موجودات زنده و ماهیان فراهم آورد و از طرف دیگر پائین دست را از خطر سیل در امان

می‌سازند.

رابطه ۳: $$S_1 = S_{final} \qquad S_t, R_t \ge 0$$

همچنین در اجرای مدل از روابط بالا به عنوان شرایط اولیه استفاده شده که حجم ذخیره در اولین ماه بهره‌برداری با حجم ذخیره در انتهای دوره برابر در نظر گرفته شده است. از طرفی میزان دبی ورودی، حجم ذخیره، حجم تبخیر و خروجی در هر ماه از صفر بزرگتر می‌باشد.

سیاست بهره‌برداری استاندارد[1](SOP)

شبیه‌سازی سیستم به ازای مقادیر جواب های ورودی امکان پذیر می‌تواند جهت بررسی میزان دست یابی به اهداف به ازای مقادیر مختلف متغیرهای تصمیم گیری مورد استفاده قرار گیرد. این شبیه سازی بر فرضیات ذیل استوار است: - شبیه‌سازی سیستم منابع آب در گام زمانی ماهانه و برای دوره آماری ۳۰ ساله انجام شد. تبخیر از سطح آزاد آب دریاچه سدهای مخزنی منظور شده و از بارندگی بر روی دریاچه آن‌ها در جهت ضریب اطمینان صرفنظر شد. - آب‌های خروجی از مخازن، مازاد بر نیازهای آبی بعنوان سرریز تلقی شدند. منحنی‌های سطح, حجم و ارتفاع پس از رسوبگذاری ۵۰ ساله منظور شد. در شبیه سازی سیستم منابع آب رقوم سطح آب در ابتدا و انتهای دوره شبیه سازی برای سد مخزنی مساوی منظور شد تا بیلان آبی مخزن رعایت شود. در این بخش، سیاست استاندارد به عنوان یک روش پایه و مبنا برای بهره‌برداری مخازن معرفی شده است. این روش به طور استاندارد برای شبیه‌سازی بهره برداری مخازن به کار می‌رود. اما در شرایط عملی و واقعی استفاده از آن متداول نیست. در این سیاست رهاسازی از مخزن فقط بر اساس نیاز هر دوره انجام می‌پذیرد. اگر آب کافی جهت تأمین نیاز موجود نباشد، خروجی مخزن به گونه ای تنظیم می شود که کل نیاز را تأمین نماید. چنانچه برای تأمین نیاز آب کافی در دسترس نباشد، کل ذخیره مخزن رها می شود. همچنین اگر آب موجود بیش از اندازه نیاز باشد، مخزن شروع به پر شدن نموده و در صورت لزوم آب مازاد به صورت سرریز خارج می شود.

رابطه ۴:
$$R_t = S_{t-1} + I_t \qquad IF \qquad S_{t-1} + I_t \le D_t$$

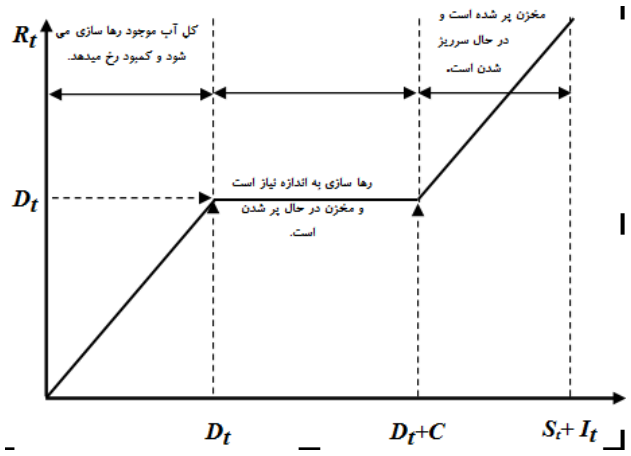
رابطه ۵:
$$R_t = D_t \qquad IF \qquad D_t \le S_{t-1} + I_t \le C + D_t$$

رابطه ۶:
$$R_t = S_{t-1} + I_t - C \qquad IF \qquad S_{t-1} + I_t \ge C + D_t$$

که در آن R_t رها سازی مخزن در دوره t ، I_t آبدهی ورودی به مخزن در دوره t، S_{t-1} میزان ذخیره مخزن در ابتدای دوره t، D_t میزان نیاز در دوره t، C گنجایش مخزن است. در سیاست بهره‌برداری استاندارد معمولاً فراوانی کمبودها در

[1] Standard Operating Policy

سیستم منابع آب کمتر بوده و متوسط کمبود دراز مدت در دوره شبیه سازی شده حداقل می شود. اما بر روی شدت کمبودها کنترلی وجود ندارد.

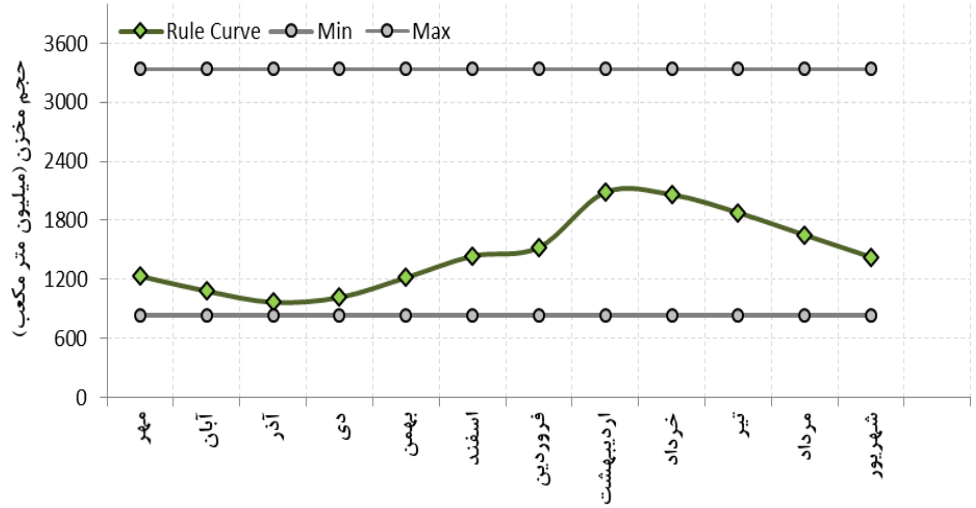


شکل ۵: سیاست بهره برداری استاندارد (SOP)

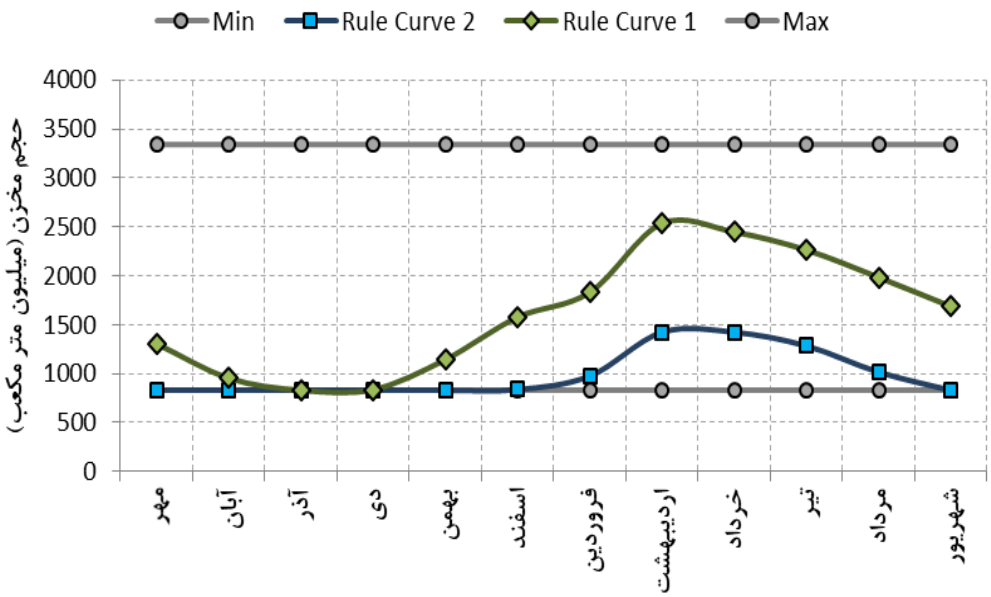
نتایج و بحث

در جیره‌بندی یگانه اعمال سیاست جیره‌بندی در مواقعی است که رقوم مخزن پایین تر از منحنی فرمان قرار گیرد. هدف از مطرح شدن این گزینه‌ها آن است که اثر خاص اضافه شدن ضرایب جیره‌بندی به ساختار منحنی فرمان برای تسکین کمبودهای شدید به طور شفاف تر مشخص شود. در این قسمت برای پیاده کردن قاعده جیره‌بندی، هرگاه حجم مخزن پایین تر از رقوم منحنی فرمان قرار گرفت، جیره بندی اعمال می‌شود که ضریب جیره‌بندی و رقوم منحنی فرمان توسط ترکیب فرآیند شبیه‌سازی و بهینه‌سازی بدست می‌آید. با اجرای سیاست تعریف شده، هرگاه رقوم آب در مخزن در بالای منحنی فرمان بالایی قرار گرفت، کل نیازها تأمین شد. هرگاه تراز آب در مخزن بین آن دو قرار گرفت، کاهش خفیف رهاسازی و هرگاه رقوم مخزن پایین تر از منحنی فرمان پایینی قرار گرفت، جیره‌بندی با اعمال کمبود شدید بکار گرفته خواهد شد. در شکل ۶ و شکل ۷، منحنی فرمان با اعمال جیره‌بندی های یگانه و دوگانه آورده شده است. در جیره‌بندی دوگانه از دو منحنی فرمان و به تبع آن از دو ضریب جیره‌بندی استفاده گردیده است. لذا جیره‌بندی در دو مرحله صورت خواهد گرفت و برای خشکسالی‌های شدید، مقادیر ضرایب جیره‌بندی و کسر تأمین نیازها با شدت بیشتری اعمال می‌شود. اما در خشکسالی های خفیف تر ضرایب جیره‌بندی با ملایمت بیش‌تری اعمال می‌شود ($0<\alpha2<\alpha1<1$). ساختار ارائه شده برای جیره‌بندی گسسته که توسط Tue و همکاران (۲۰۰۸) ارائه شده است و در این تحقیق نیز به‌کار گرفته شده به شرح ذیل است: یک: هرگاه حجم مخزن در ابتدای دوره زمانی در منطقه یک قرار گرفت، کل نیازها تأمین شود، دو: هرگاه حجم

مخزن در ابتدای دوره زمانی در منطقه دو قرار گرفت، $\alpha_1 * D$ تأمین شود، و سه: هرگاه حجم مخزن در ابتدای دوره زمانی در منطقه سه قرار گرفت، $\alpha_2 * D$ تأمین شود.



شکل ۶: منحنی فرمان بهره برداری سد دز با سیاست جیره‌بندی یگانه



شکل ۷: منحنی فرمان بهره برداری سد دز با سیاست جیره‌بندی دوگانه.

ارقام آستانه منحنی فرمان بهره‌برداری برآورد شده بر اساس مدل تلفیقی به کار رفته در این تحقیق، حجم مخزن را به دو قسمت تقسیم نموده است. هرگاه رقوم ماهانه مخزن بالاتر از این ارقام آستانه قرار گیرد، کل نیاز ماهانه را می‌توان تأمین نمود و هرگاه رقوم ماهانه مخزن پایین تر از آن قرار گیرد، جیره‌بندی نیازها آغاز می‌شود. بر این اساس ضریب جیره‌بندی یگانه بهینه مدل تلفیقی α۱= ۰/۴۰ است و در دوگانه α۱= ۰/۳۶ و α۲= ۰/۵۴ است. با اجرای این سیاست

بهره برداری بر اساس منحنی فرمان و ضریب جیره‌بندی بهینه یگانه و دوگانه، مقادیر شاخص دراز مدت کمبود (تابع هدف) سالانه آن مطابق جدول۱ و جدول ۲ بدست آمد.

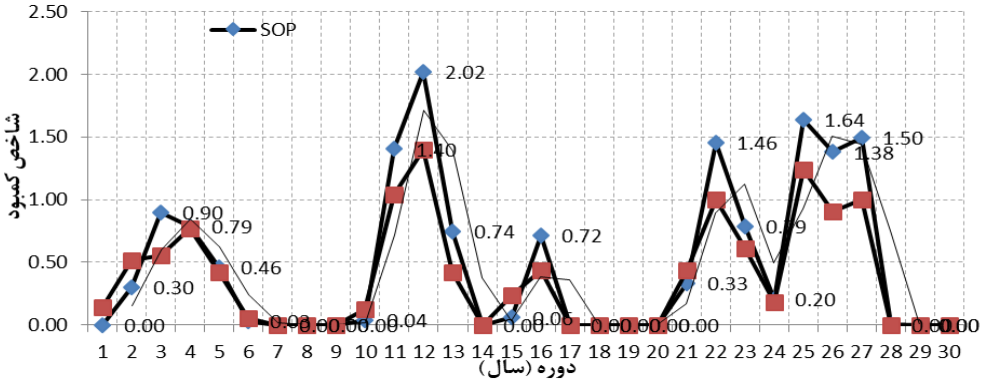
جدول ۱: عملکرد سالانه سیستم با سیاست جیره‌بندی یگانه

سال آبی	منحنی فرمان	SOP	سال آبی	منحنی فرمان	SOP
	تابع هدف	تابع هدف		تابع هدف	تابع هدف
۱	۰/۱۴	۰/۰	۱۶	۰/۴۳	۰/۷۲
۲	۰/۵۱	۰/۳	۱۷	۰/۰	۰/۰
۳	۰/۵۶	۰/۹	۱۸	۰/۰	۰/۰
۴	۰/۷۷	۰/۷۹	۱۹	۰/۰	۰/۰
۵	۰/۴۲	۰/۴۶	۲۰	۰/۰	۰/۰
۶	۰/۰۵	۰/۰۳	۲۱	۰/۴۳	۰/۳۳
۷	۰/۰	۰/۰	۲۲	۱/۰	۱/۴۶
۸	۰/۰	۰/۰	۲۳	۰/۶۱	۰/۷۹
۹	۰/۰	۰/۰	۲۴	۰/۱۸	۰/۲
۱۰	۰/۱۳	۰/۰۴	۲۵	۱/۲۴	۱/۶۴
۱۱	۱/۰۴	۰/۴	۲۶	۰/۹۰	۱/۳۸
۱۲	۱/۴۰	۲/۰۲	۲۷	۱/۰	۱/۵
۱۳	۰/۴۲	۰/۷۴	۲۸	۰/۰	۰/۰
۱۴	۰/۰	۰/۰	۲۹	۰/۰	۰/۰
۱۵	۰/۲۳	۰/۰۶	۳۰	۰/۰	۰/۰

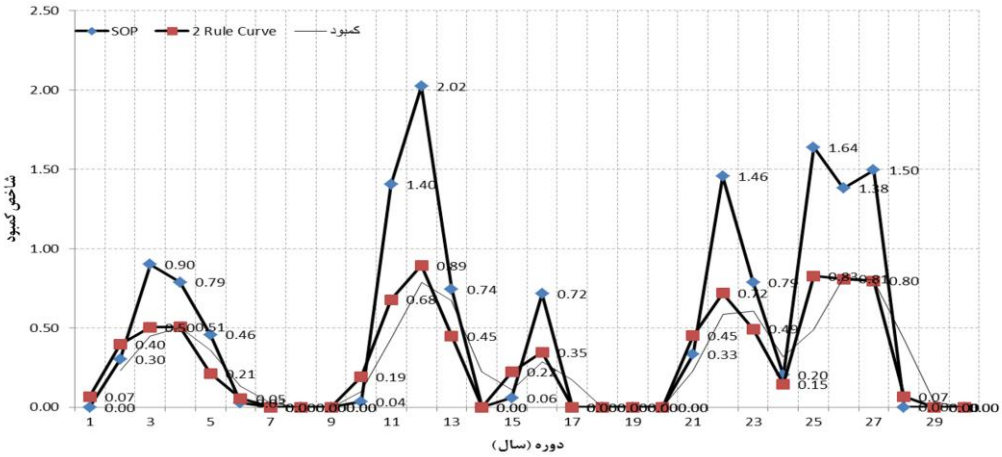
جدول ۲: عملکرد سالانه سیستم با سیاست جیره‌بندی دوگانه

سال آبی	منحنی فرمان	SOP	سال آبی	منحنی فرمان	SOP
	تابع هدف	تابع هدف		تابع هدف	تابع هدف
۱	۰/۰۷	۰/۰	۱۶	۰/۳۵	۰/۷۲
۲	۰/۴	۰/۳	۱۷	۰/۰	۰/۰
۳	۰/۵	۰/۹	۱۸	۰/۰	۰/۰
۴	۰/۵۱	۰/۷۹	۱۹	۰/۰	۰/۰
۵	۰/۲۱	۰/۴۶	۲۰	۰/۰	۰/۰
۶	۰/۰۵	۰/۰۳	۲۱	۰/۴۵	۰/۳۳
۷	۰/۰	۰/۰	۲۲	۰/۷۲	۱/۴۶
۸	۰/۰	۰/۰	۲۳	۰/۴۹	۰/۷۹
۹	۰/۰	۰/۰	۲۴	۰/۱۵	۰/۲
۱۰	۰/۱۹	۰/۰۴	۲۵	۰/۸۳	۱/۶۴
۱۱	۰/۶۸	۰/۴	۲۶	۰/۸۱	۱/۳۸
۱۲	۰/۸۹	۲/۰۲	۲۷	۰/۸۰	۱/۵
۱۳	۰/۴۵	۰/۷۴	۲۸	۰/۰۷	۰/۰
۱۴	۰/۰	۰/۰	۲۹	۰/۰	۰/۰
۱۵	۰/۲۲	۰/۰۶	۳۰	۰/۰	۰/۰

نتایج حاصل از شبیه‌سازی سیاست بهره‌برداری استاندارد (SOP) نیز جهت مقایسه آورده شده است. همچنین مقادیر حجم مخزن در هر دوره نیز در (جدول ۲) ارائه شده است. در شکل ۸ و شکل ۹، مقایسه بین شاخص کمبود سیاست بهره برداری استاندارد و سیاست مورد نظر این تحقیق با توجه به کمبود ارائه شده است.



شکل ۸: مقایسه شاخص کمبود دو روش منحنی فرمان یگانه و SDP



شکل ۹: مقایسه شاخص کمبود دو روش منحنی فرمان یگانه و SDP

نتیجه‌گیری

در این تحقیق به توسعه یک مدل شبیه ساز- بهینه‌سازی برای جستجوی مستقیم و همزمان منحنی فرمان بهره‌برداری و ضرایب جیره‌بندی در سیستم سد دز پرداخته شد. در این راستا از یک مدل برنامه ریزی غیر خطی بر پایه حداقل‌سازی شاخص کمبود استفاده گردید. بدین منظور الگوریتم ژنتیک به عنوان بهینه ساز اصلی و خارجی به مدل شبیه ساز متصل گردید تا در هر گام زمانی منفرد، مساله تخصیص بهینه منابع آب با یک روش سریع حل شود. بنابراین در مدل بهینه‌سازی نهایی از مزایای روش‌های بهینه‌سازی فراکاوشی در حل مسایل غیر خطی و غیر محدب که روش‌های گرادیان پایه در حل آن‌ها دچار مشکلات جدی هستند، بهره‌گیری شده است. مدل مورد نظر یک به‌سازی در بیلان جرم ایجاد می‌نماید و با

توجه به بیلان آب مخزن مورد نظر، تخصیص آب به مصارف کشاورزی و تقسیم‌بندی حجم مخزن برای مصارف و کاربردهای مختلف را فراهم می سازد. سیاست جیره‌بندی در دو سطح منحنی فرمان برای خشکسالی‌های خفیف و شدید انجام گرفت. لذا حجم مخزن با دو منحنی فرمان مذکور به سه منطقه تقسیم شد. همچنین شبکه کشاورزی به سه شبکه مجزا تقسیم بندی شد. این تقسیم بندی نیاز در تناظر با تقسیم بندی حجم مخزن، سیاست جیره‌بندی مورد نظر را القا می‌کند. با اجرای سیاست تعریف شده، هرگاه رقوم آب در مخزن در بالای منحنی فرمان بالاتر به‌دست آمده قرار گرفت، کل نیازها تامین شد. هرگاه تراز آب در مخزن بین آن دو قرار گرفت، کاهش خفیف رهاسازی و هرگاه رقوم مخزن پایین تر از منحنی فرمان پایینی قرار گرفت، جیره‌بندی با اعمال کمبود شدید بکار گرفته خواهد شد. مختصات هر دو منحنی فرمان برای سد مخزنی و ضرایب کسر نیاز در هر دو مرحله جیره‌بندی و در مدل تلفیقی به کار رفته در این تحقیق بهینه شد. پس از ارزیابی عملکرد سیستم با سایر ساختارهای بهره برداری از جمله سیاست بهره برداری استاندارد اثرات بسیار معنی دار تلفیق همزمان منحنی فرمان بهره داری و ضرایب جیره‌بندی و بهینه سازی همزمان آن‌ها در کاهش تبعات نامطلوب دوره های خشکسالی محسوس است. نتایج نشان داد که استفاده از الگوریتم های فراکاوشی در بهینه سازی بهره برداری از سد دز کارایی بسیاری دارد. همچنین بکارگیری منحنی فرمان دوفازی در کاهش شاخص کمبود در سد مخزنی دز مؤثرتر است. با به کارگیری منحنی فرمان تهیه شده از کمبودهای شدید جلوگیری شده و باعث کاهش کمبودهای ماهانه سد دز می‌شود. نتایج سیاست بهره برداری بر اساس منحنی فرمان و ضریب جیره‌بندی بهینه، کاراتر از روش SOP است. به دلیل تلفیق دو مدل شبیه‌سازی و بهینه‌سازی، امکان تحلیل و بهینه‌سازی سیستم‌های پیچیده با در نظر گرفتن همبستگی‌های متغیرهای مورد نظر، جریان‌های ورودی و مولفه‌های مصرف فراهم شد. پیشنهاد می‌شود از الگوریتم‌های فراکاوشی دیگر مانند الگوریتم ازدحام ذرات (PSO)، الگوریتم زنبورعسل (BA) و سایر روش‌ها استفاده شده و نتایج آن با نتایج این تحقیق مقایسه شود.

منابع

Bayazit, M., and Unal, N. E. (1990). Effects of hedging on reservoir performance. Water Resource Research, 26(4) و, pp: 713–719.

Bysani, M., and Uppalapati G. D., and Avirineni R., and Sundhar K. (2013). Study of optimizing techniques of reservoir operation International Journal of Engineering Research and General Science Volume 1, Issue 1 ,August 2013.

Labadie, J. W. (2004). Optimal operation of multi-reservoir systems: State-of-the-art review. Water Resource Planning and Management, ASCE, 130(2), pp: 93–111.

Lund, J. R., and Reed, R. U. (1995). Drought water rationing and transferable rations. Water Resource Planning and Management, ASCE, 121(6) pp: 429–437.

Neelakantan, T. R., and Pundarikanthan, N. V. (2000). Neural networkbasedsimulation - optimization model for reservoir operation, Water Resource Planning and Management, ASCE, 126(2), pp: 57–64.

Oliveira, R., and D. P. Loucks,(1997). Operating rules for multireservoir systems, J. Water resources Research, 33(4), pp: 839-852.

Shih, J. S., and ReVelle, C. (1994). Water-supply operations duringdrought: Continuous hedging rule. Water Resource Planning and Management, ASCE, 120(5), pp: 613–629.

Shih, J. S., and ReVelle, C. (1995). Water supply operations during drought: A discrete hedging rule. Operational Research, 82, pp: 163–175.

Srinivasan, K., and Philipose, M. C. (1998). Effect of hedging on over year reservoir performance. Water Resource Management, 12(2), pp: 95–120.

Tu, M.Y., Hsu, N. S., Tsai, F. T. C., and Yeh, W.W.G. (2008). Optimization of Hedging Rules for Reservoir Operations. Water Resource Planning and Management, ASCE, 134(1), pp: 3–13.

Tu, M.Y., Hsu, N. S., and Yeh, W. W. G. (2003). Optimization of reservoir management and operation with hedging rules. Water Resource Planning and Management, ASCE, 129(2), pp: 86–97.