Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 5, Vol. 13, Dec.-Jan. 2019, p. 1481-1490

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۵، جلد ۱۳، آذر - دی ۱۳۹۸، ص. ۱۴۹۰-۱۴۸۱

استخراج منحنی فرمان با استفاده از سیاست بهره‌برداری استاندارد و مدل‌های ترکیبی جیره‌بندی-الگوریتم ژنتیک و برنامه‌ریزی خطی- جیره‌بندی

سارا روانشادنیا[۱]، کوروش قادری[۲*]، مرضیه ثمره هاشمی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۴/۳

چکیده

برای مدیریت بهتر آب موجود در مخازن سدها با توجه به ذخیره مخزن و جریان‌های ورودی به آن، منحنی‌فرمان بهره‌برداری باید توسط مدل‌های بهره‌برداری تهیه شود. در این مقاله، منحنی فرمان برای بهره‌برداری از سیستم تک‌مخزنه سد درودزن واقع در استان فارس، با استفاده از روش‌های سیاست بهره‌برداری استاندارد، جیره بندی و برنامه‌ریزی خطی، استخراج شده است. تابع هدف، کمینه‌سازی کمبود آب طی دوره آماری ۶۰ ماهه از سال آبی ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۲ در نظر گرفته شده است. روش سیاست بهره‌برداری استاندارد، کمبودهای شدیدی در مواقع خشکسالی به‌وجود می‌آورد. به منظور تعدیل نمودن این کمبودهای شدید، قوانین جیره‌بندی برقرار می‌شود تا ذخیره مخزن را برای مصارف آینده حفظ نماید. در روش جیره‌بندی، برای رسیدن به بهترین مقدار تابع هدف، مقادیر فاکتورهای بهینه جیره‌بندی با روش الگوریتم ژنتیک به دست آمده است. در نهایت، نتایج به دست آمده از این دو روش با نتایج به دست آمده از برنامه‌ریزی خطی مبتنی بر جیره‌بندی مقایسه شدند. مقدار کمبود کل در روش برنامه‌ریزی خطی-جیره‌بندی، ۲۱۹/۵۶، در روش سیاست بهره‌برداری استاندارد، ۲۱۶/۵۷ و در روش جیره‌بندی-الگوریتم ژنتیک ۸۴/۱۹ میلیون متر مکعب محاسبه شده است. مدل جیره‌بندی-الگوریتم ژنتیک با تأمین ۸۳/۳۳٪ نیازها، شدت کمبود را نیز کنترل می‌کند. همچنین، متوسط حجم ذخیره مخزن در این روش دارای بیشترین مقدار است. مقایسه سه روش مزبور با استفاده از معیارهای ارزیابی شامل قابلیت اعتماد زمانی، حجمی و آسیب‌پذیری نشان می‌دهد که روش جیره‌بندی-الگوریتم ژنتیک آسیب‌پذیری کمتر و اعتمادپذیری زمانی و حجمی بالاتری دارد و نسبت به دو روش دیگر مناسب‌تر عمل کرده است.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم ژنتیک، برنامه‌ریزی خطی، بهره‌برداری بهینه، جیره‌بندی، منحنی‌فرمان

مقدمه

محدودیت منابع آب در جهان و تشدید این محدودیت که ناشی از افزایش میزان تقاضا در بخش‌های مختلف کشاورزی، صنعت، شرب و محیط‌زیست است، موجب شده تا حداکثر استفاده از منابع آب موجود و افزایش بهره‌وری سطح مطرح شود. بنابراین مدیریت مصرف، تقاضا و بهره‌برداری بهینه منابع آب، برای توسعه پایدار از اهمیت بالایی برخوردار است. یکی از رویکردهایی که در این راستا مطرح می‌شود بهره‌برداری بهینه از سدها با استفاده از سیاست‌های مناسب بهره‌برداری است. مهم‌ترین هدف در برنامه‌ریزی برای بهره‌برداری بهینه از مخازن آبی، تعیین سیاست‌های بهره‌برداری می‌باشد. به گونه‌ای که بتوانند در شرایط جریان نامشخص بهترین عملکرد را داشته باشند. بهره‌برداری از مخازن باید به‌نحوی انجام شود که میزان کمبودها در طول دوره بهره‌برداری به حداقل برسند (Rittima, 2012).

یکی از قواعد بهره‌برداری از مخزن، سیاست بهره‌برداری استاندارد (SOP)[۴] می‌باشد. در این روش، رهاسازی از مخزن فقط بر اساس نیاز هر دوره انجام می‌پذیرد. اگر آب کافی جهت رفع نیاز موجود نباشد، مخزن خالی می‌گردد و اگر آب بیش از نیاز موجود باشد، مخزن پر شده و سپس سرریز خواهد نمود. این روش بر اساس حداکثر تأمین آب و حداقل کمبودهای سامانه تأمین آب عمل می نماید (Draper and Lund, 2004). بر اساس قوانین سیاست بهره‌برداری استاندارد در طول فصول خشک، آب ذخیره شده‌ای درون مخزن وجود ندارد تا بتواند شدت خشکسالی را کاهش دهد. برای بهبود عملکرد قوانین بهره‌برداری به دست آمده از روش سیاست بهره‌برداری استاندارد می‌توان در فصول خشک از روش جیره‌بندی که یک روش مؤثر و کارا می‌باشد، استفاده نمود. در روش جیره‌بندی، به‌منظور جلوگیری از

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مدیریت منابع آب، دانشگاه شهید باهنر کرمان
۲- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه شهید باهنر کرمان
۳- استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه شهید باهنر کرمان
(* - نویسنده مسئول: (Email: kouroshqaderi@uk.ac.ir

4- Standard Operation Policy

www.SID.ir

Archive of SID

وقوع خسارت‌های محتمل در دوره‌های خشکسالی، درصدی از میزان آبی که برای رهاسازی در زمان حال در نظرگرفته شده، به‌عنوان ذخیره در مخزن نگه داشته می‌شود. این ذخیره، مقداری آب را در مخزن نگه می‌دارد تا در آینده، بهره‌برداری با کمبودهای شدید مواجه نشود (Bayazit and Unal, 1990).

اصل روستا و بزرگ حداد (۱۳۸۸) از سیاست بهره‌برداری استاندارد و جیره‌بندی در استخراج منحنی‌فرمان استفاده کردند. نتایج، برتری روش جیره‌بندی نسبت به سیاست بهره‌برداری استاندارد را نشان داد. همچنین حجتی و همکاران (۱۳۹۱) از روش جیره‌بندی برای تهیه منحنی‌فرمان بهینه سد دوستی بهره برده و نتیجه گرفتند که در طراحی حجم مورد نیاز مخزن، برای تعدیل شدت کمبود در برخی از ماه‌هایی که مخزن نمی‌تواند بخشی از نیاز آبی را تأمین کند باید از روش جیره‌بندی استفاده شود. علاوه بر این، یکی از مزایای سیاست جیره‌بندی که اساساً یک رویکرد مدیریت تقاضای آب در طول خشکسالی شدید است، تولید نیروی برقابی بیشتر است (Rittima, 2012). شیائو نیز در بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخزن با روش جیره‌بندی در مخزن نانهوا واقع در جنوب تایوان، با استفاده از الگوریتم ژنتیک، مقادیر متفاوتی از فاکتورهای جیره‌بندی را با تابع هدف کمینه‌سازی کمبودها به دست آورد و نتایج برتری روش جیره-بندی را نسبت به سیاست بهره‌برداری استاندارد نشان داد (Shiau, 2009). همچنین، حقیقی و همکاران از الگوریتم ژنتیک برای تعیین فاکتورهای جیره‌بندی در بهینه‌سازی منحنی‌های فرمان استفاده کرده‌اند و استفاده از مدل‌های ترکیبی را برای یافتن فاکتورهای جیره‌بندی توصیه نمودند (Haghighi et al., 2011). در این راستا، اوم و همکاران یک مدل برنامه‌ریزی پویا را با یک قاعده جیره‌بندی ترکیب و برای کاهش اثرات خشکسالی در حوضه رودخانه گوم در کره جنوبی توسعه داده و نشان دادند که مدل‌های ترکیبی عملکرد مناسبی داشته و روش برنامه‌ریزی پویا-جیره‌بندی کمبودها را به‌شدت کاهش می‌دهد (Eum et al., 2011). کرمی و برهانی داریان (۱۳۹۳) عملکرد دو روش جیره‌بندی گسسته و دونقطه‌ای را با استفاده از الگوریتم جستجوی هارمونی برای بهره‌برداری یکپارچه از سیستم چندمخزنه چندمنظوره شهر تهران بررسی نمودند. نتایج نشان داد که مقدار تابع هدف در روش دونقطه‌ای بهتر از گسسته جواب داده است. سلسته و بیلیب به بررسی و بهبود روش دونقطه‌ای پرداخته‌اند و جیره‌بندی دونقطه‌ای را به عنوان سیاست بهره‌برداری مناسب معرفی کردند (Celeste and Billib, 2009). در مطالعه چاتمت که سیاست‌های جیره‌بندی بهینه‌سازی شده بر اساس منحنی‌های فرمان موجود در مخزن آبونراتانا[1] در شمال شرقی تایلند توسعه داده شده است نیز از نظر آسیب‌پذیری، جیره‌بندی دو مرحله‌ای عملکرد بهتری نسبت به جیره‌بندی تک‌مرحله‌ای و سیاست بدون جیره‌بندی دارد (Chuthamat et al., 2014).

بنابراین، در پژوهش حاضر، برای استخراج منحنی فرمان سد درودزن، مدلی در محیط برنامه‌نویسی نرم‌افزار MATLAB با استفاده از روش جیره‌بندی دو نقطه‌ای که فاکتورهای بهینه آن با الگوریتم ژنتیک به دست می‌آید، توسعه داده شده است. همچنین، یک مدل برنامه‌ریزی خطی که قواعد جیره‌بندی در آن لحاظ شده است، در محیط برنامه‌نویسی نرم‌افزار LINGO تعریف شده است. علاوه بر این، منحنی‌های فرمان با استفاده از رویکرد بهره‌برداری استاندارد نیز استخراج شده است و در نهایت سه روش با هم مقایسه شده‌اند.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

سد درودزن در ۱۱۰ کیلومتری شهر شیراز، روی رودخانه کر احداث گردیده است. رودخانه کر از شمال غربی استان و از بلندی‌های سلسله کوه‌های زاگرس سرچشمه گرفته و طول آن از سراب تا محل سد درودزن به ۳۵۱/۵ کیلومتر می‌رسد. سد درودزن با اهداف شرب و صنعت، تولید انرژی برقابی و ذخیره آب و بهره‌برداری از آن جهت آبیاری ۱۱۰ هزار هکتار اراضی پایین‌دست تأسیس شده است (ترابی حقیقی، ۱۳۸۲). شکل ۱ نمودار حجم آب ورودی به مخزن سد و شکل ۲ موقعیت حوضه سد درودزن در گستره استان فارس را نشان می‌دهد.

روش سیاست بهره برداری استاندارد

در روش بهره‌برداری استاندارد، شبیه‌سازی مخزن عبارت است از تعیین حجم ذخیره مخزن در هر دوره بر اساس دبی ورودی به مخزن، رهاسازی و تلفات آب که با توجه به شرایط آب و هوایی و زمین‌شناسی محل رخ می‌دهد. از این روش، بیشتر در طراحی سدهای مخزنی، تعیین حجم مورد نیاز مخزن و تعیین تراز نرمال مخزن استفاده می‌شود (Shih and Revelle, 1994).

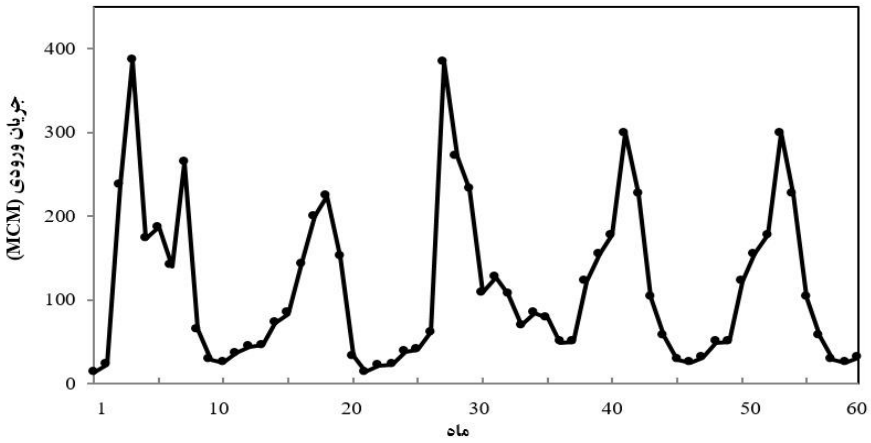
روش سیاست بهره برداری استاندارد، ساده‌ترین روش بهره‌برداری از مخزن شناخته شده و در مواقع خشکسالی نیاز به اصلاحات دارد. در این روش، معمولاً تعداد کمبودها کم و شدت کمبودها زیاد است. به عبارت دیگر، روی شدت کمبودها کنترلی وجود ندارد. این مفاهیم را می‌توان برای شبیه‌سازی سیاست بهره‌برداری استاندارد یک سامانه تک‌مخزنه توسط رابطه (۱) بیان نمود:

$$\begin{cases} Re_t = S_t + Q_t & \text{if} \quad S_t + Q_t \le R_{max} \\ Re_t = R_{max} & \text{if} \quad R_{max} \le S_t + Q_t \le S_{max} \\ Re_t = S_t + Q_t - S_{max} & \text{if} \quad S_t + Q_t - R_{max} \ge S_{max} \end{cases} \quad (\forall = 1 \dots T) \qquad (۱)$$

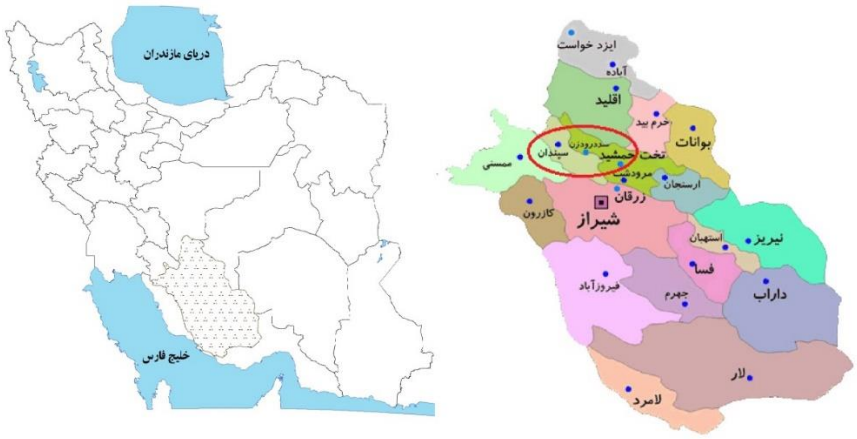
1 Ubonratana

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱- حجم جریان ورودی به سد درودزن



شکل ۲- موقعیت سد درودزن

روش جیره‌بندی- الگوریتم ژنتیک

فلسفه مکانیسم جیره‌بندی این است که وقتی قابلیت تأمین آب مخزن، که با آب قابل دسترس نشان داده می‌شود، کمتر از حد آستانه خاص باشد، جیره‌بندی آغاز به صرفه‌جویی آب برای کاربردهای آینده می‌کند. آب قابل دسترس به‌عنوان ذخیره آغازین به‌علاوه جریان و منهای تبخیر در طی دوره تعریف می‌شود، که با WA_t[1] نشان داده شده و به‌صورت رابطه (۲) بیان می‌شود:

$$WA_t = S_t + Q_t - E_t \qquad (۲)$$

WA_t آب قابل دسترس در زمان t، S_t آب ذخیره شده در مخزن در شروع زمان t، که بین ظرفیت خالی و فعال مخزن محدود می‌شود $0 \le S_t \le C$، C ظرفیت فعال مخزن، Q_t جریان ورودی به مخزن در زمان t و E_t تبخیر از دست رفته در زمان t می‌باشد. جیره‌بندی مورد استفاده در این تحقیق با دو پارامتر SWA_t[2] و EWA_t[3] مشخص شده، که به‌عنوان جیره‌بندی دونقطه‌ای دسته‌بندی می‌شود. SWA_t شروع آب قابل دسترس در زمان t که می‌تواند از صفر تا D_t متغیر باشد، D_t تقاضای طرح شده در زمان t، EWA_t پایان آب قابل دسترس در زمان t که از D_t تا D_t+C متغیر است، HF_t فاکتور جیره‌بندی (درصد کاهش در زمان t) بین صفر درصد (بدون جیره‌بندی) و ۱۰۰٪ (با جیره‌بندی و بدون رهاسازی) را نشان می‌دهد. در روش جیره‌بندی دونقطه‌ای، اگر مقدار ذخیره اولیه به اضافه آورد رودخانه منهای تبخیر و نیاز، عددی بین صفر و ظرفیت مخزن باشد، سه حالت اتفاق می‌افتد: در حالت اول، اگر ذخیره به اضافه آورد رودخانه منهای تبخیر بیشتر از EWA_t باشد، در این صورت برابر با مقدار نیاز، آب رها می‌شود (حالت عادی). در حالت دوم، اگر این مقدار بین دو حد SWA_t و EWA_t (نقطه شروع و پایان جیره‌بندی) قرار بگیرد، از روی خط جیره‌بندی، آب رها می‌شود. در حالت سوم، اگر

1- Water Availability
2- Starting Water Availability
3- Ending Water Availability

www.SID.ir

Archive of SID

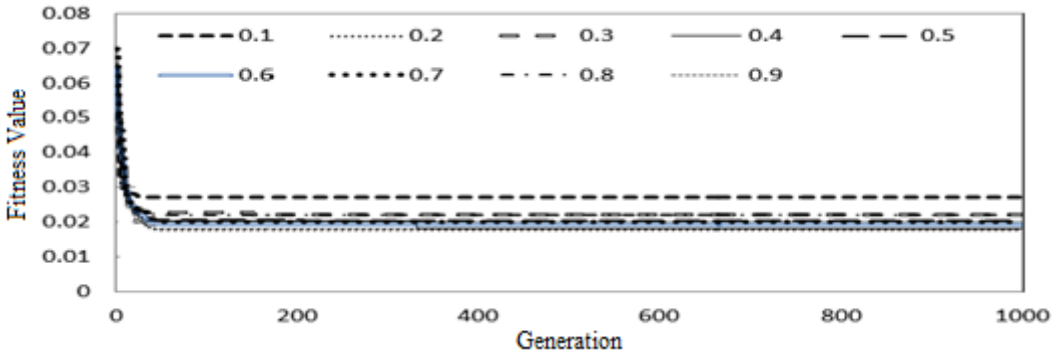
مقدار یاد شده، عددی کمتر از SWA_t شود، در این صورت هر مقدار آبی که در سیستم هست، رها می‌شود. پارامتر سوم که HF_t نامیده می‌شود، شامل قوانین جیره‌بندی برای بیان درصد کاهش است (Shiau, 2009).

ترکیب‌های متفاوتی از SWA_t و EWA_t و HF_t جیره‌بندی‌های متفاوت با تأثیرهای متفاوت بر مشخصه‌های کمبود آب می‌سازد. در این پژوهش برای تعیین مقادیر بهینه نقطه آغازین جیره‌بندی SWA_t، نقطه پایانی جیره‌بندی EWA_t از الگوریتم ژنتیک با ۱۸۰ متغیر تصمیم، جمعیت اولیه ۱۰۰، نرخ جهش ۰/۰۱، نرخ جابه‌جایی ۰/۸ و تعداد ۱۰۰۰ تکرار برای هر ماه استفاده شده است. برای به دست آوردن بهترین فاکتور جیره‌بندی با هدف کمترین کمبود کل و در نتیجه کمترین شدت کمبود، مقادیر متفاوتی از SWA_t و EWA_t برای هر ماه با فاکتورهای جیره‌بندی متفاوت محاسبه شده است که در جدول ۱ آمده است. درصد شدت کمبود از نسبت کمبود کل به مجموع تقاضا و کمبود کل از رابطه کمینه مجذور نسبت انحراف از تقاضا به حداکثر تقاضا و درصد تأمین نیز از نسبت تعداد ماه‌هایی که کمبود در آن‌ها رخ نداده است به کل دوره آماری ۶۰ ماهه به دست آمده است. همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، جیره‌بندی الگوریتم ژنتیک با فاکتور ۰/۱ دارای کمترین شدت کمبود یعنی ۱/۳۴٪ و مقدار تابع هدف (کمبود کل)، ۰/۰۱ با درصد تأمین ۸۳/۳۳٪ می‌باشد که نسبت به بقیه فاکتورهای جیره‌بندی عملکرد بهتری نشان می‌دهد.

همچنین در شکل ۳ مشاهده می‌شود که فاکتور جیره‌بندی ۰/۱ سریع‌تر از فاکتورهای جیره‌بندی دیگر به سمت جواب‌های بهینه همگرا می‌شود اما روند همگرایی در فاکتورهای جیره‌بندی تقریباً مشابه هم می‌باشند.

جدول ۱- پارامترهای محاسبه شده حاصل از اجرای فاکتورهای جیره‌بندی مختلف

فاکتور جیره‌بندی	شدت‌کمبود (٪)	کمبود کل	درصد تأمین	تعداد کمبود
۰/۱	۱/۳۴	۰/۰۱۵۹	۸۳/۳۳	۱۰
۰/۲	۱/۶۰	۰/۰۱۹۸	۸۵	۹
۰/۳	۲/۱۷	۰/۰۴	۸۶/۶۶	۸
۰/۴	۲/۷۷	۰/۰۷	۸۸/۳۳	۷
۰/۵	۲/۶۶	۰/۰۸	۸۵	۹
۰/۶	۲/۹۳	۰/۱۱	۸۶/۶۶	۸
۰/۷	۳/۹۴	۰/۱۸	۸۵	۹
۰/۸	۵/۳۷	۰/۲۷	۸۶/۶۶	۸
۰/۹	۷/۲۲	۰/۴۷	۸۶/۶۶	۸



شکل۳-روند همگرایی مدل جیره‌بندی- الگوریتم ژنتیک با فاکتورهای جیره‌بندی مختلف

روش برنامه‌ریزی خطی-جیره‌بندی

در روش برنامه‌ریزی خطی-جیره‌بندی ، مدلی خطی با تابع هدف حداقل‌سازی مجموع اختلاف مقدار جریان خروجی با نیاز پایین‌دست با بهره‌گیری از قوانین و قیود موجود در روش جیره‌بندی و با استفاده از نرم‌افزار LINGO توسعه داده شده است. در نهایت با استفاده از مقادیر حجم رهاسازی حاصل از خروجی این مدل، اقدام به استخراج منحنی‌فرمان بر اساس برنامه‌ریزی خطی شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

تابع هدف

از آنجایی که روش سیاست بهره‌برداری استاندارد یک روش شبیه‌سازی است که در آن تابع هدفی وجود ندارد، به‌منظور مقایسه سه روش مزبور، تابع هدفی برای روش سیاست بهره‌برداری استاندارد (همانند تابع هدف دو روش دیگر) تعریف و محاسبه شده است. این تابع هدف، مقدار کمبود است که به صورت رابطه (۸) تعریف می‌شود. به عبارتی، زمانی‌که حجم ذخیره مخزن به اندازه کافی نباشد و رهاسازی مخزن (Rt)، برای تقاضای پیش‌بینی شده (Dt) کم باشد، مخزن قادر به تأمین تقاضا نیست و کمبود به وجود می‌آید. بنابراین، به منظور مقایسه روش‌های به کار گرفته شده از رابطه (۳) استفاده شده است.

$$Def = \sum_{t=1}^{n=60}(R_t - D_t) \qquad (۳)$$

تابع هدف دیگری مطابق رابطه (۳) برای مقایسه دو روش سیاست بهره برداری استاندارد و جیره‌بندی درنظر گرفته شده، که عبارت است از کمینه مجذور نسبت انحراف از نیاز به حداکثر تقاضا در طول دوره مورد مطالعه، که یک تابع غیرخطی است. به‌منظور هم‌واحد کردن، این پارامتر به صورت بی‌بعد تعریف می‌شود. شایان ذکر است که از این رابطه به علت اینکه یک رابطه غیرخطی است تنها برای مقایسه دو روش سیاست بهره‌برداری استاندارد و جیره‌بندی استفاده شده است.

$$f = \sum_{t=1}^{n=60}\frac{(R_t - D_t)^2}{D_{max}} \qquad (۴)$$

معیارهای ارزیابی عملکرد

در بهینه‌سازی سامانه مخازن، علاوه بر شاخص کمبود کل نسبی، می‌توان از معیارهای ارزیابی کارایی نیز استفاده کرد. در این راستا در تحقیق حاضر از سه معیار قابلیت اعتماد حجمی و زمانی و آسیب-پذیری استفاده شده است. قابلیت اعتماد مقوله‌ای است که به طور وسیع در ارزیابی سیستم‌های منابع آب، در طول دوره بهره‌برداری، مورد استفاده قرار می‌گیرد. گاهی اعتمادپذیری را به صورت مخالف ریسک مطرح می‌کنند (قابلیت اعتماد-۱=ریسک). و به دو صورت زمانی و حجمی تعریف می‌شود. منظور از اعتمادپذیری زمانی، درصد دوره‌هایی است که سیستم α درصد نیازهای موجود را تأمین کرده و با شکست روبرو نمی‌شود. هر چه مقدار این پارامتر بیشتر باشد، قابلیت اعتماد زمانی سیستم بیشتر خواهد بود. نوع دیگر قابلیت اعتماد، قابلیت اعتماد حجمی می‌باشد که عبارت است از مقدار حجم آب رها شده در کل دوره نسبت به مقدار کل نیاز. شاخص آسیب‌پذیری نشان‌دهنده بزرگی شکست‌های سیستم است. این شاخص در مواقع خشکسالی و سیلاب دارای اهمیت است زیرا خسارات ناشی از سیلاب‌ها و خشکسالی‌ها متناسب با طول دوره زمانی عملکرد نامطلوب سیستم است (Hashimoto et al., 1982).

نتایج و بحث

در این بخش، نتایج مربوط به سه روش سیاست بهره‌برداری استاندارد و جیره‌بندی- الگوریتم ژنتیک و برنامه‌ریزی خطی-جیره-بندی مورد بررسی و مقایسه قرار می‌گیرند. مقایسه پارامترهای مجموع مربعات کمبود به حداکثر تقاضا، مجموع کمبود کل و مجموع متوسط حجم ذخیره نشان از برتری روش جیره‌بندی- الگوریتم ژنتیک دارد.

جدول ۲- مقایسه پارامترهای منتخب در سه روش سیاست بهره‌برداری استاندارد ، جیره‌بندی- الگوریتم ژنتیک و برنامه‌ریزی خطی-جیره‌بندی

پارامتر	سیاست بهره‌برداری استاندارد	جیره‌بندی- الگوریتم ژنتیک	برنامه‌ریزی خطی-جیره‌بندی
مجموع کمبود به ماکزیمم تقاضا	۰/۲	۰/۰۱	-
مجموع کمبود (MCM)	۲۱۶/۵۷۸	۸۴/۱۹	۲۱۹/۵۶۷
مجموع متوسط حجم ذخیره (MCM)	۴۶۷۷/۱۰	۴۹۲۵/۰۶	۴۸۲۴/۶۷

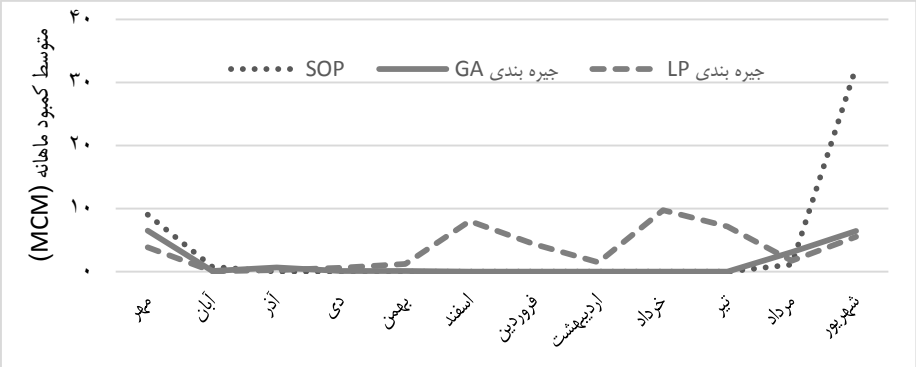
همان‌طور که در جدول ۲ نشان داده شده است، کمبودهای ایجاد شده در روش سیاست بهره‌برداری استاندارد و برنامه‌ریزی خطی-جیره‌بندی بسیار شدید بوده و در صورت وقوع این کمبودها، در سیستم زیان‌های جبران ناپذیری ایجاد خواهد شد. اما مدل جیره‌بندی- الگوریتم ژنتیک با ذخیره آب از ماه‌های قبل، از ایجاد کمبودهای شدید در ماه‌های بحرانی می‌کاهد.

همچنین، نتایج به‌دست آمده نشان داد که سیاست بهره‌برداری استاندارد تنها در ماه‌های پر آب توانایی تأمین نیازها را داشته و در ماه‌های بحرانی، سیستم با کمبود مواجه شده است. در روش جیره‌بندی- الگوریتم ژنتیک، در ماه‌های منتهی به بهار و آغاز تابستان، و یا به عبارت دیگر در ماه‌های با نیاز پایین‌دست حداکثر، ذخیره مخزن بالا بوده و توانایی بیشتری را نسبت به دو روش سیاست بهره‌برداری استاندارد و برنامه‌ریزی خطی-جیره‌بندی در تأمین نیازهای پایین‌دست دارا می‌باشد. احجام به‌دست آمده از جیره‌بندی-

www.SID.ir

Archive of SID

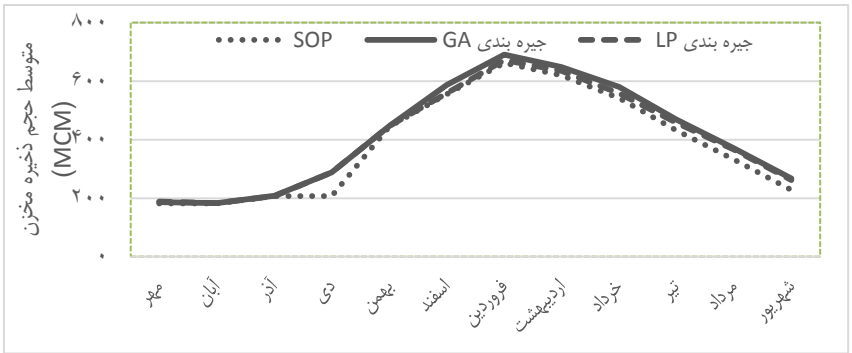
الگوریتم ژنتیک در تراز ذخیره بالاتری نسبت به دو روش دیگر قرار گرفته‌اند. به طور کلی، می‌توان گفت که مدل جیره‌بندی- الگوریتم ژنتیک با توجه به توانایی در کاهش کمبودها و جلوگیری از وقوع کمبودهای شدید، جهت تهیه منحنی‌فرمان بهره‌برداری از سدهای مخزنی مناسب‌تر بوده است. در شکل ۴، متوسط کمبود ماهانه به هر سه روش ترسیم شده است.



شکل٤- متوسط کمبود ماهانه با روش‌های سیاست بهره‌برداری استاندارد، جیره‌بندی-الگوریتم ژنتیک و برنامه‌ریزی خطی-جیره‌بندی

مجموع متوسط کمبود ماهانه در روش سیاست بهره‌برداری استاندارد، جیره‌بندی- الگوریتم ژنتیک و برنامه‌ریزی خطی-جیره‌بندی به ترتیب برابر با ۴۳/۳۱، ۱۶/۸۴و ۴۳/۹۱ میلیون بوده است. همان‌گونه که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، متوسط کمبود ماهانه در روش سیاست بهره‌برداری استاندارد در ماه‌های شهریور، مهر و آبان نسبت به دو روش دیگر شدیدتر و به مقدار ۳۲/۴۴، ۹/۰۱ و ۰/۷۶ میلیون متر مکعب بوده است که به دلیل عدم آینده‌نگری این روش و رهاسازی بدون برنامه‌ریزی طی ماه‌های پیشین در این روش بوده است که در این ماه‌ها آب کافی برای رهاسازی در مخزن موجود نبوده و باعث کمبودهای شدید در این ماه‌ها شده است. همچنین، متوسط کمبود ماهانه در روش جیره‌بندی- الگوریتم ژنتیک در ماه‌های آذر و مرداد نسبت به دو روش دیگر شدیدتر و به مقدار ۰/۶۳ و ۳/۰۷ میلیون متر مکعب بوده است. متوسط کمبود ماهانه در روش برنامه-ریزی خطی-جیره‌بندی در ماه‌های دی، بهمن، اسفند، فروردین، اردیبهشت، خرداد و تیر نسبت به دو روش دیگر شدیدتر بوده است.

برای به‌دست آوردن مقدار رهاسازی و رسم منحنی‌فرمان، به مقادیر حجم مخزن در پایان هر دوره نیاز است. این مقادیر با استفاده از روابط موجود و رابطه پیوستگی برای هر روش به دست آمده است. در شکل ۵، منحنی تغییرات حجم ذخیره مخزن با هر سه روش سیاست بهره‌برداری استاندارد، جیره‌بندی- الگوریتم ژنتیک و برنامه‌ریزی خطی-جیره‌بندی برای سال‌های مختلف در شرایط مطلوب استخراج شده و در مقایسه با هم آورده شده است. شرایط مطلوب رویه‌ای است که وضعیت مخزن به دلخواه بهره‌بردار و با توجه به حجم ورودی و خروجی‌ها و به‌صورت نسبتاً ایده‌آل تدوین و محاسبات بر آن روال صورت می‌پذیرد.



شکل ۵- تغییرات حجم ذخیره مخزن با روش‌های سیاست بهره‌برداری استاندارد، جیره‌بندی-الگوریتم ژنتیک و برنامه‌ریزی خطی-جیره‌بندی

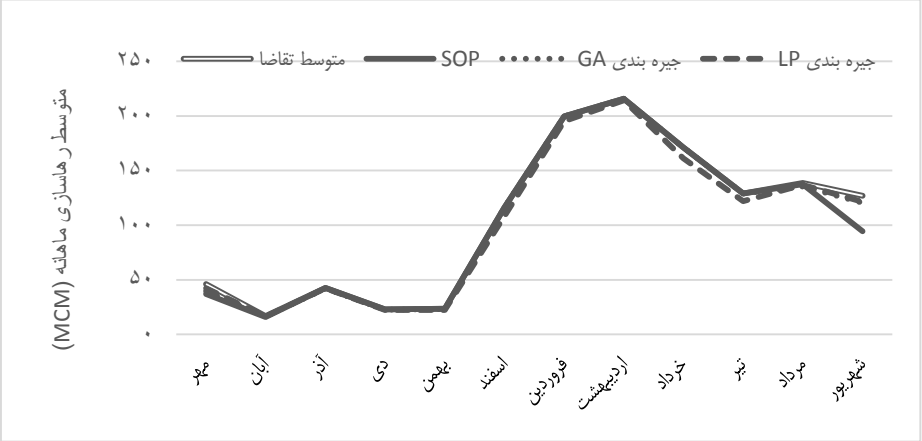
کمترین حجم ذخیره متوسط حاصل از اجرای سه مدل سیاست بهره‌برداری استاندارد، جیره‌بندی- الگوریتم ژنتیک و برنامه‌ریزی خطی-جیره‌بندی به‌ترتیب برابر با ۱۸۲/۱۵، ۱۸۳/۶۵ و ۱۸۳/۴۳ میلیون متر مکعب می‌باشد که مربوط به ماه آبان می‌باشد. بیشترین

www.SID.ir

Archive of SID

حجم حاصل از اجرای سه مدل به‌ترتیب برابر با ۶۶۲/۶۹، ۶۹۰/۷۸ و ۶۷۲/۷۳ میلیون متر مکعب می‌باشد که در هر سه مدل در ماه فروردین رخ می‌دهد.

با در نظر گرفتن قواعد رهاسازی ذکر شده در بخش گذشته و رابطه پیوستگی، میزان متوسط رهاسازی ماهانه به هر سه روش برای همه دوره‌ها محاسبه و در شکل ۵ منحنی‌فرمان مربوط به هر یک از سه روش ترسیم شده است. در روش جیره‌بندی- الگوریتم ژنتیک متوسط رهاسازی ماهانه در ماه آذر و مرداد نسبت به دو روش دیگر کمتر و به ترتیب برابر با ۴۲/۰۳ و۱۳۵/۵۴ میلیون متر مکعب است. در روش سیاست بهره‌برداری استاندارد، متوسط رهاسازی ماهانه در ماه مهر، آبان و شهریور نسبت به دو روش دیگر کمتر و به ترتیب برابر با ۳۷/۰۹، ۱۵/۹۴ و ۹۴/۵۲ میلیون متر مکعب است. در روش برنامه‌ریزی خطی-جیره‌بندی، متوسط رهاسازی ماهانه در ماه دی، بهمن، اسفند، فروردین، اردیبهشت، خرداد و تیر نسبت به دو روش دیگر کمتر بوده است. مجموع متوسط رهاسازی ماهانه در روش سیاست بهره‌برداری استاندارد و برنامه‌ریزی خطی-جیره‌بندی ۱۲۰۵/۷۵ و ۱۲۰۵/۱۵ میلیون متر مکعب بوده است و این مقدار در جیره‌بندی- الگوریتم ژنتیک از دو روش دیگر بیشتر و به‌مقدار ۱۲۳۲/۲۲ میلیون متر مکعب است، که همین امر موجب شده مجموع متوسط کمبود ماهانه طی دوره ۵ ساله در این روش کمتر از دو روش دیگر و به‌مقدار ۱۶/۸۴ میلیون متر مکعب باشد. در شکل ۶ منحنی فرمان سه روش مورد استفاده مقایسه شده‌اند.



شکل٦- منحنی‌فرمان با روش‌های سیاست بهره‌برداری استاندارد، جیره‌بندی-الگوریتم ژنتیک و برنامه‌ریزی خطی-جیره‌بندی

جدول ۳- مقادیر شاخص‌های ارزیابی در روش سیاست بهره‌برداری استاندارد، جیره‌بندی- الگوریتم ژنتیک و برنامه‌ریزی خطی-جیره‌بندی

روش	قابلیت اعتماد		آسیب‌پذیری (درصد)
	حجمی	زمانی (α =۰/۹)	
سیاست بهره‌برداری استاندارد	۹۶/۵۳	۹۱/۶۶	۷۸/۰۲
جیره‌بندی- الگوریتم ژنتیک	۹۸/۶۵	۹۳/۳۳	۲۴/۴۳
برنامه‌ریزی خطی-جیره‌بندی	۹۶/۴۸	۸۸/۳۳	۴۷/۹۸

در بهینه‌سازی سامانه مخازن، علاوه بر شاخص کمبود کل نسبی، می‌توان از معیارهای ارزیابی کارایی که در مواد و روش‌ها معرفی شده‌اند نیز استفاده کرد. در جدول ۳، سه معیار قابلیت اعتماد حجمی و زمانی و آسیب‌پذیری در روش‌های استفاده شده مورد مقایسه قرار گرفته‌اند.

همان‌طور که مشاهده می‌شود بیشترین درصد قابلیت اعتماد زمانی و حجمی در مدل جیره‌بندی- الگوریتم ژنتیک به ترتیب برابر با ۹۳/۳۳٪ و ۹۸/۶۵٪ مشاهده می‌شود. کمترین درصد آسیب‌پذیری نیز مربوط به مدل جیره‌بندی- الگوریتم ژنتیک یعنی ۲۴/۴۳٪ است.

هر چند مقادیر شاخص‌های عملکرد در سیاست بهره‌برداری استاندارد قابل قبول می‌باشد اما با توجه به مقدار زیاد کمبودها نسبت به روش جیره‌بندی عملکرد ضعیف‌تری داشته است. بنابراین به‌علت اینکه، روش سیاست بهره‌برداری استاندارد بدون در نظر گرفتن نیاز سامانه در دوره‌های آینده اقدام به تامین نیاز در دوره فعلی می‌نماید، فاقد آینده‌نگری لازم جهت مدیریت کارا در بهره‌برداری از مخازن می‌باشد. همچنین بهره‌برداری با این روش باعث افزایش اعتمادپذیری زمانی می‌شود، در حالی‌که به‌علت افزایش شدت کمبودها در این روش، آسیب‌پذیری افزایش می‌یابد. با توجه به این

www.SID.ir

Archive of SID

ضعف، پژوهشگران با اعمال اصلاحاتی بر روش سیاست بهره‌برداری استاندارد اقدام به رفع این مشکل کردند و از این جهت قاعده جیره‌بندی را معرفی نمودند. همچنین نتایج نشان می‌دهند میزان آسیب‌پذیری در مدل جیره‌بندی- الگوریتم ژنتیک نسبت به دو روش دیگر کمتر می‌باشد و سیاست بهره‌برداری استاندارد دارای بیشترین درصد آسیب‌پذیری می‌باشد. میزان آسیب‌پذیری کم مدل جیره‌بندی- الگوریتم ژنتیک به دلیل شدت کمبود کمتر و تأمین درصد متعادلی از نیاز شرب و صنعت در این مدل نسبت به دو مدل دیگر می‌باشد. مدل جیره‌بندی- الگوریتم ژنتیک به صورت مطلوبی قابلیت رسیدن به شرایط حداقل کردن کمبودها و افزایش اعتمادپذیری سیستم که از اهداف تابع هدف ارائه شده هستند را نشان داده و نسبت به دو روش دیگر مناسب‌تر است.

نتیجه‌گیری

جهت بررسی عملکرد سه روش سیاست بهره‌برداری استاندارد، جیره‌بندی- الگوریتم ژنتیک و برنامه‌ریزی خطی- جیره‌بندی منحنی‌های فرمان برای سد درودزن استان فارس استخراج گردید. مقدار کمبود کل در روش برنامه‌ریزی خطی-جیره‌بندی، ۲۱۹/۵۶ و در روش سیاست بهره‌برداری استاندارد، ۲۱۶/۵۷ میلیون متر مکعب محاسبه شده است. با توجه به کمبودهای شدید این دو روش، مدل جیره‌بندی- الگوریتم ژنتیک با فاکتور بهینه ۰/۱، با ذخیره آب از چند ماه قبل از ایجاد کمبودهای شدید در ماه‌های بحرانی کاسته و مقدار آن ۸۴/۱۹ میلیون متر مکعب می‌باشد. شدت کمبود نیز در روش جیره‌بندی- الگوریتم ژنتیک ۱/۳۴٪ است که نسبت به روش سیاست بهره‌برداری استاندارد با مقدار ۳/۴۶ ٪ و روش برنامه‌ریزی خطی- جیره‌بندی با مقدار ۳/۵۱٪ کمتر می‌باشد. همچنین، این مدل علاوه بر کنترل شدت کمبود، آن را به‌طور یکنواخت در تعداد سال‌های بیشتری توزیع می‌کند. علاوه بر این، متوسط حجم ذخیره مخزن در جیره‌بندی- الگوریتم ژنتیک دارای بیشترین مقدار یعنی ۴۹۲۵/۰۶ میلیون متر مکعب است که در روش سیاست بهره‌برداری استاندارد و برنامه‌ریزی خطی-جیره‌بندی این مقدار به ترتیب ۴۶۷۷/۱۰ و ۴۸۲۴/۶۷ میلیون متر مکعب می‌باشد. در نهایت، سه روش مزبور با استفاده از معیارهای ارزیابی شامل قابلیت اعتماد زمانی، قابلیت اعتماد حجمی و آسیب‌پذیری بررسی شده‌اند. مدل جیره‌بندی- الگوریتم ژنتیک بیشترین درصد قابلیت اعتماد زمانی و حجمی را به ترتیب برابر با ۹۳/۳۳٪ و ۹۸/۶۵٪ داراست. همچنین، درصد آسیب‌پذیری کمتر نیز مربوط به مدل جیره‌بندی- الگوریتم ژنتیک برابر با ۲۴/۴۳٪ می‌باشد. بنابراین، مدل جیره‌بندی- الگوریتم ژنتیک به‌صورت مطلوبی قابلیت رسیدن به شرایط حداقل‌کردن کمبودها و افزایش اعتمادپذیری سیستم و کاهش آسیب‌پذیری، که از اهداف تابع هدف ارائه شده هستند، را داشته و برای بهینه‌سازی بهره‌برداری سیستم تک‌مخزنه سد درودزن نسبت به دو روش سیاست بهره‌برداری استاندارد و برنامه‌ریزی خطی-جیره‌بندی مناسب‌تر عمل کرده است.

منابع

اصل روستا، ب.، بزرگ حداد، ا. ۱۳۸۸. استخراج سیاست جیره‌بندی سه‌نقطه‌ای در بهره‌برداری از مخزن. کنفرانس ملی مهندسی و مدیریت زیرساخت‌ها. دانشگاه تهران. تهران. ایران.

ترابی حقیقی، ع. ۱۳۸۲. آنالیز ورودی‌های سد درودزن. اداره کل امور آب استان فارس. شیراز.

حجتی، ع.، فرید حسینی، ع. ر. و علیزاده، ا. ۱۳۹۱. مدل بهره‌برداری مخزن با رویه جیره‌بندی و کاربرد آن در تهیه منحنی‌فرمان سد دوستی. اولین کنفرانس ملی راهکارهای دستیابی به توسعه پایدار پژوهشکده سوانح طبیعی. تهران. ایران.

کرمی، ف. و برهانی داریان، ع. ۱۳۹۳. مقایسه روش‌های جیره‌بندی در مدیریت مخازن در شرایط خشکسالی. نشریه آب و فاضلاب. ۳: ۸۵-۷۶.

Bayazit, M. and Unal, N.E. 1990. Effects of hedging on reservoir performance. J. Water Resources Research. 26.4: 713–719.

Celeste, A.B., and Billib, M. 2009. Evaluation of stochastic reservoir operation optimization models. Advances in Water Resources. 32.9: 1429-1443.

Chuthamat, C., Adeloye A. J. and B. Soundharajan. 2014. Genetic algorithms optimization of hedging rules for operation of the multi-purpose Ubonratana Reservoir in Thailand. Evolving Water Resources Systems: Understanding, Predicting and Managing Water–Society Interactions Proceedings of ICWRS2014. Bologna. Italy.

Draper, A.J. and Lund, J.R. 2004. Optimal hedging and carryover storage value. J. Water Resources Planning and Management.130:83–87.

Eum, H., Kim, Y. and Palmer, R. 2011. Optimal Drought Management Using Sampling Stochastic Dynamic Programming with a Hedging Rule. Journal of Water Resources Planning and Management. 137.1: 113–122.

Haghighi, A., Samani, H. M. V., and Samani, Z. M. V. 2011. GA-ILP method for optimization of water distribution networks. Water Resour. Manage. 25.7: 1791–1808.

Hashimoto, T., Stedinger, J. R., and Loucks, D. P. 1982. Reliability, resilience, and vulnerability criteria for water resource system performance evaluation. Water Resour. Res. 18.1: 14 – 20.

www.SID.ir

Archive of SID

Algorithm. Journal of water resources planning and management. 135(5):355.

Shih, J. S. and ReVelle, C. 1994. Water-supply operations during drought: Continuous hedging rule. J. Water Resources Planning and Management. 120.5: 613–629.

Rittima, A. 2012. Optimal Hedging Policies for Hydropower Generation at Ubolratana Reservoir. Department of Civil and Environmental Engineering. Faculty of Engineering. Mahidol University. Nakhon Pathom 73170. Thailand.

Shiau, Jenq- Tzong. 2009. Optimization of Reservoir Hedging Rules Using Multi objective Genetic

www.SID.ir

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 5, Vol. 13, Dec.-Jan. 2019, p. 1481-1490

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۵، جلد ۱۳، آذر - دی ۱۳۹۸، ص. ۱۴۹۰-۱۴۸۱

Deriving Rule Curve Based on Standard Operating Policy and Using Hybrid Models of Hedging Rule-Genetic Algorithm and Linear Programing-Hedging Rule

S. Ravanshadnia[1], K. Qaderi[2]*, M. Samare Hashemi[3]
Recived: Feb.10, 2019 Accepted: Jun.24, 2019

Abstract

Dam rule curves should be derived using operation models and considering reservoir storage as well as input flows, which results in better management of reservoir water. In this paper, rule curves of Doroudzan dam in Fars province, has been derived, using standard operating policy (SOP), hedging rules and linear programming. The objective function is water deficit minimization during 2009-2013. Standard operating policies resulted in severe water shortages. To mitigate the severe water shortage in SOP, the hedging policy has been used, which accepts some present delivery deficit to reduce greater shortages in the future. The Genetic Algorithm has been used to find the hedging optimal factors. Finally, the results of SOP and hedging-GA are compared to a linear programming model, based on hedging rules' model. Total shortage in hedging-GA was 84.19 MCM, hedging-LP was 219.5 MCM and in SOP was 216.57 MCM. The GA-hedging model by supplying 88.33% of demands, controlled the amount of shortage as well as the shortage severity. In addition, the average reservoir storage was highest among the three methods. Comparison of the mentioned models using assessment criteria including time reliability, volume reliability and vulnerability showed that hedging-GA model was less vulnerable and more reliable. Therefore, this model performance was better than the other two models.

Keywords: Genetic Algorithm, Linear Programming, Optimal operation, Hedging, Rule curve

1- M.Sc. Graduate of Water Engineering Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran
2-Associate Professor, Department of Water Engineering. Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran
3- Assistant Professor, Department of Water Engineering. Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran
(*- Corresponding Author Email: kouroshqaderi@uk.ac.ir)

www.SID.ir