

کاربرد الگوریتم فرا ابتکاری کرم شب تاب (FA) در تخصیص بهینه منابع آب چاه نیمه‌ی سیستان تحت سناریوی توسعه‌ی کشاورزی

صفیه نوری^۱، جواد شهرکی^{۲*}، علی سردار شهرکی^۳

چکیده

با وجود مطالعات فراوانی که تاکنون در بهره‌برداری از مخازن انجام شده اند، به دلیل تمایل محققان به کاهش خطا در محاسبات، این موضوع هنوز جای بررسی داشته و به آن علاقمندند. در این راستا استفاده از توانمندی الگوریتم‌های فرا کاوشی که عموماً برگرفته از طبیعت هستند، در مسائل پیچیده بهینه‌سازی استفاده قرار می‌شود و در سال‌های اخیر به شدت به آنها توجه شده است. از این رو در پژوهش حاضر، سعی گردیده است که تخصیص بهینه‌ی منابع آب مخازن چاه نیمه سیستان تحت سناریوهای مدیریتی با استفاده از روش فرا ابتکاری کرم شب تاب بررسی شد. نتایج تحقیق نشان می‌دهند که بهترین مقدار تابع هدف ۶۶/۲۳۰۹ میلیون مترمکعب بوده است. همچنین در سال‌های اولیه، مقدار رهاسازی بهینه‌ی الگوریتم کرم شب تاب به میزان ۲۹/۱۳۷۶ میلیون مترمکعب با میزان تقاضا ۹۸/۱۳۲۱ میلیون مترمکعب به دست آمده که به مقدار ۶۹/۱۷۴۵ میلیون مترمکعب عدم تأمین نیاز وجود داشته است. نتایج ارزیابی سناریوهای مختلف مدیریتی نشان داد که در صورت اجرای این طرح‌ها، حجم آب تخصیص یافته به بخش کشاورزی کاهش چشم‌گیری خواهد داشت. از این رو پیشنهاد می‌شود با توجه به ماهیت الگوریتم‌های فرا ابتکاری در تخصیص آب، در مخازن مربوطه از این الگوریتم‌های استفاده گردد.

واژه‌های کلیدی: بهره‌برداری، الگوریتم فرا کاوشی کرم شب تاب، بهینه‌سازی، چاه نیمه‌ی سیستان

^۱ کارشناس ارشد اقتصاد کشاورزی، دانشگاه سیستان و بلوچستان

^۲ نویسنده مسئول: دانشیار علوم اقتصادی، دانشگاه سیستان و بلوچستان

^۳ استادیار اقتصاد کشاورزی، دانشگاه سیستان و بلوچستان

* نویسنده مسئول: j.shahraki@eco.usb.ac.ir

مقدمه

آب منبع حیاتی برای هر پدیده‌ی زیستی و انسانی است. امروزه مدیریت و حفاظت آب نه تنها در کشورهای در حال توسعه، بلکه در کشورهای توسعه یافته هم دارای اهمیت بالایی است (فروریلو و همکاران، ۲۰۰۷). چالش‌های بزرگی برای تأمین آب لازم برای جمعیت در حال افزایش وجود دارد. یکی از بزرگ‌ترین مصرف‌کنندگان منابع آب، کشاورزان هستند که میزان آب مصرفی در بخش کشاورزی حدود ۷۰ درصد آب مصرفی جهان است. افزایش روزافزون جمعیت و کمبود منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی و بهره‌وری بیش از حد و نامناسب از منابع آبی باعث برهم خوردن تعادل در نظام عرضه و تقاضای منابع آبی شده است، که نیازمند مدیریت و برنامه‌ریزی صحیح و کارآمد برای تخصیص و بهینه کردن مصرف آب است. تخصیص آب مخازن به بخش‌های مصرفی، بحثی چالش برانگیز و نیازمند تعیین اولویت، بسته به اهمیت بخش مصرفی در هر منطقه است (طالبی و همکاران، ۱۳۹۲). توسعه‌ی منطقه‌ای و ناحیه‌ای با منابع آب و کمیت و کیفیت آن ارتباط تنگاتنگ دارد، لذا، استفاده‌ی بهینه‌ی از آب‌های انتقالی و ذخایر زیرزمینی امری حیاتی است. همچنین، نقش آب به عنوان یک عنصر اساسی در توسعه‌ی اقتصادی کشور، اهمیت مدیریت و استفاده بهینه از منابع آب را دو چندان کرده است. استفاده صحیح و کارا از این کالای کمیاب، نیازمند برنامه‌ریزی است که ابزار برنامه‌ریزی، شناخت بدهای اقتصادی این کالای کمیاب است. یکی از چالش‌های موجود در مدیریت منابع آب، تخصیص بهینه‌ی آن بین بخش‌های مختلف است (محسنی و شهرکی، ۱۳۹۴؛ سردار شهرکی، ۱۳۹۵). در سال‌های اخیر، با توجه به جمعیت رو به رشد و محدودیت منابع آبی، تحقیقات مختلفی در زمینه‌ی مدیریت بهینه‌ی آب انجام شده‌اند. هر چند منابع آب موجود در کره‌ی زمین زیاد است، اما ۹۷ درصد این منابع شور بوده و مقدار بسیار محدودی از آن به طور مستقیم از سوی انسان استفاده می‌شود. همچنین کمی بیش از ۱/۷۶ درصد آب‌های کره زمین به صورت بلورها یا رودهای یخی از دسترس خارج شده و آنچه باقیمانده در عمق زمین ذخیره شده است (عزیزی، ۱۳۸۰). افزایش جمعیت، توسعه فعالیت‌های وابسته به آب و رقابت شدید بین بخش‌های مصرف‌کننده از سوئی و محدودیت روزافزون منابع آب در دسترس از

سوی دیگر، تأمین مصارف یک حوضه را با مشکلات جدی روبه‌رو نموده است (پرهیزکاری، ۱۳۹۲). منطقه‌ی سیستان، به دلیل خشک‌سالی‌های پی‌درپی و شرایط ویژه آب‌شناسی و مکانی آن، خصوصیات منحصر به فردی به این ناحیه می‌بخشد. قرار گرفتن در انتهای یک حوضه آبخیز بسته، نظام پیچیده آب‌شناسی رودخانه هیرمند و تأمین نیاز زیست‌محیطی هامون در شرایط حاد، همچنین وزش بادهای ۱۲۰ روزه به همراه بارندگی ناچیز سالانه، دمای زیاد و خاکی با نفوذپذیری کم از یک سو، و محدودیت منابع آب زیرزمینی، منابع آب سطحی مشترک با کشور همسایه و عدم تسلط بر سرچشمه رود هیرمند در منطقه متعلق به ایران از سوی دیگر، شرایطی را به وجود آورده‌اند که این ناحیه موقعیت ویژه‌ای داشته باشد. این در حالی است که میزان بارندگی در این منطقه یک پنجم میانگین کشوری (۵۰ میلی‌متر در سال) و میزان تبخیر ۲ تا ۲/۵ برابر میانگین کشوری است (۳ تا ۴ هزار میلی‌متر). تنها منبع آب در این منطقه مخازن چاه نیمه است. مخازن آب شیرین چاه نیمه‌های سیستان به صورت گودال‌های طبیعی در جنوب سیستان و در فاصله ۵ کیلومتری شهر زهک و ۳۰ کیلومتری شهر زابل با وسعت ۴۶ کیلومترمربع در انتهای حوضه رودخانه هیرمند احداث شده است. این مخازن با آب باران و جریان رود سیستان پر می‌شوند. حجم کل مخازن مربوط به چاه نیمه‌ها ۱۴۴۰ میلیون مترمکعب است که فقط حدود ۹۰۰ میلیون مترمکعب آن قابل استفاده است. این مخازن اصلی‌ترین منبع تأمین بخش شرب و کشاورزی و محیط‌زیست منطقه است (سردار شهرکی و همکاران، ۱۳۹۵). مسئله بهره‌برداری بهینه از مخازن سد یکی از مهم‌ترین اهداف مدیران منابع آب است. با توجه به ماهیت مسئله و افزایش تعداد متغیرها و قیدها روش‌های برنامه‌ریزی دیگر نمی‌توانند پاسخگوی حل این گونه مسائل باشند، بنابراین امروزه از روش‌های فرا ابتکاری برای بهینه کردن استفاده می‌شود یکی از مزیت‌های الگوریتم‌های فرا ابتکاری، سرعت در رسیدن به جواب بهینه است که در ابعاد و متغیرهای بزرگ قابل محاسبه بوده، و توجه بسیاری از مهندسين منابع آب را به خود اختصاص داده است.

پیشینه تحقیق

حسن‌زاده و همکاران (۱۳۹۰) تحقیقی را در زمینه‌ی بهینه‌سازی محیط‌های ایستا با استفاده از الگوریتم کرم

کرم شب‌تاب عملکرد مناسبتری را نسبت به دو الگوریتم دیگر دارا بود. یانگ (۲۰۰۹) از الگوریتم کرم شب‌تاب (FA) به‌عنوان راه‌حل ۱۰ مسئله آزمون بهینه‌سازی استفاده کرد و نتایج حاصل از این الگوریتم را با الگوریتم‌های فرا ابتکاری ژنتیک (GA) و الگوریتم ازدحام ذرات (PSO) مقایسه کرد. نتایج تحقیق نشان داد که الگوریتم کرم شب‌تاب کارایی بالاتری نسبت به الگوریتم ژنتیک و ازدحام ذرات دارد. یانگ (۲۰۱۰) به‌منظور تنظیم خودکار فرانسج-های الگوریتم کرم شب‌تاب در روند حل و یافتن بهترین مقدار برای آن‌ها، از روش اعداد آشفته استفاده نمود. سپس نتایج تحقیق را با نتایج حالت ملاک الگوریتم کرم شب‌تاب (FA) برای مسئله شناخته‌شده تیر جوش داده مقایسه کرد. نتایج حاکی از عملکرد بهتر الگوریتم کرم شب‌تاب بود. یان و همکاران (۲۰۱۲) در پژوهشی نسخه تطبیق یافته‌ای از الگوریتم کرم شب‌تاب (FA) را استفاده نمودند. آن‌ها بیان کردند در مسائلی با ابعاد بزرگ (با متغیرهای تصمیم زیاد)، ثابت در نظر گرفتن فرانسج جذابیت در الگوریتم کرم شب‌تاب صحیح نمی‌باشد. از این‌رو، نتایج تحقیق کارآمدی بالاتر نسخه تطبیق یافته الگوریتم کرم شب‌تاب نسبت به الگوریتم کرم شب‌تاب ملاک را نشان داد.

روش تحقیق

الگوریتم کرم شب‌تاب (FA) مشابه دسته الگوریتم‌هایی است که مبتنی بر هوش جمعی هستند. اساس کار این الگوریتم با الهام گرفتن از رفتار کرم‌های شب‌تاب در طبیعت است. در بحث الهام گرفتن از رفتار کرم‌های شب‌تاب ۳ فرض اساسی برای پیاده‌سازی الگوریتم در نظر گرفته می‌شوند:

- (۱): همه کرم‌های شب‌تاب، تک جنسیتی هستند.
- (۲): جذابیت کرم‌های شب‌تاب متناسب با درخشندگی آن‌ها است. بنابراین برای هر دو کرم در حال درخشش، کرم شب‌تابی که کمتر می‌درخشد به سمت کرم شب‌تابی که بیشتر می‌درخشد حرکت می‌کند. (۳): درخشندگی کرم شب‌تاب بر اساس تابع هدف تعیین می‌گردد (یانگ، ۲۰۱۰).

در بحث کرم‌های شب‌تاب، جذابیت به‌صورت رابطه ۱ ارائه می‌شود (گروسی نژاد و حداد، ۱۳۹۲):

$$\beta = \frac{\beta_0}{1 + \gamma r^2} \quad (1)$$

شب‌تاب انجام دادند. در این تحقیق از طریق تغییر چگونگی کرم شب‌تاب و استفاده از بهینه‌سازی در جستجوی الگوریتم برای اینکه قدرت جستجو و دقت الگوریتم کرم شب‌تاب افزایش پیدا کند، کرم شب‌تاب بهبود یافته را پیشنهاد کردند. نتایج حاکی از آن بود که الگوریتم پیشنهادی از دقت بالایی برای پیدا کردن نقطه بهینه برخوردار بوده و توانسته است خطا را کاهش دهد. کامران‌پور و همکاران (۱۳۹۱) در پژوهشی به بررسی چند مسئله معیار با حالات و قیود مختلف با استفاده از الگوریتم کرم شب‌تاب و ممتیک کرم شب‌تاب پرداختند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهند که علاوه بر اینکه الگوریتم‌های فرا ابتکاری مسائل را با تقریب خوبی حل می‌کنند، الگوریتم ممتیک کرم شب‌تاب نتایج بهتری در مقایسه با الگوریتم کرم شب‌تاب ارائه نمود. گروسی نژاد و بزرگ حداد (۱۳۹۲) در پژوهشی به بهره‌برداری بهینه از مخزن سد آبی دوغموش واقع در استان آذربایجان شرقی با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی کرم شب‌تاب پرداختند. هدف این پژوهش تأمین نیاز کشاورزی پایین‌دست بود. در این راستا، برای نشان دادن میزان کارایی الگوریتم کرم شب‌تاب، دستاوردهای آن با نتایج بهینه‌ی سراسری حاصل از روش برنامه‌ریزی غیرخطی (NLP) مقایسه شد. نتایج نشان داد الگوریتم کرم شب‌تاب کمتر از یک درصد با نتایج بهینه سراسری روش برنامه‌ریزی غیرخطی اختلاف داشت.

حسینی موغاری و بنی حبیب (۱۳۹۳) در تحقیقی از الگوریتم کرم شب‌تاب به‌عنوان روشی نوین برای تعیین سیاست‌های بهینه‌ی بهره‌برداری از مخزن بازفت استفاده نمود. هدف این تحقیق کمینه کردن مجموع مجذور نسبت تفاضل مقدار نیاز و مقدار رهاسازی شده از مخزن، به بیشینه نیاز طی دوره بهره‌برداری بود. همچنین نتایج حاصل از الگوریتم کرم شب‌تاب با نتایج الگوریتم ژنتیک (GA) و الگوریتم ازدحام ذرات (PSO) مقایسه شد. نتایج نشان داد که الگوریتم کرم شب‌تاب عملکرد بهتری نسبت به الگوریتم ژنتیک و ازدحام ذرات دارد. زینلی و همکاران (۱۳۹۴) در پژوهشی با استفاده از الگوریتم کرم شب‌تاب به بهره‌برداری بهینه‌ی مخزن سد درود زن پرداختند. تحقیق با هدف میزان بهینه‌ی رهاسازی از مخزن سد درود زن در ماه‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت. برای تعیین میزان کارایی الگوریتم کرم شب‌تاب آن را با الگوریتم مورچگان و مورچگان پیوسته مقایسه کردند. نتایج نشان داد الگوریتم

در مطالعه حاضر تابع هدف، حداکثرسازی میزان تأمین آب از منابع آب چاه نیمه سیستم با توجه به قیود مسئله که شامل قیود الگوریتم و محدودیت‌های نظامی در سامانه‌ی منابع آب منطقه است.

$$function = Max \lambda_i \quad (۵)$$

در آن رابطه λ مقدار تأمین نیاز است که باید حداکثرسازی شود و t دوره‌های مدنظر است.

محدودیت‌های سامانه

تراز آب در مخزن به وسیله‌ی رابطه پیوستگی تعیین می‌گردد که به صورت رابطه ۶ تعریف می‌شود. از این رابطه در فرآیند الگوریتم برای به دست آوردن حجم مخزن در هر گام زمانی استفاده می‌شود:

$$S_{t+1} = S_t + I_t - R_t - E_t - S_{p_t} \quad (۶)$$

S_{t+1} : ذخیره مخزن در انتهای دوره t

S_t : ذخیره ابتدای دوره t

I_t : جریان ورودی مخزن در دوره t

R_t : رهاسازی مخزن در دوره t

E_t : حجم تبخیر از سطح مخزن

S_{p_t} : سرریز مخزن

حجم تبخیر در هر بازه زمانی تابعی از سطح مخزن و ارتفاع تبخیر است. رابطه سطح و حجم مخزن با روند یابی داده‌های سطح-حجم-ارتفاع مخزن تعیین شده است. (حسین‌زاده، ۱۳۹۴). مقدار سطح مخزن تعیین و با ضرب در ارتفاع تبخیر، حجم تبخیر با کاربرد رابطه ۷ و ۸ محاسبه می‌گردد:

$$3 \times 10^{-6} \times S_t^3 - 0.001 \times S_t^2 + 0.171 \times S_t + 0.149 \quad (۷)$$

$$E_t = A_t \times H_t \quad (۸)$$

تعریف متغیرها همانند رابطه قبل است. در این رابطه H_t ارتفاع تبخیر است (حسین‌زاده، ۱۳۹۴).

□ میزان جذابیت

□ ضریب جذب نور

فاصله r برای دو کرم شب تاب i و j که به ترتیب در موقعیت‌های X_i و X_j قرار گرفته‌اند با استفاده از رابطه ۲ به دست می‌آید:

$$r_{ij} = \|x_i - x_j\| = \sqrt{\sum_{k=1}^d (x_{i,k} - x_{j,k})^2} \quad (۲)$$

که در آن r_{ij} و $\| \cdot \|$ به ترتیب فاصله کارتزینی^۱ و فاصله برداری بین دو کرم شب تاب i و j هستند. d تعداد کل ابعاد، $x_{i,k}$ و $x_{j,k}$ به ترتیب k امین بعد از مختصات فضایی موقعیت کرم شب تاب i و j هستند. به سبب حرکت کرم شب تاب با نور کمتر به سمت کرم شب تاب با نور بیشتر، موقعیت جدید کرم شب تاب مطابق رابطه ۳ محاسبه می‌گردد (گروسی نژاد و حداد، ۱۳۹۲):

$$x_{i_{new}} = x_i + \beta(x_j - x_i) + \alpha \varepsilon_i \quad (۳)$$

α ضریب جهش

ε_i : بردار تصادفی برای کرم شب تاب

xinew موقعیت جدید کرم شب تاب

xi موقعیت فعلی کرم شب تاب

x موقعیت کرم شب تاب j با درخشندگی بیشتر

در صورت جایگذاری رابطه ۱ در رابطه ۳ و قرار دادن (random -0.5) به جای ε_i ، رابطه شماره ۱ به صورت رابطه ۴ بازنویسی می‌گردد (گروسی نژاد و حداد، ۱۳۹۲):

$$x_{i_{new}} = x_i + \beta_0 e^{-\gamma r_{ij}^2} (x_j - x_i) + \alpha (\text{rand} - 0.5) \quad (۴)$$

محدوده تغییرات فراسنج‌های α و γ با توجه به مطالب یانگ (۲۰۱۰) به ترتیب، $[10, \infty]$ و $[0, \infty]$ است. اما در رابطه با γ باید اشاره کرد که در عمل معمولاً در بازه $[0/10, 1]$ در نظر گرفته می‌شود (یانگ، ۲۰۱۰). در رابطه با α در تحقیقی که به وسیله‌ی حسن‌زاده و همکاران (۱۳۹۰) انجام شد. مقادیر مطلوب خارج از این بازه نیز نشان داده شد. لازم به ذکر است که β_0 با توجه به پیشنهاد یانگ (۲۰۱۰) و حسن‌زاده و همکاران (۱۳۹۰) معمولاً برابر یک در نظر گرفته می‌شود. شرایط توقف اجرای الگوریتم رسیدن به تعداد معینی از تکرار بوده که این تعداد برابر ۵۰۰ در نظر گرفته شده است.

هامون صابوری که در ایران قرار دارد، به عنوان مساحت لازم انتخاب گردید. هدف از اجرای این سناریو بررسی آثار بهینه سازی الگوریتم کرم شب تاب بر تثبیت ریزگردها و میزان آب بهینه ی به این سناریو است.

سناریوی ۳) توسعه سطح زیرکشت بر اساس

افق ۱۴۰۴: طبق سند چشم انداز ۱۴۰۴ (سال ۲۰۲۵ میلادی)، می بایست توسعه سطوح زیرکشت منطقه ی سیستان، به ۲۰۰ هزار هکتار برسد. لذا در این سناریو با هدف توسعه سطح زیر کشت منطقه سیستان تا افق مورد مطلوب به صورت درصدی (هر ساله ۱۰ درصد)، سطوح زیر کشت افزایش داده شده، تا با توجه به شرایط آبی منطقه سیستان بررسی شود که تا چه حد دستیابی به این سند و رشد و توسعه سطح زیر کشت قابل دستیابی است. اطلاعات مورد نیاز برای این سناریو از رساله دکتری سردار شهرکی (۱۳۹۵) اقتباس گردیده است.

جهت جمع آوری اطلاعات لازم برای انجام پژوهش حاضر، از طریق بررسی سوابق مطالعاتی و استخراج متغیرهای مورد استفاده، مطالعات کتابخانه ای (بررسی اسناد، مدارک و آرشیو اطلاعات مربوط به منطقه مورد مطالعه و شبکه های آبیاری و زهکشی، معاونت امور آب و آبفای استان، شرکت آب منطقه ای سیستان و بلوچستان، وزارت جهاد کشاورزی و سازمان جهاد کشاورزی استان، آمارنامه های کشاورزی استان سیستان و بلوچستان، مطالعات جامع شرکت های مشاور آب استخراج شده است. همچنین طول دوره آماری برای الگوریتم کرم شب تاب از مهرماه ۱۳۶۴ تا شهریورماه ۱۳۹۵ به مدت ۳۸۴ ماه (۳۲ سال) و برای سناریوهای مدیریتی از فروردین ۱۳۹۴ تا اسفند ۱۴۲۴ به مدت ۳۶۰ ماه (۳۰ سال) است.

مدل سازی مربوطه در نرم افزار MATLAB انجام گرفته است (نوری، ۱۳۹۶).

یافته های تحقیق

مقادیر فراسنج های الگوریتم کرم شب تاب نظیر m ، α ، γ و β_0 مطابق با جدول ۱ انجام شده و مناسب ترین مقادیر این فراسنج ها که در کنار هم کم ترین مقدار را برای تابع هدف تولید می نمایند. نتایج حاصل از پنج مرتبه اجرای الگوریتم کرم شب تاب در جدول ۷ آورده شده است.

قیود دیگری در این مسئله بهینه سازی وجود دارند، میزان رهاسازی از مخزن در هر دوره نباید از حدودی کمتر یا بیشتر باشد به عبارت دیگر همان طور که در معادله ۹ مشخص است، رهاسازی در هر بازه R_t بین میزان رهاسازی کمینه R_{Min} و میزان رهاسازی بیشینه R_{Max} باشد و از طرفی میزان حجم مخزن در هر دوره S_t نیز باید بین حجم کمینه S_{Min} و حجم بیشینه مخزن S_{Max} باشد:

$$R_{min} \leq R_t \leq R_{max} \quad (9)$$

$$S_{min} \leq S_t \leq S_{max} \quad (10)$$

رهاسازی از مخازن چاه نیمه، به ورودی و خروجی ها و همچنین به میزان تقاضا (نیاز) پایین دست، بستگی دارد. به عبارت دیگر می توان گفت، میزان رهاسازی از مخازن سدها، به حجم آب موجود در مخزن در هر دوره، ورودی و خروجی های آن دوره و میزان تقاضا (نیاز) پایین دست مخزن و همچنین رهاسازی دوره قبل از آن بستگی دارد. زیرا میزان ورودی ها و خروجی ها، ذخیره مخزن را تحت تأثیر قرار می دهد. لذا این قید که به نوعی همان قید پیوستگی است و همواره به صورت زنجیروار ادامه دارد و این قید که می توان از آن به عنوان قید زنجیره ای نام برد بایستی در بدنه الگوریتم اعمال شود (زینلی و همکاران، ۱۳۹۴).

الگوریتم لازم تحت ۳ سناریوی مدیریتی آب و خاک انجام شد. که در ذیل سناریوهای مذکور تشریح گردیده اند:

سناریوی ۱) انتقال خط لوله دوم آب شرب به

شهرستان زاهدان: یکی از طرح های توسعه آب در بخش شرب، راه اندازی خط لوله دوم انتقال آب شرب با ظرفیت ۴۱ میلیون مترمکعب در سال به شهرستان زاهدان در سال های آتی است. در این سناریو پیش بینی اثرات اجرای این طرح بر عرضه و تقاضای آب مدنظر است.

سناریوی ۲) تثبیت ریزگردها: طوفان های موسمی

مخصوصاً بادهای «۱۲۰ روزه» یکی از خصوصیات اقلیمی لاینفک منطقه سیستان می باشد که از اردیبهشت هر سال شروع و تا اواخر شهریور و زش آن ادامه پیدا می کند. در این سناریو این ماهها (اردیبهشت تا شهریور) به عنوان ماه های بحرانی انتخاب شده اند. در این سناریو بر اساس اولویت بندی هامون بر اساس کانون بحرانی ریزگردها، ۵۰ هکتار از

افزایش تعداد جمعیت کرم‌های شب تاب تأثیر مثبتی بر عملکرد الگوریتم نداشته و از طرفی سرعت اجرای برنامه را به شدت پایین می‌آورد. به هر حال نتیجه اعمال تعداد

مختلف کرم شب تاب بر عملکرد الگوریتم نشان داد که تعداد ۱۵۰ کرم شب تاب می‌تواند گزینه مناسبی برای تعداد اعضای جمعیت باشد.

جدول ۱- تأثیر تعداد کرم‌های شب تاب بر میزان برداشت از مخزن وسیله‌ی الگوریتم کرم شب تاب (FA).

تعداد کرم شب تاب	۵۰	۱۰۰	۱۵۰	۲۰۰	۲۵۰
میزان برداشت از مخزن	۶۹/۹۲۷۱	۶۷/۳۸۶۱	۶۷/۹۴۱۲	۶۸/۱۱۴	۶۹/۲۶۷۷
تعداد کرم شب تاب	۳۰۰	۳۵۰	۴۰۰	۴۵۰	۵۰۰
میزان برداشت از مخزن	۶۶/۲۳۰۹	۶۸/۰۳۳۶	۶۹/۴۶۲۹	۶۶/۵۴۵۲	۶۶/۳۰۲۷

منبع: یافته‌های تحقیق (واحد: میلیون مترمکعب)

هدف، تعداد ۴۰۰ کرم شب تاب تابع هدف با مقدار ۶۹/۴۶۲۹، تعداد ۴۵۰ کرم شب تاب مقدار ۶۶/۵۴۵۲/۵۴۵۲ میلیون مترمکعب برای تابع هدف و اگر به تعداد ۵۰۰ کرم شب تاب افزایش یابد مقدار ۶۶/۳۰۲۷ میلیون مترمکعب برای تابع هدف به دست می‌آید. نتایج تأثیر تغییر تعداد کرم شب تاب نشان می‌دهد که در تعداد ۳۰۰ کرم شب تاب میلیون مترمکعب کمتری برای الگوریتم مذکور دست می‌آید.

جدول ۱ تأثیر تعداد کرم‌های شب تاب بر عملکرد الگوریتم کرم شب تاب (FA) را نشان می‌دهد. تعداد کرم شب تاب ۵۰ مقدار ۶۹/۹۲۷۱ میلیون مترمکعب برای تابع هدف را نشان می‌دهد. اگر تعداد کرم شب تاب به ۱۰۰ افزایش پیدا کند مقدار تابع هدف ۶۷/۳۸۶۱ میلیون مترمکعب می‌شود. در تعداد ۳۵۰ کرم شب تاب مقدار تابع هدف ۶۸/۰۳۳۶ میلیون مترمکعب، برای تعداد ۴۰۰ کرم شب تاب مقدار ۶۹/۴۶۲۹ میلیون مترمکعب برای تابع

جدول ۲- تأثیر تغییر مقدار m بر عملکرد الگوریتم کرم شب تاب (FA).

مقدار m	۰	۰/۵	۱	۱/۵	۲
میزان برداشت از مخزن	۵۹/۵۰۴۲	۶۷/۳۵۲۸	۶۶/۲۳۰۹	۶۹/۸۱۳۰	۶۷/۳۱۵۶

منبع: یافته‌های تحقیق (واحد: میلیون مترمکعب)

جدول ۲ تأثیر تغییر میزان جذابیت در هر فاصله m بر عملکرد الگوریتم کرم شب تاب را نشان می‌دهد.

جدول ۳- تأثیر تغییر مقدار فراسنج γ بر عملکرد الگوریتم کرم شب تاب (FA).

تغییر γ	۰	۰/۵	۱	۲	۵
میزان برداشت از مخزن	۶۸/۴۳	۶۷/۱۰۹۷	۶۶/۲۳۰۹	۶۹/۱۴۴	۷۳/۱۶۶۵

منبع: یافته‌های تحقیق (واحد: میلیون مترمکعب)

در جدول ۳ مقدار صفر برای ضریب جذب نور را نشان می‌دهد.

جدول ۴- تأثیر تغییر مقدار فراسنج α بر عملکرد الگوریتم کرم شب تاب (FA).

تغییر α	۰	۰/۰۵	۰/۱	۰/۵	۱	۲	۵
مقدار تابع هدف	*	۷۴/۴۵۸۷	۷۰/۰۸۸۷	۶۶/۹۷۱۳	۶۷/۷۸۳۱	۶۶/۲۳۰۹	۶۹/۸۳۵۳

*: الگوریتم نتوانسته راه حل بدون تخطی را بیابد

آلفا ۲ تابع هدف کمتری برای الگوریتم در مقایسه با مقادیر ذکر شده حاصل می‌شود.

جدول ۴ نتایج حاصل از تأثیر تغییر مقدار فراسنج α بر عملکرد الگوریتم کرم شب تاب نشان می‌دهد که در مقدار

جدول ۵- تغییر مقدار فراسنج β_0 بر عملکرد الگوریتم کرم شب تاب (FA).

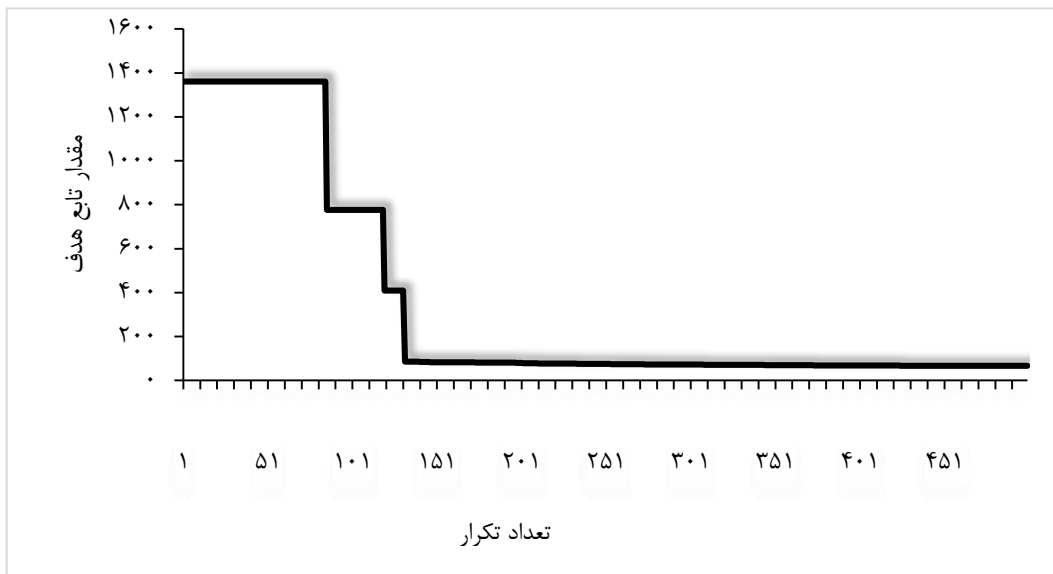
تغییر β_0	۰	۱	۲	۳	۴
مقدار تابع هدف	۶۷/۷۵۲۶	۶۷/۳۴۲۵	۶۶/۲۳۰۹	۷۲/۵۶۷۵	۷۳/۸۲۹۸

منبع: یافته‌های تحقیق (واحد: میلیون مترمکعب)
جدول ۵ مقادیر ضریب جذب پایه نشان می‌دهد.

جدول ۶- نتایج حاصل از پنج مرتبه اجرای الگوریتم کرم شب تاب (FA).

تکرار	۱	۲	۳	۴	۵
با در نظر گرفتن قیود زنجیره‌ای	۶۶/۲۳۰۹	۶۶/۴۹۳۴	۶۶/۷۵۰۷	۶۶/۸۵۴۶	۶۶/۴۴۳۹

منبع: یافته‌های تحقیق (واحد: میلیون مترمکعب)



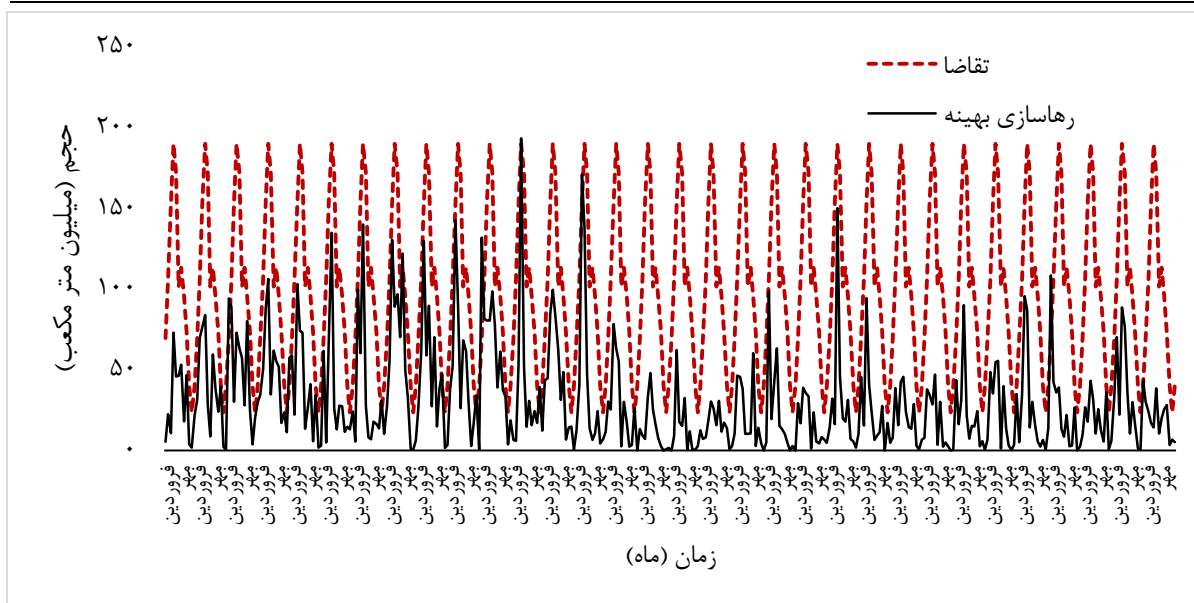
شکل ۱- نحوه عملکرد الگوریتم کرم شب تاب (FA) با در نظر گرفتن قیود زنجیره‌ای.

شب تاب هرچه تعداد تکرارها افزایش یابد تابع هدف هم افزایش پیدا می‌کند که به مقدار بهینه‌ی مناسب در مقایسه با الگوریتم‌های دیگر نخواهد رسید.

با توجه به میزان رهاسازی که با استفاده از این الگوریتم انجام شد، نتایج نشان داد که رهاسازی متناسب با مقدار تقاضای موجود را برآورده نمی‌کند. همچنین مقدار در تقاضا ثابت و برابر با مقدار ۹۸/۳۱۲۱ است.

نحوه عملکرد الگوریتم کرم شب تاب با در نظر گرفتن قیود زنجیره‌ای در شکل ۱ و رهاسازی بهینه و میزان تقاضا در شکل ۲ نشان داده شده است.

در شکل ۱ واضح است که عملکرد الگوریتم کرم شب تاب در تکرارهای اولیه نامناسب است تا جایی که از یک تکرار به بعد روند تقریباً ثابتی را در پیش گرفته است و همچنین نتیجه گرفته می‌شود که در الگوریتم کرم



شکل ۲- مقدار رهاسازی بهینه خروجی الگوریتم کرم شب تاب (FA) و مقدار تقاضا.

نتایج حاصل از پنج مرتبه اجرای الگوریتم کرم شب تاب در جدول ۷ آورده شده است.

نتایج حاصل از اجرای الگوریتم کرم شب تاب برای سناریوی اول: انتقال خط لوله دوم آب شرب به زاهدان

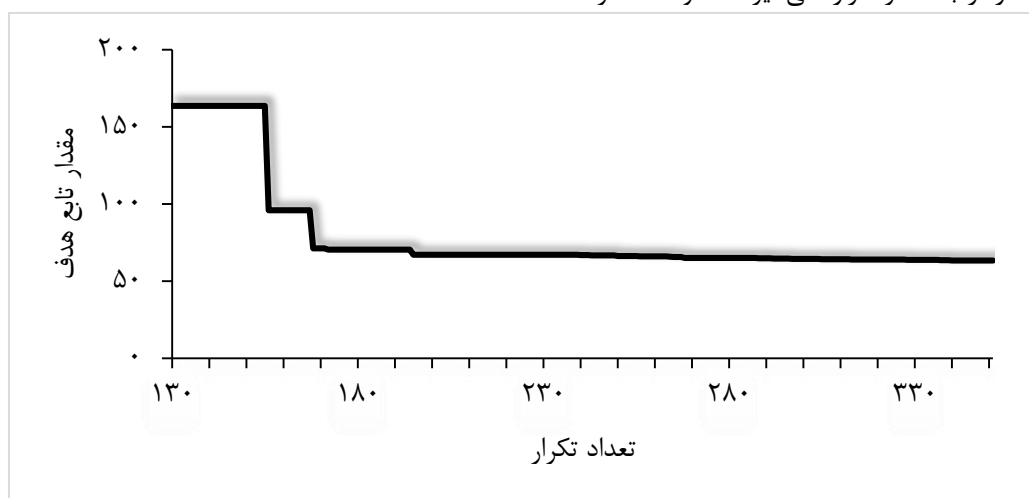
جدول ۷- نتایج حاصل از پنج مرتبه اجرای الگوریتم کرم شب تاب برای سناریوی اول.

تکرار	۱	۲	۳	۴	۵
با در نظر گرفتن قیود زنجیره ای	۶۵/۲۲۱۶	۶۳/۵۹۲۹	۶۳/۳۳۸۵	۶۷/۵۸۸۸	۶۲/۶۸۷۵

منبع: یافته‌های تحقیق (واحد: میلیون مترمکعب)

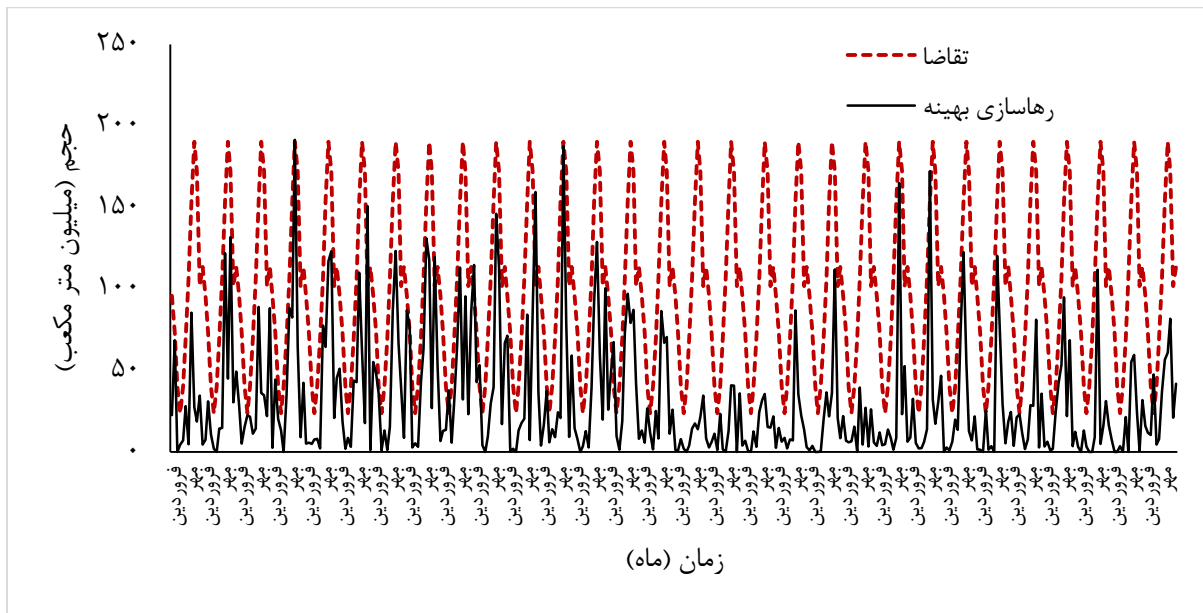
الگوریتم کرم شب تاب با در نظر گرفتن قیود زنجیره ای در شکل ۳ و رهاسازی بهینه و میزان تقاضا در شکل ۴ نشان داده شده است.

از مقایسه نتایج الگوریتم کرم شب تاب (FA) می توان دریافت که کارایی الگوریتم کرم شب تاب در بین همه الگوریتم‌ها در رتبه آخر قرار می گیرد. نحوه عملکرد



شکل ۳- نحوه عملکرد الگوریتم کرم شب تاب با در نظر گرفتن قیود زنجیره ای برای سناریوی اول

همان طور که در شکل ۳ مشاهده می‌گردد، روند عملکرد الگوریتم همانند حالت پایه الگوریتم کرم شب تاب است و تفاوتی با آن ندارد.



شکل ۴- مقدار رها سازی بهینه ی خروجی الگوریتم کرم شب تاب و تقاضا برای سناریو اول

نتایج حاصل از پنج مرتبه اجرای الگوریتم کرم شب تاب نشان می‌دهد که این الگوریتم برای این سناریو توانایی یافتن مقادیر شدنی (بدون تخطی) را نداشته است.

نتایج حاصل از اجرای الگوریتم کرم شب تاب برای سناریوی سوم: توسعه سطح زیر کشت بر اساس افق ۱۴۰۴

نتایج حاصل از پنج مرتبه اجرای الگوریتم کرم شب تاب در جدول (۸) آورده شده است.

جدول ۸- نتایج حاصل از پنج مرتبه اجرای الگوریتم کرم شب تاب برای سناریو سوم.

تکرار	۱	۲	۳	۴	۵
با در نظر گرفتن قیود زنجیره‌ای	۶۹/۶۱۸۶	۶۹/۴۱۹۴	۶۹/۶۰۳۶	۶۸/۰۰۷۰	۶۹/۷۴۲۹

منبع: یافته‌های تحقیق (واحد: میلیون مترمکعب)

بهره‌برداری از مخازن چاه نیمه بوده است و در این سه سناریو همواره رتبه آخر را در بین الگوریتم‌ها (از نظر کارایی) داشته است یا نتوانسته راه‌حل‌های بدون تخطی را بیابد. نحوه عملکرد الگوریتم کرم شب تاب با در نظر گرفتن قیود زنجیره‌ای در سناریوی سوم در شکل (۵) و رها سازی بهینه و میزان تقاضا در شکل (۶) نشان داده شده است.

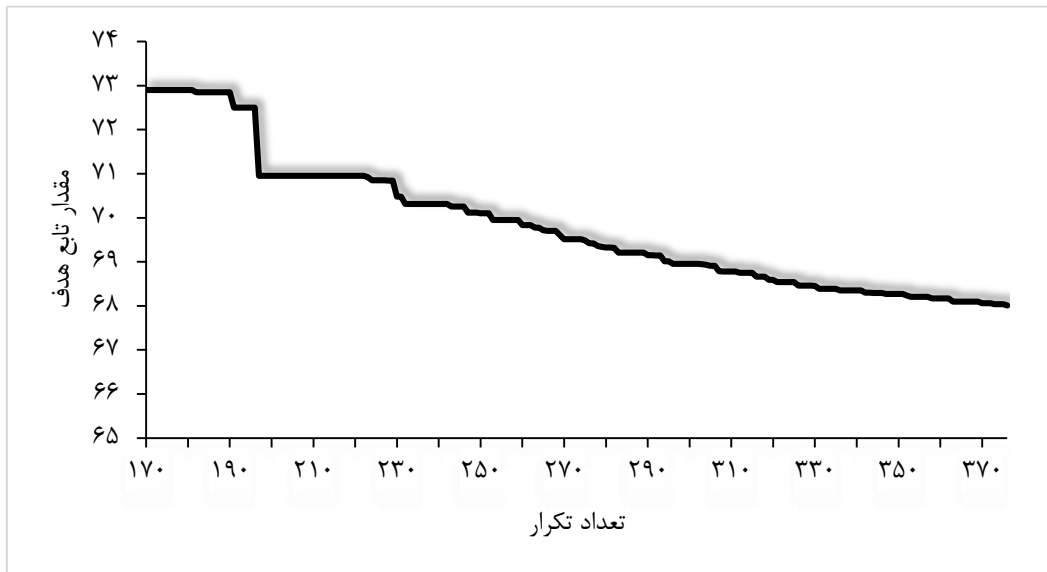
در شکل فوق می‌توان دید که نمودار رها سازی الگوریتم کرم شب تاب در سناریوی اول همانند نمودار رها سازی حالت پایه (حالت اولیه اجرای الگوریتم بدون در نظر گرفتن سناریوهای مدیریتی) بوده و تغییری در آن به وجود نیامده است.

نتایج حاصل از اجرای الگوریتم کرم شب تاب برای سناریوی دوم

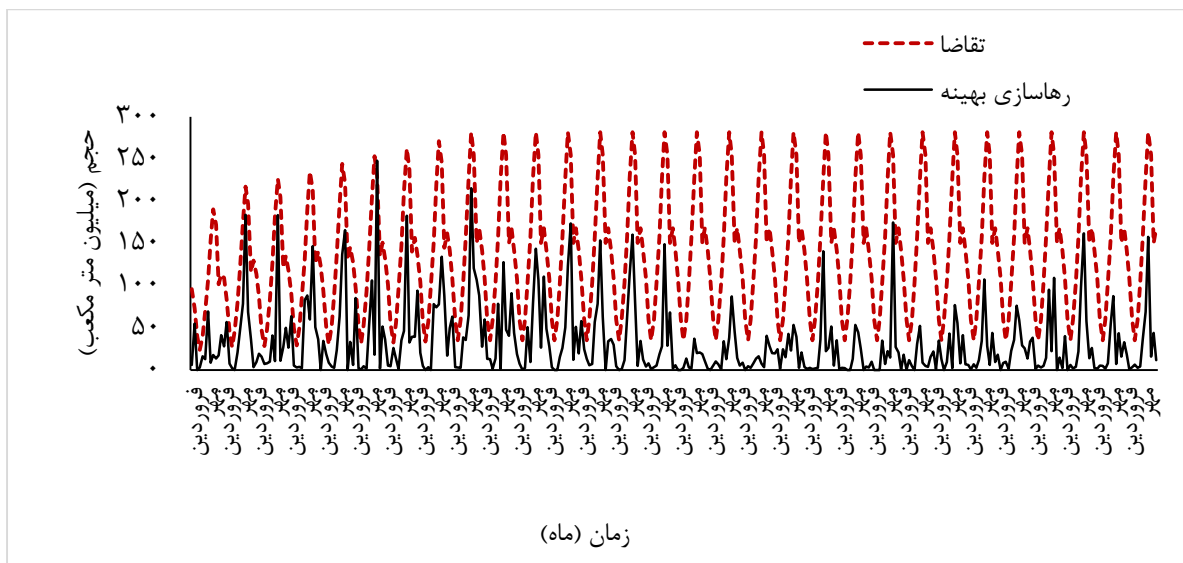
هدف از اجرای این سناریو بررسی آثار بهینه سازی الگوریتم کرم شب تاب بر تثبیت ریزگردها و میزان آب بهینه به این سناریو است.

با توجه به اجزای صورت گرفته واضح است که در تکرار چهارم الگوریتم کرم شب تاب مقدار تابع هدف (میزان برداشت از مخزن) کمتری به دست آمده است.

با توجه به جدول (۸) و مقایسه آن با نتایج دیگر الگوریتم‌ها ملاحظه می‌گردد که الگوریتم کرم شب تاب یکی از ناکارآمدترین الگوریتم‌ها در مسئله بهینه سازی



شکل ۵- نحوه عملکرد الگوریتم کرم شب تاب با در نظر گرفتن قیود زنجیره ای برای سناریو سوم



شکل ۶- مقدار رهاسازی بهینه خروجی الگوریتم کرم شب تاب و تقاضا برای سناریو سوم.

و سناریوی دوم) بوده است و تخطی از میزان تقاضا نداشته است.

نتیجه گیری

در این تحقیق کاربرد الگوریتم کرم شب تاب در تخصیص بهینه منابع آب چاه نیمه سیستان در یک دوره ۳۸۴ ماه (۱۳۹۵-۱۳۶۴) و برای سناریوهای مدیریتی به مدت ۳۶۰ ماه (۱۴۲۴-۱۳۹۴) مورد بررسی قرار گرفت.

در شکل ۵ ملاحظه می گردد که عملکرد الگوریتم کرم شب تاب در تکرارهای مختلف نوسان پذیر است و با افزایش تکرار مقدار تابع هدف نیز افزایش می یابد.

همان طور که در شکل ۶ ملاحظه می گردد مقدار رهاسازی با استفاده از الگوریتم کرم شب تاب همانند حالت پایه (حالت اولیه اجرای الگوریتم قبل از اتخاذ سناریوهای مدیریتی) و همین طور مانند سناریوهای قبل (سناریوی اول

۲) حسن‌زاده ط، میبیدی م. ر و محمودی ف، ۱۳۹۰. ارائه یک الگوریتم کرم شب‌تاب بهبودیافته برای بهینه‌سازی در محیط‌های ایستا. پنجمین کنفرانس داده‌کاوی ایران. دانشگاه صنعتی امیرکبیر. تهران. ایران. ۲۲ و ۲۳ آذر.

۳) حسینی موغاری س.م و بنی حبیب م.ا، ۱۳۹۳. بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخزن برای تأمین آب کشاورزی با استفاده از الگوریتم کرم شب‌تاب. نشریه حفاظت منابع آب و خاک. سال سوم. شماره چهارم.

۴) حسین زاده فهیمه، ۱۳۹۴. بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخزن سد با ورودی فصلی به روش الگوریتم رقابت استعماری (مطالعه موردی: سد پیشین). پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده عمران. دانشگاه سیستان و بلوچستان. زاهدان.

۵) زینلی م.ج، محمدرضا پور ا.ا و فروغی ف، ۱۳۹۴. به‌کارگیری الگوریتم کرم شب‌تاب در بهینه‌سازی بهره‌برداری از سد درودزن. فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب. سال ششم. شماره بیست و یکم: ۴۵-۳۳.

۶) سردار شهرکی ع، ۱۳۹۵. تخصیص بهینه منابع آب حوضه آبریز هیرمند با کاربرد تئوری بازی و ارزیابی سناریوهای مدیریتی. پایان نامه دکتری اقتصاد کشاورزی. دانشکده مدیریت و اقتصاد. دانشگاه سیستان و بلوچستان. زاهدان.

۷) سردار شهرکی ع، شهرکی ج و هاشمی منفرد س.آ، ۱۳۹۵. بررسی رویکردهای مدیریتی بهره‌برداری منابع آب منطقه سیستان با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP). پژوهش‌های مدیریت عمومی. سال نهم. شماره سی و یکم. صفحه ۹۸-۷۳.

۸) طالبی ع، قربانی م. ع و دانش فراز ر، ۱۳۹۲. اولویت‌بندی تخصیص آب سد قشلاق سندانج با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP). اولین همایش ملی بهینه‌سازی مصرف آب.

۹) عزیزی ج، ۱۳۸۰. پایداری آب کشاورزی فصلنامه اقتصاد کشاورزی و توسعه. سال نهم. شماره ۳۶. ۱۳۶-۱۱۳

کامران پور م، یعقوبی م و کشاورزبان پ، ۱۳۹۱. بهینه‌سازی قابلیت اطمینان با استفاده از الگوریتم ممتیک کرم شب‌تاب. یازدهمین کنفرانس سراسری دستگاه‌های

از این رو هدف تحقیق حاضر با توجه به لزوم استفاده بهینه از منابع آب و وجود روش‌های مختلف بهینه‌سازی، کاربرد الگوریتم فرا ابتکاری کرم شب‌تاب در تخصیص بهینه آب مخازن چاه نیمه در منطقه سیستان تحت سناریوهای مدیریتی منابع آب است. نتایج میزان تخصیص بهینه بر اساس الگوریتم کرم شب‌تاب نشان داده که در سال اول به میزان ۲۹/۱۳۷۶ میلیون مترمکعب رهاسازی بهینه‌شده با میزان تقاضا ۹۸/۳۱۲۱ میلیون مترمکعب که به مقدار ۶۹/۱۷۴۵ میلیون مترمکعب عدم تأمین نیاز وجود دارد. در سال دوم مقدار بهینه‌ی رهاسازی ۳۸/۶۹۴۰ میلیون مترمکعب نسبت به سال اول افزایش داشته با همان میزان تقاضای سال اول به مقدار ۹۸/۳۱۲۱ میلیون مترمکعب که در این سال هم به میزان ۵۹/۶۱۸۱ میلیون مترمکعب عدم تأمین نیاز وجود داشته است در سال سوم و چهارم مقدار بهینه‌ی رهاسازی با مقادیر ۴۹/۴۷۲۳ و ۴۹/۳۹۶۱ میلیون مترمکعب در مقایسه با سال‌های اول افزایش داشته که میزان عدم تأمین نیاز در این سال‌ها به ترتیب مقادیر ۴۸/۸۳۹۸، ۴۸/۹۱۶، ۴۸/۸۳۹۸ میلیون مترمکعب همچنین در سال نوزدهم و بیستم نسبت به سال هجدهم مقدار بهینه‌ی رهاسازی با مقادیر ۲۱/۱۸۰۲ و ۲۲/۹۹۹۵ میلیون مترمکعب افزایش داشته است مقادیر عدم تأمین نیاز برای سال نوزدهم برابر ۷۷/۱۳۱۹ و برای سال بیستم برابر ۷۵/۳۱۲۶ میلیون مترمکعب است. در سال سی‌ام نسبت به سال بیست و نهم با مقدار بهینه‌ی رهاسازی ۱۸/۹۱۲۱ میلیون مترمکعب کاهش داشته که در این سال میزان عدم تأمین نیاز برابر با ۷۹/۴ میلیون مترمکعب است و همچنین در سال‌های سی‌ویک و سی‌دو مقادیر بهینه‌ی رهاسازی ۳۵/۸۱۵۹، ۱۸/۶۴۹۳ میلیون مترمکعب است که مقدار بهینه‌ی رهاسازی در سال سی‌ویک نسبت به سال سی‌ام افزایش و مقدار بهینه‌ی رهاسازی سال سی و دوم نسبت به سال قبل خود کاهش داشته است میزان عدم تأمین نیاز برای دو سال آخر به ترتیب برابر است با ۶۲/۴۹۶۲ و ۷۹/۶۶۲۸ میلیون مترمکعب با توجه به اینکه میزان تقاضا برای همه سال‌ها مقدار ثابت ۹۸/۳۱۲۱ حاصل شده است.

منابع

۱) پرهیزکاری ا، ۱۳۹۲. تعیین ارزش اقتصادی آب آبیاری و پاسخ کشاورزان به سیاست‌های قیمتی و غیر قیمتی در استان قزوین. پایان‌نامه کارشناسی ارشد اقتصاد کشاورزی. دانشکده کشاورزی. دانشگاه زابل. ۱۱۵ص.

هوشمند. انجمن دستگاه‌های هوشمند ایران. دانشگاه خوارزمی.

۱۰) گروسی نژاد آ، بزرگ حداد، ۱۳۹۲. بهره‌برداری بهینه از مخزن با استفاده از پیاده‌سازی الگوریتم بهینه‌سازی کرم شب تاب. پنجمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران. دانشگاه شهید بهشتی. ایران.

۱۱) محسنی س، شهرکی ج، ۱۳۹۴. کاربرد برنامه‌ریزی فازی خاکستری در تخصیص منابع آب شهرستان یزد. تحقیقات اقتصاد کشاورزی. جلد ۷. شماره ۳. ص ۹۰-۷۳. ۱۲) نوری صفیه، ۱۳۹۶. کاربرد الگوریتم های فرا ابتکاری در مدیریت تخصیص بهینه مخازن آب چاه نیمه سیستان. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده محیط زیست و کشاورزی پایدار. دانشگاه سیستان و بلوچستان. زاهدان.

13) Fiorillo F, Palestrini A, Polidori P, Socci. 2007. Modelling water policies with sustainability constraints: a dynamic accounting analysis *Ecological Economics* 63(2-3): 392-402. C .

14) Yan, X., Zhu, Y., Wu, J., and Chen, H. 2012 An Improved Firefly Algorithm With Adaptive Strategies J. *Advanced Science Letters*. 12 249-254.

15) Yang X. Sh. 2009. Firefly Algorithm for Multi-model Optimization. *Stochastic Algorithm: Foundations and Applications*. 5792(12):169-178.

16) Yang X. Sh. 2010. *Engineering Optimization an Introduction with Meta-heuristic Applications*. Wiley Inter-science. New York. 222.p