کاربرد الگوریتم فرا ابتکاری کرم شب‌تاب (FA) در تخصیص بهینه‌ی منابع آب چاه نیمه‌ی سیستان تحت سناریوی توسعه‌ی کشاورزی

صفیه نوری[۱]، جواد شهرکی[۲*]، علی سردارشهرکی[۳]

چکیده

باوجود مطالعات فراوانی که تاکنون در بهره‌برداری از مخازن انجام‌شده 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 می شود و در سال‌های اخیر به‌شدت به آنها توجه شده است. ازاین‌رو 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 شب‌تاب 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 شب‌تاب به میزان ۲۹/۱۳۷۶ میلیون مترمکعب با میزان تقاضا ۹۸/۱۳۲۱ میلیون مترمکعب به‌دست‌آمده 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 تخصیص‌یافته به بخش کشاورزی کاهش چشم‌گیری خواهد داشت. از اینرو پیشنهاد می‌شود با توجه به ماهیت الگوریتم های فراابتکاری در تخصیص آب، در مخازن مربوطه از این الگوریتم های استفاده گردد.

واژه های کلیدی: بهره‌برداری، الگوریتم فرا کاوشی کرم شب‌تاب، 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 نه‌تنها در کشورهای در حال توسعه، بلکه در کشورهای توسعه‌یافته 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 بیش‌ازحد 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 چالش‌برانگیز 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 به‌عنوان 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 بعدهای اقتصادی این کالای کمیاب است. یکی از چالش‌های موجود در مدیریت منابع آب، تخصیص بهینه‌ی آن بین بخش‌های مختلف است (محسنی و شهرکی، ۱۳۹۴؛ سردارشهرکی، 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 به‌طور مستقیم از سوی انسان استفاده میشود. همچنین کمی بیش از ۱/۷۶ درصد آب‌های کره زمین به‌صورت بلورها یا رودهای یخی از دسترس خارج‌شده 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 سویی 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 یک‌سو، 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 یک‌پنجم 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 چاه‌نیمه است. مخازن آب شیرین چاه‌نیمه‌های سیستان به‌صورت گودال‌های طبیعی در جنوب سیستان و در فاصله ۵ کیلومتری شهر زهک و۳۰ 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 چاه‌نیمه‌ها 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 (سردارشهرکی 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 این‌گونه 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 قابل‌محاسبه بوده، و توجه بسیاری از مهندسین 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

شب‌تاب انجام دادند. در این تحقیق از طریق تغییر چگونگی کرم شب‌تاب و استفاده از بهینه سراسری در جستجوی الگوریتم برای اینکه قدرت جستجو و دقت الگوریتم کرم شب‌تاب افزایش پیدا کند، کرم شب‌تاب بهبودیافته 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 می دهند 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 آی دوغموش واقع در استان آذربایجان‌شرقی 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 تفاضلِ 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 موردبررسی قرار گرفت. برای تعیین میزان کارایی الگوریتم کرم شب‌تاب آن را با الگوریتم مورچگان و مورچگان پیوسته مقایسه کردند. نتایج نشان داد الگوریتم 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 فراسنج-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 فراسنج جذابیت در الگوریتم کرم شب‌تاب صحیح نمی‌باشد. ازاین‌رو، 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):

$$\beta = \frac{\beta_0}{1+\gamma r^2} \qquad (۱)$$

β میزان جذابیت

ضریب جذب نور

فاصله r برای دو کرم شب‌تاب i و j که به ترتیب در موقعیت‌های X_i و X_j قرارگرفته‌اند با استفاده از رابطه ۲ به دست می‌آید:

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

که در آن r_{ij} و $\left\| \right\|$ به ترتیب فاصله کارتزینی[1] و فاصله برداری بین دو کرم شب‌تاب 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 شب‌تاب i و j هستند. به سبب حرکت کرم شب‌تاب با نور کمتر به سمت کرم شب‌تاب با نور بیشتر، موقعیت جدید کرم شب‌تاب مطابق رابطه ۳ محاسبه می‌گردد (گروسی نژاد و حداد، ۱۳۹۲):

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

α ضریب جهش

ε_i: بردار تصادفی برای کرم شب‌تاب

xinew موقعیت جدید کرم شب‌تاب

xi موقعیت فعلی کرم شب‌تاب

x j موقعیت کرم شب‌تاب j با درخشندگی بیشتر

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

$$x_{i_{new}} = x_i + \beta_0 e^{-\gamma r_{ij}^2}\left(x_j - x_i\right) + \alpha\left(rond - 0.5\right) \qquad (۴)$$

محدوده تغییرات فراسنج‌های α و γ با توجه به مطالب یانگ (۲۰۱۰) به ترتیب، [۰،۱] و [۰، ∞] است. اما در رابطه با γ باید اشاره کرد که در عمل معمولاً در بازه [۰/۱۰،۱] 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 گرفته‌شده است.

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

$$function = Max \ \ \lambda_t \qquad (۵)$$

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 به‌صورت رابطه ۶ تعریف می‌شود. از این رابطه در فرآیند الگوریتم برای به دست آوردن حجم مخزن در هر گام زمانی استفاده می‌شود:

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

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 تعیین‌شده است. (حسین‌زاده، ۱۳۹۴). مقدار سطح مخزن تعیین و با ضرب در ارتفاع تبخیر، حجم تبخیر با کاربرد رابطه ۷ و ۸ محاسبه می‌گردد:

$$: 3\times10^{-6}\times S_t^{\,3} - 0.001\times S_t^{\,2} + 0.171\times S_t + 0.149 \qquad (۷)$$

$$E_t = \mathrm{A}_t \times \mathrm{H}_t \qquad (۸)$$

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

قیود دیگری در این مسئله بهینه‌سازی وجود دارند، میزان رهاسازی از مخزن در هر دوره نباید از حدودی کمتر یا بیشتر باشد به‌عبارت‌دیگر همان‌طور 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:

$$R_{\min} \le R_t \le R_{\max} \qquad (۹)$$

$$S_{\min} \le S_t \le S_{\max} \qquad (۱۰)$$

رهاسازی از مخازن چاه‌نیمه، به ورودی و خروجی‌ها و همچنین به میزان تقاضا (نیاز) پایین‌دست، بستگی دارد. به عبارت دیگر می‌توان گفت، میزان رهاسازی از مخازن سدها، به حجم آب موجود در مخزن در هر دوره، ورودی و خروجی‌های آن دوره و میزان تقاضا (نیاز) پایین‌دست مخزن و همچنین رهاسازی دوره قبل از آن بستگی دارد. زیرا میزان ورودی‌ها و خروجی‌ها، ذخیره مخزن را تحت تأثیر قرار می‌دهد. لذا این قید که به‌نوعی همان قید پیوستگی است و همواره به‌صورت زنجیروار ادامه دارد و این قید که می‌توان از آن به‌عنوان قید زنجیره‌ای 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 گردیده‌اند:

سناریوی ۱) انتقال خط لوله دوم آب شرب به شهرستان زاهدان: یکی از طرح‌های توسعه آب در بخش شرب، راه‌اندازی خط لوله دوم انتقال آب شرب با ظرفیت ۴۱ میلیون مترمکعب در سال به شهرستان زاهدان در سال‌های آتی است. در این سناریو پیش‌بینی اثرات اجرای این طرح بر عرضه و تقاضای آب مدنظر است.

سناریوی۲) تثبیت ریزگردها:طوفان‌های موسمی مخصوصاً بادهای «۱۲۰روزه» یکی از خصوصیات اقلیمی لاینفک منطقه سیستان می‌باشد که از اردیبهشت هر سال شروع و تا اواخر شهریور وزش آن ادامه پیدا می‌کند. در این سناریو این ماه‌ها (اردیبهشت تا شهریور) به‌عنوان ماه‌های بحرانی انتخاب‌شده‌اند. در این سناریو بر اساس اولویت‌بندی هامون بر اساس کانون بحرانی ریزگردها، ۵۰ هکتار از هامون صابوری که در ایران قرار دارد، به‌عنوان مساحت لازم انتخاب گردید. هدف از اجرای این سناریو بررسی آثار بهینه‌سازی الگوریتم کرم شب تاب بر تثبیت ریزگردها و میزان آب بهینه‌ی به این سناریو است.

سناریوی ۳) توسعه سطح زیرکشت بر اساس افق ۱۴۰۴: طبق سند چشم‌انداز ۱۴۰۴ (سال ۲۰۲۵ میلادی)، می‌بایست توسعه سطوح زیرکشت منطقه‌ی سیستان، به ۲۰۰ هزار هکتار برسد. لذا در این سناریو با هدف توسعه سطح زیر کشت منطقه سیستان تا افق مورد مطلوب به‌صورت 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 سردارشهرکی (۱۳۹۵) اقتباس گردیده است.

جهت جمع‌آوری اطلاعات لازم برای انجام پژوهش حاضر، از طریق بررسی سوابق مطالعاتی و استخراج متغیرهای مورداستفاده، مطالعات کتابخانه‌ای (بررسی اسناد، مدارک و آرشیو اطلاعات مربوط به منطقه موردمطالعه و شبکه‌های آبیاری و زهکشی، معاونت امور آب و آبفای استان، شرکت آب منطقه‌ایی سیستان و بلوچستان، وزارت جهاد کشاورزی و سازمان جهاد کشاورزی استان، آمارنامه‌های کشاورزی استان سیستان و بلوچستان، مطالعات جامع شرکت‌های مشاور آب استخراج‌شده است. همچنین طول دوره آماری برای الگوریتم کرم شب‌تاب 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.

مدل‌سازی مربوطه در نرم‌افزار MATLAB انجام گرفته است (نوری، ۱۳۹۶).

یافته‌های تحقیق

مقادیر فراسنج‌های الگوریتم کرم شب‌تاب نظیر m، γ ، α و β_0 مطابق با جدول ۱ انجام‌شده و مناسب‌ترین مقادیر این فراسنج‌ها که در کنار هم کم‌ترین مقدار را برای تابع هدف تولید می‌نمایند. نتایج حاصل از پنج مرتبه اجرای الگوریتم کرم شب‌تاب در جدول ۷ آورده شده است.

افزایش تعداد جمعیت کرم‌های شب‌تاب تأثیر مثبتی بر عملکرد الگوریتم نداشته و از طرفی سرعت اجرای برنامه را به‌شدت پایین می‌آورد. به هر حال نتیجه اعمال تعداد مختلف کرم شب‌تاب بر عملکرد الگوریتم نشان داد که تعداد ۱۵۰ کرم شب‌تاب می‌تواند گزینه مناسبی برای تعداد اعضای جمعیت باشد.

جدول۱- تأثیر تعداد کرم‌های شب‌تاب بر میزان برداشت از مخزن وسیله‌ی الگوریتم کرم شب‌تاب (FA).

تعداد کرم شب‌تاب	۵۰	۱۰۰	۱۵۰	۲۰۰	۲۵۰
میزان برداشت از مخزن	٦٩/٩٢٧١	٦٧/٣٨٦١	٦٧/٩٤١٢	٦٨/١١٤	٦٩/٢٦٧٧
تعداد کرم شب‌تاب	۳۰۰	۳۵۰	٤٠٠	٤٥٠	٥٠٠
میزان برداشت از مخزن	٦٦/٢٣٠٩	٦٨/٠٣٣٦	٦٩/٤٦٢٩	٦٦/٥٤٥٢	٦٦/٣٠٢٧

منبع: یافته‌های تحقیق (واحد: میلیون مترمکعب)

جدول ۱ تأثیر تعداد کرم‌های شب‌تاب بر عملکرد الگوریتم کرم شب‌تاب (FA) را نشان می‌دهد. تعداد کرم شب‌تاب ۵۰ مقدار ۶۹/۹۲۷۱ میلیون مترمکعب برای تابع هدف را نشان می‌دهد.اگر تعداد کرم شب‌تاب به ۱۰۰ افزایش پیدا کند مقدار تابع هدف ۶۷/۳۸۶۱ میلیون مترمکعب می‌شود. در تعداد۳۵۰ کرم شب‌تاب مقدار تابع هدف ۶۸/۰۳۳۶ میلیون مترمکعب ، برای تعداد۴۰۰ کرم شب‌تاب مقدار۶۹/۴۶۲۹ میلیون مترمکعب برای تابع هدف، تعداد۴۰۰ کرم شب‌تاب تابع هدف با مقدار ۶۹/۴۶۲۹، تعداد ۴۵۰ کرم شب‌تاب مقدار۵۴۵۲ /۶۶ میلیون مترمکعب برای تابع هدف و اگر به تعداد ۵۰۰ کرم شب‌تاب افزایش یابد مقدار ۶۶/۳۰۲۷ میلیون مترمکعب برای تابع هدف به دست می‌آید. نتایج تاثیر تغییر تعداد کرم شب‌تاب نشان می‌دهد که در تعداد ۳۰۰ کرم شب‌تاب میلیون مترمکعب کمتری برای الگوریتم مذکور دست می‌آید.

جدول۲- تأثیر تغییر مقدار m بر عملکرد الگوریتم کرم شب‌تاب (FA).

مقدار m	۰	۰/۵	۱	۱/۵	۲
میزان برداشت از مخزن	٥٩/٥٠٤٢	٦٧/٣٥٢٨	٦٦/٢٣٠٩	٦٩/٨١٣٠	٦٧/٣١٥٦

منبع: یافته‌های تحقیق(واحد: میلیون مترمکعب)

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

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

تغییر α	۰	۰/۰۵	۰/۱	۰/۵	۱	۲	۵
مقدار تابع هدف	*	٧٤/٤٥٨٧	٧٠/٠٨٨٧	٦٦/٩٧١٣	٦٧/٧٨٣١	٦٦/٢٣٠٩	٦٩/٨٣٥٣

*: الگوریتم نتوانسته راه‌حل بدون تخطی را بیابد

جدول ۴ نتایج حاصل از تأثیر تغییر مقدار فراسنج α بر عملکرد الگوریتم کرم شب‌تاب نشان می‌دهد که در مقدار آلفا ۲ تابع هدف کمتری برای الگوریتم در مقایسه با مقادیر ذکرشده حاصل می‌شود.

جدول۵- تغییر مقدار فراسنج β_0 بر عملکرد الگوریتم کرم شب‌تاب (FA).

تغییر β_0	۰	۱	۲	۳	٤
مقدار تابع هدف	٦٧/٧٥٢٦	٦٧/٣٤٢٥	٦٦/٢٣٠٩	٧٢/٥٦٧٥	٧٣/٨٢٩٨

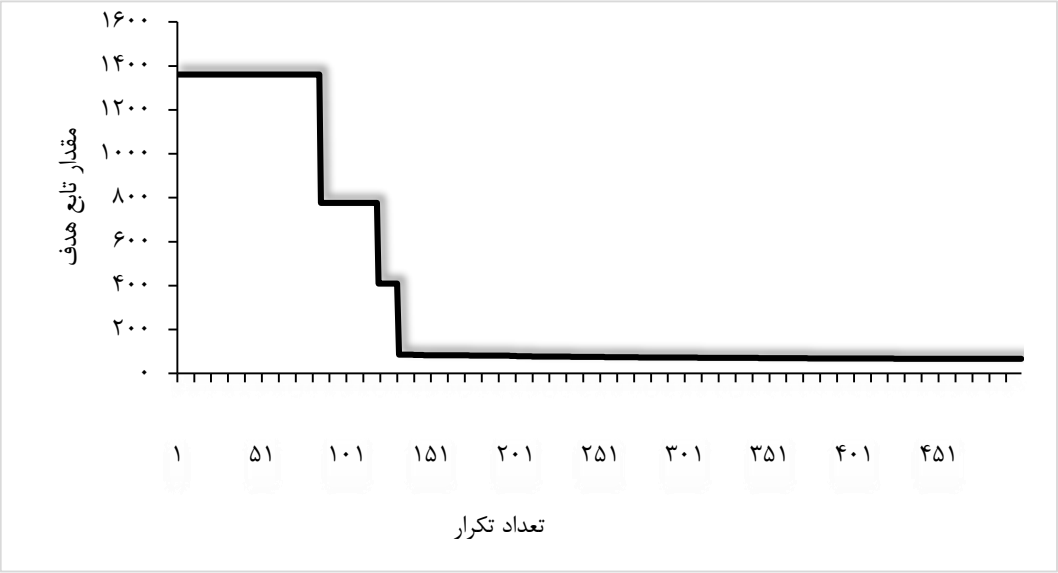
منبع: یافته‌های تحقیق (واحد: میلیون مترمکعب)

جدول ۵ مقادیر ضریب جذب پایه نشان می‌دهد.

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

تکرار	۱	۲	۳	٤	٥
با در نظر گرفتن قیود زنجیره‌ای	٦٦/٢٣٠٩	٦٦/٤٩٣٤	٦٦/٧٥٠٧	٦٦/٨٥٤٦	٦٦/٤٤٣٩

منبع: یافته‌های تحقیق (واحد: میلیون مترمکعب)

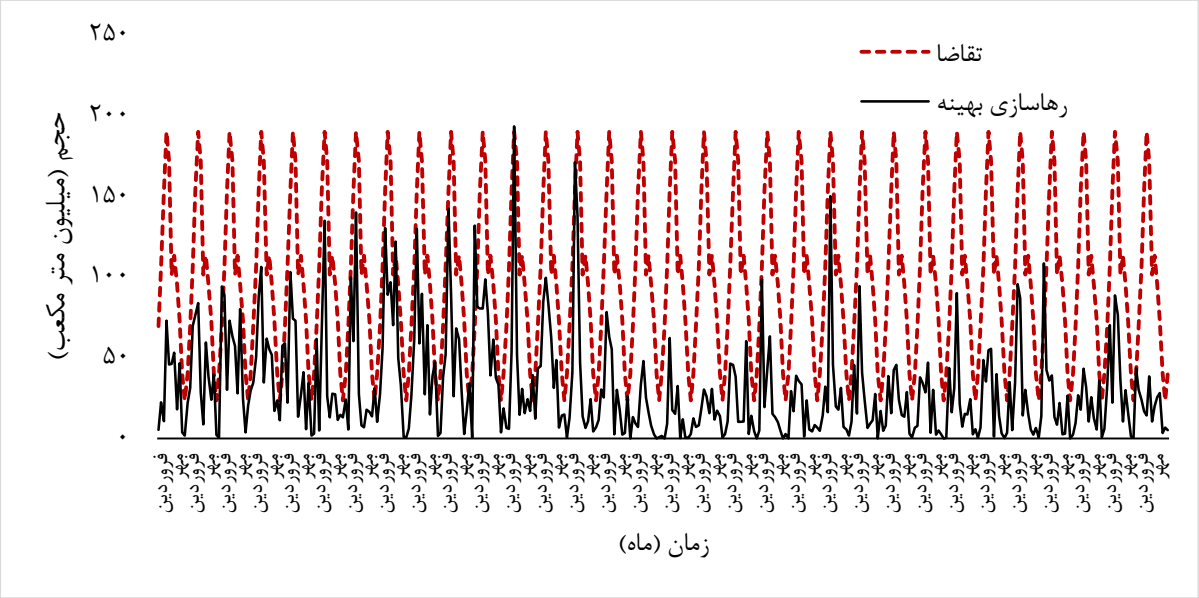


شکل ۱- نحوه عملکرد الگوریتم کرم شب‌تاب (FA) با در نظر گرفتن قیود زنجیره‌ای.

نحوه عملکرد الگوریتم کرم شب‌تاب با در نظر گرفتن قیود زنجیره‌ای در شکل ۱ و رهاسازی بهینه و میزان تقاضا در شکل۲ نشان داد ه‌شده است.

در شکل ۱ واضح است که عملکرد الگوریتم کرم شب‌تاب در تکرارهای اولیه نامناسب است تا جایی که از یک تکرار به بعد روند تقریباً ثابتی را در پیش‌گرفته است و همچنین نتیجه گرفته می‌شود که در الگوریتم کرم شب‌تاب 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 مقدار۹۸/۳۱۲۱ است.



شکل ۲-مقدار رهاسازی بهینه‌ی خروجی الگوریتم کرم شب‌تاب (FA) و مقدار تقاضا.

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

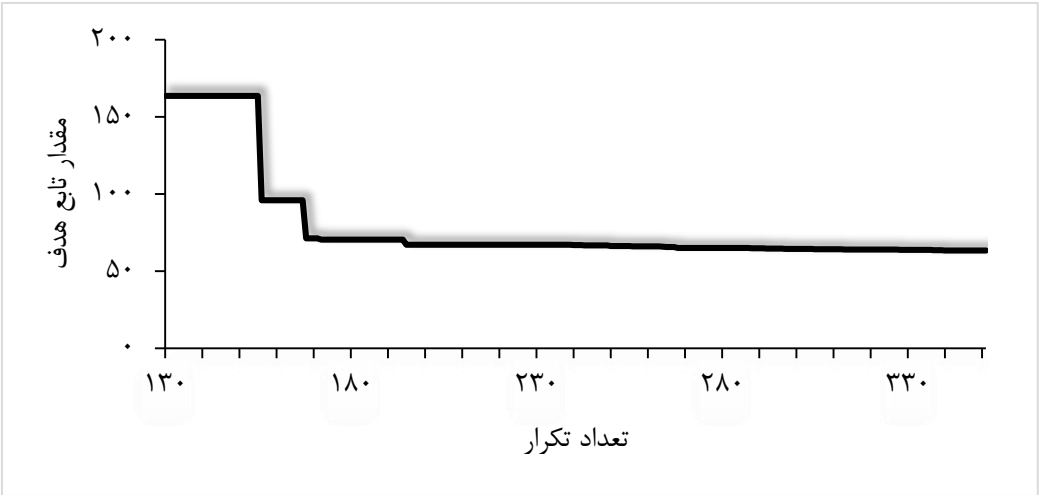
نتایج حاصل از پنج مرتبه اجرای الگوریتم کرم شب‌تاب در جدول ۷ آورده شده است.

جدول ۷-نتایج حاصل از پنج مرتبه اجرای الگوریتم کرم شب‌تاب برای سناریو اول.

تکرار	۱	۲	۳	٤	٥
با در نظر گرفتن قیود زنجیره‌ای	٦٥/٢٢١٦	٦٣/٥٩٢٩	٦٣/٣٣٨٥	٦٧/٥٨٨٨	٦٢/٦٨٧٥

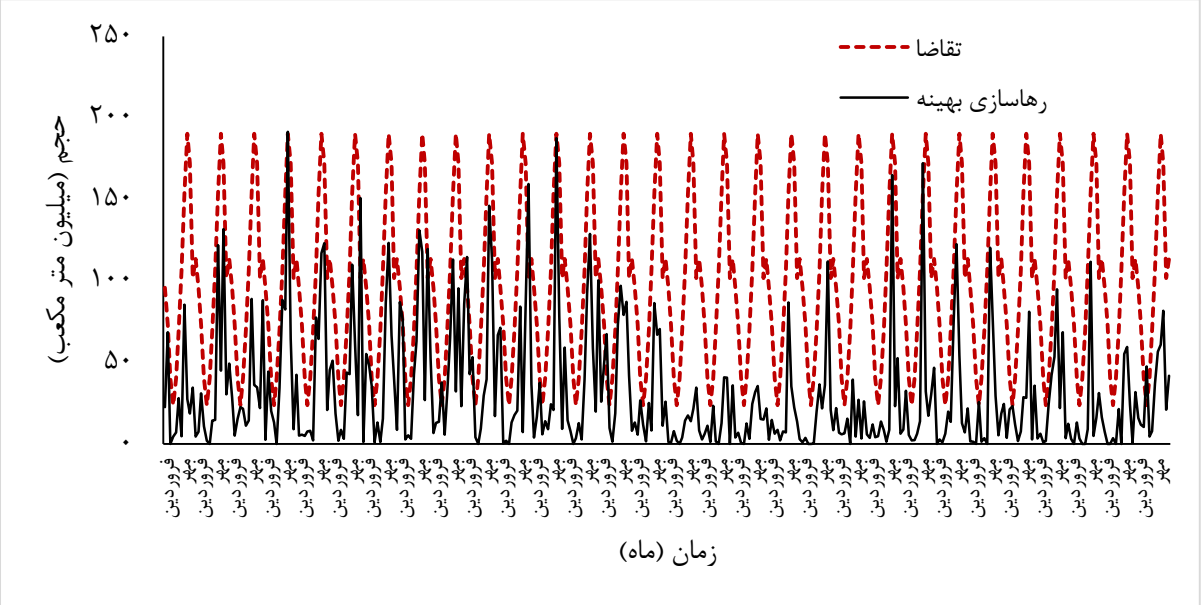
منبع: یافته‌های تحقیق (واحد: میلیون مترمکعب)

از مقایسه نتایج الگوریتم کرم شب‌تاب (FA) می‌توان دریافت که کارایی الگوریتم کرم شب‌تاب در بین همه الگوریتم‌ها در رتبه آخر قرار می‌گیرد. نحوه عملکرد الگوریتم کرم شب‌تاب با در نظر گرفتن قیود زنجیره‌ای در شکل ۳ و رهاسازی بهینه و میزان تقاضا در شکل ۴ نشان داده‌شده است.



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

همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌گردد، روند عملکرد الگوریتم همانند حالت پایه الگوریتم کرم شب‌تاب است و تفاوتی با آن ندارد.



شکل ۴- مقدار رهاسازی بهینه‌ی خروجی الگوریتم کرم شب‌تاب و تقاضا برای سناریو اول

در شکل فوق می‌توان دید که نمودار رهاسازی الگوریتم کرم شب‌تاب در سناریوی اول همانند نمودار رهاسازی 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 شب‌تاب 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.

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

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

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

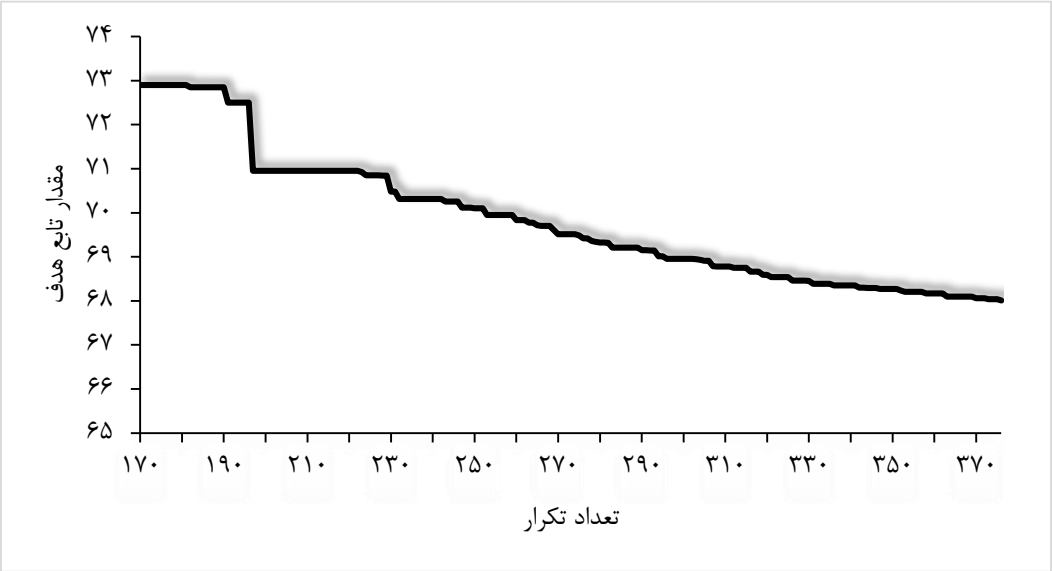
جدول ۸- نتایج حاصل از پنج مرتبه اجرای الگوریتم کرم شب‌تاب برای سناریو سوم.

تکرار	۱	۲	۳	٤	٥
با در نظر گرفتن قیود زنجیره‌ای	٦٩/٦١٨٦	٦٩/٤١٩٤	٦٩/٦٠٣٦	٦٨/٠٠٧٠	٦٩/٧٤٢٩

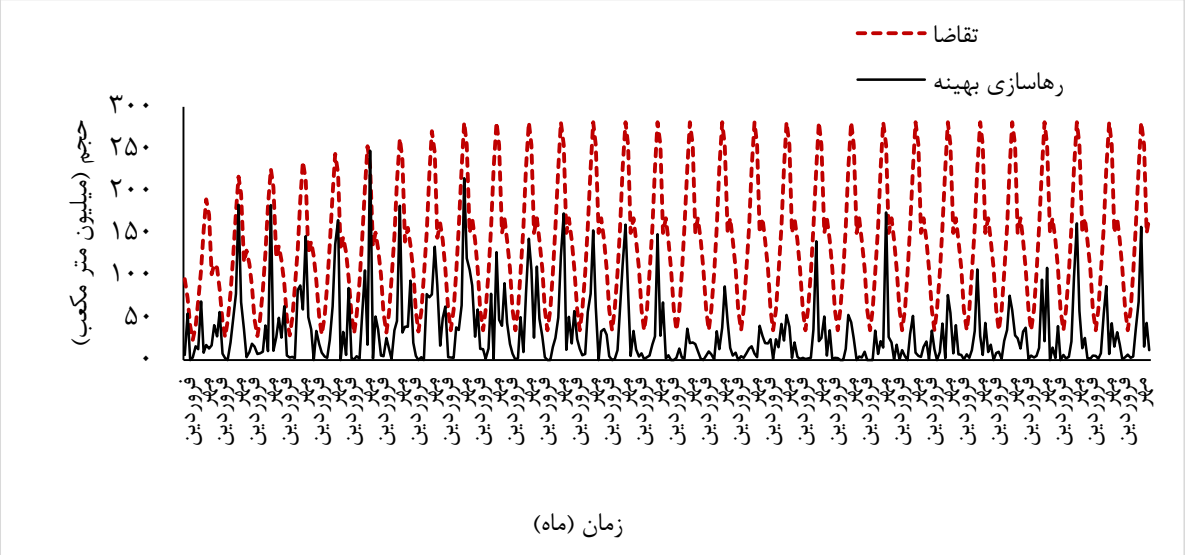
منبع: یافته‌های تحقیق (واحد: میلیون مترمکعب)

با توجه به اجراهای صورت گرفته واضح است که در تکرار چهارم الگوریتم کرم شب‌تاب مقدار تابع هدف(میزان برداشت از مخزن) کمتری به‌دست‌آمده است.

با توجه به جدول (۸) و مقایسه آن با نتایج دیگر الگوریتم‌ها ملاحظه می‌گردد که الگوریتم کرم شب‌تاب یکی از ناکارآمدترین الگوریتم‌ها در مسئله بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخازن چاه نیمه بوده است و در این سه سناریو همواره رتبه آخر را در بین الگوریتم‌ها (ازنظر کارایی) داشته است یا نتوانسته راه‌حل‌های بودن تخطی را بیابد. نحوه عملکرد الگوریتم کرم شب‌تاب با در نظر گرفتن قیود زنجیره‌ای در سناریوی سوم در شکل (۵) و رهاسازی بهینه و میزان تقاضا در شکل (۶) نشان داده‌شده است.



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



شکل ۶- مقدار رهاسازی بهینه‌ی خروجی الگوریتم کرم شب‌تاب و تقاضا برای سناریو سوم.

در شکل ۵ ملاحظه می‌گردد که عملکرد الگوریتم کرم شب‌تاب در تکرارهای مختلف نوسان پذیر است و با افزایش تکرار مقدار تابع هدف نیز افزایش می‌یابد.

همان‌طور که در شکل ۶ ملاحظه می‌گردد مقدار رهاسازی با استفاده از الگوریتم کرم شب‌تاب همانند حالت پایه (حالت اولیه اجرای الگوریتم قبل از اتخاذ سناریوهای مدیریتی)و همین‌طور مانند سناریوهای قبل (سناریوی اول و سناریوی دوم) بوده است و تخطی از میزان تقاضا نداشته است.

نتیجه‌گیری

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

ازاین‌رو 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 رهاسازی۳۸/۶۹۴۰میلیون مترمکعب نسبت به سال اول افزایش داشته با همان میزان تقاضای سال اول به مقدار۹۸/۳۱۲۱ 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 مقادیر۴۹/۴۷۲۳و 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 میلیون مترمکعب همچنین در سال نوزدهم و بیستم نسبت به سال هجدهم مقدار بهینه‌ی رهاسازی با مقادیر۲۱/۱۸۰۲ و ۲۲/۹۹۹۵ میلیون مترمکعب افزایش داشته است مقادیر عدم تأمین نیاز برای سال نوزدهم برابر۷۷/۱۳۱۹و 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 با۷۹/۴ میلیون مترمکعب است و همچنین در سال‌های سی‌ویک و سی دو مقادیر بهینه‌ی رهاسازی ۳۵/۸۱۵۹، ۱۸/۶۴۹۳میلیون 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 ۷۹/۶۶۲۸میلیون مترمکعب با توجه به اینکه میزان تقاضا برای همه‌سال‌ها مقدار ثابت ۹۸/۳۱۲۱ حاصل‌شده 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.

۲) حسن‌زاده ط، میبدی 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. ۲۲و۲۳ 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 آب‌وخاک. سال سوم. شماره چهارم.

۴) حسین زاده فهیمه،۱۳۹۴. بهینه سازی بهره برداری ازمخزن سدبا ورودی فصلی به روش الگوریتم رقابت استعماری(مطالعه موردی: سدپیشین).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) سردارشهرکی 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) سردارشهرکی ع، شهرکی ج و هاشمی منفرد س.آ، ۱۳۹۵. بررسی رویکردهای مدیریتی بهره برداری منابع آب منطقه_سیستان با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی فازی(FAHP). پژوهش های 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 سنندج 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. ۶ ۱۳-۱۱۳

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

هوشمند. انجمن دستگاه‌های هوشمند ایران. دانشگاه خوارزمی.
۱۰) گروسی نژاد آ، بزرگ حداد ا،۱۳۹۲ . بهره‌برداری بهینه از مخزن با استفاده از پیاده‌سازی الگوریتم بهینه‌سازی کرم شب‌تاب. 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. جلد۷. شماره ۳. ص ۹۰-۷۳.
۱۲) نوری صفیه،۱۳۹۶. کاربردالگوریتم های فراابتکاری 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