# معرفی یک مدل ریاضی جدید برای ارزیابی و بهینه سازی عملکرد کانال‌های آبیاری

سید اسداله محسنی موحد[۱] و محمد جواد منعم[۲]

## چکیده

**عملکرد ضعیف کانال‌های آبیاری و تأثیر آن در کاهش بهره‌وری آب کشاورزی ضرورت ارائه روش‌های مؤثر در بهره برداری بهینه از کانال‌های آبیاری را ایجاب نموده است. در این مقاله مدل ریاضی جدیدی معرفی می‌شود که قادر است عملکرد موجود کانال را ارزیابی نموده و براساس نیاز پایین دست دریچه‌های آبگیر، تنظیم بهینه سازه‌های آبگیر و کنترل را به‌منظور نیل به عملکرد بهینه در شرایط و محدودیت‌های واقعی طرح ارائه نماید. در این مدل تابع هدف به‌صورت ترکیبی خطی از شاخص‌های راندمان، کفایت، عدالت و پایداری در تحویل آب در نظر گرفته شده است. رابطه تابع هدف و مقادیر تنظیم سازه‌ها رابطه غیر صریحی است که از طریق شبیه سازی هیدرودینامیک میسر بوده و برای بهینه سازی آن بایستی از روش‌های بهینه سازی عددی سود جست. در این مدل از روش بهینه سازی SA(Simulated Annealing) که یک روش عددی با ساختار تصادفی هوشمند است در ترکیب با مدل هیدرودینامیک شبیه سازی سیستم انتقال آب آبیاری (ICSS) (Irrigation Conveyance System Simulation) استفاده شده است. قابلیت انعطاف در کوچک گرفتن طول گام‌های تصادفی در الگوریتم SA مانع از بروز هرگونه ناپایداری و ناهمگرایی در ترکیب با مدل هیدرودینامیک است. علاوه بر آن توانایی SA در خروج از بهینه‌های محلی و همگرایی به سوی بهینه سراسری از جنبه نظری و در کاربردهای عملی به اثبات رسیده است. هم‌چنین در مدل توسعه یافته ICSS برای بهینه سازی تحویل (ICSS-DOM) (ICSS-Delivery Optimization Model) تمهیدات لازم برای تحلیل حساسیت ضرایب وزنی شاخص‌ها در تابع هدف نیز در نظر گرفته شده است. به‌منظور آزمون و ارزیابی مدل تهیه شده از داده‌های واقعی یک کانال توزیع‌کننده از شبکه آبیاری دز استفاده شده و برای اعتبار سنجی نتایج مدل، علاوه بر مقایسه با وضع موجود از روش‌های ریاضی نیز استفاده به عمل آمده است. نتایج حاصل حاکی از آن است که مدل مورد نظر قادر است پاسخ‌های معتبری را با صحت و دقت کافی در زمان نسبتاً کوتاهی ارائه نماید. این مدل می‌تواند به عنوان ابزاری کارآمد و سودمند برای ارزیابی و بهینه سازی عملکرد کانال‌های آبیاری مورد استفاده قرار گیرد.**

**واژه‌های کلیدی: ارزیابی و بهینه سازی عملکرد کانال‌های آبیاری، روش بهینه سازی SA، ICSS-DOM**

## مقدمه

یکی از عواقب بهره‌برداری ضعیف در شبکه‌های آبیاری، تحویل و توزیع نامناسب آب به کانال‌ها و انشعابات و به تبع آن توزیع نامناسب آب در سطح اراضی می‌باشد، به‌طوری‌که در یک کانال

۱. استادیار آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

۲. استادیار آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران



[ Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-10 ]

[ DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.40.2.7 ]

آبیاری، میزان آب تحویلی به اراضی پایین دست هر دریچه با نیاز واقعی آن مطابقت نداشته و در بعضی به مقدار قابل توجهی از آن بیشتر و در بعضی نیز کمتر است. این عدم تناسب و بی‌عدالتی در تحویل و توزیع آب نه تنها خسارات کاهش محصول و نارضایتی زارعینی را که کمتر از نیاز خود دریافت کرده‌اند در بردارد بلکه برای مزارعی که آب بیش از حد نیاز اعلام شده دریافت کرده‌اند نیز ممکن است موجب کاهش محصول در اثر آبیاری بیش از حد و یا افزایش هزینه‌های کارگری به‌منظور مهار آب اضافی پیش بینی نشده گردد. تحویل و توزیع نامناسب آب علاوه بر مشکلات فوق نهایتاً موجب افزایش تلفات آب در سطح شبکه و خسارات ناشی از آن نظیر ماندابی شدن اراضی پایین دست و در مجموع سبب کاهش بهره‌وری آب کشاورزی خواهد شد. پس می‌توان گفت یکی از اساسی ترین راه کارها برای ارتقای بهره وری آب کشاورزی، تعیین روش‌های بهره برداری بهینه در شبکه‌های انتقال و توزیع می‌باشد. به‌طوری که در یک دوره تحویل آب، شاخص‌های مهمی نظیر کفایت تحویل، راندمان تحویل و عدالت در تحویل، هم‌زمان برای کلیه آبگیرهای کانال حتی الامکان ارتقا یابند. بنابراین برای تحویل و توزیع بهینه آب در کانال‌های آبیاری می‌توان ترکیب مناسبی از شاخص‌های کمّی را در یک تابع هدف در مقایسه با سطح ایده آلشان و با رعایت قیدها و محدودیت‌ها ( شرایط واقعی ) بهینه کرده و راه کارهای بهبود را استخراج نمود. در این فرایند رابطه شاخص‌ها با متغیرهای هیدرولیکی کانال به رژیم و معادلات هیدرولیکی حاکم بر پدیده جریان در طول زمان و مکان بستگی دارد و نحوه این ارتباط باید از طریق یک مدل شبیه سازی هیدرودینامیک صورت گیرد. از طرفی ترکیب شاخص‌ها در تابع هدف، تابعی پیچیده، چند متغیره و غیر صریح را به‌وجود می‌آورد که بکارگیری روش‌های کلاسیک بهینه سازی را دشوار نموده است. با توسعه روش‌های بهینه سازی عددی و مدل‌های شبیه‌سازی هیدرودینامیک امکانات بیشتری فراهم شده لیکن هنوز کارهای محدودی در این زمینه صورت گرفته است.

منعم(۹) در سال ۱۹۹۶ با به‌کارگیری مدل شبیه‌سازی هیدرودینامیک ICSS که در سال ۱۹۹۰ توسط مانز(۷) توسعه یافته است، و استفاده از یک روش بهینه سازی عددی پیشرفته به‌نام الگوریتم ژنتیک مدلی ریاضی برای ارزیابی و بهبود عملکرد کانال‌های آبیاری ارائه داد. حال که زمینه توسعه این‌گونه مدل‌ها فراهم شده است و با توجه به مسائل بحران آب و ضرورت‌هایی که در جهت ارتقای بهره‌وری آب کشاورزی احساس می‌شود لازم است مدل‌های ریاضی جدیدی با کارایی بیشتر ساخته شده و قابلیت‌های سایر روش‌های پیشرفته عددی در بهینه سازی مورد آزمون قرار گیرد. هدف این مقاله معرفی هر چه بیشتر ICSS-DOM است که به‌منظور ارزیابی عملکرد و بهینه‌سازی بهره برداری از کانال‌های آبیاری در سال ۱۳۸۱ توسط محسنی‌موحد (۳) توسعه یافته است. در این مدل برای اولین بار از روش بهینه سازی عددی SA در ترکیب با مدل هیدرودینامیک ICSS استفاده شده است. همگرائی بسیار خوب مدل در فرایند توام شبیه‌سازی ـ بهینه‌سازی، رسیدن به جواب‌های معتبر در زمان نسبتاً کوتاه و تمهیداتی که به‌منظور امکان تحلیل حساسیت ضرایب وزنی شاخص‌ها در آن مد نظر قرار گرفته از ویژگی‌های قابل توجه مدل در مقایسه با کارهای انجام شده قبلی است.

## مواد و روش‌ها

### مبانی تئوری مدل

در مدل مورد نظر چهار معیار کفایت، راندمان، عدالت و پایداری در تحویل مورد استفاده قرار گرفته اند. هدف آن است که در یک دوره تحویل بر حسب نیاز پایین دست هر یک از آبگیرهای کانال، چهار معیار فوق در ترکیب مناسبی در یک تابع هدف به‌طور هم‌زمان و با توجه به شرایط واقعی بهینه شوند. راه کار رسیدن به این هدف، تنظیم بهینه دریچه‌های آبگیر و سازه‌های کنترل است که در فرایند بهینه سازی تعیین می‌شود. در بین شاخص‌های کمّی ارائه شده برای معیارهای فوق مجموعه شاخص‌های ارائه شده توسط مولدن و گیتس ( ۸ ) به



[ Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-10 ]

[ DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.40.2.7 ]

لحاظ بی بعد بودن و سادگی اندازه‌گیری آنها مناسب ترین شاخص‌ها تشخیص داده شده است ( ۳) که به شرح ذیر در مدل مورد نظر به‌کار رفته‌اند:

$$MPA = \frac{1}{T}\sum_{T}\frac{1}{N}\sum_{N}(PA)$$

$$\begin{cases} \text{if} : QD < QR \\ PA = \dfrac{QD}{QR} \end{cases} \qquad \begin{cases} \text{if} : QR < QD \\ PA = 1 \end{cases} \qquad [1]$$

$$MPF = \frac{1}{T}\sum_{T}\frac{1}{N}(PF)$$

$$\begin{cases} \text{if} : QD > QR \\ PF = \dfrac{QR}{QD} \end{cases} \qquad \begin{cases} \text{if} : QD < QR \\ PF = 1 \end{cases} \qquad [2]$$

$$MPE = \frac{1}{T}\sum_{T} CV_N\left(\frac{QD}{QR}\right) \qquad [3]$$

$$MPD = \frac{1}{N}\sum_{N} CV_T\left(\frac{QD}{QR}\right) \qquad [4]$$

در این روابط MPA، MPF، MPE وMPD به ترتیب عبارت‌اند از متوسط کفایت، راندمان، عدالت و پایداری در تحویل، در طول دوره بهره برداری می‌باشند. QR دبی مورد تقاضای هر دریچه، QD دبی واقعی تحویلی به هر دریچه، N تعداد دریچه‌های آبگیر و T تعداد گام‌های زمانی مناسب در یک پریود تحویل است و از رابطه $T = t_{dur} / \Delta t$ محاسبه می‌شود. $t_{dur}$ و $\Delta t$ به ترتیب طول دوره بهره‌برداری و طول گام زمانی محاسبات هیدرولیکی برحسب ساعت است. $CV_T\left(\frac{QD}{QR}\right)$ و $CV_N\left(\frac{QD}{QR}\right)$ نیز به ترتیب عبارت‌اند از ضریب تغییرات زمانی و ضریب تغییرات مکانی نسبت $\frac{QD}{QR}$.

از آنجایی که مقدار ایدآل شاخص‌های کفایت و راندمان تحویل ۱ و مقدار ایدآل شاخص‌های عدالت و پایداری تحویل صفر است لذا تابع هدفی که مقدار کمینه آن مقدار بهینه شاخص‌های فوق را ارائه می‌دهد به‌صورت ترکیب خطی زیر است:

$$FF = C_1(1 - MPA) + C_2(1 - MPF) + C_3 MPE + C_4 MPD \qquad [5]$$

مقادیر $C_i$ در رابطه فوق ضرایب وزنی جملات تابع هدف هستند که بستگی به اهمیت نسبی شاخص‌ها داشته و طریقه تعیین آنها متعاقباً بیان خواهد شد. متغیرهای تصمیم‌گیری در این مسأله بهینه سازی عبارت‌اند از میزان تنظیم دریچه‌های آبگیر و سازه‌های کنترل. قیدها و محدودیت‌های این مسأله نیز که بستگی به خصوصیات فیزیکی و هیدرولیکی کانال و سازه‌ها و شرایط بهره برداری دارد با روابط زیر تعریف می‌شود:

حداکثر تعیین شده برای هر سازه ≤ میزان تنظیم هر سازه ≤ ۰ [6]

حداکثر عمق مجاز آب در هر بازه از کانال ≤ عمق آب در هر بازه از کانال [7]

ثابت‌های این مسأله عبارت‌اند از تعداد سازه‌های آبگیر و کنترل کانال، طول دوره بهره برداری ( پریود تحویل )، طول گام زمانی محاسبات هیدرولیکی، دبی مورد نیاز هر دریچه آبگیر و دبی ورودی به کانال.

حال با مراجعه به رابطه ۵ ملاحظه می‌شود که رابطه بین تابع هدف (که حداقل آن مورد نظر است) با متغیرهای تصمیم‌گیری (میزان تنظیم سازه‌ها) یک رابطه غیر صریح است که از طریق شبیه سازی هیدرودینامیک امکان پذیر می‌باشد. به علاوه بهینه سازی چنین تابع غیر صریحی با روش‌های کلاسیک بهینه‌سازی دشوار و گاهی غیر ممکن است و باید از روش‌های عددی بهینه سازی استفاده کرد. در مدل ارائه شده از روش بهینه سازی SA در ترکیب با مدل شبیه سازی هیدرودینامیک ICSS استفاده به عمل آمده است.

**روش تعیین ضرایب وزنی $C_i$**

مقادیر $C_i$ ضرایب وزنی جملات تابع هدف، بستگی به اهمیت نسبی شاخص‌ها داشته و تأثیر آن در مقدار بهینه شاخص‌های عملکرد کاملاً بستگی به شکل تابع هدف و فضای امکان‌پذیر حاصل از قیدها و محدودیت‌های مسأله مورد نظر دارد به طوری که ممکن است مقادیر مختلف $C_i$ هیچ‌گونه تأثیری در مقدار بهینه نداشته و یا این‌که افزایش آن منجر به بهبود شاخص مربوطه گردد که البته در حالت اخیر به علت محدود بودن



[ Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-10 ]

[ DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.40.2.7 ]

فضای امکان‌پذیر این تأثیر نیز محدود است (۱). در هر حال با فرض امکان این تأثیر، منطقی است که بایستی برای شاخصی که اهمیت بیشتری نسبت به بقیه دارد وزن بیشتری قائل شد. اما چون الگوی استانداردی برای تعیین این وزن‌ها ارائه نشده معمولاً با قضاوت کارشناسی تعیین می‌شوند. این طریقه وزن‌دهی به نتایج متفاوت و بعضاً دور از واقعیت منجر می‌شود. در مدل مورد نظر این ضرایب بر مبنای یک الگوی ابتکاری و مستقل از قضاوت کارشناسی و توام با تحلیل حساسیت پارامتری تعیین می‌شوند. توصیف روش و مبانی استدلالی آن خود مستلزم مقاله دیگری است. لیکن به اختصار می‌توان گفت که در این روش وزن هر یک از جملات تابع هدف متناسب با میزان دوری شاخص مربوطه از عملکرد ایدآل آن قرار داده می‌شود تا در فرایند بهینه سازی همه شاخص‌ها به‌طور هم‌زمان و به نسبت فاصله‌شان از سطح عملکرد ایدآل، حتی الامکان به سمت آن سوق داده شوند. مثلاً اگر در ارزیابی وضع موجود برای شاخص راندمان که مقدار ایدآل آن ۱ است رقم ۰/۶ به دست آمد، این شاخص به اندازه ۰/۴ از مقدار ایدآل خود دور است و هر چه این تفاوت بیشتر باشد بایستی در فرایند بهینه‌سازی برای این شاخص متناسب با این تفاوت وزن یا اهمیت بیشتری قائل شد. بنابراین اگر $\gamma_i$ تفاوت سطح عملکرد هر شاخص با مقدار ایدآل باشد می‌توان مقادیر $\gamma_i$ را به یک نسبت در همه بزرگ کرده و تأثیر این تغییرات را بررسی نمود. بنابراین شکل پارامتری مناسب برای ضرایب وزنی $C_i$ که در برگیرنده موارد فوق باشد به‌صورت زیر خواهد بود:

$$C_i = 1 + \theta\gamma_i \qquad [8]$$

که در آن $\gamma_i$ در فرایند ارزیابی وضع موجود تعیین می‌شود و $\theta$ نیز پارامتری است که در فرایند بهینه‌سازی با اجراهای متعدد، مقادیر مختلف صحیح بزرگ‌تر و مساوی یک به آن اختصاص داده شده و تأثیر آن در جواب‌های بهینه بررسی می‌شود (تحلیل حساسیت) تا احیاناً جواب‌های بهتری اگر امکان پذیر باشند، جستجو شوند. مقدار ۱ در رابطه ۸ برای آن است که اگر شاخصی در وضع موجود به مقدار ایدآل رسیده باشد ( مثلاً شاخص کفایت در تحویل مازاد بر نیاز )، $\gamma_i$ مربوط به آن صفر شده و لذا شاخص مزبور بدون این که از فرایند بهینه‌سازی حذف شود با ضریب وزنی ۱ وارد می‌شود. برای اطلاعات بیشتر می‌توان به منبع (۳) مراجعه کرد.

**معرفی اجمالی ICSS-DOM**

در این مدل که به زبان فرترن ۷۷ نوشته شده الگوریتم SA به‌صورت یک حلقه داخلی در ساختار اصلی مدل ICSS قرار گرفته و علاوه بر آن، برنامه‌های فرعی متعددی برای روند اجرای SA در شبیه‌سازی هیدرودینامیک به مجموعه زیر برنامه‌های ICSS اضافه شده است. لازم به ذکر است که مدل ICSS به‌منظور شبیه سازی هیدرودینامیک و بهره‌برداری از کانال‌های انتقال و توزیع آب آبیاری طراحی شده است و قادر است انواع کانال‌های آبیاری را با طیف وسیعی از سازه‌های مربوطه و تغییرات جریانات ورودی و خروجی شبیه سازی کند. از ویژگی‌های مهم این مدل ساختار مناسب آن جهت افزایش برنامه‌های فرعی به‌منظور ارتقاء قابلیت‌های مدل می‌باشد. برای اطلاعات بیشتر می‌توان به منابع (۳و۷) مراجعه کرد.

روش بهینه سازی SA نیز که یک روش جستجوی تصادفی هوشمند و پیشرفته است اولین بار در سال ۱۹۸۳ توسط کرک پاتریک وهمکاران (۵) بر اساس تشابه با فرایند فیزیکی آنیلینگ (Annealing) طراحی شده و تا به امروز الگوریتم‌های پیشرفته‌تری از آن توسعه یافته است. آنیلینگ یک فرایند فیزیکی در صنعت است که در آن جسم جامد ابتدا تا حد زیادی گرم می‌شود تا اتم‌های آن بتوانند آزادانه و به‌طور تصادفی در کنار هم قرار گیرند. سپس دما به تدریج و مرحله به مرحله کاهش داده می‌شود، در هر مرحله کاهش دما که همراه با کاهش انرژی جسم است جابه‌جایی اتم‌ها به‌طور تصادفی آن‌قدر صورت می‌گیرد تا جسم به حالت تعادل دمائی برسد. در این مرحله است که مجدداً دما کاهش داده می‌شود و این روند هم‌چنان ادامه می‌یابد تا سرانجام جسم به حداقل انرژی خود و به حالت



[ Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-10 ]

[ DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.40.2.7 ]

**جدول۱. نمایش ساده‌ای از الگوریتم SA در کمینه‌سازی(۱۰)**

| گام‌های ترتیبی در اجرای الگوریتم |
|---|
| گام ۱- تولید یک جواب اولیه S به روش تصادفی در فضای امکان‌پذیر با توجه به قیودات مسأله و قراردادن: $S_b=S$ و $E=FF(S)$. |
| گام ۲- انتخاب یک مقدار برای درجه حرارت اولیه، $T_I>0$ و طول دوره: $L>0$ (طول دوره بایستی یک عدد صحیح باشد). |
| - شماره دوره را: $k=1$ قرار دهید. |
| گام ۳- عملیات زیر را L بار تکرار کنید. (L طول دوره نامیده شده است). |
| (۱)- تولید جواب Ś در فضای امکان‌پذیر و در همسایگی S به طور تصادفی و با یک ساختار همسایگی مناسب با طبیعت مسأله (فضای امکان‌پذیر با قیودات مسأله مشخص می‌شود). |
| (۲)- محاسبه تغییر در مقدار تابع هدف: $D = FF(Ś) - FF(S)$ |
| (۳)- اگر $D\leq 0$ در این صورت S را مساوی Ś قرار دهید (حرکت نزولی) یا انتقال‌های رو به پایین |
| اگر $D>0$ در این صورت با احتمال پذیرش $\exp(-D/T_k) > Random(0 \sim 1)$ جواب S را مساوی Ś در نظر بگیرید. (حرکت صعودی) یا انتقال‌های رو به بالا. |
| اگر $FF(Ś)<E$ باشد قرار دهید: $S_b = Ś$ و $E=FF(Ś)$ (ذخیره داشتن جواب بهتر). |
| گام ۴- اگر شرط توقف برقرار شده است متوقف شوید. در غیر این صورت دما را کاهش دهید: |
| $T_{(k+1)} = f(T_k)$ و قرار دهید: $k=k+1$ و به گام ۳ بروید. |

کریستال کامل برسد (۴). در شبیه‌سازی مسائل بهینه سازی با فرایند فوق، تابع هدفی که کمینه می‌شود حکم انرژی جسم را داشته و جواب‌های تصادفی تولید شده معادل حالت‌های مختلف قرار گرفتن اتم‌ها در کنار هم در هر دمای تعادل و نهایتاً رسیدن به جواب بهینه ( حداقل تابع هدف ) معادل رسیدن به حداقل سطح انرژی جسم و تشکیل کریستال کامل است. پرداختن به جزئیات منطق الگوریتم SA و مبانی تئوری آن از حوصله این مقاله خارج است. لیکن به منظور آشنایی بیشتر، در جدول ۱ الگوریتم ساده‌ای از SA نمایش داده شده است که برای هر نوع مسأله بهینه‌سازی قابل بسط و تطبیق است.

به‌طور اجمال استفاده از الگوریتم SA در تطبیق با مسأله مورد نظر ما به این ترتیب است که با شروع از یک جواب اولیه تصادفی برای متغیرهای تصمیم‌گیری (میزان تنظیم سازه‌های آبگیر و کنترل)، جواب جدید (S′) در مجاورت جواب قبلی (S) با استفاده از یک ساختار همسایگی مناسب به‌طور تصادفی تولید می‌شود. تولید تصادفی میزان تنظیم سازه‌ها بایستی در محدوده مجاز تعیین شده ( قیود بهینه‌سازی ) که در روابط ۶ و ۷ تعریف شده‌اند انجام گیرد. سپس تغییر در مقدار تابع هدف $D = FF(S') - FF(S)$ محاسبه می‌شود. $FF(S)$ و $FF(S')$ مقادیر تابع هدف رابطه ۵ در ازای جواب‌های تصادفی است که از طریق شبیه سازی هیدرودینامیک محاسبه می‌شود. در کمینه سازی تابع هدف اگر $D \leq ۰$ باشد گزینه جدید پذیرفته شده (حرکت نزولی) و در غیر این صورت گزینه جدید با یک احتمال مشخص پذیرفته می‌شود ( حرکت رو به بالا ). برای این منظور مطابق با منطق الگوریتم SA یک عدد تصادفی بین صفر و یک تولید شده $R \in (۰ \sim ۱)$ و اگر $R\langle \exp(-\frac{D}{T})$ باشد این گزینه نیز پذیرفته می‌شود در غیر این صورت گزینه جدید رد می‌شود. T یک پارامتر کنترل است که معادل با دما در فرایند آنیلینگ شبیه سازی شده و در طول فرایند مرحله به مرحله کاهش داده می‌شود. در هر مرحله کاهش دما سیکل فوق L بار تکرار می‌شود. L نیز یک پارامتر کنترل است که طول دوره نامیده می‌شود. لازم به ذکر است که پارامترهای کنترلی SA از قبیل



[ Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-10 ]

[ DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.40.2.7 ]

L، مقدار اولیه T، مقدار نهائی T و ضریب کاهش T در طول فرایند بهینه سازی بایستی مطابق با روش‌های موجود قبلاً توسط کاربر تعیین شده باشند (۳). با توجه به تابع احتمال $\exp(-\frac{D}{T})$، با کاهش مرحله به مرحله T احتمال پذیرش جواب‌های بد (حرکت‌های رو به بالا) کاهش می‌یابد. در حرکت‌های رو به بالا این توانایی برای SA به‌وجود می‌آید که برای جستجوی کمینه سراسری از دام نقاط کمینه محلی خارج شود. این فرایند آن قدر ادامه می‌یابد تا شرط توقف که رسیدن به مقدار نهایی پارامتر کنترلی T است فراهم شود. از مزایای روش SA قابلیت خروج از دام نقاط بهینه محلی و حرکت به سوی بهینه سراسری است. همگرائی قابل توجه آن در رسیدن به بهینه سراسری هم از نظر تئوری و هم در کاربردهای عملی به اثبات رسیده است (۳،۴،۶ و ۱۰). با توجه به الگوریتم ساده آن برای طیف وسیعی از مسائل بهینه سازی با تابع هدف پیچیده مناسب است. SA نسبت به پارامترهایش حساس است و بایستی بهترین ترکیب آنها مطابق با روش‌های توصیه شده در منبع (۳) تعیین و سپس در اجرای نهایی مورد استفاده قرار گیرد. در مدل مورد نظر بخش عمده اطلاعات لازم برای شبیه‌سازی کردن کانال مورد نظر ابتدا در سه فایل اطلاعات ورودی تنظیم می‌شوند. بخش دیگری از اطلاعات مربوط به تغییر شرایط بهره برداری و داده‌های لازم برای بهینه سازی به روش SA به‌صورت سوال و جواب به مدل داده می‌شود. پس از اجرای مدل مقادیر تنظیم بهینه سازه‌های آبگیر و کنترل به عنوان راه کار خروجی با مقادیر دبی تحویلی، دبی مورد نیاز و شاخص‌های عملکرد در وضعیت بهینه در فایل‌های خروجی گزارش می‌شود. ضمناً مدل مزبور قادر است متوسط عملکرد موجود را نیز به‌منظور مقایسه با عملکرد ایدآل و عملکرد بهینه محاسبه کرده و نتایج را در فایل جداگانه‌ای گزارش نماید.

**آزمون کارایی مدل در یک شرایط واقعی**

به‌منظور آزمون قابلیت ICSS-DOM از داده‌های کانال E۱R۱ در شبکه آبیاری دز استفاده شده است. کانال مزبور که از انشعابات فرعی کانال اصلی دزفول محسوب می‌شود یک کانال بتنی با مقطع ذوزنقه‌ای و ظرفیت حداکثر معادل ۲/۴۷ متر مکعب بر ثانیه است. این کانال از طریق هفت آبگیر کشوئی در مسیری به طول ۲/۶ کیلومتر آب کشاورزی اراضی پایین دست آبگیرها را تأمین می‌کند. تنظیم تراز سطح آب در کانال برای هر زوج آبگیر توسط یک تنظیم کننده کشوئی صورت می‌گیرد. کلیه آبگیرها و تنظیم‌کننده‌ها به‌صورت دستی بهره برداری می‌شوند. بعد از هر آبگیر یک پارشال فلوم برای اندازه‌گیری دبی تحویلی به مزارع تعبیه شده است. در هر پریود تحویل که ۲۴ ساعت یکبار و ساعت ۸ صبح صورت می‌گیرد، اپراتور میزان بازشدگی دریچه‌ها را بر مبنای تجربه و بر حسب نیاز پایین دست آنها که یک روز قبل از طرف زارعین درخواست و اعلام شده است تنظیم می‌کند. آمار تحویل (دبی درخواستی، دبی تحویلی و ...) به‌طور روزانه ثبت و نگه‌داری می‌شود. برای شبیه سازی شرایط بهره برداری ابتدا با استفاده از اطلاعات موجود و داده‌های حاصل از اندازه‌گیری‌های مستقیم جهت کالیبراسیون دریچه‌ها و ضریب مانینگ، مدل مورد نظر شبیه سازی شد. سپس برای مطالعه، یک دوره تحویل ده روزه از بین آمار ثبت شده برنامه تحویل آب دوره قبل که در جدول ۲ نشان داده شده است انتخاب گردید. لازم به ذکر است که بر مبنای روش پیشنهادی، اهمیت نسبی هر شاخص نسبت مستقیمی از پتانسیل بهبود آرمانی، یا اختلاف عملکرد ایده‌آل شاخص (معیار استاندارد) با عملکرد متوسط موجود آن در نظر گرفته می‌شود. بنابراین بایستی میانگین عملکرد موجود شاخص‌ها با استفاده از آمار ثبت شده دوره‌های قبل محاسبه شود در این رابطه از آمار کوتاه‌مدت دوره قبل (نه دوره‌های خیلی گذشته) استفاده شده است، چون عملکرد فعلی کانال ممکن است تحت تأثیر عوامل مختلفی که اخیراً اتفاق افتاده (نظیر بروز آثار فرسودگی، خرابی دریچه‌ها و غیره) قرار گرفته باشد. بنابراین استفاده از آمار دوره‌های خیلی قبل که احتمالاً شرایط دیگری حاکم بوده ممکن است دقت شبیه‌سازی‌ها را تحت‌الشعاع قرار دهد. از



[ Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-10 ]

[ DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.40.2.7 ]

[ DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.40.2.7 ] [ Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-10 ]





**جدول ۲. برنامه تحویل آب در وضع موجود برای یک تقویم ده روزه منتخب از آمار ثبت شده کانال E1R1 (ارقام دبی بر حسب لیتر بر ثانیه می‌باشد).**

| مازاد یا کمبود | دبی تحویلی به کانال | دبی مورد نیاز کانال | E1R1-7 | | E1R1-6 | | E1R1-5 | | E1R1-4 | | E1R1-3 | | E1R1-2 | | E1R1-1 | | نام دریچه آبگیر |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | تحویل | درخواست | تحویل | درخواست | تحویل | درخواست | تحویل | درخواست | تحویل | درخواست | تحویل | درخواست | تحویل | درخواست | تاریخ |
| +۲۱ | ۲۵۱ | ۲۳۰ | ۳۰ | ۲۷ | ۲۰ | ۲۲ | ۴۰ | ۴۴ | ۴۰ | ۳۲ | ۴۰ | ۲۷ | ۴۰/۵ | ۴۲ | ۴۰/۵ | ۳۶ | ۷۹/۸/۱۶ |
| −۳۴ | ۱۹۹ | ۲۳۳ | ۲۰ | ۲۷ | ۲۰ | ۲۲ | ۴۰/۵ | ۴۴ | ۲۸ | ۳۲ | ۳۰ | ۲۷ | ۴۰/۵ | ۴۵ | ۲۰ | ۳۶ | ۷۹/۸/۱۷ |
| −۳۴ | ۲۱۳ | ۲۴۷ | ۲۰ | ۲۷ | ۲۰ | ۲۲ | ۵۳ | ۵۷ | ۳۰ | ۳۲ | ۳۰ | ۲۷ | ۴۰/۵ | ۴۵ | ۲۰ | ۳۷ | ۷۹/۸/۱۸ |
| −۳۲ | ۲۲۰ | ۲۵۲ | ۲۰ | ۲۷ | ۲۰ | ۲۲ | ۵۳ | ۵۷ | ۳۰ | ۳۵ | ۴۳ | ۲۹ | ۳۶/۶ | ۴۵ | ۱۸/۲ | ۳۷ | ۷۹/۸/۱۹ |
| −۴۳ | ۲۰۹ | ۲۵۲ | ۲۰ | ۲۷ | ۲۰ | ۲۲ | ۵۰ | ۵۷ | ۳۰ | ۳۵ | ۳۵ | ۲۹ | ۳۶/۷ | ۴۵ | ۱۸/۲ | ۳۷ | ۷۹/۸/۲۰ |
| −۲۹/۸ | ۲۲۲/۲ | ۲۵۲ | ۲۰ | ۲۷ | ۲۰ | ۲۲ | ۵۳ | ۵۷ | ۳۰ | ۳۵ | ۳۵ | ۲۹ | ۴۶ | ۴۵ | ۱۸/۲ | ۳۷ | ۷۹/۸/۲۱ |
| −۲۶/۸ | ۲۳۲/۲ | ۲۵۹ | ۲۵ | ۲۷ | ۲۰ | ۲۲ | ۵۳ | ۵۷ | ۳۵ | ۴۲ | ۳۵ | ۲۹ | ۴۶ | ۴۵ | ۱۸/۲ | ۳۷ | ۷۹/۸/۲۲ |
| +۶۹/۲ | ۲۱۱/۲ | ۱۴۲ | ۲۰ | ۱۴ | ۲۰ | ۹ | ۵۳ | ۴۳ | ۳۰ | ۲۲ | ۳۰ | ۱۴ | ۴۰ | ۲۶ | ۱۸/۲ | ۱۴ | ۷۹/۸/۲۳ |
| +۶۹/۲ | ۲۱۱/۲ | ۱۴۲ | ۲۰ | ۱۴ | ۲۰ | ۹ | ۵۳ | ۴۳ | ۳۰ | ۲۲ | ۳۰ | ۱۴ | ۴۰ | ۲۶ | ۱۸/۲ | ۱۴ | ۷۹/۸/۲۴ |
| +۶۹/۲ | ۲۳۴/۲ | ۱۳۸ | ۲۰ | ۱۴ | ۲۰ | ۹ | ۶۰ | ۴۵ | ۴۶ | ۱۶ | ۳۰ | ۱۴ | ۴۰ | ۲۶ | ۱۸/۲ | ۱۴ | ۷۹/۸/۲۵ |

طرف دیگر گرچه دوره انتخابی اخیر از نظر آماری به عنوان یک جامعه واقعی کوچک در نظر گرفته می‌شود لیکن ممکن است طول دوره انتخابی (تعداد روزها) برای محاسبه میانگین شاخص‌ها کافی نباشد. بنابراین لازم است بر مبنای روش‌های آماری توصیه شده برای جوامع کوچک (۲) ضریب اطمینان دوره آماری انتخابی برای محاسبه میانگین بررسی شود برهمین اساس در این تحقیق برای دوره ۴ روزه ضریب اطمینان ۹۰٪ و برای دوره ۱۰ روزه ضریب اطمینان ۹۵٪ به دست آمده که به نظر می‌رسد از دقت کافی برخوردار است.

در مرحله بعد مناسب ترین پارامترهای SA در اجراهای اولیه تعیین و سپس محاسبات مربوط به ارزیابی عملکرد موجود و بهینه سازی بهره برداری توسط مدل و در سه گزینه مختلف انجام گرفته و نتایج با یکدیگر مقایسه گردیده‌اند. در گزینه اول دبی ورودی به کانال عیناً مساوی دبی ورودی در شرایط موجود قرار داده شد تا بهتر بتوان تأثیر بهینه سازی را در مقایسه با عملکرد موجود به نمایش گذاشت. در این گزینه ضرایب وزنی در تابع هدف جهت سهولت همه یکسان و معادل ۱ در نظر گرفته شده‌اند. در گزینه دوم شرایط بهره برداری عیناً مثل گزینه اول است لیکن ضرایب وزنی در تابع هدف مطابق روش پیشنهادی تعیین شده است و هدف از این گزینه آزمون روش وزن دهی پیشنهادی و میزان تأثیر آن در بهبود عملکرد بوده است. در گزینه سوم فقط سه روز آخر تقویم انتخابی که در آن تحویل مازاد بر نیاز بوده است مد نظر قرار گرفته و دبی ورودی به کانال تا حد دبی مورد نیاز کاهش داده شده و تأثیر تعادل دبی در عملکرد بهینه و جلوگیری از تلفات آب بررسی شده است.

## نتایج و بحث

در جدول ۲ ملاحظه می‌شود که در هیچ یک از روزهای تقویم انتخابی دبی تحویلی با دبی مورد نیاز تطبیق نداشته و توزیع دبی ورودی به کانال بین آبگیرها برحسب نیازشان عادلانه صورت نگرفته و در برخی موارد نیز همراه با تلفات قابل توجهی آب است و چنانکه خواهیم دید در توزیع بهینه این مشکلات بر طرف شده است. در گزینه اول نتایج حاصل از بهینه سازی در جدول ۳ نشان داده شده است. در این جدول مقادیر هر یک از شاخص‌ها و تابع هدف به تفکیک برای وضع موجود و حالت بهینه در مقایسه با مقدار ایدآل آنها به‌صورت روزانه و متوسط ده روزه آورده شده است. در این جدول تفاوت بین مقادیر بهینه و مقادیر موجود تابع هدف و شاخص‌ها به عنوان میزان بهبود و نسبت میزان بهبود به مقدار وضع موجود تحت عنوان درصد بهبود ارائه شده است. ملاحظه می‌شود که نه تنها تابع هدف بلکه تک تک شاخص‌ها در حالت بهینه نسبت به وضع موجود در تمامی روزها بهبود یافته و به مقدار ایدآل خود نزدیک‌تر شده‌اند اما میزان بهبود شاخص‌های راندمان و کفایت تحویل چشمگیر نبوده و متوسط ده روزه آنها به‌ترتیب به میزان ۳/۵ و ۴/۴ درصد بهبود یافته‌اند. این امر به لحاظ بالا بودن سطح این شاخص‌ها در وضع موجود است که خود ناشی از کمبود تحویل در برخی روزها و یا تحویل مازاد بر نیاز در برخی دیگر از روزهاست که در جدول ۲ به‌خوبی مشهود است. در عوض متوسط ده روزه شاخص‌های عدالت و پایداری در تحویل به‌ترتیب به میزان ۵۸/۲ و ۶۵/۳ درصد بهبود نشان داده است که بسیار قابل توجه می‌باشد. در شرایطی که دبی ورودی به کانال کمتر و یا بیشتر از مجموع دبی مورد نیاز آبگیرها باشد شاخص‌های پایداری و به‌ویژه عدالت اهمیت بیشتری پیدا می‌کنند. تابع هدف نیز که هم‌زمان بیانگر مجموعه اهداف مورد نظر است به میزان قابل ملاحظه‌ای بین ۳۶/۶ الی ۷۴/۱ درصد و به‌طور متوسط ۵۰ درصد بهبود نشان داده است.

در نمودار شکل ۱ مقدار تابع هدف در حالت بهینه که حداقل آن مورد نظر است با وضع موجود مقایسه شده است. در گزینه دوم مقادیر $C_i$ ضرایب وزنی جملات تابع هدف مطابق با روش پیشنهادی به شکل پارامتری تعیین و سپس در بهینه‌سازی، تحلیل حساسیت تغییرات آنها و تأثیر شان در عملکرد بهینه مورد بررسی قرار گرفته است. از آنجا که در برخی روزها



[ Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-10 ]

[ DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.40.2.7 ]

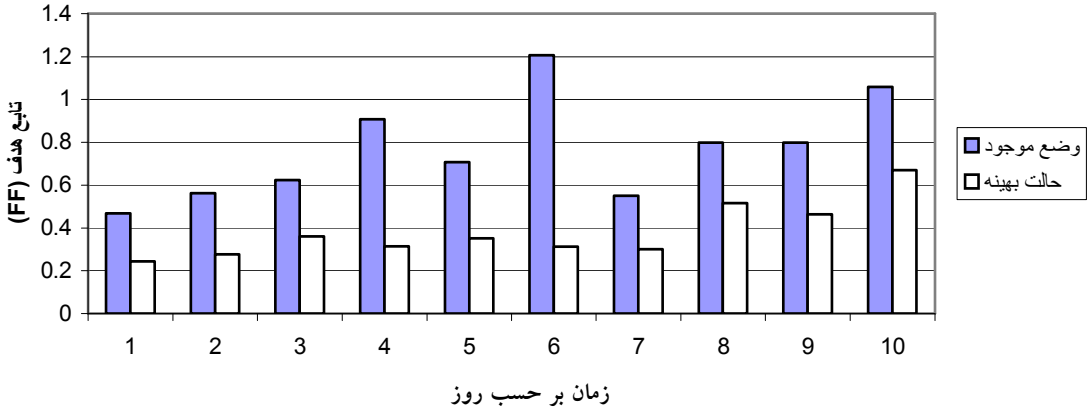
[ DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.40.2.7 ] [ Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-10 ]





**جدول۳. خلاصه نتایج بهینه سازی تابع هدف و شاخص‌های عملکرد برای یک دوره ده روزه با عملیات بهره‌برداری روزانه براساس گزینه اول**

| درصد بهبود روزانه تابع هدف | میزان بهبود روزانه تابع هدف | تابع هدف | | پایداری در تحویل | | عدالت در تحویل | | کفایت درتحویل | | راندمان در تحویل | | تاریخ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | مقدار ایدال =۰ | | مقدار ایدال =۰ | | مقدار ایدال = ۰ | | مقدار ایدال=۱ | | مقدار ایدال=۱ | | |
| | | بهینه | موجود | بهینه | موجود | بهینه | موجود | بهینه | موجود | بهینه | موجود | |
| ٪۴۸/۲ | ۰/۲۲۶ | ۰/۲۴۳ | ۰/۴۶۹ | ۰/۰۶۹ | ۰/۱۴ | ۰/۰۸۳ | ۰/۱۹ | ۱/۰۰۰ | ۰/۹۷ | ۰/۹۱ | ۰/۸۹ | ۷۹/۸/۱۶ |
| ٪۵۱ | ۰/۲۸۶ | ۰/۲۷۷ | ۰/۵۶۳ | ۰/۰۴۷ | ۰/۲۰ | ۰/۰۸۱ | ۰/۱۹ | ۰/۸۵ | ۰/۸۴ | ۱/۰۰۰ | ۰/۹۹ | ۷۹/۸/۱۷ |
| ٪۴۲/۱ | ۰/۲۶۳ | ۰/۳۶۱ | ۰/۶۲۴ | ۰/۰۸۹ | ۰/۲۵ | ۰/۱۳۳ | ۰/۲۱ | ۰/۸۷ | ۰/۸۵ | ۱/۰۰۰ | ۰/۹۸ | ۷۹/۸/۱۸ |
| ٪۶۵/۳ | ۰/۵۹۲ | ۰/۳۱۵ | ۰/۹۰۷ | ۰/۰۸۷ | ۰/۳۳ | ۰/۱۱۵ | ۰/۳۴ | ۰/۸۹ | ۰/۸۱ | ۱/۰۰۰ | ۰/۹۵ | ۷۹/۸/۱۹ |
| ٪۵۰/۴ | ۰/۳۵۷ | ۰/۳۵۱ | ۰/۷۰۸ | ۰/۰۸۲ | ۰/۲۴ | ۰/۱۱۵ | ۰/۲۵ | ۰/۸۵ | ۰/۸۱ | ۱/۰۰۰ | ۰/۹۸ | ۷۹/۸/۲۰ |
| ٪۷۴/۱ | ۰/۸۹۴ | ۰/۳۱۲ | ۱/۲۰۶ | ۰/۰۸۷ | ۰/۴۱ | ۰/۱۱۵ | ۰/۴۹ | ۰/۸۹ | ۰/۷۳ | ۱/۰۰۰ | ۰/۹۷ | ۷۹/۸/۲۱ |
| ٪۴۵/۲ | ۰/۲۴۹ | ۰/۳۰۱ | ۰/۵۵۰ | ۰/۱۰۳ | ۰/۱۵ | ۰/۱۰۳ | ۰/۲۴ | ۰/۹۱ | ۰/۸۶ | ۱/۰۰۰ | ۰/۹۷ | ۷۹/۸/۲۲ |
| ٪۳۵/۴ | ۰/۲۸۳ | ۰/۵۱۶ | ۰/۷۹۹ | ۰/۰۹۳ | ۰/۲۰ | ۰/۱۱۲ | ۰/۲۵ | ۱/۰۰۰ | ۱/۰۰۰ | ۰/۶۹ | ۰/۶۶ | ۷۹/۸/۲۳ |
| ٪۴۲/۱ | ۰/۳۳۶ | ۰/۴۶۳ | ۰/۷۹۹ | ۰/۰۷۳ | ۰/۲۰ | ۰/۱۰۴ | ۰/۲۵ | ۱/۰۰۰ | ۱/۰۰۰ | ۰/۷۱ | ۰/۶۶ | ۷۹/۸/۲۴ |
| ٪۳۶/۶ | ۰/۳۸۸ | ۰/۶۷۱ | ۱/۰۵۹ | ۰/۱۱۹ | ۰/۳۳ | ۰/۱۸۳ | ۰/۳۲ | ۱/۰۰۰ | ۱/۰۰۰ | ۰/۶۳ | ۰/۵۹ | ۷۹/۸/۲۵ |
| ٪۵۰ ≈ | ۰/۳۸۷ | ۰/۳۸۱ | ۰/۷۶۸ | ۰/۰۸۵ | ۰/۲۴۵ | ۰/۱۱۴ | ۰/۲۷۳ | ۰/۹۲۶ | ۰/۸۸۷ | ۰/۸۹۴ | ۰/۸۶۴ | متوسط ده روز |
| | | ٪۵۰ ≈ | | ٪۶۵/۳ | | ٪۵۸/۲ | | ٪۴/۴ | | ٪۳/۵ | | درصد بهبود متوسط ده روزه |




**شکل ۱. نمودار تغییرات روزانه تابع هدف در وضع موجود و حا لت بهینه برای یک دوره ده روزه بر اساس گزینه اول ( مقدار ایدآل تابع هدف صفر است ).**

**جدول ۴. خلاصه محاسبات اهمیت نسبی شاخص‌ها و ضرایب Ci برای روزهایی که دبی تحویلی به سیستم کمتر از دبی مورد نیاز است.**

| روزهایی که دبی تحویلی به کانال کمتر از دبی مورد نیاز است | عملکرد موجود شاخص‌ها که با شبیه‌سازی توسط مدل محاسبه شده است | | | |
|---|---|---|---|---|
| | راندمان تحویل | کفایت در تحویل | عدالت در تحویل | پایداری در تحویل |
| ۷۹/۸/۱۷ | ۰/۹۹ | ۰/۸۴ | ۰/۱۹ | ۰/۲۰ |
| ۷۹/۸/۱۸ | ۰/۹۸ | ۰/۸۵ | ۰/۲۱ | ۰/۲۵ |
| ۷۹/۸/۱۹ | ۰/۹۵ | ۰/۸۱ | ۰/۳۴ | ۰/۳۳ |
| ۷۹/۸/۲۰ | ۰/۹۸ | ۰/۸۱ | ۰/۲۵ | ۰/۲۴ |
| ۷۹/۸/۲۱ | ۰/۹۷ | ۰/۸۴ | ۰/۲۶ | ۰/۳۱ |
| ۷۹/۸/۲۲ | ۰/۹۷ | ۰/۸۶ | ۰/۲۵ | ۰/۱۷ |
| متوسط عملکرد موجود شاخص | ۰/۹۷ | ۰/۸۴ | ۰/۲۵ | ۰/۲۵ |
| عملکرد ایدآل شاخص (معیار استاندارد) | ۱ | ۱ | ۰ | ۰ |
| $\gamma_i$ پتانسیل بهبود آرمانی* | ۰/۰۳ | ۰/۱۶ | ۰/۲۵ | ۰/۲۵ |
| اهمیت نسبی شاخص | ۰/۰۳θ | ۰/۱۶θ | ۰/۲۵θ | ۰/۲۵θ |
| $C_i$ ضرایب وزنی جملات تابع هدف | ۱+۰/۰۳θ | ۱+۰/۱۶θ | ۱+۰/۲۵θ | ۱+۰/۲۵θ |

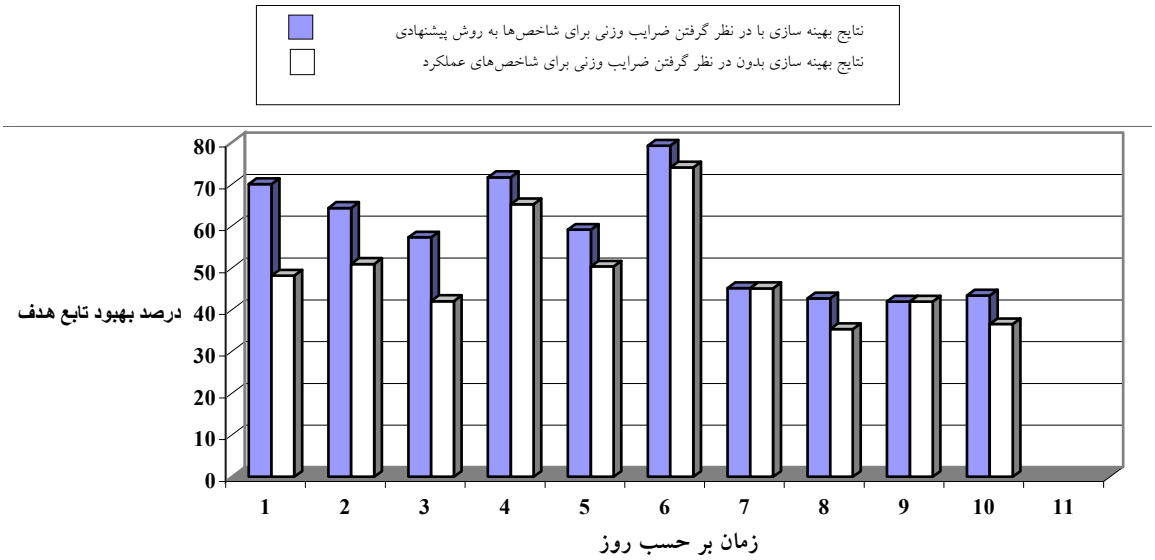
* : پتانسیل بهبود آرمانی عبارت است از اختلاف بین متوسط عملکرد موجود شاخص با عملکرد ایدآل آن

تحویل مازاد بر نیاز باعث افزایش شاخص کفایت تحویل شده و در برخی روزها کمبود دبی تحویلی نسبت به دبی مورد نیاز راندمان تحویل را افزایش می‌دهد لذا متوسط عملکرد موجود شاخص‌ها و ضرایب وزنی $C_i$ ترجیحاً برای این روزها جداگانه تعیین و مورد استفاده قرار گرفته است. جدول ۴ چگونگی محاسبه اهمیت نسبی شاخص‌ها و ضرایب وزنی $C_i$ را برای روزهایی که دبی تحویلی کمتر از دبی مورد نیاز است، نشان می‌دهد. برای سایر روزها که دبی تحویلی مازاد بر نیاز است



[ Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-10 ]

[ DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.40.2.7 ]




**شکل۲. مقایسه درصد بهبود روزانه تابع هدف در گزینه اول و دوم**

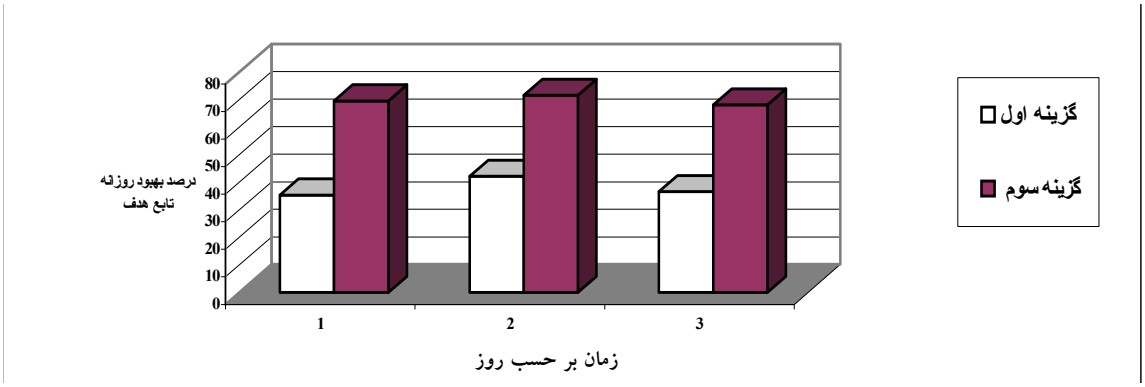
نیز روش محاسبه یکسان بوده و فقط مقادیر $C_i$ برای بعضی شاخص‌ها کمی تفاوت می‌کند. در اینجا جهت اختصار از ذکر جدول مربوط به آن خودداری می‌شود. مقدار بهینه پارامتر $\theta$ با تحلیل حساسیت در این مطالعات معادل ۱۰ به‌دست آمده است به‌طوری که بیش از آن هیچ‌گونه بهبود بیشتری در مقدار تابع هدف و شاخص‌ها در هیچ‌یک از روزها حاصل نشده است. خلاصه نتایج کلی در این گزینه به‌صورت نمودار شکل ۲ نشان داده شده است که در آن درصد بهبود روزانه تابع هدف در گزینه اول و دوم با یکدیگر مقایسه شده‌اند. در این نمودار ملاحظه می‌شود که به غیر از روزهای هفتم و نهم که تابع هدف بهبود چشمگیری نیافته است در سایر روزها تابع هدف در گزینه دوم نسبت به گزینه اول بین ۷ الی ۲۱ درصد افزایش داشته است که می‌تواند بیانگر تأثیر مثبت در نظر گرفتن ضرایب وزنی به روش پیشنهادی باشد. در گزینه سوم دبی ورودی به کانال در سه روز آخر تقویم انتخابی که تحویل مازاد بر نیاز بوده است تا حد دبی مورد نیاز کاهش داده شده و تأثیر آن روی عملکرد شاخص‌ها و تابع هدف و میزان صرفه جوئی در آب بررسی شده است. در این‌حالت جهت سهولت ضرایب وزنی $C_i$ همه یکسان و معادل ۱ قرار داده شده و نتایج با گزینه اول مقایسه شده است. خلاصه این نتایج حاکی از آن است که در گزینه سوم عملکرد متوسط سه روزه شاخص‌های راندمان، عدالت و پایداری در تحویل به‌ترتیب به‌میزان ۵۲، ۶۳ و ۶۷ درصد بهبود یافته‌اند که نسبت به مقادیر متناظر در گزینه اول (۶/۲۵ ، ۵۲ و ۶۰ درصد) بهبود قابل ملاحظه‌ای می‌باشد.

در نمودار شکل ۳ نیز درصد بهبود تابع هدف در این سه روز با گزینه اول مقایسه شده است، ملاحظه می‌شود که در گزینه سوم تابع هدف روزانه به میزان ۶۹/۵، ۷۱/۵ و ۶۸/۱ درصد بهبود یافته است که نسبت به مقادیر متناظر در گزینه اول (۳۵/۴، ۴۲/۱، ۳۶/۶ درصد) بهبود نسبتاً زیادی را نزدیک به دو برابر نشان می‌دهد. علاوه بر همه اینها یک محاسبه ساده نشان می‌دهد که به لحاظ تعادل بین دبی مورد نیاز و دبی انحرافی به کانال حجم قابل ملاحظه‌ای آب (۲۰۰۰۰ متر مکعب) طی سه روز بهره برداری صرفه‌جوئی و از اتلاف آن جلوگیری خواهد شد که مسأله بسیار مهمی در نیل به بهره‌وری آب کشاورزی است. لازم به ذکر است که در شرایط موجود علت تحویل مازاد بر نیاز را به‌طور کلی می‌توان به دو صورت تفسیر کرد. یا آن‌که اپراتور نتوانسته است سازه ورودی از کانال بالا دست به کانال مورد نظر را بر مبنای تجربه تنظیم کند و یا این‌که از بیم پایین افتادن کفایت تحویل در آبگیرها بر مبنای نیاز اعلام شده توسط



[ Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-10 ]

[ DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.40.2.7 ]




**شکل۳. مقایسه درصد بهبود روزانه تابع هدف در گزینه‌های اول و سوم برای سه روز آخر تقویم انتخابی**

زارعین ،دبی بیشتری را به کانال منحرف نموده است. در هر حال بروز چنین شرایطی که طی سالیان متمادی در بهره برداری از شبکه آبیاری ممکن است به کرات اتفاق افتد باعث تلفات حجم قابل ملاحظه‌ای از آب و خسارات متعدد ناشی از آن و در یک کلام کاهش بهره وری آب کشاورزی خواهد شد. در اینجا ضرورت اتخاذ روش‌های بهره برداری بهینه قویا احساس می‌شود که جز با روش‌های علمی و استفاده از روش‌های بهینه سازی مبتنی بر شبیه سازی هیدرودینامیک میسر نمی‌باشد .در این راستا ICSS-DOM ابزار مناسبی است که کارائی آن در عمل موفقیت آمیزه بوده و در کلیه مراحل آزمون به علت امکان کوچک گرفتن طول گام‌های تصادفی هیچ‌گونه ناپایداری و ناهمگرائی در فرایند توام بهینه‌سازی ـ شبیه سازی مشاهده نشده است. به منظور اعتبار سنجی جواب‌های مدل، علاوه بر مقایسه نتایج با وضع موجود که شرح آن گذشت، از دو روش ریاضی در اعتبار سنجی تحت عناوین روش حد پایین (Low extent method) و روش مجانب (Asymtote method) استفاده به عمل آمده است. در این روش‌ها مقدار بهینه سراسری تابع هدف به طور تئوری و به روش‌های ریاضی که توصیف آنها در این مقاله نمی‌گنجد تخمین زده می‌شود سپس مقدار بهینه تابع هدف که در اجراهای واقعی عملاً به دست آمده است با مقدار بهینه سراسری تخمینی مقایسه می‌شود. هر چه درصد اختلاف کمتر باشد حاکی از اعتبار بیشتر جواب‌های حاصله است. نتایج حاصل از کاربرد روش‌های مزبور در این تحقیق حاکی از آن است که مدل مورد نظر توانسته است جواب‌های معتبری را در زمان نسبتاً کوتاهی ارائه نماید. برای اطلاع از جزئیات روش‌های به کار گرفته شده و نتایج به دست آمده می‌توان به مرجع (۳) مراجعه نمود.

لازم به ذکر است که همیشه نمی‌توان به راحتی از روش‌های ریاضی اعتبار سنجی استفاده نمود چرا که هر چه شکل تابع هدف پیچیده و تعداد شاخص‌های عملکرد و متغیرهای تصمیم‌گیری افزایش یابد استفاده از این روش‌ها مشکل‌تر و حتی گاهی غیرممکن خواهد بود. در حالت اخیر تنها معیار اعتبارسنجی همان مقایسه جواب‌های بهینه با عملکرد موجود حاصل از فرایند ارزیابی است.

## نتیجه‌گیری

با توجه به آن‌چه گذشت خلاصه نتایج در این مقاله را می‌توان به‌صورت زیر عنوان کرد:

۱- از عوامل عمده ضعیف بودن عملکرد کانال‌های آبیاری و کاهش بهره وری آب کشاورزی، تحویل و توزیع ناعادلانه و نامناسب آب به‌ویژه تحویل آب مازاد بر نیاز به مزارع زیر دست کانال‌های آبیاری است.

۲- یکی از راه‌های مؤثر در بهبود عملکرد کانال‌های آبیاری و ارتقای بهره وری آب کشاورزی، بهینه سازی بهره برداری از کانال‌های آبیاری با توجه به نیازمندی‌ها و شرایط و محدودیت‌های موجود است.



[ Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-10 ]

[ DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.40.2.7 ]

۳- بهینه سازی بهره‌برداری از کانال‌های آبیاری به طریق علمی و کمّی که منجر به راه کارهای عملی مؤثر گردد جز از طریق بهینه سازی توام با شبیه سازی هیدرودینامیک امکان پذیر نمی‌باشد و مدل‌های ریاضی که بدین منظور تهیه می‌شوند می‌توانند مناسب‌ترین ابزار علمی برای نیل به این اهداف باشند. در این رابطه ICSS-DOM به لحاظ قابلیت، دقت و کارائی آن ابزار توانا و سودمندی است که می‌تواند مورد استفاده محققین، مدیران، کارشناسان و مسئولین بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری قرار گیرد.

## سپاسگزاری

از مدیریت محترم شرکت بهره‌داری از شبکه‌های آبیاری ناحیه شمال خوزستان، مسئولان و کارشناسان دفتر فنی و پرسنلی که به ترتیب در فراهم نمودن امکانات برای تهیه اطلاعات مورد نیاز مساعدت لازم را مبذول داشته‌اند تشکر و قدردانی می‌شود.

## منابع مورد استفاده

۱. شهیدی‌پور، س. م.۱۳۷۳. *بهینه‌سازی (تئوری و کاربرد)*. جلد اول، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.

۲. عمیدی، ع.۱۳۷۳. *آمار کاربردی (ترجمه)*. چاپ اول، مرکز نشر دانشگاهی، تهران

۳. محسنی موحد، س. ا. ۱۳۸۱. تهیه مدل ریاضی بهینه‌سازی عملکرد هیدرولیکی کانال‌های آبیاری با استفاده از روش آنیلینگ شبیه‌سازی شده (SA ) و تعیین ارزش نسبی شاخص‌های ارزیابی. رساله دوره دکتری آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

4. Egles, R.W. 1990. Simulated annealing : A tool for operational research. Europ. J. Operational Res. 46: 271-281.
5. Kirkpatrick, S. , C.D Jr. Gelatt and M.P. Vecchi. 1983. Optimization by Simulated annealing. Sci. 220: 671-680.
6. Lundy, M. and A. Mees. 1986. Convergence of an annealing algorithm. Mathemat. Program. 34: 111-124.
7. Manz, D.H.1990. Use of the ICSS model for prediction of conveyance system operational characteristics.Transactions of the fourteenth International Congress on Irrigation and Drainage ( ICID ), Rio de Janerio, Brazil. 1: 1-18.
8. Molden, D.J. T.K. and Gates. 1990. Performance measures for evaluation of irrigation water delivery systems. J. Irrig. and Drain. Eng. 116:804-822.
9. Monem, M.J. 1996. Performance evaluation and optimization of irrigation canal systems using genetic algorithm. Ph.D. Dissertation, Department of Civil Eng., Calgary Univ., Alberta, Canada.
10. Park, M-W. and Y-D. Kim. 1998. A Systematic procedure for setting parameters in simulated annealing algorithms. J. Comput. Operational Res. 25:207-217.

[ Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-10 ]

[ DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.40.2.7 ]