

## بهینه‌سازی عملکرد کانال‌های آبیاری برمبنای تحلیل حساسیت ضرایب وزنی شاخص‌ها و دوره‌های مختلف بهره‌برداری (مطالعه موردی کانال E<sub>1</sub>L<sub>4</sub> در شبکه آبیاری دز)

سید اسدالله محسنی موحد<sup>۱</sup> و سمیرا نوروزپور<sup>۲\*</sup>

### چکیده

در مورد کانال‌های آبیاری باید ترکیب مناسبی از شاخص‌های بهره‌برداری را انتخاب و با استفاده از یک روش بهینه‌سازی آن را در یک تابع هدف بهینه کرد. ولی مشکل اساسی، انتخاب شاخص‌های مناسب بهره‌برداری و فقدان یک روش استاندارد برای تعیین اهمیت نسبی این شاخص‌ها است. هدف اصلی از این تحقیق، ارزیابی یک روش پیشنهادی برای وزن‌دهی به شاخص‌ها با استفاده از تحلیل حساسیت پارامتری ضرایب وزنی شاخص‌ها و مدل ترکیبی ICSSDOM است. در این تحقیق، برای نمایش قابلیت مدل مورد استفاده و الگوی پیشنهادی از کانال توزیع‌کننده E<sub>1</sub>L<sub>4</sub> در شبکه آبیاری دز استفاده شده است. در مدل هیدرودینامیک ICSSDOM از ترکیب روش بهینه‌سازی SA و مدل شبیه‌سازی هیدرودینامیک ICSS استفاده شده است. مناسب‌ترین ضرایب وزنی شاخص‌ها برای بهینه‌سازی عملکرد بهره‌برداری از کانال‌های آبیاری با استفاده از یک روش منطقی و مستقل از هرگونه قضاوت کارشناسی تعیین شده است. برطبق نتایج حاصله در حالتی که ضریب وزنی هر شاخص به صورت نسبت مستقیمی از پتانسیل بهبود آرمانی آن شاخص در نظر گرفته شده باشد ( $C_i = 1 + \theta \gamma_i$ )، درصد بهبود بهتر از سایر گزینه‌های مختلف مورد بررسی است. از دیگر اهداف این تحقیق ارزیابی بهینه‌سازی عملکرد بهره‌برداری از کانال‌ها برمبنای دوره‌های مختلف بهره‌برداری (۶، ۸، ۱۲ و ۲۴ ساعته) است که منجر به انتخاب دوره بهره‌برداری ۸ ساعته با درصد بهبود بالاتر شد. دیگر نتایج حاصل از این تحقیق تعیین ترکیب مناسب پارامترهای الگوریتم بهینه‌سازی SA است.

**واژه‌های کلیدی:** بهره‌برداری از کانال‌های آبیاری، مدل هیدرودینامیک ICSSDOM، بهینه‌سازی، تحلیل حساسیت پارامتری.

**ارجاع:** محسنی موحد س.ا. و نوروزپور س. ۱۳۹۰. بهینه‌سازی عملکرد کانال‌های آبیاری برمبنای تحلیل حساسیت ضرایب وزنی شاخص‌ها و دوره‌های مختلف بهره‌برداری (مطالعه موردی کانال E<sub>1</sub>L<sub>4</sub> در شبکه آبیاری دز). مجله پژوهش آب ایران. ۵(۸): ۱-۱۲.

۱- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه اراک.

۲- کارشناس ارشد مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه همدان

\* نویسنده مسئول: [norozpor.samira@yahoo.com](mailto:norozpor.samira@yahoo.com)

تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۰۳/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۱۱/۲۳

## مقدمه

امروزه ضرورت استفاده بهینه از منابع آب و نامطلوب بودن عملکرد بهره‌برداری اغلب شبکه‌های موجود، توجه و تأکید کارشناسان را به ارائه روش‌های مناسب برای ارزیابی و بهبود عملکرد بهره‌برداری و افزایش بهره‌وری سیستم‌ها در مدت زمان کوتاه معطوف کرده است. یکی از عواقب مدیریت و بهره‌برداری ضعیف در شبکه‌های آبیاری، تحویل و توزیع نامناسب آب به کانال‌ها و انشعابات و به تبع آن توزیع نامناسب آب در سطح اراضی است (محسنی موحد و منعم، ۱۳۸۱). از طرف دیگر با توجه به اینکه عملکرد بهره‌برداری یک شبکه آبیاری مبتنی بر رفتار هیدرولیکی جریان و تابعی از متغیرهای متعدد زمانی و مکانی (سرعت، عمق و سطح مقطع) است و نیز به‌علت ماهیت پیچیده هیدرولیک جریان در کانال‌های آبیاری به‌ویژه در شرایط متغیر بهره‌برداری و مانور دریچه‌ها، ارائه روش‌های کمی و مدل‌های ریاضی که منجر به یک دستورالعمل علمی و کاربردی برای بهره‌برداری بهینه از کانال‌های آبیاری گردد جز با فرایند پیچیده و توأم شبیه‌سازی-بهینه‌سازی و انتخاب مجموعه‌ای از شاخص‌های عملکرد مناسب ممکن نیست (محسنی موحد، ۱۳۸۶).

برای بهینه‌سازی عملکرد بهره‌برداری از کانال‌های آبیاری باید طیف کاملی از شاخص‌ها را انتخاب و با استفاده از یک روش بهینه‌سازی در یک تابع هدف بهینه کرد. مناسب‌ترین شاخص‌ها در زمینه عملکرد بهره‌برداری (عملکرد هیدرولیکی) کانال‌های آبیاری، شاخص‌هایی است که مولدن و گیتس در سال ۱۹۹۰ ارائه داده‌اند. این شاخص‌ها عبارتند از راندمان، کفایت، عدالت و پایداری در تحویل. مشکلی که معمولاً پس از انتخاب شاخص‌های مناسب جلوه می‌نماید، فقدان یک روش کمی و استاندارد برای تعیین اهمیت نسبی شاخص‌ها (ضرایب وزنی شاخص‌ها) در تابع هدف می‌باشد. لازم به ذکر است چون شاخص‌ها بعضاً با هم رقابت دارند نمی‌توانند تحت همه شرایط ضرایب وزنی یکسانی را در تابع هدف به خود اختصاص دهند و از آنجایی که الگوی استاندارد برای وزن‌دهی به شاخص‌ها وجود ندارد، معمولاً از قضاوت کارشناسی استفاده می‌شود. چه در ارزیابی و چه در بهبود عملکرد، اگر وزن‌دهی بر مبنای قضاوت کارشناسی صورت گیرد، در صورت به‌کارگیری توسط افراد مختلف

به‌علت پراکندگی آرا، برای یک مسئله مشخص به نتایج متفاوتی منجر خواهد شد و این قضاوت کارشناسی تنها زمانی معتبر است که هیچگونه ملاک دیگری در دست نباشد. هدف از این تحقیق نیز آزمون و ارزیابی یک روش پیشنهادی برای وزن‌دهی به شاخص‌ها برای شرایط و گزینه‌های مختلف بهره‌برداری و ارائه یک الگوی مناسب با استفاده از تحلیل حساسیت ضرایب وزنی شاخص‌ها و مدل هیدرودینامیک<sup>۱</sup> ICSSDOM است. روش وزن‌دهی به شاخص‌ها روشی منطقی، مؤثر و مستقل از هرگونه قضاوت کارشناسی می‌باشد که نخستین بار توسط محسنی موحد در سال ۱۳۸۱ در نظر گرفتن اهمیت نسبی شاخص‌ها ارائه شد.

## مواد و روش‌ها

**تابع هدف:** همانگونه که گفته شد مناسب‌ترین شاخص‌های عملکرد بهره‌برداری که دارای مفهوم دقیق و واضحی بوده و در عین حال کمی، بدون بعد و قابل اندازه‌گیری باشند، شاخص‌هایی است که مولدن و گیتس (۱۹۹۰) ارائه داده‌اند.

$$\left\{ \begin{array}{l} MPA = \frac{1}{T} \sum_T \frac{1}{N} \sum_N (PA) \\ \text{if } QD < QR \Rightarrow PA = \frac{QD}{QR} \\ \text{if } QD > QR \Rightarrow PA = 1 \end{array} \right. \quad (1)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} MPF = \frac{1}{T} \sum_T \frac{1}{N} (PF) \\ \text{if } QD > QR \Rightarrow PF = \frac{QR}{QD} \\ \text{if } QD < QR \Rightarrow PF = 1 \end{array} \right. \quad (2)$$

$$MPE = \frac{1}{T} \sum_T CV_N \left( \frac{QD}{QR} \right) \quad (3)$$

$$MPD = \frac{1}{N} \sum_N CV_T \left( \frac{QD}{QR} \right) \quad (4)$$

در معادلات فوق شاخص‌های MPA، MPF، MPE و MPD به ترتیب عبارتند از متوسط کفایت در تحویل، راندمان در تحویل، عدالت و پایداری در تحویل در دریچه‌های آبگیر یک کانال. QR دبی موردنیاز پایین دست دریچه آبگیر، QD دبی

$$\beta_i = \theta \gamma_i = \text{اهمیت نسبی شاخص} \quad (۸)$$

که در آن  $\theta$  برای همه جملات یکسان قرار داده می‌شود و در نتیجه مقادیر  $\gamma_i$  می‌توانند قبل از بهینه‌سازی همه به نسبت  $\theta$  بزرگتر شوند. اما اینکه  $\theta$  چه مقدار باید باشد تا جواب‌های بهتری به دست آید، باید با آزمون مقادیر مختلف  $\theta$  در هر روز از دوره آماری بررسی شود. در شاخص‌هایی که عملکرد موجود بالایی دارند، پتانسیل بهبود آرمانی و در نتیجه اهمیت نسبی شاخص صفر است در نتیجه اگر  $C_i = \theta \cdot \gamma_i$  به عنوان ضریب شاخص در تابع هدف معرفی شود اینگونه شاخصها از فرایند بهینه‌سازی حذف می‌شوند. لذا در اینجا برای جلوگیری از این امر ضریب  $C_i$  به صورت  $1 + \theta \gamma_i$  تعریف شده است.

در نهایت ضرایب  $C_i$  به صورت  $C_i = \alpha_i (1 + \theta \gamma_i)$  در نظر گرفته شده‌اند و شکل نهایی تابع هدف به صورت زیر در می‌آید:

$$FF_{\min} = \alpha_1 (1 + \theta \gamma_1) (1 - MPA) + \alpha_2 (1 + \theta \gamma_2) (1 - MPF) + \alpha_3 (1 + \theta \gamma_3) MPE + \alpha_4 (1 + \theta \gamma_4) MPD \quad (۹)$$

ضرایب  $\alpha_i$  در مدل ICSSDOM برای آن در نظر گرفته شده است که بتوان با صفر قرار دادن آن، شاخص یا شاخص‌هایی را از فرایند بهینه‌سازی حذف و تأثیر آن را مطالعه کرد. در غیر این صورت  $\alpha_i$  ها معادل یک قرار داده می‌شود. متغیرهای تصمیم‌گیری در این مسئله عبارتند از میزان تنظیم دریچه‌های آبگیر و سازه‌های کنترل که تغییرات آنها باعث تغییر مقدار QD در تابع هدف خواهد شد. محدودیت‌های مسئله نیز عبارتند از حدود مجاز تنظیمات مزبور و حداکثر عمق مجاز آب در کانال که با روابط زیر تعریف می‌شود:

$$(۱۰) \quad \text{میزان حداکثر بازشدگی سازه} \leq \text{میزان تنظیم سازه} < ۰$$

(۱۱) حداکثر عمق مجاز آب کانال  $\leq$  عمق آب در سرتاسر کانال ثابت‌های مسئله نیز عبارتند از: دبی ورودی به کانال، دبی مورد نیاز هر دریچه،  $n$  تعداد دریچه‌ها و  $t$  تعداد گام‌های زمانی.

همان‌گونه که ملاحظه می‌شود تابع هدف تابع صریحی از متغیرهای تصمیم‌گیری نیست و ارتباط آنها از طریق معادلات هیدرولیکی حاکم بر جریان آب در کانال برقرار می‌گردد. نحوه این ارتباط باید با یک مدل شبیه‌سازی هیدروپنمیک صورت گیرد. از طرفی بهینه‌سازی یک چنین

واقعی تحویلی به هر دریچه،  $N$  تعداد دریچه‌های آبگیر و  $T$  تعداد گام‌های زمانی در یک دوره تحویل است.  $CV_N$  و  $CV_T$  نیز به ترتیب ضریب تغییرات زمانی و ضریب تغییرات مکانی نسبت  $\left(\frac{QD}{QR}\right)$  است.

لازم به ذکر است که مقدار ایده‌آل شاخص‌های کفایت و راندمان تحویل یک و مقدار ایده‌آل شاخص‌های عدالت و پایداری در تحویل صفر است. بنابراین تابع هدفی که بیانگر مجموعه شاخص‌های فوق بوده است و باید در فرایند بهینه‌سازی مقدار کمینه آن تعیین شود به صورت معادله زیر ارائه شده است (محسنی موحد، ۱۳۸۱):

$$FF_{\min} = C_1(1 - MPA) + C_2(1 - MPF) + C_3 MPE + C_4 MPD \quad (۵)$$

که در آن  $C_i$  ها ضرایب وزنی جملات تابع هدف می‌باشند. هدف از حل مسئله فوق جستجوی جوابی است (ترکیب مناسب برای بازشدگی دریچه‌ها در طول دوره بهره‌برداری) که مجموع (وزنی) انحراف هر شاخص را نسبت به مقدار ایده‌آلی که برای آن شاخص تعریف شده است، حداقل کند. منظور از تحلیل حساسیت ضرایب وزنی نیز بررسی تأثیر تغییر میزان این ضرایب در بهبود یا عدم بهبود شاخص‌های عملکرد و تابع هدف است. می‌توان از طریق روشی مبتنی بر اصول ریاضی ضرایب شاخص‌ها را متناسب با فاصله مقدار واقعی و آرمانی آنها در نظر گرفت و با انجام تحلیل حساسیت در فرایند بهینه‌سازی مناسب‌ترین مقدار این ضرایب را انتخاب کرد. برای این کار می‌توان برای شاخص یا شاخص‌هایی که در وضع موجود عملکرد بدتری دارند اهمیت (وزن) بیشتری قائل شد و نتیجه را با سایر حالات مقایسه کرد. به این منظور ضرایب  $C_i$  مربوط به هر شاخص به صورت  $C_i = 1 + \beta_i$  در نظر گرفته می‌شود که در آن  $\beta_i > 0$  بوده و برابر با نسبت مستقیمی از اختلاف سطح عملکرد موجود با مقدار ایده‌آل آن قرار داده می‌شود. تفاوت بین سطح عملکرد موجود و سطح عملکرد ایده‌آل هر شاخص به عنوان پتانسیل بهبود آرمانی تعریف شده و با علامت  $\gamma_i$  نمایش داده می‌شود، در نتیجه  $\beta_i$  ها یا اهمیت نسبی شاخص‌ها نسبت مستقیمی از  $\gamma_i$  ها می‌باشند و روابط زیر بین این پارامترها برقرار است:

$$(۶) \quad \text{عملکرد موجود شاخص} - \text{عملکرد ایده‌آل شاخص} = \text{پتانسیل بهبود آرمانی } \gamma_i$$

$$(۷) \quad C_i = 1 + \beta_i = 1 + \theta \gamma_i = \text{ضرایب وزنی جملات تابع هدف}$$

که به‌طور تصادفی تعیین می‌شوند معادل با چگونگی قرار گرفتن اتم‌ها در کنار یکدیگر بوده و تعادل دمایی در دمای نهایی معادل با پاسخ بهینه است. این روش در بهینه‌سازی آبیاری شیاری نیز استفاده شده است (یزدی و محسنی موحد، ۱۳۸۷).

روند بهینه‌سازی در این مدل مطابق با روش SA به این ترتیب است که ابتدا گزینه‌های تصمیم‌گیری (تنظیمات سازه‌ها) در محدوده مجاز (قیودات بهینه‌سازی) به‌طور تصادفی تولید شده (S) و سپس با شبیه‌سازی هیدرودینامیک در ICSS تابع هدف برای مدت تحویل مورد نظر و با گام‌های زمانی ۰/۱ ساعت محاسبه می‌شود FF(S). در مرحله بعدی با استفاده از یک ساختار همسایگی مناسب، که در معادله ۱۲ آمده، مجدداً گزینه‌های جدیدی به‌طور تصادفی تولید (S') و تابع هدف در این مرحله نیز با شبیه‌سازی هیدرودینامیک محاسبه می‌شود FF(S').

$$S' = S \pm \Delta S = S \pm \left( \frac{\text{Random}}{K_{\text{div}}} \right) \quad (12)$$

در معادله فوق S جواب جاری، S' جواب مجاور در همسایگی S در هر گام تصادفی،  $\Delta S$  طول گام تصادفی و Kdiv پارامتری است که هرچه بزرگتر باشد طول گام تصادفی کاهش یافته و در نتیجه همسایگی کوچکتری تولید می‌شود. مقدار مناسب Kdiv با تحلیل حساسیت تعیین می‌شود.

اگر مقدار تابع هدف در این مرحله نسبت به مرحله قبل کاهش یابد گزینه جدید پذیرفته می‌شود. در غیر اینصورت گزینه جدید با یک احتمال مشخصی پذیرفته می‌شود (حرکت رو به بالا). برای این امر یک عدد تصادفی بین صفر و یک تولید شده  $R \in (0 \sim 1)$  و اگر  $R < \exp(-\frac{D}{T})$  باشد این گزینه نیز پذیرفته می‌شود. در غیر این صورت گزینه جدید رد می‌شود. بنابراین با کاهش T در مراحل بهینه‌سازی احتمال پذیرش جواب‌های بد (حرکت‌های رو به بالا) کاهش می‌یابد. این روند آنقدر تکرار می‌شود تا شرط توقف که رسیدن به پارامتر کنترلی دمای نهایی است، برآورده شود.

الگوریتم بهینه‌سازی SA نسبت به پارامترهای حساس بوده و کیفیت جواب‌ها بستگی به مقدار این پارامترها دارد. این پارامترها که در واقع پارامترهای کنترلی در روند اجرای الگوریتم هستند به‌ترتیب وارد کردنشان در مدل عبارتند از:

تابع غیرصریحی با روش‌های تحلیلی بهینه‌سازی دشوار و گاهی غیرممکن است و باید از روش‌های عددی استفاده کرد. در این تحقیق برای بهینه‌سازی تابع هدف فوق از مدل شبیه‌سازی هیدرودینامیک ICSSDOM استفاده شده است که به اختصار معرفی می‌شود.

**مدل هیدرودینامیک ICSSDOM:** مدل هیدرودینامیک ICSSDOM که توسط محسنی موحد (۱۳۸۱) ارائه شده، یک مدل ریاضی ترکیبی است که در آن الگوریتم بهینه‌سازی SA<sup>۱</sup> به‌صورت یک حلقه داخلی در ساختار اصلی مدل شبیه‌سازی هیدرودینامیک ICSS<sup>۲</sup> قرار گرفته است. علاوه بر آن زیربرنامه‌های متعددی نیز به‌منظور افزایش قابلیت این مدل برای بهینه‌سازی و ارائه خروجی‌های مورد نظر به آن اضافه شده است.

مدل هیدرودینامیک ICSS توسط مانز (۱۹۹۰) و به‌منظور شبیه‌سازی هیدرودینامیک، هیدرولوژی و بهره‌برداری از سیستم‌های انتقال آب آبیاری که دارای تغییرات جریانات ورودی و خروجی و تغییرات شرایط فیزیکی هستند طراحی شده است. در این مدل برای شبیه‌سازی جریان ماندگار از معادلات جریان متغیر تدریجی ارائه شده توسط هندرسون (۱۹۶۶)، و برای شبیه‌سازی جریان غیر ماندگار از معادلات سنت ونانت استفاده شده است.

**روش بهینه‌سازی SA:** روش بهینه‌سازی SA یک روش جستجوی تصادفی هوشمند است که اولین بار در سال ۱۹۸۳ توسط کرک پاتریک و همکاران برپایه مکانیک آماری و تشابه با فرایند فیزیکی آنیلینگ پی‌ریزی شده و تا امروز الگوریتم‌های پیشرفته‌ای از آن ارائه شده است. آنیلینگ یک فرایند فیزیکی در صنعت است که طی آن جسم جامد ابتدا با دمای زیادی گرم می‌شود تا به‌حالت نرم درآمده تا اتم‌های آن بتوانند به شکل آزاد و تصادفی در کنار هم قرار بگیرند و سپس دما به‌طور مرحله‌ای آنقدر کاهش داده می‌شود تا جسم به حالت تعادل دمایی برسد (محسنی موحد، ۱۳۸۱).

در شبیه‌سازی فرایند فیزیکی فوق با مسائل بهینه‌سازی، تابع هدف معادل سطح انرژی جسم است که هدف کمینه کردن آن می‌باشد. هر گزینه از متغیرهای تصمیم‌گیری نیز

1-Simulated Annealing (SA)

2-Irrigation Conveyance System Simulation (ICSS)

ظرفیت کانال ۳/۲۵ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد که از طریق شش آبگیر ثقلی با مقطع دایره‌ای در مسیری به طول ۳/۲ کیلومتر آب کشاورزی اراضی پایین دست را تأمین می‌کند. تنظیم تراز سطح آب در کانال برای سه آبگیر ابتدایی به وسیله یک تنظیم کننده کشویی صورت می‌گیرد. آبگیر انتهایی به صورت تقاطعی بوده و می‌تواند نقش تنظیم کننده سطح آب برای آبگیر بالادست خود را نیز داشته باشد. کلیه آبگیرها و تنظیم کننده‌ها به صورت دستی بهره‌برداری می‌شوند. بعد از هر دریچه آبگیر یک پارشال فلوم برای اندازه گیری دبی تعبیه شده است. عملیات بهره‌برداری تحویل آب براساس درخواست زارعین زیردست هر دریچه، که باید حداکثر تا ۲۴ ساعت قبل اعلام شده باشد روزانه و معمولاً ساعت ۸ صبح انجام می‌گیرد و مسئول مربوطه بر مبنای تجربه میزان بازشدگی دریچه‌ها را برای تحویل دبی در ۲۴ ساعت آینده تنظیم می‌کند. برای شبیه سازی هرچه بهتر طی یک سری اندازه گیری‌های مستقیم، واسنجی ضرایب دریچه‌ها نیز انجام گرفت و با استفاده از سایر اطلاعات موجود، مدل کانال مزبور شبیه سازی شد. برنامه تحویل آب به دریچه‌ها طبق یک تقویم ۱۰ روزه به عنوان نمونه از بین آمار ثبت شده انتخاب شد که در جدول ۱ آمده است.

$T_0$  دمای اولیه،  $T_f$  دمای نهایی،  $B$  فاکتور کاهش دما در تابع سرد کردن، Epoch طول دوره در شرط تعادل،  $I_t$  حداکثر تعداد تکرارهای پذیرفته شده در هر سطح دما برای نیل به تعادل و EBS حداکثر خطای مجاز در محاسبات شرط تعادل. ترکیب مناسب این پارامترها که بهتر بتوانند تابع هدف را کاهش دهند باید با تحلیل حساسیت و اجراهای اولیه، قبل از اجرای نهایی مدل تعیین و انتخاب شوند. با توجه به اینکه مدل ICSSDOM، برای جریان‌های متغیر تدریجی طراحی شده است، تغییرات ناگهانی دریچه‌ها را که در برخی گزینه‌های تصادفی و با طول گام‌های تصادفی بزرگتر اتفاق می‌افتد، نمی‌پذیرد و این امر باعث بروز ناپایداری و ناهمگرایی در محاسبات هیدرولیکی می‌شود و اجرای مدل متوقف می‌گردد (محسنی موحد، ۱۳۸۱).

پس از اجرای مدل، مقادیر تنظیم سازه‌ها همراه با مقادیر دبی تحویلی، دبی موردنیاز و شاخص‌های عملکرد در وضعیت بهینه در فایل جداگانه‌ای علاوه بر خروجی‌های ICSS گزارش می‌شود.

#### مشخصات کانال انتخابی برای مطالعه موردی:

کانال  $E_1L_4$ ، یک کانال بتنی با مقطع دوزنقه‌ای است که در منطقه سبیلی در شبکه آبیاری دز واقع شده است. حداکثر

جدول ۱- برنامه تحویل آب در وضع موجود برای یک تقویم ده روزه منتخب از آمار ثبت شده کانال  $E_1L_4$  (L/s)

نام دریچه	L <sub>4</sub> -11	L <sub>4</sub> -12	L <sub>4</sub> -13	L <sub>4</sub> -14	L <sub>4</sub> -15	L <sub>4</sub> -16	مجموع		درصد اختلاف						
							مجموع دبی	مجموع دبی موردنیاز							
تاریخ	تحويل	تحويل	تحويل	تحويل	تحويل	تحويل	تحويل	تحويل							
۱۳۸۳/۱۲/۱	۷۰/۶	۵۰	۵۲	۴۱	۴۰	۵۲	۵۰	۵۶	۵۰	۱۶۷/۵	۱۲۰	۴۳۹/۱	۳۶۰	-۱۸	
۱۳۸۳/۱۲/۲	۷۰/۶	۵۰	۵۲	۴۱	۴۰	۵۲	۵۰	۵۶	۵۰	۱۶۷/۵	۱۲۰	۴۳۹/۱	۳۶۰	-۱۸	
۱۳۸۳/۱۲/۳	۷۰/۶	۴۰	۵۲	۴۰	۴۱	۴۰	۵۲	۵۰	۵۶	۵۰	۱۶۷/۵	۱۲۰	۴۳۹/۱	۳۴۰	-۲۲/۵
۱۳۸۳/۱۲/۴	۱۰۵/۲	۴۰	۵۲	۴۰	۸۵	۴۰	۸۶	۵۰	۹۸	۵۰	۱۶۷/۵	۱۰۰	۵۹۳/۷	۳۲۰	-۴۸/۱
۱۳۸۳/۱۲/۵	۱۰۵/۲	۷۰	۵۲	۵۰	۱۴۵	۹۰	۱۱۸	۷۰	۱۴۶	۱۰۰	۱۶۷/۵	۱۰۰	۷۳۳/۷	۴۸۰	-۳۴/۵
۱۳۸۳/۱۲/۶	۱۰۵/۲	۷۰	۵۲	۵۰	۱۴۵	۹۰	۱۱۸	۷۰	۱۴۶	۱۰۰	۱۶۷/۵	۱۱۰	۷۳۳/۷	۴۹۰	-۳۳/۲
۱۳۸۳/۱۲/۷	۱۰۵/۲	۷۰	۵۲	۴۰	۱۴۵	۹۰	۱۱۸	۷۰	۱۴۶	۱۰۰	۱۶۷/۵	۱۱۰	۷۳۳/۷	۴۸۰	-۳۴/۵
۱۳۸۳/۱۲/۸	۱۰۵/۲	۹۰	۵۲	۴۰	۱۴۵	۹۰	۱۱۸	۷۰	۱۴۶	۱۰۰	۱۶۷/۵	۱۱۰	۷۳۳/۷	۵۰۰	-۳۱/۸
۱۳۸۳/۱۲/۹	۱۰۵/۲	۹۰	۵۲	۴۰	۱۴۵	۹۰	۱۱۸	۷۰	۱۴۶	۱۰۰	۱۶۷/۵	۱۱۰	۷۳۳/۷	۵۰۰	-۳۱/۸
۱۳۸۳/۱۲/۱۰	۱۰۵/۲	۹۰	۵۲	۴۰	۱۴۵	۹۰	۱۱۸	۷۰	۱۴۶	۱۰۰	۱۶۷/۵	۱۱۰	۷۳۳/۷	۵۰۰	-۳۱/۸

پارامترهای SA تعیین و سپس عملیات بهره‌برداری براساس دبی ورودی به کانال در شرایط واقعی بهینه سازی شده است.

در این مطالعه ابتدا عملکرد کانال در شرایط موجود برای ۱۰ روز متوالی شبیه سازی و محاسبه شده است. در مرحله دوم طی یک سری اجراهای اولیه با مدل مناسب ترین

آمده نیز کاملاً مشابه کار تحقیقی حاضر است. تنها با این تفاوت که در کار محسنی (۱۳۸۴) میزان  $T_0$  با در نظر گرفتن ضریب اطمینان بالاتر برابر ۸۰ در نظر گرفته شده است که تأثیری در ادامه عملیات بهینه‌سازی نداشته است. این نتایج می‌تواند کمک فراوانی به مطالعات موردی بعدی نموده و حجم آزمون‌های تحلیل حساسیت را کاهش دهد. اما در مورد کانال‌هایی که در شبکه‌های متفاوتی غیر از شبکه آبیاری دز واقع شده‌اند به دلیل تفاوت‌هایی که ممکن است در طراحی و اجرا وجود داشته باشد، با چنین اطمینانی نمی‌توان راجع به این موضوع صحبت کرد. حال که پارامترهای SA تنظیم شدند، گزینه‌های مختلف وزن‌دهی در بهینه‌سازی دخالت داده می‌شوند. نتایج نهایی حاصل از بهینه‌سازی براساس گزینه‌های مورد نظر و نیز نتایج حاصله از شبیه‌سازی شرایط موجود برای دوره ده روزه در جدول ۲ آمده است.

از آنجاکه در تمامی روزهای دوره آماری انتخابی دبی تحویلی کمتر از دبی مورد نیاز بوده بدیهی است شاخص راندمان در حالت موجود و وضعیت بهینه مقداری برابر یک داشته که به همین دلیل این شاخص در جداول منظور نشده است. قابل ذکر است که یک بودن شاخص راندمان دلیل بر توزیع مناسب دبی نیست. چنانچه خواهیم دید شاخص‌های عدالت و پایداری در حالت بهینه تفاوت چشمگیری با حالت موجود نشان می‌دهند.

همان‌طور که گفته شد ضرایب شاخص‌ها در تابع هدف در گزینه اول برابر یک، است در گزینه دوم برابر پتانسیل بهبود آرمانی و در گزینه سوم برابر با ضریبی از پتانسیل بهبود آرمانی است.

در جدول ۳ مراحل محاسبه اهمیت نسبی شاخص‌ها و ضرایب وزنی جملات تابع هدف در گزینه‌های دوم و سوم آمده است. جدول ۲ با استفاده از این نتایج کامل شده است. همچنین همان‌طور که گفته شد در گزینه سوم پارامتر  $\theta$  برای هر روز با استفاده از تحلیل حساسیت تعیین می‌شود. نتایج این مرحله نیز در جدول ۴ آمده است.

در ادامه، بهینه‌سازی عملکرد بهره‌برداری برای تقویم ده روزه، براساس حالات و گزینه‌های مختلفی برای ضرایب وزنی شاخص‌های عملکرد در تابع هدف انجام گرفته است که از موضوعات اصلی این تحقیق می‌باشد.

۱. در گزینه اول ضرایب وزنی شاخص‌ها در تابع هدف همگی برابر و معادل یک در نظر گرفته شده است. به عبارتی در فرایند بهینه‌سازی برای تمامی شاخص‌ها اهمیت یکسانی در نظر گرفته شده است ( $C_i = 1$ ).

۲. در گزینه دوم ضرایب وزنی هر شاخص دقیقاً برابر تفاوت بین عملکرد موجود و عملکرد ایده‌آل آن شاخص در نظر گرفته شده است ( $C_i = \gamma_i$ ). تفاوت بین وضع موجود و حالت بهینه برای مقادیر شاخص‌ها تحت عنوان پتانسیل بهبود معرفی شده است و نسبت آن به وضع موجود به صورت درصد بهبود ارائه شده است.

۳. در گزینه سوم ضرایب وزنی شاخص‌ها به صورت نسبت مستقیمی از پتانسیل بهبود آرمانی در نظر گرفته شده است ( $C_i = 1 + \theta \gamma_i$ ).

۴. در گزینه چهارم دوره‌های بهره‌برداری ۶ ساعته، ۸ ساعته و ۱۲ ساعته مورد بررسی قرار گرفته و با بهره‌برداری ۲۴ ساعته مقایسه می‌شوند که کاری کاملاً جدید بوده و به منظور انتخاب بهترین دوره بهره‌برداری صورت گرفته است.

### نتایج و بحث

ترکیب مناسب پارامترهای اصلی الگوریتم بهینه‌سازی SA که پس از تحلیل حساسیت با آزمون‌های مختلف انتخاب و در بهینه‌سازی نهایی به کار گرفته شده‌اند به شرح زیر است:

$$T_0 = 50, T_f = 10, B = 0.95, \text{Epoch} = 5, \text{EBS} = 0.01, I_f = 45$$

مشابه این تحقیق توسط را محسنی موحد و منعم (۱۳۸۶) در مورد کانال  $E_1R_1$  و محسنی (۱۳۸۴) در مورد کانال  $E_1R_5$  در شبکه آبیاری دز اجرا کرده است. با وجود شرایط بهره‌برداری مختلف در این سه کانال، ترکیب بهینه پارامترهای SA که برای بهینه‌سازی این دو کانال به دست

جدول ۲- نتایج حاصل از بهینه‌سازی بر اساس گزینه‌های مربوط به ضرایب وزنی و حالت موجود برای تقویم ده روزه انتخابی

تاریخ	عملکرد پایداری در تحویل			عملکرد عدالت در تحویل			عملکرد کفایت در تحویل					
	حالت موجود	گزینه اول $C_i = 1$	گزینه دوم $C_i = \gamma_i$	حالت موجود	گزینه اول $C_i = 1$	گزینه دوم $C_i = \gamma_i$	حالت موجود	گزینه اول $C_i = 1$	گزینه دوم $C_i = \gamma_i$			
۱۳۸۳/۱۲/۱	۰/۸۸۰۲	۰/۸۹۰۴	۰/۸۹۰۳	۰/۸۸۸۱	۰/۱۹۸۵	۰/۰۳۷۱	۰/۰۳۷۱	۰/۰۲۸۳	۰/۱۹۸۵	۰/۰۳۷۱	۰/۱۱۳	۰/۰۶۱
۱۳۸۳/۱۲/۲	۰/۸۸۰۲	۰/۸۸۹	۰/۸۸۹	۰/۸۸۸۱	۰/۱۹۸۵	۰/۰۲۹	۰/۰۲۹	۰/۰۲۷۹	۰/۱۹۸۵	۰/۰۲۹	۰/۳۷۸۱	۰/۰۵۸
۱۳۸۳/۱۲/۳	۰/۸۱۷۷	۰/۸۷۵۲	۰/۸۸۳۱	۰/۸۷۹۸	۰/۳۰۱۱	۰/۰۶۴	۰/۰۷۴	۰/۰۳۵	۰/۳۰۱۱	۰/۰۶۴	۰/۱۱۵	۰/۰۴۱
۱۳۸۳/۱۲/۴	۰/۵۴۷۵	۰/۵۶۵	۰/۵۶۶	۰/۵۶۴۴	۰/۲۴۱۷	۰/۰۵۷	۰/۱۱۳	۰/۰۶۹۳	۰/۲۴۱۷	۰/۰۵۷	۰/۰۵۶	۰/۰۲۱
۱۳۸۳/۱۲/۵	۰/۶۹۱۸	۰/۷۱۳۷	۰/۷۱۵۳	۰/۷۱۱۱	۰/۲۱۳۳	۰/۰۰۳۶	۰/۰۲۹۲	۰/۰۱۷۷	۰/۲۱۳۳	۰/۰۰۳۶	۰/۰۳۱۱	۰/۰۱۷
۱۳۸۳/۱۲/۶	۰/۶۹۹۹	۰/۷۲۸۵	۰/۷۳۲	۰/۷۲۹۲	۰/۱۹۴۶	۰/۰۰۴۶	۰/۰۱۰۷	۰/۰۰۴	۰/۱۹۴۶	۰/۰۰۴۶	۰/۰۰۵۴	۰/۰۰۸۶
۱۳۸۳/۱۲/۷	۰/۶۶۶۹	۰/۷۳۷	۰/۷۰۹۵	۰/۷۰۶۲	۰/۰۹۰۳	۰/۰۰۴۳	۰/۰۰۹۱	۰/۰۰۳۵	۰/۰۹۰۳	۰/۰۰۴۳	۰/۰۱۹۶	۰/۰۰۷۹
۱۳۸۳/۱۲/۸	۰/۶۹۸۵	۰/۷۱۹۱	۰/۷۲۱۵	۰/۷۱۷۳	۰/۱۴۱۳	۰/۰۰۹	۰/۰۱۶۶	۰/۰۰۶۴	۰/۱۴۱۳	۰/۰۰۹	۰/۰۱۰۶	۰/۰۰۰۹
۱۳۸۳/۱۲/۹	۰/۶۹۸۵	۰/۷۱۷۴	۰/۷۱۷۴	۰/۷۱۷۳	۰/۱۴۱۳	۰/۰۰۵۵	۰/۰۰۵۵	۰/۰۰۶۲	۰/۱۴۱۳	۰/۰۰۵۵	۰/۰۰۵۷	۰/۰۰۰۴
۱۳۸۳/۱۲/۱۰	۰/۶۹۸۵	۰/۷۱۶۶	۰/۷۱۶۶	۰/۷۱۷۳	۰/۱۴۱۳	۰/۰۰۲۱	۰/۰۰۲۱	۰/۰۰۶۳	۰/۱۴۱۳	۰/۰۰۲۱	۰/۰۰۵۱	۰/۰۰۰۷
متوسط	۰/۷۲۷	۰/۷۵۲	۰/۷۵۴	۰/۷۵۱	۰/۱۸۶۱	۰/۰۲۱۶	۰/۰۳۲	۰/۰۲۰۵	۰/۱۸۶۱	۰/۰۲۱۶	۰/۰۴۷	۰/۰۲۱

جدول ۳- محاسبه ضرایب وزنی جملات تابع هدف در گزینه‌های دوم و سوم

$C_i$	راندمان در تحویل	کفایت در تحویل	عدالت در تحویل	پایداری در تحویل
متوسط عملکرد موجود برای دوره ده روزه	۱	۰/۷۳	۰/۱۹	۰/۲۲
عملکرد ایده‌آل	۱	۱	۰	۰
پتانسیل بهبود آرمانی	۰	۰/۲۷	۰/۱۹	۰/۲۲
ضریب وزنی در گزینه دوم	۰	۰/۲۷	۰/۱۹	۰/۲۲
ضریب وزنی در گزینه سوم	۱	$1+0/27 \theta$	$1+0/19 \theta$	$1+0/22 \theta$

جدول ۴- تعیین پارامتر  $\theta$  برای هر روز از دوره آماری با استفاده از تحلیل حساسیت

تاریخ	۸۳/۱۲/۱	۸۳/۱۲/۲	۸۳/۱۲/۳	۸۳/۱۲/۴	۸۳/۱۲/۵	۸۳/۱۲/۶	۸۳/۱۲/۷	۸۳/۱۲/۸	۸۳/۱۲/۹	۸۳/۱۲/۱۰
$\theta$	۶۰	۱۰۰	۵۰	۷۰۰	۲۰۰	۱۰۰۰	۳۰۰	۴۰	۵۰	۵۰

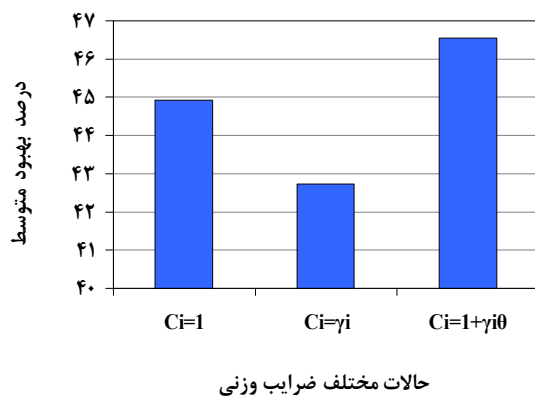
می‌شود. با توجه به جدول ۵ ملاحظه می‌شود که شاخص کفایت در تمامی گزینه‌ها نسبت به حالت موجود بهبود نشان داده است. همان‌طور که در این جدول آمده، بیشترین درصد بهبود متوسط ده روزه شاخص کفایت در حالتی است که بهینه‌سازی براساس گزینه دوم انجام گرفته است. همچنین در تمامی روزهای تقویم انتخابی شاخص‌های عدالت و پایداری نیز بهبود قابل ملاحظه‌ای داشته‌اند. درمورد این دو شاخص کمترین درصد بهبود متوسط درگزینه دوم و بیشترین درصد بهبود متوسط درگزینه سوم اتفاق افتاده است.

حال قدر مطلق تفاوت بین عملکرد موجود و عملکرد بهینه هر شاخص که در جدول ۲ برای هر روز محاسبه شده است به‌عنوان پتانسیل بهبود آرمانی برای آن شاخص در نظر گرفته شده و نسبت این مقادیر به مقادیر وضع موجود به‌صورت درصد بهبود آن شاخص معرفی شده است. این نتایج در جدول ۵ قابل مشاهده است. از طرفی به‌علت چند هدفی بودن فرایند بهینه‌سازی، میانگین مقادیر درصد بهبود شاخص‌های راندمان، کفایت، عدالت و پایداری در هر روز به‌عنوان درصد بهبود متوسط شاخص‌ها تعریف شده و معیار استاندارد برای مقایسه بین گزینه‌های مختلف در نظر گرفته شده است. این مقادیر در ردیف آخر جدول ۵ مشاهده

جدول ۵- خلاصه نتایج حاصل از بهینه‌سازی براساس گزینه‌های مربوط به ضرایب وزنی برای تقویم ده روزه انتخابی

تاریخ	درصد بهبود شاخص کفایت			درصد بهبود شاخص عدالت			درصد بهبود شاخص پایداری			درصد بهبود متوسط شاخص‌ها		
	گزینه اول	گزینه دوم	گزینه سوم	گزینه اول	گزینه دوم	گزینه سوم	گزینه اول	گزینه دوم	گزینه سوم	گزینه اول	گزینه دوم	گزینه سوم
	$C_i = 1$	$C_i = \gamma_i$	$C_i = 1 + \theta\gamma_i$	$C_i = 1$	$C_i = \gamma_i$	$C_i = 1 + \theta\gamma_i$	$C_i = 1$	$C_i = \gamma_i$	$C_i = 1 + \theta\gamma_i$	$C_i = 1$	$C_i = \gamma_i$	$C_i = 1 + \theta\gamma_i$
۱۳۸۳/۱۲/۱	۱/۱۵	۱/۱۵	۰/۹	۸۱/۳	۸۱/۳	۸۵/۷	۷۰/۱	۷۰/۱	۷۰/۱	۳۸/۱	۳۸/۱	۴۲/۶
۱۳۸۳/۱۲/۲	۱	۱	۰/۹	۸۵/۳	۸۵/۳	۸۵/۹	۷۱/۳	۷۱/۳	۷۱/۳	۳۹/۴	۳۹/۴	۴۲/۸
۱۳۸۳/۱۲/۳	۷/۰۵	۷/۰۵	۷/۶	۷۸/۷	۷۵/۴	۸۸/۲	۷۵/۳	۷۵/۴	۷۵/۴	۴۰/۲	۳۹/۷	۴۶/۷
۱۳۸۳/۱۲/۴	۳/۲۱	۳/۲۱	۳/۱	۷۶/۴	۵۳/۱	۷۱/۳	۸۰/۴	۶۹/۷	۶۹/۷	۴۰	۳۱/۵	۴۰/۷
۱۳۸۳/۱۲/۵	۳/۱۷	۳/۱۷	۲/۸	۹۸/۳	۸۶/۳	۹۱/۷	۹۳/۲	۸۴/۶	۸۴/۶	۴۸/۶	۴۳/۵	۴۶/۵
۱۳۸۳/۱۲/۶	۴/۱	۴/۱	۴/۲	۹۷/۶	۹۴/۵	۹۷/۹	۹۸/۶	۹۵/۷	۹۵/۷	۵۰	۴۸/۷	۵۰/۱
۱۳۸۳/۱۲/۷	۶/۳۱	۶/۳۱	۵/۹	۹۵/۲	۸۹/۹	۹۶/۱	۸۶/۷	۷۳/۲	۷۳/۲	۴۷/۰۵	۴۲/۳	۴۷/۸
۱۳۸۳/۱۲/۸	۲/۹۳	۲/۹۳	۲/۷	۹۳/۶	۸۹/۴	۹۵/۴	۹۴/۹	۹۱/۳	۹۱/۳	۴۷/۸	۴۶	۴۹/۳
۱۳۸۳/۱۲/۹	۲/۷۱	۲/۷۱	۲/۷	۹۶/۱	۹۶/۹	۹۵/۶	۹۵/۳	۹۵/۳	۹۵/۳	۴۸/۵	۴۸/۵	۴۹/۴۷
۱۳۸۳/۱۲/۱۰	۲/۶	۲/۶	۲/۷	۹۸/۵	۸۵/۵	۹۵/۵	۹۵/۸	۹۵/۸	۹۵/۸	۴۹/۲	۴۹/۲	۴۹/۴
متوسط	۳/۴	۳/۴	۳/۳	۹۰/۱	۸۵/۰۶	۹۰/۳	۸۶/۱۶	۸۲/۲	۸۲/۲	۴۴/۹	۴۲/۷	۴۶/۵

طبق روش و جزئیات شرح داده شده، بیشترین درصد بهبود متوسط را از بین گزینه‌های مختلف به همراه داشته است.



شکل ۱- میانگین درصد بهبود متوسط شاخص‌ها در گزینه‌های مختلف برای دوره ده روزه

در شکل ۲ روند روزانه تابع هدف (که حداقل آن موردنظر است) در وضع موجود با حالت بهینه گزینه سوم، گزینه بهتر، مقایسه شده‌اند. در این نمودار مقادیر تابع هدف در حالت موجود و بهینه با استفاده از معادله ۹ و مقادیر عملکرد شاخص‌ها در این دو حالت که در جدول ۲ ذکر شده و با در نظر گرفتن ضرایب  $\alpha_i=1$ ،  $\gamma_1=0$ ،  $\gamma_2=0/27$ ،  $\gamma_3=0/19$  و  $\gamma_4=0/22$  و  $\theta$  مناسب به دست آمده برای هر روز، جدول ۳، محاسبه می‌شود. همان‌طور که ملاحظه می‌شود تابع هدف در تمامی روزها بهبود چشمگیری داشته است. در روزهای

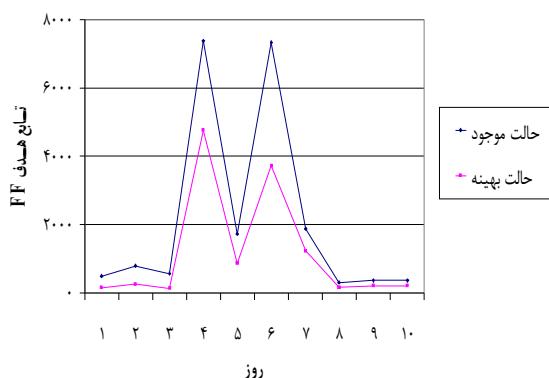
از طرفی با نگاهی دقیق‌تر ملاحظه می‌شود در تمامی روزهایی که درصد بهبود شاخص کفایت در گزینه دوم نسبت به سایر گزینه‌ها افزایش نشان داده است، درمورد شاخص‌های عدالت و پایداری حالتی برعکس حاکم است. یعنی از روز پنجم به بعد درصد بهبود در گزینه دوم برای شاخص‌های عدالت و پایداری کمتر از سایر گزینه‌ها می‌باشد. این کاهش ممکن است به حدی باشد که درصد بهبود متوسط شاخص‌ها را نیز که مبنای تصمیم‌گیری‌های نهایی است، نسبت به بقیه حالات کاهش دهد.

با توجه به چند هدفی بودن مسئله بهینه‌سازی و اثر متقابلی که شاخص‌ها بر هم دارند، قضاوت و تصمیم‌گیری نهایی درمورد مناسب‌ترین حالت ضرایب وزنی در نهایت باید بر مبنای درصد بهبود متوسط تمامی شاخص‌ها صورت گیرد. همان‌گونه که ملاحظه شد در گزینه دوم شاخص کفایت بیشترین درصد بهبود را نسبت به سایر گزینه‌ها نشان داده است. در حالی که مقادیر درصد بهبود شاخص‌های عدالت و پایداری در گزینه دوم کمتر از گزینه‌های دیگر است. اما میانگین درصد بهبود متوسط شاخص‌ها در گزینه‌های اول و دوم و سوم به ترتیب ۴۴/۹، ۴۲/۷ و ۴۶/۵ است.

به طوری که از جدول ۵ و شکل ۱ ملاحظه می‌شود گزینه سوم یعنی در نظر گرفتن ضرایب وزنی به صورت  $C_i = 1 + \theta\gamma_i$



شاخص‌ها تعریف شده و معیار مقایسه بین گزینه‌های مختلف بهره‌برداری در نظر گرفته شده است.



شکل ۲- تغییرات روزانه تابع هدف در حالت موجود و حالت بهینه گزینه سوم برای دوره ده روزه

نهم و دهم به دلیل ثابت بودن شرایط بهره‌برداری نسبت به روز قبل تفاوت بین تابع هدف در حالت موجود و بهینه کمتر از سایر روزها است. در انتها عملکرد بهره‌برداری براساس دوره‌های بهره‌برداری ۶ ساعته، ۸ ساعته، ۱۲ ساعته و ۲۴ ساعته براساس گزینه سوم  $(C_i = 1 + \theta \gamma_i)$  با هم مقایسه شده‌اند که نتایج آن در جدول ۶ آمده است.

در این مرحله نیز ابتدا عملکرد موجود و عملکرد هر یک از شاخص‌ها در گزینه‌های مختلف بهره‌برداری به دست آمده و سپس قدر مطلق تفاوت بین عملکرد موجود و عملکرد بهینه هر شاخص به عنوان پتانسیل بهبود آرمانی برای آن شاخص در نظر گرفته شده و نسبت این مقادیر به مقادیر وضع موجود به صورت درصد بهبود آن شاخص معرفی شده است. میانگین مقادیر درصد بهبود شاخص‌های راندمان، کفایت، عدالت و پایداری در هر روز به عنوان درصد بهبود متوسط

جدول ۶- خلاصه نتایج حاصل از بهینه‌سازی بر مبنای چهار دوره بهره‌برداری برای تقویم ده روزه انتخابی

تاریخ	درصد بهبود شاخص کفایت (%)				درصد بهبود شاخص عدالت (%)				درصد بهبود شاخص پایداری (%)				درصد بهبود متوسط شاخص‌ها (%)			
	۶ ساعته	۸ ساعته	۱۲ ساعته	۲۴ ساعته	۶ ساعته	۸ ساعته	۱۲ ساعته	۲۴ ساعته	۶ ساعته	۸ ساعته	۱۲ ساعته	۲۴ ساعته	۶ ساعته	۸ ساعته	۱۲ ساعته	۲۴ ساعته
۱۳۸۳/۱۲/۱	۰/۴	۰/۵	۰/۶	۰/۹	۹۳/۶	۹۳/۵	۹۰/۱	۸۵/۷	۹۱/۷	۹۱/۳	۸۸/۲	۸۳/۸	۴۶/۴	۴۶/۳	۴۴/۷	۴۲/۶
۱۳۸۳/۱۲/۲	۰/۵	۰/۵	۰/۶	۰/۹	۹۰/۸	۹۰/۷	۹۰/۴	۸۵/۹	۸۹/۹	۸۹/۸	۸۹/۱	۸۴/۵	۴۵/۳	۴۵/۲	۴۵	۴۲/۸
۱۳۸۳/۱۲/۳	۶/۶	۶/۵	۷/۱	۷/۶	۹۳/۶	۹۳/۵	۹۲/۹	۸۸/۲	۹۸/۴	۹۷/۹	۹۵/۴	۹۱/۱	۴۹/۶	۴۹/۴	۴۴/۸	۴۶/۷
۱۳۸۳/۱۲/۴	۲/۵	۲/۸	۲/۹	۳/۱	۸۳/۱	۸۲/۹	۷۷/۵	۷۱/۳	۹۶/۸	۹۵/۶	۹۳/۳	۸۸/۵	۴۵/۶	۴۵/۳	۴۳/۴	۴۰/۷
۱۳۸۳/۱۲/۵	۲/۳	۲/۴	۲/۶	۲/۸	۹۶/۶	۹۶/۶	۹۴/۹	۹۱/۷	۹۵/۵	۹۵/۲	۹۴/۸	۹۱/۶	۴۸/۶	۴۸/۵	۴۸	۴۶/۵
۱۳۸۳/۱۲/۶	۳/۳	۳/۵	۳/۷	۴/۲	۹۹/۶	۹۹/۵	۹۹/۳	۹۷/۹	۹۹/۶	۹۹/۵	۹۹/۲	۹۸/۵	۵۰/۶	۵۰/۶	۵۰/۵	۵۰/۱
۱۳۸۳/۱۲/۷	۴/۹	۴/۸	۵/۴	۵/۹	۹۸/۵	۹۸/۴	۹۷/۸	۹۶/۱	۹۵/۵	۹۵	۹۳/۶	۸۹/۲	۴۹/۷	۴۹/۵	۴۹/۲	۴۷/۸
۱۳۸۳/۱۲/۸	۲/۳	۲/۴	۲/۶	۲/۷	۹۷/۹	۹۷/۹	۹۷/۸	۹۵/۴	۹۹/۶	۹۹/۶	۹۹/۵	۹۹/۲	۴۹/۹	۴۹/۹	۴۹/۹	۴۹/۳
۱۳۸۳/۱۲/۹	۲/۴	۲/۴	۲/۶	۲/۷	۹۷/۴	۹۷/۳	۹۷/۱	۹۵/۶	۹۹/۸	۹۹/۸	۹۹/۷	۹۹/۶	۴۹/۹	۴۹/۸	۴۹/۸	۴۹/۴
۱۳۸۳/۱۲/۱۰	۲/۴	۲/۴	۲/۶	۲/۷	۹۷/۵	۹۷/۴	۹۷/۲	۹۵/۵	۹۹/۶	۹۹/۶	۹۹/۵	۹۹/۴	۴۹/۸	۴۹/۸	۴۹/۸	۴۹/۴
متوسط ده روزه	۲/۷۶	۲/۸۲	۳/۰۷	۳/۳	۹۴/۸	۹۴/۷	۹۳/۶	۹۰/۳	۹۶/۶	۹۶/۴	۹۵/۲	۹۲/۵	۴۸/۵	۴۸/۴	۴۷/۹	۴۶/۵

ساعته ندارد و نیز بیشترین درصد بهبود متوسط ده روزه شاخص کفایت در حالتی است که بهینه‌سازی براساس دوره بهره‌برداری ۲۴ ساعته انجام گرفته است. همچنین مشاهده می‌شود که در تمامی روزهای تقویم انتخابی شاخص‌های عدالت و پایداری بهبود قابل ملاحظه‌ای داشته‌اند و تقسیم دوره بهره‌برداری به دوره‌های کوچکتر بهبود بیشتر شاخص‌ها را در پی داشته است. در مورد این دو شاخص نیز گزینه‌های ۶ ساعته و ۸ ساعته تفاوت چندانی ندارند اما نسبت به ۱۲ ساعته بهبود قابل ملاحظه‌ای دارند و هر سه

باتوجه به اطلاعات مندرج در جدول ۶ ملاحظه می‌شود که شاخص کفایت در تمامی شرایط بهره‌برداری نسبت به حالت موجود بهبود نشان داده است. اما این درصد بهبود با تقسیم دوره‌های بهره‌برداری به دوره‌های کوچکتر کاهش یافته است. گرچه این کاهش به خصوص در مورد دوره‌های بهره‌برداری ۶ ساعته و ۸ ساعته چندان چشمگیر نیست. همچنین ملاحظه می‌شود بین گزینه ۲۴ ساعته و ۱۲ ساعته تفاوت بیشتر است. گزینه ۸ ساعته کاهش چشمگیری نسبت به ۱۲ ساعته دارد اما تفاوت چندانی با گزینه ۶

تقاضای زارع هنوز برای دوره بعدی اعلام نشده است، شاخص‌های عملکرد به‌ویژه شاخص‌های عدالت و پایداری در تحویل تا حد قابل ملاحظه‌ای بهبود می‌یابند.

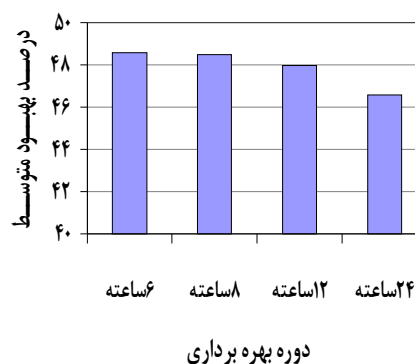
بنابراین به‌عنوان یک نتیجه کلی و راهبردی می‌توان گفت برای نیل به عملکرد بهینه در یک کانال در ازای یک دوره تحویل معین و مرسوم در شبکه (در این تحقیق ۲۴ ساعت)، بهتر است دریاچه‌ها به‌طور مرحله‌ای (در این تحقیق هر ۸ ساعت) و به میزانی که توسط مدل ظرف چند دقیقه قابل محاسبه و گزارش است، تنظیم شوند. باتوجه به اینکه عملیات بهره‌برداری تحویل آب براساس درخواست زارعین زبردست هر دریاچه، که باید حداکثر تا ۲۴ ساعت قبل اعلام شده باشد روزانه و معمولاً ساعت ۸ صبح انجام می‌گیرد، وقت کافی برای تعیین میزان دقیق بازشدگی دریاچه وجود دارد.

#### منابع

- ۱- 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 دکتری رشته آبیاری دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.
- ۲- محسنی موحد س. ا. و منعم م. ج. ۱۳۸۱. بهینه‌سازی عملکرد بهره‌برداری کانال‌های آبیاری با استفاده از روش SA. علوم پایه ۴۴: ۳۵۶۵-۳۵۷۸.
- ۳- محسنی موحد س. ا. و منعم م. ج. ۱۳۸۱. معرفی مدل ICSSDOM برای ارزیابی عملکرد و بهینه‌سازی بهره‌برداری کانال‌های آبیاری. مجموعه مقالات یازدهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. ۹۵-۱۰۹
- ۴- محسنی موحد س. ا. و منعم م. ج. ۱۳۸۶. معرفی یک مدل ریاضی جدید برای ارزیابی و بهینه‌سازی عملکرد کانال‌های آبیاری. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۷(۴۰): ۱۳-۲۶.
- ۵- محسنی ن. ۱۳۸۴. تعیین مناسب‌ترین ضریب وزنی شاخص‌ها در بهینه‌سازی عملکرد کانال‌های آبیاری با استفاده از تحلیل حساسیت و مدل ICSSDOM.

نسبت به گزینه ۲۴ ساعته بهبود نشان می‌دهند. نکته مهمی که لازم است یادآوری شود این است که گرچه درصد بهبود در بعضی گزینه‌ها با هم تفاوت کمی دارند ولی تأثیر آن را در دوره‌های بهره‌برداری متمادی نباید بی‌اهمیت دانست. ضمن اینکه یکی از اهداف این تحقیق نمایش قابلیت و توانایی مدل موردنظر در آزمون گزینه‌های مختلف ممکن و در نهایت تصمیم‌گیری برای انتخاب گزینه برتر است.

در اینجا نیز قضاوت و تصمیم‌گیری نهایی درمورد مناسب‌ترین دوره بهره‌برداری باید بر مبنای درصد بهبود متوسط تمامی شاخص‌ها صورت گیرد. همان‌گونه که ملاحظه شد شاخص کفایت بیشترین درصد بهبود را نسبت به سایر گزینه‌ها در حالت بهره‌برداری با دوره بهره‌برداری ۲۴ ساعته نشان داده است. درحالی‌که مقادیر درصد بهبود شاخص‌های عدالت و پایداری در این حالت کمتر از گزینه‌های دیگر است. اما میانگین درصد بهبود متوسط شاخص‌ها در گزینه‌های ۶ ساعته، ۸ ساعته، ۱۲ ساعته و ۲۴ ساعته به ترتیب ۴۸/۵، ۴۸/۴، ۴۷/۹ و ۴۶/۵ می‌باشد که با توجه به شکل ۳ قابل ملاحظه است.



شکل ۳- میانگین درصد بهبود متوسط شاخص‌ها برای دوره ده روزه انتخابی

با عنایت به توضیحات ارائه شده می‌توان به این نتیجه رسید که با در نظر گرفتن دوره بهره‌برداری کوچکتر بهبود بیشتری به دست می‌آید. از آنجایی که بین گزینه‌های ۶ ساعته و ۸ ساعته تفاوت چندانی وجود ندارد و همچنین با توجه به قابلیت اجرایی این تحقیق، می‌توان دوره بهره‌برداری ۸ ساعته را به‌عنوان بهترین دوره بهره‌برداری انتخاب کرد. به‌طوری‌که اگر دریاچه‌ها هر ۸ ساعت و به میزانی که توسط مدل گزارش شده است تنظیم شوند، تا زمانی‌که دبی مورد

عملکرد آبیاری شیاری. دومین سمینار راه کارهای بهبود و اصلاح سامانه های آبیاری سطحی. خرداد. کرج. ۱۲۱-۱۳۶.

- 9- Henderson F.M. 1996. Open channel flow. Macmillan Publishing Co. New York.
- 10- Kirkpatrick S. Gellatt C.D Jr. and Vecchi, M. P. 1983. Optimization by simulated annealing. Science. 220: 671- 680.
- 11- Manz D.H. 1990. Use of the ICSS model for prediction of conveyance system operational characteristics. Transaction of the Fourteenth International Congress on Irrigation and Drainage (ICID) Rio de Janero, Brazil. 1:1-18.
- 12- Molden D.J. and Gates T.K. 1990. Performance measures for evaluation of irrigation water delivery systems. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 116: 804- 822.

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی همدان.

۶- نوروزپور س. ۱۳۸۷. ارزیابی اثرات وزندهی به شاخص ها و بهره برداری های مختلف بر عملکرد بهینه کانال های آبیاری با مدل ICSSDOM. پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی همدان.

۷- یزدی ز. ۱۳۸۷. تهیه یک مدل ریاضی برای طراحی و بهینه سازی عملکرد آبیاری شیاری با استفاده از مدل موازنه حجم و روش بهینه سازی SA. پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی همدان.

۸- یزدی ز. و محسنی موحد، س. ا. ۱۳۸۷. تهیه مدلی جهت ارزیابی، طراحی، شبیه سازی و بهینه سازی

