یازدهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران

مقاله شماره ۷

عنوان مقاله:

معرفی مدل ICSSDOM برای ارزیابی عملکرد و بهینه‌سازی بهره‌برداری کانال‌های آبیاری

تألیف:

سیداسدا... محسنی موحد[۱]، محمدجواد منعم[۲]

چکیده:

عملکرد ضعیف کانال‌های آبیاری از یک طرف و تأثیر آن در کاهش بهره‌وری آب کشاورزی از طرف دیگر ضرورت ارائه روش‌های مؤثر در بهره‌برداری بهینه از کانال‌های آبیاری را ایجاب نموده است.

در این مقاله مدل ریاضی جدیدی معرفی می‌شود که قادر است وضع موجود را ارزیابی نموده و براساس نیاز پایین دست دریچه‌های آبگیر و دبی ورودی به کانال، تنظیم بهینه سازه‌های آبگیر و کنترل را به منظور نیل به عملکرد بهینه و ارتقاء هر چه بیشتر بهره‌وری آب کشاورزی در شرایط و محدودیت‌های واقعی طرح ارائه نماید. در این مدل تابع هدف به صورت ترکیبی خطی از شاخص‌های راندمان، کفایت، عدالت و پایداری در تحویل در نظر گرفته شده است. رابطه تابع هدف و مقادیر تنظیم سازه‌ها رابطه غیر صریحی است که از طریق شبیه‌سازی هیدرودینامیک میسر بوده و برای بهینه‌سازی آن بایستی از روش‌های بهینه‌سازی عددی سود جست. در این مدل برای اولین بار از روش بهینه‌سازی SA[۳] که یک روش عددی با ساختار تصادفی هوشمند است در ترکیب با مدل هیدرودینامیک ICSS[۴] استفاده شده است، قابلیت انعطاف در کوچک گرفتن طول گام‌های تصادفی در الگوریتم SA مانع از بروز هرگونه ناپایداری و ناهمگرائی در ترکیب با مدل هیدرودینامیک است. علاوه بر آن توانائی SA در خروج از بهینه‌های محلی و همگرائی بسوی بهینه سراسری از جنبه نظری و در کاربردهای عملی به اثبات رسیده است. در مدل

۱- استادیار گروه آبیاری دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا

۲- استادیار گروه تأسیسات آبیاری دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس

3- Simulated Annealing

4- Irrigation Conveyance System Simulation

توسعه یافته (ICSSDOM)[1] تمهیدات لازم نیز برای تحلیل حساسیت ضرایب وزنی شاخص‌ها در تابع هدف در نظر گرفته شده است.

به منظور 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 آنست 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 در بهینه‌سازی بهره‌برداری از کانال‌های آبیاری مورد استفاده قرار گیرد.

واژگان کلیدی: بهینه‌سازی بهره‌برداری از کانال‌های آبیاری، روش بهینه‌سازی SA، مدل ICSSDOM.

مقدمه:

نیاز روزافزون جوامع بشری به مواد غذائی و به تبع آن تولید محصولات کشاورزی و پیشرفت تکنولوژی در بیشتر عرصه‌های علوم بشری، احداث و توسعه شبکه‌های آبیاری و زهکشی را ایجاب نموده است. مطالعات انجام شده در غالب شبکه‌های آبیاری در کشورهای در حال توسعه حاکی از عدم بازده مورد انتظار آنها است که عمدتاً ناشی از عملیات بهره‌برداری و نگهداری ناکافی و مدیریت غیر مؤثر حاکم بر این سیستم‌ها تشخیص داده شده است. (۲). 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 می‌باشد بطوریکه در یک کانال 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 به منظور مهار آب اضافی پیش‌بینی 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 همه اینها سبب کاهش بهره‌وری آب کشاورزی خواهد شد. پس می‌توان گفت یکی از اساسی‌ترین راه‌کارها برای ارتقاء بهره‌وری آب کشاورزی، تعیین روش‌های بهره‌برداری بهینه در شبکه‌های انتقال و توزیع می‌باشد. بطوری که در یک دوره تحویل آب، شاخص‌های مهمی نظیر کفات تحویل، راندمان تحویل و عدالت در تحویل، همزمان برای کلیه آبگیرهای کانال حتی‌الامکان ارتقاء یابند. بنابراین برای تحویل و توزیع بهینه آب در کانال‌های آبیاری در راستای ارتقاء بهره‌وری از آب کشاورزی می‌توان ترکیب مناسبی از شاخص‌های کمّی را در یک تابع هدف در مقایسه با سطح ایده‌آلشان و با رعایت قیدها و محدودیت‌ها (شرایطی واقعی) بهینه کرده و راه کارهای بهبود را استخراج نمود. در این فرآیند

1- Irrigation Conveyance System Simulation Delivery Optimization Model

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 بایستی از طریق یک مدل شبیه‌سازی هیدرودینامیک صورت گیرد. از طرفی ترکیب شاخص‌ها در تابع هدف، تابعی پیچیده، چند متغیره و غیر صریح را بوجود می آورد که بکارگیری روش‌های کلاسیک بهینه‌سازی را دشوار نموده است. با توسعه روش‌های بهینه‌سازی عددی و مدل‌های شبیه‌سازی هیدرودینامیک امکانات بیشتری فراهم شده لیکن هنوز کارهای محدودی در این زمینه صورت گرفته است. منعم در سال ۱۹۹٦ با بکارگیری مدل شبیه‌سازی هیدرودینامیک ICSS که در سال ۱۹۹۰ توسط مانز توسعه یافته است (٦)، و استفاده از یک روش بهینه‌سازی عددی پیشرفته بنام الگوریتم ژنتیک مدلی ریاضی برای ارزیابی و بهبود عملکرد کانال‌های آبیاری ارائه داد (۸). حال که زمینه توسعه اینگونه مدل‌ها فراهم شده است و با توجه به مسائل بحران آب و ضرورت‌هائی که در جهت ارتقاء بهره‌وری آب کشاورزی احساس می‌شود لازم است مدل‌های ریاضی جدیدی با کارائی بیشتر ساخته شده و قابلیت‌های سایر روش‌های پیشرفته عددی در بهینه‌سازی مورد آزمون قرار گیرد. هدف این مقاله معرفی مدل ICSSDOM است که به منظور ارزیابی عملکرد و بهینه‌سازی بهره‌برداری از کانال‌های آبیاری توسعه یافته است. در این مدل برای اولین بار از روش بهینه‌سازی عددی SA در ترکیب با مدل هیدرودینامیک ICSS استفاده شده است (۱). همگرائی بسیار خوب مدل در فرآیند توام شبیه‌سازی ـ بهینه‌سازی، رسیدن به جواب‌های معتبر در زمان نستباً کوتاه و تمهیداتی که به منظور 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.

وسایل و روش‌ها:

مبانی تئوری مدل:

در مدل مورد نظر چهار معیار کفایت، راندمان، عدالت و پایداری در تحویل مورد استفاده قرار گرفته‌اند. 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 بطور 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 فرآیند بهینه‌سازی تعیین می‌شود. در بین شاخص‌های کمی ارائه شده برای معیارهای فوق مجموعه شاخص‌های ارائه شده توسط مولدن و گیتس (۷) به لحاظ بی بعد بودن و سادگی اندازه‌گیری آنها مناسب‌ترین شاخص‌ها تشخیص داده شده است (۱). که به شرح ذیل در مدل مورد نظر بکار رفته‌اند.

$$MPA = \frac{1}{T}\sum_{T}\frac{1}{N}\sum_{N}(PA) \qquad \begin{cases} if: QD < QR \\ PA = \dfrac{QD}{QR} \end{cases} \qquad \begin{cases} if: QR < QD \\ PA = 1 \end{cases} \qquad (۱)$$

$$MPF = \frac{1}{T}\sum_{T}\frac{1}{N}(PF) \qquad \begin{cases} if: QD > QR \\ PF = \dfrac{QR}{QD} \end{cases} \qquad \begin{cases} if: QD < QR \\ PF = 1 \end{cases} \tag{۲}$$

$$MPE = \frac{1}{T}\sum_{T} CV_N(\frac{QD}{QR}) \tag{۳}$$

$$MPD = \frac{1}{N}\sum_{N} CV_T(\frac{QD}{QR}) \tag{٤}$$

در این روابط MPA، MPF، MPE وMPD به ترتیب عبارتند از متوسط کفایت، راندمان، عدالت و پایداری در تحویل، در طول دوره بهره‌برداری 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 Δt به ترتیب طول دوره بهره‌برداری و طول گام زمانی محاسبات هیدرولیکی برحسب ساعت است. $CV_T(\frac{QD}{QR})$ و $CV_N(\frac{QD}{QR})$ نیز به ترتیب عبارتند از ضریب تغییرات زمانی و ضریب تغییرات مکانی نسبت $\frac{QD}{QR}$.

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

$$FF = C_1(1 - MPA) + C_2(1 - MPF) + C_3 MPE + C_4 MPD \tag{٥}$$

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 مساله بهینه‌سازی عبارتند از میزان تنظیم دریچه‌های آبگیر و سازه‌های کنترل. قیدها و محدودیت‌های این مساله نیز که بستگی به خصوصیات فیزیکی و هیدرولیکی کانال و سازه‌ها و شرایط بهره‌برداری دارد با روابط زیر تعریف می‌شود:

(٦) حداکثر تعیین شده برای هر سازه ≤ میزان تنظیم هر سازه ⟩ 0

(۷) حداکثر عمق مجاز آب در هر بازه از کانال ≤ عمق آب در هر بازه از کانال

ثابت‌های این مساله عبارتند از تعداد سازه‌های آبگیر و کنترل کانال، طول دوره بهره‌برداری (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 شبیه‌سازی هیدرودینامیک امکان‌پذیر است. به علاوه بهینه‌سازی چنین تابع غیر صریحی با روش‌های کلاسیک بهینه‌سازی دشوار و گاهی غیر ممکن است و بایستی از روش‌های عددی بهینه‌سازی استفاده کرد. در مدل ارائه شده از روش بهینه‌سازی SA در ترکیب با مدل شبیه‌سازی 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 چون یک الگوی تحلیلی برای تعیین آنها 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 ایده‌آل آن قرار داده می‌شود تا در فرآیند بهینه‌سازی همه شاخص‌ها بطور همزمان و به نسبت فاصله‌شان از سطح عملکرد ایده‌آل، حتی‌الامکان به سمت آن سوق داده شوند.

حال اگر γ_i تفاوت سطح عملکرد شاخص با مقدار ایده‌آلش باشد می‌توان مقادیر γ_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 بر گیرنده موارد فوق باشد به صورت زیر خواهد بود:

$$C_i = 1 + \theta\gamma_i \qquad (۸)$$

که در آن γ_i در فرآیند ارزیابی تعیین می‌شود و θ نیز پارامتری است که در اجراهای متعدد مقادیر مختلف (معمولاً ۱ الی ۱۰) به آن داده شده و تأثیر آن در جواب‌های بهینه بررسی می‌شود تا احیاناً جواب‌های بهتری اگر امکان‌پذیر باشند جستجو شوند. مقدار ۱ در رابطه (۸) برای آن است که اگر شاخصی در وضع موجود به مقدار ایده‌آل رسیده باشد (مثلاً شاخص کفایت در تحویل مازاد بر نیاز)، γ_i مربوط به آن صفر شده و لذا شاخص مزبور بدون این که از فرآیند بهینه‌سازی حذف شود با ضریب وزنی ۱ وارد می‌شود. برای اطلاعات بیشتر می‌توان به منبع (۱) مراجعه کرد.

معرفی اجمالی مدل ICSSDOM

در این مدل که به زبان فرترن ۷۷ نوشته شده الگوریتم SA به صورت 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 به منظور شبیه‌سازی 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 شبیه‌سازی کند. از ویژگی‌های مهم این مدل ساختار مناسب آن جهت افزایش برنامه‌های فرعی به منظور ارتقاء قابلیت‌های مدل می‌باشد. برای اطلاعات بیشتر می‌توان به منابع (۱و۲) مراجعه کرد.

روش بهینه‌سازی SA نیز که یک روش جستجوی تصادفی هوشمند و پیشرفته است اولین بار در سال ۱۹۸۳ توسط کرک پاتریک و بر اساس تشابه با فرآیند فیزیکی Annealing طراحی شده (٤) و تا به امروز الگوریتم‌های پیشرفته‌تری از آن توسعه یافته است. آنیلینگ یک فرآیند فیزیکی در صنعت است که در آن جسم جامد ابتدا تا حد زیادی گرم می‌شود تا اتم‌های آن بتوانند آزادانه و بطور 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 جابجایی اتم‌ها بطور 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 کریستال کامل برسد (۳).

در شبیه‌سازی مسائل بهینه‌سازی با فرآیند 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 بطور اجمال روش بهینه‌سازی با SA در تطبیق با مساله 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 بطور تصادفی تولید می‌شود. تولید تصادفی میزان تنظیم سازه‌ها بایستی در محدوده مجاز تعیین شده (قیود بهینه‌سازی) که در روابط ٦ 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 (٥) در ازاء جواب‌های تصادفی است که از طریق شبیه‌سازی هیدرودینامیک محاسبه می‌شود. در کمینه‌سازی تابع هدف اگر $D \le 0$ 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 $R \in (0 \sim 1)$ 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 فرآیند آنیلینگ شبیه‌سازی شده و در طول فرآیند 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 L، مقدار

اولیه T، مقدار نهائی T و ضریب کاهش T در طول فرآیند بهینه‌سازی بایستی مطابق با روش‌های موجود قبلاً توسط کاربر تعیین شده باشند (۱). 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 توانائی برای SA بوجود می آید که برای جستجوی کمینه سراسری از دام نقاط کمینه محلی خارج شود. این فرآیند آنقدر ادامه می‌یابد تا شرط توقف که رسیدن به مقدار نهائی 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 (۱و۵). با توجه به الگوریتم ساده آن برای طیف وسیعی از مسائل بهینه‌سازی با تابع هدف پیچیده مناسب است. SA نسبت به پارامترهایش حساس است و بایستی بهترین ترکیب آنها مطابق با روش‌های توصیه شده در منبع (۱) تعیین و سپس در اجرای نهائی مورد استفاده قرار گیرد.

در مدل ICSSDOM بخش عمده اطلاعات لازم برای مدل کردن کانال مورد نظر ابتدا در سه فایل اطلاعات ورودی تنظیم می‌شوند. بخش دیگری از اطلاعات مربوط به تغییر شرایط بهره‌برداری و داده‌های لازم برای بهینه‌سازی به روش SA به صورت سوال و جواب به مدل داده می‌شود. پس از اجرای مدل مقادیر تنظیم بهینه‌سازه‌های 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 عملکرد موجود را نیز به منظور مقایسه با عملکرد بهینه محاسبه کرده و نتایج را در فایل جداگانه‌ای گزارش نماید.

آزمون کارائی مدل در یک شرایط واقعی

به منظور آزمون قابلیت مدل ICSSDOM از داده‌های کانال $E1R1$ در شبکه آبیاری دِز استفاده شده است. کانال مزبور که از انشعابات فرعی کانال اصلی دزفول در منطقه سبیلی محسوب می‌شود یک کانال بتنی با مقطع ذوزنقه‌ای و ظرفیت حداکثر معادل ۲/٤۷ متر مکعب بر ثانیه است. این کانال از طریق هفت آبگیر کشوئی در مسیری بطول ۲/٦ کیلومتر آب کشاورزی اراضی پایین دست آبگیرها را تامین می‌کند. تنظیم تراز سطح آب در کانال برای هر زوج آبگیر توسط یک تنظیم‌کننده کشوئی صورت می‌گیرد. کلیه آبگیرها و تنظیم‌کننده‌ها به صورت دستی بهره‌برداری می‌شوند. بعد از هر آبگیر یک پارشال فلوم برای اندازه‌گیری دبی تحویلی به مزارع تعبیه شده است. در هر پریود تحویل که ۲٤ 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 ...) بطور روزانه ثبت و نگهداری می‌شود. برای شبیه‌سازی شرایط بهره‌برداری ابتدا با استفاده از اطلاعات موجود و داده‌های حاصل از اندازه‌گیری‌های مستقیم جهت کالیبراسیون دریچه‌ها و ضریب مانینگ، مدل مورد نظر شبیه‌سازی شد. سپس برای مطالعه، یک دوره

تحویل ده روزه از بین آمار ثبت شده برنامه تحویل آب که در جدول (۱) نشان داده شده است انتخاب گردید. در مرحله بعد مناسب‌ترین پارامترهای SA در اجراهای اولیه تعیین و سپس محاسبات مربوط به ارزیابی عملکرد موجود و بهینه‌سازی بهره‌برداری 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 بهینه‌سازی 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 بهره‌برداری 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.

بحث و نتیجه‌گیری:

در جدول (۱) 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 بهینه‌سازی در جدول (۲) 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 ایده‌آلشان به صورت روزانه و متوسط ده روزه آورده 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 ایده‌آلشان نزدیکتر شده‌اند اما میزان بهبود شاخص‌های راندمان و کفایت تحویل چشمگیر نبوده و متوسط ده روزه آنها بترتیب به میزان ۳/۵ و ٤/٤ 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 (۱) بخوبی مشهود است. در عوض متوسط ده روزه شاخص‌های عدالت و پایداری در تحویل بترتیب به میزان ۵۸/۲ و ٦۵/۳ 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 به ویژه عدالت اهمیت بیشتری پیدا می کنند. تابع هدف نیز که همزمان بیانگر مجموعه اهداف مورد نظر است به میزان قابل ملاحظه ای بین ۳٦/٦ الی ۷٤/۱ درصد و بطور 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 تأثیرشان در عملکرد بهینه مورد بررسی قرار گرفته است. مقدار بهینه پارامتر θ با تحلیل حساسیت در این مطالعات معادل ۱۰ بدست آمده است بطوری 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 به صورت 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 صرفه‌جوئی در آب بررسی شده است. در این حالت 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 بترتیب به میزان ۵۲، ٦۳ و ٦۷ درصد بهبود یافته‌اند که نسبت به مقادیر متناظر در گزینه اول (٦/۲۵ ، ۵۲ و ٦۰ درصد) بهبود قابل ملاحظه‌ایست.

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 ٦۹/۵، ۷۱/۵ و ٦۸/۱ درصد بهبود یافته است که نسبت به مقادیر متناظر در گزینه اول (۳۵/٤، ٤۲/۱، ۳٦/٦ درصد) بهبود نسبتا 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 بهره‌برداری صرفه‌جوی و از اتلاف آن جلوگیری خواهد شد که مسئله بسیار مهمی در نیل به بهره‌وری آب کشاورزی است. لازم به ذکر است که در شرایط موجود علت تحویل مازاد بر نیاز را بطور 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 زارعین، دبی بیشتری را به کانال منحرف نموده است. در هر حال بروز چنین شرایطی که طی سالیان متمادی در بهره‌برداری 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 بهره‌وری آب کشاورزی خواهد شد. در اینجا ضرورت اتخاذ روش‌های بهره‌برداری بهینه قویاً احساس می‌شود که جز با روش‌های علمی و استفاده از روش‌های بهینه‌سازی مبتنی بر شبیه‌سازی هیدرودینامیک میسر نمی‌باشد. در این راستا مدل ICSSDOM ابزار مناسبی است که کارائی آن در عمل موفقیت‌آمیز بوده و در کلیه مراحل آزمون به علت امکان کوچک گرفتن طول گام‌های تصادفی هیچگونه ناپایداری و ناهمگرائی در فرآیند توام بهینه‌سازی ـ شبیه‌سازی 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[1] و روش مجانب[2] استفاده به عمل آمده که از ذکر جزئیات آن در این مقاله صرفنظر شده است. نتایج حاکی از آن است که مدل مورد نظر قادر است جواب‌های معتبری را در زمان نسبتاً کوتاهی ارائه نماید (۱).

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

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

۲- یکی از راه‌های مؤثر در بهبود عملکرد کانال‌های آبیاری و ارتقاء بهره‌وری آب کشاورزی، بهینه‌سازی بهره‌برداری از کانال‌های آبیاری با توجه به نیازمندیها و شرایط و محدودیت‌های موجود است.

۳- بهینه‌سازی بهره‌برداری از کانال‌های آبیاری به طریق علمی و کمّی که منجر به راه کارهای عملی مؤثر گردد جز از طریق بهینه‌سازی توام با شبیه‌سازی هیدرودینامیک امکان‌پذیر نمی‌باشد و مدل‌های ریاضی که بدین منظور تهیه می‌شوند می‌توانند مناسب‌ترین ابزار علمی برای نیل به این اهداف باشند. در این رابطه مدل ICSSDOM 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.

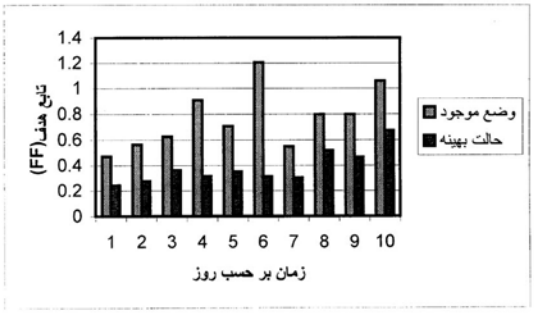
1.Low extent method
2.Asymtote method

جدول (۱)- 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).

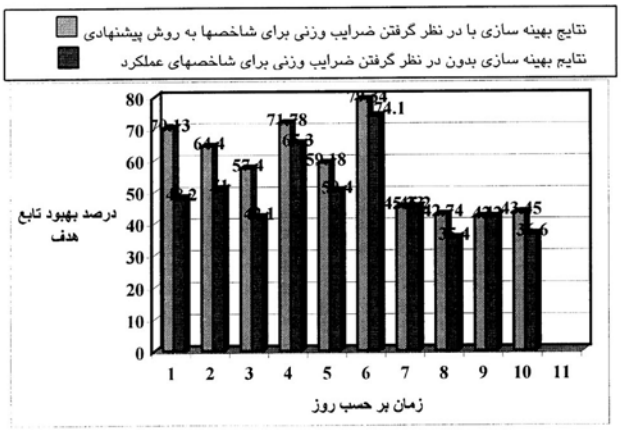
مازاد یا کمبود	دبی تحویلی به کانال	دبی مورد نیاز کانال	E1R1-7		E1R1-6		E1R1-5		E1R1-4		E1R1-3		E1R1-2		E1R1-1		نام دریچه آبگیر
			تحویل	درخواست	تحویل	درخواست	تحویل	درخواست	تحویل	درخواست	تحویل	درخواست	تحویل	درخواست	تحویل	درخواست	تاریخ
+۲۱	۲۵۱	۲۳۰	۳۰	۲۷	۲۰	۲۲	۴۰	۴۴	۴۰	۳۲	۴۰	۲۷	۴۰/۵	۴۲	۴۰/۵	۳۶	۷۹/۸/۱۶
-۳۴	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

جدول (۲)- خلاصه نتایج بهینه سازی تابع هدف و شاخص های عملکرد برای یک دوره ده روزه با عملیات بهره برداری روزانه بر اساس گزینه اول

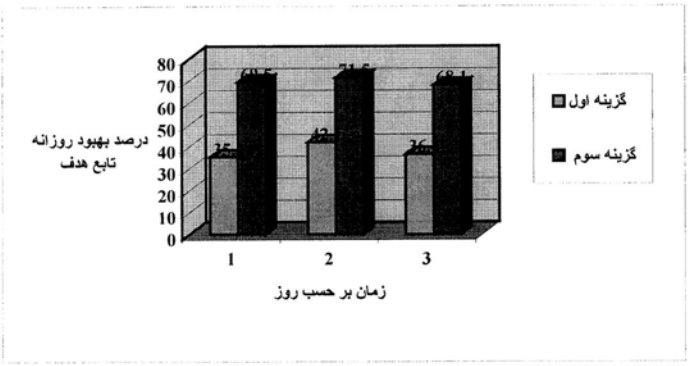
درصد بهبود روزانه تابع هدف	میزان بهبود روزانه تابع هدف	تابع هدف		پایداری در تحویل		عدالت در تحویل		کفایت درتحویل		راندمان در تحویل		تاریخ
		0= مقدار ایده ال		0= مقدار ایده ال		0= مقدار ایده ال		۱= مقدار ایده ال		۱= مقدار ایده ال		
		بهینه	موجود	بهینه	موجود	بهینه	موجود	بهینه	موجود	بهینه	موجود	
٪۴۸/۲	۰/۲۲۶	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 ایده آل تابع هدف صفر است)



شکل (۲)- مقایسه درصد بهبود روزانه تابع هدف در گزینه اول و دوم



شکل (۳)- مقایسه درصد بهبود روزانه تابع هدف در گزینه های اول و سوم برای سه روز آخر تقویم انتخابی

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 دوره دکتری آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.

۲- منعم، م (۱۳۷۵). معرفی مدل مشابه‌سازی شبکه‌های آبیاری و بهینه‌سازی بهره‌برداری از آنها، هشتمین سمینار کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران.

3- Egles, R.W. (1990). Simulated annealing : a tool for operational research. European Journal of Operational Research 46: 271-281.

4- Kirkpatrick, S. ,Gelatt, C.D Jr. and Vecchi, M.P.(1983). Optimization by Simulated annealing. Science, 220: 671-680.

5- Lundy, M., and Mees, A.(1986). Convergence of an annealing algorithm. Mathematical Programming, 34: 111-124.

6- 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.

7- Molden, D.J. , and Gates T.K. (1990). Performance measures for evaluation of irrigation water delivery systems. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, American Society of civil Engineers (ASCE), 116:804-822.

8- 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.

ABSTRACT:

Poor performance of irrigation canals and its effect on decreasing of Agricultural water productivity requires attention for their improvement. In this paper a new mathematical model is introduced which could present optimal operation considering downstream requirements of turnouts, canal inlet flow, actual constraints and real conditions of canal system.

Four performance indicators of delivery efficiency, adequacy, equity and stability are considered as an objective function in the process of optimization. Since this objective function is an implicit function of decision variables (regulation of turnouts and control structures) and hydraulic parameters, it is necessary to implement hydrodynamic model and numerical optimization methods should be used .SA [1] technique is a numerical meta – heuristic intelligent search method which is used in combination with a hydrodynamic model (ICSS)[2] for performance optimization of canal system

Theoretically it is proven that SA technique is capable of tending towards global optimum solution asymtotically.

Taking short random steps in SA algorithm guarantees avoiding instability in hydrodynamic model.

The developed model has applied on E1R1 Distributary canal of Dez irrigation network for ten days period. The results indicate that optimal performance has improved very well in comparison with the present situation.

In this model the weighting coefficients of indicators are determined using sensitivity analysis in optimization process.

Consistency test on the derived coefficients shows that proposed method is appropriate.

Applying weighting coefficients for performance indicators in the process of optimization has resulted to 7 to 21 percent improvement compared to the case of equall weighting coefficiwnts.

The results indicate that the developed model (ICSSDOM)[3] is an efficient tool for irrigation canals performance optimization which provides good and valid results in a relatively short and suitable time.

Key words: Irrigation canals performance optimization, SA optimiztion technique, ICSSDOM.

1- Simulated Annealing
2- Irrigation Conveyance System Simulation
3- Irrigation Conveyance System Simulation Delivery Optimization Model