

ارزیابی اثرات وزندهی به شاخص‌ها بر عملکرد بهینه کانال‌های آبیاری

سید اسدالله محسنی موحد¹ - نوید محسنی² - سمیرا نوروزپور^{3*}

تاریخ دریافت: 88/10/4

تاریخ پذیرش: 89/7/11

چکیده

مدل ICSSDOM که در سال 1381 توسط محسنی موحد ارایه شده، یک مدل ریاضی ترکیبی است که به زبان فرترن 77 نوشته شده و در آن الگوریتم بهینه‌سازی SA به صورت یک حلقه داخلی در ساختار اصلی مدل شبیه‌سازی هیدرودینامیکی ICSS قرار گرفته است. این مدل قادر است عملکرد موجود کانال را ارزیابی نموده و براساس نیاز پایین‌دست دریاچه‌های آبگیر، تنظیم بهینه سازه‌های آبگیر و کنترل را به منظور نیل به عملکرد بهینه ارایه نماید. به منظور بهینه‌سازی عملکرد بهره‌برداری از کانال‌های آبیاری در این مدل طیف کاملی از شاخص‌ها انتخاب و با استفاده از یک روش بهینه‌سازی در یک تابع هدف بهینه می‌گردد. همچنین تمهیدات لازم جهت تعیین ارزش نسبی شاخص‌ها و تاثیر دادن آن در فرآیند بهینه‌سازی با استفاده از تحلیل حساسیت در نظر گرفته شده است. مشکلی که پس از انتخاب شاخص‌های مناسب جلوه می‌نماید، فقدان یک روش کمی و استاندارد برای تعیین اهمیت نسبی آنها در تابع هدف می‌باشد. پیش از این، با استفاده از مدل مذکور به ارزیابی کانال‌های E_1R_1 ، E_1R_5 و E_1L_4 در شبکه آبیاری دز پرداخته شده است. در این کارهای تحقیقی مناسب‌ترین ضریب وزنی شاخص‌ها جهت بهینه‌سازی عملکرد بهره‌برداری از کانال‌های آبیاری با استفاده از یک روش منطقی، مبتنی بر اصول ریاضی و مستقل از هرگونه قضاوت کارشناسی تعیین شده است. گرچه شرایط هیدرولیکی این سه کانال از نظر سازه‌های موجود و نوع بهره‌برداری متفاوت می‌باشد، لیکن نتایج مشابهی حاصل شده است به طوری که در هر سه مورد در حالتی که ضریب وزنی هر شاخص به صورت نسبت مستقیمی از پتانسیل بهبود آرمانی آن شاخص در نظر گرفته شده، درصد بهبود بهتر می‌باشد. سایر نتایج مهم و جدید حاصل از این کارهای تحقیقی عبارتند از تعیین ترکیب مناسب پارامترهای الگوریتم بهینه‌سازی SA و ارایه یک دید کلی جهت تعیین مقدار مناسب پارامتر K_{div} مربوط به طول گام‌های تصادفی در الگوریتم بهینه‌سازی SA. این نتایج قادرند حجم عظیمی از آزمون‌ها را کاهش داده و به عنوان ملاکی مطمئن در کارهای تحقیقاتی آتی مورد استفاده قرار گیرند.

واژه‌های کلیدی: عملکرد کانال‌های آبیاری، SA، ICSSDOM، شاخص‌های وزنی، تحلیل حساسیت

مقدمه

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 گردد. تحویل و توزیع نامناسب آب علاوه بر مشکلات فوق موجب افزایش تلفات آب در سطح شبکه و خسارات ناشی از آن نظیر ماندابی شدن اراضی پایین‌دست و در مجموع سبب کاهش بهره‌وری آب کشاورزی خواهد شد. پس می‌توان گفت یکی از اساسی‌ترین راه‌کارها برای ارتقای بهره‌وری آب کشاورزی، تعیین روش‌های بهره‌برداری بهینه در شبکه‌های انتقال و توزیع آب می‌باشد. به طوری که در یک دوره تحویل آب، شاخص‌های مهمی نظیر کفایت تحویل، راندمان تحویل، عدالت در تحویل و پایداری در تحویل هم‌زمان برای کلیه آبگیرهای کانال ارتقا یابند. بنابراین برای تحویل و توزیع بهینه آب در کانال‌های آبیاری می‌توان ترکیب مناسبی از شاخص‌های کمی را در یک تابع هدف در مقایسه با سطح ایده‌آل آن‌ها و با رعایت قیدها و

یکی از اثرات نامطلوب 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. به طوری که در یک کانال آبیاری، میزان آب تحویلی به اراضی پایین‌دست هر دریاچه با نیاز واقعی آن مطابقت نداشته و در بعضی مواقع به مقدار قابل توجهی از آن کمتر و یا به ندرت بیشتر 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

1- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه اراک
2 و 3- کارشناسان ارشد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی همدان
* - نویسنده مسئول: (Email: norozpor.samira@yahoo.com)

مستقل از هرگونه قضاوت کارشناسی ارایه گردید. وی این روش را بر روی کانال E_1R_1 از شبکه آبیاری دز مورد آزمون قرار داد و به نتایج قابل قبولی نیز دست یافت. پس از آن به ترتیب در سال‌های 1384 و 1387 محسنی و نوروزپور این روش را بر روی کانال‌های E_1R_5 ، E_1L_4 از شبکه آبیاری دز بررسی نمودند. این سه کانال تحت شرایط هیدرولیکی مختلف و همراه با سازه‌های متفاوتی بودند و هدف اصلی از این مقاله نیز مقایسه نتایج حاصل از این سه کار تحقیقی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

تابع هدف: در مدل موردنظر چهار معیار کفایت، راندمان، عدالت و پایداری در تحویل مورد استفاده قرار گرفته است. هدف آن است که در یک دوره تحویل برحسب 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. در بین شاخص‌های کمی ارایه شده برای معیارهای فوق، مجموعه شاخص‌های ارایه شده توسط مولدن و گیتس به لحاظ بی‌بعد بودن و سادگی اندازه‌گیری آنها مناسب‌ترین شاخص‌ها تشخیص داده شدند، که به شرح ذیل در مدل موردنظر به کار رفته‌اند:

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

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

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

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

می‌باشند.

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

$$FF_{\min} = C_1 (1 - MPA) + C_2 (1 - MPF) + C_3 MPE + C_4 MPD \quad (5)$$

انحراف هر شاخص را نسبت به مقدار ایده‌آلی که برای آن شاخص تعریف شده است، حداقل نماید. منظور از تحلیل حساسیت ضرایب وزنی نیز بررسی تأثیر تغییر میزان این ضرایب در بهبود یا عدم بهبود

محدودیت‌ها (شرایط واقعی) بهینه کرده و راه کارهای بهبود را استخراج نمود. در این فرآیند رابطه شاخص‌ها با متغیرهای هیدرولیکی کانال به معادلات هیدرولیکی حاکم بر پدیده جریان در طول زمان و مکان بستگی دارد و نحوه این ارتباط باید از طریق یک مدل شبیه‌سازی هیدرودینامیک صورت گیرد. از طرفی ترکیب شاخص‌ها در تابع هدف، تابعی پیچیده، چند متغیره و غیر صریح را به وجود می‌آورد که

بکارگیری روش‌های کلاسیک بهینه‌سازی را دشوار نموده است. 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 بعضی از شاخص‌ها با هم رقابت دارند نمی‌توانند تحت همه شرایط ضرایب وزنی یکسانی را در تابع هدف به خود اختصاص دهند. از آنجایی که الگوی استاندارد برای وزن دهی به شاخص‌ها موجود نمی‌باشد، معمولاً از قضاوت کارشناسی استفاده می‌شود. چه در ارزیابی و چه در بهبود عملکرد، اگر وزن دهی بر مبنای قضاوت کارشناسی صورت گیرد، در صورت به کارگیری توسط افراد مختلف برای یک مسئله مشخص به نتایج متفاوتی منجر خواهد شد. لذا قضاوت کارشناسی تنها زمانی معتبر است که هیچگونه ملاک دیگری در دست نباشد. نخستین بار توسط محسنی موحد در سال 1381 جهت در نظر گرفتن اهمیت نسبی شاخص‌ها، روشی منطقی، مؤثر و

در روابط فوق شاخص‌های MPA ، MPF ، MPE و MPD به ترتیب عبارتند از متوسط کفایت تحویل، راندمان تحویل، عدالت و پایداری در تحویل در دریاچه‌های آبگیر یک کانال. QR دبی مورد نیاز هر دریاچه، QD دبی واقعی تحویلی به هر دریاچه، N تعداد دریاچه-های آبگیر و T تعداد گام‌های زمانی در یک دوره تحویل است. CV_T و CV_N نیز به ترتیب ضرایب تغییرات زمانی و مکانی نسبت $\left(\frac{QD}{QR}\right)$

که در آن C_i ها ضرایب وزنی جملات تابع هدف می‌باشند. هدف از حل مساله فوق جستجوی جوابی است (ترکیب مناسب برای بازسازی دریاچه‌ها در طول دوره بهره‌برداری) که مجموع (وزنی)

روابط زیر تعریف می‌شود:

$$0 < h \leq h_{\max} \quad (10)$$

$$y < y_{\max} \quad (11)$$

که در آن:

h : میزان تنظیم سازه h_{\max} : میزان حداکثر بازشدگی سازه
 y : عمق آب در سرتاسر کانال y_{\max} : حداکثر عمق مجاز آب 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 مشاهده می‌شود تابع هدف تابع صریحی از متغیرهای تصمیم‌گیری نبوده و ارتباط آنها از طریق معادلات هیدرولیکی حاکم بر جریان آب در کانال برقرار می‌گردد. نحوه این ارتباط باید با یک مدل شبیه‌سازی هیدرودینامیک صورت گیرد. از طرفی بهینه‌سازی یک چنین تابع غیرصریحی با روش‌های تحلیلی بهینه‌سازی دشوار و گاهی غیرممکن است و بایستی از روش‌های عددی استفاده کرد. در این تحقیق برای بهینه‌سازی تابع هدف فوق از مدل شبیه‌سازی هیدرودینامیک ICSSDOM استفاده شده است که در ادامه به طور مختصر معرفی می‌گردد.

مدل ICSSDOM: مدل ریاضی ICSSDOM که در سال 1381 توسط محسنی موحد ارائه شده، یک مدل ریاضی ترکیبی است که به زبان فرترن 77 نوشته شده و در آن الگوریتم بهینه‌سازی SA¹ به صورت یک حلقه داخلی در ساختار اصلی مدل شبیه‌سازی هیدرودینامیکی ICSS² قرار گرفته است.

مدل هیدرودینامیک ICSS توسط مانز (1990) و به منظور 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 تحقیق برای شبیه‌سازی هیدرودینامیک و ارتباط متغیرهای تصمیم‌گیری با تابع هدف حین فرآیند بهینه‌سازی از مدل مزبور استفاده به عمل آمده است.

روش بهینه‌سازی SA: روش بهینه‌سازی SA یک روش جستجوی تصادفی هوشمند است که بر پایه مکانیک آماری و تشابه با فرآیند فیزیکی آنیلینگ پی‌ریزی شده است. آنیلینگ یک فرآیند فیزیکی در صنعت است که طی آن جسم جامد ابتدا با دمای زیادی گرم می‌شود تا اتم‌های آن بتوانند آزادانه و به‌طور تصادفی در کنار هم قرار گیرند. سپس دما به تدریج کاهش داده می‌شود تا جابجایی اتم‌ها به‌طور تصادفی آنقدر صورت گیرد تا جسم به حالت تعادل دمایی 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

شاخص‌های عملکرد و تابع هدف می‌باشد. 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 فرآیند بهینه‌سازی مناسب‌ترین مقدار این ضرایب را انتخاب نمود. 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 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 γ_i نمایش داده می‌شوند، در نتیجه β_i یا اهمیت نسبی شاخص‌ها، نسبت مستقیمی از γ_i ها می‌باشند. روابط زیر بین این پارامترها برقرار است:

$$(6) \quad | \text{عملکرد موجود شاخص} - \text{عملکرد ایده‌آل شاخص} |$$

$$= \text{پتانسیل بهبود آرمانی} = \gamma_i$$

$$\beta_i = \theta \cdot \gamma_i \quad (7)$$

$$= 1 + \beta_i = 1 + \theta \gamma_i \quad (8)$$

$$C_i$$

که در آن θ برای همه جملات یکسان قرار داده می‌شود و در نتیجه مقادیر γ_i می‌توانند قبل از بهینه‌سازی همه به نسبت θ بزرگتر شوند. اما اینکه θ چه مقدار باید باشد تا جواب‌های بهتری به دست آید، باید با آزمون مقادیر مختلف θ 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، این شاخص‌ها از فرآیند بهینه‌سازی حذف می‌گردند. در اینجا برای جلوگیری از این امر ضریب C_i به صورت $1 + \theta \cdot \gamma_i$ تعریف شده است.

در نهایت ضرایب C_i به صورت $C_i = \alpha_i (1 + \theta \cdot \gamma_i)$ در نظر گرفته

شده‌اند و شکل نهایی تابع هدف به صورت زیر در می‌آید:

$$FF_{\min} = \alpha_1 (1 + \theta \gamma_1) (1 - MPA) + \alpha_2 (1 + \theta \gamma_2) (1 - MPF) + \alpha_3 (1 + \theta \gamma_3) MPE + \alpha_4 (1 + \theta \gamma_4) MPD \quad (9)$$

ضرایب α_i در مدل ICSSDOM برای آن در نظر گرفته شده است که بتوان با صفر قرار دادن آن، شاخص یا شاخص‌هایی را از فرآیند بهینه‌سازی حذف نمود و در غیر اینصورت α_i ها معادل یک قرار داده می‌شود. برای اطلاع بیشتر از جزییات و مبانی روش پیشنهادی فوق می‌توان به منبع محسنی (1386) مراجعه کرد.

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

1- Simulated Annealing

2- Irrigation Conveyance System Simulation

به حالت کریستال کامل برسد.

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 در نهایت رسیدن به جواب بهینه، معادل رسیدن به حداقل سطح انرژی جسم و تشکیل کریستال کامل است.

روش بهینه‌سازی SA بر مبنای یک ساختار همسایگی سعی می‌کند از جواب جاری به یکی از جواب‌های نزدیک به آن حرکت کند. به این ترتیب که با شروع از یک جواب اولیه (S)، جواب جدید (S') در همسایگی جواب فعلی (S) به طور تصادفی تولید می‌شود. ساختار همسایگی که برای تولید جواب‌های مجاور در طول فرآیند بهینه‌سازی در مدل ICSSDOM مورد استفاده قرار گرفته است به صورت زیر است:

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

در رابطه فوق S جواب جاری، S' جواب مجاور در همسایگی S در هر گام تصادفی، ΔS طول گام تصادفی و Kdiv پارامتری است که هرچه بزرگتر باشد طول گام تصادفی کاهش یافته و در نتیجه همسایگی کوچکتری تولید می‌شود.

سپس تغییر در مقدار تابع هدف $D = FF(S') - FF(S)$ محاسبه می‌شود. در کمینه‌سازی اگر $D \leq 0$ باشد در اینصورت S' جایگزین S می‌شود (حرکت نزولی) و اگر $D > 0$ باشد انتقال به جواب جدید

(حرکت‌های رو به بالا) با احتمال $\exp\left(-\frac{D}{T}\right)$ پذیرفته می‌شود. T یک

پارامتر کنترلی است که دما نامیده می‌شود. در حرکت‌های رو به بالا (انتقال‌هایی که مقادیر تابع هدف را افزایش می‌دهد)، این توانایی برای SA به وجود می‌آید که برای جستجوی کمینه سراسری از کمینه محلی خارج شود. این فرآیند L بار در یک درجه حرارت تکرار می‌شود در حالی که L (Epoch) نیز یک پارامتر کنترل است که طول دوره نامیده می‌شود. پارامتر T حین ادامه عملیات به وسیله یک تابع سردکن به تدریج سرد می‌شود تا اینکه سرانجام شرط توقف موردنظر برقرار شود. شرط توقف می‌تواند یک پارامتر کنترلی دیگر مثل دمای نهایی، تعداد تکرارها و یا زمان اجرای الگوریتم باشد.

پارامترهای ورودی SA شامل: T_0 دمای اولیه، T_f دمای نهایی، B فاکتور کاهش دما، I_1 حداکثر تکرارهای پذیرفته شده در هر دما، Epoch طول دوره، EBS خطای مجاز در محاسبات شرط تعادل و Kdiv پارامتر کنترلی مربوط به طول گام‌های تصادفی می‌باشند.

قابل ذکر است که این روش به پارامترهای خود حساس بوده و تعیین پارامترهای کنترلی مناسب مستلزم اجرای مدل با مقادیر متفاوت پارامترها و انتخاب بهترین ترکیب آنهاست که خود نیازمند صرف وقت قابل توجهی است.

روند بهینه‌سازی در این مدل مطابق با روند توصیف شده به روش

SA است، به این ترتیب که ابتدا گزینه‌های تصمیم‌گیری (تنظیمات سازه‌ها) در محدوده مجاز (قیودات بهینه‌سازی) به طور تصادفی تولید شده (S) و سپس با شبیه‌سازی هیدرودینامیک در ICSS تابع هدف برای مدت تحویل موردنظر و با گام‌های زمانی 0/1 ساعت محاسبه می‌شود $FF(S)$. در مرحله بعدی با استفاده از یک ساختار همسایگی مناسب مجدداً گزینه‌های جدیدی به طور تصادفی تولید (S') و تابع هدف در این مرحله نیز با شبیه‌سازی هیدرودینامیک محاسبه می‌گردد $FF(S')$. 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 می‌گردد (حرکت رو به بالا). برای این امر یک عدد تصادفی بین صفر و یک تولید شده $R \in (0,1)$ و اگر $R < \exp\left(-\frac{D}{T}\right)$ باشد این گزینه نیز پذیرفته می‌گردد در غیر

اینصورت 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.

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. اطلاعات لازم برای مدل کردن کانال مورد نظر و گزارش‌های مربوطه ابتدا در سه فایل اطلاعاتی تنظیم می‌شود و سایر تغییرات موردنظر بعدی از جمله داده‌های لازم برای بهینه‌سازی پارامترهای الگوریتم SA به صورت سوال و جواب به مدل داده می‌شود. هیچ محدودیتی در تعداد سازه‌ها و ترتیب انتخاب آنها برای بهینه‌سازی وجود ندارد.

مشخصات کانال‌های انتخابی

کانال‌های E_1R_1 ، E_1R_5 و E_1L_4 کانال‌های بتنی با مقطع دوزنقه‌ای هستند که در منطقه سبیلی از شبکه آبیاری ذ واقع شده‌اند. طول این کانال‌ها به ترتیب 2/6، 2/3 و 3/2 کیلومتر و حداکثر ظرفیت آنها 2/47، 1/38 و 3/25 مترمکعب بر ثانیه می‌باشد. کلیه آبگیرها و تنظیم کننده‌ها به صورت دستی بهره‌برداری می‌شوند. بعد از هر دریاچه آبگیر یک پارشال فلوم برای اندازه‌گیری دبی تعبیه شده است. عملیات بهره‌برداری تحویل آب براساس درخواست زارعین زبردست هر دریاچه که بایستی حداکثر تا 24 ساعت قبل اعلام شده باشد، روزانه و معمولاً ساعت 8 صبح انجام می‌گیرد و مسئول مربوطه بر مبنای تجربه میزان بازشدگی دریاچه‌ها را برای تحویل دبی در 24 ساعت آینده تنظیم می‌کند.

در این کانال‌ها برای انجام هرچه بهتر شبیه‌سازی طی یک سری اندازه‌گیری‌های مستقیم، کالیبراسیون ضرایب دریاچه‌ها نیز انجام گرفت و با استفاده از سایر اطلاعات موجود، مدل کانال مزبور شبیه‌سازی شد. برنامه تحویل آب به دریاچه‌ها بر طبق یک تقویم 10 روزه

به عنوان نمونه از بین آمار ثبت شده انتخاب گردید. در جداول شماره (1) تا (3) برنامه تحویل کانالها نشان داده شده‌اند.

جدول 1- برنامه تحویل آب در وضع موجود برای یک تقویم ده روزه منتخب از آمار ثبت شده کانال E₁L4 (لیتر بر ثانیه)

نام دریاچه	L ₄ -11		L ₄ -12		L ₄ -13		L ₄ -14		L ₄ -15		L ₄ -16		مجموع	مجموع	درصد اختلاف
	نیاز	تحویل	نیاز	تحویل	نیاز	تحویل	نیاز	تحویل	نیاز	تحویل	نیاز	تحویل	دبی موردنیاز	دبی تحویلی	
83/12/1	70/6	50	52	50	41	40	52	50	56	50	167/5	120	439/1	360	-18
83/12/2	70/6	50	52	50	41	40	52	50	56	50	167/5	120	439/1	360	-18
83/12/3	70/6	40	52	40	41	40	52	50	56	50	167/5	120	439/1	340	-22/5
83/12/4	105/2	40	52	40	85	40	86	50	98	50	167/5	100	593/7	320	-48/1
83/12/5	105/2	70	52	50	145	90	118	70	146	100	167/5	100	733/7	480	-34/5
83/12/6	105/2	70	52	50	145	90	118	70	146	100	167/5	110	733/7	490	-33/2
83/12/7	105/2	70	52	40	145	90	118	70	146	100	167/5	110	733/7	480	-34/5
83/12/8	105/2	90	52	40	145	90	118	70	146	100	167/5	110	733/7	500	-31/8
83/12/9	105/2	90	52	40	145	90	118	70	146	100	167/5	110	733/7	500	-31/8
83/12/10	105/2	90	52	40	145	90	118	70	146	100	167/5	110	733/7	500	-31/8

جدول 2- برنامه تحویل آب در وضع موجود برای یک تقویم ده روزه منتخب از آمار ثبت شده کانال E₁R₅ (لیتر بر ثانیه)

نام دریاچه	R ₅ -8		R ₅ -9		R ₅ -12A		R ₅ -10		R ₅ -11		مجموع	مجموع	درصد اختلاف
	نیاز	تحویل	نیاز	تحویل	نیاز	تحویل	نیاز	تحویل	نیاز	تحویل	دبی موردنیاز	دبی تحویلی	
83/12/1	219/5	180	57	50	72	60	57	40	84/9	70	490/4	400	-18/4
83/12/2	219/5	180	57	50	72	60	57	40	84/9	60	490/4	390	-20/5
83/12/3	219/5	180	57	50	72	60	57	40	84/9	60	490/4	390	-20/5
83/12/4	219/5	180	57	50	72	60	83/5	40	84/9	60	519/9	390	-25
83/12/5	219/5	180	57	30	75	60	83/5	50	84/9	50	519/9	370	-28/8
83/12/6	219/5	180	57	30	75	60	83/5	50	84/9	60	519/9	380	-26/9
83/12/7	219/5	180	79	30	75	60	83/5	50	84/9	60	519/9	380	-29/9
83/12/8	219/5	180	79	60	75	60	83/5	50	84/9	60	519/9	410	-24/3
83/12/9	219/5	180	87	60	75	60	83/5	50	106/9	60	571/9	410	-28/3
83/12/10	219/5	180	142/4	100	75	70	83/5	60	106/9	80	661/3	490	-25/9

جدول 3- برنامه تحویل آب در وضع موجود برای یک تقویم ده روزه منتخب از آمار ثبت شده کانال E₁R1 (لیتر بر ثانیه)

نام دریاچه	R ₁ -1		R ₁ -2		R ₁ -3		R ₁ -4		R ₁ -5		R ₁ -6		R ₁ -7		مجموع	مجموع	درصد اختلاف
	نیاز	تحویل	نیاز	تحویل	نیاز	تحویل	نیاز	تحویل	نیاز	تحویل	نیاز	تحویل	نیاز	تحویل	دبی موردنیاز	دبی تحویلی	
79/8/16	36	40/5	42	40/5	27	40	32	40	44	40	22	20	27	30	230	251	+9/1
79/8/17	36	20	45	40/5	27	30	32	28	44	40/5	22	20	27	20	233	199	-14/6
79/8/18	37	20	45	40/5	27	30	32	30	57	53	22	20	27	20	247	213	-13/7
79/8/19	37	18/2	45	36/6	29	43	35	30	57	53	22	20	27	20	252	220	-12/7
79/8/20	37	18/2	45	36/7	29	35	35	30	57	50	22	20	27	20	252	209	-17
79/8/21	37	18/2	45	46	29	35	35	30	57	53	22	20	27	20	252	222/2	-11/8
79/8/22	37	18/2	45	46	29	35	42	35	57	53	22	20	27	25	259	232/2	-10/3
79/8/23	14	18/2	26	40	14	30	22	30	43	53	9	20	14	20	142	211/2	+48/7

79/8/24	14	18/2	26	40	14	30	22	30	43	53	9	20	14	20	142	211/2	+48/7
79/8/25	14	18/2	26	40	14	30	16	46	45	60	9	20	14	20	138	234/2	+50/1

می باشد:

$T_0=50, T_f=10, B=0.95, \text{Epoch}=5, \text{EBS}=0.01, I_1=45$
 با وجود شرایط بهره برداری مختلف در این سه کانال، ترکیب بهینه پارامترهای SA کاملاً مشابه است. گرچه در کار محسنی میزان T_0 با در نظر گرفتن ضریب اطمینان بالاتر برابر 80 در نظر گرفته شده، که تأثیری در ادامه عملیات بهینه سازی نداشته است. بنابراین این ترکیب می تواند به عنوان ترکیب نهایی انتخاب شود.
 این نتایج می تواند کمک فراوانی به مطالعات موردی بعدی نموده و حجم عظیمی از آزمون های تحلیل حساسیت را کاهش دهد. اما در مورد کانال هایی که در شبکه های متفاوتی غیر از شبکه آبیاری دز واقع شده اند به دلیل تفاوت هایی که ممکن است در طراحی و اجرا وجود داشته باشد، نمی توان با چنین اطمینانی اظهار نظر کرد.
 به علت اهمیت طول گام تصادفی در ترکیب SA با مدل هیدرودینامیک، پارامتر Kdiv اهمیت زیادی داشته و باید در خصوص تنظیم آن برای کاربردهای آبی تحقیقات بیشتری انجام می گرفت از این رو در مورد پارامتر Kdiv محسنی در کانال E_1R_5 و نوروزپور در کانال E_1L_4 تمرکز بیشتری نموده اند که نتایج این دو تحقیق مشابه بوده است. در جداول (4) و (5) نتایج حاصل از تحلیل حساسیت پارامتر Kdiv برای دوره ده روزه انتخابی آمده است.
 همانطور که در جدول (4) دیده می شود برای هر روز، محدوده مناسب Kdiv و بهترین مقدار پارامتر Kdiv که به ازای آن کمترین عدد برای تابع هدف به دست آمده، مشخص شده است. حد پایین این محدوده مقداری برای پارامتر Kdiv است که به ازای مقادیر کوچکتر از آن مدل ناهمگرا می شود.

همان طور که در جداول (1)، (2) و (3) مشاهده می شود در کانال های E_1L_4 و E_1R_5 در تمام روزها دبی تحویلی کمتر از دبی مورد نیاز بوده به عبارت دیگر در طول دوره آماری شرایط کم آبی حکمفرما بوده است. اما در کانال E_1R_1 در بعضی روزها شرایط کم آبی و در بعضی روزها تحویل بیش از نیاز بوده است.
 در هر یک از این مطالعات ابتدا عملکرد کانال در شرایط موجود برای 10 روز متوالی شبیه سازی و محاسبه شده است. در مرحله دوم طی یک سری اجراهای اولیه با مدل، مناسب ترین پارامترهای SA تعیین و سپس بهینه سازی عملیات بهره برداری براساس دبی ورودی به کانال در شرایط واقعی برای هر روز انجام شده است.
 در ادامه، بهینه سازی عملکرد بهره برداری برای تقویم ده روزه، براساس حالات و گزینه های مختلفی برای ضرایب وزنی شاخص های عملکرد در تابع هدف انجام گرفته است:
 در گزینه اول ضرایب وزنی شاخص ها در تابع هدف همگی برابر، و معادل یک در نظر گرفته شده است. به عبارتی در فرایند بهینه سازی برای تمامی شاخص ها اهمیت یکسانی در نظر گرفته شده است $C_i = 1$.
 در گزینه دوم ضرایب وزنی شاخص ها به صورت نسبت مستقیمی از پتانسیل بهبود آرمانی در نظر گرفته شده است. $C_i = 1 + \theta \gamma_i$ تفاوت بین وضع موجود و حالت بهینه برای مقادیر شاخص ها تحت عنوان پتانسیل بهبود معرفی شده است. نسبت آن به وضع موجود به صورت درصد بهبود ارایه گردیده است.

نتایج و بحث

در هر سه کانال ترکیب مناسب پارامترهای اصلی الگوریتم بهینه سازی SA که پس از تحلیل حساسیت با آزمون های مختلف انتخاب و در بهینه سازی های نهایی به کار گرفته شده اند، به شرح زیر

جدول 4- حالات مشاهده شده برای تغییر پارامتر Kdiv در ازای تغییر در دبی تحویلی و دبی مورد نیاز نسبت به روز قبل برای کانال E_1L_4

شرایط بهره برداری	تغییر در آب تحویلی نسبت به روز قبل (L/S)	تغییر در آب مورد نیاز نسبت به روز قبل (L/S)	محدوده مناسب و بهترین مقدار پارامتر Kdiv نسبت به روز قبل
83/12/1	—	—	$11 \leq Kdiv \leq 18$
83/12/2	0 (ثابت)	0 (ثابت)	$11 \leq Kdiv \leq 19$ (افزایش)
83/12/3	0 (ثابت)	-20 (کاهش)	$11 \leq Kdiv \leq 20$ (افزایش)
83/12/4	+155/6 (افزایش)	-20 (کاهش)	$11 \leq Kdiv \leq 22$ (افزایش)
83/12/5	+140 (افزایش)	+160 (افزایش)	$13 \leq Kdiv \leq 21$ (کاهش)
83/12/6	0 (ثابت)	+10 (افزایش)	$13 \leq Kdiv \leq 293$ (افزایش)
83/12/7	0 (ثابت)	-10 (کاهش)	$13 \leq Kdiv \leq 885$ (افزایش)

83/12/8	0 (ثابت)	+20 (افزایش)	$12 \leq Kdiv \leq 2610$ (افزایش)
83/12/9	0 (ثابت)	0 (ثابت)	$12 \leq Kdiv \leq 2700$ (افزایش)
83/12/10	0 (ثابت)	0 (ثابت)	$12 \leq Kdiv \leq 2710$ (افزایش)

به روز قبل مشابه است. به طوری که در این روزها با وجود اینکه دبی مورد نیاز کانال نسبت به روز قبل ثابت بوده ولی دبی تحویلی به کانال نسبت به روز قبل کاهش یافته است و در تمام این روزها محدوده مناسب پارامتر Kdiv نسبت به روز قبل افزایش نشان می دهد. همچنین ملاحظه می شود که روزهای دوم، نهم و دهم از جدول (4) و روز سوم از جدول (5) شرایط مشابهی از نظر تغییر در میزان دبی ورودی و دبی مورد نیاز در چیه ها و هم چنین تغییر در محدوده مناسب پارامتر Kdiv داشته اند.

توصیه می شود که تحلیل حساسیت پارامتر Kdiv برای بهینه سازی عملکرد بهره برداری اولین روز، که شرایط تحویل موجود در آن به عنوان شرایط اولیه در نظر گرفته می شود، به دقت انجام شده و بهترین مقدار این پارامتر انتخاب و جهت بهینه سازی به کار گرفته شود. سپس در دوره های بهره برداری بعدی با توجه به پیشنهادات ارائه شده می توان مقدار مناسبی برای این پارامتر انتخاب نموده و به کار گرفت. حال که پارامترهای SA تنظیم شدند به بررسی گزینه های مختلف ضرایب وزنی در بهینه سازی پرداخته می شود.

نتایج نهایی حاصل از بهینه سازی براساس گزینه های مورد نظر و نیز نتایج حاصله از شبیه سازی شرایط موجود برای دوره ده روزه برای سه کانال مذکور در جداول (6)، (7) و (8) آمده است. لازم به ذکر است از آنجایی که در تمامی روزهای دوره انتخابی برای کانال های E_1L_4 و E_1R_5 دبی تحویلی کمتر از دبی مورد نیاز بوده بدیهی است شاخص راندمان در این دو کانال در حالت موجود و بهینه مقداری برابر یک داشته که به همین دلیل این شاخص در جداول مربوط به این دو کانال منظور نشده است.

این ناهمگرایی به این دلیل است که کاهش بیش از حد پارامتر Kdiv باعث افزایش طول گام تصادفی و به تبع آن افزایش یا کاهش ناگهانی در مقدار عددی جواب مجاور نسبت به جواب قبلی می گردد و جریان متغیر سریع تشکیل می شود. منظور از جواب، میزان بازشدگی در چیه ها می باشد. از آنجایی که مدل ICSSDOM برای جریان های متغیر تدریجی طراحی شده و تغییرات ناگهانی در چیه ها را که با طول گام تصادفی بزرگتر اتفاق می افتد نمی پذیرد، ناهمگرایی مدل مشاهده می شود. با افزایش پارامتر Kdiv از یک حد به بالا نیز کیفیت جواب ها بدتر شده (مقدار تابع هدف افزایش پیدا می کند) و یا اینکه تغییری در آنها حاصل نمی شود. دلیل آن می تواند گرفتاری در دام بهینه های محلی با کاهش بیش از حد طول گام های تصادفی باشد. این حد نیز به عنوان حد بالای پارامتر Kdiv برای شرایط هیدرولیکی هر روز معرفی شده است.

همان طور که گفته شد محسنی نیز در سال 1384 مشابه این تحقیق را بر روی کانال توزیع کننده E_1R_5 از شبکه آبیاری دز انجام داده است. با وجود شرایط هیدرولیکی و بهره برداری متفاوت در هر دو تحقیق نتایج مشابهی حاصل شده است. در جدول (5) نتایج حاصل از کار محسنی آمده است.

جدول (4) و (5) با توجه به حالات مشاهده شده، توضیحات ارائه شده براساس منطق الگوریتم بهینه سازی SA و نتایج حاصله از آزمون های تحلیل حساسیت یک دید کلی از تغییرات محدوده مناسب پارامتر Kdiv ارائه می کنند که می تواند جهت تعیین مقدار مناسب این پارامتر با صرف زمان کمتر به کار گرفته شود. به عنوان مثال شرایط روزهای سوم و هفتم در جدول (4) و روزهای دوم و پنجم از جدول (5) از نظر تغییرات دبی تحویلی و دبی مورد نیاز کانال نسبت

جدول 5- حالات مشاهده شده برای تغییر پارامتر Kdiv در ازای تغییر در دبی تحویلی و دبی مورد نیاز نسبت به روز قبل کانال E_1R_5

شرایط بهره برداری	تغییر در آب تحویلی نسبت به روز قبل (L/S)	تغییر در آب مورد نیاز نسبت به روز قبل (L/S)	محدوده مناسب و بهترین مقدار پارامتر Kdiv نسبت به روز قبل
83/12/1	-	-	$27 \leq Kdiv \leq 97$
83/12/2	-10 (کاهش)	0 (ثابت)	$26 \leq Kdiv \leq 187$ (افزایش)
83/12/3	0 (ثابت)	0 (ثابت)	$26 \leq Kdiv \leq 1703$ (افزایش)
83/12/4	0 (ثابت)	+25/5 (افزایش)	$27 \leq Kdiv \leq 37$ (کاهش)
83/12/5	-20 (کاهش)	0 (ثابت)	$29 \leq Kdiv \leq 300$ (افزایش)
83/12/6	+10 (افزایش)	0 (ثابت)	$28 \leq Kdiv \leq 725$ (افزایش)
83/12/7	0 (ثابت)	+22 (افزایش)	$29 \leq Kdiv \leq 91$ (کاهش)
83/12/8	+30 (افزایش)	0 (ثابت)	$28 \leq Kdiv \leq 229$ (افزایش)
83/12/9	0 (ثابت)	+30 (افزایش)	$29 \leq Kdiv \leq 80$ (کاهش)

83/12/10 +80(افزایش) +89/4(افزایش) $23 \leq Kdiv \leq 29$ (کاهش)

جدول 6- نتایج حاصل از بهینه‌سازی براساس گزینه‌های مورد نظر و حالت موجود برای تقویم ده روزه انتخابی برای کانال E_1L_4

تاریخ	عملکرد کفایت در تحویل			عملکرد عدالت در تحویل			عملکرد پایداری در تحویل		
	حالت موجود	گزینه اول $C_i=1$	گزینه دوم $C_i=1+\theta \gamma_i$	حالت موجود	گزینه اول $C_i=1$	گزینه دوم $C_i=1+\theta \gamma_i$	حالت موجود	گزینه اول $C_i=1$	گزینه دوم $C_i=1+\theta \gamma_i$
83/12/1	0/8802	0/8904	0/8881	0/1985	0/0371	0/0283	0/1985	0/0371	0/061
83/12/2	0/8802	0/889	0/8881	0/1985	0/029	0/0279	0/1985	0/029	0/058
83/12/3	0/8177	0/8752	0/8798	0/3011	0/064	0/035	0/3011	0/064	0/041
83/12/4	0/5475	0/565	0/5644	0/2417	0/057	0/0693	0/2417	0/057	0/021
83/12/5	0/6918	0/7137	0/7111	0/2133	0/0036	0/0177	0/2133	0/0036	0/017
83/12/6	0/6999	0/7285	0/7292	0/1946	0/0046	0/004	0/1946	0/0046	0/0086
83/12/7	0/6669	0/737	0/7062	0/0903	0/0043	0/0035	0/0903	0/0043	0/0079
83/12/8	0/6985	0/7191	0/7173	0/1413	0/009	0/0064	0/1413	0/009	0/0009
83/12/9	0/6985	0/7174	0/7173	0/1413	0/0055	0/0062	0/1413	0/0055	0/0004
83/12/10	0/6985	0/7166	0/7173	0/1413	0/0021	0/0063	0/1413	0/0021	0/0007
متوسط ده روزه	0/727	0/752	0/751	0/1861	0/0216	0/0205	0/1861	0/0216	0/021

جدول 7- نتایج حاصل از بهینه‌سازی براساس گزینه‌های مورد نظر و حالت موجود برای تقویم ده روزه انتخابی برای کانال E_1R_5

تاریخ	عملکرد کفایت در تحویل			عملکرد عدالت در تحویل			عملکرد پایداری در تحویل		
	حالت موجود	گزینه اول $C_i=1$	گزینه سوم $C_i=1+\theta \gamma_i$	حالت موجود	گزینه اول $C_i=1$	گزینه سوم $C_i=1+\theta \gamma_i$	حالت موجود	گزینه اول $C_i=1$	گزینه سوم $C_i=1+\theta \gamma_i$
83/12/1	0/8093	0/8176	0/8148	0/079	0/0135	0/0098	0/0436	0/0155	0/0082
83/12/2	0/7866	0/7968	0/7954	0/0962	0/0042	0/0009	0/1125	0/0030	0/0013
83/12/3	0/7866	0/7952	0/7951	0/0962	0/0009	0/0007	0/1125	0/0008	0/0006
83/12/4	0/7352	0/7664	0/7493	0/2091	0/0454	0/0185	0/1665	0/0390	0/0194
83/12/5	0/6653	0/7104	0/7129	0/2009	0/0051	0/0040	0/1741	0/0077	0/0044
83/12/6	0/6890	0/7311	0/7308	0/1866	0/0009	0/0006	0/1456	0/0007	0/0007
83/12/7	0/6597	0/7085	0/7050	0/2742	0/0177	0/0150	0/1880	0/0194	0/0144
83/12/8	0/7362	0/7568	0/7561	0/1249	0/0075	0/0037	0/1153	0/0047	0/0031
83/12/9	0/6936	0/7191	0/7185	0/1738	0/0346	0/0228	0/2556	0/0270	0/0197
83/12/10	0/7485	0/7485	0/7485	0/1897	0/0412	0/0256	0/3397	0/0295	0/0154
متوسط ده روزه	0/731	0/7550	0/7526	0/163	0/0171	0/0102	0/1653	0/0147	0/0087

جدول 8- نتایج حاصل از بهینه‌سازی براساس گزینه‌های مورد نظر و حالت موجود برای تقویم ده روزه انتخابی برای کانال E_1R_1

تاریخ	عملکرد راندمان در تحویل			عملکرد کفایت در تحویل			عملکرد عدالت در تحویل			عملکرد پایداری در تحویل		
	حالت موجود	گزینه اول $C_i=1$	گزینه دوم $C_i=1+\theta \gamma_i$	حالت موجود	گزینه اول $C_i=1$	گزینه دوم $C_i=1+\theta \gamma_i$	حالت موجود	گزینه اول $C_i=1$	گزینه دوم $C_i=1+\theta \gamma_i$	حالت موجود	گزینه اول $C_i=1$	گزینه دوم $C_i=1+\theta \gamma_i$
79/8/16	0/89	0/91	0/97	0/97	1	1	0/19	0/083	0/046	0/14	0/069	0/053
79/8/17	0/99	1	1	0/84	0/85	0/86	0/19	0/081	0/042	0/20	0/047	0/039
79/8/18	0/98	1	1	0/85	0/87	0/87	0/21	0/133	0/094	0/25	0/089	0/060
79/8/19	0/95	1	1	0/81	0/89	0/88	0/34	0/115	0/088	0/33	0/087	0/063
79/8/20	0/98	1	1	0/81	0/85	0/84	0/25	0/115	0/088	0/24	0/082	0/062
79/8/21	0/97	1	1	0/73	0/89	0/89	0/49	0/115	0/088	0/41	0/087	0/063
79/8/22	0/97	1	1	0/86	0/91	0/90	0/24	0/103	0/115	0/15	0/103	0/086

79/8/23	0/66	0/69	0/72	1	1	1	0/25	0/112	0/093	0/20	0/093	0/069
79/8/24	0/66	0/71	0/77	1	1	1	0/25	0/104	0/132	0/20	0/073	0/104
79/8/25	0/59	0/63	0/69	1	1	1	0/32	0/183	0/148	0/33	0/119	0/126
متوسط ده روزه	0/864	0/894	0/915	0/887	0/926	0/927	0/273	0/114	0/093	0/245	0/085	0/073

همانطور که گفته شد به دلیل شرایط کم آبی در دو کانال E_1L_4 و E_1R_5 شاخص راندمان در حالت موجود و بهینه تفاوتی ندارد. ولی در کانال E_1R_1 شاخص راندمان در هر دو گزینه و در تمامی روزها نسبت به حالت موجود بهبود نشان داده است. به طوریکه درصد بهبود متوسط ده روزه این شاخص در گزینه اول برابر $3/5$ و در گزینه دوم $5/9$ درصد می باشد. همانطور که ملاحظه می شود گزینه دوم بهبود بیشتری را نشان داده است.

همچنین با توجه به اطلاعات مندرج در جداول ملاحظه می شود که در هر سه کانال شاخص کفایت در اکثر روزها نسبت به حالت موجود، بهبود نشان داده است. در کانال E_1L_4 و E_1R_5 با تفاوت اندکی بین دو گزینه، گزینه اول بهبود بیشتری داشته است ولی در کانال E_1R_1 گزینه دوم مناسب تر بوده است.

همچنین در هر سه کانال در تمامی روزهای تقویم انتخابی شاخص های عدالت و پایداری بهبود قابل ملاحظه ای داشته اند. در مورد این شاخص ها نیز مناسب ترین گزینه، گزینه دوم است. از طرفی وقتی شرایط کم آبی حاکم باشد و تحویل کمتر از نیاز باشد، شاخص های عدالت و پایداری اهمیت زیادی خواهند داشت و ملاحظه می شود در هر دو کانال بیشترین بهبود این شاخص ها در گزینه دوم است.

همانطور که گفته شد ضرایب شاخص ها در تابع هدف در گزینه اول برابر یک در گزینه دوم برابر با ضریبی از پتانسیل بهبود آرمانی در نظر گرفته شده است. در جدول (9) مراحل محاسبه اهمیت نسبی شاخص ها و ضرایب وزنی جملات تابع هدف در گزینه دوم آمده است. همچنین همانطور که گفته شد در گزینه دوم پارامتر θ برای هر روز با استفاده از تحلیل حساسیت تعیین می شود. نتایج این مرحله نیز برای کانال های E_1L_4 و E_1R_5 در جدول (10) آمده است. مقادیر θ مناسب برای کانال E_1R_1 در تمام روزها برابر 10 در نظر گرفته شده است.

در ادامه قدر مطلق تفاوت بین عملکرد موجود و عملکرد بهینه هر شاخص که در جداول (6)، (7) و (8) برای هر روز آمده اند 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. از طرفی به علت چند هدفی بودن فرایند بهینه سازی، میانگین مقادیر درصد بهبود شاخص های راندمان، کفایت، عدالت و پایداری در هر روز به عنوان درصد بهبود متوسط شاخص ها تعریف شده و معیار استاندارد جهت مقایسه بین گزینه های مختلف در نظر گرفته شده است. این مقادیر در جداول (11)، (12) و (13) آمده است.

گرچه در بعضی از روزها اختلاف درصد بهبود دو گزینه چندان تفاوتی نمی کند ولی هر دو نسبت به حالت موجود بهبود چشمگیری دارند. در اینجا هدف، انتخاب بهترین گزینه با بیشترین درصد بهبود است.

جدول 9- محاسبه ضرایب وزنی جملات تابع هدف در گزینه دوم

C_i	راندمان در تحویل			کفایت در تحویل			عدالت در تحویل			پایداری در تحویل		
	عملکرد ایده آل=1			عملکرد ایده آل=1			عملکرد ایده آل=0			عملکرد ایده آل=0		
	E_1L_4	E_1R_5	E_1R_1	E_1L_4	E_1R_5	E_1R_1	E_1L_4	E_1R_5	E_1R_1	E_1L_4	E_1R_5	E_1R_1
متوسط عملکرد موجود برای دوره ده روزه پتانسیل بهبود آرمانی	1	1	0/86	0/73	0/73	0/88	0/19	0/16	0/27	0/22	0/17	0/24
	0	0	0/14	0/27	0/27	0/12	0/19	0/16	0/27	0/22	0/17	0/24

ضریب												
وزنی												
در	1	1	1+0/140	1+0/270	1+0/270	1+0/120	1+0/190	1+0/614	1+0/270	1+0/220	1+0/170	1+0/240
گزینه												
دوم												

جدول 10- تعیین پارامتر θ برای هر روز از دوره آماری با استفاده از تحلیل حساسیت

تاریخ	83/12/1	83/12/2	83/12/3	83/12/4	83/12/5	83/12/6	83/12/7	83/12/8	83/12/9	83/12/10
E_1R_5	80	800	50	50	200	1000	100	400	30	30
E_1L_4	60	100	50	700	200	1000	300	40	50	50

جدول 11- خلاصه نتایج حاصل از بهینه‌سازی بر اساس گزینه‌های مورد نظر برای تقویم ده روزه انتخابی برای کانال E_1L_4

تاریخ	درصد بهبود شاخص کفایت		درصد بهبود شاخص عدالت		درصد بهبود شاخص پایداری		درصد بهبود متوسط شاخص‌ها	
	گزینه اول $C_i=1$	گزینه دوم $C_i=1+\theta \gamma_i$	گزینه اول $C_i=1$	گزینه دوم $C_i=1+\theta \gamma_i$	گزینه اول $C_i=1$	گزینه دوم $C_i=1+\theta \gamma_i$	گزینه اول $C_i=1$	گزینه دوم $C_i=1+\theta \gamma_i$
	83/12/1	1/15	0/9	0/9	85/7	70/1	83/8	38/1
83/12/2	1	0/9	0/9	85/9	71/3	84/5	39/4	42/8
83/12/3	7/05	7/6	7/6	88/2	75/3	91/1	40/2	46/7
83/12/4	3/21	3/1	3/1	71/3	80/4	88/5	40	40/7
83/12/5	3/17	2/8	2/8	91/7	93/2	91/6	48/6	46/5
83/12/6	4/1	4/2	4/2	97/9	98/6	98/5	50	50/1
83/12/7	6/31	5/9	5/9	96/1	86/7	89/2	47/05	47/8
83/12/8	2/93	2/7	2/7	95/4	94/9	99/2	47/8	49/3
83/12/9	2/71	2/7	2/7	95/6	95/3	99/6	48/5	49/47
83/12/10	2/6	2/7	2/7	95/5	95/8	99/4	49/2	49/4
متوسط ده روزه	3/4	3/3	3/3	90/3	86/16	92/5	44/9	46/5

جدول 12- خلاصه نتایج حاصل از بهینه‌سازی بر اساس گزینه‌های مورد نظر برای تقویم ده روزه انتخابی برای کانال E_1R_5

تاریخ	درصد بهبود شاخص کفایت		درصد بهبود شاخص عدالت		درصد بهبود شاخص پایداری		درصد بهبود متوسط شاخص‌ها	
	گزینه اول $C_i=1$	گزینه دوم $C_i=1+\theta \gamma_i$	گزینه اول $C_i=1$	گزینه دوم $C_i=1+\theta \gamma_i$	گزینه اول $C_i=1$	گزینه دوم $C_i=1+\theta \gamma_i$	گزینه اول $C_i=1$	گزینه دوم $C_i=1+\theta \gamma_i$
	83/12/1	1	0/7	82/9	87/5	64/4	81	37/1
83/12/2	1/3	1/1	95/5	99	97/3	98/8	48/5	49/7
83/12/3	1/1	1/1	99	99/2	99/3	99/5	49/8	50
83/12/4	4/2	1/9	78/3	91/1	76/5	88/3	39/8	45/3
83/12/5	6/8	7/2	97/5	98	95/6	97/4	50	50/6
83/12/6	6/1	6/1	99/5	99/6	99/5	99/5	51/3	51/3
83/12/7	7/4	6/9	93/5	94/5	89/7	92/3	47/6	48/4
83/12/8	2/8	2/7	93/9	97	95/9	97/2	48/2	49/2
83/12/9	3/7	3/6	80	86/9	89/4	92/3	43/3	45/7
83/12/10	0	0	78/3	86/5	91/3	95/4	42/4	45/5

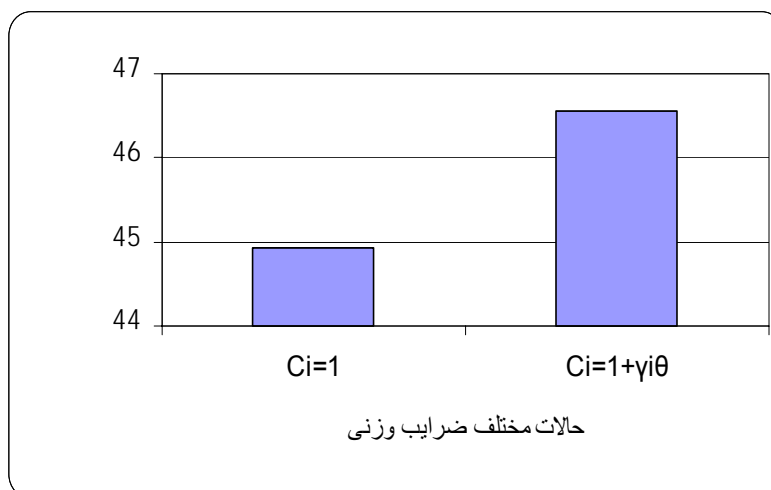
متوسط ده روزه	3/4	3/1	89/8	94	89/9	94/1	45/8	47/8
---------------	-----	-----	------	----	------	------	------	------

برابر 31/7 و در گزینه دوم 36 به دست آمده است. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد، گرچه مقادیر درصد بهبود متوسط شاخص‌ها در گزینه اول و دوم در سه کانال متفاوت است لیکن در هر سه کانال گزینه دوم یعنی در نظر گرفتن ضرایب وزنی به صورت $C_i = 1 + \theta \gamma_i$ طبق روش و جزئیات شرح داده شده، بیشترین درصد بهبود متوسط را به همراه داشته است. تأثیر وزن‌دهی به شاخص‌ها در عملکرد بهینه بر اساس الگوی پیشنهادی در نمودارهای (4)، (5) و (6) نمایش داده شده است.

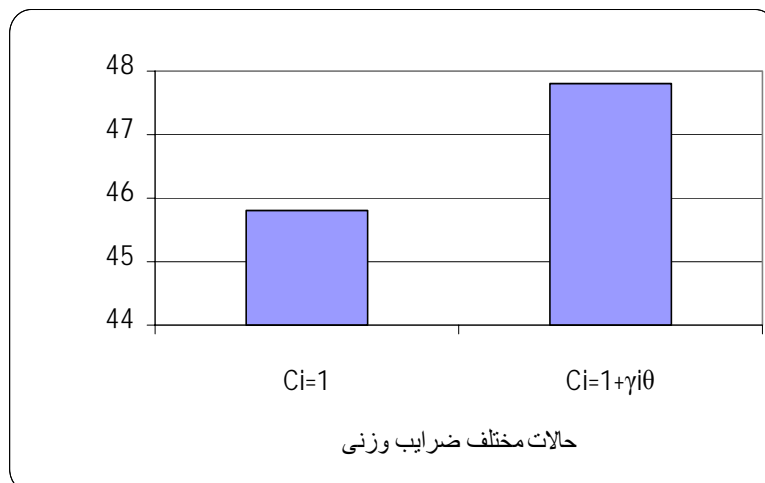
با توجه به چند هدفی بودن مساله بهینه‌سازی و اثر متقابلی که شاخص‌ها بر هم دارند، در نهایت قضاوت و تصمیم‌گیری نهایی در مورد مناسب‌ترین حالت ضرایب وزنی باید بر مبنای درصد بهبود متوسط تمامی شاخص‌ها صورت گیرد. لذا در نمودارهای زیر درصد بهبود متوسط ده روزه برای سه کانال رسم شده است. با توجه به جداول (11)، (12) و (13) مقادیر درصد بهبود متوسط شاخص‌ها برای کانال E_1L_4 در گزینه اول 44/9 و در گزینه دوم 46/5، در کانال E_1R_5 برای گزینه اول و دوم به ترتیب برابر 45/8 و 47/8 و در کانال E_1R_1 نیز این مقادیر برای گزینه اول

جدول 13- خلاصه نتایج حاصل از بهینه‌سازی براساس گزینه‌های مورد نظر برای تقویم ده روزه انتخابی برای کانال E_1R_1

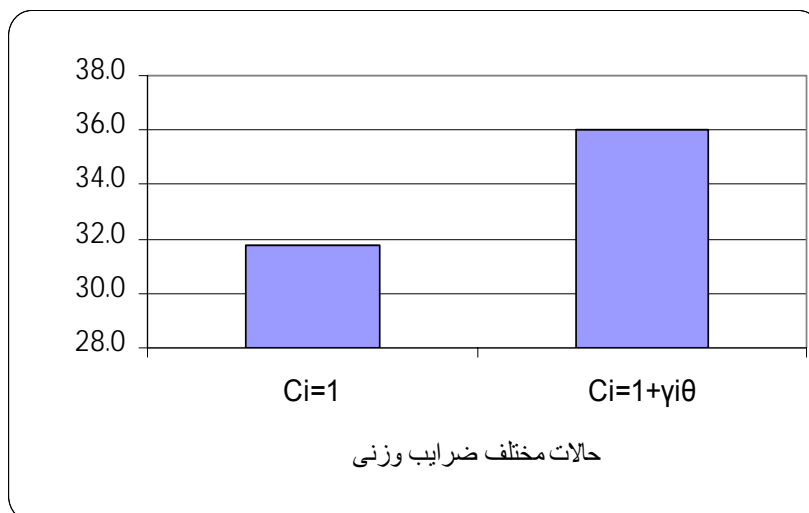
تاریخ	درصد بهبود شاخص راندمان		درصد بهبود شاخص کفایت		درصد بهبود شاخص عدالت		درصد بهبود شاخص پایداری		درصد بهبود متوسط شاخص‌ها	
	گزینه اول $C_i = 1$	گزینه دوم $C_i = 1 + \theta \gamma_i$	گزینه اول $C_i = 1$	گزینه دوم $C_i = 1 + \theta \gamma_i$	گزینه اول $C_i = 1$	گزینه دوم $C_i = 1 + \theta \gamma_i$	گزینه اول $C_i = 1$	گزینه دوم $C_i = 1 + \theta \gamma_i$	گزینه اول $C_i = 1$	گزینه دوم $C_i = 1 + \theta \gamma_i$
	79/8/16	2/2	9	3/1	3/1	56/3	75/8	50/7	62/1	28/1
79/8/17	1	1	1/2	2/7	57/4	77/9	76/5	80/5	34	40/5
79/8/18	2	2	4/2	3/4	36/7	55/2	64/4	76	26/4	34/2
79/8/19	5/3	5/3	9/9	9/6	66/2	74/1	73/6	80/9	38/7	42/5
79/8/20	2	2	4/9	4/7	54	64/8	65/8	74/2	31/7	36/4
79/8/21	1/3	3/1	21/9	22/2	76/5	82	78/8	84/6	45/1	48
79/8/22	1/3	3/1	5/8	5/1	57/1	52/1	31/3	42/7	24/3	25/7
79/8/23	5/4	9/1	0	0	55/2	62/8	53/5	65/5	28/3	34/3
79/8/24	6/7	16/7	0	0	58/4	47/2	65/5	48	32/4	28
79/8/25	6/8	16/9	0	0	42/8	53/8	63/9	61/8	28/4	33/1
متوسط ده روزه	3/5	5/9	4/4	4/6	58/1	65/8	65/3	70/4	31/7	36



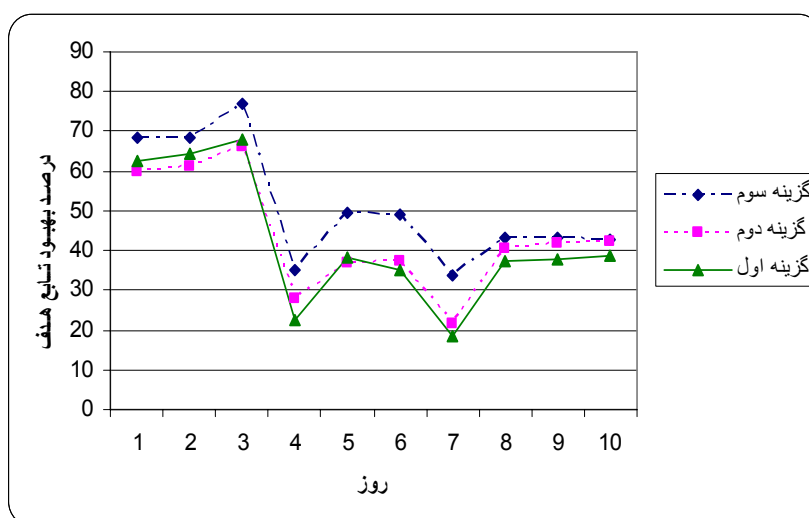
نمودار 4- نمودار میانگین درصد بهبود متوسط شاخص‌ها در گزینه‌های مختلف برای دوره ده روزه برای کانال E_1L_4



نمودار 5- نمودار میانگین درصد بهبود متوسط شاخص‌ها در گزینه‌های مختلف برای دوره ده روزه برای کانال E_1R_5



نمودار 6- نمودار میانگین درصد بهبود متوسط شاخص‌ها در گزینه‌های مختلف برای دوره ده روزه برای کانال E_1R_1



نمودار 7- تغییرات روزانه تابع هدف در حالت موجود و حالت بهینه (گزینه سوم) برای دوره ده روزه E_1L_4

مناسب پارامترها تقریباً یکسان می‌باشد و می‌توان این ترکیب نهایی را به منظور مطالعات بعدی مورد استفاده قرار داد.

جهت تعیین مقدار مناسب پارامتر Kdiv برای شرایط هر روز کافی است با توجه به دید کلی ارایه شده چند عدد به طور تصادفی برای این پارامتر انتخاب کرده و پس از بهینه‌سازی بهترین جواب حاصله را انتخاب نماییم. سپس در دوره‌های بعدی با توجه به پیشنهادات ارایه شده می‌توان مقدار مناسبی برای این پارامتر در هر روز انتخاب نموده و به کار گرفت.

نتایج مورد بحث، اعتبار روش پیشنهادی جهت تعیین ضریب وزنی شاخص‌ها برای بهینه‌سازی عملکرد بهره‌برداری از کانال‌های آبیاری را تأیید می‌نماید. برطبق نتایج حاصله در حالتی که ضریب وزنی هر شاخص به صورت نسبت مستقیمی از پتانسیل بهبود آرمانی آن شاخص در نظر گرفته شود، درصد بهبود بهتر از سایر حالات و گزینه‌های مختلف مورد بررسی خواهد بود.

همچنین در نمودار (7) روند روزانه درصد بهبود تابع هدف (که حداقل آن موردنظر است) در وضع موجود با گزینه‌های سه‌گانه برای کانال E_1L_4 به عنوان نمونه آورده شده است.

همانطور که ملاحظه می‌شود تابع هدف در هر سه گزینه در تمامی روزها بهبود چشمگیری داشته است. اما گزینه سوم بهبود بیشتری را نشان می‌دهد. همچنین در روزهای نهم و دهم به دلیل ثابت بودن شرایط بهره‌برداری نسبت به روز قبل، تفاوت بین تابع هدف در سه گزینه بسیار به هم نزدیک می‌باشد.

نتیجه‌گیری

در پایان خلاصه‌ای از نتایج حاصله آورده می‌شود:
با مقایسه ترکیب مناسب پارامترهای SA برای بهینه‌سازی عملکرد بهره‌برداری کانال‌های E_1R_1 و E_1R_5 , E_1L_4 مشخص می‌شود با وجود شرایط متفاوت بهره‌برداری در سه کانال، ترکیب

منابع

- 1- اصغریور م. 1377. تصمیم‌گیریهای چندمعیاره. انتشارات دانشگاه تهران. 398 صفحه.
- 2- زارعی ب. 1383. مبانی شبیه‌سازی. مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران. شماره اول دوره اول. صفحه 21-1.
- 3- سیاهی م. 1375. ارزیابی عملکرد سیستم‌های آبیاری. هشتمین سمینار کمیته ملی آبیاری و زهکشی. 1 الی 2 آبان. تهران. صفحه 19-1.
- 4- قاهری ع. 1378. شاخص‌های ارزیابی عملکرد سیستم‌های آبیاری و زهکشی. مجموعه مقالات فنی ارزیابی عملکرد سیستم‌های آبیاری و زهکشی. 7 بهمن. تهران. صفحه 44-35.
- 5- محسنی ن. 1384. تعیین مناسب‌ترین ضریب وزنی شاخص‌ها در بهینه‌سازی عملکرد کانال‌های آبیاری با استفاده از تحلیل حساسیت و مدل ICSSDOM. پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی آب. دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی همدان.
- 6- محسنی موحد ا. و منعم م. 1381. بهینه‌سازی عملکرد بهره‌برداری کانال‌های آبیاری با استفاده از روش SA. علوم پایه، شماره 44، 3578-3565.
- 7- محسنی موحد ا. و منعم م. 1381. معرفی مدل ICSSDOM برای ارزیابی عملکرد و بهینه‌سازی بهره‌برداری کانال‌های آبیاری. مجموعه مقالات یازدهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. صفحه 109-95.
- 8- محسنی موحد ا. و منعم م. 1386. معرفی یک مدل ریاضی جدید برای ارزیابی و بهینه‌سازی عملکرد کانال‌های آبیاری. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. دانشگاه صنعتی اصفهان. 7(40): 25-13.
- 9- منعم م. 1375. معرفی مدل شبیه‌سازی شبکه‌های آبیاری و بهینه‌سازی بهره‌برداری از آنها. هشتمین سمینار کمیته ملی آبیاری و زهکشی. 1 الی 2 آبان. تهران. صفحه 20.
- 10- منعم م. 1378. روش‌های ارزیابی عملکرد پروژه‌های آبیاری و زهکشی. مجموعه مقالات کارگاه فنی ارزیابی عملکرد سیستم‌های آبیاری و زهکشی. 7 بهمن. تهران. صفحه 20-7.
- 11- نامداریان ر. 1379. تهیه برنامه توزیع آب در کانال‌های آبیاری با استفاده از روش SA. پایان‌نامه کارشناسی ارشد تاسیسات آبیاری دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.
- 12- نوروزپور س. 1387. ارزیابی اثرات وزن‌دهی به شاخص‌ها و بهره‌برداری‌های مختلف بر عملکرد بهینه کانال‌های آبیاری با مدل ICSSDOM. پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی همدان.
- 13- Chambers R. 1978. Rapid appraisal for improving existing canal irrigation system. Journal of international water resources development 3:73-78.

- 14- Henderson F.M. 1996. Open channel flow. Macmillan publishing co. New York.
- 15- Kumar P., Mishra A., Raghuwanshi N.S. and Singh R 2002. Application of unsteady flow hydraulic model to a large and complex irrigation system. Agricultural water management 54:49-66.
- 16- 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 Janeiro, Brazil 1:1-18.
- 17- Ranault D. 2000. Aggregated hydraulic sensitivity indicators for irrigation system behavior. Agricultural water management 43:151-171.
- 18- Santhi C., and pandarikanthan N.V. 2000. A new planning model for canal scheduling of rotational irrigation. Agricultural water management 43: 327-343.

Assessing Impacts of Weighting Indicators on Optimum Performance of Irrigation Canals

S.A. Mohseni Movahed¹ - N. Mohseni² - S. Norouzpour^{3*}

Received: 25-12-2009

Accepted: 3-10-2010

Abstract

ICSSDOM is a mathematical synthetic model that was written with fortran77 and in which used SA simulation annealing algorithm like an internal loop in basic structure of ICSS hydrodynamic simulation model. This model presented by Mohseni Movahed in 1381. This model is able assess current performance and present optimal operation considering downstream requirement of turnout in real conditions and actual constrains of canal system. For performance optimization of irrigation, canals must be chosen a complete spectrum of indicators and optimized them in an objective function with utilization of optimization method. In this model, necessary actions are considered in order to appoint the relative value of indicators and also is noticed to it's effectiveness in optimization process with sensitivity analysis. Another problem created after choosing appropriate indicators, is the lack of a standard and quantitative method for appointing their relative value. Using model, Mohseni Movahed (1381), mohseni (1384) and norozpour (1387) have assessed E_1R_1 , E_1R_5 and E_1L_4 canals of DEZ networks respectively. In these researches, the most appropriate weighting coefficient of indicators is appointed to performance optimization of irrigation canals and applied method for mentioned coefficient is an origin basic mathematical and logical process, which doesn't depend on any professional judgment. Although, hydraulic conditions in these canals are different, they show similar results. According to the results in all three cases, while the weighting coefficient of indicators is noticed as a direct proportion of difference between ideal and presented performance, the improvement percent is better than other conditions. The other important and new results of this research are such as: Determination of the suitable composition of SA optimization algorithm parameters and presentation a method and general vision in order to appoint the appropriate extent of Kdiv parameter relative to length of random steps in SA optimization algorithm. These results that earn after different and spreading testes of sensitivity analysis can summarize volume of testes and also can be applied as a confident criterion in future researches.

Keywords: Performance of irrigation canals, SA, ICSSDOM, Weighting factors, Sensitivity analysis

1- Asistant Professor, Department of Irrigation and Drainage Engineering, University of Arak

2,3- Masters of Science in Irrigation and Drainage Engineering, College of Boali, University of Hamedan

(* - Corresponding Author Email: norozpor.samira@yahoo.com)