

## بهترین ترکیب وزنی شاخص‌ها در بهره‌برداری بهینه از کانال‌های آبیاری با استفاده از روش SA و کاربرد روش مجانِب در اعتبارسنجی آن

سید اسداله محسنی موحد<sup>\*</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۵/۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۲/۱۵)

### چکیده

در مدل شبیه‌سازی- بهینه‌سازی ICSSDOM، الگوریتم بهینه‌سازی SA با مدل شبیه‌سازی هیدرودینامیکی ICSS تلفیق شده و قابلیت وزن-دهی به شاخص‌ها نیز در نظر گرفته شده است. در این تحقیق با استفاده از مدل مذکور ارزیابی عملکرد کانال S-L-R<sub>5</sub> از شبکه آبیاری دز در یک دوره ده روزه انجام گرفت و با ارائه یک روش پیشنهادی برای وزندهی به شاخص‌ها و گزینه‌های مختلف آن با استفاده از تحلیل حساسیت پارامتری، تنظیم بهینه دریاچه‌های آبگیر و کنترل به‌دست آمد و مشخص شد هرگاه ضریب وزنی هر شاخص به‌صورت نسبت مستقیمی از پتانسیل بهبود آرمانی آن شاخص در نظر گرفته شود، درصد بهبود بیشتر از سایر گزینه‌های بررسی شده می‌باشد. ضمناً با آزمون سازگاری، به لحاظ تاثیر متقابل شاخص‌ها در تابع هدف، سازگاری این روش وزندهی با مسئله مورد نظر اثبات شده است. از لحاظ آماری نیز کافی بودن داده‌های این ده روز تایید شد. اعتبارسنجی نتایج مدل با روش ریاضی مجانِب نشان داد نتایج مدل با ۶٪ خطا معتبر می‌باشند. به‌عنوان مثال در روز اول براساس گزینه سوم (گزینه برتر)، بازشدگی بهینه برای پنج دریاچه آبگیر و یک دریاچه کنترل بین ۳/۹ تا ۱۴/۷ سانتی‌متر است. در این شرایط، تحویل بهینه بین ۴۶ تا ۱۷۸ لیتر در ثانیه است.

واژگان کلیدی: آزمون سازگاری، الگوریتم SA، پتانسیل بهبود آرمانی، روش مجانِب، مدل ICSSDOM

. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه اراک

\*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: movahed244@yahoo.com

## مقدمه

عدم بازده مورد انتظار اغلب شبکه‌های آبیاری لزوم ارزیابی و بهبود عملکرد این شبکه‌ها را ایجاد می‌کند. هیدرولیک جریان در کانال‌های آبیاری بستگی به عواملی مانند سیستم کنترل شبکه، ساختمان فیزیکی و روش بهره‌برداری و مانور دریچه‌ها دارد؛ مطالعه این عوامل استفاده از مدل‌های توانمند را ایجاد می‌نماید. در سال‌های اخیر برای شبیه‌سازی هیدرولیکی کانال‌های انتقال آب، استفاده از مدل‌هایی نظیر CanalMan, SIC, OPDM, PAIS, JIS, MIKE, HEC-RAS, SOBEK رواج پیدا کرده است (۹ و ۱۰). اما ارائه روش‌های کمی و مدل‌های ریاضی که منجر به یک دستورالعمل علمی و کاربردی برای بهره‌برداری بهینه از کانال‌های آبیاری گردد، جز با فرآیند پیچیده و توأم شبیه‌سازی-بهینه‌سازی و انتخاب مجموعه‌ای از شاخص‌های عملکرد مناسب امکان‌پذیر نیست. در این راستا منعم (۸) مدل ICSS-POM را از ترکیب الگوریتم ژنتیک با مدل شبیه‌سازی هیدرودینامیکی ICSS ارائه داد که کاربرد آن برای ارزیابی و بهبود عملکرد کانال JO8 از شبکه EID واقع در کانادا موفقیت آمیز گزارش شده است. همچنین محسنی موحد و منعم (۵)، بهینه‌سازی عملکرد هیدرولیکی کانال  $E_1R_1$  از شبکه آبیاری دز را در شرایط واقعی و غیرماندگار جریان توسط مدل شبیه‌سازی-بهینه‌سازی ICSSDOM انجام دادند. در این مدل از روش بهینه‌سازی SA در ترکیب با مدل هیدرودینامیک ICSS استفاده شده و در آن شاخص‌های عملکرد کفایت، راندمان، عدالت و پایداری در تحویل که اولین بار توسط مولدن و گیتس (۱۲) معرفی شده‌اند به‌کار رفته است. در این مدل 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 می‌شوند. متغیرهای تصمیم‌گیری در بهینه‌سازی عبارت از میزان تنظیم دریچه‌های آبگیر و سازه‌های کنترل است. متعاقباً محسنی موحد و همکاران (۶)، بهینه‌سازی بهره‌برداری کانال‌های  $E_1R_1$ ,  $E_1L_4$  و  $E_1R_5$  در شبکه آبیاری دز

را انجام دادند. ایشان با مقایسه ترکیب مناسب پارامترهای SA مشاهده کردند با وجود اینکه شرایط بهره‌برداری در این کانال‌ها متفاوت بوده است، اما ترکیب مناسب پارامترها تقریباً یکسان می‌باشد و لذا می‌توان این ترکیب نهایی را به‌منظور مطالعات بعدی مورد استفاده قرار داد. همچنین محسنی موحد و نوروزپور (۷) به بهینه‌سازی عملکرد بهره‌برداری از کانال آبیاری  $E_1L_4$  در شبکه آبیاری دز بر مبنای دوره‌های مختلف بهره‌برداری (۶ ساعته، ۸ ساعته، ۱۲ ساعته و ۲۴ ساعته) پرداختند. نتایج این تحقیق به انتخاب دوره بهره‌برداری ۸ ساعته با درصد بهبود بالاتر منجر گردید. در مدل ICSSDOM تمهیدات لازم برای وزن‌دهی به شاخص‌ها با گزینه‌های مختلف در نظر گرفته شده است. روش وزن‌دهی شاخص‌ها که در این تحقیق نیز از آن استفاده شده است، روشی منطقی، مؤثر و مستقل از هرگونه قضاوت کارشناسی است. از این راهبرد اکبری (۲) نیز با ارائه مدل BISEDOM به‌منظور طراحی، ارزیابی و بهینه‌سازی آبیاری نواری استفاده نموده و نتایج خوبی به‌دست آورده است.

هدف این تحقیق آزمون هرچه بیشتر روش پیشنهادی وزن-دهی به شاخص‌ها در شرایط بهره‌برداری، بررسی سازگاری این روش وزن‌دهی با طبیعت مسائل بهینه‌سازی چند هدفه با انجام آزمون سازگاری، ارزیابی و بهینه‌سازی عملکرد کانال S-L-R<sub>5</sub> در شبکه آبیاری دز با مدل ICSSDOM و بررسی آماری کافی بودن داده‌های ارزیابی در یک دوره ده روزه، اعتبارسنجی مدل با روش ریاضی مجانب و پیدا کردن بهترین حالت ممکن برای تنظیم دریچه‌ها و سازه‌های کنترل می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

## تابع هدف، روش وزن‌دهی و گزینه‌های روش وزن‌دهی

در مدل موردنظر شاخص‌های مولدن و گیتس به‌عبارت چهار معیار کفایت (متوسط نسبت دبی تحویلی به دبی مورد نیاز آبگیرها)، راندمان (متوسط نسبت دبی مورد نیاز به دبی تحویلی آبگیرها)، عدالت (ضریب تغییرات مکانی نسبت دبی تحویلی به

[۲] عملکرد موجود شاخص - عملکرد ایده‌آل شاخص =  
پتانسیل بهبود آرمانی = $i$

[۳]  $i = 1, 2, 3$  و اهمیت نسبی شاخص =  $i$

[۴]  $C_i = 1 + i$

اگر عملکرد موجود و ایده‌آل شاخصی برابر باشند آن شاخص با ضریب  $C_i=1$  و کمتر از وزن شاخص‌های دیگر در بهینه‌سازی شرکت می‌کند. نهایتاً  $C_i$  به صورت  $(1 + i)$  در نظر گرفته شده و شکل نهایی تابع هدف به صورت زیر درمی‌آید:

$$FF_{min} = \lambda_1(1 + \theta\gamma_1)(1 - MPA) + \lambda_2(1 + \theta\gamma_2)(1 - MPF) + \lambda_3(1 + \theta\gamma_3)MPE + \lambda_4(1 + \theta\gamma_4)MPD$$

[۵]

با صفر قرار دادن  $i$  می‌توان شاخصی را که در وضعیت مطلوبی قرار دارد از فرایند بهینه‌سازی حذف و تأثیر آنرا بررسی نمود. در غیر این صورت آنرا معادل ۱ قرار می‌دهیم. می‌توان ارقام دیگری را نیز به  $i$  اختصاص داده و گزینه‌های مختلف دیگری را نیز مورد آزمون قرار داد. تا جایی افزایش داده می‌شود تا دیگر بهبود بیشتری حاصل نشود. چون فضای امکان‌پذیر محدود به قیدهای بهینه‌سازی است این فرایند با رایانه‌های پرسرعت در زمان کمی قابل انجام است. متعاقباً بهینه‌سازی برای هر روز براساس گزینه‌های مختلفی برای ضرایب وزنی به شرح زیر صورت گرفت.

**گزینه اول:** بهینه‌سازی بدون در نظر گرفتن ضرایب وزنی برای شاخص‌ها در تابع هدف، که در این حالت طبق الگوی پیشنهادی  $C_i=1$  خواهد بود به طوری که  $i=1$  و  $i=0$  قرار داده می‌شود.

**گزینه دوم:** ضریب وزنی هر شاخص معادل پتانسیل بهبود آرمانی همان شاخص در نظر گرفته می‌شود. که در این حالت  $C_i = i$  به طوری که  $i = 1$  و  $i = 0$  قرار داده می‌شود.

**گزینه سوم:** وزندهی مطابق با الگوی پیشنهادی، که در این حالت  $C_i = (1 + i)$  در نظر گرفته می‌شود. به طوری که  $i=1$  و عملکرد موجود شاخص - عملکرد ایده‌آل شاخص  $i=1, 2, 3, \dots$

دبی مورد نیاز آبیگرها) و پایداری در تحویل (ضریب تغییرات زمانی نسبت دبی تحویلی به دبی مورد نیاز آبیگرها) مورد استفاده قرار گرفته است (۵). از آنجا که مقدار ایده‌آل شاخص‌های کفایت و راندمان تحویل یک و مقدار ایده‌آل شاخص‌های عدالت و پایداری در تحویل صفر است، تابع هدفی که کمینه آن، مقدار بهینه شاخص‌های فوق را ارائه می‌دهد به صورت زیر است:

$$FF_{min} = C_1(1 - MPA) + C_2(1 - MPF) + C_3MPE + C_4MPD$$

[۱]

که در آن  $FF_{min}$  تابع هدف در حالت کمینه‌سازی و  $C_i$ ها ضرایب وزنی جملات تابع هدف می‌باشند.  $MPF$ ،  $MPA$ ،  $MPE$  و  $MPD$  نیز به ترتیب عبارتند از متوسط کفایت تحویل، راندمان تحویل، عدالت و پایداری در تحویل که با وارد کردن دبی مورد نیاز زیر دست هر آبیگر، دبی واقعی تحویلی به کانال، تعداد دریچه‌ها، طول دوره بهره‌برداری و طول گام زمانی محاسبات هیدرولیکی توسط مدل محاسبه می‌شوند. هدف از حل مساله فوق جستجوی تنظیم بهینه دریچه‌هاست تا در ازای آن مجموع (وزنی) انحراف هر شاخص نسبت به مقدار ایده‌آل آن، حداقل گردد. 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 پارامتری در فرایند 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 در حالت غیر صفر معادل 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  $i$  نمایش داده می‌شوند، در نتیجه  $\beta_i$ ها یا همان اهمیت نسبی شاخص‌ها نسبت مستقیمی از  $i$ ها می‌باشند و روابط زیر بین این پارامترها برقرار است:

جدول ۱. برنامه تحویل آب وضع موجود برای یک تقویم ده روزه از آمار کانال S-L-R<sub>5</sub> (لیتر بر ثانیه)

نام دریاچه	R <sub>5</sub> -۸		R <sub>5</sub> -۹		R <sub>5</sub> -۱۲A		R <sub>5</sub> -۱۰		R <sub>5</sub> -۱۱		جمع	جمع	درصد اختلاف
	نیاز	تحویل	نیاز	تحویل	نیاز	تحویل	نیاز	تحویل	نیاز	تحویل	نیاز	تحویل	
۸۳/۱۲/۱	۲۱۹/۵	۱۸۰	۵۷	۵۰	۷۲	۶۰	۵۷	۴۰	۸۴/۹	۷۰	۴۹۰/۴	۴۰۰	-۱۸/۴
۸۳/۱۲/۲	۲۱۹/۵	۱۸۰	۵۷	۵۰	۷۲	۶۰	۵۷	۴۰	۸۴/۹	۶۰	۴۹۰/۴	۳۹۰	-۲۰/۵
۸۳/۱۲/۳	۲۱۹/۵	۱۸۰	۵۷	۵۰	۷۲	۶۰	۵۷	۴۰	۸۴/۹	۶۰	۴۹۰/۴	۳۹۰	-۲۰/۵
۸۳/۱۲/۴	۲۱۹/۵	۱۸۰	۵۷	۵۰	۷۲	۶۰	۸۳/۵	۴۰	۸۴/۹	۶۰	۵۱۹/۹	۳۹۰	-۲۵/۰
۸۳/۱۲/۵	۲۱۹/۵	۱۸۰	۵۷	۳۰	۷۵	۶۰	۸۳/۵	۵۰	۸۴/۹	۵۰	۵۱۹/۹	۳۷۰	-۲۸/۸
۸۳/۱۲/۶	۲۱۹/۵	۱۸۰	۵۷	۳۰	۷۵	۶۰	۸۳/۵	۵۰	۸۴/۹	۶۰	۵۱۹/۹	۳۸۰	-۲۶/۹
۸۳/۱۲/۷	۲۱۹/۵	۱۸۰	۷۹	۳۰	۷۵	۶۰	۸۳/۵	۵۰	۸۴/۹	۶۰	۵۱۹/۹	۳۸۰	-۲۹/۹
۸۳/۱۲/۸	۲۱۹/۵	۱۸۰	۷۹	۶۰	۷۵	۶۰	۸۳/۵	۵۰	۸۴/۹	۶۰	۵۱۹/۹	۴۱۰	-۲۴/۳
۸۳/۱۲/۹	۲۱۹/۵	۱۸۰	۸۷	۶۰	۷۵	۶۰	۸۳/۵	۵۰	۱۰۶/۹	۶۰	۵۷۱/۹	۴۱۰	-۲۸/۳
۸۳/۱۲/۱۰	۲۱۹/۵	۱۸۰	۱۴۲/۴	۱۰۰	۷۵	۷۰	۸۳/۵	۶۰	۱۰۶/۹	۸۰	۶۶۱/۳	۴۹۰	-۲۵/۹

#### مشخصات کانال انتخابی برای مطالعه موردی

کانال S-L-R<sub>5</sub> منشعب از کانال E<sub>1</sub>R<sub>5</sub> کانالی بتنی با مقطع دوزنقه‌ای است که در منطقه سیبلی شبکه آبیاری دز واقع شده است. طول این کانال ۲/۳ کیلومتر و حداکثر ظرفیت آن ۱/۳۸ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد. کلیه آبیگرها و تنظیم کننده‌ها به صورت دستی بهره‌برداری می‌شوند. بعد از هر دریاچه آبیگر یک پارشال فلوم برای اندازه‌گیری دبی تعبیه شده است. عملیات بهره‌برداری تحویل آب براساس درخواست زارعین زبردست هر دریاچه که بایستی حداکثر تا ۲۴ ساعت قبل اعلام شده باشد روزانه و معمولاً ساعت ۸ صبح انجام می‌گیرد و مسئول مربوطه بر مبنای تجربه میزان بازشدگی دریاچه‌ها را برای تحویل دبی در ۲۴ ساعت آینده تنظیم می‌کند. برنامه تحویل آب به دریاچه‌ها طبق یک تقویم ۱۰ روزه به‌عنوان نمونه از بین آمار ثبت شده انتخاب گردید که در جدول (۱) مندرج است. ابتدا عملکرد موجود کانال برای ۱۰ روز متوالی شبیه‌سازی شد آنگاه طی یک سری اجزای اولیه، مناسب‌ترین پارامترهای SA تعیین و سپس بهینه‌سازی عملیات بهره‌برداری از کانال در شرایط واقعی برای هر روز توسط مدل انجام گرفت.

#### آزمون سازگاری برای روش پیشنهادی وزن‌دهی

اگرچه روش پیشنهادی مستقل از قضاوت کارشناسی بوده و به‌کارگیری آن جواب‌هایی با کیفیت بهتر ارائه داده است، لکن جهت اطمینان بیشتر و بررسی این که آیا روش موردنظر سازگاری لازم با طبیعت مسأله را دارد یا خیر، از روش بردار ویژه که توسط توماس ستی ارائه گردیده و در منبع (۱) به‌خوبی توصیف شده استفاده شده است که به‌وسیله آن می‌توان قضاوت‌های تصمیم‌گیرنده در وزن‌دهی به شاخص‌ها را سنجید. در این روش اگر نسبت سازگاری  $C.R. < 0.1$  باشد روش سازگار است و در غیر این صورت وزن‌های داده شده به شاخص‌ها بایستی طبق روش تشریح شده در منبع مذکور تعدیل شوند تا درجه سازگاری قابل قبول حاصل شود. نسبت سازگاری عبارت‌است از  $C.R. = \frac{C.I.}{R.I.}$  که در آن شاخص سازگاری از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$C.I. = \frac{\lambda \max - n}{n - 1} \quad [6]$$

در رابطه فوق  $n$  تعداد شاخص‌ها بوده و  $\max$  یک بردار ویژه است که از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$\lambda \max = \left( \sum_{i=1}^n a_{ij} \cdot w_j \right) / w_i \quad [7]$$

جدول ۲. مقادیر شاخص تصادفی برحسب تعداد شاخص‌ها (۱)

تعداد شاخص‌ها	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱
R.I	۰	۰	۰/۵۸	۰/۹	۱/۱۲	۱/۲۴	۱/۳۲	۱/۴۱	۱/۴۵	۱/۵۷	۱/۵۱

۴-  $h$  نصف طول فاصله اطمینان حساب می‌شود.

۵- از رابطه  $n = \frac{t^2 s^2}{h^2}$  مقدار  $n$  مقدار  $n$  محاسبه و با مقدار فرضی مقایسه می‌شود. اگر این دو مقدار تقریباً یکسان بوده و یا اختلاف قابل اغماض داشته باشند مسأله حل است، در غیر این صورت  $n$  دیگری فرض شده و الگوریتم تکرار می‌شود و یا اینکه پروسه ذکر شده با یک ضریب اطمینان مطمئن دیگر مجدداً بررسی می‌گردد.

#### روش مجانب به‌عنوان ابزار اعتبارسنجی مدل

از آنجا که در الگوریتم‌های بهینه‌سازی تصادفی به شرط آنکه الگوریتم در دام نقاط محلی نیفتد با افزایش تعداد تکرارها احتمال بهتر شدن جواب‌ها هست و نظر به اینکه الگوریتم SA توانایی خروج از دام نقاط بهینه محلی را دارد، لذا در تئوری ثابت شده که اگر زمان اجرای الگوریتم به سمت بینهایت میل کند جواب‌ها نیز با احتمال صد در صد به سمت بهینه سراسری همگرا خواهد شد (۱۱). در این مقاله از این خاصیت استفاده شده و با یک روش ابتکاری بهینه سراسری تخمین زده می‌شود. در این روش مقادیر بهبود یافته تابع هدف، در دامنه انتخابی به‌عنوان متغیر مستقل و تعداد تکرارهای پذیرفته شده به‌عنوان متغیر وابسته، با مدل تابع معکوس در رگرسیون ساده مدل می‌شود و با رسیدن به یک ضریب همبستگی مورد قبول، مقادیر  $a$  و  $b$  ضرایب ثابت تابع معکوس را از جدول تحلیل رگرسیون استخراج کرده و مدل رگرسیون تابع معکوس به‌صورت  $1/N = a + b(FF)$  تشکیل می‌شود. در این رابطه  $FF$  مقدار تابع هدف و  $N$  تعداد تکرارهای پذیرفته شده می‌باشد. حال در ازای خط مجانب، مقدار تابع معکوس را محاسبه کرده و به‌عنوان برآوردی از بهینه سراسری مسأله می‌پذیریم. به‌عبارت دیگر در این روش مقدار تابع هدف در ازای تکرارهای بینهایت تخمین

اگر اوزان خام و نرمال نشده شاخص‌ها که با قضاوت تصمیم‌گیرنده در یک مقایسه زوجی تعیین شده عبارت باشند از:  $1$  و  $2$  و  $3$  و ... در آن صورت مقادیر  $w_j$  عبارت است از مقادیر نرمال شده  $i$  ها و مقادیر  $a_{ij}$  ها نیز عبارتند از:

$$a_{11} = \frac{\gamma_1}{\gamma_1}, a_{12} = \frac{\gamma_1}{\gamma_2}, a_{13} = \frac{\gamma_1}{\gamma_3}, \dots, a_{1n} = \frac{\gamma_1}{\gamma_n} \quad [8]$$

مقدار R.I نیز عبارت است از یک شاخص تصادفی که برحسب تعداد شاخص‌ها از جدول (۲) استخراج می‌شود (۱).

#### بررسی آماری کافی بودن داده‌های ارزیابی

در این کار تحقیقی از یک آمار ده روزه استفاده شده است. اما آیا این آمار برای محاسبه متوسط عملکرد موجود کافی بوده است یا خیر؟ برای پاسخ به این سوال ناگزیر به استفاده از روش‌های آماری مطمئن برای ارزیابی طول دوره می‌باشیم. حجم نمونه لازم از جامعه برای نیل به نصف فاصله اطمینان  $h$  با ضریب  $1-\alpha$  و با تخمین واریانس ( $S$ ) از رابطه زیر قابل محاسبه است (۳):

$$n = \frac{t^2 \cdot s^2}{h^2} \quad [9]$$

که در آن  $t$  کوانتیل توزیع  $t$ -استیودنت بوده و از جداول مربوطه با توجه به درجه آزادی و ضریب اطمینان مورد نظر استخراج می‌شود. برای محاسبه حداقل حجم نمونه لازم که در اینجا همان تعداد روزهای مورد استفاده قرار گرفته می‌باشد، برحسب یک ضریب اطمینان مشخص از الگوریتم ساده زیر استفاده می‌شود:

۱- ابتدا مقداری برای  $n$  فرض می‌شود؛

۲- براساس  $n$  فرضی و با ضریب اطمینان مورد نظر  $t$  از جدول مربوط به توزیع  $t$ -استیودنت استخراج می‌شود.

۳- فاصله اطمینان براساس اطلاعات موجود محاسبه می‌شود.

جدول ۳. نتایج بهینه‌سازی براساس گزینه‌های سه‌گانه و حالت موجود برای تقویم ده روزه انتخابی

تاریخ	عملکرد کفایت در تحویل			عملکرد عدالت در تحویل			عملکرد پایداری در تحویل		
	حالت موجود	گزینه اول	گزینه دوم	حالت موجود	گزینه اول	گزینه دوم	حالت موجود	گزینه اول	گزینه دوم
۸۳/۱۲/۱	۰/۸۰۹۳	۰/۸۱۷۶	۰/۸۱۷۶	۰/۰۷۹	۰/۰۱۳۵	۰/۰۱۳۵	۰/۰۰۹۸	۰/۰۱۳۵	۰/۰۰۸۲
۸۳/۱۲/۲	۰/۷۸۶۶	۰/۷۹۶۸	۰/۷۹۶۸	۰/۰۹۶۲	۰/۰۰۴۲	۰/۰۰۴۲	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۴۲	۰/۰۰۱۳
۸۳/۱۲/۳	۰/۷۸۶۶	۰/۷۹۵۲	۰/۷۹۵۲	۰/۰۹۶۲	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۰۶
۸۳/۱۲/۴	۰/۷۳۵۲	۰/۷۶۶۴	۰/۷۶۶۴	۰/۲۰۹۱	۰/۰۴۵۴	۰/۰۴۵۴	۰/۰۱۸۵	۰/۰۴۵۴	۰/۰۱۹۴
۸۳/۱۲/۵	۰/۶۶۵۳	۰/۷۱۰۴	۰/۷۱۸۵	۰/۲۰۰۹	۰/۰۰۵۱	۰/۰۰۵۱	۰/۰۰۴۰	۰/۰۲۳۱	۰/۰۰۴۴
۸۳/۱۲/۶	۰/۶۸۹۰	۰/۷۳۱۱	۰/۷۳۴۱	۰/۱۸۶۶	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۰۷
۸۳/۱۲/۷	۰/۶۵۹۷	۰/۷۰۸۵	۰/۷۱۰۷	۰/۲۷۴۲	۰/۰۱۷۷	۰/۰۱۷۷	۰/۰۱۵۰	۰/۰۲۴۴	۰/۰۱۴۴
۸۳/۱۲/۸	۰/۷۳۶۲	۰/۷۵۶۸	۰/۷۵۹۳	۰/۱۲۴۹	۰/۰۰۷۵	۰/۰۰۷۵	۰/۰۰۳۷	۰/۰۱۲۶	۰/۰۰۳۱
۸۳/۱۲/۹	۰/۶۹۳۶	۰/۷۱۹۱	۰/۷۴۱۹	۰/۱۷۳۸	۰/۰۳۴۶	۰/۰۳۴۶	۰/۰۲۲۸	۰/۰۵۲۵	۰/۰۱۹۷
۸۳/۱۲/۱۰	۰/۷۴۸۵	۰/۷۴۸۵	۰/۷۴۸۵	۰/۱۸۹۷	۰/۰۴۱۲	۰/۰۴۱۲	۰/۰۲۵۶	۰/۰۷۸۱	۰/۰۱۵۴
متوسط	۰/۷۳۱	۰/۷۵۵۰	۰/۷۵۸۹	۰/۱۶۳	۰/۰۱۷۱	۰/۰۱۷۱	۰/۰۱۰۲	۰/۰۲۶۴	۰/۰۰۸۷
بهبود (%)	---	۳/۳	۳/۸	---	۸۹/۵	۸۴/۳	۹۳/۸	---	۹۴/۷

شبهه‌سازی شرایط موجود برای دوره ده روزه در جدول (۳) آمده است.

از آنجا که در تمامی روزهای دوره انتخابی دبی تحویلی کمتر از دبی موردنیاز بوده، بدیهی است شاخص راندمان هم در حالت موجود و هم 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 نمی‌باشد. در چنین مواردی که دبی تحویلی کمتر از نیاز اعلام شده است اگر ناعادلانه و ناپایدار هم توزیع شود به هیچ وجه صحیح نبوده و نارضایتی زارعین را به دنبال خواهد داشت. چنانچه از دو ردیف آخر جدول (۳) مشخص است شاخص‌های عدالت و پایداری در حالت بهینه تفاوت چشم‌گیری با حالت موجود نشان می‌دهند. شاخص کفایت نیز که در وضع موجود تقریباً مناسب است باز هم بهتر شده است.

باتوجه به چند هدفی بودن مسئله بهینه‌سازی و اثر متقابلی

زده شده و با تابع هدف حاصل از بهینه‌سازی مقایسه می‌شود و می‌تواند ابزار خوبی برای اعتبارسنجی نتایج مدل باشد (۴) چون هیچ معیار واقعی مناسب دیگری وجود ندارد.

$$\lim_{N \rightarrow \infty} 1/N = a + b(FF) = 0 \Rightarrow FF_{global} \approx -a/b$$

$$\text{If } T \rightarrow \infty \text{ then } N \rightarrow \infty$$

[۱۰]

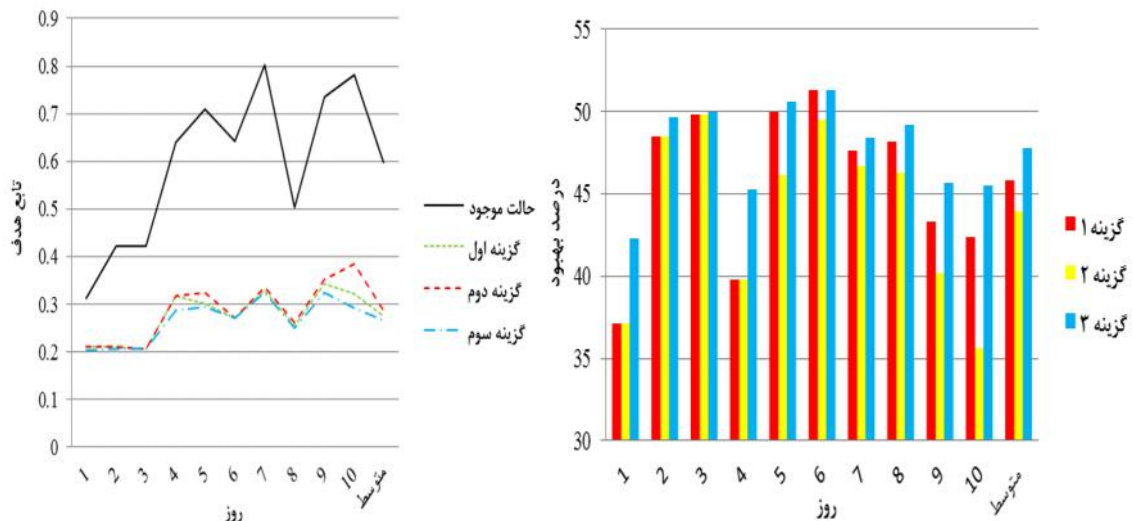
### تعیین بهترین حالت ممکن برای بازشدگی درپچه‌ها

هدف از بهینه‌سازی پیدا کردن بهترین حالت برای بازشدگی درپچه‌ها و سازه‌های کنترل است که بهترین مقدار را برای شاخص‌های عملکرد به دست می‌دهد. لذا از فایلی خروجی مدل که اطلاعات مهمی از قبیل تنظیم بهینه درپچه‌ها و سازه‌های کنترل، دبی مورد نیاز و دبی تحویلی در شرایط بهینه و مقادیر بهینه شاخص‌های عملکرد گزارش می‌شود، استفاده می‌کنیم.

### نتایج و بحث

#### تحلیل گزینه‌های روش وزن‌دهی

نتایج بهینه‌سازی گزینه‌های سه‌گانه و نیز نتایج حاصله از



شکل ۱. نمودارهای روزانه تابع هدف و درصد بهبود در گزینه‌های مختلف

جدول ۴. محاسبه ضرایب وزنی جملات تابع هدف در گزینه دوم و سوم

$C_i$	راندمان	کفایت	عدالت	پایداری
متوسط عملکرد موجود برای دوره ده روزه	۱	۰/۷۳	۰/۱۶	۰/۱۷
عملکرد ایده‌آل	۱	۱	۰	۰
پتانسیل بهبود آرمانی	۰	۰/۲۷	۰/۱۶	۰/۱۷
ضریب وزنی در گزینه دوم	۰	۰/۲۷	۰/۱۶	۰/۱۷
ضریب وزنی در گزینه سوم	۱	$1 + 0/27 \theta$	$1 + 0/16 \theta$	$1 + 0/17 \theta$

در تمامی روزها بهبود چشم‌گیری داشته است. همان‌طور که گفته شد ضرایب شاخص‌ها در گزینه اول برابر یک، در گزینه دوم برابر پتانسیل بهبود آرمانی و در گزینه سوم برابر تابعی از پتانسیل بهبود آرمانی می‌باشد. در جدول (۴) مراحل محاسبه ضرایب وزنی جملات تابع هدف در گزینه‌های دوم و سوم آمده است. در گزینه سوم پارامتر در تابع هدف برای هر روز با استفاده از تحلیل حساسیت تعیین می‌شود (جدول (۵)).

#### نتایج آزمون سازگاری برای روش پیشنهادی وزندهی

شرط سازگاری برای گزینه‌های دوم و سوم که بهینه‌سازی برای کل دوره ده روزه انتخابی انجام شده بررسی گردید. با توجه به اینکه در گزینه دوم شاخص راندمان از فرایند بهینه‌سازی

که شاخص‌ها بر هم دارند، قضاوت و تصمیم‌گیری نهایی در مورد مناسب‌ترین حالت ضرایب وزنی در نهایت بایستی بر مبنای درصد بهبود متوسط تمامی شاخص‌ها صورت گیرد. به‌عنوان مثال در گزینه دوم شاخص کفایت بیشترین درصد بهبود را نسبت به سایر گزینه‌ها نشان می‌دهد؛ در حالی که مقادیر درصد بهبود شاخص‌های عدالت و پایداری در گزینه دوم کمتر از گزینه‌های دیگر است. میانگین درصد بهبود متوسط شاخص‌ها در گزینه‌های اول، دوم و سوم به ترتیب  $45/8$ ،  $44$  و  $47/8$  درصد می‌باشد. لذا گزینه سوم بیشترین درصد بهبود متوسط را به‌همراه داشته است. در تمام روزها دبی تحویلی کمتر از مورد نیاز است. در چنین مواردی توزیع عادلانه دبی اهمیت ویژه‌ای دارد. در شکل (۱) نمودارهای روزانه تابع هدف و درصد بهبود گزینه‌های مختلف رسم شده است. تابع هدف

جدول ۵. تعیین پارامتر 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
	۸۰	۸۰۰	۵۰	۵۰	۲۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰	۴۰۰	۳۰	۳۰

جدول ۶. بررسی شرط سازگاری ضرایب وزنی در گزینه دوم ( $C_i = X_i$ )

C.R	R.I	C.I	max	MPD	MPE	MPA	
-۱/۴۲	۰/۵۸	-۰/۸۲۵	۱/۳۵	۰/۱۷	۰/۱۶	۰/۲۷	وزن انتخابی
C.R ≤ ۰/۱ : شرط سازگاری				۰/۲۸	۰/۲۷	۰/۴۵	وزن نرمالیزه شده
-۱/۴۲ < ۰/۱				۱/۶۱	۱/۶۷	۱	a <sub>ij</sub>

می‌شود که با تعداد روزهای انتخابی درمورد شاخص کفایت با ضریب اطمینان ۹۵٪ و درمورد شاخص‌های عدالت و پایداری با ضریب اطمینان ۹۰٪ میانگین‌های مورد استفاده قرار گرفته، توسط فواصل اطمینان ذکر شده پوشش داده می‌شود که ضرایب اطمینان قابل قبول و مطمئن در محاسبات آماری به حساب می‌آیند.

#### نتایج اعتبارسنجی مدل با روش مجانب

از طیف انتقال‌های رو به پایین مواردی انتخاب گردید (با توزیع مناسب) و تحلیل همبستگی انجام گرفت. نتیجه آن بود که با ضریب همبستگی ۰/۸۷۱ بهینه ICSSDOM با تقریب ۶ درصد بیشتر از بهینه سراسری حاصل از روش مجانب (به‌عنوان روش مبنای تخمین زده شد (جدول ۹). در شکل (۲) نتایج این همبستگی به‌صورت نمودار نشان داده شده است.

#### نتایج تعیین بهترین حالت ممکن برای بازشدگی دریچه‌ها

به‌عنوان مثال در جدول (۱۰) بازشدگی و تحویل بهینه به دریچه‌ها و میزان تنظیم سازه‌های کنترل که پس از بهینه‌سازی با ضرایب وزنی  $C_i = 1 + \gamma_i \theta$  و  $C_i = 1$  برای شرایط روز اول، از فایل‌های خروجی مربوطه استخراج شده‌اند، تنظیم گردیده است. ملاحظه می‌گردد آب مورد نیاز دریچه‌های آبیگر دوم و

حذف شده و بهینه‌سازی سه شاخصه بوده است، آزمون سازگاری برای این گزینه جداگانه انجام شده و این آزمون برای گزینه سوم نیز که در آن هر چهار شاخص با ضرایب متفاوت در فرآیند بهینه‌سازی منظور شده‌اند، مستقلاً بررسی گردیده است. در آزمون‌های انجام شده برای بررسی شرط سازگاری در گزینه سوم از ضرایبی که بهترین جواب را به‌دست داده و جهت تحلیل‌های مقایسه‌ای در نظر گرفته شده‌اند، استفاده شده است. نتایج حاصل از آزمون‌ها در جداول (۶) و (۷) تنظیم شده است. مقادیر به‌دست آمده برای C.R حاکی از سازگاری بسیار بالای روش پیشنهادی است.

#### نتایج بررسی آماری بودن داده‌های ارزیابی

علی‌رغم اینکه طبق تعریف ارائه شده برای شاخص راندمان مقدار این شاخص به علت کمبود آب تحویلی در تمامی روزها برابر ۱ بوده و در نتیجه میانگین آن نیز برابر یک و انحراف معیار برابر صفر گشته است، این مسأله را نباید دلیل بر کافی بودن طول دوره مورد نظر دانست و تعداد روزها (طول دوره آماری) بایستی برای شاخص رقیب آن یعنی شاخص کفایت بررسی گردد. خلاصه محاسبات آماری مربوط به ارزیابی طول دوره انتخابی برای شاخص‌های کفایت، عدالت و پایداری در جدول (۸) تنظیم شده است. با توجه به نتایج حاصله ملاحظه

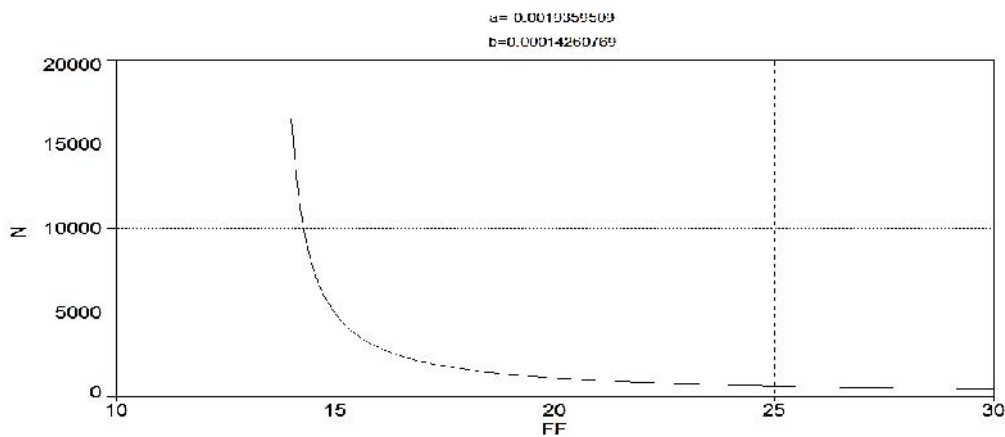


جدول ۷: بررسی شرط سازگاری ضرایب وزنی برای دوره ده روزه بهینه سازی بر اساس گزینه سوم:  $\|C_i = 1 + \gamma_i\|$

	روز اول	روز دوم	روز سوم	روز چهارم	روز پنجم	روز ششم	روز هفتم	روز هشتم	روز نهم	روز دهم
وزن نرمالیزه شده	۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۳	۰/۰۰۸	۰/۰۰۱۷	۰/۰۰۲	۰/۰۰۵	۰/۰۰۶
وزن انتخابی	۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۳	۰/۰۰۸	۰/۰۰۱۷	۰/۰۰۲	۰/۰۰۵	۰/۰۰۶
مؤشر انحراف	۲۱/۶	۰/۴۳	۰/۴۳	۰/۴۳	۰/۴۳	۰/۴۴	۰/۴۴۹۳	۰/۴۳	۰/۴۱	۰/۴
مؤشر تکلیف	۱۲/۸	۰/۲۶	۰/۲۶	۰/۲۶	۰/۲۶	۰/۲۷	۰/۲۶۶	۰/۲۶	۰/۲۶	۰/۲۶
مؤشر عدالت	۱۴/۶	۰/۲۸	۰/۲۸	۰/۲۸	۰/۲۸	۰/۲۸	۰/۲۸۳	۰/۲۸	۰/۲۸	۰/۲۸
مؤشر پایداری	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
$a_{11}$	۰/۰۴۴	۰/۰۰۵	۰/۰۰۶	۰/۰۰۶	۰/۰۰۹	۰/۰۱۸	۰/۰۰۴	۰/۰۰۹	۰/۰۱۱	۰/۰۱۶
$a_{12}$	۰/۰۷۲	۰/۰۰۸	۰/۰۱۱	۰/۰۱۱	۰/۰۲	۰/۰۰۶۲	۰/۰۰۵۸	۰/۰۱۵	۰/۰۱۷	۰/۰۲۴
$a_{13}$	۰/۰۶۸	۰/۰۰۷	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵	۰/۰۲۹	۰/۰۰۵۸	۰/۰۰۵۵	۰/۰۱۴	۰/۰۱۶	۰/۰۲۳
$a_{14}$	۳/۸۷	۴/۱۷۸۵	۳/۹۳	۳/۹۳	۴/۰۲۴۵	۳/۹۹	۳/۹۹	۳/۹۹	۳/۶۸۲	۴/۱۸
$\lambda_{max}$	۰/۰۴۲	۰/۰۵۹	۰/۰۲۳	۰/۰۲۳	۰/۰۰۸۱	۰/۰۰۳۳	۰/۰۰۳۳	۰/۰۰۳۳	۰/۰۱۰۶	۰/۰۰۶
$CI = \frac{\lambda_{max} - \lambda}{\lambda - 1}$	۰/۹	۰/۹	۰/۹	۰/۹	۰/۹	۰/۹	۰/۹	۰/۹	۰/۹	۰/۹
$RI$	۰/۰۵	۰/۰۶۶	۰/۰۲۶	۰/۰۲۶	۰/۰۰۹	۰/۰۰۳۷	۰/۰۰۳۷	۰/۰۰۳۷	۰/۰۱۲	۰/۰۰۷
$CR = \frac{CI}{RI}$	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
شرط سازگاری	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
$CR \leq 0.1$	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

جدول ۸. خلاصه محاسبات آماری مربوط به ارزیابی طول دوره انتخابی

شاخص	MPA	MPE	MPF
n فرضی	۱۰	۱۰	۱۰
متوسط عملکرد موجود ده روزه ( $\bar{X}$ )	۰/۷۳	۰/۱۶	۰/۱۷
انحراف معیار (s)	۰/۰۵۲۹	۰/۰۵۹	۰/۰۸۳۳
ضریب اطمینان $(1-\alpha)$	۹۵	۹۰	۹۰
$\alpha$	۰/۰۵	۰/۱	۰/۱
$1-\frac{\alpha}{2}$	۰/۹۷۵	۰/۹۵	۰/۹۵
$V = n - 1$ (درجه آزادی)	۹	۹	۹
$t_{1-\frac{\alpha}{2}; n-1}$	۲/۲۶	۱/۸۳	۱/۸۳
$\frac{s}{\sqrt{n}}$	۰/۰۱۶۶۵	۰/۰۱۸۶۶	۰/۰۲۶۳۴
$\varepsilon = t_{1-\frac{\alpha}{2}; n-1} \cdot \frac{s}{\sqrt{n}}$	۰/۰۳۷۶	۰/۰۳۴۱	۰/۰۴۸۲
فاصله اطمینان $\bar{X} \pm \varepsilon$	$0.73 \pm 0.0376$	$0.16 \pm 0.0341$	$0.17 \pm 0.0482$
$h = \frac{(\bar{X} + \varepsilon) - (\bar{X} - \varepsilon)}{2}$ نصف طول فاصله اطمینان	۰/۰۳۸	۰/۰۳۴	۰/۰۴۸
محاسباتی $n = \frac{t^2 \cdot s^2}{h^2}$	۹/۹	۱۰/۰۸	۱۰/۰۹



شکل ۲. همبستگی مقادیر بهبود تابع هدف و تکرارهای رو به پایین در مدل ICSSDOM

جدول ۹. خلاصه محاسبات تخمین بهینه سراسری با روش مجانب

تابع هدف موجود	روش مجانب				تابع هدف	تابع هدف مدل	درصد خطا
	a	b	r <sup>2</sup>	FSE			
۲۷/۱	-۰/۰۰۲	۰/۰۰۰۱	۰/۸۷۱	۴۱۹/۸	۱۳/۵۸	۱۴/۳۶	+۶٪

جدول ۱۰. تنظیم بهینه دریاچه‌ها و سازه‌های کنترل در گزینه سوم (گزینه برتر) برای روز اول

نوع و شماره دریاچه	بازشدگی بهینه (cm)	دبی مورد نیاز (Lit/s)	تحویل بهینه (Lit/s)
دریاچه آبگیر (R <sub>5-8</sub> )	۱۲/۹	۲۱۹/۵	۱۷۸
دریاچه آبگیر (R <sub>5-9</sub> )	۳/۹	۵۷	۴۶
دریاچه آبگیر (R <sub>5-12A</sub> )	۷/۷	۷۲	۶۰
دریاچه کنترل (ch <sub>1</sub> -S-L-R <sub>5</sub> )	۶/۲	-	-
دریاچه آبگیر (R <sub>5-10</sub> )	۶/۱	۵۷	۴۶
دریاچه آبگیر (R <sub>5-11</sub> )	۱۴/۷	۸۴/۹	۶۹

اهداف و شاخص‌ها را حتی‌المقدور به مقدار ایده‌آل‌شان نزدیک خواهد نمود. باتوجه به تأثیر متقابل شاخص‌ها در تابع هدف، سازگاری این روش وزن‌دهی با طبیعت مسئله مورد نظر نشان داده شد. با استفاده از مدل مورد نظر ارزیابی کانال S-L-R<sub>5</sub> در شبکه آبیاری دز در یک دوره ده روزه صورت گرفت. از لحاظ آماری نیز کافی بودن داده‌های ارزیابی این ده روز بررسی شد. اعتبارسنجی مدل با روش ریاضی مجانب نشان داد نتایج تا حد خوبی معتبر می‌باشد. در پایان بهینه‌سازی بهترین حالت ممکن برای بازشدگی دریاچه‌ها و سازه‌های کنترل و بهترین مقدار برای شاخص‌های عملکرد در طول دوره بهره‌برداری به‌دست آمده است. در نهایت به مسئولین بهره‌برداری توصیه می‌شود تا حد امکان استفاده از روش‌های جدید و مدل‌های ریاضی و کامپیوتری را که روز به روز توسعه چشم‌گیری می‌یابند و به قابلیت‌های آنها اضافه می‌شود، همراه با آموزش‌های لازم در این زمینه در دستور کار خود قرار داده و به‌هر طریق ممکن در افزایش هرچه بیشتر عملکرد بهره‌برداری از کانال‌های آبیاری اقدام نمایند.

چهارم ۵۷ لیتر در ثانیه بوده است. باتوجه به کمبود آب ورودی نسبت به آب مورد نیاز (۴۰۰ لیتر ورودی در برابر ۴۹۰/۴ لیتر نیاز)، پس از بهینه‌سازی براساس گزینه اول یعنی در نظر گرفتن ضرایب وزنی به صورت  $C_i = 1$  (در نظر گرفتن اهمیت یکسان برای تمام شاخص‌ها)، تحویل بهینه به دریاچه آبگیر دوم ۴۷ لیتر بوده و این مقدار برای دریاچه آبگیر چهارم ۴۶ لیتر می‌باشد. اما پس از بهینه‌سازی براساس گزینه سوم یعنی در نظر گرفتن ضرایب وزنی به صورت  $C_i = 1 + \gamma_i \theta$ ، تحویل بهینه به هر دو دریاچه ۴۶ لیتر در ثانیه بوده است.

### نتیجه‌گیری

روش پیشنهادی وزن‌دهی می‌تواند به‌عنوان یک روش ابتکاری قوی در بهینه‌سازی چندهدفی که بتوان برای اهداف یا شاخص‌ها مقداری ایده‌آل تعریف نموده وضعیت موجود آنرا اندازه‌گیری نمود مورد استفاده قرار گیرد. این روش که مستقل از هرگونه قضاوت کارشناسی است در یک فرایند بهینه‌سازی توسط هر تصمیم‌گیرنده به نتیجه یکسانی می‌رسد و سطح

### منابع مورد استفاده

- اصغرپور، م. ۱۳۹۰. تصمیم‌گیری چندمعیاره. چاپ نهم، ۳۹۸ ص، انتشارات دانشگاه تهران.
- اکبری، م. ۱۳۹۰. تهیه مدل شبیه‌سازی- بهینه‌سازی برای عملکرد آبیاری نواری. پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی آب، دانشکده کش ۳۹۸ ص. اورزی، دانشگاه تهران.
- عمیدی، ع (مترجم). ۱۳۷۳. آمار کاربردی. (تالیف واسرمن و ویتومور). ج ۱. مرکز نشر دانشگاهی. تهران.

۴. محسنی موحد، س. ا. ا.، م. اکبری. ۱۳۹۳. آشنایی با الگوریتم SA برای بهینه‌سازی و برخی کاربردها در مهندسی آب. چاپ اول، انتشارات دانشگاه اراک.
۵. محسنی موحد، س. ا. ا.، و م. ج. منعم. ۱۳۸۶. معرفی یک مدل ریاضی جدید برای ارزیابی و بهینه‌سازی عملکرد کانال‌های آبیاری. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. علوم آب و خاک ۷(۴۰): ۲۵-۱۳.
۶. محسنی موحد، س. ا. ا.، ن. محسنی و س. نوروزپور. ۱۳۸۹. ارزیابی اثرات وزندهی به شاخص‌ها بر عملکرد بهینه کانال‌های آبیاری. نشریه آب و خاک ۲۴ (۶): ۱۰۹۶-۱۰۸۳.
۷. محسنی موحد، س. ا. ا.، و س. نوروزپور. ۱۳۹۰. بهینه‌سازی عملکرد کانال‌های آبیاری بر مبنای تحلیل حساسیت ضرایب وزنی شاخص‌ها و دوره‌های مختلف بهره‌برداری. مطالعه موردی کانال E<sub>۱</sub>L<sub>۲</sub> در شبکه آبیاری دز. پژوهش آب ایران ۵(۸): ۱۲-۱.
۸. منعم، م. ج. ۱۳۷۵. معرفی مدل مشابه‌سازی شبکه‌های آبیاری و بهینه‌سازی بهره‌برداری از آنها. هشتمین سمینار کمیته ملی آبیاری و زهکشی. تهران.
9. Ghumman, A. R., Z. Khan and H. Turral. 2009. Study of feasibility of night-closure of irrigation canals for water saving. *J. Agricultural Water Management* 96:457-464.
10. Javaid, A. and T. Muhammad. 2011. Flexibility analysis of irrigation outlet structures using simulation of irrigation canal hydrodynamic model. *J. Irrigation Sci.* 29: 127-134.
11. Laarhoven, P. J., E. H. Aarte and J. K. Lenstra. 1992. Job shop scheduling by simulated annealing. *J. of Operation Res.* 40: 113-125.
12. Molden, D. J. and T. K. Gates. 1990. Performance measures for evaluation of irrigation water delivery systems. *J. of Irrigation and Drainage Eng.* 116(6): 804-822.

## The Best Weighted Combination of Indicators in Optimal Operation of Irrigation Canals Using SA Algorithm and Asymptotic Method for Validation

S. A. Mohseni Movahed\*<sup>1</sup>

(Received: July 23-2014; Accepted: March 5-2016)

### Abstract

In the ICSSDOM simulation-optimization model, simulated annealing algorithm is combined with a hydrodynamic simulation model named ICSS. In this model the ability of weighting of indicators is also considered. In this study, using this model the performance of the S-L-R5 canal in the DEZ irrigation network was evaluated in a period of 10 days. With presenting a proposed method for weighting the indicators and its various options, using parametric sensitivity analysis, optimal adjustment of intake and check structures was obtained. It was found if the coefficient of each index is selected as a direct ratio of the ideal improvement potential of the indicator, the percentage of the improvement is more than the other investigated options. In addition, due to the interaction of the indicators in the multi-objective functions, the consistency of the weighting method with the nature of the optimization problem in this study has been shown. Statistically, the adequacy of the 10-day period of study was confirmed. The model validation with mathematical asymptote method shows 6% error which indicates the model is valid. For example, on the first day, based on the option three (The optimal option), the optimal gate opening for 5 intakes and one check control was between 3.9 to 14.7 Cm. In this condition optimal delivery was between 46 to 178 liters per second.

**Keywords:** Asymptote method, consistency test, ICSSDOM, Ideal improvement potential, SA algorithm.

---

1. Dept. of Water Eng., College of Agriculture., Arak Univ., Arak, Iran.

\*: Corresponding Author, Email: movahed244@yahoo.com