

شبیه‌سازی و بهینه‌سازی عملکرد شبکه‌های آبیاری در شرایط مختلف بهره‌برداری با استفاده از الگوریتم جامعه مورچگان

محمد جواد منعم^۱ و حسام قدوسی^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۱/۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۶/۲۶

چکیده

به منظور مدیریت صحیح آب در بخش کشاورزی، بررسی راهکارهای استفاده بهینه از آب در شبکه‌های آبیاری و برنامه‌ریزی دقیق تحویل آب ضروری می‌باشد. یکی از عواملی که در شبکه‌های آبیاری موجب پیچیدگی مدیریت آب و کاهش عملکرد می‌گردد جریان غیرماندگار می‌باشد. منشاء تشکیل جریان‌های غیرماندگار در شبکه‌های آبیاری بسیار متفاوت است، اما یکی از عمده‌ترین منابع تشکیل این جریان‌ها اجرای برنامه‌های توزیع و تحویل آب در شبکه می‌باشد. تنظیم بهینه سازه‌های کنترل برای مدیریت جریان‌های غیرماندگار و اجرای برنامه‌های توزیع و تحویل می‌تواند موجب بهبود عملکرد شبکه‌های آبیاری شود. برای این منظور مدل هیدرودینامیک ICSS با روش بهینه‌سازی جامعه مورچگان ترکیب شد و مدل ICSS-Ant توسعه یافت. در این تحقیق ابتدا چند گزینه از جریان‌های غیرماندگار موجود در کانال EIR1 از شبکه آبیاری دز با استفاده از مدل هیدرودینامیک ICSS شبیه‌سازی شد و با استفاده از شاخص‌های ارزیابی میزان کاهش عملکرد کانال در اثر جریان‌های غیرماندگار محاسبه گردید. سپس با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی جامعه مورچگان کلیه گزینه‌ها در حالت وضعیت بهینه شبیه‌سازی شدند. خروجی مدل شبیه‌سازی - بهینه‌سازی تهیه شده مقادیر تنظیم بهینه سازه‌های کانال شامل بازشدگی آگیرها و ارتفاع آب‌بندها می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: شبکه‌های آبیاری، تعیین عملکرد، الگوریتم جامعه مورچگان، بهینه‌سازی

مقدمه

هیدرودینامیک MODIS^۳ عملکرد کانال اصلی کشتیا در شبکه آبیاری گنگز کوبداک^۴ در بنگلادش را برای سه نوع برنامه تحویل آب تحت شرایط کنترل دستی و اتوماتیک از بالادست مورد ارزیابی قرار دادند (Monem and Schuurmans, 1992). کسب دوز و منعم (۱۳۷۷) نیز با استفاده از مدل هیدرودینامیک ICSS^۵ در شبکه آبیاری قوریچای مناسب‌ترین گزینه توزیع آب را از بین سه روش توزیع آب مداوم با دبی ثابت، مداوم با دبی متغییر و متناوب تعیین کردند که روش توزیع آب مداوم با دبی متغییر به‌عنوان بهترین روش انتخاب شد. در این تحقیقات ارائه روش‌های بهبود عملکرد بر پایه نتایج شبیه‌سازی جریان‌های غیرماندگار با استفاده از مدل‌های هیدرودینامیک می‌باشد. همچنین راه‌کارهای بهبود عملکرد، که در مطالعات بهره‌برداری می‌تواند مانند مقدار تنظیم سازه‌های آب‌بند و یا میزان باز شدگی دریچه‌ها باشد با قضاوت کارشناسی تعیین می‌گردد و با استفاده از مدل‌های هیدرودینامیک شبیه‌سازی شده، تأثیر آن بر بهبود عملکرد ارزیابی می‌گردد. منعم و همکاران (۱۳۸۵) نیز با استفاده

با توجه به محدودیت منابع آبی در کشور استفاده بهینه از آب موجود در بخش‌های مختلف و به خصوص بخش کشاورزی به‌عنوان عمده‌ترین مصرف‌کننده آب اجتناب‌ناپذیر به‌نظر می‌رسد. شبکه‌های آبیاری محل اصلی توزیع و تحویل آب در بخش کشاورزی می‌باشند لذا بهبود بهره‌وری آب در این شبکه‌ها موجب افزایش راندمان شبکه و در نتیجه بهبود وضعیت کشاورزی می‌گردد. اولین گام در بهینه‌سازی بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری شناسایی شبکه از جنبه‌های مختلف سازه‌ای و مدیریتی و همچنین عوامل مؤثر در بهره‌برداری از این شبکه‌ها می‌باشد. یکی از مهم‌ترین عوامل هیدرولیکی شبکه‌های آبیاری که موجب کاهش عملکرد می‌گردد، وجود جریان‌های غیرماندگار می‌باشد. تاکنون در زمینه ارزیابی و بهینه‌سازی بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری تحقیقات زیادی انجام گرفته است. به‌عنوان نمونه منعم و شورمانز با استفاده از مدل

۱- دانشیار گروه سازه‌های آبی، دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس

۲- استادیار گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان

*- نویسنده مسئول (Email: Ghodousi_he@Yahoo.com)

3 - Modeling Drainage and Irrigation System

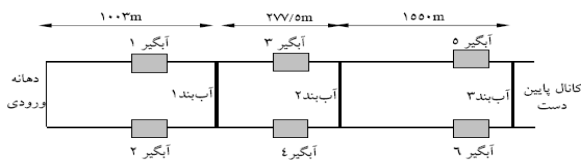
4 - Gengzkobdak

5 - Irrigation Conveyance System Simulation

مواد و روش‌ها

معرفی کانال شبیه‌سازی شده

برای آزمون گزینه‌های بهره‌برداری از کانال EIR1 در شبکه آبیاری دز استفاده شده است. این کانال یک کانال بتنی با مقطع دوزنقه‌ای است که بخشی از آن شبیه‌سازی شده است. حداکثر ظرفیت کانال ۲/۴۷ مترمکعب بر ثانیه است که از طریق شش آبگیر ثقلی با درجه‌های کشویی مستطیلی در مسیری به طول ۲۸۳۰/۵ متر آب مورد نیاز را تأمین می‌کند. شیب کانال در طول این مسیر متفاوت و حداقل ۰/۰۰۱۲ و حداکثر ۰/۰۰۱۲ است. عرض کف از ابتدای کانال تا فاصله ۱۰۰۳ متری معادل ۱/۵ متر و از این نقطه تا محل آخرین آبگیر در فاصله ۲۸۳۰/۵ متری معادل یک متر است. شیب جانبی کانال در تمامی طول مسیر (1V:1.5H) طراحی شده است. متوسط ضریب زبری مانینگ در طول مسیر ۰/۰۱۷ گزارش شده است. این بخش از کانال دارای ۶ سازه آبگیر، ۳ سازه تنظیم‌کننده در بالادست هر زوج آبگیر، ۲ حوضچه آرامش در پایین دست سازه‌های تنظیم‌کننده و یک سیفون می‌باشد. شکل (۱) نمای کلی کانال را نشان می‌دهد.



شکل ۱- نمای کلی کانال EIR1 و سازه‌های مربوطه

معرفی مدل ICSS

مدل هیدرودینامیکی ICSS در سال ۱۹۸۵ توسط مانز تهیه شد، (Manz, 1985). این مدل قادر به شبیه‌سازی سیستم‌های انتقال و توزیع آب که دارای تغییرات زمانی جریان ورودی و خروجی می‌باشند از لحاظ هیدرولیکی و هیدرولوژیکی است. این مدل همچنین قادر به شبیه‌سازی جریان‌های ماندگار و غیرماندگار تدریجی یک بعدی در شبکه‌های آبیاری با انواع شکل مقطع کانال همراه با طیف قابل توجهی از سازه‌ها توأم با جریان‌های گسترده ورودی و خروجی می‌باشد. این مدل دارای یک هسته مرکزی است که معادلات جریان‌های غیرماندگار را در شبکه‌های آبیاری حل می‌کند و شرایط مرزی و سازه‌های مختلف به صورت زیر برنامه‌هایی با آن تلفیق می‌شوند. از خصوصیات بارز این مدل دسترسی به متن برنامه (Source) مدل است که به زبان فرترن می‌باشد.

معرفی روش بهینه‌سازی جامعه مورچگان

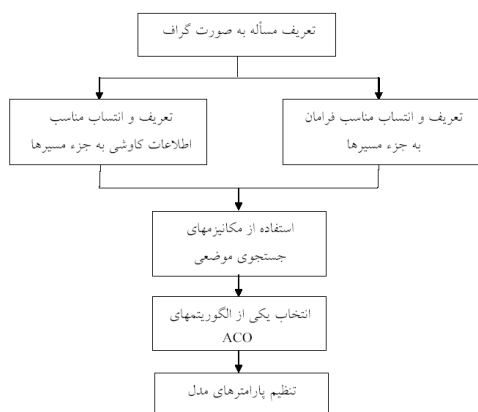
روش بهینه‌سازی جامعه مورچگان همان‌طور که از نامش

از مدل هیدرودینامیک ICSS در کانال اصلی EIR1 از شبکه آبیاری دز انواع مختلف جریان‌های غیرماندگار در شرایط تغییرات نیاز را تحلیل نموده و دستورالعمل مناسب بهره‌برداری ارائه کردند. در این تحقیقات تنظیم سازه‌های شبکه با استفاده از روش سعی و خطا و به صورت دستی انجام می‌گیرد که به وقت و حوصله بسیار زیادی نیاز دارد. برای کاهش این مشکلات یکی از روش‌ها استفاده همزمان از مدل‌های شبیه‌سازی و بهینه‌سازی می‌باشد. در این صورت زمان بهینه‌سازی کاهش یافته و نیاز به سعی و خطا و صرف وقت زیاد نمی‌باشد. در این مورد نیز تاکنون تحقیقاتی صورت گرفته است که به عنوان نمونه می‌توان به مدل ICSS-POM اشاره نمود. این مدل در سال ۱۹۹۶ توسط منعم از ترکیب مدل شبیه‌سازی ICSS با روش بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک به وجود آمد که از آن برای ارزیابی و بهبود عملکرد کانال JO8 از شبکه EID در جنوب آبرتا استفاده شد (Monem, 1996). منعم و کانونی با ارائه یک روش جامع گام به گام به بهینه‌سازی تخصیص آب در کانال‌های آبیاری پرداختند. در این مطالعه مدیریت بهینه به صورت یکپارچه در مزرعه و کانال‌های انتقال آب توسط شاخص‌های مربوطه بهینه گردید. ایشان از روش‌های بهینه‌سازی خطی و الگوریتم ژنتیک به منظور بهینه‌سازی استفاده کردند. نتایج نشان‌دهنده عملکرد مناسب روش جامع به کار رفته بود (Kanooni and Monem, 2013). هم‌چنین سوسا و همکاران ضمن توسعه یک روش، به بهینه‌سازی توزیع آب در کانال‌های آبیاری بین مصرف‌کنندگان مختلف پرداختند. این تحقیق در یک کانال دوزنقه‌ای در شبکه آبیاری Gignac در جنوب فرانسه انجام گرفت. روش بهینه‌سازی به کار رفته در این تحقیق یک روش ترکیبی مبتنی بر روش‌های خطی و عدد صحیح می‌باشد (Sothea et al, 2014). کاربرد الگوریتم‌های ACO در مهندسی آب از زمان پیدایش این الگوریتم بسیار اندک بوده است. اولین کار گزارش شده از این کاربرد مربوط به سال ۲۰۰۱ می‌باشد. در این سال عباسپور و همکاران از الگوریتم‌های ACO برای تخمین پارامترهای هیدرولیکی خاک‌های غیراشباع استفاده نموده‌اند. (Abbaspour et al, 2001). جلالی (۱۳۸۴) نیز از این الگوریتم در بهره‌برداری بهینه از مخازن سدها استفاده نمود و با توسعه الگوریتم ACO به سیستم جامع مورچه‌های موزی از این روش به منظور بهینه‌سازی محیط‌های پیوسته استفاده کرد. در این تحقیق در نظر است با استفاده از مدل شبیه‌سازی هیدرودینامیک ICSS و روش بهینه‌سازی جامعه مورچگان^۱ مدل ترکیبی تهیه نمود که بتواند با شبیه‌سازی الگوی تحویل آب در شبکه آبیاری بهترین تنظیم سازه‌های کانال را برای بهینه‌سازی عملکرد کانال ارائه نماید.

جهت رسیدن به این منظور، برای هر مورچه در هر گام زمانی یک سری انتخابی S می‌بایست تعریف گردد. برای مسأله کوتاه‌ترین مسیر، این سری S شامل کلیه گره‌های قابل دسترس از گره حاضر است که شامل گره‌هایی که قبلاً از آن‌ها عبور کرده نمی‌باشد. جهت یافتن یک جواب خوب و نیز حفظ شباهت با فرآیند جستجوی غذا در مورچه‌های واقعی، در این الگوریتم از فرامان مصنوعی استفاده می‌شود. فرامان مصنوعی یک عدد حقیقی $\tau \in IR$ است که به گزینه‌های قابل انتخاب توسط مورچه مصنوعی در ساخت جواب، تخصیص داده می‌شود. به‌عنوان مثال، در مسأله کوتاه‌ترین مسیر، یک مقدار فرامان τ_{ij} به هر مسیر (i,j) داده می‌شود که شاخص چگونگی مطلوبیت عبور از این مسیر می‌باشد. یک مورچه که در گره i واقع شده است، گره بعدی خود را بر اساس رابطه انتقال تصادف نسبی طبق رابطه (۱) انتخاب می‌نماید:

$$P_{ij} = \frac{\tau_{ij}}{\sum_{h \in S} \tau_{ih}} \quad (1)$$

مقدار P_{ij} ، احتمال انتخاب گره j توسط مورچه‌ای است که به گره i رسیده است. τ_{ij} مقدار فرامان در مسیر ij ، S کل گره‌های قابل دسترس توسط مورچه‌ای است که به گره i رسیده، h گره‌هایی که تاکنون انتخاب نشده و در این مرحله می‌توانند انتخاب گردند و τ_{ih} مقدار فرامان در مسیر ih می‌باشد. همان‌گونه که در رابطه (۱) مشاهده می‌گردد، مقادیر بزرگ فرامان مسیر ij باعث افزایش احتمال انتخاب آن مسیر می‌گردد که مشابه عملکرد مورچه‌های حقیقی است. در شکل (۲) فلوجارت الگوریتم بهینه‌سازی جامعه مورچه‌گان ارائه گردیده است.



شکل ۲- گام‌های مختلف فرآیند بهینه‌سازی در روش ACO

توسعه مدل بهینه‌سازی Ant و مدل تلفیقی Icss-Ant

در این مرحله از تحقیق با توجه به تئوری و الگوریتم حاکم بر

پیداست، با الهام از زندگی مورچه‌گان ارائه گردیده است. الگوریتم سیستم مورچه‌ها (AS) اولین الگوریتمی بود که در سال ۱۹۹۱ توسط کلرنی و همکارانش پیشنهاد گردید (Colorni et al, 1991). از جمله الگوریتم‌های دیگری که تاکنون معرفی شده‌اند می‌توان به سیستم جامعه مورچه‌ها^۲ (ACS) (Dorigo and Gambardella, 1997)، سیستم مورچه‌های بیشینه-کمینه^۳ (MMAS) (Stutzle and Hoos, 1997)، سیستم مورچه‌های ترتیبی^۴ (ASRank) (Bullnheimer et al, 1999) و سیستم مورچه‌های بهترین-بدترین^۵ (Cordon et al, 2000) اشاره نمود.

طبق بررسی‌های صورت گرفته مشخص شده است که حدود ۵۰٪ از کل تعداد حشرات به‌صورت اجتماعی زندگی می‌کنند (Arnett, 1985). این حشرات اجتماعی شامل مورچه‌ها، موربان‌ها، انواع زنبورهای معمولی، زنبورهای عسل و غیره... می‌باشند که در جوامعی که توسط اجزاء و افراد مختلف آن‌ها ساخته شده‌اند زندگی می‌کنند. جوامع حشرات قادر به حل بهینه مسائل مختلفی می‌باشند که هر یک از اجزاء آن‌ها به تنهایی این قابلیت را دارا نمی‌باشند. به‌عنوان نمونه می‌توان به یافتن کوتاه‌ترین مسیر بین لانه و منبع غذایی توسط مورچه‌گان اشاره نمود. مورچه‌گان حشراتی هستند که دارای چشم نبوده از قوه بویایی برای یافتن مسیر خود استفاده می‌کنند. وقتی مورچه‌ای به دنبال غذا می‌گردد، در طول مسیر حرکت خود، ماده بوداری بنام فرامان^۶ از خود به جا می‌گذارد که سایر مورچه‌هایی که در جستجوی غذا هستند را تشویق به عبور از آن مسیر می‌نماید. این فرآیند اصلاح محیط جهت تشویق تغییر در رفتار برای ایجاد ارتباط، Stigmergy نامیده شده که اولین بار توسط گراس معرفی گردید (Grasse, 1959). جهت فهم بهتر مکانیزم فرآیند یافتن کوتاه‌ترین فاصله بین لانه تا منبع غذایی توسط یک جامعه مورچه، آزمایشات زیادی توسط دننبرگ و همکارانش در سال ۱۹۹۰ صورت گرفت (Denenburg et al, 1990). برای شبیه‌سازی ریاضی رفتار مورچه‌های واقعی در حل بهینه مسائل، برخی تغییرات در رفتار مورچه‌ها مورد نیاز است. به‌عنوان نمونه یکی از اشکالات اساسی در تحلیل عملکرد مورچه‌های واقعی، احتمال وجود حلقه‌ها در مسیر مورچه‌ها و یا بازگشت مورچه به لانه بدون رسیدن به منبع غذایی است. از آنجایی که هدف اصلی استفاده از مورچه‌های مصنوعی، ساختن جواب‌های ممکن خوب است، لذا باید محدودیتی برای عبور مورچه مصنوعی از محلی که قبلاً عبور کرده وجود داشته باشد.

- 1 - Ant System
- 2 - Ant Colony System
- 3 - Max-Min Ant System
- 4 - Ranked Ant System
- 5 - Best-Worst Ant System
- 6 - Pheromone

می‌باشد. با انتقال این مقادیر به مدل ICSS محاسبات هیدرولیک جریان انجام و میزان دبی کانال و آبگیرها محاسبه می‌شود. با انتقال این مقادیر به مدل Ant تابع هدف محاسبه و متناسب با آن فرامان- گذاری مسیرها انجام می‌شود. با تکرار این فرآیند مقادیر زیادی از توابع هدف محاسبه شده و روش بهینه‌سازی مورچگان بهترین تابع هدف را با مقادیر متناظر متغیرهای تصمیم ارائه می‌نماید.

معرفی شاخص‌های شبیه‌سازی و تابع هدف مورد استفاده در بهینه‌سازی

سؤال اساسی در بهینه‌سازی عملکرد کانال‌های آبیاری درجه ۲ و ۱ این است که با توجه به رفتار هیدرولیکی جریان و برای یک دوره تحویل مثلاً ۶، ۱۲ یا ۲۴ ساعت، میزان تنظیم دریاچه‌ها و آب‌بندها چقدر باشد تا حتی‌المقدور اهدافی چون راندمان مطلوب، کفایت تحویل مناسب، توزیع عادلانه دبی با حداقل تغییرات زمانی و مکانی تأمین گردد. شاخص‌های عملکرد مناسبی که برای اهداف فوق معرفی شده‌اند و به‌طور عمومی مورد پذیرش قرار گرفته‌اند، شاخص‌هایی هستند که توسط مولدن و گیتس (Molden and Gates, 1990) ارائه شده و در این تحقیق نیز مورد استفاده قرار گرفته‌اند. این شاخص‌ها عبارتند از:

$$MPA = \frac{1}{T} \sum_T \left[\frac{1}{N} \sum_N (Pa) \right] \quad (2)$$

$$Pa = \frac{Qd}{Qr} \quad \text{if} \quad Qd \leq Qr$$

$$Pa = 1 \quad \text{otherwise}$$

$$MPF = \frac{1}{T} \sum_T \left[\frac{1}{N} \sum_N (Pf) \right] \quad (3)$$

$$Pf = \frac{Qr}{Qd} \leq 1 \quad \text{if} \quad Qr \leq Qd$$

$$Pf = 1 \quad \text{otherwise}$$

$$MPE = \frac{1}{T} \sum_T CV_N \left(\frac{Qd}{Qr} \right) \quad (4)$$

$$MPD = \frac{1}{N} \sum_N CV_T \left(\frac{Qd}{Qr} \right) \quad (5)$$

در روابط فوق شاخص‌های MPA^1 ، MPF^2 ، MPE^3 و MPD^4 به ترتیب عبارتند از متوسط کفایت تحویل، راندمان تحویل، عدالت تحویل و پایداری تحویل. CVn متوسط ضریب تغییرات مکانی کفایت تحویل در گام‌های زمانی تحویل و CVt متوسط ضریب تغییرات زمانی کفایت تحویل برای آبگیرهای مختلف می‌باشند. هم- چنین Qr دبی مورد نیاز یا مورد تقاضای اراضی زیر دست هر دریاچه آبگیر، Qd دبی واقعی تحویلی به هر دریاچه آبگیر، N تعداد

روش بهینه‌سازی جامعه مورچه‌ها (ACO) اقدام به توسعه مدل بهینه‌سازی Ant با استفاده از شاخص‌های ارزیابی عملکرد در شبکه- های آبیاری و با هدف بهینه‌سازی عملکرد گردید. مدل توسعه یافته Ant از حدود ۶۰۰ سطر برنامه‌نویسی با زبان فرترن و در محیط PowerSation تهیه شده است. این مدل دارای یک زیربرنامه به نام OBJ_FU بوده که در آن محاسبات مربوط به تابع هدف انجام می‌گیرد. این زیر برنامه در مواقع محاسبه تابع از طریق برنامه اصلی و به تعداد مورد نیاز فراخوانی می‌گردد. مدل دارای دو فایل ورودی به- نام‌های In-par و Constraint می‌باشد. در فایل In-par مقادیر پارامترهای ورودی مدل شامل تعداد مورچه‌ها، ضریب ابقاء فرامان و حداکثر تعداد تکرار تعریف می‌گردند. در فایل ورودی Constraint نیز محدوده متغیرهای تصمیم و اندازه گام‌های در نظر گرفته شده جهت گسسته‌سازی این متغیرها تعریف می‌گردد. لازم به ذکر است مقادیر پارامترهای ورودی مدل به‌عنوان مقادیر اولیه بوده و مقدار مناسب آن‌ها جهت انجام شبیه‌سازی مسئله خاص باید از طریق تحلیل حساسیت انتخاب گردد که این کار نیز انجام گرفت و مقادیر مناسب پارامترها همچون تعداد مورچه‌ها، ضریب ابقاء فرامان و حداکثر تعداد تکرارهای هر اجراء تعیین گردید. خروجی‌های مدل نیز شامل مقدار تابع هدف و بردار جواب به‌دست آمده در هر تکرار بهینه‌سازی بوده که در فایلی با نام Out.txt ذخیره می‌گردد. پس از برقراری شرط توقف در مدل که حداکثر تعداد تکرار یا اختلاف جزئی مقادیر تابع هدف پس از چند تکرار متوالی می‌باشد، جواب نهایی مدل که مقدار تابع هدف بهینه و متغیرهای تصمیم متناظرش می‌باشند با ارائه پیغامی مشخص می‌گردد.

پس از آنکه از صحت کارکرد مدل توسعه یافته Ant اطمینان حاصل شد مراحل آماده‌سازی این مدل جهت تلفیق با مدل شبیه‌سازی جریان‌های غیرماندگار انجام گرفت. به‌منظور تلفیق مدل Ant با مدل ICSS تابع هدف مشخص شده در رابطه (۷) که مجموعه‌ای از شاخص‌های کفایت، راندمان، عدالت و پایداری تحویل می‌باشد به‌عنوان تابع هدف در زیر برنامه OBJ_FU معرفی گردید. متغیرهای تصمیم در این مسئله بهره‌برداری شبکه، میزان بازشدگی دریاچه‌های آبگیر و تعداد تیرک‌های آب بند می‌باشد که محدوده مجاز آن‌ها به‌عنوان ورودی‌ها در فایل مربوطه (Constraint) معرفی گردیدند. مقادیر پارامترهای ورودی مثل تعداد مورچه‌ها و ضرایب ابقاء فرامان و تعداد تکرارها نیز در فایل ورودی In-par تعریف گردیدند. مدل تلفیقی تهیه شده ICSS-Ant نامیده شد. این مدل قادر است علاوه بر اهداف اولیه تهیه مدل ICSS، محاسبه عملکرد موجود و بهینه‌سازی عملیات بهره‌برداری برای نیل به عملکرد بهینه را نیز به- راحتی انجام داده و راهکارهای بهبود را استخراج نماید. در مدل تلفیقی ابتدا هر مورچه یک مسیر را انتخاب می‌کند انتخاب هر مسیر به معنی انتخاب متغیرهای تصمیم بازشدگی دریاچه و ارتفاع آب بند

1 - Mean Performance of Adequacy

2 - Mean Performance of Efficiency

3 - Mean Performance of Equity

4 - Mean Performance of Durability

دریچه‌های آبیگر و T تعداد گام‌های زمانی در یک دوره تحویل است و از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$T = \frac{T_{dur}}{\Delta t} \quad (۶)$$

که در آن T_{dur} و Δt به ترتیب طول دوره بهره‌برداری و طول گام زمانی محاسبات هیدرولیکی بر حسب ساعت می‌باشد. با توجه به تعریف شاخص‌های مولدن و گیتس مشخص می‌شود که مقدار ایده‌آل شاخص‌های کفایت و راندمان تحویل ۱ و مقدار ایده‌آل شاخص‌های عدالت و پایداری در تحویل صفر است. بنابراین بر اساس میانی تئوری بهینه‌سازی تابع هدفی که در شکل کمینه‌سازی بتواند مجموعه شاخص‌های فوق را بهینه کند به صورت رابطه ۷ می‌باشد.

$$Min FF = (1 - MPA) + (1 - MPF) + MPE + MPD \quad (۷)$$

شبیه‌سازی گزینه‌های مختلف بهره‌برداری

در این تحقیق شبیه‌سازی گزینه‌های مختلف در دو حالت وضع موجود و وضعیت بهینه انجام گرفته است. شرایط ایده‌آل برای محاسبه همه گزینه‌ها یکسان در نظر گرفته شده و در این شرایط فرض بر آن بوده است که تنظیم دستی سازه‌ها برای تأمین نیاز آبیگری همه آبیگرها به صورتی است که آبیگرها دقیقاً دبی مورد نیازشان را دریافت نمایند. به عبارت دیگر فرض شده است که مأمورین بهره‌برداری از مهارت کافی برخوردار بوده و سازه‌ها را به خوبی تنظیم نموده‌اند و بدین ترتیب در گزینه‌های مختلف صرفاً اثرات ناشی از رفتار غیرماندگار جریان بر عملکرد مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته تا نهایتاً تأثیر شرایط بهره‌برداری بهینه نیز بر بهبود عملکرد از این دیدگاه مورد بررسی قرار گیرد. در شرایط اولیه شبیه‌سازی هر یک از آبیگرهای کانال EIRI معادل ۰/۱ مترمکعب بر ثانیه آبیگری می‌نمایند.

شرایط وضع موجود

در این شرایط باید افزایش نیاز آبیگرهای ۳ و ۴ را همزمان با ثابت نگه‌داشتن عمق آب در بالادست این آبیگرها از طریق افزایش جریان ورودی به کانال و افزایش بازشدگی دریچه‌های آبیگر تأمین نمود. بدین منظور پس از شبیه‌سازی شرایط اولیه در هر گزینه عمق آب در آب‌بند ۲ (که وظیفه تنظیم سطح آب در بالادست آبیگرهای ۳ و ۴ را دارد) تعیین می‌گردد. سپس با معلوم بودن عمق آب در بالادست این آبیگرها و هم‌چنین معلوم بودن مشخصات دریچه‌های آبیگر میزان بازشدگی آبیگرهای ۳ و ۴ برای تحویل دبی مورد نیاز تعیین می‌گردد. در این شرایط با تنظیم بازشدگی دریچه‌ها به میزان تعیین شده و ثابت نگه‌داشتن بازشدگی بقیه آبیگرها نسبت به شرایط اولیه و با انتخاب گزینه محاسبات وضع موجود در مدل ICSS-Ant و معرفی دبی ورودی به کانال و دبی‌های مورد نیاز تحویلی به آبیگرها مقادیر شاخص‌های عملکرد و تابع هدف پس از ۶ ساعت شبیه‌سازی

جریان محاسبه می‌گردد که نتیجه آن میزان عملکرد کانال در شرایط وضع موجود می‌باشد.

شرایط وضعیت بهینه

در این حالت بهینه‌سازی که همان حداقل نمودن تابع هدف تعریف شده در رابطه (۷) می‌باشد توسط مدل توسعه یافته انجام می‌گیرد. نحوه انجام بهینه‌سازی بدین صورت است که پس از اجرای گزینه بهینه‌سازی در مدل توسعه یافته مدل از کاربر محدوده مجاز بازشدگی دریچه‌ها و ارتفاع آب‌بندها را گرفته و سپس با توجه به دبی ورودی به کانال اصلی و نیاز هر یک از آبیگرها مقادیر بهینه بازشدگی آبیگرها و ارتفاع سازه‌های آب‌بند را پس از سعی و خطا تعیین می‌نماید. بهینه‌سازی به این صورت انجام می‌گیرد که ابتدا مدل با انتخاب مجموعه مقادیر متفاوت بازشدگی دریچه‌ها و ارتفاع آب‌بندها و پس از ۶ ساعت شبیه‌سازی جریان مقادیر تابع هدف را برای هر انتخاب تعیین نموده و پس از تکرارهای مختلف بهترین مقدار تابع هدف (کم‌ترین مقدار) را به همراه مقادیر تنظیمات سازه‌ها گزارش می‌نماید. برای بررسی شرایط مختلف بهره‌برداری و تعیین دستورالعمل تنظیم بهینه سازه‌ها، گزینه‌های مختلفی از تغییرات جریان ورودی به کانال و نسبت انحراف آبیگرها در نظر گرفته شد. دو حالت برای نسبت انحراف آبیگرهای ۳ و ۴ در دو محدوده ۳۰-۱۰ و ۵۰-۴۰ درصد در نظر گرفته شد و هم‌چنین دو حالت برای تغییرات جریان ورودی به کانال به میزان ۱۰٪ و ۳۰٪ پیش‌بینی گردید. بدین ترتیب ۴ گزینه ترکیبی در نظر گرفته شد و برای شرایط موجود شبیه‌سازی گردید (گزینه‌های ۱، ۳، ۵ و ۷). هر یک از گزینه‌ها برای شرایط بهینه نیز شبیه‌سازی شدند (گزینه‌های ۲، ۴، ۶ و ۸) تا میزان بهبود عملکرد در اثر بهینه‌سازی بهره‌برداری مشخص گردد. شماره گزینه‌های مختلف مورد بررسی در جدول (۱) ذکر شده است.

جدول ۱- شماره و مشخصات گزینه‌های شبیه‌سازی شده

| درصد تغییرات جریان اولیه | | | | |
|--------------------------|----|-----------|----|--------------|
| وضع موجود | | وضع بهینه | | شبه‌سازی |
| ۱۰ | ۳۰ | ۱۰ | ۳۰ | درصد تغییرات |
| ۱ | ۳ | ۲ | ۴ | نسبت انحراف٪ |
| ۵ | ۷ | ۶ | ۸ | |

گزینه شماره ۱: در این گزینه نسبت انحراف جریان در آبیگرهای ۳ و ۴ (میزان دبی مورد نیاز آبیگر به دبی کانال در محل آبیگر) در محدوده ٪ (۳۰-۱۰) قرار دارد و میزان تغییر نیاز آبیگرهای ۳ و ۴ و به تبع آن تغییر جریان اولیه کانال معادل ۱۰٪ دبی اولیه کانال می‌باشد. در شبیه‌سازی شرایط اولیه این سناریو دبی ورودی به کانال برابر $1 \text{ m}^3/\text{s}$ و نیاز هر یک از آبیگرها از جمله آبیگرهای ۳ و ۴ برابر $0.1 \text{ m}^3/\text{s}$ می‌باشد. در این گزینه در زمان بهره‌برداری نیاز هر یک از

تشکیل جریان‌های غیرماندگار و در نتیجه تأثیر آن بر عملکرد کانال را مشاهده و تجزیه و تحلیل نمود. شرایط اولیه شبیه‌سازی این گزینه دقیقاً مشابه شرایط اولیه در گزینه ۳ می‌باشد. شبیه‌سازی در این گزینه بدین صورت است که در زمان بهره‌برداری نیاز آبیگرهای ۳ و ۴ به ترتیب از $0.32 \text{ m}^3/\text{s}$ به $0.47 \text{ m}^3/\text{s}$ و از $0.2 \text{ m}^3/\text{s}$ به $0.35 \text{ m}^3/\text{s}$ افزایش می‌یابد. بنابراین باید دبی ورودی به کانال از $1 \text{ m}^3/\text{s}$ به $1/3$ (معادل ۳۰٪) افزایش یابد.

گزینه‌های ۲، ۴، ۶ و ۸ به ترتیب شبیه‌سازی گزینه‌های ۱، ۳، ۵ و ۷ در حالت بهینه می‌باشند. شرایط شبیه‌سازی در این گزینه‌ها مشابه حالت وضع موجود بوده با این تفاوت که در اینجا با اجرای مدل بهینه‌سازی ICSS-Ant نتایج شبیه‌سازی که شامل مقادیر بازشدگی دریچه‌ها و ارتفاع آب بندها می‌باشد تعیین می‌گردند.

ارائه نتایج شبیه‌سازی

از آنجا که در این تحقیق فرض شد در شرایط ایده‌آل، بهره‌بردار تنظیم سازه‌های کانال را طوری انجام دهد که آبیگرها دقیقاً دبی مورد نیاز خود را آبیگری نمایند لذا پس از شبیه‌سازی شرایط ایده‌آل در همه گزینه‌ها مشاهده می‌گردد که مقدار تابع هدف اصلی برابر مقدار ایده‌آل خود یعنی صفر بوده و مقادیر شاخص‌های راندمان، *Eff*، کفایت *Adeq*، پایداری *Dep* و عدالت *Equ* نیز برابر مقادیر ایده‌آل خود یعنی به ترتیب برابر یک، یک، صفر و صفر می‌باشند.

- نتایج گزینه شماره ۱

نتایج شبیه‌سازی این گزینه شامل مقادیر تابع هدف و شاخص‌های عملکرد در جدول (۲) ارائه گردیده است.

جدول ۲- نتایج شبیه‌سازی گزینه ۱

| شاخص | شماره آبیگر | | | | | کانال | تابع هدف |
|---------|-------------|------|------|------|------|-------|----------|
| | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | | |
| راندمان | ۰/۹۷ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۰/۹۸ | ۰/۹۶ |
| کفایت | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۰/۹۹ | ۰/۹۹ |
| پایداری | ۰/۰۱ | ۰/۰۱ | ۰/۰۲ | ۰/۰۳ | ۰/۰۳ | ۰/۰۲ | ۰/۰۹ |
| عدالت | | | ۰/۰۴ | | | ۰/۰۴ | |

نتایج حاصله از شبیه‌سازی وضع موجود گزینه ۱ نشان می‌دهد که با تغییر نیاز آبیگرها و جریان ورودی در سراب کانال و ایجاد جریان غیرماندگار، عملکرد آبیگرها و کل کانال تحت تأثیر قرار گرفته و تابع هدف و کلیه شاخص‌ها برای مجموعه کانال کمتر از حد ایده‌آل شده‌اند. در شرایط افزایش جریان میزان مازاد جریان به آبیگرهای بالادست بیشتر بوده و در مقابل کمبود جریان به آبیگرهای پایین دست منتقل شده است. به‌طوریکه راندمان تحویل برای آبیگرهای ۱

آبیگرهای ۳ و ۴ از $0.1 \text{ m}^3/\text{s}$ به $0.15 \text{ m}^3/\text{s}$ افزایش می‌یابد. بنابراین باید دبی ورودی به کانال از $1 \text{ m}^3/\text{s}$ به $1/1$ (معادل ۱۰٪) افزایش یابد.

- گزینه شماره ۳: در این گزینه نسبت انحراف جریان در آبیگرهای ۳ و ۴ مشابه گزینه ۱ بوده ولی میزان تغییر نیاز این آبیگرها معادل ۳۰٪ دبی اولیه کانال می‌باشد. هدف از این گزینه و مقایسه آن با گزینه ۱ مشاهده نحوه تأثیر میزان تغییرات نیاز آبیگرها بر عملکرد کانال و سازه‌های وابسته می‌باشد. شبیه‌سازی وضع موجود در این گزینه بدین صورت است که در زمان بهره‌برداری نیاز هر یک از آبیگرهای ۳ و ۴ از $0.1 \text{ m}^3/\text{s}$ به $0.25 \text{ m}^3/\text{s}$ افزایش می‌یابد. بنابراین باید دبی ورودی به کانال از $1 \text{ m}^3/\text{s}$ به $1/3$ (معادل ۳۰٪) افزایش یابد.

- گزینه شماره ۵: در این گزینه نسبت انحراف جریان در آبیگرهای ۳ و ۴ در محدوده ۴۰-۵۰٪ قرار دارد و میزان تغییر نیاز آبیگرهای ۳ و ۴ و به تبع آن تغییر جریان اولیه کانال معادل ۱۰٪ دبی اولیه کانال می‌باشد. از مقایسه این گزینه با گزینه ۱، می‌توان تأثیر نسبت انحراف آبیگرهای ۳ و ۴ را بر عملکرد آبیگرهای بالادست و پایین دست و کل کانال مطالعه نمود. همان‌طور که در جدول (۱) مشاهده می‌شود میزان افزایش نیاز آبیگرهای ۳ و ۴ در گزینه‌های ۱ و ۵ که به‌منظور مطالعه تأثیر نسبت انحراف بر عملکرد کانال در نظر گرفته شدند، مشابه و برابر ۱۰٪ جریان اولیه می‌باشد. در شبیه‌سازی شرایط اولیه این گزینه دبی ورودی به کانال برابر $1 \text{ m}^3/\text{s}$ می‌باشد. نیاز هر یک از آبیگرهای ۱، ۲، ۵ و ۶ برابر $0.1 \text{ m}^3/\text{s}$ و نیاز آبیگرهای ۳ و ۴ به ترتیب برابر $0.32 \text{ m}^3/\text{s}$ و $0.2 \text{ m}^3/\text{s}$ می‌باشند. شبیه‌سازی در این گزینه بدین صورت است که در زمان بهره‌برداری نیاز آبیگرهای ۳ و ۴ به ترتیب از $0.32 \text{ m}^3/\text{s}$ به $0.37 \text{ m}^3/\text{s}$ و از $0.2 \text{ m}^3/\text{s}$ به $0.25 \text{ m}^3/\text{s}$ افزایش می‌یابد. بنابراین باید دبی ورودی به کانال از $1 \text{ m}^3/\text{s}$ به $1/1$ (معادل ۱۰٪) افزایش یابد.

- گزینه شماره ۷: در این گزینه نسبت انحراف جریان در آبیگرهای ۳ و ۴ مشابه گزینه ۵ بوده ولی میزان تغییر نیاز این آبیگرها معادل ۳۰٪ دبی اولیه کانال می‌باشد. هدف از این گزینه مشاهده نحوه تأثیر میزان تغییرات نیاز آبیگرها (در محدوده نسبت انحراف بالاتر) بر عملکرد کانال و سازه‌های وابسته می‌باشد. از مقایسه نتایج شبیه‌سازی در گزینه‌های ۵ و ۷ می‌توان تأثیر میزان تغییرات نیاز آبیگرها بر عملکرد را مشاهده نمود. هم‌چنین با مقایسه نتایج شبیه‌سازی گزینه‌های ۳ و ۷ می‌توان تأثیر نسبت انحراف جریان بر

دو حالت یکسان بوده که نشان می‌دهد صرف‌نظر از نسبت انحراف، نسبت تغییر جریان اولیه به تنهایی تأثیر مشخصی بر عملکرد کانال و آبگیرها دارد.

نتایج گزینه شماره ۵

نتایج شبیه‌سازی این گزینه شامل مقادیر تابع هدف و شاخص‌های عملکرد در جدول (۴) ارائه گردیده است.

| شاخص | شماره آبگیر | | | | | |
|---------|-------------|------|------|------|------|------|
| | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | ۶ |
| راندمان | ۰/۹۶ | ۰/۹۷ | ۱ | ۱ | ۱ | ۰/۹۹ |
| کفایت | ۱ | ۱ | ۰/۹۶ | ۰/۹۴ | ۰/۹۳ | ۰/۹۶ |
| پایداری | ۰/۰۲ | ۰/۰۳ | ۰/۰۳ | ۰/۰۴ | ۰/۰۵ | ۰/۰۴ |
| عدالت | | | ۰/۰۶ | | | ۰/۰۶ |

نتایج حاصله از شبیه‌سازی در گزینه ۵ مشابه گزینه‌های ۱ و ۳ است. فرآیند تغییر عملکرد آبگیرها در طول کانال از نظر همه شاخص‌ها مشابه با گزینه‌های ۱ و ۳ است. گزینه‌های ۵ و ۱ به‌منظور بررسی اثرات تغییر نسبت انحراف آبگیرها بر عملکرد کانال و آبگیرها در شرایطی که تغییر جریان اولیه ثابت و کم بوده است در نظر گرفته شده است. در این گزینه به‌علت آنکه صرفاً نسبت تحویل آبگیرهای ۳ و ۴ تغییر کرده و اثر آن بر سایر آبگیرها بررسی شده راندمان و کفایت تحویل آبگیرهای بالادست (۳ و ۱) تغییر نکرده اما کفایت آبگیرهای پایین دست تضعیف شده است. تفاوت عملکرد گزینه ۳ و ۵ نسبت به ۱ نشان می‌دهد که تغییر جریان اولیه در مقایسه با تغییر نسبت انحراف در حدود در نظر گرفته شده، تأثیر بیش‌تری بر کاهش عملکرد سیستم داشته است. از مقایسه گزینه‌های ۵ و ۱ مشاهده می‌گردد که عملکرد کانال در گزینه ۵ نسبت به ۱ به‌میزان ۰/۰۶ تضعیف شده است. درصد تغییر جریان اولیه در گزینه‌های ۵ و ۱ مشابه و برابر ۱۰٪ می‌باشد اما نسبت انحراف در گزینه ۵ بیش‌تر از گزینه ۱ بوده لذا کاهش عملکرد به‌دلیل افزایش نسبت انحراف می‌باشد. به‌دلیل بالاتر بودن نسبت انحراف آبگیرهای ۳ و ۴ در گزینه ۵ نسبت به گزینه ۱، کفایت تحویل آبگیرهای ۵ و ۶ در گزینه ۵ نسبت به ۱ کاهش یافته است.

نتایج گزینه شماره ۷

نتایج شبیه‌سازی این گزینه شامل مقادیر تابع هدف و شاخص‌های عملکرد در جدول (۵) ارائه گردیده است. نتایج حاصله از شبیه‌سازی در گزینه ۷ از لحاظ فرآیند تغییر عملکرد آبگیرها در طول کانال از نظر همه شاخص‌ها مشابه با گزینه‌های قبل است. گزینه ۷ به‌منظور بررسی اثر همزمان نسبت انحراف و میزان تغییر جریان اولیه زیاد در نظر گرفته شده است. نسبت انحراف در این گزینه مشابه

و ۲ کاهش یافته و برای سایر آبگیرها در حد مطلوب بوده، حال آنکه کفایت تحویل برای آبگیرهای ۵ و ۶ کاهش یافته و برای سایر آبگیرها در حد مطلوب بوده است. برای آبگیرهای میانی (۳ و ۴) راندمان و کفایت تحویل در حد مطلوب باقی مانده است. این امر باعث شده که شاخص عدالت به میزان ۰/۰۴ افزایش یابد که نشان‌دهنده افزایش بی‌عدالتی در توزیع آب است. هم‌چنین ورود جریان غیرماندگار موجب ناپایداری تحویل به آبگیرها شده است و شاخص آن برای کلیه آبگیرها افزایش یافته است. ناپایداری تحویل با حرکت از بالادست به پایین دست با افزایش فاصله آبگیرها از سراب کانال افزایش یافته است که ناشی از تأخیر بیش‌تر در رسیدن جریان غیرماندگار و طولانی‌تر بودن مدت زمان جریان غیرماندگار و تغییر جریان تحویلی به آبگیرهای پایین دست می‌باشد.

نتایج گزینه شماره ۳

نتایج شبیه‌سازی این گزینه شامل مقادیر تابع هدف و شاخص‌های عملکرد در جدول (۳) ارائه گردیده است. همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود نتایج حاصله از شبیه‌سازی در گزینه ۳ مشابه با گزینه ۱ می‌باشد. مقایسه نتایج این گزینه‌های ۱ و ۳ نشان می‌دهد که عملکرد کانال و آبگیرها در گزینه ۳ بیش‌تر از گزینه ۱ تحت تأثیر قرار گرفته است. تابع هدف و کلیه شاخص‌ها برای کل کانال در گزینه ۳ وضعیت نامطلوب‌تری نسبت به گزینه ۱ دارند. تابع هدف به میزان ۰/۱۱ افزایش یافته است. در میان شاخص‌ها، عدالت توزیع بیش‌ترین تغییر را به میزان ۰/۰۶ داشته است. میزان کاهش شاخص‌های راندمان و کفایت برای آبگیرهایی که تحت تأثیر قرار گرفته‌اند در گزینه ۳ بیش‌تر از گزینه ۱ بوده است. ناپایداری تحویل آب به آبگیرهای پایین دست در گزینه ۳ بیش‌تر از گزینه ۱ می‌باشد. این نتایج نشانگر آن است که با افزایش میزان تغییرات جریان اولیه کانال عملکرد کانال و آبگیرها بیش‌تر تضعیف می‌شود. هر چه میزان افزایش جریان در سراب کانال بیش‌تر باشد جریان غیرماندگار بزرگ‌تری ایجاد شده و تأثیر منفی آن بر آبگیرها بیش‌تر بوده و در نتیجه عملکرد آبگیرها و کل کانال کاهش می‌یابد.

جدول ۳- نتایج شبیه‌سازی گزینه ۳

| شاخص | شماره آبگیر | | | | | |
|---------|-------------|------|------|------|------|------|
| | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | ۶ |
| راندمان | ۰/۸۸ | ۰/۹۰ | ۱ | ۱ | ۱ | ۰/۹۶ |
| کفایت | ۱ | ۱ | ۰/۹۷ | ۰/۹۶ | ۰/۹۵ | ۰/۹۷ |
| پایداری | ۰/۰۰۸ | ۰/۰۱ | ۰/۰۲ | ۰/۰۴ | ۰/۰۵ | ۰/۰۳ |
| عدالت | | | ۰/۰۱ | | | ۰/۱۰ |

این نتایج در حالی به‌دست آمده که نسبت انحراف آبگیرها در هر

گزینه ۵ بوده اما میزان افزایش نیاز در این گزینه بیش‌تر می‌باشد.

جدول ۵- نتایج شبیه‌سازی گزینه ۷

| شاخص | شماره آبیگر | | | | | |
|---------|-------------|------|------|------|------|------|
| | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | ۶ |
| راندمان | ۰/۷۵ | ۰/۹۹ | ۰/۹۷ | ۰/۸۴ | ۱ | ۱ |
| کفایت | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۰/۹۲ | ۰/۹۱ |
| پایداری | ۰/۰۱ | ۰/۰۳ | ۰/۰۴ | ۰/۰۵ | ۰/۰۶ | ۰/۰۸ |
| عدالت | | | ۰/۲۸ | | | ۰/۲۸ |

نوسانات سطح آب در محل آبیگرها عملکرد کانال و آبیگرها نسبت به وضعیت اولیه تضعیف شده است. تفاوت بین عملکرد وضع موجود و حالت بهینه توابع هدف در سناریوهایی که عملکرد در حالت بهینه نسبت به وضع موجود بهبود یافته است تحت عنوان پتانسیل بهبود معرفی شده و نسبت آن به مقادیر وضع موجود به صورت درصد بهبود ارائه گردیده است. با مشاهده نتایج گزینه‌های شبیه‌سازی شده جریان‌های غیرماندگار در جدول (۶) مشاهده می‌گردد که تابع هدف فقط در گزینه ۷ بهبود یافته است و این بهبود برابر ۶۹/۷٪ می‌باشد. دلیل آنکه در سناریوهای دیگر تابع هدف در حالت وضع موجود بهتر از حالت بهینه می‌باشد، در نظر گرفتن شرایط ایده‌آل برای حالت اولیه کانال می‌باشد. زیرا در شرایط ایده‌آل کلیه آبیگرها دقیقاً دبی مورد نیاز خود را آبیگری می‌نمایند. لذا شبیه‌سازی وضع موجود در سناریوهایی که تغییرات نیاز و نسبت انحراف کم می‌باشد چندان موجب کاهش،

در این گزینه به علت آنکه نسبت تحویل آبیگرهای ۳ و ۴ و میزان تغییرات نیاز زیاد می‌باشد، عملکرد کانال به میزان زیادتری نسبت به شرایط اولیه و همچنین نسبت به سایر گزینه‌ها تضعیف شده است. عملکرد کانال در این گزینه نسبت به گزینه ۱ به میزان ۰/۳۴ تضعیف شده است. مقایسه گزینه ۷ و ۵ تأثیر افزایش در صد تغییر جریان اولیه بر عملکرد را نشان می‌دهد. مقایسه گزینه ۷ و ۳ نیز تأثیر افزایش میزان نسبت انحراف را به ازاء یک میزان ثابت افزایش نیاز بیان می‌نماید. همچنین مقایسه گزینه‌های ۷ و ۱ نشان دهنده تأثیر همزمان افزایش نسبت انحراف و درصد تغییر نیاز بر عملکرد می‌باشد. شاخص عدالت در این گزینه بیش‌ترین کاهش عملکرد را در بین شاخص‌ها داشته است و نسبت به گزینه ۳ به میزان ۰/۲۸ تضعیف شده که بیانگر تأثیر افزایش جریان اولیه در سراب بر کاهش عدالت تحویل می‌باشد. افزایش درصد میزان جریان ورودی در گزینه ۷ نسبت به گزینه ۳ باعث کاهش شاخص راندمان در آبیگرهای بالادست (۱ و ۲) گردیده است. پایداری تحویل در گزینه ۷ نسبت به سایر گزینه‌ها بدتر شده است. نتایج گزینه‌های ۲، ۴، ۶ و ۸ که گزینه‌های بهینه‌سازی می‌باشند در جدول (۶) ارائه گردیده است.

جدول ۷- نتایج بهینه‌سازی تابع هدف و شاخص‌های عملکرد برای متوسط یک دوره ده روزه تحویل در کانال E1R1 (محسنی موحد و منعم، ۱۳۸۱)

| تاریخ | راندمان تحویل | | کفایت تحویل | | پایداری تحویل | | عدالت تحویل | | تابع هدف |
|---------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------|
| | مقدار ایده‌آل=۱ | مقدار ایده‌آل=۱ | مقدار ایده‌آل=۱ | مقدار ایده‌آل=۱ | مقدار ایده‌آل=۱ | مقدار ایده‌آل=۱ | مقدار ایده‌آل=۱ | مقدار ایده‌آل=۱ | |
| متوسط ده روزه | ۰/۸۶ | ۰/۸۹ | ۰/۹۲ | ۰/۹۴ | ۰/۸۵ | ۰/۸۷ | ۰/۸۱ | ۰/۷۷ | ۰/۳۸ |
| پتانسیل بهبود | | | | | | | | | ۰/۳۹ |

عملکرد نمی‌گردد، بنابراین مقدار تابع هدف در این حالت نسبت به حالت بهینه کم‌تر (مطلوب‌تر) می‌باشد. در صورتی که در انجام شبیه‌سازی‌ها شرایط ایده‌آل آبیگری مشابه شرایط واقعی کانال و بر اساس اندازه‌گیری قرار داده شود، مقدار تابع هدف در شرایط ایده‌آل نیز صفر نبوده و همیشه مقدار تابع هدف در حالت بهینه نسبت به وضع موجود بهبود قابل توجهی خواهد داشت. به‌منظور مشاهده و مقایسه عملکرد بهینه و عملکرد موجود کانال در شرایط واقعی نتایج شبیه‌سازی در حالت وضع موجود و بهینه بر اساس برنامه تحویل آب در کانال E1R1 برای متوسط یک دوره ۱۰ روزه از تاریخ شانزدهم لغایت بیست و پنجم آبان ماه ۱۳۷۹ در جدول (۷) ارائه گردیده است. همان‌طور که در جدول (۷) مشاهده می‌شود، مقدار تابع هدف در حالت وضع موجود با مقدار ایده‌آل خود تفاوت قابل ملاحظه‌ای دارد. لذا کاربرد روش بهینه‌سازی ارائه شده در شرایط واقعی موجب بهبود قابل ملاحظه عملکرد (پتانسیل بهبود برابر ۰/۳۸۷) گردیده است.

جدول ۶- خلاصه نتایج شبیه‌سازی در حالت وضع موجود و بهینه

| شاخص‌ها | گزینه ۱ | | گزینه ۲ | | گزینه ۳ | | گزینه ۴ | | گزینه ۵ | | گزینه ۶ | | گزینه ۷ | | گزینه ۸ | |
|---------------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|
| | موجود | بهینه | موجود | بهینه | موجود | بهینه | موجود | بهینه | موجود | بهینه | موجود | بهینه | موجود | بهینه | موجود | بهینه |
| راندمان تحویل | ۰/۹۸ | ۰/۹۵ | ۰/۹۶ | ۰/۹۳ | ۰/۹۳ | ۰/۹۹ | ۰/۹۳ | ۰/۹۳ | ۰/۹۳ | ۰/۹۳ | ۰/۹۳ | ۰/۹۳ | ۰/۹۳ | ۰/۹۳ | ۰/۹۳ | ۰/۹۳ |
| کفایت تحویل | ۰/۹۹ | ۰/۹۳ | ۰/۹۷ | ۰/۹۱ | ۰/۹۶ | ۰/۹۶ | ۰/۹۶ | ۰/۹۶ | ۰/۹۶ | ۰/۹۶ | ۰/۹۶ | ۰/۹۶ | ۰/۹۶ | ۰/۹۶ | ۰/۹۶ | ۰/۹۶ |
| پایداری تحویل | ۰/۰۲ | ۰/۰۱ | ۰/۰۳ | ۰/۰۱ | ۰/۰۳ | ۰/۰۱ | ۰/۰۳ | ۰/۰۱ | ۰/۰۳ | ۰/۰۱ | ۰/۰۳ | ۰/۰۱ | ۰/۰۳ | ۰/۰۱ | ۰/۰۳ | ۰/۰۱ |
| عدالت تحویل | ۰/۰۴ | ۰/۰۳ | ۰/۱۰ | ۰/۰۴ | ۰/۰۴ | ۰/۰۴ | ۰/۰۴ | ۰/۰۴ | ۰/۰۴ | ۰/۰۴ | ۰/۰۴ | ۰/۰۴ | ۰/۰۴ | ۰/۰۴ | ۰/۰۴ | ۰/۰۴ |
| تابع هدف | ۰/۰۹ | ۰/۱۶ | ۰/۲۰ | ۰/۲۱ | ۰/۲۱ | ۰/۱۵ | ۰/۱۵ | ۰/۱۸ | ۰/۳۳ | ۰/۱۳ | ۰/۳۳ | ۰/۱۳ | ۰/۳۳ | ۰/۱۳ | ۰/۳۳ | ۰/۱۳ |
| پتانسیل بهبود | | | | | | | | | | | | | | | | |
| درصد بهبود | | | | | | | | | | | | | | | | |

نتیجه‌گیری

در مجموع می‌توان چنین نتیجه گرفت که الگوریتم جامعه مورچگان می‌تواند در بهینه‌سازی بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری مورد استفاده قرار گیرد. پیشنهاد می‌گردد برای اینکه نتایج حاصل از

با مشاهده مقادیر تابع هدف و شاخص‌های ارزیابی عملکرد ارائه شده در جدول (۶) نیز مشاهده می‌شود که در کلیه سناریوها، مقادیر تابع هدف در حالت وضع موجود نسبت به شرایط ایده‌آل افزایش یافته است. این مطلب بیانگر آن است که در هنگام افزایش نیاز، با ورود جریان غیرماندگار در کانال، انحراف جریان در محل آبیگرها و وجود

- evolutionary computation concepts: the best-worst ant system. In proceeding of ANTS'2000-From Ant Colonies: Second International workshop on Ant Algorithms, Brussels, Belgium, pp 22-29.
- Deneubourg, J.L., Aron, S., Goss, S. 1990. The self-organizing exploratory pattern of the Argentine ant. *Journal of Insect-Behaviour.*, 3:159-168.
- Dorigo, M., Gambardella, L.M. 1997. Cooperative learning approach to the traveling salesman problem. *IEEE on Evolutionary Computation.* 1:1. 53-66.
- Grasse, P.P. 1959. La reconstruction dun id et les coordinations interindividuelles chez. *bellicostermes natalensts et cubitermes sp.* La. *theorie de la stigmergie: essai d' interpretation du comportement des termites constructeurs, Insects Sociaux* 6:41-81.
- Kanooni, A and Monem, M.J. 2013. Integrated stepwise approach for optimal water allocation in irrigation canals. *Irrigation and Drainage*, Published online in Wiley Online Library. committee, 13-21.
- Manz, D.H. 1985. System analysis of irrigation conveyance system. Thesis as a Part of the Requirements of Doctor of Philosophy in Civil Engineering, University of Alberta. Canada.
- Molden, D.J and Gates, T.K. 1990. Performance measures for evaluation of irrigation water delivery systems. 804-822. *6-Irrigation and Drainage Engineering.*, 116
- Monem, M. J and Schuurmans, W. 1992. Performance of canal delivery strategies. *International Seminar on the Application of Mathematical Modelling for the Improvement of Irrigation Canal Operation*, 26-29 Oct. 1992. Montpellier, France., 307-315.
- Monem, M.J. 1996. Performance evaluation and optimization of irrigation canal systems using genetic algorithm. Ph. D. Dissertation, department of Civil Engineering, Calgary University, Canada.
- Sothea, H., Malaterre, P.O., Belaud, G and Dejean, C. 2014. Optimization of water distribution for open-channel irrigation networks. *Journal of Hydroinformatics*, 16:2. 341-353.
- Stutzle, T., Hoos, H.H. 1997. The Max-Min ant system and local search for the traveling salesman problem. *Proceeding of IEEE-ICEC-EPS.* pages 309-314. T. Baeck, Z.
- بهبینه‌سازی واضح‌تر مشاهده شوند شبیه‌سازی برای کانال‌ها با ظرفیت طراحی بیش‌تر و نسبت‌های انحراف بالاتر و هم‌چنین برای شرایط واقعی اولیه انجام گیرند.
- ### منابع
- جلالی، م. ر. ۱۳۸۴. طراحی و بهره‌برداری بهینه هیدروسیستم‌ها با الگوریتم جامعه مورچه‌ها، یک رهیافت فراکاوشی جدید، پایان‌نامه دکتری، مهندسی آب، دانشگاه علم و صنعت، گروه عمران.
- کسب‌دوزش، ش. و منعم، م. ج. ۱۳۷۷. کاربرد مدل هیدرودینامیک ICSS-POM در تعیین مناسب‌ترین گزینه توزیع آب در شبکه آبیاری قوریچای، مجموعه مقالات نهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی، صفحه ۲۱-۱۳.
- محسنی موحد، س. ا. و منعم، م. ج. ۱۳۸۱. بهینه‌سازی عملکرد بهره‌برداری از کانال‌های آبیاری با استفاده از روش نورد شبیه‌سازی شده، *مجله علوم پایه دانشگاه آزاد اسلامی*، جلد ۴۴، صفحه ۳۵۶۵-۳۵۷۵.
- منعم، م. ج.، عمادی، ع. ر. و قدوسی، ح. ۱۳۸۵. کمی کردن عملکرد بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری در شرایط تغییرات نیاز با استفاده از مدل هیدرودینامیک. *مجله فنی و مهندسی کشاورزی*، جلد ۶، شماره ۳، صفحه ۲۹-۱۷.
- Abbaspour, K.C., Schulin, R., Van Genuchten, M.T. 2001. Estimating unsaturated soil hydraulic parameters using ant colony optimization. *Advances in Water Resources.*, 24:8. 827-841.
- Arnet, R.H. 1985. *American insects. A hand-book of the insects of America north of Mexico.* Van Nostrand Reinhold Co. New York.
- Bullnheimer, B., Hartl, R.F., Strauss, C. 1999. A new rank-based version of the ant system: A computational study. *Central European Journal for operations Research and Economics.* 7: 1. 25-38.
- Coloni, A., Dorigo, M., Maniezzo, V. 1991. Ant System: an autocatalytic optimization process. *Technology Report.*, 91-016, Politecnico di Milano, Italy.
- Cordon, O., Fernandez de Viana, I., Herrera, F., Moreno, L. 2000. A new ACO model integrating

Simulation and Optimization of Irrigation Networks Performance Under Different Operation Conditions Using Ant Colony Algorithm

M. J. Monem¹, H. Ghodousi^{2*}

Received: Jan. 21, 2014

Accepted: Sep. 17, 2014

Abstract

In order to determine the Correct optimal Management of Agricultural water, optimum use of water in irrigation networks is necessary. One factor in the complexity of irrigation networks and water management is unsteady flow. Sources of unsteady flow in irrigation networks are different but the most important source is irrigation canal operation. Optimum set of control structures for the management of unsteady flow can improve the performance of irrigation networks. For this purpose The ICSS hydrodynamic model linked to Ant Colony optimization method and the ICSS-Ant model was developed. In this research at first some alternatives of unsteady flow in E1R1 canal of Dez irrigation network simulated and using assessment indexes the rate of canal performance decrease calculated. Then using ant colony algorithm all options in optimal conditions were simulated. The output of the simulation- optimization model is optimal tuning of canal structures involves turnouts opening and and the height of check structures. After optimization result we can see totally the canal performance improved and for other results the reason is ideal condition for initial canal condition.

Key words: Irrigation networks, performance determination, Ant Colony, Optimization

1 - Associate Professor, Department of Hydro Structures, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University

2- Assistant Professor, Department of Water Engineering., Faculty of Agriculture, University of Zanjan

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