

## توزیع و تحویل بهینه آب در کانال AMX از شبکه آبیاری ورامین با استفاده از الگوریتم سیستم جامعه مورچگان

ساحله کاکویی<sup>۱</sup> و علیرضا عمادی<sup>\*۲</sup>

### چکیده

با توجه به عملکرد ضعیف کانال‌های توزیع در شبکه‌های آبیاری ارایه روش‌های مؤثر در بهبود عملکرد و بهره‌برداری بهینه ضروری به نظر می‌رسد. برنامه‌ریزی توزیع و تحویل آب یک مسأله پیچیده بهینه‌سازی چند هدفه، چند متغیره و چند محدودیتی است که حل آن نیازمند کاربرد روش‌های توانمند بهینه‌سازی است. در این پژوهش از الگوریتم بهینه‌سازی سیستم جامعه مورچگان (ACS) برای حل مسأله توزیع و تحویل آب در کانال AMX از شبکه آبیاری ورامین با یازده آبیگر استفاده شده است. برای توزیع زمانی تحویل آب به آبیگرها سه بلوک آبیاری در نظر گرفته شد. دسته‌بندی آبیگرها در این بلوک‌ها و زمان‌بندی تحویل آب به آن‌ها به صورتی تعیین شد که با کمترین ظرفیت کانال، آب مورد نیاز آبیگرها در دور آبیاری تحویل داده شود. با توجه به نتایج پژوهش، حداکثر ظرفیت کانال ۱/۱۵ متر مکعب بر ثانیه به دست آمد که در مقایسه با روش PSO، ۴۹۰ لیتر بر ثانیه کمتر است. همچنین تعداد تنظیمات سراب، یک تنظیم کمتر از روش PSO به دست آمد. نتایج حاکی از برتری روش ACS نسبت به روش PSO است.

**واژه‌های کلیدی:** الگوریتم جامعه مورچگان، برنامه‌ریزی بهینه، شبکه آبیاری ورامین، کانال‌های انتقال و توزیع آب.

**ارجاع:** کاکویی س. و عمادی ع. ر. ۱۳۹۲. توزیع و تحویل بهینه آب در کانال AMX از شبکه آبیاری ورامین با استفاده از الگوریتم سیستم جامعه مورچگان. مجله پژوهش آب ایران. ۷(۱۳): ۵۱-۵۸.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

۲- استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

\* نویسنده مسئول: [emadia355@yahoo.com](mailto:emadia355@yahoo.com)

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۰۳/۰۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۷/۲۴

## مقدمه

بررسی کردند. در این پژوهش زمان بندی تحویل به آبیگرها و نیز گروه بندی آن‌ها برای آبیگری به صورت همزمان مدنظر بوده و هدف یافتن نحوه بهره‌برداری بود که ظرفیت کانال در آن حداقل باشد. بدین ترتیب هزینه ساخت کانال‌های جدید و یا اتلاف آب در کانال‌های ساخته شده به حداقل رسید. ردی و همکاران (۱۹۹۹) بهره‌برداری بهینه از انشعابات یک کانال فرعی در پروژه هتائو چین را با برنامه‌ریزی ۱-۰ مورد مطالعه قرار دادند. در این پژوهش هدف حداقل کردن اختلاف بین ظرفیت مورد نظر و ظرفیت واقعی کانال در نظر گرفته شد و زمان بهینه شروع آبیگری برای هر کانال انشعابی و ترتیب بهینه آبیگری انشعابات تعیین شد. منعم و نامداریان (۲۰۰۵) بر اساس روش بهینه‌سازی SA<sup>۱</sup> مدل کامپیوتری OWDIS<sup>۲</sup> را برای برنامه‌ریزی بهینه توزیع و تحویل آب در کانال AMX از شبکه آبیاری ورامین تهیه کردند. در این مدل برنامه بهینه توزیع آب در انشعابات کانال‌های توزیع کننده به گونه‌ای ارایه شده است که اهداف متفاوتی به صورت توأم تامین شود و هر یک به شکل متعادل بهینه شوند. منعم و همکاران (۱۳۸۶) با استفاده از الگوریتم ژنتیک برنامه بهینه توزیع و تحویل آب به دو صورت تک هدفی و چند هدفی را در کانالی از شبکه آبیاری فومنات ارایه دادند. مادر و همکاران (۲۰۰۹) با استفاده از الگوریتم ژنتیک برنامه بهینه توزیع آب را در کانال فنگ‌جیاشان چین ارایه دادند و نتایج کار خود را با مدل وانگ مقایسه کردند. منعم و نوری (۱۳۸۹) از روش بهینه‌سازی توده ذرات (PSO)<sup>۳</sup> برای توزیع بهینه آب در کانال AMX از شبکه ورامین استفاده کردند. در این مسأله که هدف حداقل‌سازی ظرفیت کانال و حداکثر استفاده از دور آبیاری بود، دبی و مدت تحویل بهینه آب به آبیگرها با رعایت ظرفیت کانال و سازه‌ها و حداکثر دور آبیاری تعیین شد. روش‌های فراکاوشی که در سالیان اخیر برای حل مسایل بهینه‌سازی در زمینه‌های مختلف استفاده شده است، به طور عموم برگرفته از طبیعت هستند. الگوریتم جامعه مورچه‌ها<sup>۴</sup> (ACO) به عنوان یک روش فراکاوشی در اوایل دهه ۱۹۹۰ توسط دوریگو پیشنهاد شد (دوریگو، ۱۹۹۱). تئوری این روش با الهام گرفتن از رفتار جستجوی غذا توسط کلونی مورچه‌ها بنا شده است. عباسپور و همکاران (۲۰۰۱) از الگوریتم‌های

بخش عمده‌ای از پروژه‌های آبیاری در جهان متشکل از شبکه‌های انتقال و توزیع با مجاری روباز هستند که غالباً دارای عملکرد بهره‌برداری ضعیف و گاه غیرقابل قبول هستند. یکی از عواقب مدیریت و بهره‌برداری ضعیف در شبکه‌های آبیاری، توزیع و تحویل نامناسب آب به کانال‌ها و انشعابات و به دنبال آن توزیع نامناسب آب در سطح اراضی است (محسنی‌موحد، ۱۳۸۱). یکی از عواملی که عملکرد بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری را تحت تأثیر قرار می‌دهد، برنامه‌ریزی تحویل آب آبیاری است، زیرا این امر خصوصیات فیزیکی شبکه‌ها اعم از ظرفیت کانال‌ها، نوع، ظرفیت و مکانیزم بهره‌برداری از سازه‌های تنظیم و آبیگرها را تحت تأثیر قرار می‌دهد (ریپلاگل و مریام، ۱۹۸۰). علاوه بر آن خصوصیات مدیریتی نیز شامل عملکرد شبکه از نظر کیفیت تحویل مانند کفایت و پایداری، تلفات آب، سهولت بهره‌برداری و هزینه بهره‌برداری را متأثر می‌سازد. با توجه به گسترش کامپیوتر و روش‌های حل ریاضی، با توسعه مدل‌های ریاضی می‌توان این اهداف را از طریق شبیه‌سازی شبکه‌های آبیاری برآورده ساخت. تعیین روش‌های بهره‌برداری بهینه در شبکه‌های انتقال و توزیع آب یکی از اساسی‌ترین راهکارها برای تحقق حداکثر بهره‌وری از منابع آب است که عمده‌ترین مؤلفه آن تعیین روش بهینه توزیع و تحویل آب می‌باشد. منظور از روش توزیع و تحویل آب عبارت است از روشی که در آن، سه عامل اساسی توزیع و تحویل آب یعنی دبی، زمان و تناوب تحویل جریان در دوره‌های زمانی مختلف مشخص می‌شوند (کسب‌دوز و همکاران، ۱۳۷۷). تمامی روش‌های بهینه‌سازی قدیمی بر اساس مفهوم مشتق جزئی توابع چند متغیره بیان شده‌اند. چنین روش‌هایی با عنوان روش‌های تحلیلی بهینه‌سازی شناخته می‌شوند. از آنجا که مفهوم مشتق فقط برای توابع پیوسته تعریف می‌شود، محاسبه توابع گسسته با روش‌های تحلیلی امکان‌پذیر نیست و اعمال آن‌ها برای توابع گسسته، تخمینی از مقدار بهینه را به دست می‌دهد (وندیپوتس، ۱۹۸۴). سوریوانشی و ردی (۱۹۸۶) مدل ریاضی برنامه‌ریزی توزیع آب در کانال را برای اولین بار معرفی کردند. در این پژوهش با تابع هدف کاهش هزینه ساخت، حداکثر ظرفیت کانال ۱۲۰ لیتر بر ثانیه به دست آمد. وانگ و همکاران (۱۹۹۵) با استفاده از روش ۱-۰ برنامه‌ریزی بهینه جریان در کانال‌های آبیاری را

1- Simulated Annealing (SA)

2- Optimal Water Distribution in Irrigation System (OWDIS)

3- Particle Swarm Optimization (PSO)

4- Ant Colony Optimization (ZCO)

تظریف تطبیقی احتمالاتی در الگوریتم جامعه مورچه‌ها برای نزدیک‌تر شدن به جواب‌های بهینه بسیار مؤثر بوده است. افشار (۲۰۱۰) الگوریتم جامعه مورچه‌های پیوسته را برای بهینه‌سازی طراحی شبکه‌های فاضلاب به کار برد. در این پژوهش از روش بهینه‌سازی الگوریتم ACS برای اولین بار برای بهینه‌سازی توزیع و تحویل آب در کانال‌های آبیاری استفاده شده است.

## مواد و روش‌ها

### الگوریتم ACS

در دهه‌های اخیر استفاده از مفاهیم هوش جمعی در حشرات اجتماعی برای ایجاد سیستم‌های مصنوعی، توجه بسیاری از پژوهشگران را به خود جلب کرده است. از جمله این حشرات، مورچه‌ها هستند. با اعمال تغییراتی در رفتار جستجوی غذای اجتماع مورچه‌گان که از مهم‌ترین عوامل ایجاد سیستم‌های مصنوعی هستند می‌توان از آن در بهینه‌سازی مسایل مختلف بهره برد. مورچه‌های مصنوعی اولین بار توسط دوریگو در اوایل دهه ۱۹۹۰ برای حل مسایل بهینه‌سازی معرفی شد (دوریگو، ۱۹۹۱). اولین الگوریتم پیشنهاد شده جامعه مورچه‌ها، روش سیستم مورچه‌ها (AS)<sup>۲</sup> است. یکی از معایب این روش همگرایی ناهنگام مورچه‌ها در رسیدن به پاسخ بهینه است. دوریگو و گامباردلا (۱۹۹۷) برای عملکرد بهتر و کاهش معایب روش سیستم مورچه‌ها، الگوریتم ACS را بر پایه روش AS معرفی کردند. در ابتدا برای حل مسأله باید یک گراف مناسب تعریف شود. یک مورچه که در گره  $i$  قرار دارد، گره بعدی خود را بر اساس معادله انتقال تصادفی نسبی زیر انتخاب می‌کند:

$$P_{ij} = \frac{t_{ij}^a h_{ij}^b}{\sum_{h \in S} t_{ih}^a h_{ih}^b} \quad (1)$$

که در آن  $P_{ij}$ ، احتمال انتخاب گره  $j$  توسط مورچه‌ای است که در گره  $i$  واقع شده است.  $t_{ij}$  فرامان<sup>۳</sup> مصنوعی مسیر  $(i, j)$  است که به منظور یافتن یک جواب مناسب و حفظ شباهت با فایده جستجوی غذا در مورچه‌های واقعی استفاده می‌شود،  $h_{ij}$  هدایت‌کننده کاوشی،  $S$  کل گره‌های قابل دسترس توسط مورچه‌ای است که در گره  $i$  قرار دارد و  $h$  گره‌هایی که تاکنون انتخاب نشده و در این

برای تخمین پارامترهای هیدرولیکی خاک‌های غیراشباع استفاده نمودند. نتایج ارایه شده از این پژوهش حاکی از آنست که جواب‌های تعیین شده بر اساس رفتار یک مورچه به جواب‌های غیربهینه منجر شده ولی کاربرد جامعه مورچه‌گان به نتایج بسیار بهتری منجر می‌شود. پس از آن سیمپسون و همکاران (۲۰۰۱) با استفاده از الگوریتم سیستم مورچه مسأله طراحی شبکه‌های توزیع آب را مدل کرده و پارامترهای آن را تنظیم کردند. نتایج به دست آمده از این الگوریتم با نتایج حاصل از روش بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک مقایسه شد. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که این الگوریتم گزینه قابل رقابتی با الگوریتم ژنتیک در مسأله طراحی شبکه توزیع آب می‌باشد. مایر و همکاران (۲۰۰۳) از این الگوریتم برای طراحی بهینه شبکه توزیع آب استفاده کردند. ناگش کومار و جانگاردی (۲۰۰۵) از الگوریتم سیستم جامعه مورچه‌گان<sup>۱</sup> (ACS) برای بهره‌برداری مخازن چند منظوره استفاده کردند. شوچولی و همکاران (۲۰۰۶) برای تخمین پارامترهای مدل جریان آب زیرزمینی، از ACS در ترکیب شبیه‌سازی بازپخت استفاده کردند. جلالی و همکاران (۲۰۰۶) از این الگوریتم در طراحی و بهره‌برداری بهینه از هیدروسیستم‌ها استفاده کردند. افشار و همکاران (۲۰۰۶) از الگوریتم جامعه مورچه‌های پیوسته برای بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخازن سدها استفاده کردند. نتایج نشان داد که الگوریتم جامعه مورچه‌های پیوسته نسبت به برنامه‌ریزی غیرخطی و الگوریتم جامعه مورچه‌های گسسته نتایج بهتری به دست آورده است. قدوسی (۱۳۸۵) از الگوریتم ACS برای بهره‌برداری بهینه از کانال‌های آبیاری با توجه به انواع جریان‌های غیرماندگار از دیدگاه بهره‌برداری استفاده کرد. در این پژوهش برای بررسی مدیریت مناسب جریان‌های غیرماندگار برخی از طبقات شاخص جریان‌های غیرماندگار انتخاب و با استفاده از مدل‌های توسعه یافته شبیه‌سازی شد. سپس راه‌کارهای عمومی مدیریتی بهره‌برداری از جریان‌های غیرماندگار در کانال‌های آبیاری ارایه شد. برهانی داریان و مرتضوی نائینی (۱۳۸۷) به منظور بهره‌برداری بهینه از مخزن سد دز از این الگوریتم استفاده کردند. افشار و همکاران (۱۳۸۹) برای بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخزن سد دز از فرایند تطریف تطبیقی احتمالاتی در الگوریتم مورچه‌ها استفاده کردند. نتایج نشان دادند که به کارگیری فرایند

2- Ant System (AS)  
3- Pheromone

1- Ant Colony System (ACS)

۵. ارایه شده است. تابع هدف مورد استفاده در این پژوهش به صورتی تعریف شده است که با در نظر گرفتن قیدهای مورد اشاره برای دور آبیاری و تأمین آب مورد نیاز حداقل ظرفیت کانال تعیین شود. بنابراین تابع هدف به صورت معادله ۶ در حالت کمینه‌سازی مورد استفاده قرار می‌گیرد. به منظور جلوگیری از تأثیر غالب یک متغیر بر متغیر دیگر، متغیرهای مورد استفاده در توابع هدف به صورت بدون بعد در نظر گرفته شده است. برای بی‌بعد کردن زمان و ظرفیت کانال به ترتیب زمان مازاد برای تکمیل برنامه آبیاری بر دور آبیاری و حداکثر ظرفیت محاسبه شده کانال توسط مدل بر مقدار متوسط ظرفیت محاسبه شده تقسیم شد.

$$Q \leq Q_0 \quad (4)$$

$$T_i \leq I_{ir} \quad (5)$$

$$OF = Q + dt \quad (6)$$

که در آن  $dt$  زمان مازاد یعنی کسر دور آبیاری از مجموع زمان تجمعی و تکمیل آبیاری کلیه انشعابات است.

#### کاربرد مدل

شبکه آبیاری ورامین در ۴۰ کیلومتری جنوب شرقی تهران قرار دارد. کانال اصلی OABC در قسمت اول (OA) به طول ۷۶۰۹ متر با ظرفیت ۳۲ متر مکعب در ثانیه فاقد هر گونه تأسیسات آبیاری بوده و به حوضچه تقسیم آب در نقطه A ختم می‌شود. از حوضچه تقسیم A دو کانال AU و AMX و یک کانال انتقال ABC منشعب می‌شود. کانال AMX به طول حدود ۱۴ کیلومتر با ظرفیت ۱۴ متر مکعب بر ثانیه در ابتدا و ۱/۷ متر مکعب بر ثانیه در انتها و با شیب طولی متوسط ۰/۰۰۱۲ است. مساحت تحت پوشش این کانال حدود ۱۳۰۰۰ هکتار است که ۳۱٪ اراضی شبکه را شامل می‌شود. سازه‌های تنظیم در این کانال از نوع سرریز لبه طولانی و دریاچه‌های همه انشعابات از نوع نیربیک می‌باشند که مشخصات آن‌ها و سطح تحت پوشش هر انشعاب در جدول ۱ ارایه شده است. دور آبیاری برای کانال مذکور ۱۰ روز در نظر گرفته شده است (نامداریان، ۱۳۷۹). در شکل ۱ شبکه آبیاری ورامین نشان داده شده است.

مرحله می‌تواند انتخاب شوند، می‌باشد. پارامترهای  $a$  و  $b$  پارامترهای قابل تنظیمی هستند که وزن  $t_{ij}$  و  $h_{ij}$  را در محاسبه کنترل می‌کنند. دوریگو و گامباردلا (۱۹۹۷) با پیشنهاد اصلاحاتی در روش انتقال حالت تصادفی نسبی، امکان کنترل بیشتری بر تعادل بین اکتشاف<sup>۱</sup> و بهره‌برداری<sup>۲</sup> را فراهم کردند. این روش انتقال شبه تصادفی نسبی<sup>۳</sup> به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$j = \begin{cases} \arg \max_{i \in S} t_{ij}^a h_{ij}^b & \text{if } q \leq q_0 \\ J & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

در این معادله، در صورتی که مقدار تصادفی  $q$  متعلق به بازه  $[0,1]$  کوچکتر از  $q_0 \in [0,1]$  باشد بهترین ترکیب فرامان و مقدار کاوشی انتخاب می‌شود در غیر این صورت انتخاب بعدی معادل  $J$  است که بر اساس احتمال  $P_{ij}$  در معادله ۱ محاسبه می‌شود. با استفاده از این روش، امکان واسنجی میزان اکتشاف فراهم می‌شود. برای تمرکز بیشتر فرایند جستجوی مورچه‌ها در یک نقطه مناسب از فضای جستجو فرامان مسیرهای انتخاب شده توسط مورچه‌ها به هنگام می‌شود. شکل به هنگام‌سازی فرامان در الگوریتم ACS به صورت زیر است (جلالی، ۱۳۸۴):

$$t_{ij} \leftarrow (1-r)t_{ij} + r\Delta t_{ij} \quad \forall i, j \in [1, n] \quad (3)$$

که در آن  $r \in [0,1]$  پارامتری است که میزان از دست دادن فرامان را در هر دوره تبخیر نشان می‌دهد و  $n$  تعداد گره‌های گراف تعریف شده است و  $\Delta t_{ij} = \frac{1}{L^+}$  که  $L^+$  مقدار تابع هدف بهترین مورچه تا آن تکرار است (قدوسی، ۱۳۸۵).

#### مدل بهینه‌ساز ACS

بر اساس اصول حاکم بر روش ACS، مدل کامپیوتری به زبان فرترن تهیه شد. در این مدل متغیرهای تصمیم برای توزیع و تحویل آب، مقدار جریان تحویلی و مدت زمان تحویل آب هستند. قیدهای این مسأله، مجموع دبی انشعاباتی که همزمان آب دریافت می‌کنند ( $Q$ ) و مجموع زمان بهره‌برداری در هر بلوک آبیاری ( $T_i$ ) (حداکثر تعداد آبیگرهایی که همزمان آبیگری می‌کنند) می‌باشد که به ترتیب نباید از حداکثر ظرفیت کانال ( $Q_0$ ) و دور آبیاری ( $I_{ir}$ ) تجاوز کند. قیدهای مورد استفاده در معادلات ۴ و

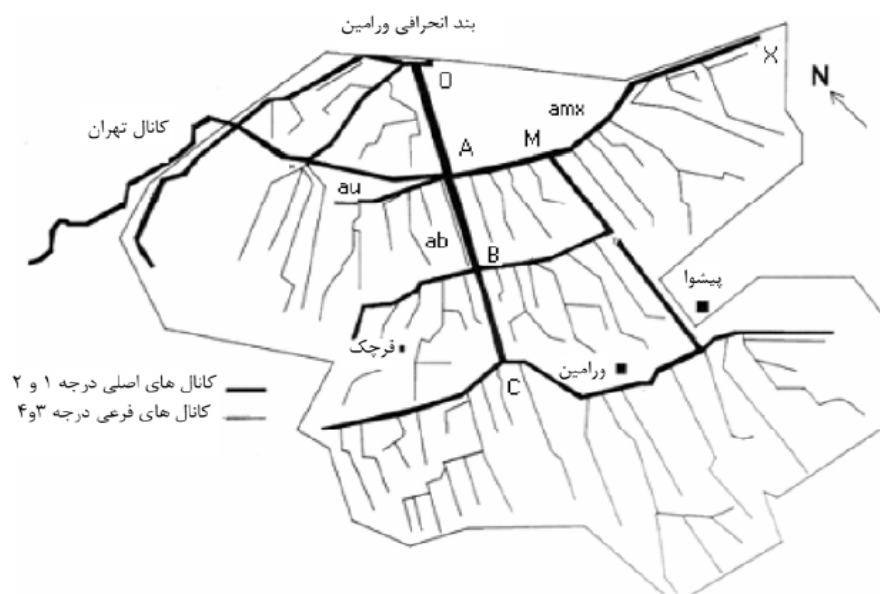
1- Exploration

2- Exploitation

3- Pseudo random proportional rule

جدول 1- مشخصات انشعابات و مساحت تحت پوشش آن‌ها در کانال AMX (نامداریان، 1379)

| شماره | نام انشعاب | ظرفیت کل هر انشعاب<br>(لیتر بر ثانیه) | مساحت تحت پوشش<br>هر انشعاب (هکتار) | فاصله از ابتدای کانال<br>(متر) |
|-------|------------|---------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|
| ۱     | $M_1$      | ۵۷۰                                   | ۶۰۰                                 | ۶۲۶                            |
| ۲     | $M_2$      | ۷۵۰                                   | ۸۰۰                                 | ۱۳۰۳                           |
| ۳     | $M_3$      | ۵۴۰                                   | ۵۵۰                                 | ۲۸۴۴                           |
| ۴     | $M_4$      | ۵۰۰                                   | ۵۰۰                                 | ۳۹۶۶                           |
| ۵     | $X_2$      | ۱۱۰۰                                  | ۱۱۰۰                                | ۵۴۰۷                           |
| ۶     | $X_3$      | ۷۵۰                                   | ۸۰۰                                 | ۶۴۱۵                           |
| ۷     | $X_4$      | ۳۰۰                                   | ۳۰۰                                 | ۶۹۸۳                           |
| ۸     | $X_5$      | ۲۰۶۰                                  | ۲۲۰۰                                | ۸۴۰۸                           |
| ۹     | $X_6$      | ۷۸۰                                   | ۸۰۰                                 | ۱۰۱۴۳                          |
| ۱۰    | $X_7$      | ۴۲۰                                   | ۴۵۰                                 | ۱۲۲۴۲                          |
| ۱۱    | $X_8$      | ۱۹۲۰                                  | ۲۰۰۰                                | ۱۳۳۵۰                          |



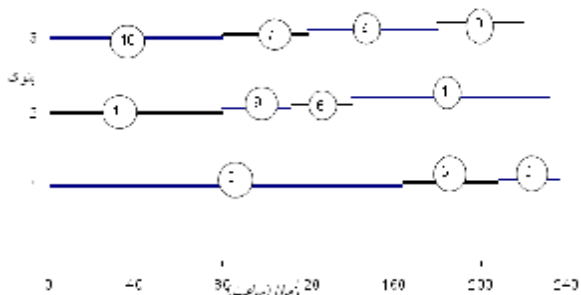
شکل 1- شمای کانال AMX از شبکه آبیاری ورامین (منعم و نوری، 1389)

## نتایج و بحث

مقدار  $0/5$ ،  $0/8$ ،  $0/9$ ،  $0/95$  و  $1$  نیز برای پارامتر  $q_0$  تحلیل شد که نتایج نشان دهنده آن بود که تنها احتمال  $5$  درصد انتخاب به صورت تصادفی در این مسأله مناسب است و  $q_0 = 0/95$  جواب بهتری ارائه کرده است. برای بررسی نحوه تغییرات جواب بر اساس تعداد مورچه‌ها و تعداد تکرارها، اجراهایی با  $30$  تا  $200$  مورچه و  $50$  تا  $500$  تکرار صورت گرفت که نحوه تغییرات میانگین ده اجزای مختلف به ترتیب در شکل‌های  $2$  و  $3$  نمایش داده شده است. همان گونه که دیده می‌شود با افزایش تعداد تکرارها از  $300$  و همچنین افزایش تعداد مورچه از  $100$ ، مقادیر تابع هدف تغییرات چندانی پیدا نمی‌کند. مقادیر مناسب

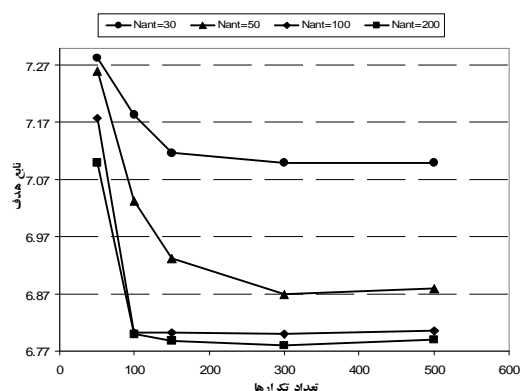
برای تعیین مقادیر مناسب پارامترهای الگوریتم ACS برای مسأله توزیع و تحویل آب تحلیل حساسیت صورت گرفت. در شروع انجام تحلیل حساسیت مقادیر  $r$ ،  $a$ ،  $q_0$ ، تعداد مورچه‌ها و حداکثر تعداد تکرارها به ترتیب برابر  $1$ ،  $0/1$ ،  $0/95$ ،  $50$  و  $100$  انتخاب شدند. مقدار  $b$  به دلیل غیرقابل جداسازی بودن متغیرها صفر در نظر گرفته شد. بنابراین نیازی به تحلیل حساسیت برای نسبت  $b/a$  نمی‌باشد. در ابتدا مقدار  $r$  در محدوده  $0/1$  تا  $0/75$  متغیر فرض شد و نتایج با یکدیگر مقایسه شد. بهترین حالت برای  $r$  مقدار  $0/05$  به دست آمد. پنج

آمده توسط مدل نشان دهنده اقتصادی تر بودن ظرفیت بهینه می‌باشد. با توجه به شکل‌های ۴ و ۵ تغییر ظرفیت کانال در الگوریتم ACS در زمان ۱۴۰ ساعت پس از شروع دور آبیاری به دلیل پایان یافتن آبیاری آبگیر ۶ و شروع آبیاری آبگیر ۱ می‌باشد. به دلیل کمتر بودن ظرفیت آبگیر ۱ نسبت به آبگیر ۶، ظرفیت کانال در این زمان کاهش ناگهانی تا زمان ۱۶۵ ساعت از دور آبیاری داشته است. همان طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود در الگوریتم ACS در بیشتر زمان‌های دور آبیاری کانال با ظرفیتی نزدیک به ظرفیت تعیین شده توسط مدل، بهره‌برداری می‌شود. منعم و نوری در پژوهش دیگری الگوریتم PSO را برای مسأله توزیع و تحویل آب در همین کانال و در همین شرایط به کار بردند. با استفاده از الگوریتم PSO حداکثر ظرفیت کانال توزیع کننده ۱/۶۴ متر مکعب بر ثانیه، حداکثر زمان بهره‌برداری ۲۳۶ ساعت و تعداد تنظیمات دریاچه سراب ۱۱ تنظیم به دست آمده است (منعم و نوری، ۱۳۸۹). در این روش در بسیاری از زمان‌های دور آبیاری از حداکثر ظرفیت محاسبه شده استفاده نشده است. الگوریتم ACS حداکثر ظرفیت کانال توزیع کننده را ۴۹۰ لیتر بر ثانیه نسبت به الگوریتم PSO کمتر به دست آورده است همچنین تعداد تنظیمات دریاچه سراب در این الگوریتم ۱ تنظیم کمتر از روش PSO می‌باشد. چنین امری به دلیل آنست که الگوریتم ACS برنامه‌ریزی را به نحوی تعیین نموده است که در اکثر زمان‌های آبیاری از بیشتر ظرفیت کانال استفاده شود. بنابراین می‌توان بیان داشت الگوریتم ACS نسبت به روش PSO در تعیین برنامه‌ریزی بهینه از کانال قابلیت بهتری دارد.

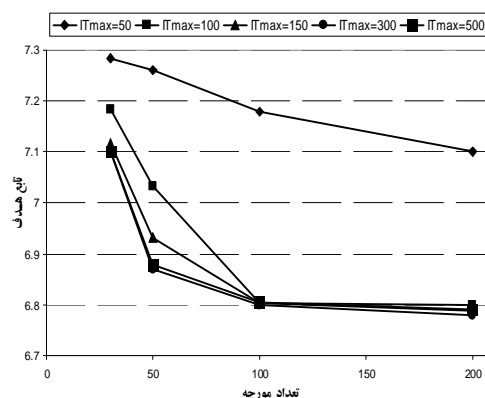


شکل ۴- نمودار زمان‌بندی تحویل بهینه آب به انشعابات با استفاده از الگوریتم ACS

پارامترهای الگوریتم ACS در جدول ۲ ارائه شده است.



شکل ۲- نحوه همگرایی مقادیر متوسط تابع هدف بر حسب تعداد مورچه‌ها در ده اجرا



شکل ۳- مقادیر متوسط تابع هدف در تکرارهای مختلف بر حسب تعداد مورچه در ده اجرا

جدول ۲- پارامترهای مناسب الگوریتم ACS

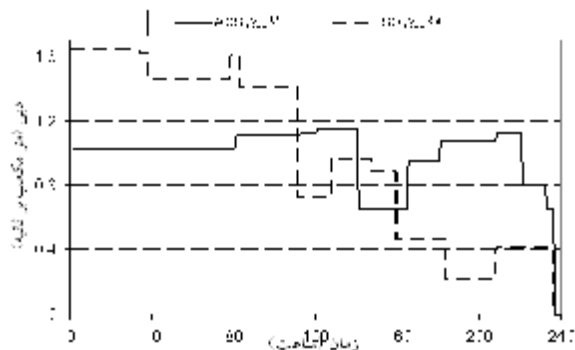
| $r$  | $a$ | $q_0$ | تعداد مورچه | حداکثر تعداد تکرارها |
|------|-----|-------|-------------|----------------------|
| ۰/۰۵ | ۱   | ۰/۹۵  | ۱۰۰         | ۳۰۰                  |

با تعیین مقادیر پارامترهای الگوریتم ACS، مسأله توزیع آب در کانال AMX شبکه آبیاری ورامین در ۳ بلوک آبیاری حل شد. برنامه زمان‌بندی تحویل آب به انشعابات و هیدروگراف ورودی کانال به ترتیب در شکل‌های ۴ و ۵ ارائه شده است.

با توجه به شکل ۴ در بلوک ۱، ۳ انشعاب و در بلوک‌های دیگر ۴ انشعاب به طور تصادفی قرار گرفتند. حداکثر ظرفیت کانال توزیع کننده در الگوریتم ACS، ۱/۱۵ متر مکعب بر ثانیه و حداکثر زمان بهره‌برداری ۲۳۶ ساعت و تعداد تنظیمات دریاچه سراب ۱۰ تنظیم به دست آمد. مقایسه ظرفیت موجود در ابتدا و انتهای کانال با ظرفیت به دست

- رهیافت فراکاوشی جدید. رساله دکتری مهندسی آب. دانشکده عمران. دانشگاه علم و صنعت. ۱۶۰ ص.
۴. قدوسی ح. ۱۳۸۵. طبقه‌بندی جامع جریان‌های غیرماندگار از دیدگاه بهره‌برداری در کانال‌های آبیاری و تهیه مدل‌های ریاضی مدیریت بهینه آن‌ها. رساله دکتری. سازه‌های آبی. دانشکده کشاورزی. دانشگاه تربیت مدرس. ۱۹۵ ص.
۵. کسب‌دوز ش. منعم م. ج. و کوچک‌زاده ص. ۱۳۷۷. کاربرد مدل هیدرودینامیک ICSS- POM در تعیین مناسب‌ترین گزینه توزیع آب در شبکه آبیاری، مطالعه موردی شبکه آبیاری قوری‌چای. مجموعه مقالات نهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی. ۹ ص.
۶. محسنی موحد س. ا. ۱۳۸۱. تهیه مدل ریاضی بهینه سازی عملکرد هیدرولیکی کانال‌های آبیاری با استفاده از روش انیلینگ شبیه سازی شده (SA) و تعیین ارزش نسبی شاخص‌های ارزیابی. رساله دکتری. آبیاری و زهکشی. دانشکده کشاورزی. دانشگاه تربیت مدرس. ۲۷۴ ص.
۷. منعم م. ج. نجفی م. ر. و خوشنواز ص. ۱۳۸۶. برنامه‌ریزی بهینه تحویل آب در کانال‌های آبیاری با استفاده از الگوریتم ژنتیک. مجله تحقیقات منابع آب ایران. ۱۱-۱(۱):۳-۱۱.
۸. منعم م. ج. نوری م. ع. ۱۳۸۹. کاربرد الگوریتم بهینه‌سازی PSO در توزیع و تحویل بهینه آب در شبکه‌های آبیاری. مجله آبیاری و زهکشی ایران. ۷۳-۸۲(۱):۴-۷۳.
۹. نامداریان ر. ۱۳۷۹. تهیه برنامه بهینه توزیع آب در کانال‌های آبیاری با استفاده از روش SA، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، تأسیسات آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس. ۱۰۵ ص.

10. Abbaspour K. C. Schulin R. and Van Genuchten M. T. 2001. Estimating Unsaturated soil hydraulic parameters using ant colony optimization. *Advance Water Resources*. 24(8):827-841.
11. Afshar M. H. Ketabchi H. and Rasa E. 2006. Elitist Continuous Ant colony Optimization Algorithm: Application to Reservoir operation Problems. *International Journal of civil Engineering*. 4(4):274- 285.
12. Afshar M. H. 2010. A parameter free Continuous Ant Colony Optimization Algorithm for the optimal design of storm sewer networks: Constrained and unconstrained



شکل 5- هیدروگراف ورودی کانال AMX

### نتیجه‌گیری

در این پژوهش بر اساس مسأله توزیع و تحویل آب و الگوریتم ACS برنامه کامپیوتری به زبان فرترن تهیه شد. مدل تهیه شده برای تعیین برنامه‌ریزی توزیع آب با هدف کاهش ظرفیت کانال و کاهش زمان مازاد از دور آبیاری در کانال AMX شبکه آبیاری ورامین به کار گرفته شد. مقدار جریان تحویلی و مدت زمان تحویل آب به عنوان متغیرهای تصمیم در نظر گرفته شد. در این مدل حداکثر ظرفیت کانال ۱/۱۵ متر مکعب بر ثانیه و حداکثر زمان بهره‌برداری ۲۳۶ ساعت و تعداد تنظیمات درجه سراب ۱۰ تنظیم به دست آمد. با توجه به برنامه‌ریزی تعیین شده توسط مدل، ظرفیت به دست آمده کمتر از ظرفیت کانال در حالت موجود است. حداکثر ظرفیت کانال با روش PSO که در پژوهش دیگری انجام شده بود برابر ۱/۶۴ متر مکعب بر ثانیه و حداکثر زمان بهره‌برداری و تعداد تنظیمات درجه سراب به ترتیب ۲۳۶ ساعت و ۱۱ تنظیم به دست آمد. نتایج نشان دهنده برتری روش ACS نسبت به روش PSO است.

### منابع

۱. افشار م. ه. رضایی سنگدهی س. ا. و معینی ر. ۱۳۸۹. بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخازن سدها با استفاده از فرایند تطریف تطبیقی احتمالاتی در الگوریتم مورچه‌ها. مجله تحقیقات منابع آب ایران. ۱۳-۱(۱):۶-۱۳.
۲. برهانی داریان ع. و مرتضوی نائینی س. م. ۱۳۸۷. مقایسه کاربرد روش‌های کاوشی در بهره‌برداری بهینه از منابع آب. مجله آب و فاضلاب. ۱۹(۶۸):۵۷-۶۶.
۳. جلالی م. ر. ۱۳۸۴. طراحی و بهره‌برداری بهینه هیدروسیستم‌ها، با الگوریتم جامعه مورچه‌ها، یک

- Reservoir operation. *Water Resources Management*. 20(6):879-898.
20. Reddy J. M. Wilamowski B. and Sharmasarkar F. C. 1999. Optimal Scheduling Irrigation for lateral canals. *ICID Journal*. 48(3):1-12.
  21. Replogle J. A. and Merriam J. L. 1980. Scheduling and Management of Irrigation Water Delivery System. National Symposium. Lincoln, Nebraska. pp. 112-126.
  22. Shouja Li. Yingxi Liu. and HeYu. 2006. Parameter Estimation Approach in Groundwater Hydrology using Hybrid Ant colony system. Irwin (Eds): ICIC 2006, LNBI 4115. pp. 182-191.
  23. Simpson A. R. Maier H. R. Foong W. K. phang K. Y. Seah H. Y. and Tan C. L. 2001. Selection of parameters for ant colony optimization applied to the optimal design of water distribution system. Proc. Int. Congress on Modeling and Simulation, Canberra, Australia. pp. 1931-1936.
  24. Suryavanshi A. R. and Reddy J. M. 1986. Optimal Operation Scheduling of irrigation distribution system. *Agricultural Water Management*. 11:23-30.
  25. Vanderplaats G. N. 1984. Numerical Optimization Techniques for Engineering Design with Applications. McGraw Hill, New York.
  26. Wang Z. R. Mohan J. and Feyan J. 1995. Improved 0-1 Programming model for optimal flow Scheduling in irrigation canals. *Journal of Irrigation and Drainage system*. 9:105-116.
  13. Dorigo M. 1991. Ant colony Optimization, *New Optimization Techniques in Engineering*. by onwubolu G. C. and B. V. Babu, Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 101-116.
  14. Dorigo M. and Gambardella L. M. 1997. Ant colony System: A cooperative Learning approach to the traveling salesman problem. *IEEE Transaction on evolutionary computation*. 1(1):53-66.
  15. Jalali M. R. Afshar A. and Marino M. A. 2006. Reservoir operation by ant colony optimization algorithms. *Iranian J. of Science and Technology (IJST)*. 107-117.
  16. Maier H. R. Simpson A. R. Zecchin A. C. Foong W. K. Phang K. Y. Seah H. y. and Tan C. I. 2003. Ant colony optimization for design of water distribution system. *Journal of Water Resources Planning and Management ASCE*. 129(3):200-209.
  17. Mathur Y. P. Sharma G. and Pawde A. W. 2009. Optimal operation scheduling of Irrigation canals using Genetic Algorithm. *International Journal of Recent Trends in Engineering*. 1(6):11-15.
  18. Monem M. J. and Namdarian R. 2005. Application of Simulated Annealing (SA) Techniques of optimal water Distribution in Irrigation canals. *Journal of Irrigation and Drainage*. 54(1):365-373.
  19. Nagesh Kumar D. and Janga Reddy M. 2005. Ant colony Optimization for Multi-purpose approach. *Advances in Engineering Software*. 41:188-195.