نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۶، شماره ۵، آذر – دی ۱۳۹۱، ص. ۱۱۱۸-۱۱۰۹

Journal of Water and Soil
Vol. 26, No.5, Nov.-Dec. 2012, p. 1109-1118

بهینه‌سازی توزیع آب کانال BP14 شبکه آبیاری فومنات با استفاده از الگوریتم جامعه مورچگان

علیرضا عمادی [۱*] – ساحله کاکویی [۲]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۶/۱۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۵/۱۰

چکیده

تحویل و توزیع نامناسب آب در کانال‌ها، موجب نارضایتی کشاورزان، عدم رعایت عدالت در توزیع و افزایش تلفات بهره‌برداری خواهد شد. بنابراین برنامه‌ریزی توزیع و تحویل بهینه آب وضعیت عملکرد شبکه را به طور قابل‌ملاحظه‌ای افزایش خواهد داد. با گسترش رایانه و روش‌های حل ریاضی این امکان فراهم شده است تا با توسعه مدل‌های شبیه‌سازی و بهینه‌سازی، بهره‌برداری بهینه از شبکه‌های آبیاری تعیین گردد. در این پژوهش، از روش بهینه‌سازی الگوریتم جامعه مورچگان به‌منظور تهیه برنامه بهینه توزیع آب در کانال BP14 شبکه آبیاری فومنات واقع در غرب استان گیلان استفاده شده است. این کانال به طول ۶۸۵۲ متر و با مقطع ذوزنقه و متوسط ظرفیت ۲/۵ مترمکعب بر ثانیه و سطح زیر پوشش ۲۱۰۰ هکتار می‌باشد. برنامه تحویل و توزیع بهینه این کانال در دو حالت تک‌هدفی شامل کاهش ظرفیت کانال و دوهدفی شامل کاهش ظرفیت کانال و زمان توزیع به‌دست آمد. مقایسه نتایج پژوهش حاضر با نتایج حاصل از الگوریتم ژنتیک نشان داد که الگوریتم جامعه مورچگان نسبت به الگوریتم ژنتیک در حالت تک‌هدفی، ظرفیت کانال را ۹۰ لیتر بر ثانیه کمتر و زمان تکمیل برنامه آبیاری را ۱۰ ساعت بیشتر بدست آورده است. همچنین تعداد تنظیمات دریچه سراب و کمبود آب تحویلی به ترتیب یک و ۰/۰۴ درصد کمتر از الگوریتم ژنتیک به‌دست آمد. در حالت دو هدفی الگوریتم جامعه مورچگان نسبت به الگوریتم ژنتیک ظرفیت کانال را ۱۰۵ لیتر بر ثانیه کمتر و زمان تکمیل برنامه آبیاری ۴۱ ساعت بیشتر تعیین نموده است.

واژه‌های کلیدی: تحویل آب، برنامه‌ریزی بهینه، شبکه‌های آبیاری، عملکرد شبکه

مقدمه

با توجه به محدودیت منابع آب و خاک و پایین‌بودن عملکرد اغلب پروژه‌های آبیاری، بازنگری و اصلاح روش‌های مرسوم در طراحی و بهره‌برداری شبکه‌ها و ارزیابی و بهبود عملکرد آنها امری ضروری به نظر می‌رسد. به طور کلی بهبود برنامه‌ریزی تحویل آب در کانال‌های آبیاری باعث ارتقاء عملکرد کانال‌ها می‌گردد (۹). برنامه‌ریزی تحویل آب علاوه بر مواقع بهره‌برداری از کانال‌های آبیاری، در زمان طراحی آنها نیز مورد توجه قرار می‌گیرد. زیرا نوع برنامه تحویل آب روی نوع و اندازه سازه‌ها، ظرفیت کانال‌ها و در نهایت هزینه احداث تاثیر می‌گذارد. چگونگی بهره‌برداری از سازه‌ها خود تابعی از نوع سازه است که به تبع آن متاثر از نوع برنامه‌ریزی تحویل آب می‌باشد. محدودیت برنامه‌های تحویل آب را روش تعیین شدت جریان (دبی)، دور آبیاری و طول زمان تحویل آب مشخص می‌کند. چندین روش برای مشخص کردن هر یک از عوامل اصلی وجود دارند. بر حسب ثابت یا متغیر بودن یک یا تعدادی از این عوامل سه نوع برنامه‌ریزی تحویل و توزیع گردشی[۳]، بر حسب تقاضا[۴] و توافقی[۵] در کانال‌های آبیاری تعریف شده است. برنامه‌ریزی توزیع گردشی و برحسب تقاضا به ترتیب دارای کمترین و بیشترین انعطاف‌پذیری می‌باشند. برنامه‌ریزی توزیع توافقی حالت بینابینی از دو سیستم گردشی و بر حسب تقاضا می‌باشد که انعطاف‌پذیری آن بر حسب شرایط می‌تواند در سطوح مختلفی تعیین گردد. ولی یکی از بزرگترین نقاط ضعف این نوع سیستم توزیع، مسائل و مشکلات اجتماعی ناشی از اجرای آن می‌باشد. بهترین راه برای جلوگیری از این مسائل و مشکلات تهیه برنامه‌ریزی توزیع آب بر اساس شرایط خاص هر کانال می‌باشد. برنامه‌ریزی تحویل آب در کانال‌ها تاکنون اغلب به‌صورت توصیفی و مبتنی بر قضاوت کارشناسی صورت می‌گرفته که با توجه به پیچیدگی موضوع و تاثیر عوامل مختلف

۱ و ۲– استادیار و دانشجوی کارشناسی ارشد سازه های آبی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
(*– نویسنده مسئول: Email : emadia355@yahoo.com)

3- Rotational Delivery
4- On- Demand Delivery
5- Arranged Delivery

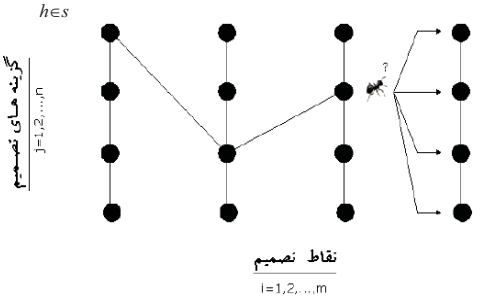
ممکن است همواره مناسب‌ترین برنامه نباشد. با پیشرفت‌های اخیر در زمینه علوم کامپیوتر و ارائه الگوریتم‌های جدید با سرعت و همگرایی بالا برای مسائل بهینه‌سازی به نظر می‌رسد روش بهینه‌سازی روش مناسبی برای حل مسئله تحویل آب در کانال‌های آبیاری است. سوریوانشی و ردی (۲۰) برای اولین بار در سال ۱۹۸۶ مدل ریاضی برنامه‌ریزی توزیع آب در کانال را معرفی نمودند. آنها از مدل برنامه‌ریزی خطی برای بهره‌برداری بهینه در کانال استفاده کردند. وانگ و همکاران (۲۱) با توسعه مدل برنامه‌ریزی صفر و یک آنرا بر روی کانال فنگ‌جیاشان در چین بکار بردند. ردی و همکاران (۱۷) با استفاده از برنامه‌ریزی صفر و یک بصورت تک هدفی اقدام به تهیه برنامه بهینه تحویل آب در یک کانال نمودند. منعم و نامداریان (۱۵) مدلی برای توزیع بهینه آب با استفاده از روش عددی بهینه‌سازی SA[1] ارائه کردند و آنرا بر روی کانال AMX در شبکه آبیاری ورامین مورد آزمون قرار دادند. منعم و همکاران (۴) با استفاده از الگوریتم ژنتیک برنامه بهینه توزیع و تحویل آب را در کانالی از شبکه آبیاری فومنات ارائه دادند. مادر و همکاران (۱۴) با استفاده از الگوریتم ژنتیک برنامه بهینه توزیع آب را در کانال فنگ‌جیاشان چین ارائه دادند و نتایج کار خود را با مدل وانگ مقایسه نمودند. منعم و نوری (۵) از روش بهینه‌سازی PSO[2] برای توزیع بهینه آب در کانال AMX از شبکه ورامین استفاده کردند و آن را با SA مقایسه نمودند. توسعه روش‌های جدید بهینه‌سازی می‌تواند شیوه‌های حل مسائل را از نظر سرعت همگرایی و یافتن پاسخ بهینه سراسری بهبود بخشد. یکی از روش‌های نوین بهینه‌سازی مسائل پیچیده مهندسی، روش جامعه مورچه‌ها است که برای اولین بار توسط دوریگو در سال ۱۹۹۱ ارائه گردید (۱۰). تئوری این روش با الهام گرفتن از رفتار جستجوی غذا توسط جامعه مورچه‌ها بنا شده است. الگوریتم‌های ACO[3] در مهندسی آب نیز همانند علوم دیگر مورد استفاده قرار گرفته است. عباسپور و همکاران (۶) از الگوریتم‌های ACO برای تخمین پارامترهای هیدرولیکی خاک‌های غیراشباع استفاده نمودند. سیمپسون و همکاران (۱۹) با استفاده از این الگوریتم مساله طراحی شبکه‌های آبرسانی را مدل نموده و پارامترهای آن را تنظیم نمودند. مایر و همکاران (۱۳) از این الگوریتم در یک سیستم شبکه توزیع آبرسانی شهری جهت یافتن جواب‌های نزدیک به بهینه استفاده کردند و آن را با الگوریتم ژنتیک مقایسه نمودند. زچین و همکاران (۲۲) دو الگوریتم AS[4] و الگوریتم مورچه‌های کمینه-بیشینه[5] را در مساله طراحی شبکه توزیع آبرسانی شهری مقایسه نمودند. ناگش‌کومار و جانگاردی (۱۶) از الگوریتم جامعه مورچگان برای بهره‌برداری مخازن چند منظوره استفاده کردند. شوجولی و همکاران (۱۸) برای تخمین پارامترهای مدل جریان آب زیرزمینی، از سیستم جامعه مورچگان در ترکیب شبیه‌سازی بازپخت استفاده نمودند. جلالی (۱) از این الگوریتم در طراحی و بهره‌برداری بهینه از هیدروسیستم‌ها استفاده نمود. افشار و همکاران (۷) با توسعه الگوریتم ACO از آن در مسئله بهره‌برداری مخازن سدها استفاده کردند. قدوسی (۳) از این الگوریتم برای بهره‌برداری بهینه از کانال‌های آبیاری با توجه به انواع جریان‌های غیرماندگار از دیدگاه بهره‌برداری برای یک برنامه توزیع مشخص، استفاده نمود. افشار (۸) الگوریتم جامعه مورچه‌های پیوسته را برای بهینه‌سازی طراحی شبکه‌های فاضلاب به کار برد. در پژوهش حاضر از مدل بهینه‌سازی جامعه مورچگان که یک روش بهینه‌سازی فراکاوشی می‌باشد جهت تعیین برنامه‌ریزی بهینه توزیع آب استفاده شده است. نمونه‌ای از کاربرد این مدل در شبکه آبیاری فومنات ارائه شده است و نتایج آن با نتایج الگوریتم ژنتیک در شرایط مشابه در همین کانال مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

الگوریتم بهینه‌سازی جامعه مورچگان

این الگوریتم توسط دوریگو و گامباردلا (۱۱) در سال ۱۹۹۷ بر پایه روش سیستم مورچه‌ها معرفی گردید. برای استفاده از الگوریتم جامعه مورچگان در مسائل بهینه‌سازی باید مسئله به صورت یک گراف تعریف شود. شکل ۱ نمونه‌ای از این گراف را نشان می‌دهد. یک مورچه که در گره i واقع شده است، گره بعدی خود را بر اساس رابطه احتمال انتقال زیر انتخاب می‌نماید:

$$P_{ij} = \frac{\tau_{ij}}{\sum_{h \in s} \tau_{ih}} \qquad (۱)$$



شکل۱- گراف الگوریتم بهینه‌سازی جامعه مورچگان

که در آن P_{ij}، احتمال انتخاب گره j توسط مورچه‌ای است که به گره i رسیده است، s کل گره‌های قابل دسترس توسط مورچه‌ای است که در گره i واقع شده، h، گره‌هایی که تاکنون انتخاب نشده

1- Simulated Annealing
2- Particle Swarm Optimization
3- Ant Colony Optimization
4- Ant System
5- Max- Min Ant System

و در این مرحله می‌توانند انتخاب گردند و τ_{ij} فرامان[1] مصنوعی مسیر (i,j) است که به منظور یافتن یک جواب مناسب در مورچه‌های واقعی استفاده می‌شود. در الگوریتم مورچه‌ها انتخاب بین دو مسیر به صورت آماری صورت می‌گیرد بدین ترتیب مسیری که فرامان بیشتری داشته باشد یا بعبارت دیگر مورچه‌های بیشتری قبلاً از آن عبور کرده باشند، انتخاب می‌شود. با توجه به رابطه ۱، مقادیر بزرگ فرامان مسیر ij باعث افزایش احتمال انتخاب آن مسیر می‌گردد که مشابه عملکرد مورچه‌های حقیقی است. هنگامی که یک مورچه در گره i از گراف تصمیم واقع شده است فایده حاصل از حرکت به گره j با η_{ij} که همان هدایت‌کننده کاوشی است نمایش داده می‌شود. با ترکیب مقادیر کاوشی و فرامان، رابطه احتمال انتقال به صورت رابطه ۲ تعریف می‌شود.

$$P_{ij} = \frac{\tau_{ij}^{\alpha}.\eta_{ij}^{\beta}}{\sum_{h\in s}\tau_{ih}^{\alpha}.\eta_{ih}^{\beta}} \qquad (۲)$$

مقادیر هدایت کننده کاوشی بزرگتر نیز همانند فرامان، سبب افزایش احتمال انتخاب یک مسیر مشخص می‌گردد. دو پارامتر α و β در رابطه ۲ جهت تنظیم وزن فرامان و اطلاعات هدایت کننده کاوشی مورد استفاده قرار می‌گیرند. دوریگو و گامباردلا (۱۱) با پیشنهاد اصلاحاتی در روش احتمال انتقال، امکان کنترل بیشتری بر تعادل بین استفاده از جستجوی تصادفی به منظور خروج از نقاط بهینه موضعی (اکتشاف)[2] و اطلاعات جستجو در مراحل قبل (بهره‌برداری)[3] را فراهم کردند. این روش انتقال شبه تصادفی نسبی[4] به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$j = \begin{cases} \arg \quad \max_{h\in s}\tau_{ih}^{\alpha}.\eta_{ih}^{\beta} & ifq \le q_0 \\ L & otherwise \end{cases} \qquad (۳)$$

که در آن، در صورتی که مقدار تصادفی q که به طور یکنواخت بین $[0,1]$ توزیع شده، کوچکتر از q_0 (پارامتر ورودی در محدوده $[0,1]$) باشد بهترین ترکیب فرامان و هدایت کننده کاوشی انتخاب می‌گردد. در غیر این صورت انتخاب بعدی معادل L است که بر اساس احتمال P_{ij} در رابطه ۲ محاسبه می‌شود. با استفاده از این روش، امکان واسنجی میزان اکتشاف فراهم می‌گردد. در روش‌های مبتنی بر جمعیت همانند روش مورچگان که مجموعه‌ای از مورچه‌ها می‌باشد، می‌توان با جستجوی بیشتر اطراف پاسخ بهینه محاسبه شده، از دام نقاط بهینه موضعی خارج و پاسخ‌های بهتر را به‌دست آورد. در جستجوی موضعی پس از هر تکرار مقادیر متغیرهای تصمیم در ۱۰ مورچه که توابع هدف بهتری کسب نمودند بصورت تصادفی انتخاب شده و با مقادیر متناظرش در بخش میانی مورچه‌ای که بهترین تابع هدف را به‌دست آورده، جایگزین می‌گردد. تعداد مورچه‌ها در این مرحله بیانگر استفاده از نتیجه‌های جستجوهای قبلی در هدایت مسیر به منظور یافتن نقطه بهینه است. اگر تعداد آن کم باشد، جستجو بیشتر با استفاده از جستجوهای تصادفی پیش می‌رود که امکان رسیدن به بهینه سراسری کم می‌شود. مقادیر زیاد آن در حدود ۲۰ مورچه، جستجو را بیشتر به استفاده از اطلاعات مرحله قبل منحصر می‌کند و باعث گیر افتادن جستجو در بهینه موضعی می‌شود. بنابراین در این پژوهش از ۱۰ مورچه که تقریباً مقدار متعادلی دارد استفاده شده است. پس از اعمال فرایند فوق مجدداً توابع هدف محاسبه و بهترین مقدار تابع هدف بعنوان مقدار بهینه معرفی می‌گردد. فرامان مسیر در هر دوره در طی یک فرایند به‌هنگام‌سازی تغییر می‌کند. هدف از به‌هنگام‌سازی فرامان، تمرکز بیشتر فرایند جستجوی مورچه‌ها بر یک نقطه مناسب از فضای جستجو است که امید آن می‌رود با جستجوی متمرکزتر در آن منطقه جواب مطلوب‌تری به دست آید. راهکار اصلی برای این فرایند، ابتدا تبخیر فرامان است که باعث کاهش میزان فرامان با یک شدت نسبی (ρ) تعریف شده در هر زمان می‌گردد پس از آن، تقویت فرامان است که با افزودن عبارت به‌هنگام کننده به فرامان‌های مسیرهای طی شده توسط بهترین مورچه صورت می‌گیرد. شکل به‌هنگام‌سازی فرامان در الگوریتم جامعه مورچگان به صورت رابطه ۴ است.

$$\tau_{ij} \leftarrow (1-\rho)\tau_{ij} + \rho\Delta\tau_{ij} \qquad \forall\, i,j \in [1,n] \qquad (۴)$$

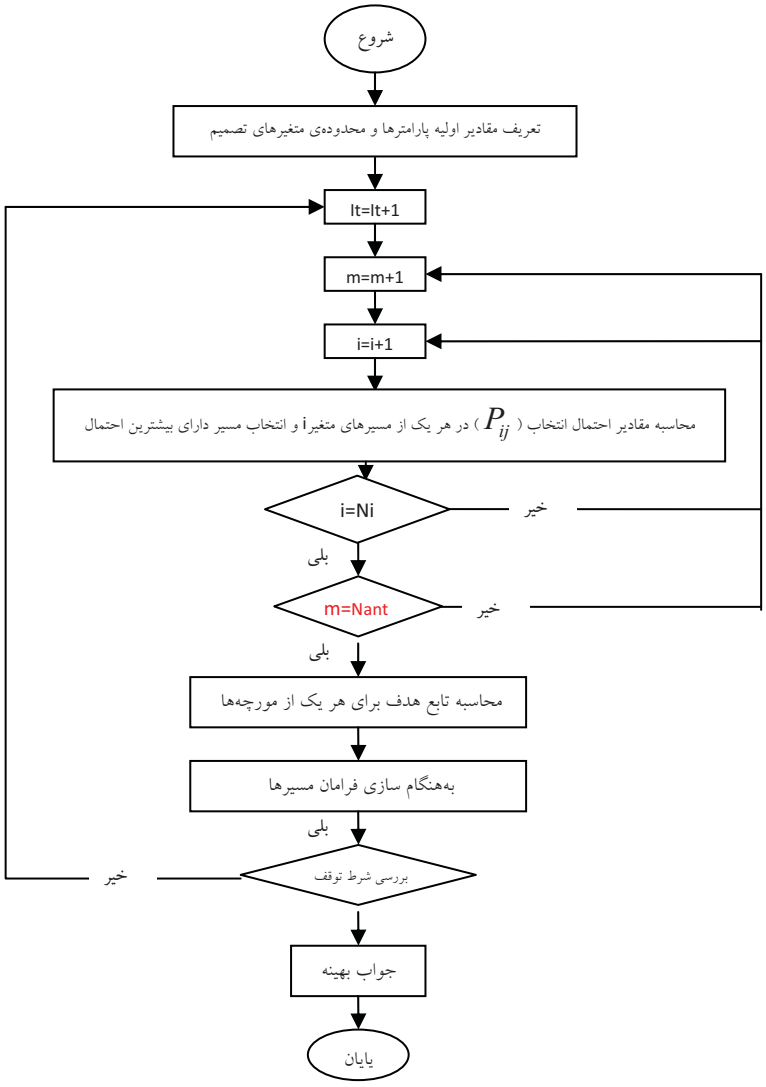
که در آن $\rho \in [0,1]$ پارامتری است که میزان از دست دادن فرامان را در هر دوره تبخیر نشان می‌دهد، n تعداد گره‌های گراف تعریف شده و $\Delta\tau_{ij}$ یک مقدار به‌هنگام‌سازی است (۱۲). در روش بهینه-سازی جامعه مورچگان دو الگوریتم متفاوت وجود دارد. در الگوریتم اول که بهترین مورچه هر تکرار (IB)[5] نامیده می‌شود در هر تکرار فرامان مسیری که توسط مورچه با بهترین تابع هدف طی شده، به-هنگام‌سازی می‌شود. ولی در الگوریتم دوم که الگوریتم بهترین مورچه تا آن تکرار (GB)[6] نامیده می‌شود، تابع هدف بهترین مورچه هر تکرار با تابع هدف بهترین مورچه تکرار قبلی مقایسه شده و در صورت بهتر بودن جواب تابع هدف بهترین مورچه در تکرار فعلی، فرامان این مورچه به‌هنگام‌سازی می‌شود. در غیر اینصورت مسیری که بهترین مورچه تکرار قبلی طی نموده است به‌هنگام‌سازی می‌شود. در رابطه

1- Pheromone
2- Exploration
3- Exploitation
4- Pseudo Random Proportional Rule
5- Iteration Best (IB)
6- Global Best (GB)

۴، $\Delta\tau_{ij}=\frac{1}{L^{+}}$ که L^{+} در الگوریتم IB مقدار تابع هدف بهترین مورچه هر تکرار و در الگوریتم GB مقدار تابع هدف بهترین مورچه تا آن تکرار می‌باشد (۱۲). با توجه به نتایج تحقیق جلالی و همکاران (۱۲) و قدوسی (۳) در این پژوهش نیز از الگوریتم GB استفاده شده است. فلوچارت این الگوریتم در شکل ۲ نشان داده شده است که در آن It، شماره تکرار، m، شماره مورچه، i، شماره متغیر تصمیم، Ni، حداکثر تعداد متغیرها و Nant، حداکثر تعداد مورچه‌ها می‌باشد.

تشریح اجزای الگوریتم بهینه‌سازی

متغیرهای تصمیم‌گیری، قیدها و تابع هدف اجزای اصلی هر مسئله بهینه‌سازی است. جریان تحویلی و مدت زمان تحویل آب، متغیرهای تصمیم‌گیری در مورد مسئله توزیع آب در شبکه می‌باشند. مجموع حداکثر دبی انشعاباتی که همزمان آبگیری می‌کنند یکی از قیود مسئله می‌باشد که باید برابر یا کمتر از حداکثر ظرفیت کانال اصلی باشد. قید دیگر مجموع زمان بهره‌برداری در هر بلوک آبیاری (حداکثر تعداد آبگیرهایی که بصورت همزمان آبیاری می‌کنند) است، بطوریکه مجموع زمان تحویل آب در هر بلوک آبیاری نباید از دور آبیاری تجاوز نماید. تابع هدف به دو صورت تک هدفی رابطه ۵ و دوهدفی رابطه ۶ در نظر گرفته شد که در این پژوهش به‌صورت کمینه‌سازی مورد بررسی قرار گرفته است. در حالت تک هدفی کاهش ظرفیت کانال توزیع کننده در طول دور آبیاری و در حالت دوهدفی، علاوه بر کاهش ظرفیت کانال توزیع کننده، کاهش زمان مورد نیاز برای تکمیل برنامه آبیاری نیز منظور گردید.



شکل ۲- فلوچارت الگوریتم جامعه مورچگان

به منظور جلوگیری از تاثیر غالب یک متغیر بر متغیر دیگر، متغیرهای مورد استفاده در توابع هدف بصورت بدون بعد در نظر گرفته شده است. برای بی‌بعد کردن زمان و ظرفیت کانال به ترتیب حداکثر زمان برای تکمیل برنامه آبیاری بر دور آبیاری و حداکثر ظرفیت محاسبه شده کانال توسط مدل بر مقدار متوسط ظرفیت محاسبه شده تقسیم شد.

$$Min\ F = Q \quad (۵)$$

$$Min\ F = Q + T \quad (۶)$$

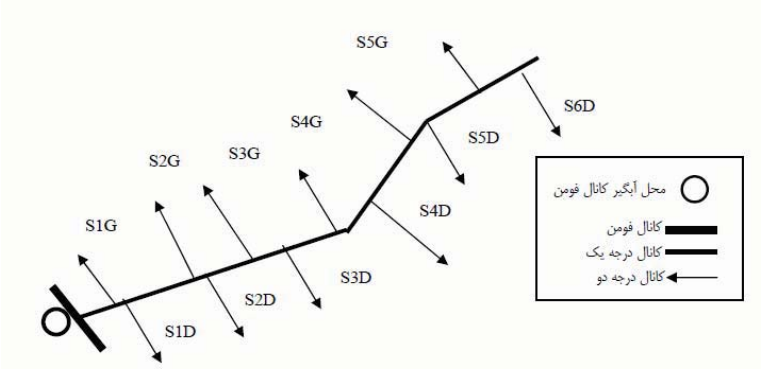
که در آن Q حداکثر ظرفیت کانال و T حداکثر زمان مورد نیاز برای تکمیل برنامه آبیاری می‌باشد. در این مسئله دبی تصادفی با توجه به نوع دریچه هر آبگیر و حداکثر ظرفیت دریچه، در محدوده مجاز تولید می‌شود. با دبی تولیدشده برای هر انشعاب مدت زمان تحویل آب برای تامین نیاز آبی محاسبه می‌گردد. ظرفیت کانال توزیع کننده در هر مقطع زمانی محاسبه می‌شود و از بین آنها بیشترین مقدار بعنوان حداکثر ظرفیت کانال توزیع کننده منظور می‌گردد. زمان موردنیاز برای تکمیل برنامه آبیاری هر بلوک محاسبه گردیده و بیشترین آنها، بعنوان حداکثر زمان موردنیاز برای تکمیل برنامه آبیاری انتخاب می‌شود (۴).

کاربرد مدل

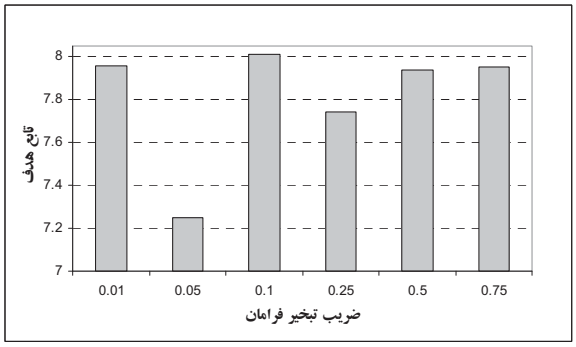
در این پژوهش کانال درجه یک BP14 از شبکه آبیاری فومنات واقع در غرب گیلان به منظور آزمون و کاربرد مدل مورد استفاده قرار گرفت. طول این کانال ۶۸۵۲ متر با مقطع ذوزنقه بوده و ظرفیت آن در ابتدا ۳ مترمکعب بر ثانیه و در انتها ۱/۸ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد. منبع اصلی تامین آب منطقه فومنات سد سفیدرود می‌باشد که آب منحرف شده از این سد توسط تونل و کانال فومن به واحدهای عمرانی شبکه آبیاری فومنات منتقل می‌شود. در این کانال ۷ سرریز نوک اردکی به منظور تنظیم سطح آب و ۱۲ آبگیر نیرپیک از نوع xx2 وجود دارد. همچنین مساحت اراضی تحت پوشش انشعابات در مجموع ۲۱۰۰ هکتار می‌باشد. به منظور تحویل آب کانال درجه یک به کانال‌های درجه دو برنامه مشخصی وجود ندارد و تمام کانال‌های درجه دو بطور همزمان آبگیری می‌کنند. نیاز آبی شبکه ۵۰ میلی‌متر و دور آبیاری ۱۵ روز در نظر گرفته شد (۲). شکل ۳ شمای کلی کانال و انشعابات مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

نتایج و بحث

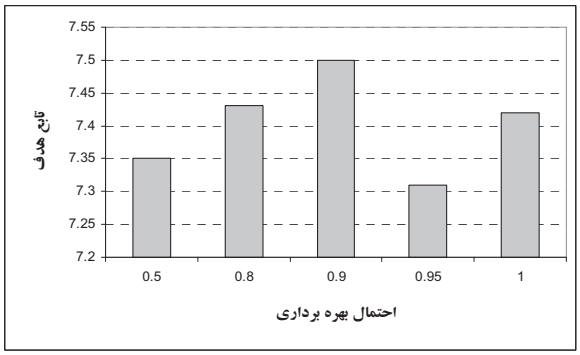
پارامترهای الگوریتم جامعه مورچگان باید برای هر مسئله خاص به صورت دقیق تنظیم گردد. در مساله توزیع آب به دلیل غیر قابل جداسازی بودن متغیرها تعریف مقدار کاوشی امکان‌پذیر نبوده و لذا $\beta = 0$ منظور شده است. در شروع انجام تحلیل حساسیت مقادیر α، ρ، q_0، تعداد مورچه‌ها و حداکثر تعداد تکرارها به ترتیب برابر ۱، ۰/۱، ۰/۹۵، ۵۰ و ۱۰۰ انتخاب شدند و پس از تعیین مقدار بهینه هر پارامتر، آن مقدار جهت انجام تحلیل حساسیت پارامترهای دیگر در مدل وارد می‌گردد. شکل ۴ تغییرات تابع هدف برای حالت تک هدفی در مقادیر مختلف ضریب تبخیر فرامان (ρ) را نشان می‌دهد. با توجه به شکل، بهترین مقدار برای ρ در این مسئله ۰/۰۵ می‌باشد. شکل ۵ تغییرات تابع هدف در حالات مختلف احتمال بهره‌برداری (q_0) برای حالت تک هدفی را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج، q_0 =۰/۹۵ بهترین مقدار می‌باشد. همچنین جهت بررسی نحوه تغییرات جواب بر اساس تعداد مورچه‌ها و تعداد تکرارها اجراهایی با ۳۰ تا ۲۰۰ مورچه و ۵۰ تا ۵۰۰ تکرار صورت گرفت که نحوه تغییرات میانگین ده اجرا در حالت‌های مختلف در شکل ۶ نمایش داده شده است. همانگونه که مشاهده می‌گردد با افزایش تعداد تکرارها از۳۰۰ و همچنین افزایش تعداد مورچه از ۱۰۰، مقادیر تابع هدف تغییرات چندانی پیدا نمی‌کند. مقادیر مناسب پارامترهای الگوریتم جامعه مورچگان در جدول ۱ ارائه شده است.



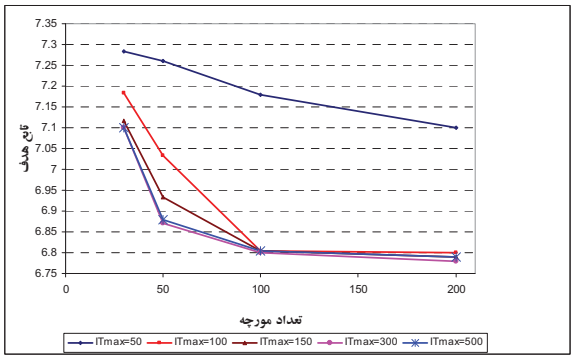
شکل۳- شمای کلی کانال BP14 و انشعابات مربوطه



شکل٤- مقادیر متوسط تابع هدف رابطه ۵ با ضرایب مختلف تبخیر فرامان در ده اجرا



شکل۵- مقادیر متوسط تابع هدف رابطه ۵ به ازاء مقادیر مختلف احتمال بهره برداری در ده اجرا



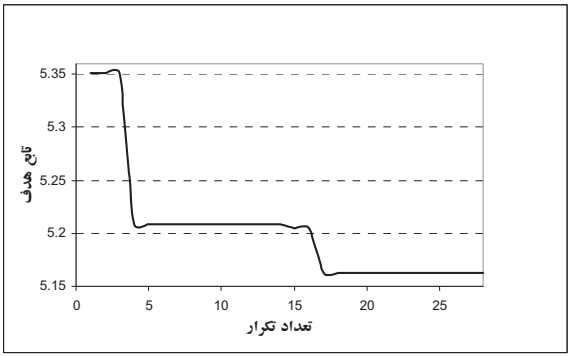
شکل٦- مقادیر متوسط تابع هدف رابطه ۵ در تکرارهای مختلف بر حسب تعداد مورچه در ده اجرا

جدول۱- پارامترهای بهینه الگوریتم جامعه مورچگان

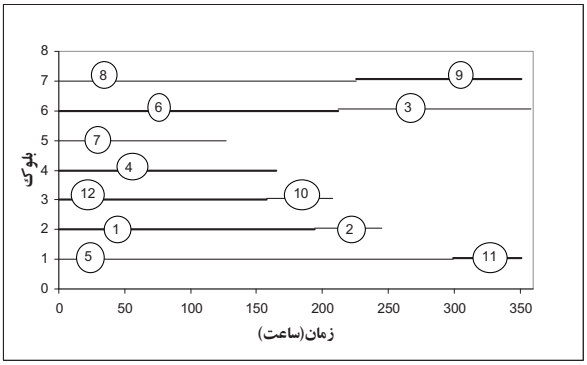
β	α	ρ	q_0	تعداد مورچه	حداکثر تعداد تکرارها
۰	۱	۰/۰۵	۰/۹۵	۱۰۰	۳۰۰

با استفاده از مقادیر مناسب پارامترهای الگوریتم جامعه مورچگان مسئله توزیع آب در کانال BP14 از شبکه آبیاری فومنات برای دو حالت تک هدفی و دو هدفی بر اساس توابع هدف تعریف شده در روابط ۵ و ۶ حل گردید. در شکل ۷ تغییرات متوسط تابع هدف برای یافتن پاسخ بهینه در حالت تک‌هدفی نشان داده شده است.

پس از اجرای مدل، ۱۲ انشعاب کانال BP14 در هر دو تابع هدف در ۷ بلوک آبیاری به طور تصادفی توزیع شدند. در شکل ۸ توزیع انشعابات در بلوک‌های آبیاری و همچنین تکمیل برنامه آبیاری در هر بلوک در حالت تک هدفی برای کانال BP14 نشان داده شده است.



شکل۷- تغییرات تابع هدف رابطه ۵ در فرایند بهینه‌سازی



شکل۸- نمودار زمانبندی تحویل بهینه آب به انشعابات با استفاده از الگوریتم جامعه مورچگان

شکل ۹ هیدروگراف ورودی کانال BP14 را در حالت تک‌هدفی نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۹ حداکثر دبی کانال توزیع کننده با استفاده از الگوریتم جامعه مورچگان ۵۷۰ لیتر بر ثانیه و تعداد تنظیمات دریچه سراب کانال توزیع کننده ۱۱ تنظیم بدست آمد. تعداد تنظیمات دریچه سراب، تعداد تغییرات ظرفیت کانال توزیع کننده می‌باشد. بدین صورت که در هر ساعتی که دبی کانال توزیع کننده نسبت به ساعت قبل تغییر کند، نیاز به تنظیم سازه تنظیم کننده سراب می‌باشد. خوشنواز (۲) در تحقیق جداگانه‌ای از الگوریتم ژنتیک با عملگرهای برازش، انتخاب، ادغام و جهش، برای برنامه‌ریزی بهینه توزیع و تحویل آب در همین کانال استفاده کرده است. به منظور مقایسه دو الگوریتم فوق نتایج حاصله با نتایج خوشنواز (۲) با توابع هدف مشابه مقایسه گردید. حداکثر جریان ورودی به کانال در تحقیق خوشنواز، ۶۶۰ لیتر بر ثانیه محاسبه شده است و تعداد تنظیمات سراب کانال توزیع کننده ۱۲ تنظیم می‌باشد (۲). جهت بررسی نتایج بهینه‌سازی در دو حالت، عوامل مختلف پاسخ بهینه مربوط به هر یک از آنها در جداول ۲ و ۳ ارائه شده است.

شکل۹- هیدروگراف ورودی کانال BP14

جدول۲- عوامل جواب بهینه در حالت تک‌هدفی

الگوریتم	ظرفیت کانال (لیتر بر ثانیه)	زمان تکمیل آبیاری (ساعت)	تعداد تنظیمات	کمبود (درصد)*
جامعه مورچگان	۵۷۰	۳۵۸	۱۱	۰/۱۳
ژنتیک	۶۶۰	۳۴۸	۱۲	۰/۱۷

* درصد حجم آبی که آبگیرها کمتر از مقدار نیاز واقعی خود دریافت می‌کنند.

جدول۳- عوامل جواب بهینه در حالت دوهدفی

الگوریتم	ظرفیت کانال (لیتر بر ثانیه)	زمان تکمیل آبیاری (ساعت)	تعداد تنظیمات	کمبود (درصد)
جامعه مورچگان	۶۹۰	۲۹۴	۱۲	۰/۱۱
ژنتیک	۷۹۵	۲۵۳	۱۲	۰/۲۷

با توجه به اینکه ظرفیت کانال در حالت بهینه کمتر از مقدار موجود بدست آمده است می‌توان اظهار داشت که برنامه‌ریزی بهینه نسبت به شرایط موجود بهتر است. مقایسه نتایج پژوهش حاضر با نتایج تحقیق خوشنواز نشان‌دهنده برتری الگوریتم جامعه مورچگان نسبت به الگوریتم ژنتیک در حالت تک هدفی می‌باشد. در الگوریتم جامعه مورچگان حداکثر ظرفیت کانال به میزان ۹۰ لیتر بر ثانیه کمتر بوده و تعداد تنظیمات دریچه سراب کانال به تعداد یک تنظیم کمتر می‌باشد. میزان کمبود در الگوریتم جامعه مورچگان به میزان ۰/۰۴ درصد کمتر از الگوریتم ژنتیک محاسبه شده است. در حالت دو هدفی، علاوه بر کاهش ظرفیت کانال، کاهش زمان تکمیل آبیاری نیز مدنظر می‌باشد. الگوریتم جامعه مورچگان حداکثر ظرفیت کانال را به میزان ۱۰۵ لیتر بر ثانیه کمتر محاسبه کرده است. در صورتی که زمان تکمیل آبیاری در الگوریتم ژنتیک ۴۱ ساعت کمتر از الگوریتم جامعه مورچگان به‌دست آمد. تعداد تنظیمات دریچه سراب کانال در هر دو روش به تعداد ۱۲ تنظیم می‌باشد. میزان کمبود با توجه به بیشتر بودن زمان تکمیل آبیاری در الگوریتم جامعه مورچگان، ۰/۱۶ درصد کمتر از الگوریتم ژنتیک بدست آمد. در دو حالت روش ژنتیک از نظر زمان تکمیل دور آبیاری نسبت به الگوریتم جامعه مورچگان برتری دارد. زمان تحویل آب از تقسیم حجم آب موردنیاز به دبی تحویلی بدست می‌آید، با توجه به اینکه حجم آب موردنیاز ثابت می‌باشد با افزایش مقدار دبی تحویلی، زمان تحویل کاهش و یا با کاهش مقدار دبی تحویلی، زمان افزایش می‌یابد. الگوریتم جامعه مورچگان حداکثر ظرفیت کانال را در حالت دو هدفی به میزان ۱۲۰ لیتر بر ثانیه بیشتر از حالت تک هدفی بدست آورد؛ اما زمان تکمیل آبیاری در حالت دو هدفی به میزان ۶۴ ساعت کمتر از حالت تک هدفی به‌دست آمد. زیرا تامین دو هدف اشاره شده توسط مدل باعث بهبود قابل ملاحظه‌ای برای ظرفیت کانال توزیع‌کننده گردیده اما هدف زمان تکمیل برنامه آبیاری به مقدار کمتری تامین گردیده است که نشان‌دهنده اثر یک پارامتر بر روی پارامتر دیگر در تابع دو هدفی می‌باشد. اگر هدف بهره‌بردار کاهش زمان آبیاری بدلیل محدودیت‌های زمانی باشد، باید از تابع دوهدفی استفاده شود. ولی در مرحله طراحی، برنامه‌ریزی توزیع باید بر اساس تابع تک هدفی دبی انجام شود زیرا کاهش ظرفیت باعث کاهش هزینه‌های اجرایی خواهد شد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش برنامه توزیع بهینه آب در دو حالت تک هدفی و دو هدفی برای کانال BP14 تهیه شد که در حالت تک هدفی، فقط کاهش ظرفیت کانال و در حالت دوهدفی علاوه بر کاهش ظرفیت کانال، کاهش دور آبیاری نیز مدنظر قرار گرفت. ظرفیت و زمان تکمیل برنامه آبیاری در حالت تک هدفی به ترتیب ۵۷۰ لیتر برثانیه و ۳۵۸ ساعت و برای دو هدفی به ترتیب ۶۹۰ لیتر برثانیه و ۲۹۴ ساعت بدست آمد. در حالت تک هدفی، مدل، ظرفیت کانال را نسبت به حالت دوهدفی، ۱۲۰ لیتر بر ثانیه کمتر بدست آورد در حالیکه زمان تکمیل برنامه آبیاری در حالت دوهدفی ۶۴ ساعت کمتر از حالت تک هدفی بدست آمد. مقایسه نتایج الگوریتم جامعه مورچگان نسبت به الگوریتم ژنتیک نشان‌دهنده عملکرد بهتر الگوریتم جامعه مورچگان در کاهش ظرفیت و مقدار کمبودها است. این در حالی است که الگوریتم ژنتیک در ارتباط با کاهش زمان تکمیل برنامه آبیاری عملکرد بهتری نسبت به الگوریتم جامعه مورچگان داشته است.

منابع

۱- جلالی م. ر. ۱۳۸۴. طراحی و بهره‌برداری بهینه هیدروسیستم‌ها، با الگوریتم جامعه مورچه‌ها، یک رهیافت فراکاوشی جدید. رساله دکتری. مهندسی آب. دانشکده عمران. دانشگاه علم و صنعت.

۲- خوشنواز ص. ۱۳۸۱. تخصیص بهینه آب در شبکه آبیاری با استفاده از الگوریتم ژنتیک. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. آبیاری و زهکشی. دانشکده کشاورزی. دانشگاه تهران.
۳- 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.
۴- 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، ۱-۱۱: ۳ (۱).
۵- 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، ۸۲-۷۳: ۴ (۱).
6- 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.
7- 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.
8- Afshar M. H. 2010. A parameter free Continuous Ant Colony Optimization Algorithm for the optimal design of storm sewer networks: Constrained and unconstrained approach. Advances in Engineering Software, 41:188-195.
9- Chamber R. 1988. Managing Canal Irrigation: Practical Analysis from south Asia, Cambridge University Press.
10- Dorigo M. 1991. Ant colony Optimization, New Optimization Techniques in Engineering. by onwubolu, G. C., and B. V. Babu, Springer- Verlag Berlin Heidel berg, 101- 116.
11- Dorigo M., and Gambardella L. M. 1997. Ant colony System: A cooperative Learning approach to the traveling saleman problem. IEEE Transaction on Evolutionary Computation, 1(1):53- 66.
12- Jalali M. R., Afshar A. and Marino M. A. 2006. Reservoir operation by ant colony optimization algorithms. Iranian Journal of Science and Technology, (IJST), 1(30): 107- 117.
13- Maier H.R., Simpson A.R., Zecchin A. C., Foong W. K., Phang K. Y., Seah H. y., and Tan C. l. 2003. Ant colony optimization for design of water distribution system. Journal of Water Resources Planning and Management., ASCE, 129(3): 200- 209.
14- 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.
15- Monem M. J. and Namdarian R. 2005. Application of Simulated Annealing (SA) Techniques of optimal water Distribution in Irrigtion canals. Journal of Irrigation and Drainage, 54(1): 365- 373.
16 - Nagesh Kumar D. and Janga Reddy M. 2005. Ant colony Optimization for Multi- purpose Reservoir operation. Water Resources Management, 20: 879- 898.
17- Reddy J. M., Wilamowski B., and Sharmasarkar F.C. 1999. Optimal Scheduling Irrigation for lateral canals. ICID Journal, 48(3): 1- 12.
18- Shouja Li. Yingxi Liu. and HeYu. 2006. Parameter Estimation Approach in Groundwater Hydrology using Hybrid Ant colony system. Irwin (Eds): ICIC 2006, LNBI 4115, 182- 191.
19- 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, 1931- 1936.
20- Suryavanshi A. R. and Reddy J. M. 1986. Optimal Operation Scheduling of irrigation distribution system. Agricultural Water Management, 11: 23- 30.
21- Wang Z. R., Mohan J. and Feyan J. 1995. Improved 0- 1 Programing model for optimal flow Scheduling in irrigation canals. Journal of Irrigation and Drainage system, 9: 105- 116.
22- Zecchin A. C., Maier H. R., Simpson A. R., Roberts A., Berrisford M. J., and Leonard M. 2003. Max- Min ant system applied to water distribution system optimization. Modsim 2003- International Congress on Modeling and Simulation, Modeling and Simulation Society of Australia, 795- 800.

Journal of Water and Soil
Vol. 26, No.5, Nov.-Dec. 2012, p. 1109-1118

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۶، شماره ۵، آذر – دی ۱۳۹۱، ص. ۱۱۱۸-۱۱۰۹

Water Delivery Optimization in BP14 Canal of Fumanat Irrigation Network Using Ants Colony System Algorithm

A. Emadi[1*] - S. Kakouie [2]

Received: 04-09-2011
Accepted: 31-07-2012

Abstract

Poor delivery and distribution water in irrigation canals will cause the discontent of farmers, disrespect of equity in water delivery and increase operational losses. Therefore optimal water delivery scheduling will increase performance condition network, considerably. With the spread of computers and mathematical methods, it is possible that develop simulation and optimization mathematical models for optimal operation. In this study, Ants Colony System (ACS) optimization algorithm is used for development optimal water delivery in BP14 canal of Fumanat irrigation network in west of Gilan province. This canal has a length of 6852 meters with a trapezoidal cross section and capacity of 2.5 m^3/s and land cover area of 2100 ha. The optimal delivery schedule canal is derived for two cases; single objective, canal capacity minimization and two objective including minimize canal capacity and delivery time. Comparison of the research with results obtained from Genetic Algorithm (GA) showed that ACS algorithm to GA in single objective state resulted in less canal capacity (90 l/s) and more irrigation schedule complement duration (10 hours). Also, the number of upstream gate regulations and water delivery deficiency obtained 1 and 0.04 percent, respectively. In two objective state, ACS determined less canal capacity (105 l/s) and more irrigation schedule complement duration (41 hours).

Keywords: Water delivery, Optimal Scheduling, Irrigation network, Performance network

1 ,2- Assistant Professor and MSc Student, Deportment of Water Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
(*-Corresponding Author Email: emadia355@yahoo.com)