فصلنامه علمی آماد و فناوری دفاعی، سال سوم، شماره هشتم، زمستان ۱۳۹۹

بهینه‌سازی خطوط انتقال آب به کمک الگوریتم مورچه (مطالعه موردی: انتقال آب بهشت‌آباد)

دانیال دبیری[۱] امید میرمحمدصادقی[۲]

تاریخ دریافت:۱۳۹۷/۱۱/۱۷ تاریخ پذیرش:۱۳۹۷/۱۱/۲۲

چکیده

طرح‌های انتقال آب به عنوان طرح‌های جامع برقراری عدالت اجتماعی و آمایش سرزمین، نقش مهمی در توزیع مناسب مکانی آب دارند. در پژوهش حاضر انتقال آب از سد بهشت‌آباد به استان اصفهان و بهینه‌سازی تابع هزینه خط انتقال توسط الگوریتم کلونی مورچگان مورد بررسی قرار گرفته است. به‌همین منظور یک ماتریس ۱۰ در ۱۰ شامل فاصله شهرها به‌عنوان ماتریس فرومون و هزینه هر متر لوله فولادی به‌عنوان ماتریس هیوریستیک وارد نرم‌افزار شده است. نتایج نشان داده است که هزینه بهینه خط لوله انتقال آب به طول تقریبی ۸۵ کیلومتر با کمک الگوریتم مورچه در حدود ۴۱۳۰ میلیارد ریال برآورد شده که شامل هزینه‌های خرید، حمل و نصب لوله‌های فولادی در طرح انتقال آب مذکور شده است و نقش پارامترهای اصلی الگوریتم، در سرعت بهینه‌سازی و تعداد تکرار ارزیابی شده است. نتایج این پژوهش حاکی از توانایی بالای الگوریتم مورچه در بهینه‌سازی تابع هدف و کمینه نمودن هزینه‌های طرح‌های انتقال آب است.

کلمات کلیدی: آمایش سرزمین، الگوریتم کلونی مورچگان، انتقال آب، بهینه‌سازی، تابع هدف.

مقدمه

[۱] دانشجوی دکتری، گروه منابع طبیعی و آبخیزداری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران، Danial_3268@yahoo.com
[۲] کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران، (نویسنده مسئول) Osadeghi10@gmail.com

افزایش جمعیت در کنار ادامه روند خشکسالی‌ها، تأمین آب مورد نیاز شرب، کشاورزی و صنعت را به یک مسئله مهم سیاسی- امنیتی- اقتصادی- اجتماعی تبدیل کرده که لزوم به‌کارگیری روش‌های نوین را بیش از پیش نموده است (باقری، ۱۳۹۶: ۱۰۷- ۹۶). در این میان طرح‌های انتقال علی‌رغم مشکلات اجتماعی و زیست‌محیطی، هنوز به‌عنوان یک راه‌حل مناسب برای تنظیم و تعادل آب بین دو یا چند حوضه، مطرح هستند (Zhuang, 2016: 12868- 12879). همه طرح‌های انتقال آب هزینه‌های مالی، اجتماعی و زیست‌محیطی فراوانی دارند که این هزینه‌ها باید در راستای آمایش سرزمین و استفاده صحیح از منابع، بهینه‌سازی شوند (Miller, 2015: 173- 192). کاهش هزینه‌های مربوط به اجرا، بهره‌برداری و نگهداری خطوط انتقال از مهم‌ترین دغدغه‌های این طرح‌ها است که لازمه دستیابی به آن، مطالعات دقیق و همه‌جانبه مباحث علمی، اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی و زیست‌محیطی در کنار یکدیگر است (افشار و همکاران، ۱۳۸۴: ۳۸- ۲۶).

پیشینه

یکی از فرآیندهایی که در طی آن می‌توان با اعمال شرایط و محدودیت‌های مختلف به مقاصد موردنظر دسترسی پیدا کرد، به‌کارگیری روش‌های بهینه‌سازی[۱] در تحلیل سیستم‌های انتقال آب و شبکه‌های توزیع آب، منابع آب، سازه و غیره است که در چند دهه اخیر مورد توجه بسیاری از متخصصین و محققین این رشته قرار گرفته است (Afshar et al, 2006: 1-13). در این میان الگوریتم کلونی مورچه[۲] یکی از روش‌های موفق در حل مسائل بهینه‌سازی ترکیبی است.

[۱] Optimization
[۲] Ant Colony Algorithm

بررسی مطالعات پیشین نشان می‌دهد که تلاش‌های زیادی برای استفاده از این روش در بهینه‌سازی شبکه‌های توزیع آب به‌عمل آمده اما تاکنون مطالعات اندکی با هدف ارزیابی خطوط انتقال آب انجام شده است.

افشار و همکاران (۱۳۸۶) از الگوریتم مورچه برای طراحی سیستم‌های انتقال استاتیکی، مکان‌یابی و تعیین بار بهینه ایستگاه‌های پمپاژ استفاده کرده و یک مدل شبیه‌ساز برای جریان میرا در سیستم‌های انتقال تحت فشار توسعه دادند. نتایج آنها نشان داده است که روش جامعه مورچه‌ها می‌تواند روشی مناسب برای بهینه‌سازی باشد و امکان توسعه و بهبود روش مذکور وجود دارد (افشار و همکاران، ۱۳۸۴: ۳۸- ۲۶).

لطف‌اللهی و کاردان (۱۳۹۲) در پژوهشی، بهینه‌سازی لوله انتقال آب فشار قوی سد بتنی شهریار را با استفاده از الگوریتم مورچه به‌عنوان هدف اصلی بررسی نمودند. در این پژوهش تأثیر پارامترهای اصلی الگوریتم بر بهینه‌سازی مورد بررسی قرار گرفت و وزن لوله بهینه شده با وزن اولیه مدل‌سازی شده مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که الگوریتم جامعه مورچه‌ها از قابلیت بالایی در بهینه‌سازی برخوردار است (لطف‌اللهی و کاردان ،۱۳۹۲: ۶۹-۵۷).

معینی (۱۳۹۶) از قابلیت‌های فرمول‌بندی جدید الگوریتم بهینه‌سازی مورچگان برای حل هم‌زمان مسئله طراحی بهینه جانمایی و ابعاد شبکه جمع‌آوری فاضلاب خانگی پمپ‌دار و ثقلی استفاده کرده است. نتایج نشان داده است که الگوریتم پیشنهادی، روشی مناسب در حل مسئله طراحی بهینه هم‌زمان جانمایی و ابعاد شبکه جمع‌آوری فاضلاب خانگی پمپ‌دار و ثقلی است (معینی، ۱۳۹۶: ۱۲۷-۱۱۹). همچنین از الگوریتم مورچه ساده و الگوریتم مورچه کمینه- بیشینه برای بهینه‌سازی طراحی خطوط انتقال آب استفاده شده است. با در نظر گرفتن

قطر لوله‌های انتقال آب به‌عنوان متغیرهای تصمیم و با استفاده از مدل سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا[1] به‌عنوان شبیه‌ساز هیدرولیکی، بهینه‌سازی سیستم انجام شده و سه آزمایش با دو روش پیشنهادی حل و نتایج با روش‌های بهینه‌سازی دیگر مقایسه شد. نتایج، توانایی بالای الگوریتم مورچه کمینه- بیشینه را در بهینه‌سازی مسئله مورد نظر، در مقایسه با الگوریتم مورچه ساده و دیگر روش‌های بهینه‌سازی موجود، نشان داده است (Moeini and Molaei, 2018: 42- 60).

اهداف تحقیق

هدف اصلی پژوهش حاضر بهینه‌سازی خطوط انتقال آب به کمک الگوریتم مورچه است. رسیدن به این هدف نیازمند اهداف فرعی است که این اهداف عبارتند از:

- شبیه‌سازی هیدرولیکی مدل خطوط انتقال آب تحت فشار بر پایه افت‌های اصطکاکی
- ایجاد رابطه بین مدل شبیه‌ساز هیدرولیکی و بهینه‌ساز تابع هزینه جهت کالیبراسیون الگوریتم مورچه

روش تحقیق

روش تحقیق در پژوهش حاضر شامل چهار بخش است که در ادامه هریک به تفکیک آورده شده است.

- **محدوده مورد مطالعه**

حوضه آبخیز بهشت‌آباد از زیرحوضه‌های کارون بزرگ است که مساحت آن ۵۱۱۰ کیلومتر مربع می‌باشد. بارش متوسط سالیانه حوضه ۶۹۲ میلی‌متر و آورد متوسط سالانه در ساختگاه سد ۱۱۰۰ میلیون مترمکعب است. انتقال سالانه ۵۸۰ میلیون مترمکعب آب به قسمت‌های مرکزی ایران از جمله زاینده‌رود هدف اصلی پروژه انتقال آب بهشت‌آباد به اصفهان می‌باشد

[1] Environmental Protection Agency

(باقری، ۱۳۹۶: ۱۰۷– ۹۶). شکل شماره ۱ موقعیت سد بهشت‌آباد در شهرستان اردل استان چهارمحال‌وبختیاری و همچنین محل خروجی این طرح در استان اصفهان را نشان داده است.

شکل شماره۱. موقعیت سد پیشنهادی بهشت‌آباد در استان چهارمحال‌وبختیاری نسبت به مقصد انتقال آب

- **شبیه‌سازی هیدرولیکی**[۱]

محاسبات هیدرولیکی جریان‌های غیرماندگار در مجاری تحت فشار بر اساس معادلات پیوستگی و مومنتوم است که مطابق روابط (۱ و ۲) عبارت‌اند از (Almgern, 1996: 18-36):

$$\frac{\partial Q}{\partial x}+\frac{gA}{a^2}\frac{\partial H}{\partial t}=0 \quad (۱)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t}+\frac{gA}{a^2}\frac{\partial H}{\partial x}+\frac{f}{2DA}Q|Q|=0 \quad (۲)$$

که در این معادلات Q دبی جریان، H ارتفاع برای هر سطح مرجع اختیاری، f ضریب اصطکاک، D قطر داخلی لوله، A سطح مقطع عرضی لوله، a سرعت موج فشاری، x فاصله

[۱] Hydraulic Simulation

طولی و t بیانگر زمان می‌باشد (Almgren, 1996: 18-36). به‌منظور مدل‌سازی هیدرولیکی خط انتقال موردمطالعه، تعداد ۱۰ گره به‌عنوان نقاط کنترل وارد محیط نرم‌افزار WaterGEMS شده تا دبی ۴ مترمکعب بر ثانیه را از نقطه ابتدا تا نقطه انتها به طول تقریبی ۸۵ کیلومتر انتقال دهد. در انتخاب نقاط گره قیودی مانند جاده دسترسی، توپوگرافی زمین، موانع موجود و همچنین کوتاه‌ترین مسیر ممکن در نظر گرفته شده است. همچنین برای ترسیم خطوط از نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری کشور و همچنین نقشه ارتفاعی[۱]استفاده شده است. دامنه سرعت مطابق نشریه وزارت نیرو بین ۱ تا ۲ متر بر ثانیه، فشار کاری ۶ تا ۲۰ بار، اختلاف ارتفاع نقاط مبدأ و مقصد ۲۵۰ متر و جریان در تمام مسیر به صورت تحت فشار و فقط در یک نقطه استثنا از جریان ثقلی استفاده شده است.

اعمال افت‌های اصطکاکی از طریق رابطه هیزن- ویلیامز[۲] مطابق پیش‌فرض نرم‌افزار بوده است. افت اصطکاکی هیزن- ویلیامز مطابق رابطه (۳) محاسبه شده است (Hazen and Williams, 1933: 1-80).

$$h_f = \frac{1.36L}{r_h^{1.167}}\left(\frac{V}{C_h}\right)^{1.85} = \frac{6.85L}{D^{1.167}}\left(\frac{V}{C_h}\right)^{1.85} \quad (۳)$$

در این رابطه C_h ضریب زبری هیزن- ویلیامز، r_h شعاع هیدرولیکی بر حسب متر، و D قطر لوله بر حسب متر است.

- **الگوریتم کلونی مورچگان**

الگوریتم کلونی مورچه توسط دوریگو و گامباردلا[۳](۱۹۹۷) به‌عنوان یک راه‌حل چند عامله[۴]

---

[۱] Digital Elevation Model
[۲] Hazen- Williams
[۳] Dorigo and Gambardella
[۴] Multi Agent

برای مسائل بهینه‌سازی ارائه شد. عامل هوشمند[۱] موجودی است که از طریق حسگرها قادر به درک پیرامون خود بوده و از طریق تأثیرگذارنده‌ها می‌تواند روی محیط تأثیر بگذارد (Dorigoand Gambardella, 1997: 230- 251). در الگوریتم مورچه این حسگرها، فرومون‌ها هستند که قادرند مسیرهای با جذابیت بیشتر را تقویت کنند و بدین‌ترتیب در رسیدن از غذا به لانه و برعکس مسیرهای کوتاه‌تری را طی نمایند. مورچه‌ها، روال‌های سازنده جواب هستند که با حرکت تصادفی بر روی ماتریس ورودی به ساخت جواب می‌پردازند و در حین حرکت خود باید سیاست‌ها یا محدودیت‌های مسأله را هم رعایت کنند. این الگوریتم مسیر اول را به‌طور تصادفی انتخاب کرده و سپس از طریق ایجاد دو ماتریس فرومون[۲] (τ) و ماتریس هیوریستیک[۳] (η)- شامل اطلاعات فرا ابتکاری- به ازای هر مورچه و در هر تکرار، تابع احتمال برای انتخاب گره بعدی را مطابق رابطه (۴) محاسبه کرده است (Dorigo and Gambardella, 1997: 230- 251).

$$p_{ij}^{k} = \frac{\tau_{ij}^{a}(t)\eta_{ij}^{\beta}(t)}{\sum \tau_{ij}^{a}(t)\eta_{ij}^{\beta}(t)} \quad if\ j \in N_i^k \qquad (۴)$$

در این رابطه η_{ij} مطلوبیت حرکت به سمت جذاب‌ترین راه‌حل یا ماتریس هیوریستیک و حاوی اطلاعاتی است که توسط خود مسأله تعریف می‌شود یا در حین اجرای الگوریتم به دست می‌آید. در بسیاری از مواقع η هزینه یا تابعی از هزینه مثل معکوس هزینه است. τ_{ij} شدت فرومون یا ماتریس فرومون است که با گذشت زمان توسط مورچه‌ها به هنگام می‌شود و نقش حافظه را بازی می‌کند. در این روابط همچنین a قدرت فرومون و β قدرت هیوریستیک است. مخرج کسر در رابطه (۴) نرمال‌سازی اطلاعات فرومون و هیوریستیک را

[۳] Intelligent Agent
[۴] Pheromone
[۵] Heuristics

برعهده دارد تا درچرخ رولت[۱]اعداد با جذابیت بیشتر (فرومون بیشتر) شانس بیشتری برای انتخاب داشته باشند. در انتهای هر تکرار ماتریس تبخیر فرومون تشکیل می‌گردد. تبخیر فرومون از آن جهت مفید است که باعث می‌شود مسیرجذابیت کمتری برای مورچه‌های بعدی داشته باشد و آن‌ها به جستجوی تصادفی سایر مسیرها نیز ادامه دهند (Dorigo and Blum, 2005: 243- 278).

$$\tau^* = \tau * (1 - \rho) \quad (۵)$$

در این رابطه τ^* ماتریس فرومون با اثر تبخیر و ρ شدت تبخیر فرومون است. به‌روزرسانی کلی در الگوریتم پس از اعمال تبخیر صورت می‌گیرد. به‌روزرسانی از هم‌گرایی زودرس به نقاط بهینه محلی جلوگیری کرده و احتمال عبور مورچه‌ها از یک مسیر بهینه را کاهش داده تا مورچه‌ها سایر مسیرها را نیز بیازمایند. قانون به‌روزرسانی به‌صورت رابطه (۶) اعمال شده است (Dorigo and Blum, 2005: 243- 278).

$$\tau_{ij}(t+n) = \tau^* + \rho \Delta\tau_{ij}(t) \quad (۶)$$

در این رابطه $\Delta\tau_{ij}(t)$ برای هر مورچه و به ازای هر تکرار مطابق رابطه (۷)، بر اساس معکوس‌سازی کوتاه‌ترین مسیر به‌دست آمده است. معکوس‌سازی بدین دلیل صورت گرفته است که تابع هدف[۲]همواره بایستی کمینه‌سازی شود. همچنین بسته به نوع مسئله بهینه‌سازی نرخ تبخیر بین ۰ تا ۰,۰۵ تغییر می‌کند و معمولاً در مسائل بهینه‌سازی با یک تابع هدف برابر ۰,۰۲ درنظر گرفته می‌شود (Dorigo and Blum, 2005: 243- 278).

$$\Delta\tau_{ij}(t) = Q/L \quad (۷)$$

در این رابطه Q ضریب تبدیل فرومون است که برازندگی مسیر را موردبررسی قرار داده است. ماتریس ۱۰ در ۱۰ ورودی به نرم‌افزار شامل اطلاعات فرومون و هیوریستیک مطابق

[۱] Roulette Wheel
[۲] Objective Function

جدول شماره ۱ است. اطلاعات ورودی به گونه‌ای انتخاب شده‌اند که بتوان در هر مرحله آن‌ها را تغییر داد تا نقش آن‌ها در الگوریتم مورچه به‌عنوان پارامترهای اصلی بررسی و ارزیابی شوند.

جدول شماره ۱. اطلاعات ورودی اولیه به الگوریتم مورچه

تعداد مورچه	تعداد تکرار	توان فرومون	توان هیوریستیک	ضریب تبخیر
۲۰	۱۰۰	۱	۱	۰/۹۸

در هر مرحله از اجرای برنامه اگر هر دو قید ارضا شوند، مقدار کمینه تابع هدف اعلام شده و در ماتریس جواب‌ها ذخیره شده است. برای انتخاب گره بعدی، مسیر قبلی صفر شده تا مجدداً توسط مورچه‌ها انتخاب نشود. در پایان، بهترین جواب از ماتریس جواب‌ها برای هر سطر از ماتریس ورودی انتخاب شده و تمام جواب‌های بهینه ستونی با یکدیگر جمع شده تا هزینه ده متر لوله برای ده گره به عنوان تابع هدف مسئله موردنظر، بهینه‌سازی شود.

- **تابع هدف**

در هر مسئله بهینه‌سازی ابتدا لازم است که تابع هدف بنابر معادلات مربوط به محدودیت‌های حاکم بر شبکه مشخص شوند یا به‌عبارتی شبکه به شکل مدل برنامه‌ریزی خطی[۱] اعداد مختلط صفر و یک و اعداد حقیقی آرایش داشته باشد (شورورزی و همکاران، ۱۳۹۱: ۵۲-۶۳). در هر مسئله بهینه‌سازی تلاش می‌شود که تابع هدف کمینه شود. برای تعریف تابع هزینه به‌عنوان تابع هدف در پژوهش حاضر، از متغیر تصادفی X استفاده می‌شود که این متغیر تصادفی یک متغیر منتسب به صفر و یک برای مسئله موردنظر است.

[۱] Linear Programming

در مسئله بهینه‌سازی خطوط انتقال آب، هدف کمینه کردن تابع هزینه است که در پی آن هزینه خرید، حمل و نصب لوله بهینه شده و در نتیجه حجم خاک‌برداری و مصالح مصرفی نیز کاهش پیدا می‌کند. در لوله‌های مدفون، کم کردن حجم خاک‌برداری و در لوله‌های روکار، کم کردن وزن لوله‌ها هدف اصلی بهینه‌سازی است. تابع هزینه لوله‌های خط انتقال موردنظر که به صورت مدفون نیز در نظر گرفته شده‌اند، مطابق رابطه (۱۰) است.

$$F = \sum X_{ij}.L_{ij}.C(D_{ij}) + \sum Y_{ij}.L_{ij}.C(H_{ij}) \qquad (۱۰)$$

در این رابطه X_{ij} و Y_{ij} : هزینه یا واحد ارزش برای متغیر موردنظر(هزینه هر متر لوله)، L_{ij} مقدار، تعداد یا طول متغیر موردنظر است که در بهینه‌سازی خطوط لوله برابر طول خطوط لوله خواهد بود و D_{ij} و H_{ij}: متغیرهای منتسب به صفر و یک هستند (Moeini and Molaei, 2018: 42-60).

تجزیه و تحلیل

در مرحله اول شبیه‌سازی هیدرولیکی با کمک نقشه‌های منطقه موردمطالعه از میان گزینه‌های موجود، خط لوله‌ای به طول ۸۵ کیلومتر، از محل پیشنهادی سد تا محل انتهای طرح در شهر باغ بهادران اصفهان به‌عنوان گزینه نهایی ترسیم شد. این گزینه بر اساس پارامترهایی چون استفاده از تأسیسات موجود، توپوگرافی زمین، فاصله از خطوط انتقال گاز و زمین‌های کشاورزی با استفاده از پرسشنامه و بر اساس نظر خبرگان این زمینه انتخاب شده است. جدول شماره ۲ مشخصات این طرح و شکل شماره ۲ نمای کلی این خط انتقال را نشان داده است.

جدول شماره ۲. اطلاعات مسیر بهینه‌سازی شده اولیه

طول مسیر	طول جاده دسترسی	تعداد گره	حداقل ارتفاع	حداکثر ارتفاع	پمپاژ	تعداد مخزن	طول تونل
۸۴/۷	۷۳/۹	۱۰	۱۸۶۲ متر	۲۴۱۹ متر	۲	۲ عدد	۱۵

شکل شماره ۲. نمای کلی مسیر خط انتقال مدل‌سازی شده از نقطه شروع تا انتهای طرح

با تعیین محدوده سرعت و فشار، قطر لوله‌های مورد نظر مشخص و در نتیجه از میان همه گزینه‌هایی که امکان دسترسی و فراهم آوردن آن‌ها مناسب بود، لوله‌های ۱۶۰۰ تا ۲۲۰۰ میلی‌متر فولادی به‌عنوان گزینه‌های هیدرولیکی مناسب جهت ورود به الگوریتم مورچه انتخاب شده است. هزینه هر متر لوله فولادی به ازای خرید، حمل و نصب از اصفهان تا محدوده مورد

مطالعه مطابق جدول شماره ۳ بر اساس فهرست‌بهای سال ۱۳۹۷ به‌عنوان سال خرید لوله‌ها در جدول زیر آمده است.

جدول شماره ۳. هزینه یک متر لوله فولادی بر حسب ریال

قطر	بهای یک متر لوله	بهای نصب	بهای حمل	جمع کل
۱۶۰۰	۲۷۵۳۶۵۵۷	۲۹۳۰۰۰۰	۵۶۸۳۰۵	۳۸۰۹۵۸۴۰
۱۸۰۰	۳۴۴۴۳۵۸۹	۳۶۷۵۰۰۰	۵۶۸۳۰۵	۴۷۴۶۸۹۰۷
۲۰۰۰	۴۲۱۲۰۴۹۲	۴۸۰۱۰۰۰	۵۶۸۳۰۵	۵۸۲۹۲۳۰۴
۲۲۰۰	۵۰۵۴۴۵۹۰	۶۱۲۸۰۰۰	۵۶۸۳۰۵	۷۰۳۰۵۵۹۱
۲۴۰۰	۵۹۶۴۲۴۳۴	۷۷۱۹۰۰۰	۵۶۸۳۰۵	۸۳۴۹۱۸۲۴

سپس برای ۱۰ گره مدل‌سازی شده در نرم‌افزار واترجیمز، یک ماتریس ۱۰ در ۱۰ شامل فاصله شهرها به‌عنوان ماتریس فرومون و هزینه هر متر لوله با احتساب ضریب حمل نزدیکی به استان اصفهان به‌عنوان ماتریس هیوریستیک تشکیل شد و دو قید سرعت و فشار مطابق روابط (۸) و (۹)، اعمال شد. جهت اجرای صحیح الگوریتم مورچه لازم است مقدار مناسب پارامترهای اصلی الگوریتم مورچه نیز تعیین گردد. در این میان پارامترهای تعداد مورچه، توان فرومون و تعداد تکرار بیشترین تأثیر را در افزایش سرعت حل مسئله و همچنین جلوگیری از هم‌گرایی زودرس داشته‌اند. با تغییر این پارامترها و چند مرحله اجرای الگوریتم و مقایسه نتایج، تغییر تعداد مورچه در تکرارهای یکسان (۷۰۰ تکرار) باعث کاهش انحراف استاندارد شده و در تعداد ۵۰ مورچه، مقدار بهینه یافته شده است. دلیل تغییر مقدار این پارامتر این است که تعداد مورچه مطلوب هر مسئله، تابعی از نوع مسئله مورد مطالعه بوده و به ازای مقادیر

مختلف مورچه تعیین می‌گردد (سلطانی و همکاران، ۱۳۸۶: ۴۶-۴۱). جدول شماره ۴ میـانگین تابع هدف بر حسب هزار ریال را برای تعداد مورچه‌های مختلف نشان داده است.

جدول شماره ۴. میانگین تابع هدف و انحراف استاندارد به ازای تعداد مورچه‌های مختلف

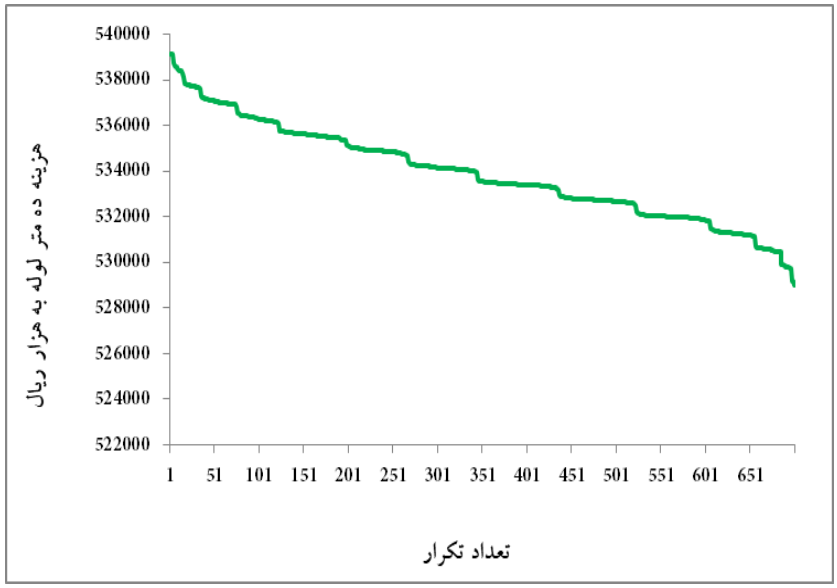
تعداد مورچه	۵	۱۰	۲۰	۵۰
میانگین تابع هزینه (هزار ریال)	۵۲۹۷۹/۵	۵۲۹۱۶/۲۸	۵۲۹۰۵/۵۹	۵۲۹۰۰/۱۷۷
انحراف استاندارد (هزار ریال)	۱۴۰۶۶	۱۳۷۶۰/۸۷	۱۳۴۳۷/۲۳	۱۳۱۹۲/۳۹

تغییر مقدار توان فرومون باعث تقویت مسیرهایی شده است که مورچه بیشتری از آن‌ها عبور کرده است و لزوماً بهینه نیستند. در این‌صورت الگوریتم در نقاط کمینه یا بیشینه محلی دچار هم‌گرایی زودرس شده است. افزایش توان هیوریستیک نیز باعث شده است تا مورچه‌ها دائماً مسیرهای مختلفی را مورد آزمون قرار داده و جذابیت یک مسیر، به عبور تعداد زیادی مورچه در تکرارهای زیاد بستگی داشته است. از همین روی برای تقویت یک مسیر جذاب، نیاز به تعداد مورچه و تکرار بیشتری بوده است. افزایش هر دو پارامتر تعداد مورچه و تعداد تکرار، زمان اجرای برنامه را افزایش داده است تا جایی‌که زمان اجرای برنامه در تکرارهای بالای ۲۰۰۰، امکان سعی و خطاهای مختلف و متنوع را گرفته است. افزایش ضریب تبخیر نیز تغییرات سریع مسیرها را در پی داشته است تا آنجایی‌که تبخیر سریع فرومون و ناپدید شدن آن، مسیر جذاب یا تقویت شده‌ای باقی نخواهد گذاشت و مجدداً تقویت مسیر مستلزم عبور تعداد زیادی مورچه در تعداد تکرار زیاد است. کاهش ضریب تبخیر نیز همه مسیرها را جذاب نگه داشته و تقویت مسیر بهینه را برای مورچه‌ها دچار مشکل کرده است. از همین روی به منظور یافتن مقدار بهینه پارامترهای ورودی مطابق با دو جدول شماره ۲ و ۴ و پس از چندین مرحله سعی و خطا با در نظرگیری نکات فوق، جدول شماره ۵ مقادیر بهینه ورودی را نشان

داده است. همچنین شکل شماره ۴ نیز نحوه هم‌گرایی به جواب بهینه را در تعداد ۷۰۰ تکرار نشان داده است.

جدول شماره ۵. مقادیر بهینه پارامترهای ورودی به الگوریتم مورچه

تعداد مورچه	تعداد تکرار	توان فرومون	توان هیوریستیک	ضریب تبخیر	ضریب تبدیل فرومون
۵۰	۷۰۰	۲	۱	۰/۹۸	۱۰



شکل شماره ۳. نحوه هم‌گرایی به جواب بهینه با تعداد ۵۰ مورچه

در مرحله پایانی با توجه به مقادیر بهینه پارامترهای اصلی الگوریتم، مدل‌سازی هیدرولیکی و همچنین ماتریس ۱۰ در ۱۰ ورودی به الگوریتم مورچه، هزینه هر متر لوله به ازای فاصله بین دو گره مطابق جدول شماره ۶ محاسبه گردیده است.

جدول شماره ۶. هزینه بهینه‌سازی شده برای تمام گره‌های مدل

شماره گره	فاصله تا گره بعدی (متر)	هزینه بهینه شده (هزار ریال)

۱	۴۸۴	۳۷,۲۱۸,۹۷۵
۲	۱۸۷۵	۱۳۰,۵۰۴,۷۵۴
۳	۱۷۷۳۹	۱,۰۱۳,۴۵۳,۱۷۲
۴	۱۲۷۴۲	۷۹۴,۷۴۹,۱۷۹
۵	۶۲۲۹	۳۴۸,۶۰۸,۵۵۵
۶	۹۵۷۰	۴۳۱,۵۶۳,۵۷۵
۷	۳۱۶۰	۱۳۸,۷۹۹,۴۰۳
۸	۵۱۲۷	۲۲۶,۳۳۶۹۷۴
۹	۱۶۸۰۰	۵۸۸,۸۰۹,۳۰۸
۱۰	۱۰۹۹۵	۴۲۸,۰۵۶,۹۰۵
مجموع	۸۴/۷	۴,۱۳۸,۱۰۰,۸۰۳,۵۳۰

همچنین نتایج پژوهش حاضر با مطالعات پیشین بررسی شده است. در پژوهش اسکندری و همکاران (۲۰۱۷) الگوریتم مورچه در جهت بهینه‌سازی هزینه‌های طراحی و ارزیابی سازه‌های کامپوزیتی توسعه داده شد و نتایج آن با الگوریتم مورچه اصلی و دیگر روش‌های هیوریستیک مقایسه شد. نتایج نشان داده است که الگوریتم مورچه توسعه‌یافته توانسته راه‌حل‌های بهتری را در زمان کمتری بیابد و همچنین هزینه‌های سازه‌های کامپوزیتی را با اعمال قیود به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش دهد(Eskandari et al, 2017:18- 26). در پژوهش دیگری از الگوریتم مورچه برای بهینه‌سازی مسائل چند وجهی زمان- هزینه استفاده شد. بدین‌منظور یک نرم‌افزار محاسبه بهینه در محیط نرم‌افزار V_B طراحی شده و نتایج این نرم‌افزار با حل چند مسئله مورد ارزیابی قرار گرفته است و همچنین با دیگر روش‌های هیوریستیک نیز مقایسه شده است. نتایج نشان داده است که الگوریتم مورچه، ابزار مفیدی را برای اتخاذ تصمیم‌های مربوط به زمان- هزینه ایجاد کرده است (Thomas and Zhang, 2008: 119- 127).

نتیجه‌گیری و پیشنهاد

نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر و همچنین بررسی مطالعات پیشین نشان داده است که الگوریتم مورچه توانایی مطلوبی در بهینه‌سازی هزینه‌های طرح‌ها و پروژه‌های عظیم داشته و توانسته است تابع هدف را در زمان کمتری نسبت به الگوریتم‌های دیگر کمینه‌سازی نموده و راه‌حل‌های بیشتری نیز ارائه دهد. از همین روی می‌توان از این الگوریتم در کمینه‌سازی تابع هدف در مسائل تصمیم‌گیری چند معیاره، بهینه‌سازی تابع هدف در مسائل اقتصادی، افزایش سرعت حل مسئله در مسائل سخت با حل غیرقطعی در زمان معقول[۱] و یافتن راه‌حل‌های بهتر نسبت به الگوریتم‌های فرا ابتکاری دیگر استفاده نمود. استفاده از این الگوریتم می‌تواند در مدیریت منابع آب و هزینه‌های مربوط به طرح‌های عظیم انتقال آب تأثیرگذار باشد. از سوی دیگر عدم توجه به بهینه‌سازی پارامترهای اصلی در طرح‌های انتقال آب موجب عدم توجیه‌پذیری فنی و اقتصادی طرح‌ها می‌شود.

پیشنهاد

ازآنجایی‌که الگوریتم مورچه در این پژوهش حاضر و مطالعات پیشین توانسته است تابع هزینه را به کمینه‌ترین حالت ممکن بهینه نماید، پیشنهاد می‌شود در مطالعات اولیه طرح‌های انتقال آب از این الگوریتم به عنوان توجیه‌کننده مسائل اقتصادی استفاده شود و معیاری جهت ارزیابی بودجه اختصاص یافته به پروژه در نظر گرفته شود. همچنین ازآنجایی‌که مطالعات مربوط به بهینه‌سازی تابع هزینه در خطوط انتقال آب، در کشور محدود بوده است، پیشنهاد

[۱] Non- Deterministic Polynomial- Time Hard

می‌شود به منظور توجه به مسائل اقتصادی به عنوان یکی از مسائل بنیادین در اجرای پروژه‌ها، از الگوریتم مورچه جهت بهینه‌سازی پارامترهای مختلف از جمله زمان و هزینه استفاده شود.

منابع

افشار، عباس.عباسی، حبیبه و جلالی، محمدرضا (پاییز ۱۳۸۴). طراحی بهینه سیستم‌های انتقال آب توسط الگوریتم جامعه مورچه‌ها. پنجمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.

باقری، ر. (تابستان ۱۳۹۶). ارزیابی انتقال بین حوضه‌ای آب و انتقال بین حوضه‌ای جمعیت در طرح بهشت‌آباد. دومین کنفرانس ملی هیدرولوژی ایران، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.

سلطانی، آرش. اکبرزاده توتونچی، محمدرضا و نقیب زاده، محمد (بهار ۱۳۸۶).

معرفی مورچه‌های به‌روزرسان جدول مسیریابی گره‌های مجاور در الگوریتم مسیریابی Ant Net. نشریه مهندسی برق و مهندسی کامپیوتر ایران، شماره ۵.

شورورزی، حسین. سعدی‌مسگری، میلاد. علی‌محمدی، علی و آقامحمدی، حسین(پاییز ۱۳۹۱). مقایسه قابلیت الگوریتم‌های فرا ابتکاری در حل مسئله مکان‌یابی مراکز آتش نشانی. مجله برنامه‌ریزی و آمایش فضا، شماره ۱۶.

لطف‌اللهی یقین، محمد و کاردان، نادر (بهار ۱۳۹۲). بهینه‌سازی لوله انتقال آب فشار قوی سد بتنی شهریار با استفاده از الگوریتم جامعه مورچه‌ها. نشریه دانش آب و خاک، شماره ۲۳.

معینی، رامتین (بهار ۱۳۹۶). فرمول‌بندی جدید الگوریتم بهینه‌سازی مورچگان در طراحی بهینه جانمایی و ابعاد شبکه جمع‌آوری فاضلاب خانگی پمپ‌دار. مجله پژوهش آب ایران، شماره ۱۱.

Afshar, A. Abbasi, H. and Jalali, M. (Winter 2006). Optimum Design of Water Conveyance system by Ant Colony Optimization Algorithm. International Journal of Civil Engineering, Vol 12, No 4.

Almgren, A.S. (Summer 1996). A Conservative Adaptive Projection Method for the Variable Density Incompressible Navier-Stokes Equations. SIAM Journal on Scientific Computing, Vol 3, No 2.

Dorigo, M. and Gambardella L.M. (Automn 1997). Ant Colony System: A Cooperative Learning Approach to the Travelling Salesman Problem. Journal of Evolutionary Computation, Vol 1, No 1.

Dorigo, M. and Blum C. (Winter 2005). Ant Colony Optimization Theory: A Survey. Theoritical Computer Science, Vol 344, No 3.

Eskandari, H., Korouzhdeh T. and Gharouni- Nik M. (Winter 2017). An improved Ant Colony Model for Cost Optimization of Composite Beams. International Journal of Applied Artificial Intelligence, Vol 31, No 8.

Hazen, A. and Williams, G.S. (1933). Hydraulic Tables, 3rd Edition,

Miller, B. (Summer 2015). Discourses of Deflection: The Politics of Framing China's South-North Water Transfer Project. Water Alternatives, Vol 8, No 2.

Moeini, R. and Moulaei S.A.M. (Summer 2018). Simulation- optimization Model for Design of Water Distribution System Using Ant Based Algorithm. The Journal of Engineering research, Vol 15, No 4.

Thomas, S. and Zhang Y. (Autumn 2008). Optimizing Construction Time and Cost Using Ant Colony Optimization Approach. Journal of Construction Engineering and Management, Vol 134, No 6.

Zhuang, W. (Summer 2016). Eco-environmental Impact of Inter-basin Water Transfer Projects. Environmental Science Pollutant Research, Vol 23, No 2.