نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۳، جلد۸، مرداد - شهریور ۱۳۹۳، ص. ۶۲۶-۶۱۶

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 3, Vol. 8, Jul-Agu. 2014, p. 616-626

بهینه‌یابی ابعاد لوله‌های شبکه آبیاری تحت‌فشار شاخه‌ای با استفاده از الگوریتم زنبورعسل

آرش اسدی[1*]، حسین بابازاده[2]، نوید قاجارنیا[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۹/۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۶/۲۶

چکیده

هزینه‌های اولیه احداث شبکه‌های آبیاری تحت‌فشار مهم‌ترین مساله برای توسعه این روش می‌باشد که جستجوی قطر بهینه لوله‌های تحت‌فشار می‌تواند ضمن تضمین طراحی مناسب، تأثیر عمده‌ای در کاهش هزینه‌ها داشته باشد. روش‌های مختلفی برای بهینه‌سازی تاکنون مورد بررسی قرار گرفته که در این مقاله از روش الگوریتم زنبورعسل به‌عنوان یکی از روش‌های فراابتکاری بهینه‌سازی برای طراحی شبکه آبیاری تحت‌فشار شاخه‌ای استفاده شده است. در این مقاله ضمن معرفی این روش و نشان دادن کاربرد آن در حداقل‌سازی هزینه طراحی شبکه لوله‌های آبیاری تحت‌فشار، نتایج حاصله از کاربرد آن در طراحی دو شبکه، از جمله یک شبکه با ابعاد واقعی، با دیگر روش‌های متداول در طراحی شبکه لوله‌های آبیاری تحت‌فشار شامل روش‌های سرعت مغنیه، سرعت توصیه شده، شیب هیدرولیکی ثابت، حداکثر سرعت، برنامه‌ریزی خطی، لابیه، ضرایب لاگرانژ و طراحی برگشتی مقایسه گردید. نتایج این تحقیق نشان داد الگوریتم زنبورعسل کم‌ترین هزینه را نسبت به سایر روش‌ها دارد به‌طوری‌که با روش سرعت توصیه شده بیش از ۶۵ درصد اختلاف نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری تحت‌فشار، الگوریتم زنبورعسل، الگوریتم‌های فراابتکاری، بهینه‌سازی

مقدمه

شبکه‌های تحت‌فشار با حذف تلفات تبخیر و نشت که در کانال‌های روباز وجود دارند راندمان بالاتر توزیع آب را تضمین می‌نمایند. بهره‌برداری، نگهداری و فعالیت‌های مدیریتی در این سیستم‌ها فنی‌تر بوده و کنترل نگهداری و ارایه سرویس‌های تأمین خدمات مناسب، آسان‌تر می‌شود. با توجه به این مسائل و دلایلی نظیر کمبود منابع آب، نوسازی شبکه‌های توزیع آبیاری بر پایه جایگزینی کانال‌های روباز با شبکه‌های تحت‌فشار شاخه‌ای، در حال گسترش می‌باشد.

مهندسین آبیاری در حین فرآیند طراحی شبکه لوله‌های آبیاری تحت‌فشار، با مساله‌ی تعیین قطر لوله‌های تشکیل دهنده شبکه مواجه می‌شوند. این مرحله از طراحی اغلب اوقات تعیین قطر نامیده می‌شود. تصمیم‌گیری در رابطه با این مساله بسیار مهم می‌باشد، زیرا هزینه خرید و نصب لوله‌های آبیاری تحت‌فشار بسیار پرهزینه می‌باشد. از نقطه نظر اقتصادی قطر لوله‌ها باید تا حد امکان کوچک باشند، اما از طرف دیگر قطر لوله‌ها باید به اندازه کافی بزرگ باشند تا فشار مورد نیاز در نقاط برداشت آب تأمین گردد.

مساله تعیین بهینه‌ی قطر لوله‌ها در یک شبکه آبیاری توجه بسیاری از محققین و طراحان را به‌خود معطوف داشته است که هدف همه‌ی آن‌ها ارائه‌ی راه‌حل‌هایی کم هزینه‌تر و کوتاه‌تر نسبت به روش‌های سنتی برای حل مسائل عملی می‌باشد. از دهه‌ی ۱۹۶۰ به بعد پژوهش‌های زیادی در مورد روش‌های بهینه‌سازی برای طراحی شبکه‌های توزیع آب انجام پذیرفته است. محققان با استفاده از برنامه‌ریزی خطی، مدل‌های بهینه‌سازی برای محاسبه‌ی شبکه‌های شاخه‌ای اختراع نمودند (Karmeli et al,1986; Liang,1971; Schaake and Lai,1969).

پس از آن، تلاش‌های زیادی برای بهینه‌سازی شبکه‌های حلقوی (شبکه‌های توزیع آب شهری) با استفاده از برنامه‌ریزی خطی صورت گرفت (Morgan and Goutler,1985; Quindry et al,1981; Alperovits and Shamir,1977). مهم‌ترین ایراد روش‌های فوق محدود بودن ابعاد شبکه‌های مورد استفاده بود. به‌دلیل نگرانی‌هایی که معمولاً در زمینه استفاده از برنامه‌ریزی خطی در طراحی شبکه‌های بزرگ وجود داشت، روش‌های دیگری مانند روش لابیه[4] که در آن‌ها از روابط برنامه‌ریزی پویا استفاده می‌شود ابداع گردیده‌اند (Labye, 1981). روش لابیه در طراحی بهینه شبکه‌های آبیاری تحت‌فشار به

۱- دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد آبیاری و زهکشی، دانشگاه‌آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران،گروه مهندسی آب،تهران ایران
۲- دانشیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، گروه مهندسی آب، تهران ایران
۳- دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب، دانشگاه تهران
(*نویسنده‌مسئول: Email: arash2013iran@gmail.com)

4- Labye

طور گسترده به‌کار گرفته می‌شود. در سال‌های اخیر بازنگری‌های جامعی مطابق آخرین پیشرفت‌های علمی در این زمینه انجام پذیرفته است. سیپسر در تحقیق خود نشان داد که مساله تعیین بهینه‌ی قطر لوله‌ها به‌دلیل تعداد بسیار زیاد جواب‌های ترکیبی ممکن از نظر پیچیدگی محاسباتی[1] در رده مسایل چندجمله‌ای غیر قطعی سخت[2] قرار دارد (Sipser,1997). در این رده از مسایل، زمان محاسباتی برای هر نوع الگوریتم حل‌کننده‌ای با افزایش ابعاد مساله (تعداد خطوط لوله موجود در شبکه و تعداد لوله‌های تجاری موجود در بازار) به صورت نمایی افزایش می‌یابد. با توجه به موفقیت الگوریتم‌های فراابتکاری[3] در یافتن جواب‌هایی با کیفیت بسیار بالا در زمانی منطقی برای مسایل بهینه‌سازی ترکیبی سخت، محققین با استفاده از این الگوریتم‌ها اقدام به بهینه‌سازی شبکه‌های توزیع آب نمودند. تحقیقات مختلفی نشان داد که الگوریتم‌های ژنتیک به طور موفقیت‌آمیزی برای بهینه‌سازی آرایش و قطر شبکه‌های شاخه‌ای به کار گرفته شده‌اند (Hassanli and Dandy,2005; Walters and Lohbeck, 1993).

والترز و لابک در تحقیق خود دریافتند که برای شبکه‌های شاخه‌ای کوچک، الگوریتم‌های ژنتیک به لحاظ موفقیت قابل رقابت با روش‌های برنامه‌ریزی پویا می‌باشند (Walters and Lohbeck,1993). در این حالت الگوریتم‌های ژنتیک نیازهای حافظه‌ای را کاهش می‌دهند اما نمی‌توانند رسیدن به جواب بهینه روش‌های برنامه‌ریزی پویا را تضمین نمایند. برای شبکه‌های بزرگ، الگوریتم ژنتیک نمی‌تواند یافتن جواب بهینه را تضمین نماید، اما همگرایی سریعی به یک جواب نزدیک به بهینه دارند. حسنلی و دندی یک مدل الگوریتم ژنتیک را برای بهینه‌سازی آرایش و طراحی هیدرولیکی شبکه لوله‌های شاخه‌ای توسعه دادند (Hassanli and Dandy,2005). هدف اولیه کار آن‌ها تعیین اتصال بهینه گره‌های تقاضا به گره منبع، تعیین بهینه قطر لوله‌های شبکه و ظرفیت پمپاژ مناسب بود. آن‌ها کارایی روش خود را با به‌کار بستن مدل خود بر روی یک شبکه با ۱۱ گره تقاضا و یک گره منبع نشان دادند. به هر حال آن‌ها نتیجه گرفتند که این روش نیاز به تحقیقات بیش‌تر در آینده دارد تا بتواند در حل مسایل عملی به‌کار گرفته شود.

فرمانی و همکاران با استفاده از الگوریتم ژنتیک اصلاح شده اقدام به بهینه‌سازی قطر و برنامه‌ی توزیع آب در شبکه‌ی آبیاری تحت‌فشار کردند (Farmani at al,2007). آن‌ها در این تحقیق نتیجه گرفتند که با وجود موفقیت الگوریتم ژنتیک در حل بسیاری از مسایل پیچیده واقعی و از جمله مسایل مربوط به آب، این الگوریتم برای کارایی در بهینه‌سازی قطر شبکه‌های آبیاری تحت‌فشار شاخه‌ای نیازمند اصلاح می‌باشد. آن‌ها نتیجه گرفتند که الگوریتم ژنتیک دارای خصوصیات همگرایی اولیه سریعی می‌باشد، اما زمانی که ناحیه بهینه مورد شناسایی قرار گرفت به طور واضحی همگرایی به سمت جواب بهینه کاهش می‌یابد زیرا عملگر جهش در جستجوی تمامی نواحی بهینه ناتوان است و ممکن است جستجو در یک جواب بهینه موضعی در تله افتد. این یک نقص مهم برای الگوریتم ژنتیک به‌خصوص برای بهینه‌سازی شبکه‌های توزیع آب شاخه‌ای همانند شبکه‌های فاضلاب و شبکه‌های آبیاری تحت‌فشار که دارای متغیرهای تصمیم زیادی هستند می‌باشد. بنابراین فرمانی و همکارانش یک عملگر اغتشاش هوشمند[4] علاوه بر عملگر جهش به الگوریتم ژنتیک اضافه نمودند تا کارایی الگوریتم ژنتیک را برای مسایل با متغیرهای تصمیم زیاد بهبود ببخشند. آن‌ها در نهایت الگوریتم ژنتیک اصلاح شده را برای بهینه‌سازی قطر در یک شبکه شاخه‌ای با ۸۱ لوله و ۵۵ آبگیر مورد استفاده قرار دادند و ثابت کردند این الگوریتم جوابی با هزینه کم‌تر نسبت به روش برنامه‌ریزی خطی ارائه می‌دهد بدون آن‌که هیچ کدام از محدودیت‌های مساله را نقض کرده باشد.

موهان و جینش بابو با استفاده از الگوریتم فراابتکاری بهینه‌یابی جفت‌گیری زنبور عسل[5] (HBMO) اقدام به بهینه‌سازی قطر شبکه حلقوی کردند (Mohan and Jinesh Babu,2010). آن‌ها روش خود را ابتدا بر روی یک شبکه با ابعاد کوچک (دو حلقه) و سپس بر روی یک شبکه با ابعاد متوسط (یگ گره منبع، ۳۱ گره تقاضا و ۳۴ لوله) امتحان نمودند و نتایج به‌دست آمده را با نتایج حاصل از روش‌های دیگر بر روی شبکه‌های مشابه مقایسه نمودند. روش‌های مورد مقایسه در شبکه‌های مشابه عبارت بودند از: دو الگوریتم ژنتیک ساویچ و والترز، الگوریتم نورد شبیه‌سازی شده[6] کانا و سوسا، الگوریتم ترکیبی قورباغه جهنده[7] یوسف و لانسی و الگوریتم ژنتیک اصلاح شده کادو و همکاران (Savic and Walters,1997; Cunha and Sousa,1999; Eusuff and Lansey,2003; Kadu et al,2008). نتایج به‌دست آمده بر روی هر دو شبکه نشان داد که الگوریتم زنبور عسل در تعداد تکرارهای کم‌تری نسبت به روش‌های مورد مقایسه می‌تواند جواب بهینه را تعیین نماید.

در این پژوهش از الگوریتم زنبورعسل به عنوان یک الگوریتم فراابتکاری برای بهینه‌سازی شبکه آبیاری تحت‌فشار شاخه‌ای استفاده شده است. هدف اصلی از کاربرد این روش مقایسه نتایج حاصل از آن با سایر روش‌های مرسوم برای طراحی شبکه‌های آبیاری تحت‌فشار است تا قابلیت‌های نهفته این روش در جهت کاهش هزینه‌های اجرایی شبکه‌های آبیاری تحت‌فشار با ابعاد واقعی نشان داده شود.

1- Computational Complexity
2- Non-deterministic Polynomial Hard
3- Metaheuristic Algorithms
4- Deterministic Perturbation Operator
5- Honey-Bee Mating Optimization
6- Simulated Annealing
7- Shuffled Frog Leaping Algorithm

مواد و روش‌ها

طراحی شبکه آبیاری تحت‌فشار شاخه‌ای

اساس طراحی یک شبکه آبیاری تحت‌فشار شاخه‌ای، یافتن کم‌هزینه‌ترین ترکیب لوله‌های تجاری موجود برای هر خط لوله‌ی شبکه می‌باشد، در حالی که کلیه‌ی محدودیت‌های مساله رعایت شده است. تنها متغیر تصمیم در این مساله قطر لوله‌های شبکه می‌باشد که باید از یک لیست گسسته از قطرهای موجود در بازار انتخاب گردد. برای طراحی شبکه، ابتدا باید میزان دبی طراحی برای هر خط لوله مشخص شود، که این دبی طراحی را می‌توان با استفاده از روش‌های احتمالاتی برای شبکه‌هایی با توزیع بر حسب تقاضا محاسبه نمود (Clement,1996). به‌محض مشخص شدن دبی طراحی برای هر خط لوله، مساله طراحی یک مساله قطعی[1] می‌باشد، زیرا از میان تمام جواب‌های ممکن تنها یک جواب کم‌ترین هزینه را دارد.

محدودیت‌های چنین مساله‌ای عبارتند از:

- محدودیت‌های فشار در گره‌ها: یک حداقل فشار کاری معمولاً برای هر گره آبگیری[2] تعیین می‌گردد تا کارکرد صحیح آبگیر تضمین گردد.
- محدودیت‌های سرعت: حداکثر سرعت در لوله‌ها نباید از حد معینی بیش‌تر شود زیرا باعث افزایش افت‌فشار در لوله‌ها می‌گردد. هم‌چنین بعضی مواقع یک حداقل سرعت نیز برای جلوگیری از رسوب‌گذاری در لوله‌ها در نظر گرفته می‌شود.
- محدودیت فشار مجاز در لوله‌ها: فشار قابل تحمل لوله‌ها نباید از مجموع فشار استاتیکی و فشار ناشی از ضربه قوچ[3] کم‌تر باشد، در غیراین‌صورت فشار وارد بر لوله‌ها باعث ترکیدگی آن‌ها می‌شود.
- و در نهایت از نقطه نظر عملی ترجیح داده می‌شود که قطر لوله‌های بالادست شبکه آبیاری تحت‌فشار بزرگ‌تر از قطر لوله‌های پایین‌دست شبکه باشند.

با در نظر گرفتن تمامی این محدودیت‌ها به همراه آرایش شبکه و لیست لوله‌های تجاری موجود در بازار، مساله طراحی بهینه شبکه آبیاری تحت‌فشار شامل یافتن یک قطر برای هر خط لوله شبکه می‌باشد، به‌گونه‌ای که شبکه تا حد ممکن اقتصادی باشد. شکل (۱) مساله بهینه‌سازی شبکه آبیاری تحت‌فشار را به‌صورت شماتیک نشان می‌دهد. در حالت کلی برای شبکه‌ای شامل n خط لوله و m لوله تجاری موجود در بازار کل جواب‌های ممکن با توجه به فرمول (۱) به‌دست می‌آید:

$$C = m^n \qquad (۱)$$

با در نظر گرفتن سرعت محاسباتی ۲۸۰/۶ ترافلوپس[4] (متناظر با سرعت سریع‌ترین کامپیوتر موجود در جهان)، جدول (۱) زمان تخمینی مورد نیاز برای محاسبه تمامی جواب‌های ترکیبی ممکن برای شبکه‌ای شامل n خط لوله و m لوله تجاری موجود در بازار را نشان می‌دهد (Gonzalez et al,2011). با توجه به اطلاعات جدول (۱) و در نظر گرفتن این نکته که عمر کره‌زمین تاکنون حدوداً $۱۳/۷\times۱۰^{۹}$ سال می‌باشد، خیلی زود متوجه می‌شویم که در یک پروژه واقعی که معمولاً شامل ده‌ها خط لوله و ده‌ها لوله‌تجاری موجود در بازار می‌باشد، در نظر گرفتن تمامی جواب‌های ممکن و انتخاب یکی از جواب‌ها به‌عنوان کم‌هزینه‌ترین جواب به لحاظ عملی کاری غیرممکن می‌باشد. در نتیجه، در عمل برای حل شبکه‌هایی با ابعاد واقعی مجبوریم، از روش‌های تخمینی استفاده کنیم که جواب‌های نزدیک به بهینه را در زمان نسبتاً کوتاهی به ما می‌دهند.

الگوریتم بهینه‌یابی جفت‌گیری زنبورعسل (HBMO)

یکی از فراابتکاری‌های موفق یعنی الگوریتم زنبورعسل از نحوه زندگی اجتماعی زنبورهای عسل در کندو الهام گرفته شده است. روند زندگی اجتماعی زنبورها به نوعی است که در آن، کل اجتماع همواره در حال پیشرفت و بهبود است. به این ترتیب که ملکه، که بهترین زنبور موجود در کندوست، پس از انجام جفت‌گیری با برترین زنبورهای نر اجتماع به تخم‌گذاری می‌پردازد.

سپس زنبورهای کارگر نیز وظیفه نگهداری از لاروها را برعهده دارند. در مراحل نگهداری تعدادی از لاروهای برتر انتخاب شده، با غذای مخصوصی به نام ژله سلطنتی تغذیه می‌شوند و در نهایت تبدیل به یک ملکه جدید می‌شوند. حال در صورتی‌که ملکه جدید از ملکه قبلی بهتر باشد جایگزین آن می‌شود (بزرگ‌حداد، ۱۳۸۴).

بنابراین الگوریتم زنبورعسل را می‌توان در چهار گام اساسی زیر خلاصه نمود:

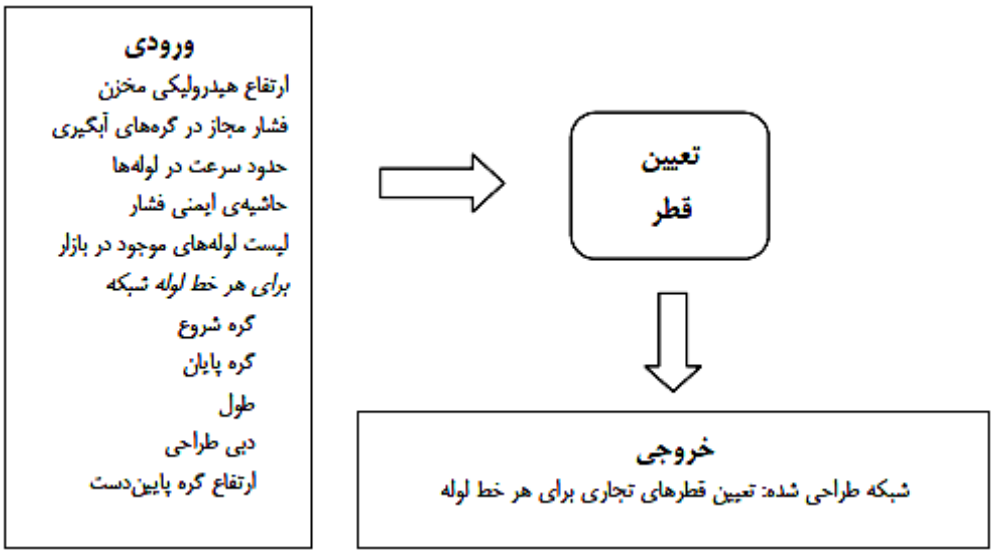
۱- ابتدا یک جواب بهینه به‌صورت اتفاقی تولید می‌شود که به منزله ملکه در کندو است. سپس ملکه (جواب برتر) با انجام پرواز جفت‌گیری از بین زنبورهای نر (جواب‌های آزمایشی جهت ترکیب با ملکه) جفت خود را انتخاب می‌کند.

۲- بچه زنبورهای جدید (جواب‌های تولید شده جدید ناشی از ترکیب بهترین جواب با جواب‌های آزمایشی) با جابجایی ژن‌های زنبور نر با ملکه به‌وجود می‌آیند.

۳- از کارگرها (توابع کاوشی) جهت جستجوی موضعی (پرورش و ارتقای نسل بچه زنبورها) استفاده می‌شود.

۴- بهترین بچه زنبور جدید (بهترین جواب ممکن جدید) در صورت برتری نسبت به ملکه (بهترین جواب فعلی) جایگزین آن می‌شود. بدین ترتیب الگوریتم به سمت جواب برتر حرکت می‌کند (اسدی، ۱۳۹۰).

1- Determinist
2- Hydrant
3- Water Hammer
4- Teraflops



شکل ۱- تعریف مساله بهینه‌سازی شبکه آبیاری تحت‌فشار شاخه‌ای

جدول ۱- زمان مورد نیاز برای محاسبه تمام جواب‌های ترکیبی ممکن در مساله طراحی شبکه آبیاری تحت‌فشار

تعداد خطوط لوله موجود در شبکه (n)	تعداد لوله‌های تجاری موجود (m)				
	۵	۱۰	۲۰	۵۰	۱۰۰
۵	۰/۱۱ ns	۳/۵۶ ns	۰/۱۱ μs	۱۱/۱۰ μs	۰/۳۶ ms
۱۰	۰/۳۵ μs	۰/۳۶ ms	۰/۳۶ s	۵۸ min	۴۱/۲ days
۲۰	۳/۴۰ s	۴۱/۲ days	$۱۰^{۵}$ years	$۱۰^{۱۳}$ years	$۱۰^{۱۹}$ years
۵۰	$۱۰^{۱۴}$ years	$۱۰^{۲۹}$ years	$۱۰^{۴۴}$ years	$۱۰^{۶۴}$ years	$۱۰^{۷۹}$ years
۱۰۰	$۱۰^{۴۹}$ years	$۱۰^{۷۹}$ years	$۱۰^{۱۰۹}$ years	$۱۰^{۱۴۹}$ years	$۱۰^{۱۷۹}$ years

استفاده از روش زنبورعسل برای بهینه‌سازی قطر شبکه لوله‌های آبیاری تحت‌فشارشاخه‌ای

در مدل بهینه‌سازی مساله بهینه‌سازی قطر لوله‌های شبکه آبیاری تحت‌فشار شاخه‌ای، تابع هدف، کمینه کردن هزینه خرید لوله‌های شبکه می‌باشد. محدودیت‌های حداقل فشار در هر گره و همچنین حداقل و حداکثر سرعت در لوله‌ها نیز به‌صورت تابع جریمه در تابع هدف منظور می‌گردد. بنابراین مدل بهینه‌سازی مساله به‌صورت رابطه ۲ تعریف می‌گردد:

$$Min\ Z = \sum_{i=1}^{N} C_i(L,D) + P \qquad (۲)$$

که در این رابطه N تعداد لوله‌های موجود در شبکه و C_i عبارتست از هزینه لوله‌ی i ام که دارای طول L و قطر D می‌باشد. P تابع جریمه می‌باشد. جریمه تنها در صورتی اعمال می‌شود که محدودیت‌های مربوط به سرعت جریان یا حداقل فشار رعایت نشده باشد. برای بیان تابع جریمه از رابطه ۳ استفاده می‌شود:

$$P = P_1 + P_2 + P_3 \qquad (۳)$$

$$P_1 = Max\left[H_j^{min} - H_j, 0\right]^2 \times pf$$
$$j = 1,2,\dots,nd$$
$$P_2 = Max\left[V_i^{min} - V_i, 0\right]^2 \times pf$$
$$i = 1,2,\dots,N$$
$$P_3 = Max\left[V_i - V_i^{max}\right]^2 \times pf$$
$$i = 1,2,\dots,N$$

که در فرمول فوق H_j فشار در گره j، H_j^{min} حداقل فشار مجاز در گره j و nd نشان دهنده کل گره‌های موجود در شبکه می‌باشد. V_i در فرمول فوق نشان‌دهنده سرعت در لوله i ام می‌باشد و V_{min} و V_{max} حداقل و حداکثر سرعت مجاز در لوله‌ها می‌باشند.

در فرمول‌بندی ریاضی الگوریتم زنبورعسل، هر زنبور نر و یا ملکه نمایان‌گر یک رشته از اسپرم‌ها است که معرف یک جواب مساله است. در مساله بهینه‌سازی قطر شبکه آبیاری تحت‌فشار که قطر لوله‌های شبکه به‌عنوان متغیر تصمیم در نظر گرفته می‌شود، قطر هر لوله‌ی شبکه به‌عنوان یک ژن یا اسپرم زنبور ملکه یا زنبور نر یا بچه زنبور بوده و مجموعه‌ای از تمام قطرهای شبکه که شامل تعدادی ژن

یا اسپرم می‌باشد، ساختار یک زنبور ملکه یا زنبور نر یا بچه زنبور را نشان می‌دهد.

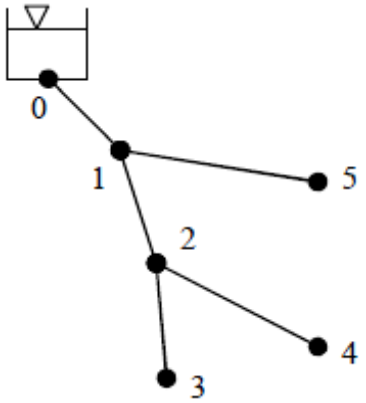
زنبورهای کارگر که نقش تغذیه ملکه و ارتقای نسل بچه زنبورها در کندو را بر عهده دارند به شکل یک سری توابع فراابتکاری (انواع مختلف روش‌های جهش ژنی) تعریف می‌شوند.

مدل بهینه‌سازی قطر با استفاده از روش زنبورعسل با فرمول‌بندی ذکر شده در محیط Visual- Basic توسعه داده شده است. برای محاسبه هزینه جواب‌ها (مقادیر برازندگی هر کدام از زنبورهای عسل) باید مقدار تابع هدف برای هر جواب محاسبه شود که با توجه به وجود تابع جریمه در تابع هدف باید مقادیر سرعت در لوله‌ها و فشار در گره‌ها را داشته باشیم. برای محاسبه مقدار فشار در هر گره و مقدار سرعت در هر لوله به‌ازای مجموعه قطرهای در نظر گرفته شده در روند اجرای الگوریتم زنبورعسل، انجام محاسبات هیدرولیکی توسط شبیه‌ساز هیدرولیکی EPANET2.0 صورت می‌پذیرد. بخش هیدرولیکی مدل EPANET2.0 به‌عنوان مرجعی از فرامین و اطلاعات (DLL[1]) در محیط Visual- Basic وارد می‌شود و با فراخوانی دستورات لازم شبکه مورد نظر تحلیل هیدرولیکی می‌گردد. به‌این‌ترتیب پس از تولید هر مجموعه جواب، مدل شبیه‌ساز اجرا شده و مقادیر فشار در گره‌ها و سرعت در لوله‌ها مجدداً وارد الگوریتم زنبورعسل می‌شود.

معرفی مثال‌های مورد مطالعه

شبکه ۱: این شبکه توسط گونزالز و همکاران به منظور آزمایش مدل پیشنهادی آن‌ها برای بهینه‌سازی شبکه آبیاری تحت‌فشار ارایه شده است (Gonzalez et al,2011). آرایش این شبکه در شکل (۲) نشان داده شده است. این شبکه دارای یگ گره مخزن، پنج شاخه لوله و سه گره آبگیری می‌باشد. بار هیدرولیکی مخزن ۴۴ متر، حداقل سرعت برابر با ۰/۵ m/s و حداکثر سرعت برابر با ۲/۵ m/s در نظر گرفته شده‌اند. داده‌های متناظر با هر خط لوله در جدول (۲) نشان داده شده است. اطلاعات مربوط به لوله‌های تجاری موجود در بازار در جدول (۳) نشان داده شده است.

شبکه۲: مثال موردی دوم یک شبکه آبیاری تحت‌فشار با ابعاد واقعی است که در منطقه لیترا آلتا[2] در استان هواسکا[3] اسپانیا واقع شده است. این شبکه نیز توسط گونزالز و همکاران به‌منظور آزمایش مدل پیشنهادی آن‌ها برای بهینه‌سازی شبکه آبیاری تحت‌فشار ارایه شده است (Gonzalez et al,2011). این شبکه دارای یک گره مخزن با بار هیدرولیکی ۴۸۵/۴۸۳ متر می‌باشد که فشار لازم برای آبیاری ناحیه‌ای به مساحت ۱۱/۵۲ km^2 و دبی طراحی ۱/۵۹ m^3/sرا فراهم می‌کند. این شبکه دارای ۲۱۱۸۸ متر طول با ۹۵ شاخه لوله می‌باشد. حداقل فشار مورد نیاز در گره‌های آبگیری ۳۰ متر می‌باشد. حداقل سرعت برابر با ۰/۳۲ m/s و حداکثر سرعت برابر با ۲/۵ m/s در نظر گرفته شده‌اند. حاشیه‌ی ایمنی[4] برای ضربه قوچ ۱۰ متر در نظر گرفته شده است. آرایش لوله‌های این شبکه در شکل (۳) نشان داده شده است. اطلاعات لوله‌های تجاری موجود در بازار در جدول (۴) نشان داده شده است.



شکل ۲- آرایش لوله‌های شبکه ۱

نتایج و بحث

شبکه‌های ۱ و ۲ با استفاده از روش زنبورعسل طراحی گردیدند. هزینه نهایی طراحی با استفاده از این روش با نتایج حاصل از پژوهش گونزالز و همکاران بر روی همین شبکه‌ها مقایسه گردید تا قابلیت‌های نهفته در روش زنبورعسل برای طراحی بهینه شبکه‌ها در جهت کاهش هزینه‌های اجرایی آن‌ها نشان داده شود (Gonzalez et al,2011).

شبکه ۱: شبکه ۱ با استفاده از روش زنبورعسل طراحی گردید. هزینه نهایی طراحی با استفاده از این روش پس از ۱۲۶ بار محاسبه تابع هدف برابر با ۴۶۳۱۰ واحد پولی به‌دست آمد. جزییات این پاسخ در جدول (۵) نشان داده شده است.

همین شبکه توسط گونزالز و همکاران با استفاده از هشت روش حداکثر سرعت[5]، سرعت توصیه شده[6]، سرعت مغنیه[7]، شیب‌هیدرولیکی‌ثابت[8]، برنامه‌ریزی‌خطی[9]، ضرایب‌لاگرانژ[10]، لابیه[11] و روش‌برگشتی[12] طراحی‌گردید (Gonzalez et al,2011). سرعت

1- Dynamic Link Library
2- Litera Alta
3- Huesca

4- Safety Margin
5- Maximum Velocity
6- Recommended Velocity
7- Mougnie Velocity
8- Constant Hydraulic Slope
9- Linear Programming
10- Lagrange Multipliers
11- Labye
12- Recursive

توصیه شده، سرعت مغنیه و شیب هیدرولیکی ثابت روش‌هایی هستند که هیچ‌گونه ایده اقتصادی نداشته و تمرکز آن‌ها بر مباحث هیدرولیکی است. جدول (۶) تفاوت نتایج به‌دست آمده با استفاده از روش‌های مختلف را نشان می‌دهد (قطر و فشار در گره‌های پایین‌دست). شکل (۴) هزینه نهایی طراحی با استفاده از ۹ روش مختلف برای شبکه ۱ را نشان می‌دهد.

مقایسه نتایج نشان می‌دهد که با وجود سادگی شبکه، روش‌های تابعی در مقایسه با روش‌هایی که در آن‌ها ایده‌های اقتصادی به‌کار گرفته شده است وضعیت نامطلوبی دارند. دو روش سرعت مغنیه و سرعت توصیه شده بیش‌ترین هزینه را تولید کرده‌اند و به طور واضح قطرهای بیش از اندازه بزرگ و فشارهای بیش از حد نیاز را برای شبکه تأمین می‌نمایند.

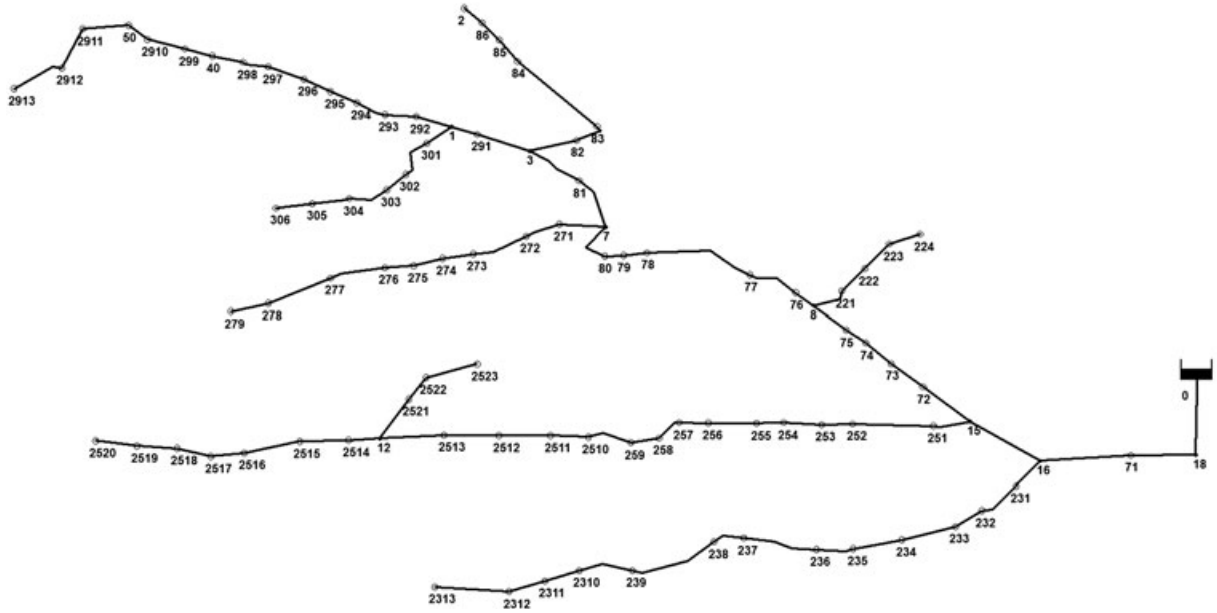
سه روش ضرایب لاگرانژ، روش لابیه و روش طراحی برگشتی دارای جواب نهایی یکسانی می‌باشند که در مقایسه با جواب نهایی الگوریتم زنبورعسل مشخص می‌شود جواب آن‌ها یک جواب بهینه محلی است. الگوریتم فراابتکاری زنبورعسل با فرار از جواب بهینه محلی بهترین جواب (جواب بهینه) را نسبت به سایر روش‌ها تولید کرده است. این موضوع به‌خوبی توانایی الگوریتم زنبورعسل را برای بهینه‌سازی شبکه‌های آبیاری تحت‌فشار کوچک نشان می‌دهد.

جدول ۲- مشخصات شبکه ۱

لوله	گره بالادست	گره پایین‌دست	طول (m)	دبی (m^3/s)	گره پایین‌دست	
					ارتفاع (m)	حداقل فشار مورد نیاز(m)
۱	۰	۱	۱۰۰	۰/۵	۰	۱۰
۲	۱	۲	۱۵۰	۰/۴	۰	۱۰
۳	۲	۳	۳۰۰	۰/۲	۰	۴۰
۴	۲	۴	۲۰۰	۰/۲	۰	۴۰
۵	۱	۵	۱۷۵	۰/۱	۰	۴۰

جدول ۳- مشخصات لوله‌های موجود در بازار برای شبکه ۱

ردیف	لوله	قطر داخلی (mm)	ضریب زبری (mm)	فشار مجاز (m)	قیمت (برای یک واحد طول لوله)
۱	125(HDPE-8)	۱۱۳/۰	۰/۰۰۷	۸۰	۹/۳۱
۲	140(HDPE-8)	۱۲۶/۶	۰/۰۰۷	۸۰	۱۰/۴۴
۳	160(HDPE-8)	۱۴۴/۶	۰/۰۰۷	۸۰	۱۱/۵۹
۴	180(HDPE-8)	۱۶۲/۸	۰/۰۰۷	۸۰	۱۲/۵۰
۵	200(HDPE-8)	۱۸۰/۸	۰/۰۰۷	۸۰	۱۵/۳۹
۶	225(HDPE-8)	۲۰۳/۴	۰/۰۰۷	۸۰	۱۶/۹۲
۷	250(HDPE-8)	۲۲۶/۲	۰/۰۰۷	۸۰	۲۱/۴۲
۸	280(HDPE-8)	۲۵۳/۲	۰/۰۰۷	۸۰	۲۳/۹۲
۹	315(HDPE-8)	۲۸۵/۰	۰/۰۰۷	۸۰	۲۸/۶۲
۱۰	355(HDPE-8)	۳۲۱/۲	۰/۰۰۷	۸۰	۳۶/۰۸
۱۱	400(HDPE-8)	۳۶۱/۸	۰/۰۰۷	۸۰	۴۹/۰۰
۱۲	450(HDPE-8)	۴۰۷/۰	۰/۰۰۷	۸۰	۵۷/۴۲
۱۳	500(HDPE-8)	۴۵۲/۲	۰/۰۰۷	۸۰	۶۸/۲۴
۱۴	560(HDPE-8)	۵۰۶/۶	۰/۰۰۷	۸۰	۸۲/۵۸
۱۵	630(HDPE-8)	۵۷۰/۰	۰/۰۰۷	۸۰	۱۰۱/۱۳
۱۶	710(HDPE-8)	۶۴۲/۲	۰/۰۰۷	۸۰	۱۲۷/۸۶



شکل ۳- آرایش لوله‌های شبکه ۲

جدول ٤- مشخصات لوله‌های موجود در بازار برای شبکه ۲

فشار مجاز (m)							
٦٠(PVC)		١٠٠(PVC)		١٦٠(PVC)			
ردیف	قطر داخلی (mm)	هزینه (€/m)	ردیف	قطر داخلی (mm)	هزینه (€/m)	ردیف	قطر داخلی (mm)	هزینه (€/m)
۱	۱۹۰/۲	۸/۱۳	۹	۱۸۴/۶	۱۱/۶۸	۱۷	۱۷۶/۲	۱۸/۹۹
۲	۲۳۷/۶	۱۴/۷۹	۱۰	۲۳۰/۸	۲۰/۱۶	۱۸	۲۲۰/۴	۳۱/۳۴
۳	۲۹۹/۶	۲۰/۵۵	۱۱	۲۹۰/۸	۳۱/۷۶	۱۹	۲۷۷/۶	۴۹/۱۹
۴	۳۸۰/۴	۳۰/۳۷	۱۲	۳۶۹/۴	۴۸/۱۵	۲۰	۳۵۲/۶	۷۶/۴۲
۵	۷۸۹/۴	۱۱۰/۵۲	۱۳	۷۸۲/۴	۱۲۹/۳۷	۲۱	۷۷۹/۶	۱۴۸/۲۲
۶	۹۸۸/۶	۱۶۵/۸۰	۱۴	۹۸۸/۰	۱۸۰/۸۷	۲۲	۹۶۸/۲	۱۹۵/۹۶
۷	۱۱۸۴/۶	۲۳۳/۹۹	۱۵	۱۱۸۴/۰	۲۴۷/۸۴	۲۳	۱۱۷۱/۲	۲۶۹/۷۲
۸	۱۳۸۲/۸	۲۸۴/۰۱	۱۶	۱۳۸۲/۲	۳۰۰/۴۲			

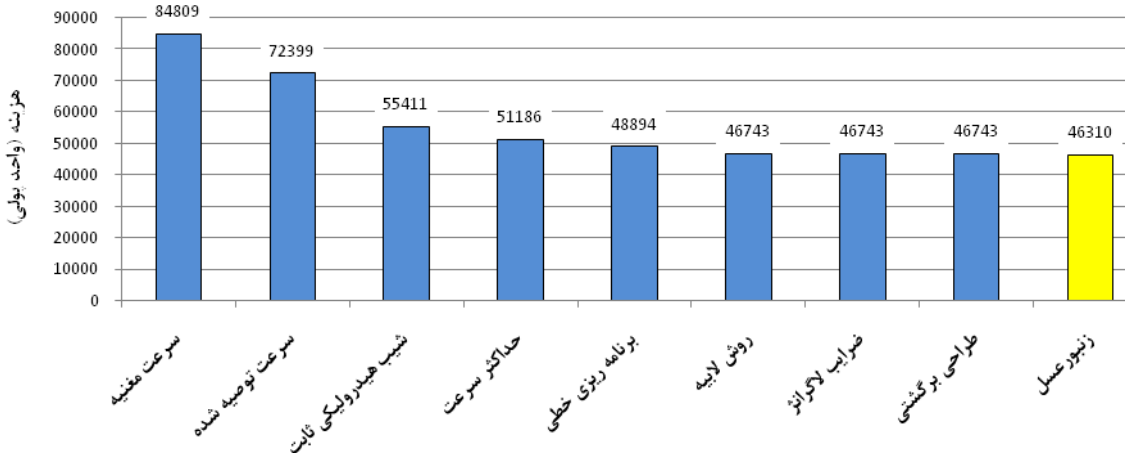
توجه: ضریب زبری تمام لوله‌ها ۰/۰۰۰۰۵۷ متر می‌باشد.

جدول ۵- نتیجه بهینه‌سازی الگوریتم زنبورعسل برای شبکه ۱

لوله	گره بالادست	گره پایین‌دست	قطر داخلی (mm)	سرعت (m/s)	فشار گره پایین‌دست (m)	هزینه (واحد پولی)
۱	۰	۱	۵۰۶/۶	۲/۴۸	۴۳/۲۸	۸۲۵۸
۲	۱	۲	۵۰۶/۶	۱/۹۸	۴۲/۵۷	۱۲۳۸۷
۳	۲	۳	۳۶۱/۸	۱/۹۵	۴۰/۵۳	۱۴۷۰۰
۴	۲	۴	۳۲۱/۲	۲/۴۷	۴۰/۱۴	۷۲۱۶
۵	۱	۵	۲۲۶/۲	۲/۴۹	۴۰/۰۲	۳۷۴۹
						جمع: ۴۶۳۱۰

جدول ٦- نتایج فشار (m) و قطر (mm) برای شبکه ۱

لوله		سرعت مغنیه	سرعت توصیه شده	شیب هیدرولیکی ثابت	حداکثر سرعت	برنامه‌ریزی خطی	روش لابیه	ضرایب لاگرانژ	طراحی برگشتی	زنبور عسل
۱	قطر	۷۱۰	۷۱۰	۶۳۰	۶۳۰	۵۶۰	۵۶۰	۵۶۰	۵۶۰	۵۶۰
	فشار	۴۳/۷۷	۴۳/۷۷	۴۳/۶۰	۴۳/۶۰	۴۳/۲۸	۴۳/۲۸	۴۳/۲۸	۴۳/۲۸	۴۳/۲۸
۲	قطر	۷۱۰	۷۱۰	۵۶۰	۵۶۰	۵۶۰	۵۰۰	۵۰۰	۵۰۰	۵۶۰
	فشار	۴۳/۵۵	۴۳/۵۵	۴۲/۸۹	۴۲/۸۹	۴۲/۵۷	۴۲/۰۴	۴۲/۰۴	۴۲/۰۴	۴۲/۵۷
۳	قطر	۵۶۰	۵۶۰	۴۵۰	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰
	فشار	۴۳/۱۵	۴۳/۱۵	۴۱/۷۴	۴۰/۸۵	۴۰/۵۳	۴۰/۰۱	۴۰/۰۱	۴۰/۰۱	۴۰/۵۳
۴	قطر	۵۶۰	۵۶۰	۴۵۰	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰	۳۵۵
	فشار	۴۳/۲۹	۴۳/۲۹	۴۲/۱۲	۴۱/۵۳	۴۱/۲۱	۴۰/۶۹	۴۰/۶۹	۴۰/۶۹	۴۰/۱۴
۵	قطر	۴۵۰	۴۵۰	۲۸۰	۲۸۰	۲۵۰	۲۵۰	۲۵۰	۲۵۰	۲۵۰
	فشار	۴۳/۶۹	۴۳/۶۹	۴۱/۷۱	۴۱/۷۱	۴۰/۰۲	۴۰/۰۲	۴۰/۰۲	۴۰/۰۲	۴۰/۰۲

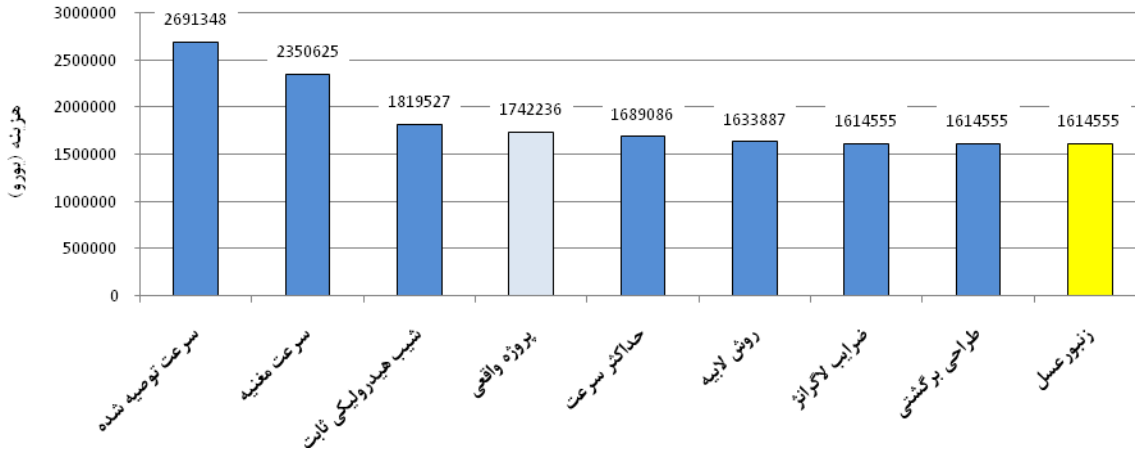


شکل ٤- نتایج نهایی روش‌های مختلف برای طراحی شبکه ۱

شبکه ۲: شبکه ۲ با استفاده از روش زنبورعسل طراحی گردید. هزینه نهایی طراحی با استفاده از این روش پس از ۶۴۵۵۱۳۳ بار محاسبه تابع هدف برابر با ۱۶۱۴۵۵۵یورو به‌دست آمد. همین شبکه توسط گونزالز و همکاران با استفاده از هفت روش حداکثر سرعت، سرعت توصیه شده، سرعت مغنیه، شیب هیدرولیکی ثابت، ضرایب لاگرانژ، لابیه و روش برگشتی طراحی گردید (Gonzalez et al,2011). شکل ۵ هزینه نهایی طراحی با استفاده از ۸ روش مختلف و هم‌چنین هزینه واقعی طراحی برای شبکه ۲ را نشان می‌دهد. روش طراحی واقعی برای شبکه ترکیبی از روش‌های محاسباتی می‌باشد. سه روش ضرایب لاگرانژ، طراحی برگشتی و زنبورعسل کم‌هزینه‌ترین جواب را به‌دست آورده‌اند که احتمالاً می‌تواند جواب بهینه طراحی باشد. جدول (۷) تفاوت جواب روش‌های مختلف را نسبت به بهترین جواب برای هر دو شبکه به‌صورت درصد نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری

با مقایسه نتایج روش‌های مختلف طراحی شبکه‌های آبیاری تحت‌فشار شاخه‌ای، واضح است که استفاده از روش‌هایی که در آن‌ها از مدل‌های بهینه‌سازی استفاده شده است می‌تواند تأثیر عمده‌ای در کاهش هزینه‌های احداث شبکه‌های آبیاری تحت‌فشار شاخه‌ای داشته باشد. از میان روش‌های مختلف بهینه‌سازی در شبکه ۱ الگوریتم فراابتکاری زنبورعسل کم‌ترین هزینه را به‌دست آورده که نشان دهنده توانایی این الگوریتم در کاهش هزینه‌های اجرایی شبکه‌های کوچک می‌باشد. مقایسه نتایج برای شبکه ۲ نشان می‌دهد که روش زنبورعسل برای شبکه‌هایی با ابعاد بزرگ نیز با موفقیت قابل استفاده می‌باشد. این موضوع با توجه به وابستگی شدید الگوریتم‌های فراابتکاری به ابعاد مساله مورد بررسی مهم می‌باشد. استفاده از روش زنبورعسل می‌تواند ۷/۹ درصد (معادل با ۱۲۷۰۰۰ یورو) نسبت به هزینه تمام شده شبکه صرفه‌جویی ایجاد نماید.



شکل ۵- نتیجه نهایی روش‌های مختلف برای طراحی شبکه ۲

با توجه به این‌که در طراحی شبکه ۲ سه روش جواب‌های یکسانی به‌دست آورده‌اند می‌توان پیشنهاد نمود که در پروژه‌های عملی حداقل از دو روش برای طراحی شبکه‌های آبیاری تحت‌فشار استفاده نمود و بهترین جواب به‌دست آمده را از میان آن‌ها برای طراحی مورد استفاده قرار داد.

جدول ۷- تفاوت هزینه‌ها برای دو شبکه ۱ و ۲ با بهترین جواب (درصد)

روش طراحی	شبکه ۱	شبکه ۲
زنبور عسل	٪ ۰/۰۰	٪ ۰/۰۰
طراحی برگشتی	٪ ۰/۹۰	٪ ۰/۰۰
ضرایب لاگرانژ	٪ ۰/۹۰	٪ ۰/۰۰
روش لابیه	٪ ۰/۹۰	٪ ۱/۱۹
برنامه‌ریزی خطی	٪ ۰/۹۰	-
حداکثر سرعت	٪ ۱۰/۵۰	٪ ۴/۶۲
پروژه واقعی	-	٪ ۹/۷۰
شیب هیدرولیکی ثابت	٪ ۱۹/۶۰	٪ ۱۲/۷۰
سرعت توصیه شده	٪ ۵۶/۰۰	٪ ۶۶/۶۹
سرعت مغنیه	٪ ۸۱/۴۰	٪ ۴۵/۶۰

منابع

اسدی،آ. ۱۳۹۰. بهینه‌سازی ابعاد شبکه لوله‌های آبیاری تحت‌فشار با استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری ، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران.

بزرگ‌حداد، ا. ۱۳۸۴. بهینه‌سازی هیدروسیستم‌ها با استفاده از الگوریتم بهینه‌یابی جفت‌گیری زنبورعسل، رساله دکتری، دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران.

Alperovits,E and Shamir,U. 1977. Design of optimal water distribution systems. Journal of Water Resource Research, 13:6. 885-900.

Clement,R. 1966. Calcul des debits dans les reseaux d'irrigation fonctinnant a demande. Houille Blanche. 20:5. 253-575.

Cunha,M.C and Sousa,J. 1999. Water distribution network design optimization: Simulated anneling approach. Journal of Water Resources and Planning Management., 125(4), 215-221.

Eusuff,M.M and Lansey,K.E. 2003. Optimization of water distribution network design using the shuffled frog leaping algorithm. Journal of Water Resources and Planning Management., 129:3. 210-225.

Farmani,R., Abadia,R and Savic,D. 2007. Optimum design and management of pressurized branched irrigation networks. Journal of Irrigation and Drainage Engineering., 133(6): 528-537.

Gonzalez Cebollada,C., Macarulla,B and Sallan,D. 2011. Recursive Design of pressurized Branched Irrigation Networks. Journal of Irrigation and Drainage Engineering., 137(6): 375-382.

Hassanli,A.M and Dandy,G.C. 2005. Optimal layout and hydraulic design of branched networks using genetic algorithms. Journal of Research and Applications in Agriculture Engineeering., 21(1): 55-62.

Kadu,M.S., Gupta,R and Bhave,P.R. 2008. Optimal

distribution design, Water Resource Research, 21:5. 642-652.

Quindry,G., Brill,E and Liebman,L. 1981. Optimization of looped water distribution systems, Journal of Environmental Engineering Division, ASCE 107:4. 665-679.

Savic,D.A and Walters,G.A. 1997. Genetic algorithms for least cost design of water distribution networks. Journal of Water Resources and Planning Management., 123:2. 67-77.

Sipser,M. 1997. Introduction to the theory of computation, PWS publishing, Boston.474 pp.

Schaake,J and Lai,D. 1969. Linear programing and dynamic programing application of water distribution network design, Report 116, MIT Press, Cambrige, Mass, USA.

Walters,G and Lohbeck,T. 1993. Optimal layout of tree networks using genetic ahgorithms, Engineering Optimization., 22:2. 27-48.

design of water networks using a modified genetic algorithm. Journal of Water Resources Planning Management., 134:2. 147-160.

Karmeli,D., Gadish,I and Meyers,S. 1968. Design of optimal water distribution networks, Journal of Pipeline Division, ASCE 94:1. 1-9.

Labye,Y. 1981. Iterative discontinuous method for networks with one or more flow regimes, Proceedings of the International Workshop on Systems Analysis of Problems in Irrigation, Drainage and Flood Control, New Delhi, 31-40

Liang,T. 1971. Design of conduit system by dynamic programing, Journal of Hydraulic division, ASCE 97:3. 383-393.

Mohan,S and JineshBabu,K.S. 2010. Optimal Water Distribution Network Design with Honey-Bee Mating Optimization. Journal of Computing in Civil Engineering, 24:1. 117-126.

Morgan,D and Goutler,I. 1985. Optimal urban water

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 3, Vol. 8, Jul-Agu. 2014, p. 616-626

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۳، جلد۸، مرداد - شهریور ۱۳۹۳، ص. ۶۲۶-۶۱۶

Optimization of Branch Pipe Irrigation Network Using HBMO Algorithm

A. Asadi[1*], H. Babazadeh[2], N. Ghajarnia[3]
Recived: Nov. 23, 2013 Accepted: Sep. 17, 2014

Abstract

The initial cost of pressurized irrigation network is the most important issue for this method's development. Searching for the optimization diameter of pressurized branches could guarantee the suitable design as well as having a high effect on costs reduction. Different methods of optimization have been considered so far. In this research, the HBMO algorithm has been used as one of the optimization metaheuristic methods for pressurized branched irrigation networks design. The research will introduce this method and its application in minimizing the pressurized branched irrigation network's cost. Also the obtained results of this application in designing two networks, a real network with other current methods within pressurized branched irrigation networks such as mougnie velocity, recommended velocity, linear programming, labye, lagrange multipliers, and recursive design, has been compared.

The results of this research showed that HBMO algorithm in comparison with other methods has the least cost (more than 65 percent difference in comparision with Recommended Velocity method).

Key words: HBMO Algorithm, Metaheuristic Algorithm, Optimization, Pressurized irrigation

1 -M.Sc Graduate student in Irrigation and Drainage, Water Engineering. Department of Science and Research Branch Islamic Azad University, Tehran.
2 - Associate Professor, Water Eng. Dep, Science and Research Branch Islamic Azad University, Tehran, Iran
3 – Ph.D Candidate, Water Resources Engineering, University of Tehran
(*- Corresponding Author Email: arash2013iran@gmail.com)