

کاربرد و مقایسه روش‌های بهینه‌سازی تک هدفه (GA) و چند هدفه (NSGA-II) در طراحی شبکه‌های تحت فشار

آتنا حاضری^۱، رسول قبادیان^{۲*} و محمد مهدی حیدری^۳

۱، ۲ و ۳- به ترتیب: دانشجوی دکتری؛ دانشیار، و استادیار گره مهندسی آب، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۴/۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۶/۴

چکیده

طراحی بهینه شبکه‌های آبیاری و آبرسانی تحت فشار با هدف کاهش هزینه‌ها همواره مورد توجه بوده است. در این تحقیق، طراحی بهینه شبکه با روش‌های بهینه‌سازی تک هدفه الگوریتم ژنتیک باینری و دوهدفه NSGA-II انجام شد. تابع هدف دوم در NSGA-II به صورت کمینه کردن مجموع کمبود فشار در کل سیستم تعریف گردید. چنانچه مقدار این تابع به صفر یا نزدیک آن سوق داده شود نتایج روش تک‌هدفه GA و دوهدفه NSGA-II قابل مقایسه‌اند. به منظور طراحی بهینه شبکه، کدهای کامپیوتری برای بهینه‌سازی تک‌هدفه، بهینه‌سازی دوهدفه و تحلیل هیدرولیکی شبکه به روش ماتریسی شیب در محیط برنامه نویسی VB تهیه و به هم‌دیگر جفت شدند. پس از صحت‌سنجی مدل، یک شبکه مطرح دوحلقه‌ای متشکل از ۷ لوله و ۸ گره، که از یک مخزن تغذیه می‌کند، با هر دو روش بهینه‌سازی طراحی شد. نتایج تحقیق نشان داد در هر دو روش هزینه لوله‌گذاری تقریباً یکسان و با اختلاف کمتر از یک درصد برآورد شد در حالی که هزینه محاسبات کامپیوتری در روش NSGA-II در حدود یک پنجاهم روش الگوریتم ژنتیک برآورد گردید. با توجه به اینکه هزینه محاسبات در روش NSGA-II بسیار کمتر از روش GA به‌دست آمد، استفاده از این روش برای حل مسئله تک‌هدفه طراحی شبکه تحت فشار نیز توصیه می‌شود به شرط اینکه در این روش تابع هدف دوم به گونه‌ای تعریف شود که در صورت رعایت همه قیود مقدار آن به صفر نزدیک شود. برای این منظور تابع هدف مجموع کمبود فشار مناسب تشخیص داده شد.

واژه‌های کلیدی

الگوریتم ژنتیک، الگوریتم ژنتیک مرتب سازی غیرمغلوب، طراحی شبکه تحت فشار

مقدمه

هدف نهایی چنین تصمیماتی کمینه کردن هزینه یا بیشینه کردن منافع موردنظر با در نظر گرفتن محدودیت‌هاست. یافتن بهترین نتیجه در شرایط داده‌شده را بهینه‌سازی می‌گویند. یکی از قدرتمندترین روش‌های بهینه‌سازی تک‌هدفه الگوریتم ژنتیک است. الگوریتم ژنتیک روشی است که با داشتن ضوابط قیاس، طرح‌های مختلف را از

طراحی صحیح پارامترهای فنی و هیدرولیکی در موفقیت هر پروژه و اقتصادی بودن آن نقش اساسی دارند. بنابراین، مهندسان باید بتوانند بهترین راهکار را در مراحل مختلف از نظر طراحی، ساخت، نگهداری و بهره‌برداری، با توجه به محدودیت‌های موجود، انتخاب کنند و تصمیمات لازم را بگیرند.

خودکار، به ارائه راهکارهایی در حل مشکل شبکه آبرسانی C-Town پرداختند. منکا و همکاران (Menke *et al.*, تقریبات خطی نشان دادند امکان کاهش هزینه بهره‌برداری از ایستگاه پمپاژ به مقدار ۱۰ تا ۱۲ درصد با بهبود کارایی یا انتقال زمان مصرف به دوره‌هایی با تعرفه پایین‌تر وجود دارد؛ و نیز نشان دادند که تقریبات خطی عملکرد بهتری در مقایسه با روش‌های غیرخطی دارند در حالی که سطوح قابل مقایسه‌ای از دقت را حفظ می‌کنند. مقدسی و سامانی بهینه‌سازی چند معیاره خطوط لوله انتقال آب بزرگ مقیاس را با تعریف دو تابع هدف هزینه و بهره‌دهی و خدمت‌پذیری مورد بررسی قرار دادند (Moghaddas & Samani, 2016). ریکا و همکاران (Reca *et al.*, 2017) روشی جدید به منظور افزایش کارایی روش‌های اکتشافی در طراحی بهینه شبکه‌های توزیع آب ارائه کردند. این روش شامل کاهش فضای جستجو با محدود کردن تعداد قطره‌های که می‌توانند استفاده شوند و ترکیب آن با روش الگوریتم ژنتیک بود. در ادامه، با طراحی چند شبکه مشخص، سرعت همگرایی روش ترکیبی (B-GA) با روشی کلاسیک الگوریتم ژنتیک (GA) مقایسه شد. نتایج نشان داد روش ترکیبی مذکور سرعت همگرایی بیشتری دارد و دقت آن نیز بالاتر است. هررا و همکاران (Herrera *et al.*, 2018) هیجده تحقیق معتبر را در موضوعات مختلف طراحی شبکه، بهره‌برداری بهینه، داده‌کاوی و نظارت بر فشار شبکه، مدیریت بهینه کیفیت آب و مدل‌سازی و پیش‌بینی نیاز آبی شبکه بررسی کردند. پس از آن چارچوبی مناسب و روشن با پشتوانه مکانیسم‌های هیدرولیکی برای کمک به فرآیندهای تصمیم‌گیری مدیران شرکت آب ارائه دادند. ترابی و همکاران (Torabi *et*

طریق آزمون و خطا ارزیابی می‌کند و بهترین طرح‌ها را حفظ خواهد کرد و نهایتاً به طرح مناسب دست پیدا می‌کند (Aggrawal *et al.*, 2015). طراحی بهینه هر سیستم مهندسی، تعیین مشخصات آن سیستم است، به گونه‌ای که هدف‌های بهینه‌سازی برآورده شوند. هدف‌های تعریف شده برای هر سیستم ممکن است متفاوت باشد ولی در دنیای مهندسی امروزی هیچگاه هدف‌های یک‌جانبه تعریف نمی‌شوند و سعی خواهد شد طراحی بهینه به گونه‌ای پیش‌رود که جنبه‌های مختلفی را دربر گیرد (Jung *et al.*, 2009). بهینه‌سازی چندهدفه، زیر شاخه‌ای از مجموعه روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM) است که در میان مجموعه نامحدودی از جواب‌های محتمل صورت می‌گیرد. در این گونه از مسایل، برخلاف مسایل بهینه‌سازی تک هدفه و به دلیل وجود چند هدف متعارض، به جای تنها یک جواب مجموعه‌ای از جواب‌ها حاصل می‌شود به گونه‌ای که هر جواب از این مجموعه می‌تواند یک پاسخ بهینه باشد. روش‌های بهینه‌سازی چند هدفه به سه دسته کلی تقسیم می‌شوند: روش‌های سنجشگر، روش‌های غیر پارتو و روش‌های پارتو. از بین این روش‌ها، روش‌های پارتو بسیار انعطاف پذیرتر و قوی‌تر برای مسائل مهندسی هستند زیرا می‌توانند با یک بار اجرا، پاسخ‌های چندمنظوره بهینه پارتو را به دست آورند (Deb *et al.*, 2002). روش‌های بهینه‌سازی برای مسائل مرتبط با طراحی، مدیریت و بهره‌برداری سیستم‌های انتقال آب از بیش از سه دهه پیش به طور گسترده‌ای به کار برده شده‌اند. سوسا و همکاران (Sousa *et al.*, 2014). با استفاده از دو مدل بهینه‌سازی شامل مدل حداقل نمودن هزینه برای پیدا کردن لوله‌های نیازمند تعویض و تعیین بهترین قطر آنها و مدل تعیین مشخصات بهینه پمپ و شیرهای

در طراحی بهینه شبکه‌های تحت فشار، لازم است که یک مدل بهینه‌ساز با یک مدل هیدرولیکی به همدیگر جفت شوند. انتخاب مدل مناسب بهینه‌ساز زمانی با اهمیت است که هدف عبارت باشد از طراحی شبکه بزرگ با آرایش پیچیده. این انتخاب نه تنها دقت بهینه‌سازی بلکه سرعت همگرایی و هزینه محاسبات را به شدت تحت تاثیر قرار می‌دهد. از این‌رو در تحقیق حاضر دو مدل بهینه‌ساز الگوریتم ژنتیک باینری (GA) و الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی غیر مغلوب (NSGA-II) با یک مدل شبیه‌ساز هیدرولیکی بر مبنای روش ماتریسی شیب با همدیگر در قالب یک کدی کامپیوتری جفت شدند. به عنوان یک نقطه تمایز نسبت به تحقیقات قبلی و به منظور امکان مقایسه از نظر دقت و سرعت همگرایی تابع هدف دوم در روش NSGA-II به صورت مجموع کمبود فشار مجاز تعریف شد. مقدار این تابع وقتی به سمت صفر میل کند امکان مقایسه دو روش بهینه‌سازی فراهم می‌آید.

مواد و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه

به منظور بررسی توانایی مدل تهیه شده، در این تحقیق طراحی بهینه شبکه توزیع آب دو حلقه‌ای ارائه شده توسط (Alperovits & Shamir, 1977) بررسی گردید. این شبکه در تحقیقات متعددی ارزیابی شده است. شبکه مذکور شامل ۷ گره و ۸ لوله فلزی با طول یکسان ۱۰۰۰ متر اسن که از یک مخزن با رقوم سطح آب ۲۱۰ متر تغذیه می‌شود. ضریب هیزن ویلیامز برای تمام لوله‌ها معادل ۱۳۰ در نظر گرفته شده است. مانند تحقیقات قبلی، محدوده‌های مجاز فشار

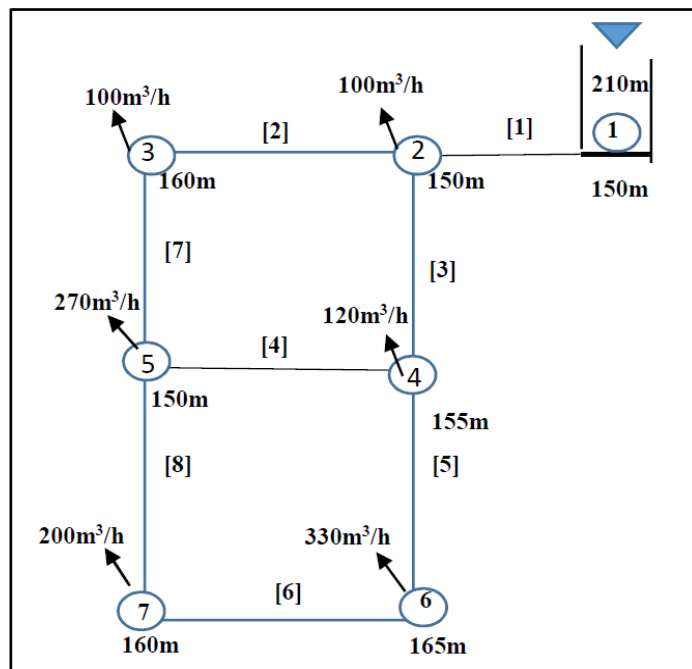
(al., 2018) با بهینه‌سازی شبکه آبیاری اسماعیل آباد لرستان با هدف دسترسی به کمترین هزینه همراه با انتخاب مناسب‌ترین قطر لوله و ارتفاع پمپاژ با استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات تکامل و جهش یافته نشان دادند با استفاده از الگوریتم‌های فراکوشی مذکور ۱۰/۶۸ درصد هزینه کل کاهش می‌یابد. معین‌الدینی و همکاران (Moinaldini et al., 2018) به منظور کاهش هزینه‌های احداث شبکه‌های توزیع آب جایگزین در یکی از شهرک‌های شهر کرمان از الگوریتم رقابت استعماری و شبیه‌سازی شبکه با استفاده از نرم افزار Water Gems استفاده کردند. نتایج کار آنها نشان داد که الگوریتم رقابت استعماری به میزان قابل توجهی توانسته است تابع هزینه را نسبت به حالت قبل از بهینه‌سازی شبکه کاهش دهد. منصور و ترابی (Mansouri & Torabi, 2018) از الگوریتم تکامل تفاضلی در نرم افزار متلب برای بهینه‌سازی شبکه آبرسانی اسماعیل آباد لرستان استفاده کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد هزینه بهینه شده با روش الگوریتم تفاضلی، در مقایسه با روش کلاسیک تجربی، ۱۰/۶۶ درصد کمتر برآورد شده است. گروسی و همکاران (Garroussi et al., 2020) یک الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی غیر مغلوب ترکیبی را برای مسئله‌ای چند هدفه بیان کردند. در این روش متغیرهای تصمیم گسسته به عنوان کروموزوم‌های جزئی رمزگذاری می‌شوند و متغیرهای تصمیم پیوسته به طور مطلوب توسط یک حل‌کننده دقیق تعیین می‌شوند. روش ارائه شده با توجه به برخی از معیارهای مقایسه از جمله اختلاف حجم فوق العاده، نشانگر اپسیلون، تعداد راه‌حل‌های پارتو پیدا شده و معیارهای زمان محاسباتی، از برنامه نویسی هدف بهتر عمل می‌کند.

بین ۳۰ تا ۶۰ متر و سرعت بین ۰/۳ تا ۲ متر بر واحد طول لوله‌های موجود در بازار برای این طرح در ثانیه برای شبکه مذکور لحاظ شده است. هزینه جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- قطرهای موجود در بازار

Table (1): Available pipes with diameters in the market

قیمت (دلار بر متر) Price(\$/m)	قطر (اینچ) Diameters in.
۲	۱
۵	۲
۸	۳
۱۱	۴
۱۶	۶
۲۳	۸
۳۲	۱۰
۵۰	۱۲
۶۰	۱۴
۹۰	۱۶
۱۳۰	۱۸
۱۷۰	۲۰
۳۰۰	۲۲
۵۵۰	۲۴



شکل ۱- جانمایی شبکه (Alperovits and Shamir, 1977)

Figure (1): Network layout (Alperovits and Shamir, 1977)

پس از یک سری عملیات ریاضی، ماتریس هد در گره‌ها و دبی در لوله‌ها برای تکرار بعدی به صورت رابطه‌های ۳ تا ۵ خلاصه می‌شود:

$$H^{k+1} = -(A12N^{-1}A11^{-1}A12)^{-1}\{A12N^{-1}(Q^k + A11^{-1}A10H0) + (q - A21Q^k)\} \quad (3)$$

$$Q^{k+1} = (1 - N^{-1})Q^k - N^{-1}A11^{-1}(A12H^{k+1} + A10H0) \quad (4)$$

که در آنها N^{-1} معکوس ماتریس قطری N است:

$$N = \begin{vmatrix} n_1 & 0 & 0 \\ 0 & n_2 & 0 \\ 0 & 0 & \ddots n_n \end{vmatrix} \quad (5)$$

که در آن،

$n =$ توان دبی در رابطه افت اصطکاک ($hf = H - H = RQ^n$ (Todini & Pilati, 1988)

با فرض مقادیری اولیه برای دبی لوله‌ها (Q^k) و حل رابطه ۳ مقادیر هد در گره‌های مجهول در تکرار بعدی محاسبه می‌شوند. پس از آن با جایگزینی این مقادیر در رابطه ۴ دبی لوله‌های در تکرار بعد محاسبه می‌شود. مقادیر جدید جایگزین مقادیر فرضی خواهد شد و محاسبات تکرار می‌شود. تکرار محاسبات زمانی خاتمه می‌یابد که مجموع مربعات اختلاف مقادیر جدید با مقادیر حدس قبلی از مقداری که توسط کاربر تعیین می‌شود کمتر باشد.

بهینه‌سازی تک هدفه (الگوریتم ژنتیک): در

الگوریتم ژنتیک یک سری کروموزوم به عنوان جمعیت اولیه ایجاد می‌شود. هر کروموزوم از رشته‌ای از اعداد صفر و یک تشکیل می‌شود. برای کدگذاری متغیرها در این تحقیق از روش کدگذاری دوگان (صفر و یک) استفاده شده است، که رایج‌ترین شیوه کدگذاری است. در گام بعدی، هریک از رشته‌ها از صورت دوگان (صفر و یک) به عدد دهی تبدیل

روش ماتریسی شیب در تحلیل شبکه: در تحقیق حاضر، به منظور تحلیل شبکه آبرسانی و به دست آوردن دبی لوله‌ها و فشار در گره‌های سیستم، از شکل ماتریسی روش شیب استفاده شد. شکل ماتریسی روش شیب به صورت رابطه ۱ ارائه شده است:

$$\begin{vmatrix} A11 & A12 \\ A21 & 0 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} H \\ Q \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} -A10H0 \\ q \end{vmatrix} \quad (1)$$

$$A11 = \begin{vmatrix} R_1|Q_1|^{n_1-1} & 0 & 0 \\ 0 & R_2|Q_2|^{n_2-1} & 0 \\ 0 & 0 & \ddots R_{np}|Q_{np}|^{n_{np}-1} \end{vmatrix} \quad (2)$$

که در آن،

$A12 =$ ماتریس اتصال لوله‌ها که ارتباط هر لوله را با گره‌های مجهول سیستم نشان می‌دهد. این ماتریس به ابعاد np سطر و nn ستون است که در آن np برابر تعداد لوله‌ها و nn تعداد گره‌ها با هد نامشخص است. آرایه‌های این ماتریس به شکل زیر تعریف می‌شوند:

$$A12_{i,j} = \begin{cases} 1 \\ -1 \\ 0 \end{cases}$$

یک برای حالتی که دبی لوله i وارد

گره z می‌شود، منفی یک برای حالتی که دبی لوله i از گره z خارج می‌شود و صفر یعنی اینکه لوله i با گره z ارتباط ندارد. R_i ضریب مقاومت در رابطه $(hf = RQ^n)$ و ماتریس $A21$ ترانهاده ماتریس $A12$ است. ماتریس $A10$ ماتریس اتصال گره‌ها با هد مشخص است که ارتباط هر گره را با لوله‌های سیستم نشان می‌دهد. این ماتریس به ابعاد np سطر و no ستون است که در آن no تعداد گره با هد مشخص است. آرایه‌های این ماتریس نیز مشابه ماتریس $A12$ تعریف می‌شود ولی برای گره با هد مشخص. $H0$ ماتریس گره با هد ثابت، H ماتریس هد گره‌های نامشخص، Q ماتریس دبی لوله‌ها و q ماتریس دبی تقاضاست (Elferchichi et al., 2009).

عملگر جهش در کروموزم‌هایی که به صورت صفر و یک کدگذاری شده‌اند بیت‌های تشکیل‌دهنده کروموزم را به صورت تصادفی و معمولاً با احتمال ناچیزی تغییر می‌دهد. در این مرحله، کروموزم‌هایی که باید با نوزادان جدید تعویض شوند مشخص می‌شوند. هنگامی که نوزادان جدیدی با استفاده از عملگرهای انتخاب، تقاطع و جهش به وجود می‌آیند، می‌توان میزان سازگاری آنها را ابتدا تعیین کرد، سپس آنها را بر اساس میزان سازگاری وارد جمعیت جدید کرد (Razi et al., 2015).

بهینه‌سازی چند هدفه (NSGAI): الگوریتم حل مسئله بهینه‌سازی به روش الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی غیرمغلوب (NSGAI) بر مبنای الگوریتم تکاملی ژنتیک (GA) پایه ریزی شده است. در این روش نیز مانند روش GA یک جمعیت اولیه از متغیرهای تصمیم‌گیری به صورت تصادفی در فضای مجاز تولید می‌گردد. هر عضو از این جمعیت شامل مجموعه‌ای از متغیرهای تصمیم‌گیری، یک کروموزم نامیده می‌شود. مقادیر تابع‌های هدف برای هر کروموزوم به دست می‌آیند. پس از آن جمعیت بر اساس معیار مرتب‌سازی غیرمغلوب دسته‌بندی می‌شوند. به این شکل که اعضای موجود در دسته اول، مجموعه‌ای کاملاً غیرمغلوب توسط دیگر اعضای جمعیت فعلی هستند. اعضای موجود در دسته دوم نیز بر همین مبنای آنها توسط اعضای دسته اول مغلوب می‌شوند و این روند به همین صورت در دسته‌های دیگر ادامه می‌یابد تا به تمام اعضای موجود در هر دسته، یک رتبه بر مبنای شماره دسته اختصاص داده شود؛ این رتبه مبنای مرتب‌سازی غیرمغلوب است. پارامتر کنترلی فاصله از دحام برای هر عضو داخل هر دسته با استفاده از تابع‌های هدف زیر محاسبه می‌شود (Bakhshi Ani et al., 2015).

می‌شود و پس از آن مقدار تابع هدف مربوط به آن به دست می‌آید. خروجی‌های تابع هدف حالتی خام دارند، که با تابعی دیگر (تابع برازش) ارزیابی و میزان سازگاری نسبی آنها محاسبه می‌شود. میزان سازگاری هر کروموزوم طبق رابطه (۶) با تقسیم میزان کارایی آن در تابع هدف به مجموع مقادیر تابع هدف به دست می‌آید.

$$f(x_i) = \frac{f(x_i)}{\sum_{i=1}^N f(x_i)} \quad (6)$$

که در آن،

N = تعداد کروموزوم‌ها در جمعیت؛ x_i = مقدار تقریبی متغیر؛ $f(x_i)$ = تابع هدف؛ و $f'(x_i)$ = میزان سازگاری هر کروموزوم.

به طور کلی، هر عضو از جمعیت قبلی با احتمالی متناسب با درجه سازگاری خود در جمعیت قبلی، در تشکیل جمعیت میانی سهم دارد. در واقع این مرحله شامل انتخاب دو کروموزوم مادر از میان جمعیت بر اساس میزان سازگاری آنهاست که هر چه میزان سازگاری بیشتر باشد، احتمال انتخاب بیشتر است. در مدل حاضر، از روش انتخاب چرخ گردان استفاده شده است، که اعضا را بر اساس میزان سازگاری نسبی آنها انتخاب می‌کند. کروموزوم‌های مادر به طور تصادفی با میزان احتمال تعیین شده جفت‌گیری می‌کنند و دو فرزند جدید به وجود می‌آورند. اگر تقاطع صورت نگیرد فرزندان عیناً مشابه دو کروموزوم مادر می‌شوند.

مدل نوشته شده بدین صورت است که پس از انتخاب هر جفت یک عدد تصادفی تولید می‌شود. چنانچه عدد تصادفی تولیدشده از مقدار احتمال در نظر گرفته شده بالاتر باشد، تقاطع صورت می‌گیرد، وگرنه دو عضو انتخاب شده عیناً بدون تقاطع به جمعیت جدید منتقل می‌شوند.

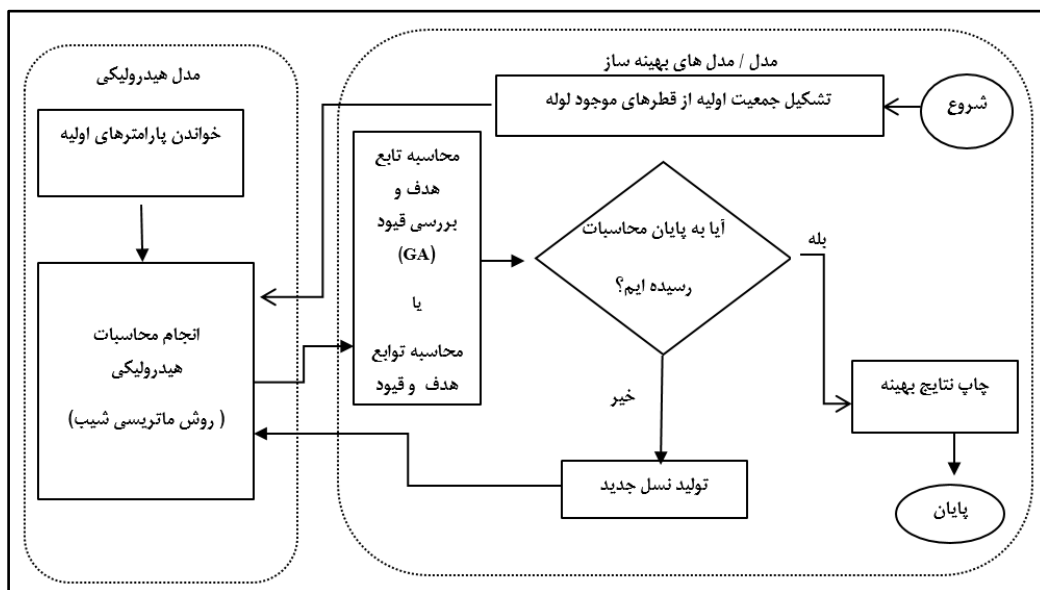
کاربرد و مقایسه روش‌های بهینه‌سازی تک هدفه (GA) و چند هدفه...

جدید تکرار خواهد شد. پس از پایان کار مدل، پاسخ‌های بهینه پارتو که اعضای دسته اول در جمعیت جواب‌ها هستند، به دست می‌آیند. با استفاده از پاسخ‌های به دست آمده، بر اساس قضاوت‌های فنی و اجرایی می‌توان جواب مناسب را با حفظ مقادیر تابع‌های هدف در سطح مطلوب، از جبهه پارتو انتخاب کرد (Deb et al., 2002). به منظور طراحی شبکه توزیع آب شهری با استفاده از روش‌های مورد نظر تحقیق حاضر، در محیط برنامه نویسی ویژوال بیسیک کدهای مربوط به بهینه‌سازی تک‌هدفه (GA)، چندهدفه (NSGA-II) و تحلیل شبکه به روش ماتریسی شیب تهیه و به هم‌دیگر لینک شدند. روند نمای محاسبات در شکل ۲ نشان داده شده است. علاوه بر این، در نرم افزار تهیه شده تمام ورودی‌های مورد نظر از قبیل مشخصات ژئومتری شبکه، قطرهای موجود در بازار و قیمت آنها، جانمایی شبکه و... در محیط اکسل و به صورت صفحات مجزا برای هر یک از مشخصات وارد و در متن برنامه فراخوانی می‌شوند.

$$d_j(k) = \sum_{i=1}^2 \frac{f_i(k-1) - f_i(k+1)}{f_i^{max} - f_i^{min}} \quad (7)$$

که در آن،

k = شماره عضو؛ $d_j(k)$ = فاصله ازدحام عضو k - $k+1$ = شماره اعضای کناری عضو مورد نظر در دسته مربوطه؛ f_i = تابع هدف i ام؛ و f_i^{max} و f_i^{min} = به ترتیب مقدار حداقل و حداکثر تابع i ام در دسته مورد نظر. پارامتر فاصله ازدحام بیانگر اندازه‌ای از نزدیکی عضو به دیگر اعضای جمعیت در هر دسته است. حال اعضای داخلی هر دسته، بر اساس معیار فاصله ازدحام مرتب‌سازی می‌شوند. به این صورت که عضو دارای مقدار d_j بیشتر، در رتبه‌ای بالاتر در دسته قرار می‌گیرد. در مرحله بعد، نسل جدیدی از کروموزوم‌ها با استفاده از یکی از روش‌های انتخاب والدین و اعمال تبادل ژنی تولید و جایگزین کروموزوم‌های بد می‌شود. در مرحله بعد، معیار همگرایی کنترل می‌شود. اگر کروموزوم‌های GA در جبهه پارتو به میزان کافی باهم مشابه باشند، بهینه‌سازی متوقف می‌شود، وگرنه الگوریتم با جمعیت



شکل ۲- روند نمای کلی محاسبات در تحقیق حاضر

Figure (2): Flowchart of the calculation in this study

نتایج و بحث

صحت‌سنجی مدل NSGA-II:

نتایج نهایی به ازای مقادیر ارائه شده در جدول ۲ به دست آمد. همان گونه که در شکل ۳ نشان داده شده است به ازای مقادیر ارائه شده در جدول مذکور جواب‌های نامغلوب محاسبه شده توسط مدل حاضر، که بر مبنای اعداد باینری تهیه شده است، با مقادیر ارائه شده در تحقیق (Deb et al., 2002) تطابق بسیار مناسب دارد. لازم است گفته شود مقادیر جواب‌های نامغلوب به دست آمده توسط مدل (Deb et al., 2002) بعد از ۵۰۰ نسل است که در تحقیق حاضر بعد از ۳۰۰ نسل به جواب مطلوب رسیده است.

به منظور صحت‌سنجی مدل NSGA-II، توانایی آن برای حل چند مسئله مقید و نامقید ریاضی مطرح شده در مقاله (Deb et al., 2002) بررسی شد و در اینجا به دو نمونه اشاره می‌شود.

مسئله ۱: در این مسئله، هدف پیدا کردن مقادیر x_i و $i=1,2,3$ در محدوده -5 تا $+5$ است به گونه‌ای که تابع‌های f_1 و f_2 در رابطه‌های ۸ و ۹ کمینه شوند.

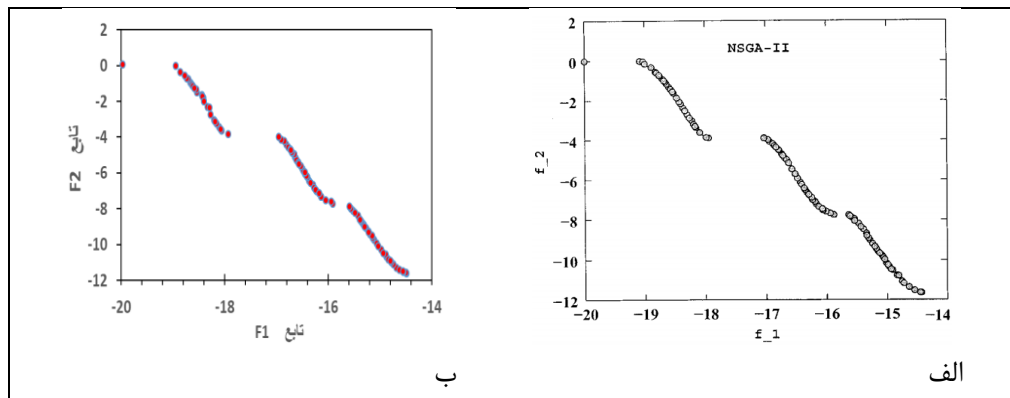
$$f_1(x) = \sum_{i=1}^{n-1} \left(-10 \exp \left(-0.2 \sqrt{x_i^2 + x_{i+1}^2} \right) \right) \quad (8)$$

$$f_2(x) = \sum_{i=1}^n (|x_i|^{0.8} + 5 \sin x_i^3) \quad (9)$$

جدول ۲- پارامترهای نهایی بهینه‌سازی در مسئله ۱

Table (2): Final optimization parameters in the problem 1

تعداد نسل	ضریب تقاطع	ضریب جهش	تعداد کروموزوم
۳۰۰	۱	۰/۱۵	۱۵۰



شکل ۳- جواب‌های نامغلوب به دست آمده با استفاده از NSGA-II برای مسئله ۱

الف) نتایج (Deb et al., 2002). ب) تحقیق حاضر

Figure (3): Obtained nondominated solutions with NSGA-II for Problem # 1, a) Result of Deb et al, 2002 b) The present study result

مسئله ۲: این مسئله یک مسئله بهینه‌سازی دو هدفه مقید است، و هدف عبارت است از پیدا کردن مقادیر x_1, x_2 در محدوده صفر تا π به گونه‌ای که تابع‌های f_1 و f_2 در رابطه‌های ۱۰ و ۱۱ کمینه شوند. قیود مسئله در رابطه‌های ۱۲ و ۱۳ ارائه شده‌اند.

این مسئله یک مسئله بهینه‌سازی دو هدفه مقید است، و هدف عبارت است از پیدا کردن مقادیر x_1, x_2 در محدوده صفر تا π به گونه‌ای که

کاربرد و مقایسه روش‌های بهینه‌سازی تک هدفه (GA) و چند هدفه...

مختلف و ضریب جهش ۰/۳۵ و ۰/۴ در شکل ۴ نشان داده شده است. به منظور مقایسه بهتر نتایج روی گراف ارائه شده توسط (Deb et al., 2002) قرار داده شده است. همان گونه که مشاهده می‌شود، بهترین نتیجه به ازای تعداد ۵۰۰ نسل، ضریب جهش ۰/۴، ضریب تقاطع یک و تعداد جمعیت ۱۰۰ به دست آمد.

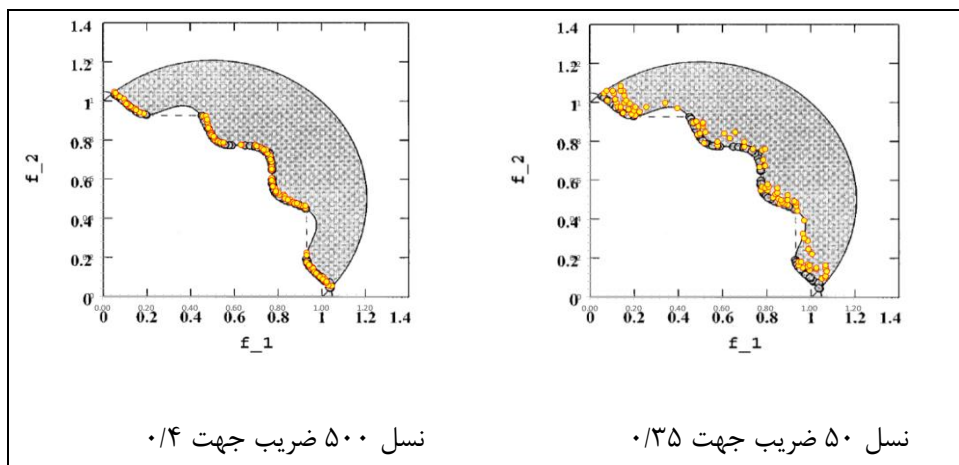
$$f_1(x) = x_1 \quad (10)$$

$$f_2(x) = x_2 \quad (11)$$

$$g_1(x) = -x_1^2 - x_2^2 + 1 + 0.1 \cos(16 \arctan(x_1/x_2)) \leq 0 \quad (12)$$

$$g_2(x) = (x_1 - 0.5)^2 + (x_2 - 0.5)^2 \leq 0.5 \quad (13)$$

نتایج مدل تهیه شده به ازای تعداد نسل‌های



شکل ۴- جواب‌های نامغلوب به دست آمده با استفاده از NSGA-II برای مسئله ۲

توسط (Deb et al., 2002) (نقاط تیره) و تحقیق حاضر (نقاط زرد رنگ)

Figure (4): Obtained nondominated solutions with NSGA-II for Problem # 2 by Deb et al, 2002 (dark point) and present study (yellow point)

$$f(x, y) = -c_1 * e^{(-c_2 * \sqrt{0.5 * (x^2 + y^2)})} - e^{(0.5 * (\cos(c_3 * x) + \cos(c_3 * y)))} + c_1 \quad (14)$$

$$+ 1 \quad c_1 = 20 \quad c_2 = 0.2 \quad c_3 = 2\pi \quad (15)$$

$$-2 \leq x \leq 2 \quad -2 \leq y \leq 2$$

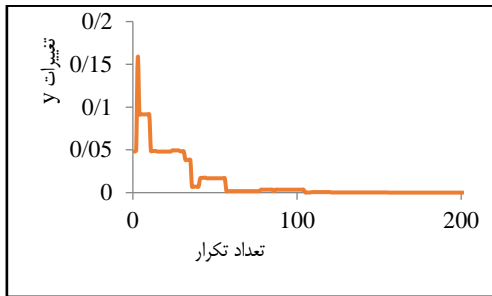
جواب بهینه مسئله با استفاده از روش تحلیلی

$$f(x=0, y=0) = -1.7183$$

عبارت است از: نتایج به دست آمده از مدل به ازای ۲۰ کرموزم،

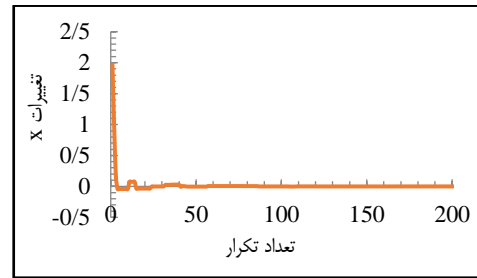
۲۰۰ تکرار با ضریب جهش ۰/۰۵ در شکل‌های زیر نشان داده شده است.

صحت سنجی مدل الگوریتم ژنتیک GA: به منظور صحت‌سنجی مدل الگوریتم ژنتیک، مدل تهیه شده با استفاده از حل مسایل بهینه‌سازی خطی و غیرخطی مقید، که دارای راه حل‌های تحلیلی هستند، ارزیابی و نشان داده شده که نتایج به دست آمده از مدل با نتایج حل تحلیلی کاملاً برابر است؛ در ادامه تنها به یک مورد اشاره شده است. در این مثال، تابع هدف و محدودیت‌ها به شکل رابطه‌های ۱۴ و ۱۵ است.



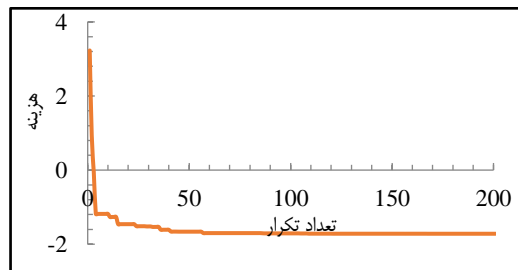
شکل ۶- تغییرات y به ازاء تعداد تکرار

Figure (6): Variation of y versus number of iteration



شکل ۵- تغییرات x به ازاء تعداد تکرار

Figure (5): Variation of x versus number of iteration



شکل ۷- نمودار بهترین جواب

Figure (7): Diagram of the best answer

طراحی محدوده مورد مطالعه با روش‌های

GA: پس از صحت‌سنجی کدهای تهیه شده در این تحقیق از نظر برنامه نویسی همانگونه که در شکل ۱ نشان داده شد طراحی بهینه شبکه توزیع آب دو حلقه‌ای (Alperovits & Shamir, 1977) مورد بررسی شد. تابع هدف در نظر گرفته شده برای بهینه‌سازی به روش الگوریتم ژنتیک با لحاظ کردن ضریب‌های جریمه برای تخطی از محدودیت‌ها در رابطه ۱۶ معرفی شده است (Swamee & Sharma, 2008):

$$\begin{aligned} \min: f_1 = & \sum_{i=1}^{Np} Li \times Cpi \\ & + P_1 \times \max_v \\ & + P_2 \times \min_v \\ & + P_3 \times \max_p \\ & + P_4 \times \min_p \end{aligned} \quad (16)$$

که در آن،
 Li = طول لوله i ؛ Cpi = هزینه واحد طول لوله
 (تابعی از قطر لوله D)؛ Np = تعداد لوله‌ها؛ $P1$ تا $P4$
 = ضریب جریمه تخطی محدودیت‌ها؛ و \max_v
 \min_v ، \max_p و \min_p = به ترتیب تخطی از حداکثر سرعت مجاز؛ حداقل سرعت مجاز؛ حداکثر فشار مجاز؛ و حداقل فشار مجاز.

پس از اجرای مدل با استفاده از پارامترهای الگوریتم ژنتیک به کاررفته در جدول ۳ نهایتاً قطرهای بهینه ارائه شده در جدول ۴ برای لوله‌های ۱ تا ۸ به دست آمد. لازم است گفته شود مقادیر نهایی پارامترهای الگوریتم ژنتیک با استفاده از روش سعی و خطا به دست آمده است. علاوه بر این، مقادیر سرعت جریان در لوله‌ها و فشار در گره‌ها در جدول

کاربرد و مقایسه روش‌های بهینه‌سازی تک هدفه (GA) و چند هدفه...

پرداخته نمی‌شود. برای نمونه، در شکل‌های ۹ و ۱۰ به ترتیب مسیر رسیدن به جواب بهینه برای لوله‌های شماره ۱ و ۲ نشان داده شده است. همان گونه که دیده می‌شود نهایتاً برای لوله شماره ۱ قطر بهینه ۱۸ اینچ و برای لوله شماره ۲ قطر بهینه ۱۰ اینچ محاسبه شده است.

۴ ارائه شده است. مقدار سرعت منفی در لوله شماره ۶ نشان می‌دهد جهت جریان محاسباتی در این لوله با آنچه در ابتدا فرض شده است تفاوت دارد. همان گونه که در شکل ۸ نشان داده شده است، هزینه سیستم بهینه تا ۴۲۲۰۰۰ دلار کاهش یافته است البته با تکرار بیشتر، امکان دستیابی به هزینه کمتر هم دور از ذهن نیست که در اینجا دیگر بدان

جدول ۳ - مقدار پارامترهای الگوریتم ژنتیک به کار رفته برای طراحی بهینه شبکه (Alperovits & Shamir, 1977)

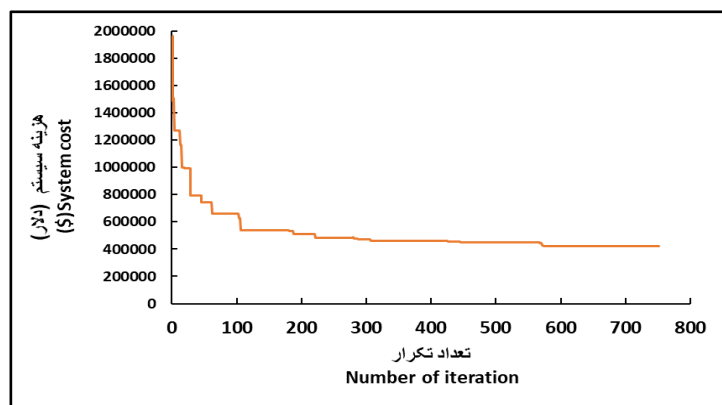
Table (3): Values of genetic algorithm parameters used for optimal network design (Alperovits & Shamir, 1977)

8	تعداد متغیر
100	تعداد کروموزوم
750	تکرار تعداد
0.1	احتمال جهش
1	ضریب تقاطع
3×10^{28}	ضرایب جریمه P1 , P2
3×10^{11}	ضرایب جریمه P3 و P4

جدول ۴ - قطرهای بهینه محاسبه شده توسط مدل GA حاضر و مشخصات هیدرولیکی سیستم بهینه شده

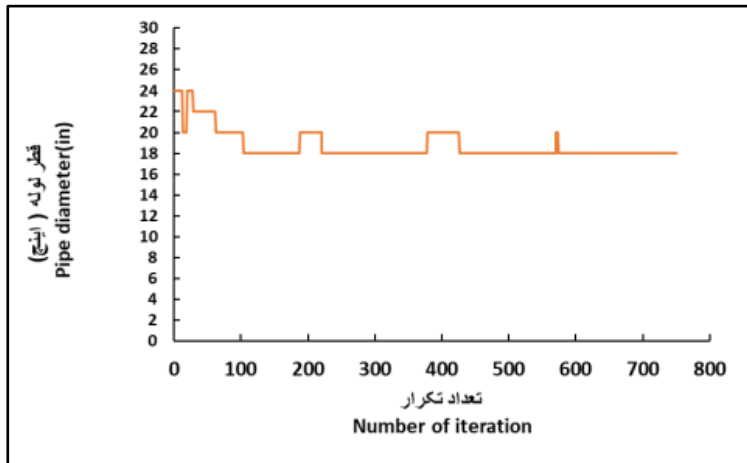
Table (4): optimal calculated diameter by the present GA model and specifications of the optimized hydraulic system

شماره لوله	1	2	3	4	5	6	7	8
قطر بهینه (اینچ)	18	10	16	4	16	10	10	2
سرعت جریان در لوله (m/s)	1.896	1.835	1.469	1.103	1.143	-1.115	1.286	0.456
شماره گره	1	2	3	4	5	6	7	--
فشار در گره‌ها (m)	60.0	53.25	30.65	43.42	34.12	30.39	30.38	



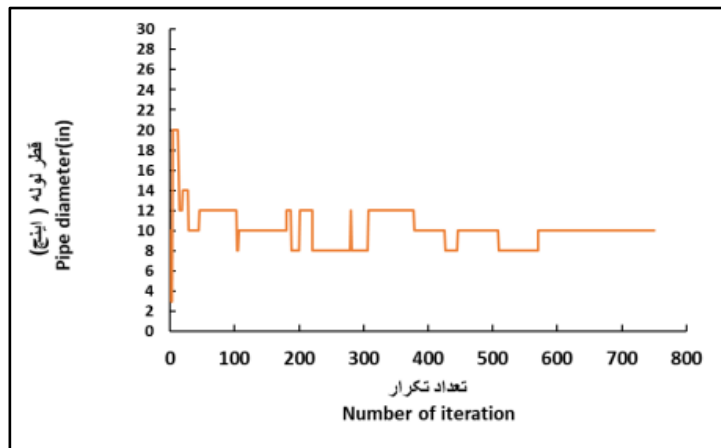
شکل ۸- هزینه سیستم در مقابل تعداد تکرار- هزینه نهایی ۴۲۲۰۰۰ دلار

Figure (8): System cost versus number of iterations - final cost \$ 422,000



شکل ۹- مسیر رسیدن به جواب نهایی برای قطر لوله شماره ۱

Figure (9): The path to reach the final solution for pipe 1



شکل ۱۰- مسیر رسیدن به جواب نهایی برای قطر لوله شماره ۲

Figure (10): The path to reach the final solution for pipe 2

پارامترهای رابطه ۱۷ پیش از این معرفی شده اند. در رابطه ۱۸، H_{min} حداقل فشار مجاز سیستم، $H_{jun(i)}$ فشار در گره i و N_j تعداد گره‌های مجهول است. مقایسه رابطه ۱۶ و ۱۷ نشان می‌دهد که در رابطه ۱۷ عبارتی برای فشار کمتر از فشار حداقل مجاز در نظر گرفته نشده است. در عوض با تعریف تابع هدف دوم و این نقیصه مرتفع شده است. چنانچه نتایج بهینه‌سازی به گونه‌ای به دست آید که تابع هدف دوم به سمت صفر میل

طراحی محدوده مورد مطالعه با روش NSGA-II:

II بهینه‌سازی به روش NSGA-II با دو هدف ارزیه شده در روابط ۱۷ و ۱۸ انجام شد:

$$\min: F_1 = \sum_{i=1}^{N_p} Li \times C_{pi} + P_1 \times \max_v + P_2 \times \min_v + P_3 \times \max_p \quad (17)$$

$$\min: F_2 = \sum_{i=1}^{N_j} \max((H_{min} - H_{jun(i)}), 0) \quad (18)$$

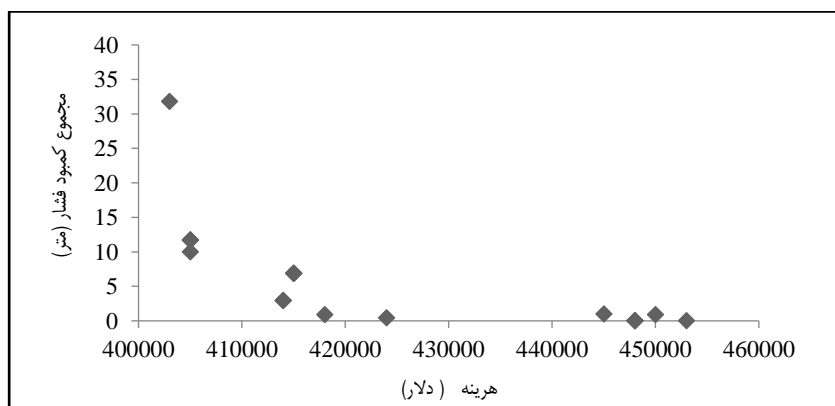
حاضر مقایسه با روش GA مورد نظر است جواب‌هایی مورد توجه است که مجموع کمبود فشار در آنها به صفر نزدیک باشد. از جمله این جواب‌ها می‌توان به ($F1=418000\$, F2=0.9m$) اشاره کرد. مقادیر قطرهای بهینه‌شده، سرعت در لوله‌ها و فشار در گره‌ها به ازای این جواب بهینه از جبهه پارتو در جدول ۶ ارائه شده است. همان گونه که مشاهده می‌شود، تمامی مقادیر سرعت در محدوده مجاز یعنی بین ۰/۳ تا ۲ متر بر ثانیه به دست آمده است. خاطرنشان می‌شود مقادیر منفی سرعت محاسبه شد بدین معنی است که جهت جریان محاسبه شده بر عکس آن است که در ابتدای شبیه‌سازی فرض گردید. همچنین، مقادیر فشار تنها در گره ۷ به مقدار ۰/۸۹ متر از محدوده مجاز تخطی دارد.

کند در واقع تخطی از فشار حداقل مجاز به وجود نخواهد آمد و بهینه‌سازی با دو تابع هدف یعنی رابطه‌های ۱۷ و ۱۸ به سمت بهینه‌سازی تک‌هدفه با رابطه ۱۶ تمایل پیدا می‌کند. در واقع با روش بهینه‌سازی دوهدفه و استفاده از مزایای آن بهینه‌سازی تک‌هدفه انجام شده است. علاوه بر این، امکان مقایسه دو روش بهینه‌سازی برای طراحی شبکه توزیع آب فراهم می‌شود. با اجرای مدل NSGA-II و در نظر گرفتن پارامترهای ارائه شده در جدول ۵ نهایتاً جبهه جواب‌های نامغلوب حاصل شد که در شکل ۱۱ نشان داده شده اند. معمولاً بر اساس قضاوت‌های فنی و اجرایی با حفظ مقادیر توابع هدف در سطح مطلوب، از جبهه پارتو می‌توان جواب مناسب را انتخاب کرد. اما از آنجایی که در تحقیق

جدول ۵- مقدار پارامترهای NSGA-II به کار رفته برای طراحی بهینه شبکه (Alperovits & Shamir, 1977)

Table (5): NSGA-II parameters values used for optimal network design (Alperovits & Shamir, 1977)

۸	تعداد متغییر
۲۵	تعداد کروموزوم
۵۰	تکرار تعداد
۰/۰۵	جهش احتمال
۱	ضریب تقاطع
1×10^{30}	ضرایب جریمه P1 , P2
1×10^{10}	ضرایب جریمه P3



شکل ۱۱- جبهه جواب‌های نامغلوب

Figure (11): Front of nondominated solutions

جدول ۶- قطرهای بهینه محاسبه شده با مدل NSGA-II حاضر و مشخصات هیدرولیکی سیستم بهینه شده

Table (6): Optimal diameters calculated by the present NSGA-II model and hydraulic specifications of the optimized system

شماره لوله	1	2	3	4	5	6	7	8
قطر بهینه (اینچ)	18	14	14	2	14	4	14	10
سرعت لوله (متر بر ثانیه)	1.896	1.526	1.328	0.428	0.9837	-0.7377	1.2463	-0.9789
شماره گره	1	2	3	4	5	6	7	
فشار در گره (متر)	60	53.25	37.2	43.57	43.04	30.89	29.1	

ثانیه است. این موضوع نشان می‌دهد روش دوهدفه NSGA-II به کار رفته در این تحقیق هزینه محاسبات طراحی شبکه دوحلقه‌ای (Alperovits & Shamir, 1977) را در مقایسه با روش الگوریتم ژنتیک بیش از ۵۰ برابر کاهش داده است. با توجه به اینکه هزینه محاسبات در روش NSGAII بسیار کمتر از روش GA به دست می‌آید استفاده از این روش برای حل مسئله تک‌هدفه طراحی شبکه توزیع آب توصیه می‌شود به شرط اینکه در این روش تابع هدف دوم به گونه‌ای تعریف شود که در صورت رعایت قیود تابع هدف اول، مقدار تابع هدف دوم به صفر نزدیک شود.

روی طراحی بهینه شبکه دوحلقه‌ای (Alperovits & Shamir, 1977) تحقیقات مختلفی شده است. این تحقیقات بیشتر بر مبنای هوش مصنوعی یا تحلیل ریاضی و آماری هستند. در جدول ۷ برخی از مهم‌ترین این تحقیقات ارائه شده است. بیشتر روش‌های فراکاوشی هزینه حدود ۴۱۹۰۰۰ دلار را برای شبکه مذکور برآورد کرده اند که مقادیر به دست آمده در تحقیق حاضر نیز در همین حدود بین ۴۱۸۰۰۰ توسط NSGA-II و ۴۲۲۰۰۰ دلار توسط GA برآورد شد. با این همه زمان اجرای برنامه الگوریتم ژنتیک برای رسیدن به جواب تقریباً حدود ۷۷۲/۵۶ ثانیه و برای روش NSGA-II حدود ۱۵

جدول ۷- نتایج حل شبکه دوحلقه‌ای (Alperovits & Shamir, 1977) در تحقیقات مختلف (به نقل از (Ekinci & Konak, 2009)

Table (7): Results of solving the two-loop network (Alperovits and Shamir 1977) by different researches (after: Ekinci & Konak, 2009)

منبع	روش بهینه‌سازی	هزینه (هزار دلار)	محدوده قطر لوله بهینه (mm)	
			حداقل	حداکثر
Alperovits and Shamir 1977	Linear programming	497.525	101.6	508.0
Goulter et al. 1986	Linear programming	435.015	25.4	508.0
Kessler and Shamir 1989	Linear programming	417.500	50.8	457.2
Fujiawara and Khang 1990	Linear programming	415.271	25.4	457.2
Eiger et al. 1994	Linear programming	402.352	25.4	457.2
Loganathan et al. 1995	Simulated annealing	412.931	25.4	457.2
Savic and Walters 1997	Genetic algorithm	419.000	25.4	457.2
Sherali and Smith 1997	Linear programming	436.684	76.2	457.2
Sherali et al. 1998	Linear programming	436.915	25.4	457.2
Abebe and Solomatine 1998	Genetic algorithm	419.000	25.4	457.2
Cunha and Sousa 1999	Simulated annealing	419.000	25.4	457.2
Todini 2000	Resilience index	419.000	25.4	457.2
Geem et al. 2002	Harmonic search	419.00	25.4	457.2
Eusuff and Lansley 2003	Shuffled frog leaping algorithm	419.000	25.4	457.2
Prasad and Park 2004	Genetic algorithm	419.000	25.4	457.2
Ekinci and Konak 2009	Minimum head Loss strategy	416.000	101.6	457.2

نتیجه‌گیری

بهینه‌سازی مقید و نامقید مطرح در ادبیات موضوع به دقت صحت‌سنجی شدند و نتایج کاملاً موفقیت آمیز بود. نتیجه طراحی شبکه دو حلقه‌ای (Alperovits & Shamir, 1977) با هر دو روش تک‌هدفه و دوهدفه نشان داد هزینه اجرای سیستم نسبتاً یکسان محاسبه می‌شود. با این همه، هزینه محاسبات در روش دو هدفه NSGA-II به شدت کمتر است تا در روش تک هدفه بر مبنای الگوریتم ژنتیک. در این تحقیق، در روش بهینه‌سازی دوهدفه NSGA-II تابع هدف دوم به صورت مجموع کمبود فشار شبکه تعریف شد. حداقل کردن این تابع یعنی رساندن آن به سمت صفر باعث می‌شود که نتایج روش تک‌هدفه الگوریتم ژنتیک و دوهدفه قابل مقایسه باشند.

در این تحقیق شبکه توزیع آب با دو روش بهینه‌سازی تک‌هدفه الگوریتم ژنتیک باینری و دوهدفه NSGA-II طراحی ب شد. بدین منظور یک نرم افزار کامپیوتری توسعه داده شد که در آن کدهای بهینه‌سازی مذکور و کد تحلیل شبکه به روش ماتریسی شیب در محیط برنامه نویسی ویژوال بیسیک نوشته و به همدیگر جفت شدند. به منظور کاربرد دست‌کردن نرم افزار و کاهش خطای ورود اطلاعات، به ویژه در شبکه‌های بزرگ، تمامی مشخصات ورودی هندسی-هیدرولیکی شبکه در محیط اکسل وارد و در برنامه فراخوانی می شوند. کدهای بهینه‌سازی تک‌هدفه الگوریتم ژنتیک و دوهدفه NSGA-II با استفاده از حل چندین مسئله

مراجع

- Aggrawal, P., Naved, F., & Haider, M. (2015). Genetic Algorithm Based on Sorting Techniques. *Journal of Computer Sciences and Applications*, 3(2), 40-45.
- Alperovits, E., & Shamir, U. (1977). Design of optimal water distribution systems. *Water resources research*, 13(6), 885-900.
- Bakhshi Ani, A., Ale Ebrahim, H., & Azarhoosh, M. J. (2015). Simulation and multi-objective optimization of a trickle-bed reactor for diesel hydrotreating by a heterogeneous model using non-dominated sorting genetic algorithm II. *Energy & Fuels*, 29(5), 3041-3051.
- Deb, K., Pratap, A., Agarwal, S., & Meyarivan, T. (2002). A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II. *IEEE transactions on evolutionary computation*, 6(2), 182-197.
- Ekinci, Ö., & Konak, H. (2009). An optimization strategy for water distribution networks. *Water resources management*, 23(1), 169-185.
- Elferchichi, A., Gharsallah, O., Nouri, I., Lebdi, F., & Lamaddalena, N. (2009). The genetic algorithm approach for identifying the optimal operation of a multi-reservoirs on-demand irrigation system. *Biosystems Engineering*, 102(3), 334-344.
- Garroussi, Z., Ellaia, R., Talbi, E.-G., & Lucas, J.-Y. (2020). A hybrid non-dominated sorting genetic algorithm for a multi-objective demand-side management problem in a smart building. *International Journal of Electrical & Computer Engineering* (2088-8708), 10(1).
- Herrera, M., Meniconi, S., Alvisi, S., & Izquierdo, J. (2018). Advanced hydroinformatic techniques for the simulation and analysis of water supply and distribution systems. In: *Multidisciplinary Digital Publishing Institute*.
- Jung, B. S., Muleta, M., & Boulos, P. F. (2009). Multi-objective design of transient network models. *World Environmental and Water Resources Congress 2009: Great Rivers*.

- Mansouri, R., & Torabi, H. (2015). Application of differential evolution (DE) algorithm for optimizing water distribution networks (case study: Ismail Abad pressurized irrigation network). *Journal of Water and Soil*, 25(4.2), 81-95.
- Menke, R., Abraham, E., Parpas, P., & Stoianov, I. (2015). Approximation of system components for pump scheduling optimisation. *Procedia Engineering*, 119, 1059-1068.
- Moghaddas, S. M. J., & Samani, H. (2016). Application of central force optimization method to design transient protection devices for water transmission pipelines. *Modern Applied Science*, 11(3), 76.
- Moinaldini, E., Mohamad Reza Pour, O., & Zeynali, M. (2018). Application of Imperialist Competitive Algorithm in Optimizations of Pipe Diameters for Urban Water Network (Case study: Shahr-dari town, Kerman). *Water and Soil Science*, 28(2), 29-41.
- Razi, F. F., Eshlaghy, A. T., Nazemi, J., Alborzi, M., & Poorebrahimi, A. (2015). A hybrid grey-based fuzzy C-means and multiple objective genetic algorithms for project portfolio selection. *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, 21(2), 154-179.
- Reca, J., Martínez, J., & López, R. (2017). A hybrid water distribution networks design optimization method based on a search space reduction approach and a genetic algorithm. *Water*, 9(11), 845.
- Sousa, J., Muranho, J., Marques, A. S., & Gomes, R. (2014). WaterNetGen helps C-town. *Procedia Engineering*, 89, 103-110.
- Swamee, P. K., & Sharma, A. K. (2008). Design of water supply pipe networks. John Wiley & Sons.
- Todini, E., & Pilati, S. (1988). A gradient algorithm for the analysis of pipe networks. *In Computer applications in water supply: vol. 1---systems analysis and simulation* (pp. 1-20).
- Torabi, H., Goleij, H., Mirshahi, D., & Shahi Nejad, B. (2018). Irrigation networks Optimization using expanded particle swarm algorithm and linear programming. *Irrigation and Water Engineering*, 8(2), 187-199.

Application and Comparison Of Single-Objective (GA) and Multi-Objective (NSGA-II) Optimization Methods in Optimal Design of Pressurized Network

A. Hazeri, R. Ghobadian* and M. M. Heidari

* Corresponding Author: Associated professor, Razi university, Kermanshah, Iran. Email: rsgobadian@gmail.com

Received: 29 June 2021, Accepted: 26 September 2021

Extended Abstract

Background and Objectives: Proper design of technical and hydraulic parameters plays an essential role in the success of a pressurized irrigation or urban water distribution project and its economy. Therefore, engineers should be able to select the best solution in different stages in terms of design, construction, maintenance and operation according to the existing limitations and make the necessary decisions. The ultimate objective of such decisions is to minimize costs or maximize benefits by considering limitations. The objectives defined for each system may be different but it is certain that in today's engineering world, one-sided objectives are never defined. Today, meta-exploration optimization methods for the optimal design of irrigation and water supply networks have been considered. It is not possible to compare one-objective and two-objective methods in appearance. But in the two-objective method, one of the objectives is defined in such a way that it eventually goes to zero this comparison is possible.

Materials and Methods: Hence in the present study, the optimal design of a pressurized network with one-objective binary genetic algorithm and two-objective NSGAII has been done. Genetic algorithm is a method that evaluates different designs through trial and error with analogy criteria and maintains the best designs and eventually achieves the proper design. Multi-objective optimization is a sub-branch of the MCDM multi-criteria decision-making set that takes place among an unlimited set of possible solutions. In such cases unlike single-objective optimization problems, due to the existence of several conflicting goals, a set of answers is obtained instead of just one answer. In order to compare the two methods in terms of accuracy of results and speed of calculations the second objective function in NSGA-II was defined as the sum of the pressure deficiencies in the network. Observance of minimum pressure constraints in the network causes the value of this objective function to reach zero and the results of the two methods are comparable. In order to analyze the network and obtain the pipe flow and pressure in the system nodes, the matrix shape of the gradient method was used. Computer code was developed for single-objective (GA) and multi-objective (NSGAII) optimization methods in VB programming environment. Also, the simulation code according to the matrix shape of the gradient method was prepared in this programming environment. Finally, All the codes were linked to each other.

Result: In order to validate the NSGA-II developed code, its ability to solve several constrained and non-constrained multi-objective mathematical problems was proposed. The results showed that there is a very good agreement between the results of the present model and the results presented by previous researchers. In order to validate the genetic algorithm model, the model was used to solve the linear and nonlinear constrained optimization problems that have analytical solutions. It has been shown that the results obtained from the model are exactly equal to the results of analytical solutions. After verifying the prepared codes from a programming

point of view, a proposed two-loop network consisting of 7 pipes and 8 nodes with one earth reservoir was designed with both GA and NSGA-II algorithms. The result showed, estimated cost of implementing the studied network by both methods was the same and with a difference of less than 1%, while the cost of calculations in NSGA-II method was estimated to be about 2% of the genetic algorithm method. That is, the time to reach the optimal answer in NSGA-II method is 50 times faster than GA method.

Conclusion: Given that the cost of calculations in the NSGA-II method is much lower than the GA method, the use of this method to optimal design of water pressurized network is recommended, provided that in this method the second objective function is defined in such a way that if all the constraints are observed, its value will be close to zero. For this purpose, the objective function of the sum of pressure deficiencies was deemed appropriate.

Key words: Pressurized network design, genetic algorithm (GA), non-dominant sorting genetic algorithm (NSGA-II)