



دانشگاه گوارن و مینجی گوارن

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیست و پنجم، شماره چهارم، ۱۳۹۷

<http://jwsc.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwsc.2018.12759.2746

بهینه‌سازی قطر لوله‌های شبکه آبیاری تحت فشار با استفاده از جستجوی ژنتیکی اعداد صحیح (مطالعه موردی: شبکه اسماعیل آباد لرستان)

*رسول قبادیان^۱، آتنا حاضری^۲ و سید احسان فاطمی^۳

^۱دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه رازی، کرمانشاه، آدرس: دانش‌آموزخانه کارشناسی ارشد سازه‌های آبی گروه مهندسی آب،

دانشگاه رازی، کرمانشاه، آستادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه رازی، کرمانشاه

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۱/۲۱؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۴/۱۰

چکیده

سابقه و هدف: امروزه جوامع بشری هزینه‌های بسیاری را برای به حداکثر رساندن سود و به حداقل رساندن هزینه صرف می‌کنند. مسأله انتخاب قطرهای مناسب و تعیین هد پمپاژ بهینه در شبکه‌های آبیاری تحت فشار به گونه‌ای که بتواند با صرف حداقل هزینه‌ها، همه محدودیت‌های موردنظر شبکه را تأمین نماید، سال‌هاست که مورد توجه مهندسين است و از مباحث مهم تحقیقاتی می‌باشد. تاکنون پژوهش‌های بسیاری در زمینه بهینه‌سازی شبکه‌های آبیاری تحت فشار به منظور کاهش هزینه این زیرساخت‌ها اختصاص یافته است. در این پژوهش‌ها غالباً بهینه‌سازی شبکه آبیاری تحت فشار با استفاده از کدهای آماده و یا جعبه ابزارهای متداول الگوریتم‌های تکاملی که با مدل‌های هیدرولیکی تلفیق شده‌اند انجام شده است. در این پژوهش یک کد بهینه‌سازی به زبان ویژوال بیسیک بر مبنای جستجوی ژنتیکی اعداد صحیح توسعه داده شده است که در آن طراحی بهینه شبکه اصلی و نیمه‌اصلی آبیاری تحت فشار با آرایش درختی و با در نظر گرفتن محدودیت‌های سرعت و فشار انجام می‌شود.

مواد و روش‌ها: در کد توسعه داده شده در این پژوهش که مبتنی بر روش بهینه‌سازی جستجوی ژنتیکی می‌باشد به هر یک از قطرهای موجود در بازار یک عدد صحیح اختصاص داده می‌شود. سپس جهت تعیین مقادیر بهینه، با انجام عملیات تقاطع، جهش و جایگزینی با رویکرد نخبه‌گرایی بر روی مجموعه کروموزوم‌ها عدد صحیح موردنظر برای هر لوله انتخاب می‌شود. اطلاعات خروجی از مدل شامل قطرهای بهینه و مینیمم هزینه اجرای شبکه‌ی آبیاری می‌باشد. صحت‌سنجی و واسنجی مدل با مقایسه نتایج آن با نتایج چندین مسأله غیرخطی مقید که دارای راه‌حل‌های تحلیلی هستند و جواب آن‌ها با دقت مناسب در اختیار می‌باشد انجام شد. در انتها از مدل پیشنهادی برای طراحی بهینه شبکه اسماعیل‌آباد واقع در استان لرستان استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج این پژوهش نشان داد در مقایسه با طراحی دستی و شرایط موجود روش طراحی بهینه بر مبنای جستجوی ژنتیکی اعداد صحیح توانست هزینه اجرای خطوط لوله شبکه آبیاری تحت فشار اسماعیل‌آباد را از

* مسئول مکاتبه: rsglobalian@gmail.com

۲۸/۸۲۵۹۳۵ دلار به ۳۷/۷۳۰۹۵۸ دلار کاهش دهد. علاوه بر این در روش طراحی دستی هد فشار در ابتدای سیستم ۱۴۰ متر و در حالت بهینه‌سازی ۰۸/۱۳۹ متر محاسبه گردید به عبارتی هزینه ایستگاه پمپاژ در هر دو روش تقریباً برابر است. همچنین با مقایسه شبکه در شرایط موجود و شبکه بهینه شده با استفاده از جستجوی ژنتیکی اعداد صحیح مشاهده می‌شود که اختلاف قابل توجهی بین قطرهای به دست آمده وجود دارد. به گونه‌ای که از ۱۶ لوله موجود در شبکه تعداد ۱۰ لوله کاهش قطر و ۳ لوله افزایش قطر داشتند.

نتیجه‌گیری: مدل تهیه شده قابلیت حل مسائل مختلف بهینه‌سازی خطی و غیرخطی مقید را دارد و نتایج به دست آمده از مدل با نتایج حل تحلیلی کاملاً برابر است. نتایج محاسبات نشان داد در صورت استفاده از مدل بهینه‌سازی تهیه شده در این پژوهش، هزینه اجرای خطوط لوله شبکه می‌توانست ۵/۱۱ درصد کاهش یابد.

واژه‌های کلیدی: اعداد صحیح، آبیاری بارانی، بهینه‌سازی، جستجوی ژنتیکی، شبکه اسماعیل‌آباد

مقدمه

کمیابی منابع آب و میل به رسیدن به راندمان توزیع بالاتر باعث شده است که در شبکه‌های آبیاری مدرن، سیستم‌های شاخه‌ای تحت فشار جایگزین مجاری روباز شوند. در این راستا طراحان شبکه‌های آبیاری و زهکشی به دنبال این موضوع می‌باشند که طراحی خود را به اقتصادی‌ترین طرح ممکن نزدیک نمایند تا علاوه بر تامین نیازهای مصرف‌کنندگان به بهترین شکل هزینه نیز تا حد ممکن کاهش یابد، که این کار در شبکه‌های بزرگ و پیچیده مشکل می‌باشد. در این راه باید با صرف کم‌ترین هزینه، بهترین بهره‌وری از امکانات انجام گیرد. اهمیت این موضوع هنگامی روشن می‌شود، که مهندسين با طرح‌های بزرگ رو به رو می‌شوند. علاوه بر این محدودیت‌هایی مانند محدودیت فشار در گره‌های شبکه و محدودیت سرعت در لوله‌ها نیز وجود دارد، که باید در طراحی شبکه مراعات شوند. امروزه استفاده از روش‌های نوین هوشمند به منظور پیش‌بینی و بهینه‌سازی مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. از میان الگوریتم‌های هوشمند، الگوریتم ژنتیک که ایده آن از سیستم تکامل طبیعی موجودات زنده (ژن و کروموزوم) برگرفته

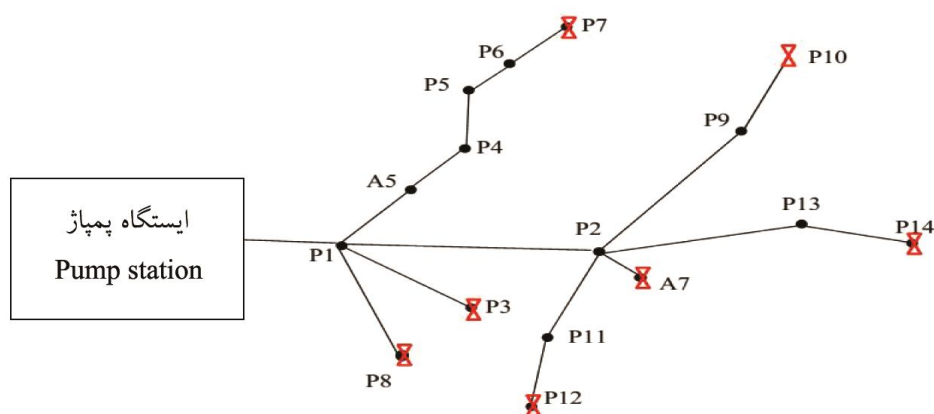
شده، به‌عنوان روش نوین بهینه‌سازی مدل‌های غیرخطی بسیار مناسب بوده و کاربردهای فراوانی دارد (۵ و ۸). تا به امروز این روش به‌طور وسیع در مسائل مهندسی، به‌ویژه در مسائل بهینه‌سازی شبکه لوله‌ها، سازه‌های ساختمانی، کالیبراسیون، مدل‌های بارش - رواناب و پمپاژ آب‌های زیرزمینی مورد استفاده قرار گرفته است (۳ و ۷). دندی و حسنلی (۲۰۰۵) مدل الگوریتم ژنتیک را برای بهینه‌سازی آرایش و طراحی هیدرولیکی شبکه تحت فشار شاخه‌ای توسعه دادند. ایشان کارایی روش توسعه داده شده را با کاربرد آن برای یک مطالعه موردی با ۱۱ گره تقاضا و یک گره منبع شرح دادند (۲). فرمانی و همکاران (۲۰۰۷) یک مدل الگوریتم ژنتیک اصلاح‌شده را برای بهینه‌سازی شبکه‌های آبیاری شاخه‌ای توسعه دادند. مدیریت و طراحی بهینه سیستم‌های آبیاری تحت فشار با کاربرد مدل فوق و بر اساس برنامه‌بندی تحویل گردشی و تقاضا یک صرفه‌جویی بیش از ۵۰ درصد در هزینه کل را نشان داد (۴). غلامی و همکاران (۲۰۰۷) به‌منظور بهینه‌سازی برنامه تحویل آب در شبکه آبیاری درودزن شیراز از روش الگوریتم ژنتیک استفاده کردند. نتایج نشان‌دهنده کاهش در ظرفیت کانال

بررسی منابع موجود نشان می‌دهد غالباً بهینه‌سازی شبکه آبیاری تحت فشار با استفاده از کدهای آماده و یا جعبه ابزارهای متداول الگوریتم‌های تکاملی که با مدل‌های هیدرولیکی تلفیق شده‌اند انجام شده است. هدف از پژوهش حاضر تهیه یک کد کامپیوتری در محیط برنامه‌نویسی ویژوال بیسیک است که با استفاده از روش بهینه‌سازی جستجوی ژنتیکی، با در نظر گرفتن محدودیت‌های سرعت و فشار شبکه آبیاری تحت فشار با آرایش درختی با کم‌ترین هزینه ممکن طراحی نماید. بر خلاف برخی مدل‌ها که قطرهای بهینه با توجه به اعداد حقیقی انتخاب و سپس به نزدیک‌ترین قطر تجاری موجود در بازار گرد می‌شوند در این مدل بر اساس اعداد صحیح به‌طور مستقیم قطر تجاری توسط مدل انتخاب می‌شود.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه: محدوده مورد مطالعه شبکه آبیاری اسماعیل‌آباد می‌باشد که در فاصله ۷ کیلومتری شمال‌غربی شهرستان نورآباد لرستان واقع گردیده است. منبع تعیین‌کننده آب طرح رودخانه بادآور می‌باشد. سطح حوضه آبریز این رودخانه ۶۶۲ کیلومتر مربع می‌باشد. مساحت اراضی تحت پوشش این طرح در حدود ۱۰۰۰ هکتار می‌باشد. در شکل ۱، شماتیک شبکه اسماعیل‌آباد نشان داده شده است. همچنین در جدول ۱ اطلاعات هندسی و هیدرولیکی خطوط لوله شبکه آبیاری اسماعیل‌آباد آمده است. لازم به ذکر است لوله‌های با قطر بزرگ‌تر از ۵۰۰ میلی‌متر از جنس GRP و سایر لوله‌ها از جنس PE80 می‌باشند.

توزیع آب به انشعابات و کاهش در مدت زمان تکمیل برنامه آبیاری بود (۶). جهان‌شاهی و همکاران (۲۰۰۷) به‌منظور بهینه‌سازی برنامه تحویل آب شبکه آبیاری جیرفت واقع در استان کرمان، از روش الگوریتم ژنتیک استفاده کردند. برنامه زمان‌بندی و تحویل آب به مزارع به‌گونه‌ای بهینه گردید که از حداقل منابع آبی موجود، بهترین راندمان از نظر برنامه تحویل آب و متعاقباً افزایش تولید محصول مقدور گردید (۹). موسویان و شریفی (۲۰۰۹) به کاربرد سه الگوریتم فراابتکاری و ارائه یک الگوریتم هایبرید در بهینه‌سازی شبکه آبرسانی شهر تربت‌جام پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که الگوریتم هایبرید بهتر از سایر روش‌های تکاملی به جواب بهینه همگرا می‌شود، همچنین الگوریتم ژنتیک نسبت به روش‌های کلونی مورچه‌ها و جستجوی هارمونی از توانایی بیش‌تری جهت رسیدن به جواب بهینه برخوردار است (۱۱). کیافر و همکاران (۲۰۱۱) از روش الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی تخصیص آب در شبکه آبیاری و زهکشی صوفی‌چای در پایین‌دست سد علویان استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که اختلاف مقدار آب تخصیص‌یافته واقعی و مقدار بهینه در مناطق مختلف به‌طور متوسط برابر ۲/۱ میلیون مترمکعب است (۱۰). رجب‌پور و (۲۰۱۳) با تلفیق مدل الگوریتم ژنتیک در محیط MATLAB با بخش هیدرولیکی مدل EPANET برنامه بهینه بهره‌برداری از سامانه انتقال آب از سد کوثر به شهر دوگنبدان در یک روز معمولی را تعیین کردند. نتایج آن‌ها نشان داد مقایسه برنامه بهینه بهره‌برداری تهیه شده با حالت بهره‌برداری عادی، کاهش‌ی برابر ۲۶/۸ درصد در هزینه انرژی مصرفی کل را نشان می‌دهد (۱۲).



شکل ۱- آرایش شماتیک خطوط اصلی و نیمه‌اصلی شبکه اسماعیل‌آباد (۱۳).

Figure 1. Plan view of the main and sub-main pipelines of Ismail Abad irrigation network (13).

جدول ۱- اطلاعات خطوط اصلی و نیمه‌اصلی شبکه اسماعیل‌آباد در شرایط موجود.

Table 1. Characteristics of main and sub-main pipelines of Ismail Abad irrigation network in existing condition.

رقوم انتها End elevation (m)	رقوم ابتدا Start elevation (m)	دبی Discharge (L/s)	طول لوله Pipe Length (m)	لوله Pipe
1842.08	1791	856.56	1116	PP ₁
1838.71	1842.08	52.9	955	P ₁ P ₈
1856.52	1842.08	128.94	1100	P ₁ P ₃
1847.05	1842.08	244.92	200	P ₁ A ₅
1846.32	1847.05	190.34	201	A ₅ P ₄
1841.18	1846.32	128.94	390	P ₄ P ₅
1811.32	1841.18	58.33	806	P ₅ P ₆
1810.94	1811.32	21.49	575	P ₆ P ₇
1847.57	1842.08	429.8	1430	P ₁ P ₂
1821.48	1847.57	98.24	670	P ₂ P ₉
1814.43	1821/48	33.77	840	P ₉ P ₁₀
1826.47	1847.57	119.73	720	P ₂ P ₁₃
1847.95	1826.47	49.12	660	P ₁₃ P ₁₄
1847.57	1847.57	46.05	110	P ₂ A ₇
1853.21	1847.57	165.8	550	P ₂ P ₁₁
1861.89	1853.21	132	700	P ₁₁ P ₁₂

است ۱۶ می‌باشد، بنابراین طول کروموزم جامعه به صورت زیر تعیین می‌شود:

$$L = \sum_{i=1}^m n_i = 80 \quad (3)$$

در اجرای الگوریتم ژنتیک دودویی جمعیت اولیه کروموزم‌ها به طور تصادفی تولید می‌شود. چنانچه بخواهیم تعداد N کروموزم که هر کروموزم L بیت طول داشته باشد را به وجود آوریم باید $N \times L$ عدد تصادفی از مجموعه (۰ و ۱) تولید شود که برای انتخاب هر کدام از این اعداد از تابع $\text{Rnd}[\]$ استفاده می‌شود. در ادامه هر یک از رشته‌ها از صورت دوگان (صفر و یک) به عدد ده‌دهی تبدیل می‌شود و سپس مقدار تابع هدف مربوط به آن به دست می‌آید. در این مرحله هر کروموزم به وسیله تابع هدف ارزیابی می‌شود، ورودی تابع هدف یک رشته کروموزم متشکل از متغیرهای تصمیم و خروجی آن عددی است که نمایشگر میزان عملکرد کروموزم موردنظر است (۱۴). در این پژوهش مجموع حاصل ضرب طول لوله‌های موجود در شبکه در هزینه واحد طول آن‌ها، برابر تابع هزینه مربوط به لوله‌ها می‌باشد. اطلاعات مربوط به لوله‌های تجاری موجود در بازار همراه با هزینه تمام شده واحد طول آن‌ها که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته‌اند، در جدول ۲ آورده شده است.

روش بهینه‌سازی جستجوی ژنتیکی: الگوریتم ژنتیک به کار رفته در این مطالعه براساس یک سیستم دودویی شامل (۱ و ۰) می‌باشد. به نحوی که پارامترهای مدل به مبنای ۰ و ۱ انتقال یافته و به عبارت دیگر رمزدار می‌شوند. چنانچه محدوده تغییرات هر پارامتر $a_i \leq x_i \leq b_i$ باشد و میزان دقت اعداد برابر Δn_i باشد از رابطه زیر می‌توان تعداد ژن‌ها n_i را محاسبه نمود:

$$2^{n_i-1} \leq (b_i - a_i) \times 10^{\Delta n_i} \leq 2^{n_i} \quad (1)$$

همان‌گونه که در جدول ۲ نیز نشان داده شده است، تعداد قطر لوله‌هایی که می‌تواند در شبکه اسماعیل‌آباد استفاده شود معادل ۱۸ می‌باشد. از آنجایی که عدد $2^5 < 18 < 2^6$ می‌باشد، بنابراین محدوده تغییرات عدد اختصاص داده شده به هر قطر باید عددی بین ۳۲ و ۱ باشد. برای مثال در این پژوهش انتخاب عدد ۱ یعنی لوله با قطر داخلی ۹۳/۸ میلی‌متر، انتخاب عدد ۱۷ یعنی لوله با قطر داخلی ۸۰۰ میلی‌متر و انتخاب عددی بین ۱۸ تا ۳۲ یعنی لوله با قطر ۹۰۰ میلی‌متر است. با در نظر گرفتن میزان دقت اعداد Δn_i برابر با صفر تعداد ژن‌ها (n_i) به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$2^4 \leq (32-1) \times 10^0 \leq 2^5 \Rightarrow n_i = 5 \quad (2)$$

پس از تعیین طول رشته یا ژن‌های مربوط به هر پارامتر، لازم است طول کروموزم جامعه تعیین شود. تعداد لوله‌ها (m) در این شبکه که همان متغیر تصمیم

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و هزینه لوله‌های قابل استفاده در طرح (۱۳).

Table 2. Physical characteristics and cost of used pipes in present study (13).

هزینه واحد طول لوله‌ها Price per unit length of pipes (\$/m)	نوع لوله Type of pipe	قطر داخلی Internal diameter (mm)	قطر خارجی External diameter (mm)	ردیف Row
5.895	PE80	93.8	110	1
7.895	PE80	106.6	125	2
9.495	PE80	119.4	140	3
12.375	PE80	136.4	160	4
15.705	PE80	153.4	180	5
19.305	PE80	170.6	200	6
24.525	PE80	191.8	225	7
30.15	PE80	213.2	250	8
37.8	PE80	238.8	280	9
47.7	PE80	268.6	315	10
60.525	PE80	302.8	355	11
76.725	PE80	341.2	400	12
97.2	PE80	383.8	450	13
108.82	PE80	426.4	500	14
111.323	GRP	600	600	15
137.997	GRP	700	700	16
170.633	GRP	800	800	17
204.289	GRP	900	900	18

به‌منظور جستجو و بررسی در فضای تعریفی پارامترها جهت تعیین مقادیر بهینه، عملیات تقاطع، جهش و جایگزینی با رویکرد نخبه‌گرایی بر روی مجموعه کروموزوم‌ها انجام شد و نهایتاً نسل جدید تولید گردید. در مدل حاضر پس از انتخاب هر جفت کروموزم یک عدد تصادفی تولید شده چنانچه عدد تصادفی تولید شده و از مقدار احتمال در نظر گرفته شده بالاتر باشد، تقاطع انجام می‌شود. انتخاب محل برش به‌صورت تصادفی بوده و می‌تواند شامل یک و یا چند موقعیت (در یک ژن و یا چند ژن) باشد. همچنین در این پژوهش از جهش تک‌نقطه‌ای کروموزوم‌ها استفاده گردید. بدین‌صورت که یکی از

ارزیابی میزان سازگاری هر کروموزم با استفاده از تابع برازش انجام می‌شود. خروجی‌های تابع هدف حالتی خام دارند که با تابعی دیگر (تابع برازش) ارزیابی و میزان سازگاری نسبی آن‌ها محاسبه می‌شود. میزان سازگاری هر کروموزم $f'(x_i)$ طبق رابطه زیر با تقسیم میزان کارایی آن در تابع هدف $f(x_i)$ به مجموع مقادیر تابع هدف به‌دست می‌آید:

$$f'(x_i) = \frac{f(x_i)}{\sum_{i=1}^N f(x_i)} \quad (4)$$

که در آن، N تعداد کروموزوم‌ها در جمعیت می‌باشد.

کل پمپ زام و CRF ضریب بازگشت سرمایه است که تابعی از عمر مفید پروژه و نرخ بهره سالیانه می‌باشد. همان‌گونه که در ادامه پژوهش آمده است هد پمپاژ محاسبه شده به روش طراحی دستی و روش بهینه‌سازی پژوهش حاضر تقریباً یکسان به‌دست آمده است به‌عبارتی هزینه اجرا و بهره‌برداری تأسیسات ایجاد فشار در هر دو روش یکسان است. از این‌رو ترم دوم سمت راست رابطه ۵ از تابع هدف حذف می‌شود و به‌ازای CRF برابر در هر دو روش تابع هدف به‌صورت زیر خلاصه می‌شود.

$$\text{Min: } f_0(D_N) = \sum_{i=1}^{Np} L_i \times CP_i \quad (6)$$

لازم به ذکر است در روش بهینه‌سازی آرایش سیستم همانند روش موجود فرض گردید به‌عبارتی طول خطوط لوله در هر دو روش ثابت و تنها قطرها بهینه شده‌اند.

تعریف قیود مسأله بهینه‌سازی با توجه به محدودیت‌های موجود

۱) محدودیت سرعت در لوله‌ها: کم‌ترین سرعت مجاز در خطوط لوله از لحاظ رسوب‌گذاری و تجمع هوا مهم می‌باشد. سرعتی که مانع رسوب‌گذاری و تجمع هوا در خطوط لوله می‌شود ۰/۷ تا ۱ متر بر ثانیه می‌باشد. بیش‌ترین سرعت مجاز در خطوط لوله اصلی و نیمه‌اصلی نیز از لحاظ کنترل ضربه قوچ و جلوگیری از ترکیدگی لوله‌ها اهمیت دارد. از این لحاظ بیش‌ترین سرعت بستگی به جنس لوله‌ها داشته و ۵/۱ تا ۲/۵ متر بر ثانیه می‌باشد. با توجه به نکات بالا، حداکثر سرعت برابر ۲ متر بر ثانیه و حداقل سرعت معادل ۷/۰ متر بر ثانیه در نظر گرفته شد.

بیت‌های کروموزم به‌طور تصادفی انتخاب و با احتمال کمی مقدار آن از صفر به یک یا بالعکس تغییر یافت. هنگامی که نوزادان جدیدی با استفاده از عملگرهای انتخاب، تقاطع و جهش به وجود آمدند، میزان سازگاری آن‌ها تعیین شد، سپس بر اساس میزان سازگاری وارد جمعیت جدید شدند. تصمیم‌گیری برای این‌که چه تعداد کروموزم باید برای تولید نسل بعد نگاه داشته شوند تا حدی اختیاری است و از جمله پارامترهایی محسوب می‌شود که مدل‌کننده می‌تواند مقدار مناسب آن را با توجه به شرایط مسأله و سعی و خطا تعیین کند. باقی گذاشتن تعداد زیاد کروموزم‌ها در هر نسل به‌منظور تولید فرزندان، شانس انتقال ویژگی نامناسب بعضی کروموزم‌ها را به نسل بعد افزایش می‌دهد. در این پژوهش با مرتب کردن اعضای نسل جدید و قدیم بر اساس میزان سازگاری آن‌ها اعضای نسل بعد انتخاب شدند.

معرفی تابع هدف: هدف کمینه کردن هزینه اجرای شبکه آبیاری تحت فشار مورد نظر این پژوهش می‌باشد. این هزینه‌ها شامل: ۱- هزینه خرید، حمل و کارگذاری لوله‌ها و ۲- هزینه ایستگاه پمپاژ می‌باشد. بنابراین تابع هدف به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$f(D_N) = \sum_{i=1}^{Np} CRF \times L_i \times CP_i + \sum_{j=1}^{NPU} [CRF \times C_{PUj} + C_{en} \times H_{pj}] \quad (5)$$

ترم اول سمت راست رابطه فوق هزینه لوله‌ها و ترم دوم سمت راست هزینه ایستگاه پمپاژ است. در این رابطه L_i طول لوله i ام، CP_i هزینه واحد طول لوله که تابعی از قطر لوله D می‌باشد، Np تعداد لوله‌ها، NPU تعداد پمپ‌ها، C_{PUj} هزینه پمپ j ام که تابعی از توان کل موردنیاز پمپ می‌باشد، C_{en} هزینه انرژی سالیانه به‌ازای واحد هد پمپاژ، H_{pj} هد

نتایج و بحث

صحت‌سنجی و ارزیابی مدل بهینه‌سازی: به‌منظور بررسی دقت مدل الگوریتم ژنتیک تهیه شده از نقطه‌نظر برنامه‌نویسی مسائل بهینه‌سازی خطی و غیرخطی مقید متعدد که دارای راه‌حل‌های تحلیلی هستند، با مدل مذکور حل شدند و نتایج به‌دست آمده از آن با نتایج حل تحلیلی مقایسه شد در تمام موارد نتایج مدل کاملاً رضایت‌بخش بود که برای نمونه در ادامه یک مورد ارایه شده است:

تابع هدف و محدودیت‌ها به شکل زیر تعریف شده‌اند (۱):

$$F(x) = -5\sin(x_1)\sin(x_2)\sin(x_3)\sin(x_4)\sin(x_5) - \sin(5x_1)\sin(5x_2)\sin(5x_3)\sin(5x_4)\sin(5x_5) \quad (9)$$

$$1 \leq i \leq 5 \quad (10)$$

$$0 \leq x_i \leq \pi \quad (11)$$

جواب بهینه مسأله با استفاده از روش تحلیلی عبارت است از:

$$(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) = \left(\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2} \right)$$

$$f\left(\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right) = -6$$

نتایج به‌دست آمده از مدل حاضر با توجه به پارامترهای ارائه شده در جدول ۳ به‌صورت زیر می‌باشد.

$$(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) = (1.57, 1.57, 1.57, 1.57, 1.57)$$

$$f(x) = -5.999999$$

(۲) محدودیت فشار در گره‌ها: با توجه به به‌کارگیری آبیاش نوع AMBO ساخت ایتالیا با فشار کارکرد ۴ اتمسفر و همچنین روابط موجود برای محاسبه فشار در محل اتصال بال آبیاری به لوله اصلی معیار حداقل فشار مورد نیاز در هر گره ۵۰ متر در نظر گرفته شد و بر اساس آن هد فشار ورودی برای سیستم بهینه گردید. همچنین حداکثر فشار معادل ۱۰۰ متر در نظر گرفته شد.

تابع جریمه: استفاده از توابع جریمه یکی از معمول‌ترین روش‌ها برای مدل‌سازی مسائل مقید می‌باشد. با توجه به این‌که تابع هدف دارای قیود طراحی است، می‌توان به‌وسیله تابع جریمه مجموعه قیود مساوی و نامساوی را به یک رابطه تبدیل کرد و به بهینه کردن رابطه مورد نظر پرداخت. قیود مسأله به‌صورت توابع $g(x)$ کوچک‌تر و یا مساوی صفر و توابع $h(x)$ مساوی صفر در نظر گرفته و بردار V را به‌صورت زیر تعریف می‌شود.

$$V = \text{Max} \begin{bmatrix} 0, g_1(x), g_2(x), g_3(x), \dots, \\ |h_1(x)|, |h_2(x)|, |h_3(x)|, \dots \end{bmatrix} \quad (7)$$

و در نهایت تابع تابع هدف نامقید به‌صورت زیر معرفی می‌گردد.

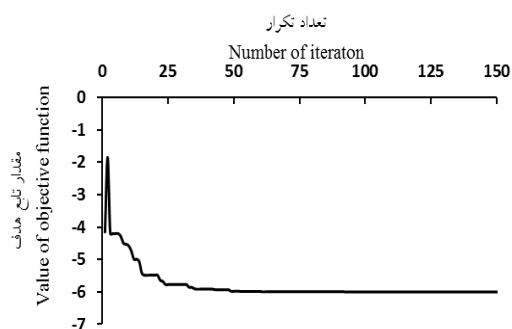
$$\phi = f_0 + RV \quad (8)$$

که در آن، ϕ تابع هدف نامقید، f_0 تابع هدف مقید، R ضریب جریمه، V ماکزیمم نقض قید توسط متغیرها.

جدول ۳- پارامترهای مورد استفاده در مدل الگوریتم ژنتیک.

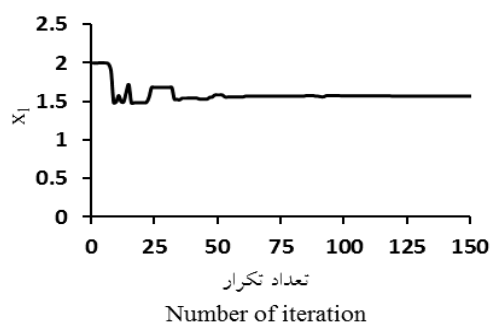
Table 3. Applied parameters in genetic algorithm model.

مقدار Value	پارامتر Parameter
5	تعداد متغیرها Number of decision variable
100	تعداد کروموزم Number of chromosomes
150	تعداد تکرار Number of iteration
0.05	احتمال جهش Mutation probability
1500	ضریب جریمه Penalty coefficient



شکل ۳- تغییرات تابع هدف در مقابل تکرار.

Figure 3. Variation of value of objective function Vs. number of iteration.

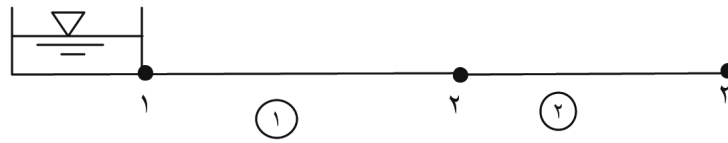


شکل ۲- تغییرات x_1 به ازای تعداد تکرار.

Figure 2. Variation of x_1 against number of iteration.

ارزیابی مدل پیشنهادی در طراحی بهینه یک شبکه شاخه‌ای: به منظور ارزیابی مدل تهیه شده یک شبکه شاخه‌ای متشکل از دو لوله و یک مخزن در نظر گرفته شد (شکل ۴). در این مرحله نحوه به دست آمدن قطرهای بهینه برای لوله‌های ۱ و ۲ مورد نظر می‌باشد. مشخصات لوله‌ها و اطلاعات مربوط به قطر لوله‌های موجود در بازار در جدول‌های ۴ و ۵ آمده است.

برای نمونه تغییرات متغیرهای x_1 در مقابل تعداد تکرار در شکل‌های ۲ نشان شده است. همچنین در شکل ۳ تغییرات مقدار تابع هدف در مقابل تعداد تکرار نمایش داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود بعد از حدود ۱۰۰ تکرار دیگر تغییری در مقدار متغیرها و جواب مسأله مشاهده نشده است. به عبارتی جواب بهینه به دست آمده است.



شکل ۴- شبکه شاخه‌ای دو لوله‌ای.

Figure 4. Two pipe branch network.

جدول ۴- مشخصات لوله‌ها.

Table 4. Pipe lines characteristics.

ضریب هیزن Hazen coefficient	دبی (lit/s) Discharge (lit/s)	طول لوله (m) Pipe length (m)	لوله Pipe name
130	510	700	لوله ۱ Pipe1
130	230	700	لوله ۲ Pipe2

جدول ۵- اطلاعات مربوط به قطر لوله‌های موجود در بازار.

Table 5. Information of available pipe lines diameter.

هزینه لوله به‌ازای یک متر لوله (دلار) Cost per unit length (\$)	قطر لوله (اینچ) Pipe Diameter (in)
58	20
64	24

$$3) 40 - hf_1 - hf_2 \leq 60$$

$$g(3) = -20 - (0.52399 \times x_1^{-4.87}) - (0.06031 \times x_2^{-4.87}) \quad (14)$$

در این طراحی ارتفاع مخزن ثابت و برابر ۴۰ متر می‌باشد و مقادیر سرعت بین ۳/۰ تا ۳ متر بر ثانیه و فشار بین ۲۰ تا ۶۰ متر محدود شده است. بنابراین با توجه به محدودیت‌های فشار قیود $g(1)$ تا $g(4)$ و با توجه به محدودیت‌های سرعت قیود $g(5)$ تا $g(8)$ استخراج می‌شوند:

$$4) 40 - hf_1 - hf_2 \geq 20$$

$$g(4) = -20 + (0.52399 \times x_1^{-4.87}) + (0.06031 \times x_2^{-4.87}) \quad (15)$$

$$1) 40 - hf_1 \leq 60$$

$$g(1) = -20 - (0.52399 \times x_1^{-4.87}) \quad (12)$$

$$5) 0.3 \leq V_i = \frac{4 \times Q_i}{\pi \times D_i^2} \leq 3, \quad i=1, 2 \quad (16)$$

$$g(5) = \frac{0.942}{x_1^2} - 3, \quad g(6) = -\frac{0.942}{x_1^2} + 3$$

$$2) 40 - hf_1 \geq 20$$

$$g(2) = -20 + (0.52399 \times x_1^{-4.87}) \quad (13)$$

$$g(7) = \frac{0.2929}{x_2^2} - 3, \quad g(8) = -\frac{0.2929}{x_2^2} + 3$$

و صحیح (۱۳) برابر بوده که در جدول ۷ آمده است.

تغییرات قطر لوله‌های ۱ و ۲ و همچنین هزینه کل سیستم در شکل‌های ۵ تا ۷ نشان داده شده است.

پاسخ بهینه به دست آمده از مدل الگوریتم ژنتیک، با توجه به پارامترهای ارائه شده در جدول ۶ با حل دستی مسأله و نتایج به دست آمده از بهینه‌سازی با استفاده از برنامه‌ریزی خطی مختلط اعداد حقیقی

جدول ۶- پارامترهای الگوریتم ژنتیک.

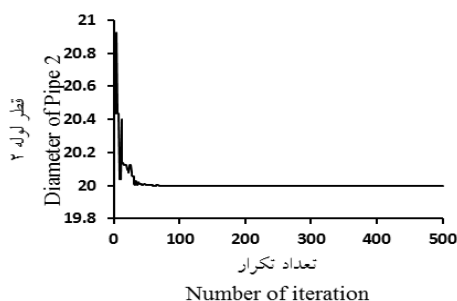
Table 6. Parameters of the genetic algorithm.

مقدار Value	پارامتر Parameter
2	تعداد متغیرها Number of decision variable
50	تعداد کروموزم Number of chromosomes
500	تعداد تکرار Number of iteration
0.05	احتمال جهش mutation probability
1	ضریب جریمه Penalty coefficient

جدول ۷- قطرهای بهینه‌شده شبکه شاخه‌ای با استفاده از الگوریتم ژنتیک.

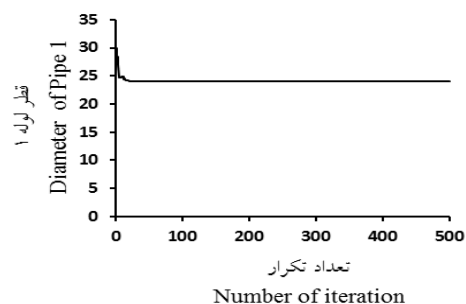
Table 7. Optimized diameters by using genetic algorithm.

هزینه کل (دلار) Total Cost (\$)	هد آب (متر) H (m)	قطر (اینچ) D _{opt} (in)	
85400	-	24	لوله ۱ Pipe ₁
	-	20	لوله ۲ Pipe ₂
	40	-	مخزن Reservoir



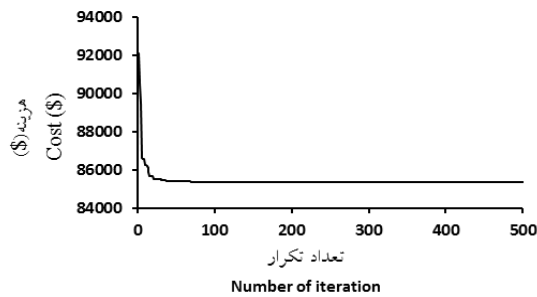
شکل ۶- تغییرات قطر لوله ۲ در مقابل تعداد تکرار.

Figure 6. Diameter of Pipe2 Vs. number of iteration.



شکل ۵- تغییرات قطر لوله ۱ در مقابل تعداد تکرار.

Figure 5. Diameter of Pipe1 Vs. number of iteration.



شکل ۷- تغییرات هزینه اجرای سیستم لوله‌ها در مقابل تعداد تکرار.

Figure 7. Variation of total cost Vs. number of iteration.

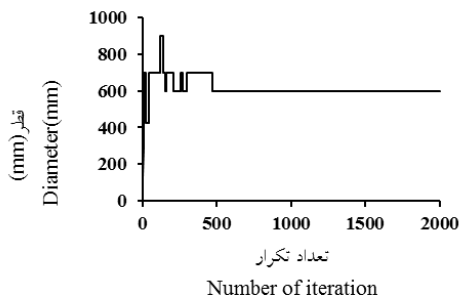
کاربرد مدل در طراحی بهینه سیستم آبیاری تحت فشار شبکه اسماعیل‌آباد: در این پژوهش سعی گردید که مدل نوشته‌شده از لحاظ کاربردی و در مقیاس بزرگ نیز مورد بررسی قرار گیرد. پس از اطمینان به نتایج مدل، طراحی شبکه اسماعیل‌آباد با مدل بهینه‌سازی انجام شد. این مدل قطر تجاری موجود در بازار را با در نظر گرفتن محدودیت‌های سرعت و فشار کاری، بهینه‌یابی می‌نماید. در مدل بهینه‌سازی شبکه اسماعیل‌آباد تعداد ۳۲ قید سرعت و تعداد ۳۲ قید فشار اعمال شده است. همچنین مقادیر پارامترهای استفاده شده در مدل الگوریتم ژنتیک برای

طراحی شبکه مذکور در جدول ۸ آمده است. لازم به ذکر است این مقادیر نهایی هستند و پس از اجرای متعدد مدل به دست آمده‌اند. علاوه بر این برای نمونه تغییرات قطر برخی خطوط لوله در شکل‌های ۸ تا ۱۰ و تغییرات هزینه سیستم در مقابل تعداد تکرار در شکل ۱۱ ارایه شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود به دلیل استفاده از اعداد صحیح تغییرات قطر خطوط لوله به صورت پله‌ای در تکرارهای مختلف تغییر می‌کند. همچنین بعد از حدود ۱۰۰۰ تکرار هزینه کل سیستم ثابت شده است.

جدول ۸- مقادیر نهایی پارامترهای الگوریتم ژنتیک.

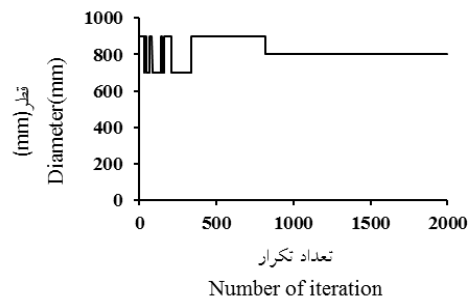
Table 8. Final values of applied parameters in genetic algorithm model.

مقدار Value	پارامتر Parameter
16	تعداد متغیرها Number of decision variable
160	تعداد کروموزوم Number of chromosomes
2000	تعداد تکرار Number of iteration
0.05	احتمال جهش Mutation probability
1	احتمال تقاطع Cross-over probability
6.5×10^9	ضریب جریمه قیود سرعت Penalty coefficient of velocity constrains
6.5×10^9	ضریب جریمه قیود فشار Penalty coefficient of pressure constrains



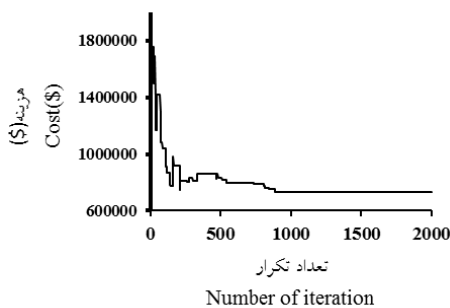
شکل ۹- تغییرات قطر لوله P1P2 در مقابل تعداد تکرار.

Figure 9. Variation of diameter of pipe P1P2 versus number of iteration.



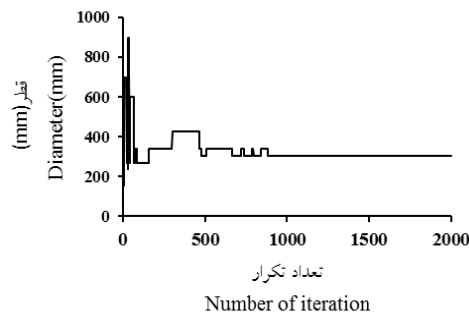
شکل ۸- تغییرات قطر لوله PP1 در مقابل تعداد تکرار.

Figure 8. Variation of diameter of pipe PP1 versus number of iteration.



شکل ۱۱- تغییرات هزینه سیستم در مقابل تعداد تکرار.

Figure 11. Variation of system cost versus Number of iteration.



شکل ۱۰- تغییرات قطر لوله P11P12 در مقابل تعداد تکرار.

Figure 10. Variation of diameter of pipe P11P12 versus number of iteration.

اختلاف قابل توجهی بین قطرهای به دست آمده وجود دارد. از ۱۶ قطر موجود در شبکه بعد از بهینه سازی ۱۰ قطر کاهش اندازه و ۳ قطر افزایش اندازه داشته است و تنها قطر سه لوله P2P9، P1P3 و P2P11 بدون تغییر باقی مانده است. علاوه بر این مقادیر سرعت به دست آمده در شبکه بهینه شده (ستون ۵) نشان می دهد همه مقادیر سرعت محاسبه شده بین مقادیر حداکثر ۲ و حداقل ۰/۷ متر بر ثانیه قرار دارد. تنها مقدار سرعت در لوله P5P6 حدود ۰/۰۲ متر بر ثانیه بیش تر از حداکثر مجاز است که خطایی معادل یک درصد می باشد.

به منظور مقایسه کمی، هزینه اجرای خطوط لوله در صورت استفاده از مدل بهینه سازی شده با هزینه اجرای شبکه در شرایط موجود در جدول ۱۰ ارائه

مقادیر قطرهای بهینه یابی شده برای سیستم آبیاری اسماعیل آباد به همراه مقادیر قطرهای استفاده شده در شرایط کنونی به منظور مقایسه در جدول ۹ ارائه شده است. لازم به ذکر است در روش طراحی دستی هد فشار در ابتدای سیستم ۱۴۰ متر و در حالت بهینه سازی مقدار هد فشار در ابتدای سیستم (گره P در شکل ۱) برابر ۰۸/۱۳۹ به دست آمد که تقریباً یکسان هستند. بنابراین هزینه احداث ایستگاه پمپاژ در طراحی دستی و طراحی شده با مدل بهینه یابی تقریباً یکسان است بنابراین در مقایسه دو روش از هزینه احداث ایستگاه پمپاژ صرف نظر شده است. همچنین با مقایسه اعداد مندرج در ستون های ۳ و ۴ جدول ۹ مشاهده می شود که در طراحی شبکه به صورت تجربی و طراحی بهینه با استفاده از مدل الگوریتم ژنتیک

شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود هزینه اجرای خطوط لوله در صورت استفاده از مدل بهینه‌سازی معادل ۳۷/۷۳۰۹۵۸ دلار است که در مقایسه با هزینه در شرایط موجود یعنی ۸۲۵۹۳۵/۲۸ حدود ۱۱/۵ درصد کم‌تر است.

جدول ۹- اطلاعات خطوط اصلی و نیمه‌اصلی شبکه اسماعیل‌آباد در شرایط موجود و بهینه‌یابی شده.

Table 9. Information of pipe lines of Ismail Abad network in the existing and optimized conditions.

تراز هیدرولیکی در انتها (متر)	تراز هیدرولیکی در ابتدا (متر)	فشار انتهایی (متر)	فشار ابتدایی (متر)	سرعت (متر بر ثانیه)	قطر داخلی لوله بهینه‌شده (میلی‌متر)	قطر داخلی لوله اجراشده (میلی‌متر)	دبی (لیتر بر ثانیه)	نام لوله‌ها
Outlet hydraulic level (m)	Inlet hydraulic level (m)	End pressure (m)	Inlet pressure (m)	Velocity (m/s)	Optimized Internal diameter (mm)	Applied internal diameter (mm)	Discharge (litr/s)	Pipe name
1927.61	1930.8	85.53	139.08	1.705	800.0	900.0	856.56	PP ₁
1910.81	1927.61	72.14	85.53	1.832	191.8	213.2	52.9	P ₁ P ₈
1916.70	1927.61	60.18	85.53	1.791	302.8	302.8	128.94	P ₁ P ₃
1926.38	1927.61	79.33	85.53	1.716	426.4	500	244.92	P ₁ A ₅
1925.10	1926.38	78.78	79.33	1.646	383.8	500	190.34	A ₅ P ₄
1921.23	1925.1	80.05	78.78	1.791	302.8	341.2	128.94	P ₄ P ₅
1904.11	1921.23	92.79	80.05	2.020	191.8	213.2	58.33	P ₅ P ₆
1885.01	1904.11	74.07	92.72	1.920	119.4	136.4	21.49	P ₆ P ₇
1924.00	1927.61	76.43	85.53	1.521	600.0	700.0	429.8	P ₁ P ₂
1916.79	1924.00	95.31	76.43	1.735	268.6	268.6	98.24	P ₂ P ₉
1897.62	1916.79	83.19	95.31	1.828	153.4	170.6	33.77	P ₉ P ₁₀
1917.77	1924.00	91.30	76.43	1.663	302.8	341.2	119.73	P ₂ P ₁₃
1914.28	1917.77	75.91	66.31	1.097	238.8	213.2	49.12	P ₁₃ P ₁₄
1923.48	1924.00	75.914	76.43	1.029	238.8	136.4	46.05	P ₂ A ₇
1919.14	1924.00	65.93	76.43	1.814	341.2	341.2	165.8	P ₂ P ₁₁
1911.89	1919.14	50.00	65.93	1.834	302.8	268.6	132.0	P ₁₁ P ₁₂

جدول ۱۰- مقایسه هزینه اجرای خطوط لوله‌ها بین روش‌های الگوریتم ژنتیک و روش تجربی.

Table 10. Comparison of total costs of pipe line system between genetic algorithm and experimental methods.

هزینه (دلار) Cost (\$)	روش طراحی Design method
825935.28	روش تجربی (وضعیت موجود) Experimental method (Existing condition)
730958.37	الگوریتم ژنتیک Genetic algorithm

نشان داده شد که نتایج به دست آمده از مدل با نتایج حل تحلیلی کاملاً برابر است.

۲- مدل تهیه شده از قابلیت بالایی در زمینه بهینه‌یابی شبکه آبیاری تحت فشار برخوردار است، به طوری که قادر است قطرهای بهینه را محاسبه نماید. در این روش، بهینه‌یابی شبکه به گونه‌ای صورت می‌پذیرد که تمام محدودیت‌های حاکم بر شبکه‌های آبیاری، یعنی محدودیت‌های سرعت مجاز در لوله‌ها و فشار مجاز در گره‌ها رعایت شود.

۳- مدل نوشته شده از لحاظ کاربردی و در مقیاس بزرگ نیز مورد بررسی قرار گرفت. به همین منظور از شبکه آبیاری اسماعیل‌آباد واقع در استان لرستان به عنوان یک نمونه واقعی استفاده شد. با مقایسه طراحی شبکه به صورت تجربی و طراحی بهینه مشاهده شد که اختلاف قابل توجهی بین قطرهای به دست آمده وجود دارد و روش ارائه شده توانسته است هزینه خرید لوله‌ها را با در نظر گرفتن دو محدودیت سرعت و فشار ۱۱/۵ درصد کاهش دهد.

مقایسه نتایج به دست آمده از روش جستجوی ژنتیکی اعداد صحیح در شبکه اسماعیل‌آباد در پژوهش حاضر با روش برنامه‌ریزی خطی مختلط اعداد حقیقی و صحیح ارائه شده توسط شاه‌نژاد (۲۰۱۱) نشان داد که هر دو روش نتایج نسبتاً یکسانی را ارائه می‌کنند. تنها اختلاف ۰/۵ درصدی در کاهش هزینه‌ها وجود دارد. به گونه‌ای که روش ارائه شده توسط شاه‌نژاد (۲۰۱۱) کاهش ۱۲ درصدی و مدل حاضر کاهش ۱۱/۵ درصدی در هزینه لوله‌ها را نشان می‌دهد. از طرفی مدل شاه‌نژاد قطر لوله‌های P₄P₅، P₂A₇ و P₁₃P₁₄ یک سایز کوچک‌تر و قطر لوله P₅P₆ را یک سایز بزرگ‌تر از پژوهش حاضر برآورد می‌کند. همچنین مدل حاضر هد فشار بهینه در ابتدای سیستم را ۱۳۹/۰۸ متر و مدل شاه‌نژاد آن را ۱۳۹/۶۶ متر برآورد می‌کند.

نتیجه‌گیری کلی

۱- مدل الگوریتم ژنتیک با استفاده از حل مسائل بهینه‌سازی خطی و غیرخطی مقید که دارای راه‌حل‌های تحلیلی هستند، مورد ارزیابی قرار گرفته و

منابع

- Alborzi, M. 2009. Genetic algorithm. Sanati Sharif University Press, 175p. (In Persian)
- Dandy, G., and Hassanli, A. 1996. Optimum design and operation of multiple subunit drip irrigation systems, J. Irrig. Drain. Engin. 122: 5. 262-275.
- Dehghani, A., Ghodsian, M., Montazer, G.A., and NasiriSaleh, F. 2006. Cross-section optimization of concrete gravity dams by using genetic algorithms and artificial neural network, Iran. J. Modares Univ. 2: 23-33. (In Persian)
- Farmani, R., and Abadia, R. 2007. Optimum design and management of pressurized branched irrigation network, Iran. J. Irrig. Drain. Engin. 133: 6. 528-537. (In Persian)
- Gen, M., and Cheng, R. 1997. Genetic algorithms and engineering design, John Wiley and Sons INC.
- Gholami, M., Rhnama, M., and Ebrahimi, H. 2007. Optimizing of water distribution irrigation and drainage network using genetic algorithm (case study irrigation and drainage network in Fars Doroodzan), First Regional Water Conference, Behbahan Islamic Azad University. (In Persian)
- Harrouni, K., Ouazar, D., and Walters, A. 1996. Ground water optimization and parameter estimation by genetic algorithm and dual reciprocity boundary element method, J. Engin. Anal. Bound. Elem. 18: 4. 287-296.

8. Haupt, R., and Haupt, S. 1998. Practical genetic algorithm, John Wiley and Sons INC. Publication. Press, 251p.
9. Jhanshahi, P., Rhnama, M., Amini, A., and Ebrahimi, H. 2007. Optimize the operation of the irrigation network using genetic algorithms (Case study: Jiroft dam downstream irrigation network), Ninth Seminar of Irrigation and Reduce Evaporation, Bahonar University. (In Persian)
10. Kyافر, H., Sanikhani, H., Sdrdini, A., and Nazmi, A. 2011. Optimization of water allocation by using genetic algorithm, Fourth Conference Iran Water Resources management, Amirkabir University. (In Persian)
11. Mosavian, A., Sharifi, M., and Rajabi, H. 2009. Application of metaheuristic in the water distribution network optimization, Eighth International Congress of Civil Engineering, Shiraz University. (In Persian)
12. Ragabpor, R. 2013. Optimization of energy cost for water in the system using a genetic algorithm, Iran. J. Selected Topics in Energy, Yasouj University. (In Persian)
13. Shahinejad, B. 2011. Optimal design of irrigation networks using mixed integer linear programming. Ph.D. Thesis, Chamran University. (In Persian)
14. Zohraei, B. 2008. Genetic algorithm and engineering optimization. Gutenberg Publishing House of Tehran. Press, 300p. (In Persian)



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 25(4), 2018

<http://jwsc.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwsc.2018.12759.2746

Optimization of pressurized irrigation network pipe diameters using genetic algorithm based on integer numeric (Case study: Ismail Abad network in Lorestan)

***R. Ghobadian¹, A. Hazeri² and S.E. Fatemi³**

¹Associate Prof., Dept. of Water Engineering, Razi University of Kermanshah,

²M.Sc. Graduate, Dept. of Water Engineering, Razi University of Kermanshah,

³Assistant Prof., Dept. of Water Engineering, Razi University of Kermanshah

Received: 02.09.2017; Accepted: 07.01.2018

Abstract

Background and Objectives: Nowadays, human societies spend a lot of money to maximize profits and minimize their costs. The issue of selecting the best arrangement for the pipe diameters and the optimal pumping head of pressurized irrigating network so that minimize total cost while meeting all restriction of network, has received considerable attention by the engineers during past years and is an important issue of hydraulic research. To date, many researches have been done in the field of optimization of pressurized irrigation system to reduce the cost of this infrastructure. In this research optimization of pressurized irrigation system is often done by using available commercial codes or toolbox's of conventional evolutionary algorithms integrated with hydraulic models. In this research, a Visual Basic language optimization code has been developed based on genetic search for integer numbers, in which the optimal design of pressurized irrigation systems with branching layout is done by taking into account the velocity and pressure constrains.

Materials and Methods: In developed code that is based on genetic algorithm optimization method an integer numeric is assigned to each available diameter. Then, to determine the optimal diameter of network pipes, by applying the cross-over, mutation and reinsertion with elitism approach on set of chromosomes an integer numeric for each pipe is selected. The output of the model contains the optimal diameter and minimum cost of the irrigation network. Calibration and verification of the model was accomplished by comparing the model result with analytical solutions of several nonlinear problems included different constrains. Finally, we have used of the proposed model for optimal design of Ismail Abad irrigation network in Lorestan province.

Results: The results showed that in comparison with existing conditions, optimized design by the present model could reduce cost of implementation of pipelines of Ismail Abad irrigation network from 825935.28\$ to 730958.37\$. In addition, in manual design, the pressure head at the beginning of the system was 140 meters and in optimization mode was 13.08 meters, which is approximately the same, in other words, the cost of the pumping station in both methods is almost equal. Also, by comparing the network in existing conditions and the optimized network using a genetic search of integers, there is a significant difference between the obtained diameters. In such a way that of the 16 pipes in the network, there were 10 pipes with decreasing in diameter and 3 pipes with increasing in diameter.

* Corresponding Author; Email: rsgkobadian@gmail.com

Conclusion: The present model has the ability to solve various optimizations linear and nonlinear problems included different constraints and the results of the model are completely equal to analytical solution results. The results were shown that the use of developed optimization model could reduce 11.5% cost of implementation of Ismail Abad pipelines.

Keywords: Genetic algorithm, Integer numeric, Ismail Abad Lorestan, Optimization, Sprinkler irrigation