

# بهینه‌سازی شبکه توزیع گاز طبیعی با استفاده از الگوریتم رقابت استعماری

پژوهش‌نفت

سال بیست و چهارم

شماره ۷۸

صفحه، ۴۷-۳۹ ۱۳۹۳

تاریخ دریافت مقاله: ۹۱/۳/۱۰

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۲/۲/۹

سیده زهرا هاشمی<sup>۱\*</sup>، علی امیری<sup>۲</sup>، علی میرمحمدی<sup>۳</sup> و مرتضی بیات<sup>۴</sup>  
 ۱- گروه مهندسی کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد زنجان، زنجان، ایران  
 ۲- دانشکده مهندسی، گروه کامپیوتر، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران  
 ۳- دانشکده مکانیک، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران  
 ۴- گروه ریاضی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد زنجان، زنجان، ایران

## چکیده

کمینه‌سازی هزینه گازرسانی با انتخاب قطر مناسب لوله و با در نظر گرفتن محدودیت‌های عدم افت فشار در گره‌ها و حجم جریان انتقالی گاز، یکی از چالش‌های مهم در صنعت نفت و گاز است که می‌تواند به صورت یک مسأله بهینه‌سازی مقید فرموله شود. در سال‌های اخیر، رهیافت‌های زیادی برای حل این مسأله با استفاده از روش‌های مکاشفه‌ای مانند الگوریتم ژنتیک و الگوریتم کلونی مورچه‌ها ارائه شده است که به موفقیت‌های قابل توجهی دست یافته‌اند. علی‌رغم کارهای انجام شده، هنوز سرعت همگرایی و دقت همگرایی به نقطه بهینه به عنوان دو چالش مهم در این مسأله مطرح هستند. در این مقاله یک راه حل مبتنی بر الگوریتم رقابت استعماری ارائه شده است. نتایج آزمایشات نشان می‌دهد که رهیافت پیشنهادی نسبت به نرم‌افزار GpNet که در شرکت ملی گاز استفاده می‌شود، منجر به صرفه‌جویی ۲۰٪ در هزینه‌ها شده که در مقایسه با روش مبتنی بر الگوریتم ژنتیک با صرفه‌جویی ۱۲/۱٪ دارای کارایی بالاتری می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: هوش محاسباتی، الگوریتم تکاملی، الگوریتم رقابت استعماری، بهینه‌سازی و شبکه توزیع گاز طبیعی

## مقدمه

لازم است فشارگاز طبیعی پس از عبور از خط لوله گاز فشار قوی و انتقال به نقاط دور دست، برای مصارف تجاری و صنعتی کاهش یابد. بنابراین، فشار خط لوله به کمک ایستگاه‌های تقلیل فشار کاهش یافته و با استفاده از شبکه لوله برای مصرف توزیع می‌شود. یکی از مهم‌ترین بخش‌های طراحی خطوط لوله و شبکه گازرسانی، انجام محاسبات مربوط به تعدیل شبکه و تعیین شرایط عملیاتی و جریان در شبکه گازرسانی است که بر مبنای پیش‌بینی مقدار مصرف گاز طبیعی در مرحله بررسی بازار تعیین می‌گردد [۱]. این محاسبات باید دقیق و سریع صورت پذیرد تا بتوان به نتایج حاصل از آن اتکا نموده و مرحله اجرایی با حداقل ریسک سرمایه‌گذاری شود. هدف این پژوهش یافتن اندازه بهینه قطر لوله جهت

\*مسئول مکاتبات  
 آدرس الکترونیکی

z.hashemi@nigc-zanjan.ir

روش مناسبی می‌باشد [۸]. مهدی و همکاران، اندازه بهینه لوله را برای شبکه توزیع گاز طبیعی با استفاده از الگوریتم ژنتیک تعیین کردند. در این روش صرفه‌جویی بالای ۱۲/۱٪ گزارش شده است [۹].

الگوریتم ژنتیک در روش‌های جستجوی بهینه نسبت به دیگر الگوریتم‌های تکاملی و روش‌های ریاضی، یک الگوریتم موفق می‌باشد، با این وجود نتیجه تحقیقات مختلف در بهینه‌سازی بسیاری از مسائل، نشان داده که الگوریتم رقابت استعماری نسبت به الگوریتم ژنتیک در مسائلی با ابعاد بالا، همگرایی و سرعت بالایی دارد و در ابعاد پایین تقریباً با آنها برابری می‌کند [۱۰]. بنابراین در این پژوهش، از الگوریتم رقابت استعماری جهت حل مسأله بهینه‌سازی استفاده می‌شود.

در ادامه این مقاله در ابتدا الگوریتم مطرح شده برای بهینه‌سازی که از مدل‌سازی ریاضی رقابت‌های امپریالیستی الهام گرفته شده، معرفی می‌شود و سپس روابط حاکم در طراحی شبکه توزیع گاز طبیعی ارائه می‌گردد. پس از آن استفاده از الگوریتم رقابت استعماری جهت بهینه‌سازی شبکه توزیع گاز طبیعی، نتایج شبیه‌سازی حاصل از اعمال ICA روی یک شبکه مطالعه موردی و همچنین مقایسه نتایج حاصل با نتایج حاصل نرم‌افزار GPNNet آورده شده است.

### الگوریتم رقابت استعماری

در الگوریتم رقابت استعماری، برای حل مسأله بهینه‌سازی مفروض،  $N$  کشور در نظر گرفته می‌شود که هر کدام با یک بردار نمایش داده شده و نشان‌دهنده یک نقطه در فضای  $n$  بعدی می‌باشد. از بین این نقاط، نقاطی که کمترین هزینه را طبق تابع بهینه‌سازی داشته باشند، به عنوان استعمارگر و مابقی به‌عنوان مستعمره در نظر گرفته می‌شوند [۱۱] و [۱۲]. برای هر استعمارگر در ابتدا هزینه نرمالیزه به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

کمینه کردن هزینه اجرای شبکه با رعایت محدودیت‌های شبکه (سرعت و فشار استاندارد در داخل لوله‌ها) می‌باشد. گاز توسط خط انتقال با فشار حداکثر ۱۰۵۰ psig و حداقل ۳۵۰-۳۰۰ psig وارد ایستگاه ورودی گاز شهری (C.G.S)<sup>۱</sup> می‌گردد. پس از تقلیل فشار به ۲۵۰ psig توسط خطوط اصلی شبکه تغذیه و یا حلقه کمربندی وارد ایستگاه‌های تقلیل فشار (T.B.S)<sup>۲</sup> شده و پس از عبور از این ایستگاه‌ها با فشار ۶۰ psig وارد خطوط شبکه توزیع می‌گردد. سپس از طریق خطوط انشعاب یا علمک پس از تقلیل فشار توسط رگلاتور، برحسب نوع مصرف (صنعتی، خانگی) در اختیار مشترکین قرار می‌گیرد. بیشتر کارهای انجام شده در زمینه طراحی و تحلیل گازرسانی نیز در ارتباط با خطوط انتقال گاز می‌باشد و در تحلیل شبکه‌های توزیع گاز تحقیقات قابل توجهی صورت نگرفته است.

بهینه‌سازی شبکه توزیع گاز به کمک تکنیک‌های مختلف مانند برنامه‌نویسی خطی<sup>۳</sup>، برنامه‌نویسی غیرخطی<sup>۴</sup> و روش‌های شمارش جزئی<sup>۵</sup> انجام شده است [۲ و ۳]. هیچ کدام از این تکنیک‌ها، انعطاف‌پذیری و قدرت لازم در ارتباط با مسائل واقعی ندارند. تعدادی از مقالات نیز با استفاده از الگوریتم ژنتیک، بهینه‌سازی شبکه‌های توزیع گاز را انجام داده‌اند [۴-۶]. دندی و همکاران نتایج اعمال چهار تکنیک بهینه‌سازی شامل شمارش جزئی، برنامه‌نویسی غیر خطی، برنامه‌نویسی خطی و الگوریتم ژنتیک<sup>۶</sup> را روی شبکه آبی مورد بررسی قرار دادند. طبق این نتایج، احتمال رد کردن راه حل بهینه توسط تکنیک شمارش جزئی وجود دارد. مقدار هزینه به‌دست آمده در روش غیر خطی ۴٪ بزرگ‌تر از راه حل ژنتیک بود. تکنیک خطی نیز هیچ کاهش هزینه قابل توجهی در مقایسه با روش الگوریتم ژنتیک نداشت. در هر دو روش برنامه‌نویسی خطی و غیرخطی، گرد کردن قطر لوله، خطر افتادن در بهینه محلی را افزایش می‌دهد. اعمال این تکنیک‌ها نشان داد که GA تکنیک توانمندتری برای تولید یک راه حل با هزینه حداقل می‌باشد [۷]. چوبوا الگوریتم کلونی مورچه را برای بهینه‌سازی خطوط انتقال گاز طبیعی پیشنهاد داد. این روش با روش برنامه‌نویسی پویا مقایسه شده است. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد، روش بهینه‌سازی با استفاده از الگوریتم کلونی مورچه

1. City Gate Station
2. Town Border Station
3. Linear Programming
4. Nonlinear Programming
5. Partial Enumeration
6. Genetic Algorithm

تصادفی تبعیت می‌نماید، به بردار اصلی اضافه می‌شود:

$$\theta \sim U(-\gamma, \gamma) \quad (5)$$

$\gamma$  پارامتری است که محدوده انحراف زاویه‌ای را کنترل می‌کند و در آزمایشات برابر  $\frac{\pi}{4}$  در نظر گرفته شده است. گام بعدی، گام رقابت استعماری می‌باشد. در این مرحله ضعیف‌ترین مستعمره از ضعیف‌ترین امپراطوری انتخاب شده و به یک امپراطوری قوی (نه لزوماً قوی‌ترین امپراطوری) داده می‌شود. البته نحوه انتخاب امپراطوری مورد نظر به صورتی است که هرچه یک امپراطوری قوی‌تر باشد، احتمال انتخاب آن بالاتر می‌رود.

در نهایت وقتی یک امپراطوری همه مستعمره‌های خود را از دست داد، آن امپراطوری از لیست امپراطوری‌ها خارج شده و در یک رقابت استعماری به‌عنوان مستعمره به امپراطوری‌های دیگر داده می‌شود. روند تکامل در یک حلقه قرار دارد که تا برآورده شدن یک شرط توقف ادامه می‌یابد.

### شبکه توزیع گاز طبیعی

پس از آماده نمودن نقشه گره‌ها، لازم است جهت محاسبات افت فشار در گره‌ها، جریان حجم انتقالی گاز و سرعت در لوله اقدام گردد. حل شبکه با دست بسیار وقت گیر و در بعضی موارد غیر ممکن است و جهت متعادل نمودن شبکه، روزها زمان لازم است؛ از این رو کاربرد کامپیوتر در چنین مواردی الزامی است.

در محاسبات مربوط به شبکه و خط لوله گازرسانی، برای تعیین قطر لوله و محاسبه افت فشار از روابط ذیل استفاده می‌گردد [۱]:

$$Q = V * A = V * \frac{\pi D^2}{4} \quad (6)$$

$$V = 0.00144 \frac{QT}{P_{AVE} D^2} \quad (7)$$

و همچنین فشار متوسط از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$P_{Ave} = \frac{2}{3} \left[ (P_1 + P_2) - \frac{P_1 * P_2}{(P_1 + P_2)} \right] \quad (8)$$

معادلات جریان را نیز می‌توان به شکل کلی زیر نشان داد:

$$\Delta P^2 = KQ^n \text{ یا } \Delta P^2 = RLQ^n \quad (9)$$

مجذور افت فشار را معمولاً به شکل  $\Delta P^2 = P_1^2 - P_2^2$  نشان می‌دهند.

$$C_n = \max\{c_i\} - c_n \quad (1)$$

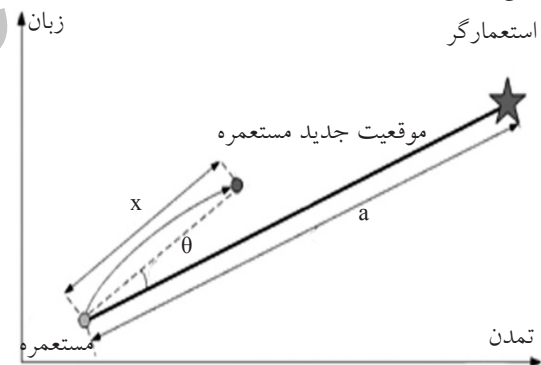
که در آن  $C_n$  هزینه امپریالیست  $n$  ام،  $\max\{c_i\}$  بیشترین هزینه میان امپریالیست‌ها و  $c_n$  هزینه نرمالیزه شده این امپریالیست می‌باشد. با داشتن هزینه نرمالیزه، قدرت نسبی نرمالیزه هر امپریالیست، به صورت زیر محاسبه شده و بر مبنای آن، کشورهای مستعمره، بین امپریالیست‌ها تقسیم می‌شود:

$$p_n = \frac{C_n}{\sum_{i=1}^{N_{imp}} C_i} \quad (2)$$

بنابراین تعداد اولیه مستعمرات یک امپریالیست برابر خواهد بود با:

$$N.C_n = \text{round}\{p_n . (N_{col})\} \quad (3)$$

که در آن  $N.C_n$ ، تعداد اولیه مستعمرات یک امپراطوری و  $N_{col}$  نیز تعداد کل کشورهای مستعمره موجود در جمعیت کشورهای اولیه است. با داشتن حالت اولیه تمام امپراطوری‌ها، الگوریتم رقابت استعماری شروع می‌شود. شکل ۱ حرکت مستعمرات به سمت کشور امپریالیست را نشان می‌دهد.



شکل ۱- شمای کلی حرکت مستعمرات به سمت امپریالیست [۱۲]

همان‌گونه که در این شکل نشان داده شده است، برای  $x$  داریم:

$$x \sim U(0, \beta * d) \quad (3)$$

که در آن  $\beta$  عددی بزرگ‌تر از یک و نزدیک به ۲ می‌باشد. مقدار  $\beta=2$  می‌تواند یک انتخاب مناسب باشد. وجود ضریب  $\beta > 1$  باعث می‌شود تا کشور مستعمره در حین حرکت به سمت کشور استعمارگر، از جهت‌های مختلف به آن نزدیک شود.

برای افزایش ناحیه جستجوی اطراف استعمارگر، یک انحراف زاویه‌ای برابر  $\theta$  که از یک توزیع یکنواخت

برای شروع الگوریتم باید تعدادی از این کشورها (به تعداد کشورهای اولیه الگوریتم) ایجاد شوند. بنابراین ماتریس کل کشورهای اولیه به صورت تصادفی تشکیل می‌شود.

$$COUNTRY = \begin{bmatrix} country_1 \\ country_2 \\ country_3 \\ \vdots \\ country_{N_{country}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d1_1 & d2_1 & \dots & dnvar_1 \\ d2_1 & d2_2 & \dots & dnvar_2 \\ d3_1 & d3_2 & \dots & dnvar_3 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ d1_{N_{country}} & d2_{N_{country}} & \dots & dnvar_{N_{country}} \end{bmatrix}$$

هزینه یک کشور با ارزیابی تابع  $f$  در متغیرهای  $(d_1, d_2, \dots, d_{Nvar})$  محاسبه می‌شود. بنابراین:

$$cost_i = f(country_i) = f(d_1, d_2, \dots, d_{Nvar}) \quad (13)$$

الگوریتم معرفی شده در این پژوهش، با تولید یک دسته اولیه از این متغیرها، دسته‌بندی آنها در قالب امپراطوری‌ها، اعمال سیاست جذب از طرف استعمارگران به روی مستعمرات و همچنین با ایجاد رقابت استعماری میان امپراطوری‌ها به جستجوی بهترین کشور می‌پردازد. برای شروع الگوریتم، تعداد ۱۰۰ کشور اولیه ( $N_{country} = 100$ ) در نظر گرفته شد. ۱۰ عدد از بهترین اعضای این جمعیت (کشورهای دارای کمترین مقدار تابع هزینه) به عنوان امپریالیست ( $N_{imp}$ ) انتخاب شدند. باقی‌مانده کشورها ( $N_{col}$ )، مستعمراتی را تشکیل می‌دهند که هر کدام به یک امپراطوری تعلق دارند. بدین ترتیب ICA با تعداد تکرار ۲۰۰ به شبکه توزیع گاز طبیعی اعمال می‌گردد و محاسبات مربوطه، محدودیت‌های افت فشار، سرعت در لوله‌ها و ... در تمام مراحل الگوریتم (تولید اولیه کشورها، سیاست جذب، انقلاب و ...) انجام می‌شود تا قطر بهینه لوله‌ها به دست آید. نتایج حاصل در ادامه ارائه شده است.

### نتایج و بحث

توپولوژی مورد مطالعه در شکل ۲ رسم شده است. این توپولوژی مربوط به شبکه توزیع گاز روستای چورزق (۵۸ psig) واقع در استان زنجان می‌باشد.

در کلیه محاسبات جریان یکنواخت<sup>۱</sup> و گاز تک‌دما<sup>۲</sup> در نظر گرفته می‌شود. برای محاسبه افت فشار در خطوط لوله حاوی جریان گاز روابط متعددی مورد استفاده قرار می‌گیرد که تمامی آنها از قانون دوم حرکت نیوتن مشتق می‌شود.

$$Q = 38.77 \left( \frac{T_b}{P_b} \right) \left( \frac{1}{f} \right)^{0.5} \left( \frac{P_1^2 - P_2^2}{GTLE} \right)^{0.5} D^{2.5} \quad (10)$$

در معادله بالا  $Q$  دبی حجمی گاز ( $ft^3/d$ ) در شرایط فشار و درجه حرارت مبنا می‌باشد. طراحی شبکه توزیع گاز طبیعی منحصر به فرد نمی‌باشد و هر طراح می‌تواند یک طرح با قطرهای مختلف و در عین حال با شبکه متعادل ارائه دهد. بنابراین، در این پژوهش سعی می‌شود با استفاده از الگوریتم رقابت استعماری، شبکه‌ای ارائه دهیم که در عین رعایت محدودیت‌های مسئله به منظور ایجاد شبکه متعادل، کمترین قطر لوله جهت استفاده در طرح شبکه (کمترین هزینه و حالت بهینه) را داشته باشد. از روابط مذکور جهت کنترل محدودیت‌های فشار و سرعت در داخل لوله استفاده می‌گردد. بخش بعد به نحوه فرموله سازی مساله شبکه توزیع گاز طبیعی جهت اعمال الگوریتم رقابت استعماری می‌پردازد.

### اعمال الگوریتم رقابت استعماری بر شبکه توزیع گاز طبیعی

یک آرایه از قطر لوله‌ها که باید بهینه شوند، ایجاد می‌شود. در یک مسئله بهینه‌سازی  $Nvar$  بعدی، یک کشور، یک آرایه‌ی  $1 * Nvar$  است. در اینجا  $Nvar$  تعداد لوله‌های شبکه می‌باشد. این آرایه به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$country = [d_1, d_2, \dots, d_{Nvar}] \quad (11)$$

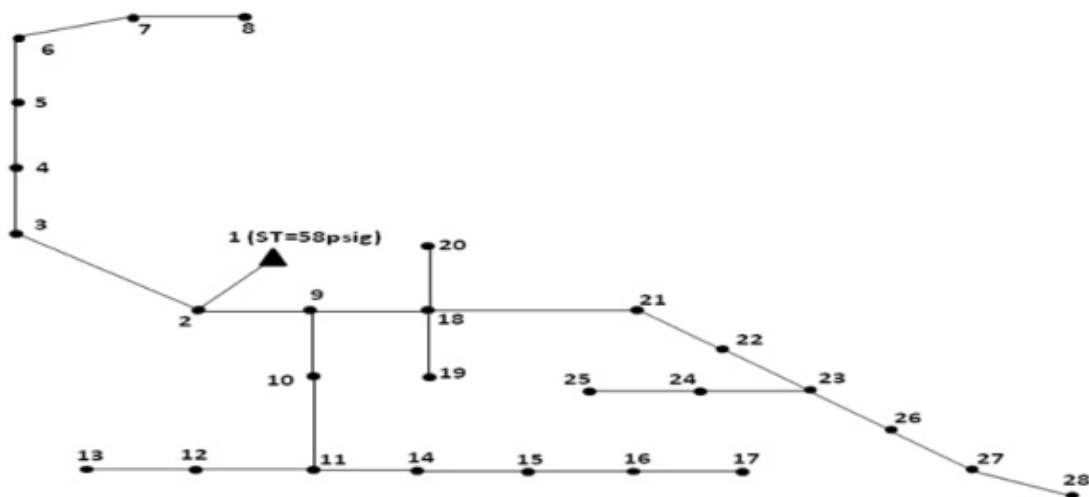
در حقیقت در حل یک مساله بهینه‌سازی توسط الگوریتم معرفی شده، هدف یافتن بهترین کشور است. یافتن این کشور در حقیقت معادل یافتن بهترین پارامترهای مساله است که کمترین مقدار تابع هزینه را تولید می‌کند.  $d_1, d_2, \dots, d_{Nvar}$  قطر لوله‌ها از شماره ۱ تا  $Nvar$  می‌باشد. در این مساله کشور نام به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$country_i = [d_{1i}, d_{2i}, \dots, d_{Nvari}] \quad (12)$$

$d_{1i}, d_{2i}, \dots, d_{Nvari}$  به ترتیب قطر لوله‌های شبکه می‌باشد که از ۱ تا  $Nvar$  شماره گذاری شده‌اند.

1. Steady

2. Isothermal



شکل ۲- توپولوژی مورد مطالعه

به‌دست آمده است. در جدول ۳ طول لوله‌های به‌کار رفته در شبکه، نوع لوله (فولادی: st/پلی اتیلنی: pe)، سرعت و قطر لوله‌ها به‌عنوان خروجی نرم‌افزار GPNNet و ICA ارائه شده است. جدول ۴ نیز خروجی فشار گرہ‌ها را با استفاده از نرم‌افزار GPNNet و ICA جهت مقایسه نشان می‌دهد. همان‌گونه که از جداول ۵ و ۶ بر می‌آید طراحی شبکه با استفاده از ICA از نقطه نظر ریالی (با توجه به قطر لوله‌های به‌کار رفته) نسبت به طراحی با GPNNet بسیار مقرون به صرفه می‌باشد. ضمناً از نظر زمانی نیز تفاوت چشم‌گیری در طراحی با ICA وجود دارد. هزینه لوله کشی شبکه طراحی شده با استفاده از تجربه و نرم‌افزار GPNNet که بر پایه سعی و خطا می‌باشد برابر با ۴۰۸۲۸۴۹۶۰۰ ریال و با روش ICA برابر با ۳۲۵۸۴۶۸۲۷۰ ریال می‌باشد که صرفه جویی ۲۰٪ مشاهده می‌گردد. در شکل ۳ نمودار تغییرات میانگین و حداقل هزینه در هر تکرار نشان داده شده است.

شبکه از ۲۷ لوله، ۲۷ گرہ ورودی و ۱ منبع فشار تشکیل شده است. محدودیت‌های طراحی عبارتند از: بیشینه افت فشار در لوله‌ها ۱۰ psig، کمینه فشار در گرہ‌ها ۴۵ psig و بیشینه سرعت در لوله‌ها ۷۰ ft/sec، ورودی‌های مسأله نیز شامل میزان درخواست گاز در هر گرہ، فشار منبع و طول لوله‌ها می‌باشد. قطر لوله‌ها در اندازه‌های مختلف قابل دسترس در جدولی مجزا به برنامه داده می‌شود تا جهت طراحی بهینه از این قطرها استفاده گردد. جداول ۱ و ۲ قطرهای موجود در بازار را به ترتیب برای لوله‌های فولادی و پلی اتیلنی به همراه هزینه نشان می‌دهد. هزینه لوله فولادی به ازای هر کیلو ۱۵۰۰۰ ریال در نظر گرفته شده است. خروجی مسأله تعیین بهینه اندازه قطر لوله‌ها (کمترین هزینه) در حالتی است که شبکه متعادل می‌باشد. مصرف ایستگاه با استفاده از حل توسط هر دو برنامه GPNNet و ICA، برابر  $41/22 \text{ (m}^3/\text{h)}$

جدول ۱- قطر لوله‌های فولادی قابل دسترس در بازار

ردیف	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
قطر (cm)	۵/۳۱۶	۱۰/۵۵۶	۱۵/۹۵۴	۲۰/۹۵۲	۲۶/۱۹۲	۳۱/۱۱۵	۳۵/۵۶	۴۰/۶۴	۴۵/۷۲	۵۰/۸	۵۵/۸۸	۶۰/۹۶
وزن یک متر (kg)	۳/۰۱	۱۰/۸۸	۲۸/۲۲	۳۳/۵۷	۵۱/۰۳	۵۰/۱۱	۵۵/۱۱	۶۳/۱۳	۷۸/۷۷	۷۹/۱۶	۱۰۷/۳۶	۱۱۷/۳۰

جدول ۲- قطر لوله‌های پلی اتیلنی قابل دسترس در بازار

ردیف	۱	۲	۳	۴	۵	۶
قطر (cm)	۵/۱۴۱	۷/۳۶۱	۸/۹۹۹	۱۰/۲۲۱	۱۳/۰۸۱	۱۶/۳۵۸
قیمت به ازای هر متر (R)	۲۵۴۱۰	۵۱۳۰۰	۷۵۰۰۰	۹۷۵۰۰	۱۵۵۰۰۰	۱۶۰۰۰۰

جدول ۳- مقایسه سرعت گاز و قطر لوله‌ها به‌عنوان خروجی در نرم‌افزار GPNNet و ICA

از گره	تا گره	طول (m)	st/pe	خروجی سرعت (m/s) GPNNet	خروجی سرعت (m/s) ICA	خروجی قطر (cm) GPNNet	خروجی قطر (cm) ICA
۱	۲	۲۲۴	st	۶/۵۵۹	۱۱/۳۴۸	۲۰/۹۵۲	۱۵/۹۵۴
۲	۳	۲۰۸۰	pe	۵/۱۰۵	۸/۶۷۶	۳/۰۸۱	۱۰/۲۲۱
۳	۴	۳۲۰	pe	۷/۱۵۷	۴/۶۷۲	۱۰/۲۲۱	۱۳/۰۸۱
۴	۵	۱۲۰	pe	۶/۴۰۷	۱۳/۲۵۱	۱۰/۲۲۱	۷/۳۶۱
۵	۶	۱۴۰	pe	۹/۷۲۹	۱۰/۵۱۷	۷/۳۶۱	۷/۳۸۱
۶	۷	۵۰	pe	۶/۲۶۱	۱۳/۹۵۶	۷/۳۶۱	۱۰/۲۲۱
۷	۸	۱۲۰	pe	۴/۶۹۱	۱۰/۵۸۲	۷/۳۶۱	۱۰/۲۲۱
۲	۹	۲۰۲	st	۴/۶۰۶	۱۸/۵۴۷	۲۰/۹۵۲	۱۰/۵۵۶
۹	۱۰	۵۰۰	st	۲/۶۶۷	۶/۳۵۷	۱۵/۹۵۴	۱۰/۵۵۶
۱۰	۱۱	۳۵۰	pe	۳/۹۰۱	۸/۲۱۶	۱۳/۰۸۱	۸/۹۹۹
۱۱	۱۲	۱۲۰	pe	۲/۳۸۴	۵/۲۰۹	۷/۳۶۱	۱۰/۲۲۱
۱۲	۱۳	۳۲۰	pe	۱/۲۲۷	۲/۸۰۳	۱۰/۲۲۱	۱۰/۲۲۱
۱۱	۱۴	۱۶۰	pe	۴/۰۸۷	۱۷/۶۵۲	۱۰/۲۲۱	۵/۱۴۱
۱۴	۱۵	۱۱۰	pe	۳/۴۲۹	۱۵/۴۶۴	۷/۳۶۱	۵/۱۴۱
۱۵	۱۶	۱۰۰	pe	۴/۱۶۴	۹/۹۴۶	۷/۳۶۱	۵/۱۴۱
۱۶	۱۷	۱۰۰	pe	۲/۰۳	۴/۸۸۹	۲۰/۹۵۲	۵/۱۴۱
۹	۱۸	۲۷۰۰	st	۳/۰۷۵	۵/۵۷۳	۱۰/۵۵۶	۱۵/۹۵۴
۱۸	۱۹	۱۵۰	st	۰/۴۰۵	۱/۶۹۸	۱۰/۵۵۶	۵/۳۱۶
۱۸	۲۰	۱۳۰	st	۲/۰۷۹	۸/۷۵۸	۲۰/۹۵۲	۵/۳۱۶
۱۸	۲۱	۲۱۸۴	st	۲/۴۶۳	۴/۵۴۵	۱۳/۰۸۱	۴۰/۵۲۳
۲۱	۲۲	۳۹۱۶	pe	۵/۱۰۲	۵/۵۱۴	۱۳/۰۸۱	۱۳/۰۸۱
۲۲	۲۳	۲۲۸	pe	۳/۲۱۶	۳/۴۸۷	۷/۳۶۱	۱۳/۰۸۱
۲۳	۲۴	۲۹	pe	۲/۴۹	۵/۵۴	۷/۳۶۱	۵/۱۴۱
۲۴	۲۵	۹۲	pe	۰/۴۵۴	۱/۰۱۴	۷/۳۶۱	۵/۱۴۱
۲۳	۲۶	۳۲	pe	۷/۶۷۸	۱۷/۱۴۶	۷/۳۶۱	۵/۱۴۱
۲۶	۲۷	۵۷	pe	۶/۳۲۸	۱۴/۲۸۲	۷/۳۶۱	۵/۱۴۱
۲۷	۲۸	۷۷	pe	۵/۰۴۴	۱۱/۵۲۱	۷/۳۶۱	۵/۱۴۱

جدول ۴- مقایسه فشار گره‌ها به‌عنوان خروجی نرم‌افزار ICA و GPNNet

گره	فشار (psig) ICA	فشارهای خروجی GPNNet (psig)	فشار (psig)	بار (m <sup>3</sup> /h)
۱ (ایستگاه)			۵۸/۰	
۲	۵۷/۳۴۱۹	۵۷/۸۲		۰
۳	۵۱/۱۴۹۴	۵۵/۹۵		۲۴۰
۴	۵۰/۹۲۵۸	۵۵/۲۴		۱۴۰
۵	۴۹/۸۴۲۸	۵۵/۰۳		۲۴۵
۶	۴۹/۰۱۹	۵۴/۲۵		۳۱۷
۷	۴۸/۲۷۳۳	۵۴/۱۲		۱۴۲
۸	۴۷/۱۹۸۲	۵۳/۹۴		۴۲۰
۹	۵۵/۰۲۲۱	۵۷/۷۳		۰
۱۰	۵۴/۲۰۱۴	۵۷/۶۲		۸۷
۱۱	۵۳/۱۰۹۵	۵۷/۴۴		۱۳۰
۱۲	۵۲/۷۸۹۵	۵۷/۳۹		۱۰۴
۱۳	۵۲/۵۱۰۸	۵۷/۳۴		۱۲۰
۱۴	۴۹/۳۴۷	۴۷/۳۱		۱۲۰
۱۵	۴۷/۳۸۰۳	۵۷/۲۵		۲۳۰
۱۶	۴۶/۵۸۶۸	۵۷/۱۲		۲۰۰
۱۷	۴۶/۳۶۷۵	۵۷/۰۹		۱۹۰
۱۸	۵۲/۹۰۷۲	۵۷/۱۷		۰
۱۹	۵۲/۸۵۶۲	۵۷/۱۷		۷۸
۲۰	۵۲/۰۶۳۳	۵۷/۱۴		۴۰۰
۲۱	۵۱/۷۴۵	۵۶/۸۷		۳۹۸
۲۲	۴۸/۱۰۶۴	۵۳/۴۲		۵۶۶/۳۵
۲۳	۴۸/۰۱۵۸	۵۳/۳۳		۰
۲۴	۴۷/۹۳۴۵	۵۳/۳۲		۱۸۰/۳۶
۲۵	۴۷/۹۲۲۴	۵۳/۳۲		۴۰/۳۷
۲۶	۴۷/۳۳۲۹	۵۳/۲۲		۱۲۰/۵۹
۲۷	۴۶/۴۶۶۳	۵۳/۰۷		۱۱۴/۱۶
۲۸	۴۵/۶۷۹۶	۵۲/۹۴		۴۴۵/۱۱

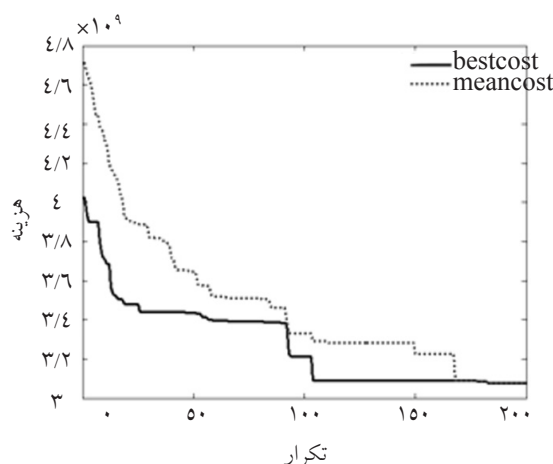
جدول ۶- مجموع مقادیر لوله‌های مورد استفاده در طراحی با ICA

قطر (cm)	جمع مصرف (m)
۵/۱۴۱	۱۴۰۸/۰۱
۵/۳۱۶	۲۸۸/۴
۷/۳۶۱	۲۶۷/۸
۸/۸۸۹	۳۶۰/۵
۱۰/۲۲۱	۲۱۴۲/۴
۱۰/۵۵۶	۷۲۳/۰۶
۱۳/۰۸۱	۴۵۹۷/۹۲
۱۵/۹۵۴	۵۲۶۱/۲۴

جدول ۵- مجموع مقادیر لوله‌های مورد استفاده در طراحی با نرم‌افزار GPNNet

قطر (cm)	جمع مصرف (m)
۷/۳۶۱	۱۲۷۴/۱۱
۱۰/۲۲۱	۷۳۱/۳
۱۰/۵۵۶	۲۸۸/۴
۱۳/۰۸۱	۶۷۷۱/۲۲
۱۵/۹۵۴	۵۱۵/۰
۲۰/۹۵۲	۵۴۶۹/۳





شکل ۳- نمودار تغییرات میانگین و حداقل هزینه در هر تکرار

### نتیجه گیری

در این پژوهش از الگوریتم رقابت استعماری جهت بهینه‌سازی قطر لوله‌ها در شبکه توزیع گاز طبیعی با رعایت محدودیت‌های شبکه (فشار و سرعت استاندارد در داخل لوله‌ها) استفاده گردید. الگوریتم اصلی ICA برای حل مسائل بهینه‌سازی پیوسته ایجاد شده است. از آنجایی که متغیرهای بهینه‌سازی در این مسأله، قطر بهینه لوله‌های مورد استفاده در شبکه می‌باشد، بنابراین در فازهای مقداردهی اولیه امپراطوری‌ها، سیاست جذب مستعمرات، انقلاب مستعمرات و نیز فاز رقابت استعماری، موقعیت کشورها به صورت عدد صحیح از بازه جداول ۱ و ۲ (بسته به نوع فولادی یا پلی اتیلنی بودن لوله) انتخاب می‌شود. مقایسه نتایج حاصل از اعمال شبکه مورد مطالعه به هردو الگوریتم ICA و نرم‌افزار GPNNet صرفه‌جویی ۲۰٪ ICA را علاوه بر صرفه‌جویی زمانی در ارائه پاسخ قطر بهینه لوله‌ها نشان می‌دهد.

### تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله کمال تشکر و قدردانی خود را از شرکت گاز استان زنجان و مدیریت پژوهش و فناوری شرکت ملی گاز ایران، به دلیل حمایت از این پروژه به‌عنوان پایان نامه کارشناسی ارشد، اعلام می‌دارند.

### علائم و نشانه‌ها

$C_n$ : هزینه امپریالیست  $n$ ام

$\max\{C_n\}$ : بیشترین هزینه میان امپریالیست‌ها

$C_n$ : هزینه نرمالیزه شده این امپریالیست

$x$ : جابه‌جایی مستعمره به سمت امپریالیست

$\theta$ : انحراف زاویه‌ای

$V$ : سرعت جریان گاز (m/s)

$Q$ : دبی یا جریان گاز ( $m^3/hr$ )

$T$ : درجه حرارت ( $^{\circ}R$ )

$P_f$ : فشار ورودی گاز (فشار اولیه) (psia)

$P_n$ : قدرت نسبی نرمالیزه هر امپریالیست

$N.C_n$ : تعداد اولیه مستعمرات یک امپراطوری

$N_{col}$ : تعداد کل کشورهای مستعمره موجود در جمعیت

کشورهای اولیه

$\beta$ : عددی بزرگ‌تر از یک و نزدیک به ۲

$\gamma$ : پارامتر کنترل کننده محدوده انحراف زاویه‌ای

$P_b$ : فشار مبنا (psia)

$T_b$ : درجه حرارت مبنا ( $^{\circ}R$ )

$G$ : چگالی نسبی گاز (برای هوا ۱/۰)

$T_f$ : متوسط درجه حرارت جاری گاز ( $^{\circ}R$ )

$P_2$ : فشار خروجی گاز (فشار ثانویه) (psia)

$P_{AVE}$ : فشار متوسط (psia)

$D$ : قطر داخلی لوله بر حسب (mm)

$E$ : کارایی لوله یک عدد اعشاری کمتر از ۱

$\mu$ : ویسکوزیته گاز ( $kg/m.s$ )

$L_e$ : طول لوله (mile)

$K$ : ضریب مقاومت لوله (-)

$R$ : فاکتور مقاومت لوله

$N$ : عددی بین ۲ تا ۱۸



## مراجع

- [۱]. آئینه‌چی م. ا.، «مبانی طراحی شبکه‌های گازرسانی»، شرکت ملی گاز ایران، ۱۳۷۲.
- [2]. Hansen C. T., Madsen K. and Nilsen H. B., "Optimization of large networks, mathematical programming", 52, pp. 45–58, 1991.
- [3]. Lin B. L., Shau H. M., Huang W. C., Wu R. S. and Liaw S. L., "The enumeration algorithm for the practical optimal design of pipe network systems", Environmental Informatics Archives 2 , pp. 87–98, 2004.
- [4]. Boyd I. D., Surry P. D., Radcliffe N. J., *Constrained gas network pipe sizing with genetic algorithm*, Technical Report EPCC-TR94, Edinburgh Parallel Computing Center, 1994.
- [5]. Morley M. S., Atkinson R. M., Savic D. A. and Walters G. A., "GANet: genetic algorithm platform for pipe network optimization", Advances in Engineering Software 32 (June (6)), pp. 467–475, 2001.
- [6]. Van Vuuren S. J., "Application of genetic algorithms—determination of the optimal pipe diameters", Water SA 28 (April (2)), pp. 217–226, 2002.
- [7]. Dandy G. C., Simpson A. R. and Murphy L. J., A, *Review of pipe network optimization techniques*, National Conference Publication Institution of Engineers, Australia, n 93 pt 2, 1993.
- [8]. Chebouba A., Amadeo L., Yalaoui F. and Smati A., *Optimization of natural gas pipeline transportation using ant colony optimization algorithm*, CPI'2007, Rabat, Maroc.
- [9]. El-Mahdy O. F. M., Ahmed M. E. H. and Metvali S., "Computer aided optimization of natural gas pipe networks using genetic algorithm", applied soft computing, vol. 10, issue 4, pp. 1141-1150, 2010.
- [10]. [Available Online] <http://www.icasite.info>
- [۱۱]. آتش‌پزگرگری، ا.، «توسعه الگوریتم بهینه‌سازی اجتماعی و بررسی کارایی آن»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه تهران، ایران، ۱۳۸۷ آدرس: <http://eboard.persianguig.com/AI/AlapxlCA.pdf>
- [12]. Gargari A. and Lucas E., "Imperialist competitive algorithm: an algorithm for optimization inspired by imperialistic competition", IEEE Congress on Evolutionary Computation, pp. 4661-4667, 2007.