

طراحی بهینه خطوط لوله با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه ازدحام ذرات (MOPSO)

محمد مهدی کشتکار^{1*}، اصغر طالبی زاده²

¹دانشیار دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمان، کرمان، ایران

²سرپرست واحد مهندسی کنترل خوردگی شرکت خطوط لوله و مخابرات نفت ایران منطقه جنوب شرق، رفسنجان، ایران

دریافت: 95/5/11 پذیرش: 96/3/29

چکیده

در بیش تر موارد تعیین هم‌زمان مقدار بهینه پارامترهای موثر در طراحی خطوط لوله بسیار مشکل است. لذا یافتن راه حلی که بتواند به‌طور هم‌زمان چند تابع هدف مستقل را که به چند پارامتر مشترک وابسته‌اند را بهینه نماید، بسیار با اهمیت است. هدف این مقاله بهینه نمودن ضخامت، قطر و سرعت سیال در یک خط لوله با مشخصات معلوم است که با تعریف دو تابع هدف هزینه و دبی عبوری سیال و با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه ازدحام ذرات به‌طور هم‌زمان مورد ارزیابی قرار گرفته می‌گیرد. نتایج به‌دست آمده برای یکی از خطوط لوله موجود نشان می‌دهد که با استفاده از مشخصات خط لوله به‌دست آمده از الگوریتم ازدحام ذرات وزن خط لوله بهینه به اندازه 34000000 تن نسبت به حالت پایه کاهش یافته در حالی که سرعت سیال عبوری دو برابر شده است.

کلمات کلیدی: طراحی خطوط لوله انتقال، بهینه‌سازی، الگوریتم چندهدفه، ازدحام ذرات

مقدمه

هدف یک خط لوله انتقال نفت و گاز، انتقال یک فراورده نفتی و یا گاز از یک مکان به مکانی دیگر است. پارامترهای متنوع بسیاری از جمله مسائل اقتصادی، فنی، زیست‌محیطی و غیره در احداث یا عدم احداث یک خط لوله انتقال موثر است که در نهایت احداث خط لوله بر اساس توجیه برآورد طرح و تخمین هزینه‌های اقتصادی و مهندسی صورت می‌پذیرد. در بیش تر موارد تعیین پارامترهای اصلی طراحی مانند فشار طراحی و اندازه خط لوله به دانستن نکات مهندسی قابل توجهی نیاز دارد. این موضوع به ویژه در مورد خطوط لوله انتقال بزرگ که تغییر مختصر در پارامترهای طراحی موجب تحمیل بار مالی گزاف می‌شود، صدق می‌کند. لذا دخیل کردن ارتباط این پارامترها و عوامل به یکدیگر با توجه به اثر هر عامل بسیار مهم و

* mkeshtkar54@yahoo.com

قابل اهمیت است. در نتیجه پیدا نمودن یک راه حل جهت فائق آمدن بر این مشکل که بتواند به طور همزمان چند تابع هدف مستقل را که به طور مجزا به یک یا چند پارامتر مشترک وابسته اند را بهینه نماید، کمک شایانی به طراح می نماید. هدف از بهینه سازی یافتن بهترین جواب قابل قبول با توجه به محدودیت ها و نیازهای طراحی است. برای یک طرح ممکن است جواب های مختلفی موجود باشد لذا برای مقایسه آنها و انتخاب جواب بهینه، تابعی به نام تابع هدف تعریف می شود. انتخاب این تابع به طبیعت طرح و یا مسأله وابسته است. به عنوان مثال، هزینه از جمله اهداف رایج بهینه سازی شبکه خطوط لوله حمل و نقل مواد نفتی است. به هر حال انتخاب تابع هدف مناسب، یکی از مهم ترین گام های بهینه سازی است که بهینه سازی چندهدفه به طور همزمان آن را کامل می نماید. این گونه مسائل بهینه سازی را که دربرگیرنده چند تابع هدف هستند را مسائل چندهدفه می نامند [1]. بنابراین هدف از بهینه سازی تعیین متغیرهای طراحی است، به گونه ای که تابع هدف کمینه یا بیشینه شود.

از تحقیق های مشابه که در خصوص استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات انجام پذیرفته است، می توان به کار قانعی و همکاران [2] اشاره نمود. در مقاله فوق الذکر بهینه سازی یک مبادله کن گرما بررسی شده است. از آنجا که با افزایش انتقال حرارت (مطلوب)، سطح حرارت، هزینه و افت فشار نیز بالا می رود لذا وجود جواب بهینه ای که منجر به بالاترین نرخ مبادله حرارت با کمترین سطح شود، در این مقاله بررسی شده است. در این مقاله ابتدا مدل حرارتی مبدل با استفاده از روش $\epsilon - NTU$ تخمین زده شده و برای محاسبه میزان انتقال حرارت و افت فشار از روش بل دلاور استفاده شده است. مقدم و همکاران [3] با هدف کمینه نمودن هزینه طراحی سیستم های توزیع آب با استفاده از الگوریتم PSO، بهترین مقادیر پارامترهای سیستم توزیع را به دست آوردند. در بهینه سازی و طراحی سیستم های توزیع آب، از سه شبکه مرجع دو حلقه ای، هانوی و کادو استفاده شد که این شبکه ها از لحاظ آرایش و تعداد لوله ها با یکدیگر متفاوت هستند. نیکنام [4] در تحقیقی به شبیه سازی و بهینه سازی خط لوله گاز پرداخت. در این کار تنها با هدف کاهش قیمت خط لوله و با استفاده از نرم افزار HYSYS مطالعاتی انجام شد. افشار و روحانی [5] الگوریتم ژنتیک ساده ای را برای بهینه سازی سیستم خط لوله به کار بردند. جیانگ یی و همکاران [6] از یک الگوریتم ژنتیک بهبود یافته برای بهینه سازی خط لوله انتقال گاز استفاده کردند. آنها نشان دادند که الگوریتم ژنتیک بهبود یافته می تواند به نتایج بسیار بهتری نسبت به الگوریتم ژنتیک استاندارد با متغیرهای متعدد مطلوب دست یابد. گائو و همکاران [7] یک الگوریتم ترکیبی متشکل از الگوریتم های ژنتیک و شبیه ساز SA (simulated annealing) را برای بهینه سازی یک خط لوله به کار بردند. کویی و همکاران [8] برای بهینه سازی خط لوله نفت خام گرم از روش شبیه ساز SA استفاده کردند. لی [9] از الگوریتم ترکیبی متشکل از بهینه سازی ازدحام ذرات و مخلوط گسسته تصادفی برنامه نویسی (MDRP) برای بهینه سازی اقتصادی یک خط لوله استفاده کرد. ژو و همکاران [10] ترکیبی از الگوریتم ازدحام ذرات را جهت بهینه سازی عملکرد مطلوب یک خط لوله روغن داغ به کار بردند.

در کار حاضر با تعریف دو تابع هدف نحوه بهینه نمودن ضخامت، قطر و سرعت سیال مورد بررسی قرار گرفته است. از آنجا که بهینه نمودن همزمان دو تابع هدف هزینه و دبی عبوری سیال در خطوط لوله دشوار

است لذا در این تحقیق با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه ازدحام ذرات به عنوان یک روش کارآمد بهینه‌سازی، این نقیصه جبران شده است. لازم به ذکر است که مساله مورد بحث، تاکنون در مقالات محققین قبلی مشاهده نگردیده است.

نحوه عملکرد الگوریتم MOPSO

به‌طور کلی مسائل مختلف بهینه‌سازی به دو دسته تقسیم می‌شوند:

الف) مسائل بهینه‌سازی بدون محدودیت: در این مسائل هدف، بیشینه یا کمینه کردن تابع هدف بدون هر گونه محدودیتی بر روی متغیرهای طراحی است.

ب) مسائل بهینه‌سازی با محدودیت: در این مسائل هدف، بیشینه یا کمینه کردن تابع هدف با داشتن یک یا چند محدودیت بر روی متغیرهای طراحی است [11].

معادلات معرف محدودیت‌ها (قیود) ممکن است به صورت مساوی یا نامساوی باشند که در هر مورد، روش بهینه‌سازی متفاوت است. به هر حال محدودیت‌ها، ناحیه قابل قبول در طراحی را معین می‌کنند. به‌طور کلی مسائل بهینه‌سازی با محدودیت را می‌توان جهت کمینه و یا بیشینه نمودن تابع $F(X)$ به صورت زیر نشان داد:

قیود:

$$\begin{aligned} g_i(x) &\leq 0 & i &= 1, 2, 3, \dots, p \\ h_j(x) &= 0 & j &= 1, 2, 3, \dots, q \\ X_k^{min} &< X_k < X_k^{max} & k &= 1, 2, 3, \dots, n \quad \& \quad X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\} \end{aligned} \quad (1)$$

روابط (1) به ترتیب نشانگر محدودیت‌های نامساوی، مساوی و محدوده قابل قبول برای متغیرهای طراحی می‌باشند. مسائل بهینه‌سازی از نظر تعداد توابع هدف و معیارهای بهینه‌سازی نیز به دو دسته تک‌هدفه و چندهدفه تقسیم می‌شوند. در مسائل بهینه‌سازی تک‌هدفه، هدف از حل مسأله، تنها بهبود یک شاخص عملکرد است که مقدار کمینه یا بیشینه آن، کیفیت پاسخ به دست آمده را به‌طور کامل منعکس کند. اما در برخی موارد نمی‌توان صرفاً با اتکا به یک شاخص، پاسخ مناسبی را برای مسأله بهینه‌سازی به‌دست آورد. در این نوع مسائل ناگزیریم که چندین تابع هدف یا شاخص عملکرد را تعریف و به‌طور هم‌زمان مقادیر آن‌ها را بهینه کنیم که به این روش بهینه‌سازی چندهدفه اطلاق می‌شود [12]. بهینه‌سازی چندهدفه، یکی از زمینه‌های بسیار فعال و پرکاربرد تحقیقاتی در میان مباحث بهینه‌سازی است. روش‌های فراوانی تا کنون برای حل این مسائل ارائه شده است که در حالت کلی می‌توان آن‌ها را به دو دسته زیر تقسیم نمود:

الف) روش‌های کلاسیک، که اغلب مسأله چندهدفه را به یک مسأله یک‌هدفه تقلیل می‌دهند [13].



ب) روش‌های تکاملی، که مسأله بهینه‌سازی چندهدفه را به صورت چندهدفه و هم‌زمان حل می‌نمایند که این روش مبنای محاسبه و ارزیابی در این مقاله است.

یکی از این روش‌های تکاملی، الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات¹ است که به عنوان یک تکنیک جستجو توسط ابره‌ارت² و کندی³ در سال 1995 معرفی گردید [14]. در تدوین این روش از حرکات جمعی و گروهی ذرات الگوبرداری شده است، هر چند در برخی اوقات این الگوریتم را به اشتباه تحت عنوان الگوریتم پرندگان و یا ماهی‌ها نیز می‌شناسند. این روش یکی از روش‌های موثر در هوش ازدحامی یا هوش گروهی⁴ به حساب می‌آید. در ابتدا این الگوریتم به منظور کشف الگوهای حاکم بر پرواز هم‌زمان پرندگان و تغییر ناگهانی مسیر آنها و تغییر شکل بهینه دسته‌جمعی به کار گرفته شد. در الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات، ذرات در فضای جستجو جاری می‌شوند و تغییر مکانشان در فضای جستجو تحت تأثیر تجربه و دانش خودشان و همسایگانشان قرار می‌گیرد. بنابراین موقعیت توده⁵ ذرات روی چگونگی جستجوی یک ذره اثر می‌گذارد. نتیجه‌ی مدل‌سازی این رفتار اجتماعی فرایند جستجویی است که ذرات به سمت نواحی موفق، که همان جواب بهینه مسئله است میل می‌کنند. در این راستا، ذرات از یکدیگر می‌آموزند و بر مبنای دانش به دست آمده به سمت بهترین همسایگان خود می‌روند. مفهوم جانمایی و یافتن بهترین مکان بدان معناست که هر ذره بهترین موقعیت قبلی خود و هر یک از ذرات موجود در جمعیت را به خاطر می‌آورد و به عبارت دیگر در هر لحظه، هر ذره مکان خود را در فضای جستجو با توجه به بهترین مکانی که تا کنون در آن قرار گرفته و بهترین مکانی که در کل همسایگی اش وجود دارد، تنظیم می‌کند. بنابراین در هر مرحله از حل مسئله، یک ذره دارای یک مقدار شایستگی است که توسط یک تابع شایستگی که همان تابع هدف است محاسبه می‌شود. بر خلاف الگوریتم ژنتیک [12]، الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات، هر پاسخ را به جای یک کروموزوم با یک ذره⁶ می‌شناسد و به جای جهش ژنتیکی در الگوریتم ژنتیک، حرکت این ذرات در فضا برای پیدا کردن پاسخ‌های جدید تر، مبنای یک قاعده و اصول قرار گرفته است. پس حرکت در این الگوریتم قابل اهمیت است چرا که باعث تبادل اطلاعات و هم‌گرایی بین ذرات می‌شود. سه منشا برای حرکت ذرات در این الگوریتم وجود دارد:

- رفتاری که این ذرات قبلاً از خود نشان می‌دادند و سعی می‌کنند آخرین فعالیت خود را مجدداً تکرار نمایند.
- بهترین جا و مکانی را که در فضای جستجو تجربه نموده اند.
- بهترین جایی که توسط کل ذرات در فضای جستجو تجربه شده است.

¹ PSO Algorithm

² Eberhart

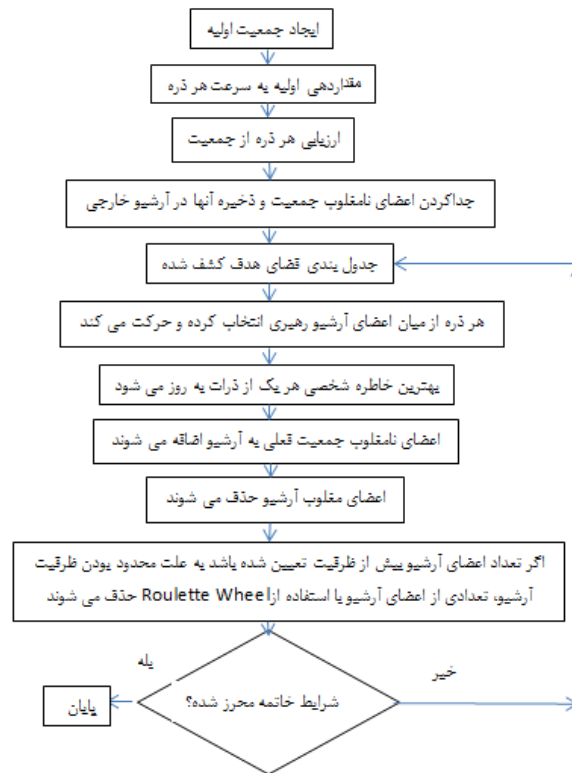
³ Kennedy

⁴ Swarm Intelligence

⁵ Swarm

⁶ Particle

در کار حاضر بر اساس مقاله انتشار یافته توسط کوئلو¹، مراحل حل الگوریتم چندهدفه بهینه‌سازی ازدحام ذرات² به شرح ذیل ارائه شده است [15]:



شکل 1. الگوریتم چندهدفه بهینه‌سازی ازدحام ذرات

حال نیاز به تعریف چگونگی حرکت ذره در فضا بر اساس معادلات ریاضی است. همان طور که توضیح داده شد هر ذره دارای یک بردار سرعت است که هدایت حرکت ذره را بر عهده دارد. هر ذره با دنبال کردن ذرات بهینه در حالت فعلی، به حرکت خود در فضای مسأله ادامه می‌دهد. به این شکل که گروهی از ذرات در آغاز کار به صورت تصادفی به وجود می‌آیند و با به‌روز کردن اطلاعات خود سعی در یافتن راه‌حل بهینه می‌نمایند. در این راستا هر ذره همواره در تلاش است تا موقعیت فعلی خود را در راستای حرکت کنونی، بهترین موقعیت کسب شده توسط خود و بهترین موقعیت کسب شده توسط کل ذرات اصلاح نماید و به موقعیت جدیدی انتقال یابد. این حرکت به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$v_{ij}(t+1) = \omega v_{ij} + c_1 r_1 (pbest_{ij}(t) - x_{ij}(t)) + c_2 r_2 (gbest_{ij}(t) - x_{ij}(t)) \quad (2)$$

¹ A.Coello Coello

² MOPSO



$$x_{ij}(t+1) = x_{ij}(t) + v_{ij}(t+1) \quad (3)$$

مکان جدید براساس موقعیت کنونی ذره x_{ij} ، سرعت ذره v_{ij} و فاصله‌ی بین موقعیت کنونی ذره و بهترین پاسخ تجربه شده توسط ذره ($pbest$) و همچنین فاصله‌ی بین موقعیت کنونی ذره و بهترین موقعیت کسب شده در کل ($gbest$) به دست می‌آید. پارامترهای c_1 و c_2 فاکتورهای وزنی هستند که براساس نوع مسئله جهت وزن دادن به سه منشاء حرکت ذرات توضیح داده شده در قسمت قبل، اختصاص می‌یابند و r_1 و r_2 اعدادی تصادفی بین 0 و 1 می‌باشند.

طراحی خطوط لوله

هدف اصلی از طراحی خط لوله، تعیین ضخامت مطلوب دیواره (t) و نوع فولاد خط لوله است. در طراحی خطوط لوله، ضخامت دیواره (t) پس از انجام محاسبات تنش حلقوی (رابطه (4)) و با اعمال ضرایب کاربردی با حداقل تنش تسلیم (S_y) تعیین می‌شود به طوری که می‌توان گفت با در نظر گرفتن این ضرایب کاربردی در تنش تسلیم یک تنش مجازی (S) حاصل می‌شود که حداقل ضخامت مجاز دیواره لوله را تعیین می‌کند. سپس طراح بر مبنای استاندارد ضخامت و اندازه ساخت لوله، نزدیک‌ترین و بیش‌ترین ضخامت دیواره را از جدول مقادیر استاندارد انتخاب می‌نماید [16]. برای خطوط لوله مایع یا دو فازی یک خوردگی مجاز نیز به رابطه (4) اضافه می‌گردد و در پایان درصد خطای موجود در ساخت ضخامت لوله نیز در رابطه لحاظ می‌شود.

در واقع با مقایسه میان استاندارد و کدهای پیچیده طراحی در می‌یابیم که محاسبه قطر مناسب، ضخامت و دیگر پارامترهای طراحی به دلیل وجود ضرایب مختلف، فولادهای متنوع، استانداردهای گوناگون، تعریف‌های متفاوت در فرمول‌های طراحی، طبقه بندی کلاس ایمنی و غیره آسان نیست و رسیدن به جواب بهینه و اقتصادی یک طرح کار ساده‌ای نیست. در این تحقیق محاسبات طراحی بر اساس استانداردها و کدهای ارائه شده از سوی انجمن مهندسی مکانیک آمریکا¹ انجام شده است [17,18]. در این استاندارد محاسبه تنش حلقوی² ناشی از فشار داخلی به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$S_H = \frac{P_i D}{2t} \quad (4)$$

که D قطر لوله بر حسب اینچ، P_i فشار گيج داخلی لوله بر حسب psi ، S_H تنش حلقوی به واسطه فشار داخلی بر حسب psi و t ضخامت دیواره لوله بر حسب اینچ است. اگر مبنای تنش حلقوی در فرمول‌های طراحی مینیمم تنش تسلیم لوله³ (S_y) در نظر گرفته شود، می‌توان معادله را به صورت رابطه (5) (رابطه بارلو) بیان نمود:

¹ ASME B31.4&B31.8

² Hoop Stress

³ Specified Minimum Yield Strength(SMYS)

$$t = \frac{P_i D}{2S} \quad (5)$$

که در آن S از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$S = E \times F \times S_y \quad (6)$$

E ضریب اتصال دو لوله به یکدیگر است که عددی بین 0/5 تا 1 است و F ضریب طراحی است که طراح بر اساس حاشیه ایمنی که در نظر دارد آن را انتخاب می‌نماید. این ضریب بر اساس استاندارد¹ برای انتقال مواد نفتی 0/72 در نظر گرفته شده است و مینیمم تنش تسلیم لوله (S_y) برحسب psi در رابطه لحاظ می‌شود.

همان‌گونه که در رابطه (5) مشاهده می‌شود قطر، ضخامت و استحکام لوله سه پارامتر اساسی در طراحی یک خط لوله هستند. از آنجا که این سه عامل رابطه مستقیمی با وزن لوله و در نتیجه هزینه‌های طراحی دارند، انتخاب بهینه هرکدام از این پارامترها از اهمیت بالایی برخوردار است به طوری که افزایش ضخامت و قطر باعث افزایش وزن و افزایش استحکام به دلیل افزایش فشار پذیری باعث کاهش وزن می‌گردد. در طراحی، بهینه نمودن این سه پارامتر که می‌تواند کم‌ترین وزن و در نتیجه کم‌ترین هزینه را در بر داشته باشد در خطوط لوله‌ای با طول چند صد کیلومتر بسیار چشم‌گیر خواهد بود.

معرفی توابع هدف، متغیرها و قیود

در این مقاله دو تابع وزن (هزینه خرید خط لوله) و دیگری تابع حجم سیال عبوری به عنوان توابع هدف و پارامترهای قطر، ضخامت، استحکام و سرعت سیال به عنوان متغیرهای مجهول در نظر گرفته شده اند. توابع هدف:

الف) تابع هزینه خرید فولاد خط لوله:

$$Cost(r, t, S) = \rho \pi L \left((r+t)^2 - r^2 \right) \times Pr_1 + S \times Pr_2 \quad (7)$$

که در رابطه فوق r, L, t, P, ρ به ترتیب شعاع داخلی لوله، طول خط لوله، ضخامت، قیمت و جرم حجمی فولاد می‌باشند. جرم حجمی فولاد معادل 7800 کیلوگرم بر مترمکعب در نظر گرفته می‌شود و در نرخ قیمت لوله علاوه بر قیمت بازار فولاد (Pr_1) قیمت ناشی از سختی افزایش استحکام لوله (Pr_2) به دلیل سخت شدن شرایط تولید و تغییر در ساختار و ترکیب شیمیایی لوله نیز لحاظ شده است.

ب) تابع دبی جرمی:

از آنجا که دبی تابعی از سرعت و قطر است می‌توان با در نظر گرفتن رابطه (5)، تابع هدف دبی را توسط متغیرهای ضخامت، استحکام لوله و سرعت، به صورت ذیل در نظر گرفت:

¹ ASME B31.4



$$Q(V, S, t) = \pi \rho V \left(\frac{S t}{P} \right)^2 \quad (8)$$

در معادله فوق ρ ، جرم حجمی مواد نفتی است که به طور میانگین 835 کیلوگرم بر متر مکعب لحاظ می شود.

ج) متغیرها :

در این مسئله فشار و طول لوله معلوم فرض شده اند. بنابراین متغیرهای مجهول شامل شعاع داخلی لوله (r) ، ضخامت لوله (t) ، استحکام لوله (S) و سرعت سیال درون لوله (V) می باشند.

د) قيود و بازه ها:

از آنجا که روش بهینه سازی این مقاله بر اساس روش بهینه سازی تکاملی با محدودیت انتخاب شده است لازم است محدودیت هر پارامتر نیز تعیین و یا انتخاب شود. طبق استانداردهای ساخت و طراحی¹ ضخامت لوله بین 0/0625 تا 1/0625 اینچ و قطر لوله بین 1 تا 56 اینچ و استحکام لوله بین حداقل 23000 تا حداکثر 80000 بر حسب psi و سرعت سیال برای مواد نفتی حداکثر 3 متر بر ثانیه در نظر گرفته شده است [18]. بنابراین قيود به شرح ذیل در نظر گرفته می شوند:

$$\frac{1}{16} \leq t \leq \frac{17}{16} \quad (9)$$

$$\frac{1}{2} \leq r \leq \frac{56}{2} \quad (10)$$

$$23000 \leq S \leq 80000 \quad (11)$$

$$V \leq 3m/s \quad (12)$$

بررسی یک نمونه موردی و تحلیل نتایج

در این بخش بهینه سازی یک خط لوله انتقال فرآورده های نفتی که هم اکنون به عنوان یکی از خطوط اصلی انتقال فرآورده نفتی در حال بهره برداری است، مطابق با مشخصات ذیل مورد بررسی قرار می گیرد:

الف) قطر خط لوله : 20 اینچ

ب) جنس خط لوله: API 5L X56 [19].

ج) استحکام لوله فولادی 56000 psi جهت خط لوله انتقال فرآورده های نفتی استفاده می گردد و مطابق با استاندارد ضریب 0/72 را در استحکام لوله لحاظ و در نتیجه مقدار S برابر با 40320 محاسبه می گردد [20].

¹ ANSI B36.19 , ASME B31.4

د) ضخامت متوسط خط لوله بدون در نظر گرفتن فشار استاتیک فرآورده و اضافه ضخامت در اثر خوردگی¹ معادل $0/36$ اینچ است. ($t=0/36$)

و) فشار متوسط طراحی: $P=1450\text{psi}$

ه) طول خط لوله: $L=238\text{ km}$.

ی) سرعت سیال: $V=1/3\text{ m/s}$.

نتایج زیر از حل مسئله با استفاده از توابع هدف و قیود توضیح داده شده در بخش‌های قبل و نیز با در نظر گرفتن پارامترهای مورد نیاز الگوریتم برابر با $\omega=0/8$ ، $C_1=C_2=1$ و نسبت Pr_1 به Pr_2 برابر 1000 و بهره‌گیری از یک کد محاسباتی به زبان MATLAB، حاصل می‌گردد.

الف) در ابتدا با در نظر گرفتن تابع هدف هزینه، نتایج زیر در تحلیل تک هدفه الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات با ثابت در نظر گرفتن فشار سیال داخل لوله و همچنین استحکام لوله به دست می‌آید (جدول (1)).

جدول 1. مقایسه مشخصات خط لوله واقعی و مشخصات لوله پس از بهینه‌سازی تک هدفه تابع هزینه

شرح	P (psi)	S (psi)	r (in)	t(in)
مشخصات واقعی لوله	1450	79514	10	0/36
مشخصات لوله پس از بهینه‌سازی	1450	79514	4	0/07294312

اگر نتایج این حالت با نتایج به دست آمده از فرمول طراحی (معادله (4)) مقایسه شوند، مشاهده می‌شود که جواب الگوریتم در انتخاب ضخامت و شعاع لوله (در فشار داخلی و استحکام یکسان)، برای طراحی این خط لوله بهترین حالت است زیرا که منجر به کم‌ترین ضخامت و شعاع لوله و نهایتاً کم‌ترین وزن (هزینه خرید فولاد) می‌گردد. اما این جواب به دلیل لحاظ نکردن سرعت سیال و به دنبال آن بهینه نشدن دبی قابل استناد نیست و تنها بیانگر حداقل هزینه تحمیلی در انتخاب لوله است.

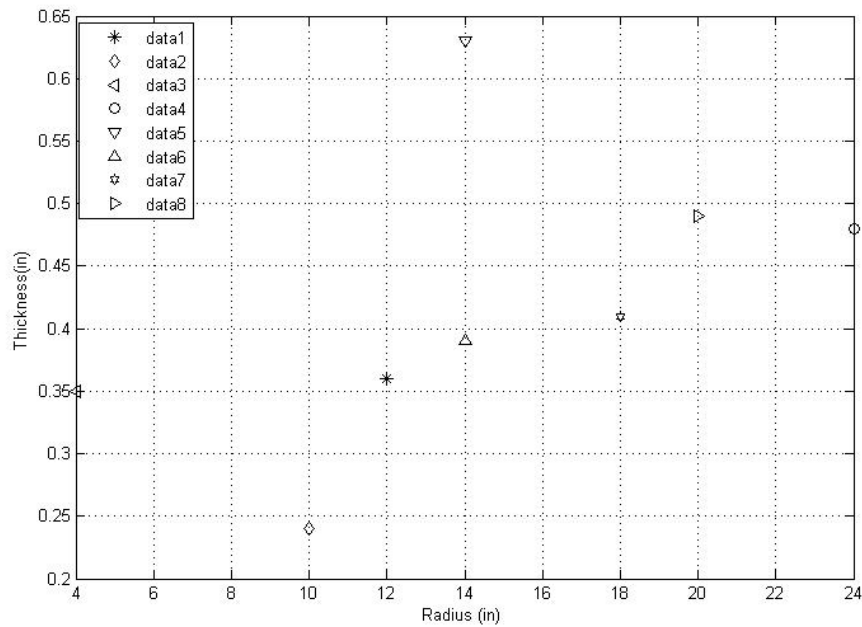
ب) از آنجا که هدف از احداث یک خطوط لوله، انتقال بهینه یک فرآورده نفتی است پس بهترین حالت زمانی اتفاق می‌افتد که بتوان حداکثر فرآورده را در زمان کم یا به عبارتی در بیش‌ترین دبی عبوری با کم‌ترین هزینه انتقال داد. در مرحله بعد حل مسئله با استفاده از دو تابع هدف تعریف شده انجام شده است. جواب‌های مانده در آرشیو الگوریتم به عنوان ذرات نامغلوب، در جدول (2) نشان داده شده اند که هر یک می‌توانند جواب مسئله باشند.

¹ corrosion allowance

جدول 2. جواب‌های مانده در آرشیو الگوریتم MOPSO

	data1	data2	data3	data4	data5	data6	data7	data8
$t(\text{in})$	0/36	0/24	0/35	0/48	0/63	0/39	0/41	0/49
$r(\text{in})$	12	10	4	24	14	14	18	20
$S(\text{psi})$	40320	60858	72801	100962	41865	32052	65419	98787
$V(\text{m/s})$	3	2/97	3	۲/۹۹	2/99	3	3	3
تابع هدف (1)	8917	8304	8984	23661	14700	9659	15244	21444
تابع هدف (2)	11327	7866	1259	45306	15397	15417	25485	31463

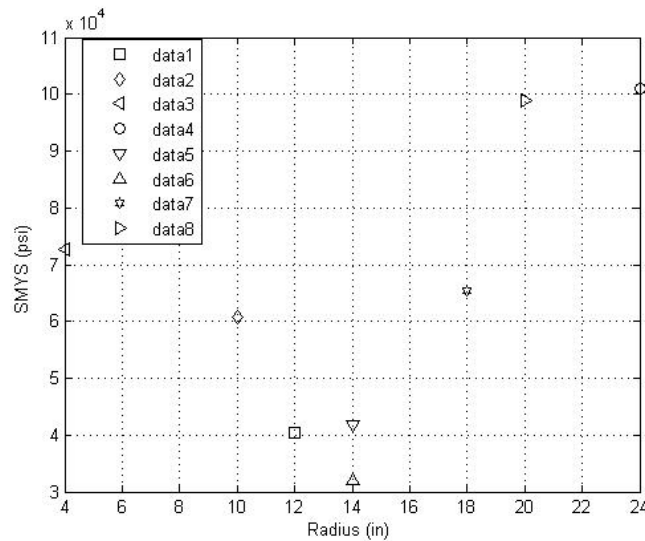
الگوریتم MOPSO داده¹ شماره 2 را به‌عنوان بهترین جواب برگزیده است. حال جهت بررسی صحت و سقم این انتخاب، جواب‌های مانده در آرشیو این الگوریتم را به‌صورت گام به گام با یکدیگر مقایسه می‌نماییم.



شکل 2. مقادیر شعاع و ضخامت داده‌ها

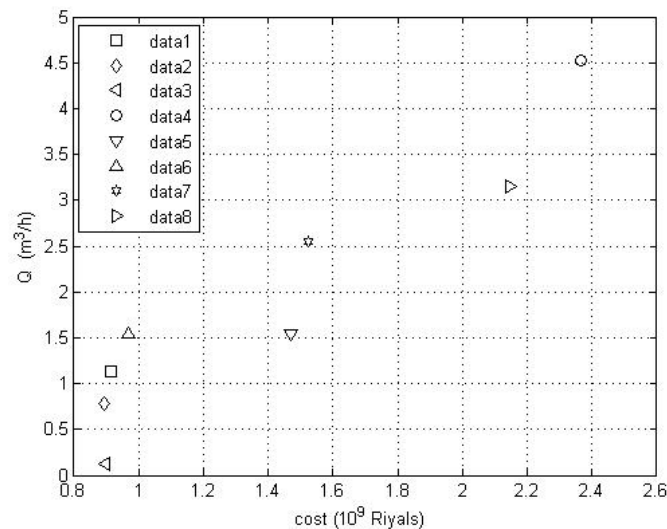
با مقایسه داده‌های پارامترهای t ، S و r مشاهده می‌شود انتخاب یکی از این داده‌ها به‌عنوان جواب کمی سخت است و آسان‌ترین راه بدون در نظر گرفتن استحکام لوله و لحاظ نمودن تاثیر آن در هزینه‌ها، با استفاده از رابطه (5)، داده‌ای است که حاصل ضرب شعاع در ضخامت آن کم‌ترین باشد. این مقایسه در شکل (2) نشان داده شده است.

¹ data



شکل 3. مقادیر شعاع و استحکام داده‌ها

در این حالت داده 3 بهترین گزینه است اما باید توجه کرد این انتخاب به دلیل نادیده گرفتن تاثیر دیگر پارامترهای طراحی غیر منطقی است. اگر پارامتر استحکام نیز با شعاع مقایسه شود باز نمی‌توان به یک انتخاب قطعی رسید. این مقایسه در شکل (3) نشان می‌دهد که مجدداً داده شماره 3 می‌تواند بهترین جواب باشد، هرچند داده‌های 2 و 1 و 6 نیز به انتخاب نزدیک می‌باشند. حال جهت رسیدن به جواب این سوال که آیا بهترین جواب می‌تواند داده 3 باشد یا خیر، مقایسه داده‌های دو تابع هدف جدول (2) در شکل (4) به‌عنوان گام بعدی مورد بررسی قرار می‌گیرد. به وضوح مشاهده می‌شود که داده شماره 3 کم‌ترین دبی جریان را در مقایسه با دیگر داده‌ها دارد در نتیجه داده 3 بهینه‌ترین جواب این مسئله نیست.



شکل 4. مقادیر دو تابع هدف مسئله

ملاحظه می‌شود انتخاب بهترین داده از شکل (3) دشوار است زیرا که می‌بایستی تابع قیمت فولاد (cost) کم‌ترین و تابع دبی عبوری سیال (Q) بیش‌ترین باشد. مشاهده می‌شود انتخاب بدلیل نامتعارف بودن تابع دبی غیر ممکن است.

از بررسی نتایج فوق مشخص می‌گردد که جواب نهایی ارائه شده از سوی الگوریتم ازدحام ذرات (داده شماره 2)، با برخی از مشخصات خط لوله اجرا شده همخوانی و با برخی دیگر منافات دارد. الگوریتم MOPSO قطر را مانند قطر خط لوله اجرا شده 20 اینچ پیشنهاد داده است در حالی که مقادیر ضخامت، استحکام و سرعت متفاوت می‌باشند. این اختلاف را می‌توان در بهینه نمودن توابع در کاهش هزینه خرید و انتقال بیش‌تر فرآورده نفتی به صورت زیر بیان کرد:

الف) اختلاف در وزن خط لوله:

با استفاده از اطلاعات به‌دست آمده متوسط وزن خط لوله مورد بحث با استفاده از مقادیر بهینه برابر 42724942 تن و وزن خط لوله نمونه پایه 8534883 تن محاسبه می‌گردد. اختلاف این دو عدد رقم فاحش 34000000 تن فولاد است که با احتساب نرخ روز فولاد می‌توان به توانایی این روش در صرفه جویی و کاهش بارز هزینه‌ها پی برد.

ب) اختلاف در دبی عبوری از خط لوله:

از آنجا که قطر خط لوله با قطر خط لوله پیشنهادی این الگوریتم یکسان محاسبه شده است مقایسه نمودن دبی عبوری شاید منطقی نباشد. اما این نکته حایز اهمیت است که سرعت سیال محاسبه شده در الگوریتم بیش از دو برابر سرعت حالت پایه است که این بدان معناست که دبی عبوری بیش از دو برابر خط لوله نمونه پایه توسط این الگوریتم محاسبه شده است.

نتیجه گیری

در این مقاله با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه ازدحام ذرات، روشی جدید در بهینه نمودن ضخامت، قطر، استحکام و سرعت سیال یک خط لوله ارائه شد. با مقایسه نتایج حاصله از این الگوریتم با یکی از خطوط لوله انتقال موجود کشور توانایی آن در به حداقل رسانیدن هزینه و حداکثر نمودن انتقال فرآورده نفتی سنجیده و پس از مقایسه، به‌طور واضح مشخص گردید که از این روش می‌توان در مسائلی که امکان بهینه نمودن چند تابع با یکدیگر به‌طور هم‌زمان میسر نیست بخصوص طراحی پیچیده خطوط لوله انتقال استفاده نمود. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهند که با استفاده از مشخصات خط لوله به‌دست آمده از الگوریتم ازدحام ذرات وزن خط لوله بهینه به اندازه 34000000 تن نسبت به حالت پایه کاهش یافته در حالی که سرعت سیال عبوری دو برابر شده است.

فهرست علائم و نشانه‌ها

c_1 & c_2	weight Factors	ضرایب وزنی
D (in)	diameter	قطر لوله
E	joint factor	ضریب اتصال لوله به یکدیگر
F	design factor ¹	ضریب طرحی
L (Km)	pipeline length	طول خط لوله بر حسب کیلومتر
P (psi)	internal pipeline pressure	فشار داخلی لوله
p_r	price factor	ضریب هزینه
Q (m^3 /h)	mass flow	دبی جرمی سیال عبوری
r (in)	radius	شعاع خط لوله بر حسب اینچ
r_1 & r_2	random number	اعداد تصادفی
S (psi)	Strength	استحکام لوله
S_H (psi)	hoop stress	تنش حلقوی
S_y (psi)	Specified Minimum Yield Strength	حداقل تنش تسلیم لوله
t (in)	thickness	ضخامت دیواره لوله
ρ (m^3 /kg)	density	چگالی
ω	inertia factor	ضریب اینرسی

منابع

1. دب، کالیانموی، الگوریتم‌های ژنتیک با رویکرد بهینه‌یابی چندهدفه، ترجمه جعفر رضایی و منصور داوودی منفرد، تهران: انتشارات پلک، 1387.
2. قانعی، علی، قنبرزاده، افشین، نقره آبادی، امین رضا، بهینه‌سازی مبدل حرارتی پوسته لوله با استفاده از الگوریتم چندهدفه دسته گروهی ذرات، اولین همایش ملی شبیه‌سازی سیستم‌های مکانیکی اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، اسفند 1390.
3. مقدم، علیرضا، علیزاده، امین، فرید حسینی، علیرضا، ضیایی، علی‌نقی، فلاح هروی، دانیال، کاربرد یک الگوریتم اصلاح شده بهینه‌سازی ازدحام ذرات در طراحی سیستم‌های توزیع آب، نشریه آبیاری و زهکشی ایران، شماره 3، جلد 7، پاییز 1392.
4. علی نیکنام، شبیه‌سازی و بهینه‌سازی خط لوله انتقال گاز، دهمین کنگره ملی مهندسی شیمی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، پاییز 1384.
5. Afshar M.H., Rohani M., Optimal operation of pipeline systems using genetic algorithm, IEEE Congr. Evol. Comput. 2009, pp.1399– 1405.
6. Jiang Y., Chen C., Chen F., Application of improved genetic algorithm in optimal operation of long-distance natural gas pipeline, Oil Gas Stor. Transport. vol. 28 (7), 2009, pp.32–35.



7. Gao S., Wang Y., Xu P., Application of hybrid genetic algorithm in optimal operation of oil pipeline, *Oil Gas Stor. Transport*. Vol.23 (7), 2004, pp.34–37.
8. Cui Z., Tian D., Lu M., Optimization study on efficiency of Huachi-Quzi heated crude oil Pipeline, *Oil Gas Stor. Transport*. vol.27 (8), 2008, pp.11–15.
9. Li K., Application of PSO in optimal design of hot oil pipeline, *J. Southwest Petrol. Univ.* vol. 29 (3), 2007, pp.150–153.
10. Zhou M., Li M., Zhang Y., Li J., Jin S., A combined particle swarm optimization-simulated annealing algorithm for heated oil pipeline optimal operation, *WIT Trans. Eng. Sci.*, vol. 87 , 2014, pp. 713–722.
11. Ilanko. S., Asymptotic modelling theorems for the static analysis of linear elastic structures, *Royal Society Proceedings A (Mathematical, Physical and Engineering Sciences)*, vol. 461(13), 2005, pp. 3525–3542.
12. Schmitt L., Lothar M., *Theory of Genetic Algorithms*, Theoretical Computer Science, 2001, pp. 1–61.
13. مهدی قطعی، بهینه‌سازی خطی و بهینه‌سازی ترکیبیاتی، انتشارات ناقوس، 1392، تهران، ایران.
14. Kennedy J., Eberhart R., Particle Swarm Optimization, *IEEE Transactions On Evolutionary Computation*, vol. 8(3),1995, pp. 1942-1948,
15. Coello, C. A., Lechuga, M. S. MOPSO: A proposal for multiple objective particle swarm optimization. *IEEE Congress on Evolutionary Computation*, 2002 Honolulu, Hawaii USA.
16. The American Society of Mechanical Engineers, B36.10M Welded and Seamless Wrought Steel Pipe, 2015. ISBN 9780791870273. Retrieved 2015-10-02.
17. ASME (American Society of Mechanical Engineers) B31.4: Pipeline Transportation Systems for Liquids and Slurries. 2014. ISBN 9780791870242.
18. ASME (American Society of Mechanical Engineers) B31.8: Gas Transmission & Distribution Piping systems.2014. ISBN 9780791869499.
19. Api 5l, Api (American Petroleum Institute) Specification For Line Pipe, Forty-Third Edition, March 2004 Effective Date: October 2004 Errata December 2004. ISBN-13: 978-3639751987
20. Mohitpour, M., *Pipeline Design and Construction: A Practical Approach*. ASME Press. 2003.