

بهینه‌سازی سیستم لوله‌گذاری بین واحدهای مجتمع پتروشیمی

محمدرضا صفاییه (استاد)

آیدین ناصحی (کارشناس ارشد)

دانشکده‌ی مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی شریف

در مجتمع‌های پتروشیمی، انتقال سیال‌ها یا گازهای مورد نیاز فرایند تولید بین واحدهای مختلف مجتمع با توجه به گوناگونی مواد که در گروه‌های مواد خام اولیه، مواد در مرحله‌ی نیم‌ساخت یا پایان ساخت و نیز مواد کمکی -- در حالت گازی یا مایع -- دسته‌بندی می‌شوند، اهمیت ویژه‌ی دارد.

این پژوهش طراحی سیستم بهینه‌ی لوله‌گذاری بین واحدهای مختلف یک مجتمع پتروشیمی در حال احداث را براساس نیازهای عملیاتی تولید در بر می‌گیرد. بر این اساس، ابتدا مدل ریاضی لوله‌گذاری بهینه طراحی شده سپس برای حل مدل، سه روش بهینه‌ی ساده، مکاشفه‌ی و فرا مکاشفه‌ی (ژنتیک) با یکدیگر مقایسه می‌شوند.

مقدمه

مجتمع‌های پتروشیمی شامل چندین واحد متمایز تولیدی و تبدیلی‌اند که با فعالیت یکپارچه و هماهنگ مجموعه، محصولات نهایی آن برای توزیع داخلی یا صادرات ساخته می‌شوند. در این‌گونه مجتمع‌ها، انتقال سیال‌ها یا گازهای مورد نیاز فرایند تولید بین واحدهای مختلف با توجه به گوناگونی مواد که در گروه‌های مواد خام اولیه، مواد در مرحله‌ی نیمه یا پایان ساخت و نیز مواد کمکی -- در حالت گازی یا مایع -- دسته‌بندی می‌شوند، اهمیت ویژه‌ی دارد. [۱، ۲]

هدف این پژوهش طراحی و ارائه‌ی سیستم ترتیبی بهینه لوله‌گذاری انتقال مواد در کانال‌های ارتباطی بین واحدهای مختلف مجتمع پتروشیمی با توجه به محل تولید مواد مختلف، واحدهای کاربری و تبدیل مواد، تعداد و قطر لوله‌ها، تنوع مواد در راستای کاهش طول لوله‌ها، هزینه‌های لوله‌گذاری، دستیابی به سرعت مناسب انتقال و نیز کاهش خطرات ناشی از تجمع لوله‌ها در کانال است.

در این زمینه محدودیت‌هایی مانند تنوع قطر لوله‌ها، عدم امکان جاسازی برخی لوله‌ها کنار هم، وجود موانع فیزیکی در کانال، امکان خمش محدود در مسیر انتقال، دمای مواد، وجود شیرهای کنترل متعدد با اندازه‌های مختلف و محدودیت‌های مشابه دیگر داده‌های ورودی اجباری سیستم محسوب شده و در الگوریتم بهینه‌سازی سیستم انتقال و پیاده‌سازی آن منظور می‌شوند.

به منظور دستیابی به چیدمان نزدیک به بهینه‌ی لوله‌ها در کانال از الگوریتم‌های مکاشفه‌ی و فرا مکاشفه‌ی و نیز مدل‌سازی ریاضی استفاده شده است.

پیش فرض‌های کلی

اطلاعات مورد نیاز برای طراحی مدل ریاضی و ارائه‌ی نتیجه‌ی نهایی براساس سیستم یک مجتمع موجود پتروشیمی در کشور برداشت شده است.

- مجتمع دارای واحدهای کلی تولیدی، تبدیلی، انبارش، ورود و خروج مواد است.

- مسیر انتقال مواد و طراحی چیدمان لوله‌ها باید هماهنگ با فرایند تولید باشد.

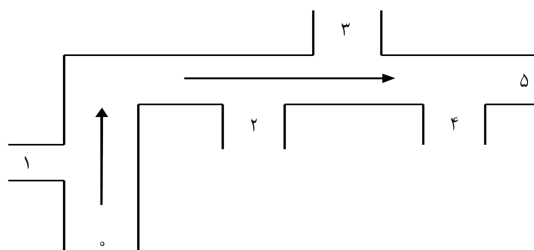
- ترتیب استقرار واحدها در مجموعه به صورت پایانه‌های ورودی، واحدهای تولیدی مواد ساده، انبارهای مواد ساده، واحدهای تولید مواد مرکب، انبارهای مواد مرکب و پایانه‌های خروجی مواد است.

- فشار ورودی و خروجی مواد در لوله‌ها باید به‌عنوان داده در نظر گرفته شود.

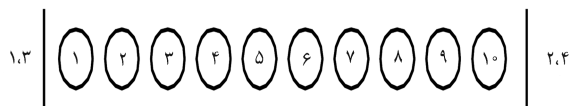
- مواد مختلف در مجتمع به سه حالت گاز، بخار و مایع توسط لوله‌ها منتقل می‌شوند.

- به منظور کاربری نتیجه‌ی پژوهش در مجتمع‌های پتروشیمی مختلف محاسبات و فرض‌ها به صورت پارامتریک انجام می‌شود.

- به منظور ساده‌سازی گزارش نتیجه کار، در مدل ریاضی تعداد لوله‌ها ۱۰ عدد فرض شده که پس از تکمیل مدل و دستیابی به نتیجه‌ی نهایی به هر تعدادی قابل افزایش است.



شکل ۱. شماره‌گذاری نقطه شروع، نقطه پایان و تقاطع‌های کانال.



شکل ۲. جانمایی لوله‌ها در کانال.

مرحله بعدی ایجاد مدل، تهیه جدولی است که در آن مواد انتقالی، لوله‌های انتقال دهنده به همراه قطر آن‌ها و تقاطع‌های ارتباطی مشخص شده است. در جدول ۱ لوله‌هایی که از نقطه شروع کشیده می‌شوند با تقاطع صفر و آنها که به نقطه پایان ختم می‌شوند با تقاطع $N_r + 1$ ارتباط دارند مشخص شده است. در مرحله‌ی بعد با فرض ثابت بودن تعداد موقعیت‌های لوله‌ها در طول کانال، از نقطه‌ی شروع، شماره‌گذاری موقعیت‌ها به ترتیب صعودی از چپ به راست انجام شده است (شکل ۲). در این شماره‌گذاری که از نقطه‌ی شروع آغاز می‌شود، و در حالی که موقعیت ناظر در نقطه‌ی شروع و رو به نقطه‌ی پایان در نظر گرفته شود، تقاطع‌هایی که در طرف چپ کانال قرار دارند (در مثال ۱ و ۳) «تقاطع چپ‌گرد»، و آنها که در طرف راست کانال قرار دارند (۲ و ۴) «تقاطع راست‌گرد» نامیده می‌شوند. برای حل مسئله لازم است با تکیه بر عوامل بهینه‌سازی، ملاکی کمی برای مقایسه‌ی چیدمان‌های مختلف

جدول ۱. نمونه فرضی مواد، لوله‌ها و ورود و خروج لوله‌ها در کانال.

ردیف	نام ماده	قطر لوله (D)	کانال‌های ارتباطی
۱	$M_{0,1}$	۴ اینچ	۰, ۳
۲	$M_{0,2}$	۴ اینچ	۲, ۳, ۴
۳	$M_{0,3}$	۶ اینچ	۰, ۵
۴	$M_{0,4}$	۶ اینچ	۱, ۳
۵	$M_{0,5}$	۸ اینچ	۲, ۴, ۵
۶	$M_{0,6}$	۶ اینچ	۱, ۳, ۴
۷	$M_{0,7}$	۸ اینچ	۱, ۴, ۵
۸	$M_{0,8}$	۸ اینچ	۰, ۲, ۳, ۵
۹	$M_{0,9}$	۱۰ اینچ	۰, ۳, ۵
۱۰	$M_{1,0}$	۱۰ اینچ	۱, ۲, ۴

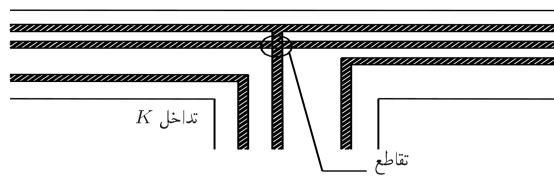
- لوله‌ها در یک ردیف عرضی و یک طبقه در کانال کنار هم و در یک امتداد قرار می‌گیرند.
- مواد مورد انتقال از M_1 تا M_{10} و محل چیدمان لوله‌ها در کانال L_1 تا L_{10} نامیده می‌شوند.
- فشار مواد در ابتدا و انتهای لوله‌ها با پارامترهای P و قطر لوله‌ها با D مشخص می‌شود.

تعریف مسئله

تعریف مسئله‌ی پژوهش شامل یافتن چیدمان نزدیک به بهینه‌ی تعداد N_p لوله در کانال اصلی ارتباط‌دهنده‌ی بخش‌های یک مجتمع پتروشیمی دارای N_L موقعیت برای عبور لوله‌ها است. کانال مورد نظر دارای یک نقطه شروع، یک نقطه پایان و N_r تقاطع است که در هر کدام از این تقاطع‌ها لوله‌هایی از کانال خارج شده و یا به آن وارد می‌شوند. ورود یا خروج لوله‌ها می‌تواند به صورت تداخل نیز باشد. بهینه‌سازی به منظور کمیته‌سازی تداخل‌ها، سهولت ساخت تکیه‌گاه لوله‌ها و یا کمیته‌کردن وزن لوله‌ی مصرفی انجام می‌شود. تداخل به معنی لزوم عبور دو لوله در مسیرهای عمود بر هم است که در صورت عدم تغییر ارتفاع با یکدیگر برخورد می‌کنند. تغییر ارتفاع ایجاد لوله‌ها موجب افزایش هزینه‌ی لازم و پیچیدگی چیدمان لوله‌ها خواهد بود. از آنجا که کاهش پیچیدگی یکی از اهداف اصلی بهینه‌سازی است، کمیته‌کردن تعداد تداخل‌ها اهمیت ویژه‌ی دارد. فاصله‌ی تکیه‌گاه‌های لوله‌ها با توجه به قطر آن‌ها تعیین می‌شود. با ازدیاد قطر لوله، توانایی ایستایی آن افزایش یافته و در نتیجه فاصله‌ی تکیه‌گاه‌ها نیز افزایش می‌یابد. در صورت چیدمان لوله‌ها با قطرهای متفاوت در مجاورت هم، تعداد تکیه‌گاه‌ها نیز افزایش یافته و باعث ایجاد هزینه‌ی بالاتری می‌شود. چنانچه لوله‌های هم اندازه حتی‌المقدور کنار هم قرار گیرند، تعداد تکیه‌گاه‌ها کاهش یافته و در نتیجه موجبات تقلیل هزینه فراهم می‌شود. از این رو، استقرار لوله‌های هم‌اندازه مجاور یکدیگر عامل دیگری در جهت بهینه‌سازی است. با توجه به هدف نزدیک به بهینه‌ی پژوهش، عوامل تداخل و شیوه‌ی چیدمان لوله‌ها در کانال نیز باید در مدل ریاضی منظور شوند.

مدل ریاضی مسئله

به منظور طراحی مدل ریاضی این کانال ارتباطی تقاطع‌های آن از نقطه شروع تا نقطه پایان به صورت صعودی شماره‌گذاری می‌شوند. برای نقطه شروع عدد صفر و برای نقطه پایان عدد $N_r + 1$ در نظر گرفته شده و بدین ترتیب نقاط اتصال لوله‌ها شماره‌گذاری می‌شوند. نمادی از این شماره‌گذاری برای یک مسئله نمونه در شکل ۱ مشهود است.



شکل ۳. تداخل در تقاطع K.

استفاده از روابط ۲ و ۳ روش زیر به کار برده می شود.

$S_{n,p}$ = Size difference between locations L_n and L_p

$$S_{n,p} = \sum_{i=1}^{N_P} \sum_{j=1}^{N_P} X_{in} X_{jp} |D_i - D_j|$$

$$N_E = \sum_{k=1}^{N_L-1} S_{k,k+1} =$$

$$\sum_{k=1}^{N_L-1} \sum_{i=1}^{N_P} \sum_{j=1}^{N_P} X_{ik} X_{j,k+1} |D_i - D_j| \quad (4)$$

در روابط ۴ علاوه بر ثبت تغییر اندازه ها، مقادیر تغییر اندازه نیز در نظر گرفته شده که با کمیته شدن این مقادیر، حداقل تنوع در قرار گرفتن لوله ها حاصل می شود. در ادامه لازم است روشی برای محاسبه N_C ارائه شود. برای تعیین این مقدار کلیه حالت های مختلف تداخل در نظر گرفته می شود. در خروجی راست گرد K برای لوله M واقع در موقعیت N هنگامی تداخل اتفاق می افتد که لوله دیگری در سمت راست آن وجود داشته باشد. نمادی از این تداخل در شکل ۳ مشخص شده است. با توجه به مطالب فوق برای محاسبه تداخل ها در تقاطع راست گرد t تعاریف زیر به کار گرفته می شود.

$$R_{mk} = \begin{cases} \setminus & \text{if pipe } m \text{ is connected to route } t \\ \circ & \text{otherwise} \end{cases}$$

$B_m = \text{Min}(k) | R_{mk} = \setminus$ Beginning of pipe m

$$BB_{mt} = \begin{cases} \setminus & \text{if } B_m < t \\ \circ & \text{if pipe } m \text{ begins before junction } t \\ \circ & \text{if } B_m \geq t \end{cases}$$

$E_m = \text{Max}(k) | R_{mk} = \setminus$ End of pipe m

$$EA_{mt} = \begin{cases} \setminus & E_m > t \\ \circ & \text{if pipe } m \text{ ends after junction } t \\ \circ & \text{if } E_m \leq t \end{cases}$$

و تعیین میزان بهینگی آنها تعریف شود. این معیار که «تابع جریمه» نامیده شده از دو معیار متفاوت به وجود می آید:

تداخل لوله ها

بر اساس تعریف مسئله اگر لازم باشد لوله ای برای رسیدن به مقصد از رو یا زیر لوله دیگری عبور کند یک تداخل به وجود می آید. با در نظر داشتن هدف اولیه که کمیته کردن این تداخل ها است، باید تابع جریمه به نحوی تعریف شود که مقدار آن با هر تداخل افزایش یابد.

کنار هم قرار گرفتن لوله های هم اندازه

همان طور که در تعریف مسئله ذکر شد قرار گرفتن لوله های هم اندازه در کنار هم، تعبیه ی تکیه گاه ها را برای لوله ها ساده تر می سازد و بنابراین هرگاه دو لوله ی هم سایه هم اندازه نباشند، مقداری به عنوان «جریمه ی تغییر اندازه» به تابع جریمه افزوده می شود. برای یافتن حل بهینه ی مسئله «تابع جریمه» کمیته تعریف می شود.

$$\text{Min } PF \quad (1)$$

با فرض:

N_C = Number of collisions

f_C = Factor of importance for collisions

N_E = Sum of size changes

f_E = Factor of importance for equity of sizes

$$PF = N_C f_C + N_E f_E \quad (2)$$

برای محاسبه تعداد تداخل ها و همچنین تغییر اندازه ها، متغیر X به صورت زیر تعریف می شود:

$$X_{mn} = \begin{cases} \setminus & \text{if pipe } M_m \text{ is assigned to location } L_n \\ \circ & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sum_{i=1}^{N_P} X_{ij} \leq \setminus | \forall j = 1, \dots, N_L$$

$$\sum_{j=1}^{N_L} X_{ij} = \setminus | \forall i = 1, \dots, N_P$$

$$X_{ij} = \circ, \setminus | \forall i = 1, \dots, N_P \wedge \forall j = 1, \dots, N_L \quad (3)$$

در این مرحله لازم است برای محاسبه ی مقادیر N_C و N_E ، با فرض وجود، تخصیص الگوریتم هایی ارائه شوند. برای محاسبه مقدار N_E با

(5)

$$\left\{ \sum_{t=1}^{N_j} \left[\begin{array}{c} TD_t \sum_{m=1}^{N_L-1} \sum_{n=m+1}^{N_L} \sum_{i=1}^{N_P} \sum_{j=1}^{N_P} X_{im} X_{jn} R_{it} \\ BB_{jt} EA_{jt} + \\ (\ 1 - TD_t) \sum_{m=2}^{N_L} \sum_{n=1}^m \sum_{i=1}^{N_P} \sum_{j=1}^{N_P} X_{im} X_{jn} R_{it} \\ BB_{jt} EA_{jt} \end{array} \right] \right\} f_c$$

$$S.T. : \sum_{i=1}^{N_P} X_{im} \leq 1 \quad \forall m = 1, \dots, N_L$$

$$\sum_{m=1}^{N_L} X_{im} = 1 \quad \forall i = 1, \dots, N_P$$

$$X_{im} = 0, 1 \quad \forall i = 1, \dots, N_P \wedge \forall m = 1, \dots, N_L \quad (10)$$

روش‌های پیشنهادی برای حل مسئله

روش بهینه‌سازی انشعاب و تحدید

مدل ریاضی تهیه شده از نوع برنامه‌ریزی درجه دو با متغیرهای صفر و یک بوده و حل آن با ابزارهای برنامه‌ریزی غیرخطی مانند Lingo امکان پذیر است. این ابزارها از روش انشعاب و تحدید برای حل مسائل تخصیص استفاده کنند. از آنجا که تابع هدف از نوع درجه دوم و مسئله از نوع برنامه‌ریزی کاملاً غیرخطی است، حل پذیری آن برای مدل‌های بزرگ غیر قابل پیش‌بینی است. [2] با توجه به احتمال زمان بری بالای حل مدل ریاضی با این روش، دو روش دیگر «مکاشفه‌یی» و «فرا مکاشفه‌یی» مورد بررسی قرار می‌گیرند.

روش مکاشفه‌یی، Greedy-Opt

با کاربری این روش ابتدا یک تخصیص ممکن از لوله‌ها پیدا شده و تابع جریمی مربوط به آن محاسبه می‌شود. پس از محاسبه PF اولیه، الگوریتم بهبود شروع به‌کار کرده و با تعویض دو به دو لوله‌ها کوشش در بهبود جانمایی با کاهش PF می‌شود. [4] این الگوریتم به‌علت آنکه توسط جابه‌جایی، بهبودی را انجام می‌دهد «الگوریتم حریرص دو به دو» نامیده می‌شود. هنگامی که با جابه‌جایی هیچ دو لوله‌یی بهبود حاصل نشود، الگوریتم خاتمه یافته و جانمایی حاصل به‌عنوان بهترین جانمایی ارائه می‌شود. پیچیدگی این الگوریتم از لحاظ تئوری $O(N^2)$ است ولی در عمل برای مسائل واقعی بهتر عمل می‌کند. [5]

مراحل انجام الگوریتم به‌صورت فلوجارت در شکل 4 آمده است.

پس از اجرای الگوریتم، جانمایی بهینه درآرایی Pipe_in_location وجود خواهد داشت. با اجرای برنامه PT 20 با داده‌های انتخاب شده

بدین ترتیب در تقاطع راست‌گرد t با توجه به روابط 3 و 5، محاسبات زیر تعداد تداخل‌ها را مشخص می‌کند:

$TCR_{t,m}$ = Total collisions on right for junction t in location m

$$TCR_{t,m} = \sum_{n=m+1}^{N_L} \sum_{i=1}^{N_P} \sum_{j=1}^{N_P} X_{im} X_{jn} R_{it} BB_{jt} EA_{jt}$$

$GTCR_t$ = Grand total of collisions on right for junction t

$$GTCR_t = \sum_{m=1}^{N_L-1} \sum_{n=m+1}^{N_L} \sum_{i=1}^{N_P} \sum_{j=1}^{N_P} X_{im} X_{jn} R_{it}$$

$$BB_{jt} EA_{jt} \quad (6)$$

به‌همین ترتیب در تقاطع چپ‌گرد t با توجه به روابط 3 و 5، محاسبات مشابه تعداد تداخل‌ها را مشخص می‌کند:

$GTCL_t$ = Grand total of collisions on left for junction t

$$GTCL_t = \sum_{m=2}^{N_L} \sum_{n=1}^m \sum_{i=1}^{N_P} \sum_{j=1}^{N_P} X_{im} X_{jn} R_{it} BB_{jt} EA_{jt} \quad (7)$$

حال مقدار N_C تعریف می‌شود:

$$TD_t = \begin{cases} 1 & \text{if junction t is a turn to right} \\ 0 & \text{if junction t is a turn to left} \end{cases} \quad (8)$$

با استفاده از روابط 6 و 7 و 8 تعداد کل تداخل‌ها به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$N_C = \sum_{t=1}^{N_j} [TD_t \times GTCR_t + (1 - TD_t) \times GTCL_t] \quad (9)$$

با استفاده از روابط 1 و 2 و 3 و 4 و 9 ساده‌سازی مدل ریاضی، روابط نهایی حاصل می‌شود.

$$\text{Min} \left(\sum_{k=1}^{N_L-1} \sum_{i=1}^{N_P} \sum_{j=1}^{N_P} X_{ik} X_{jk+1} |D_i - D_j| \right) f_E +$$

Exchanging pipes ۴ and ۹ Reduced PF to ۵۲۰۰

Exchanging pipes ۶ and ۷ Reduced PF to ۵۱۰۰

Exchanging pipes ۷ and ۹ Reduced PF to ۴۸۰۰

Final Assignment is : ۱۴۶۹۸۷۳۲۵۱۰

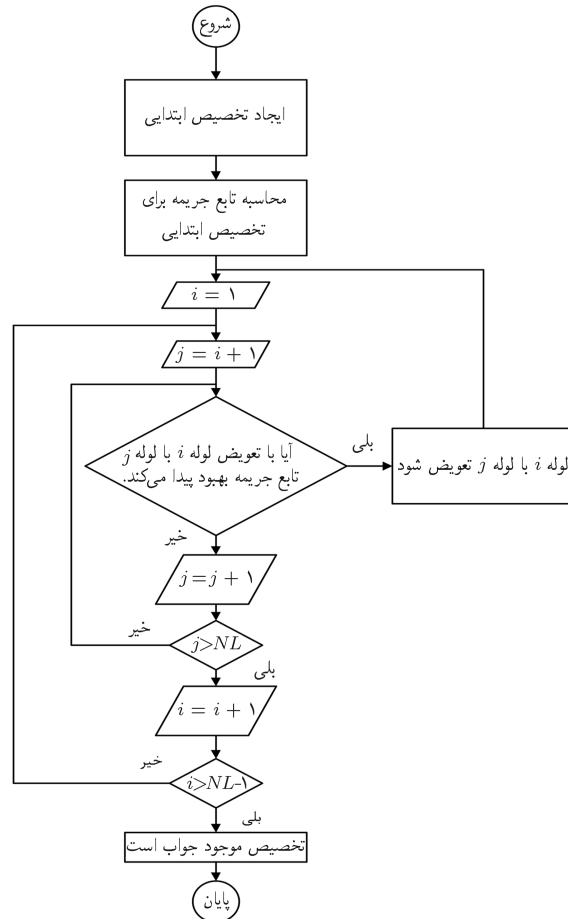
Final Penalty function is : ۴۸/۰۰

Pipe Diameters : ۴۶۶۱۰۸۸۶۴۸۱۰

روش فرا مکاشفه‌ی، الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک، روش جدیدتر برای حل مسائل عدد صحیح و صفر و یک است. [۶] برای حل مسئله‌ی لوله‌گذاری با استفاده از الگوریتم ژنتیک لازم است ابتدا فرم کروموزوم‌ها را مشخص کنیم. [۸۷] برای حل مسئله‌ی حاضر با فرضیات موجود، کروموزوم‌ها مطابق شکل ۵ به‌عنوان یک راه حل مسئله در نظر گرفته می‌شود، و برای مثال کروموزوم ۸ نشانگر آن است که لوله‌ی شماره ۸ در منتهی‌الیه چپ کانال قرار گرفته و در کنار آن لوله‌های ۶ و ۵ و ۹ و ۱۰ و ۲ و ۱ و ۷ و ۳ و ۴ به‌ترتیب قرار دارند. شکل ۶ فلوجارت الگوریتم این روش را نشان می‌دهد. در این الگوریتم جمعیتی از کروموزوم‌ها به‌صورت تصادفی ایجاد می‌شود. در هر مرحله برازندگی هر کدام از افراد جمعیت محاسبه می‌شود. سپس نسبت برازندگی هر فرد به مجموع برازندگی کل نسل به‌عنوان احتمال انتخاب آن فرد برای حضور به‌عنوان یکی از والدین نسل بعد به کار می‌رود. برای انجام این انتخاب مطابق شکل ۷ ابتدا برازندگی هر عضو محاسبه، و سپس نسبت آن به مجموع کل برازندگی نسل محاسبه می‌شود. اعضا سپس پشت سر هم مرتب شده و برای هر کدام برازندگی نسبی تجمعی محاسبه می‌شود. با انتخاب یک عدد تصادفی بین صفر و یک می‌توان براساس این برازندگی نسبی تجمعی انتخاب را با احتمال برازندگی نسبی هر فرد انجام داد. قابل توجه است که یک فرد ممکن است بیش از یک بار انتخاب شود و با توجه به این که احتمال انتخاب بیش از یک بار افراد با برازندگی بالا بیشتر است، به بهبود نسل بعد کمک می‌کند.

پس از انتخاب مجموعه والدین، عمل تبادل برای ایجاد فرزندان بین هر دو فرد انجام می‌شود. به‌منظور انجام عمل تبادل از روش GMX



شکل ۴. الگوریتم مکاشفه‌ی با جابه‌جایی دو به دو.

نتایج زیر حاصل می‌شود:

Initial assignment is : ۱۲۳۴۵۶۷۸۹۱۰

Initial Penalty function is : ۶۳/۰۰

Exchanging pipes ۲ and ۴ Reduced PF to ۶۲۰۰

Exchanging pipes ۴ and ۶ Reduced PF to ۶۰۰۰۰

Exchanging pipes ۳ and ۴ Reduced PF to ۵۹۰۰

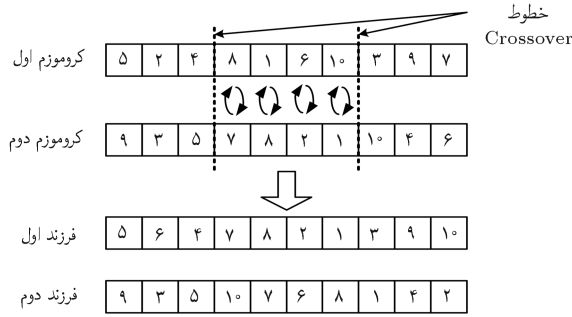
Exchanging pipes ۵ and ۶ Reduced PF to ۵۵۰۰

Exchanging pipes ۵ and ۸ Reduced PF to ۵۳۰۰

شماره لوله	شماره لوله	شماره لوله	شماره لوله	شماره لوله	شماره لوله	شماره لوله	شماره لوله	شماره لوله	شماره لوله
در موقعیت ۱۰	در موقعیت ۹	در موقعیت ۸	در موقعیت ۷	در موقعیت ۶	در موقعیت ۵	در موقعیت ۴	در موقعیت ۳	در موقعیت ۲	در موقعیت ۱

۸	۶	۵	۹	۱۰	۲	۱	۷	۳	۴
---	---	---	---	----	---	---	---	---	---

شکل ۵. ترکیب کروموزوم‌ها.



شکل ۸. نحوه‌ی انجام عمل تبادله.

در کل کروموزوم‌های نسل فرزندان آغاز می‌شود. هرگاه ژنی انتخاب شد، یک عدد تصادفی به‌عنوان جایگزین مقدار آن ژن ایجاد می‌شود. با جایگزینی مقدار تولید شده با مقدار اولیه‌ی ژن در کل کروموزوم عمل جهش پایان می‌یابد. شکل ۹ یک نمونه از این جهش را نشان می‌دهد. با توجه به این فرضیات و در نظر گرفتن جمعیت اولیه‌ی معادل ۱۰۰ عضو و ضریب جهش ۰.۵، برنامه‌ی لازم تهیه می‌شود. لازم به ذکر است که تابع برازندگی در این الگوریتم به‌صورت معکوس تابع جریمه مدل ریاضی تعریف می‌شود. پس از گذشت سه هزار نسل جواب زیر به‌دست می‌آید:

Best answer until generation 1 is

$$47861391052 \text{Penalty} = 53/00$$

Best answer until generation 1 is

$$46873129105 \text{Penalty} = 51/00$$

Best answer until generation 44 is

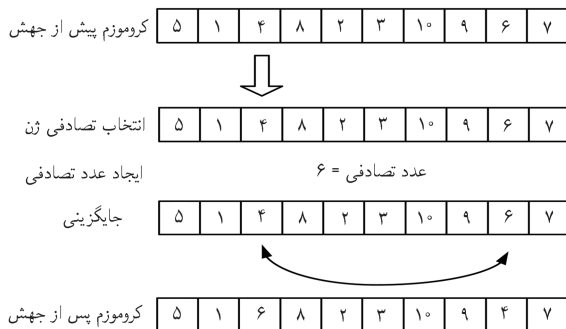
$$41638795102 \text{Penalty} = 50/000$$

Best answer until generation 266 is

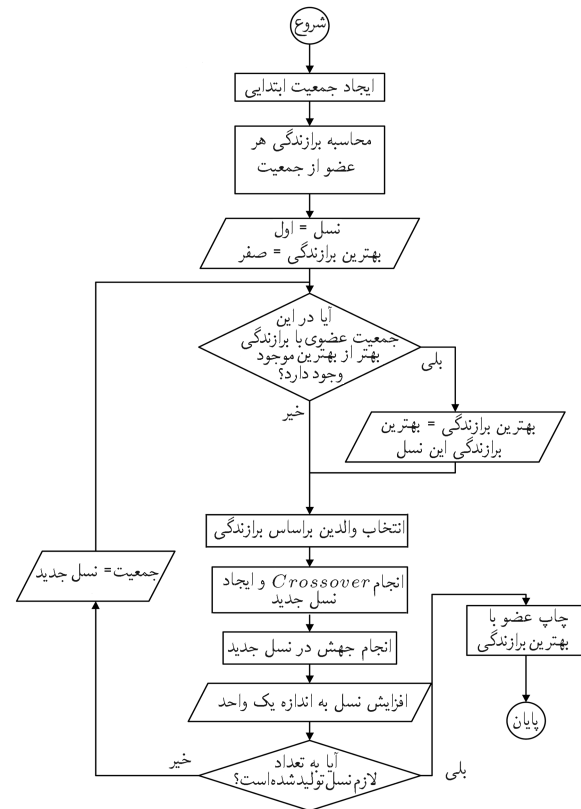
$$14678910532 \text{Penalty} = 47/00$$

Best answer until generation 277 is

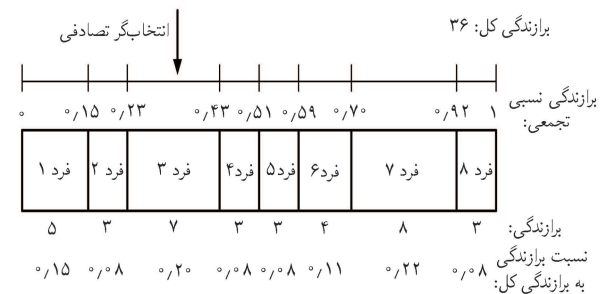
$$41638791052 \text{Penalty} = 46/00$$



شکل ۹. نحوه‌ی انجام عمل جهش.



شکل ۶. الگوریتم ژنتیک.



شکل ۷. نحوه‌ی انجام انتخاب براساس برازندگی.

استفاده شده است. نحوه‌ی انجام این عمل در شکل ۸ قابل مشاهده است. در این روش دو عدد تصادفی صحیح به‌عنوان خطوط تبادله ایجاد می‌شوند. کروموزوم والدین برای فرزندان تکثیر شده و سپس با توجه به ژن‌های واقع شده بین خطوط تبادله در والدین ژن فرزندان تغییر می‌یابد. به این معنی که اگر ژن اول بعد از خط تبادله در یکی از والدین i و در دیگری j باشد، در فرزندان کلیه ژن‌های i و j باهم تعویض می‌شوند. به همین ترتیب عمل تبادله برای تمام والدین انجام می‌شود تا جمعیت فرزندان ایجاد شود.

پس از انجام عمل تبادله، نوبت به عمل جهش می‌رسد. جهش که مطابق مسئله‌ی TSP انجام خواهد شد [۹] با انتخاب تصادفی ژن با احتمال خاص (موسوم به «ضریب جهش») از بین کلیه ژن‌های موجود

نتیجه‌گیری

- با توجه به تشابه مجتمع‌های پتروشیمی و این که در حال حاضر از روش‌های علمی برای جانمایی لوله‌های موجود بین واحدهای تولیدی استفاده نشده و این جانمایی به صورت تجربی صورت می‌گیرد، کاربری روش‌های فوق برای بهینه‌سازی چیدمان لوله‌های ارتباطی بین واحدها، کارایی مجتمع‌ها را چه در زمان ساخت و چه در زمان بهره‌برداری افزایش می‌دهد.
- چیدمان بهینه‌ی لوله‌ها نیازمند پاسخ‌گویی به مسئله‌ی تخصیص درجه دوم بوده و حل آن با استفاده از روش اشعاع و تحدید پیچیدگی زیادی دارد و با توجه به اینکه مسئله از نوع برنامه‌ریزی کاملاً غیرخطی است حد زمانی فوقانی برای آن قابل تعریف نیست.
- با استفاده از الگوریتم مکاشفیه‌ی و فرامکاشفیه‌ی ژنتیک به طور توأم، چیدمان‌های مختلف در معرض آزمایش قرار گرفته و احتمال محلی بودن جواب از بین می‌رود.
- با استفاده‌ی توأم از دو الگوریتم مکاشفیه‌ی و فرامکاشفیه‌ی می‌توان در زمان محدود به جواب‌های مناسب برای چیدمان لوله‌ها دست یافته و در حد نزدیک به بهینه بهترین را انتخاب کرد.
- با بررسی جواب‌های مختلف و انتخاب مناسب چیدمان لوله‌ها در مجتمع، سیستم لوله‌گذاری بهینه شده و از اتلاف مصالح (با کمینه‌شدن تعداد تقاطع‌ها) جلوگیری می‌شود. پیچیدگی احداث لوله‌ها نیز با حداقل شدن تغییرات قطر در لوله‌های مجاور کاهش می‌یابد.

در مورد پیچیدگی الگوریتم ژنتیک بحث زیادی وجود دارد. به نظر می‌رسد حد بالای پیچیدگی الگوریتم ژنتیک معادل پیچیدگی مسئله‌ی اصلی باشد، اما پژوهش‌های عملی نشان می‌دهد که در موارد عملی این الگوریتم سریع‌تر به جواب می‌رسد.^[۱۰]

تکمیل کاربری الگوریتم‌ها

با تجزیه و تحلیل عملکرد روش‌های مطرح شده مشخص می‌شود که روش مکاشفیه‌ی با سرعت به نقاط گوشه‌ی محلی در تابع هدف دسترسی می‌یابد، ولی کاربری این روش به‌تنهایی فاقد اطمینان کافی برای دسترسی به جواب بهینه است. با تعیین نقاط گوشه‌ی به‌صورت محلی، احتمال فاصله از جواب بهینه وجود دارد. در الگوریتم فرامکاشفیه‌ی سرعت دسترسی به جواب‌های مناسب غیرقابل پیش‌بینی بوده ولی امکان محلی بودن جواب‌ها وجود ندارد. حال با استفاده‌ی توأم از دو الگوریتم «مکاشفیه‌ی» و «فرامکاشفیه‌ی» می‌توان روش مناسب‌تری برای حل بهینه‌ی مسئله در زمان کمتر با اطمینان مورد قبول فراهم آورد. در این راستا می‌توان نتیجه‌ی بهینه‌سازی الگوریتم فرامکاشفیه‌ی را به‌عنوان چیدمان اولیه الگوریتم مکاشفیه‌ی در نظر گرفت، سپس نتیجه‌ی حاصله از این الگوریتم را به‌عنوان نیمی از جمعیت اولیه‌ی الگوریتم فرامکاشفیه‌ی تعریف کرده و بقیه‌ی اعضا این جمعیت را به‌صورت تصادفی ایجاد کرد.^[۱۱] در ادامه‌ی کار، این فرایند را تا رسیدن به جواب ادامه داده و بهترین نتیجه را به‌عنوان جواب نزدیک به بهینه‌ی مسئله کسب می‌کنند. به‌کارگیری این الگوریتم ترکیبی^۱ مستلزم پژوهش بیشتر بوده و پیچیدگی خاص خود را دارد.

پانوش

1. combinatorial

منابع

1. Georgiads M. C. et al. , A general mathematical programming approach for process plant layout, Computers and chemical engineering, **23**, Issue 7, pp. 823-840 (1999).
2. Yamada Y. and Teraoka Y., An optimal design of piping route in a CAD system for power plant, Computers and mathematics with applications, **35**, Issue 6, pp. 137-149 (1998).
3. Sahni, S. and Teogilo, G., "P-complete approximation problems," Journal Assoc. Computing Machinery, **23** (3) , pp. 555-565 (1976).

4. Shenmaier V. V., A greedy algorithm for maximizing a linear objective function, Discrete applied mathematics, **135**, Issues 1-3, pp. 267-279 (2004).
5. D. S. Johnson, J. L. Bentley, L. A. McGeoch, AND E. E. Rothberg, "Near-optimal solutions to very large traveling salesman problems," in preparation.
6. Balakrishnan J., Cheng C. H., A hybrid genetic algorithm for the dynamic plant layout problem, *International journal of production economics*, **86**, Issue 3, pp. 107-120 (2003).
7. Davis L., Handbook of genetic algorithms, Van Nostrand Reinhold, New York (1992).

8. Dowsland, K.A., Genetic algorithms - a tool for OR?, *Journal of operational research society*, **47**, Issue 4, pp. 550-561 (2001).
9. Chatterjee S et al, Genetic algorithms and traveling salesman problems, *European journal of operational research*, **93**, Issue 3, pp. 490-510 (1996).
10. Rylander B, Computational Complexity and the Genetic Algorithm, PhD Thesis, University of Idaho, June 7th, 2001 under supervision of *Prof. J. A. Foster* (available online at : <http://upibm9.egr.up.edu/contrib/rylander/thesis/thesis-app.pdf>).
11. Ahuja R. K. et al., A greedy genetic algorithm for the quadratic assignment problem *Computers and operations research*, **27**, Issue 10, pp. 917-934 (2000).