Archive of SID

دانشگاه گنبدکاووس
دومین همایش ملی اقتصاد کلان ایران
۱۱اسفند ۱۳۹۵

دومین همایش ملی اقتصاد کلان ایران
یازدهم اسفندماه ۱۳۹۵

وزارت علوم تحقیقات و فناوری
دانشگاه گنبد کاووس

بهینه سازی اقتصادی انتقال فرآورده‌های نفتی از طریق خط لوله: تجزیه و تحلیل برنامه ریزی غیرقطعی

نعمت الله تقی نژاد

(استادیار، دانشگاه گنبد کاووس، گروه آمار و ریاضی ؛ **n.taghinezhad@gonbad.ac.ir**)

چکیده

خطوط لوله به عنوان روشی مطمئن و اقتصادی، نقش عمده‌ای در جابجایی فرآورده‌های مختلف نفتی از پالایشگاه‌ها به مراکز توزیع دارد، در پالایشگاه‌ها فرآورده‌های مختلف پشت سرهم و بدون هیچ واسط و جداکننده فیزیکی به خط لوله تزریق می‌شوند و در طرف دیگر یعنی مراکز توزیع، فرآورده‌ها دریافت و در مخازن مربوطه تخلیه می‌شوند، با استفاده از برنامه‌ریزی ریاضی، زمانبندی عملیات حمل فرآورده‌های نفتی در یک دوره زمانی معین (افق زمانی) بدست می‌آید تا فرآورده‌های مختلف پس از رسیدن به مراکز توزیع و گذراندن دوره ته‌نشینی بنا به نیاز روزانه به دست مشتری برسند. در شرایط واقعی عواملی مختلفی از جمله شرایط اقتصادی، رخدادهای اجتماعی و غیره ممکن است نیاز روزانه به فرآورده‌های مختلف را در مراکز توزیع تغییر دهند در نتیجه زمانبندی اولیه باید بروزرسانی شود. لذا به دنبال زمانبندی اصلاح شده‌ای می‌گردیم که با کمترین هزینه و تغییر در زمانبندی اولیه بتواند تغییرات ایجاد شده در داده‌ها را که در طول افق زمانی رخ خواهد داد، پشتیبانی کند. بدین منظور یک مدل زمانبندی واکنشی منطبق با نیاز شرکت پخش فرآورده‌های نفتی ایران ارائه خواهد شد.

کلمات کلیدی: زمانبندی، خط لوله چند فرآورده‌ای، مدیریت موجودی، برنامه‌ریزی غیرقطعی.

www.SID.ir

Archive of SID

۱-مقدمه

استفاده از خط لوله به دلیل ایجاد کمترین آثار سوء در زمینه محیط زیست و همچنین ضریب اطمینان بالا و امنیت پایدار یکی از مهمترین روش‌های انتقال فرآورده‌های نفتی همچون سوخت جت، گازوییل و بنزین به مراکز توزیع می‌باشد. برنامه‌ریزی خط لوله و مدیریت موجودی انبارهای متصل به آن کار پیچیده‌ای است، برای این منظور مدل‌های MILP زیادی با در نظر گرفتن جنبه‌های مختلف مسأله در دهه اخیر ارائه شده است. از مهمترین این مدل‌ها، مدل Cafaro [i] در سال ۲۰۰۴ می‌باشد. در این مدل متغیر زمان و حجم پیوسته در نظر گرفته شده است. پائین بودن تعداد متغیرهای دودوئی و زمان حل مسأله از ویژگی‌های اصلی این مدل می‌باشد. بر اساس مدل Cafaro، در سال ۲۰۰۶ Relvas [ii] و همکاران مدلی ارائه کردند که در آن مفهوم جدید دوره ته‌نشینی فرآورده‌ها لحاظ شده و همچنین تقاضای مشتریان بصورت روزانه ارائه شده بود و خود مشتری زمان تحویل را تعیین می‌کردند. آنها این مدل را در سال ۲۰۰۷ [iii] تکمیل‌تر کردند و به هر فرآورده یک زمان ته‌نشینی اختصاص داده و بحث زمانبندی واکنشی را برای اولین بار در برنامه‌ریزی خط لوله چند فرآورده‌ای مطرح کردند ولی مدل ارائه شده توسط آنها ایرادهای مدلسازی داشت که در سال ۲۰۰۸ Cafaro و همکاران [iv] ایرادهای مدل Relvas]iii[را برطرف کرده و با کم کردن تعداد متغیرهای دودوئی زمان حل مدل را بهبود دادند. ولی مدل Cafaro فاقد زمانبندی واکنشی بود و لذا مشکلات زمانبندی واکنشی مدل Relvas نیز در آن اصلاح نشده بود. البته در مدل اصلاح شده Cafaro نیز ایراد وجود دارد.

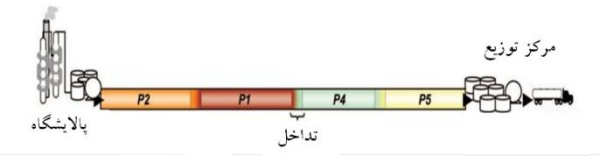
در این مقاله ما ابتدا به بیان و رفع ایراد مقاله Cafaro می‌پردازیم و سپس به توسعه مدل با در نظر گرفتن برنامه‌ریزی واکنشی منطبق با شرایط شرکت پخش فرآورده‌های نفتی ایران برای آن خواهیم پرداخت.

۲-بررسی مدل Cafaro

در این بخش ابتدا به معرفی مسأله می‌پردازیم و سپس مدل Cafaro و همکاران [iv] را اصلاح می‌کنیم.

- **معرفی مسأله**

مسأله، چگونگی برنامه‌ریزی یک خط لوله است که یک پالایشگاه را به یک مرکز توزیع متصل می‌کند و هیچ انبار یا مرکز توزیع دیگری به این خط متصل نمی‌باشد، جریان سیال از پالایشگاه به سمت مرکز توزیع می‌باشد و همچنین تقویت کننده جریان در طول خط لوله وجود ندارد. می‌خواهیم فرآورده‌های مختلف نفتی را پشت سر هم و بدون هیچ جداکننده فیزیکی از پالایشگاه به خط تزریق کنیم تا نیاز روزانه‌ای که مرکز توزیع به فرآورده‌های مختلف در طی افق زمانی دارد برآورده شود البته این قابلیت وجود دارد که اگر نتوانستیم نیاز مشتری‌ها را برآورده کنیم با پرداخت جریمه تامین تقاضا را به تاخیر بیاندازیم. فرآورده‌ها بعد از رسیدن به مرکز توزیع به دلایل عملیاتی مدتی را باید در مخازن مخصوص طی کنند به این مدت، دوره ته‌نشینی گفته می‌شود. حجمی از فرآورده‌هایی که پشت سرهم به خط تزریق می‌شوند با هم مخلوط می‌شود که به آن حجم تداخل گفته می‌شود، در این مسأله به دنبال این هستیم که با رعایت تمام شرایط حجم تداخل بین فرآورده‌ها، هزینه نگهداری فرآورده‌ها در مخازن و هزینه تاخیر تامین تقاضا را کمینه کنیم. برای آشنایی بیشتر با کلیت مسأله شکل ۱ را ببینید.



شکل ۱: سیستم انتقال فرآورده‌های نفتی بوسیله خط لوله

www.SID.ir

Archive of SID

- **مفاهیم مورد نیاز:**

۱- محموله: به حجمی از یک فرآورده که در هر تزریق به خط لوله وارد می‌شود، یک محموله گفته می‌شود.

۲- زمانبندی: دنباله‌ای که ترتیب، حجم، نوع، زمان شروع و اتمام پمپاژ هر محموله را مشخص می‌کند.

۳- مولفه‌های محموله: به حجم، نوع، زمان شروع و اتمام پمپاژ هر محموله مولفه‌های آن محموله می‌گوییم.

۴- تداخل (*Interface*) : هنگامی که یک محموله به خط تزریق می‌شود حجم ابتدای آن با قسمتی از انتهای محموله‌ی قبلی مخلوط می‌شود.

۵- افق زمانی: انتقال فرآورده‌ها از طریق خط لوله در یک بازه زمانی بررسی می‌شود، به این بازه زمانی، افق زمانی گفته می‌شود.

۶- خطوط لوله چند فرآورده‌ای: خطوط لوله‌ای که برای انتقال چندین نوع فرآورده مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۷- دوره ته‌نشینی (*Settling period*): در شرایط واقعی به دلیل مسائل کنترل کیفیت و ته‌نشینی ناخالصی‌ها تا زمانی که یک محموله بطور کامل در مرکز توزیع تخلیه نشود، نمی‌توان از آن برای تامین تقاضای مشتریان استفاده کرد و با توجه به اینکه محموله شامل چه فرآورده‌ای است باید مدت مشخصی را خارج از فرآیند توزیع قرار گیرد و پس از گذراندن این دوره می‌توان از آن برای تامین تقاضای مشتریان استفاده کرد.

۸- برنامه‌ریزی واکنشی: این نوع برنامه‌ریزی، واکنشی است نسبت به تغییرات احتمالی که در داده‌ها مسأله طی اجراء زمانبندی اولیه ایجاد می‌شود به‌عبارت‌دیگر با استفاده از برنامه‌ریزی واکنشی زمانبندی اولیه را اصلاح می‌کنیم و به زمانبندی جدید می‌رسیم که به آن زمانبندی اصلاح شده می‌گوییم.

۳-مفروضات و پارامترهای مسأله

برای مطالعه لیست کامل مفروضات و پارامترها به [iv] رجوع کنید. پارامترهای اصلی مسأله عبارتند از:

۱- تعداد فرآورده‌ها

۲- تعداد روزهای افق زمانی، کل ساعات افق زمانی و ساعت اتمام هر یک از روزها.

۳- طول دوره ته‌نشینی هر یک از فرآورده‌ها.

۴- تقاضای روزانه هر فرآورده در مرکز توزیع در طول افق زمانی.

- **تابع هدف**

تابع هدف مسأله از نوع مینیمم‌سازی هزینه‌ها است. هزینه‌هائی که در تابع هدف به کار می‌روند عبارتند از :

۱- هزینه عدم استفاده از خط لوله در کل ساعات افق زمانی

۲- هزینه تداخل بین محموله‌های تزریق شده به خط

۳- جریمه مربوط به تاخیر تامین تقاضاها در موعد مقرر

۴- هزینه انبارداری هر فرآورده در مرکز توزیع

www.SID.ir

Archive of SID

- **اصلاح مدل Cafaro**

در این بخش قصد اصلاح مدل Cafaro را داریم و لذا از ذکر بقیه قیود اجتناب می‌کنیم و تنها به بیان قید مشکل ساز و اصلاح آنان خواهیم پرداخت.

بدیهی است که زمان انتهای دوره ته‌نشینی برای هر محموله و آماده شدن برای ارائه به مشتری باید در یک روز واقع شود. قید زیر قید ۲۸ مقاله Cafaro [iv] برای برآورده کردن مفهوم بالا است:

$$\sum_{t\in T} r_{i,t} = \sum_{p\in P} y_{i,p} \qquad \forall i \in I \qquad (۱)$$

که در آن متغیر دودویی $y_{i,p}$ یک است اگر محموله i متشکل از فرآوده p و متغیر باینری $r_{i,t}$ یک است اگر محموله i آماده عرضه به مشتری در دوره t باشد.

ولی این قید با فرضیات در نظر گرفته شده و کلیت مدل نوشته شده توسط آن‌ها در تناقض است، برای مثال یک محموله $i^0 > 2$ می‌تواند شامل هیچ فرآورده‌ای نباشد (زمان حل مدل به شدت به انتخاب تعداد محموله‌ها وابسته است. حداکثر تعداد محموله‌هایی که می‌تواند به خط تزریق شود پارامتریست که قبل از حل باید تعیین شود لذا ممکن است یک محموله در جواب نهایی شامل هیچ فرآورده‌ای نباشد) محموله $i^0 - 1$ شامل یک فرآورده باشد لذا زمان انتهای دوره ته‌نشینی آن از صفر بیشتر است، ولی محموله i^0 هیچگاه به خط تزریق نمی‌شود، یعنی داریم $\sum_{p\in P} y_{i^0,p} = 0$ لذا $\sum_{t\in T} r_{i^0,t} = 0$ و بنا به قید (۲۷) در [iv] باید $RT_{i^0} = 0$ یعنی زمان انتهای دوره ته‌نشینی محموله i^0 ساعت صفر است ولی بنا به قید (۲۶) در [iv] زمان انتهای دوره ته‌نشینی محموله i^0 بعد از محموله $i^0 - 1$ قرار می‌گیرد، لذا: $0 < RT_{i^0-1} \le RT_{i^0} = 0$ که یک تناقض است. و لذا قید زیر باید جایگزین (۲۸) در [iv] شود:

$$\sum_{t\in T} r_{i,t} = 1 \qquad \forall i \in I\,. \qquad (۱)$$

۴-توسعه مدل با در نظر گرفتن برنامه‌ریزی واکنشی

عوامل مختلفی ممکن است در افق زمانی رخ دهند و زمانبندی اولیه را مختل کنند. در این صورت نیاز به زمانبندی واکنشی(*Reactive scheduling*) داریم. عوامل مختل کننده شامل:

۱- تغییر تقاضای روزانه مشتری‌ها
۲- تغییر ظرفیت ذخیره‌سازی فرآورده‌ها در مرکز توزیع
۳- توقف اضطراری پمپاژ
۴- تغییر حداکثر یا حداقل حجم محموله‌ها
۵- تحمیل یک دنباله از محموله‌ها به زمانبندی اولیه
۶- تغییر نرخ پمپاژ فرآورده‌ها

می‌باشد.

www.SID.ir

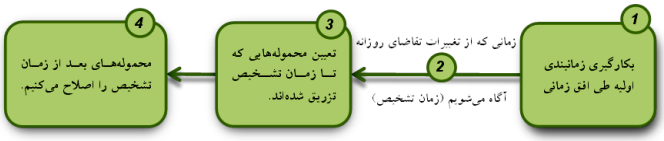
Archive of SID

۵-ارائه مدل برنامه‌ریزی واکنشی

همانطور که گفته شد هدف از بکارگیری برنامه‌ریزی واکنشی اصلاح زمانبندی اولیه است ولی توجه به این نکته در تعیین ساختار و مدلبندی برنامه‌ریزی واکنشی الزامی است که اصلاح زمانبندی اولیه به دو گونه می‌تواند صورت پذیرد: می‌تواند استوار پاسخ یا استوار کیفیت باشند. هدف گونه استوار پاسخ اینست که تغییرات نسبت به زمانبندی اولیه حداقل باشد و هدف استوار کیفیت به بالا بردن کیفیت جواب و در مسأله مورد بحثما کمینه کردن هزینه عملیاتی زمانبندی اصلاح شده می‌پردازند، در این مقاله هدف ارائه برنامه‌ریزی واکنشی بصورت استوار کیفیت می‌باشد ولی سعی داریم تغییرات زمانبندی اصلاح شده نسبت به زمانبندی اولیه را نیز کنترل کنیم به‌عبارت دیگر مدل برنامه‌ریزی واکنشی به شکلی نوشته می‌شود که هزینه عملیاتی زمانبندی اصلاح شده کمینه و در تابع هدف قرار گیرد ولی تغییرات زمانبندی اولیه و اصلاح شده نیز در قیود با یک کران بالا کنترل می‌شود.

کلیت اصلاح زمانبندی اولیه را در

شکل **۲** نشان می‌دهیم:



شکل ۲: روند اصلاح زمانبندی اولیه

قبل از تشریح چگونگی اصلاح زمانبندی اولیه باید مفهوم زمان تشخیص را تعریف کنیم.

-

- **زمان تشخیص**

زمانبندی اولیه را در طی افق زمانی بکار می‌گیریم و اگر تغییری در داده‌های زمانبندی اولیه ایجاد نشود آن را تا انتهای افق زمانی اجراء می‌کنیم. هرگاه تغییری صورت گیرد و از تغییرات آگاه شویم مجبور به اصلاح زمانبندی اولیه هستیم، به زمانی که از تغییرات داده‌ها آگاه می‌شویم زمان تشخیص می‌گوییم. بدیهی است هرچه زمان تغییرات در داده‌ها به انتهای افق زمانی نزدیک باشد، اصلاح زمانبندی اهمیت کمتری خواهد داشت زیرا قسمتی از زمانبندی اولیه اجراء شده است و فقط قادر به اصلاح بخشی از آن هستیم که بعد از زمان تشخیص قرار دارد.

در شکل ۲، مرحله اول به بکارگیری زمانبندی اولیه و مرحله دوم به زمان تشخیص یا زمانی که ما از تغییرات مطلع می‌شویم، اشاره دارد. در مرحله سوم به این دلیل که نمی‌توانیم در زمانبندی جدید (اصلاح شده) مولفه‌های محموله‌های قبل از زمان تشخیص را تغییر دهیم، به سراغ تغییر مولفه‌های سایر محموله‌ها می‌رویم این تغییرات می‌تواند شامل: نوع، زمان اتمام پمپاژ و طول مدت پمپاژ و غیره باشد. برای اینکار نیاز به تعریف چندین مجموعه به شرح زیر داریم تا محموله‌های باقیمانده را دسته‌بندی کنیم.

• مجموعه	• توصیف مجموعه
I_1^{ini}	مجموعه محموله‌هایی که زمان اتمام پمپاژشان قبل از زمان تشخیص بوده است.

www.SID.ir

Archive of SID

• مجموعه	• توصیف مجموعه
I_1^{new}	این مجموعه مکمل مجموعه I_1^{ini} در مجموعه I می‌باشد و شامل محموله‌هایی می‌باشد که زمان اتمام پمپاژشان بعد از زمان تشخیص قرار داشته است.
I_2^{ini}	مجموعه محموله‌هایی که زمان شروع پمپاژشان قبل از زمان تشخیص بوده است.
I_2^{new}	این مجموعه مکمل مجموعه I_2^{ini} در مجموعه I می‌باشد و شامل محموله‌هایی می‌باشد که زمان شروع پمپاژشان بعد از زمان تشخیص قرار داشته است.
I_3^{ini}	مجموعه محموله‌هایی که زمان شروع پمپاژشان قبل زمان تشخیص و زمان اتمام پمپاژشان بعد زمان تشخیص بوده است.
I_3^{new}	این مجموعه مکمل مجموعه I_3^{ini} در مجموعه I می‌باشد و شامل محموله‌هایی می‌باشد که زمان شروع پمپاژشان قبل زمان تشخیص و زمان اتمام پمپاژشان بعد از زمان تشخیص نباشد.

برای اجرای دسته‌بندی محموله‌ها از الگوریتم زیر استفاده می‌کنیم

- **الگوریتم دسته‌بندی I^{ini}:**

این الگوریتم که در شکل ۳ نمایش داده شده است، محموله‌های جدید I^{new} را بنا به تعریف هر یک از مجموعه‌ها، دسته‌بندی می‌کند، در زمانبندی جدید محموله‌هایی که قبل از زمان تشخیص به خط تزریق شده‌اند قابل تغییر نمی‌باشند. در ادامه به تشریح این الگوریتم خواهیم پرداخت:

www.SID.ir

Archive of SID

$for^1\ i \in I^{new}\ do$

$if^2 \sum_{p\in P} y_{i,p} = 1\ then$

$if^3\ C_i^{ini} \le realizing.time\ then$

$I_1^{ini} = I_1^{ini} \cup\ \ i\ \ ;$

$endif^3;$

$if^4\ S_i^{ini} \le realizing.time\ then$

$I_2^{ini} = I_2^{ini} \cup\ \ i\ \ ;$

$if^5\ C_i^{ini} > realizing.time\ then$

$I_3^{ini} = I_3^{ini} \cup\ \ i\ \ ;$

$endif^5;$

$endif^4$

شکل ۳: الگوریتم دسته‌بندی I^{ini}

$endif^2;$

$endfor^1;$

در حلقه تکرار بررسی می‌کنیم که محموله i شامل یک فرآورده می‌باشند یا خیر. اگر شامل هیچ فرآورده‌ای نباشد، لذا زمان اتمام و شروع پمپاژ برایش تعریف نشده است، اما اگر شامل یک فرآورده باشد. در اینصورت زمان اتمام پمپاژ آن را بررسی می‌کنیم:

- اگر قبل از زمان تشخیص باشد لذا باید محموله i در مجموعه I_1^{ini} قرار بگیرد. وقتی محموله i زمان اتمام پمپاژش قبل زمان تشخیص است لذا زمان شروع پمپاژ آن نیز قبل زمان تشخیص بوده است پس این محموله باید در مجموعه I_2^{ini} نیز قرار بگیرد و نباید در مجموعه I_3^{ini} قرار بگیرد.
- اگر بعد از زمان تشخیص باشد لذا محموله i در مجموعه I_1^{ini} قرار نمی‌گیرد. حال زمان شروع پمپاژ این محموله را بررسی می‌کنیم دو حالت ممکن است پیش بیاید:

i. اگرزمان شروع پمپاژ این محموله قبل از زمان تشخیص باشد پس باید در مجموعه I_2^{ini} قرار بگیرد و چون زمان اتمام پمپاژ آن بعد زمان تشخیص است لذا باید در مجموعه I_3^{ini} نیز قرار بگیرد.

ii. اگر زمان شروع پمپاژ این محموله بعد از زمان تشخیص باشد، پس این محموله در هیچ یک از مجموعه‌های I_1^{ini}، I_2^{ini}، I_3^{ini} نباید قرار بگیرد.

به این شیوه محموله‌ها بر اساس زمان شروع و خاتمه پمپاژشان دسته‌بندی می‌شوند.

در مرحله چهارم

شکل **۲** محموله‌های قبل و بعد از زمان تشخیص مشخص شده‌اند، حال باید اصلاحات لازم را بر روی مولفه محموله‌های بعد از زمان تشخیص اعمال کنیم. برای اینکار از مدل EM (*Evalution Model*) استفاده خواهیم کرد.

- **مدل EM**

هدف از بکارگیری این مدل اصلاح زمانبندی اولیه با توجه به تغییرات در داده‌های مسأله می‌باشد.

اصلاح زمانبندی اولیه بدین انجام می‌شود که در زمان تشخیص متوجه شویم تغییری در تقاضای روزانه رخ داده است با توجه به اینکه مدت زمان شروع افق زمانی تا زمان تشخیص را از دست داده‌ایم و در این مدت حجم، زمان شروع و اتمام محموله‌ها را بنا به

www.SID.ir

Archive of SID

زمانبندی اولیه اعمال کرده‌ایم لذا باید زمانبندی جدیدی پیدا کنیم که مولفه‌ی تمام محموله‌هایش تا زمان تشخیص با زمانبندی اولیه برابر و برای مدت زمان باقی‌مانده کمترین هزینه عملیاتی را داشته باشد.

- **مجموعه و اندیس‌ها**

مجموعه اندیس‌های این مدل دقیقا با مجموعه‌ها و اندیس‌های تعریف شده در [iv] یکسانند.

- **پارامترها**

به همراه پارامترهای تعریف شده در [iv] نیاز داریم پارامترهای زیر را نیز تعریف کنیم:

با توجه به اینکه محدودیت‌هایی روی میزان و تعداد تغییرات وجود دارد پارامترهای جدیدی به شرح زیر تعریف می‌کنیم.

$\overline{Cm}$: حداکثر تعداد تغییراتی که در زمان اتمام پمپاژ کل محموله‌های زمانبندی جدید نسبت به زمانبندی اولیه می‌توان ایجاد کرد.

$\overline{Lm}$: حداکثر تعداد تغییراتی که در طول مدت پمپاژ کل محموله‌های زمانبندی جدید نسبت به زمانبندی اولیه می‌توان ایجاد کرد.

$\overline{ym}$: حداکثر تعداد تغییراتی که در نوع فرآورده محموله‌های زمانبندی جدید نسبت به زمانبندی اولیه می‌توان ایجاد کرد.

- **متغیرهای پیوسته**

متغیرهای پیوسته این مدل دقیقا برابر متغیرهای پیوسته در [iv] می‌باشد.

- **متغیرهای دودوئی**

به همراه متغیرهای دودوئی در [iv] نیاز به تعریف متغیرهای زیر داریم:

ca_i: اگر برابر یک باشد نشان می‌دهد که زمان اتمام پمپاژ محموله i از زمانبندی اولیه با محموله i از زمانبندی جدید یکسان نیست.

la_i: اگر برابر یک باشد نشان می‌دهد که طول مدت پمپاژ محموله i از زمانبندی اولیه با محموله i از زمانبندی جدید یکسان نیست.

ya_i: اگر برابر یک باشد نشان می‌دهد که نوع فرآورده محموله i از زمانبندی اولیه با محموله i از زمانبندی جدید یکسان نیست.

- **محدودیت‌ها**

قیود (۲) تا (۵) باید به مدل EM اضافه شوند تا برای محموله‌های قبل زمان تشخیص، زمانبندی جدید را مجبور کنیم که در سه مولفه مهم زمان اتمام پمپاژ، زمان شروع پمپاژ و نوع فرآورده‌ها از زمانبندی اولیه تبعیت کند در غیر اینصورت ما کارهای گذشته خود را اصلاح کرده‌ایم!.

$$C_i = C_i^{ini} \quad \forall i \in I_1^{ini}. \tag{۲}$$

$$L_i = L_i^{ini} \quad \forall i \in I_1^{ini}. \tag{۳}$$

$$y_{i,p} = y_{i,p}^{ini} \quad \forall i \in I_2^{ini}, p \in P\ . \tag{۴}$$

مجموعه I_3^{ini} از محموله‌هایی که زمان شروع پمپاژشان قبل زمان تشخیص ($S_i^{ini} \leq realizing.time$) و زمان اتمام پمپاژشان بعد زمان تشخیص بوده ($C_i^{ini} \geq realizing.time$) تشکیل شده است. ولی برای $i' \in I_3^{ini}$ مدل EM ممکن است به این نتیجه برسد که اگر زمان اتمام پمپاژ محموله i' قبل از زمان تشخیص باشد جواب بهین خواهد بود و در نتیجه $C_i \leq realizing.time$

www.SID.ir

Archive of SID

قرار خواهد داد. ولی می‌دانیم که این کار غیر ممکن است لذا داریم:

$$C_i \geq realizing.time \qquad \forall i \in I_3^{ini}. \tag{۵}$$

رابطه دیگری که بین زمانبندی جدید و اولیه باید برقرار باشد تعداد اختلاف در ساعات اتمام پمپاژ محموله‌ها، ساعات شروع پمپاژ محموله‌ها و نوع فرآورده محموله‌هاست که نیازمند کران بالا می‌باشد. مثلا اگر $I = \{1,2\}$ و $C_2^{ini} = ۱۰$ و $C_1^{ini} = ۲$. یعنی در زمانبندی اولیه ساعات اتمام پمپاژ محموله ۲ برابر ۱۰ و محموله ۱ برابر ۲ بوده است و حداکثر تعداد تغییرات برابر $\overline{Cm} = ۱$ باشد پس در مدل EM حداکثر یکی از این متغیرها می‌تواند تغییر کند و دیگری باید با مقدار زمانبندی اولیه برابر باشد.

برای رعایت کران بالای تغییرات در مولفه‌های محموله‌های زمانبندی اولیه و اصلاح شده نیز باید قیود (۶) تا (۱۳) را به مدل اضافه کنیم:

$$C_i - C_i^{ini} \leq M \times ca_i \quad \forall i \in I \tag{۶}$$

$$C_i^{ini} - C_i \leq M \times ca_i \quad \forall i \in I \tag{۷}$$

$$\sum_{i \in I} ca_i \leq \overline{Cm} \tag{۸}$$

$$L_i - L_i^{ini} \leq M \times la_i \quad \forall i \in I \tag{۹}$$

$$L_i^{ini} - L_i \leq M \times la_i \quad \forall i \in I \tag{۱۰}$$

$$\sum_{i \in I} la_i \leq \overline{Lm} \tag{۱۱}$$

$$\sum_{p \in P | y_{i,p}^{ini} = 1} y_{i,p}^{ini} - y_{i,p} \leq M \times ya_i \quad \forall i \in I \tag{۱۲}$$

$$\sum_{i \in I} ya_i \leq \overline{ym} \tag{۱۳}$$

با توجه به تعریف ca_i که اگر برابر یک باشد نشان می‌دهد که زمان اتمام پمپاژ محموله i از زمانبندی اولیه با محموله i از زمانبندی جدید یکسان نیست ابتدا در قیود (۶) تا (۱۳) برای محموله‌هایی که این اختلاف وجود داشته باشد متغیر ca_i مقدار یک اختیار می‌کند و با استفاده از قید (۸) اجازه نمی‌دهیم تعداد این تغییرات از حداکثر تعداد ممکن بیشتر شود همینطور قیود (۹) تا (۱۱) نیز برای طول مدت پمپاژ محموله‌ها محدودیت لازم را اعمال می‌کنند، در قید (۱۲) نیز می‌خواهیم ya_i اختلاف نوع فرآورده محموله i از زمانبندی اولیه با محموله i از زمانبندی جدید را بشمارد این اختلاف را اینگونه می‌شماریم که برای هر محموله i که از یک فرآورده تشکیل شده باشد داریم، مثلا $p^0 \in P : y_{i,p^0}^{ini} = 1$ و برای بقیه اعضای مجموعه P: $y_{i,p}^{ini} = 0$ اگر در زمانبندی جدید نوع فرآورده محموله i عوض شده باشد لذا $y_{i,p^0}^{ini} = 0$ پس یک واحد اختلاف شمرده خواهد شد و $ya_i = 1$ می‌شود ولی اگر چنین قیدی را بر روی مجموع قرار نمی‌دادیم آنگاه برای محموله i این اختلاف دو بار شمرده می‌شد.

در کل قیود بالا را برای کنترل اختلاف زمانبندی اولیه نسبت به زمانبندی جدید بکار می‌گیریم، میزان تغییرات را مدیر یا تصمیم‌گیرنده سیستم توزیع مشخص می‌کند در صورتی که این مقادیر را صفر قرار دهیم در حقیقت زمانبندی جدید را مجبور می‌کنیم که در کلیه مولفه‌ها با محموله‌های زمانبندی اولیه برابر باشد و هر چقدر این مقادیر را بزرگتر انتخاب کنیم، فضای شدنی بزرگتر شده و لذا ممکن است به زمانبندی جدید بهتری دست پیدا کنیم.

www.SID.ir

Archive of SID

قیود [iv] به همراه قیود (۲) تا (۱۳) و تابع هدف [iv] مدل EM را تشکیل می‌دهند.

۲-اعتبار سنجی مدل ، نتیجه گیری و جمع‌بندی

مدل با نرم افزار Aimms 3.9 پیاده‌سازی و با solver، CPLEX 12.1 حل شده و مثال با رایانه‌ای با مشخصات پردازنده ۲هسته‌ای ۳ GHZ و ۲ Ram GB حل شده‌است.

برای اعتبارسنجی مدل و الگوریتم، مثال مقاله Cafaro و همکاران [iv] برای یک برنامه‌ریزی با افق زمانی ۱۴ روزه استخراج شده است و زمانبندی اولیه آنها بکارگرفته می‌شود (زیرا در قسمت زمانبندی اولیه مقاله ما منطبق با مقاله آنهاست) داده‌های مسأله را با توزیع نرمال در افق زمانی به‌صورت تصادفی تغییر می‌دهیم تا فرآیند اصلاح زمانبندی‌ها از نظر بهینگی بررسی کنیم. چون یکی از فاکتورهای اصلاح زمانبندی، زمان تشخیص است برای آن هم حالت‌های مختلفی در نظر میگیریم.

۱۵ نمونه با داده‌های تصادفی تولید و زمان تشخیص را به ترتیب ۷۰، ۹۴، ۱۴۲ در نظر می‌گیریم و زمانبندی اولیه را به ۲ طریق اصلاح می‌کنیم، شیوه اول که در این مقاله ارائه شد و شیوه دوم بدین صورت که با داده‌های جدید مدل را یک بار دیگر از اول و در زمان تشخیص حل می‌کنیم و زمانبندی جدید به دست میاوریم. بدیهی است که برنامه‌ریزی مجدد کرانی برای تعداد تغییرات قائل نیست و در حقیقت تغییرات در این روش نامحدود است.

جدول شماره (۱) نتایج این مقایسه است، که در حالت زمان تشخیص ۷۰ در هر ۱۵ نمونه حل شده، زمانبندی اصلاح شده توسط برنامه‌ریزی واکنشی این مقاله هزینه عملیاتی برابر با برنامه‌ریزی مجدد مسأله داشت ولی کارایی برنامه‌ریزی واکنشی درارائه زمانبندی جدید دارای کمترین تغییرات نسبت به زمانبندی اولیه است. همچنین موارد حل شده برای زمان‌های تشخیص ۹۴ و ۱۴۲ نیز نتایج مشابه ارائه کردند با این تفاوت که در این ساعت‌ها، هزینه عملیاتی برنامه‌ریزی واکنشی به ترتیب در ۱۴ و ۱۳ مورد با برنامه‌ریزی مجدد یکسان بود و حداکثر اختلاف هزینه نیز به ترتیب ۰.۰۷ درصد و ۱درصد بود در حالی که تغییرات ایجاد شده در زمانبندی اولیه در برنامه‌ریزی واکنشی تنها ۵ مورد است که نسبت به ۲۳ و ۲۱ مورد برنامه‌ریزی مجدد مراتب بهتر است.

در مجموع این روش در زمانی که خواستگاه تصمیم گیرنده نظارت و کنترل بر میزان تغییرات به همراه کمینه کردن هزینه عملیاتی است یک روش کارا و مناسب می‌باشد.

تعداد مورد	زمان تشخیص	هزینه عملیاتی	برنامه ریزی	gap (درصد) حداکثر	gap (درصد) میانگین	تغییرات واکنشی میانگین	تغییرات مجدد
۱۵	۷۰	۱۵		۰		۵	۲۵
۱۵	۹۴	۱۴		۰.۰۷		۵	۲۳
۱۵	۱۴۲	۱۳		۱		۵	۲۱

جدول (۱) : مقایسه جواب‌های برنامه‌ریزی واکنشی با برنامه‌ریزی مجدد

www.SID.ir

Archive of SID

مراجع

1. Cafaro, D. C.; Cerda, J. (2004). "Optimal scheduling of multiproduct pipeline systems using a non-discrete MILP formulation*". Computers and Chemical Engineering*, 2053–2068.

2. Relvas, S.; Matos, H. A.; Barbosa-Po´voa, A. F. D.; Fialho, J. O.; Pinheiro, A. N. S. (2006). "Pipeline Scheduling and Inventory Management of a Multiproduct Distribution Oil System". Ind. Eng. Chem. Res 45, 7841-7855

3. Relvas, S.; Matos, H. A.; Barbosa-Po´voa, A. F. D.; Fialho, J. O. (2007). "Reactive Scheduling Framework for a Multiproduct Pipeline with Inventory Management". Ind. Eng. Chem. Res 46. 5659-5672

4. Cafaro, D. C.; Cerda, J. (2008). "Efficient Tool for the Scheduling of Multiproduct Pipelines and TerminalOperations", Industrial &Engineering Chemical Research 47 , 9941-9956

www.SID.ir