2nd International Conference on دومین کنفرانس بین‌المللی
مهندسی صنایع و سیستم‌ها
Industrial & Systems Engineering (ICISE)
#14&15 Sep. 2016 #Ferdowsi University of Mashhad #۲۵و۲۴ شهریور ۱۳۹۵ #گروه مهندسی صنایع دانشگاه فردوسی مشهد
IEEE

زمانبندی بارگیری وسایل حمل و نقل در پایانه‌های تخلیه و بارگیری با ظرفیت یک ایستگاه و عدم دسترسی کارها در ابتدای زمانبندی

معصومه قربان زاده [۱]، محمد رنجبر [۲]

۱- دانشجوی کارشناس ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد Ghorbanzadeh143@stu.um.ac.ir

۲- دانشیار گروه مهندسی صنایع، دانشگاه فردوسی مشهد؛m_ranjbar@um.ac.ir

چکیده

پایانه انتقال مکانی است که در آن محصولات پس از تخلیه، برحسب نیاز مقصد مورد نظر تفکیک می‌شوند سپس دوباره بارگیری می‌شوند تا به مقصد بعدی خود در زنجیره تأمین حرکت کنند. در این زمینه به صورت خاص مسأله زمانبندی وسایل نقلیه در هنگام تخلیه و بارگیری محصولات به منظور کاهش زمان و تحویل به موقع محصول از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بنابراین در این مقاله به زمانبندی وسایل نقلیه در یک پایانه انتقال می‌پردازیم که معادل یک مساله زمانبندی تک ماشین است. در پایانه انتقال مذکور تنها یک ایستگاه تخلیه و بارگیری وجود دارد و هر دو عمل تخلیه و بارگیری در این ایستگاه انجام می‌شود. پایانه انتقال مورد نظر دارای محدودیت ظرفیت است، به طوری که میزان کالای ذخیره شده در این پایانه نباید از ظرفیت مجاز بیش‌تر شود. همچنین تمامی وسایل نقلیه در ابتدای افق زمانی در دسترس نیستند. یک مدل عددصحیح خطی با در نظر گرفتن فرضیات ذکر شده برای این مساله ارائه و توسط نرم افزار CPLEX حل شده است اما از آنجا که حل دقیق مدل ارائه شده با افزایش اندازه مسأله، بسیار زمان‌بر است، یک روش برنامه‌ریزی پویا برای حل مساله ارائه شده است. نتایج محاسباتی نشان می‌دهد که الگوریتم برنامه‌ریزی پویا از کارایی بیشتری برخوردار است.

کلمات کلیدی

پایانه‌های بارگیری، زمانبندی تک ماشین، برنامه‌ریزی پویا

Transshipment scheduling with a single station and release dates

Masoumeh Ghorbanzadeh, Mohammad Ranjbar

ABSTRACT

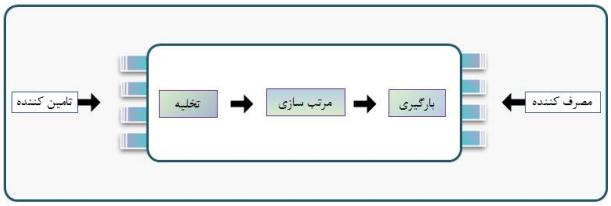
Transshipment terminal is a place where the products after unloading, are separated according to intended destinations and then are reloaded to move to corresponding destination in the supply chain. In this context, vehicles scheduling problem during loading and unloading of products is important due to the saving time and on-time delivery of products. Thus, in this article we consider the scheduling of vehicles in a transshipment terminal which is a single machine scheduling problem. In this terminal, there is only one station for both loading and unloading jobs. The capacity of terminal is limited and hence, the inventory should not be more than the capacity. Furthermore, vehicles have different release dates. By respecting the mentioned assumptions, the problem is the formulated as an linear integer programming (IP) model and solved by the CPLEX solver. As the problem size grows, the CPU run time grows intractably. Therefore, a solution approach based on the dynamic programming method is developed. Computational results indicates that the developed dynamic programming algorithms has better performance.

KEYWORDS

Transshipment terminals, single machine scheduling, dynamic programming

۱- مقدمه

پایانه انتقال[1] به مفهوم حمل و نقل و توزیعی است که در آن محموله‌ها به صورت مستقیم، بدون این‌که در انبار و یا مرکز توزیعی ذخیره شوند از درب ورودی به درب خروجی منتقل می‌شوند. در ادبیات زنجیره تأمین اصطلاح تخلیه و بارگیری سریع[2] نیز برای این مرکز به کار می‌رود. معمولاً مدت زمان ماندن محموله‌ها کم‌تر از ۲۴ ساعت می‌باشد که گاهی اوقات این مدت به کم‌تر از یک ساعت نیز کاهش می‌یابد. هدف اصلی استفاده از سیستم‌های پایانه انتقال، حذف ذخیره‌سازی و حمل‌و نقل بیش از حد محصولات است. شکل (۱) جریان مواد را در یک پایانه انتقال معمولی نشان می‌دهد.



شکل (۱): جریان مواد در پایانه انتقال

پژوهش‌های زیادی در زمینه پایانه انتقال و کاهش هزینه‌های مربوط به آن، صورت گرفته است که برخی از این پژوهش‌ها در مقالات مروری [۱]،[۲] ذکر شده است. دسته‌ای از مقالات مربوط به این حوزه به زمان‌بندی در پایانه انتقالی که تنها یک ایستگاه تخلیه و بارگیری مشترک دارد، می‌پردازند. به عنوان مثال در مرجع [۳] برای تابع هدف‌های مختلف به محاسبه پیچیدگی مدلی پرداخته شده است که در آن تنها یک پایانه تخلیه و بارگیری در نظر گرفته شده است. در این مقاله فرض شده است که محدودیت موجودی برای پایانه وجود دارد. بنابراین عملیات بارگیری تنها در صورتی که موجودی به میزان مورد نیاز وجود داشته باشد می‌توانند صورت گیرد. در مرجع [۴] این مدل با استفاده از روش شاخه و کران برای تابع هدف حداقل کردن بیش‌ترین تأخیر کارها حل شده است. با در نظر گرفتن همین فرضیات در مرجع [۵] به حل مسأله با استفاده از روش شاخه و کران و برنامه‌ریزی پویا برای تابع هدف کمینه کردن مجموع وزنی زمان اتمام کارها پرداخته شده است و در مرجع [۶] با در نظر گرفتن ظرفیت، به توسعه مدل‌های قبلی پرداخته شده است. در این مرجع علاوه بر فرض محدودیت موجودی، برای پایانه انتقال ظرفیت موجودی نیز در نظر گرفته شده است و با استفاده از یک روش ابتکاری و به کمک الگوریتم جستجوی همسایگی[3] به حل مسأله پرداخته شده است.

مسأله تعریف‌شده در این پژوهش مشابه همین مقاله می‌باشد که برای نزدیک شدن مدل مفروض به واقعیت محدودیت‌های جدیدی در نظر گرفته شده است. لذا از جنبه‌های نوآوری این پژوهش این است که فرض دسترسی تمامی وسایل نقلیه در ابتدای افق برنامه-ریزی برداشته شده است و وسایل نقلیه در زمان‌های مختلف و به مرور وارد سیستم می‌شوند. هر وسیله نقلیه‌ای که به منظور تخلیه و یا بارگیری محصولات وارد پایانه انتقال می‌شود، در صورتی می‌تواند محصولات خود را تخلیه کند که موجودی پایانه انتقال از ظرفیت خود تجاوز نکند و در صورتی می‌تواند محصولات پایانه را بارگیری کند که سطح موجودی فعلی پایانه انتقال کافی باشد. پایانه انتقال مفروض دارای یک ایستگاه تخلیه و بارگیری می‌باشد به طوری که هر دو عمل تخلیه و بارگیری به صورت مشترک در این ایستگاه صورت می‌گیرد. مسأله مورد نظر با تابع هدف کمینه کردن زمان اتمام آخرین کارمورد بررسی قرار می‌گیرد. لازم به توضیح است که الگوریتم‌های ارائه شده در مرجع [۶] قابل استفاده برای مسأله مطرح شده در این تحقیق نمی‌باشد.

در ادامه و در بخش دوم تعریف دقیقی از مسأله بیان شده است و مسأله بصورت یک مدل برنامه‌ریزی خطی عددصحیح فرموله و توسط نرم افزار ILOG CPLEX 12.3 حل شده است. اما از آنجا که زمان حل مدل برای نمونه مسأله های بزرگ زمانبر است، در بخش سوم مسأله با استفاده از الگوریتم برنامه‌ریزی پویا حل شده است. در نهایت در بخش چهارم به مقایسه و ارزیابی این روش‌ها و نتایج این بحث پرداخته شده است.

۲- مسأله

۲-۱- تعریف مسأله

پایانه انتقال مفروض دارای یک ایستگاه تخلیه و بارگیری می‌باشد به طوری که هر دو عمل تخلیه و بارگیری به صورت مشترک در این ایستگاه صورت می‌گیرد. مسأله مورد نظر مشابه مسأله زمانبندی تک ماشین در نظریه زمانبندی است که در آن ایستگاه مذکور یک ماشین و هر عملیات تخلیه یا بارگیری یک کار فرض می‌شود. سایر مفروضات در نظر گرفته شده به شرح زیر است:

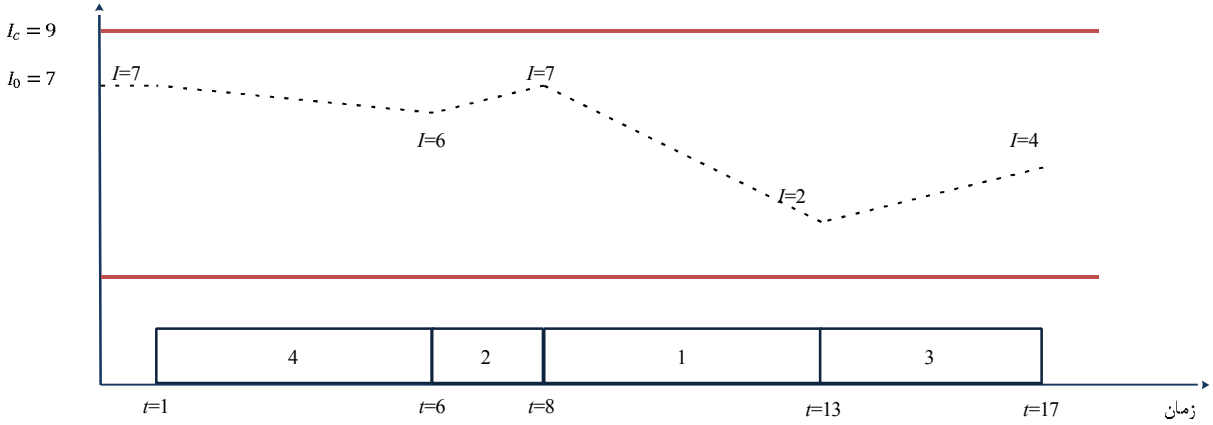
۱- در این پایانه فقط یک نوع کالا تخلیه و بارگیری می‌شود.

۲- تمامی کارها در ابتدای افق زمانبندی در دسترس نیستند. (لزوماً زمان ورود وسایل نقلیه مختلف جهت تخلیه و بارگیری یکسان و برابر صفر نیست.)

۳- هر یک از کارها باید پس از شروع، بدون وقفه و قطع شدن، پردازش شود.

۴- پایانه انتقال دارای یک موجودی اولیه مشخص و ظرفیت معلوم می‌باشد. عملیات‌های تخلیه و بارگیری در صورتی می‌توانند

صورت گیرند که مقدار موجودی پایانه از ظرفیت خود تجاوز نکند و سطح موجودی نیز منفی نشود.



شکل (۲): : یک زمانبندی شدنی برای مثال موردی

۲-۲- مدل‌سازی مسئله

مجموعه $J = \{1,2,\dots,n\}$ ، مجموعه عملیات های تخلیه و بارگیری می‌باشد، که برای نمایش کارها از اندیس‌های i و j استفاده شده است. سایر پارامترها و متغیرهای مورد استفاده جهت مدل‌سازی مسأله در جدول (۱) ذکر شده است.

جدول (۱): تعریف متغیرها و پارامترها

پارامترها	
I_0	موجودی اولیه پایانه انتقال بر حسب تعداد محصول
I_C	ظرفیت پایانه انتقال بر حسب تعداد محصول
p_j	مدت پردازش کار j
r_j	زمان در دسترس بودن کار j
δ_j	اثر تخلیه یا بارگیری کار j
متغیرهای تصمیم	
s_j	زمان شروع کار j
x_{jk}	متغیر $X_{jk} = 1$: اگر کار j در موقعیت k ام $(k = 1$ و ... و $n)$ قرار گیرد و در غیر اینصورت $X_{jk} = 0$ است.

لازم به ذکر است که در صورتی که $\delta_j > 0$ باشد عملیات تخلیه صورت گرفته است و مقدار موجودی پایانه انتقال به میزان δ_j اضافه می‌شود و در صورتی که $\delta_j < 0$ باشد عملیات بارگیری صورت گرفته است و مقدار موجودی پایانه انتقال به میزان δ_j کاهش میابد. بنابراین می‌توانیم مجموعه J را به دو مجموعه J^+ و J^- تقسیم کنیم به طوری که مجموعه $J^+ = \{j \in J | \delta_j > 0\}$ را مجموعه کارهای مثبت (عملیات تخلیه) می‌نامیم و مجموعه $J^- = \{j \in J | \delta_j < 0\}$ را مجموعه کارهای منفی (عملیات بارگیری) می‌نامیم.

به عنوان مثال مساله‌ای با $n = 4$ کار در نظر بگیرید که در آن $I_0 = 7$ و $I_C = 9$ می‌باشد. جدول (۲) سایر اطلاعات مورد نیاز این مساله را نشان می‌دهد.

جدول (۲): مقادیر پارامترهای مثال

j	۱	۲	۳	۴
p_j	۵	۲	۴	۵
r_j	۰	۰	۴	۱
δ_j	-۵	+۱	+۲	-۱

شکل (۲) یک زمانبندی شدنی را برای این مثال نشان می‌دهد که در آن زمان شروع و اتمام کارها و همچنین سطح موجودی پایانه نمایش داده شده است. در این شکل فرض شده است که در هنگام پردازش هر کار، سطح موجودی به شکل خطی تغییر می‌کند اگر چه این فرض فقط برای رسم شکل استفاده شده است و اثری بر بقیه مراحل این تحقیق ندارد.

با توجه به تعریف‌های ارائه شده برای پارامترها و متغیرها، مدل خطی ارائه شده برای تابع هدف کمینه‌سازی زمان اتمام کل کارها (C_{max}) به صورت زیر می‌باشد.

$$Min\ C_{max} \qquad (۱)$$

Subject to:

$$\sum_{k=1}^{n} X_{jk} = 1 \qquad \forall j \in J \qquad (۲)$$

$$\sum_{j=1}^{n} X_{jk} = 1 \qquad \forall k \in J \qquad (۳)$$

$$S_j \geq r_j \qquad \forall j \in J \qquad (۴)$$

$$S_j \geq S_i + p_i + M(-2 + X_{i,k-1} + X_{jk}) \qquad \forall i,j \in J;\ k \in J/\{1\} \qquad (۵)$$

$$I_0 + \delta_j X_{jk} + \sum_{i=1}^{n}\sum_{l=1}^{k-1} \delta_i X_{il} \geq 0 \qquad \forall j,k \in J \qquad (۶)$$

$$I_0 + \delta_j X_{jk} + \sum_{i=1}^{n}\sum_{l=1}^{k-1} \delta_i X_{il} \leq I_C \qquad \forall j,k \in J \qquad (۷)$$

$$C_max \geq S_j + p_j \qquad \forall j \in J \qquad (۸)$$

$$X_{jk} \in \{0,1\} \qquad \forall j,k \in J \qquad (۹)$$

$$S_j \in \mathbb{z}^+; \qquad \forall j \in J \qquad (۱۰)$$

تابع هدف (۱) بیانگر کمینه‌سازی زمان تکمیل آخرین عملیات است. محدودیت‌های (۲) و (۳) به ترتیب نشان می‌دهند که هر کاری دقیقاً در یک موقعیت قرار می‌گیرد و هر موقعیت نیز دقیقاً به یک کار اختصاص می‌یابد. منظور از موقعیت نوبت یا رتبه کار در بین تمامی کارهایی است که باید پردازش شوند. محدودیت (۴) بیان می‌کند که زمان شروع هر کار نباید زودتر از زمان آماده بودن آن کار باشد. محدودیت (۵) به این مطلب اشاره می‌کند که اگر کار j بلافاصله بعد از کار i قرار گیرد، زمان شروع کار j نباید زودتر از زمان پایان کار i باشد. به عبارتی دیگر کارها همپوشانی ندارند. محدودیت های (۶) و (۷) مربوط به سطح موجودی می‌باشند که به ترتیب بیان می‌کنند که کارها باید به نحوی در موقعیت‌ها قرار بگیرند تا در هیچ موقعیتی سطح موجودی منفی نشود و از ظرفیت موجودی پایانه نیز بیشتر نشود. با توجه به محدودیت (۸) نشان می‌دهد که مقدار C_{max} باید از زمان اتمام تمامی کارها بزرگتر باشد. در نهایت محدودیتهای (۹) و (۱۰) نیز نشان‌دهنده نوع متغیرهای مورد استفاده در این مدل است که در آن $\mathbb{z}^+$ نشان دهنده مجموعه اعداد صحیح و غیرمنفی است.

۳- برنامه‌ریزی پویا

اگر چه مدل ارائه یک مدل خطی است اما پیچیدگی حل آن زیاد می‌باشد. در مرجع [۱] اثبات شده است که این مسأله حتی بدون در نظر گرفتن زمان دسترسی نیز یک مسأله به شدت پیچیده است. بنابراین حل مدل خطی ارائه شده، بسیار زمانبر است و تنها برای مسائل با اندازه‌های کوچک مناسب است. بنابراین در این بخش به منظور حل مسأله از روش‌های برنامه‌ریزی پویا استفاده می‌کنیم.

روش برنامه‌ریزی پویا، روش حل دقیقی است که با بکارگیری فرایندهای نظام‌گرا، ترکیبی از تصمیمات متوالی را تعیین می‌کند و سبب حداکثر شدن کارایی محاسبات می‌شود. در ادامه با استفاده از برنامه‌ریزی پویای پیش‌رو برای تابع هدف $G = C_{max}$ به حل مسأله می‌پردازیم:

S مجموعه کارهایی که تاکنون زمانبندی شده‌اند.

$S\backslash\{j\}$ مجموعه S به جز کار j.

$E(S)$ بیانگر کارهایی است که به ازای هر مجموعه S قابل اضافه شدن به مجموعه S هستند. به عبارت دیگر: $E(s) = \{j | j \notin S, 0 \leq \delta_j + \sum_{k\in S}\delta_k + I_0 \leq I_C\}$

$G(S)$ مقدار بهینه تابع هدف G به ازای مجموعه S

یک کار مجازی صفر در نظر می‌گیریم که زمان پردازش، زمان تحویل، میزان بار آن صفر است و همواره به عنوان اولین کار زمانبندی می‌شود. با فرض اینکه موجودی اولیه پایانه انتقال برابر با I_0 می‌باشد، شرایط اولیه برنامه‌ریزی پویا به صورت زیر است:

$$S = \emptyset, G(S) = 0$$

تابع بازگشتی برنامه‌ریزی پویا به صورت زیر می‌باشد:

$$G(S) = min_{j\in E(S\backslash\{j\})}(max(G(S\backslash\{j\}), r_j) + p_j) \qquad (۱۱)$$

همچنین شرط خاتمه الگوریتم بصورت $S = C$ می‌باشد.

۴- نتایج محاسباتی

به منظور ارزیابی عملکرد الگوریتم برنامه ریزی پویا و مقایسه آن با مدل پیشنهادی ارائه شده تعداد ۱۲۰ نمونه مسأله تهیه شده است. تعداد کارها برای مسائل مختلف برابر ۸، ۱۲، ۱۶ و ۲۰ می‌باشد و درصد کارهی مثبت (α) برابر ۲۰٪، ۵۰٪ و ۸۰٪ در نظر گرفته شده است. برای هر ترکیب از حالت‌های مختلف، ده نمونه مسأله حل شده است. سایر داده‌های مسأله به صورت تصادفی و با استفاده از توزیع یکنواخت ذکر شده در جدول (۳) ساخته شده است. لازم به ذکر است که کلیه روش‌های حل در محیط برنامه‌نویسی Visual C++

2010 کد نویسی شده است و همه مسائل بر روی کامپوتری با مشخصات CPU core 4 و 16GB RAM اجرا شده است.

جدول (۳): نحوه تولید نمونه مسأله

متغیر	مقدار
n	8,12,16,20
α	20%,50%,80%
I_0	$\sim U\left[\max\left(0,-\left(\sum_{j\|j\in J^+}\delta_j+\sum_{j\|j\in J^-}\delta_j\right)\right),-\sum_{j\|j\in J^-}\delta_j\right]$
I_C	$\sim U\left[I_0+\max\left(0,\sum_{j\|j\in J^+}\delta_j+\sum_{j\|j\in J^-}\delta_j\right),I_0+\sum_{j\|j\in J^+}\delta_j\right]$
p_j	$\sim U[1,10]$
w_j	$\sim U[1,10]$
δ_j	$\sim U[1,10]$
r_j	$\sim U\left[0,1/2*\sum_i p_j\right]$

جدول (۴) میانگین مدت زمان حل نمونه مسائل را برحسب ثانیه نشان می‌دهد. با توجه به این‌که با افزایش تعداد کارها مدت زمان حل مدل برنامه‌ریزی عددصحیح خطی به شدت افزایش می‌یابد محدودیت زمانی پنج دقیقه (۳۰۰ ثانیه) برای حل نمونه مسائل در نظر گرفته شده است. از آنجا که ممکن است برنامه در این مدت زمان محدود به جواب بهینه نرسد بنابراین درصد میانگین انحراف جواب بدست آمده در این پنج دقیقه با جواب بهینه، در جدول ذکر شده است. تمامی مدل های برنامه ریزی پویا در کمتر از ۵ دقیقه به جواب بهینه می رسند.

بر اساس نتایج مشاهده شده واضح است که میانگین مدت زمان حل توسط مدل برنامه‌ریزی پویا به مراتب کمتر است. باتوجه به مدت زمان حل و درصد فاصله از جواب بهینه می‌توان نتیجه گرفت که کارایی الگوریتم برنامه‌ریزی پویا بیش‌تر است.

جدول (۴): مقایسه نتایج

تعدادکار	میانگین زمان حل		درصد میانگین انحراف مدل خطی از جواب بهینه
	مدل خطی	برنامه‌ریزی پویا	
8	5.5	0	0
12	>300	0	0
16	>300	0.02	1.1
20	>300	0.49	2.5

۵- مراجع

[۱] Boysen, N., Fliedner, M. "Cross dock scheduling: Classification, literature review and research agenda". Omega 38, no. 6 ,413-422, 2010.

[۲] Buijs, P., Vis, I. F., & Carlo, H. J. . "Synchronization in cross-docking networks: A research classification and framework." European Journal of Operational Research 239, no. 3,593-608, 2014.

[۳] Briskorn, D., Choi, B. C., Lee, K., Leung, J., & Pinedo, M. "Complexity of single machine scheduling subject to nonnegative inventory constraints." European Journal of Operational Research 207, no. 2, 605-619, 2010.

[۴] Briskorn, D., Leung, J. Y. "Minimizing maximum lateness of jobs in inventory constrained scheduling." Journal of the Operational Research Society 64, no. 1, 2 1851-1864, 2013.

[۵] Briskorn, D., Jaehn, F., & Pesch, E.. "Exact algorithms for inventory constrained scheduling on a single machine." Journal of scheduling16, no. 1, 105-115, 2013.

[۶] Briskorn, D., Pesch, E. "Variable very large neighbourhood algorithms for truck sequencing at transshipment terminals." International Journal of Production Research 51, no. 23-24, 7140-7155, 2013.

زیرنویس‌ها

Transshipment terminals
[۲] Cross docking
[۳] Neighborhood search algorithm