

کاربرد روش جستجوی ممنوع در سیستم تولید به هنگام با در نظر گرفتن نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه ی ماشین

محمد رضا فیلی زاده دانشجوی دکتری و عضو هیات علمی گروه مهندسی صنایع دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز feylizadeh@iaushiraz.ac.ir
مرتضی باقرپور دانشجوی دکتری و عضو هیات علمی گروه مهندسی صنایع دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز mortezabagherpour@gmail.com
حسن صادقی کارشناس مهندسی صنایع kelk_e_khial83@yahoo.com

چکیده

زمانبندی ماشین موضوعی شناخته شده می باشد که پیرامون آن پژوهش های متعددی صورت پذیرفته است. در کارهای مرتبط ، ماشین به صورت پیوسته در دسترس می باشد. از طرفی ، در تعویض گروهی پیشگیرانه ، برنامه ریزی معمولاً بایستی با توجه به حداقل سازی هزینه و استفاده از تابع تعویض بهینه گردد. در این مقاله ، با توجه به شرایط واقعی ، ماشین بصورت مستمر و پیوسته در دسترس نبوده و تعویض گروهی پیشگیرانه برای آن در نظر گرفته شده است.

هدف ، یافتن ترتیب بهینه در حدود موعد مقرر مشترک^۱ جهت دستیابی به هزینه حداقل کل به منظور تعویض گروهی پیشگیرانه می باشد (با استفاده از تابع توزیع مساله). این زمان را بایستی به عنوان زمان از کار افتادگی ماشین مد نظر قرار داد. پس از به اتمام رساندن جواب بر اساس روش موجود در مقاله برای زمانبندی ماشین ، جواب اولیه به دست آمده و سپس جهت رسیدن به هدف ، از یک روش جستجوی ممنوع استفاده می گردد. این روش در زمانی که کارفرما بخواهد به مدل سازی مسائل زمانبندی ماشین به منظور تعویض گروهی پیشگیرانه بپردازد ، معتبر می باشد.

واژگان کلیدی: جستجو ممنوع ، سیستم تولید به هنگام ، نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه ی ماشین

۱- مقدمه

۱-۱- مقدمه ای بر زمانبندی ماشین با جریمه دیرکرد- زودکرد

زمانبندی در برابر موعد های مقرر^۲ در کتب و مقالات بسیار مورد توجه قرار گرفته است. بی شک یکی از دلایل این پدیده رشد فشار حاصل از رقابت در بازارهای بین المللی می باشد : شرکت ها مجبورند در عین حالی که محصولاتی متنوع و مطابق با مختصات خاص مشتری تولید می نمایند، آنها را به موقع نیز تحویل دهند. جهت نائل آمدن به این الزامات ، اصول و فلسفه هایی نظیر مدیریت ناب^۳ ، مهندسی همزمان^۴ ، تولید بهنگام^۵ و غیره ، ایجاد و توسعه یافته اند.

^۱ Common Due date
^۲ Due Date
^۳ Lean Management
^۴ Simultaneous Engineering
^۵ Just-in-Time Production

به عنوان مثال ، اصل تولید بهنگام بیان می کند که مقدار معلوم و مشخصی از کالاها بایستی تولید گردد یا دقیقاً در زمان مشخصی تحویل داده شود. در محیط تولید بهنگام ، به عنوان مثال اگر می بایست موعد های مقرر مجموعه ای از فعالیت ها برای یک کار مونتاژ در بالاترین مرحله تولید به صورت همزمان صورت پذیرد ، می توانند به صورت موعد های مقرر مشترک رخ دهند. علاوه بر این ، از نقطه نظر عملی ، مسائل موعد مقرر مشترک ، کاربردهای بسیاری دارند که از آن جمله می توان به حالتی اشاره کرد که در آن یک مشتری بسته ای کالا سفارش می دهد که بایستی در تاریخی مشخص به وی تحویل گردد. یا می توان به حالتی اشاره نمود که شرکت دارای برنامه ی هفتگی تحویل محموله به مشتری عمده خود باشد. ترکیبات شیمیایی و فیزیکی که دارای دوره نیمه عمر کوتاهی می باشند نیز از آن جمله می باشند.

کانت^۱ [۱] (۱۹۸۱) از جمله پیشگامانی است که به مطالعه مسائل مرتبط با موعد مقرر مشترک می پردازد. وی به مساله حداقل سازی مجموع انحرافات از یک موعد مقرر مشترک پرداخته و یک الگوریتم امتزاج کران دار چند جمله ای ارائه می نماید. این روش به حالات متعددی بسط داده شد. به عنوان نمونه می توان به پژوهش های انجام پذیرفته توسط بیسکاپ^۲ و چنگ^۳ [۲] (۱۹۹۹)، هال و پاسنر^۴ [۳] (۱۹۹۱)، هوگوین و ون^۵ [۴] (۱۹۹۱) و پانولکار ، اسمیت و سیدمن^۶ (۱۹۸۲) اشاره نمود. بیکر^۷ و اسکادر^۸ [۶] (۱۹۹۰) مطالعه بسیار جالبی در این رابطه انجام دادند. مادامی که زمانبندی بر اساس یک موعد مقرر مشترک صورت پذیرد ممکن است برخی کارها زودتر و پیش از موعد مذکور تکمیل گردد و نیز امکان دارد سایر کارها با تاخیر صورت پذیرد. در هر دو حالت بر سیستم، هزینه هایی تحمیل می گردد : کارهایی که زودتر انجام پذیرفته اند موجب ایجاد هزینه های نگهداری گشته و کارهای انجام پذیرفته با تاخیر نیز باعث تحمیل جریمه ، نارضایتی مشتری و در دراز مدت باعث خدشه دار شدن اعتبار شرکت می گردند. توجه شود که تخمین و اندازه گیری دقیق هزینه های تحمیلی کار مشکلی است زیرا اکثر هزینه ها ارتباط مستقیمی با جریان های نقدینگی ندارند. اما به حساب آوردن این نوع هزینه ها از نقطه نظر برآورد هزینه فرصت از دست رفته، مهم می باشد.

دو نوع موعد مقرر وجود دارد : موعد های محدود کننده و مواعدهای غیر محدودکننده. در صورتی یک موعد مقرر مشترک را غیر محدود کننده می نامیم هرگاه مقدار بهینه آن را بتوان مشخص نمود یا به طور کلی مقدار آن معلوم بوده و هیچ تاثیری بر ترتیب بهینه نداشته باشد. توجه شود که یک موعد مقرر مشخص و معلوم که مقداری بیشتر یا مساوی با مجموع زمان های فرایند تمامی کارها داشته باشد ، همواره غیر محدود کننده می باشد. از طرفی اگر یک موعد مقرر مشترک ، معلوم بوده و امکان داشته باشد ترتیب بهینه فعالیت ها را تحت تاثیر قرار دهد ، محدود کننده نامیده می شود. بنابراین جستجو ، جهت یافتن یک ترتیب بهینه، بایستی بر اساس نوع موعد مقرر صورت پذیرد.

زمان بندی تک ماشین ، حالتی خاص از محیطی است که با ماشین های متعدد سر و کار داریم. تمرکز بر مسائل تک ماشین دلایل متعددی دارد : مسایل زمانبندی ماشین های متعدد از نظر قواعد محاسباتی پیچیده بوده و با تحلیل مسایل تک ماشین می توان به درک بهتری از ساختار ذاتی آنها دست یافت. علاوه بر این ،

Kanet^۱
Biskup^۲
Cheng^۳
Hall & Posner^۴
Hoogeveen Van^۵
Panvalkar , Smith & Seidman^۶
Baker^۷
Scudder^۸

در بسیاری از مسایل دنیای واقعی معمولاً یک ماشین وجود دارد که باعث ایجاد گلوگاه در محیط کل تولید گردیده است که از این نظر بایستی برنامه ریزی تولید بر اساس این تک ماشین هدایت گردد.

۱-۲- مقدمه ای بر تعویض گروهی پیشگیرانه

در برنامه ریزی نگهداری پیشگیرانه، از کار افتادگی تجهیزات معمولاً از یک تابع احتمال پیروی می نماید و همین امر باعث ایجاد عدم قطعیت در برنامه ریزی می گردد. برنامه ریزی معمولاً با توجه به حداقل سازی هزینه و استفاده از تئوری تابع تعویض مانند تعویض لاپلاس یا تکنیک های عددی بهینه می گردد. در ارتباط با مقوله تعویض مطالعات بسیار زیادی صورت پذیرفته که برخی از آنها روشهایی ابتکاری می باشند. از آن جمله می توان به موارد زیر اشاره نمود:

- «پینگ - تنگ چانگ»^۱ [۷] (۲۰۰۳) در زمینه تعویض استراتژیک فازی، تحلیلی ارائه نمود.
- «اولین سی. براون» و «رابرت تی. سارکراست»^۲ [۸] (۲۰۰۳)، از الگوریتم ژنتیک گروهی جهت بررسی تاثیر تعویض اکتشافی، استفاده نمودند.
- «کالاهان ام. لیانگ» و «ام. زو»^۳ [۹] (۱۹۹۵)، به کمک روش جستجوی ممنوع یک مساله تعویض ابزار و ترتیب بندی قطعه ترکیبی را برای یک مرکز ماشین سازی اتوماتیک، حل نمودند.
- «شی هیو شیو» و «یو - هانگ چین»^۴ [۱۰] (۲۰۰۴) یک سیاست بهینه تعویض دوره ای برای سیستمی ارائه نمودند که دارای محدودیت زمان انتظار تصادفی بود.
- «هارتمن»^۵ [۱۱] (۲۰۰۴)، تحت وجود شرایط مطلوبیت متغیر و تقاضای تصادفی یک تحلیل تعویض، پیشنهاد نمود.
- «تایموتی اس. واگان»^۶ [۱۲] (۲۰۰۳) از سیاست نگهداری پیشگیرانه قطعات یدکی متداول و تعویض تعویض شکست، استفاده نمود.

۲- مساله دیرکرد/زودکرد ماشین

۱-۲- وضعیت مساله

کانت^۷ [۱] (۱۹۸۱) مجموعه مشخصه هایی بهینه برای مساله مورد بحث در این مقاله معرفی نموده است که در آن، زمان نصب شامل زمان پردازش می گردد. با استفاده از این مشخصه ها یک الگوریتم زمان چند جزئی بهینه به دست می آید. مشخصه های مذکور عبارتند از:

۱- در یک برنامه زمان بندی بهینه اصلاً زمان توقف^۸ وارد نمی گردد.

^۱ Ping-Teng Chang

^۲ Evelyn C. Brown & Robert T. Surchrast

^۳ Kolahan M. Liang & M. Zuo

^۴ Shey-huei Sheu & Yu-Hung Chein

^۵ Hurtman

^۶ Timothy S. Vaughan

^۷ Kanet

^۸ Idle time

- ۲- برنامه بهینه ای وجود دارد که در آن یک کار خاص دقیقاً در موعد مقرر تکمیل می گردد .
- ۳- در یک برنامه بهینه ، b امین کار موجود در توالی در موعد مقرر تکمیل می گردد که $b = n/2$ می باشد، اگر n زوج و $(n+1)/2$ است اگر n فرد باشد.
- ۴- یک برنامه بهینه اصطلاحاً V شکل می باشد یعنی کارهای غیر تاخیری به صورت LPT (طولانی ترین زمان پردازش اولیه)^۱ و کارهای تاخیری نیز به صورت SPT (کوتاه ترین زمان پردازش اولیه)^۲ مرتب می گردند.

۲،۲- مدل سازی مساله

فرض کنید $N = \{J_1, J_2, \dots, J_n\}$ مجموعه ای از کارهای مورد نظر باشد. تمامی کارها می بایست در یک ماشین واحد انجام گیرند. پارامترهای زیر برای هر کار قابل شناسایی می باشند:

P_i (زمان پردازش)، r_i (زمان آماده سازی)، d_i (موعد مقرر)، h_i (هزینه واحد زمان زودکرد) و t_i (هزینه واحد زمان دیرکرد). فرض کنید s_i و C_i به ترتیب بیانگر زمان های شروع و تکمیل باشند. دیرکرد و زودکرد هر کار بدین صورت تعریف می گردند:

$$T_i = \max\{0, C_i - d_i\} \text{ و } E_i = \max\{0, d_i - C_i\}$$

مساله E/T به طور مختصر به قرار زیر می باشد:

$$\text{Minimize } \sum_{i=1}^n (h_i \cdot E_i + t_i \cdot T_i)$$

subject to

$$s_i - s_j \geq p_j \text{ or } s_j - s_i \geq p_i \quad \forall J_i, J_j \in N \quad (1b)$$

$$s_i \geq r_i \quad \forall j \in N \quad (1c)$$

تابع هدف (1a) معرف هزینه دیرکرد و زودکرد کل بوده و محدودیت های (1b) و (1c) نیز بیانگر این مطلب می باشند که ماشین تنها یک کار را در یک زمان می تواند انجام دهد و یک کار، تنها پس از زمان آماده سازی اش شروع می گردد.

۳- تعویض گروهی پیشگیرانه

۳،۱- نماد های مساله

پارامترهای مورد استفاده در این مقاله عبارتند از:

- $(0, t)$: فاصله یا مدت زمانی که در مطالعه خود در نظر می گیریم.
- n و t : فاصله زمانی $(0, t)$ ، به n زمان کوتاه مساوی به نام T ، تقسیم شده است.
- $g(nT)$ یا $g(n)$: تابع تعویض
- $p(t)$: تابع چگالی احتمال شکست هر یک از قطعات

- m : تعداد قطعات مشابه
- c_g : هزینه واحد زمان تعویض گروهی پیشگیرانه
- c_f : هزینه واحد زمان شکست گروهی
- t_g : مقدار فاصله زمانی مورد انتظار تعویض گروهی پیشگیرانه
- t_f : مقدار فاصله زمانی مورد انتظار تعویض گروهی شکست
- T_g : دوره تعویض گروهی

۳،۲- مدل مساله

در برنامه ریزی نگهداری پیشگیرانه، استراتژی های جایگزینی اساساً بر تابع تعویض تکیه دارند که مدل عددی آن عبارتست از [۱۶] (۱۹۶۲):

$$g(n) = \sum_{i=0}^{n-1} \left\{ 1 + g(n-i-1) \int_{iT}^{(i+1)T} p(t) d(t) \right\} \quad (1)$$

هدف یافتن دوره بهینه T_g تعویض گروهی می باشد که مجموع هزینه های شکست و تعویض پیشگیرانه را حداقل می نماید.

تابع تعویض فوق که در تئوری تعویض به عنوان «تابع تعویض» شناخته شده می باشد، به واسطه آنکه برای $n=0$ ، $g(nT)=0$ است، در $g(0)=0$ شروع می شود. این بدین معناست که، در زمان شروع ($t=0$)، هیچ تعویضی وجود ندارد. به کمک این تابع تعداد تعویض ها بصورت $g(n)$ ، در وقفه های زمانی گسسته nT برای هر مقدار صحیح n و فاصله زمانی ثابت T ، بدست می آید. چنین فرض می شود که تجهیزات مطابق با تابع چگالی احتمال $p(t)$ از کار افتاده و همچنین زمان وقفه تعویض پیشگیرانه گروهی و تعویض شکست مطابق با سایر توابع چگالی احتمال می باشند [۱۶] (۱۹۶۲) و [۱۷] (۱۹۹۹). فرض کنید هزینه تعویض گروهی، c_g و هزینه شکست، c_f باشد. آنگاه، فاصله زمانی $(0, T_g)$ به صورت زیر محاسبه می شود:

$$c_g t_g + c_f t_f g(T_g) \quad (2)$$

که T_g دوره تعویض گروهی و m تعداد قطعات مشابه در یک دستگاه می باشد. مقدار هزینه کل مورد انتظار، $C(T_g)$ عبارتست از [۱۶] (۱۹۶۲):

$$C(T_g) = [c_g t_g + c_f t_f g(T_g)] / (T_g + t_g) \quad (3)$$

بنابراین، دوره تعویض گروهی بهینه، T_g ، بایستی به گونه ای بدست آید که $C(T_g)$ حداقل گردد [۱۶] (۱۹۶۲).

اما رابطه (۱) جهت محاسبه $g(n)$ به $p(t)$ احتیاج دارد. در این مقاله فرض بر این است که $p(t)$ دارای تابع چگالی ویبیل بوده به گونه ای که به عنوان یک تابع احتمال مهم (به صورت عمومی و بسط داده شده) در برنامه ریزی نگهداری و تعمیرات مورد استفاده قرار می گیرد و عبارت است از [۱۶] (۱۹۶۲):

$$p(t) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{t}{\alpha} \right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta} \quad (4)$$

که t زمان شکست تجهیزات با پارامترهای احتمال α و β می باشد. با جایگذاری این رابطه در معادله (۱) داریم:

$$g(n) = \sum \left\{ \left[1 + g(n-i-1) \right] \left[e^{-\left(\frac{iT}{\alpha}\right)^\beta} - e^{-\left(\frac{(i+1)T}{\alpha}\right)^\beta} \right] \right\} \quad (5)$$

۴- متدولوژی مساله

روش مساله، ابتدائاً بر اساس محاسبات تعویض گروهی پیشگیرانه (PGR)^۱ با معیار حداقل سازی هزینه کل می باشد. در این قسمت، به بررسی این موضوع می پردازیم که چه هنگام PGR رخ می دهد (S) و چه مدت طول می کشد که تعویض گروهی را انجام دهد (D). این فاصله [S,S+D] که زمان از کارافتادگی نامیده می شود- بایستی از زمان در دسترس بودن ماشین حذف گردد. بنابراین زمان از کار افتادگی، میان زمان در دسترس بودن که ماشین می تواند در آن به انجام کارها مشغول باشد، رخنه ای^۲ ایجاد می کند. چنین فرض می شود که این شکاف - برای کارها- مجاز می باشد. بنابراین، زمان تکمیل کل به D اضافه خواهد شد. مهندسی

در این حالت، جهت یافتن حداقل هزینه ی کل در اطراف موعد مقرر مشترک، یک جستجوی ممنوع^۳ طراحی گردیده است.

۵- کاربرد جستجوی ممنوع در مساله پیشنهادی

۵-۱- جستجوی ممنوع (TS)

اساس جستجوی تابو [۱۸ و ۱۹] مورد کاوش قرار دادن فضای جستجوی تمامی جوابهای قابل قبول برنامه ریزی شده به کمک ترتیبی از حرکات می باشد. با ارزیابی تمامی جایگزین ها، از یک برنامه به برنامه دیگر، یک حرکت انجام شده و درست همانند تکنیک های مبتنی بر گرادین، بهترین آنها انتخاب می گردد. برخی حرکات در طبقه ممنوعه قرار می گیرند زیرا جستجو را در یک محیط بهینه محلی اصطلاحاً به دام انداخته و باعث ایجاد سیکل (قسمت تکراری جستجو) می گردند. این حرکات به ایجاد چیزی به نام لیست ممنوعه^۴ منجر می گردد که از پیشینه حرکات صورت پذیرفته، در طول جستجو تشکیل می گردد. این حرکات ممنوع، تا زمانی که محیط جواب قبلی (یعنی محیط بهینه محلی) پشت سر گذاشته شود، فضای جستجو را مورد کاوش قرار می دهند. عنصر کلیدی دیگر، آزاد سازی جستجو با استفاده از یک تابع حافظه کوتاه مدت می باشد که اصطلاحاً به ایجاد «فراموشی استراتژیک» منجر می گردد. روشهای جستجوی ممنوع به ایجاد قالب

^۱ Preventive Group Replacement

^۲ Gap

^۳ Tabu Search

^۴ Tabu List

های کاری پیشرفته تری منجر می گردند که شامل مکانیزم های حافظه بلند مدت می باشند. این قالبهای کاری پیشرفته ، گاهی اوقات به برنامه ریزی حافظه تطبیقی^۱ (AMP) باز می گردند [۲۰]. روش های جستجوی ممنوع ، در مسائل زمانبندی به صورت موفقیت آمیز به کار رفته و به عنوان روش حلی جهت مسائل برنامه ریزی عدد صحیح ترکیبی نیز به شمار می روند.

نویکی و اسموتنیکی^۲، [۲۱] از روش های جستجو ممنوع در مواردی چون برنامه ی کارگاهی و جریان زمانبندی استفاده نمودند و کاربرد این روشها را بر تکنیک های دیگری نظیر آنیلینگ شبیه سازی شده^۳، الگوریتم های ژنتیک^۴ و شبکه عصبی^۵ موفق تر می دانند.

۵-۲- الگوریتم جستجوی ممنوع

گام ۱ :

قرار دهید $K=1$. یک برنامه اولیه S_1 انتخاب و $S_0=S_1$ قرار دهید.

گام ۲ :

از $N(S_k)$ یک برنامه جایگزین انتخاب کنید.

اگر در لیست ممنوعه ، $S_k \rightarrow S_c$ ، قرار دهید $S_{k+1}=S_k$ و به گام ۳ بروید.

در لیست ممنوعه $S_c \rightarrow S_k$ را وارد نمایید.

سایر ورودی ها را به پایین هل داده (و آخرین آنها را حذف نمایید) .

اگر $G(S_c) < G(S_0)$ ، $S_0=S_c$ قرار دهید

به گام ۳ بروید

گام ۳ :

$\hat{a}k \rightarrow \hat{a}k+1$ را انتخاب نمایید.

۵-۳- اجزای جستجوی ممنوع

الگوریتم TS پیشنهاد شده در این مقاله شامل اجزای زیر می باشد :

- جواب اولیه
- مکانیزم حرکت و جستجوی همسایگی
- مکانیزم TS
- شرط توقف

^۱ Adaptive Memory Programming
^۲ Nowicki & Smutnicki
^۳ Simulated Annealing
^۴ Genetic Algorithm
^۵ Neural network

در این الگوریتم، اجزای اختیاری دیگری نظیر تابع انتظار^۱ و غیره نیز وجود دارد که برخی از روشهای TS مینا از آن استفاده می کنند. جهت بررسی بیشتر این اجزا به پژوهش گلاور^۲ [۱۸،۱۹] مراجعه شود. در این قسمت، به تشریح کاربرد اجزای فوق در این مقاله اشاره خواهیم نمود.

۵-۳-۱- جواب اولیه. در این بخش، نتایج مدل ریاضیاتی که جواب بهینه آن بدون ملاحظات تعویض گروهی پیشگیرانه می باشد - که در بخش ۲،۲ مورد بحث قرار گرفت- از یک جواب اولیه استفاده نموده است.

۵-۳-۲- مکانیزم حرکت و جستجوی همسایگی. یک حرکت، ابزاری است جهت شکل دهی یک ترتیب در همسایگی ترتیب جاری. پیش بینی می گردد سه نوع حرکت مورد استفاده قرار گیرد:

i. هر دو کار مجاور که در موقعیت های a و $(a+1)$ استقرار یافته اند تعویض می شوند. هر حرکت با پارامتری مانند a شناسایی می گردد.

ii. هر دو کاری که در موقعیت های a و b استقرار یافته اند، تعویض می شوند. هر حرکت با دو پارامتر مانند a و b شناسایی می گردند.

iii. کاری که در موقعیت a استقرار یافته حذف شده و به موقعیت b منتقل می گردد. با استفاده از دو پارامتر نظیر a و b ، این حرکت شناسایی می گردد.

در این تحقیق، جهت پوشش مساله، حرکت نوع دوم انتخاب می گردد. بنابراین جز کارهایی که توسط TS تعریف شده اند، بایستی هر دو کار پی در پی تعویض شوند. همسایگی یک جایگشت (تبدیل)^۳ جاری، عبارت است از مجموع جایگشت هایی که در عمل با روش TS مورد جستجو قرار گرفته اند.

۵-۳-۳- مکانیزم جستجوی ممنوع. در روشهای TS مینا، در هر تکرار، یک حرکت معین انتخاب می شود. این حرکت برای تعداد مشخصی از تکرارها که لیست ممنوعه نامیده می شود، غیر مجاز می باشد. از اینرو، حرکت جاری انتخاب شده برای s تکرار بعدی ممنوع می گردد. پس از s تکرار، آن حرکت از لیست ممنوعه خارج شده و می تواند مجدداً انتخاب گردد. این بدین معناست که اثر ممنوع به صورت ناگهانی از بین می رود. این وضعیت باعث می گردد جواب نهایی به اندازه لیست ممنوعه حساس گردد. همان گونه که اشاره گردید، یافتن مقدار مناسب اندازه لیست ممنوعه مشکل می باشد و اغلب به استفاده از فرآیندی ملال آور و پر خطا نیاز دارد.

در روش های TS مینا، حرکات انتخاب شده در یک ساختار داده^۴ به نام لیست ممنوعه نگهداری می شوند. این لیست در آن واحد، دارای s جزء بوده و مادامی که یک حرکت جدید به آن وارد می گردد، قدیمی ترین حرکت از آن خارج می شود. به عبارت دیگر، حرکت انتخاب شده به لیست وارد شده و تا s تکرار بعدی در آن باقی می ماند و سپس به صورت ناگهانی خارج می گردد. پارامتر s به طول یا اندازه لیست ممنوعه موسوم می باشد. اخیراً جهت تعیین این پارامتر سه روش مختلف بوجود آمده است: در ابتدا یک مقدار ثابت مشخص می گردد که به صورت تصادفی از یک دامنه خاص انتخاب گردیده و از طریق تعدیل های مشخصی به حالت پویا تغییر می نماید.

^۱ Aspiration Function
^۲ Glover
^۳ Permutation
^۴ Data Structure

«سالهی»^۱ [۲۲] یک روش TS با دو مشخصه کلیدی پیشنهاد نمود: (۱) استفاده از لیست ممنوعه پویا به طوری که اندازه لیست ممنوعه ی یک مشخصه خاص به کیفیت جواب حاصله پیوند خورده باشد و (۲) استفاده از یک معیار انتظار ملایم تر. در مقاله ی «گلور» و «لگونا»^۲ [۲۳] ایده های پیشرفته تری برای تعریف استراتژی های لیست ممنوعه ی انعطاف پذیر، مورد بحث قرار گرفته است.

۵-۳-۴- شرط توقف. هر گاه ترتیب جدیدی جهت جایگزینی وجود نداشته باشد. این شرط با احراز موارد ذیل اتفاق می افتد:

- حصول نتایج اشتباه در آخرین تکرار
- هر نوع ترتیب جدیدی که از قبل در لیست ممنوعه تعریف شده باشد.

۶- مثال عددی

فرض کنید یک دستگاه با تابع توزیع احتمال ویبال، با پارامترهای $\alpha = 10$, $\beta = 2$ وجود دارد. همچنین فرض کنید: (واحد پولی) $c_f = 10000$, $c_g = 2000$, $m = 3$, همچنین t_f و t_g دارای یک تابع توزیع ارلنگ با پارامترهای $\lambda_1 = 1$ و $\lambda_2 = 0.75$ باشند (زمان به ماه می باشد). توجه شود که $g(0) = 0$. مطلوب است، یافتن دوره تعویض پیشگیرانه گروهی (T_g) که $C(T_g)$ را حداقل می نماید. با استفاده از رابطه (۵) برای $n = 0, \dots, 8$ می توان مقادیر $g(n)$ را همانند جدول ۱ محاسبه نمود.

جدول ۱- مقادیر محاسبه شده $g(n)$ ، بدست آمده از رابطه تکرار (۵)، برای تابع چگالی احتمال شکست ویبال

با پارامترهای $\alpha = 10$, $\beta = 2$

N	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
$g(n)$	۰/۰۰۹۹۵	۰/۰۳۹۳	۰/۰۸۶۸	۰/۱۵.۳	۰/۲۲۷۷	۰/۳۱۶۲	۰/۴۱۳۳	۰/۵۱۶۴

حال، با جایگذاری مقادیر $g(n)$ حاصل از جدول ۱ در رابطه (۳) مقادیر $C(T_g)$ مطابق با جدول ۲ بدست می آید.

جدول ۲- بهینه سازی عددی $C(T_g)$ برای $c_f = 10000$, $c_g = 2000$, $m = 3$ و $T_g = 1, \dots, 8$ ، با

استفاده از رابطه (۳)

T_g	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
$C(T_g)$	۱۹۴	۱۲۰	۱۰۲	۹۸	۹۹	۱۰۲	۱۰۶	۱۱۰

در جدول ۲ ملاحظه می شود که کمترین مقدار برای $C(T_g)$ در $T_g = 4$ اتفاق افتاده است یعنی $T_g = 4$ تابع $C(T_g)$ را در رابطه (۳)، حداقل می کند.

۷- نتیجه گیری

در این مقاله زمانبندی ماشین با جریمه دیرکرد و زودکرد به منظور تعویض گروهی پیشگیرانه (جهت کاهش از کار افتادگی های تصادفی) و با استفاده از الگوریتم جستجوی ممنوع ارائه گردید. در ابتدا بر اثر دوره بهینه برای تعویض گروهی و طول مدت تعویض ، این زمان از زمان موجود حذف می گردد و سپس نتایج مدل برنامه ریزی ریاضیاتی (یا در موارد مسائل بزرگتر ، ابتکاری) ، به عنوان جواب اولیه ی الگوریتم جستجوی ممنوع در نظر گرفته می شود. این مدل دارای مزایایی نظیر معتبر بودن در مسائل واقعی جهت پوشش تک ماشین با جریمه E/T ، تعویض گروهی پیشگیرانه با حداقل هزینه و نیز یکپارچه سازی نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه در زمانبندی تک ماشین جهت یافتن ترتیب مناسب با هزینه حداقل یا نزدیک به حداقل ، می باشد.

مراجع

1. Kanet J.J. Minimizing the average deviation of job completion times about a common due date // Naval Research Logistics Quarterly. 1981. Vol. 28. P. 643-651.
2. Biskup D., Cheng T.C.E. Multiple-machine scheduling with earliness, tardiness and completion time penalties // Computers and Operations Research. 1999. Vol. 26. P. 45-57.
3. Hall N.G., Posner M.E. Earliness – tardiness scheduling problems. I: Weighted deviation of completion times about a common due date // Operations Research. 1991. Vol. 39. P. 836-846.
4. Hoogeveen J.A., van de Velde, S.L. Scheduling around a small common due date // European Journal of Operational Research. 1991. Vol. 55. P. 237-242.
5. Panwalkar S.S., Smith M.L., Seidmann A. Common due date assignment to minimize total penalty for the one machine scheduling problem // Operations Research. 1982. 30. P. 391-399.
6. Baker K.R., Scudder G.D. Sequencing with earliness and tardiness penalties: A review // Operations Research. 1990. 38. P. 22-36.
7. Ping-Teng Chang. Fuzzy strategic replacement analysis // European Journal of Operational Research. 2003. Vol. 160, Issue 2. P. 532-559.
8. Brown E.C., Surmichrast R.T. Impact of the replacement heuristic in a grouping genetic algorithms // Computers and Operations Research. 2003. Vol. 30.
9. Kolahan F., Liang M., Ming J. Zuo. Solving the combined part sequencing and tool replacement problem for an automated machining center: A tabu search approach // Computer and Industrial Engineering. 1995.
10. Shey-Huei Sheu, Yu-Hung Chien. Optimal age-replacement policy of a system subject to shocks with random lead-time // European Journal of Operational Research. 2004. Vol. 159, Issue 1, P. 132-144.
11. Hartman J.C. Multiple asset replacement analysis under variable utilization and stochastic demand // European Journal of Operational Research. (2004 Vol. 159, Issue 1. P. 145-165.
12. Vaughan T.S. Failure replacement and preventive maintenance spare parts ordering policy // European Journal of Operational Research. 2003. In Press, Corrected Proof, Available online.

13. Love C.E., Zhang Z.G., Zitron M.A., Guo R. A discrete semi-Markov decision model to determine the optimal repair/replacement policy under general repairs // European Journal of Operational Research. 2000. Vol. 125, Issue 2. P. 398-409.
14. Ming J. Zuo, Bin Liu, Murthy D.N.P. Replacement-repair policy for multi-state deteriorating products under warranty // European Journal of Operational Research. 2000. Vol. 123, Issue 3, P. 519-530.
15. Suresh Chand, McClurg T., Ward J. A model for parallel machine replacement with capacity expansion // European Journal of Operational Research. 2000. Vol. 121, Issue 3. P. 519-531.
16. Cox D.R, Renewal Theory, Mathuen Wiley, 1962.
17. Faghih N., Sohrabi B. Genetic Algorithm in optimal preventive part replacement for minimum downtime maintenance planning // Journal of Interdisciplinary Mathematics. 1999. Vol. 2, P. 1-24.
18. Glover F. Tabu Search – Part I // ORSA Journal on Computing. 1989. Vol. 1 . P . 190-206.
19. Glover F. Tabu Search – Part II // ORSA Journal on Computing. 1990 . Vol. 2. P . 4-32
20. Glover F. Tabu Search and adaptive memory programming – Advances, applications and challenges // In: R.S. Barr, R.V. Helgason , and J.L. Kennington (editors) “Interfaces in Computer Science and Operations Research”. Kluwer, 1996. P. 1-75
21. Nowicki E., Smutnicki C., A fast taboo search algorithm for the job shop problem // Management science. 1996. Vol. 42, No 6. P. 797-813.
22. Salhi S. Defining a tabu list size and aspiration criterion within tabu search methods // Comp & Op. Res. 2002. Vol. 29, No 67-86.
23. Glover F., Laguna M. Tabu Search. Kluwer Academic Press, 1997. xix+382 p. ISBN 0-792-39965-X.