توسعه یک الگوریتم ابتکاری برای زمانبندی فعالیت های تولید با ساختار Job Shop و منابع محدود

مهرداد کارگری[1] و عیسی نخعی[2]

چکیده:

تعیین برنامه زمانبندی و توالی عملیات در مسائل برنامه ریزی تولید بعنوان یکی از عوامل کلیدی موفقیت در هر سازمان تولیدی نقش مهم و موثری دارد، زیرا زمانبندی تولید باعث جلوگیری از انباشت سرمایه، تقلیل ضایعات، کاهش و یا حذف بیکاری ماشین آلات و تلاش برای استفاده بهتر از آنها، پاسخگوئی بموقع به سفارش های مشتریان و تامین مواد اولیه و قطعات مورد نیاز در موقع مناسب می شود.

مسائل زمانبندی تولید بسیار متنوع هستند. هدف زمانبندی تولید تخصیص منابع محدود در طول زمان برای انجام گروهی از فعالیت های رقیب است. داشتن یک برنامه زمانبندی تولید مناسب، تاثیر زیادی بر افزایش کارائی و دسترسی به اهداف سازمان دارد. مدل زمانبندی تولید در هر یک از سازمانهای تولیدی با توجه به اهداف و اولویت های دسترسی به هر یک از آنها متفاوت است. بنابراین برای تعیین مدل زمانبندی مناسب در سازمان ابتدا باید اهداف، اولویت و محدودیت منابع مورد بررسی قرار گیرد.

در این مقاله برنامه زمانبندی سیستم های تولید سفارشی کارگاهی با محدودیت تعداد ماشین آلات در هر مرحله و هدف حداقل نمودن مجموع وزنی تاخیرات مورد بررسی قرار گرفته و برنامه زمانبندی تولید قالبها به کمک یک الگوریتم ابتکاری تعیین شده است. در نهایت کارائی الگوریتم پیشنهادی نسبت به روشهای موجود به کمک مثالهای متعدد و متنوع مورد تائید قرار گرفته است.

کلمات کلیدی: زمانبندی تولید، مجموع وزنی تاخیرات، فعالیت های رقیب، محدودیت منابع و تولید کارگاهی

---

[1] دانشجوی کارشناسی ارشد- مهندسی صنایع دانشگاه تربیت مدرس

[2] استادیار بخش مهندسی صنایع دانشگاه تربیت مدرس و دانشگاه کردستان

۱) مقدمه

در این مقاله برنامه ریزی و تخصیص منابع برای تولید چندین محصول به صورت همزمان در حال تولید مورد مطالعه قرا رگرفته است. مسئله برنامه زمانبندی تولید با منابع محدود یک مسئله ترکیبی بوده و از نوع NP-hard است [۱]. تاکنون روشهای ابتکاری متعددی توسط محققین مختلف مطرح و یا مورد مقایسه قرار گرفته است. از کاراترین قوانینی که در روش های ابتکاری استفاده شده است قوانینMINSLK، SPT و RAN است. هیچیک از قوانین مطرح شده جامعیت لازم برای استفاده عملی را ندارند و هر مسئله با شبکه ساختاری مختص به خود به یکی از این قوانین پاسخ می دهد. هدف اصلی از این بررسی ارائه یک الگوریتم جدید برای حل مسائل زمانبندی تولید با منابع محدود است. این الگوریتم با توجه به ساختار تولید ساده Job Shop و تعداد منابع صرف شده در تولید محصول، طراحی شده است. آنگاه فعالیت ها براساس این دو عامل برنامه ریزی و منابع محدود به کارها تخصیص داده می شود. تجزیه و تحلیل نسبی هر یک از این دو عامل را در هنگام استفاده به صورت پارامتریک می توان انجام داد. سپس نوسانات استفاده از هر یک از منابع در طول زمان تولید محصول به حداقل ممکن کاهش داده می شود. یک برنامه کامپیوتری برای تسهیل در کاربرد روش فوق توسعه داده شده است. همچنین یک مثال عددی برای تشریح روش ارائه شده است. سپس معیار کارآئی با عنوان درصد زمان دیرکرد نسبت به زمان سیکل محصول (LSR)[1] تعریف شده است. مقایسه بین قوانین MINSLK، SPT و RANDOM و قانون جدید براساس معیار کارآئی فوق برای ۵۰ مسئله نمونه با اندازه های مختلف انجام شده است. نتایج بدست آمده از روش ابتکاری جدید نسبت به روش های گذشته حاکی از برتری و ثبات بیشتر در حل مسائل است.

۲) مرور ادبیات موضوع

زمانبندی تولید حوزه بسیار وسیعی از مسائل اکثر سیستم های تولیدی و خدماتی را تحت پوشش قرار می دهد. مسائل زمانبندی دارای ویژگیهای گوناگون هستند. به همین دلیل مدلسازی این گونه مسائل بسیار مشکل است. مضافاً اینکه طراحی ابزارهای حل و کیفیت آنها وابسته به مدل می باشد. از طرف دیگر به کارگیری ابزارهای حل موجود نیز با توجه به مدلهای موجود و توابع هدف طراحی شده و مدلهایی که ابزار حل برای آنها طراحی شده غالباً دارای حالت کلاسیک و غیر عملی هستند.

- جاتینوروگایتا [۲] در سال ۲۰۰۲ مسائل زمانبندی تولید را به سه دسته بلند مدت، میان مدت و کوتاه مدت تقسیم نمودند. در این مقاله انواع مختلف مسائل زمانبندی در شرایط گوناگون مدلسازی و روشهای حل مورد بررسی قرار گرفته اند. همچنین آنها روشهای حل مختلف را برای تعدادی مسائل با ابعاد بزرگ، متوسط و کوچک را مورد مقایسه قرار دادند. آنها مسائلی مانند تعیین نوع محصولات،

[1] Latenes Schedule Rate

تعیین نوع فرآیند و تعیین نوع تجهیزات را در گروه بلند مدت و مسائل مانند تعیین اندازه انباشته، زمانبندی تولید مادر و برنامه ریزی تامین مواد اولیه را در گروه میان مدت و مسایلی مانند برنامه زمانبندی و توالی عملیات را در گروه کوتاه مدت قرار دادند. بنابراین مسئله این تحقیق در گروه مسائل زمانبندی کوتاه مدت قرار دارد.

- گراهام و همکاران [۳] در سال ۱۹۷۹ یک طرح طبقه بندی با سه پارامتر $\alpha/\beta/\delta$ ارائه نمودند. در این طبقه بندی α بیانگر نظم و سازماندهی ماشین آلات، β بیانگر خواص فرآیندها و محدودیتها و δ بیانگر توابع هدف مدل می باشد.
- نیکولاس هال [۴] در سال ۲۰۰۱ در طی مقاله مروری خود مسائل $1//\sum w_j T_j$ ، $1/r_j/\sum T_j$، $P_m//\sum T_j$ را NP-Hard معرفی نمودند. اینگونه مسائل با یک الگوریتم خاص در طی مدت زمان معین قابل حل نیستند و با افزایش ابعاد مسئله زمان حل به صورت نمایی افزایش می یابد.
- مقاله چنفانگ و همکاران [۵] در سال ۲۰۰۳ برای حداقل کردن میانگین وزنی دیر کردها ($\overline{L_w}$) از ترکیب روشهای WSPT وبرنامه ریزی خطی استفاده شده است بگونه ای که ابتدا توسط روش WSPT یک حل وحد پائین برای تابع هدف ارائه شده است وسپس توسط مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح جواب حاصل از روش WSPT تا حد ممکن بهبود داده شده است .
- چنشانتو و همکاران [۶] در سال ۲۰۰۲ برای حداقل کردن حداکثر مقادیر دیر کرد (L_{Max}) در مدلهای زمانبندی تولید از روش الگورتیم ژنتیک استفاده کرده اند. این الگورتیم برای حل مسایل پیچیده و مشکل بکار می رود، آنها سعی کرده اند روشی ارائه شود که با کاهش طول رشته های زمانبندی تولید مدت زمان حل مسئله را کاهش دهند.
- سین واسان [۷] در سال ۲۰۰۱ بمنظور حداقل نمودن میانگین دیرکردها بروش برنامه ریزی پویا یک الگوریتم مختلط ارائه کرده است که در آن از خواص ماتریس غالب و مغلوب مخصوص که در حل مسئله ($\overline{T}$) به کار می رود استفاده شده است.
- آمونز [۸] در سال ۱۹۹۶ موفق شد با استفاده از قضایای مسائل زمانبندی تولید با معیار $\overline{T}$ را با استفاده از شاخه و کران حل نموده و جوابهای نزدیک بهینه را بدست آورد.
- کار فینکل و بیکر [۹] در سال ۱۹۸۴ مسئله زمانبندی تولید با m کار مستقل و n ماشین با ترتیب عملیات مختلف را با هدف کمینه کردن متوسط مقادیر دیرکرد ($\overline{T}$) و در نظر گرفتن زمان ورود کارها در زمانهای مختلف را با استفاده از برنامه ریزی خطی عدد صحیح فرموله کردند.

- بیکر [۱۰] در سال ۱۹۷۴ زمانبندی تولید یک ماشین را مطرح و نشان داد که قاعده SPT[1] متوسط مدت زمان در جریان ساخت $(\overline{F})$، متوسط مقادیر دیرکرد $(\overline{L})$ و متوسط زمان انتظار قطعات $(\overline{W})$ را حداقل می کند. بیکر همچنین قاعده (EDD[2]) را مطرح و نشان داده شده است که مقدار حداکثر $T_{\max}$ را حداقل می کند ولی هیچگونه تضمینی برای حداقل کردن $(\overline{T})$ وجود ندارد.
- شاویمر [۱۱] در سال ۱۹۷۲ با استفاده از برنامه ریزی خطی عدد صحیح میزان تاخیرات در مدل nکار و یک ماشین را مدلسازی نموده و با استفاده از روش شاخه کران آنرا حل نمود.
- المغربی [۱۲] در سال ۱۹۶۸ با استفاده از برنامه ریزی پویا و الگوریتم انشعاب و تحدید در مدل nکار مستقل و یک ماشین میزان تاخیرات را حداقل نمود.

با توجه به مرور ادبیات انجام شده، مسئله تحقیق جزء مسائل NP-Hard می باشد و با روشهای بهینه سازی قابل حل نیست، بنابراین برای حل این مسئله باید از روشهای هیورستیک استفاده نمود. در این تحقیق با استفاده از ترکیب مزایای روشهای ابتکاری یک روش فرا ابتکاری ایجاد شده است. شرح مدل ریاضی و مدل ابتکاری مسئله تحقیق به شرح زیر می باشد:

۳) تشریح مدل ریاضی مسئله:

با مفروضات کلی و جزئی مسئله تحقیق که در فصل اول تعریف شده است و در حالت کلی مسئله زمانبندی تولید با منابع محدود برای چندین محصول به صورت زیر فرموله می شود، این مدل برای مسئله Job Shop و منابع محدود طراحی شده است. متغیرها و پارامترهای مدل به صورت زیر تعریف می شود.

i = شماره محصول i =1,2,3,...,M

j = شماره فعالیت در محصول i ام j=1,2,...,N

t= پریود زمانی t=1.2.3....,Max D_i به طوریکه D_i تاریخ پایان تولید محصول i ام است. چنانچه این زمان مشخص نگردد معادل آخرین پریود در افق زمانی درنظر گرفته خواهد شد.

d_i = زمان مطلوب برای پایان محصول i ام

a_{ij} = زمان شروع فعالیت j ام از محصول i ام

t_{ij} = زمان لازم برای انجام فعالیت j ام از محصول i ام

k = شماره منبع مورد استفاده k=1,2,...,K

r_{ijk} = مقدار منبع k ام مورد نیاز فعالیت j ام از محصول i ام

R_{kt} = مقدار منبع در دسترس k ام در پریود t

[1] SPT: Shortest Processing time
[2] EDD: Eearliess Pue Pate

اگر فعالیت j ام از محصول i ام در زمان t تکمیل گردد. $X_{ijt} = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$
در غیر اینصورت

اگر محصول i ام تا زمان t تکمیل گردد. $X_{it} = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$
در غیر اینصورت

باید توجه داشت که طبق تعریف $X_{it} \le X_{i.t+1}$ است. بنابراین اگر $X_{iq} = 1$ شود آنگاه به ازاء تمام $t \succ q$ داریم $X_{it} = 1$. از طرف دیگر X_{ijt} تنها به ازاء یک مقدار t برابر یک خواهد شد.

- **محدودیت تقدم و تاخر فعالیت ها**

فرض کنید در محصول i ام فعالیت v باید قبل از فعالیت w اجرا شود. اگر T_{iv} و T_{iw} زمان های تکمیل فعالیت های v,w باشند، داریم:

$$T_{iv} + a_{iw} \le T_{iw}$$

از آنجائیکه $T_{iv} = \sum_{t=e_{iv}}^{I_{iv}} tX_{ivt}$ و $T_{iw} = \sum_{t=e_{iw}}^{L_{iw}} tX_{iwt}$ است محدودیت فوق به صورت زیر نوشته خواهد شد:

L_{iv} = دیرترین زمان تکمیل فعالیت v از قالب i

e_{iv} = زودترین زمان تکمیل فعالیت v از قالب i

$$\sum_{t=e_{iv}}^{I_{iv}} tX_{ivt} + a_{iw} \le \sum_{t=e_{iw}}^{I_{iw}} tX_{iwt}$$

- **محدودیت زمان انجام فعالیت ها**

پایان کار هر فعالیت فقط در یک زمان مشخص می شود. بنابراین داریم:

$$\sum_{t=e_{ij}}^{I_{ij}} X_{ijt} = 1 \qquad j = 1,2,... \le N \quad \text{و} \quad i = 1,2,...,M$$

محدودیت زمان تولید محصول:

قالب i ام در زمان t تکمیل می شود اگر:

$$\sum_{q=e_{ij}}^{t-1} X_{ijq} = 1$$

برای تضمین اینکه X_{it} مقدار صفر دارد مگر آنکه تمام فعالیت ها در محصول انجام شده باشند، محدودیت زیر را داریم:

$$X_{it} \le \frac{1}{N_i} \sum_{j=1}^{N_i} \sum_{q-e_{ij}}^{t-1} X_{ijq}$$

$$t = E_i, \ldots, D_i \quad \text{و} \quad i = 1,2,\ldots,M$$

E_i = زودترین مکان تکمیل قالب i ام

D_i = موعد تحویل قالب i ام

- **محدودیت منابع:**

فرض کنید منبع r_{ijk} برای تمام دوره تکمیل فعالیت لازم است. اگر یک منبع فقط در قسمتهایی از زمان تکمیل فعالیتی لازم باشد (مثلاً در حین p دوره زمانی اول که در آن $p \prec n_{ij}$ است) میتوان هر فعالیت را به دو زیر فعالیت تقسیم کرد که در دوره زمانی p و $n_{ij} - p$ نیاز به منابع مختلفی داشته باشد.

کل تعداد واحد از منبع k که در زمان t بکار گرفته می شود نباید از تعداد واحد منبع k که در زمان t موجود است بیشتر شود. یک فعالیت j احتیاج به واحدهایی از منبع k دارد و در زمان t مشغول تکمیل شدن است اگر رابطه $(t \le q \le t + n_{ij} - 1)$ برقرار باشد، در این رابطه n_{ij} معادل زمان تکمیل فعالیت j ام از قالب i ام است.

q دوره زمانی است که در آن فعالیت j تکمیل می شود. متغیر X_{ijq} فقط در یکی از این دوره ها برابر یک است و در سایر دوره های زمانی صفر است. حاصلضرب $r_{ijk} X_{ijq}$ برای تمام دوره های زمانی که j در آن در حال تکمیل شدن است، جمع بسته می شود. این مجموع مقدار منبع لازم k ام برای تکمیل فعالیت j است. این مجموع از میزان منبع در دسترس نباید بیشتر گردد. بنابراین محدودیت منبع برای کلیه فعالیت های هر محصول به صورت کلی زیر است:

$$\sum_{i=1}^{M} \sum_{j=1}^{N_i} \sum_{q=t}^{t+n_{ij}-1} r_{ijk} \quad X_{ijq} \le R_{kt}$$

$$t = Min\ n_{ij}, \ldots, Max\ D_i \qquad k = 1,2,\ldots,K$$

- **محدودیت همزمانی و غیر همزمانی فعالیت ها:**

از آنجا که در این مدل امکان استفاده از ماشین های موازی (مشابه) را داریم، چنانچه فعالیت های v,w بطور همزمان اجرا شوند باید داشته باشیم $X_{ivt} = X_{iwt}$. هر فعالیتی مثل i در پریود زمانی t انجام می شود اگر:

$$\sum_{q=t}^{t+n_{ij}-1} X_{ijq} = 1$$

بنابراین غیرهمزمانی هر دو فعالیت v,w را می توان با محدودیت زیر نشان داد:

$$\sum_{q=t}^{t+n_{iv}-1} X_{ivq} + \sum_{q=t}^{t+n_{iw}-1} X_{iwq} \le 1$$

$$t = \max\{e_{iv}, e_{iw}\},..., \min\{l_{iv}, l_{iw}\}$$

- **تابع هدف می تواند به صورت های مختلف بیان شود:**

الف) حداقل کردن مجموع تاخیرات

$$MinZ = \sum_{i=1}^{M} T_i = \sum_{i=1}^{M} Max(0, a_{in} + t_{in} - d_i)$$

d_i = موعد تحویل قالب i

t_{in} = زمان فعالیت n از قالب i

a_{ij} = زمان شروع فعالیت n از قالب i

ب) حداقل کردن فاصله زمانی از دست رفته بین زمان شروع تا تکمیل یک محصول،

اگر a_i زمان شروع تولید محصولi باشد زمان از دست رفته مذکور عبارت است از:

$$d_i = \sum_{t=E_i}^{D_i} X_{it} + 1 - a_i$$

و حداقل شدن مجموع زمان از دست رفته برای کلیه محصولات با عبارت زیر معادل است:

$$Maximize \quad Z = \sum_{i=1}^{M} \sum_{t=E_i}^{D_i} X_{it}$$

ج) حداقل شدن زمانی که در آن زمان کلیه محصولات انجام شده اند.

اگر X_t را به صورت زیر تعریف کنیم:

$$X_{ijt} = \begin{cases} 1 & \text{اگر تمام محصولات تازمان t تکمیل شوند} \\ 0 & \text{در غیر اینصورت} \end{cases}$$

آنگاه تابع هدف به صورت زیر خواهد بود:

$$Minimize \quad Z = \sum_{t=\max E_i}^{\max D_i} X_t$$

در این حالت محدودیت زمان تکمیل محصول به صورت زیر تغییر می یابد:

$$X_t \le \frac{1}{\sum N_i} \sum_{i=1}^{M} \sum_{j=1}^{N_i} \sum_{q=e_{ij}}^{t-1} X_{ijq}$$

$$t = \max E_i, \ldots, \max D_i$$

توضیح: برای یک مسئله نمونه با پنج قالب و دوازده ماشین مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح نوشته شده و بعد از حل آن بوسیله LINDO در جواب بهینه بمیزان ۱۰ ساعت تاخیر برای قالب چهارم حاصل شده است. این مسئله با توجه به مرور ادبیات موضوع جزء مسائل NP-Hard می باشد. یعنی با بزرگتر شدن ابعاد مسئله زمان حل به صورت نمایی افزایش می یابد. بنابراین برای حل مسئله باید از روش ابتکاری استفاده نمود. براین اساس در این فصل یک مدل ابتکاری برای حل مسئله تحقیق ارائه شده است.

۴) یک معیار ابتکاری جدید در زمانبندی تولید اقلام با منابع محدود

در بسیاری از شرکتها جریان تولید را می توان به صورت یک شبکه بررسی نمود. حل مسئله برنامه ریزی و مدیریت تولید چنین محصولاتی به علت پیچیدگی روابط ما بین فعالیت هایی که باید انجام شوند به سهولت امکان پذیر نیست. روش های سی پی ام و پرت در برنامه ریزی و مدیریت تولید محصولات صنعتی و دولتی کاربرد وسیعی را دارند. این تکنیک ها هنگامی قابل استفاده می باشند که منابع لازم جهت تخصیص به محصولات محدودیت نداشته باشند، در حالی که در مسائل عملی و واقعی منابع محدود است.

کوشش های متعددی توسط افراد مختلف برای زمانبندی و تخصیص منابع محدود با رعایت پیش نیازها انجام شده است. در جدیدترین مقاله ای که توسط دکتر مغربی [۱۳] در سال ۱۹۹۵ ارائه شده است، مسئله زمانبندی فعالیت های تولید یک محصول از جنبه های متفاوت مورد بحث قرار گرفته است. اغلب مقالات به حداقل رساندن زمان تولید محصول را به عنوان هدف اصلی برگزیده اند. [۱۴]. برخی دیگر حداقل شدن هزینه ها را مورد بحث قرار داده اند [۱۵]. گروهی دیگر به حداکثر رساندن ارزش فعلی جریان نقدی حاکم بر تولید محصول را به عنوان هدف اصلی انتخاب کرده اند [۱۶]. تمام این مقالات برای برنامه ریزی تولید یک محصول ارائه شده است.

هنگامیکه زمانبندی و تخصیص منابع به چندین محصول به صورت همزمان مطرح می شود تعداد مقالات بسیار محدود بوده و بیشتر مقالات جنبه تئوریک داشته و عمدتاً با استفاده از روش های بهینه سازی مشخص (برنامه ریزی عدد صحیح، برنامه ریزی صفر و یک، برنامه ریزی پویا و ...) مدل هایی ارائه شده است که کاربرد عملی ندارند. هنگامیکه تعداد فعالیت ها در تولید یک محصول بیشتر می شود روش های بهینه سازی توانائی حل این نوع مسائل را ندارند. بنابراین استفاده از روش های ابتکاری اجتناب ناپذیر است.

از آخرین تحقیقات موجود می توان از مقالات افرادی مثل بل و پارک [۱۷] در سال ۱۹۸۳، کریستوفایدز [۱۸] در سال ۱۹۸۷و دمئولمستروهرولن [۱۹] در سال ۱۹۹۲ نام برد. در این مقالات عموماً از روش های شاخه و حد، شمارش صریح و ضمنی استفاده شده است. تاکنون هیچ روش کارایی که از طریق آن به توان در مسائل عملی به جواب بهینه دست یافت ارائه نشده است. دیویس و پترسون [۲۱] در سال

۱۹۷۵ معتقدند هیچیک از قوانین ابتکاری بر یکدیگر برتری ندارند و برای هر مسئله می توان تعدادی از این قوانین را مورد استفاده قرار داده و از مناسبترین آنها استفاده کرد. بوکتور و همکاران [۲۲] در سال ۱۹۹۱، چنین عنوان کرده اند که ترکیب قوانین نتیجه ای به مراتب بهتر از بکارگیری انفرادی قوانین را ارائه می دهد.

در این مقاله یک الگوریتم جدید در مقابل معمول ترین و رایج ترین قوانین مثل قوانین MINSLK، SPT و RANDOM ارائه می شود. در این قانون پیچیدگی ساختاری مسئله و تعدد منابع منظور شده است. این قانون از انعطاف پذیری زیادی برخوردار است به طوریکه استفاده کننده می تواند اهمیت نسبی (درجه) پیچیدگی در ساختار مسئله را نسبت به منابع مورد استفاده تغییر داده و تاثیر این تغییر را در برنامه زمانبندی و تخصیص منابع مشاهده کند. همچنین در صورت نیاز می توان با تجزیه و تحلیل پارامتریک طیف وسیع تری از این قانون را مورد مطالعه قرار داده و بهترین نتایج را استخراج کرد.

۵) ارائه الگوریتم جدید

در یک مسئله زمانبندی تولید (Job Shop) که در هر مرحله (K_i) ماشین مشابه (موازی) وجود دارد، عوامل و مسائل متعددی در مجموع میزان تاخیرات تاثیر دارد. از جمله این عوامل می توان به موارد زیر اشاره کرد:

A: تعداد ماشین هایی که در هر مرحله وجود دارد. (این ماشین آلات مشابه و دارای سرعت یکسان هستند)

B: زمان در دسترس هر یک از ماشین آلات (سطح منبع در دسترس)

C: زمان انجام هر یک از فعالیت ها در هر یک از مراحل (این زمان بر روی همه ماشین ها یکسان است)

D: زمان انتظار در صف هر قالب برای هر ایستگاه (تعداد فعالیت های منتظر در ایستگاه)

E: زمان شناوری هر یک از محصولات در پایان هر یک از مراحل (تعداد فعالیت های باقیمانده)

- در مورد عامل اول هر چه تعداد ماشین ها کمتر باشد این دستگاه به گلوگاه بودن نزدیکتر می شود. براین اساس در هر مرحله هرچه تعداد ماشین آلات کمتر باشد آن ایستگاه برای ما مهمتر است و باید برنامه زمانبندی بهتری برای آن ارائه کنیم، تا حداکثر استفاده از این منبع بعمل آید.
- در مورد عامل دوم هر چه زمان در دسترس ماشین کمتر باشد (نرخ تولید کمتر باشد) این ایستگاه را به گلوگاه بودن نزدیکتر می کند. بنابراین هر چه زمان در دسترس ماشین کمتر باشد، این ماشین برای ما جنبه حیاتی بیشتری داشته و باید حداکثر استفاده از آن بعمل آید.
- در مورد عامل سوم هر چه زمان فعالیت کمتر باشد طبق قاعده SPT برای انجام عملیات در اولویت می باشد و صرف نظر از سایر فرآیندها بر روی سایر ماشین آلات این قاعده مقدار تاخیرات

را حداقل می کند. همچنین طبق بررسی ادبیات موضوع این روش در مسائل با ساختار Job Shop نیز برای حداقل نمودن تاخیرات نتایج خوبی را حاصل نموده است.

- در مورد عامل چهارم هر چه زمان انتظار یک فعالیت در ایستگاه بیشتر باشد. این ایستگاه به گلوگاه بودن نزدیکتر است، بنابراین هر چه این زمانها بیشتر باشد این ایستگاه برای ما جنبه حیاتی تری داشته و باید سعی در استفاده بهتر از آن داشته باشیم.
- در مورد عامل پنجم هر چه زمان شناوری یک محصول کمتر باشد، برای انجام به موقع آن باید تلاش بیشتر و زمانبندی بهتری برای آن انجام دهیم تا با تاخیرات کمتری مواجه شویم. بنابراین هر فعالیتی که دارای زمان شناوری کمتری باشد برای انجام عملیات باید در اولویت قرار گیرد. همچنین طبق بررسی ادبیات موضوع این روش در مسائل با ساختار Job Shop نیز برای حداقل کردن تاخیرات نتایج خوبی را حاصل نموده است.

همچنین طبق نتایج حاصله از قسمت مرور ادبیات موضوع، ترکیب قوانین ابتکاری زمانبندی برای حل مسائل نتیجه بمراتب بهتری از بکارگیری انفرادی این قوانین ارائه می دهد. بر این اساس در این پایان نامه یک مدل ترکیبی از پنج عامل فوق الذکر ایجاد و به نتایج بهتری رسیده ایم.

۶) الگوریتم حل مسئله

قدم ۱- در هر ایستگاه بلافاصله بعد از بیکاری حداقل یکی از ماشین آلات، لیست کارهای منتظر بر انجام عملیات را بدست آورید. (لیست انتظار)

قدم ۲- مجموع زمان فعالیت های منتظر عملیات در قدم یک را محاسبه کنید. (زمان مورد نیاز)

قدم ۳- زمان شناوری هر یک از عملیات در لیست انتظار قدم یک را محاسبه کنید.

قدم ۴- مجموع زمانهای در دسترس ماشین آلات هر ایستگاه را محاسبه کنید. این زمان از حاصل ضرب متوسط زمان در دسترس ماشین آلات هر ایستگاه در تعداد ماشین آلات حاصل می شود. (زمان موجود)

قدم ۵- اهمیت نسبی هر یک از فعالیت ها در هر ایستگاه برای انجام عملیات با توجه به فرمول زیر محاسبه کنید.

$$R_{ij} = \frac{(t_{ij})(R_j K_j)(S_{ij})}{W_{ij}}$$

t_{ij} = زمان انجام عمل i ام در ایستگاه j ام

S_{ij} = زمان شناوری فعالیت i در مرحله j ام

R_j = زمان در دسترس ماشین آلات در ایستگاه j ام

K_j = تعداد ماشین آلات مشابه (موازی) در مرحله j ام

W_{ij} = زمان انتظار در قالب i ام در ایستگاه j ام

قدم ۶- با استفاده از قانون فوق در هر ایستگاه فعالیت ها را به ترتیب R_{ij} کمتر به ماشین آلات تخصیص دهید.

قدم ۷- بلافاصله بعد از آزادی عمل حداقل یک ماشین در هر ایستگاه به قدم یک برگردید.

قدم ۸- این عملیات را آنقدر تکرار کنید تا کلیه فعالیت ها به ماشین آلات تخصیص یابد.

توضیح: اهمیت نسبی هر فعالیت در هر ایستگاه شامل پنج عامل زمان انجام فعالیت، زمان در دسترس ماشین آلات ایستگاه، تعداد ماشین آلات ایستگاه، زمان شناوری و زمان انتظار در قالب ایستگاه می باشد.

از قانون فوق به عنوان معیاری برای تعیین برنامه زمانبندی تولید فعالیت ها استفاده می شود. بدین ترتیب، فعالیتی که دارای کمترین مقدار برای معیار فوق داشته باشد، ابتدا برای برنامه ریزی انتخاب می گردد. لذا براساس معیار فوق می توان فعالیت ها را برنامه ریزی نمود. برای هر تعداد محصول با هر ساختاری در مسئله Job Shop می توان از این معیار استفاده قرار کرد. همچنین با تعیین اهمیت نسبی هر یک از عوامل پنجگانه (A,B,C,D,E) و یا انجام تجزیه و تحلیل پارامتریک، درجه اهمیتی را می توان جستجو کرد که میزان مجموع تاخیرات وزنی را حداقل کند.

بعد از تعیین توالی عملیات زمانبندی تولید برای اینکه میزان فرسودگی (زمان استفاده) ماشین آلات یکنواخت گردد می توان عملیات تسطیح منابع را انجام داد. در این صورت قابل ذکر است که برنامه زمانبندی و میزان تاخیرات تغییری نخواهد کرد.

یک برنامه کامپیوتری برای حل مسائل نوشته شده است تا فعالیت ها را اولویت بندی نماید و تجزیه و تحلیل پارامتریک جهت دست یابی به وزن های مناسب را اجرا نماید. سپس براساس این اطلاعات برنامه قادر است برنامه ریزی فعالیت ها و تخصیص منابع محدود به چندین محصول در حال تولید را انجام دهد.

برنامه در خروجی زمان اجرای هر یک از فعالیتها و میزان تخصیص منابع محدود را به همراه منحنی منابع صرف شده (Resource Leveling) در طول زمان انجام هر یک از محصولات ، به تفکیک، چاپ می کند.

۷) کارآئی قانون جدید

قانون جدید ارائه شده دارای ویژگی هایی است که آن را از سایر قوانین متمایز می سازد. این قانون علاوه بر زمان به منابع هم وابسته است و مسائل چند محصولی را بهتر حل می کند. برای تبیین بهتر این ادعا کمیتی به نام درصد زمان دیرکرد به زمان سیکل تولید محصول (LSR) به صورت زیر تعریف می شود:

$$\text{LSR} = \frac{\text{زمان دیر کرد}}{\text{زمان سیکل}}$$

برای تعیین میزان برتری قانون جدید از معیار برتری (LSR) استفاده شده است و نتایج حاصل از این قانون را با قوانینMINSLK , SPT, RANDOM مقایسه شده است. برتری این الگوریتم نسبت به روشهای مذکور در حل ۷۵ مسئله که مقادیر پارامترهای آن به صورت تصادفی تولید گردیده اند، برتری آن مورد تائید قرار گرفته است. این مقایسه از طریق حل ۷۵ مسئله نمونه با ساختارها و اندازه های مختلف نشان داده شده است. در هر یک از سطرهای جدول (۱) تعداد سه مسئله نمونه مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج این مقایسه در جدول (۱) آمده است.

ابعاد مسئله	MINSLK	SPT	RAN	مقدار LSR برای قانون جدید
۳ × ۵	۳۱/۵۹	۳۰/۴۴	۳۵/۷۵	۱۸/۲۲
۳ × ۸	۳۲/۷۷	۳۲/۵۱	۳۶/۱۷	۱۹/۲۵
۳ × ۱۰	۳۳/۵۱	۳۳/۵۴	۳۷/۱۸	۱۹/۱۷
۳ × ۱۵	۳۳/۴۸	۳۷/۴۸	۳۹/۱۲	۲۱/۱۵
۳ × ۲۰	۳۴/۹۵	۳۹/۶۱	۳۹/۱۸	۲۰/۱۲
۴ × ۵	۳۳/۴۱	۳۴/۸۲	۳۹/۷۱	۲۰/۲۷
۴ × ۸	۳۸/۴۵	۳۵/۸۱	۴۱/۱۵	۲۳/۷۸
۴ × ۱۰	۳۹/۵۱	۳۱/۷۲	۴۲/۱۷	۲۵/۱۴
۴ × ۱۵	۴۱/۷۲	۴۵/۱۲	۴۸/۷۸	۲۰/۱۲
۴ × ۲۰	۴۸/۵۲	۴۱/۸۲	۴۵/۲۷	۲۱/۸۹
۵ × ۵	۳۹/۳۵	۳۷/۵۶	۴۲/۷۳	۲۲/۱۷
۵ × ۸	۴۱/۵۲	۴۱/۱۷	۴۳/۲۸	۲۱/۱۵
۵ × ۱۰	۴۷/۸۴	۴۴/۱۲	۴۵/۸۷	۲۳/۱۹
۵ × ۱۵	۳۸/۵۱	۴۸/۷۸	۴۶/۱۳	۲۴/۱۵
۵ × ۲۰	۴۲/۱۸	۴۲/۴۵	۵۱/۹۲	۲۵/۱۷
۸ × ۱۱	۴۱/۷۸	۴۹/۲۵	۵۱/۲۷	۲۴/۱۵
۸ × ۱۲	۵۱/۷۲	۴۲/۸۲	۵۳/۱۴	۲۵/۱۲
۸ × ۱۳	۴۱/۱۵	۴۵/۱۹	۵۷/۲۵	۲۲/۲۴
۸ × ۱۴	۵۲/۱۸	۴۹/۲۲	۶۱/۱۷	۲۳/۴۵
۸ × ۱۵	۴۱/۱۵	۴۸/۲۵	۶۱/۱۵	۲۴/۱۷
۱۰ × ۱۶	۵۹/۸۸	۶۱/۵۴	۷۵/۴۸	۲۴/۱۵
۱۰ × ۱۷	۶۱/۲۲	۶۳/۷۵	۷۷/۱۲	۲۵/۱۸
۱۰ × ۱۸	۶۳/۷۵	۶۵/۴۲	۷۹/۱۵	۲۶/۱۲
۱۰ × ۱۹	۶۹/۲۲	۷۰/۱۱	۸۰/۱۱	۲۴/۱۵

۲۵/۴۷ ۲۴/۱۹	۸۵/۱۷	۷۲/۱۵	۷۰/۴۸	۱۰ × ۲۰

جدول (۱): مقایسه درصد کاهش تاخیرات

مسئله زمانبندی تولید کارگاهی و تخصیص منابع محدود در چند حالت محصولی تا به حال به صورت مدل برنامه ریزی صفر و یک فرموله و در مسائل غیر عملی در ابعاد کوچک حل شده است. به طور نمونه مسئله مطرح شده در فصل اول چنانچه به مسئله صفر و یک تبدیل شود، حداقل ۳۳ متغیر و ۳۷ محدودیت است. براساس مقایسه کمیت LSR در قانون جدید با قوانین MINSLK، SPT و RAN و با استفاده از ۷۵ مسئله نمونه با ساختارها و اندازه های مختلف در جدول (۱)، قانون جدید باعث بهبود ۷/۱۳٪ نسبت به قانون MINSLK ، ۲/۲۶٪ نسبت به قانون SPT و ۶/۳۴٪ نسبت به قانون RAN شده است.

۸) نتیجه گیری

در این مقاله مسئله زمانبندی فعالیت های تولیدی با ساختار Job Shop و تخصیص منابع محدود در بین تعدادی محصول مستقل مورد بررسی قرار گرفته و یک مدل برنامه ریزی خطی ارائه شد. این مسئله با استفاده از LINDO، روش ابتکاری جدید و روشهای SPT، MINSLK و RAN حل شده است. جوابهای حاصل در هر یک از روشها بیانگر نزدیکی جواب روش هیورستیک ارائه شده به جواب بهینه مدل LP می باشد. زمان حل این مسئله نیز بروش هیورستیک نسبت به روش برنامه ریزی خطی تقریباً ۱۰ برابر کاهش یافته و نسبت به روش SPT حدود ۱/۵ درصد، MINSLK حدود ۲ درصد و RAN حدود ۳/۵ درصد کاهش داشته است. نتایج کلی تر که از حل ۷۵ مسئله نمودند با ابعاد و ساختار مختلف حاصل شده در جدول (۱) قابل مشاهده است. این نتایج بر کارائی الگوریتم پیشنهادی، نسبت به روشهای موجود تاکید دارد. برای واقعی تر شدن مفروضات مسئله بعنوان تحقیقات آتی می توان مقادیر تقاضای محصولات را بصورت فازی در نظر گرفته و مسئله را مجدداً مدلسازی و حل نمود.

منابع و ماخذ:

[1] Blazewicz,J., J.K. Lenstra and H. G. Rinnooy Kan (1983) Scheduling projects to resource constraints: Classification and complexity. Discrete Applied Maths.5.

[2] Gupta, J.N.D.," An excursion in scheduling theory: an overview of scheduling research in the centruy ", Prodution Planning & Control, 2002, Vol.13.No.2.

[3] Graham, R.L., Lawler, E.L., Lenstra, J.K. and Rinnooy Kan, A.H.G.[1979], "Optimization and approximatior in deterministic sequencing and scheduling: a survey", Annals of discrete mathematics 4.

[4] Hall,N.G.," scheduling with fixed delivery dates," Operations Research, Vol.49,No.1 (2001).

[5] Ching _ Fang Liaw, Yang _ Kuei . Lin , Chun _ Yuan Chen , Mingchin chen , "Scheduling unrelated parallel machines to minimize total weighted tardiness" , Computers and Operations Research 30 (2003).

[6] Cheng _ Shuo Wang , "A genetic algorithm to minimize maximum lateness on a batch processing machine" , Computer and Operations Research 29 (2002).

[7] Srinivasan , V. "A Hybrid algorithm for the one_machine sequencing problem to minimize total tardiness", Naval Research logistics Quarterly , Vol, 18 No.9 (2001)

[8] Emmons, H., " one-machine sequencing to minimize certain functions of job tardiness," Operations Research, Vol.17,No.4 (1969).

[9] Karfingol , Baker(1984) ," Sequencing with Due-dates and early start times to minimize maximum tardiness ",Naval Research Logistics Quarterly, Vol. 21 No. 1.

[10] Baker, K , R.,(1974)" Introduction to sequencing and scheduling ", John Wiley, New York.

[11] Shwimer, J.,(1968) " on the n-job , one-machine, Sequence-Indepen dent scheduling problem with tardiness penalties: A Branch-and bound solution" management Science, Vol.18,No.6 .

[12] Elmaghraby, S.E.,(1968) " The one-machine sequencing problem with delay costs," Journal of Industrial Engineering, Vol.19,No.2.

[13]- Elmaghaby,S.E.,(1995) "Activity nets:a guided tour through some recent developments", European journal of Operational Research 82,.

[14]- Bell, C.E, Han,(1991) "A new heuristic solution method in resource-constrained project scheduling", Naval Res Logist. 38.

[15]- B. Talbot (1982), "Resource constrained project scheduling with time-resource tradeoffs the non preemptive case",Management Science, 28, 1197-1210.

[16]- J.H.Patterson, B. F. Talbot, R.Slowinski and J. Weglarez (1990) Computational experience with the backtracking algorithm for solving a general class of precedence and resource-constrained scheduling problems, EJOR. Res. 49, 68-79.

[17]- I. Kurtulus and E. W. Davis (1982) Multi-project : categorization of heuristic rules performance. Management science. 28, 161-1723

[18]- Bell, C.E. Park,K(1990), "Solving resource constrianed project scheduling problems", Naval Res Logist. 37, (1990).

[19]- Christofides,N.,Alvarez,R.,Valdes,R.,Tamarit,J.M.,(1987) "Project with resource constraints a branch and bound approach", EJOR. 29.

[20]- E. Demeulemeester and W. herroelen (1992) A branch and bound procedure for the multiple resource – constrained project scheduling problem, Management science. 38, 1803-1818.

[21]- E.W.Davis can J.H. Patterson (1975), "A comparison of heuristic and optimum solutions in resource – constrained project scheduling". Management science. 21.

[22]- M. M.Khattab and F. Choobineh (1991), "A new approach for Project scheduling with limited resource", International jourand production research,30 , 185-198.