

# الگوریتم تعیین دسته تولید محصول و توالی عملیات n کار روی m ماشین

دکتر رسول حجی \*

دکتر هوشنگ تقی‌زاده \*\*

## چکیده

در این مقاله یک الگوریتم هیوریستیک با هدف تعیین مقدار بهترین دسته تولیدی جهت کمینه سازی زمان کل<sup>(۱)</sup> سیستم تولیدی به منظور برآوردن تقاضای یک دوره معین برای یک محصول ارائه گردیده است. این الگوریتم با در نظر گرفتن زمان استاندارد عملیات، تعداد قطعات یکسان به کار رفته در یک واحد محصول، زمان آماده‌سازی ماشین‌آلات، درصد ضایعات هر یک از عملیات روی ماشین مربوطه، و مقدار دسته تولیدی، زمان لازم برای انجام هر یک از عملیات مورد نیاز جهت تولید همان دسته تولیدی را محاسبه می‌کند. این الگوریتم با استفاده از اطلاعات محاسبه شده، قاعده SPT<sup>(۲)</sup>، شروط تعیین شده در الگوریتم و مقدار تولید در هر دسته تولید، عملیات مورد نیاز برای تولید کل تقاضای یک دوره معین را به ماشین‌آلات تخصیص می‌دهد. سپس با توجه به مقدار این دسته تولید، مجموع زمان‌های آماده سازی و بیکاری ماشین‌آلات برای کل تقاضای دوره محاسبه می‌گردد. آنگاه با محاسبه مجموع این زمان‌ها برای مقادیر مختلف دسته‌های تولید و مقایسه آنها مقدار دسته تولید بهینه که مجموع این زمان‌ها را کمینه می‌سازد، به دست می‌آید. برای مقایسه این الگوریتم با الگوریتم‌های «هو و چانگ»<sup>(۳)</sup>، «جانسون»<sup>(۴)</sup> و «پالمر»<sup>(۵)</sup> مثالهایی ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که این الگوریتم در مقایسه با الگوریتم‌های فوق، زمان کل بهتری را ارائه می‌دهد.

## واژگان کلیدی

توالی عملیات، زمانبندی، دسته تولید، زمان کل، زمان آماده سازی، زمان بیکاری.

\* استاد، عضو هیأت علمی دانشگاه صنعتی شریف

\*\* عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز

1. Makespan (زمان ختم کلیه کارها)

۲- Shortest Processing Time(SPT) – (قطعاتی که نیاز به زمان پردازش کمتری دارند، زودتر به ماشین‌ها تخصیص داده می‌شوند).

3. Ho & Chang

4. Johnson

5. Palmer

## مقدمه

چانگ»، «جانسون» و «پالمر» مورد مقایسه قرار گرفته و نشان داده شده است که این الگوریتم نتیجه بهتری ارائه می‌دهد. در این مقاله از نمادها و فرضیات زیر استفاده شده است:

## الف - نمادها

$C_i$  = درصد ضایعات عملیات  $i$  روی ماشین مربوطه

$K$  = مقدار دسته تولید

$n$  = تعداد عملیات برای تولید یک واحد محصول

$m$  = تعداد ماشین‌ها

$D$  = تقاضای دوره

$V$  = تعداد دسته های تولید

$S_i$  = زمان استاندارد عملیات  $i$

$P_i$  = تعداد عملیات  $i$  به کار رفته در یک واحد محصول (تعداد

عملیات یکسان)

$t_i$  = زمان استاندارد کل عملیات  $i$  ( $t_i = S_i \times P_i$ )

$A_i$  = زمان آماده سازی مخصوص عملیات  $i$  در یک دسته تولید

$T_i$  = زمان استاندارد کل عملیات  $i$  در یک دسته تولید  $k$

واحدی ( $T_i = k \times t_i$ )

$U_i$  = زمان مورد نیاز برای انجام عملیات  $i$  در یک دسته تولید  $k$

واحدی (مجموع زمان استاندارد کل و زمان آماده سازی عملیات

$i$  در یک دسته تولید  $K$  واحدی) ( $U_i = T_i + A_i$ )

$F_i$  = زمان مورد نیاز برای انجام عملیات  $i$  در یک دسته تولید  $K$

واحدی با در نظر گرفتن درصد ضایعات

$$(F_i = \frac{U_i}{1 - C_i})$$

$H_k$  = مجموع زمانهای آماده سازی ماشین‌ها در بر آوردن

تقاضای دوره برای دسته تولید  $k$  واحدی

$W_k$  = مجموع زمان‌های بیکاری ماشین‌ها در بر آوردن تقاضای

دوره برای دسته تولید  $k$  واحدی

$Z_k$  = مجموع زمان‌های بیکاری و آماده سازی جهت بر آوردن

تقاضای کل دوره برای دسته تولید  $k$  واحدی

$$(Z_k = H_k + W_k)$$

$M_k$  = مقدار زمان کل تقاضای دوره

## ب - فرضیات

۱-  $n$  کار در زمان صفر (زمان شروع تولید) در کارگاه وجود دارد.

تولید به عنوان یکی از عوامل کلیدی حیات جامعه انسانی، نیازمند برنامه‌ریزی است. حذف زمان بیکاری ماشین‌آلات و تلاش برای استفاده از این زمانها، پاسخگویی به موقع سفارش‌های مشتریان و موارد بسیاری از این قبیل از جمله نتایج یک برنامه‌ریزی مناسب برای تولید به شمار می‌آیند. یکی از حوزه‌های مهم برنامه‌ریزی تولید «زمانبندی» است که طبق تعریف عبارت از «تعیین زمانهای شروع و خاتمه کارها روی ماشین‌ها است» (ماکوئی، ۱۳۷۹، ۱۰۹).

در این مقاله الگوریتمی برای تعیین دسته تولید محصول و توالی عملیات  $n$  کار روی  $m$  ماشین ارائه شده است. فرض بر این است که در یک کارگاه،  $m$  ماشین متفاوت و  $n$  کار وجود دارد که این کارها باید روی ماشین‌های یاد شده انجام شوند. زمان رسیدن کارها به کارگاه یا آماده بودن آنها برای شروع کار و مدت زمان انجام کارها روی هر ماشین مشخص است. به علاوه، فرض بر این است که هر کار از هر ماشین یک بار استفاده می‌کند. این الگوریتم با در نظر گرفتن زمان استاندارد انجام هر یک از عملیات، تعداد قطعات یکسان به کار رفته در یک واحد محصول، زمان آماده‌سازی ماشین‌آلات، درصد ضایعات هر یک از عملیات روی ماشین مربوطه، و مقدار تولید در یک دسته تولیدی، اقدام به محاسبه زمان لازم برای انجام هر یک از عملیات مورد نیاز جهت تولید همان دسته تولیدی می‌نماید. در این الگوریتم برای بر آوردن تقاضای دوره معین، با استفاده از اطلاعات محاسبه شده، قاعده SPT و شروط تعیین شده در الگوریتم، عملیات مورد نیاز برای تولید کل تقاضای یک دوره معین برای محصول، ابتدا با فرض دسته‌های تولید تک واحدی به ماشین‌آلات تخصیص داده می‌شود، سپس مجموع زمان‌های آماده سازی و بیکاری ماشین‌آلات برای تقاضای دوره محاسبه می‌گردد. آنگاه با تغییر مقادیر دسته‌های تولید، مجموع زمان‌های آماده سازی و بیکاری برای تقاضای دوره مربوط به هر دسته محاسبه می‌شود. در پایان، مقدار بهینه دسته تولید که مجموع این زمان‌ها را کمینه می‌سازد، به دست می‌آید. توالی عملیات مربوط به دسته تولید بهینه، توالی مطلوب برای اختصاص عملیات روی ماشین‌ها می‌باشد. در این الگوریتم هدف تعیین آن برنامه زمانبندی عملیاتی است که زمان کل تقاضای دوره را کمینه می‌کند. به منظور آزمون الگوریتم پیشنهادی، جواب حاصل از آن با جواب الگوریتم‌های «هو و

585-587) یک روش هیوریستیک n کار با m ماشین نیز توسط کمپبل<sup>(۲)</sup>، دیودک<sup>(۳)</sup> و اسمیت<sup>(۴)</sup> ارائه شده است. روش تعیین توالی n کار روی m ماشین در شرایط خاص، روش دیگری است که در صورتی کاربرد دارد که کمترین زمان عملیات روی ماشین‌های اول و m از بزرگترین زمان عملیات روی بقیه ماشین‌ها بیشتر باشد (Sharma, 2001, 859-869).

نکته‌ای که بایستی بدان توجه نمود این است که در تحقیقات مربوط به زمانبندی n کار روی m ماشین، مساله مقدار دسته تولید مورد توجه نبوده است. در این مقاله مساله مقدار دسته تولید در تعیین زمانبندی مورد نظر قرار گرفته است. به همین منظور الگوریتمی ارائه شده که مقادیر دسته تولید را در تعیین برنامه زمانبندی n کار روی m ماشین بررسی می‌کند. الگوریتم پیشنهادی مقدار بهینه دسته تولید را طوری تعیین می‌کند که برنامه زمانبندی n کار روی m ماشین، زمان کل سیستم تولیدی برای هر دوره معین را کمینه سازد.

#### الگوریتم پیشنهادی تعیین دسته تولید محصول و توالی عملیات n کار روی m ماشین

این الگوریتم با در نظر گرفتن مقادیر دسته‌های تولید برای تخصیص n کار به m ماشین برای برآوردن تقاضای یک دوره معین ارائه گردیده است.

به طور کلی قابلیت‌های این الگوریتم عبارتند از :

- ۱- محاسبه اندازه دسته تولیدی
- ۲- برنامه‌زمانبندی تولید ماشین آلات
- ۳- تعیین دقیق فواصل بیکاری ماشین آلات جهت دریافت سفارشات

#### الف- اطلاعات ورودی الگوریتم

در این الگوریتم اطلاعات ورودی عبارتند از:

- ۱- شماره هر یک از عملیات
- ۲- زمان استاندارد انجام هر یک از عملیات روی ماشین‌های مربوطه
- ۳- تعداد عملیات یکسان به کار رفته در تولید یک واحد محصول
- ۴- کد ماشین آلات
- ۵- زمان آماده سازی ماشین آلات برای هر یک از عملیات

۲- هر ماشین به طور پیوسته (بدون توقف) در دسترس بوده و تا زمانی که کاری برای عملیات وجود داشته باشد ماشین هرگز بیکار نخواهد ماند.

۳- جهت جریان همواره رعایت می‌شود (یعنی همیشه مرحله اول هر کاری قبل از مرحله دوم آن صورت می‌گیرد).

۴- زمان‌های آماده‌سازی عملیات مستقل از توالی آنها می‌باشد.

۵- مشخصات تمام کارها، مشخصات تمام ماشین‌ها و زمان استاندارد تمام کارها از قبل معلوم است.

۶- به محض اینکه عملیاتی روی ماشین شروع می‌شود، تا اتمام آن بدون وقفه ادامه می‌یابد.

۷- زمان آماده‌سازی هر ماشین نسبت به نوع عملیات از قبل مشخص است.

۸- هر ماشین مستقل از ماشین‌آلات دیگر بوده و می‌تواند با حداکثر ظرفیت خود کار کند.

۹- روش تولید ناپیوسته می‌باشد.

۱۰- مشخصات مسأله به طور ایستا و قطعی می‌باشد.

۱۱- هر ماشین در یک زمان فقط می‌تواند یک کار انجام دهد.

۱۲- درصد ضایعات هر یک از عملیات روی هر ماشین از قبل معلوم است.

#### روش‌ها و تکنیک‌های زمانبندی

تاکنون روش‌ها و تکنیک‌های مختلفی برای تعیین توالی عملیات n کار روی m ماشین در ادبیات برنامه‌ریزی تولید مورد بررسی قرار گرفته است. یکی از روش‌های تعیین زمانبندی n کار روی m ماشین، بررسی تمام حالات ممکن است که به طور طبیعی به یافتن جواب بهینه منتهی می‌شود (چشم براه، ۱۳۸۱، ۴۸). نمودار گانت معمول‌ترین روش برای نمایش بارگیری کارها روی منابع (تجهیزات) در طول زمان است (براون، هارن و شیونان، ۱۳۷۹، ۲۲۶-۲۲۴ و Quinn & Novels (2001, 25) روش ماتریسی زمانبندی فعالیت‌ها، روش دیگری برای محاسبه برنامه‌های زمانبندی کار و ماشین است که توسط رایت<sup>(۱)</sup> ارائه شده است. (Wild, 1989, 355-358) در منابع (Ibid, 359-360) و (حاج شیرمحمدی، ۱۳۶۵، ۲۶۶ - ۲۶۳) یک روش تقریبی زمانبندی، با استفاده از شیوه اندیکس ماشین‌ها، جهت تعیین توالی تحویل کارها به ماشین‌ها که کاربرد زیادی دارد و نسبتاً ساده است ارائه شده است. اساس این روش مبتنی بر تعیین شماره اندیکس ماشین‌هاست. در منبع (Starr, 1989)

2. Campbell  
3. Dudek  
4. Smith

1. Wright

۱-۵)  $k$  را مساوی «یک» قرار دهید، و سپس گام‌های ۱ تا ۴ فوق را محاسبه کنید. اعداد محاسبه شده به عنوان اطلاعات مورد نیاز برای تولید یک واحد محصول می‌باشد.

۲-۵) تخصیص عملیات اول قطعات به ماشین‌ها در زمان صفر (زمان شروع تولید) را با رعایت موارد زیر انجام دهید:

الف- در صورت مراجعه همزمان چند عملیات به یک ماشین، فعالیت‌ها را طبق نظم کوتاه‌ترین زمان پردازش (SPT) به ماشین‌ها اختصاص دهید. یعنی، عملیاتی که کوتاهترین زمان پردازش را دارد برای تولید انتخاب کنید.

ب- در اختصاص عملیات به ماشین‌ها، در صورتی که بیش از یک ماشین قادر به انجام عملیات باشد عملیات را به ماشینی که قادر به انجام آن در زمان کوتاهتری است اختصاص دهید.

۳-۵) عملیات بعدی (عملیات دوم، سوم و ...) مربوط به هر قطعه را با در نظر گرفتن شروط ذکر شده در گام (۲-۵) به ماشین‌ها تخصیص دهید. در تخصیص عملیات بعدی قطعات به ماشین‌ها ممکن است حالات زیر اتفاق افتند:

الف- اگر ماشین بیکار باشد در این صورت عملیات مراجعه کننده بلافاصله مورد پردازش قرار می‌گیرد.

ب- اگر ماشین مشغول انجام یکی از عملیات باشد، عملیات مراجعه کننده به صف سایر عملیات در حال انتظار برای این ماشین ملحق می‌شود.

ج- وقتی ماشین عملیاتی را تمام می‌کند برای تعیین کار بعدی از قاعده SPT استفاده می‌کند. یعنی از صف عملیات، عملی را برای انجام انتخاب می‌کند که کمترین زمان پردازش را داشته باشد.

۴-۵) پس از اختصاص تمام عملیات (قطعات) اولین دسته تولید ( $K=1$ ) روی ماشین‌ها، مجدداً تخصیص دسته‌های بعدی (دسته‌های دوم، سوم و ...) نیز برای  $K=1$  صورت می‌گیرد. این فرآیند تا تکمیل برنامه زمانبندی کل تقاضای دوره انجام می‌گیرد.

در تخصیص دسته‌های دوم و سوم، ... و  $V$ ام به ماشین‌های مربوطه (که مقدار  $V$  از رابطه (۱) به دست می‌آید) موارد زیر را در نظر بگیرید:

الف- در صورت مراجعه همزمان قطعات با شماره دسته‌های یکسان، در اختصاص عملیات قطعه به ماشین قاعده SPT رعایت شود.

ب- در صورت مراجعه همزمان قطعات با شماره دسته‌های متفاوت، عملیات دسته‌هایی که شماره کمتری دارند (بدون رعایت قاعده SPT) اختصاص یابد.

۶- مقدار محصول مورد نیاز در یک دوره معین (تقاضای دوره معین)

۷- درصد ضایعات هر یک از عملیات روی ماشین مربوطه

### ب- روش اجرای الگوریتم

در اجرای الگوریتم، تعداد دسته‌های تولید در طی دوره برای حالتی که مقدار دسته تولید  $k$  است از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$v = \left[ \frac{D}{K} \right] + \delta \quad \text{و} \quad \delta = \begin{cases} 0 & \text{اگر} \left[ \frac{D}{K} \right] = \frac{D}{K} \\ 1 & \text{اگر} \left[ \frac{D}{K} \right] \neq \frac{D}{K} \end{cases} \quad (1)$$

در این رابطه:

[ ] = علامت تابع جزء صحیح

گام‌های لازم در اجرای الگوریتم به ترتیب عبارتند از:

۱- تعداد عملیات  $i$  به کار رفته در یک واحد محصول را در زمان استاندارد تولید همان عملیات ضرب کرده و تحت عنوان «زمان استاندارد کل» نامگذاری کنید. یعنی:

$$t_i = S_i \times P_i, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

۲- زمان استاندارد کل برای تولید عملیات  $i$  در یک دسته تولید  $K$  واحدی را به صورت زیر محاسبه کنید:

$$T_i = k \times t_i, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

۳- کل زمان تولید عملیات  $i$  ام برای تولید  $K$  واحد محصول برابر است با:

$$U_i = T_i + A_i, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

۴- زمان مورد نیاز برای انجام عملیات  $i$  در تولید  $K$  واحد محصول با در نظر گرفتن درصد ضایعات را با فرمول زیر محاسبه کنید (اپل، ۱۳۷۶، ۱۲۴):

$$F_i = \frac{U_i}{1 - C_i}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

۵- تخصیص عملیات به ماشین‌ها را با استفاده از  $F_i$  به دست آمده در گام چهار، طبق گام‌های زیر انجام دهید:

۵-۹) مقدار K منطبق با  $Z^*$  را با  $K^*$  نشان داده و  $K^*$  را به عنوان مقدار دسته تولیدی بهینه اعلام کنید.  
 ۵-۱۰) تخصیص مربوط به  $K^*$ ، به عنوان توالی مطلوب برای اختصاص عملیات به ماشین‌ها می‌باشد، و طول زمان کل عملیات آن، زمان کل سیستم تولید را تشکیل می‌دهد.

### آزمون الگوریتم

الگوریتم پیشنهادی با الگوریتم‌های «هو و چانگ»، «جانسون» و «پالمر» مقایسه شده است. مثال‌های مختلف نشان می‌دهد که الگوریتم ارائه شده زمان کل بهتری ارائه می‌دهد.

برای مقایسه، مثال زیر ابتدا به طور کامل با استفاده از الگوریتم پیشنهادی حل شده و سپس جواب نهایی الگوریتم‌های «هو و چانگ»، «جانسون» و «پالمر» برای همین مثال محاسبه شده است.

مثال (۱) تقاضای محصولی در طی دوره معین  $V$  واحد است و این محصول از ۴ قطعه تشکیل می‌شود. هر قطعه به ۴ عملیات نیاز دارد. تعداد ماشین‌های کارگاه نیز ۴ دستگاه می‌باشد. مشخصات ماشین‌آلات و قطعات، در جدول (۱) درج شده است. سایر اطلاعات لازم از قبیل تعداد قطعات یکسان در یک واحد محصول، مقدار دسته تولید، زمان آماده‌سازی مخصوص هر عملیات در یک دسته تولید و درصد ضایعات هر ماشین به ترتیب در ستون‌های ۵، ۸، ۹ و ۱۲ جدول (۲) ارائه گردیده است. با توجه به این اطلاعات زمانبندی عملیات روی ماشین‌آلات را انجام داده و مقدار دسته تولیدی که کمترین زمان کل را ارائه می‌دهد به دست آورید.

جدول (۱) - زمان مورد نیاز تولید قطعات بر حسب دقیقه

ماشین قطعه	$M_1$	$M_2$	$M_3$	$M_4$
A	۳	۳	۵	۳
B	۴	۲	۴	۲/۵
C	۱/۵	۲/۵	۳/۵	۱/۵
D	۱/۵	۲/۵	۳/۵	۳/۵

۵-۵) پس از اختصاص کلیه عملیات قطعات تمام دسته‌های مربوط به  $K=1$  روی ماشین‌ها، مقادیر مربوط به «مجموع کل زمان‌های بیکاری و زمان‌های آماده‌سازی» ماشین‌ها را در طول برنامه زمانبندی تقاضای دوره معین محاسبه کرده، و عدد به دست آمده را با  $Z_1$  نشان دهید.

در محاسبه  $Z_k$ ، مجموع زمان‌های بیکاری از روی نمودار توالی عملیات، و مجموع زمانهای آماده‌سازی جهت برآوردن تقاضای دوره از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$H_k = V \times \sum_{i=1}^n A_i \quad k=1, 2, \dots, D \quad (6)$$

در نتیجه اگر مجموع زمان‌های بیکاری ماشین‌ها را در حالت تولید دسته‌های  $K$  واحدی با  $W_k$  نشان دهیم آنگاه:

$$Z_k = H_k + W_k \quad k=1, 2, \dots, D \quad (7)$$

۵-۶)  $K$  را مساوی ۲ قرار داده و سپس مراحل ذکر شده برای  $K=1$  را جهت تخصیص عملیات به ماشین‌ها تکرار کنید. در این تخصیص و تخصیص‌های بعدی ابتدا  $V$  را از رابطه (۱) به دست آورده و سپس موارد زیر را در تخصیص عملیات به ماشین‌ها در نظر بگیرید:

الف- اگر  $V = \left\lfloor \frac{D}{K} \right\rfloor$  باشد، آنگاه به تعداد  $V$  دسته  $K$  واحدی را تخصیص دهید.

ب- اگر  $V = \left\lfloor \frac{D}{K} \right\rfloor + 1$  باشد، آنگاه به تعداد  $(V-1)$  دسته  $K$  واحدی، و در پایان، دسته  $V$ م (دسته آخر) را که تعداد واحدهای آن دسته برابر با  $(D-VK)$  است تخصیص دهید. با توجه به تخصیص صورت گرفته، جمع زمان‌های آماده‌سازی و زمان‌های بیکاری را از (۷) محاسبه نموده و با  $Z_2$  نشان دهید.

۵-۷) اگر  $D > 2$  باشد،  $K$  را برابر ۳، ۴، ۵، ... و  $D$  قرار داده و طبق گام (۵-۶) تخصیص‌های هر  $K$  را انجام دهید. برای هر  $K$ ، جمع زمانهای آماده‌سازی و بیکاری را از (۷) محاسبه نموده و به ترتیب با  $Z_3, Z_4, \dots, Z_D$  نشان دهید.

۵-۸) مقدار مینیمم  $Z_k$ ها را بدست آورده و آن را با  $Z^*$  نشان دهید. یعنی:

$$Z^* = \min(Z_1, Z_2, \dots, Z_D)$$

## الف - حل مسأله با الگوریتم پیشنهادی:

(۱) برای  $K=1$ ، جدول (۲) را با استفاده از گام‌های یک تا چهار الگوریتم پیشنهادی تکمیل کرده و مقادیر  $F_i$  (ستون آخر جدول (۲)) را محاسبه می‌کنیم. سپس با استفاده از مقادیر  $F_i$  طبق گام‌های (۱-۵) تا (۵-۵) الگوریتم، توالی عملیات را به دست می‌آوریم (نمودار ۱). آنگاه از روی این توالی عملیات، مجموع زمانهای بیکاری و آماده‌سازی را به عنوان یک شاخص مقایسه محاسبه می‌کنیم. به این منظور ابتدا با توجه به نمودار (۱) مقدار زمان بیکاری در کل دوره برای  $K=1$ ، یعنی  $W_1$  را به صورت زیر به دست می‌آوریم:

$$W_1 = 95.15 + 6.25 + 75.25 + 14.58 + 5.67 + 25.22 + 3.09 + 4.97 + 3.09 + 4.97 + 3.09 + 4.97 + 3.09 + 4.97 + 3.09 + 4.97 + 3.09 = 273.57$$

از جدول (۲) جمع زمان‌های آماده‌سازی عملیات برای یک دسته تولید در حالت  $K=1$  برابر است با:

$$\sum_{i=1}^{16} A_i = 52$$

حال با توجه به مقادیر  $K=1$  و  $D=7$ ، مقدار  $V$  برابر هفت است. بنابراین جمع زمان‌های آماده‌سازی در کل دوره برابر است با:

$$H_1 = V \times \sum_{i=1}^n A_i = 7 * 52 = 364$$

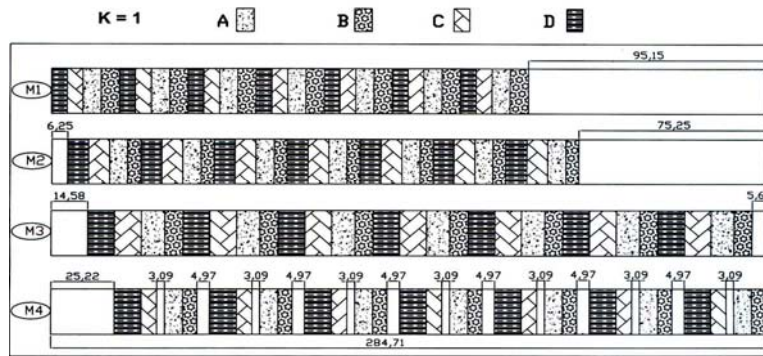
در نتیجه مجموع زمان‌های آماده‌سازی و بیکاری دوره برابر است با:

$$Z_1 = W_1 + H_1 = 273.57 + 364 = 637.57$$

جدول (۲) - محاسبه زمان مورد نیاز برای انجام عملیات  $i$  در یک دسته تولید  $k$  واحدی با در نظر گرفتن درصد ضایعات ( $K=1$ )

۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳
قطعه	شماره عملیات	پیش نیاز	زمان استاندارد عملیات $i$ ( $S_i$ )	تعداد عملیات $i$ بکار رفته در یک واحد محصول ( $P_i$ )	زمان استاندارد کل عملیات $i$ ( $t_i = S_i \cdot P_i$ )	کد ماشین	مقدار دسته تولید ( $K$ )	زمان آماده‌سازی مخصوص عملیات $i$ در یک دسته تولید ( $A_i$ )	زمان استاندارد کل عملیات $i$ در یک دسته تولید $K$ واحدی ( $T_i = k \cdot t_i$ )	زمان مورد نیاز برای انجام عملیات $i$ در یک دسته تولید $K$ واحدی ( $U_i = T_i + A_i$ )	در صد ضایعات ماشین ( $C_i$ )	زمان مورد نیاز برای انجام عملیات $k$ واحدی با در نظر گرفتن در صد ضایعات [ $F_i = U_i + (1 - C_i)$ ]
A	A10	-	۳	۱	۳	M1	۱	۴	۳	۷	۰/۰۳	۷/۲۲
	A20	A10	۳	۱	۳	M2	۱	۴	۳	۷	۰/۰۳	۷/۲۲
	A30	A20	۵	۱	۵	M3	۱	۴	۵	۹	۰/۰۳	۹/۲۸
	A40	A30	۳	۱	۳	M4	۱	۴	۳	۷	۰/۰۳	۷/۲۲
B	B10	-	۴	۱	۴	M1	۱	۳	۴	۷	۰/۰۴	۷/۲۹
	B20	B10	۲	۱	۲	M2	۱	۳	۲	۵	۰/۰۳	۵/۱۵
	B30	B20	۴	۱	۴	M3	۱	۳	۴	۷	۰/۰۳	۷/۲۲
	B40	B30	۲/۵	۱	۲/۵	M4	۱	۳	۲/۵	۵/۵	۰/۰۳	۵/۶۷
C	C10	-	۱/۵	۲	۳	M1	۱	۳	۳	۶	۰/۰۵	۶/۳۲
	C20	C10	۲/۵	۲	۵	M2	۱	۳	۵	۸	۰/۰۴	۸/۳۳
	C30	C20	۳/۵	۲	۷	M3	۱	۳	۷	۱۰	۰/۰۶	۱۰/۶۴
	C40	C30	۱/۵	۲	۳	M4	۱	۳	۳	۶	۰/۰۳	۶/۱۹
D	D10	-	۱/۵	۲	۳	M1	۱	۳	۳	۶	۰/۰۴	۶/۲۵
	D20	D10	۲/۵	۲	۵	M2	۱	۳	۵	۸	۰/۰۴	۸/۳۳
	D30	D20	۳/۵	۲	۷	M3	۱	۳	۷	۱۰	۰/۰۶	۱۰/۶۴
	D40	D30	۳/۵	۲	۷	M4	۱	۳	۷	۱۰	۰/۰۶	۱۰/۶۴
جمع								۵۲				

نمودار (۱) - نمودار توالی عملیات در حالت (k=1)



برابر است با :

$$H_2 = V \times \sum_{i=1}^{16} A_i = 4 \times 52 = 208$$

در نتیجه مجموع زمان‌های آماده‌سازی و بیکاری دوره به صورت زیر خواهد بود

$$Z_2 = W_2 + H_2 = 306/9 + 208 = 514/9$$

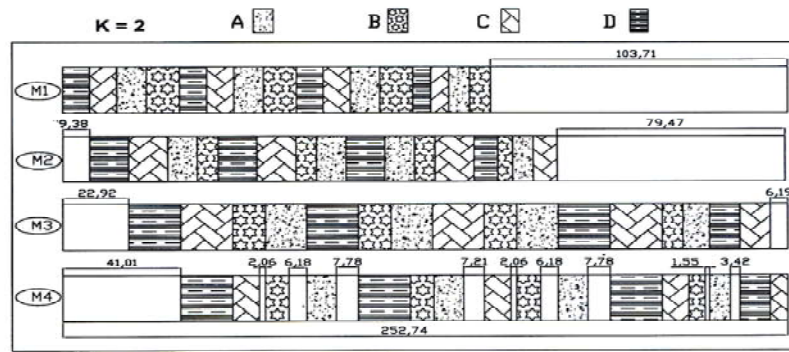
(۲) k را برابر ۲ قرار داده و با استفاده از گام‌های یک تا چهار الگوریتم پیشنهادی، جدول (۳) را تکمیل می‌کنیم. سپس با استفاده از مقادیر  $F_i$ ، طبق گام (۶-۵) الگوریتم، توالی عملیات را به دست می‌آوریم (نمودار ۲). آنگاه از روی این توالی عملیات، مجموع زمان‌های بیکاری و آماده‌سازی را محاسبه می‌کنیم. با توجه به نمودار (۲) مقدار جمع زمان‌های بیکاری در کل دوره برابر است با:  $W_2 = 306/9$

حال با توجه به مقادیر  $K=2$  و  $D=7$  مقدار  $V$  برابر با چهار است. بنابراین جمع زمان‌های آماده‌سازی در کل تقاضای دوره

جدول (۳) - محاسبه زمان مورد نیاز برای انجام عملیات i در یک دسته تولید k واحدی با در نظر گرفتن درصد ضایعات (K=2)

۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳
قطعه	شماره عملیات	پیش نیاز	زمان استاندارد عملیات i (Si)	تعداد عملیات i بکار رفته در یک واحد محصول (Pi)	زمان استاندارد کل عملیات i (ti=Si×Pi)	کد ماشین	مقدار دسته تولید (K)	زمان آماده سازی مخصوص یک دسته تولید (Ai)	زمان استاندارد کل عملیات i در یک دسته تولید K واحدی (Ti=k×ti)	زمان مورد نیاز برای انجام عملیات i در یک دسته تولید K واحدی (Ui=+Ai) (Ti)	در صد ضایعات ماشین (Ci)	زمان مورد نیاز برای انجام عملیات i در یک دسته تولید k واحدی با در نظر گرفتن درصد ضایعات [Fi=Ui ÷ (1-Ci)]
A	A10	-	۳	۱	۳	M1	۲	۴	۶	۱۰	۰/۰۳	۱۰/۳۱
	A20	A10	۳	۱	۳	M2	۲	۴	۶	۱۰	۰/۰۳	۱۰/۳۱
	A30	A20	۵	۱	۵	M3	۲	۴	۱۰	۱۴	۰/۰۳	۱۴/۴۳
	A40	A30	۳	۱	۳	M4	۲	۴	۶	۱۰	۰/۰۳	۱۰/۳۱
B	B10	-	۴	۱	۴	M1	۲	۳	۸	۱۱	۰/۰۴	۱۱/۴۶
	B20	B10	۲	۱	۲	M2	۲	۳	۴	۷	۰/۰۳	۷/۲۲
	B30	B20	۴	۱	۴	M3	۲	۳	۸	۱۱	۰/۰۳	۱۱/۳۴
	B40	B30	۲/۵	۱	۲/۵	M4	۲	۳	۵	۸	۰/۰۳	۸/۲۵
C	C10	-	۱/۵	۲	۳	M1	۲	۳	۶	۹	۰/۰۵	۹/۴۷
	C20	C10	۲/۵	۲	۵	M2	۲	۳	۱۰	۱۳	۰/۰۴	۱۳/۵۴
	C30	C20	۳/۵	۲	۷	M3	۲	۳	۱۴	۱۷	۰/۰۶	۱۸/۰۹
	C40	C30	۱/۵	۲	۳	M4	۲	۳	۶	۹	۰/۰۳	۹/۲۸
D	D10	-	۱/۵	۲	۳	M1	۲	۳	۶	۹	۰/۰۴	۹/۳۸
	D20	D10	۲/۵	۲	۵	M2	۲	۳	۱۰	۱۳	۰/۰۴	۱۳/۵۴
	D30	D20	۳/۵	۲	۷	M3	۲	۳	۱۴	۱۷	۰/۰۶	۱۸/۰۹
	D40	D30	۳/۵	۲	۷	M4	۲	۳	۱۴	۱۷	۰/۰۶	۱۸/۰۹
جمع												۵۲

## نمودار (۲) - نمودار توالی عملیات در حالت (k=۲)



و از آنجایی که برای  $D=7$  و  $K=3$  و  $V=3$  می باشد. بنابراین:

$$H_3 = V \times \sum_{i=1}^{16} A_i = 3 * 52 = 156$$

در نتیجه مجموع زمانهای آماده سازی و بیکاری برای  $k=3$  برابر عدد « $Z_3=491.8$ » است.

با قرار دادن  $k=3$  و انجام محاسبات لازم، جدول (۴) را تکمیل کرده و مقادیر  $F_i$  را به دست می آوریم. سپس با استفاده از  $F_i$  به دست آمده، توالی عملیات را مطابق نمودار (۳) معین می کنیم.

در این حالت:

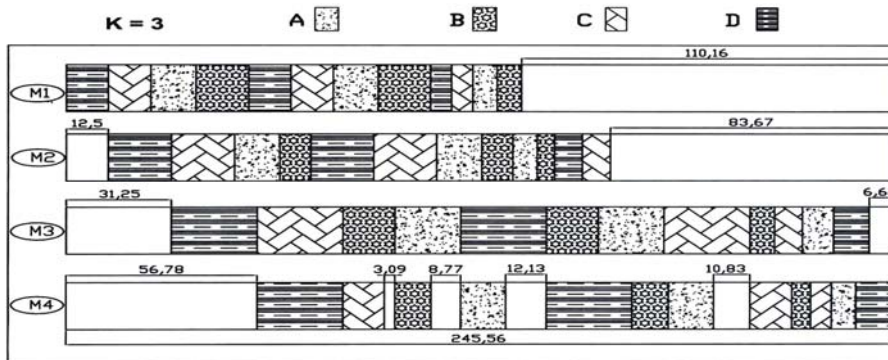
$$W_3 = 335.8$$

جدول (۴) - محاسبه زمان مورد نیاز برای انجام عملیات  $i$  در یک دسته تولید  $k$  واحدی با در نظر گرفتن درصد ضایعات ( $K=3$ )

۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳
قطعه	شماره عملیات	پیش نیاز	زمان استاندارد عملیات $i$ ( $S_i$ )	تعداد عملیات $i$ تکرار شده در یک واحد محصول ( $P_i$ )	زمان استاندارد کل عملیات $i$ ( $t_i=S_i \cdot P_i$ )	کد ماشین	مقدار دسته تولید ( $K$ )	زمان آماده سازی مخصوص عملیات $i$ در یک دسته تولید ( $A_i$ )	زمان استاندارد کل عملیات $i$ در یک دسته تولید $K$ واحدی ( $T_i=k \cdot t_i$ )	زمان مورد نیاز برای انجام عملیات $i$ در یک دسته تولید $K$ واحدی ( $U_i=T_i+A_i$ )	در صد ضایعات ( $C_i$ )	زمان مورد نیاز برای انجام عملیات $i$ در یک دسته تولید $k$ واحدی با در نظر گرفتن درصد ضایعات ( $F_i=U_i \div [1-C_i]$ )
A	A10	-	۳	۱	۳	M1	۳	۴	۹	۱۳	۰/۰۳	۱۳/۴
	A20	A10	۳	۱	۳	M2	۳	۴	۹	۱۳	۰/۰۳	۱۳/۴
	A30	A20	۵	۱	۵	M3	۳	۴	۱۵	۱۹	۰/۰۳	۱۹/۵۹
	A40	A30	۳	۱	۳	M4	۳	۴	۹	۱۳	۰/۰۳	۱۳/۴
B	B10	-	۴	۱	۴	M1	۳	۳	۱۲	۱۵	۰/۰۴	۱۵/۶۳
	B20	B10	۲	۱	۲	M2	۳	۳	۶	۹	۰/۰۳	۹/۲۸
	B30	B20	۴	۱	۴	M3	۳	۳	۱۲	۱۵	۰/۰۳	۱۵/۴۶
	B40	B30	۲/۵	۱	۲/۵	M4	۳	۳	۷/۵	۱۰/۵	۰/۰۳	۱۰/۸۲
C	C10	-	۱/۵	۲	۳	M1	۳	۳	۹	۱۲	۰/۰۵	۱۲/۳۳
	C20	C10	۲/۵	۲	۵	M2	۳	۳	۱۵	۱۸	۰/۰۴	۱۸/۷۵
	C30	C20	۳/۵	۲	۷	M3	۳	۳	۲۱	۲۴	۰/۰۶	۲۵/۵۳
	C40	C30	۱/۵	۲	۳	M4	۳	۳	۹	۱۲	۰/۰۳	۱۲/۳۷
D	D10	-	۱/۵	۲	۳	M1	۳	۳	۹	۱۲	۰/۰۴	۱۲/۵۰
	D20	D10	۲/۵	۲	۵	M2	۳	۳	۱۵	۱۸	۰/۰۴	۱۸/۷۵
	D30	D20	۳/۵	۲	۷	M3	۳	۳	۲۱	۲۴	۰/۰۶	۲۵/۵۳
	D40	D30	۳/۵	۲	۷	M4	۳	۳	۲۱	۲۴	۰/۰۶	۲۵/۵۳
جمع												۵۲



نمودار (۳) - نمودار توالی عملیات در حالت (k=۳)



برای سایر مقادیر K، یعنی  $k=4, k=5, k=6$  و  $k=7$  نیز اطلاعات به همراه زمان کل هر یک از Kها در جدول (۵) مجموع زمان‌های آماده سازی و بیکاری محاسبه، و این خلاصه شده است.

جدول (۵) - مشخص کننده بهترین مقدار دسته تولیدی

تعداد دسته‌های تولیدی (K)	جمع زمانهای آماده‌سازی ماشین‌آلات در حالت تولید K واحد محصول (دقیقه)	جمع زمانهای بیکاری ماشین‌آلات در حالت تولید K واحد محصول (دقیقه)	جمع زمانهای بیکاری و آماده‌سازی در حالت تولید K واحد محصول (دقیقه)	زمان کل (دقیقه)
۱	۳۶۴	۲۷۳/۵۷	۶۳۷/۵۷	۲۸۴/۷۱
۲	۲۰۸	۳۰۶/۹	۵۱۴/۹	۲۵۲/۷۴
۳	۱۵۶	۳۳۵/۸	۴۹۱/۸	۲۴۵/۵۶*
۴	۱۰۴	۳۹۸/۸	۵۰۲/۸	۲۴۸/۳۶
۵	۱۰۴	۴۱۶/۹۷	۵۲۰/۹۶	۲۵۲/۵۹
۶	۱۰۴	۴۶۷/۹۷	۵۷۱/۹۷	۲۶۴/۳۷
۷	۵۲	۵۵۲	۶۰۴/۰۹	۲۷۳/۱۶

(WinQSB) و الگوریتم‌های «هو و چانگ»، «جانسون» و «پالمر»، زمان کل را براساس هر یک از الگوریتم‌ها به دست می‌آوریم. زمان کل حاصل از الگوریتم‌های فوق و الگوریتم پیشنهادی برای تولید هفت واحد محصول در جدول (۶) داده شده است.

با مقایسه جمع زمانهای بیکاری و آماده‌سازی به دست آمده برای مقادیر مختلف K، از جدول (۵) ملاحظه می‌شود که این مجموع در حالت  $K=3$  کمترین مقدار را دارد. زمان کل فرآیند برای  $K=3$  نیز برابر ۲۴۵/۵۶ دقیقه است.

ب- حل مسأله با الگوریتم‌های موجود

برای مقایسه جواب حاصل از الگوریتم پیشنهادی با جواب الگوریتم‌های موجود، مقادیر  $F_i$  (زمان مورد نیاز برای انجام عملیات i جهت تولید هفت واحد محصول با در نظر گرفتن درصد ضایعات) برای  $K=7$  را در الگوریتم‌های یاد شده نیز به کار گرفته و زمان کل حاصل از هر الگوریتم را با زمان کل حاصل از الگوریتم پیشنهادی مقایسه می‌کنیم. برای انجام این کار با استفاده از بسته نرم‌افزاری کیواس‌بی تحت ویندوز

جدول (۶) - زمان کل الگوریتم‌های «هو و چانگ»، «جانسون»، «پالمر» و پیشنهادی

الگوریتم	زمان کل (دقیقه)
هو و چانگ	۲۵۵/۴۸
جانسون	۲۶۸/۵۲
پالمر	۲۶۸/۵۲
پیشنهادی	۲۴۵/۵۶

جدول (۹) - مشخص کننده بهترین مقدار دسته تولیدی

تعداد دسته‌های تولیدی (k)	جمع زمانهای آماده سازی ماشین‌آلات در یک دوره معین در حالت تولید k واحد محصول (دقیقه)	جمع زمانهای بیکاری ماشین‌آلات در حالت تولید k واحد محصول (دقیقه)	جمع زمانهای آماده سازی و تولید k واحد محصول (دقیقه)	زمان کل (دقیقه)
۱	۶۹	۶۳/۱۲	۱۳۲/۱۲	۱۰۸/۶۲
۲	۳۴/۵	۹۵/۴۶	۱۲۹/۹۶	۱۰۷/۵۵*
۳	۲۳	۱۱۶/۷۵	۱۳۹/۷۵	۱۱۰/۶۹
۴	۲۳	۱۳۶/۹۸	۱۵۹/۹۸	۱۱۷/۴۳
۵	۲۳	۱۵۷/۱۷	۱۸۰/۱۷	۱۲۴/۱۵
۶	۱۱/۵	۱۸۰/۳۴	۱۹۱/۸۴	۱۲۸/۳۳

از مقایسه جمع زمانهای بیکاری و آماده سازی در حالت تولید k واحد محصول در می‌یابیم که این رقم در حالت  $K=2$  کمترین است. یعنی بهترین توالی عملیات الگوریتم در حالت تخصیص عملیات در دسته‌های تولید دو واحدی می‌باشد.

در جدول (۱۰) نیز زمان کل حاصل از الگوریتم‌های موجود با به کارگیری «زمان مورد نیاز برای تولید هر عملیات جهت تولید شش واحد محصول با در نظر گرفتن درصد ضایعات» و الگوریتم پیشنهادی ارائه شده است.

جدول (۱۰) - زمان کل الگوریتم‌های «هو و چانگ»، «جانسون»، «پالمر» و پیشنهادی

الگوریتم	زمان کل (دقیقه)
هو و چانگ	۱۲۷/۳۱
جانسون	۱۲۷/۳۱
پالمر	۱۲۷/۳۱
پیشنهادی	۱۰۷/۵۵

از اطلاعات جدول فوق ملاحظه می‌شود که الگوریتم پیشنهادی دارای زمان کل کمتری است. مثال‌های دیگری نیز با این الگوریتم حل شده است. نتایج هر یک از آنها نشان می‌دهد که: الف- با افزایش مقدار دسته تولید، مجموع زمان‌های بیکاری ماشین‌آلات نیز افزایش پیدا می‌کند. (نمودار (۴- الف))

با مقایسه زمان کل حاصل از الگوریتم پیشنهادی و الگوریتم‌های مذکور ملاحظه می‌شود که زمان کل الگوریتم پیشنهادی کمتر از الگوریتم‌های فوق می‌باشد.

در اینجا مثال دیگری برای مقایسه جواب الگوریتم پیشنهادی و سایر الگوریتم‌ها آورده شده است. در این مثال پس از بیان اطلاعات اولیه، به بیان جواب نهایی حاصل از حل الگوریتم اکتفا شده است.

مثال (۲) تقاضای محصول در طی دوره معین ۶ واحد است و این محصول از ۳ قطعه تشکیل شده است. هر قطعه به ۳ عملیات نیاز دارد. تعداد ماشین‌های کارگاه ۳ دستگاه می‌باشد. مشخصات ماشین‌آلات و قطعات در جدول (۷) درج شده است. سایر اطلاعات لازم نیز در جدول (۸) ارائه شده است. با توجه به اطلاعات فوق زمانبندی عملیات روی ماشین‌آلات را انجام داده و مقدار دسته تولیدی که کمترین زمان کل را ارائه می‌دهد بدست آورید.

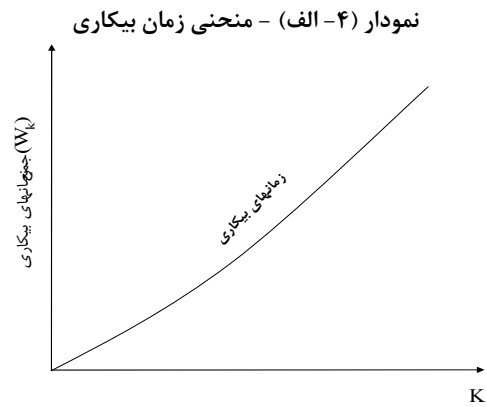
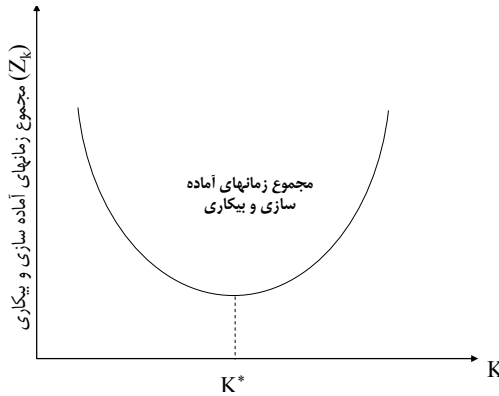
جدول (۷) - زمان مورد نیاز تولید قطعات بر حسب دقیقه

ماشین / قطعه	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>
A	۲	۲/۵	۴
B	۳	۲	۳
C	۱/۵	۲	۳

جدول (۸) - سایر اطلاعات اولیه مورد نیاز تولید قطعات

قطعه	شماره عملیات	پیش نیاز	زمان استاندارد	تعداد عملیات بکار رفته در یک واحد محصول	زمان استاندارد کل	کد ماشین	زمان آماده سازی مخصوص عملیات A در یک دسته تولید	درصد ضایعات ماشین
A	A <sub>10</sub>	-	۲	۱	۲	M <sub>1</sub>	۱	۰/۰۳
	A <sub>20</sub>	A <sub>10</sub>	۲/۵	۱	۲/۵	M <sub>2</sub>	۲	۰/۰۵
	A <sub>30</sub>	A <sub>20</sub>	۴	۱	۴	M <sub>3</sub>	۱	۰/۰۲
B	B <sub>10</sub>	-	۳	۲	۶	M <sub>1</sub>	۲	۰/۰۴
	B <sub>20</sub>	B <sub>10</sub>	۲	۲	۴	M <sub>2</sub>	۱	۰/۰۱
	B <sub>30</sub>	B <sub>20</sub>	۳	۲	۶	M <sub>3</sub>	۱/۵	۰/۰۳
C	C <sub>10</sub>	-	۱/۵	۱	۱/۵	M <sub>1</sub>	۱	۰/۰۴
	C <sub>20</sub>	C <sub>10</sub>	۲	۱	۲	M <sub>2</sub>	۱	۰/۰۱
	C <sub>30</sub>	C <sub>20</sub>	۳	۱	۳	M <sub>3</sub>	۱	۰/۰۳

نتایج جمع زمانهای بیکاری، جمع زمانهای آماده‌سازی، جمع زمانهای بیکاری و آماده سازی و زمان کل برای هر یک از دسته‌های تولیدی در جدول (۹) خلاصه شده است.



زمان کل تابعی از مجموع زمانهای آماده سازی و بیکاری

الگوریتم پیشنهادی در این مقاله با فرض اینکه کمینه کردن مجموع زمانهای آماده سازی و زمانهای بیکاری به کمینه کردن زمان کل منجر می شود ارائه شده است. برای نشان دادن این مطلب ابتدا نمادهای زیر را تعریف می کنیم:

$$I = \text{متغیر نمایشگر شماره ماشین } (I = 1, 2, \dots, m)$$

$$t_{rIq} = \text{شروع بازه زمانی ماشین } I \text{ در زمان } q$$

$$t_{r(q+1)} = \text{پایان بازه زمانی همان ماشین در زمان } q+1$$

$$Y = \text{زمان اتمام تقاضای دوره معین}$$

$$\alpha = \text{مجموع کل زمان پردازش عملیات در طی دوره}$$

با توجه به نمودار زمانی تخصیص کار به ماشین (نمودار (۵))، در حالت کلی مجموع زمانهای بیکاری و آماده سازی از رابطه زیر قابل محاسبه است:

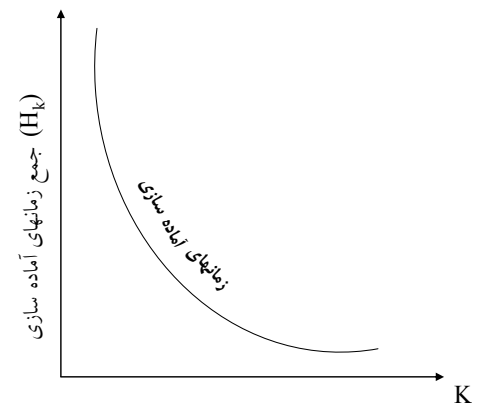
$$Z_K = V \times \sum_{i=1}^n A_i + \sum_{q=0}^y \sum_{r=1}^m (t_{r(q+1)} - t_{rIq}) \times X_{rIq}$$

در رابطه (۸)،  $V$  از رابطه (۱) محاسبه می شود. در این رابطه  $X_{rIq}$  مساوی صفر یا یک، و مقدار آن هنگامی صفر است که بازه زمانی مربوط به زمان انجام کار ماشین باشد، در غیر این صورت (در زمان بیکاری ماشین) برابر یک است. چون برای دسته  $K$  واحدی مجموع زمانهای آماده سازی در طی دوره  $H_K$  و مجموع زمانهای بیکاری برابر  $W_K$  است، بنابراین اگر کل زمان پردازش عملیات در طی دوره را با  $\alpha$  و مقدار زمان کل دوره را برای دسته های  $K$  واحدی را با  $M_K$  نشان دهیم آنگاه می توان نوشت:

$$M_K = W_K + H_K + \alpha = Z_K + \alpha$$

ب- با افزایش مقدار دسته تولید، مجموع زمانهای آماده سازی به دلیل کاهش تعداد دسته های تولیدی کاهش می یابد. این کاهش وقتی زمانهای آماده سازی برای هر یک از عملیات طولانی تر هستند با آهنگ سریعتری صورت می گیرد. ( نمودار (۴-ب))

نمودار (ب) - منحنی زمان آماده سازی



ج- برای مقادیر  $K > K^*$  ابتدا مجموع «زمانهای بیکاری و آماده سازی» شروع به کاهش نموده و برای مقداری از  $K$ ،  $K^*$ ، به مقدار می نیمم خود می رسد. سپس با افزایش مقدار دسته تولید، شروع به افزایش می کند. ( نمودار (۴-ج))

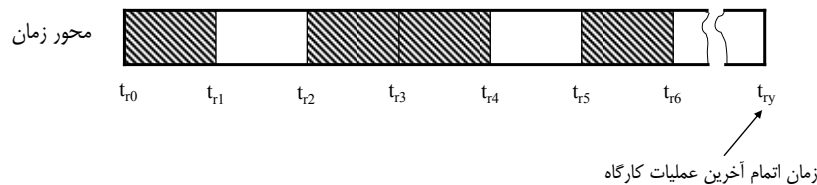
نمودار (ج) - منحنی مجموع زمانهای آماده سازی و بیکاری

در نتیجه جهت می‌نیمم کردن زمان کل کافی است که  $Z_K$  را می‌نیمم کنیم. ایده اولیه ایجاد الگوریتم پیشنهادی در این مقاله نیز ناشی از واقعیت فوق است.

با توجه به رابطه فوق چون مقدار  $\alpha$  ثابت است، بنابراین کمینه سازی  $M_k$  معادل کمینه سازی  $Z_k$  است؛ یعنی:

$$\text{Min } M_k = \text{Min } (Z_K + \alpha) = \text{Min } Z_K + \alpha$$

نمودار (۵) - فواصل زمان کار و بیکاری ماشین



علاوه بر ویژگی‌های مذکور یکی از خروجی‌های الگوریتم اخیر (همانند سایر الگوریتم‌های موجود) فواصل زمانی است که در آنها ماشین‌آلات بیکار بوده و می‌توان برای بهره‌گیری از ماشین‌آلات در این فواصل زمانی برنامه‌ریزی کرد. بعضی از کارهای قابل اجرا در زمان بیکاری ماشین‌آلات عبارتند از:

- ۱- اخذ سفارش کار از بازار
- ۲- اجرای برنامه‌های رفاهی برای پرسنل تولید
- ۳- اجرای برنامه‌های آموزشی جهت ارتقاء دادن توانمندیهای پرسنل تولید
- ۴- انجام تعمیرات پیشگیرانه روی ماشین‌آلات

#### پیشنهادات برای تحقیقات آینده

- این تحقیق می‌تواند برای حالت‌های زیر نیز توسعه یابد:
- ۱- حالتی که زمانهای عملیات متغیرهای تصادفی هستند.
  - ۲- حالتی که زمانهای آماده‌سازی متغیرهای تصادفی هستند.
  - ۳- حالتی که زمانهای آماده‌سازی (ماشین‌ها برای تولید محصولات) بستگی به توالی تولید محصولات دارد.
  - ۴- حالتی که در آن کمینه سازی زمان کل با به کارگیری تئوری فازی مدنظر است.
  - ۵- حالتی که مدل برنامه‌ریزی تولید، مدل پویا می‌باشد. یعنی مقدار تقاضای سفارشی و در نتیجه مقدار کار دوره از قبل معلوم نیست.

#### نتیجه‌گیری

با توجه به ویژگی‌های منحصر به فرد الگوریتم پیشنهادی که در زیر به آنها اشاره می‌شود، این الگوریتم، جهت برنامه‌ریزی و زمانبندی عملیات کارگاهی، الگوریتمی کارا می‌باشد. خصوصیات ویژه این الگوریتم عبارتند از:

الف) مشخص کردن بهترین مقدار دسته تولید: از جمله اهداف عمده‌ای که این الگوریتم به دنبال آن می‌باشد تعیین بهترین مقدار دسته تولید است. با به کارگیری بهترین مقدار دسته تولیدی در تخصیص عملیات به ماشین‌ها، مجموعه زمانهای آماده‌سازی و بیکاری کمینه می‌شود. کمینه شدن مجموع زمانهای آماده سازی و بیکاری یک سیستم تولیدی موجب کمینه شدن زمان کل سیستم تولیدی می‌شود.

ب) در نظر گرفتن درصد ضایعات ماشین‌آلات تولیدی در زمانبندی کارگاهی: این امر به معقول‌تر و واقعی‌تر شدن محاسبات زمانبندی کمک شایانی می‌کند، چرا که در واقع به دلیل وجود محصول معیوب در بین تولیدات یک ماشین، برای تولید تعداد خاصی از محصول تمام شده سالم، باید تعداد محصولات معیوبی را که ماشین تولید می‌کند به تعداد محصولات برنامه‌ریزی شده اضافه کرد. الگوریتم‌های موجود، در محاسبات مربوط به زمانبندی عملیات، این فاکتور مهم را در نظر نمی‌گیرند و ماشین‌ها با درصد تولید قطعات معیوب صفر در نظر گرفته می‌شوند.

## منابع:

- ۱- اپل، جیمز م.، «طرح‌ریزی واحدهای صنعتی» ترجمه: اردوان آصف وزیری، نشر تندر، تهران، ۱۳۷۶، چاپ سوم، صفحه ۱۲۴.
- ۲- براون، جیمی، جان هارن و جیمز شیونان، «سیستم‌های مدیریت تولید (با نگرشی یکپارچه)»، ترجمه: مهدی غضنفری و سروش صغیری، مرکز انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ۱۳۷۹، چاپ اول، صفحات ۲۲۴ الی ۲۲۶.
- ۳- چشم براه، محسن، «ارائه یک الگوریتم پیشنهادی برای حل بهینه مساله ترتیب بندی دو کار روی n ماشین»، روش، شماره ۷۰، مجله روش، (بهمن ۱۳۸۱)، صفحه ۴۸.
- ۴- حاج شیر محمدی، علی، «برنامه‌ریزی و کنترل تولید و موجودیها»، جهاد دانشگاهی دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ۱۳۶۵، چاپ اول، صفحات ۲۶۳ الی ۲۶۶.
- ۵- ماکوئی، احمد، «مقدمه‌ای بر برنامه‌ریزی تولید»، انتشارات روزنه، تهران، ۱۳۷۹، چاپ اول، صفحه ۱۰۹.

6- Quinn , Gregory & Mike Novels (2001) “Analyzing production schedules,” A selection of IIE Solutions, N0.9 , Iran Institute of Industrial Engineering,(January & February ), PP. 25.

7- Starr, Martin K.(1989), “Managing production and Operations,” Prentic – Hall, New Jersey, 1st Edition , PP. 585-587.

8- Sharma , J. K.(2001), “Quantitative Techniques For Managerial Decisions,” Macmillan India Ltd., New Delhi, 1st Edition, PP.859-869.

9- Wild , Ray(1989) “Production and operation Management,” Cassel Educational limited, London, 4th Edition, PP. 355-360.