

یک روش یکپارچه برنامه‌ریزی و کنترل تولید در سیستم تولیدی انعطاف پذیر کارگاهی

فریمه مخاطب رفیعی

استادیار

دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی اصفهان

سید محمد معطر حسینی

دانشیار

دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

محمد اقدسی

دانشیار

دانشکده مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس

چکیده

یک روش برنامه‌ریزی و کنترل تولید سه سطحی پیشنهاد شده و مورد بررسی قرار می‌گیرد. در سطح اول با استفاده از یک مدل ریاضی طول دوره برنامه‌ریزی به دست می‌آید و به سطح بعدی منتقل می‌شود. دو سطح دیگر در عمل یک سیستم کنترل تولید است که با توجه به سه اصل جداسازی بین موعدهای تحویل و ملاحظات عملیاتی و بهره‌روی کامل از انعطاف پذیری سلول کار می‌کند. یک مدل شبیه‌سازی برای بررسی عملکرد این سیستم سه سطحی ساخته شده است. قوانین کلاسیک بارگذاری با استفاده از مفهوم بارکاری متعادل تعریف می‌شوند و نتایج نشان می‌دهند که این قوانین رفتاری مشابه با قوانین کلاسیک دارند.

کلمات کلیدی

سیستم تولید انعطاف پذیر، کنترل تولید، برنامه‌ریزی تولید، مدل‌سازی ریاضی.

An Integrated Production Planning and Control Method for A Job Shop Type Flexible Manufacturing System

F. Mokhatab Rafiei

Assistant Professor

Isfahan University of Technology

S. M. Moattar Hussein

Associate Professor

Amirkabir University of Technology

M. Aghdasi

Associate Professor

Tarbiat Modares University

Abstract

An three level production planning and control method is developed and examined. In the first level with the use of a mathematical model, optimum planning period is determined and passed to the next level. The two last levels which perform production control function are based on three principals: separation between due dates, operational considerations and full utilization of the cell flexibility. A simulation model based on the proposed method has been built. Classic loading rules have been redefined with respect to the concept of balanced workload. The results for these rules have shown similar behavior as compared to the results for classic rules.

Keywords

FMS, production control, production planning, scheduling, mathematical modelling.

یک سیستم تولیدی انعطاف پذیر (FMS)^۱ می تواند شامل یک یا بیشتر سلول باشد، هر سلول از تعدادی ماشین ابزار و تجهیزات حمل مواد و ذخیره کار در جریان تشکیل شده است که به صورت یکپارچه تحت کنترل یک سیستم کامپیوتری قرار دارد. FMS ها می توانند ساختاری به صورت خط و یا کارگاهی داشته باشند. خطوط انتقال برای جریان مواد با توالی نسبتاً ثابت برای حجم تولید بالا، با بهره وری بالای ماشین و مدت های تحویل کوتاه استفاده می شوند. از طرف دیگر کارگاههای سنتی به نحوی طراحی شده اند که برای ساخت مجموعه متنوعی از قطعات مناسب باشند. این انعطاف پذیری معمولاً با بهره وری پائین ماشین ها، مدت تحویل طولانی و موجودی در جریان بالا توأم می باشد. یک FMS کاملاً یکپارچه امکان ادغام کارائی بالای خطوط انتقال با انعطاف پذیری موجود در کارگاه ها را فراهم می کند.

نوف و همکاران [1] نشان داده اند که نحوه برنامه ریزی بشدت بر روی عملکرد FMS ها تأثیر می گذارد. بنابراین برای رسیدن به بهترین عملکرد FMS ها علیرغم دشواری کار باید برنامه های مؤثری را بدست آورد. شانکر و تزن [2] مسئله بارگذاری و تعیین توالی را برای یک FMS تصادفی از نوع کارگاهی مدل سازی کردند. این مدل ریاضی با پنج سیاست برای بارگذاری و چهار سیاست برای ارسال مورد بررسی قرار گرفته است. در مدل آنها طول دوره برنامه ریزی هشت ساعت است. ویلهم و شین [3] در یک FMS کارگاهی اثر وجود انعطاف پذیری در انجام عملیات را بررسی کرده اند. در مدل آنها طول دوره برنامه ریزی ثابت و معادل یک هفته یا یک ماه می تواند باشد. مقاله ایشان شامل یک مدل ریاضی و تحلیل آن مدل و یک الگوریتم در زمان واقعی^۲ است. منتظری و ون وسن هوف [4] یک نرم افزار برای شبیه سازی FMS ها را ارائه کردند. سپس قوانین توالی موجود را با تفکیک آنها به قوانین ایستا که در طول زمان ثابت هستند و قوانین پویا که با گذشت زمان تغییر می کنند برای یک FMS از نوع کارگاهی بررسی نمودند. این دو در مقاله شان اشاره ای به طول دوره برنامه ریزی و چگونگی انتخاب آن نکرده اند. هات شین سون و همکاران [5] یک FMS کارگاهی را در محیطی ایستا بررسی کرده اند. هدف آنها بطور کلی مقایسه برنامه ریزی در زمان واقعی با روش برنامه ریزی قبل از اجرا^۳ است. گوش و گایامون [6] برنامه تولید برای یک FMS کارگاهی را در چند دوره ارائه کرده اند. لیان و داتا [7] مسئله انتخاب قطعه و بارگذاری ماشین را توأم با مورد بررسی قرار داده اند. آنها دو مدل برنامه ریزی خطی ارائه نمودند. در مدل آنها طول دوره برنامه ریزی مقداری ثابت فرض شده است. گوش و گایامون

[8] مدلی را برای برنامه ریزی تولید دسته ای جهت یک FMS کارگاهی ارائه کرده اند. این مدل ریاضی بصورت برنامه ریزی با اعداد صحیح است. مدل ارائه شده بصورتی ابتکاری حل شده و حاصل با جواب بهینه مقایسه شده است. رول و ارزی [9] یک روش برنامه ریزی در زمان واقعی برای یک FMS تصادفی از نوع کارگاهی ارائه کرده اند. در روش آنها کنترل در دو مرحله انجام می شود. مرحله اول انتخاب دسته ای از قطعات بصورتی که برای یک دوره برنامه ریزی شده کافی باشند و سپس مرحله دوم که قطعات از این دسته برای ورود به FMS انتخاب می شوند. در مقاله ایشان هر چند که انتخاب دسته برای یک دوره برنامه ریزی صورت گرفته است ولی طول دوره برنامه ریزی را ثابت فرض کرده اند و علت انتخاب هم توضیح داده نشده است.

کاربردی ترین و مشکلترین مسئله ای که یک FMS کارگاهی با آن مواجه است، وضعیت تولید بر حسب سفارش است یعنی اینکه سفارشات متعددی به صورت تصادفی وارد شوند. هر سفارش مخلوطی از قطعات متفاوت است که زمان های پردازش و احتیاجات متفاوتی دارند. این سیستم تولیدی مواجه با تغییر پیوسته در جریان قطعات است. یک روش برخورد با این سیستم نداشتن هیچگونه برنامه است. به عبارتی هر سفارشی که وارد می شود بلافاصله یا بعد از اینکه در سیستم فضای خالی برای پردازش آن آماده شد به سیستم تغذیه می گردد. در این حالت امکان اینکه این نحوه بارگذاری منجر به عدم تعادل بارکاری ماشین آلات موجود در سیستم شود بسیار زیاد است. به این خاطر است که حتی در این سیستم پویا نیز متخصصین قائل به داشتن برنامه برای دوره خاصی هستند. این برنامه باید بتواند معیارهای اصلی مثل عدم تعادل بارکاری ماشین آلات و متوسط زمان تأخیر سفارشات را به حداقل برساند. در این رابطه هم دو خورد حدی وجود دارد. یکی ایجاد برنامه در هر زمانی که یک سفارش جدید رسید. دیگر اینکه برنامه فعلی قبل از ایجاد یک برنامه جدید تکمیل شود. البته با در نظر نگرفتن ملاحظات محاسباتی، بهترین راه برنامه ریزی در زمان اجرا^۴ است. یعنی هر زمانی که یک عمل روی یک ماشین تمام می شود، اطلاعات پردازش شوند و مجدداً برنامه بهینه یا ترکیب بهینه ای ایجاد شود که در بیشتر حالات این روش از نظر اقتصادی امکان پذیر نیست. در نتیجه تناوب در تجدید برنامه ریزی نیز باید مورد بررسی قرار گیرد.

در این مقاله یک سیستم یکپارچه برنامه ریزی و کنترل تولید سه سطحی ارائه می شود. سطح اول پارامترهای تصمیم گیری را مشخص می کند. این سطح در واقع همان

مرحله برنامه ریزی است که بصورت قبل از اجرا انجام می شود. در این مرحله می توان با استفاده از یک مدل برنامه ریزی ریاضی طول بهینه دوره برنامه ریزی را تعیین نمود [10]. سطح میانی و پائینی عملاً یک سیستم کنترل تولید در زمان اجرا است. مرحله اول آن بدون در نظر گرفتن ملاحظات اجرایی یعنی وضعیت سیستم و ماشین ها، دسته های تولیدی قابل پردازش در دوره برنامه ریزی تشکیل می شوند. این دسته ها با معیار حداقل کردن عدم تعادل بارکاری سیستم ایجاد می شوند. در مرحله دوم این سیستم کنترل تولید، برنامه های ارسال و حرکت قطعات با توجه به ملاحظات عملیاتی یعنی وضعیت سیستم تعیین می گردند.

این مقاله به این ترتیب تنظیم شده است. در بخش ۲ مسئله مورد بررسی تشریح می شود. بخش ۳ به معرفی سیستم یکپارچه برنامه ریزی و کنترل تولید اختصاص می یابد. در بخش ۴ با یک مثال کاربردی سیستم یکپارچه با یک مدل شبیه سازی آزمایش می شود. نتیجه گیری از این مطالعه در بخش ۵ آورده شده است.

۱- تشریح مسئله

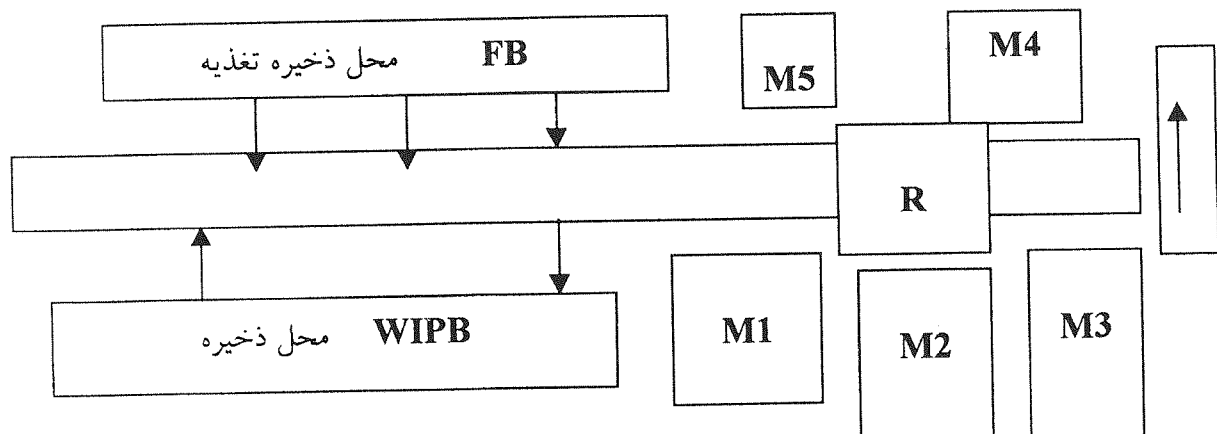
جریانی از سفارشات مختلف هر کدام با موعد تحویل مختلف به صورت تصادفی به یک FMS با یک سلول وارد می شوند. سلول شامل چندین ماشین کنترل عددی (M) است که قادرند دامنه وسیعی از عملیات را انجام دهند. یک عمل می تواند توسط بیش از یک ماشین با کارآئی متفاوت انجام شود. ماشین ها مجهز به وسائلی هستند که قادرند اقلام مختلف را با آماده سازی های نسبتاً کوتاه انجام دهند. سلول توسط یک محل ذخیره تغذیه (FB) و یک محل ذخیره (WIPB) مرکزی سرویس داده می شود. اقلام می توانند از محل ذخیره و یا ماشین حرکت کنند و از ماشین به WIPB یا به خارج سلول بروند. یک وسیله انتقال کنترل عددی (R) بین ماشین

آلات و محل های ذخیره وجود دارد که می تواند قطعات را یکی یکی جابجا کند. تصویری از یکی چنین سلولی در شکل ۱- [9] مشاهده می شود. فرضیات اصلی عبارتند از:

- ۱- سلول می تواند انواع مختلفی از قطعات را از یک مجموعه بزرگ اما محدود با جمعیتی شناخته شده پردازش کند.
- ۲- سفارشات از نظر ترکیب قطعات (تنوع و مقدار)، بارکاری روی سیستم و مواعدهای تحویل با یکدیگر متفاوت هستند.
- ۳- تکمیل یک قطعه معمولاً نیاز به انجام چندین عمل دارد. امکان دارد که عملیات را به چندین ترتیب مختلف بتوان انجام داد.
- ۴- زمان های عملیات شامل زمان های ماشین کاری و زمان هائی از قبیل جهت دادن هستند.
- ۵- زمان های حمل نسبت به زمان عملیات نسبتاً کوتاه اند.
- ۶- بعد از ماشین کاری یک قطعه یا به WIPB می رود و این در حالیست که به عملیات بیشتری نیاز دارد یا از سلول خارج می شود.
- ۷- یک ماشین وقتی در حالت بارگذاری و تخلیه است ماشین کاری نمی کند.
- ۸- زمان های پردازش با یک واریانس بسیار کوچک به صورت یکنواخت توزیع شده اند.
- ۹- ماشین ها به صورت تصادفی خراب می شوند.
- ۱۰- خرابی سیستم حمل وجود ندارد.
- ۱۱- ظرفیت محل ذخیره تغذیه نامحدود است.

۲- سیستم یکپارچه برنامه ریزی و کنترل تولید

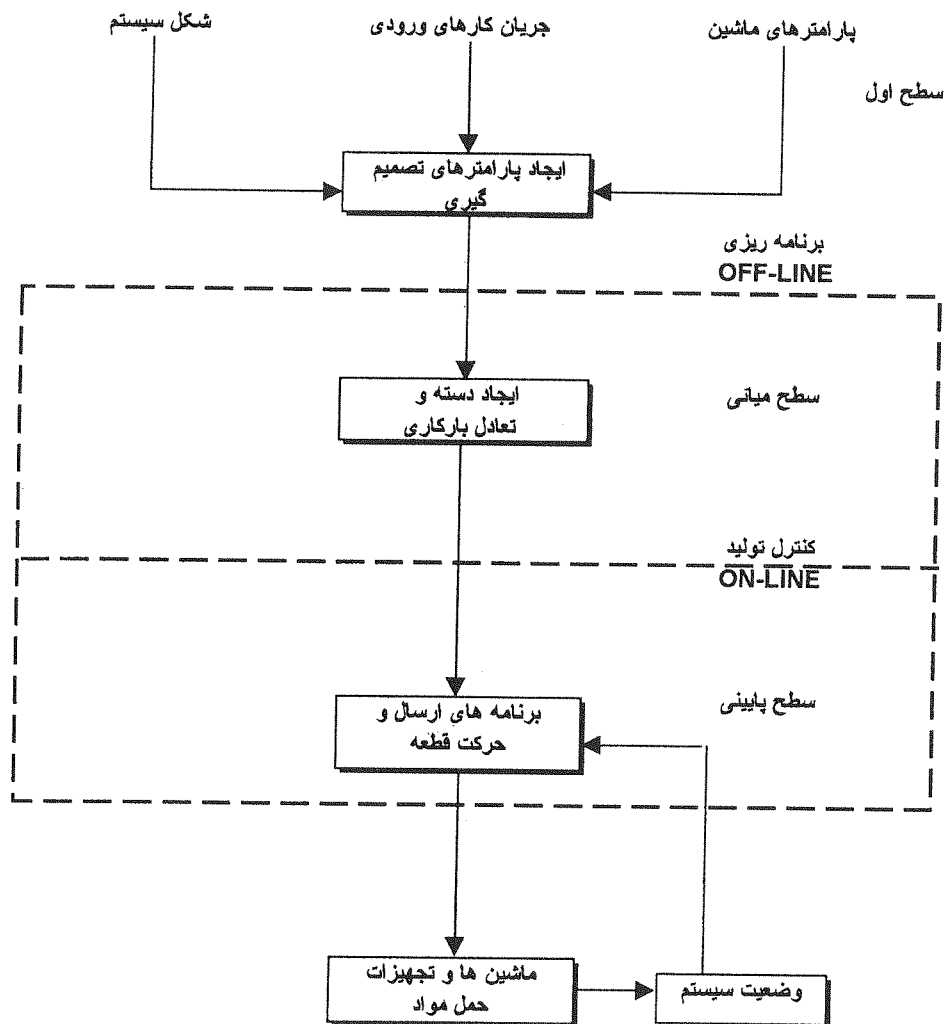
شکل ۲- ساختار یک سیستم برنامه ریزی و کنترل تولید سه سطحی [11] را نشان می دهد. سطح میانی قلب این سیستم است. در این سطح نرخ های تولید کوتاه مدت با در نظر گرفتن محدودیت ظرفیت سیستم تعیین می شوند. با توجه



شکل (۱) سلول تولیدی.

به این نرخ ها، در سطح پائینی زمان های واقعی که قطعات به سیستم تغذیه می شوند به دست می آیند. همانطور که در مقدمه بحث شد طول دوره برنامه ریزی یکی از عوامل اصلی برنامه ریزی تولید محسوب می شود که حتی برای یک FMS کارگاهی نیز بدون در نظر گرفتن آن امکان بهره وری کامل از سیستم وجود ندارد. مخاطب رفیعی و همکاران [12-13] در مطالعاتشان با استفاده از یک مدل ریاضی^۵ MIP با هدف حداقل کردن عدم تعادل بارکاری متوسط ماشین ها در سلول، طول دوره برنامه ریزی را به دست آوردند. روش به دست آوردن دوره برنامه ریزی در ضمیمه الف آمده است. در سطح اول که مرحله تعیین پارامترهای تصمیم گیری است با استفاده از جمعیت معلوم قطعات و اطلاعات مربوط به ساختار سیستم قبل از اینکه سیستم آماده اجرا شود طول دوره برنامه ریزی به دست می آید. این پارامتر همراه با سایر پارامترهای لازم به سطح

میانی منتقل می شوند. در سطح میانی دسته ها از بین اقلامی که منتظر تولید هستند ایجاد می شوند و بعداً به سطح پایین تر منتقل می شوند. این دسته ها به نوبت در یک صف دسته تا نوبت به پردازششان برسد، منتظر می شوند. یک دسته هر وقت که صف خالی شود ایجاد می گردد. زمانی که قطعات در یک صف دسته می مانند می تواند برای آماده کردن مواد اولیه، آماده سازی های خاص و غیره به کار برده شود. دسته ها به محل ذخیره تغذیه وارد می شوند و این کار هنگامی صورت می گیرد که تعداد قطعات در این محل به یک سطح تعیین می شود که چه عملی بر روی چه قطعه ای بر روی ماشین که در دسترس است انجام شود. در بخش های بعدی سه سطح برنامه ریزی و کنترل تولید مورد بررسی قرار می گیرند. شکل ۳- دستورالعمل روش برنامه ریزی و کنترل تولید و ارتباط سه سطح را نشان می دهد.



شکل (۲) ساختار سیستم برنامه ریزی و کنترل تولید.

۲-۱. سطح اول؛ برنامه ریزی قبل از اجرا

یکی از هدف‌های اصلی در بکارگیری یک سلول حداکثر استفاده از ماشین آلات موجود در آن سلول است. به عبارتی باید بارکاری تخصیص داده شده به هر ماشین به نحوی باشد که ماشین در طول دوره برنامه ریزی بیکار نباشد. البته اگر بارکاری بیش از ظرفیت یک ماشین به آن تخصیص داده شود صف ایجاد شده باعث بالا رفتن متوسط زمان انتظار قطعات شده و بگونه‌ای دیگر هزینه را بالا می‌برد. به این منظور هدف اصلی برنامه ریزی در طول یک دوره، حداقل کردن عدم تعادل بارکاری ماشین‌های موجود در سلول است. I ، عدم تعادل بارکاری متوسط یک سلول با M ماشین بصورت زیر تعریف می‌شود:

$$I = \frac{1}{M} \sum_m \left| S - \sum_j \sum_{o \in j} q_{om} P_{om} \right|$$

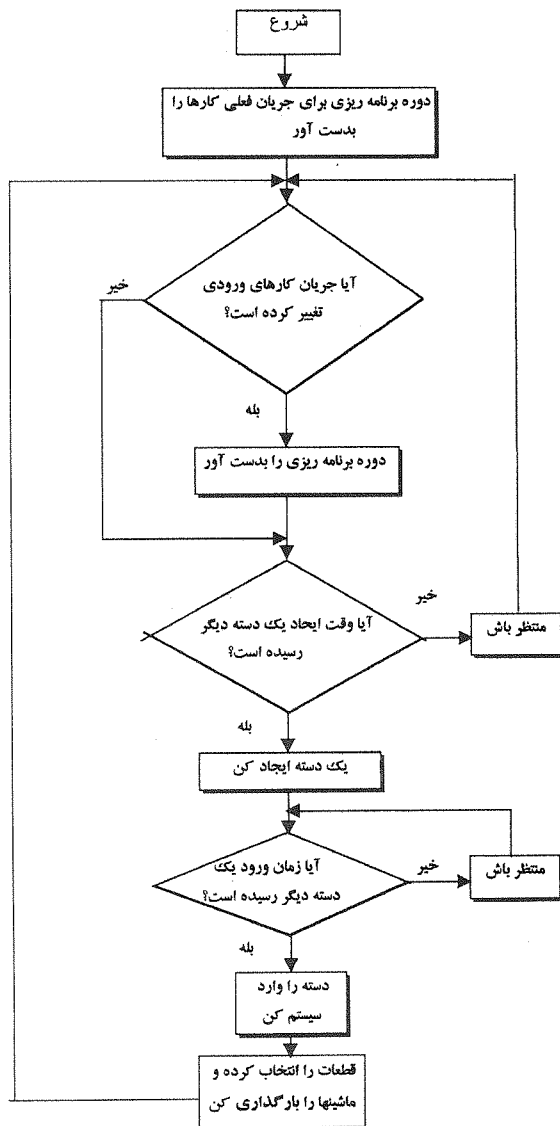
در رابطه فوق S دوره برنامه ریزی و q_{om} تعدادی از عمل انجام عمل o (که روی ماشین m انجام می‌شود) زمان P_{om} است. $o \in j$ (که $o \in j$) روی ماشین m است. مجموعه J ، $J=1, 2, \dots, J$ جمعیت قطعات تحت بررسی را نشان می‌دهد. همانطور که اشاره شد مخاطب رفیعی و همکاران با استفاده از تابع هدف فوق، مدلی را برای بدست آوردن دوره برنامه ریزی ارائه کرده‌اند. در مدل ایشان محدودیت تحویل به موقع سفارشات نیز استفاده شده است. جزئیات بیشتر این مدل در ضمیمه الف آورده شده است.

۲-۲. سطح میانی؛ تعیین دسته‌های قابل پردازش در دوره برنامه ریزی

ورودی به این سطح، دوره برنامه ریزی است که مناسب با جریان کارهای ورودی بدست آمده است. این دوره برنامه ریزی در سطح اول یعنی در مرحله برنامه ریزی قبل از اجرا تعیین شده است. خروجی این سطح، دسته ایست که حداقل عدم تعادل بارکاری در سیستم را ایجاد می‌کند و ملاحظات مربوط به تحویل به موقع قطعات در آن در نظر گرفته شده است.

در عمل قطعات می‌توانند توسط چندین مسیر مختلف با زمان‌های پردازش متفاوت پردازش شوند. لذا یک معیار برای بارکاری هر قطعه روی هر ماشین و در کل سلول لازم است. به این منظور از مفهوم بارکاری متعادل [12-13] استفاده می‌شود. این معیار بار روی ماشین‌های مختلف در یک سلول خاص وقتی که فقط قطعه نوع J تولید می‌شود است (ضمیمه ب). فرض کنید که M تعداد ماشین‌ها در سلول را نشان

می‌دهد و \bar{P}_j معیار بارکاری متعادل قطعه J در سلول و $q_j(L)$ تعداد قطعه نوع J در دسته و S طول دوره برنامه ریزی است و W مقدار کار بر دسته برای انجام در



شکل (۳) دستورالعمل روش برنامه ریزی و کنترل تولید.

دوره S است. در این صورت:

$$W = \sum_j q_j(L) \bar{P}_j \geq M \times S$$

با استفاده از رابطه فوق بدون اطلاع از مسیر قطعی قطعه J صرفاً با بارکاری متعادل آن در سلول می‌توان حجم کار هر دسته در دوره برنامه ریزی را پیش بینی نمود. همانطور که اشاره شد سطح میانی بخشی از یک سیستم کنترل تولید در زمان واقعی است. سیستم در این زمان در

حال اجرا است. لذا با ورود تصادفی سفارشات امکان انتخاب قطعه مناسب وجود دارد. لازم به ذکر است که هر سفارش از قطعاتی تشکیل شده است که متعلق به مجموعه قطعات دانسته شده است. مجموعه قطعات دانسته شده در مرحله قبل از اجرا برای بدست آوردن دوره برنامه ریزی استفاده شده است.

۱-۲-۲- ایجاد دسته

ایجاد کننده دسته، دسته‌ها را از قطعات موجود در لیست قطعات ایجاد می‌کند و آنها را به مجموعه قطعات در صف دسته منتقل می‌نماید. وظیفه اش این است که بارکاری متعادل برای سلول را فراهم آورد و این در حالیست که اولویت به «قطعات بحرانی» و قطعاتی که موعد تحویلشان نزدیک است داده می‌شود. دسته‌های ایجاد شده در صف منتظر می‌مانند تا نوبت به تولیدشان برسد.

یک قطعه بحرانی، قطعه ایست که زمان شناوری آن مساوی یا کمتر از یک مقدار بحرانی خاص X باشد. فرض کنید که زمان شناوری قطعه z ، f_j است که برابر با تعداد روزهای بین روز جاری d و موعد تحویل قطعه D می‌باشد، یک قطعه بحرانی است اگر رابطه زیر برقرار باشد:

$$f_j = D_j - d \leq X$$

برای ایجاد دسته، قطعاتی از مجموعه قطعات در لیست تولید انتخاب می‌شوند تا مقدار کار در دسته، W به سطح $M \times S$ برسد. اولویت اول در تخصیص قطعات به دسته، به قطعات بحرانی داده می‌شود. سپس دسته با قطعاتی که موعد تحویلشان نسبتاً نزدیک است و عدم تعادل دسته را کاهش می‌دهند پر می‌شود.

همانطور که اشاره شد I معیار متوسط عدم تعادل بارکاری است. یک بارکاری متعادل باری است که قادر است ماشین‌ها را با عملیاتی که می‌توانند به نحو کارائی تولید شوند، بارگذاری کند. اگر \bar{P}_{mij} بارکاری متعادل قطعه نوع z روی ماشین m باشد (ضمیمه ب)، یک معیار برای عدم تعادل بارکاری دسته از عبارت زیر حاصل می‌شود:

$$I = \frac{1}{M} \sum_m \left| S - \sum_j q_j(L) \bar{P}_{mij} \right|$$

یک مقدار بالا از I نشان می‌دهد که یا بقدر کافی کار کارآ برای بعضی ماشین‌ها وجود ندارد و یا ماشین‌ها مقادیر بسیار زیادی از یک چنین کارهایی در صف وجود دارند. برای انتخاب قطعات با الویت بالا، اول لیست قطعات به صورت

افزایشی برحسب موعد تحویل مرتب شده و انتخاب قطعاتی که I را با یک حداقل مقدار مشخص γ ، کاهش می‌دهند انجام می‌شود. در این حالت قطعاتی که عدم تعادل را افزایش نمی‌دهند انتخاب می‌شوند. ورودی‌ها به این مرحله عبارتند از لیست مرتب شده بر حسب موعد تحویل، مقادیر S ، P_{mij} ، M و پارامترهای X و γ . در بخش‌های بعدی توضیح داده خواهد شد که ایجاد کننده دسته به مقدار γ حساس نمی‌باشد و مقدار بهینه X که مشخص کننده قطعات بحرانی است نیز از طریق حداقل کردن متوسط زمان جریان یک سفارش به دست می‌آید.

۲-۲-۲- تغذیه دسته‌ها به سلول

همان‌طور که در مقدمه اشاره شد دو برخورد در رابطه با زمان ایجاد دسته‌ها وجود دارد. یکی تولید برنامه در هر زمانی که یک سفارش جدید رسید و دیگری تکمیل برنامه قبل از ایجاد یک برنامه جدید برای کارهایی که در این فاصله زمانی به سیستم وارد شده‌اند. این دو برخورد هر کدام دارای ایراداتی هستند. روش اول معمولاً از نظر اقتصادی امکان پذیر نیست و در روش دوم نیز در اواخر پردازش دسته، ماشین‌ها دچار بیکاری شده و عدم تعادل بارکاری در سیستم را ایجاد می‌کنند. لذا باید با توجه به معیارهای خاصی تناوب در تجدید برنامه ریزی نیز مورد توجه قرار گیرد.

انتقال یک دسته از صف دسته به محل ذخیره تغذیه، بستگی به پارامتر Q یعنی حداقل تعداد قطعات در محل ذخیره تغذیه دارد. اگر تعداد قطعاتی که در محل ذخیره تغذیه اند کمتر از Q شدند یک دسته از صف دسته به سلول منتقل می‌شود. پارامتر Q تعداد قطعات در سلول را کنترل می‌کند و توسط این پارامتر می‌توان هم انعطاف پذیری سیستم و هم زمانی که اقلام در سلول می‌مانند را کنترل کرد. وقتی تعداد کل قطعاتی که در سلول هستند نسبتاً کم باشد یک دسته اضافی ممکن است به نحو قابل ملاحظه‌ای انتخاب فرایندها را افزایش دهد و امکان استفاده از انعطاف پذیری فرایند را بهتر کند. تعداد بیشتر قطعات زمان توقف یک قطعه را در سلول افزایش می‌دهد و ممکن است یک اثر منفی بر روی تأخیر سفارشات داشته باشد. از طرفی تعداد کم قطعات در سیستم باعث بیکاری ماشین‌ها می‌شود. لذا همانطور که بعداً توضیح داده خواهد شد با معیار حداقل کردن جمع متوسط زمان انتظار بر سفارش با متوسط زمان بیکاری ماشین‌ها بر سفارش مقدار بهینه Q تعیین خواهد شد.

۲-۲-۲- سطح پایینی؛ جریان قطعات در سلول

قطعاتی که به محل ذخیره تغذیه وارد می‌شوند باید

براساس معیارهایی برای پردازش انتخاب شوند. در این بخش تعدادی قوانین جهت انتخاب قطعه معرفی می شوند. این قوانین برای انتخاب قطعه و تخصیص قطعه به تجهیزات مورد استفاده قرار می گیرند. قوانین می توانند ایستا باشند یعنی آنها می توانند در شروع دوره برنامه ریزی تعیین شوند و یا پویا باشند یعنی در طول زمان تغییر کنند [14]. بعنوان مثال تعداد عملیات یک قطعه یک معیار ایستا و تعداد عملیات باقی مانده یک قطعه که در طول زمان تغییر می کند معیاری پویا می باشد. بعضی از قوانین معرفی شده از قوانین کلاسیک و معروف کارگاهی مثل قانون اولین ورودی، اولین خروجی (FIFO) هستند. برخی دیگر نیز با توجه به شرایط خاص جمعیت قطعات تحت مطالعه تعریف شده اند. همان طور که بیان شد قطعات می توانند با کارایی متفاوت بر روی ماشین آلات مختلف پردازش شوند. این امر موجب معرفی مفهوم بارکاری متعادل گردید. با استفاده از این مفهوم و به عنوان مثال بارکاری کل، \bar{P}_j بجای مجموع زمان های پردازش قطعه زام می تواند استفاده شود. این معیار ایستا بوده و در هر زمان در برنامه ریزی ثابت است. بارکاری باقی مانده قطعه زام نیز می تواند از کم کردن بارکاری متعادل قطعه زام یعنی \bar{P}_{mj} ، از بارکاری کل قطعه زام بدست آید. این معیار بجای زمان پردازش باقی مانده استفاده می شود و معیاری پویا است. معیار زمان پردازش باقی مانده از کم کردن زمان پردازش عمل P_{mj} یعنی 0 از مجموع زمان های پردازش قطعه زام بدست می آید. در ادامه نشان داده خواهد شد که در ابتدا باید معیار عملکرد را انتخاب نموده و در مرحله دوم قانون مناسب انتخاب قطعه را تعیین کرد عبارتی روشن نیست که کدام قانون، در چه محیطی مناسب است. برای یک سیستم تولیدی انعطاف پذیر قوانین باید با دقت خاص و قبل از اجرای واقعی انتخاب شوند.

علائم و تعاریف زیر جهت معرفی قوانین انتخاب قطعه مفید هستند. توضیحات بیشتر در انتهای مقاله در واژه نامه آورده شده است.

t	زمانی که تصمیم اتخاذ می شود
z	اندیس قطعه
i	اندیس عمل
\bar{r}_j	زمان در دسترس بودن قطعه زام
${}^v P_{mj}$	بارکاری متعادل قطعه زام روی ماشین m
\bar{P}_j	بارکاری متعادل کل قطعه زام در سلول
${}^u RO_j(t)$	تعداد عمل باقی مانده از قطعه زام در زمان t
${}^v RP_j(t)$	بارکاری باقی مانده از قطعه زام در سلول.
	$(RP_j(t) = P_j - P_{mj})$
d_j	موعد تحویل قطعه زام

$${}^v S_j(t) \quad \text{زمان شناوری پویا}$$

$${}^v S_j \quad \text{زمان شناوری ایستا}$$

$$(S_j = d_j - r_j - \bar{P}_j)$$

$$Z_j(t) \quad \text{اولویت قطعه زام در زمان } t$$

لازم به ذکر است که تعداد زیادی قوانین انتخاب قطعه در مطالعات متقدمین مورد بررسی قرار گرفته اند. هدف از انتخاب برخی از این قوانین در این مقاله صرفاً شناساندن چگونگی استفاده مفهوم بارکاری است. بطور مثال قانون کوتاه ترین زمان عمل (SPT) از قوانین معروف است و با استفاده از مفهوم بارکاری کل قطعه در سلول به SPT تبدیل می شود. استفاده از آن منجر به انتخاب کار با کوچک ترین بارکاری کل در سیستم می شود. در ادامه قوانین انتخاب قطعه و شرح مختصری از آنها ارائه خواهد شد. قوانینی که با علامت مشخص شده اند از نوع ایستا و سایر قوانین از نوع پویا هستند.

*SPT : کار با کوچک ترین بارکاری کل را انتخاب کن

$$(\text{Min } Z_j(t) = \bar{P}_j)$$

vSRPT : کار با کوچک ترین بارکاری باقی مانده را انتخاب کن

$$(\text{Min } Z_j(t) = RP_j(t))$$

vFRO : کار با کوچک ترین تعداد عمل باقی مانده را انتخاب کن

$$(\text{Min } Z_j(t) = RO_j(t))$$

vMRO : کار با بزرگ ترین تعداد عمل باقی مانده را انتخاب کن

$$(\text{Max } Z_j(t) = RO_j(t))$$

vSLACK : قطعه با حداقل زمان شناوری پویا را انتخاب کن

$$(\text{Min } Z_j(t) = S_j(t))$$

*SSLACK : قطعه با حداقل زمان شناوری ایستا را انتخاب کن

$$(\text{Min } Z_j(t) = S_j)$$

${}^vSSLACK/P$: قطعه با کوچک ترین نسبت بین زمان شناوری ایستا به بارکاری کل را انتخاب کن

$$(\text{Min } Z_j(t) = S_j / \bar{P}_j)$$

${}^vSLACK/P$: قطعه با کوچک ترین نسبت زمان شناوری به بارکاری کل را انتخاب کن

$$(\text{Min } Z_j(t) = S_j(t) / \bar{P}_j)$$

FIFO: قطعه را به ترتیب ورود به سلول انتخاب کن

$$(\text{Min } Z_j(t) = r_j)$$

پس از انتخاب قطعه جهت بارگذاری یک ماشین، آن عملی از قطعه که زمان کمتری دارد انتخاب می شود عبارتی در این مرحله تنها از قانون SPT استفاده می شود.

۴-۳. پارامترهای کنترل

همان طور که قبلاً توضیح داده شد، این سیستم کنترل دو مرحله ای شامل چند پارامتر کنترل است. این پارامترها باید برای شرایط خاص عملیاتی و جمعیت قطعات تعیین

شوند. این پارامترها عبارتند از: Q پارامتر تغذیه، y پارامتر تعادل و X فاصله بحرانی.

۳- آزمایش

متأسفانه در زمان انجام مطالعه یک سیستم واقعی برای پیشبرد آزمایشات در دسترس نبود. از طرف دیگر برای طراحی یک سلول فرضی نیز باید از مطابقت آن با سلول های واقعی مطمئن شد. لذا برای رفع هرگونه شبهه در انجام آزمایشات، از ساختار یک سلول فرضی ارائه شده در مقاله رول و ارزی [9] استفاده شده است. ساختار سلول و نیز توابع توزیع بکار برده شده در رابطه با زمان های پردازش، زمان بین سفارشات، ترکیب سفارشات و موعدهای تحویل همگی از این مقاله استخراج شده اند. ماتریس زمان های اجرا در جدول ۱-۱ و نیز احتمال این که یک قطعه به یک سفارش خاص متعلق باشد مستقیماً از مرجع فوق استناد شده اند.

۱-۳- مدل شبیه سازی

تصمیمات اصلی در موقع اجرا در سطوح میانی و پائینی از طریق شبیه سازی عملکرد یک سلول انعطاف پذیر با ۵ ماشین مورد آزمایش قرار می گیرد. جمعیت محصول شامل ۵ نوع قطعه است. این انواع قطعات از نظر تعداد عملیات، تعداد گزینه های ماشین برای عمل (انعطاف پذیری فرایند) و زمان های پردازش با یکدیگر تفاوت می کنند. فرض شده است که تمام عملیات هر نوع قطعه می توانند به هر ترتیبی پردازش شود (انعطاف پذیری کامل فرایند). ماتریس زمان های انجام عملیات و زمان های پردازش به صورت یکنواخت درفاصله

۱٪± از متوسط توزیع شده اند و در جدول ۱-۱ آورده شده است. زمان های بارگذاری و تخلیه برای تمام ماشین ها ۱ دقیقه اند. تمام ماشین ها دچار خرابی تصادفی می شوند. زمان بین خرابی ماشین ها و طول مدت خرابی فرض شده که دارای توزیع نمائی با متوسط های ۵۷۰ و ۳۰ دقیقه به ترتیب هستند. همچنین فرض شده است که یک دسته می تواند در هر زمان در خلال روز تولید شود. طول دوره برنامه ریزی مقداری معلوم است که در مرحله برنامه ریزی با مدل یاد شده در ضمیمه الف به دست آمده است. مقدار بهینه دوره برنامه ریزی برابر با ۱۹۵ دقیقه است. بدلیل اینکه نوسانات زمان های پردازش از متوسط بسیار کم است، از این دوره در تمام آزمایشات استفاده شده است.

سفارشات تولید برای شبیه سازی توسط نمونه برداری از ۵ توزیع بصورت زیر به دست آمده است:

زمان بین سفارشات ((log Normal (۲۰ و ۴۰)) بارکاری کل یک سفارش ((Uniform (۱۳۰۰ و ۵۰۰)) این مقدار جهت تعیین تعداد کل قطعات در سفارش مورد استفاده قرار می گیرد، تعداد انواع قطعات در یک سفارش (۱ و ۲ و ۳ Unifrom))، احتمال اینکه یک نوع قطعه بخشی از یک سفارش باشد (در جدول ۱-۱) و موعد تحویل ((روز ۲۳ و ۵)) Unifrom)). به این ترتیب هر سفارش مستقل از بارکاری و موعد تحویل سفارشات قبلی است.

در موقعیت واقعی، مدیریت، جریان سفارشات ورودی را به نحوی کنترل می کند که سیستم قادر به روبرو شدن با بارکاری در موعد تحویل ها باشد. لذا با برخی آزمایشات اولیه، تعداد سفارشات رسیده به نحوی انتخاب شده است که

جدول (۱) ماتریس زمان های اجرا.

ماشین	قطعه ۲				قطعه ۱			
	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴
M1	۰	۰	۷۳	۷۱	۰	۰	۰	۰
M2	۱۹	۶۵	۹۸	۶۶	۷	۰	۵۸	۰
M3	۰	۰	۰	۰	۵۶	۲۴	۰	۳۷
M4	۱۴	۴۶	۵۱	۰	۰	۵۲	۱۹	۶۱
M5	۵۸	۰	۰	۰	۰	۰	۱۵	۵۴
احتمال	۰,۲				۰,۳			

جدول (۱) ادامه

ماشین	قطعه ۳			قطعه ۴			
	عمل	عمل	عمل	عمل	عمل	عمل	عمل
	۳۱	۳۲	۳۳	۴۱	۴۲	۴۳	۴۴
M1	۶۳	۳۷	۱۹	۰	۶۲	۰	۰
M2	۰	۰	۶۶	۰	۶۴	۰	۲۷
M3	۱۴	۹۴	۰	۰	۵۲	۲۰	۶۰
M4	۰	۸۸	۰	۷۹	۵۵	۰	۸۰
M5	۰	۴۹	۰	۵۰	۰	۰	۰
احتمال		۰,۲			۰,۱		

ماشین	قطعه ۵		
	عمل	عمل	عمل
	۵۱	۵۲	۵۳
M1	۲۳	۳۷	۳۴
M2	۰	۱۲	۶۶
M3	۲۷	۲۴	۰
M4	۵	۴۸	۰
M5	۰	۲۹	۱۱
احتمال		۰,۲	

۴- متوسط زمان جریان قطعات متعلق به سفارش).

۴- ضریب تغییرات متوسط بهره وری سلول (CVMCU)^{۲۲}. بالا بودن این معیار معرف عدم

تعادل بیشتر است.

۵- مدت زمانی که طول می کشد تا تعداد خاصی سفارش تکمیل شود (Makespan).

۶- متوسط زمان تأخیر یک سفارش (MTO)^{۲۵}

۷- متوسط زمان تلف شده بر سفارش (MWT)^{۲۶}

حداکثر بارکاری یک هفته سلول را فراهم نماید. بزرگتر انتخاب کردن این مدت مغایر با انعطاف پذیری بالا در شرایط آزمایش می شود.

۲-۳- معیارهای عملکرد

۱- متوسط درصد بهره وری سلول (MCU)^{۲۲}.

۲- متوسط عدم تعادل بارکاری (I).

۳- متوسط زمان جریان یک سفارش (FBAR)^{۲۳}.

متوسط زمان بیکاری ماشین بر سفارش + متوسط زمان انتظار یک سفارش = (MWT).

با بالا رفتن تعداد قطعات در سلول زمان متوسط انتظار قطعه در سلول بالا رفته و متوسط زمان بیکاری ماشین‌ها کاهش می‌یابد. در صورتیکه تعداد قطعات کاهش یابند، احتمالاً زمان بیکاری ماشین‌ها افزایش می‌یابد. لذا این معیار نسبت به تعداد قطعه در سلول دارای یک نقطه کمینه است.

۴-۳- انجام شبیه سازی

این شبیه سازی با نرم افزار SLAM انجام شده است. در انجام این آزمایش با بزرگ گرفتن دوره شبیه سازی و پس از تکمیل تعداد مشخص سفارش شبیه سازی متوقف می‌شود. همچنین برای حذف دوره گذرا از روش اجرایی برای برآورد پایان این دوره استفاده شده است. طبق نظر طاهها [6] اطلاعات باید بعد از اینکه سری زمانی نوساناتی میرا در اطراف متوسط تجمعی داشت، جمع‌آوری گردند. لذا در ابتدا اجرایی اکتشافی با هدف رسم متوسط و ضریب تغییرات متغیرهای مطلوب گرفته شده و سپس با مشاهده، طول دوره گذرا تشخیص داده شد [10]. در این مطالعه از روش دوباره سازی استفاده می‌شود. با این روش اجراهای متعددی با رشته‌های متفاوتی از اعداد تصادفی گرفته شد. بعد از حذف طول دوره گذرا، هر اجرا به عنوان یک مشاهده استفاده می‌شود. مزیت این روش این است که مشاهدات واقعاً مستقل هستند. برای به دست آوردن تعداد مشاهده یا اجرای کافی با اطلاعات ۱۰ اجرا و با فاصله اطمینان ۰/۹۵ و با دقت ۱۰ درصد از متوسط‌های زمان جریان یک سفارش، بهره‌وری سلول و زمان توقف شبیه سازی، حداکثر تعداد اجرا به دست آمده است. این محاسبات نشان دادند که تعداد ۱۰ اجرا دقت لازم را ایجاد می‌کند. از میانگین نتایج برای بررسی رفتار سیستم استفاده گردید. با استفاده از دستور TRACE و گزارشات ایجاد شده صحت رفتار مدل شبیه سازی نیز مورد بررسی قرار گرفته است.

جهت تنظیم سیستم یک مجموعه از اجراهای مقدماتی شبیه سازی انجام شده است تا پارامترهای سیستم تعیین شوند. برای تعیین فاصله بحرانی، X از سه معیار MWT و FBAR و MCU استفاده شده است. نتایج نشان داد که معیار MCU نسبت به تغییر فاصله بحرانی حساس نمی‌باشد. بعبارت دیگر دستورالعمل ایجاد دسته بدون در نظر گرفتن بحرانی بودن قطعه می‌تواند سلولی با حداقل عدم تعادل را تغذیه کند. با بزرگ شدن فاصله بحرانی امکان ورود قطعات به طور نسبی کمتر بحرانی در دسته فراهم می‌شود و در مرحله انتخاب قطعه جهت پردازش در صورت انتخاب

این قطعات، زمان انتظار قطعات بحرانی تر افزایش می‌یابد و لذا FBAR زیاد می‌شود. با توجه به حساس نبودن نتایج نسبت به MCU می‌توان نتیجه گرفت که تنها متوسط زمان انتظار یک سفارش بعنوان جزئی از معیار MWT در انتخاب دخالت دارد و نتایج همسو بودن تغییرات این دو یعنی FBAR و متوسط زمان انتظار یک سفارش را نیز تأیید می‌کند. نتایج نشان دادند که مقدار γ تأثیری در ایجاد دسته ندارد. پارامتر بعدی حداقل مقدار Q می‌باشد که با هدف حداقل کردن مقدار MWT به دست آمد. بررسی نشان می‌دهد که $Q = 3$ معیار مورد نظر را حداقل می‌کند.

۴-۴- نتایج آزمایش

در میان قوانینی که مستقل از زمان انجام کار و موعدهای تحویل هستند FRO و بعد از آن MRO توانسته‌اند بهترین بهره‌وری سلول را ایجاد کنند و همزمان نیز توانسته‌اند عدم تعادل سلول را به حداقل برسانند. این نتیجه از ضریب تغییرات بهره‌وری سلول مربوط به این دو قانون گرفته می‌شود. قانون SLACK در میان قوانین پویا بهتر از همه عمل می‌کند و به طرز سازگاری بهره‌وری سلول را به حداکثر رسانده و حداقل عدم تعادل را نیز ایجاد می‌کند. قانون MRO توانسته حداقل عدم تعادل را در سلول ایجاد کند. در عین حال در بین تمام قوانین ترکیبی نیز ضریب تغییرات بهره‌وری سلول به دست آمده با آن از همه کمتر است. قانون SLACK توانسته است کمترین Makespan را ایجاد کند. همین‌طور قانون SSLACK نیز در مقام دوم از نظر حداقل Makespan قرار گرفته است. SRPT نیز این نظر خوب کار کرده است. به نظر می‌رسد که ارتباط مستقیمی بین Makespan و متوسط بهره‌وری سلول وجود دارد. چون تمام قوانین تعداد مشابهی سفارش را تولید کرده قوانینی که Makespan بزرگی دارند، بهره‌وری آنها نیز کمتر شده‌اند. از طرف دیگر چون قوانین بر پایه SPT تمایل دارند که FBAR را کوتاه کنند عملاً قطعاتی که زمان پردازش آنها طولانی‌تر هستند را در انتها انتخاب می‌کنند. همین امر باعث بالا رفتن Makespan و کوچک‌تر شدن بهره‌وری سلول می‌شود. SPT توانسته است متوسط مدت جریان یک سفارش و متوسط تأخیر آن را حداقل کند. قانون بعدی که در این زمینه خوب کار کرده است SLACK است که نسبت به بهبود دو معیار سازگار است. جدول ۲- متوسط نتایج آزمایشات را برای سیاست‌های انتخاب قطعه نشان می‌دهد.

سیستم کنترل تولید دو مرحله‌ای همانطور که قبلاً بیان شد می‌تواند ملاحظات عملیاتی را از موعدهای تحویل جدا کند. یک چنین امکانی باعث بالا رفتن انعطاف‌پذیری در انجام

عملیات می شود. در مرحله اول، دسته ها تولید می شوند در این مرحله موعد تحویل مورد توجه قرار می گیرد ضمن آنکه با در نظر گرفتن بارکاری هر قطعه سعی می شود که قطعاتی انتخاب شوند که عدم تعادل سلول را نیز به حداقل می رسانند. پس از این مرحله که قطعه وارد دسته شد هویت خود را که وابسته به کدام سفارش است از دست داده و فقط با توجه به بالا بردن کارآئی سیستم جهت پردازش انتخاب می شود.

در این سیستم کنترل تولید که در زمان واقعی انجام می گیرد از قوانین جدیدی که بر اساس بارکاری متعادل قطعه در سلول و یا روی ماشین تعریف شده اند استفاده شده است. توجه به معیارهای ارائه شده و بررسی عملکرد سیستم با این قوانین یک سازگاری بین قوانین کلاسیک مثل SPT و SPT را نشان می دهد. یعنی هر دوی این قوانین سعی در کاهش متوسط زمان جریان یک سفارش دارند. معیارهای دیگر مثل زمان شناوری پویا SLACK و زمان شناوری ایستا SSLACK نیز سازگاری خود را با قوانین متناظر خود نشان داده اند.

بنابراین برای محیط تحت مطالعه که جزو دشوارترین حالات می باشد یعنی سفارشات متنوعی به صورت تصادفی وارد می شوند و هر سفارش مخلوطی از قطعات متفاوت است که احتیاجات خاص خود را دارد می توان از یک سیستم کنترل تولید دو مرحله ای در زمان واقعی استفاده کرد. کافی است که با روش هایی که ذکر آن رفت سیستم تنظیم شده و سپس

با انتخاب معیار مناسب از قانون مناسب برای انتخاب قطعات استفاده نمود. نتایج به دست آمده مؤید این موضوع است که قوانین انتخاب قطعه تابعی از معیار انتخاب شده جهت سنجش عملکرد سیستم است. این نتیجه کار متقدمین را نیز تأیید می کند [7]. معیار متوسط عدم تعادل در دوره برنامه ریزی I معادل با تابع هدف بهینه سازی در فاز قبل از اجر است. I، با انتخاب قوانین مختلف جهت گزینش قطعه مقادیر مختلفی اختیار کرده است. ولی در مجموع این متوسط عدم تعادل در حالت اجرایی و در زمان واقعی نتیجه رضایت بخشی را داده است. به عبارتی ملاحظات عملیاتی می توانند حتی متوسط عدم تعادل بارکاری سلول را تا حد روش بهینه هم کاهش دهند. میانگین متوسط عدم تعادل بارکاری بدست آمده از تمام سیاست های انتخاب قطعه برابر ۳/۵ دقیقه است. متوسط عدم تعادل بارکاری با روش بهینه ۱/۵ دقیقه است. نتایج متوسط عدم تعادل بارکاری برای سیاست های مختلف انتخاب قطعه از آنجائی که معیار اصلی در فاز برنامه ریزی هم محسوب می شود مؤید این نکته است که در نظر گرفتن ملاحظات اجرایی مثل تصادفی وارد شدن سفارشات و خرابی دستگاه ها و غیره با بکارگیری یک سیاست مناسب در انتخاب قطعه می تواند به عدم تعادل بارکاری مناسبی منجر شود. در این زمینه می توان به ترتیب از MRO و FIFO نام برد. این سیاست ها حداقل عدم تعادل بارکاری را به ترتیب به خود اختصاص داده اند.

جدول (۲) متوسط نتایج آزمایشات برای سیاست های انتخاب قطعه.

سیاست انتخاب	I	FBAR	MCU	CVMCU	MTO	makespan
MRO	۱,۶	۷۳۸	۰,۹۹۵	۰,۰۰۶	۱۵۱۱	۳۲۳۱
FIFO	۱,۷	۷۴۷	۰,۹۷۸	۰,۱۳	۱۳۷۳	۳۲۴۹
FRO	۶,۱	۵۹۸	۰,۹۹۷	۰,۱۱۴۴	۹۱۱	۳۱۴۰
SRPT	۴,۳	۵۷۱	۰,۹۸۶	۰,۰۱۲۲	۹۰۳	۲۹۹۵
SLACK / P	۲,۶	۵۷۰	۰,۹۹۳	۰,۰۰۹	۷۷۶	۳۱۰۲
SSLACK / P	۴,۳	۵۷۴	۰,۹۴۵	۰,۰۰۹	۶۶۶	۳۲۷۱
SLACK	۱۰,۷	۵۳۴	۰,۹۹۴	۰,۰۰۷۴	۵۳۶	۲۶۹۳
SPT	۲,۴	۴۹۷	۰,۹۷۲	۰,۰۱۷	۵۱۷	۲۹۹۷
SSLACK	۲,۴	۵۱۸	۰,۹۹۳	۰,۰۰۹	۱۰۶۰	۲۹۵۹

جدول (۳) نتایج مقایسه دوره بهینه با دو دوره مرسوم در برنامه ریزی.

معیار	دوره بهینه	در یک شیفت	در یک چهارم شیفت
I	۱,۳۸	۲,۷	۲,۲
FBAR	۵۹۸	۷۲۸	۷۱۳
MTO	۹۱۱	۱۴۷۴	۱۰۷۹
MCU	۰,۹۷۷	۰,۹۸۸	۰,۹۸۸
CVMCU	۰,۰۰۴۴	۰,۰۰۵۶	۰,۰۰۵۵
MWT	۱,۴۴	۲,۹۲	۲,۷۵
makespan	۳۱۱۲	۳۱۱۳	۳۰۱۸

۴- نتیجه گیری

در این مقاله یک سیستم یکپارچه برنامه ریزی و کنترل تولید سه سطحی ارائه شد. سطح اول پارامترهای تصمیم گیری را مشخص می کند. این سطح همان مرحله برنامه ریزی قبل از اجراست. با استفاده از یک مدل MIP [10]، طول دوره برنامه ریزی به دست آمد. سطح میانی و پائینی یک سیستم کنترل تولید در زمان اجراست. بدون در نظر گرفتن ملاحظات اجرایی یعنی وضعیت سیستم و ماشین ها دسته های تولیدی قابل پردازش در طول دوره برنامه ریزی و با در نظر گرفتن حداقل عدم تعادل بارکاری سیستم تشکیل می شوند. در سطح پائینی، برنامه های ارسال و حرکت قطعات با توجه به ملاحظات عملیاتی یعنی وضعیت سیستم تعیین می گردند. هفت معیار جهت سنجش عملکرد سلول انعطاف پذیر معرفی شدند و همانطور که نتایج نشان دادند هر سیاست انتخاب قطعه با توجه به معیار عملکرد خاص خوب کار می کند. لذا بنا به سیاست مدیریت و گزینش یک معیار عملکرد می توان از یک سیاست انتخاب قطعه مشخص استفاده نمود. همچنین نتایج نشان دادند که سیاست های انتخاب قطعه که با مفهوم بارکاری متعادل دوباره تعریف شده اند رفتاری مشابه با معادل خود دارند. از این نمونه می توان از سیاست SPT و SRPT نام برد که معادل با SPT و SRPT عمل می کنند و از نظر اجرایی و جهت برنامه ریزی راحت تر قابل محاسبه اند. در اینجا لازم به توضیح است که با استفاده از مدل شبیه سازی ایجاد شده یکبار دیگر با داشتن طول دوره برنامه ریزی به مدت یک شیفت و یک چهارم شیفت که مقادیری مرسوم جهت برنامه ریزی FMS هستند و یکی بیشتر و دیگری کمتر از دوره برنامه ریزی استفاده شده در این مطالعه می باشند نتایجی به دست آمدند

که در جدول ۳- مشاهده می شوند. این نتایج نشان می دهند که داشتن یک دوره برنامه ریزی بهینه منجر به مقادیر بهتری از معیارهای عملکرد می شوند.

هر FMS با توجه به ساختار فیزیکی آن با مشکلات خاصی روبرو است. همین مسئله برنامه ریزی و کنترل تولید FMS ها دشوار نموده است. برای برنامه ریزی FMS ها در زمان اجراء شبیه سازی ابزار مناسبی است. شبیه سازی در واقع یک سیستم پشتیبان تصمیم گیری TV است. با این ابزار قانون مناسب انتخاب قطعه در شرایط متفاوت گزینش می شود. ارزی ویاروسلاویتز [17] یک مدل شبیه سازی را با استفاده از شبکه های عصبی برای برنامه ریزی FMS استفاده کرده اند. در مقاله آنها دو نوع ساختار از FMS ها مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به این موارد لازم است مطالعات بیشتری در رابطه با کاربرد طول دوره برنامه ریزی بهینه و نیز قوانین انتخاب قطعه با استفاده از مفهوم بارکاری متعادل برای ساختارهای متفاوت FMS انجام شود.

ضمیمه - الف

I عدم تعادل بارکاری متوسط یک سلول با M ماشین بصورت زیر تعریف می شود:

$$I = \frac{1}{M} \sum_m \left| S - \sum_{j \in J} \sum_{o \in J} q_{om} P_{om} \right|$$

در رابطه فوق:

J = تعداد قطعات مورد بررسی

q_j = تعداد قطعه j

q_{om} = تعدادی از عمل o ($o \in j$) که روی ماشین m انجام می شود

P_{om} = زمان انجام عمل o ($o \in j$) روی ماشین m

S = دوره برنامه ریزی

متغیرهای U_m و O_m که به ترتیب بیکاری ماشین m و بارگذاری بیش از ظرفیت ماشین m در طول دوره برنامه ریزی هستند. برای یک ماشین m هر دوی این متغیرها همزمان مثبت نخواهند شد. تابع هدف عدم تعادل بارکاری متوسط و محدودیت های امکان پذیری تولید در دوره برنامه ریزی و محدودیت مدت تحویل مدل مناسب را ایجاد می کنند:

$$\text{Min } \frac{1}{M} \sum_m (O_m + U_m)$$

$$S - U_m + O_m = \sum_j \sum_{o \in j} q_{om} P_{om} \quad \forall m$$

$$q_j = \sum_m q_{om} = 0 \quad \forall o \in j$$

$$\sum_m \sum_{o \in j} P_{om} q_{om} \leq d_j \quad \forall j$$

$$q_j \geq 0, q_{om} \geq 0 \text{ اعداد صحیح}, U_m, O_m, S \geq 0 \quad \forall j, o \in j, m$$

ضمیمه - ب

فرض می شود که فقط کار z در سلول تولید می شود. مدل خطی زیر در ابتدا حل می شود. این مدل به دنبال تعداد کار نوع z است که باید در سلول تولید شوند تا حداقل بیکاری در سلول ایجاد شود. H_m برابر با یک شیفت کاری با احتساب ۵ درصد برای خرابی ها است. بقیه متغیرها و پارامترها در ضمیمه الف تعریف شده اند.

$$\text{Min } \frac{1}{M} \sum_m U_m$$

$$\sum_{o \in j} P_{om} q_{om} + U_m = H_m \quad \forall m$$

$$q_j - \sum_m q_{om} = 0 \quad \forall o \in j$$

$$q_j \geq 0, q_{om} \geq 0 \text{ اعداد صحیح}, \forall o \in j$$

$$U_m \geq 0 \quad \forall m$$

بعد از بدست آوردن مقادیر بهینه q_j^* و q_{om}^* ، بارکاری متعادل قطعه z روی ماشین m ، \bar{P}_{mj} از جمع وزنی زمان های پردازش عملیات بدست می آید.

$$\bar{P}_{mj} = \sum_{o \in j} \left(\frac{q_{om}^*}{q_j^*} \right) P_{om}$$

بارکاری متعادل z در سلول تحت شرایط فوق \bar{P}_z از رابطه زیر بدست می آید:

$$\bar{P}_z = \sum_m \bar{P}_{mj}$$

واژه نامه

Flexible - Manufacturing - System: FMS^۱

Real - Time: زمانی واقعی^۲

Off - Line: زمانی قبل از اجرا^۳

On - Line: زمانی اجرا^۴

Mixed - Integer - Programming: MIP^۵

First - In - First - Out: FIFO^۶

\bar{P}_{mj} : به ضمیمه ب مراجعه کنید.^۷

\bar{P}_z : به ضمیمه ب مراجعه کنید.^۸

Remaining - Number - of: RO_j(t) Operations:^۹

$R \bar{P}_z(t)$: با ایده معیار زمان باقی مانده (remaining - time)^{۱۰}

processing - time) تعریف شده است. بجای کل زمان از بارکاری کل و بجای زمان عمل پردازش شده از بارکاری قطعه روی ماشین استفاده شده است.

$S_j(t)$: زمان شناوری پویا معادل با معیار مشابه خودش^{۱۱}

با همین عنوان است (remaining - processing - time) ($d_j - r_j$ (time) که بجای زمان باقی مانده از بارکاری باقی مانده استفاده شده است.

S_j : زمان شناوری ایستا معادل با معیار مشابه خودش با^{۱۲}

همین عنوان است ((total - processing - time) ($d_j - r_j$)^{۱۳}

(Shortest - Processing - Time): SPT^{۱۴}

$S \bar{P} T$: با معیار SPT، کوتاه ترین زمان عمل (shortest -^{۱۵}

processing - time) تعریف مشابه دارد و فقط بجای زمان از بارکاری کل استفاده شده است.

$S R \bar{P} T$: این قانون از روی (shortest - remaining -^{۱۶}

processing - time) SRPT یعنی کار با کوچک ترین زمان باقی مانده تعریف شده است. فقط بجای زمان باقی مانده از بارکاری باقی مانده استفاده شده است.

Fewest - Number - of - Remaining - Operations:^{۱۷}

FRO

Largest - Number - of - Remaining - Operations:^{۱۸}

MRO

$SLACK$ ^{۱۸}: این معیار مشابه با زمان شناوری (slack) است. به تعریف $S_j(t)$ مراجعه کنید.

$SSLACK$ ^{۱۹}: این معیار مشابه با زمان شناوری (slack) است. به تعریف S_j مراجعه کنید.

$SSLACK / P^*$ ^{۲۰}: این قانون از روی $SLACK / TP$ (شناوری به کل زمان پردازش) تعریف شده است. بجای کل زمان پردازش از بارکاری کل و شناوری با تعریف جدید استفاده شده است.

$SLACK / P$ ^{۲۱}: از قانون $SLACK / TP$ (شناوری به کل زمان پردازش) گرفته شده است ولی از زمان شناوری پویا با

مراجع

- 2214.
- [۱۰] مخاطب رفیعی ف.، «روشی جهت برنامه ریزی و کنترل تولید سیستم های تولیدی انعطاف پذیر در زمان واقعی» رساله دوره دکترا، دانشگاه تربیت مدرس
- [11] A Kaella, R., Choong, y. and Gershwin, B., 1984, IEEE Transaction on Components, Hybrids, and Manufacturing Technology, vol. CHMT 7 No. 3
- [۱۲] مخاطب رفیعی ف.، معطر حسینی م. و فاطمی قمی م. ت. «ارایه روشی جهت برنامه ریزی و کنترل تولید سیستم های تولیدی انعطاف پذیر در کوتاه مدت»، مجله بین المللی علوم مهندسی دانشگاه علم و صنعت ایران جلد یازدهم، شماره ۲، سال ۱۳۷۹، صفحه ۱۳-۲۸.
- [13] Mokhatab Rafiei, F., Moattar hossaini, S. M., Fatemi Ghimi, M. T., "A Short Tem Approach to Production Planning and Control of an FMS", Proceeding of the IIE Annual Conference, May 2001, Texas, USA.
- [14] Montazeri, M. and Van wassenhove, L. N. 1990, "Analysis of scheduling Rules for an FMS", INT. J. PROD. RES., 28(4), 785-802.
- [15] Taha, H., 1988, Simulation Modeling and Simmen, Prentice-Hall International Editions.
- [16] Steck, K., 1983, "Formulation and solution of Nonlinear Integer Production Planning Problems for flexible manufacturing Systems", Management science, 29(3), 273-288.
- [17] ArZi, Y. and Iaroslaitz, L., 1999, "Neural networkbased adaptive production control system for a flexible manufacturing cell under a random environment", INT. J. PROD. RES., (31), pp. 217-230.
- تعریف جدید استفاده شده است.
- MCU ^{۲۲}: (Mean - Cell - Utilization) درصد زمانی که ماشین ها مشغول هستند. بین صفر و یک است.
- $FBAR$ ^{۲۳}: (Mean - Flow - Time - of - An - Order) متوسط زمان جریان قطعات متعلق به یک سفارش
- $CVMCU$ - of - MCU ^{۲۴}: Coefficient - of - Variation
- MTO ^{۲۵}: Mean - of - Tardiness - of - An - Order
- MWT ^{۲۶}: Mean - of - Waste - of - An - Order
- $Decision$ - Support - System^{۲۷}
- [1] Nof S., Barash, M. and Solberq, J., "Operational Control of Flow in Versatile Manufacturing System", Int. J. Prod. Res., (715), pp. 479-489, 1979.
- [2] Shanker, K. and Tezen, Y., "A Loading and Dispatching Problem in a Random Flexible Manufacturing System", Int. J. Prod. Res., 23(3), pp. 579-595, 1985.
- [3] Wilhelm, W. E. and Shin, H., "Effectiveness of Alternate Operations in a Flexible Manufacturing System, Int. J. Prod. Res., 23(1), pp. 65-79, 1985.
- [4] Montazeri, M. and Van Wassenhove, L. N., "Analysis of Scheduling Rules for An FMS", Int. J. Prod. Res., 28(4), pp. 785-802, 1990.
- [5] Hutchinson, J. and Leong, K. and Synder, SD., "Scheduling Approaches for Random Job Shop Flexible Manufacturing System", Int. J. Prod. Res., 19(5), pp. 1035-1067, 1991.
- [6] Ghosl, S. and Gaimon, C., "Routing Flexibility and Production Scheduling in a Flexible Manufacturing System", European Journal of Production Reseach, pp. 344-364, 1992.
- [7] Liang, M. and Dutta, S. P., "An Integrated Approach To the Part Selection and Machine Loading Problem in a Class of Flexible Manufacturing Systems", European Journal of Production Reseach, 67, pp. 387-404, 1993.
- [8] Ghosl, S. and Gaimon, C., "Production Scheduling in A Flexible Manufacturing System With Setups", IEE Transaction, 25(5), pp. 21-35, 1993.
- [9] Roll, y and Arzi, y, 1993, "Real-Time Production Control of an FMS in a Produce-to-Order Environment", INT. J. PROD. RES. 31(9), 2195-