تلفیق برنامه ریزی مواد مورد نیاز و تئوری محدودیت‌ها (MRP - TOC)

دکتر مهدی حیدری
استادیار
دانشکده صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران

میر بهادر قلی آریانژاد
دانشیار
دانشکده صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران

سید کمال چهار سوقی
استادیار
دانشکده صنایع، دانشگاه تربیت مدرس

در طول دهه گذشته روش های مختلف برنامه ریزی و کنترل در سیستم‌های تولیدی مورد ملاحظه قرار گرفته است. سه روش عمده برنامه ریزی عبارتند از: برنامه ریزی مواد و برنامه ریزی منابع مورد نیاز (MRP, MRP II) تولید به موقع (JIT) و تکنولوژی تولید بهینه (OPT). مقالات زیادی جهت مقایسه و تشخیص سیستم برتر ارائه شده است و اخیراً ادعا شده است که با ترکیب دیدگاه های این سه روش می توان وضعیت سیستم ها را بطور مؤثر بهبود بخشید.

در این مقاله با برنامه ریزی مواد مورد نیاز در شرایط محدودیت ظرفیت ماشین آلات و با بکارگیری دیدگاه ها و قوانین OPT و TOC، زمان شروع و خاتمه تولید برای هر دسته هر یك از اقلام محاسبه و بر اساس آن مدل های ریاضی روش های تلفیق MRP-TOC توسعه داده شده است.

کلمات کلیدی
برنامه ریزی مواد مورد نیاز، محدودیت ظرفیت، تئوری محدودیت ها

Integration of Material Requirement Planning and Theory of Constraint (MRP-TOC)

M. Heydari
Assitant Professor
Industrial Engineering Department,
Iran Science and Technology University

M. G. Aryanezhad
Associate Professor
Industrial Engineering Department,
Iran Science and Technology University

S. K. Chaharsooghi
Assitant Professor
Industrial Engineering Department,
Tarbiat Modarres University

Abstract

In the past decade, there is some concern as to how systems of the style of MRP can be integrated and the adequacy of such systems compared with alternative philosophies such as Just In Time (JIT) and proprietary techniques such as Optimized Production Technology (Fox 1985).

Question are being raised regarding the effectiveness of MRP, as managers see the extent of the effort required to implement such systems and the all too frequent failure to realize the promised benefits.

In this article, the starting and finishing time of production for the batch of each item has been determined, based on the Theory Of Constraint's rules. In this regard, the capacity limitation of facilities have also been considered. Then a mathematical model for the integration of material requirement planning and theory of constraint have been developed.

Keywords

MRP, Capacity limitation, TOC.

مقدمه

برنامه ریزی مواد مورد نیاز از اوایل سال ۱۹۷۰ تاکنون کاربردهای بسیار وسیعی را در سیستم های مدیریت تولید (PMS) داشته است. در حال حاضر چندین هزار واحد تولیدی در سرتاسر جهان در حال استفاده از این برنامه می باشند.

استفاده مؤثر و اجرای موفق MRP مزایای قابل توجهی از جمله: ارائه خدمات بهتر به مشتری، زمان بندی بهتر تولید و کاهش هزینه های تولید را بدنبال خواهد داشت [1]. با این وجود نرخ موفقیت استفاده از MRP پایین و بسیاری از کارخانجات هنوز از تمام پتانسیل MRP استفاده نمی نمایند. عدم استفاده موفقیت آمیز از MRP نه تنها شرکت را از مزایای آن محروم می سازد، بلکه کارآیی و اثر بخشی سازمان را نیز به خطر می اندازد. زیرا تغییرات اعمال شده، نظم و فرایند سازمان را متحول نموده و بازگشت به حالت قبلی بسیار مشکل می باشد. [۲] بنابراین بکارگیری MRP یک مرحله بحرانی است که باید بدرستی مدیریت گردد.

فرضیاتی همچون نامحدود در نظر گرفتن ظرفیت ماشین آلات، ثابت در نظر گرفتن پیش زمان (LT) و نیز تخمینی بودن آن، یکسان درنظر گرفتن اندازه دسته های انتقالی (TB) و اندازه دسته های تحت عملیات (PB) و عدم در نظر گرفتن اولویت ها در توالی عملیات تولیدی مشترک، باعث ساده سازی MRP و مراحل محاسباتی آن گردیده است. اما این فرضیات نه تنها مشکل واحدهای تولیدی را حل نخواهد نمود بلکه مشکلات جدیدی مانند افزایش پیش زمان تجمعی (CLT) و همچنین عدم استفاده از ظرفیت کامل ماشین آلات ویا بر عکس، مواجه شدن با کمبود برخی از قطعات بدلیل عدم ظرفیت در دسترس جهت تولید همزمان قطعات را بدنبال خواهد داشت.

برنامه ریزی مواد مورد نیاز با در نظر گرفتن محدودیت ظرفیت[۳,۴]، مدیریت پیش زمان و برنامه ریزی ظرفیت در MRP [۵] و نیز اثر پیش زمان های تولیدی (MLT) در سیستم های تولید سفارشی [۶,۷]، ارتباط بین ظرفیت و LT [۸] و تعیین اندازه دسته ها و زمان بندی آنها با هدف مینیم کردن پیش زمان تجمعی (CLT)[۹] زمینه های مختلف تحقیقاتی است که در طول دو دهه اخیر جهت توسعه و رفع اشکالات MRP انجام گرفته است. اما علیرغم این تحقیقات و توسعه ها هنوز اشکالاتی در MRP وجود دارد که اهم آنها عبارتند از:

ظرفیت نامحدود: MRP فرض می کند ظرفیت نامحدود است.

پیش زمان ها: MRP فرض می کنید پیش زمان های تولیدی باید شناخته شده و ثابت باشد.

اندازه دسته ها: در سیستم های MRP تعیین اندازه دسته ها برای قطعات سطوح بالا بدون در نظر گرفتن ظرفیت ماشین آلات تولیدی قطعات سطوح پایین و یا پیش زمان آنها انجام می پذیرد.

عدم اولویت بندی: در سیستم MRP هیچگونه اولویت بندی برای انجام کارهایی که از تجهیزات مشترک استفاده می نمایند در نظر گرفته نمی شود [۱۰].

یکسان درنظر گرفتن اندازه دسته انتقالی با اندازه دسته تحت عملیات: در MRP اندازه دسته انتقالی با اندازه دسته تحت عملیات یکسان درنظر گرفته می شود و این امر باعث افزایش پیش زمان تجمعی می گردد. همچنین کاهش TB می تواند افزایش سود را بدنبال داشته باشد بطوریکه به ازاء TB یک واحد بیشترین سود حاصل خواهد شد [۱۱].

هدف این مقاله برنامه ریزی مواد مورد نیاز در شرایط محدودیت ظرفیت و تلفیق آن با دیدگاه های TOC می باشد.

در بخش اول مروری بر تاریخچه TOC و اهمیت تلفیق MRP و TOC خواهیم داشت. در بخش دوم پیش زمان در سیستم های تولیدی (MLT) مورد بررسی قرار خواهد گرفت. در بخش سوم با توجه به یکسان نبودن اندازه دسته انتقالی (TB) با اندازه دسته تحت عملیات (PB) زمان شروع و خاتمه عملیات برای هر دسته تولیدی مورد بررسی قرار می گیرد. در بخش چهارم مدل های ریاضی تلفیق MRP و TOC ارائه خواهد شد. در بخش پنجم با ذکر یک مثال به حل مسئله تحت شرایط مختلف خواهیم پرداخت. نتیجه گیری این مقاله در بخش ششم ارائه خواهد گردید.

۱- تاریخچه TOC و اهمیت تلفیق TOC و MRP

در اواخر دهه هفتاد گلدرات با مخالفت نمودن با این نظریه که «توسعه بهره وری تنها گامی است که شرکت را به اهدافش نزدیکتر می کند» دیدگاه های خود را تحت عنوان تکنولوژی تولید بهینه (OPT) ارائه نمود. در دیدگاه OPT تنها و تنها یک هدف برای شرکت های تولیدی وجود دارد و آن بدست آوردن پول است [۱۲].

گلدارت برای رسیدن به هدف فوق قوانین ده گانه ای را پیشنهاد می نماید که اهم این قوانین عبارتند از:

- **مقدار تحت عملیات باید متغیر باشد نه ثابت.**
- **اندازه PB نباید با اندازه TB یکسان باشد.**
- **ظرفیت و اولویت باید همزمان در نظر گرفته شوند نه بصورت متوالی**
- **جریان مواد بالانس گردد و نه ظرفیت.**

- جمع بهینه های هر یک از اجزاء برابر بهینه کردن کل سیستم نیست.

در اواخر دهه ۸۰، گلدارت با تجدید نظر در ایده های خود، تئوری محدودیت ها (TOC) را ارائه نمود. در دیدگاه جدید گلدارت، بایستی جریان مواد در سیستم بالانس گردد نه ظرفیت سیستم. در این دیدگاه گلوگاه ها هستند که نرخ جریان مواد را تعیین می کنند بنابراین بایستی گلوگاه ها در سیستم شناسایی و به نحو مؤثری مدیریت گردند.

از نظر TOC بیشتر راه حل های موجود، معمولاً توافقی هستند تابهینه و به همین علت ممکن است مشکل برای سال ها حل نشده باقی بماند. بر اساس این نظریه اگر در یک سیستم تولید پیوسته بتوان PB را بسیار بزرگ و TB را بسیار کوچک (برابر یک واحد) در نظر گرفت می توان هزینه های موجودی سیستم را به حداقل رسانید.

با توجه به اهمیت MRP و TOC و کاربردهای آنها در صنعت، جهت رفع مشکلات موجود در هر یک، می توان این دو روش را در همدیگر تلفیق و توسط نقاط قوت TOC، نقاط ضعف و مشکلات MRP را تا حد امکان برطرف نمود. تحقیقات Byrne [۱۳] نشان می دهد که با استفاده از دیدگاه های OPT در یک محیط تولیدی که از سیستم MRP استفاده می نماید، می توان اقدام به شناسایی گلوگاه نموده و با حذف گلوگاه خروجی سیستم افزایش، موجودی ها کاهش و صحت و اعتبار MRP افزایش می یابد. مطالعات و تحقیقات دیگری جهت مقایسه سه روش MRP، OPT و JIT و ادغام آنها انجام گرفته [۱۴] و اظهار شده است که موفقیت آینده تولید نمی تواند فقط وابسته به یکی از مفاهیم فوق باشد. همچنین Miltenburg [۱۵] ابتدا نقاط ضعف MRP و نقاط قوت JIT و TOC را مورد بررسی قرار داده و سپس با ارائه یک روش ۵ مرحله ای اقدام به ادغام TOC و MRP نموده است. نکات قابل تعمقی که در تحقیق Miltenburg وجود دارد عبارتند از:

- بر اساس تقاضای محصولات نهایی، ظرفیت مورد نیاز در هر یک از ایستگاه های کاری محاسبه گردیده و با ظرفیت در دسترس مقایسه می گردد. در صورتیکه ظرفیت مورد نیاز بیشتر از ظرفیت در دسترس و ظرفیت در دسترس قابل افزایش نباشد، باید سطح تقاضای محصول نهایی را تا رسیدن به ظرفیت در دسترس، کاهش داد. در این مرحله:

اولاً: ضریب مصرف قطعات در سطوح مختلف برابر ۱ منظور شده است.

ثانیاً: بر اساس منطق MRP که بصورت سلسله مراتبی است، ابتدا باید قطعات سطوح پایین تولید و پس از آن تولید قطعات سطوح بالاتر شروع گردد. این امر باعث می گردد تا از ظرفیت ها، خصوصاً ظرفیت منابعی که تولید قطعات سطوح پایین را به عهده دارند، بطور کامل استفاده نگردد. این مورد نیز در محاسبات ظرفیت منظور نشده است.

- بعد از بررسی ظرفیت ها و با توجه به تقاضای محصول نهایی برنامه MPS مشخص می گردد در صورتیکه بر اساس منطق MRP II ابتدا MPS برای محصولات نهایی تعیین و سپس محاسبات MRP بر پایه MPS انجام می پذیرد.

- MLT برای هر دسته بر اساس مجموع زمان آماده سازی و زمان عملیات و زمان انتقال و بدون در نظر گرفتن وضعیت ماشین محاسبه می گردد. این امر می تواند باعث مواجه شدن با کمبود ویا تداخل در کارها گردد.

- در مرحله چهارم تحقیق، بر اساس روش MRP مراکز کاری زمان بندی گردیده و سفارشات ارائه شده به مراکز کاری باید به موقع تحویل گردند. چنانچه سفارش قبل از موعد تمام شود با افزایش موجودی و در غیر اینصورت با کمبود مواجه خواهیم بود. در صورتیکه مواجه نشدن با کمبود یکی از فرضیات MRP می باشد.

۲- پیش زمان ها و اولویت ها در سیستم های تولیدی

در طول دهه اخیر، مدیران شاهد فراگیر شدن کنترل پیش زمان تولید کننده ها و تأمین کننده ها بوده اند بطوریکه رفته رفته پیش زمان بصورت یک مسئله بحرانی درآمده و امروزه رقابت بیشتر شرکت ها بر روی پایه زمانی قرار دارد. [۱۶] رقابتی که در آن نه تنها قطعات باید به موقع دریافت شوند بلکه باید بسرعت وبصورت مؤثر به سوی خط تولید منتقل شوند. تا زمانیکه تولید اساس رقابت است، کنترل پیش زمان تأمین کنندگان از اهمیت زیادی برخوردار است.

در MRP فرض می شود که پیش زمان ها از قبل تعیین شده هستند. پیش زمان ها جهت تعیین زمان شروع تولید و یا شروع سفارش مورد استفاده قرار می گیرند. بنابراین MRP از پیش زمان تخمین زده شده برای تعیین سفارشاتی که طی آن کارها باید تحت پروسه قرار گیرند استفاده می کند. همچنین اثرات متقابل بین اولویت ها و ظرفیت مورد آزمایش قرار نمی گیرد بلکه اولویت و ظرفیت ضرورتاً بطور متوالی در نظر گرفته می شوند و نه همزمان. در صورتیکه در دیدگاه OPT:

الف - پیش زمان ها مقدار ثابتی نیستند.

ب - پیش زمان ها بعنوان یک اولویت شناخته نمی شوند و در منابع گلوگاهی ویا ظرفیت های محدود بستگی به توالی عملیات دارند. پیش زمان های دقیق و در نتیجه اولویت ها

در یک محدوده ظرفیتی نمی توانند تعیین گردند مگر اینکه ظرفیت در نظر گرفته شود.

بطور خلاصه می توان گفت که پیش زمان در سیستم های تولیدی وابسته به عواملی همچون اندازه دسته ها، طول مسیر بحرانی، زمان عملیات ماشین ها، توالی دسته ها و زمان آماده سازی می باشد.

عموماً پیش زمان در سیستم های تولید از چهار جزء تشکیل شده است. این اجزاء در مرجع [۱۷] بطور مفصل مورد بحث و بررسی قرار گرفته است که در ادامه خلاصه آن ارائه می گردد.

۱-۲- زمان عملیات: با فرض استفاده از یک ماشین در هر مرحله تولید و یا مونتاژ قطعات و خطی بودن رابطه بین اندازه دسته و زمان تولید هر واحد محصول، زمان عملیات برای هر دسته برابر حاصلضرب اندازه دسته در زمان تولید هر واحد می باشد.

۲-۲- زمان آماده سازی: برنامه زمان بندی تولید قطعات را می توان بگونه ای انجام داد که مراحل آماده سازی ماشین قبل از انتقال دسته انجام گرفته و با انتقال هر دسته به ایستگاه کاری بلافاصله عملیات تولیدی شروع گردد. لازم به ذکر است که چنانچه ماشین فقط تولید یک قطعه را به عهده داشته باشد (تک کاره بودن ماشین) می توان زمان آماده سازی را حذف نمود و چنانچه ماشین چندکاره است در زمان بندی تولید هر دسته، باید زمان آماده سازی ماشین برای عملیات دسته تولیدی بلافاصله بعدی را در صورت لزوم در نظر گرفت.

۳-۲- زمان انتظار: زمان های انتظار و یا صف را می توان حذف نمود مگر آنکه بدلیل مشغول بودن ماشین مجبور به تولید قطعه ای قبل از زمان ارسال آن به مراحل بعدی باشیم.

۴-۲- زمان های حمل و نقل: از آنجا که زمان حمل و نقل قطعات در بین ماشین آلات درمقایسه با سایر اجزاء زمانی در LT ناچیز می باشد، در برنامه ریزی تولید قطعات از این جزء زمانی صرفنظر خواهد شد.

۳- زمان بندی عملیات

در برنامه ریزی MRP به روش سنتی مقدار TB با PB برابر می باشد و این امر باعث می گردد تا علاوه بر افزایش هزینه های نگهداری اقلام، پیش زمان تجمعی (CLT) نیز افزایش یابد و افزایش CLT خصوصاً برای محصولاتی که از اقلام زیاد و با سطوح بالا تشکیل شده اند، می تواند برنامه ریزی اقلام و تولید محصول را با مشکلات جدی مواجه نماید. بطوریکه مدیران سازمان مجبور به ایجاد تغییرات در برنامه زمان بندی تولید مادر (MPS) گردند.

Anwar [۹] در مورد اهمیت کاهش TB چنین می گوید: درمحیط های رقابتی شدید، استراتژی تولید، تغییر از تولید با دسته های انبوه به تولید با دسته های کوچک به منظور لحاظ نمودن سریع تغییرات در تقاضا و نظرات مشتریان می باشد. مشتریان علاقمند به دریافت محصولات با حجم بالا در یک زمان نمی باشند. آنها همچنین علاقمند هستند که جهت مینیمم کردن هزینه، سرمایه گذاری در تجهیزات یا موجودی ها را کاهش دهند. از طرف دیگر تولید کننده نیز می خواهد هزینه های موجودی ها و تولیدی خود را مینیمم نماید. یکی از روش های رسیدن به اهداف فوق کاهش TB می باشد. کاهش TB علاوه برکاهش هزینه ها باعث کاهش سرمایه درگردش، کاهش LT و .. نیز می گردد.

با توجه به قوانین OPT و دیدگاه های TOC با نامساوی درنظر گرفتن TB و PB علاوه بر فائق آمدن بر مشکلات فوق، می توان از ظرفیت ماشین آلات نیز به نحو احسن استفاده نموده و زمان بیکاری ماشین آلات در بین عملیات مختلف را تا حد امکان کاهش داد.

نکته قابل تعمق و بررسی در این بخش زمان شروع عملیات تولیدی هر دسته و ارسال آنها برای سطوح بالاتر می باشد بطور نیکه زمان بندی تولید اقلام سطوح بالاتر با مشکل کمبود قطعات مواجه نگردند.

دو قطعه A و B با رابطه والدین - فرزندی را در نظر گرفته و پارامترهای زیر را تعریف می کنیم:

d_i: میزان تقاضای قطعه i ام

γ_{ij}: ضریب مصرف قطعه i ام جهت تولید یک واحد قطعه j ام

t_i: مدت زمان عملیات دسته قطعه i ام

TSP_i: زمان شروع عملیات دسته قطعه i ام

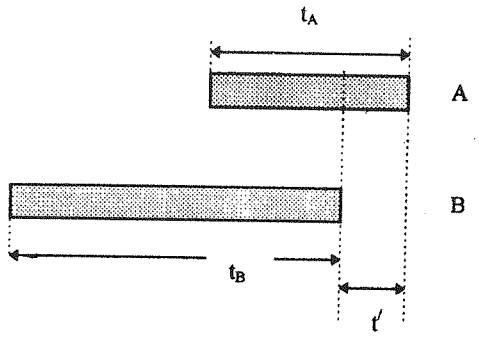
TFP_i: زمان خاتمه عملیات دسته قطعه i ام

P_i: زمان تولید هر واحد قطعه i ام

δ_I: اندازه دسته انتقالی (TB) قطعه i ام

تقاضا برای قطعه A برابر d_A می باشد بنابراین با توجه به ضریب مصرف B در A تقاضای قطعه B برابر $d_B = d_A \times \gamma_{BA}$ خواهد بود. زمان شروع عملیات را در سه حالت زیر مورد بررسی قرار می دهیم.

الف - اگر $t_A < t_B$ باشد، در این حالت سرعت انجام عملیات A بیشتر از سرعت انجام عملیات B می باشد بنابراین بایستی تولید B به اندازه قابل توجه قبل از A شروع شده باشد بطوریکه با خاتمه عملیات B و ارسال آخرین دسته انتقالی، عملیات تولیدی آنها در مرحله A بلافاصله شروع گردد. نمودار ۱ بیانگر این وضعیت خواهد بود.



نمودار (۱) وضعیت تولید قطعه B برای حالت $t_A<t_B$.

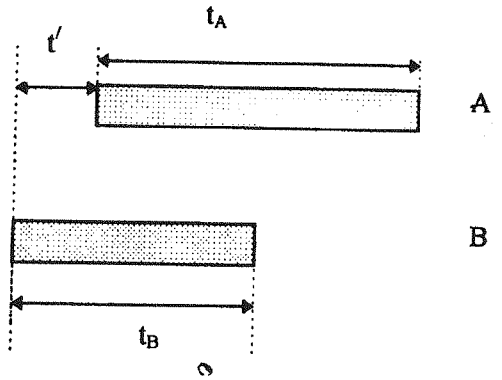
t'= زمان لازم جهت عملیات δ_B توسط ماشین A

زمان شروع و خاتمه عملیات تولیدی قطعه B در این حالت برابر است با:

$$TFP_B = TFP_A - \frac{\delta_B}{\gamma_{BA}} \times P_A$$

$$TSP_B = TFP_B - d_B \times P_B$$

ب ـ اگر $t_A>t_B$ باشد، در این حالت سرعت انجام عملیات B بیشتر از سرعت انجام عملیات A بوده و با ارسال اولین دسته انتقالی و شروع عملیات A، قبل از آنکه عملیات A بر روی اولین دسته انتقالی بپایان برسد، دومین دسته انتقالی برای عملیات A ارسال خواهد شد. بنابراین در این حالت بایستی شروع عملیات B به اندازه زمان لازم جهت عملیات بر روی یک دسته انتقالی قبل از شروع عملیات A باشد. نمودار ۲ وضعیت تولید در تحت شرایط فوق را نشان می‌دهد.



نمودار (۲) وضعیت تولید قطعه B برای حالت $t_A> t_B$

t'= زمان لازم جهت عملیات δ_B توسط ماشین B

در این حالت زمان شروع و خاتمه عملیات تولیدی قطعه B برابر است با:

$$TFP_B = TSP_A + d_B \times P_B$$

$$TSP_B = TFP_A - \delta_B \times P_B$$

در حالت کلی زمان شروع عملیات تولیدی قطعه B برابراست با:

$$TSP_B = Min\left[(TFP_A - \frac{\delta_B}{\gamma_{BA}} \times P_A - d_B \times P_B), (TSP_A - \delta_B \times P_B)\right]$$

ج ـ زمان بندی عملیات B تحت دو حالت فوق بدلیل مشغول بودن ماشینی که عملیات قطعه B را به عهده دارد، امکان پذیر نباشد. در این حالت زمان شروع و خاتمه عملیات B با توجه به وضعیت مشغول بودن ماشین تعیین خواهد شد.

٤ـ مدل‌های ریاضی تلفیق MRP و TOC

در این بخش مدل‌های ریاضی برنامه ریزی مواد مورد نیاز در شرایط محدودیت ظرفیت با بکارگیری دیدگاه‌های TOC ارائه خواهد شد. مواردی از TOC که در مدل‌های توسعه یافته همواره مد نظر قرار گرفته اند عبارتند از:

- یکسان نبودن اندازه TB با اندازه PB
- همزمانی ظرفیت و اولویت
- محاسبه زمان شروع عملیات هر دسته با توجه به LT واقعی و نه LT ثابت
- بهینه کردن کل هزینه های سیستم

باتوجه به منطق MRP درکلیه مدل ها برنامه ریزی و زمان بندی به روش پسروی انجام می پذیرد.

٤ـ۱ـ فرضیات

فرضیات زیر در این مقاله همواره مد نظر قرار گرفته است:

- MPS برای قطعات (محصول) نهایی معین است.
- روش سفارش دهی قطعات LOT-for-LOT می باشد.
- زمان تولید هر یک از اقلام ثابت است و زمان تولید هر مجموعه از اقلام بصورت خطی ازحاصلضرب اندازه مجموعه در زمان تولید هر قطعه حاصل می شود.
- کسری (کمبود) مجاز نیست.
- موجودی اولیه برابر صفر است.

٤ـ۲ـ بررسی تابع هدف

عموماً دو هزینه درتابع هدف مدنظر قرار می گیرند که عبارتند از: هزینه های آماده سازی و هزینه موجودی ها که به بررسی هریک می پردازیم.

الف ـ هزینه های آماده سازی ـ هزینه های آماده سازی برابر مجموع هزینه های تعویض قالب ها، تجهیزات جدید، زمان

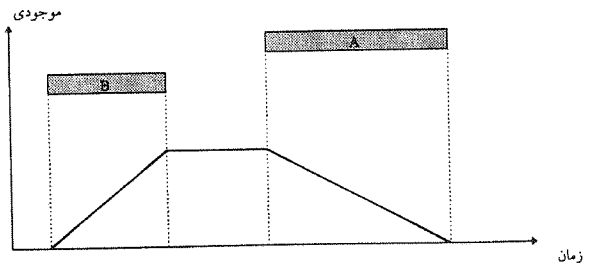
توقف خط تولید و غیره می باشد. با توجه به مطالب مطرح شده در مباحث LT، برای ماشین آلات تک کاره (تخصصی) می توان این هزینه را حذف نمود و برای ماشین آلاتی که چند کاره هستند در صورت قابل توجه بودن هزینه آماده سازی، باید آنرا در تابع هدف منظور نمود.

ب ـ هزینه های نگهداری ـ جهت محاسبه هزینه های نگهداری باید وضعیت موجودی قطعات در هر مقطع زمانی مشخص گردد. تابع وضعیت موجودی بر اساس آنکه زمان شروع عملیات تحت تأثیر هر یک از عوامل t_A و t_B و وضعیت ماشین قرار داشته باشد عبارتست از:

الف ـ چنانچه زمان شروع عملیات قطعه B تحت تأثیر دو عامل t_A و t_B قرار داشته باشد نمودار وضعیت موجودی آن طبق شکل ۳ خواهد بود.

ب ـ چنانچه زمان شروع عملیات قطعه B تحت تأثیر وضعیت ماشین قرار داشته باشد. دوحالت زیر ممکن است اتفاق بیفتد.

ب ـ ۱ـ عملیات دو قطعه A و B دارای فرجه زمانی مشترک باشند. در این حالت نمودار وضعیت موجودی قطعه B همانند حالت قبل خواهد بود با این تفاوت که سطح موجودی نسبت به حالت قبل افزایش خواهد یافت.



نمودار (۴) وضعیت موجودی قطعه B در صورتیکه تولید A و B دارای فرجه زمانی مشترک نباشند.

ب ـ ۲ـ در صورتیکه عملیات A و B دارای هیچ فرجه زمانی مشترکی نباشند صرفنظر از آنکه t_A بزرگتر و یا کوچکتر از t_B باشد، نمودار موجودی قطعه B طبق نمودار ۴ خواهد بود.

با در نظر گرفتن پارامترهای تعریف شده در بخش سوم و h_B به عنوان هزینه نگهداری هر واحد قطعه B در واحد زمان، هزینه های نگهداری قطعه B برحسب آنکه عملیات قطعه B با عملیات قطعه A دارای فرجه زمانی مشترک باشند عبارت است از:

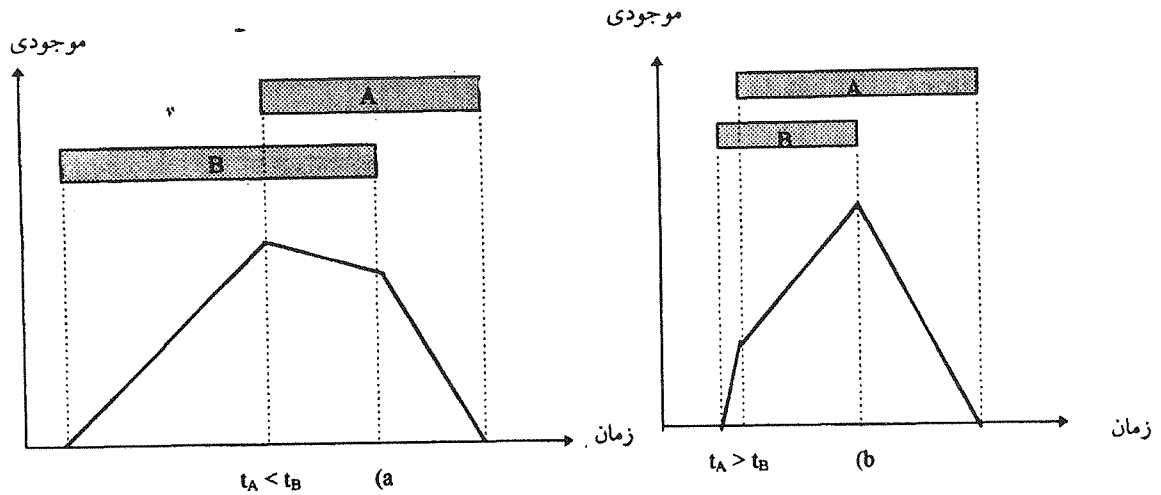
$$\frac{1}{2} \times h_B \times \left[\frac{1}{P_B} \times (TSP_A - TSP_B) \times (d_B \times P_B + d_A \times P_A) + (TFP_B - TSP_A) \times \left(\frac{1}{P_B} - \frac{\delta_B}{P_A}\right) \times (d_A \times P_A)\right]$$

و چنانچه عملیات قطعه B با عملیات قطعه A دارای فرجه زمانی مشترک نباشند هزینه های نگهداری قطعه B عبارت است از:

$$\frac{1}{2} \times h_B \times d_B \times (d_B \times P_B + 2 \times (TSP_A - TSP_B) + d_A \times P_A)$$

درتابع هدف بایستی با توجه به اینکه عملیات دو قطعه A و B دارای فرجه زمانی مشترک می باشند یا خیر، هزینه نگهداری مربوط به هر حالت را منظور نمود. با در نظر گرفتن متغیر صفر ـ یک α_B و با استفاده از روابط زیر می توان هزینه های نگهداری برای هر حالت را انتخاب نمود.

$$TSP_A - TFP_B \geq (\alpha_B - 1) \times M$$



شکل (۳) نمودار وضعیت موجودی قطعه B.

و

$$TSP_A - TFP_B \le \alpha_B \times M$$

چنانچه $\alpha_B = ^\circ$ باشد آنگاه خواهیم داشت:

$$TSP_A - TFP_B \ge - M$$

و

$$TSP_A - TFP_B \le ^\circ$$

که در این حالت عملیات دو قطعه دارای فرجه زمانی مشترک خواهند بود.

و در صورتیکه $\alpha_B = ۱$ باشد آنگاه خواهیم داشت:

$$TSP_A - TFP_B \ge ^\circ$$

و

$$TSP_A - TFP_B \le M$$

که این حالت بیانگر عدم اشتراک فرجه زمانی بین عملیات های تولید قطعات A و B می باشد. بنابراین با در نظر گرفتن متغیر صفر- یک α_B و هزینه های نگهداری تحت شرایط مختلف، کل هزینه های نگهداری قطعه B را می توان بصورت زیر در نظر گرفت.

$$\frac{h_B}{2}\times\left\{(1-\alpha_B)\times\left[\frac{1}{P_B}\times(TSP_A-TSP_B)\times(d_B\times P_B+d_A\times P_A)+(TFP_B-TSP_A)\right.\right.$$

$$\left.\left.\times\left(\frac{1}{P_B}-\frac{\delta_B}{P_A}\right)\times(d_A\times P_A)\right]+\alpha_B\times d_B\times\left[d_B\times P_B+2\times(TSP_A-TSP_B)+d_A\times P_A\right]\right\}$$

۳-٤- مدل ریاضی MRP-TOC برای حالتی که ماشین ها تک کاره (تخصصی) هستند.

در این مدل فرض می شود که ماشین ها تک کاره می باشند. زمان آماده سازی در این حالت حذف و زمان شروع و خاتمه عملیات تولیدی با توجه به مباحث بخش سوم تعیین و برنامه ریزی و زمان بندی عملیات قطعات مختلف انجام خواهد شد.

جهت برنامه ریزی وارائه مدل ریاضی پارامترها بشرح زیر معرفی می گردند:

N: تعداد دسته های محصول نهایی

n: تعداد اقلام در محصول نهایی

D_i: میزان تقاضای i امین دسته برای محصول نهایی

T_i: زمان تقاضای i امین دسته برای محصول نهایی

d_{ijk}: اندازه i امین دسته قلم j ام مورد نیاز قلم k ام

γ_{jk}: تعداد واحد مورد نیاز قلم j ام جهت تولید یک واحد قلم k ام (ضریب مصرف قلم j ام در قلم k ام)

T_{ijk}: دیرترین زمان تحویل i امین دسته قلم j ام جهت شروع تولید قلم k ام

TSP_{ijk}: زمان شروع تولید i امین دسته قلم j ام مورد استفاده در قلم k ام

P_j: زمان تولید هر واحد قلم j ام

h_j: هزینه نگهداری هرواحد قلم j ام در واحد زمان

δ_{ijk}: اندازه دسته انتقالی قلم j ام برای تولید قلم k ام در دسته i ام (در حالتیکه اندازه دسته انتقالی تحت شرایط مختلف ثابت باشد می توان δ_{ijk} را بصورت δ_{jk} معرفی نمود)

TFP_{ijk}: زمان خاتمه عملیات i امین دسته قلم j ام مورد استفاده در قلم k ام

α_{ijk}: متغیر صفر- یک جهت تعیین اینکه آیا i امین دسته قلم j ام با قلم k ام دارای فرجه مشترک زمانی هستند یا خیر. در صورت داشتن فرجه مشترک α_{ijk} برابر صفر و در غیر اینصورت برابر یک خواهد بود.

M: یک عدد بزرگ

بطوریکه:

$$i = 1,2,.....,N \text{ و } j = 2,3,.....,n \text{ و } k = 1,2,.....,n$$

بوده و اندیس i10 بیانگر i امین دسته محصول نهایی می باشد.

مدل ریاضی:

$$\text{Min } Z=\sum_{i=1}^{N} h_1\times d_{i10}(d_{i10}+2\times(T_i-TFP_{i10}))$$

$$+\sum_{i=1}^{N}\sum_{\substack{j\\ j\neq 1}}\sum_{k} h_j\left\{(1-\alpha_{ijk})\times\left[\frac{1}{P_j}\times(TSP_{ikl}-TSP_{ijk})\times\right.\right.$$

$$\left.(d_{ijk}\times P_j+d_{ikl}\times P_k)+(TFP_{ijk}-TSP_{ikl})\times\left(\frac{1}{P_j}-\frac{\delta_{ijk}}{P_k}\right)\times d_{ikl}\times P_k\right]$$

$$\left.+\alpha_{ijk}\times d_{ijk}\left[d_{ijk}\times P_j+2(TSP_{ikl}-TSP_{ijk})+d_{ikl}\times P_k\right]\right\} \qquad (۱)$$

ST:

$$d_{i10} = D_i \qquad (۲)$$

$$d_{ijk} = \gamma_{jk} \times d_{ikl} \qquad (۳)$$

$$TFP_{i10} \le T_i \qquad (۴)$$

$$TSP_{ijk}=Min\ \left[(TFP_{ikl}-\frac{\delta_{ijk'}}{\gamma_{jk}}.P_k-d_{ijk}.P_j),\right.$$

$$\left.(TSP_{ikl}-\delta_{ijk}.P_j),\ (TSP_{(i+1)jk}-d_{ijk}.P_j)\right] \qquad (۵)$$

$$TFP_{ijk} = TSP_{ijk} + d_{ijk} \times P_j \qquad (۶)$$

$$TSP_{ikl} - TSP_{ijk} \ge (\alpha_{ijk} - 1) \times M \qquad (۷)$$

$$TSP_{ikl} - TSP_{ijk} \le \alpha_{ijk} \times M \qquad (۸)$$

$$\alpha_{ijk} = 0 \text{ یا } 1 \qquad (۹)$$

$$TSP_{ijk} \ge 0 \qquad (۱۰)$$

رابطه (۱) بیانگر مجموع هزینه های نگهداری اقلام پس از تولید هر دسته تا زمان ارسال آنها جهت ادامه عملیات مراحل بعدی می باشد که هدف مینیمم کردن این هزینه ها می باشد. رابطه (۲) اندازه هر دسته محصول نهایی را با استفاده از MPS تعیین می نماید. رابطه (۳) اندازه هر دسته هر یک از اقلام را با توجه به ضریب مصرف و اندازه دسته کالای مادر محاسبه می نماید. رابطه (۴) زمان خاتمه تولید هر دسته از محصول نهایی را با توجه به MPS نشان می دهد رابطه (۵) زمان شروع عملیات هر دسته را با در نظر گرفتن سه عامل مطرح شده در قسمت ۴ محاسبه می نماید. رابطه (۶) با توجه به رابطه (۵) زمان خاتمه عملیات را برای هر دسته از اقلام تعیین می نماید. روابط (۷) و (۸) و (۹) مشخص خواهند نمود که آیا دو قلم j و k دارا فرجه زمانی مشترک هستند یا خیر. و نهایتاً رابطه (۱۰) عملی بودن برنامه ریزی مواد را با توجه به ظرفیت های در دسترس تضمین خواهد نمود. دامنه تغییرات کلیه اندیس ها قبل از ارائه مدل ریاضی تعریف شده اند.

۴.۴. مدل ریاضی MRP-TOC برای حالتی که ماشین ها چند کاره اما زمان های آماده سازی قابل اغماض می باشد.

تفاوت این مدل با مدل قبلی در آن است که در مدل قبلی، ماشین ها تخصصی بوده و هر ماشین تولید یک قلم کالا را به عهده داشت. در نتیجه جهت زمان بندی تولید i امین دسته قلم j ام، زمان شروع تولید $(i+1)$ امین دسته و زمان تحویل i امین دسته مورد ارزیابی و مقایسه قرار می گرفتند. اما در شرایط جدید فرض می کنیم که دو قلم j و j' توسط یک ماشین تولید و در نظر است زمان بندی i امین مرحله قلم j ام انجام پذیرد با توجه به آنکه زمان بندی بصورت پس روی انجام می پذیرد، مطمئن خواهیم بود که $(i+1)$ امین و مراحل بعدی قلم j برنامه ریزی شده است. اما هیچ قضاوتی در مورد مراحل زمان بندی شده قلم j' نمی توانیم داشته باشیم. بنابراین جهت زمان بندی هر یک از مراحل هر یک از اقلام j و j' وضعیت مشغول یا بیکار بودن ماشین مشخص نیست. جهت زمان بندی اقلام تحت شرایط فوق، انجام عملیات تولیدی را بر روی ماشین به کمک متغیر صفر- یک θ_{ijkmf} ترتیب بندی می نماییم. بطوریکه اگر عملیات تولیدی i امین دسته قلم j ام مورد نیاز قلم k ام توسط ماشین m ام در نوبت (ترتیب) f ام قرار داشته باشد مقدار θ_{ijkmf} برابر یک و در غیر اینصورت برابر صفر خواهد شد.

برای فرموله کردن مسئله در شرایط جدید علاوه بر پارامترهای معرفی شده در مدل قبل، پارامتر جدید بشرح زیر معرفی می گردند.

TSP_{ijkmf}: زمان شروع تولید i امین دسته j امین قلم مورد نیاز قلم k ام بر روی ماشین m که در اولویت f ام قرار گرفته است.

θ_{ijkmf}: متغیر صفر - یک جهت تخصیص یا عدم تخصیص تولید i امین دسته قلم j ام مورد نیاز قلم k ام به اولویت f ام بر روی ماشین m ام

T_{mf}: زمان شروع تولید کار در اولویت f ام توسط ماشین m ام

O_j: تعداد تکرار قلم j ام در محصول نهایی

A_m: مجموعه اقلامی که توسط ماشین m ام تولید می گردند

دامنه تغییرات f برای ماشین m برابر $f = 1,2,.....,N \times \sum_{j \in A_m} O_j$ می باشد. دامنه تغییرات سایر اندیس ها قبلاً تعریف شده اند.

مدل ریاضی:

$$Min\ Z=\sum_{i=1}^{N} h_1 \times d_{i10}(d_{i10}+2\times(T_i-TFP_{i10}))$$

$$+\sum_{i=1}^{N}\sum_{\substack{j\\ j\neq 1}}\sum_{k} h_j\left\{(1-\alpha_{ijk})\times\left[\frac{1}{P_j}\times(TSP_{ikl}-TSP_{ijk})\times\right.\right.$$

$$\left.\left.(d_{ijk}\times P_j+d_{ikl}\times P_k)+(TFP_{ijk}-TSP_{ikl})\times(\frac{1}{P_j}-\frac{\delta_{ijk}}{P_k})\times d_{ikl}\times P_k\right]\right.$$

$$+\alpha_{ijk}\times d_{ijk}\left[d_{ijk}\times P_j+2(TSP_{ikl}-TSP_{ijk})+d_{ikl}\times P_k\right]\}$$ (۱۱)

ST:

$$d_{i10} = D_i \quad (۱۲)$$

$$d_{ijk} = \gamma_{jk} \times d_{ikl} \quad (۱۳)$$

$$TFP_{i10} \le T_i \quad (۱۴)$$

$$TSP_{ijkmf}=Min\Big[\ (TFP_{ikl}-\frac{\delta_{ijk}}{\gamma_{jk}}.P_k - d_{ijk}.P_j),$$

$$(TSP_{ikl}-\delta_{ijk}.P_j),\ (T_{m(f+1)}-d_{ijk}.P_j)\Big] \quad (۱۵)$$

برای کلیه اقلامی که توسط ماشین چند کاره m ام تولید می گردند.

$$TSP_{ijk}=Min\Big[\ (TFP_{ikl}-\frac{\delta_{ijk}}{\gamma_{jk}}.P_k - d_{ijk}.P_j),$$

$$(TSP_{ikl}-\delta_{ijk}.P_j),\ (SPT_{(i+1)k}-d_{ijk}.P_j)\Big] \quad (۱۶)$$

برای اقلامی که توسط ماشین های تک کاره تولید می گردند.

$$TSP_{ijk} = Max\left\{TSP_{ijkmf}\right\} \quad (۱۷)$$

$$T_{mf} = Max\left\{TSP_{ijkmf}\right\} \quad (۱۸)$$

به ازاء کلیه i و j و k ها

$$TFP_{ijk} = TSP_{ijk} + d_{ijk} \times P_j \quad (۱۹)$$

به ازاء کلیه i و j و k ها $$TFP_{ijkmf} \le M.\ \theta_{ijkmf}$$ (۲۰)

به ازاء کلیه i و j و k و m ها $$\sum_f \theta_{ijkmf} = 1$$ (۲۱)

به ازاء کلیه m و f ها $$\sum_i \sum_j \sum_k \theta_{ijkmf} = 1$$ (۲۲)

$$TSP_{ikl} - TFP_{ijk} \ge (\alpha_{ijk} - 1) \times M \quad (۲۳)$$

$$TSP_{ikl} - TFP_{ijk} \le \alpha_{ijk} \times M \quad (۲۴)$$

$$\alpha_{ijk} = 0 \text{ یا } 1 \quad (۲۵)$$

$$\theta_{ijkmf} = 0 \text{ یا } 1 \quad (۲۶)$$

$$TFP_{ijk} \ge 0 \quad (۲۷)$$

روابط (۱۵) و (۱۶) بترتیب زمان شروع i امین دسته قلم j ام را بر روی ماشین های چند کاره و تک کاره نشان می دهند. رابطه (۱۷) با توجه به اولیت بندی طبق رابطه (۱۵) زمان شروع تولید دسته i ام قلم j ام را محاسبه می نماید. رابطه (۱۸) زمان شروع دسته ای که بر روی ماشین m ام دراولویت f ام قرار گرفته است را تعیین می نماید. رابطه (۱۹) زمان خاتمه تولید هر دسته هر یک از اقلام را محاسبه خواهد نمود. رابطه (۲۰) با تخصیص i امین دسته قلم j ا به نوبت f ام به رابطه (۱۵) اجازه خواهد نمود که هر دسته هریک از اقلامی که توسط ماشین m ام تولید می گردند فقط یکبار زمان بندی و اولویت بندی گردند. و نهایتاً رابطه (۲۲) از تخصیص دسته های مختلف بطور همزمان بر روی ماشین m ام جلوگیری خواهد کرد. سایر روابط در مدل قبلی توضیح داده شده اند.

با توجه به اینکه هر یک از دسته های هر یک از اقلامی که توسط ماشین چند کاره تولید می شوند فقط یکبار اولویت بندی می گردند. می توان بجای روابط (۱۷) و (۱۸) بترتیب از روابط $TSP_{ijk} = \sum_j \theta_{ijkmf} \times TSP_{ijkmf}$ و $T_{mf} = \sum_i \sum_j \sum_k \theta_{ijkmf} \times TSP_{ijkmf}$ استفاده نمود.

۴-۵- مدل ریاضی MRP-TOC برای حالتی که ماشین‌ها چند کاره و زمان آماده سازی نیز وجود دارد.

در این حالت، در صورتیکه دو دسته ای که در اولویت های f و f+1 قرار گرفته اند از یک نوع کالا باشند برای برنامه ریزی و زمان بندی عملیات اولویت f+1 ام نیازی به منظور نمودن هزینه و زمان آماده سازی نیست و در غیر این صورت باید هزینه آماده سازی ماشین برای عملیات اولویت f+1 ام را در نظر گرفت اما زمان لازم جهت آماده سازی ماشین در صورت لزوم و با توجه به وضعیت ماشین منظور گردد.

جهت فرموله نمودن مسئله درشرایط جدید علاوه بر پارامترهای قبلی، پارامترهای جدید بشرح زیر معرفی می گردند:

S_i: زمان آماده سازی ماشین جهت عملیات قلم j ام.

K_j: هزینه آماده سازی ماشین جهت عملیات قلم j ام.

A_m: مجموعه اقلامی که توسط ماشین m ام تولید می گردند.

A_{mj}: مجموعه اقلام بجز j که توسط ماشین m ام تولید می گردند.

دامنه تغییرات کلیه اندیس ها قبلاً تعریف شده اند.

مدل ریاضی:

$$\text{Min } Z=\sum_{i=1}^{N} h_1 \times d_{i10}(d_{i10}+2\times(T_i-TFP_{i10}))$$

$$+\sum_{i=1}^{N}\sum_{\substack{j\\ j\neq 1}}\sum_{k} h_j\left\{(1-\alpha_{ijk})\times\left[\frac{1}{P_j}\times(TSP_{ikl}-TSP_{ijk})\times\right.\right.$$

$$\left.(d_{ijk}\times P_j+d_{ikl}\times P_k)+(TFP_{ijk}-TSP_{ikl})\times(\frac{1}{P_j}-\frac{\delta_{ijk}}{P_k})\times d_{ikl}\times P_k\right]$$

$$\left.+\alpha_{ijk}\times d_{ijk}\left[d_{ijk}\times P_j+2(TSP_{ikl}-TSP_{ijk})+d_{ikl}\times P_k\right]\right\}$$

$$+\sum_{m}\sum_{j\in Am}\sum_{f} k_j\times\theta_{ijkmf}+\sum_{i=2}^{N}\sum_{m}\sum_{j\in Am}\sum_{k}\sum_{f}$$

$$k_j\times\theta_{ijkmf}\times(\theta_{ijkmf}-\theta_{(i-1)jkm(f-1)}) \qquad (۲۸)$$

ST:

$$d_{i10}=D_i \qquad (۲۹)$$

$$d_{ijk}=\gamma_{jk}\times d_{ikl} \qquad (۳۰)$$

$$TFP_{i10}\leq T_i \qquad (۳۱)$$

$$TSP_{ijkmf}=\text{Min}\left[(TFP_{ikl}-\frac{\delta_{ijk}}{\gamma_{jk}}P_k-d_{ijk}.P_j),\right.$$

$$(TSP_{ikl}-\delta_{ijk}P_j),$$

$$\left.(T_{m(f+1)}-\sum_{i}\sum_{l\in A_{mj}}\sum_{k}\sum_{f}S_L\times\theta_{i/kmf}-d_{ijk}\times P_j)\right] \qquad (۳۲)$$

برای کلیه اقلامی که توسط ماشین چند کاره تولید می شوند.

$$TSP_{ijk}=\text{Min}\left[(TFP_{ikl}-\frac{\delta_{ijk}}{\gamma_{jk}}.P_k-d_{ijk}.P_j),\right.$$

$$\left.(TSP_{ikl}-\delta_{ijk}.P_j),(TSP_{(i+1)jk}-d_{ijk}.P_j)\right] \qquad (۳۳)$$

برای اقلامی که توسط ماشین تک کاره تولید می شوند.

$$TSP_{ijk}=\text{Max}\left\{TSP_{ijkmf}\right\} \qquad (۳۴)$$

به ازاء کلیه f ها

$$T_{mf}=\text{Max}\left\{TSP_{ijkmf}\right\} \qquad (۳۵)$$

به ازاء کلیه i و j و k ها

$$TFP_{ijk}=TSP_{ijk}+d_{ijk}\times P_j \qquad (۳۶)$$

$$TSP_{ijkmf}\leq M.\ \theta_{ijkmf} \qquad (۳۷)$$

$$\sum_{f}\theta_{ijkmf}=1 \qquad (۳۸)$$

به ازاء کلیه i و j و k و m ها

$$\sum_{i}\sum_{j}\sum_{k}\theta_{ijkmf}=1 \qquad (۳۹)$$

به ازاء کلیه m و f ها

$$TSP_{ikl}-TFP_{ijk}\geq(\alpha_{ijk}-1)\times M \qquad (۴۰)$$

$$TSP_{ikl}-TFP_{ijk}\leq\alpha_{ijk}\times M \qquad (۴۱)$$

$$\alpha_{ijk}=0 \text{ یا } 1 \qquad (۴۲)$$

$$\theta_{ijkmf}=0 \text{ یا } 1 \qquad (۴۳)$$

$$TSP_{ijk}\geq 0 \qquad (۴۴)$$

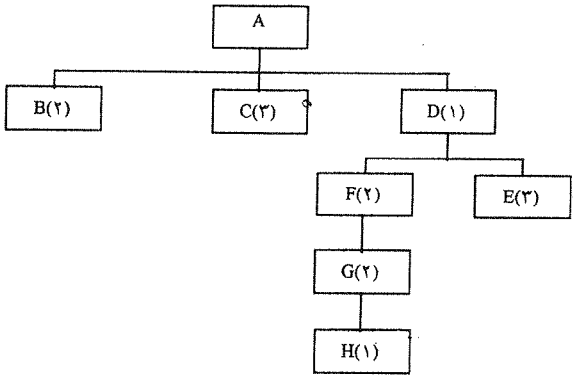
رابطه (۲۸) بیانگر کل هزینه های سیستم اعم از هزینه موجودی ها و هزینه های آماده سازی ماشین های چند کاره در صورت لزوم می باشد و رابطه (۳۲) زمان شروع عملیات هر دسته را با توجه به زمان آماده سازی ماشین برای انجام عملیات هر یک از دسته ها در صورت لزوم و دیرترین زمان تحویل دسته محاسبه می نماید. سایر روابط در مدل های قبلی توضیح داده شده است و از تکرار آنها در این قسمت صرفنظر می گردد.

۵ـ مثال عددی

دراین بخش برنامه ریزی و زمان بندی مواد مورد نیاز برای یک محصول که از ۸ قلم کالا تشکیل شده است، با استفاده از مدل های ریاضی ارائه شده در بخش های قبلی انجام خواهد گرفت.

محصول A که ساختار آن در شکل ۶ نشان داده شده است، را در نظر می گیریم. (اعداد داخل پرانتز بیانگر ضریب مصرف هر یک از قطعات در قطعه مادر آنها می باشد). برنامه تحویل محصول A طبق برنامه MPS در جدول ۱ و زمان

عملیات هر واحد هر یک از اقلام در جدول ۲ و اندازه دسته انتقالی برای هر یک از قطعات درجدول ۳ ارائه شده است.



شکل (۶) ساختار محصول A.

جدول (۱) MSP محصول A.

زمان تحویل	۱۵	۱۷	۱۸
تعداد	۵۰	۲۰	۶۰

۵-۱- برنامه ریزی مواد در شرایط تخصصی بودن ماشین ها

در این حالت فرض می شود که ماشین ها تخصصی (تک کاره) بوده و هر ماشین فقط یک قطعه را می تواند تولید نماید. تحت چنین شرایطی نیازی به منظور نمودن زمان آماده سازی ماشین وجود ندارد.

۵-۲- برنامه ریزی مواد در شرایط چند کاره بودن ماشین ها بدون زمان آماده سازی

جدول (۲) زمان عملیات اقلام.

نام قطعه	A	B	C	D	E	F	G	H
زمان عملیات	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۰۵	۰/۰۱۲	۰/۰۱۵	۰/۰۰۸	۰/۰۱	۰/۰۱
هزینه نگهداری(واحد بر واحد زمان)	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱

جدول (۳) اندازه دسته های انتقال قطعات محصول A.

نام قطعه	A	B	C	D	E	F	G	H
TB	PB	۱۰	۱۵	۵	۱۵	۱۰	۱۰	۵

جدول (۴) اختصاص قطعات به ماشین آلات.

قطعه	A	B	C	D	E	F	G	H
ماشین	I	II	III	IV	V	II	III	IV

جدول (۵) زمان آماده سازی ماشین.

قطعه	A	B	C	D	E	F	G	H
ماشین	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
زمان آماده‌سازی	۰/۳	۰/۲	۰/۴	۰/۵	۰/۳	۰/۶	۰/۲۵	۰/۴

درشرایط جدید هر ماشین می تواند تولید یک و یا چند قطعه را به عهده داشته باشد. اما زمان آماده سازی ماشین برای تولید محصول جدید (تعویض خط تولید) صفر و یا قابل اغماض می باشد. فرض می شود ۵ نوع ماشین مختلف بر اساس جدول ۴، عهده دار عملیات تولیدی محصول مورد نظر می باشند.

۵-۳- برنامه ریزی مواد در شرایط چند کاره بودن ماشین ها با زمان آماده سازی

در این حالت ماشین ها غیر تخصصی و زمان آماده سازی برای هردسته با توجه به ترتیب بندی دسته ها، باید مدنظر قرار گیرد. زمان آماده سازی ماشین جهت تولید هر دسته هریک از اقلام در جدول ۵ ارائه شده است.

۵-٤- نتایج

نتایج حاصل از حل مسئله در شرایط مختلف، در جدول ۶ ارائه گردیده است. ستون اول این جدول بیانگر نام قطعه می باشد. از آنجا که روش سفارش دهی تمامی اقلام Lot-for-Lot و تقاضا برای محصول نهایی در سه مقطع زمانی متفاوت می باشد،برای هر یک ازاقلام، سه دسته تولیدی متناظر با جدول شماره ۱ خواهیم داشت که ستون دوم جدول ۶ دسته های متفاوت را از همدیگر متمایز نموده است. ستون های شروع تولید و خاتمه تولید بیانگر زمان شروع و خاتمه عملیات تولیدی هر دسته هر یک از اقلام می باشد. اعداد ستون زمان تحویل، نشان دهنده دیرترین زمان ارسال آخرین دسته انتقالی مربوط به هریک از دسته های تولیدی هر یک از اقلام، به سطح بالاتر می باشد. اختلاف بین زمان خاتمه تولید و زمان تحویل برای هر دسته، بیانگر مدت زمانی است که بدلیل مشغول بودن ماشین، عملیات تولیدی باید زودتر ازموعد مقرر شروع گردد.

بعنوان مثال اعداد مربوط به دسته دوم قطعهB را مورد بررسی قرار می دهیم. این دسته مربوط به مونتاژ دسته دوم محصول A می باشد. از آنجا که زمان خاتمه عملیات مونتاژ دسته دوم محصول A ، برابر ۱۵/۷۵ می باشد با توجه به اندازه دسته انتقالی قطعه B و زمان عملیات مونتاژ هر واحد A ، آخرین دسته انتقالی قطعه B باید در زمان ۱۵/۷ برای A ارسال گردد. که این عدد در ستون مربوط به زمان تحویل ثبت شده است. با توجه به وضعیت ماشین و تخصصی بودن آنها و اندازه دسته و زمان عملیات، زمان شروع عملیات این دسته باید ۱۴/۹ و زمان خاتمه تولید ۱۵/۷ (همزمان با زمان تحویل) باشد. اکنون برای همین دسته، زمان عملیات را برای حالتی که ماشین ها چند کاره هستند اما زمان آماده سازی قابل اغماض است، مورد بررسی قرار می دهیم. زمان تحویل آخرین دسته انتقالی این قطعه ۱۳/۹۱ می باشد اما با تخصیص این ماشین به تولید سایر قطعات، بایستی زمان شروع عملیات تولیدی ۹/۰۶ و زمان خاتمه آن ۹/۸۶ باشد، که در فاصله زمانی ۹/۸۶ الی ۱۳/۹۱ باید این دسته نگهداری گردد.

با توجه به نتایج حاصله، CLT برای این محصول تحت سه حالت مختلف:

الف) تخصصی بودن ماشین ها

ب) چند کاره بودن ماشین ها بدون آماده سازی

ج) چند کاره بودن ماشین ها با آماده سازی

بترتیب برابر ۵/۷۵، ۱۱/۴۳و ۱۰/۹۶ واحد زمانی می باشد. که در حالت تخصصی بودن ماشین ها کمترین CLT حاصل شده است. بنابراین می توان ادعا نمود که یکی از روش های کاهش CLT در واحدهای تولیدی، تخصصی کردن ماشین ها و اختصاص هر ماشین به یک نوع عملیات بخصوص می باشد. CLT در شرایط ب نسبت به CLT تحت شرایط ج افزایش یافته است که دلایل مختلفی از جمله عدم منظور نمودن هزینه استفاده از ماشین آلات ویا یکسان بودن هزینه نگهداری قطعات درسطوح مختلف، می تواند در این امر دخالت داشته باشد.

همانگونه که در متن این مقاله ذکر شد عدم یکسان در نظر گرفتن اندازه دسته انتقالی (TB) با اندازه دسته تحت عملیات (PB) می تواند اثرات قابل توجهی در کاهش CLT را بدنبال داشته باشد. توسط حیدری [۱۷] برنامه ریزی مواد برای محصول A درشرایط یکسان بودن TB و PB قبلاً انجام گرفته و مقدار CLT برای سه حالت الف، ب و ج بترتیب برابر ۱۲/۵۸، ۱۰/۰۸ و ۱۵/۸۶ بدست آمده است که در مقایسه با مقادیر اخیر ۵/۷۵، ۱۱/۴۳ و ۱۰/۶۹ می توان شاهد اثرات کاهش CLT بدلیل یکسان درنظر نگرفتن TB و PB بود.

۶- نتیجه گیری

برنامه ریزی مواد مورد نیاز در اوایل دهه ۱۹۶۰ در ایالت متحده آمریکا بعنوان یک رویکرد کامپیوتری جهت برنامه ریزی مواد اولیه و تولید ارائه گردید. و تاکنون کاربردهای بسیار وسیعی را در سیستم های مدیریت تولید داشته است. در طول بکارگیری MRP نقاط ضعف و قوت آن آشکار گردیده است و محققان تحقیقات زیادی جهت رفع اشکالات و توسعه آن انجام داده اند. اما علیرغم تحقیقات انجام گرفته هنوز اشکالاتی دربکارگیری MRP وجود دارد. یکی از اشکالات مهم MRP یکسان در نظر گرفتن اندازه دسته انتقالی (TB) با اندازه دسته تحت عملیات ثابت (PB) می باشد.

جدول (۶) نتایج حاصل از برنامه ریزی ریاضی.

نام قطعه	دسته	ماشینهای تک کاره			ماشین چندکاره بدون زمان آماده سازی			ماشین چندکاره با زمان آماده سازی		
		زمان تحویل	شروع تولید	خاتمه تولید	زمان تحویل	شروع تولید	خاتمه تولید	زمان تحویل	شروع تولید	خاتمه تولید
A	سوم	۱۸	۱۷/۵	۱۸	۱۸	۱۷/۵	۱۸	۱۸	۱۷/۲۵	۱۷/۷۵
	دوم	۱۷	۱۵/۵۵	۱۵/۷۵	۱۷	۱۳/۷۶	۱۳/۹۶	۱۷	۱۶/۸	۱۷
	اول	۱۵	۱۴/۲۵	۱۴/۸۵	۱۵	۱۲/۲۶	۱۲/۸۶	۱۵	۱۲/۶۵	۱۳/۲۵
B	سوم	۱۷/۹۵	۱۵/۹۵	۱۷/۹۵	۱۷/۹۵	۱۵/۹۵	۱۷/۹۵	۱۷/۷	۱۳/۲	۱۵/۲
	دوم	۱۵/۷	۱۴/۹	۱۵/۷	۱۳/۹۱	۹/۰۶	۹/۸۶	۱۶/۹۵	۱۰	۱۰/۸
	اول	۱۴/۸	۱۲/۴	۱۴/۸	۱۲/۸۱	۹/۸۶	۱۲/۲۶	۱۳/۲	۱۰/۸	۱۳/۲
C	سوم	۱۷/۹۵	۱۷/۲	۱۷/۹۵	۱۷/۹۵	۱۷/۲	۱۷/۹۵	۱۷/۷	۱۶/۹۵	۱۷/۷
	دوم	۱۵/۷	۱۵/۴	۱۵/۷	۱۳/۹۱	۱۳/۶۱	۱۳/۹۱	۱۶/۹۵	۱۶/۶۵	۱۶/۹۵
	اول	۱۴/۸	۱۳/۹	۱۴/۸	۱۲/۸۱	۱۱/۹۱	۱۲/۸۱	۱۳/۲	۱۲/۳	۱۳/۲
D	سوم	۱۷/۹۵	۱۷/۳۵	۱۷/۹۵	۱۷/۹۵	۱۵/۸۶	۱۶/۴۶	۱۷/۷	۱۷/۱	۱۷/۷
	دوم	۱۵/۷	۱۵/۴۶	۱۵/۷	۱۳/۹۱	۱۳/۵۶	۱۳/۸	۱۶/۹۵	۱۶/۷	۱۶/۹۴
	اول	۱۴/۸	۱۴/۰۸	۱۴/۸	۱۲/۸۱	۸/۹۷	۹/۶۹	۱۳/۲	۱۰/۴۱	۱۱/۱۳
E	سوم	۱۷/۸۹	۱۵/۶۴	۱۷/۸۹	۱۶/۴	۱۴/۱۵	۱۶/۴	۱۷/۶۴	۱۵/۳۹	۱۷/۶۴
	دوم	۱۵/۶۴	۱۴/۷۴	۱۵/۶۴	۱۳/۷۴	۱۲/۸۴	۱۳/۷۴	۱۶/۸۸	۱۴/۴۹	۱۵/۳۹
	اول	۱۴/۷۴	۱۲/۰۴	۱۴/۷۴	۹/۶۳	۶/۹۳	۹/۶۳	۱۱/۰۷	۸/۳۷	۱۱/۰۷
F	سوم	۱۷/۸۹	۱۷/۰۹	۱۷/۸۹	۱۶/۴	۱۵/۱۵	۱۵/۹۵	۱۷/۶۴	۱۶/۱۲	۱۶/۹۲
	دوم	۱۵/۶۴	۱۵/۳۲	۱۵/۶۴	۱۳/۷۴	۱۳/۳۳	۱۳/۶۵	۱۶/۸۸	۱۵/۸	۱۶/۱۲
	اول	۱۴/۷۴	۱۳/۷۸	۱۴/۷۴	۹/۶۳	۸/۱۰	۹/۰۶	۱۱/۰۷	۸/۸۴	۹/۸
G	سوم	۱۷/۸۵	۱۵/۸۵	۱۷/۸۵	۱۵/۹۱	۱۳/۹۱	۱۵/۹۱	۱۶/۸۸	۱۴/۲۵	۱۶/۲۵
	دوم	۱۵/۶	۱۴/۸	۱۵/۶	۱۳/۶۱	۱۲/۸۱	۱۳/۶۱	۱۶/۰۸	۱۳/۴۵	۱۴/۲۵
	اول	۱۴/۷	۱۲/۳	۱۴/۷	۹/۰۲	۶/۶۲	۹/۰۲	۹/۷۶	۷/۳۶	۹/۷۶
H	سوم	۱۷/۸	۱۵/۸	۱۷/۸	۱۵/۸۶	۱۳/۸۶	۱۵/۸۶	۱۶/۲	۱۴/۲	۱۶/۲
	دوم	۱۵/۵۵	۱۴/۷۵	۱۵/۵۵	۱۳/۵۶	۱۲/۷۶	۱۳/۵۶	۱۴/۲	۱۳/۴	۱۴/۲
	اول	۱۴/۶۵	۱۲/۲۵	۱۴/۶۵	۸/۹۷	۶/۵۷	۸/۹۷	۹/۷۱	۷/۳۱	۹/۷۱

در این مقاله ابتدا اجزاء پیش زمان در سیستم های تولیدی بطور اختصار مورد بحث قرار گرفت. سپس با توجه به اندازه TB زمان شروع عملیات برای هر دسته تولیدی تعیین و آنگاه هزینه های نگهداری مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و بدنبال آن مدل های ریاضی تحت شرایط مختلف ارائه گردید و نهایتاً در بخش پنجم با حل یک مثال، زمان بندی تولید قطعات در شرایط مختلف بکارگیری ماشین آلات انجام گرفت.

فهرست مخفف ها

CLT: Cumulative Lead Time

JIT: Just In Time

LT: Lead Time

MLT: Manufacturing Lead Time

MPS: Master Production Scheduling

MRP: Material Requirement Planning

MRP II: Manufacturing Resource Planning

OPT: Optimized Production Technology

PB: Precess Batch

PMS: Production Management Systems

TB: Transfer Batch

TOC: Theory of Constraint

مراجع

[1] Ang J. S. K., C. C. Sum and W. F. Chung ≤Critical Sucess Factors in Implementing MRP and Government Assistance≤ Information and Management, 1995, vol. 29, PP. 63-70.

[2] Cox J. F. and S. J. Clark ≤Problems in Implementing and Operating a Manufacturing Resource Planning Information System≤ Journal of Management Information Systems, 1984, 1, No. 1, PP. 81-101.

[3] Richardson S. ≤Finite - Capacity Scheduling With Factor≤. Integrated Systems Conference. 1990.PP. 124-127.

[4] Taal Martin and John C. Wortmann. ≤Integrating MRP and Finite Capacity Planning:, Production Planning and Control. 1997. Vol. 8. No. 3. PP 245-254.

[5] Zijm W. H. M. and Buitenhek R. ≤Capacity Planning and Lead time management≤ International journal of Production Economics 46-47, 1996, PP. 165-176.

[6] Kevin Weng Z. ≤Manufacturing Lead Times, System Utilization Rates and Lead-Time-Related Demand≤ European Journal of Operational Research, 1996, Vol. 89, PP. 259-568.

[7] Pandey P. C. and M. Ahson Akhtar Hasin ≤Role of Manufacturing Leadtime In Capacity Planning≤ Int, J. of Materials and Product Technology, 1996, Vol. 11, No. 5/6, PP. 438-450.

[8] Steele Daniel C. and Papke-Shields Karen E. ≤Capacity Slack: Strategic Alternative to Leadtime≤ Production and Inventory Management Journal, 1993, Fourth Quarter, PP. 1-5.

[9] Anwar M. F. and Nagi R. ≤Integrated Lot-Size and Scheduling For Just-In-Time Production of Complex Assemblies With Finite Set-ups≤ INT. J. Prod. Res., 1997, Vol. 35. No. 5, PP. 1447-1470.

[10] Tersine Richard J. Principles Of Inventory And Materials Management. 4d ed. 1994.

[11] Benjaafar Saifallah ≤On Production Batches, Transfer Batches, and Lead Times≤ IIE Transactions, 1996, Vol. 28, PP. 357-362.

[12] Browne Jimmie≤ John Harhen and James Shivnan. Production Management Systems. 2nd ed. 1996.

[13] Byrne M. D. ≤ Jackson R. J. "Study of Bottlenecks In a MRP Environment Using Simulation≤. International Journal of Production Economics Vol. 35 No. 1-3 Jun 1994. PP. 115-120.

[14] Ptak Carol A. ≤MRP, MRP II, CPT, JIT and CIM-Succession, Evolution or Necessary Combination≤ Production and Inventory Management Journal, 1991, Second Quarter.

[15] Miltenburg J. ≤Comparing JIT, MRP and TOC, and embedding TOC into MRP≤ INT. J. Prod. Res., 1997, Vol. 35, No. 4, PP. 1147-1169.

[16] Kevin Weng Z.≤Lead-time Management in a Make-to-stock Manufacturing Firm≤, Production and Inventory Management Journal, 1998, second quarter, PP. 38-41.

[۱۷] حیدری، مهدی، توسعه روش های تلفیق برنامه ریزی تولید MRP-TOC، رساله دکتری، دانشگاه علم و صنعت ایران، ۱۳۷۹.