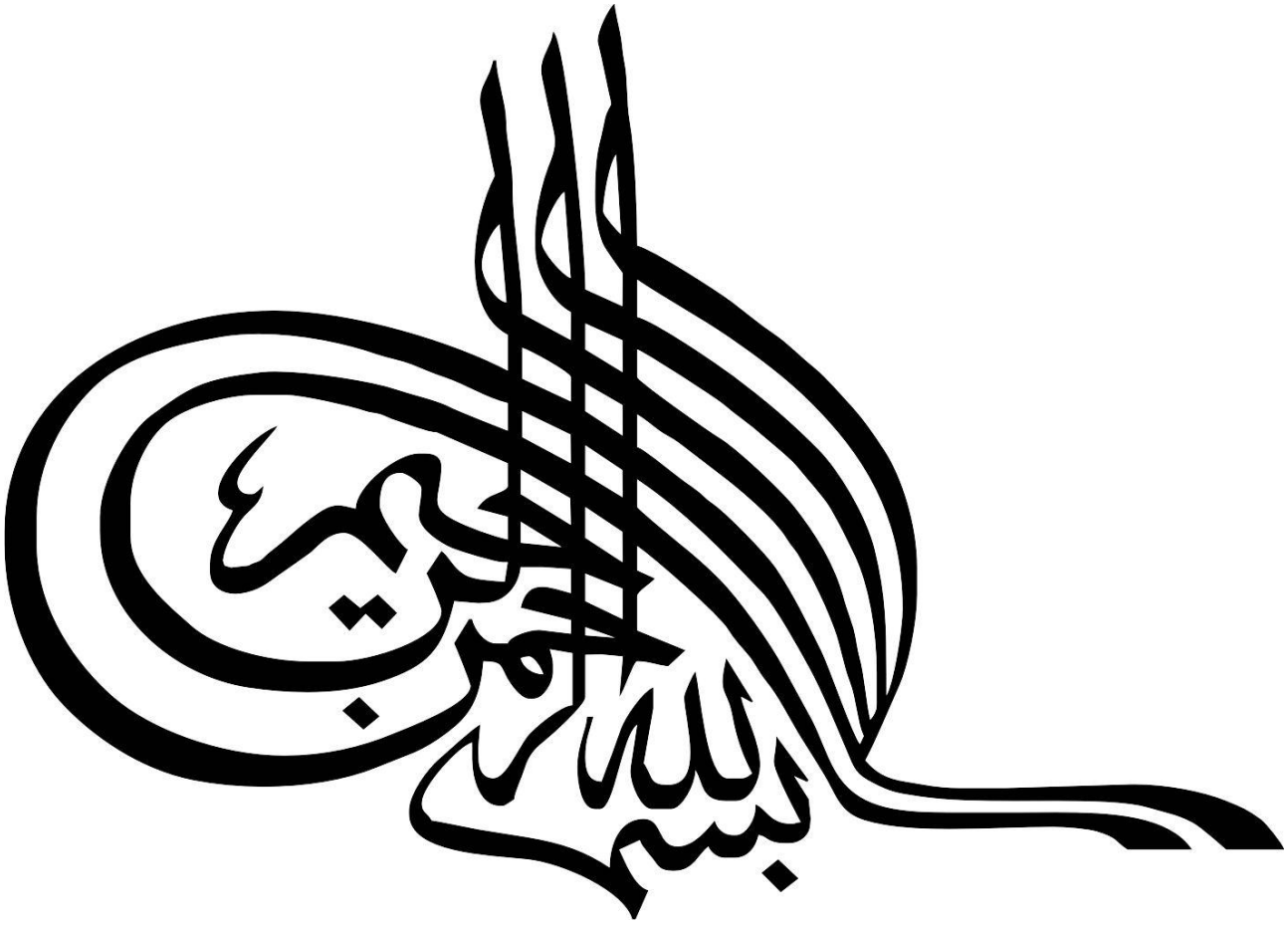
بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه سمنان

پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته مدیریت MBA – تولید و عملیات

موضوع

ارائه الگوریتمهای فراابتکاری برای حل مساله زمانبندی تولید کارگاهی انعطاف‌پذیر

استاد راهنما

دکتر محمدعلی بهشتی نیا

نگارنده

نیلوفر قاضی وکیلی

سال تحصیلی ۹۲-۹۳

سپاس

سپاس خدای را که سخنوران، در ستودن او بمانند و شمارندگان، شمردن نعم ت های او ندانند و کوشندگان، حق او را گزاردن نتوانند. و سلام و دورد بر محمّد و خاندان پاک او، طاهران معصوم، هم آنا ن که وجودمان وامدار وجودشان است.

از استاد با کمالات و شایسته؛ جناب آقای دکتر محمد علی بهشتی نیا که در کمال سعه صدر، با حسن خلق و فروتنی، از ه یچ کمکی در این عرصه بر من دریغ ننمودند و زحمت راهنمایی این رساله را بر عهده گرفتند؛ تشکر و سپاسگزاری می کنم.

زبانم قاصر است از اینکه بتواند جملاتی ادا کند که لیاقت تشکر از پدر و مادرم را داشته باشند ، کسانی که آرامش روحی و آسایش فکری فراهم نمودند تا با حمایت های همه جانبه در محیطی مطلوب ، مراتب تحصیلی و نیز پایان نامه را به نحو احسن به اتمام برسانم؛ سپاسگزاری می نمایم.

و از استادان فرزانه و دلسوز؛ جناب آقای دکتر عبدالشاه و دکتر تقی پور که زحمت داوری این رساله را متقبل شدند؛ کمال تشکر و قدردانی را دارم.

چکیده

در این پایان نامه، مساله زمانبندی تولید کارگاهی انعطاف پذیر مورد بررسی قرار گرفته است. این مساله تعمیم مساله زمانبندی تولید کارگاهی می باشد. اهداف مساله کمینه کردن حداکثر زمان تکمیل آخرین سفارش(C_{max}) و حداکثر بارکاری ماشین‌ها (W_{max}) و مجموع بار کاری ماشینها (W_T) در نظر گرفته شده‌اند. این مساله جز مسائل NP-hard می‌باشد، بنابراین بدست آوردن جواب بهینه به ازای هر نمونه مساله با ابعاد دلخواه در زمان چند جمله ای امکان پذیر نیست . به همین منظور الگوریتم ژنتیک پیشنهادی به نام الگوریتم ژنتیک دو بخشی و الگوریتم تکامل تاریخی برای حل مساله ارائه شده است . برای بررسی کارایی الگوریتم‌های پیشنهادی از دو مجموعه داده محک استفاده شده است و با الگوریتم‌های موجود در ادبیات موضوع مقایساتی صورت پذیرفته است. نتایج محاسباتی نشان از کارایی الگوریتم های ارائه شده برای حل مساله زمانبندی تولید کارگاهی انعطاف‌پذیر دارد.

کلمات کلیدی: تولید کارگاهی انعطاف پذیر، الگوریتم تکامل تاریخی ، فرا ابتکاری، الگوریتم ژنتیک دو بخشی، زمانبندی

فهرست مطالب

عنوان	شماره صفحه
فصل اول	
۱ ۱ - مقدمه	**۲**
۱ ۲ - شکل گیری مساله تحقیق	**۲**
۱ ۳ - تعاریف، طبقه بندی و علائم	**۵**
۱-۳-۱- فرضیات	**۵**
۱-۳-۲- نمادها	**۵**
۱-۳-۳- طبقه بندی مسائل	**۶**
۱ ۴ - تعریف مساله	**۱۵**
۱ ۵ - متدولوژی	**۱۶**
۱ ۶ - ساختار کلی پایان نامه	**۱۷**
فصل دوم	
۲-۱- مروری بر ادبیات	**۱۹**
فصل سوم	
۳-۱- تعریف مساله زمانبندی تولید کارگاهی انعطاف‌پذیر	**۳۹**
فصل چهارم	
۴-۱- الگوریتم ژنتیک	**۴۵**
۴-۱-۱- تکامل در طبیعت	**۴۵**
۴-۱-۲- رابطه تکامل طبیعی با روش‌های هوش مصنوعی	**۴۷**
۴-۱-۳- محاسبات تکاملی	**۴۸**
۴-۱-۴- الگوریتم های تکاملی	**۵۰**
۴-۱-۵- برنامه نویسی ژنتیک	**۵۲**
۴-۱-۶- مسائل NP-hard	**۵۳**
۴-۱-۷- اکتشافی	**۵۴**

۴-۱-۸- تاریخچه علم ژنتیک و الگوریتم ژنتیک ۵۶
۴-۱-۹- ایده کلی ۵۷
۴-۱-۱۰- فضای فرضیه ۵۸
۴-۲- بیان الگوریتم ژنتیک ۵۸
۴-۲-۱- مکانیزم الگوریتم ژنتیک ۵۹
۴-۲-۲- عملگرهای الگوریتم ژنتیک ۶۱
۴-۲-۳- شبه کد الگوریتم ژنتیک ۶۳
۴-۳- الگوریتم ژنتیک دوبخشی ۶۴
۴-۳-۱- نمایش کروموزم ۶۴
۴-۳-۲- جمعیت اولیه ۶۷
۴-۳-۳- عملگر انتخاب ۶۷
۴-۳-۴- تقاطع ۶۸
۴-۳-۴-۱- تقاطع بخش توالی عملیات ۶۹
۴-۳-۴-۲- تقاطع بخش تخصیص ماشین ۷۰
۴-۳-۵- عملگر جهش ۷۱
۴-۳-۶- آزمایشات عددی ۷۲
۴-۳-۶-۱- مجموعه داده ها و مسائل مختلف ۷۳
۴-۳-۷- نتایج محاسبات ۷۵
فصل پنجم
۵-۱- الگوریتم تکامل تاریخی ۸۲
۵-۱-۱- نمایش انسان ۸۴
۵-۱-۲- جمعیت اولیه ۸۶
۵-۱-۳- تولید جوابهای متفاوت ۸۶
۵-۱-۳-۱- عمل شبیه سازی ۸۶
۵-۱-۳-۲- عمل متفاوت سازی ۸۷
۵-۱-۳-۳- عملگر تعامل اجتماعی ۸۹
۵-۱-۳-۴- تاثیر پذیری از افراد خوب و بد ۸۹
۵-۱-۳-۴-۱- عملگر شبیه سازی به افراد خوب ۸۹

۵-۱-۳-۴-۲- عملگر متفاوت سازی از افراد بد ۹۰
۵-۱-۳-۵- عملگر بهبود فردی ۹۰
۵-۱-۴- آزمایشهای عددی ۹۰
۵-۱-۵- نتایج محاسبات ۹۱
فصل ششم ۹۶
۶-۱- خلاصه و نتیجه گیری ۹۹

فهرست جداول

عنوان جداول	شماره صفحه
جدول ۳-۱ زمان های پردازش عملیات مثال	۴۳
جدول ۴-۱ مساله ۸*۸	۷۳
جدول ۴-۲ مساله ۱۰*۱۰	۷۳
جدول ۴-۳ مساله ۱۰*۱۵	۷۴
جدول ۴-۴ نتایج بر مجموعه داده Kacem	۷۵
جدول ۴-۵ مقایسه الگوریتم های hGA، AIA، 2p-GA بر مجموعه داده Kacem	۷۸
جدول ۴-۶ مجموعه داده BRdata	۷۸
جدول ۴-۷ نتایج بر مجموعه داده BRdata	۷۹
جدول ۵-۱ نتایج بر مجموعه داده Kacem	۹۱
جدول ۵-۲ نتایج بر مجموعه داده BRdata	۹۳

فهرست شکلها

عنوان شکلها	شماره صفحه
شکل ۲-۱- الگوریتم‌های ارائه شده برای مسأله زمانبندی تولید کارگاهی انعطاف‌پذیر	**۳۷-۳۶**
شکل ۴-۱- نمایش کروموزم	**۶۶**
شکل ۴-۲- تقاطع قسمت توالی عملیات	**۷۰**
شکل ۴-۳- تقاطع قسمت توالی ماشین	**۷۱**
شکل ۵-۱- فلوچارت الگوریتم تکامل تاریخی	**۸۳**
شکل ۵-۲- نمایش یک انسان	**۸۵**

فصل اول

۱- ۱- مقدمه

زمانبندی به عنوان فرآیند تصمیم گیری، نقشی مهم در سیستم های تولید و ساخت داراست . همچنین انتقال و توزیع منابع در انواع مختلف از خدمات مهم می‌باشد. این فرآیند برای کارهایی که در یک دوره زمانی هستند، منابع تخصیص می‌دهد و هدف آن بهینه نمودن یک یا چند تابع هدف می‌باشد.

منابع و کارهای یک سازمان می تواند انواع مختلفی داشته باشد . منابع ممکن است دستگاههای یک کارگاه، باند فرودگاه، کارکنان یک سایت و واحدهای پردازش در محیط محاسباتی باشند

کارها ممکن است عملیات های فرآیند تولید، فرود و صعود هواپیما، مراحل ساخت پروژه، اجرای برنامه‌های کامپیوتری و غیره باشد . هر کاری ممکن است یک سطح اولویت معین، زودترین زمان شروع ممکن و زمان موعد مقرر داشته باشد.

اهداف می‌تواند انواع مختلفی باشند. یک هدف می‌تواند کمینه سازی زمان تکمیل آخرین کار باشد و یا کمینه سازی تعداد کارهای تکمیل شده بعد از موعد مقررشان باشد.

۱ -۲- شکل گیری مساله تحقیق

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

هدف زمانبندی تولید تخصیص منابع محدود در طول زمان برای انجام گروهی از فعالیت ها است. داشتن یک برنامه زمانبندی تولید مناسب، تاثیر زیادی بر افزایش کارایی و دسترسی به اهداف سازمان دارد

مدل زمانبندی تولید در هریک از سازمان های تولیدی با توجه به اهداف و اولویت های دسترسی به هریک از آنها متفاوت است. بنابراین برای تعیین مدل زمانبندی مناسب در سازمان ابتدا باید اهداف، اولویت منابع مورد بررسی قرار گیرد.

برنامه‌ریزی تولید در واقع زمانبندی و تعیین ترتیب اولویت‌های انجام کارها به صورت بهینه می‌باشد. واضح است که برای یک واحد تولیدی حداقل نمودن هزینه و افزایش بهره وری اهمیت زیادی دارد ، بنابراین زمان‌بندی در برنامه (در عدد، زمان و مکان) به منظور حداقل کردن هزینه و افزایش بهره وری ضرورت دارد.

امروزه اغلب کارخانجات کشور، بدون استفاده از روش‌های علمی برنامه‌ریزی تولید مشغول به کار هستند و لذا با مسائلی مانند وقفه های مختلف در تولید، عدم وجود پیش‌بینی درخصوص مواد اولیه موردنیاز، مدت زمان لازم برای تولید، عدم توانایی تصمیم گیری در خصوص ترکیب تولید و . . مواجه هستند.

مدل‌سازی این امکان را فراهم می کند که مدیر بتواند فرایند تولید را از ابعاد مختلف زمانی و هزینه ای بهینه کرده و بهره‌وری تولید را افزایش دهد. روش‌های حل مسائل تولید از طریق مدل های کمی، نه تنها راه‌حل بهینه را برای وضعیت فعلی تولید نشان خواهد داد بلکه به برنامه ریزان کمک خواهد نمود که به سوالاتی از قبیل "چه خواهد شد اگر. . . " نیز پاسخ گویند و حال آنکه پاسخ این گونه سوالات از طریق تجربی و عملی ممکن است هزینه زا و در بسیاری از موارد غیر ممکن باشد

ضرورت برنامه‌ریزی بر کسی پوشیده نیست و بطور خاص موضوع برنامه ریزی در فرایند تولید گاه دارای چنان مزایایی است که در صورت عدم وجود، سازمان های تولیدی را از مسیر سالم رشد و ادامه حیات در

محیط رقابتی منحرف می سازد. در صورت پیاده سازی موفق یک سیستم مدیریت تولید جامع، شرکتها می‌توانند از مزایای زیر برخوردار گردند.

❖ کاربردهای اصلی:

۱- کمک به مسئولین خط تولید در برنامه‌ریزی بهینه تولید

۲- کاهش حجم موجودی در انبار

۳- افزایش قدرت پیش بینی وضعیت تو لید و در نتیجه کمک به تصمیم گیری در پذیرش سفارشات

۴-کاهش برون‌سپاری و استفاده حداکثری از توان داخلی شرکت

۵- استفاده بهینه از توان ماشین‌آلات و پرسنل

۶- مدیریت بهتر محصولات، قطعات و ضایعات

۷- افزایش سود و کاهش هزینه‌ها به واسطه نتیجه بهینه‌سازی

۸- افزایش اعتماد به واسطه تحویل به موقع محصول به مشتری

۹- تعیین برنامه بهینه تولید هر ماشین

۱۰- کاهش زمان بیکاری ماشین‌آلات بواسطه انتظار برای دریافت قطعه نیم‌ساخته

❖ کاربردهای جنبی:

۱- کمک به تصمیم‌گیری در زمینه بکارگیری ماشین‌آلات جدید

۲- تحلیل حساسیت عملیات تولید نسبت به تغییر شرایط مختلف

۳- کمک به شناسایی تنگناها و گلوگاهها

۱-۳- *تعاریف، طبقه بندی و علائم*

در این قسمت ابتدا برخی از فرضیات موجود در مسائل زمانبندی تولید را بیان می‌کنیم و سپس به بیان طبقه‌بندی و علائم رایج در این مسائل می‌پردازیم.

۱- ۳- ۱- فرضیات

در همه‌ی مسائل زمانبندی تعداد کارها و تعداد ماشینها به صورت متناهی فرض می‌شود.

- ✓ همه‌ی ماشینها در لحظه صفر در دسترس هستند.
- ✓ همه‌ی کارها در لحظه صفر آزاد هستند.
- ✓ همه‌ی عملیات در لحظه صفر آزاد هستند.
- ✓ هر ماشین می‌تواند تنها یک عملیات را در لحظه پردازش کند.
- ✓ هر عملیات باید بدون وقفه در یکی از مجموعه ماشینهای در دسترس پردازش شود.
- ✓ ترتیب عملیات نمی‌تواند تغییر کند و عملیات یک کار مستقل از یکدیگر نیستند و به ترتیب انجام می‌گیرند.

۱- ۳- ۲- نمادها

در زیر برخی از تعاریف و نمادهای رایج در مسائل زمانبندی، آورده شده است.

تعداد کارها با n و تعداد ماشینها با m نشان داده می‌شوند. j به یک کار و i به یک ماشین اشاره دارد. اگر یک کار نیاز به تعدادی مراحل پردازش یا عملیات داشته باشد، (i,j) به مراحل پردازش یا عملیات از کار j در ماشین i اشاره دارد.

زمان پردازش (P_{ij}) : P_{ij} زمان پردازش کار j را بر روی ماشین i نشان می‌دهد. اگر زمان پردازش کار j به ماشین بستگی نداشته باشد، یا اگر کار j فقط بر روی یک ماشین پردازش شود، i حذف می‌شود.

زمان آزاد شدن (r_{ij}): زمان آزاد شدن r_{ij} اشاره به زمان آماده شده آن کار دارد . در واقع زودترین زمان ممکن کار j که می‌تواند پردازش خود را شروع کند.

زمان مقرر (d_j) : زمان مقرر d_j تاریخ تکمیل را نشان می‌دهد. به عنوان مثال می توان گفت زمانی که مشتری برای کار تعیین می کند. تکمیل کار j بعد از زمان مقرر خود مجاز است ولی باید جریمه آن را متحمل شود. وقتی زمان مقرر رعایت شود به عنوان مهلت[1] اشاره می‌شود که با $'dj$ نشان می‌دهند.

وزن (w_j): وزن w_j اولویت آن کار را نشان می‌دهد که بیان‌کننده اهمیت کار j در رابطه با کارهای دیگر در سیستم می باشد. برای مثال، این وزن ممکن است هزینه واقعی حفظ کار در سیستم را نشان دهد . همچنین این هزینه می‌تواند میزان ارزش‌افزوده به کار نیز می‌باشد.

۱- ۳- ۳- طبقه‌بندی مسا ئل

مسائل زمانبندی توسط یک سه تایی نشان داده می‌شوند.

$$\alpha \mid \beta \mid \gamma$$

[1] deadline

α محیط ماشین را نشان می دهد که فقط دارای یک پارامتر است . β جزئیات مشخصات پردازش و محدودیت ها را نشان می‌دهد که ممکن است هیچ پارامتری یا تک پارامتری باشد . γ هدف کمینه سازی که اغلب تک پارامتری است را نشان می‌دهد.

A) محیطهای متعارف (α)

برخی از محیط‌های متعارف ماشینی، که پارامتر α را مشخص می‌کنند، در زیر ذکر شده‌اند:

A1) تک ماشینه[2]: ساده ترین حالت ممکن است و یک مورد خ اص از همه ی محیط های پیچیده می‌باشد.

A2) ماشین‌های مشابه به صورت موازی (Pm)[3]: m ماشین به صورت موازی وجود دارد . کار j نیاز به یک عملیات دارد و ممکن است بر روی یکی از m ماشین پردازش شود.

A3) ماشین‌هایی به صورت موازی با سرعت های متفاوت(QM) : سرعت ماشین i را با V_i نشان می‌دهند. زمان P_{ij} زمانی است که کار j بر روی ماشین i صرف می‌کند که برابر با P_i / V_i می‌باشد. محیط به ماشین‌های یکنواخت اشاره دارد، اگر همه‌ی ماشین‌ها سرعت یکسانی داشته باشند، در اینصورت محیط مانند **A2** خواهد بود. به عنوان مثال:

برای تمام i ها

$$V_i = 1$$

$$P_{ij} = P_j$$

A4) ماشین‌های نامرتبط به صورت موازی (Rm): این محیط تعمیم‌یافته **A3** است. m ماشین مختلف به صورت موازی وجود دارد. ماشین i می‌تواند کار j را با سرعت V_{ij} پردازش کند. زمان P_{ij} زمانی است

[2] **Single machine**
[3] **Parallel machine**

که کار j بر روی ماشین i صرف می‌کند که برابر با P_i / V_{ij} می‌باشد. اگر سرعت ماشینها به کار بستگی داشته باشد برای همه i و j ها، محیط مانند**A3**، $V_{ij}=V_i$ خواهد بود.

A5) جریان‌کاری (Fm)[۴]**:** در یک سری m ماشین وجود دارد. هر کار باید در هر یک از m ماشین پردازش شود. همه‌ی کارها یک مسیر را دنبال می کنند، به طور مثال آنها در ا ولین ماشین سپس در دومین ماشین و. . . پردازش می‌شوند. بعد از تکمیل یک کار بر روی ماشین به صف یا بافر ماشین بعدی متصل می‌شوند. معمولا عملیات همه صف ها به صورت اول ورود اول خروج [۵] فرض شده است و یک کار نمی‌تواند عبور کند، در صورتی که در صف انتظار قرار داشته باشد.

A6) جریان‌کاری منعطف (FFc)[۶]: این حالت تعمیم‌یافته جریان‌کاری و محیط ماشین‌های موازی است. به جای m ماشین در سری‌ها c مرحله وجود دارد که در هر مرحله تعدادی ماشین به صورت موازی قرار دارد. همه کارها باید ابتدا در مرحله ۱ سپس در مرحله ۲ و مراحل بعدی پردازش شوند. یک مرحله به عنوان یک بانک ماشین‌های موازی عمل می‌کند؛ در هر مرحله کار j نیاز دارد که بر روی تنها یک ماشین پردازش شود. صفها بین مراحل مختلف ممکن است به صورت اول ورود اول سرویس[۷] عمل کند.

A7) تولید کارگاهی (Jm)[۸]: در تولید کارگاهی با m ماشین، هر کار باید مسیر از پیش تعیین شده خود را دنبال کند. برتری این محیط در این است که هر کار ممکن است ماشینی را یکبار یا بیشتر از یکبار ملاقات کند.

---

[4] **Flow Shop**
[5] FIFO
[6] Flexible Flow Shop
[7] FCFS
[8] Job Shop

A8) تولید کارگاهی منعطف (FJc)[9]: این محیط تعمیم یافته تولید کارگاهی و محیط ماشین های موازی است. به جای m ماشین در سری ها c مرکز کاری وجود دارد که در هر مرکز کار ی تعدادی ماشین به صورت موازی وجود دارد. کار j نیاز دارد در هر مرکز کاری تنها بر روی یک ماشین پردازش شود

A9) تولید محیط باز (Om)[10]: m ماشین در این محیط وجود دارد. هر کار باید در هر یک از m ماشین پردازش شود. بعضی از این زمان‌های پردازش ممکن است صفر باشد . هیچ محدودیتی برای رعایت مسیر هر کار از طریق محیط ماشین وجود ندارد . زمانبند اجازه می دهد یک مسیر برای هر کار تعیین کند و کارهای مختلف ممکن است مسیرهای متفاوتی داشته باشد.

B) محدودیتها یا ویژگی ها (β)

***B1)* خرابی‌ها (*brkdwn*)**[11]: به معنای عدم دسترسی پیوسته به برخی از ماشین ها می‌باشد. این مفهوم به این موضوع اشاره دارد که یک ماشین ممکن است به صورت متوالی در دسترس نباشد . زمانی که یک ماشین در دسترس نیست به صورت ثابت فرض می شود. اگر تعدادی از ماشینها به صورت موازی باشند، تعداد ماشین‌های در دسترس در هر زمان تابعی از زمان خواهند بود.

***B2)* جایگشت (*prmu*)**[12]: به معنی یکسان بودن توالی کارها در تمام ی مراحل است. محدودیتی است که در جریان کاری ظاهر می‌شود، در واقع صفی است که حاوی هر ماشین می‌باشد که بر اساس اول ورود اول خروج عمل می‌کند.

***B3)* زمانبندی دسته ای**[13]: یک ماشین ممکن است قادر باشد تا تعدادی از کار ها را به صورت همزمان پردازش کند، به طور مثال می‌تواند دسته‌ای از b کار را در زمان یکسان پردازش کند. زمان پردازش کارها

---

[9] Flexible Job Shop
[10] Open Shop
[11] **Break down**
[12] **permutation**
[13] **Batch scheduling**

در یک دسته ممکن نیست همه یکسان باشند و کل دسته تنها زمانی پایان می یابد، که آخرین کار از دسته تکمیل شود؛ زمان تکمیل کل دسته توسط کار با طولانی‌ترین زمان پردازش تعیین می‌شود.

بطور مثال کارهای متعلق به یک دسته ممکن است آماده‌سازی یکسانی داشته باشند و لذا با دسته‌بندی و انجام متوالی آنها می توان مجموع زمان آماده سازی را کاهش داد . همچنین ممکن است در برخی از ایستگاه‌ها، ماشین‌هایی وجود داشته باشند که بتوانند چند کار را بطور همزمان مورد پردازش قرار دهند . لذا در این حالت با دسته بندی کارها می توان کارها را سریعتر انجام داد . زمان تکمیل کارهای متعلق به یک دسته ممکن است یکسان باشد. و یا زمان تکمیل کارهای متعلق به یک دسته یکسان نباشد.

B4) زمان آزاد شدن (rj): اگر این نماد در β باشد بدین معنی است که کار j نمی‌تواند پردازش خود را قبل از زمان آزاد شدن rj شروع کند. اگر rj در β نباشد پردازش کار j در هر زمانی می تواند شروع شود. در مقابل زمان آزاد شدن، زمان موعد مقرر در این قسمت تعیین نمی‌شود.

B5) وقفه(prmp) [14]: به این اشاره دارد که لازم نیست یک کار بر روی یک ماشین زمانی که شروع شده تا آخر تکمیل شدن آن حفظ شود. زمانبند اجازه می‌دهد تا وقفه‌ای برای پردازش یک کار در هر نقطه ای از زمان اتفاق بیافتد و کارهای متفاوت بر روی ماشین به جای آن پردازش شوند.

B6) محدودیت‌های اولویت (prec): محدودیت‌های اولویت ممکن است در یک ماشین یا در ماشین های موازی دیده شود، که نیاز دارد یک یا چند کار کامل شود ، البته قبل از اینکه به کارهای دیگر اجازه داده شود تا پردازش خود را شر وع کنند. انواع مختلف از محدودیت های اولویت عبارتنداز اگر هر کار ح داکثر یک پردازنده و یک جانشین داشته باشد، معمولا محدودیت‌ها به عنوان زنجیره‌ها[15] اشاره دارد. اگر هر کار حداکثر یک جانشین داشته باشد ، محدودیت‌ها به intrec اشاره دارد. اگر هر کار حداکثر یک پرداز نده

[14] **Preemptions**
[15] **chains**

داشته باشد، محدودیت‌ها به outtrec اشاره دارد. اگر هیچ prec در $\boldsymbol{\beta}$ وجود نداشته باشد، کارها هیچ محدودیتی ندارند.

B7) زمان اجرای وابسته به توالی S_{jk} :S_{jk} زمان بین پردازش کار j و k می‌باشد. S_{0k} زمان اجرا برای k می‌باشد، اگر کار k اولین کار در توالی باشد ؛ و S_{j0} زمان پاک‌سازی بعد از کار j می‌باشد، اگر کار j آخرین کار در توالی باشد (S_{0k} و S_{j0} ممکن است صفر باشند). اگر زمان اجرا بین کار j و k وابسته به ماشین باشد، i شامل S_{ijk} خواهد بود. اگر S_{jk} در $\boldsymbol{\beta}$ نباشد همه زمان های اجرا 0 تا توالی مستقل خواهد بود، که در این مورد زمان پردازش در نظر گرفته می‌شود.

B7) خانواده کارها(FMLS)[۱۶] :

کارها از یک خانواده یکسان ممکن است زمان های پردازش متفاوت داشته باشد، اما آنها می‌توانند بر روی یک ماشین یکی بعد از دیگری بدون نیاز به اجرای بین کارها پردازش شوند. بنابراین، اگر ماشین به بیش از یک خانواده سوئیچ شود اصطلاحا خانواده g به خانواده h می گویند یعنی بعد از آن اجرای آنها لازم و ضروری می‌شود. اگر این زمان اجرا بستگی به هر دو خانواده g و h داشته باشد و توالی وابسته باشد با S_{gh} نشان می‌دهند. اگر این زمان اجرا بستگی فقط به یک خانواده داشته باشد با S_h نشان می‌دهند. اگر به هیچ خانواده ای بستگی نداشته باشد با S نشان می‌دهند.

B8) محدودیت‌های شایستگی ماشین (M_j):

M_j زمانی در B ظاهر می‌شود که محیط ماشین به صورت موازی باشد. زمانی که M_j وجود دارد هیچ یک از m ماشین قادر به پردازش کار j نیستند. Mj نشان می‌دهد که اجرای ماشین‌ها می‌تواند کار j را پردازش کنند. اگر B شاملM_j نباشد کار j ممکن است بر روی یکی از m ماشین پردازش شود.

---

[16] **Job Families**