طـراحی سیستم تولید سـلولی در شـرایـط پـــویای احتـمالی و حـل آن توسـط Simulated Annealing

رضا توکلی مقدم – دانشگاه تهران
نیکبخش جوادیان – دانشگاه علوم وفنون مازندران
نیما صفائی – دانشگاه علوم وفنون مازندران

چکیده :

سیستم تولید سلولی (CMS) جزء روش های نوین تولید می باشد که در سال های اخیر بخش صنعت از مزایای آن بهره منـد شـده اسـت. CMS در واقع کاربردی از فناوری گروهی (GT) در زمینه ساخت و تولید می باشد که هدف آن دسته بندی قطعات و ماشین آلات است بگونـه ای کـه از تشـابه ظاهری و یا عملیاتی آنها در جنبه های مختلف ساخت و طراحی استفاده شود. تحقیقاتی که تاکنون در این زمینه انجام شده بیشتر بر روی تولید ثابـت و تقاضای معین قطعات متمرکز بوده است. ولی در عمل تقاضا برای محصولات نامعین (احتمالی) و طبیعت تولید پویا می باشـد. از آنجائیکـه CMS جـزء مسأیل NP-Complete می باشد، حل آن توسط روش های بهینه سازی سنتی مستلزم زمان و قدرت پردازش بـالا مـی باشـد. ایـن موضـوع هنگـام تطبیق هر چه بیشتر مدل با شرایط واقعی محسوس تر است. در نتیجه امروزه محققین رویکردهای جستجوی تصادفی را جـایگزین خـوبی بـرای حـل اینگونه مسایل می دانند. یکی از این روش ها Simulated Annealing (SA) می باشد که بر مبنای مکانیزم فیزیک آماری و فرآیند سرمایش مـواد جهت رسیدن به وضعیت با انرژی پایین کار می کند. در این مقاله ابتدا یک مدل سیستم تولید سلولی در شرایط پویا و احتمـالی طراحـی شـده و سـپس توسط روش SA حل گردیده است.

واژه های کلیدی: سیستم تولید سلولی، شرایط پویای احتمالی، مدل ریاضی غیر خطی، Simulated Annealing

۱– مقدمه

صنایع تولیدی تحت فشار شدیدی از طرف بازار رقابت جهانی می باشند. کوتاهتر شدن چرخه عمر کـالا، زمـان مـورد نیـاز جهـت بازاریـابی و نیازهـای متفاوت مشتریان، تولید کنندگان را واداشته است که کارآیی و بهره وری فعالیت های تولیدی خود را بهبود بخشند. سیستم های تولید باید قادر به تولیـد محصول با هزینه پایین تولید و کیفیت بالا در کمترین مدت ممکنه باشند تا محصولات را به موقع به مشتریان تحویل دهند. علاوه بر این، سیستم های تولید باید قادر به تطبیق یا پاسخ سریع به تغییرات در طرح و تقاضای محصولات باشند، بدون اینکه نیازی به سرمایه گـذاری عمـده ای باشـد. سیسـتم های تولید سنتی مثل تولید کارگاهی۱ و تولید محصولی۲، قادر به تامین و برآورد این نیازها و الزامات نیستند . در حالیکه سیستم های تولید باید قابلیـت تغییر و طرح ریزی مجدد برای پاسخ به تغییرات در طرح و تقاضای محصول را داشـته باشـند. در نتیجـه تولیـد سـلولی۳(CM) کـه کـاربرد تکنولـوژی گروهی۴(GT) می باشد، به عنوان یک سیستم تولید امیدوار کننده و چاره ساز پدید آمده است. در اکثر تحقیقات گذشته مسأله تولیـد سـلولی (CM) در

[1]- Job shop production
[2]- Flow shop production
[3]- Cellular Manufacturing
[4]- Group Technology

شرایط تولید ثابت یا تک دوره ای مورد بررسی قرار می گرفت. در حالیکه در عمل تولید پویا است به عبارت دیگر در بسیاری از سیستم های تولیدی افق برنامه ریزی را می توان به چند دوره یا پریود تقسیم کرد بطوریکه تقاضای محصولات از یک دوره به دیگری متغیر می باشد. از طرفی ممکن است مقدار تقاضای محصولات در هر دوره از قبل معین نباشد، ولی می توان با توجه به تجارب و داده های گذشته تقاضای محصولات را بصورت تابع احتمال مشخصی در نظر گرفته و در نتیجه دور نمائی از تقاضای محصولات در آینده بدست آورد. به چنین شرایطی اصطلاحاً شرایط پویای احتمالی اطلاق می گردد.

۲- مروری بر ادبیات موضوع

۲-۱- سیستم تولید سلولی

دوره عمر کوتاه محصول ، تولیدات با تنوع زیاد ، تقاضای غیر قابل پیش بینی و زمان توزیع کوتاه محصولات امروزه سیستم های تولیدی را بر آن داشته تا در شرایط عدم اطمینان بصورت پویا فعالیت کنند [۱و۲]. سیستم های تولیدی باید سریعاً با این عدم اطمینان و تغییرات در سرمایه گذاری و هزینه عملیاتی منطقی سازگار شده و به آنها پاسخ دهند. تلاشهای فراوانی در بررسی ها و تحقیقات مختلف در زمینه طرح های پویا [۳و۴]، انعطاف پذیر [۲و۵] و تولید سلولی پویا [۱و۴] پیشنهاد شده تا بتوان با نیازمندی های تولید نامعین و پویا روبرو شد.

۲-۲- Simulated Annealing

ایده ای که مبنای SA را شکل داد برای اولین بار توسط متروپولیس و همراهان [۶] در ۱۹۵۳ منتشرشد. سی سال بعد کریک پاتریک و همراهان [۷]، SA ارائه شده توسط متروپولیس را به عنوان تکنیکی برای جستجوی حل های شدنی در مسائل بهینه سازی پیشنهاد کردند. بکتر [۸] یک مدل غیرخطی باینری برای مسأله CM ارائه و از SA جهت حل آن استفاده کرد و نتایج نشان داد که SA در ۶۴/۴٪ موارد قادر به یافتن حل بهینه می باشد. چن[5] و همراهان [۹] یک روش ابتکاری بر مبنای SA برای مسائل CM ارائه دادند. سوفیاناپوالوا [۱۰] از SA برای حل طراحی تولید با فرض وجود برنامه های پردازشی متنوع برای قطعات و یا فراوانی ماشین استفاده کرد. واخاریا و چنگ [۱۱] دو روش ابتکاری بر مبنای SA و جستجوی منع شده (TS) جهت بدست آوردن حل های شدنی در مسأله CM ارائه کردند. وناگوپال و نارندران [۱۲] از SA برای حل گروه بندی ماشین ها به عنوان جنبه مهمی از مسأله CM استفاده کردند.

۳- مدل ریاضی CMS در شرایط پویای احتمالی

شرایط پویای احتمالی تعمیم یافته شرایط پویای معین می باشد که در آن تقاضای محصولات در هر دوره معین نبوده بلکه بصورت متغیرهای تصادفی با توزیع احتمال مشخص بر حسب تجارب گذشته وارد مدل می گردند. هدف تعیین مقدار بهینه تقاضای هر محصول در یک سطح اطمینان مشخص می باشد بگونه ای که مقدار تقاضا علاوه بر کمینه سازی برخی از هزینه های تولید حداقل اختلاف را نیز با مقدار ارزش انتظاری خود داشته باشد. این امر بخصوص درحالت آرمانی موجب کاهش هزینه نگهداری کالای های تکمیل شده و هزینه کمبود موجودی می گردد. در این تحقیق با در نظر گرفتن یک فاصله اطمینان ۹۵ درصدی برای تقاضای قطعات مجموع قدرمطلق انحراف از میانگین تقاضای قطعات به عنوان هزینه و حد بالا و پایین فاصله اطمینان به عنوان محدودیت به مدل اضافه می گردند. در نهایت با فرض وجود توالی عملیات، فراوانی ماشین، انعطاف پذیری جریان انعطاف پذیری ماشین و قابلیت انتقال بین سلولی ماشین، این امکان وجود دارد که خانواده قطعات و گروه های ماشین یا به عبارت دیگر چیدمان سلولی از پریودی به پریود دیگر تغییر کند. بنابراین با توجه به ماهیت CMS و مفروضات فوق از مدل ارائه شده انتظارات زیر وجود دارد:

- تشکیل همزمان خانواده قطعات و گروه بندی ماشین ها؛
- انتخاب یک برنامه پردازشی برای هر قطعه بگونه ای که کمترین هزینه انتقالات درون و بین سلولی را داشته باشد؛
- تخمین تقاضای بهینه قطعات؛
- خرید انواع ماشین و یا جا به جائی بین سلولی آنها از پریودی به پریود دیگر در صورت نیاز.

[5]- Chen

۳-۱- فرضهای مدل

- زمان عملیات برای همه قطعات روی هر نوع ماشین معلوم و هر قطعه می تواند چند برنامه پردازشی مختلف داشته باشد که تنها از یکی از آنها استفاده می کند (انعطاف پذیری جریان).
- نوع قطعات و تابع توزیع احتمالی هر قطعه در هر دوره معلوم است.
- قابلیت و ظرفیت هر نوع ماشین معین و ثابت است.
- هزینه سرمایه گذاری یا خرید هر نوع ماشین در ابتدای دوره اول معلوم است.
- هزینه عملیاتی هر نوع ماشین در هر ساعت مشخص است.
- قطعات بصورت دسته ای درون و بین سلولها حرکت می کنند و هزینه حرکت درون و بین سلولی دسته ها معلوم و ثابت است.
- تعداد سلولها طی تمام دوره ها معین و ثابت است.
- حداکثر و حداقل تعداد ماشینهای موجود در سلولها در دوره برنامه ریزی معین و ثابت است (حد بالا و پایین).
- تغییر مکان ماشینها از یک سلول به سلول دیگر بین دوره ها انجام شده و زمان آن صفر است.
- هزینه جابجایی هر نوع ماشین مستقل از مکان اولیه موجود آن بوده و مقدار آن معین است
- هر نوع ماشین یک یا چند عملیات را می تواند انجام دهد و هر عملیات می تواند با زمانهای متفاوت روی ماشین های مختلف انجام گیرد (انعطاف پذیری ماشین).
- هزینه انتقال درون و بین سلولی مواد ثابت و مستقل از فاصله می باشد.
- موجودی اضافه بین دوره ها صفر است و سفارش به تاخیر افتاده مجاز نبوده و تقاضا هر دوره بایستی در همان دوره تامین گردد.
- زمان راه اندازی[6] صفر می باشد.
- زمان شکست برای ماشینها در نظر گرفته نمی شود.
- راندمان ماشین ها و تولید ۱۰۰٪ می باشد.
- بزرگی دسته ها برای همه محصولات و در همه دوره ها ثابت است.
- ارزش زمانی پول در نظر گرفته نمی شود.
- ماشین ها در شروع هر پریود برای استفاده در دسترس می باشند (زمان نصب صفر است).

۳-۲- اهداف مدل

همچنانکه در قسمت قبل توضیح داده شد، در یک نگاه جامع چندین هزینه بایستی در هدف طراحی سیستم مد نظر قرار گیرد. اما همه اهداف را بخاطر پیچیدگی و مشکلات محاسباتی نمی توان در هدف مدل اعمال نمود. در این تحقیق اهداف مطرح در طراحی CMS پویای معین و احتمالی با در نظر گرفتن انعطاف پذیری جریان در تابع هدف وارد می شوند. اهداف عبارتند از مجموع هزینه های زیر:

الف) هزینه سرمایه گذاری ماشین: هزینه خرید ماشین در هر دوره می باشد؛

ب) هزینه عملیاتی: هزینه عملیات برای تولید قطعات می باشد که وابسته به نوع ماشین و مقدار زمان مورد نیاز برای هر عملیات می باشد؛

ج) هزینه انتقال درون و بین سلولی مواد: این هزینه زمانی ایجاد می شود که همه عملیات یک قطعه بروی یک ماشین به اتمام نرسد و قطعه به ماشین دیگری در سلول جاری و یا سلول دیگر انتقال یابد؛

د) هزینه جابجایی ماشین: هزینه تغییر محل یک ماشین از یک سلول به سلول دیگر که در بین دوره ها ممکن است با جابجایی ماشین ها روبرو شویم . در یک مدل تولید پویا بهترین شیوه تولید سلولی ممکن است نتواند بهترین شیوه در همه دوره ها باشد. بنابراین با تغییرات تقاضا ناگزیر به تغییر آرایش و ماشین های موجود در سلولهای مختلف خواهیم بود. این جابجایی باعث توقف تولید و ایجاد هزینه خواهد شد؛

ه) جریمه مجموع انحراف از میانگین تقاضای قطعات: این هزینه زمانی ایجاد می شود که در شرایط پویای احتمالی مقدار تقاضای تخمین زده شده توسط مدل با مقدار ارزش انتظاری که برای آن پیش بینی شده اختلاف داشته باشد. هر چقدر تقاضای تخمین زده شده با ارزش انتظاری خود اختلاف داشته باشد ممکن است سایر هزینه ها کاهش یابد ولی این جزء از هدف افزایش خواهد یافت . در واقع به ازاء هر واحد اختلاف یک واحد جریمه در نظر گرفته می شود.

---

[6]- Setup Time

۳-۳- محدودیت های مدل

برای مدل ارائه شده محدودیتهای زیر را بایستی لحاظ نمود:

الف) ظرفیت ماشین ها برای تولید هر مخلوط محصول در سطح تقاضای معین در هر دوره بایستی کافی باشد؛

ب) بزرگی سلولها بایستی معین باشد، یعنی حداقل و حداکثر تعداد ماشین های موجود در هر سلول بایستی محدود باشد؛

ج) تعداد سلولهای سیستم باید معین باشد؛

د) هزینه جابه جائی انتقال درون سلولی و بین سلولی مواد بایستی یکسان باشد؛

ه) سطح اطمینان برای تقاضای احتمالی قطعات باید معین و مشخص باشد.

۳-۴- معرفی نمادهای مدل

برای مدل سازی مسأله فوق نمادهایی بکار می روند که به قرار تعاریف زیر می باشند.

۳-۴-۱- زیر نویسها[7]

c : نماد سلولهای تولید (c = 1 , 2 , … , C)

m : نماد انواع ماشین (m = 1 , 2 , … , M)

p :نماد انواع قطعات (p = 1 , 2 , … , P)

h : نماد انواع دوره (h = 1 , 2 , … , H)

j: نماد عملیاتی قطعه (j = 1 , 2 , … , Op)

۳-۴-۲- نمادهای ورودی[8]

tjpm : زمان مورد نیاز برای انجام عملیات j ام از قطعه p روی ماشین m ام .

EDph : ارزش انتظاری تابع توزیع تقاضای قطعهP در دورهh ام.

SDph : انحراف معیار تابع توزیع تقاضای قطعهP در دوره h ام.

ورودی مدل برای محاسبه پارامترهای فوق به سه صورت انجام می پذیرد :

الف) وقتی تقاضای محصولات بصورت پیوسته فرض شده و از طبیعت توزیع نرمال پیروی می کنند. دراین حالت پارامترهای ورودی مدل همان میانگین و واریانس توزیع نرمال می باشند.

ب) وقتی تقاضاها بصورت گسسته فرض شده و از طبیعت توزیع دو جمله ای پیروی کنند. در این حالت پارامترهای ورودی مدل، احتمال تقاضا برای هر محصول (p) و تعداد تقاضای هر محصول با توجه به دوره های پیشین (n) می باشند. بنابراین میانگین و انحراف استاندارد توزیع تقاضا بصورت روابط زیر محاسبه می شود:

$$EDph=np \qquad (۳)$$

$$SD_{ph} = \sqrt{nP(1-P)} \qquad (۲)$$

ج) وقتی که تقاضای محصولات پیوسته بوده و از طبیعت توزیع β پیروی کنند. در این حالت پارامترهای ورودی مدل عبارتند از خوشبینانه ترین مقدار تقاضا (H) ، بدبینانه ترین مقدار تقاضا (L) و محتمل ترین مقدار تقاضا (M). بنابراین میانگین و انحراف استاندارد توزیع تقاضا توسط روابط زیرمحاسبه می شود:

$$ED_{ph} = \frac{L + 4M + H}{6} \qquad (۳)$$

---

[7]- Indices

[8]- Input Parameters

$$SD_{ph} = \frac{H - L}{6} \quad (۴)$$

B : بزرگی دسته برای نقل و انتقالات درون و بین سلولی مواد.
αm : هزینه خرید ماشین نوع m ام.
βm : هزینه عملیاتی هر ساعت ماشین نوع m ام.
γ : هزینه جابجایی بین سلولی و درون سلولی یک دسته.
δm : هزینه جابجایی ماشین نوع m ام.
Tm: ظرفیت ساعتی موجود برای ماشین نوع m ام.
LB : حداقل ظرفیت هر سلول.
UB : حداکثر ظرفیت هر سلول.

a_{jpm} } 1 اگر j امین عملیات قطعه p ام روی ماشین نوع m قابل انجام باشد

0 در غیر این صورت

۳-۴-۳- متغیرهای تصمیم [9]

Nmch : تعداد ماشین نوع m مورد استفاده در سلول c طی دوره h ام.
K+mch : تعداد ماشین نوع m اضافه شده به سلول c طی دوره h ام.
K-mch : تعداد ماشین نوع m کم شده از سلول c طی دوره h ام.
XDph : مقدار تولید قطعه P دردوره h ام.
جهت تخمین بهینه تولید قطعات یک فاصله اطمینان ۹۵ در صدی برای XDph ها بصورت رابطه (۵) تعریف و سپس حد بالا و پایین آن به عنوان محدودیت به مدل اضافه شده است.

$$EDph-1.96\ SDph \le XDph \le EDph+1.96\ SDph \quad (۵)$$

Xjpmch } 1 اگر j امین عملیات قطعه p در سلول c توسط ماشین نوع m طی دوره h انجام شود.

0 در غیر این صورت

در مسائلی که دارای بیش از دو دوره برنامه ریزی می باشند این امکان وجود دارد که برخی از ماشین ها برای دوره بعد مورد نیاز نبوده و بصورت بیکار در سلول باقی بمانند، این امر بخصوص هنگامی که تعداد دوره ها افزایش یابد موجب ازدحام ماشین های بیکار در سلول ها گشته و در نتیجه موجب نقض کران بالای سلولی (UB) گردد، بنابراین لازم است ماشین های بیکار از سلول خارج و وجود آنها در جائی ثبت گردد تا در صورت نیاز در دوره های آتی احتیاج به خرید مجدد آنها نباشد. بنابراین با تعریف یک سلول اضافی یا باقیمانده که می تواند مبین انبار باشد، ماشین های مذکور را بطور مجازی بدان انتقال می دهیم. در دوره های آتی در صورت نیاز به ماشینی خاص ابتدا مدل آن را در انبار یا حافظه جستجو کرده و در صورت عدم وجود مبادرت به خرید آن می کند. در این مدل هزینه انتقال به یا از انبار در نظر گرفته نمی شود. متغیر مورد نیاز برای این امر بصورت زیر تعریف می شود:
Vmh : تعداد موجودی ماشین نوع m در انبار در دوره h .
بدیهی است مقدارمتغیرفوق دردوره اول برابرصفر میباشد. مقدارمتغیرفوق درهردوره بصورت رابطه (۶) محاسبه میشود:

[9]- Decision Variables

$$V_{mh} = \max\left\{0\ ,\ V_{m(h-1)} + \sum_{c=1}^{C} K^{-}_{mch} - \sum_{c=1}^{C} K^{+}_{mch}\right\} \quad (۶)$$

جهت وارد کردن رابطه فوق در مدل از دو محدودیت بصورت روابط (۷) و (۸) استفاده می شود:

$$V_{mh} \geq 0 \quad (۷)$$

$$V_{mh} \geq V_{m(h-1)} + \sum_{c=1}^{C} K^{-}_{mch} - \sum_{c=1}^{C} K^{+}_{mch} \quad \forall \mathrm{m,h} \quad (۸)$$

در مسایلی که حداکثر تعداد دوره های برنامه ریزی ۲ باشد نیازی به وارد کردن متغیر و محدودیت های فوق در مدل نمی باشد.

Rmh : تعداد جا به جائی های ماشین نوع m در دوره h می باشد در نتیجه مقدار Rmh را بصورت رابطه زیر میتوان محاسبه نمود :

$$R_{mh} = \min\left\{\sum_{c=1}^{C} K^{+}_{mch} + \left(V_{mh} - V_{m(h-1)}\right), \sum_{c=1}^{C} K^{-}_{mch} + \left(V_{m(h-1)} - V_{mh}\right)\right\} \quad (۹)$$

۳-۵- مدل ریاضی

مدل سازی ریاضی برای طراحی CMS به قسمی انجام می گیرد که خانواده قطعات و سلول ماشین ها بطور همزمان ایجاد شود. گروه بندی همزمان ماشین – قطعه به نتایج بهتری نسبت به استراتژی متناوب انتخاب گروه ها و سپس تخصیص ماشین ها منجر می شود. اما این نتایج در مسایل بزرگ علاوه بر پیچیدگی به مقدار زیادی از زمان برای حل نیازمند است. با استفاده از نمادهای مطرح شده درقسمتهای قبل، مدل ریاضی برای طراحی CMS در شرایط پویای احتمالی بصورت مدل (۹) بدست می آید.

$$\min Z = \sum_{h=1}^{H}\sum_{m=1}^{M}\alpha_m\left[\left(\sum_{c=1}^{C} N_{mch} + V_{mh}\right) - \left(\sum_{c=1}^{C} N_{mc(h-1)} + V_{m(h-1)}\right)\right] + \sum_{h=1}^{H}\sum_{c=1}^{C}\sum_{m=1}^{M}\sum_{p=1}^{P}\sum_{j=1}^{Op} XD_{ph}\, t_{jpm}\, x_{jpmch}\, \beta_m +$$
$$+ \sum_{h=1}^{H}\sum_{m=1}^{M} R_{mh}\delta_m + \sum_{h=1}^{H}\sum_{p=1}^{P}\left|XD_{ph} - ED_{ph}\right| + \frac{1}{2}\sum_{h=1}^{H}\sum_{p=1}^{P}\left\lceil\frac{XD_{ph}}{B}\right\rceil \times \sum_{j=1}^{O_p-1}\sum_{m=1}^{M}\sum_{c=1}^{C}\gamma\left|X_{(j+1)pmch} - X_{jpmch}\right| \quad (۱۰)$$

محدودیت ها:

$$\sum_{c=1}^{C}\sum_{\mathrm{m}=1}^{\mathrm{M}} \mathrm{a}_{\mathrm{jpm}}\,\mathrm{x}_{\mathrm{jpmch}} = 1 \quad \forall \mathrm{j,p,h} \quad (\mathrm{I})$$

$$\sum_{p=1}^{P}\sum_{j=1}^{Op} XD_{ph}\, t_{jpm}\, x_{jpmch} \leq T_m N_{mch} \quad \forall \mathrm{mc,h} \quad (\mathrm{II})$$

$$\sum_{m=1}^{M} N_{mch} + \sum_{m=1}^{M} K^{+}_{mch} - \sum_{m=1}^{M} K^{-}_{mch} \geq LB \quad \forall \mathrm{c,h} \quad (\mathrm{III})$$

$$\sum_{m=1}^{M} N_{mch} + \sum_{m=1}^{M} K^{+}_{mch} - \sum_{m=1}^{M} K^{-}_{mch} \leq UB \quad \forall \mathrm{c,h} \quad (\mathrm{IV})$$

$$N_{mc(h-1)} + K^{+}_{mch} - K^{-}_{mch} = N_{mch} \quad \forall \mathrm{m,c,h} \quad (\mathrm{V})$$

$$V_{mh} \geq V_{m(h-1)} + \sum_{c=1}^{C} K^{-}_{mch} - \sum_{c=1}^{C} K^{+}_{mch} \quad \forall \mathrm{m,h} \quad (\mathrm{VI})$$

$$R_{mh} \leq \sum_{c=1}^{C} K^{+}_{mch} + \left(V_{mh} - V_{m(h-1)}\right) \quad \forall \mathrm{m,h} \quad (\mathrm{VII})$$

$$R_{mh} \leq \sum_{c=1}^{C} K^{-}_{mch} + \left(V_{m(h-1)} - V_{mh}\right) \quad \forall \mathrm{m,h} \quad (\mathrm{VIII})$$

(IX) $XD_{ph} \geq ED_{ph} - 1.96SD_{ph} \quad \forall p,h$

(X) $XD_{ph} \leq ED_{ph} + 1.96SD_{ph} \quad \forall p,h$

$x_{jpmch} = 0 \text{ or } 1$

$N_{mch}, K^{+}_{mch}, K^{-}_{mch}, V_{mh}, R_{mh}, XD_{ph} \geq 0 \text{ and Integer}$

مسأله مدل شده فوق یک مسأله غیر خطی عدد صحیح می باشد. جمله اول هزینه خرید ماشین مورد نیاز دوره ها است. جمله دوم هزینه عملیاتی ماشین ها است که این هزینه از جمع تقاضای محصولات در زمان عملیات با احتساب هزینه عملیاتی هر نوع ماشین بدست می آید. جمله سوم هزینه جابجایی درون و بین سلولی مواد است که این هزینه برابر مجموع حاصلضرب تعداد دسته قطعات جا به جا شده درون و بین سلول ها در هزینه انتقال یک دسته از هر نوع قطعه بدست می آید. جمله چهارم هزینه جابجایی ماشین است. این هزینه برای هر ماشین در هر دوره بصورت حاصلضرب هزینه جا به جائی آن ماشین در تعداد جابه جائی های بین سلولی آن محاسبه می شود. جمله آخر هزینه اختلاف تقاضای تخمین زده شده توسط مدل از ارزش انتظاری آن می باشد بطوریکه هر واحد اختلاف بین مقدار بهینه تقاضای هر محصول و ارزش انتظاری آن یک واحد هزینه را افزایش می دهد.
محدودیت اول ایجاب می کند که هر عملیات در یک سلول و به یک ماشین تخصیص یابد. محدودیت دوم ظرفیت ماشین مورد نیاز برای انجام تقاضای موجود در هر دوره را ایجاب می کند. محدودیت های سوم و چهارم برای عدم تجاوز تعداد ماشین های مورد استفاده از حداکثر و حداقل ظرفیت سلول ها می باشد. محدودیت پنجم توازن ماشینهای موجود در هر سلول با ماشین های اضافه شده و کم شده را بر قرار می کند. محدودیت ششم موجودی انبار را با توجه به رابطه (۱) ارضاء می کند. محدودیت های هفتم و هشتم هزینه جابجایی بین سلولی ماشین را از دوره ای به دوره دیگر نشان می دهند بگونه ای که رابطه (۱۰) برقرار باشد. محدودیت های نهم و دهم نشان می دهند که تقاضای بهینه تخمین زده شده توسط مدل نباید از حدود بالا و پایین فاصله اطمینان ۹۵ درصدی که با توجه به تابع توزیع مربوطه تشکیل شده تجاوز نماید.

۴- روش Simulated Annealing

مشاهده می شود که مدل فوق بسیار پیچیده است و برای مسائل بزرگ عملا قابل استفاده نمی باشد. بنابراین از روش های جستجوی تصادفی برای حل آن استفاده می کنیم. SA رویکردی است برمبنای مدل مونت کارلو[10] که برای مطالعه رابطه بین ساختار اتمی، آنتروپی و دما درطول ذوب یک ماده استفاده می شود. فرایند فیزیکی ذوب که هدف از آن کاهش دمای ماده به پایین ترین سطح انرژی می باشد، تعادل گرمائی[11] نامیده می شود. فرآیند ذوب با ماده ای در وضعیت گداخته آغاز شده وسپس بتدریج دمای آن کاهش می یابد. درهر دمائی جسم مجاز به رسیدن به تعادل گرمائی می باشد. دما نباید خیلی به سرعت کاهش یابد ، بویژه درمراحل اولیه، درغیراینصورت برخی کاستی ها در ماده پیدا شده و ماده به وضعیت انرژی کمینه نخواهد رسید. کاهش دما شبیه به کاهش مقدار هدف (در مسائل کمینه سازی) می باشد که توسط یک سری تغییرات بهبود دهنده انجام می گیرد. برای اینکه اجازه دهیم دما به آهستگی کاهش یابد، باید تغییرات غیر بهبود دهنده تابع هدف نیز با احتمال معینی انتخاب شوند بطوریکه وقتی مقدار هدف کاهش می یابد این احتمال نیز تقلیل یابد. بنابراین در مسائل بهینه سازی، دما به عنوان یک پارامتر کنترلی عمل خواهد کرد . برای حل مسأله CMS توسط یک الگوریتم SA ، درابتدا یک دمای اولیه درنظرگرفته، سپس در هر دما تا رسیدن به تعادل بطور متوالی وضعیت های (حل های) جدید تولید می شود. وضعیت هائی که موجب بهبود تابع هدف می شوند را می پذیریم. هرگاه تعداد وضعیت های پذیرفته شده از حد معینی گذشت دما را کاهش می دهیم. این کار را تا زمانیکه تعداد تغییرات یا انتقالات دما از حد معینی تجاوز نکند تکرار می کنیم. بعد از توقف الگوریتم ، بهترین جواب بدست آمده در بین جواب های پذیرفته شده مربوط به آخرین دما ، جواب بهینه خواهد بود [۱۷-۱۴].

۴-۱- الگوریتم SA برای مساله CMS

در این قسمت دورنمایی از پارامترها و الگوریتم SA برای حل مسأله گروه بندی در تولید سلولی ارائه شده است.

۴-۱-۱- معرفی پارامترها

n : تعداد حرکتهای پذیرفته شده در هر دما.

r = تعداد انتقالات دما.

---

[10]- Monte Carlo

[11]- [11]- Rate of Cooling

[11]- Thermal Equilibrium

T0:دمای اولیه.

Tf:دمای نهائی.

e=ATmin : مبدا۱۲: حداقل وضعیت های پذیرفته شده که برای تعیین شرایط تعادل استفاده می شو د که در واقع یک پارامتر کنترلی می باشد برای بررسی اینکه سیستم به تعادل رسیده است یا خیر.

δ : عدد مثبت کوچک که نرخ سرمایش ۱۳ را کنترل می کند.

ε_i : عدد مثبت کوچکی که تعیین می کند آیا سیستم در یک دمای خاص Tr در تعادل است یا خیر.

ε_r : عدد مثبت کوچکی که نقطه انجماد را کنترل می کند.

$C_i(T_r)$: هزینه وضعیت (حالت i ام) وقتی دما Tr می باشد.

$\overline{C}_e(T_r)$: متوسط مقادیر هدف وضعیتهای پذیرفته شده در هنگام مبدا در دمای Tr.

$\overline{C}_G(T_r)$: متوسط مقادیر هدف وضعیت هائی که تا کنون پذیرفته شده اند در دمای Tr.

$\overline{C}(T_r)$: متوسط مقادیر هدف وضعیت های پذیرفته شده برای رسیدن به تعادل در دمای Tr.

V(Tr) : واریانس مقادیر هدف وضعیتهای پذیرفته شده برای رسیدن به تعادل در دمای Tr که بصورت رابطه (۱۱) تعریف می شود.

$$V(T_r)=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(C_i(T_r)-\overline{C}(T_r)\right)^2 \qquad (11)$$

۴-۱-۱- شرح الگوریتم

گام ۱. (مقدار دهی اولیه شمارنده ها)

قرار دهید r = 0 و n = 0 .

گام ۲. (مقدار دهی اولیه دما)

دمای اولیه Tr را وارد کنید .

گام۳. (تولید یک وضعیت اولیه یا حل شدنی)

یک حل شدنی اولیه تولید کنید . برای تولید چنین حلی از یک الگوریتم تخصیص تصادفی که بر اساس قوائد ساده هوش مصنوعی نوشته شده استفاده می شود. این الگوریتم ابتدا به هر سلول تعداد LB ماشین نا متشابه بصورت تصادفی تخصیص داده سپس عملیات مربوط به هر قطعه را با توجه به نیازپردازشی آنها به سلول ها تخصیص می دهد.

گام٤. (محاسبه انرژی)

Ci(Tr) مقدار تابع هدف به ازای حل جاری i در دمای (Tr) را طبق تابع هدف (۱۰) محاسبه کنید.

گام۵. (الگوی پراکندگی - حرکت در فضای شدنی)

a) با تغییر تصادفی متغیرهای تصمیم گیری Xjpmch ها و Nmch ها حل شدنی جدید j را تولید کنید. (این عمل توسط برخی عملگرهای ژنتیکی انجام می شود) سپس تغییرات مقدار هدف را طبق رابطه (۱۲) محاسبه کنید.

$$\Delta C(T_r)=C_j(T_r)-C_i(T_r) \qquad (12)$$

اگر $\Delta C(T_r)\le 0$ ، به گام (c)۵ بروید.

b) یک متغیر تصادفی (۱ و ۰)u → y را انتخاب کنید.

اگر $y > e^{\frac{-\Delta C(T_r)}{T_r}}$ سپس به گام (a)۵ بروید.

c) حل جدید را قبول کنید، زیرا تابع هدف را بهبود بخشیده است.

قرار بده n = n + ۱ و اگر n < e به گام (a) ۵ بروید.

گام٦. (آزمون برای حالت تعادل)

قرار دهید n =0 ، اگر $\left|\overline{C}_e(T_r) - C_{Ce}(T)_r\right| > \varepsilon 1$ یا اگر سیستم برای مقدار n در دمای جاری ساکن نباشد به گام (a) ۵ بروید .

گام۷. (آزمون برای حالت انجماد)

a) $\overline{C}(T_r)$ و $V(T_r)$ را محاسبه کنید. اگر r = 0 به گام (c) ۷ بروید،

b) اگر $\frac{V(T)}{T(\overline{C}(T_0) - \overline{C}(T))} \le \varepsilon_2$ توقف کنید زیرا شرایط توقف برآورده شده است.

(c) ۷ دما را طبق رابطه (۱۳) به هنگام کنید.

$$T_{r+1} = \frac{T_r}{1 + \frac{\ln(1+\partial)T_r}{3V(T_r)}} \qquad (13)$$

قرار دهید r = r + ۱ و به گام (a) ۵ بروید.

۵- مقایسه نتایج بدست آمده از حل رویکرد SA با حل بهینه

در این قسمت نتایج حاصل از حل مدل ارائه شده توسط الگوریتم SA با حل بهینه از نظر اختلاف مقدار هدف و زمان دستیابی بـه حـل نهـائی در ابعـاد مختلف ماتریس قطعه – ماشین مورد بررسی قرار می گیرد. با توجه به اینکه حل مدل فوق بروی PC مستلزم صرف زمان بسیار بالا می باشد در نتیجه در اکثر مسائل نمونه از حلLower Bound (بر اساس توزیع β) استفاده شده است. نتایج مقایسه در جدول (۱) نشان داده شده است.

سیستم مورد استفاده یک PC حاوی پردازنده PentiumIII 1.1Gz می باشد. جهت بدست آوردن حل بهینه و Lower Bound مدل با نـرم افـزار Lingo 6نوشته و حل شده است. الگوریتم SA توسط زبانVisual Basic نوشته شده است.

جدول ۱- مقایسه حل بهینه با حل SA در شرایط پویای احتمالی

اندازه مسأله	مقـــدار اختلاف (درصد)	انحراف از معیار	زمان	مجمـــوع انحراف از میـــانگین تقاضا	هزینه جابـه جـــائی درون وبین سـلولی مواد	هزینـــــه عملیـــاتی ماشین	هزینـــه خریـــد ماشین	مقدار تابع هدف	هزینه و زمان / رویکرد
۵×۴	٪۰	-	۰۰:۳۰:۱۷	۱۰۲	۷۱۵۶	۱۱۰۳۱	۵۲۴۰	۲۳۵۳۰	Lingo 6
H=2,C=2	٪۵/۵	-	۰۰:۰۱:۵۹	۱۱	۷۲۹۲	۱۱۲۴۶	۶۲۸۰	۲۴۸۲۹	SA
۶×۵	٪۰	۵۷۱۶	-	-	۱۸۱۲۳	۱۹۴۵۴	۵۵۶۴	۴۳۱۴۱	Lingo-LB
C=2,H=2	٪۴/۶	-	۰۰:۰۰:۱۹	۹۵۷	۱۸۸۲۸	۲۰۰۸۵	۵۳۷۰	۴۵۲۳۹	SA
۸×۶	٪۰	۱۶۹۸	-	-	۹۰۸۶	۲۹۲۲۶	۱۲۲۰۰	۴۸۸۱۴	Lingo-LB
C=3,H=2	٪۴	-	۰۰:۰۰:۴۱	۳۵۳	۹۸۶۷	۲۸۶۱۹	۱۲۲۰۰	۵۱۰۳۸	SA
۹×۷	٪۰	۳۴۴۳	-	-	۱۵۳۹۳	۱۹۰۷۳	۹۹۸۶	۴۴۴۵۲	Lingo-LB
C=3,H=3	٪۱۷	-	۰۰:۰۹:۱۵	۱۲۵۰	۱۹۶۱۰	۱۸۸۴۶	۹۴۲۰	۴۹۱۲۵	SA
۱۱×۸	٪۰	۵۸۱	-	-	۱۲۶۱۹	۱۲۷۰۲	۸۶۵۰	۳۳۹۷۱	Lingo-LB
C=3,H=3	٪۲/۳	-	۰۰:۰۹:۰۵	۲۲۳	۱۲۶۲۱	۱۳۲۳۹	۸۶۵۰	۳۴۷۸۶	SA

۶- نتیجه گیری

نتایج حاصل از این مقاله را می توان بصورت زیر خلاصه کرد:

۱- در ابعاد پایین ماتریس قطعه – ماشین ، میانگین اختلاف حل SA با حل Lower Bound برابر ۴/۶٪ و زمان دستیابی SA بسیار کمتر از زمان دستابی به حل بهینه می باش . با توجه به اینکه حل Lower Bound همواره کوچکتر از حل بهینه می باشد. با توجه به نتیجه فوق، جواب بسیار مطلوبی است.

۲- در ابعاد بالای ماتریس قطعه – ماشین، حتی بدست آوردن حل Lower Bound نیز توسط PC بسیار زمانبر می باشد، در حالیکه روش SA از ابتدا حل شدنی در اختیار طراح قرار داده و با افزایش فضای شدنی مسأله، احتمال همگرائی زودرس آن به بهینه های موضعی کاهش می یابد. بدین ترتیب با گذشت زمان روند بهبود جواب در چنین رویکردهائی محسوس خواهد بود. البته با افزایش کفیت الگوریتم های تولید حل های شدنی و عملگرهای تغییر آنها می توان به جواب های بهتری دست یافت.

مراجع

1. Chen, M., “A Mathematical Programming Model for Systems Reconfiguration in a Dynamic Cellular Manufacturing Environment”, Annals of Operations Research, 77(1), pp. 109-128, 1998.
2. Benjaafar, S. and Sheikhzadeh, M. “Design of Flexible Plant Layouts. IIE Transactions, To be appeared.
3. Monterruiln, B. and Laforge, A, “Dynamic Layout Design Given a Scenario Tree of Probable Futures”, European Journal of Operational Research, 63, pp. 271-286, 1992.
4. Yang, T. and Peters, B. “Flexible Machine Layout Design for Dynamic and Uncertain Production Environments”, European J.I of Operational Research, 108, pp. 49-64, 1998.
5. Song, S. and Hitomi, K., “Integrating the Production Planning and Cellular, Layout for Flexible Cellular Manufacturing”, Production Planning and Control, 7(6), pp. 585-593, 1996.
6. Metropolis, N.; Rosenbluth, A.W.; Rosenbluth, M.N.; Teller, A.H. and Teller, E., “Equation of State Calculation by Fast Computing Machines” . Journal of Chem. Phys, 21, pp. 1087-1091, 1953.
7. Kirkpatrick, S.; Gellat, C.D. and Vecchi, M.P., “Optimization by Simulated Annealing”, Science , 220,671-680, 1983.
8. Boctor, F., “A Linear Formation of the Machine-Part Cell Formation Problem”, International of Production Research, 29(2), pp. 343-356, 1991
9. Chen, C.; Cortuvo, N. and Beak, W., “A Simulated Annealing Solution to the Cell Formation Problem”, International of Production Research, 77(1), pp. 109-128, 1995.
10. Sofanopoulou, S., “Manufacturing Cells Design with Alternative Process Plans and/or Replicate Machines”, International of Production Research, 37(3), pp. 707-720, 1990.
11. Vakharia, A. and Chang, Y., “Cell Formation in Group Technology: A Combinatorial Search Approach”, International of Production Research, 35(7), pp. 2025-2043, 1997.
12. Venugopal, V. and Narendran, T., “Cell Formation in Manufacturing Systems through Simulated Annealing an Experimental Evaluation”, European Journal of Operation Research, 63, pp.409-422, 1992.
13. Adil, G.K.; Rajamani, D. and Strong, D., “Simulated Annealing Algorithm for Part Machine Grouping”, University of Manitoba, Canada. Working Paper.
14. Gidas, B., “Non-Stationary Markov Chains and Convergence the Annealing Algorithm”, In Journal of Statistical Physics, 39, pp. 73-131, 1985.
15. Hajek, B., “Cooling Schedules for Optimal Annealing”, Department of
16. Electrical Engineering, University of Illinois/Champaign-Urbana, Thesis, 1985.
17. Debasis, M., Fabio, R., “Convergence and Finite-Time Behavior of Simulated Annealing”, Advances in Applied Probability, pp. 747-771, 1986.