

## طراحی سیستم تولید سلولی در شرایط پویا و احتمالی و حل آن با استفاده از الگوریتم ژنتیک

محمد جواد اصغرپور

عضو هیأت علمی دانشگاه علم و صنعت ایران

نیک بخش جوادیان

عضو هیأت علمی دانشگاه علوم و فنون مازندران

(تاریخ دریافت ۸۱/۸/۲۹، تاریخ تصویب ۸۲/۳/۳۱)

### چکیده

در این مقاله حل مسأله تولید سلولی (CM) در شرایط پویای احتمالی با استفاده از یک الگوریتم ژنتیک مورد بررسی قرار می گیرد. سیستم های تولید سلولی در واقع کاربردی از فناوری گروهی در زمینه ساخت و تولید می باشند که هدف از آنها دسته بندی قطعات و ماشین بگونه ای است که از تشابه ظاهری و یا عملیاتی آنها در جنبه های مختلف ساخت و طراحی استفاده شود. در اکثر تحقیقات گذشته مسأله تولید سلولی همواره در شرایط تولید ثابت و یا تقاضای معین مورد بحث قرار می گرفت حال آنکه در عمل تولید پویا و تقاضا برای محصولات نامعین است. از آنجائیکه تطبیق هرچه بیشتر یک مدل CM با شرایط واقعی مستلزم فزونی متغیرها و محدودیت های مدل می باشد بنابراین حل چنین مدلی توسط روشهای بهینه سازی سنتی احتیاج به زمان، حافظه و قدرت پردازش بالا خواهد داشت در نتیجه امروزه روشهای نوینی همانند الگوریتم های ژنتیک مورد توجه قرار گرفته اند. الگوریتم های ژنتیک جزء تکنیک های جستجوی تصادفی می باشند که برای حل مسایل NP-Complete همانند CM استفاده می شوند. در این مقاله ابتدا یک مدل عدد صحیح غیر خطی از CM ارائه و سپس توسط الگوریتم ژنتیک حل می گردد و درخاتمه نتایج به دست آمده با حل بهینه مقایسه و صحت الگوریتم ارائه شده مورد بررسی قرار می گیرد.

**واژه های کلیدی:** سیستم تولید سلولی، دسته بندی قطعات و ماشین ها، شرایط پویای احتمالی، الگوریتم ژنتیک

### مقدمه

برخی از هزینه های تولید موجب تغییر چیدمان سلولی و یا تغییر برنامه پردازشی برخی قطعات و در نتیجه تغییر هزینه های تولید از پربودی به پربود دیگر می گردد. متغیر بودن تقاضای محصولات اغلب با نامعین بودن آنها در عمل همراه می باشد، یعنی امکان تعیین دقیق تقاضا در هر پربود وجود ندارد ولی می توان با توجه به تجارب گذشته دور نمائی از تقاضای احتمالی قطعات در دوره های آتی بدست آورد. تلاشهای فراوانی در بررسی ها و تحقیقات مختلف در زمینه طرح های پویا [۳]، [۴]، انعطاف پذیر [۲]، [۵] و تولید سلولی پویا [۱] و [۴] پیشنهاد شده تا بتوان با نیازمندیهای تولید نامعین و پویا روبرو شد. چن<sup>۱۷</sup> یک مدل برنامه ریزی ریاضی برای چیدمان دوباره سیستم در فضای 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 و بصورت پویا فعالیت کنند. یکی از مسایلی که در عمل اکثر سیستم های تولید سلولی<sup>۱</sup> با آن مواجه هستند پویا بودن تولید به دلیل متغیر بودن تقاضای قطعات میباشد بدین معنی که کل دوره برنامه ریزی تولید را می توان به پربود هائی تقسیم نمود که در هر پربود برخی از قطعات دارای تقاضا بوده و برخی دیگر فاقد تقاضا باشند و یا تقاضای قطعه از پربودی به پربود دیگر متغیر باشد. این موضوع با فرض وجود توالی عملیات، انعطاف پذیری جریان<sup>ii</sup> و انعطاف پذیری ماشین<sup>iii</sup> و با هدف کمینه سازی

بجای کار بروی یک جواب بروی مجموعه ای از جواب های شنی کار می کنند و با ترکیب و تغییر آنها توسط اعمال عملگرهای خاص، حل های نزدیک به بهینه را جستجو می کنند. گلدبرگ<sup>xi</sup> برخی از کاربردهای عملی الگوریتم ژنتیک را ارائه کرده است [۹]. در بین کاربردهای اخیر بگل<sup>xiii</sup> بروی تئوری بازی [۱۰]، رزبرگ<sup>xiv</sup> بروی فرآیند شبیه سازی بیولوژیکی [۱۱]، کویچیو<sup>xv</sup> بروی مسأله تشخیص الگو [۱۲] گلدبرگ و لینگ<sup>xvi</sup> - گرنستت<sup>xvii</sup> - وایتلی<sup>xviii</sup> - ون گات<sup>xi x</sup> بروی مسأله فروشنده دوره گرد [۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶] رینی کن<sup>xx</sup> - ریوز<sup>xxi</sup> - آکلی<sup>xxii</sup> بروی توالی عملیات و زمانبندی [۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۰]، دیویس<sup>xxiii</sup> بروی رنگ آمیزی گراف [۲۱]، گلدبرگ و اسمیت<sup>xxiv</sup> بروی مسأله کوله پشتی [۲۲] و [۲۳]، جوینز<sup>xxv</sup> - کالبرد<sup>xxvi</sup> و کینگ<sup>xxvii</sup> بروی تولید سلولی [۲۴] و [۲۵] کار کرده اند.

در این مقاله ابتدا مدلی از CMS در شرایط پویای احتمالی ارائه و سپس توسط الگوریتم ژنتیک حل و نتایج آن با حل بهینه مقایسه می گردد.

### مدل 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.

پویا، ارائه کرده است [۱]. سونگ<sup>v</sup> و هیتومی<sup>vi</sup> یک متدولوژی برای طراحی سلولی تولید منعطف ارائه نمودند [۶]. ویکس<sup>vii</sup> یک شکل چند دوره ای خانواده قطعات و مساله تشکیل سلول ماشین ها (PF/MC) را پیشنهاد کرد [۴]. سیف الدینی<sup>viii</sup> یک مدل تشکیل سلول ماشین احتمالی برای مواقعی که تقاضا برای یک دوره نامعین می باشد، ارائه کرد [۷].

هارهالاکیس<sup>ix</sup> و همراهان یک رویکرد برای بدست آوردن طراحی CM با توجه به سطح اطمینان مشخص تحت دامنه معین تغییرات تقاضا ارائه کردند [۷]. آنان مونگواتانا<sup>x</sup> یک شکل چند دوره ای از سیستم تولید سلولی در شرایط پویا و احتمالی ارائه کرد [۲۷].

در این مقاله سیستم تولید سلولی در شرایطی مورد بحث قرار می گیرد که تقاضای قطعات در تمام دوره ها بصورت احتمالی بوده که از آن به عنوان شرایط پویای احتمالی نامبرده می شود. این حالت تعمیم یافته شرایط پویای معین می باشد که در آن تقاضای محصولات در هر پریود از قبل معین است. از آنجائیکه CMS جزء مسایل NP-Complete محسوب می شود [۲۷] با افزایش ابعاد مسأله حل آن توسط روشهای بهینه سازی سنتی مستلزم زمان، حافظه و قدرت پردازش بالا خواهد بود. این امر مخصوصاً زمانی که تطبیق هرچه بیشتر مدل با واقعیت مد نظر باشد بیشتر مشهود خواهد بود. در نتیجه امروزه بسیاری از محققین به روشهای نوین حل مسایل CMS مانند روشهای جستجوی تصادفی روی آورده اند. یکی از کاراترین روشهای جستجوی تصادفی الگوریتم ژنتیک میباشد. اصول و مبنای الگوریتم ژنتیک تکامل طبیعی است. در بحث تکامل تغییرات هر ارگانیسم برای تطبیق مؤثر با محیط اطراف خود مورد مطالعه قرار می گیرد. مبنای الگوریتم های ژنتیک اولین بار توسط هالند<sup>xi</sup> و همراهان در دهه ۶۰ در دانشگاه میشیگان مطرح گردید ولی شکل سیستماتیک آن اولین بار در کتاب تطبیق سیستمهای طبیعی و مصنوعی مورد بحث قرار گرفت [۸]. الگوریتم ژنتیک بر خلاف سایر روشهای جستجوی تصادفی جهت حرکت در فضای شنی مسأله در هر مرحله

- ۱۰- هزینه جابجایی هر نوع ماشین مستقل از مکان اولیه موجود آن بوده و مقدار آن معین است
- ۱۱- 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)
- ۱۲- هزینه انتقال درون و بین سلولی مواد ثابت و مستقل از فاصله می باشد.
- ۱۳- موجودی اضافه بین دوره ها صفر است و سفارش به تاخیر افتاده مجاز نبوده و تقاضا هر دوره بایستی در همان دوره تامین گردد.
- ۱۴- زمان راه اندازی<sup>xxviii</sup> صفر می باشد.
- ۱۵- زمان شکست برای ماشینها در نظر گرفته نمی شود.
- ۱۶- راندمان ماشین ها و تولید ۱۰۰٪ می باشد.
- ۱۷- بزرگی دسته ها برای همه محصولات و در همه دوره ها ثابت است.
- ۱۸- ارزش زمانی پول در نظر گرفته نمی شود.
- ۱۹- ماشین ها در شروع هر پریود برای استفاده در دسترس می باشند (زمان نصب صفر است).

#### 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:
- ۱- **هزینه سرمایه گذاری ماشین**: هزینه خرید ماشین در هر دوره می باشد.
  - ۲- **هزینه عملیاتی**: هزینه عملیات برای تولید قطعات می باشد که وابسته به نوع ماشین و مقدار زمان مورد نیاز برای هر عملیات می باشد.
  - ۳- **هزینه انتقال درون و بین سلولی مواد**: این هزینه زمانی ایجاد می شود که همه عملیات یک قطعه بروی یک

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:

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

#### فرصتهای مدل

- ۱- 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).
- ۲- نوع قطعات و تابع توزیع احتمالی هر قطعه در هر دوره معلوم است.
- ۳- قابلیت و ظرفیت هر نوع ماشین معین و ثابت است.
- ۴- هزینه سرمایه گذاری یا خرید هر نوع ماشین در ابتدای دوره اول معلوم است.
- ۵- هزینه عملیاتی هر نوع ماشین در هر ساعت مشخص است.
- ۶- قطعات بصورت دسته ای درون و بین سلولها حرکت می کنند و هزینه حرکت درون و بین سلولی دسته ها معلوم و ثابت است.
- ۷- تعداد سلولها طی تمام دوره ها معین و ثابت است.
- ۸- حداکثر و حداقل تعداد ماشینهای موجود در سلولها در دوره برنامه ریزی معین و ثابت است (حد بالا و پایین).
- ۹- تغییر مکان ماشینها از یک سلول به سلول دیگر بین دوره ها انجام شده و زمان آن صفر است.

### معرفی نمادهای مدل

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

#### ۱- زیر نویسها<sup>xxi</sup>

- c : نماد سلولهای تولید (C, ..., 2, 1 = c)  
 m : نماد انواع ماشین (M, ..., 2, 1 = m)  
 p : نماد انواع قطعات (P, ..., 2, 1 = p)  
 h : نماد انواع دوره (H, ..., 2, 1 = h)  
 j : نماد عملیاتی قطعه (Op, ..., 2, 1 = j)

#### ۲- نمادهای ورودی<sup>xxx</sup>

t<sub>ijpm</sub>: زمان مورد نیاز برای انجام عملیات j ام از قطعه p روی ماشین m ام.

ED<sub>ph</sub>: ارزش انتظاری تابع توزیع تقاضای قطعه P در دوره h ام.

SD<sub>ph</sub>: انحراف معیار تابع توزیع تقاضای قطعه P در دوره h ام.

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

۱- وقتی تقاضای محصولات بصورت پیوسته فرض شده و از طبیعت توزیع نرمال پیروی می کنند.

در این حالت پارامترهای ورودی مدل همان میانگین و واریانس توزیع نرمال می باشند.

۲- 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:

$$ED_{ph} = np \quad (1)$$

$$SD_{ph} = \sqrt{np(1-P)} \quad (2)$$

ماشین به اتمام نرسد و قطعه به ماشین دیگری در سلول جاری و یا سلول دیگر انتقال یابد.

۴- 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 ماشینهای موجود در سلولهای مختلف خواهیم بود. این جابجایی باعث توقف تولید و ایجاد هزینه خواهد شد.

#### ۵- 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.

#### محدودیت های مدل

برای مدل ارائه شده محدودیتهای زیر را بایستی لحاظ نمود:

۱- ظرفیت ماشین ها برای تولید هر مخلوط محصول در سطح تقاضای معین در هر دوره بایستی کافی باشد.

۲- بزرگی سلولها بایستی معین باشد، یعنی حداقل و حداکثر تعداد ماشین های موجود در هر سلول بایستی محدود باشد.

۳- تعداد سلولهای سیستم باید معین باشد.

۴- هزینه جابه جایی انتقال درون سلولی و بین سلولی مواد بایستی یکسان باشد.

۵- سطح اطمینان برای تقاضای احتمالی قطعات باید معین و مشخص باشد.

$XD_{ph}$ : مقدار تولید قطعه  $P$  در دوره  $h$  ام.

جهت تخمین بهینه تولید قطعات یک فاصله اطمینان ۹۵ درصدی برای  $XD_{ph}$  ها بصورت رابطه (۵) تعریف و سپس حد بالا و پایین آن به عنوان محدودیت به مدل اضافه شده است.

$$ED_{ph} - 1.96 SD_{ph} \leq XD_{ph} \leq ED_{ph} + 1.96 SD_{ph} \quad (5)$$

$$X_{jpmch} = \begin{cases} 1 & \text{اگر زامین عملیات قطعه } p \text{ در سلول } c \text{ توسط} \\ & \text{ماشین نوع } m \text{ طی دوره } h \text{ انجام شود.} \\ 0 & \text{در غیر این صورت} \end{cases}$$

در مسایلی که دارای بیش از دو دوره برنامه ریزی می باشد از آنجائیکه در هر دوره ممکن است برخی از ماشین ها برای دوره بعد مورد نیاز نباشد، لازم است وجود آنها را در جایی ثبت کرد تا در صورت نیاز در دوره های آتی احتیاج به خرید مجدد آنها نباشد چرا که مدل فاقد حافظه می باشد. 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 انبار در نظر گرفته نمی شود. متغیر مورد نیاز برای این امر بصورت زیر تعریف می شود:

$V_{mh}$ : تعداد موجودی ماشین نوع  $m$  در انبار در دوره  $h$ . بدیهی است مقدار متغیر فوق در دوره اول برابر صفر میباشد. مقدار متغیر فوق در هر دوره بصورت رابطه (۶) محاسبه میشود:

$$V_{mh} = \max \left\{ 0, V_{m(h-1)} + \sum_{c=1}^C K_{mch}^- - \sum_{c=1}^C K_{mch}^+ \right\} \quad (6)$$

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

$$V_{mh} \geq 0$$

۳- وقتی که تقاضای محصولات پیوسته بوده و از طبیعت توزیع  $\beta$  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 زیر محاسبه می شود:

$$ED_{ph} = \frac{L + 4M + H}{6} \quad (3)$$

$$SD_{ph} = \frac{H - L}{6} \quad (4)$$

$B$ : بزرگی دسته برای نقل و انتقالات درون و بین سلولی مواد.

$\alpha_m$ : هزینه خرید ماشین نوع  $m$  ام.

$\beta_m$ : هزینه عملیاتی هر ساعت ماشین نوع  $m$  ام.

$\gamma$ : هزینه جابجایی بین سلولی و درون سلولی یک دسته.

$\delta_m$ : هزینه جابجایی ماشین نوع  $m$  ام.

$T_m$ : ظرفیت ساعتی موجود برای ماشین نوع  $m$  ام.

$L_B$ : حداقل ظرفیت هر سلول.

$U_B$ : حداکثر ظرفیت هر سلول.

$$a_{jpm} = \begin{cases} 1 & \text{اگر زامین عملیات قطعه } p \text{ ام روی ماشین نوع} \\ & m \text{ قابل انجام باشد} \\ 0 & \text{در غیر این صورت} \end{cases}$$

### ۳- متغیرهای تصمیم

$N_{mch}$ : 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.

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

$$\sum_{m=1}^M N_{mch} + \sum_{m=1}^M K_{mch}^+ - \sum_{m=1}^M K_{mch}^- \geq LB \quad \forall c, h \quad (II)$$

$$\sum_{m=1}^M N_{mch} + \sum_{m=1}^M K_{mch}^+ - \sum_{m=1}^M K_{mch}^- \leq UB \quad \forall c, h \quad (III)$$

$$N_{mc(h-1)} + K_{mch}^+ - K_{mch}^- = N_{mch} \quad \forall m, c, h \quad (IV)$$

$$V_{mh} \geq V_{m(h-1)} + \sum_{c=1}^C K_{mch}^- - \sum_{c=1}^C K_{mch}^+ \quad \forall m, h \quad (V)$$

$$R_{mh} \leq \sum_{c=1}^C K_{mch}^+ + (V_{mh} - V_{m(h-1)}) \quad \forall m, h \quad (VI)$$

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

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

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

$$x_{jpmch} = 0 \text{ or } 1 \quad (X)$$

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

مسئله مدل شده فوق یک مسئله غیر خطی عدد صحیح می باشد. جمله اول هزینه خرید ماشین مورد نیاز دوره ها است. جمله دوم هزینه عملیاتی ماشینها 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 جایی آن ماشین در تعداد جابه جایی های بین سلولی آن محاسبه می شود. جمله آخر هزینه

$$V_{mh} \geq V_{m(h-1)} + \sum_{c=1}^C K_{mch}^- - \sum_{c=1}^C K_{mch}^+ \quad \forall m, h \quad (7)$$

$$V_{mh} \geq V_{m(h-1)} + \sum_{c=1}^C K_{mch}^- - \sum_{c=1}^C K_{mch}^+ \quad \forall m, h \quad (8)$$

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

$R_{mh}$ : تعداد جا به جایی های ماشین نوع  $m$  در دوره  $h$  میباشد در نتیجه مقدار  $R_{mh}$  را بصورت رابطه زیر میتوان محاسبه نمود:

$$R_{mh} = \min \left\{ \sum_{c=1}^C K_{mch}^+ + (V_{mh} - V_{m(h-1)}), \sum_{c=1}^C K_{mch}^- + (V_{m(h-1)} - V_{mh}) \right\} \quad (9)$$

### مدل ریاضی

مدل سازی ریاضی برای طراحی CMS به قسمی انجام می گیرد که خانواده قطعات و سلول ماشینها بطور همزمان ایجاد شود. گروه بندی همزمان ماشین - قطعه به نتایج بهتری نسبت به استراتژی متناوب انتخاب گروهها و سپس تخصیص ماشینها 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 در قسمتهای قبل، مدل ریاضی برای طراحی CMS در شرایط پویای احتمالی بصورت مدل (۱۰) بدست می آید.

$$\begin{aligned} \min Z = & \sum_{h=1}^H \sum_{m=1}^M \alpha_m \left[ \left( \sum_{c=1}^C N_{mch} + V_{mh} \right) - \left( \sum_{c=1}^C N_{mc(h-1)} + V_{m(h-1)} \right) \right] \\ & + \sum_{h=1}^H \sum_{c=1}^C \sum_{m=1}^M \sum_{p=1}^P \sum_{j=1}^{Op} XD_{ph} t_{jpm} x_{jpmch} \beta_m \\ & + \frac{1}{2} \sum_{h=1}^H \sum_{p=1}^P \left[ \frac{XD_{ph}}{B} \right] \times \sum_{j=1}^{Op-1} \sum_{m=1}^M \sum_{c=1}^C \gamma |X_{(j+1)pmch} - X_{jpmch}| \\ & + \sum_{h=1}^H \sum_{m=1}^M R_{mh} \delta_m + \sum_{h=1}^H \sum_{p=1}^P |XD_{ph} - ED_{ph}| \end{aligned} \quad (10)$$

به قسمی که:

$$\sum_{c=1}^C \sum_{m=1}^M a_{jpm} x_{jpmch} = 1 \quad \forall j, p, h \quad (I)$$

۱- هر عملیات مربوط به هر قطعه باید فقط به یک ماشین و به یک سلول تخصیص پیدا کند. بنابراین یک حل شدنی باید هم تخصیص عملیات به ماشین و هم تخصیص آن به یک سلول را بطور همزمان نشان دهد. طبق خاصیت انعطاف پذیری جریان یک عملیات خاص ممکن است توسط چند ماشین قابل پردازش باشد ولی در یک حل، آن عملیات فقط باید به یکی از این ماشین ها تخصیص پیدا کند.

۲- در هر دوره باید تعداد ماشین های نوع  $m$  موجود در سلول  $C$  یعنی  $N_{mch}$  مشخص باشد. همچنین تعداد ماشین هائی که در هر دوره به سلول  $C$  اضافه ( $K^+_{mch}$ ) و یا از آن کم می شود ( $K^-_{mch}$ ) نیز باید تعیین شود.

۳- در هر دوره بایستی مقدار تولید بهینه قطعه  $p$  یعنی  $XD_{ph}$  تخمین زده شود. بنابراین با توجه به مطالب فوق در هر جواب و در هر دوره چهارماتریس و یک بردار باید مقداردهی شوند.

۱- ماتریس تخصیص عملیات به ماشین (ماتریس  $X$ )

۲- ماتریس تخصیص عملیات به سلول (ماتریس  $Y$ )

۳- ماتریس تعیین تعداد ماشین نوع  $m$  موجود در سلول  $C$  (ماتریس  $N$ )

۴- ماتریس تعیین تعداد ماشین نوع  $m$  اضافه شده به و یا کم شده از سلول  $C$  (ماتریس  $K$ )

۵- بردار تخمین مقدار تقاضای قطعه  $P$  (بردار  $D$ )

با توجه به محدودیت پنجم مدل، ماتریس  $K$  براساس ماتریس  $N$  دوره جاری و ماتریس  $N$  دوره قبل به هنگام می شود بنابراین در هر حل برای هر دوره یک ساختار بلوکی حاوی چهارماتریس و بردار فوق بصورت شکل (۱) نیاز می باشد که بیانگر ساختار کروموزوم در  $GA$  ابتکاری است.

$$[[X]_{P \times r} | [Y]_{P \times r} | [K]_{M \times C} | [N]_{M \times C} | [D]_{P \times 1}]$$

شکل ۱: نمایش ماتریسی ابعاد کروموزوم در حالت پویای احتمالی.

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. محدودیتهای سوم و چهارم برای عدم تجاوز تعداد ماشینهای 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 برقرار 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 (۹) 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.

## الگوریتم ژنتیک برای حل مدل CMS در شرایط پویای احتمالی

در این بخش الگوریتم ژنتیک ( $GA$ ) جهت حل مدل ذکر شده در بخش ۲ ارائه می گردد. برای طراحی یک  $GA$  نیاز به شش ابزار اساسی می باشد که با توجه به ماهیت مسأله مورد نظر باید طراحی شوند. در قسمت های بعدی این بخش شش ابزار فوق با توجه به مدل  $CMS$  ارائه شده در بخش ۲ معرفی شده اند.

### نحوه نمایش کروموزوم

منظور از نحوه نمایش کروموزوم در واقع نحوه نمایش یک جواب شدنی متناظر با مدل  $CMS$  ارائه شده در شرایط پویای احتمالی می باشد بطوریکه اجزاء آن بایستی موارد زیر را ارضاء کنند:

[K]: یک ماتریس  $M \times C$  است بطوریکه اعضای آن نشان دهنده تعداد ماشین نوع  $i$  می باشد که به سلول اضافه و یا از آن کم شده اند.

[D]: یک بردار  $P \times 1$  است بطوریکه  $D_p$  بیانگر مقدار تقاضای تخمینی قطعه  $P$  در دوره جاری می باشد.

$$\begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1r} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2r} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{p1} & X_{p2} & \dots & X_{pr} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \dots & Y_{1r} \\ Y_{21} & Y_{22} & \dots & Y_{2r} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Y_{p1} & Y_{p2} & \dots & Y_{pr} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & \dots & k_{1c} \\ k_{21} & k_{22} & \dots & k_{2c} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ k_{M1} & k_{M2} & \dots & k_{Mc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} N_{11} & N_{12} & \dots & N_{1c} \\ N_{21} & N_{22} & \dots & N_{2c} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ N_{M1} & N_{M2} & \dots & N_{Mc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} D_1 \\ D_2 \\ \vdots \\ D_p \end{bmatrix}$$

شکل ۲: ساختار اجزاء کروموزوم در شرایط پویای احتمالی.

اجزاء ماتریسی ساختار شکل (۲) عبارتند از:  
[X]: یک ماتریس  $P \times r$  می باشد بطوریکه:

$$r = \text{MAX}_{i=1}^p \{Op_i\} \quad (11)$$

$Op_i$  برابر است با تعداد عملیات قطعه  $i$  ام.

$X_{ij}$  شماره ماشینی که  $j$  امین عملیات قطعه  $i$  ام بدن تخصیص داده می شود. از آنجائیکه تعداد عملیات قطعات در حالت کلی با یکدیگر برابر نمی باشند برخی از عناصر ماتریس فوق همواره صفر خواهند بود.

[Y]: یک ماتریس  $P \times r$  می باشد بطوریکه  $Y_{ij}$  شماره سلولی که  $j$  امین عملیات قطعه  $i$  ام بدن تخصیص داده می شود. به عنوان مثال می توان گفت اگر  $Y_{22} = 1$  بدین معنی است که سومین عملیات قطعه دوم به سلول ۱ تخصیص داده شده است. نحوه نمایش جواب به صورت فوق به طور خودکار محدودیت اول مدل را برآورده خواهد کرد یعنی  $j$  امین عملیات قطعه  $i$  ام فقط به یک ماشین و به یک سلول تخصیص خواهد یافت. توجه شود که سطر مربوط به قطعاتی که در دوره جاری فاقد تقاضا می باشند در ماتریس های  $X, Y$  برابر صفر خواهد بود.

[N]: یک ماتریس  $M \times C$  می باشد بطوریکه  $N_{ij}$  برابر تعداد ماشین نوع  $i$  موجود در سلول  $j$  می باشد. به عنوان مثال  $N_{22} = 4$  یعنی تعداد ماشین های نوع ۳ موجود در سلول ۲ برابر ۴ دستگاه می باشد. بر طبق محدودیتها III و IV مدل حداکثر و حداقل ظرفیت هر سلول به ترتیب باید برابر  $U_B$  و  $L_B$  باشند یعنی:

$$LB \leq \sum_{m=1}^M N_{mch} \leq UB \quad \forall c, h \quad (12)$$

### بررسی صحت شدنی بودن کروموزوم ها

بعد از تولید هر حل یا کروموزوم، شدنی یا نشدنی بودن آن بایستی مورد بررسی قرار گیرد. از آنجائیکه با افزایش ابعاد کروموزوم احتمال تولید جواب شدنی بعد از اعمال یک عملگر خاص کاهش می یابد (با توجه به ماهیت اجزاء کروموزوم عملگرها بروی هر یک از ماتریس های کروموزوم بصورت جدا اعمال می شوند) لذا ضروری است جهت صرفه جوئی در زمان تا حد امکان کروموزوم های معیوب

(ناشدنی) تصحیح شوند. بنابراین هر کروموزوم تولید شده از یک فیلتر تصحیح عبور داده می شود. این فیلتر که براساس قواعد هوش مصنوعی طراحی شده است سعی میکند مقادیر ماتریسهای  $X$  و  $Y$  کروموزوم معیوب ثابت بوده و ماتریس های  $N$  و  $K$  را بر اساس آنها تغییر دهد. حالت عکس این رویه در مواقع نادر نیز استفاده می شود. همچنین تعداد بهینه مورد نیاز هر نوع ماشین با توجه به ظرفیت آنها در این روال تعیین میگردد.

### تابع برازندگی

تابع برازندگی معیاری برای سنجش کیفیت کروموزوم یا حل بدست آمده می باشد. بر اساس این تابع، الگوریتم تصمیم می گیرد که کروموزوم بدست آمده را برای نسل جاری بپذیرد یا آن را حذف کند. از آنجائیکه هدف مدل ریاضی CMS ارائه شده در قسمت ۳ کمینه کردن برخی از هزینه های تولید می باشد، بنابراین یک فرزند زمانی پذیرفته می شود که تابع هزینه فوق را نسبت به والدین خود بهبود ببخشد در نتیجه برازندگی هر کروموزوم بر اساس همین تابع محاسبه می شود.



در این حالت دو عدد تصادفی در دامنه ستونی ماتریس مورد نظر انتخاب و عملگر بروی ستونهای انتخابی اعمال می شود .

### ج - اعمال قطری عملگر :

در این حالت دو عدد تصادفی در دامنه سطری یا ستونی ماتریس انتخاب و عملگر درجهت قطر فرعی یا اصلی اعمال می شود.

### د- اعمال بلوکی عملگر :

در این حالت دو عدد تصادفی در دامنه سطری و دو عدد تصادفی در دامنه ستونی ماتریس انتخاب و عملگر در داخل بلوک حاصل از برخورد سطرها و ستون های انتخابی اعمال می شود .

به عنوان نمونه هرگاه کروموزوم های شکل (۳) به عنوان والدین در نظر گرفته شوند آنگاه در اثر اعمال عملگر تقاطع بصورت بلوکی فرزندان شکل (۴) تولید می شوند . بلوک های بدست آمده در والدین که بصورت Bold مشخص شده اند در اثر برخورد سطر و ستونهای بدست آمده اند که بصورت تصادفی انتخاب شده اند .

1	2	2	4	3	1	2
3	1	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	1
2	4	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	2
1	1	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	1

2	3	4	3	1	2	3
4	4	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	3
2	2	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	4
4	3	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	4

شکل ۳ : کروموزوم های والد .

1	2	2	4	3	1	2
3	1	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	1
2	4	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	2
1	1	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	1

2	3	4	3	1	2	3
4	4	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	3
2	2	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	4
4	3	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	4

شکل ۴ : کروموزوم های فرزند بعد از اعمال بلوکی عملگر تقاطع .

عملگر تقاطع حسابی [۲۵] و [۲۶] :

### نحوه انتخاب والدین

بعد از تولید هر نسل باید تعدادی والدین  $xxx_i$  برای تولید نسل بعدی از بین کروموزوم های نسل جاری انتخاب شوند. این استراتژی باید به گونه ای باشد که شایسته ترین والدین برای تولید فرزندان نسل بعد انتخاب شوند. به این دلیل بعد از تولید هر نسل ابتدا برازندگی کروموزوم های آن نسل بصورت رابطه (۱۳) نرمالیزه می شود :

$$Z_i = \frac{f_i - \mu}{\delta} \quad (13)$$

بطوریکه  $Z_i$  نرمال شده  $f_i$ ،  $\mu$  میانگین برازندگی نسل و  $\delta$  برابر انحراف معیار برازندگی نسل می باشد . سپس نیمی از جمعیت که مقدار برازندگی نرمالیزه شده آنها کوچکتر یا مساوی صفر می باشد به عنوان والدین نسل بعدی انتخاب می شوند .

### عملگرهای ژنتیکی

بعد از انتخاب والدین، با اعمال عملگرهای مناسب بروی آنها فرزندان نسل بعد تولید می شوند. از آنجائیکه ساختار بلوکی به شکل ماتریسی ارائه شده است بنابراین عملگرهای استاندارد ژنتیکی برای اعمال بروی این نوع ساختار باید تصحیح شوند. با توجه به اینکه ابعاد ماتریسهای موجود در ساختار بلوکی متفاوت می باشد عملگرها بطور جداگانه و تصادفی بروی ماتریسهای  $X, Y, N$  اعمال شده و سپس ماتریس  $K$  بر اساس ماتریس  $N$  به هنگام می شود. در اینجا نیز از عملگرهای تقاطع، جهش، معکوس و تولید مجدد استفاده شده است با این تفاوت که عملگرهای فوق باید بگونه ای اصلاح شوند که بتوان آنها را بروی ماتریس اعمال کرد. برای نیل به این هدف ، در هر عملگر چهار حالت بصورت زیر در نظر گرفته شد :

### الف - اعمال سطری عملگر :

در این حالت دو عدد تصادفی در دامنه سطری ماتریس مورد نظر انتخاب و عملگر بروی سطرها انتخابی اعمال می شود .

### ب - اعمال ستونی عملگر :

ε : حداقل مقدار واریانس مجاز برای نسل جاری ( معیار توقف)

K : تعداد جمعیت هر نسل (مقدار ثابت)

G : شمارنده نسل ها

Cp : شمارنده جمعیت نسل جاری

Rpt : شمارنده حلقه تکرار داخلی .

### یافته های تحقیق

با توجه به بررسی های انجام گرفته ، حل مدل ارائه شده در ابعاد بیش از ۱۰ ماشین و ۱۲ قطعه (بطوریکه هر قطعه بطور متوسط دارای ۲ عملیات بوده و تعداد دوره ها حداکثر برابر ۲ و تعداد سلول ها حداکثر برابر ۳ باشد ) توسط Lingo6 – PentiumIII.1 و نرم افزار Lingo6 مستلزم صرف زمانی بیش از ۲۴ ساعت خواهد بود . بنابراین جهت مقایسه حل GA با حل بهینه ، ۵ مسأله نمونه در شرایط پویای احتمالی در ابعادی پایین تر از ابعاد فوق توسط نرم افزار Lingo حل گردیده است. مساله اول که بسیار کوچک می باشد (۵ قطعه و ۴ ماشین) در شرایط بهینه قیاس شده است . ولی در چهار مساله دیگر بعلاوه زمان بری بیش از حد حل بهینه توسط Lingo از محاسبه و قیاس Lower Bound بر طبق توزیع β با حل GA استفاده شده است. کلیه مسایل نمونه بطور تصادفی توسط کامپیوتر و بر طبق توزیع یکنواخت و در بازه مشخصی تولید شده است. جدول

(۱) مقایسه حل بهینه با حل GA در شرایط پویای احتمالی این پنج مسأله نمونه می باشد. درستون راست این جدول ابعاد مساله ذکر گردیده است. C و H به ترتیب نشان دهنده تعداد سلول و تعداد پیوندهای مساله است. مثلاً سطر اول برای مقایسه حل یک مساله با ۵ قطعه و ۴ ماشین با ۲ سلول در ۲ دوره می باشد که هزینه های مختلف آن مطابق مدل تعریف شده در ستونها و

زمان حل با دو روش آورده شده است.

جهت بررسی عملکرد GA در ابعاد بالا دو مسأله نمونه یکی با ۲۰ قطعه و ۱۵ ماشین و دیگری با ۱۲ قطعه و ۱۰

عملگر تقاطع حسابی<sup>xxxi</sup>، یک ترکیب خطی محدب از والدین بصورت زیر تولید می کند :

$$\begin{cases} C_1 = aP_1 + bP_2 \\ C_2 = bP_1 + aP_2 \end{cases}; 0 \leq a \leq 1, b = 1 - a \quad (14)$$

بطوریکه  $C_1, C_2$  فرزندان والدین  $P_1, P_2$  می باشند در واقع عناصر ماتریسهای  $C_1, C_2$  ترکیب خطی از عناصر ماتریسهای متناظر در  $P_1, P_2$  می باشند یعنی :

$$\begin{aligned} [C_1]_{ij} &= \langle a[P_1]_{ij} + b[P_2]_{ij} \rangle \\ [C_2]_{ij} &= \langle b[P_1]_{ij} + a[P_2]_{ij} \rangle \end{aligned} \quad (15)$$

برای دستیابی به نمایش صحیح متغیرها از تابعی بصورت زیر استفاده می شود :

$$\langle a[P_1]_{ij} + b[P_2]_{ij} \rangle = \begin{cases} [a[P_1]_{ij} + b[P_2]_{ij}] & \text{if } [P_1]_{ij} > [P_2]_{ij} \\ [a[P_2]_{ij} + b[P_1]_{ij}] & \text{if } [P_1]_{ij} \leq [P_2]_{ij} \end{cases} \quad (16)$$

### معیار توقف

معیارهایی که جهت توقف الگوریتم در نظر گرفته شده اند عبارتند از :

- ۱- تعداد نسل ها : هرگاه تعداد نسل ها از مقدار مشخصی تجاوز کند آنگاه الگوریتم متوقف خواهد شد .
- ۲- معیار زمانی : هرگاه تفاضل زمان جاری از زمان ثبت بهترین هدف بدست آمده بیش از مقدار تعیین شده باشد الگوریتم توقف خواهد کرد.

### فلوچارت الگوریتم

فلوچارت مربوط به الگوریتم ارائه شده در شکل (۵) نشان داده شده است . توضیح برخی از نمادهای بکار رفته در فلوچارت به قرار زیر است :

Var\_Gen : واریانس نسل جاری

GMax : حداکثر تعداد نسل های مجاز (معیار توقف)

RptMax : حداکثر تعداد مجاز تکرار حلقه داخلی جهت

تکمیل نسل جدید . ( معیار اتمام حلقه داخلی)

### تحلیل نتایج

نتایج حاصل از یافته های تحقیق را بصورت زیر می توان خلاصه کرد :

۱- در شرایط پویای احتمالی در ابعاد پایین ماتریس قطعه - ماشین با توجه به مدل ارائه شده میانگین اختلاف هدف حاصل از GA با حل بهینه  $۸/۵۲$  درصد می باشد که نتیجه مطلوبی می باشد. به دلیل استفاده از حل Lower Bound اختلاف زمانی قابل سنجش نمی باشد ولی به علت غیر خطی بودن مدل قطعاً زمان دستیابی به حل بهینه توسط Lingo بسیار بیشتر از GA خواهد بود.

۲- در ابعاد بالای ماتریس قطعه - ماشین، حل مدل ارائه شده توسط Lingo بروی PC عملاً غیرممکن می باشد در حالیکه GA ارائه شده در زمان معقول، جواب نسبتاً خوبی را ارائه می دهد. این امر با مشاهده نرخ همگرایی الگوریتم قابل بررسی است.

ماشین در شرایط پویای احتمالی توسط GA حل گردیده است. در دو مسأله فوق تعداد دوره ها و سلول ها برابر ۳ در نظر گرفته شده و هر قطعه بطور متوسط دارای ۳ عملیات می باشد، همچنین تقاضای محصولات از طبیعت توزیع  $\beta$  پیروی می کنند. نتایج بدست آمده در جداول (۲) و (۳) نشان داده شده است. همچنانکه مشهود است هزینه هر دوره و همچنین هزینه مجموع کل با افزایش زمان کاهش می یابد.

جهت بررسی همگرایی GA، در سه نسل مختلف از بهترین حل بدست آمده نمونه برداری شده است که نتایج در جدول (۲) نشان داده شده اند. در شکل (۶) مشاهده می شود که با گذشت زمان اختلاف نقاط بدست آمده از هدف کاهش می یابد که خود بیانگر نزدیک شدن به نقطه بهینه می باشد. با تغییر اندازه جمعیت هر نسل از ۱۰۰ به ۲۰۰ مطابق شکل (۶) نرخ همگرایی GA افزایش یافته است همچنین مطابق شکل های (۷) و (۸) میانگین و انحراف نسل ها نیز کاهش یافته است.

جدول ۱: مقایسه حل بهینه با حل GA در شرایط پویای احتمالی .

اندازه مسأله	مقدار اختلاف (درصد)	انحراف از معیار	زمان	مجموع انحراف از میانگین تقاضا	هزینه جابه جایی بین دوره ای ماشین	هزینه جابه جایی درون و بین سلولی مواد	هزینه عملیاتی ماشین	هزینه خرید ماشین	مقدار تابع هدف	هزینه ها و زمان رویکرد
۵×۴	%۰	-	۰۰:۱۰:۱۷	۱۰۲	۰	۷۱۵۶	۱۱۰۳۱	۵۲۴۰	۲۳۵۳۰	Ling6 GA
H=2,C=2	%۶/۶	-	۰۰:۰۰:۵۹	۱	۰	۷۵۶۰	۱۱۰۳۱	۶۲۸۰	۲۵۰۸۷	
۶×۵	%۰	۵۷۱۶	-	-	۰	۱۸۱۲۳	۱۹۴۵۴	۵۵۶۴	۴۳۱۲۳	Lingo-LB GA
C=2,H=2	%۱۶	-	۰۰:۰۴:۲۱	۴۳۲	۰	۱۹۲۰۰	۱۸۷۰۵	۵۳۷۰	۴۳۷۰۶	
۸×۶	%۰	۱۶۹۸	-	-	۰	۹۰۸۶	۲۹۲۲۶	۱۲۲۰۰	۵۰۵۱۲	Lingo-LB GA
C=3,H=2	%۱	-	۰۰:۰۱:۱۴	۱۳۸	۰	۹۳۲۰	۲۷۸۱۵	۱۲۲۰۰	۴۹۴۷۳	
۹×۷	%۰	۳۴۴۳	-	-	۰	۱۵۳۹۳	۱۹۰۷۳	۹۹۸۶	۴۴۴۵۲	Lingo-LB GA
C=3,H=3	%۱۷	-	۰۰:۲۵:۳۱	۳۱۹	۰	۱۸۶۴۰	۱۹۶۴۷	۹۴۲۰	۴۸۰۲۷	
۱۱×۸	%۰	۵۸۱	-	-	۰	۱۲۶۱۹	۱۲۷۰۲	۸۶۵۰	۳۳۹۷۱	Lingo-LB GA
C=3,H=3	%۲	-	۰۰:۱۸:۱۴	۶۰	۰	۱۲۹۶۰	۱۲۵۷۲	۸۶۵۰	۳۴۲۴۱	

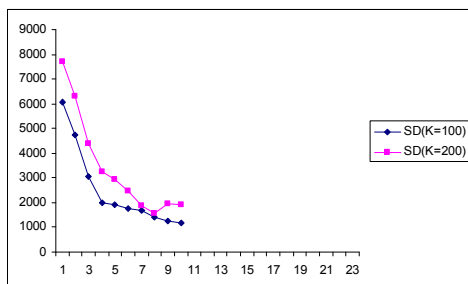
جدول ۲: نتایج حل مسأله ۲۰×۱۵ با ۳ دوره برنامه ریزی توسط GA در شرایط پویای احتمالی.

دوره		دوره اول	دوره دوم	دوره سوم
هزینه				
مجموع هزینه های هر دوره		۹۸۶۰۳	۷۱۸۱۵	۹۴۵۲۰
زمان ۰۰:۰۰:۰۰	هزینه کل	۲۶۴۹۳۸		
مجموع هزینه های هر دوره		۹۵۲۹۰	۷۱۰۹۴	۸۶۹۷۲
زمان ۰۰:۴۴:۰۸	هزینه کل	۲۵۳۳۵۶		
مجموع هزینه های هر دوره		۸۸۵۰۴	۶۶۹۳۲	۸۲۲۴۸
زمان ۰۲:۰۰:۳۸	هزینه کل	۲۴۲۶۸۵		

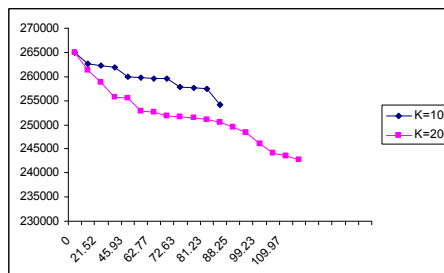
جدول ۳: نتایج حل مسأله ۱۰×۱۲ با ۳ دوره برنامه ریزی توسط GA در شرایط پویای احتمالی بدون در نظر گرفتن هزینه انتقالات درون

سلولی مواد .

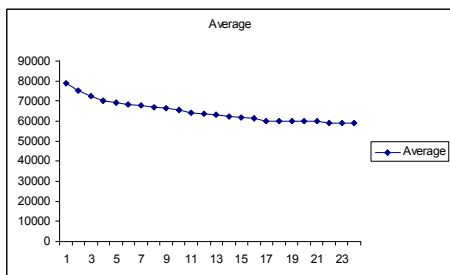
دوره		دوره اول	دوره دوم	دوره سوم
هزینه				
مجموع هزینه های هر دوره		۲۸۶۹۰	۱۹۷۱۸	۱۸۴۴۴
زمان ۰۰:۰۰:۰۰	هزینه کل	۶۶۸۵۱		
مجموع هزینه های هر دوره		۲۷۷۹۰	۱۷۲۵۳	۱۴۹۶۴
زمان ۰۰:۰۲:۲۲	هزینه کل	۶۰۰۱۰		
مجموع هزینه های هر دوره		۲۶۶۷۱	۱۶۴۳۴	۱۴۹۵۸
زمان ۰۰:۰۴:۱۸	هزینه کل	۵۸۰۶۲		



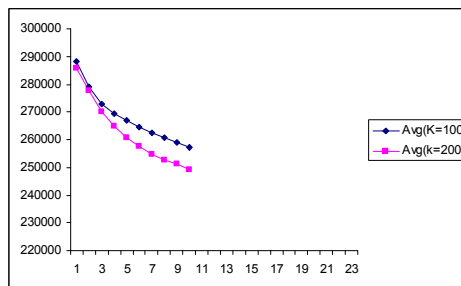
شکل ۷: تغییرات انحراف معیار ۱۰ نسل مربوط به مسأله ۲۰×۱۵ در شرایط پویای احتمالی با دو اندازه جمعیت متفاوت .



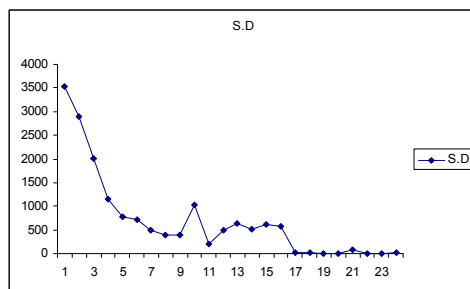
شکل ۶: نرخ همگرایی GA مربوط به مسأله ۲۰×۱۵ در شرایط پویای احتمالی با دو اندازه جمعیت متفاوت .



شکل ۹: تغییرات میانگین ۲۴ نسل مربوط به مسأله ۱۰×۱۲ بدون در نظر گرفتن هزینه انتقالات درون سلولی .



شکل ۸: تغییرات میانگین ۱۰ نسل مربوط به مسأله ۲۰×۱۵ در شرایط پویای احتمالی با دو اندازه جمعیت متفاوت .



شکل ۱۰: تغییرات انحراف معیار ۲۴ نسل مربوط به مسأله  $10 \times 12$  بدون در نظر گرفتن هزینه انتقالات درون سلولی.

Cell	$N_{mch}$	P3	P7	P10	P11	P12	P1	P8	P4	P5
1	M2			1		1				
	M3	1								
	M6	1		1,1	1					
	M7	1	1			1				*
2	M6						1	1		
	M9						1,1	1,1		
3	M4								1	1
	M10								1	
تقاضای بهینه		113	1095	895	761	784	962	1183	779	1077

شکل ۱۱: تشکیل سلول حاصل از GA برای اولین دوره مسأله  $10 \times 12$  بدون در نظر گرفتن هزینه انتقالات درون سلولی.

Cell	$N_{mch}$	P3	P6	P11	P12	P1	P8	P4
1	M2		1		1			
	M3	1	1					
	M6	1		1				
	M7	1			1			
2	M6					1	1	
	M9					1,1	1,1	
3	M4		*					1
	M10							1
تقاضای بهینه		885	966	1167	1152	917	900	785

شکل ۱۲: تشکیل سلول حاصل از GA برای سومین دوره مسأله  $10 \times 12$  بدون در نظر گرفتن هزینه انتقالات درون سلولی.

در مدل ارائه شده تعداد سلول ها باید حتماً از قبل مشخص و ثابت باشد.

۴- هدف از تعریف متغیر  $X_{jpmch}$ ، استفاده از استراتژی تشکیل همزمان خانواده قطعات و گروه های ماشین جهت

۳- ماهیت GA بگونه ای است که تعداد سلول های بهینه بطور خودکار تعیین می شود. بدین صورت که به سلول های اضافی هیچ قطعه ای تخصیص داده نمی شود. در حالی که

### پیشنهاد

هرچند که در مدل ارائه شده سعی بر آن بود که مدل با واقعیات موجود تطابق داشته باشد ولی می توان آنرا بهبود داد. برای تعمیم مدل می توان هر یک از موارد زیر را که منتج به پیچیده تر شدن مدل می شود لحاظ نمود:

۱- مدل می تواند با توجه به محدودیت در تعداد ماشین نوع M در دسترس طراحی شود.

۲- بزرگی دسته ها را با توجه به هر محصول می توان متغیر در نظر گرفت.

۳- زمان نصب ماشین آلات صفر فرض شده است در حالیکه می توان زمان نصب و جابجایی آنها را نیز بصورت هزینه و

محدودیت اعمال نمود.

۴- راندمان و ظرفیت هر ماشین را می توان احتمالی در نظر گرفت.

۵- مدل مطرح شده در این تحقیق می تواند با روشهای دیگری نظیر شبکه های عصبی و یا Tabu Search مورد بررسی قرار گیرد.

۶- در الگوریتم GA ارائه شده انتخاب عملگرها بصورت کاملاً تصادفی صورت می گیرد در حالیکه با اعمال قانون یادگیری شبکه های عصبی و دادن وزن مناسب به عملگرها انتخاب آنها بصورت هدفمند بوده و زمان رسیدن به جواب بهبود خواهد یافت.

با اینکه سعی شد تا مدل شباهت بیشتری به واقعیت داشته باشد ولی با توجه به کمبودهای ذکر شده می توان مدل را تعمیم داد که برای تحقیقات پیشنهاد می شود.

بدست آوردن سلولهای تولیدی مطلوب تر می باشد. اما ماهیت این متغیر به گونه ای است که جزء سوم تابع هدف علاوه بر هزینه های بین سلولی، هزینه های درون سلولی نقل و انتقالات مواد را نیز محاسبه می کند. این موضوع که یکی از معایب مدل ارائه شده می باشد در رویکرد GA براحتی قابل اجتناب است.

### نتیجه گیری

با توجه به نتایج بدست آمده، در حالت کلی مساله CMS یک مساله NP-Complete میباشد. یعنی با افزایش تعداد ماشینها و قطعات زمان حل بشدت افزایش می یابد. در عوض روش حل GA جوابهایی نزدیک به بهینه را در زمانی بطور متوسط کمتر از زمان حل توسط Lingo ارائه کرده است. این موضوع بخصوص در شرایط پویای احتمالی و درمسائل با ابعاد بالا محسوس تر می باشد. در این مسائل Lingo عملاً قادر به حل مساله نمی باشد. در حالیکه تطبیق هر چه بیشتر مدل با واقعیت حل آن را توسط روشهای سنتی مشکلتر می سازد جواب های حاصل از GA با زمان دسترسی نسبتاً کم بر Lingo توجیه و مطلوبیت بیشتری پیدا میکنند. در حالت کلی با بهبود عوامل اساسی GA، همانند رویه لازم جهت تولید نسل اولیه، نحوه طراحی و انتخاب عملگرها با توجه به ساختار کروموزوم و استراتژی انتخاب والدین احتمال رسیدن به جواب بهینه کلی را می توان افزایش داد.

## مراجع

- 1 - Chen, M. (1998). "A mathematical programming model for systems reconfiguration in a dynamic cellular manufacturing environment." *Annals of Operations Research*, Vol. 77 No. 1, PP. 109-128.
- 2 - Benjaafar, S. and Sheikhzadeh, M. (1996). "Design of flexible plant layouts." *IIE Transactions Toappear*, Vol. 28, No. 1, PP. 69-85.
- 3 - Monterruiln, B. and Laforge, A. (1992). "Dynamic layout design given a scenario tree of probable futures." *European Journal of Operational Research*, Vol. 63, PP. 271-286.
- 4 - Wilhelm, W., Chiou, C. and Chang, D. (1998). "Integrating design and planning considerations in cellular manufacturing." *Annals of Operations Research*, Vol. 77, No. 1, PP. 97-107.
- 5 - Yang, T. and Peters, B. (1998). "Flexible machine layout design for dynamic and uncertain production environments." *European Journal of Operational Research*, Vol. 108, PP. 49-64.
- 6 - Song, S. and Hitomi, K. (1996). "Integrating the production planning and cellular, layout for flexible cellular manufacturing." *Production Planning and Control*, Vol. 7, No. 6, PP. 585-593.
- 7 - Harahalaks, G., Nagi, R. and Proth, J. (1990). "An efficient heuristic in manufacturing cell formation to group technology applications." *International Journal of Production Research*, Vol. 28, No. 1, PP. 185-198.
- 8 - Holland, J. H. (1975). *Adaptation in natural and artificial systems*. University of Michigan press, Ann Arbon.
- 9 - Goldberg, D. E. (1989). *Genetic algorithm in search optimization, and machine learning*. Addison-Wesley, Reading, Mass.
- 10 - Bagley, J. D. (1976). "The behavior of adaptive systems which employ genetic and correlation algorithms." *Doctoral Dissertation*, University of Michigan.
- 11 - Rosenberg, R. S. (1967). "Simulation of genetic population with biochemical properties." *Doctoral Dissertation*, University of Michigan.
- 12 - Cavicchio, D. J. (1972). "Adaptive search using simulated evolution." *Doctoral dissertation*, University of Michigan.
- 13 - Goldberg, D. E. and Lingle, R. (1985). *Alleles, Loci and the traveling salesman problem*.
- 14 - Suh, J. Y. and Van Gucht, D. (1987). *Incorporation heuristic information into genetic search*.
- 15 - Grefenstette, J. J. (1987). *Incorporating problem-specific Knowledge into genetic algorithms*.
- 16 - Whitley, D., Starkweather, T. and Shaner, D. (1991). *The traveling salesman problem and sequence scheduling quality solutions using genetic edge recombination*.
- 17 - Reeves, C. R. (1992). "A genetic algorithm for flowshop sequencing." *Computer & Ops. Res.*
- 18 - Ackley, D. H. (1987). *An empirical study of bit vector function optimization*.
- 19 - Rinnooy, A. H. Kan. (1976). "Machine scheduling problems : Classification, complexity and computation." *Matrinus Nijhoff*, The Hague.
- 20 - Reeves, C. R. (1991). "A genetic algorithm approach to stochastic flowshop sequencing". Proc *IEE Colloquium on Genetic Algorithms for Control and Systems Engineering*. Digest No.1992/106, IEE, London.
- 21 - Davise, L. (Ed.) (1991). *Handbook of genetic algorithms*. Van Nos-trand Reinhold, New York.
- 22 - Fairley, A. (1991). *Comparison of methods of choosing the crossover point in the genetic crossover operation*. Dept. of computer science, University of Liverpool.
- 23 - Goldberg, D. E. and Smith, R. E. (1987). *Nonstationary function optimization using genetic algorithms with dominance and diploidy*.
- 24 - Joines, J. A. and Culbreth, C. T. and King, R. E. (1996). *Manufacturing Cell Design : An Integer Programming Model Employing Genetic Algorithm*. Raleigh NC 27695-7906, North Carolina State University.
- 25 - Black, J. T. (1983). "Cellular manufacturing systems reduce setup time, make small lot production economical." *Industrial Engineering*, Vol. 29, No. 10, PP. 36-48.
- 26 - Mungwatanna, A. (2000). *Design of Cellular Manufacturing Systems for Dynamic and Uncertain Production Requirement with Presence of Routing Flexibility*, Blacksburg State University Virginia.

27 - Chandrasekaran, M. P. and Rajagopalan, R. (1989). "Groupability: an analysis of the properties of binary data matrices for group technology." *International Journal of Production Research*, Vol. 27 No. 7, PP. 1035-52.

### واژه های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

- |   |                         |
|---|-------------------------|
| 1 - Cellular Manufacturing System (CMS) | 2 - Routing Flexibility |
| 3 - Machine Flexibility                 | 4 - Chen                |
| 5 - Song                                | 6 - Hitomi              |
| 7 - Wicks                               | 8 - Seifoddini          |
| 9 - Harhalakis                          | 10 - Anan Mungwattana   |
| 11 - Holland                            | 12 - Goldberg           |
| 13 - Bagley                             | 14 - Rosenberg          |
| 15 - Cavicchio                          | 16 - Lingle             |
| 17 - Grefenstette                       | 18 - Whitley            |
| 19 - Van Gucht                          | 20 - Rinnooy Kan        |
| 21 - Reeves                             | 22 - Ackley             |
| 23 - Davis                              | 24 - Smith              |
| 25 - Joines                             | 26 - Culbreth           |
| 27 - King                               | 28 - Setup Time         |
| 29 - Indices                            | 30 - Input Parameters   |
| 31 - Decision Variables                 | 32 - Mating Pool        |
| 33 - Arithmetic Crossover               |                         |



- 
- |   |                           |
|---|---------------------------|
| 1 - Cellular Manufacturing System (CMS) | 31 - Decision Variables   |
| 2 - Routing Flexibility                 | 32 - Mating Pool          |
| 3 - Machine Flexibility                 | 33 - Arithmetic Crossover |
| 4 - Chen                                |                           |
| 5 - Song                                |                           |
| 6 - Hitomi                              |                           |
| 7 - Wicks                               |                           |
| 8 - Seifoddini                          |                           |
| 9 - Harhalakis                          |                           |
| 10 - Anan Mungwattana                   |                           |
| 11 - Holland                            |                           |
| 12 - Goldberg                           |                           |
| 13 - Bagley                             |                           |
| 14 - Rosenberg                          |                           |
| 15 - Cavicchio                          |                           |
| 16 - Lingle                             |                           |
| 17 - Grefenstette                       |                           |
| 18 - Whitley                            |                           |
| 19 - Van Gucht                          |                           |
| 20 - Rinnooy Kan                        |                           |
| 21 - Reeves                             |                           |
| 22 - Ackley                             |                           |
| 23 - Davis                              |                           |
| 24 - Smith                              |                           |
| 25 - Joines                             |                           |
| 26 - Culbreth                           |                           |
| 27 - King                               |                           |
| 28 - Setup Time                         |                           |
| 29 - Indices                            |                           |
| 30 - Input Parameters                   |                           |
-