دسته بندی قطعات به دسته های سازگار از لحاظ نیاز به پردازش عملیات قطعات هر دسته با ابزارهای مشابه در برنامه ریزی تولید FMS

سیده زهرا حسینی چریانی ، فریماه مخاطب رفیعی

کارشناس ارشد و تحلیلگر سیستمهای تولیدی شرکت مهندسی ایریسا، استاد یار دانشکده صنایع و برنامه ریزی سیستمها دانشگاه صنعتی اصفهان
af_hosseini@yahoo.com , f.mokhatab@cc.iut.ac.ir

چکیده

یکی از مسائل برنامه ریزی تولید در سیستمهای تولیدی انعطاف پذیر (FMSs) مسئله دسته بندی انواع قطعات با توجه به عملیات و ابزار های مورد نیاز در پردازش می باشد. از آنجایی که هدف اصلی در سیستمهای تولیدی انعطاف پذیر، انعطاف پـذیری و کـارایی بـالاتر است؛ برای رسیدن به این خواسته ها، اهداف زیر در حل مسائل مذکور مد نظر قرار گرفته است:

- تعداد دسته های کمتر برای کاهش زمانهای راه اندازی و آماده سازی دسته ها
- انعطاف پذیری بالاتر در مسیرهای پردازش انواع عملیات

در ابتدا، این مسئله با یک مدل برنامه ریزی اعداد صحیح غیر خطی صفر و یـک و بـا اهـداف ناسـازگارکاهش تعـداد دسـته هـا و افزایش انعطاف پذیری مسیرهای پردازشی ارائه شده است. این مدل از لحاظ محاسباتی، بسیار پیچیـده و زمـانبر مـی باشـند. لـذا روشـهای معمول بهینه سازی برای آن فقط به مسائل کوچک محدود می شوند. به همین جهت برای حل مسئله دسته بندی از یک روش ابتکاری بـا استفاده از مفاهیم ضریب مشابهت ابزاری بین دو دسته استفاده شده است. در خاتمه سه مثال مطرح در مقالات، مورد تجزیه و تحلیـل قـرار گرفته است.

واژه های کلیدی: سیستمهای تولیدی انعطاف پذیر (FMSs)، دسته بندی قطعات به دسته های سازگار، انعطاف پذیری مسیرهای پردازش، برنامه ریزی اعداد صحیح غیر خطی صفر و یک، ضریب مشابهت ابزاری بین دو دسته

۱- دسته بندی انواع قطعات در FMS

این مسئله با مسئله نوع اول که استک در سال ۱۹۸۳ با عنوان تعیین نوع قطعه معرفی کرده است[۱]؛متفاوت است. در مسئله تعیین نوع قطعه برنامه ریز باید یک زیر مجموعه از انواع قطعات را برای تولید همزمان از یک مجموعه از انواع قطعاتی که در سیستم می تواند تولید شود، انتخاب کند. در حالیکه در مسئله دسته بندی فرض بر آن است که مسئله انتخاب انواع قطعات حل شده است و باید انواع قطعات انتخاب شده، به دسته های سازگار تقسیم بندی شوند.

مجموعه ای از کارهای مشخص باید در طول یک دوره تولیدی FMS پردازش شوند. به دلیل پویایی محیط FMS ، وجود محصولات متنوع برای پردازش، تغییرات سریع در تقاضای بازار و انتظارات مشتریان از محصولات جدید، فشرده شدن رقابت جهانی و ... طول سیکل تولید باید کوتاه گردد، تا از این طریق بتوان زمان تحویل کالاها به مشتریان را کاهش داد و محصولات جدید را پردازش نمود. بنابراین سیاست دسته‌بندی کارها به دو دلیل زیر در سیستمهای تولیدی انعطاف پذیر مورد توجه است[۲]:

- جهت کنترل و نگهداری بهتر سیستم تولیدی، لازمست کارهای با تنوع کمتر روی تجهیزات سیستم بارگذاری شوند و به طور همزمان پردازش شوند.
- منابع FMS محدود هستند. در اغلب موارد امکان پذیر نخواهد بود که برای انجام همه عملیات مورد نیاز، بتوان تجهیزات را در یک زمان راه اندازی و آماده سازی نمود.

با دسته بندی انواع قطعات می توان بعد از اتمام یک دسته، دوباره منابع محدود را برای پردازش آماده کرد و FMS را برای پردازش دسته دیگر، دوباره شکل داد. به عنوان مثال خشاب هر ماشین را دوباره بارگذاری کرد، طرح و خصوصیات پردازش و مسیرهای پردازشی را تغییر داد، پالتها و فیکسچرها را تعویض کرد و قطعات را دوباره به ماشینهای مختلف تخصیص داد.

بسیاری از مقالات، هدف از دسته بندی کردن انواع قطعات را حداقل کردن تعداد دسته ها در نظر گرفته اند. در این صورت در هر بار راه اندازی یک دسته، زمان لازم برای تعویض ابزار، فیکسچرگذاری و ... کمتر می شود. دسته بندی کمتر از کارها در یک سیستم، به معنای وجود دسته های کمتر با تعداد انواع قطعات بیشتر است که ابزارگذاری غیر یکسان و متنوع را در یک زمان مشخص می طلبد[۳]. در این صورت ماشینها باید عمومیت بیشتری در ابزارگذاری داشته باشند. در این حالت گروه بندی و تقسیم بندی ماشینها لازم است تا بهره برداری از سیستم بیشتر شود. دقت در این هدف این نکته را روشن می سازد که با حداقل کردن تعداد دسته ها، اگرچه تعداد دفعات آماده سازی در سیستم کمتر می شود؛ ولی تنوع قطعات در هر دسته افزایش می یابد. در نتیجه تنوع انواع ابزارها و عملیاتی که باید در هر دسته انجام شود، بیشتر می شود. این مسئله باعث می گردد، مسیرهای پردازش در سیستم بسیار متنوع شود و به دلیل وجود محدودیتهای منطقی در سیستم مثل محدودیت تعداد ماشینها و تعداد سوراخهای خشاب؛ انعطاف پذیری مسیر برای پردازش هر نوع عمل در هر دسته بسیار کم شود. بنابراین آنچه اتفاق می افتد؛ آن است که دیگر نمی توان مسیرهای انتخابی یا جایگزین برای پردازش هر یک از عملیات روی ماشینها داشت و ماشینها در اکثر موارد یا بیکار می مانند و یا اینکه در اثر انباشته شدن قطعات بلوکه می شوند و گلوگاه بوجود می آورند. بیکاری در اثر نرسیدن قطعه برای برخی از ماشینها و در کنار آن بلوکه شدن برخی دیگر از ماشینها در اثر انباشته شدن قطعات در صف پردازش، نهایتا کل زمان ساخت دسته ها را بالا می برد.

از سوی دیگر تنوع کمتر کارها در هر دسته به معنای وجود دسته های بیشتر با تعداد کارهای کمتر و انعطاف پذیری بیشتر در مسیرهای پردازش است. اگر چه همه انواع انعطاف پذیری مهم هستند، اما از نقطه نظر زمانبندی، انعطاف پذیری مسیر بسیار مهم است[۴] و در دسترس بودن یک یا چند مسیر برای پردازش یک نوع قطعه، انعطاف پذیری مسیر در سیستم را افزایش می دهد. اما چنین سیاستی برای دسته بندی، زمان تلف شده برای تعویض ابزار و آماده سازی دسته ها را بیشینه خواهد نمود و از این رو در بالا بردن کل زمان ساخت دسته ها موثر خواهد بود.

با توجه به توضیحات ذکر شده، واضح است که هدف حداقل کردن تعداد دسته ها با هدف حداکثر کردن انعطاف پذیری مسیرهای پردازش در تضاد هستند؛ در حالی که برای رسیدن به هدف حداقل کردن طول دوره تولیدی در سیستم FMS مفروض باید هر دوی آنها به هنگام دسته بندی انواع قطعات در نظر گرفته شوند. پس برای حالتیکه n نوع قطعه در دسترس است، سیاست مناسب برای دسته بندی، باید یک حد میانه قابل قبول از دو هدف ناسازگار حداقل کردن تعداد دسته ها و حداکثر کردن انعطاف پذیری مسیرهای پردازش باشد. در

نظرگیری این نکته علاوه بر کمتر کردن تعداد دسته ها، کوتاه کردن زمان آماده سازیها برای آنها و افزایش مسیرهای پردازشی برای عملیات مربوط هر نوع قطعه؛ می تواند در بالانس بارکاری روی ماشینها، زمانبندی راحتر و رسیدن به کل دوره زمانی کمتر موثر باشد.

نکته دیگری که باید مورد توجه قرار گیرد، آن است که تعداد انواع ابزارهای مورد نیاز برای پردازش یک دسته، به تعداد انواع عملیاتی که برای شکل دهی انواع قطعات یک دسته لازم است؛ وابسته است. اگر تعداد انواع عملیات پردازشی لازم در هر دسته افزایش یابد؛ آنگاه انعطاف پذیری مسیر برای پردازش آنها کاهش می یابد. چون تعداد عملیات مختلف با تعداد انواع قطعاتی که باید در یک دسته پردازش شود مرتبط است؛ بنابراین دسته هایی با تعداد انواع قطعه کمتر، دارای تعداد کمتر از انواع عملیات مختلف و به دنبال آن تعداد انواع کمتر از ابزارها و دارای انعطاف پذیری بیشتر در مسیرهای پردازش خواهند بود. بنابراین می توان برای رسیدن به هدف حداکثر کردن انعطاف پذیری مسیر، از هدف حداقل کردن تنوع ابزار در هر یک از دسته ها استفاده نمود. استفاده از این هدف امکان بارگذاری مجدد انواع ابزار روی ماشینها را در هر دسته فراهم نموده و منجر به ایجاد مسیرهای جایگزین برای پردازش عملیات می شود.

۲- مطالعات انجام شده

معمولاً روش دسته بندی درباره مسئله انتخاب نوع قطعه با هدف حداقل کردن تعداد دسته ها همراه است که بر اثر آن زمان تلف شده برای تعویض ابزار حداقل شده است. استک در سال ۱۹۸۳ ، مسئله گروه بندی قطعات و بارگذاری را مدنظر قرار داده است و آنرا به صورت یک مسئله برنامه ریزی اعداد صحیح غیرخطی فرموله کرده است[۱] و در سال ۱۹۸۶، به همراه برادا برای حل آن یک روش شاخه و کرانه پیشنهاد کرده اند[۵]. هوانگ در سال ۱۹۸۶، حداکثر کردن تعداد انواع قطعه در هر دسته را به عنوان هدف برای مسئله انتخاب نوع قطعه پیشنهاد می کند[۶]. لی و همکارانش در ۱۹۹۳، از یک روش دومرحله ای براساس تکنیکهای GT برای حل مسائل مربوط به دسته بندی و توالی دسته ها استفاده کرده اند[۷].

گوپتا و همکارانش در ۱۹۹۳، یک روش شبیه سازی برای مسائل دسته بندی، گروه بندی و بارگذاری پیشنهاد کرده اند[۸]. یکی دیگر از این مطالعات مربوط به سال ۱۹۹۰ است که توسط کو و همکارانش انجام شده است. آنها کوشش نمودند تا چهار زمینه از پنج زمینه تعریف شده توسط استک در ۱۹۸۳ را در نظر بگیرند و به حل مسائل موقعیت ابزار در ماشین، بارگذاری ماشین و دسته بندی در FMS بپردازند. به طور واضح تر آنها یک مدل برنامه ریزی اعداد صحیح مختلط برای تقسیم بندی انواع قطعات به دسته ها و تخصیص ابزارها به ماشینها، پیدا کردن یک نسبت تولیدی از انواع قطعات و تخصیص عملیات انواع قطعات یک دسته به ماشینها ارائه کردند. بدلیل سنگین بودن حجم محاسبات، آنها از یک روش ابتکاری چهار مرحله ای برای یافتن یک جواب تقریبی از این مسائل، از طریق سه فرمولبندی برنامه ریزی ریاضی استفاده نمودند[۹]. به دنبال آن در سال ۱۹۹۸، نایاک و آچاریا مسائل انتخاب نوع قطعه، بارگذاری ماشین و تعیین حجم انواع قطعات برای تولید را مورد بررسی قرار دادند. آنها از یک روش سه مرحله ای برای حل این مسائل استفاده کردند و کوشش نمودند به جای روشهای معمول حداکثر کردن انواع قطعه در هر دسته (یا حداقل کردن تعداد دسته‌ها) به حداکثر کردن مسیرهای انعطاف پذیر دسته‌ها بپردازند[۱۰]. مقاله دیگری در سال ۲۰۰۴ از بایورگان و سایگین و کیلیک برای مسئله تخصیص ابزارها به ماشینها منتشر شده است که در آن از یک روش ابتکاری برای حل مدل استفاده شده است. در این روش عمر ابزارها و سایز ابزارها در انتخاب و تخصیص ابزارها به ماشین در نظر گرفته شده است [۱۱]. چان و سوارنکار نیز در سال ۲۰۰۵ یک روش برنامه ریزی آرمانی فازی برای حل مسائل برای مدل انتخاب ابزار و تخصیص قطعات به ماشینها ارائه کرده اند و آن را از طریق روش الگوریتم کلونی مورچگان حل کرده اند[۱۲].

۳- توصیف FMS تحت مطالعه

یک سیستم FMS با فرضیات زیر تحت مطالعه قرار دارد:

- M ماشین ابزار اتوماتیک CNC یا NC، با قابلیت تعویض اتوماتیک ابزارها و ذخیره سازی ابزارهای متعدد روی خشاب ماشین وجود دارند که عملیات ماشینکاری روی انواع قطعات را به شرط دارا بودن ابزارهای لازم برای پردازش

عملیات مورد نیاز، انجام می دهند. این ماشینها با یکدیگر مشابه هستند؛ یعنی خشاب هر یک از این ماشینها یک مقدار مشخص و مساوی، سوراخ برای پذیرش ابزار دارد. ماشینها در پذیرش و بکارگیری ابزارهای سیستم عمومی هستند و در صورت لزوم هر ابزار برش خاص، قابل نصب و استفاده روی خشاب هر ماشین می باشد.

- T نوع ابزار برش برای پردازش عملیات مورد نیاز انواع قطعات در سیستم وجود دارند. هر ابزار یک سوراخ از خشاب ماشین را اشغال می کند. یک ابزار ممکن است برای عملیات مختلف مورد استفاده قرار بگیرد. تعداد ابزارها از هر نوع دارای محدودیت نیست و بعد از حل مسئله بارگذاری قبل از آغاز هر دوره تولید، تهیه می شوند.
- I نوع قطعه مختلف در دسترس هستند که باید در یک دوره تولید برای پردازش، برنامه ریزی شوند.
- L نوع عمل مختلف برای پردازش انواع قطعات در دسترس وجود دارند که باید متناسب با نوع قطعه تکمیل شوند. یک نوع عمل به یک یا چند نوع ابزار برش نیاز دارد. انواع عملیات به طور عمومی برای قطعات مختلف تعریف شده اند و تنها زمان انجام پردازش آنها برای هر یک از انواع قطعات متفاوت است. به عنوان مثال قطعات نوع i و i' به عمل نوع l نیاز دارند؛ اما ممکن است زمان لازم برای پردازش این عمل روی قطعات نوع i و i' با یکدیگر متفاوت باشند. واضح است که به دلیل مشابه بودن ماشینها با یکدیگر، این زمان بستگی به ماشینی که عمل را پردازش می‌کند؛ ندارد.
- در هر دوره برنامه ریزی (دوره تولید) انواع قطعاتی که باید در FMS تولید شوند، مشخص هستند. همچنین انواع عملیات مورد نیاز و انواع ابزارهای لازم برای پردازش آنها نیز معلوم هستند. بنابراین برای هر دوره مسئله دسته بندی حل می شود.
- بعد از اتمام هر دوره تولید، باید برای دوره بعدی برنامه ریزی مجدد انجام شود. زیرا داده های معلوم در سیستم FMS تغییر می کنند. این داده ها کاملا وابسته به انواع قطعاتی هستند که باید در سیستم تولید شوند. همانطور که قبلا نیز توضیح داده شد؛ مسئله انتخاب انواع قطعات با توجه به اهداف سیستم FMS، از بین قطعاتی که می تواند در سیستم پردازش شوند، حل شده است. در این مقاله خروجیهای مسئله انتخاب انواع قطعات مشخص و معلوم هستند و در واقع جزء داده‌های مسئله می باشند.

لذا با توجه به توضیحات ذکر شده شکل (۱) نمایشگر مسئله مطرح در این مقاله است.

دسته بندی انواع قطعات

- *داده های مسئله :*
  ۱- مجموعه انواع قطعاتی که باید در سیستم پردازش شوند.
  ۲- مجموعه انواع عملیات مورد نیاز برای انواع قطعات.
  ۳- مجموعه انواع ابزارهای مورد نیاز برای پردازش انواع عملیات.
  ۴- مجموعه ماشینهای در دسترس سیستم با محدودیت تعداد سوراخهای ابزار روی خشاب آنها.
- *نتایج حل مسئله :*
  ۱- تعداد دسته ها.
  ۲- تخصیص انواع قطعات به دسته ها.
  ۳- انواع عملیاتی که باید در هردسته انجام شوند.
  ۴- انواع ابزارهایی که باید به هر دسته تخصیص داده شوند.
- *اهداف مسئله :*
  ۱- حداقل کردن تعداد دسته ها.
  ۲- حداکثر کردن انعطاف پذیری مسیرهای پردازش برای هر یک از انواع عملیات.

شکل (۱) توصیف مسئله دسته بندی قطعات

۴- مدل برنامه ریزی اعداد صحیح غیر خطی

پارامترها و متغیرهای مسئله در زیر توضیح داده شده است:

پارامترها :

- I : تعداد انواع قطعاتی که باید در دوره تولید ، پردازش شوند.
- T : تعداد انواع ابزارهای برش که در طول دوره تولید مورد نیاز هستند.
- TS : تعداد سوراخهای ابزار که روی هر خشاب هر ماشین در دسترس هستند.
- TR_i : مجموعه انواع ابزار مورد نیاز برای قطعه نوع i ، $i = ۱ , ۲ , \ldots , I$
- $N(TR_i)$: تعداد عناصر مجموعه TRi یا تعداد انواع ابزار مورد نیاز برای قطعه i ، $i = ۱ , ۲ , \ldots , I$
- $N(T)_{MIN}$: حداقل تعداد از انواع ابزارها که می تواند به یک دسته به صورت تئوری اختصاص یابد.
- $N(T)_{MAX}$: حداکثر تعداد از انواع ابزارها که می تواند به یک دسته به صورت تئوری اختصاص یابد.
- N_{MIN} : کمترین تعداد دسته که به صورت تئوری قابل دستیابی است.
- N_{MAX} : بیشترین تعداد دسته که به صورت تئوری قابل دستیابی است.
- W_1 : وزن قابل تخصیص به هدف اول (حداقل کردن تنوع ابزار در هر دسته).
- W_2 : وزن قابل تخصیص به هدف دوم (حداقل کردن تعداد دسته ها).
- H : یک عدد نسبتا بزرگ.

متغیرها :

- Z : مقدار تابع هدف وزن دار از اهداف دوگانه مسئله.
- N_b : متغیرصفر و یک: برابر یک اگر دسته b شامل حداقل یک قطعه شود و صفر در صورتیکه تهی شود.
- U_{bt} : متغیر صفر و یک: برابر یک اگر ابزار نوع t به دسته b اختصاص یابد و صفر در غیر این صورت.
- V_{bi} : متغیر صفر و یک: برابر یک اگر قطعه نوع i به دسته b اختصاص یابد و صفر در غیر این صورت.
- $N(T_b)$: متغیر صحیح مثبت: برابر تعداد انواع ابزارها که به دسته b اختصاص یافته است.

نکات زیر در مدلسازی مسئله مد نظر قرار گرفته اند:

نکته اول :

اهداف مدل با یکدیگر ناسازگار هستند. یعنی تلاش برای بدست آوردن یک هدف منجر به از دست رفتن هدف دیگر می شود. بنابراین در مدل از یک تابع دو هدفه استفاده می شود. این دو هدف از یک جنس نیستند و باید نرمالیزه و هم مقیاس گردند. برای این کار از مقادیر حداقل و حداکثر در حالت تئوری هر یک از اهداف استفاده شده است.

برای هدف حداقل کردن تعداد دسته ها، حداقل وحداکثر مقادیر تئوری به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$N_{MAX} = I \qquad (۱)$$

یعنی حداکثر به تعداد انواع قطعات، می توان دسته تشکیل داد تا هر قطعه در یک دسته پردازش شود. و

$$N_{MIN} = [T/(TS * M)] \qquad (۲)$$

[X] کوچکترین عدد صحیح بزرگتر یا مساوی با X است.

یعنی حداقل تعداد دسته هایی که ممکن است در هر مسئله به طور تئوری تشکیل شود؛ برابر با کوچکترین عدد صحیح مساوی یا بزرگتر از حاصل تقسیم تعداد کل ابزارهای لازم بر تعداد کل سوراخهای در دسترس روی ماشینها می باشد.

اما برای هدف حداقل کردن تنوع ابزار در هر دسته، حداقل وحداکثر مقادیر تئوری به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$N(T)_{MAX} = MIN\ (TS * M , T) \qquad (۳)$$

یعنی حداکثر تنوع ابزار در هر دسته برابر کمترین مقدار بین تعداد کل سوراخهای در دسترس در هر دسته و تعداد کل ابزارها خواهد بود. و

$$N(T)_{MIN} = MIN_I \{ N(TR_i) \} \quad (۴)$$

یعنی حداقل تنوع ابزار هر دسته برابر است با تعداد تنوع ابزارهای مورد نیاز برای قطعه ای که کمترین تنوع ابزار را نیاز دارد.

نکته دوم :

مقدار $w_1 + w_2 = 1$ فرض می شود.

نکته سوم :

دسته ها به صورت موازی و همزمان پردازش نمی شوند، بلکه پشت هم و پس از تکمیل تولید هر دسته ، تولید دسته بعد آغاز می‌شود. بنابراین برای هر دسته، امکان استفاده از تمام ماشینها و ابزارهای در دسترس و ... فراهم است.

نکته چهارم :

در مدل، تعداد دسته ها برابر حداکثر مقدار خود یعنی برابر با تعداد انواع قطعات در سیستم فرض می‌شود. پس از حل مدل اگر دسته تهی وجود داشت؛ آنگاه مقدار متغیر N_b برای این دسته صفر خواهد بود و هیچ نوع قطعه ای به این دسته ها تعلق نخواهد گرفت.

بنابراین مسئله در این مقاله به صورت روابط (۵) تا (۱۶) مدلسازی شده است:

$$\text{Minimize } Z = W_1 * (MAX(N(T)) - N(T)_{MIN}) / (N(T)_{MAX} - N(T)_{MIN}) + W_2 *(\sum_{b} N_b - N_{MIN}) / (N_{MAX} - N_{MIN}) \quad (۵)$$

Subject to :

$$V_{bi} <= \sum_{t \in TR_i} U_{bt} / N(TR_i) \quad ; \forall b,i \quad (۶)$$

$$H * N_b >= \sum_{i} V_{bi} \quad ; \forall b \quad (۷)$$

$$N_b <= \sum_{i} V_{bi} \quad ; \forall b \quad (۸)$$

$$\sum_{b} V_{bi} = 1 \quad ; \forall I \quad (۹)$$

$$\sum_{t} U_{bt} = N(T_b) * N_b \quad ; \forall b \quad (۱۰)$$

$$N(T_b) <= \sum_{m} TS \quad ; \forall b \quad (۱۱)$$

$$N_{b+1} <= N_b \quad ; b = 1,2,...,I-1 \quad (۱۲)$$

$$N(T_b) - N(T)_{MIN} <= H * N_b \quad ; \forall b \quad (۱۳)$$

$$N(T_b) <= MAX(N(T)) \quad ; \forall b \quad (۱۴)$$

$$N_b , U_{bt} , V_{bi} = (0,1) \quad ; \forall b,i,t \quad (۱۵)$$

$$N(T_b) , MAX(N(T)) = (\text{integer} > 0) \quad ; \forall b \quad (۱۶)$$

که در آن :

رابطه (۵) بیانگر تابع هدف وزن دار از اهداف حداقل کردن تنوع ابزار در هر دسته و حداقل کردن تعداد دسته ها است. $MAX(N(T))$ تعداد ابزارهای دسته ای است که بیشترین تعداد ابزار را داراست.

سری محدودیتهای (۶) بیان می کنند، در صورتی یک نوع قطعه i می تواند به یک دسته مفروض b اختصاص یابد که همه ابزارهای لازم برای پردازش آن قطعه در دسته فراهم باشد.

سری محدودیتهای (۷) بیان می کنند، اگر قطعه ای به یک دسته تعلق یافت؛ در آن صورت N_b حتما برابر یک شود.

سری محدودیتهای (۸) بیان می کنند، وقتی یک دسته b می تواند تعریف شود که حتما شامل یک نوع قطعه باشد. این محدودیت به همراه محدودیت شماره (۷) تعیین کننده وجود دسته ها با توجه به تخصیص انواع قطعات به آنها خواهد بود.

سری محدودیتهای (۹) بیان می کنند، هر یک از انواع قطعات حتما باید به یک دسته تعلق یابد.

سری محدودیتهای (۱۰) میزان تنوع ابزار را برای دسته ها مشخص می کنند. در این محدودیت اگر مقدار N_b صفر شود؛ آنگاه هیچ ابزاری به دسته تعلق نخواهد گرفت و مقدار $N(T_b)$ با توجه به محدودیت (۱۳) مشخص می گردد.

سری محدودیتهای (۱۳) بیان می کنندر صورتیکه مقدار N_b صفر شد، حاصل انحراف (T_b) از $N(T)_{MIN}$ باید صفرگردد. یعنی در دسته های تهی، $N(T_b)$ به اندازه $N(T)_{MIN}$ خواهد بود.

سری محدودیتهای (۱۱) بیان می کنند که تعداد انواع ابزارهای مختلف در دسته های غیر تهی باید کمتر از حداکثر تعداد سوراخهای در دسترس باشد و محدودیت خشاب برای همه دسته ها برآورده شود.

سری محدودیتهای (۱۲) بیان می دارند که اگر دسته ای تهی شد؛ آنگاه تمام دسته های با مرتبه بالاتر از آن نیز تهی می شوند. به عنوان مثال اگر شش دسته غیر تهی به وجود آمد و دسته هفتم تهی شد؛ آنگاه دسته های هشتم ، نهم و مرتبه های بالاتر از آن نیز تهی خواهند بود.

سری محدودیتهای (۱۴) بیان می دارند که تعداد ابزارهای هر دسته کوچکتر یا مساوی با تعداد ابزارهای دسته ای است که بیشترین تعداد ابزار را داراست.

روابط (۱۵) و (۱۶) محدوده متغیرهای مسئله را متذکر می شود.

مدل ارائه شده در حل مسائل واقعی، بسیار بزرگ و غیر کارا است. بنابراین برای رسیدن به یک جواب مطلوب در یک زمان کوتاه، استفاده از یک روش ابتکاری برای حل مدل پیشنهاد می شود.

۵- روش ابتکاری تکرار شونده برای حل مدل

در این روش قطعات سازگار با یکدیگر از لحاظ نوع ابزارهای مورد استفاده برای آنها با توجه به محدودیت خشاب روی ماشینها، به دسته هایی با تعداد کمتر و انعطاف پذیری بیشتر در مسیرهای پردازش تقسیم بندی می‌شوند. برای این منظور از یک مفهوم اساسی برای دسته بندی قطعات سازگار با هم استفاده شده است. آن مفهوم، ضریب مشابهت ابزاری بین ابزارهای انواع قطعات تخصیص داده شده به دو دسته خاص است که در ادامه تعریف مربوط به آن آورده شده است.

۵-۱- تعریف ضریب مشابهت ابزاری بین دو دسته

اگر دسته های b_1 و b_2 با مجموعه ابزارهای تخصیص یافته به آنها مفروض باشند؛ آنگاه ضریب مشابهت ابزاری بین دسته های b_1 و b_2 به صورت رابطه (۱۷) خواهد بود:

$$S_{b1,b2} = N(CT_{b1,b2}) / MIN(N(TA_{b1}), N(TA_{b2})) \qquad (۱۷)$$

که در آن :

$S_{b1,b2}$: ضریب مشابهت ابزاری بین قطعه i و دسته b.

TA_{b1} : مجموعه ابزارهای تخصیص داده شده به دسته b_1.

TA_{b2} : مجموعه ابزارهای تخصیص داده شده به دسته b_2 .

$N(TA_{b1})$: تعداد عناصر مجموعه TA_{b1}.

$N(TA_{b2})$: تعداد عناصر مجموعه TA_{b2}.

$CT_{b1,b2}$: مجموعه ابزارهای مشترک بین دسته b_1 و دسته b_2

$N(CT_{b1,b2})$: تعداد عناصر مجموعه $CT_{b1,b2}$.

بر این اساس الگوریتم ابتکاری پیشنهادی از سه بخش تشکیل شده است. در بخش اول، دسته‌های مجازی اولیه با توجه به مفهوم ضریب مشابهت ابزاری بین یک دسته و یک قطعه تشکیل می شوند. در بخش دوم، دسته های پایه و اصلی با توجه به مفهوم ضریب مشابهت ابزاری بین دو دسته ایجاد می شوند و در بخش سوم تصمیم گیری برای ادامه الگوریتم و یا اتمام آن با توجه به تابع هدف اتخاذ می گردد. واضح است الگوریتمی که در ادامه توضیح داده خواهد شد؛ یک الگوریتم تکرار شونده تا زمانی خواهد بود، که رسیدن به اولین نقطه مینیمم موضعی از تابع هدف محرز گردد.

۵-۲- الگوریتم ابتکاری تکرار شونده

قدم صفر : قرار دهید:

n = ماکزیمم تعداد سوراخهای مورد نیاز برای انواع ابزارهای مورد نیاز در بین انواع قطعات

h = مجموع سوراخهای روی خشاب کل ماشینهای در دسترس

یعنی:

$$n = \mathrm{Max}_i \{N(TR_i)\} ,$$
$$h = \sum_m TS$$

- اگر n بیشتر از h باشد؛ مسئله دسته‌بندی امکان ناپذیر است و الگوریتم متوقف می گردد.
- در غیر این صورت قرار دهید: $Z_{MIN} = \infty$ و سپس وارد بخش اول الگوریتم شوید.
- قرار دهید: $NH = n$

بخش اول : تشکیل دسته های مجازی اولیه

قدم ۱- همه قطعات را به ترتیب نزولی تعداد ابزارهای مورد نیاز آنها مرتب کنید و در Part.List قرار دهید.

قدم ۲- اولین قطعه تخصیص نیافته به یک دسته مجازی در Part.List را به یک دسته مجازی b تخصیص دهید. به دنبال آن ابزارهای لازم را برای آن دسته فراهم کنید.

قدم ۳- برای کلیه قطعات در مرتبه های پایینتر از آن قطعه در Part.List ؛ ضریب مشابهت ابزاری بین آن قطعه و دسته مجازی تولید شده b را محاسبه کنید.(محاسبه $S_{i,b}$ ها برای دسته مجازی b هر i متعلق به Part.List، در مرتبه پایینتر از اولین قطعه تخصیص داده شده به دسته مجازی b)

- اگر $S_{i,b}$ برابر یک بود؛ آنگاه قطعه i را به دسته مجازی تولید شده b تخصیص دهید و آن را به انتهای Part.List منتقل کنید.
- در غیر این صورت قدمهای (۲) و (۳) را تا زمانی تکرار کنید که همه قطعات در Part.List به دسته‌های مجازی تخصیص یابند.

بخش دوم : تشکیل دسته های پایه و اصلی

قدم ۴- تمام دسته‌های ادغامی و همچنین دسته‌های مجازی ادغام نشده با تعداد ابزارهای کمتر از NH را در نظر بگیرید. سپس ضرائب مشابهت ابزاری بین هر دو دسته ($S_{b1,b2}$ ها) ، که تعداد ابزارهای دسته ادغامی از آنها کوچکتر یا مساوی NH خواهد شد؛ را محاسبه کنید. دسته های ادغامی را به ترتیب نزولی ضریب مشابهت ابزاری در Similarty.List قرار دهید. اگر چند ضریب مشابهت ابزاری یکسان در لیست پشت هم قرار گیرند آنها را به ترتیب صعودی تعداد ابزارهای نهایی در دسته ادغامی در لیست نهایی مرتب سازی کنید.

قدم ۵- دسته های b_2 و b_1 با بالاترین ضریب مشابهت را از Similarity.List انتخاب کنید.

- اگر لیست خالی شده است؛ به بخش سوم بروید.

قدم ۶- دسته های b_1 , b_2 را حذف کنید و یک دسته جدید حاصل از ادغام این دو دسته با ابزارهای لازم ایجاد کنید. ضرائب مشابهتی را که مربوط به این دو دسته بوده اند؛ از Similarity.List حذف کنید و برای محاسبه ضرائب مشابهت

ابزاری سایر دسته ها با دسته جدید به قدم (۴) برگردید.(در واقع با اینکار دسته با ابزار کمتر در دسته با ابزار بیشتر ادغام می‌گردد)

بخش سوم : محاسبه تابع هدف

قدم ۷- اگر الگوریتم را با $NH = n$ شروع کرده اید، به قدم ۸ بروید و اگر با $NH = h$ شروع کرده اید، به قدم ۹ بروید.

قدم ۸- اگر مقدار تابع هدف $Z >= Z_{MIN}$ باشد؛ آنگاه قرار دهید: $Z_{MIN} = Z$ ؛ $NH = NH + 1$ وآخرین جواب بدست آمده از الگوریتم را حفظ کنید.

- در صورتیکه NH مساوی یا کمتر از $N(T_b)_{MAX}$ باشد؛ به بخش اول، قدم (۱) برگردید.
- در غیر این صورت اگر $Z < Z_{MIN}$ است یا NH بزرگتر از $N(T_b)_{MAX}$ باشد؛ آنگاه قرار دهید $NH = h$ و با آخرین جواب حفظ شده به بخش اول، قدم (۱) برگردید.

قدم ۹- اگر مقدار تابع هدف $Z >= Z_{MIN}$ باشد؛ آنگاه قرار دهید: $Z_{MIN} = Z$ ؛ $NH = NH - 1$ وآخرین جواب بدست آمده از الگوریتم را حفظ کنید.

- در صورتیکه NH مساوی یا بیشتر از n باشد؛ آنگاه به بخش اول، قدم (۱) برگردید.
- در غیر این صورت اگر $Z < Z_{MIN}$ است یا NH کوچکتر از n باشد؛ آنگاه الگوریتم را متوقف کنید و آخرین جواب حفظ شده را ارائه کنید.

۶- مثال عددی

در این بخش از کار مثالهای مختلفی با استفاده از الگوریتم پیشنهادی حل گردید. در ادامه دو مثال مطرح شده از مقاله کو و همکارانش[۹] و یک مثال از مقاله نایاک و همکارانش[۱۰] مد نظر قرار گرفته و با روشهای ارائه شده در این مقاله حل شده است.

نایاک و همکارانش از دو فرض تعداد محدود ابزارها در سیستم تولیدی در حل مثالهای عددی خود استفاده نکرده اند. آنها علاوه بر طرح و حل مثال خود، دو مثال مقاله کو و همکارانش را نیز حل و با نتایج حل روشهای خود مقایسه کرده اند. چون در روش آنها هدف نهایی و فرضیات به کار گرفته شده در انجام این مثالها، متفاوت با هدف نهایی و فرضیات مطرح در این مقاله است؛ بنابراین نمی توان مقایسه ای بین نتایج روشهای ارائه شده در این مقاله با نتایج روشهای ذکر شده توسط این دو مقاله داشت.

۶-۱- مثال اول

این مثال در تحقیق کو و همکارانش [۹] مطرح شده است. یک حالت ساده با چهار نوع قطعه، هشت نوع عمل، سی نوع ابزار و دو ماشین در نظر بگیرید. عملیات مورد نیاز برای انواع قطعات در جدول (۱) آورده شده است. همچنین ابزارهای مورد نیاز هر یک از انواع عملیات در جدول (۲) ذکر شده است. خشاب هر ماشین می تواند ده ابزار را قبول کند. هر یک از ابزارها یک سوراخ از خشاب ماشین را اشغال می‌کند.

دسته بندی انواع قطعات توسط روش ابتکاری ارائه شده انجام شده است. انواع قطعات به دو دسته با تابع هدف $Z = ۰/۵$ تقسیم شده اند که نتایج آن در جدول (۳) آورده شده است. این جواب، جواب بهینه مسئله می باشد.

جدول (۱) عملیات مورد نیاز برای انواع قطعات در مثال اول

نوع قطعه	۱	۲	۳	۴
انواع عملیات مورد نیاز	۲ ، ۱	۴ ، ۳	۶ ، ۵	۸ ، ۷

جدول (۲) انواع ابزارهای مورد نیاز برای هر یک از انواع عملیات در مثال اول

عمل نوع	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
ابزارهای مورد نیاز	۱ ، ۲ ، ۳ ، ۴ ، ۵	۲۱ ، ۲۲ ، ۲۳ ، ۲۴ ، ۲۵	۶ ، ۷ ، ۸ ، ۹ ، ۱۰	۲۶ ، ۲۷ ، ۲۸ ، ۲۹ ، ۳۰	۱ ، ۲ ، ۱۱ ، ۱۲ ، ۱۳ ، ۱۴	۱۶ ، ۱۷ ، ۱۸ ، ۱۹، ۲۱، ۲۲	۳ ، ۴ ، ۵ ، ۱۳ ، ۱۴ ، ۱۵	۱۸ ، ۱۹ ، ۲۰، ۲۳ ، ۲۴ ، ۲۵

جدول (۳) نتایج دسته بندی انواع قطعات و انواع عملیات و ابزارهای هر دسته برای مثال اول

شماره دسته	انواع قطعات در دسته	انواع عملیات مورد نیاز	انواع ابزارهای مورد نیاز
۱	۱ ، ۳ ، ۴	۱ ، ۲ ، ۵ ، ۶ ، ۷ ، ۸	۱ ، ۲ ، ۳ ، ۴ ، ۵ ، ۱۱ ، ۱۲ ، ۱۳ ، ۱۴ ، ۱۵ ، ۱۶ ، ۱۷ ، ۱۸ ، ۱۹، ۲۰ ، ۲۱ ، ۲۲ ، ۲۳ ، ۲۴ ، ۲۵
۳	۲	۳ ، ۴	۶ ، ۷ ، ۸ ، ۹ ، ۱۰ ، ۲۶ ، ۲۷ ، ۲۸ ، ۲۹ ، ۳۰

۶-۲- مثال دوم

این مثال نیز در تحقیق کو و همکارانش [۹] مطرح شده است. یک سیستم تولیدی انعطاف پذیر با شش نوع قطعه، ده نوع عمل، بیست نوع ابزار و پنج ماشین در نظر بگیرید. خشاب هر ماشین می تواند چهار ابزار را که هر یک از ابزارها یک سوراخ از خشاب ماشین را اشغال می کند، قبول کند. عملیات مورد نیاز برای انواع قطعات در جدول (۴) آورده شده است. همچنین ابزارهای مورد نیاز برای هر یک از انواع عملیات در جدول (۵) ذکر شده است.

جدول (۴) عملیات مورد نیاز برای انواع قطعات در مثال دوم

نوع قطعه	۱	۲	۳	۴	۵	۶
عملیات	۳ ، ۵ ، ۷	۴ ، ۵ ، ۶ ، ۸	۳ ، ۹ ، ۱۰	۲ ، ۴ ، ۵	۱ ، ۲ ، ۶ ، ۷	۲ ، ۴ ، ۸ ، ۹ ، ۱۰

جدول (۵) انواع ابزارهای مورد نیاز برای هر یک از انواع عملیات در مثال دوم

عمل نوع	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
ابزارهای مورد نیاز	۱ ، ۲ ، ۳	۳ ، ۴ ، ۵	۶ ، ۷	۷ ، ۸	۸ ، ۹ ، ۱۰	۱۱ ، ۱۲ ، ۱۳	۱۳ ، ۱۴	۱۵ ، ۱۶	۱۷ ، ۱۸ ، ۱۹	۱۸ ، ۱۹ ، ۲۰

دسته بندی انواع قطعات توسط روش ابتکاری ارائه شده انجام شده است. انواع قطعات به سه دسته با تابع هدف $Z = ۰/۴۵$ تقسیم شده اند که نتایج آن در جدول (۶) آورده شده است. این جواب، جواب بهینه مسئله می باشد.

جدول (۶) نتایج دسته بندی انواع قطعات و انواع عملیات و ابزارهای هر دسته برای مثال دوم

شماره دسته	انواع قطعات در دسته	انواع عملیات مورد نیاز	انواع ابزارهای مورد نیاز
۱	۶ ، ۳	۲ ، ۳ ، ۴ ، ۸ ، ۹ ، ۱۰	۳ ، ۴ ، ۵ ، ۶ ، ۷ ، ۸ ، ۱۵ ، ۱۶ ، ۱۷ ، ۱۸ ، ۱۹ ، ۲۰
۲	۲ ، ۱	۳ ، ۴ ، ۵ ، ۶ ، ۷ ، ۸	۶ ، ۷ ، ۸ ، ۹ ، ۱۰ ، ۱۱ ، ۱۲ ، ۱۳ ، ۱۴ ، ۱۵ ، ۱۶
۳	۵ ، ۴	۱ ، ۲ ، ۴ ، ۵ ، ۶ ، ۷	۱ ، ۲ ، ۳ ، ۴ ، ۵ ، ۷ ، ۸ ، ۹ ، ۱۰ ، ۱۱ ، ۱۲ ، ۱۳ ، ۱۴

۶-۳- مثال سوم

این مثال در تحقیق نایاک و همکارانش [۱۰] مطرح شده است. یک سیستم تولیدی انعطاف پذیر با ده نوع قطعه، ده نوع عمل، بیست نوع ابزار و پنج ماشین در نظر بگیرید. خشاب هر ماشین می تواند پنج ابزار را که هر یک از ابزارها یک سوراخ از خشاب ماشین را اشغال می کند، قبول کند. عملیات مورد نیاز برای انواع قطعات در جدول (۷) آورده شده است. ابزارهای مورد نیاز برای هر یک از انواع عملیات در جدول (۸) ذکر شده است.

جدول (۷) عملیات مورد نیاز برای انواع قطعات در مثال سوم

نوع قطعه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
عملیات مورد نیاز	۱ ، ۲ ، ۳ ، ۶	۲ ، ۳ ، ۵ ، ۸	۱ ، ۲ ، ۴ ، ۶	۳ ، ۴ ، ۵ ، ۶	۳ ، ۴ ، ۵ ، ۸	۴ ، ۵ ، ۶	۵ ، ۶ ، ۷ ، ۹	۶ ، ۸ ، ۹ ، ۱۰	۸ ، ۹ ، ۱۰	۶ ، ۷ ، ۸ ، ۹

جدول (۸) انواع ابزارهای مورد نیاز برای هر یک از انواع عملیات در مثال سوم

عمل نوع	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
ابزارهای مورد نیاز	۱ ، ۲ ، ۳	۳ ، ۴ ، ۵	۶ ، ۷	۷ ، ۸	۸ ، ۹ ، ۱۰	۱۱ ، ۱۲ ، ۱۳	۱۳ ، ۱۴	۱۵ ، ۱۶	۱۷ ، ۱۸ ، ۱۹	۱۸ ، ۱۹ ، ۲۰

دسته بندی انواع قطعات توسط روش ابتکاری ارائه شده انجام شده است. انواع قطعات به چهار دسته با تابع هدف $Z = ۰/۳۸$ تقسیم شده اند که نتایج آن در جدول (۹) آورده شده است. به دلیل بزرگ بودن ابعاد مسئله جواب بهینه بدست نیامد.

جدول (۹) نتایج دسته بندی انواع قطعات و انواع عملیات و ابزارهای هر دسته برای مثال سوم

شماره دسته	انواع قطعات در دسته	انواع عملیات مورد نیاز	انواع ابزارهای مورد نیاز
۱	۳ ، ۱	۱ ، ۲ ، ۳ ، ۴ ، ۶	۱ ، ۲ ، ۳ ، ۴ ، ۵ ، ۶ ، ۷ ، ۸ ، ۱۱ ، ۱۲ ، ۱۳
۲	۵ ، ۲	۲ ، ۳ ، ۴ ، ۵ ، ۸	۳ ، ۴ ، ۵ ، ۶ ، ۷ ، ۸ ، ۹ ، ۱۰ ، ۱۵ ، ۱۶
۳	۷ ، ۶ ، ۴	۳ ، ۴ ، ۵ ، ۶ ، ۷ ، ۹	۶ ، ۷ ، ۸ ، ۹ ، ۱۰ ، ۱۱ ، ۱۲ ، ۱۳ ، ۱۴ ، ۱۷ ، ۱۸ ، ۱۹
۴	۱۰ ، ۹ ، ۸	۶ ، ۷ ، ۸ ، ۹ ، ۱۰	۱۱ ، ۱۲ ، ۱۳ ، ۱۴ ، ۱۵ ، ۱۶ ، ۱۷ ، ۱۸ ، ۱۹ ، ۲۰

۷- نتیجه گیری

در این مقاله مسئله دسته بندی انواع قطعات در سیستمهای تولیدی انعطاف پذیر با اهداف ناسازگار کاهش تعداد دسته ها و افزایش انعطاف پذیری مسیرهای پردازشی مورد توجه قرار گرفته است. در ابتدا مسئله به صورت یک مدل برنامه ریزی اعداد صحیح غیر خطی صفر و یک مدلسازی شده است. از آنجایی که این مدل از لحاظ محاسباتی در مسائل با ابعاد بزرگ بسیار پیچیده و زمانبر می‌باشند برای حل مسئله یک روش ابتکاری تکرار شونده با استفاده از مفاهیم ضریب مشابهت ابزاری بین دو دسته پیشنهاد شده است. مثالهای مختلفی با استفاده از الگوریتم پیشنهادی حل گردید و جوابهای آنها با جوابهای بهینه (در صورت امکان حل مدل) مقایسه گردید. سه مثال مطرح در مقالات با استفاده از الگوریتم پیشنهادی در این مقاله آورده شده است که جوابهای آنها در مقایسه با جوابهای بهینه از حل مدل بسیار مطلوب می‌باشد.

منابع و مراجع

[۱] Stecke, K. E., "Formulation and solution of, nonlinear integer production planning problems in flexible manufacturing systems", Management science, Vol. 29, No. 3, 1983, pp. 273-288.
[۲] Co, H. C., Design and analysis of flexible manufacturing system: some analysis concepts, Virginia Polytechnic Institue and State University, Unpublished Ph.D. Dissertation, 1984.
[۳] Co, H. C., and Wysk, R. A., "The rpbustness of CAN-Q in modeling automated manufacturing systems", International Journal of Production Research, Vol. 24, 1986, pp. 1485-1503.
[٤] Nof, S. Y., Barash, M. B., and Solberg, J. J., "Operational control of item flow in versatile manufacturing systems", International Journal of Production Research, Vol. 17, No. 5, 1979, pp. 479-489.
[٥] Berrada, M., and Stecke, K. E., "A branch and bound approach for machine load balancing in flexible manufacturing systems", Management science, Vol. 32, No. 10, 1986, pp. 1016-1335.
[٦] Hwang, S., "Part selection problems in flexible manufacturing systems planning stage", Proceedings of the 1st ORSA/TIMS Conference on Flexible manufacturing systems, pp. 297-309, 1986.
[۷] Lee, C.-Y., Liman, S. D., and Wirakusumah, A., "Product batching and batch sequencing for NC punch presses", International Journal of Production Research, Vol. 31, No. 5, 1993, pp.1143-1156.
[۸] Gupta, M. C., Gupta, Y. P., and Evans, G. W., "Opeartinos planning and scheduling problems in advanced manufacuring systems", International Journal of Production Research, Vol. 31, No. 4, 1993, pp. 869-900.
[۹] Co, H. C., Bierman, J. S., and Chen, S. K., "A methodical approach to the flexible manufacturing system batching, loading and tool configuration problems", International Journal of Production Research, Vol. 28, No. 12, 1990, pp. 2171-2186.
[۱۰] Nayak, G. K., and Acharya, D., "Part type selection, machine loading and part type volume determination problems in FMS planning", International Journal of Production Research, Vol. 36, No. 7, 1998, pp. 1801-1824.
[۱۱] Buyurgan, Nebil., Saygin, Can. and Engin Kilic, S.E.S., "Tool allocation in flexible manufacturing systems with tool alternatives ", Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Vol. 20, Issue 4, August 2004, PP 341-349.
[۱۲] Chan, Felix T.S., and Swarnkar, Rahul., "Ant colony optimization approach to a fuzzy goal programming model for a machine tool selection and operation allocation problem in an FMS ", Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Available online 10 October 2005.