فصلنامه علمی ° پژوهشی مطالعات مدیریت صنعتی ° سال چهاردهم، شماره ۴۳، زمستان ۹۵
صفحات ۱۳۵-۱۶۱

رویکرد یکپارچه زمانبندی و برنامه‌ریزی فرایند بر مبنای تلفیق پایگاه دانش فازی و روش‌های فراابتکاری

داریوش محمدی زنجیرانی* ، مجید اسماعیلیان** ، سعیده جوکار***

تاریخ دریافت:۹۴/۸/۱
تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۱/۲۴

چکیده

طرح‌ریزی فرآیند شامل تعیین مناسب‌ترین و کارآمدترین فرآیندهای ساخت (مونتاژ) و نیز تعیین توالی آنها به منظور تولید یک محصول (قطعه)، مطابق با مشخصه‌های مورد نیازی است که در مستندات طراحی محصول، ذکر شده است.در مقاله حاضر در رویکردی یکپارچه به بهینه‌سازی برنامه‌ریزی فرایند و زمانبندی با در نظر داشتن پارامترهای کیفی موثر در سیستم ساخت و تولید کارگاهی و انعطاف‌پذیر پرداخته شده است. برای حل مسئله، از تلفیق الگوریتم‌های فراابتکاری و سیستم استنتاج فازی در قالب توابع هدف چندگانه و آرمانی شامل کمینه‌سازی هزینه و زمان پردازش قطعات و بیشینه‌سازی مطلوبیت طرح فرایند (از نظر پارامترهای کیفی جریان مواد، پایداری، سهولت جابه‌جایی و ارتباط نظارتی) با استفاده از پایگاه دانش فازی و با توجه به محدودیت‌های سیستمی و آرمانی استفاده شده است. نتایج مطالعه حاکی از آن است که الگوریتم فراابتکاری شبیه سازی تبرید با توجه به مثال موردی ارائه شده نسبت به الگوریتم‌های رقابت استعماری، ازدحام ذرات و کلونی زنبور عسل کارایی بهتری در حل مدل پیشنهادی دارد.

واژگان کلیدی: *الگوریتم‌های فراابتکاری، برنامه‌ریزی فرایند، پایگاه دانش فازی، رویکرد یکپارچه، زمانبندی، سیستم تولید انعطاف پذیر*

---

* استادیار دانشکده علوم اداری و اقتصاد دانشگاه اصفهان، (نویسندهٔ مسئول مقاله)
Email: d.mohamadi@ase.ui.ac.ir

** استادیار دانشکده علوم اداری و اقتصاد دانشگاه اصفهان، اصفهان

*** کارشناسی ارشد مدیریت تولید و عملیات دانشگاه اصفهان

مقدمه

تولید در مفهوم مدرن آن به معنی ساخت قطعه‌ای از مواد اولیه با استفاده از فرآیندها، عملیات، نیروی انسانی و ماشین‌آلات مختلف بر اساس یک نقشه مشخص است. در حین تولید تغییراتی روی ماده اولیه رخ می‌دهد که منجر به تبدیل ماده اولیه به قطعه می‌شود. پس از انجام این فرآیند قطعه باید در بازار دارای قیمت یا ارزش باشد. بنابراین شرط کافی تولید را بایستی افزودن ارزش به ماده اولیه دانست. افزودن ارزش به مواد در حین فرآیند، باید بیش از هزینه فرآیند باشد تا کسب درآمد و سود برای تولید کننده نیز میسر شود. طرح‌های فرآیند می‌تواند به دلیل تفاوت در محدودیت‌های منابع مورد نیاز متفاوت باشند، وسعت و تنوع فرآیندهایی که طرح‌ریزی می‌شوند به تجهیزات فرآیند و قابلیت‌های تکنولوژیکی شرکت تولیدی بستگی داشته و به همین منظور می‌بایست از بین طرح‌های مختلف طرحی را انتخاب کرد که در عین ممکن بودن، هزینه تولید محصول (قطعه) را کمینه کرده و با ترکیبی از معیارهای متعارف، هدف مدل را بهینه سازی کند، از اینرو توسعه ساختارهای برنامه‌ریزی فرایند با هدف بهینه-سازی هزینه‌های موجود (با توجه به پارامترهای کمی و کیفی تاثیرگذار) و نیز اعمال محدودیت‌های مربوط به ظرفیت انعطاف‌پذیری سیستم تولید از اهمیت ویژه ای برخوردار بوده و برنامه‌ریزی مراحل ساخت یکی از با اهمیت‌ترین بخش‌های مربوط به کار تولید است. امروزه در بسیاری از سیستم‌های ساخت و تولید، انعطاف‌پذیری در عملیات ساخت ضروری و در حال افزایش است و بطور همزمان استفاده بهینه از منابع ساخت و تولید نیز در کانون تمرکز قرار داشته و لذا تقارن زمانبندی و برنامه‌ریزی فرایند اجتناب‌ناپذیر است.

طرح‌ریزی فرآیند شامل تعیین مناسب‌ترین و کارآمدترین فرآیندهای ساخت (مونتاژ) و نیز تعیین توالی آنها به منظور تولید یک محصول (قطعه)، مطابق با مشخصه‌های مورد نیازی است که در مستندات طراحی محصول، ذکر شده است (ادیتن، ۲۰۰۷) . زمانبندی نیز در تلاش است تا براساس برنامه تعیین شده فرایند، تخصیص منابع و زمانبندی بهره‌برداری از انها برای

عملیات تولید را بر مبنای معیارهای چندگانه (کمی و کیفی) بهینه‌سازی کند (وتنبه، ایدا و ژن، ۲۰۰۵).

از انجا که مساله برنامه‌ریزی فرآیند و زمانبندی در یک سیستم تولید انعطاف‌پذیر و یافتن ترکیبی بهینه یا نزدیک به بهینه یکی از مسائل Np_hard می‌باشد و یافتن جواب بهینه در زمان معقول با روش‌های برنامه‌ریزی ریاضی امکان‌پذیر نمی‌باشد، بنابراین برای حل این مساله از روش‌های متاهیورستیک استفاده می‌گردد.

علاوه بر این موضوع، در اکثر پژوهش‌های پیشین نیز طرح‌ریزی فرایند یا بدون توجه به انعطاف‌های مورد نیاز در سیستم تولید انعطاف پذیرFMS [1] انجام گرفته و یا دامنه کوچکی از انعطاف‌ها (صرفاً در حوزه کاربرد ماشین‌ها) لحاظ شده و همچنین تاثیر پارامترهای کیفی روی مطلوبیت طرح فرایند اندازه‌گیری نشده است. در این مطالعه سعی بر آن است با اعمال انعطاف‌های مختلف شامل انعطاف ماشین، انعطاف ابزار، انعطاف توالی و انعطاف جهت دسترسی به ابزار(TAD) [2] و با توجه به تاثیر پارامترهای کیفی بر انتخاب طرح فرایند، زمانبندی و بهینه‌سازی طرح‌ریزی فرایند بصورت یکپارچه و در قالب یک مدل ریاضی دارای توابع هدف چندگانه (آرمانی) انجام شود.

برای ارزیابی کیفیت جواب‌های بدست آمده، مسئله با استفاده از الگوریتم‌های مختلفی همچون ازدحام ذرات، رقابت استعماری، کلونی زنبور عسل و شبیه‌سازی تبرید حل شده و جواب‌ها مورد مقایسه قرار می‌گیرند.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

1- Flexible manufacture system

2- tool access direction

پیشینه پژوهش

زمانبندی[1] و برنامه ریزی فرایند[2] یکپارچه

ادغام برنامه‌ریزی فرایند و زمانبندی یکی از مهمترین توابع برای اجرای برنامه‌ریزی منعطف در یک محیط تولید کارگاهی است. قابل ذکر است که برنامه‌ریزی فرایند و زمانبندی به صورت جداگانه و پی در پی انجام می‌شوند(لی و مک‌ماهان، ۲۰۰۷).

یکپارچه‌سازی این دو فعالیت راه کاری موثر برای جلوگیری از تحمل هزینه و تلاشی اضافی ناشی از این نوع تغییرات و استفاده از انعطاف‌پذیری موجود در راستای بهبود عملکرد سیستم است(وانگ، ونگ و ژانگ، ۲۰۰۷)

سیستم استنتاج فازی[3]

استنتاج فازی به عنوان فرایند نگاشت مجموعه‌ای از داده‌های ورودی به مجموعه‌ای از داده-های خروجی، بر مبنای منطق فازی بیان می‌شود(کاتاکبارا و اندریتو، ۲۰۰۹). سیستم استنتاج فازی، عموما متشکل از ۴ بخش اصلی شامل فازی‌سازی، قوانین فازی، موتور استنتاج فازی و غیر فازی‌سازی می‌باشد. ساختار کلی سیستم استنتاج فازی در شکل ۱ ارائه شده است (صابری نصر، رضایی، دشتی و منصوری مجومرد، ۱۳۹۲).

شکل ۱. ساختار کلی سیستم استنتاج فازی(صابری نصر، رضایی، دشتی و منصوری مجومرد، ۱۳۹۲)

1- scheduling

2- Process planning

3 -Fuzzy Inference System

فازی‌سازی: عبارت است از تبدیلی که مقادیر اندازه‌گیری شده را به متغیرهای زبانی به کار رفته در قسمت شرط قوانین فازی تبدیل می‌کند. فازی‌سازی با استفاده از توابع عضویت انجام می‌گیرد (صابری نصر، رضایی، دشتی و منصوری مجومرد، ۱۳۹۲).

قوانین فازی: در سیستم‌های مبتنی بر دانش رابطه بین ورودی و متغیرهای زبانی خروجی، به صورت یک مجموعه فازی اگر- آنگاه بیان می‌شود. در سیستم استنتاج فازی، هر قانون دو قسمت دارد:۱)شرط(فرض): اگر... ۲)نتیجه: آنگاه... (کاتامبارا و اندریتو، ۲۰۰۹).

موتور استنتاج فازی: عملیات استنتاج قوانین بر عهده سیستم استنتاج یا واحد تصمیم گیرنده است. این سیستم، روش ترکیب قوانین را کنترل می‌کند (ماهاپاترا، ناندا و پانیگراهی، ۲۰۱۱).

غیر فازی سازی: این فرایند شامل تبدیل خروجی فازی به یک خروجی قطعی نهاییی است(سیلورت، ۲۰۰۰).

در مطالعه حاضر با استفاده از روش مرکز سطح، کمیت فازی با استفاده از رابطه ۱ به کمیت قطعی تبدیل می‌گردد (آککگان، سزار و نفسلیوگلو، ۲۰۱۱):

رابطه ۱) $Z_{COA}=(\int_A(z)zdz)/\int_A(z)dz$

بطوریکه Z_{COA} مقدار قطعی برای خروجی z و $\mu_A(z)$ تابع عضویت خروجی است.

الگوریتم‌های فراابتکاری

روش‌ها و الگوریتم‌های بهینه‌سازی به دو دسته الگوریتم‌های دقیق و الگوریتم‌های تقریبی تقسیم‌بندی می‌شوند. الگوریتم‌های دقیق قادر به یافتن جواب بهینه به صورت دقیق هستند اما در مورد مسائل بهینه‌سازی سخت کارایی ندارند الگوریتم‌های تقریبی قادر به یافتن جواب‌های خوب (نزدیک به بهینه) در زمان حل کوتاه برای مسائل بهینه‌سازی سخت هستند. الگوریتم‌های تقریبی نیز به سه دسته الگوریتم‌های ابتکاری، فراابتکاری و فوق ابتکاری بخش‌بندی می‌شوند. دو مشکل اصلی الگوریتم‌های ابتکاری، قرار گرفتن آنها در بهینه‌های محلی و ناتوانی آنها برای کاربرد در مسائل گوناگون است. الگوریتم‌های فراابتکاری برای حل این مشکلات الگوریتم‌های ابتکاری ارائه شده‌اند. در واقع الگوریتم‌های فراابتکاری، یکی از انواع الگوریتم‌های بهینه‌سازی تقریبی هستند که دارای راهکارهای برونرفت از بهینه محلی

می‌باشند و قابل کاربرد در طیف گسترده‌ای از مسائل هستند. در این پژوهش کارایی الگوریتم‌های رقابت استعماری (آتش پز، ۲۰۰۴)، شبیه‌سازی تبرید (زارع‌مهرجردی، برقی و مومنی، ۱۳۹۰) ، کلونی زنبور عسل (گارابوگا و باستورک،۲۰۰۷) و ازدحام ذرات (کاویانی، پورموسوی کانی و جهانبانی اردکانی، ۱۳۸۴) مورد بررسی قرار گرفته است.

پیشینهٔ تجربی

لی و مک ماهان (۲۰۰۷) یک رویکرد بهینه‌سازی شبیه‌سازی تبرید را جهت بهینه‌سازی برنامه-ریزی فرایند و زمانبندی یکپارچه ارائه کرده‌اند. و معیارهای عملکرد شامل متوسط زمان تکمیل قطعات، سطح متوازن بهره‌برداری ازماشین‌الات، هزینه تولید و تاخیر در تولید سفارشات در نظر گرفته شده است.

وان و همکاران (۲۰۰۶) برای حل مساله برنامه‌ریزی فرایند و زمانبندی یکپارچه از رویکرد بهینه‌سازی کلونی مورچگان با در نظر گرفتن زمان‌های راه‌اندازی استفاده کرده‌اند، همچنین در این تحقیق منابع خارجی (تولیدکنندگان مستقل) نیز مورد توجه قرار گرفته اند.

وانگ و تیان (۲۰۰۸) برای بهینه‌سازی برنامه‌ریزی فرایند و زمانبندی یکپارچه از الگوریتم زنتیک با عملگرهای تقاطع و جهش استفاده کرده‌اند و مسیر فرایند مطلوب تولید در کارگاه-های انعطاف‌پذیری را با استفاده از روش ذکر شده بدست آورده اند.

وانگ و همکاران (۲۰۱۰) با استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات بهینه‌سازی برنامه‌ریزی فرآیند یکپارچه چند هدفه و مسائل زمانبندی را برای یافتن مجموعه راه‌حل‌های تجاری با کیفیت بالا مورد استفاده قرار دادند .

روش‌شناسی پژوهش

فاکتورهای تاثیر گذار در سیستم تولید کارگاهی و انعطاف‌پذیر

برنامه‌ریزی فرایند و زمانبندی به صورت توام نقش بسیار مهمی در کارا بودن سیستم تولید کارگاهی و انعطاف‌پذیر ایفا می‌کنند. برای یافتن طرح فرایند مناسب باید متغیرهای تاثیرگذار

در توالی اجرای عملیات‌ها بر روی ماشین‌های موجود با چیدمان ثابت به دقت مشخص و کنترل کرد. تعداد، پیچیدگی و طبیعت مبهم بعضی از این متغیرها طراح فرایند را ناچار می‌سازد تا از منطق و نگرش مجموعه‌های فازی به عنوان ابزاری برای فایق امدن بر این ابهام استفاده کنند. بر مبنای نظریه فازی، برای ارزیابی مطلوبیت یک طرح فرایند، لازم است از تخصیص متغیرهای زبانی به فاکتورهای کیفی تاثیرگذار روی طراحی فرایند، استفاده نمود. جدول ۱ برخی از این فاکتورها را به همراه برچسب‌های زبانی متناظر نشان داده است:

جدول ۱. برچسب‌های زبانی پارامترهای کیفی

معیارهای ارزیابی	برچسب زبانی متناظر
جریان مواد بین دستگاه‌ها	بسیار پایین، پایین، متوسط، بالا، خیلی بالا
پایداری طرح فرایند	بسیار پایین، پایین، متوسط، بالا، خیلی بالا
سهولت نظارت	بسیار ضروری، ضروری، متوسط، کم، بسیار کم
سهولت جابه‌جایی در اجرای عملیات	بسیار راحت، راحت، متوسط، سخت، بسیار سخت

طراحی مدل

بدیهی است تلاش برای پایین نگهداشتن هزینه یا زمان تولید قطعات در سیستم تولید کارگاهی به سهولت تحقق اهداف تولید، بازاریابی و ... نیز منجر می‌شود، در همین راستا در مطالعه حاضر تلاش شده با ادغام دو مساله برنامه‌ریزی فرایند و زمانبندی، همچنین با لحاظ کردن پارامترهای کیفی مورد توجه در تامین احتیاجات توالی، به مدل‌سازی و بهینه‌سازی برنامه‌ریزی فرایند در رویکردی فازی و آرمانی پرداخته شود. اهداف تشکیل‌دهنده مدل عبارتند از: بیشینه‌سازی مطلوبیت طرح فرایند، کمینه‌سازی کل زمان تکمیل قطعات و سفارشات موجود در سیستم تولید و کمینه‌سازی مجموع موزون هزینه‌های مربوط به تامین انعطاف سیستم تولید (شامل انعطاف ابزار، ماشین، فرآیند و توالی). در بخش‌های زیر به ترتیب احتیاجات مفهومی و فنی مرتبط با هر یک از این اهداف تشریح شده‌اند.

برای اندازه‌گیری مطلوبیت می‌توان از فاکتورهایی نظیر جریان مواد بین دستگاه‌ها (ارتباط بین ماشین‌ها)، پایداری برنامه‌ریزی فرآیند نسبت به تغییر در تقاضای محصولات، سهولت نظارت بر توالی اجرای عملیات، سهولت جابه‌جایی در اجرای عملیات روی ماشین‌های مختلف و تعادل بار منابع تولید و ... استفاده کرد. بدیهی است سنجش پارامترهای مورد اشاره که بعضا کیفی و قضاوتی می‌باشند مستلزم بهره گیری از استدلال تقریبی افراد مجرب و ناظر دریک سیستم تولید کارگاهی مفروض (با چیدمان معین) است.

بمنظور تسهیل محاسبات سیستماتیک مطلوبیت در ساختار اجرایی رویکردهای فراابتکاری لازم است به ترکیب دانش افراد خبره و ناظر سیستم تولید (بررسی موردی سیستم تولید معین) در یک پایگاه دانش فازی پرداخته شود. با داشتن اولویت‌های رابطه‌ای بین ماشین‌ها با استفاده از پایگاه دانش فازی، در هر توالی مفروض عملیات پردازشی، مطلوبیت طرح فرایندi (Ui) به عنوان هدفی که الگوریتم فراابتکاری در بین طرح‌های جایگزین فرایند بدنبال بیشینه سازی آن است محاسبه و مورد استفاده قرار می‌گیرد. محاسبه میزان مطلوبیت برای یک طرح فرایند مفروض می‌تواند به شرح زیر می‌باشد:

در ابتدا فاکتورهای تاثیرگذار در توالی عملیات‌ها روی ماشین‌ها با چیدمان ثابت به عنوان متغیرهای ورودی و تاثیرگذار در مطلوبیت توالی عملیات‌ها مشخص می‌شوند. در این مقاله ۴ فاکتور جریان مواد بین دستگاه‌ها، پایداری برنامه‌ریزی فرایند، سهولت نظارت و سهولت جابه‌جایی در اجرای عملیات در نظر گرفته شده‌اند. سپس مقادیر هر یک از فاکتورها برای رابطه بین همه ماشین‌ها با در نظر داشتن جابه‌جایی‌ها و رفت و برگشت‌های عملیات‌های مختلف روی ماشین‌ها با چیدمان ثابت بر مبنای متغیرهای زبانی متناظر با استفاده از اعداد مثلثی فازی و طبق نظر فرد خبره مشخص می‌شوند. درجه اهمیت هر یک از فاکتورها نسبت به یکدیگر برای تمام روابط با استفاده از طیف ساعتی تعیین می‌شود. بر همین اساس درصد وزن هر یک از معیارها برای تمام روابط بدست می‌آید. مرحله بعدی شامل تابع عضویت برای مقدار عددی هر یک از فاکتورها در تمامی روابط بدست می‌آید. بر مبنای تابع عضویت، وزن فاکتورها در هر رابطه بدست می‌آید. پایگاه داده شامل اطلاعات ماشین‌ها (تعداد ماشین‌ها،

اندازه و فاصله بین ماشین‌ها و...) و پایگاه داده متغیرهای فازی شامل نمودارهای مثلثی برای میزان فاکتورها، نمودارهای مثلثی وزن فاکتورها و نمودارهای مثلثی متغیر خروجی که به صورت مقادیر زبانی ضرورت مطلق(A)، بسیار مهم(E)، مهم (I)، معمولی(O)، غیر مهم(U) و نامطلوب(X) اختصاص یافته است، می‌باشد. پایگاه دانش نیز شامل قوانین فازی که به صورت قوانین اگر °آنگاه برای فاکتورها هستند برای تمام روابط موجود توسط نظر فرد خبره تعیین می‌شوند.

بعد از فازی کردن متغیرها و تشکیل پایگاه دانش با استفاده از پایگاه داده به موتور استنتاج نیاز است. موتور استنتاج ورودی‌های فازی را بر اساس قوانین اگر/ آنگاه حاصل از پایگاه دانش به خروجی فازی مناسب تبدیل می‌کند. در روش ممدانی، متغیرهای ورودی میزان فاکتورها و وزن فاکتورها برای هر رابطه بوده و متغیر خروجی، نرخ‌های نزدیکی عملیات معینی در رابطه با ماشینهای مستقر، برای هر رابطه می‌باشد. برای هر فاکتور در هر رابطه یک میزان عضویت نهایی برای نرخ نزدیکی دو بخش حاصل می‌شود. با استفاده از روش غیر فازی کننده COA [1] ، خروجی فازی به یک مقدار قطعی تبدیل خواهد شد. در گام نهایی برای هر رابطه، میانگین مقدار قطعی تمام فاکتورها مشخص شده و به عنوان ارزش نهایی نرخ‌های نزدیکی عملیات معین در رابطه با ماشین‌های مستقر، آماده بهره‌برداری در الگوریتم‌های فراابتکاری است.

در الگوریتم‌های فراابتکاری، در هر تکرار، یک جایگشت از توالی عملیات‌های تولید قطعات روی ماشین‌های مختلف بررسی می‌شوند، با مشخص شدن توالی عملیات‌های تولید قطعات بر روی ماشین‌های مستقر در هر تکرار و نرخ‌های نزدیکی بدست آمده در رابطه با ماشین‌های مستقر، میزان مطلوبیت طرح فرایند از مجموع نرخ‌های نزدیکی در هر توالی، مطابق رابطه ۲ بدست می‌آید.

$$U_i = \text{غ } uj \qquad \text{رابطه ۲)}$$

Ui: مطلوبیت طرح فرایند نهایی در جایگشت iام

uj : مطلوبیت توالی دو عملیات j و j-1

1- Center of area

در رابطه با هدف دوم مدل، ضرورت دارد با استفاده از اطلاعات مهم استخراج شده از نقشه‌های فنی (هندسه و ابعاد، تلرانس‌های هندسی، کیفیت سطح مورد نیاز، خصوصیات مواد و تعداد قطعات مورد نیاز) تخصیص عملیات و تعیین توالی عملیات مشخص شود. در همین راستا دسته‌ای از مهمترین انعطاف‌های ضروری در سیستم تولید انعطاف پذیر شامل انعطاف ابزار، ماشین، فرآیند و توالی در قالب یک تابع هدف که بدنبال کمینه‌سازی مجموع موزون هزینه‌های تامین انعطاف[1] است مدلسازی می‌شوند. هزینه‌های مورد اشاره در رابطه با این هدف، عبارتند از: هزینه بکارگیری ماشین[2]، هزینه استفاده از ابزار[3]، هزینه تغییر ماشین[4]، هزینه جابجایی ابزار [5] و هزینه تنظیمات مجدد[6]. در همین راستا پیشنیازهای فرایندی پردازش قطعه در قالب محدودیت‌های سیستمی مدل و به عنوان اولویت‌های عملیات پردازشی تعریف می‌شوند. روابط ریاضی مربوط به تابع هدف در این بخش بشرح روابط تعریف شده در پژوهش لیان ، ژانگ و شائو (۲۰۱۲) می‌باشد.

سومین هدفی که الگوریتم‌های فراابتکاری در صدد دستیابی به آن است، تعیین توالی بهینه قطعات (سفارشات) مختلف همزمان با تعیین طرح بهینه فرایند برای انهاست. توالی بهینه سفارشات، به حداقل شدن متوسط زمان تکمیل (و نیز متوسط تعداد) سفارشات موجود در سیستم تولید خواهد انجامید. در این مرحله با استفاده از برنامه فرایند مربوط به هر قطعه که از مرحله قبل به دست آمده به اولویت‌بندی و زمانبندی پردازش سفارشات روی ماشین‌های در دسترس پرداخته می‌شود. تابع هدف مربوط به این مرحله با توجه به روابط ریاضی تعریف شده در پژوهش لی و مک ماهان (۲۰۰۷) می‌باشد.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

1- Total weight cost
2- Machine cost
3- Tool cost
4- Machine change cost
5- Tool change cost
6- Set up change cost

بدیهی است برای حل این مساله به روش همگن نیاز است تابع هدف در قالب یک مدل برنامه‌ریزی آرمانی و به صورت کمینه انحرافات نامساعد از ارمانهای مدل تعریف شود، که با تعریف مقدار آرمانی برای هر یک از اهداف اول تا سوم(G_{TWC}, $G_{MakeSpan}$, G_U)، آنها به محدودیت‌های آرمانی تبدیل شده و به تابع هدف اضافه می‌شوند، محدودیت‌های سیستمی نیز که شامل روابط پیشنیازی در توالی اجرای عملیات‌ها می‌باشند توسط یک تابع تعریف شده در برنامه تهیه شده در متلب اعمال می‌شوند. لذا تابع هدف مدل به صورت رابطه ۳ و با مفهوم حداقل‌سازی مجموع موزون انحرافات نامساعد ($w_i d_i$) از آرمان‌های مدل فرموله می‌شود:

رابطه ۳) $\text{Min } D=(w_1\times d_1^+)+(w_2\times d_2^+)+(w_3\times d_3^-)$

Subject to :

$TWC+ d_1^+-d_1^-= G_{TWC}$

$MakeSpan+ d_2^+-d_2^-=G_{MakeSpan}$

$U+ d_3^+-d_3^-=G_U$

$d_1^+>=0$

$d_2^+>=0$

$d_3^->=0$

$d_1^->=0$

$d_2^->=0$

$d_3^+>=0$

w_1,w_2,w_3 وزن‌های مربوط به هر یک از اهداف هستند که با توجه به اهمیت هر یک از اهداف توسط متخصصین مربوطه تعیین می‌شوند. مقادیر آرمانی ذکر شده نیز توسط نظر متخصصین مربوطه و همینطور با در نظر داشتن بهترین مقدار هر یک از اهداف مستقل در تکرارهای مختلف الگوریتم‌های مورد توجه در حل مساله تعیین می‌شوند.

پس از فرموله‌سازی و نگارش مساله با استفاده از داده‌های موجود و با در نظر داشتن توابع هدف، محدودیت‌های موجود و همچنین اطلاعات بدست آمده از پایگاه دانش فازی، مساله با استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری حل شده و در نهایت نتایج حاصل از الگوریتم-های به کار گرفته شده مقایسه می‌شود.

کاربرد مدل

جهت بررسی کارایی مدل پیشنهادی با استفاده از یک مثال شامل سه قطعه با ویژگی‌های ماشینکاری متفاوت حل شده است. مشخصات ماشین‌ها و هزینه بکارگیری انها در هر واحد عملیاتی در جدول ۲ نشان داده شده است، شاخص هزینه و زمان تعویض ابزار، تعویض ماشین و تغییر تنظیمات اعداد ثابتی هستند که در جدول ۲ آمده‌اند.

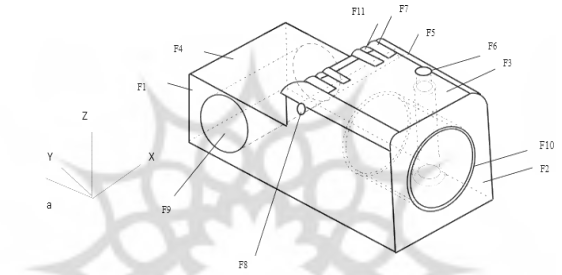
جدول ۲. مشخصات منابع تولید

منابع	علامت اختصاری	هزینه به ازای هر عملیات
دستگاه فرز تراش ۱	M_1	۵۰
دستگاه فرز تراش۲	M_2	٦۰
دستگاه چرخ تراش	M_3	۳۰
دستگاه دریل ستونی	M_4	۳۵
دستگاه دریل دستی	M_5	۲۰
دستگاه سنگ فرز	M_6	۲۰
مته۱	T_1	٦
مته۲	T_2	۵
مته۳	T_3	۱۰
مته٤	T_4	۱۵
مته۵	T_5	۱۳
مته٦	T_6	۱٤
مته۷	T_7	۸
مته۸	T_8	۱۰
مته۹	T_9	۵
سمباده	T_{10}	۱۰
قلاویز۱	T_{11}	۱۵
قلاویز۲	T_{12}	۲۰
قلاویز۳	T_{13}	۱۸
تیغه الماسه	T_{14}	۱۵
صفحه تراش	T_{15}	۱۸

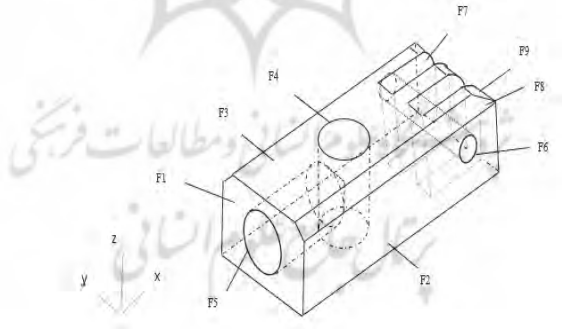
پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

اسپارک	T_{16}	۱۳
سنگ مغناطیسی	T_{17}	۲٤
TC-INDEX=٤٠(s)	MC-INDEX=١٠(s)	SET UP-INDEX=٩٠(s)
TCCI=٢٠	MCCI=١٦٠	SCCI=١٠٠

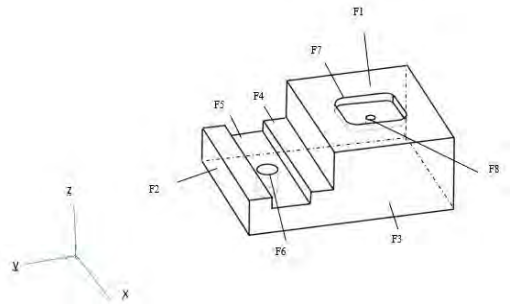
۳ قطعه نشان داده شده در شکل‌های ۲تا۴ با مشخصات ارائه شده در جداول ۳تا۸ به عنوان ورودی‌های مساله برنامه‌ریزی فرایند و زمانبندی یکپارچه در نظر گرفته شده‌اند. قطعه اول دارای ۱۱ ویژگی ماشینکاری، قطعه دوم دارای ۹ ویژگی ماشینکاری و قطعه سوم دارای ۸ ویژگی ماشینکاری می‌باشد.



شکل ۲: قطعه شماره۱



شکل ۳: قطعه شماره۲



شکل ۴: قطعه شماره۳

جدول ۳: مشخصات فنی قطعه ۱

ویژگی ماشینکاری		عملیات	TAD انعطاف	انعطاف ماشین	انعطاف ابزار	زمان ماشینکاری برای هر یک از ماشین‌های جایگزین(s)
F_1	$Oper_1$	تراشکاری	-Z	M_1,M_2	$T_{14},T_{15},T_{16},T_{17}$	۳۸و ٤٠
F_2	$Oper_2$	تراشکاری	+Z	M_1,M_2	$T_{14},T_{15},T_{16},T_{17}$	۳۸و ۳۷
F_3	$Oper_3$	تراشکاری	-Z,-y	M_1,M_2	$T_{14},T_{15},T_{16},T_{17}$	٤۳و ٤۱
F_4	$Oper_4$	تراشکاری	+Y,-Z	M_1,M_2	$T_{14},T_{15},T_{16},T_{17}$	۳۰و ۳۱
F_5	$Oper_5$	پرداخت	+Y,-Y	M_6	T_{10}	٤٠
F_6	$Oper_6$	سوراخکاری	-Z	M_3,M_4,M_5	T_1	۳۰و ۵۰و ٤٠
	$Oper_7$	قلاویزکاری	-Z	M_3,M_4,M_5	T_{11}	۳۰و ۵۰و ٤٠
F_7	$Oper_8$	شیارزدن	-Z,-Y	M_1,M_2	$T_{14},T_{15},T_{16},T_{17}$	۵۲و ٥٤
F_8	$Oper_9$	سوراخکاری	+X,-X	M_3,M_4,M_5	T_2	۲۱و ۳۰و ۲۰
F_9	$Oper_{10}$	سوراخکاری	+X,-X	M_3,M_4,M_5	T_3	٤٠و ٦٠و ۵۰
F_{10}	$Oper_{11}$	سوراخکاری	+Y	M_3,M_4,M_5	T_4	۳۰و ۵۰و ٦٠
	$Oper_{12}$	قلاویزکاری	+Y	M_3,M_4,M_5	T_{12}	۳۰و ۵۰و ٦٠
F_{11}	$Oper_{13}$	پرداخت	A	M_6	T_{10}	۵۰

جدول ۴: مشخصات فنی قطعه ۲

زمان ماشینکاری برای هر یک از ماشین‌های جایگزین(s)	انعطاف ابزار	انعطاف ماشین	TAD انعطاف	عملیات		ویژگی ماشینکاری
۲۰و ۳۰	$T_{14},T_{15},T_{16},T_{17}$	M_1,M_2	-y	تراشکاری	$oper_1$	F_1
۲۹و ۳۵	$T_{14},T_{15},T_{16},T_{17}$	M_1,M_2	+Z	تراشکاری	$oper_2$	F_2
۲٤و ۲۹	$T_{14},T_{15},T_{16},T_{17}$	M_1,M_2	-y,-z	تراشکاری	$oper_3$	F_3
۵۱و٦٦و ۵۷	T_4	M_3,M_4,M_5	+z,-Z	سوراخکاری	$oper_4$	F_4
۳۸و ۵۹و ٤۱	T_5	M_3,M_4,M_5	+x	سوراخکاری	$oper_5$	F_5
٤۱و ۷۱و ۵۲	T_{13}	M_3,M_4,M_5	+x	قلاویزکاری	$oper_6$	
۲۸و ٤۱و ۳۰	T_6	M_3,M_4,M_5	-y,+y	سوراخکاری	$oper_7$	F_6
٤۹و ٤۷	$T_{14},T_{15},T_{16},T_{17}$	M_1,M_2	-Z,+z,-x	شیارزدن	$oper_8$	F_7
٤۱و ٤۰	$T_{14},T_{15},T_{16},T_{17}$	M_1,M_2	A	تراشکاری	$oper_9$	F_8
٤۰	T_{10}	M_6	+X,-X,+y,-y	پرداخت	$oper_{10}$	F_9

جدول ۵. مشخصات فنی قطعه۳

زمان ماشینکاری برای هر یک از ماشین‌های جایگزین(s)	انعطاف ابزار	انعطاف ماشین	TAD انعطاف	عملیات		ویژگی ماشینکاری
۳۵و ۳۰	$T_{14},T_{15},T_{16},T_{17}$	M_1,M_2	-y,-x	تراشکاری	$oper_1$	F_1
۳۰و ۲۸	$T_{14},T_{15},T_{16},T_{17}$	M_1,M_2	+z,+x	تراشکاری	$oper_2$	F_2
۳۰و ۳۳	$T_{14},T_{15},T_{16},T_{17}$	M_1,M_2	+z,+y	تراشکاری	$oper_3$	F_3
۲۵و ۲۹	$T_{14},T_{15},T_{16},T_{17}$	M_1,M_2	+x,-x	تراشکاری	$oper_4$	F_4
۳۱و ۳۷	$T_{14},T_{15},T_{16},T_{17}$	M_1,M_2	+x,-x	تراشکاری	$oper_5$	F_5
٤۰و ٦۰و ۵۰	T_9	M_3,M_4,M_5	-z,+z	سوراخکاری	$oper_6$	F_6
۳۹و ٤۰	$T_{14},T_{15},T_{16},T_{17}$	M_1,M_2	-Z	تراشکاری	$oper_7$	F_7
۳۸و ۵۰و ۳۹	T_8	M_3,M_4,M_5	-z	سوراخکاری	$oper_8$	F_8

جدول ۶. محدودیت‌های پیشنیازی فرایند تولید قطعه ۱

محدودیت‌های اولویت عملیات
$Oper_1$ اولین عملیات است.
$Oper_2$ باید قبل از $oper_7$,$oper_9$ انجام شود
$Oper_3$ باید قبل از $oper_5$,$oper_9$ انجام شود
$Oper_4$ باید قبل از $oper_5$,$oper_6$ انجام شود
$Oper_5$ باید قبل از $oper_6$ انجام شود
$Oper_7$ باید قبل از $oper_8$,$oper_{10}$ انجام شود
$Oper_8$ باید قبل از $oper_{10}$ انجام شود

جدول ۷. محدودیت‌های پیشنیازی فرایند تولید قطعه ۲

محدودیت‌های اولویت عملیات
$Oper_1$ اولین عملیات است.
$Oper_2$ باید قبل از $oper_4$,$oper_5$,$oper_{11}$,$oper_{12}$ انجام شود
$Oper_3$ باید قبل از $oper_4$,$oper_5$,$oper_{10}$ انجام شود
$Oper_6$ باد قبل از $oper_7$,$oper_{11}$,$oper_{12}$ انجام شود.
$Oper_8$ باید قبل از $oper_{13}$ انجام شود.
$Oper_9$ باید قبل از $oper_{13}$ انجام شود.
$Oper_{11}$ باید قبل از $oper_{12}$ انجام شود

جدول ۸ . محدودیت‌های پیشنیازی فرایند تولید قطعه۳

محدودیت‌های اولویت عملیات
$Oper_1$ اولین عملیات است.
$Oper_2$ باید قبل از $oper_4$,$oper_5$ انجام شود
$Oper_3$ باید قبل از $oper_4$,$oper_5$ انجام شود
$Oper_4$ باید قبل از $oper_5$,$oper_6$ انجام شود
$Oper_5$ باید قبل از $oper_6$ انجام شود
$Oper_7$ باید قبل از $oper_8$ انجام شود

برای محاسبه میزان مطلوبیت هر طرح فرایند، بر مبنای پارامترهای کیفی موثر در توالی عملیات پردازش هر قطعه، شامل فاکتور جریان مواد بین دستگاه‌ها، پایداری برنامه‌ریزی فرایند، سهولت نظارت و سهولت جابه‌جایی در اجرای عملیات، به ازای استفاده از تجهیزات و ماشین‌آلات موجود، توابع عضویت برای میزان هر پارامتر به صورت مثلثی تعریف شده و مجموعه مرجع (سطح تکیه گاه) برای تمامی این پارامترها [۵و۰] در نظر گرفته شده است. تابع عضویت برای وزن پارامترها نیز به صورت مثلثی تعریف شده و مجموعه مرجع آن در بازه [۱و۰] در نظر گرفته شده است. تابع عضویت برای نرخ‌های نزدیکی عملیات معینی در رابطه با ماشین‌های مستقر به صورت مثلثی تعریف شده و در بازه [۵و۰] تنظیم شده است. در نهایت برای محاسبه نرخ‌های نزدیکی عملیات معین در رابطه با ماشین‌های مستقر قوانین فازی "اگر ° آنگاه" برای میزان هر پارامتر و وزن آن نیز تعریف شده است. که با به دست آوردن نرخ‌های نزدیکی عملیات معین در رابطه با ماشین‌های مستقر از منظر هر یک از پارامترها در نهایت میانگین هر ۴ پارامتر به عنوان نرخ نزدیکی نهایی توالی عملیات‌های معین در رابطه با ماشینهای مستقر معرفی می‌شود. به طور مثال قوانین فازی برای پارامتر جریان مواد به شرح جدول ۹ می‌باشد.

جدول ۹. قوانین اگر - آنگاه برای پارامتر جریان مواد

وزن/جریان مواد	بسیار پایین	پایین	متوسط	بالا	بسیار بالا
بسیار پایین	X	X	U	O	I
پایین	X	U	O	I	I
متوسط	U	O	I	I	E
بالا	O	I	I	E	E
بسیار بالا	I	I	E	E	A

یافته‌های پژوهش

برای بدست آوردن نرخ نزدیکی نهایی توالی عملیات‌های معین در رابطه با ماشین‌های مستقر با توجه به پارامترهای جریان مواد، پایداری، سهولت جابه‌جایی و ارتباط نظارتی ابتدا مقادیر هر یک از پارامترها در مقایسه دودویی ماشین‌آلات موجود با استفاده از متغیرهای زبانی تعریف شده توسط مصاحبه و توافق جمعی متخصصین کارگاه قطعه‌سازی تعیین شده است.

توابع عضویت برای میزان هر پارامتر، وزن هر پارامتر و نرخ‌های نزدیکی هر پارامتر برای همه روابط موجود بین ماشین‌آلات به ترتیبی که گفته شد تعریف شده است، با استفاده از مقادیر و وزن‌های بدست آمده برای هر یک از پارامترها در هر یک روابط بین ماشین‌آلات، سیستم استنتاج فازی با استفاده از قوانین اگر آنگاه تعریف شده برای هر یک از پارامترها، نرخ‌های نزدیکی هر یک از پارامترها در هر یک از روابط را به صورت فازی محاسبه کرده و با استفاده از روش COA مقادیر بدست آمده را دیفازی کرده است، در نهایت از مقادیر دیفازی شده نرخ‌های نزدیکی در تمام روابط بین ماشین‌آلات برای هر یک از پارامترها میانگین گرفته و به عنوان نرخ نزدیکی نهایی توالی عملیات‌های معین در رابطه با ماشین‌های مستقر در هر یک از روابط بین ماشین‌آلات معرفی شده است که به شرح جدول ۱۰ بدست آمده است. که به عنوان یکی از ورودی‌های الگوریتم جهت بهینه کردن میزان مطلوبیت توالی عملیات‌ها بر روی ماشین‌آلات مستقر از نظر پارامترهای جریان مواد، پایداری، سهولت جابه جایی و ارتباط نظارتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. به این صورت که پس از مشخص شدن توالی عملیات‌ها، توالی استفاده از ماشین‌آلات مشخص شده و با استفاده از نتایج بدست آمده در جدول ۱۰ در همه توالی‌های موجود اعداد مربوطه از جدول استخراج شده و مجموع آنها به عنوان مطلوبیت طرح از لحاظ پارامترهای گفته شده معرفی می‌شود.

جدول ۱۰. نرخ نزدیکی بین ماشین‌ها

	M_1	M_2	M_3	M_4	M_5	M_6
M_1	۱/۸۲	۱/۶۳	۱/۴۳	۱/۸۰	۱/۸۴	۱/۳۷
M_2	۱/۶۳	۱/۸۲	۱/۴۳	۱/۸۰	۱/۸۴	۱/۳۷
M_3	۰/۸۱	۰/۸۱	۱/۰۴	۰/۸۱	۰/۸۱	۲/۵۴
M_4	۰/۷۹	۰/۷۹	۱/۶۰	۱/۵	۱/۵۰	۱/۹۰
M_5	۰/۷۳	۰/۷۳	۱/۶۰	۱/۷۵	۱/۷۵	۱/۹۰
M_6	۰/۸۴	۰/۸۴	۰/۹	۰/۹	۱/۸۹	۲/۱۷

در پژوهش مورد بحث هدف یافتن مناسب‌ترین طرح فرایند ممکن شامل توالی عملیات‌ها برای تولید قطعات، همراه با ماشین و ابزار و جهت دسترسی به ابزار برای هر عملیات و زمانبندی تخصیص و توالی عملیات‌های موجود بر روی ماشین‌آلات می‌باشد. بطوریکه اهداف شامل کمینه‌سازی هزینه و زمان پردازش قطعات و بیشینه‌سازی مطلوبیت طرح فرایند (از نظر پارامترهای کیفی جریان مواد، پایداری، سهولت جابه جایی و ارتباط نظارتی) با استفاده از پایگاه دانش فازی می‌باشد. که معیار محاسبه مقدار هدف، مجموع موزون انحرافات از آرمان‌های مقدار هزینه و زمان پردازش قطعات و نیز مطلوبیت طرح فرایند می‌باشد.

مقادیر آرمانی هر یک از اهداف با توجه به نظر متخصصین تولید قطعات مورد مطالعه و در تکرارهای مختلف الگوریتم مطابق جدول ۱۱ تعیین شده اند.

جدول ۱۱. مقادیر آرمانی و درجه اهمیت هر یک از اهداف

ردیف	هدف	مقدار آرمانی	درجه اهمیت(w_j)
۱	TWC	۶۰۰۰	۱
۲	MakeSpan	۱۰۰۰	۲
۳	U	۱۰۰	۱۰

برای حل مساله با استفاده از هر یک از الگوریتم‌های فراابتکاری ابتدا باید پارامترهای الگوریتم معرفی شود و ذکر این نکته ضروریست که تنظیم پارامترها برای هر یک از

الگوریتم‌ها برای حل مساله مورد نظر از طریق حل مسائل متعدد صورت گرفته است، پارامترهای استفاده شده برای هر یک از الگوریتم‌ها به شرح جدول ۱۲است.

جدول ۱۲. پارامترهای تنظیم شده برای هر یک از الگوریتم‌ها

پارامترها	نوع الگوریتم
تعداد کل کشورها=۶۰ تعداد امپریالیست‌ها=۲۰ تعداد تکرار=۳۰۰ بتا=۱/۵ احتمال انقلاب=۰/۵ Zeta=۰/۰۵	رقابت استعماری
تعداد جمعیت اولیه=۹۰ تعداد تکرار=۴۰۰ حد(limit)=۳۰	کلونی زنبور عسل
تعداد جمعیت اولیه=۲۰ تعداد تکرار=۳۰۰ W=۱ C1=۰/۲ C2=۰/۴	ازدحام ذرات
تعداد جمعیت اولیه=۱۵ تعداد نقاط همسایگی=۱۵ تعداد تکرار=۲۰۰ آلفا=۰/۹۸	شبیه سازی تبرید

برای حل مسئله برنامه‌ریزی فرایند و زمانبندی یکپارچه با در نظر داشتن پارامترهای کیفی بیان شده به صورتی که در زیر بیان شده است به بهینه‌سازی مساله پرداخته می‌شود:

برای استفاده از هر یک از الگوریتم‌های فراابتکاری در ابتدا دسته‌ای از جواب‌های ممکن به صورت اولیه ایجاد می‌شود. به اینصورت که برای حل مسئله در مرحله اول برای یافتن توالی

انجام عملیات‌ها به تعداد عملیات‌های موجود متغیرهای مسئله بین صفر و یک قرار داده شده و ترتیب این اعداد به عنوان توالی عملیات‌ها در نظر گرفته می‌شود. در ادامه جهت تخصیص ماشین و ابزار و انتخاب جهت دسترسی به ابزار از تابع randi برای انتخاب تصادفی بین ماشین و ابزار و جهت دسترسی به ابزار جایگزین برای هر عملیات استفاده می‌شود. جهت رعایت محدودیت‌ها و روابط پیشنیازی توالی عملیات‌ها، ترتیب و توالی بدست آمده عملیات‌ها با استفاده از یک تابع تعریف شده تبدیل به یک توالی ممکن از لحاظ محدودیت‌های پیش نیازی می‌شود.

برای حل مساله برنامه‌ریزی فرایند و زمانبندی یکپارچه، ابتدا طرح فرایند برای همه قطعات به شرحی که در بالا اشاره شد مشخص شده و سپس جهت زمانبندی توالی و تخصیص عملیات-های قطعات بر روی ماشین‌آلات با استفاده از یک تابع تعریف شده، زمان شروع هر عملیات و زمان ماشینکاری برای هر عملیات پس از تعیین ماشین تخصیص یافته از روی طرح فرایند بدست آمده، مشخص شده و با استفاده از توابع تعریف شده مربوط به زمانبندی به حل مساله پرداخته می‌شود. همانطور که گفته شد برای شروع الگوریتم باید یک جمعیت اولیه از جواب‌های ممکن ایجاد شود. بنابراین به تعداد جمعیت اولیه (با توجه به الگوریتم مورد استفاده) ماتریس اولیه شامل توالی عملیات‌ها با لحاظ ماشین، ابزار و جهت دسترسی به ابزار مربوط به هر یک و زمان‌های شروع، پردازش و زمان انتظار برای هر یک از عملیات‌ها تشکیل می‌شود.

سپس با توجه به الگوریتم مورد استفاده جهت یافتن نقطه بهینه مساله، یک سری عملیات در هر تکرار (تعداد تکرار برای هر یک از الگوریتم‌ها مطابق جدول۱۲تعیین شده است)، بر روی جمعیت ایجاد شده برای هر یک از الگوریتم‌ها انجام می‌شود، هنگام حل مسأله با استفاده از هر یک از الگوریتم‌های مورد استفاده، بهترین نقطه نگهداری می‌گردد و جواب نهایی الگوریتم، معادل مقدار تابع هدف در آن نقطه می‌باشد.

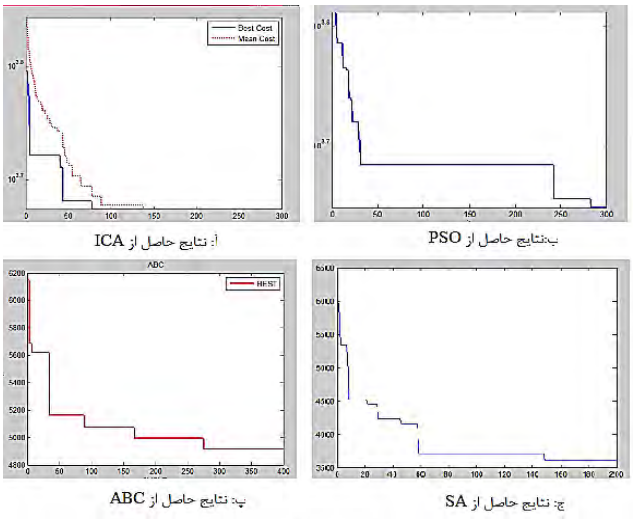
با استفاده از داده‌های موجود، توابع هدف، محدودیت‌های پیشنیازی عملیات و محدودیت-های ارمانی، مسئله مورد اشاره فرموله شده و بر مبنای هر یک از الگوریتم‌های فراابتکاری (با

استفاده از نرم‌افزار متلب) حل شد. با توجه به جواب‌های حاصل (مطابق جدول **۱۳**و شکل**۵**) نتایج حاکی از آن است که الگوریتم شبیه‌سازی تبرید نسبت به سه روش دیگر با تعداد تکرار پایین‌تر و سرعت بالاتری جواب‌های مقبول‌تری برای هر یک از اهداف مورد نظر برای مساله به دست داده است در نتیجه الگوریتم شبیه‌سازی تبرید به منظور بهینه‌سازی مساله مورد بحث مناسب‌تر تشخیص داده شد.

جدول ۱۳. جواب‌های حاصل از حل تابع چند هدفه توسط الگوریتم‌های مختلف

	هزینه تولید قطعات	**انحراف از مقدار آرمانی هزینه تولید قطعات**	**مطلوبیت از لحاظ پارامترهای کیفی**	**انحراف از مقدار آرمانی مطلوبیت از لحاظ پارامترهای کیفی**	**زمان نهایی تولید قطعات**	**انحراف از مقدار آرمانی زمان نهایی تولید قطعات**
رقابت استعماری	۸۷۸۲	۲۷۸۲	٤٥/۲۲	٥٤/۷۸	۲۸۷٤	**۱۸۷٤**
کلونی زنبور عسل	۸۱٥۲	۲۱٥۲	٤٤/۱۱	٥٥/۸۹	۲۱۰۳	**۱۱۰۳**
ازدحام ذرات	۷۸۸۲	۱۸۸۲	٤۳/۹۸	٥٦/۰۲	۲۰۰۲	**۱۰۰۲**
شبیه‌سازی تبرید	٦۹۷۲	۹۷۲	٤٥/۹۲	٥٤/۸.	۲۰٥۰	**۱۰٥۰**

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی



أ: نتایج حاصل از ICA
ب:نتایج حاصل از PSO
پ: نتایج حاصل از ABC
ج: نتایج حاصل از SA

شکل ۵. نتایج بدست آمده توسط هر یک از الگوریتم‌های فراابتکاری با استفاده از تابع هدف چندگانه

جواب نهایی مساله توسط حل تابع چند هدفه با استفاده از الگوریتم شبیه‌سازی تبرید، بر روی یک نمودار گانت، که محور افقی آن زمان و محور عمودی نشان دهنده ماشین تخصیص داده شده برای هر عملیات می‌باشد ترسیم شده است، نمودار گانت نشان داده شده در شکل ۶ نشان دهنده توالی وتخصیص عملیات-های قطعات به ماشین‌آلات در تکرار نزدیک به بهینه الگوریتم شبیه‌سازی تبرید می‌باشد.

شکل ۶. نمودار گانت تخصیص و توالی عملیات‌ها به ماشین‌آلات(i : Oi,j نشان دهنده شماره عملیات. j نشان دهنده شماره قطعه)

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

از جمله عوامل موثر در سیستم تولید کارگاهی، برنامه‌ریزی فرایند و زمانبندی می‌باشد. برنامه-ریزی فرایند به دنبال یافتن طرحی برای پردازش قطعات یا سفارشات با کمترین هزینه و بیشترین مطلوبیت بازای نحوه بهره‌برداری از ماشین‌ها و ابزار است، زمانبندی نیز در صدد تحقق اهداف کمی تولید و نیز کسب اهدافی همچون حداقل‌سازی زمان نهایی تکمیل قطعات، حداقل‌سازی متوسط تعداد قطعات موجود در سیستم و متعادل‌سازی بار کاری ماشین‌ها و... می‌باشد. در مطالعه حاضر با در نظر داشتن ابعاد کیفی موثر در برنامه‌ریزی فرایند، به طراحی مدلی چند هدفه و یکپارچه برای حل همزمان زمانبندی و برنامه‌ریزی فرایند پرداخته شد. اهداف مدل شامل مینیمم کردن هزینه‌های عملیاتی، مینیمم کردن زمان تولید نهایی و حداکثرسازی مطلوبیت طرح فرایند نهایی بود. بدیهی است حل مسئله مورد اشاره به کمک روش‌های ریاضی امکان‌پذیر نیست و در نتیجه با استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری همچون رقابت استعماری، ازدحام ذرات، شبیه‌سازی تبرید و کلونی زنبور عسل به حل این مسئله پرداخته شد.

پارامترهای کیفی مدل بر اساس سیستم استنتاج فازی محاسبه و پس از تامین سایر ورودی‌های مدل و حل با استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری ذکر شده، با استفاده از رویکرد شبیه‌سازی تبرید جواب بهینه مساله حاصل شد.

نتایج بدست آمده از الگوریتم شبیه‌سازی تبرید نسبت به سایر روش‌ها، جواب‌های مقبول‌تری به دست داده است همچنین نتایج حاکی از ان است که الگوریتم شبیه‌سازی تبرید با تعداد تکرار پایین‌تر و سرعت بالاتری نسبت به بقیه الگوریتم‌های فراابتکاری مورد استفاده در این تحقیق به جواب نزدیک به بهینه رسیده است.

صرفنظر از اینکه در تحقیقات قبلی، در زمینه یکپارچه‌سازی و حل همزمان مسائل زمانبندی و برنامه‌ریزی فرایند و با در نظر گرفتن تابعی چند هدفه با معیارهایی همچون هزینه، زمان و مطلوبیت مورد مشابهی مشاهده نشده، اعمال پارامترهای کیفی موثر بر برنامه ریزی فرایند بر

مبنای پایگاه دانش فازی نیز در برنامه‌ریزی فرایند بدیع می‌باشد. نظر به اینکه در عصر حاضر با توجه به افزایش رقابت و پیشرفت صنایع قطعه‌سازی در فعالیت‌های تولیدی به بحث برنامه-ریزی فرایند و زمانبندی توجه عمده‌ای معطوف است، استفاده از مدل ارائه شده در این تحقیق جهت بهینه‌سازی هزینه، زمان و مطلوبیت طرح‌های فرایند در امر تولید به مدیران صنایع قطعه-سازی توصیه می‌شود.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

منابع

Adithan, M. (2007). Process Plsnning and Cost Estimation. *Publishing for one world new age international (P) limited*, publishers.

Chan, T. S ; Kumar,V; Tiwari ,M. K.(2006). Optimizing the Performance of an Integrated Process Planning and Scheduling Problem: An AIS-FLC based Approach, *1-4244-0023-6/06/$20.00 © IEEE*

Khoshnevis, B.(2000). Integration of process planning and scheduling a review, *Journal of Intelligent Manufacturing* , 11, 51-63

Li, W. D; Mcmahan, C. A. (2007). A simulated annealing-based optimization approach for integrated process planning and scheduling. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 20:1, pp.80-95,

Lian, K; Zhang, Ch; Shao, X; & Gao,L. (2012). Optimization of process planning with various flexibilities using an imperialist competitive algorithm. *International Journal Advanced Manufacturing Technology*, vol. 59, pp. 815˚828, DOI 10.1007/s00170-011-3527-8.

Wan, S.Y; Wong, T.N; Zhang,S; Zhang,L(2006). Integrated Process Planning and Scheduling whit Setup Time Consideration by Ant Colony Optimization. *Proceedings of the 41st International Conference on Computers & Industrial Engineering*

Wang, Y.F; Zhang, Y.F; & Fuh, J.Y.H. (2010). A PSO-based multi-objective optimization approach to the integration of process planning and scheduling. *IEEE International Conference on Control and Automation*, Xiamen, China, June 9-11.

Wang,Zh;Tian,j.(2008). The research about integration of process planning and production scheduling based on genetic algorithm, *International Conference on Computer Science and Software Engineering*

Zhao, F; Zhang,Q; & Yang,Y. (2006). An improved particle swarm optimization(PSO) algorithm and fuzzy inference systems based approach to process planning and production scheduling integration in holonic manufacturing system (HMS). *Machine Learning and CyberneticsInternational Conference*, 13-16 Aug, pp.396 ˚ 401.

Akgun, A., Sezer, E.A., Nefeslioglu, H.A., Gokceoglu, C., and Pradhan, B. (2011). An easy-to-use MATLAB program (MamLand) for the assessment of landslide susceptibility using a Mamdani fuzzy algorithm. *Computers & Geosciences, Article in press*.

Katambara, Z, and Ndiritu, J. (2009). A fuzzy inference system for modeling streamflow: *Case of Letaba River, South Africa. Physics and Chemistry of the Earth*, Vol. 34, pp. 688-700.

Mahapatra, S.S., Nanda, S.K., and Panigrahy, B.K. (2011). A Cascaded Fuzzy Inference System for Indian river water quality prediction. *Advances in Engineering Software*, Vol. 42, pp. 787-796.

Silvert, W. (2000). Fuzzy indices of environmental conditions, *Ecological Modelling*, Vol. 130, No. 1-3, pp. 111-119.

Atashpaz Gargari.E, (2008) "social optimization algorithm development and performance review," MS Thesis, School of Electrical and Computer Engineering Tehran University, In Persian

Zare mehrjerdi. Y,Barghi.sh, momeni. H, (2011), "The use of innovative methods to solve problems like slow cooling of the supply chain", Faculty of Engineering, University of Yazd, Journal of Operations Research and Applications, Issue 3, In Persian

Kashefi.A,Pormosavi.S.A,Jahanbani ardakani.A, (2007), "Training a multilayer neural networks using particle swarm algorithm", Amirkabir University of Technology, Faculty of Electrical Engineering, Intelligent Systems Conference, Ferdowsi University of Mashhad, In Persian

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی