فصلنامه مدیریت صنعتی دانشکده علوم انسانی دانشگاه آزاد اسلامی
واحد سنندج – سال ششم / شماره ۱۶ / تابستان ۱۳۹۰

مدل سازی مسأله طراحی سیستم تولید سلولی با برنامه ریزی چند هدفه فازی تعمیم یافته

مهدی یاوری(نویسنده مسؤول)
کارشناس ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد
Email: M.yavari8@gmail.Com
جمال ارکات
استاد یار گروه مهندسی صنایع، عضو هیأت علمی دانشگاه کردستان
یاسر امامیان
کارشناس ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

تاریخ دریافت: ۸۹/۸/۲۲ ❋ تاریخ پذیرش: ۹۰/۳/۱۱

چکیده

این مقاله یک مدل برنامه ریزی ریاضی چند هدفه عدد صحیح فازی جدید برای مسأله طراحی سیستم های تولید سلولی و متدولوژی های حل آن را ارائه می دهد. هدف مدل پیشنهادی به کارگیری دو مسأله مهم طراحی سیستم تولید سلولی به نام تشکیل سلول و عناصر استثنایی برای طراحی کارآمد و بهتر سیستم های تولید سلولی است که به طور همزمان در محیط فازی می باشند. یک طراحی مؤثر سیستم تولید سلولی به ملاحظات همزمان ویژگی های عمر واقعی و زمان واقعی مناسب برای سیستم نیاز دارد. توابع هدف مدل عبارتند از: حداقل کردن هزینه حذف عناصر استثنایی، حداقل کردن تعداد عملیات های خارجی سلول و حداکثر کردن بهره برداری ظرفیت ماشین. پارامترهای فازی مدل، تقاضای قطعه، ظرفیت ماشین، زمان پردازش، بودجه و هزینه های حذف عناصر استثنایی هستند. مدیریت، رسیدن همزمان به راه حل های بهینه برای همه توابع هدف را می خواهد. برای نمایش مدل، یک مثال عددی با حدود فازی از ادبیات تحقیق در نظر گرفته شده است و نتایج محاسبات و تحلیل حساسیت به وسیله حل مدل بدست می آیند. همچنین دو معیار عملکرد ویژه برای مسأله پیشنهاد می شوند و راه حل های مدل با استفاده از این معیارهای عملکرد بررسی می شوند. مدل قادر به بیان ابهام همه پارامتر های سیستم است و مدل طرح های تصمیم مختلفی را به تصمیم گیرنده برای درجه های مختلفی از دقت می دهد.

واژه‌های کلیدی:

سیستم تولید سلولی[1]، تکنولوژی گروهی[2]، تشکیل سلول[3]، عناصر استثنایی[4]، برنامه ریزی ریاضی فازی[5] .

---

[1] Cellular manufacturing system
[2] Group technology
[3] Cell formation
[4] Exceptional elements
[5] Fuzzy mathematical programming

۱- مقدمه

در دنیای امروز، توسعه روزافزون تکنولوژی و سرعت قابل ملاحظه جهانی شدن بازار مصرف و عدم قطعیت بازار موجب شدت یافتن کارزار رقابت در میان صنایع گوناگون گشته است. چالشی که این صنایع با آن روبرو هستند، عدم کارایی شیوه ها و روشهای تولید سنتی، تنوع در تقاضا و قابلیت و آمادگی رقباست. سیستم تولید سلولی به عنوان یکی از مسائل مهم در صنایع تولیدی جهت تولید اقتصادی خانواده قطعات، قادر به پوشش دادن تمام نیازهای فوق می باشد. یکی دیگر از چالش هایی که این صنایع با آن مواجه هستند، وجود برخی از ابهامات در سیستمهای تولیدی، هزینه بالا در کسب اطلاعات دقیق، عدم قطعیت بازار به علت رقابت، تورم و غیره است. با ظهور مفهوم تئوری مجموعه های فازی توسط (Zadeh, 1965) محققان توانستند ابهامات و مشکلاتی را که در بالا به آن اشاره شد تا حدودی حل کنند. این امر، به تولیدکنندگان امکان برنامه‌ریزی، پیش‌بینی و تصمیم‌گیری در تولید را برای آینده می دهد.

رویکرد کلی این مقاله حل مسأله تشکیل سلول و حذف عناصر استثنایی در سیستم های تولید سلولی است که به طور همزمان در محیط فازی می باشند. بدین منظور یک مدل برنامه ریزی خطی چند هدفه عدد صحیح فازی معرفی می شود که شامل سه هدف متضاد از قبیل حداقل کردن هزینه های حذف عناصر استثنایی، حداکثر کردن ظرفیت مورد استفاده سیستم و حداقل کردن تعداد انتقالات بین سلولی است. هدف مدل پیشنهادی طراحی کارآمد و بهتر سیستم های تولید سلولی است. یک طراحی مؤثر سیستم تولید سلولی به ملاحظات همزمان ویژگی های عمر واقعی و زمان واقعی مناسب برای سیستم نیاز دارد. دو ویژگی اصلی از مسائل عمر واقعی وجود دارند: یکی داشتن چندین هدف متضاد است و دیگری ابهامات موجود در تعریف مسأله می‌باشد. در مسائل زمان واقعی نیز طراح با عدم قطعیت مربوط به محدودیت های زمان بندی کارهای زمان واقعی از قبیل زمان‌های پردازش یا زمان های تعمیر مواجه است. در نتیجه برای این کارها زمان واقعی به صورت فازی با توابع عضویت مشخص شده برای آنها در نظر گرفته می شوند. تمام ویژگی های توصیف شده در بالا منحصر بفرد بوده و در مدل پیشنهادی پیاده سازی شده اند. مدل پیشنهادی، عناصر استثنایی را با ایجاد انتقالات بین سلولی قطعه، تکرار های ماشین و قراردادهای جانبی قطعه در حین تشکیل سلول های تولیدی حذف می کند. برای داشتن نتایج قابل اجرا، مدل، تقاضای قطعه، بودجه خرید ماشینهای جدید، زمان های پردازش، ظرفیت ماشین و هزینه های حذف عناصر استثنایی را فازی در نظر می گیرد. پارامترهای فازی مدل به طور ریاضی با استفاده از تئوری مجموعه فازی بیان و به صورت پارامتریک با درجه های مختلف دقت در مدل ریاضی وارد می شوند. برای حل مدل از روش دو مرحله ای استفاده می کنیم. سپس با استفاده از معیار های عملکرد مختلف به ارزیابی نتایج بدست آمده از حل ها می پردازیم. برآمد طراحی واقع گرایانه، حل های قابل اجرا و منطقی به تصمیم گیرنده می‌دهد. مقاله به صورت زیر ساماندهی می شود: کارهای قبلی در ادبیات تحقیق در بخش ۲ مرور می شوند. بخش ۳ به مدل برنامه‌ریزی پارامتریک چند هدفه فازی پیشنهادی اختصاص می یابد. حل مدل با استفاده از مجموعه داده های گرفته شده از ادبیات تحقیق در بخش ۴ بدست می آید. ارزیابی حل ها طبق معیارهای عملکرد در بخش ۵ بررسی می شود. سرانجام نتیجه‌گیری ها فهرست می شوند و برخی پیشنهادات برای تحقیقات آینده پیشنهاد می شوند .

- پیشینه تحقیق

اگر چه مدل ها و روش های حل زیادی برای مسأله طراحی سلول در سیستم تولید سلولی از سال ۱۹۷۰ در ادبیات تحقیق ارائه گردیده اند اما مرور مناسب و همه جانبه ای که بتواند تحقیقات مهم و با ارزش صورت گرفته را در این مورد جمع آوری و دسته بندی کند، وجود ندارد. کارهای صورت گرفته نیز، اکثراً جنبه خاصی را دنبال کرده اند و بخشی نگر بوده اند. به هر حال اندک مقالاتی ماهیت چند هدفه بودن مسأله، مبهم بودن پارامترهای سیستم و امکان وجود عناصر استثنایی در حل را همه با هم نشان داده اند. پایه اصلی مدل پیشنهادی توسعه مدل (Arikan et al., 2009) است که تلاش شده است با در نظر گرفتن مسأله زمان واقعی در مدل و به واقعیت نزدیک کردن اطلاعات تولیدی مدل این امکان را به تصمیم گیرنده برای تصمیم گیری بهتر و منطقی تر بدهد (Arikan et al., 2009). یک مدل ریاضی چند هدفه فازی جدید برای طراحی سیستم تولید سلولی ارائه دادند. آنها در مدل پیشنهادی دو مسأله مهم طراحی سیستم تولید سلولی بنام تشکیل سلول و عناصر استثنایی را به طور

همزمان در محیط فازی در نظر گرفتند و با استفاده از روش پیشنهادی خود به حل مدل پرداختند (Arikan et al., 2000). FST را برای شروع چیدمان سلول استفاده کردند و یک الگوریتم جدید برای فرمول بندی مسأله پیشنهاد دادند که ساختار الگوریتم مورد نظر بر پایه سیستم تصمیم گیری فازی بود. اخیراً اریکان و همکاران (Arikan et al., 2005) یک مدل پارامتریک تک هدفه برای مسأله تشکیل سلول و عنصراستثنایی پیشنهاد دادند که نه تنها فازی بودن را در مقادیر ثابت طرف راست در نظر می گیرد بلکه ضرایب محدودیت و ضرایب توابع هدف را نیز فازی در نظر گرفته است. در نتیجه انتظار می رود یک طرح سیستم تولید سلولی مناسب تر برای مسائل عمر واقعی فراهم شود (Arikan et al., 2007). یک روش دو مرحله ای برای حل مسائل برنامه‌ریزی خطی فازی چند هدفه ارائه دادند. که این روش یک برنامه ریزی پارامتریک و خطی فازی برای حل مسائل عمر واقعی با همه ضرایب فازی است (Shanker et al., 1990).

روش برنامه ریزی فازی را برای طراحی سیستم های تولید سلولی در مرحله خوشه بندی- پست ارائه کردند. آنها دو مدل را ارائه دادند. ابتدا مدل شافر را با فازی کردن برخی پارامترها توسعه دادند. سپس آنها مدل فوق را به یک مدل چند هدفه تبدیل کردند که از سه تابع هدف شامل هزینه حذف عناصر استثنایی، حداقل کردن ظرفیت غیر قابل استفاده ماشین های گلوگاه و حداقل کردن کل انتقال بین سلولی قطعات تشکیل شده است و با استفاده از روش دو مرحله ای مدل را حل کردند (Shafer et al., 1992). مقاله ای در ارتباط با حذف عناصر استثنایی ارائه دادند. آنها یک مدل تک هدفه را ارائه دادند به طوریکه تابع هدف سه هزینه مهم در ارتباط با حذف عناصر استثنایی را در نظر می گیرد : ۱- هزینه تکرار ماشین . ۲- هزینه قرارداد جانبی قطعه. ۳- هزینه انتقال بین سلولی. سپس مدل را برای بدست آوردن بهترین گزینه حذف عناصر استثنایی با نرم افزار لینگو حل کردند (Shanker et al., 1998). مقاله ای تحت عنوان طراحی مدل پست برای سیستم تولید سلولی با هزینه غیر قطعی ارائه دادند. آنها تصمیمات طراحی پست را به صورت یک مدل برنامه ریزی فاصله مدله کردند که ضرایب تابع هدف در حدود بیشتر از یک نقطه برآوردی بیان می شود . عدم قطعیت ها در بر آوردهای هزینه ها مربوط به عناصر استثنایی و ماشین های گلوگاه هستند . که شامل هزینه انتقال بین سلولی، هزینه قرارداد جانبی و هزینه تکرار ماشین های گلوگاه می باشد. سپس آنها مدل فوق را به یک مدل برنامه ریزی عدد صحیح چند هدفه تبدیل کردند. و با استفاده از روش وزنی مدل را حل و به بحث و بررسی مدل پرداختند (Berardi et al., 1999). با استفاده از مدل شافر تأثیر انواع خوشه‌بندی اولیه قطعه-ماشین را روی هزینه کل بررسی کردند . آنها ثابت کردند که این مدل برنامه ریزی ریاضی می تواند اطلاعات مفیدی در جایگزینی تصمیم گیری ها زمانی که عناصر استثنایی وجود دارند، فراهم کند. در نتیجه آنها شش خوشه‌بندی اولیه مختلف را در نظر گرفته و برای هر گزینه به حل مدل با نرم افزار لینگو پرداخته و تأثیر هر یک را روی هزینه کل بررسی کردند و در نهایت بهترین گزینه را انتخاب نمودند (Mahdavi et al., 2007). یک مدل ریاضی جدید برای تشکیل سلول در سیستم تولید سلولی مبتنی بر مفهوم بهره برداری سلول پیشنهاد دادند که هدف مدل آنها حداقل کردن عناصر استثنایی و تعداد صفرهای درون سلول ها برای رسیدن به عملکرد بالاتر از بهره برداری سلول می باشد (Solimanpur et al., 2004). از یک مدل برنامه ریزی عدد صحیح چند هدفه با سلول های مستقل برای طراحی سیستم تولید سلولی پیشنهاد دادند آنها همچنین از یک الگوریتم ژنتیک برای حل مسأله استفاده کردند (Yasuda et al., 2005). یک الگوریتم گروه بندی ژنتیک برای مسأله تشکیل سلول چند هدفه پیشنهاد دادند و اهداف مدل را جابجایی های بین سلولی و تراکنش بار سلول در نظر گرفتند (Bajestani et al., 2009). یک مسأله تشکیل سلول پویای چند هدفه را ارائه دادند که به طور همزمان تراکنش بار کلی سلول و مجموع هزینه های مختلف (هزینه ماشین،هزینه جابجایی مواد بین سلولی، هزینه جابجایی ماشین) را با استفاده ازروش جستجوی پراکندگی حداقل میکند (Iranmanesh et al., 2009). یک روش الگوریتم ژنتیک برای حل مسأله تشکیل سلولی چند هدفه پیشنهاد دادند به طوریکه این روش مجموعه ای از حل های ایده ال را در اختیار تصمیم گیرنده ها برای گرفتن بهترین تصمیم قرار می دهد. اهداف عبارتند از: حداقل کردن جابجایی های درون سلولی و بین سلولی و تغییر بار کاری سلول (Slomp et al., 2005).

یک نوع جدید از سیستم تولید سلولی مجازی۱ (VCMS) را در نظر گرفتند و یک روش طراحی چند هدفه برای طراحی چنین سلولهایی در زمان واقعی توسعه دادند. سلول های مجازی به صورت گروه بندی موقت ماشینها، شغلها و کارگران برای تشخیص مزایای CM نشان داده می شوند(Tavakkoli et al., 2009)

روش SA را برای حل مدل ریاضی چند معیاره جدید مسأله cf با محدودیت های سرمایه بکار بردند. آنها دو نوع سلول در نظر گرفتند: ۱- سلول های عمومی که قادر به تولید انواع مختلف محصولات هستند. ۲- سلول های خاص که قادر به تولید یک نوع خاص از محصول هستند. همچنین برای دائر کردن سلولها برای تولید دو نوع محدودیت سرمایه در نظر گرفته شده است : ۱- محدودیت سرمایه برای ساخت و تشکیل سلولها ۲- محدودیت در دسترس پذیری بودجه برای تهیه ابزارها و تجهیزات برای تولید آنها در مدل پیشنهادی خود سه تابع هدف را در نظر گرفتند: حداقل کردن ۱- هزینه های تأخیر در ارسال محصول برای مصرف کننده ۲- هزینه های سلول های عام و خاص برای بیکار باقی ماندن در هر دوره ۳- سرمایه استفاده نشده. سپس با الگوریتم SA به حل مدل پرداختند (Tavakkoli et al., 2008). یک مدل ریاضی عدد صحیح - مختلط جدید برای CFP توسعه یافته با شرایط پویا و غیر قطعی ارائه کردند. که راه حل بهینه را با بالاترین درجه رضایت مندی از محدودیت ها و هدف فازی برای مدل DCMS پیشنهادی با شرایط غیر قطعی فراهم می‌کند(Tavakkoli et al., 2009). همچنین یک روش برنامه ریزی پارامتریک فازی توسعه یافته برای حل مسأله تشکیل سلول پویا تحت ظرفیت ماشین و تقاضای قطعه غیر قطعی ارائه دادند. آنها از یک استراتژی ساده برای استخراج همه راه حل های قابل اجرای ممکن منتج از هسته توابع عضویت پارامترهای غیرقطعی استفاده کردند.

۲- مواد روشها

مدل پیشنهادی توسعه چند هدفه مدل برنامه ریزی پارامتری فازی پیشنهادی (Arikan et al., 2009) است . مدل به طور همزمان با مسائل تشکیل سلول و عنصر استثنایی سروکار دارد . و به طور همزمان ویژگی های مسائل عمر واقعی و زمان واقعی را در نظر می گیرد . سه گزینه حذف برای عناصر استثنایی وجود دارند : ترکیبی از تکرار ماشین گلوگاه ، انتقال بین سلولی قطعه و قرارداد جانبی قطعه (اجاره یک کارخانه یا فرد برای کامل کردن بخشی از قرارداد و حذف آن از محیط تولید سلولی). این گزینه ها جزء هزینه بشمار می آیند که در تابع هدف منظور می گردند . در چنین شرایطی، ما حد بالایی را برای کل هزینه های تخصیص داده شده در نظر می گیریم و آنرا به صورت محدودیت بودجه در مدل وارد می کنیم . فرضیات و مشخصات مدل در زیر فهرست می شوند . پس از آن نمادها بیان می شوند . توجه کنید که پارامترهای فازی که ضرایب هزینه تابع هدف ، تقاضای قطعه ، بودجه تخصیص یافته ، زمان پردازش و ظرفیت های ماشین هستند، به صورت ~ در نمادها نمایش داده می شوند . سرانجام مدل برنامه ریزی پارامتریک چند هدفه فازی پیشنهادی ارائه می شود .

فرضیات و مشخصات مدل:

۱) ماتریس شاخص قطعه- ماشین ۰-۱ زمانهای پردازش قطعات را در نظر می گیرد.
۲) این یک مدل برنامه ریزی ریاضی عدد صحیح چند هدفه فازی است.
۳) ماکزیمم و مینیمم تعداد ماشین ها در هر سلول به صورت تابع محدودیت قطعی(جبری) لحاظ می شود.
۴) مینیمم تعداد قطعات در هر خانواده قطعه به صورت تابع محدودیت قطعی لحاظ می شود.
۵) ماکزیمم تعداد سلول ها قطعی است و به صورت معلوم فرض می شود.
۶) هر ماشین و قطعه تنها به یک سلول تخصیص می یابند.
۷) روابط در مدل ریاضی خطی هستند.
۸) مدل یک سیستم جدید را به کار می گیرد.
۹) تصمیم گیرنده یا تحلیل گر رسیدن به اهداف را به طور همزمان می خواهد.

[6] Virtual

۱۰) هر ماشین تنها یک عملیات را پردازش می کند.

۱۱) تعداد ماشینها، تعداد قطعات معلوم هستند و ماهیت قطعی دارند.

i : شاخص ماشین   j : شاخص قطعه   K : شاخص سلول

$$a_{ij} = \begin{cases} ۱ & \text{اگرقطعه } j \text{ به پردازش توسط ماشین } i \text{ نیاز داشته باشد} \\ ۰ & \text{در غیر اینصورت} \end{cases}$$

$\tilde{A}_i$: قیمت خرید ماشین نوع i (هزینه سالیانه اکتساب یک ماشین تکراری این شکل هزینه نتیجه کاهش عواملی چون قیمت خرید، هزینه های نگهداری، ارزش بازیافتنی، عمر مفید است).

$\tilde{I}_j$: هزینه اضافی برای انتقال یک واحد قطعه j در داخل دو سلول.

$\tilde{S}_j$: هزینه اضافی قرارداد جانبی یک واحد قطعه j برای یک عملیات.

$\tilde{C}_i$: ظرفیت دوره ای ماشین نوع i (ظرفیت دوره ای یک ماشین دقایق کاری یک ماشین در یک سال در مسأله نمونه است).

$\tilde{D}_j$: تقاضای دوره ای قطعه j

$\tilde{B}_i$: مقدار بودجه اختصاص یافته برای خرید ماشین های جدید نوع i

NM : مینیمم تعداد انواع ماشین های مجاز در هر سلول

MM : ماکزیمم تعداد انواع ماشین مجاز در هر سلول

NP : مینیمم تعداد قطعات تخصیص یافته به هر سلول

$\tilde{P}_{ij}$: زمان پردازش ماشین نوع i مورد نیاز برای تولید قطعه j

SP : مجموع جفت های (i,j) به طوری که a_{ij}=۱ .

$U\tilde{C}_{ij}$: ظرفیت به کار گیری ماشین نوع i برای قطعات j ,

$$X_{ik} = \begin{cases} ۱ & \text{اگرماشین } i \text{ به سلول } k \text{ تخصیص یابد} \\ ۰ & \text{در غیر اینصورت} \end{cases}$$

$$Y_{jk} = \begin{cases} ۱ & \text{اگرقطعه } j \text{ به سلول } k \text{ تخصیص یابد} \\ ۰ & \text{در غیر اینصورت} \end{cases}$$

$$U_{ijk} = \begin{cases} ۱ & \text{اگر } xik = ۱ ,\ yjk = ۰ \\ ۰ & \text{در غیر اینصورت} \end{cases}$$

$$V_{ijk} = \begin{cases} ۱ & \text{اگر } xik = ۰ ,\ yjk = ۱ \\ ۰ & \text{در غیر اینصورت} \end{cases}$$

Z_{ijk} : تعداد انتقالات بین سلولی مورد نیاز به واسطه قطعه j به طوری که ماشین نوع i در داخل سلول k موجود نباشد.

O_{ijk} : تعداد واحدهای قطعه j قرارداد جانبی به صورتی که ماشین نوع i در داخل سلول k موجود نباشد.

R_{ik} : تعداد ماشین نوع i خریداری شده برای سلول k (عدد صحیح).

Q_i : تعداد ماشین نوع i مورد نیاز برای پردازش قطعات متناظر در یک سلول ماشین (عدد صحیح).

M_{ijk} : تعداد ماشین نوع i اختصاص داده شده به سلول k برای تولید قطعه استثنایی j .

μ : درجه دقت تابع عضویت.

« ظرفیت دوره ای یک ماشین دقایق کاری یک ماشین در یک سال در مسأله نمونه است »

مقادیر b و b^1 پارامترهای فازی که داده شده بیشترین قابلیت اجرای مقادیر پارامتر را نشان می دهند و b^0 مقدار پارامتر غیر قابل اجرا را نشان می دهد .

μ_{b_i} :تابع عضویت خطی $\tilde{b}_i$ در فاصله $[b_i^0, b_i^1)$ با فرمول ریاضی زیر تعریف می شود :

$$\mu_b = (b_i - b_i^0)/(b_i^1 - b_i^0) \quad \text{و} \quad \mu_b = 0 \quad , \quad b_i^0 \geq b_i \ \text{اگر} \qquad \mu_b = 1 \quad , \quad b_i \geq b_i^1 \ \text{اگر}$$

هر مقدار پارامتر فازی از توابع عضویت تعریف شده در بالا می تواند با استفاده از فرمول های زیر به صورت یک تابع از μ محاسبه شود .

$$A_i = A_i^0 + \mu_{A_i}\left(A_i^1 - A_i^0\right) \qquad , \qquad A_i^0 \leq A_i \leq A_i^1$$

$$S_j = S_j^0 + \mu_{s_j}(S_j^1 - S_j^0) \qquad , \qquad S_j^0 \leq S_j \leq S_j^1$$

$$I_j = I_j^0 + \mu_{I_j}(I_j^1 - I_j^0) \qquad , \qquad I_j^0 \leq I_j \leq I_j^1$$

$$C_i = C_i^1 - \left(\frac{1}{0/8}\right)\left[\ln\left(1 - \mu_{c_i}\left(1 - \exp^{(0/8)}\right)\right)\right](C_i^1 - C_i^0) \quad , \quad C_i^0 \leq C_i \leq C_i^1$$

$$D_j = (D_j^2 - \mu_D(D_j^2 - D_j^1)) \qquad , \qquad D_j^1 \leq D_j \leq D_j^2$$

$$D_j = D_j \qquad , \qquad D_j^0 \leq D_j \leq D_j^1$$

$$P_{ij} = (P_{ij}^0 + \mu_p(P_{ij}^1 - P_{ij}^0)) \qquad , \qquad P_{ij}^0 \leq P_{ij} \leq P_{ij}^1$$

$$B_i = \left(B_i^0 + \mu_B(B_i^1 - B_i^0)\right) \qquad , \qquad B_i^0 \leq B_i \leq B_i^1$$

طبق برنامه ریزی پارامتریک فازی، سطوح دقت، رابطه $\mu_{A_i} = \mu_{s_j} = \mu_{I_j} = \mu_{c_i} = \mu_{D_j} = \mu_{P_{ij}} = \mu_{B_i} = \mu$ دارند. بنابراین فرمول های بالا می توانند به صورت تابع μ نوشته شوند و سپس هر یک از آنها برای بهتر کردن مسائل تصمیم چند هدفه برای هر درجه دقت (μ=۰،۰/۱،۰/۲،.....،۰/۹،۱) استفاده شوند.

$$\min z_1 = \sum_k \sum_i R_{ik} * \tilde{A}_i + \sum_k \sum_{i,j\in sp} Z_{ijk} * \tilde{I}_j + \sum_k \sum_{i,j\in SP} O_{ijk} * \tilde{S}_j \qquad (1)$$

$$\max z_2 = \sum_{i,j\in sp} \tilde{P}_{ij} * \tilde{D}_j * \left(1 - \sum_k U_{ijk}\right) \qquad (2)$$

$$\min z_3 = \sum_{i,j\in sp} \left(\tilde{D}_j - \tilde{D}_j * \left(1 - \sum_k U_{ijk}\right)\right) \qquad (3)$$

$$\sum_{k=1}^{c} X_{ik} = 1 \tag{۴}$$

$$\sum_{k=1}^{c} Y_{jk} = 1 \tag{۵}$$

$$NM \leq \sum_{i=1}^{m} X_{ik} \leq MM \tag{۶}$$

$$\sum_{j=1}^{n} Y_{jk} \geq NP \tag{۷}$$

$$X_{ik} - Y_{jk} + U_{ijk} - V_{ijk} = 0 \qquad \forall (i,j) \in sp, \forall k \tag{۸}$$

$$U_{ijk} + V_{ijk} \leq 1 \qquad \forall\, ij \in sp, \forall k \tag{۹}$$

$$Z_{ijk} + O_{ijk} + (\check{C}_i * M_{ijk})/\tilde{P}_{ij} = \tilde{D}_j * U_{ijk} \qquad \forall (i,j) \in sp, \forall k \tag{۱۰}$$

$$\sum_{(i,j)\in sp} M_{ijk} \leq R_{ik} \tag{۱۱}$$

$$Q_i \leq \sum_{(i,j)\in sp} U\check{C}_{ij} \left(1 - \sum_k V_{ijk}\right) + 1 \qquad \forall i \tag{۱۲}$$

$$\sum_k \sum_{i,j\in sp} (Z_{ijk} * \tilde{P}_{ij})/\check{C}_i \leq Q_i - \sum_{(i,j)\in sp} U\check{C}_{ij} \left(1 - \sum_k V_{ijk}\right) \tag{۱۳}$$

$$\sum_k \sum_i R_{ik} * \tilde{A}_i \leq \tilde{B}_i \tag{۱۴}$$

$$X_{ik}, Y_{jk}, U_{ijk}, V_{ijk} = 0 \text{ یا } 1 \qquad \forall\, i,j,k \tag{۱۵}$$

$$Q_i \text{ و } R_{ik} = \text{عدد صحیح} \qquad \forall\, i,k \tag{۱۶}$$

تابع هدف (۱) سه نوع هزینه اختصاص یافته به عناصر استثنایی را مینیمم می کند که عبارتند از: هزینه تکرار ماشین های گلوگاه، هزینه انتقال بین سلولی، هزینه قرارداد جانبی. به علت اینکه هر سه پارامتر دارای یک هدف واحد (مقیاس مشترک) یعنی حداقل کردن هزینه مربوط به عناصر استثنایی هستند به صورت یک تابع می توانند با یکدیگر جمع شوند. تابع هدف (۲) مجموع ظرفیت مورد استفاده در سیستم یا به عبارتی کل زمان در دسترس ماشین های گلوگاه را حداکثر می کند. که این به صورت ضرب تعداد قطعات دست یافته به یک سلول در تعداد عملیاتی که نیاز دارند بیان می شود. تابع هدف (۳) تعداد عملیات های خارجی سلول را حداقل می کند. که به صورت تفاضل عملیات های مورد نیاز قطعات دست یافته به سلول ها از تعداد کل عملیات های مورد نیاز سیستم تعریف می شود.

در تابع هدف دوم و سوم $\left(1 - \sum_k U_{ijk}\right)$ نمایانگر قطعات دست یافته به سلول ها است.

محدودیت های (۴) و (۵) اطمینان می دهند که هر ماشین و هر قطعه تنها به یک سلول تخصیص می یابند. محدودیت (۶) تخصیص کمتر از NM و بیشتر از MM ماشین به هر سلول را ارائه می دهد. محدودیت (۷) تخصیص کمتر از NP قطعه را به هر سلول ارائه می دهد. محدودیت (۸) اطمینان می دهد که یک عنصر استثنایی هر یک از ماشین گلوگاه یا قطعه استثنایی است. محدودیت (۹) تخصیص یک عنصر استثنایی به صورت یک قطعه استثنایی و ماشین گلوگاه را همزمان ارائه می دهد. محدودیت (۱۰) اطمینان می دهد که تقاضای فازی قطعه استثنایی j می تواند به وسیله تکرار ماشین i ، انتقال به داخل سلول ها یا قرارداد جانبی سهیم باشد. محدودیت (۱۱) تعداد ماشین نوع i خریداری شده برای سلول k را به صورت عدد صحیح تعیین می کند.

محدودیت (۱۲) تعداد ماشین نوع i مورد نیاز در هر سلول را تعیین می کند. محدودیت (۱۳) اطمینان می دهد که تعداد انتقالات بین سلولی بین ماشین های نوع i از ظرفیت در دسترس فازی ماشین تجاوز نمی کند. محدودیت (۱۴) اطمینان می دهد که هزینه خرید ماشین های گلوگاه از بودجه تعیین شده تجاوز نکند . محدودیت (۱۵) و (۱۶) وضعیت متغیرهای تصمیم را به صورت ۰ و۱ و صحیح بودن مقادیر نشان می دهد .

در این بخش برای نشان دادن مدل پیشنهادی از یک ماتریس شاخص قطعه- ماشین پایه که اولین بار توسط شافر و همکاران ارائه شد، (Shafer et al., 1992) انتخاب کرده ایم. این ماتریس شامل ۱۰ قطعه (j=۱,...,۱۰) و ۹ ماشین (i=۱,...,۹) است و اعداد آن نشان‌دهنده ی زمان پردازش قطعه روی ماشین است که ماهیت قطعی دارند و ما با استفاده از اعداد تصادفی به این اعداد ماهیت فازی دادیم و آن را برای مدل پیشنهادی بکار بردیم. داده های مربوط به قیمت خرید ماشین، هزینه انتقال بین سلولی، ظرفیت ماشین، تقاضای قطعه و هزینه قرارداد جانبی نیز از ادبیات تحقیق گرفته شده است و داده های فازی زمان پردازش و بودجه نیز به صورت تصادفی، فازی در نظر گرفته شده اند. تعداد سلول ها شامل ۳ سلول می باشند (k=۱,۲,۳). ماکزیمم و مینیمم تعداد ماشینها در هر سلول به ترتیب ۶ و۲ می باشد. مینیمم تعداد قطعات نیز در هر سلول برابر ۲ است. مدل پیشنهادی با استفاده از برخی ابزارهای حل مسائل برنامه ریزی ریاضی چند هدفه فازی و با استفاده از نرم افزار تجاری لینگو ۸ روی یک کامپیوتر پنتیوم ۴ با پردازنده ۱/۸ گیگا هرتز با پارامترهای نشان داده شده در جداول (۱) تا (۳) برای درجه های مختلف دقت μ حل می شود. نتایج حل نیز در جداولی ارائه داده و به تجزیه و تحلیل نتایج می پردازیم.

جدول شماره (۱): ماتریس شاخص فازی قطعه- ماشین

ماشین	قطعه	۱		۲		۳		۴		۵		۶		۷		۸		۹		۱۰	
	حدود فازی	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۱
۱		۱/۸	۲/۹۵	۰	۰	۱	۲/۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۳/۵	۴/۶۱
۲		۱/۶۵	۲/۷۶	۴/۱	۵/۱۸	۰/۸	۱/۸۹	۲/۷۷	۳/۸۹	۰	۰	۳/۵	۵/۱۴	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۳		۴/۴	۵/۵۴	۳/۱۵	۴/۲۹	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۴		۱/۶۵	۲/۹۱	۰	۰	۰	۰	۰/۸	۱/۹۷	۱/۳۵	۲/۵۹	۲/۸	۴/۰۱	۰	۰	۱/۵	۲/۷	۰	۰	۰	۰
۵		۰	۰	۰	۰	۰	۰	۳	۴/۲۸	۰	۰	۳	۴/۵۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۶		۰/۵	۱/۹۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۲/۲۳	۰	۰	۳/۵	۵/۵۲	۰	۰
۷		۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱/۸	۳/۴	۰	۰	۰/۵	۱/۱۶	۲/۵	۴/۷۲	۰	۰	۱	۲/۴۹
۸		۰	۰	۳/۵	۵/۳۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲/۵	۳/۷۵	۲	۳/۸۵	۰	۰
۹		۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۳	۴/۰۴	۰	۰	۰	۰	۰/۵	۱/۸۳

جدول شماره(۲): داده های فازی پارامترهای مربوط به ماشین

پارامتر/ماشین	A_i^0	A_i^1	C_i^0	C_i^1	B_i^0	B_i^1
۱	۴۵۰۰۰	۵۰۷۸۴	۱۴۰۰۰۰	۱۶۰۰۰۰	۱۵۰۰۰۰	۲۰۰۰۰۰
۲	۶۰۰۰۰	۶۷۰۵۳	۱۴۰۰۰۰	۱۶۰۰۰۰	۱۵۰۰۰۰	۲۰۰۰۰۰
۳	۳۷۰۰۰	۴۳۹۴۴	۱۴۰۰۰۰	۱۶۰۰۰۰	۱۵۰۰۰۰	۲۰۰۰۰۰
۴	۶۱۰۰۰	۶۷۳۴۵	۱۴۰۰۰۰	۱۶۰۰۰۰	۱۵۰۰۰۰	۲۰۰۰۰۰
۵	۳۵۰۰۰	۴۲۴۱۴	۱۴۰۰۰۰	۱۶۰۰۰۰	۱۵۰۰۰۰	۲۰۰۰۰۰
۶	۷۰۰۰۰	۷۵۲۲۵	۱۴۰۰۰۰	۱۶۰۰۰۰	۱۵۰۰۰۰	۲۰۰۰۰۰
۷	۵۰۰۰۰	۵۲۷۴۱	۱۴۰۰۰۰	۱۶۰۰۰۰	۱۵۰۰۰۰	۲۰۰۰۰۰
۸	۵۹۰۰۰	۶۳۵۲۳	۱۴۰۰۰۰	۱۶۰۰۰۰	۱۵۰۰۰۰	۲۰۰۰۰۰
۹	۴۹۰۰۰	۵۰۶۳۲	۱۴۰۰۰۰	۱۶۰۰۰۰	۱۵۰۰۰۰	۲۰۰۰۰۰

جدول شماره (۳): داده های فازی پارامترهای مربوط به قطعه

قطعه/پارامتر	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
S_j^0	۳/۸	۴	۳	۴	۴/۰۵	۳	۴/۲	۴/۳	۴/۶	۴
S_j^1	۴/۲	۴/۳	۳/۵	۴/۴	۵	۳/۹	۴/۴	۴/۶	۵	۵
I_j^0	۳/۶	۲/۷	۲/۷۵	۳/۲	۲/۸	۳/۴	۲/۷	۲/۵	۳/۳	۳/۲
I_j^1	۳/۸۵	۲/۹۵	۲/۸۸	۳/۴۵	۲/۸	۳/۶۵	۲/۹۵	۲/۷۵	۳/۵۵	۳/۲
D_j^0	۳۳۰۰۰	۳۰۰۰۰	۲۰۰۰۰	۱۱۰۰۰	۱۸۰۰۰	۱۷۰۰۰	۴۶۰۰۰	۴۶۰۰۰	۱۶۰۰۰	۲۳۰۰۰
D_j^1	۳۵۰۰۰	۳۲۰۰۰	۲۲۰۰۰	۱۲۵۰۰	۱۹۰۰۰	۱۸۵۰۰	۴۷۰۰۰	۴۷۰۰۰	۱۷۰۰۰	۲۵۰۰۰
D_j^2	۴۰۰۰۰	۳۶۰۰۰	۲۵۰۰۰	۱۴۰۰۰	۲۰۰۰۰	۱۹۰۰۰	۴۸۵۰۰	۴۹۰۰۰	۱۷۵۰۰	۲۶۰۰۰

۳- بحث و نتایج

در مدل های چند هدفه برای رسیدن همزمان به راه حل های بهینه برای همه توابع هدف بایستی از روش دو مرحله ای استفاده کرد. در این روش در ابتدا با حل مساله چند هدفه به صورت یکسری مسائل تک هدفه (مسائل برنامه ریزی خطی معمولی) با استفاده از یک هدف و حذف دیگر اهداف در هر بار حل بدست آورده خواهد شد (بهترین مقادیر) و سپس با قراردادن مقادیر بهینه در کلیه توابع هدف و یافتن کمترین مقادیر ویافتن بیشترین مقادیر برای آنها، بدترین مقادیر توابع هدف بدست می آید. برای بدست آوردن مقادیر حداکثر و حدااقل توابع هدف به طریق دیگر می توان با بیشینه سازی تمام توابع هدف و کمینه سازی تمام توابع هدف به صورت تک هدفه نیز اقدام نمود. با توجه به مقادیر حداکثر و حداقل بدست آمده برای توابع هدف، مقادیر توابع هدف را می توان به صورت اعداد فازی نشان داد به طوری که مقدار تابع عضویت آنها به صورت خطی بین صفر و یک تغییر نماید. پس

از تعیین توابع عضویت فازی مدل به صورت یک مدل تک هدفه درآمده که براحتی با استفاده از روش های حل سنتی قابل حل می باشد و مقادیر بهینه توابع هدف بدست خواهد آمد. فواصل فازی بدست آمده از حل مدل برای توابع هدف در جدول (۴) نشان داده شده اند.

جدول شماره (۴): فواصل فازی بدست آمده به وسیله حل های ایده آل برای سطح دقت ۰/۵

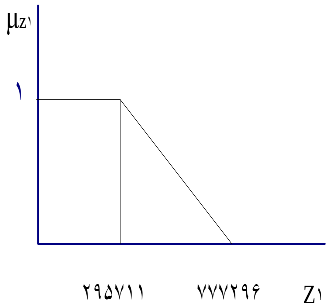
$\mu =$ ۰/۵	x^{1*}	x^{2*}	x^{3*}
نام مدل	Z_1	Z_2	Z_3
$-Z_1$	-۲۹۱۷۱۱ ^{ub}	-۷۷۷۲۹۶ ^{lb}	-۱۲۷۸۱۲
Z_2	۱۷۶۱۳۸۰	۱۹۷۲۰۱۵ ^{ub}	۱۶۶۰۳۰۰ ^{lb}
$-Z_3$	-۳۰۰۷۵۰ ^{lb}	-۲۴۶۵۰۰	-۲۲۹۷۵۰ ^{ub}

مقادیر حداکثر و حداقل به وسیله نمادهای ub و lb در جدول (۴) مشخص شده اند. ستون اول مقادیر متغیرهای تصمیم برای حل های بهینه تابع هدف اول با سطح دقت ۰/۵ است و بهمین ترتیب ستون دوم و سوم مقادیر متغیر های تصمیم برای حل های بهینه تابع هدف دوم و تابع هدف سوم است. با توجه به مقادیر حداکثر و حداقل بدست آمده برای توابع هدف، مقادیر توابع هدف را می توان به صورت اعداد فازی نشان داد به طوری که مقدارتابع عضویت آنها به صورت خطی بین صفر و یک تغییر می نماید. توابع عضویت خطی فازی برای هر تابع هدف به صورت زیر ایجاد می شوند. که تابع هدف اول و سوم برای مسائل مینیمم سازی و تابع هدف دوم مربوط به مسائل ماکزیمم سازی است .

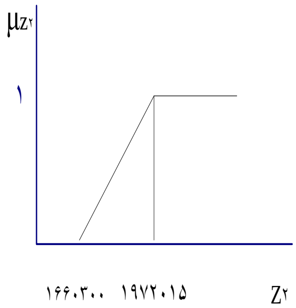
$$\mu_{Z_1} = \begin{cases} \text{۱} & Z_1 \le \text{۲۹۵۷۱۱} \\ \dfrac{\text{۷۷۷۲۹۶} - Z_1}{\text{۴۸۱۵۸۵}}, & \text{۲۹۵۷۱۱} < Z_1 < \text{۷۷۷۲۹۶} \\ \text{۰} & Z_1 \ge \text{۷۷۷۲۹۶} \end{cases}$$

$$\mu_{Z_2} = \begin{cases} \text{۰} & Z_2 \le \text{۱۶۶۰۳۰۰} \\ \dfrac{Z_2 - \text{۱۶۶۰۳۰۰}}{\text{۳۱۱۷۱۵}}, & \text{۱۶۶۰۳۰۰} < Z_2 < \text{۱۹۷۲۰۱۵} \\ \text{۱} & Z_2 \ge \text{۱۹۷۲۰۱۵} \end{cases}$$

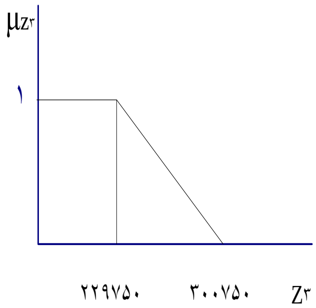
$$\mu_{Z_3} = \begin{cases} \text{۱} & Z_3 \le \text{۲۲۹۷۵۰} \\ \dfrac{\text{۳۰۰۷۵۰} - Z_3}{\text{۷۱۰۰۰}}, & \text{۲۲۹۷۵۰} < Z_3 < \text{۳۰۰۷۵۰} \\ \text{۰} & Z_3 \ge \text{۳۰۰۷۵۰} \end{cases}$$



شکل شماره (۳): تابع عضویت خطی برای $Z_۳$



شکل شماره (۲): تابع عضویت خطی برای $Z_۲$



شکل شماره (۱): تابع عضویت خطی برای $Z_۱$

مدل برنامه ریزی خطی فازی برای توابع عضویت خطی تعریف شده با سطح دقت $\mu = ۰/۵$ به صورت زیر است.

که: $\lambda \leq (z_k - l_k)/(u_k - l_k)\ , k = ۱,۲,۳$

$$\text{Max } \lambda:$$
$$\lambda \leq (۷۷۷۲۹۶ - Z_۱)/۴۸۱۵۸۵$$
$$\lambda \leq (Z_۲ - ۱۶۶۰۳۰۰)/۳۱۱۷۱۵ \qquad (۱۷)$$
$$\lambda \leq (۳۰۰۷۵۰ - Z_۳)/۷۱۰۰۰$$
$$۰ \leq \lambda \leq ۱$$

و محدودیتهای (۴) تا (۱۶). مدل بالا (۱۷) یک مدل تک هدفه است. بنابراین از روش های حل سنتی می توان استفاده کرد. راه حل های مدل توسط لینگو ۸ برای سطح دقت ۰/۵ بدست می آیند. خلاصه حل نیز در جدول (۵) داده شده است.

جدول شماره (۵) : نتایج حل مدل به وسیله روش دو مرحله ای برای سطح دقت ۰/۵

مدل	مدل برنامه ریزی خطی فازی
تابع هدف	**Max λ**
مقدار تابع هدف	۰.۷۶۴۱
زمان حل	۷/۳۴ (دقیقه)
تعداد تکرارها	**۱۲۵۹۵۳۴**
تعداد عناصر استثنایی	۸
تعداد صفرها	**۱۲**
Z_{ijk}	$Z_{۲۲۱}=۳۴۰۰۰$ ، $Z_{۷۵۲}=۱۲۵۳$ ، $Z_{۸۸۳}=۲۰۹۴۰$
O_{ijk}	$O_{۸۸۳}=۲۷۰۶۰$
R_{ik}	$R_{۱۳}=R_{۶۱}=R_{۶۲}=R_{۷۲}=R_{۴۳}=R_{۳۲}=۱$
Q_i , i =۱,۲, ... ,۹	۲،۳،۳،۳،۱،۲،۲،۲،۱
$Z_۱$	۴۰۹۳۲۴
$Z_۲$	۱۹۰۲۸۴۲
$Z_۳$	۲۴۶۵۰۰

برای سطح $\mu =$ ۰/۵ ، مقدار درصد رضایت (λ) متناظر برای توابع هدف اقناع شده ۷۶/۴۱٪ است که این درصد رضایت کاملاً قابل قبول برای مدل چند هدفه است. براساس حل انجام شده ۸ عنصر استثنایی وجود دارند (۱،۲،۵،۸،۹،۱۰). قطعه ۲ و ۹ به سلول ۱ تخصیص می یابند اما قطعه ۲ به پردازش بر روی ماشین ۲ و قطعه ۹ به پردازش بر روی ماشین ۶ نیاز دارد. بدین منظور تمام تقاضای قطعه ۲ از طریق جابجایی بین سلولی برآورده خواهد شد و برای حذف قطعه استثنایی یک ماشین گلوگاه نمره ۶ برای سلول ۱ خریداری می شود($R_{۶۱}$).

قطعه ۱ و ۵ به سلول ۲ تخصیص می یابند، اما قطعه ۱ به پردازش بر روی ماشین ۳ و ۶ و قطعه ۵ به پردازش بر روی ماشین ۷ نیاز دارد که در سلول ۲ وجود ندارند. بنابراین برای حذف عنصر استثنایی ۱ یک ماشین گلوگاه نمره ۳ و ۶ برای سلول ۲ خریداری می شود ($R_{۳۲}$،$R_{۶۲}$). برای حذف قطعه استثنایی ۵ بخشی از تقاضای این قطعه از طریق انتقال بین سلولی قطعه ۵ ($Z_{۷۵۲}$ =۱۲۵۳) برآورده می شود ومابقی تقاضای قطعه ۵ از طریق خرید یک ماشین نمره ۷ برای سلول ۲ اقناع می شود ($R_{۷۲}$).

قطعه ۸ و ۱۰ به سلول ۳ تخصیص می یابند، اما قطعه ۸ به پردازش بر روی ماشین ۴ و ۸ نیز نیاز دارد. برای حذف عنصر استثنایی ۸ بخشی از نیاز این قطعه به ماشین ۸ از طریق جابجایی بین سلولی($Z_{۸۸۳}$ =۲۰۹۴۰) و بخشی دیگر با قرارداد جانبی قطعه ($O_{۸۸۳}$ =۲۷۰۶۰) برآورده خواهد شد و در مورد نیاز قطعه به ماشین ۴ نیز یک ماشین نمره ۴ برای سلول ۳ خریداری می‌شود ($R_{۴۳}$).

قطعه ۱۰ به سلول ۳ تخصیص می یابد، اما این به پردازش بر روی ماشین ۱ نیز نیاز دارد. برای حذف این عنصر استثنایی یک ماشین گلوگاه نمره ۱ برای سلول ۳ خریداری می شود ($R_{۱۳}$).

پس از حل مدل پیشنهادی ماتریس شاخص قطعه- ماشین به صورت جدول(۶) نشان داده می شود.

جدول شماره (۶): آرایش سلولی در نتیجه حل مدل پیشنهادی با سطح دقت ۰/۵

قطعه/ماشین	۲	۹	۴	۶	۱	۳	۵	۷	۸	۱۰
۳	۱				۱					
۸	۱	۱							۱	
۲	۱		۱	۱	۱	۱				
۵			۱	۱						
۱					۱	۱				۱
۴			۱	۱	۱		۱		۱	
۶		۱			۱			۱		
۷							۱	۱	۱	۱
۹								۱		۱

برای ارزیابی کارایی خوشه بندی مدل پیشنهادی، اغلب دو مورد از معیارهای عملکرد بیشترین استفاده را در ادبیات تحقیق داشته اند: یعنی کارایی گروه بندی و اثربخشی گروه بندی[1]. در این بخش ما از دو فرمول برای این منظور که از ادبیات تحقیق گرفته شده اند، استفاده کرده ایم :

ضرورت اندازه گیری کارایی طراحی در سیستم های تولید سلولی به طور وسیع تأیید شده است و معیارهای عملکرد زیادی برای بررسی آن پیشنهاد شده اند. بیشتر معیارهای عملکردی که تا کنون محققان معرفی کرده اند تنها برای ماتریس شاخص ۰–۱ مناسب هستند. این معیارها نمی توانند برای مسائل تشکیل سلول تعمیم یافته که در آنها اطلاعات مربوط به زمان های عملیاتی مهم هستند متناسب گردند. از این رو ما یک معیار جدید برای کارایی گروه بندی به صورت گروه بندی تعدیل یافته (MGE) [2] برای پیدا کردن عملکرد تشکیل سلول معرفی می کنیم. که با ماتریس زمان پردازش قطعه با در نظر گرفتن یک ها و صفر های داخل سلول سروکار دارد.[Mahapatra et al., 2008]

ضریب وزنی MGE برای صفرها و MGE با استفاده از دو فرمول زیر محاسبه می شوند:

$$W_v = N_{vk}/N_{ek}$$

$$MGE = \frac{T_{pti}}{T_{pto} + \sum_{k=1}^{c} T_{ptk} + \sum_{k=1}^{c} T_{ptk} * W_v}$$

W_v = ضریب وزن دهی به صفر ها

T_{pto} = کل زمان پردازش بیرون سلولها

N_{vk} = تعداد صفر های سلول K

T_{pti} = کل زمان پردازش درون سلول

T_{ptk} = کل زمان پردازش سلول K

N_{ek} = تعداد کل عناصر سلول K

این فرمول برای همه عملیات ها به طور مساوی رفتار نمی کند. علاوه بر این فاکتور وزن برای صفر ها برای منعکس کردن تراکم بسته بندی سلول ها لحاظ می شود.

اثربخشی گروه بندی(τ) به وسیله اندازه ماتریس قطعه– ماشین تغییر نمی کند. فرمول ریاضی آن به صورت زیر است :
$\tau=(o-e)/(o+e)$

که o تعداد ۱ های ماتریس قطعه – ماشین است، e تعداد عناصر استثنایی است.

راه حل‌های عددی متعلق به حل های ایده آل به وسیله معیارهای عملکرد معروف، کارایی گروه بندی و اثر بخشی گروه بندی، که در بخش قبل تعریف شده اند ارزیابی می شوند. مقادیر عددی متناظر با این معیار ها در جدول (۷) داده شده اند.

[7] Grouping Efficacy
[8] Modified Grouping Efficiency

جدول شماره (۷): ارزیابی نتایج با استفاده از معیار های عملکرد

معیار عملکرد	مدل پیشنهادی	اریکان و گنگور
e	۸	۹
v	۱۲	۱۴
W_v	۱/۸،۴/۳،۲۰/۹	۱/۹،۴/۳،۲۰/۹
MGE (%)	۶۴/۴۳	۵۶/۸۳
(%)τ	۵۶/۷۶	۵۲/۶۳

ستون اول و دوم جدول (۷) تعداد عناصر استثنایی و تعداد صفرها را پس از حل های بهینه مدل را نشان می دهند. ستون سوم نیز ضریب وزنی به صفرها برای انعکاس تراکم بسته بندی سلول ها را نشان می دهد. وقتی که سلولها به طور کامل و بدون هیچ صفر و عنصر استثنایی بسته بندی می شوند این کارایی ۱۰۰٪ را تولید می کند. با وجود اینکه صفرها در کاهش کارایی نقش مهمی دارند در واقعیت این مورد در سیستم منعکس نمی شود. از این‌رو آنها توسط ضریب وزنی بر پایه تعداد کل عملیات در سلول در نظر گرفته می شوند. در حل مدل پیشنهادی برای هر یک از روشها ضریب وزن دهی به صفرها برای هر کدام از سلول‌ها به طور جداگانه محاسبه می شود.

ستون چهارم کارایی گروه بندی حل های بهینه را برای هر یک از روش ها نشان می دهد. مشاهده می شود که عناصر استثنایی و صفرها در ملاحظات محاسبه کارایی گروه بندی در نظر گرفته شده اند. افزایش در هر عنصر استثنایی یا صفرها مقدار کارایی را کاهش می دهد و بر عکس. ستون ۵ نیز اثر بخشی گروه بندی را نشان می دهد که مستقل از اندازه ماتریس و اطلاعات تولیدی ماتریس هستند بر اساس ارزیابی های انجام شده مشاهده می شود که کارایی خوشه بندی مدل پیشنهادی در هر یک از دو روش حل این مدل نسبت به مدل اریکان و گنگور بالاتر است. روش دو مرحله ای روش مناسب تری برای حل این گونه مسائل می باشد چون که بنا به فرض تمام توابع هدف به طور همزمان بهینه می گردند. در ستون ۵ نیز مشاهده می کنیم که اثربخشی این مدل نسبت به مدل (Arikan et al., 2009) بیشتر است.

این مطالعه یک مدل برنامه ریزی ریاضی چند هدفه عدد صحیح فازی مؤثر برای مسأله طراحی سیستم تولید سلولی واقع گرایانه پیشنهاد می کند که می تواند مسأله تشکیل سلول و عناصر استثنایی را همزمان در نظر بگیرد. مدل پیشنهادی هزینه های حذف عناصر استثنایی، تقاضای قطعه، بودجه خرید ماشین، زمان پردازش قطعه و ظرفیت ماشین را فازی در نظر می گیرد. مدل با استفاده از رابطه جایگزینی توابع عضویت پارامترهای فازی سازماندهی می شود. حل های مدل پیشنهادی به وسیله روش دومرحله‌ای طرح های تصمیم منطقی و قابل قبول را به تصمیم گیرنده با مشخصات مدل واقع گرایانه ارائه می دهند مانند بهینه‌سازی همزمان توابع اهداف و لحاظ کردن پارامترهای فازی.

مدل پیشنهادی و حل آن بوسیله روشی که قبلاً پیشنهاد شده، رنج وسیعی از حوزه کاربرد را در مسائل عمر واقعی و زمان واقعی به ویژه بنگاه های اقتصادی کوچک و متوسط، فراهم می کند .

- پیشنهاداتی برای تحقیقات آینده

حوزه های زیر می توانند زمینه های جذابی برای انجام تحقیقات آتی قلمداد شوند. تحقیق حاضر می تواند پیش زمینه لازم را برای محققانی که بخواهند در این حوزه ها فعالیت کنند، فراهم آورد:

۱. طراحی یک الگوریتم ابتکاری یا فرا ابتکاری برای حل مدل برای مسائل بزرگ است. به دلیل اینکه برای اندازه های بزرگ، حل چنین مسائلی به وسیله نرم افزار های تجاری از قبیل لینگو، لیندو یا گمز بسیار زمانبر خواهد بود و در عمل

کارایی خود را از دست خواهد داد. لذا طراحی یک الگوریتم ابتکاری مثل ژنتیک یا شبکه های عصبی می تواند در کمترین زمان ممکن جوابهای بهینه یا نزدیک به بهینه را برای مدل بدست آورد.

۲. در نظر گرفتن افق برنامه ریزی چند دوره ای : در اکثر تحقیقات گذشته مسأله تولید سلولی در شرایط تولید ثابت یا تک دوره ای مورد بررسی قرار می گرفت. در حالی که در عمل تولید پویاست. به عبارت دیگر در بسیاری از سیستم‌های تولیدی افق برنامه ریزی را می توان به چند دوره یا پریود تقسیم کرد به طوری که تقاضای محصولات از یک دوره به دوره دیگر متغیر می باشد. بنابراین بهترین سلول های طراحی شده برای یک دوره ممکن است کاراترین برای دوره های بعدی نباشد و به پیکر بندی دوباره نیاز دارند.

۳. اضافه کردن محدودیت های تولیدی یا سیاست های مدیریتی به مدل پیشنهادی شامل محدودیت هزینه های انتقال بین سلولی و محدودیت هزینه های قرارداد جانبی قطعه. این محدودیت ها می توانند حد بالایی برای بودجه مشخص شده در نظر بگیرند.

۴. تعداد ماشین هایی که به یک سلول تخصیص می‌یابند قطعی فرض می شوند. آنها همچنین می توانند به صورت فازی لحاظ شوند.

۵. اضافه کردن بحث هایی مثل جابجایی‌های درون سلولی و یا مکان‌یابی مجدد ماشین های تولیدی در تابع هدف اول و در نظر گرفتن احتیاجات ترتیب گذاری و پردازش قطعات در مدل برای یک تولید مؤثر (در نظر گرفتن توالی عملیاتی).

۴- منابع

1- Arikan, F., and Gungor, Z. 2000. Application of Fuzzy Decision Making in Part-Machine Grouping. International Journal of Production Economics. 63.181-193.

2- Arikan, F and Gungor, Z. 2005. A Parametric Model for Cell Formation and Exceptional Elements Problems with Fuzzy Parameters. Journal of Intelligent Manufacturing, 16.103-114.

3- Arikan, F., and Gungor, Z. 2007. A Two-phase Approach for Multi-objective Programming Problems with Fuzzy Coefficients. Information Sciences. 177. 5191-5202.

4- Arikan, F., and Gungor, Z. 2009. Modeling of a Manufacturing Cell Design Problem with Fuzzy Multi-Objectiv Parametric Programming. Mathematical and Computer Modeling. 50.407- 420.

5- Bajestani, M. A. and et al. 2009. A Multi-Objective Scatter Search for a Dynamic Cell Formation Problem. Computers & Operations Research. 36. 777 – 794.

6- Berardi, V. L., Zhang, G., and Offodile, O.F. 1999. A Mathematical Programming Approach to Evaluating Alternative Machine Clusters in Cellular Manufacturing. International Journal of Production Economics. 58. 253-264.

7- Iranmanesh, H. and et al. 2009. A Multi-Objective Genetic Algorithm for Optimization of Cellular Manufacturing System. Department of Industrial Engineering .Faculty of Engineering. Tehran:Tehran University. 212. 252-256.

8- Mahapatra, S.S., and . Sudhakara, P.R. 2008. Genetic Cell Formation Using Ratio Level Data in Cellular Manufacturing Systems. International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 38.630-640.

9- Mahdavi, I., Javadi, B., Fallah-Alipour, K., and Slomp, J. 2007. Designing a New Mathematical Model or Cellular Manufacturing System Based on Cell Utilization. Journal of Applied Mathematics and Computation.190. 662-670.

10- Shafer, S.M., Kern, G.M., and Wei, J.C. 1992. A Mathematical Programming Approach for Dealing with Exception Elements in Cellular Manufacturing. International Journal of Production Research 30: 5. 1029-1036.
11- Shanker, R., and Vrat, P. 1998. Post Design Modeling for Cellular Manufacturing System with Cost Uncertainty. International Journal of Production Economics .55. 97-109.
12- Shanker, R., and Vrat, P. 1999. Some Design Issues in Cellular Manufacturing Using the Fuzzy Programming Approach. International Journal of Production Research. 37: 11.2545-2563.
13- Slomp, J., Chowdary, B.V., and Suresh, N.C. 2005. Design of Virtual Manufacturing Cells: A Mathematical Programming Approach. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. 21. 273-288.
14- Solimanpur, M., Vrat, P., and shanker, R. 2004. A Multi-Objective Genetic Algorithm Approach to the Design of Cellular Manufacturing Systems. International Journal of. Produdtion. 42: 7.1419–1441.
15- Tavakkoli-Moghaddam, R., and Safaei, N. 2009 . An Extended Fuzzy Parametric Programming-based Approach for Designing Cellular Manufacturing Systems under Uncertainty and Dynamic Conditions. International Journal of Computer Integrated Manufacturing. 22: 6.538-548.
16- Tavakkoli-Moghaddam, and et al. 2008. A Fuzzy Programming Approach for a Cell Formation Problem with Dynamic and Uncertain Conditions. Fuzzy Sets and Systems. 159. 215 -236.
17- Tavakkoli-Moghaddam, and et al. 2009. A Simulated Annealing Method for Solving a New Mathematical Model of a Multi-Criteria Cell Formation Problem with Capital Constraints. Advances in Engineering Software 4.268-273.
18- Yasuda, K., Hu, L., and Yin, Y. 2005. A Grouping Genetic Algorithm for the Multi-objective Cell Formation Problem. International Journal of Production Research 43:4. 829-853.
19- Zadeh, L. A. 1965 . Fuzzy Sets. Information Control. 8.338-353.