Archive of SID

نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید
IERPS
ISSN: 2345-2269

نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید

سال چهارم، شماره هفتم، بهار و تابستان ۱۳۹۵، صفحه ۱-۱۵
www.ier.basu.ac.ir

ارایه الگوریتم رقابت استعماری چندهدفه جهت بهینه‌سازی مسئله‌ی برنامه‌ریزی تولید ادغامی پایا

امیرسامان خیرخواه[1,*]، آرش نوبری[2]، وحید حاجی‌پور[3]

۱. دانشیار، گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان.
۲. دانشجوی دکتری، گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان.
۳. دانشجوی دکتری، گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان.

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:
دریافت ۱۳۹۴/۰۴/۱۰
پذیرش ۱۳۹۴/۱۰/۱۶

کلمات کلیدی:
برنامه‌ریزی تولید ادغامی
مدیریت زنجیرهٔ تأمین
بهینه‌سازی چند هدفه
الگوریتم رقابت استعماری
چند هدفه

خلاصه

در این مقاله، مدلی دوهدفه برای یک مسألهٔ برنامه‌ریزی تولید ادغامی چندمحصولیِ چنددوره‌ای در زنجیرهٔ تأمینی شامل تعدادی تأمین‌کننده، تولیدکننده و نقطهٔ تقاضا ارائه شده است که از یک طرف به دنبال کمینه‌سازی هزینهٔ کل زنجیرهٔ تأمین شامل هزینه‌های نگهداری موجودی، هزینه‌های تولید، هزینه‌های نیروی انسانی، هزینه‌های جذب و از دست دادن نیروی انسانی می‌باشد و از طرف دیگر و به صورت همزمان با استفاده از بیشینه‌سازی حداقل قابلیت اطمینان کارخانه‌های تولیدی با در نظر گرفتن زمان‌های تحویل احتمالی، به دنبال بهبود عملکرد سیستم و برنامهٔ تولید پایاتری است. در نهایت با توجه به اینکه مسألهٔ مذکور NP-hard می‌باشد، برای حل مدل پیشنهادی از یک الگوریتم رقابت استعماری چندهدفه مبتنی بر پارتو استفاده شده و به منظور بررسی عملکرد الگوریتم مذکور، الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب (NSGA-II) نیز بکار رفته است. نتایج حاصل از مسائل آزمایشی تولید شده، توان الگوریتم پیشنهادی را در یافتن جواب‌های پارتو نشان می‌دهد.

۱- مقدمه

زنجیرهٔ تأمین مجموعه‌ای متشکل از تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان، مراکز توزیع، کانال‌های حمل و نقل و غیره می‌باشد که در آن هر شرکت نقش مشخصی در تبدیل مواد خام به محصول نهایی مطابق نیاز مصرف‌کننده دارد. در سال‌های اخیر، جهانی شدنِ تجارت، رقابت، یکپارچه‌سازی زنجیره‌های تأمین و غیره سبب شده است که سازمان‌ها بیش از پیش بر برنامه‌های تولید خود و سایر اعضای مرتبط در زنجیرهٔ تأمین توجه و نظارت داشته باشند. فراهم آوردن برنامهٔ تولیدی برای سازمان‌های زنجیرهٔ تأمین از جمله مهمترین تصمیم‌گیری‌های حوزهٔ مدیریت زنجیرهٔ تأمین می‌باشد.

* نویسنده مسئول. امیرسامان خیرخواه
تلفن: ۰۸۱-۳۸۲۹۲۵۰۵؛ پست الکترونیکی: kheirkhah@basu.ac.ir

مدیریت زنجیرهٔ تأمین باید بتواند تمامی فعالیت‌های درگیر در تولید یک محصول، از تأمین‌کنندگان تا مصرف‌کنندگان نهایی را برنامه‌ریزی کند چرا که مدیریت نامناسب زنجیرهٔ تأمین می‌تواند منجر به ورشکستگی اعضا و شکست در رقابت جهانی شود.

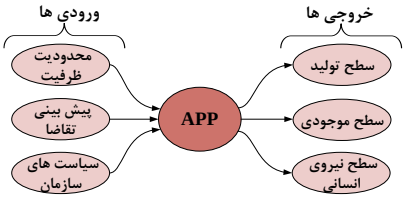
یکی از برنامه‌ریزی‌های میان‌مدت زنجیرهٔ تأمین که افق برنامه‌ریزی ۳ الی ۱۸ ماه را در برمی‌گیرد، برنامه‌ریزی تولید ادغامی است که در آن محصولاتی که از نظر ظاهر یا روند تولید مشابه یکدیگر هستند به عنوان یک خانواده محصول در نظر گرفته می‌شوند. برنامه‌ریزی تولید ادغامی به عنوان یک برنامه‌ریزی در سطح تاکتیکیِ مدیریت سعی می‌کند به منظور برآورده کردن تقاضای محصولات، مقدار بهینهٔ تولید، سطح موجودی، نیروی انسانی و غیره را در هر دورهٔ زمانی با توجه به تعدادی محدودیت، تعیین نماید [۱].

برنامه‌ریزی تولید نقش مهمی در هزینهٔ تحمیل شده به سازمان

www.SID.ir

Archive of SID

ایفا می‌کند. از این رو، یک برنامه‌ریزی تولید ادغامی خوب، مدیریت زنجیرهٔ تأمین را تسهیل می‌کند. نتایج برنامه‌ریزی تولید ادغامی می‌تواند اساس برنامه‌های دیگری سازمان نظیر برنامه‌ریزی نیازمندی‌های ظرفیت، زمانبندی تولید جامع و برنامه‌ریزی نیازمندی‌های مواد باشد [۲]. از منظر سیستماتیک به برنامه‌ریزی تولید ادغامی می‌توان محدودیت‌های ظرفیت، تقاضا، سیاست‌های شرکت و استراتژی‌ها را به عنوان ورودی برنامه‌ریزی تولید ادغامی و سطوح تولید، موجودی، نیروی انسانی و غیره را به عنوان خروجی‌های سیستم در نظر گرفت (شکل (۱)).



شکل (۱): ورودی و خروجی‌های فرآیند برنامه‌ریزی تولید ادغامی

در نظر گرفتن شرایط دنیای واقعی برای مسأله برنامه‌ریزی تولید ادغامی بطوری‌که چارچوب کلی مسأله شامل ورودی‌ها و خروجی‌ها به خوبی لحاظ شود، همواره از جمله مسائل مورد بررسی در تحقیقات بوده است. هدف از این مقاله، ارائهٔ مدلی چند هدفه برای مسألهٔ برنامه‌ریزی تولید ادغامی در یک زنجیرهٔ تأمین چندسطحی است که با در نظر گرفتن محدودیت‌ها و ورودی‌های سیستم به دنبال خروجی‌هایی است که از یک سو هزینهٔ کمتری را بر کل سیستم تحمیل کرده و از طرف دیگر و به صورت همزمان، قابلیت اطمینان سیستم را افزایش دهد.

در ادامه این مقاله، به این صورت ساختاربندی شده است: در بخش ۲ برخی از تحقیقات صورت گرفته پیرامون مسألهٔ برنامه‌ریزی تولید ادغامی در زنجیرهٔ تأمین بیان شده است. مدل ریاضی پیشنهادی برای مسألهٔ برنامه‌ریزی تولید ادغامی در بخش ۳ ارائه می‌گردد. رویکرد حل مدل پیشنهادی در بخش ۴ معرفی شده است. بخش ۵، تحلیل و مقایسهٔ نتایج حاصل از رویکرد پیشنهادی برای چندین مثال عددی را شامل می‌شود. در نهایت نتیجه‌گیری و پیشنهادات برای تحقیقات آتی بیان شده است.

۲- مرور ادبیات

در دهه‌های اخیر مدل‌های برنامه‌ریزی تولید ادغامی متعددی در تحقیقات ارائه شده‌اند. مدل‌های مختلفی از زمانی که هولت و همکاران [۳] قوانین HMMS را ارائه نمودند، به منظور حل مسألهٔ برنامه‌ریزی تولید ادغامی توسعه یافته‌اند. هانسمن و هس [۴] یک مدل برنامه‌ریزی تولید ادغامی در نظر گرفتند و از رویکرد برنامه‌ریزی خطی استفاده نمودند. مدل آن‌ها در ادامه، برای سیستم‌های چندمحصولی، چندمرحله‌ای با محدودیت‌های ظرفیت توسعه یافت [۵-۷]. در سال ۱۹۷۰ رویکرد HMMS برای سیستمی چندمحصولی تعمیم داده شد [۸]. مسعود و هوانگ [۹] به منظور حل مسأله برنامه‌ریزی تولید ادغامی از روش‌های MCDM استفاده کردند. از آن پس تحقیقات بسیاری در این زمینه صورت گرفت. نام و لاگندران [۱۰] طی تحقیقی مدل‌های برنامه‌ریزی تولید ادغامی را در ۱۴۰ مقاله و ۱۴ کتاب مورد بررسی قرار دادند و آن‌ها را با توجه به تصمیمات مختلف دسته‌بندی نمودند.

بر اساس تعداد توابع هدف در نظر گرفته شده، مدل برنامه‌ریزی تولید ادغامی را می‌توان به دو دستهٔ مسائل تک‌هدفه و چندهدفه تقسیم نمود [۱۱]. در بیشتر تحقیقات صورت گرفته کمینه‌سازی هزینهٔ کل سیستم، به عنوان یک تابع هدف متداول در مدل‌های برنامه‌ریزی تولید ادغامی مورد بررسی قرار گرفته است (جدول (۱): جایگاه تحقیق موجود ۱). در حالیکه برخی از تحقیقات علاوه بر کمینه‌سازی هزینه، توابع هدف دیگری نظیر بیشینه‌سازی سطح خدمت، کمینه‌سازی تغییرات سطح نیروی انسانی و کمینه‌سازی ریسک را نیز در مسألهٔ برنامه‌ریزی تولید ادغامی در نظر گرفته‌اند [۱، ۹، ۱۱، ۱۴، ۱۶، ۲۱- ۲۸، ۳۱].

علی‌رغم تحقیقات بسیار در زمینهٔ برنامه‌ریزی تولید ادغامی و اهداف مختلفی که در هر یک از آن‌ها مورد مطالعه قرار گرفته است، هنوز قابلیت اطمینان به عنوان یک شاخص مؤثر در برنامه‌های تولید حاصل، مورد بررسی و ارزیابی قرار نگرفته است. در بسیاری از تحقیقات، مسألهٔ برنامه‌ریزی تولید ادغامی با اهداف و شرایط مختلف بررسی شده اما در هیچ یک از آن‌ها پیرامون این مسأله که قابلیت اطمینان برنامه‌های تولید تا چه اندازه می‌تواند در تصمیم‌گیری مؤثر باشد، مطالعه‌ای صورت نگرفته است. به همین منظور در این مقاله سعی شده تا قابلیت اطمینان به عنوان شاخصی مؤثر در برنامه‌ریزی تولید ادغامی در کنار شاخص هزینه برای تصمیم‌گیریِ پایاتر، با قابلیت اطمینان بیشتر در نظر گرفته شود. جدول ۱ جایگاه این مقاله را در برابر سایر تحقیقات صورت گرفته در این زمینه، با توجه به این موضوع نشان می‌دهد.

در یک زنجیرهٔ تأمین شامل تأمین‌کنندگان مختلف، تولید مواد خام برای تولیدکنندگان اغلب توسط تأمین‌کنندگان گوناگونی امکان‌پذیر است. با توجه به اینکه زمان تحویل تأمین‌کنندگان دقیق و تحت کنترل کارخانه‌های تولیدی نبوده و احتمال وقوع دیرکرد در ارسال مواد از طرف تأمین‌کنندگان به کارخانه‌ها وجود دارد، ارائهٔ زمانبندی مناسب توسط کارخانهٔ تولیدی برای تحویل محصولات به متقاضیان امری دشوار و به صورت غیر قطعی می‌باشد. از این رو، زمان‌های تحویل احتمالی تأمین‌کنندگان می‌تواند به عنوان یک شاخص اندازه‌گیری به منظور بررسی قابلیت اطمینان برنامهٔ تولیدی کارخانه‌ها مورد استفاده قرار گیرد؛ بنابراین انتخاب تأمین‌کنندگانی که قابلیت اطمینان کل سیستم و در نتیجه برنامهٔ تولید حاصل را بیشینه می‌سازد، می‌تواند علاوه بر کمینه‌سازی هزینه به عنوان هدف دیگر در مسألهٔ برنامه‌ریزی تولید در نظر گرفته شود.

در نتیجه، در این مقاله، مدلی دوهدفه که یک مسألهٔ برنامه‌ریزی

www.SID.ir

Archive of SID

تولید ادغامی چندمحصولی، چنددوره‌ای را در نظر می‌گیرد، ارائه شده است که از یک طرف به دنبال کمینه‌سازی مجموع هزینه‌های کل زنجیرهٔ تأمین بوده و از طرف دیگر سعی دارد با استفاده از بیشینه‌سازیِ حداقل قابلیت اطمینان کارخانه‌های تولیدی در انتخاب تأمین‌کنندگان، عملکرد زنجیرهٔ تأمین را بهبود دهد.

با توجه به پیچیدگی مسألهٔ برنامه‌ریزی تولید ادغامی که از جمله مسائل NP-hard محسوب می‌شود[۱۸] ، در نتیجه تحقیقات بسیاری از الگوریتم‌های فراابتکاری برای حل مدل‌های مربوط به مسألهٔ برنامه‌ریزی تولید ادغامی بهره برده‌اند [۱۸، ۲۰، ۲۵، ۲۷، ۲۹-۳۰]. در بین الگوریتم‌های چندهدفه، یک نسخهٔ توسعه‌یافته از الگوریتم ژنتیک بنام الگوریتم ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب (NSGA-II) وجود دارد که یک الگوریتم بر پایه پارتو است و جهت حل مسائل چندهدفه، بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرد. این الگوریتم در حوزه‌های متفاوتی از مدیریت عملیاتی کاربرد دارد [۳۲-۳۴]. همچنین الگوریتم فراابتکاری دیگری به نام الگوریتم رقابت استعماری (ICA) ارائه شده است که قادر است نتایج قابل قبولی برای مسائل پیچیده ارائه کند [۳۵]. با توجه به کارایی الگوریتم رقابت استعماری برای مسائل تک‌هدفه، نسخه چندهدفهٔ الگوریتم برای توابع با اهداف متضاد توسعه داده شد [۳۶]. در این مقاله نیز، به منظور حل مسألهٔ برنامه‌ریزی تولید ادغامی از یک الگوریتم رقابت استعماری چندهدفه استفاده شده و در نهایت به منظور بررسی کارایی الگوریتم پیشنهادی، نتایج حاصل با الگوریتم NSGA-II مقایسه می‌شوند.

جدول (۱): جایگاه تحقیق موجود

مقاله	تعداد اقلام تولیدی		تعداد کارخانه‌های تولیدی		قطعیت		تعداد اهداف مسأله		قابلیت اطمینان
	تک محصولی	چند محصولی	یک کارخانه	چند کارخانه	قطعی	غیرقطعی	تک‌هدفه	چندهدفه	
[۳]	×		×		×		×		
[۴]	×		×		×		×		
[۵]		×	×		×		×		
[۸]		×	×		×		×		
[۱۲]	×				×		×		
[۴]	×		×	×	×		×		
[۹]		×	×		×			×	
[۱۳]	×		×	×		×	×		
[۲]		×	×		×		×		
[۱۴]		×	×		×			×	
[۱۵]		×	×			×	×		
[۱۱]		×	×			×		×	
[۶]		×	×		×		×		
[۷]		×		×	×		×		
[۱۶]		×	×			×		×	
[۱۷]	×		×		×		×		
[۱۸]	×		×		×		×		
[۱۹]		×		×		×	×		
[۲۰]		×	×		×		×		
[۲۱]		×		×	×			×	
[۲۲]		×	×			×		×	
[۲۳]		×	×			×		×	
[۲۴]		×		×		×		×	
[۲۵]		×		×	×			×	
[۲۶]		×		×		×		×	
[۱]		×		×		×		×	
[۲۷]		×	×		×			×	
[۲۸]		×	×			×		×	
[۲۹]	×		×		×		×		
[۳۰]		×		×		×	×		
[۳۱]		×		×		×		×	
مقاله		×		×		×		×	×

www.SID.ir

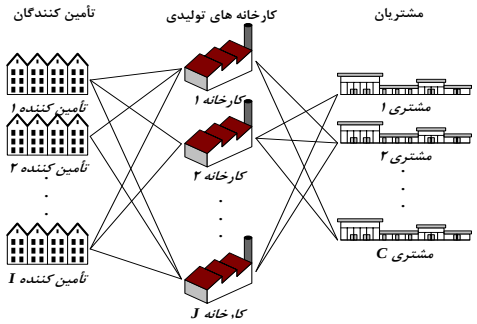
Archive of SID

۳- مدلسازی مسأله

مسألهٔ برنامه‌ریزی تولید ادغامیِ پیشنهادی به این صورت است: زنجیرهٔ تأمینی متشکل از S تأمین‌کننده، J کارخانهٔ تولیدی و C نقطهٔ تقاضا می‌باشد (شکل (۲)).

در این زنجیرهٔ تأمین فرضیات زیر در نظر گرفته شده است:

- هر تأمین‌کننده با توجه به محدودیت‌های ظرفیت و حمل و نقل مواد قادر به تولید اقلام متنوعی است که آن‌ها را برای کارخانجات تولیدی ارسال می‌کند.
- هر کارخانه قادر به تولید محصولات مختلفی است (I محصول). در نهایت محصولات نهایی تولیدشده با توجه به تقاضای مشتریانِ هر یک از نقاط تقاضا به این نقاط ارسال می‌گردد.
- علاوه بر کار در زمان عادی و اضافه‌کاری، عملیات پیمانکاری نیز برای تولیدکنندگان ممکن می‌باشد.
- محدودیت زمان در دسترس برای تولید وجود دارد.
- هزینهٔ تولید هر یک از اقلام تولیدی برای تأمین‌کنندگان و کارخانه‌ها متفاوت است. ظرفیت انبار کارخانه‌ها برای نگهداری مواد اولیهٔ مربوط به تولید محصولات نهایی محدود می‌باشد.
- با توجه به پراکندگی جغرافیایی اعضای زنجیرهٔ تأمین شامل تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان و مشتریان، زمان حمل و نقل محصولات میان اعضای زنجیرهٔ تأمین متفاوت است.
- هر نقطهٔ تقاضا به عنوان عضوی از زنجیرهٔ تأمین بوده، در نتیجه نگهداری موجودی در این نقاط ممکن می‌باشد.
- کمبود برای هر محصول می‌تواند اتفاق بیافتد.



شکل (۲): شمایی از سطوح زنجیرهٔ تأمین

با توجه به اینکه تحویل اقلام مصرفی از تأمین‌کنندگان به عنوان اولین قدم در برنامه‌ریزی کارخانجات تولیدی مؤثر است، لذا تحویل این اقلام در زمان‌های مقرر از جمله نگرانی‌های همیشگی کارخانه‌ها می‌باشد؛ بنابراین در این مدل فرض شده است که زمان‌های تحویل مواد اولیه توسط تأمین‌کنندگان به کارخانه‌ها به صورت احتمالی بوده که بر این اساس می‌توان قابلیت اطمینان را چنین تعریف کرد: یک تأمین‌کننده قابل اطمینان است اگر بتواند مواد اولیهٔ مورد نیاز برای تولیدکننده را در مدت زمانی مشخص ارسال کند. به این ترتیب در این مقاله علاوه بر کمینه‌سازی هزینهٔ کل زنجیرهٔ تأمین شامل هزینه‌های موجودی، تولید، حمل و نقل مواد، نیروی انسانی، کمبود، انتخاب تأمین‌کننده‌های قابل اطمینان که مواد اولیهٔ مورد نیاز را در زمانی مشخص به کارخانه‌ها رسانده تا آن‌ها بتوانند، محصولات تقاضاشده را به موقع به دست مشتریان نهایی خود برسانند، به عنوان یکی دیگر از اهداف مسأله در نظر گرفته شده است. مسألهٔ مورد نظر در قالب یک مدل برنامه‌ریزی دوهدفه با توابع هدف زیر، فرموله شده است.

۱- کمینه‌سازی هزینهٔ کل زنجیرهٔ تأمین
۲- بیشینه‌سازی قابلیت اطمینان زنجیرهٔ تأمین

۳-۱ - پارامترها و متغیرهای مسأله

پارامترهای مورد استفاده در این مدل عبارتند از:

D_{ict}: تقاضای محصول i $(1,2,\ldots,I)$ در نقطهٔ تقاضای $c(1,2,\ldots,C)$ در دورهٔ $t(1,2,\ldots,T)$.

C_{qj}: هزینهٔ هر ساعت تولید در زمان معمولی ($q=1$)، اضافه‌کاری ($q=2$) و پیمانکاری ($q=3$) در کارخانهٔ j $(1,\ldots,J)$.

L_{jt}: هزینهٔ نیروی انسانی در کارخانهٔ j در دورهٔ t.

a_{ij}: زمان تولید محصول i در کارخانهٔ j.

F_{jt}: هزینهٔ اخراج نیروی انسانی در کارخانهٔ j در دورهٔ t.

H_{jt}: هزینهٔ استخدام نیروی انسانی در کارخانهٔ j در دورهٔ t.

I_{1mjt}: هزینهٔ نگهداری موجودی مربوط به مواد اولیه نوع m $(1,\ldots,M)$ در کارخانهٔ j در دورهٔ t.

I_{2ijt}: هزینهٔ نگهداری موجودی مربوط به محصول نهایی i در کارخانهٔ j در دورهٔ t.

I_{3ict}: هزینهٔ نگهداری موجودی مربوط به محصول نهایی i در نقطهٔ تقاضای c در دورهٔ t.

T_{1sjt}: هزینهٔ حمل و نقل تأمین‌کنندهٔ s برای ارسال مواد اولیه به تولیدکننده j در دورهٔ t.

T_{2ict}: هزینهٔ حمل و نقل تولیدکنندهٔ j برای ارسال محصول به نقطهٔ تقاضای c در دورهٔ t.

Cr_{smt}: هزینهٔ مواد اولیه نوع m برای تأمین‌کنندهٔ s در دورهٔ t.

γ_{im}: تعداد مواد اولیهٔ مورد نیاز از نوع m برای تولید یک واحد محصول i.

α_t: درصد مجاز تغییرات نیروی انسانی در دورهٔ t.

ν: بهره‌وری نیروی انسانی ($0 \le \nu \le 1$).

TI_{qjt}: ساعات عادی در دسترس ($q=1$)، زمان اضافه‌کاری در دسترس ($q=2$) و ظرفیت پیمانکاری ($q=3$) برای تولیدکنندهٔ j در دورهٔ t.

P_{1j}: ظرفیت ذخیره‌سازی مواد اولیه در کارخانهٔ j.

P_{2j}: ظرفیت ذخیره‌سازی محصول نهایی در کارخانهٔ j.

P_{3c}: ظرفیت ذخیره‌سازی محصول نهایی در نقطهٔ تقاضای c.

www.SID.ir

Archive of SID

P_{4smt}: حداکثر تعداد مادهٔ اولیهٔ m که در دورهٔ t توسط تأمین‌کنندهٔ s می‌تواند تولید شود.

LT_{smj}: زمان تحویل احتمالی برای انتقال مادهٔ اولیهٔ m از تأمین‌کنندهٔ s به کارخانهٔ j.

φ_{LT}: حداکثر زمان تحویل قابل قبول برای پذیرش محصول.

$r_{sjm} = P\left(LT_{sjm} < \varphi_{LT}\right)$: احتمال اینکه مادهٔ اولیهٔ m توسط تأمین‌کنندهٔ s در زمان قابل قبول به کارخانهٔ j تحویل داده شود.

$r_j = \prod_s r_{sj}$: قابلیت اطمینان کارخانهٔ j که در آن $r_{sj} = \prod_{m|z_{sjm}=1} r_{sjm}$ نشان‌دهندهٔ قابلیت اطمینان کارخانهٔ j برای تأمین مواد اولیهٔ مورد نیاز از تأمین‌کنندهٔ s است.

π_{ict}: هزینهٔ کمبود برای محصول i در نقطهٔ تقاضای c در دورهٔ t.

TC: هزینهٔ کل زنجیرهٔ تأمین.

متغیرهای تصمیم مورد استفاده در این مدل عبارتند از:

X_{ijqt}: تعداد محصولات نوع i که در دورهٔ t توسط کارخانهٔ j با استفاده از روش q تولید می‌شود.

XL_{jt}: تعداد نیروی انسانی کارخانهٔ j در دورهٔ t.

XF_{jt}: تعداد نیروی انسانی اخراج‌شده در کارخانهٔ j در دورهٔ t.

XH_{jt}: تعداد نیروی انسانی استخدام‌شده در کارخانهٔ j در دورهٔ t.

XM_{mjt}: سطح موجودی مادهٔ اولیهٔ m در کارخانهٔ j در پایان دورهٔ t.

XP_{ijt}: سطح موجودی محصول نهایی i در کارخانهٔ j در دورهٔ t.

XI_{ict}: سطح موجودی محصول نهایی i در نقطهٔ تقاضای c در دورهٔ t.

XS_{smjt}: تعداد مواد اولیهٔ m که در دورهٔ t از تأمین‌کنندهٔ s به کارخانهٔ j ارسال می‌شود.

YS_{ijct}: تعداد محصولات نهایی i که در دورهٔ t توسط کارخانهٔ j برای نقطهٔ تقاضای c تولید می‌گردد.

z_{sjm}: متغیر صفر و یک، برابر یک اگر تأمین‌کنندهٔ s برای تأمین مادهٔ اولیهٔ m توسط کارخانهٔ j انتخاب شود، در غیر اینصورت صفر.

B_{ict}: مقدار کمبود محصول i در نقطهٔ تقاضای c در دورهٔ t.

۳-۲- مدل برنامه‌ریزی تولید ادغامی دوهدفه

مدل برنامه‌ریزی تولیدی ادغامی دوهدفهٔ ریاضی پیشنهادی در ادامه آمده است.

$$Min\ Z_1 = TC = \sum_{i,j,q,t} a_{ij} C_{qj} X_{ijqt} + \sum_{s,m,j,t} Cr_{smt} XS_{smjt}$$
$$+ \sum_{k,j,t} L_{kjt} XL_{kjt} + \sum_{k,j,t} F_{kjt} XF_{kjt} + \sum_{k,j,t} H_{kjt} XH_{kjt}$$
$$+ \sum_{m,j,t} I_{1_{mjt}} XM_{mjt} + \sum_{i,j,t} I_{2_{ijt}} XP_{ijt} + \sum_{i,c,t} I_{3_{ict}} XI_{ict} \quad (۱)$$
$$+ \sum_{s,m,j,t} T_{1_{sjt}} XS_{smjt} + \sum_{i,j,c,t} T_{2_{ict}} YS_{ijct} + \sum_{i,c,t} \pi_{ict} B_{ict}$$

$$Max\ Z_2 = \min_j \left(\prod_s r_{sj} \right) \quad (۲)$$

$$XP_{ijt} = XP_{ij(t-1)} + \sum_q X_{ijqt} - \sum_c YS_{ijct} \quad \forall i,j,t \quad (۳)$$

$$XM_{mjt} = XM_{mj(t-1)} + \sum_s XS_{smj\left(t-\mu_{LT_{sj}}\right)} - \sum_{q,i} X_{ijqt}.\gamma_{im} \quad \forall m,j,t \quad (۴)$$

$$XL_{kjt} = XL_{kj(t-1)} + XH_{kjt} - XF_{kjt} \quad \forall k,j,t \quad (۵)$$

$$XI_{ict} = XI_{ic(t-1)} + \sum_j YS_{ijct} - D_{ict} - B_{ic(t-1)} \quad \forall i,c,t \quad (۶)$$

$$XL_{jt} \nu \left(TI_{1_{jt}} + TI_{2_{jt}} \right) \geq \sum_{i,q\in\{1,2\}} x_{ijqt}.a_{ij} \quad \forall j,t \quad (۷)$$

$$\sum_i x_{ij3t}.a_{ij} \leq TI_{3jt} \quad \forall j,t \quad (۸)$$

$$\sum_m XM_{mjt} \leq P_{1j} \quad \forall j,t \quad (۹)$$

$$\sum_i XP_{ijt} \leq P_{2j} \quad \forall j,t \quad (۱۰)$$

$$\sum_m XI_{ict} \leq P_{3j} \quad \forall c,t \quad (۱۱)$$

$$\left(XF_{jt} + XH_{jt} \right) \leq \alpha_{(t-1)} \left(XL_{j(t-1)} \right) \quad \forall j,t \quad (۱۲)$$

$$\sum_j XS_{smjt} \leq P_{4smt} \quad \forall s,m,t \quad (۱۳)$$

$$XS_{smjt} \leq M.z_{sj} \quad \forall m,s,j,t \quad (۱۴)$$

$$z_{sjm} = \{0,1\}, \quad XF_{jt}, XH_{jt}, XL_{jt} \geq 0 \text{ and integer } \forall j,t \quad (۱۵)$$

$$X_{ijqt}, XS_{jsmt}, XM_{mjt}, XP_{ijt}, YS_{ijct}, B_{ict} \geq 0 \quad \forall i,j,c,s,m,t \quad (۱۶)$$

در این مدل، تابع هدف (۱) به دنبال کمینه‌سازی هزینهٔ کل زنجیرهٔ تأمین شامل هزینهٔ تولید کارخانه‌ها و تأمین‌کنندگان، استخدام و اخراج نیروی انسانی، هزینه‌های موجودی، حمل و نقل و کمبود می‌باشد. تابع هدف (۲) به دنبال بهبود سطح عملکرد زنجیرهٔ تأمین از طریق بیشینه‌سازیِ حداقل قابلیت اطمینان کارخانه‌های تولیدی است. روابط (۳) و (۴) به ترتیب محدودیت‌های بالانس را برای موجودیِ محصولات نهایی و مواد اولیه نشان می‌دهند. رابطهٔ (۵) بالانس نیروی انسانی را در نظر می‌گیرد. محدودیت بالانس موجودی برای نقاط تقاضا در رابطهٔ (۶) در نظر گرفته شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

رابطهٔ (۷) تضمین می‌کند که در هر کارخانه مجموع زمان در دسترس برای تولید محصولات در هر دوره، با در نظر گرفتن بهره‌وری نیروی انسانی، به مجموع زمان‌های عادی و اضافه‌کاریِ در دسترس در آن کارخانه، محدود می‌شود. رابطهٔ (۸) محدودیت پیمانکاری را نشان می‌دهد. روابط (۹)-(۱۱) به ترتیب، محدودیت‌های ذخیره‌سازی برای مواد اولیه، محصول نهایی کارخانه و محصول نهایی در نقاط تقاضا را نشان می‌دهد. رابطهٔ (۱۲) تغییر در نیروی انسانی را برای دوره‌های متوالی محدود می‌سازد. رابطهٔ (۱۳) ظرفیت انتقال برای تأمین‌کنندگان را نشان می‌دهد. رابطهٔ (۱۴) تضمین می‌کند که اگر تأمین‌کننده‌ای توسط کارخانه‌ای انتخاب شود، قادر به ارسال مواد اولیه برای آن کارخانه است. روابط (۱۵) و (۱۶) نیز متغیرهای تصمیم را نشان می‌دهند.

۴- الگوریتم فراابتکاری چندهدفه

الگوریتم‌های فراابتکاری چندهدفه برای حل مسائل پیچیده به صورت وسیعی مورد استفاده قرار می‌گیرند. با توجه به NP-hard بودن مسألهٔ برنامه‌ریزی تولید ادغامی در این مقاله از دو الگوریتم فراابتکاری MOICA و NSGA-II که در بخش بعدی توضیح داده شده‌اند، بهره برده شده است. در ادامه نخست، در مورد الگوریتم‌های چندهدفه مختصراً توضیح داده می‌شود.

۴-۱ - مفاهیم اساسی الگوریتم‌های چندهدفه

یک مسألهٔ چندهدفه شامل اهداف متضاد $f(\vec{x})=\left[f_1(\vec{x}),...,f_m(\vec{x})\right]$ و مجموعه‌ای از محدودیت‌ها $g_i(\vec{x})\le 0\ ,\ i=1,2,...,c\ ,\ \vec{x}\in X$ است که $\vec{x}$ یک برداری n بعدی و X فضای قابل قبول برای جواب است. برای یک مدل به صورت کمینه‌سازی، گفته می‌شود جواب $\vec{a}$ بر جواب $\vec{b}$ $(\vec{a},\vec{b}\in X)$ غالب است اگر:

۱. $f_i(\vec{a})\le f_i(\vec{b}),\ \ \forall i=1,2,...,m$

۲. $\exists i\in\{1,2,...,m\}:\ f_i(\vec{a})<f_i(\vec{b})$

در هر صورت جواب‌های وجود دارند که بر یکدیگر غالب نمی‌باشند. مجموعه‌ای از این‌گونه جواب‌ها را جواب‌های پارتویی گویند که سطوح پارتویی را می‌سازند. به منظور بررسی یک سطح پارتو دو ویژگی همگرایی و پراکندگی جواب‌ها در نظر گرفته می‌شود:

بر اساس این ویژگی‌ها الگوریتم‌های بر اساس پارتو، سعی در یافتن سطوح بهینه دارند. انتظار می‌رود که این سطح بیشترین میزان همگرایی و پراکندگی را داشته باشد [۳۱].

۴-۲- الگوریتم رقابت استعماری چندهدفه (MOICA)

الگوریتم رقابت استعماری (ICA) نوعی الگوریتم تکاملی است که از پدیدهٔ اجتماعی به نام استعمار الهام گرفته شده است. این الگوریتم که نخستین بار توسط آتشپز گرگری و لوکاس [۳۶] پیشنهاد شد، نظیر دیگر الگوریتم‌های فراابتکاری، یک الگوریتم مبتنی بر جمعیت است که در آن فضای جواب‌ها توسط نقاطی به نام کشور مورد جستجو قرار می‌گیرد. بخشی از این کشورها تحت عنوان استعمارگر و برخی به عنوان کلونی‌های تحت سلطهٔ استعمارگران عمل می‌کنند. رقابت بین استعمارگران برای توسعهٔ قدرتشان با در اختیار گرفتن کشورهای تحت سلطهٔ سایر استعمارگران و تغییر موقعیت کلونی‌ها در طول این رقابت، دو اصل مهم از این الگوریتم می‌باشد.

در سال‌های اخیر این الگوریتم به منظور حل مسائل تک‌هدفهٔ بسیاری استفاده شده است [۳۷-۳۸]. موفقیت این الگوریتم سبب استفاده از آن، برای حل مسائل چندهدفه شده است. اغلب محققان موفقیت این الگوریتم را در حل مسائل با بعد بالا گزارش کرده‌اند. همچنین ماهیت پیوسته آن، این الگوریتم را همانند الگوریتم بهینه‌سازی اجتماع ذرات (PSO)، به یک انتخاب مناسب برای حل مسائل پیوسته، تبدیل کرده است. همچنین جدید و نوپا بودن این الگوریتم و وجود پتانسیل بالاتر تحقیقاتی و انجام کار جدیدتر پژوهشی، از جمله دیگر علل توجه اخیر به این الگوریتم است. با توجه به آنچه گفته شد، در این مقاله یک الگوریتم رقابت استعماری چندهدفه برای حل مدل برنامه‌ریزی تولیدی ادغامی پیشنهادی استفاده شده است. قدم‌های این الگوریتم عبارتند از:

قدم ۱: شکل‌دهی امپراطوری‌های اولیه

از آنجا که ICA رویکردی مبتنی بر جمعیت است، بنابراین به عنوان قدم نخست از این الگوریتم به تعداد N_{pop} کشور تولید کرده که از این میان N_{imp} کشور به عنوان استعمارگر و باقی به عنوان کلونی‌های این استعمارگران در نظر گرفته می‌شوند. ساختار جواب پیشنهادی به قرار شکل (۳) می‌باشد. یک کروموزوم سه‌بخشی که بخش اول آن یک بردار به اندازه تعداد تأمین‌کنندگان، بخش دوم آن یک بردار به اندازه تعداد کارخانه‌ها و بخش سوم آن یک بردار به اندازهٔ انواع مواد اولیه می‌باشد. جهت تشریح فرآیند رمزگشایی ساختار جواب، نمونه‌ای از ساختار نحوهٔ نمایش جواب به قرار شکل (۴) ارایه شده است. همانطور که در شکل (۴) مشاهده می‌شود، در فرآیند رمزگشایی پیشنهادی برای متغیرهای صفر و یک، ابتدا ژن‌ها به صورت تصادفی بین صفر و یک مقداردهی شده، سپس با توجه به ساختار کلید تصادفی (Random Key) مرتب می‌شوند. سپس با توجه به موقعیت اولیهٔ هر ژن و یک عدد تصادفی تولید شده که نشان‌دهندهٔ تعداد متغیرها با مقدار یک است، مقادیر متغیر صفر و یک مربوطه مشخص می‌گردد. متغیرهای پیوستهٔ مسأله نیز بین صفر تا یک حد بالای تعریف شده، مقداردهی می‌شوند.

Part (I)	**1**	**2**	…	***S***
Part (I)	**1**	**2**	…	***C***
Part (I)	**1**	**2**	…	***M***

شکل (۳): ساختار نحوه نمایش جواب

www.SID.ir

Archive of SID

Generated Vector	0.42	0.31	0.76	0.66	0.38
Sorted Vector	0.31 (2)	0.38 (5)	0.42 (1)	0.66 (4)	0.76 (3)
Selected Binary Gens (Random Number=4)					

شکل (۴): نمونه‌ای از نحوه نمایش جواب

تعداد کشورهای تحت سلطهٔ هر استعمارگر متناسب با قدرت آن است. به این منظور ابتدا رتبهٔ (Rank) هر کشور با توجه به شاخص مرتب‌سازی نامغلوب (FNDS) محاسبه شده و سپس با بهره‌گیری از روش سیگما، مطابق آنچه که در رابطهٔ (۱۷) آمده است، قدرت هر استعمارگر محاسبه می‌شود [۳۶].

$$Power_n = \frac{1}{\sum_{j=1}^{D}\left[f_j(n) \Big/ \sum_{i=1}^{N_{rank}(C)} f_j(i) \right] (Rank(C)-1)\times D} \quad (۱۷)$$

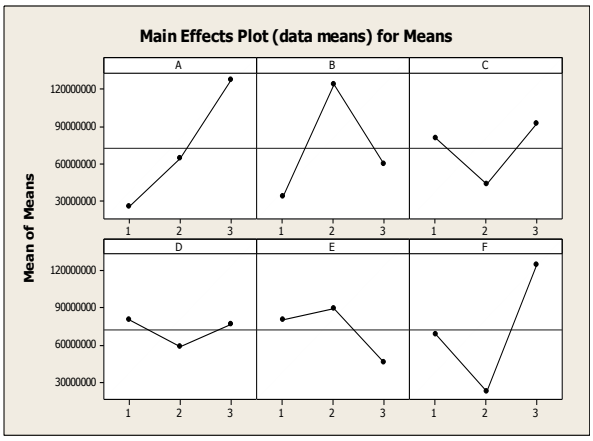
که در این رابطه، $Power_n$ قدرت استعمارگر nام، $Rank(C)$ رتبهٔ کشور n، D تعداد توابع هدف مسأله، $f_j(i)$ مقدار jامین تابع هدف کشور iام و $N_{rank}(C)$ تعداد کشورها با رتبهٔ C است.

پس از تعیین قدرتمندترین کشورها به عنوان استعمارگر، تعداد کشورهای تحت سلطهٔ آن‌ها با استفاده از رابطهٔ (۱۸) بدست می‌آید.

$$NC_n = round\{p_n N_{col}\} \quad (۱۸)$$

که در آن $p_n = \left| \frac{power_n}{\sum_{i=1}^{N_{imp}} power_i} \right|$.

در الگوریتم پیشنهادی، با توجه به روش تاگوچی با طرح L27 با سه سطح از پارامترها و خروجی نتایج در شکل (۵): خروجی تنظیم پارامتر **MOICA** به روش تاگوچی، تعداد کشورها برابر ۲۵، تعداد استعمارگران برابر ۱۰، ضریب تأثیر کلونی‌ها برابر ۰,۱، انحراف از جهت اصلی برابر ۰,۶، متغیر تصادفی برابر ۲ و تعداد تکرارها برابر ۱۰۰ در نظر گرفته شده است.



شکل (۵): خروجی تنظیم پارامتر MOICA به روش تاگوچی

قدم ۲: حرکت کلونی‌ها به سمت استعمارگرانشان

در این قدم، کلونی‌های تحت سلطه، برخی از ویژگی‌های استعمارگران خود را گرفته و با کمی انحراف به سمت استعمارگران خود حرکت می‌کنند. این حرکت‌ها توسط روابط (۱۹) و (۲۰) محاسبه می‌شوند.

$$x \sim U(0, \beta \times d) \quad (۱۹)$$

$$\theta \sim U(-\gamma, \gamma) \quad (۲۰)$$

که x و θ به ترتیب نشان‌دهندهٔ میزان حرکت و انحراف در حرکت، $U(.)$ یک متغیر تصادفیِ پیوسته با توزیع یکنواخت و d فاصلهٔ هر کلونی تا استعمارگر خود و β و γ دو پارامتر هستند.

قدم ۳: تعویض موقعیت استعمارگر و کلونی

طی این قدم، ممکن است یک کلونی به علت بهبود موقعیت خود، از نظر قدرت به جایگاهی بهتر از استعمارگر مربوطه دست پیدا کند؛ بنابراین پس از قدم ۲، مجدداً قدرت هر کشور در هر امپراطوری محاسبه شده و قوی‌ترین کشور به عنوان استعمارگر امپراطوری عمل می‌کند.

قدم ۴: محاسبهٔ هزینهٔ کل امپراطوری‌ها

به منظور تعیین قوی‌ترین و ضعیف‌ترین امپراطوری، هزینهٔ کل هر امپراطوری که متناسب با هزینهٔ استعمارگر مربوطه و نسبتی از متوسط هزینهٔ کلونی‌های تحت سلطه است، محاسبه می‌گردد. به منظور محاسبهٔ هزینهٔ کل باید تمامی توابع هدف را با توجه به دو معیار FNDS و CD در نظر گرفت (رابطهٔ (۲۱)).

$$TC_n = Cost(imperialist_n) + \zeta\, mean\{\cos t(colonies)\} \quad (۲۱)$$

که ζ مقداری کوچکتر از یک است.

قدم ۵: رقابت استعمارگران

در این قدم استعمارگران برای در اختیار گرفتن کلونی‌های یکدیگر به رقابت می‌پردازند. به این منظور قوی‌ترین امپراطوری، ضعیف‌ترین کلونی از ضعیف‌ترین امپراطوری را تحت سلطهٔ خود در می‌آورد. قدرت هر امپراطوری با توجه به هزینهٔ کل آن‌ها توسط رابطهٔ (۲۲) نرمالیزه می‌گردد.

$$NTC_n = TC_n - \max\{TC_n\} \quad (۲۲)$$

قدم ۶: حذف امپراطوری‌های بی‌قدرت

اگر یک امپراطوری تمامی کلونی‌های خود را از دست دهد، حذف شده و رقابت میان سایر امپراطوری‌ها ادامه می‌یابد.

شرط توقف

در صورتی که شرط توقف (باقی ماندن تنها یک امپراطوری در جامعه) برقرار نگردد، مجدداً به قدم ۲ الگوریتم بازگشته و الگوریتم را با امپراطوری‌های جدید ادامه می‌دهیم.

فلوچارت الگوریتم MOICA پیشنهادی در

شکل (۶) نشان داده شده است که قسمت‌های مربوط به چندهدفه بودن الگوریتم با رنگی متمایز مشخص شده‌اند.

www.SID.ir

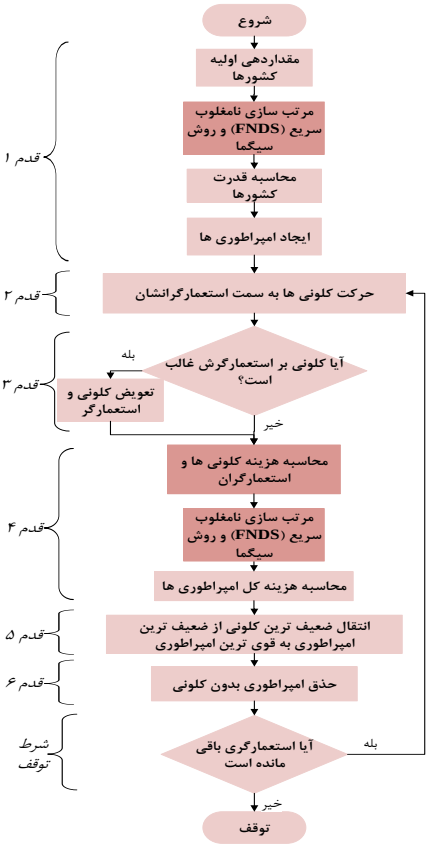
Archive of SID

۴-۳- الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب (NSGA-II)

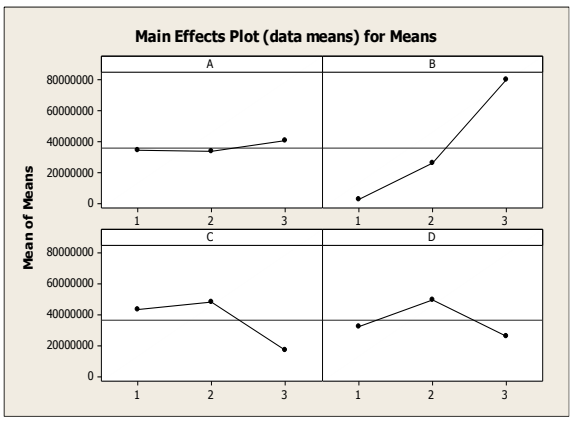
الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب (NSGA)، یکی از الگوریتم‌های تکاملی است که به منظور حل مسائل چندهدفه مورد استفاده قرار می‌گیرد. این الگوریتم بر اساس الگوریتم ژنتیک برای حل مسائل چندهدفه توسعه داده شد [۳۹]. معایب الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب نظیر عدم نخبه‌گرایی، نیاز به تعیین پارامترهای اشتراک‌گذاری و پیچیدگی‌های محاسباتی برای مرتب‌سازی نامغلوب‌ها منجر به معرفی الگوریتم توسعه‌یافتهٔ ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب معروف به NSGA-II گردید [۳۲].

در این مقاله از الگوریتم NSGA-II برای حل مسألهٔ برنامه‌ریزی تولیدی ادغامی و مقایسه با نتایج حاصل از الگوریتم MOICA پیشنهادی، بهره برده شده است. با توجه به روش تاگوچی با طرح L9 با سه سطح از پارامترها و خروجی نتایج شکل (۷)، پارامترهای الگوریتم شامل اندازهٔ جمعیت برابر ۵۰، احتمال تقاطع برابر ۰٫۸، احتمال جهش ۰٫۳ و تعداد تکرار الگوریتم ۱۰۰ می‌باشند. لازم به ذکر است، شکل (۷) بر اساس مسائل آزمایشی ۳، ۵ و ۹ رسم شده است.

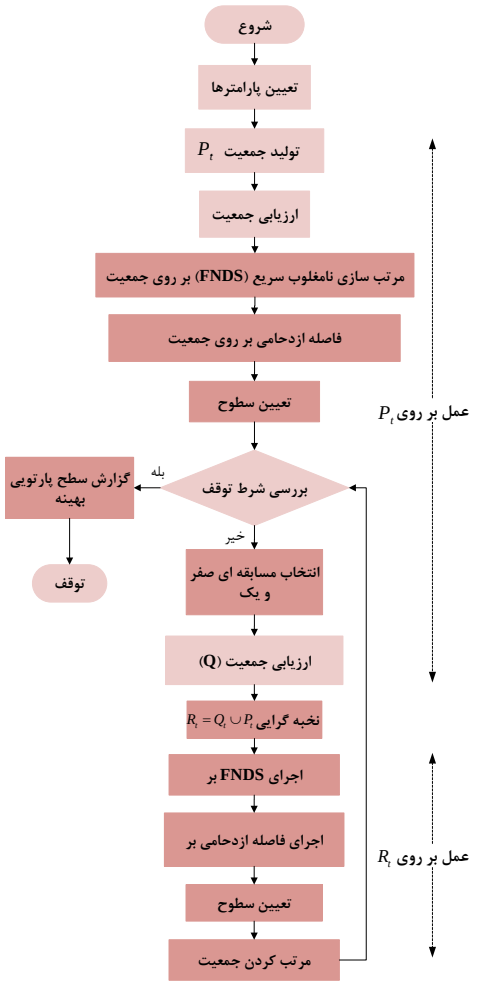
عملگر تقاطع و جهش بر اساس عملگر تقاطع یکنواخت پیوسته و عملگر جهش جانشینی معرفی‌شده در [۴۰] صورت گرفته و در نهایت یک روش انتخاب مسابقه‌ای صفر و یک به عنوان استراتژی انتخاب مورد استفاده قرار گرفته است. فلوچارت الگوریتم NSGA-II پیشنهادی در شکل (۸) نشان داده شده است.



شکل (۶): فلوچارت MOICA



شکل (۷): خروجی تنظیم پارامتر NSGA-II به روش تاگوچی



شکل (۸): فلوچارت NSGA-II

۵- تحلیل و مقایسهٔ نتایج

در این بخش به بررسی کارایی الگوریتم پیشنهادی و مقایسهٔ عملکرد دو الگوریتم فراابتکاری MOICA و NSGA-II پرداخته شده است. الگوریتم‌های پیشنهادی با استفاده از نرم‌افزار MATLAB کد شده (MATLAB) و آزمایشات در کامپیوتری با ۲ GHz و RAM، ۴ گیگابایتی اجرا شده‌اند [۴۱].

www.SID.ir

Archive of SID

مقادیر پارامترهای مسأله مورد مطالعه به قرار زیر است:

$C_{qj} \sim Uniform(20,80)$، $D_{ict} \sim Uniform(100,900)$،
$a_{ij} \sim Uniform(10,50)$، $L_{jt} \sim Uniform(120,200)$،
$H_{jt} \sim Uniform(200,500)$، $F_{jt} \sim Uniform(200,300)$،
$Cr_{smt} \sim Uniform(80,120)$، $T_{1sjt}, T_{2ict} \sim Uniform(30,60)$،
$P_{1j} \sim Uniform(700,2400)$، $\gamma_{im} \sim Uniform(1,20)$،
$P_{3c} \sim Uniform(500,1000)$، $P_{2j} \sim Uniform(1000,5000)$،
$LT_{smj} \sim Uniform(0,6)$، $P_{4smt} \sim Uniform(400,800)$،
$TI_{1,jt} \sim Uniform(8,12)$، $\pi_{ict} \sim Uniform(500,800)$،
$TI_{1,jt} \sim Uniform(0,50)$، $TI_{2,jt} \sim Uniform(0,6)$،

ارزیابی و مقایسهٔ نتایج آزمایشات برای ۱۲ مسأله نشان داده شده است. سپس مسائل نمونه با استفاده از دو الگوریتم حل شده‌اند. به منظور جلوگیری از عدم اطمینان، جواب‌های حاصل از مسأله، سه بار در محیط‌های تصادفی محاسبه شده و در نهایت میان مقادیر حاصل از این سه آزمایش، میانگین گرفته شده است.

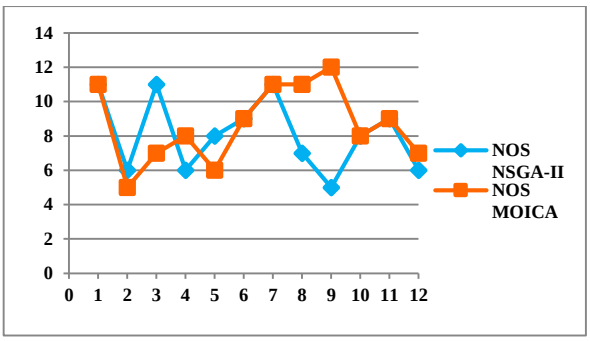
جدول (۲): مسائل آزمایشی تولید شده

Problem No.	*I*	*C*	*T*	*J*
1	2	2	2	1
2	2	5	2	1
3	3	5	3	2
4	3	10	3	2
5	5	10	6	3
6	5	10	6	3
7	10	20	12	4
8	10	20	12	4
9	10	40	12	5
10	20	40	18	5
11	20	50	24	10
12	35	50	24	10

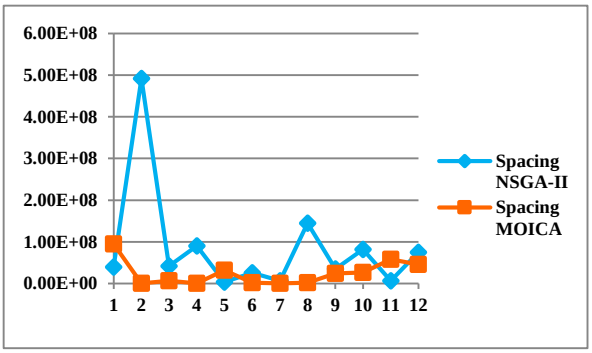
به منظور بررسی و مقایسهٔ عملکرد الگوریتم‌های پیشنهادی، پنج معیار در نظر گرفته شده‌اند [۴۲]:

۱. تعداد جواب‌های پارتویی (NOS)
۲. فاصله (Spacing)
۳. پراکندگی (Diversity)
۴. میانگین فاصله از جواب ایده‌آل (MID)
۵. زمان محاسبه (بر حسب ثانیه) (Time)

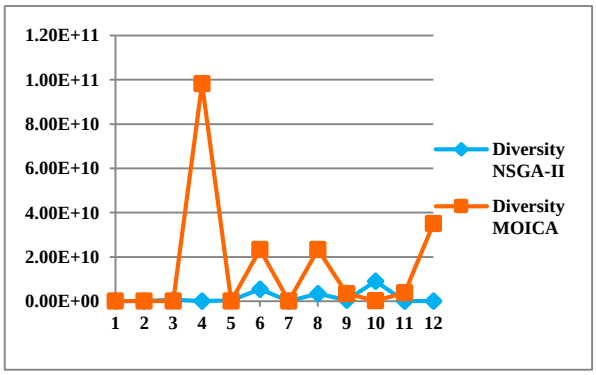
نتایج مربوط به معیارهای مذکور به ازای حل مسائل آزمایشی تولید شده و با استفاده از الگوریتم‌های پیشنهادی در جدول (۲) نشان داده شده است. همچنین الگوریتم‌های پیشنهادی بر اساس مقادیر جواب‌های بدست آمده به ازای معیارهای مختلف، مقایسه شده‌اند که در شکل‌های (۹) تا (۱۳) نشان داده شده‌اند.



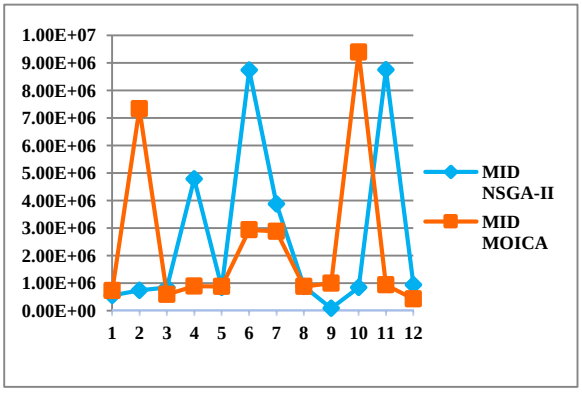
شکل (۹): مقایسهٔ الگوریتم‌ها با توجه به معیار NOS



شکل (۱۰): مقایسهٔ الگوریتم‌ها با توجه به معیار فاصله



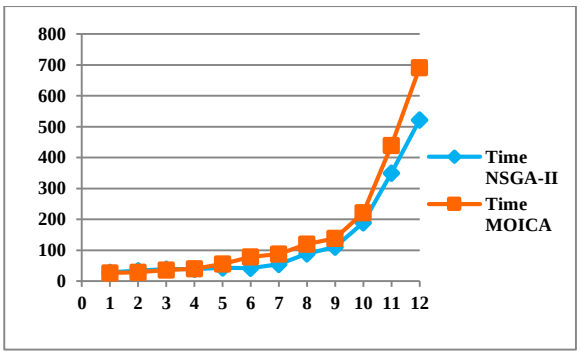
شکل (۱۱): مقایسهٔ الگوریتم‌ها با توجه به معیار پراکندگی



شکل (۱۲): مقایسهٔ الگوریتم‌ها با توجه به معیار MID

www.SID.ir

Archive of SID



شکل (۱۳): مقایسهٔ الگوریتم‌ها با توجه به معیار زمان

با توجه به شکل‌های حاصل، مشاهده می‌شود که MOICA عملکرد نسبتاً بهتری با توجه به معیار فاصله حاصل می‌کند و از نظر زمانی به ازای مسائل با اندازهٔ کوچک و متوسط دو الگوریتم عملکرد مشابهی ارائه می‌کنند. این در حالی است که با در نظر گرفتن سایر معیارها، دو الگوریتم عملکرد یکسانی از خود نشان می‌دهند.

به منظور بررسی تفاوت الگوریتم‌ها، مقایسات آماری مبتنی بر تحلیل واریانس یک‌طرفه نیز صورت گرفته که خروجی نتایج مربوط در جدول (۴) گزارش شده است. مقادیر P-Value بیانگر این است که الگوریتم MOICA پیشنهادی عملکرد مناسبی در معیار زمان محاسباتی اجرای الگوریتم دارد. به منظور وضوح بیشتر، نمودار جعبه‌ای مقایسهٔ الگوریتم‌ها بر حسب معیارهای مختلف در شکل (۱۴) تا شکل (۱۸) ارایه شده است.

جدول (۳): نتایج محاسباتی معیارهای چندگانه برای الگوریتم‌های MOICA و NSGA-II

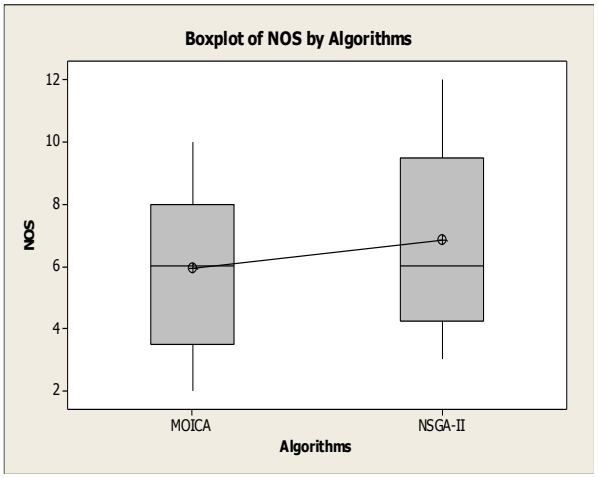
Problem	NSGA-II					Proposed MOICA				
No.	*NOS*	*Spacing*	*Diversity*	*MID*	*Time*	*NOS*	*Spacing*	*Diversity*	*MID*	*Time*
1	11	3.98E+07	5.47E+05	5.46E+05	28.54	11	9.48E+07	3.24E+07	7.23E+05	27.32
2	6	4.92E+08	1.41E+07	7.33E+05	34.13	5	2.34E+05	5.98E+07	7.33E+06	29.32
3	11	4.23E+07	6.66E+08	8.44E+05	39.54	7	6.54E+06	2.42E+07	5.85E+05	35.82
4	6	9.04E+07	3.46E+06	4.78E+06	39.65	8	3.46E+05	9.82E+10	8.92E+05	39.91
5	8	3.42E+06	3.46E+08	8.38E+05	43.54	6	3.17E+07	2.35E+06	8.78E+05	55.65
6	9	2.58E+07	5.35E+09	8.74E+06	42.34	9	2.35E+06	2.34E+10	2.94E+06	79.21
7	11	6.27E+06	6.46E+07	3.88E+06	54.84	11	2.53E+05	4.24E+07	2.88E+06	88.21
8	7	1.45E+08	3.45E+09	8.74E+05	89.32	11	2.35E+06	2.34E+10	8.74E+05	119.7
9	5	3.52E+07	5.34E+08	8.74E+04	110.4	12	2.45E+07	3.42E+09	9.93E+05	139.2
10	8	8.22E+07	9.02E+09	8.36E+05	189.4	8	2.67E+07	2.34E+08	9.39E+06	221.7
11	9	6.52E+06	8.98E+07	8.75E+06	350.3	9	5.77E+07	3.84E+09	9.32E+05	439.1
12	6	7.47E+07	9.88E+07	9.39E+05	521.8	7	4.61E+07	3.50E+10	4.27E+05	691.1

جدول (۴): مقایسات آماری الگوریتم‌ها بر اساس معیارهای چندهدفه

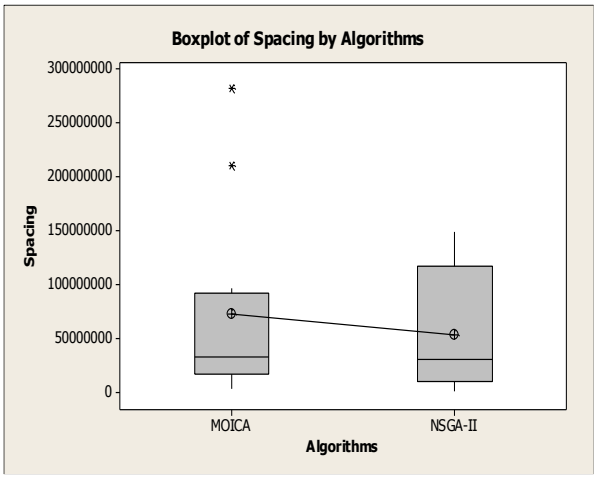
Metric	Source	DF	SS	MS	F	P-Value
NOS	Algorithms	1	5.04	5.04	0.67	0.42
	Error	22	164.58	7.48		
	Total	23	169.63			
Spacing	Algorithms	1	2.43185E+15	2.43185E+15	0.45	0.507
	Error	22	1.17680E+17	5.34907E+15		
	Total	23	1.20111E+17			
Diversity	Algorithms	1	1.83671E+17	1.83671E+17	1.14	0.298
	Error	22	3.55708E+18	1.61685E+17		
	Total	23	3.74075E+18			
MID	Algorithms	1	0	0	0	1
	Error	22	2.21867E+14	1.00849E+13		
	Total	23	2.21867E+14			
Time	Algorithms	1	104.7	104.7	9.44	0.006
	Error	22	244.0	11.1		
	Total	23	348.7			

www.SID.ir

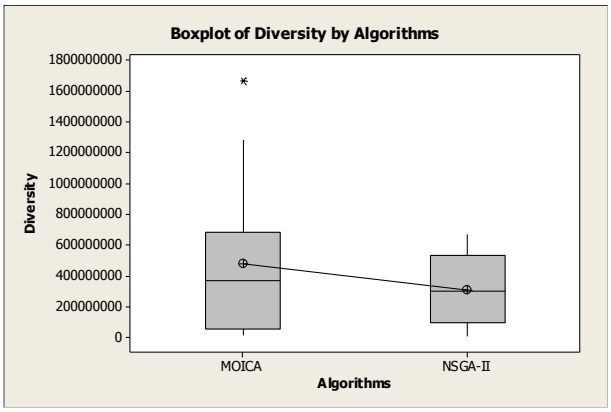
Archive of SID



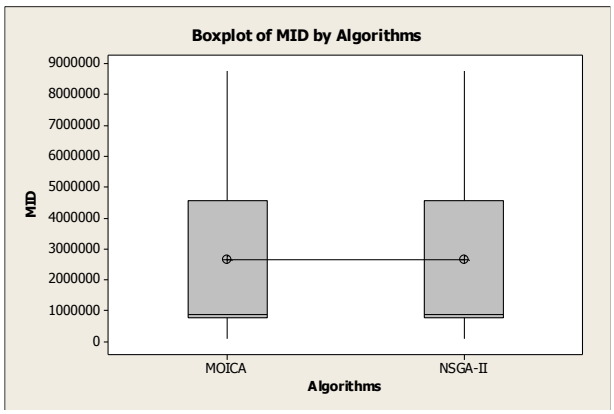
شکل (۱۴): مقایسه آماری الگوریتم‌ها بر اساس معیار NOS



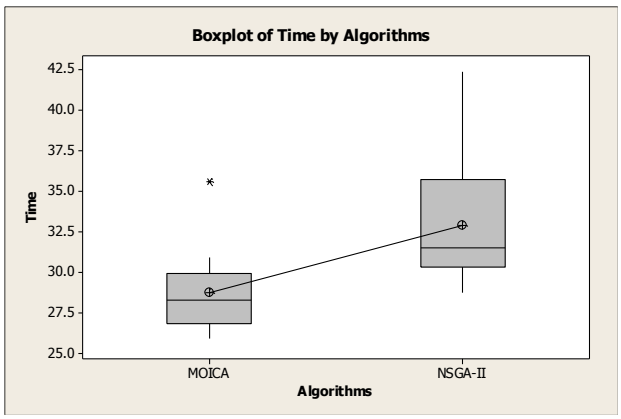
شکل (۱۵): مقایسه آماری الگوریتم‌ها بر اساس معیار Spacing



شکل (۱۶): مقایسه آماری الگوریتم‌ها بر اساس معیار Diversity



شکل (۱۷): مقایسه آماری الگوریتم‌ها بر اساس معیار MID



شکل (۱۸): مقایسه آماری الگوریتم‌ها بر اساس معیار زمان

با توجه به نتایج حاصل از مسأله مورد مطالعه، از منظر مدیریت تولید و مهندسی صنایع، در نظر گرفتن میزان قابلیت اطمینان برنامه‌های تولید و سیستم‌های تولیدی به عنوان یک شاخص نوین، در کنار شاخص‌هایی نظیر هزینه‌های اجرایی از جمله مواردی است که می‌تواند مدیریت را در تصمیم‌گیری بهتر و کاراتر یاری کند. در حقیقت، اگرچه شاخص‌های اقتصادی نظیر هزینه و یا سود، هنوز به عنوان عامل اصلیِ تصمیم‌گیری، مورد ملاحظهٔ سازمان‌ها می‌باشند، اما توجه به مواردی نظیر قابلیت اطمینان مانند آنچه که در این مقاله نیز به آن اشاره گردید، می‌تواند در عمل منجر به تصمیمات صحیح‌تری از طرف سازمان‌ها گردد که نه تنها نیازهای اقتصادی آن‌ها را بر طرف می‌کند، بلکه در جهت رفع مشکلات احتمالی نیز عمل خواهد کرد.

۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله، یک مدل برنامه‌ریزی تولید ادغامی دوهدفه که به دنبال کمینه‌سازی هزینهٔ کل سیستم و بیشینه‌سازیِ سطح عملکرد زنجیرهٔ تأمین از طریق بیشینه‌سازی قابلیت اطمینان در فرآیند انتخاب تأمین‌کنندگان است، معرفی گردید. بر اساس پیچیدگی مدل پیشنهادی، دو رویکرد فراابتکاری MOICA و NSGA-II به منظور حل مدل پیشنهادی، مورد استفاده قرار گرفتند. در نهایت، مشاهده

www.SID.ir

Archive of SID

شد که الگوریتم MOICA، از نظر زمانی عملکرد بهتری داشته، در حالیکه هر دو الگوریتم با توجه به سایر معیارهای مورد بررسی، تقریباً مشابه یکدیگر عمل می‌کنند.

به عنوان پیشنهاد برای مطالعات آتی می‌توان مدل پیشنهادی را با در نظر گرفتن عواملی نظیر اثر یادگیری در نیروی انسانی، در نظر گرفتن عدم اطمینان در پارامترهای مسأله و در نظر گرفتن اهداف جدید نظیر بهینه‌سازی بهره‌وری نیروی انسانی توسعه داد.

مراجع

[1] Mirzapour Al-e-Hashem, S.M.J., Aryanezhad, M.B., Sadjadi, S.J., (2012), "An efficient algorithm to solve a multi-objective robust aggregate production planning in an uncertain environment", International Journal of Advance Manufacturing Technology, 58: 765–782.

[2] Ozdamar, L., Bozyel, M.A., Birbil, S., (1998), "A hierarchical decision support system for production planning (with case study)", European Journal of Operational Research, 104: 403–422.

[3] Holt, C., Modigliani, F., Simon, H., (1955), "A linear decision rule for production and employment scheduling", Management Science, 2(1): 1–30.

[4] Hanssman, F., Hess, S., (1960), "A linear programming approach to production and employment scheduling", Management Technology, 1 (1): 46–51.

[5] Lanzenauer, C.H., (1970), "Production and employment scheduling in multi-stage production systems", Naval Research Logistics Quarterly, 17 (2): 193–198.

[6] Oh, H.C., Karimi, I.A., (2004), "Global multiproduct production distribution planning with duty drawbacks", AIChE J, 50: 963–989.

[7] Guillen, G., Bagajewicz, M., Sequeira, S.E., Espuna, A., Puigjaner, L., (2005), "Management of pricing policies and financial risk as a key element for short term scheduling optimization", Industrial and Engineering Chemistry Research, 44: 557–575.

[8] Bergstrom, G., Smith, B., (1970), "Multi-item production planning: an extension of the HMMS rules", Management Science, 16(10): 614–629.

[9] Masud, A.S.M., Hwang, C.L., (1980), "An aggregate production planning model and application of three multiple objective decision methods", International Journal of Production Research, 18: 741–752.

[10] Nam, S.J., Logendran, R., (1992), "Aggregate production planning-a survey of models and methodologies", European Journal of Operational Research, 61: 255–272.

[11] Wang, R.C., Liang, T.F., (2004), "Application of fuzzy multi-objective linear programming to aggregate production planning", Computers & Industrial Engineering, 46(1): 17–41.

[12] Goodman, D.A., (1974), "A goal programming approach to aggregate planning of production and work force", Management Science, 20 (12): 1569–1575.

[13] Lee, Y.Y., (1990), "Fuzzy set theory approach to aggregate production planning and inventory control", Ph.D. dissertation, Department of I.E., Kansas State University.

[14] Baykasoglu A., (2001), "Aggregate production planning using the multiple-objective tabu search", International Journal of Production Research, 39(16): 3685-3702.

[15] Tang, J., Wang, D., Fang, R.Y.K., (2000), "Fuzzy formulation for multi-product aggregate production planning", Production Planning and Control, 11 (7): 670–676.

[16] Wang, R.C., Liang, T.F., (2005), "Aggregate production planning with multiple fuzzy goals", International Journal of Advance Manufacturing Technology, 25: 589–597.

[17] Tavakkoli-Moghaddam R., Safaei N., (2006), "Solving a generalized aggregate production planning problem by a genetic algorithms", Journal of Industrial Engineering International, 2(1): 53-64.

[18] Fahimnia, B., Luong, L.H.S., Marian, R.M., (2006), "Modeling and optimization of aggregate production planning–A genetic algorithm approach", International Journal of Applied Mathematics and Computer Sciences 1: 1-6.

[19] Aliev, R.A., Fazlollahi, B., Guirimov, B.G. Aliev, R.R., (2007), "Fuzzy-genetic approach to aggregate production-distribution planning in supply chain management", Information Sciences, 177 (20): 4241–4255.

[20] Jiang, G., Kong, J., Li, G., (2008), "Aggregate Production Planning Model of Production Line in Iron and Steel Enterprise Based on Genetic Algorithm", Proceedings of the 7th World Congress on Intelligent Control and Automation, Chongqing, China.

[21] Leung, S.C.H., Chan, S.S.W., (2009), "A goal programming model for aggregate production planning with resource utilization constraint', Computers & Industrial Engineering, 56: 1053–1064.

[22] Jamalnia, A., Soukhakian, M.A., (2009), "A hybrid fuzzy goal programming approach with different goal priorities to aggregate production planning", Computers & Industrial Engineering, 56: 1474–1486.

[23] Baykasoglu A., Gocken T., (2010), "Multi-objective aggregate production planning with fuzzy parameters", Advances in Engineering Software 41(9): 1124–1131.

[24] Mirzapour Al-e-hashem S.M.J., Malekly H., Aryanezhad M.B., (2011), "A multi-objective robust optimization model for multi-product multi-site aggregate production planning in a supply chain under uncertainty", International Journal of Production Economics, 134 (1): 28–42.

www.SID.ir

Archive of SID

[25] Ramezanian, R., Rahmani, D., Barzinpour, F., (2012), "An aggregate production planning model for two phase production systems: Solving with genetic algorithm and tabu search", Expert System Application, 39(1): 1256–1263.

[26] Mirzapour Al-e-Hashem, S.M.J., Aryanezhad, M.B., Sadjadi, S.J., (2012), "A multi-objective robust optimization model for multi-product multi-site aggregate production planning in a supply chain under uncertainty", International Journal of Advance Manufacturing and Technology 58: 765–782.

[27] Chakraborthty, R.K., Akhtar Hasin, A., (2013), Solving an aggregate production planning problem by using multi-objective genetic algorithm (MOGA) approach", International Journal of Industrial Engineering Computations 4 (1): 1-12.

[28] Sadeghi, M., Hajiagha, S.H.R., Hashemi, S.S., (2013), "A fuzzy grey goal programming approach for aggregate production planning", International Journal of Advance Manufacturing Technology, 64: 1715–1727.

[29] Wang S.C., Yeh M.F., (2014), A modified particle swarm optimization for aggregate production planning", Expert Systems with Applications 1(6): 3069-3077.

[30] Chakrabortty R.K., Hasin M.A., (2013), "Solving an aggregate production planning problem by using multi-objective genetic algorithm (MOGA) approach", International Journal of Industrial Engineering Computations 4: 1–12.

[31] Gholamian N., Mahdavi I., Tavakkoli-Moghaddam R., Mahdavi-Amiri N., (2015), "A comprehensive fuzzy multi-objective multi-product multi-site aggregate production planning decisions in a supply chain under uncertainty", Applied Soft Computing, In Press.

[32] Deb, K., Pratap, A., Agarwal, S., Meyarivan, T., (2002), "A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II", IEEE Transactions on Evolutionary Computation 6: 182–197.

[33] Bhattacharya, R., Bandyopadhyay, S., (2010), "Solving conflicting bi-objective facility location problem by NSGA-II evolutionary algorithm", The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 51: 397-414.

[34] Chambari, A., Rahmati, S.H.R., Najafi, A.A., Karimi, A., (2012), "A bi-objective model to optimize reliability and cost of system with a choice of redundancy strategies", Computers & Industrial Engineering 63: 109–119.

[35] Atashpaz-Gargari, E., Lucas, C., (2007), "Imperialist Competitive Algorithm: An algorithm for optimization inspired by imperialist competition", IEEE Congress on Evolutionary Computation, CEC.

[36] Enayatifar, R., Yousefi, M., Abdullah, A.H., Darus, A.N., (2013), "MOICA: A novel multi-objective approach based on imperialist competitive algorithm", Applied Mathematics and Computation 219: 8829–8841.

[37] Mohammadi, M., Tavakkoli-Moghaddam, R., Rostami, H., (2011), "A multi-objective imperialist competitive algorithm for a capacitated hub covering location problem", International Journal of Industrial Engineering Computations 2: 671–688.

[38] Shokrollahpour, E., Zandieh, M., Dorri, B., (2011), "A novel imperialist competitive algorithm for bi-criteria scheduling of the assembly flow shop problem", International Journal of Production Research 49 (11): 3087–3103.

[39] Srinivas, N., Deb, K., (1995), "Multi-objective function optimization using non-dominated sorting genetic algorithms", Evol. Comput, 2 (3): 221–248.

[40] Haupt, R.L., Haupt, S.E., (2004), "Practical genetic algorithms", 2nd Ed., John Wiley & Sons.

[41] MATLAB Version 7.10.0.499 (R2010a), (2010). The Math Works, Inc. Protected by U.S. and international patents,

[42] Zitzler, E., Thiele, L., (1998), "Multi objective optimization using evolutionary algorithms–a comparative case study", Fifth International Conference on Parallel Problem Solving from Nature (PPSN-V), Springer, Berlin, Germany, 292–301.

www.SID.ir

Archive of SID

www.SID.ir

Archive of SID

IERPS Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems

ISSN: 2345-2269

Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems

Spring and Summer 2016 Volume 4. No.7. pp.1-15
www.ier.basu.ac.ir

Proposing a Multi-objective Imperialist Competitive Algorithm to Optimize Reliable Aggregate Production Planning Problem

A.S. Khierkhah[1,*], A. Nobari, V. Hajipour

[1] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

ARTICLE INFO

***Article history*:**

Received 10 June 2015
Accepted 05 January 2016

***Keywords*:**

Aggregate production planning
Supply chain management
Multi-objective optimization
multi-objective imperialist competitive algorithm (MOICA).

ABSTRACT

In this paper, a bi-objective model is developed to deal with an aggregate production planning problem in a multi product, multi period supply chain including multiple suppliers, factories and demand points. This bi-objective model aims to minimize the total cost of supply chain including inventory costs, manufacturing costs, work force costs, hiring, and firing costs, and maximize the minimum of producers' reliability by considering probabilistic lead times, to improve performance of the system and achieve a more reliable production plan. Since the proposed bi-objective model is NP-hard, a Pareto-based multi-objective imperialist competitive algorithm (MOICA) is used. To evaluate the performance of presented algorithm, non-dominated sorting genetic algorithm (NSGA-II) is applied, too. The results show the capability and efficiency of proposed algorithm in finding Pareto solutions.

[*] Corresponding author. Amir Saman Khierkhah
Tel.: 081-38292505; E-mail address: kheirkhah@basu.ac.ir

www.SID.ir