Presenting a bi-objective integrated production – distribution planning problem model in a multi echelon supply chain with considering service level

Abolfazl Kazemi[*]
Assistant Professor of Industrial Engineering, Faculty of Industrial and Mechanical Engineering, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran, abkaazemi@gmail.com
Keyvan Sarrafha
Young researches and elite club, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran, key_sarrafha@yahoo.com
Alireza Alinezhad
Assistant Professor of Industrial Engineering, Faculty of Industrial and Mechanical Engineering, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran, alalinezhad@gmail.com

Abstract:

In this paper, a bi-objective integrated of production distribution planning problem model in a multi echelon supply chain is presented. This model is considered in a four echelon supply chain includes suppliers, manufactures, distribution centers and customers with several types of raw material and product in multi-time period. In addition to minimize the total cost of supply chain including transportation and supply of materials costs, preparation and production of products, inventory holding of materials and products in manufacture and distribution centers, transportation and purchase of products for distributors and customers, and backorder cost, the second objective is to decrease the transfer time of products in order to increasing the service level for customers. Two Pareto-based multi-objective meta-heuristic algorithms namely non-dominated sorting genetic algorithm (NSGA-II) and non-dominated ranking genetic algorithm (NRGA) are proposed to solve the model. Since the solution quality of all meta-heuristic algorithms severely depended on their parameters, Taghuchi method has been utilized to tune the parameters of algorithms. Finally, computational results obtained by implementing the algorithms on several problems of different sizes demonstrate the performance of proposed methodologies.

Keywords: Multi-Objective Production-Distribution Planning, Non-dominated Ranking Genetic Algorithm, Non-dominated Sorting Genetic Algorithm, Supply Chain, Taghuchi Method

[*] Corresponding author

مدیریت تولید و عملیات، دوره ۸، پیاپی ۱۵، شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۳۹٦
دریافت: ۱۳۹۱/۰۷/۲۳ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۹/۰۷
صص: ۱۳٤-۱۱۵

ارائه مدلی دو هدفه برای مسئلهٔ برنامه‌ریزی یکپارچه تولید- توزیع در یک زنجیره تامین چند سطحی با در نظر گرفتن سطح خدمت

ابوالفضل کاظمی[1*]، کیوان صرافها[2]، علیرضا علی‌نژاد[3]

۱- استادیار مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، دانشکده مهندسی صنایع و مکانیک، قزوین، ایران
abkaazemi@gmail.com
۲- کارشناس ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، قزوین، ایران،
key_sarrafha@yahoo.com
۳- استادیار مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، دانشکده مهندسی صنایع و مکانیک، قزوین، ایران،
alalinezhad@gmail.com

چکیده: در این پژوهش، یک مدل دو هدفه مسأله برنامه ریزی تولید- توزیع یکپارچه در یک زنجیره تامین چند سطحی ارائه شده است. زنجیره تامین پیشنهادی شامل تامین‌کنندگان، تولیدکنندگان، مراکز توزیع و مناطق مشتری است. تصمیمات برای چندین ماده اولیه و محصول و در دوره‌های زمانی مختلف گرفته شده است. اهداف مسأله علاوه بر کمینه‌کردن کل هزینه‌های زنجیره شامل هزینه‌های حمل و تامین مواد اولیه، آماده‌سازی و تولید محصولات، نگهداری موجودی مواد اولیه و محصولات در کارخانه‌ها و مراکز توزیع، حمل و خرید محصولات برای توزیع‌کنندگان و مشتریان و هزینه کمبود به صورت پس افت، سطح خدمت به مشتریان را با به حداقل رساندن زمان انتقال محصولات از سطوح بالایی زنجیره به دست مشتریان افزایش می‌دهد. به منظور حل مدل از دو الگوریتم چند هدفه مبتنی بر رویکرد پارتو به نام‌های الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب (NSGA-II) و الگوریتم ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب (NRGA) استفاده شده است. از آنجایی‌که خروجی این الگوریتم‌ها به شدت وابسته به پارامترهای ورودی خود هستند، لذا از یک روش تاگوچی به‌منظور تنظیم پارامتر الگوریتم‌ها استفاده شده است. در نهایت به‌منظور اثبات عملکرد مناسب روش‌های حل ارائه شده در مدل پیشنهادی، این روش‌ها بر روی مسائل آزمایشی تولید شده با ابعاد مختلف مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب، الگوریتم ژنتیک مرتب سازی نامغلوب، برنامه‌ریزی یکپارچه تولید- توزیع چند هدفه، روش تاگوچی، زنجیره تامین

---

*نویسنده مسؤول

۱- مقدمه

با افزایش رقابت در دنیای کسب و کار و ظهور و توسعه فناوری‌های نوین، بسیاری از شرکت‌ها به سوی یکپارچگی روی آورده‌اند. نیاز به انعطاف‌پذیری، کاهش هزینه‌ها و برقراری ارتباطات نزدیک و گسترده بین تامین‌کنندگان، تولیدکنندگان و توزیع‌کنندگان، شرکت‌ها را بر آن داشته است که برای بقا و فعالیت در محیط رقابتی و کاملاً متغیر امروز با یکپارچه‌سازی سیستم و سازمان خود، به کسب مزیت رقابتی بپردازند (چوپرا و میندل[۱]، ۲۰۰۴). شکل جدید کسب و کار در دنیای امروز نیز نشان دهنده این موضوع است. شرکت‌های بسیاری با برقراری شبکه‌های گسترده ارتباطی میان شرکا و تامین‌کنندگان، به سمت یکپارچگی در زنجیره خود پیش رفته‌اند. در این زنجیره، تامین‌کنندگان با دسترسی به اطلاعات تولیدکنندگان، خود را برای تهیه به موقع نیازهای آنها آماده می‌کنند و توزیع کنندگان نیز با کسب آخرین اطلاعات مربوط به مشتریان و بازار، تولیدکنندگان را در جهت طراحی، تولید و توزیع به موقع محصولات یاری می‌کنند (لی و کیم[۲]، ۲۰۰۲). در جهت یکپارچه‌سازی فرآیندهای موجود در زنجیره تامین، مدل‌ها و ابزارهای گوناگونی وجود دارند که دو دسته عمده آن عبارتند از:

۱- مدل‌های مفهومی شامل: مدل SCOR[۳]، مدل دپارتمان نیروی دریایی آمریکا، مدل شرکت BGT، مدل دانشگاه تنسی و آژانس دفاعی لجستیک (DLA)[۴] (چن[۵]، ۲۰۰۴).

۲- مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی: مدل‌های ریاضی و تحلیلی بر مبنای علوم و تصمیم‌گیری ارائه می‌شوند. در این پژوهش به منظور یکپارچه‌سازی زنجیره تامین در بخش‌های تامین، تولید و توزیع از رویکرد برنامه‌ریزی ریاضی استفاده شده است.

یک زنجیره تامین شامل همه مراحلی (اعضای زنجیره) است که چه مستقیم و چه غیر مستقیم، در برآورده سازی تقاضای یک مشتری نقش دارند. در یک زنجیره تامین معمولی، مواد خام از تامین‌کنندگان به کارخانه‌ها ارسال می‌شوند، سپس محصولات تولید شده در کارخانه‌ها به انبارهای میانی و مراکز توزیع ارسال می‌شوند و از آنجا نیز به سمت خرده‌فروش‌ها و در نهایت به دست مشتری نهایی یا همان مصرف کننده می‌رسند. پس یک کالا مراحل مختلف زنجیره را طی می‌کند تا به دست مصرف‌کننده برسد. در بعضی از این مراحل، کالا انبارش می‌شود و در بعضی دیگر حمل می‌شود، یعنی یک زنجیره تامین مجموعه‌ای از انبارش‌ها و حمل و نقل‌ها است (بالو[۶]، ۲۰۰۴). بیشتر مدل‌های یکپارچه ارائه شده در زنجیره تامین درپژوهش‌های گذشته را می‌توان به صورت زیر دسته‌بندی نمود:

مدل‌های یکپارچه خریدار- فروشنده[۷]، مدل‌های برنامه‌ریزی یکپارچه تولید– توزیع[۸]، مدل‌های برنامه‌ریزی یکپارچه تولید- موجودی[۹]، مدل‌های مکان‌یابی- تخصیص[۱۰] (ریزک[۱۱] و همکاران، ۲۰۰۶).

هسته اصلی مسائل مدیریت زنجیره تامین مربوط به برنامه‌ریزی تولید و توزیع است. مسأله برنامه ریزی تولید در زنجیره تامین تصمیماتی است که سازنده جهت تولید کالای سفارش شده و زمان و تعداد آن به منظور برآورده کردن نیاز مشتری خواهد گرفت. مسأله برنامه‌ریزی توزیع در زنجیره تامین نیز در برگیرنده تصمیماتی برای پیدا کردن کانالی جهت تحویل کالا از یک سازنده به یک توزیع کننده یا به یک مشتری است. این مسائل وابستگی متقابلی به

یکدیگر دارند از این رو بایستی آنها را به طور همزمان در یک روش یکپارچه بکار برد تا هزینه‌ها یا سود حاصل از آن در زنجیره مینیمم (ماکزیمم) شود (چن و لی[۱۲]، ۲۰۰٤). در ادامهادبیات موضوع در حوزه مسأله برنامه‌ریزی یکپارچه تولید – توزیع بررسی می‌شود.

۲- مروری بر ادبیات موضوع

توجه مدیران در برنامه‌ریزی زنجیره تامین از دیرباز بیشتر روی بخش تولید متمرکز بوده است که این موضوع امروزه تا حدودی تعدیل شده و مدیران دریافته‌اند که بدون برنامه‌ریزی دقیق در بخش تولید و توزیع در عرصه رقابت توان مقابله با رقبا را نخواهند داشت. بیشترین پژوهش‌های موجود در مدل‌های یکپارچه زنجیره تامین نیز به تصمیم‌گیری هم‌زمان در مورد تولید و توزیع پرداخته شده است که در برخی مقالات این مسائل تحت عنوان مسائل برنامه‌ریزی تولید– توزیع مطرح می‌شوند. کوهن و لی[۱۳] (۱۹۸۸) سیستم‌های یکپارچه تولید- توزیع با تقاضاهای تصادفی را مطالعه کردند. آنها یک مدل تک هدفه زنجیره تامین که ترکیبی از مواد اولیه، محصولات نیمه ساخته و نهایی کارخانه‌ها، مراکز توزیع، انبارها و مشتریان را ارائه کردند. چاندرا و فیشر[۱٤] (۱۹۹٤) مدلی ارائه کردند که جهت مقایسه کارایی، با استفاده از تعدادی شاخص و با مقادیر مختلف برای پارامترهای متعدد، تحلیل شدند. این پارامترها شامل طول پریود، تعداد محصولات، تعداد مشتری‌ها، هزینه‌های ثابت و هزینه‌های موجودی هستند. در این مدل تقاضا برای هر محصول در یک دوره برای هر خرده‌فروش مشخص است و تابع هدف این مدل به دنبال حداقل کردن هزینه کل زنجیره است. سیاریف[۱۵] و همکاران (۲۰۰۲) شبکه زنجیره تامینی شامل تامین‌کنندگان، کارخانجات و مراکز توزیع را مورد بررسی قرار داده‌اند. تصمیماتی که باید در این شبکه اتخاذ شود شامل؛ راه‌اندازی کارخانجات و مراکز توزیع، میزان تولید و حمل محصولات است. تابع هدف بصورت کمینه‌کردن کل هزینه‌ها بیان می‌شود. برای حل این مدل از روش الگوریتم ژنتیک بر اساس درخت فراگیر[۱٦] استفاده شده و اعتبار این روش با مقایسه آن با روش سنتی الگوریتم ژنتیک سنجیده شده است. چان[۱۷] و همکاران (۲۰۰۵) شبکه‌ای را با تعدادی تولید کننده در نظر گرفته‌اند که باید تقاضای مشتریان را با ظرفیت تولیدی محدود به طور کامل تامین کنند و کمبود کالا مجاز نیست. در این سیستم باید در مورد میزان حمل کالا تصمیم‌گیری شود. توابع هدف چندگانه‌ای شامل کمینه کردن هزینه‌ها و تعادل در استفاده از ظرفیت تولید بین کارخانجات در نظر گرفته شده است. آنها از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی برای وزن دهی به اهداف و از الگوریتم ژنتیک برای حل مدل خطی استفاده می‌شود. کاظمی و همکاران (۲۰۰۹) از یک الگوریتم ژنتیک به منظور حل مسأله برنامه‌ریزی تولید- توزیع در یک سیستم چند سطحی زنجیره تامین استفاده کردند. آنها از دو سناریو برای حل PDPD[۱۸] استفاده کردند، در ابتدا یک روش متمرکز برای حل آن اعمال کردند و سپس یک سیستم مبتنی بر عامل برای حل PDPD در نظر گرفتند. آنها برای هر سطح یک الگوریتم ژنتیک بکار گرفتند تا سیستم بتواند بهترین جواب را به منظور اثر متقابل بین سطح‌ها انتخاب کند. جولای[۱۹] و همکاران (۲۰۱۱) یک مدل خطی برنامه‌ریزی تولید- توزیع یکپارچه چند هدفه با چندین سطح، چندین محصول

و در چندین دوره زمانی ارائه دادند. آنها به‌منظور انعکاس اثر مسائل برنامه‌ریزی یکپارچه بر روی مدل و فراهم آوردن ساختاری واقعی برای آن، سطوح تصمیم‌گیری غیر دقیق تصمیم‌گیرنده برای اهداف را با استفاده از رویکرد برنامه‌ریزی آرمانی فازی مدنظر قرار دادند. ساختار زنجیره تامین پیشنهادی آنها غیر متمرکز است و به یک مدل تک هدفه با محدودیت تبدیل می‌شود و سپس با استفاده از سه الگوریتم فرا ابتکاری مدل را حل کردند. یک الگوریتم ژنتیک برای حل مسئلهٔ دارای محدودیت پیشنهاد شده و نتایج آن با دو الگوریتم ژنتیک و بهینه‌سازی اجتماع ذرات با استفاده از تابع جریمه مقایسه می‌شود. در ادامه برای بیان کاربرد مدل و کارایی روش‌های حل به اجرای یکسری آزمایشات محاسباتی بر روی یک مورد فرضی پرداختند و با مقایسه آنها با یکدیگر به کارا بودن روش پیشنهادی خود اشاره کردند. آشوکا وارتانان[۲۰] و همکاران (۲۰۱۲) نیز با توسعه یک الگوریتم بهینه‌سازی اجتماع ذرات سلسله مراتبی مبتنی بر شبیه‌سازی به حل یک برنامه تولید- توزیع چند معیاره پرداختند. برنامه یکپارچه آنها در برگیرنده سه هدف کمینه‌سازی کل هزینه‌ها شامل هزینه‌های عادی کاری، اضافه کاری، برون‌سپاری شده، نگهداری موجودی، کمبود، استخدام، اخراج و هزینه-های توزیع، کاهش تغییرات در سطوح کاری و به حداقل رساندن بهره‌گیری پائین سطوح کاری است. آنها الگوریتم پیشنهادی خود را با یک الگوریتم ژنتیک سلسله مراتبی صفر و یک اعتبارسنجی کردند. لیو و پاپاگئورگیو[۲۱] (۲۰۱۳) یک مسئلهٔ برنامه‌ریزی تولید – توزیع دو سطحی را با در نظر گرفتن همزمان هزینه، پاسخ‌دهی و خدمت به مشتری ارایه دادند. آن-ها به منظور حل مدل از دو روش - محدودیت و لکسیکوگراف[۲۲] استفاده نموده و جواب‌ها را با یکدیگر مقایسه کردند. قابل ذکر است که در ادبیات مسائل برنامه‌ریزی تولید- توزیع، عمده پژوهش‌های مطالعه شده یا به صورت تک هدفه بوده و یا از رویکرد یکپارچه‌سازی و تبدیل اهداف به یک هدف برای حل مدل چند هدفه استفاده نموده‌اند. لذا ما در این پژوهش با ارائه مدلی در یک زنجیره تامین چند سطحی که علاوه بر کمینه‌کردن کل هزینه‌های زنجیره، سطح خدمت را با به حداقل رساندن زمان انتقال محصولات برای مشتریان افزایش می‌دهد، از رویکرد پارتو[۲۳] جهت حل مسأله یکپارچه تولید- توزیع استفاده می‌کنیم که در ادامه به بررسی مفاهیم آن خواهیم پرداخت.

ادامه ساختار مقاله بدین صورت است که در بخش سوم با تعریف فرضیات، پارامترها و متغیرهای تصمیم به بیان مسائل و تشریح مدل پیشنهادی می‌پردازیم. در بخش چهارم متدولوژی حل شرح داده می‌شود. در بخش پنجم یک سری مسائل نمونه جهت تجزیه و تحلیل نتایج مربوط به روش‌های حل مدل‌های ارایه شده، ایجاد شده و به صورت آماری مورد تحلیل قرار می‌گیرد. در نهایت، نتیجه گیری و پیشنهادات جهت پژوهش آینده ارائه خواهد شد.

۳- بیان مسأله

در این بخش، ابتدا مسأله یکپارچه تولید- توزیع پیشنهادی تشریح شده، سپس فرضیات، پارامترها و متغیرهای تصمیم تعریف می‌شوند و در ادامه مدل دو هدفه تولید- توزیع در یک زنجیره تامین چهار سطحی ارائه می‌شود.

مدلی که در اینجا مدنظر است یک شبکه زنجیره

تامین یکپارچه شامل تامین‌کننده، تولیدکننده، مرکز توزیع و مشتری نهایی است. شبکه شامل تعدادی تامین‌کننده با چندین نوع ماده اولیه، تعدادی مراکز تولید و توزیع و در نهایت تعدادی منطقه مشتری در مکان های ثابت است. در مرحله اول مواد اولیه از تامین‌کنندگان برای تولید کنندگان در صورتی که ارتباطی بین آنها صورت گرفته باشد تامین می‌شود. در دومین مرحله در کارخانه‌های تولیدی تغییر شکل مواد اولیه به محصول نهایی اتفاق می‌افتد. مرحله سوم در صورت ارتباط مراکز تولید و توزیع با یکدیگر، محصولات تولیدی توسط تولیدکنندگان به توزیع کنندگان ارسال می‌شود. و در نهایت محصولات نهایی از مراکز توزیع به مناطق مشتری انتقال داده می‌شود. در این مدل تخصیص بهینه سطوح زنجیره به یکدیگر و بدست آوردن مقادیر مناسب تامین، تولید، توزیع، حمل، نگهداری و سطح کمبود پس‌افت به منظور کمینه‌کردن کل هزینه‌های زنجیره و به حداقل رساندن زمان انتقال محصولات برای مشتریان مد نظر قرار گرفته است. مدل پیشنهادی در سطح استراتژیک و تاکتیکی مورد بررسی قرار گرفته است.

۳-۱- مفروضات مدل

در این بخش، مفروضات مدل پیشنهادی ذکر شده که به قرار ذیل گزارش می‌شود:

یک زنجیره تامین چهار سطحی شامل تامین‌کنندگان، تولید کنندگان، مراکز توزیع و مشتریان در نظر گرفته شده است. تصمیمات برای چندین نوع ماده اولیه و محصول و در چندین دوره زمانی در نظر گرفته شده است. ظرفیت نگهداری موجودی برای مراکز تولید و توزیع در نظر گرفته شده است. از یک ظرفیت حمل و نقل برای انتقال محصولات و مواد اولیه بین تمامی سطوح استفاده شده است. تامین‌کنندگان قادر به تامین مواد اولیه در تمامی دوره‌ها می‌باشند. هر تولید کننده می‌تواند محصولات مختلفی را بسازد و حتی می‌تواند تمامی محصولات را تولید نماید. از یک ظرفیت تولید در صورت تولید به منظور ساخت محصولات در کارخانه‌ها استفاده شده است و یک هزینه پس‌افت برای مراکز توزیع در صورت کمبود محصولات برای مشتریان در نظر گرفته است.

۳-۲- نمادها و پارامترها

s: تعداد تامین‌کنندگان $(s=1,2,...,S)$

p: تعداد تولیدن‌کنندگان $(p=1,2,...,P)$

d: تعداد توزیعن‌کنندگان $(d=1,2,...D)$

c: تعداد مشتریان $(c=1,2,...,C)$

t: تعداد دوره‌های زمانی $(t=1,2,...,T)$

i: تعداد محصولات $(i=1,2,...I)$

m: تعداد مواد اولیه $(m=1, 2,..., M)$

DE_{cit}: تقاضای محصول i از مشتری c در دوره t

CSE_{pit}: هزینه آماده‌سازی تولید محصول i توسط تولید کننده p در دوره t

CP_{pit}: هزینه تولید محصول i توسط تولیدکننده p در دوره t

CP_{pdit}: هزینه خرید محصول i از تولیدکننده p توسط توزیع کننده d در دوره t

CH_{pit}: هزینه نگهداری موجودی هر واحد محصول i توسط تولیدکننده p در دوره t

CH_{pmt}: هزینه نگهداری موجودی هر واحد ماده اولیه m توسط تولیدکننده p در دوره t

CTM_{spmt}: هزینه حمل هر واحد ماده اولیه m از تامین کننده s به تولید کننده p در دوره t

CT_{pdit}: هزینه حمل هر واحد محصول i از تولید کننده p به توزیع کننده d در دوره t

CT_{dcit}: هزینه حمل هر واحد محصول i از توزیع کننده d به مشتری c در دوره t

CSM_{spmt}: هزینه تامین هر واحد ماده اولیه نوع m از تامین کننده s به تولیدکننده p در دوره t

CH_{dit}: هزینه نگهداری موجودی هر واحد محصول i توسط توزیع کننده d در دوره t

TSM_{spmt}: مدت زمان تامین مواد اولیه نوع m از تامین کننده s برای تولید کننده p در دوره t

TP_{pit}: مدت زمان پردازش محصول i توسط تولید کننده p در دوره t

TT_{pdit}: مدت زمان حمل محصول i از تولید کننده p به توزیع کننده d در دوره t

TT_{dcit}: مدت زمان حمل محصول i از توزیع کننده d به مشتری c در دوره‌ی t

CPT_{spt}: ظرفیت حمل و نقل مواد اولیه از تامین کننده s به تولید کننده p در دوره t

CPT_{pdt}: ظرفیت حمل و نقل محصولات از تولید کننده p به توزیع کننده d در دوره t

CPT_{dct}: ظرفیت حمل و نقل محصولات از توزیع کننده d به مشتری c در دوره t

CPP_{pit}: ظرفیت تولید محصول i توسط تولید کننده p در دوره t

CPD_{pmt}: ظرفیت کارخانه p برای موجودی ماده اولیه m در دوره t

CPD_{pit}: ظرفیت کارخانه p برای موجودی محصول i در دوره t

CPD_{dit}: ظرفیت مرکز توزیع d برای موجودی محصول i در دوره t

α_{mi}: مقدار ماده اولیه نوع m مصرف شده در محصول i در دوره t

CB_{cit}: هزینه کمبود پس افت برای محصول i از مشتری c در دوره t

۳-۳- متغیرهای تصمیم

QP_{pit}: مقدار تولید برای محصول i توسط تولید کننده p در دوره t

QS_{pdit}: مقدار تامین برای محصول i از تولید کننده p به توزیع کننده d در دوره t

I_{pmt}: موجودی ماده اولیه m برای تولید کننده p در دوره t

I_{pit}: موجودی محصول i برای تولید کننده p در دوره t

I_{dit}: موجودی محصول i برای توزیع کننده d در دوره t

QSM_{spmt}: مقدار تامین مواد اولیه نوع m از تامین کننده s به تولید کننده p در دوره t

BL_{cit}: سطح پس افت محصول i برای مشتری c در دوره t

W_{pit}: برابر است با یک اگر محصول i توسط تولید کننده p در دوره t تولید می‌شود در غیر این‌صورت صفر

X_{spt} : برابر است با یک اگر انتقالی از تامین‌کننده s به تولیدکننده p در دوره t صورت گیرد در غیر این‌صورت صفر

X_{pdt} : برابر است با یک اگر انتقالی از تولید کننده p به مرکز توزیع d در دوره t صورت گیرد در غیر این صورت صفر

X_{dct} : برابر است با یک اگر انتقالی از مرکز توزیع d به مشتری c در دوره t صورت گیرد در غیر این صورت صفر

۳-٤- توابع هدف و محدودیت‌ها

مدل پیشنهادی دارای دو هدف است که تابع هدف اول در رابطه (۱) کل هزینه‌های زنجیره شامل: هزینه های تامین و حمل و نقل مواد اولیه از تامین‌کنندگان به تولید کنندگان، هزینه‌های آماده‌سازی و تولید محصولات، نگهداری موجودی مواد اولیه و نگهداری موجودی محصول در کارخانه‌ها، هزینه‌های خرید و حمل محصولات نهایی از کارخانه‌ها به مراکز توزیع، هزینه نگهداری موجودی محصول در مراکز توزیع، هزینه حمل محصولات از مراکز توزیع به مشتریان و سطح پس‌افت محصولات در صورت کمبود برای مشتریان در تمامی دوره‌ها را حداقل می‌کند. تابع هدف دوم در رابطه (۲) که در برگیرنده سطح خدمت به مشتری است، زمان در جریان برای رسیدن محصولات به دست مشتریان در کل زنجیره به حداقل می‌رساند.

محدودیت‌های (۳)، (٤) و (۵) نشان‌دهنده مقدار ماده اولیه m و محصول i ارسال شده در دوره‌های مختلف با توجه به ظرفیت حمل و نقل و در صورت انتقال از آنها به سطوح دیگر می‌باشد. محدودیت (٦) اطمینان می‌دهد که مقدار تولید محصول i در صورت تولید در کارخانه p و در دوره t حداکثر به اندازه ظرفیت تولید می‌باشد.محدودیت (۷) و (۸) نشان دهنده ظرفیت کارخانه p برای نگهداری موجودی مواد اولیه و محصول نهایی در دوره t است. محدودیت (۹) بیان کننده ظرفیت مرکز توزیع برای نگهداری موجودی هر محصول i است. محدودیت (۱۰) اطمینان می‌دهد که محصولات ارسالی از یک تولید کننده به تمامی مراکز توزیع، حداکثر به اندازه مقدار تولید محصولات در کارخانه p در دوره t است. محدودیت (۱۱) بیانگر رابطه تعادلی موجودی مواد اولیه در کارخانه p است که برابر با مجموع موجودی ماده اولیه دوره قبل و مواد اولیه ارسالی از تمامی تامین‌کنندگان به تولید کننده p در دوره t منهای مقدار تولید تمامی محصولات در ضریب ماده اولیه استفاده شده برای تولید آن محصول می‌باشد. محدودیت‌های (۱۲) و (۱۳) نیز بیانگر محدودیت‌های تعادلی نگهداری موجودی در سطوح تولید کننده و توزیع کننده است. رابطه (١٤) محدودیت مربوط به کمبود پس افت برای مشتری c در هر دوره زمانی می‌باشد. محدودیت (۱۵) تصدیق می‌کند که سطح پس افت در دوره آخر بایستی به‌منظور تکمیل تقاضای مشتریان برابر صفر شود. روابط (١٦) و (۱۷) غیر منفی و صفر و یک بودن متغیرهای تصمیم را نشان می‌دهد. رابطه (۱۸) نیز بیان می‌کند که مقادیر موجودی مواد اولیه و محصولات و همچنین سطح پس‌افت محصولات در شروع دوره صفر است.

پس از ارائه مدل پیشنهادی، روش‌های مورد استفاده جهت حل مدل از جمله مباحث مهم در ادبیات مسائل بهینه‌سازی است. از آنجاکه این نوع مسائل از رسته مسائل NP-Hard هستند و به دلیل پیچیده‌بودن مدل، زمان محاسباتی روش‌های حل دقیق به شدت بالا بوده و در اغلب موارد ناتوان در حل این نوع مسائل هستند (کاظمی و همکاران، ۲۰۰۹؛ جولای و همکاران، ۲۰۱۱). از فاکتورهایی که باعث پیچیدگی مدل شده، تعداد زیاد محدودیت‌ها و متغیرهای تصمیم و همچنین صفر و یک بودن بعضی از متغیرها می‌باشد. همچنین چند هدفه بودن مدل و تضاد بین جنس اهداف بر پیچیدگی مسأله افزوده است. بدین منظور به عنوان یکی از پرکاربردترین ابزارهای حل این مدل‌ها، از الگوریتم‌های فرا ابتکاری چندهدفه برای حل این نوع مسائل استفاده شده است.

$$Min\ Z_1 = \sum_{s=1}^{S}\sum_{p=1}^{P}\sum_{m=1}^{M}\sum_{t=1}^{T}(CSM_{spmt} + CTM_{spmt}) \times QSM_{spmt} + \sum_{p=1}^{P}\sum_{i=1}^{I}\sum_{t=1}^{T} CSE_{pit} \times W_{pit} + \sum_{p=1}^{P}\sum_{i=1}^{I}\sum_{t=1}^{T} CP_{pit} \times QP_{pit} + \sum_{p=1}^{P}\sum_{m=1}^{M}\sum_{t=1}^{T} CH_{pmt} \times I_{pmt} + \sum_{p=1}^{P}\sum_{i=1}^{I}\sum_{t=1}^{T} CH_{pit} \times I_{pit} + \sum_{p=1}^{P}\sum_{d=1}^{D}\sum_{i=1}^{I}\sum_{t=1}^{T} CP_{pdit} \times QS_{pdit} + \sum_{p=1}^{P}\sum_{d=1}^{D}\sum_{i=1}^{I}\sum_{t=1}^{T} CT_{pdit} \times QS_{pdit} + \sum_{d=1}^{D}\sum_{i=1}^{I}\sum_{t=1}^{T} CH_{dit} \times I_{dit} + \sum_{d=1}^{D}\sum_{c=1}^{C}\sum_{i=1}^{I}\sum_{t=1}^{T} CT_{dcit} \times QS_{dcit} + \sum_{c=1}^{C}\sum_{i=1}^{I}\sum_{t=1}^{T} CB_{cit} \times BL_{cit} \quad (۱)$$

$$Min\ Z_2 = \sum_{s=1}^{S}\sum_{p=1}^{P}\sum_{m=1}^{M}\sum_{t=1}^{T} TSM_{spmt} \times QSM_{spmt} + \sum_{p=1}^{P}\sum_{i=1}^{I}\sum_{t=1}^{T} TP_{pit} \times QP_{pit} + \sum_{p=1}^{P}\sum_{d=1}^{D}\sum_{i=1}^{I}\sum_{t=1}^{T} TT_{pdit} \times QS_{pdit} + \sum_{d=1}^{D}\sum_{c=1}^{C}\sum_{i=1}^{I}\sum_{t=1}^{T} TT_{dcit} \times QS_{dcit} \quad (۲)$$

S.t.

$$\sum_{m=1}^{M} QSM_{spmt} \le CPT_{spt} \times X_{spt} \qquad \forall s, p, t \quad (۳)$$

$$\sum_{i=1}^{I} QS_{pdit} \le CPT_{pdt} \times X_{pdt} \qquad \forall p, d, t \quad (٤)$$

$$\sum_{i=1}^{I} QS_{dcit} \le CPT_{dct} \times X_{dct} \qquad \forall d, c, t \quad (٥)$$

$$QP_{pit} = CPP_{pit} \times W_{pit} \qquad \forall p, i, t \quad (٦)$$

$$I_{pmt} \le CPD_{pmt} \qquad \forall p, m, t \quad (٧)$$

$$I_{pit} \le CPD_{pit} \qquad \forall p, i, t \quad (٨)$$

$$I_{dit} \le CPD_{dit} \qquad \forall d, i, t \quad (٩)$$

$$\sum_{d=1}^{D} QS_{pdit} \le QP_{pit} \qquad \forall p, i, t \quad (١٠)$$

$$I_{pmt} = I_{pmt-1} + \sum_{s=1}^{S} QSM_{spmt} - \sum_{i=1}^{I} \alpha_{mi} \times QP_{pit} \qquad \forall p, m, t \quad (١١)$$

$$I_{pit} = I_{pit-1} + QP_{pit} - \sum_{d=1}^{D} QS_{pdit} \qquad \forall p, i, t \quad (١٢)$$

$$I_{dit} = I_{dit-1} + \sum_{p=1}^{P} QS_{pdit} - \sum_{c=1}^{C} QS_{dcit} \qquad \forall d, i, t \quad (١٣)$$

$$BL_{cit} = BL_{cit-1} + DE_{cit} - \sum_{d=1}^{D} QS_{dcit} \qquad \forall c, i, t \quad (١٤)$$

$$\sum_{c=1}^{C} BL_{ciT} = 0 \qquad \forall i \quad (١٥)$$

$$QSM_{spmt},\ QP_{pit},\ I_{pmt},\ I_{pit},\ I_{dit},\ QS_{pdit},\ QS_{dcit},\ BL_{cit} \ge 0 \qquad \forall s, p, d, c, m, i, t \quad (١٦)$$

$$W_{pit}, X_{spt}, X_{pdt}, X_{dct} \in \{0,1\} \qquad \forall s, p, d, c, i, t \quad (١٧)$$

$$I_{pm0}, I_{pi0}, I_{di0}, BL_{ci0} = 0 \qquad \forall p, d, c, m, i \quad (١٨)$$

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

٤- روش‌شناسی حل

امروزه بسیاری از مسائل کاربردی در جهان واقعی را مسائل بهینه‌سازی ترکیباتی چند هدفه تشکیل می-دهند که اهداف در تضاد با یکدیگر بوده و بهبود در یک هدف باعث بهتر شدن هدف دیگر نمی‌شود. اکثر مطالعات در زمینه مسائل تولید- توزیع در زنجیره تامین به صورت تک معیاره و یا تک هدفه بررسی شده است در حالی‌که یک هدف یا معیار در مسائل کاربردی، واقعی و عملی کافی نمی‌باشد. در مسائل بهینه‌سازی تک هدفه، با بهینه ساختن تابع هدف الگوریتم به پایان می‌رسد اما در مسائل چند هدفه بهینه‌سازی همزمان چند تابع هدف کار سخت و زمان‌بری است و در بیشتر این مسائل تعدادی جواب قابل قبول بر اساس معیارهای نامغلوبی بدست می‌آید. بنابراین جواب نهایی به شکل دسته‌ای از جواب‌ها است که نماینده موازنه‌ای از توابع هدف مختلف مسأله است. در نهایت یکی از جواب‌ها به عنوان جواب مرجح توسط تصمیم‌گیرنده انتخاب می‌شود. در این مقاله جهت حل مدل پیشنهادی به ارائه دو الگوریتم چند هدفه مبتنی بر پارتو به نام‌های الگوریتم ژنتیک مرتب سازی نامغلوب‌ها[٢٤] و الگوریتم ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب‌ها[٢٥] می‌پردازیم که نتایج حاصل از این دو الگوریتم با یکدیگر مقایسه می‌شوند.

٤-١- الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب‌ها

الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب (NSGA-II) یکی از کارآمدترین و مشهورترین الگوریتم‌های بهینه‌سازی چند هدفه می‌باشد که توسط دب[٢٦] و همکاران در سال ۲۰۰۰ ارائه شد. همان‌طور که اشاره شد، الگوریتم‌های بهینه‌سازی تک هدفه، حل بهینه را با توجه به یک هدف می‌یابند و این در حالی است که در مسائل چند هدفه یک حل بهینه مجزا را نمی‌توان یافت. پس طبیعی است که با یک مجموعه-ای از حل‌ها به نام حل‌های مغلوب نشده موثر سروکار داشته باشیم. از بین این مجموعه حل‌های متناهی حل مناسب جواب‌هایی خواهد بود که عملکرد قابل قبولی را نسبت به همه اهداف داشته باشد. برای انجام مقایسات مناسب در بهینه‌سازی چند هدفه از مفهوم غلبه استفاده می‌شود. مفهوم غلبه به این صورت است که فرض کنید F کل فضای موجه مسأله باشد و $x_1, x_2 \in F$ دو جواب از این مسأله باشد، گفته می‌شود x_1 بر x_2 غالب است (یا x_2 مغلوب x_1 است) اگر و فقط x_1 نسبت به x_2 در هیچ کدام از اهداف بدتر نباشد $\left(f_i(x_1) \le f_i(x_2)\ \forall i \in \{1, 2, ..., m\}\right)$ و x_1 نسبت به x_2 حداقل در یکی از اهداف اکیداً بهتر باشد $\left(f_i(x_1) < f_i(x_2)\right)$ (دب، ۲۰۰۰). بدین منظور با توجه به این تعریف دو اپراتور به‌منظور رتبه‌بندی جواب‌ها به الگوریتم ژنتیک اضافه شده و در ادبیات به الگوریتم NSGA-II شهرت یافته است. آن دو اپراتور مرتب‌سازی سریع نامغلوب‌ها[٢٧] و فاصله ازدحامی[٢٨] می‌باشند. در ادامه قدم‌های پیاده‌سازی الگوریتم NSGA-II تشریح می‌شود.

٤-١-١- مقداردهی اولیه

اطلاعات اولیه برای شروع کار الگوریتم NSGA-II پیشنهادی شامل اندازه جمعیت اولیه (nPop)، احتمال عملگر تقاطع (P_c)، احتمال عملگر جهش (P_m) و تعداد تکرار الگوریتم (nIt) است. لازم به ذکر است که مقادیر تنظیم شده این پارامترها را با استفاده از روش تاگوچی بدست می‌آوریم.

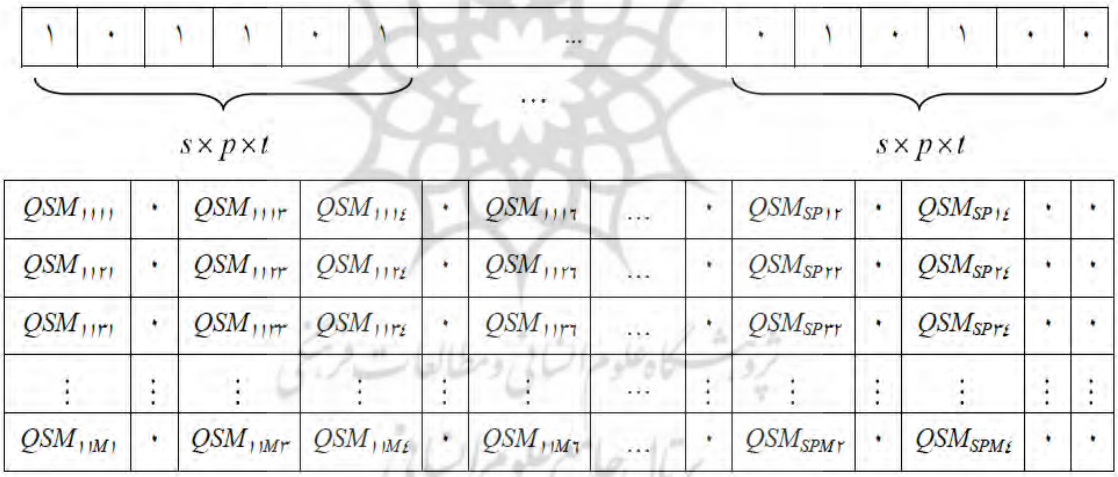
٤-۱-۲- ساختار کروموزوم

در این قسمت به‌منظور طراحی کروموزوم، از متغیرهای ساختاری استفاده شده‌است. بدین صورت که هریک از ساختارهای موجود در جواب‌های ایجاد شده، مشخص کننده یکی از ویژگی‌های جواب نیز می‌باشد. ساختار مربوط به متغیرهای مسأله به قرار ذیل در شکل ۱ هستند.

به عنوان نمونه در مورد ساختار جواب مربوط به QSM_{spmt}، در صورتی‌که تامین‌کننده s به تولیدکننده p در دوره t اختصاص یابد ماده اولیه نوع m از تامین‌کننده s به تولیدکننده p در دوره t (t=٦) فرض شده است) با توجه به ظرفیت حمل آن انتقال می‌یابد. نمونه ساختار تشریح شده در شکل ۲ نشان داده شده است.

$$\begin{bmatrix} X_{spt}:[s\times p\times t\ double]; & QSM_{spmt}:[s\times p\times m\times t\ double] \\ X_{pdt}:[p\times d\times t\ double]; & QS_{pdit}:[p\times d\times i\times t\ double] \\ X_{dct}:[d\times c\times t\ double]; & QS_{dcit}:[d\times c\times i\times t\ double] \\ W_{pit}:[p\times i\times t\ double]; & QP_{pit}:[p\times i\times t\ double] \\ I_{pmt}:[p\times m\times t\ double]; & I_{pit}:[p\times i\times t\ double] \\ I_{dit}:[d\times i\times t\ double]; & BL_{cit}:[c\times i\times t\ double] \end{bmatrix}$$

شکل ۱- ساختار جواب‌های مسأله

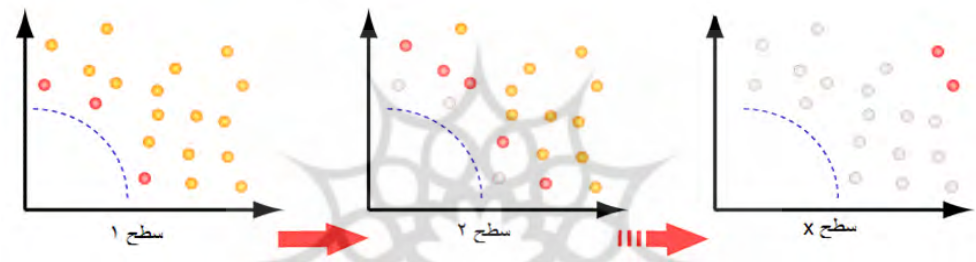


شکل ۲- ساختار مربوط به تامین مواد اولیه از تامین‌کنندگان برای تولیدکنندگان

بدین ترتیب‌که اگر ارتباطی از تامین‌کننده s با تولیدکننده p در دوره t صورت پذیرد، مقدار ماده اولیه‌ای که از هر تامین‌کننده برای هر تولیدکننده در دوره t تامین می‌گردد حداکثر به اندازه ظرفیت حمل آن از تامین‌کننده به تولیدکننده در دوره مربوطه می‌باشد. حال تا جایی‌که مجموع مقدار مواد اولیه ارسالی بیشتر از ظرفیت حمل باشد، یک تامین‌کننده به ترتیب به صورت تصادفی انتخاب شده و به اندازه ماکزیمم مجموع این اختلاف از مقدار ارسالی ماده اولیه برای تولیدکننده در آن دوره و مقدار صفر، ماده اولیه برای تولید کننده تامین می‌شود. در واقع مقدار صفر به این خاطر است که حداقل مقدار تامین شده از یک تامین‌کننده خاص منفی نشده و جواب‌ها به صورت موجه تولید شوند.

٤-۱-۳- مرتب‌سازی سریع نامغلوب‌ها و فاصله ازدحامی

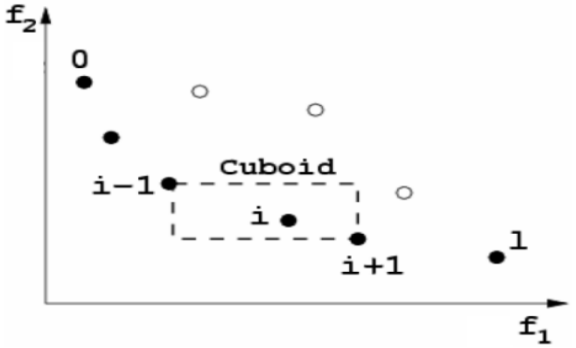
در مرتب‌سازی سریع نامغلوب‌ها رتبه‌بندی جمعیت بر اساس نامغلوب‌ها با استفاده از مفهوم غلبه انجام می‌شود. به‌طور کلی برای مرتب‌کردن جمعیت با اندازه n براساس سطوح نامغلوب‌ها، هر جواب با تمام جواب‌های دیگر موجود در جمعیت مقایسه شده تا مغلوب بودن یا نبودن جواب مشخص شود. در نهایت مجموعه‌ای از جواب‌ها وجود دارد که هیچ‌کدام غالب و مغلوب همدیگر نمی‌شوند لذا این جواب‌ها اولین مرز از مرزهای نامغلوب را تشکیل می‌دهند. برای تعیین جواب‌های موجود در مرزهای بعدی، جواب‌های موجود در مرز اول به‌طور موقت نادیده گرفته شده و فرآیند فوق دوباره تکرار می‌شود. این فرآیند تا زمانی که تمام جواب‌ها درون مرزهای نامغلوب قرار گیرند ادامه می‌یابد (دب، ۲۰۰۰). در زیر نحوه مرتب‌سازی جواب‌های نامغلوب در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳- نحوه مرتب‌سازی جواب‌های نامغلوب یک جمعیت

برای تخمین تراکم جواب اطراف یک جواب خاص در جمعیت، متوسط فاصله این جواب از هر دو جواب مجاور براساس مقادیر اهداف محاسبه می‌شود و این مقدار، فاصله ازدحام نامیده می‌شود. به منظور محاسبه فاصله ازدحامی یک جواب خاص موجود در یک مرز، بزرگترین مستطیلی که آن جواب خاص درون مستطیل و دو جواب مجاور در دو سمت آن جواب (راس‌های آن مستطیل) در نظر گرفته می‌شود و مجموع طول و عرض آن به عنوان فاصله ازدحامی برای آن جواب خاص بدست می‌آید. شکل ٤ نحوه نمایش محاسبات مربوط به فاصله ازدحامی $(i_{distance})$ برای عضو دلخواه i از یک مرز غیر مغلوب را نشان می‌دهد (دب، ۲۰۰۰).

یک جواب با مقدار کمتر فاصله ازدحامی بیان‌کننده تراکم بیشتر جواب در اطراف آن جواب است. بنابراین مطلوب است برای مرحله بعد جواب‌هایی انتخاب شوند که در ناحیه با تراکم کمتر یا به عبارتی دارای فاصله ازدحامی بیشتر هستند، زیرا با این کار تنوع و پراکندگی در جواب‌های بدست آمده بیشتر می‌شود (دب، ۲۰۰۰، رحمتی و همکاران، ۲۰۱۳).



شکل ٤- محاسبه فاصله ازدحام (دب، ۲۰۰۰)

٤-١-٤- والدین

در این بخش والدینی که عمل مرتب‌سازی نامغلوب و فاصله ازدحامی روی آن‌ها انجام شده نگهداری می‌شوند و در مرحله بعد با توجه به استراتژی انتخاب مربوطه، عمل تقاطع و جهش روی آن‌ها صورت می‌گیرد.

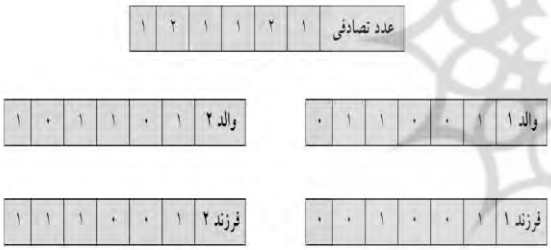
٤-١-٥- استراتژی انتخاب

انتخاب جمعیت والد برای بکارگیری عملگرهای تقاطع و جهش بر روی آنها با استفاده از عملگر مسابقه‌ای ازدحام[۲۹] صورت می‌گیرد. این عملگر دو جواب i را مقایسه کرده و پیروز مسابقه را مشخص می‌نماید که در این راستا جواب iام از جمعیت دو ویژگی زیر را دارا می‌باشد: (۱) دارای یک رتبه یا درجه نامغلوب بودن است که آن را با r_i نشان می‌دهیم و (۲) دارای یک فاصله ازدحامی محلی است که آن را با d_i نشان می‌دهیم.

بر پایه دو ویژگی بیان شده عملگر مسابقه‌ای ازدحام بدین صورت تعریف می‌شود که جواب i در مسابقه با جواب j پیروز می‌شود اگر و فقط اگر یکی از دو شرط: (۱) جواب i رتبه بهتری داشته باشد $\left(r_i \le r_j\right)$ که این اطمینان را بوجود می‌آورد که جواب پیروز از درجه نامغلوب بودن بهتری نسبت به حریف خود برخوردار است و شرط (۲) که در هنگام هم‌رتبه بودن جواب‌ها پیش می‌آید بیانگر این است که جواب‌های i و جواب‌های j هم‌رتبه باشند و جواب i از فاصله ازدحامی بیشتری نسبت به جواب j برخوردار باشد ($r_i = r_j$ و $d_i > d_j$)، این اطمینان را بوجود می‌آورد که جواب پیروز از ناحیه ازدحامی کوچکتری (d_i بزرگتر) نسبت به حریف برخوردار است (دب، ۲۰۰۰).

٤-١-٦- عملگر تقاطع

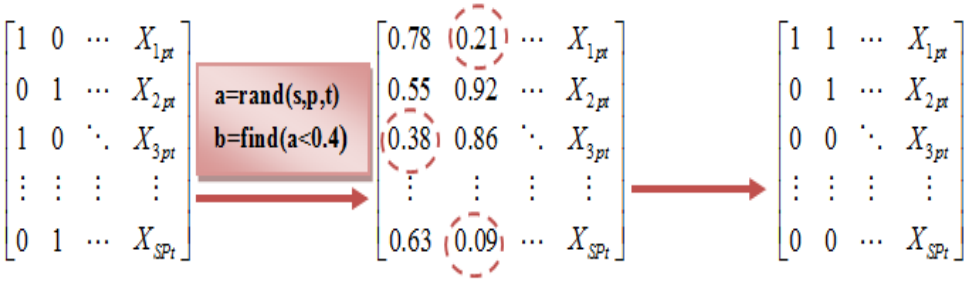
جهت تولید فرزند جدید در هر تکرار از الگوریتم، عملگر تقاطع یکنواخت[۳۰] پیاده‌سازی شده است. از این عملگر تقاطع جهت انتقال خصوصیات مناسب بعضی از ژن‌ها که در طول کروموزوم پراکنده شده‌اند، استفاده می‌شود. در شرایطی که ژن‌ها با خصوصیات مناسب در طول رشته پراکنده شده باشند، استفاده از تقاطع یکنواخت می تواند مفیدتر از سایر روش های تقاطع باشد. عملگر تقاطع یکنواخت، به صورت تصادفی بعضی از بیت‌ها را در طول رشته‌های والدین به منظور تولید فرزندان جابجا می‌نماید (بیت و جونز[۳۱]، ۲۰۰۷). شکل (۵) نحوه اجرایی عملگر تقاطع یکنواخت مورد استفاده را برای نمونه یک جواب نشان می‌دهد.



شکل ۵- نحوه اجرای عملگر تقاطع یکنواخت برای یک نمونه جواب

٤-١-٧- عملگر جهش

عملگر جهش مورد استفاده در این مدل از نوع تصادفی است. بدین صورت که برای هر کروموزوم یک عدد تصادفی بین صفر و یک با توجه به ابعادش تولید کرده، آنگاه در صورتی‌که اعداد تولید شده هر ژن کوچکتر از یک مقدار خاص بود، روی آن ژن مربوطه جهش صورت می‌گیرد و مجدداً مقدار خواهد گرفت. شکل (٦) بیانگر نحوه اجرای عملگر جهش می‌باشد.



شکل ٦- نحوه اجرای عملگر جهش پیشنهادی برای یک نمونه جواب

٤-١-٨- ارزیابی فرزندان و ترکیب‌کردن با والدین

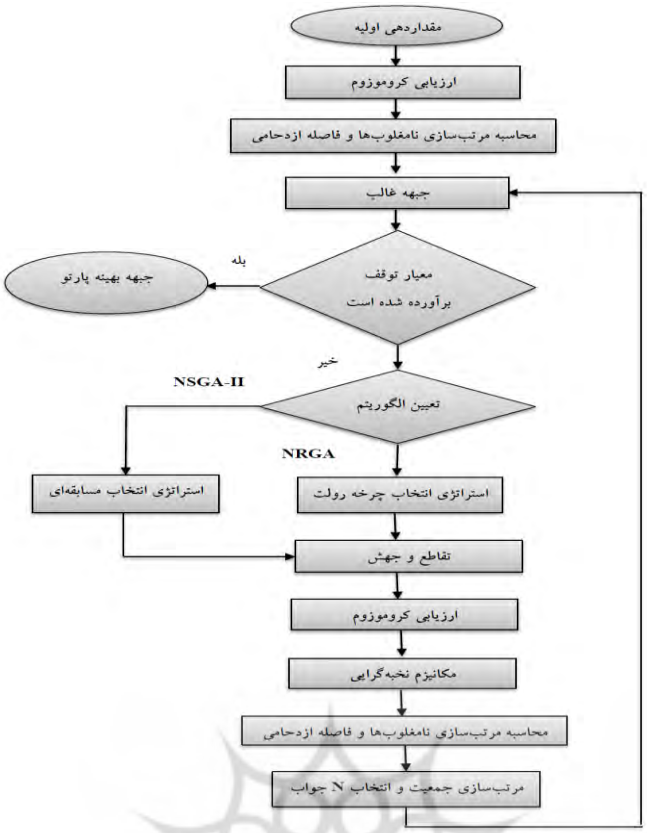
در این بخش مجموعه فرزندانی که از طریق عملگرهای تقاطع و جهش به‌وجود آمده‌اند مورد ارزیابی قرار می‌گیرد و به هریک از فرزندان میزانی از برازندگی اختصاص می‌یابد. در این بخش از الگوریتم جمعیت فرزندان و والدین را با هم ترکیب شده و جمعیتی برابر دو برابر جمعیت سایز اولیه ایجاد می‌شود (دب، ۲۰۰۰). بعد از انجام عمل ترکیب، حال مرتب‌سازی سریع نامغلوب‌ها و فاصله ازدحامی مطرح شده به اجرا گذاشته می‌شود. بدین صورت که ابتدا اعضای جمعیت هر مرز بر اساس فاصله ازدحامی و سپس بر پایه نامغلوب‌ها رتبه‌بندی می شود. این عمل باعث می‌شود جمعیت بر اساس مرز نامغلوب و فاصله ازدحامی رتبه‌بندی شود (رحمتی و همکاران، ۲۰۱۳).

٤-١-٩- معیار توقف

آخرین قدم در الگوریتم‌های ژنتیک بررسی شرایط توقف می‌باشد. در این راستا تکنیک استانداردی برای برای شرایط توقف الگوریتم‌های بهینه‌سازی چند هدفه وجود ندارد. در نتیجه الگوریتم زمانی متوقف می‌شود که به ماکزیمم مقدار از پیش تعریف شده برسد.

٤-٢- الگوریتم ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب‌ها (NRGA)

در سال ۲۰۰۸ یک الگوریتم تکاملی چند هدفه جدید مبتنی بر جمعیت با نام الگوریتم ژنتیک مبتنی بر رتبه‌بندی نامغلوب‌ها به طور موفقیت‌آمیزی توسط عمرالجدان[۳۲] و همکارانش برای بهینه‌سازی غیر محدب، غیرخطی و گسسته توسعه داده شده است (عمرالجدان و همکاران، ۲۰۰۸). براساس رویکردهای موجود در مسائل قبلی، آن ها رویکرد جدیدی را با ترکیب الگوریتم انتخاب چرخه‌رولت مبتنی بر رتبه‌بندی و الگوریتم رتبه‌بندی جمعیت براساس پارتو توسعه دادند که الگوریتم ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب‌ها (NRGA) نام‌گذاری شد. تفاوت الگوریتم NRGA با INSGA-I در دو بخش استراتژی انتخاب و بخش مرتب کردن جمعیت و انتخاب برای نسل بعد می‌باشد. در استراتژی انتخاب از عملگر چرخه رولت مبتنی بر رتبه‌بندی[۳۳] (RRWS) به‌جای استفاده از عملگر مسابقه‌ای ازدحام استفاده می‌شود (رحمتی و همکاران، ۲۰۱۲). این عملگر به گونه‌ای طراحی می‌شود که اعضای بهتر (با برازش بهتر)، احتمال انتخاب بیشتری برای تولید مثل و تشکیل نسل بعدی پیدا می‌کنند. در اینجا هر عضو جمعیت دارای دو مشخصه رتبه مرز غیر مغلوبی که در آن قرار دارد و رتبه خودش درون مرز بر اساس فاصله ازدحامی می‌باشد. بنابراین برای انتخاب یک جواب، ابتدا باید یک مرز غیرمغلوب انتخاب شود سپس درون آن مرز یک جواب انتخاب شود (عمرالجدان و همکاران، ۲۰۰۸). شکل (۷) روند پیاده‌سازی هر دو الگوریتم INSGA-I و NRGA را نشان می دهد.



شکل ۷- فلوچارت الگوریتم‌های NSGA-II و NRGA

۵- تجزیه و تحلیل نتایج

به‌منظور حل مدل پیشنهادی، دو الگوریتم فرا ابتکاری حل مسائل چند هدفه بر مبنای رویکرد پارتو شامل الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب (NSGA-II) و الگوریتم ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب (NRGA) ارائه شده است. در این بخش نتایج بدست آمده از پیاده-سازی روش‌های حل پیشنهادی بر روی مسائل آزمایشی تولید شده مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. در ابتدا پارامترهای الگوریتم‌های مورد استفاده در این مقاله پس از اجراهای متوالی بر روی مقادیر مطابق جدول (۱) دسته‌بندی شده و سپس توسط روش تاگوچی تنظیم شده‌اند که سطوح تنظیم شده در شکل (۸) نشان داده شده است. سپس آزمایشات بر روی ۱۵ مسأله آزمایشی تولید شده در سه دسته سایز کوچک، متوسط و بزرگ با (I=۲، M=٤، D=٤، P=۲، S=۳) و از ٤ الی ۸ منطقه مشتری در سایز کوچک، (I=٤، M=۷، D=٦، P=٤، S=٥) و از ۹ الی ۱۳ منطقه مشتری در سایز متوسط، (I=٥، M=۱۰، D=۹، P=٦، S=۸) و از ١٤ الی ۱۸ منطقه مشتری در سایز بزرگ و همگی در ٦ دوره زمانی اجرا شده است. به‌منظور پیاده‌سازی مسائل، پارامترهای ورودی در جدول (۲) نشان داده شده است. کلیه الگوریتم‌های پیشنهاد شده با نرم افزار MATLAB (Version 10.0, R2010a) برنامه‌نویسی شده و بر روی یک نوت بوک با چهار گیگا بایت حافظه و پردازنده i5 صـ Core شلIntel اجرا شده است.

۵-۱- روش تاگوچی

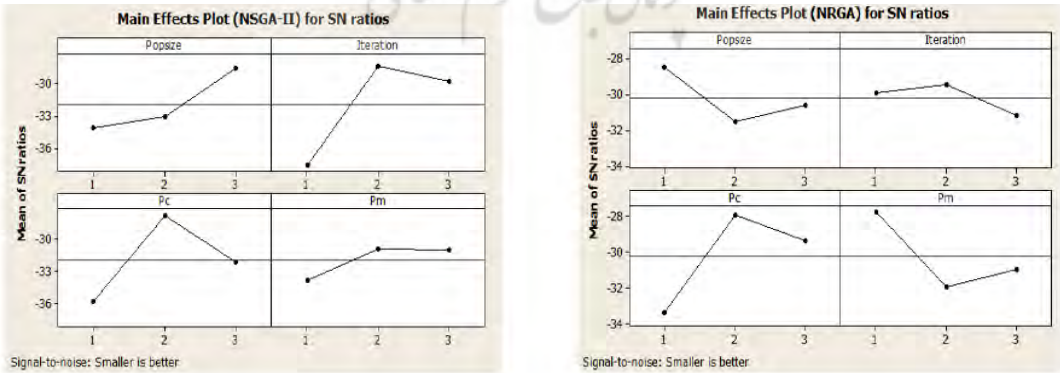
از آنجایی‌که خروجی مسائل به شدت به پارامترهای الگوریتم‌های پیشنهادی وابسته هستند، لذا از روش تاگوچی به‌منظور تنظیم پارامترهای آن‌ها استفاده می-

کنیم. مزیت روش تاگوچی نسبت به دیگر روش‌های طراحی آزمایشات علاوه بر هزینه، بدست آوردن سطوح بهینه پارامترها در زمان کمتر است (فرالی[۳۴] و همکاران، ۲۰۰۶). یکی از مهم‌ترین قدم‌های این روش انتخاب یک آرایه متعامد[۳۵] است که اثرات عوامل در میانگین پاسخ و تغییرات را تخمین می‌زند. در این پژوهش، مناسب‌ترین طرح، آزمایش‌های سه سطحی تشخیص داده شده‌اند و با توجه به آرایه‌های متعامد استاندارد تاگوچی، آرایه‌ی L_9 به عنوان طرح مناسب آزمایشی برای تنظیم پارامتر الگوریتم‌های پیشنهادی انتخاب شده است. تاگوچی به‌منظور تنظیم پارامترهای بهینه، یک اندازه آماری عملکرد تحت عنوان نسبت S/N[۳۶] را در نظر می‌گیرد که این نسبت در برگیرنده میانگین و تغییرات است و در هر سطحی بیشتر باشد مطلوب‌تر است (تاگوچی[۳۷]، ۱۹۸۶). متغیر پاسخ در نظر گرفته شده، نسبت دو شاخص استاندارد MID[۳۸] به Diversity برای الگوریتم‌های چند هدفه است. از آن‌جا که این متغیر پاسخ از نوع "هرچه کمتر بهتر" است، نسبت S/N متناظر آن به صورت رابطه (۱۹) در نظر گرفته می‌شود. الگوریتم‌های فراابتکاری پیشنهادی برای هر آزمایش تاگوچی اجرا می‌شوند و سپس نسبت‌های S/N توسط نرم‌افزار Minitab 14.1 محاسبه می‌گردند.

$$S/N\ Ratio = -10\log\left(\frac{sum(y^2)}{n}\right) \qquad (۱۹)$$

جدول ۱- سطوح و دامنه ارائه شده برای پارامترهای الگوریتم‌های پیشنهادی

الگوریتم‌های پیشنهادی	پارامترهای الگوریتم	دامنه پارامترها	پائین(۱)	متوسط(۲)	بالا(۳)
NSGA-II	اندازه جمعیت	۵۰-۱۰۰	۵۰	۷۵	۱۰۰
	تعداد تکرار	۵۰-۱۰۰	۵۰	۷۵	۱۰۰
	نرخ تقاطع	۰/۶-۰/۹۹	۰/۸	۰/۸۵	۰/۹
	نرخ جهش	۰/۰۵-۰/۱۵	۰/۰۵	۰/۱	۰/۱۵
NRGA	اندازه جمعیت	۵۰-۱۰۰	۵۰	۷۵	۱۰۰
	تعداد تکرار	۵۰-۱۰۰	۵۰	۷۵	۱۰۰
	نرخ تقاطع	۰/۶-۰/۹۹	۰/۸	۰/۸۵	۰/۹
	نرخ جهش	۰/۰۵-۰/۱۵	۰/۰۵	۰/۱	۰/۱۵



شکل ۸- نمودار S/N پارامترهای الگوریتم‌های پیشنهادی

جدول ۲- پارامترهای ورودی به‌منظور پیاده‌سازی مسائل

پارامتر	تابع توزیع	پارامتر	تابع توزیع
DE_{dcit}	Uniform(300,500)	CT_{pdit}	Uniform(10,15)
CSM_{spmt}	Uniform(10,20)	CH_{dit}	Uniform(10,15)
CTM_{spmt}	Uniform(5,10)	CT_{dcit}	Uniform(5,10)
CP_{pit}	Uniform(20,30)	CB_{dcit}	Uniform(5,10)
CH_{pmt}	Uniform(5,10)	CSE_{pit}	Uniform(5,10)
CH_{pit}	Uniform(10,15)	CP_{pdit}	Uniform(60,100)
TSM_{spmt}	Uniform(24,48)	TP_{pit}	Uniform(8,16)
TT_{pdit}	Uniform(48,96)	TT_{dcit}	Uniform(24,48)

۵-۲- معیارهای اندازه‌گیری برای مقایسه نتایج

در ادامه معیارهای استاندارد مقایسه جهت ارزیابی الگوریتم‌های چند هدفه با رویکرد پارتو ارائه می‌شود. به طور کلی بر خلاف بهینه‌سازی تک هدفه دو معیار اصلی شامل حفظ تنوع در بین جواب‌های پارتو و همگرایی به مجموعه جواب‌های پارتو را برای بهینه‌سازی چند هدفه می‌توان در نظر گرفت (دب و همکاران، ۲۰۰۱). در این بخش چهار معیار مقایسه جهت ارزیابی الگوریتم‌های بهینه‌سازی چند هدفه ارائه می‌شود.

۵-۲-۱- بیشترین گسترش[۳۹]

این معیار که توسط زیتلر[۴۰] (۱۹۹۹) ارایه شده است، طول قطر مکعب فضایی که توسط مقادیر انتهایی اهداف برای مجموعه جواب‌های نامغلوب بکار می‌رود را اندازه‌گیری می‌کند. رابطه (۲۰) رویه محاسباتی این شاخص را نشان می‌دهد.

$$D=\sqrt{\sum_{j=1}^{m}\left(\max_{i} f_i^j-\min_{i} f_i^j\right)^2} \qquad (۲۰)$$

در مدل دو هدفه ما، این معیار برابر با فاصله اقلیدسی بین دو جواب مرزی در فضای هدف می‌باشد. هرچه این معیار بزرگتر باشد، بهتر است.

۵-۲-۲- فاصله‌گذاری[۴۱]

این معیار که توسط اسکات[۴۲] (۱۹۹۵) ارایه شد، میزان فاصله نسبی جواب‌های متوالی را با استفاده از رابطه (۲۱) محاسبه می‌کند.

$$S=\sqrt{\frac{1}{|n-1|}\sum_{i=1}^{n}\left(d_i-\bar{d}\right)^2} \qquad (۲۱)$$

که $d_i=\min_{k\in n\ \Lambda\ k\neq 1}\sum_{m=1}^{2}\left|f_m^i-f_m^k\right|$ و $\bar{d}=\sum_{i=1}^{n}\frac{d_i}{|n|}$

می‌باشد. فاصله اندازه‌گیری شده برابر با کمترین مقدار مجموع قدرمطلق تفاضل در مقادیر توابع هدف بین iامین جواب و جواب‌های واقع در مجموعه نامغلوب نهایی است. قابل ذکر است که این معیار فاصله با معیار کمترین فاصله اقلیدسی بین جواب‌ها متفاوت است (رحمتی و همکاران، ۲۰۱۲).

۵-۲-۳- تعداد جواب‌های پارتو[۴۳]

مقدار معیار NOS نشان‌دهنده تعداد جواب‌های بهینه پارتو هستند که در هر الگوریتم می‌توان یافت.

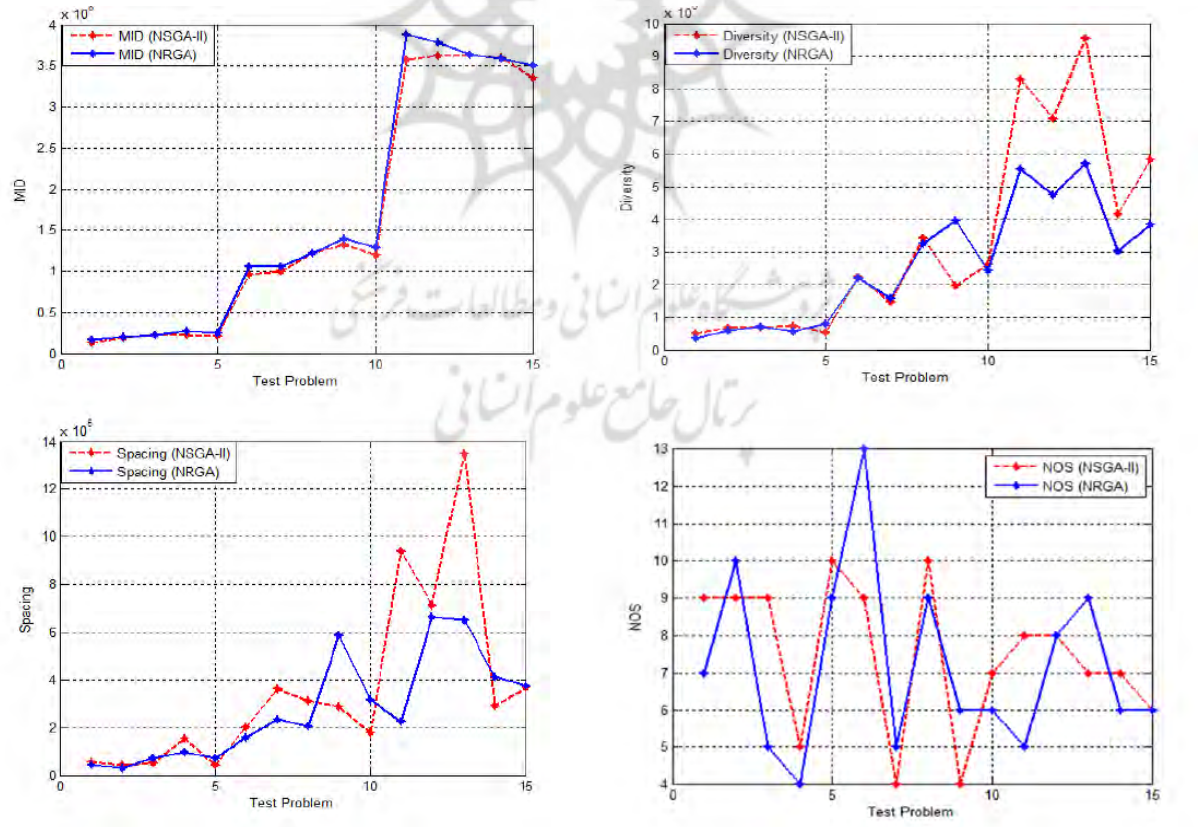
۵-۲-۴- فاصله از جواب ایده‌آل[۴۴]

از آنجایی‌که در مباحث چند هدفه مبتنی بر رویکرد پارتو، یکی از اهداف، فرونت‌های هرچه نزدیکتر به مبدأ مختصات است لذا این معیار فاصله فرونت‌ها را از بهترین مقدار جمعیت محاسبه می‌کند (زیتلر و تیله[۴۵]، ۱۹۹۸).

بعد از تعریف معیارهای استاندارد مقایسه الگوریتم‌های چند هدفه مبتنی بر پارتو، در جدول (۳) معیارهای اندازه‌گیری مسائل آزمایشی تولید شده محاسبه شده اند. در شکل ۹ عملکرد الگوریتم‌های ارائه شده بر اساس معیارهای چهارگانه به صورت گرافیکی ترسیم شده است. سپس بر اساس خروجی‌ها، الگوریتم‌ها به صورت آماری و به کمک تحلیل واریانس مطالعه و بررسی شده‌اند.

جدول ۳- نتایج محاسباتی معیارهای اندازه‌گیری مقایسه الگوریتم‌های NSGA-II و NRGA

شماره مسأله	شاخص‌های اندازه‌گیری چند هدفه							
	NSGA-II				NRGA			
	MID	Diversity	Spacing	NOS	MID	Diversity	Spacing	NOS
۱	۱۳۷۲۶۶۰۵/٤۱٥٤	٤۹۷۷۰۲/٦٤۹	٥٦۱۲۳/۹۸۹٥	۹	۱۷٤٥٥۲۷۲/۱۷۰۷	۳٥۳٤٥۰/۸۰۷۸	٤٤۲۸۰/۱۸٤۱	۷
۲	۱۹٦۸٤٦٥۰/۸۹٦۹	٦۷۸٦۱۹/۳۲۰٥	٤۱٥٤٥/۸۹۹٤	۹	۲۰۸۸۳۹۱۳/٥۱٤٦	٦۰۰۸۷۸/٦٥٤٤	۲۹٥۳۱/٦٥۸۹	۱۰
۳	۲۲٥۲۹۷۰۹/۰۹۲٥	٦۸۲٤۰۲/٦۲۳۹	٥۲۷٤۱/٦٥۲۱	۹	۲۲۹٦٥۲۲۰/٤۰۱	۷۲۹۰۸۹/۱۷۰۷	۷۲٤٥٤/۸٥۸۱	٥
٤	۲۲۸۰۲٦۷۲/۰۹٦۲	۷٤۳۷٦۰/٥۰٤	۱٥٤٥٥۷/۸۰۸۷	٥	۲۷۷۲٤۸٦۹/٦۹۰٥	٥٦۲۰۹۷/٥۰٥٤	۹٤۱۷٤/٥۱۲٤	٤
٥	۲۱٥۱۲٤۰۷/٥۸٦	٥۲۸٦۷۹/۲٥۸	٤۳۱٦٤/٥۲٦٤	۱۰	۲٥٥۰۳٦۹۹/۸۸٦۸	۸۰۷۰۹۷/۳۸۹٤	۷۰۱٤۸/۱٥۲٤	۹
٦	۹۷۰۳۷٤۷٥/۷۹٤	۲۲۳۷٦۸۲/۰۷٦	۲۰٤٥٥٦/٤٥۷۲	۹	۱۰٥۲٦۷٦۹۲/٤٤٤	۲۲۱٥۰۳۱/۸۲۱۱	۱٥٦٥٥۹/٤۱٦۹	۱۳
۷	۱۰۰۳۷۷٦۹٦/٦۳٤	۱٤۷۲۹۲۸/٦۷۸٥	۳٦۲۲٤٥/۳۷۲٥	٤	۱۰٦۰۳٤۲۳۹/۷٦۱	۱٥۸٤۱٥۹/۹٥۸۹	۲۳٥۹۲۸/۹۹٤۱	٥
۸	۱۲۲٤۸۳۹٤٤/۸٤۱	۳٤٤۱۰۳۷/٥۳٤۷	۳۱٤۰۰۷/۷۱۰۱	۱۰	۱۲۲۱۹۰۸۹٤/۷۷٦	۳۲٦٦٥۷٥/۳۱۳٥	۲۰٥۱٦۹/۸۸۸۲	۹
۹	۱۳۳۰٥۳۰۳٦/۹٦۹	۱۹٦۲۷۸۲/۱٤۰٦	۲۸۷٤۲۷/٥	٤	۱۳۹۷۰۸۷٥۱/٦۰۳	۳۹٤۷۷۰٤/۷٥۱۹	٥۸۷۳۱٤/۳۰٦۲	٦
۱۰	۱۲۰۰٤۲۸۲۱/۹۳۹	۲٦۰۸۱٤٥/٦٦٥٤	۱۷۷۲٥٥/۸۲۰٤	۷	۱۲۹۲٦۱۲۲٦/٦۲٦	۲٤۲۷۲۱٥/۷٤٥۳	۳۱۷۳۹٦/٥۲۸۷	٦
۱۱	۳٥٦۸۷۰۲۰٤/۲۷۳	۸۲۷۷٤۲۹/۳۱٦	۹٤۰۰۸٦/۹۷	۸	۳۸۷٥۷۰۳۰۰/۱۰٤	٥٥٤٦٤۷٥/٥۰٤۸	۲۲۷٦۷٥/۸۸٦۹	٥
۱۲	۳٦۱٦۲٤۸٦۰/۰۲۹	۷۰۷۸۳۱٤/۰۸۹٤	۷۱٤۸۰٤/۹٦۲۲	۸	۳۷۸۰٦۲٥٦۱/۹٤۰	٤۷٥۱۳٦٦/۰٥۰۱	٦٦۳٤۷۲/۸۳۸٥	۸
۱۳	۳٦۳۳۲٦۰٤۹/۰۰٤	۹٥٤۸٥۱۸/٦۰۹۷	۱۳٤۷۹۰۲/۳٤۷۳	۷	۳٦۳۱٦۸٦٦۹/۳۲٤	٥۷۲۹۸۹۳/۲٦٤٥	٦٥۳۱٦۰/۸۹۸۷	۹
۱٤	۳٥۹۹٥۹۷۷۲/۷۸٤	٤۱٥۹۷۹۰/۱۲٥۳	۲۹٤٤٤۹/٤۲٦٥	۷	۳٥۸۹٥۰۱٤۹/۱٤٤	۳۰۲٦٤۳۸/٤۱۷٤	٤۱۱۷٤۰/۰٥٥	٦
۱٥	۳۳٤٦٥٥۹۷۷/٥۱۸	٥۸٤٦۹۸۱/۰۷۸٥	۳٦۷۸٥۷/۳۹۱۳	٦	۳٥۰٦۷۲۰۰٤/۳۱۸	۳۸٥٤۸۷۸/۷٥٥۱	۳۷۳۸۲٦/۹٦۹٤	٦
مجموع	۲٤٤۹٦۸۷۸۸٥	٤۹۷٦٤۷۷۳/٦۷	٥۳٥۸۷۲۷/۸۳٤	۱۱۲	۲٥٥٥٤۱۹٤٦٦	۳۹٤۰۲۳٥۳/۱۱	٤۱٤۲۸۳٥/۱٤۹	۱۰۸



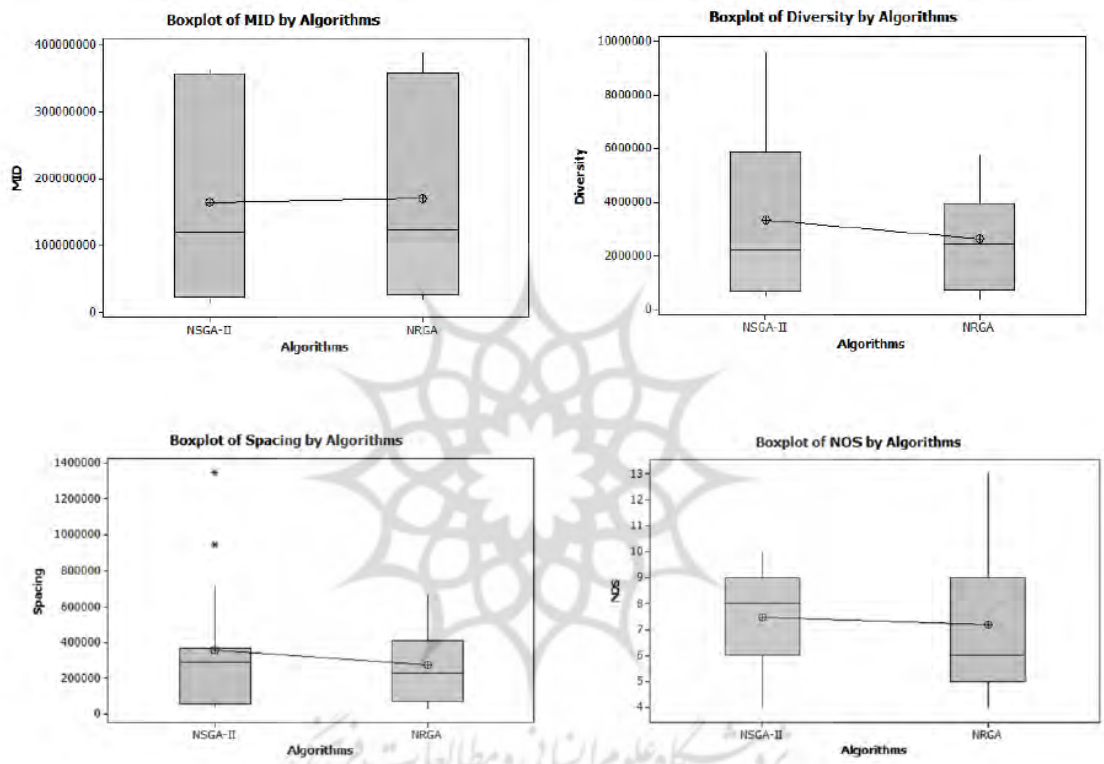
شکل ۹- نمودار گرافیکی مقایسه الگوریتم‌های NSGA-II و NRGA بر اساس معیارهای استاندارد

همان‌طور که در ردیف انتهایی جدول محاسباتی (۳) نشان داده شده است مجموع مقادیر معیارهای MID،

Diversity و NOS در الگـوریتم NSGA-II و معیـار Spacing برای الگوریتم NRGA از مطلوبیت بالاتری برخوردارند. به‌منظور بررسـی و مقایسـه دقیـق‌تـر از تحلیل‌های آماری استفاده کـرده‌ایـم. همـان‌طـور کـه اشاره شد، در این حیطه از تحلیل واریانس و آزمون t بهره جسته‌ایم که نتایج آن در جـدول ٤ و شـکل ۱۰ نشان داده شده است.

جدول ٤- نتایج تحلیل واریانس مقایسه معیارها

شاخص	P-Value	نتایج آزمون
MID	۰/۸۹۸	عدم رد فرض صفر
Diversity	۰/٤٥۸	عدم رد فرض صفر
Sapcing	۰/٤۷٥	عدم رد فرض صفر
NOS	۰/۷٤٥	عدم رد فرض صفر



شکل ۱۰- نمودار جعبه‌ای مقایسه فاصله اطمینان بر اساس معیارهای استاندارد الگوریتم‌های چندهدفه

٦- نتیجه‌گیری و پیشنهادات آتی

در این مقاله، هدف در نظر گرفتن ترکیب بهینه تامین، تولید و توزیع در یک زنجیره تامین چند سطحی از چندین نوع محصول و ماده اولیه و در طی چندین دوره زمانی است. بطوریکه هزینه کمبود به صورت پس‌افت نیز در صورت عدم تامین محصولات نهایی برای مشتریان در نظر گرفته شده است. اهداف علاوه بر حداقل‌کردن کل هزینه‌های زنجیره، به حداقل رساندن مدت زمان انتقال محصولات به مشتریان به‌منظور افزایش سطح خدمت را نیز در بر می‌گیرد. با توجه به NP-Hard بودن مسأله، به‌منظور حل مدل پیشنهادی از الگوریتم‌های فرا ابتکاری چند هدفه مبتنی بر پارتو بهره جسته‌ایم. به‌منظور بررسی و تجزیه و تحلیل اطلاعات مربوط به تپژوهش صورت گرفته، ابتدا ادبیات مسأله به طور دقیق مورد مطالعه قرار گرفت و بر اساس آن

مدل‌سازی ریاضی مسأله انجام شد. در پیاده‌سازی روش‌های حل با توجه به حساس بودن پارامترها از روش تاگوچی به منظور تنظیم پارامترهای الگوریتم‌ها استفاده شده است. در انتها هم به‌منظور انتخاب کاراترین روش حل مدل‌های ارائه شده از تحلیل آماری استفاده شده است. جهت پیشنهادات آتی می توان به منظور کاهش زمان های حمل و نقل از سیستم های مختلف حمل و نقل از نظر قابلیت اطمینان و زمان ارسال استفاده نمود. همچنین مدل مورد نظر را با دیگر الگوریتم حل مسائل چند هدفه مورد بررسی قرار داد.

References

Al Jadaan, O., Rao, C.R., & Rajamani, L. (2008). Non-Dominated ranked genetic algorithm for solving Multi-Objective optimization problems: NRGA . *Journal of Theoritical and Applied Information Technology*, 60-67.

Ashoka Varthanan, P., Murugan, N., Mohan Kumar, G., & Parameswaran, S. (2012). Development of simulation-based AHP-DPSO algorithm for generating multi-criteria production-distribution plan. International Journal Advanced Manufacturing Technology, 60(1), 373-396.

Ballou, R.H. (2004). Business Logistics/Supply Chaun Management. Perentic Hall.

Bate, S.T., & Jones, B. (2007). A review of uniform crossover designs. Journal of Statistical Planning and Inference, 138, 336-351.

Chan, F.T.S., Chung, S.H., & Wadhwa, S. (2005). A hybrid genetic algorithm for production and distribution. Omega-International Journal of Management Science, 33, 345-355.

Chandra, P., & Fisher, M.L. (1994). Coordination of production and distribution planning. European Journal of Operational Research, 72, 503-517.

Chen, C., & Lee, W. (2004). Multi-objective optimization of multi-echelon supply chain networks with uncertain product demands and prices. Computers and Chemical Engineering, 28, 1131-1144.

Chen, Z. (2004). Integrated production and distribution operations: taxonomy, models and review. In: Simchi-Levi D., Wu SD., Shen Z-J (eds), Chapter 17 of the book handbook of quantitative supply chain analysis: modeling in the e-business era, Kluwar, Dordrecht.

Chopra, S., & Meindle, P. (2004). Supply chain management- strategy, planning and operation. 2nd Ed. Prentic Hall.

Cohen, M.A., & Lee, H.L. (1988). Strategic Analysis of Integrated Production-Distribution Systems: Models and Methods . *Operations Research*, 36(2), 216-228.

Deb, K. (2000). Multi-objective optimization using evolutionary algorithms. Chichester, UK: Wiley.

Deb, K., Agrawal, S., Pratap, A., & Meyarivan, T. (2001). A fast elitist non-dominated sorting genetic algorithm for multi-objective optimization: NSGA-II. In: proceedings of the parallel problem solving from nature VI (PPSN-VI) conference, 849-858.

Fraley, S., Oom, M., Terrien, B., & Date, J.Z. (2006). Design of experiments via Taguchi methods: Orthogonal Arrays.The Michigan Chemical Process Dynamic and Controls Open Text Book, USA.

Haupt, R.L., & Haupt, S.E. (2004). Practical Genetic Algorithms. John Wiley & Sons, Inc., Publication, Second Edition.

Jolai, F., Razmi, J., & Rostami, N.K.M. (2011). A fuzzy goal programming and meta heuristic algorithms for solving integrated production:distribution planning problem. Central European Journal of Operation Research, 19(4), 547-569.

Kazemi, A., Fazel Zarandi, M.H., & Moattar Husseini, S.M. (2009). A multi-agent system to solve the production-distribution planning problem for a supply chain: a genetic algorithm approach. International Journal Advanced Manufacturing Technology, 44(1), 180-193.

Lee, Y.H., & Kim, S.H. (2002). Production-distribution planning in supply chain considering capacity constraints. Computers and Industrial Engineering, 43, 190-196.

Lio, S., & Papageorgiou, L.G. (2013). Multi objective optimization of production, distribution and capacity planning of global supply chains in the process industry. Omega, 41(2), 369-382.

Rahmati, S.H.A., Zandieh, M., & Yazdani, M. (2013). Developing two multi-objective evolutionary algorithms for the multi-objective flexible job shop scheduling problem. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 64(5), 915-932.

Rizk, N., Martel, A., & Amours, S.D. (2006). Multi-item Dynamic Production Distribution Planning in Process Industries with Divergent Finishing Stages. Computers and Operations Research, 33, 3600-3623.

Schott, J.R. (1995). Fault tolerant design using single and multicriteria genetic algorithms optimization. Master s thesis, Department of Aeronautics and Astronautics, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA.

Syarif, A., Yun, S.Y., & Gen, M. (2002). Study on multi-stage logistic chain network: a spanning tree-based genetic algorithm approach. Computers and Industrial Engineering, 43, 299-314.

Taguchi, G., 1986. Introduction to quality engineering. White Plains: Asian Productivity Organization/UNIPUB

Zitler, E. (1999). Evolutionary Algorithms for multi-objective optimization: method and applications. p.h.D Thesis, dissertation ETHNO. 13398, Swaziland Federal Institute of Technology Zorikh, Switzerland.

Zitler, E., & Thiele, L. (1998). Multiobjective optimization using evolutionary algorithms a comparative case study. In A.E. Eiben, T. Back, M. Schoenauer and H.P. Schwefel (Eds.), Fifth International Conference on Parallel Problem Solving from Nature (PPSN-V), Berlin, Germany, 292-301.

[1]- Chopra and Meindle
[2]- Lee and Kim
[3]- Supply Chain Operation Reference
[4]- Defense Logistics Agency
[5]- Chen
[6]- Ballou
[7]- Integrated Buyer-Seller
[8]- Integrated Production-Distribution Planning
[9]- Integrated Production-Inventory Planning
[10]- Location -Allocation Models
[11]- Rizk
[12]- Chen and Lee
[13]- Cohen and Lee
[14]- Chandra and Fisher
[15]- Syarif
[16]- Spanning Tree
[17]- Chan
[18]- Production Distribution Planning Decision
[19]- Jolai
[20] Ashoka Varthanan
[21] Liu and Papageorgiou
[22] exicographic
[23] Pareto
[24] Non-dominated Sorting Genetic Algorithm (NSGA-II)
[25] Non-dominated Ranking Genetic Algorithm (NRGA)
[26] Deb
[27] Fast non-dominated sort (FNDS)
[28] Crowding Distance (CD)
[29] Crowded tournament selection operator
[30] Uniform Crossover
[31] Bate and Jones
[32] Al Jadaan
[33] Ranked based roulette wheel selection (RRWS)
[34] Fraley
[35] Orthogonal array (OA)
[36] Signal to noise (S/N)
[37] Taghuchi
[38] Mean Ideal Distance (MID)
[39] Maximum Spread or Diversity
[40] Zitzler
[41] Spacing
[42] Schott
[43] Number of Pareto Solution (NOS)
[44] Mean Ideal Distance (MID)
[45] Zitler and Thiele