International Journal of Industrial Engineering & Production Management (2015)
March2015, Volume 26, Number 3
pp. 283-298

http://IJIEPM.iust.ac.ir/

INTEGRATED PRODUCTION-DISTRIBUTION PLANNING PROBLEM IN A MULTI-ECHELON SUPPLY CHAIN NETWORK DESIGN AND OPTIMIZATION: A MULTI-OBJECTIVE EVOLUTIONARY APPROACH

Keyvan Sarrafha, Abolfazl Kazemi* & Alireza Alinezhad

Keyvan Sarrafha, *Young Researchers and Elite Club, Qazvin Branch, Islamic Azad University*
Abolfazl Kazemi, *Faculty of Industrial and Mechanical Engineering, Qazvin Branch, Islamic Azad University*
Alireza Alinezhad, *Faculty of Industrial and Mechanical Engineering, Qazvin Branch, Islamic Azad University*

Keywords

Supply chain,
Integrated production-Distribution planning,
Multi-objective
Evolutionary algorithms,
Particle swarm optimization

ABSTRACT

Nowadays, design and representation of the planning integrated models in order to optimize different activities of production and distribution in a supply chain network have great impact to reduce the costs of chain, and increasing the service level to customers consequently. In this paper, a new bi-objective mathematical model for integrated production-distribution planning problem in a four-echelon supply chain with several products and in multi-time period is presented. In addition to minimizing the total cost of supply chain, the second objective is minimizing lost of sale of products in case of not being able to fulfill customers' demands. In order to solve the proposed model a multi-objective particle swarm optimization (MOPSO) is presented. The performance of this method is compared with non-dominated sorting genetic algorithm (NSGA-II). Then, the results of implementing the algorithms on some test problems show that the proposed MOPSO outperforms the other algorithm for different metrics.

©2015 IUST Publication, IJIEPM. Vol. 26, No. 3, All Rights Reserved

نشـــریه بین المللـــی مهنـــدسی صنـــایع و مدیـــــریت تولیـــد

شمـــاره ۳، جلـــد ۲۶، پاییز۱۳۹۴
صفحـــه ۲۹۸-۲۸۴

ISSN: 2008-4870

http://IJIEPM.iust.ac.ir/

طراحی و بهینه سازی مسئله برنامه ریزی یکپارچه تولید - توزیع در یک شبکه زنجیره تامین چند سطحی: یک نگرش تکاملی چند هدفه

کیوان صرافها، ابوالفضل کاظمی*وعلیرضا علی‌نژاد

کلمات کلیدی

زنجیره تامین،
برنامه‌ریزی یکپارچه تولید - توزیع،
الگوریتم‌های تکاملی چندهدفه،
بهینه‌سازی اجتماع ذرات

چکیده:

امروزه، طراحی و ارائه مدل‌های یکپارچه برنامه‌ریزی به‌منظور بهینه‌سازی فعالیت‌های مختلف تولید و توزیع در یک شبکه زنجیره تامین، تاثیر به‌سزایی در کاهش هزینه‌های زنجیره و به تبع آن افزایش سطح خدمت به مشتریان دارد. دراینمقاله،یکمدلریاضی دوهدفه جدیدی برای مسئله برنامه‌ریزی یکپارچه تولید-توزیع در یک زنجیره تامین چهار سطحی با چندین نوع محصول و در طی چندین دوره زمانی ارائه شده است. اهداف مسئله علاوه بر کمینه کردن کل هزینه‌های زنجیره، مقدار فروش از دست رفته محصولات در صورت عدم برآورده سازی تقاضای مشتریان را نیز به حداقل می‌رساند. به‌منظور حل مدل از یک الگوریتم چند هدفه مبتنی بر پارتو به نام الگوریتم بهینه سازی اجتماع ذرات چند هدفه(MOPSO) بهره جسته‌ایم و نتایج حاصله را با الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نا مغلوب (NSGA-II) مقایسه نموده‌ایم. در نهایت نتایج اجرای الگوریتم‌ها در چندین مسئله آزمایشی روی شاخص‌های مختلف نشان دهنده عملکرد بهتر الگوریتم پیشنهادی MOPSO در مقایسه با دیگر الگوریتم مورد استفاده می‌باشد.

۱. مقدمه

مدیریت زنجیره تامین[1] از رویکرهایی است که در چند دهه اخیر بدلیل افزایش روز افزون رقابت‌پذیری و تلاش سازمان‌ها برای بقا و با تکیه بر پیشرفت‌های حاصل در تکنولوژی اطلاعات و نزدیک شدن ارتباطات، مورد توجه سازمان‌ها قرار گرفته است [۱]. شکل جدید کسب و کار در دنیای امروز نیز نشان دهنده این موضوع است. شرکت‌های بسیاری با برقراری شبکه‌های گسترده ارتباطی میان شرکا و تأمین کنندگان، به سمت یکپارچگی در زنجیره خود پیش رفته‌اند.

تاریخ وصول: ۹۱/۰۸/۲۶
تاریخ تصویب: ۹۲/۰۷/۰۷

کیوان صرافها، فارغ التحصیل کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، قزوین، ایران،
key_sarrafha@yahoo.com
علیرضا علی‌نژاد، استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، دانشکده مهندسی صنایع و مکانیک، قزوین، ایران، alinezhad@qiau.ac.ir
*نویسنده مسئول مقاله:**دکترابوالفضل کاظمی**، استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، دانشکده مهندسی صنایع و مکانیک، قزوین، ایران،
abkaazemi@qiau.ac.ir

در این زنجیره تولید کنندگان با دسترسی به اطلاعات توزیع کنندگان، خود را برای تهیه به موقع نیازهای آن‌ها آماده می‌کنند و خرده فروشان نیز با کسب آخرین اطلاعات مربوط به مشتریان و بازار، تولیدکنندگان و توزیع کنندگان را در جهت طراحی، تولید و توزیع به موقع محصولات یاری می‌کنند [۲]. مدیریت زنجیره تأمین مجموعه‌ای است از راهکارها جهت یکپارچه سازی اعضای زنجیره (تامین‌کنندگان، تولید کنندگان، توزیع کنندگان، خرده فروشان و مشتریان) که هدف آن کاهش هزینه‌های سیستم و نیز افزایش سطح خدمت دهی به مشتریان است. 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 تأمین مجموعه‌ای از انبارش‌ها و حمل و نقل‌ها است [۳]. اتخاذ مناسب تصمیمات مناسب در سطوح مختلف شرکت‌ها و سازمان‌های خدماتی در اکثر زمینه‌های تجاری، صنعتی، اقتصادی و غیره به طور مکرر و همیشگی وجود داشته که این موضوع خود یکی از دلایل قدرتمند به منظور ارائه مدل‌های مناسب و کاربردی مسائل زنجیره تامین بوده و باعث هرچه نزدیکتر شدن مسائل به

شرایط دنیای واقعی می‌گردد. تصمیمات مربوط به انتخاب تامین کنندگان، مکانیابی مراکز تولیدی و انبارهای لجستیکی[۲]، برنامه-ریزی مسائل تولید – توزیع[۳]، حمل و نقل و توزیع، تولید – موجودی، ارزیابی مشتریان و غیره از جمله این مسائل هستند.هسته اصلی مسائل مدیریت زنجیره تأمین مربوط به برنامه ریزی تولید و توزیع است. اتخاذ تصمیماتی که سازنده جهت تولید کالای سفارش شده و زمان و تعداد آن به منظور برآورده کردن نیاز مشتری خواهد گرفت، برنامه‌ریزی تولید در زنجیره تامین است. همچنین، مساله برنامه‌ریزی توزیع در زنجیره تامین نیز در برگیرنده ی 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 [۴]. در ادامه به بررسی ادبیات موضوع در حوزه مسئله برنامه‌ریزی یکپارچه تولید – توزیع می‌پردازیم.

۲. مروری بر ادبیات موضوع

توجه مدیران در برنامه‌ریزی زنجیره تأمین از دیرباز بیشتر بر 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 تحقیقات موجود در مدل‌های یکپارچه زنجیره تامین نیز به تصمیم‌گیری همزمان در مورد تولید و توزیع پرداخته‌اند که در برخی مقالات این مسائل تحت عنوان مسائل برنامه ریزی تولید – توزیع مطرح می‌گردند. [۵] مرور ادبیات کاملی از مساله برنامهریزی تولید- توزیع در زنجیره تامین انجام دادند. در این راستا [۶] سیستم‌های یکپارچه تولید-توزیع با تقاضاهای تصادفی را مورد مطالعه قرار دادند. آنها یک مدل زنجیره‌ی تامین که ترکیبی از مواد اولیه، محصولات نیمه ساخته و نهایی کارخانه‌ها، مراکز توزیع، انبارها و مشتریان بود را ارایه کردند. [۷] مدلی با عنوان برنامه‌ریزی یکپارچه تولید و توزیع ارایه کردند. جهت مقایسه کارایی، مدل‌ها 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. تابع هدف این مدل به دنبال حداقل کردن هزینهکل شامل هزینه‌های راه‌اندازی، تولید، حمل و نقل محصولات تولیدی به خرده فروشان و هزینه‌های موجودی می‌باشد.[۸] یک مساله تولید - توزیع در یک محیط چندتسهیلاتی، چندمحصولی و چندپریودی را در نظر گرفتند. مساله به صورت مساله جریان شبکه با هدف تطبیق محصولات با خطوط تولید برای کمینه‌سازی هزینه‌های مرتبط مدل‌سازی شده است. [۹] شبکه زنجیره تامینی شامل تامین‌کنندگان، کارخانجات و مراکز توزیع را مورد بررسی قرار داده‌اند. تصمیماتی که باید در این شبکه اتخاذ شوند شامل راه‌اندازی کارخانجات و مراکز توزیع، میزان تولید و حمل محصولات است. ماکزیمم تعداد کارخانجات و مراکز توزیعی که می‌توانند باز باشند و ظرفیت کارخانجات، مراکز توزیع و تامین کنندگان محدودیت دارد و تابع هدف بصورت مینیمم کردن هزینه‌ها بیان می‌شود. برای حل این مدل از روش الگوریتم ژنتیک بر اساس درخت فراگیر[۴] استفاده شده و اعتبار این روش با مقایسه آن با روش سنتی الگوریتم ژنتیک سنجیده شده است.[۱۰] شبکه‌ای را با تعدادی تولید کننده در نظر گرفته‌اند که باید تقاضای مشتریان را با ظرفیت تولیدی محدود به طور کامل تأمین کنند و کمبود کالا مجاز نیست. در این سیستم باید در مورد میزان حمل کالا تصمیم‌گیری شود. توابع هدف چندگانه‌ای شامل کمینه کردن هزینه‌ها، کمینه کردن کل زمان تحویل بعنوان سطح خدمت به مشتریان و تعادل در استفاده از ظرفیت تولید بین کارخانجات در نظر گرفته شده است. از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی برای وزن‌دهی به اهداف و از الگوریتم ژنتیک برای حل مدل خطی استفاده می‌شود. [۱۱] از یک نگرش الگوریتم ژنتیک به منظور حل مساله‌ی برنامه‌ریزی تولید- توزیع در یک سیستم چند سطحی زنجیره‌ی تامین استفاده کردند. آنها از دو سناریو برای حل *PDPD*[۵] 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. [۱۲] یک مدل خطی برنامه‌ریزی تولید- توزیع یکپارچه‌ی چند هدفه با چندین سطح، چندین محصول و در چندین دوره‌ی زمانی ارایه دادند. آنها به-منظور انعکاس اثر مسائل برناریزی یکپارچه بر روی مدل و فراهم آوردن ساختاری واقعی برای آن، سطوح تصمیم گیری غیر دقیق تصمیم‌گیرنده برای اهداف را با استفاده از رویکرد برنامه‌ریزی آرمانی فازی مدنظر قرار دادند. ساختار زنجیره تامین پیشنهادب آن‌ها غیر متمرکز است و به یک مدل تک هدفه با محدودیت تبدیل می‌شود و سپس با استفاده از سه الگوریتم فرا ابتکاری به حل آن پرداختند. یک الگوریتم ژنتیک برای حل مسئله دارای محدودیت پیشنهاد شده و نتایج آن با دو الگوریتم ژنتیک و بهینه‌سازی اجتماع ذرات با استفاده از تابع جریمه مقایسه می-شود. 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. [۱۳] نیز با توسعه یک الگوریتم بهینه سازی 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 هزینه‌های 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. [۱۴] یک مسئله برنامه‌ریزی تولید – توزیع دو سطحی را با در نظر گرفتن همزمان هزینه، پاسخ‌دهی و سطح خدمت به مشتری ارایه دادند. آن‌ها به‌منظور حل مدل از دو روش ε- محدودیت و لکسیکوگراف استفاده نمودند.

قابل ذکر است که در ادبیات مسائل برنامه‌ریزی تولید- توزیع، عمده کارهای مطالعه شده یا به صورت تک‌هدفه بوده و یا از رویکرد یکپارچه‌سازی برای حل مدل چندهدفه استفاده نموده اند. لذا ما در این تحقیق با ارائه مدلی در یک زنجیره تامین چند سطحی که علاوه بر کمینه‌کردن کل هزینه‌های زنجیره، مقدار فروش از دست رفته محصولات توسط خرده‌فروشان برای مشتریان را به حداقل می‌رساند، از رویکرد پارتو جهت حل مسئله یکپارچه تولید- توزیع استفاده می‌کنیم که در راستا از یک الگوریتم بهینه‌سازی اجتماع ذرات چند هدفه[۶] استفاده کرده و نتایج آن را با الگوریتم ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب‌ها[۷] مقایسه نموده‌ایم که ادامه به بررسی مفاهیم آن خواهیم پرداخت.

مابقی ساختار مقاله بدین صورت می‌باشد که در بخش سوم با تعریف فرضیات، پارامترها و متغیرهای تصمیم به بیان مسائل و تشریح مدل پیشنهادی می‌پردازیم. در بخش چهارم روش‌های حل پیشنهادی شرح داده می‌شود. در بخش پنجمیک 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 تحقیقات آتی ارائه خواهد شد.

۳. بیان مسئله

پس از ارایه مقدمه و پیشینه تحقیق، در این بخش ابتدا مسئله یکپارچه تولید- توزیع پیشنهادی تشریح شده، سپس فرضیات، پارامترها و متغیرهای تصمیم تعریف می‌شوند و در ادامه به ارایه مدل دو هدفه تولید- توزیع در یک زنجیره تامین چهار سطحی می‌پردازیم.

مدلی که در اینجا مدنظر است یک شبکه زنجیره تامین یکپارچه شامل تولیدکننده، مرکز توزیع، خرده‌فروش و مشتری نهایی است. در مرحله اول محصولات در کارخانه‌های تولیدی در صورت تولید در دوره مربوطه ساخته می‌شوند. مرحله دوم در صورت ارتباط مراکز تولید و توزیع با یکدیگر، محصولات تولیدی توسط تولیدکنندگان به توزیع کنندگان ارسال می‌گردد. در مرحله سوم در صورت ارتباط بین مراکز توزیع و خرده‌فروشان، محصولات توسط توزیع کنندگان به خرده‌فروشان ارسال می‌گردد. و در نهایت محصولات نهایی توسط خرده‌فروشان به مشتریان عرضه می‌شود. در این مدل تخصیص بهینه سطوح زنجیره به یکدیگر و بدست آوردن مقادیر بهینه تولید، توزیع، حمل و نگهداری به منظور به کمینه‌کردن کل هزینه‌های زنجیره و به حداقل رساندن مقدار فروش از دست رفته محصولات در صورت کمبود برای مشتریان از سوی خرده‌فروشان مد نظر قرار گرفته است. مدل پیشنهادی در سطح استراتژیک و تاکتیکی مورد بررسی قرار گرفته است.

۳-۱. فرضیات

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

یک زنجیره تامین چهار سطحی شامل تولید کنندگان، مراکز توزیع، خرده‌فروشان و مشتریان در نظر گرفته شده است. تصمیمات برای چندین نوع محصول و در چندین دوره زمانی در نظر گرفته شده است. ظرفیت نگهداری موجودی برای مراکز تولید، توزیع و خرده فروش در نظر گرفته شده است. از یک ظرفیت حمل و نقل برای تمامی سطوح استفاده شده است. هر تولید کننده می‌تواند محصولات مختلفی را بسازد و حتی می‌تواند تمامی محصولات را تولید نماید. از یک ظرفیت تولید به منظور ساخت محصولات در کارخانه‌ها استفاده شده است.

۳-۲. نمادها و پارامترها

p: تعداد تولید کنندگان$(p=1,2,\ldots,P)$

d: تعداد توزیع کنندگان$(d=1,2,\ldots D)$

r: تعداد خرده فروشان$(r=1,2,\ldots,R)$

c: تعداد مشتریان$(c=1,2,\ldots,C)$

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

i: تعداد محصولات$(i=1,2,\ldots I)$

DE_{cit}: تقاضای محصولiتوسط مشتریcدر دوره‌یt

CSE_{pit}: هزینه آماده‌سازی تولید محصولiتوسط تولید کنندهpدر دوره‌یt

CSE_{pit}: هزینه آماده‌سازی تولید محصول iتوسط تولید کننده pدر دوره‌ی t

CP_{pit}: هزینه تولید محصول iتوسط تولید کننده pدر دوره‌ی t

CP_{pdit}:هزینه خرید محصول iاز تولید کننده pتوسط توزیع کننده dدر دوره t

CP_{drit}:هزینه خرید محصول iاز توزیع کننده dتوسط خرده فروش rدر دوره t

CH_{pit}: هزینه نگهداری موجودی هر واحد محصول iتوسط تولیدکننده pدر دوره‌ی t

CT_{pdit}: هزینه حمل هر واحد محصول iاز تولید کننده pبه توزیع کننده dدر دوره‌ی t

CT_{drit}: هزینه حمل هر واحد محصول iاز توزیع کننده dبه خرده فروش rدر دوره‌ی t

CT_{rcit}: هزینه حمل هر واحد محصول iاز خرده فروش rبه مشتری cدر دوره‌ی t

CH_{dit}: هزینه نگهداری موجودی هر واحد محصول iتوسط توزیع کننده dدر دوره‌ی t

CPT_{pdt}: ظرفیت حمل و نقل محصولات از تولید کننده pبه توزیع کننده dدر دوره t

CPT_{drt}: ظرفیت حمل و نقل محصولات از توزیع کننده dبه خرده فروش rدر دوره t

CPT_{rct}: ظرفیت حمل و نقل محصولات از خرده فروش rبه مشتری cدر دوره‌ی t

CPP_{pit}: ظرفیت تولید محصول iتوسط تولید کننده pدر دوره t

CPD_{pit}: ظرفیت کارخانه pبرای موجودی محصول iدر دوره t

CPD_{dit}: ظرفیت مرکز توزیع dبرای موجودی محصول iدر دوره t

CH_{rit}: هزینه نگهداری موجودی هر واحد محصول iتوسط خرده فروش rدر دوره‌ی t

CPD_{rit}: ظرفیت خرده فروش rبرای موجودی محصول iدر دوره t

۳-۳. متغیرهای تصمیم

QP_{pit}: مقدار تولید برای محصول iتوسط تولید کننده pدر دوره t

QS_{pdit}: مقدار تأمین برای محصول iاز تولید کننده pبه توزیع کننده dدر دوره t

QS_{drit}: مقدار تأمین برای محصول iاز توزیع کننده dبه خرده فروش rدر دوره t

I_{pit}: موجودی محصول iبرای تولید کننده pدر دوره t

I_{dit}: موجودی محصول iبرای توزیع کننده dدر دوره t

I_{rit}: موجودی محصول iبرای خرده فروش rدر دوره t

QS_{rcit}: مقدار تأمین محصول iبرای خرده فروش rاز مشتری cدر دوره t

QLS_{cit}: مقدار فروش از دست رفته محصول iبرای مشتری cدر دوره t

W_{pit}: برابر است با یک اگر محصول iتوسط تولید کننده pدر دوره tتولید گردد در غیر این‌صورت صفر

X_{pdt}:برابر است با یک اگر انتقالی از تولید کننده pبه مرکز توزیع dدر دوره tصورت گیرد در غیر این صورت صفر

X_{drt}:برابر است با یک اگر انتقالی از مرکز توزیع dبه خرده فروش rدر دوره tصورت گیرد در غیر این صورت صفر

X_{rct}:برابر است با یک اگر انتقالی از خرده فروش rبه مشتری cدر دوره tصورت گیرد در غیر این صورت صفر

۳-۴. توابع هدف و متغیرها

مدل پیشنهادی دارای دو هدف می‌باشد که تابع هدف اول در رابطه (۱) کل هزینه‌های زنجیره شامل: هزینه‌های آماده‌سازی و تولید محصولات، نگهداری موجودی محصولات در کارخانه‌ها، هزینه‌های خرید و حمل محصولات نهایی از کارخانه‌ها به مراکز توزیع، هزینه نگهداری موجودی محصول در مراکز توزیع، هزینه خرید و حمل محصولات از مراکز توزیع به خرده فروشان، هزینه نگهداری موجودی محصول در مراکز خرده فروش و هزینه حمل محصولات از خرده فروشان به مشتریان را کمینه می‌کند. تابع هدف دوم در رابطه (۲)، مقادیر فروش از دست رفته محصولات برایمشتریان، در صورت کمبود را به حداقل می‌رساند.

$$Min\ Z_1 = \sum_{p=1}^{P}\sum_{i=1}^{I}\sum_{t=1}^{T} CSE_{pit} \times W_{pit} + \sum_{p=1}^{P}\sum_{i=1}^{I}\sum_{t=1}^{T} CP_{pit} \times QP_{pit}$$
$$\sum_{p=1}^{P}\sum_{i=1}^{I}\sum_{t=1}^{T} CH_{pit} \times I_{pit} + \sum_{p=1}^{P}\sum_{d=1}^{D}\sum_{i=1}^{I}\sum_{t=1}^{T} CP_{pdit} \times QS_{pdit}$$
$$\sum_{p=1}^{P}\sum_{d=1}^{D}\sum_{i=1}^{I}\sum_{t=1}^{T} CT_{pdit} \times QS_{pdit} + \sum_{d=1}^{D}\sum_{i=1}^{I}\sum_{t=1}^{T} CH_{dit} \times I_{dit} \qquad (۱)$$
$$\sum_{d=1}^{D}\sum_{r=1}^{R}\sum_{i=1}^{I}\sum_{t=1}^{T} CT_{drit} \times QS_{drit} + \sum_{d=1}^{D}\sum_{r=1}^{R}\sum_{i=1}^{I}\sum_{t=1}^{T} CP_{drit} \times QS_{drit}$$
$$\sum_{r=1}^{R}\sum_{i=1}^{I}\sum_{t=1}^{T} CH_{rit} \times I_{rit} + \sum_{r=1}^{R}\sum_{c=1}^{C}\sum_{i=1}^{I}\sum_{t=1}^{T} CT_{rcit} \times QS_{rcit}$$

$$Min\ Z_2 = \sum_{c=1}^{C}\sum_{i=1}^{I}\sum_{t=1}^{T} QLS_{cit} \qquad (۲)$$

S.t.

$$\sum_{i=1}^{I} QS_{pdit} \le CPT_{pdt} \times X_{pdt} \qquad \forall p,d,t \qquad (۳)$$

$$\sum_{i=1}^{I} QS_{drit} \le CPT_{drt} \times X_{drt} \qquad \forall d,r,t \qquad (۴)$$

$$\sum_{i=1}^{I} QS_{rcit} \le CPT_{rct} \times X_{rct} \qquad \forall r,c,t \qquad (۵)$$

$$QP_{pit} \le CPP_{pit} \times W_{pit} \qquad \forall p,i,t \qquad (۶)$$

$$I_{pit} \le CPD_{pit} \qquad \forall p,i,t \qquad (۷)$$

$$I_{dit} \le CPD_{dit} \qquad \forall d,i,t \qquad (۸)$$

$$I_{rit} \le CPD_{rit} \qquad \forall r,i,t \qquad (۹)$$

$$\sum_{r=1}^{R} QS_{rcit} \le DE_{cit} \qquad \forall c,i,t \qquad (۱۰)$$

$$I_{pit} = I_{pit-1} + QP_{pit} - \sum_{d=1}^{D} QS_{pdit} \qquad \forall p,i,t \qquad (۱۱)$$

$$I_{dit} = I_{dit-1} + \sum_{p=1}^{P} QS_{pdit} - \sum_{r=1}^{R} QS_{drit} \qquad \forall d,i,t \qquad (۱۲)$$

$$I_{rit} = I_{rit-1} + \sum_{p=1}^{P} QS_{drit} - \sum_{c=1}^{C} QS_{rcit} \qquad \forall r,i,t \qquad (۱۳)$$

$$QLS_{cit} = DE_{cit} - \sum_{r=1}^{R} QS_{rcit} \qquad \forall c,i,t \qquad (۱۴)$$

$$QP_{pit}, I_{pit}, I_{dit}, I_{rit}, QS_{pdit}, QS_{drit}, QS_{rcit}, QLS_{cit} \ge 0 \qquad (۱۵)$$

$$W_{pit}, X_{pdt}, X_{drt}, X_{rct} \in \{0,1\} \qquad (۱۶)$$

$$I_{pi0}, I_{di0}, I_{ri0} = 0 \qquad (۱۷)$$

محدودیت‌های (۳)، (۴) و (۵) نشان‌دهنده مقدار محصول iارسال شده در دوره‌های مختلف با توجه به ظرفیت حمل و نقل و در صورت انتقال از آن‌ها بین سطوح مختلف می‌باشد. محدودیت (۶) اطمینان می‌دهد که مقدار تولید محصول i در صورت تولید در کارخانه p و در دوره t و در صورت تولید در آن دوره، حداکثر به اندازه ظرفیت تولید می‌باشد. محدودیت (۷)، (۸) و (۹) نشان دهنده ظرفیت کارخانهp، مرکز توزیع dو خرده فروش r برای نگهداری محصول نهایی در دوره t است. محدودیت (۱۰) اطمینان می‌دهد که محصولات ارسالی از خرده فروشانبه تمامی مشتریان، حداکثر به اندازه تقاضای آنان از محصولات در دوره tاست. محدودیت‌های (۱۱)، (۱۲) و (۱۳) بیانگر محدودیت‌های تعادلی نگهداری موجودی محصول iدر سطوح تولید کننده، توزیع کنندهو خرده فروش است. به طور نمونه در محدودیت (۱۱) میزان موجودی محصول iدر کارخانهp و در دوره t برابر است با موجودی محصول در دوره قبل به اضافه مقدار تولید آن محصول در کارخانه p در دوره t منهای مقدار محصول iای که از تولید کننده p به تمامی توزیع کنندگان در دوره t است. رابطه (۱۴) محدودیت مربوط به کمبود فروش از دست رفته محصول i برای مشتری c می‌باشد. روابط (۱۵) و (۱۶) نیز غیر منفی و صفر و یک بودن متغیرهای تصمیم را نشان می‌دهد. رابطه (۱۷) نیز بیانگر این است که موجودی محصولiدر مراکز تولید، توزیع و خرده فروشی در ابتدای دوره برابر صفر است.

۴. متدولوژی حل

پس از ارایه مدل پیشنهادی، روش‌های مورد استفاده جهت حل مدل از جمله مباحث مهم در ادبیات مسائل بهینه‌سازی است. از آنجائیکه این نوع مسائل از رسته مسائل NP-Hardهستند، به دلیل پیچیده بودن مدل، زمان محاسباتی روش‌های حل دقیق به شدت بالا بوده و در اغلب موارد ناتوان در حل این نوع مسائل هستند [۵، ۱۱، ۱۲]. 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 مسئله افزوده است. بدین منظور به عنوان یکی از پرکاربردترین ابزارهای حل این مدل‌ها، از الگوریتم-های فرا ابتکاری چندهدفه برای حل این نوع مسائل بهره جسته-ایم. در این تحقیق یک الگوریتم بهینه‌سازی اجتماع ذرات چندهدفه ارائه داده می‌شود و نتایج حاصله با الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب‌ها مقایسه می‌گردد.

۴-۱. بهینه سازی چند هدفه

امروزه بسیاری از مسائل کاربردی در جهان واقعی را مسائل بهینه‌سازی ترکیباتی چند هدفه تشکیل می‌دهند 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 تأمین 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. بدین ترتیب بهینه‌سازی چند هدفه نه تنها به دلیل ماهیت چند هدفه مسائل دنیای واقعی، بلکه به دلیل اینکه هنوز سوالات بدون جواب متعددی در این زمینه وجود دارد، می‌تواند از جمله تحقیقات مهم تلقی شود.

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 اغلب اینگونه مسائل تعدادی جواب قابل قبول بر اساس معیارهای نامغلوبی بدست می‌آید. بنابراین جواب نهایی به شکل دسته‌ای از جواب‌ها[۸] است که نماینده موازنه‌ای[۹] از توابع هدف مختلف مسئله است. در نهایت یکی از جواب‌ها به عنوان جواب مرجح توسط

تصمیم گیرنده انتخاب می‌شود [۱۵]. یک مسئله بهینه سازی چند هدفه کلی را می‌توان به صورت رابطه (۱۸) تعریف کرد:

$$\begin{aligned} &Minimize\ f(x)=\left[f_1(x),\ f_2(x),\ ...,\ f_Q(x)\right] \\ &Subject\ to: \\ &\quad x\in X \end{aligned} \qquad (۱۸)$$

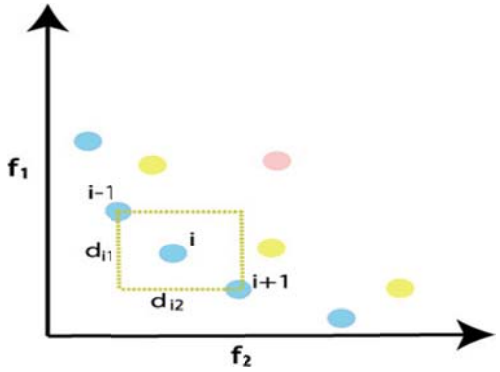
که $X\subseteq R^Q$ فضای حل موجه مسئله و $x=\{x_1, x_2, ..., x_p\}$ مجموعه متغیرهای تصمیم در فضای p بعدی است. از بین این مجموعه حل‌های متناهی حل مناسب جواب‌هایی خواهد بود که عملکرد قابل قبولی را نسبت به همه اهداف داشته باشد. حل مسائل چند هدفه با رویکرد پارتو از دسته مسائل پیچیده‌تر در حل مسائل چند هدفه می‌باشند. علت این است که معمولاً جواب بهینه خاصی برای این روش‌ها بدست نمی‌آید [۱۵].

برای انجام مقایسات مناسب در بهینه‌سازی چند هدفه از مفهوم غلبه استفاده می‌کنند بدین صورت که فرض کنید F کل فضای موجه مسئله باشد و $x_1, x_2\in F$ دو جواب از این مسئله باشد، می‌گوییم 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 $\left(f_i(x_1)< f_i(x_2)\right)$. به عبارت دیگر حل‌های نامغلوب حل‌هایی هستند که جواب‌های دیگر را پوشش می‌دهند ولی خودشان توسط حل‌های دیگر پوشش داده نمی‌شوند. حال با توجه به این مفهوم دو اپراتور به الگوریتم‌های تک هدفه‌اضافه شده و به الگوریتم‌های چند هدفه شهرت یافته‌اند، که این دو اپراتور مرتب سازی سریع نامغلوب‌ها[۱۰] و فاصله ازدحامی[۱۱] می‌باشند [۱۵].

۴-۲. مرتب سازی نامغلوب‌ها و فاصله ازدحامی

در این بخش رتبه‌بندی جمعیت با استفاده از دو مفهوم مرتب سازی سریع نامغلوب‌ها و فاصله ازدحامی مورد مقایسه قرار می‌گیرند. در مرتب‌سازی سریع نامغلوب‌ها رتبه‌بندی جمعیت بر اساس نامغلوب‌ها با استفاده از مفهوم غلبه صورت می‌گیرد. به طور 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 گردد. 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 می‌گردد. این فرآیند تا زمانی که تمام جواب‌ها درون مرزهای نامغلوب قرار گیرند ادامه می‌یابد [۱۶].

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. به‌منظور 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، راس-های آن مستطیل باشند را در نظر می‌گیریم و مجموع یک طول و یک عرض آن را به عنوان فاصله ازدحامی برای آن جواب خاص بدست می‌آوریم. شکل (۲) نحوه نمایش محاسبات مربوط به فاصله ازدحامی $\left(i_{distance}\right)$ برای عضو دلخواه i از یک مرز غیر مغلوب را نشان می‌دهد [۱۶]. برای محاسبه فاصله ازدحامی، ابتدا باید افراد جمعیت براساس مقدار تابع هدف به‌صورت صعودی مرتب شوند. سپس جواب‌های موجود در ابتدا و انتهای هر مرز (جواب‌های با بیشترین و کمترین مقدار تابع هدف) مقدار فاصله ازدحامی بی‌نهایت به خود می‌گیرند.



شکل ۲. محاسبه فاصله ازدحام[۱۶]

در این الگوریتم، $n[j]_{distance}$ نشان دهنده مقدار تابع هدف mام برای iامین عضو مجموعه n می‌باشد. 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 [۱۶].

۴-۳. بهینه سازی اجتماع ذرات چند هدفه

الگوریتم بهینه‌سازی اجتماع ذرات از رفتار اجتماعی دسته پرندگان یا گروه ماهی‌ها در حین جستجوی غذا، برای هدایت جمعیت به نقطه امید بخش در فضای جستجو بهره می‌جوید. از آنجائیکه قوانین منطقی خاصی بر نحوه رفتار موجودات اجتماعی

حکم فرمایی می‌کند، پرندگان تنها با تنظیم حرکت فیزیکی خود با اجتناب از تصادف به دنبال غذا می‌گردد و بطور تئوری هر پرنده به عنوان یکی از اعضای گروه از تجربه قبلی خود و یافته‌های سایر اعضا برای یافتن غذا بهره می‌برد. این مشارکت یک مزیت قطعی بر جستجوی رقابتی برای یافتن غذا می‌باشد که پایه اصلی PSO همین تسهیم اطلاعات بین اعضا گروه است [۱۷]. از موارد استفاده این الگوریتم در حل مسائل دنیای واقعی می‌توان به Behroozi و [۱۸Eshghi] در حل مسئله زمانبندی کار کارگاهی با زمان‌های آماده سازی وابسته به توالی،-Ranjbar Bourani و همکاران [۱۹] در طراحی سیستم تولید سلولی، و Amiri و همکاران [۲۰] در یک مسئله زمان بندی کارگاه باز اشاره نمود.

۴-۳-۱. تعریف پارامترها و اجزای بکار رفته در الگوریتم

الگوریتمPSOبرای یافتن جواب بهینه در فضای مسئله با بروز کردن موقعیت و سرعت هر ذره به جستجو می‌پردازد. هر ذره به صورت چند بعدی با دومقدار V_{i-d} و X_{i-d} که به ترتیب معرف سرعت و مکان مربوط بهبعدdام ذره iام هستند تعریف می‌شود. در هر مرحله از حرکت جمعیت، هر ذره با توجه به دو مقدار بهترین جواب فردی ($pbest_{i-d}$)و بهترین جواب کلی ($gbest_d$) بروز می‌شود. از آنجاییکه در چارچوب بهینه‌سازی چند هدفه gbestیا همان بهترین جواب کلی نمی‌تواند تعریف گردد، لذا از یک سطح بایگانی جواب‌های غیر مغلوب به نام مخزن استفاده می‌شود و دسته ذرات به صورت تصادفی از مخزن انتخاب می‌گردند. اعضای مخزن آنهایی هستند که در فضای جستجو با ناحیه ازدحامی کمتر، شانس بیشتری برای انتخاب شدن به صورت دسته را دارند. یک ساختار مبتنی بر شبکه مطابق MOPSO، یک معیار تراکم تاکنون برای کاوش در فضای جستجو را می‌دهد [۲۱].

۴-۳-۲.جمعیت اولیه

در این قسمت به‌منظور طراحی جواب، از متغیرهای ساختاری[۱۲] استفاده نموده‌ایم. بدین صورت که هریک از ساختارهای موجود در جواب‌های[۱۳] ایجاد شده، مبین یکی از ویژگی‌های جواب نیز می‌باشد. ساختار مربوط به متغیرهای مسئله به قرار ذیل در شکل ۳ می‌باشند:

$$\begin{bmatrix} X_{pdt}:[p\times d\times t\ double]\ ; & QS_{pdit}:[p\times d\times i\times t\ double] \\ X_{drt}:[d\times r\times t\ double]\ ; & QS_{drit}:[d\times r\times i\times t\ double] \\ X_{rct}:[r\times c\times t\ double]\ ; & QS_{rcit}:[r\times c\times i\times t\ double] \\ W_{pit}:[p\times i\times t\ double]\ ; & QP_{pit}:[p\times i\times t\ double] \\ I_{pit}:[p\times i\times t\ double]\ ; & I_{dit}:[d\times i\times t\ double] \\ I_{rit}:[r\times i\times t\ double]\ ; & QLS_{cit}:[c\times i\times t\ double] \end{bmatrix}$$

شکل ۳. ساختار جواب‌های مسئله

به عنوان نمونه در مورد ساختار جواب مربوط به QS_{drit}، در صورتی‌که مرکز توزیع dبه خرده فروش rدر دوره tاختصاص یابد محصول نوع iاز مرکز توزیعdبه خرده فروش rدر دوره t(۶=tفرض شده است) با توجه به ظرفیت حمل آن انتقال می‌یابد. نمونه ساختار تشریح شده در شکل (۴) نشان داده شده است.

برای نمونه در مورد دو ساختار نشان داده شده در شکل (۴)، $Solution.X_{drt}$ماتریس‌هایی به ابعاد d، r و t به صورت صفر و یک است که در صورت ارتباط بین تمرکز توزیع d با خرده‌فروش r در دوره t هر درایه از آن مقدار یک و در غیر این‌صورت مقدار صفر به خود خواهد گرفت. $Solution.QS_{drit}$ ماتریس‌هایی به ابعادd، r، i و t و در برگیرنده مقادیر ارسالی محصول نوع iاز مراکز توزیع به خرده‌فروشان در دوره مربوطه است. بدین ترتیب- که اگر ارتباطی از مرکز توزیع d با خرده‌فروش p در دوره t صورت پذیرد، مقدار محصولی که از هر مرکز توزیع برای هر خرده‌فروش در دوره t تامین می‌گردد حداکثر به اندازه ظرفیت حمل آن از مرکز توزیع به خرده‌فروش در دوره مربوطه می‌باشد. حال تا جایی‌که مجموع مقدار محصول ارسالی بیشتر از ظرفیت حمل باشد، یک مرکز توزیع به ترتیب به صورت تصادفی انتخاب شده و به اندازه ماکزیمم مجموع این اختلاف از مقدار ارسالی محصول از مرکز توزیع به خرده‌فروش در آن دوره و مقدار صفر به‌دلیل غیرمنفی بودن و تولید جواب‌های موجه، محصول برای خرده فروش تامین می‌گردد.

۴-۳-۳.مراحل تکرار الگوریتم

پس از مقداردهی اولیه مکان و سرعت هر ذره نوبت به تکرار الگوریتم می‌رسد تا شرط توقف مسئله برآورده گردد. مراحل به قرار زیر می‌باشند:

۱- ارزیابی هریک از ذرات. ۲- ذخیره مکانی ذراتی که بردارهای نامغلوب ارایه می‌دهند (در مخزن REP). ۳- تولید مکعب‌های چند بعدی و قرار دادن ذرات در این مکعب‌ها (برای مثال اگر دو تابع هدف وجود داشته باشد هر محور شامل یک تابع هدف است). ۴- ارزش‌دهی دوباره حافظه هر ذره (این حافظه برای هر ذره به عنوان یک راهنما برای حرکت می‌باشد و همچنین این حافظه در مخزن REP ذخیره می‌شود) به‌طوریکه:

الف) برای ذره $i=0$ تا $i=MAX$

ب) $Pbest[i]=POP[i]$

۵- تا زمانی‌که حداکثر تکرارها بدست نیامده قدم‌های زیر را انجام می‌دهیم:

الف) سرعت هر ذره با رابطه (۱۹) محاسبه می‌شود:

$$VEL[i]=w\times VEL[i]+c_1r_1\left(Pbest[i]-POP[i]\right)+c_2r_2\left(REP[h]-POP[i]\right) \quad (۱۹)$$

$Pbest[i]$ بهترین مکانی است که ذره i تا این لحظه پیدا کرده است. $REP[h]$ مقداری است که از مخزن گرفته می‌شود، از آنجایی‌که همگرایی الگوریتم به شدت وابسته به پارامترهای اصلی آن شامل w، c_1 و c_2 می‌باشد، تصمیم بر آن شد تا جهت افزایش کارایی الگوریتم، پارامترها در بهترین مقدار خود تنظیم شوند. یکی از کاراترین روش‌های ارایه شده در بکارگیری پارامترهای الگوریتم، طرح تطبیقی[۱۴] است که توسط کلرک و کندیارایه شد [۲۲]. همچنین از یک ضریب اینرسی w_{damp} نیز استفاده کرده‌ایم.روند محاسبه پارامترهای اصلی در رابطه (۲۰) نشان داده شده است.

$$\begin{aligned}&\gamma=\frac{2}{\phi_1+\phi_2-2+\sqrt{\left(\phi_1+\phi_2\right)^2-4\times\left(\phi_1+\phi_2\right)}}\\&c_1=\gamma\times\phi_1\\&c_1=\gamma\times\phi_2\\&w=\gamma\\&w=w\times w_{damp}\end{aligned} \quad (۲۰)$$

که $\phi_1+\phi_2>4$ و بهترین مقدار در $\phi_1=\phi_2$ و $\phi_1+\phi_2=4.1$ بدست می‌آید.

ب) موقعیت هر ذره با اضافه‌کردن سرعت بدست آمده از مرحله قبل با رابطه (۲۱) بروز رسانی می‌شود.

$$POP[i]=POP[i]+VEL[i] \quad (۲۱)$$

ج) ذراتی در فضای جستجو که از حدودشان تخطی نمی‌کنند، نگهداری می‌شوند. د) هر ذره در POP ارزیابی می‌شود. ه) محتوای REP را با توجه به مختصات ذره در مکعب‌های چند بعدی بروز رسانی می‌شود. این بروز رسانی شامل اضافه‌کردن همه جواب‌های نامغلوب جاری به مخزن است.در این فرآیند هریک از جواب‌های مغلوب شده از مخزن حذف می‌شوند. از آنجایی‌که ظرفیت مخزن محدود است، هر زمانی که ظرفیت آن تکمیل شد معیار دومی را برای بقا بکار می‌بریم. ذراتی که در مکان‌هایی از فضای مخزن جواب با ازدحام کمتر جمعیت هستند اولویت بالاتری برای بقا دارند.

و) زمانی‌که موقعیت فعلی ذره بهتر از موقعیت شامل حافظه‌اش است، موقعیت ذره با استفاده از رابطه (۲۲) بروز می‌شود:

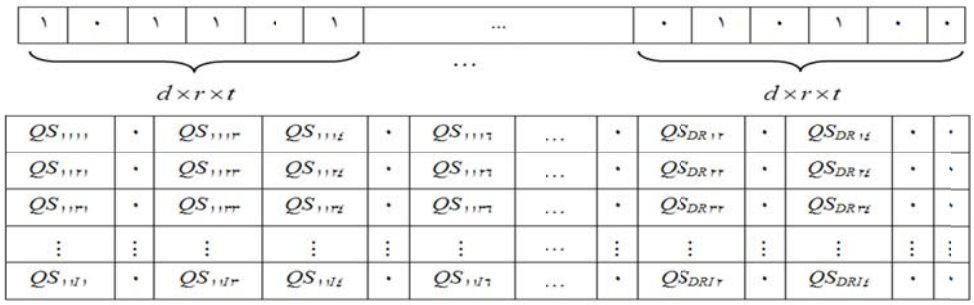
$$Pbest[i]=POP[i] \quad (۲۲)$$

معیار برای تصمیم‌گیری اینکه موقعیت کدام ذره از حافظه بایستی باقی بماند، به آسانی با پارتوی غالب بدست می‌آید (برای مثال اگر موقعیت جاری بوسیله موقعیت در حافظه مغلوب شود، موقعیت در حافظه حفظ می‌شود، در غیر این‌صورت موقعیت جاری با موقعیت حافظه جایگزین می‌شود و اگر هیچ‌کدام از آن‌ها توسط دیگری مغلوب نشوند یکی از آن‌ها را به تصادف انتخاب می‌کنیم).

ز) افزایش شمارنده حلقه.

۶- شرط توقف الگوریتم رسیدن تا تعداد تکرار معینی است.

لازم به ذکر است که به منظور جلوگیری از سرعت همگرایی بالای الگوریتم، از یک عملگر جهش با احتمال کاهشی از اوایل اجرای الگوریتم استفاده کرده‌ایم که یک نمونه از آن در شکل (۵) نشان داده شده است. همچنین، فلوچارت مراحل اجرای الگوریتم MOPSO پیشنهادی در شکل (۶) نشان داده شده است.



شکل ۴. ساختار مربوط به تامین محصولات از مراکز توزیع برای خرده‌فروشان

الگوریتم NSGA-II مورد استفاده عبارتند از: ۱- مقداردهی اولیه شامل اندازه جمعیت اولیه، احتمال عملگرهای تقاطع و جهش، و تعداد تکرار الگوریتم.

۲- ساختار و ارزیابی کروموزوم که مشابه با مقداردهی اولیه جواب‌ها در الگوریتم MOPSO است.

۳- مرتب‌سازی سریع نامغلوب‌ها و فاصله ازدحامی.

۴- نگهداری والدین.

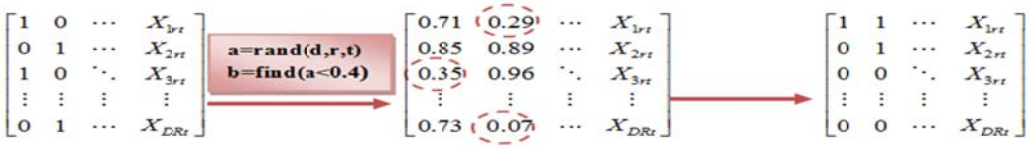
۵- استراتژی انتخاب بر اساس عملگر مسابقه ای صفر و یک[۱۵] بر مبنای درجه نامغلوب بودن و فاصله ازدحامی جواب.

۶- عملگرهای تقاطع و جهش که از تقاطع یکنواخت جهت تولید فرزندان استفاده شده است و عملگر جهش پیشنهادی نیز مشابه شکل (۵) می‌باشد.

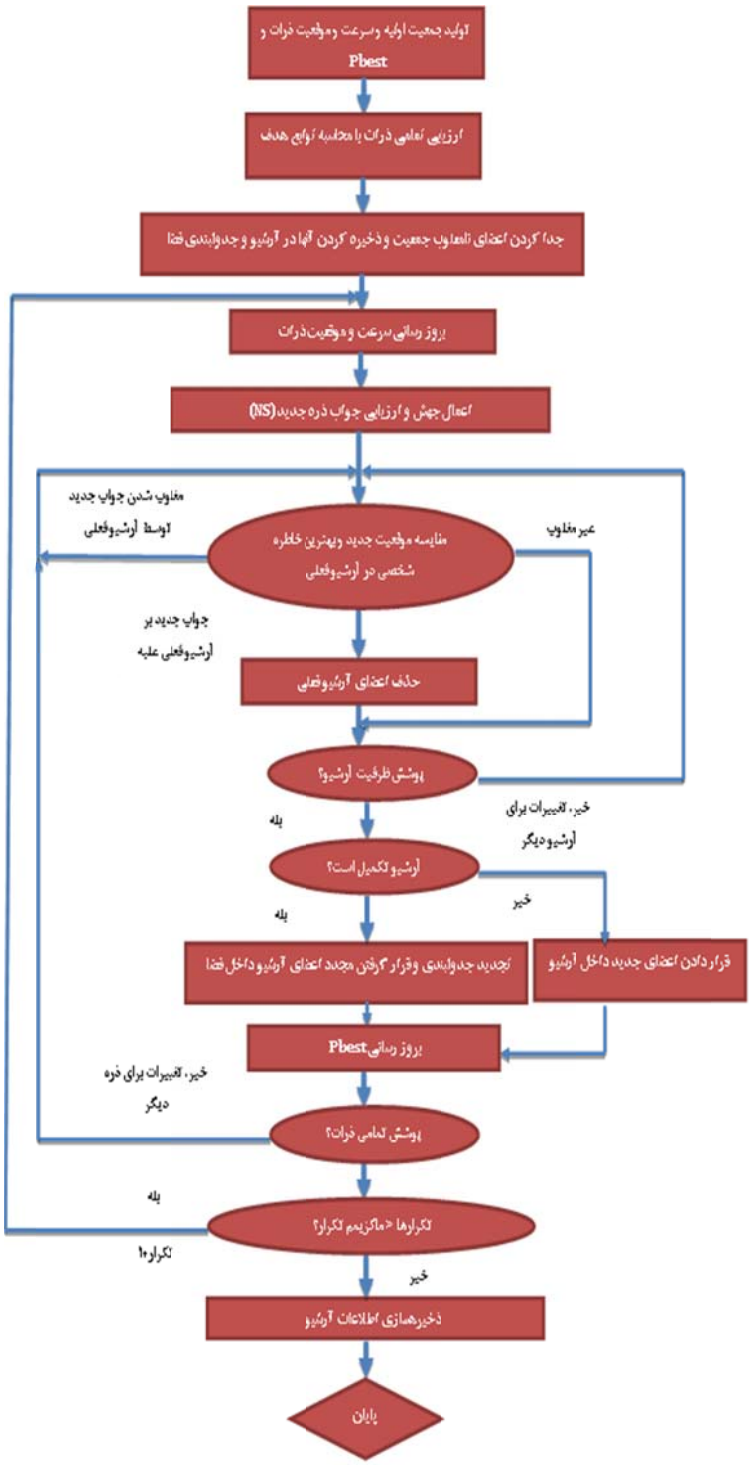
۷- ارزیابی فرزندان و ترکیب‌کردن با والدین که در این بخش مجموعه فرزندانی که از طریق عملگرهای تقاطع و جهش به وجود آمده‌اند را مورد ارزیابی قرار داده و به هریک از فرزندان یک میزان برازندگی اختصاص می‌دهیم.

۸- مرتب‌کردن نامغلوب‌ها و فاصله ازدحامی و مرتب کردن جمعیت و انتخاب کروموزوم‌ها.

۹- در نهایت معیار توقف است که الگوریتم زمانی متوقف می‌شود که به ماکزیمم مقدار از پیش تعریف شده برسد.



شکل ۵. نحوه اجرای عملگر جهش پیشنهادی برای یک نمونه جواب



شکل ۶. فلوچارت الگوریتم MOPSO پیشنهادی

۵. تجزیه و تحلیل نتایج

به منظور حل مدل پیشنهادی، دو الگوریتم فرا ابتکاری حل مسائل چند هدفه بر مبنای رویکرد پارتو شامل الگوریتم بهینه سازی اجتماع ذرات چند هدفه(MOPSO)و الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب (NSGA-II)ارایه شده است. در این بخش نتایج بدست آمده از پیاده‌سازی روش‌های حل پیشنهادی بر روی مسائل آزمایشی تولید شده مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. آزمایشات بر روی ۱۵ مسئله آزمایشی تولید شده در سه دسته سایز کوچک، متوسط و بزرگ با (I=۲، R=۴، D=۲، P=۳) و از ۴ الی ۸ منطقه مشتری در سایز کوچک، (I=۴، R=۶، D=۴، P=۵) و از ۹ الی ۱۳ منطقه مشتری در سایز متوسط،(I=۵، R=۹، D=۶، P=۸) و از ۱۴ الی ۱۸ منطقه مشتری در سایز بزرگ و همگی در ۶ دوره زمانی اجرا شده است. به‌منظور پیاده سازی مسائل، پارامترهای ورودی در جدول (۱) نشان داده شده است. پارامترهای الگوریتم‌های پیشنهادی نیز با اجراهای متوالی مطابق جداول (۲) و (۳) تنظیم گردیده‌اند. 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 Intel® Core ™ i5اجرا شده است.

جدول ۱. پارامترهای ورودی به‌منظور پیاده‌سازی مسائل

پارامتر	تابع توزیع	پارامتر	تابع توزیع
DE_{cit}	Uniform(400,600)	CT_{drit}	Uniform(12,20)
CT_{pdit}	Uniform(12,20)	CP_{drit}	Uniform(90,140)
CP_{pdit}	Uniform(60,100)	CH_{rit}	Uniform(12,18)
CP_{pit}	Uniform(20,30)	CT_{rcit}	Uniform(8,12)
CH_{pit}	Uniform(12,18)	CSE_{pit}	Uniform(5,10)
CH_{dit}	Uniform(12,18)		

جدول ۲. پارامترهای تنظیم شده NSGA-II

	نرخ تقاطع	نرخ جهش	اندازه جمعیت	تعداد نسل
NSGA-II	۰/۸۵	۰/۱	۱۰۰	۱۵۰

جدول ۳. پارامترهای تنظیم شده MOPSO

	w_{damp}	نرخ جهش	اندازه جمعیت	تعداد نسل	اندازه آرشیو
MOPSO	۰/۹۹	۰/۱	۵۰	۱۵۰	۵۰

۵-۱. معیارهای اندازه‌گیری برای مقایسه نتایج

در ادامه معیارهای استاندارد مقایسه جهت ارزیابی الگوریتم‌های چند هدفه با رویکرد پارتو ارایه 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 [۱۵]. در این بخش پنج معیار مقایسه جهت ارزیابی الگوریتم‌های بهینه سازی چند هدفه ارایه می‌شود.

این اهداف عبارتند از (۱) بیشترین گسترش[۱۶]: این معیار که توسط Zitzlerارایه شده است [۲۳]، در مدل دو هدفه ما، برابر با فاصله اقلیدسی بین دو جواب مرزی در فضای هدف می‌باشد. هرچه این معیار بزرگتر باشد، بهتر است. رابطه (۲۳) رویه محاسباتی این شاخص را نشان می‌دهد.

$$D=\sqrt{\sum_{j=1}^{m}\left(\max_{i} f_i^j-\min_{i} f_i^j\right)^2} \qquad (۲۳)$$

(۲) فاصله گذاری[۱۷]: این معیار که توسط Schott ارایه شد [۲۴]، میزان فاصله نسبی جواب‌های متوالی را با استفاده از رابطه (۲۴) محاسبه می‌کند.

$$S=\sqrt{\frac{1}{|n-1|}\sum_{i=1}^{n}\left(d_i-\bar{d}\right)^2} \qquad (۲۴)$$

که $\bar{d}=\sum_{i=1}^{n}\frac{d_i}{|n|}$ و $d_i=\underbrace{\min}_{k\in n\ \Lambda\ k\neq 1}\sum_{m=1}^{2}\left|f_m^i-f_m^k\right|$ 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 هرچه کمتر باشد مطلوب تر است.

(۳) تعداد جواب‌های پارتو[۱۸]:مقدار معیار NOS نشان‌دهنده تعداد جواب‌های بهینه پارتو هستند که در هر الگوریتم می‌توان یافت [۲۵].

(۴) فاصله از جواب ایده آل[۱۹]: 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 [۲۵].

(۵) زمان اجرای الگوریتم: زمان اجرای الگوریتم یکی از مهم‌ترین شاخص‌ها در کارایی هر الگوریتم فرا ابتکاری است.

بعد از تعریف معیارهای استاندارد مقایسه الگوریتم‌های چند هدفه مبتنی بر پارتو، در جدول (۴) معیارهای اندازه‌گیری مسائل آزمایشی تولید شده محاسبه شده اند. همانطور که ملاحظه می‌گردد میانگین شاخص‌ها در معیارهای Spscing، NOS و Timeبرای الگوریتم MOPSO از مطلوبیت بهتری برخوردار است، و میانگین شاخص‌ها در معیارهای Diversity و MID، الگوریتم NSGA-IIمطلوب تر است. به منظور تجزیه و تحلیل دقیق تر، خروجی الگوریتم‌ها به صورت آماری و به کمک تحلیل واریانس و آزمون t مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور خروجی تحلیل

واریانس به صورت P-Valueهای بدست آمده گزارش شده است. مطابق با ان مقادیر P-Value برای شاخص‌های Spacing، Diversity،MID، NOS و Time به ترتیب برابر با ۰/۶۱، ۰/۹۹۳، ۰/۹۴۲، ۰/۷۵۸ و ۰/۲۲۶ بدست آمده است که با توجه به مقدار سطح معنادار بودن در نظر گرفته شده (α=۰/۰۵) فرض برابری میانگین‌ها در شاخص‌ها رد نشده و تفاوت معنادار بین الگوریتم‌ها وجود ندارد و هر دو الگوریتم می‌توانند در این معیارها رقابت کرده و انتخاب شوند. نتایج نمودار جعبه ای نشان داده شده در شکل (۷) حاکی از عدم تفاوت معنی دار بین الگوریتم‌هاست. همچنین جهت مقایسه نهایی الگوریتم‌ها در شاخص‌های ارائه شده، از روش تاپسیس به منظور رتبه بندی دو الگوریتم استفاده کرده ایم [۲۶]. لازم به ذکر است که وزن تمامی شاخص‌ها یکسان در نظر گرفته شده است. جداول (۵)، (۶) و (۷) نشان دهنده مراحل مختلف روش تاپسیس جهت انتخاب گزینه نهایی می‌باشند که نتایج حاکی از برتری الگوریتم MOPSO پیشنهادی در مقایسه با الگوریتم NSGA-IIاست.

جدول ۴. نتایج محاسباتی معیارهای مقایسه الگوریتم‌های MOPSO و NSGA-II

شماره مسئله	NSGA-II					MOPSO				
	Spacing	Diversity	MID	NOS	Time	Spacing	Diversity	MID	NOS	Time
۱	۷۸۳۵۷۴/۸۳	۶۸۴۹۲۷/۰۴	۱۴۹۶۰۲۵۲/۱۶	۷	۱۲۳/۱	۳۹۱۰۱/۷۸	۷۱۶۹۸۶۵/۰۲	۱۶۸۳۴۸۹۱/۶۸	۲۴	۶۵/۷
۲	۲۴۷۹۶۷۱/۴۴	۱۸۹۵۹۶۷۹/۲۸	۱۹۳۱۴۱۸۴/۵۳	۲۷	۱۳۵/۷	۸۵۸۴۸۴/۹۸	۶۰۸۴۲۲۶۵/۱۱	۲۷۷۵۷۹۳۸/۱۷	۳۸	۷۲/۲
۳	۴۷۱۶۶۴/۰۴	۶۶۵۰۷۱۷/۱۱	۱۶۲۷۶۲۸۴/۹۱	۲۵	۱۲۱/۸	۳۹۵۵۳۶/۹۹	۷۷۶۷۳۹۲/۱۴	۲۰۱۶۹۲۷۷/۹۶	۱۹	۷۰/۸
۴	۸۰۱۸۱۳/۷۲	۵۰۷۴۰۱۰۰/۰۹	۲۳۰۱۵۸۶۱/۱۴	۲۲	۱۲۹/۸	۹۱۴۹۴۸۸/۱۸	۱۴۸۳۷۸۸۴/۴۳	۱۸۰۱۳۳۱۱/۸۴	۳۸	۷۳/۳
۵	۹۷۷۹۹۸/۶۵	۲۸۰۵۱۱۰۴/۷۷	۲۳۱۰۰۰۲۸/۴۴	۳۹	۱۳۰/۹	۱۰۰۷۱۴۰/۰۱	۴۵۹۲۲۹۳۵/۶۵	۲۶۹۸۷۰۱۹/۷۷	۴۹	۷۵/۵
۶	۵۷۹۱۰۰/۳۱	۵۲۱۸۶۷۹/۰۱	۸۸۰۷۲۸۴۴/۲۶	۱۶	۳۴۵/۸	۱۷۲۰۷۰/۳۵	۷۴۸۱۶۸۱/۰۱	۸۹۲۸۴۷۰۹/۰۷	۱۶	۱۷۸/۴
۷	۷۲۴۰۸۱۶/۳۳	۲۵۶۸۲۳۷۴۸/۶۵	۱۳۱۹۶۵۵۴۶/۸۵	۵۰	۴۲۰/۸	۳۷۱۷۸۵۶/۳۰	۲۵۹۲۷۱۱۲۵/۸۴	۱۴۵۶۱۵۷۴۲/۴۷	۵۰	۲۵۲/۴
۸	۷۲۴۴۱۷۶/۸۴	۴۵۷۹۷۸۹۴۶/۳۹	۱۹۶۴۱۹۶۷۴/۶۹	۵۰	۳۹۴/۱	۱۱۳۲۵۲۵۹/۹۹	۴۳۹۲۶۲۳۶۳/۴۱	۱۷۷۰۵۰۰۳۹/۵۰	۳۹	۲۵۴/۶
۹	۳۹۲۰۶۲/۳۰	۴۴۰۹۱۴۵/۰۱	۱۰۱۰۹۰۶۳۷/۴۶	۵	۳۰۹/۷	۱۱۱۷۷۶۱/۰۵	۲۴۰۰۶۷۷/۰۲	۱۰۵۲۰۷۹۹۳/۵۹	۶	۱۸۲/۸
۱۰	۱۲۴۰۲۶۵/۵۳	۱۵۷۲۳۶۳۶/۱۳	۱۰۱۴۲۴۳۱۷/۵۸	۲۶	۴۹۳/۵	۶۷۴۳۳۷/۴۶	۱۹۰۲۹۶۷۵/۱۷	۱۰۳۶۸۳۴۸۵/۷۶	۲۲	۱۷۸/۴
۱۱	۶۳۰۱۲۴/۸۸	۱۵۸۶۳۴۴۷/۳۱	۲۲۳۸۰۸۸۴۴/۰۳	۲۵	۶۲۲/۶	۳۶۶۰۱۷/۳۰	۲۳۸۳۱۱۷۴/۱۳	۲۴۲۹۰۴۱۷۲/۵۷	۲۵	۳۹۰/۱
۱۲	۲۹۳۰۸۱۵۰/۹	۱۰۰۵۸۳۱۱۱۸/۷	۴۸۴۳۸۶۷۸۰/۶۲	۵۰	۷۲۵/۳	۸۱۷۲۱۵۸/۰۵	۱۰۰۴۹۱۳۵۳۷/۶	۴۹۲۹۱۹۶۱۶/۵۷	۴۳	۶۷۹/۶
۱۳	۴۶۱۳۵۹۷/۴۷	۳۳۵۰۷۴۹۱۹/۱۳	۲۹۴۱۸۴۴۲۶/۵۹	۴۳	۶۱۶/۳	۱۴۲۵۸۹۰۷/۵۷	۱۷۷۹۴۷۲۲۸/۴۳	۲۹۱۲۹۱۱۳۹/۲۲	۴۶	۶۳۵/۱
۱۴	۵۵۳۲۷۹/۸۱	۱۲۶۰۷۵۸۳/۰۱	۲۷۰۸۳۹۷۱۳/۴۲	۲۰	۴۹۸/۲	۴۶۱۰۴۳/۶۶	۲۰۵۸۰۱۳۹/۰۱	۲۷۶۰۶۱۱۲۳/۷۸	۱۲	۵۱۱/۹
۱۵	۱۳۸۵۶۱۶۶/۴	۱۶۷۰۷۵۹۷/۰۳	۲۷۶۶۵۳۴۸۵/۹۵	۱۶	۴۸۳/۹	۱۱۹۶۹۲۱/۰۷	۱۲۷۳۱۲۰۳۱/۰۱	۲۸۷۵۴۲۶۱۶/۱۹	۱۹	۴۹۹/۸
میانگین	۴۰۹۴۰۲۱/۲۲	۱۴۸۷۵۵۰۲۳/۲۴	۱۵۱۰۳۴۱۹۲/۱۸	۲۸/۰۷	۳۷۰/۱	۳۶۹۳۹۴۰/۲۶	۱۴۷۹۰۴۶۶۵/۰۱	۱۵۴۷۵۴۸۷۱/۸۸	۲۹/۷۳	۲۷۴/۷

جدول ۵.ماتریس تصمیم مسئله

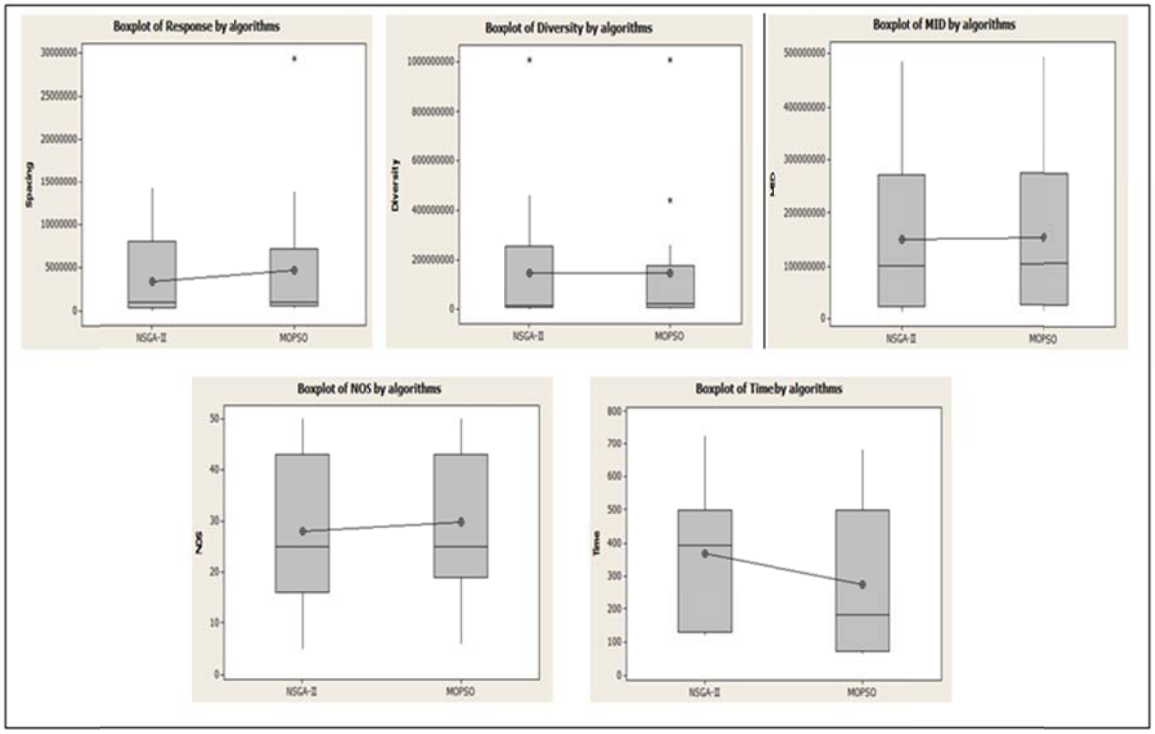
Algorithm	Spacing	Diversity	MID	NOS	Time
NSGA-II	۴۰۹۴۰۲۱/۲۲	۱۴۸۷۵۵۰۲۳/۲۴	۱۵۱۰۳۴۱۹۲/۱۸	۲۸/۰۷	۳۷۰/۱
MOPSO	۳۶۹۳۹۴۰/۲۶	۱۴۷۹۰۴۶۶۵/۰۱	۱۵۴۷۵۴۸۷۱/۸۸	۲۹/۷۳	۲۷۴/۷

جدول ۶. ماتریس نرمال شده وزن دار

Algorithm	Spacing	Diversity	MID	NOS	Time
NSGA-II	۰/۱۴۸۴۹	۰/۱۴۱۸۲	۰/۱۳۹۶۹	۰/۱۳۷۳۰۳	۰/۱۶۰۵۹۶
MOPSO	۰/۱۳۳۹۷۹	۰/۱۴۱۰۱۵	۰/۱۴۳۱۳۱	۰/۱۴۵۴۲۲	۰/۱۱۹۲۰۰

جدول ۷.فاصله از ایده آل مثبت و منفی، محاسبه فاصله نسبی تا بدترین گزینه و رتبه بندی الگوریتم‌ها

Algorithm	d_1^+	d_1^-	CL	Ranking
NSGA-II	۰/۰۴۴۶	۰/۰۰۳۵	۰/۰۷۳۴	۲
MOPSO	۰/۰۰۳۵	۰/۰۴۴۶	۰/۹۲۶۶	۱



شکل ۷. نمودار جعبه ای مقایسه فواصل اطمینان معیارها

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادات آتی

در این تحقیق، یک مدل دو هدفه برای مسئله برنامه ریزی یکپارچه تولید- توزیع در یک زنجیره تامین چهار سطحی با چندین محصول و در چندین دوره زمانی ارائه گردید. اهداف علاوه بر کمینه کردن کل هزینه‌های زنجیره، مقدار فروش از دست رفته محصولات در صورت کمبود برای مشتریان را به حداقل می‌رساند.با توجه به NP-hardبودن مسئله از دو الگوریتم فرا ابتکاری مبتنی بر پارتو استفاده شده است. یک الگوریتم بهینه سازی اجتماع ذرات چند هدفه (MOPSO)ارائه گردیده و عملکرد آن با الگوریتم NSGA-IIدر مسائل با سایزهای مختلف مقایسه شده است. نتایج حاکی از عملکرد الگوریتم پیشنهادی MOPSO در مقایسه با الگوریتم دیگر است. جهت پیشنهادات آتی می‌توان مسئله مسیریابی وسایل نقلیه را به منظور حمل و نقل بهینه محصولات در سطوح مختلف را در زنجیره تامین پیشنهادی پیاده سازی کرد.همچنین جهت حل مسئله از الگوریتم‌های چند هدفه دیگری نیز استفاده نمود.

پی‌نوشت

1. Supply chain management
2. Logistic Warehouses
3. Production-distribution planning problem
4. Spanning Tree
5. Production Distribution Planning Decision
6. Multi-objective Particle Swarm Optimization
7. Non-dominated Sorting Genetic Algorithm
8. Fronts
9. Trade-off
10. Fast non-dominated sorting (FNDS)
11. crowding distance (CD)
12. Structure
13. Solutions
14. Adaptive version
15. Binary tournament selection operator
16. Maximum Spread or Diversity
17. Spacing
18. Number of Pareto Solution (NOS)
19. Mean Ideal Distance (MID)

مراجع

[1] Chopra S, Meindle P. Supply chain management-strategy, Planning and Operation, 2nd Ed,Prentic Hall, (2004).

[2] Ballou RH. Business Logistics/Supply Chaun Management, Perentic Hall, (2004).

[3] Simchi-Levi D, Kaminsky P, Simchi-Levi E. Designing and Managing the Supply Chain Concepts, Strategies, and Case Studies, McGraw-Hill, Boston, (2000).

[4] Lee YH, Kim SH. Production-distribution planning in supply chain considering capacity constraints, Computers and Industrial Engineering, (2002), Vol. 43, No. 1,pp. 190-196.

[5] Fahimnia B, ZanjiraniFarahani R, Marian R, Luong L. A review and critique on integrated production–distribution planning models and techniques, Journal of Manufacturing Systems, (2013), Vol. 32, No. 1,pp. 1-19.

[6] Cohen MA, Lee HL. Strategic analysis of integrated production-distribution systems: models and methods, Operations Research, (1988), Vol. 36, No. 2,pp. 216-228.

[7] Chandra P, Fisher ML. Coordination of production and distribution planning, European Journal of Operational Research, (1994), Vol. 72, No. 1,pp. 503-517.

[8] Flipo CH, Finke G. Integrated model for an industrial production-distribution problem, IIE Transaction, (2001), Vol. 33, No. 9,pp. 705-715.

[9] Syarif A, Yun SY, Gen M. Study on multi-stage logistic chain network: a spanning tree-based genetic algorithm approach, Computers and Industrial Engineering, (2002), Vol. 43, No. 1,pp. 299-314.

[10] Chan FTS, Chung SH, Wadhwa S. A hybrid genetic algorithm for production and distribution, Omega-International Journal of Management Science, (2005), Vol. 33, No. 4,pp. 345-355.

[11] Kazemi A, FazelZarandi MH, MoattarHusseini SM. A multi-agent system to solve the production-distribution planning problem for a supply chain: a genetic algorithm approach, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, (2009), Vol. 44, No. 1,pp. 180-193.

[12] Jolai F, Razmi J, Rostami NKM. A fuzzy goal programming and meta heuristic algorithms for solving integrated production: distribution planning problem, Central European Journal of Operation Research, (2011), Vol. 19, No. 4,pp. 547-569.

[13] AshokaVarthanan P, Murugan N, Mohan Kumar G, Parameswaran S. Development of simulation-based AHP-DPSO algorithm for generating multi-criteria production-distribution plan, International Journal Advanced Manufacturing Technology, (2012), Vol. 60, No. 1,pp. 373-396.

[14] Liu S, Papageorgiou LG. Multi objective optimization of production, distribution and capacity planning of global supply chains in the process industry, Omega, (2013), Vol. 41, No. 2,pp. 369-382.

[15] Deb K. Multi-objective optimization using evolutionary algorithms, Chichester, UK, Wiley, (2001).

[16] Deb K, Agrawal S, Pratap A, Meyarivan T. 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, (2000), pp. 849-858.

[17] Kennedy J, Eberhart RC. Particle Swarm optimization, Proceedings of the IEEE International Conferenceon Neural Networks, IV. Piscataway, NJ, IEEE Service Center, (1995), pp. 1942-1948.

[18] Behroozi M, Eshghi K. A new hybrid particle swarm optimization for job shop scheduling problem, International Journal of Industrial Engineering and Production Management, (2009), Vol. 20, No. 2,pp.57-75.

[19] Ranjbar-Bourani M, Tavakkoli-Moghaddam R, Amoozad-Khalili H, HashemianS. Applying scatter search algorithm based on TOPSIS to multi-objective cellular manufacturing system design, International Journal of Industrial Engineering and Production Management, (2010), Vol. 21, No. 2,pp.11-21.

[20] Amiri N, Tavakkoli-Moghaddam R, Gholipour-Kanani Y, Torabi S. Modellinga novel multi-objective open-shop scheduling problem and solving by a scatter search method, International Journal of Industrial Engineering and Production Management, (2012), Vol. 23, No. 2,pp.153-164.

[21] CoelloCoello CA, Pulido GT, Lechuga MS. Handling multiple objectives with particle swarm optimization, IEEE Transactions on Evolutionary Computation, (2004), Vol. 8, No. 3,pp. 256-279.

[22] Clerc M, Kennedy J. The particle swarm-explosion, stability, and convergence in a multi-dimensional complex space, IEEE Transaction on Evolutionary Computation, (2002), Vol. 6, No. 1,pp. 58-73.

[23] Zitzler E, Thiele L. 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, (1998), pp. 292-301.

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

[25] Rahmati SH, Zandieh M, Yazdani M. Developing two multi-objective evolutionary algorithms for the multi-objective flexible job shop scheduling problem, International Journal Advanced Manufacturing Technology, (2013), Vol. 64, No. 5,pp. 915-932.

[26] Mashreghi H, Nahavandi N, Amin Naseri M. Prioritizing of production fields in machinery industries by TOPSIS and AHP methods for preparing Iran accession plan to world trade organization (WTO), International Journal of Industrial Engineering and Production Management, (2011), Vol. 22, No. 2,pp. 127-143.