E-ISSN: 2676-6159 | P-ISSN: 2538-5079

Journal of Decisions and Operations Research

www.journal-dmor.ir

J. Decis. Oper. Res. Vol. 6, Spec. Issue. (2022) 1–24.

Paper Type: Original-Application Paper

Presenting a Mathematical Model of Multi-Objective Multi-Stage Multi-Product Cumulative Production Planning for Multiple Periods in the Reverse Supply Chain under Uncertainty Conditions Using the NSGAII Metamorphosis Algorithm (Case Study of High-Tech Industries)

Saeid Rezaie Moghadam[1,*], Aslan Doosti[2]

[1] Department *of Management, Omidyeh Branch, Islamic Azad University, Omidyeh, Iran; kasra_kk200218@yahoo.com.*
[2] *Department of Mathematics, Omidiyeh Branch, Slamic Azad University, Omidiyeh, Iran; doosti424@gmail.com.*

Citation:

Rezaie Moghadam, S., & Doosti, A. (2022). Presenting a mathematical model of multi-objective multi-stage multi-product cumulative production planning for multiple periods in the reverse supply chain under uncertainty conditions using the NSGAII metamorphosis algorithm (case study of High-Tech Industries). *Journal of decisions and operations research,* 6 (Spec. Issue), 1-24.

Received: 29/2/2021 Reviewed: 10/4/2021 Revised: 02/07/2021 Accepted: 15/07/2021

Abstract

Purpose: The present study concludes that by designing and presenting a mathematical model of multi-objective cogeneration production planning, multi-stage products for several periods in the reverse supply chain under uncertainty conditions were presented using a genetic meta-heuristic algorithm.

Methodology: The first objective function of the model is to minimize costs, the second objective function is to maximize the quality of products in the supply chain, and the third and fourth objective functions are to minimize the total weight of the maximum shortage among customers and to maximize the total weight of the minimum supply. Goods from suppliers. In this model, the first and second objective functions are designed in the case of uncertainty- possible fuzzy stability by Malvey method based on scenario writing.

Findings: The results of solving the proposed applied mathematical model developed by coding in MATLAB software were approved by the officials of Borujen Strong Stream Concrete Company, which are given in Tables (16) and (17).

Originality/Value: What is important in designing this model, which is formulated in a non-linear programming and has not been observed in similar studies, is the existence of a reconstruction center and a maintenance center and considering target functions for customer and supplier satisfaction and also paying attention to product quality. Suppliers and the product produced by the manufacturer.

Keywords: Multi-objective mathematical model, Cumulative production planning, Reverse supply chain.

Corresponding Author: kasra_kk200218@yahoo.com http://dx.doi.org/10.22105/dmor.2021.254802.1245

Licensee. **Journal of Decisions and Operations Research**. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0).

Journal of Decisions and Operations Research

تصمیم‌گیری و تحقیق در عملیات

دوره ۶، شماره ویژه، (۱۴۰۰)، ۲۴-۱

www.journal-dmor.ir

نوع مقاله: پژوهشی-کاربردی

ارائه مدل ریاضی برنامه‌ریزی تولید تجمیعی چندهدفه چند محصولی چندمرحله‌ای برای چند دوره در زنجیره تأمین معکوس تحت شرایط عدم قطعیت با استفاده از الگوریتم فرا ابتکاری NSGAII

سعید رضایی مقدم[۱*]، اصلان دوستی[۲]

[۱] گروه مدیریت، واحد امیدیه، دانشگاه ازاد اسلامی، امیدیه، ایران.

[۲] گروه ریاضی ، واحد امیدیه، دانشگاه آزاد اسلامی، امیدیه، ایران.

چکیده

هدف: تحقیق حاضر در پی آن است که یک ارائه مدل ریاضی برنامه‌ریزی تولید تجمیعی چندهدفه چند محصولی چندمرحله‌ای برای چند دوره در زنجیره تأمین معکوس تحت شرایط عدم قطعیت با استفاده از الگوریتم فرا ابتکاری ژنتیک ارائه نماید.

روش‌شناسی پژوهش: اولین تابع هدف مدل مذکور حداقل سازی انواع هزینه، تابع هدف دوم حداکثر سازی کیفیت محصولات تولیدی در زنجیره تأمین مذکور، تابع هدف سوم و چهارم به ترتیب بیانگر حداقل کردن مجموع وزنی حداکثر کمبود در میان مشتریان و حداکثر کردن مجموع وزنی حداقل میزان تأمین کالا از تأمین‌کنندگان است. در این مدل تابع هدف اول و دوم در حالت عدم قطعیت -استوار فازی احتمالی به روش مالوی بر اساس سناریونویسی طراحی‌شده است.

یافته‌ها: نتایج حاصل از حل مدل ریاضی پیشنهادی کاربردی توسعه‌یافته با کد نویسی در نرم‌افزار متلب مورد تأیید مسئولین شرکت قطعات بتنی بروجن استحکام واقع شد و در جدول‌های (۱۶) و (۱۷) آورده شده است.

اصالت/ارزش افزوده علمی: آنچه در طراحی این مدل که به‌صورت برنامه‌ریزی غیرخطی فرمول شده است، اهمیت دارد و در پژوهش‌های مشابه مشاهده نشده است، وجود مرکز بازسازی و مرکز نگهداری و تعمیرات و در نظر گرفتن توابع هدف برای رضایت مشتریان و تأمین‌کنندگان و نیز توجه به کیفیت محصول دریافت شده از تأمین‌کنندگان و محصول تولیدشده به‌وسیله تولیدکننده می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: مدل ریاضی چندهدفه، برنامه‌ریزی تولید تجمیعی، زنجیره تأمین معکوس.

۱- مقدمه

در عرصه فعلی صنعت، مدیران و مسئولین به دنبال بهبود بازدهی عملکرد سازمانشان با برنامه‌ریزی و تلاش دررسیدن به اهداف پیش رو با توسعه ارتباط با دیگر سازمان‌ها می‌باشند. زنجیره تأمین یکی از مبادی برقراری آن ارتباط بین صنایع است. چگونگی تدوین و طراحی زنجیره تأمین برای دستیابی به هماهنگی مذکور تصمیمی اساسی و ضروری هست و این امر بستگی به استراتژی تصمیم‌گیری در فرایند مدیریت زنجیره تأمین داشته و نقش کلیدی در عملکرد بعدی زنجیره تأمین نیز خواهد داشت. آنچه در طراحی زنجیره تأمین تأثیر بسزایی دارد، ضایعات ایجادشده در این زنجیره و توجه خاص به محصولات برگشتی است، ازاین‌رو توجه به ایجاد زنجیره تأمین معکوس امروزه

* نویسنده مسئول

kasra_kk200218@yahoo.com

http://dx.doi.org/10.22105/dmor.2021.254802.1245

بیش از گذشته موردتوجه مسئولین و صاحبان بخش صنعت قرارگرفته است. بخش قابل‌توجهی از تحقیقات صورت گرفته در مورد زنجیره تأمین مربوط به زنجیره تأمین پیشرو است و در حقیقت از سال ۲۰۰۵ زنجیره تأمین معکوس به‌طور رسمی شناخته‌شده و مطالعه در مورد آن افزایش‌یافته است. در شبکه زنجیره تأمین معکوس بازسازی و احیا محصول‌هایی که دوره استهلاک آن‌ها فرارسیده است، انجام می‌شود. در این فرایند، محصولات برگشتی پس از بازرسی به دودسته شامل محصولات قابل‌بازسازی و محصولات قراضه تقسیم می‌شوند. محصولات قابل‌بازسازی به مراکز احیا ارسال‌شده و تعمیر می‌شوند. در غیر این صورت این نوع محصولات به قطعات قابل‌استفاده تقسیم‌شده و در ساخت محصولات بکار می‌روند. دسته دوم که محصولات قراضه هستند و در مراکز انهدام، عملیات انهدام ایمن روی آن‌ها انجام می‌گیرد. در فرایند زنجیره تأمین معکوس صرفه‌جویی‌هایی در هزینه تولید، صرفه‌جویی در استفاده از امکانات جدید، استفاده مطلوب از تسهیلات موجود می‌شود و این امر در تصمیمات تولیدکنندگان برای طرحی برنامه‌ریزی تولید تجمیعی می‌تواند مؤثر باشد. برنامه‌ریزی تولید تجمیعی فرایندی است که به تعیین سطح بهینه تولید و موجودی برای رویارویی با تقاضای تمام محصولات در یک دوره زمانی بلندمدت با در نظر گرفتن محدودیت ظرفیت منابع و امکانات می‌پردازد. در این پژوهش ارائه و حل مدل ریاضی چندهدفه جهت برنامه‌ریزی تولید تجمیعی در یک زنجیره تأمین معکوس در یک صنعت *High-Tech* (موردمطالعه یک صنعت تولیدکننده محصولات نظامی) قرار خواهد گرفت. در زنجیره تأمین صنعت موردنظر بازرسی این محصولات تخریبی هست و در صورت عدم تائید کیفیت از سوی مشتری به‌طور کل برگشت داده می‌شوند که این محصولات برگشتی در مرکز بازسازی منهدم شده و یا بعد از بازسازی به تولیدکننده تحویل داده می‌شوند تا در فرایند تولید قرار گیرند. همان‌طور که در **مدل مفهومی (۱)** نشان داده‌شده است، علاوه بر این در صورت عدم استفاده محصولات توسط مشتری بعد از سپری شدن دوره گارانتی فنی (۱۵-۱۰) سال این محصولات به بخش نگهداری و تعمیرات صنعت ارسال می‌شوند که پس از انجام بازسازی محصول قابل‌استفاده به مشتری تحویل داده می‌شود و یا به تولیدکننده ارسال می‌شود.

مهم‌ترین هدف از انجام تحقیق حاضر مطالعه نحوه عملکرد تولیدکننده در اخذ تصمیمات مرتبط به نحوه تولید و تأمین محصولات موردنظر است. تولیدکننده یا می‌تواند محصولات موردنیازش را به‌تنهایی تولید کند و در مورد هزینه‌های تولید و کیفیت، تعداد نیروی کار، ساعات کار عادی و اضافه‌کاری و... تصمیم بگیرد و یا اینکه در برنامه‌ریزی تولید ادغامی تولیدکننده می‌تواند در تأمین بخشی از محصولات موردنیازش برون‌سپاری کرده و درواقع از تأمین‌کنندگان استفاده کند. در تصمیم به استفاده از تأمین‌کنندگان نیز تولیدکننده باید در مورد هزینه، سطح کیفیت و اولویت‌بندی هر یک از تأمین‌کنندگان نیز تصمیم بگیرد. در این راستا در مدل رسیدن به یک رابطه برد-برد با تأمین‌کنندگان مدنظر است. همچنین در مدل ریاضی پیشنهادی، بهینه‌سازی رضایت‌مندی مشتریان نیز در نظر گرفته‌شده است و با توجه به اولویت‌بندی موجود از مشتریان میزان کمبود تقاضای برآورده نشده توسط تولیدکننده حداقل می‌شود؛ بنابراین در طراحی مدل کاربردی-توسعه‌یافته پیشنهادشده، تصمیماتی از قبیل تعیین سهم تأمین‌کنندگان، مراکز بازسازی و نت و تولید در ساعات کار عادی و اضافه‌کاری در تولید هر یک از محصولات و میزان محصول ارسالی به هر یک از مشتریان در نظر گرفته‌شده است. به‌طوری‌که اهدافی از قبیل کمینه‌سازی هزینه‌های تولیدکننده نظیر هزینه‌های تولید، هزینه‌های نگهداری و کسری موجودی، هزینه تأمین محصولات از طریق برون‌سپاری، بیشینه‌سازی کیفیت محصولات تولیدی در ساعات کار عادی، اضافه‌کاری، تولید توسط تأمین‌کنندگان و یا تهیه قطعات از مراکز نت و بازسازی که هر یک دارای کیفیتی متفاوت هستند در نظر گرفته‌شده است. علاوه براین به ارزیابی تأمین‌کنندگان و مشتریان نیز به بهینه‌سازی رضایت هر دو گروه مذکور، توجه شده است؛ بنابراین با توجه به عنایت خاص مسئولین صنعت *High-Tech* به موضوع برنامه‌ریزی تولید تجمیعی، لذا تحقیق حاضر به‌عنوان پاسخی مناسب به نیاز آن صنعت در قالب مدلی ریاضی چندهدفه پیرامون برنامه‌ریزی تولید تجمیعی در زنجیره تأمین معکوس با عنایت و توجه خاص به هر یک از اجزاء این زنجیره موردمطالعه قرار گرفت. همچنین با تبادل‌نظر اولیه با مسئولین آن صنعت و مطالعه تحقیقات موجود در این زمینه مبانی نظری تحقیق توسعه بیشتری یافته است. رضایی مقدم و همکاران[1] (۲۰۱۸) در ادامه تحقیق حاضر ابتدا مروری بر پیشینه تحقیق حاضر بیان خواهد شد، سپس مدل ریاضی پیشنهادی معرفی می‌شود و بعدازآن روش حل مدل تشریح شده و در انتها مدل با داده‌های اخذشده از آن صنعت حل خواهد شد.

۲- مروری بر پیشینه تحقیق

حجی و محمدرحیمی[2] (۲۰۰۸) به‌کارگیری برنامه‌ریزی خطی چندهدفه فازی در برنامه‌ریزی تولید ادغامی را انجام دادند. مقاله فوق کاربردی از برنامه‌ریزی خطی چندهدفه فازی جهت حل مسائل تصمیم‌گیری برنامه‌ریزی تولید ادغامی چند محصولی، در محیط فازی

[1] Rezaei Moghadam et al.
[2] Hajji and Mohammad Rahimi

است. مدل پیشنهادی سعی به این دارد که هزینه تولید کل، هزینه نگهداری و سفارش‌ها عقب‌افتاده و نرخ تغییرات در نیروی انسانی را با در نظر گرفتن سطح موجودی، نیروی انسانی، ظرفیت فضای انبار و ارزش زمانی پول، کمینه کند. یك مثال عددی نیز جهت به‌کارگیری مدل پیشنهاد ارائه‌شده و در مورد مزایای این مدل نیز بحث شده است. مدل پیشنهادی منجر به یك حل توافقی می‌شود که در آن تصمیم‌گیرنده موفق به ارضاء تمامی سطوح می‌گردد. درنهایت، این مدل با دیگر مدل‌های برنامه‌ریزی تولید ادغامی مقایسه شده و مشخصه‌های بارز و معنی‌دار این مدل ارائه‌شده است. کاظمی و کنگی[1] (۲۰۱۲) به ارائه مدلی جهت بهینه‌سازی برنامه تولید و توزیع در زنجیره تأمین پرداختند. در این تحقیق یك مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط به‌منظور یکپارچه‌سازی برنامه تولید و توزیع در یك زنجیره تأمین ارائه می‌شود. هدف در نظر گرفته‌شده در این مدل کمینه‌سازی هزینه‌های حمل‌ونقل از طریق استفاده از تخفیفات قیمتی ارائه‌شده توسط شرکت‌های حمل‌ونقل می‌باشد. به دلیل پیچیدگی مسئله ارائه‌شده در ابعاد بزرگ و اثبات پیچیده بودن آن در ادبیات، از الگوریتم ژنتیك و الگوریتم شبیه‌سازی تبرید به‌عنوان دو الگوریتم فرا ابتکاری به‌منظور حل مدل پیشنهادی استفاده‌شده است. سپس عملکرد مناسب الگوریتم‌های فرا ابتکاری توسعه‌یافته در حل مسائل با ابعاد مختلف نشان داده و درنهایت نتایج به‌دست‌آمده از اجرای این الگوریتم‌ها مورد مقایسه قرارگرفته‌اند. محمد زاده و همکاران[2] (۲۰۱٤) مدل بهینه‌سازی استوار برنامه تولید ادغامی در زنجیره تأمین سبز تحت شرایط عدم قطعیت برای انتخاب تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان و توزیع‌کنندگان را مطالعه و نتایج آن را ارائه کرده‌اند. توجه به آنکه برنامه‌ریزی[5] تولید ادغامی یکی از فعالیت‌هایی می‌باشد که در سطح تاکتیکی و عملیاتی زنجیره تأمین مطرح می‌شود، در این پژوهش به‌منظور یکپارچگی اعضای زنجیره و افزایش سود شرکت‌ها به ارائه مدل برنامه تولید ادغامی در زنجیره تأمین سبز برای انتخاب تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان و توزیع‌کنندگان پرداخته‌شده است. در مدل پیشنهادی چندین تأمین‌کننده، تولیدکننده و توزیع‌کننده در نظر گرفته‌شده و سه معیار قیمت، کیفیت و زمان تأخیر به‌عنوان معیارهای اصلی برای انتخاب اعضای زنجیره مدنظر قرار داده‌شده است. برای سبز در نظر گرفتن زنجیره تأمین هم‌مقدار گاز کربن منتشرشده در اثر حمل‌ونقل محصولات و مواد اولیه و تولید محصولات در مراکز تولیدی را لحاظ می‌کنند. در این پژوهش نیز برخی از پارامترهای مدل همچون تقاضا، قیمت خریدوفروش، هزینه‌های تولید، نگهداری و کمبود به علت ماهیت آن‌ها، به‌صورت غیرقطعی در نظر گرفته‌شده و برای مقابله با عدم قطعیت پارامترها، از رویکرد بهینه‌سازی استوار استفاده می‌شود. همچنین جهت اعتبارسنجی مدل پیشنهادی، مطالعه موردی در شرکت کاغذسازی تبریز انجام‌گرفته و نتایج حاصل از مدل پیشنهادی با نتایج واقعی شرکت مقایسه شده است. در مطالعه دیگری که مسعود و هوانگ[3] (۱۹۸۰) انجام داده‌اند، مدل ریاضی چندهدفه در مورد برنامه‌ریزی تولید تجمیع ارائه‌شده است. در این مدل محدودیت منابع مطرح و با الگوریتم فرا ابتکاری ژنتیک موردبررسی قرارگرفته است. در طراحی این مدل به اهدافی از قبیل حداکثر سازی سود، حداقل کردن کمبود، حداکثر کردن استفاده از امکانات موجود، حداقل زمان اضافه‌کاری و پارامترهایی مانند ساعات کار نیروی انسانی برای تولید هر واحد محصول، زمان استفاده از ماشین برای تولید هر واحد از محصول، هزینه تولید هر واحد محصول، هزینه اضافه‌کاری تولید هر واحد محصول، ظرفیت ماشین در زمان عادی تولید هر واحد محصول و نظایر آن اشاره‌شده است. میرزا پور و همکاران[4] (۲۰۱۱) مدل چند هدف بهینه‌سازی استوار برای برنامه‌ریزی تولید ادغامی چند محصولی در زنجیره تأمین در شرایط عدم اطمینان را بررسی کردند. در این پژوهش زنجیره تأمین شامل تأمین‌کنندگان متعدد، تولیدکنندگان متعدد و مشتریانی است و مسئله برنامه‌ریزی تولید ادغامی چند دوره‌ای، چند محصولی با شرایط عدم قطعیت در آن مطرح شد. برای اولین بار مدل برنامه‌ریزی غیرخطی چندهدفه یک عدد صحیح مختلط جدید با رویکرد بهینه‌سازی استوار و در نظر گرفتن به‌طور هم‌زمان اهداف متضاد در یک زنجیره تأمین در حالت عدم قطعیت پیشنهاد شد. هدف اول شامل به حداقل رساندن هزینه تولید، استخدام، اخراج و هزینه آموزش، تهیه مواد اولیه، هزینه نگهداری موجودی محصول، حمل‌ونقل و هزینه کمبود است. هدف دوم به حداقل رساندن مجموع حداکثر مقدار کمبود در میان مناطق مشتریان در تمام دوره با در نظر گرفتن رضایت مشتری توجه کرده است. در این مطالعه همچنین سطح کار، بهره‌وری کارگران، اضافه‌کاری، پیمانکاری، ظرفیت ذخیره‌سازی و زمان نیز در نظر گرفته شد. درنهایت، مدل ارائه‌شده به‌عنوان یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح حل‌شده است. نتایج حاصل از مطالعه نشان داد که مدل ارائه‌شده می‌تواند یک روش امیدبخش به انجام یک برنامه‌ریزی تولید کارآمد در یک زنجیره تأمین منجر شود. میرزا پور و همکاران[5] (۲۰۱۲) ارائه یک الگوریتم کارآمد برای حل مسئله برنامه‌ریزی تولید ادغامی چندهدفه استوار در حالت عدم قطعیت را مطالعه و نتایج آن را گزارش دادند. در این مقاله، محقق یک مدل چندهدفه برای حل مشکل برنامه‌ریزی تولید ادغامی برای چند دوره چند محصولی را برای یک افق میان‌مدت تحت عدم قطعیت ارائه دادند. در این مدل هدف اول تلاش برای به حداقل رساندن مجموع ارزش مورد انتظار

[1] Kazemi and Kongi
[2] Mohammadzadeh et al.
[3] Masud and Hwang
[4] Mirzapour et al.
[5] Mirzapour et al.

و هزینه کلی تعداد موجودی، هزینه اضافه‌کاری و پیمانکاری، سفارشات برگشتی، ظرفیت ماشین‌آلات و ظرفیت انبار مطرح شد. در تابع هدف دوم نیز حداقل رساندن کمبود در میان مناطق تمام مشتریان موردتوجه قرار گرفت. علاوه براین آخرین تابع هدف در مورد به حداکثر رساندن بهره‌وری کارگران، میانگین وزنی سطح بهره‌وری در تمام کارخانه‌ها و در تمام دوره بوده است. پس‌ازآن، مدل با الگوریتم ژنتیک حل‌شده استنتاج کارایی مدل را نشان داد. میرزا پور و همکاران[1] (۲۰۱۳) مدل برنامه‌ریزی تولید ادغامی در یک زنجیره تأمین سبز با توجه به زمان تأخیر انعطاف‌پذیر، با توابع هزینه کمبود و خرید غیرخطی را ارائه دادند. در این مقاله محقق در پی توسعه یک روش برنامه‌ریزی تولید ادغامی برای چند دوره، چند محصول در زنجیره تأمین سبز برای یک افق میان‌مدت با فرض عدم اطمینان تقاضا است. مدل ارائه‌شده به ویژگی‌هایی مانند هزینه حمل، رابطه بین زمان تأخیر تا دریافت و هزینه حمل، مقدار تخفیف برای تشویق سازنده به سفارش بیشتر توجه شده است. مدل ارائه‌شده برای اولین با یک برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط غیرخطی است و درنهایت، با یک مثال عددی برای نشان دادن اعتبار مدل ارائه‌شده است. یزدانی و همکاران[2] (۲۰۱٤) در مقاله‌ای به طراحی یک شبکه زنجیره تأمین بسته چند محصولی پرداخته‌اند که در آن برخی از مراکز تولید اختلالات جزئی و کلی را تجربه می‌کنند. شبکه پیشنهادی دارای سه سطح در جهت جلو (به‌عنوان‌مثال، تأمین‌کنندگان، کارخانه‌ها و توزیع‌کنندگان) و سه سطح در جهت معکوس (به‌عنوان‌مثال، مراکز جمع‌آوری، توزیع مجدد و دفع) است. در ابتدا، گیاهان مواد اولیه موردنیاز خود را از تأمین‌کنندگان تهیه می‌کنند. پس از تولید در گیاهان، محصولات نهایی از طریق مراکز توزیع به مشتریان تحویل داده می‌شود، درصدی از این محصولات توسط مراکز جمع‌آوری از مشتریان جمع می‌شود. در مراکز جمع‌آوری، درصد محصولات برای بازیافت به کارخانه‌های تولیدی بازگردانده می‌شود، درصدی از آن‌ها برای فروش به مشتریان ثانویه به مراکز توزیع مجدد ارسال می‌شود و درصدی که توانایی اقلام ذکرشده را نداشته باشد، به مراکز دفع ارسال می‌شود. مدل ریاضی ارائه‌شده در این مطالعه یک مدل غیرخطی عدد صحیح مختلط دو هدفه است و درعین‌حال حداکثر سود، زمان تحویل به مشتریان به حداقل می‌رسد. برای اعتبارسنجی مدل، یک مثال عددی توسط منحنی پارتو ارائه‌شده است که در آن سود در مقابل زمان است.

رامیار و همکاران[3] (۲۰۱۷) یک مدل برنامه تولید ادغامی چندهدفه، چند محصولی و چندمرحله‌ای را در یک زنجیره تأمین ارائه دادند. در این مدل پیشنهادی اهدافی از قبیل به حداقل رساندن هزینه کل زنجیره تأمین اشاره‌شده است که هزینه‌ها شامل به حداقل رساندن هزینه موجودی، هزینه‌های تولید، هزینه‌های نیروی کار، هزینه‌های استخدام بوده است و تابع هدف دوم به حداکثر رساندن حداقل قابلیت اطمینان تأمین‌کنندگان با در نظر گرفتن زمان‌های تأخیر مجاز برای بهبود کارایی سیستم تولیدی موردنظر پرداخته است. ازآنجاکه مسئله *NP-Hard* است، از الگوریتم جستجو چندهدفه برای حل آن استفاده‌شده است که برای مقایسه پاسخ‌ها از الگوریتم ژنتیک استفاده‌شده که مجموعه پاسخ‌های پارتویی در خصوص پایداری مدل رضایت‌بخش بوده است احمید و همکاران[4] (۲۰۱۹) یک مدل بهینه‌سازی برنامه‌ریزی ادغامی چند محصولی و چند دوره‌ای برای یک سیستم تولیدی ارائه کردند. به دلیل مشارکت بیش‌ازحد ذینفعان و همچنین عدم اطمینان، برنامه‌ریزی تولید ادغامی در معاملات گاهی با تمام معیارهای هزینه مربوطه بسیار پیچیده می‌شود. بیشتر رویکردهای موجود فقط به حداقل رساندن هزینه‌های مربوط به تولید توجه کرده‌اند، درنتیجه سایر هزینه‌ها، مانند هزینه‌های مربوط به زنجیره تأمین را نادیده گرفته‌اند. مدل پیشنهادی تلاش کرده است که تمام هزینه‌های مربوط به زنجیره تأمین در نظر مانند هزینه خرید مواد اولیه، سفارش و موجودی کالا، موجودی کالاهای نهایی و هزینه‌های تحویل در قابل در نظر گرفته است. فاکتورهای هزینه و فرآیند فرمول‌بندی در مدل ریاضی – سایپرز، باشگاه دانش یک مورد صنعتی واقعی مسئله با استفاده از یک الگوریتم ژنتیک برای نشان دادن کاربرد و فرموله سازی و حل می‌شود امکان‌پذیری مدل پیشنهادی. نتایج نشان می‌دهد که مدل پیشنهادی قادر به حل است هر نوع برنامه‌ریزی تولید ادغامی به‌طور کارآمد است.

اطلاعات **جدول ۱** به‌صورت: فرآیند (۱- مرکز تولید و ۲- مرکز بازسازی)، مرحله و دوره (۱- تک‌مرحله‌ای و ۲- چندمرحله‌ای و ۳- چند دوره‌ای)، محصولات (۱- تک‌محصولی و ۲- چند محصولی)، شرایط مدل (۱- قطعیت، ۲- عدم قطعیت، ۳- فازی، ٤- استوار فازی ۵- استوار فازی احتمالی-٦ احتمالی) است. نوع زنجیره تأمین (۱- مستقیم ۲- معکوس).

[1] Mirzapour et al.
[2] Yazdani et al.
[3] Ramyar et al.
[4] Ahmed et al.

جدول ۱- خلاصه تحقیقات انجام‌شده.

Table 1– Summary of research conducted.

نویسنده/ سال	تعداد اهداف	مطالعه موردی	ابزار روش حل	فرآیند	دوره	محصول	شرایط مدل	نوع زنجیره تأمین
	چندهدفه - تک هدفه.			1-2	1-3	1-2	1-6	1-2
حجی و محمد رحیمی (۲۰۰۸)	چند هدفه-هزینه تولید کل، هزینه نگهداری و سفارشات عقب‌افتاده و نرخ تغییرات در نیروی انسانی را با در نظر گرفتن سطح موجودی، نیروی انسانی، ظرفیت فضای انبار و ارزش زمانی پول، کمینه کند.	مثال عددی	Lp متریک و کد نویسی در نرم‌افزار لینگو	1	2	2	3	
کاظمی و کنگی (۲۰۱۲)	کمینه‌سازی هزینه‌های حمل‌ونقل.		الگوریتم ژنتیک و الگوریتم شبیه‌ساز ی تبرید	1	2	2	1	1
خاتمی فیروزآبادی و همکاران[1] (۲۰۱۳)	چندهدفه- حداکثر سازی درآمد و حداقل سازی هزینه تولید.	شرکت لوله و ماشین‌سازی ایران	Lp متریک و کد نویسی در نرم‌افزار لینگو	1	3	2	1	2
محمد زاده و همکاران (۲۰۱۴)	تک هدفه.	کاغذسازی تبریز	Lp متریک و کد نویسی در نرم‌افزار گمز	2	2	2	4	1
طلوعی اشلقی و همکاران[2] (۲۰۱۴)	چندهدفه- حداکثر سازی سود و رضایت مشتریان و حداقل سازی هزینه‌های تولید.	شرکت پلیمر البرز	حل با الگوریتم ژنتیک	1	2	2	3	2
آذر و سادات حسینی[3] (۲۰۱۴)	چندهدفه- به حداقل رساندن هزینه‌های لجستیک و هزینه تأخیرها و به حداکثر رساندن سود.	گروه صنعتی برنز	Lp متریک و کد نویسی در نرم‌افزار لینگو	1	2	2	1	1
کوپایی حاجی و رشیدی کمیجان[4] (۲۰۱۵)	چندهدفه- حداکثر سازی سود و تعیین میزان خرید از تأمین‌کنندگان.	مثال عددی	Lp متریک و کد نویسی در نرم‌افزار گمز	1	2	2	1	1
اعظمی و ماکویی[5] (۲۰۱۶)	چندهدفه- حداقل سازی هزینه.	مقال عددی		1	2	2	3	1
نوبیل و کاظمی[6] (۲۰۱۶)	چندهدفه- حداقل سازی کل هزینه‌ها و کل زمان ارسال.	مثال عددی	الگوریتم ژنتیک	1	3	2	3	2

[1] Khatami Firoozabadi et al.
[2] Toloie Ashlaghi et al.
[3] Azar and Sadat Hosseini
[4] Kopaei Haji and Rashidi Komijan
[5] Azami and Makoei
[6] Nobil and Kazemi

جدول ۱- ادامه.

Table 1– Continued.

نویسنده/ سال	تعداد اهداف	مطالعه موردی	ابزار روش حل	فرآیند	دوره	محصول	شرایط مدل	نوع زنجیره تأمین
خسروآبادی و جبارزاده[1] (۲۰۱۷)	چندهدفه- توابع حداقل سازی هزینه و حداکثر سازی هزینه.	مثال عددی	Lp متریک و کد نویسی در نرم‌افزار گمز	1			1	
زرین پور و همکاران[2] (۲۰۱۸)	تک هدفه- کمینه‌سازی هزینه‌های عملیاتی.	مثال عددی	/ در نرم‌افزار گمز	1	2	2	4	1
رضایی مقدم و همکاران (۲۰۱۸)	چندهدفه- توابع حداقل سازی هزینه و حداکثر سازی کیفیت، حداقل کردن مجموع وزنی حداکثر کمبود در میان مشتریان و حداکثر کردن مجموع وزنی حداقل میزان تأمین کالا از تأمین‌کنندگان.	Hig-Tech	Lp متریک و کد نویسی در نرم‌افزار گمز	2	2	2	1	2
رضایی مقدم و همکاران (۲۰۱۸)	چندهدفه- توابع حداقل سازی هزینه (عدم قطعیت) و حداکثر سازی کیفیت، حداقل کردن مجموع وزنی حداکثر کمبود در میان مشتریان و حداکثر کردن مجموع وزنی حداقل میزان تأمین کالا از تأمین‌کنندگان.	Hig-Tech	حل با الگوریتم ژنتیک	2	2	2	5	2
حسینی[3] (۲۰۲۰)	چندهدفه- هزینه و حداکثر سازی رضایت مشتریان.	مثال عددی	حل با الگوریتم ژنتیک	1	2	2	1	
نظری و رحمانی[4] (۲۰۱۹)	چندهدفه- سود هزینه.	مثال عددی	حل با الگوریتم تابوسرچ	1	2	2	2	1
مسعود و هوانگ (۱۹۸۰)	چندهدفه- حداکثر سازی سود، حداقل کردن کمبود.	مثال عددی	الگوریتم فرا ابتکاری ژنتیک	1	2	2	1	1
میرزاپور و همکاران (۲۰۱۱)	چندهدفه- حداکثر سازی سود و مینیمم سازی مواد خام مازاد.	مثال عددی	با روش p متریک و کد نویسی در نرم‌افزار لینگو	1-2	2	2	5	2
میرزاپور و همکاران (۲۰۱۲)	چندهدفه- مینیمم سازی مجموع ارزش انتظاری از کل هزینه، ماکزیمم سازی خدمات به مشتریان و ماکزیمم سازی بهره‌وری.	مثال عددی	الگوریتم ژنتیک برای حل مدل چندهدفه	1	2	2	5	2

[1] Khosrowabadi and Jabarzadeh
[2] Zarrinpour et al.
[3] Hosseini
[4] Nazari and Rahmani

جدول ۱- ادامه.

Table 1– Continued.

نویسنده/ سال	تعداد اهداف	مطالعه موردی	ابزار روش حل	فرآیند	دوره	محصول	شرایط مدل	نوع زنجیره تأمین
میرزاپور و همکاران (۲۰۱۳)	چندهدفه- حداکثر سازی سود و مینیمم سازی مواد خام مازاد	مثال عددی	کد نویسی در نرم‌افزار لینگو	1	2	2	5	1
یزدانی و همکاران (۲۰۱۴)	چندهدفه- حداکثر سود، حداقل سازی زمان تحویل به مشتریان	مثال عددی		2	2	2	2	2
رامیار و همکاران (۲۰۱۷)	چندهدفه- حداقل سازی هزینه تولید حداکثر سازی قابلیت اطمینان تأمین‌کنندگان	مثال عددی	الگوریتم جستجو و ژنتیک برای حل مدل چندهدفه	2	2	2	1	1
سوتریسنو و همکاران[1] (۲۰۱۹)	کمینه‌سازی هزینه خرید و حداکثر سازی تعداد کل تولید	مثال عددی	کد نویسی در نرم‌افزار لینگو	1	2	2	3	6
احمید همکاران (۲۰۱۹)	حداقل رساندن هزینه‌های مربوط به تولید حداکثر	باشگاه دانش	الگوریتم ژنتیک	1	2	2	1	
کریمی و همکاران[2] (۲۰۲۰)	رساندن سود	خط تولید قوطی و سطل زباله	کد نویسی در نرم‌افزار گمز	1	2	2	1	1
مدل پیشنهادی	چندهدفه- توابع حداقل سازی هزینه (عدم قطعیت) و حداکثر سازی کیفیت (عدم قطعیت)، حداقل کردن مجموع وزنی حداکثر کمبود در میان مشتریان و حداکثر کردن مجموع وزنی حداقل میزان تأمین کالا از تأمین‌کنندگان	High- tech	الگوریتم ژنتیک برای حل مدل	2	2	2	5	2

۱-۲- روش بهینه‌سازی استوار

مالوی و همکاران[3] (۱۹۹۵) یک چارچوب بهینه‌سازی که شامل دو نوع استوار سازی است را معرفی کرد. این روش شامل استوار سازی راه‌حل (راه‌حلی که تقریباً در همه سناریوها بهینه باشد) و مدل استوار (مدلی که تقریباً در همه سناریوها دارای جواب موجه باشد) است. در این روش بهینه‌سازی، عموماً تابع هدف جریمه‌شده است و این وضعیت هم برای مدل استوار و هم برای راه‌حل استوار در نظر گرفته می‌شود. همین‌طور به تابع هدف به‌وسیله پارامترهای دارای عدم قطعیت که در تابع هدف و محدودیت‌ها ذکرشده‌اند وزن داده می‌شود. روش بهینه‌سازی استوار، در حقیقت فرم توسعه‌یافته برنامه‌ریزی تصادفی است. این روش از طریق جایگزینی تابع هزینه حداقل سازی کلاسیک (سنتی) مورد انتظار با یک تابع جریمه‌شده‌ای که به‌طور واضح به هزینه‌های قابل‌تغییر اشاره دارد، نتیجه می‌شود. در ادامه

[1] Sutrisno et al.

[2] Karimi et al.

[3] Mulvey et al.

چارچوب روش بهینه‌سازی استوار به‌طور خلاصه تشریح می‌شود. مدل برنامه‌ریزی خطی زیر را که شامل پارامترهای تصادفی است در نظر بگیرید.

$$\begin{aligned} &Min: c^T x + d^T y \\ &st: \\ &x,y \geq 0, Bx + Cy = e,\ Ax = b. \end{aligned} \qquad (۱)$$

به‌طوری‌که x ماتریس متغیرهای تصمیم است که باید تحت شرایط عدم قطعیت مدل تعیین شوند. همچنین y متغیر کنترل است و C, B, A ضرایب تکنولوژی و e, b مقادیر سمت راست می‌باشند. مجموعه سناریوها $N=\{1, \dots\}$ در مدل با پارامترهای دارای عدم قطعیت، با هر سناریو تصادفی در یک زیرمجموعه $\{d_n, B_n, C_n, e_n\}$ و احتمال همه سناریوها $P_n=1$ سناریوها Pn مجموعه سناریو مجموعه مقادیر ۱ تا n سناریو است که عضو مجموعه N هستند. B, C, e که در بالا توضیح داده شدند در شرایط عدم قطعیت به صورت‌های B_n, C_n, e_n، برای هر سناریو $n \epsilon N$ است. همچنین y متغیر کنترل تعریف‌شده که مقادیر آن تحت تأثیر سناریوهای موردنظر قرار دارد. بنابراین y_n برای هر n خواهد بود. اگر مدل موجه باشد σ_n برابر صفر می‌شود و در غیر این‌صورت σ_n دارای ارزش مثبتی است. مدل بهینه‌سازی استوار روابط بالا به شکل زیر فرمول‌بندی می‌شود.

$$\begin{aligned} &Min \sigma(x, y_1, y_2, \dots, y_n) + W.P(\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n \\ &st: \\ &Ax = b, \\ &B_n x + C_n y_n + \sigma_n = \sigma_n \ , \ \forall n \epsilon N, \\ &x \geq 0,\ y_n \geq 0, \sigma_n \geq 0,\ \forall n \epsilon N. \end{aligned} \qquad (۲)$$

$\Psi = f(x,y)$ به معنی تابع سود یا هزینه است. واریانس بالا به معنی این است که راه‌حل، دارای ریسک تصمیم بالایی است. به‌عبارت‌دیگر، یک تغییر کوچک در ارزش پارامترها می‌تواند موجب یک تغییر بزرگ در ارزش تابع شود.

$$\sigma_{0=} \sum_{n \epsilon N} P_n \Psi_n + \lambda \sum_{n \epsilon N} P_n (\Psi_n - \sum_{n \epsilon N} P_{n1} \Psi_{n1} \forall)^2. \qquad (۳)$$

در رابطه فوق λ، واریانس راه‌حل است. رضایی مقدم و همکاران (۲۰۱۹).

۲-۲- معرفی ساده روش فازی

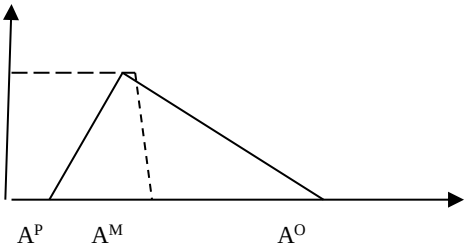
با استفاده از داده‌های فازی پارامترهای تابع هدف دوم و سوم طبق **جدول (۳)** که کیفیت محصول تولیدی در مرکز تولیدکننده در ساعات کار عادی و اضافه‌کاری است و نیز کیفیت محصول تولیدی مرکز بازسازی می‌باشد را نشان می‌دهد. تعریف توابع عضویت داده‌های فازی سخت است و تا حدودی زیادی به دستیابی اطلاعات بستگی دارد. معمول‌ترین روش برای ساخت توابع عضویت، استفاده از فرم خطی است. به دلیل کارایی محاسباتی و سادگی در استفاده داده‌ها، فواصل مثلثی معمولی‌ترین ابزار برای مدل‌سازی با پارامترهای فازی است؛ بنابراین در این تحقیق فرض می‌شود که پارامترهای فازی دارای فواصل مثلثی هستند. مثلثی با پارامترهای نادقیق $\widetilde{A}=(A^P, A^M, A^O)$ نشان می‌دهد که به ترتیب خوش‌بینانه‌ترین، محتمل‌ترین و بدبینانه‌ترین مقادیر از $\tilde{A}$ تخمین زده‌شده به‌وسیله تصمیم‌گیرنده است. درواقع برای پارامترهای فازی سه سناریو در نظر گرفته می‌شود. (غلامرضایی و زارع[1]، ۲۰۱۵).

[1]Gholamrezaei and Zare

رضایی مقدم و دوستی / تصمیم‌گیری و تحقیق در عملیات، دوره ۶، شماره ویژه، زمستان ۱۴۰۰، صفحه: ۲۴-۱

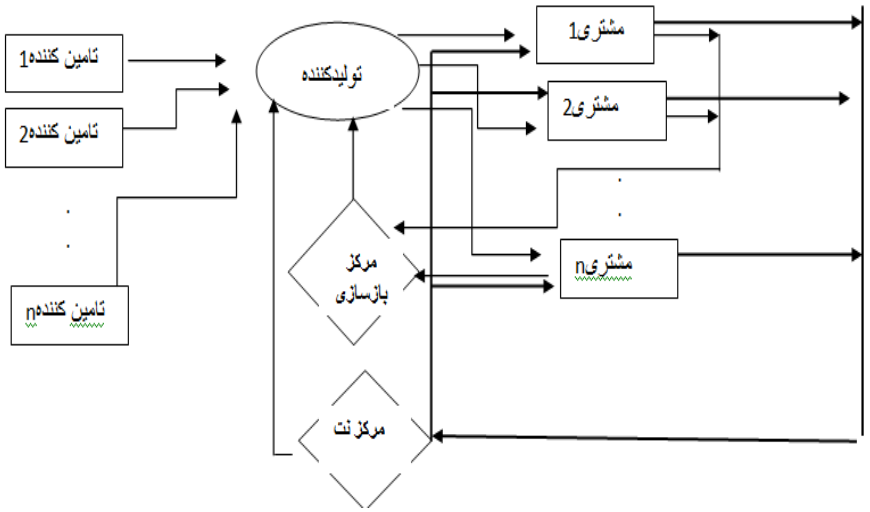
۳- مدل ریاضی پیشنهادی

زنجیره تأمین مدل پیشنهادی دارای ۳ سطح اصلی شامل تأمین‌کنندگان، تولیدکننده و مشتری می‌باشد همچنین این زنجیره از مراکز بازسازی و نگهداری و تعمیرات نیز برخوردار است. در این زنجیره تأمین معکوس، یک تولیدکننده مبادرت به ارسال چندین محصول برای مشتریان می‌نماید. بخشی از نیاز مشتریان در ساعات کار عادی و ساعات اضافه‌کاری توسط خود تولیدکننده، تولید می‌شود. همچنین بخش دیگری از نیاز تولیدکننده توسط تأمین‌کنندگان مختلف برای تولیدکننده ارسال و از طریق آن برای مشتریان فرستاده می‌شود. در ادامه این فرایند در زنجیره تأمین مذکور محصول ارسال‌شده به مشتریان در صورت خراب بودن توسط مشتریان به مرکز بازسازی ارسال‌شده و در این مرکز بعد از انجام اقدامات اصلاحی مربوطه به‌صورت محصول نهایی برای تولیدکننده ارسال می‌گردد تا در سیکل‌های بعد مجدداً برای مشتریان ارسال شود. از طرف دیگر بعد از سپری شدن مدت‌زمان گارانتی محصولات از طرف مشتریان به مرکز نت ارسال‌شده که در صورت امکان بعد از انجام تعمیرات و اصلاحات مجدداً به مشتریان ارسال‌شده و در غیر این صورت دمونتاژ شده و به تولیدکننده ارجاع داده می‌شود. در **شکل ۲** مدل مفهومی زنجیره تأمین نمایش داده‌شده است



شکل ۱- توزیع امکان مثلثی با پارامترهای نادقیق $\widetilde{A}=(A^P,A^M,A^O)$.

Figure 1-Triangular possibility distribution with inaccurate parameters $\widetilde{A}=(A^P,A^M,A^O)$.



شکل ۲- مدل مفهومی زنجیره تأمین حلقه بسته برگشت‌پذیر.

Figure 2 - Conceptual model of reversible closed loop supply chain.

۳-۱- مفروضات مدل پیشنهادی

محصولات در یك زنجیره تأمین سه سطحی حلقه بسته تأمین و تولیدشده و به فروش می‌رسد. این زنجیره شامل چندین تأمین‌کننده، یك تولیدکننده و چندین مشتری بوده و از یك مرکز بازسازی و یك مرکز نگهداری و تعمیرات تشکیل‌شده است. دوره برنامه‌ریزی در این زنجیره برای چند دوره می‌باشد.

- محصولات در صورت عدم استفاده پس از چند سال از طرف مشتری به بخش نت ارسال می‌گردند.
- محصولات در بخش نت، تعمیر و به مشتری عودت داده می‌شوند و یا دمونتاژ و به تولیدکننده داده می‌شوند.
- محصولات برگشت داده‌شده توسط مشتری در بخش بازسازی یا نابودشده و یا دمونتاژ و به تولیدکننده داده می‌شوند

- در زنجیره تأمین مدل پیشنهادی، به تولید و فروش یك محصول که خود از چندین قطعه تشکیل‌شده است پرداخته می‌شود.
- بعضی مشتریان نسبت به یکدیگر مهم‌تر هستند.
- ظرفیت، هزینه نت و کیفیت تولید در زمان عادی و اضافه‌کاری متفاوت هستند.
- تأمین‌کنندگان ازلحاظ قیمت، زمان تحویل محصول متفاوت‌اند.
- تقاضای مشتریان دارای عدم قطعیت است.
- هزینه تولید یک واحد محصول در ساعت کار عادی دارای عدم قطعیت است.
- هزینه تولید یک واحد محصول در ساعت کار اضافه‌کاری دارای عدم قطعیت است.
- هزینه تأمین یک واحد محصول توسط تأمین‌کننده دارای عدم قطعیت است.
- هزینه یک نفر کارگر در ساعت کار عادی دارای عدم قطعیت است.
- هزینه یک نفر کارگر در ساعت اضافه‌کاری دارای عدم قطعیت است.
- هزینه استخدام یک نفر نیروی انسانی دارای عدم قطعیت است.
- هزینه اخراج یک نفر نیروی انسانی دارای عدم قطعیت است.
- هزینه نگهداری یک واحد کالا در انبار تولیدکننده دارای عدم قطعیت است.
- هزینه نگهداری یک واحد کالا در انبار مرکز بازسازی دارای عدم قطعیت است.
- هزینه نگهداری یک واحد کالا در انبار مرکز نت دارای عدم قطعیت است.
- هزینه کمبود یک واحد کالا برای هر مشتری دارای عدم قطعیت است.
- قیمت فروش محصول دارای عدم قطعیت است.
- هزینه تأمین یک واحد محصول از مرکز بازسازی دارای عدم قطعیت است.

۲-۳- مجموعه اندیس‌ها

i: مجموعه محصولات $i=\{1,2,\ldots,I\}$.

K : مجموعه محصولات $k=\{1,2,\ldots,K\}$.

t: مجموعه دوره زمانی $t=\{1,2,\ldots,T\}$.

j: مجموعه تأمین‌کننده $j=\{1,2,\ldots,J\}$.

n: شماره سناریو $n\epsilon N=\{1,2,\ldots\}$.

۳-۳- پارامترهای مدل

$\tilde{d}_{iktn}$: تقاضای پیش‌بینی‌شده محصول i در دوره t برای مشتری k تحت سناریو n.

$\tilde{\alpha}_{iktn}$: درصد محصول i برگشتی توسط مشتری k به مرکز بازسازی در دوره t تحت سناریو n.

$\tilde{\beta}_{iktn}$: درصد محصول i برگشتی توسط مشتری k در دوره t به مرکز نت تحت سناریو n.

$CAPP$: ظرفیت نگهداری کالای در مرکز تولیدکننده.

$CAPD$: ظرفیت نگهداری کالای در مرکز بازسازی.

$CAPM$: ظرفیت نگهداری کالای در مرکز نت.

$\widetilde{CPR}_{in}$: هزینه تولید یک واحد محصول i در ساعات عادی تحت سناریو n.

$\widetilde{CPO}_{in}$: هزینه تولید یک واحد محصول i در ساعات اضافه‌کاری تحت سناریوn.

$\widetilde{CD}_{in}$: هزینه تهیه یک واحد محصول i از مرکز بازسازی تحت سناریوn.

$\widetilde{CM}_{in}$: هزینه تهیه یک واحد محصول نهایی از مرکز نت تحت سناریوn.

$\widetilde{CSC}_{ij\ n}$: هزینه تأمین یک واحد محصول نهایی از تأمین‌کننده j تحت سناریوn.

$\widetilde{CLR}_{tn}$: هزینه یک نفر کارگر در دوره t در زمان عادی تحت سناریوn.

$\widetilde{CLO}_{tn}$: هزینه یک نفر کارگر در دوره t در زمان اضافه‌کاری تحت سناریوn.

$\widetilde{HC}_{tn}$: هزینه استخدام یک نفر نیروی انسانی در دوره t تحت سناریوn.

$\widetilde{FC}_{tn}$: هزینه اخراج یک نفر نیروی انسانی در دوره t تحت سناریوn.

$\widetilde{HI}_{Pitn}$: هزینه نگهداری یک واحد محصول i در دوره t در انبار تولیدکننده تحت سناریوn.

$\widetilde{HID}_{itn}$: هزینه نگهداری یک واحد محصول i در انبار مرکز بازسازی در دوره t تحت سناریوn.

$\widetilde{HIM}_{itn}$: هزینه نگهداری یک واحد محصول i در دوره t در انبار مرکز نت تحت سناریوn.

$\tilde{\pi}_{iktn}$: هزینه کمبود یک واحد کالای i برای مشتریk در دوره. تحت سناریوn.

QR_{itn}: ضریب کیفیت تولید محصول i در دوره t در ساعات عادی.

$\widetilde{QO}_{itn}$: ضریب کیفیت تولیدِ محصول i در دوره t در ساعات اضافه‌کاری تحت سناریوn.

$\widetilde{QSC}_{ijtn}$: ضریب کیفیت تولید محصول i توسط تأمین‌کننده j در دوره t. تحت سناریوn.

$\widetilde{QD}_{itn}$: ضریب کیفیت تولید محصول i در دوره t توسط مرکز بازسازی. تحت سناریوn.

$\widetilde{QM}_{itn}$: ضریب کیفیت تولید محصول i در دوره t توسط مرکز نت. تحت سناریوn.

WC_k: ضریب اهمیت مشتری k.

WSC_j: ضریب اهمیت تأمین‌کننده j.

MW_t: ماکزیمم نیروی کار در دسترس در دوره t.

MOT_t: ماکزیمم ساعات اضافه‌کاری در دسترس در دوره t.

TW: حداکثر تعداد ساعات کاری در زمان عادی.

TP_i: میزان نفر–ساعت موردنیاز برای تولید محصول i (در ساعات اضافه‌کاری و ساعات کار عادی).

γ_t: درصد تغییر مجاز در نیروی انسانی در دوره t.

MSC_{ijt}: حداکثر مجاز تأمین محصول i از تأمین‌کننده j.

$\tilde{P}_{iktn}$: قیمت فروش محصول i به مشتری k تحت سناریو n.

$\widetilde{CPRD_{in}}$: هزینه تولید یک واحد محصول i در ساعات عادی واحد بازسازی تحت سناریو n.

$\widetilde{CPOD_{in}}$: هزینه تولید یک واحد محصل i در ساعات اضافه‌کاری واحد بازسازی تحت سناریو n.

$\widetilde{CPRM_{in}}$: هزینه تولید یک واحد محصول i در ساعات عادی واحد نت تحت سناریو n.

$\widetilde{CPOM_{in}}$: هزینه تولید یک واحد محصول i در ساعات اضافه‌کاری واحد نت تحت سناریو n.

۴-۳- متغیرهای تصمیم مدل پیشنهادی

B_{ikt}: میزان کسری (سفارش عقب‌افتاده) محصول i در دوره t برای مشتری k.

X_{it}: میزان تولید محصولات خانواده i در زمان تولید عادی در دوره t.

Y_{it}: میزان تولید محصولات خانواده i در زمان اضافه‌کاری در دوره t.

ZD_{it}: میزان تأمین محصولات خانواده i توسط مرکز بازسازی در دوره t.

ZM_{it}: میزان تأمین محصولات خانواده i توسط مرکز نت در دوره t.

F_{ikt}: میزان محصول ارسالی خانواده i در دوره t برای مشتری k.

SC_{ijt}: میزان محصولات خانواده i که در دوره t توسط تأمین‌کننده j تهیه می‌شود.

OT_t: ساعات اضافه‌کاری موردنیاز در دوره t.

IP_{it}: سطح موجودی محصول خانواده i در انتهای دوره t برای تولیدکننده.

WL_t: تعداد نیروی کار موردنیاز در دوره t .

HL_t: تعداد نیروی کار استخدام‌شده در دوره t .

FL_t: تعداد نیروی کار اخراج شده در دوره t .

ZC_{iKt}: میزان محصولات خانواده i که در دوره t برای مشتری k.

IM_{it}: سطح موجودی محصول خانواده i در انتهای دوره t در مرکز نت.

ID_{it}: سطح موجودی محصول خانواده i در انتهای دوره t در مرکز بازسازی.

XD_{it}: میزان تولید محصول خانواده i در زمان کار عادی در دوره t واحد بازسازی.

YD_{it}: میزان تولید محصول خانواده i در زمان اضافه‌کاری در دوره t واحد بازسازی.

$\widetilde{XM}_{i}$: میزان تولید محصول خانواده i در زمان کار عادی در دوره t واحد نت تحت سناریو n.

YM_{it}: میزان تولید محصول خانواده i در زمان اضافه‌کاری در دوره t واحد نت.

$$MinZ_1=E+\lambda_1[(P_{n1}.A_{n1})-E+2\Theta_{n1}]+\lambda_2[(P_{n2}.A_{n2})-E+2\Theta_{n2}]+\lambda_3[(P_{n3}.A_{n3})-E+2\Theta_{n3}]. \quad (۴)$$

$$MinZ_2=E_0+\lambda_4[(P_{n4}.A_{n4})-E+2\Theta_{n4}]+\lambda_5[(P_{n5}.A_{n5})-E+2\Theta_{n5}]+\lambda_6[(P_{n6}.A_{n6})-E_0+2\Theta_{n6}]. \quad (۵)$$

$$Minz_3=\sum_t \max_k(WC_k.\sum_i B_{ikt}). \quad (۶)$$

$$Maxz_4=\sum_t \min_j(WSC_j.\sum_i SC_{ijt}). \quad (۷)$$

Subject to:

$$IP_{i(t-1)}+X_{it}+Y_{it}+\sum_j SC_{ijt}+ZD_{it}+ZM_{it}+\sum_k B_{ik(t-1)}=\sum_k B_{ik(t-1)}+\sum_k F_{ikt}+IP_{it} \quad \forall i,t \quad (۸)$$

$$ID_{it}=ID_{i(t-1)}+\sum_k \alpha_{iktn}.F_{ikt}-ZM_{it}-ZD_{it} \quad \forall i,t,n \quad (۹)$$

$$M_t=IM_{i(t-1)}+\sum_k \beta_{iktn}.F_{ikt}-ZM_{it}-ZC_{ikt} \quad \forall i,t \quad (۱۰)$$

$$\sum_{Ii} IP_{it}\le CAPP. \quad \forall t \quad (۱۱)$$

$$\sum_i ID_{it}\le CAPD. \quad \forall t \quad (۱۲)$$

$$\sum_i IM_{it}\le CAPM. \quad \forall t \quad (۱۳)$$

$$WL_t\le MW_t \quad \forall t \quad (۱۴)$$

$$WL_t=WL_{(t-1)}+HL_t-FL_t \quad \forall t \quad (۱۵)$$

$$HL_t.FL_t=0. \quad \forall t \quad (۱۶)$$

$$(IP_{it}+IM_{it}).\sum_k B_{ikt}=0 \quad \forall i, \quad (۱۷)$$

$$OT_t\le MOT_t. \quad \forall t \quad (۱۸)$$

$$\sum_i TP_i.X_{it}\le TW. \quad \forall t \quad (۱۹)$$

$$\sum_i TP_i.Y_{it}\le OT_t. \quad \forall t \quad (۲۰)$$

$$FL_t+HL_t\ge\gamma_{t-1}WL_{t-1}. \quad \forall t \quad (۲۱)$$

$$SC_{ijt}\le SC_{(i-1)jt}. \quad \forall i>1,j,t \quad (۲۲)$$

$$SC_{ijt}\le SC_{(i-1)jt}. \quad \forall i>1,j,t \quad (۲۳)$$

$$B_{ikt}=B_{(t-1)i,k}+\tilde{d}_{iktn}-F_{ikt}-ZC_{ikt}. \quad \forall i,k,t,n \quad (۲۴)$$

$$ZD_{it}\le CAPD. \quad \forall t,i \quad (۲۵)$$

$$ZM_{it}\le CAPM. \quad \forall t,i \quad (۲۶)$$

$$ZM_{it}\le CAPM. \quad \forall t,i \quad (۲۷)$$

$$F_{ikt}+ZC_{ikt}\le\tilde{d}_{iktn}. \quad \forall i,k,t,n \quad (۲۸)$$

$$A_{n1}-[(P_{n1}.A_{n1})+(P_{n2}.A_{n2})+(P_{n3}.A_{n3})]+\Theta_{n1}\ge 0. \quad (۲۹)$$

$$A_{n2}-[(P_{n1}.A_{n1})+(P_{n2}.A_{n2})+(P_{n3}.A_{n3})]+\Theta_{n2}\ge 0. \quad (۳۰)$$

$$A_{n3}-[(P_{n1}.A_{n1})+(P_{n2}.A_{n2})+(P_{n3}.A_{n3})]+\Theta_{n3}\ge 0. \quad (۳۱)$$

$$A_{n4}-[(P_{n6}.A_{n6})+(P_{n5}.A_{n5})+(P_{n4}.A_{n4})]+\Theta_{n4}\ge 0. \quad (۳۲)$$

$$A_{n4}-[(P_{n6}.A_{n6})+(P_{n5}.A_{n5})+(P_{n4}.A_{n4})]+\Theta_{n4}\ge 0. \quad (۳۳)$$

$$A_{n6}-[(P_{n6}.A_{n6})+(P_{n5}.A_{n5})+(P_{n4}.A_{n6})]+\Theta_{n6}\ge 0. \quad (۳۴)$$

$$X_{it},Y_{it},ZD_{it},ZM_{it},F_{ikt},SC_{ijt},OT_t,IP_{it},WL_t,HL_i,FL_t,ZC_{it},IM_{it},XD_{it}, \quad (۳۵)$$

$YD_{it}, XM_{it}, YM_{it}, ID_{it} \geq 0.$

رابطه (٤) در مدل پایدار اولین تابع هدف مسئله را نشان می‌دهد که برای کمینه‌سازی هزینه‌هاست. هزینه‌ها شامل هزینه‌های تولید یک واحد محصول در ساعت عادی، ساعات اضافه‌کاری، هزینه تأمین یک واحد محصول توسط تأمین‌کنندگان توسط مرکز نت و مرکز بازسازی، هزینه یک نفر کارگر در ساعت کار عادی هزینه یک نفر کارگر در ساعت کار اضافه‌کاری، هزینه استخدام و اخراج نیروی انسانی، هزینه نگهداری یک واحد محصول در انبار تولیدکننده، در انبار مرکز نت و در انبار مرکز بازسازی، هزینه کمبود یک واحد محصول برای مشتری و تقاضای پیش‌بینی‌شده است. در این رابطه همه هزینه‌ها دارای بعد عدم قطعیت هستند. **رابطه (٥)** تابع هدف دوم مدل است که برای بیشینه‌سازی ضریب کیفیت است. ضریب کیفیت شامل مجموع ضریب کیفیت تولید در ساعات عادی، ضریب کیفیت تولید در ساعات اضافه‌کاری، ضریب کیفیت محصول دریافتی از تأمین‌کنندگان، ضریب کیفیت محصول دریافتی از مرکز بازسازی و ضریب کیفیت محصول دریافتی از مرکز نت است. **رابطه (٦)** بیانگر سومین تابع هدف مسئله است که برای کمینه کردن حداکثر کمبود در میان مشتریان است و ضریب اهمیت مشتریان را شامل می‌شود. **رابطه (٧)** نشان‌دهنده تابع هدف چهارم مدل است که برای بیشینه کردن حداقل میزان تأمین محصول از تأمین‌کنندگان است. **رابطه (٨)** این رابطه تعادل موجودی تولیدکننده را نشان می‌دهد. **رابطه (٩)** بیانگر تعادل موجودی در مرکز بازسازی است. در این رابطه درصد محصول برگشتی مشتری به مرکز بازسازی دارای عدم قطعیت است **رابطه (١٠)** این رابطه بیانگر تعادل موجودی در مرکز نت است. در این رابطه محصول برگشتی مشتری به مرکز نت دارای عدم قطعیت می‌باشد. **رابطه (١١)** ظرفیت نگهداری محصول در مرکز تولیدکننده است. **رابطه (١٢)** نشان‌دهنده ظرفیت نگهداری محصول در مرکز بازسازی است. **رابطه (١٣)** ظرفیت نگهداری محصول مرکز نت را نشان می‌دهد. **رابطه (١٤)** محدودیت حداکثر تعداد نیروی انسانی در دسترس را نشان می‌دهد. **رابطه (١٥)** بیانگر تعادل نیروی انسانی تولیدکننده است. در **رابطه (١٦)** استخدام و یا اخراج کارکنان در هر دوره نشان داده‌شده است. **رابطه (١٧)** بیانگر موجودی یا کمبود هر محصول در هر دوره است. **رابطه (١٨)** محدودیت سقف اضافه‌کاری را نشان می‌دهد. **رابطه (١٩)** نشان می‌دهد که زمان تولید محصول در هر دوره از زمان‌های عادی در دسترس کمتر است. **رابطه (٢٠)** نشان می‌دهد زمان تولید محصول از زمان‌های اضافه‌کاری در دسترس کمتر باشد. **رابطه (٢١)** در صد تغییر مجاز در نیروی انسانی در هر دوره را نشان می‌دهد. **رابطه (٢٢)** حداکثر خرید تولیدکننده از محصول تأمین‌کننده را نشان می‌دهد. **رابطه (٢٣)** بیانگر حداکثر خرید محصول از تأمین‌کنندگان در هر دوره است. **رابطه (٢٤)** تعادل کمبود محصول تولیدکننده را با توجه به کمبود دوره قبل، میزان محصول ارسال‌شده به مشتری از تولیدکننده و مرکز نت را در هر دوره نشان می‌دهد. در این رابطه تقاضای مشتریان دارای عدم قطعیت می‌باشد **رابطه‌های (٢٥)** و **(٢٦)** بیانگر حداکثر محصول تهیه‌شده از مرکز بازسازی و مرکز نت است **رابطه‌های (٢٧)** و **(٢٨)** حداکثر محصول ارسال‌شده برای مصرف‌کننده در هر دوره از مرکز نت و مرکز بازسازی را نشان می‌دهد است. در این رابطه تقاضای مشتریان دارای بعد عدم قطعیت است. **رابطه‌های (٢٩)-(٣٤)** محدودیت‌های پایدارسازی مدل است.

$$A_{n1}=\sum_t\sum_i (CPR_{in1}.X_{it}+CPO_{in1}.Y_{it}+CPRD_{in1}.XD_{it}+CPOD_{in1}.YD_{it}$$
$$+CPRM_{in1}.XM_{itn1}+CPOM_{in1}.YM_{it})+\sum_t\sum_j\sum_{i(} CSC_{ijn1}.SC_{ijt})$$
$$+\sum_t\sum_i (CD_{in1}.ZD_{it}+CM_{in1}.ZM_{it})+\sum_t (CLR_{tn1}.WL_t+CLO_{tn1}.OT_t)+ \quad (٣٦)$$
$$\sum_t (HL_t.HC_{tn1}+FL_t.FC_{tn1})+\sum_t\sum_i IP_{it}.HIP_{itn1}+ID_{it}.HID_{itn1}+IM_{it}.HIM_{itn1}$$
$$+\sum_t\sum_i\sum_k B_{ikt}.\pi_{iktn1}-\sum_t\sum_i\sum_k F_{ikt}.P_{iktn1}.$$
$$A_{n2}=\sum_t\sum_i (CPR_{in2}.X_{it}+CPO_{in2}.Y_{it}+CPRD_{in2}XD_{it}+CPOD_{in2}.YD_{it}$$
$$+CPRM_{in2}.XM_{itn2}+CPOM_{in2}.YM_{it})+\sum_t\sum_j\sum_{i(} CSC_{ijn2}.SC_{ijt}) \quad (٣٧)$$

$$+\sum_t\sum_i (CD_{in2}.ZD_{it}+CM_{in1}.ZM_{it})+\sum_t (CLR_{tn2}\ .WL_t+CLO_{tn2}.OT_t)+$$

$$\sum_t (HL_t.\ HC_{tn1}+FL_t.FC_{tn2})+\sum_t\sum_i IP_{it}.\ HIP_{itn2}+ID_{it}.\ HID_{itn2}+IM_{it}.\ HIM_{itn2}$$

$$+\sum_t\sum_i\sum_k B_{ikt}.\ \pi_{iktn2}-\sum_t\sum_i\sum_k F_{ikt}.\ P_{iktn2}.$$

$$A_{n3}=\sum_t\sum_i (CPR_{in3}.X_{it}+CPO_{in3}.Y_{it}+CPRD_{in3}.XD_{it}+CPOD_{in3}.YD_{it}$$

$$+CPRM_{in3}.XM_{itn3}+CPOM_{in3}.YM_{it})+\sum_t\sum_j\sum_i (CSC_{ijn3}.SC_{ijt})$$

$$+\sum_t\sum_i (CD_{in3}.ZD_{it}+CM_{in3}.ZM_{it})+\sum_t (CLR_{tn3}\ .WL_t+CLO_{tn3}.OT_t)+ \quad (۳۸)$$

$$\sum_t (HL_t.\ HC_{tn3}+FL_t.FC_{tn3})+\sum_t\sum_i IP_{it}.\ HIP_{itn3}+ID_{it}.\ HID_{itn3}+IM_{it}.\ HIM_{itn3}$$

$$+\sum_t\sum_i\sum_k B_{ikt}.\ \pi_{iktn3}-\sum_t\sum_i\sum_k F_{ikt}.\ P_{iktn3}.$$

$$An_4=\sum_t\sum_i (X_{it}.QR_{itn4}+Y_{it}.QO_{itn4}+\sum_t\sum_i\sum_j SC_{ijt}.QSC_{ijtn4})+ \quad (۳۹)$$

$$.\sum_t\sum_i (ZD_{it}.QD_{itn4})+\sum_t (ZM_{it}.QM_{itn4})$$

$$An_5=\sum_t\sum_i (X_{it}.QR_{itn5}+Y_{it}.QO_{itn5}+\sum_t\sum_i\sum_j SC_{ijt}.QSC_{ijtn5})+\sum_t\sum_i (ZD_{it}.QD_{itn5}) \quad (۴۰)$$

$$+\sum_t (ZM_{it}.QM_{itn5}).$$

$$An_6=\sum_t\sum_i (X_{it}.QR_{itn6}+Y_{it}.QO_{itn6}+\sum_t\sum_i\sum_j SC_{ijt}.QSC_{ijtn6})+\sum_t\sum_i (ZD_{it}.QD_{itn6}) \quad (۴۱)$$

$$+\sum_t (ZM_{it}.QM_{itn6}).$$

$$E_1=P_{n1}.A_{n1}. \quad (۴۲)$$

$$E_2=P_{n2}.A_{n2}. \quad (۴۳)$$

$$E_3=P_{n3}.A_{n3}. \quad (۴۴)$$

$$E=E_1+E_2+E_3. \quad (۴۵)$$

$$E_4=P_{n4}.A_{n4}. \quad (۴۶)$$

$$E_5=P_{n5}.A_{n5}. \quad (۴۷)$$

$$E_6=P_{n6}.A_{n6}. \quad (۴۸)$$

$$E_0=E_1+E_2+E_3. \quad (۴۹)$$

رابطه‌های (۳۶)-(۴۱) سناریوهای طراحی‌شده درروش مالوی را نشان می‌دهد. **رابطه‌های (۴۲)-(۴۷)** امید ریاضی سناریوهای طراحی‌شده در مدل پیشنهادی را نشان می‌دهد و **رابطه‌های (۴۵)** و **(۴۹)** امید ریاضی مجموع سه سناریو را نشان می‌دهد.

۴- روش حل مدل پیشنهادی

ازآنجاکه مدل ریاضی پیشنهادی از نوع کاربردی- توسعه‌یافته است؛ بنابراین با عنایت به تحقیقات انجام‌گرفته، مدل ریاضی پیشنهادی توسعه‌یافته از نوع*NP-Hard* است. برای حل مدل نیز از الگوریتم تجمع ذرات استفاده می‌شود. رضایی مقدم و همکاران (۲۰۱۹).

۴-۱- الگوریتم فرا ابتکاری ژنتیک مرتب‌سازی نا مغلوب

الگوریتم ژنتیک الهام گرفته از طبیعت است. این الگوریتم در دهه ۱۹۶۰ در مطالعات هالند و همکارانش مورداستفاده قرار گرفت. این الگوریتم یکی از سریع‌ترین و توانمندترین الگوریتم‌های بهینه‌سازی است که نسبت به سایر روش‌ها از پیچیدگی عملیاتی کمتری برخوردار بوده و با استفاده از اصل عدم تسلط (نا مغلوب) و محاسبه فاصله ازدحام نقاط پارتو را به دست می‌آورد که از گستردگی مطلوبی در حوزه تغییرات توابع اهداف برخوردارند و به طراح آزادی انتخاب طراحی موردنظر خود را از میان طراحی‌های بهینه‌شده می‌دهد. در این روش ابتدا یک جمعیت از فرزندان با استفاده از جمعیت والدین ایجاد می‌شود که اندازه هر دو جمعیت n است. این دو جمعیت باهم ادغام می‌شوند و یک جمعیت با $2n$ عضو را به وجود می‌آورند، این جمعیت با استفاده از مرتب‌سازی نا مغلوب دسته‌بندی‌شده و درنهایت جمعیت جدید شامل بهترین اعضا تا n عضو به دست می‌آید. به هر دسته‌بندی‌شده یک جبهه می‌گویند.

۴-۲- مرتب‌سازی سریع نا مغلوب‌ها

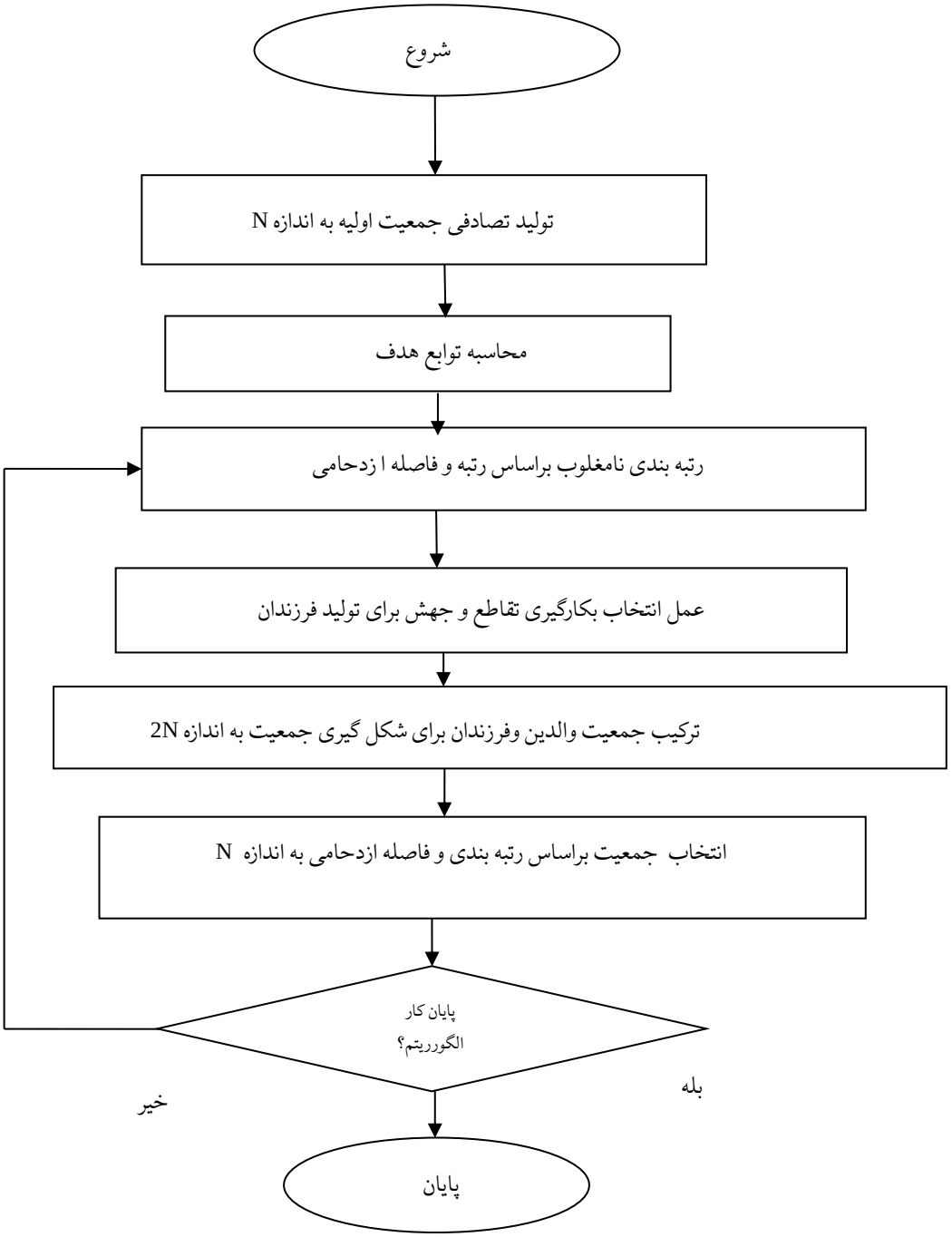
به‌طورکلی برای مرتب کردن جمعیتی با اندازه n بر اساس سطوح نا مغلوب‌ها، هر جواب با تمام جواب‌های دیگر موجود در جمعیت مقایسه می‌شود تا مشخص شود که آن جواب مغلوب می‌شود یا خیر. درنهایت یک تعداد حل وجود دارد که هیچ‌کدام غالب و مغلوب همدیگر نمی‌شوند لذا این جواب‌ها، اولین مرز از مرزهای نا مغلوب را تشکیل می‌دهند. برای تعیین جواب‌های موجود در مرزهای بعدی، جواب‌های موجود در مرز اول به‌طور موقت نادیده گرفته می‌شود و فرایند فوق دوباره تکرار می‌شود. این فرایند تا زمانی که تمام جواب‌ها درون مرزهای نا مغلوب قرار گیرند ادامه می‌یابد. شبه کد مرتب‌سازی سریع نا مغلوب در **شکل ۳** آورده شده است.

۴-۳- عملگر تقاطع

مهم‌ترین عملگر در الگوریتم ژنتیک، عملگر تقاطع است. تقاطع، فرآیندی است که در آن نسل قدیمی کروموزوم‌ها با یکدیگر ترکیب می‌شود تا نسل تازه‌ای از کروموزوم‌ها به وجود بیاید. جفت‌هایی که در قسمت انتخاب، به‌عنوان والد در نظر گرفته شدند، در این قسمت ژن‌هایشان را باهم مبادله می‌کنند و اعضایی جدید به وجود می‌آورند. تقاطع در الگوریتم ژنتیک باعث از بین رفتگی پراکندگی یا تنوع ژنتیکی جمعیت می‌شود؛ زیرا اجازه می‌دهد ژن‌های خوب یکدیگر را بیابند. این عملگر تقاطع باعث می‌شود همیشه فرزندان تولیدشده قانونمند باشند. (ممکن نیست کروموزوم‌هایی تولید شود که با هیچ عضوی از فضای جواب متناظر نباشد) روش‌های معمول جابجایی تک نقطه، دونقطه، چند نقطه و جابجایی یکنواخت می‌باشد.

۴-۴- عملگر جهش

جهش نیز عملگر دیگری است که جواب‌های ممکن دیگری را تولید می‌کند. در جهش ممکن است ژنی از مجموعه ژن‌های جمعیت حذف شود یا ژنی که تابه‌حال در جمعیت وجود نداشته است به آن اضافه شود. یافتن جواب‌های نزدیک‌تر به جواب‌های بهینه مختلف در یک جمعیت و نگهداری آن‌ها در نسل‌های مختلف دو موضوع متفاوت است. اگرچه امکان کشف جواب‌های چندگانه در خلال نسل‌های اولیه وجود دارد، نگهداری آن‌ها به‌صورت خودکار در یک الگوریتم ژنتیک ممکن نیست. به‌منظور نگهداری چندین جواب بهینه، لازم است تا از یک عملگر نگهدارندِ تنوع استفاده گردد. عملگر جهش، اغلب به‌عنوان یک عملگر نگهدارندِ تنوع در یک الگوریتم تکاملی مورداستفاده قرار می‌گیرد. اگرچه عملگرهای انتخاب و تقاطع دریافتن جواب‌های بهینه مختلف کمک می‌کنند، این عملگر پس از گذشت نسل‌های زیاد، قادر به نگهداری چنین جواب‌های مفیدی نخواهد بود. عملگر جهش هم دارای اثر سازنده و هم اثر مخرب است. همچنان که این عملگر با بر هم زدن یک جواب قادر به تولید جوابی بهتر است، می‌تواند جواب خوبی را از بین ببرد. ازآنجاکه ما تنها مایل به پذیرش اثر سازنده جهش هستیم و از سوی دیگر بررسی ارزش ستاده هر جهش ممکن، محاسبات بسیار زیادی را بطلبد جهش معمولاً با احتمال کمی در یک الگوریتم ژنتیک استفاده می‌شود.



شکل ۳- نحوه کار الگوریتم ژنتیک رتبه‌بندی نا مغلوب.

Figure 3- How the genetic algorithm of unfavorable ranking works.

۵-۴- مرتب کردن جمعیت و انتخاب کروموزوم

در ابتدا جمعیت فرزندان و والدین را باهم ترکیب می‌کنیم و درنتیجه جمعیتی به‌اندازه دو برابر سایز جمعیت اولیه ایجاد می‌نماییم. هدف از این ترکیب از بین نرفتن جواب‌های برتر والدین و فرزندان است. سپس، از مرتب‌سازی مغلوب برای دسته‌بندی تمام جمعیت استفاده می‌کنیم. ازآنجاکه جمعیت والدین و فرزندان دو برابر جمعیت والدین است تمام اعضای آن ممکن است نتوانند در جمعیت نسل بعد قرار گیرند و به‌راحتی جواب‌های باقی‌مانده را حذف خواهیم کرد. جواب‌هایی که در ناحیه ازدحامی کوچک‌تری هستند برای پر کردن نسل بعد در اولویت قرار دارند.

۴-۶- تنظیم عملگرهای الگوریتم فرا ابتکاری ژنتیک مغلوب

در طراحی الگوریتم فرا ابتکاری ژنتیک که برای یک جامعه به حجم ۳۰۰ نفر طراحی‌شده است با عنایت به پژوهش‌های دیگر، عملکرد تقاطع ۰٫۷% و نرخ جهش ۰٫۰۲ در نظر گرفته‌شده است.

۵- نتایج محاسباتی

برای حل مدل پیشنهادی همان‌طور که در قسمت قبل گفته شد از الگوریتم فرا ابتکاری تجمع ذرات بر روی سیستمی با مشخصات ویندوز ۷ و *RAM300,H22.20,GB* استفاده‌شده است. برای بهینه‌سازی مجموعه جواب‌های پارتویی الگوریتم فرا ابتکاری تجمع ذرات با عملگرهای جهش و ترکیب الگوریتم فرا ابتکاری ژنتیک حل شد که از داده‌های واقعی مربوط به صنعت موردمطالعه برای حل مدل ریاضی چندهدفه استفاده‌شده است.

۵-۱- مطالعه موردی

همان‌طوری که در بالا گفته شد مسئله با استفاده از داده‌های واقعی مربوط به یک صنعت تولیدات نظامی که از ذکر جزئیات آن معذور هستیم، در این قسمت حل خواهد شد. در این زنجیره تأمین سه تأمین‌کننده، یک تولیدکننده، سه مشتری، سه محصول تولید می‌شود. همچنین با توجه به در دسترس بودن داده‌ها، برنامه‌ریزی برای سه دوره در نظر گرفته می‌شود.

۵-۲- داده‌های مربوط به مطالعه موردی

جدول ۲- درصد محصول برگشتی مشتریان به مراکز بازسازی و نگهداری و تعمیرات در هر سه سناریو.

Table 2- Demand forecast and selling price of each product sent and the cost of shortage of Goods in all three senarios.

		Pikt			**dikt**			**πikt**		
سناریو	K	t=1,2,3			t=1,2,3			t=1,2,3		
1	1	460	700	610	100	290	370	1	2	3
	2	240	555	500	230	280	339	7	5	2
	3	400	500	450	150	240	275	6	6	3
2	1	470	710	620	130	300	395	1	2	3
	2	423	570	510	240	290	349	7	5	2
	3	411	512	465	190	250	295	6	6	3
3	1	520	760	670	180	350	445	7	2	3
	2	480	620	570	290	345	399	6	5	2
	3	460	580	510	243	304	335	6	6	3

جدول ۳- درصد محصول برگشتی مشتریان به مراکز بازسازی و نگهداری و تعمیرات در هر سه سناریو.

Table 3- Percentage of customers returning to reconstruction, maintenance and repair centers in all three scenarios.

		βi,k,t			**αi,k,t**		
سناریو	K	t=1,2,3			t=1,2,3		
1	1	0.07	0.06	0.07	0.07	0.06	0.07
	2	0.01	0.05	0.19	0.03	0.07	0.19
	3	0.08	0.01	0.07	0.08	0.02	0.07
2	1	0.07	0.06	0.07	0.07	0.06	0.07
	2	0.01	0.05	0.19	0.03	0.07	0.19
	3	0.08	0.01	0.07	0.08	0.02	0.07
3	1	0.07	0.06	0.07	0.07	0.06	0.07
	2	0.01	0.05	0.19	0.03	0.07	0.19
	3	0.08	0.01	0.07	0.08	0.02	0.07

جدول ۴-هزینه تولید در ساعات عادی و اضافه‌کاری، تهیه محصول از مرکز تولیدکننده در هر سه سناریو.

Table 4- Production cost in normal hours and overtime, product procurement from the manufacturer in all three scenarios.

سناریو	I	CPO_{in}	CPR_{in}	CD_i	CM_{in}	TP_{in}
1	1	90	90	90	70	200
	2	110	90	80	90	200
	3	120	100	90	90	200
2	1	100	100	90	80	200
	2	120	100	90	100	200
	3	130	150	100	100	200
3	1	150	150	140	130	200
	2	160	150	140	150	200
	3	170	200	150	150	200

جدول ۵- ظرفیت نگهداری کالا در مراکز تولیدکننده، بازسازی و نت و حداکثر ساعات کاری موردنیاز در هر سه سناریو.

Table 5- Product storage capacity in production centers reconstruction and maintenance and repairs, and maximum working hours required in all three scenarios.

CAPP	CAPD	CAPM	TW
15000	10000	10000	60

جدول ۶- هزینه نگهداری و کیفیت کالای تولیدی در هر سه سناریو.

Table 6 - Maintenance cost and quality of manufactured goods in all three scenarios.

i																		T
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
			HIP_{it}			HID_{it}			HIM_{it}			QR_{it}			QD_{it}			QM_{it}
1	85	90	90	25	28	26	20	23	22	0.98	0.97	0.98	1.9	0.92	6.9	0.92	0.96	0.95
2	90	92	93	27	29	27	22	23	25	0.97	0.97	0.98	0.97	0.98	5.9	0.96	0.98	0.95
3	92	98	100	29	31	31	25	24	24	0.97	0.98	0.97	0.98	0.93	0.96	0.9	0.97	0.98

جدول ۷- حداکثر مجاز عرضه کالا از تأمین‌کننده در سناریو اول.

Table 7- Maximum allowable supply of goods from suppliers in the first scenario.

j	i			MSC_{ijt} t=1,2,3
1	1	136	110	147
	2	167	83	64
	3	170	90	70
2	1	123	53	83
	2	141	41	65
	3	133	70	85
3	1	95	70	110
	2	125	100	96
	3	90	90	90

جدول ۸- حداکثر مجاز عرضه کالا از تأمین‌کننده در سناریو دوم.

Table 8- Maximum allowable supply of goods from suppliers in the second scenario.

				MSC_{ijt}
J	I			t
		1	2	3
1	1	150	125	177
	2	180	100	84
	3	187	115	90
2	1	145	70	100
	2	165	60	86
	3	153	87	105
3	1	125	87	125
	2	135	120	117
	3	115	115	119

جدول ۹- حداکثر مجاز عرضه کالا از تأمین‌کننده در سناریو سوم.

Table 9- Maximum allowable supply of goods from suppliers in the third scenario.

				MSC_{ijt}
J	i			t=1,2,3
1	1	200	176	230
	2	230	150	134
	3	234	165	145
2	1	240	120	150
	2	206	110	146
	3	203	140	155
3	1	178	143	165
	2	186	170	167
	3	165	165	160

جدول ۱۰- ضریب اهمیت مشتریان و تأمین‌کنندگان در هر سه سناریو.

Table 10- Importance of customers and suppliers in all three scenarios.

WSC_j			WC_k		
1	2	3	1	2	3
0.8	0.6	0.5	0.9	0.6	0.8

جدول ۱۱- ضریب کیفیت محصول تولید کنند در ساعات اضافه‌کاری در هر سه سناریو.

Table 11- Quality factor of the manufacturer in overtime hours in all three scenarios.

QO_{it}			t
I	1	2	3
1	0.97	0.97	0.97
2	0.97	0.97	0.97
3	0.97	0.97	0.97

جدول ۱۲- ماکزیمم ساعات اضافه‌کاری در دسترس در هر سه سناریو.

Table 12 - Maximum overtime hours available in all three scenarios.

T	MOT_t
1	55
2	56
3	57

جدول ۱۳- هزینه تولید در ساعات کار عادی و اضافه‌کاری از مراکز نگهداری و تعمیرات و بازسازی در هر سه سناریو.

Table 13 - Production cost during normal working hours and overtime from maintenance, repair and reconstruction centers in all three scenarios.

سناریو	i	$CPOM_{in}$	$CPRM_{in}$	$CPOD_{in}$	$CPRD_{in}$
1	1	100	90	105	80
	2	100	90	105	80
	3	100	90	105	80
2	1	110	100	120	90
	2	110	100	120	90
	3	160	170	120	90
3	1	120	200	170	140
	2	120	200	170	140
	3	210	220	170	140

جدول ۱۴- هزینه تأمین کالا از تأمین‌کننده در هر سه سناریو.

Table 14- Cost of supplying goods to the supplier in all three scenarios.

			CSC_{ij}
سناریو	i		j
1	1	460	700	610
	2	420	555	500
	3	400	500	450
2	1	470	710	620
	2	423	570	510
	3	411	512	465
3	1	520	760	670
	2	480	620	570
	3	460	580	510

جدول ۱۵- هزینه دستمزد، اخراج و استخدام یک نفر کارگر در هر سه سناریو.

Table 15- Cost of wages, dismissal and employment of one worker in all three scenarios.

	CLR_{tn}			CLO_{tn}			HC_t			FC_t		
سناریو	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	150	120	135	190	195	190	50	50	50	70	80	90
2	170	190	210	249	250	280	60	60	60	70	80	90
3	210	232	240	290	270	295	80	90	95	80	90	100

جدول ۱۶- حداکثر نیروی کار در دسترس و درصد تغییر نیروی کار در هر سه سناریو.

Table 16 - Maximum available labor force and percentage change of labor force in each scenario.

t	MOT_t	MW_t	γ_t
1	50	50	0.2
2	50	50	0.2
3	50	50	0.2

جدول ۱۷- مجموعه جواب‌های پارتویی توابع هدف مدل حل‌شده با NSGAII در شرایط عدم قطعیت.

Table 17- Parto Solutions Set of Objective Functions of the Model Solved with NSGAII in Uncertainty Conditions.

NO	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4
1	-922616639.4005413	114573674.5862368	576926999.9999999	462397714.1691149
2	854419931.5459201	113524911.0832423	178578000.0000000	464489600.0262478
3	-869185513.7146097	1073722648268453	378154000.0000000	472379704.1692149
4	-863789552.2964722	110810747.9285682	368274000.0000000	454379704.1691249
5	-875617432.0642184	117654943.9757986	587224000.0000000	464188700.0262578
6	-910255895.1292049	124814518.8862598	469499000.0000000	467989600.0252478
7	-875957453.9105372	116172159.9562598	176559000.0000000	464278610.0261478
8	-742851893.851766	107639197.497698	344245000.000000	358315788.648718
9	-923414399.2671031	119693765.9558068	445489000.0000000	465923488.7627815
10	-879258420.7235796	119693765.9558068	426699000.0000000	459851893.9594427

جدول ۱۸- جواب متغیرهای تصمیم مدل با NSGAII در شرایط عدم قطعیت.

Table 18- Answer of model decision variables with NSGAII in uncertainty conditions.

جواب متغیرهای تصمیم	توضیحات مربوط به هر متغیر تصمیم
$B_{(1,1,1)}=3456, B_{(2,1,1)}=7588$ $B_{(2,3,2)}=3636, B_{(i,k,t),}=[151,7674]$	میزان کسری سفارشات ارسالی به مشتری را به ازای هر گروه محصول، گروه مشتری و دوره را نشان می‌دهد.
$X_{(2,1)}=8260, X_{(3,3)}=9728$ $X_{(1,1)}=9300, X_{(3,2)}=9244$ $X_{(i,\ t)}=[221,9846]$	مقدار محصول تولیدی تولیدکننده به ازای هر گروه محصول و ساعت کار عادی رانشان می‌دهد.
$Y_{(2,1)}=6565, Y_{(3,3)}=4684$ $Y_{(1,1)}=3491, Y_{(3,2)}=2485$ $Y_{(i,t)}=[1108961]$	مقدار محصول تولیدی تولیدکننده به ازای هر گروه محصول و ساعت اضافه‌کار رانشان می‌دهد.
$ZD_{\ (2,1)}=242, ZD_{(2,3)}=3154$ $ZD_{\ (3,1)}=3959, ZD_{\ (i,\ t)}=[242,6050]$	میزان تهیه محصول توسط مرکز بازرسی به ازای هر گروه محصول و دوره را این متغیر نشان می‌دهد.
$ZM_{(2,1)}=8873, ZM_{(2,3)}=3146$ $ZM_{(3,1)}=7665, ZM_{\ (i,\ t)}=[209,9025]$	میزان تهیه محصول توسط مرکز نت به ازای هر گروه محصول و دوره را این متغیر نشان می‌دهد.
$F_{(1,1,1)}=1317, F_{(2,1,2)}=256, F_{(3,3,3)}=1589$ $F_{(3,2,1)}=2946,\ F_{(3,2,3)}=2519,\ F_{(i,k,t)}=[107,3876]$	این متغیر میزان محصول ارسالی به ازای هر گروه محصول، گروه مشتری و هر دوره را نشان می‌دهد.
$SC_{(1,1,1)}=140,\ SC_{(2,1,1)}=121,\ SC_{(1,1,2)}=104$ $SC_{(2,1,2)}=45,\ SC_{(3,3,2)}=39,\ SC_{(2,3,2)}=114$ $SC_{(2,1,3)}=80,\ SC_{(2,3,3)}=57,\ SC_{(2,1,3)}=75, SC_{\ (i,k,t)}=[45, 180]$	این متغیر میزان محصول تأمین‌شده توسط هر گروه تأمین‌کننده و به ازای هر گروه محصول و هر دوره را نشان می‌دهد.
$OT_{(t)}=[42,\ 42,42]$	این متغیر ساعات اضافه‌کاری موردنیاز در هر دوره را نشان می‌دهد.
$HL_{(t)}=[0,0,0]$	این متغیر تعداد نیروی کار استخدام‌شده در هر دوره را نشان می‌دهد.
$FL_{(t)}=[0,8267,8421]$	این متغیر تعداد نیروی کار اخراج شده در هر دوره را نشان می‌دهد.
$WL_{(t)}=[0,42,46]$	این متغیر تعداد نیروی کار موردنیاز در هر دوره را نشان می‌دهد.
$ZC_{(1,1,1)}=5570,\ ZC_{(2,1,1)}=7861,\ ZC_{(1,1,2)}=2600$ $ZC_{(2,2,2)}=5514,\ ZC_{(3,3,2)}=2058,\ ZC_{(2,3,2)}=2698$ $ZC_{(2,1,3)}=9674,\ ZC_{(2,3,3)}=4676, ZC_{\ (i,k,t)}=[1416,9775]$	این متغیر تعداد محصول ارسالی به مشتریان را از مرکز نت به ازای هر گروه محصول، هر مشتری و هر دوره را نشان می‌دهد.
$XD_{(2,1)}=9372,\ XD_{(2,3)}=5997$ $XD_{(3,1)}=4037,\ XD_{(1,3)}=9787, XD_{(i,\ t)}=[322,9787]$	این متغیر تعداد تولید مرکز بازسازی را به ازای هر گروه محصول و هر دوره ساعات کار عادی نشان می‌دهد.
$YD_{(2,1)}=7186,\ YD_{(2,3)}=1824$ $YD_{(3,1)}=1426,\ YD_{(1,3)}=7717,\ YD_{(i,\ t)}=[2881,9379]$	این متغیر تعداد تولید مرکز بازسازی را به ازای هر گروه محصول و هر دوره ساعات اضافه‌کاری را نشان می‌دهد.
$XM_{(2,1)}=8057,\ XM_{(2,3)}=197,\ XM_{(3,1)}=4566,$ $XM_{(1,3)}=5591$ $XM_{(i,\ t)}=[447,8863]$	این متغیر تعداد تولید مرکز نت را به ازای هر گروه محصول و هر دوره ساعات کار عادی را نشان می‌دهد.
$YM_{(2,1)}=2555,\ YM_{(2,3)}=528\ YM_{(3,1)}=8921,\ YM_{\ (1,3)}=$ 9668 $YM_{\ (i,\ t)}=[100,9801]$	این متغیر تعداد تولید مرکز نت را به ازای هر گروه محصول و هر دوره ساعات اضافه‌کاری را نشان می‌دهد.
$IP_{\ (2,1)}=8624,\ IP_{(2,3)}=14990,\ IP_{(3,1)}=4077,$ $IP_{(3,3)}=14993$ $IP_{\ (i,\ t)}=[1271,14999]$	این متغیر تصمیم سطح موجودی تولیدکننده را به ازای هر گروه محصول و در هر دوره نشان می‌دهد.
$IM_{\ (2,1)}=727,\ IM_{(2,3)}=0,\ IM_{(3,1)}=4264,\ IM_{(3,3)}=0,$ $IM_{\ (i,\ t)}=[0,6998]$	این متغیر تصمیم سطح موجودی مرکز نت را به ازای هر گروه محصول و در هر دوره نشان می‌دهد.
$ID_{(2,1)}=9986,\ ID_{(2,3)}=9997\ ID_{(3,1)}=9996,\ ID_{(3,3)}=9992$ $ID_{\ (i,\ t)}=[9990,10000]$	این متغیر تصمیم سطح موجودی مرکز بازسازی را به ازای هر گروه محصول و در هر دوره نشان می‌دهد.

۶- نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

در این مقاله یک مدل ریاضی چندهدفه برای برنامه‌ریزی تولید ادغامی چند محصولی، چند دوره‌ای در یک زنجیره تأمین برگشت‌پذیر سه سطحی شامل تأمین‌کنندگان، تولیدکننده و مشتریان ارائه شد، سپس برای کنترل تأثیر تغییرات محیطی، توابع اول و دوم مدل مذکور برحسب نظر مسئولین آن صنعت در حالت عدم قطعیت- استوار فازی احتمالی به روش مالوی با در نظر گرفتن سه سناریو کم، متوسط و زیاد و با احتساب احتمال وقوع برای هر سناریو طراحی شد. آنچه در طراحی این مدل که به‌صورت برنامه‌ریزی غیرخطی فرمول شده است، اهمیت دارد و در پژوهش‌های مشابه مشاهده نشده است، وجود مرکز بازسازی و مرکز نگهداری و تعمیرات و در نظر گرفتن رضایت مشتریان و تأمین‌کنندگان و نیز توجه به کیفیت محصول دریافت شده از تأمین‌کنندگان و محصول تولیدشده به‌وسیله تولیدکننده در ساعات عادی و اضافه‌کاری، حداقل مجموع وزنی حداکثر کمبود در میان مشتریان و حداکثر کردن مجموع وزنی حداقل میزان تأمین کالا از تأمین‌کنندگان در برقراری رابطه‌ای برد- برد بوده است. مدل ارائه‌شده به کمک نرم‌افزار متلب با کد نویسی در الگوریتم ژنتیک چندهدفه طراحی و با داده‌های واقعی صنعت *High-Tech* حل‌شده است، مجموعه جواب‌های پارتویی توابع هدف و متغیرهای تصمیم نیز به ترتیب در جدول‌های (۱۶) و (۱۷) آورده شده است. در پژوهش‌های آتی پیشنهاد می‌شود که سایر توابع اهداف مدل را نیز در حالت عدم قطعیت با روش‌های فازی، استوار فازی، استوار فازی احتمالی، مدل‌های احتمالی و تصادفی نیز حل کرده و نتایج را مقایسه کنند، همچنین اگر موردمطالعه خاصی ندارند به‌عنوان تحلیل حساسیت ابعاد مسئله را توسعه دهند و برای بهینه‌سازی جواب با الگوریتم‌های فرا ابتکاری ترکیبی مانند *MPSOGA* نیز مدل را کد نویسی و حل کرد.

منابع

Ahmed, S. M., Biswas, T. K., & Nundy, C. K. (2019). An optimization model for aggregate production planning and control: a genetic algorithm approach. *International journal of research in industrial engineering*, *8*(3), 203-224. DOI: 10.22105/riej.2019.192936.1090

Azami, A., & Makoei, A. (2016). A robust optimization model for planning the integrated production of multi-factory perishable products under uncertainty conditions with a deferral policy. *Scientific quarterly "research in industrial management studies*. *14*(43), 27-51. (**In Persian**). https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=319721

Azar, A., & Sadat Hosseini, A. (2014). Designing a multi-product production planning model in the supply chain based on the ideal planning approach. *Industrial Management Studies*, *12*(34), 1-17. (**In Persian**). https://civilica.com/doc/720777/

Gholamrezaei, R. M., & Zare, H. K. (2015). Development of a multi- product, multi- period and multi- objective production planning model with fuzzy parameter. *Production and operations management quarterly*, *6*(1), 61-78. (**In Persian**). https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=314266

Hajji, A., & Mohammad Rahimi, A. (2008). Application of fuzzy multi-objective linear programming in integrated production planning. *Sixth international conference on industrial engineering*. Sharif University of technology, Iranian industrial engineering association, Tehran. (**In Persian**). https://civilica.com/doc/58910/

Hosseini, S. (2020). Modelling and solving the multi objective aggregate production planning with maintenance costs and dissatisfaction reduction approach. *Industrial management studies*, *18*(56), 129-169. (**In Persian**). DOI: 10.22054/jims.2019.29711.1988

Karimi, M., Sohrabi, T., & Mehrmanesh, H. (2020). An integrated mathematical model of production planning considering order acceptance, production and customer delivery at marun petrochemical company. *Journal of quality engineering and production optimization*, *5*(2), 21-42. (**In Persian**). DOI: 10.22070/jqepo.2020.5360.1148

Kazemi, A., & Kongi, F. (2012). Presenting a model for optimizing the production and distribution program in the supply chain. *The third national conference on industrial and system engineering*. Islamic Azad University, South Tehran Branch, Tehran. (**In Persian**). https://civilica.com/doc/162429/

Khatami Firoozabadi, S. M. A., Makoei, A., & Piri, V. (2013) Integrated production planning of Iran pipe and machinery company with the ideal gray planning approach. *Management research journal of tomorrow*, *12*(35). (**In Persian**). https://www.magiran.com/paper/1483102

Khosrowabadi, N., & Jabarzadeh, A. (2017). Presenting a multi-objective model of integrated planning and production management for manufacturing production systems to order with value-added approach. *5th international conference on economics, management, accounting with value creation approach.* Narun certified managers training institute, Shiraz. (**In Persian**). https://civilica.com/doc/622273

Kopaei Haji, K., & Rashidi Komijan, A. (2015). Presenting an integrated model of integrated production and procurement planning with a discount system. *The second national conference on industrial engineering research. Buali research group, Tehran*. (**In Persian**). https://civilica.com/doc/430771/

Masud, A. S., & Hwang, C. L. (1980). An aggregate production planning model and application of three multiple objective decision methods. *International journal of production research*, *18*(6), 741-752. https://doi.org/10.1080/00207548008919703

Mirzapour Al-E-Hashem, S. M. J., Malekly, H., & Aryanezhad, M. B. (2011). A multi-objective robust optimization model for multi-product multi-site aggregate production planning in a supply chain under uncertainty. *International journal of production economics*, *134*(1), 28-42. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2011.01.027

Mirzapour Al-E-Hashem, S. M. J., Aryanezhad, M. B., & Sadjadi, S. J. (2012). An efficient algorithm to solve a multi-objective robust aggregate production planning in an uncertain environment. *The international journal of advanced manufacturing technology*, *58*(5), 765-782. https://doi.org/10.1007/s00170-011-3396-1

Mirzapour Al-e-Hashem, S. M. J., Baboli, A., & Sazvar, Z. (2013). A stochastic aggregate production planning model in a green supply chain: considering flexible lead times, nonlinear purchase and shortage cost functions. *European journal of operational research*, *230*(1), 26-41. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2013.03.033

Mohammadzadeh, H., Honarvar, M., & Zare, Y. M. (2014). *Solid optimization model of integrated production plan in green supply chain under uncertainty conditions for selection of suppliers, manufacturers and distributors* (Master Thesis, Yazd University-Faculty of Industrial Engineering). (**In Persian**). Retrieved from https://elmnet.ir/article/10674881-32941/%D9%85%D8%AF%D9%84-%D8%A8%D9%87%DB%8C%D9%86%D9%87%E2%80%8C%D8%B3%D8%A7%D8%B2%DB%8C-%D8%A7%D8%B3%D8%AA%D9%88%D8%A7%D8%B1-%D8%A8%D8%B1%D9%86%D8%A7%D9%85%D9%87-%D8%AA%D9%88%D9%84%DB%8C%D8%AF-%D8%A7%D8%AF%D8%BA%D8%A7%D9%85%DB%8C-%D8%AF%D8%B1-%D8%B2%D9%86%D8%AC%DB%8C%D8%B1%D9%87-%D8%AA%D8%A3%D9%85%DB%8C%D9%86-%D8%B3%D8%A8%D8%B2-%D8%AA%D8%AD%D8%AA-%D8%B4%D8%B1%D8%A7%DB%8C%D8%B7-%D8%B9%D8%AF%D9%85-%D9%82%D8%B7%D8%B9%DB%8C%D8%AA-%D8%A8%D8%B1%D8%A7%DB%8C-%D8%A7%D9%86%D8%AA%D8%AE%D8%A7%D8%A8-%D8%AA%D8%A3%D9%85%DB%8C%D9%86-%DA%A9%D9%86%D9%86%D8%AF%DA%AF%D8%A7%D9%86%D8%8C-%D8%AA%D9%88%D9%84%DB%8C%D8%AF%DA%A9%D9%86%D9%86%D8%AF%DA%AF%D8%A7%D9%86-%D9%88-%D8%AA%D9%88%D8%B2%DB%8C%D8%B9-%DA%A9%D9%86%D9%86%D8%AF%DA%AF%D8%A7%D9%86?elm_num=2

Mulvey, J. M., Vanderbei, R. J., & Zenios, S. A. (1995). Robust optimization of large-scale systems. *Operations research*, *43*(2), 264-281. https://doi.org/10.1287/opre.43.2.264

Nazari, L., & Rahmani, M. (2019). Robust aggregate production planning for risk-averse managers in uncertainty conditions. *Journal of industrial engineering research in production systems*, *7*(14), 93-105. (**In Persian**). DOI: 10.22084/ier.2019.14372.1658

Nobil, A. H., & Kazemi, A. (2016). Presents a multi-objective fuzzy model for integrated production-distribution planning in a four-level closed-loop supply chain. *International journal of industrial engineering and production management*, 27(1), 91-104. (**In Persian**). http://ijiepm.iust.ac.ir/article-1-1056-fa.html

Ramyar, M., Mehdizadeh, E., & Hadji Molana, M. (2017). Optimizing reliability and cost of system for aggregate production planning in supply chain. *Scientia Iranica*, *24*(6), 3394-3408. DOI: 10.24200/sci.2017.4398

Rezaie Moghadam, S., & Doosti, A. (2019). Desining a multi-objective mathematical model of cumulative production planning in reverse supply chain with production quality function under uncertainty and using mpsoga tran-innovation algorithm (high-tech industry case study). *Engineering management and soft computing*, *5*(2), 325-356. (**In Persian**). http://jemsc.qom.ac.ir/article_1850.html

Rezaie Moghadam, S., yousefi, O., Karbasian, M., Khayambashi, B. (2018). Integrated production-distribution planning in a reverse supply chain via multi-objective mathematical modeling; case study in a high-tech industry. *Journal of production and operations management*, 9(2), 57-76. DOI: 10.22108/jpom.2018.101750.1011

Sutrisno, P. A., Wicaksono., & Solikhin. (2019). Probabilistic multi-objective optimization approach to solve production planning and raw material supplier selection problem under probabilistic demand value. *Journal of physics: conference series*. http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/1397/1/012075

Toloie Ashlaghi, A., EhteshamRasi, R., Nazemi, J., & Alborzi, M. (2014). Designing a mathematic model for optimization of processes of production planning and inventory control in reverse supply chain. *Journal of development & evolution mnagement*, 1393(18), 1-12. (**In Persian**). http://www.jdem.ir/article_439.html

Yazdani, F., Tavakkoli-Moghaddam, R., & Bashiri, M. (2014). A bi-objective mathematical model for designing the closed-loop supply chain network with disruption in production centers. *Journal of applied research on industrial engineering*, *1*(3)180-197. http://www.journal-aprie.com/article_43053.html

Zarrinpour, N., Didar, E., & Mansouri, N. (2018). Presenting a robust optimization model for mass production planning in green supply chain management. *15 th international conference on industrial engineering* (pp. 55-91). Yazd University, Iranian Industrial Engineering Association, Yazd. (**In Persian**). https://civilica.com/doc/839727/

رضایی مقدم و دوستی / تصمیم‌گیری و تحقیق در عملیات، دوره ۶، شماره ویژه، زمستان ۱۴۰۰، صفحه: ۲۴-۱