

# Designing a Multi-Objective Mathematical Model of Aggregate Production Planning in Reverse Supply Chain with Production Quality Function Under Uncertainty and Using MPSOGA Meta-heuristic algorithm (High-Tech Industry Case Study)<sup>1</sup>

Saeed rezaei moghaddam <sup>2</sup>

Aslan Doosti <sup>3</sup>

## Abstract

*In this paper, the aggregate production planning in form of a reverse supply chain using multi-objective mathematical modeling under uncertainty is considered. The supply chain process consists of three levels including suppliers, manufacturers and customers, as well as a maintenance center and a remodeling center. The first objective function of the model is to minimize the total costs, the second objective function is to maximize the quality of the product in the supply chain, 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 of goods from Suppliers, respectively. In this model, the third objective function is designed in conditions of uncertainty using Malvey stabilization method based on scenario writing. In this study, the answer of objective functions and the amount of decision variables in the model were determined and the results were approved by the relevant industry officials. In order to achieve a wider range of more suitable Pareto solutions, genetic algorithm operators have been used in the design of the particle swarm algorithm in MATLAB software, which is called MPSOGA hybrid algorithm.*

**Keywords:** Aggregate Production Planning, Reverse Supply Chain, Multipurpose Mathematical Model, MPSOGA

---

<sup>1</sup> Copyright ©the authors

<sup>2</sup> Instructor, Department of Management, omidiyeh Branch, Islamic Azad University, omidiyeh, Iran.

<sup>3</sup> Department of Mathematics, Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad, Iran. (**Corresponding Author**)

kasra\_kk200218@yahoo.com



## طراحی مدل ریاضی چند هدفه برنامه ریزی تولید تجمیعی در زنجیره تأمین معکوس تحت شرایط عدم قطعیت و استفاده از الگوریتم فراابتکاری MPSOGA\*

سعید رضایی مقدم<sup>۱</sup>

اصلاح دوستی<sup>۲</sup>

### چکیده

در مقاله حاضر برنامه تولید تجمیعی در قالب یک زنجیره تأمین معکوس با استفاده از مدل‌سازی ریاضی چند هدفه در شرایط عدم قطعیت در نظر گرفته شده است. فرایند زنجیره تأمین مذکور شامل سه سطح اعم از تأمین کنندگان، تولید کننده و مشتریان است و یک مرکز نگهداری و تعمیرات و یک مرکز بازسازی نیز در آن وجود دارد. اولین تابع هدف مدل مذکور حداقل سازی انواع هزینه، تابع هدف دوم حداکثر سازی کیفیت محصول 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 تأمین کنندگان است. در این مدل تابع هدف سوم در شرایط عدم قطعیت با استفاده از روش استوار سازی مالوی براساس سناریو نویسی طراحی شده است. در این مطالعه جواب توابع هدف و مقدار متغیرهای تصمیم مطرح شده در مدل تعیین شدند و نتایج حاصل مورد تأیید مسئولین صنعت مربوطه واقع شد. همچنین برای دستیابی به دامنه بیشتری از مجموعه جواب‌های پارتویی مناسب‌تر، از عملگرهای الگوریتم ژنتیک نیز در طراحی الگوریتم ازدحام ذرات در نرم افزار متلب استفاده شده که الگوریتم ترکیبی MPSOGA نامیده می‌شود.

**واژه های کلیدی:** برنامه ریزی تولید تجمیعی، زنجیره تأمین معکوس، مدل ریاضی چند هدفه، MPSOGA

\* تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۸/۲۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۲۹.

<sup>۱</sup> مری، گروه مدیریت، واحد امیدیه، دانشگاه آزاد اسلامی، امیدیه، ایران. (نویسنده مسئول)

kasra\_kk200218@yahoo.com  
doosti424@gmail.com

<sup>۲</sup> گروه ریاضی، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران.

## مقدمه

زنجیره تامین یکی از راه‌های برقراری ارتباط بین صنایع است و حفظ هماهنگی و یکپارچگی در این زنجیره امری مهم و حیاتی است. آنچه در طراحی زنجیره تامین تاثیر بسزایی دارد، ضایعات ایجاد شده در این زنجیره است و توجه خاصی به محصولات برگشتی باید بشود زیرا این امر در حقیقت پاسخی به حفظ محیط زیست و در قبال حقوق مصرف کننده است (چن و لی، ۲۰۰۴). در شبکه زنجیره تامین معکوس محصولات برگشتی پس از بازرسی به دو دسته شامل محصولات قابل بازسازی و محصولات قراضه تقسیم شده و صرفه جویی‌هایی در هزینه تولید، صرفه جویی در استفاده از امکانات جدید، استفاده مطلوب از تسهیلات موجود می‌شود و در تصمیمات تولید کنندگان، طراحی برنامه‌ریزی تولید تجمیعی می‌تواند تاثیر داشته باشد. برنامه‌ریزی تولید تجمیعی فرایندی است که به تعیین سطح بهینه تولید و موجودی برای رویارویی با تقاضای تمام محصولات در یک دوره زمانی بلند مدت با در نظر گرفتن محدودیت ظرفیت منابع و امکانات توجه دارد (رینکواین زانگ و همکاران، ۲۰۱۲)

در پژوهش حاضر ارائه و حل مدل ریاضی چند هدفه جهت برنامه‌ریزی تولید تجمیعی در یک زنجیره تامین معکوس در یک صنعت High-Tech مورد مطالعه قرار خواهد گرفت. در زنجیره تامین محصولات برگشتی در مرکز بازسازی مهندم شده و یا بعد از بازسازی به تولید کننده تحویل داده می‌شوند تا در فرایند تولید قرار گیرند 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 قابل استفاده به مشتری تحویل داده می‌شود و یا برای تولید کننده ارسال می‌شود. مهمترین هدف از انجام تحقیق حاضر مطالعه نحوه عملکرد تولید کننده در اخذ تصمیمات مرتبط به نحوه تولید و تامین محصولات مورد نظر است. تولید کننده یا می‌تواند محصولات مورد نیازش را به تنهایی تولید کند و در مورد هزینه‌های تولید و کیفیت، تعداد نیروی کار، ساعات کار عادی و اضافه کاری و... تصمیم بگیرد و یا اینکه در برنامه ریزی تولید ادغامی تولید کننده می‌تواند در تامین بخشی از محصولات مورد

نیازش برون سپاری کرده و در واقع از تامین کنندگان استفاده کند. در تصمیم به استفاده از تامین کنندگان نیز تولید کننده باید در مورد هزینه، سطح کیفیت و اولویت بندی هر یک از تامین کنندگان نیز تصمیم بگیرد. در این راستا در مدل رسیدن به یک رابطه برد-برد با تامین کنندگان مد نظر است. همچنین در مدل ریاضی پیشنهادی، بهینه سازی رضایت مندی مشتریان نیز در نظر گرفته شده است و با توجه به اولویت بندی موجود از مشتریان میزان کمبود تقاضای برآورده نشده توسط تولید کننده حداقل شود. بنابراین در طراحی مدل کاربردی-توسعه یافته پیشنهاد شده براساس ادبیات تحقیق (رضایی مقدم، ۱۳۹۷)، تصمیماتی از قبیل تعیین سهم تامین کنندگان، مراکز بازسازی، نگهداری و تعمیرات (نت) و تولید در ساعات کار عادی و اضافه کاری در تولید هر یک از محصولات و میزان محصول ارسالی به هر یک از مشتریان در نظر گرفته شده است که در حقیقت نتایج کاربردی مدل پیشنهادی برای صنعت مذکور است. بنابراین با توجه به عنایت خاص مسولین صنعت High-Tech مورد نظر به موضوع برنامه ریزی تولید تجمیعی، تحقیق حاضر به عنوان پاسخی مناسب به نیاز آن صنعت در قالب مدلی ریاضی چند هدفه پیرامون برنامه ریزی تولید ادغامی در زنجیره تامین معکوس با عنایت و توجه خاص به هر یک از اجزاء این زنجیره مورد مطالعه قرار گرفت. در ادامه ابتدا مروری بر پیشینه تحقیق حاضر بیان خواهد شد، سپس مدل ریاضی پیشنهادی معرفی می شود و بعد از آن روش حل مدل تشریح شده و در انتها مدل با داده های اخذ شده از آن صنعت حل خواهد شد.

### مروری بر پیشینه تحقیق

(خاتمی فیروزآبادی و ماکویی، ۱۳۹۲). در پژوهشی که انجام داده اند به منظور تهیه برنامه میان مدت تولید در شرکت لوله و ماشین سازی ایران از مدل برنامه ریزی آرمانی خاکستری استفاده شده است. اولین تابع هدف حداکثر سازی در آمد ناشی از تولید و تابع هدف دوم حداقل سازی هزینه تولید می باشد. از جمله محدودیت های این مدل محدودیت ساعات کار قانونی، محدودیت ساعات اضافه کاری، محدودیت تعادل تولید، محدودیت حد فوقانی ظرفیت تولید کل، محدودیت نیروی انسانی، ظرفیت انبار

است. این مدل در نرم افزار لینگو کد نویسی و حل شده است و نتایج نشان دهنده میزان مطلوبیت کلی تصمیم گیرندگان از مجموع آرمان‌ها است،

(محمدزاده و زارع، ۱۳۹۳) مدل بهینه‌سازی استوار برنامه تولید ادغامی در زنجیره تامین سبز تحت شرایط عدم قطعیت برای انتخاب تامین کنندگان، تولید کنندگان و توزیع کنندگان را مطالعه و نتایج آن را ارائه کرده‌اند. در مدل پیشنهادی چندین تامین کننده، تولید کننده و توزیع کننده در نظر گرفته شده و سه معیار قیمت، کیفیت و زمان تأخیر به عنوان معیارهای اصلی برای انتخاب اعضای زنجیره مدنظر قرار داده شده است. برای سبز در نظر گرفتن زنجیره تامین هم، مقدار گاز کربن منتشر شده در اثر حمل و نقل محصولات و مواد اولیه و تولید محصولات در مراکز تولیدی را لحاظ می‌کنند. در این پژوهش نیز برخی از پارامترهای مدل همچون تقاضا، قیمت خرید و فروش، هزینه‌های تولید، نگهداری و کمبود به علت ماهیت آنها، به صورت غیر قطعی در نظر گرفته شده و برای مقابله با عدم قطعیت پارامترها، از رویکرد بهینه‌سازی استوار استفاده می‌شود. همچنین جهت اعتبارسنجی مدل پیشنهادی، مطالعه موردی در شرکت کاغذ سازی تبریز انجام گرفته و نتایج حاصل از مدل پیشنهادی با نتایج واقعی شرکت مقایسه شده است.

در مطالعه‌ای که (کیوان کوپایی حاجی، علیرضا رشیدی کمیجان ۱۳۹۴) انجام داده‌اند، به ارائه یک مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح مختلط از مساله برنامه ریزی تولید ادغامی و خرید با در نظر گرفتن سیستم تخفیف پرداخته شده است. همچنین سعی شده است که با در نظر گرفتن هزینه‌های موجود نظیر هزینه‌های نگهداری، تاخیر، آموزش، اضافه کاری، اخراج، قراردادهای فرعی، حقوق، تولید و همچنین استفاده از تخفیف افزایشی (نموی) جهت خرید مواد اولیه، میزان سود حداکثر شود. از دیگر خروجی‌های این مساله میتوان به ارائه برنامه بهینه تولید و خرید، تعیین میزان تولید از هر محصول در هر ماه، تعیین میزان خرید مواد و قطعات از هر تامین کننده و تعیین زمان مناسب خرید اشاره نمود. مدل ارائه شده، یک مدل دقیق است که با استفاده از نرم افزار گمز کدنویسی و حل شده است. نهایتاً جهت بررسی اعتبار مدل، آنالیز حساسیت بر روی برخی پارامترهای مدل انجام شده است.

(ماکویی و اعظمی، ۱۳۹۵) مدل بهینه سازی استوار برای برنامه ریزی تولید ادغامی چند کارخانه‌ای محصولات فاسد شدنی تحت شرایط عدم قطعیت با در نظر گرفتن سیاست تعویق را مطالعه کردند. در آن بررسی، برنامه ریزی تولید ادغامی چند کارخانه‌ای برای تولید محصولات فاسد شدنی مانند هدیه‌های سال نو، تقویم‌ها و سرسیدها با استفاده از سیاست تعویق در شرایط عدم قطعیت، تعیین شده است. همچنین نشان داده‌اند که نتایج محاسباتی مدل آن مقاله می‌تواند برای مسائل واقعی برنامه ریزی تولید ادغامی کارخانه‌های تولیدی مشابه در شرایط عدم قطعیت پارامترها، کاربرد مناسبی داشته باشد.

(جبارزاده و خسروآبادی، ۱۳۹۶) به ارایه مدل چند هدفه برنامه ریزی تجمیعی و مدیریت تولید برای سیستم‌های تولیدی ساخت جهت سفارش با رویکرد ارزش آفرینی پرداختند. که در آن تحقیق، مدل ریاضی چند هدفه با محدودیت‌هایی از جمله ظرفیت منابع، نیروی انسانی و موجودی ارایه شده است. مدل توسط نرم افزار بهینه سازی گمز برای یک مثال عددی حل و به منظور ارزیابی، تحلیل حساسیت بر روی آن انجام شده است که نتایج تحلیل، صحت مدل و امکان آن را در دنیای واقعی تایید کرد.

(رضایی مقدم، یوسفی، کرباسیان و خیام‌باشی ۱۳۹۷) نیز در تحقیق دیگری به مطالعه برنامه تولید ادغامی در یک زنجیره تامین حلقه بسته پرداختند. در این مطالعه یک مدل ریاضی چند هدفه کاربردی توسعه یافته براساس ادبیات تحقیق ارائه شد که تابع هدف اول آن حداقل سازی هزینه‌های تولید، تابع هدف دوم حداکثرسازی کیفیت محصول تولیدی توسط تولیدکننده تامین کننده، مراکز بازسازی و نگهداری و تعمیرات را نشان می‌دهد، تابع هدف سوم حداقل کردن مجموع وزنی حداکثر کمبود در میان مشتریان (افزایش رضایت مشتریان) و تابع هدف چهارم حداکثر کردن مجموع وزنی حداقل میزان تأمین کالا از تأمین کنندگان (تأمین رابطه برد-برد) را نشان می‌دهد. مساله با داده‌های واقعی صنعت مذکور در شرایط قطعیت در نرم افزار گمز کدنویسی شد و جواب توابع هدف و متغیرهای تصمیم مورد تایید مسئولین صنعت High-Tech واقع شد

(حسینی، ۱۳۹۷) در تحقیقی مساله یکپارچه برنامه ریزی تولید و تعمیرات و نگهداری

مورد مطالعه قرار داده است. برای این مساله دو تابع هدف مد نظر بوده است. تابع هدف اول عبارتست از هزینه‌های کل سیستم که همه عوامل هزینه‌ای تولید را شامل می‌شود. تابع هدف دوم نیز میزان نارضایتی مشتریان است که در اثر تاخیر در تامین به موقع تقاضاها افزایش می‌یابد. با توجه به اهمیت جایگاه و رضایت‌مندی مشتریان در دنیای رقابتی امروزی، اضافه کردن تابع هدف دوم مساله را به دنیای واقعی نزدیکتر می‌کند. ابتدا مساله تشریح و متغیرها و پارامترهای آن تعریف شده و بر اساس آن، مدل ریاضی این مساله در حالت چندهدفه توسعه داده شده است. سپس با توجه به اینکه این مساله از نوع NP-Hard می‌باشد، یک روش حل مبتنی بر الگوریتم ژنتیک با رتبه‌بندی نامغلوب-بازنگری (NSGA-II) ارائه گردیده است. در پایان نیز این مساله با داده‌های استاندارد موجود در منابع با دو تکنیک محدودیت اسپیلون و NSGA-II حل شده و نتایج مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج حاکی از عملکرد مناسب الگوریتم NSGA-II در زمان حل و کیفیت جواب می‌باشد.

(نظری و رحمانی، ۱۳۹۸) مدل برنامه ریزی تولید استوار ادغامی برای مدیران ریسک گریز در شرایط عدم قطعیت ارائه کردند. در این مقاله از روش بهینه سازی استوار برای مقابله با عدم اطمینان در پارامترهای برنامه ریزی تولید کل استفاده شد، فرض بر این است که عدم اطمینان پارامترهای غیر قطعی مداوم است و یک رویکرد کاملاً جدید و ابتکاری برای بهینه سازی استوار برای مدیران ریسک گریز پیشنهاد شده است و سپس از یک استراتژی بهینه سازی برای بررسی عدم قطعیت. به منظور بررسی نتایج مدل، نمونه‌هایی در اندازه‌های کوچک و بزرگ ساخته شده و با استفاده از نرم افزار GAMS و روش آرام سازی لاگرانژ مشکل حل و تحلیل شده است. نتایج حاصل از اجرای مدل‌های استوار پیشنهادی در این مقاله، در مقایسه با مدل پایه، نشان می‌دهد که نتایج از پایداری بیشتری در برابر عدم اطمینان برخوردار هستند و این باعث کاهش قابل توجه خطر می‌شود.

(میرزاپور، ملکی و آریانزاد، ۲۰۱۱) مدل چند هدف بهینه سازی استوار برای برنامه



ریزی تولید ادغامی چند محصولی در زنجیره تأمین در شرایط عدم اطمینان را بررسی کردند. در این پژوهش زنجیره تأمین شامل تأمین کنندگان متعدد، تولید کنندگان متعدد و مشتریان است و مساله برنامه ریزی تولید ادغامی چند دوره‌ای، چند محصولی با شرایط عدم قطعیت در آن مطرح شد. هدف اول شامل به حداقل رساندن هزینه تولید، استخدام، اخراج و هزینه آموزش، تهیه مواد اولیه، هزینه نگهداری موجودی محصول، حمل و نقل 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 نهایت، مدل ارائه شده به عنوان یک مدل برنامه ریزی عدد صحیح در نرم افزار گمز حل شده است. نتایج حاصل از مطالعه نشان داد که مدل ارائه شده می‌تواند یک روش امید بخش به انجام یک برنامه ریزی تولید کارآمد در یک زنجیره تأمین منجر شود. (میرزاپور و ساجدی، ۲۰۱۲) ارائه یک الگوریتم کارآمد برای حل مساله برنامه ریزی تولید ادغامی چند هدفه استوار در حالت عدم قطعیت را مطالعه و نتایج آن را گزارش دادند. در این مدل تابع هدف اول تلاش برای به حداقل رساندن مجموع ارزش مورد انتظار و هزینه کلی تعداد موجودی، هزینه اضافه کاری و پیمانکاری، سفارشات برگشتی، ظرفیت ماشین آلات و ظرفیت انبار مطرح شد. در تابع هدف دوم نیز حداقل رساندن کمبود در میان مناطق تمام مشتریان مورد توجه قرار گرفت. علاوه بر این تابع هدف سوم در مورد به حداقل رساندن بهره‌وری کارگران، میانگین وزنی سطح بهره‌وری در تمام کارخانه‌ها و در تمام دوره بوده است. پس از آن، مدل با الگوریتم ژنتیک حل شده استنتاج کارایی مدل را نشان داد.

(میرزاپور، بابلی و سازوارب، ۲۰۱۳) مدل برنامه ریزی تولید ادغامی در یک زنجیره تأمین سبز با توجه به زمان تاخیر انعطاف‌پذیر، با توابع هزینه کمبود و خرید غیر خطی را ارائه دادند. مدل ارائه شده به ویژگی‌هایی مانند هزینه حمل، رابطه بین زمان تاخیر تا دریافت و مقدار تخفیف برای تشویق سازنده به سفارش بیشتر توجه شده است. مدل ارائه شده برای اولین بار یک برنامه ریزی عدد صحیح مختلط غیرخطی است و در نهایت، با یک مثال عددی برای نشان دادن اعتبار مدل، ارائه شده است. (رامیار، مهدی زاده و هدجی مولانا، 2017) یک مدل برنامه ریزی تولید ادغامی چند هدفه، چند محصولی و چند مرحله‌ای را

در یک زنجیره تامین ارائه دادند. در این مدل پیشنهادی اهدافی از قبیل به حداقل رساندن هزینه کل زنجیره تامین اشاره شده 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 تامین کنندگان با در نظر گرفتن زمان‌های تاخیر مجاز برای بهبود کارایی سیستم تولیدی مورد نظر پرداخته است. از آنجا که مسال NP-Hard است، از الگوریتم جستجو چند هدفه برای حل آن استفاده شده است که برای مقایسه پاسخ‌ها از الگوریتم ژنتیک استفاده شده که مجموعه پاسخ‌های پارتویی در خصوص پایداری مدل رضایت بخش بوده است. اطلاعات جدول شماره (۱) به صورت: زمینه مطالعه (۱- غیر صنعتی و ۲- صنعتی)، فرآیند (۱- فقط تولید کننده و ۲- زنجیره تامین)، نوع تقاضا (۱- قطعی و ۲- غیر قطعی)، نوع زنجیره تامین (۱- غیر برگشت پذیر و ۲- برگشت پذیر) است

جدول (۱)- خلاصه تحقیقات انجام شده

نویسنده / سال	تعداد اهداف	مطالعه موردی	ابزار روش حل	زمینه مطالعه	فرآیند	نوع تقاضا	نوع زنجیره تامین
	چند هدفه	تک هدفه		۲ یا ۱	۲ یا ۱	۲ یا ۱	۲ یا ۱
خاتمی فیروزآبادی/۱۳۹۲	حداکثر سازی درآمد و حداقل سازی هزینه تولید	شرکت لوله و ماشین سازی ایران	در نرم افزار لینگو	۲	۱	۱	
محمدزاده/۱۳۹۳	*	کاغذسازی تبریز	در نرم افزار گمز	۲	۲	۱	۱
کویایی حاجی / ۱۳۹۴	حداکثر سازی سود و تعیین میزان خرید از تامین کنندگان	مثال عددی	در نرم افزار گمز	۲	۱	۱	

نویسنده/ سال	تعداد اهداف	مطالعه موردی	ابزار روش حل	زمینه مطالعه	فرآیند	نوع تقاضا	نوع زنجیره تأمین
ماکویی / ۱۳۹۵	حداقل سازی هزینه	*	مقاله عددی	۲	۱	۱	
جبارزاده / ۱۳۹۶	توابع حداقل سازی هزینه و حداکثر سازی هزینه	*	مثال عددی	۲	۱	۱	LP متریک و کدنویسی در نرم افزار گمز
رضایی / مقدم / ۱۳۹۷	توابع حداقل سازی هزینه و حداکثر سازی کیفیت، حداقل کردن مجموع وزنی حداکثر کمبود در میان مشتریان و وزنی حداکثر کردن مجموع وزنی حداقل میزان تأمین کالا از تأمین کنندگان		Hig-Tech	۲	۲	۱	۲
حسینی / ۱۳۹۷	هزینه و حداکثر سازی رضایت مشتریان		مثال عددی	۲	۱	۱	حل با الگوریتم ژنتیک
نظری / ۱۳۹۸	سود هزینه		مثال عددی	۲	۱	۲	حل با الگوریتم تابو سرچ
میرزاپور / ۲۰۱۱	حداکثر سازی سود و می نیم سازی مواد خام مازاد		مثال عددی	۱	۲	۱	روش LP متریک و کدنویسی در نرم افزار لینگو
میرزاپور / ۲۰۱۲	می نیم سازی مجموع ارزش انتظاری از کل هزینه، ماکزیمم سازی خدمات به مشتریان و ماکزیمم سازی بهره وری		مثال عددی	۲	۱	۲	الگوریتم ژنتیک برای حل مدل چند هدفه

نویسنده/ سال	تعداد اهداف	مطالعه موردی	ابزار روش حل	زمینه مطالعه	فرآیند	نوع تقاضا	نوع زنجیره تأمین
رامیار/ ۲۰۱۷	حداقل سازی هزینه تولید و حداکثرسازی قابلیت اطمینان	مثال عددی	وژنتیک برای حل مدل چندهدفه	الگوریتم جستجو	۲	۱	۱
مدل پیشنهادی	توابع حداقل سازی هزینه و حداکثرسازی کیفیت، حداقل کردن مجموع وزنی حداکثر کمبود در میان مشتریان و حداکثر کردن مجموع وزنی حداقل میزان تأمین کالا از تأمین کنندگان	High-tech	الگوریتم ژنتیک برای حل مدل	۲	۲	۲	۲

طبق جدول (۱) تمامی تحقیقات اخیر با تحقیق حاضر از نظر موضوعی هم راستا هستند. همچنین طبق جدول مذکور مشاهده می شود که در تحقیق حاضر برنامه ریزی تولید ادغامی اولاً در یک زنجیره تأمین برگشت پذیر بوده است. ثانیاً در این تحقیق به اهداف کلیه اجزای زنجیره تأمین توجه شده است. ثالثاً این تحقیق در صنعت مهمات سازی انجام شده است.

### بهبود سازی استوار

با وجود این حقیقت که برنامه ریزی تصادفی کاربردهای بسیاری دارد، مدل های برنامه ریزی تصادفی معمول به دلیل ناتوانی در مدیریت ریسک گریزی و یا ترجیحات تصمیمی سازندگان به شدت محدود هستند. برنامه ریزی پایدار که برنامه ریزی تصادفی بهبود یافته برای برخورد با جریان ریسک گریزی تصمیم گیرندگان است که برای استفاده در برنامه ریزی تصادفی معمول امکان پذیر نیست برای حداقل سازی معادله بالا یک روش به شرح زیر مدل شده است. در این روش مدت تغییرات مربوط به تابع هدف اصلی توسط

پارامتر وزنی مربوطه کامل شد تا تحمل خطر مدل سازان را نشان دهد. در ادامه شرح مختصری از بهینه سازی پایدار آمده است (بزرگی، جبل عاملی، علینقیان و حیدری، ۲۰۱۰).

$$\text{Min: } c^T x + d^T y \quad \text{رابطه (۱)}$$

st:

$$Ax = b,$$

$$Bx + Cy = e,$$

$$x, y \geq 0$$

به طوری که  $x$  ماتریس متغیرهای تصمیم است که باید تحت شرایط عدم قطعیت مدل تعیین شوند. همچنین  $y$  متغیر کنترل است و  $A, B, C$  ضرایب تکنولوژی و  $b, e$  مقادیر سمت راست می باشند. مجموعه سناریوها  $N = \{1, 2, \dots\}$  در مدل با پارامترهای دارای عدم قطعیت، با هر سناریو تصادفی در یک زیر مجموعه  $\{d_n, B_n, C_n, e_n\}$  و احتمال همه سناریوها  $P_n = 1$  است. برای مجموعه سناریوها 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 صورت های  $B_n, C_n, e_n$  برای هر سناریو  $n \in N$  است. همچنین  $y$  متغیر کنترل تعریف شده که مقادیر آن تحت تاثیر سناریوهای مورد نظر قرار دارد. بنابراین  $y_n$  برای هر  $n$  خواهد بود. اگر مدل موجه باشد  $\sigma_n$  برابر صفر می شود و در غیر این صورت  $\sigma_n$  دارای ارزش مثبتی است. مدل بهینه سازی روبات روابط بالا به شکل زیر فرمول بندی می شود:

$$\text{Min} \sigma(x, y_1, y_2, \dots, y_n) + W \cdot P(\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n) \quad \text{رابطه (۲)}$$

st:

$$Ax = b,$$

$$B_n x + C_n y_n + \sigma_n = \sigma_n, \forall n \in N, x \geq 0, y_n \geq 0, \sigma_n \geq 0,$$

راه حل، دارای ریسک تصمیم بالایی است. به عبارت دیگر، یک تغییر کوچک در ارزش پارامترها می تواند موجب یک تغییر بزرگ در ارزش تابع شود.

$$\sigma_n = \sum_{n \in N} P_n \Psi_n + \lambda \sum_{n \in N} P_n (\Psi_n - \sum_{n \in N} P_{n_1} \Psi_{n_2})^2 \quad \text{رابطه (۳)}$$

در رابطه فوق  $\lambda$  واریانس راه حل است.

### مدل ریاضی پیشنهادی

زنجیره تأمین مدل پیشنهادی دارای سه سطح اصلی شامل تأمین کنندگان، تولیدکننده

و مشتری می‌باشد. همچنین این زنجیره از مراکز بازسازی و نگهداری و تعمیرات نیز برخوردار است. در این زنجیره تامین معکوس، یک تولید کننده مبادرت به ارسال چندین محصول برای مشتریان می‌نماید. بخشی از نیاز مشتریان در ساعات کار عادی و ساعات اضافه کاری توسط خود تولید کننده، تولید می‌شود. همچنین بخش دیگری از نیاز تولید کننده توسط تامین کنندگان مختلف برای تولید کننده ارسال و از طریق آن برای مشتریان فرستاده می‌شود. در ادامه این فرایند در زنجیره تامین مذکور محصول ارسال شده به مشتریان در صورت خراب بودن توسط مشتریان به مرکز بازسازی ارسال شده و در این مرکز بعد از انجام اقدامات اصلاحی مربوطه به صورت محصول نهایی برای تولید کننده ارسال می‌گردد تا در سیکل‌های بعد مجدداً برای مشتریان ارسال شود. از طرف دیگر بعد از سپری شدن مدت زمان گارانتی محصولات از طرف مشتریان به مرکز نت ارسال شده که در صورت امکان بعد از انجام تعمیرات و اصلاحات مجدداً به مشتریان ارسال شده و در غیر این صورت دمونتاز شده و به تولید کننده ارجاع داده می‌شود.

### مفروضات مدل پیشنهادی

- محصولات در یک زنجیره تامین سه سطحی حلقه بسته تامین و تولید شده و به فروش می‌رسد. این زنجیره شامل چندین تامین کننده، یک تولید کننده و چندین مشتری بوده و از یک مرکز باز سازی و یک مرکز نگهداری و تعمیرات(نت) تشکیل شده 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 نگهداری و تعمیرات، تعمیر و به مشتری عودت داده می‌شوند و یا دمونتاز و به تولید کننده داده می‌شوند.
- محصولات برگشت داده شده توسط مشتری در بخش بازسازی یا نابود شده و یا دمونتاز و به تولید کننده داده می‌شوند

- در زنجیره تأمین مدل پیشنهادی، به تولید و فروش یک محصول که خود از چندین قطعه تشکیل شده است پرداخته می شود.
- بعضی مشتریان نسبت به یکدیگر مهمتر هستند.
- ظرفیت، هزینه نت و کیفیت تولید در زمان عادی و اضافه کاری متفاوت هستند.
- تأمین کنندگان از لحاظ قیمت، زمان تحویل محصول متفاوتند.
- 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 اضافه کاری دارای عدم قطعیت است.
- هزینه تأمین یک واحد محصول توسط تأمین کننده دارای عدم قطعیت است.
- هزینه یک نفر کارگر در ساعت کار عادی دارای عدم قطعیت است.
- هزینه یک نفر کارگر در ساعت اضافه کاری 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 تولید کننده دارای عدم قطعیت است.
- هزینه نگهداری یک واحد کالا در انبار مرکز باز سازی 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 باز سازی دارای عدم قطعیت است.

#### مجموعه اندیس ها

$i = \{1, 2, \dots, I\}$	مجموعه محصولات	$i$
$k = \{1, 2, \dots, K\}$	مجموعه محصولات	$K$
$t = \{1, 2, \dots, T\}$	مجموعه دوره زمانی	$t$
$j = \{1, 2, \dots, J\}$	مجموعه تأمین کننده	$j$
$n \in N = \{1, 2, \dots\}$	شماره سناریو	$n$

**پارامترهای مدل**

تقاضای پیش بینی شده محصول $i$ در دوره $t$ برای مشتری $k$ .	$d_{ikt}$
درصد محصول $i$ برگشتی توسط مشتری $k$ به مرکز باز سازی در دوره $t$	$\alpha_{ikt}$
درصد محصول $i$ برگشتی توسط مشتری $k$ در دوره $t$ به مرکز نت.	$\beta_{ikt}$
ظرفیت نگهداری کالا در مرکز تولید کننده	CAPP
ظرفیت نگهداری کالا در مرکز بازسازی	CAPD
ظرفیت نگهداری کالا در مرکز نت	CAPM
هزینه تولید یک واحد محصول $i$ در ساعات عادی	CPR <sub><math>i</math></sub>
هزینه تولید یک واحد محصول $i$ در ساعات اضافه کاری	CPO <sub><math>i</math></sub>
هزینه تهیه یک واحد محصول $i$ از مرکز بازسازی	CD <sub><math>i</math></sub>
هزینه تهیه یک واحد محصول نهایی از مرکز نت	CM <sub><math>i</math></sub>
هزینه تامین یک واحد محصول نهایی از تامین کننده $j$	CSC <sub><math>ij</math></sub>
هزینه یک نفر کارگر در دوره $t$ در زمان عادی	CLR <sub><math>t</math></sub>
هزینه یک نفر کارگر در دوره $t$ در زمان اضافه کاری.	CLO <sub><math>t</math></sub>
هزینه استخدام یک نفر نیروی انسانی در دوره $t$ .	HC <sub><math>t</math></sub>
هزینه اخراج یک نفر نیروی انسانی در دوره $t$	FC <sub><math>t</math></sub>
هزینه نگهداری یک واحد محصول $i$ در دوره $t$ در انبار تولید کننده	HIP <sub><math>it</math></sub>
هزینه نگهداری یک واحد محصول $i$ در انبار مرکز بازسازی در دوره $t$	HID <sub><math>it</math></sub>
هزینه نگهداری یک واحد محصول $i$ در دوره $t$ در انبار مرکز نت	HIM <sub><math>it</math></sub>
هزینه کمبود یک واحد کالا $i$ برای مشتری $k$ در دوره.	$\pi_{ikt}$
ضریب کیفیت تولید محصول $i$ در دوره $t$ در ساعات عادی	QR <sub><math>it</math></sub>
ضریب کیفیت تولید محصول $i$ در دوره $t$ در ساعات اضافه کاری	QO <sub><math>it</math></sub>
ضریب کیفیت تولید محصول $i$ توسط تامین کننده $j$ در دوره $t$	QSC <sub><math>ijt</math></sub>
ضریب کیفیت تولید محصول $i$ در دوره $t$ توسط مرکز بازسازی.	QD <sub><math>it</math></sub>
ضریب کیفیت تولید محصول $i$ در دوره $t$ توسط مرکز نت.	QM <sub><math>it</math></sub>



ضریب اهمیت مشتری $k$	$WC_{nk}$
ضریب اهمیت تامین کننده $j$	$WSC_j$
ماکزیمم نیروی کار در دسترس در دوره $t$	$MW_t$
ماکزیمم ساعات اضافه کاری در دسترس در دوره $t$	$MOT_t$
حداکثر تعداد ساعات کاری در زمان عادی	$TW$
میزان نفر-ساعت مورد نیاز برای تولید محصول $i$ (در ساعات اضافه کاری و ساعات کار عادی)	$TP_i$
درصد تغییر مجاز در نیروی انسانی در دوره $t$ .	$\gamma_t$
حداکثر مجاز تامین محصول $i$ از تامین کننده $j$	$MSC_{ijt}$
قیمت فروش محصول $i$ به مشتری $k$	$P_{ikt}$
هزینه تولید یک واحد محصول $i$ در ساعات عادی واحد بازسازی.	$CPRD_i$
هزینه تولید یک واحد محصول $i$ در ساعات اضافه کاری واحد بازسازی	$CPOD_i$
هزینه تولید یک واحد محصول $i$ در ساعات عادی واحد نت	$CPRM_i$
هزینه تولید یک واحد محصول $i$ در ساعات اضافه کاری واحد نت	$CPOM_t$

#### متغیرهای تصمیم مدل پیشنهادی.

میزان کسری (سفارش عقب افتاده) محصول $i$ در دوره $t$ برای مشتری $k$	$B_{iktn}$
میزان تولید محصولات خانواده $i$ در زمان تولید عادی در دوره $t$	$X_{it}$
میزان تولید محصولات خانواده $i$ در زمان اضافه کاری در دوره $t$	$Y_{it}$
میزان تامین محصولات خانواده $i$ توسط مرکز بازسازی در دوره $t$	$ZD_{it}$
میزان تامین محصولات خانواده $i$ توسط مرکز نت در دوره $t$	$ZM_{it}$
میزان محصول ارسالی خانواده $i$ در دوره $t$ برای مشتری $k$	$F_{ikt}$
میزان محصولات خانواده $i$ که در دوره $t$ توسط تامین کننده $j$ تهیه می شود.	$SC_{ijt}$
ساعات اضافه کاری مورد نیاز در دوره $t$	$OT_t$
سطح موجودی محصول خانواده $i$ در انتهای دوره $t$ برای تولید کننده	$IP_{it}$

تعداد نیروی کار مورد نیاز در دوره t	$WL_t$
تعداد نیروی کار استخدام شده در دوره t	$HL_t$
تعداد نیروی کار اخراج شده در دوره t	$FL_t$
میزان محصولات خانواده i که در دوره t برای مشتری k	$ZC_{ikt}$
سطح موجودی محصول خانواده i در انتهای دوره t در مرکز نت	$IM_{it}$
سطح موجودی محصول خانواده i در انتهای دوره t در مرکز بازسازی	$ID_{it}$
میزان تولید محصول خانواده i در زمان کارعادی در دوره t واحد بازسازی	$XD_{it}$
میزان تولید محصول خانواده i در زمان اضافه کاری در دوره t واحد بازسازی	$YD_{it}$
میزان تولید محصول خانواده i در زمان کار عادی در دوره t واحد نت	$XM_{it}$
میزان تولید محصول خانواده i در زمان کار عادی در دوره t واحد نت	$YM_{it}$

### مدل ریاضی پیشنهادی استوار

$$Minz_1 = \text{رابطه (۴)}$$

$$\begin{aligned} & \sum_t \sum_i (CPR_i X_{it} + CPO_i Y_{it} + CPRD_i XD_{it} + \\ & CPOD_i YD_{it} + CPRM_i \cdot XM_{it} + CPOM_i \cdot YM_{it}) + \sum_t \sum_j \sum_i (CSC_{ij} \cdot SC_{ijt}) + \\ & \sum_t \sum_i (CD_i \cdot ZD_{it} + CM_i \cdot ZM_{it}) + \sum_t (CLR_t \cdot WL_t + CLO_t \cdot OT_t) + \\ & \sum_t (HL_t \cdot HC_t + FL_t \cdot FC_t) + \sum_t \sum_i IP_{it} \cdot HIP_{it} + ID_{it} \cdot HID_{it} + \\ & IM_{it} \cdot HIM_{it} + \sum_t \sum_i \sum_k B_{iktn} \cdot \pi_{ikt} - \sum_t \sum_i \sum_k F_{ikt} \cdot P_{ikt} \end{aligned}$$

$$Maxz_2 = \sum_t \sum_i (X_{it} \cdot QR_{it} + Y_{it} \cdot QO_{it}) + \sum_t \sum_i \sum_j (SC_{ijt} \cdot QSC_{ijt}) + \sum_t \sum_i (ZD_{it} \cdot QD_{it}) + \sum_t (ZM_{it} \cdot QM_{it}) \quad \text{رابطه (۵)}$$

$$MinZ_3 = E + \lambda_1 [(P_{n_1} A_{n_1}) - E + 2\theta_{n_1}] + \lambda_2 [(P_{n_2} A_{n_2}) - E + \text{رابطه (۶)}$$

$$2\theta_{n_2}] + \lambda_3 [(P_{n_3} A_{n_3}) - E + 2\theta_{n_3}]$$

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

Subject to

$$IP_{i(t-1)} + X_{it} + Y_{it} + \sum_j SC_{ijt} + ZD_{it} + ZM_{it} + \sum_k B_{ikn(t-1)} = \text{رابطه (۸)}$$

$$\sum_k B_{ikn(t-1)} + \sum_k F_{ikt} + IP_{it} \quad \forall i, t$$

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

$$IM_{it} = IM_{i(t-1)} + \sum_k \beta_{ikt} \cdot F_{ikt} - ZM_{it} - ZC_{ikt} \quad \forall i, t, n \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

$$\sum_i IP_{it} \leq CAPP \quad \forall t \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

$$\sum_i ID_{it} \leq CAPD \quad \forall t \quad \text{رابطه (۱۲)}$$

$$\sum_i IM_{it} \leq CAPM \quad \forall t \quad \text{رابطه (۱۳)}$$

$$WL_t \leq MW_t \quad \forall t \quad \text{رابطه (۱۴)}$$

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

$$HL_t FL_t = 0 \quad \forall t \quad \text{رابطه (۱۶)}$$

$$(IP_{it} + IM_{it}) \sum_k B_{iktn} \quad \forall i, t \quad \text{رابطه (۱۷)}$$

$$OT_t \leq MOT_t \quad \forall t \quad \text{رابطه (۱۸)}$$

$$\sum_i TP_i X_{it} \leq TW \quad \forall t \quad \text{رابطه (۱۹)}$$

$$\sum_i TP_i Y_{it} \leq OT_t \quad \forall t \quad \text{رابطه (۲۰)}$$

$$FL_t + HL_t \leq \gamma_{t-1} WL_{t-1} \quad \forall t \quad \text{رابطه (۲۱)}$$

$$SC_{ijt} \leq MSC_{ijt} \quad \forall i > 1, j, t \quad \text{رابطه (۲۲)}$$

$$SC_{ijt} \leq SC_{(i-1)jt} \quad \forall i > 1, j, t \quad \text{رابطه (۲۳)}$$

$$B_{iktn} = B_{(t-1)ikn} + d_{ikt} - F_{ikt} - ZC_{ikt} \quad \forall i, k, t, n \quad \text{رابطه (۲۴)}$$

$$ZD_{it} \leq CAPD \quad \forall t, i \quad \text{رابطه (۲۵)}$$

$$ZM_{it} \leq CAPM \quad \forall t, i \quad \text{رابطه (۲۶)}$$

$$ZM_{it} \leq CAPM \quad \forall t, i \quad \text{رابطه (۲۷)}$$

$$F_{ikt} + ZC_{ikt} \leq d_{ikt} \quad \forall i, k, t, n \quad \text{رابطه (۲۸)}$$

$$A_{n_1} - [(P_{n_1} A_{n_1}) + (P_{n_2} A_{n_2}) + (P_{n_3} A_{n_3})] + \theta_{n_1} \geq 0 \quad \text{رابطه (۲۹)}$$

$$A_{n_2} - [(P_{n_1} A_{n_1}) + (P_{n_2} A_{n_2}) + (P_{n_3} A_{n_3})] + \theta_{n_2} \geq 0 \quad \text{رابطه (۳۰)}$$

$$A_{n_3} - [(P_{n_1} A_{n_1}) + (P_{n_2} A_{n_2}) + (P_{n_3} A_{n_3})] + \theta_{n_3} \geq 0 \quad \text{رابطه (۳۱)}$$

$$Y_{it}, ZD_{it}, ZM_{it}, F_{ikt}, SC_{ijt}, OT_t, IP_{it}, WL_t, HL_t, FL_t, ZC_{it}, IM, XD_{it}, YD_{it}, XM_{it}, YM_{it}, ID_{it}, X_{it} \geq 0 \quad \text{رابطه (۳۲)}$$

رابطه (۴) در مدل پایدار اولین تابع هدف مسئله را نشان می‌دهد که برای کمینه سازی

هزینه‌ها است. هزینه‌ها شامل هزینه‌های تولید یک واحد محصول در ساعت عادی، ساعات

اضافه کاری، هزینه تأمین یک واحد محصول توسط تأمین کنندگان، توسط مرکز نت و

مرکز بازسازی، هزینه یک نفر کارگر در ساعت کار عادی هزینه یک نفر کارگر در ساعت کار اضافه کاری، هزینه استخدام و اخراج نیروی انسانی، هزینه نگهداری یک واحد محصول در انبار تولید کننده، در انبار مرکز نت و در انبار مرکز بازسازی، هزینه کمبود یک واحد محصول برای مشتری و تقاضای پیش بینی شده است. در این رابطه همه هزینه‌ها دارای بعد مقطعی هستند. رابطه (۵) تابع هدف دوم مدل است که برای بیشینه سازی تولید در ساعات اضافه کاری، ضریب کیفیت محصول دریافتی از تأمین کنندگان، ضریب کیفیت محصول دریافتی از مرکز بازسازی و ضریب کیفیت محصول دریافتی از مرکز نت است. رابطه (۵) بیانگر ضریب کیفیت است. ضریب کیفیت شامل مجموع ضریب کیفیت تولید در ساعات عادی، ضریب کیفیت سومین تابع هدف مسئله است که برای کمینه کردن حداکثر کمبود در میان مشتریان است و ضریب اهمیت مشتریان را شامل می‌شود. رابطه (۷) نشان دهنده تابع هدف چهارم مدل است که برای بیشینه کردن حداقل میزان تأمین محصول از تأمین کنندگان است. رابطه (۸) این رابطه تعادل موجودی تولید کننده را نشان می‌دهد. رابطه (۹) بیانگر تعادل موجودی در مرکز بازسازی است. در این رابطه درصد محصول برگشتی مشتری به مرکز بازسازی دارای عدم قطعیت است رابطه (۱۰) این رابطه بیانگر تعادل موجودی در مرکز نت است. در این رابطه محصول برگشتی مشتری به مرکز نت دارای عدم قطعیت می‌باشد. رابطه (۱۱) ظرفیت نگهداری محصول در مرکز تولید کننده است. رابطه (۱۲) نشان دهنده ظرفیت نگهداری محصول در مرکز بازسازی است. رابطه (۱۳) ظرفیت نگهداری محصول مرکز نت را نشان می‌دهد. رابطه (۱۴) محدودیت حداکثر تعداد نیروی انسانی در دسترس را نشان می‌دهد. رابطه (۱۵) بیانگر تعادل نیروی انسانی تولید کننده است. در رابطه (۱۶) استخدام و یا اخراج کارکنان در هر دوره نشان داده شده است. رابطه (۱۷) بیانگر موجودی یا کمبود هر محصول در هر دوره است. رابطه (۱۸) محدودیت سقف اضافه کاری را نشان می‌دهد. رابطه (۱۹) نشان می‌دهد که زمان تولید محصول در هر دوره از زمان‌های عادی در دسترس کمتر است. رابطه (۲۰) نشان می‌دهد زمان تولید محصول از زمان‌های اضافه کاری در دسترس کمتر باشد. رابطه (۲۱) درصد تغییر مجاز در نیروی انسانی در هر دوره را نشان می‌دهد. رابطه (۲۲) حداکثر

خرید تولید کننده از محصول تامین کننده را نشان می دهد. رابطه (۲۳) بیانگر حداکثر خرید محصول از تامین کنندگان در هر دوره است. رابطه (۲۴) تعادل کمبود محصول تولید کننده را با توجه به کمبود دوره قبل، میزان محصول ارسال شده به مشتری از تولید کننده و مرکز نت را در هر دوره نشان می دهد. در این رابطه تقاضای مشتریان دارای عدم قطعیت می باشد رابطه های (۲۵ و ۲۶) بیانگر حداکثر محصول تهیه شده از مرکز باز سازی و مرکز نت است رابطه های (۲۷ و ۲۸) حداکثر محصول ارسال شده برای مصرف کننده در هر دوره از مرکز نت و مرکز باز سازی را نشان می دهد است. در این رابطه تقاضای مشتریان دارای بعد مقطعی است. رابطه های (۲۹ و ۳۰ و ۳۱) محدودیت های Robust مدل است. رابطه (۳۲) بیانگر نامنفی بودن متغیرهای تصمیم مدل است.

$$A_{n_1} = \sum_t \max_k (WC_{kn_1} \sum_i B_{iktn_1}) \quad \text{رابطه ۳۳}$$

$$A_{n_2} = \sum_t \max_k (WC_{kn_2} \sum_i B_{iktn_2}) \quad \text{رابطه ۳۴}$$

$$A_{n_3} = \sum_t \max_k (WC_{kn_3} \sum_i B_{iktn_3}) \quad \text{رابطه ۳۵}$$

رابطه های (۳۳ و ۳۴ و ۳۵) سناریوهای طراحی شده در روش مالوی را نشان می دهد.

$$E_1 = P_{n_1} A_{n_1} \quad \text{رابطه ۳۶}$$

$$E_2 = P_{n_2} A_{n_2} \quad \text{رابطه ۳۷}$$

$$E_3 = P_{n_3} A_{n_3} \quad \text{رابطه ۳۸}$$

$$E = E_1 + E_2 + E_3 \quad \text{رابطه ۳۹}$$

رابطه های (۳۶ و ۳۷ و ۳۸) امید ریاضی سناریوهای طراحی شده در مدل پیشنهادی را

نشان می دهد و رابطه (۳۹) امید ریاضی مجموع سه سناریو را نشان می دهد..

## روش حل مدل پیشنهادی

از آنجا که مدل ریاضی پیشنهادی از نوع کاربردی- توسعه یافته است. بنابراین با عنایت به تحقیقات انجام گرفته، مدل ریاضی پیشنهادی توسعه یافته از نوع NP-Hard است. برای حل مدل نیز از الگوریتم تجمع ذرات استفاده می شود.

## الگوریتم فراابتکاری انبوه ذرات

الگوریتم PSO (Particle Swarm Optimization) یک روش سراسری کمینه سازی است که با استفاده از آن می توان با مسائلی که جواب آنها یک نقطه یا سطح در فضای  $n$  بعدی است، برخورد کرد. در چنین فضایی، فرضیاتی مطرح می شود که یک سرعت ابتدایی به آنها اختصاص داده شده است، همچنین کانال های ارتباطی بین ذرات در نظر گرفته می شود. سپس، این ذرات در فضای پاسخ حرکت می کنند و نتایج به دست آمده بر مبنای یک "ملاک شایستگی" پس از هر بازه زمانی محاسبه می شود. با گذشت زمان، ذرات به سمت ذراتی که ملاک شایستگی بیشتری داشته و در گروه ارتباطی یکسانی قرار دارند، شتاب می گیرند. به رغم اینکه هر روش در حل مسائل بهینه سازی پیوسته موفقیت بسیاری از خود نشان داده است. در این الگوریتم که بر اساس به اشتراک گذاری اطلاعات بین ذرات پایه گذاری شده است، ابتدا برای هر متغیر در فضای جست و جو به صورت تصادفی مقادیر اختصاص داده شده به تمامی متغیرها، بر اساس میزان شایستگی که همان مقدار تابع هدف است، یک راه حل تولید می کند. برای ادامه مسیر و تولید راه حل بهینه هر ذره بر اساس میزان جابه جایی تعیین شده راه حل بعدی را پیدا می کند. این عمل بر اساس جابه جایی و موقعیت ذرات دیگر و خود ذره در تجربیات قبلی انجام می شود.

$$V_{it} + 1 = XWV_{it} + C_1R_1(P_{it} - X_{it}) + C_2R_2(P_{it} - X_{it}) \quad \text{رابطه ۴۰}$$

$$X_i^{t+1} = X_i^t + V_i^{t+1} \quad \text{رابطه ۴۱}$$

در معادله های فوق  $X_i^t$  ها موقعیت یا مقدار هر ذره (مقدار متغیرها)  $i$  در فضای جست و جو و  $t$  شماره تکرار ذره  $P_i^t$  بهترین موقعیت ذره  $I$  در شماره تکرار  $t$ ،  $P_j^t$  موقعیت بهترین ذره در فضای جستجو که بسته به نوع جستجو (موضعی و سراسری) متفاوت است.  $R_1$  و  $R_2$  عددهای تصادفی بین صفر و یک بر اساس تابع توزیع یکنواخت،  $C_1$  و  $C_2$  ضریبهای شناختی و اجتماعی،  $W$  ضریب اینرسی است که بر اساس یک روش تدریجی فضای جستجو را کاهش می دهد.  $X$  ضریب انقباض است. مقادیر ضرایب شناختی و

اجتماعی و ضریب اینرسی با آزمون و خطا و نیز با نتایج به دست آمده از دیگر پژوهش‌ها می‌تواند تعیین شوند.

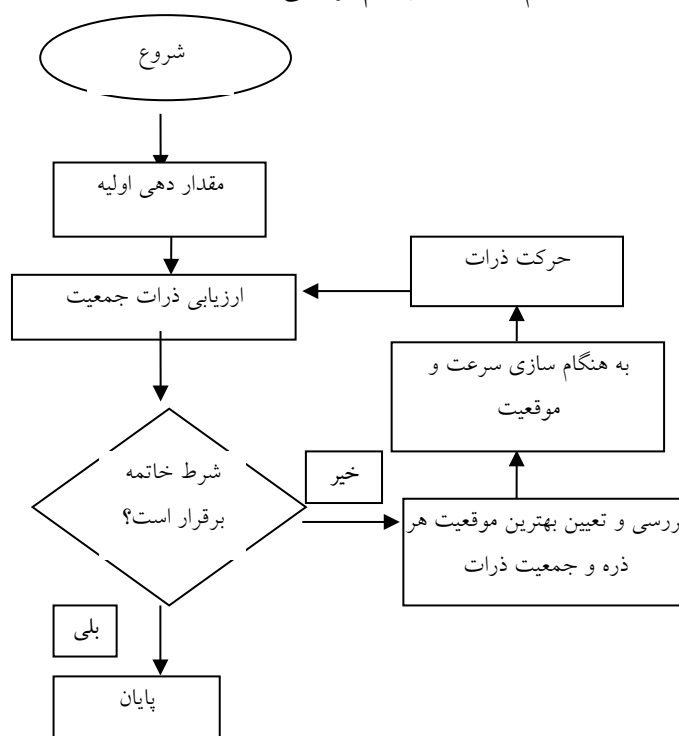
### بهبود عملکرد الگوریتم ازدحام ذرات توسط ترکیب با الگوریتم ژنتیک

در این مقاله هدف اصلی ترکیب الگوریتم‌های ازدحام ذرات و الگوریتم ژنتیک است و اساس کلی این روش بدین صورت است که مزایای الگوریتم ازدحام ذرات به همراه عملگرهای بسیار سودمند الگوریتم ژنتیک (جهش و تقاطع) ترکیب و الگوریتم ترکیبی بوجود می‌آید. یکی از مزایای الگوریتم ازدحام ذرات نسبت به الگوریتم ژنتیک، ساده بودن و کم بودن پارامترهای آن است. تفاوت واضح دیگر، توانایی در کنترل همگرایی به جواب بهینه می‌باشد. نرخ عملگرهای جهش و تقاطع می‌تواند به شیوه بسیار مناسبی کمک به همگرایی الگوریتم ژنتیک کند. اما این عملگرها با عملگر استهلاک وزن سرعت در الگوریتم ازدحام ذرات متفاوت است و در واقع با کاهش اثر این وزن طی تکرارهای متوالی، باعث افزایش همگرایی الگوریتم می‌شود. یکی از مشکلات اساسی الگوریتم ازدحام ذرات همگرایی زودرس این روش است که این همگرایی لزوماً رسیدن به جواب بهینه نمی‌باشد، برای جلوگیری از این اتفاق، موقعیت ذرات و همچنین بهترین ذره باید تغییر کند و تغییر این موقعیت از طریق همان ترکیب با الگوریتم ژنتیک صورت می‌گیرد. عملگرهای بسیار کارآمد الگوریتم ژنتیک، عملگر جهش و تقاطع می‌باشند که با به کار گرفتن عملگر تقاطع اطلاعات بین دو ذره از جمعیت مبادله می‌شوند و بدین ترتیب ذره مورد نظر می‌تواند به یک نقطه جدید در فضای تصمیم منتقل شود. هدف از به کار بردن دومین عملگر مورد نظر (جهش) افزایش گوناگونی و ایجاد تنوع در جمعیت و نهایتاً جلوگیری از رسیدن به جواب بهینه موضعی می‌باشد.

### انتخاب کرموزوم و تنظیم عملگرهای الگوریتم ترکیبی MPSOGA

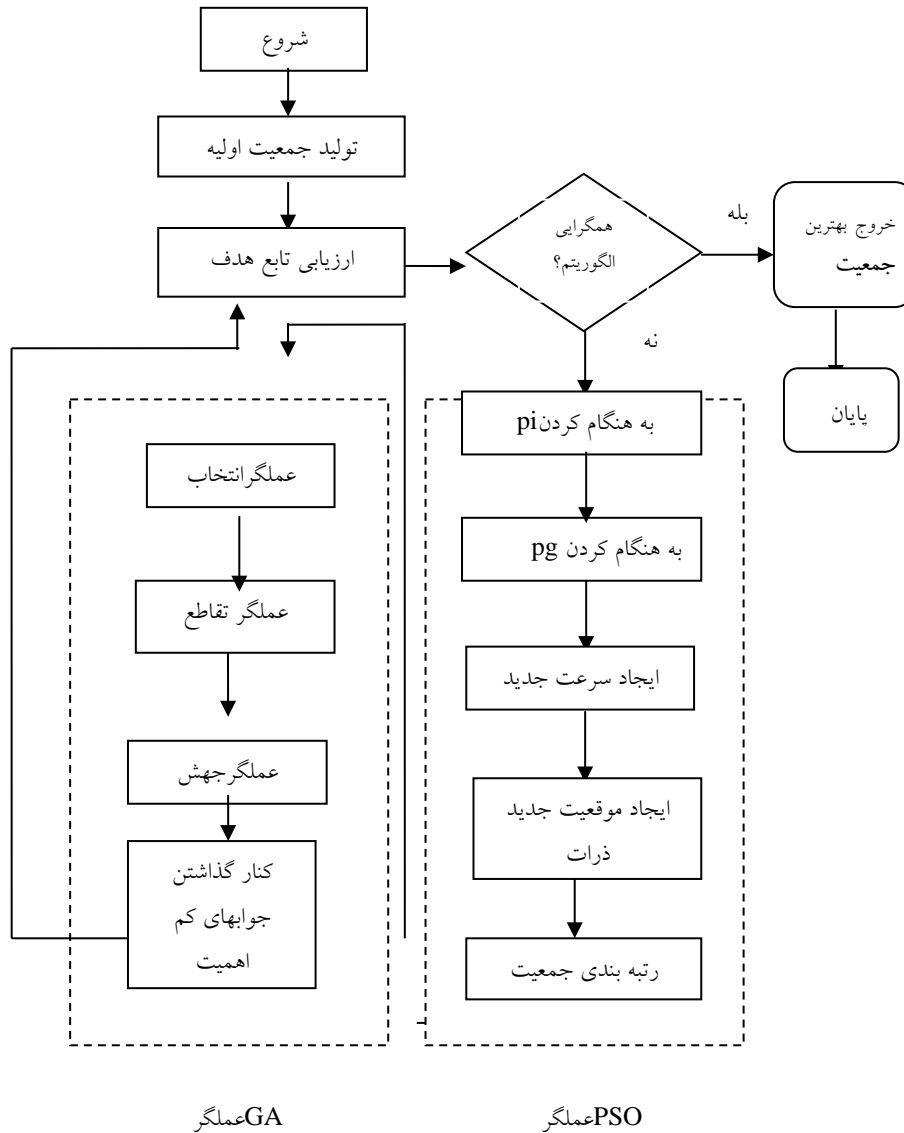
در تنظیم عملگرهای الگوریتم ترکیبی MPSOGA به ترتیب به موارد زیر اشاره می‌شود. به منظور بهبود مجموعه جواب‌های پارتویی الگوریتم تجمع ذرات نرخ جهش

الگوریتم ژنتیک به میزان ۰.۱ در نظر گرفته شده است و برای ترکیب پاسخ‌ها نیز از روش چرخ رولت استفاده شد. در تنظیم پارامترهای الگوریتم تجمع ذرات نیز مقادیر  $C_1, C_2$  به ترتیب برابر ۰.۴ و ۰.۵ و  $w=0.5$  در نظر گرفته شده است. برای انتخاب کروموزوم‌ها نیز در ابتدا جمعیت فرزندان و والدین را با هم ترکیب می‌کنیم و در نتیجه جمعیتی به اندازه دو برابر سائز 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. از آنجا که جمعیت والدین و فرزندان دو برابر جمعیت والدین است تمام اعضای آن ممکن است نتوانند در جمعیت نسل بعد قرار گیرند و به راحتی جواب‌های باقی مانده را حذف خواهیم کرد. جواب‌هایی که در ناحیه ازدحامی کوچکتری هستند برای پر کردن نسل بعد در اولویت قرار دارند. در شکل‌های (۱) و (۲) به ترتیب مراحل اجرای الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات الگوریتم MPSOGA آمده است.



شکل ۱- الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات





شکل ۲- الگوریتم ترکیبی ازدحام ذرات و ژنتیک اعمال الگوریتم ترکیبی در بهینه سازی برنامه ریزی تولید ادغامی

### نتایج محاسباتی

برای حل مدل پیشنهادی همان طور که در قسمت قبل گفته شد از الگوریتم فرا ابتکاری ازدحام ذرات بر روی سیستمی با مشخصات ویندوز ۷ و RAM300,H22.20,GB

استفاده شده است. برای بهینه سازی مجموعه جواب‌های پارتویی الگوریتم فراابتکاری تجمع ذرات با عملگرهای جهش و ترکیب الگوریتم فراابتکاری ازدحام ذرات حل شد که از داده‌های واقعی مربوط به صنعت مورد مطالعه برای حل مدل ریاضی چند هدفه استفاده شده است.

### مطالعه موردی

همان طوری که در بالا گفته شد مساله توسعه یافته ادبیات تحقیق بوده که با استفاده از داده‌های واقعی مربوط به صنعت مورد مطالعه در این قسمت حل خواهد شد. در این زنجیره تامین سه تامین کننده، یک تولید کننده، سه مشتری، سه محصول تولید می‌شود. همچنین با توجه به در دسترس بودن داده‌ها، برنامه ریزی برای سه دوره در نظر گرفته می‌شود.

### داده‌های مربوط به مطالعه موردی

جدول ۲: پیش‌بینی تقاضا و قیمت فروش هر محصول تولیدی ارسال شده و هزینه کمبود کالا

سناریو	K	$P_{i,j,k,t}$			$d_{i,j,k,t}$			$\pi_{i,j,k,t}$		
		t=1,...,3			t=1,...,3			t=1,...,3		
۱	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

جدول ۳: درصد محصول برگشتی مشتریان به مراکز بازسازی و نت.

سناریو	K	$\beta_{i,j,k,t}$			$u_{i,j,k,t}$		
		t=1,...,3			t=1,...,3		
۱	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 اضافه کاری، تهیه محصول از مرکز تولید کننده

i	CPO <sub>i</sub>	CPR <sub>i</sub>	CD <sub>i</sub>	CM <sub>i</sub>	TP <sub>i</sub>
۱	۹۰	۹۰	۸۰	۷۰	۲۰۰
۲	۱۱۰	۹۰	۸۰	۹۰	۲۰۰
۳	۱۲۰	۱۰۰	۹۰	۹۰	۲۰۰

طراحی مدل ریاضی چند هدفه برنامه ریزی تولید تجمیعی در زنجیره تأمین // ۳۵۱

جدول ۵: ظرفیت نگهداری کالا در مراکز تولید کننده، بازسازی و نت و حداکثر ساعات کاری مورد نیاز

CAPP	CAPD	CAPM	TW
۱۵۰۰۰	۱۰۰۰۰	۱۰۰۰۰	۶۰

جدول ۶- حداکثر مجاز عرضه کالا از تامین کننده و ضریب کیفیت محصول تولید کننده

j	i	MSC <sub>iji</sub>			QSC <sub>iji</sub>		
		۱	۲	۳	۱	۲	۳
۱	۱	۱۳۶	۱۱۰	۱۴۷	0/97	0/95	0/99
	۲	۱۶۷	۸۳	۶۴	0/96	0/96	0/98
	۳	۱۷۰	۹۰	۷۰	0/87	0/97	0/89
۲	۱	۱۲۳	۵۳	۸۳	0/93	0/92	0/92
	۲	۱۴۱	۴۱	۶۵	0/97	0/93	0/87
	۳	۱۳۳	۷۰	۸۵	0/99	0/92	0/99
۳	۱	۹۵	۷۰	۱۱۰	0/97	0/99	0/95
	۲	۱۲۵	۱۰۰	96	0/98	0/91	0/95
	۳	۹۰	۹۰	۹۰	0/99	0/92	0/97

جدول ۷- ضریب اهمیت مشتریان و تامین کنندگان در سه سناریو.

wc <sub>k</sub>			ws <sub>j</sub>		
۱	۲	۳	۱	۲	۳
0/9	0/6	0/8	0/8	0/6	0/5

جدول ۸- ضریب کیفیت محصول تولید کننده در ساعات اضافه کاری

QO <sub>it</sub>	T		
	۱	۲	۳
۱	0/97	0/97	0/97
۲	0/97	0/97	0/97
۳	0/97	0/98	0/97

جدول ۹- ماکزیمم ساعات اضافه کاری در دسترس.

T	MOT <sub>t</sub>
۱	۵۵
۲	۵۶
۳	۵۷

جدول ۱۰- هزینه تولید در ساعات کار عادی و اضافه کاری از مراکز نت و بازسازی

i	CPOM <sub>i</sub>	CPRM <sub>i</sub>	CPOD <sub>i</sub>	CPRD <sub>i</sub>
۱	100	90	105	80
۲	100	90	105	80
۳	100	90	105	80

جدول ۱۱- هزینه تامین کالا از تامین کننده

CSC <sub>ij</sub>			
i	j		i
1	460	700	610
2	420	555	500
3	400	500	450

جدول ۱۲- هزینه دستمزد، اخراج و استخدام یک نفر کارگر

CLR <sub>t</sub>			CLO <sub>t</sub>			HC <sub>t</sub>			FC <sub>t</sub>		
1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
150	120	135	190	195	190	۵۰	۵۰	۵۰	۷۰	۸۰	۹۰

جدول ۱۳- حداکثر نیروی کار در دسترس و درصد تغییر نیروی کار

	MOT <sub>t</sub>	MW <sub>t</sub>	γ <sub>t</sub>
1	50	50	۰/۲
2	50	50	۰/۲
3	50	50	۰/۲

جدول ۱۴: مجموعه جوابهای پارتویی مدل حل شده با MPSOGA در شرایط عدم قطعیت.

F	F1	F2	F3	F4
1	-4.273527214349923	4.587099545535426	3.141161508010406	2.684013092753314e
2	-3.488056588037778	3.699199196760075	2.440293251390049	2.625952453686734
3	-3.488056588037778	3.673594689432179	3.075439119595550	3.064910849411719
4	-3.999896348045912	4.354321222281683	3.391994936359084	2.686007221984487
5	-2.980612212976860	3.230535198291489	2.477285527070496	2.718894509546419
6	-2.266982953112363	2.503574752290677	2.046980865690635	2.639838737886164
7	-2.912098905426645	3.126071729212575	2.743564366275536	2.756694413409196
8	-2.912098905426645	3.942682198925443	2.823145964787081	2.586405312261976
9	-3.523440934078342	3.231072416803399	2.159866380849771	2.518096790858612
10	-2.934813277494190	2.902025638535369	2.385897832063630	2.780514094888019

جدول ۱۵- جواب متغیرهای تصمیم مدل با NSGAIII در شرایط عدم قطعیت.

توضیحات مربوط به هر متغیر تصمیم	جواب متغیرهای تصمیم
میزان کسری سفارشات ارسالی به مشتری را به ازای هر گروه محصول، گروه مشتری و دوره را در سناریو اول نشان می دهد	$B_{1(1,1,1)}=970, B_{2(2,1,1)}=0$ $B_{1(2,3,2)}=1916, B_{1(i,k,t)}=[0 \quad 2000]$
میزان کسری سفارشات ارسالی به مشتری را به ازای هر گروه محصول، گروه مشتری و دوره را در سناریو دوم نشان می دهد	$B_{2(1,1,1)}=1051, B_{2(2,1,1)}=0$ $B_{2(2,2,2)}=244, B_{2(i,k,t)}=[0 \quad 1900]$
میزان کسری سفارشات ارسالی به مشتری را به ازای هر گروه محصول، گروه مشتری و دوره را در سناریو سوم نشان می دهد	$B_{3(1,1,1)}=1630, B_{3(2,2,2)}=3750$ $B_{3(2,1,1)}=52, B_{3(i,k,t)}=[0 \quad 1900]$
مقدار محصول تولیدی تولید کننده به ازای هر گروه محصول و ساعت کار عادی رانشان می دهد	$X_{(2,1)}=1973, X_{(3,3)}=9052$ $X_{(1,1)}=1973, X_{(3,2)}=6432$ $X_{(i,t)}=[1051 \quad 9864]$
مقدار محصول تولیدی تولید کننده به ازای هر گروه محصول و ساعت اضافه کار رانشان می دهد	$Y_{(2,1)}=8358, Y_{(3,3)}=4684$ $Y_{(1,1)}=3491, Y_{(3,2)}=8233$ $Y_{(i,t)}=[1012 \quad 8996]$
میزان تهیه محصول توسط مرکز بازرسی به ازای هر گروه محصول و دوره را این متغیر نشان می دهد	$ZD_{(2,1)}=9998, ZD_{(2,3)}=9994$ $ZD_{(3,1)}=9994, ZD_{(i,t)}=[9991 \quad 9998]$
میزان تهیه محصول توسط مرکز نت به ازای هر گروه محصول و دوره را این متغیر نشان می دهد	$ZM_{(2,3)}=9994, ZM_{(2,1)}=9991$ $ZM_{(i,t)}=[9991 \quad 10000] \quad ZM_{(3,1)}=9997$
این متغیر میزان محصول ارسالی به ازای هر گروه محصول، گروه مشتری و هر دوره را نشان می دهد	$F_{(1,1,1)}=5238, F_{(2,1,2)}=6170, F_{(3,3,3)}=5431$ $F_{(3,2,1)}=7810, F_{(3,2,3)}=7188$ $F_{(i,k,t)}=[2700 \quad 9384]$
این متغیر میزان محصول تامین شده توسط هر گروه تامین کننده و به ازای هر گروه محصول و هر دوره را نشان می دهد	$SC_{(1,1,1)}=133, SC_{(2,1,1)}=0, SC_{(1,1,2)}=134$ $SC_{(2,1,2)}=0, SC_{(3,3,2)}=39, SC_{(2,3,2)}=0$ $SC_{(2,1,3)}=80, SC_{(2,3,3)}=57$ $SC_{(2,1,3)}=75, SC_{(i,k,t)}=[0 \quad 160]$
این متغیر ساعات اضافه کاری مورد نیاز در هر دوره را نشان می دهد	$OT_{(t)}=[48, 43, 47]$
این متغیر تعداد نیروی کار استخدام شده در هر دوره را نشان می دهد	$HL_{(t)}=[0, 0, 0]$
این متغیر تعداد نیروی کار اخراج شده در هر دوره را نشان می دهد	$FL_{(t)}=[165, 902, 165]$

توضیحات مربوط به هر متغیر تصمیم	جواب متغیرهای تصمیم
این متغیر تعداد نیروی کار مورد نیاز در هر دور را نشان می‌دهد	$WL_{(0)}=[49, 0,0]$
این متغیر تعداد محصول ارسالی به مشتریان را از مرکزیت به ازای هر گروه محصول، مشتری و هر دوره را نشان می‌دهد	$ZC_{(1,1,1)}=1628, ZC_{(2,1,1)}=1918, ZC_{(1,1,2)}=9988$ $ZC_{(2,2,2)}=1216, ZC_{(3,3,2)}=1418, ZC_{(2,3,2)}=2199$ $ZC_{(i,k,t)}=[998 \quad 9775]$
این متغیر تعداد تولید مرکز بازسازی را به ازای هر گروه محصول و هر دوره ساعات کار عادی نشان می‌دهد	$XD_{(2,1)}=1327, XD_{(2,3)}=2615$ $XD_{(3,1)}=1323, XD_{(1,3)}=9947$ $XD_{(i,t)}=[262 \quad 9943]$
این متغیر تعداد تولید مرکز بازسازی را به ازای هر گروه محصول و هر دوره ساعات اضافه کاری را نشان می‌دهد	$YD_{(2,1)}=1556, YD_{(2,3)}=1967$ $YD_{(3,1)}=28465, YD_{(1,3)}=1245,$ $YD_{(i,t)}=[1007 \quad 9504]$
این متغیر تعداد تولید مرکزیت را به ازای هر گروه محصول و هر دوره ساعات کار عادی را نشان می‌دهد	$XM_{(2,1)}=1492, XM_{(2,3)}=1609,$ $XM_{(3,1)}=2332, XM_{(1,3)}=1887$ $XM_{(i,t)}=[140 \quad 2332]$
این متغیر تعداد تولید مرکزیت را به ازای هر گروه محصول و هر دوره ساعات اضافه کاری را نشان می‌دهد	$YM_{(2,1)}=6415, YM_{(2,3)}=1110,$ $YM_{(3,1)}=8921, YM_{(1,3)}=1989,$ $YM_{(i,t)}=[1110 \quad 64147]$
این متغیر تصمیم سطح موجودی تولید کننده را به ازای هر گروه محصول و در هر دوره نشان می‌دهد	$IP_{(2,1)}=5126, IP_{(2,3)}=14996$ $IP_{(3,1)}=4077, IP_{(3,3)}=14990$ $IP_{(i,t)}=[0 \quad 14996]$
این متغیر تصمیم سطح موجودی مرکزیت را به ازای هر گروه محصول و در هر دوره نشان می‌دهد	$IM_{(2,1)}=1525, IM_{(2,3)}=0, IM_{(3,1)}=1571, IM_{(3,3)}=$ $0, IM_{(i,t)}=[0 \quad 9998]$
این متغیر تصمیم سطح موجودی مرکز بازسازی را به ازای هر گروه محصول و در هر دوره نشان می‌دهد	$ID_{(2,1)}=1524, ID_{(2,3)}=2903$ $ID_{(3,1)}=1642, ID_{(3,3)}=0$ $ID_{(i,t)}=[0 \quad 3000]$

### نتیجه گیری و پیشنهادها

بر اساس مقایسه‌ای که بین مدل ارائه شده در این مقاله و مدل‌های ارائه شده در سایر مقالات انجام گرفته می‌توان به این نکته اشاره کرد که مدل مذکور یک مدل ریاضی چندهدفه برای برنامه ریزی تولید تجمیعی در یک زنجیره تامین معکوس سه سطحی شامل تامین کنندگان، تولیدکننده و مشتریان، در شرایط عدم قطعیت به منظور پایدار ساختن مدل در مقابل تغییر پارامترها با روش استوار سازی مالوی ارائه شد. مدل مذکور به صورت برنامه ریزی غیرخطی فرمول شده است، که در پژوهش‌های مشابه مشاهده نشده است. وجود مرکز بازسازی و مرکز نگهداری و تعمیرات و در نظر گرفتن رضایت مشتریان و

تأمین کنندگان و نیز توجه به کیفیت محصول دریافت شده از تأمین کنندگان و محصول تولید شده به وسیله تولید کننده در ساعات عادی و اضافه کاری، حداقل مجموع وزنی حداکثر کمبود در میان مشتریان و حداکثر کردن مجموع وزنی حداقل میزان تأمین کالا از تأمین کنندگان در برقراری رابطه‌ای برد-برد بوده است که نتایج حاصل از حل مدل مورد توجه و استفاده در صنعت مذکور در برنامه ریزی تولید ادغامی واقع شده که حاکی از اعتبار سنجی مدل برای مورد مطالعه بوده است. مدل ارائه شده به کمک نرم افزار متلب با کدنویسی در الگوی تجمع ذرات چند هدفه طراحی و برای دستیابی به مجموعه جوابهای پارتویی مناسب تر از عملگرهای الگوریتم ژنتیک نیز استفاده شده است. برای حل مدل مذکور نیز با استفاده از داده‌های واقعی جوابهای پارتویی توابع هدف و نیز مقادیر متغیرهای تصمیم بدست آمد که به ترتیب در جداول ۱۴ و ۱۵ نشان داده شده‌اند. در پژوهش‌های آتی پیشنهاد می‌شود که سایر توابع هدف مدل را نیز در شرایط عدم قطعیت با الگوریتم‌های فراابتکاری ترکیبی مانند MPSOGA کدنویسی و حل کرد در این مدل در طراحی روش استوار سازی مالوی از سه سناریو حداقل، حد متوسط و حداکثر بر تابع کیفیت استفاده شد که مجدداً به عنوان پیشنهاد دیگر در طراحی روش استوار سازی مالوی از روش فازی چهار نقطه‌ای یا چهار سناریویی و یا از روش استوار-فازی برتسیماس و سیم و دیگر روش‌های استوار سازی استفاده شود. علاوه بر این برای مدل پیشنهادی توابع هدف دیگر مانند تابع هدف قابلیت اطمینان دستگاه‌های مورد استفاده و یا تابع سطح سرویس نیز طراحی شود. همین طور به محققین آتی پیشنهاد می‌شود که در صورت نداشتن مورد مطالعه مدل را با داده‌های فرضی حل کرده و برای تحلیل حساسیت مدل ابعاد آن را بزرگتر در نظر بگیرند و مجموعه جواب‌های پارتویی از حل مدل را مقایسه و تحلیل کنند.

## منابع

- Chen, C. L. & Lee, W. C. (2004). Multi-objective optimization of multi-echelon supply chain networks with uncertain product demands and prices. *Computers and Chemical Engineering*, 28(6-7): 1131-1144.
- Makoei, A. & Azami. (2016). A robust optimization Model for Multi-Factory Integrated Production Planning of Perishable Products under Uncertainty Conditions Considering Postponement Policy, *Quarterly Journal of Industrial Management Studies*, 43: 27-51. (in persian)
- Mirzapour, Hashema, Babolib, A. & Sazvarb, C. (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*, 23(1): 26-41. (in persian)
- Mirzapour, Hashema, Aryanezhad, & 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 Technolog.* 58(5): 765-782. (in persian)
- M. Ramyara, E. Mehdizadehb; and S.M. Hadji Molanaa. (2017).
- Optimizing reliability and cost of system for aggregate production planning in a supply chain, *The International Journal of Scientia Iranica E* (2017) 24(6), 3394-3408. (in persian)
- Moghaddam, S. & Yousefi, A. & Karbasian, M. & Khayyam, b. B. (1397). A robust optimization model for multi-factory integrated production
- planning of perishable products under conditions of uncertainty with
- consideration of deferral policy, *Quarterly Journal of Industrial*
- *Management Studies*, 43: 27-51. (in Persian)
- Mohammadzadeh, H. & Zare, Y. M. (1393). A robust optimization model of integrated production program in green supply chain under uncertainty conditions for selecting suppliers, manufacturers and distributors, Thesis, Yazd University-Faculty of Industrial Engineering. (in persian)
- Nam, S. J. & Logendran, R. (1992). Aggregate production planning –a survey of models and methodologies. *European Journal of Operation Research*, 61(3): 255-272.
- 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.
- Rabieh, M. (1390). Provide an innovative method to solve a two-tier supply
- chain problem with two objective functions, *Master Thesis, Industrial*
- Renqian, Z. & Lankang, Z. & YiYong, X. & Ikou, K. (2012). The activity-
- based aggregate production planning with capacity expansion in
- manufacturing systems *Computers & Industrial Engineering*. 62(2): 491-503
- Ahmadianfar, I & Adib, A.). 1394( Optimization of Hydropower Energy Utilization of Dams Using a
- Combined Method of Particle Swarm Algorithm and Genetic Algorithm) Case Study: Dez Dam, *Irrigation Science and Engineering (Agricultural Scientific Journal)*, 38(3). (in Persian).
- Kopaei Haji, K, Rashidi Komijan, A.) 1394( Presenting an integrated model of integrated production
- and procurement planning with a discount system, *The second national conference on industrial*
- *engineering research*. (in Persian).
- Khatami Firoozabadi, S, M, A & Makoei, A. (1392) Integrated Production Planning of Iran Pipe and
- Machinery Company with the Ideal Gray Planning Approach, *Management Research Journal of*
- *Tomorrow / 12(35)*. (in Persian).
- Hosseini, S, M, H. (1399). Modeling and Integrated Problem Solving Integrated Production Planning
- and Maintenance in a Two-Purpose Mode with a Customer Dissatisfaction Approach, *Scientific-*
- *Research Journal, Industrial Management Studies*, (56). (in Persian).
- Nazari, L & Rahmani, M. (1398). Integrated robust production planning for risk-averse managers in
- conditions of uncertainty, *Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems,*
- *Spring and Summer*, (14) (in Persian).

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22091/jemsc.2021.6237.1141

استناد به این مقاله:

رضایی مقدم، سعید؛ دوستی، اصلا. (۱۳۹۸). «طراحی مدل ریاضی چند هدفه برنامه ریزی تولید تجمعی در زنجیره تأمین معکوس تحت شرایط عدم قطعیت و استفاده از الگوریتم فراابتکاری MPSOGA». مدیریت مهندسی و رایانش نرم، ۵ (۲)، ۳۲۵-۳۵۶.