

انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش در شرایط عدم قطعیت و اختلال با استفاده از الگوریتم‌های تکاملی (مطالعه موردی: شرکت پشتیبانی اقلام عمومی ایثار)

حسینعلی حسن پور^{۱*}، حسین غفاری توران^۲، مصطفی زارعی^۳، علی محمدی^۴

دانشگاه جامع امام حسین (ع)

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۱۲/۰۱

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۴/۲۸

چکیده

مدیریت زنجیره تأمین تاب‌آور یکی از رویکردهای نوین در مدیریت زنجیره تأمین و یک مزیت رقابتی برای سازمان‌ها تلقی می‌شود. هدف از این تحقیق ارائه یک مدل ترکیبی جهت انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش در شرایط عدم قطعیت می‌باشد که در آن یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح غیرخطی دو هدفه برای بهینه‌سازی زنجیره تأمین اقلام عمومی ارائه شده است که در آن تمام پارامترهای توابع هدف و محدودیت‌ها به صورت غیرقطعی در نظر گرفته شده است. روش حل بدین گونه است که ابتدا اوزان مناسب معیارها و زیرمعیارهای مرتبط برای تولیدکنندگان با استفاده از معیارهای سازمان از طریق روش تصمیم‌گیری چند معیاره بدست می‌آید. این اوزان داده‌های ورودی به مدل ریاضی پیشنهادی را ایجاد می‌کند. مدل ریاضی ارائه شده در قالب یک مطالعه موردی با استفاده از نرم‌افزار GAMS حل شده است. سپس دو الگوریتم فرا ابتکاری چندهدفه شامل الگوریتم ژنتیک و بهینه‌سازی ذرات با مرتب‌سازی نامغلوب ارائه شده است و برای اعتبارسنجی، نتایج آن‌ها با نرم‌افزار دقیق مقایسه شده است. جواب‌های الگوریتم‌های فرا ابتکاری نسبت به جواب‌های GAMS برای مسائل مختلف، نشان‌دهنده اختلاف کم‌تر از ۲,۵ درصد است. این نتایج بیانگر آن است که الگوریتم‌های پیشنهادی همگرا به جواب بهینه و کارا می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: زنجیره تأمین تاب‌آور، اختلال، برنامه‌ریزی عدد صحیح غیرخطی، بهینه‌سازی چندهدفه، MOSPO، NSGA-II

۱- مقدمه

فعالیت خود ادامه دهند. طراحی شبکه زنجیره تأمین به عنوان یک تصمیم راهبردی نقش قابل توجهی در دستیابی به این اهداف ایفا می‌کند چراکه تصمیمات راهبردی باید قبل از تصمیمات تاکتیکی و عملیاتی اتخاذ گردند و در نتیجه برای تصمیمات سطوح پایین‌تر نقش محدودیت را ایفا نموده و بر هزینه‌های این سطوح نیز بسیار تأثیرگذار است. از طرفی یکی از مهم‌ترین زنجیره‌های تأمین هر کشور را باید زنجیره

افزایش شدت رقابت، سرعت روزافزون تحولات در محیط کسب‌وکار، نیازهای در حال تغییر مشتریان و... بسیاری از سازمان‌ها را وادار ساخته است تا به منظور ادامه حیات و دستیابی به اهداف از پیش تعیین شده‌ای همچون هزینه حداقلی، سود حداکثری، پاسخگویی حداکثری به نیاز مشتریان و... به عنوان عضوی از یک زنجیره تأمین به

۳- دانشجوی دکتری مهندسی صنایع دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران. پست الکترونیک: mozare66@yahoo.com

۴- کارشناسی ارشد مهندسی صنایع دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران. پست الکترونیک: ali.mohamdadi69@aut.ac.ir

۱- استادیار، گروه مهندسی صنایع و لجستیک، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، اتوبان بابایی، بعد از پل لشکرک

نویسنده پاسخگو. پست الکترونیک: hahassan@ihu.ac.ir

۲- دانشجوی دکتری مهندسی صنایع دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران. پست الکترونیک: h.ghaffari@chmail.ir

3	هاتفی و جولای	طراحی شبکه زنجیره تأمین به صورت استوار و پایا برای حالت‌های عدم قطعیت تقاضا و اختلال کلی و جزئی تسهیلات	برنامه‌ریزی خطی مختلط و با معیار p-robust constraints	۲۰۱۴
4	پیشوایی و همکاران	برنامه‌ریزی تاکتیکی استوار زنجیره تأمین جهانی سه سطحی تحت شرایط تحریم و اختلال	برنامه‌ریزی استوار به نام برنامه‌ریزی امکانی استوار	۱۳۹۴
5	یحیی زاده و همکاران	طراحی بهینه‌سازی استوار در انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش	بهینه‌سازی استوار و AHP	1395
6	کریم میان و همکاران	انتخاب تأمین‌کننده با در نظر گرفتن ارتباطات میان تأمین‌کنندگان و ریسک اختلال تأمین در محصولات پیچیده	برنامه‌ریزی عدد صحیح	۱۳۹۶
7	راجش ² و راوی ³	انتخاب تأمین‌کننده در زنجیره تأمین تاب‌آور با استفاده رویکرد خاکستری	ترکیب AHP و رویکرد خاکستری	۲۰۱۵
8	ترابی و همکاران	انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص بهینه سفارش‌ها برای ارائه یک زنجیره عرضه تاب‌آور تحت شرایط عدم قطعیت ریسک‌های عملیاتی و اختلال	مدل دومرحله‌ای برنامه‌ریزی امکانی استوار	۲۰۱۵

تأمین مربوط به سیستم دفاعی آن کشور دانست که علاوه بر اهداف اقتصادی ذکر شده، اهداف و محدودیت‌های حیاتی دیگری نیز با خود به همراه دارند. محدودیت‌های همچون زمان تحویل، محدود بودن تأمین‌کننده‌ها، سطح خدمت‌دهی پاسخگویی حداکثری در این زنجیره‌های تأمین از اهمیت بسیار بیشتری برخوردار است. این اهداف و محدودیت‌ها و ماهیت محصولات تهیه، تولید و ارسال شده در زنجیره تأمین سیستم دفاعی، طراحی شبکه را در آن با پیچیدگی‌های همراه ساخته است. بعلاوه دو عامل مهمی که ممکن است عملکرد زنجیره تأمین را به شدت تحت تأثیر قرار دهند از یکسو وقوع اختلالات احتمالی و آسیب‌های ناشی از آن و از سوی دیگر ماهیت غیرقطعی پارامترهای معمول مسئله هستند. لحاظ کردن دو عامل به‌طور همزمان در طراحی شبکه زنجیره تأمین به‌ویژه زنجیره تأمین سیستم دفاعی، به‌طوری‌که زنجیره در نوسان مختلف پارامترهای تأثیرگذار مسئله همچون تقاضا، ظرفیت تولید و توزیع، از یکسو و در زمان وقوع اختلالات احتمالی از سوی دیگر همچنان کارا باقی بماند، امری حیاتی و اجتناب‌ناپذیر است.

۲- مرور ادبیات

مسائل انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش را می‌توان پایه‌ای برای ایجاد مدل‌های مکان‌یابی-تخصیص تسهیلات در نظر گرفت. در جدول (۱) دسته‌بندی از پیشینه تحقیق و مدل‌های مرتبط با تاب‌آوری زنجیره تأمین بیان شده است.

مرجع	مؤلف	اهداف	روش حل	سال
[1]	ساویک ^۱	انتخاب سبد عرضه تاب‌آور تحت شرایط اختلال	برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط	۲۰۱۳
[2]	فکور ثقیه و همکاران	مدلی برای قابلیت ارتجاعی زنجیره تأمین برای رقابت‌پذیری در شرکت‌های خودروسازی ایران	روش کارای برنامه‌ریزی امکانی	۱۳۹۳

1- Sawik
1- Sawik
2- Rajesh
3- Ravi

[9]	جبار زاده و همکاران	طراحی زنجیره تأمین اختلال و وقفه‌های عرضه و تقاضا	شبیه‌سازی مونت کارلو و بهینه‌سازی استوار	۲۰۱۶
[10]	پارسانا و همکاران	مدل چندهدفه انتخاب تأمین‌کننده چندمنظوره و تخصیص سفارش در شرایط اختلال	برنامه‌ریزی عدد صحیح و مختلط و AHP فازی	۲۰۱۶
[11]	حمدان و همکاران	انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص بهینه سفارش با معیارهای سبز و تاب آور	روش تاپسیس و برنامه‌ریزی چندهدفه	۲۰۱۶
[12]	جولای و همکاران	طراحی شبکه زنجیره تأمین با تابع هدف متشکل از تاب‌آوری توزیع، تأمین و موجودی	مدل دومرحله‌ای امکانی تصادفی	۲۰۱۶
[13]	جبله و همکاران	طراحی شبکه زنجیره تأمین چندهدفه، چند سطحی مبتنی بر چابکی و ارزش‌های سازمانی	مدل برنامه‌ریزی خطی سه هدفه	۱۳۹۶
[14]	علی‌خانی و همکاران	انتخاب تأمین‌کننده با معیارهای ریسک و پایداری	تحلیل پوشش داده‌ها	۲۰۱۷
[15]	ترابی و همکاران	انتخاب تأمین‌کننده پایدار و تخصیص سفارش در شرایط ریسک و اختلال تصادفی	برنامه‌ریزی ریاضی امکانی -	۲۰۱۷
[16]	یاری و همکاران	طراحی زنجیره تأمین رقابتی با در نظر گرفتن اختلال در تأمین	تئوری بازی‌ها به همراه روش‌های فرا ابتکاری	۱۳۹۷

[17]	محمد و همکاران	تصمیم‌گیری چند معیاره- بهینه‌سازی فازی چندهدفه برای انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش	روش ترکیبی AHP فازی و روش LP Metric	۲۰۱۸
[18]	پژوهش حاضر	معیارهای تاب‌آوری و تخصیص بهینه سفارش در شرایط اختلال	انتخاب تأمین‌کننده با استفاده از روش‌های فرا ابتکاری و روش‌های دقیق	۱۳۹۸

جنبه جدید بودن و نوآوری تحقیق

غالب تحقیقات انجام‌شده در حوزه طراحی شبکه زنجیره تأمین در فضای عدم قطعیت، فقط مربوط به عدم قطعیت پارامترها و تعداد محدودی نیز عدم قطعیت مربوط به اختلال را در نظر گرفته‌اند. در این پژوهش هردو حالت عدم قطعیت یعنی عدم قطعیت پارامترها و اختلال به‌طور هم‌زمان توسط مدل ریاضی ارائه‌شده در نظر گرفته شد. بیشتر تحقیقات انجام‌شده در حوزه عدم قطعیت در طراحی شبکه از تئوری مجموعه‌های عدم قطعیت بسته برای مواجهه با عدم قطعیت استفاده می‌شود درحالی‌که در تحقیق پیش رو از تئوری امکان به‌عنوان یک رویکرد جدید از روش‌های بهینه‌سازی استوار برای مدیریت عدم قطعیت استفاده شده است. در این تحقیق در مرحله‌ی اول پرسش‌نامه‌ای برای ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان استفاده‌شده و در مرحله دوم از خروجی پرسشنامه به‌عنوان ورودی مدل‌سازی ریاضی استفاده می‌شود. مدل استفاده‌شده در تحقیق جاری، برگرفته از مدل ترابی و همکاران [۸] و [۱۵] است که در توسعه مدل ریاضی برای مطالعه موردی (شرکت ایثار)، به آن توجه شده است. انبارهای شرکت نیز به‌عنوان بخشی از تأمین در حالت‌های اختلال و عدم قطعیت می‌توانند نیازهای مربوط به رده‌ها را برآورده نمایند. لذا در مدل ریاضی لحاظ شده و پارامترها و متغیرهای آن تعریف شده و محدودیت مربوط به ظرفیت انبار و هزینه‌های نگهداری آن به مدل اضافه‌شده است. برای مدل‌سازی مسئله فرض‌های زیر مدنظر قرار گرفتند و عبارت‌اند از: مکان کارخانه‌ها، مرکز پخش و مراکز استقرار مشتریان از قبل مشخص است، تولیدکنندگان بر

$e \in E$: اندیس حوادث مختل کننده ممکن

u : اندیس سطوح بازسازی برای تأمین کنندگان نوع دوم
 $u \in U$

l : اندیس سطوح بازیابی در تأمین کنندگان نوع دوم $i \in E$
 $j, e \in E_i, l \in L_{ie}$

K : مجموعه محصولات

S : مجموعه سناریوهای اختلال

V : مجموعه تأمین کنندگان

$i \in V$: اندیس تأمین کنندگان

$k \in K$: اندیس محصولات

$S \in S$: اندیس سناریوها

۴- پارامترهای مدل: پارامترهای لازم برای مدل سازی زنجیره تأمین اقلام مورد نظر عبارتند از:

FR_{iu} : هزینه مستحکم سازی تأمین کننده i در سطح u

\tilde{h}_{ik} : هزینه نگهداری موجودی اضطراری از محصول k نزد تأمین کننده پشتیبان i

\tilde{f}_i : هزینه ثابت قرارداد با تأمین کننده i به عنوان تأمین کننده پشتیبان

\tilde{p}_{ik} : هزینه خرید و حمل محصول k از تأمین کننده اصلی i

\tilde{p}'_{ik} : هزینه خرید و حمل محصول k از تأمین کننده پشتیبان i

b_{wk} : فضای مورد نیاز برای نگهداری هر محصول k در انبار w شرکت

a_{ik} : میزان مصرف محصول k از تأمین کننده i

Ca_i : ظرفیت عرضه تأمین کننده i تحت شرایط عادی

\vec{d}_k : تقاضای محصول k در دوره

\tilde{h}_k : هزینه نگهداری موجودی اضطراری از محصول k در انبار شرکت

RT_{ie}^l : زمان بازیابی تأمین کننده پشتیبان i تا سطح l بعد از حادثه e

CL_{ie}^l : ظرفیت تأمین کننده پشتیبان بعد از حادثه e و بازیابی تا سطح l

n : بیشترین مقدار مجاز تأمین کنندگان در شرایط نرمال

$\tilde{\varphi}_{ik}$: نرخ معیوب بودن محصول k تأمین شده از تأمین کننده i

R_k : بالاترین مقدار قابل قبول برای نرخ معیوب بودن محصول k

اساس لیست اقلام مورد نیاز رده‌ها، محصول را تولید کرده و در اختیار مراکز پخش قرار می‌دهند. پخش یا توزیع اقلام می‌تواند از طریق شرکت پشتیبانی اقلام عمومی ایثار باشد، یا به‌طور مستقیم به رده‌ها فرستاده شود. زنجیره تأمین مورد نظر سه سطحی است. در سطح اول تولید کنندگان (در نقش تأمین کنندگان شرکت پشتیبانی اقلام عمومی ایثار) قرار دارند. سطح دوم شرکت پشتیبانی اقلام عمومی ایثار (به‌عنوان توزیع کننده اصلی زنجیره) هستند و سطح سوم مشتریان (رده‌های کاربر در سازمان‌های استانی) قرار دارند، تقاضا به‌صورت پارامتر فازی است. مدل چند محصولی، تک دوره‌ای با پارامترهای غیرقطعی است، تمام نیاز رده‌ها باید تأمین شود. (به دلیل عملیاتی بودن رسالت سازمان کمبود مجاز نیست)، هیچ الزامی وجود ندارد که ظرفیت مورد نیاز مراکز توزیع تنها توسط یک تأمین کننده تأمین شود، تقاضای مشتری می‌تواند از چند تأمین کننده برآورده شود و هزینه‌های حمل و نقل بر عهده عرضه کننده‌ها و مشتریان خواهد بود. متغیرها و پارامترهای مورد استفاده در مدل، در زیر خلاصه می‌شوند:

۳- مجموعه‌ها و اندیس‌ها: اندیس‌ها و مجموعه‌ها به شرح زیر است.

I : تأمین کنندگان نوع اول $I \subset V$

J : تأمین کنندگان نوع دوم $J \subset V$

W : انبارهای شرکت پشتیبانی اقلام عمومی ایثار $W \subset V$

E : مجموعه حوادث مختل کننده ممکن برای تأمین کننده

E_i : مجموعه حوادث مختل کننده ممکن برای تأمین کننده i
 $E_i \subset E$

\bar{V}_S : مجموعه تأمین کنندگان که در سناریو S دچار اختلال می‌شوند. $\bar{V}_S \subset V$

V_S : مجموعه تأمین کنندگان که در سناریو S دچار اختلال نمی‌شوند. $V_S \subset V$

L_{ie} : مجموعه سطوح بازسازی تأمین کننده i بعد از حادثه مختل کننده $e \in E_i, i \in j$

U : مجموعه سطوح ممکن مستحکم سازی برای تأمین کنندگان نوع دوم

e_{is} : اندیس حوادث مختل کننده برای تأمین کننده i در سناریو $S, e_{is} \in E_i, i \in \bar{V}_S$

\tilde{A}_i : هزینه ثابت قرارداد با تأمین کننده i به عنوان تأمین کننده اصلی
 Ca_w : ظرفیت نگهداری انبار w شرکت
 Sc_i : ظرفیت نگهداری نزد تأمین کننده i
 w_{ik} : مقدار موجودی از محصول k و تأمین کننده پشتیبان i که در انبار w نگهداری می شود.
 LT_i : زمان تدارک تأمین کننده اصلی i
 LT'_i : زمان تدارک تأمین کننده پشتیبان i
 π_{ie} : احتمال وقوع حادثه e برای تأمین کننده i
 θ_{ie} : ظرفیت باقیمانده از تأمین کننده i بعد از حادثه e مختل کننده e

β_{ieu} : میزان افزایش ظرفیت تأمین کننده پشتیبان i بعد از حادثه e به دلیل مستحکم سازی تا سطح u
 P_s : احتمال وقوع سناریو S
 M : مقدار بزرگ

فضای موردنیاز برای ذخیره سازی هر محصول k نزد تأمین کننده i در دوره

متغیرهای تصمیم: متغیرهای تصمیم لازم برای مدل سازی در زیر آورده شده است.

متغیرهای تصمیم مرحله اول:

z'_i : اگر با تأمین کننده i به عنوان تأمین کننده پشتیبان قرارداد بسته شود i در غیر این صورت صفر

y_{iu} : اگر تأمین کننده i تا سطح u مستحکم سازی شود i در غیر این صورت صفر

SS_{wk} : مقدار موجودی از پیش ذخیره شده از محصول k نزد انبار w شرکت

SS_{ik} : مقدار موجودی از پیش ذخیره شده از محصول k نزد تأمین کننده مستحکم شده i در دوره

x_{ik} : مقدار محصول k خریداری شده از عرضه کننده i و حمل شده به شرکت پشتیبانی اقلام عمومی ایثار

z_i : اگر با تأمین کننده i به عنوان تأمین کننده اصلی قرارداد بسته شود i در غیر این صورت صفر

متغیرهای تصمیم وابسته به سناریو:

qp'_{iks} : مقدار محصول k خریداری شده از تأمین کننده پشتیبان بعد از اختلال تحت سناریو S

RT_{ie}^l : اگر تأمین کننده مختل شده i تا سطح a بعد از حادثه e در سناریو S بازیابی شود i در غیر این صورت \cdot

x'_{iks} : مقدار محصول k که بعد از اختلال تحت سناریو S از تأمین کننده i دریافت خواهد شد.

xp'_{wks} : مقدار محصول k مصرف شده از موجودی ذخیره شده در انبار w شرکت بعد از اختلال تحت سناریو S

q_{iks} : مقدار محصول k مصرف شده که از موجودی ذخیره شده نزد تأمین کننده i بعد از اختلال تحت سناریو S

مدل ریاضی پیشنهادی

$$\text{Minf1} = \sum_{i \in V} A_i z_i + \sum_{i \in V} \sum_{k \in K} p_{ik} x_{ik} + \sum_{i \in V} f_i z_i + \sum_{i \in J} \sum_{u \in U} FR_{iu} y_{iu} + \sum_{i \in J} \sum_{k \in K} h_{ik} SS_{ik} + \sum_{w \in W} \sum_{k \in K} \hat{h}_{wk} SS_{wk} + P_s \left[\sum_{i \in V_s} \sum_{k \in K} \hat{p}_{ik} \hat{q}_{iks} + \sum_{i \in J} \sum_{k \in K} p_{ik} q_{iks} - \sum_{i \in V_s} \sum_{k \in K} p_{ik} (x_{ik} - \hat{x}_{iks}) \right] \quad (1)$$

$$\text{Minf2} = P_s \left[\sum_{i \in V} \sum_{k \in K} LT_i \hat{q}_{iks} + \sum_{i \in J} \sum_{k \in K} LT_i q_{iks} + \sum_{i \in J \cap \bar{V}_s} \sum_{k \in K} \left(\hat{x}_{iks} - \theta_{ie_{is}} x_{ik} \right) \left[LT + \sum_{l \in L_{ie}} RT_{ie}^l LT_{ie}^l \right] \right] \quad (2)$$

St:

$$\left(\sum_{i \in V_s} (x_{ik} + \hat{q}_{iks}) + \sum_{i \in \bar{V}_s} x'_{iks} + \sum_{i \in J} q_{iks} \right) + \sum_{t \in T} \sum_{w \in W} \hat{x}_{wks} \geq d_k \quad \forall s \in S, k \in K \quad (3)$$

$$\sum_{k \in K} a_{ik} (x_{ik} + \hat{q}_{iks}) \leq Ca_i \quad \forall s \in S, i \in V \quad (4)$$

$$\sum_{k \in K} a_{ik} \hat{x}_{iks} \leq \theta_{ie_{is}} Ca_i \quad \forall i \in I \cap \bar{V}_s . e. s \quad (5)$$

عمومی ایثار است. در بخش آخر این تابع هدف، به ازای هر اختلال تحت سناریو S هزینه خرید، حمل محصول از تأمین کننده پشتیبان و هزینه خرید و حمل محصول مصرف شده از موجودی ذخیره شده نزد تأمین کننده اصلی از مابه‌التفاوت هزینه خرید و حمل محصول قبل و بعد از اختلال کسر می شود. تابع هدف (۲) که در واقع یک ابزار کمی برای سنجش تاب‌آوری از دست رفته است، به این صورت عمل می کند که مقدار خریداری شده از تأمین کنندگان پشتیبان و مقدار استفاده شده از موجودی اضطراری ذخیره شده نزد تأمین کنندگان مستحکم شده، ضرب در زمان مورد نیاز برای تدارک این محصولات هر چه قدر کم تر باشد؛ تاب‌آوری سیستم تأمین افزایش می یابد. محدودیت (۳) تقاضای هر محصول در هر دوره، برای هر مشتری، تحت هر سناریو باید برآورده شود. محدودیت (۴) مقدار خریداری شده از هر عرضه کننده مختل نشده به عنوان عرضه کننده اصلی یا پشتیبان باید از ظرفیت تأمین آن عرضه کننده در همان دوره کمتر باشد. محدودیت (۵) مقدار خریداری شده از تأمین کنندگان نوع اول مختل شده در صورت وجود ظرفیت عرضه پس از اختلال را با توجه به ظرفیت آن عرضه کننده پس از اختلال محدود می کند. محدودیت (۶) مقدار خریداری شده از تأمین کنندگان نوع دوم در صورت وجود ظرفیت پس از وقوع اختلال با توجه به سطح بازیابی و مستحکم سازی این تأمین کنندگان محدود می نماید. نکته مهم در این محدودیت، غیرخطی بودن عبارت اول در سمت راست محدودیت است. محدودیت (۷) بیان می کند که مقدار فرستاده شده از عرضه کننده مختل شده تحت هر سناریو باید بزرگ تر یا مساوی مقدار خریداری شده از عرضه کننده در شرایط نرمال ضرب در ظرفیت باقی مانده عرضه کننده پس از اختلال باشد. محدودیت (۸) تضمین می کند که موجودی اضطراری تنها نزد تأمین کنندگان نوع دوم نگهداری شده و حجم موجودی که در هر دوره نزد این عرضه کنندگان نگهداری می شود از فضای انبار عرضه کنندگان نوع دوم بیشتر نباشد. محدودیت (۹) مقدار موجودی اضطراری که در انبارهای شرکت پشتیبانی اقلام عمومی ایثار نگهداری می شود را با توجه به فضای موجود انبار محدود می کند. محدودیت (۱۰) تضمین می کند که مجموع نرخ معیوب مورد انتظار برای هر محصول باید کمتر از نرخ معیوب مورد انتظار توسط شرکت پشتیبانی اقلام عمومی ایثار باشد. محدودیت (۱۱) بیان می کند که تأمین کنندگان نوع دوم حداکثر تا یک سطح

$$\sum_{k \in K} a_{ik} \dot{x}_{iks} \leq \left[\left(\theta_{ieis} + \sum_{u \in U} \beta_{ieis} Y_{iu} \right) \left(1 - \sum_{u \in U} RL_{ieis}^L \right) + \sum_{l \in L_{ie}} CL_{ieis}^l RL_{ieis}^l \right] * Ca_i \quad \forall i \in I \cap \bar{V}_s . e.s \quad (6)$$

$$\theta_{ieis} * x_{ik} \leq \dot{x}_{iks} \quad \forall i \in \bar{V}_s . e.s \quad (7)$$

$$\sum_{k \in K} b_{ik} SS_{ik} \leq Sc_i \sum_{u \in U} Y_{iu} \quad \forall i \in I \cap \bar{V}_s . e.s \quad (8)$$

$$\sum_{k \in K} b_{wk} SS_{wk} \leq ca_w \quad \forall w \in W . s \in S \quad (9)$$

$$\sum_{i \in V_s} \tilde{\varphi}_{ik} (x_{ik} + \dot{q}_{iks}) + \sum_{i \in V_s} \tilde{\varphi}_{ik} \dot{x}_{iks} + \sum_{i \in J} \tilde{\varphi}_{ik} \leq R_k \left[\sum_{i \in V_s} (x_{ik} + \dot{q}_{iks}) + \sum_{i \in V_s} \dot{x}_{iks} + \sum_{i \in J} q_{iks} \right] \quad \forall k \in K . s \in S \quad (10)$$

$$\sum_u Y_{iu} \leq 1 \quad \forall i \in j \quad (11)$$

$$q_{iks} \leq W_{ik} \quad \forall k \in K . s \in S . i \in j \quad (12)$$

$$\sum_{k \in K} x_{ik} \leq M * z_i \quad \forall i \in V \quad (13)$$

$$q'_{iks} \leq M * z_i \quad \forall k \in K . s \in S . i \in V \quad (14)$$

$$x'_{iks} \leq SS_{wk} \quad \forall k \in K . s \in S . t \in T . w \in W \quad (15)$$

$$q'_{iks} = 0 \quad \forall i \in \bar{V}_s . k \in K . s \in S \quad (16)$$

$$\sum_{i \in V} z_i \leq n \quad (17)$$

$$\sum_{l \in L_{ie}} RL_{ieis}^l \leq 1 \quad \forall i \in I \cap \bar{V}_s . k \in K . s \in S \quad (18)$$

$$x_{ik} \cdot x'_{iks} \cdot SS_{ik} \cdot \dot{x}_{wks} \cdot q_{iks} \cdot \dot{q}_{iks} \cdot SS_{wk} \geq 0 \quad \forall i \in V . k \in K . s \in S \quad (19)$$

$$Y_{iu} \in \{0,1\} \quad \forall i \in j . u \in U \quad (20)$$

$$z_i \cdot \dot{z}_i \in \{0,1\} \quad \forall i \in V \quad (21)$$

$$RL_{ieis}^l \in \{0,1\} \quad \forall i \in j . s \in S . l \in L_{ieis} \quad (22)$$

تابع هدف شماره (۱) مجموع هزینه‌های مورد انتظار را کمینه می کند که شامل هزینه‌های ثابت عقد قرارداد، خرید و انتقال از تأمین کنندگان عمده و هزینه قرارداد با تأمین کنندگان پشتیبان، هزینه مستحکم سازی، هزینه نگهداری محصول در انبار بعضی تأمین کننده‌ها و انبارهای شرکت پشتیبانی اقلام

مستحکم سازی می‌تواند بازیابی شوند. محدودیت (۱۲) تضمین می‌کند که مقدار دریافت کالا از موجودی از پیش ذخیره شده نزد عرضه‌کنندگان نوع دوم در فاز پیش از اختلال باید از مقدار موجودی ذخیره‌شده نزد تأمین‌کننده پیش از وقوع اختلال کمتر یا مساوی باشد. محدودیت (۱۳) در صورتی می‌توان از تأمین‌کنندگان اصلی کالا دریافت کرد که با این عرضه‌کنندگان قرارداد بسته‌شده باشد. محدودیت (۱۴) تضمین می‌کند که مقدار خریداری‌شده از عرضه‌کننده پشتیبان در صورتی که با آن عرضه‌کننده قرارداد عقد نشده باشد مساوی صفر است. محدودیت (۱۵) تضمین می‌کند مقدار استفاده‌شده از موجودی اضطراری ذخیره‌شده در انبارهای شرکت پس از اختلال باید کمتر یا مساوی مقدار ذخیره‌شده این موجودی در دوره پیش از اختلال باشد. محدودیت (۱۶) تضمین می‌کند که عرضه‌کنندگان مختل شده در هر سناریو نمی‌توانند به‌عنوان عرضه‌کننده پشتیبان در همان سناریو در نظر گرفته شوند. محدودیت (۱۷) بیان می‌کند که تعداد عرضه‌کنندگان اصلی باید از ماکزیمم تعداد تأمین‌کنندگان در شرایط نرمال (شرایط پیش از اختلال) کمتر باشد (بر اساس اصول زنجیره تأمین ناب). محدودیت (۱۸) بیان می‌کند که هرکدام از عرضه‌کنندگان مختل شده نوع دوم می‌توانند تا یک سطح مستحکم سازی مورد بازیابی قرار گیرند. محدودیت‌های (۱۹) تا (۲۲) نوع متغیرهای تصمیم را مشخص می‌کند.

فازی زدایی مدل قطعی

در میان روش‌های متعدد تبدیل مدل‌های امکانی فازی به مدل قطعی، رویکرد برنامه‌ریزی محدودیت شانس امکانی، بیشترین کاربرد را در مسائلی دارد که در آن تصمیم‌گیرنده می‌تواند حداقل سطح اطمینان را به‌عنوان یک حاشیه ایمنی مناسب برای ارضای هر محدودیت احتمالی داشته باشد. ژو و همکاران، رویکرد جدیدی از برنامه‌ریزی محدودیت شانس امکانی ارائه کردند که در آن از یک اندازه فازی جدید me که بسطی بر اندازه اعتبار است. مهم‌ترین مزیت روش ژو^۱ و همکاران [18] این است که دو مدل تخمین (LAM ^۲ و LAM ^۳) UAM به‌طور مناسبی بر روی تغییرات بدبینانه-خوشبینانه

ناشی از تفاوت نگرش تصمیم‌گیرندگان فیت شود. از آنجایی که مدل UAM از یک رویکرد خوش‌بینانه در محدودیت‌ها استفاده می‌کند، ناحیه شدنی آن از ناحیه شدنی مدل LAM بزرگ‌تر است. در نتیجه مدل UAM از نظر تئوری جواب بهینه بهتری به دست می‌دهد. هنگامی که مدل‌های UAM و LAM به‌صورت همزمان حل شوند، بازه‌ای از جواب‌ها ایجاد خواهد شد که حد بالا و پایین این بازه‌ها خروجی حل مدل‌های UAM و LAM می‌باشد. با استفاده از این دو مدل، تصمیم‌گیرنده حد بالا و حد پایینی از جواب‌های بهینه را در اختیار خواهد داشت.

روش بهینه‌سازی چند هدفی

با توجه به دو هدفه بودن مسئله، تابع هدف در نظر گرفته‌شده، یک تابع مطلوبیت به‌صورت ترکیب خطی محدب از اهداف است که در آن به هرکدام از هدف‌ها، یک وزن جداگانه داده می‌شود. به‌علاوه برای همسان‌سازی تأثیر هرکدام از اهداف در تابع مطلوبیت، با استفاده از شاخص انحراف نسبی^۴ (RDI)، اهداف نرمال‌سازی می‌شود [19]

$$RDI = \frac{Alg_{sol} - Best_{sol}}{Worst_{sol} - Best_{sol}} * 100 \quad (23)$$

$$F = \sum_{i=1}^2 \lambda_i * f_i^{norm} = \lambda_1 f_1^{norm} + \lambda_2 f_2^{norm} \quad (24)$$

$$\sum_{i=1}^2 \lambda_i = 1, \lambda_i \in [0,1]$$

در رابطه فوق، f_1^{norm} ، f_2^{norm} به ترتیب مقدار نرمال شده جزء اول، دوم تابع هدف می‌باشند. چنانچه تابع هدف F به‌صورت ماکزیمم‌سازی باشد، مقدار نرمال شده‌ی آن طبق رابطه‌ی (۲۵) بدست می‌آید [19] [18].

$$f_i^{norm} = \frac{f_i - f_i^{max}}{f_i^{min} - f_i^{max}}, \quad i = 1, 2, 3 \quad (25)$$

و اگر تابع هدف F به‌صورت مینیمم‌سازی باشد، مقدار نرمال شده‌ی آن از رابطه‌ی (۲۶) بدست می‌آید [21] [20].

1- Xu

3- Upper Approximation Model

2- Lower Approximation Model

4- Relative Deviation Index

$$f_i^{norm} = \frac{f_i - f_i^{min}}{f_i^{max} - f_i^{min}}, i = 1, 2, 3 \quad (26)$$

در نتیجه رابطه برای دو هدف مورد نظر برقرار است.

$$F = \sum_{i=1}^3 \lambda_i * f_i^{norm} = \lambda_1 f_1^{norm} + \lambda_2 f_2^{norm} \quad (27)$$

$$= \lambda_1 \left(\frac{f_i - f_i^{min}}{f_i^{max} - f_i^{min}} \right) + \lambda_2 \left(\frac{f_i - f_i^{max}}{f_i^{min} - f_i^{max}} \right)$$

و از آنجا که اهداف متفاوتند داریم:

$$F = \lambda_1 F_1^{norm} - \lambda_2 F_2^{norm} \quad (28)$$

۵- محیط نگاری تحقیق

شرکت پشتیبانی اقلام عمومی ایثار چهار شعار اصلی را در جهت تأمین تجهیزات مرتبط با انواع کالاهای زیست و خواب، لوازم اداری و لوازم خانگی نیازهای رده‌های سازمان دنبال می‌کند. شعارهای این شرکت عبارت است از: حمایت از تولید ملی، کیفیت، هزینه، پاسخگویی می‌باشد. با توجه به شعارها و ماهیت عملیاتی بودن این شرکت، بحث پاسخگویی در زنجیره تأمین و حمایت از تولید داخلی بر مبنای سیاست‌های کلی اقتصاد مقاومتی و در جهت ایجاد اشتغال پایدار در سراسر کشور، سیاست شرکت پشتیبانی اقلام عمومی ایثار، متمرکز بر خرید کالاهای داخلی می‌باشد، مبحث بسیار مهمی است. لذا در این تحقیق هدف اصلی ایجاد یک زنجیره تأمین تاب‌آور و پاسخگو است که در هر شرایطی از اختلال و تحریم، تأمین کالا برای هیچ‌کدام از رده‌ها با مشکل مواجه نشود. هدف بعدی با توجه به سیاست‌های اقتصاد مقاومتی و در جهت ایجاد اشتغال در صنایع سراسر کشور این است که فرایند تأمین کالاها به سمت تأمین محلی سوق داده شده و فرایند ارسال مستقیم از کارخانه به مصرف‌کننده در دستور کار قرار گیرد. طوری که به‌جای سیاست تأمین متمرکز و ارسال غیرمستقیم (رویه‌ای که اکنون بیشتر مورداستفاده است) از سیاست تأمین غیرمتمرکز و ارسال مستقیم استفاده شده و ملاحظات مربوط به تاب‌آوری و پاسخگویی در آن لحاظ شود. زنجیره تأمین مرتبط با شرکت پشتیبانی اقلام عمومی ایثار یک زنجیره تأمین سه سطحی است که در سطح اول تولیدکنندگان به‌عنوان عرضه‌کننده کالاها برای شرکت و در سطح دوم، خود شرکت هم به‌عنوان تأمین‌کننده و هم همزمان توزیع‌کننده کالا در زنجیره می‌باشد و در سطح سوم رده‌های کاربر قرار دارند. در فاز اولیه از طریق پرسشنامه معیارهای اصلی انتخاب تأمین‌کننده احصا و اهمیت و وزن

معیارها تعیین می‌گردد. سپس در فاز دوم برای برنامه‌ریزی ریاضی فرایند تأمین شرکت، از مدل تأمین تاب‌آور مسئله که بومی شده تحقیق ترابی و همکاران [8] است، استفاده گردید. برای روایی و پایایی، پرسشنامه‌ها بین کل خبرگان جامعه آماری (۱۵ نفر) که شامل معاونین، مدیران ارشد، کارشناسان و مسئولین شرکت که آشنا با حوزه تأمین اقلام عمومی هستند توزیع شد. با توجه به هدف تحقیق که فرار است با یک مدل دو هدفه (شامل اهداف هزینه و تاب‌آوری) و با استفاده از روش‌های دقیق و فرا ابتکاری به یک نتیجه‌ی تعادلی برسد، ابتدا تأمین‌کننده‌های بالقوه سازمان برای محصولات مختلف با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی اولویت‌بندی و سپس تأمین‌کنندگانی با توجه به معیارهای انتخاب به دودسته تأمین‌کننده نوع اول و دوم تقسیم‌بندی شده و به‌عنوان خروجی وارد فاز مدل‌سازی می‌شوند. در جدول (۲) معیارهای استفاده‌شده برای قضاوت خبرگان در پرسش‌نامه آورده شده است.

جدول (۲): معیارهای استفاده‌شده برای قضاوت خبرگان

معیار	زیر معیار	معیار	زیر معیار
هزینه	قیمت	پاسخ‌گویی	انعطاف‌پذیری
	محصول		سرعت پاسخگویی
	ثبات		کاهش زمان
کیفیت	قیمت	وضعیت تأمین‌کننده	تحویل
	هزینه		تجربه کاری و شهرت
	تدارک		وضعیت مالی
	تضمین		مشروعیت و رعایت الزامات قانونی
	کیفیت		
	خدمات		
تولید ملی	پس از فروش		تولید داخل ایران بودن
	قابلیت اطمینان		نزدیکی فیزیکی تأمین‌کننده به‌منظور تأمین محلی
	محصول		

پس از دریافت نظرات خبرگان بر اساس فرمول لاشه^۱، روایی هر یک از سؤالات، با توجه به نظرات و نقطه برش ۰/۶ [22] کلیه معیارها تأیید گردید. در این قسمت برای ارزیابی و انتخاب تأمین کننده، از روش تحلیل سلسله مراتبی استفاده و خروجی همان اوزانی است که در نهایت به عنوان ورودی مدل ریاضی استفاده می شود. در این مرحله با در اختیار داشتن وزن گزینه‌ها و نرمال کردن آن‌ها، می توان در مورد تعیین اوزان تأمین کنندگان تصمیم گیری نمود. نتایج حاصل از نرم افزار Expert Choice در مورد تعیین اوزان در جدول (۳) آمده است.

جدول (۳): امتیاز نهایی تأمین کنندگان کالاهای مختلف

رتبه	تأمین کننده	وزن نهایی	IR	رتبه نهایی	محصول
۱	شهاب	۰,۳۶۱	۰,۰۷	تأمین کننده	تلویزیون
۲	صنام	۰,۲۹۷			
۴	سامسونگ	۰,۱۶۶			
۳	ال جی	۰,۱۷۷			
۱	نوری	۰,۴۰۶	۰,۰۶	تأمین کننده	میز و صندلی
۴	نیلپر	۰,۰۶۲			
۳	آرام گستر	۰,۱۷۹			
۲	رایانه صنعت	۰,۳۵۲			
۱	فدک پرداز	۰,۴۰۱	۰,۰۶	تأمین کننده	رایانه
۳	نیکان تجارت	۰,۲۰۳			
۲	الماس رایانه	۰,۳۲۵			
۴	الفبای کار امروز	۰,۰۵۹			

ساختار طراحی الگوریتم NSGA-II^۲ پیشنهادی

ساختار کلی طراحی شده الگوریتم NSGA-II پیشنهادی به صورت زیر می باشد.

گام (۱) لحاظ کردن پارامترهای ورودی؛ گام (۲) ایجاد جمعیت اولیه: در ابتدای الگوریتم، جمعیت اولیه به اندازه n_{pop} بر مبنای مقیاس و قیود مسئله تولید می گردد. گام (۳) ارزیابی برازندگی تابع چندهدفه: در این گام، جمعیت تولید شده بر مبنای تابع هدف مسئله، مورد ارزیابی قرار می گیرد تا بهترین اعضای جمعیت که مقدار تابع هدف بهتری را برای مسئله در نظر می گیرند انتخاب شوند. گام (۴) روش مرتب سازی نامغلوب: در این مرحله، اعضای جمعیت مجموعه جواب های قابل قبول در داخل دسته هایی قرار می گیرند، به گونه ای که اعضای موجود در دسته اول، یک مجموعه کاملاً غیر مغلوب توسط دیگر اعضا جمعیت فعلی باشند. اعضای موجود در دسته های دوم نیز بر همین مبنا تنها توسط اعضای دسته اول مغلوب شده و این روند به همین صورت در دسته های دیگر ادامه یافته تا به تمام اعضای موجود در هر دسته، یک رتبه بر مبنای شماره دسته اختصاص داده شود. گام (۵) محاسبه پارامتر کنترلی به نام فاصله ازدحامی: این پارامتر برای هر عضو در هر گروه محاسبه و بیانگر اندازه های از نزدیکی نمونه مورد نظر به دیگر اعضای جمعیت آن دسته و گروه می باشد. برای هر یک از اعضای جمعیت k از مجموعه مرتب شده F_i و از شماره ۲ تا $n-1$ به صورت رابطه (۲۹) مراحل زیر را انجام دهید:

$$CD(i, k) = CD(i, k) + \frac{f_m(k+1) - f_m(k-1)}{f_m^{\max} - f_m^{\min}} \quad (29)$$

گام (۶) انتخاب والد برای تولیدمثل: یکی از سازوکارهای انتخاب، برقراری تورنمنت دوتایی میان دو عضو منتخب است که به طور تصادفی از میان جمعیت انتخاب می شوند. گام (۷) انجام عملیات تقاطع برای تولید فرزندان. گام (۸) انجام عملیات جهش برای تولید جهش یافتگان. گام (۹) یکپارچه کردن جمعیت (جمعیت اولیه، جمعیت تقاطع، جمعیت جهش یافتگان): در این گام جواب های اولیه و جواب های تولید شده از انجام عملیات تقاطع و جهش را باهم تلفیق کرده و سپس بر مبنای رویکرد غلبگی، اعضای جمعیت را مرتب می کنیم. گام (۱۰) مرتب سازی جمعیت. گام (۱۱) در نظر گرفتن مجموعه ای از راه حل های

1- Lawshe

2- Non-dominated Sorting GA-II

برازندگی به‌عنوان والد انتخاب می‌شود و این کار r بار انجام می‌شود تا r والد انتخاب شوند. برای انتخاب بازماندگان هر نسل برای نسل آینده، اعضای جمعیت فعلی و جمعیت حاصل از تقاطع و جهش با توجه به برازندگی مرتب‌شده و از میان آن‌ها به‌اندازه‌ی پارامتر اندازه جمعیت انتخاب می‌شود.

تنظیمات پارامترها برای الگوریتم‌های فرا ابتکاری

جهت تنظیم پارامتر الگوریتم‌های مورد استفاده در این تحقیق با توجه به رویکردهای متفاوتی شامل ارجاع به مطالعات صورت گرفته گذشته، روش سعی و خطا، روش تاگوچی^۱ [23] و استفاده از الگوریتم‌های فرا ابتکاری (قبل از اجرا یا در حین اجرا)، از روش طراحی آزمایش‌های تاگوچی استفاده شده است. روش کار به این گونه است که یکسری از سطوح مختلف پارامترهای مؤثر بر الگوریتم، بر مبنای شاخص‌های ورودی که معمولاً از مقدار تابع هدف استفاده می‌شود، مورد بررسی قرار گرفته و بهترین ترکیب پارامترها، بر اساس نتایج حاصل از آزمایش‌های صورت گرفته بر مبنای $(L_9(3^4))$ انتخابی، به‌عنوان مقادیر مطلوب جهت تنظیم پارامترها پیشنهاد می‌شود.

پارامترهای کنترلی الگوریتم ژنتیک چندهدفه

برای تنظیم پارامترهای کنترلی این الگوریتم با مراجعه به تحقیقات پیشین نظیر [20] [23] [24] و نیز بر اساس روش سعی و خطا، سطوح مختلف برای پارامترهای الگوریتم ژنتیک چندهدفه مطابق جدول (۴) است.

جدول (۴): پارامترهای احصا شده برای الگوریتم ژنتیک

NSGA-II				سطوح
nPop	pm	pc	Maxit	
	احتمال	احتمال	حداکثر	
جمعیت	جهش	تقاطع	تکرار	
۲۵	۰,۲	۰,۵	۱۵۰	سطح ۱
۳۰	۰,۳	۰,۷	۱۰۰	سطح ۲
۴۵	۰,۴	۰,۹	۲۰۰	سطح ۳

نامغلوب. گام (۱۲) انتخاب و مرتب کردن جمعیت برای فرانت-های مورد نظر. گام (۱۳) اگر تعداد تکرار به‌اندازه تعیین شده رسید، اتمام و در غیر این صورت به گام ۳ برگردد. گام (۱۴) توقف و نتایج خروجی.

۶- عملگرهای ژنتیک

تقاطع: در این مسئله عملگر تقاطع به‌طور جداگانه روی هر بخش از کروموزوم انجام می‌گیرد. در هر دو بخش از عملگر تقاطع دونقطه‌ای استفاده شده است که نقاط شکست کروموزوم‌ها تصادفی برگزیده می‌شود. از آنجایی که با جایگشت خود کروموزوم نمی‌توانیم عمل تقاطع را انجام دهیم، زیرا امکان تولید جواب‌های غیرممکن وجود دارد؛ بنابراین همانند آنچه در قسمت بازنمایی راه‌حل‌ها جواب توضیح داده شد، اعداد تصادفی بین صفر و یک به تعداد کل محصول‌ها در هر بخش کروموزوم تولید کرده و عمل تقاطع روی این اعداد انجام می‌گیرد. سپس نحوه‌ی تولید جواب همانند توضیحات مذکور خواهد بود.

جهش: برای کروموزوم‌های پیوسته‌ی ارائه شده در این تحقیق از جهش غیریکنواخت استفاده شده است. این جهش معمولاً میزان تغییر کوچکی در مقادیر ژن ایجاد می‌کند. در این جهش یک مقدار کوچک به مقدار فعلی ژن اضافه می‌شود. این مقدار اضافه‌شده بطور تصادفی از یک توزیع گوسی (نرمال) با میانگین صفر و انحراف معیار از پیش تعیین شده بدست می‌آید. برای والدی همانند x و فرزند جهش‌یافته y روابط زیر را داریم.

$$\Delta x \sim N(0, \delta^2) \quad y = x + \Delta x \sim N(0, \delta^2)$$

$$y = x + \delta N(0, 1)$$

مکانیزم انتخاب: برای ایجاد جمعیت نسل آینده، تعدادی از کروموزوم‌های اولیه به‌عنوان جمعیت والد انتخاب می‌شوند و عملگر تقاطع و جهش روی آن اعمال می‌شود. در این تحقیق، از مکانیزم انتخاب مسابقه‌ای دودویی برای انتخاب والد استفاده می‌شود. یکی از ویژگی‌های مثبت این مکانیزم این است که نیاز به هیچ اطلاعات سراسری از جمعیت ندارد؛ در عوض این عملگر هر جفت جواب را، مقایسه و رتبه‌بندی می‌کند و از لحاظ مفهومی ساده و برای پیاده‌سازی و کاربرد، سریع است. در این روش در هر مرحله، k جواب (با یا بدون جایگزینی) انتخاب شده و از میان آن‌ها، بهترین فرد از لحاظ

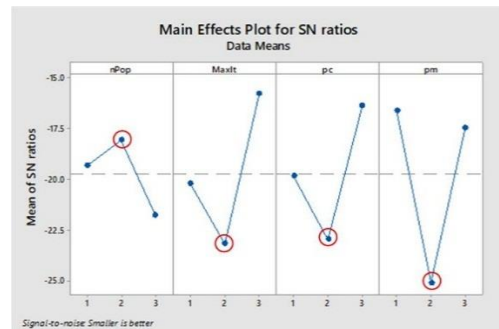
1- Taguchi

سپس با استفاده از طراحی آزمایش‌ها و روش تاگوچی، طرح آزمایشی مناسب ((3^4) L9) برای بررسی تأثیر پارامترها بر جواب الگوریتم ایجاد گردید. که در جدول (۵) نشان داده شده است.

جدول (۵): آرایه (34) L9 برای الگوریتم GA

مقادیر جواب	پارامترهای الگوریتم			ترتیب اجرا
	nPop	Pm	Pc	
۶,۹۵۱۷	۱	۱	۱	۱
۳۷,۱۶۲	۱	۲	۲	۲
۳,۰۸۱۲	۱	۳	۳	۳
۹,۴۶۵	۲	۲	۱	۴
۵,۶۵۶۵	۲	۲	۳	۵
۹,۵۷۴۷	۲	۳	۱	۶
۱۶,۳۷۵۲	۳	۱	۳	۷
۱۴,۲۱۲۸	۳	۲	۱	۸
۷,۹۲۳۱	۳	۳	۲	۹

محاسبات مربوط به آزمایش‌های تاگوچی مطابق شکل (۲) و (۳) می‌باشد.



شکل (۲): میانگین نسبت اغتشاشات حاصل از نرم‌افزار مینی‌تب برای تنظیم پارامترهای NSGA-II

همان‌طور که در قسمت‌های قبلی توضیح داده شد، بر اساس شکل میانگین جواب‌ها و نسبت اغتشاشات، پارامترهای کنترلی اندازه جمعیت، حداکثر تکرار، احتمال تقاطع و احتمال جهش، به ترتیب در سطوح ۲، ۳، ۱ و ۳ قرار گرفتند. پارامترهای کنترلی الگوریتم ژنتیک چندهدفه پیشنهادی مطابق جدول (۶) است.

جدول (۶): مقادیر ایده‌آل تنظیم‌شده الگوریتم NSGA-II

NSGA-II			
pm	pc	MaxIt	NPop
۰,۲	۰,۹	۲۰۰	۳۰

پارامترهای کنترلی الگوریتم MOPSO

برای تنظیم پارامترهای کنترلی این الگوریتم با مراجعه به تحقیقات پیشین نظیر [20] [23] [24] و نیز بر اساس روش سعی و خطا، سطوح مختلف برای پارامترهای الگوریتم ژنتیک چندهدفه مطابق جدول (۷) است.

پارامترهای الگوریتم		پایین	متوسط	بالا
اندازه جمعیت		۱۵	۳۰	۴۵
ضرایب سرعت	ضریب اینرسی	۱	۲	۳
	ضریب نستانالوژی	۱	۲	۳
	ضریب جامعه	۱	۲	۳
تعداد اعضا مخزن		۴۰	۵۰	۶۰
حداکثر تکرار		۱۵۰	۱۰۰	۲۰۰

سپس با استفاده از طراحی آزمایش‌ها و روش تاگوچی، طرح آزمایشی مناسب ((3^4) L9) برای بررسی تأثیر پارامترها بر جواب الگوریتم ایجاد گردید. که در جدول (۸) نشان داده شده است.

جدول (۸): آرایه (34) L9 برای الگوریتم PSO

ترتیب اجرا	پارامترهای الگوریتم				مقادیر جواب MID
	nPop	nRep	Ph1	ph2	
۱	۱	۱	۱	۱	۴,۹۹۵۶
۲	۱	۲	۲	۲	۳,۴۳۶۷
۳	۱	۳	۳	۳	۳,۱۸۰۷
۴	۲	۱	۲	۳	۴۱,۰۱۹۶
۵	۲	۲	۳	۱	۶,۶۶۹۴
۶	۲	۳	۱	۲	۲,۹۱۳۱
۷	۳	۱	۳	۲	۳,۱۷۰۱
۸	۳	۲	۱	۳	۹,۳۴۵۷
۹	۳	۳	۲	۱	۳,۷۰۲۴

1- Multi-Objective Particle Swarm Optimization

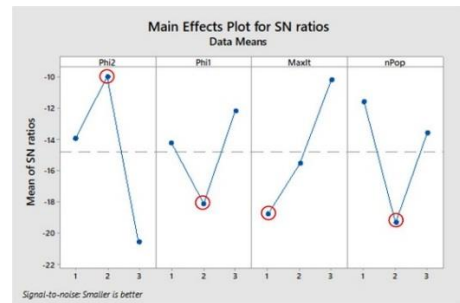
محاسبات مربوط به آزمایش‌های ناگوچی مطابق شکل (۴) و (۵) می‌باشد.

جدول (۱۰): پارامترهای موردنیاز برای حل مدل

پارامتر	مقادیر	پارامتر	مقادیر
\tilde{d}_k	Ui [1,5]*1000	R_k	[0.1, 0.2]
\tilde{A}_i	Ui [5,10]*100	LT_i	
\tilde{f}_i	Ui [3000,5000]	LT'_i	Ui[5, 15] + LT
$\tilde{p}_{ik} \ i \in I$	Ui [5,10]	π_{ie}	U[0.01, 0.05]
$\tilde{p}_{ik} \ i \in j$	Ui [11,15]	P_s	U[1, 10]/10
\tilde{p}'_{ik}	$\tilde{p}_{ik} + 10$	θ_{ie}	Ui[100, 200]
β_{ieu}	U [0.01,0.05]	b_{wk}	U [1,2]
RT_{ie}^l	Ui [1,2]	n	4
M	۱۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰	\tilde{h}_{ik}	Ui [1000,4000]
CL_{ie}^l	U [0.6,0.8]	\tilde{h}_{wk}	Ui [500,2000]
b_{ik}	Ui [2,3]	Ca_w	Ui [100,200]*1000
Sc_i	Ui [20,80]*1000	Ca_i	Ui [1,6]*1000
FR_{iu}	Ui [1000,3000]	a_{ik}	Ui [20,80]

اعتبار سنجی الگوریتم‌های پیشنهادی

به منظور اعتبار سنجی مدل ریاضی برای مسئله طراحی شبکه زنجیره تأمین تاب‌آور، یک مسئله در ابعاد کوچک با روش دقیق (به کمک نرم‌افزار GAMS) حل شد. در ادامه به ساختار الگوریتم‌های چندهدفه ژنتیک و بهینه‌سازی ذرات که برای حل این مسئله پیشنهاد شده است، پرداخته شد. به منظور اثبات کارایی الگوریتم فرا ابتکاری، نتایج حل الگوریتم NSGA-II و MOPSO با نتایج حل به‌وسیله نرم‌افزار GAMS مقایسه می‌شوند. پارامترهای الگوریتم فرا ابتکاری مواردی هستند که از محاسبات مربوط به تنظیم پارامترها در جدول (۶) و جدول (۹) و روش سعی و خطا محاسبه شده‌اند. در ادامه به منظور اثبات کارایی الگوریتم پیشنهادی، ۵ مسئله طراحی و با روش دقیق و فرا ابتکاری حل شده و نتایج مقایسه می‌شوند. اندازه‌ی مسائل تأمین-توزیع اقلام عمومی در جدول (۱۱) نشان داده شده است:



شکل (۴): میانگین نسبت اغتشاشات حاصل از نرم‌افزار مینی‌تب برای تنظیم پارامترهای MOPSO

همان‌طور که در قسمت‌های قبلی توضیح داده شد، بر اساس شکل میانگین جواب‌ها و نسبت اغتشاشات، پارامترهای کنترلی اندازه جمعیت، حداکثر تکرار، ضریب نوسالزی و ضریب هوش جمعی، به ترتیب در سطوح ۲، ۱، ۲ و ۱ قرار گرفتند. پارامترهای کنترلی الگوریتم MOPSO پیشنهادی مطابق جدول (۹) است.

جدول (۹): مقادیر ایده‌آل تنظیم شده برای الگوریتم MOPSO

MOPSO			
ph2	Ph1	MaxIt	nPop
۳	۲	۱۵۰	۴۵

پارامترهای عمومی موردنیاز برای حل مسئله

پارامترهای در نظر گرفته شده برای مدل مسئله با مشورت مدیران میانی معاونت آمداد و پشتیبانی (سازمان مورد مطالعه) انتخاب شده است ولی با توجه به مشکلاتی که در دریافت داده از معاونت مربوطه وجود داشت، داده‌های مورد استفاده در این مسئله فرضی است و نحوه تولید داده‌ها در این تحقیق، تقریباً مشابه نحوه تولید داده‌ها در تحقیق ترابی و همکاران [8] می‌باشد. پارامترهای موردنیاز برای حل مدل در جدول (۱۰) نشان داده شده است.

جدول (۱۱): ابعاد مسائل طراحی شده

شماره مسئله	محصول	تأمین کننده	تأمین کننده	تعداد	تعداد انبارهای شرکت
۱	۲	۳	۲	۲	۱
۲	۲	۳	۲	۳	۲
۳	۳	۴	۱	۲	۳
۴	۳	۴	۱	۳	۲
۵	۴	۴	۱	۳	۳
۶	۴	۵	۱	۲	۴
۷	۶	۴	۲	۳	۳
۸	۶	۴	۲	۴	۳
۹	۸	۴	۳	۳	۴
۱۰	۸	۶	۲	۲	۳

می‌شود. مقادیر توابع هدف در جدول (۱۲) نمایش داده شده است. مقدار انحراف یا اختلاف تابع هدف (جواب) هر الگوریتم پیشنهادی نسبت به حل دقیق از رابطه (۳۰) محاسبه می‌شود:

$$\text{درصد اختلاف جواب} = \left| \frac{\text{جواب روش دقیق} - \text{جواب الگوریتم فراابتکاری}}{\text{جواب روش دقیق}} \right| \times 100 \quad (30)$$

و به منظور مقایسه زمان حل و بررسی معیار میانگین شکاف بین الگوریتم‌های ژنتیک و بهینه‌سازی ذرات از معادله (۳۱) استفاده می‌شود:

$$\text{درصد اختلاف جواب} = \left| \frac{\text{جواب الگوریتم فراابتکاری MOPSO} - \text{جواب الگوریتم فراابتکاری NSGA II}}{\text{جواب الگوریتم فراابتکاری پرش MOPSO}} \right| \times 100 \quad (31)$$

در جدول (۱۲) به تفکیک هر تابع هدف، مقادیر مربوط به دو تابع هدف مذکور، زمان حل و مقدار خطای الگوریتم‌های فرا ابتکاری نسبت به حل دقیق GAMS برای هر مسئله آورده شده است. همچنین میزان خطای الگوریتم -NSGA-II نسبت به الگوریتم MOPSO نیز محاسبه شده است.

با توجه به اینکه روش دقیق قادر به بهینه‌سازی همزمان هر دو تابع هدف نمی‌باشد لذا دو تابع هدف با کمک هم‌فاز کردن و با در نظر گرفتن وزن‌های یکسان مطابق رابطه (۲۸) به یک تابع هدف تبدیل شده و در نهایت با اعمال مفروضات مسئله توسط روش‌های GAMS، NSGA-II و MOPSO حل

جدول (۱۲): نتایج حاصل از نرم‌افزار GAMS و الگوریتم‌های فراابتکاری در ابعاد کوچک، متوسط و بزرگ

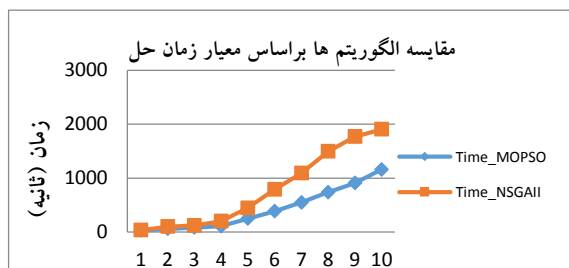
شماره مسئله	اندازه مسأله k/v/i/e/w	تابع هدف	GAMS		NSGA-II			MOPSO			نسبت به MOPSO	متوسط درصد خطای	متوسط درصد خطای
			زمان حل	مقدار تابع هدف	زمان حل	درصد خطا	مقدار تابع هدف	درصد خطا	زمان حل (ثانیه)				
۱	۲×۳×۲×۲×۱	F ₁	۷۱۸۰	۲۶,۳۵۲	۳۶,۷۲۳	۲,۲۶	۷۳۴۲,۰۰	۱,۰۶	۷۲۵۶,۰۰	۳۰,۴۳۱	۱,۱۹	۲,۲۰	۰,۸۳
			۲۱۴۳	۲۱۸۹	۲,۱۵	۲۱۵۶	۰,۶۱	۱,۵۳					
۲	۲×۳×۲×۳×۲	F ₁	۳۳۴۳۲	۵۹,۳۶۵	۱۰۱,۸۱۵	۰,۲۷	۳۳۵۲۱	۲,۱۵	۳۴۱۵۱	۶۱,۷۷۳	۱,۸۴	۱,۴۷	۴,۴۸
			۴۵۶۳	۴۶۸۵	۲,۶۷	۴۸۷۴	۶,۸۲	۳,۸۸					
۳	۳×۴×۱×۲×۳	F ₁	۴۸۲۲۲	۱۰۱,۲۵۴	۱۲۳,۵۳۹	۲,۷۸	۴۹۵۶۳	۰,۸۳	۴۸۶۲۳	۸۳,۸۱۸	۱,۹۳	۳,۴۵	۴,۵۴
			۶۳۲۴	۶۵۸۴	۴,۱۱	۶۸۴۵	۸,۲۴	۳,۸۱					
۴	۳×۴×۱×۳×۲	F ₁	۴۷۰۱۶	۵۲۳,۶۹۸	۲۰۲,۹۱۵	۳,۶۹	۴۸۷۵۲	۱,۴۵	۴۷۶۹۸	۱۱۱,۶۷۸	۲,۲۱	۳,۰۹	۲,۹۰
			۸۷۴۵	۸۹۶۳	۲,۴۹	۹۱۲۵	۴,۳۵	۱,۷۸					
۵	۴×۴×۱×۳×۳	F ₁	۵۲۱۴۵	۱۵۲۳,۳۶۹	۴۴۸,۷۵۳	۰,۶	۵۲۴۵۶	۰,۰۸	۵۲۱۸۷	۲۴۹,۱۵۹	۰,۵۲	۱,۷۷	۱,۹۵
			۱۱۵۲۳	۱۱۸۶۳	۲,۹۵	۱۱۹۶۳	۳,۸۲	۰,۸۴					

ادامه جدول (۱۲): نتایج حاصل از نرم افزار GAMS و الگوریتم‌های فراابتکاری در ابعاد کوچک، متوسط و بزرگ

متوسط درصد خطای	متوسط درصد خطای	درصد خطای	MOPSO			NSGA-II			GAMS			تابع هدف	اندازه مسأله k/v/i/e/w	شماره مسأله
			زمان حل (ثانیه)	درصد خطا	مقدار تابع هدف	زمان حل (ثانیه)	درصد خطا	مقدار تابع هدف	زمان حل (ثانیه)	درصد خطا	مقدار تابع هدف			
۳,۴۹	۰,۳۸	۱,۱۴	۳۸۶,۱۶	۰,۹۸	۸۲۳۶۵	۷۷۸,۹۷۷	۲,۱۱-	۸۳۲۴۷	۲۵۳۶,۳۵۲	۹۹۳۴۰	F_1	$4 \times 5 \times 1 \times 2 \times 4$	۶	
		۶,۱۳		۷,۷۶	۱۶۳۲۵		۱,۳۴	۱۵۳۲۴		۱۵۱۲۱	F_2			
.....	.....	۰,۵۸	۵۵۰,۲۴۱	.....	۱۰۰۲۵۶	۱۰۹۳,۶۹	.....	۹۹۶۷۴	.....	.....	F_1	$6 \times 4 \times 2 \times 3 \times 3$	۷
		۴,۴۷		.....	۲۲۳۶۵		.....	۲۱۳۶۵		.....	F_2		
.....	.....	۱,۱۷	۷۴۰,۵۲۳	.....	۱۲۳۵۴۲	۱۴۹۴,۴۱	.....	۱۲۴۹۸۵	.....	.....	F_1	$6 \times 4 \times 2 \times 4 \times 3$	۸
		۴,۱۶		.....	۳۱۲۴۷		.....	۳۲۵۴۶		.....	F_2		
.....	.....	۰,۵۲	۹۰۹,۴۱	.....	۱۹۶۳۲۸	۱۷۶۷,۴۷	.....	۱۹۵۳۰۱	.....	.....	F_1	$8 \times 4 \times 3 \times 3 \times 4$	۹
		۳,۲۱		.....	۴۱۲۳۸		.....	۴۲۵۶۳		.....	F_2		
.....	.....	۰,۳۳	۱۱۵۱,۴۸۶۰	.....	۲۰۱۱۸۷	۱۹۰۵,۴۲	.....	۲۰۱۸۵۶	.....	.....	F_1	$8 \times 6 \times 2 \times 2 \times 3$	۱۰
		۰,۳۶		.....	۶۱۸۹۰		.....	۶۲۱۱۱		.....	F_2		
۲,۹۴	۲,۴۰	۲,۰۸												

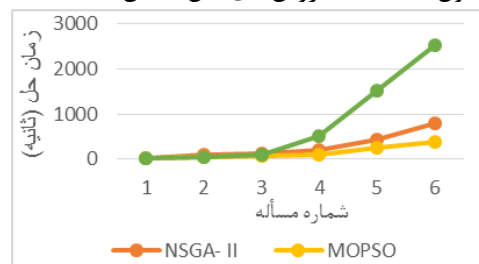
انتخاب تأمین کننده و تخصیص سفارش ...

در نمودار ۷ مقادیر زمان حل حاصل از فراابتکاری‌های ژنتیک و بهینه‌سازی ذرات چندهدفه برای ۱۰ نمونه مسئله در اندازه‌های کوچک، متوسط و بزرگ آمده است. الگوریتم بهینه‌سازی ذرات ارائه شده دارای عملکرد بهتری در بدست آوردن جواب بهینه برای مسائل مختلف است و با افزایش ابعاد مسئله، میزان افزایش زمان حل در الگوریتم ژنتیک به میزان بیش‌تری نسبت به الگوریتم بهینه‌سازی ذرات افزایش می‌یابد. البته با توجه به نمودار (۷) اختلاف در زمان حل برای نمونه مسائل مختلف به میزان بسیار زیادی نمی‌باشد.



نمودار (۷): حساسیت زمان حل الگوریتم‌های فرا ابتکاری در مقایسه با اندازه مسئله

با توجه به نتایج جدول (۱۲) مقادیر حاصل از الگوریتم NSGA-II به مقادیر GAMS نزدیک‌تر است. همچنین با توجه به پارامترهای ورودی و با گسترش ابعاد مسئله، مقدار هزینه‌ها افزایش می‌یابد. افزایش تابع هزینه باعث کاهش تابع هزینه تاب‌آوری و در نتیجه باعث افزایش تاب‌آوری می‌شود. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد با گسترش ابعاد مسئله زمان حل دقیق بصورت نمایی افزایش می‌یابد اما این تغییر برای الگوریتم‌های فرا ابتکاری مورد استفاده روند خطی و منظمی را طی می‌کند. در نمودار (۶) زمان رسیدن به جواب در ۵ مسئله‌ی اول (به تفکیک روش‌های حل) نشان داده شده است

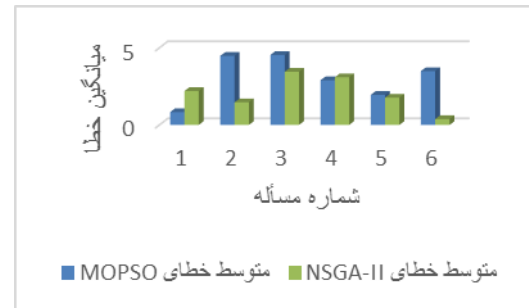


نمودار (۶): نمایش مقایسه‌ای زمان حل مسائل نمونه با روش فراابتکاری و دقیق

بنابراین از لحاظ زمان حل مسائل، الگوریتم MOPSO نسبت به الگوریتم NSGA-II برتری دارد. میانگین خطای الگوریتم‌ها برای ۵ مسئله اول در جدول (۱۳) ارائه شده است و نمودار (۸) میزان خطای هر الگوریتم را نشان می‌دهد.

جدول (۱۳): میانگین خطای الگوریتم‌ها نسبت به حل دقیق

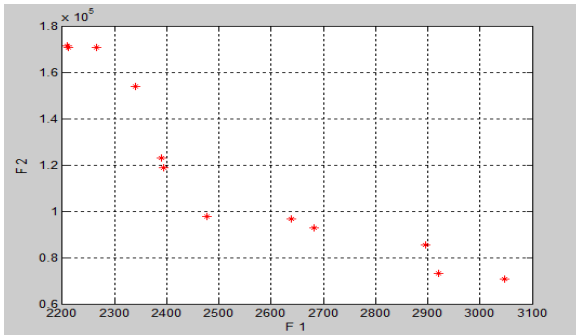
شماره مسئله	درصد متوسط خطای NSGA-II در هر مسئله	درصد متوسط خطای MOPSO در هر مسئله
۱	۲,۲۰	۰,۸۳
۲	۱,۴۷	۴,۴۸
۳	۳,۴۵	۴,۵۴
۴	۳,۰۹	۲,۹
۵	۱,۷۷	۱,۹۵
۶	۰,۳۸	۳,۴۹
میانگین	۲,۴۰	۲,۹۴



نمودار (۸): نمودار مقایسه‌ای خطای الگوریتم‌های NSGA-II و MOPSO

همان‌طور که مشاهده می‌شود در نمودار (۸) میانگین خطای الگوریتم NSGA-II تقریباً ۲,۴ درصد و میانگین خطای الگوریتم MOPSO تقریباً ۲,۹۴ درصد است. دقت الگوریتم NSGA-II در مسائل ۲ و ۳ و ۶ نسبت به MOPSO بیشتر بوده و در مسائل ۱ و ۴ کم‌تر است. از طرفی مدت‌زمان بیشتری را برای رسیدن به جواب سپری می‌کند. با توجه به میانگین خطاها و زمان حل الگوریتم‌ها، می‌توان گفت هر دو الگوریتم فرا ابتکاری تقریباً رفتار مشابهی در حل مسائل داشته‌اند که در بخش بعد، مکانیزمی برای ارزیابی دو الگوریتم طراحی شده است. با توجه به جدول (۱۵) متوسط درصد اختلاف جواب الگوریتم‌های پیشنهادی با الگوریتم دقیق نشان از نزدیک به هم بودن جواب‌ها است و اینکه اختلاف جواب‌ها کمتر از ۳/۵ درصد می‌باشد و این نشان می‌دهد که الگوریتم‌های پیشنهادی، الگوریتم‌های همگرا به جواب بهینه و کارا می‌باشند. با توجه به برتر بودن الگوریتم ژنتیک، با تنظیم پارامترهای این الگوریتم و با استفاده از داده‌های فرضی ایجاد شده برای مسئله ۵

، اقدام به حل بهینه برای این مسئله می‌کنیم. پس از اجرای الگوریتم پرش ژنتیک چندهدفه، سطحی از جبهه نامغلوب جواب نهایی مسئله مذکور به دست می‌آید که در شکل (۹) نشان داده شده است.



شکل (۹): جبهه نامغلوب جواب نهایی مسئله ۵ با ابعاد $2 \times 3 \times 4 \times 3$ توسط الگوریتم ژنتیک

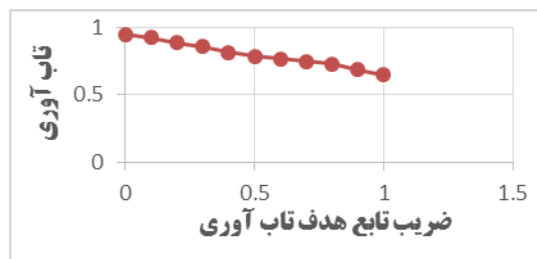
تحلیل حساسیت روی ضرایب توابع هدف

همان‌طور که قبلاً هم اشاره شد یکی از روش‌هایی که مسئله را با آن تحلیل کردیم استفاده از روش دقیق گمز بود. برای تمام حالات حل مدل با روش دقیق مقدار ضریب هر سه تابع هدف را یکسان و برابر ۰,۵ در نظر گرفتیم. حال فرض کنید توابع هدف تاب‌آوری برای مدیریت سازمان از اهمیت بالاتری برخوردار باشد. از اینرو در هر بار حل مدل، ضرایب تابع هدف دوم مدل را افزایش می‌دهیم و با استفاده از نتایج، نقش تاب‌آوری را بر روی هزینه‌ها بررسی می‌کنیم که در جدول (۱۶) نشان داده شده است.

جدول (۱۶): تحلیل حساسیت

مسئله	ردیف	ضریب تابع هدف هزینه	ضریب تابع هدف	هدف (۱)	هدف (۲)	تاب‌آوری RE	T (s)
۵	۱	۱	۰	۴۸۹۶۳	۸۰۱۲	۰,۹۵	۱۰۳/۵۵
	۲	۰,۹	۰,۱	۴۹۳۶۸	۸۱۲۴	۰,۹۳	۶۸/۳۵
	۳	۰,۸	۰,۲	۴۹۷۹۶	۸۴۴۵	۰,۸۹	۸۰/۸۳
	۴	۰,۷	۰,۳	۵۰۲۳۱	۸۷۵۲	۰,۸۶	۵۸/۸۷
	۵	۰,۶	۰,۴	۵۰۶۳۲	۸۹۳۷	۸۲	۶۷/۷۵
	۶	۰,۵	۰,۵	۵۰۹۶۳	۹۱۲۸	۰,۷۹	۸۰/۳۰
	۷	۰,۴	۰,۶	۵۱۴۷۵	۹۳۵۴	۰,۷۷	۹۰/۶۵
	۸	۰,۳	۰,۷	۵۱۶۶۹	۹۶۸۷	۰,۷۵	۶۳/۴۵
	۹	۰,۲	۰,۸	۵۲۱۲۸	۹۸۶۲	۰,۷۳	۷۵/۸۷
	۱۰	۰,۱	۰,۹	۵۲۴۸۵	۱۰۲۵۱	۰,۶۹	۶۲/۰۸
	۱۱	۰	۱	۵۲۷۸۹	۱۰۵۴۲	۰,۶۵	۶۴/۶۷

همان‌طور که از شکل نمودار (۱۰) مشخص است با افزایش ضریب تابع هدف تاب‌آوری مقدار آن کاسته می‌شود. لذا بهتر است مقدار آن با توجه به نظر مدیران طوری تخصیص یابد که افزایش هزینه‌های ناشی از افزایش تاب‌آوری برای مدیریت صرفه داشته باشد.



شکل (۱۰): اثر افزایش ضریب تابع هدف تاب‌آوری روی مقدار آن

۷- نتیجه‌گیری

مسئله مورد بررسی از دنیای واقعی با پارامترهای فازی مدل‌سازی شده و سپس به وسیله الگوریتم‌های چندهدفه بهینه‌سازی ذرات و ژنتیک اجرا گردید. ابتدا در فاز اول به تعیین اوزان تأمین‌کنندگان و سپس رتبه‌بندی آن‌ها پرداخته و داده‌های خروجی موردنظر، در فاز دوم به‌عنوان ورودی مدل ریاضی پیشنهادی در نظر گرفته شد. در فاز دوم، نتایج حاصل از الگوریتم‌های فرا ابتکاری مذکور نسبت به جواب‌های نرم‌افزار GAMS در حل چند نمونه آزمایشی نشان می‌دهد جواب‌های الگوریتم‌های فرا ابتکاری نسبت به جواب‌های GAMS برای مسائل مختلف، اختلافی کم‌تر از ۲٫۵ درصد است. این نتایج نشان می‌دهد الگوریتم‌های پیشنهادی همگرا به جواب بهینه و کارا می‌باشند. همان‌طور که مشاهده شد، میانگین خطای الگوریتم NSGA-II تقریباً ۲٫۴ درصد و میانگین خطای الگوریتم MOPSO تقریباً ۲٫۹۴ درصد است. دقت الگوریتم NSGA-II در بیشتر مسائل نسبت به MOPSO بیشتر بوده و در برخی کم‌تر است. از طرفی مدت‌زمان بیشتری را برای رسیدن به جواب سپری می‌کند. با توجه به میانگین خطاها و زمان حل الگوریتم‌ها، می‌توان گفت هر دو الگوریتم فرا ابتکاری تقریباً رفتار مشابهی در حل مسائل داشته‌اند. با توجه به اینکه متوسط درصد اختلاف جواب الگوریتم‌های پیشنهادی با الگوریتم دقیق نشان از نزدیک بودن جواب‌ها است و اینکه اختلاف جواب‌ها کمتر از ۳/۵ درصد می‌باشد و این نشان می‌دهد که الگوریتم‌های پیشنهادی، الگوریتم‌های همگرا به جواب بهینه و کارا می‌باشند.

پیشنهادهای کاربردی به شرکت ایثار جهت مدیریت ارتباط با تأمین‌کنندگان

۱. اجرا و پیاده‌سازی یک سیستم مدیریت ارتباط با تأمین‌کنندگان مانند SAP SRM که ضمن کم کردن هزینه‌های تأمین منجر به خروجی باکیفیت بالاتر می‌شود. این محصول همچنین فرایند تأمین را خودکار کرده و زمان تأمین را کاهش می‌دهد.

۲. پایش عملکرد تأمین‌کنندگان و همکاری با آن‌ها جهت شناسایی بهبودهای عملکردی قابل‌اندازه‌گیری

۳. از راهکارهای مدل‌های فرایندی نظیر SCOR و لمبرت جهت مدیریت عدم قطعیت تقاضا، ریسک و اختلال استفاده شود.

۴. در نظر گرفتن عدم قطعیت در بخش حمل‌ونقل و توسعه مدل در جهت تاب‌آوری حمل‌ونقل و بررسی تأثیر آن روی مدل

۸- منابع و مأخذ

[1] Sawik T., "Selection of resilient supply portfolio under disruption risks," *Omega*, vol. 41, no. 2, pp. 259-269, 2013

[2] فکور ثقیه، ا. الفت، ل. فیضی، ک. "مدلی برای قابلیت ارتجاعی زنجیره تأمین برای رقابت‌پذیری درشرکتهای خودروسازی ایران." *فصلنامه علمی -مدیریت تولید و عملیات*، سال پنجم، شماره ۱، ۱۳۹۳، ۱۴۳-۱۴۴.

[۳] Hatefi, S.M. and Jolai F. "Robust and reliable forward-reverse logistics network design under demand uncertainty and facility disruptions," *Applied Mathematical Modelling*, vol. 38, no. 1-2, p. 2630-2647, May 2014.

[4] پیشوایی، م.س.، سلسبیل، م. و شفیعا، م.ع و "برنامه ریزی تاکتیکی استوار زنجیره تأمین جهانی سه سطحی تحت شرایط اختلال تحریم با در نظر گرفتن عمر قفسه‌ای (مطالعه موردی: زنجیره تأمین دارو)،" *مدیریت صنعتی دانشگاه تهران*، جلد ۷، شماره ۲، ۱۳۹۴، ۳۰۵-۳۳۲.

[5] یحیی زاده اندواری، ی. الفت، ل. و امیری، م. "رویکرد بهینه‌سازی استوار در انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش،" *فصلنامه علمی -پژوهشی مطالعات مدیریت صنعتی*، سال چهاردهم، شماره ۴۰، ۱۳۹۵، ۵۲-۲۵.

- [6] کریم میان، ز. قدسی پور، ح. و قیدر خلجانی، ج. "انتخاب تأمین کننده با در نظر گرفتن ارتباطات میان تأمین کنندگان و ریسک اختلال تأمین در محصولات پیچیده." فصلنامه علمی -مدیریت تولید و عملیات، سال هشتم، شماره ۲، ۱۳۹۶، ۱۳۵-۱۵۰.
- [7] Rajesh R and . Ravi V., "Supplier selection in resilient supply chains: a grey relational analysis approach," *Journal of Cleaner Production*, vol. 86, no. 16, p. 343-359, 2015
- [8] Torabi S.A, Baghersad M. and Mansouri S., "Resilient supplier selection and order allocation under operational and disruption risks," *Transportation Research Part E*, vol. 79, 22-48, 2015.
- [9]. Jabbarzadeh A. et al. "Designing a supply chain resilient to major disruptions and supply/demand interruptions," *Transportation Research Part B*, vol. 94, no. 8, p. 121-149, September 2016.
- [10] PrasannaVenkatesan S. et al." Multi-objective supplier selection and order allocation under disruption risk," *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, vol. ۹۵, no. 6, p. ۱۲۴-۱۴۲, November 201۶.
- [11] Sadeque Hamdan and Ali Cheaitou, Supplier selection and order allocation with green criteria: An MCDM and multi-objective optimization approach , *Computers and Operation Research*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.cor.2016.11.005>.
- [12] Jolai F., Khalili, S. and Torabi, S. A. "in, Integrated production-distribution planning two-echelon systems: a resilience view," *International Journal of Production Research*, 2016.
- [13] جبله م، حسن پور ح و مصدق خواه م، "طراحی شبکه زنجیره تأمین چندهدفه چندسطحی مبتنی بر چابکی و ارزش های محوری و حل با یک روش کارا،" پایان نامه کارشناسی ارشد-دانشگاه جامع امام حسین، تهران، ۱۳۹۵.
- [14] Reza Alikhani, S.A. Torabi, Nezhir Altay, Strategic supplier selection under sustainability and risk criteria, *International Journal of Production Economics* (2018), doi: 10.1016/j.ijpe.2018.11.018
- [15] Vahidi F, Torabi SA, Ramezankhani MJ, Sustainable supplier selection and order allocation under operational and disruption risks, *Journal of Cleaner Production* (2017), doi: 10.1016/j.jclepro.2017.11.012.
- [16] یاری م .، پیشوایی م س، و جبار زاده آ، "طراحی زنجیره تأمین رقابتی با در نظر گرفتن اختلال در تأمین،" *فصلنامه علمی - پژوهشی مطالعات مدیریت صنعتی*، جلد ۱۳، شماره ۴۸، ۱۳۹۷، ۵۳-۳۱
- [17] Ahmed Mohammed, Irina Harris, Govindan Kannan, A hybrid MCDMFMoo approach for sustainable supplier selection and order allocation, *International Journal of Production Economics* (2019), doi: 10.1016/j.ijpe.2019.02.003
- [18] Xu, J., Zhou, X., "Approximation based fuzzy multi-objective models with expected objectives & chance constraints" application to earth-rock work allocation. *Inf. Sci.* 238, 75-95, 2013
- [19] Chan, F. T., Jha, A. and Tiwari, M. K., "Bi-Objective Optimization of Three Echelon Supply Chain involving Truck Selection and Loading using NSGA-II with Heuristics algorithm," *Applied Soft Computing*, vol. 38, pp. 978-987, 2016.
- [20] نوتاش، م.، زندیه، م. و درّی، ب.، "طراحی چند هدفه شبکه زنجیره تأمین با رویکرد الگوریتم ژنتیک،" *پژوهش های مدیریت در ایران*، جلد ۱۸، شماره ۴، ۱۳۹۳، ۱۸۳-۲۰۳.
- [21] ذوالفقاری جایگانی، ن. و حسن پور، ح.، "طراحی شبکه توزیع کالاهای پرخطر و حل آن با یک روش کارآمد،" در پایان نامه کارشناسی ارشد، رشته مهندسی صنایع- گرایش لجستیک و مدیریت زنجیره تأمین، تهران، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، ۱۳۹۴
- [22] مقدم، س. "آشنایی با سیستم مدیریت ارتباط با تأمین کنندگان SRM در SAP،" *شرکت ثامن ارتباط عصر، تهران*، ۱۳۹۶.
- [23] Amin, S. H. and Zhang, G., "A multi-objective facility location model for closed-loop supply chain network under uncertain demand and return," *Applied Mathematical Modelling*, vol. 37, no. 6, pp. 4165-4176,
- [۲4] E. R. Kennedy J., "Particle Swarm Optimization," *IEEE Transactions On*, vol. 8, no. 3, pp. 1942-1948, 1995.