

طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته با در نظر گرفتن مراکز چندبخشی در شرایط عدم قطعیت با رویکردهای احتمالی و استوار

زهرا کرمی کردعلیوند^۱، رامین صادقیان^{۲*}

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
۲. دانشیار گروه مهندسی صنایع، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

خلاصه

در این پژوهش مدل‌سازی یک شبکه لجستیک یکپارچه مستقیم و معکوس (حلقه بسته) چند سطحی، چندهدفه، چندمحصولی، چند دوره‌ای به همراه ظرفیت‌های محدود شده و نبود قطعیت در تقاضا، هزینه و بازگشت مدنظر قرار می‌گیرد. در این مقاله یک مدل طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته با در نظر گرفتن مراکز جمع‌آوری چندبخشی و مراکز انبار و بازرسی چندبخشی در نظر گرفته می‌شود. چندبخشی بودن مراکز در این مطالعه بدین معناست که هر یک از این مراکز با توجه به طول عمر خدمت محصول طبقه‌بندی شده‌اند و محصول با عمر خدمت کمتر و به نسبت سالم‌تر در طبقات بالاتر قرار می‌گیرد و با توجه به ویژگی آن محصول و پس از اعمال عملیات مورد نیاز به مراکز بعدی منتقل می‌شوند. مسئله پیشنهادی ابتدا با در نظر داشتن پارامترهایی مثل تقاضا، هزینه و بازگشت احتمالی با این رویکرد و با استفاده از توزیع نرمال مدل‌سازی می‌شود و از آنجایی که رویکرد احتمالی در شرایط مسئله با ابعاد بزرگ کارایی و اثربخشی خود را از دست می‌دهد در کنار این رویکرد بهینه‌سازی استوار نیز به کار برده می‌شود و برای این منظور ابتدا مدل برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح مختلط و سپس هم‌تای استوار آن ارائه می‌شود. اهداف در این مطالعه شامل حداقل کردن هزینه‌ها و افزایش کیفیت محصولات بازیافتی است. در پایان در این تحقیق مسئله با دو الگوریتم فراابتکاری چندهدفه اعم از الگوریتم ژنتیک چندهدفه با مرتب‌سازی نامغلوب (NSGA II) و الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات (MOPSO) حل شده و نتایج حاصل از آن‌ها مورد مقایسه قرار می‌گیرند.

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

دریافت ۱۳۹۸/۶/۱

پذیرش ۱۳۹۸/۱۲/۱۲

کلمات کلیدی:

زنجیره تأمین حلقه بسته

رویکرد احتمالی

رویکرد استوار

مراکز چندبخشی

۱- مقدمه

امروزه شاهد بازارهایی پویا و به شدت رقابتی هستیم که حاصل پیشرفت‌های فناوری، اقتصاد جهانی و تغییرات سریع رفتار مشتریان است [۱].

یکی از مهم‌ترین اهداف زنجیره‌های تأمین، پاسخ‌دهی به نیاز مشتریان با کمترین هزینه و بالاترین کیفیت، در زمان مورد انتظار می‌باشد [۲].

تلاش مدیران در زمینه فعالیت‌های بازیافت و تدارکات باعث شده شرکت‌ها برای بستن حلقه زنجیره تأمین و تدابیر زنجیره تأمین حلقه بسته تمرکز کنند، از این‌رو زنجیره تأمین حلقه بسته نقش گسترده‌ای را در بیش از دو دهه گذشته ایفا کرده است [۳].

بشیری و همکاران، یک شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته با مراکز جمع‌آوری چندبخشی و با در نظر گرفتن تقاضا و بازگشت غیرقطعی معرفی کرده‌اند که با رویکرد احتمالی و با اهداف کاهش هزینه‌ها، افزایش سود و بهبود کیفیت دربرگیرنده کارخانجات تولیدی بازار

* نویسنده مسئول: رامین صادقیان

تلفن: ۰۲۱-۲۲۴۵۵۱۱۲؛ پست الکترونیکی: sadeghian@pnu.ac.ir

بردند و با استفاده از بهینه‌سازی استوار و انجام مقایسه تطبیقی مدل خود را محک زدند [۱۵].

مستری‌نگ و همکاران با انجام به مطالعه مروری به عوامل عدم قطعیت، روش‌ها و راه‌حل‌های زنجیره‌تأمین حلقه بسته و بررسی وضعیت فعلی و چشم‌انداز آینده آن‌ها پرداختند [۱۶].

با توجه به بررسی‌هایی که در زمینه زنجیره‌تأمین انجام شد اکثر مطالعات صورت گرفته زنجیره‌تأمین حلقه بسته را مدنظر قرار داده‌اند. در این مطالعه یک مدل طراحی شبکه زنجیره‌تأمین حلقه بسته با در نظر گرفتن مراکز جمع‌آوری چندبخشی و مراکز انبار و بازرسی چندبخشی در نظر گرفته می‌شود. چندبخشی بودن مراکز در این مطالعه بدین معناست که هر یک از این مراکز با توجه به طول عمر خدمت محصول، طبقه‌بندی شده‌اند و محصول با عمر خدمت کمتر و به نسبت سالم‌تر در طبقات بالاتر قرار می‌گیرد و با توجه به ویژگی آن محصول و پس از اعمال عملیات موردنیاز به مراکز بعدی منتقل می‌شوند. این کار باعث می‌شود که مشتری از محصولات مرغوب‌تر و با هزینه کمتر برخوردار باشد [۴]. در این مقاله مدلی ارائه می‌شود که شامل مراکز دیگری نظیر کارخانجات تولیدی، مراکز توزیع، مراکز دفع و بازارهای تقاضای اولیه و ثانویه است. از مشکلات سازمان‌هایی که با تقاضای مشتریان مواجه‌اند تغییر تقاضاست که باعث عدم اطمینان می‌شود [۱۷]. در مدل پیشنهادی برای واقعی‌تر شدن هر چه بیشتر مدل، بازگشت و هزینه‌ها غیرقطعی در نظر گرفته می‌شوند. در این مقاله علاوه بر رویکرد احتمالی در حالت عدم قطعیت، رویکرد برنامه‌ریزی استوار نیز در نظر گرفته می‌شود. همچنین حالت ترکیبی آن‌ها یعنی مدل احتمالی - استوار ارائه می‌گردد که در تحقیقات پیشین مشاهده نشده است. در یک مدل زنجیره‌تأمین، اهدافی دنبال می‌شود تا باعث کسب رضایت مشتریان شود که این اهداف شامل پاسخگو بودن به نیازهای آنان در حداقل زمان با بالاترین کیفیت و کمترین هزینه است. بیشتر تحقیقات انجام شده توجه خود را به کاهش هزینه‌ها در مدل معطوف کرده‌اند. در این مقاله تلاش شده تا علاوه بر هزینه‌های موجود در مدل و سعی در کاهش این هزینه‌ها، بهبود کیفیت محصولات نیز مدنظر قرار گیرد و کیفیت افزایش داده شود تا بتواند باعث جلب رضایت بیشتر مشتریان شود و مدل از کارایی بهتری برخوردار گردد. در این پژوهش برای دو مرکز توزیع و کارخانجات تولیدی کیفیت در نظر گرفته شده است که در قسمت‌های بعدی به تفصیل بیان شده‌اند. در پایان مدل موردنظر با دو الگوریتم فراابتکاری NSGA II^۳، MOPSO^۲ حل شده و حل این دو روش حل نیز مورد مقایسه قرار می‌گیرد.

تقاضا، مراکز دفع و مراکز جمع‌آوری چندبخشی است [۴]. هینوزا و همکاران، یک مدل طراحی شبکه پویا، چندلایه‌ای و چندمحصولی ارائه داده‌اند که تابع هدف عبارت از کمینه‌سازی هزینه کل می‌باشد [۵]. کیوان شکوه و همکاران یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط برای مسئله طراحی شبکه ظرفیت دار تک‌محصولی، چند دوره‌ای، با اهداف افزایش سود پیشنهاد داده‌اند. این مدل شامل خرده‌فروشان، مراکز جمع‌آوری، مراکز توزیع، مراکز تولیدی و باز تولیدی و مراکز دفع می‌باشد که تقاضا و بازگشت نیز به‌صورت غیرقطعی در نظر گرفته شده‌اند [۶]. نیشی و همکاران، بهینه‌سازی یک زنجیره‌تأمین چند دوره‌ای و دوسطحی شامل عرضه‌کنندگان و خرده‌فروشان را با عدم قطعیت تقاضا به‌صورت احتمالی مورد بررسی قرار دادند [۷]. مکرونی، مدلی را ارائه داد که در این مدل تقاضا، هزینه و بازگشت، غیرقطعی فرض شده‌اند که با دو رویکرد فازی و برنامه‌ریزی استوار مدل‌سازی شده است که هدف از این پژوهش، کاهش هزینه‌ها و ریسک موجود می‌باشد [۸]. جیهونیان و همکاران، یک مدل برنامه‌ریزی مختلط عدد صحیح احتمالی برای زنجیره‌تأمین حلقه بسته در زمینه ساخت محصولات مدولار که در آن شبکه معکوس شامل چندین نوع از گزینه‌های باز یافت است، پیشنهاد کرده‌اند [۹]. کادزینسکی و همکاران، کاربرد روش‌های بهینه‌سازی چند هدفه مختلف را برای طراحی زنجیره تأمین زیست‌محیطی ارزیابی کردند [۱۰]. کادامبال و همکاران، یک مدل کلی لجستیک حلقه بسته چند هدفه در نظر گرفته‌اند که اهداف در این مدل شامل افزایش سود، حداقل کردن مصرف انرژی و بهینه‌سازی مازاد مشتری هستند که به صورت احتمالی و با رویکرد بهینه‌سازی ازدحام ذرات حل شده است [۱۱].

حسن‌پور و همکاران در مقاله خود چارچوب رهبر-پیرو برای طراحی^۱ CLSC براساس مقررات دولتی ارائه دادند و استراتژی تشویقی برای سطوح مختلف کیفیت محصول بازگشتی در طراحی CLSC در نظر گرفتند و بهینه‌سازی استوار را برای بررسی عدم اطمینان تقاضا در مقررات دولت استفاده کردند [۱۲].

شجاع و همکاران به مشکل طراحی شبکه زنجیره تأمین انعطاف پذیر با حالت‌های مختلف تحویل پرداختند و مدلشان را به‌عنوان یک مدل خطی عدد صحیح ترکیبی ارائه دادند و یک الگوریتم فراابتکاری جدید پیشنهاد دادند [۱۳].

وحدانی و همکار به ادغام تصمیم‌گیری در مورد مکان، موجودی و قیمت‌گذاری در یک شبکه حلقه بسته پرداختند و با توجه به تقاضای همبسته در مناطق مشتری یک سیاست موجودی بررسی مستمر را با زمان تحویل تصادفی ارائه دادند و از الگوریتم‌های فراابتکاری استفاده کردند [۱۴].

آوخ دارستانی و همکار به مدل‌سازی زنجیره‌تأمین حلقه بسته برای محصولات فسادپذیر پرداختند و سیستم صفی را برای آن به کار

3. Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm (NSGA II)

1. Closed Loop Supply Chain

2. Multi Objective Particle Swarm Optimization (MOPSO)

۲- تعریف مسئله

۱-۲- زنجیره تأمین حلقه بسته چندبخشی

در این تحقیق یک شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته با مراکز جمع‌آوری و مراکز انبار و بازرسی چندبخشی طراحی می‌شود. چندبخشی بودن مراکز در این مطالعه بدین معناست که هر یک از این مراکز با توجه به طول عمر خدمت محصول طبقه‌بندی شده‌اند و محصول با عمر خدمت کمتر و به نسبت سالم‌تر در طبقات بالاتر قرار می‌گیرد و با توجه به ویژگی آن محصول و پس از اعمال عملیات موردنیاز به مراکز بعدی منتقل می‌شوند. این کار باعث می‌شود که مشتری از محصولات مرغوب‌تر و با هزینه کمتر برخوردار باشد. در این‌گونه مسائل دولت برای کاهش آسیب به محیط‌زیست و استفاده کمتر از منابع خام، بازیافت محصول مصرفی را بسیار اثرگذار می‌داند و همچنین با چندبخشی کردن مراکز و در نظر گرفتن هزینه‌های خریدوفروش محصول بازیافتی، مشتری می‌تواند از محصول مرغوب‌تری استفاده نماید. به همین دلیل مشتری برای رسیدن به اهداف خود سعی می‌کند که محصول را پس از مدتی به مرکز جمع‌آوری بازیافت که چندبخشی در نظر گرفته شده است ارسال نماید [۴]. از جمله کاربردهای این مسئله می‌توان به صنعت خودرو، سیستم تولید و بازیافت مواد پلاستیکی و فلزی و... اشاره نمود. به‌عنوان مثال در سیستم تولید و بازیافت مواد فلزی، محصول تولیدی بعد از تولید در کارخانه‌ها به مراکز توزیع و مشتریان ارسال می‌شود و مشتری محصول موردنیاز خود را خریداری و بعد از مدتی که از محصول استفاده نمود آن‌ها را به مراکز جمع‌آوری فروخته و ظروف مصرفی با توجه به ویژگی‌ها و عمر خدمت خود به مراکز مربوطه ارسال می‌شوند. در هر بخش از این مراکز چندبخشی که ظرفیت محدودی دارند، محصولات طبقه‌بندی شده دارای سطح کیفیت خاصی هستند که هر سطح دارای هزینه خریدوفروش خاص است.

۲-۲- مدل‌سازی ریاضی

در این قسمت به تعریف مجموعه‌ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم‌پرداخته می‌شود و در ادامه مدل ارائه شده آورده می‌شود.

مفروضات

- ظرفیت تسهیلات (مراکز توزیع، مراکز انبار و بازرسی، مراکز جمع‌آوری و کارخانجات تولیدی) محدود می‌باشد.
- تمام تقاضا باید برآورده شود.
- مکان‌های بالقوه برای تأسیس مراکز توزیع، کارخانجات تولیدی، مراکز انبار و بازرسی و مراکز جمع‌آوری معلوم و به‌صورت گسسته می‌باشد.
- از لحاظ میزان جابجایی روی شبکه محدودیت ظرفیت انتقالی وجود ندارد.
- مدل ارائه شده به صورت چندمحصولی، چندهدفه، چنددوره‌ای و چندبخشی می‌باشد.

- جریان مواد تنها بین دو سطح متوالی از لایه‌های شبکه می‌تواند برقرار باشد و همچنین ارتباطی بین تسهیلات در یک لایه وجود ندارد.

- تقاضا، هزینه و بازگشت به‌صورت احتمالی و استوار مدلسازی می‌شوند.

- برای مراکز چندبخشی موجود در مدل، هزینه خریدوفروش اختصاص یافته است.

- قیمت فروش محصولات در دو بازار اولیه و ثانویه متفاوت در نظر گرفته شده است.

مجموعه‌ها

مجموعه	تعریف
I	مجموعه کارخانجات تولیدی و بازتولیدی
J	مجموعه تولیدات
D	مجموعه مراکز بالقوه توزیع
K	مجموعه بازارهای اولیه
L	مجموعه مراکز بالقوه جمع‌آوری
M	مجموعه بخش‌های مراکز جمع‌آوری
N	مجموعه مراکز بالقوه انبار و بازرسی
C	مجموعه بخش‌های مراکز انبار و بازرسی
H	مجموعه بازارهای ثانویه
T	مجموعه دوره‌های زمانی
A	مجموعه گزینه‌های کیفیت خدمت‌دهی

پارامترها

پارامتر	تعریف
A_{it}	هزینه احداث کارخانه i ام در دوره t
B_{tmt}	هزینه احداث بخش m ام مرکز جمع‌آوری i ام در دوره t
D_{nct}	هزینه احداث بخش c ام مرکز انبار n ام در دوره t
E_{dt}	هزینه احداث مرکز توزیع d ام در دوره t
CA_{da}	هزینه کیفیت خدمت‌دهی سطح a ام در مرکز توزیع d ام
$dis1_{id}$	فاصله بین کارخانه تولیدی i ام و مرکز توزیع d ام بر اساس فاصله اقلیدسی
$dis2_{ak}$	فاصله بین مرکز توزیع d ام و بازارهای اولیه k ام
$dis3_{ktm}$	فاصله بین بازارهای اولیه k ام و بخش m ام مرکز جمع‌آوری i ام
$dis4_{tmi}$	فاصله بین بخش m ام مرکز جمع‌آوری i ام و کارخانه تولیدی i ام
$dis5_{tm}$	فاصله بین بخش m ام مرکز جمع‌آوری i ام و مرکز دفع
$dis6_{neh}$	فاصله بین بخش c ام مرکز انبار n ام و بازارهای ثانویه h ام
$dis7_{tmnc}$	فاصله بین بخش m ام مرکز جمع‌آوری i ام و بخش c ام مرکز انبار و بازرسی n ام
C_{aijt}	هزینه حمل‌ونقل هر واحد محصول نوع z ام از کارخانه تولیدی i ام به مرکز توزیع d ام در دوره t به ازای هر واحد مسافت
F_{kdjt}	هزینه حمل‌ونقل هر واحد محصول نوع z ام از مرکز توزیع d ام به بازارهای اولیه k ام در دوره t به ازای هر واحد مسافت
G_{tmkjt}	هزینه حمل‌ونقل هر واحد محصول بازگشتی نوع z ام از بازارهای اولیه k ام به بخش m ام مرکز جمع‌آوری i ام در دوره t به ازای هر واحد مسافت
Q_{itmt}	هزینه حمل‌ونقل هر واحد محصول بازگشتی نوع z ام از بخش m ام مرکز جمع‌آوری i ام به کارخانجات بازتولیدی i ام در دوره t به ازای هر واحد مسافت

متغیر	تعریف
$ge1_{da}$	اگر گزینه a برای کیفیت خدمت‌دهی مرکز توزیع d ام انتخاب شود برابر یک است، در غیر این صورت برابر صفر است.
$ge2_i$	اگر کارخانه در مکان بالقوه i ام راه‌اندازی و مکان‌یابی شود برابر یک است، در غیر این صورت برابر صفر است.
$ge3_d$	اگر مرکز توزیع در مکان بالقوه d ام مکان‌یابی و راه‌اندازی شود برابر یک است، در غیر این صورت برابر صفر است.
$ge4_{tm}$	اگر بخش m ام مرکز جمع‌آوری l ام راه‌اندازی و مکان‌یابی شود برابر یک است، در غیر این صورت برابر صفر است.
$ge5_{nc}$	اگر بخش c ام مرکز انبار و بازرسی n ام راه‌اندازی و مکان‌یابی شود برابر یک است، در غیر این صورت برابر صفر است.
V_{idjt}	تعداد محصول نوع j ام تولید شده توسط کارخانه i ام برای مرکز توزیع d ام در دوره t ام
V'_{idjt}	تعداد محصول نوع j ام باز تولید شده توسط کارخانه i ام برای مرکز توزیع d ام در دوره t ام
W_{akjt}	تعداد محصول نوع j ام از بازار اولیه k ام در دوره t ام
X_{ktmjt}	تعداد محصول بازگشتی نوع j ام از بازار اولیه k ام به بخش m ام مرکز جمع‌آوری l ام در دوره t ام
Y_{lmijt}	تعداد محصول بازگشتی نوع j ام از بخش m ام مرکز جمع‌آوری l ام به کارخانه i ام در دوره t ام
U_{lmjt}	تعداد محصول بازگشتی نوع j ام از بخش m ام مرکز جمع‌آوری l ام به مرکز دفع در دوره t ام
Z_{lmncjt}	تعداد محصول بازگشتی نوع j ام از بخش m ام مرکز جمع‌آوری l ام به بخش c ام مرکز انبار و بازرسی n ام در دوره t ام
P_{nchjt}	تعداد محصول بازگشتی نوع j ام از بخش c ام مرکز انبار و بازرسی n ام به بازار ثانویه h ام در دوره t ام
$pq1_{lmjt}$	سود حاصل از سطح کیفیت تمام محصولات بازگشتی نوع j ام فروخته شده توسط بخش m ام مرکز جمع‌آوری l ام در دوره t ام
$pq2_{ncjt}$	سود حاصل از سطح کیفیت تمام محصولات بازگشتی نوع j ام فروخته شده توسط بخش c ام مرکز انبار و بازرسی n ام در دوره t ام

با توجه به تعریف مجموعه‌ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم بیان شده، مسئله طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته چند دوره‌ای به‌عنوان یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی غیرخطی عدد صحیح دو هدفه به‌صورت ذیل مدل‌سازی می‌شود.

۲-۲-۱- حالت اول: رویکرد قطعی

$$Minz1 = \sum_{i \in I} \sum_{t \in T} ge2_i A_{it} + \sum_{d \in D} \sum_{t \in T} ge3_d E_{dt} \quad (1)$$

$$+ \sum_{l \in L} \sum_{m \in M} \sum_{t \in T} ge4_{lm} B_{lmt}$$

$$+ \sum_{n \in N} \sum_{c \in C} \sum_{t \in T} ge5_{nc} D_{nct}$$

$$+ \sum_{d \in D} \sum_{a \in A} ge1_{da} CA_{da}$$

$$+ \sum_{i \in I} \sum_{d \in D} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} V_{idjt} (C_{ajt} \cdot dis1_{id} + pr_{jt})$$

O_{lmjt}	هزینه حمل‌ونقل هر واحد محصول بازگشتی نوع j ام از بخش m ام مرکز جمع‌آوری l ام به مرکز دفع در دوره t به ازای هر واحد مسافت
P_{nctmjt}	هزینه حمل‌ونقل هر واحد محصول بازگشتی نوع j ام از بخش m ام مرکز جمع‌آوری l ام به بخش c ام مرکز انبار و بازرسی n ام در دوره t به ازای هر واحد مسافت
R_{hncjt}	هزینه حمل‌ونقل هر واحد محصول بازگشتی نوع j ام از بخش c ام مرکز انبار و بازرسی n ام به بازارهای ثانویه h ام در دوره t به ازای هر واحد مسافت
pr_{jt}	هزینه تولید و بازتولید هر واحد محصول نوع j ام در دوره t
di_{jt}	هزینه توزیع هر واحد محصول نوع j ام در دوره t
T_{jt}	هزینه دفع هر واحد محصول نوع j ام در دوره t
a_j	درصد محصولات معیوب در کارخانه
φ_1	ضریب تصحیح تابع کیفیت تولیدکننده
φ_2	ضریب تصحیح تابع کیفیت مراکز توزیع
LM_{lmtjt}	هزینه خرید هر واحد محصول نوع j ام از بخش m ام مرکز جمع‌آوری l ام توسط کارخانه i ام در دوره t
NC_{nctmjt}	هزینه خرید هر واحد محصول نوع j ام از بخش m ام مرکز جمع‌آوری l ام توسط بخش c ام مرکز انبار و بازرسی n ام در دوره t
LO_{lmtkjt}	هزینه خرید هر واحد محصول نوع j ام از بازار اولیه k ام توسط بخش m ام مرکز جمع‌آوری l ام در دوره t
NM_{hncjt}	هزینه خرید هر واحد محصول نوع j ام از بخش c ام مرکز انبار و بازرسی n ام توسط بازار ثانویه h ام در دوره t
b_{kjt}	قیمت فروش هر واحد محصول نوع j ام در بازار اولیه k ام در دوره t
d_{hjt}	قیمت فروش هر واحد محصول نوع j ام در بازار ثانویه h ام در دوره t
$de1_{kjt}$	میزان تقاضا برای محصول نوع j ام در بازارهای اولیه k ام در دوره t
$de2_{hjt}$	میزان تقاضا برای محصول نوع j ام در بازارهای ثانویه h ام در دوره t
t_{kjt}	تعداد محصول بازگشتی نوع j ام از بازار اولیه k ام در دوره t
Q_a	میزان کیفیت خدمت‌دهی در سطح a ام
cq	سود حاصل از هر سطح کیفیت محصول در مراکز چندبخشی
$q1_{lmjt}$	سطح کیفیت محصول نوع j ام در بخش m ام مرکز جمع‌آوری l ام در دوره t
$q2_{ncjt}$	سطح کیفیت محصول نوع j ام در بخش c ام مرکز انبار و بازرسی n ام در دوره t
$Ca1_{ijt}$	ظرفیت کارخانه i ام برای محصول نوع j ام در دوره t
$Ca2_{tmjt}$	ظرفیت بخش m ام مرکز جمع‌آوری l ام برای محصول نوع j ام در دوره t
$Ca3_{ncjt}$	ظرفیت بخش c ام مرکز انبار و بازرسی n ام برای محصول نوع j ام در دوره t
$Ca4_{ajt}$	ظرفیت مرکز توزیع d ام برای محصول نوع j ام در دوره t
θ	مقداری از محصول جریان‌های ورودی از مرکز جمع‌آوری مشتریان بازارهای اولیه که نیاز است برابر با مجموع جریان خروجی از این مرکز به مراکز دفع، کارخانجات تولیدی و انبار و بازرسی باشد.
M	عدد بزرگ نامنفی
μ_1	نرخ افزایش هزینه پیشگیری و ارزیابی
μ_2	نرخ افزایش هزینه شکست
C_1	کمترین هزینه پیشگیری و ارزیابی
C_2	کمترین هزینه شکست

$$\sum_{l \in L} \sum_{m \in M} Z_{lmncjt} = \sum_{h \in H} P_{nchjt}, \quad \forall n, c, j, t \quad (۸)$$

$$\theta \sum_{k \in K} X_{klmjt} \quad (۹)$$

$$= \sum_{i \in I} Y_{lmijt} + \sum_{n \in N} \sum_{c \in C} Z_{lmncjt}, \quad \forall l, m, j, t$$

$$(1 - \theta) \sum_{k \in K} X_{klmjt} = U_{lmjt}, \quad \forall l, m, j, t \quad (۱۰)$$

$$pq1_{lmjt} \quad (۱۱)$$

$$= cq \cdot q1_{lmjt} \left(\sum_{i \in I} Y_{lmijt} + \sum_{n \in N} \sum_{c \in C} Z_{lmncjt} \right), \quad \forall l, m, j, t$$

$$pq2_{ncjt} = cq \cdot q2_{ncjt} \sum_{h \in H} P_{nchjt}, \quad \forall n, c, j, t \quad (۱۲)$$

$$pq1_{lmjt} \geq M \cdot (ge4_{lm} - 1), \quad \forall l, m, j, t \quad (۱۳)$$

$$pq1_{lmjt} \leq M \cdot ge4_{lm}, \quad \forall l, m, j, t \quad (۱۴)$$

$$pq2_{ncjt} \geq M \cdot (ge5_{nc} - 1), \quad \forall n, c, j, t \quad (۱۵)$$

$$pq2_{ncjt} \leq M \cdot ge5_{nc}, \quad \forall n, c, j, t \quad (۱۶)$$

$$\sum_{a \in A} ge1_{da} = 1, \quad \forall d \quad (۱۷)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in J} W_{dkjt} \leq \sum_{j \in J} Ca4_{djt} ge3_d, \quad \forall d, t \quad (۱۸)$$

$$\sum_{l \in L} \sum_{m \in M} \sum_{j \in J} Y_{lmijt} + \sum_{d \in D} \sum_{j \in J} V_{idjt} \leq \sum_{j \in J} Ca1_{ijt} ge2_i, \quad \forall i, t \quad (۱۹)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in J} X_{klmjt} \leq \sum_{j \in J} Ca2_{lmjt} ge4_{lm}, \quad \forall l, m, t \quad (۲۰)$$

$$\sum_{l \in L} \sum_{m \in M} \sum_{j \in J} Z_{lmncjt} \leq \sum_{j \in J} Ca3_{ncjt} ge5_{nc}, \quad \forall n, c, t \quad (۲۱)$$

$$\sum_{h \in H} P_{nchjt} \leq Ca3_{ncjt}, \quad \forall n, c, j, t \quad (۲۲)$$

$$\sum_{i \in I} Y_{lmijt} \leq Ca2_{lmjt}, \quad \forall l, m, j, t \quad (۲۳)$$

$$ge1_{da}, ge2_i, ge3_d, ge4_{lm}, ge5_{nc} \in (0, 1) \quad (۲۴)$$

$$V_{idjt}, V'_{idjt}, W_{dkjt}, X_{klmjt}, Y_{lmijt}, Z_{lmncjt}, U_{lmjt}, l \geq 0 \quad (۲۵)$$

تابع هدف (۱) کاهش هزینه‌های کل زنجیره تأمین می‌باشد. تابع هدف (۲) بیشینه نمودن کیفیت کل زنجیره تأمین می‌باشد که از دو بخش گوناگون تشکیل شده است:

۱. رضایت مراکز توزیع از کارخانه (کیفیت محصولات تولیدی)

۲. رضایت مشتریان از مراکز توزیع (کیفیت مراکز توزیع)

به‌طور کلی برای بیان رضایت به‌صورت ریاضی از مدل‌های هاف کمک گرفته شده است که البته تغییراتی نسبت به آن داده شده است. فرض می‌شود که رضایت مشتریان از مراکز توزیع شامل ۲ بعد باشد:

$$+ \sum_{i \in I} \sum_{d \in D} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} V'_{idjt} (C_{aijt} \cdot dis1_{id} + pr_{jt})$$

$$+ \sum_{k \in K} \sum_{d \in D} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} W_{dkjt} (F_{kdjt} \cdot dis2_{dk} + di_{jt})$$

$$+ \sum_{k \in K} \sum_{l \in L} \sum_{m \in M} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} X_{klmjt} (G_{lmkjt} \cdot dis3_{klm})$$

$$+ \sum_{i \in I} \sum_{l \in L} \sum_{m \in M} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} Y_{lmijt} (Q_{ilmjt} \cdot dis4_{lmi})$$

$$+ \sum_{l \in L} \sum_{m \in M} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} U_{lmjt} (O_{lmjt} \cdot dis5_{lm} + T_{jt})$$

$$+ \sum_{l \in L} \sum_{m \in M} \sum_{n \in N} \sum_{c \in C} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} Z_{lmncjt} (P_{nclmjt} \cdot dis7_{ln})$$

$$+ \sum_{n \in N} \sum_{c \in C} \sum_{h \in H} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} P_{nchjt} (R_{hncjt} \cdot dis6_{nch})$$

$$+ \sum_{i \in I} \sum_{d \in D} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} (C_1 \cdot e^{\mu_1 \left(\frac{1-a_j}{a_j} \right)})$$

$$+ C_2 \cdot e^{\mu_2 \left(\frac{1-a_j}{a_j} \right)} V_{idjt}$$

$$- \left(\sum_{l \in L} \sum_{m \in M} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} Y_{lmijt} \cdot LM_{ilmjt} \right)$$

$$- \sum_{k \in K} \sum_{l \in L} \sum_{m \in M} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} X_{klmjt} \cdot LO_{lmkjt}$$

$$+ \sum_{n \in N} \sum_{c \in C} \sum_{h \in H} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} P_{nchjt} \cdot NM_{hncjt}$$

$$- \sum_{l \in L} \sum_{m \in M} \sum_{n \in N} \sum_{c \in C} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} Z_{lmncjt} \cdot NC_{nclmjt}$$

$$- \sum_{k \in K} \sum_{d \in D} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} W_{dkjt} \cdot b_{kjt}$$

$$- \sum_{n \in N} \sum_{c \in C} \sum_{h \in H} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} P_{nchjt} \cdot d_{hjt}$$

$$- \sum_{l \in L} \sum_{m \in M} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} pq1_{lmjt}$$

$$- \sum_{n \in N} \sum_{c \in C} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} pq2_{ncjt}$$

$$\text{Max} z2 \quad (۲)$$

$$= \varphi_1 \sum_{d \in D} \sum_{k \in K} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} \sum_{a \in A} \left(\frac{Q_a ge1_{da}}{1 + dis2_{dk}^2} \right) \left(\frac{W_{dkjt}}{de1_{kjt}} \right)$$

$$+ \varphi_2 \sum_{j \in J} (1 - a_j)$$

$$\text{S. t. :}$$

$$\sum_{d \in D} W_{dkjt} \geq de1_{kjt}, \quad \forall k, j, t \quad (۳)$$

$$\sum_{n \in N} \sum_{c \in C} P_{nchjt} \geq de2_{hjt}, \quad \forall h, j, t \quad (۴)$$

$$\sum_{l \in L} \sum_{m \in M} X_{klmjt} \geq t_{kjt-1}, \quad \forall k, j, t \quad (۵)$$

$$\sum_{k \in K} W_{dkjt} = \sum_{i \in I} V_{idjt} + \sum_{i \in I} V'_{idjt}, \quad \forall d, j, t \quad (۶)$$

$$\sum_{d \in D} V'_{idjt} = \sum_{l \in L} \sum_{m \in M} Y_{lmijt}, \quad \forall i, j, t \quad (۷)$$

محدودیت (۱۱) نشان‌دهنده مجموع سود حاصل از سطح کیفیت به ازای محصولات بازگشتی از مراکز جمع‌آوری است. محدودیت (۱۲) نشان‌دهنده مجموع سود حاصل از سطح کیفیت به ازای محصولات بازگشتی از مراکز انبار و بازرسی است. محدودیت‌های (۱۳) و (۱۴) نشان‌دهنده این هستند که سطح کیفیت به ازای محصولات بازگشتی از مراکز جمع‌آوری زمانی معنی‌دار است که این مراکز راه‌اندازی و مکان‌یابی شده باشند. محدودیت‌های (۱۵) و (۱۶) نشان‌دهنده این هستند که سطح کیفیت به ازای محصولات بازگشتی از مراکز انبار و بازرسی زمانی معنی‌دار است که این مراکز راه‌اندازی و مکان‌یابی شده باشند.

محدودیت (۱۷) نشان می‌دهد که برای هر مرکز توزیع فقط یک گزینه‌ی کیفیت خدمت‌دهی باید انتخاب شود.

محدودیت (۱۸) تضمین می‌کند که برای هر محصول مجموع جریان‌های خروجی از هر مرکز توزیع به بازارهای اولیه از ظرفیت مراکز توزیع تجاوز نمی‌کند.

محدودیت (۱۹) تضمین می‌کند که برای هر محصول مجموع جریان‌های خروجی از هر کارخانه تولیدی و جریان‌های ورودی از تمامی مراکز به این مرکز از ظرفیت کارخانجات تولیدی تجاوز نمی‌کند.

محدودیت (۲۰) تضمین می‌کند که برای هر محصول مجموع جریان‌های ورودی به مراکز جمع‌آوری چندبخشی از سوی تمامی مشتریان بازارهای اولیه از ظرفیت این مراکز تجاوز نمی‌کند.

محدودیت (۲۱) تضمین می‌کند که برای هر محصول مجموع جریان‌های ورودی به هر مرکز انبار و بازرسی چندبخشی از سوی تمامی مراکز جمع‌آوری از ظرفیت مراکز انبار و بازرسی تجاوز نمی‌کند.

محدودیت (۲۲) نشان می‌دهد که تعداد محصول بازگشتی به بازارهای ثانویه بایستی حداکثر برابر ظرفیت بخشی باشد که از آن خارج می‌شود.

محدودیت (۲۳) نشان می‌دهد که تعداد محصول بازگشتی به کارخانه بایستی حداکثر برابر با ظرفیت بخشی باشد که از آن خارج می‌شود.

محدودیت‌های (۲۴) و (۲۵) به ترتیب مربوط به صفر و یک و نامنفی بودن و صحیح بودن متغیرهای تصمیم‌گیری مدل می‌باشند.

۲-۲-۲- حالت دوم: رویکرد احتمالی

نحوه مواجهه با پارامترهای غیرقطعی به صورت احتمالی (فرض محدودیت سوم)

$$P\left\{\sum_{d \in D} W_{dkjt} \geq de_{kjt}\right\} \geq 1 - \alpha$$

$$\rightarrow P\left\{\sum_{d \in D} W_{dkjt} - de_{kjt} \geq 0\right\} \geq 1 - \alpha$$

$$\rightarrow de_{kjt} - \sum_{d \in D} W_{dkjt} \leq 0 \cong N(\mu_{de} - \sum_{d \in D} W_{dkjt}, \text{Var}_{de})$$

(۱) زمان تحویل و (۲) کیفیت محصول، که برای کارخانه‌ای که از آن کالای موردنظر را دریافت می‌کنند، در نظر گرفته شده است. برای کیفیت خدمت‌دهی مراکز توزیع نیز، فرض شده است که گزینه‌های مختلفی برای میزان کیفیت خدمت‌دهی در نظر گرفته شده است که هر مرکز توزیع باید یکی از آن‌ها را انتخاب کند. مسلماً هرچه میزان کیفیت گزینه‌ای بالاتر باشد هزینه‌ی بیشتری نیز دارد. تعداد گزینه‌های خدمت‌دهی برابر فرض شده است. زمان تحویل نیز به صورت تابعی از فاصله در نظر گرفته شده است. برای زمان تحویل محصولات فرض می‌شود فاصله میان مرکز توزیع d مشتری k برابر با dis_{ak} می‌باشد، زمان تحویل محصولات با احتساب بسته‌بندی کالا در مرکز توزیع در یک واحد زمانی (مثلاً یک روز) برابر است با $1 + dis_{ak}^2$. (در این مدل فرض شده است که هر دوره زمانی برابر یک سال می‌باشد، چراکه هزینه‌ها نیز شامل ارزش زمانی پول می‌شوند و بنابراین اگر فرض شود که تحویل کالا برحسب روز می‌باشد صرف‌نظر از فاصله‌ی مرکز توزیع از مشتری، یک روز زمان بسته‌بندی کالای موردنظر در نظر گرفته شده است.) مطابق با فرمول ذکر شده هر چه فاصله‌ی میان مرکز توزیع و مشتری بیشتر باشد زمان تحویل محصولات از طرف مرکز توزیع به مشتری موردنظر بیشتر می‌باشد. لازم به ذکر است فاصله‌ها به صورت اقلیدسی در نظر گرفته شده‌اند. برای کیفیت محصولات کارخانه نیز از درصد محصولات معیوب استفاده می‌شود. در نهایت این چند کیفیت با یکدیگر به نحوی ترکیب شده و تابع کیفیت زنجیره را تشکیل می‌دهند. در این مدل، فرض شده است که هر دوره زمانی برابر یک سال می‌باشد و بنابراین هزینه‌ها مشمول ارزش زمانی پول می‌شوند. کیفیت محصولات تولیدی نیز برابر است با درصد محصولات سالم که برابر است با کسر در صد محصولات معیوب کسر شده از صد در صد.

محدودیت (۳) تضمین می‌کند که تعداد محصولات تولیدی برای بازارهای اولیه بزرگ‌تر مساوی تقاضای آن بازار است و تقاضای تمامی مشتریان این بازار ارضاء می‌گردد.

محدودیت (۴) تضمین می‌کند که تقاضای همه مشتریان در مناطق بازار دسته دوم ارضاء می‌گردد.

محدودیت (۵) نشان‌دهنده میزان تقاضای کل محصولات بازگشتی مشتریان در مناطق بازار اولیه است.

محدودیت‌های (۶) تا (۱۰) تعادل در مجموع جریان‌های ورودی و جریان‌های خروجی از مراکز را نشان می‌دهند. محدودیت (۹) و (۱۰) نشان می‌دهند که برای هر محصول جریان‌های ورودی به هر یک از مراکز جمع‌آوری از طرف تمامی مشتریان بازارهای اولیه برابر با مجموع جریان‌های خروجی از این مرکز به مراکز دفع، کارخانجات تولیدی و انبار و بازرسی می‌باشد.

محدودیت‌های (۱۱) تا (۱۶) مربوط به تابع هدف می‌باشند که سود حاصل از سطح کیفیت محصولات را نشان می‌دهند. این محدودیت‌ها مربوط به چندبخشی در نظر گرفتن مراکز می‌باشند.

$$\begin{aligned}
 & + \sum_{l \in L} \sum_{m \in M} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} U_{lmjt} (O_{lmjt} \cdot dis_{lm} + T_{jt}) \\
 & + \sum_{l \in L} \sum_{m \in M} \sum_{n \in N} \sum_{c \in C} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} Z_{lmncjt} (P_{nclmjt} \cdot dis_{lm} \\
 & + \sum_{n \in N} \sum_{c \in C} \sum_{h \in H} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} P_{nchjt} (R_{hncjt} \cdot dis_{nch}) \\
 & + \sum_{i \in I} \sum_{d \in D} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} (C_1 \cdot e^{\mu_1 \left(\frac{1-a_j}{a_j} \right)} \\
 & + C_2 \cdot e^{\mu_2 \left(\frac{1-a_j}{a_j} \right)}) V_{idjt} \\
 & - \sum_{l \in L} \sum_{m \in M} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} (Y_{lmijt} \cdot LM_{ilmjt} \\
 & \quad + \eta_{ilmjt}^{LM}) \\
 & - \sum_{l \in L} \sum_{m \in M} \sum_{n \in N} \sum_{c \in C} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} (Z_{lmncjt} \cdot NC_{nclmjt} \\
 & \quad + \eta_{nclmjt}^{NC}) \\
 & - \sum_{k \in K} \sum_{l \in L} \sum_{m \in M} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} (X_{klmjt} \cdot LO_{lmkjt} \\
 & \quad + \eta_{lmkjt}^{LO}) \\
 & - \sum_{n \in N} \sum_{c \in C} \sum_{h \in H} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} (P_{nchjt} \cdot NM_{hncjt} \\
 & \quad + \eta_{hncjt}^{NM}) \\
 & - \sum_{k \in K} \sum_{d \in D} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} W_{dkjt} \cdot b_{kjt} \\
 & - \sum_{n \in N} \sum_{c \in C} \sum_{h \in H} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} P_{nchjt} \cdot d_{hjt} \\
 & - \sum_{l \in L} \sum_{m \in M} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} pq_{lmjt} \\
 & - \sum_{n \in N} \sum_{c \in C} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} pq_{ncjt} \leq Z1
 \end{aligned}$$

S. t.:

$$\rho_A G_{it}^A g_{ei} \leq \eta_{it}^A, \quad \forall i, t \quad (28)$$

$$\rho_A G_{it}^A g_{ei} \geq -\eta_{it}^A, \quad \forall i, t \quad (29)$$

$$\rho_E G_{dt}^E g_{ed} \leq \eta_{dt}^E, \quad \forall d, t \quad (30)$$

$$\rho_E G_{dt}^E g_{ed} \geq -\eta_{dt}^E, \quad \forall d, t \quad (31)$$

$$\rho_B G_{lmt}^B g_{elm} \leq \eta_{lmt}^B, \quad \forall l, m, t \quad (32)$$

$$\rho_B G_{lmt}^B g_{elm} \geq -\eta_{lmt}^B, \quad \forall l, m, t \quad (33)$$

$$\rho_D G_{nct}^D g_{enc} \leq \eta_{nct}^D, \quad \forall n, c, t \quad (34)$$

$$\rho_D G_{nct}^D g_{enc} \geq -\eta_{nct}^D, \quad \forall n, c, t \quad (35)$$

$$\rho_{CA} G_{da}^{CA} g_{eda} \leq \eta_{da}^{CA}, \quad \forall d, a \quad (36)$$

$$\rho_{CA} G_{da}^{CA} g_{eda} \geq -\eta_{da}^{CA}, \quad \forall d, a \quad (37)$$

$$\rho_{LM} G_{ilmjt}^{LM} Y_{lmijt} \leq \eta_{ilmjt}^{LM}, \quad \forall i, l, m, j, t \quad (38)$$

$$\rho_{LM} G_{ilmjt}^{LM} Y_{lmijt} \geq -\eta_{ilmjt}^{LM}, \quad \forall i, l, m, j, t \quad (39)$$

$$\rho_{NC} G_{nclmjt}^{NC} Z_{lmncjt} \leq \eta_{nclmjt}^{NC}, \quad \forall n, c, l, m, j, t \quad (40)$$

$$\rho_{NC} G_{nclmjt}^{NC} Z_{lmncjt} \geq -\eta_{nclmjt}^{NC}, \quad \forall n, c, l, m, j, t \quad (41)$$

$$\rho_{LO} G_{lmkjt}^{LO} X_{klmjt} \leq \eta_{lmkjt}^{LO}, \quad \forall l, m, k, j, t \quad (42)$$

$$\rightarrow P \left\{ Z \leq \frac{\sum_{d \in D} W_{dkjt} - \mu_{de}}{\sqrt{\text{Var}_{de}}} \right\} \geq 1 - \alpha$$

$$\rightarrow \frac{\sum_{d \in D} W_{dkjt} - \mu_{de}}{\sqrt{\text{Var}_{de}}} \geq Z_{1-\alpha}$$

$$\rightarrow \sum_{d \in D} W_{dkjt} \geq Z_{1-\alpha} \sqrt{\text{Var}_{de}} + \mu_{de}$$

۲-۳- حالت سوم: رویکرد احتمالی - استوار

مدل پی‌شنهادی ارائه شده در حالت سوم، مربوط به حالت غیرقطعی مدل می‌باشد. این مدل بر اساس مدل بهینه‌سازی استوار ارائه شده توسط بن‌تال و نمبروسکی توسعه داده شده است [۱۸].

پیش‌از این پیش‌وایی و همکاران، یک مدل تک‌هدفه با رویکرد استوار برای کاهش هزینه شبکه مسئله زنجیره‌تأمین ارائه کردند [۱۹]. علاوه بر این و حدانی و همکاران، مدل چندهدفه با رویکرد استوار برای یک مسئله زنجیره‌تأمین مطرح کردند [۲۰]، درحالی‌که در این مدل پیش‌شنهادی هدف کیفیت در کنار سایر اهداف بررسی می‌گردد. در این مدل، پارامترهایی نظیر تقاضا، میزان نرخ محصولات برگشتی و هزینه‌ها غیرقطعی در نظر گرفته شده است. با توجه به مدل بهینه‌سازی استوار ذکرشده، تغییراتی در تابع هدف اول ایجاد می‌شود (تمامی متغیرهای افزوده شده به تابع هدف اول در حالت استوار نامنفی هستند). همچنین محدودیت‌های (۲۸) تا (۴۵) نیز به مدل افزوده می‌شوند. این محدودیت‌ها برای احتمالی و استوارسازی مدل استفاده شده‌اند. محدودیت‌های (۳)، (۴) و (۵) از مدل اصلی نیز به‌صورت زیر مدل‌سازی می‌شوند:

$$\text{Min} Z1 \quad (26)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{t \in T} (g_{ei} \bar{A}_{it} + \eta_{it}^A) \quad (27)$$

$$+ \sum_{d \in D} \sum_{t \in T} (g_{ed} \bar{E}_{dt} + \eta_{dt}^E)$$

$$+ \sum_{l \in L} \sum_{m \in M} \sum_{t \in T} (g_{elm} \bar{B}_{lmt} + \eta_{lmt}^B)$$

$$+ \sum_{n \in N} \sum_{c \in C} \sum_{t \in T} (g_{enc} \bar{D}_{nct} + \eta_{nct}^D)$$

$$+ \sum_{d \in D} \sum_{a \in A} (g_{eda} \bar{C}_{da} + \eta_{da}^{CA})$$

$$+ \sum_{i \in I} \sum_{d \in D} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} V_{idjt} (C_{dijt} \cdot dis_{id} + pr_{jt})$$

$$+ \sum_{i \in I} \sum_{d \in D} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} V'_{idjt} (C_{aijt} \cdot dis_{id} + pr_{jt})$$

$$+ \sum_{k \in K} \sum_{d \in D} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} W_{dkjt} (F_{kdjt} \cdot dis_{dk} + di_{jt})$$

$$+ \sum_{k \in K} \sum_{l \in L} \sum_{m \in M} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} X_{klmjt} (G_{lmkjt} \cdot dis_{klm})$$

$$+ \sum_{i \in I} \sum_{l \in L} \sum_{m \in M} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} Y_{lmijt} (Q_{ilmjt} \cdot dis_{lmi})$$

۳-۱- تجزیه و تحلیل مدل پیشنهادی در حالت احتمالی-

استوار با روش مجموع وزنی

در این بخش به منظور بررسی نتایج در حالت احتمالی-استوار با روش تصمیم‌گیری چندهدفه مجموع وزنی، ۵ مسئله نمونه با ۵ داده اسمی مختلف طبق جدول (۱) ارائه شده است.

جدول (۱): مسائل نمونه طراحی شده در ابعاد مختلف

مسئله نمونه	(I , J , D , K , L , M , N , C , H , T , A)
۱	(۳,۱,۳,۴,۳,۳,۳,۳,۴,۳,۲)
۲	(۳,۲,۴,۳,۴,۳,۴,۳,۴,۴,۲)
۳	(۴,۲,۴,۵,۵,۴,۴,۵,۴,۴,۳)
۴	(۵,۳,۵,۵,۵,۴,۴,۵,۵,۵,۴)
۵	(۶,۳,۶,۶,۶,۵,۵,۶,۶,۶,۵)

طبق روش مجموع وزنی، وزن بی مقیاس شده برای تابع هدف اول و دوم به ترتیب مقدار ۰,۱ تا ۰,۹ در نظر گرفته شده است. در این روش برای کنترل پارامترهای غیرقطعی احتمالی سطح اطمینان ۰,۹۵ و سطوح عدم قطعیت استوار مقدار ۰,۱ در نظر گرفته شده است. مدل دوهدفه پیشنهادی با کاربرد روش بهینه‌سازی مجموع وزنی برای هر یک از مسائل نمونه در ابعاد ذکر شده در نرم‌افزار GAMS حل شده است و مقادیر تابع هدف اول، دوم و زمان محاسباتی در جداول زیر نشان داده شده است. جدول (۲) میانگین نتایج تابع هدف اول، دوم و زمان محاسباتی در مسئله نمونه ۱ برای روش مجموع وزنی را نشان می‌دهد.

جدول (۲): میانگین نتایج محاسباتی برای مسئله نمونه ۱

روش حل	w	ρ	α	تابع هدف اول	تابع هدف دوم	زمان محاسباتی
۰,۱				۲۶۹۲۲۲۶,۱۲	۰,۷۹	۳۴۳۴,۲۴
۰,۲				۲۸۷۴۱۴۴,۸۳	۰,۷۸	۳۷۴۱,۲۱
۰,۳				۲۹۱۵۴۹۴,۱۷	۰,۷۸	۳۶۰۶,۳۷
۰,۴				۳۱۱۴۹۳۴,۷۶	۰,۷۷	۳۶۵۵,۳۸
مجموع وزنی	۰,۵	۰	۰,۰۵	۳۱۲۰۱۸۲,۳۰	۰,۷۷	۳۶۰۹,۲۳
۰,۶				۳۱۹۵۲۲۸,۰۹	۰,۷۷	۳۶۱۹,۴۳
۰,۷				۳۲۲۲۱۵۸,۵۲	۰,۷۴	۳۷۶۴,۶۹
۰,۸				۳۲۲۲۶۷۰,۰۸	۰,۷۴	۳۷۳۸,۹۷
۰,۹				۳۲۳۰۸۸۵,۳۱	۰,۷۰	۳۶۶۳,۴۲

طبق نتایج به دست آمده از جدول (۲) مشاهده می‌شود با افزایش مقدار وزن تابع هدف اول، میانگین نتایج تابع هدف اول افزایش پیدا می‌کند و با افزایش مقدار وزن تابع هدف دوم، میانگین نتایج تابع هدف دوم نیز افزایش پیدا می‌کند. جدول زیر نیز تقاضای بازار اولیه، ثانویه و همچنین مقدار محصول برگشتی از بازار اولیه را برای مسئله نمونه ۱ نشان می‌دهد.

$$\rho_{LO} G_{lmkjt}^{LO} X_{klmjt} \geq -\eta_{lmkjt}^{LO}, \quad \forall l, m, k, j, t \quad (43)$$

$$\rho_{NM} G_{hncjt}^{NM} P_{nchjt} \leq \eta_{hncjt}^{NM}, \quad \forall h, n, c, j, t \quad (44)$$

$$\rho_{NM} G_{hncjt}^{NM} P_{nchjt} \geq -\eta_{hncjt}^{NM}, \quad \forall h, n, c, j, t \quad (45)$$

$$\sum_{d \in D} W_{dkjt} \geq (1 + \rho_{de}) \cdot \left(Z_{1-\alpha} \sqrt{\text{Var}_{de_{kjt}}} + \mu_{de_{kjt}} \right), \quad \forall k, j, t \quad (46)$$

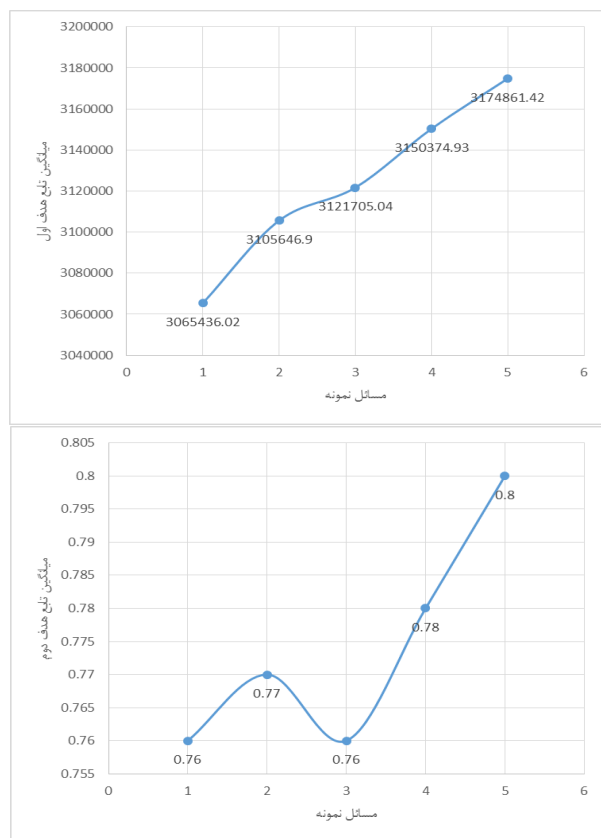
$$\sum_{n \in N} \sum_{c \in C} P_{nchjt} \geq (1 + \rho_{de}) \cdot \left(Z_{1-\alpha} \sqrt{\text{Var}_{de_{hjt-1}}} + \mu_{de_{hjt-1}} \right), \quad \forall h, j, t \quad (47)$$

$$\sum_{l \in L} \sum_{m \in M} X_{klmjt} \geq (1 + \rho_t) \cdot \left(Z_{1-\alpha} \sqrt{\text{Var}_{t_{kjt-1}}} + \mu_{t_{kjt-1}} \right), \quad \forall k, j, t \quad (48)$$

می‌بایست راه‌کاری یافت که راه‌حل ارائه شده نسبت به عدم قطعیت محیط، تاب آورد و عملکرد ناشی از آن، حداقل نوسان را داشته باشد [۲۱]. در برنامه‌ریزی احتمالی، عدم قطعیت بر حسب توابع احتمال گسسته و یا پیوسته بیان می‌شود در حالی که در بهینه‌سازی استوار برای پارامترها بازه‌های استوار تعریف می‌شود. فخرزاد و همکاران در طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه-بسته سبب قابلیت اطمینانی را برای مراکز تأمین تحت شرایط عدم قطعیت در نظر گرفتند [۲۲]. نظری و همکار نیز از برنامه‌ریزی تولید استوار ادغامی برای مدیران ریسک‌گرای در شرایط عدم قطعیت استفاده کردند [۲۳].

۳- روش حل مدل

در این بخش، نتایج محاسباتی به منظور نشان دادن عملکرد حالت‌های مختلف مدل و روش‌های حل پیشنهادی، ارائه می‌شود. در کل، مباحث این بخش به دو بخش کلی تقسیم شده‌اند. در بخش اول مدل پیشنهادی ارائه شده در حالت احتمالی-استوار و با روش‌های تصمیم‌گیری چندهدفه مجموع وزنی به کمک نرم‌افزار GAMS حل و تحلیل حساسیت بر روی آن انجام می‌شود. در بخش دوم به دلیل NP-hard بودن مدل [۴] و عدم کارایی نرم‌افزار GAMS در حل مسائل در ابعاد بزرگ، مدل ارائه شده به کمک الگوریتم‌های چندهدفه NSGA II و MOPSO حل شده و بر اساس معیارهای مشخص، عملکرد الگوریتم‌ها مورد سنجش قرار گرفته و بهترین الگوریتم با توجه به این شاخص‌ها انتخاب می‌شود.



شکل (۱): میانگین تابع هدف اول و دوم برای هر مسئله نمونه

۳-۲- تجزیه و تحلیل مدل پیشنهادی به کمک الگوریتم‌های فراابتکاری

با توجه به نتایج به دست آمده مشاهده می‌شود، با افزایش سایز و پیچیدگی مسئله، نرم‌افزارهای دقیق (GAMS) قادر به ارائه جواب در سایزهای بزرگ‌تر از نمونه‌های اشاره شده نیست [۴]. لذا در این بخش، الگوریتم‌های فراابتکاری چندهدفه برای رفع چنین مشکلی پیشنهاد شده است. مدل پیشنهادی توسط الگوریتم‌های فراابتکاری MOPSO و NSGA II حل و با توجه به شاخص‌های مقایسه ذکر شده و با روش تاپسیس مقایسه شده‌اند.

۳-۲-۱- تنظیم پارامتر

در این پژوهش، چون هدف کمینه‌سازی فاصله از بهترین جواب RPD است، پس روش کمتر-بهتر را انتخاب می‌کنیم [۱۹]. نرم‌افزار در مرحله تجزیه و تحلیل تاگوچی، دو نمودار متوسط میانگین‌ها^۱ و متوسط نسبت S/N ^۲ برای ما رسم می‌کند که به تشریح هر یک از آن‌ها خواهیم پرداخت. روند کلی تنظیم پارامتر به روش تاگوچی بدین صورت می‌باشد: برای مثال با توجه به اینکه الگوریتم NSGA II شامل چهار فاکتور (تعداد جمعیت در هر تکرار، حداکثر تعداد تکرار، نرخ ترکیب و نرخ جهش می‌باشد) یک طراحی آزمایش مطابق جدول (۵) با سطوح پارامتر پیشنهاد شده در جدول (۶)، ۹ آزمایش مختلف انجام داده شده است. هر یک از آزمایش‌ها

جدول (۳): مقدار تقاضای بازار اولیه

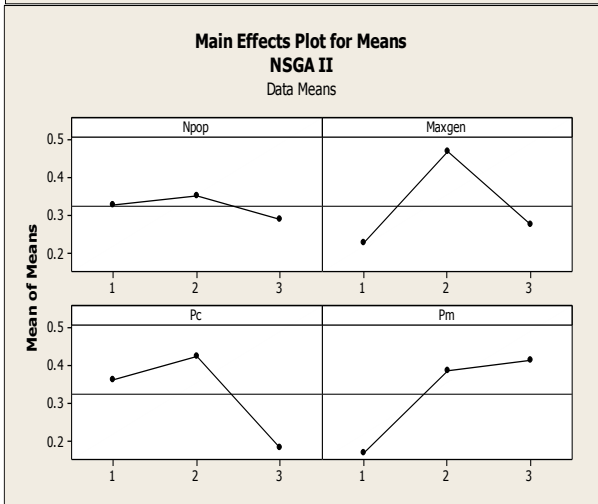
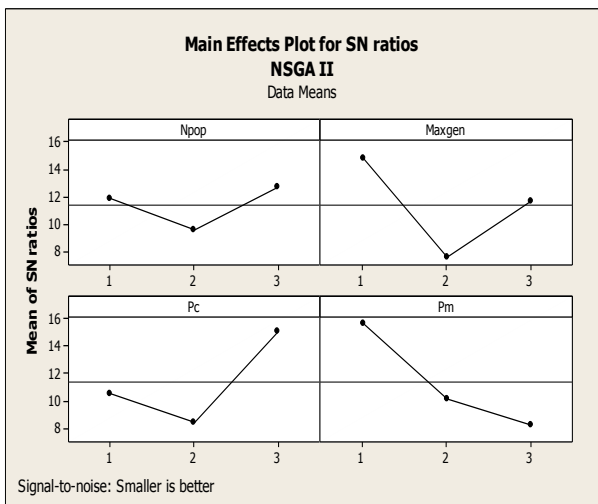
تقاضای بازار اولیه			
	دوره ۱	دوره ۲	دوره ۳
مشتری ۱	۱۴۱,۶۱	۱۵۷,۸۷	۱۵۷,۸۵
مشتری ۲	۱۱۴,۸۷	۱۵۸,۲۴	۱۳۴,۲۶
مشتری ۳	۱۲۳,۹۲	۱۱۷,۸۸	۱۵۰,۰۱
مشتری ۴	۱۳۷,۳۴	۱۵۸,۵۲	۱۱۷,۰۹

جدول (۴): مقدار تقاضای بازار ثانویه و مقدار برگشتی محصول

اولیه از بازار ثانویه			
مقدار برگشتی محصول از بازار اولیه			
	دوره ۱	دوره ۲	دوره ۳
مشتری ۱	۶۴,۶۵	۷۱,۶۷	۷۲,۳۶
مشتری ۲	۷۹,۴۷	۵۳,۰۷	۷۴,۷۳
مشتری ۳	۷۵,۷۶	۷۷,۴۷	۷۴,۲۹
مشتری ۴	۸۰,۷۸	۸۰,۰۱	۶۳,۷۶

تقاضای بازار ثانویه			
	دوره ۱	دوره ۲	دوره ۳
مشتری ۱	۱۸,۸۶	۱۴,۳۲	۱۹,۳۳
مشتری ۲	۱۳,۰۵	۱۱,۵۵	۱۴,۸۰
مشتری ۳	۱۹,۴۷	۱۲,۱۶	۲۲,۴۰
مشتری ۴	۱۱,۴۸	۲۰,۸۸	۱۱,۴۱

سایر نتایج محاسباتی به دست آمده از مسائل نمونه در شکل (۱) نشان داده شده است. شکل (۱) میانگین نتایج به دست آمده از تابع هدف اول و دوم را برای ۵ داده اسمی تولید شده در هر مسئله نمونه را نشان می‌دهد. مطابق با شکل زیر با افزایش سایز مسئله مقدار تابع هدف اول نیز به صورت نمایی افزایش می‌یابد که نشان‌دهنده NP-hard بودن مسئله می‌باشد.



شکل (۲): نمودار متوسط میانگین و متوسط نسبت S/N برای الگوریتم NSGA II

برای مثال، مطابق با شکل (۲) مشاهده می شود، در صورتی که در نمودار متوسط میانگین ها، هر پارامتر در کمترین مقدار خود قرار بگیرد، بهترین عملکرد خود را نشان خواهد داد، مطابق با شکل (۲)، در الگوریتم NSGA II، تعداد جمعیت در هر تکرار در سطح ۳، حداکثر تعداد تکرار در سطح ۱ و نرخ ترکیب و نرخ جهش به ترتیب در سطح ۳ و ۱ قرار گرفته اند.

به طور متوسط ۵ بار تکرار شده اند. قابل ذکر است fitness مربوط به هر الگوریتم، ترکیبی از شاخص های مقایسه مذکور و پس از نرمال سازی با روش RPD است.

جدول (۵): طراحی آزمایش تاگوچی برای الگوریتم های فراابتکاری

تکرار	تاگوچی	تعداد فاکتورهای آزمایش = ۴	آزمایش	طراحی
۱	۱	۱	۱	۱
۲	۲	۲	۱	۲
۳	۳	۳	۱	۳
۴	۱	۲	۳	۴
۵	۲	۳	۱	۵
۶	۳	۱	۲	۶
۷	۱	۳	۲	۷
۸	۲	۱	۳	۸
۹	۳	۲	۳	۹

جدول (۶): سطوح تنظیم پارامتر الگوریتم های پیشنهادی تک هدفه

الگوریتم	پارامتر	سطح ۱	سطح ۲	سطح ۳
NSGA II	تعداد جمعیت در هر تکرار	۸۰	۱۲۰	۲۰۰
	حداکثر تعداد تکرار	۸۰	۱۲۰	۲۰۰
	نرخ ترکیب	۰.۲	۰.۴	۰.۶
	نرخ جهش	۰.۵	۰.۷	۰.۹
	تعداد ذرات در هر تکرار	۸۰	۱۲۰	۲۰۰
MOPSO	حداکثر تعداد تکرار	۸۰	۱۲۰	۲۰۰
	ضریب سرعت اولیه	۱	۱.۵	۲
	ضریب سرعت ثانویه	۱	۱.۵	۲

جدول (۷): پارامترهای الگوریتم های فراابتکاری چندهدفه

NSGA II		MOPSO	
تعداد جمعیت	۲۰۰	تعداد ذرات در هر تکرار	۲۰۰
در هر تکرار	۸۰	حداکثر تعداد تکرار	۱۲۰
حداکثر تعداد تکرار	۲	ضریب سرعت ۱	۱
نرخ جهش	۰.۶	ضریب سرعت ۲	۰.۵
نرخ ترکیب	۰.۵		

در شکل (۲) نمودارهای متوسط میانگین ها و متوسط نسبت S/N برای الگوریتم NSGA II و در شکل (۳) نیز نمودارهای متوسط میانگین ها و متوسط نسبت S/N برای الگوریتم MOPSO نشان داده شده است.

پارتو، شاخص بی‌شترین گسترش، شاخص فاصله‌گذاری و شاخص فاصله متریک و زمان محاسباتی نشان داده شده است.

مطابق با جدول (۹) و نتایج به دست آمده، مشاهده می‌شود به‌طور میانگین تعداد جواب پارتو به دست آمده از الگوریتم NSGA II بیشتر می‌باشد. در صورتی که به‌طور میانگین شاخص فاصله متریک در الگوریتم MOPSO کمتر می‌باشد. لذا برای تعیین بهترین الگوریتم در هر سائز از روش تاپسیس برای مقایسه الگوریتم‌ها استفاده شده است. در این روش ۴ شاخص تعداد جواب پارتو، شاخص بیشتری گسترش، شاخص فاصله متریک و زمان محاسباتی انتخاب شده است. در صورتی که هر چه، شاخص اول و دوم مقدار بزرگ‌تر و شاخص سوم و چهارم مقدار کوچک‌تری اختیار کند، مناسب‌تر است.

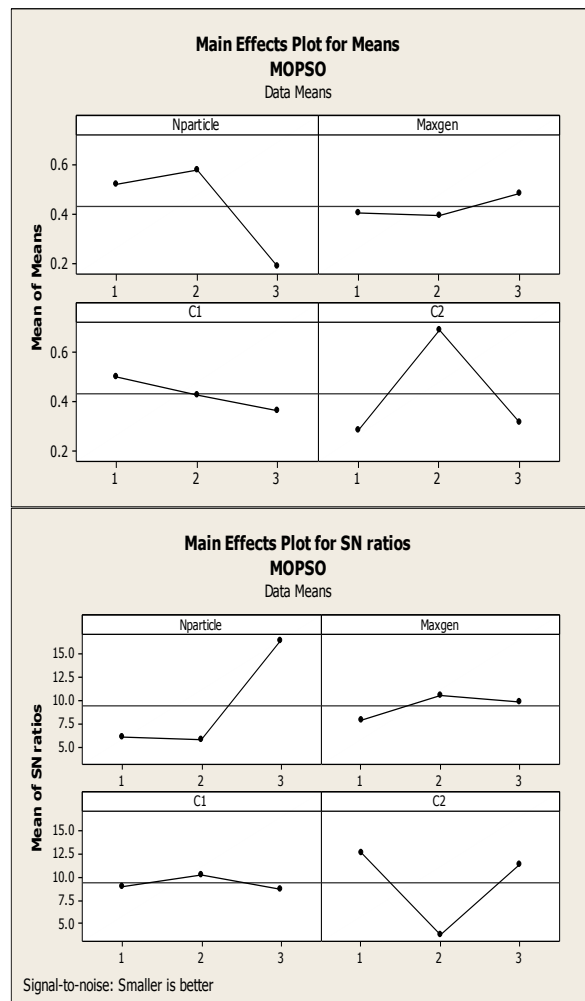
جدول (۱۰) نتایج به دست آمده از مقایسه الگوریتم‌ها به روش تاپسیس را نشان می‌دهد. در این جدول وزن هر شاخص از طریق روش آنتروپی به دست آمده است.

مطابق با نتایج به دست آمده از روش تاپسیس مشاهده می‌شود الگوریتم NSGA II نسبت به الگوریتم MOPSO کارایی بهتری را دارد.

جدول (۹): نتایج به دست آمده از مسائل نمونه طراحی شده توسط

الگوریتم‌های چندهدفه

الگوریتم	مسئله	NPF	MSI	SI	SM	CPU time
NSGA II	۱	۱۳	۳۰۷۰۲۱,۵۵	۷۴۷۰,۷۹	۰,۴	۱۷۱۳,۰۹
	۲	۸	۳۰۰۹۵۸,۴۴	۸۶۷۱,۲۹	۰,۵۹	۱۹۷۴,۴۱
	۳	۷	۳۲۰۹۷۱,۸۰	۲۹۴۳,۳۲	۰,۶۵	۲۳۷۶,۶۶
	۴	۱۰	۱۸۷۷۵۳,۷۸	۳۱۵۱,۰۰	۰,۵۵	۲۴۱۰,۶۰
	۵	۱۱	۲۹۶۹۸۳,۶۴	۶۹۴۵,۸۶	۰,۶۴	۲۶۹۹,۷۴
	۶	۱۰	۲۶۰۳۰۰,۸۶	۶۳۶۷,۰۶	۰,۳۴	۳۱۸۰,۱۹
	۷	۱۳	۲۱۷۰۶۰,۶۱	۱۰۰۱۴,۲۸	۰,۶۴	۳۶۷۰,۸۵
	۸	۹	۱۲۶۶۲۹,۴۸	۹۱۹۱,۶۴	۰,۷۸	۴۰۱۴,۰۷
	۹	۹	۳۲۰۶۴۷,۳۹	۸۶۰۹,۰۷	۰,۷۲	۴۷۳,۹۰
	۱۰	۷	۲۰۱۱۴۷,۶۴	۲۴۶۱,۹۹	۰,۲۵	۵۱۸۷,۸۵
MOPSO	۱	۸	۱۲۸۳۸۰,۱۰	۲۹۱۴,۲۸	۰,۴۲	۲۱۶۷,۲۹
	۲	۶	۳۱۴۷۱۰,۳۰	۳۰۶۷,۵۷	۰,۴۲	۲۲۵۰,۰۵
	۳	۹	۱۸۷۹۰۷,۴۱	۱۰۰۲۳,۸۴	۰,۶۱	۲۲۹۶,۱۶
	۴	۱۱	۱۷۶۴۳۲,۹۹	۱۱۴۴۱,۴۸	۰,۵۶	۳۴۰۷,۷۴
	۵	۷	۲۹۴۰۴۱,۴۹	۸۹۰۰,۴۱	۰,۶۷	۴۱۱۲,۹۶
	۶	۶	۱۰۲۶۸۷,۵۲	۲۴۹۶,۴۱	۰,۴۲	۴۲۸۱,۴۱
	۷	۶	۱۲۵۹۶,۳۱	۹۲۸۲,۷۰	۰,۳۲	۴۸۹۱,۴۲
	۸	۱۱	۲۷۳۶۵۸,۱۹	۳۲۸۱,۴۶	۰,۲۵	۵۳۴۱,۹۱
	۹	۱۲	۲۵۶۹۰۱,۶۸	۳۳۵۱,۴۳	۰,۶۶	۶۴۶۳,۴۵
	۱۰	۹	۲۳۶۷۸۶,۶۴	۸۴۷۹,۰۴	۰,۳۲	۷۵۷۹,۴۲



شکل (۳): نمودار متوسط میانگین و متوسط نسبت S/N برای الگوریتم MOPSO

۳-۲-۲- تجزیه و تحلیل الگوریتم‌های چندهدفه

برای تجزیه و تحلیل الگوریتم‌های چندهدفه، ۱۰ مسئله نمونه طبق جدول (۸) انتخاب شده است. داده‌های اسمی مدل پیشنهادی با استفاده از توزیع یکنواخت و توسط الگوریتم‌های پیشنهادی حل شده است.

جدول (۸): مسائل نمونه طراحی شده برای الگوریتم‌های بهینه‌سازی چندهدفه

مسئله	نمونه	(I , J , D , K , L , M , N , C , H , T , A)
۱	(۸,۶,۹,۱۸,۹,۶,۸,۷,۱۳,۶,۷)	۶ (۱۳,۸,۱۵,۲,۱,۵,۸,۱,۶,۸,۱,۷,۸,۹)
۲	(۸,۵,۷,۱۷,۷,۶,۷,۶,۱۰,۶,۷)	۷ (۱۵,۹,۱۵,۲۲,۱,۵,۸,۱,۷,۹,۲,۱,۹,۹)
۳	(۹,۶,۹,۱۹,۱۰,۶,۸,۷,۱۴,۷,۷)	۸ (۱۷,۹,۱۵,۲۳,۱,۶,۹,۱,۸,۹,۲,۲,۹,۱۰)
۴	(۱۰,۷,۱۲,۲۰,۱۳,۷,۱۱,۸,۱۵,۷,۸)	۹ (۱۸,۱۰,۱۶,۲۴,۲۰,۱۰,۲۰,۱۰,۲۲,۱۰,۱۰)
۵	(۱۱,۸,۱۲,۲۱,۱۴,۸,۱۵,۸,۱۶,۸,۸)	۱۰ (۱۹,۱۰,۲۰,۲۵,۲۲,۱۲,۲۲,۱۲,۲۵,۱۰,۱۰)

داده‌های هر کدام از مسائل نمونه ۱۰ بار طبق توزیع یکنواخت ایجاد و توسط الگوریتم‌های فراابتکاری حل شده‌اند. طبق شاخص‌های مقایسه ذکر شده، نتایج ۱۰ مسئله نمونه پس از حل به صورت جدول (۹) به دست آمده است. طبق این جدول شاخص‌های تعداد جواب

بین زنجیره ای: حل با رویکرد تجزیه بندرز"، *مجله مدل سازی در مهندسی*، سال پانزدهم، شماره ۴۹: ۲۱۵-۲۰۱.

[۲] فضلی خلف، محمدرضا، چهارسوقی، سید کمال و پیشوایی، میرسامان. (۱۳۹۳). "طراحی پایای شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته تحت عدم قطعیت: مطالعه موردی یک تولید کننده باتری اسیدی"، *مجله مدل سازی در مهندسی*، سال دوازدهم، شماره ۳۹: ۶۰-۴۵.

[3] Gutierrez, G. J., Kouvelis, P. and Kurawala, Abbas A. (1996). "A robustness approach to uncapacitated network design", *European Journal of Operational Research*, Vol. 94: 362-376.

[۴] بشیری، مهدی و شیرینی، مهدیه. (۱۳۹۴). "طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته با در نظر گرفتن مراکز جمع آوری چندبخشی در شرایط عدم قطعیت و حل آن با دو الگوریتم ابتکاری و فراابتکاری"، *نشریه پژوهشهای مهندسی صنایع در سیستمهای تولید*، سال سوم، شماره پنجم: ۲۷-۴۱.

[5] Acosta, FL. Jr., Quinones Hinojosa, A., Schmidt, M.H. and Weinstein, P. R. (2003). "Diagnosis and management of sacral Tarlov cysts Case report and review of the literature", *Neurosurg, Focus*, Vol. 15(2): E15.

[6] Keyvanshokoo, E., Ryan, S. M. and Kabir, E. (2015). "Hybrid robust and stochastic optimization for closed-loop supply chain network design using accelerated benders decomposition", *European Journal of operational research*, Vol. 249: 76-92.

[7] Yoshida, O. and Nishi, T., (2015). "Optimization of Multi-period Bilevel Supply Chains under Demand Uncertainty", *MANUFACTURING SYSTEMS*, Vol. 41: 508-513.

[۸] مکرونی، ندا. (۱۳۹۴). رویکرد بهینه سازی استوار برای طراحی شبکه زنجیره تأمین مدار بسته تحت عدم قطعیت، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه گیلان، دانشکده مهندسی صنایع.

[9] Jeihoonian, M., Kazemi Zanjani, M. and Gendreau, M. (2015). "Accelerating benders decomposition for closed-loop supply chain network design: case of used durable products with different quality levels", *European Journal of operational research*, Vol. 251: 830-845.

[10] Kadzinski, M., Tervonen, T., Tomczyk, M. K. and Dekker, R. (2016). "Evaluation of multi-objective optimization approaches for solving green supply chain design problems", *The International Journal of Management science*, Vol. 68: 168-184.

[11] Dinesh Kumar Kadambala, Nachiappan Subramanian, Manoj Kumar Tiwari Muhammad Abdulrahman, (2016). "Closed-loop supply chain network: designs for energy and time value efficiency", *International Journal of production economics*, Vol. 183: 382-393.

[12] Hassanpour, A., Bagherinejad, J. and Bashiri, M. (2019). "A robust leader-follower approach for closed

جدول (۱۰): نتایج به دست آمده از روش ناپسیس

وزن معیارها (روش آنترپی)				الگوریتم
w1	w2	w3	w4	
۰,۰۵۸۷	۰,۲۰۴	۰,۱۰۷۳	۰,۶۳	NSGA II > MOPSO

۴- نتیجه گیری

شبکه مورد بررسی در این پژوهش مدل سازی یک شبکه لجستیک یکپارچه مستقیم و معکوس (حلقه بسته) چندبخشی، چندهدفه، چندمحصولی، چند دوره ای به همراه ظرفیت های محدود شده و نبود قطعیت در تقاضا، هزینه و بازگشت است. این شبکه توسعه ای از مدل های مشابه قبلی است که علاوه بر آن بعضی مراکز دیگر در مدل نظیر مرکز انبار و بازرسی چندبخشی در نظر گرفته شدند و علاوه بر عدم قطعیت در تقاضا و بازگشت، هزینه نیز غیرقطعی فرض شد و در برخورد با آن از دو رویکرد احتمالی و استوار استفاده شد. نتایج حاصل بیانگر این است که این چندبخشی در نظر گرفتن مراکز جمع آوری و انبار علاوه بر اینکه باعث بهبود کیفیت محصول با زیان فنی و صرفه جویی در هزینه ها می شود، منجر به کاهش هزینه های احداث و راه اندازی نیز می گردد. هدف اصلی از چندبخشی کردن مراکز، این است که مشتری همیشه بتواند محصولی مرغوب تر و با هزینه کمتر در دسترس داشته باشد و دولت نیز به اهداف خود یعنی کاهش آسیب به محیط زیست و استفاده کمتر از منابع خام برسد. در این مقاله دو روش فراابتکاری NSGA II و MOPSO مورد استفاده و مقایسه قرار گرفتند که با توجه به شاخص های مورداستفاده و روش ناپسیس در نهایت روش NSGA II مناسب تر از روش MOPSO در این مدل نتایج را ارائه داد.

۵- پیشنهادات آتی

۱- شرایط رقابتی برای زنجیره ی تأمین در نظر گرفته شود. یعنی فرض شود که علاوه بر زنجیره ی تأمین مورد نظر، زنجیره های تأمین دیگری وجود دارند که همان کالا را ارائه نموده و زنجیره ی تأمین فوق باید حداکثر سازی سهم بازار خود با آن ها رقابت کند. باید دید در این شرایط، توابع هدف هزینه و کیفیت دچار چه تغییراتی شده و نتایج چگونه تغییر خواهد کرد.

۲- در نظر گرفتن شرایط عدم قطعیت در برخی دیگر از پارامترهای مدل هست.

۳- در نظر گرفتن مراکز چندبخشی بیشتر در مدل و بررسی اینکه چه تأثیری بر هزینه و کیفیت محصولات خواهند داشت.

۶- مراجع

[۱] فلاح، حامد، اسکندری، حمیدرضا، ذگردی، سید حسام الدین و چهارسوقی، سید کمال (۱۳۹۶). "ارایه مدل دو سطحی طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته در شرایط عدم قطعیت و رقابت

- loop supply chain network design considering returns quality levels”, *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 136: 293-304.
- [13] Shoja, A. Molla-Alizadeh-Zavardehi, S. and Niroomand, S. (2019). “Adaptive meta-heuristic algorithms for flexible supply chain network design problem with different delivery modes”, *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 138, Article 106107.
- [14] Vahdani, B. and Ahmadzadeh, E. (2019). “Designing a realistic ICT closed loop supply chain network with integrated decisions under uncertain demand and lead time”, *Knowledge-Based Systems*, Vol. 179: 34-54.
- [15] Avakh Darestani, S. and Hemmati, M. (2019). “Robust optimization of a bi-objective closed-loop supply chain network for perishable goods considering queue system”, *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 136: 277-292.
- [16] Hui Peng Master, Neng Shen, Haolan Liao, Heqiang Xue and Qunwei Wang, (2020). “Uncertainty factors, methods, and solutions of closed-loop supply chain — A review for current situation and future prospects”, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 254, Article 120032.
- [۱۷] شفیع‌نیک آبادی، محسن و عظیمی، سیدعلی، (۱۳۹۴).
 “پیش‌بینی تقاضا در زنجیره تامین با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین (مورد مطالعه: زنجیره تامین شرکت ایران خودرو)”. *مجله مدل‌سازی در مهندسی، سال سیزدهم، شماره ۴۱: ۱۳۶-۱۲۷*.
- [18] Ben-Tal, A. and Nemirovski, A., (2000). “Robust solutions of Linear Programming problems contaminated with uncertain data”, *Math. Program*, Vol. 88: 411-424.
- [19] Pishvae, M. S. and Torabi, S. A. (2010). “A possibilistic programming approach for closed-loop supply chain network design under uncertainty”, *Department of Industrial Engineering*, Vol. 161: 2668-2683.
- [20] Vahdani, B., Iranmanesh, S. H., Mousavi, S. M. and Abdollahzade, M., (2012). “A locally linear neuro-fuzzy model for supplier selection in cosmetics industry A locally linear neuro-fuzzy model for supplier selection in cosmetics industry”,
 HYPERLINK
 "http://www.sciencedirect.com/science/journal/0307904X" \o "Go to Applied Mathematical Modelling on ScienceDirect" *Applied Mathematical Modelling*, Vol. 36: 4714-4727 .
- [۲۱] قسمتی، رضا، غضنفری، مهدی و پیشواپی، میرسامان، (۱۳۹۵). “یک مدل برنامه‌ریزی فازی- احتمالی استوار برای طراحی پایای شبکه زنجیره تامین، نشریه تخصصی مهندسی صنایع، ۵۰: ۵۳-۶۸.



DOI: 10.22084/ier.2020.19919.1886

Design of Closed-Loop Supply Chain Network With Considering of Multi-Part Centers Under Uncertainty With Two Robust and Stochastic Approaches

Z. Karami Kord alivand¹, R. Sadeghian^{2*}

^{1,2} Department of Industrial Engineering, Payame Noor University, Tehran, Iran.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 10 December 2018

Accepted 11 January 2020

Keywords:

Closed-loop supply chain
Robust and stochastic
approaches
Uncertainty
Multi-part centers

ABSTRACT

An appropriate supply chain is consisting of foreign suppliers, facilities of productions, distribution centers, sales, demands and transportation. A system may be used for both reducing costs in supply chain and helping to respond customers' demands quickly. In the present study, designing a closed-loop supply chain as strategic decision considered, and as integrate designing of direct-reverse logistic system cause to prevent sub-optimization resulted by designing separated to systems, and closed-loop model used. The studied system in the research was modelling an integrated direct and reverse logistic system as multi surfaces, multi-objective, multi-production and multi-stages optimization through limited capacities and lack of assuring in demands, costs and return. So, in order to oppose lack of assuring, two stable and potential optimization strategies considered. Firstly, regarding to parameters such as demands, costs and potential return and using normal distribution, modelling suggested, and as potential strategy may loss efficiency in large sizes, stable optimization proposed to use, therefore, mix integer nonlinear programming model used, then its stable equivalent considered. The aim of present study is to minimize costs and increase quality of recyclable productions. Finally, two multi-objectives metaheuristic and genetic algorithms solved the problems through non-dominated sorting and particle swarm optimization algorithms, then the results compared. According to the obtained results, NSGA II is more suitable than MOPSO.

* Corresponding author. R. Sadeghian
Tel.: 021-22455112; E-mail address: sadeghian@pnu.ac.ir