Scientific Journal of Supply Chain Management
Vol. 25, No. 2, Summer 2023, Serial No. 79
ISSN: 2008-9198 , E-ISSN: 2717-1647

Presenting Mathematical Programming Model for Sustainable Supplier Selection and Order Allocation Using the COPRAS Method

Masoomeh Azizi Nafteh, Mahmoud Shahrokhi *

*Associate Professor Engineering Department, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran
(Received: 17/12/2022, Revised: 16/04/2023, Accepted: 31/05/2023, Published: 22/06/2023)
DOR: 20.1001.1.20089198.1402.25.79.6.0

ABSTRACT

Supplier selection is one of the most important issues related to supply chain optimization. This research aims to present an effective approach to the problem of supplier selection and order allocation in a way that takes into account supplier stability criteria on the one hand and total profit maximization on the other hand, in an environment of uncertainty. For this purpose, suppliers are first ranked based on sustainability criteria with the COPRAS multi-criteria decision -making method, which is modified to use type 2 fuzzy numbers and intuitionistic fuzzy. Then, the maximization of the obtained ranks for the selected suppliers is used as the second objective function in a bi-objective programming model, where the first objective function is the maximization of the total profit. To solve the mathematical model, the fuzzy multi-objective optimization method has been used, in which the minimum utility resulting from the fulfillment of each of the objectives is maximized. The mathematical model is solved by the fuzzy multi-objective optimization method, in which the minimum utility obtained from the fulfillment of the objectives is maximized. The proposed approach for a sample hypothetical problem has been solved accurately and by performing sensitivity analysis, the amount of change in the optimal response to changes in the main parameters of the model has been identified and investigated. The results show how to simultaneously increase the profit of the organization as much as possible and, at the same time, allocate more orders to suppliers with a higher degree of sustainability.

Keywords: Sustainable Supplier Selection, Order Allocation, COPRAS Method, Fuzzy Type 2, Fuzzy Optimization

This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license.

Publisher: Imam Hussein University © Authors

* Corresponding Author Email: shahrokhi292@yahoo.com

نشریه علمی «مدیریت زنجیره تامین»
سال بیست و پنجم، شماره ۷۹، تابستان ۱۴۰۲؛ ص ۱۰۱- ۸۷
شاپای چاپی: ۲۰۰۸-۹۱۹۸| شاپای الکترونیکی: ۲۷۱۷-۱۶۴۷
علمی ـ پژوهشی

ارائه مدل برنامه‌ریزی ریاضی برای انتخاب تامین‌کننده پایدار و تخصیص سفارش با استفاده از روش COPRAS

معصومه عزیزی نفطه[۱]، محمود شهرخی[۲]*

۱- دانشجو دکتری، ۲- دانشیار گروه مهندسی صنایع دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

DOR: 20.1001.1.20089198.1402.25.79.6.0

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۱۰

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۱/۲۷ تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۴/۰۱

چکیده

گزینش تامین‌کننده از جمله مهمترین مسائل مربوط به بهینه‌سازی زنجیره‌تامین است. هدف این پژوهش ارائه یک رویکرد کارآ برای مسئله گزینش تامین‌کننده و تخصیص سفارش است به گونه‌ای که از یک سو معیارهای پایداری تامین‌کننده و از سوی دیگر بیشینه‌سازی سود کل، در محیط عدم قطعیت را مدنظر قرار می‌دهد. برای این منظور، نخست با روش تصمیم‌گیری چندمعیاره COPRAS، که برای استفاده از اعداد فازی نوع ۲ نقطه‌ای و فازی شهودی تغییر یافته است، تامین‌کنندگان بر پایه معیارهای پایداری رتبه‌بندی می‌شوند. سپس حداکثر کردن رتبه‌های بدست آمده برای تامین‌کنندگان برگزیده به عنوان تابع هدف دوم در یک مدل برنامه‌ریزی دو هدفه مورد استفاده قرار می‌گیرد، جایی که تابع هدف اول بیشینه‌سازی سود کل است. برای حل مدل ریاضی از روش بهینه‌سازی چندهدفه فازی استفاده شده است که در آن کمینه مطلوبیت حاصل از برآورده شدن هر یک از اهداف، بیشینه می‌شود. مدل ریاضی با روش بهینه‌سازی چندهدفه فازی حل شده است که در آن مینیمم مطلوبیت حاصل از برآورده شدن اهداف بیشینه می‌شود. رویکرد پیشنهادی برای یک مسئله فرضی نمونه به صورت دقیق حل شده و با انجام تحلیل حساسیت، میزان تغییر پاسخ بهینه نسبت به تغییرات پارامترهای اصلی مدل مشخص شده و مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که چگونه می‌توان به طور همزمان تا حد امکان، سود سازمان را افزایش داده و در عین حال، سفارش بیشتری به تامین‌کنندگان دارای درجه پایداری بالاتر تخصیص داد.

واژه‌های کلیدی: گزینش تامین‌کننده پایدار، تخصیص سفارش، روش کوپراس، فازی نوع ۲، بهینه‌سازی فازی

۱- مقدمه

مسئله انتخاب تامین‌کننده مواد اولیه و قطعات مورد نیاز واحدهای تولیدی یکی از بخش‌های مهم طراحی زنجیره‌تامین است[۱]. عوامل گوناگونی وجود دارند که سازمان‌ها را به استفاده از مدیریت زنجیره‌تامین پایدار (SSCM) و با قابلیت اطمینان بالا، به ویژه در بخش‌های فرادستی زنجیره‌تامین، سوق می‌دهند. این عوامل می‌توانند عوامل داخلی مانند دیدگاه مدیریت ارشد، مشوق‌های پایدار تامین‌کنندگان و نیازهای مشتریان و یا عوامل خارجی همچون مقررات قانونی، ماهیت فعالیت بازرگانی، رقبا و اقدامات سهامداران و سازمان‌های مردم نهاد باشند. در این مقاله با توجه به ادبیات موضوع، رویکرد ریاضی جدیدی در زمینه استفاده از تصمیم‌گیری گروهی برای گزینش تامین‌کننده پایدار (SS) و تخصیص سفارش ارائه شده است. مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره برپایه روش تصمیم‌گیری چندمعیاره COPRAS ایجاد شده است که برای ایجاد امکان تاثیر اعتبار خبرگان اصلاح شده است.

در ادامه یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی توسعه داده شده است که در قالب یک مدل برنامه‌ریزی دو هدفه از یک سو، سود حاصل از تولید محصول را بیشینه کرده و از سوی دیگر، رتبه بدست آمده از روش COPRAS را برای تامین‌کنندگان برگزیده بیشینه می‌کند. نسخه اولیه کوپراس برای تصمیم‌گیری در شرایط قطعی توسعه یافته بود ولی از آنجا که غیرقطعی بودن یک ویژگی اجتناب‌ناپذیر در تصمیم‌گیری است، بعدها این روش برای استفاده از شرایط عدم قطعیت نیز بهبود داده شد.

ساماندهی مطالب مقاله بدین گونه است که در ادامه ادبیات و پیشینه پژوهش مرور می‌شود. سپس بیان مسئله به همراه مفروضات آن انجام گرفته و مدل ریاضی پیشنهادی توضیح داده می‌شود. در ادامه مثال‌های محاسباتی توسعه یافته و جواب‌های حاصل از روش‌های حل آن‌ها مورد آزمون قرار گرفته و با انجام تحلیل حساسیت ضمن بررسی درستی نتایج حل مدل، اثر تغییر متغییرهای اصلی در تغییر پاسخ بهینه نشان داده شده است. در پایان، نتیجه‌گیری و پیشنهادهای آینده و نهایتا فهرست منابع مورد استفاده در پژوهش آورده شده است.

* رایانامه نویسنده مسئول: shahrokhi292@yahoo.com

* این مقاله یک مقاله با دسترسی آزاد است که تحت شرایط و ضوابط مجوز Creative Commons Attribution (CC BY) توزیع شده است.
ناشر: دانشگاه جامع امام حسین (ع) © نویسندگان

۱-۱- گزینش تامین‌کننده پایدار

یکی از مسائل مهم در طراحی یک زنجیره‌تامین، مسئله گزینش تامین‌کننده است. مسئله انتخاب تأمین‌کننده شامل تجزیه تحلیل و اندازه‌گیری عملکرد مجموعه‌هایی از تامین‌کنندگان به منظور رتبه‌بندی آنها با هدف بهبود وضعیت رقابتی در کل سیستم تامین است. در واقع انتخاب تامین‌کننده مناسب کلید اصلی به دست آوردن کیفیت مطلوب، قیمت مناسب، سطح لازم حمایت فنی و سطح مطلوب خدمات است. انتخاب از میان تامین‌کنندگان در واقع یک مسئله تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM[1]) است که نیاز به یک رویکرد ساختار یافته و سیستمی دارد.

در انتخاب تامین‌کننده پایدار علاوه بر کاهش هزینه بر برآورده کردن معیارهای زیست‌محیطی و اجتماعی نیز تاکید می‌شود[۲] و توسعه مدیریت زنجیره‌تامین پایدار (SSCM[2]) علاوه بر موفقیت‌های زنجیره‌تامین در فضای کسب و کار می‌تواند به عنوان راهکار مناسبی برای توسعه پایدار به خصوص در کشورهای درحال توسعه نیز مورد استفاده قرار گیرد. به طور کلی می‌توان گفت که انتخاب تامین‌کنندگان پایدار در بلندمدت، به ایجاد مزیت رقابتی در کل زنجیره‌تامین می‌انجامد.

۱-۲- روش کوپراس (COPRAS)

کوپراس یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) است که بهترین گزینه را در بین مجموعه‌ای از گزینه‌های عملی با تعیین راه‌حل با نسبت راه‌حل ایده‌آل و نسبت با بدترین راه‌حل اختصاص می‌دهد.

۱-۳- مجموعه‌های فازی نوع ۲

نظریه مجموعه‌های فازی ارائه شده توسط زاده در سال ۱۹۶۵ توانست با همان فرم اولیه خود افق جدیدی را برای رویارویی با ابهام و عدم‌قطعیت ارائه کند وی همچنین در سال ۱۹۷۵ مجموعه‌های فازی نوع ۲ را به عنوان تعمیم مجموعه‌های فازی نوع ۱ پیشنهاد داد. در مجموعه‌های فازی نوع ۲، به هر درجه عضویت در مجموعه‌های فازی معمولی، یک درجه عضویت ثانویه در بازه [۰، ۱] تخصیص داده می‌شود. از این رو، مجموعه‌های فازی نوع ۲ در مقایسه با مجموعه‌های نوع ۱، در مدل‌سازی عدم‌اطمینان دقیق‌تر بوده و علاوه بر انعکاس بهتر نظر تصمیم‌گیرندگان، آزادی عمل بیشتری را نیز برای آن‌ها ایجاد می‌کند.

۲- مرور ادبیات

در این قسمت، پژوهش‌های پیشین مرتبط با موضوع پژوهش بررسی می‌گردد.

۲-۱- گزینش تامین‌کننده در زنجیره‌تامین پایدار

آگرون و همکاران [۳] عوامل گوناگونی وجود دارند که سازمان‌ها را به استفاده از SSCM، به ویژه در بخش‌های فرادستی زنجیره‌تامین سوق می‌دهند. این عوامل می‌توانند عوامل داخلی مانند دیدگاه مدیریت ارشد، مشوق‌های پایدار تامین‌کنندگان و نیازهای مشتریان و یا عوامل خارجی همچون مقررات قانونی، ماهیت فعالیت بازرگانی، رقبا و اقدامات سهامداران و سازمان‌های مردم نهاد باشند.

عمرسمان و همکاران [۴] یک راه حل مناسب برای مسئله گزینش تامین‌کننده پایدار در یک مدل چندهدفه با استفاده از اهدف فازی، مبتنی بر اعداد فازی فاصله‌ی نوع۲ یافتند. امین دوست و همکاران [۵] معیارهای گزینش تامین‌کننده پایدار و زیرمعیارهای آن را تعیین و براساس آن یک روش ارزیابی و رتبه‌بندی تامین‌کنندگان را پیشنهاد دادند. در فرآیند ارزیابی، برای بیان ذهنیت تصمیم‌گیرندگان، منطق فازی استفاده و یک روش رتبه‌بندی جدید براساس مجموعه فازی شهودی (FIS) برای مسئله گزینش تامین‌کننده پیشنهاد شد. زیمر و همکاران [۵] به تحلیل و بررسی متون علمی در زمینه مدیریت تامین‌کننده پایدار پرداخته و یک چارچوب برای آن پیشنهاد و یک تحلیل محتوایی جامع از آن ارائه دادند. فلاح‌پور و همکاران [۶] با هدف توسعه مهم‌ترین و کاربردی‌ترین معیارها و زیرمعیارهای گزینش تامین‌کننده پایدار اطلاعات را از طریق یک نظرسنجی مبتنی بر پرسشنامه گردآوری و آزمون‌های آماری مختلف تثبیت‌شده را به کار گرفتند. معماری و همکاران [۷] یک روش TOPSIS فازی شهودی برای گزینش تامین‌کننده پایدار با ۹ معیار اصلی و ۳۰ معیار فرعی برای تولیدکننده قطعات یدکی خودرو ارایه دادند. رویکرد پیشنهادی یک رتبه‌بندی برای تامین‌کنندگان پایدار و یک راه‌حل برای منبع‌یابی پایدار فراهم می‌کرد که از طریق یک مطالعه موردی در دنیای واقعی تایید شد. آزادنیا و همکاران [۸] یک رویکرد یکپارچه از روش فازی وزن‌دار مبتنی بر فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی و برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه را برای گزینش تامین‌کننده پایدار و تخصیص سفارش در ترکیب با مسئله تعیین اندازه دسته محصولات چند دوره‌ای ارائه دادند. مدل برنامه‌ریزی ریاضی شامل چهار تابع

[1] Multi-criteria decision making
[2] Sustainable supply chain management

هدف؛ شامل: به حداقل رساندن هزینه کل و به حداکثر رساندن نمرات اجتماعی، زیست‌محیطی و اقتصادی بود.

۲-۲- گزینش تامین‌کننده با روش COPRAS

اسماعیلی و همکاران [۹] به ارایه یک مدل مناسب تصمیم‌گیری چندمعیاره درشرایط عدم قطعیت و با استفاده از مفاهیم تئوری فازی و کوپراس خاکستری برای انتخاب بهینه تامین‌کننده پرداختند. آن‌ها نخست اوزان معیارهای گزینش تامین‌کننده با استفاده ازروش فرایند تحلیل سلسله مراتبی دلفی فازی (FDAH[1]) تعیین و سپس با استفاده ازروش کوپراس خاکستری (COPRAS- G[2]) تامین‌کنندگان را رتبه‌بندی کردند.

قاسمی و همکاران [۱۰] تامین‌کنندگانی که بیشترین توان بالقوه را در برآورده ساختن نیازهای شرکت دارند را با صرف هزینه معقولانه، شناسایی کردند. صائمیان و همکاران [۱۱] به گزینش تامین‌کنندگان برتر در برون سپاری پروژه‌های فناوری اطلاعات بر مبنای جنبه‌های ملموس و غیرملموس در شرکت همراه اول پرداختند.

۲-۳- COPRAS فازی فاصله‌ای نوع۲

قوربایی و همکاران [۱۲] یک رویکرد تصمیم‌گیری گروهی چندمعیاره را بر اساس روش COPRAS با استفاده از مجموعه‌ی فازی فاصله‌ای نوع ۲ ارائه دادند که در آن به هر مجموعه فازی نوع ۱ ارائه شده توسط هر تصمیم‌گیرنده یک درجه عضویت ثانویه تخصیص دادند. رانی و همکاران [۱۲] رویکردی برای انتخاب گزینه بهینه، مبتنی بر COPRAS با استفاده از مفهوم مجموعه فازی مردد (HFS[3]) پیشنهاد کردند. آن‌ها برای تعیین وزن معیارها براساس ترجیحات متخصصان، از روش SWAR[4] توسعه یافته استفاده کردند و در مرحله بعد، برای نشان دادن کارایی و عملی بودن روش پیشنهادی، یک مطالعه موردی تجربی تحت محیط مبهم فازی انجام دادند.

۳- روش تحقیق

در این بخش نخست مسئله پژوهش تعریف می‌گردد و در ادامه، مفروضات آن بیان می‌شود. هدف پژوهش گزینش تامین‌کننده پایدار و تخصیص سفارش به تامین‌کنندگان با بیشترین مطلوبیت است. زنجیره‌تامین مورد بررسی در این پژوهش ۳ سطحی بوده و شامل تعداد مشخصی تامین‌کننده، یک تولیدکننده و تعداد مشخصی مراکز توزیع است که بلافصل با مشتریان در رابطه بوده و ضمن فروش محصول نهایی به آن‌ها، محصولات مستعمل را نیز از آن‌ها دریافت می‌کند.

۴- مفروضات مسئله

مفروضات زیر در این مسئله درنظر گرفته شده‌اند:

- زنجیره‌تامین مورد نظر شامل تامین‌کنندگان، یک تولیدکننده، تعدادی مرکز توزیع (نماینده) و جمع‌آوری محصولات مستعمل می‌باشد.
- برای سادگی مراکز جمع‌آوری محصولات مستعمل در محل مراکز توزیع و مرکز بازیافت در محل تولید مستقر می‌شوند.
- هزینه انتقال هر محصول مستعمل از مرکز جمع‌آوری به واحد تولیدی مشخص است.
- محل جمع‌آوری محصولات مستعمل به انتخاب تولید-کننده مشخص می‌شود.
- هزینه انتقال محصولات مستعمل از مشتری به هریک از محل‌های جمع‌آوری ناچیز و برعهده مشتری است.
- محصول بازیافت شده در محل تولید با قیمت مشخص به خریداران فروخته می‌شود.
- هر محصول تنها یک بار قابل بازیافت است.
- محل تحویل قطعات خریداری شده درون واحد تولیدی است و بنابراین، هزینه حمل نیز بر عهده تامین‌کنندگان است.
- برای هرقطعه یا ماده به کارگرفته شده در تولید محصول، تامین‌کنندگانی با قیمت، قابلت اطمینان، فاصله و قابلیت بازیافتی متفاوت، وجود دارند.
- قابلیت اطمینان محصول تابعی از قابلیت‌اطمینان قطعات آن است که به صورت عددی از آمار گذشته استخراج می‌شود.
- تولید تک‌محصولی است و محصول از مواد و قطعات مختلفی تشکیل شده است.
- برای هر یک از مواد اولیه تامین‌کنندگان مشخصی وجود دارد.
- کمبود محصول مجاز است.
- هزینه تولید محصول تابعی از مواد اولیه انتخابی است.
- ظرفیت تامین‌کنندگان محدود است.
- محصولات مستعمل در پایان همان دوره تولید به وسیله توزیع‌کنندگان گردآوری و به شرکت‌های دارای صلاحیت جهت بازیافت (با صرف هزینه مشخص) تحویل داده می‌شوند.

1Fuzzy Delphi Analytical Hierarchy Process
2Complex Proportional Assessment of alternative with Greyrelations
3hesitant fuzzy set
4Step-wise Weight Assessment Ratio Analysis

- مواد بازیافت شده در همان دوره مجددا به تولیدکننده تحویل داده می‌شود.
- برخی مواد بازیافت شده یا مجددا در تولید همان دوره استفاده شده و یا به فروش می‌رسند.
- قیمت فروش مواد بازیافت شده نسبتی از قیمت خرید آن‌ها است.
- تقاضای کل برابر جمع تقاضای مراکز توزیع است.
- هزینه حمل مواد از هر تامین‌کننده در قیمت مواد لحاظ شده است.
- برنامه‌ریزی به صورت تک دوره‌ای انجام می‌شود.
- فاصله زمانی تحویل همه تامین‌کنندگان برای همه قطعات برابر و ناچیز است.
- هزینه تولید محصول ثابت و مستقل از تامین‌کننده قطعات است.
- قیمت فروش محصول در همه مراکز عرضه ثابت و مشخص است.

۵- مدل ریاضی

هدف پژوهش گزینش تامین‌کننده پایدار و تخصیص سفارش به آن‌ها با بیشترین مطلوبیت است. نظرات کارشناسان در مورد وزن معیارهای گزینش تامین‌کنندگان و همچنین امتیاز تامین‌کنندگان بیان می‌شود. میزان اعتبار کارشناسان برای نظر دادن در هر معیار متفاوت است که این موضوع توسط وزنی که تحلیلگر مسئله به هریک از آن‌ها تخصیص می‌دهد منعکس می‌گردد. تامین‌کنندگان براساس معیارهای پایداری و با استفاده از روش COPRAS اولویت‌بندی می‌گردند. آنگاه این مقادیر در مدل برنامه‌ریزی ریاضی استفاده شده و برمبنای آن مقادیر سفارشات تخصیص می‌یابند.

فرض کنید C مجموعه‌ی معیارها ($C = \{C_1, C_2, \dots, C_m\}$) و A مجموعه‌ی گزینه‌ها ($A = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$) باشد و همچنین k تصمیم‌گیرنده ($D_1, D_2, \dots, D_k$) به صورت گروهی در تصمیم‌گیری مشارکت دارند.

در این بخش نخست نمادها و نشانه‌های به کار رفته بیان شده و سپس مدل ریاضی ارائه می‌گردد.

۵-۱- متغیرهای تصمیم

o_{ni}	اندازه‌ی سفارش تخصیص‌یافته به تامین قطعه n از تامین‌کننده i
ξ_h	میزان تقاضای تامین شده مرکز توزیع h
y_h^F	متغیر باینری، برابر ۱ اگر در مرکز توزیع h مرکز جمع‌آوری نیز احداث شود و صفر در غیر اینصورت
x_h^F	مقدار محصولات مستعمل جمع‌آوری در مرکز توزیع h که بازیافت می‌شوند
y_i	متغیر صفر و یک گزینش تامین‌کننده‌ی i

۵-۲- پارامترهای مدل

i	شمارنده تامین‌کنندگان (i=1, 2, ...,I)
A	مجموعه تامین‌کنندگان $\boldsymbol{A} = \{\boldsymbol{A_1}, \boldsymbol{A_2}, \dots, \boldsymbol{A_I}\}$
n	شمارنده قطعات تشکیل‌دهنده‌ی محصول (n=1, 2, ...,N)
h	شمارنده مرکز توزیع (h=1, 2, ..., H)
k	شمارنده کارشناس (k=1,2,.., K)
V	قیمت محصول
λ_{ni}	نسبت ضایعات قطعه n تامین شده از تامین‌کننده i
D_h	تقاضای مرکز توزیع h
P_{ni}	قیمت نهایی خرید قطعه n از نامین کننده i
y_h^F	متغیر باینری، برابر ۱ اگر در مرکز توزیع h مرکز جمع‌آوری نیز احداث شود و صفر در غیر اینصورت
C_h^P	درآمد حاصل از انتقال هر واحد محصول مستعمل از مرکز توزیع h به واحد تولیدی، بازیافت و فروش مجدد آن
C_h^F	هزینه احداث مرکز جمع‌آوری در مرکز توزیع h
α	نسبت محصولات مستعمل جمع‌آوری و بازیافت شده
g	شمارنده تابع هدف در مدل برنامه‌ریزی ریاضی (g=1,2, ...,G)
j	شمارنده معیار در مدل کوپراس (j=1,2, ...,J)
$\tilde{\tilde{x}}_{ijk}$	ارزش وزن داده شده عملکرد گزینه $\boldsymbol{A_i}$ در معیار $\boldsymbol{C_j}$ در مدل کوپراس (j=1,2, ...,J) از نظر تصمیم‌گیرنده k
x_{ij}	میانگین ارزش عملکرد گزینه $\boldsymbol{A_i}$ در معیار $\boldsymbol{C_j}$
$\bar{y}$	میانگین ماتریس تصمیم
$\dot{w}_j^k$	ماتریس وزن معیار j توسط کارشناس k به صورت متغیرهای کلامی
$\tilde{\tilde{w}}_j^k$	ماتریس وزن معیار j توسط کارشناس k به صورت فازی نوع ۲
w_j^k	ماتریس وزن معیار j توسط کارشناس k به صورت معمولی
$\bar{W}$	ماتریس میانگین وزنی معیارها
$\tilde{e}_{ij}$	مقدار امتیاز نرمالیز شده $\tilde{\tilde{\boldsymbol{x}}}_{\boldsymbol{ij}}$

$\tilde{\tilde{S}}_{+i}$ مجموع وزن‌های نرمالیز شده برای معیارهای سودمند

$\tilde{\tilde{S}}_{-i}$ مجموع وزن‌های نرمالیز شده برای معیارهای غیر سودمند

J شمارنده معیار(j=1,2...J)

C مجموعه معیارهای گزینش تامین‌کننده پایدار در مدل COPRAS، ($\boldsymbol{C}=\{\boldsymbol{C_1},\boldsymbol{C_2},\dots,\boldsymbol{C_J}\}$)

$\tilde{\tilde{\tilde{W}}}$ ماتریس میانگین وزنی معیارهای گزینش تامین‌کننده پایدار در مدل COPRAS، $\tilde{\tilde{\tilde{\boldsymbol{W}}}}=\{\tilde{\tilde{\boldsymbol{w}}}_{\boldsymbol{1}},\tilde{\tilde{\boldsymbol{w}}}_{\boldsymbol{2}},\dots,\tilde{\tilde{\boldsymbol{w}}}_{\boldsymbol{J}}\}$

E مجموعه کارشناسان ($\boldsymbol{E}=\{\boldsymbol{E_1},\boldsymbol{E_2},\dots,\boldsymbol{E_K}\}$)

$\dot{e}_k$ میزان اعتبار کارشناس $\boldsymbol{E_k}$ به صورت عبارت کلامی

$\hat{\tilde{e}}_k$ میزان اعتبار کارشناس $\boldsymbol{E_k}$ به صورت عدد فازی شهودی

μ_k درجه عضویت در مجموعه فازی شهودی میزان اعتبار کارشناس $\boldsymbol{E_k}$

π_k درجه تردید در مجموعه فازی شهودی میزان اعتبار کارشناس $\boldsymbol{E_k}$

ϑ_k درجه عدم عضویت در مجموعه فازی شهودی میزان اعتبار کارشناس $\boldsymbol{E_k}$

$\ddot{e}_k$ میزان اعتبار کارشناس $\boldsymbol{E_k}$ به صورت عدد معمولی

$\bar{\tilde{\tilde{e}}}_k$ میزان نرمال شده اعتبار کارشناس $\boldsymbol{E_k}$ به صورت عدد شهودی در تحلیل نهایی

$\bar{e}_k$ میزان نرمال شده اعتبار کارشناس $\boldsymbol{E_k}$ به صورت عدد معمولی

$\tilde{\tilde{D}}^k$ ماتریس تصمیم از نظر کارشناس $\boldsymbol{E_k}$

$\tilde{\tilde{a}}_{ijk}$ امتیاز داده شده توسط کارشناس $\boldsymbol{E_k}$ در معیار $\boldsymbol{C_j}$ برای تامین‌کننده $\boldsymbol{A_i}$ در مدل COPRAS به صورت عدد فازی نوع ۲ که از متغیر کلامی بدست آمده است

$\tilde{\tilde{E}}$ ماتریس تصمیم نرمالی وزندار بصورت عدد فازی نوع ۲

U_i رتبه نهایی تامین‌کننده‌ی i در مدل COPRAS

λ_{ni} نسبت ضایعات قطعه n از تامین‌کننده i

μ_n ضریب مصرف قطعه n در محصول

U_i امتیاز نهایی تامین‌کننده (گزینه) i در مدل COPRAS

ω_{ni} ظرفیت تامین‌کننده i برای تامین قطعه n

y_i متغیر صفر و یک گزینش تامین‌کننده‌ی i

C_h^T هزینه‌ی حمل یک واحد محصول از تولیدکننده به توزیع کننده h

B محدودیت بودجه در دسترس برای خرید مواد و حمل محصول

۵-۳- تعیین رتبه پایداری تامین‌کنندگان

در این بخش، نخست مدل کوپراس اصلاح شده ارائه می‌شود. این مدل برای امکان استفاده از متغیرهای کلامی و اعمال نظر تحلیل‌گر در مورد اعتبار تصمیم‌گیرندگان بهبود داده شده است.

فرض کنید C مجموعه‌ای از معیارها، $C=\{C_1,C_2,\dots,C_J\}$ و A مجموعه‌ای از تامین‌کننده‌ها، $A=\{A_1,A_2,\dots,A_I\}$ باشد و همچنین مجموعه کارشناسان $E=\{E_1,E_2,\dots,E_K\}$ به صورت گروهی در تصمیم مشارکت دارند. در ادامه، روش گزینش تامین‌کننده برتر، با بهبود روش ارائه شده توسط قوربایی و همکاران پیشنهاد می‌شود. در مدل پیشنهادی جدول تصمیم‌گیری مدل کوپراس، با درنظر گرفتن تصمیم‌گیری گروهی و ارزش‌گذاری نظر هر یک از اعضا به فرم جدول ۱ خواهد بود.

جدول (۱). ماتریس تصمیم‌گیری گروهی کوپراس و ارزش‌گذاری نظر هریک از کارشناسان

	C1				C2				…			C_J			
	تصمیم‌گیرندگان				تصمیم‌گیرندگان				…			تصمیم‌گیرندگان			
	E_1	E_2	…	E_K	E_1	E_2	…	E_K	…	…	…	E_1	E_2	…	E_K
	$\dot{w}_1$	$\dot{w}_2$	…	$\dot{w}_K$	$\dot{w}_1$	$\dot{w}_2$	…	$\dot{w}_K$				$\dot{w}_1$	$\dot{w}_2$	…	$\dot{w}_K$
	$\dot{e}_1$	$\dot{e}_2$	…	$\dot{e}_K$	$\dot{e}_1$	$\dot{e}_2$	…	$\dot{e}_K$	…	…	…	$\dot{e}_1$	$\dot{e}_2$	…	$\dot{e}_K$
A_1	$\tilde{\tilde{a}}_{111}$	$\tilde{\tilde{a}}_{112}$	…	$\tilde{\tilde{a}}_{11K}$	$\tilde{\tilde{a}}_{121}$	$\tilde{\tilde{a}}_{122}$	…	$\tilde{\tilde{a}}_{12K}$	…	…	…	$\tilde{\tilde{a}}_{1J1}$	$\tilde{\tilde{a}}_{1J2}$	…	$\tilde{\tilde{a}}_{1JK}$
A_2	$\tilde{\tilde{a}}_{211}$	$\tilde{\tilde{a}}_{212}$	…	$\tilde{\tilde{a}}_{21K}$	$\tilde{\tilde{a}}_{221}$	$\tilde{\tilde{a}}_{222}$	…	$\tilde{\tilde{a}}_{22K}$	…	…	…	$\tilde{\tilde{a}}_{2J1}$	$\tilde{\tilde{a}}_{2J2}$	…	$\tilde{\tilde{a}}_{2JK}$
…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
A_I	$\tilde{\tilde{a}}_{I11}$	$\tilde{\tilde{a}}_{I12}$	…	$\tilde{\tilde{a}}_{I1K}$	$\tilde{\tilde{a}}_{I21}$	$\tilde{\tilde{a}}_{I22}$	…	$\tilde{\tilde{a}}_{I2K}$	…	…	…	$\tilde{\tilde{a}}_{IJ1}$	$\tilde{\tilde{a}}_{IJ2}$	…	$\tilde{\tilde{a}}_{IJK}$

که در آن $\ddot{e}_k$ اعتبار کارشناس kام از دید پژوهشگر است و به صورت اصطلاح زبانی بیان می‌شوند. در ادامه این عبارات به اعداد فازی شهودی $\hat{\tilde{e}}_k = \{\mu_k, \nu_k, \pi_k\}$ تبدیل می‌شوند. در ادامه گام‌های روش پیشنهادی توضیح داده می‌شوند.

مرحله ۱. میزان اعتبار هر کارشناس با استفاده از رابطه زیر نرمالیز می‌شود:

$$\bar{e}_k = \frac{\ddot{e}_k}{\sum_{k=1}^{K} \ddot{e}_k} \qquad k = 1,2,...K$$

مرحله ۲. سپس امتیاز هر گزینه در هر معیار با ضرب میزان اعتبار نرمالیز شده هر کارشناس در $\tilde{a}_{ijk}$ مربوطه محاسبه می‌شود.

$$\tilde{\tilde{x}}_{ijk} = \bar{e}_k \tilde{\tilde{a}}_{ijk} \qquad \begin{matrix} i=1,2,\ldots,I, & j=1,2,..,J, \\ k=1,2,,..,K \end{matrix}$$

مرحله ۳. ماتریس تصمیم از نظر هر تصمیم‌گیرنده به صورت زیر ساخته می‌شود.

$$\widetilde{\tilde{D}}^k = \left[\tilde{\tilde{x}}_{ijk}\right]_{I\times J} \qquad k=1,2,,..,K$$

مرحله ۴. میانگین ماتریس تصمیم $\tilde{\tilde{\bar{Y}}}$ به صورت زیر ساخته می‌شود.

$$\tilde{\tilde{x}}_{ij} = \frac{\tilde{\tilde{x}}_{ij1} \oplus \tilde{\tilde{x}}_{ij2} \oplus \ldots\ldots \oplus \tilde{\tilde{x}}_{ijK}}{K} \qquad \begin{matrix} I=1,2,....I \\ ,j=1,2,....J \end{matrix}$$

$$\tilde{\tilde{\bar{Y}}} = \left[\tilde{\tilde{x}}_{ij}\right]_{I\times J} \qquad i=1,2,\ldots,I,\ j=1,2,..J$$

بطوریکه $\tilde{\tilde{x}}_{ij}$ میانگین ارزش عملکرد گزینه A_j از هر معیار C_i می‌باشد.

مرحله ۵. ماتریس وزن $\widetilde{\tilde{W}}^k$ معیارها از نظر تصمیم‌گیرنده kام به صورت زیر نمایش داده می‌شود.

$$\widetilde{\tilde{W}}^k = \left[\widetilde{\tilde{w}}_j^k\right]_{J\times 1} \qquad k=1,2,..K$$

مرحله ۶. ماتریس میانگین وزنی $\widetilde{\tilde{\bar{W}}}$ به صورت زیر نمایش داده می‌شود.

$$\widetilde{\tilde{\bar{w}}}_j = \left(\frac{(\widetilde{\tilde{w}}_j^1 \oplus \widetilde{\tilde{w}}_j^2 \oplus \ldots \oplus \widetilde{\tilde{w}}_j^k)}{K}\right) \qquad J=1,2,\ldots,J$$

$$\widetilde{\tilde{\bar{W}}} = \left[\widetilde{\tilde{w}}_j\right]_{J\times 1}$$

مرحله ۷. میانگین ماتریس تصمیم نرمالیز شده N به صورت زیر تعیین می‌شود. در این قسمت از روابط مربوط به عملیات فازی ارائه شده در (قوربائی و همکاران ۲۰۱۴) استفاده شده است.

$$\tilde{\tilde{n}}_{ij} = \frac{\tilde{\tilde{x}}_{ij}}{\tilde{\tilde{x}}_{1j} \oplus \tilde{\tilde{x}}_{2j} \oplus \ldots \oplus \tilde{\tilde{x}}_{Ij}} \qquad \begin{matrix} i=1,2,\ldots,I, \\ j=1,2,..J \end{matrix}$$

مرحله ۸. ماتریس تصمیم نرمالیز وزندار شده به صورت زیر تعیین می‌شود.

$$\tilde{\tilde{e}}_{ij} = \tilde{\tilde{n}}_{ij} \otimes \widetilde{\tilde{w}}_j \qquad i=1,2,\ldots,I,\ j=1,2,..J$$

$$\tilde{\tilde{E}} = \left[\tilde{\tilde{e}}_{ij}\right]_{I\times J}$$

مرحله ۹. مقدار مجموع وزن نرمالیز شده برای هردو معیارهای سودمندی $\tilde{\tilde{S}}_{+i}$ و غیرسودمند $\tilde{\tilde{S}}_{-i}$ به صورت زیر نشان داده می‌شود.

$$\tilde{\tilde{S}}_{+i} = (\tilde{\tilde{e}}_{+i1} \oplus \tilde{\tilde{e}}_{+i2} \oplus \ldots \oplus \tilde{\tilde{e}}_{+iJ}) \qquad i=1,2,\ldots,I$$

$$\tilde{\tilde{S}}_{-i} = (\tilde{\tilde{e}}_{-i1} \oplus \tilde{\tilde{e}}_{-i2} \oplus \ldots \oplus \tilde{\tilde{e}}_{-iJ}) \qquad i=1,2,\ldots,I$$

بطوریکه $\tilde{\tilde{e}}_{+ij}$ و $\tilde{\tilde{e}}_{-ij}$ به ترتیب مقداروزن نرمالیز شده برای معیارهای سودمند و غیرسودمند است. هرچقدر مقدار بزرگتر $\tilde{\tilde{e}}_{+ij}$ و $\tilde{\tilde{e}}_{-ij}$ کوچکتر باشد، آن گزینه بهتر است. به عبارتی مقادیر $\tilde{\tilde{S}}_{+i}$ و $\tilde{\tilde{S}}_{-i}$ درجه‌ای از تامین اهداف اصلی را به وسیله‌ی هر گزینه توصیف می‌شود.

مرحله ۱۰. مقادیر رتبه‌بندی برای هر دو $\tilde{\tilde{S}}_{+i}$ و $\tilde{\tilde{S}}_{-i}$ به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$Rank\left(\tilde{\tilde{S}}_{+i}\right) = \frac{\left(\sum_{i'=1}^{I} P\left(\tilde{\tilde{S}}_{+i} \geq \tilde{\tilde{S}}_{+i'}\right) + \frac{I}{2} - 1\right)}{I(I-1)} \qquad i=1,2,\ldots,I$$

$$Rank\left(\tilde{\tilde{S}}_{-i}\right) = \frac{\left(\sum_{i'=1}^{I} P\left(\tilde{\tilde{S}}_{-i} \geq \tilde{\tilde{S}}_{-i'}\right) + \frac{I}{2} - 1\right)}{I(I-1)} \qquad i=1,2,\ldots,I$$

که در آن $P\left(\tilde{\tilde{S}}_{+i} \geq \tilde{\tilde{S}}_{+i'}\right)$ و $P\left(\tilde{\tilde{S}}_{-i} \geq \tilde{\tilde{S}}_{-i'}\right)$ مقادیر امکان‌پذیری بوده و از روابط ارائه شده در (قوربایی و همکاران ۲۰۱۴) محاسبه می‌شوند.

مرحله ۱۱. اهمیت نسبتی Q_i برای هر گزینه به صورت زیر نشان داده می‌شود.

$$Q_i = Rank\left(\tilde{\tilde{S}}_{+i}\right) + \frac{\sum_{i=1}^{I}\left(Rank\left(\tilde{\tilde{S}}_{-i}\right)\right)}{Rank(\tilde{\tilde{S}}_{-i})\sum_{i=1}^{I}\left(\frac{1}{Rank\left(\tilde{\tilde{S}}_{-i}\right)}\right)} \qquad i=1,2,\ldots,I$$

مرحله ۱۲. در این مرحله مقدارتابع سودمندی U_i محاسبه می‌شود. با مقایسه‌ی اهمیت نسبی همه‌ی گزینه‌ها با بیشترین کارآمدی درجه مطلوبیت گزینه‌ها به صورت زیر نشان داده می‌شود.

$$U_i = \left(\frac{Q_i}{Q_{Max}}\right) \times 100 \qquad i=1,2,\ldots,I$$

جایی که Q_{Max} مقدار ماکسیمم اهمیت نسبی را نشان

می‌دهد. هر چقدر U_i مقدار بزرگتر باشد، گزینه A_i بیشتر ترجیح داده می‌شود.

۵-۴- مدلسازی برنامه‌ریزی ریاضی مسئله

$$Max\ Z_1 = V\sum_h \xi_h + \sum_h x_h^F C_h^P - \sum_n\sum_i o_{ni}P_{ni} - \sum_h \xi_h C_h^T - \sum_h y_h^F C_h^F$$

$$Max\ Z_2 = \sum_n\sum_i U_i\, o_{ni}$$

Subjected to:

$$\xi_h \le D_h \qquad \forall h$$

$$o_{ni} \le \omega_{ni} \qquad \forall i, \forall$$

$$\sum_h \xi_h \le \sum_i \mu_n \frac{o_{ni}}{(1+\lambda_{ni})} \qquad \forall n$$

$$\sum_h y_h^F C_h^F + \sum_h \xi_h C_h^T + \sum_n\sum_i o_{ni}P_{ni} \le B$$

$$\sum_h x_h^F \le \alpha\left(\sum_h \xi_h y_h^F\right)$$

$$x_h^F, \xi_h \ge 0$$

$$o_{ni} \ge 0 \qquad \forall i, \forall n$$

$$y_h^F \in \{0,1\}$$

در مدل بالا، رابطه ۱۸ تابع هدف اول مسئله سود کل را ماکزیمم می‌کند. این سود شامل مجموع درآمد فروش محصولات اصلی و بازیافتی منهای هزینه‌های خرید قطعات، حمل محصولات و احداث مراکز بازیابی است.

رابطه ۱۹ تابع هدف دوم مسئله یعنی مجموع امتیاز سفارش به تامین‌کنندگان را که از مدل کوپراس محاسبه شده است را ماکزیمم می‌کند. این تابع هدف به گونه‌ای عمل می‌کند که تا حد امکان سفارش بیشتری به تامین‌کنندگان دارای درجه اولویت بالاتر تخصیص یابد.

رابطه ۲۰ محدودیت تقاضای مراکز توزیع را اعمال می‌کند. مقدار سمت راست در این رابطه معادل دیفازی شده تقاضای تخمین زده شده برای هر یک از مراکز توزیع است.

رابطه ۲۱ میزان سفارش تخصیص یافته به هر یک از تامین‌کنندگان را به ظرفیت آن‌ها محدود می‌کند.

رابطه ۲۲ مشخص می‌کند که میزان سفارش انجام شده برای هر یک از قطعات باید با توجه به ضریب مصرف آن، نسبت ضایعات و میزان کل تقاضای محصول در مراکز توزیع محاسبه شود.

رابطه ۲۳ هزینه‌های انجام شده را به سقف بودجه محدود می‌کند. در این رابطه با توجه به تاخیر دریافت حاصل از بازیافت محصولات، این درآمد از هزینه اولیه کسر نشده است.

رابطه ۲۴ سهم قابل بازیافت از محصولات را به ضریبی از کل محصولات تولیدی محدود می‌کند.

۵-۵- مدل‌سازی برنامه‌ریزی ریاضی دوهدفه فازی

در روش بهینه‌سازی دو هدفه فازی، هدف کلی ماکزیمم کردن مطلوبیت حاصل از هر دو تابع هدف است. برای اینکار نخست برای هر یک از توابع هدف به تنهایی و بدون درنظر گرفتن تابع هدف دیگر، یکبار مسئله را به صورت ماکزیمم کردن و بار دیگر به صورت مینیمم کردن حل می‌کنیم. نتایج به صورت ۴ عدد بوده که آن‌ها را به صورت زیر یادداشت می‌کنیم:

m_1 پاسخ بهینه مسئله با هدف مینیمم‌سازی تابع هدف اول، بدون درنظرگرفتن تابع هدف دوم

M_1 پاسخ بهینه مسئله با هدف ماکزیمم‌سازی تابع هدف اول، بدون درنظرگرفتن تابع هدف دوم

m_2 پاسخ بهینه مسئله با هدف مینیمم‌سازی تابع هدف دوم، بدون درنظرگرفتن تابع هدف اول

M_2 پاسخ بهینه مسئله با هدف ماکزیمم‌سازی تابع هدف دوم، بدون درنظرگرفتن تابع هدف اول

در ادامه میزان مطلوبیت حاصل از مقادیر تابع هدف را در قالب روابط زیر تعریف می‌کنیم:

$$L1 = \frac{Z_1 - m_1}{M_1 - m_1}$$

$$L2 = \frac{Z_2 - m_2}{M_2 - m_2}$$

که در آن‌ها:

L_1 پاسخ بهینه تابع هدف اول، در مسئله دوهدفه (نشان داده شده در مدل بالا)

L_2 پاسخ بهینه تابع هدف دوم، در مسئله دوهدفه (نشان داده شده در مدل بالا)

Z_1 مطلوبیت حاصل از پاسخ بهینه تابع هدف اول، در مسئله دوهدفه (نشان داده شده در مدل بالا)

Z_2 مطلوبیت حاصل از پاسخ بهینه تابع هدف دوم، در مسئله دوهدفه (نشان داده شده در مدل بالا)

در ادامه تابع مطلوبیت کلی به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$Z = Min(Z_1, Z_2)$$

با بیشینه کردن مقدار Z هر دو تابع هدف به طور همزمان و متناسب بیشینه می‌گردند.

به این ترتیب مدل کلی حل مسئله به صورت دو هدفه فازی به صورت زیر خواهد بود:

$$Max\ Z$$

Subjected to:

$$\xi_h \le d\left(\tilde{D}_h\right) \qquad \forall h$$

$$o_{ni} \le \omega_{ni} \qquad \forall i, \forall n$$

$$\sum_h \xi_h \ \le \sum_i \mu_n \frac{o_{ni}}{(1+\lambda_{ni})} \qquad \forall n$$

$$\sum_h y_h^F C_h^F + \sum_h \xi_h C_h^T + \sum_n \sum_i o_{ni} P_{ni} \le B$$

$$\sum_h x_h^F \le \alpha\left(\sum_h \xi_h y_h^F\right)$$

$$L1 = V\sum_h \xi_h + \sum_h x_h^F C_h^P - \sum_n \sum_i o_{ni}\left[d\left(\tilde{\tilde{P}}_{ni}\right)\right] - \sum_h \xi_h C_h^T - \sum_h y_h^F C_h^F$$

$$L2 = \sum_n \sum_i U_i\, o_{ni}$$

$$Z_1 = \frac{L1 - m1}{M1 - m1}$$

$$Z_2 = \frac{L2 - m2}{M2 - m2}$$

$$Z = Min((Z_1)^{\rho_1}, (Z_2)^{\rho_2})$$

$$x_h^F, \xi_h \ge 0 \qquad \forall h$$

$$o_{ni} \ge 0 \qquad \forall i, \forall n$$

$$y_h^F \in \{0,1\} \qquad \forall h$$

Z1=114466.615

Z2= 5373.705

۶- حل مثال عددی و تحلیل مدل

در بخش قبل، یک رویکرد ریاضی برای حل مسئله پژوهش ارائه شد. در ادامه، برای نشان دادن نحوه استفاده از این رویکرد، همه مراحل آن برای یک مسئله فرض پیاده‌سازی و نتایج حاصل از اجرای آن مورد تحلیل و بحث قرار می‌گیرد. مسئله مورد بحث مقدار بهینه سفارش قطعات به ۳ تامین‌کننده پیشنهادی را تعیین می‌کند. برای اینکار با استفاده از روش کوپراس که توسط پژوهشگر برای استفاده از داده‌های غیرقطعی بهبود داده شده است، به هر یک از تامین‌کنندگان یک رتبه پایداری تعلق می‌گیرد. آنگاه این رتبه‌ها، به همراه پیش‌بینی قیمت قطعات مصرفی برای محصول و تقاضای آن در دوره آتی که به ترتیب به صورت متغیرهای فازی نوع ۲ و فازی شهودی تخمین زده شده‌اند، در یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی دو هدفه وارد می‌شود. با حل این مدل میزان بهینه سفارش به تامین‌کنندگان مشخص می‌شود. با انجام تحلیل حساسیت مدل، بر روی نتایج بهینه بدست آمده از حل آن، مهمترین پارامترهای مسئله شناسائی و میزان اثرگذاری آن‌ها بر نتایج بهینه مشخص می‌گردد.

۶-۱- مثال عددی

یک محصول که از ۳ قطعه تشکیل شده است ($n=3$). همه این قطعات از ۳ تامین‌کننده تهیه می‌شوند که قیمت، میزان ضایعات، امتیاز اجتماعی و زیست محیطی آن‌ها داده شده است.

جدول (۲). متغیرهای زبانی مورد استفاده برای ارزیابی اهمیت معیارها

متغیر زبانی	مجموعه فازی نوع دو نقطه‌ای
Very Low (VL)	((0,0,0,0/1;1,1),(0,0,0,0/05;0/9,0/9))
Low (L)	((0,0/1,0/15,0/3;1,1),(0/05,0/1,0/15,0/2;0/9,0/9))
Medium low (ML)	((0/1,0/3,0/35,0/5;1,1),(0/2,0/3,0/35,0/4;0/9,0/9))
Medium (M)	((0/3,0/5,0/55,0/7;1,1),(0/4,0/5,0/55,0/6;0/9,0/9))
Medium high (MH)	((0/5,0/7,0/75,0/9;1,1)),(0/6,0/7,0/75,0/8;0/9,0/9))
High (H)	((0/7,0/85,0/9,1;1,1)),(0/8,0/85,0/9,0/95;0/9,0/9))
Very high (VH)	((0/9,1,1,1;1,1),(0/95,1,1,1;0/9,0/9))

جدول (۳). متغییرهای زبانی برای بیان اعتبار نظر تصمیم‌گیرندگان

متغیرهای زبانی	مجموعه فازی شهودی
Very Important (VI)	(0/90, 0/10)
Important (I)	(0/75, 0/20)
Medium (M)	(0/50, 0/45)
Unimportant (U)	(0/35, 0/60)
VeryUnimportant(VU)	(0/10, 0/90)

جدول (۴) میزان اعتبار نظر هرکارشناس در هر معیار را نشان می‌دهد.

جدول (۴). میزان اعتبار کارشناس در هر معیار

	DM1	DM2	DM3
معیار اول	I	VI	VM
معیار دوم	MH	M	M
معیار سوم	U	VU	VM

جدول (۵) وزن معیارهای تعیین شده توسط این تصمیم گیرندگان را نشان می‌دهد.

جدول (۵). وزن معیارها

معیارها	تصمیم‌گیرندگان		
	D_1	D_2	D_3
اقتصادی	VH	MH	VH
اجتماعی	MH	M	M
محیط زیستی	H	H	MH

در جدول (۶) رتبه‌بندی سه نامزد داده شده توسط تصمیم گیرندگان تحت معیارهای مختلف نشان داده شده است.

جدول (۶). رتبه‌بندی نامزدها تحت معیارهای مختلف

معیارها	گزینه‌ها	تصمیم‌گیرندگان		
		D_1	D_2	D_3
اقتصادی	A_1	L	ML	MH
	A_2	H	H	VH
	A_3	MH	M	M
اجتماعی	A_1	VH	H	H
	A_2	ML	ML	VL
	A_3	M	M	ML
محیط زیستی	A_1	M	ML	M
	A_2	L	L	VL
	A_3	ML	L	L

اکنون با استفاده از معادله (۱) میزان اعتبار هر کارشناس نرمالیز می‌شود، نتایج آن در جدول (۷) نشان داده می‌شود.

جدول (۷). مقادیر نرمالیز شده اعتبار کارشناسان

		اقتصادی			اجتماعی			محیط زیستی		
		گروه تصمیم‌گیرنده			گروه تصمیم‌گیرنده			گروه تصمیم‌گیرنده		
		k=1	k=2	k=3	k=1	k=2	k=3	k=1	k=2	k=3
اعتبار کارشناس	اصلی	۰/۳۴۸	۰/۳۴۸	۰/۳۰۵	۰/۳۴۸	۰/۳۴۸	۰/۳۰۵	۰/۳۴۸	۰/۳۴۸	۰/۳۰۵
	E	۰/۳۵	۰/۳۵	۰/۳۰	۰/۳۵	۰/۳۵	۰/۳۰	۰/۳۵	۰/۳۵	۰/۳۰
A_1		L	ML	MH	VH	H	H	M	ML	M
A_2		H	H	VH	ML	ML	VL	L	L	VL
A_3		MH	M	M	M	M	ML	ML	L	L

سپس با استفاده از معادله ۲ و۳ و جدول (۷) ماتریس تصمیم M_1, M_2 و M_3 برای گزینه‌های A_1, A_2, A_3 به‌ترتیب ساخته می‌شود.

$$M_1 = \begin{bmatrix} 0/35L & 0/35H & 0/35MH \\ 0/35VH & 0/35ML & 0/35M \\ 0/35M & 0/35L & 0/35ML \end{bmatrix}$$

$$M_2 = \begin{bmatrix} 0/35ML & 0/35H & 0/35M \\ 0/35H & 0/35ML & 0/35M \\ 0/35ML & 0/35L & 0/35L \end{bmatrix}$$

$$M_3 = \begin{bmatrix} 0/30MH & 0/30VH & 0/30M \\ 0/30H & 0/30VL & 0/30ML \\ 0/30M & 0/30VL & 0/30L \end{bmatrix}$$

بر پایه اطلاعات مرحله‌ی قبل و معادله‌ی ۴ و ۵ ما می‌توانیم میانگین ماتریس تصمیم $\bar{Y}$ را به‌صورت زیر نشان دهیم:

$$\bar{y} = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & X_{13} \\ X_{21} & X_{22} & X_{23} \\ X_{31} & X_{32} & X_{33} \end{bmatrix}$$

نتایج آن در جدول (۸) ارائه می‌شود.

جدول (۸). میانگین ماتریس تصمیم

	$\tilde{X}_{ij}^{L}$						$\tilde{X}_{ij}^{U}$					
	X_{1ij}^{L}	X_{2ij}^{L}	X_{3ij}^{L}	X_{4ij}^{L}	$H_1(\tilde{X}_{ij}^{l})$	$H_2(\tilde{X}_{ij}^{L})$	X_{1ij}^{U}	X_{2ij}^{U}	X_{3ij}^{U}	X_{4ij}^{U}	$H_1(\tilde{X}_{ij}^{U})$	$H_2(\tilde{X}_{ij}^{U})$
X_{11}	۰/۰۹	۰/۱۲	۰/۱۳	۰/۱۵	۰/۳	۰/۳	۰/۰۶	۰/۱۲	۰,۱۳	۰/۱۸	۰/۳۳	۰/۳۳
X_{12}	۰/۲۸	۰/۳۰	۰/۳۱	۰/۳۲	۰/۳	۰/۳	۰/۲۵	۰/۳۰	۰/۳۱	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۳
X_{13}	۰/۱۶	۰/۱۹	۰/۲۱	۰/۲۲	۰/۳	۰/۳	۰/۱۲	۰/۱۹	۰/۶۲	۰/۲۶	۰/۳۳	۰/۳۳
X_{21}	۰/۲۸	۰/۱۸	۰/۳۱	۰/۳۲	۰/۳	۰/۳	۰/۲۶	۰/۳۰	۰/۳۱	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۳
X_{22}	۰/۰۵	۰/۰۷	۰/۰۸	۰/۱۰	۰/۳	۰/۳	۰/۰۲	۰/۰۷	۰/۰۸	۰/۱۲	۰/۳۳	۰/۳۳
X_{23}	۰/۳۴	۰/۱۵	۰/۱۷	۰/۱۸	۰/۳	۰/۳	۰/۰۸	۰/۱۵	۰/۱۶	۰/۲۱	۰/۳۳	۰/۳۳
X_{31}	۰/۱۱	۰/۱۴	۰/۱۶	۰/۱۸	۰/۳	۰/۳	۰/۰۸	۰/۱۴	۰/۱۶	۰/۲۱	۰/۳۳	۰/۳۳
X_{32}	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۳	۰/۳	۰	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۸	۰/۳۳	۰/۳۳
X_{33}	۰/۰۳	۰/۰۶	۰/۰۷	۰/۰۹	۰/۳	۰/۳	۰/۱۲	۰/۰۶	۰/۰۷	۰/۱۲	۰/۳۳	۰/۳۳

با توجه به جدول (۵) و معادله ۶ ماتریس وزن W_1, W_2 و W_3 به ترتیب زیر ساخته می‌شود:

حال، با توجه به مرحله‌ی قبل و معادله (۷) و (۸) میانگین ماتریس وزن $\bar{W}$ به‌صورت زیر است.

$$W_1=\begin{bmatrix} VH \\ MH \\ H \end{bmatrix}, W_2=\begin{bmatrix} MH \\ M \\ H \end{bmatrix}, W_3=\begin{bmatrix} VH \\ M \\ MH \end{bmatrix}$$

جدول (۹). میانگین ماتریس وزن ($\bar{W}$)

	$\tilde{W}_{ij}^{L}$						W_{ij}^{U}					
	W_{1ij}^{L}	W_{2ij}^{L}	W_{3ij}^{L}	W_{4ij}^{L}	$H_1(\tilde{W}_{ij}^{l})$	$H_2(\tilde{W}_{ij}^{L})$	W_{1ij}^{U}	W_{2ij}^{U}	W_{3ij}^{U}	W_{4ij}^{U}	$H_1(\tilde{W}_{ij}^{U})$	$H_2(\tilde{W}_{ij}^{U})$
$\tilde{W}_1$	۰/۸۳	۰/۹۰	۰/۹۲	۰/۹۳	۰/۹	۰/۹	۰/۷۷	۰/۹۰	۰/۹۲	۰/۹۷	۱/۰۰	۱/۰۰
$\tilde{W}_2$	۰/۴۷	۰/۵۷	۰/۶۲	۰/۶۷	۰/۹	۰/۹	۰/۰۳۷	۰/۵۷	۰/۶۲	۰/۷۷	۱/۰۰	۱/۰۰
$\tilde{W}_3$	۰/۷۳	۰/۸۰	۰/۸۵	۰/۹۰	۰/۹	۰/۹	۰/۶۳	۰/۸۰	۰/۸۵	۰/۹۷	۱/۰۰	۱/۰۰

بر اساس جدول (۸) و معادلات ۹ میانگین ماتریس تصمیم نرمالیز شده N به صورت زیر ساخته می‌شود.

جدول (۱۰). ماتریس تصمیم نرمالیز شده (N)

	$\tilde{n}_{ij}^{L}$						$\tilde{n}_{ij}^{U}$					
	n_{1ij}^{L}	n_{2ij}^{L}	n_{3ij}^{L}	n_{4ij}^{L}	$H_1(\tilde{n}_{ij}^{l})$	$H_2(\tilde{n}_{ij}^{L})$	n_{1ij}^{U}	n_{2ij}^{U}	n_{3ij}^{U}	n_{4ij}^{U}	$H_1(\tilde{n}_{ij}^{U})$	$H_2(\tilde{n}_{ij}^{U})$
$\tilde{\tilde{n}}_{11}$	۰/۱۳	۰/۱۲	۰/۱۸	۰/۱۳	۰/۳	۰/۳	۰/۰۸	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۰۸	۰/۳۳	۰/۳۳
$\tilde{\tilde{n}}_{12}$	۰/۴۱	۰/۴۶	۰/۴۶	۰/۴۰	۰/۳	۰/۳	۰/۳۲	۰/۲۸	۰/۲۸	۰/۳۲	۰/۳۳	۰/۳۳
$\tilde{\tilde{n}}_{13}$	۰/۲۳	۰/۲۹	۰/۲۹	۰/۲۳	۰/۳	۰/۳	۰/۱۶	۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۱۶	۰/۳۳	۰/۳۳
$\tilde{\tilde{n}}_{21}$	۰/۴۷	۰/۳۲	۰/۳۲	۰/۴۲	۰/۳	۰/۳	۰/۳۹	۰/۵۴	۰/۵۴	۰/۳۹	۰/۳۳	۰/۳۳
$\tilde{\tilde{n}}_{22}$	۰/۰۷	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۰۷	۰/۳	۰/۳	۰/۰۳	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۰۳	۰/۳۳	۰/۳۳
$\tilde{\tilde{n}}_{23}$	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۳	۰/۳	۰/۱۲	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۱۲	۰/۳۳	۰/۳۳
$\tilde{\tilde{n}}_{31}$	۰/۳۴	۰/۵۴	۰/۵۴	۰/۳۴	۰/۳	۰/۳	۰/۱۹	۰/۵۴	۰/۵۴	۰/۱۹	۰/۳۳	۰/۳۳
$\tilde{\tilde{n}}_{32}$	۰/۰۳	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۳	۰/۳	۰/۳	۰	۰/۰۸	۰/۰۸	۰	۰/۳۳	۰/۳۳
$\tilde{\tilde{n}}_{33}$	۰/۰۹	۰/۲۳	۰/۲۳	۰/۰۹	۰/۳	۰/۳	۰/۲۹	۰/۲۷	۰/۲۳	۰/۲۹	۰/۳۳	۰/۳۳

براساس جدول (۹) و (۱۰)، معادلات ۱۰ و ۱۱ می‌توانیم ماتریس تصمیم وزن نرمالیز شده (E) به صورت زیر نشان دهیم.

جدول (۱۱). ماتریس تصمیم وزن نرمالیز شده (E)

	$\tilde{e}_{ij}^{U}$						$\tilde{e}_{ij}^{L}$					
	e_{1ij}^{U}	e_{2ij}^{U}	e_{3ij}^{U}	e_{4ij}^{U}	$H_1(\tilde{e}_{ij}^{U})$	$H_2(\tilde{e}_{ij}^{U})$	e_{1ij}^{L}	e_{2ij}^{L}	e_{3ij}^{L}	e_{4ij}^{L}	$H_1(\tilde{e}_{ij}^{l})$	$H_2(\tilde{e}_{ij}^{L})$
$\tilde{\tilde{e}}_{11}$	۰/۰۶	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۰۸	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۷	۰/۱۲	۰/۳	۰/۳
$\tilde{\tilde{e}}_{12}$	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۶	۰/۳۱	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۴۱	۰/۴۲	۰/۳۸	۰/۳	۰/۳
$\tilde{\tilde{e}}_{13}$	۰/۱۲	۰/۱۶	۰/۱۷	۰/۱۵	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۱۹	۰/۲۶	۰/۲۷	۰/۲۱	۰/۳	۰/۳
$\tilde{\tilde{e}}_{21}$	۰/۱۴	۰/۳۱	۰/۳۳	۰/۳۰	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۲۰	۰/۸۰	۰/۲۰	۰/۳۱	۰/۳	۰/۳
$\tilde{\tilde{e}}_{22}$	۰/۰۱	۰/۰۷	۰/۰۸	۰/۰۲	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۰۳	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۵	۰/۳	۰/۳
$\tilde{\tilde{e}}_{23}$	۰/۰۴	۰/۱۵	۰/۱۷	۰/۰۹	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۱۳	۰/۱۵	۰/۱۷	۰/۱۸	۰/۳	۰/۳
$\tilde{\tilde{e}}_{31}$	۰/۰۷	۰/۲۳	۰/۴۶	۰/۱۸	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۲۵	۰/۴۳	۰/۴۶	۰/۳۱	۰/۳	۰/۳
$\tilde{\tilde{e}}_{32}$	۰	۰/۰۶	۰/۰۷	۰	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۰۲	۰/۰۶	۰/۰۷	۰/۰۳	۰/۳	۰/۳
$\tilde{\tilde{e}}_{33}$	۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۲۳	۰/۲۸	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۰۶	۰/۱۸	۰/۱۹	۰/۰۸	۰/۳	۰/۳

بر اساس جدول (۱۱) و معادلات ۱۲ و ۱۳ S_{+i} و S_{-i} محاسبه شود. نتایج آن در جدول (۱۲) و (۱۳) نشان داده می‌شود.

جدول (۱۲). مقادیر $\tilde{\tilde{S}}_{+i}^{U}$

	$\tilde{S}_{+i}^{U}$						$\tilde{S}_{+i}^{L}$					
	S_{+i1}^{U}	S_{+i2}^{U}	S_{+i3}^{U}	S_{+i4}^{U}	$H_1(\tilde{S}_{+i}^{U})$	$H_2(\tilde{S}_{+i}^{U})$	S_{+i1}^{L}	S_{+i2}^{L}	S_{+i3}^{L}	S_{+i4}^{L}	$H_1(\tilde{S}_{+i}^{L})$	$H_2(\tilde{S}_{+i}^{L})$
$\tilde{\tilde{S}}_{+1}$	۰/۲۱	۰/۵۴	۰/۷۹	۰/۴۸	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۴۵	۱/۲۳	۰/۶۶	۰/۶۶	۰/۳	۰/۳
$\tilde{\tilde{S}}_{+2}$	۰/۰۱	۰/۱۳	۰/۱۵	۰/۰۲	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۰۵	۰/۱۳	۰/۱۴	۰/۰۸	۰/۳	۰/۳
$\tilde{\tilde{S}}_{+3}$	۰/۲۲	۰/۳۳	۰/۴۰	۰/۳۷	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۱۹	۰/۳۳	۰/۳۶	۰/۲۶	۰/۳	۰/۳

جدول (۱۳). مقادیر $\tilde{\tilde{S}}_{-i}^{U}$

	$\tilde{S}_{+i}^{U}$						$\tilde{S}_{+i}^{L}$					
	S_{-i1}^{U}	S_{-i2}^{U}	S_{-i3}^{U}	S_{-i4}^{U}	$H_1(\tilde{S}_{-i}^{U})$	$H_2(\tilde{S}_{-i}^{U})$	S_{-i1}^{L}	S_{-i2}^{L}	S_{-i3}^{L}	S_{-i4}^{L}	$H_1(\tilde{S}_{-i}^{L})$	$H_2(\tilde{S}_{-i}^{L})$
$\tilde{\tilde{S}}_{-1}$	۰/۰۶	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۰۸	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۷	۰/۱۲	۰/۳	۰/۳
$\tilde{\tilde{S}}_{-2}$	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۶	۰/۳۱	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۴۱	۰/۴۲	۰/۳۸	۰/۳	۰/۳
$\tilde{\tilde{S}}_{-3}$	۰/۱۲	۰/۱۶	۰/۱۷	۰/۱۵	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۱۹	۰/۲۶	۰/۲۷	۰/۲۱	۰/۳	۰/۳

براساس جدول (۱۲) و (۱۳) و معادله ۱۴ و ۱۵ مقادیر رتبه‌بندی S_{+i} و S_{-i} محاسبه شده در جدول (۱۴) نشان داده می‌شود.

جدول (۱۴). رتبه‌بندی S_{+i} و S_{-i}

i	$Rank\ S_{+i}$	$Rank\ S_{-i}$
۱	۰/۵۸	۰/۵۱
۲	۰/۴۶	۰/۵۰
۳	۰/۵۳	۰/۵۶

در این مرحله مقدار Q_i و U_i با استفاده از رابطه‌ی ۱۶ و ۱۷ و جدول (۱۴) محاسبه شده و نتایج آن درجدول (۱۵) نشان داده می‌شود.

جدول (۱۵). مقادیر Q_i و U_i

i	Q_i	U_i
۱	۱/۱۲	۱۰۰
۲	۱/۰۱	۹۰/۱۸
۳	۱/۰۲	۹۱/۰۷

با توجه به جدول (۱۵) رتبه‌بندی نهایی بهینه گزینه‌ها به صورت زیر می‌باشد:

$$A_1 \succ A_3 \succ A_2$$

۷- سایر پارامترهای مدل برنامه‌ریزی ریاضی

سایر پارامترهای مدل به شرح زیر هستند:

تامین کننده (i)	امتیاز پایداری (U_i)	شماره قطعه (n)	پیش بینی قیمت P_{ni}	ظرفیت تامین (ω_{ni})	نسبت ضایعات (λ_{ni})
۱	۱۰۰	۱	۱۴۲/۳۸	۴۵	۰/۰۳
		۲	۱۱۳/۳	۶۰	۰/۰۲۵
		۳	۱۳۸	۵۰	۰/۰۴
۲	۹۰/۱۸	۱	۱۳۰/۵	۲۵	۰/۳۵۰
		۲	۱۰۵	۳۵	۰/۰۲
		۳	۱۳۵	۷۰	۰/۰۴
۳	۹۱/۰۷	۱	۱۴۰/۳	۳۰	۰/۰۳
		۲	۱۲۵	۵۰	۰/۰۱
		۳	۱۳۳	۱۵	۰,۰۱

همچنین اطلاعات زیر داده شده است:

قیمت هر واحد محصول(V)	۱۰۰۰۰۰
نسبت محصولات مستعمل جمع‌آوری و بازیافت شده (α)	۰/۹۵
محدودیت بودجه در دسترس برای خرید مواد و حمل محصول (B)	۱۰۰۰۰۰۰

با حل مسئله نرم‌افزار گمز جواب بهینه مسئله به صورت زیر بدست می‌آید:

Z_1	۱۰۸۷۲۰۰۰
O_{11}	۴۵
O_{21}	۲۵
O_{31}	۳۰
ξ_1	۳۷/۳۹۲
x_1^F	۲۳/۶۲۴

O_{12}	۶۰
O_{22}	۳۵
O_{32}	۵۰
ξ_2	۳۳/۱۲۰
x_2^F	۲۳/۶۰۹

Z_2	۳۵۸۷۵/۰۵
O_{13}	۵۰
O_{23}	۷۰
O_{33}	۱۵
ξ_3	۲۸/۶۳۰
x_3^F	۲۳/۶۳۷

۸- تحلیل حساسیت مدل ریاضی

در این مرحله اثر تغییر مقدار پارامترهای مثال بر روی پاسخ مسئله بررسی می‌گردد. نخست اثر تغییر بودجه در مورد احتمال کاهش و افزایش تابع هدف اول و تابع هدف دوم، بررسی می‌شود. جدول زیر اثر تغییر بودجه بر پاسخ بهینه نشان می‌دهد. ستون اول این جدول نسبت تغییر B را نسبت به مقدار اولیه را نشان میدهد. به طور نمونه سطر اول مربوط به نتایج مثال در هنگامی است که B به میزان ۵۰ درصد کاهش یافته و مقدار آن از ۲۰۰۰ به ۱۰۰۰۰ تغییر یافته است. ستون دوم این جدول مقدار تغییر یافته بودجه را نشان می‌دهد و همچنین ستون سوم و چهارم مقدار تغییریافته تابع هدف اول و دوم را نشان می‌دهد. به همین ترتیب تحلیل حساسیت بر روی پارامترهای اصلی مدل انجام شده و نتایج آن در جدول نشان داده می‌شود.

۸-۱- بررسی اثر تغییر در میزان سقف بودجه موجود

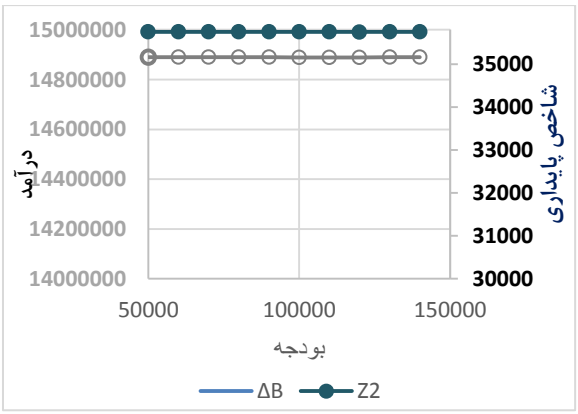
با تغییر متوالی سقف بودجه موجود، هربار به میزان ۱۰٪ میزان اولیه و بازحل مسئله نتایج نشان داده شده در جدول زیر بدست می‌آید.

جدول (۱۶). تغییر مقادیر توابع هدف به ازاء تغییر در سقف بودجه موجود

Z2	Z1	B	درصد تغییرات
۳۵۷۵۲/۴۴	۱۴۸۹۰۰۷۰	۵۰۰۰۰۰	-٪۵۰
۳۵۷۵۲/۴۴	۱۴۸۹۰۰۷۰	۶۰۰۰۰۰	-٪۴۰
۳۵۷۵۲/۴۴	۱۴۸۹۰۰۷۰	۷۰۰۰۰۰	-٪۳۰

۳۵۷۵۲/۴۳	۱۴۸۹۰۰۷۰	۸۰۰۰۰۰	-٪۲۰
۳۵۷۵۲/۴۳	۱۴۸۹۰۰۷۰	۹۰۰۰۰۰	-٪۱۰
۳۵۷۵۲/۴۳	۱۴۸۹۰۰۷۰	۱۰۰۰۰۰۰	۰
۳۵۷۵۲/۴۳	۱۴۸۸۹۱۸۰	۱۱۰۰۰۰۰	+٪۱۰
۳۵۷۵۰/۲۸	۱۴۸۸۹۱۸۰	۱۲۰۰۰۰۰	+٪۲۰
۳۵۷۵۲/۴۳	۱۴۸۹۰۰۷۰	۱۳۰۰۰۰۰	+٪۳۰
۳۵۷۵۲/۴۴	۱۴۸۹۰۰۷۰	۱۴۰۰۰۰۰	+٪۴۰
۳۵۷۵۲/۴۳	۱۴۸۹۰۰۷۰	۱۵۰۰۰۰۰	+٪۵۰

اطلاعات فوق در نمودار زیر نشان داده شده‌اند:



شکل (۱). اثر تغییر متوالی سقف بودجه بر مقادیر بهینه توابع هدف

این نمودار نشان می‌دهد که با افزایش و کاهش بودجه، مقادیر هر دو توابع هدف تغییر قابل ملاحظه‌ای نمی‌کند و تغییرات در همه حالات فوق کمتر از ۰/۰۰۰۰۱ مقدار اصلی است که می‌تواند ناشی از محدودیت دقت آلگوریتم حل کامپیوتری باشد و در همه حالات قطعات از تامین‌کنندگان دوم و سوم تامین می‌شوند.

در ادامه برای ازمون بیشتر با تعییم بودجه به میزان ۵۰۰۰۰ واحد و باز حل مسئله نتایج $Z1$=68366495 و $Z2$=16421.43 حاصل می‌شود که ناشی از سفارش کل قطعات به تامین‌کننده سوم می‌باشد. این تغییرات بیانگر آن است که با کاهش زیاد بودجه توابع هدف کاهش یافته و تامین‌کنندگان محدود می‌شوند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که تنها تغییرات زیاد بودجه می‌تواند نتایج تصمیم‌گیری را تحت تاثیر قرار دهد.

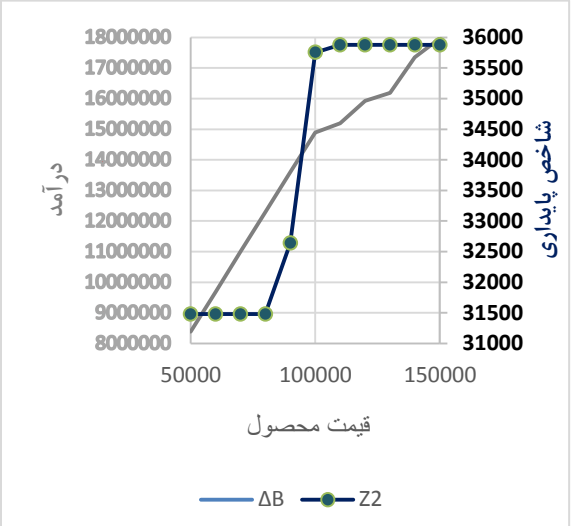
۸-۲- بررسی اثر تغییر در میزان قیمت محصول

با تغییر متوالی قیمت محصول، هربار به میزان ۱۰٪ میزان اولیه و بازحل مسئله دوهدفه نتایج نشان داده شده در جدول زیر بدست می‌آید.

جدول (۱۷). تغییر مقادیر بهینه توابع هدف به ازاء تغییر قیمت محصول

درصد تغییرات	V	Z1	Z2	Landa1	Landa2
-۰/۵۰	۵۰۰۰۰	۸۳۸۴۲۸۰	۳۱۴۷۹/۵۶	۰/۵۶۱	۰/۸۷۷
-۰/۴۰	۶۰۰۰۰	۹۶۸۶۶۴۱	۳۱۴۷۹/۵۶	۰/۶۴۸	۰/۸۷۷
-۰/۳۰	۷۰۰۰۰	۱۰۹۸۹۰۰۰	۳۱۴۷۹/۵۶	۰/۷۳۶	۰/۸۷۷
-۰/۲۰	۸۰۰۰۰	۱۲۲۹۱۳۶۰	۳۱۴۷۹/۵۶	۰/۸۲۳	۰/۸۷۷
-۰/۱۰	۹۰۰۰۰	۱۳۵۹۲۴۴۰	۳۲۶۳۷/۷۳	۰/۹۱۰	۰/۹۱۰
۰	۱۰۰۰۰۰	۱۴۸۹۰۰۷۰	۳۵۷۵۲/۴۳	۰/۹۹۷	۰/۹۹۷
+۰/۱۰	۱۱۰۰۰۰	۱۵۱۸۹۰۱۰	۳۵۸۷۵/۰۵	۱/۰۱۷	۱/۰۰
+۰/۲۰	۱۲۰۰۰۰	۱۵۹۲۹۵۳۰	۳۵۸۷۵/۰۵	۱/۰۶۶	۱/۰۰
+۰/۳۰	۱۳۰۰۰۰	۱۶۱۸۴۵۴۰	۳۵۸۷۵/۰۵	۱/۰۸۳	۱/۰۰
+۰/۴۰	۱۴۰۰۰۰	۱۷۳۴۴۳۹۰	۳۵۸۷۵/۰۵	۱/۱۶۱	۱/۰۰
+۰/۵۰	۱۵۰۰۰۰	۱۷۹۶۴۴۸۰	۳۵۸۷۵/۰۵	۱/۲۰۲	۱/۰۰

نمودار زیر اثر تغییر متوالی قیمت محصول را بر مقادیر توابع هدف، نشان می‌دهد.



شکل (۲). اثر تغییر متوالی قیمت محصول بر مقادیر توابع هدف

این نمودار نشان می‌دهد که با افزایش قیت محصول، مقادیر هر دو توابع هدف افزایش می‌یابد. دلیل این امر آن است که در روش بهینه سازی فازی همواره مینیمم مطلوبیت توابع هدف ماکزیمم می‌شود. همچنانکه دو ستون سمت راست جدول فوق نشان می‌دهند، در چهار سطر اول این جدول یعنی تا هنگامی که قیمت محصول کمتر یا برابر ۸۰۰۰۰ واحد است مطلوبیت حاصل از سود (تابع هدف اول) که با *Landa1* نشان داده شده است کمتر از مطلوبیت پایداری تامین کنندگان است (که با *Landa2* نشان داده شده است). این امر باعث می‌شود که مدل به دنبال بهبود سود بوده و تابع هدف اول را افزایش دهد. در سطرهای بعدی، یعنی هنگامی که قیمت به ۱۱۰۰۰۰ و بیشتر افزایش یافته است، دیگر مطلوبیت حاصل از سود فروش محصول به اندازه کافی افزایش یافته است که فراتر یا برابر مطلوبیت پایداری تامین‌کنندگان شود و به همین دلیل تمرکز مدل بر بهبود تابع هدف دوم نیز قرار گرفته و پایداری تامین‌کنندگان را با تخصیص مقادیر سفارش بیشتر به تامین‌کننده اول افزایش می‌دهد.

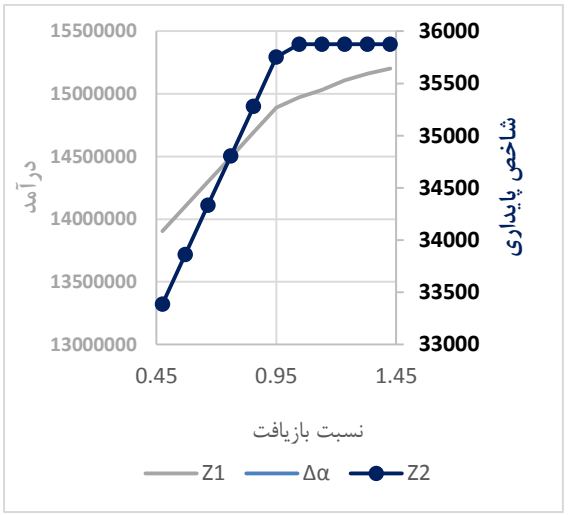
۸-۳- بررسی اثر تغییر در میزان قابل بازیافت محصول

با تغییر متوالی نسبت قابل بازیافت، هربار به میزان ۱۰٪ میزان اولیه و بازحل مسئله دوهدفه نتایج نشان داده شده در جدول (۱۸) بدست می‌آید.

جدول (۱۸). تغییر مقادیر بهینه توابع هدف به ازاء تغییر در نسبت بازیافت محصولات

درصد تغییرات	∝	Z1	Z2
-٪۵۰	۰/۴۷۵	۱۳۹۰۳۹۳۰	۳۳۳۸۵/۳۸
-٪۴۰	۰/۵۷	۱۴۱۰۱۱۵۰	۳۳۸۵۸/۷۹
-٪۳۰	۰/۶۶۵	۱۴۲۹۸۳۸۰	۳۴۳۳۲/۲۰
-٪۲۰	۰/۷۶	۱۴۴۹۵۶۱۰	۳۴۸۰۵/۶۱
-٪۱۰	۰/۸۵۵	۱۴۶۹۲۸۴۰	۳۵۲۷۹/۰۲
۰	۰/۹۵	۱۴۸۹۰۰۷۰	۳۵۷۵۲/۴۳
+٪۱۰	۱/۰۴۵	۱۴۹۷۱۴۱۰	۳۵۸۷۵/۰۵
+٪۲۰	۱/۱۴	۱۵۰۳۱۱۹۰	۳۵۸۷۵/۰۵
+٪۳۰	۱/۲۳۵	۱۵۱۰۷۶۹۰	۳۵۸۷۵/۰۵
+٪۴۰	۱/۳۳	۱۵۱۶۰۴۹۰	۳۵۸۷۵/۰۵
+٪۵۰	۱/۴۲۵	۱۵۲۰۱۷۴۰	۳۵۸۷۵/۰۵

نمودار زیر اثر تغییر در میزان قابل بازیافت محصول را بر مقادیر توابع هدف، نشان می‌دهد.



شکل(۳). اثر تغییر در محصول قابل بازیافت بر مقادیر توابع هدف

این نمودار نشان می‌دهد که با افزایش ضریب بازیافت قطعات هم درآمد و هم پایداری تامین‌کنندگان افزایش می‌یابد، یعنی مدل تامین‌کنندگانی را انتخاب می‌کند که پایدارتر هستند، زیرا تاثیر انتخاب تامین‌کنندگان پایدار در این حالت بر افزایش درآمد نیز بیشتر می‌گردد.

۹- بحث و نتیجه‌گیری

این مدل یک برنامه‌ریزی ریاضی دو هدفه است، تابع هدف اول مسئله درآمد کل را ماکزیمم می‌کند. این درآمد شامل مجموع درآمد فروش محصولات اصلی و بازیافتی منهای هزینه‌های خرید قطعات، حمل محصولات و احداث مراکز بازیابی است.

تابع هدف دوم مسئله یعنی مجموع امتیاز سفارش به تامین-

کنندگان را که از مدل کوپراس محاسبه شده است را ماکزیمم می‌کند. این تابع هدف به گونه‌ای عمل می‌کند که تا حد امکان سفارش بیشتری به تامین‌کنندگان دارای درجه اولویت بالاتر تخصیص یابد.

برای حل آن از الگوریتم پیشنهادی برای حل مدل، در محیط نرم‌افزار GAMS پیاده‌سازی شد. بدیهی است که چنانچه مسئله در ابعاد بزرگ حل شود، پیچیدگی مسئله افزایش می‌یابد و چنانچه پاسخ درست مسئله در زمان معقول بدست نیاید گزینه استفاده از روش‌های فراابتکاری مطرح می‌گردد.

همچنین در این مقاله، یک روش جدید برای تصمیم‌گیری گروهی چندمعیاره بر اساس روش پیشنهادی استخراج و روش COPRAS در زمینه مجموعه‌های فازی نوع ۲ نقطه‌ای و فازی شهودی ارائه دادیم. همچنین استفاده از روش پیشنهادی را در مسئله انتخاب تامین‌کننده مناسب از طریق یک مثال عددی نشان دادیم. روش پیشنهادی روش مفیدی برای کنترل مسئله ی تصمیم‌گیری گروهی چندمعیاره فازی بر اساس مجموعه‌های فازی نوع ۲ نقطه‌ای و فازی شهودی در اختیار ما قرار می‌دهد.

راه‌های زیادی برای بهبود روش پیشنهادی وجود دارد که در تحقیقات آینده قابل بررسی است. از جمله موارد زیر:

۱. در نظر گرفتن وزن‌های مختلف برای DM

۲. بیان نظرات کارشناسان با اعداد فازی به جای متغیرهای کلامی.

۹-۱- مصادیق و کاربردهای پژوهش

کاربرد پژوهش در زمینه انتخاب تامین‌کنندگان در هنگامی که خبرگان حوزه‌های مختلف در تصمیم‌گیری مشارکت می‌کنند ولی ضمن آنکه آن‌ها وحدت نظر در مورد وزن‌معیارها و امتیاز گزینه‌ها ندارند، همچنین، میزان اعتبار نظرات هر یک از خبرگان نیز در هر یک از جنبه‌های پایداری متفاوت بوده و همراه عدم قطعیت است. مسئله پژوهش مصادیق و کاربردهای فراوانی در انتخاب تامین‌کنندگان مواد اولیه و قطعات یدکی دارد، به ویژه هنگامی که گردآوری کالاهای مستعمل اهمیت پیدا می‌کند. به طور نمونه تولیدکنندگان انواع باطری (همچون باطری اتومبیل، باطری لپ‌تاپ و باطری موبایل)، تایر و فیلتر اتومبیل و کامیون و انواع قطعات یدکی، روغن، فیلتر و مواد اولیه به کار گرفته شده در صنایع سنگین همچون صنایع فرآیندی و صنایع فولاد از این جمله هستند.

۱۰- مراجع

[1] M. Elahyari and N. Pilehvari, "Identifying supply chain sustainability factors based on social, economic and environmental fields in the automotive industry (case study: Iran Khodro Industrial Company)," Scientific Journal of Supply Chain Management, vol. 19, no. 58, pp. 56-73, 2016. (In Persian)

[2] M. Zadeh and S. Pirtaj, "Resilient distribution network design in sustainable grain supply chain: a robust feasibility planning approach," Scientific Journal of Supply Chain Management, vol. 24, no. 77, pp. 9-21, 2023. (In Persian)

[3] B. Ageron, A. Gunasekaran, and A. Spalanzani, "Sustainable supply management: An empirical study," International journal of production economics, vol. 140, no. 1, pp. 168-182, 2012.

[4] N. Umarusman, "Fuzzy goal programming with interval type-2 for solving multi-objective sustainable supplier selection problems," in Handbook of Research on Recent Perspectives on Management, International Trade, and Logistics. IGI Global. 164-197, 2021.

[5] K. Zimmer, M. Fröhling, and F. Schultmann, "Sustainable supplier management–a review of models supporting sustainable supplier selection, monitoring and development," International journal of production research, vol. 54, no. 5, pp. 1412-1442, 2016.

[6] A. Fallahpour and et al., "A decision support model for sustainable supplier selection in sustainable supply chain management," Computers & Industrial Engineering, vol. 105, pp. 391-410, 2017.

[7] A. Memari and et al., "Sustainable supplier selection: A multi-criteria intuitionistic fuzzy TOPSIS method," Journal of manufacturing systems, vol. 50, pp. 9-24, 2019.

[8] A. H. Azadnia, M. Z. M. Saman, and K. Y. Wong, "Sustainable supplier selection and order lot-sizing: an integrated multi-objective decision-making process," International Journal of Production Research, vol. 53, no. 2, pp. 383-408, 2015.

[9] A. Nadizadeh Ardakani and M. Esmaili, "Identification of supplier indicators using gray multi-criteria decision making method (Case study of Alloy Steel Company of Iran)," in Second International Conference on Industrial Engineering and Management, 2015. (In Persian)

[10] A. Ghasemi, H. Moazez, and F. Abedi Jebeli, "Comparative analysis of gray multi-criteria decision-making approaches in supplier prioritization (Folad Mobarake Isfahan)," Industrial Management Quarterly, vol. 11, no. 38, pp. 77-90, 2016. (In Persian)

[11] N. Saimian and Q. Farjam, "Combining AHP and COPRAS techniques to select the best suppliers in the outsourcing of information technology projects based on tangible and intangible aspects (case study: First Companion Company)," in the first international conference on management, tourism and technology. 2019. (In Persian)

[12] P. Rani and et al., "Hesitant fuzzy SWARA-complex proportional assessment approach for sustainable supplier selection (HF-SWARA-COPRAS)," Symmetry, vol. 12, no. 7, pp. 1152, 2020.