

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

روش COPRAS

معصومه عزیزی نطفه^۱، محمود شهرخی^{۲*}

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

(دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۲۶، پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۱۰)

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 بهینه‌سازی 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 بهینه‌سازی 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، بهینه می‌شود. مدل ریاضی با روش بهینه‌سازی چندهدفه فازی حل شده است که در آن مینیمم مطلوبیت حاصل از برآورده شدن اهداف بهینه 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

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 بهینه کرده و از سوی دیگر، رتبه بدست آمده از روش COPRAS را برای تامین‌کنندگان برگزیده بهینه 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 متغیرهای اصلی در تغییر پاسخ بهینه نشان داده شده است. در پایان، نتیجه‌گیری و پیشنهادهای آینده و نهایتاً فهرست منابع مورد استفاده در پژوهش آورده شده است.

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 مردم‌نهاد 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.

۱-۱- گزینش تامین کننده پایدار

تصمیم گیرندگان، 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 تامین کننده در زنجیره تامین پایدار

آگرون و همکاران [۳] عوامل گوناگونی وجود دارند که سازمان‌ها را به استفاده از SSCM، به ویژه در بخش‌های فرادستی زنجیره تامین سوق می‌دهند. این عوامل می‌توانند عوامل داخلی مانند دیدگاه مدیریت ارشد، مشوق‌های پایدار تامین کنندگان 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 تامین کننده پایدار در یک مدل چندهدفه با استفاده از اهداف فازی، مبتنی بر اعداد فازی فاصله‌ی نوع ۲ یافتند. امین دوست و همکاران [۵] معیارهای گزینش تامین کننده پایدار و زیرمعیارهای آن را تعیین و براساس آن یک روش ارزیابی و رتبه‌بندی تامین کنندگان 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 تامین کننده پیشنهاد شد. زیمر و همکاران [۵] به تحلیل و بررسی متون علمی در زمینه مدیریت تامین کننده 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 تامین کننده پایدار اطلاعات را از طریق یک نظرسنجی مبتنی بر پرسشنامه گردآوری و آزمون‌های آماری مختلف تثبیت شده را به کار گرفتند. معماری و همکاران [۷] یک روش TOPSIS فازی شهودی برای گزینش تامین کننده پایدار با ۹ معیار اصلی و ۳۰ معیار فرعی برای تولیدکننده قطعات یدکی خودرو ارائه دادند. رویکرد پیشنهادی یک رتبه‌بندی برای تامین کنندگان پایدار و یک راه‌حل برای منبع‌یابی پایدار فراهم می‌کرد که از طریق یک مطالعه موردی در دنیای واقعی تأیید شد. آزادانیا و همکاران [۸] یک رویکرد یکپارچه از روش فازی وزن دار مبتنی بر فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی و برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه را برای گزینش تامین کننده پایدار و تخصیص سفارش در ترکیب با مسئله تعیین اندازه دسته محصولات چند دوره‌ای ارائه دادند. مدل برنامه‌ریزی ریاضی شامل چهار تابع

یکی از مسائل مهم در طراحی یک زنجیره تامین، مسئله گزینش تامین کننده است. مسئله انتخاب تامین کننده شامل تجزیه تحلیل و اندازه‌گیری عملکرد مجموعه‌هایی از تامین کنندگان به منظور رتبه‌بندی آنها با هدف بهبود وضعیت رقابتی در کل سیستم تامین است. در واقع انتخاب تامین کننده مناسب کلید اصلی به دست آوردن کیفیت مطلوب، قیمت مناسب، سطح لازم حمایت فنی و سطح مطلوب خدمات است. انتخاب از میان تامین کنندگان در واقع یک مسئله تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM)^۱ است که نیاز به یک رویکرد ساختار یافته و سیستمی دارد.

در انتخاب تامین کننده پایدار علاوه بر کاهش هزینه بر آورده کردن معیارهای زیست‌محیطی و اجتماعی نیز تأکید می‌شود [۲] و توسعه مدیریت زنجیره تامین پایدار (SSCM)^۲ علاوه بر موفقیت‌های زنجیره تامین در فضای کسب و کار می‌تواند به عنوان راهکار مناسبی برای توسعه پایدار به خصوص در کشورهای در حال توسعه نیز مورد استفاده قرار گیرد. به طور کلی می‌توان گفت که انتخاب تامین کنندگان پایدار در بلندمدت، به ایجاد مزیت رقابتی در کل زنجیره تامین 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 عدم قطعیت 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 عدم اطمینان دقیق‌تر بوده و علاوه بر انعکاس بهتر نظر

¹ Multi-criteria decision making

² Sustainable supply chain management

مشخصی مراکز توزیع است که بلافاصل 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 در نظر گرفته شده‌اند:

- زنجیره تامین 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 تولیدکننده 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 هر قطعه یا ماده به کارگرفته شده در تولید محصول، تامین‌کنندگانی با قیمت، قابلیت اطمینان، فاصله و قابلیت بازیافتی متفاوت، وجود دارند.
- قابلیت اطمینان محصول تابعی از قابلیت اطمینان 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.

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 در شرایط 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 از روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی دلفی فازی (FDAH^۱) تعیین و سپس با استفاده از روش کوپراس خاکستری (COPRAS- G^۲) 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. صائمان 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 نوع ۲

قوربایی و همکاران [۱۲] یک رویکرد تصمیم‌گیری گروهی چندمعیاره را بر اساس روش COPRAS با استفاده از مجموعه 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^۳) پیشنهاد کردند. آن‌ها برای تعیین وزن معیارها براساس ترجیحات متخصصان، از روش SWAR^۴ 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. زنجیره تامین مورد بررسی در این پژوهش ۳ سطحی بوده و شامل تعداد مشخصی تامین‌کننده، یک تولیدکننده و تعداد

1 Fuzzy Delphi Analytical Hierarchy Process

2 Complex Proportional Assessment of alternative with Greyrelations

3 hesitant fuzzy set

4 Step-wise Weight Assessment Ratio Analysis

- جمع‌آوری نیز احداث شود و صفر در غیر اینصورت
- مقدار محصولات مستعمل جمع‌آوری در مرکز توزیع h که باز یافت می‌شوند x_{ih}^F
- متغیر صفر و یک گزینش تامین‌کننده‌ی i y_i

۵-۲- پارامترهای مدل

- i شمارنده تامین‌کنندگان ($i=1, 2, \dots, I$)
- A مجموعه تامین‌کنندگان $A = \{A_1, A_2, \dots, A_I\}$
- n شمارنده قطعات تشکیل‌دهنده‌ی محصول ($n=1, 2, \dots, N$)
- h شمارنده مرکز توزیع ($h=1, 2, \dots, H$)
- k شمارنده کارشناس ($k=1, 2, \dots, K$)
- 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 تامین‌کننده i
- y_{ih}^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، باز یافت و فروش مجدد آن
- C_h^F هزینه احداث مرکز جمع‌آوری در مرکز توزیع h
- α نسبت محصولات مستعمل جمع‌آوری و باز یافت شده
- g شمارنده تابع هدف در مدل برنامه‌ریزی ریاضی ($g=1, 2, \dots, G$)

- j شمارنده معیار در مدل کوپراس ($j=1, 2, \dots, J$)
- \tilde{x}_{ijk} ارزش وزن داده شده عملکرد گزینه A_i در معیار C_j در مدل کوپراس ($j=1, 2, \dots, J$) از نظر تصمیم‌گیرنده k
- x_{ij} میانگین ارزش عملکرد گزینه A_i در معیار C_j
- \bar{y} میانگین ماتریس تصمیم

- w_j^k ماتریس وزن معیار j توسط کارشناس k به صورت متغیرهای کلامی
- \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{x}_{ij}

- مواد باز یافت شده در همان دوره مجدداً به تولیدکننده تحویل داده می‌شود.
- برخی مواد باز یافت شده یا مجدداً در تولید همان دوره استفاده شده و یا به فروش می‌رسند.
- قیمت فروش مواد باز یافت 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 هر یک 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 بر مبنای 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 تخصیص یافته به تامین قطعه n از تامین‌کننده i
- ξ_h میزان تقاضای تامین شده مرکز توزیع h
- y_{ih}^F متغیر باینری، برابر ۱ اگر در مرکز توزیع h مرکز

مجموع وزن‌های نرمالیز شده برای معیارهای سودمند	\tilde{S}_{+i}	۲ که از متغیر کلامی بدست آمده است
مجموع وزن‌های نرمالیز شده برای معیارهای غیر سودمند	\tilde{S}_{-i}	ماتریس تصمیم نرمالی وزندار بصورت عدد فازی نوع ۲
شمارنده معیار ($j=1,2,\dots,J$)	J	رتبه نهایی تامین‌کننده‌ی i در مدل COPRAS
مجموعه معیارهای گزینش تامین‌کننده پایدار در مدل COPRAS	C	$C = \{C_1, C_2, \dots, C_J\}$
ماتریس میانگین وزنی معیارهای گزینش تامین‌کننده پایدار در مدل COPRAS	\tilde{W}	$\tilde{W} = \{\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \dots, \tilde{w}_J\}$
مجموعه کارشناسان	E	$E = \{E_1, E_2, \dots, E_K\}$
میزان اعتبار کارشناس E_k به صورت عبارت کلامی	\dot{e}_k	متغیر صفر و یک گزینش تامین‌کننده‌ی i
میزان اعتبار کارشناس E_k به صورت عدد فازی شهودی	\hat{e}_k	هزینه‌ی حمل یک واحد محصول از تولیدکننده به توزیع کننده
درجه عضویت در مجموعه فازی شهودی میزان اعتبار کارشناس	μ_k	محدودیت بودجه در دسترس برای خرید مواد و حمل محصول
درجه تردید در مجموعه فازی شهودی میزان اعتبار کارشناس	π_k	
درجه عدم عضویت در مجموعه فازی شهودی میزان اعتبار کارشناس	ϑ_k	
میزان اعتبار کارشناس E_k به صورت عدد معمولی	\dot{e}_k	
میزان نرمال شده اعتبار کارشناس E_k به صورت عدد شهودی در تحلیل نهایی	$\bar{\dot{e}}_k$	
میزان نرمال شده اعتبار کارشناس E_k به صورت عدد معمولی	\bar{e}_k	
ماتریس تصمیم از نظر کارشناس E_k	\tilde{D}^k	
امتیاز داده شده توسط کارشناس E_k در معیار C_j برای تامین‌کننده A_i در مدل COPRAS به صورت عدد فازی نوع	\tilde{a}_{ijk}	

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 در نظر 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 هر یک از کارشناسان

	C1				C2				...	Cj				
	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{a}_{111}	\tilde{a}_{112}	...	\tilde{a}_{11K}	\tilde{a}_{121}	\tilde{a}_{122}	...	\tilde{a}_{12K}	...	...	\tilde{a}_{1j1}	\tilde{a}_{1j2}	...	\tilde{a}_{1jK}
A_2	\tilde{a}_{211}	\tilde{a}_{212}	...	\tilde{a}_{21K}	\tilde{a}_{221}	\tilde{a}_{222}	...	\tilde{a}_{22K}	...	...	\tilde{a}_{2j1}	\tilde{a}_{2j2}	...	\tilde{a}_{2jK}
...
A_I	\tilde{a}_{I11}	\tilde{a}_{I12}	...	\tilde{a}_{I1K}	\tilde{a}_{I21}	\tilde{a}_{I22}	...	\tilde{a}_{I2K}	...	...	\tilde{a}_{Ij1}	\tilde{a}_{Ij2}	...	\tilde{a}_{IjK}

تعیین می‌شود.

$$\tilde{e}_{ij} = \tilde{n}_{ij} \otimes \tilde{w}_j \quad i=1,2,\dots,I, j=1,2,\dots,J$$

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

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

$$\tilde{S}_{+i} = (\tilde{e}_{+i1} \oplus \tilde{e}_{+i2} \oplus \dots \oplus \tilde{e}_{+ij}) \quad i=1,2,\dots,I$$

$$\tilde{S}_{-i} = (\tilde{e}_{-i1} \oplus \tilde{e}_{-i2} \oplus \dots \oplus \tilde{e}_{-ij}) \quad i=1,2,\dots,I$$

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

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

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

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

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

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

$$Q_i = Rank(\tilde{S}_{+i}) + \frac{\sum_{i=1}^I (Rank(\tilde{S}_{-i}))}{Rank(\tilde{S}_{-i}) \sum_{i=1}^I (\frac{1}{Rank(\tilde{S}_{-i})})} \quad i=1,2,\dots,I$$

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

$$U_i = (\frac{Q_i}{Q_{Max}}) \times 100 \quad i=1,2,\dots,I$$

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

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

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

$$\bar{e}_k = \frac{\tilde{e}_k}{\sum_{k=1}^K \tilde{e}_k} \quad k=1,2,\dots,K$$

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

$$\tilde{x}_{ijk} = \bar{e}_k \tilde{a}_{ijk} \quad i=1,2,\dots,I, j=1,2,\dots,J, k=1,2,\dots,K$$

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

$$\tilde{D}^k = [\tilde{x}_{ijk}]_{I \times J} \quad k=1,2,\dots,K$$

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

$$\tilde{x}_{ij} = \frac{\tilde{x}_{ij1} \oplus \tilde{x}_{ij2} \oplus \dots \oplus \tilde{x}_{ijK}}{K} \quad i=1,2,\dots,I, j=1,2,\dots,J$$

$$\tilde{Y} = [\tilde{x}_{ij}]_{I \times J} \quad i=1,2,\dots,I, j=1,2,\dots,J$$

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

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

$$\tilde{W}^k = [\tilde{w}_j^k]_{J \times 1} \quad k=1,2,\dots,K$$

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

$$\tilde{w}_j = \frac{(\tilde{w}_j^1 \oplus \tilde{w}_j^2 \oplus \dots \oplus \tilde{w}_j^K)}{K} \quad j=1,2,\dots,J$$

$$\tilde{W} = [\tilde{w}_j]_{J \times 1}$$

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 (قوربایی و همکاران ۲۰۱۴) استفاده شده است.

$$\tilde{n}_{ij} = \frac{\tilde{x}_{ij}}{\tilde{x}_{1j} \oplus \tilde{x}_{2j} \oplus \dots \oplus \tilde{x}_{ij}} \quad i=1,2,\dots,I, j=1,2,\dots,J$$

مرحله ۸. ماتریس تصمیم نرمالیز وزندار شده به صورت زیر

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

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

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

۴-۵- مدل‌سازی برنامه‌ریزی ریاضی مسئله

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 در نظر 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 در نظر گرفتن تابع هدف دوم
- M_1 پاسخ بهینه مسئله با هدف ماکزیمم‌سازی تابع هدف اول، بدون در نظر گرفتن تابع هدف دوم
- m_2 پاسخ بهینه مسئله با هدف مینیمم‌سازی تابع هدف دوم، بدون در نظر گرفتن تابع هدف اول
- M_2 پاسخ بهینه مسئله با هدف ماکزیمم‌سازی تابع هدف دوم، بدون در نظر گرفتن 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:

$$Z = \text{Min}(Z_1, Z_2)$$

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

$$\text{Max } Z_1 = V \sum_h \xi_h + \sum_h x_h^F C_h^P -$$

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

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

Subjected to:

$$\xi_h \leq D_h \quad \forall h$$

$$o_{ni} \leq \omega_{ni} \quad \forall i, \forall n$$

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

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

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

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

$$o_{ni} \geq 0$$

$$\forall i, \forall n$$

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

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

صورت متغیرهای فزای نوع ۲ و فزای 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 فزای 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). متغیرهای زبانی برای بیان اعتبار نظر تصمیم‌گیرندگان

متغیرهای زبانی	مجموعه فزای 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 هر کارشناس 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

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

$$Max Z$$

Subjected to:

$$\xi_h \leq d(\tilde{D}_h) \quad \forall h$$

$$o_{ni} \leq \omega_{ni} \quad \forall i, \forall n$$

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

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

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

$$L1 = V \sum_h \xi_h + \sum_h x_h^F C_h^P -$$

$$\sum_n \sum_i o_{ni} [d(\tilde{P}_{ni})] - \sum_h \xi_h C_h^T - \sum_h y_h^F C_h^F$$

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

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

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

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

$$x_h^F, \xi_h \geq 0 \quad \forall h$$

$$o_{ni} \geq 0 \quad \forall i, \forall n$$

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

$$Z1=114466.615$$

$$Z2= 5373.705$$

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

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

جدول (۵) وزن معیارهای تعیین شده توسط این تصمیم‌گیرندگان 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

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

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

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

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

سپس با استفاده از معادله ۲ و ۳ و جدول (۷) ماتریس تصمیم M_1 ، M_2 و M_3 برای گزینه‌های A_1, A_2, A_3 به ترتیب ساخته می‌شود.

بر پایه اطلاعات مرحله‌ی قبل و معادله‌ی ۴ و ۵ ما می‌توانیم

میانگین ماتریس تصمیم \bar{Y} را به صورت 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.

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

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

جدول (۸). میانگین ماتریس تصمیم

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

با توجه به جدول (۵) و معادله ۶ ماتریس وزن W_1, W_2, W_3 و W_3 با توجه به مرحله ی قبل و معادله (۷) و (۸) میانگین به ترتیب زیر ساخته می شود: ماتریس وزن \bar{W} به صورت 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})

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

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

جدول (۱۰). ماتریس تصمیم نرمالیز شده (\bar{N})

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

براساس جدول (9) و (10)، معدلات 10 و 11 می‌توانیم ماتریس تصمیم وزن نرمالیز شده (E) به صورت زیر نشان دهیم.

جدول (11). ماتریس تصمیم وزن نرمالیز شده (E)

	$\tilde{\xi}_y$						$\tilde{\xi}_y$					
	e_{1ij}^U	e_{2ij}^U	e_{3ij}^U	e_{4ij}^U	$H_1(\tilde{\xi}_y)$	$H_2(\tilde{\xi}_y)$	e_{1ij}^L	e_{2ij}^L	e_{3ij}^L	e_{4ij}^L	$H_1(\tilde{\xi}_y)$	$H_2(\tilde{\xi}_y)$
$\tilde{\xi}_{-1}$	0/06	0/10	0/10	0/08	0/33	0/33	0/11	0/11	0/17	0/12	0/3	0/3
$\tilde{\xi}_{-2}$	0/25	0/25	0/26	0/31	0/33	0/33	0/33	0/41	0/42	0/38	0/3	0/3
$\tilde{\xi}_{-3}$	0/12	0/16	0/17	0/15	0/33	0/33	0/19	0/26	0/27	0/21	0/3	0/3
$\tilde{\xi}_{-4}$	0/14	0/31	0/33	0/30	0/33	0/33	0/20	0/80	0/20	0/31	0/3	0/3
$\tilde{\xi}_{-5}$	0/01	0/07	0/08	0/02	0/33	0/33	0/03	0/07	0/07	0/05	0/3	0/3
$\tilde{\xi}_{-6}$	0/04	0/15	0/17	0/09	0/33	0/33	0/13	0/15	0/17	0/18	0/3	0/3
$\tilde{\xi}_{-7}$	0/07	0/23	0/46	0/18	0/33	0/33	0/25	0/43	0/46	0/31	0/3	0/3
$\tilde{\xi}_{-8}$	0	0/06	0/07	0	0/33	0/33	0/02	0/06	0/07	0/03	0/3	0/3
$\tilde{\xi}_{-9}$	0/18	0/18	0/23	0/28	0/33	0/33	0/06	0/18	0/19	0/08	0/3	0/3

بر اساس جدول (11) و معادلات 12 و 13 S_{+i} و S_{-i} محاسبه شود. نتایج آن در جدول (12) و (13) نشان داده می‌شود.

جدول (12). مقادیر $\tilde{\xi}_{+i}$

	$\tilde{\xi}_{+i}$						$\tilde{\xi}_{+i}$					
	S_{+i1}^U	S_{+i2}^U	S_{+i3}^U	S_{+i4}^U	$H_1(\tilde{\xi}_{+i})$	$H_2(\tilde{\xi}_{+i})$	S_{+i1}^L	S_{+i2}^L	S_{+i3}^L	S_{+i4}^L	$H_1(\tilde{\xi}_{+i})$	$H_2(\tilde{\xi}_{+i})$
$\tilde{\xi}_{+1}$	0/21	0/54	0/79	0/48	0/33	0/33	0/45	1/23	0/66	0/66	0/3	0/3
$\tilde{\xi}_{+2}$	0/01	0/13	0/15	0/02	0/33	0/33	0/05	0/13	0/14	0/08	0/3	0/3
$\tilde{\xi}_{+3}$	0/22	0/33	0/40	0/37	0/33	0/33	0/19	0/33	0/36	0/26	0/3	0/3

جدول (13). مقادیر $\tilde{\xi}_{-i}$

	$\tilde{\xi}_{+i}$						$\tilde{\xi}_{+i}$					
	S_{-i1}^U	S_{-i2}^U	S_{-i3}^U	S_{-i4}^U	$H_1(\tilde{\xi}_{-i})$	$H_2(\tilde{\xi}_{-i})$	S_{-i1}^L	S_{-i2}^L	S_{-i3}^L	S_{-i4}^L	$H_1(\tilde{\xi}_{-i})$	$H_2(\tilde{\xi}_{-i})$
$\tilde{\xi}_{-1}$	0/06	0/10	0/10	0/08	0/33	0/33	0/11	0/11	0/17	0/12	0/3	0/3
$\tilde{\xi}_{-2}$	0/25	0/25	0/26	0/31	0/33	0/33	0/33	0/41	0/42	0/38	0/3	0/3
$\tilde{\xi}_{-3}$	0/12	0/16	0/17	0/15	0/33	0/33	0/19	0/26	0/27	0/21	0/3	0/3

جدول (14). رتبه‌بندی S_{+i} و S_{-i}

i	Rank S_{+i}	Rank S_{-i}
1	0/58	0/51
2	0/46	0/50
3	0/53	0/56

بر اساس جدول (12) و (13) و معادله 14 و 15 مقادیر

رتبه‌بندی S_{+i} و S_{-i} محاسبه شده در جدول (14) نشان داده

می‌شود.

Z_1	۱۰۸۷۲۰۰۰	O_{12}	۶۰
O_{11}	۴۵	O_{22}	۳۵
O_{21}	۲۵	O_{32}	۵۰
O_{31}	۳۰	ξ_2	۳۳/۱۲۰
ξ_1	۳۷/۳۹۲	x_2^F	۲۳/۶۰۹
x_1^F	۲۳/۶۲۴		

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 تغییر یافته 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

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

در این مرحله مقدار Q_i و U_i با استفاده از رابطه‌ی ۱۶ و ۱۷ و جدول (۱۴) محاسبه شده و نتایج آن در جدول (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:

$$A_1 \succ \dots$$

۷- سایر پارامترهای مدل برنامه‌ریزی ریاضی

سایر پارامترهای مدل به شرح زیر هستند:

تأمین کننده (i)	امتیاز پایداری (U_i)	شماره قطعه (n)	پیش بینی قیمت P_{ni}	ظرفیت تأمین (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:

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

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

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 الگوریتم حل کامپیوتری باشد و در همه حالات قطعات از تامین‌کنندگان دوم و سوم تامین می‌شوند.

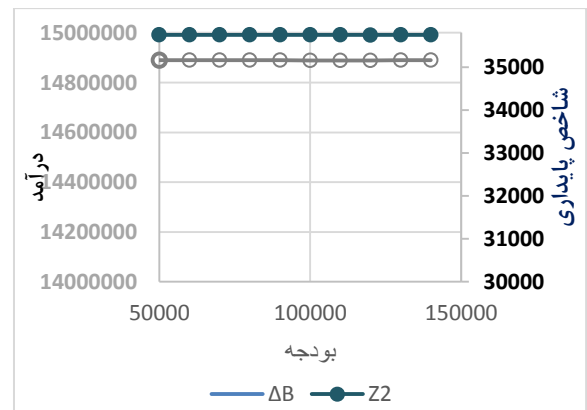
در ادامه برای آزمون بیشتر با تعیین بودجه به میزان ۵۰۰۰۰ واحد و باز حل مسئله نتایج $Z1=68366495$ و $Z2=16421.43$ حاصل می‌شود که ناشی از سفارش کل قطعات به تامین‌کننده سوم می‌باشد. این تغییرات بیانگر آن است که با کاهش زیاد بودجه توابع هدف کاهش یافته و تامین‌کنندگان محدود می‌شوند. بنابراین می‌توان نتیجه 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 باز حل مسئله دوهدفه نتایج نشان داده شده در جدول زیر بدست می‌آید.

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

اطلاعات فوق در نمودار زیر نشان داده شده‌اند:



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

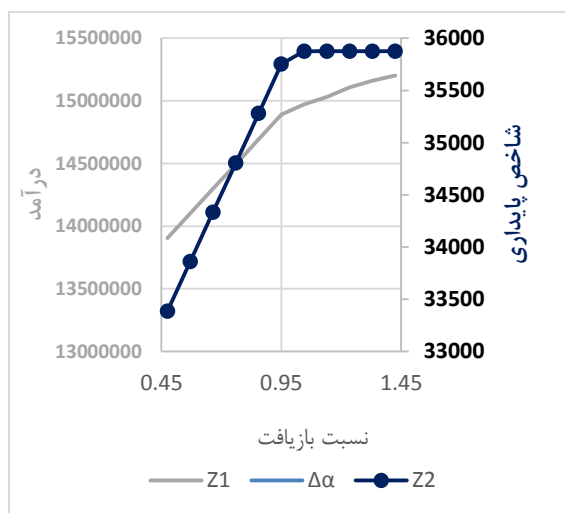
جدول (۱۷). تغییر مقادیر بهینه توابع هدف به ازاء تغییر قیمت محصول

درصد تغییرات	V	Z1	Z2	Landa1	Landa2
-/۵۰	۵۰۰۰۰	۸۳۸۴۲۸۰	۳۱۴۷۹/۵۶	۰/۵۶۱	۰/۸۷۷
-/۴۰	۶۰۰۰۰	۹۶۸۶۶۴۱	۳۱۴۷۹/۵۶	۰/۶۴۸	۰/۸۷۷
-/۳۰	۷۰۰۰۰	۱۰۹۸۹۰۰۰	۳۱۴۷۹/۵۶	۰/۷۳۶	۰/۸۷۷
-/۲۰	۸۰۰۰۰	۱۲۲۹۱۳۶۰	۳۱۴۷۹/۵۶	۰/۸۲۳	۰/۸۷۷
-/۱۰	۹۰۰۰۰	۱۳۵۹۲۴۴۰	۳۲۶۳۷/۷۳	۰/۹۱۰	۰/۹۱۰
۰	۱۰۰۰۰۰۰	۱۴۸۹۰۰۷۰	۳۵۷۵۲/۴۳	۰/۹۹۷	۰/۹۹۷
+/۱۰	۱۱۰۰۰۰۰	۱۵۱۸۹۰۱۰	۳۵۸۷۵/۰۵	۱/۰۱۷	۱/۰۰
+/۲۰	۱۲۰۰۰۰۰	۱۵۹۲۹۵۳۰	۳۵۸۷۵/۰۵	۱/۰۶۶	۱/۰۰
+/۳۰	۱۳۰۰۰۰۰	۱۶۱۸۴۵۴۰	۳۵۸۷۵/۰۵	۱/۰۸۳	۱/۰۰
+/۴۰	۱۴۰۰۰۰۰	۱۷۳۴۴۳۹۰	۳۵۸۷۵/۰۵	۱/۱۶۱	۱/۰۰
+/۵۰	۱۵۰۰۰۰۰	۱۷۹۶۴۴۸۰	۳۵۸۷۵/۰۵	۱/۲۰۲	۱/۰۰

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

درصد تغییرات	α	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 باز یافت محصول را بر مقادیر توابع هدف، نشان می دهد.



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

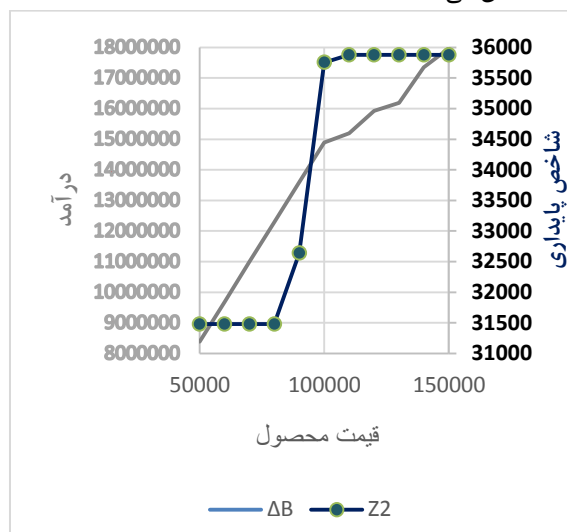
این نمودار نشان می دهد که با افزایش ضریب باز یافت قطعات هم درآمد و هم پایداری تامین کنندگان افزایش می یابد، یعنی مدل تامین کنندگانی را انتخاب می کند که پایدارتر هستند، زیرا تاثیر انتخاب تامین کنندگان پایدار در این حالت بر افزایش درآمد نیز بیشتر می گردد.

۹- بحث و نتیجه گیری

این مدل یک برنامه ریزی ریاضی دو هدفه است، تابع هدف اول مسئله درآمد کل را ماکزیمم می کند. این درآمد شامل مجموع درآمد فروش محصولات اصلی و باز یافتی منهای هزینه های خرید قطعات، حمل محصولات و احداث مراکز باز یابی است.

تابع هدف دوم مسئله یعنی مجموع امتیاز سفارش به تامین-

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



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

این نمودار نشان می دهد که با افزایش قیمت محصول، مقادیر هر دو توابع هدف افزایش می یابد. دلیل این امر آن است که در روش بهینه سازی فازی همواره مینیمم مطلوبیت توابع هدف ماکزیمم می شود. همچنانکه دو ستون سمت راست جدول فوق نشان می دهند، 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 می شود 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 تامین کنندگان شود و به همین دلیل تمرکز مدل بر بهبود تابع هدف دوم نیز قرار گرفته و پایداری تامین کنندگان را با تخصیص مقادیر سفارش بیشتر به تامین کننده اول افزایش می دهد.

۸-۳- بررسی اثر تغییر در میزان قابل باز یافت محصول

با تغییر متوالی نسبت قابل باز یافت، هربار به میزان ۱۰٪ میزان اولیه و باز حل مسئله دوهدفه نتایج نشان داده شده در جدول (۱۸) بدست می آید.

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.

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 وزن معیارها 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 باتری (همچون باتری اتومبیل، باتری لپ‌تاپ و باتری موبایل)، تایر و فیلتر اتومبیل و کامیون و انواع قطعات یدکی، روغن، فیلتر و مواد اولیه به کار گرفته شده

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

Masoomeh Azizi Naftah, Mahmoud Shahrokhi*

*Associate Professor Engineering Department, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

(Received: 17/12/2022; Accepted: 31/05/2023)

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