International Journal of Industrial Engineering & Production Management (2017)

September 2017, Volume 28, Number 2
Pp 303- 316

http://IJIEPM.iust.ac.ir/

Designing a Supplier Assessment and Selection Network Considering Green Location-Vehicle Routing Problem Under Uncertainty

Hadi Kian, Seyed Babak Ebrahimi* & Seyed Javad Hosseininezhad

Hadi kian, *Master Student of Industrial Engineering-System Analyses, K.N.Toosi University of Technology*
Seyed Babak Ebrahimi, *Department of Industrial Engineering, K.N.Toosi University of Technology*
Seyed Javad Hosseininezhad, *Department of Industrial Engineering, K.N.Toosi University of Technology*

Keywords

Supplier selection, uncertainly situation, green supply chain, green location

ABSTRACT

In nowadays competitive environment, green supplier selection, is as a strategic activities of organizations. This occurs because the environmental performance of organizations is influenced by its supplier's environmental performance. This paper proposes a two phase's approach to evaluate and select supplier in green supply chain containing strategic, technical and operational decisions, simultaneously. In the first phase of the approach as a strategic one, suppliers are evaluated using analytic hierarchy process and those which have sufficient authority will be selected for the second phase as a technical and operational one. In the second phase a new mathematical model considering green routing is developed to minimize costs and maximize the value of buying from green suppliers. Validity of the model is measured by using data of a consumer products distribution chain of medical equipment under uncertainty. Its results show the effectiveness of the proposed model.

© 2017 IUST Publication, IJIEPM Vol. 28, No. 2, All Rights Reserved

نشـــریه بین المللـــی مهنـــدسی صنـــایع و مدیـــریت تولیـــد

شمـــاره ۲، جلـــد ۲۸، تابستان ۱۳۹۶

صفحـــه ۳۰۴-۳۱۶

ISSN: 2008-4870

http://IJIEPM.iust.ac.ir/

طراحی یک شبکه ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان با در نظر گرفتن مسأله مکان‌یابی-مسیریابی سبز تحت عدم‌قطعیت

هادی کیان، سید بابک ابراهیمی* و سید جواد حسینی‌نژاد

کلمات کلیدی

انتخاب تامین‌کننده، شرایط عدم قطعیت، زنجیره تامین سبز، مکان‌یابی سبز

چکیده:

در دنیای رقابتی امروز انتخاب تامین‌کنندگان سبز به عنوان یکی از فعالیت‌های استراتژیک سازمان محسوب می‌گردد. چرا که عملکرد زیست محیطی سازمان متاثر از عملکرد زیست محیطی تامین‌کنندگانش می‌باشد. در این مقاله یک رویکرد دو مرحله‌ای استراتژیک، تاکتیکی و عملیاتی به‌طور همزمان به‌منظور ارزیابی و انتخاب تامین‌کنندگان در یک زنجیره تامین سبز ارایه شده است. در مرحله‌ی اول این رویکرد که استراتژیک است تامین‌کنندگان با استفاده از روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی ارزیابی می‌گردند و آنهایی که صلاحیت کافی را داشته باشند به‌عنوان تامین‌کنندگان منتخب وارد مرحله‌ی دوم که یک مرحله‌ی تاکتیکی و عملیاتی است، می‌شوند. در مرحله‌ی دوم یک مدل ریاضی جدید با در نظرگرفتن مساله‌ی مسیریابی سبز با اهداف کمینه‌سازی هزینه‌ها و بیشینه‌سازی ارزش خرید از تامین‌کنندگان سبز توسعه داده می شود. اعتبار مدل با استفاده از داده‌های یک زنجیره توزیع محصولات مصرفی تجهیزات پزشکی تحت شرایط عدم قطعیت سنجیده شد که نتایج حاصل از آن نشان‌دهنده کارایی مدل پیشنهادی می‌باشد.

۱. مقدمه

انتخاب تأمین‌کننده به عنوان یک تصمیم استراتژیک موضوع مهمی است که توجه بسیاری از محققان را به خود جلب کرده است. زیرا تأمین‌کنندگان اولین بخش از زنجیره هستند و هرگونه نارسایی در این بخش تا پایان زنجیره ادامه داشته و اثر آن نیز تشدید می‌شود. در دنیای رقابتی امروز، بدون داشتن تأمین‌کنندگان مناسب نمی توان محصول یا خدماتی با کیفیت عالی و هزینه‌ی پایین تولید کرد. در فرآیند تصمیم‌گیری، معیارهای مختلف و متضاد باید در نظر گرفته شود که این خود باعث می‌شود تا انتخاب تأمین‌کننده بسیار پیچیده شود. در اقتصاد باز جهانی امروز که توسعه‌ی همزمان محصول و تأمین‌کننده یک قانون است، ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان بسیار حائز اهمیت است. رویکردهای مختلفی در ادامه انتخاب تأمین‌کننده وجود دارد که تصمیم‌گیری چندشاخصه و استفاده از رویکردهای ترکیبی چندشاخصه و برنامه‌ریزی ریاضی بیش از سایر موارد در پژوهش‌های مختلف مورد توجه بوده است. هدف از این پژوهش ارایه یک رویکرد دو مرحله‌ای برای ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان با در نظر گرفتن معیارهای سنتی و سبز به طور همزمان است. مرحله اول که یک مرحله استراتژیک است برای بررسی صلاحیت هر یک از تأمین‌کنندگان با استفاده از مجموعه‌ای از معیارهای بحرانی سازمان است. تأمین کنندگان واجدشرایط منتخب وارد مرحله دوم شده و در این مرحله که استراتژیک و عملیاتی است، تصمیماتی مانند ارتباط یا عدم ارتباط با هر تأمین‌کننده، میزان خرید بهینه از هر تأمین‌کننده، مکان‌یابی جهت احداث مراکز مورد نیاز تحت عدم قطعیت گرفته خواهد شد. همچنین زنجیره تأمینی که برای این منظور در نظر گرفته شده است یک زنجیره تأمین چندسطحی، چندمحصولی است. لازم به ذکر است که رویکرد مرحله اول براساس تصمیم‌گیری‌های

تاریخ وصول: ۹۵/۰۱/۲۲

تاریخ تصویب: ۹۵/۰۸/۱۱

هادی کیان ، دانشجوی ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی

سید جواد حسینی‌نژاد ، عضو هیئت‌علمی دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی hosseininezhad@kntu.ac.ir

*نویسنده مسئول مقاله: **سید بابک ابراهیمی** ، عضو هیئت‌علمی دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی B_Ebrahimi@kntu.ac.ir

چندمعیاره و مرحله دوم براساس مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه تحت عدم قطعیت خواهد بود.

۲. پیشینه پژوهش

دیکسون (۱۹۶۶) را می‌توان از پیشتازان ارزیابی تأمین‌کنندگان به شمار آورد. وی در یک بررسی، ۲۳ معیار مختلف را برای ارزیابی عملکرد تأمین‌کنندگان در نظر گرفته است. کیفیت، تحویل به موقع و تاریخچه‌ی عملکرد به عنوان سه معیار مهم این ارزیابی معرفی گردیده است. هو (۲۰۰۴)، ۲۴ مقاله‌ی چاپ شده‌ی بعد از ۱۹۹۱ را مورد تجزیه و تحلیل قرار داد و چنین اعلام کرد که معیارهای قیمت، کیفیت، ظرفیت تولید و تحویل به موقع به عنوان مهم‌ترین معیارها در انتخاب تأمین‌کنندگان مورد توجه قرار گرفته‌اند. توپکو (۲۰۰۴)، یک مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره برای انتخاب تامین‌کنندگان در زمینه‌ی ساخت و ساز در بخش دولتی ترکیه ارایه داده است. در مدل ارایه شده توسط وی، انتخاب تامین‌کننده بر اساس سه معیار قیمت، کیفیت و زمان در دو مرحله انجام گرفت. در مرحله‌ی اول بر اساس معیارهای کیفیت و زمان پیش صلاحیت تامین‌کننده مورد بررسی قرار می‌گیرد و در مرحله-ی دوم با استفاده از سه معیار ذکر شده تامین‌کنندگان رتبه‌بندی می‌شوند. لین (۲۰۰۹)، یک مدل یکپارچه تحلیل فرآیند شبکه فازی ترکیب شده با یک مدل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه توسعه داد. در گام اول از مدل پیشنهادی وی، با استفاده از فرایند تحلیل شبکه به رتبه‌بندی و تعیین اوزان فاکتورها پرداخته می‌شود و برای این‌که ابهام و عدم‌قطعیت نیز در مدل در نظر گرفته شود تا به دنیای واقعی نزدیک‌تر شود تئوری فازی نیز به رویکرد پیشنهادی اضافه شده است. در فاز دوم با استفاده از یک مدل ریاضی چندهدفه به انتخاب تأمین‌کنندگان و تخصیص بهینه سفارش به آن‌ها پرداخته می‌شود. در مدل ریاضی پیشنهادی آن‌ها چهار تابع هدف ارایه شده است که سه هدف از نوع کمینه‌سازی(هزینه‌ها، دیرکرد تحویل و میزان خرید محصول معیوب) و یکی از نوع بیشینه‌سازی (کل ارزش خرید) است. لین (۲۰۱۲) یک رویکرد دو مرحله‌ای برای انتخاب تأمین‌کنندگان ارایه کرده است. رویکرد ارایه شده توسط وی مبتنی بر تصمیم‌گیری‌های چندشاخصه و چندهدفه به صورت توأمان می‌باشد. در همین راستا، یک مدل چندسطحی قیمت و چندمحصولی برای انتخاب تأمین‌کنندگان و تخصیص بهینه سفارش به آن‌ها توسط نظری- شیرکوهی و همکاران (۲۰۱۳) ارایه شد. در مدل ارایه شده توسط آن‌ها برخلاف مدل لین (۲۰۱۲)، تخفیف در خرید محصولات و چندمحصولی بودن نیز در نظر گرفته شد.

توسعه یک مدل یکپاره برای انتخاب تأمین‌کنندگان با استفاده از تابع ضرر تاگوچی، تاپسیس و برنامه‌ریزی آرمانی چندمعیاره، مقاله‌ای است که توسط شارما و بالان (۲۰۱۳)، ارایه شد.

در هیچ یک از مقالات ترکیبی چندشاخصه و چندهدفه ارایه شده در زمینه انتخاب تأمین‌کنندگان و تخصیص سفارش به آن‌ها، تا سال ۲۰۱۳ به مسایل زیست‌محیطی (سبز) پرداخته نشده بود. تا این‌که کانن و همکارانش (۲۰۱۳) یک رویکرد ترکیبی مبتنی بر فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی، تاپسیس فازی و یک مدل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه فازی برای انتخاب تأمین‌کنندگان در زنجیره تأمین سبز ارایه نمودند. در راستای رویکرد ارایه شده توسط نظری- شیرکوهی و همکارانش (۲۰۱۳)، کاظمی، احسانی، گلاک (۲۰۱۴)، مدلی چندهدفه برای انتخاب تأمین‌کنندگان و تخصیص سفارش به آن‌ها با در نظر گرفتن مقدار تخفیف ارایه کردند. شفیعا و همکاران (۱۳۹۲) چارچوبی برای انتخاب و ارزیابی تأمین کنندگان با در نظر گرفتن عوامل ریسک با استفاده از تکنیک های تصمیم گیری و رویکرد تحلیل پوششی داده های دو سطحی ارائه کرده اند. رززازی و بانک توکلی (۱۳۹۳) به منظور انتخاب تامین کنندگان با این فرض که زنجیره تامین از دو لایه خریدار و تامین تشکیل شده است به گونه ای که خریدار در هر زیر دوره زمانی تعدادی از تامین کنندگان را برای تامین اقلام مورد نیازاش براساس معیارهای قیمت، هزینه تراکنش و هزینه نگهداری در انبار انتخاب می نماید. مدل ارائه شده بر پایه تکنیکهای خوشه بندی دادهها استوار است. عرب زاد و همکاران (۱۳۹۴) از شبکه عصبی مصنوعی در دسته بندی اقلام خرید و ارزیابی تامین کنندگان استفاده کرده اند. به گونه ای که تامین کنندگان به سه گروه مطلوب، متوسط و نامطلوب طبقه بندی می شوند و در انتها تامین کنندگان جهت تامین اقلام دسته های مختلف ارزیابی و رتبه بندی شده اند. عرب‌زاد، قربانی، رزمی، شیرویه‌زاد (۲۰۱۴)، همانند سایر مقالات دو مرحله‌ای مورد بررسی، یک رویکرد ترکیبی مبتنی بر تصمیم گیری‌های چندم عیاره و چند هدفه برای انتخاب تأمین‌کنندگان و تخصیص بهینه سفارش به آن‌ها ارایه نموده‌اند، با این تفاوت که در رویکرد ارایه شده توسط آن‌ها مدیریت استراتژی مبتنی بر قوت، ضعف، فرصت و تهدید (SWOT) نیز در نظر گرفته شده است. در همین راستا، برخی از مطالعات، دیدگاه خود را به نوع دیگری از ارایه رویکرد و مدل معطوف کردند. در نظر گرفتن فرضیات جدید جهت نزدیک‌تر کردن مسأله به دنیای واقعی، ارایه‌ی مدل‌های غیرخطی و غیره برخی از این تغییرات بودند. ویر، سینگ و بانوت (۲۰۱۴)، یک مدل غیرخطی عدد صحیح مختلط برای انتخاب تأمین‌کنندگان در حالت پویا ارایه کردند. در مطالعه‌ی دیگری که توسط سی‌یو (۲۰۱۴)، صورت گرفته است به بررسی مسأله انتخاب تأمین‌کنندگان با در نظر گرفتن برنامه‌ریزی تولید پرداخته است. در مدل آن‌ها انعطاف‌پذیری مشتری در نظر گرفته شده است و مسأله مورد بررسی توسط آن‌ها چندمحصولی می‌باشد.

۳. روش شناسی پژوهش

در سال‌های اخیر با پررنگ‌تر شدن مسایل زیست‌محیطی و افزایش سطح آگاهی مردم، سازمان‌ها شاهد فشارهای زیادی از جانب دولت و مشتریان، برای سازگاری بیشتر با محیط‌زیست بوده‌اند. همچنین بسیاری از سهامداران سازمان‌ها نیز خواستار کاهش اثرات مخرب و منفی زیست‌محیطی شده‌اند. کشور ایران نیز از این موضوع مستثنی نبوده و گرایش جامعه و در رأس آن دولت به حفظ محیط‌زیست افزایش یافته و نگرانی‌ها در خصوص آلودگی محیط‌زیست و عواقب آن، ذهن مسئولان را مشغول کرده است. در این راستا، تلاش‌های زیادی برای نهادینه کردن و فرهنگ‌سازی مصرف محصولات سبز انجام شده است (منظور از محصولات سبز، محصولاتی است که زنجیره تامین، تولید، توزیع و مصرف آن کمترین آلایندگی و تخریب زیست محیطی را به همراه داشته باشد). سازمان‌ها برای این‌که بتوانند در صحنه رقابت با سایرین باقی بمانند؛ می‌بایست به دنبال استراتژی‌هایی جهت تولید محصولات با کمترین اثر مخرب زیست‌محیطی باشند. یکی از این استراتژی‌ها که بسیار موردتوجه قرار گرفته است، انتخاب تامین‌کنندگان سبز است. با توجه به اهمیت این موضوع، این تحقیق رویکردی را ارئه خواهد داد تا مسأله انتخاب تأمین کننده و تخصیص بهینه سفارش به آن‌ها با در نظر گرفتن مسائل زیست محیطی انجام شود. این تحقیق یک رویکرد دو مرحله ای را ارائه می دهد که مرحله اول مربوط به انتخاب تأمین کننده و امتیاز دهی به آن ها می باشد و در مرحله دوم نحوه تخصیص سفارش به تأمین کنندگان انجام می‌شود. مرحله اول از یک رویکرد مبتنی بر تصمیم گیری چند معیاره برای انخاب و امتیاز دهی به تأمین کنندگان ارائه می دهد و در مرحله دوم از رویکرد مدلسازی ریاضی برای تخصیص بهینه سفارش به تأمین کنندگان استفاده شده است.

۳-۱-۱. مرحله اول- گام اول:

در این گام، به انتخاب و استخراج معیارهای سبز در فرایند انتخاب تامین‌کنندگان واجدشرایط برای این سازمان پرداخته می‌شود. با کمک خبرگان سازمان، این معیارها استخراج می‌گردند سپس به منظور این‌که مجموعه‌ی کاملی از معیارهای سبز مورد بررسی قرار گیرد، از معیارهای بحث شده در ادبیات موضوع استفاده می‌گردد. اما این منبع نمی تواند جامعیت فاکتورهای ارزیابی را دربرگیرد. بنابراین بنابر تجربه‌ی خبرگان، برخی از معیارها نیز توسط خبرگان این سازمان تعیین می‌شود.

۳-۱-۲. مرحله اول- گام دوم:

در این گام به وزن‌دهی معیارهای به دست آمده از گام قبلی پرداخته می‌شود. بنا به نظر خبرگان بین فاکتورها وابستگی درونی بسیار ناچیز است، از روش فرایند سلسله مراتبی برای وزن‌دهی استفاده می‌شود. همچنین برای در نظر گرفتن ابهام و عدم‌قطعیت در مدل، از تئوری فازی بهره می‌گیریم. بنابراین از روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی برای وزن‌دهی استفاده می‌نماییم. برای تعیین وزن محلی زیر معیارها از ماتریس مقایسات زوجی استفاده می‌کنیم. برای این منظور از پرسشنامه‌هایی که مقایسه‌ی زوجی بین فاکتورها را داشته باشد استفاده می‌کنیم و از خبرگان می‌خواهیم تا برای تعیین اهمیت در مقایسات زوجی از الفاظ زبانی جدول (۱) که کهرمان،ارتای و بویوکوزمان (۲۰۰۶) ارائه کرده‌اند، استفاده نمایند. در شکل (۱) نیز اهمیت مقیاس زبانی به صورت شماتیک نشان داده شده است.

جدول ۱. مقدار تبدیلات فازی مثلثی

درجات سختی زبانی	درجات زبانی اهمیت	درجات فازی مثلثی	مقیاس متقابل فازی مثلثی
دقیقا برابر	دقیقا برابر	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)
سختی برابر	اهمیت برابر	(1/2, 1, 3/2)	(2/3, 1, 2)
ضعیف سختتر	اهمیت ضعیفتر	(1, 3/2, 2)	(1/2, 2/3, 1)
به شدت سختتر	اهمیت بیشتر	(3/2, 2, 5/2)	(2/5, 1/2, 2/3)
بسیار به شدت سختتر	اهمیت بسیار بیشتر	(2, 5/2, 3)	(1/3, 2/5, 1/2)
کاملا سختتر	قطعا مهمتر	(5/2, 3, 7/2)	(2/7, 1/3, 2/5)

بعد از تکمیل پرسشنامه‌ها و استخراج ماتریس مقایسات زوجی، وزن محلی هریک از فاکتورها را از طریق روشی که توسط چانگ (۱۹۹۶) ارایه کرده‌اند برای دی فازی کردن و بدست آوردن وزن هر فاکتور استفاده می‌کنیم. روند ارایه شده توسط آن‌ها در ادامه آورده شده است:

فرض کنید $M_{g_i}^{j}$ نشان دهنده‌ی اعداد فازی مثلثی واقع شده در سطر iام و ستون jام ماتریس مقایسات زوجی باشد و داریم:

$$\sum_{j=1}^{m} M_{g_i}^{j} = \left(\sum_{j=1}^{m} a_{ij}, \sum_{j=1}^{m} b_{ij}, \sum_{j=1}^{m} c_{ij}\right), i = 1,2,3,\ldots,n \qquad (۱)$$

که در آن a، b و c به ترتیب نشان دهنده‌ی حدپایین، وسط و بالای اعداد فازی مثلثی هستند. میزان حد ترکیبی فازی را با S_i نمایش داده و به صورت زیر تعریف می‌کنیم:

$$S_i = \sum_{j=1}^{m} M_{g_i}^{j} \otimes \left[\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} M_{g_i}^{j}\right]^{-1} \qquad (۲)$$

که برای بدست آوردن $\left[\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} M_{g_i}^{j}\right]^{-1}$ به صورت زیر عمل می‌کنیم:

$$\left[\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} M_{g_i}^{j}\right]=\left(\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} a_{ij},\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} b_{ij},\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} c_{ij}\right) \quad (۳)$$

$$\left[\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} M_{g_i}^{j}\right]^{-1}=\left(\frac{1}{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} c_{ij}},\frac{1}{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} b_{ij}},\frac{1}{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} a_{ij}}\right) \quad (۴)$$

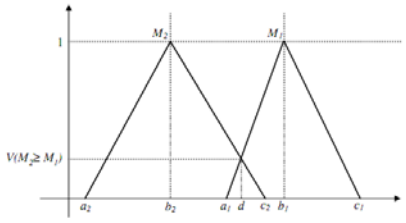
سپس باید درجه‌ی امکان را تعیین کنیم. برای مثال درجه امکان $M_2 \geq M_1$ به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$V(M_2 \geq M_1)=Sup[\min(\mu_{M_1}(x),\mu_{M_2}(y))], y \geq \quad (۵)$$

این درجه امکان از طریق رابطه‌ی زیر بدست می‌آید:

$$V(M_2 \geq M_1)=hgt(M_1 \cap M_2)=\mu_{M_2}(d)=\begin{cases}1 & if \quad b_2 \geq b_1\\ 0 & if \quad a_1 \geq c_2\\ \dfrac{a_1-c_2}{(b_2-c_2)-(b_1-a_1)} & Otherwise\end{cases} \quad (۶)$$

که در آن d بیشترین ارتفاع موجود بین μ_{M_1} و μ_{M_2} است. شکل (۲) نشان دهنده‌ی این مفهوم است.



شکل. ۲. تداخل میان M1 و M2

در مرحله‌ی بعدی درجه‌ی امکان را برای اعداد فازی محدب به صورت زیر تعریف می‌کنیم:

$$V(M \geq M_1, M_2, ..., M_k) = \min(M \geq M_i) \quad i=1,2,...,k \quad (۷)$$

بنابراین فرض می‌کنیم که

$$d'(A_i)=\min V(S_i \geq S_k) \quad (۸)$$

سپس بردار وزن را به صورت زیر تعریف می‌کنیم:

$$W'=(d'(A_1),d'(A_2),...,d'(A_n))^T \quad (۹)$$

سپس بردار وزن بدست آورده را نرمال می‌کنیم:

$$W=(d(A_1),d(A_2),...,d(A_n))^T \quad (۱۰)$$

بدین ترتیب می‌توانیم وزن هریک از زیر معیارها را به دست آوریم.

۳-۱-۳. مرحله اول- گام سوم:

در این گام، به ارزیابی عملکرد معیارها– جهت استخراج داده‌های ارزیابی عملکرد- به ازای هر تامین‌کننده می‌پردازیم. برای این منظور از خبرگان می‌خواهیم تا با استفاده از الفاظ زبانی جدول (۲) به معیارها، به ازای هر تامین‌کننده امتیازدهی کنند. این کار با استفاده از پرسشنامه صورت می‌گیرد. اعداد فازی مثلثی معادل الفاظ زبانی مورد استفاده در این گام نیز در جدول (۲) آورده شده است (داگدویرن و یوکسل، ۲۰۱۰). میانگین نظرات خبرگان برای هر زیرمعیار را بدست می‌آوریم، سپس امتیاز نهایی ارزیابی عملکرد برای هر تامین‌کننده، از مجموع حاصل‌ضرب اوزان معیارها در مقادیر عددی‌اشان (مقادیر ارزیابی شده در این گام) حاصل می‌گردد.

جدول ۲. ارزش‌های زبانی و معنای اعداد فازی مثلثی

الفاظ زبانی مطلوب	الفاظ زبانی نامطلوب	اعداد فازی مثلثی معادل	میانگین اعداد فازی مثلثی
خیلی ضعیف	خیلی خوب	(0,0,0)	0
ضعیف	خوب	(0,0.167,0.333)	0.167
متوسط- ضعیف	متوسط- خوب	(0.167,0.333,0.5)	0.333
متوسط	متوسط	(0.333,0.5,0.667)	0.5
متوسط- خوب	متوسط- ضعیف	(0.5,0.667,0.833)	0.667
خوب	ضعیف	(0.667,0.833,1)	0.833
خیلی خوب	خیلی ضعیف	(1,1,1)	1

پس از محاسبه امتیاز هر تامین‌کننده، آن‌هایی که حداقل امتیاز لازم را کسب نمایند، به عنوان تامین‌کننده واجدشرایط وارد مرحله بعدی می‌شوند.

۳-۲-۱. مرحله دوم:

برای طراحی شبکه زنجیره تأمین مذکور مفروضات زیر را در نظر می‌گیریم:

- زنجیره تامین موردنظر در این پژوهش دربرگیرنده سطوح تامین و توزیع می‌باشد.
- هم‌چنین این زنجیره تامین چندمحصولی و تک دوره‌ای در نظر گرفته شده‌است.
- موقعیت جغرافیایی محل‌های تامین خارج از حدود مدل تحقیق در عملیات تعیین می‌گردد.
- مکان‌یابی مراکز توزیع نوسط مدل تعیین می‌گردد.
- تعداد و ظرفیت خودروهای قابل استفاده برای حمل و نقل مشخص می‌باشد.
- زمان لازم برای جابه‌جایی خودروها به شکل قطعی از پیش مشخص است.
- یک رویکرد فازی برای حل مدل ارایه می‌شود.

جدول ۳. اندیس‌ها

تامین‌کننده	$s , \hat{s}$
وسیله نقلیه	v
مرکز توزیع	d
محصول	i

جدول ۴. پارامترها

هزینه راه‌اندازی مرکز توزیع d	$\cos t_d^{str}$
هزینه سوخت	$\cos t^f$
امتیاز تامین‌کننده s	w_s
میزان مصرف سوخت خودروی v	$fuel_v$
میزان تقاضای مرکز توزیع d از محصول i	$dist_{id}$
هزینه‌ی ثابت سفارش‌دهی از تامین‌کننده‌ی s	fix_s
زمان جابجایی از مرکز توزیع d به تامین‌کننده s با خودروی v	tm_{vds}
فاصله تامین‌کننده‌ی s از مرکز توزیع d	dis_{ds}
قیمت خرید کالای i از تامین‌کننده‌ی s	$price_{is}^{\sup}$
زمان جابجایی از تامین کننده‌ی $\hat{s}$ به تامین‌کننده‌ی s با خودروی v	$tm_{v\hat{s}s}^{\sup}$
فاصله‌ی تامین‌کننده‌ی s از $\hat{s}$	$dis_{\hat{s}s}^{\sup}$
هزینه تامین خودروی v	$\cos t_v^{veh}$
ظرفیت خودروی v	cap_v^{veh}
ظرفیت تامین‌کننده s در تامین کالای i	$cap_{is}^{\sup}$
عدد مثبت بسیار بزرگ (بی‌نهایت)	**bigm**$\sim\infty$

جدول ۵. متغیرها

میزان محصول i تامین شده توسط تامین‌کننده s برای مرکز توزیع d توسط خودرو v		x_{ivds}
زمان ورود خودروی v به تامین‌کننده‌ی s		at_{vs}
اگر خودرو v *تامین شود*	Binary	$x_v^{veh}\begin{cases}1\\0\end{cases}$
در غیر این‌صورت		
اگر کالای i از تامین‌کننده s تامین شود	Binary	$x_{is}^{\sup}\begin{cases}1\\0\end{cases}$
در غیر این‌صورت		
اگر خودرو v از تامین‌کننده $\hat{s}$ به تامین‌کننده s برود	Binary	$\alpha_{v\hat{s}s}\begin{cases}1\\0\end{cases}$
در غیر این‌صورت		

$y_{vd}\begin{cases}1\\0\end{cases}$	Binary	اگر خودرو v مرکز توزیع d اختصاص یابد در غیر این‌صورت
$x_d^{str}\begin{cases}1\\0\end{cases}$	Binary	اگر مرکز توزیع d تاسیس شود در غیر این صورت

۳-۲-۲. مدل‌سازی ریاضی

در زیر مدل ما ارایه شده است که دارای ۲ تابع هدف می‌باشد که اولی شامل کمینه‌سازی هزینه‌ها که عبارتند از: هزینه‌ی مصرف سوخت توسط خودروها، هزینه‌ی تأمین خودرو، هزینه‌ی ارتباط با تأمین‌کننده، هزینه‌ی خرید محصول و هزینه‌ی انبارداری و تابع هدف دوم به بیشینه‌سازی ارزش خرید از تأمین‌کنندگان سبز می‌پردازد.

توابع هدف

$$Min\ Z^{cost}=\sum_{v,d,s>1}cost^{f}\times fuel_{v}\times dis_{ds}\times y_{vd}\times\alpha_{v1s}+\sum_{v,\hat{s}>1,s>1}cost^{f}\times fuel_{v}\times dis_{\hat{s}s}^{sup}\times\alpha_{v\hat{s}s}+$$
$$\sum_{v,d,s>1}cost^{f}\times fuel_{v}\times dis_{ds}\times y_{vd}\times\alpha_{vs1}+\sum_{v}cost_{v}^{veh}\times x_{v}^{veh}+$$
$$\sum_{i,s}fix_{s}\times x_{is}^{sup}+\sum_{i,v,d,s}price_{is}^{sup}\times x_{ivds}+\sum_{d}cost_{d}^{str}\times x_{d}^{str}$$

$$Max\ \ Z^{\text{set up distribution center with maximum values}}=\sum_{i,s}w_{s}\times x_{is}^{sup}$$

Subjected to:

$$\sum_{\hat{s}}\alpha_{v\hat{s}s}=\sum_{\hat{s}}\alpha_{vs\hat{s}}\qquad\forall v,s \tag{1}$$
$$\sum_{\hat{s}}\alpha_{v\hat{s}s}\le 1\qquad\forall v,s \tag{2}$$
$$\sum_{v,d}x_{ivds}\le cap_{is}^{sup}\qquad\forall i,s \tag{3}$$
$$\sum_{i,s}x_{ivds}\le cap_{v}^{veh}\times x_{v}^{veh}\qquad\forall v,d \tag{4}$$
$$\sum_{d}x_{ivds}\le bigm\times\sum_{\hat{s}}\alpha_{v\hat{s}s}\qquad\forall i,v,s \tag{5}$$
$$\sum_{d,s}x_{ivds}\le bigm\times x_{v}^{veh}\qquad\forall i,v \tag{6}$$
$$\sum_{d}y_{vd}\le 1\qquad\forall v \tag{7}$$
$$\sum_{s,v}x_{ivds}\ge dist_{id}\qquad\forall i,d \tag{8}$$
$$\sum_{d,s}x_{ivds}\le bigm\times\sum_{d}y_{vd}\qquad\forall i,v \tag{9}$$
$$\le bigm\times x_{d}^{str}\qquad\forall i,v,d,s \tag{10}$$
مثبت

$$at_{vs}\ge\sum_{\hat{s}}(at_{v\hat{s}}+tm_{v\hat{s}s}^{sup})\times\alpha_{v\hat{s}s}\qquad\forall v,s>1 \tag{11}$$

$$at_{vs}\ge\sum_{d}tm_{vds}\times y_{vd}\times\alpha_{vs1}\qquad\forall v,s \tag{12}$$

$$x_{d}^{str}\le bigm\times y_{vd}\qquad\forall v,d \tag{13}$$

$$\sum_{v,d}x_{ivds}\le x_{is}^{sup}\times bigm\qquad\forall i,s \tag{14}$$

$$\sum_{d}x_{d}^{str}=1 \tag{15}$$

محدودیت (۱) بیان می‌کند که اگر خودرویی به یک تأمین‌کننده وارد شد باید از آن خارج شود. محدودیت (۲) تضمین می‌کند که هر خودرو هر تأمین‌کننده حداکثر یکبار ویزیت خواهد کرد. میزان کالای دریافتی از هر تأمین‌کننده نباید از ظرفیت آن تأمین‌کننده تجاوز نماید که محدودیت (۳) نشان‌دهنده‌ی این امر است. میزان کالای جابجا شده توسط خودروها، نباید از ظرفیت آن خودرو بیشتر باشد که این مهم در محدودیت (۴) آورده شده است. دو شرط مهم برای دریافت کالا این است که مشتری تأمین‌کننده را ویزیت نماید و خودرو خریداری گردد که این دو شرط به ترتیب در محدودیت‌های (۵) و (۶) ارضا شده است. هر خودرو حداکثر به یک مرکز توزیع تخصیص داده خواهد شد که محدودیت (۷) این موضوع را نشان می‌دهد. محدودیت (۸) بیانگر محدودیت ارضای تقاضاست و محدودیت (۹) بیان می‌کند که اگر خودرویی به هیچ مرکز توزیع تخصیص داده نشود، هیچ محصولی خریداری نخواهد شد. محدودیت (۱۰) بیانگر این می‌باشد که اگر از تامین کننده‌ای خرید نشود آن تامین‌کننده احداث نخواهد شد. محدودیت‌های (۱۱) و (۱۲)، جهت حذف زیرتور و زمان بازدید از هر تأمین‌کننده را نشان می‌دهند. محدویت (۱۲) تضمین می‌کند که اگر خودرویی به مرکز توزیعی تخصیص نیافت، آن مرکز توزیع تأسیس نشود. براساس محدودیت (۱۳)، اگر با تأمین‌کننده‌ای ارتباط گرفته نشود، هیچ محصولی از او خریداری نمی‌شود. در نهایت محدودیت (۱۴) بیان می‌کند که دقیقا یک مرکز توزیع احداث گردد.

۳-۲-۳. فرایند خطی‌سازی

برای خطی‌سازی، متغیرهای زیر را تعریف می‌نماییم:

$$y\,\alpha_{vd\hat{s}s}\begin{cases}1\\0\end{cases}\qquad\text{صفر و یک}\qquad at\,\alpha_{v\hat{s}s}$$

در زیر صورت خطی تابع هدف اول آورده شده است که پنج محدودیت به مدل اضافه می‌نماید.

$$Min\ Z^{cost} = \sum_{v,d,s>1} cost^{f} \times fuel_{v} \times dis_{ds} \times y\alpha_{vd1s} + \sum_{v,\hat{s}>1,s>1} cost^{f} \times fuel_{v} \times dis_{\hat{s}s}^{sup} \times \alpha_{v\hat{s}s} + \sum_{v,d,s>1} cost^{f} \times fuel_{v} \times dis_{ds} \times y\alpha_{vd1s} + \sum_{v} cost_{v}^{veh} \times x_{v}^{veh} + \sum_{i,s} fix_{s} \times x_{is}^{sup} + \sum_{i,v,d,s} price_{is}^{sup} \times x_{ivds} \quad (16)$$

$$y\alpha_{vd\hat{s}s} \le y_{vd} + (1-\alpha_{v\hat{s}s}) \times bigm \quad (17)$$

$$y\alpha_{vd\hat{s}s} \le \alpha_{v\hat{s}s} + (1-y_{vd}) \times bigm \quad (18)$$

$$y\alpha_{vd\hat{s}s} \ge 1 + (\alpha_{v\hat{s}s} + y_{vd} - 2) \times bigm \quad (19)$$

$$y\alpha_{vd\hat{s}s} \le (\alpha_{v\hat{s}s} + y_{vd}) \times bigm \quad (20)$$

عبارت غیر خطی (۱۰) به صورت زیر خطی سازی شده است.

$$at_{vs} \ge \sum_{\hat{s}} (at\alpha_{v\hat{s}} + tm_{v\hat{s}s}^{sup} \times \alpha_{v\hat{s}s}) \qquad \forall v, s > 1 \quad (21)$$

$$at\alpha_{v\hat{s}s} \ge at_{v\hat{s}} - (1-\alpha_{v\hat{s}s}) \times bigm \quad (22)$$

$$at\alpha_{v\hat{s}s} \le at_{v\hat{s}} \quad (23)$$

$$at\alpha_{v\hat{s}s} \le bigm \times \alpha_{v\hat{s}s} \quad (24)$$

به دلیل اینکه مساله دارای دو تابع هدف غیرهمجنس هستند از روش فازی ارایه شده توسط زیمرمن (۱۹۷۸) برای فازی کردن توابع هدف استفاده خواهد شد.

$$Max\ \lambda$$
$$Subject\ to:$$
$$\lambda \le \mu_{z_k^{\min}}(x)$$
$$\lambda \le \mu_{z_r^{\max}}(x)$$

این توابع عضویت به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$\mu_{z_k^{\min}}(x) = \begin{cases} 1 & z_k(x) > z_k^{positive} \\ 0 & z_k(x) < z_k^{negative} \\ f_{\mu_{z_k^{\min}}} = \dfrac{z_k^{positive} - z_k(x)}{z_k^{positive} - z_k^{negative}}, & z_k^{negative} \le z_k(x) \le z_k^{positive} \end{cases}$$

$$\mu_{z_l^{\max}}(x) = \begin{cases} 1 & z_l(x) > z_l^{positive} \\ 0 & z_l(x) < z_l^{negative} \\ f_{z_l^{\max}} = \dfrac{z_l(x) - z_l^{negative}}{z_l^{positive} - z_l^{negative}}, & z_l^{negative} \le z_l(x) \le z_l^{positive} \end{cases}$$

از آن‌جا که در این مدل معیارهای استفاده شده در یک مقیاس نیستند باید قبل از حل مدل روشی برای بی‌مقیاس سازی آن بکار برده شود. $z^{positive}$ و $z^{negative}$ به ترتیب حد بالا و پایین توابع هدف هستند که در مدل تخمین زده می‌شوند.

۴. یافته‌های پژوهش

تجهیزات پزشکی یکی از مهمترین مباحث در زمینه‌ی خدمات درمانی می‌باشد زیرا با توجه به این موضوع که تمامی روش‌های درمانی با درنظرگیری پیشرفت علم پزشکی و درمانی، برای خدمت رسانی در بیمارستان‌ها و درمانگاه‌ها نیازمند وسایل مورد نیاز در این رابطه می‌باشند. به‌الطبع این صنعت حیاتی بوده و سود حاصل از فعالیت‌های تجاری در آن بسیار بالا می‌باشد، شرکت‌های زیادی در این زمینه وارد شده‌اند. اکنون عاملی که اخیرا باعث شده در این سیستم رقابتی عملکرد بعضی بر دیگری سود بیشتری داشته باشند استفاده از فعالیت‌های سبز در مجموعه‌ی عملیات خود می‌باشد. از این‌رو ما با از یک زنجیره‌ی لوازم مصرفی تجهیزات پزشکی در این زمینه برای اعتبار سنجی مدل پیشنهادی خود استفاده کرده‌ایم.

۴-۱-۱. مرحله اول- گام اول: با بررسی ادبیات موضوع و استفاده از تجربه خبرگان مجموعه‌ای از معیارها و زیرمعیارها استخراج گردید که در جدول (۳) آورده شده است.

جدول ۳. معیارهای سبز انتخاب شده جهت ارزیابی تأمین‌کنندگان

معیارهای سبز	علایم اختصاری
آلودگی هوا	Green1
میزان تخریب اکوسیستم	Green2
مدیریت هدررفت/کنترل آلودگی	Green3
مواد دوستدار محیط زیست	Green4
تاییدیه‌های محیط زیستی	Green5
بازطراحی محصولات	Green6
برنامه‌ریزی تولید سبز	Green7

۴-۱-۲. مرحله اول- گام دوم: در این گام به وزن‌دهی زیرمعیارها پرداخته خواهد شد. برای این منظور از خبرگان خواسته می‌شود تا با استفاده از الفاظ زبانی جدول (۱) بین فاکتورها به صورت زوجی قضاوت نمایند. نتایج حاصل از این مقایسات زوجی با جایگزین کردن اعداد فازی مثلثی به جای الفاظ زبانی در جداول (۴) اورده شده است.

جدول ۴. مقایسات زوجی بین معیارهای معیار سبز

زیرمعیارهای سبز	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7
G1	(1,1,1)	(1,3/2,2)	(1,3/2,2)	(1/2,1,3/2)	(1/2,1,3/2)	(1,3/2,2)	(3/2,2,5/2)
G2	(1/2,2/3,1)	(1,1,1)	(1,3/2,2)	(1/2,2/3,1)	(1,3/2,2)	(1,3/2,2)	(3/2,2,5/2)
G3	(1/2,2/3,1)	(1/2,2/3,1)	(1,1,1)	(1/2,2/3,1)	(1/2,2/3,1)	(1,3/2,2)	(3/2,2,5/2)
G4	(2/3,1,2)	(1,3/2,2)	(1,3/2,2)	(1,1,1)	(1/2,2/3,1)	(1,3/2,2)	(3/2,2,5/2)
G5	(2/3,1,2)	(1/2,2/3,1)	(1,3/2,2)	(1,3/2,2)	(1,1,1)	(1,3/2,2)	(1,3/2,2)
G6	(1/2,2/3,1)	(1/2,2/3,1)	(1/2,2/3,1)	(1/2,2/3,1)	(1/2,2/3,1)	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)
G7	(2/5,1/2,2/3)	(2/5,1/2,2/3)	(2/5,1/2,2/3)	(2/5,1/2,2/3)	(1/2,2/3,1)	(2/3,1,2)	(1,1,1)

حال با استفاده از روش چانگ (۱۹۹۶) به وزن‌دهی زیرمعیارها پرداخته می‌شود. در ادامه با استفاده از جدول (۴) روند وزن‌دهی توسط این روش آورده شده است:

۱. محاسبه‌ی مجموع اعداد فازی مثلثی در هر سطر: مجموع اعداد فازی را در هر سطر محاسبه می‌نماییم.

$$1)\sum_{j=1}^{m} M_{g_i}^{j} = (\sum_{j=1}^{m} a_{ij}, \sum_{j=1}^{m} b_{ij}, \sum_{j=1}^{m} c_{ij}), i = 1,2,3,...,n$$

$$\sum_{j=1}^{7} M_{g_1}^{j} = (6.5, 9.5, 12.5) \qquad \sum_{j=1}^{7} M_{g_2}^{j} = (6.5, 8.8333, 11.5)$$

$$\sum_{j=1}^{7} M_{g_3}^{j} = (5.5, 7.1667, 9.5) \qquad \sum_{j=1}^{7} M_{g_4}^{j} = (6.6667, 9.1667, 12.5)$$

$$\sum_{j=1}^{7} M_{g_5}^{j} = (6.1667, 8.6667, 12) \qquad \sum_{j=1}^{7} M_{g_6}^{j} = (4, 5.3333, 7.5)$$

$$\sum_{j=1}^{7} M_{g_7}^{j} = (3.7667, 4.6667, 6.6667)$$

۲. محاسبه مجموع اعداد فازی مثلثی تمامی سطرها و ستون‌ها: در این مرحله، مجموع تمام اعداد فازی را در سطرها و ستون‌ها محاسبه می‌کنیم.

$$2)\left[\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} M_{g_i}^{j}\right] = (\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} a_{ij}, \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} b_{ij}, \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} c_{ij})$$

$$\sum_{i=1}^{7}\sum_{j=1}^{7} M_{g_i}^{j} = (39.1001, 53.3334, 72.1667)$$

۳. محاسبه معکوس مجموع اعداد فازی مثلثی تمامی سطرها و ستون‌ها: مجموع اعداد فازی مرحله قبل را معکوس می‌نماییم، مکان اعداد فازی مثلثی نیز تغییر می‌کند.

$$3)\left[\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} M_{g_i}^{j}\right]^{-1} = (\frac{1}{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} c_{ij}}, \frac{1}{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} b_{ij}}, \frac{1}{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} a_{ij}})$$

$$\left[\sum_{i=1}^{7}\sum_{j=1}^{7} M_{g_i}^{j}\right]^{-1} = \left(\frac{1}{72.1667}, \frac{1}{53.3334}, \frac{1}{39.1001}\right)$$

۴. محاسبه میزان حد ترکیبی فازی: مجموع اعداد هر سطر را (مرحله ۱) را در مجموع تمامی سطر و ستون‌ها (مرحله ۳) ضرب می‌کنیم.

$$4) S_i = \sum_{j=1}^{m} M_{g_i}^{j} \otimes \left[\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} M_{g_i}^{j}\right]^{-1}$$

$$S_1 = (6.5, 9.5, 12.5) \otimes \left(\frac{1}{72.1667}, \frac{1}{53.3334}, \frac{1}{39.1001}\right) = (0.0901, 0.1781, 0.3197)$$

$$S_2 = (6.5, 8.8333, 11.5) \otimes \left(\frac{1}{72.1667}, \frac{1}{53.3334}, \frac{1}{39.1001}\right) = (0.0901, 0.1656, 0.2941)$$

$$S_3 = (5.5, 7.1667, 9.5) \otimes \left(\frac{1}{72.1667}, \frac{1}{53.3334}, \frac{1}{39.1001}\right) = (0.0762, 0.1344, 0.2430)$$

$$S_4 = (6.6667, 9.1667, 12.5) \otimes \left(\frac{1}{72.1667}, \frac{1}{53.3334}, \frac{1}{39.1001}\right) = (0.0924, 0.1719, 0.3197)$$

$$S_5 = (6.1667, 8.6667, 12) \otimes \left(\frac{1}{72.1667}, \frac{1}{53.3334}, \frac{1}{39.1001}\right) = (0.0855, 0.1625, 0.3069)$$

$$S_6 = (4, 5.3333, 7.5) \otimes \left(\frac{1}{72.1667}, \frac{1}{53.3334}, \frac{1}{39.1001}\right) = (0.0554, 0.1, 0.1918)$$

$$S_7 = (3.7667, 4.6667, 6.6667) \otimes \left(\frac{1}{72.1667}, \frac{1}{53.3334}, \frac{1}{39.1001}\right) = (0.0522, 0.0875, 0.1705)$$

۵. تعیین درجه امکان: اعدادحاصله از گام قبل را با استفاده از رابطه (۳-۲۵) مقایسه می‌شوند و مقادیر درجه امکان تعیین می‌گردند.

$$5) V(M_2 \geq M_1) = Sup[\min(\mu_{M_1}(x), \mu_{M_2}(y))], y \geq x$$

$V(S_1 \geq S_2) = 1$,$V(S_1 \geq S_3) = 1$,$V(S_1 \geq S_4) = 1$
$V(S_1 \geq S_5) = 1$,$V(S_1 \geq S_6) = 1$,$V(S_1 \geq S_7) = 1$

$V(S_2 \geq S_1) = 0.9423$,$V(S_2 \geq S_3) = 1$,$V(S_2 \geq S_4) = 0.9697$
$V(S_2 \geq S_5) = 1$,$V(S_2 \geq S_6) = 1$,$V(S_2 \geq S_7) = 1$

$V(S_3 \geq S_1) = 0.7777$,$V(S_3 \geq S_2) = 0.8305$,$V(S_3 \geq S_4) = 0.8006$
$V(S_3 \geq S_5) = 0.8486$,$V(S_3 \geq S_6) = 1$,$V(S_3 \geq S_7) = 1$

$V(S_4 \geq S_1) = 0.9737$,$V(S_4 \geq S_2) = 1$,$V(S_4 \geq S_3) = 1$
$V(S_4 \geq S_5) = 1$,$V(S_4 \geq S_6) = 1$,$V(S_4 \geq S_7) = 1$

$V(S_5 \geq S_1) = 0.9329$,$V(S_5 \geq S_2) = 0.9859$,$V(S_5 \geq S_3) = 1$
$V(S_5 \geq S_4) = 0.9580$,$V(S_5 \geq S_6) = 1$,$V(S_5 \geq S_7) = 1$

$V(S_6 \geq S_1) = 0.5803$,$V(S_6 \geq S_2) = 0.6221$,$V(S_6 \geq S_3) = 0.7799$
$V(S_6 \geq S_4) = 0.5952$,$V(S_6 \geq S_5) = 0.6431$,$V(S_6 \geq S_7) = 1$

$V(S_7 \geq S_1) = 0.4702$,$V(S_7 \geq S_2) = 0.5073$,$V(S_7 \geq S_3) = 0.6678$
$V(S_7 \geq S_4) = 0.4806$,$V(S_7 \geq S_5) = 0.5313$,$V(S_7 \geq S_6) = 0.9020$

۶. تعیین حداقل مقدار درجه امکان به ازای هر میزان حد ترکیبی فازی: در گام قبل به ازای هر دسته درجه امکان، حداقل آن دسته تعیین می‌گردد.

$$6) d'(A_i) = \min V(S_i \geq S_k)$$

$$d'(A_1) = \min V(S_1 \geq S_k) = 1 \quad , k = 2,3,4,5,6,7$$
$$d'(A_2) = \min V(S_2 \geq S_k) = 0.9423 \quad , k = 1,3,4,5,6,7$$
$$d'(A_3) = \min V(S_3 \geq S_k) = 0.7777 \quad , k = 1,2,4,5,6,7$$
$$d'(A_4) = \min V(S_4 \geq S_k) = 0.9737 \quad , k = 1,2,3,5,6,7$$
$$d'(A_5) = \min V(S_5 \geq S_k) = 0.9329 \quad , k = 1,2,3,4,6,7$$
$$d'(A_6) = \min V(S_6 \geq S_k) = 0.5803 \quad , k = 1,2,3,4,5,7$$
$$d'(A_7) = \min V(S_7 \geq S_k) = 0.4702 \quad , k = 1,2,3,4,5,6$$

۷. وزن‌های نرمال نشده: اعداد حاصل از مرحله قبل به عنوان وزن‌های نرمال نشده در نظر گرفته می‌شوند.

$$7) W' = (d'(A_1), d'(A_2), \ldots, d'(A_n))^T$$
$$W' = (1, 0.9423, 0.7777, 0.9737, 0.9329, 0.5803, 0.4702)^T$$

۸. وزن‌های نرمال شده: هر کدام از وزن‌های مرحله‌ی قبل را بر مجموع اوزان تقسیم می‌نماییم.

$$W = (0.1761, 0.1661, 0.1370, 0.1715, 0.1643, 0.1022, 0.0828)^T$$ جدول (۶) نشان دهنده اوزان معیارهای سبز می‌باشد.

جدول ۶. وزن معیارهای سبز

زیرمعیار	وزن
آلودگی هوا	0.1761
میزان تخریب اکوسیستم	0.1661
خرید مواد اولیه‌ی سازگار با محیط زیست	0.137
شرکای سازگار با محیط زیست	0.1715
بسته بندی سبز	0.1643
بازیافت (بازفرآوری ضایعات به مواد قابل استفاده مجدد)	0.1022
دسترسی به تکنولوژی پاک برای لجستیک معکوس	0.0828

۴-۱-۳- مرحله اول- گام سوم: در این گام به اندازه‌گیری عملکرد هر تامین‌کننده به ازای هر معیار پرداخته خواهد شد. برای این منظور از خبرگان می‌خواهیم تا با استفاده از الفاظ زبانی جدول (۲) به تامین‌کنندگان به ازای هر معیار امتیازدهی کنند. نتایج حاصل از میانگین نظرات خبرگان در مورد ارزیابی تأمین‌کنندگان به ازای هر معیار در جدول (۷) آورده شده است.

جدول ۷. میانگین پرسشنامه‌های ارزیابی عملکرد برای هر تأمین‌کننده

زیرمعیارها	تامین‌کننده ۱	تامین‌کننده ۲	تامین کننده ۳	تامین کننده ۴	تامین کننده ۵	تامین‌کننده ۶
Green1	0.5668	0.2002	0.5332	0.4332	0.6002	0.6336
Green2	0.6002	0.3668	0.6002	0.4332	0.6668	0.7334
Green3	0.5334	0.2336	0.6002	0.3	0.4666	0.8
Green4	0.5668	0.1336	0.8	0.7002	0.8664	0.6336
Green5	0.7668	0.5332	0.6668	0.4332	0.6002	0.6002
Green6	0.4666	0.2668	0.7002	0.5002	0.8	0.6668
Green7	0.5332	0.1668	0.5	0.2334	0.6668	0.7668

حال برای به دست آوردن امتیاز هر تأمین‌کننده، باید مجموع وزن معیارها در مقادیر ارزیابی شده‌اشان را محاسبه نماییم. در جدول (۸) امتیاز هر تأمین‌کننده محاسبه گردیده است.

جدول ۸. امتیاز هر تامین‌کننده

معیار	تامین‌کننده ۱	تامین‌کننده ۲	تامین‌کننده ۳	تامین‌کننده ۴	تامین‌کننده ۵	تامین‌کننده ۶
امتیاز سبز	0.587609	0.279779	0.635533	0.451046	0.664546	0.681908

بر اساس نظر خبرگان، تامین‌کنندگانی که حداقل امتیاز ۰/۵ کسب کنند، به عنوان تامین‌کنندگان واجدشرایط وارد مرحله دوم می‌شوند. براساس جدول (۷) تامین‌کنندگان ۱، ۳، ۵ و ۶ تامین‌کنندگان واجدشرایط هستند.

۴-۲. مرحله دوم:

در این مرحله بااستفاده از داده‌های مطالعه موردی که در پیوست آورده شده است، به بهینه‌سازی و اعتبارسنجی مدل ریاضی پیشنهادی ارایه شده در فصل سوم پرداخته می‌شود.

مدل به ازای اطلاعات ۴ تامین‌کننده منتخب از مرحله اول، ۴ کالا، ۶ خودرو در دسترس و ۳ مکان بالقوه‌ی توزیع اجرا شد.

بنابراین با اعمال روند فازی زیمرمن(۱۹۷۸) در مدل، خواهیم داشت:

$$\mu_{z^{cost}} = \frac{354603000 - z^{cost}}{354603000}$$

$$\mu_{z^{total\ value\ purchasing}} = \frac{z^{green}}{1240.5}$$

بنابراین مدل به صورت زیر تغییر خواهد کرد:

$$Max\ \lambda$$

Subjected to:

$$Min\ Z^{cost} = \sum_{v,d,s>1} cost^{f} \times fuel_{v} \times dis_{ds} \times y_{vd} \times \alpha_{vls} + \sum_{v,s,s>1,s>1} cost^{f} \times fuel_{v} \times dis_{ss}^{sup} \times \alpha_{vss}$$

$$\sum_{v,d,s>1} cost^{f} \times fuel_{v} \times dis_{ds} \times y_{vd} \times \alpha_{vs1} + \sum_{v} cost_{v}^{veh} \times x_{v}^{veh} +$$

$$\sum_{i,s} fix_{s} \times x_{is}^{sup} + \sum_{i,v,d,s} price_{is}^{sup} \times x_{ivds} + \sum_{d} cost_{d}^{str} \times x_{d}^{str}$$

$$Max\ Z^{set\ up\ distribution\ center\ with\ maximum\ values} = \sum_{i,s} w_{s} \times x_{is}^{sup}$$

$$\mu_{z^{cost}} = \frac{354603000 - z^{cost}}{354603000} \geq \lambda$$

$$\mu_{z^{set\ up\ distribution\ center\ with\ maximum\ values}} = \frac{z^{green}}{1240.5} \geq \lambda$$

سایر محدودیت‌ها، بدون تغییر آورده می‌شوند.

در ادامه نتایج حاصل از حل مدل با اوزان در نرم افزار GAMS 23.6/ Cplex در جدول (۹) آورده شده است.

برای خرید کالای ۱و۲و۳ با تامین‌کننده ۱ ارتباط گرفته شد و کالای ۴ از تامین‌کننده ۲ تهیه می‌شود. وسیله شماره ۳ خریداری گردید و مکان شماره ۱ احداث گردید.

جدول ۹. مقادیر بهینه حاصل از حل مدل

معیار	λ	Z_1	Z_2
مقدار بهینه	۰/۶۱۳	۲۸۴۵۷۸۰۰۰	۸۳۴/۳

تحلیل حساسیت

جهت تحلیل حساسیت تعدادی سناریو مبتنی بر تقاضا تعریف می‌گردد. برای این منظور تقاضا را کاهش داده و انتظار داریم که میزان هزینه‌ها افزایش نیابد(تابع هدف هزینه بدتر نشود) و تابع هدف دوم بهتر نشود. همچنین تقاضا را افزایش داده و انتظار داریم که مقدار تابع هدف اول بهتر بهتر نشود ومقدار تابع هدف دوم بدتر نشود. در نتایج حاصل از تحلیل حساسیت در جدول (۱۰) است که مطابق با انتظارات می‌باشد.

جدول ۱۰. نتایج حاصل از تحلیل حساسیت

	سناریو	تابع هدف اول	تابع هدف دوم
(۱)	$0.7 \times dis_{id}$	۲۶۴۸۷۵۸۰۰	۶۴۷/۷
(۲)	$0.8 \times dis_{id}$	۲۷۰۴۵۶۰۰۰	۷۰۸/۹
(۳)	$0.9 \times dis_{id}$	۲۷۹۷۶۵۳۰۰	۷۹۴/۵
(۴)	dis_{id}	۲۸۴۵۷۸۰۰۰	۸۳۴/۳
(۵)	$1.1 \times dis_{id}$	۲۸۷۴۰۹۹۰۰	۸۴۹/۹
(۶)	$1.2 \times dis_{id}$	۲۸۹۶۲۴۰۰۰	۸۸۲/۲
(۷)	$1.3 \times dis_{id}$	۲۹۳۹۶۴۷۰۰	۹۴۳/۱

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

مساله انتخاب تامین‌کننده با در نظر گرفتن منابع چندگانه شامل مساله انتخاب تامین‌کننده و تخصیص بهینه سفارش به آنها به طور همزمان است.مطابق با ادبیات موضوع تعداد کمی از مقالات به‌کاربرد ترکیب مساله انتخاب تامین‌کننده در زنجیره تامین سبز و تخصیص بهینه سفارش به آنها با استفاده از ترکیب MCDM و مدل ریاضی پرداختند. همچنین تعداد مقالاتی که مساله مسیریابی را در این حوزه مورد بررسی قرار دادند بسیار نادر است. از این رو در این تحقیق یک رویکرد ترکیبی جدید برای انتخاب تامین‌کنندگان و تخصیص سفارش به آنها در زنجیره تامین سبز ارایه شد که در آن به مساله مسیریابی در کنار سایر مفروضات کاربردی پرداخته شد. در نهایت برای اعتبار سنجی مدل پیشنهادی آن‌را در یک زنجیره توزیع محصولات مصرفی تجهیزات پزشکی در ایران پیاده‌سازی کردیم که نتایج به‌دست آمده از آن

مورد تایید خبرگان سازمان مورد مطالعه بود. همچنین برای نشان دادن اعتبار مدل ارائه شده بر روی تقاضا نیز تحلیل حساسیت انجام شدهاست که نتایج حاصله نشان دهنده این است که مدل از منطق مسأله پیروی می‌کند که این امر نیز نشان دهنده اعتبار مدل ارائه شده می‌باشد. برای تحقیقات آتی می‌توان در مدل مصرف سوخت و دیگر موارد مضر را در بسط مدل با ضریب اهمیت بالا برای کاهش آلودگی در نظر گرفت. همچنین در تحقیقات آتی می‌توان سطوح دیگر زنجیره‌تأمین را نیز در نظر گرفت. مدل ارائه شده در مرحله دوم دارای پیچیدگی بالایی است که برای مسائل با ابعاد بزرگتر، نرم افزارهای حل دقیق قادر به پاسخگویی در زمان معقول نیستند. بری مسائل با ابعاد بزرگتر، در تحقیقات آتی می‌توان روش‌های حل مسائل پیچیده مانند الگوریتم های فرا ابتکاری و ابتکاری نیز ارائه داد.

منابع

[۱] شفیعا م. ع.، مهدوی مزده م.، پورنادر م.، باقرپور م.، ارائه مدل تحلیل پوششی داده‌های دو سطحی در مدیریت ریسک زنجیره تأمین به منظور انتخاب تأمین‌کننده، نشریه بین‌المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید، شماره ۳، جلد ۲۴، پاییز ۱۳۹۲، صفحه ۳۲۲-۳۱۶.

[۲] رزازی م. ر.، بانک توکلی م.، انتخاب تامین‌کنندگان و تخصیص سفارش به آنها تحت شرایط پویا در زنجیره‌های تامین، نشریه بین‌المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید، شماره ۴، جلد ۲۵، آذر ۱۳۹۳، صفحه ۴۳۰-۴۱۸.

[۳] عرب زاد س. م.، رزمی ج، توکلی مقدم ر. قربانی م.، بکارگیری شبکه عصبی مصنوعی در دسته بندی اقلام خرید و ارزیابی تامین‌کنندگان، نشریه بین‌المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید، شماره ۱، جلد ۲۶، بهار ۱۳۹۴، صفحه ۹۲-۸۷.

[4] Arabzad, S. M., Ghorbani, M., Razmi, J., & Shirouyehzad, H. (2015). Employing fuzzy TOPSIS and SWOT for supplier selection and order allocation problem. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 76*(5-8), 803-818.

[5] Chang, D. Y. (1996). Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. European journal of operational research, 95(3), 649-655.

[6] Dağdeviren, M., & Yüksel, İ. (2010). A fuzzy analytic network process (ANP) model for measurement of the sectoral competititon level (SCL). Expert Systems with Applications, 37(2), 1005-1014.

[7] Cui, L. X. (2014). Joint optimization of production planning and supplier selection incorporating customer flexibility: an improved genetic approach. *Journal of Intelligent Manufacturing, 13*(4), 1-19.

[8] Dickson, G. (1966). An analysis of vendor selections systems and decisions.

[9] Hu, J. (2004). Supplier selection determination and centralized purchasing decisions.

[10] Kahraman, C., Ertay, T., & Büyüközkan, G. (2006). A fuzzy optimization model for QFD planning process using analytic network approach. European Journal of Operational Research, 171(2), 390-411.

[11] Kannan, D., Khodaverdi, R., Olfat, L., Jafarian, A., & Diabat, A. (2013). Integrated fuzzy multi criteria decision making method and multi-objective programming approach for supplier selection and order allocation in a green supply chain. *Journal of Cleaner Production, 47*(1), 355-367.

[12] Kazemi, N., Ehsani, E., & Glock, C. H. (2014). Multi-objective supplier selection and order allocation under quantity discounts with fuzzy goals and fuzzy constraints. *International Journal of Applied Decision Sciences, 7*(1), 66-96.

[13] Lin, R. H. (2012). An integrated model for supplier selection under a fuzzy situation. *International Journal of Production Economics, 138*(1), 55-61.

[14] Lin, R. H. (2009). An integrated FANP–MOLP for supplier evaluation and order allocation. *Applied Mathematical Modelling, 33*(6), 2730-2736.

[15] Nazari-Shirkouhi, S., Shakouri, H., Javadi, B., & Keramati, A. (2013). Supplier selection and order allocation problem using a two-phase fuzzy multi-objective linear

programming. *Applied Mathematical Modelling, 37*(22), 9308-9323.

[16] Sharma, S., & Balan, S. (2013). An integrative supplier selection model using Taguchi loss function, TOPSIS and multi criteria goal programming. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 24(6), 1123-1130.

[17] Topcu, Y. I. (2004). A decision model proposal for construction contractor selection in Turkey, Building and Environment, 39(4), 469-481.

[18] Ware, N. R., Singh, S. P., & Banwet, D. K. (2014). A mixed-integer non-linear program to model dynamic supplier selection problem. *Expert Systems with Applications, 41*(2), 671-678.

[19] Zimmermann, H. J. (1978). Fuzzy programming and linear programming with several objective functions. Fuzzy sets and systems, 1(1), 45-55.