

ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان دو لایه در زنجیره تأمین سبز به روش تاپسیس فازی سلسله‌مراتبی مبتنی بر سطوح آلفا

علیرضا عیدی*، مهناز بختیاری**

چکیده

تحولات دنیای کسب‌وکار و الزامات جدید و تجارت عصر کنونی، زمینه ظهور و بروز نگرش‌های جدیدی را فراهم می‌کند که ضروری است مورد توجه متصدیان عرصه تولید و تجارت قرار گیرد. در همین راستا رویکردها و نگرش‌های جدیدی پیرامون موضوع زنجیره تأمین گسترش یافته است که الزامات زیست‌محیطی آن را به سمت سبزبودن سوق می‌دهد. در این پژوهش سعی شده است تا علاوه بر تأمین‌کنندگانی که به‌طور مستقیم با شرکت در ارتباط‌اند و قطعات مورد نیاز را تأمین می‌کنند، تأمین‌کنندگانی که مواد اولیه سازندگان قطعات را فراهم می‌کنند نیز به‌عنوان لایه دوم تأمین مورد بررسی قرار گیرند و تأمین‌کنندگان بهینه در هر دو لایه انتخاب شوند. با در نظر گرفتن مفاهیم لایه اول و دوم تأمین‌کنندگان و همچنین فاکتور سبز با استفاده از روش ارائه‌شده معیاری با عنوان «لایه دوم» و اعداد فازی مرتبط با آن محاسبه می‌شود تا در رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان لایه اول به روش تاپسیس فازی سلسله‌مراتبی بر اساس سطوح مختلف آلفا به‌کار گرفته شود؛ بنابراین هدف این پژوهش، پایه‌گذاری یک رویکرد سیستماتیک برای ارزیابی و انتخاب دو لایه از تأمین‌کنندگان با در نظر گرفتن عوامل زیست‌محیطی است. اعتبار مدل با استفاده از مثال عددی از شرکت تولیدکننده اجاق‌گاز مورد بررسی قرار می‌گیرد.

کلیدواژه‌ها: زنجیره تأمین، فاکتور سبز؛ تاپسیس فازی سلسله‌مراتبی؛ دو لایه از تأمین‌کنندگان.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۱۲/۲۵، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۵/۳۱.

* استادیار، دانشگاه کردستان (نویسنده مسئول).

E-mail: alireza.eydi@uok.ac.ir

** دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه کردستان.

۱. مقدمه

افزایش رقابت جهانی، از یک سو و متنوع شدن تقاضای مشتریان در محیط کسب‌وکار از سوی دیگر، موجب شده است که هزینه‌ها به سرعت در حال افزایش و سودآوری در حال کاهش باشد [۲۷]. در شرایط کنونی که بازار تولید و خدمات به شدت رقابتی است، سازمان‌ها ملزم به پاسخگویی سریع و دقیق به نیازهای مشتریان هستند تا از این طریق بتوانند با جلب رضایت آن‌ها، موقعیت خود را در بازار رقابتی حفظ کنند و بهبود بخشند. چنین الزاماتی سازمان‌ها را وادار به سرمایه‌گذاری در راستای اجرای مفاهیمی چون قیمت محصولات، کیفیت و تحویل به موقع کرده است. در چنین شرایطی نقش تأمین‌کنندگان و مباحث مرتبط با آن‌ها در مدیریت زنجیره تأمین اهمیت بسزایی پیدا کرده است. مسئله انتخاب تأمین‌کنندگان یکی از مهم‌ترین مسائلی است که در موفقیت زنجیره تأمین اثر می‌گذارد و در سال‌های اخیر پژوهشگران بسیاری به آن پرداخته‌اند [۱۵]. منبع یابی و تخصیص سفارش به تأمین‌کنندگان مناسب، هزینه‌های تأمین را به شکل قابل ملاحظه‌ای کاهش و قابلیت رقابت‌پذیری سازمان را افزایش می‌دهد [۲۶].

افزایش نگرانی‌های جهانی مبنی بر حفاظت محیط‌زیست و به‌طور متناظر افزایش در قوانین و مقررات، خرید سبز را به موضوع مهمی برای شرکت‌ها تبدیل کرده است تا بتوانند به یک توسعه پایدار زیست‌محیطی برسند. با چنین نگرش‌هایی رویکردهای زنجیره تأمین سبز و مدیریت آن پا به عرصه وجود نهاد. ایده مدیریت زنجیره تأمین سبز^۱ از بین بردن یا به حداقل رساندن ضایعات (تولید گازهای گلخانه‌ای و شیمیایی خطرناک، مواد زائد جامد) در امتداد زنجیره تأمین است [۲].

مسئله انتخاب تأمین‌کنندگان، فرآیندی است که در آن با در نظر گرفتن تعدادی از معیارهای کمی و کیفی، مجموعه‌ای از بهترین تأمین‌کنندگان انتخاب می‌شوند و کارایی کل زنجیره تأمین افزایش می‌یابد و در نهایت سبب بهبود وضعیت رقابتی زنجیره می‌شود. در این میان هزینه مواد خام و اجزای تشکیل دهنده محصول، قسمت عمده‌ای از بهای تمام شده محصول را در بر می‌گیرد. در چنین شرایطی، منبع‌یابی مناسب، می‌تواند نقشی کلیدی در کارایی و اثربخشی سازمان ایفا نموده و تاثیر مستقیمی در کاهش هزینه‌ها، سودآوری و انعطاف‌پذیری یک شرکت داشته باشد [۸]. تأمین‌کنندگان لایه اول قطعات نیمه‌ساخته خریدار را تهیه می‌کنند؛ درحالی‌که مواد مصرفی موردنیاز برای ساخت این قطعات را از تأمین‌کنندگان لایه دوم فراهم می‌کنند. بر این اساس اگر سازمان‌ها و شرکت‌های صنعتی دارای تأمین‌کنندگانی باشند که هم از لحاظ کیفیت مواد اولیه و هم از لحاظ کیفیت محصول تولیدی نیمه‌ساخته موردتأیید باشند، می‌توانند تا اندازه‌ای از کیفیت محصول نهایی خود اطمینان داشته باشند. نوع ماده اولیه مورد استفاده می‌تواند

تأثیر بسزایی در کیفیت و قیمت محصولات و قطعات نیمه‌ساخته داشته باشد و بدون شک کیفیت ماده اولیه مورد استفاده در انتخاب تأمین‌کنندگان لایه اول اهمیت زیادی دارد. رویکردها و مدل‌های متفاوتی برای حل مسئله انتخاب به کار گرفته شده‌اند که همواره به انتخاب تأمین‌کنندگان سطح اول که مستقیماً با خریدار در ارتباطند می‌پردازند و توجهی به تأمین‌کنندگان سطح دوم ندارند؛ در حالی که اغلب کارخانه‌ها برای موضوع تأمین‌کنندگان لایه دوم اهمیت ویژه‌ای قائل هستند و هرچند در مدل‌های ارائه شده و مطالعات علمی توجه چندانی به این موضوع نشده است، نوع مواد و قطعات مورد استفاده می‌توانند تأثیر بسزایی در کیفیت و قیمت قطعات نهایی داشته باشند [۲۱].

انتخاب تأمین‌کنندگان یک مسأله مهم تصمیم‌گیری گروهی است که نیازمند به کارگیری گروهی از متخصصین است [۲۰]. انتخاب معیارهای مناسب برای بررسی یک زنجیره تأمین سبز، مبحث دیگری است که می‌تواند تأثیر زیادی بر نتیجه نهایی مسئله داشته باشد. در انتخاب یک تأمین‌کننده مناسب، معیارهای زیادی مانند هزینه، کیفیت و غیره وجود دارد که باید مصالحه‌ای بین آن‌ها صورت گیرد تا به نتیجه رضایت‌بخش منجر شود. هزینه مواد خام و قطعات تشکیل‌دهنده به هزینه‌های محصول منجر می‌شود و این موضوع فرآیند انتخاب تأمین‌کننده را بسیار دشوار می‌کند؛ زیرا تصمیم‌گیرنده می‌خواهد کیفیت را نیز ثابت نگه دارد. در این مقاله علاوه بر معیارهای ذکر شده، معیار فاکتور سبز نیز مطرح شده و برای تمامی معیارها، زیرمعیارهایی در نظر گرفته شده است که به موجب آن برای حل از روش تاپسیس فازی سلسله‌مراتبی استفاده خواهد شد. در این پژوهش از عبارتهای کلامی ارائه شده توسط خبرگان (میانگین نظرهای مسئولان بخش تدارکات) برای ارزیابی و تعیین عملکرد هر تأمین‌کننده نسبت به هر معیار و زیر معیار مربوطه و تعیین وزن آن‌ها استفاده شده است. رتبه‌بندی‌های کلامی به وسیله اعداد فازی مثلثی بیان می‌شود و در نهایت برای محاسبه وزن و رتبه‌بندی گزینه‌ها، روش تاپسیس فازی سلسله‌مراتبی بر اساس سطوح آلفا به کار می‌رود و انتخاب تأمین‌کنندگان مناسب بر این اساس صورت می‌گیرد.

بخش‌های مختلف این مقاله شامل مبانی نظری و پیشینه پژوهش، روش پژوهش، تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش و در نهایت نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادها است.

۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

امروزه باتوجه به نگرشهای مختلفی که درخصوص حوزه ارزیابی عملکرد وجود دارد، این فرآیند را میتوانیم در حوزه زنجیره تأمین نیز مورد استفاده قرار دهیم. عملکرد مناسب زنجیره تأمین نقش کلیدی در موفقیت یک سازمان و دستیابی پایدار به اهداف و به ویژه سودآوری آن

دارد [۴]. زنجیره تأمین شامل تمام فعالیت‌های مرتبط با جریان و تبدیل کالاها از مرحله ماده خام (استخراج) تا مصرف‌کننده نهایی و جریان‌های اطلاعاتی مرتبط با آنها است؛ همچنین هر تأمین‌کننده تعدادی تأمین‌کننده دارد که ورودی‌های فرآیندهای آن را تأمین می‌کنند. این تأمین‌کنندگان که خود بخشی از زنجیره تأمین هستند، «تأمین‌کنندگان لایه دوم» نامیده می‌شوند [۵].

فشار قوانین و مقررات دولتی برای کسب استانداردهای زیست‌محیطی و همچنین رشد فزاینده تقاضای مشتریان نسبت به محصولات سبز (بدون اثر مخرب بر محیط‌زیست) مفهوم زنجیره تأمین سبز و مدیریت آن را پدیدار ساخت. مدیران زنجیره تأمین سبز باید از طریق ایجاد مطلوبیت و رضایت‌مندی از لحاظ زیست‌محیطی و بوم‌شناسی در سراسر زنجیره بکوشند تا از لجستیک سبز و بهبود عملکرد زیست‌محیطی خود در کل زنجیره تأمین به‌عنوان یک سلاح راهبردی برای کسب مزیت رقابتی پایدار بهره‌گیرند و اهداف خود را مبتنی بر دوستدار محیط‌زیست بودن، اصول زنجیره تأمین سبز و درنهایت توسعه پایدار (حفظ و استفاده بهینه از منابع محدود و تجدید ناپذیر) پایه‌ریزی کنند [۲۴].

لوئیس، (۱۹۴۳) برای نخستین بار بیان کرد که در میان تمام فعالیت‌های مربوط به فرآیند خرید، هیچ مسئولیتی مهم‌تر از یافتن منابع مناسب نیست [۱۲]. تولیدکنندگان قراردادی و تولیدکنندگان مجازی (تأمین‌کنندگان) بخش مهمی از سیستم زنجیره تأمین هستند. از آنجا که تأمین‌کنندگان قابل‌اعتماد، تولیدکنندگان را قادر می‌سازد که هزینه موجودی کالا را کاهش و کیفیت کالا را بهبود بخشند، این مسئله قابل‌درک است که تولیدکنندگان نسبت به انتخاب تأمین‌کننده به‌طور فزاینده‌ای نگران باشند و واضح است که انتخاب تأمین‌کنندگان مناسب و مدیریت مؤثر روابط با تأمین‌کننده عامل کلیدی در افزایش رقابت‌پذیری شرکت‌ها است.

انتخاب تأمین‌کننده مناسب برای خرید مواد خام و محول کردن برخی از عملیات تولید داخل به تأمین‌کننده بخش مهمی از این زنجیره را تشکیل می‌دهد. پژوهشگران برای دستیابی به این هدف به نتایجی دست یافته‌اند؛ برای باقی‌ماندن در چرخه رقابت و بهبود عملکرد چرخه تأمین، یک شرکت مجبور به همکاری با شرکای زنجیره تأمین خود است. یکی از وظایف مهمی که در این حیطه بر عهده مدیران خرید است، انتخاب تأمین‌کنندگان مناسب است [۱].

درباره انتخاب تأمین‌کنندگان در زنجیره تأمین مطالعات زیادی انجام شده است. گروه‌بندی و دسته‌بندی کردن تأمین‌کنندگان بر اساس کارکرد عملکرد گذشته آنها و یا بر اساس آشنایی و تجربه کار با آنها از جمله روش‌های ارزیابی تأمین‌کنندگان است. در این روش گروه‌بندی بر اساس عملکرد و سابقه کاری و بر اساس معیارهای مشخص، تأمین‌کنندگان در گروه‌های مختلف دسته‌بندی و به آنها امتیاز مثبت یا منفی داده می‌شود و درنهایت یک یا چند

تأمین‌کننده انتخاب می‌شود [۱۸].

یکی از اساسی‌ترین و معتبرترین پژوهش‌هایی که به بررسی معیارهای مختلف انتخاب تأمین‌کننده پرداخته و تاکنون مرجع بسیاری از مطالعات دیگر بوده است، مطالعه دیکسون، (۱۹۹۶) است. وی ۲۳ معیار را به‌عنوان اساسی‌ترین و مهم‌ترین معیارهای انتخاب بهترین تأمین‌کننده معرفی کرده است [۳].

لئو و های (۲۰۰۵) از فنون تصمیم‌گیری چندمعیاره برای انتخاب تأمین‌کننده بهره بردند. آن‌ها در ابتدا به ضعف روش تحلیل سلسله‌مراتبی^۱ (AHP) در تعدد مقایسات زوجی اشاره کردند و در ادامه به ارائه روشی ساده‌تر از AHP پرداختند [۱۷]. پی و لو، (۲۰۰۶) از روش تابع خسارت تاگوچی^۲ و تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) برای انتخاب تأمین‌کننده بهره بردند. آن‌ها مسئله انتخاب تأمین‌کننده را در قالب مسئله تصمیم‌گیری چند مشخصه موردبررسی قرار دادند و مشخصه‌های کیفیت، تحویل به‌موقع، قیمت و خدمات را به‌عنوان مشخصه‌های تأثیرگذار بر انتخاب تأمین‌کننده ارائه کردند [۲۵]. به نظر سائن، (۲۰۰۷)، بسیاری از روش‌های حل مسائل انتخاب تأمین‌کننده بر اساس داده‌های کاردینال^۳ است؛ اما با استفاده گسترده از فلسفه‌های تولیدی مانند JIT^۴، تمرکز فرآیند انتخاب تأمین‌کننده به سوی در نظر گرفتن همزمان داده‌های کاردینال و داده‌های ترتیبی^۵ رفته است. با توجه به این موضوع، وی در مقاله خود روشی نوین پیشنهاد کرد که بر مبنای تحلیل پوششی داده‌های نادقیق (IDEA^۶) بود [۲۹].

لیائو و ریشتر (۲۰۰۷) با در نظر گرفتن شرایط تقاضای تصادفی، یک مدل چندهدفه انتخاب تأمین‌کننده ارائه کردند. آن‌ها نیز این مسئله را به‌عنوان یک مسئله MADM^۷، در نظر گرفتند و بیان داشتند که معیارهای هزینه، کیفیت، تحویل و انعطاف‌پذیری، معیارهای معمول و رایج در انتخاب تأمین‌کننده هستند. آن‌ها پس از ارائه مدل چندهدفه خود با استفاده از الگوریتم ژنتیک به حل آن پرداختند [۱۶]. ها و کریشنان، (۲۰۰۸) با ترکیب دو روش فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و تحلیل پوششی داده‌ها (DEA^۸)، روش نوینی را برای انتخاب بهترین تأمین‌کننده معرفی کردند. آن‌ها از AHP برای وزن‌دهی معیارهای کیفی و از DEA در انتخاب نهایی تأمین‌کننده استفاده کردند [۷]. جدیدی و همکاران، (۲۰۰۸) با استفاده از مدل تک‌هدفه و روش تاپسیس^۹ در محیط فازی توانستند اثربخشی مدل پیشنهادی خود را برای انتخاب تأمین‌کننده

-
1. Analytic Hierarchy Process
 2. Taguchi Loss Function
 3. Cardinal Data
 4. Just In Time
 5. Ordinal Data
 6. Imprecise Data Envelopment Analysis
 7. Multiple Attributive Decision Making
 8. Data Envelopment Analysis
 9. Topsis

نشان دهند [۱۰].

شا و همکاران (۲۰۱۲)، مسئله انتخاب تأمین‌کننده در زنجیره تأمین سبز را به صورت یک مدل‌سازی ریاضی چندهدفه در محیط فازی فرمول‌بندی کردند و به کمک شیوه تصمیم‌گیری چندمعیاره سلسله‌مراتبی به معیارهای اصلی وزن دادند؛ در نهایت از برنامه‌ریزی چندهدفه خطی برای رسیدن به بهترین جواب استفاده کردند [۳۱]. هسو و همکاران، (۲۰۱۳) از شیوه تصمیم‌گیری چندمعیاره دیمتل^۱ برای انتخاب تأمین‌کننده سبز به منظور کاهش گازهای گلخانه‌ای استفاده کردند [۹]. گویندان، (۲۰۱۵) مرور مبانی نظری جامعی در زمینه به‌کارگیری شیوه‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در انتخاب تأمین‌کننده سبز ارائه می‌دهد، و بیان می‌کند که مبانی نظری ارزیابی تأمین‌کنندگان به شدت بزرگ و در حال گسترش است؛ اما مبانی نظری زنجیره تأمین سبز نسبتاً محدود است [۶].

عثمان و دمیرلی (۲۰۱۰) با در نظر گرفتن دو لایه از تأمین‌کنندگان یک مدل برنامه‌ریزی آرمانی با هدف کمینه‌سازی هزینه توزیع برای یافتن جوابی قابل قبول توسعه دادند که نیازمندی‌های شرکت را در میان تأمین‌کنندگان معتبر توزیع کند. این مدل می‌تواند به چارچوب جدیدی در زنجیره‌های تأمین با توزیع مواد بین بهترین تأمین‌کنندگان کاندیدا برسد [۲۲].

عثمان و دمیرلی (۲۰۱۲) با در نظر گرفتن دو لایه از تأمین‌کنندگان مدلی برای بهبود کارایی در تحویل به‌موقع کالا و احتساب ظرفیت در دسترس هر عضو از زنجیره تأمین برای مواجهه با افزایش تقاضای پیش‌بینی شده ارائه دادند. آن‌ها مدل پیشنهادی تأمین‌کنندگان مناسب را تعیین کرده و مقادیری از کالا که باید به هر عضو زنجیره تأمین به صورت سالیانه تحویل شود را تعیین کردند [۲۳].

نجفی نویر و ستاک (۲۰۱۰) با نگاهی اجمالی بر تأمین‌کنندگانی که در لایه قبل از اولین تأمین‌کنندگان (تأمین‌کنندگان لایه دوم) قرار دارند، دیدگاه جدیدی را برای انتخاب تأمین‌کنندگان آشکار کردند؛ سپس با روش ترکیبی مفاهیم نظریه مجموعه‌های فازی و برنامه‌ریزی خطی به ارائه مدل پرداختند و با داده‌های واقعی یک شرکت طراحی مهندسی و تأمین‌کننده قطعات، سنجیده شد. در این مقاله برای نخستین بار در انتخاب تأمین‌کننده، بیشتر از یک لایه تأمین‌کننده وجود دارد و سایر لایه‌ها می‌توانند در کیفیت کل زنجیره تأمین و هزینه کلی اتفاق افتاده مؤثر باشند [۲۱].

ستاک و شریفی (۱۳۹۰)، مدلی یکپارچه برای انتخاب تأمین‌کنندگان دو لایه از زنجیره تأمین ارائه دادند که مدل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه و عدد صحیح ارائه شده ابزاری برای کاهش هزینه‌های زنجیره تأمین است که علاوه بر تأمین‌کنندگانی که مستقیماً با سازمان در ارتباط

1. Decision Making Trial and Evaluation (DEMATEL)

هستند، خصوصیات تأمین‌کنندگان لایه دوم را نیز مورد بررسی قرار می‌دهد و میزان جریان کالاها بین خریدار و تأمین‌کنندگان منتخب در هر دو لایه را مشخص می‌کند؛ در نهایت مثال عددی ارائه شده است تا صحت مدل سنجیده شود [۳۰].

با مرور مبانی نظری پژوهش مشخص شد با اینکه مبانی نظری مربوط به ارزیابی تأمین‌کننده زیاد است؛ اما پژوهش درباره ارزیابی تأمین‌کنندگان دو لایه که عوامل زیست‌محیطی را نیز در نظر بگیرد، تقریباً محدود است. در جدول ۱، خلاصه‌ای از مهم‌ترین مقالات در زمینه انتخاب تأمین‌کننده سبز ارائه شده است.

جدول ۱. خلاصه‌ای از مقالات مهم در زمینه انتخاب تأمین‌کننده سبز

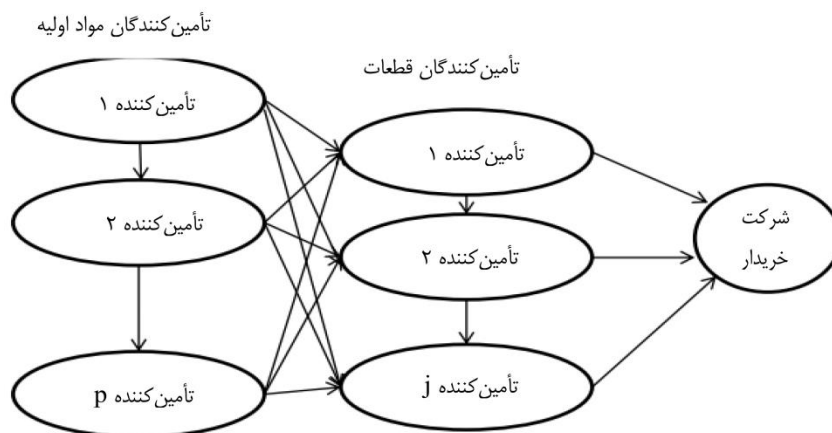
| نویسندگان | نواوری | معیارهای انتخاب تأمین‌کننده | روش حل | لایه‌ها |
|-----------------------------|---|--|---|---------|
| مین و گاله، (۲۰۰۱) | ۱. بررسی عوامل مؤثر بر رضایت شرکت خریدار، تحت تأثیر اتخاذ راهبرد خرید سبز | ۱. مسئولیت در قبال محیط‌زیست و جریمه‌ها؛ ۲. تعهد زیست‌محیطی تأمین‌کننده؛ ۳. هزینه‌های زیست‌محیطی | Statistics (Hypothesis Testing and Factor Analysis) | یک لایه |
| کو و همکاران، (۲۰۱۰) | ۱. توسعه مدلی برای انتخاب تأمین‌کنندگان سبز با استفاده از ادغام شبکه‌های عصبی (ANN)، تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) و فرآیند تحلیل شبکه (ANP) | ۱. کیفیت؛ ۲. خدمات؛ ۳. زمان تحویل؛ ۴. قیمت؛ ۵. مسئولیت اجتماعی شرکت‌ها | ANN, DEA, ANP | یک لایه |
| نجفی نوبر و ستاک، (۲۰۱۰) | ۱. ارائه چارچوب انتخاب تأمین‌کننده با توجه به خصوصیات تأمین‌کنندگان لایه دوم؛ ۲. ارائه روشی برای محاسبه معیاری که تأمین‌کننده لایه دوم را ارزیابی می‌کند. | ۱. کیفیت؛ ۲. قیمت؛ ۳. فاکتور سبز | Linear Programming (LP) | دو لایه |
| شا و همکاران، (۲۰۱۲) | ۱. پیشنهاد مدلی یکپارچه برای انتخاب تأمین‌کننده با در نظر گرفتن انتشار کربن | ۱. کیفیت؛ ۲. زمان تحویل؛ ۳. قیمت؛ ۴. انتشار گازهای گلخانه‌ای | Fuzzy-AHP, Fuzzy Multiobjective Linear Programming | یک لایه |
| ستاک و شریفی، (۱۳۹۰) | ۱. ارائه برنامه‌ریزی چندهدفه برای انتخاب تأمین‌کنندگان دو لایه از زنجیره تأمین؛ ۲. انتخاب یکپارچه تأمین‌کنندگان؛ ۳. انتخاب بهترین مسیرهای انتخابی و حجم کالاهای منتقل شده ۴. امکان سفارش چند نوع کالا به صورت همزمان | ۱. کیفیت؛ ۲. دیرکرد؛ ۳. قیمت | Goal Programming | دو لایه |

۳. روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر به دلیل اینکه در پی بهبود روش‌های ارزیابی تأمین‌کنندگان شرکت‌ها است، از نظر هدف، کاربردی و از نظر ماهیت، به دلیل قابلیت استفاده از نتایج مقاله در برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری شرکت‌ها در دسته پژوهش‌های توصیفی-تحلیلی (با تأکید بر مطالعه موردی) قرار

می‌گیرد. نحوه جمع‌آوری داده‌ها در این پژوهش ترکیبی از روش‌های کتابخانه‌ای و میدانی (مواجهه با شرکت مورد مطالعه) است.

مدل پیشنهادی. در این بخش با در نظر گرفتن مفاهیم لایه اول و دوم تأمین کنندگان (شکل ۱) و با در نظر گرفتن فاکتور سبز با استفاده از روش ارائه شده معیاری با عنوان «لایه دوم» و اعداد فازی مرتبط با آن محاسبه می‌شود تا در رتبه‌بندی تأمین کنندگان لایه اول به روش تاپسیس فازی سلسله‌مراتبی بر اساس سطوح مختلف آلفا به کار گرفته شود؛ در واقع دو لایه تأمین کننده به عنوان زنجیره‌ای از تأمین کنندگان در نظر گرفته شده‌اند. تأمین کنندگان لایه اول با دو گروه معیار سنجیده می‌شوند که گروه اول معیارهای متعلق به خصوصیات تأمین کننده لایه اول را در بر می‌گیرد و گروه دوم شامل معیارهای متعلق به خصوصیات تأمین کنندگان لایه دوم است. در بسیاری از شرایط، داده‌های قطعی برای مدل‌سازی شرایط واقعی ناکافی به نظر می‌رسند. قضاوت‌های انسانی دارای ماهیت ابهام هستند و نمی‌توان آن‌ها را با داده‌های عددی مشخص نشان داد؛ بنابراین از نظریه مجموعه فازی برای تبدیل ادراک ذهنی انسانی به مقادیر قطعی استفاده می‌شود و این ترجیحات با توسعه‌ای از روش تاپسیس فازی برای تولید نمره عملکرد کلی برای هر تأمین کننده لایه اول به کار می‌روند. در ادامه خلاصه‌ای از تعریف‌های مرتبط با بحث فازی که در این مقاله به کار رفته است، ارائه می‌شود.



شکل ۱. تأمین کننده لایه اول و دوم

اعداد فازی و متغیرهای کلامی. کاربرد مقادیر عددی در رده‌بندی گزینه‌ها ممکن است محدودیت‌هایی را برای مواجه شدن با عدم قطعیت‌ها داشته باشد. در کاربردهای عملی، شکل مثلثی تابع عضویت معمولاً برای نشان دادن اعداد فازی استفاده می‌شود. اعداد فازی مثلثی برای

فرموله کردن آن دسته از مسائل تصمیم‌گیری که دارای اطلاعات ذهنی و مبهمی هستند، بسیار مؤثر است؛ درضمن استفاده از اعداد فازی مثلثی، آسان و دارای سادگی محاسباتی است [۱۳].
 در ادامه برخی از تعریف‌های مهم مجموعه‌های فازی و اعداد فازی آورده شده است:
 تعریف ۱: یک مجموعه فازی A در مجموعه تعریف شده U با تابع عضویت $A(x)$ تعریف می‌شود که هر عضو x را به عدد واقعی U در بازه $[0,1]$ نسبت می‌دهد. مقدار عددی $A(x)$ نشان‌دهنده درجه عضویت x در مجموعه فازی A است [۱۳].
 تعریف ۲: عدد فازی m به صورت سه‌گانه $m = (m_1, m_2, m_3)$ نشان داده می‌شود. تابع عضویت به صورت زیر تعریف می‌شود [۱۳]:

$$m(x) = \begin{cases} 0 & x < m_1 \\ \frac{x - m_1}{m_2 - m_1} & m_1 \leq x \leq m_2 \\ \frac{m_3 - x}{m_3 - m_2} & m_2 \leq x \leq m_3 \\ 0 & x > m_3 \end{cases} \quad (1)$$

تعریف ۳: با در نظر گرفتن دو عدد فازی مثلثی $m = (m_1, m_2, m_3)$ و $n = (n_1, n_2, n_3)$ عملیات با این اعداد فازی به صورت زیر تعریف می‌شوند [۱۳]:

$$n(+)m = (n_1, n_2, n_3)(+)(m_1, m_2, m_3) = (n_1 + m_1, n_2 + m_2, n_3 + m_3)$$

$$n(-)m = (n_1, n_2, n_3)(-)(m_1, m_2, m_3) = (n_1 - m_3, n_2 - m_2, n_3 - m_1)$$

$$n(\times)m = (n_1, n_2, n_3)(\times)(m_1, m_2, m_3) = (n_1 m_1, n_2 m_2, n_3 m_3)$$

$$n(\div)m = (n_1, n_2, n_3)(\div)(m_1, m_2, m_3) = \left(\frac{n_1}{m_3}, \frac{n_2}{m_2}, \frac{n_3}{m_1}\right)$$

$$kn = k(n_1, n_2, n_3) = (kn_1, kn_2, kn_3)$$

تعریف ۴: برش α عدد فازی A به ازای $\alpha \in [0,1]$ به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$A_\alpha = \{x \in U | A(x) \geq \alpha\} \quad (2)$$

نماد A_α یک مجموعه غیرتهی محدود در U است که به صورت $A_\alpha = [a_\alpha^l, a_\alpha^u]$ نشان داده می‌شود. a_α^l حد پایین و a_α^u حد بالای برش α را نشان می‌دهد. اگر به ازای $\alpha \in [0,1]$

$a_{\alpha}^l \geq 0$ و $a_{\alpha}^u \leq 1$ باشد، در این صورت A را یک عدد فازی نرمالایز مثبت می‌گویند [۳۳]. برای حل این مسئله باید از متغیرهای زبانی و اعداد فازی مثلثی مرتبط با آن‌ها شناخت داشت تا بتوان فرآیند مقایسه جفتی بر مبنای معیار را به منظور ساده‌سازی این فرآیند برای هر دو تأمین‌کننده لایه اول و دوم انجام داد. در جدول ۲ متغیرهای زبانی برای رتبه‌بندی و اهمیت نسبی وزن‌های معیارها آورده شده است.

جدول ۱. متغیرهای زبانی برای رتبه‌بندی و اهمیت نسبی وزن‌های معیارها

| متغیر زبانی برای رتبه‌بندی | | متغیر زبانی برای اهمیت نسبی وزن‌های معیارها | |
|----------------------------|-------------|---|-------------|
| اعداد فازی | متغیر زبانی | اعداد فازی | متغیر زبانی |
| (۰، ۰، ۰/۱) | بسیار ضعیف | (۰، ۰، ۰/۱) | بسیار کم |
| (۰، ۰/۱، ۰/۳) | ضعیف | (۰، ۰/۱، ۰/۳) | کم |
| (۰، ۱/۳، ۰/۵) | نسبتاً ضعیف | (۰/۱، ۰/۳، ۰/۵) | نسبتاً کم |
| (۰/۳، ۰/۵، ۰/۷) | متوسط | (۰/۳، ۰/۵، ۰/۷) | متوسط |
| (۰/۵، ۰/۷، ۰/۹) | نسبتاً خوب | (۰/۵، ۰/۷، ۰/۹) | نسبتاً زیاد |
| (۰/۷، ۰/۹، ۱) | خوب | (۰/۷، ۰/۹، ۱) | زیاد |
| (۰/۹، ۱، ۱) | بسیار خوب | (۰/۹، ۱، ۱) | بسیار زیاد |

روش ارزیابی معیار «لایه دوم»

گام ۱: ارزیابی تأمین‌کنندگان لایه دوم در مقابل سه معیار کیفیت، قیمت و فاکتور سبز: در این گام تصمیم‌گیرنده، تأمین‌کننده لایه دوم را از دیدگاه معیارهای یادشده در هر ماده مصرفی ارزیابی می‌کند. این ارزیابی با متغیرهای زبانی صورت می‌پذیرد.

گام ۲: تبدیل متغیرهای زبانی به اعداد فازی و ارزیابی تأمین‌کنندگان لایه دوم در مقابل سه معیار یادشده:

$$\alpha_{lu}^{Ln}, \beta_{lu}^{Ln}, \gamma_{lu}^{Ln}$$

گام ۳: محاسبه ارزش معیار «لایه دوم» با ادغام عملکرد تأمین‌کننده لایه دوم در مقابل کیفیت، قیمت و فاکتورهای سبز:

n_i : تعداد مواد مصرفی مورد نیاز توسط تأمین‌کننده از مجموعه تأمین‌کنندگان لایه اول

w_{iu} : اهمیت u امین ماده مصرفی برای تأمین‌کننده از مجموعه تأمین‌کنندگان لایه اول

$$\sum_{u=1}^{n_i} w_{iu} = 1$$

$(\lambda_i^{Ln}, \theta_i^{Ln}, \varphi_i^{Ln})$: عملکرد ادغامی تأمین‌کنندگان لایه دوم برای تأمین‌کننده از مجموعه

تأمین‌کنندگان لایه اول در مقابل معیار m

چون هر تأمین‌کننده در لایه اول با یک تأمین‌کننده هر ماده مصرفی در لایه دوم در ارتباط

است؛ بنابراین برای محاسبات معادلات هر معیار، عملکرد هر تأمین‌کننده در هر ماده مصرفی بر مبنای آن معیار در وزنی که آن ماده مصرفی برای آن تأمین‌کننده لایه اول دارد ضرب می‌شود و مجموع این امتیازها نمره تأمین‌کننده را بر پایه معیار «لایه دوم» به دست می‌دهد. معادلات بر مبنای هر معیار به شرح زیر به دست می‌آید:

معادلات ۳ معیار کیفیت، قیمت و فاکتور سبز:

$$\lambda_i^{L^n} = \sum_{u=1}^{n_i} w_{iu} \alpha_{iu}^{L^n} \quad (۳)$$

$$\theta_i^{L^n} = \sum_{u=1}^{n_i} w_{iu} \beta_{iu}^{L^n} \quad (۴)$$

$$\varphi_i^{L^n} = \sum_{u=1}^{n_i} w_{iu} \gamma_{iu}^{L^n} \quad (۵)$$

گام ۴: محاسبه نمره تأمین‌کنندگان لایه اول با توجه به معیار «لایه دوم»

$(\lambda_i, \theta_i, \varphi_i)$: نمره تأمین‌کننده بر پایه معیار «لایه دوم»

: اهمیت سه معیار برای مجموعه تأمین‌کنندگان لایه اول

$$\lambda_i = w^{L_3} \lambda_i^{L_3} + w^{L_2} \lambda_i^{L_2} + w^{L_1} \lambda_i^{L_1} \quad (۶)$$

$$\theta_i = w^{L_3} \theta_i^{L_3} + w^{L_2} \theta_i^{L_2} + w^{L_1} \theta_i^{L_1} \quad (۷)$$

$$\varphi_i = w^{L_3} \varphi_i^{L_3} + w^{L_2} \varphi_i^{L_2} + w^{L_1} \varphi_i^{L_1} \quad (۸)$$

برای محاسبه نمره نهایی تأمین‌کنندگان لایه اول، اطلاعات مربوط به معیار «لایه دوم» به عنوان معیاری برای تأمین‌کننده لایه اول استفاده می‌شود؛ در واقع روش اصلی برای ارزیابی تأمین‌کننده سبز از این مرحله به بعد شروع می‌شود. در ادامه ضمن ارائه توضیحاتی در مورد روش تاپسیس فازی و تاپسیس فازی سلسله‌مراتبی و تاپسیس بر اساس سطوح آلفا، گام‌های لازم برای رتبه‌بندی تأمین‌کننده سبز ارائه می‌شود.

روش تاپسیس فازی سلسله‌مراتبی در رتبه‌بندی و انتخاب تأمین‌کنندگان. روش‌های حل تصمیم‌گیری چندمعیاره به‌طور گسترده برای انتخاب تعداد محدودی از گزینه‌هایی به کار می‌رود که با معیارهای متناقض تعریف شده‌اند. یکی از این فنون که به نام «تکنیک ترجیحات با

تشابه به جواب ایده‌آل^۱ « یا همان تاپسیس شناخته می‌شود، تکنیکی است که عملکرد گزینه‌ها را از طریق تشابه با جواب ایده‌آل ارزیابی می‌کند و توسط هوانگ و یون، (۱۹۸۱) ارائه شده است [۱۳]. در روش تاپسیس قطعی، وزن معیارها و عملکرد هر گزینه نسبت به معیارها بوسیله مقادیر عددی و قطعی بیان می‌شود. در بسیاری از مسائل، استفاده از اعداد قطعی برای مدل‌سازی مسائل واقعی ناکافی بنظر می‌رسد. در این پژوهش از عبارتهای کلامی بجای اعداد قطعی برای تعیین وزن معیارها و رتبه‌بندی گزینه‌ها نسبت به هر معیار استفاده شده است. از آنجاکه مدل موردنظر این پژوهش علاوه بر معیار، زیرمعیارهایی را نیز در نظر گرفته است؛ بنابراین باید روشی ارائه شود که قادر به حل این موضوع باشد؛ از این‌رو روش تاپسیس فازی سلسله‌مراتبی ارائه می‌شود.

روش تاپسیس فازی سلسله‌مراتبی^۲ برای مسائل انتخاب تأمین‌کننده استفاده می‌شود. این روش که توسعه‌ای از روش تاپسیس فازی است، توانایی حل مسائل تصمیم‌گیری را به صورت سلسله‌مراتبی دارد. توسعه تاپسیس فازی از سه سطح (هدف، معیار و گزینه) به چهار سطح و یا سطوح بیشتر (هدف، معیار، زیرمعیار و گزینه) است. این روش نخستین بار توسط آتس و همکاران معرفی شد [۲۸].

اگر m معیار، n زیرمعیار، s گزینه و k تصمیم‌گیرنده وجود داشته باشد. هر معیار i ، r_i زیرمعیار دارد که مقدار کل زیرمعیارها برابر با n است ($n = \sum_{i=1}^m r_i$). باید سه ماتریس وزن به صورت زیر وجود داشته باشد:

I_{MA} : ماتریس وزن‌های معیارهای اصلی مسئله نسبت به اهداف

I_{KA} : ماتریس وزن‌های زیرمعیارها نسبت به معیار متناظر

I_A : ماتریس نمره گزینه‌ها نسبت به زیرمعیارها

برای به‌دست آوردن ماتریس وزن زیرمعیارها نسبت به اهداف در حالت سلسله‌مراتبی گام‌های زیر طی می‌شود:

گام ۱: به‌دست‌آوردن ماتریس I_{MA}

$$I_{MA} = \begin{matrix} MA_1 \\ \vdots \\ MA_m \end{matrix} \begin{bmatrix} W_1 \\ \vdots \\ W_m \end{bmatrix} \quad (9)$$

W_C میانگین وزن‌های تخصیص داده شده به معیار اصلی C توسط تصمیم‌گیران است و طبق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

1. Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
2. Hierarchical Fuzzy Topsis (HFTOPSIS)

$$w_c = \frac{\sum_{i=1}^k q_{ci}}{k} \quad c = 1, \dots, m \quad (10)$$

q_{ci} عدد فازی متناظر با i امین قضاوت تصمیم‌گیرنده برای وزن معیار c نسبت به هدف است.

گام ۲: به دست آوردن ماتریس I_{KA}

$$I_{KA} = \begin{matrix} & MA_1 & MA_2 & \dots & MA_m \\ \begin{matrix} KA_{11} \\ \vdots \\ KA_{1n_1} \\ KA_{21} \\ \vdots \\ KA_{2r_2} \\ \vdots \\ KA_{m1} \\ \vdots \\ KA_{mr_m} \end{matrix} & \begin{bmatrix} w_{11} & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ w_{1n_1} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & w_{21} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ 0 & w_{2r_2} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & w_{m1} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & w_{mr_m} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (11)$$

بدیهی است که وزن معیارها در معیار مربوط به خود عدد می‌گیرد و در سایر معیارها برابر صفر است.

w_{cl} میانگین وزن‌ها توسط تصمیم‌گیران است و طبق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$w_{cl} = \frac{\sum_{i=1}^k q_{cl}}{k} \quad c = 1, \dots, m \quad (12)$$

q_{cl} عدد فازی متناظر با قضاوت تصمیم‌گیرنده i ام برای وزن زیرمعیار l ام نسبت به معیار c است.

گام ۳: به دست آوردن ماتریس I_A توسط تصمیم‌گیران

$$I_A = \begin{matrix} & KA_{11} & KA_{12} & \dots & KA_{mr_m} \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_s \end{matrix} & \begin{bmatrix} c_{111} & c_{112} & \dots & \vdots \\ c_{211} & c_{212} & \dots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ c_{n11} & c_{n12} & \dots & c_{smr_m} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (13)$$

که $W_{cl} = \sum_{j=1}^m w_c w_{cj}$ است و در این ماتریس، اعداد فازی C_{qcl} میانگین نمرات داده شده توسط تصمیم‌گیران است و به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$C_{qcl} = \frac{\sum_{i=1}^k q_{qcl_i}}{k} \quad c = 1, 2, \dots, m \quad (14)$$

که q_{qcl_i} اعداد فازی متناظر با نظر تصمیم‌گیرنده i ام برای نمره گزینه q ام نسبت به زیرمعیار l ام از معیار c است. با ضرب دو ماتریس I_{KA} و I_{MA} در یکدیگر ماتریس وزن زیرمعیارها به دست می‌آید.

$$L = I_{MA} \times I_{KA} \quad (15)$$

ماتریس I_A ماتریس تصمیم‌گیری را نشان می‌دهد که برای یکسان کردن واحد اعضای ماتریس باید ماتریس تصمیم‌گیری نرمالیزه شود [۲۸]. بعد از به دست آوردن ماتریس تصمیم‌گیری سایر مراحل مانند تاپسیس فازی به صورت زیر انجام خواهد شد. پس از نرمالایز کردن ماتریس تصمیم فازی نرمالایز شده، $R = [r_{ij}]_{n \times m}$ به دست می‌آید؛ ولی با توجه به تفاوت در ضریب اهمیت معیارها، ماتریس فازی نرمالیزه شده وزنی، $V = [v_{ij}]_{n \times m}$ به دست می‌آید که $v_{ij} = r_{ij}(\cdot)w_j$ است. با استفاده از ماتریس $V = [v_{ij}]_{n \times m}$ جواب ایده‌آل مثبت فازی $(FPIS, A^+)$ و جواب ایده‌آل منفی فازی $(FNIS, A^-)$ به صورت زیر تعیین می‌شود.

$$A^+ = (v_1^+, v_2^+, \dots, v_n^+) \quad (16)$$

$$A^- = (v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-) \quad (17)$$

که $v_j^+ = (1, 1, 1)$ و $v_j^- = (0, 0, 0)$ و $j = 1, 2, \dots, n$ است.

اگر m و n دو عدد فازی مثلثی باشند فاصله بین آن‌ها، $d(m, n)$ به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$d(m, n) = \sqrt{\frac{1}{3}[(l_m - l_n)^2 + (m_m - m_n)^2 + (u_m - u_n)^2]} \quad (18)$$

بنابراین فاصله هر گزینه از $(FPIS, A^+)$ و $(FNIS, A^-)$ به صورت زیر تعیین می‌شود:

-
1. Fuzzy Positive Ideal Solution
 2. Fuzzy Negative Ideal Solution

$$d_i^+ = \sum_{j=1}^m d(v_{ij}, v_j^+), \quad i = 1, \dots, n \quad (19)$$

$$d_i^- = \sum_{j=1}^m d(v_{ij}, v_j^-), \quad i = 1, \dots, n \quad (20)$$

در نهایت شاخص نزدیکی نسبی برای هر گزینه به صورت زیر بدست می‌آید:

$$RC_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-}, \quad i = 1, \dots, n \quad (21)$$

واضح است که هر چه گزینه A_i به $(FPIS, A^+)$ نزدیک‌تر و از $(FNIS, A^-)$ دورتر باشد، شاخص نسبی به یک نزدیک‌تر خواهد بود [۱۱].

روش تاپسیس فازی بر مبنای سطوح مختلف آلفا در رتبه‌بندی و انتخاب تأمین‌کنندگان. در این بخش یک روش تاپسیس برای رتبه‌بندی و انتخاب تأمین‌کنندگان در زنجیره تأمین ارائه شده است که بر مبنای مجموعه سطوح آلفا عمل می‌کند. در روش قبل علی‌رغم اینکه عناصر ماتریس تصمیم (w_j, x_{ij}) مقادیر فازی بودند؛ ولی با محاسبه فاصله هر گزینه از جواب ایده‌آل مثبت و منفی، شاخص نزدیکی نسبی RC_i به صورت مقادیر قطعی به دست می‌آید؛ درحالی‌که بهتر است RC_i نیز به صورت مقادیر فازی و غیرقطعی باشد. با استفاده از برش‌های آلفا و به کمک اصل گسترش، شاخص نزدیکی نسبی RC_i به صورت مقادیر فاصله‌ای محاسبه می‌شود. با توجه به اصل گسترش، هر عدد فازی مانند A را می‌توان به صورت زیر نشان داد [۳۳]:

$$A = \bigcup_{\alpha} \alpha A_{\alpha}, \quad 0 \leq \alpha \leq 1 \quad (22)$$

با استفاده از برش‌های آلفا خواهیم داشت: $w_{j\alpha} = \{w_j^l, w_j^u\}$ و $r_{ij\alpha} = \{r_{ij}^l, r_{ij}^u\}$ بنابراین رابطه (۲۱) را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$RC_i = \frac{\sqrt{\sum_{j=1}^m (w_j r_{ij})^2}}{\sqrt{\sum_{j=1}^m (w_j r_{ij})^2} + \sqrt{\sum_{j=1}^m (w_j (1 - r_{ij}))^2}} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (23)$$

st:

$$(w_j)_\alpha^l \leq w_j \leq (w_j)_\alpha^u \quad j = 1, \dots, m$$

$$(r_{ij})_\alpha^l \leq r_{ij} \leq (r_{ij})_\alpha^u \quad j = 1, \dots, m$$

با توجه به اینکه $\frac{\partial RC_i}{\partial r_{ij}} \geq 0$ است، پس RC_i یک تابع صعودی نسبت به r_{ij} است.

$$\frac{\partial RC_i}{\partial r_{ij}} = \frac{r_{ij} \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m (w_j (r_{ij}-1))^2}{\sum_{j=1}^m (w_j r_{ij})^2}} + w_j^2 (1-r_{ij}) \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m (w_j r_{ij})^2}{\sum_{j=1}^m (w_j (r_{ij}-1))^2}}}{\left(\sqrt{\sum_{j=1}^m (w_j r_{ij})^2} + \sqrt{\sum_{j=1}^m (w_j (r_{ij}-1))^2} \right)^2} \geq 0$$

$$j = 1, \dots, m \quad (24)$$

بنابراین RC_i به ازای $(r_{ij})_\alpha^l$ مینیمم و به ازای $(r_{ij})_\alpha^u$ بیشینه می‌شود؛ بنابراین مسائل برنامه‌ریزی کسری بالا را می‌توان به شکل ساده‌تر زیر تبدیل کرد [۳۳]:

$$(RC_i)_\alpha^l = \min \frac{\sqrt{\sum_{j=1}^m (w_j (r_{ij})_\alpha^l)^2}}{\sqrt{\sum_{j=1}^m (w_j (r_{ij})_\alpha^l)^2} + \sqrt{\sum_{j=1}^m (w_j (1 - (r_{ij})_\alpha^l))^2}} \quad i = 1, 2, \dots, n$$

st:

$$(w_j)_\alpha^l \leq w_j \leq (w_j)_\alpha^u \quad j = 1, \dots, m \quad (25)$$

$$(RC_i)_\alpha^u = \max \frac{\sqrt{\sum_{j=1}^m (w_j (r_{ij})_\alpha^u)^2}}{\sqrt{\sum_{j=1}^m (w_j (r_{ij})_\alpha^u)^2} + \sqrt{\sum_{j=1}^m (w_j (1 - (r_{ij})_\alpha^u))^2}} \quad i = 1, 2, \dots, n$$

st:

$$(w_j)_\alpha^l \leq w_j \leq (w_j)_\alpha^u \quad j = 1, \dots, m \quad (26)$$

برای n گزینه، شاخص نزدیکی نسبی (RC_i) به ازای هر سطح از آلفا به دست می‌آید. برای انتخاب بهترین گزینه و رتبه‌بندی گزینه‌ها باید شاخص نزدیکی نسبی را به مقادیر

غیرفازی تبدیل کرد؛ بدین منظور از میانگین سطوح برش^۱ استفاده می‌شود. به ازای $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_N$ که $0 = \alpha_1 < \alpha_2 < \dots < \alpha_N = 1$ است، مقدار قطعی (RC_i) به صورت زیر به دست می‌آید [۳۳]:

$$(RC_i)_{ALC}^+ = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \left[\frac{(RC_i)_{\alpha_j}^L + (RC_i)_{\alpha_j}^U}{2} \right] \quad i = 1, \dots, n \quad (27)$$

۴. تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

«کارخانه گلین غرب» واقع در استان همدان در زمینه تولید اجاق گاز خانگی فعالیت می‌کند. این کارخانه برای تولید محصول خود برخی از قطعات مورد نیاز را از تأمین‌کنندگان مختلف تهیه می‌کند و در نهایت در خط مونتاژ، قطعات و اجزای مختلف را مونتاژ و محصول نهایی را تولید و به بازار عرضه می‌کند. روش فعلی در انتخاب تأمین‌کننده‌ها مبتنی بر رویکرد تجربی است. این شرکت تولیدی اجاق گاز یک سری قطعه را از تأمین‌کنندگانی که در اینجا با نام تأمین‌کنندگان لایه اول شناخته می‌شوند تهیه کرده است تا در تولید و مونتاژ قطعات خود استفاده کند؛ بنابراین در این پژوهش عنوان تأمین‌کنندگان لایه اول شرکت‌هایی هستند که قطعات از آن‌ها خریداری می‌شوند. چهار محصول ۱، ۲، ۳، ۴ وجود دارد که ۴ تأمین‌کننده برای آن‌ها شناسایی شده است و این تأمین‌کنندگان می‌توانند تعدادی از محصولات و یا همه آن‌ها را تأمین کنند. هر یک از تأمین‌کنندگان لایه اول ماده مصرفی مورد نیاز خود را از تأمین‌کنندگان لایه دوم تأمین می‌کنند. برای حل این مثال عددی با روش معیار "لایه دوم" و تاپسیس فازی سلسله‌مراتبی بر اساس سطوح مختلف آلفا به وزن‌دهی تأمین‌کنندگان لایه اول پرداخته می‌شود. طبق مقاله دیکسون (۱۹۹۶)، معیارهای بسیاری برای انتخاب بهترین تأمین‌کننده می‌توان یافت. در این پژوهش برای ارزیابی تأمین‌کنندگان لایه اول علاوه بر معیار تأمین‌کنندگان لایه دوم، کیفیت، وضعیت مالی و موعد تحویل؛ از یک سری معیارهای سبز استفاده شده است که این معیارها توسط شن و همکاران (۲۰۱۳) ارائه شده است [۳۲]. کلیه معیارها و زیرمعیارهای استفاده‌شده در ارزیابی تأمین‌کننده لایه اول مطابق جدول ۳ است:

1. Average Level Cuts (ALC)

جدول ۲. معیارهای ارزیابی تأمین کنندگان لایه اول

| نام معیار | نماد | زیر معیار | نماد |
|-------------------------|-------|--|----------|
| کیفیت | C_1 | داشتن ویژگی‌های کیفی محصولات | L_{11} |
| | | برخوردراری از روش مناسب ردیابی و شناسایی کالای معیوب | L_{12} |
| وضعیت مالی | C_2 | نحوه پرداخت | L_{21} |
| | | میزان سود در طول سال مالی | L_{22} |
| تحویل | C_3 | دقت در تحویل | L_{31} |
| | | کیفیت بسته‌بندی | L_{32} |
| ایجاد آلودگی | C_4 | حجم متوسط گازهای گلخانه‌ای منتشر شده در طول روز در طول مدت اندازه‌گیری | L_{41} |
| | | حجم متوسط فاضلاب منتشر شده در طول روز در طول مدت اندازه‌گیری | L_{42} |
| طراحی اکو | C_5 | کاهش استفاده از مواد خطرناک | L_{51} |
| | | طراحی محصولات برای مصرف کمتر مواد/ انرژی | L_{52} |
| | | طراحی محصولات برای استفاده مجدد | L_{53} |
| سیستم مدیریت زیست‌محیطی | C_6 | دارا بودن گواهینامه‌های ایزو ۱۴۰۰۰ | L_{61} |
| | | برنامه‌ریزی اهداف زیست‌محیطی | L_{62} |
| لایه دوم | C_7 | عملکرد مؤثر تأمین کنندگان لایه دوم در انتخاب تأمین کننده لایه اول | L_{71} |
| | | سابقه کاری تأمین کننده در زمینه بهبود عملکرد | L_{72} |

در ارزیابی تأمین کننده لایه دوم معیارهای در نظر گرفته شده مطابق جدول ۴ است.

جدول ۳. معیارهای ارزیابی تأمین کنندگان لایه دوم

| نام معیار | علامت | توضیحات |
|------------|-------|--|
| کیفیت | L_1 | کیفیت مواد اولیه تحویل شده از تأمین کننده لایه دوم |
| قیمت محصول | L_2 | قیمت مواد اولیه عرضه شده توسط تأمین کنندگان لایه دوم |
| فاکتور سبز | L_3 | اهمیت تأمین کننده لایه دوم به مسائل زیست‌محیطی |

روش معیار «لایه دوم» و تاپسیس فازی سلسله‌مراتبی بر اساس سطوح ألفا

الف: روش معیار لایه دوم:

گام ۱ و ۲: ارزیابی تأمین کنندگان لایه دوم در مقابل معیار ۱ (کیفیت)، معیار ۲ (قیمت مناسب)، معیار ۳ (فاکتور سبز)، و تبدیل متغیرهای زبانی به اعداد فازی در مقابل سه معیار یادشده با استفاده از نظر تصمیم گیرنده (جدول ۵).

جدول ۵. ارزیابی تأمین‌کنندگان لا به دوم در مقابل معیارها

| | تأمین‌کننده ۱ | تأمین‌کننده ۲ | تأمین‌کننده ۳ | تأمین‌کننده ۴ | |
|---------|---------------|--|--|--|--|
| معیار ۱ | ماده مصرفی ۱ | بسیار زیاد (۰/۹، ۱، ۱) $(\alpha_{11}^{L1}, \beta_{11}^{L1} \gamma_{11}^{L1})$ | بسیار کم (۰، ۰/۱) $(\alpha_{21}^{L1}, \beta_{21}^{L1} \gamma_{21}^{L1})$ | نسبتاً زیاد (۰/۵، ۰/۷، ۰/۹) $(\alpha_{31}^{L1}, \beta_{31}^{L1} \gamma_{31}^{L1})$ | بسیار کم (۰، ۰، ۰/۱) $(\alpha_{41}^{L1}, \beta_{42}^{L1} \gamma_{43}^{L1})$ |
| | ماده مصرفی ۲ | زیاد (۰/۷، ۰/۹، ۱) $(\alpha_{12}^{L1}, \beta_{12}^{L1} \gamma_{12}^{L1})$ | نسبتاً کم (۰/۱، ۰/۳، ۰/۵) $(\alpha_{22}^{L1}, \beta_{22}^{L1} \gamma_{22}^{L1})$ | کم (۰، ۰/۱، ۰/۳) $(\alpha_{32}^{L1}, \beta_{32}^{L1} \gamma_{32}^{L1})$ | کم (۰، ۰/۱، ۰/۳) $(\alpha_{42}^{L1}, \beta_{42}^{L1} \gamma_{42}^{L1})$ |
| | ماده مصرفی ۳ | زیاد (۰/۷، ۰/۹، ۱) $(\alpha_{13}^{L1}, \beta_{13}^{L1} \gamma_{13}^{L1})$ | نسبتاً کم (۰/۱، ۰/۳، ۰/۵) $(\alpha_{23}^{L1}, \beta_{23}^{L1} \gamma_{23}^{L1})$ | نسبتاً زیاد (۰/۵، ۰/۷، ۰/۹) $(\alpha_{33}^{L1}, \beta_{33}^{L1} \gamma_{33}^{L1})$ | متوسط (۰/۳، ۰/۵، ۰/۷) $(\alpha_{43}^{L1}, \beta_{43}^{L1} \gamma_{43}^{L1})$ |
| | ماده مصرفی ۴ | متوسط (۰/۳، ۰/۵، ۰/۷) $(\alpha_{14}^{L1}, \beta_{14}^{L1} \gamma_{14}^{L1})$ | متوسط (۰/۳، ۰/۵، ۰/۷) $(\alpha_{24}^{L1}, \beta_{24}^{L1} \gamma_{24}^{L1})$ | متوسط (۰/۳، ۰/۵، ۰/۷) $(\alpha_{34}^{L1}, \beta_{34}^{L1} \gamma_{34}^{L1})$ | متوسط (۰/۳، ۰/۵، ۰/۷) $(\alpha_{44}^{L1}, \beta_{44}^{L1} \gamma_{44}^{L1})$ |
| معیار ۲ | ماده مصرفی ۱ | متوسط (۰/۳، ۰/۵، ۰/۷) $(\alpha_{11}^{L2}, \beta_{11}^{L2} \gamma_{11}^{L2})$ | متوسط (۰/۳، ۰/۵، ۰/۷) $(\alpha_{21}^{L2}, \beta_{21}^{L2} \gamma_{21}^{L2})$ | کم (۰، ۰/۱، ۰/۳) $(\alpha_{31}^{L2}, \beta_{31}^{L2} \gamma_{31}^{L2})$ | نسبتاً زیاد (۰/۵، ۰/۷، ۰/۹) $(\alpha_{41}^{L2}, \beta_{42}^{L2} \gamma_{43}^{L2})$ |
| | ماده مصرفی ۲ | نسبتاً زیاد (۰/۵، ۰/۷، ۰/۹) $(\alpha_{12}^{L2}, \beta_{12}^{L2} \gamma_{12}^{L2})$ | نسبتاً زیاد (۰/۵، ۰/۷، ۰/۹) $(\alpha_{22}^{L2}, \beta_{22}^{L2} \gamma_{22}^{L2})$ | کم (۰، ۰/۱، ۰/۳) $(\alpha_{32}^{L2}, \beta_{32}^{L2} \gamma_{32}^{L2})$ | نسبتاً زیاد (۰/۵، ۰/۷، ۰/۹) $(\alpha_{42}^{L2}, \beta_{42}^{L2} \gamma_{42}^{L2})$ |
| | ماده مصرفی ۳ | زیاد (۰/۷، ۰/۹، ۱) $(\alpha_{13}^{L2}, \beta_{13}^{L2} \gamma_{13}^{L2})$ | کم (۰، ۰/۱، ۰/۳) $(\alpha_{23}^{L2}, \beta_{23}^{L2} \gamma_{23}^{L2})$ | کم (۰، ۰/۱، ۰/۳) $(\alpha_{33}^{L2}, \beta_{33}^{L2} \gamma_{33}^{L2})$ | بسیار زیاد (۰/۹، ۱، ۱) $(\alpha_{43}^{L2}, \beta_{43}^{L2} \gamma_{43}^{L2})$ |
| | ماده مصرفی ۴ | نسبتاً زیاد (۰/۵، ۰/۷، ۰/۹) $(\alpha_{14}^{L2}, \beta_{14}^{L2} \gamma_{14}^{L2})$ | کم (۰، ۰/۱، ۰/۳) $(\alpha_{24}^{L2}, \beta_{24}^{L2} \gamma_{24}^{L2})$ | نسبتاً زیاد (۰/۵، ۰/۷، ۰/۹) $(\alpha_{34}^{L2}, \beta_{34}^{L2} \gamma_{34}^{L2})$ | زیاد (۰/۷، ۰/۹، ۱) $(\alpha_{44}^{L2}, \beta_{44}^{L2} \gamma_{44}^{L2})$ |
| معیار ۳ | ماده مصرفی ۱ | نسبتاً کم (۰/۱، ۰/۳، ۰/۵) $(\alpha_{11}^{L3}, \beta_{11}^{L3} \gamma_{11}^{L3})$ | بسیار زیاد (۰/۹، ۱، ۱) $(\alpha_{21}^{L3}, \beta_{21}^{L3} \gamma_{21}^{L3})$ | متوسط (۰/۳، ۰/۵، ۰/۷) $(\alpha_{31}^{L3}, \beta_{31}^{L3} \gamma_{31}^{L3})$ | نسبتاً زیاد (۰/۵، ۰/۷، ۰/۹) $(\alpha_{41}^{L3}, \beta_{42}^{L3} \gamma_{43}^{L3})$ |
| | ماده مصرفی ۲ | کم (۰، ۰/۱، ۰/۳) $(\alpha_{12}^{L3}, \beta_{12}^{L3} \gamma_{12}^{L3})$ | زیاد (۰/۷، ۰/۹، ۱) $(\alpha_{22}^{L3}, \beta_{22}^{L3} \gamma_{22}^{L3})$ | متوسط (۰/۳، ۰/۵، ۰/۷) $(\alpha_{32}^{L3}, \beta_{32}^{L3} \gamma_{32}^{L3})$ | نسبتاً زیاد (۰/۵، ۰/۷، ۰/۹) $(\alpha_{42}^{L3}, \beta_{42}^{L3} \gamma_{42}^{L3})$ |

| | | | | |
|------------|---|---|---|---|
| ماده مصرفی | بسیار کم | کم | کم | بسیار زیاد |
| ۳ | (۰، ۰، ۰/۱) | (۰، ۰/۱، ۰/۳) | (۰، ۰/۱، ۰/۳) | (۰/۹، ۱، ۱) |
| | $(\alpha_{13}^{L3}, \beta_{13}^{L3}, \gamma_{13}^{L3})$ | $(\alpha_{23}^{L3}, \beta_{23}^{L3}, \gamma_{23}^{L3})$ | $(\alpha_{33}^{L3}, \beta_{33}^{L3}, \gamma_{33}^{L3})$ | $(\alpha_{43}^{L3}, \beta_{43}^{L3}, \gamma_{43}^{L3})$ |
| ماده مصرفی | متوسط | نسبتاً زیاد | متوسط | متوسط |
| ۴ | (۰/۳، ۰/۵، ۰/۷) | (۰/۵، ۰/۷، ۰/۹) | (۰/۳، ۰/۵، ۰/۷) | (۰/۳، ۰/۵، ۰/۷) |
| | $(\alpha_{14}^{L3}, \beta_{14}^{L3}, \gamma_{14}^{L3})$ | $(\alpha_{24}^{L3}, \beta_{24}^{L3}, \gamma_{24}^{L3})$ | $(\alpha_{34}^{L3}, \beta_{34}^{L3}, \gamma_{34}^{L3})$ | $(\alpha_{44}^{L3}, \beta_{44}^{L3}, \gamma_{44}^{L3})$ |

گام ۳: محاسبه ارزش معیار «لایه دوم» برای تأمین کنندگان لایه اول با ادغام عملکرد تأمین کننده لایه دوم در مقابل کیفیت، قیمت و فاکتور سبز

وزن هر یک از مواد مصرفی برای تأمین کنندگان لایه اول (طبق نظر تصمیم گیرندگان؛ میانگین نظرات مسئولان بخش تدارکات کارخانه):

| | | |
|-----|--|----------|
| ۰/۳ | وزن اولین ماده مصرفی برای اولین تأمین کننده لایه اول | W_{11} |
| ۰/۲ | وزن دومین ماده مصرفی برای اولین تأمین کننده لایه اول | W_{12} |
| ۰/۲ | وزن سومین ماده مصرفی برای اولین تأمین کننده لایه اول | W_{13} |
| ۰/۳ | وزن چهارمین ماده مصرفی برای اولین تأمین کننده لایه اول | W_{14} |
| ۰/۱ | وزن اولین ماده مصرفی برای دومین تأمین کننده لایه اول | W_{21} |
| ۰/۱ | وزن دومین ماده مصرفی برای دومین تأمین کننده لایه اول | W_{22} |
| ۰/۴ | وزن سومین ماده مصرفی برای دومین تأمین کننده لایه اول | W_{23} |
| ۰/۴ | وزن چهارمین ماده مصرفی برای دومین تأمین کننده لایه اول | W_{24} |
| ۰/۴ | وزن اولین ماده مصرفی برای سومین تأمین کننده لایه اول | W_{31} |
| ۰/۳ | وزن دومین ماده مصرفی برای سومین تأمین کننده لایه اول | W_{32} |
| ۰/۱ | وزن سومین ماده مصرفی برای سومین تأمین کننده لایه اول | W_{33} |
| ۰/۲ | وزن چهارمین ماده مصرفی برای سومین تأمین کننده لایه اول | W_{34} |
| ۰/۳ | وزن اولین ماده مصرفی برای چهارمین تأمین کننده لایه اول | W_{41} |
| ۰/۳ | وزن دومین ماده مصرفی برای چهارمین تأمین کننده لایه اول | W_{42} |
| ۰/۲ | وزن سومین ماده مصرفی برای چهارمین تأمین کننده لایه اول | W_{43} |
| ۰/۲ | وزن چهارمین ماده مصرفی برای چهارمین تأمین کننده لایه اول | W_{44} |

نتایج معادلات ۳ تا ۵ در جدول ۶ ارائه شده است:

جدول ۶. نتایج معادلات ۳ تا ۵

| نتایج معادلات برای معیار کیفیت | | نتایج معادلات برای معیار قیمت | |
|---|---|---|--------------------|
| اندیس | مقادیر به دست آمده | اندیس | مقادیر به دست آمده |
| $(\lambda_1^{L1}, \theta_1^{L1}, \varphi_1^{L1})$ | (۰/۶۸، ۰/۵۴، ۰/۲۸) | $(\lambda_1^{L2}, \theta_1^{L2}, \varphi_1^{L2})$ | (۰/۴۸، ۰/۶۸، ۰/۶۸) |
| $(\lambda_2^{L1}, \theta_2^{L1}, \varphi_2^{L1})$ | (۰/۱۷، ۰/۳۵، ۰/۵۴) | $(\lambda_2^{L2}, \theta_2^{L2}, \varphi_2^{L2})$ | (۰/۰۸، ۰/۲، ۰/۴) |
| $(\lambda_3^{L1}, \theta_3^{L1}, \varphi_3^{L1})$ | (۰/۳۱، ۰/۴۸، ۰/۶۸) | $(\lambda_3^{L2}, \theta_3^{L2}, \varphi_3^{L2})$ | (۰/۰۱، ۰/۲۳، ۰/۴۲) |
| $(\lambda_4^{L1}, \theta_4^{L1}, \varphi_4^{L1})$ | (۰/۱۲، ۰/۲۳، ۰/۴) | $(\lambda_4^{L2}, \theta_4^{L2}, \varphi_4^{L2})$ | (۰/۲، ۰/۳۶، ۰/۳۴) |
| نتایج معادلات برای معیار فاکتور سبز | | | |
| اندیس | اندیس | | |
| $(\lambda_1^{L3}, \theta_1^{L3}, \varphi_1^{L3})$ | $(\lambda_1^{L3}, \theta_1^{L3}, \varphi_1^{L3})$ | | |
| $(\lambda_2^{L3}, \theta_2^{L3}, \varphi_2^{L3})$ | $(\lambda_2^{L3}, \theta_2^{L3}, \varphi_2^{L3})$ | | |
| $(\lambda_3^{L3}, \theta_3^{L3}, \varphi_3^{L3})$ | $(\lambda_3^{L3}, \theta_3^{L3}, \varphi_3^{L3})$ | | |
| $(\lambda_4^{L3}, \theta_4^{L3}, \varphi_4^{L3})$ | $(\lambda_4^{L3}, \theta_4^{L3}, \varphi_4^{L3})$ | | |

گام ۴: محاسبه نمره تأمین‌کنندگان لایه اول با توجه به معیار «لایه دوم» اهمیت ۳ معیار یا شده برای مجموعه تأمین‌کنندگان لایه اول به صورت جدول ۷ است.

جدول ۷. اهمیت معیار کیفیت، قیمت و فاکتور سبز برای مجموعه تأمین‌کنندگان لایه اول

| نام معیار | اهمیت معیار |
|----------------------|-------------|
| کیفیت (W^Q) | ۰/۴ |
| قیمت (W^P) | ۰/۳ |
| فاکتور سبز (W^G) | ۰/۳ |

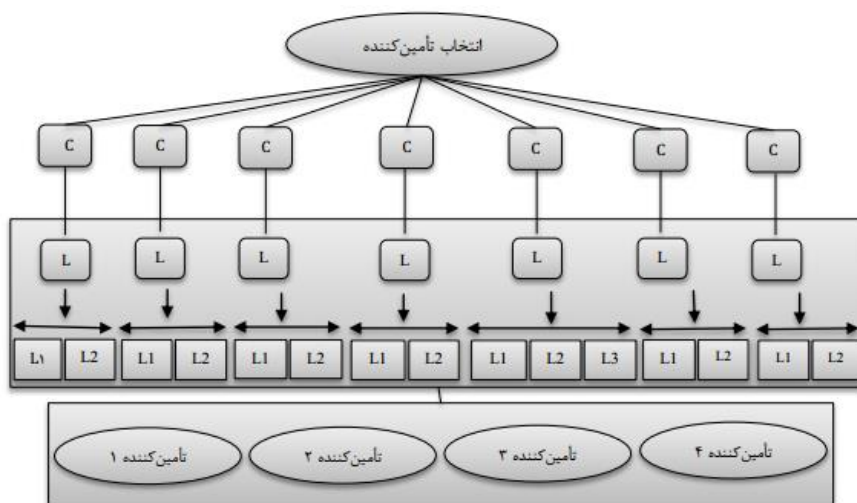
با توجه به داده‌های جدول ۷ معادلات ۶ تا ۸ مطابق ۸ محاسبه می‌شود.

جدول ۸. نمره نهایی تأمین کنندگان لایه اول بر مبنای معیار لایه پیشین

| نام تأمین کننده | معیار لایه دوم | | |
|-----------------|----------------|-------|-------|
| | L | M | U |
| تأمین کننده ۱ | ۰/۴۵۲ | ۰/۴۹۸ | ۰/۴۴۸ |
| تأمین کننده ۲ | ۰/۲ | ۰/۳۲۶ | ۰/۴۸۶ |
| تأمین کننده ۳ | ۰/۲۰۸ | ۰/۳۹۹ | ۰/۵۹۶ |
| تأمین کننده ۴ | ۰/۵۷۶ | ۰/۲۸۴ | ۰/۴ |

برای محاسبه نمره نهایی تأمین کنندگان لایه اول، اطلاعات مربوط به معیار «لایه دوم» به عنوان معیاری برای تأمین کننده لایه اول استفاده می شود.

ب: روش تاپسیس فازی سلسله مراتبی بر اساس سطوح مختلف ألفا. در این بخش به بررسی تأمین کنندگان در بخش تدارکات شرکت های تأمین کننده لایه اول پرداخته می شود که دارای یک تصمیم گیرنده هستند و می خواهند چهار تأمین کننده را نسبت به ۷ معیار ذکر شده رتبه بندی کنند. ساختار سلسله مراتبی این مسئله تصمیم در شکل ۲، نشان داده شده است.



شکل ۲. ساختار سلسله مراتبی مسئله تصمیم گیری

ارزیابی تأمین کنندگان لایه اول نسبت به ۷ معیار با متغیرهای فازی کلامی با نظر تصمیم گیرنده صورت گرفته و در جدول ۹، ارائه شده است.

جدول ۹. ارزیابی زبانی و اعداد فازی متناظر برای وزن معیارهای اصلی

| معیار | ارزیابی زبانی تصمیم‌گیرنده | وزن فازی معیارها | معیار | ارزیابی زبانی تصمیم‌گیرنده | وزن فازی معیارها |
|-------|-------------------------------|---------------------|-------|-------------------------------|---------------------|
| C_1 | بسیار زیاد | (۰/۹, ۱, ۱) | C_2 | نسبتاً زیاد | (۰/۵, ۰/۷, ۰/۹) |
| C_3 | زیاد | (۰/۷, ۰/۹, ۱) | C_4 | نسبتاً زیاد | (۰/۵, ۰/۷, ۰/۹) |
| C_5 | متوسط | (۰/۳, ۰/۵, ۰/۷) | C_6 | متوسط | (۰/۳, ۰/۵, ۰/۷) |
| C_7 | متوسط | (۰/۳, ۰/۵, ۰/۷) | | | |

ماتریس وزن‌های معیارهای اصلی مسئله نسبت به اهداف به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$I_{MA} = \begin{bmatrix} (0/9, 1, 1) \\ (0/5, 0/7, 0/9) \\ (0/7, 0/9, 1) \\ (0/5, 0/7, 0/9) \\ (0/3, 0/5, 0/7) \\ (0/3, 0/5, 0/7) \\ (0/3, 0/5, 0/7) \end{bmatrix}$$

اعداد فازی مرتبط برای وزن زیر معیارها با نظر تصمیم‌گیرنده در قالب اعداد فازی مثلثی در جدول ۱۰ ارائه شده است.

جدول ۱۰. ارزیابی زبانی و اعداد فازی متناظر برای وزن زیرمعیارها نسبت به معیار اصلی

| زیرمعیار | ارزیابی زبانی تصمیم‌گیرنده | وزن فازی زیرمعیارها | زیرمعیار | ارزیابی زبانی تصمیم‌گیرنده | وزن فازی زیرمعیارها |
|----------|-------------------------------|------------------------|----------|-------------------------------|------------------------|
| L_{11} | بسیار زیاد | (۰/۹, ۱, ۱) | L_{12} | نسبتاً زیاد | (۰/۵, ۰/۷, ۰/۹) |
| L_{21} | زیاد | (۰/۷, ۰/۹, ۱) | L_{22} | نسبتاً زیاد | (۰/۵, ۰/۷, ۰/۹) |
| L_{31} | متوسط | (۰/۳, ۰/۵, ۰/۷) | L_{32} | متوسط | (۰/۳, ۰/۵, ۰/۷) |
| L_{41} | زیاد | (۰/۷, ۰/۹, ۱) | L_{42} | نسبتاً کم | (۰/۱, ۰/۳, ۰/۵) |
| L_{51} | متوسط | (۰/۳, ۰/۵, ۰/۷) | L_{52} | بسیار زیاد | (۰/۹, ۱, ۱) |
| L_{53} | متوسط | (۰/۳, ۰/۵, ۰/۷) | L_{61} | زیاد | (۰/۷, ۰/۹, ۱) |
| L_{62} | متوسط | (۰/۳, ۰/۵, ۰/۷) | L_{71} | نسبتاً کم | (۰/۱, ۰/۳, ۰/۵) |
| L_{72} | نسبتاً کم | (۰/۱, ۰/۳, ۰/۵) | | | |

در جدول ۱۰، وزن فازی هر زیرمعیار نسبت به معیار متناظر خود آورده شده است. بدیهی است که وزن آن زیرمعیار نسبت به معیارها صفر است. هر زیر معیار در سایر معیارها مقادیر صفر

گرفته است. ماتریس وزن های زیرمعیارها نسبت به معیار متناظر به صورت زیر است:

$$I_{KA} = \begin{bmatrix} (0.9, 1, 1) & (0) & (0) & (0) & (0) & (0) & (0) \\ (0.5, 0.7, 0.9) & (0) & (0) & (0) & (0) & (0) & (0) \\ (0) & (0.7, 0.9, 1) & (0) & (0) & (0) & (0) & (0) \\ (0) & (0.5, 0.7, 0.9) & (0) & (0) & (0) & (0) & (0) \\ (0) & (0) & (0.3, 0.5, 0.7) & (0) & (0) & (0) & (0) \\ (0) & (0) & (0.3, 0.5, 0.7) & (0) & (0) & (0) & (0) \\ (0) & (0) & (0) & (0.7, 0.9, 1) & (0) & (0) & (0) \\ (0) & (0) & (0) & (0.1, 0.3, 0.5) & (0) & (0) & (0) \\ (0) & (0) & (0) & (0) & (0.3, 0.5, 0.7) & (0) & (0) \\ (0) & (0) & (0) & (0) & (0.9, 1, 1) & (0) & (0) \\ (0) & (0) & (0) & (0) & (0.3, 0.5, 0.7) & (0) & (0) \\ (0) & (0) & (0) & (0) & (0) & (0.7, 0.9, 1) & (0) \\ (0) & (0) & (0) & (0) & (0) & (0.3, 0.5, 0.7) & (0) \\ (0) & (0) & (0) & (0) & (0) & (0) & (0.1, 0.3, 0.5) \\ (0) & (0) & (0) & (0) & (0) & (0) & (0.1, 0.3, 0.5) \end{bmatrix}$$

وزن زیرمعیارها با ضرب ماتریس I_{MA} در ماتریس I_{KA} مطابق جدول ۱۱، به دست می آید.

جدول ۱۱. وزن زیر معیارها

| وزن | زیر معیار |
|--|-----------|
| $(0.9, 1, 1) \otimes (0.9, 1, 1) = (0.81, 1, 1)$ | L_{11} |
| $(0.9, 1, 1) \otimes (0.5, 0.7, 0.9) = (0.45, 0.7, 0.9)$ | L_{12} |
| $(0.5, 0.7, 0.9) \otimes (0.7, 0.9, 1) = (0.35, 0.63, 0.9)$ | L_{21} |
| $(0.5, 0.7, 0.9) \otimes (0.5, 0.7, 0.9) = (0.25, 0.49, 0.81)$ | L_{22} |
| $(0.7, 0.9, 1) \otimes (0.3, 0.5, 0.7) = (0.21, 0.45, 0.7)$ | L_{31} |
| $(0.7, 0.9, 1) \otimes (0.3, 0.5, 0.7) = (0.21, 0.45, 0.7)$ | L_{32} |
| $(0.5, 0.7, 0.9) \otimes (0.7, 0.9, 1) = (0.35, 0.63, 0.9)$ | L_{41} |
| $(0.5, 0.7, 0.9) \otimes (0.1, 0.3, 0.5) = (0.05, 0.21, 0.45)$ | L_{42} |
| $(0.3, 0.5, 0.7) \otimes (0.3, 0.5, 0.7) = (0.09, 0.25, 0.49)$ | L_{51} |
| $(0.3, 0.5, 0.7) \otimes (0.9, 1, 1) = (0.27, 0.5, 0.7)$ | L_{52} |
| $(0.3, 0.5, 0.7) \otimes (0.3, 0.5, 0.7) = (0.09, 0.25, 0.49)$ | L_{53} |
| $(0.3, 0.5, 0.7) \otimes (0.7, 0.9, 1) = (0.21, 0.45, 0.7)$ | L_{61} |
| $(0.3, 0.5, 0.7) \otimes (0.3, 0.5, 0.7) = (0.09, 0.25, 0.49)$ | L_{62} |
| $(0.3, 0.5, 0.7) \otimes (0.1, 0.3, 0.5) = (0.03, 0.15, 0.35)$ | L_{71} |
| $(0.3, 0.5, 0.7) \otimes (0.1, 0.3, 0.5) = (0.03, 0.15, 0.35)$ | L_{72} |

ماتریس نمره گزینه ها نسبت به زیرمعیارها (ماتریس I_A) با ارزیابی زبانی تأمین کنندگان

نسبت به زیرمعیارها توسط تصمیم گیرنده در جدول ۱۲، ارائه شده است.

جدول ۱۲. ارزیابی زبانی تأمین‌کننده‌ها نسبت به زیرمعیارها

| ارزیابی زبانی تأمین‌کننده ۱ نسبت به زیرمعیارها | | | ارزیابی زبانی تأمین‌کننده ۲ نسبت به زیرمعیارها | | |
|--|--------------|-------------|--|--------------|-------------|
| زیر معیار | تصمیم‌گیرنده | وزن | زیر معیار | تصمیم‌گیرنده | وزن |
| L_{11} | نسبتاً خوب | (۵، ۷، ۹) | L_{11} | خوب | (۷، ۹، ۱۰) |
| L_{12} | نسبتاً ضعیف | (۱، ۳، ۵) | L_{12} | خوب | (۷، ۹، ۱۰) |
| L_{21} | متوسط | (۳، ۵، ۷) | L_{21} | نسبتاً خوب | (۵، ۷، ۹) |
| L_{22} | نسبتاً خوب | (۵، ۷، ۹) | L_{22} | نسبتاً خوب | (۵، ۷، ۹) |
| L_{31} | نسبتاً خوب | (۵، ۷، ۹) | L_{31} | خوب | (۷، ۹، ۱۰) |
| L_{32} | خوب | (۷، ۹، ۱۰) | L_{32} | خوب | (۷، ۹، ۱۰) |
| L_{41} | نسبتاً ضعیف | (۱، ۳، ۵) | L_{41} | بسیار خوب | (۹، ۱۰، ۱۰) |
| L_{42} | متوسط | (۳، ۵، ۷) | L_{42} | خوب | (۷، ۹، ۱۰) |
| L_{51} | متوسط | (۳، ۵، ۷) | L_{51} | متوسط | (۳، ۵، ۷) |
| L_{52} | نسبتاً خوب | (۵، ۷، ۹) | L_{52} | خوب | (۷، ۹، ۱۰) |
| L_{53} | نسبتاً خوب | (۵، ۷، ۹) | L_{53} | نسبتاً خوب | (۵، ۷، ۹) |
| L_{61} | بسیار خوب | (۹، ۱۰، ۱۰) | L_{61} | متوسط | (۳، ۵، ۷) |
| L_{62} | متوسط | (۳، ۵، ۷) | L_{62} | خوب | (۷، ۹، ۱۰) |
| L_{72} | متوسط | (۳، ۵، ۷) | L_{72} | خوب | (۷، ۹، ۱۰) |
| ارزیابی زبانی تأمین‌کننده ۳ نسبت به زیرمعیارها | | | ارزیابی زبانی تأمین‌کننده ۴ نسبت به زیرمعیارها | | |
| زیر معیار | تصمیم‌گیرنده | وزن | زیر معیار | تصمیم‌گیرنده | وزن |
| L_{11} | ضعیف | (۰، ۱، ۳) | L_{11} | نسبتاً خوب | (۵، ۷، ۹) |
| L_{12} | متوسط | (۳، ۵، ۷) | L_{12} | متوسط | (۳، ۵، ۷) |
| L_{21} | متوسط | (۳، ۵، ۷) | L_{21} | خوب | (۷، ۹، ۱۰) |
| L_{22} | نسبتاً خوب | (۵، ۷، ۹) | L_{22} | نسبتاً خوب | (۵، ۷، ۹) |
| L_{31} | متوسط | (۳، ۵، ۷) | L_{31} | متوسط | (۳، ۵، ۷) |
| L_{32} | ضعیف | (۰، ۱، ۳) | L_{32} | ضعیف | (۰، ۱، ۳) |
| L_{41} | بسیار خوب | (۹، ۱۰، ۱۰) | L_{41} | بسیار خوب | (۹، ۱۰، ۱۰) |
| L_{42} | نسبتاً خوب | (۵، ۷، ۹) | L_{42} | نسبتاً خوب | (۵، ۷، ۹) |
| L_{51} | نسبتاً خوب | (۵، ۷، ۹) | L_{51} | خوب | (۷، ۹، ۱۰) |
| L_{52} | خوب | (۷، ۹، ۱۰) | L_{52} | خوب | (۷، ۹، ۱۰) |
| L_{53} | نسبتاً خوب | (۵، ۷، ۹) | L_{53} | نسبتاً خوب | (۵، ۷، ۹) |
| L_{61} | متوسط | (۳، ۵، ۷) | L_{61} | خوب | (۷، ۹، ۱۰) |
| L_{62} | ضعیف | (۰، ۱، ۳) | L_{62} | نسبتاً خوب | (۵، ۷، ۹) |
| L_{72} | نسبتاً خوب | (۵، ۷، ۹) | L_{72} | خوب | (۷، ۹، ۱۰) |

در نهایت ماتریس تصمیم نرمالیزه شده محاسبه می شود. جدول ۱۳، این ماتریس را نشان

می دهد.

جدول ۱۳. ماتریس تصمیم نرمالیزه شده

| گزینه ها | زیر معیارها | | |
|---------------|-----------------|--------------------|-----------------|
| | L_{11} | L_{12} | L_{21} |
| تأمین کننده ۱ | (۰/۵، ۰/۷، ۰/۹) | (۰/۱، ۰/۳، ۰/۵) | (۰/۳، ۰/۵، ۰/۷) |
| تأمین کننده ۲ | (۰/۷، ۰/۹، ۱) | (۰/۷، ۰/۹، ۱) | (۰/۵، ۰/۷، ۰/۹) |
| تأمین کننده ۳ | (۰، ۰/۱، ۰/۳) | (۰/۳، ۰/۵، ۰/۷) | (۰/۳، ۰/۵، ۰/۷) |
| تأمین کننده ۴ | (۰/۵، ۰/۷، ۰/۹) | (۰/۳، ۰/۵، ۰/۷) | (۰/۷، ۰/۹، ۱) |
| گزینه ها | L_{22} | L_{31} | L_{32} |
| تأمین کننده ۱ | (۰/۵، ۰/۷، ۰/۹) | (۰/۵، ۰/۷، ۰/۹) | (۰/۷، ۰/۹، ۱) |
| تأمین کننده ۲ | (۰/۵، ۰/۷، ۰/۹) | (۰/۷، ۰/۹، ۱) | (۰/۷، ۰/۹، ۱) |
| تأمین کننده ۳ | (۰/۵، ۰/۷، ۰/۹) | (۰/۳، ۰/۵، ۰/۷) | (۰، ۰/۱، ۰/۳) |
| تأمین کننده ۴ | (۰/۵، ۰/۷، ۰/۹) | (۰/۳، ۰/۵، ۰/۷) | (۰، ۰/۱، ۰/۳) |
| گزینه ها | L_{41} | L_{42} | L_{51} |
| تأمین کننده ۱ | (۰/۱، ۰/۳، ۰/۵) | (۰/۳، ۰/۵، ۰/۷) | (۰/۳، ۰/۵، ۰/۷) |
| تأمین کننده ۲ | (۰/۹، ۱، ۱) | (۰/۷، ۰/۹، ۱) | (۰/۳، ۰/۵، ۰/۷) |
| تأمین کننده ۳ | (۰/۹، ۱، ۱) | (۰/۵، ۰/۷، ۰/۹) | (۰/۵، ۰/۷، ۰/۹) |
| تأمین کننده ۴ | (۰/۹، ۱، ۱) | (۰/۵، ۰/۷، ۰/۹) | (۰/۷، ۰/۹، ۱) |
| گزینه ها | L_{52} | L_{53} | L_{61} |
| تأمین کننده ۱ | (۰/۵، ۰/۷، ۰/۹) | (۰/۵، ۰/۷، ۰/۹) | (۰/۹، ۱، ۱) |
| تأمین کننده ۲ | (۰/۷، ۰/۹، ۱) | (۰/۵، ۰/۷، ۰/۹) | (۰/۳، ۰/۵، ۰/۷) |
| تأمین کننده ۳ | (۰/۷، ۰/۹، ۱) | (۰/۵، ۰/۷، ۰/۹) | (۰/۳، ۰/۵، ۰/۷) |
| تأمین کننده ۴ | (۰/۷، ۰/۹، ۱) | (۰/۵، ۰/۷، ۰/۹) | (۰/۷، ۰/۹، ۱) |
| گزینه ها | L_{62} | L_{71} | L_{72} |
| تأمین کننده ۱ | (۰/۳، ۰/۵، ۰/۷) | (۰/۲۴، ۰/۳۹، ۰/۵۶) | (۰/۳، ۰/۵، ۰/۷) |
| تأمین کننده ۲ | (۰/۷، ۰/۹، ۱) | (۰/۴۶، ۰/۶۴، ۰/۸) | (۰/۷، ۰/۹، ۱) |
| تأمین کننده ۳ | (۰، ۰/۱، ۰/۳) | (۰/۴، ۰/۶، ۰/۷) | (۰/۵، ۰/۷، ۰/۹) |
| تأمین کننده ۴ | (۰/۵، ۰/۷، ۰/۹) | (۰/۳، ۰/۴، ۰/۶) | (۰/۷، ۰/۹، ۱) |

به ازای سطوح مختلف آلفا نتایج جدول ۱۴ برای نزدیکی نسبی به دست آمده است.

جدول ۱۴. شاخص نزدیکی نسبی به ازای سطوح مختلف آلفا برای تأمین‌کنندگان مختلف

| تأمین‌کننده | | | | | | | | آلفا |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------|
| ۴ | ۳ | ۲ | ۱ | | | | | |
| $(CC_4)_\alpha^U$ | $(CC_4)_\alpha^L$ | $(CC_3)_\alpha^U$ | $(CC_3)_\alpha^L$ | $(CC_2)_\alpha^U$ | $(CC_2)_\alpha^L$ | $(CC_1)_\alpha^U$ | $(CC_1)_\alpha^L$ | ۰ |
| ۰/۸۹۵۹ | ۰/۳۸۲۱ | ۰/۷۲۴۲ | ۰/۳۳۸۷ | ۰/۹۶۴۲ | ۰/۵۲۵۷ | ۰/۸۴۱۴ | ۰/۲۹۹۳ | ۰/۱ |
| ۰/۸۷۷۳ | ۰/۴۱۱۴ | ۰/۷۰۱۲ | ۰/۲۶۲۷ | ۰/۹۵۴۲ | ۰/۵۵۳۷ | ۰/۸۱۸۴ | ۰/۳۲۵۷ | ۰/۲ |
| ۰/۸۵۷۸ | ۰/۴۴۰۹ | ۰/۶۷۷۵ | ۰/۲۸۷۰ | ۰/۹۴۲۰ | ۰/۵۸۲۰ | ۰/۷۹۴۴ | ۰/۳۵۲۶ | ۰/۳ |
| ۰/۸۳۷۴ | ۰/۴۷۰۶ | ۰/۶۵۳۴ | ۰/۳۱۱۴ | ۰/۹۲۸۴ | ۰/۶۱۰۶ | ۰/۷۶۹۷ | ۰/۳۸۰۲ | ۰/۴ |
| ۰/۸۱۶۱ | ۰/۵۰۰۳ | ۰/۶۲۸۷ | ۰/۳۳۵۷ | ۰/۹۱۳۷ | ۰/۶۳۹۲ | ۰/۷۴۴۴ | ۰/۴۰۸۳ | ۰/۵ |
| ۰/۷۹۴۰ | ۰/۵۲۹۸ | ۰/۶۰۳۷ | ۰/۳۶۰۰ | ۰/۸۹۷۸ | ۰/۶۶۷۸ | ۰/۷۱۸۴ | ۰/۴۳۶۹ | ۰/۶ |
| ۰/۷۷۱۱ | ۰/۵۵۹۲ | ۰/۵۷۸۷ | ۰/۳۸۴۰ | ۰/۸۸۱۱ | ۰/۶۹۶۲ | ۰/۶۹۱۹ | ۰/۴۶۵۷ | ۰/۷ |
| ۰/۷۴۷۴ | ۰/۵۸۸۱ | ۰/۵۵۳۷ | ۰/۴۰۷۷ | ۰/۸۶۳۴ | ۰/۷۲۴۳ | ۰/۶۶۴۹ | ۰/۴۹۴۸ | ۰/۸ |
| ۰/۷۲۳۰ | ۰/۶۱۶۷ | ۰/۵۲۸۴ | ۰/۴۳۱۱ | ۰/۸۴۴۹ | ۰/۷۵۲۱ | ۰/۶۳۷۶ | ۰/۵۲۴۰ | ۰/۹ |
| ۰/۶۹۷۹ | ۰/۶۴۴۷ | ۰/۵۰۲۶ | ۰/۴۵۴۱ | ۰/۸۲۵۶ | ۰/۷۷۹۲ | ۰/۶۱۰۰ | ۰/۵۵۳۲ | ۱ |
| ۰/۶۷۲۱ | ۰/۶۷۲۱ | ۰/۴۷۶۶ | ۰/۴۷۶۶ | ۰/۸۰۵۵ | ۰/۸۰۵۵ | ۰/۵۸۲۲ | ۰/۵۸۲۲ | |

با توجه به مقادیر جدول ۱۴، مقدار قطعی با توجه به رابطه ۲۷ در جدول ۱۵ ارائه شده است.

جدول ۱۵. مقادیر قطعی نزدیکی نسبی

| تأمین‌کننده | | | | $(CC_1)_{ALC}^*$ |
|-------------|--------|--------|--------|------------------|
| ۴ | ۳ | ۲ | ۱ | |
| ۰/۶۵۹۳ | ۰/۴۸۰۸ | ۰/۷۷۹۸ | ۰/۵۷۷۱ | |

ضرایب نزدیکی به ترتیب نزولی طبقه‌بندی شده‌اند. با استفاده از مقادیر قطعی نزدیکی نسبی تأمین‌کنندگان به ترتیب ۲، ۴، ۱، ۳ با وزن‌های ۰/۷۷، ۰/۶۵، ۰/۵۷، ۰/۴۸ رتبه‌بندی می‌شوند. مسئله برنامه‌ریزی کسری به‌وسیله نرم‌افزار GAMS 24.3 حل شده است و در حل مدل به‌علت غیرخطی بودن آن از حل‌کننده BARON استفاده شده است.

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

مدیران و تصمیم‌گیرندگان سازمان‌ها همواره اهداف گوناگونی را برای رشد سازمان خود موردتوجه قرار می‌دهند؛ بنابراین انتخاب تأمین‌کنندگان، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مسائل و چالش‌های پیش‌روی آن‌ها، مسأله‌ای است که همواره عناصر گوناگونی در آن اهمیت می‌یابند. هر تأمین‌کننده، خود تعدادی تأمین‌کننده اصلی‌تر دارد که ورودی‌های فرآیندهای او را تأمین می‌کنند. این تأمین‌کنندگان که خود بخشی از زنجیره تأمین هستند، اصطلاحاً «تأمین‌کنندگان لایه دوم» نامیده می‌شوند که در پژوهش حاضر این رویکرد موردتوجه قرار گرفت و با توجه به

برآورده کردن معیارهای موردنظر تصمیم‌گیرنده بهترین تأمین‌کنندگان انتخاب شدند. یکی از اهداف موردتوجه در سال‌های اخیر، در نظر گرفتن اثرات زیست‌محیطی در مدیریت زنجیره تأمین است؛ از این رو در این پژوهش اهداف زیست‌محیطی، در کنار سایر اهداف هزینه‌ای، با تکیه بر مفاهیم زنجیره تأمین سبز به‌عنوان یکی از اهداف اصلی انتخاب تأمین‌کننده موردتوجه قرار گرفته است. اگرچه سبزبودن در کشورهای در حال پیشرفتی چون کشور ایران، به اندازه کشورهای اروپایی و توسعه‌یافته مطرح نیست؛ اما در سال‌های اخیر فرهنگ‌سازی در این زمینه بیشتر شده است و شرکت‌ها به کسب مزیت رقابتی در این زمینه ترغیب شده‌اند؛ بنابراین انجام پژوهش‌ها و پروژه‌هایی که توجه ویژه‌ای به این قضیه دارند، می‌تواند زمینه‌ساز پیشرفت در این حوزه باشد.

جعفرنژاد و همکاران (۱۳۸۷) به ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان با روش تاپسیس فازی پرداختند؛ اما فاکتورهای زیست‌محیطی را در ارزیابی خود در نظر نگرفتند [۱۱]. کنان و همکاران (۲۰۱۴)، تأمین‌کنندگان سبز را با روش تاپسیس فازی ارزیابی کردند؛ اما تنها چند معیار اصلی را در نظر گرفتند و عملکرد تأمین‌کنندگان لایه دوم را در ارزیابی تأمین‌کنندگان خود لحاظ نکردند [۱۳]. شن و همکاران (۲۰۱۳) به ارزیابی تأمین‌کنندگان سبز لایه اول با روش تاپسیس فازی پرداختند و معیارهای جامع‌تری را نسبت به پژوهش‌های پیشین لحاظ کردند [۳۲]. روش‌سندل و همکاران (۲۰۱۳) به ارزیابی تأمین‌کنندگان لایه اول با روش تاپسیس فازی سلسله مراتبی پرداختند [۲۸]. با مرور مبانی نظری تحقیق پژوهش شد با اینکه مبانی نظری مربوط به ارزیابی تأمین‌کننده زیاد است؛ اما پژوهش درباره ارزیابی تأمین‌کنندگان دو لایه که عوامل زیست‌محیطی را نیز در نظر بگیرد و علاوه بر معیارهای اصلی، زیرمعیارهای مرتبط را نیز لحاظ کند، تقریباً محدود است.

انتخاب تأمین‌کنندگان در مدیریت زنجیره تأمین یک مسئله تصمیم‌گیری چندمعیاره گروهی است. در روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره کلاسیک، وزن معیارها و عملکرد هر گزینه نسبت به هر معیار با اعداد قطعی نشان داده می‌شود؛ اما با توجه به شرایط، برخی اوقات ماهیت قطعی داده‌ها از بین می‌رود و برای ارزیابی درست مسئله باید از روش‌های تصمیم‌گیری با رویکرد فازی استفاده کرد؛ همچنین در تصمیم‌گیری‌های پیچیده، به‌جای استفاده از یک معیار سنجش بهینگی، باید از چندین معیار سنجش و مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده کرد.

از میان روش‌های مختلف چندشاخصه، روش تاپسیس به دلیل قوی بودن در اولویت‌بندی گزینه‌ها انتخاب شده است. تاپسیس همچنین اوزان به‌دست‌آمده شاخص‌ها را در نظر می‌گیرد و با توجه به آن‌ها گزینه برتر یا بهینه را انتخاب می‌کند و امکان در نظر گرفتن معیارهای مختلف کمی و کیفی، مثبت و منفی را در مسئله دارد. این پژوهش به دنبال یافتن معیارهای ارزیابی عملکرد زیست‌محیطی تأمین‌کنندگان دو لایه از زنجیره تأمین سبز و رتبه‌بندی آن‌ها است. روش

تأسیس فازی سلسله‌مراتبی بر اساس سطوح مختلف آلفا با در نظر گرفتن معیارها و زیرمعیارهای زیست‌محیطی به دنبال پاسخ به آنها است. تأمین‌کنندگان لایه دوم نیز با معیاری با عنوان «لایه دوم» تأثیر بر ارزیابی می‌گذارند؛ در نهایت تصمیم‌گیرنده، تأمین‌کنندگانی را انتخاب می‌کند که دارای وزن نهایی بیشتری باشد؛ زیرا هر چه وزن نهایی یک تأمین‌کننده بیشتر باشد، معیارهای مورد نظر تصمیم‌گیرنده را بیشتر برآورده می‌کند.

در شرکت مورد بررسی، تصمیم‌گیرندگان دید درستی از معیارهایی که موجب کاهش هزینه و افزایش کیفیت محصول نهایی می‌شود، ندارند و در انتخاب تأمین‌کنندگان خود غالباً بر اساس رویکرد تجربی عمل می‌کنند؛ اما با اجرای مدل دو لایه‌ای ارائه شده در این پژوهش، قطعاً هزینه‌ها کاسته شده و تأمین‌کنندگانی قطعات شرکت را تأمین می‌کنند که در کنار معیارهای قیمت و کیفیت، آسیب کمتری به محیط‌زیست می‌زنند و موجب کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی می‌شوند؛ از طرفی با توجه به اینکه مهم‌ترین ابزار جمع‌آوری داده‌ها در این پژوهش، مصاحبه و اجرای پرسشنامه کتبی است، محدودیت‌هایی نظیر دستیابی به افراد خبره در شرکت مورد مطالعه، جلب رضایت آنها برای پاسخگویی صریح و تکمیل پرسشنامه‌ها با صبر و حوصله قابل توجه است.

درجه عدم اطمینان داده‌ها، تعداد تصمیم‌گیرندگان و ماهیت معیارها از جمله موضوع‌هایی است که باید در مسائل مرتبط با این مقاله مورد توجه قرار گیرد؛ همچنین بهبود روش تصمیم‌گیری و توسعه یک سیستم پشتیبانی از تصمیم‌گروهی در محیط فازی می‌تواند در پژوهش‌های آینده مورد توجه قرار گیرد. روش دیگری که ممکن است برای پژوهش‌های آینده به منظور ارزیابی و رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان مناسب باشد، روش «ویکور و پرومته» است که می‌توان نتایج آنها را با نتایج به دست آمده از روش ارائه شده مقایسه کرد. برای اعتبار بیشتر می‌توان مدل را با داده‌های سایر صنایع، به خصوص صنایع خودروسازی، مقایسه کرد.

منابع

1. Aissaoui, N., Haouari, M. & Hassini, E. (2007). Supplier selection and order lot sizing modeling : A review. *Comput. Oper. Res.*, 34(12), 3516–3540.
2. Bulsara, H. P., Qureshi, M. N., & Patel, H. (2016). Green supply chain performance measurement: an exploratory study. *Int. J. Logist. Syst. Manag.*, 23(4), 476–498.
3. Dickson, G. W. (1996). An analysis of vendor selection systems and decisions. *J. Purch.*, 2(1), 5–17.
4. Faghih. N., Raenai. H., Mohammadi., A., Samadi. A., Mousavi. M., Ghafooryan.M. (2013). Assessment of service supply chain of IRAN fixed communications by system dynamics approach. *Journal of Industrial Management Perspective*, 11, 111-138 (In Persian).
5. Ghazanfari, M., Fatallah, M. (2006). A comprehensive approach to managing supply chain, Tehran, Iran university of Science and Technology.
6. Govindan, K., Rajendran, S., Sarkis, J., & Murugesan, P. (2015). Multi criteria decision making approaches for green supplier evaluation and selection : a literature review. *J. Clean. Prod.*, 98, 66–83.
7. Ha, S.H., & Krishnan, R. (2008). A hybrid approach to supplier selection for the maintenance of a competitive supply chain. *Expert Syst. Appl.*, 34(2), 1303–1311.
8. Houshmandi. M., Amiri. M., Olfat. L. (2013). An integrated approach for supplier selection in a supply chain: IT capabilities approach. *Journal of Industrial Management Perspective*, 8, 91-115 (In Persian).
9. Hu, A. H. (2013). Using DEMATEL to develop a carbon management model of supplier selection in green supply chain management. *J. Clean. Prod.*, 56, 164–172.
10. Jadidi, O., Hong, T. S., Firouzi, F., Yusuff, R. M., & Zulkifli, N. (2008). TOPSIS and fuzzy multi-objective model integration for supplier selection problem. *J. Achievements Mater. Manuf. Eng.*, 31(2), 762–769.
11. Jafarnezhad, A., Esmailian, M., Rabieh, M. (2009). Evaluation and selection of supplier in supply chain in case of single sourcing with FUZZY approach. *Modarres Human Science*, 12, 127-153.
12. Jain, v., Benyoucef, L., & Deshmukh, S.D. (2008). Strategic supplier selection: some emerging issues and challenges. *Int. J. Logist. Syst. Manag.*, 5(1–2), 61–88.
13. Kannan, D., Beatriz Lopes de Sousa Jabbour, A., & José Chiappetta Jabbour, CH. (2014). Selecting green suppliers based on GSCM practices: Using fuzzy TOPSIS applied to a Brazilian electronics company. *European Journal of Operational Research*, 233, 432-447.
14. Kuo, R. J., Wang, Y. C., & Tien, F. C. (2010). Integration of artificial neural network and MADA methods for green supplier selection. *Journal of Cleaner Production*, 18(12), 1161–1170.
15. Lambert, D.M., & and Cooper, M. C. (2000). Issues in supply chain management. *Ind. Mark. Manag.*, 29(1), 65-83.
16. Liao, Z., & Rittscher, J. (2007). A multi-objective supplier selection model under stochastic demand conditions. *Int. J. Prod. Econ.*, 105(1), 150–159.
17. Liu, F. F., & Hai, H. L. (2005). The voting analytic hierarchy process

method for selecting supplier. *Interantional J. Prod. Econ.*, 97(3), 308-317.

18. Liu, J., Ding, F. & Vinod, L. (2000). Using data envelopment analysis to compare suppliers for supplier selection and performance improvement. *Supply Chain Manag. An Int. J.*, 5(3), 143-150.

19. Min, H., & Galle, W. P. (2001). Green purchasing practices of US firms. *International Journal of Operations & Production Management*, 21(9), 1222-1238.

20. Morovati, A., Kazemi, F., Hayati, M. (2013). Supplier selection with fuzzy MCDM approach and fuzzy QFD (Case Study: Snow-Pars co. of Yazd). *Journal of Industrial Management Perspective*, 10, 129-146 (In Persion).

21. Najafi Noubar, M., & Setak, M. (2010). A New Approach For Supplier Selection Process From The Features Of Second Layer Suppliers Point oF View. *Interantional J. Ind. Eng. Prod. Res.*, 21(1), 35-44.

22. Osman, H., & Demirli, K. (2010). A bilinear goal programming model and a modified Benders decomposition algorithm for supply chain reconfiguration and supplier selection. *Int. J. Prod. Econ.*, 124(1), 97-105.

23. Osman, H., & Demirli, K. (2012). Economic lot and delivery scheduling problem for multi-stage supply chains. *Int. J. Prod. Econ.*, 136(2), 275-286.

24. Pak, S. (2013). A review of the literature and a framework for green supply chain management. in The 2013 IBEA, International Conference on Business, Economics, and Accounting, , 20-23.

25. Pi, W.N., & Low, C. (2006). Supplier evaluation and selection via Taguchi loss functions and an AHP. *Interantional J. Adv. Manuf. Technol.*, 27(5-6), 625-630.

26. Rabieh, M., Azar, A., Modarres, M., & Fetanat, M., (2011). Mathematical Modeling for Multi Objective Robust Sourcing Problem: An Approach in Reduction of Supply Chain Risk (Case study: IKCO Supply Chain). *Journal of Industrial Management Perspective*, 1, 57-77 (In Persion).

27. Rabieh, M., Esmaelian, M., (2011). Designing a Fuzzy Non-Linear Model of Supplier Selection in Case of Multiple Sourcing. *Journal of Industrial Management Perspective*, 4, 81-105 (In Persion).

28. Roshandel, J., Miri-Nargesi, S., & Hatami-Shirkouhi, L. (2013). Evaluating and selecting the supplier in detergent production industry using hierarchical fuzzy TOPSIS. *Applied Mathematical Modelling*, 37, 10170-10181.

29. Saen, R. F. (2007). Suppliers Selection in the Presence of both Cardinal and Ordinal Data. *Eur. J. Oper. Res.*, 183(2), 741-47.

30. Setak, M., Sharifi, S. (2011). An integrated mathematical model for selecting the first and second layers of suppliers in a supply chain. *International Journal of Industrial Engineering & Production Management.*, 22, 91-98.

31. Shaw, K., Shankar, K., Yadav, S., & Thakur, L. S. (2012). Supplier selection using fuzzy AHP and fuzzy multi-objective linear programming for developing low carbon supply chain. *Expert Syst. Appl.*, 39(9), 8182-8192.

32. Shen, L., Olfat, L., Govindan, K., Khodaverdi, R., Diabat, A. (2013). A fuzzy multi criteria approach for evaluating green supplier's performance in green supply chain with linguistic preferences. Resources, *Conservation and Recycling.*, 74, 170-179.

33. Wang, Y., & Elhag, T. (2006). Fuzzy TOPSIS method based on alpha level sets with an application to bridge risk assessment. *Expert Systems with Applications.*, 31, 309-319.