مهندسی صنایع و مدیریت شریف، (تابستان ۱۳۹۹)
دوره‌ی ۱-۳۶، شماره‌ی ۱/۱، ص. ۵۱-۶۲

Original Article

رویکرد یکپارچه برای انتخاب تأمین‌کننده‌ی پایدار بر اساس روش استدلال شواهدی و روش بهترین و بدترین

زهرا سادات حسینی (دکتری)
محمدصابر فلاح‌نژاد* (دانشیار)
دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه یزد
محمدعلی پیرایش (دانشیار)
گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد
حسن حسینی‌نسب (استاد)
دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه یزد

در این پژوهش یک مسئله‌ی انتخاب تأمین‌کننده‌ی پایدار در نظر گرفته شده است و اولین بار روشی برای ارزیابی تأمین‌کنندگان با رویکرد استدلال شواهدی ارائه شده است. از مزایای این روش نسبت به روش‌های موجود ارزیابی تأمین‌کنندگان این است که این روش، عدم قطعیت‌های ارزیابی شخصی را در نظر می‌گیرد. همچنین هنگام مقایسه‌ی تأمین‌کنندگان در شرایطی که در بعضی از زیرمعیارهای ارزیابی فقدان اطلاعات وجود داشته باشد، تأمین‌کنندگان را می‌توان بر اساس کمینه و بیشینه‌ی تابع مطلوبیت ارزش تأمین‌کنندگان مقایسه کرد. در ابتدا با استفاده از روش بهترین و بدترین وزن معیارهای پایدار تعیین می‌شود؛ سپس برای رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان در شرایط عدم قطعیت از روش استدلال شواهدی استفاده می‌شود و در پایان یک مطالعه‌ی موردی، برای بررسی دقیق‌تر روند پیشنهادی، مطرح شده است.

واژگان کلیدی: انتخاب تأمین‌کننده‌ی پایدار، استدلال شواهدی، روش بهترین و بدترین.

zahra.hosseini46@yahoo.com
fallahnezhad@yazd.ac.ir
pirayesh@um.ac.ir
hhn@yazd.ac.ir

۱. مقدمه

امروزه شرکت‌ها دریافته‌اند که بخش خرید آنها می‌تواند به‌طور فزاینده‌یی در افزایش کارایی و اثربخشی آنها مؤثر باشد و به همین دلیل شیوه‌های خریدشان را تغییر داده‌اند و سعی در انتخاب شیوه‌یی مناسب دارند به‌طوری که بتواند اهداف راهبردی شرکت را برآورده سازند. از این‌رو، انتخاب تأمین‌کننده نقش بسزایی در زنجیره‌ی تأمین خواهد داشت.

در گذشته برای رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان فقط از معیارهای اقتصادی استفاده می‌کردند؛ مانند کمترین هزینه یا بهترین کیفیت. اما امروزه نه‌تنها معیارهای اقتصادی اهمیت دارند، بلکه معیارهای اجتماعی و محیطی نیز از اهمیت بالایی برخوردارند. مثلاً از دیدگاه محیطی می‌توان به این موضوع اشاره کرد که تعدادی از شرکت‌ها در فعالیت‌هایشان آلودگی‌های محیطی سنگینی ایجاد می‌کنند. به‌همین دلیل آلودگی جهان در حال افزایش و منابع در دسترس در حال کاهش است؛ بنابراین تولیدکنندگان بر این باورند که تأمین‌کننده‌ی آنها باید عامل‌های محیطی را رعایت کند.[۱] در نهایت برای ایجاد زنجیره‌ی تأمین پایدار، انتخاب تأمین‌کننده‌یی که بر اساس معیارهای پایدار ارزیابی شده باشد بسیار اهمیت دارد.[۲و۳] انتخاب تأمین‌کننده‌ی پایدار یک تصمیم‌گیری راهبردی در مدیریت زنجیره‌ی تأمین پایدار است.[۴]

این پژوهش یک ابزار تصمیم‌گیری به‌منظور حل مسئله‌ی انتخاب تأمین‌کننده‌ی پایدار در شرایطی که چند تأمین‌کننده وجود دارد، ارائه می‌دهد. در ابتدا معیارها و زیر معیارهای پایدار برای ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان در زنجیره‌ی تأمین پایدار بر اساس راهبردهای شرکت، نظرات کارشناسان و مرور پژوهش‌های پیشین در این حوزه انتخاب می‌شود. سپس با استفاده از روش بهترین و بدترین که یک روش مؤثر تصمیم‌گیری چندمعیاره است، وزن هر معیار و زیرمعیار تعیین می‌شود و در نهایت برای ارزیابی و رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان از روش استدلال شواهدی استفاده می‌شود. این روش برای مدل کردن عدم قطعیت‌های ارزیابی‌های شخصی و فقدان اطلاعات در مورد بعضی از زیرمعیارها استفاده می‌شود.

* نویسنده مسئول
تاریخ: دریافت ۱۳۹۷/۱۰/۴، اصلاحیه ۱۳۹۸/۵/۲۲، پذیرش ۱۳۹۸/۷/۷.
DOI:10.24200/J65.2019.52228.1940

ادامه‌ی مقاله به شرح زیر تدوین شده است: در بخش ۲ مرور پژوهش‌های مربوطه ارائه شده است. در بخش ۳ روش تحقیق، شناسایی معیارهای ارزیابی تأمین‌کنندگان، تشریح روش بهترین و بدترین و روش استدلال شواهدی مطرح شده است. در بخش ۴، یک مطالعه‌ی موردی همراه با مثال عددی برای بررسی روش پیشنهادی ارائه شده است و در نهایت در بخش ۵ نتیجه‌گیری و پیشنهادهایی برای پژوهش‌های آتی مطرح شده است.

۲. مرور پیشینه

امروزه، ارزیابی و انتخاب تأمین‌کننده‌ی مناسب یکی از موضوعات مهم در زنجیره‌ی تأمین به شمار می‌آید. تاکنون بررسی‌های گسترده‌یی بر روی این موضوع صورت گرفته است؛ برخی از آنها عبارت‌اند از: لی و همکاران،[۵] هو و همکاران،[۶] مندوزا و همکاران،[۷] چای و همکاران[۸] و رزمی و رفیعی[۹] مسئله‌ی انتخاب تأمین‌کنندگان را بررسی کردند و برای تقسیم‌بندی تأمین‌کنندگان با توجه به صفات کیفی آنها روش ANP [۱] را اعمال کردند. قربانی و همکاران[۱۰] برای ارزیابی تأمین‌کنندگان از معیارهای کمّی و کیفی اقتصادی استفاده کردند و وزن‌دهی آنها را بر اساس روش SWOT [۲] اعمال کردند. کانان و همکاران[۱۱] انتخاب تأمین‌کننده‌ی سبز را بر اساس معیارهای اقتصادی و محیطی بررسی کردند و روش FMAUT [۳] و برنامه‌ریزی چندهدفه را برای رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان به کار برده‌اند. لی و همکاران[۱۲] روش DSS [۴] را برای انتخاب بهترین تأمین‌کنندگان با بالاترین کیفیت و سطح عملیاتی تجارتی به کار گرفته‌اند که جواب‌های پارتو ارائه می‌دهد. اسکات و همکاران[۱۳] از یک روش یکپارچه با استفاده از ترکیب AHP-QFD [۵] برای انتخاب تأمین‌کننده استفاده کرده‌اند. کیو و همکاران[۱۴] قوانین انجمنی را به‌منظور رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان به کار گرفته‌اند. مقدم و همکاران[۱۵] یک مدل ریاضی برای شناسایی و رتبه‌بندی بهترین تأمین‌کنندگان در یک شبکه‌ی آمادی (لجستیک) با به‌کارگیری جواب‌های پارتو ارائه داده‌اند. پراساناونکاتسان و همکاران[۱۶] از روش ترکیبی فازی ـ AHP برای رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان استفاده کردند. همدان و همکاران[۱۷] مدلی چنددوره‌یی برای انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش سبز ارائه داده‌اند و روش TOPSIS [۶] فازی را به‌منظور وزن‌دهی معیارهای انتخابی به کار گرفته‌اند. بابار و همکاران[۱۸] معیارهای محیطی کمّی و کیفی را به کار برده‌اند و از روش QFD برای ارزیابی تأمین‌کنندگان استفاده کردند. کشاور و همکاران[۱۹] معیارهای محیطی (آلودگی‌های محیطی) و اقتصادی برای ارزیابی تأمین‌کنندگان را به کار گرفته‌اند و مسئله‌ی مورد بررسی آنها غیرقطعی بوده و از برنامه‌ریزی فازی برای حل مدل استفاده کرده‌اند. همدان و همکاران[۲۰] مسئله‌ی انتخاب تأمین‌کننده‌ی سبز را در شرایطی بررسی کرده‌اند که دسترسی به تأمین‌کنندگان در دوره‌های مختلف متفاوت بوده است و از TOPSIS فازی و AHP برای ارزیابی تأمین‌کنندگان استفاده کرده‌اند. وحیدی و همکاران[۲۱] مسئله‌ی انتخاب تأمین‌کننده‌ی پایدار را مطرح کردند و SWOT-QFD ترکیبی را برای انتخاب تأمین‌کننده استفاده کرده‌اند. اخیراً لوترا و همکاران[۲۲] ۲۲ معیار ارزیابی انتخاب تأمین‌کننده‌ی پایدار را که از طریق تحقیقات گسترده در پیشینه‌ی موضوع صورت گرفته است، ارائه دادند که تأییدی بر اظهارات زیمر و همکاران[۲۳] و گویندان و همکاران[۲۴] است. جرن[۲۵] یک چارچوب تصمیم‌گیری برای انتخاب تأمین‌کننده‌ی پایدار ارائه داده است و از روش DEMATEL [۷] به‌منظور وزن‌دهی به معیارهای ارزیابی و از روش تاگوچی برای رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان استفاده کرده‌اند. لو و همکاران[۲۶] یک مدل جدید به‌منظور یکپارچه کردن دو روش BWM [۸] و TOPSIS برای انتخاب تأمین‌کننده به‌کار برده‌اند. چراغعلی‌پور و همکاران[۲۷] مسئله‌ی انتخاب تأمین‌کننده‌ی پایدار را بررسی کردند که از روش BWM به‌منظور پیدا کردن وزن‌های تأمین‌کنندگان استفاده کرده‌اند.

بر اساس تحقیقاتی که در این حوزه صورت گرفته است، می‌توان فهمید که بیشتر مقالات هر سه جنبه‌ی معیارهای پایداری را که شامل معیارهای اقتصادی، اجتماعی و محیطی است، در نظر نگرفته‌اند؛ موضوع دیگری که از مرور پیشینه در این حوزه می‌توان دریافت، این است که روش‌هایی که برای ارزیابی تأمین‌کنندگان به‌کار رفته است، عدم قطعیت در ارزیابی شخصی و فقدان اطلاعات را در نظر نگرفته است.

در نهایت به‌طور خلاصه نوآوری‌های تحقیق حاضر را می‌توان به‌صورت زیر بیان کرد.

- در این پژوهش یک مسئله‌ی انتخاب تأمین‌کننده‌ی پایدار با چند تأمین‌کننده مطرح شده است.
- برای رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان روش استدلال شواهدی برای اولین بار به کار گرفته شده است. از مزایای این روش این است که عدم قطعیت در ارزیابی شخصی و فقدان اطلاعات را در نظر می‌گیرد و برای امتیازدهی معیارهای ارزیابی به جای یک مقدار مشخص از یک توزیع ارزیابی استفاده می‌کند. همچنین سادگی در به کار بردن روش و نیاز به پرسش و پاسخ کمتر نیز از مزایای دیگر این روش است.
- یک مطالعه‌ی موردی برای نشان دادن کاربرد روش پیشنهادی ارائه شده است.

۳. روش تحقیق و روش استدلال شواهدی

در این مقاله، مسئله‌ی انتخاب تأمین‌کننده‌ی پایدار ارائه شده است و شرکت می‌تواند کالای مورد نیاز خود را از تعدادی تأمین‌کننده دریافت کند. برای این منظور نیاز به اولویت‌بندی تأمین‌کنندگان است تا ترتیب خرید کالا از آنها تعیین شود. در این پژوهش، هر سه جنبه‌ی پایداری که شامل معیارهای اقتصادی، اجتماعی و محیطی است برای ارزیابی تأمین‌کنندگان در نظر گرفته شده است. سپس با استفاده از روش بهترین و بدترین وزن معیارها و زیرمعیارها تعیین شده است. در نهایت با استفاده از روش استدلال شواهدی امتیاز تأمین‌کنندگان محاسبه شده و اولویت‌بندی مناسب برای خرید کالاها مشخص شده است. شایان ذکر است که هر تأمین‌کننده می‌تواند همه‌ی کالاهای مورد نیاز شرکت را تأمین کند. در ادامه روش استدلال شواهدی به‌منظور ارزیابی تأمین‌کنندگان شرح داده شده است (شکل ۱).

اطلاعات ناکافی و ناقص از تأمین‌کنندگان و وجود معیارهای کیفی در ارزیابی آنها، سبب پیچیدگی تصمیم‌گیری در انتخاب تأمین‌کنندگان خواهد شد. از این‌رو، نیاز نظری برای ایجاد یک روش قدرتمند برای حل مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره همراه با عدم قطعیت احساس می‌شود. در طی دو دهه‌ی گذشته تحقیقات زیادی در این زمینه برای بررسی اطلاعات همراه با عدم قطعیت صورت گرفته است. در این راستا استدلال شواهدی برای تصمیم‌گیری چندمعیاره همراه با عدم قطعیت نیز ارائه شد.[۲۸] رویکرد استدلال شواهدی روشی مبتنی‌بر نظریه‌ی شواهدی است که توسط یانگ و سینگ[۲۹] در سال ۱۹۹۴ پیشنهاد شده است و با تصمیم‌گیری چندمعیاره ترکیب شده است. این روش در طراحی مهندسی، ارزیابی ریسک و ایمنی، انتخاب طرح‌های مهندسی، تجزیه و تحلیل سیستم‌های ایمنی دریایی و ... به کار رفته است.[۳۰-۳۲] رویکرد استدلال شواهدی الگوریتمی است که بر اساس یک ماتریس ارزیابی چندمعیاره و قانون ترکیب (D-S) [۹] بنا شده است و با استفاده از آن، عوامل ساختارهای چندسطحی را می‌توان با یکدیگر ترکیب کرد. ارزیابی‌های

جدول ۱. انتخاب معیارها و زیر معیارها.

معیارها	اقتصادی (EC)	زیست‌محیطی (EN)	اجتماعی (SO)
زیرمعیار	کیفیت (ECQ)[۱] هزینه (ECC)[۲] ارسال و خدمات محصول (ECDS)[۳] فناوری و توانایی مالی (ECTF)[۴] رابطه‌ی بلندمدت ـ تداوم (ECLR)[۵] انعطاف‌پذیری (ECF)[۶]	سیستم مدیریت زیست‌محیطی (ENEM)[۷] طراحی سبز و بازیافت (END)[۸] بسته‌بندی و برچسب‌های سبز (ENGL)[۹] آلودگی محیط زیست و مدیریت زباله (ENPW)[۱۰] مدیریت اتلاف انرژی (ENEC)[۱۱]	بهداشت و ایمنی شغلی (SOOHS)[۱۲] تعهد مدیریت در مسائل اجتماعی (SOSMC)[۱۳] منافع و حقوق کارکنان (SOIE)[۱۴] دستمزد و ساعت کاری (SOWW)[۱۵]

۱. quality (ECQ)
۲. cost (ECC)
۳. delivery and service of product (ECDS)
۴. technological & financial capacity (ECTF)
۵. long – term relationship – continuity (ECLR)
۶. flexibility (ECF)
۷. environmental management systems (ENEM)
۸. green design and purchasing (END)
۹. green packing and labeling (ENGL)
۱۰. environmental pollution & waste management (ENPW)
۱۱. energy consumption management (ENEC)
۱۲. occupational health and safety (SOOHS)
۱۳. social management commitment (SOSMC)
۱۴. the interests & rights of employees (SOIE)
۱۵. wages & working hours (SOWW)

ناقص که نتیجه‌ی فقدان اطلاعات یا ناتوانی ارزیاب در انجام قضاوت دقیق یا خطای ارزیاب در شرایط تصمیم‌گیری گروهی است، نیز با درجه‌ی نقص اطلاعات ترکیب و در نظر گرفته می‌شود و بازه‌های مطلوبیت به‌منظور تعیین درجه‌ی نقص موجود در اطلاعات اولیه در تجزیه و تحلیل تصمیم‌گیری ارائه می‌شود.[۲۸-۳۳] رویکرد استدلال شواهدی برای ارزیابی تأمین‌کنندگان شامل بخش‌های زیر است.

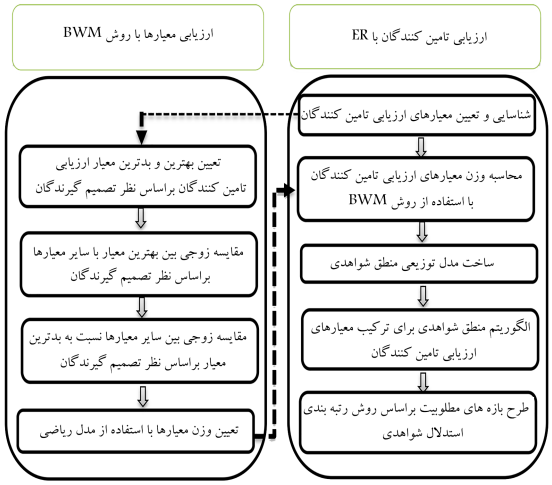
۱. شناسایی و تعیین معیارهای ارزیابی تأمین‌کنندگان
۲. محاسبه‌ی وزن معیارهای ارزیابی تأمین‌کنندگان
۳. ساخت مدل توزیعی منطق شواهدی
۴. الگوریتم منطق شواهدی برای ترکیب معیارهای ارزیابی تأمین‌کنندگان.
۵. طرح بازه‌های مطلوبیت بر اساس روش رتبه‌بندی استدلال شواهدی

۱.۳. شناسایی و تعیین معیارهای ارزیابی تأمین‌کنندگان

به‌منظور ارزیابی تأمین‌کنندگان با توجه به جنبه‌های پایداری، تعدادی معیار و زیرمعیار بر اساس مطالعات گذشته[۲۲،۲۳،۲۷] انتخاب شده و توسط کارشناسان شرکت مورد مطالعه قرارگرفته و تأیید شده است. معیارهای انتخاب شده برای این مطالعه به شرح جدول ۱ است.

۲.۳. محاسبه‌ی وزن معیارهای ارزیابی تأمین‌کنندگان

برای تعیین وزن معیارهای ارزیابی تأمین‌کنندگان، یکی از جدیدترین و کاراترین روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره به نام روش بهترین و بدترین به کار گرفته شده است. این روش توسط رضایی معرفی شد؛ در این تحقیق روش BWM با چندین روش تصمیم‌گیری چندمعیاره از جمله AHP مقایسه شد و با توجه به نتایج حاصل شده به این نتیجه رسیدند که این روش می تواند یکی از کاراترین روش‌های موجود باشد.[۲۴] در این روش بهترین و بدترین شاخص‌ها و معیارها توسط تصمیم‌گیرنده



شکل ۱. رویکرد ارزیابی تأمین‌کنندگان با استفاده از روش BWM و ER.

مشخص می‌شود و سپس مقایسه‌ی زوجی بین هر کدام از این دو شاخص، که بهترین و بدترین هستند، با دیگر شاخص‌ها صورت می‌گیرد. آنگاه مسئله تبدیل به یک مسئله‌ی برنامه‌ریزی خطی می‌شود؛ بدین‌گونه که وزن شاخص‌ها به‌صورتی به دست آید که تفاوت‌های مطلق اوزان کمینه شود. این روش نیاز به تعداد مقایسات زوجی کمتری نسبت به روش AHP دارد و همچنین مقایسات زوجی سازگارتر و نتایج با قابلیت اطمینان بیشتر حاصل می‌شود و این موضوع به‌طور مفصل توسط رضایی[۳۴] مطرح شده است. گام‌های اصلی به‌منظور تعیین وزن معیارها به شرح زیر است.

مرحله ۱. مجموعه‌یی از معیارهای تصمیم‌گیری تعیین می‌شود.

مرحله ۲. بهترین و بدترین معیار بر اساس نظر کارشناسان انتخاب می‌شود. بهترین معیار می‌تواند مطلوب‌ترین یا مهم‌ترین معیار باشد و بدترین معیار می‌تواند

جدول ۲. شاخص سازگاری ارائه شده توسط رضایی.[۳۴]

a_{Bj}	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
شاخص سازگاری	۰	۰/۴۴	۱	۱/۶۳	۲/۳	۳	۳/۷۵	۴/۴۷	۵/۲۳

کم‌اهمیت‌ترین معیار باشد.

مرحله ۳. مقایسه‌ی زوجی بین بهترین معیار با سایر معیارها انجام می‌شود. برای این منظور ارجحیت آن نسبت به سایر معیارها بر اساس طیف ۱ تا ۹ نیز بررسی شده است و بردار «بهترین - با - سایرین» به‌صورت زیر ایجاد می‌شود:

$$A_B = (a_{B1}, a_{B2}, \ldots, a_{Bn})$$

a_{Bj} ارجحیت بهترین معیار B را نسبت به معیار j بیان می‌کند و $a_{BB} = 1$.

مرحله ۴. مقایسه‌های زوجی بین سایر معیارها نسبت به بدترین معیار انجام می‌شود. این گام همانند مرحله‌ی سوم صورت می‌گیرد با این تفاوت که ارجحیت دیگر معیارها نسبت به بدترین معیار بررسی می‌شود و بردار «سایرین - با - بدترین» به‌صورت زیر ایجاد می‌شود:

$$A_w = (a_{1w}, a_{2w}, \ldots, a_{nw})^T$$

a_{jw} ارجحیت معیار j را نسبت به بدترین معیار w بیان می‌کند و $a_{ww} = 1$.

مرحله ۵. وزن معیارها تعیین می‌شود. در این گام با استفاده از مدل بهینه‌سازی ۱ وزن معیارها محاسبه می‌شود. این مدل را می‌توان در نرم‌افزارهایی همچون لینگو پیاده‌سازی کرد.

$$\min \max \left\{ \left| \frac{w_B}{w_j} - a_{Bj} \right|, \left| \frac{w_j}{w_w} - a_{jw} \right| \right\}$$

$$s.t.$$

$$\sum_j w_j = 1$$

$$w_j \geq 0 \quad for\ all\ j \qquad (1)$$

همچنین مدل ۱ را می‌توان به‌صورت مدل ۲ تبدیل کرد:

$$\min \xi$$

$$s.t.$$

$$\left| \frac{w_B}{w_j} - a_{Bj} \right| \leq \xi \quad for\ all\ j$$

$$\left| \frac{w_j}{w_w} - a_{jw} \right| \leq \xi \quad for\ all\ j$$

$$\sum_j w_j = 1$$

$$w_j \geq 0 \quad for\ all\ j \qquad (2)$$

مرحله ۶. هنگامی که وزن‌های بهینه به دست آمد، به منظور بررسی اعتبار مقایسات، میزان سازگاری آنها باید محاسبه شود. میزان سازگاری با استفاده از رابطه‌ی ۳ و جدول ۲ محاسبه می‌شود.[۳۴] هرچه مقادیر میزان سازگاری به صفر نزدیک‌تر باشد، نتایج سازگاری بیشتری دارد.

$$\text{میزان سازگاری} = \frac{\xi^*}{\text{شاخص سازگاری}} \qquad (3)$$

۳.۳. ساخت مدل توزیعی منطق شواهدی

پس از انتخاب معیارهای ارزیابی پایدار برای رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان و تعیین وزن مناسب برای هر یک از معیارها باید مدل توزیعی منطق شواهدی را ایجاد کرد. به این منظور برای هر تأمین‌کننده لازم است که ارزیاب‌ها و افراد خبره امتیاز زیرمعیارها را تعیین کنند. به‌عبارت دیگر امتیازهایی که افراد خبره به زیرمعیارها تخصیص می‌دهند، ورودی مدل استدلال شواهدی هستند. با توجه به امتیاز زیرمعیارها و بر اساس الگوریتم استدلال شواهدی امتیاز معیارهای اصلی محاسبه می‌شود. مجدداً الگوریتم استدلال شواهدی در سطح معیارهای اصلی تکرار می‌شود تا امتیاز هر تأمین‌کننده برای هر محصول تعیین شود.

همان‌طور که پیش‌تر نیز ذکر شد، مزیت روش استدلال شواهدی نسبت به روش‌های موجود ارزیابی تأمین‌کنندگان این است که در این روش عدم قطعیتی را که در قضاوت ذهنی افراد خبره وجود دارد، می‌توان وارد مدل کرد. این موضوع در اطلاعات ورودی مدل لحاظ می‌شود. مثلاً کارشناس ارزیاب می‌تواند قضاوت خود را درباره‌ی یک تأمین‌کننده برای زیرمعیار سیستم‌های مدیریت زیست‌محیطی به‌صورت $\{(3, ۰/۷), (4, ۰/۳)\}$ بیان کند؛ به این معنا که میزان اعتقاد کارشناس در تخصیص امتیاز ۳ به این زیر معیار ۷۰٪ است و با اعتقاد ۳۰٪ امتیاز ۴ را به آن تخصیص می‌دهد. ارزیابی توزیعی آن را می‌توان به فرم $\{(1, ۰), (2, ۰), (3, ۰/۷)(4, ۰/۳), (5, ۰)(6, ۰), (7, ۰)\}$ نشان داد. چنان‌چه زیرمعیار تعهد مدیریت اجتماعی به‌صورت $\{(2, ۰/۵), (3, ۰/۲)\}$ بیان شود به این معناست که تأمین‌کننده از لحاظ این معیار امتیاز ۲ و ۳ را با درجه‌ی اعتقاد ۵۰٪ و ۲۰٪ کسب می‌کند و چون مجموع درجات اعتقاد کمتر از ۱۰۰٪ است، اصطلاحاً گفته می‌شود ارزیابی ناقص است که ممکن است به دلیل کمبود اطلاعات، عدم توانایی کارشناس در ارزیابی دقیق یا عدم دقت کارشناس در انجام ارزیابی رخ دهد.

در حالت کلی فرض می‌شود، در سلسله مراتب ارزیابی تأمین‌کنندگان L معیار اصلی که با F_i، $i = 1, \ldots, L$ نشان داده می‌شود، وجود دارد و همچنین معیار اصلی iام دارای L_i زیرمعیار است و به‌صورت F_{ij}، $i = 1, \ldots, L, j = 1, \ldots, L_i$ مطرح می‌شود. افراد خبره و کارشناسان ارزیابی تأمین‌کنندگان در شرکت باید قضاوت خود را درباره‌ی هر یک از زیرمعیارها برای هر تأمین‌کننده در قالب مدل ارزیابی توزیعی بیان کنند. مدل ارزیابی توزیعی به‌صورت زیر نشان داده می‌شود:

$$S(F_{i-j}) = \{(g_k, \beta_{k,i-j}), k = 1, \ldots, N\},$$
$$i = 1, \ldots, L, j = 1, \ldots, L_i$$

در این رابطه، $S(F_{i-j})$ ارزیابی توزیعی در ارتباط با معیار F_{ij}، N تعداد درجه‌ی ارزیابی است و به شکل $g = \{g_1, \ldots, g_N\}$ مشخص می‌شود. $\beta_{k,i-j}$ میزان اعتقاد کارشناسان ارزیابی به درجه‌ی g_k است. $\beta_{k,ij} \geq 0$ و $\sum_{k=1}^{N} \beta_{k,i-j} \leq 1$ است و اگر $\sum_{k=1}^{N} \beta_{k,i-j} = 1$ باشد، به این معناست که ارزیابی کامل است و در غیر این‌صورت ارزیابی ناقص است و اگر صفر باشد به معنای فقدان اطلاعات است.

نتایج ارزیابی زیرمعیارها هر معیار اصلی را می‌توان در یک ماتریس ستونی به‌صورت زیر نشان داد که به آن ماتریس ارزیابی توزیعی گفته می‌شود.

$$\mathrm{D_i} = [\mathrm{S}\,(\mathrm{F_{i-j}})]_{\mathrm{L_i}\times 1}; \mathrm{i} = 1, \ldots, \mathrm{L} \qquad (4)$$

این یک ماتریس معمولی نیست، زیرا هر عنصر ماتریس به جای یک مقدار مشخص دارای یک توزیع است.

۴.۳. الگوریتم منطق شواهدی برای ترکیب معیارهای ارزیابی تأمین‌کنندگان

فرض می‌شود برای معیار اصلی iام ماتریس ارزیابی توزیعی (D_i) در اختیار است. در این قسمت الگوریتم استدلال شواهدی برای ترکیب عناصر این ماتریس به‌منظور تعیین امتیاز معیار اصلی iام توضیح داده می‌شود. خروجی الگوریتم که همان امتیاز معیار اصلی iام است، بر اساس همان درجه‌های ارزیابی $g = \{g_1, \ldots, g_N\}$ است که برای هر درجه، درجه‌ی اعتقادی محاسبه شده است که آن را امتیاز توزیعی می‌نامیم. پس از این‌که امتیاز توزیعی برای تمام معیارهای اصلی محاسبه شد، مجدداً الگوریتم استدلال شواهدی در سطح معیارهای اصلی تکرار می‌شود تا امتیاز توزیعی تأمین‌کنندگان تعیین شود.

الگوریتم استدلال شواهدی از مفاهیم نظریه‌ی مجموعه‌ها و نظریه‌ی احتمال برای ترکیب عناصر ماتریس توزیعی استفاده می‌کند. این الگوریتم به دو روش که معادل هم هستند، می‌تواند اجرا شود: الگوریتم بازگشتی و الگوریتم تحلیلی[۳۳] الگوریتم استدلال شواهدی بازگشتی، اجزای متفاوت شواهد را به‌صورت یک‌به‌یک ترکیب می‌کند. مزیت این روش وضوح و نظم و ترتیب در مفهوم است. الگوریتم شواهدی تحلیلی، یک رویکرد شواهدی انعطاف‌پذیرتر را در ترکیب تعداد زیادی از معیارهای ارزیابی تأمین‌کنندگان ارائه می‌کند و به راحتی ویژگی‌های غیرخطی آن قابل فهم است. این روش همچنین یک روش آسان برای تحلیل حساسیت پارامترهای استدلال شواهدی مانند وزن‌ها و درجه‌ی اعتقاد را پیش‌روی قرار می‌دهد و تخمین و بهینه‌سازی این پارامترها را تسهیل می‌کند. در این پژوهش از روش استدلال شواهدی تحلیلی استفاده می‌شود.

در ادامه نحوه‌ی به‌کارگیری الگوریتم استدلال شواهدی تحلیلی برای محاسبه‌ی امتیاز توزیعی عامل اصلی iام بر اساس اطلاعات ماتریس توزیعی D_i تشریح می‌شود. ابتدا، درجه‌ی اعتقاد به مقادیر احتمال باید تبدیل شود که برای این‌منظور از ترکیب وزن‌های نسبی و درجه‌ی اعتقاد با معادلات زیر استفاده می‌شود:[۳۳]

$$m_{k,i-j} = w_{i-j}\beta_{k,i-j}, \quad k = 1, \ldots, N, \quad j = 1, \ldots, L_i \qquad (5)$$

$$m_{g,i-j} = 1 - \sum_{k=1}^{N} m_{k,i-j} = 1 - w_{i-j}\sum_{k=1}^{N}\beta_{k,i-j}, \ j = 1, \ldots, L_i \qquad (6)$$

$$\bar{m}_{g,i-j} = 1 - w_{i-j}, \quad j = 1, \ldots, L_i \qquad (7)$$

$$\tilde{m}_{g,i-j} = w_{i-j}(1 - \sum_{k=1}^{N}\beta_{k,i-j}), \ j = 1, \ldots, L_i \tilde{m}_{g,i-j} = w_{i-j}(1 - \sum_{k=1}^{N}\beta_{k,i-j}), \quad j = 1, \ldots, L_i \qquad (8)$$

$$m_{g,i-j} = \bar{m}_{g,i-j} + \tilde{m}_{g,i-g} \qquad (9)$$

در این رابطه $m_{k,i-j}$ تابع توزیع جرمی احتمال کسب درجه‌ی g_k در ارتباط با زیر معیار F_{i-j} است. $m_{g,i-j}$ معرف مقدار احتمالی است که به مجموعه‌ی g تخصیص داده نشده است. این مقدار را می‌توان به دو بخش $\overline{m}_{g,i-j}$ و $\bar{m}_{g,i-g}$ تقسیم کرد؛ به‌طوری که $\overline{m}_{g,i-j}$ ناشی از اهمیت نسبی زیرمعیار j است و $\tilde{m}_{g,i-g}$ ناشی از نقص ارزیابی زیر معیار j است. $\overline{m}_{g,i-j}$ نشان می‌دهد که چه مقدار عوامل دیگر می‌تواند در ارزیابی هدف کلی اثر بگذارد.

سپس، مقادیر احتمال بر اساس الگوریتم استدلال شواهدی تحلیلی به‌صورت روابط (۱۰-۱۵) ترکیب می‌شود:

$$m_k = p\left[\prod_{j=1}^{L_i}(m_{k,i-j} + \bar{m}_{g,i-j} + \tilde{m}_{g,i-j}) - \prod_{j=1}^{L_i}(\bar{m}_{g,i-j} + \tilde{m}_{g,i-j})\right], \quad k = 1, \ldots, N \qquad (10)$$

$$\tilde{m}_g = p\left[\prod_{j=1}^{L_i}(\bar{m}_{g,i-j} + \tilde{m}_{g,i-j}) - \prod_{j=1}^{L_i}(\bar{m}_{g,i-j})\right] \qquad (11)$$

$$\bar{m}_g = p\left[\prod_{j=1}^{L_i}\bar{m}_{g,i-j}\right] \qquad (12)$$

$$p = \left[\sum_{k=1}^{N}\prod_{j=1}^{L_i}(m_{k,i-j}+\bar{m}_{g,i-j}+\tilde{m}_{g,i-j}) - (N-1)\prod_{j=1}^{L_i}(\bar{m}_{g,i-j}+\tilde{m}_{g,i-j})\right]^{-1} \qquad (13)$$

$$\beta_k = \frac{m_k}{1-\bar{m}_g}, \quad k = 1, \ldots, N \qquad (14)$$

$$\beta_g = \frac{\tilde{m}_g}{1-\bar{m}_g} \qquad (15)$$

بنابراین، عامل اصلی iام امتیاز g_k را با درجه‌ی اعتقاد β_k کسب می‌کند. به عبارت دیگر امتیاز توزیعی عامل iام به‌صورت $S(F_i) = \{g_k, \beta_k), k = 1, \ldots, N\}$ است. β_g درجه‌ی اعتقاد ناشی از نقص ارزیابی است که به مجموعه‌ی درجات ارزیابی (g) تخصیص داده می‌شود. برای بررسی صحت محاسبات باید رابطه‌ی $\sum_{k=1}^{N}\beta_k + \beta_g = 1$ برقرار باشد.[۳۵]

۵.۳. طرح بازه‌های مطلوبیت بر اساس روش رتبه‌بندی استدلال شواهدی

با فرض این‌که M تأمین‌کننده وجود دارد و هر یک از آنها با روش استدلال شواهدی ارزیابی شده‌اند و امتیاز توزیعی آنها به‌صورت $S(R_h) = \{(g_k, \beta_k(R_h)), \ k = 1, \ldots, N\}$ به دست آمده است، که در آن $\beta_k(R_h)$ درجه‌ی اعتقاد امتیاز g_k در مورد تأمین‌کننده‌ی hام است. امتیاز توزیعی دید وسیعی را در مورد شرایط تأمین‌کنندگان در اختیار قرار می‌دهد؛ اما برای مقایسه و اولویت‌بندی آنها به طور مستقیم قابل استفاده نیست.

برای مقایسه و اولویت‌بندی M تأمین‌کننده بر اساس معیارهای پایدار مقدار ارزش هر تأمین‌کننده را معرفی می‌کنیم. بدین منظور لازم است به هر یک از درجات ارزیابی $(g_k : k = 1, \ldots, N)$، یک مقدار مطلوبیت تخصیص داده شود. مقدار مطلوبیت g_k با نماد $Du(g_k)$ نشان داده می‌شود. بر این اساس برای تأمین‌کننده‌ی

جدول ۳. جزئیات مطالعه‌ی موردی.

فهرست محصولات شرکت	فهرست مواد خام	فهرست تأمین‌کنندگان
لوله، اتصالات و مخازن کامپوزیتی چسب اپوکسی انواع پوشش و ساختارهای کامپوزیتی	رزین - وینیل	تأمین‌کننده از تهران (TES) تأمین‌کننده از قزوین (GHS) تأمین‌کننده از اصفهان (ESS) تأمین‌کننده‌ی تایوانی (TAS) تأمین‌کننده‌ی اروپایی (EUS)

hام مقدار مورد انتظار ارزش تأمین‌کننده عبارت است از:

$$E(S(R_h)) = \sum_{k=1}^{N} \beta_k(R_h)\, Du(g_k) \quad (16)$$

$\beta_k(R_h)$ یک حد پایین برای درجه‌ی اعتقاد g_k در تأمین‌کننده‌ی R_h است، حد بالای آن به وسیله‌ی $(\beta_k(R_h) + \beta_g(R_h))$ به دست می‌آید؛ در نتیجه، یک بازه‌ی درجه‌ی اعتقاد برای g_k در شرایط ارزیابی ناقص ایجاد می‌شود. در مجموعه درجات ارزیابی g، فرض کنید g_1 کمترین رتبه است، که کمترین میزان مطلوبیت را دارد و g_N بالاترین رتبه است، که بیشترین میزان مطلوبیت را دارد. مقادیر بیشینه، کمینه و متوسط مقدار مورد انتظار ارزش تأمین‌کننده‌ی R_h را به شکل زیر می‌توان محاسبه کرد:

$$E_{max}(R_h) = (\beta_N(R_h) + \beta_g(R_h))Du(g_N) + \sum_{k=1}^{N-1} \beta_k(R_h)\, Du(g_k) \quad (17)$$

$$E_{min}(R_h) = \sum_{k=2}^{N} \beta_k(R_h)\, Du(g_k) + (\beta_1(R_h) + \beta_g(R_h))Du(g_1) \quad (18)$$

$$E_{avg}(R_h) = \frac{E_{max}(R_h) + E_{min}(R_h)}{2} \quad (19)$$

واضح است اگر $Du(g_1) = 0$، آنگاه $E(S(R_h)) = E_{min}(R_h)$. اگر ارزیابی توزیعی تمام زیرشاخص‌ها کامل باشد، آنگاه $\beta_g(R_h) = 0$ و $E(S(R_h)) = E_{min}(R_h) = E_{max}(R_h) = E_{avg}(R_h)$. اگر ارزیابی توزیعی تمام زیرشاخص‌ها کامل باشد، در این‌صورت ارزش تأمین‌کننده‌ی h بیشتر از ارزش تأمین‌کننده‌ی q است اگر و فقط اگر $E(S(R_h)) > E(S(R_q))$. اما اگر ارزیابی توزیعی زیرشاخص‌های تأمین‌کنندگان کامل نباشد، مقایسه‌ی دو تأمین‌کننده بر طبق کمینه و بیشینه‌ی مقدار مورد انتظار ارزش تأمین‌کنندگان به‌صورت زیر انجام می‌شود.

۱. اگر $E_{min}(R_h) \geq E_{max}(R_q) \Leftarrow$ ارزش تأمین‌کننده‌ی R_h بیشتر از ارزش تأمین‌کننده‌ی R_q است.

۲. اگر $E_{min}(R_h) = E_{min}(R_q)$ و $E_{max}(R_h) = E_{max}(R_q)$ ارزش تأمین‌کننده‌ی R_h با ارزش تأمین‌کننده R_q تفاوتی ندارد.

۳. در دیگر حالت‌ها مقایسه‌ی R_h و R_q طبق رابطه‌ی زیر می‌تواند انجام شود.[۳۳]

$$P(R_h > R_q) = \frac{max[0, E_{max}(R_h) - E_{min}(R_q)] - max[0, E_{min}(R_h) - E_{max}(R_q)]}{[E_{max}(R_h) - E_{min}(R_h)] + [E_{max}(R_q) - E_{min}(R_q)]} \quad (20)$$

اگر $P(R_h > R_q) > 0/5$، ارزش تأمین‌کننده‌ی R_h بیشتر از ارزش تأمین‌کننده‌ی R_q با درجه‌ی $P(R_h > R_q)$ است. اگر $P(R_h > R_q) = 0/5$، ارزش تأمین‌کننده‌ی R_h با ارزش تأمین‌کننده‌ی R_q تفاوتی ندارد. اگر $P(R_h > R_q) < 0/5$، آنگاه ارزش تأمین‌کننده‌ی R_h کمتر از ارزش تأمین‌کننده‌ی R_q با درجه‌ی $1 - P(R_h > R_q)$ است.

۴. نتایج محاسباتی

۱.۴. مطالعه‌ی موردی

در این پژوهش، مسئله‌ی ارزیابی و رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان را در شرکت فرآورده‌های کامپوزیت به کار برده‌ایم. جایگاه ویژه‌ی این محصولات کامپوزیتی در صنایع مختلف شامل صنایع هوافضا، ترمیم خطوط انتقال، عایق حرارتی و ... است. این شرکت در امر مشاوره، طراحی و اجرای پروژه‌های تولیدی در این زمینه فعالیت دارد، به‌طوری‌که توانایی تأمین مواد اولیه‌ی پیشرفته‌ی هوافضا و صنایع مختلف را نیز دارد و یکی از شرکت‌های شناخته شده در مشهد است. در حال حاضر، در این شرکت معیارهایی که برای ارزیابی تأمین‌کنندگان به کارگرفته می‌شود، معیار قیمت و کیفیت است و مدیر شرکت قصد دارد که برای ارزیابی بهتر تأمین‌کنندگان و تخصیص مناسب سفارش به آنها، جنبه‌های پایداری در ارزیابی و اولویت‌بندی تأمین‌کنندگان در نظر گرفته شود. به این منظور، ما به کمک مدیران و کارشناسان شرکت، تأمین‌کنندگان مواد اولیه را شناسایی کرده‌ایم و معیارهای پایداری مناسب را نیز بر اساس فهرست معیارهای جهانی برای ارزیابی تأمین‌کننده‌ها انتخاب کرده‌ایم. (جدول ۱)

تعدادی از محصولاتی که توسط این شرکت تولید می‌شوند و فهرست تأمین‌کنندگانی که از طرف آنها معرفی شده است و مواد اولیه‌ی مورد نیاز برای تولید این محصولات به شرح جدول ۳ است.

۲.۴. روش حل

برای ارزیابی و اولویت‌بندی تأمین‌کنندگان، ابتدا با استفاده از روش بهترین و بدترین وزن مناسب برای معیارهای پایدار به دست می‌آید و در گام دوم با استفاده از روش استدلال شواهدی اولویت تأمین‌کنندگان تعیین می‌شود.

۱.۲.۴. پیاده‌سازی روش بهترین و بدترین

در ابتدا، برای معیارهای اصلی، بهترین و بدترین معیار با توجه به نظر کارشناسان خبره تعیین می‌شود. در این مطالعه بر اساس نظر کارشناسان بهترین معیار، معیار اقتصادی و بدترین معیار، معیار اجتماعی در نظر گرفته شده است. سپس مقایسه‌ی زوجی «بهترین - با - سایرین» و «سایرین - با - بدترین» صورت می‌گیرد که در جدول‌های ۴ و ۵ نشان داده شده است.

سپس گام‌های ۵ و ۶ روش بهترین و بدترین پیاده‌سازی می‌شود و وزن بهینه

جدول ۴. مقایسه‌ی زوجی بهترین معیار ـ با ـ سایر معیارها برای معیارهای اصلی.

معیارها	EC	EN	SO
اقتصادی (EC)	۱	۲	۴

جدول ۵. مقایسه زوجی سایر معیارها ـ با ـ بهترین معیارها برای معیارهای اصلی.

معیارها	اجتماعی (SO)
اقتصادی (EC)	۴
زیست‌محیطی (EN)	۲
اجتماعی (SO)	۱

جدول ۶. نتایج BMW برای معیارهای اصلی.

معیارها	وزن
اقتصادی (EC)	۰٫۵۷۱۴۲۸۶
زیست‌محیطی (EN)	۰٫۲۸۵۷۱۴۳
اجتماعی (SO)	۰٫۱۴۲۸۵۷۱
*ξ	۰٫۰۰۰۱۲۸۵
نرخ سازگاری	۰٫۰۰۰۰۷۸۸۳

جدول ۷. مقایسه‌ی زوجی بهترین معیار ـ با ـ سایرین برای زیرمعیارهای اقتصادی.

معیار	ECQ	ECC	ECDS	ECTF	ECLR	ECF
هزینه (ECC)	۲	۱	۴	۵	۴	۸

جدول ۸. مقایسه زوجی سایرین ـ با ـ بهترین معیار برای زیرمعیارهای اقتصادی.

معیار	ECQ	ECC	ECDS	ECTF	ECLR	ECF
ECF	۷	۸	۴	۲	۳	۱

برای هر یک از معیارها و نرخ سازگاری تعیین می‌شود. نتایج این مقایسات در جدول ۶ مطرح شده است. باید توجه کرد که گام ۵ روش بهترین و بدترین با استفاده از نرم افزار لینگو ۱۷ انجام شده است.

به‌طور مشابه این گام‌ها برای همه‌ی زیر معیارها اجرا می‌شود. مقایسات زوجی «بهترین - با - سایرین» و «سایرین - با - بدترین» برای معیارهای اقتصادی در جدول‌های ۷ و ۸ نشان داده شده است و وزن بهینه و نرخ سازگاری آن در جدول ۹ مطرح شده است.

همچنین مقایسات زوجی «بهترین - با - سایرین» و «سایرین - با - بدترین» برای معیارهای محیطی در جدول ۱۰ و ۱۱ نشان داده شده است و وزن بهینه و نرخ سازگاری آن در جدول ۱۲ مطرح شده است.

همچنین مقایسات زوجی «بهترین - با - سایرین» و «سایرین - با - بدترین» برای معیارهای اجتماعی در جدول‌های ۱۳ و ۱۴ نشان داده شده است و وزن بهینه و نرخ سازگاری آن در جدول ۱۵ مطرح شده است.

۲.۲.۴. پیاده‌سازی روش استدلال شواهدی

در این مرحله پس از به دست آوردن وزن‌های بهینه برای هر معیار و زیرمعیار رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان با استفاده از روش استدلال شواهدی صورت می‌گیرد. برای این منظور در جدول ۱۶ امتیازهای استاندارد روش استدلال شواهدی برای ارزیابی تأمین کنندگان بیان شده است.[۳۳] اطلاعات ارزیابی توزیعی به دست آمده با توجه به نظر مدیران و کارشناسان خبره شرکت برای پنج تأمین‌کننده در جدول ۱۷ نشان داده شده است.

جدول ۹. نتایج BMW برای زیرمعیارهای اقتصادی.

معیار	وزن
ECQ	۰٫۴۱۲۹۱۲۸
ECC	۰٫۳۵۲۰۲۶۹
ECDS	۰٫۱۱۷۳۴۲۳
ECTF	۰٫۰۷۵۶۱۹۹
ECLR	۰٫۱۰۲۹۸۳۹
ECF	۰٫۰۳۹۱۱۴۱
*ξ	۱
نرخ سازگاری	۰٫۲۲۳۷۱۳۶

جدول ۱۰. مقایسه‌ی زوجی بهترین معیار ـ با ـ سایرین برای زیر معیارهای زیست محیطی.

معیار	ENEM	END	ENGL	ENPW	ENEC
ENEM	۱	۳	۵	۲	۲

جدول ۱۱. مقایسه زوجی سایرین ـ با ـ بهترین معیار برای زیر معیارهای زیست محیطی.

معیار	ENEM	END	ENGL	ENPW	ENEC
ECF	۵	۲	۱	۳	۳

جدول ۱۲. نتایج BMW برای زیرمعیار زیست محیطی.

معیار	وزن
ENEM	۰٫۳۷۸۶۷۹۷
END	۰٫۱۳۳۸۸۳۵
ENGL	۰٫۰۷۳۲۲۳۳۱
ENPW	۰٫۲۰۷۱۰۶۸
ENEC	۰٫۲۰۷۱۰۶۸
*ξ	۰٫۱۷۱۵۷۳۶
نرخ‌سازگاری	۰٫۰۷۴۵۹۲۱۷

جدول ۱۳. مقایسه‌ی زوجی بهترین معیار ـ با سایرین برای زیرمعیارهای اجتماعی.

معیار	SOOHS	SOSMC	SOIE	SOWW
SOSMC	۲	۱	۲	۴

جدول ۱۴. مقایسه زوجی سایرین ـ با ـ بهترین معیار برای زیرمعیارهای اجتماعی.

معیار	SOOHS	SOSMC	SOIE	SOWW
ECF	۳	۴	۳	۱

جدول ۱۵. نتایج BMW برای زیرمعیار اجتماعی.

معیار	وزن
SOOHS	۰٫۲۷۴۲۹۱۹
SOSMC	۰٫۴۵۱۴۱۶۲
SOIE	۰٫۲۷۴۲۹۱۹
SOWW	۰٫۱۰۳۶۷۲۶
ε*	۰٫۳۵۴۲۴۸۷
نرخ سازگاری	۰٫۲۱۷۳۳۰۴

جدول ۱۶. استاندارد تعریف شده به منظور ارزیابی معیارها برای تأمین‌کنندگان.

امتیاز	تعریف
شرایط عالی	۷
شرایط خیلی خوب	۶
شرایط خوب	۵
شرایط معمولی	۴
شرایط ضعیف	۳
شرایط خیلی ضعیف	۲
شرایط بحرانی	۱

مثلاً در این جدول کارشناسان ارزیابی برای زیرمعیار کیفیت امتیاز $\{(۵, ۱/۰)\}$ را برای تأمین‌کننده‌ی اول برآورد کرده‌اند؛ به این معنا که با احتمال ۱۰۰٪ کیفیت کالای مورد نظر توسط این تأمین‌کننده خوب است و امتیاز $\{(۴, ۰/۴), (۵, ۰/۶)\}$ را برای زیر معیار مدیریت سیستم‌های زیست‌محیطی تخمین زده شده است؛ به این معنا که تأمین‌کننده‌ی اول با احتمال ۴۰٪ دارای شرایط خوب و با احتمال ۶۰٪ دارای شرایط معمول زیست‌محیطی است. به همین ترتیب می‌توان سایر امتیازها در این جداول را تحلیل کرد. برای کاربردی‌تر شدن این الگوریتم، نرم‌افزار اکسل به کار رفته است. محاسبات از پایین‌ترین سطح معیارها به‌صورت گام به گام آغاز شده است و اطلاعات هر سطح ترکیب و به‌عنوان ورودی سطح بالاتر مورد استفاده قرار گرفته است و در نهایت برای هر تأمین‌کننده یک امتیاز توزیعی به دست آمده است. البته برخی از تأمین‌کنندگان دارای امتیاز توزیعی ناقص هستند. جدول ۱۸ امتیاز توزیعی نهایی را برای پنج تأمین‌کننده نشان می‌دهد. در این جدول برای هر یک از معیارهای اصلی هر تأمین‌کننده امتیاز توزیعی با استفاده از روابط ۵ تا ۱۵ به دست می‌آید و دوباره این مراحل در سطح معیارهای اصلی تکرار می‌شود تا امتیاز توزیعی در سطح هر تأمین‌کننده نیز به دست آید. مثلاً در جدول ۱۸ تأمین‌کننده‌ی اول دارای امتیاز توزیعی

$$\{(۱, ۰)(۲, ۰), (۳, ۰/۳۶۵۲۴)(۴, ۰/۰۱۵۶۹),$$
$$(۵, ۰/۵۹۸۹۲)(۶, ۰/۲۰۱۵), (۷, ۰)\}$$

است. به این ترتیب که این تأمین‌کننده با احتمال ۲٪ دارای شرایط خیلی خوبی است، به‌احتمال ۵۹٪ از نظر معیار اقتصادی در شرایط خوبی است، با احتمال ۵۱٪ دارای شرایط معمولی است و با احتمال ۳۶٪ دارای شرایط ضعیفی است و ستون β_g در این جدول نیز به این معناست که در شرایطی که به هر دلیلی اطلاعاتی از یک زیرمعیار وجود نداشته باشد و نقص اطلاعات داشته باشیم، ستون βgمقدار می‌گیرد و احتمال نقص اطلاعات را نشان می‌دهد. به این ترتیب می‌توان امتیاز توزیعی هر تأمین‌کننده را در این جدول تحلیل کرد.

برای اولویت‌بندی تأمین‌کننده‌ها نیاز به یک عدد به جای یک توزیع از امتیازات است؛ به همین منظور روابط ۱۷-۱۹ به کار برده می‌شود و کمینه و بیشینه و متوسط مقدار ارزش تأمین‌کنندگان محاسبه می‌شود. مقدار مطلوبیت هر یک از درجات

جدول ۱۷. اطلاعات ارزیابی توزیعی برای پنج تأمین‌کننده.

معیارها / تامین کنندگان	تامین کننده ۱ (TES)	تامین کننده ۲ (GHS)	تامین کننده ۳ (ESS)	تامین کننده ۴ (TAS)	تامین کننده ۵ (EUS)
اقتصادی (۰/۵۷۱۴۲۸۶)					
ECQ(۰,۴۱۲۹۱۲۸)	{(۵,۱,۰)}	{(۴,۱,۰)}	{(۳,۱,۰)}	{(۶,۱,۰)}	{(۷,۱,۰)}
ECC(۰,۳۵۲۰۲۶۹)	{(۳,۱,۰)}	{(۵,۱,۰)}	{(۶,۱,۰)}	{(۳,۱,۰)}	{(۱,۱,۰)}
ECDS(۰,۱۱۷۳۴۲۳)	{(۵, ۰,۹۵),(۶,۰,۰۵)}	{(۳,۱,۰)}	{(۲, ۰,۸),(۱,۰,۲)}	{(۴, ۰,۹),(۳,۰,۱)}	{(۲, ۰,۹۵),(۱,۰,۰۵)}
ECTF(۰,۰۷۵۶۱۹۹)	{(۵, ۰,۷),(۶,۰,۳)}	{(۲, ۰,۸۵),(۱,۰,۱۵)}	{(۲,۱,۰)}	{(۶, ۰,۹۵),(۵,۰,۰۵)}	{(۷,۱,۰)}
ECLR(۰,۱۰۲۹۸۳۹)	{(۵,۱,۰)}	{(۲, ۰,۸),(۳,۰,۲)}	{(۳, ۰,۹۵),(۴,۰,۰۵)}	{(۶,۱,۰)}	{(۱, ۰,۶),(۲,۰,۴)}
ECF(۰,۳۹۱۱۴۱)	{(۴, ۰,۶),(۳,۰,۴)}	{(۳, ۰,۹۵),(۲,۰,۰۵)}	{(۲, ۰,۸),(۱,۰,۲)}	{(۶,۱,۰)}	{(۷,۱,۰)}
زیست محیطی (۰/۲۸۵۷۷۱۴۳)					
ENEM(۰,۳۷۸۶۷۹۷)	{(۴, ۰,۶),(۵,۰,۴)}	{(۲, ۰,۵),(۳,۰,۵)}	{(۳, ۰,۸),(۲,۰,۲)}	{(۶, ۰,۹),(۵,۰,۱)}	{(۷,۱,۰)}
END(۰,۱۳۳۸۸۳۵)	{(۱, ۰,۷),(۲,۰,۳)}	{(۱,۱,۰)}	{(۱, ۰,۷),(۲,۰,۳)}	{(۱, ۰,۵),(۲,۰,۵)}	{(۷, ۰,۷),(۶,۰,۳)}
ENGL(۰,۰۷۳۲۲۳۳۱)	{(۴,۱,۰)}	{(۴, ۰,۶),(۳,۰,۴)}	{(۴, ۰,۹),(۵,۰,۱)}	{(۴, ۰,۵),(۵,۰,۵)}	{(۴,۱,۰)}
ENPW(۰,۲۰۷۱۰۶۸)	{(۴, ۰,۵),(۳,۰,۵)}	-	{(۳, ۰,۶),(۵,۰,۴)}	{(۶, ۰,۷),(۵,۰,۳)}	{(۷, ۰,۹),(۶,۰,۱)}
ENEC(۰,۲۰۷۱۰۶۸)	-	{(۱, ۰,۵),(۲,۰,۵)}	{(۱, ۰,۹۵),(۲,۰,۰۵)}	-	-
اجتماعی (۰/۱۴۲۸۵۷۱)					
SOOHS(۰,۲۷۴۲۹۱۹)	{(۵, ۰,۹),(۶,۰,۱)}	{(۳, ۰,۷),(۲,۰,۳)}	{(۴, ۰,۸),(۵,۰,۲)}	{(۶, ۰,۹۵),(۵,۰,۰۵)}	{(۷,۱,۰)}
SOSMC(۰,۴۵۱۴۱۶۲)	{(۴, ۰,۸۵),(۳,۰,۱۵)}	{(۲, ۰,۶),(۱,۰,۴)}	{(۳, ۰,۷),(۴,۰,۳)}	{(۶, ۰,۹),(۷,۰,۱)}	{(۷,۱,۰)}
SOIE(۰,۲۷۴۲۹۱۹)	-	{(۳, ۰,۸),(۲,۰,۲)}	{(۳, ۰,۹),(۴,۰,۱)}	-	{(۷, ۰,۶),(۶,۰,۴)}
SOWW(۰,۱۰۳۶۷۲۶)	{(۵,۱,۰)}	{(۳,۱,۰)}	{(۵,۱,۰)}	{(۶, ۰,۸),(۵,۰,۲)}	{(۷, ۰,۵),(۶,۰,۵)}

جدول ۱۸. امتیاز توزیعی نهایی برای پنج تأمین‌کننده.

تامین کننده	معیارهای تامین کنندگان	امتیاز توزیعی ارزیابی شده برای هر تامین کننده						
		۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	β_g
تامین کننده ۱ (TES)	اقتصادی (EC)	۰	۰	۰,۳۶۵۲۴	۰,۰۱۵۶۹	۰,۵۹۸۹۲	۰,۰۲۰۱۵	۰	۰
	زیست محیطی (EN)	۰,۰۷۷۱۷	۰,۰۳۳۰۷	۰,۰۹۳۱۵	۰,۴۷۵۰۲	۰,۱۷۳۸۷	۰	۰	۰,۱۴۷۷۱
	اجتماعی (SO)	۰	۰	۰,۰۷۵۷۲	۰,۴۲۹۰۷	۰,۳۰۳۷۶	۰,۰۲۳۱۹	۰	۰,۱۶۸۲۳
	امتیاز کل تامین کننده	**۰,۰۱۴۴۹**	**۰,۰۰۶۲۱**	**۰,۲۷۷۵۷**	**۰,۱۴۳۱۳**	**۰,۵۰۲۷۶**	**۰,۱۵۲۸**	**۰**	**۰,۰۴۰۵۵۱**
تامین کننده ۲ (GHS)	اقتصادی (EC)	۰,۰۱۲۴۸	۰,۱۷۲۹۹	۰,۲۰۷۱۸	۰,۰۵۴۹۹	۰,۵۵۲۳۶	۰	۰	۰
	زیست محیطی (EN)	۰,۲۲۱۱۲	۰,۳۴۴۰۶	۰,۲۵۰۵۲	۰,۰۳۴۳۳	۰	۰	۰	۰,۱۴۹۹۷
	اجتماعی (SO)	۰,۱۶۸۳۳	۰,۴۰۳۴۰	۰,۴۲۸۲۷	۰	۰	۰	۰	۰
	امتیاز کل تامین کننده	**۰,۰۶۶۴۱**	**۰,۲۴۲۷۹**	**۰,۲۴۹۱۵**	**۰,۰۴۳۷۶**	**۰,۳۶۹۵۰**	**۰**	**۰**	**۰,۰۲۸۳۹۳**
تامین کننده ۳ (ESS)	اقتصادی (EC)	۰,۰۵۹۴	۰,۱۰۷۳۳	۰,۱۰۸۱۴	۰,۳۳۰۶۷	۰,۳۹۴۴۶	۰	۰	۰
	زیست محیطی (EN)	۰,۲۵۶۰۸	۰,۲۰۹۵	۰,۴۸۱۶۲	۰,۰۴۷۵۲	۰,۰۰۵۲۸	۰	۰	۰
	اجتماعی (SO)	۰	۰	۰,۵۵۶۷۹	۰,۳۴۳۰۸	۰,۱۰۰۱۳	۰	۰	۰
	امتیاز کل تامین کننده	**۰,۰۹۳۶۲**	**۰,۱۱۷۸۷**	**۰,۲۴۲۳۷**	**۰,۲۷۲۴۷**	**۰,۲۷۳۶۷**	**۰**	**۰**	**۰**
تامین کننده ۴ (TAS)	اقتصادی (EC)	۰	۰	۰,۳۷۴۰۴	۰,۰۷۹۳۸	۰,۰۰۲۷۱	۰,۵۴۳۸۷	۰	۰
	زیست محیطی (EN)	۰,۰۵۴۶۶	۰,۰۵۴۶۶	۰	۰,۰۲۷۹۴	۰,۷۲۷۴	۰,۵۸۸۱۳	۰,۰۵۵۴۲	۰,۱۴۶۴۶
	اجتماعی (SO)	۰	۰	۰	۰	۰,۰۲۱۴۱	۰,۷۹۸۸۲	۰,۰۴۱۴۹	۰,۱۳۸۲۸۶
	امتیاز کل تامین کننده	**۰,۰۰۹۴۸**	**۰,۰۰۹۲۸**	**۰,۲۲۸۸۰**	**۰,۰۵۳۹۱**	**۰,۰۱۵۹۶**	**۰,۶۳۴۴۵**	**۰,۰۱۲۷۷**	**۰,۰۳۵۱۵**
تامین کننده ۵ (EUS)	اقتصادی (EC)	۰,۴۶۶۸۸	۰,۱۱۲۲۷	۰	۰	۰	۰,۰۲۷۸۵	۰,۳۹۳	۰
	زیست محیطی (EN)	۰	۰	۰	۰,۰۵۰۵۶	۰	۰,۰۴۷۱۶	۰,۷۶۹۷۵	۰,۱۳۲۵۳
	اجتماعی (SO)	۰	۰	۰	۰	۰	۰,۰۸۷۹۰	۰,۹۱۲۱۰	۰
	امتیاز کل تامین کننده	**۰,۲۸۵۳۰**	**۰,۰۶۸۶۱**	**۰**	**۰,۰۰۸۸۰**	**۰**	**۰,۰۳۲۶۲**	**۰,۵۸۱۶۰**	**۰,۰۲۳۰۷۲**

جدول ۱۹. مطلوبیت مورد انتظار پنج تأمین‌کننده.

تأمین‌کننده	$\mathbf{E_{max}(R_h)}$	$\mathbf{E_{min}(R_h)}$	$\mathbf{E_{avg}(R_h)}$
تامین کننده ۱ (TES)	۰٫۴۶۷۸۲	۰٫۴۲۷۲۷	۰٫۴۴۷۵۴
تامین کننده ۲ (GHS)	۰٫۳۴۱۷۱	۰٫۳۱۳۳۱	۰٫۳۲۷۵۱
تامین کننده ۳ (ESS)	۰٫۳۳۳۴۵	۰٫۳۳۳۴۵	۰٫۳۳۳۴۵
تامین کننده ۴ (TAS)	۰٫۶۳۳۳۴	۰٫۵۹۸۱۹	۰٫۶۱۵۷۶
تامین کننده ۵ (EUS)	۰٫۶۴۱۱۵	۰٫۶۱۸۰۸	۰٫۶۲۹۶۲

جدول ۲۰. ارجحیت تأمین‌کنندگان بر اساس معیارهای پایدار با روش **ER**.

تأمین‌کننده	تأمین‌کننده (TES)۱	تأمین‌کننده (GHS)۲	تأمین‌کننده (ESS)۳	تأمین‌کننده (TAS)۴	تأمین‌کننده (EUS)۵	رتبه‌بندی سفارش	وزن نرمال
تامین کننده ۱ (TES)	-	۰	۰	۱	۱	۳	۰٫۱۹۰۱۳
تامین کننده ۲ (GHS)	۱	-	۰٫۷۰۹۱۵۵	۱	۱	۵	۰٫۱۳۹۱۴
تامین کننده ۳ (ESS)	۱	۰٫۲۹۰۸۴۵	-	۱	۱	۴	۰٫۱۴۱۶۶
تامین کننده ۴ (TAS)	۰	۰	۰	-	۰٫۷۳۷۸۹۱	۲	۰٫۲۶۱۵۹
تامین کننده ۵ (EUS)	۰	۰	۰	۰٫۲۶۲۱۰۹	-	۱	۰٫۲۶۷۴۸

به‌صورت زیر تعریف می‌شود.[۳۳]

$$Du(۱) = ۰ \quad Du(۲) = ۰/۱ \quad Du(۳) = ۰/۲ \quad Du(۴) = ۰/۴ \quad Du(۵) = ۰/۶ \quad Du(۶) = ۱ \quad Du(۷) = ۰$$

نتایج حاصل در جدول ۱۹ بیان شده است. در مواردی که نقص در اطلاعات وجود نداشته باشد، مقادیر کمینه و بیشینه‌ی ارزش تأمین‌کننده بر هم منطبق است؛ مانند ارزش تأمین‌کننده‌ی ۳. اما در غیر این صورت انطباق وجود نخواهد داشت. مثلاً برای تأمین کالای اول از تأمین‌کننده‌ی اول کمینه‌ی ارزش تأمین‌کننده برابر ۰٫۴۲۷۲۷ و بیشینه‌ی ارزش آن برابر ۰٫۴۶۷۸۲ است و برای تشخیص برتری تأمین‌کنندگان نسبت به یکدیگر با استفاده از کمینه و بیشینه‌ی مقدار ارزش تأمین‌کنندگان باید رابطه‌ی ۲۰ را به کار گرفت. جدول ۲۰ ارجحیت تأمین‌کنندگان را نسبت به یکدیگر نشان می‌دهد. مثلاً تأمین‌کننده‌ی پنجم با احتمال ۱۰۰٪ از تأمین‌کننده اول، دوم، و سوم برتری دارد و با احتمال ۰٫۷۳۷۸۹۱ نسبت به تأمین‌کننده‌ی چهارم نیز بهتر است (چون مقدار احتمال ارجحیت آن بالاتر از ۰٫۵ است، نشان‌دهنده‌ی برتری تأمین‌کننده‌ی ۵

جدول ۲۱. ارجحیت تأمین‌کنندگان بر اساس معیارهای پایدار با استفاده از روش AHP .

معیارها/تأمین‌کنندگان	EC	EN	SO	AHP	وزن نرمال شده تأمین‌کنندگان	رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان
تامین کننده ۱ (TES)	۰/۲۵۴۴۴۲	۰/۱۸۴۸۶۰	۰/۲۳۸۱۲۱	۰/۱۹۸۰۸۰	۰/۲۲۴۳۴۰۹۹۷	۲
تامین کننده ۲ (GHS)	۰/۲۰۰۴۵۱۱	۰/۱۴۱۰۱۱	۰/۱۳۸۹۸۶	۰/۱۵۰۳۹۴	۰/۱۷۰۳۳۲۹۲۱	۴
تامین کننده ۳ (ESS)	۰/۱۳۹۰۱۴	۰/۱۰۲۷۵۳	۰/۰۵۸۸۷۷	۰/۱۰۰۴۸۱	۰/۱۱۳۸۰۲۸۱۷	۵
تامین کننده ۴ (TAS)	۰/۲۱۰۴۱۳	۰/۲۰۴۹۰۶	۰/۲۴۶۳۴۴	۰/۱۸۷۹۲۱	۰/۲۱۲۸۳۶۰۲۲	۳
تامین کننده ۵ (EUS)	۰/۱۹۱۶۳۳	۰/۳۶۷۳۵۷	۰/۳۲۰۵۷۴	۰/۲۴۶۰۶۴	۰/۲۷۸۶۸۷۲۴۳	۱

جدول ۲۲. ارجحیت تأمین‌کنندگان بر اساس معیارهای پایدار با استفاده از روش AHP فازی.

معیارها/تأمین‌کنندگان	EC	EN	SO	Fuzzy − AHP	وزن نرمال شده تأمین‌کنندگان	رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان
تامین کننده ۱ (TES)	۰/۱۸۷۵۲	۰/۰۵۲۳۷۳۹۷	۰/۱۰۶۳۲	۰/۱۳۷۳	۰/۱۲۸۹۴۲۴	۳
تامین کننده ۲ (GHS)	۰/۱۶۳۳۳	۰/۱۰۵۳۴۴۲۳	۰	۰/۱۲۳۴	۰/۱۱۵۹۱۴۵	۵
تامین کننده ۳ (ESS)	۰/۲۰۱۹۵	۰/۰۳۷۹۰۵۷۱	۰/۰۳۱۴۵	۰/۱۳۰۷	۰/۱۲۲۷۶۲۳	۴
تامین کننده ۴ (TAS)	۰/۲۸۰۷۸	۰/۲۹۹۱۰۴۸۲	۰/۳۹۶۷۳	۰/۳۰۲۶	۰/۲۸۴۱۶۶	۲
تامین کننده ۵ (EUS)	۰/۲۵۶۴۲	۰/۵۰۵۲۷۱۳	۰/۵۵۹۱۷	۰/۳۷۰۸	۰/۳۴۸۲۱۴۸	۱

نسبت به تأمین‌کننده‌ی ۴ است). به همین ترتیب تأمین‌کننده‌ی چهارم با احتمال ۱۰۰٪ از تأمین‌کننده‌ی اول، دوم، و سوم برتری دارد؛ سپس تأمین‌کننده اول با احتمال ۱۰۰٪ از تأمین‌کننده‌ی دوم و سوم برتری دارد و در آخر تأمین‌کننده‌ی سوم با احتمال ۰/۷۰۹۱۵۵ از تأمین‌کننده‌ی دوم ارجح است و در آخرین ستون این جدول نیز وزن نرمال تأمین‌کنندگان برای هرکالا با استفاده از متوسط ارزش تأمین‌کنندگان به دست آمده است.

۵. اعتبارسنجی

برای اعتبارسنجی مدل از روش AHP و AHP فازی[۳۶] استفاده کرده‌ایم. در ابتدا معیارها بر اساس روش AHP ارزیابی شده‌اند و رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان به‌صورت جدول ۲۱ به دست آمده است.

سپس معیارها براساس AHP فازی رتبه‌بندی شده‌اند و نتایج به شرح جدول ۲۲ است. مشاهده می‌شود که نتایج حاصل از روش AHP با نتایج روش AHP فازی و ER متفاوت است و این به دلیل وجود عدم قطعیت در ارزیابی معیارها و زیر معیارهاست که به ناچار در روش AHP باید به صورت قطعی در نظر گرفته شود. ولی نتایج روش ER و AHP فازی مشابه هم است و هر دو یک رتبه‌بندی برای انتخاب تأمین‌کننده‌ها بیان کرده‌اند. طالقانی و همکاران[۳۷] در تحقیق خود که یک مطالعه‌ی موردی صنعت لوازم خانگی را بررسی کرده‌اند، به مقایسه‌ی روش AHP و AHP فازی پرداخته و به این نتیجه رسیده‌اند که نتایج حاصل از روش AHP فازی به واقعیت نزدیک‌تر و مورد اعتمادتر است. پس می‌توان نتیجه گرفت که نتایج حاصل از ER نیز معتبر است. از مزایای این روش نسبت به روش AHP فازی این است که در روش AHP فازی باید تمام اطلاعات در مورد زیرمعیارها در دسترس باشد، ولی در روش ER با وجود فقدان اطلاعات می‌تواند ارزیابی مورد قبولی را مطرح کند. علاوه‌بر این، سادگی در به‌کاربردن این روش یکی دیگر از مزایای آن است؛ زیرا به‌جای مقایسه‌ی زوجی تأمین‌کنندگان نسبت به هر معیار، کافی است فقط به هر تأمین‌کننده بر اساس معیارها امتیاز توزیعی داده شود و سپس بر اساس گام‌های موجود در این روش بهترین رتبه‌بندی صورت خواهد گرفت. همین امر موجب می‌شود نیاز به پرسش و پاسخ کمتری داشته باشد و در نتیجه احتمال بروز خطا نیز کمتر می‌شود.

۶. نتیجه‌گیری

در این پژوهش، به‌دلیل اهمیت جنبه‌های پایداری به‌منظور انتخاب تأمین‌کننده در دهه‌های اخیر، یک مسئله انتخاب تأمین‌کننده‌ی پایدار ارائه شده است. در اینجا سه جنبه پایداری شامل جنبه‌های اقتصادی، محیطی و اجتماعی در نظر گرفته شده است و برای هرکدام از این جنبه‌ها زیر معیارهایی با توجه به نظرکارشناسان خبره و مرور پیشینه در این حوزه بیان شده است. سپس با استفاده از روش بهترین و بدترین که یکی از روش‌های جدید تصمیم‌گیری چندمعیاره است، وزن مناسب به معیارها تخصیص داده شده است و برای رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان برای اولین بار روش استدلال شواهدی به کار گرفته شده است. از مزایای این روش این است که عدم قطعیت در ارزیابی‌های شخصی و فقدان اطلاعات را در نظر گرفته و در ماتریس تصمیم‌گیری به جای یک عدد یک توزیع ارزیابی خواهد داشت. در نهایت در یک مطالعه‌ی موردی روش پیشنهادی مورد بررسی قرار گرفته است. به‌منظور اعتبارسنجی مدل، روش پیشنهادی با روش AHP و AHP فازی مقایسه شد و مشخص شد که روش پیشنهادی جواب مشابه با روش AHP فازی در اختیار ما خواهد گذاشت و مزایای این روش این است که پیچیدگی کمتری نسبت به روش AHP فازی دارد و همچنین نیاز به پرسش و پاسخ کمتری نیز خواهد داشت. برای تحقیقات آتی می‌توان مسئله‌ی تخصیص سفارش را هم‌زمان با انتخاب تأمین‌کننده‌ی پایدار بررسی کرد. عدم قطعیت و ریسک در تأمین‌کنندگان به‌صورت هم‌زمان در ارزیابی تأمین‌کنندگان در نظر گرفته شود. پیشنهاد دیگر این است که تحلیل هر یک از ابعاد پایداری بر روی یکدیگر بررسی شود.

پانوشت‌ها

1. analytic network process (ANP)
2. strengths, weaknesses, opportunities and threats (SWOT)
3. fuzzy multi-attribute utility theory (FMAUT)
4. dynamic supplier selection problem (DSSP)
5. analytic hierarchy process and quality function deployment (AHP-QFD)
6. technique for order of preference by similarity to ideal solution (TOPSIS)
7. decision-making trial and evaluation laboratory (DEMATEL)
8. best-worst method (BWM)
9. dumpsters-shafer (D-S)

منابع (References)

1. Zailani, S., Jeyaraman, K., Vengadasan, G. and et al. "Sustainable supply chain management (SSCM) in Malaysia: a survey", *International Journal of Production Economics*, **140**(1), pp. 330-340 (2012).
2. Shen, L., Olfat, L., Govindan, K. and et al. "A fuzzy multi criteria approach for evaluating green supplier's performance in green supply chain with linguistic preferences", *Resources, Conservation and Recycling*, **74**, pp. 170-179 (2013).
3. Govindan, K., Khodaverdi, R. and Jafarian, A. "A fuzzy multi criteria approach for measuring sustainability performance of a supplier based on triple bottom line approach", *Journal of Cleaner Production*, **47**, pp. 345-354 (2013).
4. Amindoust, A., Ahmed, S., Saghafinia, A. and et al. "Sustainable supplier selection:a ranking model based on fuzzy inference system", *Applied Soft Computing*, **12**(6), pp. 1668-1677 (2012).
5. Li, S., Alper, M. and Huang, W. "Selection of contract suppliers under price and demand uncertainty in a dynamic market", *European Journal of Operational Research*, **198**(3), pp. 830-847 (2009).
6. Ho, W., Xu, X. and Dey, P.K. "Multi-criteria decision making approaches for supplier evaluation and selection: a literature review", *European Journal of Operational Research*, **202**(1), pp. 16-24 (2010).
7. Mendoza, A. and Ventura, J.A. "An effective method to supplier selection and order quantityallocation", *International Journal of Business and Systems Research*, **2**(1), pp. 1-15 (2010).
8. Chai, J., Liu, J.N. and Ngai, E.W. "Application of decision-making techniques in supplier selection: a systematic review of literature", *Expert Systems with Applications*, **40**(10), pp. 3872-3885 (2013).
9. Razmi, J. and Rafiei, H. "An integrated analytic network process with mixed-integer non-linear programming to supplier selection and order allocation", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, **49**(9-12), pp. 1195-1208 (2010).
10. Ghorbani, M., Bahrami, M. and Arabzad, M. "An integrated model for supplier selection and order allocation; using shannon entropy, SWOT and linear programming", *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, **41**, pp. 521 - 527 (2012).
11. Kannan, D., Khodaverdi, R., Olfat, L. and et al. "Integrated fuzzy multi criteria decision making method and multiobjective programming approach for supplier selection and order allocation in a green supply chain", *Journal of Cleaner Production*, **47**, pp. 355-367 (2013).
12. Lee, J., Cho, H. and Kim, Y.S. "Assessing business impacts of agility criterion and order allocation strategy in multi-criteria supplier selection", *Expert Systems with Applications*, **42**(3), pp. 1136-1148 (2014).
13. Scott, J., Ho, W., Dey, P.K. and et al. "A decision support system for supplier selection and order allocation in stochastic, multi-stakeholder and multi-criteria environments", *International Journal of Production Economics*, **166**, pp. 226-237 (2014).
14. Guo, C. and Li, X. "A multi-echelon inventory system with supplier selection and order allocation under stochastic demand", *Int. J. Production Economics*, **151**, pp. 37-47 (2015).
15. Moghaddam, K.S. "Fuzzy multi-objective model for supplier selection and order allocation in reverse logistics systems under supply and demand uncertainty", *Expert Syst Appl*, **42**, pp. 6237-54 (2015).
16. Prasanna Venkatesan, S. and Goh, M. "Multi-objective supplier selection and order allocation under disruption risk", *Transportation Research Part E*, **95**, pp. 124-142 (2016).
17. Hamdan, S. and Cheaitou, A. "Supplier selection and order allocation with green criteria: an MCDM and multi-objective optimization approach", *Computers and Operation Research*, **81**, pp. 282-304 (2016).
18. Babbar, C. and Hassanzadeh Amin, S. "A multi-objective mathematical model integrating environmental concerns for supplier selection and order allocation based on Fuzzy QFD in beverages industry", *Expert Systems with Applications.*, **92**, pp. 27-38 (2017).
19. Keshavar, M., Amiri, M., Zavadskas , E. and et al. "A new multi-criteria model based on interval type-2 fuzzy sets and EDAS method for supplier evaluation and order allocation with environmental considerations", *Computers & Industrial Engineering*, **112**, pp. 156-174 (2017).
20. Hamdan, S. and Cheaitou,A. "Dynamic green supplier selection and order allocation with quantity discounts and varying supplier availability", *Computers & Industrial Engineering*, **110**, pp. 573-589 (2017).
21. Vahidi, F., Torabi, S.A. and Ramezankhani, M.J. "Sustainable supplier selection and order allocation under operational and disruption risks", *Journal of Cleaner Production*, **174**, pp.1351-1365 (2018).
22. Luthra, S., Govindan, K., Kannan, D. and et al. "An integrated framework for sustainable supplier selection and evaluation in supply chains", *Journal of Cleaner Production*, **140**, pp. 1686-1698 (2017).
23. Zimmer, K., Fröhling, M. and Schultmann, F. "Sustainable supplier management - a review of models supporting sustainable supplier selection, monitoring and development", *International Journal of Production Research*, **54**(5), pp.1412-1442 (2016).

24. Govindan, K., Khodaverdi, R. and Jafarian, A. "A fuzzy multi criteria approach for measuring sustainability performance of a supplier based on triple bottom line approach", *Journal of Cleaner Production*, **47**, pp. 345-354 (2013).

25. Goren, H.G. "A decision framework for sustainable supplier selection and order allocation with lost sales", *Journal of Cleaner Production*, **183**, pp. 1156-1169 (2018).

26. Lo, H.W, Liou, J.J.H., Wang, H.S. and et al. "An integrated model for solving problems in green supplier selection and order allocation", *Journal of Cleaner Production*, **190**, pp. 339-352 (2018).

27. Cheraghalipour, A. and Farsad, S. "A bi-objective sustainable supplier selection and order allocation considering quantity discounts under disruption risks: a case study in plastic industry", *Computers & Industrial Engineering*, **118**, pp.237-250 (2018).

28. Huynh, V.N., Nakamori, Y. and Murai, T. "Multiple-attribute decision making under uncertainty: the evidential reasoning approach revisited", *IEEE Transactions on Systems, Man, And Cybernetics*. **36**(4), pp. 804-822 (2006).

29. Yang, J.B. and Singh, M. "Gan evidential reasoning approach for multiple attribute decision making with uncertainty", *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, **24**(1), pp. 1-18 (1994).

30. Yang, J.B. and Sen, P. "A general multi-level evaluation process for hybrid multiple attribute decision making with uncertainty", *IEEE Trans. Syst., Man, Cybern*, **24**(10), pp. 1458-1473 (1994).

31. Yang, J.B. and Xu, D.L. "Nonlinear information aggregation via evidential reasoning in multiattribute decision analysis under uncertainty", *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans*, **32**(3), pp. 376-393 (1995).

32. Wang, J., Yang, J.B. and Sen, P. "Multi-person and multi-attribute design evaluations using evidential reasoning based on subjective safety and cost analysis", *Reliab. Eng. Syst. Saf*, **52**(2) pp. 113-127 (1996).

33. Wang, Y.M. and Elhag, T.M.S. "Evidential reasoning approach for bridge condition assessment", *Expert Systems with Applications*, **34**, pp. 689-699 (2008).

34. Rezaei. J., "Best-worst multi-criteria decision-making method", *Omega*, **53**, pp. 49-57 (2015).

35. Yang, J.B. and Xu, D.L. "On the evidential reasoning algorithm for multiattribute decision analysis under uncertainty", *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans*, **32**(3), pp. 289-304 (2002).

36. Ketabi, s., Hagh Shenas, A. and Hadadian, A. "Multi-criteria selection of suppliers using fuzzy AHP", *Journal of Industrial Management*, **4**(12), pp. 73-96 (In Persian) (1385).

37. Taleghani, M., Shahrudi, k. and Saneye, F. "Comparative comparison of Fuzzy AHP and AHP in ranking of purchasing preferences (case study: home appliance industry)", *Operations Research in its Applications (Applied Mathematics)*, **9**(1), pp. 81-91 (In Persian) (1391).