مهندسی صنایع و مدیریت شریف، (تابستان ۱۳۹۶)
دوره‌ی ۱-۳۳، شماره‌ی ۱/۱، ص. ۱۲۳-۱۳۴، (یادداشت فنی)

Research Note

ارائه‌ی یک مدل ترکیبی از ANP فازی بازه‌یی، FMEA فازی بازه‌یی و TOPSIS فازی بازه‌یی برای انتخاب تأمین‌کنندگان تحت شرایط ریسک

نسترن کاظمی (کارشناس ارشد)
دانشکده‌ی مهندسی صنایع، دانشگاه علم و فناوری مازندران
علی بزرگی امیری * (استادیار)
دانشکده‌ی مهندسی صنایع، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران
محمد محمدپور عمران (استادیار)
دانشکده‌ی مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران

مدیریت ریسک زنجیره‌ی تأمین یکی از مهم‌ترین مباحث مدیریت زنجیره‌ی تأمین است. شرکت‌ها باید علاوه بر تأکید بر سودمندی زنجیره‌ی تأمین ریسک‌های این حوزه را نیز مورد توجه قرار دهند. ریسک تأمین یکی از ریسک‌های زنجیره‌ی تأمین است که می‌تواند منشاء سایر ریسک‌های زنجیره‌ی تأمین باشد و منجر به ناتوانی زنجیره‌ی تأمین در برآورده ساختن تقاضای مشتریان شود. در نوشتار حاضر یک مدل جدید، شامل ترکیبی از سه روش «فرایند تحلیل شبکه‌یی فازی بازه‌یی برای محاسبه‌ی وزن عوامل ریسک»، «روش FMEA فازی بازه‌یی برای رتبه‌بندی عوامل ریسک مربوط به تأمین‌کنندگان» و «روش تاپسیس فازی بازه‌یی برای رتبه‌بندی نهایی تأمین‌کنندگان» ارائه شده است. همچنین برای غلبه بر ابهامات موجود در متغیرهای زبانی از اعداد فازی بازه‌یی استفاده شده است. رویکرد پیشنهادی در شرکت فولاد لرستان پیاده‌سازی شد. براساس نتایج کسب شده مدل ارائه شده برای مسائل دنیای واقعی قابل استفاده است.

واژگان کلیدی: انتخاب تأمین‌کننده، مدیریت ریسک زنجیره‌ی تأمین، فرایند تحلیل شبکه‌یی فازی بازه‌یی، FMEA فازی بازه‌یی، تاپسیس فازی بازه‌یی.

nastaran.kazemi@b-iust.ac.ir
alibozorgi@ut.ac.ir
omran@iust.ac.ir

۱. مقدمه

انتخاب تأمین‌کنندگان یکی از مهم‌ترین اجزای مدیریت لجستیک و زنجیره‌ی تأمین برای بسیاری از شرکت‌هاست. ریسک زنجیره‌ی تأمین به یکی از مهم‌ترین مباحث مدیریت زنجیره‌ی تأمین تبدیل شده است. شرکت‌ها باید علاوه بر تأکید بر سودمندی زنجیره‌ی تأمین، ریسک‌های این حوزه را نیز مد نظر قرار دهند.[۱] شرکت‌ها در زنجیره‌ی تأمین با ریسک‌های مختلفی مواجه‌اند؛ این ریسک‌ها را می‌توان به دو دسته‌ی کلی تقسیم کرد: ۱. ریسک‌های عملیاتی از جمله ریسک‌هایی هستند که با عدم قطعیت تقاضای مشتریان، میزان عرضه و نوسانات قیمت در ارتباط‌اند؛ ۲. ریسک‌های ناشی از اختلالات زنجیره‌ی تأمین که حاصل حوادث طبیعی و انسان‌ساز مانند سیل، زلزله، طوفان حوادث تروریستی، بحران‌های مالی اعتصاب کارکنان و... هستند.[۱] ریسک تأمین یکی از ریسک‌های زنجیره‌ی تأمین است که می‌تواند منشاء سایر ریسک‌ها باشد. این نوع ریسک از عدم اطمینان در فعالیت تأمین‌کنندگان ناشی می‌شود و مربوط به این موضوع است که تأمین‌کننده سفارش را با مقدار و کیفیت خواسته شده و به‌موقع تحویل ندهد. وقوع این ریسک کل اجزاء زنجیره‌ی تأمین را تحت تأثیر قرار می‌دهد و منجر به ناتوانی زنجیره‌ی تأمین در برآورده ساختن تقاضای مشتریان می‌شود.[۱] انتخاب تأمین‌کننده نامناسب منجر به ایجاد نابسامانی در شرایط مالی و عملیاتی شرکت‌ها می‌شود. علاوه بر این انتخاب تأمین‌کننده مناسب باعث کاهش هزینه خرید، افزایش مزیت رقابتی و افزایش رضایت مشتریان می‌شود؛[۲] بنابراین اهمیت انتخاب تأمین‌کننده برای شرکت‌هایی که به دنبال کاهش ریسک زنجیره‌ی تأمین خود هستند آشکار می‌شود.

با توجه به ادبیات انتخاب تأمین‌کننده، بسیاری از محققین در مطالعات‌شان به مسئله‌ی انتخاب تأمین‌کننده با دید تصمیم‌گیری چندمعیاره نگریسته‌اند و از روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه برای حل این مسئله استفاده کرده‌اند.[۱] در بسیاری از مطالعات، آنان از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)[۱] برای انتخاب تأمین‌کنندگان

---

* نویسنده مسئول
تاریخ: دریافت ۱۳۹۳/۱۰/۱۴، اصلاحیه ۱۳۹۴/۴/۲۹، پذیرش ۱۳۹۴/۵/۲۴.

بهره جسته‌اند؛ این در حالی است که عملاً عوامل مختلف ارزیابی تأمین‌کنندگان بر هم تأثیرگذارند. فرایند تحلیل شبکه‌یی (ANP)[2] یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه است که حالت کلی‌تری از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) است. این روش با در نظرگرفتن اثر متقابل بین معیارها منجر به ارزیابی بهتر تأمین‌کنندگان می‌شود. با این وجود در برخی از موارد، استفاده از این روش مستلزم انجام مقایسات زوجی بسیار زیادی توسط خبرگان است. در این شرایط ترکیب این روش با سایر روش‌ها نظیر تاپسیس منجر به کاهش حجم مقایسات زوجی می‌شود.[2]

روش تحلیل حالات و اثرات خطا FMEA [3] یکی از روش‌های ارزیابی ریسک است. هدف این روش شناسایی و رتبه‌بندی عوامل ریسک بالقوه است. این روش عملاً در طراحی محصول و بهبود تولید استفاده شده است.[1] محققین از این روش برای ارزیابی ریسک تأمین‌کنندگان استفاده کرده‌اند.[1و3] این روش از آنجا که برمبنای عدد اولویت ریسک (RPN)[4] و با توجه به سطح ریسک‌ها، به ارزیابی ریسک تأمین‌کنندگان می‌پردازد (ریسک با سطح بالاتر شدت اثر بیشتری بر عملکرد تأمین‌کنندگان دارد)، می‌تواند به تصمیم‌گیری مدیران درمورد ریسک‌های تأمین‌کنندگان کمک کند.[3] با این وجود، در روش FMEA سنتی تأثیر وابستگی و اثر متقابل بین شاخص‌های ریسک در رتبه‌بندی و تعیین شاخص‌های ریسک بحرانی مد نظر قرار نمی‌گیرد.[1] از آنجا که شاخص‌های ریسک تأمین‌کنندگان به یکدیگر وابسته‌اند، روش FMEA سنتی نمی‌تواند ریسک‌های تأمین‌کنندگان را به‌خوبی ارزیابی و رتبه‌بندی کند. مدل پیشنهادی با ترکیب این روش با روش ANP، بر این نقص غلبه می‌کند.

روش تاپسیس یکی از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است که به‌دلیل در نظرگرفتن هم‌زمان راه حل ایده‌آل مثبت و راه حل ایده‌آل منفی، همچنین سادگی در روش محاسباتی به‌طور گسترده مورد پذیرش قرار گرفته است.[2] روش تاپسیس بر این منطق استوار است که گزینه‌ی ایده‌آل مثبت دارای بالاترین سطح و گزینه‌ی ایده‌آل منفی دارای پایین‌ترین سطح در تمامی شاخص‌هاست.[2] بنابراین ترکیب این روش با دو روش قبل منجر به انتخاب ایده‌آل‌ترین تأمین‌کننده با کم‌ترین ریسک زنجیره‌ی تأمین می‌شود، و لذا رتبه‌بندی دقیق‌تری از تأمین‌کنندگان ارائه می‌دهد.

در دنیای واقعی اکثر تصمیم‌گیری‌های افراد دارای عدم‌قطعیت است، خصوصاً در مواردی که پژوهش در فضای کیفی انجام شود و دانش دارای ابهام و سربستگی باشد، اطلاعات را نمی‌توان با اعداد دقیق بیان کرد. بیشتر مدیران نیز نمی‌توانند عقیده و نظر خود را در قالب اعداد دقیق بیان کنند؛ بنابراین مدل‌سازی این‌گونه مسائل تحت شرایط عدم‌قطعیت می‌تواند به نتایج دقیق‌تری منجر شود.[2] مجموعه‌های فازی عدم‌قطعیت را به‌صورت اعداد فازی با درجه تعلق در بازه صفر و ۱ نشان می‌دهند. در اغلب موارد برای متخصصین و تصمیم‌گیرندگان تعیین این درجه‌ی تعلق دقیق بین صفر و ۱ دشوار است؛ بنابراین نشان‌دادن این درجه تعلق به‌صورت یک بازه می‌تواند بسیار اثربخش باشد و منجر به ایجاد نتایج دقیق‌تری می‌شود. همچنین برخی از نویسندگان معتقدند اعداد فازی به‌خوبی نمی‌توانند بر عدم قطعیت موجود در متغیرهای زبانی غلبه کنند. اعداد فازی بازه‌یی می‌توانند عبارات کلامی را با تخمین دقیق‌تری نسبت به اعداد قطعی و اعداد فازی نشان دهند و توانایی بیشتری در کاهش اثر عدم قطعیت نظرات خبرگان دارند.[4] از آنجا که اطلاعات ورودی مدل پیشنهادی به‌صورت متغیر زبانی و با استفاده از نظر خبرگان به دست آمده، در رویکرد پیشنهادی برای غلبه بر ابهامات موجود در متغیرهای زبانی از اعداد فازی بازه‌یی مثلثی استفاده شده است.

در نوشتار حاضر مدلی برای انتخاب تأمین‌کنندگان با کم‌ترین ریسک زنجیره‌ی تأمین در دنیای واقعی ارائه شده که در شرکت فولاد لرستان پیاده‌سازی می‌شود. این مدل شامل ترکیبی از فرایند تحلیل شبکه‌یی فازی بازه‌یی (IVF-ANP)[5] برای محاسبه‌ی وزن شاخص‌های ریسک صنعت فولاد، روش FMEA فازی بازه‌یی (IVF-FMEA)[6] برای رتبه‌بندی شاخص‌های ریسک تأمین‌کنندگان، و روش تاپسیس فازی بازه‌یی (IVF-TOPSIS)[7] برای رتبه‌بندی نهایی تأمین‌کنندگان شرکت فولاد لرستان است. از مهم‌ترین نوآوری‌های این نوشتار می‌توان اشاره کرد به:

۱. ارائه‌ی نخستین ترکیب از مدل‌های فرایند تحلیل شبکه فازی بازه‌یی و روش تاپسیس فازی بازه‌یی برای مسئله‌ی انتخاب تأمین‌کننده تحت شرایط ریسک.

۲. مدل‌سازی مسئله تحت شرایط عدم قطعیت فازی بازه‌یی.

در ادامه این نوشتار، ابتدا در بخش ۲ مروری خواهیم داشت بر ادبیات انتخاب تأمین‌کننده؛ و سپس در بخش ۳ مفاهیم اولیه‌ی نظریه‌ی فازی بازه‌یی بیان شده است. در بخش ۴ رویکرد پیشنهادی تشریح می‌شود و سپس بخش ۵ به مطالعه‌ی موردی در شرکت فولاد لرستان اختصاص دارد. در بخش ۶ تحلیل نتایج و اعتبارسنجی ارائه شده و نهایتاً بخش ۷ به نتیجه‌گیری و پیشنهادات آتی اختصاص یافته است.

۲. مرور ادبیات

مرور این مطلب شامل سه بخش است: ۱. مطالعات انجام‌شده در زمینه‌ی مدیریت ریسک زنجیره‌ی تأمین، ۲. مطالعات انجام‌شده در زمینه‌ی انتخاب تأمین‌کنندگان، ۳. مطالعات انجام‌شده در زمینه‌ی عدم قطعیت فازی بازه‌یی.

۱.۲. مطالعات انجام شده در زمینه‌ی مدیریت ریسک زنجیره‌ی تأمین

ابزار و روش‌های مختلفی برای ارزیابی و مدیریت ریسک‌های زنجیره‌ی تأمین وجود دارد. در ادامه به‌اختصار به برخی از مهم‌ترین این روش‌ها اشاره می‌کنیم. چونهر و همکاران به بررسی چگونگی ارزیابی ریسک‌های زنجیره‌ی تأمین و چگونگی تصمیمات منبع‌یابی در یک شرکت آمریکایی پرداختند و با استفاده از روش AHP به ارزیابی وزن اهداف اصلی و اهداف فرعی پرداختند.[5] تان و هویین برای بررسی آسیب‌پذیری زنجیره‌ی تأمین و شناسایی عوامل اصلی ریسک‌های زنجیره‌ی تأمین از ماتریس تأثیر ـ احتمال برای ارزیابی ریسک‌های زنجیره‌ی تأمین داخلی و خارجی استفاده کردند.[6] تبریزی و رمزی یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح برای مدیریت ریسک زنجیره‌ی تأمین در طراحی شبکه‌های زنجیره‌ی تأمین ارائه کردند.[7] کورکویس و همکاران از روش FMEA برای ارزیابی ریسک زنجیره‌ی تأمین استفاده کردند.[8] منگلا و همکاران از روش AHP فازی برای ارزیابی ریسک زنجیره‌ی تأمین استفاده کردند.[9]

۲.۲. مطالعات انجام شده در زمینه‌ی انتخاب تأمین‌کنندگان

تصمیم‌گیری برمبنای یکسری شاخص‌ها صورت می‌گیرد، انتخاب تأمین‌کنندگان نیز یک نوع تصمیم‌گیری است؛ و باید بر مبنای یکسری شاخص صورت گیرد. مطالعات انجام شده در زمینه انتخاب تأمین‌کننده معیارهایی را برای ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان در نظر گرفتند، به‌عنوان مثال: دیکسون چهار معیار کلی شامل کیفیت، قابلیت تحویل‌پذیری، سیاست‌های گارانتی برای انتخاب تأمین‌کنندگان معرفی کرد.[10] زیا و همکاران و لیاوو و همکاران در تحقیقات‌شان روی سه معیار قیمت، کیفیت و زمان تحویل برای انتخاب تأمین‌کنندگان تأکید کردند.[11و12] هو و همکاران به بررسی مطالعات انجام شده از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۸ پرداختند و به این نتیجه

رسیدند که مهم‌ترین معیارهای مورد استفاده در این مقالات عبارت است از: کیفیت، هزینه/قیمت، بهره‌وری، خدمات مدیریت، و تکنولوژی.[۱۳] چن و وو شش معیار هزینه، کیفیت، تحویل، بهره‌وری، تکنولوژی و خدمات را به‌عنوان معیار انتخاب تأمین‌کنندگان تحت شرایط ریسک انتخاب کردند.[۱] همانطورکه مرور مقالات قبل نشان می‌دهد بسیاری از محققان هزینه، کیفیت، تحویل و خدمات را به‌عنوان معیار برای انتخاب تأمین‌کنندگان در نظر گرفتند. علاوه بر این، چن و وو در مقاله خود ثابت کردند که دو معیار بهره‌وری و تکنولوژی نیز از جمله مهم‌ترین معیارهای انتخاب تأمین‌کنندگان تحت شرایط ریسک هستند؛ بنابراین ما در این مقاله شش معیار فوق را برای ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان تحت شرایط ریسک در نظر می‌گیریم.[۱]

نقص‌های وارده از سوی تأمین‌کنندگان به‌عنوان ریسک‌های تأمین‌کنندگان تلقی می‌شوند. تولیدکنندگان باید تأثیر هریک از این نقص‌ها را ارزیابی کنند. همچنین مناسب‌ترین روش ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان تحت شرایط ریسک روشی است که تأمین‌کننده با کم‌ترین ریسک را انتخاب می‌کند.[۱] با وجود اینکه بسیاری از محققان مطالعاتی در زمینه ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان انجام داده‌اند، مطالعات معدودی به ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان تحت شرایط ریسک پرداخته‌اند.[۱] چان وکومار از روش تحلیل سلسله‌مراتبی توسعه داده شده فازی (FEAHP)[۸] برای حل مسئله انتخاب تأمین‌کننده جهانی با توجه به عوامل ریسک استفاده نمودند.[۱۴] کانگ و همکاران برای ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان یک شرکت مونتاژ قطعات کامپیوتری، یک روش ANP فازی را با در نظرگرفتن شاخص‌های ریسک تأمین‌کنندگان ارائه دادند.[۱۵] زیا و همکاران به ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان تحت شرایط ریسک با در نظرگرفتن عوامل ریسک عملیاتی تأمین‌کنندگان پرداختند. آن‌ها یک مدل شامل ترکیبی از نقشه‌های شناختی فازی (FCM)[۹] و مدل مجموعه‌های فازی برای حل مسئله انتخاب تأمین‌کنندگان ارائه کردند.[۱۶] چن و وو در زمینه انتخاب تأمین‌کنندگان در شرایط ریسک یک مدل FMEA اصلاح‌شده ارائه دادند که در این روش وزن معیارها با استفاده از روش AHP محاسبه شده است.[۱] لی و زانگ از روش FMEA در ارزیابی ریسک تأمین‌کنندگان در زنجیره‌ی تأمین جهانی استفاده کردند.[۳]

۳.۲. عدم‌قطعیت فازی بازه‌یی

مدل مجموعه‌های فازی برای اولین بار توسط گورزلشنی[۱۷] و تارکسن[۱۸] استفاده شد. همچنین کورنلیس و همکاران[۱۹] و کارنیک و مندل دلایلی برای استفاده از این اعداد برای غلبه بر عدم‌قطعیت متغیرهای زبانی و همچنین دلایلی بر عدم توانایی اعداد فازی معمولی برای غلبه بر عدم‌قطعیت متغیرهای زبانی ارائه کردند.[۲۰] وانگ و لی تعاریفی را برای اعداد فازی بازه‌یی ارائه کردند و عملیات ریاضی مربوط به آن‌ها را توسعه دادند.[۲۱] آشتیانی و همکاران مدل تاپسیس را با استفاده از مجموعه اعداد فازی بازه‌یی توسعه دادند.[۲۲] وحیدی و همکاران روش ویکور را با استفاده اعداد فازی بازه‌یی توسعه دادند.[۲۳] وحیدی و همکاران روش ترکیبی ANP فازی بازه‌یی و روش تاپسیس فازی بازه‌یی ارائه دادند. همچنین مدل ارائه شده را برای رتبه‌بندی شرکت‌های بیمه پیاده‌سازی کردند.[۳] راشید و همکاران یک مدل تاپسیس فازی بازه‌یی مبتنی بر تصمیم‌گیری گروهی و اعداد فازی بازه‌یی ذوزنقه‌یی ارائه کردند.[۲۴]

همان‌طورکه از ادبیات مطلب برمی‌آید مطالعات معدودی به ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان تحت شرایط ریسک پرداخته‌اند. علاوه بر این مدل‌سازی این نوع مسئله تحت عدم‌قطعیت فازی بازه‌یی در هیچ کدام از مطالعات انجام‌شده در زمینه ارزیابی ریسک تأمین‌کنندگان مشاهده نشد؛ در حالی که استفاده از اعداد فازی بازه‌یی در مدل‌سازی مسائل تصمیم‌گیری منجر به ایجاد نتایج دقیق‌تری نسبت به مدل‌سازی در مسئله در فضای قطعی و همچنین در مدل‌سازی در فضای عدم‌قطعیت فازی می‌شود. علاوه بر این مدل پیشنهادشده در هیچ کدام از مطالعات انجام‌شده مشاهده نشد. این مدل ویژگی‌های روش‌های ANP، FMEA و TOPSIS به‌ترتیب شامل در نظرگرفتن اثر متقابل بین شاخص‌های ریسک، رتبه‌بندی بر مبنای سطح ریسک و رتبه بر مبنای نزدیکی به گزینه‌ی ایده‌آل به‌طور همزمان در نظر می‌گیرد. همچنین این مدل وجود عدم‌قطعیت فازی بازه‌یی در داده‌های مورد استفاده را نیز در نظر می‌گیرد که در هیچ‌کدام از مدل‌های ارائه‌شده در زمینه‌ی انتخاب تأمین‌کنندگان تحت شرایط ریسک این ویژگی‌ها به‌طور همزمان لحاظ نشده است.

۳. مفاهیم نظریه‌ی فازی بازه‌یی

برمبنای تعاریف بیان‌شده،[۱۷] یک مجموعه‌ی فازی بازه‌یی در فاصله‌ی $(-\infty, +\infty)$ چنین تعریف می‌شود:

$$A = \left\{x, \left[\mu_A^L(x), \mu_A^U(x)\right]\right\}$$
$$\mu_A^L, \mu_A^U : X \rightarrow [0, 1] \qquad \forall x \in X \qquad \mu_A^L \leq \mu_A^U$$
$$\tilde{\mu}_A(x) = [\mu_A^L(x), \mu_A^U(x)]$$
$$A = \{(x, \tilde{\mu}_A(x))\}, \qquad x \in (-\infty, +\infty) \qquad (1)$$

که در آن $\mu_A^L(x)$ حد پایین درجه عضویت و $\mu_A^U(x)$ حد بالای درجه عضویت است. اگر دو عدد فازی بازه‌یی به‌صورت $N_x = [N_x^-; N_x^+]$ و $M_y = [M_y^-; M_y^+]$ باشند آنگاه:

تعریف ۱. اگر $(+, -, \times, \div) \in \cdot$، آنگاه داریم $N \cdot M(x \cdot y) = [N_x^- \cdot M_x^-; N_x^+ \cdot M_x^+]$ و برای اعداد غیر فازی مثبت (v) داریم $v \cdot M(x, y) = [v \cdot M_y^-; v.M_y^+]$.

تعریف ۲. اشتراک دو عدد فازی بازه‌یی مطابق با بیان گورزلشنی با حداقل حدود بالا و پایین در فاصله تابع عضویت آن‌ها تعریف می‌شود.[۱۷] اگر دو بازه بین $[0, 1]$ باشد و $N_x = [N_x^-; N_x^+] \subset [0, 1]$ و $M_y = [M_y^-; M_y^+] \subset [0, 1]$ باشد، کمینه‌ی بین این دو بازه برابر است با:

$$K = \text{MIN}(N_x, M_y) = [\text{MIN}(N_x^-, M_y^-), \text{MIN}(N_x^+, M_x^+)]$$

تعریف ۳. اجتماع دو عدد فازی بازه‌یی مطابق با بیان گورزلشنی بیشینه حدود بالا و پایین در فاصله‌ی تابع عضویت آن‌ها تعریف می‌شود.[۱۷] اگر دو بازه بین $[0, 1]$ باشد و $N_x = [N_x^-; N_x^+] \subset [0, 1]$ و $M_y = [M_y^-; M_y^+] \subset [0, 1]$، بیشینه‌ی بین این دو بازه برابر است با:

$$K = \text{MIN}(N_x, M_y) = [\text{MIN}(N_x^-, M_y^-), \text{MIN}(N_x^+, M_x^+)]$$

تعریف ۴. اگر $\tilde{N}$ و $\tilde{M}$ دو عدد فازی بازه‌یی باشند که چنین نشان داده شوند:

$$\tilde{N} = [(N_1, N_1'); N_2; (N_2', N_3)]$$
$$\tilde{M} = [(M_1, M_1'); M_2; (M_2', M_3)]$$

این دو عدد چنین به عدد قطعی تبدیل می‌شوند:

$$h(\tilde{N}) = \frac{N_1 + N_1' + 2N_2 + N_3' + N_3}{6}$$

$$h(\tilde{M}) = \frac{M_1 + M_1' + 2M_2 + M_3' + M_3}{6}$$

و برای مقایسه‌ی این دو عدد:

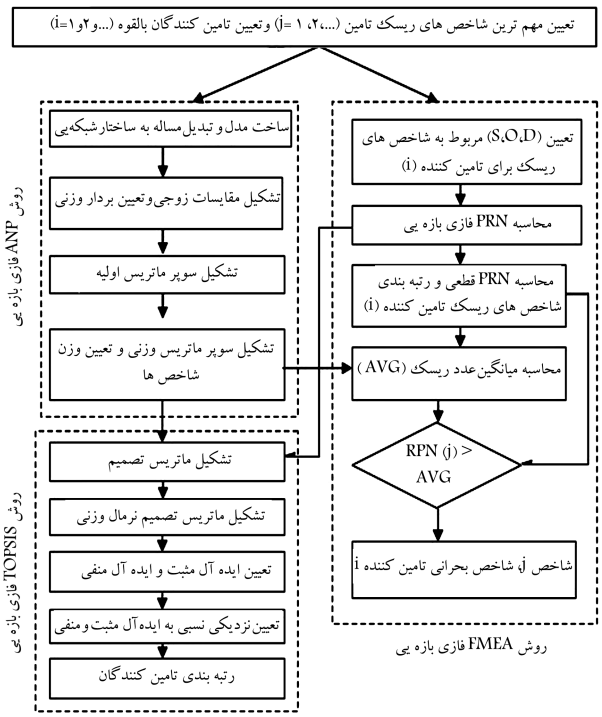
$$\tilde{N} > \tilde{M} \quad \text{if} \quad h(\tilde{N}) > h(\tilde{M})$$

۴. رویکرد پیشنهادی

روش پیشنهادی ارائه‌شده در این مقاله شامل سه مرحله‌ی اصلی محاسبه‌ی وزن معیارها، رتبه‌بندی عوامل ریسک و رتبه‌بندی نهایی تأمین‌کنندگان است. نمای کلی مدل پیشنهادی در شکل ۱ نشان داده شده است. گام‌های روش پیشنهادی در این مقاله عبارت است از:

گام ۱. محاسبه‌ی وزن‌ها با استفاده از فرایند تحلیل شبکه‌یی فازی بازه‌یی (IVF-ANP): روش ANP حالت کلی‌تری از روش AHP است و مزیت آن نسبت به AHP این است که علاوه بر در نظر گرفتن ساختار سلسله‌مراتبی، وابستگی‌های متقابل بین معیارها را نیز در نظر می‌گیرد. در این روش باید علاوه بر مقایسات زوجی صورت گرفته با توجه به سلسله‌مراتب سیستم، مقایسات زوجی دیگری با توجه به ساختار شبکه‌یی سیستم صورت گیرد.[۲۵،۲]

در مسائل تصمیم‌گیری فازی، رتبه‌بندی و وزن نسبی معمولاً به‌وسیله‌ی اعداد فازی مشخص می‌شود. اعداد فازی از مجموعه‌های فازی به دست می‌آید که به‌وسیله‌ی بازه‌یی از اعداد قطعی که مقدار عضویت هریک از آن‌ها بین صفر و ۱ است، تعریف می‌شوند. با توجه به این که در بعضی موارد تعیین مقدار دقیق



شکل ۱. رویکرد پیشنهادی.

آن‌ها بسیار دشوار است، مقدار عضویت آن‌ها را می‌توان به‌صورت یک بازه نشان داد.[۴] از آنجا که اطلاعات مورد استفاده در روش پیشنهادی با استفاده از نظر خبرگان و به‌صورت متغیرهای زبانی جمع‌آوری می‌شود، این متغیرها به اعداد فازی بازه‌یی مثلثی برای استفاده در مدل تبدیل می‌شوند. در جدول ۱ مقیاس زبانی مورد استفاده در روش IVF-ANP ارائه شده است.

گام‌های فرایند تحلیل شبکه‌یی فازی بازه‌یی در مدل پیشنهادی عبارت است از:

گام ۱.۱. ساخت مدل و تبدیل مسئله به ساختار شبکه‌یی: در این مرحله باید مسئله به یک مدل شبکه‌یی تبدیل شود. این ساختار شبکه‌یی را می‌توان با استفاده از نظر خبرگان و از طریق روش طوفان مغزها، روش دلفی، یا روش گروه اسمی به دست آورد. این ساختار شبکه‌یی شامل گروه‌هایی به‌نام «خوشه» است که عناصر درون آن ممکن است با یک یا تمامی عناصر سایر خوشه‌ها در ارتباط باشد؛ این حالت را «وابستگی بیرونی» نامیده‌اند. همچنین ممکن است عناصر یک خوشه بین خودشان نیز ارتباط متقابل داشته باشند که آن را «وابستگی درونی» نامیده‌اند.[۲۶]

گام ۲.۱. تشکیل ماتریس مقایسات زوجی و تعیین بردار وزنی: در این مرحله باید علاوه بر مقایسات زوجی که در روش AHP با توجه به ساختار سلسله‌مراتبی صورت می‌گیرد، یک سری مقایسات زوجی دیگر نیز با توجه به ساختار شبکه‌یی مدل صورت گیرد و بردار وزنی مربوط به ماتریس مقایسات زوجی نیز محاسبه شود. اگر $\tilde{X} = [x_{ij}]_{n\times m}$ یک ماتریس تصمیم برای مسئله باشد که در آن $A_1, A_2, ..., A_n$، بیانگر n گزینه احتمالی باشند. (سطرهای ماتریس) و $C_1, C_2, ..., C_m$، بیانگر m معیار مساله باشد (ستون‌های ماتریس) بنابراین عملکرد گزینه A_j مربوط به معیار C_j با $\tilde{x}_{ij}$ نشان داده می‌شود (درایه مربوط به سطر iام و ستون jام). می‌توان متغیرهای $\tilde{x}_{ij}$ و $\tilde{w}_{ij}$ را به‌صورت اعداد فازی بازه‌یی، به صورت $\tilde{x} = [(x_1, x_1'); x_2; (x_2', x_3)]$ نشان داد. توجه داشته باشید که با استفاده از اعداد فازی بازه‌یی متخصصین می‌توانند حد بالا و پایین را به‌عنوان یک بازه در نظر بگیرند. همچنین در تصمیم‌گیری گروهی با k تصمیم‌گیرنده اهمیت گزینه‌ها و رتبه‌بندی گزینه‌ها درمورد هریک از معیارها با استفاده از روابط ۲ و ۳ به دست می‌آید:

$$\tilde{x}_{ij} = \frac{1}{k}[\tilde{x}_{ij}^1 + \tilde{x}_{ij}^2 + ... + \tilde{x}_{ij}^k] \qquad (۲)$$

$$\tilde{w}_{ij} = \frac{1}{k}[\tilde{w}_{ij}^1 + \tilde{w}_{ij}^2 + ... + \tilde{w}_{ij}^k] \qquad (۳)$$

که در آن $\tilde{x}_{ij}$ و $\tilde{w}_{ij}$ میانگین به دست آمده از نظر خبرگان است؛ علامت (+) بیانگر جمع است و از آنجا که اعداد به کار برده شده اعداد فازی بازه‌یی هستند، نتایج حاصل به‌صورت اعداد فازی بازه‌یی بیان شده است. در مقایسات زوجی بین شاخص‌ها، تصمیم‌گیرنده (DM)[۱۰] از متغیرهای زبانی استفاده می‌کند که می‌توان با توجه به جدول ۱ آن را به اعداد فازی

جدول ۱. مقیاس فازی بازه‌یی برای متغیرهای زبانی در روش IVF-ANP.

متغیر زبانی	مقیاس فازی بازه‌یی
اهمیت برابر (VL)	[(۰٫۰۵, ۰٫۰۵); ۰٫۰۵; (۰٫۱۵, ۰٫۲)]
اهمیت متوسط (MI)	[(۰٫۰۵, ۰٫۱); ۰٫۱۵; (۰٫۳, ۰٫۴)]
اهمیت زیاد (SI)	[(۰٫۰۵, ۰٫۲); ۰٫۳۵; (۰٫۵, ۰٫۶)]
اهمیت بسیار زیاد (VSI)	[(۰٫۳, ۰٫۴); ۰٫۵۵; (۰٫۷, ۰٫۸)]
اهمیت فوق‌العاده زیاد (EI)	[(۰٫۵, ۰٫۶); ۰٫۷۵; (۰٫۸۵, ۱)]

$$\tilde{A}=\begin{bmatrix} [(1,1);1;(1,1)] & [(a_{112},a'_{112});a_{212};(a'_{312},a_{312})] & \dots & [(a_{11n},a'_{11n});a_{21n};(a'_{31n},a_{31n})] \\ [(\frac{1}{a_{312}},\frac{1}{a'_{312}});\frac{1}{a_{212}};(\frac{1}{a'_{112}},\frac{1}{a_{112}})] & [(1,1);1;(1,1)] & \dots & [(a_{12n},a'_{12n});a_{22n};(a'_{32n},a_{32n})] \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ [(\frac{1}{a_{31n}},\frac{1}{a'_{31n}});\frac{1}{a_{21n}};(\frac{1}{a'_{11n}},\frac{1}{a_{11n}})] & [(\frac{1}{a_{32n}},\frac{1}{a'_{32n}});\frac{1}{a_{22n}};(\frac{1}{a'_{12n}},\frac{1}{a_{12n}})] & \dots & [(1,1);1;(1,1)] \end{bmatrix} \quad (۴)$$

بازه‌یی مثلثی برای تعیین اولویت‌ها تبدیل کرد. ماتریس مقایسات زوجی با استفاده از اعداد فازی بازه‌یی مثلثی ایجاد می‌شود که این عدد فازی بازه‌یی به‌صورت $\tilde{x}=[(x_1,x'_1);x_2;(x'_2,x_2)]$ است. بنابراین ماتریس مقایسات فازی بازه‌یی مثلثی $m\times n$ را می‌توان به‌صورت معادله‌ی ۴ نشان داد. که در آن عنصر a_{mn} بیان‌گر مقایسه‌ی عضو m (عنصر سطر) و عضو n (عنصر ستون) است. اگر $\tilde{A}$ یک ماتریس مقایسات زوجی معکوس‌پذیر فرض شود، مقدار معکوس عنصر a_{mn} برابر با $1/a_{mn}$ است. ماتریس $\tilde{A}$ همچنین ماتریس مقایسات زوجی با اعداد فازی بازه‌یی مثلثی است. اگر $\tilde{w}_i$ به‌صورت $w=[(w_{1i},w'_{1i});w_{2i};(w'_{3i},w_{3i})]$ باشد که در آن $i=1,2,...,n$ آنگاه مقیاس (a_{ij}) در ماتریس مقایسات زوجی بیان‌گر اهمیت نسبی عضو سطر i نسبت به عضو ستون j است (یعنی $a_{ij}=\frac{w_i}{w_j}$). روش‌های مختلفی برای محاسبه‌ی درجه اولویت فازی وجود دارد. یکی از این روش‌ها، روش حداقل مربعات لگاریتمی است.[۲۷] در این روش وزن محلی معیارها و زیرمعیارها به‌صورت اعداد فازی بازه‌یی محاسبه می‌شود. با توجه به هدف روش پیشنهادی، وزن‌های مورد استفاده در روش تاپسیس فازی بازه‌یی فقط به‌صورت اعداد فازی بازه‌یی بیان می‌شود؛ بنابراین در این مقاله برای محاسبه‌ی وزن شاخص‌ها در ماتریس مقایسات زوجی از روش حداقل مربعات لگاریتمی استفاده می‌شود. همچنین اعداد مورد استفاده در این روش اعداد فازی بازه‌یی است. در روش IVF-ANP وزن نهایی معیارها با توجه به اثر متقابل بین معیارها محاسبه می‌شود. محاسبه‌ی وزن‌ها در روش حداقل مربعات لگاریتمی بازه‌یی فازی به‌صورت زیر است (معادله ۵ و ۶):

$$\tilde{w}_k=[(w_{1k},w'_{1k});w_{2k};(w'_{3k},w_{3k})] \quad (۵)$$

$$[(w_{1k},w'_{1k});w_{2k};(w'_{3k},w_{3k})]=\frac{(\prod_{j=1}^{n}[(a_{1kj},a'_{1kj});a_{2kj};(a'_{3kj},a_{3kj})]^{\frac{1}{n}}}{\sum_{i=1}^{n}(\prod_{j=1}^{n}[a_{2ij}])} \quad (۶)$$

گام ۳.۱. تشکیل سوپرماتریس اولیه: در این مرحله برای تعیین وزن نهایی معیارها و زیرمعیارها تمامی بردارهای وزنی محلی به دست آمده از مقایسات زوجی باید در یک ماتریس بخش‌بندی شده به‌نام سوپرماتریس قرار داده شود که هرکدام از بخش‌های این ماتریس بیان‌گر ارتباط بین دو خوشه در یک سیستم است:

$$W=\begin{matrix} \\ Goal \\ Ceriteria \\ Sub\ Ceriteria \\ Alternative \end{matrix}\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ w_{21} & w_{22} & 0 & 0 \\ 0 & w_{32} & w_{33} & 0 \\ 0 & 0 & w_{43} & I \end{bmatrix} \quad (۷)$$

در این معادله w_{21} بیان‌گر تأثیر معیارها بر هدف، w_{22} بیان‌گر تأثیر معیارها بر معیارها، w_{32} بیان‌گر تأثیر زیرمعیارها بر معیارها، w_{33} بیان‌گر تأثیر زیرمعیارها بر زیرمعیارها و w_{43} بیان‌گر تأثیر گزینه‌ها بر معیارهاست.[۲]

گام ۴.۱. تشکیل سوپرماتریس وزنی: در این مرحله سوپرماتریس به دست آمده باید به سوپرماتریس وزنی تبدیل شود. برای به دست آوردن سوپرماتریس موزون هریک از عناصر خوشه‌های ستونی سوپرماتریس ناموزون در بردار اهمیت نسبی آن خوشه باید ضرب شود. سوپرماتریس موزون به دست آمده تصادفی/احتمالی است؛ یعنی جمع عناصر ستونی آن یک است.[۲] در این مرحله بردارهای وزنی مربوط به هریک از عوامل ریسک به دست می‌آید که بیان‌گر وزن نهایی معیارها و زیرمعیارها با توجه به اثر متقابل بین آن‌هاست.

گام ۲. رتبه‌بندی عوامل ریسک تأمین‌کنندگان با استفاده از روش FMEA فازی بازه‌یی (IVF-FMEA): روش FMEA یکی از روش‌های ارزیابی ریسک است. این روش برای اولین‌بار در اواسط دهه‌ی ۱۹۶۰ در صنایع هوا و فضای آمریکا مورد استفاده قرار گرفت.[۲۸و۳] هدف این تکنیک شناسایی و رتبه‌بندی نقص‌ها و عیب‌های بالقوه است. در FMEA سه عامل وجود دارد که اولویت ریسک هریک از عوامل ریسک را تعیین می‌کند.[۱] این سه عامل با استفاده از نظر خبرگان به‌صورت متغیرهای زبانی تعیین می‌شود و با توجه به جدول ۲ به اعداد فازی بازه‌یی تبدیل می‌شود. اولین عامل شدت ریسک (s)[۱۱] است و آن جدیت اثر خرابی است. به‌عنوان مثال اگر کیفیت یک شاخص ریسک تأمین‌کننده باشد، چنانچه تأمین‌کننده تعداد بسیار زیادی مواد اولیه‌ی ناقص تحویل دهد، شدت اثر ریسک بسیار زیاد است و با متغیر (VH) نشان داده می‌شود؛ همچنین اگر تأمین‌کننده تعداد بسیارکمی مواد اولیه‌ی ناقص تحویل دهد شدت اثر ریسک بسیارکم و با متغیر (VL) نشان داده می‌شود. دومین عامل احتمال وقوع (O)[۱۲] است که احتمال وقوع ریسک را بیان می‌دارد؛ به‌عنوان مثال اگر تأمین‌کننده در بسیاری از موارد مواد اولیه‌ی ناقص تحویل دهد، احتمال وقوع ریسک بسیار زیاد است که با متغیر (VH) نشان داده می‌شود. اگر تأمین‌کننده در موارد بسیار نادری مواد اولیه‌ی ناقص تحویل دهد احتمال وقوع ریسک

جدول ۲. مقیاس تبدیل متغیرهای زبانی به اعداد فازی بازه‌یی در روش FMEA.

شدت اثر ریسک	اعداد فازی بازه‌یی
خیلی کم (VL)	[(۰, ۰); ۰; (۱, ۱/۵)]
کم (L)	[(۰, ۰/۵); ۱; (۲/۵, ۳/۵)]
نسبتاً کم (ML)	[(۰, ۱/۵); ۳; (۴/۵, ۵/۵)]
متوسط (M)	[(۲/۵, ۳/۵); ۵; (۶/۵, ۷/۵)]
نسبتاً زیاد (MH)	[(۴/۵, ۵/۵); ۷; (۸, ۹/۵)]
زیاد (H)	[(۵/۵, ۷/۵); ۹; (۹/۵, ۱۰)]
بسیار زیاد (VH)	[(۸/۵, ۹/۵); ۱۰; (۱۰, ۱۰)]

بسیار کم است و با (VL) نشان داده می‌شود. سومین عامل نرخ احتمال کشف ریسک (D)[۱۳] است و میزان احتمال این که ریسک وارده از سوی تأمین‌کننده توسط شرکت تولیدکننده کشف شود را بیان می‌دارد. در روش FMEA سنتی برای رتبه‌بندی عوامل ریسک از اعداد ریسک (RPN_S) استفاده می‌شود؛ این عدد از حاصل‌ضرب سه عامل D، O و S به دست می‌آید و هرکدام از عوامل ریسک که نرخ ریسک بالاتری دارد از اولویت بالاتری برخوردار است.[۱] از آنجا که اطلاعات مربوط به این سه عامل توسط خبرگان و به‌صورت متغیرهای زبانی جمع‌آوری می‌شود، در روش پیشنهادی غلبه بر ابهامات موجود در متغیرهای زبانی با استفاده از اعداد فازی بازه‌یی مثلثی برای ایجاد نتایج دقیق‌تر پیشنهاد شده است.

گام ۱.۲. تعیین سه عامل D، O و S برای هریک از عوامل ریسک تأمین‌کنندگان: در این مرحله باید برای هریک از تأمین‌کنندگان سه عامل D، O و S برای تمامی عوامل ریسک (زیرمعیارها) مربوط به تأمین‌کنندگان به‌صورت زبانی تعریف شود. این متغیرهای زبانی با استفاده از جدول ۲ به اعداد فازی بازه‌یی تبدیل می‌شوند.

گام ۲.۲. محاسبه‌ی عدد ریسک فازی: عدد ریسک فازی بازه‌یی در روش پیشنهادی از ضرب فازی بازه‌یی عوامل ریسک به دست می‌آید:

$$\mathrm{R\tilde{P}N} = \tilde{\mathrm{S}} \otimes \tilde{\mathrm{O}} \otimes \tilde{\mathrm{D}} \qquad (۸)$$

گام ۳.۲. تبدیل عدد ریسک فازی به عدد ریسک قطعی: پس از به دست آوردن عدد فازی RPN برای هر یک از عوامل ریسک، RPN فازی با استفاده از رابطه‌ی ۹ به عدد قطعی تبدیل می‌شود. برمبنای عدد ریسک به دست آمده، عوامل ریسک رتبه‌بندی می‌شود؛ عامل ریسکی که دارای RPN بالاتری است دارای اولویت بالاتری است و باید به آن‌ها توجه ویژه‌یی داشت. آن دسته از شاخص‌های ریسک که دارای عدد اولویت ریسک بالاتر از میانگین وزنی RPN هستند به‌عنوان شاخص ریسک بحرانی شناخته می‌شوند.

$$\mathrm{RPN}'(\tilde{M}) = \frac{M_1 + M_1' + 2M_2 + M_2' + M_3}{6} \qquad (۹)$$

گام ۳. رتبه‌بندی نهایی تأمین‌کنندگان روش تاپسیس فازی بازه‌یی (IVF-TOPSIS): روش تصمیم‌گیری فازی بازه‌یی در پروژه‌هایی با گزینه‌ها و معیارهای متعدد کاربرد دارد. آشتیانی و همکاران برای اولین بار روش فازی بازه‌یی با استفاده از روش تاپسیس را توسعه دادند (IVF-TOPSIS).[۲۲] روش IVF-TOPSIS براساس این ایده که گزینه‌ی انتخابی باید کم‌ترین فاصله را با گزینه‌ی ایده‌آل مثبت (PIS) و بیشترین فاصله را با گزینه‌ی ایده‌آل منفی (NIS) داشته باشد، به حل مسائل تصمیم‌گیری می‌پردازد. بهترین گزینه نزدیک‌ترین گزینه به ایده‌آل مثبت است و بدترین گزینه نزدیک‌ترین گزینه به ایده‌آل منفی است. گام‌های روش IVF-TOPSIS در رویکرد پیشنهادی عبارت است از:

گام ۱.۳. تشکیل ماتریس تصمیم: در روش پیشنهادی ماتریس تصمیم از اعداد ریسک محاسبه شده در گام ۲.۳. به دست می‌آید به‌طوری که سطرهای این ماتریس عوامل ریسک (زیرمعیارها) و ستون‌های آن عدد ریسک مربوط به هرکدام از تأمین‌کنندگان است.

گام ۲.۳. نرمال‌سازی ماتریس تصمیم: اعداد فازی بازه‌یی

$$\tilde{X}_{ij} = [(a_{ij}, a'_{ij}); b_{ij}; (c'_{ij}, c_{ij})]$$

در ماتریس تصمیم‌گیری چنین نرمال می‌شود:

$$r_{ij} = [(\frac{a_{ij}}{c_j^+}, \frac{a'_{ij}}{c_j^+}); \frac{b_{ij}}{c_j^+}; \frac{c'_{ij}}{c_j^+}, \frac{c_{ij}}{c_j^+})]$$
$$i = 1, 2, ..., n \quad j \in \Omega_c \qquad c_j^+ = \mathop{\mathrm{Max}}_i c_{ij}, \quad j \in \Omega_b \qquad (۱۰)$$

$$r_{ij} = [(\frac{a_j^-}{a_{ij}}, \frac{a_j^-}{a'_{ij}}); \frac{a_j^-}{b_{ij}}; (\frac{a_j^-}{c'_{ij}}, \frac{a_j^-}{c_{ij}})]$$
$$i = 1, 2, ..., n \quad j \in \Omega_c \qquad a_j^- = \mathrm{Min}\, a_{ij}, \quad j \in \Omega_c \qquad (۱۱)$$

گام ۳.۳. محاسبه‌ی ماتریس تصمیم‌گیری وزنی: با توجه به اهمیت متفاوت معیارها ما می‌توانیم ماتریس تصمیم‌گیری فازی نرمال شده را به دست آوریم: $\tilde{v} = [\tilde{v}_{ij}]_{m\times n}$ که $\tilde{v} = [\tilde{r}_{ij} \times \tilde{w}_j]$ است. ضرب این دو عدد فازی بازه‌یی چنین نشان داده می‌شود:

$$\tilde{v}_{ij} = [(r_{1ij} \times w_{1j}, r'_{1ij} \times w_{1ij}), r_{2ij} \times w_{2ij}, (r'_{3ij} \times w'_{3ij},$$
$$r_{3ij} \times w_{3ij})] = [(g_{ij}, g'_{ij}), h_{ij}, (l'_{ij}, l_{ij})] \qquad (۱۲)$$

گام ۴.۳. تعیین راه‌حل ایده‌آل مثبت و منفی: در این مرحله گزینه‌ی ایده‌آل مثبت (A^+) و ایده‌آل منفی (A^-) تعیین می‌شود (معادله‌ی ۱۳ و ۱۴):

$$A^+ = [1, 1, ..., 1] \qquad (۱۳)$$
$$A^- = [0, 0, ..., 0] \qquad (۱۴)$$

گام ۵.۳. تعیین فاصله از ایده‌آل مثبت و ایده‌آل منفی: در اینجا فاصله‌ی گزینه‌ها از ایده‌آل مثبت A^+ و ایده‌آل منفی A^- با استفاده از معادلات ۱۵ و ۱۶ به دست می‌آید.

$$D^-(\tilde{N}, \tilde{M}) = \sqrt{\frac{1}{3}[\sum_{i=1}^{3}(N_{xi}^- - M_{xi}^-)^2]} \qquad (۱۵)$$

$$D^+(\tilde{N}, \tilde{M}) = \sqrt{\frac{1}{3}[\sum_{i=1}^{3}(N_{xi}^+ - M_{xi}^+)^2]} \qquad (۱۶)$$

از آنجا که $D^-(\tilde{N}, \tilde{M})$ و $D^+(\tilde{N}, \tilde{M})$ مقیاس فاصله‌ی اولیه و ثانویه‌اند، بنابراین فاصله‌ی گزینه‌ها از ایده‌آل مثبت با استفاده از روابط ۱۷ و ۱۸ محاسبه می‌شود:

$$D_{i1}^+ = \sum_{j=1}^{m} \sqrt{\frac{1}{3}[(g_{ij} - 1)^2 + (h_{ij} - 1)^2 + (l'_{ij} - 1)^2]} \qquad (۱۷)$$

$$D_{i2}^+ = \sum_{j=1}^{m} \sqrt{\frac{1}{3}[(g'_{ij} - 1)^2 + (h_{ij} - 1)^2 + (l_{ij} - 1)^2]} \qquad (۱۸)$$

به‌طور مشابه فاصله‌ی گزینه‌ها از ایده‌آل منفی از رابطه‌های ۱۹ و ۲۰ به دست می‌آید:

$$D_{i1}^{-} = \sum_{j=1}^{m} \sqrt{\frac{1}{3}[(g_{ij} - 0)^2 + (h_{ij} - 0)^2 + (l_{ij} - 0)^2]} \quad (19)$$

$$D_{i1}^{-} = \sum_{j=1}^{m} \sqrt{\frac{1}{3}[(g'_{ij} - 0)^2 + (h_{ij} - 0)^2 + (l'_{ij} - 0)^2]} \quad (20)$$

گام ۶.۳. تعیین نزدیکی نسبی گزینه‌ها به راه‌حل ایده‌آل: در این مرحله نزدیکی نسبی هریک از گزینه‌ها از ایده‌آل مثبت و ایده‌آل منفی به دست می‌آید، برای این کار از رابطه‌ی ۲۱ استفاده می‌شود:

$$RC_1 = \frac{D_{i1}^{-}}{D_{i1}^{+} + D_{i1}^{-}} \qquad RC_2 = \frac{D_{i2}^{-}}{D_{i2}^{+} + D_{i2}^{-}} \quad (21)$$

ارزش نهایی RC^* نیز چنین محاسبه می‌شود:

$$RC^* = \frac{RC_1 + RC_2}{2} \quad (22)$$

گام ۷.۳. رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها: در مرحله‌ی نهایی گزینه‌ها بر اساس RC^* رتبه‌بندی می‌شود و هر گزینه‌یی که RC^* بیشتری داشته باشد گزینه‌ی بهتری است.

۵. مطالعه‌ی موردی

در این بخش، نتایج حاصل از پیاده‌سازی مدل پیشنهادی در شرکت فولاد لرستان ارائه می‌شود. این شرکت یکی از تولیدکنندگان فولاد و صنایع فلزی در ایران است. محصولات این شرکت میلگرد، و مواد اولیه برای تولید این نوع محصولات شمش‌های فولادی در اندازه و ابعاد مختلف است. این شرکت مواد اولیه‌ی خود را از تأمین‌کنندگان مختلف داخلی و خارجی تأمین می‌کند. یکی از عمده‌ترین مشکلاتی که تولیدکنندگان فولاد با آن‌ها مواجه‌اند، مشکل تأمین مواد اولیه است. تأمین مواد اولیه با هزینه‌ی بالا منجر به افزایش هزینه‌های شرکت و به‌تبع آن منجر به ایجاد مشکلات مالی، افزایش قیمت تمام‌شده‌ی محصول و کاهش مزیت رقابتی شرکت می‌شود. علاوه بر این، تأخیر در تحویل مواد، منجر به مشکلات عدیده‌یی ازجمله توقف خط تولید و برآورده نساختن تقاضای مشتریان می‌شود. همچنین انتخاب مواد اولیه‌ی نامناسب منجر به ایجاد مشکلاتی ازجمله تولید محصول معیوب، افزایش هزینه‌های مواد زائد و... می‌شود. بنابراین برای این شرکت انتخاب تأمین‌کننده‌یی که دارای محصولات با هزینه‌ی پایین و کیفیت مناسب باشد از اهمیت ویژه‌یی برخوردار است. درنتیجه، انجام مطالعات مناسب در زمینه‌ی انتخاب تأمین‌کننده‌ی مناسب و دارای کم‌ترین ریسک از جمله ریسک هزینه، ریسک کیفیت، ریسک تحویل و سایر ریسک‌های زنجیره‌ی تأمین، می‌تواند به حل مشکلات تأمین شرکت فولاد کمک کند. با مصاحبه‌هایی که با کارشناسان خرید این شرکت صورت گرفت، ۵ تأمین‌کننده برای تأمین مواد اولیه‌ی این شرکت در نظر گرفته شد. با توجه به محرمانه بودن اطلاعات تأمین‌کنندگان آن‌ها را با A_1، A_2، A_3، A_4 و A_5 اسم‌گذاری می‌کنیم. با بررسی ادبیات مطلب و نظرسنجی از کارشناسان خرید شرکت فولاد ۱۶ عامل ریسک برای انتخاب تأمین‌کنندگان با کم‌ترین ریسک برای شرکت صدر فولاد شناسایی شد که به ۶ دسته تقسیم‌بندی می‌شوند. گام‌های مدل پیشنهادی برای ارزیابی و رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان شرکت فولاد در زیر آمده است:

گام ۱. محاسبه‌ی وزن‌ها با استفاده از فرایند تحلیل شبکه‌یی فازی بازه‌یی (IVF-ANP): گام‌های روش ANP فازی بازه‌یی شده به‌صورت خلاصه به‌صورت زیر است:

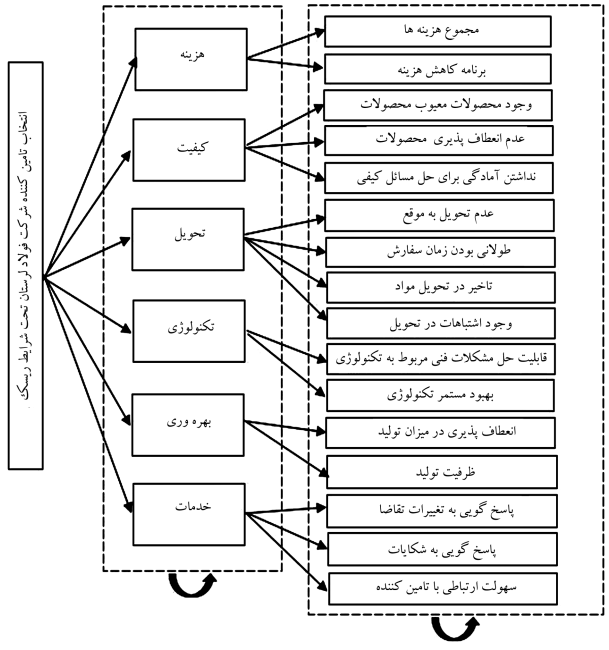
گام ۱.۱. ساخت مدل و تبدیل مسئله به ساختار شبکه‌یی: پس از تعیین مهم‌ترین عوامل ریسک انتخاب تأمین‌کننده با نظرسنجی از کارشناسان صنعت فولاد با استفاده از روش مصاحبه و طوفان فکری، مدل شبکه‌یی برای انتخاب تأمین‌کنندگان صنعت فولاد تعیین شده است (شکل ۲). چنان‌که در شکل ۲ مشاهده می‌کنید بین شاخص‌ها ارتباطات بیرونی برقرار است. در جدول ۳ ارتباطات داخلی بین معیارها نشان داده شده است. در این جدول تأثیر معیار سطر iام بر معیار ستون jام با علامت * مشخص می‌شود. به‌عنوان مثال معیارهای تأثیرگذار بر معیار کیفیت معیارهای هزینه و تکنولوژی است. در جدول ۴ نیز ارتباطات داخلی بین زیرمعیارها نشان داده شده است.

گام ۲.۱. تشکیل ماتریس مقایسات زوجی و تعیین بردار وزنی: مقایسات زوجی زبانی معیارها نسبت به هدف، معیارها نسبت به معیار، زیرمعیارها نسبت به معیار و زیرمعیارها نسبت معیار به‌عنوان نمونه در جداول ۵ تا ۸ نشان داده شده است.

گام ۳.۱. تشکیل سوپرماتریس اولیه: در این مرحله تمامی بردارهای وزنی

جدول ۳. ارتباط داخلی بین معیارها.

	C	Q	D	T	P	S
C	*	*		*		
Q	*					
D			*			
T	*	*	*	*	*	
P	*				*	*
S	*					*



شکل ۲. مدل شبکه‌یی برای انتخاب تأمین‌کننده تحت شرایط ریسک.

جدول ۴. ارتباط داخلی بین زیرمعیارها.

	C_1	C_2	Q_1	Q_2	Q_3	D_1	D_2	D_3	D_4	T_1	T_2	P_1	P_2	S_1	S_2	S_3	S_4
C_1																	
C_2	*			*						*	*						
Q_1	*	*															
Q_2		*													*		
Q_3					*												
D_1							*	*									
D_2	*					*		*									
D_3						*	*										
D_4		*	*			*	*	*	*								
T_1			*								*	*	*				*
T_2	*							*					*		*		
P_1	*																
P_2	*	*															
S_1	*	*														*	
S_2		*			*												
S_3	*				*									*	*		

جدول ۵. مقایسات زوجی معیارها نسبت به هدف با استفاده از متغیرهای زبانی.

هدف	هزینه (C)	کیفیت (Q)	قابلیت تحویل (D)	تکنولوژی (T)	بهره‌وری (P)	خدمات (S)
هزینه (C)	۱	SI,MI,MI	EI,MI,EI	SI,MI,SI	MI,EI,MI	SI,MI,MI
کیفیت (Q)		۱	VL,VL,VL	MI,EI,EI	MI,MI,VL	EI,MI,EI
تحویل (T)			۱	MI,SI,SI	EI,MI,MI	MI,MI,MI
تکنولوژی (T)				۱	MI,MI,M	VL,VL,VL
بهره‌وری (P)					۱	SI,MI,MI
خدمات (S)						۱

جدول ۶. مقایسات زوجی معیارها نسبت به هزینه با استفاده از متغیرهای زبانی.

هزینه (C)	هزینه (Q)	کیفیت (Q)	تکنولوژی (T)	بهره‌وری (P)	خدمات (S)
هزینه (Q)	۱	MI,MI,MI	VL,MI,MI	SI,SI,SI	SI,SI,VSI
تحویل (D)		۱	VL,VL,VL	MI,EI,EI	MI,MI,SI
تکنولوژی (T)			۱	MI,VL,VL	SI,SI,SI
بهره‌وری (P)				۱	VL,VL,MI
خدمات (S)					۱

جدول ۷. مقایسات زوجی زیرمعیارها نسبت به معیارکیفیت با استفاده از متغیرهای زبانی.

کیفیت	وجود محصول معیوب	عدم انعطاف‌پذیری محصولات	نداشتن آمادگی برای حل مسائل کیفی
وجود محصول معیوب	۱	SI,SI,SI	SI,MI,MI
عدم انعطاف‌پذیری محصولات		۱	MI,SI,SI
نداشتن آمادگی برای حل مسائل کیفی			۱

جدول ۸. مقایسات زوجی زیرمعیارها نسبت به زیر معیار تحویل به‌موقع (D_1) با استفاده از متغیرهای زبانی.

تحویل به‌موقع (D_1)	طولانی بودن زمان سفارش (D_2)	تأخیر در تحویل مواد (D_3)	وجود اشتباهات در تحویل (D_4)
زمان سفارش (D_2)	۱	VL,MI,VL	VL,VL,MI
تأخیر در تحویل مواد (D_3)		۱	MI,SI,MI
وجود اشتباهات در تحویل (D_4)			۱

جدول ۹. وزن معیارها و زیرمعیارهای به دست آمده از روش IVF-ANP.

عامل	وزن	عامل	وزن
C	[(۰٫۰۰۷۴, ۰٫۰۱۰۸); ۰٫۰۱۳۶; (۰٫۰۳۱۲, ۰٫۰۴۸۷)]	D_1	[(۰, ۰٫۰۰۰۱); ۰۰٫۰۰۰۴; (۰۰٫۰۰۱۹, ۰۰٫۰۰۸)]
Q	[(۰٫۰۰۰۶, ۰٫۰۰۱۵); ۰٫۰۰۳۴; (۰٫۰۰۵۳, ۰٫۰۰۸۶)]	D_2	[(۰٫۰۰۰۲, ۰٫۰۰۰۹); ۰٫۰۰۳۳; (۰٫۰۰۸۶, ۰٫۰۲۹۸)]
D	[(۰٫۰۰۰۶, ۰٫۰۰۲۴); ۰٫۰۰۶; (۰٫۰۱۱, ۰٫۰۱۹۳)]	D_3	[(۰, ۰); ۰٫۰۰۰۳; (۰٫۰۰۱۷, ۰٫۰۰۴۴)]
T	[(۰٫۲۱۹۴, ۰٫۲۴); ۰٫۰٫۵۵۶۲; (۱٫۰۹۴۳, ۳٫۲۳۷۷)]	D_4	[(۰٫۰۰۰۱, ۰٫۰۰۰۳); ۰٫۰۰۱۴; (۰٫۰۱۱۴, ۰٫۰۴۲۶)]
P	[(۰٫۰۱۰۴, ۰٫۰۱۱۶); ۰٫۰۲۷۸; (۰٫۰۵۴, ۰٫۱۰۴۳)]	T_1	[(۰٫۰۳۴۲, ۰٫۰۶۴۷); ۰٫۵۱۷۶; (۲٫۴۲۳۷, ۴۱٫۱۲۶۳)]
S	[(۰٫۱۲۰۸, ۰٫۱۴۷); ۰٫۳۹۳۹; (۰٫۸۲۹۶, ۲٫۴۸۳)]	T_2	[(۰٫۰۳۶۵, ۰٫۰۵۵۸); ۰٫۲۴۴۸; (۱٫۸۸۴۱, ۷٫۷۰۶)]
C_1	[(۰, ۰); ۰; (۰, ۰)]	P_1	[(۰٫۰۰۲۵, ۰٫۰۰۴۴); ۰٫۰۲۵۶; (۰٫۱۳۹۸, ۲٫۴۱۲۵)]
C_2	[(۰٫۰۰۲۷, ۰٫۰۸۹); ۰٫۰۴۳۱; (۰٫۱۷۸۱, ۱٫۲۳۱۱)]	P_2	[(۰٫۰۰۰۱, ۰٫۰۰۰۴); ۰٫۰۰۱۸; (۰٫۰۰۸۱, ۰٫۰۳۳۲)]
Q_1	[(۰, ۰); ۰; (۰٫۰۰۰۱, ۰٫۰۰۰۲)]	S_1	[(۰٫۰۰۰۲, ۰٫۰۰۰۶); ۰٫۰۰۲۷; (۰٫۰۰۹۷, ۰٫۰۶۳۸)]
Q_2	[(۰, ۰); ۰; (۰, ۰)]	S_2	[(۰٫۰۰۰۵, ۰٫۰۰۱۲); ۰٫۰۰۸۱; (۰٫۰۲۶۶, ۰٫۱۴۱)]
Q_3	[(۰, ۰); ۰; (۰, ۰)]	S_4	[(۰٫۰۰۴۲, ۰٫۰۱۴۴); ۰٫۱۵۱۹; (۰٫۸۱۰۲, ۴٫۰۴۳۸)]

محاسبه شده در یک ماتریس بخش‌بندی شده به نام سوپرماتریس قرار داده می‌شوند.

گام ۴.۱. تشکیل سوپرماتریس وزنی: با توجه به ارتباط داخلی بین معیارها و ارتباطات داخلی بین زیرمعیارها وزن معیارها و زیرمعیارها در جدول ۹ نشان داده شده است.

گام ۲. رتبه‌بندی عوامل ریسک تأمین‌کنندگان با استفاده از روش FMEA فازی بازه‌یی (IVF-FMEA):

گام ۱.۲. محاسبه‌ی عدد ریسک فازی: در جدول ۱۰ سه عامل فازی بازه‌یی $(\tilde{S}, \tilde{O}, \tilde{D})$ برای هرکدام از زیرمعیارها، به‌عنوان نمونه برای تأمین‌کننده‌ی A_1، ارائه شده است.

گام ۲.۲. محاسبه‌ی عدد ریسک فازی: در جدول ۱۰ عدد ریسک فازی و عدد ریسک قطعی مربوط به تأمین‌کننده A_1 به‌عنوان نمونه نشان داده شده است.

گام ۳.۲. تمام زیرمعیارها به‌وسیله‌ی عدد ریسک قطعی به دست‌آمده رتبه‌بندی می‌شود (جدول ۱۰). برای تمامی زیرمعیارها RPN بالاتر به‌معنای اولویت بالاتری است که باید آن را بهبود داد. این عامل ریسک دارای آسیب جدی برای تأمین‌کننده است و تأمین‌کننده باید توجه ویژه‌یی به آن داشته باشد و این نقص را برطرف کند. بنابراین باید استراتژی‌های و پیشنهادهای مناسبی برای رفع این آسیب‌ها به تأمین‌کننده ارائه شود.

گام ۳. رتبه‌بندی نهایی تأمین‌کنندگان روش تاپسیس فازی بازه‌یی (IVF-TOPSIS): روش تاپسیس فازی بازه‌یی در مثال ارائه شده به طور خلاصه عبارت است از:

گام ۱.۳. تشکیل ماتریس تصمیم.

گام ۲.۳. نرمال‌سازی ماتریس تصمیم.

گام ۳.۳. محاسبه‌ی ماتریس تصمیم نرمال وزنی (جدول ۱۱).

گام ۴.۳. تعیین راه‌حل ایده‌آل مثبت و منفی: راه‌حل ایده‌آل مثبت و منفی مطابق با معادله ۱۳ و ۱۴ برابراست با: $A^+ = [1, 1, ..., 1]$ و $A^- = [0, 0, ..., 0]$.

گام ۵.۳. تعیین فاصله از ایده‌آل مثبت و ایده‌آل منفی: محاسبه‌ی بازه نزدیکی نسبی به ایده‌آل مثبت و ایده‌آل منفی و رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها در جدول ۱۱ نشان داده شده است.

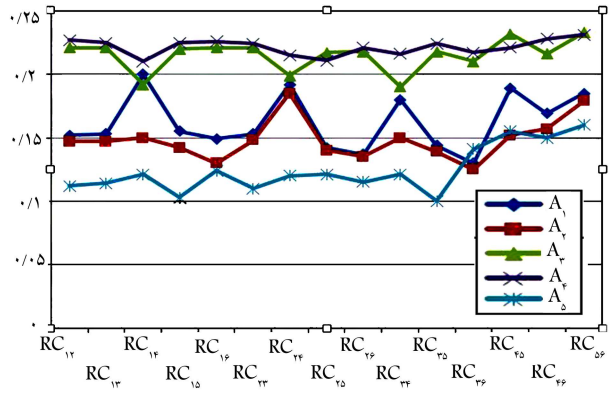
گام ۶.۳. تعیین نزدیکی نسبی گزینه‌ها به راه‌حل ایده‌آل (جدول ۱۲).

گام ۷.۳. رتبه‌بندی نهایی تأمین‌کنندگان (جدول ۱۳).

۶. تحلیل نتایج و اعتبارسنجی

به‌منظور سنجش اعتبار مدل پیشنهادی از سه روش زیر استفاده می‌شود:

۱. روش تحلیل حساسیت نتایج: هدف از تحلیل حساسیت این مقاله بررسی چگونگی حساسیت رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان در اثر ایجاد تغییرات در وزن معیارهاست. تحلیل حساسیت این مقاله برمبنای ایده آنت و همکاران[۲] با جابه‌جایی وزن معیارها صورت گرفته است؛ بدین‌صورت که وزن سایر معیارها بدون تغییر باقی می‌ماند. از آنجا که وزن معیارها به‌صورت اعداد فازی بازه‌یی است می‌توان برای ایجاد تغییرات در وزن معیارها از جابه‌جایی وزن معیارها استفاده کرد. به‌عنوان مثال RC_{12} بیانگر جابه‌جایی وزن معیار اول و دوم است. نتایج حاصل از تحلیل حساسیت در شکل ۳ نشان داده شده است. چنان که مشاهده می‌شود، تأمین‌کننده‌ی A_4 در تمامی سناریوهای وزن‌دهی، به‌جز سناریوهای هشتم و سیزدهم، در رتبه‌ی اول قرار می‌گیرد. بنابراین در مجموع ۱۵ سناریو تأمین‌کننده‌ی A_4، تأمین‌کننده با کم‌ترین ریسک شرکت فولاد لرستان است. همچنین تأمین‌کننده‌ی A_3 در سناریوهای وزن‌دهی هشتم و سیزدهم در رتبه‌ی



شکل ۳. نتایج حاصل از تحلیل حساسیت.

جدول ۱۰. رتبه‌بندی عوامل ریسک با استفاده از روش IVF-FMEA.

معیار	زیر معیار	S	O	D	فازی بازه‌یی RPN	قطعی RPN	رتبه‌بندی ریسک
C	C_1	H,H,H	VH,H,H	VH,H,H	[(۲۳۲, ۵۰۰); ۷۸۴; (۸۸۸, ۱۰۰۰)]	۶۹۸/۰۸	۴
	C_2	MH,M,MH	VH,H,H	M,L,L	[(۲۱, ۵۹); ۱۳۸; (۲۷۸, ۴۲۷)]	۱۷۶/۸۳	۹
Q	Q_1	VL,M,L	M,ML,ML	VH,H,H	[(۵, ۲۴); ۶۸; (۱۶۶, ۲۵۷)]	۹۸	۱۴
	Q_2	L,ML,M	ML,L,M	M,M,M	[(۲, ۱۲); ۲۵; (۴۲, ۵۶)]	۷۷/۱۷	۱۵
	Q_3	VH,VH,VH	H,H,H	H,VH,H	[(۳۰۴, ۵۸۲)۸۴۰; (۹۱۸, ۱۰۰۰)]	۷۴۷/۳۳	۲
D	D_1	M,M,M	H,H,VH	M,M,M	[(۶, ۱۲)۲۵; (۴۲, ۵۶)]	۲۷/۶۷	۷
	D_2	M,L,ML	ML,ML,M	VL,L,M	[(۱, ۵)۲۲; (۷۸, ۱۴۱)]	۴۴/۸۳	۱۶
	D_3	H,H,VH	M,M,M	H,H,H	[(۸۹, ۲۱۴); ۴۲۰; (۵۹۷, ۷۵۰)]	۴۱۵	۵
	D_4	VH,VH,VH	H,VH,MH	H,VH,VH	[(۳۹۳, ۶۲۹); ۸۳۸; (۹۰۱, ۹۸۳)]	۷۶۳/۶۷	۱
T	T_1	H,H,MH	VH,VH,H	H,VH,VH	[(۲۹۱, ۵۳۳); ۷۷۹; (۸۷۰, ۹۸۳)]	۷۰۵/۸۳	۳
	T_2	L,ML,M	H,MH,H	M,ML,L	[(۴, ۲۳); ۷۵; (۱۸۲, ۲۹۷)]	۱۰۹/۸۳	۱۲
P	P_1	H,MH,H	ML,M,M	MH,MH,MH	[(۳۹, ۱۰۶); ۲۵۳; (۴۲۰, ۶۳۸)]	۲۸۴/۸۳	۶
	P_2	M,M,ML	ML,M,MH	H,H,MH	[(۱۴, ۵۵); ۱۵۶; (۳۰۶, ۴۵۹)]	۱۹۱	۸
S	S_1	VH,H,H	L,ML,M	ML,ML,M	[(۵, ۳۲); ۱۰۳; (۲۲۵, ۳۳۹)]	۱۳۴/۵	۱۱
	S_2	M,M,M	ML,L,M	H,H,MH	[(۱۱, ۴۴); ۱۲۵; (۲۶۳, ۴۰۶)]	۱۶۲/۳۳	۱۰
	S_3	L,M,ML	ML,L,M	H,H,MH	[(۰/۴, ۲۳); ۷۵; (۱۸۲, ۲۹۷)]	۱۰۹/۳۳	۱۳

جدول ۱۱. فاصله از ایده‌آل مثبت و منفی.

تأمین‌کننده	$[D^+_{i2}, D^+_{i1}]$	$[D^-_{i2}, D^-_{i1}]$
A_1	[۰/۲۴۷, ۷, ۹۹]	[۱۵/۸۴۶, ۱۵, ۱۸۰]
A_2	[۰/۲۲۵, ۶/۷۴]	[۱۵/۸۶۹, ۱۷/۲۴]
A_3	[۰/۳۱۱, ۲۸/۷۷]	[۱۵/۸۲۱, ۳۹/۱۰۸]
A_4	[۰/۱۹۰, ۹/۲۱]	[۱۵/۸۸۹, ۱۵/۹۳۲]
A_5	[۰/۱۹۰, ۹/۲۱]	[۱۵/۹۳۲, ۱۶/۴۱۴]

جدول ۱۲. رتبه‌بندی نهایی تأمین‌کنندگان.

تأمین‌کننده	بازه نزدیکی نسبی	مقدار نهایی نزدیکی نسبی	رتبه‌ی نهایی تأمین‌کننده
A_1	[۰/۰۱۷, ۰/۲۸۹]	۰/۱۵۴	۳
A_2	[۰/۰۱۳۹, ۰/۲۸۹]	۰/۱۴۷	۴
A_3	[۰/۰۱۹۲, ۰/۴۲۴]	۰/۲۲۱	۲
A_4	[۰/۰۱۱, ۰/۴۴۳]	۰/۲۲۸	۱
A_5	[۰/۰۰۶, ۰/۲۲۱]	۰/۱۱۳	۵

جدول ۱۳. مقایسه‌ی نتایج روش‌های مختلف.

تأمین‌کننده	نتایج حاصل از داده‌های فازی	رتبه فازی تأمین‌کننده	نتایج حاصل از داده‌های فازی بازه‌یی	رتبه فازی بازه‌یی تأمین‌کننده	رتبه تأمین‌کننده از نظر خبرگان
A_1	۰/۱۵۰	۴	۰/۱۵۴	۳	۳
A_2	۰/۱۵۲	۳	۰/۱۴۷	۴	۴
A_3	۰/۲۲۰	۲	۰/۲۲۱	۲	۲
A_4	۰/۲۲۵	۱	۰/۲۲۸	۱	۱
A_5	۰/۱۱۵	۵	۰/۱۱۳	۵	۵

اول قرار می‌گیرد. بیشترین و کم‌ترین مقدار RC^* برای تأمین‌کننده‌ی A_1 به‌ترتیب برابر ۰/۲ و ۰/۱۳ است که مربوط به سناریوهای وزن‌دهی سوم و دوازدهم است. بیشترین مقدار و کم‌ترین مقدار RC^* برای تأمین‌کننده‌ی A_2 برابر با ۰/۱۷۹ و ۰/۱۲۵ است که مربوط به سناریوهای پانزدهم و دوازدهم است. بیشترین و کم‌ترین مقدار RC^* برای تأمین‌کننده‌ی A_3 برابر با ۰/۲۳۳ و ۰/۱ است که مربوط به سناریوهای وزن‌دهی پانزدهم و دهم است. کم‌ترین و بیشترین مقدار RC^* برای تأمین‌کننده‌ی A_4 برابر با ۰/۲۱۱ و ۰/۲۳۱ در سناریوهای وزن‌دهی هشتم و پانزدهم است. تأمین‌کننده‌ی A_5 دارای بیشترین و کم‌ترین مقدار RC^*، برابر با ۰/۱۶ و ۰/۱ است که در سناریوهای وزن دهی پانزدهم و دهم است. تصمیم‌گیرنده می‌تواند از این ترکیبات مختلف وزنی برای تصمیم‌گیری در مورد رتبه‌بندی تأمین کنندگان استفاده کند.

۲. نظرسنجی از افراد خبره: نتایج حاصل از مدل پیشنهادی در اختیار چند تن از کارشناسان خبره‌ی خرید شرکت فولاد قرار داده شد و از آنان درخواست شد که درمورد انتخاب بهترین تأمین‌کننده و رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان این شرکت توافق کرده و پیشنهادی ارائه دهند. نتایج حاصل از نظرسنجی از افراد خبره در

جدول ۱۳ نشان داده شده است. با توجه به یکسانی رتبه‌بندی پیشنهادی توسط افراد خبره و خروجی سیستم، مدل پیشنهادی از اعتبار کافی برخوردار است.

۳. مقایسه‌ی اجرای مدل در دو محیط فازی و فازی بازه‌یی: نتایج حاصل از اجرای مدل در این دو محیط در جدول ۱۳ نشان داده شده است. چنان که مشاهده می‌شود، اجرای مدل در محیط فازی بازه‌یی رتبه‌بندی متفاوتی ارائه می‌دهد. با نظرسنجی از خبرگان شرکت فولاد مشخص شد که اجرای مدل در محیط فازی بازه‌یی رتبه‌بندی بهتری از تأمین‌کنندگان ارائه می‌کند.

۷. نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در این نوشتار مدلی ترکیبی از روش‌های IVF-ANP، IVF-FMEA و IVF-TOPSIS با استفاده به تصمیم‌گیری گروهی برای رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان شرکت فولاد لرستان تحت شرایط ریسک‌های زنجیره‌ی تأمین ارائه شد. مطابق ادبیات موضوع و نظرسنجی از کارشناسان شرکت فولاد لرستان ۶ معیار هزینه، کیفیت، قابلیت تحویل، تکنولوژی، بهره‌وری و خدمات انتخاب شد. با توجه به این که روش AHP اثر متقابل بین عوامل مختلف را در نظر نمی‌گیرد، در این روش برای غلبه بر این نقص از روش ANP فازی با توجه به اثر متقابل بین معیارهای مختلف برای محاسبه‌ی وزن‌ها استفاده شده است. در این روش رتبه‌بندی عوامل ریسک با استفاده از روش IVF-FMEA و رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها با استفاده از روش IVF-TOPSIS صورت می‌گیرد. با توجه به این که در روش‌های تصمیم‌گیری اعداد مورد استفاده توسط نظرات و قضاوت‌های افراد مختلف به دست می‌آید و همچنین با توجه به این که در برخی از موارد قضاوت افراد مختلف دارای ابهاماتی است، در نظر گرفتن عدم‌قطعیت در این مدل‌ها می‌تواند بسیار اثربخش باشد و جواب‌های دقیق‌تری را به دست آورد. بنابراین در روش پیشنهادی برای غلبه بر ابهامات موجود در متغیرهای زبانی از اعداد فازی بازه‌یی مثلثی استفاده شده است. علاوه بر این، این اعداد نسبت به اعداد فازی دارای مقیاس دقیق‌تری هستند. در مرحله بعد مدل پیشنهادی با استفاده از اطلاعات جمع‌آوری شده از شرکت فولاد لرستان اجرا و نتایج مربوطه تحلیل شد. نتایج حاصل نشان‌دهنده‌ی مناسب بودن مدل پیشنهادی در دنیای واقعی است.

برای مطالعات آتی می‌توان استفاده از سایر روش‌های ارزیابی ریسک مانند روش دلفی، روش تحلیل درخت خطا، استفاده از سایر روش‌های تصمیم‌گیری نظیر ویکور و...، برای رتبه‌بندی گزینه‌ها و مقایسه‌ی آن با روش فعلی و همچنین ترکیب مدل پیشنهادی با روش دیمتل برای کاهش حجم مقایسات زوجی را پیشنهاد داد.

پانوشت‌ها

1. analytic hierarchy process
2. analytic network process
3. failure mode and effects analysis
4. risk priority number
5. interval valued fuzzy Analytic network process
6. interval valued fuzzy failure mode and effects analysis
7. interval valued fuzzy technique for order performance by similarity to ideal solution
8. fuzzy extended analytic hierarchy process
9. fuzzy cognitive map
10. decision maker
11. severity
12. occurrence
13. detection

منابع (References)

1. Chen, P. and Wu, M. "A modified failure mode and effects analysis method for supplier selection problems in the supply chain risk environment: A case study", *Computers & Industrial Engineering*, **66**, pp. 634-642 (2013).
2. Onüt, K., Kara, S. and Isik, E. "Long term supplier selection using a combined fuzzy MCDM approach: A case study for a telecommunication company", *Expert Systems with Applications*, **36**, pp. 3887-3896 (2009).
3. Li, S. and Zeng, W. "Risk analysis for the supplier selection problem using failure modes and effects analysis (FMEA)", *Journal of Intelligent Manufacturing*, **27**(6), pp. 1309-1321 (2014).
4. Vahdani, B., Hadipour, H. and Tavakkoli-Moghaddam, R. "Soft computing based on interval valued fuzzy ANP-A novel methodology", *Journal of Intelligent Manufacturing*, **23**(5), pp. 529-1544 (2012).
5. Schoenherr, T., RaoTummala, V.M. and Harrison, T.P. "Assessing supply chain risks with the analytic hierarchy process: Providing decision support for the offshoring decision by a US manufacturing company", *Journal of Purchasing and Supply Management*, **14**(2), pp. 100-111 (2008).
6. Thun, J.H. and Hoenig, D. "An empirical analysis of supply chain risk management in the German automotive industry", *International Journal of Production Economics*, **131**(1), pp. 242-249 (2011).
7. Tabrizi, B.H. and Razmi, J. "Introducing a mixed-integer non-linear fuzzy model for risk management in designing supply chain networks", *Journal of Manufacturing Systems*, **32**(2), pp. 295-307 (2013).
8. Curkovic, S., Scannell, T. and Wagner, B. "Using FMEA for supply chain risk management", *Modern Management Science & Engineering*, **1**(2), pp. 251-265 (2013).
9. Mangla, S.K. Kumar, P. and Barua, M.K. "Risk analysis in green supply chain using fuzzy AHP approach: A case study", *Resources Conservation and Recycling*, **104**(B), pp. 375-390 (2015).
10. Dickson, G. "An analysis of supplier selection systems and decisions", *Journal of Purchasing*, **2**(1), pp. 5-17 (1996).

11. Xia, W. and Wu, Z. "Supplier selection with multiple criteria in volume discount environments", *Omega*, **35**, pp. 494-504 (2007).
12. Liao, C.N. "Formulating the multi-segment goal programming", *Computers & Industrial Engineering*, **56**, pp. 138-141 (2009).
13. 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).
14. Chan, T.S. and Kumar, N. "Global supplier development considering risk factors using fuzzy extended AHP-based approach", *The International Journal of Management Science,* **35**(4), pp. 417-431 (2007).
15. Kang, H.Y., Lee, A.H. and Yang, C.Y. "A fuzzy ANP model for supplier selection as applied to IC packaging", *Journal of Intelligent Manufacturing*, **23**(5), pp. 1477-1488 (2012).
16. Xiao, Z., Chen, W. and Li, L. "An integrated FCM and fuzzy soft set for supplier selection problem based on risk evaluation", *Applied Mathematical Modeling*, **36**, pp. 1444-1454 (2012).
17. Grzegorzewski, P. "Distances between intuitionistic fuzzy sets and/or interval valued fuzzy sets based on the Hausdorff metric", *Fuzzy Set and Systems,* **148**, pp. 319-328 (2004).
18. Turksen, I.B. "Interval-valued strict preference with Zadeh Triples", *Fuzzy Sets and Systems,* **78**, pp. 183-195 (1996).
19. Cornelis, C., Deschrijver, G. and Kerre, E.E. "Advances and challenges in interval-valued fuzzy logic", *Fuzzy sets and Systems,* **157**, pp. 622-627 (2006).
20. Karnik, N.N. and Mendel, J.M. "Operations on type-2 fuzzy sets", *Fuzzy Sets and Systems,* **122**(2), pp. 327-348 (2001).
21. Wang, G. and Li, X. "The applications of interval-valued fuzzy numbers and interval distribution numbers", *Fuzzy Sets and Systems,* **98**, pp. 331-335 (1998).
22. Ashtiani, B., Haghighirad, F., Makui, A. and Montazer, G. "Extension of fuzzy TOPSIS method based on interval-valued fuzzy sets", *Applied Soft Computing*, **9**, pp. 457-461 (2009).
23. Vahdani, B., Hadipour, H., Sadaghiani, J.S. and Amiri, M. "Extension of VIKOR method based on interval-valued fuzzy sets", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, **47**(9-12), pp. 1231-1239 (2010).
24. Rashid, T., Beg, I. and Husnine, S.M. "Robot selection by using generalized interval-valued fuzzy numbers with TOPSIS", *Applied Soft Computing*, **21**, pp. 462-468 (2014).
25. Saaty, R.W., *Decision Making in Complex Environment: The Analytic Hierarchy Process (AHP) for Decision Making and the Analytic Network Process (ANP) for Decision Making with Dependence and Feedback*, Pittsburgh: Super Decisions, PWS Publications (2003).
26. Yüksel, I. and Dagdeviren, M. "Using the analytic network process (ANP) in a SWOT analysis—a case study for a textile firm", *Information Sciences*, **177**(16), pp. 3364-3382 (2007).
27. Chen, S.J., Hwang, C.L. and Hwang, F.P., *Fuzzy Multiple Attribute Decision Making*, Lecture Notes in Economics and Mathematical System, Springer, 375 p. (1992).
28. Carlson, C., *Effective FMEAs: Achieving Safe, Reliable, and Economical Products and Processes Using Failure Mode and Effects Analysis*, John Wiley & Sons, 464 p. (2012).