

تخمین قابلیت اطمینان تأمین‌کننده در شرایط اختلال با استفاده از شبکه بیزین و با رویکرد فازی

پوریا ناصری^{1*}، محمدحسین کریمی گوارشکی²

- 1- دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران
2- استادیار، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران

پذیرش: 1397/11/20

دریافت: 1397/7/12

چکیده

امروزه، تأمین‌کنندگان نقش بسیار مهمی برای شرکت‌ها و سازمان‌ها دارند. انتخاب صحیح تأمین‌کنندگان می‌تواند به عنوان یک مزیت رقابتی مهم در بازار برای شرکت‌ها و سازمان‌ها مطرح شود. از آنجایی که تأمین‌کنندگان رابطه تنگاتنگی با سازمان‌ها دارند و تولید و خدمات نهایی آن‌ها، هم از لحاظ کیفیت و هم هزینه، به تأمین‌کنندگان وابسته است. یکی از راهکارها در شرایط بحرانی و اختلال، استفاده از تأمین‌کنندگان قابل اعتماد برای گذر از شرایط بحرانی و تأمین مواد اولیه لازم است. در این مقاله با بررسی اختلالات تأمین‌کنندگان و در نظر گرفتن رابطه موجود بین آن‌ها و با استفاده از روش تحلیل درخت خطا (FTA) و تبدیل آن به شبکه بیزین، قابلیت اطمینان تأمین‌کننده تخمین زده شده است. به علت دقیق نبودن اطلاعات ورودی از رویکرد نظریه فازی استفاده می‌شود. در این مقاله برای اعتبار سنجی مدل ارائه شده قابلیت اطمینان دو تأمین‌کننده پژوهشکده زیرسطحی اصفهان مورد مطالعه قرار گرفته می‌شود.

واژگان کلیدی: تأمین‌کننده؛ قابلیت اطمینان؛ شبکه‌های بیزین؛ نظریه فازی.

1- مقدمه

اختلال در زنجیره تأمین، گروهی از ریسک‌ها هستند که به صورت غیرقابل‌پیش‌بینی یا تا حدودی قابل‌پیش‌بینی، جریان مواد را در زنجیره تأمین مختل می‌کند. برای دستیابی به تأمین‌کننده با قابلیت اطمینان بالا لازم است که ابتدا اختلال‌هایی را که ممکن است برای تأمین‌کننده به وجود آید، موردبررسی قرار دهیم. از مهم‌ترین این اختلال‌ها می‌توان به خطرات طبیعی مانند سونامی، زلزله و خشک‌سالی، بی‌ثباتی اجتماعی و سیاسی، آشفتگی قانونی، شکست‌های اقتصادی، حملات تروریستی، اعتصاب کارکنان، وابستگی به یک تأمین‌کننده، ورشکستگی و تروریسم اشاره کرد [1، ص 1665].

هندریک و سینگال [2، ص 501] بعد از حمله تروریستی یازده سپتامبر و اختلالات شدیدی که در زنجیره تأمین جهانی اتفاق افتاد، مشخص نمودند که اختلالات ایجادشده در زنجیره و تأمین‌کنندگان بی‌اهمیت نیستند و تأثیرات شدیدی روی دارایی سهام‌داران و کاهش ارزش سهام شرکت‌های مختل شده دارند. ولندال و همکاران [3، ص 375] یک رویکرد برای مدل‌سازی و تجزیه و تحلیل لجستیک در سراسر زنجیره تأمین ارائه می‌کنند که درک درست از آن زنجیره تأمین را قادر می‌سازد قابلیت اطمینان فرآیند خود را بهتر کنترل کند. عموم شرکت‌های آمریکایی بر این معتقد بودند که برای تهیه مواد اولیه باید از چندین تأمین‌کننده استفاده کرد، اما شرکت‌های ژاپنی به سیاست انتخاب یک تأمین‌کننده و صرفه‌جویی به مقیاس اعتقاد داشتند. در این راستا، برگئر [4، ص 9] مطالعه‌ای روی کمینه‌کردن هزینه‌های انتخاب تأمین‌کننده انجام داد و نشان داد که بهترین معیار انتخاب تأمین‌کننده این است که هزینه کمینه و بهینه‌ای داشته باشیم. بریئر برای میزان ریسک تک منبعی بودن نیز هزینه‌ای قرار داد. هالیکاس و همکاران [5، ص 72] نشان دادند اگرچه برون‌سپاری در منابع اولیه باعث ایجاد رقابت و ارزش‌افزوده بیشتر می‌شود، اما ممکن است که تأمین‌کنندگان با اختلالاتی روبرو شوند و منجر به ایجاد ضررهای بیشتر برای سازمان شود. همچنین دو رویکرد مدیریت کردن ریسک زنجیره تأمین و امکان یادگیری سازمان‌ها در زنجیره را بهترین راه‌حل برای ایجاد شرایط اطمینان‌بخش‌تر با تأمین‌کنندگان

پیشنهاد دادند. کریستفر تنگ [6، ص 451] نیز مزیت هزینه کمتر و سهم بازار را عاملی برای برون سپاری مطرح کرد و دیدگاه‌های کمی را برای مدیریت کردن ریسک‌های زنجیره و تأمین‌کنندگان بیان نمود. نیوونهیوس و وانداؤل [7، ص 694] در یک اثبات تحلیلی قابلیت اطمینان شکاف زیاد تحویل از تأمین‌کننده و ثبات برنامه زمان‌بندی تولید از خریدار را بهبود می‌بخشند که برای برآورد قابلیت اطمینان تحویل در مدت سیاست شکاف زیاد، ویژگی‌های سیستم ارائه می‌شود. بورک و همکاران [8، ص 95] نیز مطالعه جامعی را در انتخاب سیاست‌های تک و دو منبعی انجام دادند. آن‌ها با بیان معایب و مزایای هر کدام از سیاست‌های تک یا دو منبعی عدم قطعیت محیطی را عامل اصلی برای انتخاب یکی از این سیاست‌ها معرفی کردند. بورک سیاست تک منبعی را سیاست غالب برشمرد و پیشنهاد کرد که تنها زمانی که منبع موردنظر ظرفیت پایینی داشته یا احتمال شکست آن وجود داشته باشد، باید به سراغ چند منبعی رفت. کستانینو و گلاک [9، ص 27] بیان داشتند که اختلال تحریم باعث شکست منابع غیرقابل اعتماد می‌شود و در نتیجه برای رسیدگی به تحریم‌ها باید از استراتژی‌های مناسب تک، دو، سه یا چندمنبعی استفاده کرد. داورزنی و همکاران [10، ص 1517] یک محیط تک‌محصول را که در آن یک شرکت می‌تواند از چند منبع استفاده کند، مورد مطالعه قرار می‌دهند. ممکن است یک تأمین‌کننده دارای ظرفیت غیرقابل اعتماد باشد، درحالی‌که دیگران قابل اعتماد هستند، ولی کیفیت محصول پایین‌تری دارند. زو و همکاران [11، ص 180] یک روش آماری را برای ساخت یک مدل برای تشخیص زود هنگام مشکلات قابلیت اطمینان با استفاده از پایگاه داده‌ها و زنجیره تأمین بالادست ارائه نموده‌اند. داورزنی و زگردی [12، ص 2102] تحقیقات جامعی در مزیت و معایب سیاست‌های مختلف تعداد تأمین‌کننده با توجه به شرایط ایران انجام دادند و توانستند با مدل‌های تحقیق در عملیات سهم هریک از تأمین‌کنندگان را در سیاست‌های مختلف به‌طور بهینه مشخص کنند. دانسی و همکاران [13، ص 125] نشان دادند که در شبکه‌های زنجیره تأمین ادغام دو عمل خارجی و داخلی می‌تواند تأثیر مثبت و مهمی بر روی پاسخگویی بگذارد که استفاده از یک شبکه تأمین‌کننده بین‌المللی به‌عنوان یک عامل احتمالی در رابطه بین شیوه‌های ادغام و پاسخگویی عمل می‌کند. کاظمی و علیزاده [14، ص 37] مشخصه‌های مهم

برای تأمین‌کنندگان بر اساس مبانی نظری تحقیق و مصاحبه با مدیران و پرسشنامه با ایجاد ماتریس مقایسه ارزیابی براساس AHP تعیین نمودند. سپس بر اساس یک رویکرد جدید تحلیل پوششی داده‌ها، وزن نسبی مشخصه‌ها تعیین و سرانجام تأمین‌کنندگان بر اساس روش TOPSIS رتبه‌بندی می‌شوند. رادفر و صالحی [15]، ص 189] یک مدل ترکیبی برای انتخاب تأمین‌کنندگان و رتبه‌بندی آن‌ها پیشنهاد می‌کنند. در این تحقیق، یک مدل دومرحله‌ای طراحی شده است که تأمین‌کنندگان را رتبه‌بندی می‌کند و در آن، هر تأمین‌کننده دارای چندین ورودی و خروجی است. در مرحله اول، تأمین‌کنندگان به وسیله تحلیل پوششی داده‌ها ارزیابی می‌شوند و برای دقیق شدن داده‌ها، در این مرحله از رویکرد فازی استفاده می‌شود. در مرحله دوم برای غنی کردن ارزیابی، تأمین‌کنندگان را به وسیله روش رتبه‌بندی سازمان تحلیل و ارزیابی می‌کنند. آزادی و همکاران [16، ص 174] در مقاله خود با استفاده از مدل یکپارچه تحلیل پوششی داده‌ها و رویکرد فازی به دنبال انتخاب بهترین تأمین‌کننده یکپارچه پایدار هستند. بررسی‌ها بر روی مطالعه موردی نشان می‌دهد که مدل ارائه شده می‌تواند اثربخشی و بهره‌وری را در محیط نامشخص با سطوح مختلف α اندازه‌گیری کند. همچنین این مدل پیشنهادی می‌تواند به تصمیم‌گیرندگان برای مقابله با عوامل اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی در هنگام انتخاب تأمین‌کنندگان پایدار کمک کند. همکاران [17، ص 191] در پژوهش خود نخست از دو دیدگاه خوش‌بینانه و بدبینانه، کارایی‌های تأمین‌کنندگان تحت ارزیابی را به دست می‌آورند. دیدگاه خوش‌بینانه، هر تأمین‌کننده را با مجموعه‌ای از مطلوب‌ترین وزن‌ها ارزیابی می‌کند و دیدگاه بدبینانه، هر تأمین‌کننده را با مجموعه‌ای از نامطلوب‌ترین وزن‌ها ارزیابی می‌کند؛ سپس نشان داده می‌شود که این دو نتیجه ارزیابی با یکدیگر تعارض دارند و بدون تردید یک‌سویه، غیرواقعی‌گرایانه و غیرمتقاعدکننده هستند. برای غلبه بر این مشکل، یک اندازه عملکرد کلی جدیدی را پیشنهاد می‌کنند که برای ادغام اندازه‌های به دست آمده از دیدگاه‌های خوش‌بینانه و بدبینانه مورداستفاده قرار گرفته و برای شناسایی تأمین‌کننده دارای بهترین عملکرد به کار برده می‌شود. کیانی و همکاران [18، ص 216] 9 معیار کیفیت، زمان تحویل، تاریخ عملکرد و شش ریسک در زنجیره تأمین از جمله ریسک عرضه، ریسک تقاضا، ریسک تولید، ریسک تدارکات،

ریسک اطلاعات و ریسک محیط زیست برای ارزیابی تأمین کنندگان در نظر می گیرند و با استفاده از روش TOPSIS فازی تأمین کنندگان را رتبه بندی می کنند. ونکاسین و گو [19، ص 124] در مقاله خود تأمین کنندگان را بر اساس مقادیر اولیوی که با استفاده از PROMETHEE فازی و AHP فازی ترکیبی مورد استفاده قرار می گیرند، رتبه بندی می کنند. کریماز و رارول [20، ص 54] روند مدیریت ریسک زنجیره تأمین مورد بررسی قرار می دهند و یک روش برای مرحله کاهش ریسک پیشنهاد می دهند. در اولین مرحله از روش پیشنهادی، یک طرح اولیه از طریق یک مدل برنامه ریزی خطی با توجه به معیار هزینه به دست می آید و در مرحله دوم با افزودن معیار ریسک به برنامه ریزی به عنوان اولویت دوم، طرح تجدیدنظر می شود. جان لیو و همکاران [21، ص 272] در مقاله خود یک روش یکپارچه سازی ارزیابی ریسک های تأمین کننده را بر اساس زنجیره تأمین و تجزیه و تحلیل جریان پایدار برای کاهش ریسک ها پیشنهاد می دهد. بابایی و همکاران [22، ص 51] در پژوهش خود با در نظر گرفتن مجموعه ای از معیارهای اقتصادی و زیست محیطی، یک مدل برنامه ریزی ریاضی عدد صحیح چندهدفه برای مسئله انتخاب تأمین کننده سبز و تخصیص سفارش در شرایط چند محصولی، منبع یابی چندگانه و تک دوره ای ارائه می کنند. صادقی مقدم و همکاران [23، ص 69] پس از بررسی مبانی نظری تحقیق و استخراج ریسک های مربوط به زنجیره تأمین جهت شناسایی ریسک ها در زنجیره تأمین خدمات از دو روش گروه کانونی و کیوسرت استفاده می کنند که خروجی آن شناسایی 10 مؤلفه از مهم ترین ریسک ها به عنوان مشخصه های موقعیتی در مدل سازی راف است. متعاقباً با تلفیق روش های مختلف گسسته سازی داده، تولید بی زائده و تولید قوانین، پنج مدل قوانین راف برای مؤلفه های ریسک تولید می شود. با توجه به مدل های استخراج شده از بین مشخصه های موقعیتی، مؤلفه ریسک بازار و ریسک مالی اصلی ترین مؤلفه در تحلیل ریسک زنجیره تأمین خدمات شناسایی می شوند. وحیدی و همکاران [24، ص 1351] یک مدل برنامه ریزی دویعدی تصادفی-امکان پذیر برای انتخاب گزینه های تأمین کننده پایدار و تخصیص سفارش در خطرات عملیاتی و خرابکاری پیشنهاد می دهند. آن ها یک چارچوب نظام مند SWOT-QFD ترکیبی را برای انتخاب معیارهای پایدار بر اساس یک استراتژی سازنده پیشنهاد می دهند. میرزایی و

همکاران مسئله انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش را با چند دوره، چند محصول، چند تأمین‌کننده، موارد چندمنظوره و همچنین تخفیف کم با محدودیت‌های بودجه و ظرفیت برای هر دو خریداران و تأمین‌کنندگان تعمیم می‌دهد.

با توجه به فضای رقابتی موجود در بازار، در این تحقیق با بررسی کلیه اختلالات تأمین‌کننده و ریشه‌یابی آن‌ها به کمک روش درخت خطا و تبدیل آن به شبکه‌های بی‌زین، قابلیت اطمینان دو تأمین‌کننده پژوهشکده زیرسطحی به دست آورده می‌شود. چون اطلاعات ورودی برای احتمال رویداد هر اختلال دقیق نیست، تجزیه و تحلیل این اطلاعات با استفاده از نظریه فازی انجام می‌گیرد.

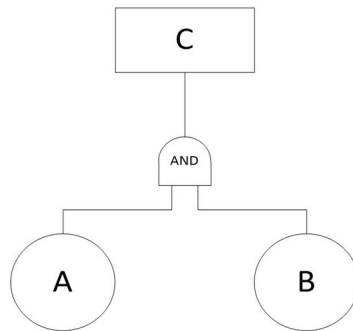
2- شبکه بی‌زین

شبکه‌های بی‌زین یک نمونه از مدل‌های گرافیکی هستند که دارای گره‌هایی برای متغیرها و یال‌های جهت‌داری به منظور نشان دادن روابط میان این گره‌ها هستند. این شبکه‌ها از جمله گراف‌های فاقد دور هستند. از این شبکه‌ها برای محاسبه‌ی احتمال یک رخداد (پائین‌ترین گره) که متأثر از چندین متغیر دیگر است، استفاده می‌شود. برای محاسبه احتمال هر گره والد، ابتدا احتمالات گره‌های ریشه با استفاده از توابع توزیع خاص، مشاهدات یا نظرات خبره استخراج می‌شوند و سپس با بهره‌مندی از قاعده‌ی احتمالی بی‌زین، احتمال گره والد به دست می‌آید.

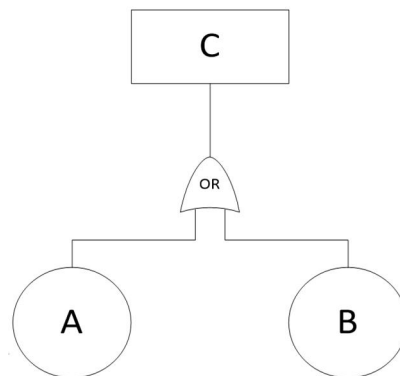
2-1- تبدیل درخت خطا به شبکه‌های بی‌زین

درخت‌های خطا به راحتی می‌توانند به شبکه‌های بی‌زین تبدیل شوند. همان‌طور که در شکل‌های (1) و (2) مشخص است، می‌توان پیشامدهای خرابی را به‌عنوان گره‌های شبکه بی‌زین، و دریچه‌های *OR* و *AND* را نیز به‌عنوان یال‌ها در نظر گرفت؛ به طوری که تفاوت بین نوع دریچه‌ها بر احتمالات شرطی که در شبکه‌های بی‌زین بین متغیرها تعریف می‌شود، اثر می‌گذارد.

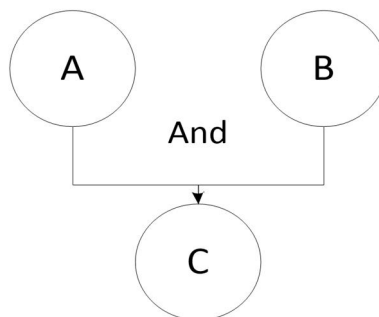
شبکه بی‌زین مربوط به شکل (1) با گره *And* به صورت شکل (3) خواهد بود و در ادامه، شبکه بی‌زین مربوط به شکل (2) با گره *OR* به صورت شکل (4) است:



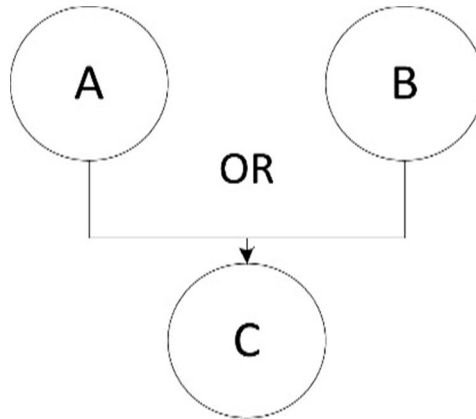
شکل 1 درخت خطا به صورت موازی



شکل 2 درخت خطا به صورت سری



شکل 3 شبکه بیزین به صورت موازی



شکل 4 شبکه بیزین به صورت سری

بنا بر شکل (4) روابط شرطی مربوط به شبکه بیزین مطابق زیر است:

$$\begin{aligned}
 P\{C=1|A=0,B=0\} &= 0 \\
 P\{C=1|A=0,B=1\} &= 0 \\
 P\{C=1|A=1,B=0\} &= 0 \\
 P\{C=1|A=1,B=1\} &= 1
 \end{aligned} \tag{1}$$

و در نهایت، احتمال رخ دادن C از فرمول زیر به دست می‌آید:

$$\begin{aligned}
 P(C=1) &= P(C=1|A=0,B=0).P(A=0,B=0) + \\
 &P(C=1|A=0,B=1).P(A=0,B=1) + P(C=1|A=1,B=0).P(A=1,B=0) + \\
 &P(C=1|A=1,B=1).P(A=1,B=1)
 \end{aligned} \tag{2}$$

و روابط شرطی شبکه بیزین به صورت سری به شرح زیر است:

$$\begin{aligned}
 P\{C=1|A=0,B=0\} &= 0 \\
 P\{C=1|A=0,B=1\} &= 1 \\
 P\{C=1|A=1,B=0\} &= 1 \\
 P\{C=1|A=1,B=1\} &= 1
 \end{aligned} \tag{3}$$

احتمال رخ دادن C در این حالت هم مشابه رابطه قبلی خواهد بود [25].

3- مجموعه فازی مثلثی

اعداد فازی مثلثی به وسیله سه عدد حقیقی که به صورت (m, u, l) بیان می‌شود، تعریف می‌گردند. m محتمل‌ترین مقدار یک عدد فازی است. آن‌ها دارای توابع عضویتی هستند که شامل دو بخش خطی چپ و راست است که در رأس (m, l) به هم متصل می‌شوند. نکته بسیار مهم آن است که اعداد فازی مثلثی براساس اطلاعات اندک ساخته می‌شوند و انجام عملیات چهارگانه نیز بر روی این اعداد آسان است و اغلب در مواردی مانند کنترلرهای فازی، تصمیم‌گیری‌های مدیریتی، بازرگانی و مالی، مقایسات و ارزیابی‌ها مورداستفاده قرار می‌گیرند. بخش اصلی و مهم نظریه مجموعه‌های فازی، گرفتن اطلاعات از خبره‌ها است. بنابراین، قضاوت یک خبره نقش حیاتی را در ارزیابی قابلیت اطمینان داراست. قابلیت اطمینان ابتدایی به صورت بازه $[l, r]$ در نظر گرفته می‌شود که ارزش قطعی یا میانی این عدد فازی مثلثی (m) برابر است با جمع این دو عدد تقسیم بر دو. مقدار فازی اطلاعات ورودی از نظر n نفر خبره به دست می‌آید که به صورت عدد فازی مثلثی مانند زیر اتخاذ می‌شود:

$$E^i = (m^i - d^i, m^i, m^i + d^i) \quad (4)$$

ولی نیاز است که از نظرات خبره‌ها به ارزش واحدی برای قابلیت اطمینان PROBIST رسیده شود.

اگر p_i احتمال شکست جزء i ام باشد و آن را به صورت عدد فازی مثلثی به سه مؤلفه (p_{i1}, p_{i2}, p_{i3}) تعریف کنیم، با داشتن هر برش α داریم:

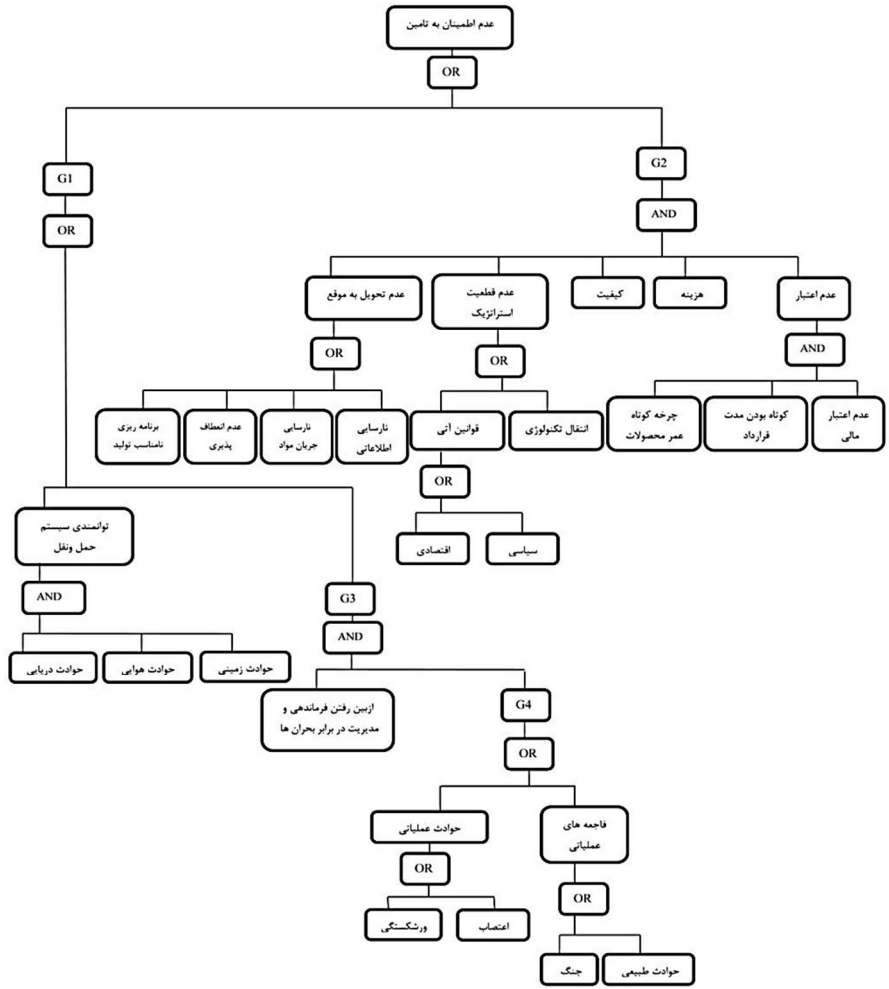
$$[p_i]_\alpha = [p_{i1} + \alpha(p_{i2} - p_{i1}), p_{i3} - \alpha(p_{i3} - p_{i2})] \quad (5)$$

$$[p_i]_\alpha \cdot [p_j]_\alpha = \{ [p_{i1} + \alpha(p_{i2} - p_{i1}) \cdot p_{j1} + \alpha(p_{j2} - p_{j1})], [p_{i3} - \alpha(p_{i3} - p_{i2}) \cdot p_{j3} - \alpha(p_{j3} - p_{j2})] \} \quad (6)$$

4- روش تحقیق

تاکنون روش‌های مختلفی جهت ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان با استفاده از روش‌های مختلفی جهت ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان با استفاده از روش‌هایی چون تصمیم‌گیری چندمعیاره، سیستم‌های خبره، شبیه‌سازی و الگوریتم‌های فراابتکاری موردبررسی قرار گرفته است، ولی این تحقیق قابلیت اطمینان تأمین‌کنندگان را در شرایط بحران و اختلال مانند شرایط تحریم موردبررسی قرار می‌دهد. در روش حل موجود، نظرات خبرگان صنعت موردنظر که به صورت متغیرهای زبانی هستند به متغیرهای کمی تبدیل می‌شود. برای کاهش خطای انسانی خبرگان از نظریه فازی استفاده شده و حد بالا و پایینی برای احتمال‌های هر یک از رخدادهای درخت خطای تأمین‌کننده به دست آورده می‌شود. همچنین با استفاده از روش تحلیل درخت خطا قابلیت اطمینان تأمین‌کنندگان در سطوح مختلف محاسبه می‌شود. برای به دست آوردن درخت خطای تأمین‌کننده، با استفاده از منابع علمی موجود در این زمینه و همچنین بهره‌گیری از نظر کارشناسان مربوطه عواملی که ممکن است موجب اختلال در عملکرد تأمین‌کننده شود یا باعث پایین آوردن قابلیت اطمینان آن شود، به دست آورده شده و درخت خطای موردنظر ترسیم شده است.

بعد از شناسایی عواملی که باعث کاهش اطمینان تأمین‌کنندگان می‌شوند، باید درخت خطای متناسب با رخدادهای رسم شود. درخت خرابی یک مدل نمادین منطقی از بالا به پایین است که در حوزه شکست تولید می‌شود. این مدل راه‌های خرابی را از یک پیشامد اصلی نامطلوب از قبل تعیین شده (پیشامد بالایی) تا خرابی‌های سیستم (آغازگرهای درخت) دنبال می‌کند. خرابی‌ها و شکست‌های سیستم هرکدام از آن جهت که علت به وجود آمدن خرابی دیگری در درخت خرابی هستند، آغازگر نامیده می‌شوند. تجزیه و تحلیل درخت خرابی یک وسیله نیرومند خطایاب برای تجزیه و تحلیل سیستم‌های پیچیده است و به‌عنوان یک وسیله کمکی برای بهبود طراحی استفاده می‌شود [26]. شکل (5) درخت خطای هر تأمین‌کننده و مجموعه اختلالاتی را که باعث عمل نکردن تأمین‌کننده می‌شود، نمایش می‌دهد.



شکل 5 درخت خطای تأمین کننده

در این نمودار، از G به عنوان حلقه اتصال مجموعه رویدادها در هر مرحله استفاده شده است.

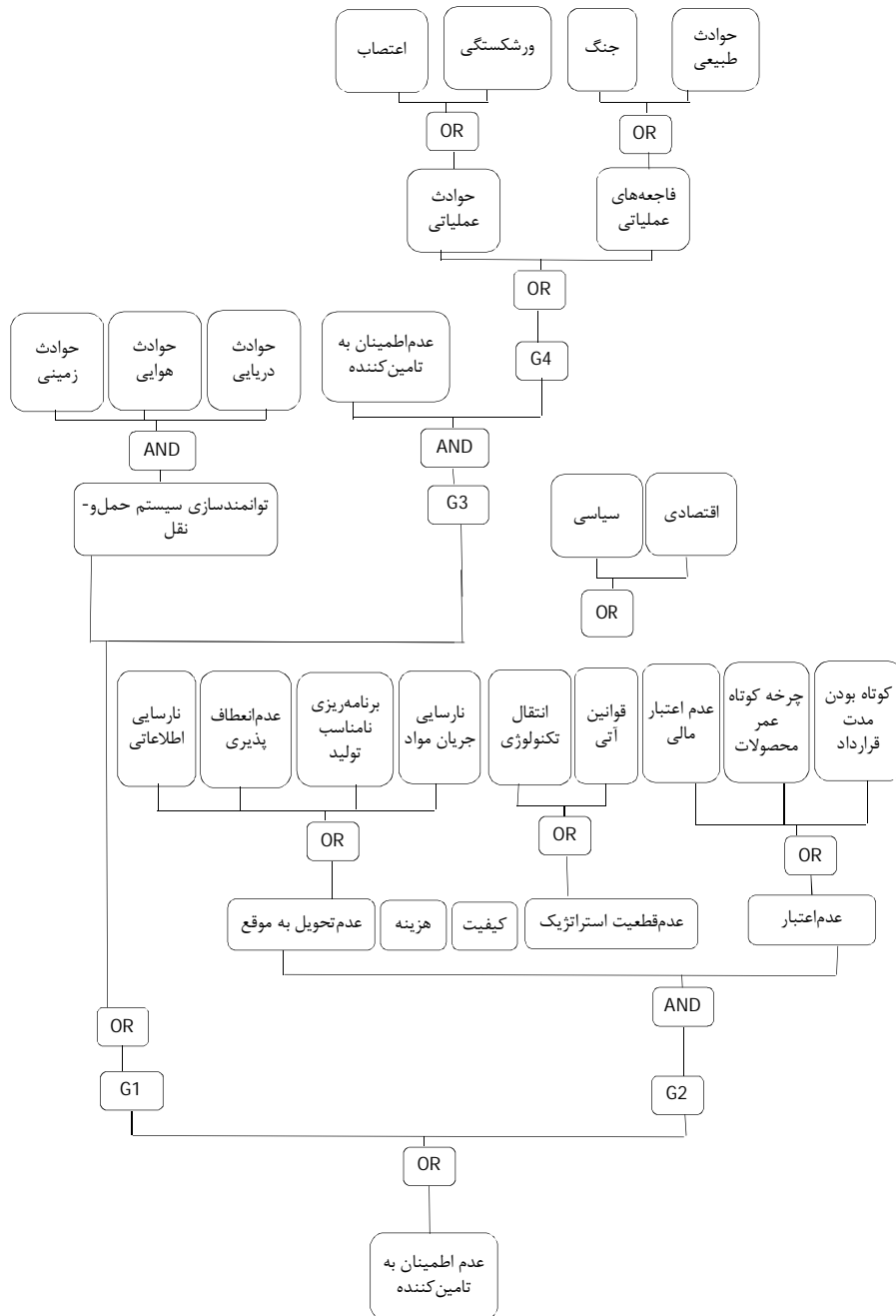
تبدیل تحلیل درخت خطا به شبکه‌های بی‌زین

برای تبدیل درخت خطای تأمین کننده به شبکه بی‌زین باید از الگوی ارائه شده در بخش 1-2 استفاده کرد که شبکه بی‌زین مربوطه در شکل (6) نشان داده شده است.

از آنجاکه در رابطه معادله (2) دو نوع احتمال شرطی و حاشیه‌ای وجود دارد، بنابراین رویکردهای حل به این صورت است که مقدار احتمالات حاشیه‌ای وجود داشته و احتمالات شرطی را نیز باید محاسبه نمود.

جدول 1 منابع رخدادهای درخت خطا

منبع	رخداد	ردیف	منبع	رخداد	ردیف
[27، ص 250]، [28، ص 1182]	حوادث طبیعی	رخداد 11	[1، ص 1665]	هزینه	رخداد 1
[1، ص 1665]	جنگ	رخداد 12	[36، ص 210]	کیفیت	رخداد 2
[29، ص 859]، [30، ص 25]	برنامه‌ریزی	رخداد 13	[37، ص 120]	انتقال فناوری	رخداد 3
[31، ص 350]، [32، ص 586]	سیاسی	رخداد 14	[34]	چرخه کوتاه عمر محصولات	رخداد 4
[33، ص 192]	اقتصادی	رخداد 15	متناسب با شرایط پژوهشگره زیرسطحی	کوتاه بودن مدت قرارداد	رخداد 5
[34]	نارسای اطلاعاتی	رخداد 16	متناسب با شرایط پژوهشگره زیرسطحی	حوادث زمینی	رخداد 6
متناسب با شرایط پژوهشگره زیرسطحی	نارسای جریان مواد	رخداد 17	متناسب با شرایط پژوهشگره زیرسطحی	حوادث دریایی	رخداد 7
[34]	عدم انعطاف‌پذیری	رخداد 18	متناسب با شرایط پژوهشگره زیرسطحی	حوادث هوایی	رخداد 8
[35، ص 33]	عدم اعتبار مالی	رخداد 19	[31، ص 350]	ورشکستگی	رخداد 9
[34]	از بین بردن فرماندهی و مدیریت در برابر بحران‌ها	رخداد 20	[31، ص 350]	اعتصاب	رخداد 10



شکل 6 شبکه بیزین درخت خطای تأمین کننده

در این قسمت، ارزیابی احتمال شکست رویداد اصلی یک درخت خطا با استفاده از عملیات محاسباتی فازی ارائه شده است. در این تجزیه تحلیل، پارامترهای مربوط به ویژگی‌های زمان تا خرابی اجزای اصلی به‌عنوان اعداد فازی مثلثی در نظر گرفته و برای ساده شدن محاسبات، توابع توزیع امکان برای احتمال شکست نیز به‌عنوان اعداد فازی مثلثی تخمین زده شده‌اند. اعداد فازی مثلثی به‌عنوان ورودی‌های اصلی در نظر گرفته می‌شوند.

در تجزیه و تحلیل درخت خطای سنتی، احتمال شکست اجزای سیستم به‌عنوان ارزش‌های دقیق تلقی می‌شوند. در یک محیط پویا و متغیر یا در سیستمی که داده‌ها برای استنتاج آماری کافی نیستند، برآورد میزان دقیق یا احتمال شکست اجزای سیستم اغلب بسیار دشوار است. زمانی که اطلاعات دقیق مربوط به شکست موجود نیست، ممکن است لازم باشد که احتمال رویداد اصلی با برآوردهای ناقص احتمالات که شاید توسط ارزیابی ذهنی طراحان سیستم یا کارشناسان فراهم شده باشد، محاسبه شود. محاسبات فازی، ظرفیت مقابله با چنین موقعیت‌هایی را دارند [38، ص 95].

در ادامه برای به دست آوردن اطلاعات موردنیاز در حوزه مطالعه موردی انجام شده از روش مصاحبه با نخبگان فعال در صنعت موردنظر استفاده شده است و هدف از مصاحبه به دست آوردن احتمال هر یک از رویدادهای درخت خطاست. با استفاده از مصاحبه‌های ساختاریافته و نیمه ساختاریافته و همچنین مستندات موجود در صنعت، اطلاعات موردنیاز جمع‌آوری شده است. نکته مهم این‌که اطلاعات گردآوری شده از طریق مصاحبه، مورد تأیید افراد مطلع و خبره در مبحث موردنظر است که با تجربه کافی خود در حوزه موردنظر، اطلاعات خوبی را در اختیار دارند. اعداد فازی به‌دست آمده رویدادها، برای هر دو تأمین‌کننده مطابق جدول شماره (2) و (3) است. در ادامه، پاسخ‌های کاربرگ مصاحبه را از متغیرهای زبانی به کمیت‌های فازی با دامنه تغییر [0,1] تبدیل می‌کنیم.

جدول 2 احتمال و قابلیت اطمینان رخدادهای تأمین کننده اول

رویدادها	P_i	$R_i = 1 - P_i$	رویدادها	P_i	$R_i = 1 - P_i$
1 رویداد	(0/4 , 0/5 , 0/6)	(0/4 , 0/5 , 0/6)	11 رویداد	(0/0 , 0/1 , 0/2)	(0/8 , 0/9 , 1/0)
2 رویداد	(0/4 , 0/5 , 0/6)	(0/4 , 0/5 , 0/6)	12 رویداد	(0/4 , 0/5 , 0/6)	(0/4 , 0/5 , 0/6)
3 رویداد	(0/6 , 0/7 , 0/8)	(0/2 , 0/3 , 0/4)	13 رویداد	(0/4 , 0/5 , 0/6)	(0/4 , 0/5 , 0/6)
4 رویداد	(0/2 , 0/3 , 0/4)	(0/6 , 0/7 , 0/8)	14 رویداد	(0/4 , 0/5 , 0/6)	(0/4 , 0/5 , 0/6)
5 رویداد	(0/6 , 0/7 , 0/8)	(0/2 , 0/3 , 0/4)	15 رویداد	(0/0 , 0/1 , 0/2)	(0/8 , 0/9 , 1/0)
6 رویداد	(0/6 , 0/7 , 0/8)	(0/2 , 0/3 , 0/4)	16 رویداد	(0/6 , 0/7 , 0/8)	(0/2 , 0/3 , 0/4)
7 رویداد	(0/0 , 0/1 , 0/2)	(0/8 , 0/9 , 1/0)	17 رویداد	(0/6 , 0/7 , 0/8)	(0/2 , 0/3 , 0/4)
8 رویداد	(0/8 , 0/9 , 1/0)	(0/0 , 0/1 , 0/2)	18 رویداد	(0/6 , 0/7 , 0/8)	(0/2 , 0/3 , 0/4)
9 رویداد	(0/0 , 0/1 , 0/2)	(0/8 , 0/9 , 1/0)	19 رویداد	(0/4 , 0/5 , 0/6)	(0/4 , 0/5 , 0/6)
10 رویداد	(0/4 , 0/5 , 0/6)	(0/4 , 0/5 , 0/6)	20 رویداد	(0/4 , 0/5 , 0/6)	(0/4 , 0/5 , 0/6)

جدول 3 احتمال و قابلیت اطمینان رخدادهای تأمین کننده دوم

رویدادها	P_i	$R_i = 1 - P_i$	رویدادها	P_i	$R_i = 1 - P_i$
1 رویداد	(0/6 , 0/7 , 0/8)	(0/2 , 0/3 , 0/4)	11 رویداد	(0/0 , 0/1 , 0/2)	(0/8 , 0/9 , 1/0)
2 رویداد	(0/0 , 0/1 , 0/2)	(0/8 , 0/9 , 1/0)	12 رویداد	(0/0 , 0/1 , 0/2)	(0/8 , 0/9 , 1/0)
3 رویداد	(0/2 , 0/3 , 0/4)	(0/6 , 0/7 , 0/8)	13 رویداد	(0/0 , 0/1 , 0/2)	(0/8 , 0/9 , 1/0)
4 رویداد	(0/2 , 0/3 , 0/4)	(0/6 , 0/7 , 0/8)	14 رویداد	(0/4 , 0/5 , 0/6)	(0/4 , 0/5 , 0/6)
5 رویداد	(0/8 , 0/9 , 1/0)	(0/0 , 0/1 , 0/2)	15 رویداد	(0/0 , 0/1 , 0/2)	(0/8 , 0/9 , 1/0)
6 رویداد	(0/4 , 0/5 , 0/6)	(0/4 , 0/5 , 0/6)	16 رویداد	(0/2 , 0/3 , 0/4)	(0/6 , 0/7 , 0/8)
7 رویداد	(0/4 , 0/5 , 0/6)	(0/4 , 0/5 , 0/6)	17 رویداد	(0/2 , 0/3 , 0/4)	(0/6 , 0/7 , 0/8)
8 رویداد	(0/2 , 0/3 , 0/4)	(0/6 , 0/7 , 0/8)	18 رویداد	(0/0 , 0/1 , 0/2)	(0/8 , 0/9 , 1/0)
9 رویداد	(0/2 , 0/3 , 0/4)	(0/6 , 0/7 , 0/8)	19 رویداد	(0/0 , 0/1 , 0/2)	(0/8 , 0/9 , 1/0)
10 رویداد	(0/4 , 0/5 , 0/6)	(0/4 , 0/5 , 0/6)	20 رویداد	(0/0 , 0/1 , 0/2)	(0/8 , 0/9 , 1/0)

برای اینکه بتوانیم احتمال درست کارکردن تأمین کننده را طبق رابطه (7) محاسبه نماییم، به شرح زیر عمل خواهد شد:

$$\begin{aligned}
 P(R) = & P(R|R_1, R_2)P(R_1|r_1, r_2, r_3, r_4, r_5)P(R_2|N_1, N_2)P(r_1|s_1, s_2, s_3, s_4) \\
 & P(r_4|s_5, s_6)P(r_5|s_7, s_8, s_9)P(s_5|I_1, I_2) \\
 & P(N_1|n_1, n_2, n_3)P(N_2|m_1, m_2)P(m_2|k_1, k_2)P(k_1|o_1, o_2) \\
 & P(k_2|o_3, o_4)P(r_2)P(r_3)P(s_1)P(s_2)P(s_3)P(s_4) \\
 & P(s_6)P(s_7)P(s_8)P(s_9)P(I_1)P(I_2)P(n_1)P(n_2) \\
 & P(n_3)P(m_1)P(o_1)P(o_2)P(o_3)P(o_4)
 \end{aligned} \tag{7}$$

که مقادیر احتمالات شرطی طبق رابطه (2) و روش زنجیره مارکوف مونت‌کارلو محاسبه می‌شود. در رابطه (7) نحوه محاسبه احتمال شرطی درست کار کردن سوزن در مجموعه ماسوره مکانیکی با شرایط حاکم بر چهار زیر عامل آن آورده شده است.

$$\begin{aligned}
 P(R|R_1, R_2) = & \tau_1 P(R_1) P(R_2) + \tau_2 P(R_1) (1 - P(R_2)) + \tau_3(1 - P(R_1)) P(R_2) + \tau_4(1 - \\
 & P(R_1)) (1 - P(R_2)) (1 - P(R_3))
 \end{aligned} \tag{8}$$

با استفاده از فرمول‌های (6) و (8) محاسبات فازی برای دستیابی به قابلیت اطمینان دو تأمین‌کننده با استفاده از شبکه بی‌زین انجام داده می‌شود. اعداد محاسبه‌شده در جدول شماره (4) نمایش داده شده است.

جدول 4 قابلیت اطمینان کل تأمین‌کننده اول و دوم

A	تأمین‌کننده اول		تأمین‌کننده دوم	
	پایین	بالا	پایین	بالا
0/0	0/494	0/623	0/382	0/477
0/1	0/499	0/615	0/386	0/471
0/2	0/505	0/608	0/391	0/466
0/3	0/511	0/797	0/395	0/460
0/4	0/517	0/601	0/399	0/455
0/5	0/522	0/586	0/403	0/450
0/6	0/528	0/579	0/408	0/445
0/7	0/535	0/572	0/412	0/440
0/8	0/541	0/566	0/416	0/435
0/9	0/547	0/559	0/421	0/430
1/0	0/554	0/554	0/426	0/426

با توجه به جدول (4) حد بالا و پایین قابلیت اطمینان دو تأمین کننده مورد نظر در سطوح مختلف محاسبه شده است و تصمیم گیرنده با توجه به شرایط صنعت و خدمات مورد نظر خود و با توجه به سطح مورد انتظار، می تواند قابلیت اطمینان تأمین کنندگان موجود را تحلیل و بررسی نماید.

5- نتیجه گیری و پیشنهادها

آنچه این تحقیق را از تحقیقات پیشین متمایز می کند، بررسی قابل اعتماد بودن تأمین کننده در شرایط بحرانی است و نگاه منسجم به اختلالات تأمین کننده است. تاکنون بررسی میزان اطمینان و اعتماد پذیری وسایل، تسهیلات و نهایتاً سیستم های صنعتی امری متداول بود، اما این تحقیق به دنبال تعیین ضریب قابلیت اطمینان تأمین کنندگان با در نظرگیری تمام پیچیدگی های محیطی آن بوده است. با استفاده از روش تحلیل درخت خطا تمامی مواردی را که باعث عملکرد نامناسب تأمین کننده در شرایط بحرانی می شود، ریشه یابی کرده و با استفاده از شبکه های بیزین و دستیابی به قابلیت اطمینان تأمین کنندگان، روش جدیدی برای انتخاب مطمئن تر ارائه شد. استفاده از این راهکار موجب می شود سازمان کمترین ضرر ممکن را در مقایسه با دیگر رقبا متحمل شده و سهم بیشتری از بازار هدف را به دست آورد.

برای به دست آوردن قابلیت اطمینان تأمین کننده پژوهشکده زیرسطحی در ابتدا عواملی را که موجب می شود تأمین کننده قابل اعتماد نباشد یا باعث کاهش اعتماد آن شود، به صورت درخت خطا که یکی از ابزارهای محاسبه قابلیت اطمینان است، بیان شد. سپس درخت خطا را به شبکه بیزین تبدیل نموده و پس از آن با استفاده از احتمالات حاشیه ای به دست آمده از مصاحبه های ساختاریافته و نیمه ساختاریافته و مستندات موجود در صنعت، اطلاعات مورد نیاز جمع آوری شد. نکته مهم این که اطلاعات گردآوری شده از طریق مصاحبه، مورد تأیید افراد مطلع و خبره در مبحث مورد نظر هستند که از آن جمله می توان به 5 نفر از مدیران، کارشناسان و مهندسين فعال در بخش تأمین مواد اولیه و مدیریت پروژه فعال در صنعت اشاره کرد. برای هر یک از رخدادهای و فازی نمودن آن، قابلیت اطمینان تأمین کننده محاسبه می شود. با این روش می توان حد بالا و پایینی برای قابلیت اطمینان هر یک از تأمین کنندگان به دست آورد و شرکت ها و سازمان ها می توانند با این روش با در نظر گرفتن سطح α

مناسب موردنظر خود قابلیت اطمینان هریک از تأمین‌کنندگان بالقوه خود را محاسبه کنند و متناسب با آن تأمین‌کننده‌هایی را که قابلیت اطمینان بیشتری داشته باشند، به‌عنوان یک قدرت رقابتی انتخاب کرده و حضوری قدرتمند در بازار داشته باشند. با توجه به قابلیت اطمینان بالای به‌دست‌آمده برای دو تأمین‌کننده پژوهش‌کننده زیرسطحی، و مقایسه آن‌ها می‌تواند با اطمینان بیشتری حجم مبادلاتی خود را با شرکت A نسبت به شرکت B افزایش دهد. برای مطالعات آتی می‌توان پیشنهادهای زیر را مطرح کرد:

- 1- استفاده از مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره به‌صورت فازی برای رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان؛ به‌طور خاص برای اولویت‌بندی تأمین‌کنندگان می‌توان از روش‌های TOPSIS و ELECTRE استفاده نمود.
- 2- استفاده از روش‌های این تحقیق برای ارزیابی و انتخاب مشتری.

6- منابع

- [1] Wu, T.; Grady, P.; (2007). "methodology for supply chain disruption analysis. International journal of productio research" 45: 1665-1682.
- [2] Kevin, B.; Hendricks; Vinod; R. Singhal.; (2003). "The effect of supply chain glitches on shareholder wealth" Journal of Operations Management 21:501-522.
- [3] Wlendahl, H.; Cleminskf, G. V.; Begemann C.; (2003). "A Systematic Approach for Ensuring the Logistic Process Reliability of Supply Chains" CIRP Annals - Manufacturing Technology 52, (1): 375-38.
- [4] Berger, P. D.; Gerestenfeld, A.; "How many suppliers are best? A decision-analysis approach" Journal Omega (2004): 32 9-5.
- [5] Hallikas, J.; Puumalainen, K.; Vesterinen T.; Virolainen V.; (2005) . "Risk-based classification of supplier relationships" Journal of Purchasing & Supply Management 11:72-82.
- [6] Tang, C. S.; (2006). "Perspectives in supply chain risk management" Int, J. Of Production Economics 103:451-488.

- [7] Nieuwenhuysse, I. V.; Vandaele, N.; (2007). "The impact of delivery lot splitting on delivery reliability in a two-stage supply chain" *International Journal of Production Economics* 104 (2): 694–708.
- [8] Burke, J. G.; Janice, E.; Carrillo.; (2007) . "Single versus multiple supplier sourcing strategies" *European Journal of Operational Research* 182: 95–112.
- [9] Costantino, N.; Pellegrino R.; (2010) . "Choosing between single and multiple sourcing based on supplier default risk" *Journal of Purchasing & Supply Management* 16: 27–40.
- [10] Davarzani, H.; Zegordi, S. H.; (2011). "Contingent management of supply chain disruption: Effects of dual or triple sourcing" *Scientia Iranica E* 18: 1517–1528.
- [11] Zhou, C.; Chinnam, R. B.; Korostelev, A.; (2012). "Hazard rate models for early detection of reliability problems using information from warranty databases and upstream supply chain" *International Journal of Production Economics*, 139: 180-195.
- [12] Zegordi, S. H.; Davarzani, H.; (2012) . "Developing a supply chain disruption analysis model: Application of colored Petri-nets" *Expert Systems with Applications* 39: 2102–2111.
- [13] Danese, P.; Romano, P.; Formentini M.; (2013) . "The impact of supply chain integration on responsiveness: The moderating effect of using an international supplier network" *Transportation Research Part E* 49: 125–140.
- [14] Kazemi, M.; Alizadeh, A.; (2014). "Optimum Selection Of Suppliers Based On AHP-DEA-TOPSIS Combined approach"; *Journal Of Operational Reserch And Its Applications* ; 37 - 53.
- [15] Radfar, R.; Salahi, F.; "Evaluation and ranking of suppliers with fuzzy DEA and PROMETHEE approach"; *International Journal of Industrial Mathematics* SUMMER 2014 , Volume 6 , Number 3; Page(s) 189 To 197.
- [16] Azadi, M.; Jafarian, M.; Farzipoor Saen, R.; Mirhedayatian, S.M.; (2015). "A new fuzzy DEA model for evaluation of efficiency and effectiveness of

suppliers in sustainable supply chain management context”; *Computers & Operations Research*; Volume 54, Pages 274–285.

- [17] Azizi H, Jahed R.(2015), “Supplier Selection in Volume Discount Environments in the Presence of Both Cardinal and Ordinal Data: A New Approach Based On Double Frontiers DEA”, *Modern researches in decision making*, 19 (3) :191-217.
- [18] KianiMavi R., Goh M., KianiMavi N., (2016), “Supplier Selection with Shannon Entropy and Fuzzy TOPSIS in the Context of Supply Chain Risk Management”, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, PP. 216-225.
- [19] Venkatesan S., Goh M., (2016), ” Multi-objective supplier selection and order allocation under disruption risk”. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Volume 95, Pages 124-142.
- [20] Kırılmaz O., Erol S., (2017), “A proactive approach to supply chain risk management: Shifting orders among suppliers to mitigate the supply side risks”, *Journal of Purchasing and Supply Management*, Volume 23, Issue 1, Pages 54-65.
- [21] Liu J., An R., Xiao Y., Yang Y., Wang Q., (2017), “Implications from substance flow analysis, supply chain and supplier’ risk evaluation in iron and steel industry in Mainland China”, *Resources Policy*, 51, 272-282.
- [22] Babaee L, Rabieh M, Nikbakhsh E, Esmaeili M.,(2017)., “Multi- Objective Mathematical Model for Green Supplier Selection (Case Study: Supply Chain of IRAN KHODRO Company)”, *Management Researches in Iran*, 2(2), PP:51-83.
- [23] Karimi T, bandesi S., (2018), “Service Supply Chain Risk Assessment Applying Rough Set Theory Approach: Case of Payment Service Providers”., *Management Researches in Iran*, 22 (1), PP :69-94
- [24] Vahidi F., Torabi A., Ramezankhani M., (2018), “Sustainable supplier selection and order allocation under operational and disruption risks”, *Journal of Cleaner Production*, Volume 174, Pages 1351-1365.

- [25] Karbasian, M., SHarifi, M., GHolami, S.M.H., SHarifi, S.M.M, (2012)., "Reliability Engineering", Publicationsomid enghelab.
- [26] Karbasian, M.; Radpour, H.; (2012). "Systems engineering toolset for design engineers" Publications Arkane danesh
- [27] Tuncel, G., & Alpan, G. (2010). "Risk assessment and management for supply chain networks: A case study". *Computers in Industry*, 61: 250–259.
- [28] Hittle, B., & Leonard, K.M. (2011). "Decision making in advance of a supply chain crisis", *Management Decision*, 49(7): 1182-1193.
- [29] Moeinzadeh, P., & Hajfathaliha, A. (2010). "A Combined Fuzzy Decision Making Approach to Supply Chain Risk Assessment". *International Journal of Human and Social Sciences*, 5(13): 859-875.
- [30] Tang, O., & Nurmaya Musa, S. (2011). "Identifying risk issues and research advancements in supply chain risk management". *International Journal Production Economics*, 133: 25–34.
- [31] Wu, T., Blackhurst, J., & Chidambaram, V. (2006). "A model for inbound supply risk analysis. *Computers in Industry*", 57: 350-365.
- [32] Vilko, J., Hallikas, J.M. (2012). "Risk assessment in multi modal supply chains". *International Journal of Production Economics*, 140: 586-595.
- [33] Manuj, I., & Mentzer, J. (2008). "Global supply chain risk management strategies". *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 38(3): 192–223.
- [34] Hendricks, K. & Singhal, V.R. (2005). "the effect of supply chain disruption on long-term shareholder value, profitability, and share price volatility. Atlanta: Research report, Georgia Institute of technology, USA.
- [35] Tang, C. (2006). "Robust strategies for mitigating supply chain disruption". *International Journal of Logistics: Research and Application*, 9, 33-45.
- [36] Peck, H.(2005). "Drivers of supply chain vulnerability : An integrated framework". *International Journal of physical disruption & logistics management*, 35, 210-232.

- [37] Juttner, U. (2005). "supply chain risk management: Understanding the business requirements from a practitioner perspective". The International Journal of logistics management, 16, 120-141
- [38] Colombo, A. G.; (1987). "Uncertainty propagation in fault tree analysis, Reliability Modelling and Application" (edited by Colombo, A. G. and Keller, A. Z.: 95-1 03.