

Selecting the Optimum Combination of Suppliers Using a Mixed Model of MADM and Fault Tree Analysis

Meysam Azimian¹, Hasan Javadi², Abbas Farshchiha & Iman Nosohi³

¹ M.Sc., Petroleum Industry Health Organization, Isfahan, Iran

² Researcher, Research Institute for Subsea Science & Technology, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

³ Assistant Professor, Research Institute for Subsea Science & Technology, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

Abstract:

In this paper, an integrated approach of MADM and fault tree analysis (FTA) is provided for determining the most reliable combination of suppliers for a strategic product in IUT University. At first, risks of suppliers is estimated by defining the indices for evaluating them, determining their relative status indices and using satisfying and SAW methods. Then, intrinsic risks of utilized equipments in the products are qualified and the final integrated risk for equipments is determined. Finally, through all the different scenarios, the best composition of equipment suppliers is selected by defining the palpable top events and fault tree analysis. The contribution of this paper is about proposing an integrated method of MADM and FTA to determine the most reliable suppliers in order to minimize the final risk of providing a product.

Keywords: Fault Tree Analysis (FTA); Multi-Attribute Decision Making (MADM); Risk Assessment; Supplier

انتخاب بهترین ترکیب تامین کنندگان با ارائه رویکردی تلفیقی از تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه و درخت تجزیه و تحلیل خطا

میثم عظیمیان^۱، حسن جوادی^{۲*}، عباس فرشچیا و ایمان نصوحی^۳

۱- کارشناس ارشد، سازمان بهداشت و درمان صنعت نفت-اصفهان -ایران

۲- مربی پژوهشی، پژوهشکده علوم و فناوری زیردریا -دانشگاه صنعتی اصفهان -اصفهان -ایران

۳- پژوهشکده علوم و فناوری زیردریا -دانشگاه صنعتی اصفهان -اصفهان -ایران

چکیده: هدف این مقاله ارائه رویکردی تلفیقی از تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه و تجزیه و تحلیل درخت خطا، برای انتخاب بهترین ترکیب تامین کنندگان محصولی استراتژیک در پژوهشکده علوم و فناوری زیردریا می‌باشد. در ابتدا با تعیین شاخص‌های ارزیابی و تعیین وضعیت تامین کنندگان نسبت به شاخص‌ها مقدار ریسک هر تامین کننده برآورد شده است. در ادامه نیز ریسک ذاتی تجهیزات مورد استفاده در محصول به صورت کیفی برآورد شده است و ریسک تلفیقی نهایی هر تجهیز براساس سناریوهای مختلف تامین، بدست آمده است. سپس با تعیین حوادث قابل وقوع برای محصول و استفاده از تجزیه و تحلیل درخت خطا بهترین ترکیب تامین کنندگان تجهیزات از میان سناریوهای مختلف، مشخص شده است. نوآوری این مطالعه ارائه رویکردی تلفیقی از تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه و تجزیه و تحلیل درخت خطا برای تعیین تامین کنندگان مناسب به منظور کاهش ریسک نهایی یک محصول می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی ریسک، تامین کننده، تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه، درخت تجزیه و تحلیل خطا

۱- مقدمه

در دهه گذشته مدیران به اهمیت نقش زنجیره تامین در ارزش آفرینی شرکت‌ها پی برده‌اند. تغییرات بسیار سریعی که در سرتاسر بازارهای جهانی اتفاق می‌افتد، به طور اساسی روشی را که مدیران به محیط‌شان می‌نگریستند را تغییر داده است. یکی از حوزه‌هایی که مدیران توجه خود را بیشتر به آن معطوف کرده‌اند مدیریت منبع‌یابی و خرید می‌باشد. در دهه اخیر، مدیریت خرید و زنجیره تامین چالشی برای عمده شرکت‌ها بوده است و دستیابی به یک سطح قابل قبول در زمینه تامین به یک نیاز اساسی تبدیل شده است (کارپاک و همکاران، ۲۰۰۱). زیرمجموعه‌های مورد استفاده در سیستم‌های هر محصول را می‌توان از تامین کنندگان مختلف تهیه نمود. انتخاب تامین کنندگان مناسب می‌تواند به شکل قابل ملاحظه‌ای هزینه‌های خرید را کاهش و قابلیت رقابت پذیری سازمان‌ها را افزایش دهد، زیرا که در بیشتر صنایع، هزینه مواد خام و اجزای تشکیل دهنده محصول، قسمت عمده‌ای از بهای تمام شده محصول را در بر می‌گیرند (صبری و همکاران، ۲۰۰۰). بدون تردید مهم ترین و حساس ترین مرحله در فرآیند خرید هر سازمان، ارزیابی و انتخاب تامین کننده است (دی بوئر و همکاران، ۲۰۰۱). طی سالیان گذشته، روش‌های زیادی برای ارزیابی تامین کنندگان ارائه شده است، با وجود این، متخصصان اعتقاد دارند که در عمل، روش بهینه منحصر به فردی برای ارزیابی تامین کنندگان وجود ندارد (بلو، ۲۰۰۳). بنابراین شرکت‌ها از روش‌های متفاوتی برای این مساله بر اساس نیازمندی‌های مشخص شرکت خود استفاده می‌کنند. همین امر، یافتن بهترین روش ارزیابی و انتخاب تامین کننده را دشوار می‌کند (کسکین و

همکاران، ۲۰۱۰). برای این منظور باید بسیاری از معیارهای عملکرد کمی و کیفی از قبیل، کیفیت، قیمت، انعطاف پذیری و زمان تحویل برای تعیین مناسب ترین تامین کننده مورد توجه قرار گیرند. همچنین با انتخاب مناسب تامین کنندگان می‌توان احتمال خرابی سیستم‌ها را نیز کاهش داد (و بـر و همکاران، ۱۹۹۳). همچنین توجه به این نکته لازم است که شرکت‌ها معمولاً با تعداد زیادی از اقلام مورد نیاز و تامین کنندگان کاندیدا مواجه هستند و اتخاذ سیاست‌های یکسان در مورد تامین اقلام مختلف منطقی به نظر نمی‌رسد و خرید اثربخش و مدیریت تامین کارا نیازمند در نظر گرفتن اهمیت اقلام می‌باشد (عرب زاد و قربانی، ۲۰۱۱).

یکی از تکنیک‌های رایج جهت ارزیابی تامین کنندگان با در نظر گرفتن معیارهای گوناگون، تصمیم گیری چند شاخصه است (زیدان و همکاران، ۲۰۱۱). تصمیم گیری‌های چندمعیاره به مواردی اشاره می‌نماید که معمولاً از میان معیارهای متنوع و گاهی متضاد و ناسازگار می‌گذرد. تصمیم گیری فرآیند انتخاب یک گزینه از میان گزینه‌های موجود است. از طرف دیگر تقریباً در تمام مسائل، معیارهای متعددی برای قضاوت بر روی گزینه‌ها وجود دارد (اصغر پور، ۱۳۷۷). همچنین می‌توان جهت تعیین احتمال خرابی سیستم‌ها از روش تحلیل درخت خطا استفاده نمود. زمانی که می‌خواهیم به این سوال پاسخ دهیم که «چه چیزی باعث ایجاد این حالت شده است؟» از تجزیه و تحلیل درخت خطا (FTA) استفاده می‌شود. نتیجه تحلیل مذکور مجموعه‌ای از ترکیبات اجزای ایجاد کننده خرابی به همراه احتمال هر خرابی است که موجب خرابی کل ساختار می‌شود (دیمتری، ۲۰۰۲).

علی‌رغم کارهای صورت گرفته تاکنون، به نظر نمی‌رسد تحقیقی در زمینه کاربرد همزمان روش‌های تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه و درخت تجزیه و تحلیل خطا جهت ارزیابی و مدیریت تامین‌کنندگان انجام شده باشد. به همین منظور، هدف این مقاله ارائه رویکردی تلفیقی از این دو روش جهت تعیین ریسک سناریوهای تامین تجهیزات یک محصول استراتژیک به منظور کاهش ریسک کلی تامین با انتخاب بهترین ترکیب تامین‌کنندگان تجهیزات آن محصول می‌باشد. برای آزمون روش پیشنهادی، یک محصول استراتژیک موجود در پژوهشکده علوم و فناوری زیردریا وابسته به دانشگاه صنعتی اصفهان، مورد بررسی قرار گرفته است. در ادامه پس از مروری اجمالی بر روی تحقیقات انجام شده قبلی در خصوص ارزیابی تامین‌کنندگان، ابتدا روش‌های تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه و روش تجزیه و تحلیل درخت خطا به طور خلاصه معرفی شده‌اند. سپس روش‌شناسی تحقیق ارائه گردیده و روش پیشنهادی در قالب مطالعه کاربردی مورد آزمون قرار گرفته است. در پایان نیز یافته‌ها مورد بحث قرار گرفته و نتیجه‌گیری مناسب ارائه شده است.

۲- پیشینه تحقیق

در خصوص ارزیابی و انتخاب تامین‌کنندگان مطالعات زیادی انجام شده است که بیشتر بر استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها، برنامه‌ریزی ریاضی، تصمیم‌گیری‌های چند معیاره و ترکیبی از آن‌ها متمرکز بوده که از جمله آن‌ها، عرب‌زاد و همکاران (۲۰۱۱) برمبنای مدل کراالیک وبا استفاده از تکنیک تجزیه و تحلیل عوامل حالات خرابی و آثار آن (FMEA) و همچنین برنامه‌ریزی عدد صحیح، رویکردی جهت

انتخاب تامین‌کنندگان ارائه نمودند. فائز و همکاران^۱ (۲۰۰۹) مدلی برای انتخاب تامین‌کنندگان و تخصیص سفارش با استفاده از روش استدلال مبتنی بر موردفازیو مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح ترکیبی ارائه کرده‌اند. کتو و همکاران^۲ (۲۰۱۰) مدل ترکیبی از شبکه‌های عصبی مصنوعی، تحلیل پوششی داده‌ها و فرآیند تحلیل شبکه‌ای برای انتخاب بهترین تامین‌کنندگان را توسعه داده‌اند. زیدان و همکاران (۲۰۱۱) نیز از ابزارهای تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی فازی، تاپسیس فازی و تحلیل پوششی داده‌ها در غربال اولیه تامین‌کنندگان و مجدداً از ابزار تحلیل پوششی داده‌ها در فاز انتخاب نهایی تامین‌کننده استفاده کرده‌اند. ها و کریشنان^۳ (۲۰۰۸) از یک روش ترکیبی DEA/AHP برای انتخاب تامین‌کنندگان در یک شرکت قطعه‌سازی خودرو استفاده نمودند. تولری و همکاران^۴ (۲۰۰۸) یک مدل ترکیبی از DEA ورودی-محور و برنامه‌ریزی چندهدفه برای تعیین استراتژی‌های مذاکره با تامین‌کنندگان کارآمد پیشنهاد داده‌اند. وو^۵ (۲۰۰۹) یک روش DEA غیرقطعی برای انتخاب تامین‌کنندگان معرفی کرده است. مدل ارائه شده را می‌توان با داده‌های غیرقطعی (برای رتبه‌بندی تامین‌کنندگان کارا) بکار برد و نیز توانایی جداسازی را افزایش می‌دهد (یعنی جدا کردن تامین‌کنندگان کارا از ناکارا). همچنین یک سیستم مبتنی بر وب را برای ارزیابی و انتخاب تامین‌کنندگان توسعه داده است. چوو و جانگ^۶ (۲۰۰۸) یک روش SMART فازی را برای ارزیابی تامین‌کنندگان جایگزین در یک شرکت تولید قطعات سخت‌افزاری بکار برده‌اند. همچنین یک آنالیز حساسیت برای ارزیابی تأثیر تغییرات در ضرایب ریسک تامین‌کنندگان

۳-۱-۱- روش رضایت بخش شمول

روش رضایت بخش شمول از مجموعه مدل های غیر جبرانی تصمیم گیری با معیارهای چندگانه می باشد. در این روش یک سطح استاندارد از هر شاخص توسط تیم تصمیم گیری مشخص شده و گزینه هایی که با استاندارد تعیین شده مقایسه وضعیت تر باشند، از گزینه ها حذف می گردند. در این مقاله از روش رضایت بخش شمول، جهت ارزیابی اولیه تامین کنندگان و تعیین تامین کنندگان منتخب جهت ارزیابی نهایی استفاده شده است.

۳-۱-۲- روش مجموع ساده وزین

مدل مجموع ساده وزین یکی از ساده ترین روش های تصمیم گیری چند شاخصه می باشد. به نحوی که با محاسبه اوزان شاخص ها (W)، ارزش گزینه نام (S_i) به صورت رابطه (۱) محاسبه می گردد.

$$S_i = \sum_j W_j S_{ij} \quad (1)$$

در این فرمول؛ W_j وزن شاخص ریسک j ، S_{ij} امتیاز گزینه نام نسبت به شاخص j نام و S_i امتیاز کلی گزینه نام می باشد. این روش زیرمجموعه روش های نمره گذاری (سنجش ارزش) می باشد و با رویکردی کاملاً جبرانی، محاسبه مطلوبیت گزینه ها را با جمع پذیری محاسبه نموده و دارای تغییرات خطی مطلوبیت می باشد. همچنین اوزان بصورت تبدیلی بدست آمده و استقلال کامل شاخص ها مفروض می باشد (اصغرپور، ۱۳۷۷). در این مقاله جهت تخصیص یک عدد ریسک به هر تامین کننده از روش مجموع ساده وزین استفاده شده است.

صورت گرفته است. دمیرتاس و آستان^۱ (۲۰۰۹) یک مدل ترکیبی ANP^۲ و GP^۱ را برای انتخاب تامین کنندگان ارائه داده اند. در این مدل از ANP برای ارزیابی تامین کنندگان بالقوه استفاده شده و سپس وزن های بدست آمده در این مرحله به عنوان ضرایب یکی از توابع هدف GP بکار رفته است. علی رغم کارهای فراوان صورت گرفته، به نظر می رسد تحقیقی در زمینه کاربرد همزمان روش های تصمیم گیری با معیارهای چندگانه و درخت تجزیه و تحلیل خطا جهت ارزیابی و مدیریت تامین کنندگان انجام نشده و لذا هدف این مطالعه ارائه رویکردی تلفیقی از این دو روش جهت تعیین تامین کنندگان مناسب به منظور کاهش ریسک نهایی یک محصول استراتژیک می باشد.

۳- ادبیات موضوع

۳-۱- تصمیم گیری با معیارهای چندگانه

تکنیک های تصمیم گیری چند شاخصه در دودهه اخیر از استقبال بالایی برخوردار بوده است. قدرت بسیار بالای این تکنیک ها در کاهش پیچیدگی تصمیم گیری، استفاده همزمان از معیارهای کمی و کیفی و اعطای چارچوب ساختارمند به مسائل تصمیم گیری و نهایتاً کاربرد آسان آنها باعث شده تا به عنوان ابزار دست تصمیم گیران در حوزه های مختلف مورد استفاده قرار گیرند (اصغر پور، ۱۳۷۷). به علت وجود تعداد زیاد تکنیک های مذکور، در این پژوهش با نظریتم تصمیم گیری از دو نوع تکنیک پرکاربرد و کارا تحت عناوین روش رضایت بخش شمول^۳ و مجموع ساده وزین (SAW) استفاده شده است و در ادامه شرح مختصری از این تکنیک ها آورده شده است.

۳-۲- تجزیه و تحلیل درخت خطا

یکی از ابزارهای مفید برای ارزیابی قابلیت اطمینان و ریسک، تجزیه و تحلیل درخت خطا است. با استفاده از این تکنیک می‌توان ریسک یا امکان وقوع خرابی در قسمت‌های مختلف سیستم را شناسایی و کنترل نمود. تجزیه و تحلیل درخت خطا در واقع روش منطقی برای مشخص کردن علل سهمیم در وقوع یک واقعه‌ی مخاطره‌آمیز و ناخوشایند با استفاده از نمادهای گرافیکی منطقی است (راسند، ۲۰۰۴). مراحل طراحی درخت خطا به صورت خلاصه عبارتند از، مشخص شدن یک واقعه‌ی نامطلوب نهایی یا رویداد رأس، تعیین زیرمجموعه‌هایی که می‌توانند باعث وقوع رویداد رأس شوند، تعیین ارتباط بین زیرمجموعه‌ها از طریق ترسیم درخت خطا، تحلیل کمی درخت خطای ترسیم‌شده و برآورد احتمال وقوع رویداد رأس تحت تأثیر ریسک‌های هر کدام از زیرمجموعه‌ها. به منظور تحلیل کمی درخت‌های ترسیم‌شده و محاسبه احتمال وقوع رویداد راسی، می‌توان از تبدیل درخت خطا به بلوک دیاگرام قابلیت اطمینان (RBD) و یا تبدیل درخت خطا به شبکه‌های بیزین استفاده نمود (شریفی و همکاران، ۱۳۹۱). در این مقاله به منظور محاسبه ریسک رویدادهای منتخب با در نظر گرفتن ریسک تامین کنندگان تجهیزات، از تجزیه و تحلیل درخت خطا استفاده شده است. هم چنین تحلیل کمی این درخت نیز با استفاده از بلوک دیاگرام قابلیت اطمینان انجام شده است.

۳-۳- نحوه محاسبه ریسک سیستم‌های سری و موازی

جهت محاسبه بلوک دیاگرام‌های قابلیت اطمینان از سیستم‌های سری و موازی استفاده می‌شود. بطوریکه

اگر n جزء به صورت سری با هم در ارتباط باشند و R_i مقدار قابلیت اطمینان i امین جزء باشد، قابلیت اطمینان کل اجزاء مطابق رابطه (۲) محاسبه می‌شود:

$$R_t = \prod_i^n R_i \quad (2)$$

و اگر این اجزاء به صورت موازی با هم در ارتباط باشند قابلیت اطمینان کل اجزاء از رابطه (۳) محاسبه می‌شود:

$$R_t = 1 - \prod_i^n (1 - R_i) \quad (3)$$

بر اساس روابط (۱) و (۲) و مطابق مفهوم قابلیت اطمینان، مقدار قابلیت اطمینان یک مجموعه سری کمتر از هر یک از اجزاء آن و مجموعه موازی بیشتر از هر یک از اجزاء آن می‌باشد (شریفی و همکاران، ۱۳۹۱). لذا با توجه به مفهوم ریسک می‌توان این گونه تفسیر نمود که ریسک یک مجموعه سری بیشتر از ریسک هر یک از اجزاء آن و ریسک مجموعه موازی کمتر از هر یک از اجزاء آن می‌باشد و در نتیجه برعکس قابلیت اطمینان به منظور محاسبه ریسک نهایی یک مجموعه سری از رابطه (۳) و مجموعه موازی از رابطه (۲) می‌توان استفاده نمود. در این مقاله به منظور محاسبه ریسک مجموعه‌های سری و موازی از روابط مذکور استفاده شده است.

۴- روش پژوهش

این پژوهش از نظر هدف توسعه‌ای-کاربردی است. از نظر ماهیت داده‌ها کیفی و کمی است. هم چنین از نظر جمع‌آوری داده‌ها از نوع مقطعی و از نظر مساله پژوهش از نوع توصیفی و همبستگی می‌باشد. متغیرهای وابسته، مقدار ریسک نهایی محصول مورد نظر بر اساس سناریوهای مختلف تامین تجهیزات و متغیرهای مستقل، مقادیر ریسک

یک گروه تصمیم‌گیری از افراد صاحب‌نظر و در دسترس، تشکیل می‌شود.

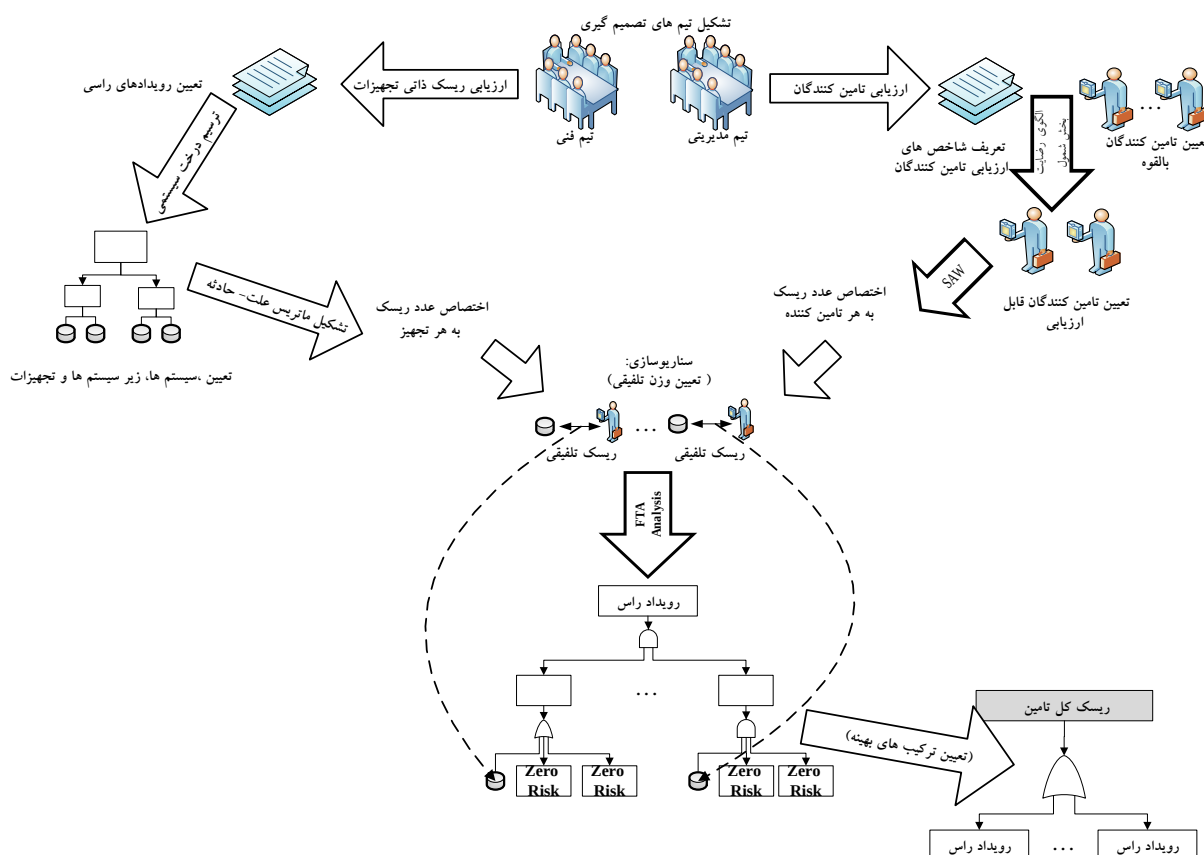
۴-۲- ارزیابی اولیه تامین‌کنندگان

برای ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان برخی شاخص‌های ارزیابی حیاتی هستند و ضعف یک تأمین‌کننده در این شاخص‌ها قابل جبران توسط سایر شاخص‌ها نخواهد بود. از این رو در این مرحله یک ارزیابی اولیه بر روی مجموعه تأمین‌کنندگان با استفاده از روش رضایت‌بخش شمول صورت می‌گیرد. واضح است، تأمین‌کنندگانی که نتیجه ارزیابی اولیه ایشان منفی است، در همین مرحله از فرآیند انتخاب و برقراری ارتباط کنار گذاشته می‌شوند.

تأمین‌کنندگان و مقدار ریسک بالقوه تجهیزات در مقطع زمانی موردنظر می‌باشند. هم‌چنین متغیرهای مداخله‌گر، مقدار ریسک تلفیقی تجهیزات و احتمال بروز رویدادهای منتخب بدست آمده از تجزیه و تحلیل درخت خطا می‌باشند. روال‌کاری در این پژوهش مطابق شکل شماره ۱ پیشنهاد شده است.

۴-۱- تشکیل تیم تصمیم‌گیری

در ابتدای این پژوهش جهت تعیین مدل‌های مناسب ارزیابی، تعیین و ارزش‌گذاری کیفی شاخص‌های ارزیابی تأمین‌کنندگان و هم‌چنین تشکیل ماتریس علت-حادثه برای تعیین ریسک ذاتی تجهیزات،



شکل ۱. روندکار پیشنهادی

۴-۳- تخصیص عدد ریسک به تامین کنندگان

در این فاز به هر تامین‌کننده یک عدد تحت عنوان "عدد ریسک" تخصیص داده می‌شود. در این راستا لیست تامین‌کنندگان از خروجی قسمت ۴-۲ تهیه می‌شود. سپس شاخص‌های اثرگذار در تهیه یک زیرمجموعه‌ی سالم، بدون خرابی و با قابلیت اطمینان بالا، برای هر تامین‌کننده با مطالعات کتابخانه‌ای و استفاده از نظرات تیم تصمیم‌گیری تعیین می‌شوند. سپس وزن و درجه اهمیت هریک از شاخص‌های مطرح برای ارزیابی ریسک، تعیین می‌شوند. وزن شاخص‌ها در این پژوهش با نظر گروه تصمیم‌گیری تعیین شده است. در مرحله‌ی بعد امتیاز و وضعیت هر یک از تامین‌کنندگان نسبت به هریک از شاخص‌های ارزیابی ریسک تعیین می‌شود. این اطلاعات با استفاده از سوابق عملکردی تامین‌کنندگان به دست می‌آید. همچنین در مواردی که دسترسی به اطلاعات دقیق میسر نباشد از متغیرهای کیفی و استفاده از دانش تیم تصمیم‌گیری استفاده می‌شود. در مرحله بعدی، با توجه به وضعیت هر تامین‌کننده نسبت به مجموعه شاخص‌های ارزیابی به هر تامین‌کننده یک امتیاز کلی نسبت داده می‌شود. این امتیاز کلی بر اساس روش مجموع ساده وزین و از رابطه (۱) محاسبه می‌شود. لازم به ذکر است، در این روش باید مقیاس و دامنه تغییرات شاخص‌های مختلف به صورت "بی مقیاس شده" باشند. همچنین، به طور معمول وزن شاخص‌ها را می‌توان به گونه‌ای نرمال‌سازی نمود که $\sum W_j = 1$ شود. در ادامه با توجه به امتیاز کلی هر تامین‌کننده یک عدد ریسک به او تخصیص داده شود. واضح است اگر زیرمجموعه‌های مورد استفاده در سیستم از تامین‌کننده‌ای تهیه شوند که در

شاخص‌های مذکور شرایط و امتیاز مناسبی دارد، احتمال خرابی زیرمجموعه یا عملکرد نامناسب زیرمجموعه کاهش می‌یابد. به‌چنین تامین‌کننده‌ای با امتیاز کلی بالا باید یک عدد ریسک پایین (بین صفر و یک) تخصیص داده شود. این عدد ریسک به صورت رابطه (۴) در نظر گرفته می‌شود.

$$R_i = \frac{\sum_j W_j Y_j - S_i}{\sum_j W_j Y_j} \quad (4)$$

بطوریکه Y_j حداکثر امتیاز قابل تصور برای هر تامین‌کننده در شاخص j و R_i عدد ریسک تامین‌کننده نام می‌باشد. از این عدد ریسک (رابطه ۴) در فازهای بعدی برای تجزیه و تحلیل درخت خرابی استفاده شده است.

۴-۴- ارزیابی ریسک ذاتی زیرمجموعه‌ها

در این مطالعه رویه‌ای مشخص برای تعیین درجه اهمیت یا ریسک ذاتی هریک از زیرمجموعه‌ها یا زیرسیستم‌ها در کل محصول ارائه شده است. در ابتدا حوادث مخاطره‌آمیز مختلف قابل وقوع در محصول با مطالعات کتابخانه‌ای، مراجعه به سوابق نگهداری و تعمیرات و همچنین نظر سنجی از گروه تصمیم‌گیری تعیین می‌شوند و برای هر کدام از آن‌ها وزنی در نظر گرفته می‌شود. این وزن می‌تواند از روی نسبت فراوانی هر حادثه به کل حوادث مشاهده شده در انواع مختلف محصول مورد بررسی تخمین زده شود و یا با نظر سنجی از تیم تصمیم‌گیری تعیین شود. سپس زیرمجموعه‌ها یا زیرسیستم‌های اثرگذار در وقوع حوادث مخاطره‌آمیز تعیین و ماتریسی تحت عنوان حادثه- زیرمجموعه یا حادثه- علت، تشکیل می‌شود. ستون‌های این ماتریس نشان‌دهنده حوادث مخاطره‌آمیز و سطرها نشان‌گر علت‌ها یا

زیرمجموعه‌های اثرگذار بر وقوع حوادث هستند. در این ماتریس درذیل هر حادثه می‌توان علت‌ها یا زیرمجموعه‌های اثرگذار در وقوع آن را با علامت‌گذاری مشخص نمود. در ادامه برآورد کمی میزان نقش و اهمیت هر زیرمجموعه در وقوع هر حادثه مخاطره‌آمیز با نظرسنجی از تیم تصمیم‌گیری انجام می‌شود. در پایان نیز ریسک ذاتی هر زیرمجموعه از طریق رابطه (۵) محاسبه می‌شود.

$$RS_i = \sum_j SW_{i,j} ew_j, 0 \leq RS_i \leq 1 \quad (5)$$

بطوریکه RS_i ریسک ذاتی زیرمجموعه i ، $SW_{i,j}$ وزن زیرمجموعه i در رابطه با وقوع حادثه خرابی j و ew_j وزن حادثه خرابی j می‌باشد. لازم به ذکر است وزن حوادث بی‌مقیاس شده می‌باشند و همچنین میزان وزن هر زیرمجموعه بر حداکثر مقداری که می‌تواند بگیرد تقسیم می‌شود تا نهایتاً مقدار ریسک نهایی عددی بین صفر و یک باشد.

۴-۵- ارزیابی ریسک تلفیقی زیرمجموعه‌ها

در مراحل قبل به هر تأمین‌کننده یک عدد ریسک بین صفر و یک و همچنین به هر زیرمجموعه یک عدد ریسک ذاتی بین صفر و یک تخصیص داده شد. ریسک ذاتی در نظر گرفته شده برای هر زیرسیستم نشان دهنده درجه اهمیت و به نوعی احتمال وقوع خرابی آن زیرسیستم، مستقل از نحوه تأمین آن می‌باشد. بنابراین می‌بایستی ریسک ذاتی مربوط به هر زیرسیستم را با توجه به تأمین‌کننده آن، تعدیل نمود. در این مرحله برای تلفیق این دو ریسک براساس سناریوهای مختلف تأمین زیرمجموعه‌ها از رابطه (۶) استفاده می‌شود.

$$MRS_{i,j} = RS_i^{1-R_j} \quad (6)$$

بطوریکه، $MRS_{i,j}$ ریسک تعدیل شده خرابی زیرمجموعه i زمانی که از تأمین‌کننده j تهیه می‌شود، RS_i ریسک ذاتی زیرمجموعه i و R_j عدد ریسک تأمین‌کننده j می‌باشد. طبق رابطه (۶) هر چه عدد ریسک تأمین‌کننده بزرگتر باشد، مقدار $MRS_{i,j}$ نیز بزرگتر می‌شود. اگر $R_j=0$ باشد، یعنی با بهترین نوع تأمین‌کننده ارتباط برقرار شود، ریسک تعدیل شده خرابی زیرمجموعه i برابر با همان سطح ریسک ذاتی زیرمجموعه i خواهد شد. در این مقاله از رابطه (۶) جهت تعیین ریسک تلفیقی زیرمجموعه‌ها (تجهیزات) استفاده شده است. نکته قابل ذکر در استفاده از رابطه (۶) این است که در این مطالعه حداقل میزان ریسک تجهیزات برابر ریسک ذاتی آن‌ها در نظر گرفته شده است که در صورت تاثیر ریسک تأمین، این ریسک افزایش می‌یابد. بدیهی است در صورتیکه حداکثر میزان ریسک تجهیزات برابر ریسک تأمین آن‌ها باشد و با اعمال ارزش تجهیزات این ریسک کاهش یابد به جای استفاده از رابطه (۶) از ضرب دو عدد ریسک تأمین و ریسک ذاتی هر تجهیز می‌بایستی استفاده شود.

۴-۶- تجزیه و تحلیل درخت خطا

پس از تلفیق دو سطح ریسک مطابق رابطه (۶)، باید با استفاده از یک روش منطقی به ارزیابی کلی ریسک محصول با توجه به مجموعه حوادث مخاطره‌آمیز پرداخته شود. در این راستا از تکنیک تجزیه و تحلیل درخت خطا استفاده می‌شود و برای هر رویداد رأس با توجه به میزان خسارت مورد انتظار از آن رویداد، یک درجه بحرانی بودن بصورت رابطه (۷) در نظر گرفته می‌شود. درجه بحرانی رویداد رأس به نوعی سطح ریسک موجود در آن سیستم درخت خطا را به ما نشان می‌دهد.

جدید تکرار می‌شود. در پایان نیز باتوجه به نتایج بدست‌آمده، گروه تامین‌کنندگان بهینه از بین سناریوهای بررسی شده، انتخاب می‌شود. واضح است چنین رویکردی در صورتی می‌تواند مناسب باشد که مجموعه سناریوهای امکان‌پذیر مجموعه، محدود باشند.

۵- مطالعه کاربردی یافته‌ها

پژوهشکده علوم و فناوری زیردریا وابسته به دانشگاه صنعتی اصفهان، فعالیت‌های خود را از سال ۱۳۶۳ آغاز نموده است. در این پژوهشکده انواع پروژه‌های تحقیقاتی، اجرایی و ساخت به طور همزمان در حال انجام بوده و بهبود عملکرد آن‌ها از اولویت‌های مدیریت سازمان می‌باشد. به همین دلیل روش پیشنهادی ارائه شده در این مقاله، جهت ارزیابی ریسک تامین یک محصول استراتژیک در این پژوهشکده مورد آزمون قرار گرفته است. در ابتدای این مطالعه، یک تیم تصمیم‌گیری شامل مدیران گروه‌های پژوهشی مرتبط با ساخت محصول استراتژیک، مدیر پروژه ساخت محصول، مدیر امور بازرگانی و خرید و همچنین ۲ نفر از اساتید دانشگاه صنعتی اصفهان تشکیل شده است. دلیل انتخاب این افراد در دسترس پذیری و صاحب نظر بودن آن‌ها می‌باشد. مراحل بعدی مطالعه کاربردی به ترتیب در ادامه آورده شده است.

۵-۱- ارزیابی تامین کنندگان

به منظور ارزیابی تامین‌کنندگان در ابتدا لیست همه تامین‌کنندگان از واحد بازرگانی و خرید سازمان مورد مطالعه جمع‌آوری شده است. سپس با نظر گروه تصمیم‌گیری، براساس چهار شاخص بحرانی L_1 ، L_2 ، L_3 و L_4 و طیف لیکرت، حداقل مقدار مورد قبول هر

$$CR_t = L_t \cdot P_t \quad (7)$$

بطوری که CR_t درجه بحرانی رویداد راس t ، P_t احتمال وقوع رویداد راس t و L_t شدت خسارت یا ضرر عاید از وقوع رویداد راس t می‌باشند. لازم به ذکر است برای تعیین شدت خسارت یا ضرر عاید از وقوع رویداد راس (L_t) از استانداردهای جامعه ایمنی امریکا و یا نظرات گروه تصمیم‌گیری استفاده می‌شود. همچنین احتمال وقوع هر یک از زیرمجموعه‌های شناسایی شده و با تبدیل درخت خطا به بلوک دیاگرام قابلیت اطمینان برای سناریوهای مختلف تامین زیرمجموعه‌ها (تجهیزات) محاسبه می‌شود.

۴-۷- مقایسه سناریوهای مختلف تامین با محاسبه

ریسک کلی محصول

برای این که یک سطح ریسک برای کل محصول ارائه شود باید سطح ریسک هر کدام از رویدادهای راس از هر کدام از درخت خطاهای مختلف را به روشی باهم تلفیق نموده و ریسک کل محصول را محاسبه نمود. برای تلفیق ریسک‌ها می‌توان از یک تابع عدم مطلوبیت نرمال شده بصورت رابطه (۸) استفاده نمود.

$$T_R = \frac{\sum_t CR_t}{\sum_t L_t} \quad (8)$$

بطوریکه T_R ریسک کل محصول استراتژیک مورد نظر، CR_t درجه بحرانی بودن رویداد راس t و L_t شدت خسارت یا ضرر عاید شده از رویداد راس t می‌باشد. ریسک‌نهایی محصول با استفاده از رابطه (۸) و با در نظر گرفتن گروهی از تامین‌کنندگان در قالب یک سناریو در نظر گرفته می‌شود و روند مذکور برای گروه‌های دیگر تامین‌کنندگان در قالب سناریوهای

شاخص عدد سه در نظر گرفته شده است و نتایج پس از نظرسنجی از گروه تصمیم‌گیری و محاسبه میانگین هندسی نظرات آن‌ها، با این فرض که می‌بایستی عدد ارزیابی هر تامین‌کننده در حداقل نیمی از شاخص‌های مذکور بالاتر از حداقل تعریف شده باشد، به شرح جدول شماره یک بدست آمده است. در ادامه تعداد پنج شاخص اثرگذار در تهیه یک زیرمجموعه‌ی سالم، بدون خرابی و با قابلیت اطمینان بالا، برای هر تامین‌کننده با مطالعات کتابخانه‌ای و استفاده از نظرات تیم تصمیم‌گیری تعیین شده است. هم‌چنین وزن و درجه اهمیت هریک از شاخص‌ها نیز با میانگین هندسی نظرات تیم تصمیم‌گیری و پس از بی‌مقیاس‌سازی به ترتیب $I_1=0/13$, $I_2=0/17$, $I_3=0/3$, $I_4=0/23$ و $I_5=0/17$ بدست آمده است. سپس با استفاده از رابطه‌های (۱) و (۴) و میانگین هندسی نظرات تیم تصمیم‌گیری در خصوص ارزش هر شاخص برای هر تامین‌کننده براساس طیف پنج گزینه‌ای لیکرت، نتایج به شرح جدول شماره ۲ بدست آمده است. ستون آخر جدول شماره ۲، عدد ریسک اختصاص یافته به هر تامین‌کننده می‌باشند. هم‌چنین در رابطه (۴)، حداکثر امتیاز قابل قبول برای هر تامین‌کننده در شاخص‌های تعریف شده با توجه به استفاده از طیف لیکرت، عدد پنج می‌باشد.

۵-۲- ارزیابی ریسک ذاتی تجهیزات

در این مرحله بدون در نظر گرفتن نحوه تامین تجهیزات، میزان اهمیت ذاتی هر تجهیز در محصول نهایی مورد ارزیابی قرار گرفته است. در اولین قدم با کمک تیم فنی لیست کلیه تجهیزات محصول شناسایی شده است و نتایج به صورت شکل شماره دو و در قالب یک درخت سیستمی بدست آمده است. سپس با مطالعات بر روی پیشینه حوادث مهم بوجود

آمده بر روی محصولات مشابه و هم‌چنین نظر گروه تصمیم‌گیری، تعداد ۴ حادثه مهم شناسایی گردیده است که به تفکیک با استفاده از طیف لیکرت و نظرسنجی از گروه تصمیم‌گیری و پس از بی‌مقیاس‌سازی، وزن هر کدام از این حوادث به ترتیب $A_1=0/08$, $A_2=0/23$, $A_3=0/31$ و $A_4=0/38$ برآورد شده است. سپس با کمک تیم فنی پروژه و هم‌چنین با نظرات گروه تصمیم‌گیری، زیرمجموعه‌های اثرگذار در وقوع حوادث مخاطره‌آمیز تعیین و ماتریسی تحت عنوان حادثه - زیرمجموعه به صورت جدول شماره ۳، تشکیل شده است. اعداد داخل این جدول میزان نقش و اهمیت هر زیرمجموعه در وقوع هر حادثه می‌باشند که با استفاده از طیف لیکرت و میانگین هندسی نظرات تیم تصمیم‌گیری بدست آمده است. این اعداد بر حداکثر مقداری که می‌توانند بگیرند (عدد پنج) تقسیم شده‌اند. ستون آخر این جدول نیز میزان ریسک ذاتی هر تجهیز بدست آمده از رابطه شماره ۵، می‌باشند که عددی بین صفر و یک می‌باشد.

۵-۳- تجزیه و تحلیل درخت خطا

در این مرحله با توجه به نحوه رابطه بین تجهیزات اثرگذار بر روی حوادث، درخت خطای هر حادثه ترسیم شده است. این ارتباطات با نظر تیم فنی پروژه و تیم تصمیم‌گیری و طی جلسات متعدد کاری مشخص شده‌اند. به عنوان نمونه درخت خطای حادثه اول در شکل شماره ۳ آورده شده است. در شکل شماره ۳، علائم گرافیکی پر کاربرد برای رسم درخت خطا قابل مشاهده می‌باشند. به عنوان نمونه از علامت AND زمانی استفاده شده است که برای وقوع یک اتفاق (خروجی) نیاز باشد همه علل مرتبط شناسایی شده (ورودی‌ها) اتفاق بیفتند و علامت OR زمانی

استفاده شده است که برای وقوع یک اتفاق نیاز به اتفاق افتادن تنها یکی از علت‌ها باشد.

جدول (۱): ارزیابی اولیه تامین کنندگان

ردیف	نام تامین کننده	شاخص‌های ارزیابی اولیه				نتیجه ارزیابی اولیه
		L ₁ =3	L ₂ =3	L ₃ =3	L ₄ =3	
۱	A	۳	۳	۴	۳	✓
۲	B	۳	۵	۵	۳	✓
۳	C	۲	۲	۲	۳	×
۴	D	۴	۴	۲	۳	✓
۵	E	۵	۳	۲	۳	✓
۶	F	۲	۲	۱	۳	×
۷	G	۳	۴	۳	۳	✓
۸	H	۵	۴	۲	۳	✓
۹	I	۳	۴	۳	۳	✓
۱۰	J	۵	۴	۳	۳	✓
۱۱	K	۳	۳	۴	۳	✓
۱۲	L	۲	۱	۲	۴	×
۱۳	M	۳	۴	۴	۴	✓
۱۴	N	۳	۲	۲	۲	×

جدول (۲): ارزیابی نهایی و اختصاص عدد ریسک به تامین کنندگان

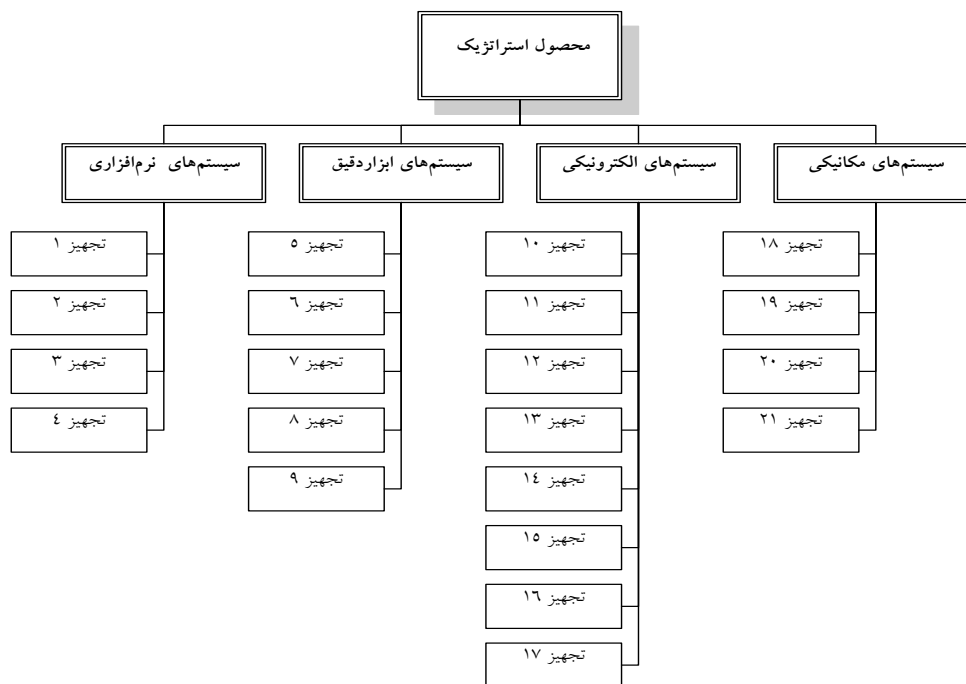
ردیف	نام تامین کننده	شاخص‌های ارزیابی نهایی					امتیاز کل (رابطه ۱) S _i	عدد ریسک (رابطه ۴) R _i
		I ₁ =0/13	I ₂ =0/17	I ₃ =0/3	I ₄ =0/23	I ₅ =0/17		
۱	A	۳	۴	۲	۳	۱	۲/۵۳	۰/۴۹۴
۲	B	۵	۲	۳	۵	۲	۳/۳۸	۰/۳۲۴
۳	D	۳	۵	۲	۳	۲	۲/۸۷	۰/۴۲۶
۴	E	۴	۳	۵	۴	۲	۳/۷۹	۰/۲۴۲
۵	G	۳	۳	۵	۲	۳	۳/۳۷	۰/۳۲۶
۶	H	۴	۳	۵	۲	۳	۳/۵	۰/۳
۷	I	۵	۵	۳	۲	۳	۳/۳۷	۰/۳۲۶
۸	J	۲	۳	۴	۳	۲	۳	۰/۴
۹	K	۳	۴	۵	۲	۴	۳/۷۱	۰/۲۵۸
۱۰	M	۳	۳	۵	۴	۳	۳/۸۳	۰/۲۳۴

جدول (۳): ماتریس علت - حادثه

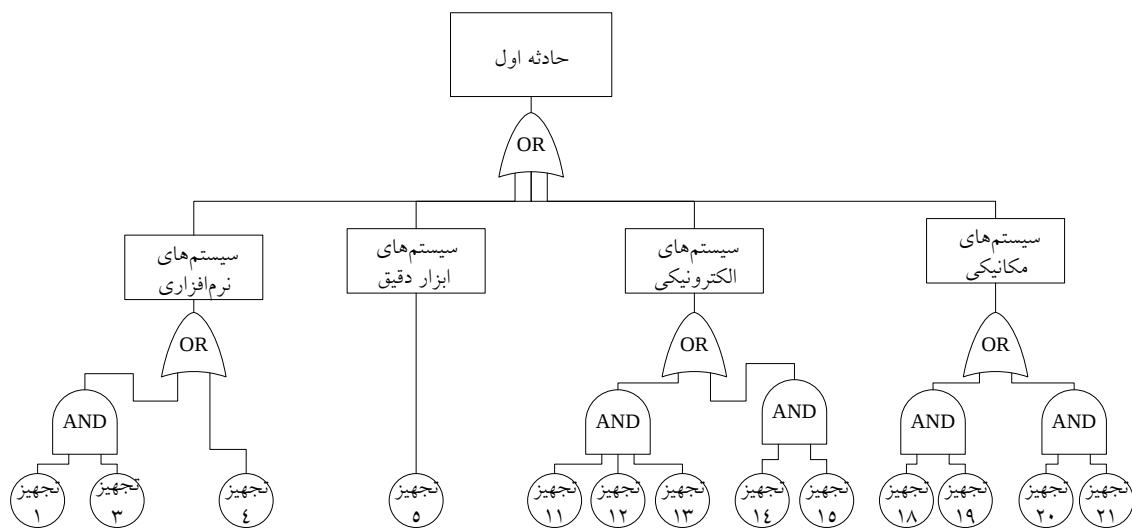
ریسک ذاتی هر تجهیز (رابطه ۵)	حوادث				تجهیز	ردیف
	A ₄	A ₃	A ₂	A ₁		
۰/۴۸	۰/۶	۰/۴	۰/۲	۱	تجهیز ۱	۱
۰/۲۲	۰/۴	۰/۲	۰	۰	تجهیز ۲	۲
۰/۳۵	۰/۴	۰/۶	۰	۰/۲	تجهیز ۳	۳
۰/۳۴	۰	۱	۰	۰/۴	تجهیز ۴	۴
۰/۳۲	۰	۰/۸	۰	۱	تجهیز ۵	۵
۰/۵۸	۰/۸	۰/۶	۰/۴	۰	تجهیز ۶	۶
۰/۴۸	۰/۸	۰/۴	۰/۲	۰	تجهیز ۷	۷
۰/۴۵	۱	۰/۲	۰	۰	تجهیز ۸	۸
۰/۱۷	۰/۲	۰	۰/۴	۰	تجهیز ۹	۹
۰/۴۵	۰/۸	۰	۰/۶	۰	تجهیز ۱۰	۱۰
۰/۲۶	۰/۶	۰	۰	۰/۴	تجهیز ۱۱	۱۱
۰/۴۳	۰	۰/۴	۱	۱	تجهیز ۱۲	۱۲
۰/۲۵	۰/۶	۰	۰	۰/۲	تجهیز ۱۳	۱۳
۰/۶۵	۰/۶	۰/۶	۰/۸	۰/۶	تجهیز ۱۴	۱۴
۰/۴۲	۰/۲	۱	۰	۰/۴	تجهیز ۱۵	۱۵
۰/۴۵	۰	۱	۰/۶	۰	تجهیز ۱۶	۱۶
۰/۵۵	۰/۶	۰/۶	۰/۶	۰	تجهیز ۱۷	۱۷
۰/۳۱	۰	۰/۴	۰/۶	۰/۶	تجهیز ۱۸	۱۸
۰/۴۸	۰	۱	۰/۶	۰/۴	تجهیز ۱۹	۱۹
۰/۶۵	۰/۶	۱	۰/۲	۰/۸	تجهیز ۲۰	۲۰
۰/۲۵	۰/۶	۰	۰	۰/۲	تجهیز ۲۱	۲۱

باتوجه به وجود روابط سری و موازی، برای محاسبه ریسک برعکس قابلیت اطمینان برای سیستم‌های موازی از رابطه (۲) و سیستم‌های سری از رابطه (۳) استفاده شده است.

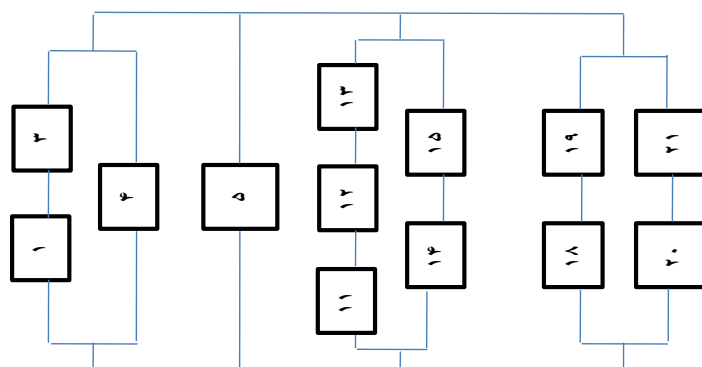
دراین پژوهش برای امکان محاسبه احتمال هر حادثه با درنظر گرفتن ارتباطات تعریف شده در درخت خطا، از تبدیل درخت خطا به بلوک دیاگرام قابلیت اطمینان استفاده شده است. لازم به ذکر است در محاسبات مربوط به احتمال وقوع هر رویداد



شکل ۲. درخت سیستمی محصول مورد ارزیابی



شکل ۳. درخت خطای حادثه اول



شکل ۴. بلوک دیاگرام قابلیت اطمینان حادثه اول

۵-۴- محاسبه ریسک تلفیقی

در این مرحله، سناریوهای مختلف تامین تجهیزات با نظر مدیر بازرگانی سازمان مشخص شده است و با تعیین ریسک تلفیقی هر تجهیز براساس تامین کننده آن با استفاده از رابطه ۶، ریسک تلفیقی هر تجهیز بر اساس تامین کننده هر سناریو بدست آمده است. در این تحقیق تعداد سی سناریو تامین برای تجهیزات در نظر گرفته شده است که شرح آن در جدول شماره ۴ آورده شده است. همچنین برای هر تجهیز با توجه به سناریو تامین آن و با استفاده از رابطه ۶، یک ریسک تلفیقی محاسبه شده است که به عنوان نمونه ریسک تلفیقی تجهیزات در سناریو اول مطابق جدول شماره ۵ قابل مشاهده می باشد.

۵-۵- محاسبه ریسک نهایی محصول

درجه بحرانی بودن حوادث منتخب، با در نظر گرفتن احتمال وقوع حادثه و همچنین میزان خسارت مورد انتظار آن، با استفاده از رابطه ۷ برآورد شده است. همچنین شدت خسارات ناشی از هر حادثه در یک جلسه با تیم تصمیم گیری و استفاده از پیشینه حوادث به صورت کیفی برآورد شده است. در پایان نیز با استفاده از رابطه ۸، ریسک نهایی محصول برای سناریوهای مختلف تامین برآورد شده است. نتایج در جدول شماره ۶ قابل مشاهده می باشد.

۶- بحث و تفسیر یافته ها

بر اساس روش پیشنهاد شده در این مطالعه، بهترین سناریو تامین کنندگانی که باعث بروز کمترین ریسک در تولید محصول نهایی می باشند ترکیب هایی را شامل می شود که مقدار Tr (ریسک نهایی) آن ها نسبت به بقیه کمتر باشد. بدین منظور پس از شناسایی تامین کنندگان واجد شرایط (جدول ۱)، به

هر تامین کننده یک عدد ریسک مطابق ستون آخر جدول شماره ۲ اختصاص یافته است. سپس با شناسایی چهار حادثه مهم قابل وقوع برای محصول نهایی، درخت خطای هر حادثه ترسیم شده است (شکل ۳، درخت خطای حادثه اول) و مقدار ریسک ذاتی هر تجهیز با استفاده از ماتریس علت-حادثه در سطر آخر جدول شماره ۳ تعیین شده است. در ادامه سی سناریو جهت تامین تجهیزات مطابق جدول شماره ۴ تعیین شده است و ریسک تلفیقی هر تجهیز براساس تامین کننده با استفاده از رابطه شش بدست آمده است. (جدول ۵ ریسک تلفیقی تجهیزات برای سناریو اول رانشان می دهد). سپس مطابق درخت های خطای هر حادثه و ریسک تلفیقی هر تجهیز، درجه بحرانی بودن حادثه در سناریوهای مختلف با رابطه هفت تعیین شده است. در پایان بر اساس نتایج حاصل شده در ستون آخر جدول شماره شش و تعیین ریسک نهایی هر سناریو، بهترین ترکیب تامین کنندگان تجهیزات مطابق سناریوهای تامین شماره ۲۵، ۲۶ و ۲۸ می باشند و همچنین سناریوهای تامین ۶، ۳، ۵ و ۴ به ترتیب بیشترین ریسک را برای تولید محصول ایجاد می نمایند. به منظور تاثیر هر چه بیشتر تحلیل های فوق بر بهبود عملکرد تامین و به طبع آن کاهش ریسک محصول نهایی، مدیریت سازمان می تواند از روش های نوین بازاریابی و مدیریت خرید در جهت ارتباط با تامین کنندگان مناسبتر و تلاش جهت کاهش ریسک محصولات خریداری شده و همچنین تقویت تامین کنندگان و پیمانکاران سازمان استفاده نماید. در جدول شماره ۷، شباهت ها و تفاوت های مطالعه فعلی با گزیده ای از مطالعات قبلی خلاصه شده است.

جدول (۴): سناریوهای مختلف تامین تجهیزات

سناریو	تامین کننده	تجهیزات	سناریو	تامین کننده	تجهیزات	سناریو	تامین کننده	تجهیزات
اول	A	۱ تا ۱۰، ۴ تا ۱۷	دوم	A	۱ تا ۱۰، ۴ تا ۱۷	سوم	A	۱ تا ۱۰، ۴ تا ۱۷
	E	۵ تا ۹		E	۵ تا ۹		E	۵ تا ۹
	H	۱۸ تا ۲۱		I	۱۸ تا ۲۱		J	۱۸ تا ۲۱
چهارم	A	۱ تا ۱۰، ۴ تا ۱۷	پنجم	A	۱ تا ۱۰، ۴ تا ۱۷	ششم	A	۱ تا ۱۰، ۴ تا ۱۷
	G	۵ تا ۹		G	۵ تا ۹		G	۵ تا ۹
	H	۱۸ تا ۲۱		I	۱۸ تا ۲۱		J	۱۸ تا ۲۱
هفتم	B	۱ تا ۱۰، ۴ تا ۱۷	هشتم	B	۱ تا ۱۰، ۴ تا ۱۷	نهم	B	۱ تا ۱۰، ۴ تا ۱۷
	E	۵ تا ۹		E	۵ تا ۹		E	۵ تا ۹
	H	۱۸ تا ۲۱		I	۱۸ تا ۲۱		J	۱۸ تا ۲۱
دهم	B	۱ تا ۱۰، ۴ تا ۱۷	یازدهم	B	۱ تا ۱۰، ۴ تا ۱۷	دوازدهم	B	۱ تا ۱۰، ۴ تا ۱۷
	G	۵ تا ۹		G	۵ تا ۹		G	۵ تا ۹
	H	۱۸ تا ۲۱		I	۱۸ تا ۲۱		J	۱۸ تا ۲۱
سیزدهم	D	۱ تا ۱۰، ۴ تا ۱۷	چهاردهم	D	۱ تا ۱۰، ۴ تا ۱۷	پانزدهم	D	۱ تا ۱۰، ۴ تا ۱۷
	E	۵ تا ۹		E	۵ تا ۹		E	۵ تا ۹
	H	۱۸ تا ۲۱		I	۱۸ تا ۲۱		J	۱۸ تا ۲۱
شانزدهم	D	۱ تا ۱۰، ۴ تا ۱۷	هفدهم	D	۱ تا ۱۰، ۴ تا ۱۷	هجدهم	D	۱ تا ۱۰، ۴ تا ۱۷
	G	۵ تا ۹		G	۵ تا ۹		G	۵ تا ۹
	H	۱۸ تا ۲۱		I	۱۸ تا ۲۱		J	۱۸ تا ۲۱
نوزدهم	K	۱ تا ۱۰، ۴ تا ۱۷	بیستم	K	۱ تا ۱۰، ۴ تا ۱۷	بیست و یکم	K	۱ تا ۱۰، ۴ تا ۱۷
	E	۵ تا ۹		E	۵ تا ۹		E	۵ تا ۹
	H	۱۸ تا ۲۱		I	۱۸ تا ۲۱		J	۱۸ تا ۲۱
بیست و دوم	K	۱ تا ۱۰، ۴ تا ۱۷	بیست و سوم	K	۱ تا ۱۰، ۴ تا ۱۷	بیست و چهارم	K	۱ تا ۱۰، ۴ تا ۱۷
	G	۵ تا ۹		G	۵ تا ۹		G	۵ تا ۹
	H	۱۸ تا ۲۱		I	۱۸ تا ۲۱		J	۱۸ تا ۲۱
بیست و پنجم	M	۱ تا ۱۰، ۴ تا ۱۷	بیست و ششم	M	۱ تا ۱۰، ۴ تا ۱۷	بیست و هفتم	M	۱ تا ۱۰، ۴ تا ۱۷
	E	۵ تا ۹		E	۵ تا ۹		E	۵ تا ۹
	H	۱۸ تا ۲۱		I	۱۸ تا ۲۱		J	۱۸ تا ۲۱
بیست و هشتم	M	۱ تا ۱۰، ۴ تا ۱۷	بیست و نهم	M	۱ تا ۱۰، ۴ تا ۱۷	بیست و دهم	M	۱ تا ۱۰، ۴ تا ۱۷
	G	۵ تا ۹		G	۵ تا ۹		G	۵ تا ۹
	H	۱۸ تا ۲۱		I	۱۸ تا ۲۱		J	۱۸ تا ۲۱

جدول (۵): ریسک تلفیقی تجهیزات برای سناریو اول تامین

تجهیز	ارزش ذاتی برمینای ریسک	سناریو اول		
		تامین کننده	ریسک تامین کننده	وزن تلفیقی ریسک تجهیز (رابطه ۶)
۱	۰/۴۸	A	۰/۴۹	۰/۶۹
۲	۰/۲۲			۰/۴۶
۳	۰/۳۵			۰/۵۹
۴	۰/۳۴			۰/۵۸
۱۰	۰/۴۵			۰/۶۶
۱۱	۰/۲۶			۰/۵۱
۱۲	۰/۴۳			۰/۶۵
۱۳	۰/۲۵			۰/۴۹
۱۴	۰/۶۵			۰/۸۰
۱۵	۰/۴۲			۰/۶۴
۱۶	۰/۴۵			۰/۶۶
۱۷	۰/۵۵			۰/۷۴
۵	۰/۳۲	E	۰/۲۴	۰/۴۲
۶	۰/۵۸			۰/۶۷
۷	۰/۴۸			۰/۵۷
۸	۰/۴۵			۰/۵۴
۹	۰/۱۷			۰/۲۶
۱۸	۰/۳۱	H	۰/۳	۰/۴۴
۱۹	۰/۴۸			۰/۶
۲۰	۰/۶۵			۰/۷۴
۲۱	۰/۲۵			۰/۳۷

جدول (۶): ریسک محصول نهایی به‌ازای سناریوهای مختلف تامین تجهیزات آن

TR (رابطه ۸)	حادثه چهارم			حادثه سوم			حادثه دوم			حادثه اول			سناریو
	CR ₄	L ₄	P ₄	CR ₃	L ₃	P ₃	CR ₂	L ₂	P ₂	CR ₁	L ₁	P ₁	
۰/۳۲۳	۰/۰۹۷	۰/۱۵	۰/۶۵	۰/۱۰۸	۰/۴	۰/۲۷	۰/۰۹	۰/۲	۰/۴۵	۰/۰۲۷	۰/۲۵	۰/۱۱	۱
۰/۳۲۴	۰/۰۹۹		۰/۶۶	۰/۱۰۸		۰/۲۷	۰/۰۹		۰/۴۵	۰/۰۲۷		۰/۱۱	۲
۰/۳۴	۰/۱		۰/۶۷	۰/۱۱۶		۰/۲۹	۰/۰۹۴		۰/۴۷	۰/۰۳		۰/۱۲	۳
۰/۳۲۹	۰/۰۹۹		۰/۶۶	۰/۱۰۸		۰/۲۷	۰/۰۹۲		۰/۴۶	۰/۰۳		۰/۱۲	۴
۰/۳۳۹	۰/۱		۰/۶۷	۰/۱۱۲		۰/۲۸	۰/۰۹۴		۰/۴۷	۰/۰۳۲		۰/۱۳	۵
۰/۳۵۴	۰/۱۰۳		۰/۶۹	۰/۱۲		۰/۳	۰/۰۹۶		۰/۴۸	۰/۰۳۵		۰/۱۴	۶
۰/۲۵۴	۰/۰۸۲		۰/۵۵	۰/۰۷۶		۰/۱۹	۰/۰۷۸		۰/۳۹	۰/۰۱۷		۰/۰۷	۷
۰/۲۶۴	۰/۰۸۴		۰/۵۶	۰/۰۸		۰/۲	۰/۰۸		۰/۴	۰/۰۲		۰/۰۸	۸
۰/۲۷۳	۰/۰۸۷		۰/۵۸	۰/۰۸۴		۰/۲۱	۰/۰۸۲		۰/۴۱	۰/۰۲		۰/۰۸	۹
۰/۲۶	۰/۰۸۴		۰/۵۶	۰/۰۷۶		۰/۱۹	۰/۰۸		۰/۴	۰/۰۲		۰/۰۸	۱۰
۰/۲۶۷	۰/۰۸۵		۰/۵۷	۰/۰۸		۰/۲	۰/۰۸۲		۰/۴۱	۰/۰۲		۰/۰۸	۱۱
۰/۲۷۹	۰/۰۸۸		۰/۵۹	۰/۰۸۴		۰/۲۱	۰/۰۸۴		۰/۴۲	۰/۰۲۲		۰/۰۹	۱۲
۰/۲۹۲	۰/۰۹۱		۰/۶۱	۰/۰۹۲		۰/۲۳	۰/۰۸۶		۰/۴۳	۰/۰۲۲		۰/۰۹	۱۳
۰/۳	۰/۰۹۳		۰/۶۲	۰/۰۹۶		۰/۲۴	۰/۰۸۶		۰/۴۳	۰/۰۲۵		۰/۱	۱۴
۰/۳۱۳	۰/۰۹۶		۰/۶۴	۰/۱۰۴		۰/۲۶	۰/۰۸۸	۰	۰/۴۴	۰/۰۲۵		۰/۱	۱۵
۰/۳۰۲	۰/۰۹۳		۰/۶۲	۰/۰۹۶		۰/۲۴	۰/۰۸۸		۰/۴۴	۰/۰۲۵		۰/۱	۱۶
۰/۳۰۶	۰/۰۹۴		۰/۶۳	۰/۰۹۶		۰/۲۴	۰/۰۸۸		۰/۴۴	۰/۰۲۷		۰/۱۱	۱۷
۰/۳۲۱	۰/۰۹۷		۰/۶۵	۰/۱۰۴		۰/۲۶	۰/۰۹۲		۰/۴۶	۰/۰۲۷		۰/۱۱	۱۸
۰/۲۳۵	۰/۰۷۸		۰/۵۲	۰/۰۶۸		۰/۱۷	۰/۰۷۴		۰/۳۷	۰/۰۱۵		۰/۰۶	۱۹
۰/۲۳۵	۰/۰۷۸		۰/۵۲	۰/۰۶۸		۰/۱۷	۰/۰۷۴		۰/۳۷	۰/۰۱۵		۰/۰۶	۲۰
۰/۲۴۸	۰/۰۸۱		۰/۵۴	۰/۰۷۲		۰/۱۸	۰/۰۷۸		۰/۳۹	۰/۰۱۷		۰/۰۷	۲۱
۰/۲۳۹	۰/۰۷۸		۰/۵۲	۰/۰۶۸		۰/۱۷	۰/۰۷۶		۰/۳۸	۰/۰۱۷		۰/۰۷	۲۲
۰/۲۴۱	۰/۰۷۹		۰/۵۳	۰/۰۶۸		۰/۱۷	۰/۰۷۶		۰/۳۸	۰/۰۱۷		۰/۰۷	۲۳
۰/۲۵۶	۰/۰۸۲		۰/۵۵	۰/۰۷۶		۰/۱۹	۰/۰۸		۰/۴	۰/۰۱۷		۰/۰۷	۲۴
۰/۲۲۶	۰/۰۷۵		۰/۵۰	۰/۰۶۴		۰/۱۶	۰/۰۷۲		۰/۳۶	۰/۰۱۵		۰/۰۶	۲۵
۰/۲۲۹	۰/۰۷۶		۰/۵۱	۰/۰۶۴		۰/۱۶	۰/۰۷۴		۰/۳۷	۰/۰۱۵		۰/۰۶	۲۶
۰/۲۳۷	۰/۰۷۸		۰/۵۲	۰/۰۶۸		۰/۱۷	۰/۰۷۶		۰/۳۸	۰/۰۱۵		۰/۰۶	۲۷
۰/۲۲۹	۰/۰۷۶		۰/۵۱	۰/۰۶۴		۰/۱۶	۰/۰۷۴		۰/۳۷	۰/۰۱۵		۰/۰۶	۲۸
۰/۲۳۵	۰/۰۷۸		۰/۵۲	۰/۰۶۴		۰/۱۶	۰/۰۷۶		۰/۳۸	۰/۰۱۷		۰/۰۷	۲۹
۰/۲۴۷	۰/۰۷۹		۰/۵۳	۰/۰۷۲		۰/۱۸	۰/۰۷۸		۰/۳۹	۰/۰۱۷		۰/۰۷	۳۰

جدول (۷): تفاوت‌ها و شباهت‌های مطالعه حاضر با گزیده‌ای از مطالعات مرتبط با ارزیابی تامین کنندگان

نام نویسندگان	سال	OR	DEA	MADM	Fuzzy	FMEA	CRAJIC	FTA
چوو و جانگ	۲۰۰۸				✓			
ها و کریشان	۲۰۰۸		✓	✓				
تولری و همکاران	۲۰۰۸	✓	✓					
وو	۲۰۰۹		✓					
دمیرتاس و آستان	۲۰۰۹	✓		✓				
فائز و همکاران	۲۰۰۹	✓			✓			
کتو و همکاران	۲۰۱۰		✓	✓				
زیدان و همکاران	۲۰۱۱		✓	✓				
عرب‌زاد و همکاران	۲۰۱۱	✓				✓	✓	
مطالعه حاضر	۲۰۱۴			✓				✓

۷- نتیجه‌گیری

این مقاله به ارائه رویکردی تلفیقی از تصمیم‌گیری چندشاخصه و تجزیه و تحلیل درخت خطا برای تعیین سناریوهای مختلف تامین تجهیزات یک محصول به منظور کاهش ریسک کلی تامین آن پرداخته‌است. در ابتدا با تعیین تامین‌کنندگانی که دارای شرایط لازم جهت تامین تجهیزات می‌باشند با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه این تامین‌کنندگان ارزیابی شده و یک عدد ریسک به هر کدام از آن‌ها تخصیص داده شده‌است. سپس رویدادها و حوادثی که ممکن است برای محصول موردنظر حادث شوند شناسایی شده و زیرسیستم‌ها و تجهیزات که باعث بروز این حوادث می‌شوند نیز شناسایی شده‌اند و با استفاده از ماتریس حادثه - علت، تحلیل کمی آن‌ها صورت گرفته و ریسک ذاتی هر تجهیز بدست آمده‌است. هم‌چنین درخت خرابی رویدادها با درنظر گرفتن عوامل بوجود آورنده آن‌ها ترسیم شده‌است. در ادامه با درنظر گرفتن سناریوهای تامین مختلف تجهیزات، ریسک تلفیقی هر تجهیز با درنظر گرفتن ریسک ذاتی و ریسک تامین‌کننده آن محاسبه شده‌است و با تبدیل درخت‌های خرابی رویدادها به بلوک دیاگرام قابلیت اطمینان و محاسبه احتمال رویداد راس و هم‌چنین تعیین اثرات آن، درجه بحرانی بودن هر رویداد تعیین شده‌است و در نهایت مقدار ریسک انباشته محصول برای سناریوهای مختلف تامین تجهیزات، بدست آمده‌است. بدین ترتیب با مقایسه سناریوهای مختلف امکان انتخاب تامین‌کنندگان بهینه برای تجهیزات با درنظر گرفتن ریسک محصول نهایی میسر شده‌است و با انتخاب مناسب تامین‌کنندگان می‌توان ریسک خرابی سیستم‌ها را کاهش داد. برای صحیح کار نکردن یا

خرابی زیرمجموعه‌های تامین شده یک محصول، ممکن است دلایل متعددی وجود داشته باشد. در رویه پیشنهاد شده در این مقاله، به این نکته توجه شده‌است که یکی از مهم‌ترین این دلایل به تامین نامناسب زیرمجموعه مرتبط می‌باشد و به عبارتی اگر احتمال تامین نامناسب زیرمجموعه زیاد باشد، احتمال خرابی و عملکرد نامناسب زیرمجموعه در سیستم بیشتر خواهد بود. اگر تعداد سناریوهای موجه قابل توجه باشد، تعیین سناریوی بهینه از بین آن‌ها ممکن است به زمان زیادی نیاز داشته باشد لذا در چنین شرایطی استفاده از رویکرد مدل‌سازی ریاضی می‌تواند مناسب باشد. هم‌چنین می‌توان از روش‌های دیگر تصمیم‌گیری چندمعیاره و یا روش‌های فازی جهت تعیین عدد ریسک و اولویت‌بندی تامین‌کنندگان استفاده نمود و یا از ماتریس کراچیک جهت تعیین اهمیت و ریسک ذاتی تجهیزات بهره‌برد، هم‌چنین می‌توان با درنظر گرفتن عوامل دیگری که در خرابی تجهیزات تاثیرگذار می‌باشند و انجام آنالیزهای تجزیه و تحلیل شکست در آن‌ها ریسک تلفیقی محاسبه شده برای هر تجهیز را تعدیل کرد و می‌توان برای محاسبه احتمال رویدادهای راس از روش‌های دیگر هم‌چون شبکه‌های بیزین استفاده نمود. در پایان به پژوهشگران توصیه می‌شود الگوی پیشنهادی را در سایر سازمان‌های مرتبط مورد آزمون و بررسی قرار دهند.

منابع

- اصغری‌پور، م. (۱۳۷۷). تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه. چاپ دوم. تهران: انتشارات دانشگاه تهران.
- شریفی، س.م.م؛ مزینان، ح.غ؛ کرباسیان، م و شریفی، س.م.ح. (۱۳۹۱). مهندسی قابلیت اطمینان. تهران: امیدانقلاب.

- Keskin, G., Ilhan, S., & Özkan, C. (2010). "The Fuzzy ART Algorithm: A Categorization Method for Supplier Evaluation and Selection". *Expert Systems with Applications*, 37(2): 1235-1240.
- Kuo, R., Wang, Y., & Tien, F. (2010). "Integration of Artificial Neural Network and MADA Methods for Green Supplier Selection". *Journal of Cleaner Production*, 18(12), 1161-1170.
- Sabri, E.H., & Benita, M.B. (2000). "A Multi-Objective Approach to Simultaneous Strategic and Operational Planning in Supply Chain Design". *Omega*, 28(5), 581-598.
- Talluri, S., Vickery, S.K., & Narayanan S. (2008). "Optimization Models for Buyer-supplier Negotiations". *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 38(7), 551-561.
- Weber, Charles, A., & Ellram, Lisa M. (1993). "Supplier Selection Using Multi-Objective Programming: A Decision Support System Approach". *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 23(2), 3-12.
- Wu, D. (2009). "Supplier Selection: A Hybrid Model Using DEA, Decision Tree and Neural Network". *Expert Systems with Applications*, 36, 9105-9112.
- Zeydan, M., Çolpan, C., & Çobanog, C. (2011). "A Combined Methodology for Supplier Selection and Performance Evaluation". *Expert Systems with Applications*, 38(3), 2741-2751.
- Based on Kraljic Model". *International Journal of Business and Science*, 2(21), 253-257.
- Bello, M. (2003). "A Case Study Approach to the Supplier Selection Process". *Mayaguez: University of Puerto Rico*.
- Chou, S.Y. & Chang, Y.H. (2008). "A Decision Support System for Supplier Selection Based on a Strategy-aligned Fuzzy SMART Approach". *Expert Systems with Applications*, 34(4), 2241-2253.
- De Boer, L., Labro, E., & Morlacchi, P. (2001). "A Review of Methods Supporting Supplier Selection". *European Journal of Purchasing & Supply Management*, 7(2), 75-84.
- Demirtas, A.E. & Ustun, O. (2009). "Analytic Network Process and Multi-period Goal Programming Integration in Purchasing Decisions". *Computers and Industrial Engineering*, 56, 677-690.
- Faez, F., Ghodsypour, S., & O'Brien, C. (2009). "Vendor Selection and Order Allocation Using an Integrated Fuzzy Case-based Reasoning and Mathematical Programming Model". *International Journal of Production Economics*, 121(2), 395-408.
- Ha, S.H., & Krishnan, R. (2008). "A Hybrid Approach to Supplier Selection For the Maintenance of a Competitive Supply Chain". *Expert Systems with Applications*, 34(2), 1303-1311.
- Karpak, B., Kumcu, E., & Kasuganti, R. (2001). "Purchasing Materials in the Supply Chain: Managing a Multi-objective Task". *European Journal of Purchasing & Supply Management*, 7(3), 1-21.

پی نوشت:

- ¹ Karpak, B., Kumcu, E., & Kasuganti, R.
- ² Sabri, E.H., & Benita, M.B.
- ³ De Boer, L., Labro, E., & Morlacchi, P.
- ⁴ Bello
- ⁵ Keskin, G., Ilhan, S., & Özkan, C.
- ⁶ Weber, Charles, A., & Ellram, Lisa M.
- ⁷ Arabzad, S.M., & Ghorbani, M.
- ⁸ Zeydan, M., Çolpan, C., & Çobanog, C.
- ⁹ Dimitri
- ¹⁰ Failure Mode and Effect Analysis
- ¹¹ Faez, F., Ghodsypour, S., & O'Brien, C.
- ¹² Kuo, R., Wang, Y., & Tien, F.
- ¹³ Ha, S.H., & Krishnan, R.
- ¹⁴ Analytic hierarchy process (AHP)
- ¹⁵ Data Envelopment Analysis (DEA)
- ¹⁶ Talluri, S., Vickery, S.K., & Narayanan S.
- ¹⁷ Wu
- ¹⁸ Chou, S.Y. & Chang, Y.H.
- ¹⁹ Demirtas, A.E. & Ustun, O.
- ²⁰ Analytic network process (ANP)
- ²¹ Goal Programming (GP)
- ²² Satisfying Method
- ²³ Simple Additive Weighting (SAW) Method
- ²⁴ Rausand
- ²⁵ Reliability Block Diagram

