علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و دوم، شماره ده، دی ماه ۹۹

ارزیابی ریسک در طراحی محصول با رویکرد FMEA فازی

محمد رضا فتحی [*۱]

Reza.fathi@ut.ac.ir

محمد حسن ملکی [۲]

زهرا طهماسبی [۳]

تاریخ دریافت: ۹۵/۸/۷ **تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۰/۲۹**

چکیده

زمینه و هدف: به دلیل ایجاد تغییرات سریع در وضعیت رقبا، تکنولوژی و تمایلات مشتریان، شرکت‌ها نمی‌توانند همواره به محصولات موجود خود تکیه کنند. مشتریان در جستجوی محصولات با کیفیت بهتر و پیشرفته‌تر هستند و شرکت‌ها ناچارند محصولات جدیدی تولید و عرضه کنند که جواب گوی نیازها، سلیقه‌ها و انتظارات مشتریان باشد، یکی از روش‌های مهم در طراحی محصول جهت عرضه محصولات با کیفیت و کارکرد بهتر، تحلیل شکست یا ارزیابی ریسک است.

روش بررسی: این مقاله به ارزیابی عملکرد مؤلفه‌های محصول در صنعت خدمات کامپیوتری می پردازد. به منظور ارزیابی ریسک، داده‌ها از ده نفر از خبرگان دارای صلاحیت علمی جمع‌آوری گردید و جهت تکمیل ماتریس تصمیم‌گیری شاخص‌های رویکرد FMEA و ماتریس‌های مقایسات زوجی مورد استفاده قرار گرفتند. به منظور تحلیل داده‌ها از روش‌های چندمعیاره فازی در محیط اکسل مورد استفاده قرار گرفت.

یافته ها: براساس نتایج ویکور فازی گزینه‌ی A_5 در ارزیابی ریسک با رویکرد فازی دارای کم ترین مقدار $\tilde{Q}_i$ بوده بنابراین در مقایسه با گزینه‌های دیگر عملکرد بهتری داشته است. براساس نتایج پرومته فازی گزینه‌ی A_4 در ارزیابی ریسک با رویکرد فازی دارای $\varphi(a)$ بزرگتری بوده بنابراین در مقایسه با گزینه‌های دیگر عملکرد بهتری داشته است.

بحث و نتیجه گیری: براساس نتایج بدست آمده از ویکور فازی گزینه پنجم دارای رتبه اول و براساس نتایج پرومته فازی گزینه چهارم رتبه اول را به خود اختصاص داده است.

واژه‌های کلیدی : طراحی محصول، ارزیابی ریسک، تصمیم‌گیری چندمعیاره، رویکرد FMEA، ویکور، پرومته، تحلیل سلسله مراتبی فازی.

۱- استادیار بخش تخصصی مدیریت صنعتی و فناوری، دانشکده مدیریت و حسابداری، پردیس فارابی دانشگاه تهران، قم، ایران. * (مسوول مکاتبات)

۲ - دانشیار گروه مدیریت، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه قم، قم، ایران.

۳ - کارشناسی ارشد مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه قم، قم، ایران.

J. Env. Sci. Tech., Vol 22, No.10, January, 2021

Risk Assessment in Product Design based on FMEA Approach

Mohammad Reza Fathi [1]*

Reza.Fathi@ut.ac.ir

Mohammad Hasan Maleki [2]

Zahra Tahmasebi [3]

Admission Date:January 18, 2017 Date Received: October 28, 2016

Abstract

Background and Objective: Due to rapid changes in the status of competitors, technology and customer preferences, companies cannot always rely on their existing products. Customers are looking for products with better quality and more advanced and offer new products and companies are forced to respond to the needs, tastes and expectations of our customers, one of the important ways to supply quality products and good performance in product design, failure analysis or risk assessment.

Method: this article evaluate the performance of the product components in the computer services industry to the risks and possible consequences in terms of product identification and rank. For risk assessment, data were collected from ten experts of scientific competence and to complete the decision-making matrix. Fuzzy multi-criteria decision-making methods were used for data analysis. These methods in Microsoft Excel were used.

Findings: Based on fuzzy VIKOR results, the A5 in the fuzzy approach has the lowest value of Qi and therefore performs better than other options. Based on the results of the fuzzy PROMETHEE, the A4 in the fuzzy risk assessment is larger than φ (a) and therefore performs better than other options.

Discussion and Conclusion: Based on fuzzy VIKOR result, A5 is better compared to other options. Based on the results of fuzzy PROMETHEE A4 is better compared to other options.

Keywords: Product Design, Risk Assessment, Decision Making, Multi-Criteria Approach, FMEA, AHP, PROMETHEE, Fuzzy VIKOR.

1- Assistant Professor, Department of Management and Accounting, College of Farabi, University of Tehran, Qom, Iran *(*Correspondence Author)*

2- Assistant Professor, Department of Management and Economic, University of Qom, Qom, Iran

3- M.S of Industrial Management, Department of Management and Economic, University of Qom, Qom, Iran

مقدمه

بررسی و تأمین رضایت مشتریان و در نظر گرفتن خواسته‌ها و الزامات مشتریان سازمان در طراحی محصولات می‌تواند در بلندمدت منجر به افزایش وفاداری مشتریان و موفقیت شرکت‌ها شود. رضایت‌مندی مشتریان، تاثیری شگرف بر حیات حال و آینده یک سازمان خواهد داشت. مشتری راضی به‌عنوان بلندگوی تبلیغاتی شرکت عمل کرده و همه را به سوی محصولات یا خدمات شرکت جلب می‌کند. افزایش رقابت دسترسی به اطلاعات فراوان، وجود محصولات و خدمات مشابه و غیره سبب کاهش توان رقابتی سازمان‌ها گشته و تنها راه بقای آن‌ها درگرو عرضه محصولات و خدمات با ارزش بیش تری و کیفیت فوق العاده می‌باشد. این مستلزم نوآوری و تحول در عرضه تولیدات، خدمات و کشف و ارزیابی نیازها و خواسته‌های مشتریان می‌باشد. چنان چه این نیازها به خوبی بازیابی شوند، شرکت موفقیت بیش تری خواهد داشت. یکی از روش‌های مهم در طراحی محصول جهت عرضه محصولات با کیفیت و کارکرد بهتر، تحلیل شکست یا ارزیابی ریسک است. طراحی دوباره محصول، یک فرآیند بسیار با اهمیت برای بسیاری از شرکت‌ها بوده و اهمیت آن به این علت است که درآمد و حاشیه سود سازمان یا شرکت به طراحی محصولات جدید بستگی دارد. طراحی بهینه محصول ابزاری بسیار مهم در موفقیت و رشد و بقای سازمان می باشد. رویکرد مورد نظر در این مقاله جهت اصلاح محصول ارزیابی ریسک است، ارزیابی ریسک یک روش منطقی و تحلیل سیستماتیک برای تعیین اندازه‌ی کمی و کیفی خطرات و بررسی پیامدهای بالقوه‌ی ناشی از حوادث احتمالی بر روی محصولات است. سازمان‌ها در انواع و اندازه‌های مختلف با گستره‌ای از ریسک‌ها مواجه هستند که ممکن است بر دست یابی آن‌ها به اهدافشان تأثیر بگذارند. این اهداف می‌توانند با گستره‌ای از فعالیت‌های سازمان مرتبط باشند، از ابتکارهای راهبردی گرفته تا عملیات، فرآیندها و پروژه‌های سازمان می‌توانند به‌صورت پیامدهای اجتماعی، محیطی، فنّاورانه، ایمنی و امنیتی، اقدامات تجاری، مالی و اقتصادی و همچنین تأثیرات اجتماعی، فرهنگی، سیاسی و اعتباری منعکس شوند. ارزیابی ریسک قسمتی از مدیریت ریسک است که فرآیندی ساختار یافته را فراهم می‌آورد تا چگونگی تحت تأثیر قرار گرفتن اهداف را شناسایی کند. یکی از نوآوری‌های این مقاله استفاده از روش فرآیند تحلیلی سلسله مراتبی فازی برای وزن‌دهی به شاخص‌ها می‌باشد در حالی‌که عمده پژوهش‌های صورت‌گرفته در زمینه‌ی رویکرد FMEA به‌صورت سنتی و با اعداد قطعی و بدون وزن‌دهی به شاخص‌ها بوده که سبب می‌شود دقت FMEA سنتی بسیار کم تر از FMEA فازی باشد. این مقاله با هدف ارایه رویکردی جدید با قابلیت و ظرفیت بالا با تلفیق نتایج حاصل از رویکرد FMEA فازی و تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره به منظور اولویت‌بندی مؤلفه‌های محصول از منظر درجه شکست، تدوین شده است.

مبانی نظری پژوهش

طراحی محصول

طراحان محصول، ایده‌ای را در ذهن خود تصور می‌کنند و آن را در پیکره یک محصول، مشهود و متجسم می‌کنند. این طراحان با مسایلی از قبیل فن‌آوری، ارگونومی، قابلیت کاربری، دانش مواد و کیفیت سروکار دارند (۱). طراحی محصول، تصور کردن و شکل دادن به کالاها و خدمات مورد نیاز است، و می‌تواند به عنوان چندین تصمیم کلیدی تصور شود (۲). چنان‌که لاوسون تصریح بیان می کند که واژه طراحی هم اسم و هم فعل است. این واژه را هم می‌توان در اشاره به محصول نهایی به‌کار گرفت و هم در اشاره به فرآیند عمل طراحی محصول. طراحی در امور فنی، تابع روش‌ها و محاسبات دقیقی است که کارشناسان از آن‌ها در تجزیه و تحلیل خلاقانه بهره می‌گیرند و نتیجه کار را به استناد فرمول‌ها و شاخص‌های کمی، قابل دفاع و اثبات می‌سازند. با این وجود طراحی را نمی‌توان فعالیتی تجویزی تلقی نمود و تصور کرد که طراحان به صرف آشنایی با اصول اولیه طراحی، بتوانند به هر گونه طراحی به طور کامل توانمند شوند. اصول طراح باید نیازهای زیربنایی تکنولوژی مدرن را در

نظر گیرد و نیازهای روحی افرادی را که با طرح ارتباط پیدا می‌کنند، به گونه‌ای ارزش مند تأمین کند. یک طرح باید بتواند عقایدی را که نقش محرک مثبت را برای جامعه ایفا می‌کنند تقویت کند، همچنین لازم است تمام اجزا و مشخصات طرح در راستای هدف و در یک کالبد منسجم عینیت یابند و به صورت ترکیبی منظم از عملکردها و اجزای فیزیکی تحقق پیدا کنند (۳).

ارزیابی ریسک

ارزیابی ریسک[1] فرآیند و تحلیلی سیستماتیک برای شناسایی و ارزیابی رخدادهایی است که می‌توانند دستیابی به اهداف مورد نظر را بطور مثبت یا منفی تحت تأثیر خود قرار دهند. چنین رخدادهایی هم در محیط‌های خارجی (روند اقتصادی، چشم انداز نظارتی، رقابت) و یا در محیط داخلی یک سازمان (فرآیندها، زیرساخت‌ها) شناسایی می‌شوند. زمانی‌که این رخدادها در راستای مخالف اهداف سازمانی قرار بگیرند تبدیل به ریسک (خطر) خواهند شد. بنابراین ریسک به عنوان احتمال بروز یک رخداد که دستیابی به اهداف را به صورت منفی تحت تأثیر قرار می‌دهد، بیان شده است (۴). ارزیابی ریسک عبارت است از شناسایی خطرات موجود در یک فرآیند، یک شغل یا یک خدمت، محاسبه عدد ریسک آن‌ها و ارایه‌ی بهترین اقدامات کنترلی جهت کنترل این خطرات. ریسک به عنوان ترکیبی از شدت آسیب و احتمال رخداد این آسیب تعریف می‌شود (۵). ارزیابی ریسک یک ابزار ضروری جهت سیاست ایمنی یک سازمان است (۶).

رویکرد FMEA

تجزیه و تحلیل نوع نقص و اثر آن FMEA[2] یک روش نظام مند برای تجزیه و تحلیل دلیل (دلایل) و اثرات نقص‌های محصول است. این روش بایستی از کارکردهای محصول و هر یک از قطعات آن شروع شود. همه نقص‌ها به‌ترتیب جدی بودن و دوره نقص رده‌بندی می‌شوند. نقص‌ها یک به یک شناسایی می‌شوند، دلایل فرضیه‌سازی شده و سپس تغییرات طراحی برای کاهش شانس نقص‌ها ایجاد می‌شود. در واقع هدف FMEA پیش‌بینی نقص‌های محصول و جلوگیری از وقوع آن‌ها است (۷). هدف اصلی کاربرد FMEA شناسایی نقاط شکست بالقوه مؤلفه‌های سیستم، ارزیابی دلایل و پیامدهایشان بر روی رفتار سیستم است. در حقیقت هدف تعیین راه هایی برای حذف یا کاهش رخدادها و شدت آن‌ها و نیز قابلیت کشف نقاط شکست خاص است. به صورت سنتی محاسبه ریسک نقاط شکست مختلف با استفاده از FMEA توسط توسعه اعداد اولویت بندی ریسک RPN انجام شده است. RPN، مقدار بدست آمده توسط سه مؤلفه محصول است. به عنوان مثال احتمال رخداد نقطه شکست(O) شدت اثر نقطه شکست (S) و قابلیت کشف نقطه شکست (D) در نظر گرفته می‌شود. هدف RPN اولویت بندی نقاط شکست یک محصول یا سیستم است. بنابراین منابع در دسترس می‌توانند به صورت موثر اختصاص یابند. نقاط شکست با ریسک بالا زمان و هزینه و منابع بیش تری به خود اختصاص خواهند داد. RPN از نظر محاسبه‌ای به صورت زیر است:

$$RPN=O*S*D$$

پارامترهای ریسک O،S، D با استفاده از ۵ و۷ و۱۰ مقیاس امتیازی در مقیاس لیکرت اندازه‌گیری می‌شوند. در این روش اساس کار بر فکر و احساس انسان است لذا با یک مفهوم نادقیق مواجه هستیم که نمی‌توان یک مقدار کمی دقیق برای پارامترهای سه‌گانه در نظر گرفت. به عبارت دیگر نسبت دادن عددی بین ۱ تا ۱۰ به هر یک از عوامل مؤثر در ریسک‌پذیری برای تیم چند تخصصی مربوطه بسیار مشکل است و غالبا اختلاف نظر محسوسی در محاسبات به وجود می‌آید. انتقادات مهمی برای رویکرد FMEA سنتی وارد آمده است (۸)، مانند تشخیص مقدارهای دقیق برای O، D و S برای کارشناسان دشوار است و ممکن است ترکیبات متفاوتی از این سه عامل نتایج یکسانی داشته باشد، همچنین اهمیت نسبی آن‌ها در محاسبات سنتی در نظر گرفته نشده است (۹). با توجه به لزوم تصمیم‌گیری نهایی در مورد علل عدم انطباق‌ها در نظام روش‌های تجزیه و تحلیل حالت‌های خطا و آثار آن‌ها و مواجه با

1- Risk Assessment
2- Failure Mode and Effect Analysis

پارامترهای نادقیق، به نظر می‌رسد نظریه فازی قادر است متغیرهای مورد نیاز برای محاسبه عدد اولویت ریسک را که نادقیق و مبهم هستند، صورت بندی ریاضی ببخشد و زمینه را برای اولویت بندی نهایی علل عدم انطباق‌ها فراهم آورد.

مروری بر پژوهش های مرتبط

ارزیابی ریسک تقریبا در همه خدمات صنعتی و تولیدی مهم تلقی می شود. چندین مطالعه با رویکردهای مختلف ارزیابی ریسک انجام شده است. مارهاویلاس و کولوریوتیس[1](۶) دو تکنیک کمی ارزیابی ریسک را شرح داده‌اند که تکنیک تناسبی و تکنیک ماتریس تصمیم نامیده شدند و کاربردی از ارائه این تکنیک‌ها در صنعت آلومینیم اکستروژن در یونان ارائه دادند. آن‌ها از داده‌های واقعی منابع بالقوه خطر استفاده کردند که این داده‌ها توسط مدیران ایمنی در طول یک دوره زمانی ۵/۵ ساله (1999,2004) ثبت شده بود، آن‌ها نتایج را مقایسه و به این نتیجه رسیدند که این دو روش باهم سازگار هستند. روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در زمینه ارزیابی ریسک بسیار مورد توجه هستند، این روش‌ها با توجه به اهداف، روش‌شناسی‌ها و نتایج ملاحظه شده، مورد استفاده قرار گرفته‌اند. کانگ و همکاران[2] در سال ۲۰۱۴ مدلی برای سنجش ریسک برای مناطق مخازن ذخیره‌سازی نفت، بر اساس تئوری دو نوع خطر(خطر ذاتی و خطر قابل کنترل) ارایه دادند. خطرات اصلی توسط روش خطرات عمده، که بر اساس احتمال، شدت و حوادث است، ارزیابی می‌شوند. فاکتورهای ریسک خطرات قابل کنترل توسط تجزیه و تحلیل درخت خطا (FTA) شناسایی می‌شوند، وزن عوامل توسط روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی تعیین می‌شوند سپس روش ارزیابی جامع فازی برای خطرات قابل کنترل ایجاد می شوند. روش ماتریس ۵×۵ برای تعیین رتبه‌بندی ریسک مخازن نگهداری نفت مورد استفاده قرار گرفت. این مدل پیشنهادی روش های خطر، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی ، ارزیابی جامع فازی و ماتریس ریسک ۵×۵ را ترکیب کرد. ابراهیم‌نژاد و همکاران در سال ۲۰۱۰ از TOPSIS فازی و تکنیک برنامه‌ریزی خطی فازی برای تجزیه و تحلیل چند بعدی روش ترجیحی (FLINMAP) بر اساس مدل ارزیابی ریسک برای ساخت، اقدام و انتقال (BOT)[3] پروژه، استفاده کردند. آن‌ها این مدل را در ایران برای شناسایی و ارزیابی ریسک پروژه‌های نیروگاهی، پیشنهاد دادند. جان و همکاران در سال ۲۰۱۴ روش ارزیابی ریسک فازی را در عملیات بندرگاه با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی ، رویکرد استدلال شواهد (ER)[4]، تئوری مجموعه‌های فازی و کاربردپذیری مورد انتظار، پیشنهاد نمودند. آن‌ها روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی را برای وزن‌دهی فاکتورهای ریسک بکار بردند در حالی که ER برای تجزیه آن‌ها استفاده شد. لو و تی‌سای[5](۱۰) مدل گسترش کارکرد کیفیت (QFD)، فرآیند تحلیل شبکه فازی و روش FMEA بر اساس روش ارزیابی ریسک را در یک شرکت ساخت و ساز در تایوان پیشنهاد نمودند. آن‌ها از تبدیل عملکرد کیفیت به منظور ارایه روابط بین موارد ساخت و ساز، انواع خطر و دلایل خطر استفاده کردند. روش ANP فازی برای شناسایی انواع خطرات مهم و دلایل خطر و روش FMEA برای ارزیابی مقدار خطر مورد استفاده قرار گرفت.

روش پژوهش

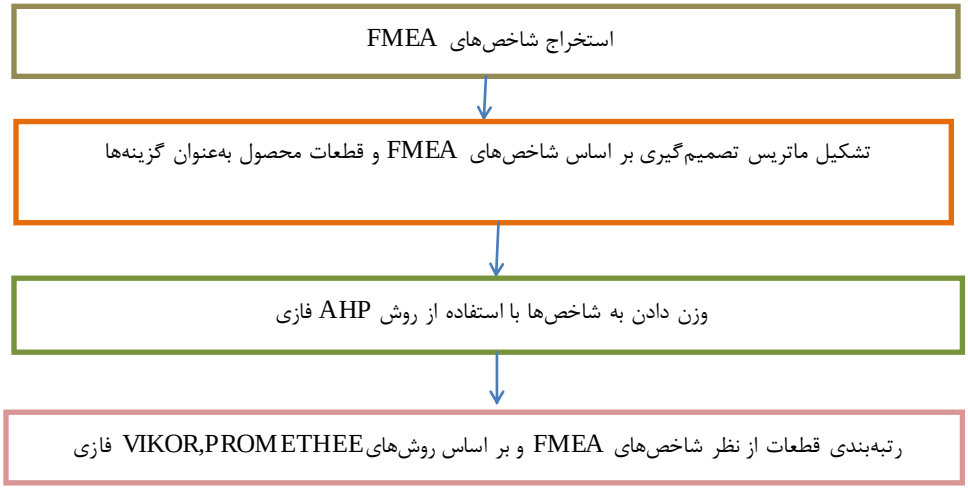
پژوهش حاضر به دلیل استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری که شامل تحلیل سلسله مراتبی، ویکور و پرومته در محیط فازی می باشند از نوع ترکیبی و از نظر استراتژی متوالی و موازی است. از آن‌جایی‌که پژوهش حاضر از نوع توصیفی است، ابزار مورد استفاده در این پژوهش در روش میدانی، استفاده از پرسش‌نامه بوده است، همچنین این تحقیق به دلیل استفاده از پرسش‌نامه برای جمع‌آوری اطلاعات، تحقیقی پیمایشی است. داده‌های جداول تصمیم از اطلاعات موجود در شرکت و یا نظر خبرگان از طریق پرسش‌نامه مربوط به رویکرد FMEA

1- Koulouriotis
2- Kang & et al.
3- build–operate–transfer
4- evidential reasoning
5- Liu & Tsai

جمع‌آوری شده و برای وزن‌دهی نیز از نظرات خبرگان برای تکمیل ماتریس مقایسات زوجی استفاده شده است.

مراحل تحقیق

در پژوهش حاضر، به‌منظور شناسایی و اولویت‌بندی قطعات محصول جهت بهبود یا تعویض، از شاخص‌های رویکرد FMEA استفاده شده است. چارچوب مورد استفاده در این تحقیق بر اساس مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره یا مدل‌های حوزه‌ی MCDM است. از این‌رو لازم است تا ماتریسی تشکیل شود که سطرهای آن عبارتند از گزینه‌های مورد بحث و ستون-های آن عبارتند از شاخص‌های رویکرد FMEA. در این تحقیق گزینه‌ها، قطعات مختلف محصول مورد بررسی هستند. وزن معیارها توسط تکنیک AHP فازی تعیین شده و اولویت‌بندی قطعات بر اساس روش‌های PROMETHEE و VIKOR فازی انجام شده و نهایتا نتایج دو روش مذکور باهم مقایسه می‌شوند.



شکل ۱- مراحل تحقیق

Figure 1. The Stages of Study

رویکرد FMEA

این تحقیق سه عامل مهم رویکرد FMEA را جهت رتبه‌بندی ریسک‌ها در محصول در نظر گرفته است:

- Occurrence احتمال وقوع خطر
- Severity شدت خطر
- Detection احتمال کشف خطر

۱. احتمال وقوع: احتمال یا به‌عبارتی دیگر شمارش تعداد شکست‌ها نسبت به تعداد انجام فرآیند.

۲. شدت خطر: ارزیابی و سنجش نتیجه‌ی شکست (البته اگر به‌وقوع بپیوند). شدت، یک مقیاس ارزیابی است که جدی بودن اثر یک شکست را در صورت ایجاد آن تعریف می‌کند.

۳. کشف: احتمال تشخیص شکست قبل از آن‌که اثر وقوع آن مشخص شود. ارزش یا رتبه‌ی تشخیص وابسته به جریان کنترل است. تشخیص، توانایی کنترل برای یافتن علت و مکانیزم شکست هاست.

جدول ۱-طیف سنجش شاخص‌های FMEA در مقاله (خشا و سپهری و خطیبی و سروش، ۱۳۹۲)

Table 1. FMEA Indices for Measuring

متغیر زبانی	نماد	عدد فازی تخصیص داده شده	احتمال وقوع خطر O	احتمال کشف خطر D	شدت خطر S
خیلی کم	VL	(۲و۰و۰)	۰ تا ۵ درصد	قابل شناسایی	بی‌خطر
کم	L	(۵و۳و۱)	۵ تا ۱۰ درصد	احتمال بالا در شناسایی	خطر کم
متوسط	M	(۷و۵و۳)	۱۰ تا ۱۵ درصد	احتمال ۵۰-۵۰ در شناسایی	خطر متوسط
زیاد	H	(۹و۷و۵)	۱۵ تا ۲۰ درصد	احتمال کم در شناسایی	خطر بالا
خیلی زیاد	VH	(۱۰و۱۰و۸)	بیش از ۲۰ درصد	غیر قابل شناسایی	خطر بسیار بالا

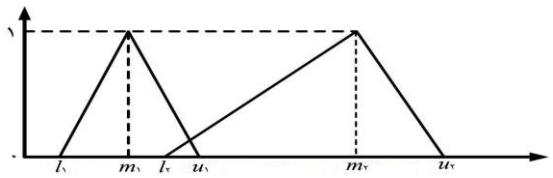
جامعه و نمونه آماری پژوهش

جامعه آماری تحقیق حاضر، کارکنان یک شرکت مونتاژ قطعات کامپیوتری است. در پژوهش حاضر روش نمونه‌گیری، قضاوتی و غیرتصادفی است. داده‌های جداول تصمیم از اطلاعات موجود در شرکت و یا نظر خبرگانی که دارای صلاحیت علمی و تجربی بالایی در رابطه با محصول هستند، جمع‌آوری شده است. برای وزن‌دهی نیز از نظرات خبرگان جهت تکمیل ماتریس مقایسات زوجی استفاده شده است.

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی، یکی از معروف‌ترین فنون تصمیم‌گیری چندشاخصه است که توسط ساعتی معرفی شده است. هنگامی که در تصمیم‌گیری، با چند گزینه و شاخص روبرو هستیم، این روش می‌تواند مفید باشد. گرچه افراد خبره از شایستگی‌ها و توانایی‌های ذهنی خود برای انجام مقایسات استفاده می‌نمایند، اما باید به این نکته توجه داشت که فرآیند تحلیل سلسله مراتبی سنتی، امکان انعکاس کامل سبک تفکر انسانی را ندارد. به عبارت بهتر، استفاده از مجموعه‌های فازی، سازگاری بیش تری با توضیحات زبانی و بعضاً مبهم انسانی دارد و بنابراین بهتر است با استفاده از مجموعه‌های فازی (به‌کارگیری اعداد فازی) به پیش‌بینی بلندمدت و تصمیم‌گیری در دنیای واقعی پرداخت. در سال ۱۹۸۳ دو محقق هلندی به نام‌های لارهورن و پدریک، روشی را برای فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی پیشنهاد نمودند که بر اساس روش حداقل مجذورات لگاریتمی بود. پیچیدگی مراحل این روش باعث شد این روش چندان مورد استفاده قرار نگیرد. در ۱۹۹۶، روش دیگری با عنوان "روش تحلیل توسعه‌ای" توسط چانگ ارایه شد. اعداد مورد استفاده در این روش، اعداد مثلثی فازی هستند. مفاهیم و تعاریف فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی، بر اساس روش تحلیل توسعه‌ای، به صورت زیر هستند:

دو عدد مثلثی $M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ و $M_2 = (l_2, m_2, u_2)$ را که در شکل (۲) رسم شده‌اند، را در نظر بگیرید.



شکل ۲-اعداد مثلثی M_1 و M_2

Figure 2. Triangular Numbers M_1 and M_2

عمل گرهای ریاضی آن به صورت روابط (۱)، (۲) و (۳) تعریف می شوند:

$$M_1 + M_2 = (l_1 + l_2, m_1 + m_2, u_1 + u_2) \quad (۱)$$

$$M_1 * M_2 = (l_1 * l_2, m_1 * m_2, u_1 * u_2) \quad (۲)$$

$$M_1^{-1} = \left(\frac{1}{u_1}, \frac{1}{m_1}, \frac{1}{l_1}\right), \quad M_2^{-1} = \left(\frac{1}{u_2}, \frac{1}{m_2}, \frac{1}{l_2}\right) \quad (۳)$$

باید توجه داشت که حاصل ضرب دو عدد فازی مثلثی، یا معکوس یک عدد فازی مثلثی، دیگر یک عدد فازی مثلثی نیست. این روابط، فقط تقریبی از حاصل ضرب واقعی دو عدد فازی مثلثی و معکوس یک عدد فازی مثلثی را بیان می‌کنند. در روش تحلیل توسعه‌ای، برای هر یک از سطرهای ماتریس مقایسات زوجی، مقدار S_k که خود یک عدد مثلثی است، از رابطه (۴) محاسبه می‌شود:

$$S_k = \sum_{j=1}^{n} M_{kj} * \left[\sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} M_{ij} \right]^{-1} \quad (۴)$$

که در آن k بیان گر شماره سطر و j ، بیان گر شماره ستون می‌باشد. در روش تحلیل توسعه‌ای، پس از محاسبه‌ی S_k ها، درجه بزرگی آن‌ها نسبت به هم را باید بدست آورد. به طور کلی، اگر M_1 و M_2 دو عدد فازی مثلثی باشند، درجه بزرگی M_1 بر M_2، که با $V(M_1 \geq M_2)$ نشان داده می‌شود، به صورت رابطه (۵) تعریف می‌شود:

$$\begin{cases} V(M_1 \geq M_2) = 1 & if\ m_1 \geq m_2 \\ V(M_1 \geq M_2) = 0 & if\ l2 \geq u1 \\ V(M_1 \geq M_2 = hgt(M_1 \cap M_2) & otherwise \end{cases} \quad (۵)$$

همچنین داریم:

$$hgt(M_1 \cap M_2) = \frac{u_1 - l_2}{(u_1 - l_2) + (m_2 - m_1)}$$

میزان بزرگ‌تر بودن یک عدد فازی مثلثی از k عدد فازی مثلثی دیگر نیز از رابطه (۶) به‌دست می‌آید:

$$V(M_1 \geq M_2, ..., M_K) = V(M_1 \geq M_2), ..., V(M_1 \geq M_K) \quad (۶)$$

برای محاسبه وزن شاخص‌ها در ماتریس مقایسه زوجی از رابطه (۷) استفاده می‌شود:

$$W'(x_i) = Min\{V(S_i \geq S_k)\}, \quad k \neq i \quad , k = 1,2,..., n. \quad (۷)$$

بنابراین، بردار وزن شاخص‌ها به صورت زیر خواهد بود:

$$W'(x_i) = [W'(c_1), W'(c_2), ..., W'(c_n)]^T \quad (۸)$$

تجزیه و تحلیل داده‌ها

در پژوهش حاضر به منظور تعیین وزن شاخص‌ها و تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری و نیز برای مقایسه‌ی گزینه‌ها با توجه به هر شاخص، از نظرات ده خبره که دارای صلاحیت تجربی و علمی بالایی در رابطه با محصول هستند، برای یکی از قطعات سخت افزاری کامپیوتر استفاده شده است. جدول زیر، مجموعه‌ای از نظرات خبرگان با توجه به فرم جدول FMEA است.

جدول ۲- نظرات خبرگان در فرم جدول FMEA

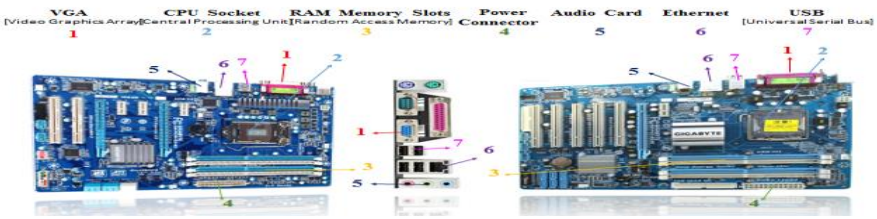
Table 2.Experts Comments in the FMEA

جز دستگاه	علل شرکت	اثر شرکت	اقدامات پیشنهادی	روش های شناسایی	شدت اثر	درجه شناسایی	احتمال وقوع
VGA	تغذیه نامناسب جریان- گرمای بیش از حد-گرد و غبار-فشار بیش از حد	عدم نمایش خروجی- تاخیر در خاموش شدن- کاهش در سرعت پردازش	میزان حرارت- شستشو با اسپری خشک	سمعی و بصری	M	L	H
CPU	گرد و غبار-ضربه دیدن- حرارات-فشارهای پایه فن به سوکت	روشن نشدن کامپیوتر- کندی بیش از حد کامپیوتر	شستشو با اسپری خشک- تعویض قطعه	سمعی و بصری	VH	H	L
RAM	گرد و غبار- اشتباه در نصب واحد-فشار به گیرهای نگه دارنده رم- ساییدگی درگاه	ریستارت شدن-روشن نشدن کامپیوتر-عدم نصب سیستم عامل جدید-	شستشو با اسپری خشک- تعویض قطعه-نصب رم در درگاه های دیگر	سمعی و بصری	M	VL	M
Power	تغذیه نامناسب جریان-گرد و غبار- اشتباه در نصب و یا برعکس نصب کردن- ساییدگی درگاه	عدم روشن شدن سیستم-تغذیه نامناسب سایر اجزای کامپیوتر	همتراز کردن پین ها- تعویض قطعه	سمعی و بصری	VH	VL	VL
Audio Card	نصب راه انداز غیر قابل سازگار- اتصال ورودی های غیر استاندارد- گرد و غبار	عدم خروجی صدا- کیفیت پایین صدا-قطع و وصل شدن صدا	نصب کارت صوتی جدید-نصب راه انداز سازگار با این واحد بر روی سیستم عامل	سمعی و بصری	H	M	VL
Ethernet	اتصال ورودی های غیر استاندارد- ساییدگی اطراف واحد- خم شدن پین های اتصال	عدم ارسال و دریافت داده از طریق شبکه- کاهش سرعت انتقال داده	تعویض قطعه- همتراز کردن پین های اتصال- تعویض کابل ورودی به این واحد	سمعی و بصری	H	VL	M
USB	اتصال دستگاه های مخرب و خراب- اشتباه در درست متل کردن پین های داخلی بورد- ساییدگی درگاه-گرد و غبار	عدم پشتیبانی ورودی ها-قطع و وصل شدن ورودی ها-تخریب دستگاه وارد شده به این درگاه	تعویض قطعه- نصب واحد دیگر در درگاه های بورد اصلی	سمعی و بصری	H	M	M

جدول ۳- نماد قطعه‌های مورد بررسی در محصول

Table 3.Symbol Tracks of Product and Component

نماد	گزینه ها
A_1	**VGA**
A_2	**Socket Cpu**
A_3	**Memory Slots RAM**
A_4	**Connector Power**
A_5	**Card Audio**
A_6	**Ethernet**
A_7	**USB**



شکل ۳- نمایی از محصول و قطعات مورد بررسی

Figure 3. View of investigated product

جهت بدست آوردن وزن‌های مربوط به عوامل، از آن جایی‌که مساله دارای سه شاخص است، باید سه مقایسه زوجی صورت بگیرد. پرسش‌نامه مقایسات زوجی به منظور بدست آوردن وزن شاخص‌ها یا عوامل، مورد استفاده قرار گرفته است و شامل یک جدول است که در آن تصمیم‌گیرنده با استفاده از یک سری متغیرهایی در یک طیف پنج تایی شاخص‌ها را دو به دو با یکدیگر مقایسه می‌کنند و ارجحیت آن‌ها را نسبت به یکدیگر مشخص می‌کند و شامل "اهمیت برابر"، "نسبتا مهم‌تر"، "مهم‌تر"، "خیلی مهم‌تر" و "بی‌نهایت مهم‌تر" می‌باشد. از آن‌جایی که تصمیم‌گیرندگان در تصمیم‌گیری دخالت دارند، لذا میانگین نظرات کارشناسان در مورد عوامل از طریق میانگین هندسی محاسبه گردید و به صورت ماتریس مقایسه زوجی تجمیعی در نظر گرفته شد. این ماتریس تجمیعی در جدول (۴) نشان داده شده است.

جدول ۴- ماتریس مقایسه‌ی زوجی فازی تجمیعی

Table 4- Fuzzy Aggregation Paired Comparison Matrix

ماتریس تجمیعی	شدت اثر			درجه شناسایی			احتمال وقوع		
	L	m	u	L	m	u	L	m	u
شدت اثر	۱	۱	۱	۱/۷۵	۲/۴۰	۳/۱۵	۰/۹۰	۱	۱/۲۰
درجه شناسایی	۰/۳۲	۰/۴۲	۰/۵۷	۱	۱	۱	۲/۲۶	۲/۸۹	۳/۴۶
احتمال وقوع	۰/۸۳	۱	۱/۱۱	۰/۲۹	۰/۳۵	۰/۴۴	۱	۱	۱

نرخ ناسازگاری برابر CR^m =0.071 و CR^g =0.094 بوده بنابراین مقایسات سازگار هستند. در ادامه براساس مراحل فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی، بردار وزن عوامل بدست می‌آید که نتایج آن در جدول (۵) نشان داده شده است.

جدول ۵- وزن‌های نرمالایز شده‌ی معیارها با استفاده از FAHP

Table 5.The Standards Normalized Weights using FAHP

معیار Cj		وزن (W)
شدت اثر	$C_۱$	۰/۴۸۹
درجه شناسایی	$C_۲$	۰/۴۴۳
احتمال وقوع	$C_۳$	۰/۰۶۶

ارزیابی گزینه‌ها براساس معیارها طبق اعداد فازی در جدول (۶) نشان داده شده است. اعداد مندرج در این جدول میانگین هندسی فازی نظرات خبرگان بوده و از طریق نرم فازی بی‌مقیاس شده‌اند.

جدول ۶- ماتریس تصمیم تجمیعی

Table 6 . Aggregated Decision Matrix

گزینه	معیار اول -شدت اثر C1(-)			معیار دوم- درجه‌ی شناسایی C2(+)			معیار سوم- احتمال وقوع C3(-)		
A_1	۰/۹۵۹	۰/۸۸۶	۰/۷۴۶	۰/۹۵۲	۰/۸۷۶	۰/۷۳۲	۰/۹۷۵	۰/۹۱۲	۰/۷۷۵
A_2	۱	۰/۹۵	۰/۸	۰/۹۲۸	۰/۸۳۸	۰/۶۹۶	۰/۹۷۸	۰/۹۱۶	۰/۷۷۸
A_3	۰/۸۴۵	۰/۷۳۰	۰/۵۹۹	۰/۸۴۷	۰/۷۳۳	۰/۶۰۷	۰/۸۳۳	۰/۷۱۳	۰/۵۹۱
A_4	۰/۷۸۵	۰/۶۶۲	۰/۵۳۷	۰/۷۳۳	۰/۶۰۲	۰/۴۶۹	۰/۷۰۱	۰/۵۷۵	۰/۴۴۴
A_5	۰/۷۹۳	۰/۶۵۴	۰/۵۱۵	۰/۷۹۳	۰/۶۶۲	۰/۵۲۴	۰/۶۴۵	۰/۵۰۶	۰/۳۸۴
A_6	۰/۶۰۹	۰/۴۸۵	۰/۳۵۵	۰/۵۳۸	۰/۴۱۴	۰/۳۱۰	۰/۴۸۸	۰/۳۵۳	۰
A_7	۰/۵۸۵	۰/۴۵۹	۰/۳۲۸	۰/۵۲۳	۰/۴۰۶	۰/۳۴۳	۰/۴۱۶	۰/۲۵۲	۰

در گام بعدی مقادیر ایده‌آل مثبت و منفی فازی با توجه به نوع شاخص (بهترین و بدترین مقدار فازی) تعیین می‌شوند. شاخص‌های شدت اثر و احتمال وقوع منفی و شاخص درجه‌ی شناسایی شاخصی مثبت محسوب می‌شود. در ادامه مقادیر $\tilde{S}_i$ و $\tilde{R}_i$ محاسبه می‌گردد. در نهایت براساس مراحل فازی ویکور، خروجی‌های آن براساس شروط، در جدول (۷) نشان داده شده است.

جدول ۷- خروجی‌های روش ویکور فازی

Table 7. The Outputs of Fuzzy VIKOR

گزینه ها	P_i			Crisp p_i	رتبه
A_1	۰/۶۴۸	۰/۵۹۸	۰/۶۴۶	۰/۶۲۳	۶
A_2	۱	۱	۱	۱	۷
A_3	۰/۲۳۳	۰/۲۰۸	۰/۲۶۶	۰/۲۲۹	۲
A_4	۰/۲۰۶	۰/۳۰۸	۰/۴۴۲	۰/۳۱۶	۳
A_5	۰/۰۱۷	۰	۰/۰۹۸	۰/۰۲۹	۱
A_6	۰/۴۷۷	۰/۵۵۲	۰/۵۸۷	۰/۵۴۲	۵
A_7	۰/۴۲۸	۰/۴۸۴	۰/۳۵۱	۰/۴۳۷	۴

با توجه به جدول خروجی‌های روش ویکور فازی، گزینه‌ی A_5 در ارزیابی ریسک با رویکرد فازی دارای کم ترین مقدار $\tilde{Q}_i$ بوده بنابراین در مقایسه با گزینه‌های دیگر عملکرد بهتری داشته و گزینه‌ی A_2 به‌عنوان بدترین گزینه که دارای بالاترین مقدار $\tilde{Q}_i$ و در نتیجه ریسک بالا در محصول است، شناخته شده و در طراحی محصول، بهبود این قطعه باید مدنظر قرار گیرد. در ادامه محاسبات به طور موازی برای رتبه بندی گزینه ها با استفاده از روش پرومته فازی انجام پذیرفته است. بر اساس مقادیر قطعی $\varphi(a)$ گزینه‌ها به‌ترتیب مندرج در جدول (۸) رتبه‌بندی گردیدند.

جدول ۸- خروجی‌های روش پرومته فازی

Table 8. The Outputs of Fuzzy PROMETHEE

Rank	ϕ+			ϕ-			ϕ			N.F	P. II
A_1	۳/۵	۴/۴	۵/۵	۴/۳	۵/۴	۶/۳	-۲/۸	-۱	۱/۲	-۰/۹	۴
A_2	۳/۳	۴/۱	۵/۳	۳/۹	۴/۹	۵/۹	-۲/۶	-۰/۸	۱/۴	-۰/۷	۳
A_3	۳/۲	۴	۵/۲	۴/۲	۵/۲	۶/۲	-۲/۹	-۱/۲	۱/۱	-۱/۱	۵
A_4	۵/۸	۷/۲	۷/۸	۱/۴	۱/۸	۳/۴	۲/۳	۷/۲	۶/۳	۵/۸	۱
A_5	۲/۹	۳/۶	۴/۹	۲/۶	۳/۳	۴/۶	-۱/۷	۰/۴	۲/۳	۰/۳	۲
A_6	۲/۱	۲/۷	۴/۱	۳/۳	۴/۱	۵/۳	-۳/۲	-۱/۵	۰/۸	-۱/۳	۷
A_7	۲/۵	۳/۱	۴/۵	۳/۶	۴/۴	۵/۶	-۳/۱	-۱/۴	۰/۹	-۱/۲	۶

با توجه به جدول خروجی های روش پرومته فازی، گزینه A_4 در ارزیابی ریسک با رویکرد فازی دارای $\varphi(a)$ بزرگ تری بوده بنابراین در مقایسه با گزینه‌های دیگر عملکرد بهتری داشته و گزینه A_6 با $\varphi(a)$ کم ترین، پایین‌ترین رتبه را داشته و به عنوان بدترین گزینه که دارای ریسک بالا در محصول است، شناخته شده و در نتیجه در طراحی محصول، بهبود این قطعه باید مدنظر قرار گیرد.

بحث و نتیجه‌گیری

در این مقاله، یک مدل تلفیقی شامل روش تحلیل سلسله مراتبی فازی، پرومته فازی و ویکور فازی برای ارزیابی

مؤلفه‌های محصول از منظر درجه شکست پیشنهاد شده است. شاخص‌های مختلفی برای ارزیابی ریسک دخالت دارند، از آن جا که رویکرد ارزیابی ریسک مورد استفاده در این مقاله رویکرد FMEA است، ادبیات مرتبط با مقاله‌هایی در حوزه رویکرد FMEA، مورد بررسی قرار گرفت و شاخص‌های تحقیق شامل سه عنصر شدت اثر(S) ، احتمال وقوع(P) و درجه شناسایی یا قابلیت کشف(D) گزارش گردید. روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی یکی از پرکاربردترین روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره برای وزن‌دهی شاخص‌های تحقیق مورد استفاده قرار گرفت، که شاخص شدت اثر با وزنی معادل ۰/۴۹ در اولویت اول، درجه شناسایی با وزنی معادل ۰/۴۴ در اولویت دوم و شاخص احتمال وقوع با وزنی معادل ۰/۰۶۷ در اولویت سوم قرار گرفته است. رتبه‌بندی حاصل از روش ویکور فازی نشان می‌دهد گزینه A_5 در ارزیابی ریسک با رویکرد فازی دارای کم ترین مقدار $\tilde{Q}_i$ بوده بنابراین با در نظر گرفتن شرایط روش ویکور فازی، در مقایسه با گزینه‌های دیگر عملکرد بهتری داشته و گزینه A_2 با دارا بودن بیش ترین مقدار $\tilde{Q}_i$ به عنوان بدترین گزینه که دارای ریسک بالا در محصول است، شناخته شده و در نتیجه در طراحی محصول، بهبود این قطعه باید مدنظر قرار گیرد و نتایج حاصل از پرومته فازی نشان می‌دهد گزینه A_4 در ارزیابی ریسک با رویکرد فازی دارای $\varphi(a)$ بزرگتری بوده بنابراین در مقایسه با گزینه‌های دیگر عملکرد بهتری داشته و گزینه A_6 با $\varphi(a)$ کم ترین، پایین‌ترین رتبه را داشته و به عنوان بدترین گزینه که دارای ریسک بالا در محصول است، شناخته شده و در نتیجه در طراحی محصول، بهبود این قطعه باید مدنظر قرار گیرد.

Reference

1. Farsijani, H., Shabani, A & Torabipour, M.R. (2009). Investigation the role of critical factors in product design to achieve world-class production. The Covenant of Managers. PP. 59-63.
2. Ulrich, K. T. (2011). Design is everything?. Journal of Product Innovation Management, 28(3), 394-398.
3. Yazdipour, J. (2012). Analytical review of Indicator models of engineering design and industrial design trends. Artwork, No. 7. PP. 73-88.
4. Atkinson, J., & Jourdan, C. (2008). How principles-based risk assessment enables Organizations to take the right risks. PricewaterhouseCoopers LLP.
5. Gul, M., & Guneri, A. F. (2016). A fuzzy multi criteria risk assessment based on decision matrix technique: a case study for aluminum industry. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 40, 89-100.
6. Marhavilas, P.K. & Koulouriotis, D. & Gemeni, V. (2011). Risk analysis and assessment methodologies in the work sites: On a review, classification and comparative study of the scientific literature of the period 2000-2009. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, NO. 24, PP.477-523.
7. Filippi, S., & Cristofolini, I. (2009). The design guidelines collaborative framework: a design for Multi-X method for product development. Springer Science & Business Media.
8. Wang, Y.-M., et al. (2009). "Risk evaluation in failure mode and effects analysis using fuzzy weighted geometric mean." Expert Syst Appl. Vol.36, (2, Part 1), PP. 1195-1207.
9. Zhou, Q., & Thai, V. V. (2016). Fuzzy and grey theories in failure mode and effect analysis for tanker equipment

failure prediction. Safety Science, 83, 74-79.

10. Liu, H.-T. and Tsai,Y.-l. (2012). A fuzzy risk assessment approach for occupational hazards in the construction industry. Safety Sci. Vol. 50, NO. 4, PP. 1067-1078.