



## ارایه یک رویکرد جدید به منظور افزایش اثربخشی و انتخاب بحرانی ترین تجهیز به کمک رویکرد تلفیقی Data Mining, Fuzzy DEMATEL, FMEA و FTA (مطالعه موردی: پتروشیمی سازند)

محمد احسانی فر (نویسنده مسؤل)

استادیار و مدیر گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک، اراک

Email: m-ehsanifar@iau-arak.ac.ir

نیما همتا

استادیار گروه مهندسی مکانیک (ساخت و تولید)، دانشگاه صنعتی اراک، اراک

پریسا بوالحسنی

کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک، اراک

تاریخ دریافت: ۹۶/۵/۸ \* تاریخ پذیرش: ۹۶/۹/۱

### چکیده

طی دهه های اخیر به دلایل زیادی، شاهد توجه رو به رشدی به مقوله قابلیت اطمینان و مدیریت نگهداری و تعمیرات بوده ایم. مقاله حاضر با هدف معرفی و تلفیق رویکردهای داده کاوی، دیمتل فازی، تجزیه و تحلیل حالات خطا و درخت خطا به منظور بهبود قابلیت اطمینان و افزایش اثربخشی برنامه ریزی تعمیرات در مجتمع پتروشیمی سازند انجام شده است. نخست با استفاده از تکنیک داده کاوی بحرانی ترین خوشه از میان خوشه های تشکیل شده توسط نرم افزار مربوطه مشخص می شود، سپس با بهره گیری از رویکرد دیمتل فازی مجموعه ای از بحرانی ترین و تاثیر گزار ترین تجهیزات در خوشه بحرانی، تحت شرایط فازی شناسایی میشوند، در نهایت توسط تکنیک های FMEA و FTA عدد ریسک و علل اصلی خرابی شناسایی خواهد شد و راهکارهای مربوطه برای حل مشکلات و بهبود سیستم پیشنهاد خواهد شد. **کلمات کلیدی:** نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه، برنامه ریزی تعمیرات، بهبود قابلیت اطمینان، داده کاوی، تجزیه و تحلیل حالات خطا، درخت خطا.

## ۱- مقدمه

در سالهای اخیر اهمیت نگهداری و تعمیرات و همچنین مدیریت آن گسترش یافته است. اغلب تجهیزاتی که امروزه به نحوی در امور تولیدی به کار گرفته می شوند در زمان هایی از سیکل عمر عملیاتی خود دچار از کار افتادگی می شوند و به نگهداری و تعمیرات نیازمند می شوند و از آنجا که توقف تولید ناشی از خرابی تجهیزات دارای هزینه های زیادی می باشد، یافتن راهکارهایی برای افزایش سرعت و تاثیر اقدامات پیشگیرانه اهمیت زیادی پیدا کرده است (Dekker & Rijn, 2003).

افزایش سرمایه گذاری بر روی تجهیزات صنعتی و بکارگیری ماشین آلات پیچیده و نیز قیمت بالای قطعات یدکی و گاهاً در دسترس نبودن آنها به دلیل مسایل فنی یا سیاسی و همچنین حرکت روبه جلوی تکنولوژی در صنایع پیشرفته بیانگر این واقعیت می باشد که جایگاه سیستم نگهداری و تعمیرات در سازمان سیر صعودی پیدا کرده و این مبحث یکی از مباحث مهم هر صنعت است که از طرق مختلف منجر به افزایش بهره وری می گردد. به کارگیری سیستم نگهداری و تعمیرات خاص یک سازمان، می تواند نقش بسیار زیادی را در کاهش قیمت تمام شده محصول نهایی ایفا نماید. اما این تأثیرات تنها محدود به هزینه نبوده و در سرعت ارائه محصول در کل زنجیره تامین، کیفیت محصول، قابلیت اطمینان، چابکی سازمان و عواملی از این دست نیز تأثیرات خاص خود را خواهد داشت، چرا که با توجه به کمیابی منابع اعم از انرژی، نیروی انسانی، سرمایه و ... می تواند کمک بزرگی جهت دستیابی به اهداف فوق الذکر بنماید. ارتباط متقابل و تنگاتنگ واحد نگهداری و تعمیرات با واحد بهره برداری نقش این واحد را به عنوان جزء لاینفکی از فرایند تولید بسیار پررنگ نموده است (Worsham, 2000). پس مشابه صنایعی، همچون پتروشیمی، هر قدر سیستمی پیچیده تر و ماشین آلات آن تخصصی تر باشد، اهمیت بحث قابلیت اطمینان و نگهداری و تعمیرات نیز، در آن بالاتر خواهد بود (Haj-shirmohammadi, 2011). در این تحقیق سعی می شود طی بررسی مستندات موجود، وضعیت فعلی سیستم نگهداری و تعمیرات مجتمع پتروشیمی شازند را مورد ارزیابی قرار داده و به دلیل عدم کارایی سیستم فعلی اشکالات و مغایرت های آن را با یک سیستم نگهداری و تعمیرات استاندارد روشن ساخته و سپس به ارائه ساختار، ملزومات و نیازهای یک سیستم نگهداری و تعمیرات بهینه پرداخته شود.

مطالعات انجام شده در زمینه قابلیت اطمینان و نگهداری و تعمیرات بسیار متنوع و گسترده می باشد، بطور مثال در سال ۱۳۹۴ طهماسبی و شهیدی در مقاله ای تحت عنوان "داده کاوی ریسک های شناسایی شده با استفاده از تکنیک<sup>۱</sup> FMEA در صنعت بیمه"، عناصر اصلی در جهت شناسایی ریسک های شرکت های بیمه را از طریق پرسشنامه در شرکت بیمه مورد ارزیابی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که تکنیک FMEA روشی موثر و کارا برای ارزیابی ریسک است که البته شاخص تشخیص در این تکنیک متناسب با صنعت خدمات، نیاز به استاندارد سازی مجدد دارد (Tahmasebi & Shahidi, 2015).

همچنین مظفری و همکارانش در سال ۱۳۹۱ در مقاله ای تحت عنوان "ارزیابی و مدیریت ریسک در کارخانجات تولید مقاطع فولادی با استفاده از تکنیک های FMEA و داده کاوی"، با استفاده از تجزیه و تحلیل کلیه فعالیت ها و فرایندهای شرکت مورد مطالعه و خوشه بندی ریسک های امتیاز دهی شده به کمک نرم افزار Weka، پنج مورد از مهم ترین ریسک های زیست محیطی را شناسایی کردند و در انتها اقدامات کنترلی مناسبی را برای تمامی ریسک های سطح بالا پیشنهاد نمودند (Zafari, Nourbakhsh & Shahba, 2012).

سختاوتی و نوروزی در مقاله ای تحت عنوان کاربرد تحلیل درخت خطا در یک واحد تقویت فشار گاز، کاربرد روش FTA<sup>۲</sup> در یافتن علل ریشه ای برای توقف ناگهانی یک ایستگاه تقویت فشار گاز را با استفاده از روش آنالیز خطاهای انسانی (TESEO) بررسی کردند، هم چنین با بهره گیری از ابزارهای آماری سطح ریسک را ارزیابی و منطقه ریسک را مشخص نمودند (Sekhavati & Norouzi, 2013).

جان بالز و همکارانش نیز در مقاله ای که در سال ۱۹۹۵ به چاپ رسیده است از رابطه "اگر-آنگاه" برای توسعه FMEA استفاده نمودند. بدین ترتیب که تمامی حالات بین سه پارامتر شدت خطا، احتمال وقوع خطا و احتمال کشف خطا را از طریق رابطه "اگر-

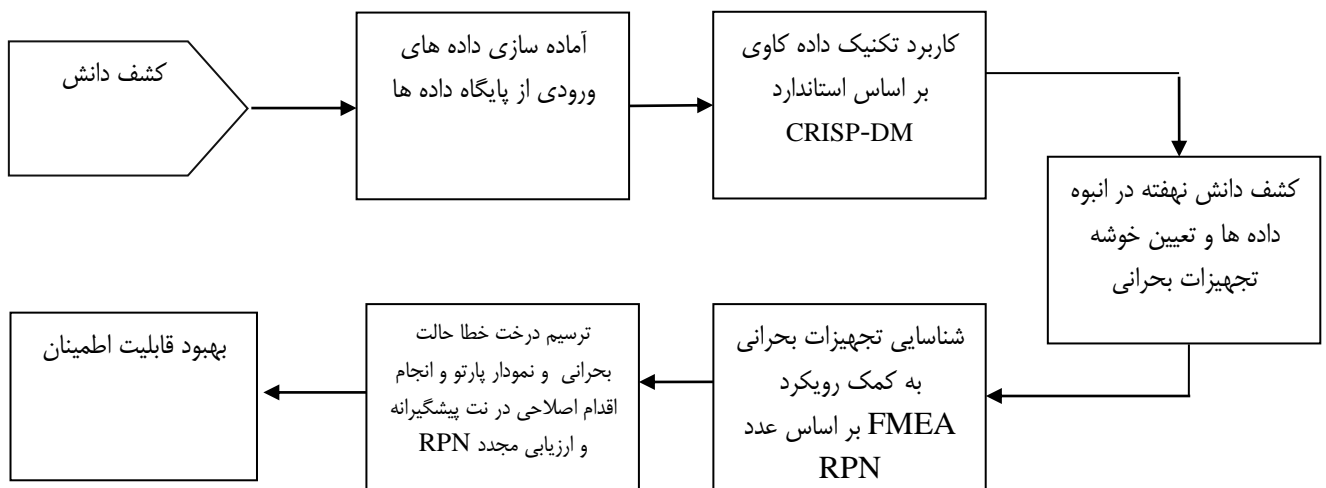
<sup>1</sup> Failure Modes and Effects Analysis

<sup>2</sup> Fault Tree Analysis

آنگاه "مورد بررسی قرار می دهد. بطور مثال اگر شدت، قوی و احتمال وقوع بالا و احتمال کشف، پایین باشد آنگاه درجه اولویت ریسک، بالا است. در این مدل تابع عضویت به کار برده شده از نوع ترکیب مثلثی- دوزنقه ای است ( John & Bowles, 1995).

## ۲- مواد و روش ها

امروزه با استفاده از روش PMO<sup>۳</sup> به معنای بهینه سازی نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه، فقط اشکالات، حالت ها و تجهیزاتی بررسی می شوند که با توجه به تاریخچه خرابی ها، فعالیتهای نت جاری و مستندات فنی و آماری بیشتر مشکل می سازند. لذا در این تحقیق سعی شده است پس از کد بندی و خوشه بندی تجهیزات به کمک رویکرد داده کاوی<sup>۴</sup> و الگوریتم K-Means، تجهیزات و ناحیه بحرانی بر اساس عوامل مشخص شده و مورد نظر اولویت بندی شوند و به منظور تجزیه و تحلیل خرابی ها از رویکرد FMEA استفاده شود، که در این راستا از نرم افزار تخصصی رلکس که در حال حاضر با نام تجاری ویندچیل در بازار عرضه میشود استفاده می شود، جهت بهبود قابلیت اطمینان نیز راهکارها و اقدامات مربوطه هم چون نمودار درخت خطا و پارتو رسم می شوند. شکل شماره (۱) مدل مفهومی تحقیق را نشان می دهد.



شکل شماره (۱): مدل مفهومی تحقیق

### رویکرد داده کاوی:

مجتمع پتروشیمی سازند یکی از طرح های زیر بنایی و مهم کشور می باشد که در راستای سیاستهای کلی توسعه صنایع پتروشیمی و با هدف تامین نیاز داخلی کشور و صادرات ایجاد و به بهره برداری رسیده است. مجتمع پتروشیمی سازند به چهار ناحیه تولیدی و یک ناحیه سرویس های جانبی تقسیم شده که هر یک از این نواحی به چند قسمت تشکیل شده است و به طور کلی شامل ۱۷ واحد فرآیندی می باشد.

داده های مورد استفاده در این تحقیق حاصل ثبت دستور کارهای تعمیراتی در سیستم CMMS<sup>۵</sup> واحد نگهداری و تعمیرات شرکت پتروشیمی سازند می باشد که این اطلاعات شامل نام واحدی که تجهیز خراب در آن قرار دارد، کد هر تجهیز، نوع و تعداد فعالیت تعمیراتی انجام شده بر روی تجهیز است. داده های مورد استفاده در این پژوهش در بازه زمانی سالهای ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۴ استخراج گردیده که از حجم بسیار بالایی برخوردار می باشند. لذا ضرورت استفاده از رویکرد داده کاوی اهمیت پیدا می کند و به کمک این رویکرد می توان تجهیزات را به خوشه هایی که دارای بیشترین شباهت به یکدیگر می باشند تقسیم نمود و با تشخیص خوشه بحرانی و انجام ادامه فرایند بر روی آن به نتیجه مورد نظر رسید، در این مقاله برای تجزیه و تحلیل و مدل

<sup>3</sup> Preventive Maintenance Optimization

<sup>4</sup> Data mining

<sup>5</sup> Computerized Maintenance Management System

سازی داده ها از نرم افزار داده کاوی SPSS Clementine 12 استفاده می شود که در حال حاضر یکی از نرم افزارهای قدرتمند در زمینه داده کاوی به شمار می آید (Alizadeh & Malek Mohammadi, 2012). رویکرد دیمتل فازی؟

روش DEMATEL نخستین بار، اواخر سال ۱۹۷۱ میلادی و پس از آن توسط فونتلا و گابوس در سال ۱۹۷۶ مطرح شد. این تکنیک با بررسی روابط متقابل بین معیارها میزان اهمیت آنها را به صورت عددی مشخص میکند. این اعداد حاصل قضاوت های ذهنی تیم تصمیم گیری و خبرگان بوده که تا حدودی غیردقیق و ذهنی می باشد. لذا استفاده از رویکرد فازی در بهبود نتایج حاصل شده می تواند تاثیرگذار باشد، همچنین از جمله محاسن این روش پذیرش بازخور روابط هست به عبارت دیگر، هر واحد و عنصر در این تجهیز می تواند بر روی عناصر هم سطح، بالاتر و یا پایین تر از خود تاثیر گذارد و متقابلا نیز تاثیر پذیرد (Fontela & Gabus, 1976).

عملکرد تجهیزات مورد مطالعه در این پژوهش نیز به صورت غیر مستقل و سری بوده به این جهت استفاده از این رویکرد می تواند نقش چشمگیری در شناسایی تجهیزات بحرانی و تاثیر گذار در سازمان داشته باشد. مراحل این روش به شرح زیر می باشد: گام اول) تشکیل ماتریس مقایسات زوجی و بردار اوزان فازی: برای ارزیابی شاخص ها از نظر خبرگان بر اساس جدول کیفی زیر استفاده میشود همچنین برای اعمال نظر تمامی خبرگان با ضریب اهمیت برابر از میانگین حسابی طبق رابطه زیر استفاده می شود:

$$\bar{z} = \frac{\bar{x}_1 \oplus \bar{x}_2 \oplus \dots \oplus \bar{x}_k}{K} \tag{1}$$

K تعداد خبرگان و  $\bar{x}_1 \oplus \bar{x}_2 \oplus \dots \oplus \bar{x}_k$  ماتریس مقایسات زوجی مربوطه به آنها می باشد و  $\bar{z}$  عدد فازی مثلثی است.

جدول شماره (۱): مقیاسهای کلامی میزان اهمیت برای اعداد فازی

واژه های زبانی	تابع عضویت
بدون اثرگذاری	(۱،۱،۱)
اثرگذاری خیلی کم	(۲،۳،۴)
اثرگذاری کم	(۴،۵،۶)
اثرگذاری زیاد	(۶،۷،۸)
اثرگذاری خیلی زیاد	(۸،۹،۹)

گام دوم) نرمال سازی ماتریس مقایسات زوجی از طریق رابطه زیر:

$$\tilde{H}_{ij} = \frac{\tilde{Z}_{ij}}{r} = \left( \frac{L_{ij}}{r}, \frac{M_{ij}}{r}, \frac{U_{ij}}{r} \right) = (L'_{ij}, M'_{ij}, U'_{ij}) \tag{2}$$

گام سوم) محاسبه ماتریس روابط کل T به کمک رابطه زیر:

$$T = H(I - H)^{-1} \tag{3}$$

گام چهارم) محاسبه میزان تاثیر پذیری و تاثیر گذاری: مجموع سطر ( $\tilde{R}$ ) و ستونهای ماتریس ( $\tilde{C}$ ) روابط کل محاسبه می شود که  $\tilde{R}$  نشان دهنده میزان تاثیرگذاری هر عنصر بر سایر عناصر و  $\tilde{C}$  میزان تاثیرپذیری هر عامل از سایر عناصر می باشد. مقادیر  $\tilde{R} + \tilde{C}$  و  $\tilde{R} - \tilde{C}$  نیز به ترتیب نشان دهنده اهمیت معیارها می باشند که اعداد حاصل از آنها به کمک رابطه زیر فازی زدایی می شوند:

$$A = \frac{a_1 + 2a_3 + a_2}{4} \quad (4)$$

نکته: اگر  $(\tilde{R} - \tilde{C})^{def} < 0$  باشد معیار اثرگذار بوده و اگر  $(\tilde{R} - \tilde{C})^{def} > 0$  باشد معیار اثرپذیر است. رویکرد تجزیه و تحلیل حالات خرابی:

تجزیه و تحلیل حالات خطا تکنیکی تحلیلی و متکی بر قانون پیشگیری قبل از وقوع است که برای شناسایی عوامل بالقوه خرابی به کار می رود. در این روش می توان برای هر تجهیز حالات خرابی بالقوه را برای هر عملکرد که احتمال وقوع دارد مشخص نمود، سپس شدت حادثه ایجاد شده در اثر بروز این خرابی را با توجه به جدول شدت که مشخص کننده عواقب ناشی از بروز حادثه است مشخص نمود. در مرحله بعد احتمال وقوع خطا این حادثه ارزیابی شده و در نهایت مقدار آن از جدول مربوط به احتمال وقوع استخراج می گردد و در آخرین مرحله احتمال کشف خطا مربوطه بررسی می شود که مقدار آن در مقایسه با جدول تشخیص و کشف، مشخص می شود. در نهایت عدد اولویت ریسک مربوط به هر خرابی با توجه به سه پارامتر قبلی محاسبه می شود که پس از تعیین تمام خرابی های بالقوه، اعدادی که مقدار بیشتری را نشان می دهند بیانگر این است که باید در آن موارد بخصوص از طریق اقداماتی، شدت حادثه و احتمال وقوع آن مورد کاهش یافته و تشخیص آن سهل تر گشته و در نهایت مقدار عدد اولویت ریسک مربوط به آن تجهیز کاهش یابد (Sankar & Prabhu, 2011)

جدول شماره (۲): امتیاز دهی نمونه ای وخامت خطا

امتیاز	شرح درجه بندی وخامت
۱	اثر خطا مورد توجه مشتری قرار نمی گیرد
۵	اثر کم اثر کم که باعث ناراحتی و آزار مشتری می شود ولی مشتری در پی رفع آن نیست
۱۰	اثر خطرناک بدون هشدار قبلی

جدول شماره (۳): امتیاز دهی نمونه ای رخداد یا کشف خطا

امتیاز	معیار: احتمال تشخیص به وسیله کنترل/ماشین	تشخیص (کشف)
۱۰	کنترل های تجهیز نمی توانند علل و یا حالت فعالیت تعمیراتی را شناسایی کند	کاملاً نا معلوم
۵	شانس متوسطی وجود دارد که کنترل های تجهیز بتوانند علل و یا حالات فعالیت تعمیراتی را پیدا کنند.	متوسط
۱	کنترل های تجهیز یقیناً می تواند علل و یا حالات فعالیت تعمیراتی را پیدا کند.	به طور قطعی

جدول شماره (۴): امتیاز دهی نمونه ای احتمال وقوع خطا

وقوع	رتبه	نرخ فعالیت تعمیراتی	احتمال وقوع فعالیت تعمیراتی
تقریباً قطعی	۱۰	بیش از ۱۰	فعالیت تعمیراتی حالت بحرانی دارد
نسبتاً کم	۵	۲-۱۰	گاهی اوقات فعالیت تعمیراتی دیده می شود
تقریباً غیر ممکن	۱	کمتر از ۲	احتمال فعالیت تعمیراتی وجود ندارد (سوابق فعالیت تعمیراتی نشان نمی دهد)

رویکرد درخت خطا:

برای اولین بار در سال ۱۹۶۲ در آزمایشگاههای تلفن بل به وجود آمد و سپس توسط آقای واتسون<sup>۷</sup> جهت تعیین و بهبود قابلیت اطمینان سیستم کنترل موشکهای قاره پیما توسعه یافت (Carretero, 2003). از سال ۱۹۶۵ استفاده از تکنیک درخت خطا به صنایع مختلف نظیر هواپیما، هسته ای، شیمیایی و غیره گسترش یافت واز آن بطور گسترده ای جهت تجزیه و تحلیل قابلیت

<sup>7</sup> H, R, Watson

اطمینان، قابلیت دسترسی و ایمنی سیستمها استفاده شد. تکنیک تجزیه و تحلیل خطا یاروش درخت علت بعنوان یکی از قویترین ابزارهای تجزیه و تحلیل فرایند ایمنی سیستم بویژه در هنگام ارزیابی سیستمهای بسیار پیچیده و دقیق محسوب می شود. روش چهار مرحله ای فوق به منظور شناسایی بحرانی ترین تجهیز در مجتمع پتروشیمی سازند به منظور بهبود قابلیت اطمینان و سیستم نگهداری و تعمیرات آن مجتمع انجام شده است که در مرحله اول یعنی داده کاوی نتایج حاصل از مدل را بررسی کرده که اگر دقت و کیفیت لازم را نداشت، نخست پارامترهای مدل را تغییر می دهیم و مجدداً نتایج را بررسی می کنیم و اگر همچنان کیفیت لازم را نداشت، مدل را تغییر داده و مدل جدیدی می سازیم. با استفاده از الگوریتم K-Means براساس ۱۷ ویژگی اساسی یعنی ۱۷ نوع فعالیت تعمیراتی صورت گرفته بر روی تجهیزات و ناحیه ای که تجهیز در آن واقع شده است، خوشه بندی تجهیزات انجام می شود. برای تعیین تعداد بهینه خوشه ها لازم است Kهای مختلف را امتحان نموده و معیار مربع خطا را برای هر K به دست آورد که در نهایت خوشه ای که کمترین مربع خطا را دارد، به عنوان تعداد خوشه بهینه انتخاب می شود (Berry & Tanof, 1997) از میان ۲ الی ۱۵ خوشه، بهترین حالت خوشه بندی را باید انتخاب کرد که به چند نمونه از آنها در جدول شماره (۵) اشاره شده است که با مقایسه مجموع مربع خطا به ازای k های مختلف، که معیاری برای انتخاب بهترین تعداد خوشه است، کمترین مقدار خطا در ۵ خوشه ایجاد گشت، پس  $k=5$  تعداد بهینه خوشه است.

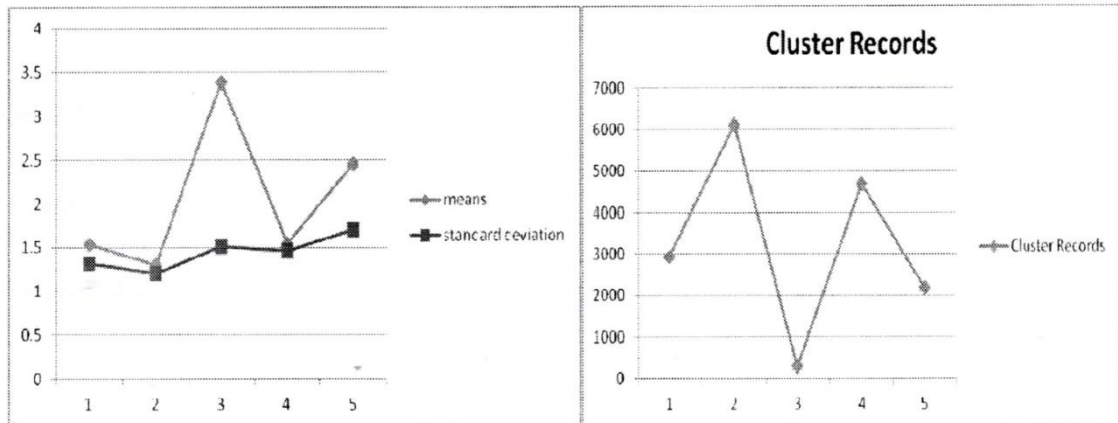
جدول شماره (۵): مقایسه مجموع مربع خطا در تعداد خوشه های متفاوت

K=تعداد خوشه ها	E=مجموع مربع خطا	$m_i$ میانگین خوشه
K=۴	E=۷۵۱/۲۶۸۲	(۱/۵۵-۲/۵۶-۱/۳-۱/۵۳)
K=۵	E=۱۴۹/۲۱۷۸	(۱/۵۳-۱/۳-۳/۳۸-۱/۵۵-۲/۴۵)
K=۶	E=۴۷۸/۰۵۳۹	(۱/۵۳-۱/۳-۴-۱/۵۵-۲/۴۵-۳/۳۸)
K=۷	E=۳۹۱/۶۳۱۱	(۱/۵۳-۳/۹۲-۴-۱/۵۵-۲/۴۵-۳/۳۸-۰/۹۳۶)

شکل زیر نتایج حاصل از خوشه بندی تجهیزات را نشان می دهد و همانطور که مشاهده می شود از ۱۶۲۳۴ عدد از تجهیزات که خرابی آنها گزارش شده است تعداد ۱۰۱۵ عدد از خرابی ها متعلق به ۷۳ عدد از تجهیزات است که عضو خوشه ۳ می باشند و ۹۹/۶۷ درصد از این تجهیزات در ناحیه ۴ قرار دارند، پس ناحیه ۴ و خوشه ۳ با میانگین ۳/۳۸ عمل تعمیراتی در هر بار خرابی بر روی تجهیزات و انحراف معیار ۱/۵۰۹ که دارای بیشترین مقدار می باشد به عنوان ناحیه و خوشه بحرانی در نظر گرفته می شوند.



شکل شماره (۲): نتایج حاصل از خوشه بندی به روش K-Means



شکل شماره (۳): نمودار حاصل از خوشه‌بندی (بیانگر انحراف از معیار و میانگین خطای خرابی‌ها)

با توجه به نتایج بالا مشاهده می‌شود که خوشه ۳ به عنوان بحرانی ترین خوشه مشخص شده و لذا تجهیزات مستقر در این ناحیه نیز مستلزم بررسی بیشتر می‌باشند، اما از آن جهت که عملکرد و نحوه کارکرد تجهیزات تاثیر گذار بر روی هم می‌باشد و همچنین تعداد تجهیزات بالا است، محاسبه RPN توسط روش FMEA کمی دشوار می‌باشد لذا استفاده از رویکرد دیمتل فازی بر مبنای محیط غیر منطقی حاکم، پیشنهاد می‌شود.

در مرحله اول لیستی از تجهیزات تاثیر گذار بر مبنای مطالعه موردی پژوهش انتخاب می‌شود و در اختیار تیم خبرگان قرار می‌گیرد که پس از تکمیل پرسشنامه بر اساس این معیارها و جدول شماره (۶)، با بهره‌گیری از تکنیک دیمتل فازی می‌توان تجهیزاتی که بیشترین تاثیر بر روی یکدیگر را شامل می‌شوند، مشخص نمود.

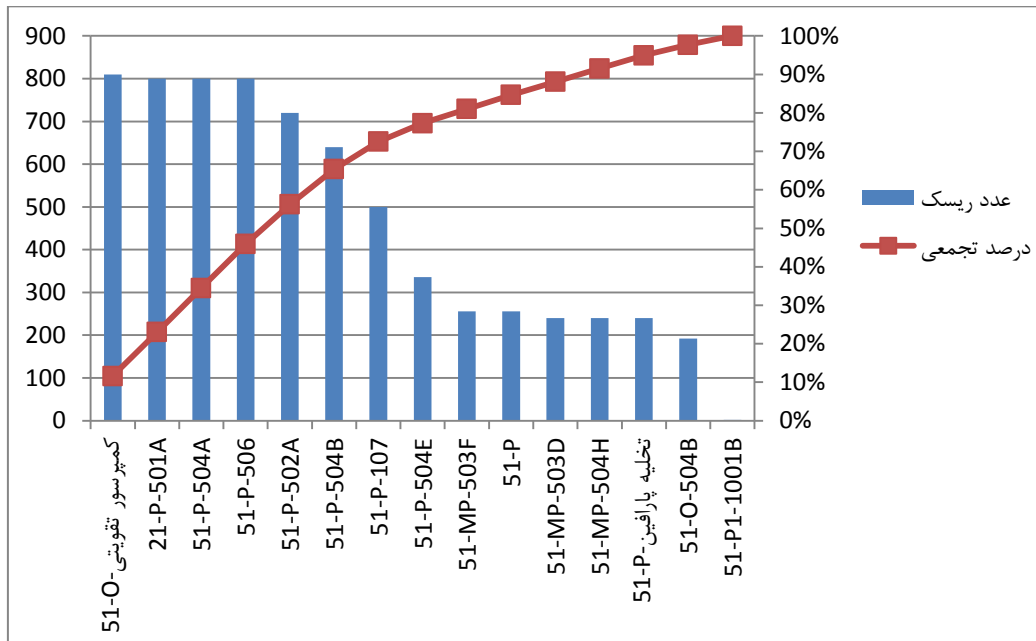
جدول شماره (۶): میزان تاثیر پذیری و تاثیر گذاری تجهیزات

تاثیر گذاری (R+D)	تاثیر پذیری (R-D)	تجهیزات	تاثیر گذاری (R+D)	تاثیر پذیری (R-D)	تجهیزات
۲/۱۰۱	۰/۰۶۸	51-P-504E	۳/۹۱۵	۱/۸۷۳	کمپرسور تقویتی-51-O
۱/۹۰۶	۰/۰۰۹	51-MP-503F	۳/۸۲۳	۱/۶۰۴	21-P-501A
۱/۵۰۲	-۰/۰۱۳	51-P	۳/۶۰۱	۱/۵۵۳	51-P-504A
۱/۳۱۱	-۰/۱۲۸	51-MP-503D	۳/۰۰۴	۱/۲۹۴	51-P-506
۱/۲۹۷	-۰/۱۶۳	51-MP-504H	۲/۷۲۴	۱/۱۰۲	51-P-502A
۱/۱۱۸	-۰/۲۹۱	51-P-تخلیه پارافین	۲/۵۴۰	۱/۰۳۸	51-P-504B
۱/۵۴۸	-۱/۵۳۰	51-O-504B	۲/۳۶۹	۱/۰۰۴	51-P-107
۱/۹۸۲	-۰/۹۸۵	51-P1-1001B	۲/۱۰۱	۰/۰۶۸	51-P-504E

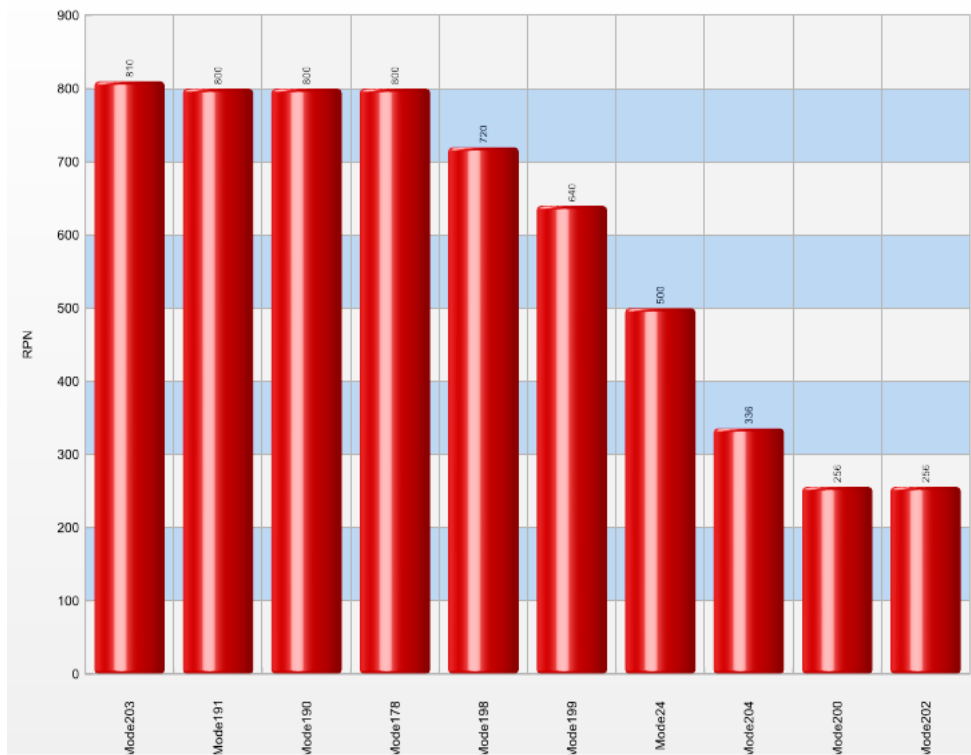
همان طور که مشخص است ۱۵ تجهیز جدول بالا بیشترین تاثیر گذاری و تاثیر پذیری را شامل بوده اند و به عنوان تجهیزات بحرانی انتخاب می‌شوند که در قدم بعدی به کمک رویکرد FMEA عدد اولویت ریسک برای آنها محاسبه می‌شود. به کمک نرم افزار RELEX، حد RPN<sup>۸</sup> برای تجهیزات بحرانی محاسبه شده که در این میان کمپرسور تقویتی-51-O بیشترین مقدار را به خود اختصاص داده است. نمودار پارتو براساس اصل پارتو رسم شده (نمودار شماره (۱)) تا بدین ترتیب

<sup>8</sup> Risk Priority Number(RPN)

تجهیزات دارای بیشترین سهم از میزان خرابی و نیازمند فعالیتهای تعمیراتی شناسایی شوند. در نمودار پارتو مشاهده می شود که حدوداً ۶۵٪ از خرابی ها ناشی از ۳۵٪ از تجهیزات می باشند که در اینجا حد عدد ریسک با در نظر گرفتن اصل پارتو و مشورت با تیم FMEA و خبرگان ۲۵۰ (یا ۲/۵ از ۱۰) مشخص گردیده و سطح RPN مجاز پروژه است. به این معنا که عددهای بالاتر از این مقدار جهت تمرکز بر اقدامات اصلاحی مرتبط اولویت بندی می شوند (Barforoush, Karbasiyan & Molaverdi, 2013).



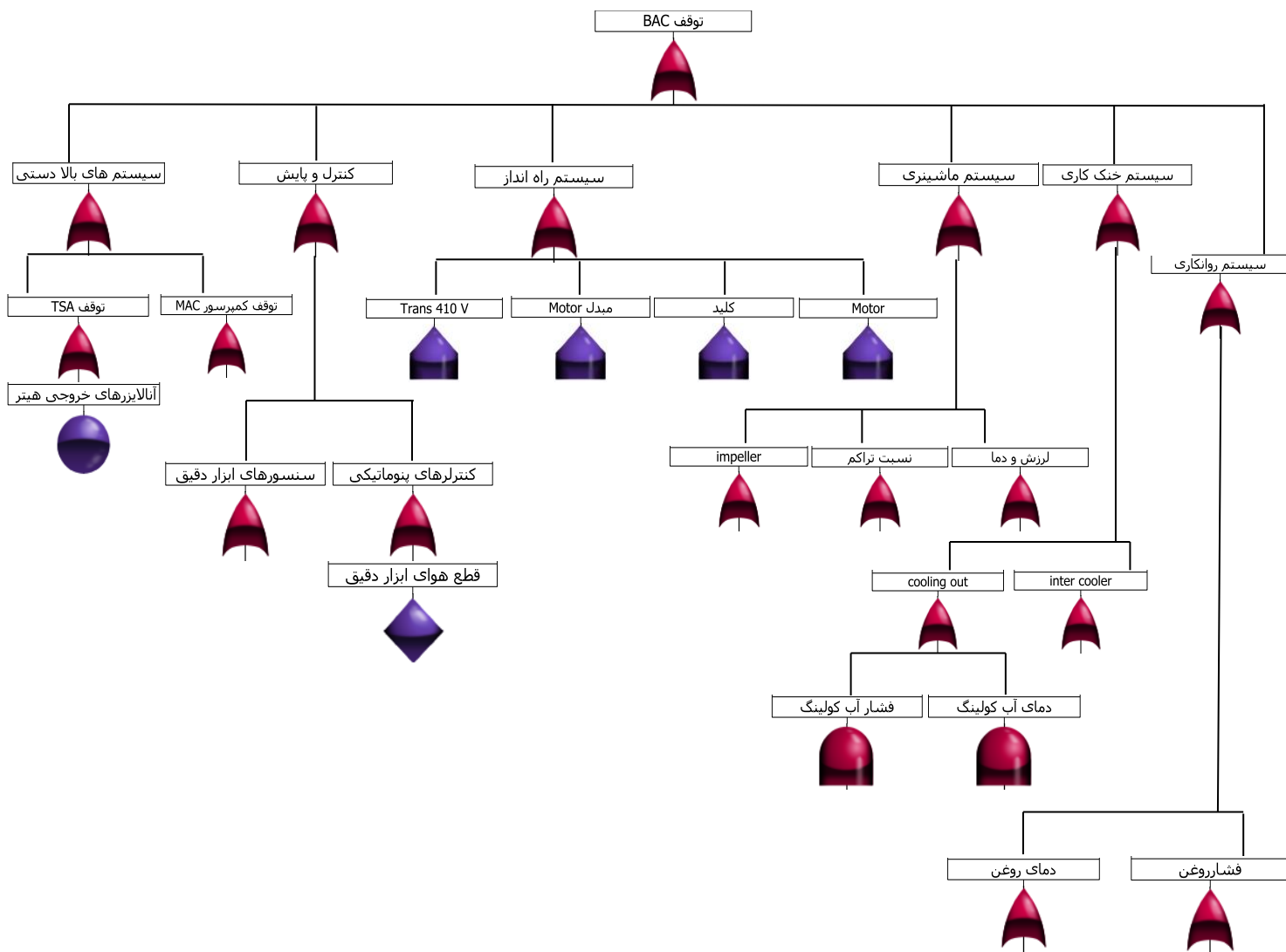
نمودار شماره (۱): نمودار پارتو تجهیزات بحرانی و عدد ریسک



شکل شماره (۴): نمودار میله ای ده تجهیز مشخص شده براساس بالاترین حد RPN



در حقیقت نمودارهای بالا نشان دهنده تاثیر گذاری چشمگیر و ناکارآمدی و خرابی بیش از حد این تجهیزات هستند. لذا واحد برنامه ریزی نگهداری و تعمیرات برای اثربخش نمودن فعالیتهای خود ابتدا باید تعمیرات پیشگیرانه را در بازه زمانی مناسب بر روی این تجهیزات انجام دهد، افراد متخصص در این واحدها را به کار گیرد و به نیروهای تعمیراتی آموزش بیشتری دهد. همان طور که از نتایج به دست آمده مشخص است، دستگاه کمپرسور تقویتی به دلیل اهمیت کاربرد آن در مجتمع پتروشیمی شازند و تاثیر به سزای آن بر روی سایر تجهیزات و همینطور هزینه بر بودن خرید دستگاه و قطعات کلیدی آن مستلزم نگهداری و تعمیراتی دقیق می باشد. پس پیشنهاد می شود امکان رخداد خرابی در کل دستگاه کمپرسور تقویتی ارزیابی شود و چون نمی توان برای کمپرسور مذکور جایگزینی ایجاد کرد، باید قابلیت اطمینان و ریسک کل را با تعیین ریسک از کار افتادگی قطعات کلیدی دستگاه شناسایی و در مورد آن تصمیم گیری کرد. برای شروع آنالیز درخت خطای بحرانی دستگاه مطابق شکل شماره (۵) ترسیم می شود.



شکل شماره (۵): درخت خطا مربوط به کمپرسور تقویتی (BAC)

به کمک این نمودار، علل ریشه ای (رویدادهای پایه ای) که موجب توقف ناگهانی دستگاه کمپرسور تقویتی شده شناسایی میشود. همان طور که مشاهده می شود خطاهای انسانی تنها در سیستم راه انداز می تواند نقش داشته باشد و سهم کمی از اختلالات را شامل می شود. چنانچه قصد باشد قابلیت اطمینان مورد نیاز و ریسک موجود در سیستم های تولیدی از این دست را از روش

های آماری نمایش داد، بایستی از نرخ شکست دستگاه‌ها در طی مدت عملکرد آنها اطلاعات کافی وجود داشته باشد تا در نهایت به کمک فرمول زیر قابلیت اطمینان محاسبه شود.

نرخ شکست - ۱ = قابلیت اطمینان

جدول شماره (۷): نرخ شکست تجهیزات بحرانی

نام تجهیز	درجه شکست	قابلیت اطمینان
کمپرسور تقویتی-51-O	۲۳/۱۷	۷۶/۸۳
21-P-501A	۲/۲۴	۹۷/۷۶
51-P-504A	۵/۲۹	۹۴/۷۱
51-P-506	۶/۵۵	۹۳/۴۵
51-P-502A	۱/۳۵	۹۸/۶۵
51-P-504B	۰/۹۵	۹۹/۰۵
51-P-107	۰/۳۹	۹۹/۶۱
51-P-504E	۷/۷۲	۹۲/۲۸
51-MP-503F	۰/۲۲	۹۹/۷۸
51-P	۷/۵	۹۲/۵
51-MP-503D	.	۱۰۰
51-MP-504H	.	۱۰۰
تخلیه پارافین-51-P	.	۱۰۰
51-O-504B	.	۱۰۰
51-P1-1001B	.	۱۰۰

همان طور که از جدول شماره (۷) مشاهده می‌شود، کمپرسور تقویتی-51-O بالاترین نرخ شکست و کمترین مقدار قابلیت اطمینان را به خود اختصاص داده است، اما به کمک اجرای FMEA و FTA حدود ۵۰٪ کاهش در مجموع اعداد ریسک ایجاد می‌شود که البته این مقدار همواره ثابت نیست و مقدار آن به تیم کاری FMEA و نوع فعالیت‌های سازمان بستگی دارد.

جدول شماره (۸): میزان بهبود در عدد ریسک تجهیزات بعد از انجام اقدامات پیشنهادی

نام واحد	Tag-Number	RPN قبل از اقدامات پیشنهادی	RPN بعد از اقدامات پیشنهادی	نرخ بهبود ایجاد شده بر اساس درصد
CP-4	51-P-107	۵۰۰	۳۸۹	۲۲/۲۰
CP-4	21-P-501A	۸۰۰	۴۴۰	۴۵
CP-4	51-P-504A	۸۰۰	۵۰۸	۳۶/۵
CP-4	51-P-506	۸۰۰	۳۷۴/۴	۵۸/۳۰
CP-4	51-MP-503D	۲۴۰	۱۷۷/۶	۲۶
CP-4	51-MP-504H	۲۴۰	۲۲۲	۷/۵
CP-4	تخلیه پارافین-51-P	۲۴۰	۱۹۴/۶۴	۱۸/۹
CP-4	51-P1-1001B	۱۶۰	۱۴۷/۲	۸
CP-4	51-P-502A	۷۲۰	۳۲۳/۲۸	۵۵/۱
CP-4	51-P-504B	۶۴۰	۴۷۸/۷۲	۲۵/۲۰
CP-4	51-MP-503F	۲۵۶	۱۷۶/۶۴	۳۱

نام واحد	Tag-Number	RPN قبل از اقدامات پیشنهادی	RPN بعد از اقدامات پیشنهادی	نرخ بهبود ایجاد شده بر اساس درصد
CP-4	51-O-504B	۱۹۲	۱۵۲/۷۴	۱۶/۸
CP-4	51-P	۲۵۶	۱۴۲/۵۹	۴۴/۳
CP-4	51-O-کمپرسور تقویتی	۸۱۰	۳۶۹/۰۸	۵۳/۲۰
CP-4	51-P-504E	۳۳۶	۱۴۷/۵۰	۵۶/۱۰

### ۳- نتایج و بحث

با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش به این نکته پی خواهیم برد که به منظور افزایش قابلیت اطمینان در صنایع تولید پیوسته بهتر است از مدل و روش پیشنهادی در این پژوهش بهره گرفته شود تا با شناسایی خوشه، ناحیه و تجهیز بحرانی، مشکلات به صورت ریشه ای شناسایی شود. همچنین با توجه به این نکته که در سیستم های سری معمولاً قابلیت اطمینان کل سیستم از تک تک اجزا آن کمتر می باشد و با توجه به نمونه موردی اشاره شده در این پژوهش و نتایج به دست آمده از آن، بهتر است در صورت امکان خط تولید به صورت موازی طراحی شود تا افزایش نرخ شکست هر کدام از تجهیزات تاثیر کمتری بر روی قابلیت اطمینان کل سیستم داشته باشد.

### ۴- منابع

1. Alizadeh, S., and Malek Mohammadi, S. (2012). *Data mining & knowledge discovery*. Khajeh Nasir Toosi University of Technology Publication. Tehran.
2. Barforoush, N., Karbasian, M., Molaverdi, N. (2013). The use of CMMS and FMEA for maintenance support for reliability (RCM), *Homa Journal*, 40.
3. Carretero, J., et al. (2003). Applying RCM in large scale systems: A case study with railway networks", *Reliability Engineering and System Safety*, 82, 257-273.
4. Dekker, R., and van Rijn, C. (1996). PROMPT, a decision support system for opportunity-based preventive maintenance. *In Reliability and Maintenance of Complex Systems* (pp. 530-549). Springer, Berlin, Heidelberg.
5. Fontela, E., and Gabus, A. (1976). *The DEMATEL observer, DEMATEL 1976 Report*, Battelle Geneva Research Center, Switzerland, Geneva.
6. Haj-shirmohammadi, A. (2011). *Maintenance planning*, Esfahan, Ghazal Publishing Press.
7. John, B., and Bowles, R.D. (1995). Bonnell, Fuzzy Logic Priorization of Failure in a System Failure mode and effects Criticality analysis, *Reliability Engineering and System Safety*, 50, 203-213.
8. Berry, M.J.A. and Tanoff, G. (1997). *Data Mining Technologies*, New York: Jon Willey & Sons.
9. Sankar, N.R. and Prabhu, B.S. (2011). Modified approach for prioritization of failures in a system failure mode and effects analysis, *Int J Qual Reliab Manage*, 18(3), 324-35.
10. Sekhavati, A., and Norouzi, H. (2013). Application of error tree analysis in a gas pressure booster unit, *Journal of Management of Oil and Gas Production Supervision*.
11. Tahmasebi, F., and Shahidi, M. (2015). *Data mining of identified risks using the FMEA technique in the insurance industry, First Scientific Conference on New Findings of Management Science, Entrepreneurship and Education*, Tehran, Association for the Development and Promotion of Basic Sciences and Technology.
12. Worsham, W. C., & Senior Consultant, R. C. I. (2000). Is preventive maintenance necessary?. *Maintenance Resources On-Line Magazine*, 2225-0492.
13. Zafari, M., Nourbakhsh, Z., and SHahba, S. (2012). *Evaluation and risk management in steel section production plants using FMEA and Data mining techniques*, 2<sup>nd</sup> Conference on Environmental Planning and Management, Tehran, University of Tehran.

