هفتمین کنفرانس بین‌المللی
مهندسی قابلیت اطمینان و ایمنی

# مطالعه سیستم موتور هواپیمای F-33 مبتنی بر روش تحلیل حالتهای وقوع خرابی در نت، تاثیرات و وخامت آن (MFMECA)

**سعید شهبازی[۱]، حشمت اله محمد خانلو[۲]**

**۱- کارشناس ارشد هوافضا، دانشگاه هوایی شهید ستاری، تهران، ایران، saeedshahbazi55@yahoo.com**
**۲- دانشیار، دانشگاه هوایی شهید ستاری، تهران، ایران khanloh47@yahoo.com**

**چکیده**

ارزیابی ریـ سک به عنوان رو شی پرکاربرد در جهت مدیریت ابزارهای موثر در ایمنی به منظور کاهش ریـ سک نا شی از حوادث مختلف شنا سایی شده ا ست. به کارگیری معیارهایی که می‌توان از آ نها جهت رسـاندن ریسـک تا سـطحی قابل قبول اسـتفاده کرد همواره مورد توجه بوده اسـت. روش تحلیل حالتهای خرابی و تاثیرات و وخامت آن (MFMECA) یک روش مهم برای تجزیه وتحلیل قابلیت اطمینان سـیسـتم و همچنین اسـاس تجزیه وتحلیل قابلیت نگهداری و تجزیه وتحلیل ایمنی ا ست. در این پژوهش ضمن برر سی متون علمی، با بهره گیری از روش تجزیه وتحلیل حالتهای خرابی و تاثیرات و وخامت آن به برر سی ریـ سک های سیستم موتورهواپیمای بونانزا پرداخته شده است. با استفاده از پرسشنامه تنظیم شده نظرات کارشناسان مرتبط با نگهداری هواپیما که دارای تجربه بالایی در خصوص این سیستم بودند، اخذ و پس از تحلیل نتایج با ا ستفاده از روش محا سبه عدد اولویت ریـسک اجزا ی پرریـسک شنا سایی و پنج قطعه به عنوان بحرانی ترین قطعات این سیستم معرفی گردیدند. باتوجه به نواقص و کاستی هایی که به عدد اولویت ریسک معمول وارد است از رو شهای جانبی تجمیع نظرات و تئوری شواهد شفر نیز برای محا سبه عدد اولویت ریـ سک کمک گرفته شده ا ست . با ا ستفاده ا ز این دو روش و ترکیب احتمالات در بیان نظر ، تعیین قطعات بحرانی بسیار به واقعیت نزدیک گردیده است.

**واژه‌های کلیدی:** شناسایی ریسک، ارزیابی ریسک، تحلیل مودهای واماندگی، احتمال وقوع، عدد ریسک

## مقدمه

صـنعت هوانوردی به عنوان صـنعت مادر و زیربنای توسـعه اقتصـادی کشـــور، در دهه‌های اخیر با تحولات زیادی همراه بوده اســـت که همزمان با توســـعه همه جانبه فناوری‌ها و روش‌های بهره‌برداری از خدمات آن، دائما خطراتی نیز ســـلامت فعالیت‌های این حوزه را تهدید می‌نماید. جهت کنترل اثرات این خطرات بر عملکرد صـــنعت همواره تلاش‌های مختلفی صـورت گرفته اسـت و جدیدترین رویکرد، ایجاد و پیاده‌ســـازی ســـیســـتم مدیریت ایمنی در حوزه‌های مختلف صـــنعت هوانوردی از جمله عملیات هواپیما، تعمیر و نگهداری هواپیما، خدمات فرودگاهی و خدمات ترافیک هوایی می‌باشد.[۱]

روش تجزیه و تحلیل حالات واماندگی و اثرات آن (FMEA) در سال ۱۹۴۹ میلادی توسط نیروهای مسلح آمریکا با معرفی روش ا ستاندارد ۱۶۲۹برای انجام اثر حالت واماندگی و تجزیه و تحلیل بحرانی رسمیت یافت. هدف، طبقه‌بندی واماندگی‌ها "با توجه به تأثیر آنها در موفقیت مأموریت و ایمنی پرسنل و تجهیزات بود. سپس در برنامه فضایی آپولو برای کاهش خطر تصـویب شـد. اسـتفاده ازاین روش در دهه ۱۹۶۰ میلادی با فشار برای قرار دادن شخصی روی کره ماه و بازگشت او با اطمینان به زمین، شـتاب بیشـتری به خود گرفت[۲].تجزیه و تحلیل

حالات واماندگی و اثرات آن(FMEA) یک ابزار قدرتمند برای روش نت مبتنی بر قابلیت اطمینان(RCM) ا ست که هدف ا صلی آن انجام تجزیه و تحلیل برای به دست آوردن برنامه تعمیراتی جامع که منجر به تداوم کارکرد دارایی‌های فیزیکی می شود.[۳] و این به معنی دا شتن یک اســـتراتژی موثر برای مدیریت و کنترل وقوع واماندگی‌ها و علل ریشه‌ای آنها است. در اواخر دهه ۱۹۷۰ میلادی شرکت فورد موتوراین روش را به منظور ر عا یت ایمنی و نظارتی پس از دســـتور پینتو، به صـــنعت خودرو معرفی کرد. آنها همچنین از آن برای بهبود تولید و طراحی ا ستفاده کردند. در دهه ۱۹۸۰ میلادی صنایع خودرو سازی با ا ستاندارد سازی ساختار و روش‌ها، شروع به اجرای این روش کردند. اگرچه این روش توســط ارتش توســعه یافته اســت، اما امروزه به طور گسترده در صنایع مختلف از جمله پردازش نیمه هادی ، خدمات غذایی ، پلاســـتیک ، نرم‌افزار ، هوانوردی، اتومبیل و مراقبت‌های بهداشـــتی مورد استفاده قرار می‌گیرد.[۴]

این تحلیل یک روش مهندســی اســت که به منظور مشــخص کردن خطاها، م شکلات و ا شتباهات بالقوه موجود در سی ستم، فرایند، محصـــول، خدمات و اثرات آن بکار برده می‌شـــود. این روشـــیکی از ابزارهای متعددی اســت که به دنبال تشــخیص مشــکلات احتمالی در مراحل اولیه طراحی محصـــول و فرایند اســـت. هرچقدر خرابی زودتر تشخیص داده شود، هزینه کمتری خواهد داشت. این یکیاز اصول مهم کیفی اســت.[۵]جلوگیری از بروز واماندگی‌ها در مراحل اولیه طراحی و توســعه محصـــول بســـیار ارزان‌تر از رفع واماندگی پس از راه اندازی اســـت.این روش می‌تواند مســـائل ایمنی را قبل از فاجعه احتمالی شناسایی و حل کند.روشی تحلیلی و متکی بر قانون" پیشگیری قبل از وقوع" است که برای شناسای ی عوامل بالقوه واماندگی بکار می‌رود . توجه به این روش بر بالابردن ســطح دســترســی به تجهیزات، کاهش هزینه نگهداری و تعمیرات و درنها یت رضـــا یت مشـــتری ازطریق پیشگیری از وقوع واماندگی می‌باشد[۵].

ســامانه‌ی موتور در کلیه هواپیماها از ســامانه های اصــلی و به عنوان یک سیستم قدرت و کنترل پرواز می‌باشد که عملکرد مطلوب و صحیح آن همواره ضروری و از اهمیت بالایی برخوردار بوده است.

با تو جه به این که موتور های پا یه بیشـــترین کاربرد را در هواپیماهای ســبک و فوق ســبک (تک موتوره) و هوانوردی عمومی و تفریحی و ورزشــی دارند. بنابراین دانســتن اصــول کلی کارکرد موتور هواپیما برای خلبانان از این نظر دارای اهمیت اســت که به آنها کمک میکند که به صورت بهینه تری از موتور هواپیما استفاده نمایند و نتیجتاً عمر مفید موتور را افزایش داده و باعث جلوگیری از دســت دادن موتور در حال پرواز شود.

## روش بررسی (MFMECA)

در این مطالعه ازروش (MFMEA) برای بررســی عیوب موتور استفاده شده است.اساس این روش به صورت مراحل زیر می باشد.

۱. تشکیل تیم چند کارکردی
۲. شناسایی فرایند، سیستم تحت مطالعه
۳. مشخص کردن گام‌های فرایند یا اجزای سیستم
۴. فهرست کردن حالات بالقوه واماندگی برای هر یک از آنها
۵. تعیین اثرات بالقوه بروز هر یک از این حالات واماندگی
۶. تعیین علل بروز هر یک از این حالت‌های واماندگی
۷. فهرســـت کردن کنترل‌های جاری به منظور شـــناســـایی و جلوگیری از این واماندگی
۸. محاسبه عدد اولویت ریسک (RPN)
۹. اجرا و پیاده سازی اقدامات پیشگیرانه و اصلاحی
۱۰. بازبینی عدد اولویت ریسک

طبقه‌بندی قطعات به لحاظ اهمیت و بحرانی بودن آنها، براساس تجربه کارشـناسـان و ایرادات پروازی هواپیما بایگانی شـده در شـعبه کنترل جاب و شعبه فرم گروه نگهداری به ۲۸ قطعه طبقه‌بندی گردید. با ت شکیل گروه (FMEA) چهار نفر مرد با سوابق تخ صص و تجربه کار بر روی سیستم موتور IO۵۲۰ کانتیننتال با ۲۸ سال، ۲۲ سال، ۲۰ و ۱۸ سال، و تح صیلات یک نفر کار شنا سی ار شد و سه نفر دیگر کار شنا سی، جهت شنا سایی و فهر ست کردن هر یک از واماندگی‌ها و محاســـبه میزان اهمیت هر ریســـک ۲۸ قطعه، حالات، اثرات و علل واماندگی آنها با توجه به تجربه و وقایع اتفاق افتاده، با کمک از جداول تهیه شـده (پرسـش‌نامه) شـناسـایی و به دو روش (RPN) معمول و (RPN) تئوری شواهد شفر (D - S) محاسبه و ارزیابی گردید.

**نظریه شواهد شفر** به عنوان ابزاری برای تجزیه و تحلیل عدم قطعیت در تئوری احتمالات نادقیق، استفاده می‌شود. این نظریه براساس باوری است که از شواهد نتیجه می‌شود و درباره باوره‌های موجود از یک وضعیت یا سیستمی از وضعیت‌ها بحث می‌کند.

لذا ما بر اساس ایرادات پروازی که در بخش کنترل جاب و شعبه فرم گروه نگهداری بایگانی می‌شود به بررسی قطعات موتور پرداختیم که حدود ۵۰ الی ۶۰ درصد ایرادات پروازی مربوط یه این سیستم می‌باشد. و این بیشترین درصد را نسبت به سیستم‌های دیگر به خود اختصاص می‌دهد.

**جدول ۱:** قطعات بحرانی مورد پژوهش در روش MFMECA

| قطعه | حالت واماندگی | اثر بروز واماندگی | علل بروز واماندگی | کنترل‌های جاری |
|---|---|---|---|---|
| CRANKCASE ASSY | سایش قطعات – ترک برداشتن پیوسته | کاهش عملکرد سیستم – صدمه به قطعات | خوردگی و فرسودگی قطعات | چک ظاهری، در صورت مشکوک به ترک NDI چک |
| CRANKSHAFT ASSY | تاب برداشتن – سایش قطعات داخلی | کاهش عملکرد و صدمه به قطعات | فرسودگی قطعات | چک حین موتورگردانی |
| CONNECTING ROD ASSY | شکستگی و سایش قطعات داخلی موتور | کاهش عملکرد و صدمه به قطعات | خوردگی و فرسودگی قطعات | چک حین موتور گردانی |
| CAMSHAFT ASSY | سایش قطعات | کاهش عملکرد سیستم و صدمه به قطعات | فرسودگی – خوردگی | چک حین موتور گردانی |
| PISTON AND PIN ASSY | خرابی و شکستن پیستون | کاهش عملکرد و صدمه به قطعات | کروژن وخوردگی و فرسودگی | چک حین موتور گردانی |
| CYLINDER ASSY | نشت داخلی و سایش قطعات | کاهش عملکرد و صدمه به قطعات دیگر | سایش و خوردگی | چک ظاهری قبل از استارت |
| STARTER ASSY | سایش قطعات و خوردگی | کاهش عملکرد سیستم | خوردگی و سایش | چک ظاهری قبل از استارت |
| STARTER ADAPTER ASSY | شکستگی و سایش قطعات | کاهش عملکرد و صدمه به قطعات | فرسودگی و خوردگی | چک ظاهری قبل از استارت |
| ALTERNATOR ASSY | نشت داخلی و سایش قطعات | کاهش عملکرد سیستم | فرسودگی و سایش | چک ظاهری قبل از استارت |
| MAGNETO AND ACCESSORY DRIVE ASSY | خرابی بویین و موتور الکتریکی | کاهش عملکرد سیستم و صدمه به قطعات | سایش و فرسودگی | چک ظاهری قبل از استارت |
| EXHAUST LEFT AND RIGHT ASSY | خرابی و فرسودگی و شکستگی و ضربه | ایجاد صدای ناهنجار در موتور | خرابی و فرسودگی و شکستگی | چک ظاهری قبل از استارت |
| OIL POMP ASSY | سایش قطعات و نشت داخلی | کاهش عملکرد سیستم و صدمه به قطعات | کروژن و خوردگی و فرسودگی | چک ظاهری قبل از استارت |
| OIL COOLER | گرفتگی نشت داخلی و شکستگی | کاهش عملکرد سیستم و صدمه به قطعات | کثیفی و فرسودگی | چک ظاهری قبل از استارت |
| OIL SUMP | سایش و ترک و شکستگی | از دست دادن موتور | کروژن و فرسودگی | چک ظاهری قبل از استارت |
| RELIEF VALVE | گرفتگی و مسدود شدن | کاهش عملکرد سیستم | خستگی و خوردگی | چک ظاهری قبل از استارت |
| THROTTLE CONTROL ASSY | خرابی دسته تراتل و نشت داخلی | کاهش عملکرد سیستم | خوردگی و سایش | چک حین موتورگردانی |
| FUEL INJECTION | گرفتگی توری فلزی و مسدود شدن | کاهش عملکرد سیستم و صدمه به قطعات | خستگی و خوردگی | چک قبل از استارت |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| چک حین موتورگردانی | خستگی و سایش | کاهش عملکرد سیستم و صدمه به قطعات | سایش قطعات و نشت داخلی | FUEL PUMP ASSY |
| چک حین موتورگردانی | خستگی و خوردگی و کروژن | کاهش عملکرد سیستم | گرفتگی و مسدود شدن و نشت داخلی | MANIFOLD ASSY |
| چک قبل از استارت و حین موتورگردانی | خرابی و ضربه خوردن | کاهش عملکرد سیستم | گرفتگی و مسدود شدن | FUEL SCREEN VALVE ASSY |
| چک حین موتورگردانی | ضربه خوردگی و سایش | کاهش عملکرد موتور | پارگی و خرابی وایر | HARNESS ASSY |
| چک حین موتورگردانی | آلودگی و سایش و خستگی | کاهش عملکرد سیستم و صدمه به قطعات | نشت داخلی و گرفتگی و مسدود شدن | THROTTLE BODY |
| چک ظاهری | آلودگی و سایش | کاهش عملکرد سیستم و صدمه به قطعات | گرفتگی و مسدود شدن | OIL FILTER |
| چک حین موتورگردانی | خرابی و ضربه خوردن | کاهش عملکرد سیستم | ترک در محل جرقه | SPARK PLUG |
| چک ظاهری قبل از استارت | سایش و خوردگی | کاهش عملکرد سیستم و موتور | خرابی دسته MIX سایش | CONTROL ASSY FUEL MIX |
| چک حین موتورگردانی | خوردگی و سایش | کاهش عملکرد سیستم | خرابی دسته prop و سایش | CONTROL ASSY PROP |
| چک حین موتورگردانی | خوردگی | کاهش عملکرد سیستم | سایش و خوردگی | SHAFT ASSY TACHOMETER |
| چک حین موتورگردانی | فرسودگی و خستگی و خوردگی | ایجاد درگ در ملخ | سایش چرخ دنده | GOVERNOR |

## تنظیم پرسش‌نامه

در این روش تحلیل سامانه با توجه به شدت عیوب (وخامت) تعداد عیوب و نحوه شناسایی و تشخیص عیوب (نهان-آشکار) مورد تجزیه و تحلیل قرار می گیرد و با توجه به میزان خرابی ها رتبه بندی می‌شود و سطح ریسک موجود به دست می‌آید که هر کدام با توجه به شدت و تعداد و نحوه تشخیص عددی از یک تا ده می‌باشد. [6].

در ادامه برای تعیین میزان بحرانیت قطعات پرسش نامه‌ای براساس موارد و مولفه‌های روش FMEA و به شرح ذیل تنظیم گردیده و در اختیار گروه کارشناسی قرار گرفت [7].

**جدول ۲:** احتمال وقوع واماندگی

| احتمال وقوع واماندگی | احتمال میزان واماندگی | رتبه |
|---|---|---|
| تقریباً قطعی | ۱ در ۲ ≥ | ۱۰ |
| بسیار زیاد | ۱ در ۳ | ۹ |
| زیاد | ۱ در ۸ | ۸ |
| متوسط مایل به زیاد | ۱ در ۲۰ | ۷ |
| متوسط | ۱ در ۸۰ | ۶ |
| نسبتاً کم | ۱ در ۴۰۰ | ۵ |
| کم | ۱ در ۲۰۰۰ | ۴ |
| بسیار کم | ۱ در ۱۵۰۰۰ | ۳ |
| به ندرت | ۱ در ۱۵۰۰۰۰ | ۲ |
| تقریباً غیرممکن | ۱ در ۱۵۰۰۰۰۰ ≥ | ۱ |

جدول ۳: تبدیل کمی احتمال وقایع براساس احتمال وقوع واماندگی

| Possible rate (base) | Occurrence No |
|---|---|
| 0.5000 | 10 |
| 0.3333 | 9 |
| 0.1250 | 8 |
| 0.0500 | 7 |
| 0.0125 | 6 |
| 0.0025 | 5 |
| 0.0005 | 4 |
| 0.0006 | 3 |
| NA | 2 |
| NA | 1 |

## عدد اولویت ریسک*(RPN)

عدد اولویت ریسک یک شاخص برای اولویت بندی حالات واماندگی بر اساس میزان خطرپذیری بالقوه آنها است و لذا فقط در مقایسه با RPN واماندگی‌های دیگر، معنا پیدا می‌کند. عدد اولویت ریسک از حاصلضرب ((شدت * وقوع * تشخیص)) بدست می‌آید. پس از تعریف رکوردهای FMEA عطف به شرایط سازمان می‌بایست سطح قابل قبول RPN جهت اولویت بندی تعریف اقدامات اصلاحی و نیز تخصیص منابع تعریف گردد. این نکته حائز اهمیت است که اولویت بندی اقدام اصلاحی فقط بر اساس RPN کار اشتباهی بوده و بایستی پارامترهای دیگری همچون امتیاز شدت و رخداد را در نظر گرفت[۷].

در این پژوهش علاوه بر روش اصلی FMEA که طبقه‌بندی قطعات بحرانی سیستم موتور IO520 کانتیننتال از طریق عدد اولویت ریسک (RPN) بدست آمده، از چهار روش جانبی شناسایی ریسک جهت کاهش عدم قطعیت و رفع ایرادات وارده بر روش (RPN) استفاده گردیده است.

۱- روش بارش افکار به منظورشناسایی حالات وقوع واماندگی احتمالی با ترغیب تفکر خلاق، میزان شدت و پیامدهای احتمالی شناسایی و بر روی برگه آورده شده است[۷].
۲- روش مصاحبه ساختارمند پرسش نامه‌ای تهیه و از افراد تیم خواسته می‌شود که بر اساس شناخت و تجربه با استفاده از سه جدول (احتمال وقوع، شدت و کشف) ارائه شده، نظرات خود را ثبت کنند[۷].
۳- روش تجمیع نظرات یکی از روش‌های قضاوت کارشناسی است که در این روش احتمال وقوع واماندگی توسط گروهی از متخصصان برآورد می‌شود و زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد که هیچ برآوردی از احتمال وقوع واماندگی وجود نداشته باشد. در این روش کارشناسان احتمال وقوع واماندگی را به صورت جداگانه و فردی برآورد می‌کنند سپس این احتمالات از طریق میانگین هندسی جمع بندی می‌شود[۸].

## یافته‌های پژوهش

روش اصلی بهره‌برداری شده در این پژوهش، طبقه بندی قطعات سیستم موتور IO۵۲۰ کانتیننتال با روش (FMEA) از طریق محاسبه عدد اولویت ریسک (RPN) می‌باشد. به جهت کاهش عدم اطمینان و رفع ایرادات وارده به این روش، از دو روش جانبی تجمیع نظرات و تئوری شواهد شفر (D - S) استفاده شده است. به منظور تصمیم‌گیری درباره تعیین سطح ریسک، میزان عدد اولویت ریسک (RPN) در سه سطح قابل قبول (۱۰۰-۱) و قابل تحمل (۲۰۰-۱۰۰) و غیرقابل تحمل (۱۰۰۰-۲۰۰) در ارائه الگوی ارزیابی ریسک‌های حرفه‌ای و محیط کار تعریف شده است.

طبق جدول شماره ۵ طبقه‌بندی میزان ریسک بر اساس (RPN) تمامی قطعات در سطح غیر قابل تحمل قرار گرفته‌اند. با بررسی سه قطعه‌ای که بیشترین عدد اولویت ریسک را در چهار (RPN) محاسبه شده است، به بررسی بحرانی‌ترین قطعات از تجمیع نظرات می‌پردازیم. در جدول شماره ۶ برنامه نت کارخانه سازنده و برنامه نت پیشنهادی برای قطعات حاصل از نتایج آمده است.

**جدول ۴:** احتمال وقایع واماندگی قطعات بحرانی با استفاده از ایرادات پروازی هواپیما

| Component | Quantity | Relative Quantity | O value |
|---|---|---|---|
| CRANKCASE ASSY | 12 | 0.006984866 | 6.122140125 |
| CRANKSHAFT ASSY | 33 | 0.019208382 | 6.371599629 |
| CONNECTING ROD ASSY | 42 | 0.024447031 | 6.478510846 |
| CAMSHAFT ASSY | 52 | 0.030267753 | 6.597301086 |
| PISTON AND PIN ASSY | 40 | 0.023282887 | 6.454752798 |
| CYLINDER ASSY | 70 | 0.040745052 | 6.811123518 |
| STARTER ASSY | 93 | 0.054132712 | 6.055102833 |
| STARTER ADAPTER ASSY | 90 | 0.052386496 | 6.031819946 |
| ALTERNATOR ASSY | 83 | 0.048311991 | 6.96555083 |
| MAGNETO AND ACCESSORY DRIVE ASSY | 118 | 0.068684517 | 7.249126892 |
| EXHAUST LEFT AND RIGHT ASSY | 70 | 0.040745052 | 6.811123518 |
| OIL POMP ASSY | 68 | 0.039580908 | 6.78736547 |
| OIL COOLER | 60 | 0.034924331 | 6.692333278 |
| OIL SUMP | 6 | 0.003492433 | 6.050865981 |
| RELIEF VALVE | 40 | 0.023282887 | 6.454752798 |
| THROTTLE CONTROL ASSY | 60 | 0.034924331 | 6.692333278 |
| FUEL INJECTION | 60 | 0.034924331 | 6.692333278 |
| FUEL PUMP ASSY | 105 | 0.061117579 | 7.148234381 |
| MANIFOLD ASSY | 62 | 0.036088475 | 6.716091326 |
| FUEL SCREEN VALVE ASSY | 38 | 0.022118743 | 6.430994749 |
| HARNESS ASSY | 52 | 0.030267753 | 6.597301086 |
| THROTTLE BODY | 79 | 0.045983702 | 6.918034734 |
| OIL FILTER | 66 | 0.038416764 | 6.763607422 |
| SPARK PLUG | 77 | 0.044819558 | 6.894276686 |
| CONTROL ASSY FUEL MIX | 71 | 0.041327125 | 6.823002542 |
| CONTROL ASSY PROP | 35 | 0.020372526 | 6.395357677 |
| SHAFT ASSY TACHOMETER | 76 | 0.044237485 | 6.882397662 |
| GOVERNOR | 60 | 0.034924331 | 6.692333278 |

**جدول ۵:** تجمیع اولویت به دو روش (RPN) معمول و تئوری شواهد شفر (D - S)

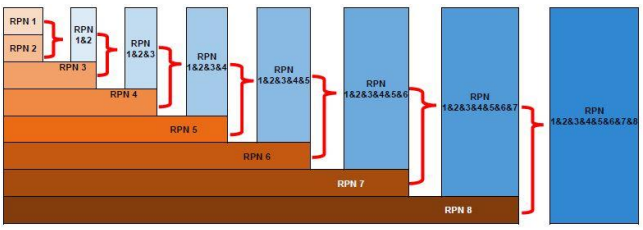
| Component | RPN1 | RPN 1&2 | RPN 1&2&3 | RPN 1&2&3&4 | | RPN1-DS | RPN 1&2 –DS | RPN 1&2&3 – DS | RPN 1&2&3&4 –DS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CRANKCASE ASSY | 55.098 | ۸۸,۷۶۹ | 202.026 | 258.654 | | 52.037 | 84.177 | 182.129 | 231.105 |
| CRANKSHAFT ASSY | 114.678 | ۱۸۴,۷۵۹ | 229.356 | 267.582 | | 108.307 | 160.071 | 197.500 | 231.346 |
| CONNECTING ROD ASSY | 233.208 | ۲۴۶,۱۶۴ | 272.076 | 301.227 | | 199.522 | 207.457 | 230.616 | 257.581 |
| CAMSHAFTASSY | 237.492 | ۱۸۴,۷۱۶ | 222.099 | 240.790 | | 201.868 | 163.605 | 193.182 | 276.220 |
| PISTON AND PIN ASSY | 232.344 | ۲۱۲,۹۸۲ | 228.041 | 235.571 | | 196.524 | 190.231 | 199.428 | 204.026 |
| CYLINDER ASSY | 183.897 | ۱۶۰,۰۵۸ | 161.193 | 180.491 | | 173.680 | 151.544 | 144.733 | 159.462 |
| STARTER ASSY | 193.76 | ۱۴۵,۳۲ | 161.466 | 142.292 | | 191.338 | 141.081 | 147.035 | 125.694 |
| STARTER ADAPTER ASSY | 144.744 | ۱۲۰,۶۲ | 144.744 | 129.665 | | 132.682 | 111.573 | 127.153 | 110.065 |
| ALTERNATOR ASSY | 195.02 | ۱۲۸,۸۵۲ | 150.908 | 144.523 | | 181.09 | 120.146 | 132.915 | 123.628 |
| MAGNETO AND ACCESSORY DRIVE ASSY | 326.205 | ۲۳۵,۵۹۲ | 244.049 | 232.032 | | 326.205 | 342.515 | 326.204 | 326.204 |
| EXHAUST LEFT AND RIGHT ASSY | 245.196 | ۱۹۰,۷۰۸ | 181.626 | 156.642 | | 217.270 | 162.271 | 151.884 | 132.643 |
| OIL POMP ASSY | 217.184 | ۱۵۶,۱۰۱ | 167.421 | 210.309 | | 182.909 | 135.57 | 141.848 | 178.922 |
| OIL COOLER | 214.144 | ۱۶۷,۳۰۲ | 173.993 | 170.745 | | 175.665 | 144.715 | 147.224 | 149.064 |
| OIL SUMP | 242 | ۲۰۲,۶۷۵ | 262.166 | 210.25 | | 204.187 | 176.659 | 229.193 | 184.902 |
| RELIEF VALVE | 232.344 | ۷۷,۴۴۸ | 86.053 | 93.54 | | 205.882 | 135.696 | 116.817 | 114.235 |
| THROTTLE CONTROL ASSY | 281.064 | ۱۶۰,۶۰۶ | 169.529 | 162.397 | | 239.239 | 202.098 | 185.479 | 173.238 |
| FUEL INJECTION | 187.376 | ۱۲۷,۱۴۸ | 138.301 | 133.726 | | 184.699 | 124.136 | 124.582 | 121.041 |
| FUEL PUMP ASSY | 285.92 | 214.44 | 176.317 | 182.238 | | 247.678 | 157.792 | 149.869 | 154.307 |
| MANIFOLD ASSY | 161.184 | ۱۸۱,۳۳۲ | 174.616 | 156.212 | | 157.154 | 174.28 | 158.161 | 141.287 |
| FUEL SCREEN VALVE ASSY | 128.6 | ۹۶,۴۵ | 139.316 | 136.737 | | 117.283 | 157.153 | 121.076 | 117.250 |
| HARNESS ASSY | 105.552 | ۱۱۲,۱۵۱ | 127.543 | 112.157 | | 98.955 | 105.552 | 111.599 | 98.542 |
| THROTTLE BODY | 276.72 | ۲۰۷,۵۴ | 193.704 | 166.028 | | 242.821 | 187.131 | 167.991 | 143.427 |
| OIL FILTER | 108.208 | ۸۱,۱۵۶ | 133.005 | 120.054 | | 94.952 | 71.146 | 113.37 | 100.695 |
| SPARK PLUG | 220.608 | 251.631 | 216.012 | 186.134 | | 201.718 | 130.158 | 124.114 | 116.525 |
| CONTROL ASSY FUEL MIX | 218.336 | 218.337 | 193.319 | 180.739 | | 196.911 | 149.628 | 136.709 | 135.794 |
| CONTROL ASSY PROP | 153.48 | 191.85 | 172.665 | 148.673 | | 149.643 | 109.994 | 107.968 | 97.923 |
| SHAFT ASSY TACHOMETER | 123.876 | ۸۶,۰۲۵ | 98.648 | 91.181 | | 121.123 | 82.928 | 84.533 | 78.884 |
| GOVERNOR | 120.456 | ۱۲۰,۴۵۸ | 120.457 | 102.043 | | 118.448 | 114.433 | 104.729 | 89.421 |

**جدول ۶:** طبقه‌بندی ریسک براساس میزان پذیرش

| طبقه‌بندی ریسک | میزان ریسک براساس RPN |
|---|---|
| قابل قبول | ۱ –۱۰۰ |
| قابل تحمل / غیر قابل قبول | ۱۰۰ –۲۰۰ |
| غیر قابل تحمل | ۲۰۰ –۱۰۰۰ |

**جدول ۷:** قطعات بسیار بحرانی شناسایی شده و برنامه نت پیشنهادی

| ردیف | قطعه | برنامه نت کارخانه سازنده | برنامه پیشنهادی نت |
|---|---|---|---|
| ۱ | MAGNETO AND ACCESSORY DRIVE ASSY | بعد از هر ۱۰۰ ساعت یا ۵۰۰ ساعت کارکرد موتور ، مگنت‌ها باز و طبق پک پیشنهادی شرکت، قطعات داخلی آن تعمیر و یا تعویض گردد | به علت بحرانی بودن قطعه مورد نظر و عدم ارتباط با شرکت سازنده در تهیه پک شرکتی به علت تحریم‌ها، ساخت متعلقات داخلی قطعه توسط صنایع داخلی پیشنهاد می‌گردد. |
| ۲ | CAMSHAFTASSY | بعد از هر ۱۲۰۰ساعت موتور پیاده گردد و قطعات داخلی (میل سوپاپ‌ها و یاتاقان‌ها ) NDI چک گردد | بعلت تحریم‌ها و عدم ارتباط با شرکت سازنده پیشنهاد می‌گردد تایم کارکرد موتور به ۹۰۰ ساعت کاهش یابد تا از خرابی قطعات داخلی آن جلوگیری شود |
| ۳ | CONNECTING ROD ASSY | بعد از هر ۱۲۰۰ ساعت موتور پیاده و از لحاظ متالوژیکی شاتون و پیچ‌ها مهره‌ها و یاتاقان‌ها (NDI) چک گردد | بعلت تحریم‌ها و عدم ارتباط با شرکت سازنده پیشنهاد می‌گردد تایم کارکرد موتور به ۹۰۰ ساعت کاهش یابد تا از خرابی قطعات داخلی آن جلوگیری شود |
| ۴ | CRANKSHAFT ASSY | بعد از هر ۱۲۰۰ ساعت موتور پیاده و میل لنگ NDI چک گردد | بعلت تحریم‌ها و عدم ارتباط با شرکت سازنده پیشنهاد می‌گردد تایم کارکرد موتور به ۹۰۰ ساعت کاهش یابد تا از خرابی قطعات داخلی آن جلوگیری شود |
| ۵ | CRANKCASASSY | چک ظاهری و بعد از هر ۱۲۰۰ساعت پوسته موتور باز و NDI چک و جای یاتاقان‌ها بررسی گردد. | بعلت تحریم‌ها و عدم ارتباط با شرکت سازنده پیشنهاد می‌گردد تایم کارکرد موتور به ۹۰۰ ساعت کاهش یابد تا از خرابی قطعات داخلی آن جلوگیری شود |




**نمودار ۱:** میانگین هندسی اعداد اولویت ریسک در روش تجمیع نظرات

باتوجه به مطالب فوق احتمال وقوع واماندگی را برای سیستم موتور توسط روابط زیر محاسبه می‌نماییم:

$y = Ovalue = ?$
$X_1 = 0.0001$
$X_2 = 0.0500$ (۱)
$X = 0.0244$
$y_1 = 6$
$y_2 = 7$

| | |
|---|---|
| X | Relative Quantity |
| $X_1$ | Low Possible Rate |
| $X_2$ | High Possible Rate |
| $Y_1$ | Low Occurrence Number |
| $Y_2$ | High Occurrence Number |

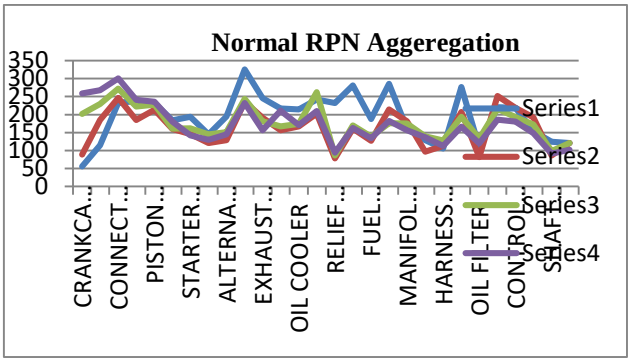
$$y = y1 + (x\text{-}x1)\left(\frac{y_2-y_1}{x_2-x_1}\right)$$

با توجه به مقدار اعدادی که داریم:

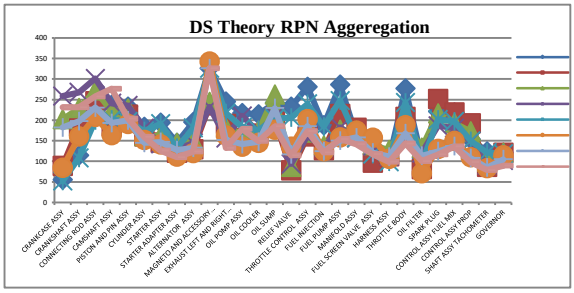
$$y = 6 + (0.0260 - 0.0001)\left(\frac{7-6}{0.05-0.0001}\right)$$

در نتیجه:

$$y = OVALUE = 6.48$$




**نمودار ۲:** تجمیع نظرات به روش (**RPN**) معمول




**نمودار ۳:** تجمیع نظرات به روش (**RPN**) تئوری شواهد شفر (**D - S**)

## بررسی قطعه بحرانی به روش FMECA

FMECA در واقع یک FMEA بسط یافته است که C در FMECA نمایانگر شدت اثرات مختلف می‌باشد. FMEA یک تکنیک تجزیه و تحلیل کیفی بوده که سیستم‌ها با زیر سیستم‌ها را برای شناسایی نقص‌های احتمالی کلیه اجزای آن بررسی کرده و تلاش می‌کند اثرات نقص‌های احتمالی را بر روی بخش‌های سیستم ارزیابی کند.

امروزه FMEA بعنوان مترادف FMECA استفاده می‌شود. تمیز و تشخیص بین این دو اغلب گیج کننده می‌شود، اخیرا علاوه بر صنایع خودرو از FMEA در مراکز خدمات بهداشتی درمانی برای ارایه خدمات پزشکی و بهبود وضعیت ایمنی بیماران نیز استفاده می‌شود.

در این قسمت، یک حالت شکست، اثرات و تحلیل بحرانی (FMECA) برای سیستم قطعه مگنت ارائه خواهد شد. FMECA یک روش مهم برای تجزیه و تحلیل قابلیت اطمینان سیستم است و همچنین اساس تجزیه و تحلیل قابلیت نگهداری، تجزیه و تحلیل ایمنی و تجزیه و تحلیل تست پذیری است. این یک تجزیه و تحلیل استقرایی از تمام حالت‌های خرابی احتمالی سیستم، اجزا یا عملکردها و اثرات احتمالی آنها است و رتبه هر حالت خرابی را با توجه به شدت تأثیرات روی هواپیما و احتمال وقوع تعیین می‌کند.

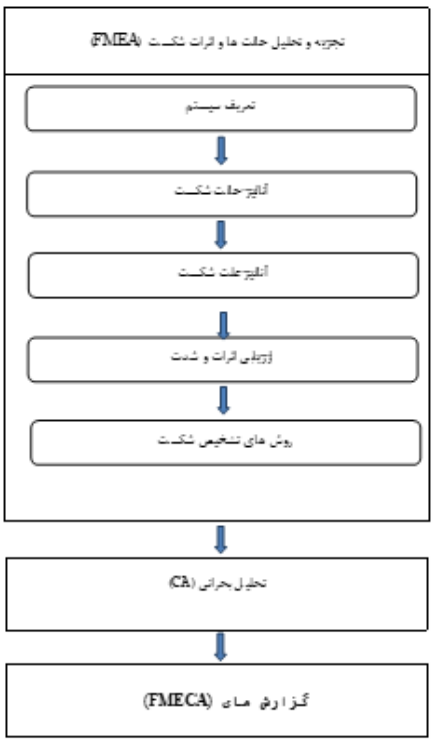
### اهداف FMECA شامل دو عنصر زیر است

الف- تجزیه و تحلیل حالت‌ها و اثرات شکست (FMEA) برای شناسایی تمام حالت‌های خرابی احتمالی، علل و اثرات محصول، به منظور شناسایی نقاط ضعف چرخه طراحی و اتخاذ اقدامات جبرانی برای بهبود طراحی استفاده می‌شود.

ب- تحلیل بحرانی (CA)

CA یک فرصت یا مکمل FMEA است و بر اساس نتیجه FMEA است. به منظور ارائه یک ارزیابی جامع از اثرات در تمام حالت‌های شکست احتمالی، هر حالت شکست بر اساس اثر ترکیبی شدت و احتمال وقوع طبقه بندی می‌شود.

**جدول ۸:** فرایند FMECA




### سیستم مگنت

مگنت یک ژنراتور الکتریکی است که از آهنرباهای دائمی برای تولید جریان متناوب استفاده می‌کند.

مغناطیس‌هایی که برای تولید پالس‌های برق با ولتاژ بالا سازگار شده‌اند، در سیستم‌های احتراق برخی از موتورهای احتراق داخلی بنزینی برای تامین انرژی شمع‌ها استفاده می‌شوند. استفاده از مگنت عمدتاً به موتورهایی که در آن منبع برق در دسترس نیست محدود می‌شود. با این حال، مگنتو نیز معمولاً در موتورهای پیستونی هوانوردی استفاده می‌شود، حتی اگر منبع برق به طور معمول در دسترس باشد. این به این دلیل است که سیستم احتراق مغناطیسی نسبت به سایر گزینه‌ها مانند سیستم باتری-کویل قابل اعتمادتر است.

### FMECA شامل عناصر زیر می باشد

الف) شناسایی و عملکردهای اجزاء

ب) فهرستی از حالت‌های خرابی شرح عملکرد یا سخت افزار

ج) اثرات شکست در سطح سیستم و سطح هواپیما
ز) سطح شدت شکست
ه) وسایل موجود برای تشخیص خرابی
و) مرحله پرواز که در آن شکست رخ می‌دهد

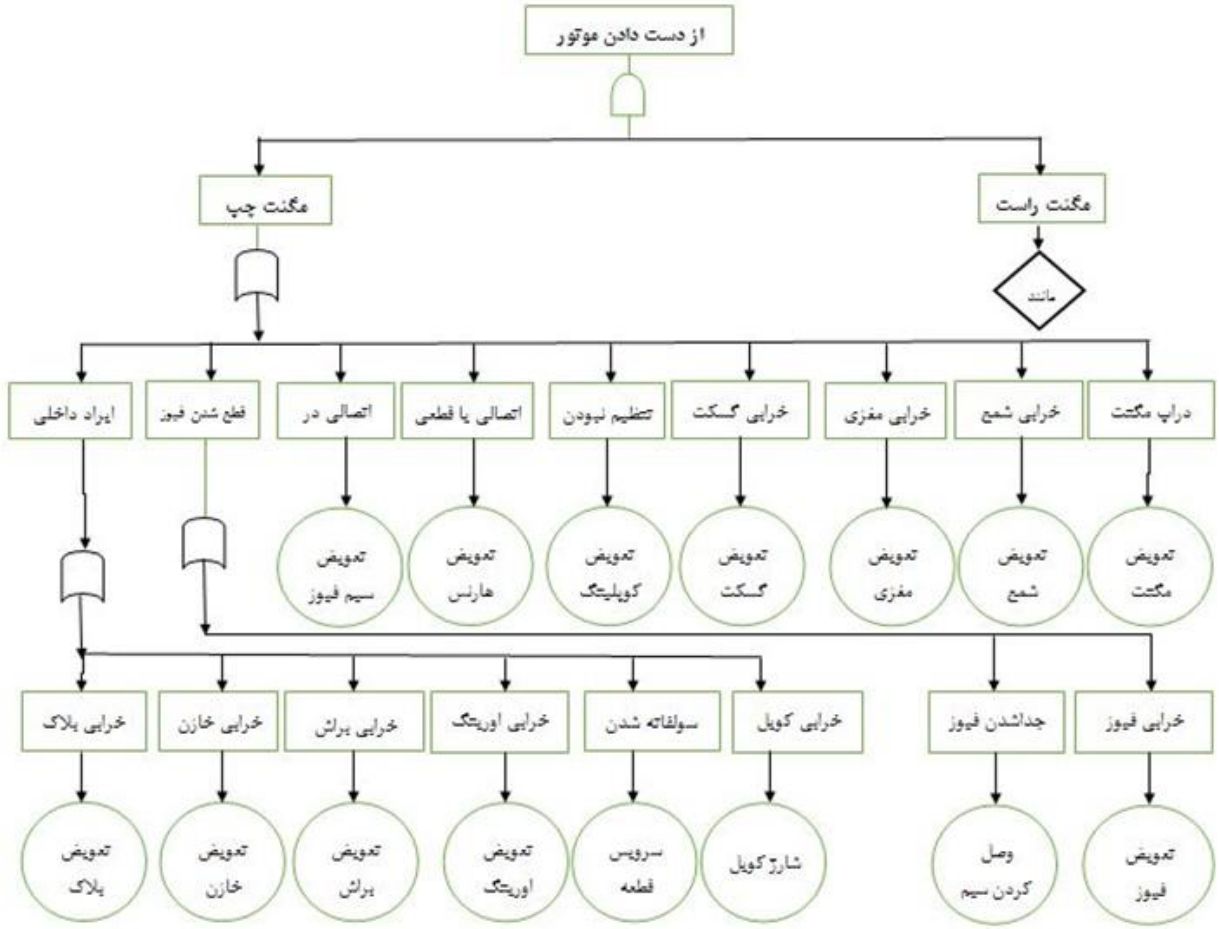
**جدول ۹:** تجزیه و تحلیل خطر عملکردی سیستم مگنت (FHA)

| Function Description | Failure condition (hazard description) | Flight phase | Effects of failure condition on Aircraft/Crew/Occupants | Hazard Classification |
|---|---|---|---|---|
| سیستم مگنت | از دست دادن هر دو مگنت | ۱-موقع بلند شدن هواپیما<br>۲-پرواز<br>۳-به زمین نشستن هواپیما | ۱- موتور خاموش می‌شود و خلبان قادر به انجام پرواز نیست..<br>۲-در این حالت موتور خاموش شده است و هواپیما در شرایط اضطراری می‌باشد خلبان بایستی سریعا نزدیکترین فرودگاه را برای فرود انتخاب کند .<br>۳-خدمه پرواز ممکن است آسیب جدی متحمل شوند. | خطرناک |
| سیستم مگنت | از دست دادن مگنت چپ | ۱-موقع بلند شدن هواپیما<br>۲-پرواز<br>۲-به زمین نشستن هواپیما | ۱- در این حالت خلبان مجاز نیست اقدام به پرواز نماید .<br>۲- خلبان بایستی اولین فرودگاه را جهت فرود انتخاب نمایند.<br>۳- عملکرد موتور در حد نرمال می‌باشد و می‌تواند یک فرود ایمن داشته باشد. | اصلی |
| سیستم مگنت | از دست دادن مگنت راست | ۱-موقع بلند شدن هواپیما<br>۲-پرواز<br>۳-به زمین نشستن هواپیما | ۱-در این حالت خلبان مجاز نیست اقدام به پرواز نماید .<br>۲-خلبان بایستی اولین فرودگاه را جهت فرود انتخاب نمایند.<br>۳-عملکرد موتور در حد نرمال می‌باشد و می‌تواند یک فرود ایمن داشته باشد | اصلی |

**جدول ۱۰:** سیستم مگنت FMECA

| **Component:Magneto Assy**<br>**Function: قطع شدن تمام منبع تولید جرقه جهت اشتعال داخلی سیلندر** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Failure modes** | **Flight phase** | **Effects on system** | **Effects on Aircraft** | **Severity Level** |
| ایراد داخلی مگنت INTERNAL FAILUR | پرواز - زمین | لرزش | بد کار کردن موتور | خطرناک |
| قطع شدن فیوز اصلی | پرواز - زمین | لرزش | عدم برق رسانی مناسب | جزئی |
| اتصالی در فیوز و سیم گراند مگنت | پرواز - زمین | لرزش | نارسایی در برق رسانی | جزئی |
| اتصالی و یا قطعی در هارنس‌ها | پرواز - زمین | عدم برق دهی مناسب | عدم برق دهی مناسب | اصلی |
| تنظیم نبودن کوپلینگ مگنت | پرواز - زمین | لرزش | بد کار کردن موتور | اصلی |
| خرابی گسکت و لیک روغن بیرونی | پرواز - زمین | لیک روغن | لیک روغن | جزئی |
| خرابی مغزی سویچ | پرواز - زمین | نشان ندادن دراپ مگنت | نشان ندادن دراپ مگنت | جزئی |
| خرابی شمع‌ها | پرواز - زمین | بد کار کردن موتور | بد کار کردن موتور | اصلی |
| دراپ مگنت | پرواز - زمین | بد کار کردن موتور | بد کار کردن موتور | جزئی |

**نمودار ۴:** تجزیه و تحلیل درخت خطای قطعه مگنت MAGNETO ASSY




## نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

این بخش شامل ارائه نتایج با توجه به بالا بودن عدد اولویت ریسک (RPN) قطعات مورد بررسی می‌باشد ،که می‌توان با استفاده از اقدامات کنترلی موثری همچون نت مستمر، کاهش زمان بازرسی ادواری و اجرای دستورالعمل‌های کارخانه سازنده با اجرای محدودیت،باعث دستیابی به کنترل یا حذف خطرات شده که نشان دهنده مفید و کارا بودن روش (MFMECA) می‌باشد.

نتایج بدست آمده از این مطالعه، بیانگر مهم بودن قطعه مورد نظر است که در صورت خرابی می‌تواند جان کروی پروازی را به خطر انداخته و به هواپیما خسارت جدی وارد کند و صدمات مادی و معنوی جبران ناپذیری را برای مجموعه به جای بگذارد. نکته قابل توجه این است که اغلب خطرات در حالییک سیستم را تهدید می‌کنند، می‌توان به راحتی و با کمترین هزینه آنها را حذف یا کنترل کرد که حوادث ناشی از آن می‌تواند سیستم را متحمل خسارات فراوانی کند.

نکته بسیار مهم در این مورد علیرغم ایراداتی که به روش (MFMECA) وارد شده، نباید در مورد به کارگیری روش (MFMECA) دچار ساده نگری شد. همانطور که در این مطالعه از روش کمکی تئوری شواهد شفر برای اطمینان از عدد اولویت ریسک به‌دست آمده از روش (MFMECA) استفاده شده، نتیجه حاصله بیانگر اطمینان و کاربردی بودن این روش است. شناخت دقیق خطرات سیستم و به تبع آن شناسایی اختصاصی اعداد دقیق متناسب با احتمال واقعی بروز شدت پیامد خطر و بلاخره تعیین تکلیف ریسک با توجه به موارد کنترلی پیشنهادی، سه مرحله ارزیابی ریسک هستند که اشتباه یا لغزش در هریک نتایج ارزیابی ریسک را مخدوش می‌نماید و قطعا از همین نقطه حادثه ایجاد خواهد شد.

اینکه خطر در مرحله شناسایی اصلا دیده نشود، عدد ریسک آن اشتباه (به ویژه کم) محاسبه شود یا خطراتی توسط سلسله مراتب اقدامات ایمنی به سطح قابل تحمل سازمان کاهش نیابد هر سه به معنای صدور مجوز وقوع حادثه است. لغزش‌هایی از این دست این امکان را فراهم می‌کنند که چنین خطراتی در هیچ یک از برنامه ریزی‌های سازمان

مانند نظارت‌ها، بازرسی‌ها، ممیزی‌ها، نت‌ها و تخصیص منابع دیده نشود.

همچنین در صورتی که عدد اختصاص داده شده برای ریسک هر خطر به صورت اغراق آمیزی بزرگ باشد آنگاه مجموعه با تعداد زیادی خطر مواجه است که به صورت کاذبی از اولویت ریسک بالای برای کنترل برخوردارند و اصلاح آنها هزینه سنگینی را بر سازمان متحمل خواهد کرد که این مساله می‌تواند باعث دلسردی مدیریت از انجام اقدامات اصلاحی به دلیل هزینه زیاد آن شود.

## منابع


[1] L. S. Lipol and J. Haq, "Risk analysis method: FMEA/FMECA in the organizations," Int. J. Basic Appl. Sci., vol. 11, no. 5, pp. 74–82, 2011.

[2] L. T. Ostrom and C. A. Wilhelmsen, "Developing Risk Models for Aviation Inspection and Maintenance Tasks," in Aeronautics and Astronautics, IntechOpen, 2011.

[3] J. Yang, H.-Z. Huang, L.-P. He, S.-P. Zhu, and D. Wen, "Risk evaluation in failure mode and effects analysis of aircraft turbine rotor blades using Dempster–Shafer evidence theory under uncertainty," Eng. Fail. Anal., vol. 18, no. 8, pp. 2084–2092, 2011.

[4] S. Khezrpour and A. Fayazi, "INFLUENCE OF RCM ON TEETERING MAIN ROTOR HUB ASSEMBLIES IN IRAN ' S HELICOPTERS FLEET," vol. 1, no. 2, pp. 230–234, 2014.

[5] Y.-T. Jou, K.-H. Yang, M.-L. Liao, and C.-S. Liaw, "Multi-criteria failure mode effects and criticality analysis method: A comparative case study on aircraft braking system," Int. J. Reliab. Saf., vol. 10, no. 1, pp. 1–21, 2016.

[6] حشمت الله محمدخانلو و اکبر پوررمضانعلی " , شناسایی عوامل موثر در بروز سوانح بالگردی و ارائه راه کارها جهت کاهش سوانح", مهندسی هوانوردی.1400 ,17–1 .pp ,1 .no ,23 .vol ,

[7] م .مصلایی " ,پیاده سازی تجزیه و تحلیل حالات خطا و اثرات ناشی از آ ن (FMEA) در شرکت پالایش گاز سرخون و قشم .1387 ",. [Online]. Available: https://civilica.com/doc/66644/

[8] T. Aven, "Risk assessment and risk management: Review of recent advances on their foundation," Eur. J. Oper. Res., vol. 253, no. 1, pp.