

مدیریت ریسک فرایندهای نگهداری و تعمیرات با استفاده از تکنیک تحلیل درخت خطا و تکنیک های تصمیم گیری چندمعیاره

امیر مومنی^۱، دکتر احسان ثقه‌ای^{۲*}، حسین غیاثوند^۳

چکیده

نگهداری و تعمیرات مجموعه‌ای از فعالیت‌های مختلف است که به منظور حفظ و بقای قطعات، تجهیزات و صیانت از سرمایه‌ها و دارایی‌ها به کار می‌رود تا از بروز حوادثی که منجر به خرابی دستگاه‌ها و وقفه در فرایند تولید و یا روند بهره‌برداری از تجهیزات مربوط می‌گردد، پیشگیری لازم به عمل آید. هدف از این مطالعه ارزیابی ریسک برای نصب داربست در داخل راکتور می‌باشد با استفاده از روش تحلیل درخت خطا (FTA) به ریشه‌یابی خطرات موجود پرداخته شده است. با توجه به اینکه احتمال دقیق رویداد‌های اساسی در ساختار درخت خطای این رویداد دشوار و با عدم قطعیت همراه می‌باشد به منظور محاسبه احتمال رویداد‌های اساسی و در نهایت رسیدن به نرخ احتمال وقوع رویداد نهایی، از روش منطق و اعداد فازی استفاده شده است. مراحل منطق فازی نیز همانند تکنیک تحلیل سلسله‌مراتبی با انتخاب تیمی متشکل از کارشناسان پالایشگاه امام خمینی (ره) شازند شروع شده است که برای برآورد احتمال رویداد نهایی (نقص در مراحل نصب داربست در داخل راکتور) از فرمول توصیه شده توسط انیسواوا استفاده شده است. سپس با استفاده از رابطه فاسل-وسلی، مجموعه‌های برشی حداقل (MCS) رده‌بندی و بحرانی‌ترین آنها مشخص شده است. نتایج نشان می‌دهد احتمال رویداد نهایی در این تحقیق ۳۸ درصد می‌باشد که این میزان نشان‌دهنده سطح ریسک بالایی را برای نفرات نشان می‌دهد.

کلمات کلیدی: نگهداری و تعمیرات، ارزیابی ریسک، تحلیل درخت خطا (FTA)، منطق و اعداد فازی، مجموعه‌های برشی حداقل (MCS)

۱- مقدمه

پالایشگاه امام خمینی (ره) سازند (پالایشگاه اراک) یکی از شرکت های فرعی شرکت ملی پالایش و پخش فرآورده های نفتی ایران می باشد که به عنوان بزرگترین پالایشگاه تک واحدی ایران در سال ۱۳۷۲ با ظرفیت اسمی ۱۵۰ هزار بشکه در روز راه اندازی گردید. طرح افزایش ظرفیت و بهبود کیفیت فرآورده های پالایشگاه امام خمینی (ره) سازند را تصویب و ابلاغ نمایند. با اجرای این طرح ظرفیت تولید پالایشگاه از ۱۷۰ هزار بشکه در روز به ۲۵۰ هزار بشکه در روز افزایش یافته است. همچنین تولید بنزین به میزان ۱۶ میلیون لیتر در روز در ازاء کاهش تولید نفت کوره افزایش یافته است.

برای موفقیت وادامه حیات پالایشگاه، باید روش های نگهداری و تعمیرات اصلاح شده و در روند انجام امور بهبودی حاصل گردد. سیستم های نگهداری و تعمیرات بر بودجه و سوددهی سازمان به طور مستقیم تاثیر می گذارند، ولی عدم برنامه ریزی صحیح نگهداری و تعمیرات در سازمان، سبب کاهش عمر تجهیزات می گردد. هدف اصلی این تحقیق مدیریت ریسک در فرایندهای نگهداری و تعمیرات از جمله نصب داربست در داخل راکتور هنگام تعمیرات اساسی می باشد. اهمیت انجام مدیریت ریسک در فرایندهای نگهداری و تعمیرات ، هم در خصوص انتخاب استراتژی های نگهداری و تعمیرات کارا و اثربخش و هم به دلیل کاهش ریسک های قابل وقوع در فرایندهای تعمیراتی با هدف کاهش هزینه های سیستم می باشد (ربانی و همکاران، ۱۳۹۲).

رویکرد مد نظر محقق در اجرای این تحقیق استفاده از تکنیک های مختلف حوزه قابلیت اطمینان و مدیریت ریسک، حل مساله ، تصمیم گیری چند معیاره و سایر تکنیک های مورد نیاز جهت طراحی متدولوژی متناسب با نیازمندی های خاص پالایشگاه امام خمینی می باشد. از این بین تکنیک تصمیم گیری دلفی جهت شناسایی ریسک ها ، تکنیک تحلیل درخت خطا با هدف استفاده در فاز ارزیابی ریسک ها و تصمیم گیری چندمعیاره جهت اولویت بندی آیتم های مختلف در این تحقیق مورد استفاده قرار خواهند گرفت.

۲- تکنیک تحلیل سلسله مراتبی

یکی از مسائل تصمیم سازی مدیران، چگونگی انتخاب کردن یک گزینه از میان چند گزینه موجود است. که می بایست با توجه به معیارهایی که برای انتخاب مطرح است این کار صورت پذیرد. در سال ۱۹۸۰ فرایند تحلیل سلسله مراتبی توسط آل ساعتی برای حل همچنین مسائلی مطرح شد که تئوری این روش به این صورت است که برای هر کدام از گزینه ها یک امتیاز به دست می آوریم و گزینه ها بر حسب امتیازی که به کسب کرده اند رتبه بندی می شوند (سپهوند و عارف نژاد، ۱۳۹۲).

در این تحقیق از بین واحد های عایقکاری ، داربست بندی ، نقلیه و ترابری و ساختمانی می خواهیم پر ریسک ترین را انتخاب کنیم. ، با استفاده از این تکنیک مشخص می شود که واحد داربست بندی دارای بیشترین ریسک می باشد.

۳- ساختار درخت خطا

تحلیل درخت خطا یک تکنیک ارزشیابی است که از آن می توان برای تعیین علل مختلف یک رخداد خطرناک پیش بینی شده، استفاده کرد . سپس همه راه هایی که می توانند سبب بروز این وضعیت ناخواسته و نامطلوب شوند جستجو می شود. سپس به صورت نظام مند، تمامی دلایل خرابی را در یک ساختار بالا به پائین که شبیه درخت است، مرتب کرده و در نهایت از این ساختار برای محاسبه احتمال وقوع رویداد نهایی استفاده می شود (میرزا و همکاران، ۱۳۹۳).

۴- ارزیابی درخت خطا

تحلیل درخت خطا میتواند هم به صورت کمی و هم به صورت کیفی یا نظری انجام شود (عظیمیان و همکاران، ۱۳۹۶)

۴-۱- تحلیل کیفی

تحلیل کیفی به منظور محاسبه مجموعه برشی حداقل ۱۴ انجام می شود. یک مجموعه برشی ۱۵ ، ترکیبی از رویدادهای اساسی ۱۶ است که منجر به وقوع رویداد نهایی می شوند (جوزی و همکاران، ۱۳۹۳). هر یک از مجموعه های برشی حداقل نمایانگر یک راه احتمالی برای وقوع رویداد نهایی است. بدین ترتیب که با رخ دادن رویدادهایی که در یک برش حداقل قرار دارد رویداد نهایی به وجود خواهد آمد . بنابراین تجزیه و تحلیل آن ها ارزیابی اهمیت هر یک از راه های احتمالی بروز رویداد اصلی است (جوزی و همکاران، ۱۳۹۳).

۴-۲- تحلیل کمی

در تحلیل کمی درخت خطا برای محاسبه احتمال وقوع رویداد نهایی باید احتمال وقوع هر یک از رویدادهای اساسی معلوم باشد. باید در این مرحله مشخص کرد که آیا برای تمامی رویدادهای پایه اطلاعات موجود می باشد یا خیر. اگر موجود باشد با استفاده از فرمول (۱) احتمالات شناسایی می شوند. (میرزا و همکاران، ۱۳۹۳؛ عطائی، ۱۳۸۹)

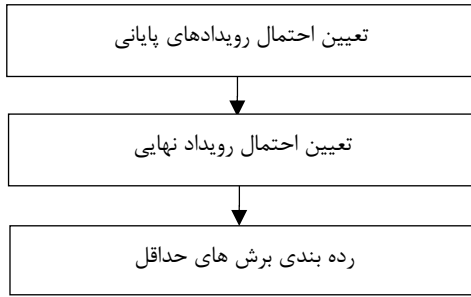
$$PF = 1 - e^{-\lambda t} \quad (1)$$

PF : احتمال شکست

λ : نرخ خرابی جزء

t: زمان در معرض قرار گرفتن جزء

در غیر اینصورت بر طبق مراحل فازی برای ادامه کار استفاده می شود. با معلوم بودن احتمال وقوع هر یک از رویدادهای اساسی، می توان احتمال رویداد نهایی را به دست آورد. احتمال وقوع رویداد نهایی با استفاده از رابطه (۲) به دست می آید. (کلاسنگیانی و امیدواری، ۱۳۹۴ ؛ میرزا و همکاران، ۱۳۹۳)



شکل ۱: مراحل اجرای تحقیق

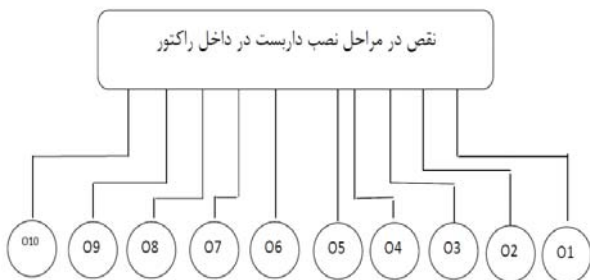
در این تحقیق بر اساس مطالعات و بررسی‌های انجام شده در مراحل نصب داربست در داخل راکتور، رویدادهای اساسی مشخص گردیده که در جدول ۱ لیست این رویدادها نشان داده شده است.

جدول ۱: رویدادهای میانی و رویدادهای اساسی نقص داربست

نصب شده در داخل راکتور

| نوع رویداد | نام رویداد | نماد |
|------------|---|------|
| اساسی | نقص در نظارت و بررسی | O1 |
| اساسی | عدم نوسازی تجهیزات | O2 |
| اساسی | تعمیر و نگهداری نامناسب | O3 |
| اساسی | سهل انگاری و تعجیل در کار | O4 |
| اساسی | عدم آموزش کافی | O5 |
| اساسی | خطای اپراتور در بارگیری و انتقال متریال | O6 |
| اساسی | خطای ماشین آلات | O7 |
| اساسی | خطای تجهیزات باربرداری | O8 |
| اساسی | کمبود تجهیزات ایمنی | O9 |
| اساسی | کمبود تجهیزات ارتباطی | O10 |

با توجه به نتایج جدول ۱، درخت خطای مربوطه رسم شده است که این درخت خطا پایه اصلی برای محاسبات نرخ شکست سیستم شد (شکل ۲).



شکل ۲: نمودار درخت خطا

$$P = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - p_i) \quad (2)$$

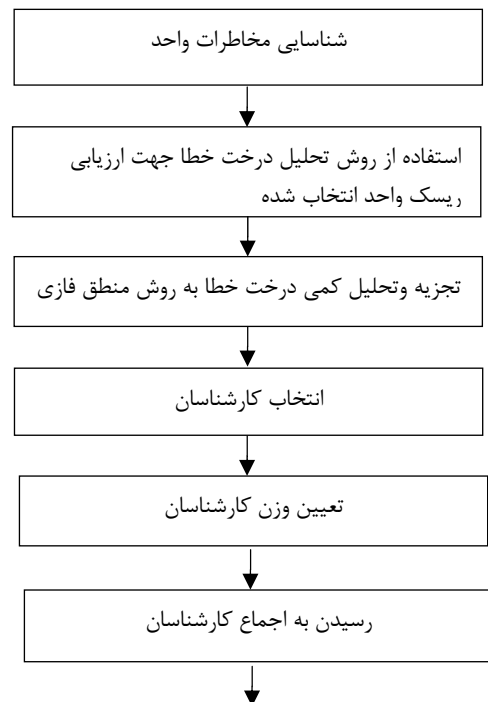
P: احتمال وقوع رویداد نهایی
 Pi: احتمال وقوع رویداد های اساسی
 n: تعداد رویدادهای اساسی

۵- ارزیابی ریسک نصب داربست در داخل راکتور به روش تحلیل درخت خطای فازی

تحلیل درخت خطا یک روش ارزیابی کمی است. البته این کار زمانی انجام می‌شود که ارزیاب اطلاعات کافی در مورد نرخ و احتمال شکست تجهیزات داشته باشد. تجزیه و تحلیل درخت خطا یکی از مدل‌های مطلوب ارزیابی مخاطرات به شمار می‌رود. گاهی اوقات به دلیل عدم اطلاعات کافی، برآورد دقیق میزان شکست از اجزا یا احتمال وقوع رویدادهای ناخواسته دشوار است. علاوه بر این، به علت عدم دقت در اطلاعات رویداد اساسی (BE)، نتیجه کلی نیز دارای عدم قطعیت است. برای جلوگیری از چنین شرایطی، رویکرد فازی و ترکیب آن با نظر کارشناسان را می‌توان با روش تحلیل درخت خطا به کار برد تا ابهام و عدم وجود داده در رویدادهای اساسی را کاهش دهد.

(Renjith et al., 2010; Lavasani et al., 2014)

در این تحقیق با استفاده از روش تحلیل درخت خطای فازی اقدام به تعیین احتمال ریسک فعالیت نصب داربست در داخل راکتور انجام گردیده است. مراحل اجرای این تحقیق در شکل ۱ ارائه شده است.



۵-۱- انتخاب کارشناسان و تعیین وزن آنها

تعداد خبرگان استفاده شده در این تحقیق ۵ نفر می باشد شامل رئیس واحد ، رئیس ایمنی ، سرپرست و ناظر داربست بندی ، کارشناس داربست بندی و کارشناس ایمنی داربست می باشد. با توجه به مشخصات کارشناسان که در جدول ۲ آمده است. بعد از مشخص شدن معیارهای ارزیابی کارشناسان در مرحله قبل، وزن آن ها تعیین شد. نمره وزن نهایی هر کارشناس از تقسیم مجموع نمرات کسب شده توسط وی تقسیم بر مجموع نمرات کسب شده توسط کلیه کارشناسان شرکت کننده در مطالعه به دست آمده است. نمره وزن هر کارشناس بر اساس معیارهای تعیین شده در مرحله قبل، در جدول ۳ نشان داده شده است (تنگ ، ۲۰۰۰).

جدول ۲: مشخصات مربوط به کارشناسان شرکت کننده در

نظرسنجی

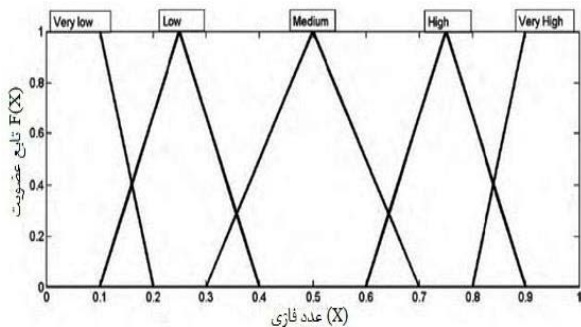
| شماره کارشناس | سمت | تجربه (سال) | تحصیلات | سن (سال) |
|---------------|---------------------|-------------|------------|----------|
| ۱ | رئیس پالایش ۵ | ۳۰ | فوق لیسانس | ۵۲ |
| ۲ | رئیس ایمنی | ۲۵ | فوق لیسانس | ۴۵ |
| ۳ | سرپرست داربست بندی | ۳۰ | لیسانس | ۵۴ |
| ۴ | کارمند داربست بندی | ۶ | فوق لیسانس | ۳۳ |
| ۵ | کارمند ایمنی داربست | ۸ | لیسانس | ۳۴ |

جدول ۳: نمرات وزنی کارشناسان انتخاب شده

| شماره کارشناس | عنوان | تجربه (سال) | تحصیلات | سن (سال) | شاخص وزنی | نمره وزنی هر کارشناس |
|---------------|-------|-------------|---------|----------|-----------|--------------------------|
| ۱ | ۴ | ۳ | ۴ | ۴ | ۱۵ | $\frac{15}{58} = 0.2586$ |
| ۲ | ۳ | ۳ | ۴ | ۳ | ۱۳ | $\frac{13}{58} = 0.2241$ |
| ۳ | ۳ | ۳ | ۳ | ۴ | ۱۳ | $\frac{13}{58} = 0.2241$ |
| ۴ | ۲ | ۱ | ۴ | ۲ | ۹ | $\frac{9}{58} = 0.1552$ |
| ۵ | ۲ | ۱ | ۳ | ۲ | ۸ | $\frac{8}{58} = 0.1379$ |
| | جمع | | | | ۵۸ | ۱ |

۵-۲- کمی سازی نظرات کارشناسان

برای کمی سازی نظرات کارشناسان با تعیین وزن نظرات آن ها در خصوص رویدادهای اساسی، از متغیرهای زبانی استفاده شده است. پنج متغیر زبانی به کار رفته شامل خیلی کم، کم، متوسط زیاد و خیلی زیاد هستند که به طور خلاصه به صورت خیلی زیاد، زیاد، متوسط، خیلی کم و کم است. برای فازی کردن این بخش از عدد فازی ذوزنقه ای استفاده شده است که شکل ۳ بیان کننده دامنه فازی متغیرهای زبانی به کار رفته در این تحقیق است.



شکل ۳: متغیرهای زبانی مورد استفاده کارشناسان

(Renjith et al., 2010)

نظرات کارشناسان با استفاده از روش ارائه شده توسط چن ۲۴ و هوانگ ۲۵ در سال ۱۹۹۲ ، لواسانی و همکارانش در سال ۲۰۱۱ و ۲۰۱۴ و همچنین رنجیت و همکارانش، به صورت کمی درآمد وزن آن ها تعیین شد. برای استفاده از نظرات کارشناسان فرم هایی برای آن ها ارسال شد که در این فرم از کارشناسان خواسته شده بود بسته به نظر شخصی خویش و به میزان اهمیت هر یک از پارامترها امتیاز خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد را به آن ها اختصاص دهند که وزن متغیرهای زبانی کارشناسان که در کمی سازی نظر آنان در رابطه با هر رویداد اساسی استفاده شده است، در جدول ۴ نشان داده است (Lavasani et al., 2014. ؛ Renjith et al., 2010)

جدول ۴: تعریف بازه های کیفی بصورت زبانی

(Lavasani et al., 2014)

| ردیف | متغیر زبانی | وزن ترم های زبانی (A _{ij}) |
|------|-------------|--------------------------------------|
| ۱ | خیلی کم | (۰/۰ ، ۰/۱ ، ۰/۲) |
| ۲ | کم | (۰/۱ ، ۰/۲۵ ، ۰/۲۵ ، ۰/۴) |
| ۳ | متوسط | (۰/۳ ، ۰/۵ ، ۰/۵ ، ۰/۷) |
| ۴ | زیاد | (۰/۶ ، ۰/۷۵ ، ۰/۷۵ ، ۰/۹) |
| ۵ | خیلی زیاد | (۰/۸ ، ۰/۹ ، ۱ ، ۱) |

۵-۳- اجماع نظر کارشناسان

جهت تعیین احتمال رویدادهای اولیه، امکان وقوع فازی مجموعه های برشی مینیمال که از طریق اجماع نظرات خبرگان در پرسش نامه ها

بدست آمده است برای اجماع نظر کارشناسان، نمره وزن هر کارشناس در نمره متغیرهای زبانی او ضرب شده است. این کار طبق رابطه ۳ انجام شده است (Renjith et al., 2010)

$$M = \sum_{i=1}^m w_i |A_{ij}| = (a_1, a_2, a_3, a_4) \quad i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (3)$$

که در این رابطه:

A_{ij} : متغیر زبانی در رابطه با هر رویداد پایانی i توسط کارشناس j

W_j : وزن کارشناس j

m : تعداد رویدادهای پایانی

n : تعداد کارشناسان

M_i : عدد فازی اجماع نظر کارشناسان در رابطه با هر رویداد پایانی

نتایج حاصل از محاسبات در جدول ۵ نشان داده شده است.

جدول ۵: عدد فازی اجماع نظر کارشناسان در رابطه با هر رویداد پایانی

| نماد رویداد | نام رویداد | عدد فازی اجماع نظر کارشناسان |
|-------------|---|----------------------------------|
| O1 | نقص در نظارت و بررسی | (0.7551, 0.8146, 0.9439, 0.9775) |
| O2 | عدم نوسازی تجهیزات | (0.7482, 0.8611, 0.9353, 0.9741) |
| O3 | تعمیر و نگهداری نامناسب | (0.6258, 0.7629, 0.8146, 0.8999) |
| O4 | سهل انکاری و تنجیل در کار | (0.7999, 0.8999, 0.9999, 0.9999) |
| O5 | عدم آموزش کافی | (0.7482, 0.8611, 0.9353, 0.9741) |
| O6 | خطای اپراتور در بارگیری و انتقال متریال | (0.4551, 0.6068, 0.6293, 0.7585) |
| O7 | خطای ماشین آلات | (0.6051, 0.7482, 0.7844, 0.8913) |
| O8 | خطای تجهیزات باربرداری | (0.6568, 0.7869, 0.8491, 0.9172) |
| O9 | کمبود تجهیزات ایمنی | (0.6758, 0.8068, 0.9051, 0.9378) |
| O10 | کمبود تجهیزات ارتباطی | (0.5605, 0.7146, 0.7284, 0.8689) |

۵-۴- غیر فازی کردن

غیر فازی کردن اعداد فازی روش مهمی برای تصمیم‌گیری در محیط فازی است. در این تحقیق روش مرکز گرانیگه برای غیر فازی کردن انتخاب شده است (Lavasani et al., 2011, 2014). غیر فازی کردن عدد فازی دوزنقه‌ای $A = (a_1, a_2, a_3, a_4)$ با استفاده از فرمول (۴) به دست می‌آید.

$$X^* = \frac{1}{3} \frac{(a_4 + a_3)^2 - a_4 a_3 - (a_1 + a_2)^2 + a_1 a_2}{(a_4 + a_3 - a_2 - a_1)} \quad (4)$$

عدد به دست آمده از مرحله قبل در رابطه با هر رویداد اساسی، معادل نظر کارشناسان بوده و هنوز به صورت "امکانی" است. در این مرحله با استفاده از مدل مرکز گرانیگه (رابطه ۳) و فرمول دوزنقه‌ای، این اعداد غیر فازی شده است (Lavasani et al., 2011, 2014).

۵-۵- استفاده از تبدیل فرمول امکان به احتمال

عدد حاصل از مرحله غیر فازی کردن، هنوز به صورت امکانی می‌باشد. از آنجایی که درخت خطا احتمال می‌پذیرد؛ بنابراین باید عدد به دست آمده از مرحله قبل از حالت امکانی به احتمالی تبدیل شود. به این منظور، از فرمول‌های ارائه شده توسط انیسلاوا (فرمول ۵ و ۶) استفاده شده است (Renjith et al., 2010؛ Lavasani et al., 2014).

$$FP = \begin{cases} \frac{1}{10^k} & CFP \neq 0 \\ 0 & CFP = 0 \end{cases} \quad (5)$$

$$k = \left[\frac{1 - CFP}{CFP} \right]^{\frac{1}{3}} \times 2.301 \quad (6)$$

که در این رابطه FP نرخ احتمال هر رویداد اساسی و CFP عدد امکانی حاصل از مرحله غیر فازی کردن است. در جدول ۶ نتایج محاسبات نرخ احتمال (FP) هر رویداد اساسی برای احتمال نقص در مراحل نصب داربست در داخل راکتور نشان داده شده است.

جدول ۶: نتایج حاصل از غیر فازی کردن نظر کارشناسان

| ترخ احتمال هر رویداد پایانی (FP=MCS) | تقریب K | عدد غیر فازی شده اجماع نظر کارشناسان (X) | نام رویداد | تعداد |
|--------------------------------------|-----------|--|---|-------|
| 0.0612 | 1.2131 | 0.8722 | نقص در نظارت و بررسی | O1 |
| 0.0635 | 1.1972 | 0.8765 | عدم نوسازی تجهیزات | O2 |
| 0.0295 | 1.5299 | 0.7726 | تعمیر و نگهداری نامناسب | O3 |
| 0.0978 | 1.0095 | 0.9221 | سهل انکاری و تنجیل در کار | O4 |
| 0.0635 | 1.1972 | 0.8765 | عدم آموزش کافی | O5 |
| 0.0105 | 1.9809 | 0.6105 | خطای اپراتور در بارگیری و انتقال متریال | O6 |
| 0.0262 | 1.5815 | 0.7549 | خطای ماشین آلات | O7 |
| 0.0354 | 1.4516 | 0.7993 | خطای تجهیزات باربرداری | O8 |
| 0.0643 | 1.1918 | 0.8779 | کمبود تجهیزات ایمنی | O9 |
| 0.0176 | 1.7539 | 0.6930 | کمبود تجهیزات ارتباطی | O10 |

۵-۶- تعیین احتمال رویدادهای نهایی

بعد از تعیین نرخ احتمال رویدادهای اساسی و همچنین مشخص کردن مجموعه‌های برشی حداقل و به کمک بانک اطلاعات به دست آمده، نرخ احتمال رویداد نهایی (T) به کمک روابط (۲)، (۳) و (۷) محاسبه شد که نتایج این محاسبه در جدول ۷ نشان داده است. (Lavasani et al., 2014؛ Renjith et al., 2010)

$$T = 1 - [(1 - MCS_1) \times (1 - MCS_2) \times \dots \times (1 - MCS_n)] \quad (7)$$

T : نرخ احتمال رویداد نهایی

MCS_1 : مجموعه برشی حداقل اول

MCS_2 : مجموعه برشی حداقل دوم

MCS_n : مجموعه برشی حداقل n ام [۱۹، ۲۰].

جدول ۷: نرخ احتمال رویداد نهایی برای نقص داربست نصب شده در داخل راکتور

| نوع رویداد | نرخ احتمال رویداد | درصد احتمال |
|--|-------------------|-------------|
| نقص در مراحل نصب داربست در داخل راکتور | 0.3841 | 38.41% |

با توجه به محاسبات انجام شده در این مرحله، نرخ احتمال نقص و خطا در مراحل نصب داربست در داخل راکتور در زمان تعمیرات اساسی پالایشگاه حدود ۳۸ درصد می باشد.

۶- تحلیل میزان اهمیت رویدادهای اساسی در مقدار احتمال نهایی

در شکل ۴ مشاهده می شود که بحرانی ترین مجموعه های برشی حداقل در خطرات مربوط به نصب داربست در داخل راکتور به ترتیب عبارتند از سهل انگاری و تعجیل در کار، کمبود تجهیزات ایمنی، عدم آموزش کافی و عدم نوسازی تجهیزات می باشد. در جدول ۹ مشاهده می شود در صورت حذف مهمترین مجموعه های برشی احتمال رخ دادن رویداد اصلی حدود ۱۷ درصد می شود.

جدول ۹: حذف همزمان مهمترین مجموعه های برشی

| ردیف | MCS های حذف شده | احتمال رویداد نهایی |
|------|--|---------------------|
| ۱ | -نقص در نظارت و بازرسی -عدم نوسازی تجهیزات -سهل انگاری و تعجیل در کار -عدم آموزش کافی -کمبود تجهیزات ایمنی | 0.17 |

احتمال وقوع ۱۷ درصد نیز می تواند باعث بروز ایجاد حادثه و آسیب به نفرات گردد بنابراین لازم است که با یک برنامه ریزی دقیق و جامع تمامی موارد نقص بررسی شود و اقدام به حذف و یا کاهش تمامی MCS ها شود به گونه ای که هنگام بستن داربست در داخل راکتور احتمال رخداد حادثه ناچیز گردد.

۷- پیشنهادات جهت کنترل ریسک ها

پیشنهادات لازم به منظور کنترل و کاهش ریسک های بحرانی تعیین شده در رابطه با خطرات نصب داربست در داخل راکتور به صورت زیر می باشد.

-بالا بردن سطح فرهنگ ایمنی مسئولین و مدیران جهت مقدم بودن ایمنی نسبت به پیشرفت کار

-ساعت کاری مناسب به طوری که اپراتور ها خسته نباشند

-بازرسی دوره ای از تجهیزات ایمنی و حفاظت فردی

- داشتن برنامه مشخص جهت خرید تجهیزات ایمنی و حفاظت فردی استاندارد و متناسب با نوع فعالیت ها

- برگزاری دوره آموزشی تجهیزات حفاظت فردی جهت آشنایی پرسنل با تجهیزات ایمنی مربوط به کار خود و مقایسه با تجهیزات ایمنی موجود و در صورت نیاز اعلام نیاز سنجی و خرید

-وجود رویه ها و برنامه های مشخص جهت آموزش های دوره ای برای پرسنل

-برگزاری دوره آموزشی پرمیت (مجوز انجام کار) برای نفرات مربوطه

- عدم استفاده از افراد آموزش ندیده و با تجربه در فعالیت ها بخصوص فعالیت داربست بندی در داخل راکتور

- وجود رویه و برنامه مشخص جهت نوسازی متریال داربست بندی

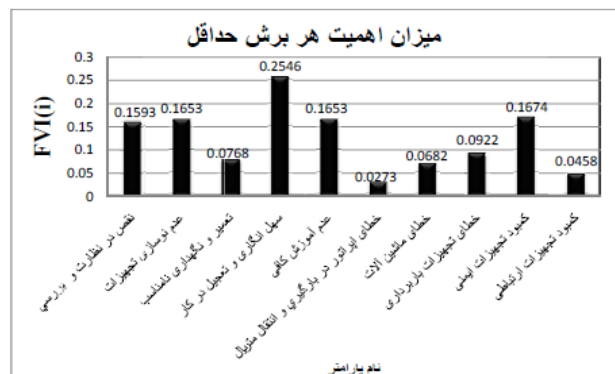
۵-۷- تعیین اهمیت و رده بندی مجموعه های برشی حداقل بعد از محاسبه نرخ رویداد نهایی و بر اساس مقدار به دست آمده برای آن، با استفاده از فرمول فاسل و سلی (رابطه ۸) میزان اهمیت مجموعه های برشی حداقل (MCS) مشخص و این مجموعه های برشی حداقل رده بندی شده اند که نتایج آن در جدول ۸ ارائه شده است. میزان اهمیت مجموعه های برشی در شکل ۴ نشان داده شده است.

(Lavasani et al., 2011, Lavasani et al., 2014)

$$FVI(i) = \frac{MCS_i}{T} \quad (8)$$

جدول ۸: تعیین میزان اهمیت و رده بندی مجموعه های برشی حداقل

| نماد رویداد | نام رویداد | نرخ احتمالی هر برش FP=MCS _i حداقل | FVI(i) | رده بندی برش های حداقل |
|-------------|---|---|--------|------------------------|
| O1 | نقص در نظارت و بررسی | 0.0612 | 0.1593 | 5 |
| O2 | عدم نوسازی تجهیزات | 0.0635 | 0.1653 | 4 |
| O3 | تعمیر و نگهداری نامناسب | 0.0295 | 0.0768 | 7 |
| O4 | سهل انگاری و تعجیل در کار | 0.0978 | 0.2546 | 1 |
| O5 | عدم آموزش کافی | 0.0635 | 0.1653 | 3 |
| O6 | خطای اپراتور در بازگویی و انتقال متریال | 0.0105 | 0.0273 | 10 |
| O7 | خطای ماشین آلات | 0.0262 | 0.0682 | 8 |
| O8 | خطای تجهیزات باربرداری | 0.0354 | 0.0922 | 6 |
| O9 | کمبود تجهیزات ایمنی | 0.0643 | 0.1674 | 2 |
| O10 | کمبود تجهیزات ارتباطی | 0.0176 | 0.0458 | 9 |



شکل ۴: نمودار میزان اهمیت مجموعه های برشی حداقل

- وجود برنامه مشخص جهت نیاز سنجی متریکال جدید جهت ایمن سازی بیشتری داربست (به عنوان مثال خرید نردبان حفاظ دار به جای پله آنتنی، خرید قرنیز برای سکوی داربست جهت جلوگیری از سقوط ابزار و ...)

- بازرسی دوره‌ای از انبار متریکال داربست بندی جهت تشخیص متریکال فرسوده و کنار گذاشتن آنها

- وجود رویه ها و دستورالعمل ها برای بررسی و نظارت - استفاده از کارشناسان باتجربه و آموزش دیده جهت نظارت در کلیه مراحل نصب داربست

- اطمینان از سالم بودن تجهیزات باربرداری قبل از شروع به کار توسط ریگر

- انجام بازرسی های هفته ای و ماهیانه از انبار نگهداری متریکال داربست بندی

- وجود برنامه مشخص جهت خرید ماشین آلات جدید و از رده خارج کردن تجهیزات فرسوده و کارکرده

- وجود برنامه‌ای مشخص جهت نیازسنجی وسایل ارتباطی مورد نیاز برای داربست بند ها در تعمیرات اساسی پالایشگاه

- استفاده از بی سیم های مناسب و کافی جهت ارتباط بین نفرات

- اطمینان از شرایط مناسب روحی و روانی ، ذهنی و جسمی اپراتورها جهت جلوگیری از بروز حادثه و خطا

۸- بحث و نتیجه گیری

در این تحقیق مشاهده گردید که نقص و خطا در مراحل نصب داربست ریشه در عوامل انسانی دارد. عواملی چون سهل انگاری و تعجیل در کار، عدم آموزش کافی به نفرات، عدم نظارت و بررسی، تعمیر و نگهداری نامناسب ، خرید تجهیزات نامناسب ، عدم پیگیری جهت نوسازی تجهیزات و ... جزء عوامل انسانی می باشند که نقش بسزایی در احتمال رویداد نهایی و ایجاد حادثه دارند. وجود هر یک از عوامل انسانی فوق می تواند برای سیستم خطرناک و حادثه آفرین باشد. بنابراین یک سیستمی که ایمن باشد، خطرات بالقوه محیط کار از جمله عوامل انسانی را شناسایی می کند و سعی در کاهش و یا حذف آن دارد.

علاوه بر عوامل انسانی که به آن اشاره گردید عواملی مکانیکی و تدارکاتی نیز می تواند بسیار با اهمیت باشد اطمینان از سالم بودن تجهیزات و ماشین آلات همچنین وجود برنامه مشخص جهت تشخیص و تعویض تجهیزات باربرداری فرسوده و جایگزین کردن آنها با ماشین آلات و تجهیزات جدید و پیشرفته می تواند تا حد زیادی ریسک های مربوط به عوامل مکانیکی را حذف و یا کاهش دهد. وجود تجهیزات ایمنی از قبیل گاز سنج (جهت پایش آلاینده های درون راکتور)، دماسنج لیزری (جهت اندازه گیری دمای داخل راکتور برای کار داربست بندی)، باد سنج (جهت اندازه گیری سرعت باد هنگام باربرداری)، چراغ قوه ، وسایل ارتباطی مناسب و... می تواند نقش تعیین کننده ای در کاهش ریسک خطرات داشته باشد.

بنابراین با داشتن برنامه های منظم و اقدامات کنترلی مناسب (که در قسمت پیشنهادات به آن اشاره شد) می توان ریسک ها و خطاهای موجود در این فعالیت را شناسایی، حذف و کنترل کرد و در نتیجه میزان احتمال وقوع رویداد نهایی را کاهش داد و از وقوع خطرات و خسارت های جانی و مالی جلوگیری به عمل آورد.

مراجع

- [۱] ربانی، علی؛ زارع، حبیب؛ بهنیا، فروغ (۱۳۹۲)؛ "ارائه الگوی مناسب جهت پیاده سازی سیستم نگهداری و تعمیرات در کارخانجات خطوط تولید پیوسته با رویکرد مدل های تصمیم گیری و برنامه ریزی آرمانی فازی"، فصلنامه علمی - پژوهشی مطالعات مدیریت صنعتی، سال یازدهم، شماره ۳۱، صص ۱۰۰-۸۵.
- [۲] سپهوند، رضا؛ عارف نژاد، محسن (۱۳۹۲)؛ " اولویت بندی شاخص های توسعه پایدار شهری با رویکرد تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی گروهی (مطالعه موردی در شهر اصفهان)"، فصلنامه مطالعات برنامه ریزی شهری، سال اول، شماره ۱، صص ۵۹-۴۳.
- [۳] میرزا، سمیه و همکاران (۱۳۹۳)؛ " استفاده از منطق فازی در برآورد احتمال شکست در آنالیز ریسک به روش درخت خطا"، مجله ارتقای ایمنی و پیشگیری از مصدومیت ها، دوره ۲، شماره ۲، صص ۱۲۳-۱۱۳
- [۴] عظیمیان، میثم و همکاران (۱۳۹۶)؛ " انتخاب بهترین ترکیب تامین کنندگان با ارائه رویکردی تلفیقی از تصمیم گیری با معیارهای چندگانه و درخت تجزیه و تحلیل خطا"، مدیریت تولید و عملیات، دوره ۸، شماره ۱، صص ۶۴-۴۵.
- [۵] جوزی، سیدعلی؛ عصمت ساعتلو، سیدجعفر؛ جوان، زیبا (۱۳۹۳)؛ " ارزیابی ریسک زیست محیطی در واحد الفین مجتمع پتروشیمی آریاساسول به روش تجزیه و تحلیل درخت خطا"، مجله سلامت و محیط، فصلنامه علمی پژوهشی انجمن علمی بهداشت محیط ایران، دوره هفتم، شماره سوم، صص ۳۸۵-۳۹۸.
- [۶] عطائی م. (۱۳۸۹)، " تصمیم گیری چند معیاره فازی"، چاپ اول، انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود
- [۷] کلاسنکیانی ح و امیدواری م. (۱۳۹۴) ارائه الگویی جهت ارزیابی کمی قابلیت اطمینان برقرافتگی فشار ضعیف در صنعت توزیع برق با استفاده از FTA در محیط فازی"، دو ماهنامه سلامت کار ایران، دوره ۱۲، شماره ۲.
- [۸] لواسانی س م (۱۳۹۳)، " استفاده از منطق فازی در برآورد احتمال شکست در آنالیز ریسک به روش درخت خطا"، مجله ارتقای ایمنی و پیشگیری از مصدومیت ها، دوره ۲، شماره ۲، صص ۱۲۳-۱۱۳.
- [۹] Renjith V.R., Madhu G., Lakshmana Gomathi Nayagam V. and Bhasi A.B., (2010), "Two-dimensional fuzzy fault tree analysis for chlorine release from a chlor-alkali industry using expert elicitation", Journal of Hazardous Materials, pp. 103-110.
- [۱۰] Lavasani S.M., Zendgani A (2014), "An extension to Fuzzy Fault Tree Analysis (FFTA) application in and petrochemical process industry", Process Sarety Environment Protection DIO: