شناسایی و ارزیابی مخاطرات کوره کارخانه سیمان با استفاده از رویکرد های RPN و ماتریس بحرانی آنالیز

ایرج علی محمدی[۱] ، فیض الله میرزایی[۲*]

۱) گروه بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران

۲) گروه بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایلام

تاریخ دریافت: ۹۲/۴/۱۷ تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۰/۱۱

چکیده

مقدمه: آنالیر بحرانیت حالات شکست و اثرات آن(FMECA)، تکنیکی است که اثر بالقوه هر نقص روی موفقیت، ایمنی، عملکرد سیستم و نگهداشت پذیری را ارزشیابی و مستند سازی می کند. در این پژوهش ابتدا کوره سیمان توسط دو رویکرد RPN و ماتریس بحرانیت تکنیک FMECA آنالیز، و سپس نتایج به دست آمده از دو رویکرد مقایسه شدند.

مواد و روش ها: مطالعه حاضر یک مطالعه توصیفی مقطعی است که جهت شناسایی و ارزیابی مخاطرات کوره یک کارخانه سیمان با استفاده از روش های RPN و ماتریس بحرانیت FMECA انجام شد. آنالیز با دو رویکرد RPN و ماتریس بحرانیت انجام، و سپس نتایج این دو رویکرد مقایسه شد. در این آنالیز اثرات نقص روی سیستم و تولید، چگونگی ایجاد نقص و شدت نقص تعیین شد. اولویت بندی نقایص به منظور اقدامات اصلاحی و هم چنین راهکارهای کنترل نقایص ارائه گردید.

یافته های پژوهش: تعداد نقایص شناسایی شده ۱۰۰ مورد بود. بالاترین عدد اولویت ریسک مربوط به نقص پیچیدگی بدنه با RPN=۲۷۰ بود. در رویکرد کیفی، نقایص خلاصی بیش از حد و کمتر از حد چرخ دنده اصلی و تماس بین روتور و استاتور در موتور دارای بالاترین میزان بحرانیت(غیرقابل قبول) بودند.

بحث و نتیجه گیری: این مطالعه نشان می دهد که آنالیز FMECA ابزار مناسبی برای شناسایی و اولویت بندی نقایص از نظر میزان بحرانیت آن ها به خصوص برای ماشین آلات و سیستم های پیچیده می باشد. هم چنین مشخص شد که بین نتایج به دست آمده از رویکردهای RPN و کیفی FMECA تفاوت های معنی داری وجود دارد.

واژه های کلیدی: ایمنی، سیمان، FMECA، ماتریس بحرانیت، RPN

*نویسنده مسئول: گروه بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایلام

Email: feam.1391@gmail.com

[Downloaded from sjimu.medilam.ac.ir on 2026-11-23]

مقدمه

آنالیز ریسک یکی از بهترین رویکردهای شناخته شده برای جلوگیری از عملکردهای نادرست و حوادث می باشد،(۱). بنا بر این می توان از روش های ارزیابی ریسک به منظور تصمیم گیری در مورد اولویت ها و هم چنین تعیین اهداف جهت حذف و کاهش خطرات بالقوه و احتمال وقوع آن ها و در نهایت پیشگیری از حوادث استفاده کرد. در اغلب روش های آنالیز ایمنی سیستم، ارزیابی ریسک مهم ترین بخش آنالیز را تشکیل می دهد. زیرا درجه بندی اهمیت و جدی بودن خطر شناسایی شده ، نیاز به اولویت گذاری دارد.

در روش های ارزیابی ریسک کمی احتمال وقوع یک حادثه خاص و پیامدهای آن محاسبه یا برآورد می شود. پس می توان از معیار عددی به دست آمده برای قضاوت در مورد قابل قبول بودن ریسک یا خطر استفاده کرد. چون که انجام برآوردهای عددی مشکل بوده و به تلاش قابل ملاحظه نیاز است در بعضی جاها می توان از روش کیفی استفاده کرد. این امر به ویژه در مورد کارگاه های عادی مطرح است که هدف آنالیز ایمنی در آن جا ارزیابی حوادث معمولی است.(۲) FMECA یکی از روش های ارزیابی و آنالیز قابلیت اطمینان می باشد. این روش برای آنالیز تمام حالات شکست بالقوه در اجزاء طراحی شده و با تجزیه و تحلیل و محاسبه بحرانیت، حالات شکست و دلایل و اثرات آن ها بر روی سیستم را به خوبی شناسایی و ارزیابی می کند،(۳). علاوه بر آنالیز قابلیت اطمینان از FMECA می توان برای آنالیز نگهداشت پذیری، آنالیزهای ایمنی و امنیتی و آنالیزهای قابلیت امتحان نیز استفاده کرد.(۴)

امروزه FMECA به صورت انتظام مهندسی سیستم ها به خوبی استقرار پیدا کرده و به طور مرتب در طراحی سیستم های الکترو مکانیکی، مکانیکی و دیگر سیستم ها کاربرد دارد.(۵)

این رویکرد در ابتدا به صورت یک متدولوژی طراحی در سال ۱۹۶۰ NASA ارائه شد، ارتش ایالات متحده در سال ۱۹۷۰ از استفاده کرد و در سال ۱۹۷۴ استاندارد نظامی MIL-STD-1629: دستورالعمل هایی برای انجام یک آنالیز بحرانیت و اثرات حالات شکست را ارائه داد که در سال ۱۹۸۰ نسخه دوم آن ایجاد شد. این استاندارد دو رویکرد کمی و کیفی را برای این آنالیز پیشنهاد داد،(۱۵). در سال ۱۹۸۸ نیز شرکت خودروی فورد (Ford engine Company) روش RPN را برای انجام FMECA پیشنهاد داده است(۶).

FMECA در واقع یک FMEA بسط یافته بوده، که C در FMECA نمایانگر شدت اثرات مختلف می باشد،(۷). FMEA یک تکنیک تجزیه و تحلیل کیفی بوده که سیستم ها یا زیر سیستم ها را برای شناسایی نقص های احتمالی کلیه اجزای آن بررسی کرده و تلاش می کند که اثرات نقص های احتمالی را بر روی بقیه بخش های سیستم ارزیابی کند.(۸)

امروزه FMEA به عنوان مترادف FMECA استفاده می شود. تمیز و تشخیص بین این دو اغلب گیج کننده می شود،(۹). اخیراً علاوه بر صنایع خودرو از FMEA در مراکز خدمات بهداشتی درمانی برای ارائه خدمات پزشکی و بهبود وضعیت ایمنی بیماران نیز استفاده می شود.(۱۰)

امروزه سیمان یکی از عوامل مهم و تاثیرگذار در مسیر توسعه اقتصادی کشورها، ایجاد زیربناهای توسعه ای شامل ساخت و ساز و گسترش عملیات ساختمان سازی و فعالیت های عمرانی می باشد. میزان تولید و مصرف سیمان رابطه خیلی نزدیکی با فعالیت ساخت و ساز و عمرانی دارد. بنا بر این می توان از سیمان به عنوان یکی از کالاهای استراتژیک در ایجاد زیر ساخت های توسعه یک کشور نام برد.(۱۱)

کوره های سیمان استوانه های فلزی بزرگی هستند که طول و قطر آن ها متناسب با ظرفیت کارخانه می باشد و در حقیقت قلب یک کارخانه سیمان می باشند،(۱۱). با توجه به اهمیت بالای کوره ها هرگونه نقص یا شکست در آن می تواند باعث ایجاد حادثه، قطع و یا افت تولید شود. بنا بر این کوره ها برای مطالعه انتخاب شدند.

امروزه از FMECA برای آنالیز ایمنی سیستم در بسیاری از صنایع مانند صنایع نظامی، هسته ای، هوا فضا، خودرو، صنایع الکتریکی و مکانیکی استفاده می شود،(۶). از جمله می توان در نیروگاه برق(Cheng Yon et al;2004)، صنایع سیکل ترکیبی(Lars Nord et al;2009)، نیروگاه هسته ای(Benjamin c;1991)، هوا فضا(Jhon L buzzato et al;1999) را نام برد. ولی در صنعت سیمان و در سیستم کوره سیمان مطالعات بسیار اندکی صورت گرفته است. در این زمینه می توان به مطالعه علی محمدی و عدل(۲۰۰۸) اشاره کرد که بر روی سیستم کوره کارخانه گچ با روش FMEA انجام شده و هم چنین مطالعه علی محمدی و همکاران(۲۰۱۲) که با روش FMECA بر روی کوره یک کارخانه سیمان انجام شده بود اشاره کرد. آن ها توانستند با استفاده از رویکرد آنالیز FMECA برخی نقایص احتمالی سیستم کوره کارخانه

[Downloaded from sjimu.medilam.ac.ir on 2026-11-23]

سیمان را شناسایی و اولویت بندی کرده و اقدامات کنترلی مورد نیاز را پیشنهاد دادند. آن ها اعلام کردند که وجود یک نقص خود باعث ایجاد نقایص بعدی می شود و با استفاده از روش FMECA می توان نقایص را شناسایی و پیشگیری کرد.

در این مطالعه ابتدا به شناسایی و ارزیابی مهم ترین نقائص موجود در کوره های کارخانه سیمان با استفاده دو رویکرد FMECA پرداخته شده است. سپس مقایسه این دو رویکرد در تمام جنبه ها و به خصوص اولویت بندی حالات شکست آیتم ها برای اقدامات اصلاحی می باشد. هم چنین در این مطالعه شدت اثرات و پیامدهای نقایص و روش های کنترل آن ها و از طرفی دلایل گوناگونی و شدت نقایص ایجاد شده در کوره ها مورد بررسی قرار گرفته است. دلیل انتخاب این روش آنالیز ریسک به خاطر ماهیت روش که شناسایی نقایص در سیستم ها و اجزای آن ها بوده و سیستم موردنظر نیز از زیر سیستم ها و اجزای ماشینی مکانیکی و تقریباً اتوماتیک از قبیل غلطک ها، یاتاقان ها، رینگ ها و... تشکیل شده که فرایندهای شیمیایی، شغلی و خطای انسانی تاثیر زیادی روی آن ندارد.(۱۶)

مواد و روش ها

این مطالعه به صورت یک مطالعه توصیفی تحلیلی مقطعی به منظور شناسایی و ارزیابی مخاطرات در یک کوره کارخانه سیمان به ۲ روش کیفی و کمی آنالیز ریسک FMECA انجام شد. جامعه مورد مطالعه در این تحقیق کوره یکی از کارخانجات سیمان در کشور می باشد. در صنعت سیمان کوره ها معمولاً استوانه ای شکل بوده و طول و قطر آن ها به ظرفیت کارخانه بستگی دارد. کوره ها حرکت دورانی داشته و با شیب حدود ۳ تا ۴ درصد روی پایه هایی غلطک دار، قرار دارند. در انتهای کوره سیمان مشعلی با درجه حرارت بالای ۱۴۰۰ درجه سانتی گراد وجود دارد. محصولی که از انتهای کوره خارج می شود «کلینکر» نام دارد که پس از سرد کردن تشکیل توده های و گلوله های سیمانی را داده و سپس در مراحل بعدی تبدیل به پودر سیمان می شود.(۱۱)

عمل سرد کردن کلینکر توسط دستگاه خنک کن. در این جا از نوع خنک کن ماهواره ای(Satalite) انجام می پذیرد.

برای اجرای آنالیز با کمک اطلاعاتی که سیستم را توصیف می کند از قبیل طرح ها، نقشه ها و لیست کامل اجزا، سیستم مورد آنالیز و حدود آن مشخص شد. سیستم کوره در یک کارخانه سیمان از بعد از پیش گرمکن شروع و به مشعل ختم می شود. اطلاعات مورد نیاز مانند عملکرد و وظیفه هر یک از اجزا و حتی نواقصی که قبلاً در آن ها رخ داده از طریق مصاحبه با پرسنل تعمیر و نگهداری جمع آوری شد. برای انجام آنالیز کاربرگ های مناسب آنالیز FMECA هم به روش کیفی(ماتریس بحرانی) و هم رویکرد Priority Number،Risk (RPN) تهیه شد. در هر کاربرگ ابتدا یک عدد شناسایی به هر کدام از اجزا داده شد و سپس خود جزء، وظیفه آن، حالات شکست احتمالی و علل آن، احتمال وقوع، شدت، قابلیت ردیابی مربوط به هر حالت شکست و عدد اولویت ریسک برای هر حالت به منظور انجام اقدامات اصلاحی مشخص شده است.

۱-رویکرد کیفی(ماتریس بحرانی): برای محاسبه سطح شدت و احتمال وقوع از مقیاسی که توسط استاندارد نظامی(MIL-STD-1629 A) تهیه شده بود(جداول شماره ۱ و ۲) استفاده شد.(۱۲)

جدول شماره ۱. میزان شدت در رویکرد کیفی FMECA

	سطح شدت
(I)	فاجعه بار: شکستی که ممکن است باعث مرگ افراد یا خسارت کامل سیستم شود
(II)	بحرانی: شکستی که ممکن است باعث صدمه شدید به افراد، آسیب به عملکرد تجهیزات یا آسیب عمده سیستم که منجر به خسارت و زیان در عملیات می شود
(III)	مرزی: شکستی که ممکن است باعث صدمات کم به افراد، آسیب کم به تجهیزات یا آسیب ناچیز سیستم که ممکن است منجر به تاخیر یا خسارت سودمندی یا تمنزل عملیات شود
(IV)	جزیی: شکستی که آنقدر جدی نیست که باعث مصدومیت، آسیب اموال، تجهیزات و سیستم شود. اما منجر به نقص در تعمیر و نگهداشت زمانبندی شده می شود

[Downloaded from sjimu.medilam.ac.ir on 2026-11-23]

جدول شماره ۲ . جدول احتمال وقوع در رویکرد کیفی FMECA

	سطح احتمال وقوع
سطح A	(مکرر): بیشتر از ۲۰ درصد در طول زمان عملیات آیتم
سطح B	(نسبتاً محتمل): بیشتر از ۱۰ درصد و کمتر از ۲۰ درصد در طول زمان انجام عملیات آیتم
سطح C	(گاه گاه): بیشتر از ۰/۰۱ و کمتر از ۱۰ در صد در طول زمان انجام عملیات آیتم
سطح D	(زیر محتمل)، (احتمال خیلی کم): بیشتر از ۰/۰۰۱ و کمتر از ۰/۰۱ در طول زمان انجام عملیات آیتم
سطح E	(بعید): احتمال وقوع آن اساسا در طول انجام عملیات صفر می باشد و کمتر از ۰/۰۰۱ می باشد

سپس با قرار دادن ترکیب میزان شدت و سطح احتمال وقوع در ماتریس بحرانیت(شکل شماره ۱) میزان بحرانیت آیتم ها در ۴ سطح: ۱- فاجعه بار(بالا) ۲- نامطلوب(جدی) ۳- قابل قبول با بازنگری(متوسط) ۴- قابل قبول بدون بازنگری(کم) تعیین شد.(۱۲)

Frequency of Occurrence	Severity			
	(1) Catastrophic	(2) Critical	(3) Marginal	(4) Negligible
(A) Frequent	1A	2A	3A	4A
(B) Probable	1B	2B	3B	4B
(C) Occasional	1C	2C	3C	4C
(D) Remote	1D	2D	3D	4D
(E) Improbable	1E	2E	3E	4E

Risk Categories: High Serious Medium Low

شکل شماره ۱. شکل ماتریس بحرانیت مورد استفاده

رویکرد RPN: رویکرد عدد اولویت ریسک توسط کمپانی فورد در سال ۱۹۸۸ ارائه شده و به طور وسیعی در آنالیز سیستتم ها مورد استفاده می باشد،(۱۱). در این روش ۳ فاکتور، ۱-شدت(Severity)، ۲-احتمال وقوع(Probability of occurance)، ۳-قابلیت ردیابی(Detectibility) در هم ضرب می شوند و میزان RPN هر حالت شکست محاسبه می شود. از آن جایی که هر کدام از فاکتورهای رتبه بندی دارای رتبه ۱ تا ۱۰ بوده میزان RPN محاسبه شده از ۱ تا ۱۰۰۰ می باشد.(۱۳،۱۴،۱۵)

شدت اندازه گیری جدیت، اثر حالت شکست بالقوه روی مجموعه بالاتر، سیستم یا مصرف کننده می باشد. شدت در این مطالعه با توجه به مقالات و مراجع مربوطه و نیز مشاوره و هماهنگی با مسئولان ایمنی تعیین گردید.(۶،۱۳)

احتمال وقوع، یک مکانیسم یا علت خاص حالت شکست ایجاد کرده باشد. تخمین احتمال وقوع ممکن است بر پایه تاریخ خدمات و تجربه های زمینه ای تجهیزات مشابه با تغییرات مشابه برای اختلافات طراحی یا محیط عملیاتی باشد. با استفاده از قابلیت اطمینان قطعات و مشاوره با مسئولان ایمنی تعیین گردید.(۶،۱۳)

ردیابی: رتبه ردیابی به طور واضح یک قضاوت ذهنی از طرف طراح بوده، به صورتی که چگونه حالت شکست احتمال دارد در آزمون های متعاقب کشف شود. ردیابی یعنی ارزیابی این که برنامه های بازبینی طراحی قادر به شناسایی و کشف حالت شکست قبل از تاثیر مخرب روی سیستم و محصول باشند.(۶،۱۳)

برای محاسبه هر کدام از این مقیاس ها از یک سری جداول مشخص(جداول شماره ۳ و ۴ و ۵) استفاده می شود.(۱۵)

بعد از محاسبه عدد اولویت ریسک برای هر آیتم سطح بحرانیت مربوط به حالات نقص هر آیتم تعیین شد. سطح بحران معیاری است که بیانگر میزان اهمیت یک

[Downloaded from sjimu.medilam.ac.ir on 2026-11-23]

خطر بالقوه/بالفعل در سیستم مورد بررسی بوده، هم چنین برای سنجش درجه بحران در سیستم به کار می رود. حالات نقص به سطوح مختلف بحران طبقه بندی شدند.

سطح ۱: سطح عادی که در آن هر سه فاکتور عدد RPN (خصوصاً شدت و احتمال وقوع) دارای عددی کمتر از ۵ می باشند و یا این که عدد RPN پایین است و نیاز به اقدامات پیشگیرانه احساس نمی شود.(معمولاً RPN<۷۰)

سطح ۲: سطح نیمه بحرانی که در آن حداقل یک فاکتور از سه فاکتور عدد RPN (خصوصاً شدت و احتمال وقوع) دارای مقادیری بالاتر از ۵ است ولی عدد RPN به نسبت پایین است. در این صورت ارائه اقدامات اصلاحی/ پیشگیرانه ضروری است.(معمولاً ۷۰<RPN<۱۴۰)

سطح ۳: سطح بحرانی که در آن حداقل دو فاکتور از سه فاکتور عدد RPN دارای مقادیر بالایی است و یا عدد RPN نیز بالا می باشد. از آن جا که این سطح برای اعداد RPN بالا در نظر گرفته شده واضح است که نیاز به اقدام اصلاحی/پیشگیرانه فوری می باشد.(معمولاً ۱۴۰<RPN).(۱۲)

پس از تعیین سطح بحرانیت اقدامات اصلاحی کنترلی پیشنهاد شد و میزان RPN اصلاح شده پس از اجرای اقدامات به طور ذهنی محاسبه شد.

برای جلوگیری از دوباره کاری ها یک کاربرگ مناسب که هم شامل رویکرد RPN و هم رویکرد کیفی آنالیز FMECA باشد تهیه شد. سپس آنالیز حالات شکست شامل تعیین و شناسایی حالات شکست و اثرات آن ها و هم چنین اولویت آن ها از نظر میزان بحرانیت برای اقدامات اصلاحی و راهکارهای کنترلی ثبت شد. پس از آن به مقایسه این دو رویکرد آنالیز FMECA در کوره سیمان پرداخته شد.

جدول شماره ۳. جدول احتمال وقوع رویکرد RPN

احتمال وقوع	میزان های شکست ممکن	درجه
بی نهایت بالا	بیشتر از ۱ در ۲	۱۰
خیلی بالا	۱ در ۳	۹
نقص های تکرار شده	۱ در ۸	۸
بالا	۱ در ۲۰	۷
به طور متوسط بالا	۱ در ۸۰	۶
متوسط	۱ در ۴۰۰	۵
نسبتاً پایین	۱ در ۲۰۰۰	۴
پایین	۱ در ۱۵۰۰۰	۳
بعید	۱ در ۱۵۰,۰۰۰	۲
نزدیک به غیر ممکن	کمتر از ۱ در ۱۵۰۰,۰۰۰	۱

جدول شماره ٤. جدول میزان شدت رویکرد RPN

اثر	معیار : اثر شدت	درجه
خیلی خطرناک	نقص خیلی خطرناک بوده و بدون اخطار(هشدار) اتفاق می افتد. عملیات سیستم را به حالت تعلیق درآورده و توسط مقررات حکومتی قابل قبول نمی باشد.	۱۰
خطر جدی	نقص پیامدهای خیلی خطرناکی داشته و توسط استانداردها و مقررات حکومتی قابل قبول نیست.	۹
پر خطر	محصول یا سیستم عمل ناپذیر بوده با افت در عملکرد اولیه و اصلی. سیستم عمل ناپذیر می شود.	۸
خطر عمده	عملکرد محصول به شدت آسیب دیده باستثنای وظیفه ها. سیستم ممکن است عمل نکند.	۷
خطر معنی دار	عملکرد محصول کاهش یافته. وظیفه ها و عملکردهای معمولی و قانع کننده ممکن است عمل نکند.	۶
خطر متوسط	اثر متوسط روی عملکرد محصول دارد. محصول نیاز به تعمیر دارد.	
خطر پایین	اثر کوچک روی عملکرد محصول دارد. محصول نیاز به تعمیر ندارد.	۴
خطر جزیی	اثر جزیی روی عملکرد محصول یا سیستم	۳
خطر خیلی جزیی	اثر خیلی جزیی روی عملکرد محصول یا سیستم	۲
بدون خطر	اثری ندارد	۱

[Downloaded from sjimu.medilam.ac.ir on 2026-11-23]

جدول شماره ۵. جدول قابلیت ردیابی(کشف) رویکرد RPN

ردیابی(کشف)	احتمال کشف توسط کنترل طراحی	درجه
کاملاً نامشخص	کنترل طراحی علت بالقوه شکست یا حالت شکست متعاقب را کشف نمی کند؛ کنترل طراحی وجود ندارد.	۱۰
خیلی بعید	یک شانس خیلی بعید برای این که کنترل طراحی علت بالقوه شکست یا حالت شکست متعاقب را کشف کند.	۹
بعید	یک شانس بعید برای این که کنترل طراحی علت بالقوه شکست یا حالت شکست متعاقب را کشف کند.	۸
خیلی پایین	یک شانس خیلی کم برای این که کنترل طراحی علت بالقوه شکست یا حالت شکست متعاقب را کشف کند.	۷
پایین	یک شانس کم برای این که کنترل طراحی علت بالقوه شکست یا حالت شکست متعاقب را کشف کند.	۶
متوسط	یک شانس متوسط برای این که کنترل طراحی علت بالقوه شکست یا حالت شکست متعاقب را کشف کند.	۵
به طور متوسط بالا	یک شانس به طور متوسط بالا برای این که کنترل طراحی علت بالقوه شکست یا حالت شکست متعاقب را کشف کند.	۴
بالا	یک شانس بالا برای این که کنترل طراحی علت بالقوه شکست یا حالت شکست متعاقب را کشف کند.	۳
خیلی بالا	یک شانس خیلی بالا برای این که کنترل طراحی علت بالقوه شکست یا حالت شکست متعاقب را کشف کند.	۲
تقریباً مشخص	کنترل طراحی علت بالقوه شکست یا حالت شکست متعاقب را به طور تقریباً مشخص کشف می کند.	۱

یافته های پژوهش

در این مطالعه تعداد نقایص و شکست های شناسایی شده در کوره و اجزای آن ۱۰۰ نقص بودند. با مراجعه به جدول RPN مشاهده می شود که بیشترین نقایص در بدنه سیستم رخ داده است. تمام این نقایص پس از بررسی اثرات و شدت پیامد آن ها روی جزء و کل سیستم توسط رویکردهای RPN و ماتریس بحرانیت برای اولویت بندی اقدامات اصلاحی فراهم شده اند. جدول شماره ۶ حالات شکست شناسایی شده، همراه با جزئی که شکست در آن اتفاق می افتد و میزان عدد اولویت ریسک و هم چنین سطوح بحرانیت تمام این نقایص را برای رویکرد RPN ارائه داده است. در این جدول شاهده می شود که نقایص عمل نکردن یا عدم ایجاد هوای خنک توسط فن ها و عمل نکردن ترمز اصلی دارای کمترین میزان عدد اولویت ریسک(RPN=۱۵) و هم چنین سطح بحرانی عادی(سطح ۱) می باشند. هم چنین مشاهده می شود که نقص پیچیدگی بدنه کوره دارای بالاترین میزان عدد اولویت ریسک(RPN=270) و سطح بحرانی ۳ می باشد. که به علل تغییر شکل های بدنه ناشی از درجه حرارت نامطلوب بدنه، کوتینگ نامناسب، داغی موضعی، سرد کردن نامطلوب کوره متوقف شده، نبودن سیستم حرکتی کمکی و گرم کردن نامطلوب کوره اتفاق می افتد. بعد از آن نقایص مربوط به خنک کن ساتالایت، یعنی نقایص جدا شدن زره ها و زیگمنت های داخلی و افتادن زره ها در طوقه های ساتالایت با میزان عدد اولویت ریسک ۲۴۰ قرار دارند. هم چنین از میان حالات شکست شناسایی شده ۱۷ حالت شکست در سطح ۳ یعنی سطح بحرانی بوده که باید برای انجام اقدامات اصلاحی در اولویت قرار گیرند. حدود ۴۱ حالت شکست در سطح نیمه بحرانی(سطح ۲) و ۴۲ حالت شکست نیز در سطح عادی(سطح ۱) شناسایی گردید.

جدول شماره ۷ نیز میزان بحرانیت حالات شکست را در چهار طبقه فاجعه بار، بحرانی، مرزی و جزیی طبق رویکرد کیفی استاندارد نظامی ۱۶۲۹ نشان می دهد. در این رویکرد ۲ حالت شکست در طبقه بحرانیت فاجعه بار، ۲۸ مورد در طبقه جدی یا نامطلوب، ۶۰ مورد در طبقه قابل قبول با بازنگری یا متوسط و ۱۰ حالت شکست نیز در طبقه قابل قبول بدون بازنگری شناسایی شد. در روش کیفی آنالیز ریسک نیز نقص «خلاصی بیش از حد و کمتر از حد چرخ دنده اصلی» که به دلایل عدم تنظیم مناسب(نزدیکی بیش از حد و یا دوری بیش از حد)، جنس نامطلوب، پمپاژ نشدن گریس، درگیری بیش از حد، فرسودگی، عدم تنظیم مناسب و خلاص بیش از حد و درگیر شدن لبه های دنده ها اتفاق می افتد و هم چنین نقص «تماس بین روتور و استاتور» در الکتروموتور اصلی دارای بیشترین میزان بحرانیت یعنی سطح فاجعه بار یافت شد. هم چنین پس از مقایسه نتایج به دست آمده از رویکردهای RPN و ماتریس بحرانی تفاوت زیادی در آن ها از نظر اولویت و میزان بحرانیت نقایص یافت.

[Downloaded from sjimu.medilam.ac.ir on 2026-11-23]

جدول شماره ٦. اولویت بندی برخی نقایص بر اساس عدد اولویت ریسک(RPN) و سطح بحرانیت

نوع نقص(شکست)	جزء	RPN	سطح بحران	نوع نقص(شکست)	جزو	RPN	سطح بحران
۱- پیچیدگی بدنه	بدنه کوره	۲۷۰	سطح ۳	۰۰۰-۴۲	۰۰۰	۰۰۰	
۲-جدا شدن زره ها و زیگمنت های داخلی	ساتالایت	۲۴۰	سطح ۳	۴۳- ترک در محل اتصال چرخ دنده اصلی	بدنه	۸۴	سطح ۲
۳-افتادن زیگمنت های طوقه	ساتالایت	۲۴۰	سطح ۳	۴۴- شکستگی دنده	چرخ دنده اصلی	۸۴	سطح ۲
۴-سوختن نازل ها	مشعل	۱۸۰	سطح ۳	۰۰۰-۴۵	۰۰۰	۰۰۰	
۵-کوتاه شدن ذغال	الکتروموتور اصلی	۱۸۰	سطح ۳	۴۷- سرخ کردن بدنه زانویی	ساتالایت	۸۰	سطح ۲
۶-اتصال ناقص ذغال	الکتروموتور اصلی	۱۸۰	سطح ۳	۰۰۰-۴۸	۰۰۰	۰۰۰	
۷-خلاصی بیش از حد و کمتر از حد چرخ دنده اصلی	چرخ دنده اصلی	۱۸۰	سطح ۳	۵۰- گشاد کردن جای بخار	کوپلینگ	۷۵	سطح ۲
۸-ایجاد ترک در دریچه ها	بدنه	۱۷۵	سطح ۳	۰۰۰-۵۱	۰۰۰	۰۰۰	
۹-ریختن آجر	بدنه	۱۷۵	سطح ۳	۵۸-ساییدگی و پارگی دندانه ها	پینیون	۷۲	سطح ۲
۱۰-تماس بین روتور و استاتور	الکتروموتور اصلی	۱۷۵	سطح ۳	۰۰۰-۵۹	۰۰۰	۰۰۰	
۱۱-ترک و شکستن کمربندی ساتالایت	ساتالایت	۱۶۸	سطح ۳	۹۵- شکستن قطعات موتور کمکی	موتور کمکی	۲۰	سطح ۱
۰۰۰-۱۲	۰۰۰	۰۰۰		۹۶- شکستن شافت	تراست رولر	۱۸	سطح ۱
۳۰-پارگی یا کنده شدن سطوح اتصال داخلی	اتصالات رینگ آزاد	۱۰۸	سطح ۲	۹۷- قطع شدن سوخت	مشعل	۱۶	سطح ۱
۳۱-شکستن دنده گیربکس اصلی	گیربکس اصلی	۱۰۰	سطح ۲	۹۸- تشکیل حفره و کنده شدن رینگ	رینگ	۱۶	سطح ۱
۰۰۰-۳۲				۹۹- عمل نکردن ترمز اصلی	ترمز اصلی	۱۵	سطح ۱
۴۱- ترک در اتصالات رینگ آزاد	اتصالات رینگ آزاد	۹۰	سطح ۲	۱۰۰- عدم ایجاد هوای خنک توسط فن	فن ها	۱۵	سطح ۱

جدول شماره ۷. رتبه بندی برخی نقایص بر اساس میزان بحرانیت آن ها در رویکرد FMECA کیفی

سطح بحرانیت	نوع نقایص(شکست ها)
غیر قابل قبول	خلاصی بیش از حد و کمتر از حد چرخ دنده اصلی- تماس بین روتور و استاتور
نامطلوب	پیچیدگی بدنه-قری های بدنه-سرخ کردن بدنه-ریختن آجر- شکستن شافت-جدا شدن زره ها و افتادن زیگمنت ها در طوقه ها- ترک برداشتن کمربندی ساتالایت- کوتاه شدن ذغال-عمل نکردن back stop- توقف یا عدم حرکت دورانی تراست رولر- عدم حرکت طولی کالسکه تراست رولر- عدم انتقال صحیح یا انتقال یک جهته سیال در شیر های کنترل جهت و ....
قابل قبول با بازنگری	جمع شدگی بدنه در محل رینگ- گشاد شدن دهانه خروجی کوره- باز بودن دهانه کوره از فلنج ها-سوختن موتور کمکی و اتصال کوتاه- اتصال به بدنه در استاتور-عمل نکردن ترمز موتور اصلی-بالا و پایین رفتن بیش از حد تراست-جریان بالای الکتروموتور هیدرولیک- ناهمراستایی کوپلینگ پمپ و المتروموتور هیدرولیک-عدم انتقال روغن در پمپ هیدرولیک-گرفتگی مسیر سوخت در مشعل و .....
قابل قبول بدون بازنگری	ترک در قسمت مخروطی خروجی کوره-خوردگی داخلی بدنه-ترک در قسمت خروجی مواد- ایجاد ترک در دریچه ها- سایش غیر عادی و ایجاد لبه در سطح رینگ-گشاد کردن جای بخار در کوپلینگ- سایش ضربه گیر های کوپلینگ-چروکیدگی بدنه و ....

بحث و نتیجه گیری

مهم ترین نقص یافت شده در رویکرد RPN، به عبارت دیگر نقصی که بالاترین عدد اولویت ریسک را به خود اختصاص داده، نقص پیچیدگی بدنه RPN=۲۷۰ در سطح بحرانیت ۳ می باشد. ولی در رویکرد کیفی نقایص خلاصی بیش از حد و کمتر از حد چرخ دنده اصلی و تماس بین روتور و استاتور در الکتروموتور اصلی دارای بیشترین میزان بحرانیت(سطح غیر قابل قبول) بودند. که با مطالعه ای که علی محمدی و عدل در آنالیز ریسک کوره با روش FMEA انجام دادند هم خوانی زیادی ندارد. در آن مطالعه نقص شکاف و تغییر شکل کفشک های سر و ته کوره مهم ترین نقص تشخیص داده شد. علت عدم هم خوانی می تواند به خاطر نوع سیستم کوره ها باشد،(۱۶). مطالعات بیشتری در این زمینه انجام نشده است.

[Downloaded from sjimu.medilam.ac.ir on 2026-11-23]

تفاوت مهمی که در رویکردهای ماتریس بحرانیت و RPN به راحتی مشاهده می شود وجود یک مقیاس اضافی در رویکرد RPN، یعنی مقیاس قابلیت ردیابی می باشد. مقیاس ردیابی از ۱ تا ۱۰ می باشد، به صورتی که عدد ۱ بالاترین ردیابی(کاملاً مشخص) و عدد ۱۰ پایین ترین میزان ردیابی(عدم ردیابی) را داراست. ردیابی به عنوان متغیر سوم RPN باید در رتبه های شدت و احتمال وقوع ضرب شده، بنا بر این هر چه عدد ردیابی پایین تر باشد(ردیابی بالاتر)، حاصل ضرب آن ها مقدار RPN کمتر، یعنی ریسک کمتری را نشان می دهد. یعنی اگر حالت شکستی با احتمال وقوع و شدت معین به راحتی و به موقع توسط کنترل های طراحی و آزمون های اختصاصی کشف شود، نسبت به زمانی که نتوان به رخ دادن آن حالت شکست با احتمال و شدت مشابه پی برد دارای میزان اهمیت کمتر و ریسک پایین تری است. این موضوع برای زمانی که ردیابی نمره بالاتری دارد به صورت عکس صادق است.

به نظر می رسد فقدان این مقیاس در رویکرد ماتریس ریسک می تواند تفسیر نتایج را مسئله دار کند. بنا بر این استفاده از این مقیاس در رویکرد RPN و عدم کاربرد آن در رویکرد کیفی ممکن است نتایج و میزان بحرانیت های متفاوتی را برای یک حالت شکست آنالیز شده توسط هر دو رویکرد ارائه دهد.(۶)

تاثیر متغیر ردیابی در میزان RPN و تفاوت آن با روش کیفی بررسی می شود. نقص سفیدکردن بدنه کوره در رویکرد کیفی در سطح بحرانیت جدی یا نامطلوب با شدت II و احتمال وقوع C قرار دارد ولی در رویکرد RPN با شدت ۱۰، احتمال وقوع ۳ و ردیابی ۲ و میزان RPN برابر ۶۰ در رتبه های پایین تر اولویت، تقریباً شصت و دوم و در سطح بحران عادی،(۱)، برای اقدامات اصلاحی قرار می گیرد. کم بودن میزان RPN این نقص به خاطر قابلیت ردیابی بالای آن،(۲)، با استفاده از دوربین های ترموگراف و کنترل مداوم درجه حرارت در مانیتور ها می باشد. در این جا مشاهده می شود که این نقص در آنالیز توسط رویکردهای کیفی و RPN نتایج متفاوتی را ارائه می دهد.

در مورد دیگری نقص خوردگی بدنه که داری احتمال وقوع و شدت تقریباً پایینی در هر دو رویکرد می باشد بررسی می شود. این نقص در رویکرد کیفی به صورت شدت IV و احتمال وقوع E و بنا بر این با سطح بحرانیت پایین یعنی قابل قبول بدون بازنگری آنالیز شده است. ولی در رویکرد RPN با شدت ۵، احتمال وقوع ۲ داری ردیابی بسیار پایین،(۹)، بوده که RPN را به طور قابل ملاحظه ای(۹۰) بالا می برد. این میزان RPN دقیقاً برابر با RPN نقص تماس بین روتور و استاتور(۹۰) می باشد که میزان بحرانیت آن در رویکرد کیفی به صورت غیرقابل قبول آنالیز شده بود.

بنا بر این مقیاس قابلیت ردیابی در میزان RPN تغییرات زیادی را در میزان اهمیت و اولویت نقایص احتمالی ایجاد کرده و می تواند به عنوان یک فاکتور مهم در محاسبه بحرانیت آیتم ها استفاده شود. در مورد نقایص با میزان RPN بالا(خصوصاً رتبه ردیابی بالا)، می توان ایجاد ابزارهای ردیابی و کشف نقص و یا در صورت وجود پیشرفت آن ها را به عنوان یکی از اقدامات اصلاحی مهم بعدی در نظر گرفت.

موضوع بعدی این است که رویکرد ماتریس ریسک FMECA طبقه های کمتری را برای آنالیز در اختیار آنالیزگر قرار می دهد. در این رویکرد فرد آنالیزگر برای تعیین میزان شدت ۴ انتخاب(فاجعه بار تا جزیی) و برای میزان احتمال وقوع فقط ۵ انتخاب(EتاA) می تواند داشته باشد. ولی در رویکرد RPN برای تعیین میزان شدت و احتمال وقوع و حتی ردیابی، هر کدام ۱۰ انتخاب وجود دارد. بنا بر این تعیین میزان ها در رویکرد کیفی به خاطر کم بودن تعداد انتخاب ها تقریباً آسان تر بوده، ولی به دلیل فاصله زیاد بین گروه های انتخابی مثلاً برای شدت(فاجعه بار، بحرانی...) که میزان اهمیت طبقات آن به صورت کلی تری می باشد مشکل بوده و به دقت زیاد و تجربه آنالیزگر بستگی دارد. انتخاب رتبه ها و سطوح در رویکرد RPN نسبت به رویکرد کیفی به این دلیل که به اندازه کافی دارای جزییات بوده و به طبقه های ریزتر و با فاصله کمتری تقسیم شده آسان تر می باشد.(۱۷،۱۸)

موضوع دیگر این که در رویکرد کیفی FMECA میزان بحرانیت آیتم ها توسط ۴ سطح غیر قابل قبول، نامطلوب، قابل قبول با بازنگری و قابل قبول بدون بازنگری تعیین می شود. با وارد کردن کلاس شدت و سطح احتمال وقوع برای حالات شکست سیستم نمایش نتایج ماتریس، توزیع بحرانیت حالات شکست آیتم ها را نشان داده و یک ابزار اختصاصی برای اولویت اعمال اصلاحی می باشد،(۱۰). برای نمونه در بررسی میزان بحرانیت حالات شکست در رویکرد کیفی مشاهده می شود که فقط دو نقص خلاصی بیش از حد و کمتر از حد چرخ دنده اصلی و تماس بین روتور و استاتور دارای بالاترین میزان بحرانیت(غیر قابل قبول) می باشند. در حالی که سطح بحرانیت دوم ۳۰، سوم ۶۰ و چهارم ۸ نقص را در خود جای داده اند. قرار گرفتن

[Downloaded from sjimu.medilam.ac.ir on 2026-11-23]

تعداد زیادی از نقایص در چند سطح محدود ممکن است تفسیر مناسب و معنی داری نتایج آنالیز را مشکل کند. یعنی این تعداد نقص با ویژگی، علت ها و اثرات متفاوتی که ممکن است روی سیستم ایجاد کنند به علت محدود بودن انتخاب و سطوح معین در یک طبقه قرار می گیرند. این بدان معنی است که به طیف وسیعی از نقایص مختلف باید در یک سطح توجه کرد و برای انجام اقدامات اصلاحی باید همه در یک سطح و به صورت هم زمان در نظر گرفته شوند. ولی در روش RPN اهمیت هر کدام از حالات شکست را به راحتی می توان اولویت بندی و تفکیک کرد. از دیدگاه مدیریتی تکنیک RPN ساده و با کاربرد مستقیم رو به جلو بوده، درک و فهم آن نیز آسان می باشد و اگر به صورت مناسب مستند شده و با آموزش مناسب همراه باشد می تواند نتایج مناسب و معنی داری را ارائه دهد،(۱۲). مثلاً برای نقایص سطح بحرانیت نامطلوب در روش کیفی مانند: پیچیدگی بدنه، جدا شدن زره ها و زیگمنت های داخلی ساتالایت، اتصال ناقص در ذغال، ترک برداشتن کمربندی ساتالایت، ترک برداشتن چرخ دنده اصلی، قری های بدنه، ریختن بتن در مشعل، در روش RPN به ترتیب به صورت ۲۷۰-۲۴۰-۱۶۰-۱۴۰-۱۱۸-۸۰ و۲۰ تفکیک می شوند. بنا بر این روش RPN توزیع مناسب تری از حالات شکست مختلف بر اساس اولویت آن ها برای اقدامات اصلاحی فراهم می کند. هر کدام از این دو روش دارای سودمندی های خاص خود می باشند. روش کیفی بهتر است بیشتر در کارگاه ها و صنایع کوچک و جایی که سیستم ساده بوده و آنالیزهای ساده تری مورد نیاز باشد استفاده شود ولی در سیستم های پیچیده و دارای زیر سیستم ها و اجزای زیاد، به هر صورت روش RPN نتایج دقیق تر و با جزئیات بیشتری را ارائه داده و استفاده از آن توصیه می شود. اصولاً استفاده از رویکردهای کمی مانند RPN که تقریباً یک روش نیمه کمی بوده برای آنالیز ریسک سیستم بر روش های کیفی ارجحیت دارد.(۲)

این مطالعه نشان می دهد که آنالیز FMECA ابزار مناسبی برای شناسایی و اولویت بندی نقایص از نظر میزان بحرانیت آن ها به خصوص برای ماشین آلات و سیستم های پیچیده می باشد. مهم ترین راهکار کنترلی را برای اکثر حالات شکست نیز ارائه و اجرای منظم برنامه تعمیرات پیشگیرانه پیشنهاد شده است. هم چنین اشاره می کند که می توان هر دو روش RPN و ماتریس بحرانی FMECA را برای شناسایی خطرات و آنالیز سیستم های ماشینی به کار برد و نتایج مهم و مناسبی کسب کرد. البته بین نتایج به دست آمده از رویکردهای RPN و کیفی FMECA تفاوت های مهم و زیادی وجود دارد. علاوه بر آن پیشنهاد می کند که از رویکرد کیفی برای کارگاه های کوچک و جایی که سیستم ها ساده و تعداد نقایص احتمالی پایین است استفاده شود، و استفاده از رویکرد RPN را برای انجام آنالیز سیستم های پیچیده توصیه می کند.

References

1-Mili A, Siadat A. Dynamic management of detected factory events and_estimated risks using FMECA. Method Phys Proc 2008;5:1204-9.

2-Arghami SH, Poya M. [Osol-e Imeni dar Sanat va Khadamat.] Second ed. Zanjan Uni Med Sci 2006;21:631-6. (Persian)

3-Jun L, Huibin X. Reliability analysis of aircraft equipment based on FMECA. Method Phys Proc 2012; 13:25-31.

4-Cunbaoa M, Zia G, Lina G. Safety analysis of airborne weather radar based on failure mode, effects and criticality. Analysis 2011; 8:407-14.

5-Blischke W, prabhakar md. Reliability:Modeling, Prediction, and Optimization. Wiley, New York; 2000.

6-Bowles J. The new SAE FMECA standard. Wiley, New York; 1998.P. 4.

7-Rausand, M, Høyland A. System reliability theory: models, statistical_methods, and applications.Wiley-Interscience;2004.

8-Mohamad FI, Mohandesi I.[Techniqhay-e Shenasaei, Arzyabi va Control-e Khatarat dar Mohithay-e Sanati.] Hamedan Uni Med Sci J 2003;54:99-109.

9-Henley EJ, Kumamoto H. Reliability engineering and risk assessment. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ; 1981.P. 1,2.

10- Duwe B, Fuchs BD, Hensen-Flaschen J. Failure mode and effects analysis application to critical care medicine. Critic Care Clin 2005;21: 21-3.

11-Alimohamadi I, Mirzaei F, Farshad A. Assessment of hazard kiln cement factory with Failure Mode Effects and Criticality Analysis (FMECA). Salamat J 2012; 14:681-7. (Persian)

[Downloaded from sjimu.medilam.ac.ir on 2026-11-23]

12-Standard M. Procedures for performing a failure mode, effects and criticality analysis, MIL-STD-1629A. Department of Defense, Washington, DC;1980.P.102-5.
13-Bowles J. An assessment of RPN prioritization in a failure modes effects and criticality analysis. Critic Care Clin 2003; 21:382-6.
14-Pelaez E, Bowles J. Using fuzzy logic for system criticality analysis. Critic Care Clin 1994;17: 449-53.
15-Chang J. Reprioritization of failure in a silane supply system using an intuitionistic fuzzy set ranking technique. Department of Defense, Washington, DC; 2009.
16-Alimohamadi I. [The comparison of safety level in kilns in two gypsumproduction factories by Failure Modes and Effects Analysis(FMEA)]. Iran Occup Health J 2008; 5:77-83.(Persian)
17-Bertolini M. Bevilacqua M. FMECA approach to product traceability in the food industry. J Health 2006;17: 137-45.
18-Chang J. Technical manual failure modes effects and criticality analysis(FMECA), for Command, control, comm.unications, computer, intelligance,surveillance, and recognnaissance (C4ISR) facilitites. Headquarters Departement of the Army;2006.

Risk Identification and Assessment of a Cement Factory Killen Using RPN and Critically Matrix Approaches

*Alimohammadi I[1], Mirzaei F[2]**

(Recived: July 8, 2013 Accepted: January 1, 2014)

Abstract

Introduction: Failure modes, effects and criticality analysis (FMECA), is a technique that evaluates and documents the analysis of failure modes, potential effects of any failure on the success of system, personnel and system safety, system performance and maintainability. In this study, at first, killen of a cement factory was analyzed by two approaches, RPN and critically matrix of FMECA technique and then the results of these two approaches were compared.

Materials & Methods: This cross-sectional study was conducted to assess and identify the risk of a cement killen using RPN and critically matrix approaches of FMECA. Then, the results obtained from qualitative and RPN approaches were also compared with each other. In this study, the effects of defects on the production and system, severity of fails and their criticality level and control of fails were considered

Findings: The number of identified defects using FMECA was 100 cases. The body warping defect had the highest risk priority score (RPN=270) among the defects analyzed with the RPN approach. In qualitative approach, the defects of maximum and minimum release of the main gears, contact between the rotor and stator in the engine had the highest criticality rates.

Discussion & Conclusion: This study showed that FMECA analysis is a proper tool to identify and prioritize the failures of criticality, especially for the machinery and complex systems. Moreover, this study showed the significant differences between the results obtained from RPN and qualitative approaches of FMECA.

Keywords: Safety,cement, FMECA, qualitative, RPN

1. Dept of Occupational Health, School of Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran
2. Dept of Occupational Health, School of Health, Ilam University of Medical Sciences, Ilam, Iran
** (corresponding author)*

[Downloaded from sjimu.medilam.ac.ir on 2026-11-23]