



## ارزیابی مخاطرات کوره یک کارخانه سیمان با روش آنالیز بحرانیت حالات شکست و اثرات آن (FMECA)

ایرج علیمحمدی<sup>۱</sup>، فیض الله میرزایی<sup>۲</sup>، علی اصغر فرشاد<sup>۳</sup>

تاریخ پذیرش: ۹۰/۰۷/۳۰

تاریخ ویرایش: ۹۰/۰۶/۲۸

تاریخ دریافت: ۹۰/۰۱/۱۶

### چکیده

**زمینه و هدف:** تکنیک آنالیز بحرانیت حالات شکست و اثرات آن FMECA، روشی برای شناسایی و آنالیز تمام حالات شکست بالقوه سیستم، اثراتی که این شکست‌ها روی سیستم دارند، چگونگی جلوگیری از این شکست‌ها و یا کاهش اثرات آن‌ها روی سیستم می‌باشد. هدف اصلی این مطالعه شناسایی و تجزیه و تحلیل حالات شکست احتمالی اجزاء و ارزیابی اثرات حالات شکست در سیستم کوره کارخانه سیمان به کمک روش FMECA می‌باشد.

**روش بررسی:** در این مطالعه ابتدا مرزهای سیستم مشخص شد و سپس سیستم به اجزای آن (سیستم، زیر سیستم و جزء) در یک سطح مشخص و با توجه به اهداف آنالیز تقسیم شد. سپس نتایج آنالیز در کاربرگ‌های مناسب FMECA ثبت شد. در این آنالیز اثرات نقص روی سیستم و تولید، چگونگی ایجاد نقص و شدت نقص تعیین شد، همچنین اولویت بندی نقایص به منظور اقدامات اصلاحی و همچنین راهکارهای کنترل نقایص ارائه گردید.

**یافته‌ها:** تعداد نقایص شناسایی شده و بررسی شده با استفاده از روش FMECA، ۱۰۰ مورد بود. بالاترین عدد اولویت ریسک مربوط به نقص پیچیدگی بدنه با  $RPN=270$  بود. پایین‌ترین میزان عدد اولویت ریسک نیز مربوط به دو حالت شکست عدم ایجاد هوا در فن‌ها و عمل نکردن ترمز اصلی با  $RPN=15$  می‌باشد. همچنین بیشترین تعداد نقایص در بدنه کوره یافت شد.

**نتیجه گیری:** این مطالعه نشان داد که ایجاد یک نقص خود می‌تواند باعث بروز نقایص جدی در اجزا و قسمت‌های دیگر شود. این مطالعه روی اجرای یک سیستم مستند سازی برای ثبت نواقص و رویدادها برای پیشرفت سطح ایمنی ماشین آلات و از طرف دیگر انجام نگهداشت پیشگیرانه برنامه ریزی شده برای کاهش احتمال وقوع نواقص و پیامدهای ناشی از آن تاکید می‌کند.

کلیدواژه‌ها: ایمنی، FMECA، RPN

### مقدمه

شناسایی خطرات روش‌های مخت لفی وجود دارد که با توجه به مرحله توسعه فرآیند در طول حیات سیستم، پیچیدگی سیستم، نوع فرایند موقعیت محل، فرهنگ سازمانی، تجربه پرسنل کارخانه و تخصص اعضای تیم شناسایی خطرات قابل کاربرد است [۲]. مطابق تعریف می‌توان ایجاد نقص (failure) در یک سیستم را نیز یک حادثه محسوب کرد [۳]. آنالیز ریسک یکی از بهترین رویکردهای شناخته شده برای جلوگیری از عملکردهای نادرست و حوادث می‌باشد [۴]. تکنیک آنالیز ریسک FMECA (آنالیز بحرانیت حالات شکست و اثرات آن)، روشی برای شناسایی و آنالیز تمام حالات شکست بالقوه

امروزه با پیچیده‌تر شدن سیستم‌ها، ایمنی نیز در حال بحرانی شدن می‌باشد. ایمنی می‌تواند بصورت خاصیت یک سیستم که عاری از ریسک‌های غیر قابل قبول باشد تعریف شود. بنابراین لازم است تا ریسک‌ها با یک فعالیت مدیریت ریسک منطقی به سطح قابل قبول کاهش داده شوند [۱]. یکی از عناصر اصلی سیستم‌های مدیریت ایمنی شناسایی خطرات، ارزیابی ریسک و کنترل آنها می‌باشد که به متخصصین ایمنی کمک می‌کند تا با انجام بررسی‌های لازم توانایی تصمیم‌گیری منطقی برای کاهش احتمال وقوع حوادث و شدت پیامدهای آنها را داشته باشند. بمنظور

۱- عضو هیئت علمی دانشگاه علوم پزشکی تهران و مرکز تحقیقات بهداشت کار، تهران، ایران.

۲- نویسنده مسئول) کارشناس ارشد مهندسی بهداشت حرفه‌ای، تهران، ایران.

۳- عضو هیئت علمی دانشگاه علوم پزشکی تهران و مرکز تحقیقات بهداشت کار، تهران، ایران.

دارند را شناسایی کرده و در آخر اقدامات اصلاحی را پیشنهاد می‌دهد [۱۳].

در مسیر رشد و توسعه اقتصادی کشورها، ایجاد زیربنای توسعه‌ای شامل ساخت وساز و گسترش عملیات ساختمان سازی و فعالیت‌های عمرانی از مهمترین عوامل می‌باشد. بنابراین سیمان بعنوان یک کالای استراتژیک در ایجاد زیر ساخت‌های توسعه یک کشور به کار می‌رود. میزان تولید و مصرف سیمان رابطه خیلی نزدیکی با فعالیت ساخت و ساز و عمرانی، و بنابراین فعالیت اقتصادی کل یک کشور دارد [۱۴]. در صنعت سیمان کوره‌ها بعنوان قلب یا راکتور کارخانه سیمان معرفی می‌شوند که هرگونه نقص یا شکست در آن می‌تواند باعث ایجاد حادثه، قطع و یا افت تولید شود.

هدف از انجام این تحقیق، مطالعه و ارزیابی مخاطرات ایمنی، و تعیین مهمترین نقائص موجود در کوره‌های کارخانه سیمان با استفاده از روش آنالیز بحرانیت حالات شکست و اثرات آن (FMECA) می‌باشد. همچنین در این مطالعه شدت اثرات و پیامدهای نقایص و روش‌های کنترل آنها و از طرفی دلایل گوناگونی و شدت نقایص ایجاد شده در کوره‌ها مورد بررسی قرار گرفته است.

### روش بررسی

مجتمع سیمان آبیگ در سال ۱۳۴۸ در آبیگ قزوین تأسیس گردید. در سال ۱۳۵۲ واحد اول تولید سیمان با ظرفیت اسمی ۳۵۰۰ تن در روز آغاز به کار کرد. در سال ۱۳۵۷ واحد دوم تولید سیمان این مجتمع به ظرفیت اسمی ۴۰۰۰ تن در روز افتتاح گردید. ظرفیت تولید در این کارخانه در حال حاضر ۱۲۵۰۰ تن در روز می‌باشد که قرار است طی یک برنامه چند ساله که از سال ۸۶ آغاز شده به ۱۷۰۰۰ تن در روز برسد. چهار مرحله اصلی در تولید سیمان وجود دارد:

الف- خرد کردن و آسیاب کردن مواد خام

ب- ترکیب مواد به نسبت مناسب

ج- پخت مخلوط تهیه شده در کوره (سیستم پخت)

قسمت‌های مختلف سیستم، اثراتی که این شکست‌ها ممکن است روی سیستم داشته باشند، چگونگی جلوگیری از این شکست‌ها و یا کاهش اثرات آن‌ها روی سیستم می‌باشد [۵۶، ۷].

در واقع یک FMEA بسط یافته بوده، که CA در FMECA نمایانگر بحرانیت (یا شدت) اثرات مختلف می‌باشد [۷].

FMECA ابتدا بصورت یک متدولوژی طراحی در سال ۱۹۶۰ توسط صنعت هوافضای آمریکا ایجاد شد، ارتش آمریکا در سال ۱۹۷۰ شروع به استفاده از آن کرد و در سال ۱۹۷۴ استاندارد نظامی MIL-STD-1629: دستور العمل‌هایی برای انجام یک آنالیز بحرانیت و اثرات حالات شکست را ارائه داد که در سال ۱۹۸۰ نسخه دوم آن ایجاد شد [۸]. در سال ۱۹۸۸ نیز شرکت خودروی فورد (Ford engine Company) روش RPN را برای انجام FMECA پیشنهاد داده است [۹]. امروزه FMECA برای بسیاری از صنایع مهم مانند صنایع نظامی، هسته‌ای، هوافضا، خودرو، صنایع الکتریکی و مکانیکی تطابق یافته است [۹]. کارآمدی روش FMECA باعث شده که از آن علاوه بر صنایع در مراکز دارویی و بهداشتی درمانی بمنظور بهبود وضعیت ایمنی و ارائه خدمات بی نقص به بیماران استفاده شود [۱۰، ۱۱، ۱۲]. اجرا و انجام آنالیز FMECA نیاز به کارهای آماری پیچیده ندارد ولی از آنجایی که این آنالیز بر مبنای کار گروهی استوار است نیاز به زمان و نیروی انسانی کافی دارد. بدون داشتن اطلاعات کافی در زمینه فرآیند و یا محصول بجای تکیه بر حقایق به یک بازی مبتنی بر حدس و گمان تبدیل خواهد شد. به طور کلی FMECA نقاط تک شکست مورد نیاز اقدامات اصلاحی را شناسایی می‌کند، به روش‌های آزمایش و تکنیک‌های عیب یابی کمک می‌کند، یک اساس و پایه را برای قابلیت اطمینان کیفی، نگهداشت پذیری و آنالیزهای آماری و ایمنی (درخت خطا) فراهم می‌کند، یک تخمین و ارزیابی از نرخ‌های شکست سیستم را فراهم می‌کند و قسمت‌ها یا سیستم‌هایی که تمایل بیشتری به شکست

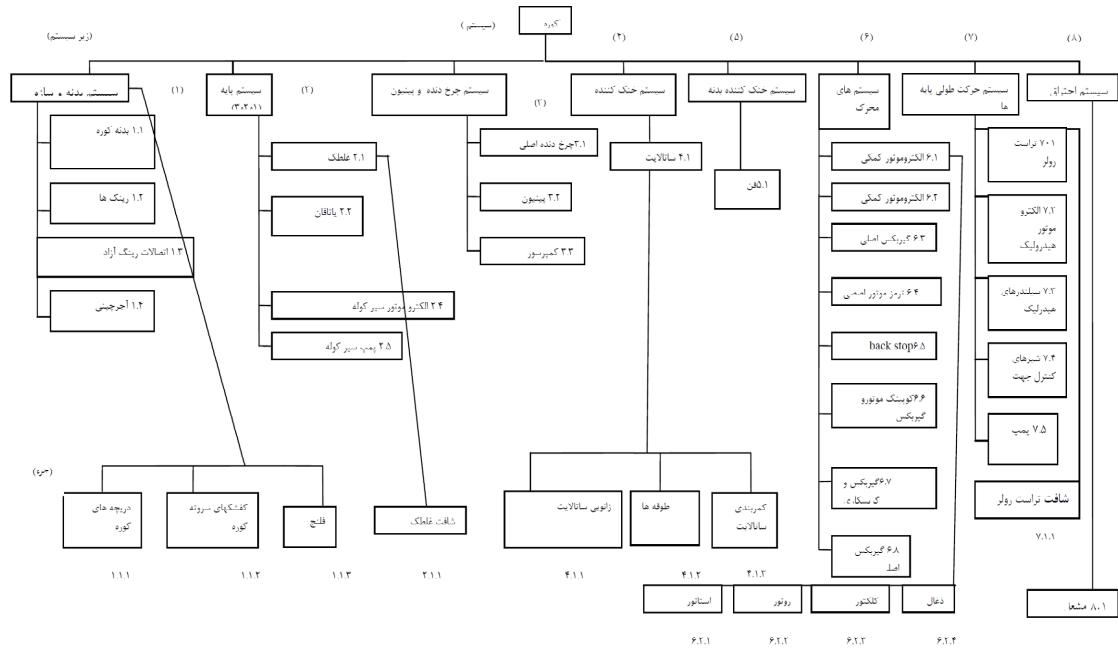
د- آسیاب کردن (نرم کردن) محصول پخته شده که به کلینکر معروف است.

سیستم پخت سیمان شامل سه قسمت "پیشگرمکن"، "کوره" و "خنک کن" است. قسمت اصلی عمل پخت در کوره صورت می گیرد. کوره های پخت سیمان استوانه های فلزی بزرگی هستند که طول و قطر آنها متناسب با ظرفیت کارخانه می باشد. این استوانه با شیب حدود ۳ تا ۴ درصد روی چند پایه مجهز به غلتک، قرار گرفته و دارای حرکت دورانی می باشد. مواد خام پس از طی مسیر پیشگرمکن از انتهای کوره، وارد کوره می شوند و به دلیل وجود شیب و حرکت دورانی مواد به سمت خروجی کوره و منطقه پخت سرازیر می شوند. در انتهای کوره یک مشعل تعبیه شده که با استفاده از سوخته های مختلف، ایجاد محیط حرارتی با درجه حرارت بالای ۱۴۰۰ درجه سانتی گراد را می نماید.

کارخانه مورد نظردارای دو خط تولید، یعنی دارای دو کوره می باشد. این دو کوره موجود با هم متفاوت بوده، طوریکه در کوره خط یک برای خنک کردن

کلینکر از خنک کن مشبک (great cooler) استفاده شده ولی کوره خط دوم دارای خنک کن ساتالایتی (satalaite) می باشد. پس از بررسی ها و مشاوره کوره واحد دوم را - بدلیل مدت کارکرد بیشتر، ایجاد نقص ها و عیوب بیشتری که در آن اتفاق افتاده، و وجود اطلاعات در دسترس بیشتر- برای انجام آنالیز ریسک انتخاب شد.

دلیل بکارگیری FMECA برای شناسایی و ارزیابی نقص در کوره این بود که سیستم مورد بررسی از اجزای مکانیکی مانند رینگ و غلطک تشکیل شده و فرایندهای دیگر از جمله شیمیایی نقش کمتری دارند؛ برای انجام کار ابتدا سیستم تحت آنالیز تعریف شد؛ یعنی مرز های سیستم را مشخص شدند (چه قسمت هایی را شامل می شود و چه قسمت هایی را شامل نمی شود)، وظایف و عملکرد های اصلی سیستم و هر کدام از اجزای آن مشخص شد و شرایط عملیاتی سیستم مورد ملاحظه قرار داده شد. سپس اطلاعاتی که سیستم را توصیف کند شامل نقشه ها، طرح ها، لیست اجزا و توصیفات عملکردی و اطلاعاتی راجع به



نمودار ۱- دیاگرام سلسله مراتبی

جدول ۱- اولویت بندی نقایص بر اساس RPN

PN	جزء	نوع نقص (شکست)	RPN	جزء	نوع نقص (شکست)
۷۵	کوپلینگ	۵۰- کشاد کردن جای بخار	۲۷۰	بدنه کوره	۱- پیچیدگی بدنه
۷۵	گیربکس گریسکاری	۵۱- آبله گونگی دنده ها	۲۴۰	سانالایت	۲- جدا شدن زره ها و ریگمنت های داخلی
۷۲	مشعل	۵۲- گرفتگی مسیر سوخت	۲۴۰	سانالایت	۳- افتادن زیگمنت های ملوفه
۷۲	بدنه کوره	۵۳- کشاد شدن دهانه خروجی کوره	۱۸۰	مشعل	۴- سوختن نازلها
۷۲	آجرچینی	۵۴- خرد شدن آجر	۱۸۰	الکتروموتور اصلی	۵- کوتاه شدن ذغال
۷۲	کمپرسور	۵۵- گیرباز کردن کمپرسور	۱۸۰	الکتروموتور اصلی	۶- اتصال ناقص ذغال
۷۲	کمپرسور	۵۶- عدم جریان هوا	۱۸۰	چرخ دنده اصلی	۷- خلاصی بیش از حد و کمتر از حد چرخ دنده اصلی
۷۲	گیربکس اصلی	۵۷- خشن افتادگی روی دنده	۱۷۵	بدنه	۸- ایجاد ترک در درپچه ها
۷۲	پیتبون	۵۸- ساییدگی و پارگی دندانها	۱۷۵	بدنه	۹- ریختن آجر
۶۴	تراست رولر	۵۹- بالا و پایین رفتن بیش از حد تراست رولر	۱۷۵	الکتروموتور اصلی	۱۰- تماس بین رولر و استاتور
۶۴	موتور هیدرولیک	۶۰- جریان بالا	۱۶۸	سانالایت	۱۱- ترک و شکستن کمربندی سانالایت
۶۴	پاناقان	۶۱- داغ شدن بایت پاناقان	۱۶۰	موتور کمکی	۱۲- سوختن و اتصال کوتاه موتور کمکی
۶۰	بدنه	۶۲- سفید کردن بدنه	۱۶۰	سیلندرهای هیدرولیک	۱۳- کاهش قدرت سیلندرها
۶۰	اتصالات رینگ	۶۳- ساییدگی یا شکست	۱۵۰	بدنه	۱۴- ترک در قسمت خروجی مواد
۶۰	رینگ کوره	۶۴- ایجاد ترک در روی رینگ ها	۱۵۰	چرخ دنده اصلی	۱۵- تیز شدن دنده
۶۰	رینگ کوره	۶۵- ساییدگی غیر عادی و ترک بر روی رینگ	۱۴۷	آجر چینی	۱۶- سایش آجر
۶۰	کوپلینگ	۶۶- ساییدگی ضربه گیر ها	۱۴۷	آجر چینی	۱۷- سرشکن شدن آجر
۶۰	تراست رولر	۶۷- گیر باز کردن چرخ های کالسنکه	۱۴۰	موتور کمکی	۱۸- نیم سوز شدن
۶۰	مشعل	۶۸- کج زدن مشعل (تراز نبودن)	۱۴۰	چرخ دنده اصلی	۱۹- لب بردگی دنده
۵۴	گیربکس گریسکاری	۶۹- تیز کردن دنده	۱۴۰	چرخ دنده اصلی	۲۰- ترک برداشتن دنده
۵۴	تراست رولر	۷۰- عدم حرکت طولی کالسنکه	۱۴۰	الکترو موتور اصلی	۲۱- ایجاد اتصال کوتاه و از بین رفتن عایق سیم پیچ
۵۴	بدنه کوره	۷۱- ترک های قسمت رینگ	۱۴۰	الکترو موتور اصلی	شکستن پوسته بیرونی استاتور
۴۸	گیربکس گریسکاری	لب پر شدن دنده	۱۳۶	سیستم هیدرولیک	۲۲- عدم انتقال صحیح یا یک چپته سیال
۴۵	بدنه	۷۲- ترک در قسمت مخروطی خروجی کوره	۱۲۰	کمپرسور	۲۳- افت فشار
۴۲	کوپلینگ	۷۳- شکستن کوپلینگ	۱۲۰	آجر چینی	۲۴- سوختن آجر
۳۲	گیربکس اصلی	۷۴- کجول کردن بلرینگ	۱۲۰	غلطک	۲۵- سایش غیر عادی غلطک
۴۲	سانالایت	۷۵- ترک برداشتن بدنه سانالایت	۱۱۲	آجر چینی	۲۶- حرکت کردن آجر
۴۰	غلطک	۷۶- ترک های روی بدنه	۱۱۲	گیر بکس اصلی	۲۷- شکستن دنده
۴۰	کمپرسور	۷۷- افزایش فشار	۱۰۸	بدنه کوره	۲۸- قری های بدنه
۴۰	گیربکس اصلی	۷۸- شکستن شافت	۱۰۸	اتصالات رینگ آزاد	۲۹- پارگی یا کنده شدن سطوح اتصال داخلی
۳۶	بدنه	۷۹- باز بودن دهانه فلنج از کوره	۱۰۰	گیربکس اصلی	۳۰- شکستن دنده
۳۶	بدنه	۸۰- ترک در حوش اتصالات زیر و مجاور رینگ	۹۶	گیربکس گریسکاری	۳۱- شکستن دنده
۳۵	پمپ هیدرولیک	۸۱- عدم انتقال روغن	۹۶	تراست رولر	۳۲- توقف یا عدم حرکت دورانی
۳۵	back stop	۸۲- عمل نکردن back stop	۹۶	الکترو موتور اصلی	۳۳- قطع سیم پیچ استاتور
۳۲	سیستم هیدرولیک	۸۳- نا هم راستایی کوپلینگ یمب و الکتروموتور هیدرولیک	۹۶	الکترو موتور اصلی	۳۴- اتصال سیم پیچ استاتور
۳۰	تراست رولر	۸۴- ساییدگی و پارگی سطح غلطک	۹۰	الکترو موتور اصلی	۳۵- اتصال به بدنه
۳۰	الکتروموتور اصلی	۸۵- خط افتادن روی کلکتور	۹۰	مشعل	۳۶- عمل نکردن کمپرسور مازوت مشعل موقع توقف
۳۰	الکتروموتور اصلی	۸۶- قطع کلکتور	۹۰	بدنه	۳۷- خوردگی داخلی بدنه
۳۰	الکتروموتور اصلی	۸۷- اتصال دو نا چند کلکتور به هم	۹۰	بدنه	۳۸- سرج کردن بدنه
۲۷	پاناقان	۸۸- شکستن پوسته پاناقان	۹۰	بدنه	۳۹- شکاف و تغییر شکل کفشک های سر و ته کوره
۲۰	مشعل	۸۹- گیر باز کردن چرخ های محرک مشعل	۹۰	اتصالات رینگ آزاد	۴۰- شکستگی پیچ در بالشتک های پیچ شده
۲۰	مشعل	۹۰- ریختن پتون	۹۰	اتصالات رینگ آزاد	۴۱- ترک در اتصالات رینگ آزاد
۲۰	غلطک	۹۱- شکستن شافت غلطک	۸۴	بدنه	۴۲- ترک های محیطی در محل جوش ها
۲۰	موتور کمکی	۹۲- شکستن قطعات موتور کمکی	۸۳	بدنه	۴۳- ترک در محل اتصال چرخ دنده اصلی
۲۰	گیربکس اصلی	۹۳- ترک برداشتن پوسته	۸۴	چرخ دنده اصلی	۴۴- شکستگی دنده
۱۸	تراست رولر	۹۴- شکستن شافت	۸۴	چرخ دنده اصلی	۴۵- لب پر شدن دنده
۱۶	مشعل	۹۵- قطع شدن سوخت	۸۰	غلطک	۴۶- تشکیل حفره و کنده شدن سطح غلطک
۱۶	رینگ	۹۶- تشکیل حفره و کنده شدن رینگ	۸۰	سانالایت	۴۷- سرج کردن بدنه زانویی
۱۵	ترمز اصلی	۹۷- عمل نکردن ترمز اصلی	۷۵	بدنه	۴۸- جمع شدگی بدنه در محل رینگ
۱۵	فن ها	۹۸- عدم ایجاد هوای خنک	۷۵	گیربکس گریسکاری	۴۹- کجول کردن بلرینگ

جزء) در یک سطح جزئیات مشخص با توجه به اهداف آنالیز طبقه بندی شد که توسط یک دیاگرام سلسله مراتبی نمایش داده شده است. پس از آن کاربرگ های مناسب برای انجام آنالیز FMECA با رویکرد Risk Priority Number (RPN) و همچنین چک لیست میزان شدت (Severity)، احتمال وقوع (Occurance) و ردیابی (Detectability) مورد نیاز

طرح های مشابه و قبلی و همچنین اطلاعات مورد نیاز از پرسنل تعمیرات و نگهداری و تهیه کنندگان اجزا جمع آوری شد.

با توجه به اطلاعات جمع آوری شده لیست کاملی از اجزای سیستم به همراه پروسه چگونگی کار و شرایط کاری تهیه شد که برای انجام آنالیز مورد نیاز می باشد. سپس سیستم به اجزاء آن (سیستم، زیر سیستم،

برای کاهش نقایص احتمالی ارائه شد. در آنالیز کوره سیمان حدود ۱۰۰ مورد نقص شناسایی شد. با مراجعه به جدول RPN مشاهده می شود که بیشترین نقایص در بدنه سیستم رخ داده است. مهمترین نقص، عبارت دیگر نقصی که بالاترین عدد اولویت ریسک را به خود اختصاص داده، نقص پیچیدگی بدنه ( $RPN=270$ ) می باشد. دلایل اصلی نقص پیچیدگی بدنه تغییر شکل های بدنه ناشی از حرارت نامطلوب بدنه، کوتینگ نامناسب، داغی های موضعی، سرد کردن نامطلوب کوره متوقف شده و کاستی در راهبری یا نگهداری کوره می باشد. در مواردی که روی میزان حرارت خارج شده از مشعل نظارتی نباشد، باعث ایجاد داغی های موضعی شده که اثر نامطلوب خود را روی بدنه می گذارد. پیچیدگی بدنه اثرات خیلی مهمی را روی کل سیستم کوره گذاشته، یعنی حتی بعضی از اثرات آن نقص تبعی بوده و خود آنها یک نوع نقص با علت و دلایل دیگر و اثرات دیگر بر روی سیستم کوره می باشد. از اثرات احتمالی این نقص می توان افزایش بار اعمالی و خسارت به سیستم حرکتی کوره (تراست رولر) را نام برد (۱۵). خود سیستم تراست رولر که مسئول حرکت طولی کوره بوده ممکن است در اثر این فشار باعث افزایش فاصله بین قسمت ورودی کوره و مشعل شده و در نتیجه آسیب به کفشک های سر و ته کوره، آسیب به مشعل، آسیب به غلطک و توقف کوره می شود. از اثرات دیگر این نقص (پیچیدگی بدنه) اثر روی میزان درگیری چرخ دنده اصلی و پینیون و افزایش فشار و خسارت به غلطک ها، یاتاقان ها و رینگ ها می شود. بنابراین ملاحظه می گردد که ایجاد یک نقص خود می تواند باعث بروز نقایص جدی گردد. با توجه به این مطلب در تهیه جداول FMECA سعی شده این موضوع مورد توجه قرار گیرد. مهمترین نقص تبعی نیز ریختن آجر نسوز داخل کوره می باشد که از نظر اولویت بندی درمکان چهارم قرار دارد ( $RPN=175$ ). با بررسی نقایص کوره و مشاهده جداول FMECA مشخص می شود که پیچیدگی بدنه، جمع شدگی بدنه در محل رینگ، ترک های

مناسب فراهم شد. با ضرب فاکتور های RPN که هر کدام دارای مقیاسی از ۱ تا ۱۰ می باشند عدد اولویت ریسک نقایص که از ۱ تا ۱۰۰۰ متغیر بوده بدست می آید. میزان RPN به کمک رابطه  $RPN = S * O * D$  محاسبه گردید.

در تکمیل جداول و کاربرگ ها سعی شده است برای هر جز یک کد شناسایی عددی و برای شناسایی حالات شکست متفاوت در هر جز از حروف انگلیسی استفاده شود. در ستون های جداول FMECA علاوه بر وظیفه جزء و شناسایی حالات شکست، اثرات شکست و راهکارهای کنترلی آنها نیز ارائه شده است. مقیاس RPN استفاده شده در آنالیز، حالات شکست شناسایی شده را برای انجام اقدامات اصلاحی اولویت بندی می کند.

### یافته ها

در این مطالعه تعداد نقایص و شکست های شناسایی شده در کوره و اجزای آن ۱۰۰ نقص بدست آمدند. جدول ۱ حالات شکست شناسایی شده، همراه با جزئی که شکست در آن اتفاق می افتد و میزان عدد اولویت ریسک تمام این نقایص را ارائه داده است. با توجه به جدول ۱ مشاهده می شود که نقص پیچیدگی بدنه کوره دارای بالاترین میزان عدد اولویت ریسک ( $RPN=270$ ) می باشد. 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. بیشترین تعداد نقایص در بدنه کوره یافت شد، جایکه تقریباً تمام عملکرد اصلی کوره شامل فرآیندهای فیزیکی و الکتروشیمیایی پخت و عبور مواد در آن صورت می گیرد.

### بحث و نتیجه گیری

با بکارگیری روش FMECA با رویکرد RPN برای آنالیز کوره سیمان، حالات شکست و مخاطرات آن شناسایی شد و پیشنهادات اصلاحی و کنترلی نیز

تعمیرات پیشگیرانه می باشد. راهکارهای کنترلی پیشنهادی برای جلوگیری یا کاهش این نقایص نیز در جداول آمده است. برای هر نقص اقدامات پیشگیری در اولویت می باشد. اقدامات پیشگیری هزینه کمتر و راندمان بالاتری دارد. اما باید توجه داشت که انجام این

اقدامات به برنامه ریزی دقیق و ثبت اطلاعات، دانش فنی، آموزش مناسب پرسنل و اهمیت قایل شدن به آن از طرف مدیریت احتیاج دارد. اقدامات جبرانی و تعمیراتی نیز برای برخی نقایص پیشنهاد شده که در مورد اقدامات تعمیراتی نیز بطور کلی می توان گفت که بسیار هزینه بر و زمان گیر می باشند. در ستون آخر جدول نیز مقدار RPN اصلاح شده وجود دارد که بر پایه تخمین فرضی بعد از اقدامات اصلاحی می باشد.

این مطالعه نشان داد که ایجاد یک نقص خود می تواند باعث بروز نقایص جدی در اجزا و قسمت های دیگر شود. همچنین بیان می کند که از طریق آنالیز FMECA می توان این نقایص را شناسایی و مستند کرد و باید به نقایص ایجاد کننده نقایص تبعی در کنار نقایص با عدد اولویت بالا توجه شود و برای اقدامات اصلاحی در اولویت قرار گیرند.

این مطالعه روی اجرای یک سیستم مستند سازی برای ثبت نواقص و رویدادها برای پیشرفت سطح ایمنی ماشین آلات و از طرف دیگر انجام نگهداشت پیشگیرانه برنامه ریزی شده برای کاهش احتمال وقوع نواقص و پیامدهای ناشی از آن تاکید می کند.

### منابع

1. Guiochet J. , and Baron C., UML based risk analysis-Application to a medical robot, Wiley-Blackwell. 2004,1.
2. Greenberg Haris R., Cramer Joseph J. Risk Assessment and Risk Management for the Chemical Industry, First Edition, New York, Van Nostrand Reinhold, 1991,2,3
3. Adl J. Negahi be Mohandesi Imeni va Naghshe an dar Tarahi, Sakht, Bahrebardari, Tamir va Negahdari-e- Dastgahha. Tehran, Health of

قسمت رینگ، سرخ کردن و سفید کردن بدنه و ترکهای اتصالات رینگ باعث اثر بر روی اجر های نسوز کوره و ایجاد نقص در آن می شود. خود نقص ریختن آجر نیز باعث دفرمگی بدنه، آسیب پذیری رینگ، کوتاه شدن یا شکستن زیگمنت ها و توقف کوره می شود. بنابراین علاوه بر ملاحظه و بررسی نقایص با عدد اولویت ریسک بالا برای اقدامات اصلاحی، با مراجعه به نتایج آنالیز FMECA حالات شکستی که باعث ایجاد نقایص تبعی می شوند شناسایی شده و باید در دستور کار برنامه تعمیر و نگهداری بعنوان یک اولویت مهم قرار گیرند. متأسفانه در کارخانه مورد بررسی بعلت عدم وجود یک برنامه نگهداشت پیشگیرانه مناسب و اجرای بازرسی های برنامه ریزی شده، نقایص ایجاد شده در مراحل اولیه نادیده گرفته می شوند و تا هنگامی که جزء ناقص بکلی خراب نشده در دستور کار تعمیرات و نگهداری قرار نمی گیرند. همین امر باعث می شود اثرات مهمی و نقایص تبعی در اجزا و قسمت های دیگر سیستم می شود که باعث تعمیرات اضافه و هدر رفتن زمان و هزینه برای سیستم خواهد شد. بمنظور حل این مسائل بدون استئنا عملیات بازرسی مداوم و منظم را می توان برای جلوگیری و پیشگیری از تمام نقایص کوره سیمان و اجزای آن بکار برد. بازرسی های مرتب و برنامه ریزی شده جهت تشخیص و وضعیت چگونگی کارکرد سیستم و اطلاع از ایجاد نقایص در مراحل اولیه و جلوگیری از پیشرفت آنها بسیار اهمیت دارند. روش پیشگیری موثر دیگری که در جداول FMECA به کرات ذکر شده است، راهبری نرم و آرام کوره و همچنین رعایت دستورالعمل چرخاندن و سرد کردن کوره می باشد. این روش پیشگیری در مورد نقایص پیچیدگی بدنه، جمع شدگی بدنه در محل رینگ، ترک های بروی بدنه، و سرخ کردن و سفید کردن کوره کاربرد دارد و می تواند از ایجاد نقایص و یا حداقل از پیشروی آنها جلوگیری کند (۱۶). برای کاستن میزان RPN ها و در نتیجه کاهش حالات شکست احتمالی، اصولی ترین و بهترین راه حل، انجام نگهداری و

14. Hendriksl C.A., and et all.' Emission Reduction of Greenhouse Gases from the Cement Industry', IECOFYS, P.O Box 8408, NL-3503 RK Utrecht, the Netherlands, 2004, 1
۱۵. بررسی ایمنی سنگ شکن معادن سنگ گچ ساران به کمک روش چگونگی نقص و تجزیه و تحلیل اثرات آن (FMEA)، ایرج علی محمدی، جواد عدل، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت حرفه ای، ۱۳۷۵
۱۶. مقایسه ایمنی کوره های موجود در دو کارخانه تولید گچ به وسیله روش تجزیه و تحلیل شکست و آثار آن (FMEA). ایرج علی محمدی، جواد عدل. سلامت کار ایران، دوره پنجم، شماره ۱ و ۲، بهار و تابستان ۱۳۸۷.

- Faculty of Tehran University if Medical Sciences; 1991.123 [Persian]
4. Mili, A., Siadat A., et al. Dynamic management of detected factory events and estimated risks using FMECA., 2008, 1204
5. Becker J., Flick G., et al, A practical approach to failure mode, effects and criticality analysis (FMECA) for computing systems.1996, 227
6. Bertolini M., Bevilacqua M., et al. "FMECA approach to product traceability in the food industry." Food Control, 2006 , 140
7. Rausand M. , and Høyland A., System reliability theory: models, statistical methods, and applications, Wiley-Interscience.2004, 1-1
8. Chang k.h. c., c. y. c. c.h., "reprioritization of failure in a silane supply system using an intuitionistic fuzzy set ranking technique." ,2009, 1
9. Bowles, J., The new SAE FMECA standard, 1997, 48
10. Saizy-Callaert S., Causse R., A. Thébault, Chouaid C. Failure Mode, Effects and Criticality Analysis (FMECA) as a means of improving the hospital drug prescribing process" Therapie. 2001 Sep-Oct; 56(5):525-31.
11. Williams E., Talley R. The use of failure mode effect and criticality analysis in a medication error subcommittee" Hosp Pharm. 1994 Apr; 29(4):331-2, 334-6, 339.
12. Hergon E., Crespeau H., Rouger P. Failure mechanisms in the transfusion process. Importance of anticipatory operational safety analysis" 1994; 1(5):379-86.
13. Standard M., Procedures for performing a failure mode, effects and criticality analysis, MIL-STD-1629A. Department of Defense, Washington, DC, 1980,

## Assessment of hazard kiln cement factory with Failure Mode Effects and Criticality Analysis (FMECA)

I Alimohammadi<sup>1</sup>, F Mirzaei<sup>2</sup>, A.A Farshad<sup>3</sup>

Received: 2011/049/05

Revised: 2012/09/19

Accepted: 2012/10/22

### Abstract

**Background and aims:** Technique of Failure Modes Effects and Criticality Analysis, FMECA, is a method for identifying and analyzing all potential failure modes of a system. This technique is used to prevent failures and to reduce their effects on the system. The main goal of this study was identifying and analyzing of the potential failure modes and assessing the effects of failures in the cement kiln by FMECA method.

**Methods:** First the boundaries of the system were determined and then system was divided into its components (systems and subsystems) at a specified level with respect to the analysis goals. Then, effects of failures on production and system were appointed and causes and severity of failures were determined. Finally the results were recorded in FMECA appropriate worksheet. Meanwhile failure priority was presented.

**Results:** Totally one hundred failures were identified. While the highest risk priority number was related to body warping with RPN = 270, the lowest risk priority numbers (RPN=15) were associated to lacking of air supply by fan and improperly acting of the main brake of kiln. The maximum frequency of failures was found in the kiln body.

**Conclusion:** This study indicated that one failure may lead to other defects in various components of the system itself. Therefore, the implementation of a documentation system to record defects was emphasized in order to improve the machinery safety level. Furthermore, it can be concluded that a planned preventive maintenance could effectively decrease the probability of failures and number of defects consequently.

**Keywords:** Safety, FMECA, RPN.

1. Assistsnt Professor of Occupational Health Department, occupational health research center Tehran University of Medical Scienes, Tehran, Iran.

2. (**Corresponding author**) MS in Occupational health engineering.

3. Associate Professor of Occupational Health Department, occupational health research center Tehran University of Medical Scienes, Tehran, Iran.