شناسایی مقوله‌های دانشی فناوری و ابزار تجهیز نوار نقاله با تکنیک FMEA فازی(موردمطالعه: کارخانه گندله‌سازی شرکت معدنی و صنعتی گل گهر)

■ زهره کریمی گوغری[1]
دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه یزد
■ حبیب زارع احمدآبادی *+
هیئت علمی دانشکده مدیریت دانشگاه یزد
■ سید محمود زنجیرچی[2]
هیئت علمی دانشکده مدیریت دانشگاه یزد

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۳/۲۷ و تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۵/۶

چکیده

به‌کارگیری صحیح دانش از مهم‌ترین گام‌ها به‌منظور بقا، توسعه و انطباق با محیط و عملکردهای جدید سازمان است. از طرف دیگر، فناوری عامل اصلی و موتور توسعه اقتصادی در صنعت بوده؛ لذا پرداختن به دانش فناوری امری انکارناپذیر است. کاهش هزینه و افزایش بازدهی از پایه‌ای‌ترین اصول صنعت است. لزوما افزایش بازدهی، بهره‌گیری از فناوری‌های گران‌قیمت نیست؛ گاهی اوقات با پیاده‌سازی اصول صحیح مدیریتی و مهندسی، بهره‌گیری از نیروی انسانی متخصص و کارآمد، برنامه‌ریزی صحیح و شناسایی اولویت‌های تأثیرگذار، می‌توان علاوه بر افزایش بازدهی، هزینه‌ها را نیز بسیار کاهش داد. دانش فناوری به معنی دانش شناخت راه‌ها و روش انجام کار است. لذا شناخت و به‌کارگیری صحیح تجهیزات موجود از ورود دانش فناوری جدید اهمیت بیشتری دارد. تجهیز نوار نقاله از دسته قطعاتی است که در حمل مواد سنگین در کارخانه‌ها و معادن نقش‌آفرینی می‌کند. خرابی این تجهیز هزینه‌های بسیاری بر دوش کارخانه می‌گذارد. در این پژوهش، عوامل شکست‌زایی که در خرابی تجهیز نوارنقاله در زمینه فناوری و ابزار کارخانه گندله‌سازی شرکت معدنی و صنعتی گل‌گهر سیرجان پرداخته شده است. در این راستا با شناسایی عوامل شکست‌زا و بررسی نقش کاربردی آنها از دید مهندسین و تکنسین‌هایی که با آنها سروکار دارند و با توجه به سوابق قبلی تعمیراتی فناوری و ابزار تجهیز نوارنقاله و نظر کارشناسان نت شناسایی و استخراج گردید و با استفاده از تکنیک تجزیه‌و تحلیل آثار شکست بحرانی‌ترین عوامل شناسایی گردید. در این ارزیابی نصب نامناسب بیرینگ بالاترین رتبه را با عدد ریسک ۰,۳۶۲ به خود اختصاص داده است. پس از آن، الاین نبودن، کوپلینگ بین گیربکس و موتور با عدد ریسک ۰,۳۴ بدست آمده است و استفاده از بیرینگ با کیفیت پایین با عدد ریسک ۰,۳۱۴ در سومین اولویت است. در انتها با توجه به عوامل شکست‌زای تعیین شده مقوله‌های دانشی مرتبط با هر یک از عوامل شکست‌زا در راستای افزایش بازده نوار نقاله و کاهش هزینه‌ها و زمان تعمیر، ارائه شده است.

واژگان کلیدی: تجزیه و تحلیل آثار شکست، فناوری و ابزار، کارخانه گندله‌سازی، شرکت معدنی و صنعتی گل‌گهر، نوارنقاله.

[1] + شماره نمابر: ۰۳۵-۳۷۲۸۰۵۶۴ و آدرس پست الکترونیکی: Z.karimi2585@gmail.com
* عهده دار مکاتبات
+ شماره نمابر: ۰۳۵-۳۷۲۸۰۵۶۴ و آدرس پست الکترونیکی: Dr.zarehabib@gmail.com
۲ شماره نمابر: ۰۳۵-۳۷۲۸۰۵۶۴ و آدرس پست الکترونیکی: Zanjirchi@yazd.ac.ir

۱- مقدمه

امروزه در شرایط رقابت فشرده به همراه فناوری پیشرفته و رو به‌ر شد کنونی، یکی از مباحث مهم در جابه‌جایی مواد در صنایع انتخاب روش و تجهیز مناسب آن است که بسته به نوع مواد، نوع تجهیز نیز متفاوت است[۱]. در کارخانه گندله‌سازی شرکت معدنی و صنعتی گل‌گهر جهت جابه‌جا کردن مواد از تجهیز نوارنقاله استفاده می‌گردد. نوار نقاله‌های صنعتی، دستگاه‌های قابل حملی است که برای حمل‌ونقل مواد بین دو نقطه ثابت، از طریق حرکت متناوب و یا مداوم موردا ستفاده قرار می‌گیرد[۱۱]. به‌طور کلی تجهیزاتی مکانیکی جهت حمل‌ونقل پیوسته مواد در مسیرهای معین که در انواع، ظرفیت‌ها و سرعت‌های مختلف موجود است. امروزه نوارنقاله‌ها از پرکاربردترین و مهم‌ترین عناصر سازنده سیستم‌های تولیدی است و با توجه به اتوماسیون واحدها، قابلیت‌ها و راندمان آنها جز لاینفک صنایع و تولیدات می‌باشد. کاربرد گسترده نوارنقاله ها در معادن کارخانجات، مکان های عمومی و...گواه کاربرد مفید بودن آنها و موجب سهولت فعالیت‌ها شده ا ست. نوارنقاله با توجه به ماهیت آن از نظر جنس، قیمت و اهمیتی که در خطوط تولیدی دارد، جزو تجهیزات حساس به شمار می‌آید. از این رو نحوه خرید، بازر سی و کنترل کیفیت و انبارداری آن حائز اهمیت می‌باشد[۳].

با تجزیه‌وتحلیل عوامل شکست‌زا مقوله‌های دانشی مرتبط با علل خرابی برای جلوگیری از بروز خرابی‌ها و تعمیرات استخراج گردید. با بررسی عوامل شکست‌زای تجهیز نوار نقاله متخصصین و اپراتورها قادر خواهند بود در راستای افزایش طول عمر قطعات، کاهش نرخ خرابی ها و افزایش بازده نوار نقاله گام بردارند. این اقدام باعث می‌شود تا ضمن صرفه‌جویی مالی بهره‌وری نوار نقاله‌ها نیز افزایش پیدا کند.

در این مقاله با توجه به علل خرابی استخراج شده با استفاده از تکنیک FMEA فازی مهم‌ترین عوامل شکست‌زا شناسایی و با استفاده از پر سشنامه طراحی شده، مقوله‌های دانشی مرتبط با علل خرابی استخراج گردید.

۲- پیشینه

حلوانی و همکاران(۱۳۹۲) اعتقاد دارند که تکنیک تجزیه‌وتحلیل حالات شکست و اثرات آن به‌طور گسترده‌ای جهت بهبود کیفیت تولید و به‌عنوان ابزاری جهت ارز یابی مخاطره ا ستفاده می شود. به این منظور آنها با ا ستفاده از این تکنیک در پژوهش خود، مخاطرات بالقوه موجود در بخش‌های مختلف مجتمع فولاد یزد را مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار دادند. با بررسی‌های انجام شده پژوهشگران دریافتند که بیشترین عدد اولو یت پذیری مخاطره قبل از ا قدا مات اصلاحی مربوط به فولاد سازی آهک و بهدا شت محیط بوده ا ست. در نهایت به این نتیجه رسیدند که در برخی از واحدها مانند فولادسازی آهک و ریخته‌گری می‌توان با اقدامات کنترلی مؤثری چون کلاس های ایمنی، اجرای فرهنگ 5S کایزن، تعمیر و نگهداری م ستمر باعث حذف مخاطرات شده که نشان‌دهنده مفید و کارا بودن روش FMEA ا ست[۲]. میرفخرالدینی و همکاران(۱۳۹۱) در پژوهشی به رتبه‌بندی حالات بالقوه زیان‌آور با ا ستفاده از تحلیل خو شه‌ای فازی در واحد فولادسازی شرکت فولاد آلیاژی ایران پرداختند. نتایج پژوهش آنها توصیه‌هایی در باب تدوین راهبردهای عملی در جهت پیشگیری از وقوع حالات بالقوه زیان‌آور برای پژوهشگران، مدیران و کارشناسان ایمنی و بهداشت حرفه‌ای بوده است[۱۰]. مقدسی و همکاران(۱۳۹۰) بیان می‌کنند، با توجه اینکه نیروی انسانی مهم‌ترین فاکتور در تکاپوی صنعت است و با گسترش و پیشرفت فناوری در دنیا مدیریت ایمنی در صنایع به صورت مدیریت پیش از وقوع به‌جای مدیریت پس از وقوع بکار گرفته شده است. هدف از این پژوهش، ارزیابی ریسک در مشاغل مختلف و بدست آوردن نتایج ارزیابی با نوع شغل افراد انجام شده است. در این پژوهش ۳۰ شغل در پروژه احداث کارخانه فولاد بافق با استفاده تکنیک FMEA مورد بررسی قرار داده شد که RPN آنها بدست آمد. در نهایت این نتیجه بدست آمد که قبل از شروع کار پرسنل، مشاغلی با ریسک بالاتر در اولویت انجام اقدامات کنترلی قرار داده شود[۹]. امیدوار و نیرومند(۲۰۱۷) معتقدند که فرایند خرابی تجهیزات به‌عنوان یکی از علل اصلی فرایند تصادفات شناخته شده است. همچنین بیان کردند که تکنیک تجزیه و تحلیل حالات شکست و آثار آن(FMEA) به‌عنوان یک روش ارزیابی ریسک، به‌طور گسترده در صنایع مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد که فرم‌های مرسوم از این تکنیک با استفاده از سه پارامتر شدت(S)، وقوع(O) و تشخیص(D) به‌عنوان عوامل مخاطره برای محاسبه عدد اولویت ریسک(R.P.N) ا ست که رتبه‌بندی حالت‌های شکست برا ساس این عدد صورت می‌پذیرد. پژوه شگران در پژوهش خود دریافتند که کا ستی‌هایی در ارتباط با FMEA وجود دارد که کاربرد آن را محدود کرده است. همچنین مقایسه کاربرد FMEA در صنایع مختلف بیان شده، به‌طوری‌که هدف از پژوهش حاضر توسعه یک فرمت از FMEA کارآمد است که می‌تواند به ابهام و عدم قطعیت در قضاوت کارشناسان در فرآیند حالت شکست رسیدگی کند که در رتبه‌بندی با FMEA معمولی وجود دارد. درنهایت پژوه شگران به

این نتیجه رسیدند که استفاده از روش پیشنهادی در محیط فازی می‌نواند کاربرد روش FMEA معمولی را بهبود بخ شد[۱۲]. دژان پترویچ و همکاران(۲۰۱۴) در پژوهش خود بیان می‌کنند که تعمیر و نگهداری سیستماتیک ماشین‌آلات و تجهیزات معدن عامل بسیار مهمی برای عملکرد منا سب و بدون وقفه یک معدن در فرایند تولید است. پژوهشگران به‌منظور تعیین عناصر مهم در سیستم برای تعمیر و نگ هداری ماشین‌آلات از تکن یک تجزیه‌وتحلیل آثار شکست و خطا استفاده نمودند. انها در پژوهش خود به تعیین سطح خطر و شکست در عناصر و قطعات نوار نقاله در نعدن زغال سنگ پرداختند. و با توجه به نتایج حاصل، دستورالعمل هایی در راستای انجام امور تعمیر و نگهداری بیان کردند. به‌طورکلی در این مقاله یک مدل از ارزیابی نارسایی‌های فنی ماشین‌آلات معدن ارائه شده که براساس شاخص‌های مخاطره، شدت، وقوع و کشف تحلیل می‌شود[۱۳].

۳- روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر در زمره پژوهش‌های توصیفی- پیمایشی است. همچنین از نظر هدف، کاربردی است. در این پژوهش شاخص‌های فناوری و ابزار تجهیز نوار نقاله با توجه به اسناد موجود در ابتدا تعیین شده است. سپس با نظرخواهی از ۱۵ تن از خبرگان کارخانه گندله‌سازی به‌صورت هدفمند و غیراحتمالی و در راستای نهایی کردن شاخص‌ها از تکنیک دلفی بهره گرفته شده ا ست. در این فرایند، با سه مرحله رفت و برگ شت و نظرخواهی، پس از به همگرایی رسیدن نظرات خبرگان، شاخص‌ها تایید و نهایی گردیده‌اند. در ادامه شاخص‌های نهایی شده در قالب پر سشنامه FMEA تنظیم شده و با نظرخواهی از ۸ تن از خبرگان مربوطه به صورت غیراحتمالی و هدفمند، به شنا سایی و محا سبه میزان RPN و نقاط شکست پرداخته شده است. در ادامه، مقوله‌های دانشی در راستای ارتقا بهره‌وری فناوری تجهیزات نوار نقاله با مصاحبه و نظرخواهی از ۵ تن از کار شنا سانی که با د ستگاه‌های مربوطه فعالیت می‌کنند و متخصصین مربوطه به‌صورت غیراحتمالی و هدفمند استخراج گردیده و ارائه شده است.

روش FMEA توسط سازمان هوایی آمریکا(NASA) در سال ۱۹۶۳ با هدف برآوردن نیازمندی‌های قابلیت اطمینان سی ستم‌هایش ابداع و معرفی گردید. از آن زمان تاکنون به‌عنوان یک تکنیک قدرتمند برای تحلیل امنیت و پایایی محصولات و فرایندها در طیف وسیعی از صنایع به ویژه هوافضا، هسته‌ای، اتومبیل و دارویی به‌طور گ سترده بکار گرفته شده ا ست[۵]. این تکنیک ابزار قدرتمندی است که توسط مهندسین امنیت و پایایی سیستم برای تعیین کارکردهای مهمی که شکست شان می‌تواند منجر به خروجی‌های نامطلوب مانند تولید از د ست رفته، آ سیب یا عدم رضایت مشتری بشود، مورداستفاده قرار می‌گیرد. به نوعی اجرای FMEA باید از طریق گروه‌های تخصصی متشکل از بهترین مهند سین و کار شنا سان متخ صص و با تجربه در اموری مانند طراحی، ساخت و تولید، مونتاژ، خدمات پشتیبانی، نگهداری و تعمیرات و کنترل کیفیت انجام پذیرد. گرچه FMEA نوعی کار گروهی است؛ ولی مسئولیت اجرای آن به یک فرد سپرده می‌شود. مسئول اجرای FMEA باید از حمایت کافی و جدی بالاترین مقام اجرایی شرکت برخوردار باشد. فرد مسئول می‌بایست افراد موردنظر را به‌صورت مستقیم و فعال در امر FMEA برای تبادل اطلاعات، نظرات و اندیشه درگیر کرده تا از این طریق کیفیت کار گروهی نیز ارتقا یابد[۴].

۳-۱- FMEA فازی

با توجه به مشکلات و ناکارآمدی رویکرد سنتی FMEA تحقیقات بسیاری با هدف توسعه و بهبود عملکرد آن انجام شده است. یکی از راه‌حل های موجود برای رفع این ناکارآمدی ها، ترکیب این رویکرد با منطق فازی است. رویکرد FMEA Fuzzy ابزاری را فراهم می‌کند که به واسطه آن می‌توان با مفاهیم مبهم و اطلاعات نادقیق، با روش بهتری به نتیجه دست یافت. زمانی که رابطه میان معیارهای موجود دارای عدم قطعیت است و یا رابطه میان آنها را نمی‌توان به صراحت بیان کرد، استفاده از تئوری فازی بسیار مفید است. به‌طورکلی این منطق در مواردی که داده‌های کافی در د سترس نی ست، جمع آوری آنها کار م شکلی است یا داده‌ها به صورت عبارات و متغیرهای زبانی و ذهنی موجود است، ابزار مناسبی به‌شمار می‌آید[۷].

۳-۱-۱- متغیرهای مخاطره برای اولویت‌بندی مخاطره

- اختصاص یک درجه وقوع[3](O) برای هر الگوی شکست؛ وقوع نوعی درجه‌بندی و یا ارزش ا ست که به‌منظور احتمال رخداد هر علت، تخمین زده می‌شود. با حذف و کنترل تعدادی از علت‌ها می‌توان احتمال وقوع خطا را کاهش داد. بهترین روش برای سنجش درجه وقوع شکست، استفاده از داده‌های فرآیند است که در قالب یک جدول اطلاعاتی، قابلیت فرآیند را نشان می‌دهد. زمانی که داده‌های واقعی در

3 Occurrence

مورد یک شکست وجود ندارد، افراد می‌بایست بالاترین درجه وقوع شکست را درنظربگیرند.

- اختصاص یک درجه تشخیص[4](D) برای هر الگوی شکست بالقوه و یا اثر آن؛ درجه تشخیص، نشان‌دهنده احتمال وقوع یک شکست و تأثیر آن می‌باشد.
- اختصاص یک درجه شدت[5](S) برای هر اثر؛ شدت، نشانگر جدی بودن اثر شکست بالقوه است و ارتباط مستقیمی بین اثر و شدت وجود دارد. درجه‌بندی شدت، در واقع ارزیابی جدیت آثار شکست در صورت وقوع آن می‌باشد. ارزیابی شدت هر اثر می‌بایستی براساس آگاهی و خبرگی افراد گروه انجام شود. چراکه هیچ یک از افراد، برای ارزیابی شدت اثر، تجربه‌ای از گذشته ندارند. از آنجا که هر شکست آثار مختلفی دارد، می‌بایست اثر شکست را درجه‌بندی کرد، نه شکست را. اگر برای شکست بالقوه چندین اثر وجود داشته باشد، درجه شدت هر اثر باید مشخص شود[۶].

۳-۱-۲- تعریف عبارات کلامی برای متغیرهای ورودی

با استفاده از نظر خبرگان برای متغیرهای ورودی، پنج عبارت کلامی خیلی‌کم، کم، متوسط، زیاد، خیلی‌زیاد درنظرگرفته شد که در جدول تعاریف مربوط به عبارت‌های کلامی و مقادیر فازی برای هر کدام از متغیرهای ورودی درجه وقوع درجه تشخیص و درجه شدت ارائه شده است[۷].

جدول ۱: متغیرهای زبانی جهت اهمیت گزینه‌های شکست

متغیرهای زبانی	نماد	عدد فازی تخصیص داده شده			O	D	S
		a_3	a_2	a_1			
خیلی کم	۱	۲	۰	۰	۰ تا ۵ درصد	غیرقابل شناسایی	شدت اثر خیلی کم
کم	۲	۵	۳	۱	۵ تا ۱۰ درصد	احتمال کم در شناسایی	شدت اثر کم
متوسط	۳	۷	۵	۳	۱۰ تا ۱۵ درصد	احتمال ۵۰-۵۰ در شناسایی	شدت اثر متوسط
زیاد	۴	۹	۷	۵	۱۵ تا ۲۰ درصد	احتمال بالا در شناسایی	شدت اثر زیاد
خیلی زیاد	۵	۱۰	۱۰	۸	بیش از ۲۰ درصد	قابل شناسایی	شدت اثر خیلی زیاد

۳-۱-۳- انجام محاسبات مربوط به عدد ریسک خطاهای شناسایی شده در محیط فازی

در مرحله اول باید اعداد فازی معادل متغیرهای کلامی تعیین گردد و سپس برای محاسبه عدد ریسک هر یک از عوامل شکست‌زا، ابتدا میانگین فازی نظرات پاسخ‌دهندگان برای هر یک از متغیرهای ورودی محاسبه شود. با توجه به سؤالات پرسشنامه و متغیرهای زبانی تعریف شده، میانگین اعداد فازی مثلثی هرکدام از عوامل با توجه به رابطه زیر محاسبه می‌شود[۸]:

$$\bar{x} = \frac{(a_{1j}, b_{1j}, c_{1j}) + \cdots + (a_{mj}, b_{mj}, c_{mj})}{m} = \frac{\sum_{i=1}^{m}(a_{ij}, b_{ij}, c_{ij})}{m} \quad \forall_j \in n \qquad (۱)$$

به این ترتیب با یکپارچه‌سازی نظرات افراد خبره، برای هر یک از عوامل اعداد فازی مثلثی بدست می‌آید که حاصل میانگین نظرات افراد خبره می‌باشد.

برای ضرب میانگین‌های فازی هر یک از متغیرهای ریسک از رابطه زیر استفاده می‌شود[۸].

$$x_1 \times x_2 = (a_1 \times a_2, b_1 \times b_2, c_1 \times c_2) \qquad (۲)$$

از ضرب میانگین‌های فازی هریک از متغیرهای ریسک، عدد فازی RPN بدست می‌آید. برای تبدیل RPN فازی به RPN قطعی از رابطه ۳ استفاده می‌شود[۵]:

$$x = \frac{a + 2b + c}{4} \qquad (۳)$$

کلیه محاسبات در محیط اکسل و با اعمال فرمول‌های فوق انجام شده است.

۳-۲- موردمطالعه

سنگ‌آهن به‌عنوان یک ماده اولیه به تنهایی ارزش افزوده مناسبی ندارد، لذا انجام فرآوری، تولید گندله، تولید آهن اسفنجی و در نهایت تولید فولاد علاوه بر اشتغال، ارزش افزوده بسیار بالاتری نیز نصیب تولیدکنندگان خواهد کرد. افزایش رو به رشد تولید فولاد در کشور نیاز روزافزون واحدهای گندله‌سازی را هر چه بیشتر نمایان می‌کند. شرکت گل‌گهر نیز در این راستا تصمیم به احداث کارخانه گندله‌سازی در ادامه کارخانه تغلیظ سنگ‌آهن(کنسانتره) را گرفت. این کارخانه قابلیت تولید گندله‌هایی با کیفیت بسیار بالا جهت مصرف در واحدهای احیاء مستقیم و همچنین گندله‌هایی با کیفیت مناسب جهت استفاده در کوره‌های بلند را دارد.

واحد گندله‌سازی گل گهر با ظرفیت ۵ میلیون تن در سال در شرکت معدنی و صنعتی گل‌گهر ساخته شده است. کنسانتره

2. Detection

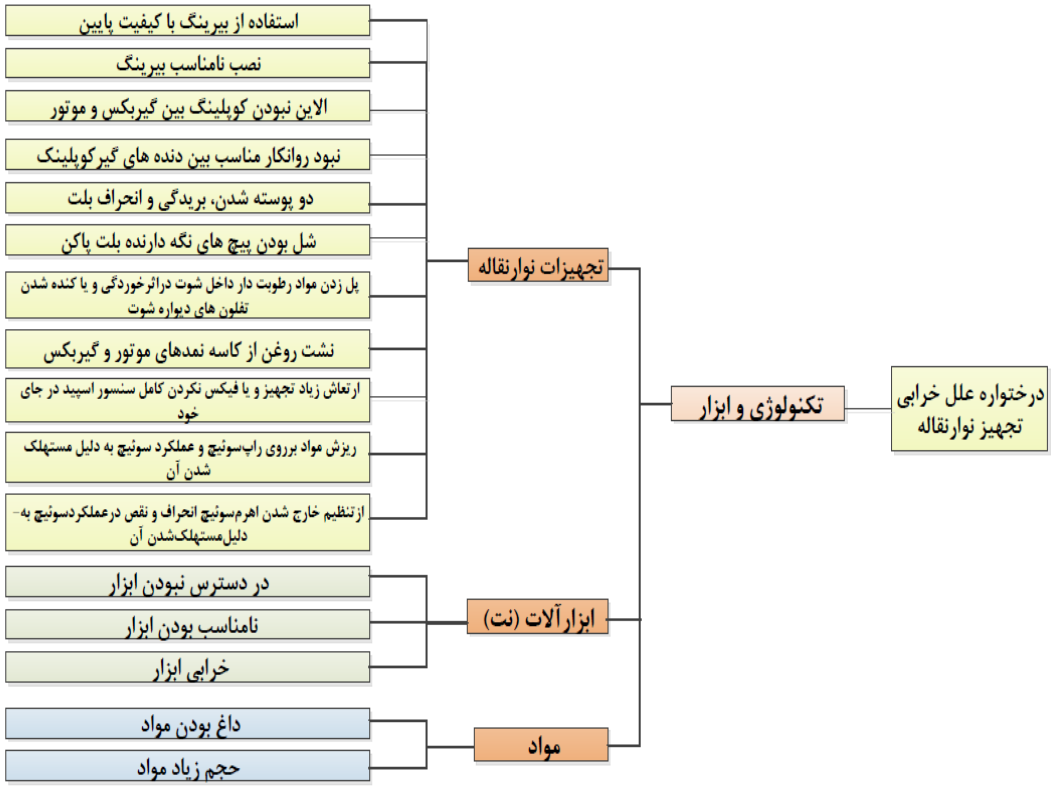
3. Severity

گل‌گهر، از طریق نوار نقاله‌ای به طول ۴۷۰ متر، وارد مخازن ذخیره اولیه واحد گندله‌سازی که هر یک دارای ظرفیت ۲۰۰۰ تن کنسانتره است، می‌گردد(یکی از مخازن جهت سنگ‌آهن هماتیت می‌باشد).

به‌طورکلی کارخانه گندله‌سازی شرکت معدنی و صنعتی گل‌گهر شامل ۶ ناحیه اصلی: ناحیه آسیاب، ناحیه خمیر سازی، ناحیه گندله خام، ناحیه پخت گندله، ناحیه سرند، ناحیه انباشت و برداشت است.

۴- اجرا و نتایج:

در این راستا به شناسایی علل فناوری و ابزاری خرابی نوار نقل با توجه به اسناد موجود و نظر خبرگان و کارشناسان مربوطه پرداخته شده است که شکل آن به صورت شکل زیر است.



شکل ۱: درختواره علل خرابی تجهیز نوار نقاله

۴-۱- عبارات کلامی برای متغیرهای ورودی

برای متغیرهای ورودی درجه وقوع، درجه تشخیص و درجه شدت با استفاده از جدول شماره ۱ عبارات کلامی و مقادیر فازی مشخص گردید.

۴- ۲- محاسبه میانگین فازی متغیرهای علل خرابی

میانگین فازی علل خرابی تجهیز نوار نقاله برای هر یک از متغیرهای شکست محاسبه و در جدول شماره ۲ قابل مشاهده می‌باشد.

جدول۲: میانگین فازی متغیرهای شکست علل خرابی

علل خرابی	درجه وقوع (O)			درجه تشخیص (D)			درجه شدت (S)		
استفاده از بیرینگ با کیفیت پایین	۰,۴۱۳	۰,۶۱۳	۰,۷۳۸	۰,۷۶۳	۰,۶۱۳	۰,۴۳۸	۰,۹۱۳	۰,۸۳۸	۰,۶۳۸
نصب نامناسب بیرینگ	۰,۴۲۵	۰,۶۲۵	۰,۷۷۵	۰,۸۱۳	۰,۶۶۳	۰,۴۸۸	۰,۹۲۵	۰,۸۷۵	۰,۶۷۵
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
داغ بودن مواد	۰,۱۷۵	۰,۳۲۵	۰,۵۲۵	۰,۶۵	۰,۴۵	۰,۲۵	۰,۸۲۵	۰,۷۲۵	۰,۵۲۵
حجم زیاد مواد	۰,۲۱۳	۰,۳۸۸	۰,۵۸۸	۰,۵	۰,۳۲۵	۰,۲	۰,۶۸۸	۰,۵۱۳	۰,۳۱۳

۴-۳- محاسبه عدد اولویت ریسک عوامل خرابی تجهیز نوار نقاله

در این راستا میانگین فازی علل خرابی تجهیز نوار نقاله برای هر یک از متغیرهای شکست محاسبه شده داده‌های جمع‌آوری شده از پرسشنامه FMEA Fuzzy نظرات هشت نفر از خبرگان صنعتی کارخانه گندله سازی شرکت معدنی و صنعتی گل گهر برای بررسی علل خرابی تجهیز نوار نقاله تکمیل شد. برای محاسبه RPN عوامل و زیر عوامل ابتدا میانگین نظرات خبرگان محاسبه و مقادیر S,D,O نهایی بدست می‌آید. نتیجه این عوامل به ترتیب رتبه‌بندی در جدول ۳ درج گردیده است.

در این ارزیابی نصب نامناسب بیرینگ بالاترین رتبه را با عدد ریسک ۰,۳۶۲ به خود اختصاص داده است. پس از آن الاین نبودن کوپلینگ بین گیربکس و موتور با عدد ریسک ۰,۳۴ به دست آمده است و استفاده از بیرینگ با کیفیت پایین با عدد ریسک ۰,۳۱۴ سومین مورد به دست آمده است.

در این مرحله بر اساس نظرات گروهی از خبرگان صنعتی در قالب یک کمیته فنی در چهار حوزه عوامل مؤثر بر شکست و راه‌های رفع آنها و مقوله‌های دانشی مورد نیاز برای عملی کردن پیشنهادات فوق و میزان در دسترس بودن مقوله‌های دانشی آن‌ها سؤالاتی در قالب جدول مورد پرسش قرار گرفته است.

جدول ۳: نتیجه ارزیابی عوامل شکست‌زا

ردیف	علل خرابی	(RPN)
۱	نصب نامناسب بیرینگ	۰,۳۶۲
۲	استفاده از بیرینگ با کیفیت پایین	۰,۳۱۴
۳	الاین نبودن کوپلینگ بین گیربکس و موتور	۰,۳۴
۴	نبود روانکار مناسب بین دنده‌های گیرکوپلینک	۰,۲۵۳
۵	دو پوسته شدن، بریدگی و انحراف بلت	۰,۱۹۶
۶	از تنظیم خارج شدن اهرم سوئیچ انحراف و نقص در عملکرد سوئیچ به دلیل مستهلک شدن آن	۰,۱۸
۷	ریزش مواد بر روی راپ سوئیچ و عملکرد سوئیچ به دلیل مستهلک شدن آن	۰,۱۷۸
۸	حجم زیاد مواد	۰,۱۵۶
۹	ارتعاش زیاد تجهیز و یاثابت نکردن کامل سنسور اسپید در جای خود	۰,۱۵۳
۱۰	نامناسب بودن ابزار	۰,۱۳۹
۱۱	پل زدن مواد رطوبت دار داخل شوت در اثر خوردگی و یا کنده شدن تفلون‌های دیواره شوت	۰,۱۳۴
۱۲	خرابی ابزار	۰,۱۲۹
۱۳	در دسترس نبودن ابزار	۰,۱۲۴
۱۴	نشت روغن از کاسه نمدهای موتور و گیربکس	۰,۱۱۱
۱۵	شل بودن پیچ های نگه دارنده بلت پاکن	۰,۰۹۵
۱۶	داغ بودن مواد	۰,۰۸۶

۴-۳-۱- بررسی و تحلیل عامل شکست‌زای اول: نصب نامناسب بیرینگ

در این ارزیابی نصب نامناسب بیرینگ، بالاترین رتبه را با عدد ریسک ۰,۳۶۲ به خود اختصاص داده است، در مصاحبه با خبرگان مربوطه نیز مورد تأیید قرار گرفت و نظرات خبرگان جهت استخراج مقوله‌های دانشی به شرح زیر می‌باشد:

۴-۳-۱-۱- پیشنهادات برای پیشگیری از وقوع

- ✓ تمیز بودن پیلوبلاک؛
- ✓ در هنگام نصب بیرینگ اول شناخت آن از نظر سایش که باعث لقی اسلیو می شود. چک کردن سیل‌ها از نظر پارگی، خمیدگی و درست جا زدن در پیلوبلاک و بعد از نصب بیرینگ لقی و فیلترگیری حتما رعایت شود. هنگام بستن درپوش پیلوبلاک مطمئن بودن از تنظیم بودن بیرینگ در جای خود؛
- ✓ چک کردن از نظر خرابی و سایش شفت درام که باعث لقی در نتیجه سفت نشدن بلبرینگ می‌شود؛
- ✓ بستن و درست جا زدن و تنظیم بودن پیلوبلاک در جای خود؛
- ✓ تا حد امکان آماده کردن محیط(عاری از گردوغبار)؛
- ✓ رعایت نکاتی در بعد از نصب از قبیل لقی بلبرینگ و فیلرگیری؛
- ✓ مقدار مناسب گریس و استفاده از روغن جهت گرم کردن یکنواخت بیرینگ؛
- ✓ چک و پرهیز از گرم کردن بیرینگ به شکل دستی؛
- ✓ تمیزکاری سطح شفت و کنس داخلی بیرینگ؛
- ✓ رساندن دمای بیرینگ به دمای توجیه شده و دستورالعمل و پس از گرم کردن و نصب بلافاصله آن؛
- ✓ استفاده از افراد متخصص و خبره این کار؛
- ✓ مطالعه دستورالعمل سازنده جهت تعویض بیرینگ مذکور.

۴-۳-۱-۲- پیشنهادات برای رفع معایب

- ✓ گریسکاری به موقع آن؛
- ✓ در صورت امکان کاهش بار وارده بر بیرینگ مذکور؛
- ✓ فراهم کردن امکان تهویه مناسب برای آن و در صورت نیاز نصب این هوا بر روی آن جهت نگه داشتن دمای آن در حداقل ممکن؛
- ✓ پایش ویبره و دمای آن به‌طور مداوم و در عین حال پایش وضعیت صدای تولیدی آن جهت اطمینان از فراهم بودن وضعیت کارکرد مناسب برای آن؛
- ✓ تعویض ساچمه یا بلبرینگ و یا قفسه و یا اسلیو در صورت آسیب دیدن؛

- ✓ روانکاری مجدد در صورت عوامل جزئی از قبیل صدای کم، پارگی میل‌ها؛
- ✓ شناخت کافی از جنس، نوع بیرینگ و عوامل محیطی.

۴-۳-۱-۳- مقوله‌های دانشی مرتبط با پیشگیری و رفع عوامل شکست‌زا

- ✓ آشنایی با نوع گریس موردنیاز هر بیرینگ و آشنایی با نحوه انجام گریسکاری و ضمنا آگاهی از میزان گریس موردنیاز هر بیرینگ در هر مرحله گریسکاری؛
- ✓ آشنایی با پروسه تولید و نحوه انتقال بار و یا تقسیم بار بین تجهیزات با کارکرد موازی؛
- ✓ آگاهی از نحوه استفاده از ویبره‌سنج و دماسنج؛
- ✓ آگاهی از نحوه استفاده از گوشی مخصوص بیرینگ جهت رصد صدای تولیدی توسط آن؛
- ✓ کلاس آموزشی برای تمامی نیروهایی که در رابطه قرار دارند مثل نیروهای محرک که تعویض بلبرینگ انجام می‌دهند و روان‌کارها؛
- ✓ آگاهی چگونگی استفاده از ابزار مناسب؛
- ✓ حضور تکنسین و یا فورمن مکانیک در محل.

۴-۳-۱-۴- نحوه استفاده از این دانش

- از این دانش جهت استفاده از نوع گریس مناسب هر بیرینگ و گریسکاری آن بیرینگ به شکل مناسب و با مقدار مناسب و موردنیاز استفاده می شود. به‌عنوان مثال برای گریسکاری یک بیرینگ، ابتدا باید تایپ گریس موردنیاز و مناسب برای آن را با توجه به توصیه سازنده آن بیرینگ مهیا کرد. سپس به شیوه توصیه شده در دستورالعمل نگهداری آن بیرینگ گریس به میزان مشخص شده در دستورالعمل مذکور به بیرینگ تزریق شود.
- از این دانش جهت کم کردن بار ریخته شده روی کانوایر با بیرینگ نامناسب نصب شده روی آن استفاده می‌گردد تا اینکه فشار وارده بر بیرینگ کمتر شود. این کار را در مسیر تولید می‌توان با شناخت مسیرهای تولید و راه و رسم کم کردن بار موجود در مسیر تولید بار وارد شده به کانوایر مذکور کم کرد.
- از این آگاهی جهت ایجاد توانایی در کاربرد ویبره‌سنج و دماسنج جهت سنجش میزان ارتعاش و دمای بیرینگ استفاده می‌شود.
- از این دانش جهت ایجاد توانایی در کاربرد گوشی مخصوص بیرینگ برای گوش کردن دقیق‌تر به صدای بیرینگ به جهت پیدا کردن صداهای غیرطبیعی بیرینگ که در اثر عیوب موجود در آن تولید شده‌اند، استفاده می‌شود.

۴-۳-۱-۵- منابع دانشی

۱. دستورالعمل نگهداری بیرینگ که توسط سازنده آن تنظیم گردیده است؛
۲. این دانش را می‌توان از دستورالعمل تولیدی کارخانه کسب کرد؛
۳. این دانش را می‌توان از دستورالعمل استفاده از این تجهیزات که توسط سازنده آن ارائه می‌شود، بدست آورد؛
۴. این آگاهی را می‌توان از دستورالعمل استفاده آن بدست آورد که توسط سازنده ارائه می‌شود؛
۵. از آنجایی که منابع ذکر شده تنها منابع موجود جهت کسب این آگاهی هستند، ما نیز تنها از این منابع جهت کسب آن آگاهی‌ها استفاده می‌کنیم؛
۶. واحد آموزش: برای کلاس‌های آموزشی و بازدیدها؛
۷. انبار مرکزی: خرید ابزار مناسب؛
۸. از هر دو استفاده شده است چون برای تعویض بیرینگ نیاز به تجربه و ابزار مناسب می‌باشد؛
۹. افراد با تجربه بالا و کلاس‌های آموزشی Document بیرینگ.

۴-۳-۲- بررسی و تحلیل عامل شکست‌زای دوم: الاین نبودن کوپلینگ بین گیربکس و موتور

عدد ریسک این عامل شکست‌زا ۰,۳۴ بدست آمده است. در مصاحبه با خبرگان مربوطه نیز مورد تأیید قرار گرفت و نظرات خبرگان جهت استخراج مقوله‌های دانشی به شرح زیر می‌باشد:

۴-۳-۲-۱- پیشنهادات برای پیشگیری از وقوع

- استفاده از پرسنل و افراد خبره برای الاین کوپل.
- استفاده از کوپل سالم و مناسب.
- ساعت زدن کوپل قبل از ثابت کردن آن.
- بستن پیچ‌های کوپل با ترگ (واحد گشتاور) مناسب.
- انجام الایمنت بعد از نصب موتور و گیربکس.
- استفاده از نوع دیگر از کوپلینگ که نیاز به الاین نداشته باشد (مثل کوپلینگ پنجه‌ای).
- استفاده از نیروی متخصص جهت الاین.
- استفاده از دستگاه لیزری الاین یا دستگاه اندیکاتور.

۴-۳-۲-۲- پیشنهادات برای رفع معایب

- باید کوپلینگ بین موتور و گیربکس الاین شود؛
- کاهش بار روی موتور(در صورت امکان)؛
- در صورت امکان توقف دادن موتور و الاین کردن کوپل؛

- اندازه‌گیری ارتعاش تجهیز با دستگاه ارتعاش‌سنج. اگر ارتعاش بیش از حد مجاز بود تجهیز را متوقف و الایمنت موتور و گیربکس انجام می‌شود.

۴-۳-۲-۳- مقوله‌های دانشی مرتبط با پیشگیری و رفع عوامل شکست‌زا

- آشنایی با فرایند تولید و نحوه انتقال بار و یا تقسیم بار بین تجهیزات با کارکرد موازی؛
- آشنایی با فرایند و زمان‌های ممکن برای توقفات کوتاه مدت تجهیزات؛
- آشنایی با نحوه الاین کردن کوپل بین گیربکس و موتور؛
- استفاده از ساعت اندیکاتور سالم و وسایل الایمنت کردن خوب؛
- آشنایی با دستگاه اندیکاتور لیزری جهت الاین کردن؛
- کلاس آموزشی جهت الاین کردن برای پرسنل؛
- استفاده از سیستم‌های استاندارد.

۴-۳-۳- بررسی و تحلیل عامل شکست‌زای سوم: استفاده از بیرینگ با کیفیت پایین

عدد ریسک این عامل شکست‌زا ۰,۳۱۴ بدست آمده است. در مصاحبه با خبرگان مربوطه نیز مورد تأیید قرار گرفت و نظرات خبرگان جهت استخراج مقوله‌های دانشی به شرح زیر می‌باشد:

۴-۳-۳-۱- پیشنهادات برای پیشگیری از وقوع

- شناخت برندهای سازنده بیرینگ‌ها با کیفیت بالا؛
- شناخت و آگاهی از فروشگاه و نمایندگی‌های عرضه کننده بیرینگ‌های برندهای معتبر؛
- خرید بیرینگ از عرضه‌کننده‌های معتبر و خرید بیرینگ از برندهای معتبر و شناخته شده؛
- در زمان خرید بیرینگ ارجحیت دادن از جهت دادن کیفیت آن به قیمت؛
- مراجعه به بازرگانی جهت درخواست خرید(خریدن بیرینگ از برندهای معروف و با اعتبار مثل(FAG- SKF).

۴-۳-۳-۲- پیشنهادات برای رفع معایب

- گریسکاری به‌موقع آن؛
- در صورت امکان کاهش بار وارده بر بیرینگ مذکور؛
- فراهم کردن امکان تهیه مناسب برای آن و در صورت نیاز نصب لاین هوا بر روی آن جهت نگه داشتن دمای آن در حداقل ممکن؛
- پایش ویبره و دمای آن به‌طور مداوم و در عین حال پایش وضعیت صدای تولیدی آن جهت اطمینان از فراهم بودن وضعیت کارکرد مناسب برای آن؛
- در صورت امکان تعویض بیرینگ با بیرینگ کیفیت مناسب.

۴-۳-۳-۳- مقوله‌های دانشی مرتبط با پیشگیری و رفع عوامل شکست‌زا

- آشنایی با نوع گریس موردنیاز هر بیرینگ و آشنایی با نحوه انجام گریسکاری و ضمنا آگاهی از میزان گریس مورد نیاز هر بیرینگ در هر مرحله گریسکاری.
- آشنایی با پروسه تولید و نحوه انتقال بار و یا تقسیم بار بین تجهیزات با کارکرد موازی.
- آگاهی از نحوه استفاده از ویبره‌سنج و دماسنج تفنگی.
- آگاهی از نحوه استفاده از گوشی مخصوص بیرینگ جهت رفع رصد صدای تولیدی توسط آن و آگاهی از انواع صداهای تولیدی یک بیرینگ در حین کار.

۴-۳-۳-۴- نحوه استفاده از این دانش

- از این دانش جهت شناخت گریس موردنیاز هر نوع بیرینگ و نحوه گریسکاری صحیح هر بیرینگ استفاده می شود. به این شکل که مثلا جهت بیرینگ خاص ابتدا می‌توان تایپ گریس موردنیاز از دستورالعمل نگهداری آن را بدست آورد که توسط سازنده توجیه شده است. سپس براساس همان دستورالعمل آن را گریسکاری کرد با میزان گریس توصیه توسط همان دستورالعمل.
- از این دانش جهت کم کردن بار ورودی به روی کانوایر دارای بیرینگ با کیفیت پایین استفاده می‌شود تا اینکه بتوان مدت زمان کارکرد آن را افزایش داد و امکان توقف اجباری آن را تا جای ممکن کاهش داد.
- از این دانش جهت خواندن میزان ارتعاش بیرینگ با کیفیت پایین نصب شده بر روی کانوایر و ضمنا خواندن میزان دمای آن حین کارکرد به جهت پایش و ضعیت آن استفاده می شود که برای جلوگیری از اقدامی که شرایط کارکرد آن را ثبت می‌کند و باعث خرابی زودهنگام آن می‌گردد؛ مثلا با پایش دما و ارتعاش یک بیرینگ با کیفیت پایین درصورتی‌که این فاکتورها وضعیت کارکرد آن را به غیرنرمال شدن گزارش دهد می‌توان قبل از متوقف شدن اجباری آن بیرینگ تصمیماتی جهت برگرداندن وضعیت کارکرد آن به حالت نرمال اتخاذ کرد.
- از این دانش جهت پایش صداهای تولیدی توسط بیرینگ استفاده می‌شود تا اینکه در صورت رو به حالت گذاشتن

وضـــعیت کارکرد آن جهت جلوگیری از غیرنرمال شـــدن وضعیت کارکرد آن تمهیداتی را درنظرگرفت.

۴-۳-۴- بررسی و تحلیل عامل شکست‌زای چهارم: نبود روانکار مناسب بین دنده‌های گیرکوپلینگ

عدد ریسک این عامل شکست‌زا ۰,۲۵۳ بدست آمده است. در مصـــاحبه با خبرگان مربوطه نیز مورد تأیید قرار گرفت و نظرات خبرگان جهت استخراج مقوله‌های دانشی به شرح زیر می‌باشد:

۴-۳-۴-۱- پیشنهادات برای پیشگیری از وقوع

- پایش روانکار دنده‌های گیرگوپلینگ و در صورت پایین آمدن سطح آن افزودن روانکار به اندازه لازم؛
- پایش ویبره گیرگوپلینگ و در صـــورت بالا رفتن آن چک میزان و وضعیت روانکار بین دنده‌های گیرکوپلینگ؛
- تمیز کردن دنده‌ها و شستن آنها به وسیله گازوئیل و یا مواد رقیق؛
- استفاده از گریس مناسب(گریس دنده)؛
- درخواست استفاده از یک برگه پریودیک جهت چک و شارژ روانکار مناسب بین دنده‌ها.

۴-۳-۴-۲- پیشنهادات برای رفع معایب

- در صـــورت کم بودن روانکار بین دنده‌های گیرگوپلینگ بیش از حد نرمال و یا نبود روانکار مناســـب در بین دنده های گیرکوپلینگ، توقف دادن تجهیز در اولین زمان ممکن؛
- افزودن روانکار به روانکار موجود در گیرکوپلینگ جهت بالا آمدن سطح آن تا حد مورد قبول و مناسب؛
- چک گیرکوپلینگ از نظر نشـــتی و در صـــورت وجود نشـــتی اقدام جهت رفع نشتی؛
- چک کردن دنده های گیرکوپلینگ از نظر شـــکســـتگی و سایش؛
- سیل کردن گیرکوپلینگ جهت جلوگیری از ریزش گریس؛
- ایجاد سند و نرم‌افزار تعمیرات و نگهداری مناسب جهت انجام کار و استفاده از افراد معتمد و متعهد.

۴-۳-۴-۳- مقوله‌های دانشی مرتبط با پیشگیری و رفع عوامل شکست‌زا

- شـــناخت حد بیشـــینه و کمینه ســـطح روانکار داخل گیرکوپلینگ؛
- آشنایی با نحوه خواندن ویبره و آگاهی از نوع نرمال آن؛
- شناخت روانکار مناسب هر نوع گیرکوپلینگ؛
- آشـنایی با شـرایط فرایند جهت صـدور مجوز توقف تجهیز با سطح روانکار پایین؛
- آشنایی با نحوه چک نشتی یک گیرکوپلینگ و به دنبال آن نحوه رفع نشتی آن.

۴-۳-۴-۴- نحوه استفاده از این دانش

- از این دانش جهت تشـــخیص مناســـب و یا نامناســـب بودن میزان روانکاری داخل گیربکس و همچنین جهت شـــارژ مناسب و کافی روانکار به داخل گیربکس استفاده می‌شود؛
- از این دانش جهت کســـب توانایی در خواندن میزان ویبره گیربکس اندازه گرفته شـــده توســـط ویبره متر و همچنین تشـــخیص نرمال یا غیرنرمال و زیاد بودن و غیرعادی بودن میزان ویبره گیربکس استفاده می‌شود؛
- از این دانش جهت شـــناخت و تهیه روانکار مناســـب برای هر گیربکس استفاده می‌شود؛
- از این دانش جهت ایجاد توانایی در فرد در راســـتای تعبیه صـــحیح در جهت متوقف کردن یا نکردن آنی گیربکســـی که میزان روانکار داخل آن توسط پرسنل کم تشخیص داده شده است؛
- از این دانش جهت چک کردن نشتی داشتن و یا نداشتن یک گیرکوپلینگ و در صورت نشتی روانکار آن جهت آشنایی با طریقه رفع آن نشتی استفاده می‌شود. مثال‌های این موارد:
  - مثال مورد (۱): نحوه استفاده از این آگاهی به این شکل است؛ اگر روانکار داخل گیرکوپلینگبن محدوده حداکثر و حداقل(محدوده مجاز) باشـــد، نتیجه می‌گیریم که این روانکار مناسب است و در صورتی‌که کمتر از حد کمینه باشـــد، به معنی این اســـت که مقدار روانکار داخل گیرکوپلینگ کم است.
  - مثال مورد (۲): نحوه اســتفاده از این دانش به این شــکل است که عدد نمایش داده شده توسط ویبره متر خوانده می‌شـــود و با حد نرمال بودن آن مقایســـه می‌شـــود که توسط کارخانه سازنده گیرکوپلینگ مشخص شده است. درصـــورتی‌که کمتر از حد نرمال یا مســـاوی آن بودن وضـــعیت نرمال و مناســـب بودن میزان روانکار در داخل گیربکس است؛
  - مثال مورد (۳): در این قســـمت دســـتورالعمل نگهداری مرتبط به آن گیرکوپلینگ مراجعه شـــده و نوع روانکار مناسب آن گیرکوپلینگ از آن اخذ شده و سپس روانکار با مشخصات مطابق آن تهیه می‌شود.
  - مثال مورد (۴): به‌عنوان مثال اگر با گیرکوپلینگی روبرو شـــدیم که ســـطح روانکار داخل آن کم بود، در صـــورت اینکه خسارت وارده ناشی از توقف تولید به واسطه توقف

دادن گیرکوپلینگ کمتر از خسارت حاصل از کارکردن گیرکوبلینگ با میزان روانکار کم داخل آن باشد، گیرکوپلینگ مذکور را توقف می‌دهیم.

- مثال مورد (۵): به‌عنوان مثال اگر در اطراف گیرکوپلینگ نشتی روانکار مشاهده شد، کاسه نمدهای مربوط به آن در محل نشتی‌ها تعویض خواهد شد.

۴-۳-۵- بررسی و تحلیل عامل شکست‌زای پنجم: دو پوسته شدن، بریدگی و انحراف بلت

عدد ریسک این عامل شکست‌زا ۰,۱۹۶ بدست آمده است. در مصاحبه با خبرگان مربوطه نیز مورد تأیید قرار گرفت و نظرات خبرگان جهت استخراج مقوله‌های دانشی به شرح زیر می‌باشد:

۴-۳-۵-۱- پیشنهادات برای پیشگیری از وقوع

- پایش مستمر وضعیت کانوایر و رولیک‌ها و سایر متعلقات در ارتباط با بلت جهت کشف موارد مستعد آسیب‌رسانی به بلت؛
- تعویض به‌موقع بلت‌های فرسوده؛
- رفع عیب قسمت‌های معیوب شده بلت به جهت جلوگیری از پیشرفت عیب و منجر به توقف شدن آنها؛
- تصحیح انحراف‌های بلت در ابتدای کار که اندازه آنها کم است؛
- درنظرگرفتن پیش دریفت برای سوئیچ انحراف بلت جهت کشف انحراف قبل از منجر شدن آنها به توقف بلت؛
- انحراف بلت گرفته شود و نصب گاید تفلونی در منطقه بیرینگ درام‌ها جهت جلوگیری از انحراف و درگیر بودن بلت با استراکچر؛
- جلوگیری از ریزشات که باعث انحراف می‌شود و باعث پارگی و آسیب به بلت می‌شود؛
- بریدگی‌ها را برای جلوگیری از بیشتر نشدن ترمیم می‌شود؛
- جلوگیری از انحراف توسط نصب Self-aliment بر روی نوار؛
- چک کردن vertical؛
- چک کردن ریزش بار در موقعیت مناسب بر روی نوار.

۴-۳-۵-۲- پیشنهادات برای رفع معایب

- رفع و تصحیح بریدگی های رخ داده برای بلت در اولین فرصت ممکن؛
- رفع انحراف کردن بلت منحرف شده؛
- چک نوار نقاله‌ها در شیفت‌ها توسط اپراتوهای تولید؛
- آموزش به تمامی پرسنل تعمیرات؛
- حضور تکنسین‌ها در محل کار.

۴-۳-۵-۳- مقوله‌های دانشی مرتبط با پیشگیری و رفع عوامل شکست‌زا

- شناخت متعلقات کانوایر و آگاهی از علائم نرمال بودن و یا غیرنرمال بودن وضعیت کانوایر و هر یک از متعلقات آنها؛
- آگاهی از نحوه و ابزار تعویض بلت و آشنایی با نحوه تعویض بلت؛
- آگاهی از نحوه رفع عیب بلت بریده شده؛
- آشنایی با نحوه گرفتن انحراف بلت؛
- آگاهی از نحوه تعریف و تنظیم پیش دریفت با استفاده از سوئیچ انحراف برای کانوایر؛
- مقوله‌های دانشی موردنیاز در دسترس می‌باشد.

۴-۳-۵-۳- نحوه استفاده از این دانش

- از این دانش جهت شناخت متعلقات کانوایر و اجزای اصلی کانوایر و تشخیص وضعیت کاری آن از نظر نرمال بودن یا نبودن‌شان استفاده می‌شود؛ به این شکل که مثلا اگر مشاهده شد که رولیک از یک کانوایر سر و صدا دارد(در حین چرخش) و یا سطح آن ساییده شده است، باید در اولین فرصت ممکن تعویض گردد(جهت جلوگیری از صدمه رساندن به کانوایر)؛
- از این دانش جهت آگاهی مهیا کردن مقدمات تعویض بلت و انجام تعویض بلت استفاده می‌شود. به‌عنوان مثال جهت کشیدن بلت جدید روی اسکلت کانوایر باید از دستگاهی به نام وینچ استفاده کرد؛
- از این دانش جهت ترمیم بلت بریده و یا پاره شده استفاده می‌شود که نحوه ترمیم به نوع بزرگی و میزان آن بستگی دارد. مثلا جهت ترمیم نوعی از پارگی بلت از سوپر اسکرو(super screw) استفاده می‌شود؛
- از این دانش جهت برگرداندن بلت منحرف شده به وضعیت نرمال آن استفاده می شود. مثلا برای فرستادن بلت منحرف شده به سمت چپ باید درام کانوایر از سمت چپ به اندازه میزان انحراف به عقب کشیده شود تا بلت به جای اولیه خود برگردد؛
- از این دانش جهت تنظیم و تعریف پیش دریفت برای کانوایر استفاده می شود. به جهت آگاه شدن پرسنل راهبر از شروع شدن انحراف بلت و توانایی پیدا کردن آنها در ممانعت از پیشرفت آن که این کار به این شکل صورت می‌گیرد که از دریفت سوئیچ با قابلیت دو کنتاکت استفاده می‌شود و در نرم‌افزار راهبر کنتاکت اول به‌عنوان پیش دریفت(آگاهی‌دهنده

شروع انحراف بلت) استفاده می‌شود.

۴-۳-۶- بررسی و تحلیل عامل شکستزای ششم: از تنظیم خارج شدن اهرم سوئیچ انحراف و نقص در عملکرد سوئیچ به دلیل مستهلک شدن آن

عدد ریسک این عامل شکستزا ۰,۱۸ بدست آمده است. در مصاحبه با خبرگان مربوطه نیز مورد تأیید قرار گرفت و نظرات خبرگان جهت استخراج مقوله‌های دانشی به شرح زیر می‌باشد:

۴-۳-۶-۱- پیشنهادات برای پیشگیری از وقوع

- چک وضعیت کاری سوئیچ انحراف به شکل دوره‌ای و درصورت مشاهده عیب و رفع عیب آن؛
- مخالفت از قرار گرفتن سوئیچ انحراف در معرض رطوبت و سایر عوامل فرسایشی؛
- چک و بازرسی توسط اپراتورهای تولید و واحد بازرسی و ابلاغ به واحد ابزار دقیق.

۴-۳-۶-۲- پیشنهادات برای رفع معایب

- چک و رفع عیب آن و در صورت معیوب بودن قطعه‌ای از آن، تعویض قطعه مذکور و تنظیم اهرم سوئیچ؛
- در صورت اطمینان از منحرف شدن بیشتر کانوایر می‌توان تا زمان ممکن شدن توقف بی‌ضرر کانوایر سیگنال مربوط به سوئیچ انحراف آن را بلاک کرد؛
- جلوگیری از توقف خطوط در مواردی نظیر اتصالی برق و خرابی برق ها و مسائل مکانیکی(در جهت عدم توقف بی‌جهت نوارنقاله)
- حضور در محل و با بلاک کردن دریفت اهرم را تعویض نماید.

۴-۳-۶-۳- مقوله‌های دانشی مرتبط با پیشگیری و رفع عوامل شکستزا

- آگاهی از نحوه چک و بازبینی و رفع عیب سوئیچ انحراف؛
- آگاهی از نحوه تعویض قطعه سوئیچ انحراف؛
- اطلاع از نحوه بلاک کردن سیگنال مربوط به سوئیچ انحراف؛
- آگاهی از نحوه تنظیم اهرم سوئیچ انحراف.

۴-۳-۶-۴- نحوه استفاده از این دانش

- از این دانش جهت چک و در صورت معیوب بودن سوئیچ انحراف برای تعمیر آن استفاده می‌شود. مثلا برای چک آن با هماهنگی اتاق کنترل سوئیچ انحراف به شکل دستی تحریک می‌شود(وضعیت خطا برای آن شبیه‌سازی می‌شود). در صورتی سیگنال آن در اتاق کنترل دریافت شد. سوئیچ انحراف مذکور مشکلی ندارد، اگر سیگنال در اتاق کنترل دریافت نشد، نشان از معیوب بودن آن است.
- از این دانش جهت تعویض قطعه معیوب در سوئیچ انحراف استفاده می‌شود که دچار عیب است. مثلا درصورتی‌که اهرم مربوط به سوئیچ انحرافی به دلیل کارکرد زیاد از حد طبیعی خود باریک‌تر شده باشد و یا تعویض گردد.
- از این دانش جهت تنظیم دقیق اهرم سوئیچ انحراف استفاده می شود که از بروز خطا در عملکرد سوئیچ جلوگیری شود و سوئیچ بتواند تمامی انحرافات بلت را به شکل دقیق اطلاع دهد که این کار با آوردن بلت به موقعیت نرمال و تنظیم دسته اهرم به شکلی که در فاصله ورود یک سانتی‌متری لبه بلت قرار گیرد، انجام می‌شود.

۴-۳-۷- بررسی و تحلیل عامل شکستزای هفتم: ریزش مواد برروی راپ سوئیچ و عملکرد سوئیچ به دلیل مستهلک شدن آن

عدد ریسک این عامل شکستزا ۰,۱۷۸ بدست آمده است. در مصاحبه با خبرگان مربوطه نیز مورد تأیید قرار گرفت و نظرات خبرگان جهت استخراج مقوله‌های دانشی به شرح زیر می‌باشد:

۴-۳-۷-۱- پیشنهادات برای پیشگیری از وقوع

نصب کاور فلزی برروی راپ سوئیچ‌ها.

۴-۳-۷-۲- پیشنهادات برای رفع معایب

- در مرحله اول هماهنگی با نیروهای ابزار دقیق و نیروهای مکانیک حضور در محل کار؛
- برای اینکه خط متوقف نشود، میتوان راپ سوئیچ را از مدار خارج کرد(بلاک)، موادی که بر روی آن ریخته تمیزکاری و طناب و سیستم برقی آن چک شود.

۴-۳-۷-۳- مقوله‌های دانشی مرتبط با پیشگیری و رفع عوامل شکستزا

آگاهی جهت پیگیری این نوع عمل وظایف واحد برق که کاورها توسط کارگاه ساخت ساخته شود و به واحد مکانیک ابلاغ و نصب گردد.

۴-۳-۷-۴- نحوه استفاده از این دانش

دستور ساخت کار به واحد کارگاه ساخت و بعد از ساخت توسط نیروهای مکانیک نصب می‌شود.

۴-۳-۸- بررسی و تحلیل عامل شکستزای هشتم: ارتعاش زیاد تجهیز و یا ثابت نکردن کامل سنسور اسپید در جای خود

عدد ریسک این عامل شکستزا ۰,۱۵۳ بدست آمده است. در مصاحبه با خبرگان مربوطه نیز مورد تأیید قرار گرفت و نظرات

خبرگان جهت استخراج مقوله‌های دانشی به شرح زیر می‌باشد:

۴-۳-۸-۱- پیشنهادات برای پیشگیری از وقوع

- حذف عوامل ایجاد شده ارتعاش در تجهیز؛
- در زمان تنظیم و محکم کردن سنسور اسپید همیشه سنسور را در جایگاه خود باید به بهترین نحو محکم کرد؛
- استفاده از افراد باتجربه و بادقت برای انجام تنظیمات سنسور اسپید و هرگونه تعمیراتی روی آن؛
- در هنگام بستن اسپید سنسور، از ثابت بودن آن باید مطمئن شده و سپس خط استارت گردد. می‌توان از پایه ساپورت محکم استفاده نمود.

۴-۳-۸-۲- پیشنهادات برای رفع معایب

- در اولین فرصت ممکن سنسور در جای خود محکم شود؛
- عواملی که باعث شل شدن پیچ نگهدارنده سنسور شده‌اند، شناسایی و حذف شود؛
- برای تنظیم کردن اسپید سنسور حتما باید خط متوقف شود؛ چراکه روی درام تیل نصب می‌شود و بسیار خطرناک است.

۴-۳-۸-۳- مقوله‌های دانشی مرتبط با پیشگیری و رفع عوامل شکست‌زا

- شناخت ارتعاش و عوامل ایجاد شده آن در تجهیز نوار نقاله؛
- آشنایی با نحوه محکم کردن سنسور اسپید مربوطه؛
- توانایی تشخیص افراد باتجربه و بادقت و آشنایی با وضعیت عملکردی کلیه پرسنل زیردست.

۴-۳-۸-۴- نحوه استفاده از این دانش

- از این دانش جهت آگاهی شناخت عوامل ایجاد شده ارتعاش تجهیز نوارنقاله و اقدام جهت کاهش ارتعاش این تجهیز و در حین پایین نگه داشتن مقدار ارتعاش آن استفاده می‌شود. به این شکل که مثلا درصورتی‌که پیچ‌های نگهدارنده هر جزء نوارنقاله که به شکل مناسب سفت نباشد، در حین کار نوارنقاله آن قسمت دچار لرزش می‌شود.
- از این دانش جهت محکم کردن سنسور اسپید در محل نصب آن بر روی کانوایر استفاده می‌شود؛ به این شکل که مهره دور محیط آن به‌نحوی سفت می شود که کل سنسور در محل خود به ساپورت آن به شکل کامل بچسبد و در اثر لرزش احتمالی کانوایر در محل خود درنیاید؛
- از این دانش جهت محول کردن وظیفه ثابت کردن سنسور اسپید به افراد بادقت و مسئولیت‌پذیر استفاده می شود؛ به این شکل که فردی عمدتا در انجام وظایف خود دقت نظر به خبره می‌دهد، برای انجام این کار انتخاب می‌شود.

۴-۳-۹- بررسی و تحلیل عامل شکست‌زای نهم: پل زدن مواد رطوبت‌دار داخل شوت در اثر خوردگی و یا کنده‌شدن تفلون‌های دیواره شوت

عدد ریسک این عامل شکست‌زا ۰,۱۳۴ بدست آمده است. در مصاحبه با خبرگان مربوطه نیز مورد تأیید قرار گرفت و نظرات خبرگان جهت استخراج مقوله‌های دانشی به شرح زیر می‌باشد:

۴-۳-۹-۱- پیشنهادات برای پیشگیری از وقوع

- چک دوره‌ای شوت‌ها جهت کشش خوردگی دیوار آنها و یا معیوب بودن تفلون‌های دیواره؛
- در صورت کشف خوردگی در دیواره‌های شوت و یا تفلون معیوب در دیواره اقدام جهت رفع خوردگی مذکور و رفع عیب و یا تعویض تفلون معیوب.

۴-۳-۹-۲- پیشنهادات برای رفع معایب

- تمیزکاری مسیر شوت با حذف مواد پل زده در داخل آن؛
- حذف خوردگی و یا تفلون معیوب که منجر به پل زدن مواد در شوت شده است.

۴-۳-۹-۳- مقوله‌های دانشی مرتبط با پیشگیری و رفع عوامل شکست‌زا

- آشنایی با اثرات ایجاد خوردگی بر روی سطح نظرات و توانایی تشخیص آن در صورت وجود؛
- توانایی تشخیص تفلون معیوب و آشنایی با نحوه تعویض تفلون‌های دیواره شوت‌ها؛
- آشنایی با نحوه تمیزکاری مواد پل‌زده در داخل شوت‌ها؛
- در زمان توقف، برنامه‌ریزی جهت نصب تفلون‌ها باید دقیق باشد. به دلیل اینکه گلوگاه مواد می‌باشد. جنس تفلون‌ها باید ضد سایش و محکم بوده که به دیواره های شوت آسیب نرساند.

۴-۳-۱۰- بررسی و تحلیل عامل شکست‌زای دهم: خرابی ابزار

عدد ریسک این عامل شکست‌زا ۰,۱۲۹ بدست آمده است. در مصاحبه با خبرگان مربوطه نیز مورد تأیید قرار گرفت و نظرات خبرگان جهت استخراج مقوله‌های دانشی به شرح زیر می‌باشد:

۴-۳-۱۰-۱- پیشنهادات برای پیشگیری از وقوع

- خرید ابزارهای با کیفیت بالا؛
- خرید ابزار های موردنیاز در فرایند تغییر تمامی تجهیزات موجود و در عین حال خرید ابزار به تعداد کافی به جهت جلوگیری از اجبار در کاربرد ابزارها در محل و کارهایی که با

کاربرد واقعی آنها تناسبی ندارد و لذا باعث خرابی آنها می‌شود؛
- آموزش نحوه استفاده مناسب از هر ابزار به جهت جلوگیری از وارد شدن صدمه به ابزار به دلیل عدم آگاهی از کاربرد وخیم آن؛
- استفاده از هر ابزار در جایگاهی که برای آن پیش‌بینی شده است و باردهی به آن به اندازه توان تحمل آن و نه بیشتر.

۴-۳-۱۰-۲- پیشنهادات برای رفع معایب

- خرید ابزارهای با کیفیت بالا؛
- خرید ابزارهای موردنیاز در فرایند تغییر تمامی تجهیزات موجود و در عین حال خرید ابزار به تعداد کافی به جهت جلوگیری از اجبار در کاربرد ابزارها در محل و کارهایی که با کاربرد واقعی آنها تناسبی ندارد و لذا باعث خرابی آنها می‌شود؛
- آموزش نحوه استفاده مناسب از هر ابزار به جهت جلوگیری از وارد شدن صدمه به ابزار به دلیل عدم آگاهی از کاربرد وخیم آن؛
- استفاده از هر ابزار در جایگاهی که برای آن پیش‌بینی شده است و باردهی به آن به اندازه توان تحمل آن و نه بیشتر.

۴-۳-۱۰-۳- مقوله‌های دانشی مرتبط با پیشگیری و رفع عوامل شکست‌زا

- شناخت کلیه تجهیزات موجود در سایت و ابزارهای مورد نیاز آنها برای انجام تغییرات بر روی آنها؛
- شناخت برندهای تولید شده با کیفیت مناسب در هر نوع ابزار؛
- اطلاع از نحوه صحیح کاربرد ابزار و توانایی در انتقال آن به دیگران؛
- اطلاع از حداکثر میزان بازدهی هر ابزار؛
- اطلاع از نحوه تغییر ابزار معیوب در صورت تعمیر پذیر بودن آن.

۴-۳-۱۱- بررسی و تحلیل عامل شکست‌زای یازدهم: در دسترس نبودن ابزار

عدد ریسک این عامل شکست‌زا ۰,۱۲۴ بدست آمده است. در مصاحبه با خبرگان مربوطه نیز مورد تأیید قرار گرفت و نظرات خبرگان جهت استخراج مقوله‌های دانشی به شرح زیر می‌باشد:

۴-۳-۱۱-۱- پیشنهادات برای پیشگیری از وقوع

- خرید ابزار به تعداد کافی با توجه به کارهای تعمیراتی پیش‌آمده به‌طور معمول و یا درنظرگرفتن تعدادی از ابزارها به‌عنوان ابزار پشتیبان برای عوامل رخداد موارد تعمیراتی بیشتر از حد معمول؛
- خرید ابزارهای موردنیازی که در لیست ابزار حاضر موجود نیست؛
- در صورت خرابی و یا مفقودی ابزار در اولین فرصت ابزار جایگزین آنها شود(ابزار جایگزین خریداری گردد)؛
- برگرداندن ابزارهای مربوط کارهای تعمیراتی اتمام یافته به انبار ابزار در اولین فرصت.

۴-۳-۱۱-۲- پیشنهادات برای رفع معایب

- درصورتی‌که عامل در دسترس نبودن ابزار، کم بودن تعداد ابزار خریداری شده و یا خریداری نشدن آن باشد، ابزار مذکور در اولین فرصت خریداری گردد.
- برنامه‌ریزی و مدیریت کارهای تعمیراتی در چند جلسه به شکلی که ابزارهای موجود جوابگوی کارهای تعمیراتی موازی باشد؛
- درصورتی‌که کمبود ابزار ناشی از برنگرداندن ابزار تحویل گرفته شده از انبار پس از اتمام انجام کار باشد، با افراد خاطی برخورد گردد.

۴-۳-۱۱-۳- مقوله‌های دانشی مرتبط با پیشگیری و رفع عوامل شکست‌زا

- آشنایی با نحوه پیدا کردن تعداد ابزار موردنیاز در سطح یک کارخانه جهت انجام کارهای تعمیراتی؛
- آشنایی با نحوه خرید و یا سفارش ابزارآلات؛
- آشنایی با نحوه انبارداری ابزار؛
- آشنایی با نحوه مدیریت و برنامه‌ریزی صحیح کارهای تعمیراتی.

۴-۳-۱۲- بررسی و تحلیل عامل شکست‌زای دوازدهم: نشت روغن از کاسه نمدهای موتور و گیربکس

عدد ریسک این عامل شکست‌زا ۰,۱۱۱ بدست آمده است. در مصاحبه با خبرگان مربوطه نیز مورد تأیید قرار گرفت و نظرات خبرگان جهت استخراج مقوله‌های دانشی به شرح زیر می‌باشد:

۴-۳-۱۲-۱- پیشنهادات برای پیشگیری از وقوع

- چک دوره‌ای نشتی روغن موتور از کاسه نمدهای موتور و گیربکس و در صورت لازم اقدام جهت تعویض با کاسه نمدهای موردنظر؛
- شارژ روغن موتور و گیربکس به اندازه موردنیاز و جلوگیری از شارژ بیش از اندازه آن؛
- استفاده از کاسه نمد از جنس استاندارد و مرغوب.

۴-۳-۱۲-۲- پیشنهادات برای رفع معایب

- رفع نشستی روغن از کاسه نمدهای موتور و گیربکس در صورت وجود در اولین فرصت؛
- کم کردن روغن شارژشده موتور و گیربکس در صورت بیش‌تر بودن حجم آن از حد مجاز؛

۴-۳-۱۲-۳- مقوله‌های دانشی مرتبط با پیشگیری و رفع عوامل شکست‌زا

- آشنایی با نحوه چک نشتی‌های موتور و گیربکس و آگاهی از نحوه تعویض کاسه نمدهای موتور و گیربکس؛
- آشنایی با مقدار روغن موردنیاز هر موتور و گیربکس و آگاهی از نحوه شارژ و دشارژ روغن به آن.

۴-۳-۱۳- بررسی و تحلیل عامل شکست‌زای سیزدهم: شل بودن پیچ‌های نگه دارنده بلت پاکن

عدد ریسک این عامل شکست‌زا ۰،۰۹۵ بدست آمده است. نظرات خبرگان به‌صورت زیر می‌باشد:

۴-۳-۱۳-۱- پیشنهادات برای پیشگیری از وقوع

- چک دوره‌ای وضعیت بلت پاک‌کن‌ها و رفع عیب آنها و محکم کردن پیچ‌های نگهدارنده آنها در صورت محکم نبودن؛
- آچارکشی پیچ‌ها در طول مدت توسط واحد مکانیک.

۴-۳-۱۳-۲- پیشنهادات برای رفع معایب

- محکم کردن پیچ‌های نگه‌دارنده بلت پاک‌کن؛
- حتی‌الامکان سعی شود بدون متوقف کردن خط، آچارکشی انجام شود؛ چراکه ارتعاش بلت پاکن باعث باز شدن پیچ‌ها می‌شود و به نوار آسیب می‌رساند.

۴-۳-۱۳-۳- مقوله‌های دانشی مرتبط با پیشگیری و رفع عوامل شکست‌زا

- آشنایی با چک کردن بلت‌پاکن و توانایی تشخیص معیوب بودن آن؛
- آگاهی از نحوه محکم کردن پیچ‌های بلت‌پاک‌کن.

۵- نتیجه گیری

به‌طورکلی مهم‌ترین اقدامات در قالب علل خرابی تجهیز نوار نقاله با استفاده از مصاحبه با خبرگان صنعتی استخراج گردید. علل مرتبط با نقاط شکست فناوری و ابزار نوار نقاله در ۱۶ نقطه و حالت مختلف شناسایی گردید. در ادامه، با توجه به عوامل شکست‌زای تعیین شده مقوله‌های دانشی مرتبط با هر یک از عوامل شکست‌زا در راستای افزایش بازده نوار نقاله و کاهش هزینه‌ها و زمان تعمیر، ارائه شده است.

بهره گیری از تکنیک FMEA در راستای شناسایی نقاط شکست و به دنبال آن ارائه مقوله‌های دانشی در پژوهش توجه شده است؛ پیشنهاد می شود در آینده محققین سایر مقوله‌ها و عوامل بیرونی تاثیرگذار بر فناوری و ابزار نوار نقاله را نیز شناسایی کرده و به تحلیل نقاط بپردازند.

۶- تقدیر و تشکر

با تشکر از کارکنان محترم مجتمع معدنی و صنعتی گل‌گهر سیرجان، علی‌الخصوص آقایان مهندس محسن ادیبان و مهندس حسن صادقی. همچنین از جناب آقای دکتر سلیمان منصوری محمدآبادی به دلیل ارائه نقطه‌نظرات مفید کمال تشکر را دارم و پیشاپیش از اساتید و مؤلفان محترم که نشریه را در ارتقای کیفی آن یاری می‌کنند، سپاسگزارم.

فهرست منابع:

[۱] برون، مهرداد؛ **"انواع نوار نقاله و ایمنی نوار نقاله"**، دومین همایش و نمایشگاه ملی و بین‌المللی سیستم‌های نوار نقاله با رویکرد مدیریت حمل‌ونقل مواد، تهران، آفاق ره آوران صنعت، ۱۳۹۵.

[۲] حلوانی، غلامحسین؛ ابراهیم‌زاده، مهرزاد؛ **"ارزیابی و مدیریت ریسک مخاطرات موجود در مجتمع فولاد یزد با روش تجزیه و تحلیل حالات نقص و اثرات ناشی از آن(FMEA)"**، فصلنامه علمی ترویجی راه سلامت، ایمنی و محیط زیست، سال دوم، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۲.

[۳] علی‌محمدی مقدم ثانی، مرتضی؛ فروغی مسیب، قلی‌پور؛ ابوالقاسم، خاکی نجف آبادی، محمد رضا؛ **"بومی سازی کاورهای خام لاستیکی آپارات گرم نوارنقاله"**، دومین همایش و نمایشگاه ملی و بین المللی سیستم‌های نوار نقاله با رویکرد مدیریت حمل و نقل مواد، تهران، آفاق ره آوران صنعت، ۱۳۹۵.

[۴] زنجیرچی، سیدمحمود؛ مروتی شریف آبادی، علی؛ **مدیریت کیفیت و بهره‌وری**، انتشارات دانشگاه یزد، صص ۱۷۸-۱۵۵، ۱۳۹۳.

[۵] محمدی، حسن؛ هراتی مختاری، عباس؛ ایرانشاهی، سبحان؛ کریمی جشنی، امین؛ **"ارزیابی ریسک در عملیات راهنمایی کشتی با استفاده از روش FMEA FUZZY"**، یازدهمین همایش بین‌المللی سواحل، بنادر و سازه‌های دریایی، ۱۳۹۳.

[۶] امیر عجمی بهبهانی، سید محمد؛ **انتخاب تامین‌کنندگان با رویکرد FMEA تعمیم یافته با دیمتل(مطالعه موردی: شرکت نفس استان فارس)**، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی یزد، ۱۳۹۴.

[۷] خشا، رقیه؛ سپهری، محمدمهدی؛ خطیبی، توکتم؛ سروش، احمدرضا؛ **"کاربرد FMEA فازی برای بهبود گردش کار در اتاق‌های عمل"**، نشریه علمی پژوهشی مهندسی صنایع، دوره ۴۷، شماره ۲، صص ۱۴۷-۱۳۵، ۱۳۹۲.

[۸] رادفر, رضا؛ حسین‌زاده لطفی، فرهاد؛ خلیلی، آیسان؛ **"اندازه‌گیری رضایت مشتریان با استفاده از منطق فازی (مطالعه موردی: دستگاه‌های خودپرداز بانک صادرات ایران در شهر تهران)"**، مدیریت بازاریابی، شماره ۸، صص ۱۱۳-۹۳، ۱۳۸۹.

[۹] مقدسی، مجتبی؛ شفیعی‌زاده بافقی، مهدی؛ حسینی المدواری، سیدمحمد؛ **"ارزیابی ریسک به روش FMEA در پروژه احداث کارخانه‌ی فولاد بافق و ارتباط نتایج ارزیابی با نوع شغل"**، هفتمین همایش سراسری بهداشت حرفه ای، ۱۳۹۰.

[۱۰] میرفخرالدینی، سیدحیدر؛ پورحمیدی، مسعود؛ میرفخرالدینی، فائزه سادات؛ **"رتبه‌بندی حالات بالقوه زیان‌آور با استفاده از تحلیل خوشه‌ای فازی مطالعه موردی: واحد فولاد سازی شرکت فولاد آلیاژی ایران"**، فصلنامه علمی- پژوهشی مطالعات مدیریت صنعتی، دوره ۱۰، شماره ۲۷، صص ۹۳-۶۸، ۱۳۹۱.

[11] Fonseca, D. J.; Uppal, G.; Greene, T. J.; "*A knowledge-based system for conveyor equipment selection*", Expert systems with applications, Vol. 26, No. 4, pp. 615-623, 2004.

[12] Omidvar, M.; Nirumand, F.; "*An extended VIKOR method based on entropy measure for the failure modes risk assessment–A case study of the geothermal power plant (GPP)*", Safety science, Vol. 92, pp. 160-172, 2017.

[13] Petrovic, D. V.; Tanasijevic, M.; Milic, V.; Lilic N.; Stojadinović, S.; Svrkota, I.; "*Risk assessment model of mining equipment failure based on fuzzy logic*", Expert Systems with Applications, Vol. 41, No. 18, pp. 8157-8164, 2014.