هفتمین کنفرانس بین‌المللی
مهندسی قابلیت اطمینان و ایمنی

آنالیز شکست پوسته گیربکس با روش تحلیل علل ریشه‌ای

رضا احمدی [۱]، آرمین قوچی [۲]، وحید رشید [۳]

۱- کارشناس برنامه‌ریزی و پایش وضعیت، مجتمع معدن مس سونگون، ورزقان، ایران، reza.mec@gmail.com
۲- رئیس بازرسی فنی، مجتمع معدن مس سونگون، ورزقان، ایران، ghouchi@nicico.com
۳- سرپرست برنامه‌ریزی و پایش وضعیت، مجتمع معدن مس سونگون، ورزقان، ایران، rashid@nicico.com

چکیده

یکی از مهم‌ترین قطعات مورد استفاده در صنایع مختلف گیربکس می‌باشد که برای انتقال توان مکانیکی از یک منبع تولید توان به یک مصرف‌کننده و همچنین برآورده ساختن گشتاور و سرعت دورانی مورد نیاز مصرف‌کننده به کار می‌رود. مؤثرترین اجزای گیربکس پوسته آن می‌باشد که هم به‌عنوان فونداسیون، اجزای دیگر گیربکس مثل شفت و بلبرینگ‌ها را نگه می‌دارد و هم نیروهای وارده از طرف آنها را تحمل می‌کند. شکست ناشی از ترک رایج‌ترین عیب در پوسته گیربکس می‌باشد. هدف از نگارش این مقاله بیان مراحل کامل فرایند علت‌یابی شکست پوسته گیربکس تیکنر باطله فاز یک کارخانه تغلیظ مجتمع مس سونگون و رفع آن بر اساس اصول RCA (Root Cause Analysis) است. بنابراین شرایط عملکرد اجزاء مختلف سیستم سنجیده شده و بر اساس آن وجود نقایص در سیستم مشخص شده است. سپس راهکارهایی برای جلوگیری از بروز مجدد این عیب ارائه گردیده است.

واژه‌های کلیدی: بین پوسته گیربکس، تحلیل علل ریشه‌ای، RCA، مس سونگون

مقدمه

تجزیه و تحلیل علل ریشه‌ای خرابی‌های تجهیزات بخش مهمی از فعالیت‌های مهندسی نت سازمان‌ها می‌باشد. تکنیک‌ها و روش‌های مختلفی در حوزه نت ارائه شده است که مدرسین، مشاوران و مهندسین حوزه نگهداری و تعمیرات به آنها می‌پردازند و در استانداردها، کتاب‌ها و نظام نامه‌های مختلفی این تکنیک‌ها درج شده است. اما میزان اثربخش بودن استفاده از این تکنیک اندازه‌گیری نشده است[۱, ۲]. در طی سال‌های اخیر سازمان‌ها از تحلیل و ریشه‌یابی علل خرابی‌های تجهیزات بحرانی به عنوان یک ابزار کلیدی جهت مدیریت هزینه‌ها و نیز در بالابردن قابلیت اطمینان و دسترسی تجهیزات، با استفاده از استانداردهای تعریف شده در این زمینه استفاده می‌کنند؛ لذا همواره بهبود عملکرد ماشین‌آلات و در نتیجه بهبود فرایند نت مورد توجه متخصصین در این زمینه قرار گرفته است. بدون شک سازمان‌ها همیشه با موانع، مشکلات، نقایص، خرابی‌ها و شرایط ناخواسته‌ای مواجه می‌شوند که منافع آنها را به مخاطره انداخته و موقعیت آنها را متزلزل می‌نماید. بسیاری از این سازمان‌ها سعی در برطرف نمودن سریع این مشکلات و شرایط نامطلوب داشته و بدون توجه به عامل بوجود آورنده مشکل اصلی، فقط در صدد حل آنها می‌باشند. در حالی که با بکارگیری رویکرد تجزیه و تحلیل و ریشه‌یابی معایب که فرایند شناسایی و حذف ریشه‌ای معایب را جست‌وجو می‌نماید، می‌توان در راستای جلوگیری از رخداد مجدد همان مشکلات گام برداشت. به‌عنوان مثال ژانگ و همکارانش [۳] در یک شرکت ذخیره گاز زیر زمینی، ریزش لاینرها و ترک خطوط لوله کامپوزیتی جهت انتقال گاز را با استفاده از روش تحلیل علل ریشه‌ای بررسی کرده‌اند. آنها علت اصلی ریزش لاینر را وارد شدن آب در لایه میانی در کامپوزیت دو فلزی[1]حین ساخت لوله کامپوزیتی و علت اصلی ترک خوردگی لاینر را خستگی خمشی و بار ناشی از نوسانات فشار در حین کار گزارش کرده‌اند. آنها استفاده از لوله فولادی کربنی را برای کاربردهای این چنینی پیشنهاد کرده‌اند. تقی‌پور و همکارانش [۴] علت اصلی شکست در اتصال جوشی لوله ASTM A106 به فلنج ASTM A105، متصل به پمپی در کارخانه آمونیاک را با استفاده از روش تحلیل علل

[1] Bi-Metal Composite

ریشه‌ای بررسی کرده‌اند. آنها دلیل اصلی شکست را پارامترهای جوشکاری نامناسب استنباط کرده‌اند که منجر به تشکیل ریزساختارهای دانه درشت با استحکام کم شده است. کلاسن و همکارانش [۵]، بیلمس و همکارانش [۶]، مارتینز و همکارانش [۷] و کرامتیان و همکارانش [۸] نیز تحقیقات مشابهی را در حوزه کاری خود با استفاده از روش تحلیل علل ریشه‌ای برای علت‌یابی خرابی‌ها و بهبود فرایند انجام داده‌اند.

در واقع هدف نهایی RCA، تجزیه و تحلیل خرابی‌ها به‌منظور مرتفع نمودن آنها می‌باشد نه صرفاً شناسایی آنها. از جمله تکنیک‌های متداول حل مسئله در RCA عبارتند از: پنج چرا، آنالیز علت و معلول، نمودار پارتو، نمودار پراکندگی، آنالیز درخت خطا، نمودار نلمز و غیره که در این مقاله از آنالیز علت و معلول استفاده شده است.

طرح مسئله

ضرورتی که موجب شد شکست پوسته گیربکس تیکنر باطله بر اساس اصول RCA، علت‌یابی و رفع گردد، به دلیل عدم وجود کوچک‌ترین آسیب در اجزای داخلی گیربکس می‌باشد که سعی شده است با اجرای روش‌های نوین تجزیه و تحلیل ریشه‌ای خرابی‌ها و عوامل تأثیرگذار بر روی عملکرد تجهیز مورد بحث که یکی از تجهیزات بحرانی کارخانه تغلیظ می‌باشد، شناسائی و مورد بررسی قرار گیرند.

مطالعه موردی[1] در این مقاله پوسته گیربکس تیکنر باطله فاز یک کارخانه تغلیظ می‌باشد که در ایام اورهال کارخانه، دچار شکستگی شده بود. شکل ۱ تصویر پوسته شکسته شده و جدول ۱ مشخصات مربوط به گیربکس را نشان می‌دهد.

شکل ۱: پوسته گیربکس تیکنر باطله دچار آسیب

جدول ۱: مشخصات گیربکس تیکنر باطله

S.N.	796474	Item	011G6DD0598
Family	EQ4600	Output	FE
i=	560-5	Input	ME 160-200

[1] Case Study

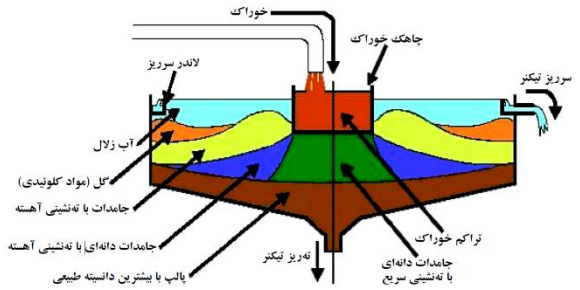
مکانیزم عملکرد تیکنر

ارزان‌ترین روش افزایش غلظت مواد، استفاده از عملیات ته‌نشینی و کاربرد تیکنر می‌باشد. تیکنر مخزن بزرگی با قطر ۲ تا ۲۰۰ متر و عمق نسبتاً کم (۱ تا ۷ متر) می‌باشد که آب زلال و شفاف در بالا و پالپ غلیظ در پائین آن جمع می‌شود. عملکرد تیکنر شامل جداسازی پیوسته مایع از جامد است که در نهایت به افزایش غلظت پالپ تحت اثر نیروی ثقل می‌انجامد. شکل ۲ مکانیزم عملکرد تیکنر را نشان می‌دهد. درصد جامد مواد در تیکنر مابین درصد جامد سرریز و ته‌ریز در نوسان است.

با توجه به شکل ۲ باطله سلول‌های رافر و رمق‌گیر (پالپ اولیه) از طریق لوله‌ای که در قسمت مرکزی قرار دارد و انتهای آن حدود چند دسیمتر به داخل پالپ موجود در حوضچه تیکنر باطله فرو رفته است (برای کاهش تلاطم در محیط)، وارد می‌شود. مایع صاف شده از طریق کانالی که در پیرامون بخش فوقانی تیکنر پیش‌بینی شده است (لاندر سرریز)، خارج می‌شود و به سمت مخازن آب بازیافتی ارسال می‌گردد و پالپ غلیظ شده از مجرایی که در بخش مرکزی قسمت تحتانی تعبیه شده است (ته‌ریز) به خارج هدایت شده و به سمت سد باطله پمپ می‌شود. برای سهولت در تخلیه دانه‌های ته‌نشین شده، قسمت تحتانی تیکنر دارای شیب ملایمی به سمت مرکز آن است. همچنین در قسمت تحتانی تیکنر سیستم پارو تعبیه شده است تا مواد ته‌نشین شده را به سمت ته‌ریز هدایت کند. برای جلوگیری از وارد شدن بار زیاد به پاروها و شکستن آنها دو روش کنترلی وجود دارد:

الف – کنترل گشتاور و قطع کردن بار ورودی به تیکنر در صورت بالا رفتن گشتاور از حد مجاز.

ب – کنترل گشتاور و بالا آوردن پاروها در صورت بالا رفتن گشتاور از حد مورد نظر.



شکل ۲: مکانیزم عملکرد تیکنر

گشتاور پارو به‌صورت پیوسته با استفاده از اندازه‌گیری دقیق لغزش موتور در زیر بار محاسبه می‌گردد. از گشتاور پارو برای به کار انداختن سیستم بالابر و پایین‌بر تمام اتوماتیک پارو و محافظت کامل از سیستم

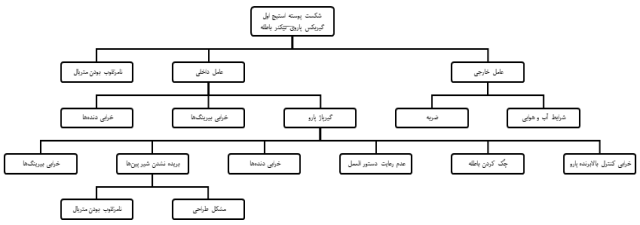
محرکه تیکنر و سیستم پارو استفاده می‌گردد. تحت یک ته‌نشینی نرمال توالی بالا بردن پارو به‌صورت زیر می‌باشد:

در ٪۶۵ گشتاور حد، پاروها شروع به بالا رفتن می‌کنند. در ٪۸۵ گشتاور حد، پاروها به بالا رفتن ادامه داده و آژیر متناوب شروع می‌شود. در ٪۱۰۰ گشتاور حد، جریان موتور محرکه قطع شده و آژیر پیوسته شروع می‌شود.

اهمیت این تجهیز در سازمان آن‌قدر بالا بوده که در صورت پیدایش ایراد در قسمتی از تجهیز، منجر به ایجاد کاهش ظرفیت و در صورت مداوم بودن و عدم رسیدگی به‌موقع باعث ایجاد توقف واحد و در نهایت از دست رفتن تولید در کارخانه می‌شود. با توجه به شرایط خاص تجهیز در فرایند واحد، دستگاه مذکور جزء تجهیزات بحرانی سازمان محسوب می‌شود.

تشکیل کارگروه جهت بررسی مسئله

اعضای کار گروه متشکل از نماینده برنامه‌ریزی نت امور، نماینده دفتر فنی، نماینده پایش وضعیت، نماینده تعمیرات مکانیک، نماینده تعمیرات برق، نماینده بهره‌برداری (تولید) و نماینده بازرسی فنی می‌باشند که با توجه به نوع و شرایط خرابی تجهیز مورد نظر نفرات ذیل جهت تشکیل جلسات به‌صورت یک برنامه مشخص شده فراخوان می‌شوند. با توجه به خرابی مشخص شده که در بخش قبلی به آن اشاره شده است، کارشناسان در ابتدا با تشکیل جلسات منظم و هدفمند عوامل تأثیرگذار بر روی عملکرد تجهیز را با توجه به دو عامل فیزیکی و انسانی شناسایی نمودند (شکل ۳). در ادامه مقاله به تحلیل و بررسی بیشتر این خرابی با توجه به دو عامل فوق‌الذکر پرداخته خواهد شد.



شکل ۳: نمودار عوامل مهم خرابی تجهیز مذکور

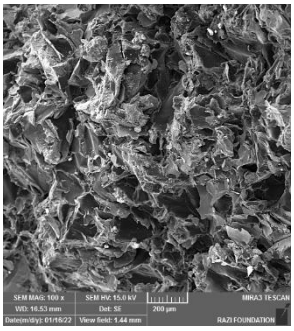
تحلیل علل خرابی

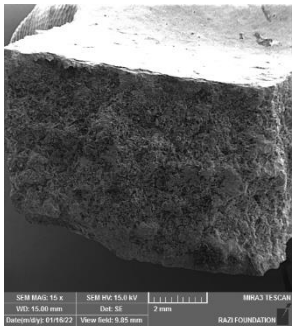
رایج‌ترین روش‌های آنالیز علل ریشه‌ای عبارتند از تکنیک مصاحبه، آنالیز تغییر، آنالیز موانع، نمودار رویداد و عوامل سببی، آنالیز علت و معلول، آنالیز درخت خطا، روش ۵ چرا؟ (پلکان چرا؟)، آنالیز حالات و اثرات خرابی، آنالیز پارتو و روش داستان‌گویی. در این مقاله برای تحلیل علل شکست پوسته گیربکس از آنالیز علت و معلول استفاده شده است. هدف از این روش، شناسایی علل ریشه‌ای یک حادثه یا رویداد از طریق بررسی روابط میان علت و معلول‌ها است. این کار از طریق تکرار پیوسته پرسش «چه معلولی اتفاق افتاده است؟ و چرا؟» انجام می‌شود. برای اجرای این روش باید از انتها آغاز نمود؛ بنابراین باید آخرین خرابی یا اتفاق نامطلوب را در نظر گرفت و به ترتیب در طول زمان به عقب بازگشت تا علت ریشه‌ای را کشف نمود. ابتدا مهم‌ترین رویداد مشخص شده و عوامل ایجاد آن شناسایی می‌شوند، سپس عوامل ایجاد آن علل شناسایی می‌شوند؛ و این روند تا جایی ادامه پیدا می‌کند که دیگر نتوان علتی برای آن معلول (علت) کشف نمود و یا زمانی ادامه کار به‌صرفه نیست[۱, ۹].

با توجه به شکل ۳، یکی از عوامل مؤثر در شکست پوسته قسمت اول گیربکس پاروی تیکنر باطله نامرغوب بودن جنس مواد پوسته می‌باشد. جهت بررسی دقیق‌تر این موضوع سطح شکست پوسته توسط آزمایشگاه رازی بررسی شده است.

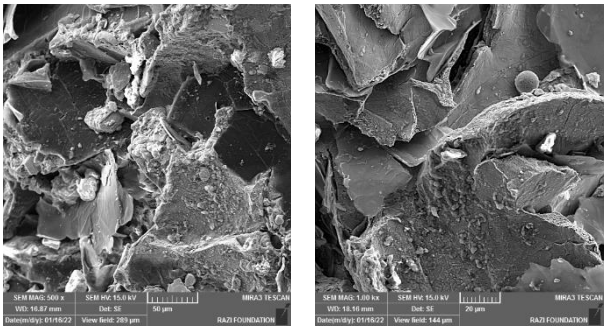
سطح شکست نمونه پوسته مطابق شکل ۴ با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی[1]مورد مطالعه قرار گرفته است که نتایج آن در شکل ۵ نشان داده شده است. با توجه به نتایج شکل ۵، سطح شکست کاملا ترد بوده و دارای سطوح کلیواژ فراوانی است. بدلیل داکتلیته‌ی پایین چدن‌های خاکستری، مکانیزم شکست قطعات ساخته شده از این گروه متریال، ترد و بدون تغییر فرم پلاستیک است. این نوع شکست با توجه به نوع متریال عادی است. همچنین هیچ نوع علائمی ناشی از وقوع خستگی، ضربه، ناخالصی و عیوب متریال در چدن مورد مطالعه مشاهده نمی‌شود.

شکل ۴: سطح شکست پوسته گیربکس





[1] Scanning Electron Microscope

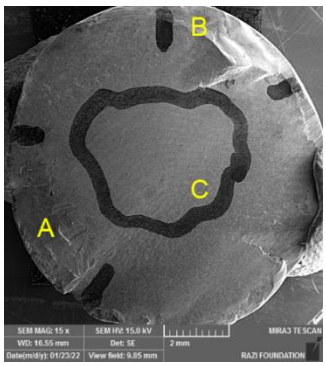


شکل ۵: تصویر میکروسکوپ الکترونی از سطح شکست پوسته گیربکس

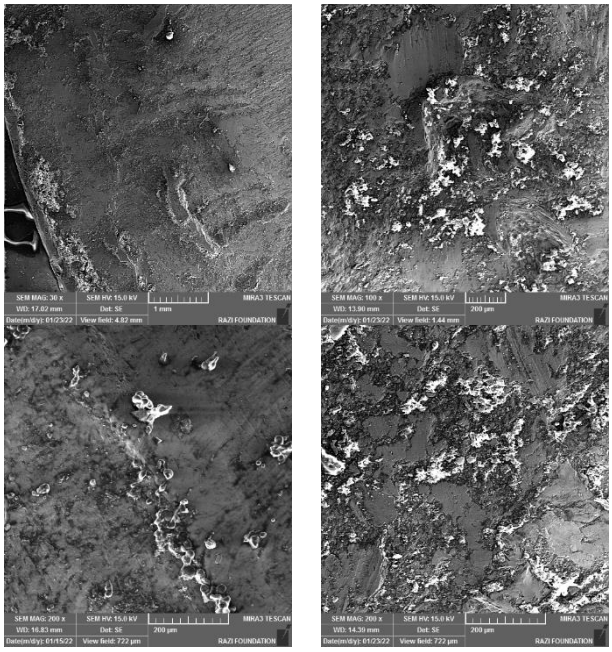
با توجه به نتایج حاصل از آنالیز سطح شکست، عامل شکست با احتمال بالا مربوط به عامل داخلی می‌باشد که در ادامه بررسی می‌شود.

در مکانیزم عملکرد تیکنر از پین‌های برشی در مونتاژ شفت اصلی آن استفاده می‌شود و با توجه به مطالبی که پیش‌تر بیان شد، در صورتی که گشتاور وارد بر پاروها از حد مجاز افزایش یابد، این پین‌های برشی از محل شیار برشی بریده می‌شوند تا از بروز فاجعه در قسمت‌های مهم سیستم جلوگیری شود. با بررسی‌هایی که توسط تیم کارگروه در مسیر انتقال قدرت انجام گرفت، مشخص شد که همه ۱۰ عدد پین برشی بریده شده‌اند و طبق شواهد بدست آمده پین‌های برشی فاقد شیار برشی بودند که برای بررسی دقیق‌تر علت آسیب، سطح شکست پین‌های برشی نیز توسط آزمایشگاه رازی بررسی شده است.

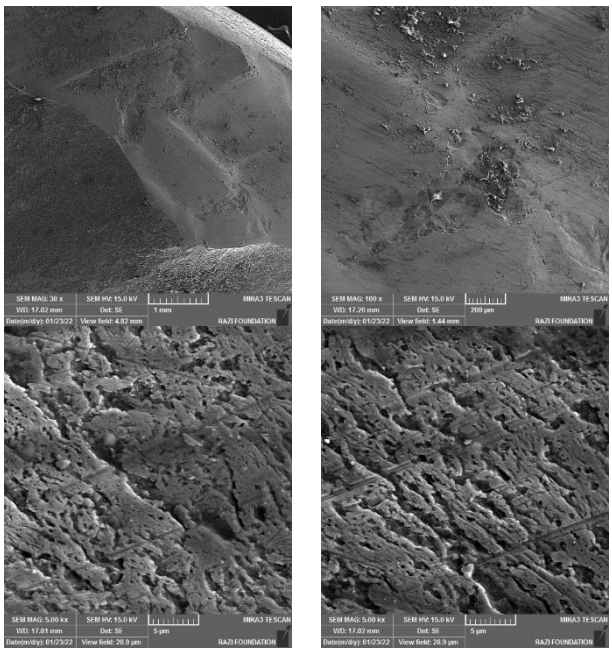
بر اساس نتایج آزمون متالوگرافی، ریزساختار پین برشی پرلیتی بوده و میزان سختی بر اساس استاندارد ASTM E10، 240 برینل و مطابق با حالت Treated to Improvement Shear ability، S+ می‌باشد که برای کاربردهای برشی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در شکل ۶ سطح شکست پین برشی بر اساس مورفولوژی آن به ۳ ناحیه تقسیم شده و تصویر میکروسکوپ الکترونی آن در ۳ ناحیه مذکور طبق شکل ۷ الی ۹ نشان داده شده است.



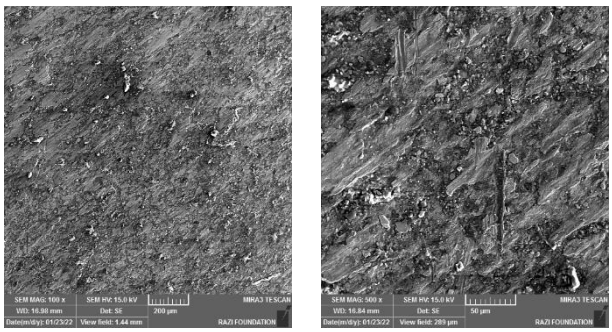
شکل ۶: سطح شکست پین برشی

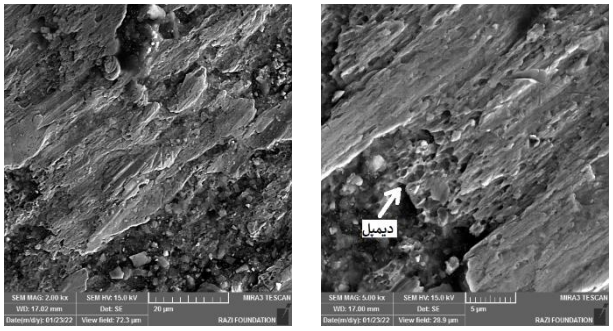


شکل ۷: تصویر میکروسکوپ الکترونی از سطح شکست ناحیه A پین برشی



شکل ۸: تصویر میکروسکوپ الکترونی از سطح شکست ناحیه B پین برشی





شکل ۹: تصویر میکروسکوپ الکترونی از سطح شکست ناحیه C پین برشی

در شکل ۹ تصاویر دیمپل‌های کشیده شده نشان داده شده است که نتیجه وارد شدن بار اضافی‌ادر این ناحیه است. مورفولوژی شکست پین برشی مشابه با مورفولوژی شکست در اثر برش می‌باشد. همچنین با توجه به شکل ۷، ترک اولیه در ناحیه A ایجاد شده و با توجه به اینکه قطعه تحت نیروی برشی قرار گرفته، ترک تحت نیروی برشی و بار اضافی رشد کرده و منجر به شکست شده است.

با توجه به موارد بیان شده، عدم وجود شیار برشی بر روی پین‌های برشی، باعث افزایش نیروی وارد به سیستم شده است و وارد شدن نیروی بیش از حد طراحی به گیربکس، منجر به شکست پوسته آن شده است. در ادامه به بررسی علت بوجود آمدن اضافه بار وارد بر پین برشی بحث خواهیم کرد.

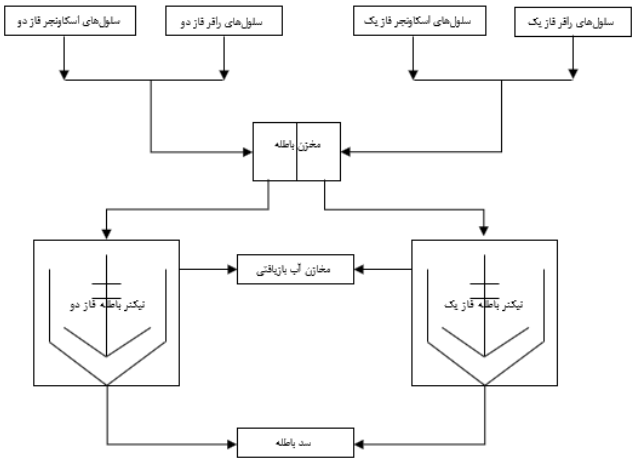
همان‌طور که پیش‌تر بیان شد، شکست پوسته گیربکس در زمان انجام اورهال فاز یک کارخانه تغلیظ اتفاق افتاده بود. در مواقع انجام اورهال تمامی دستگاه‌ها خاموش شده و کارهای تعمیر و تعویض انجام می‌گیرد. به همین منظور ورودی تیکنر باطله نیز بسته شده و فعالیت‌های مربوط به شستشوی بارهای مرده و تعمیر اساسی پمپ‌های تیکنر در صورت لزوم انجام می‌گیرد.

بعد از انجام اورهال، تیکنر باطله آبگیری شده و استارت پاروی تیکنر در دستور کار قرار می‌گیرد. اپراتور تیکنر باطله طبق دستورالعمل، ابتدا بایستی پارو را بالا آورده و سپس اقدام به استارت آن می‌کرده است. ولی با علم به اینکه تیکنر فاقد پالپ باطله است و تمامی محتویات آن آب می‌باشد، در حالتی که پارو در نواحی پایین تیکنر قرار داشته، اقدام به استارت کرده است و شکست پوسته گیربکس در همان لحظه اتفاق افتاده است. بعد از تخلیه تیکنر جهت تعویض پین‌های برشی که در اثر افزایش گشتاور دچار برش پیچشی شده بودند، مشخص شد که بر خلاف انتظار، مواد باطله روی پارو انباشته شده و با توجه به اینکه اپراتور عملیات بالا بردن پارو قبل از استارت را انجام نداده است، انباشت مواد باطله منجر به وارد شدن گشتاور اضافی به پارو و سیستم انتقال نیرو شده است.

با توجه به مواردی که پیش‌تر بیان شد، سیستم کنترل تیکنر باطله در ۶۵٪ گشتاور حد، پاروها را به سمت بالا هدایت می‌کند و در گشتاورهای بالا هشداردهی با آژیر انجام می‌گیرد. در حالی که هنگام استارت، با توجه به انباشت مواد باطله روی پارو، گشتاور وارد بر پارو بیشتر از گشتاور حد بوده و سیستم کنترلی نه عمل کرده و نه هشداری داده است.

قبل از پرداختن به علت انباشت مواد باطله روی پاروی تیکنر باطله فاز یک کارخانه تغلیظ، مسیر جریان مواد باطله از کارخانه تا تیکنر باطله توضیح داده شود.

مواد باطله سلول‌های فلوتاسیون رافر به همراه مواد باطله سلول‌های رمق‌گیر (اسکاونجر) هر دو فاز ۱ و ۲ کارخانه تغلیظ ابتدا وارد مخزن باطله (باکس تقسیم) شده و سپس بسمت تیکنر باطله فاز ۱ و ۲ انتقال می‌یابد. این فرایند در شکل ۱۰ نشان داده شده است.



شکل ۱۰: پروسه مواد باطله در کارخانه تغلیظ معدن مس سونگون

با توجه به شکل ۱۰، مخزن باطله در مواقع اضطراری و بوجود آمدن مشکل در هر یک از تیکنرهای باطله کاربرد داشته و با هدایت مواد باطله هر دو فاز در یک تیکنر باطله باعث جلوگیری از توقف خط تولید می‌شود.

با بررسی‌هایی که توسط کارگروه، جهت علت‌یابی انباشت بی‌برنامه مواد باطله روی پاروی تیکنر باطله فاز یک انجام شد، مشخص شد که در اثر کنده شدن چسب لاستیک محافظ باکس تقسیم مواد باطله، بدنه مخزن در قسمت جداکننده به‌تدریج دچار خوردگی شده و باطله فاز دو کارخانه به قسمت فاز یک مخزن باطله که در زمان اورهال تخلیه شده بود، نشت کرده است و از آنجا به تیکنر باطله فاز یک انتقال یافته و روی پاروی آن انباشته می‌شود.

[1] Overload

تحلیل شکست پوسته گیربکس با توجه به سه عامل فیزیکی، انسانی و پنهانی

عوامل فیزیکی

با بررسی‌های انجام شده، کارشناسان بخش نگهداشت در مورد تحلیل خرابی بالفعل (شکست پوسته گیربکس) موارد زیر را به‌عنوان علل فیزیکی که در این موضوع نقش داشته‌اند را شناسائی کرده‌اند:

جدا شدن لاینر لاستیکی مخزن باطله

جدا شدن لاینر لاستیکی دیواره مخزن باطله باعث خوردگی بدنه فولادی مخزن باطله می‌شود و امکان نشت باطله فاز دو کارخانه تغلیظ به فاز یک و بالعکس وجود دارد و باعث ورود مواد باطله بیش از ظرفیت به یکی از تیکنرها شده و در صورت بی‌اطلاعی در زمان استارت و نیز در حین کار، باعث آسیب به سیستم انتقال قدرت تیکنر باطله می‌شود.

راهکار عملیاتی جهت حل جدا شدن لاینر لاستیکی مخزن باطله

با توجه به حساسیت موضوع لازم است در زمان‌های انجام اورهال، وضعیت چسبندگی و سایش لاینرهای لاستیک در نقاط حساس و به‌ویژه در گوشه‌های مخزن باطله مورد بازرسی قرار گیرد.

عمل نکردن سیستم کنترلی بالابر پارو

در طراحی مکانیزم‌هایی که احتمال وارد شدن بار اضافی وجود دارد، یک سیستم کنترلی جهت ایمن‌سازی مکانیزم در برابر آسیب‌های احتمالی در نظر گرفته می‌شود. تمامی تیکنرهای موجود در مجتمع مس سونگون نیز به این تجهیزات مجهز شده‌اند. با توجه به اینکه این حادثه قبلاً برای این تجهیز اتفاق نیفتاده بود، برنامه پایش آن در فواصل زمانی یک‌ساله انجام می‌شده است. از طرفی هم پایش عملکرد آن زمان‌بر بوده و نیاز به توقف خط تولید می‌باشد.

راهکار عملیاتی جهت حل عمل نکردن سیستم کنترلی بالابر پارو

برای جلوگیری از تکرار مجدد عمل نکردن سیستم کنترلی بالابر پارو، لازم است ابتدا فواصل زمانی پایش این تجهیز، کاهش یابد. به‌طوری که بجای یک سال، هر شش ماه یکبار تجهیز مورد نظر مورد بازرسی و پایش قرار گیرد. همچنین بایستی تجهیزات ابزار دقیق جهت نشان دادن مقدار گشتاور لحظه‌ای در محل نصب شود و اپراتور مربوطه آموزش‌های لازم برای استفاده از آن را فرا گیرد.

برش پین‌های برشی

پین‌های برشی به‌عنوان ضعیف‌ترین جز سیستم جهت جلوگیری از آسیب به قسمت‌های اصلی و هزینه‌بر سیستم بکار می‌روند. در صورتی که در تولید آنها از مواد با استحکام بالاتر نسبت به مواد توصیه شده در نقشه ساخت استفاده شود باعث دیر بریده شدن آنها در گشتاور حد شده و آسیب جدی به قطعات دیگر را در پی خواهد داشت. همچنین در صورتی که در ساخت آنها قطر پین کمتر از قطر نامی و یا فاقد شیار برشی باشد، باز هم صدمات جبران ناپذیری به سیستم وارد خواهد کرد.

راهکار عملیاتی جهت جلوگیری از دیر بریده شدن پین‌های برشی

با توجه به این که طراحی پین‌های برشی بر اساس گشتاور و نیروهای وارد شده بر سیستم انجام می‌گیرد، هرگونه مغایرت با نقشه ساخت، باعث آسیب جدی به سیستم خواهد شد؛ بنابراین در مرحله اول لازم است پین‌های برشی طبق نقشه تولید شوند. از طرف دیگر کارشناس اقلام مکانیکی واحد انبار، بایستی در کنترل قطعه با توجه به نقشه ساخت، دقت لازم را به خرج داده و در صورت لزوم آموزش‌های لازم در مورد کنترل قطعات ایمنی سیستم را فرا گیرند. همچنین لازم است پرسنل واحد تعمیرات و نگهداری قادر به نقشه‌خوانی سیستم‌های مکانیکی بوده و آموزش‌های لازم در این باره را فرا گیرند. علاوه بر اینها اپراتور تیکنر باطله نیز بایستی آموزش‌های لازم درباره راه‌اندازی و کنترل سیستم تیکنر باطله را فراگرفته و همیشه طبق دستورالعمل راه‌اندازی ایفای نقش کند.

عدم وجود دانش، ارزش و رضایت شغلی در هر سازمان ارتباط مستقیم بر عملکرد کارایی پرسنل در زمان اجرای کار دارد که این موضوع می‌تواند باعث ایجاد خطاهای انسانی از جمله (خطاهای عمدی و غیرعمدی) که در شکل ۱۲ نیز به آن اشاره شده است می‌گردد. با توجه به جدول ۱ عوامل انسانی و پنهان تأثیرگذار بر روی عملکرد تجهیز قید شده است که به شرح ذیل به تحلیل آنها می‌پردازیم:

جدول ۲: عوامل انسانی و پنهان

ردیف	عوامل انسانی	عوامل پنهان
۱	حواس‌پرتی پرسنل نت و انبار در حین کار	فشارهای واحد بهره‌برداری و مدیریت ارشد سازمان
۲	خستگی پرسنل نت و انبار در حین کار	
۳	عدم ردیابی دقیق خرابی توسط پرسنل نت	

شکل ۱۱: دسته بندی خطاهای انسانی (روانشناختی)

عوامل انسانی

با تأکید بر اجرای 5S در کارگاه‌های اجرائی از بروز خطاهای مرتبط با آشفتگی و حواس‌پرتی پرسنل تعمیرات و نگهداری و پرسنل

انبار، تا حد زیادی در زمان تعمیر تجهیز و کنترل قطعات با نقشه ساخت جلوگیری شد.

با ساماندهی وظایف کاری نیروهای اجرائی تعمیرات و نگهداری و پرسنل انبار در هر شیفت و تنظیم صحیح زمان انجام فعالیت‌ها، از حجم کارهای محوله و نامناسب بودن زمان انجام کارها تا حد زیادی جلوگیری شد که این موضوع باعث گردید، در زمان تعمیر تجهیزات و کنترل قطعات از ریسک خستگی‌های پرسنل که مرتبط به بالا بودن حجم کارها می‌باشد، جلوگیری شود.

با تخصیص افراد دارای توانمندی و هوش بالا برای انجام فعالیت‌های دارای ریسک، عوامل تأثیرگذار بر روی خرابی‌ها به طور اساسی ریشه‌یابی شده و از دوباره کاری‌ها در حین انجام کار نیز جلوگیری به‌عمل آمده است.

عوامل پنهانی

فشارهای واحد بهره‌برداری و مدیریت ارشد سازمان به جهت تسریع در آماده کردن شرایط تجهیز در مدار تولید با توجه به اهمیت تجهیز در فرایند واحد باعث ایجاد استرس و عدم دقت نیروهای اجرائی در حین کار گردیده بود؛ بنابراین به‌منظور مدیریت زمان و کاهش فشارهای مدیریتی، واحدنت با تعریف یک برنامه زمان‌بندی استاندارد تعمیراتی، جهت تجهیز مذکور و به تأیید رساندن آن توسط مدیریت ارشد سازمان باعث گردید، این فشارها تا حد زیادی کاهش یابد و پرسنل تعمیرات و نگهداری با توجه به زمان تعریف شده، اقدامات تعمیر تجهیز را در دستور کار خود قرار دهند.

نتایج

به طور کلی در صورتی که علل ریشه‌ای برطرف نگردد، علاوه بر اینکه احتمال تکرار مجدد خرابی یا حادثه وجود دارد، گاهی حتی می‌تواند عواقب جدی‌تر و وخیم‌تری را متوجه سازمان نماید، در نتیجه سازمان در معرض ریسک‌ها و هزینه‌های بالا قرار می‌گیرد.

در واقع هدف این روش گزارش‌دهی به مدیریت در خصوص علت رخداد حوادث و خرابی و نیز پیدا کردن مقصرین علل ظاهری رخداد حادثه و خرابی نیست؛ بلکه در گام اول به دنبال درک این حقیقت – هستیم که چه عواملی در سازمان منجر به رخداد خرابی/حادثه می‌شوند. سپس می‌توان با به‌کارگیری روش مناسب و اجرای آن در سازمان احتمال تکرار آن را از بین برد.

در مطالعه موردی که در این مقاله راجع به شکست پوسته گیربکس تیکنر باطله انجام داده‌ایم، عامل انسانی مهم‌ترین علتی است که باعث ایجاد خرابی در چندین تجهیز شده و در نهایت به شکست پوسته گیربکس منجر شده است. عدم پایش به‌موقع، عدم دانش کافی، سهل‌انگاری در پایش و خستگی پرسنل مهم‌ترین پارامترهای عامل انسانی در بروز این حادثه تشخیص داده شده و راهکارهای عملی جهت جلوگیری از تکرار مجدد این رخداد ارائه شد.

مراجع

[1] Andersen, B., and Fagerhaug, T., *"Root cause analysis: simplified tools and techniques"*, Quality Press, 2006.

[2] Williams, P. M., "Techniques for root cause analysis*"*, Proc. Baylor University Medical Center Proceedings, Taylor & Francis, pp. 154-157, 2001.

[3] Zhang, S., Ma, Q., Xu, C., Li, L., Wang, M., Zhang, Z., Wang, S., and Li, L., *"Root cause analysis of liner collapse and crack of bi-metal composite pipe used for gas transmission"*, Engineering Failure Analysis, 132, p. 105942, 2022.

[4] Taghipour, M., Bahrami, A., Mohammadi, H., and Esmaeili, V., *"Root cause analysis of a failure in a flange-pipe welded joint in a steam line in an ammonia plant: Experimental investigation and simulation assessment"*, Engineering Failure Analysis, 129, p. 105730 , 2021

[5] Klasen, N., Heinz, F., De Rose, A., Roessler, T., Kraft, A., and Kamlah, M., *"Root cause analysis of solar cell cracks at shingle joints"*, Solar Energy Materials and Solar Cells, 238, p. 111590, 2022.

[6] Bilmes, P., Llorente, C., Echarri, J. M ,.Echarri, T., Martinez, A., and Zuzulich, J., *"Root cause analysis of cracking in shaft end and coupling of a high-power generator"*, Journal of Failure Analysis and Prevention, 18, pp. 727-732, 2018.

[7] Martinez, S., Khoshnaw, F., Heino, V., Fahmi, S ,.Aljohani, T., and Elkatatny, S., *"Root cause analysis of the corrosion-related coiled tubing failure"*, Journal of Electrochemical Science and Engineering, 12(3), pp. 501-510, 2022.

[8] Keramatian, A., Bahrami, A., Darougheh, A. H., and Zare, S., *"Root cause analysis of an unexpected brittle failure in a carbon steel slab"*, Engineering Failure Analysis, 122, p. 105205, 2021.

[9] Peerally, M. F., Carr, S., Waring, J., and Dixon-Woods, M., *"The problem with root cause analysis"*, BMJ quality & safety, pp. 417-422: 26, no. 5 (2017).