

# پایش وضعیت بیرینگ‌های غلتشی بزرگ با سرعت کم و بار زیاد از طریق تکنیک آنالیز روغن (مطالعه موردی)

امیر مطهری<sup>۱</sup>، حمید نشاطی<sup>۲</sup>

## چکیده

بیرینگ‌های غلتشی بزرگ نوع خاصی از بیرینگ‌های غلتشی هستند که برای بارهای سنگین و در سرعت‌های پایین مورد استفاده قرار می‌گیرند. یکی از موارد کاربرد این نوع بیرینگ، صنعت سیمان و در آسیاب‌های غلتکی است. در مقاله حاضر نمونه‌ای عملی پیرامون شناخت آثار خرابی و فرسایش بیرینگ‌های یکی از غلتک‌های آسیاب مواد مدل ATOX 45 خط ۱ کارخانه سیمان خاکستری ساوه از طریق تکنیک آنالیز روغن که از خانواده برنامه‌های PDM و یک برنامه اجرایی نگهداری و تعمیرات بر پایه مراقبت شرایط روانکار است ارائه شده است. بدین منظور که چگونه بتوان با آنالیز مداوم روغن، نرخ جدا شدن مواد از سطح قطعات و هر گونه تغییر وضعیت در اجزاء غلتک را در مراحل اولیه شناسایی و قبل از پیشرفت و توسعه خرابی و رسیدن به مرحله بحرانی اقدامات پیشگیرانه لازم و یا برنامه ریزی تعمیرات در زمان مناسب را انجام داد و از صرفه هزینه و نیروی متخصص بی‌مورد جلوگیری و مانع توقف خط تولید شد. با توجه به شرایط کارکرد آسیاب‌های غلتکی ATOX و محدودیت در استفاده از سایر روش‌های نت پیش‌بینانه، آنالیز روغن بعنوان کارآمدترین روش شناخته شده نت پیش‌بینانه مبتنی بر وضعیت در مورد بیرینگ‌های غلتک این نوع آسیاب پیشنهاد می‌گردد.

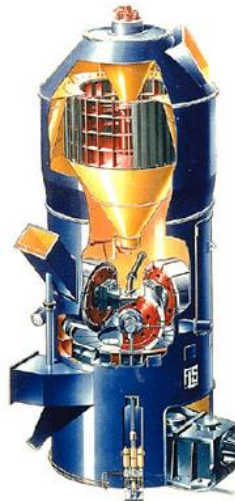
واژه‌های کلیدی: آسیاب غلتکی ATOX، بیرینگ، پایش وضعیت، آنالیز روغن

## مقدمه

<sup>۱</sup> - کارشناس ارشد، بازرس فنی روانکاری

<sup>۲</sup> - کارشناس ارشد، بازرس فنی مکانیک

بیرینگ های غلتشی یکی از پر مصرف ترین قطعات صنعتی دنیا هستند که در تجهیزات و ماشین آلات برای انواع و اقسام کاربردها (بارهای سبک و سنگین) در اندازه های کوچک تا بسیار بزرگ به وفور مورد استفاده قرار می گیرند و عملکرد صحیح آنها در کیفیت کارکرد این ماشین آلات موثر است [۱]. یکی از موارد کاربرد بیرینگ های غلتشی بزرگ، صنعت سیمان و در آسیاب های غلتکی است. آسیاب های غلتکی عمودی ATOX 45 ساخت شرکت F.L.SMIDTH دانمارک به دلیل سطح کارایی بسیار خوب در بسیاری از موارد، مورد قبول واقع می شوند. در شکل ۱ آسیاب غلتکی ATOX 45 نشان داده شده است. این نوع آسیاب شامل سه غلتک هر کدام به وزن ۳۰ تن، قطر ۲/۷ متر و پهنا ۰/۹ متر می باشد که در داخل هر غلتک



یک بیرینگ غلتشی استوانه ای تک ردیفه<sup>۱</sup> و یک بیرینگ غلتشی بشکه ای دو ردیفه<sup>۲</sup> قرار دارد. شکل ۲ غلتک آسیاب مواد کارخانه سیمان خاکستری ساوه به همراه بیرینگ های آن را نشان می دهد. مشخصات بیرینگ ها در جدول ۱ آورده شده است [۲].

شکل ۱: آسیاب غلتکی ATOX 45 ساخت شرکت F.L.SMIDTH

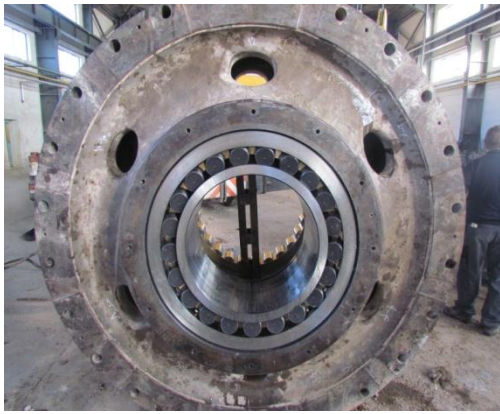
شکل ۲: غلتک آسیاب مواد کارخانه سیمان خاکستری ساوه و بیرینگ های آن

جدول ۱: مشخصات بیرینگ های غلتک آسیاب مواد کارخانه سیمان خاکستری ساوه

وزن (kg)	پهنا (mm)	قطر خارجی $\Phi$ (mm)	قطر داخلی $\Phi$ (mm)	تیپ	نوع بیرینگ غلتشی
۵۴۰	۱۸۵	۱۰۳۰	۷۱۰	NU 20/710 ECMA	استوانه ای - تک ردیفه
۱۴۱۰	۴۰۰	۱۰۳۰	۶۳۰	241/630 ECAK30/W77	بشکه ای - دو ردیفه

<sup>1</sup> Single row cylindrical roller bearing

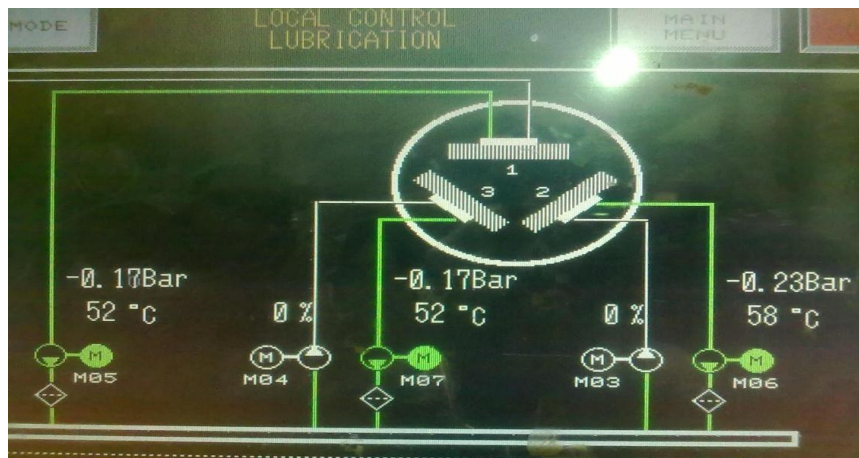
<sup>2</sup> Double row spherical roller bearing



در آسیاب ATOX برای خرد و آسیاب کردن مواد خام از فشار و ایجاد ترک در موادی که بین غلتک‌ها و سینی سایش در حال چرخش قرار دارند، استفاده می‌شود. در این نوع آسیاب به دلیل استفاده از میدان سایش افقی، نیروی ثقل غلتک‌ها و جهت حرکت مواد فشارهای طولی، عرضی و شعاعی زیادی بر بیرینگ‌ها وارد می‌شود [۳]. در صورت خرابی بیرینگ‌ها و در نتیجه خرابی غلتک از آنجاییکه عموماً برای غلتک‌ها یدکی وجود ندارد و حتی در صورت وجود یدکی، مراحل تعویض هر غلتک حداقل یک هفته به طول می‌انجامد که علیرغم هزینه‌های زیاد تعمیرات و شوک حرارتی به نسوزکاری کوره، اتمام ذخیره مواد در ۳۰ ساعت اول، ضرر و زیان ناشی از قطع تولید و از دست دادن موقعیت‌های فروش با توجه به رقابتی بودن بازار و عدم فروش پیوسته را در بر خواهد داشت که این موارد اهمیت لزوم پایش وضعیت این نوع بیرینگ‌ها را آشکار می‌سازد. با توجه به دستورالعمل‌نت شرکت سازنده (FLSmidth) موارد زیر می‌تواند از علائم خرابی بیرینگ‌های یک غلتک باشد:

۱- افزایش دمای روغن برگشتی فقط از یک غلتک ۲- وجود ذرات فلزی در نمونه روغن آنالیز شده ۳- افزایش دفعات انسداد فیلتر روغن به واسطه ذرات فلزی حاصل از سایش.

در آسیاب مواد ATOX 45 خط ۱ کارخانه سیمان خاکستری ساوه افزایش دما در روغن برگشتی از غلتک شماره ۲ از طریق پنل کنترل اتوماتیک مشاهده گردید (شکل ۳) که می‌توانست نشانه‌ای از خرابی بیرینگ‌های آن باشد. برای حصول اطمینان، وضعیت بیرینگ‌های این غلتک از طریق تکنیک آنالیز روغن مورد پایش قرار گرفت.



شکل ۳: پنل کنترل اتوماتیک روانکاری بیرینگ غلتک‌ها

### پایش وضعیت از طریق آنالیز روغن

روش‌های متعددی برای پایش وضعیت ابداع و متداول شده است. در حال حاضر آنالیز روغن و آنالیز ارتعاشات دو تکنیک اصلی هستند که بصورت گسترده در پایش وضعیت تجهیزات ماشین‌آلات به کار گرفته می‌شوند. در پایش وضعیت بیرینگ‌های غلتشی بزرگ با سرعت پایین و بار زیاد، به علت پایین بودن فرکانس‌های چرخش و محدودیت حسگرهای رایج در صنعت در

جمع آوری سیگنال ها، از آنالیز ارتعاشات نمی توان استفاده نمود [۴]. علاوه بر این، در پایش وضعیت بیرینگ های غلتک آسیاب به علت شرایط خاص در زمان کارکرد آسیاب، امکان ارتعاش سنجی وجود ندارد. از نقطه نظر روانکاری، مهمترین بخش آسیاب های عمودی روانکاری غلتک ها است، بنابراین پایش منظم روغن برای افزایش طول عمر بیرینگ ها الزامی است. از آنجاییکه شرایط عملکرد غلتک ها دمای بالا، بار زیاد و عمر طولانی است از سیستم روانکاری گردشی روغن های سنتتیک با گرانروی بالا (۱۰۰۰ سانتی استوک) استفاده می شود [۵]. در آسیاب هنگامی که سینی سایش که محل قرار گرفتن مواد است با غلتک تماس پیدا می کند به واسطه چرخش سینی، غلتک چرخیده و در این حالت مقدار زیادی از روغن در بیرینگ ها توزیع می شود که علیرغم خنک کردن آنها مواد حاصل از سایش و آلودگی ها را خارج نموده و به سمت فیلتر هدایت می کند. با نمونه گیری متناوب از روغن و آنالیز آن می توان هرگونه تغییر وضعیت روغن و غلتک را در مراحل اولیه شناسایی و قبل از پیشرفت و توسعه خرابی و رسیدن به مرحله بحرانی اقدامات پیشگیرانه لازم و یا برنامه ریزی تعمیرات در زمان مناسب را انجام داد. همچنین با تجزیه و تحلیل ذرات موجود در روغن از نظر اندازه، رنگ، شکل و تراکم، شناسایی نوع و محل عیوب به راحتی میسر می گردد.

## نمونه گیری

نمونه گیری ساده ترین مرحله اجرای برنامه آنالیز روغن می باشد ولی اهمیت آن به حدی است که در صورت عدم رعایت اصول نمونه گیری، نتایج آزمایش ها هر چند دقیق فاقد اعتبار می گردد. با توجه به این که مقدار بسیار کمی از روغن (حدود ۱۰۰ میلی لیتر) ملاک قضاوت و ارزیابی آزمایشگاه ها، برای شناسایی وضعیت کل روغن و نیز وضعیت فرسایش دستگاه قرار خواهد گرفت، لذا نمونه روغنی که برای آزمایش برداشته می شود باید نماینده واقعی کل سیستم باشد. در پایش وضعیت، روانکار صرفا انتقال دهنده اطلاعاتی است که توسط تجهیز به شکل آلودگی و یا ذرات فرسایشی ایجاد شده است [۶]. در این پروژه نمونه گیری از نقطه ای در مسیر روغن برگشتی از غلتک شماره ۲ و قبل از فیلتر انجام شده است.

## آزمایش های آنالیز روغن و اطلاعات ذرات فرسایشی

آزمایش ها و اطلاعات حاصل از آنالیز روغن به طور کلی به سه دسته تقسیم می شوند:

الف) آزمایش ها و اطلاعات مربوط به خواص فیزیکی، شیمیایی و افزودنی های روغن

ب) آزمایش ها و اطلاعات ذرات فرسایشی جهت نظارت بر وضعیت سیستم

ج) آزمایش ها و اطلاعات کنترل آلودگی

اصولا پدیده فرسایش امری اجتناب ناپذیر است. در فرسایش عادی ذرات فرسایشی بسیار ریز و دارای تراکم پایین می باشند. در حالی که در مراحل اولیه افزایش فرسایش، تراکم ذرات ریز زیاد شده و در صورت عدم اطلاع و رفع علت، فرسایش تدریجا به حالت غیرعادی درآمده و ذرات فرسایشی در اندازه های بزرگ تر تولید خواهد کرد. مهمترین وظیفه تکنیک آنالیز روغن تشخیص شروع تغییر روند فرسایش قبل از فرسایش غیرعادی است. لذا با انجام آنالیزهای فرسایشی علاوه بر نوع و میزان فرسایش عناصری مانند Fe و Cu و ... می توان به عامل ایجاد فرسایش پی برد و با اتخاذ تدابیر مناسب و به موقع از پیشرفت خرابی جلوگیری نموده و به میزان قابل توجهی هزینه های نت را کاهش داد. روش های متعددی جهت آزمایش روغن و استخراج اطلاعات مربوط به ذرات فرسایشی وجود دارد. هر کدام از این روش ها حوزه تشخیص معینی دارد که در ادامه به اجمال به برخی از آن ها که در پایش وضعیت بیرینگ های غلتک مورد استفاده قرار گرفته است اشاره می گردد.

## اسپکتروسکوپی<sup>۱</sup> A.E.S

<sup>۱</sup> Atomic Emission Spectroscopy

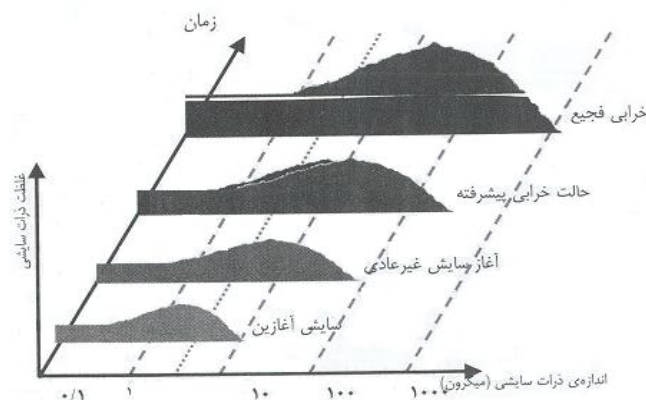
به کمک تکنیک اسپکتروسکوپی می توان اکثر عناصر فلزی و غیر فلزی موجود در روغن را بر حسب قسمت در میلیون (ppm) اندازه گیری نمود. اکثر آزمایشگاههای روغن تا بیش از ۲۰ عنصر را می توانند اندازه گیری کنند. روش اسپکتروسکوپی از نظر اندازه ذرات دارای محدودیت می باشد. فلزات معلق و حل شونده تا حدود ۲ میکرون با دقت بالایی شناسایی می شوند. با افزایش اندازه ذرات تا ۵ میکرون دقت کاهش می یابد و برای ذرات بزرگتر از ۵ میکرون، تراکم عناصر به میزان قابل توجهی کمتر از مقدار واقعی شناسایی می شود. به جزء فرسایش سیلیس در بقیه موارد ورود به حوزه فرسایش غیرعادی از ۲۵ میکرون شروع می شود و با توجه به حوزه تشخیص اسپکتروسکوپی این روش جهت تشخیص خروج از مرحله فرسایش عادی ابزار مناسبی نمی باشد. با این وجود اسپکتروسکوپی تکنیکی قدرتمند برای شناسایی سریع ذرات و پیش بینی پتانسیل فرسایش سیستم است. اعدادی که بوسیله این روش گزارش می شود به تنهایی مهم نیست، چیزی که اهمیت دارد افزایش یا تغییرات زیاد در این اعداد است.

### شاخص ذرات درشت آهنی<sup>۱</sup> P.Q

افزایش در تعداد ذرات بزرگ با خاصیت آهنی، معمولاً نشان دهنده وجود شرایط فرسایش است و باید به عنوان یک هشدار برای خرابی در شرف اتفاق رسیدگی شود. تکنیک P.Q گستره وسیعی از کمتر از ۱ میکرون تا بیش از ۱۰۰ میکرون را تحت پوشش قرار می دهد.

### تراکم ذرات<sup>۲</sup> P.D

در این آزمایش با عبور روغن از جلوی نور لیزر تعداد ذرات جامد معلق در اندازه های مختلف در یک میلی لیتر روغن شناسایی و شمارش می گردد. نتایج در قالب کدهای استاندارد سطح تمیزی (استاندارد ISO 4406 و یا NAS 1638) بر اساس اندازه ذرات ۲، ۵ و ۱۵ میکرون اعلام می گردد. هر چه کد بزرگتر باشد به معنی آلودگی بیشتر است و بالعکس. شکل ۴ نشان می دهد که چگونه با افزایش میزان فرسایش، اندازه و تراکم ذرات فرسایشی در روغن افزایش می یابد.



شکل ۴: چگونگی وابستگی گسترش فرسایش با غلظت ذرات فرسایشی

### فروگرافی مشاهداتی<sup>۳</sup> A.F

معمولاً پس از این که از نتایج آزمایش های اولیه وضعیت مشکوکی ملاحظه شود، از روش فروگرافی مشاهداتی استفاده می گردد. در این تکنیک ذرات فلزی درون روغن را بر روی یک اسلاید شیشه ای رسوب داده و با مشاهده آنها بوسیله

<sup>۱</sup> Particle Quantifier

<sup>۲</sup> Particle Density

<sup>۳</sup> Analytical Ferrography

میکروسکوپ نوری اطلاعات بسیار جالبی در خصوص شکل ذرات، اندازه آنها (کمتر از ۱ میکرون تا ۲۵۰ میکرون) و میزان تراکم به دست می آید و با ملاحظه نتایج سایر آزمایش ها می توان نوع فرسایش (خوردگی، خستگی، سایشی و ...) و نیز در برخی موارد با اطلاع از متالوژی قطعات، محل وقوع فرسایش را شناسایی نمود.

## تکنیک های ارزیابی سیستم با استفاده از نتایج آنالیز روغن

### مقادیر مطلق (Absolute Value)

در این روش از مقادیری که شرکت سازنده برای میزان ذرات تعیین کرده است استفاده می شود.

### روند تغییرات مقادیر (TREND)

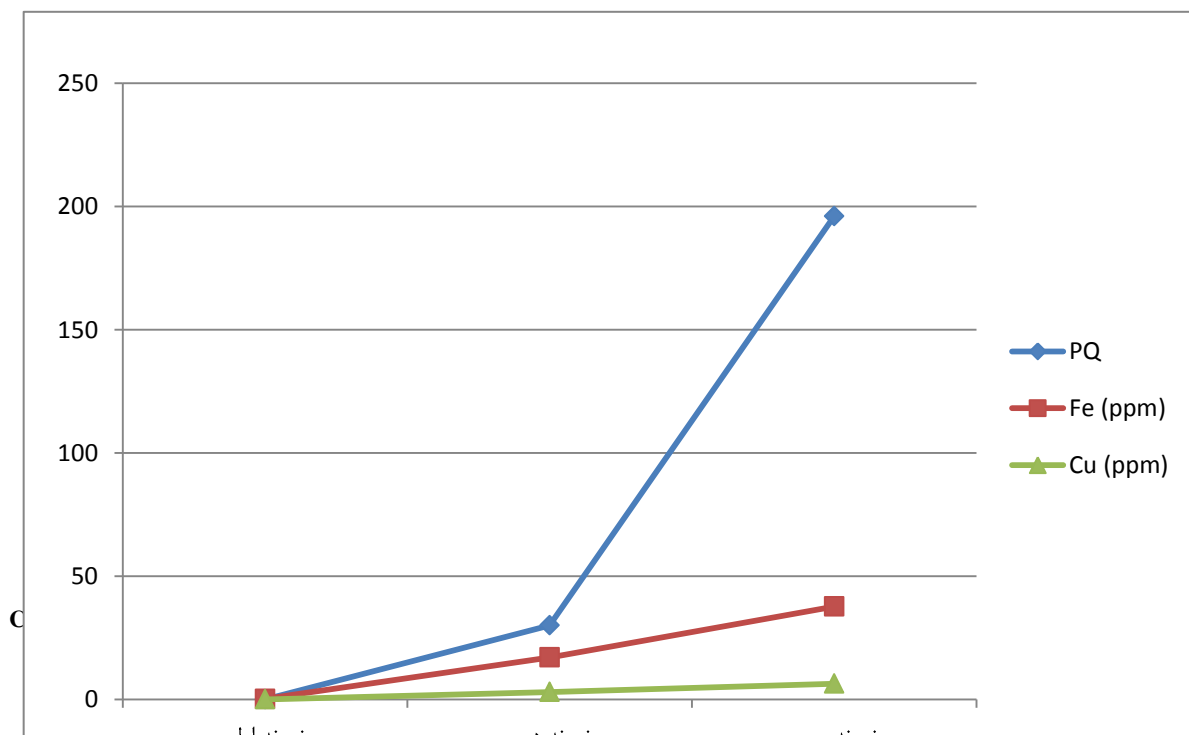
در این روش مقدار ذرات یک عنصر که درون نمونه روغن وجود دارد حائز اهمیت است. یعنی با توجه به روند تغییرات مقدار ذره موجود در روغن است که تشخیص می دهیم وجود عنصر حاکی از وجود خطر در سیستم می باشد. برای تصمیم در تکنیک ترند بایستی حداقل چند نمونه آزمایش داشته باشیم تا رفتار فرسایشی دستگاه بدست آید. شیب نمودار ترند یا تانژانت آن شدت فرسایش را نشان می دهد. هر چه شیب بیشتر باشد شدت فرسایش بیشتر خواهد بود.

## تحلیل نتایج حاصل از آنالیز روغن و نتیجه گیری

قبل از شروع هر برنامه پایش وضعیت از طریق آنالیز روغن، لازم است که دقیقاً شرایط روغن نو را داشته باشیم که این کار در کارخانه سیمان خاکستری سازه هنگام ورود روغن نو به کارخانه جهت حصول اطمینان از کیفیت صورت می پذیرد. به محض مشاهده افزایش دمای روغن برگشتی از غلتک ۲ در مقایسه با دو غلتک دیگر ذرات فرسایشی موجود در روغن در دو دوره شش ماهه کارکرد مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج آزمایش اسپکتروسکوپی مربوط به عناصر فرسایشی آهن و مس در جدول ۲ و ترند آنها در شکل ۵ نشان داده شده است.

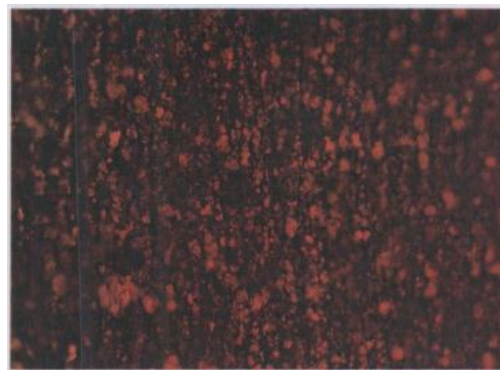
جدول ۲: عناصر فرسایشی موجود در روغن های نو و کارکرده

عنصر	تراکم در روغن نو (ppm)	تراکم در ۶ ماه اول (ppm)	تراکم در ۶ ماه دوم (ppm)
آهن	۰/۲	۱۷	۳۷/۷
مس	۰	۳	۶/۴

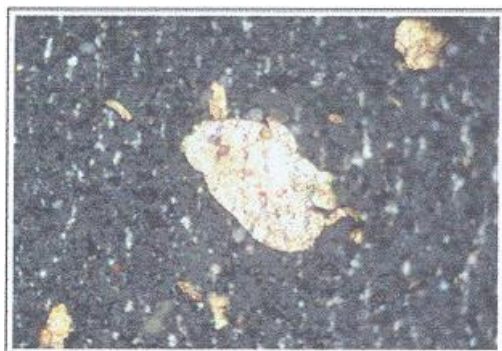


شکل ۵: ترند عناصر فرسایشی و شاخص فرسایش

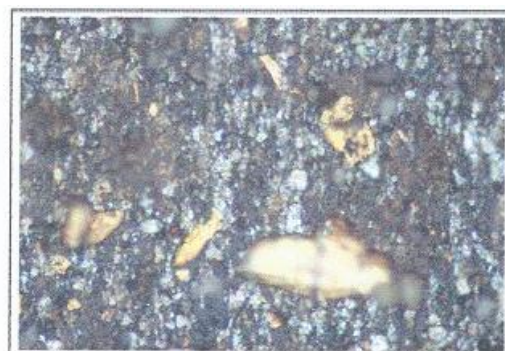
همان طور که در نمودار ترند مشخص است میزان عناصر فرسایشی Fe و Cu ریز کوچکتر از ۵ میکرون موجود در روغن سیر صعودی دارد اما باید توجه نمود که در تکنیک ترند آنچه اهمیت دارد شیب نمودار است. شیب یکنواخت نشانگر روند نرمال فرسایش است و تهدیدی جدی برای سیستم محسوب نمی گردد. اما این نتیجه نباید گمراه کننده باشد زیرا عموماً افزایش در تعداد ذرات بزرگ با خاصیت آهنی است که خبر از فرسایش غیرعادی می دهد. به همین دلیل برای ارزیابی روند تولید ذرات درشت فرسایشی با خاصیت آهنی شاخص P.Q در هر دو دوره مورد اندازه گیری قرار گرفت. این شاخص در دوره شش ماهه اول عدد ۳۰ و در شش ماهه دوم عدد ۱۹۶ را نشان می دهد که ترند آن در شکل ۵ نشان داده شده است. این ترند حکایت از افزایش تولید ذرات درشت و احتمال آغاز فرسایش غیرعادی سیستم دارد. برای حصول اطمینان از نتایج آزمایش P.Q و همچنین مشخص کردن تراکم و نوع ذرات فرسایشی با اندازه های مختلف، آزمایش فروگرافی نیز انجام شد که فروگرام های حاصله در شکل های ۶ و ۷ نشان داده شده است.



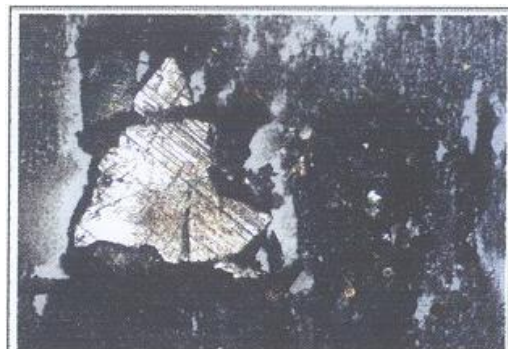
شکل ۶: فروگرام های نشان دهنده تراکم ذرات فلزی در نمونه روغن کارکرده در شش ماهه اول (پژوهشگاه صنعت نفت)



ذره ۹۰ میکرونی آلیاژ مس 500x



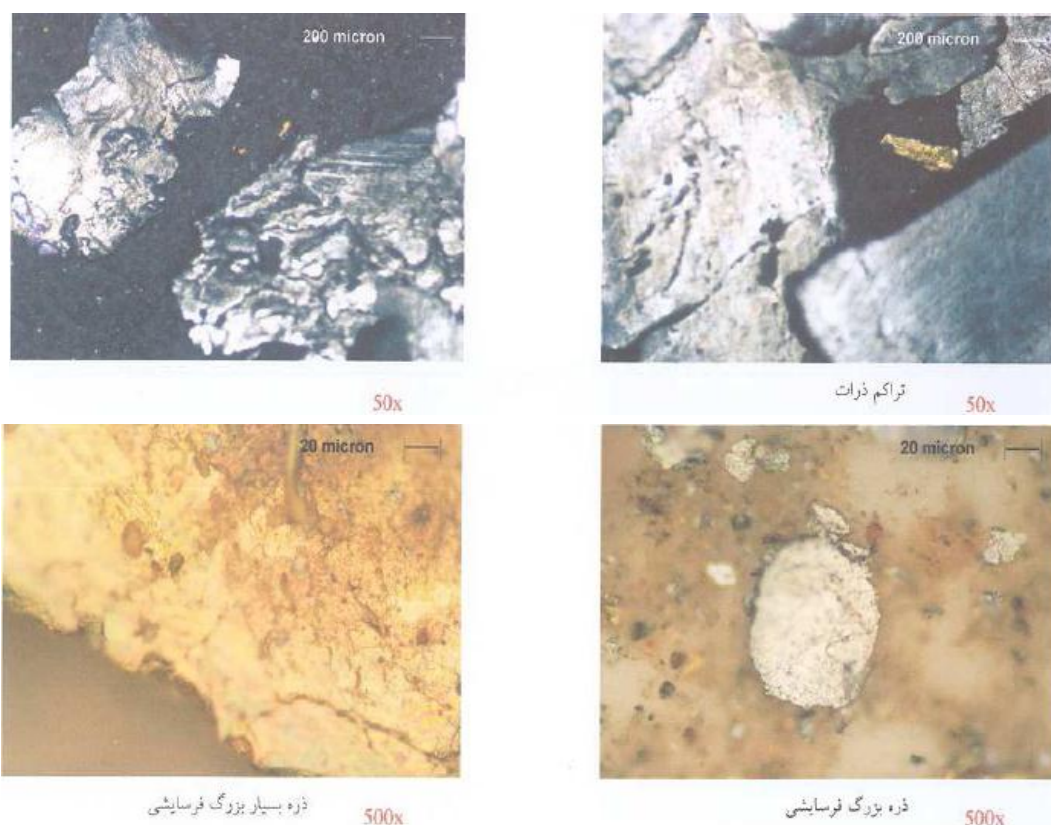
ذرات فرسایشی آهنی و غیر آهنی 500x



SCALE | 500 X = 40 Micron

شکل ۷: فروگرام های نشان دهنده تراکم ذرات فلزی در نمونه روغن کارکرده در شش ماهه دوم (شرکت البرز تدبیرکاران) همان طور که در فروگرام های به دست آمده مشاهده می گردد تراکم و نوع ذرات بزرگ و بسیار بزرگ فرسایشی غیرعادی است. تعداد ذرات ریز و درشت فرسایشی غیرآهنی به صورت نگران کننده بالا بوده و احتمال فرسایش غیرعادی در قطعات آلیاژ مس وجود دارد.

به منظور تعیین سطح تمیزی، آزمایش P.D نیز روی نمونه روغن انجام گرفت که سطح تمیزی ISO 4406 بر اساس اندازه ذرات ۲، ۵ و ۱۵ میکرون کد<sup>۱</sup> 26/25/OR گزارش شده است. سطح تمیزی برای ذرات بزرگتر از ۱۵ میکرون به شدت پایین و بحرانی است که خبر از فرسایش غیرعادی دارد. در شکل ۸ نتایج آزمایش P.D نشان داده شده است.



شکل ۸: نتایج آزمایش P.D روی نمونه روغن کارکرده در شش ماه دوم به منظور تعیین سطح تمیزی (شرکت البرز تدبیرکاران)

با استناد به نتایج آزمایش های انجام گرفته و اطلاع از متالوژی بیرینگ ها پیش گردید رولرها، رینگ داخلی و خارجی بیرینگ ها که از جنس فولاد (آلیاژ آهن) بوده و همچنین قفسه بیرینگ ها که از جنس برنج (آلیاژ مس) است در معرض

<sup>1</sup> O.R= Out of Range



فرسایش غیرعادی قرار دارند. ذرات فرسایشی ایجاد شده در شرایط تماس غلتشی خود می توانند منجر به خستگی سطح، حفره و کنده شدن بیشتر مواد شوند [۶]. در نهایت با در نظر گرفتن موارد فوق به منظور جلوگیری از پیشرفت و توسعه خرابی، از سوی واحد دفترفنی (مجری برنامه OCM) به طور موکد اعلام گردید که در اولین تعمیرات اساسی پیش رو و در زمان توقف آسیاب، غلتک شماره ۲ پس از انتقال به کارگاه، دمونتاژ و شرایط آن برای ادامه کار مورد بررسی قرار گیرد. اما متاسفانه به دلیل عدم اطمینان و بی توجهی واحد تعمیرات به نتایج بررسی های انجام شده از طریق آنالیز روغن، با گذشت حدود یک سال از اعلام خطر خرابی بیرینگ، هیچ گونه اقدامی جهت جلوگیری از پیشرفت و توسعه خرابی و رسیدن به مرحله بحرانی صورت نگرفت. در این مدت فیلتر روغن برگشتی از غلتک ۲ به علت انسداد با ذرات فلزی به دفعات تعویض می گردید. در شکل ۹ نمونه ای از ذرات فلزی موجود در روغن برگشتی از غلتک، قبل از فیلتر شدن نشان داده شده است.



شکل ۹: ذرات فلزی موجود در روغن برگشتی از غلتک ۲

هنوز یک هفته از پایان تعمیرات اساسی ۱۵ روزه خط ۱ در خرداد ماه ۹۲ سپری نشده بود که خرابی پیش بینی شده بیرینگ غلتک مورد بحث، منجر به توقف آسیاب و نهایتاً توقف برنامه ریزی نشده ۸ روزه خط ۱ تولید گردید. در شکل ۱۰ تصاویری از بیرینگ آسیب دیده غلتک نشان داده شده است.



### شکل ۱۰: تصاویر بیرینگ آسیب دیده غلتک

برآورد ضرر و زیان ناشی از خرابی بیرینگ، و توقف برنامه ریزی نشده بدین شرح می باشد: کاهش تولید به میزان ۲۸۸۰۰ تن، خسارات مالی ناشی از کاهش تولید ۲۹,۹۵۲,۰۰۰,۰۰۰ ریال، آسیب به نسوز کاری کوره در اثر سرد و گرم شدن به هنگام توقف ناخواسته و راه اندازی مجدد، هزینه های خرابی غلتک مشتمل بر خرید غلتک و بیرینگ و نهایتاً آسیب وارده به اتصالات غلتک در آسیاب.

بدون شک حمایت مدیران ارشد صنایع به موازات تلاش نیروهای متخصص، می تواند از بروز چنین حوادثی جلوگیری نماید.

### تشکر و قدردانی

در خاتمه بر خود لازم می دانیم از مدیریت محترم شرکت نفت ری سان که با حمایت های خود ما را در این پروژه یاری رساندند صمیمانه سپاسگزاری نمائیم.

### مراجع

- [۱] م، نصر آزادانی، بیرینگ های غلتکی، انتشارات اداره آموزش شرکت پالایش نفت اصفهان، آبان ۸۵.
- [2] F.L.SMIDTH Co. press, 2004, No. 0322811, p. 505
- [۳] ح، قهرمانی، "آسیاب مواد ATOX"، ماهنامه علمی، فنی، اقتصادی سیمان، شماره ۱۲۷، صفحه ۶۵، خردادماه ۱۳۸۷.
- [4] R., Liu, T.M., Dehua, (2004), "Using oil analysis to study the wear condition of bearing in trunnion of convertor during/after run-in period", paper presented at 5th International Conference 2004 of Quality, Reliability and Maintenance, Oxford University, Oxford, pp. 101-4.
- [5] F.L.SMIDTH Co. press, 2004, Instruction manual, Atox Mill, lubrication system, No. 3359-07.
- [۶] ج. فیچ، ع، مسعودی، مقدمه ای بر آنالیز روغن، انتشارات دوست مهربان، ۱۳۹۰.