

# بررسی عیوب گیربکس‌های محرک آسیاب‌های سیمان

■ مهندس علیرضا سرگزی

لیسانس مهندسی مکانیک، کارشناس مکانیک واحد فنی و مهندسی سیمان خاش

■ مهندس مسعود سارانی

لیسانس مهندسی مکانیک، سرپرست واحد فنی و مهندسی سیمان خاش

## چکیده:

آسیاب‌های گلوله‌ای سیمان خاش توسط دو موتور با توان ۲۱۰۰ kW و دو گیربکس با گشتاور ۱۸۴ ۲۴۰ Nm وظیفه چرخش آسیاب‌ها را بر عهده دارند. بیرینگ‌های گیربکس‌های مورد بحث پس از رسیدن به ساعت کارکرد، تعویض شدند. در ابتدای راه‌اندازی بهبودی نسبی حاصل شد، اما پس از آن افزایش ارتعاشات و صداهای غیرعادی دستاورد این کار بود. در این مقاله سعی شده راهکارهایی که جهت کاهش آسیب به گیربکس و پینیون به‌کار گرفته شده بررسی گردد.

واژه‌های کلیدی: آسیاب گلوله‌ای، CM، PM، گیربکس، تکنیک عیب‌یابی

## ۱- مقدمه

چرخ حیات صنعت سیمان در گرو چرخش آسیاب‌هاست. لذا مراقبت از گیربکس‌های محرک آسیاب و انجام مراقبت‌های PM و CM به‌عنوان عامل بازدارنده توقف آسیاب‌ها و پیگیری مستمر اجرای صحیح آن از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار است. آسیاب‌های سیمان خاش از نوع گلوله‌ای، دویل پینیون با یک چرخ‌دنده اصلی و دو کانتر شافت می‌باشد.

از زمان راه‌اندازی گیربکس‌های فوق ۲۵ سال می‌گذرد و ساخت آلمان غربی می‌باشند. با توجه به تمام شدن ساعت کارکرد بیرینگ‌های آن طبق PM، برنامه‌ریزی جهت تعویض آن انجام گرفت و این کار عملیاتی شد. در ابتدای راه‌اندازی

گیربکس ارتعاشات اورال نسبت به قبل کاهش جزئی داشت. اما پس از مدتی کارکرد، صدای غیرعادی بر روی گیربکس مذکور به‌وجود آمد.

آسیاب سیمان دارای چهار یاتاقان بر روی کانتر شافت می‌باشد. پس از تعویض بیرینگ‌های گیربکس، ارتعاشات اورال یاتاقان بعد از گیربکس، به تدریج افزایش پیدا کرد که بسیار نگران‌کننده بود. گیربکس فوق ۳ مرحله‌ای<sup>۱</sup> است که کانتر شافت توسط کوپلینگ از نوع دنده‌ای به مرحله سوم متصل می‌باشند. همزمان با این اتفاق ارتعاشات اورال مرحله اول که توسط کوپل پین بافری

1- 3 stage

## ۲-۱- عیوب به وجود آمده پس از تعویض بیرینگها

پس از تعویض بیرینگها، زیر در آن ملاحظه گردید:

۱- صدای غیرعادی از سمت چرخ‌دنده مرحله اول

۲- ارتعاش محوری (Axial) بالای یاتاقان‌های بعد از گیربکس

۳- ارتعاش محوری بالا بر روی چرخ‌دنده مرحله اول گیربکس

## ۲-۲- عیب‌یابی اولیه انجام گرفته

طی بازرسی‌های متداول پیش‌بینی شده در برنامه PM کارخانه مشخص گردید که ارتعاشات روند افزایشی نسبت به زمان تعویض بیرینگ پیدا کرده است. لذا مقادیر به صورت منظم ثبت می‌گردید و پس از مدتی کارکرد در محدوده بحران قرار گرفت. ارتعاشات اورال گیربکس مطابق جدول ۱ می‌باشد. با توجه به صدای غیرعادی بر روی چرخ‌دنده مرحله اول، اصالت بیرینگها مورد بررسی قرار گرفت که از لحاظ اصالت مورد تایید قرار گرفتند. با توجه به اینکه در زمان تعویض



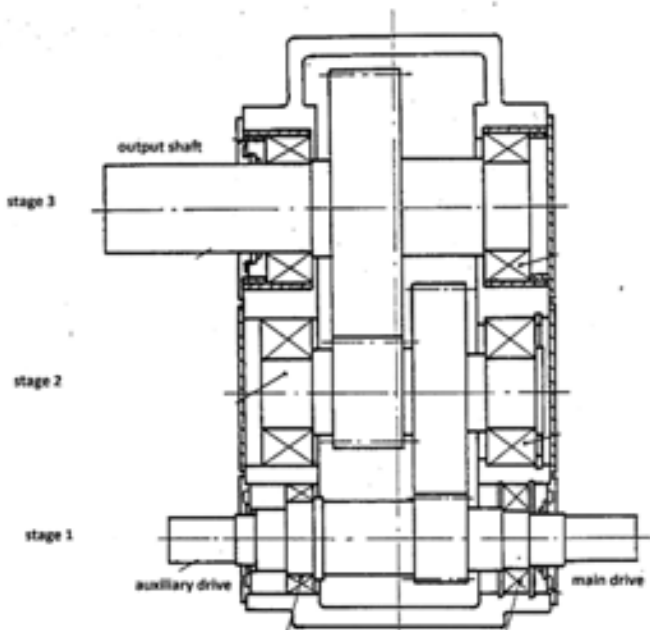
شکل ۲- دمونتاژ گیربکس اصلی آسیاب

متصل به موتور است نیز افزایش و در محدوده بحرانی قرار گرفت. شایان ذکر است که پیش از تعویض نیز ارتعاشات اورال گیربکس، یاتاقان‌ها و موتور در محدوده مجاز قرار داشت ولی جهت جلوگیری از اتفاقات ناخواسته به دلیل کارکرد زیاد بیرینگها تصمیم به تعویض بیرینگ‌های گیربکس در حضور نماینده سازنده گیربکس فوق گرفته شد و این عمل اجرایی شد.

## ۲- شناسایی اولیه سیستم

گیربکس با توان ۱۲۰۰ kW و سه مرحله‌ای ساخت شرکت ASUG کشور آلمان غربی سابق با دور ورودی ۷۵۰ rev/min و دور خروجی ۱۰۸ rev/min با توان خروجی ۱۸۴ ۲۴۰ Nm و نسبت تبدیل ۶/۸۹ می‌باشد.

نمای شماتیک گیربکس و موقعیت شافت‌ها و بیرینگ‌ها و مراحل آن مطابق شکل ۱ می‌باشد و دمونتاژ آن در شکل ۲ ملاحظه می‌گردد.



شکل ۱- شماتیک گیربکس اصلی آسیاب

جدول ۱- ارتعاشات اورال گیربکس قبل از دمونتاژ هوزینگ

	BCU	A	H	V
Stage 1F	0.1	9.4	2.4	4.2
Stage 2F	0.06	6.2	2.5	3.5
Stage 3F	0.06	3.9	3.1	4
Stage 1L	0.09	9.2	2.9	2.7
Stage 2L	0.1	6.1	3.2	3.6
Stage 3L	0.5	2.5	3.4	2.1

توجه به تجهیزات موجود حداکثر استفاده جهت رفع مشکل انجام گرفت. تکنیک‌های انجام گرفته جهت رفع عیب دستگاه در ادامه تشریح شده است.

#### ۲-۳-۱- تکنیک اول (تست صدا UT)

همان گونه که پیش از این بیان شد بر روی چرخ‌دنده مرحله اول صدای غیرعادی وجود داشت. وجود عیب در بیرینگ با صدای زوزه همراه است صحت این مورد توسط دستگاه stethoscope مورد آنالیز قرار گرفت. حین استارت دستگاه تست UT انجام شد که صدای مشاهده شده به عیب بیرینگ شباهت نداشت.

#### ۲-۳-۲- تکنیک دوم (اندازه‌گیری clearance)

فلنج‌های اطراف گیربکس دمونتاز و فیلرگیری از بیرینگ‌های دنده‌های مراحل مختلف گیربکس انجام گرفت و مشاهده شد که در clearance بیرینگ تغییری نسبت به زمان نصب به‌وجود نیامده است. (تصاویر شکل ۳)

#### ۲-۳-۳- تکنیک سوم (آزمون بصری دنده))

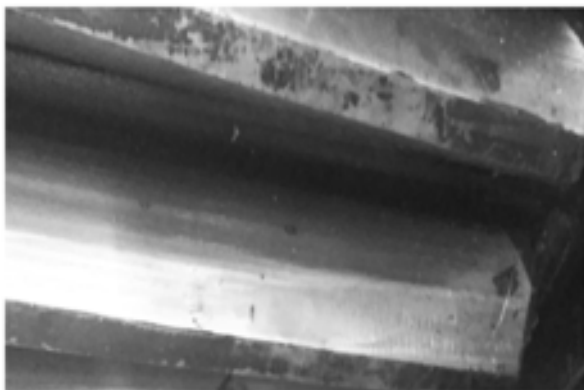
برای آزمون بصری دنده (BORESCOPY) دریچه‌های بازدید گیربکس نیز دمونتاز و سطح درگیری دنده‌ها بررسی گردید که مشاهده شد برجستگی‌هایی بر روی سطح دندانه‌ها ایجاد شده است. (شکل ۴)

#### ۲-۳-۳- تکنیک چهارم (حرارت‌سنجی)

برای اجرای آزمون حرارت‌سنجی (THERMOGRAPHY)، دمای بیرینگ در تمامی مراحل گیربکس اندازه‌گیری گردید و روند آن مورد بررسی قرار گرفت که تغییرات محسوسی مشاهده نگردید.

#### ۲-۴- عیب‌یابی نهایی

پس از بررسی‌های انجام گرفته در مرحله قبل، تمرکز



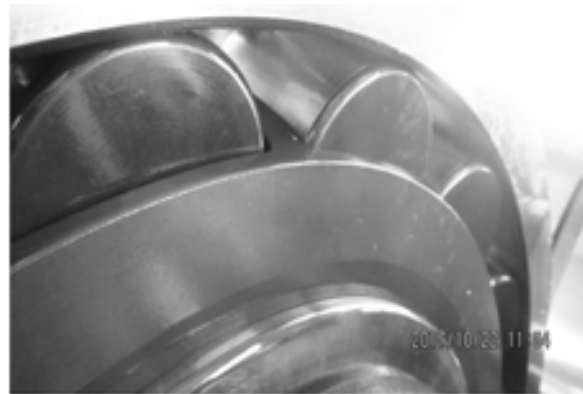
شکل ۴- بررسی سطح درگیری دنده‌ها

نمایندة شرکت ASUG حضور داشته بود، نسبت به رفع مشکل به‌وجود آمده از شرکت فوق درخواست اظهار نظر شد. ایشان دلیل مشکل به‌وجود آمده را به بیرینگ نسبت دادند و اظهار داشتند بیرینگ‌های فوق با توجه به اینکه از زمان راه‌اندازی گیربکس خریداری شده‌اند، طی گذشت زمان کارایی خود را از دست داده و موجب بروز صدای غیرعادی و ارتعاشات بالا در چرخ‌دنده مرحله اول گردیده است. جهت رفع این مشکل تعویض بیرینگ یا تعویض کامل چرخ‌دنده مرحله اول و یا ترمیم شفت با روش متال اسپری (Metal spray input shaft) را پیشنهاد نمودند.

لذا با توجه به نظریه سازنده گیربکس تمامی حدس و گمان‌ها بر روی خرابی بیرینگ گذاشته شد. اما با توجه به هزینه‌بر بودن آسیب به گیربکس و پینیون و همچنین هزینه‌های انجام گرفته برای تعویض بیرینگ و حاصل نشدن نتیجه‌ی مطلوب، شروع مجدد تعمیر بر روی گیربکس فوق هزینه‌ی زیادی را بر شرکت تحمیل می‌کرد، بنابراین بررسی‌های دقیق‌تر توسط پرسنل جهت رفع این مشکل انجام گرفت.

#### ۲-۳- عیب‌یابی ثانویه

همان گونه که اشاره شد با فرض معیوب بودن بیرینگ کار بررسی مشکل به‌وجود آمده توسط پرسنل آغاز گردید و با



شکل ۳- اندازه‌گیری clearance

عیب‌یابی از روی بیرینگ کمتر شده و بررسی عوامل به‌وجود آورنده این مشکل به‌جز بیرینگ نیز در ذهن تداعی می‌شود. لذا از دیگر ابزارهای موجود در شرکت برای رفع مشکل کمک گرفته شد و سعی شد توسط آنالیز فرکانسی به تشخیص عیب پرداخت و بررسی وجود فرکانس‌های بیرینگ انجام گرفت.

## ۲-۴-۱- تکنیک پنجم (آنالیز فرکانسی)

۱- اخذ آنالیز فرکانسی (FREQUENCY ANALYSES) از تمامی مراحل گیربکس و تمامی یاتاقان‌ها انجام گرفت. همان‌طور که در ابتدای مقاله مطرح گردید با داشتن دور ورودی و خروجی گیربکس، فرکانس‌های Gear mesh و فرکانس‌های pinion و bearing محاسبه شد.

روابط محاسبه دور در مراحل گیربکس:

$$N_1 \dot{w}_1 = N_2 \dot{w}_2$$

سرعت دورانی  $w$  =

تعداد دندانه  $N$  =

با داشتن دور و تعداد دندانه، دور شفت میانی (intermediate shaft) محاسبه گردید.

طبق جدول ۲ تمامی احتمالات مورد بررسی قرار گرفت و فرکانس‌های دنده پنیون آسیاب نیز محاسبه گردید. با توجه به شکل ۲ همان‌طور که مشاهده می‌کنید گیربکس توسط کانتور شافت به آسیاب گلوله‌ای متصل است؛ لذا امکان انتقال

ارتعاشات از سمت دنده پنیون آسیاب به مجموعه وجود دارد. فرکانس مربوط به آسیاب طبق روابط بالا محاسبه گردید:

$$N_1 \dot{w}_1 = 104 \times 39 = 4080$$

$$f_s = N/T = 4080/60 = 68 \text{ Hz}$$

لذا فرکانس ناشی از آن ۶۸ Hz می‌باشد که در شکل ۵ این فرکانس مشاهده نمی‌شود.

شماره بیرینگ‌ها از نقشه‌ها استخراج و فرکانس‌های بیرینگ طبق روابط زیر محاسبه گردید:

$$BPFO = (N_b/2) (1 - (N_b/d_p) \cos \alpha)$$

$$BPFI = (N_b/2) (1 + (N_b/d_p) \cos \alpha)$$

$$BSF = (d_p/2 d_b) (1 - ((d_p/d_b) \cos \alpha)^2)$$

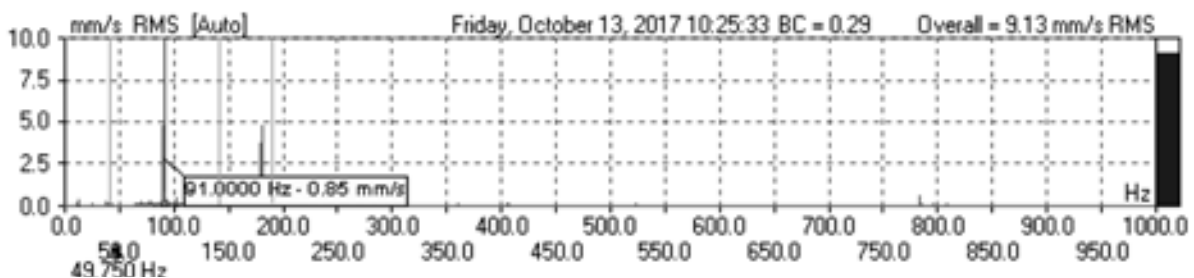
که پس از محاسبه مشخصاً عیب بیرینگ مشاهده نگردید. طبق تصویر شکل ۵ فرکانس‌های مشاهده شده طبق محاسبات جدول ۲ مربوط به Gear mesh frequency می‌باشد که بیانگر تغییر در سطح درگیری دنده‌های مراحل ۲ و ۳ گیربکس می‌باشد، ولی حصول این نتیجه با توجه به شناخت ما از نوع گیربکس به‌دلایل زیر امکان‌پذیر نبود:

۱- همان‌طور که در شکل ۶ مشخص است بیرینگ‌های هر سه مرحله تنها قابلیت نشست بر روی نشیمنگاه را دارد و توسط رینگ قفل‌کن امکان تغییر مکان از بیرینگ سلب شده است، لذا امکان تغییر در سطح درگیری بدون خورده شدن

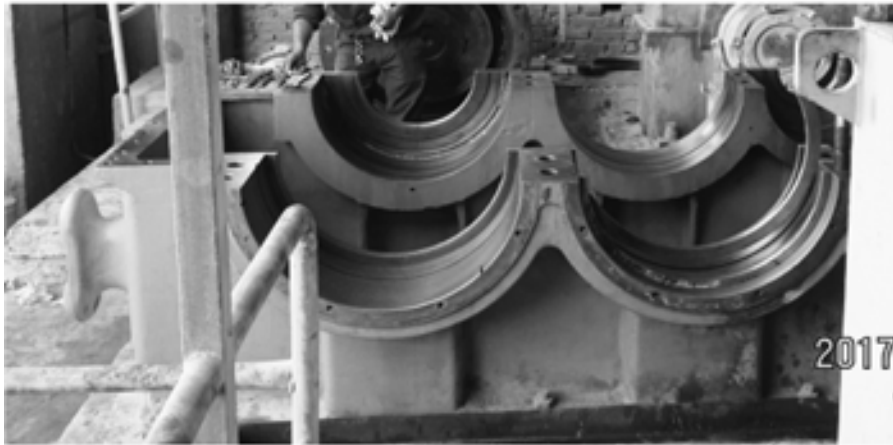
جدول ۲- محاسبه فرکانس‌های مراحل مختلف گیربکس و دنده پنیون آسیاب

pinion	housing	Stage 3	Stage 2	Stage 1	
۳۹	-	۵۰	۲۱	۱۹	تعداد دنده
۶۸		۹۰	۲۳۴		Gear mesh frequency
		۹۱ Hz, ۱۸۰ Hz			فرکانس مشاهده شده

NewDepartment\NewMachine\NewPoint\s1f



شکل ۵- آنالیز فرکانسی



شکل ۶- نشیمن بیرینگ‌های گیربکس



شکل ۷- تنظیم BACKLASH با بوش قفل کردن آن

دنده‌ها و یا سایش بیرینگ به‌نظر امکان‌پذیر نمی‌آید. همان‌گونه که اشاره شد سطح دنده‌ها و لقی بیرینگ نیز تغییر زیادی نداشته است.

۲- حتی با فرض پذیرش این مورد، تصور بر این است که ارتعاشات و صدای همان مرحله گیربکس که تغییر در آن به‌وجود آمده، افزایش پیدا کند، در صورتی که ارتعاشات مرحله اول گیربکس افزایش پیدا کرده است.

علی‌رغم اینکه نتیجه‌ی حاصل از آنالیز فرکانسی با شناخت ما از گیربکس در تضاد بود، تصمیم به دمونتازژ گیربکس گرفتیم. با علم به این قضیه کپه‌ی گیربکس دمونتازژ، بازرسی از دنده‌ها و نشیمنگاه‌ها انجام گرفت. در نتیجه مشخص شد که نشیمنگاه مراحل ۱ و ۲ ثابت اما مرحله ۳ که بیرینگ آن بر روی بوش تنظیم قرار دارد، با وجود بسته بودن پین، تنظیم آن تغییر یافته است.

مرحله ۳ گیربکس فوق جهت تنظیم BACKLASH به‌گونه‌ای طراحی شده که بر روی بوش‌هایی مطابق شکل ۷ سوار می‌شود و پس از حاصل شدن BACKLASH مورد انتظار در همان نقطه قفل می‌گردد که در بازدیدهای اولیه پین قفل آن مورد بازرسی قرار گرفته بود. با توجه به بسته بودن پین، فرض جابه‌جایی چرخ‌دنده از فرضیات کنار گذاشته شد. پس از بررسی دقیق‌تر مشاهده گردید بوش تنظیم فوق از موقعیت مکانی خود در راستای محور جابه‌جا شده است.

با توجه به اینکه هیچ اشاره‌ای از موقعیت دقیق و فیلرهای این بوش توسط شرکت سازنده ارائه نشده تا حتی در مورد تعمیر و نگهداری نیز وابستگی وجود داشته باشد، تصمیم‌گیری درخصوص جابه‌جایی موقعیت آن جز با علم قبلی و آنالیزهای اخذ شده، کاری با ریسک بالا بود. لذا درنهایت تصمیم به صفر کردن فاصله‌ی بوش با پوسته‌ی گیربکس گرفته شد که مطابق

شکل ۸ این فاصله را به صفر کاهش دادیم.

پس از تغییر محل بوش و صفر کردن فاصله آن با بدنه گیربکس، سیستم مونتاژ در زمان بهره‌برداری مورد ارزیابی قرار گرفت. مشاهده شد که ارتعاشات گیربکس کاهش یافته است. اما با وجود کاهش ارتعاشات، کماکان صدای غیرعادی که بر روی مرحله اول وجود داشت، تغییری در روند آن حاصل نشده بود.

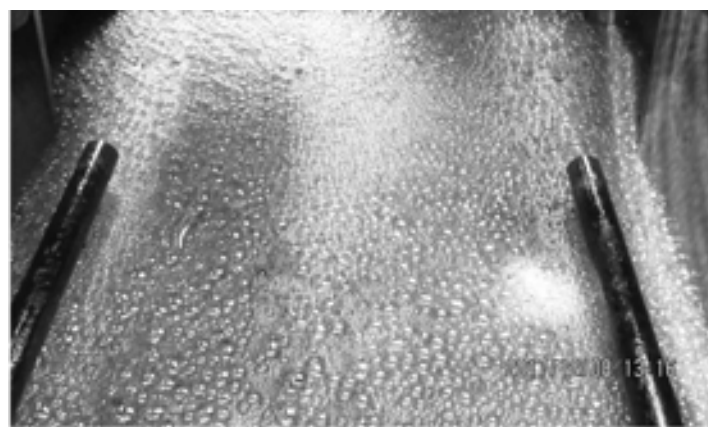
#### ۲-۴-۲- تکنیک ششم (آنالیز روغن)

یکی از مواردی که در سیمان خاش جهت جلوگیری از آسیب به دستگاه‌ها انجام می‌گیرد، پایش روغن تجزیه‌ات حساس می‌باشد و این کار به‌صورت دوره‌ای و طی بازه زمانی مشخصی از روغن دستگاه نمونه‌گیری و در صورت عدم تایید سلامت روغن، تعویض آن زودتر از موعد برنامه‌ریزی شده انجام





شکل ۸- صفر کردن فاصله‌ی بوش با پوسته‌ی گیربکس



شکل ۹- ملاحظه وضعیت روغن بعد از برداشتن کپه‌ی گیربکس

ناشی از برخورد دنده‌ها بود، رفع گردید.

### ۳- نتیجه گیری

با توجه به مباحث مطرح شده موارد زیر نتیجه‌گیری می‌گردد:

- اهمیت اجرای دقیق و مرحله به مرحله PM و CM
- لزوم خودباوری و استفاده حداکثری از توان و نیروهای داخلی
- به‌کارگیری تمامی روش‌های CM جهت رفع عیب
- بهره‌گیری از تکنولوژی روز جهت کاهش هزینه تعمیر و نگهداری.

### منابع:

- 1- "Vibration technology", m.Sadeghlo company stock
- 2- American welding society education industrial member
3. OCM Seminar (Condition Monitoring), Fars & Khozestan Co.

می‌شود. این کار جهت تضمین سلامت دستگاه با ارزیابی ذرات موجود در روغن صورت می‌گیرد. به‌عنوان مثال در یاتاقان‌های لغزشی مانند بابیت‌های آسیاب‌ها، یاتاقان‌های کوره و ... که از اهمیت زیادی برخوردار است، به‌طور برنامه‌ریزی شده طبق برنامه PM این کار انجام می‌شود و با توجه به شناخت ما از دستگاه به‌عنوان مثال در صورت وجود قلع مشخص می‌گردد که بابیت آسیب دیده و نسبت به تعمیرات آن لازم است برنامه‌ریزی صورت گیرد. علاوه بر این دورنمایی از وضعیت دستگاه برای ما مشخص می‌شود. این کار از دو جهت برای ما اهمیت دارد: مورد اول سلامت دستگاه و در اولویت دوم جنبه کاهش مصرف روغن مطرح می‌شود. پس از وجود صدای غیرمتعارف در گیربکس، نمونه‌گیری و آنالیز روغن آن در دستور کار قرار گرفت که طی آنالیز مشخص گردید روغن فاقد مواد افزودنی ضدکف و همچنین پایین بودن بیش از حد گراندرو می‌باشد. لذا کپه‌ی گیربکس بلافاصله پس از تمام شدن ساعت بهره‌برداری از دستگاه، دمنواژ و وضعیت روغن مطابق شکل ۹ بود. پس از تعویض روغن، صدای غیرعادی به‌وجود آمده که