تشخیص عیب کمپرسور اسکرو به کمک آنالیز سیگنال زمانی و طیف فرکانسی سیگنال های ارتعاشی شتاب

رضا کیامنش[۱]، محمد بخشی[۲]، علی سلیمانی[۱و۳]

واحد پایش وضعیت، شرکت فولاد غرب آسیا

Corresponding Author E-mail: soleimani@pmc.iaun.ac.ir

چکیده

تشخیص عیب کمپرسور هوا به کمک آنالیز زمانی و فرکانسی سیگنال های ارتعاشی شتاب انجام شده است. مجموعه مورد بررسی شامل الکتروموتور، گیربکس و کمپرسور اسکرو می باشد. اندازه گیری ارتعاشات بر روی یاتاقان ها در ۸ نقطه و ۳ جهت انجام شده است. آنالیز ارتعاشات با تحلیل شکل موج، RMS، کرتوسیس، کرست فکتور و آنالیز طیف فرکانسی با گستره 10kHz انجام شده است. عیب اسکروها تشخیص داده شده و پس از اورهال تجهیز، خرابی سطوح اسکروها مشاهده شده است. پس از تعمیر، ارتعاشات اندازه گیری شده و علائم قبلی از بین رفته است و رفع عیب تایید شده است.

واژه‌های کلیدی: کمپرسور، اسکرو، ارتعاشات، طیف فرکانسی، سیگنال زمانی

مقدمه

ماشین های دوار نقش مهمی در خط تولید کارخانجات صنعتی دارند و به همین دلیل نگهداری صحیح و تعمیرات به موقع از اهمیت ویژه ای برخوردار است. استراتژی های مختلفی برای نگهداری و تعمیرات ماشین های دوار وجود دارد که یکی از بهترین آنها نگهداری و تعمیرات بر اساس وضعیت است. در استراتژی نگهداری و تعمیرات بر اساس وضعیت، لازم است وضعیت

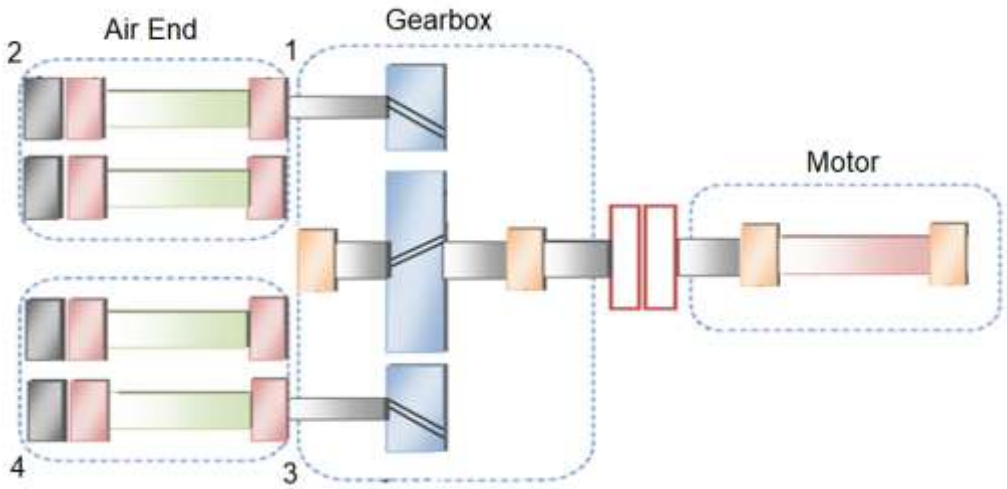
[۱] کارشناس، واحد پایش وضعیت، شرکت فولاد غرب آسیا
[۲] تکنسین، واحد پایش وضعیت، شرکت فولاد غرب آسیا
[۳] استادیار، گروه مهندسی مکانیک، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی

تجهیز توسط روشهایی پایش گردد. روشهای مرسوم و پرکاربرد برای پایش وضعیت تجهیزات شامل آنالیز ارتعاشات، آنالیز صدا، ترموگرافی، آنالیز روغن، التراسونیک و آنالیز عملکرد هستند. هر یک از این روش ها دارای مزایا و معایب و محدودیت هایی می باشند که بر همین اساس، روشهای مناسب برای پایش وضعیت هر تجهیز مشخص می گردد. در بین این روش ها، آنالیز ارتعاشات به دلیل حساسیت داشتن به اکثر عیوب رایج و امکان پردازش دارای اهمیت بیشتری است [۱].

ارتعاشات به کمک ترانسدیوسرهای ارتعاشی اندازه گیری می شود که بهترین ترانسدیوسرها از لحاظ سهولت استفاده و پاسخ مناسب، شتاب سنج های پیزوالکتریک هستند. شتاب ارتعاشی که توسط شتاب سنج اندازه گیری می شود توسط سخت افزارها و نرم افزارهای موجود به سرعت و جابجایی نیز تبدیل می گردد. استانداردهای بین المللی پیشنهاد می کنند از پارامتر سرعت برای ارزیابی وضعیت ارتعاشی تجهیز استفاده گردد ولی برای تشخیص زودهنگام برخی از عیوب ماشین ها بهتر است از پارامتر شتاب استفاده گردد. عموما در نرم افزارهای مدیریت داده های ارتعاشی، امکان آنالیز همزمان سرعت و شتاب نیز وجود دارد. بر اساس استانداردها و تحقیقات گذشته، بهترین محل برای اندازه گیری ارتعاشات، پوسته یاتاقان ها می باشد [۲]. در هر یاتاقان نیز ۳ جهت عمودی، افقی و محوری برای اندازه گیری پیشنهاد شده است [۳]. تکنیک های مختلفی برای آنالیز ارتعاشات وجود دارند که مهمترین آنها آنالیز سیگنال زمانی و آنالیز طیف فرکانسی هستند.

مجموعه کمپرسور

تجهیز مورد بررسی در این مقاله شامل یک الکتروموتور، یک گیربکس و دو ایراند (Air End) می باشد که هر کدام از ایراند ها شامل ۲ اسکرو هستند. در هر ایراند، حرکت دورانی از گیربکس به یکی از اسکروها منتقل می شود. اسکروی دوم حرکت خود را از اسکروی اول (محرک) می گیرد. برای کاهش اصطکاک بین اسکروها از روغن روانکار استفاده می شود که این روغن به همراه هوای فشرده خارج شده و توسط جداکننده (separator) از هوا جدا می شود. شکل ۱ نمای کلی این مجموعه را نشان می دهد. اندازه گیری ارتعاشات در ۲ نقطه از موتور، ۲ نقطه از گیربکس و ۴ نقطه از ایراند انجام گرفته است. نقاطه داده برداری ایراند در شکل ۱ نشان داده شده است. موتور از نوع القایی سه فاز می باشد و گیربکس از نوع کاهنده است. ایراند ها نیز از نوع اسکرو هستند که هر ایراند دارای ۲ اسکرو است. مشخصات بیشتری از تجهیزات این مجموعه در جدول ۱ آورده شده است.



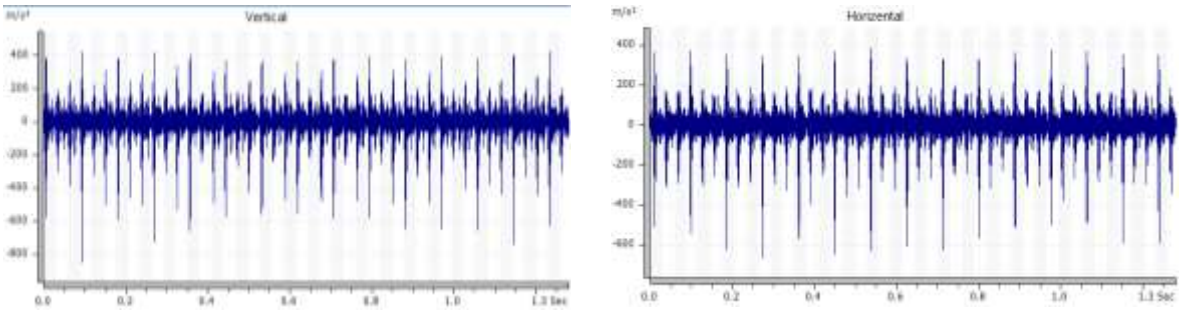
شکل ۱: نمای کلی مجموعه کمپرسور

جدول ۱: مشخصات تجهیزات مجموعه

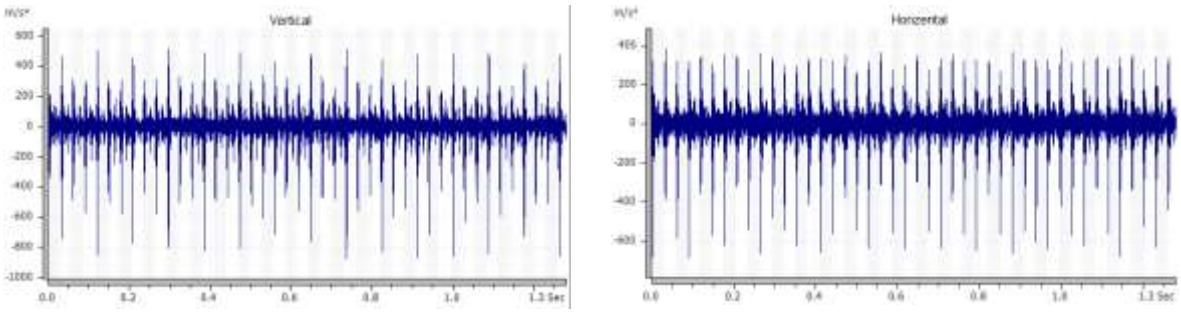
موتور	القایی سه فاز 250 kW, 1485 rpm
گیربکس	کاهنده با نسبت 66/91
ایراند	یک اسکرو ۴ پره و یک اسکرو ۶ پره

آنالیز سیگنال زمانی ارتعاشات

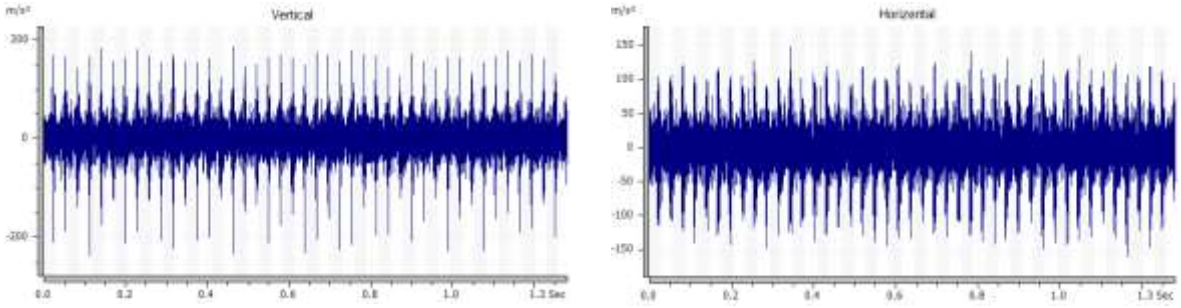
اندازه گیری شتاب با بازه فرکانسی ۱۰ کیلوهرتز انجام گرفته است. نمودارهای شتاب ارتعاشی ۴ نقطه ایراند در راستاهای عمودی و افقی در شکل های ۲ تا ۵ نشان داده شده است. در همه این شکل ها وجود ضربات کاملا مشهود است که با اندازه گیری فاصله بین این ضربات، فرکانس 34Hz بدست آمد که فرکانس دوران یکی از اسکروها می باشد [۴]. همچنین این ضربات در ارتعاشات نقاط ۱ و ۲ در مقایسه با نقاط ۳ و ۴ شدیدتر می باشند.



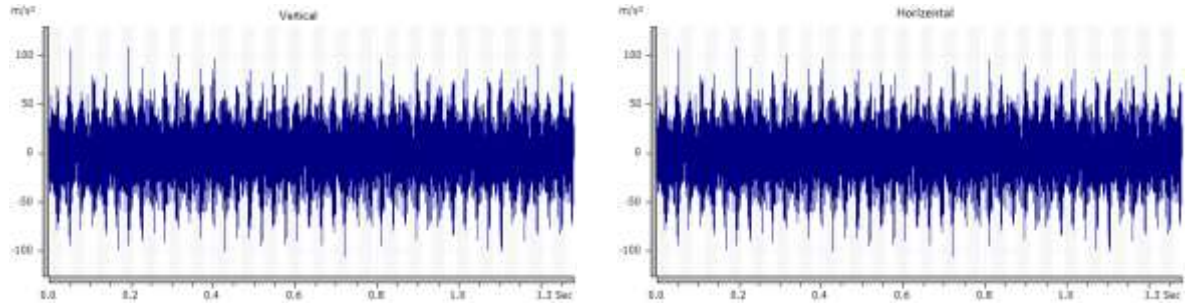
شکل ۲ : سیگنال زمانی شتاب نقطه ۱ قبل از تعمیر



شکل ۳ : سیگنال زمانی شتاب نقطه ۲ قبل از تعمیر



شکل ۴ : سیگنال زمانی شتاب نقطه ۳ قبل از تعمیر



شکل ۵ : سیگنال زمانی شتاب نقطه ۴ قبل از تعمیر

برای بررسی های دقیق تر، پارامترهای RMS، کرتوسیس و کرست فکتور برای سیگنال های زمانی شتاب نقاط ایراند نیز محاسبه شدند و در جدول های ۲ تا ۴ آورده شده اند. با بررسی این جداول مشخص می گردد که علائم خرابی در ارتعاشات نقاط ۱ و ۲ شدیدتر می باشند. بر اساس گزارشات ارائه شده در منابع [۵]، مقادیر این جداول نشان دهنده وجود خرابی است.

جدول ۲: مقادیر RMS شتاب ایراند قبل از تعمیر

	نقطه ۱	نقطه ۲	نقطه ۳	نقطه ۴
عمودی	75.42	79.18	32.7	24.2
افقی	64.75	71.08	31.88	27.02

جدول ۳: مقادیر کرتوسیس شتاب ایراند قبل از تعمیر

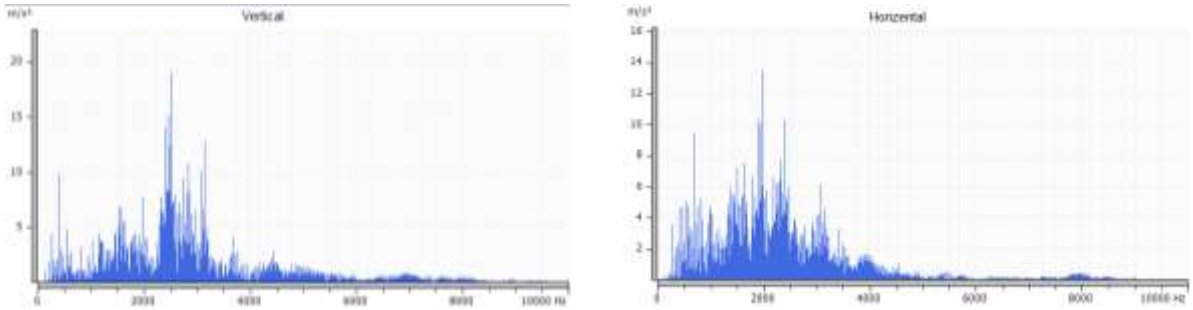
	نقطه ۱	نقطه ۲	نقطه ۳	نقطه ۴
عمودی	11	16.09	4.47	0.47
افقی	10.3	13.85	1.72	1.07

جدول ۴: مقادیر کرست فکتور شتاب ایراند قبل از تعمیر

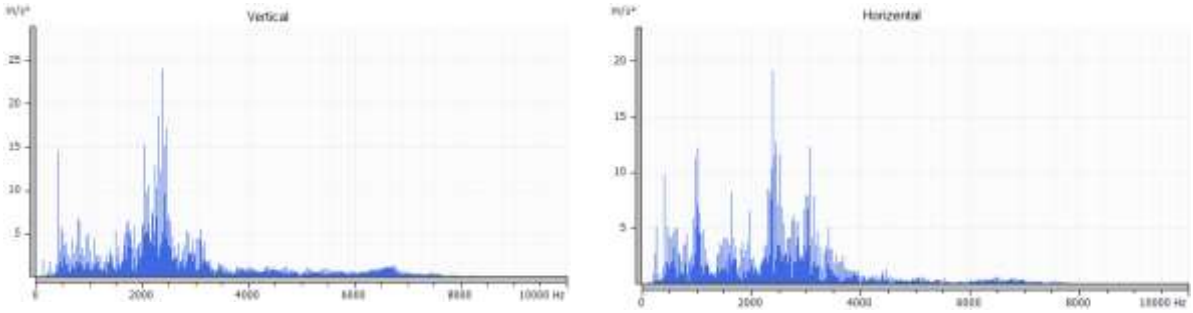
	نقطه ۱	نقطه ۲	نقطه ۳	نقطه ۴
عمودی	5.54	6.27	5.67	4.49
افقی	5.84	5.34	4.58	5.3

آنالیز فرکانسی ارتعاشات

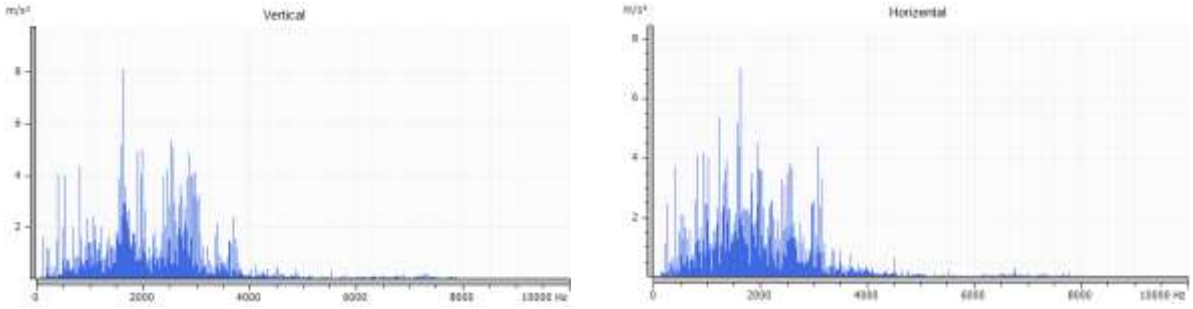
طیف فرکانسی سیگنال های ارتعاشی شتاب هر ۴ نقطه ایراند در راستاهای عمودی و افقی در شکل های ۶ تا ۹ نشان داده شده است. آنچه در این نمودارها مشخص است، وجود پیک های متعدد در بازه وسیع فرکانسی است. این طیف های فرکانسی که مشابه طیف فرکانسی نویز هستند نشان دهنده افزایش اصطکاک و کاهش روانکاری می باشند. از آنجایی که انتقال حرکت بین اسکروها از طریق تماس مستقیم انجام می گیرد، این طیف های فرکانسی نشان دهنده مشکلات روانکاری بین اسکروها و تماس آنها با یکدیگر است.



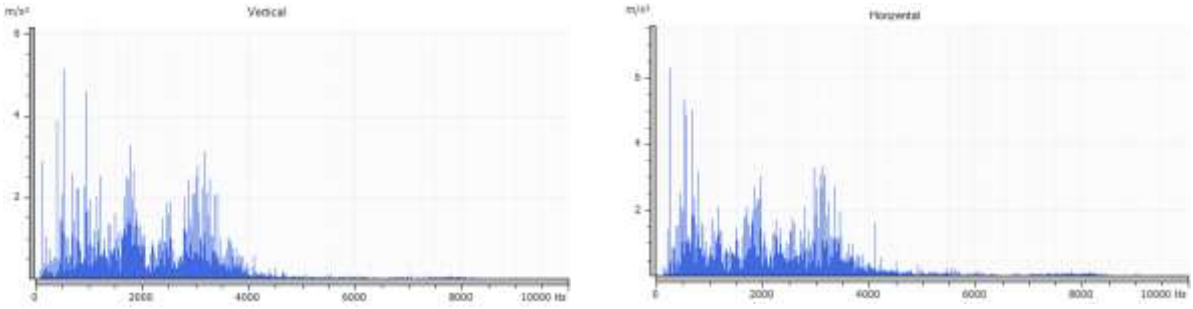
شکل ۶ : طیف فرکانسی شتاب نقطه ۱ قبل از تعمیر



شکل ۷ : طیف فرکانسی شتاب نقطه ۲ قبل از تعمیر



شکل ۸ : طیف فرکانسی شتاب نقطه ۳ قبل از تعمیر



شکل ۹ : طیف فرکانسی شتاب نقطه ۴ قبل از تعمیر

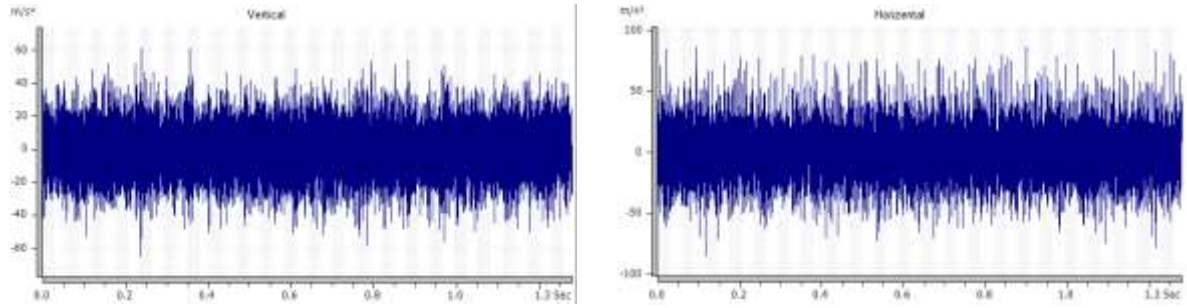
اورهال و تعمیر تجهیز

با توجه به علائم وجود عیب که در نمودارهای زمانی و فرکانسی مشاهده گردید، درخواست اورهال تجهیز صادر گردید. پس از دمونتاژ ایراندها، خرابی بر روی سطح اسکروهای یکی از ایراندها مشاهده گردید که در شکل ۱۰ نیز آورده شده است. این ایراند بین نقاط ۱ و ۲ اندازه گیری قرار داشت که علائم وجود خرابی در آنالیز زمانی و فرکانسی ارتعاشات نقاط ۱ و ۲ نیز شدیدتر بود و این موضوع را تایید می کند. پس از اصلاح سطوح اسکروها بوسیله روشهای تعمیراتی، مونتاژ آنها انجام گرفت. برای بررسی وضعیت ارتعاشی پس از تعمیرات، اندازه گیری شتاب ارتعاشی در همه نقاط قبلی تکرار گردید که نتایج آن در بخش بعدی ارائه شده است.

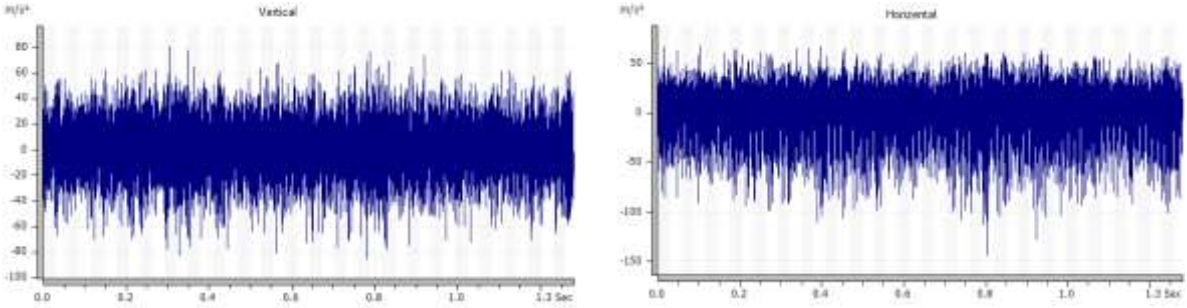
شکل ۱۰: سیگنال زمانی شتاب نقطه ۱ بعد از تعمیر

اندازه گیری ارتعاشات پس از تعمیرات

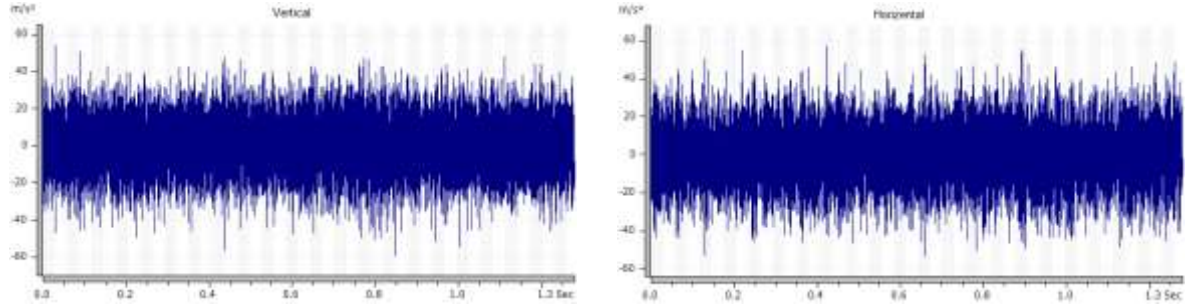
اندازه گیری ارتعاشات پس از انجام تعمیرات در همه نقاط تکرار شد که نتایج آن برای ۴ نقطه مورد نظر ایراند در شکل های ۱۱ تا ۱۸ آورده شده است. شکل های ۱۱ تا ۱۴ سیگنال های زمانی شتاب را نشان می دهند که نشانه ای از وجود ضربات در آنها وجود ندارد و سطح ارتعاشی نیز به صورت قابل توجهی کاهش یافته است. همچنین الگوی نویزی در طیف های فرکانسی نیز از بین رفته است که نشان دهنده کاهش اصطکاک و روانکاری مناسب بین اسکروها می باشد و پیک های موجود در فرکانس های مرتبط با عملکرد تجهیز هستند. البته در طیف های فرکانسی، پیک هایی با فواصل ثابت مشاهده می گردد که این فاصله برابر فرکانس درگیری اسکروها یعنی 134Hz است و می تواند به دلیل عدم رعایت دقیق انطباقات در مونتاژ قطعات باشد. برای بررسی و مقایسه کمّی ارتعاشات، پارامترهای RMS، کرتوسیس و کرست فکتور برای آنها محاسبه گردیده و در جداول ۶ تا ۸ آورده شده است. همانطور که مشخص است مقادیر این پارامترها نسبت به قبل از تعمیرات کاهش چشمگیری داشته است.



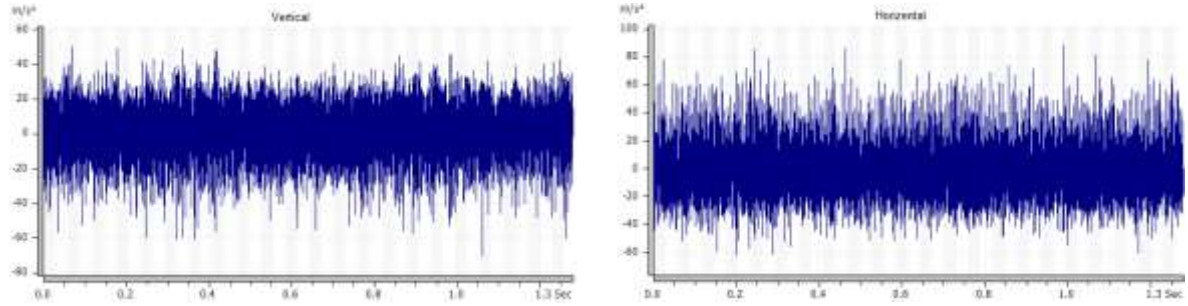
شکل ۱۱ : سیگنال زمانی شتاب نقطه ۱ بعد از تعمیرات



شکل ۱۲ : سیگنال زمانی شتاب نقطه ۲ بعد از تعمیرات



شکل ۱۳ : سیگنال زمانی شتاب نقطه ۳ بعد از تعمیرات



شکل ۱۴ : سیگنال زمانی شتاب نقطه ۴ بعد از تعمیرات

جدول ۶: مقدار **RMS** شتاب نقاط ایراند بعد از تعمیرات

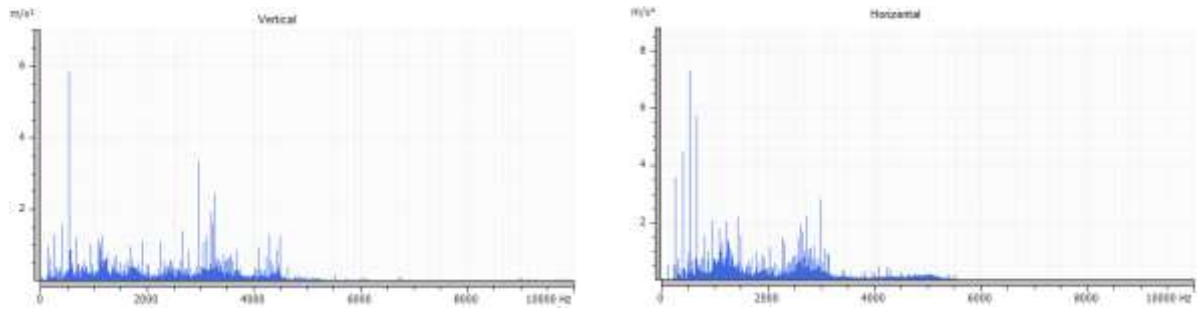
	نقطه ۱	نقطه ۲	نقطه ۳	نقطه ۴
عمودی	14.34	19.67	13.54	13.42
افقی	15.37	25.44	14.55	16.59

جدول ۷: مقادیر کرتوسیس شتاب ایراند بعد از تعمیر

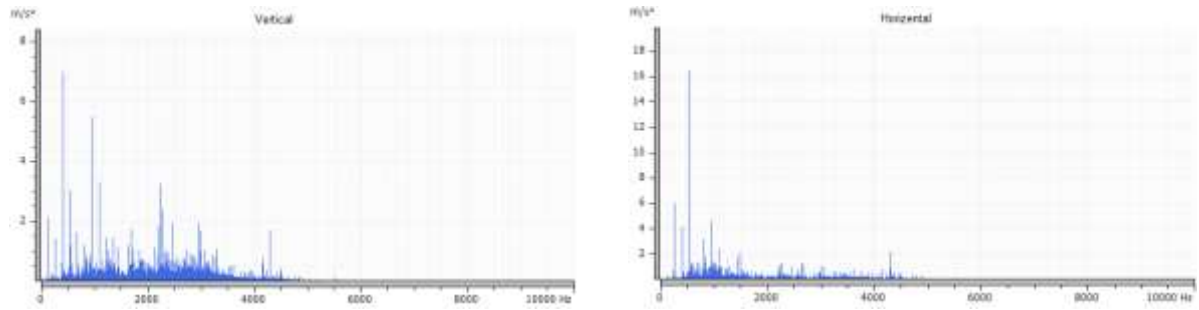
	نقطه ۱	نقطه ۲	نقطه ۳	نقطه ۴
عمودی	0.12	0.27	0.01	0.4
افقی	0.23	0.73	-0.09	0.53

جدول ۸: مقادیر کرست فکتور شتاب ایراند بعد از تعمیر

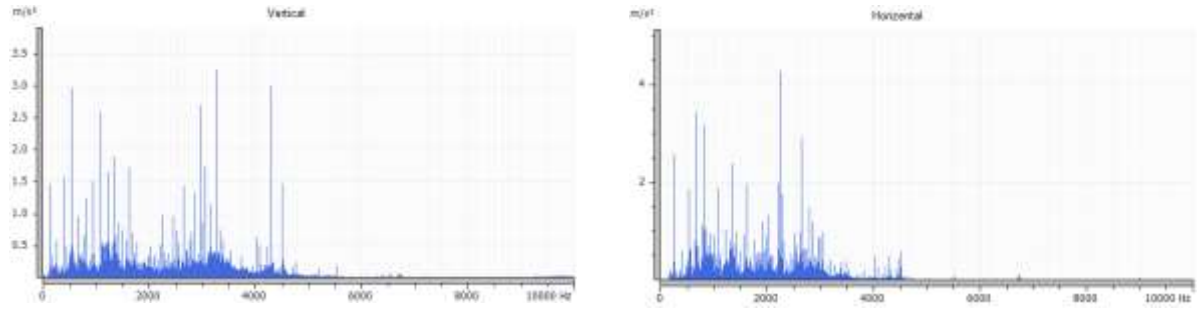
	نقطه ۱	نقطه ۲	نقطه ۳	نقطه ۴
عمودی	4.28	4.01	3.94	3.73
افقی	4.19	2.61	3.89	4.47



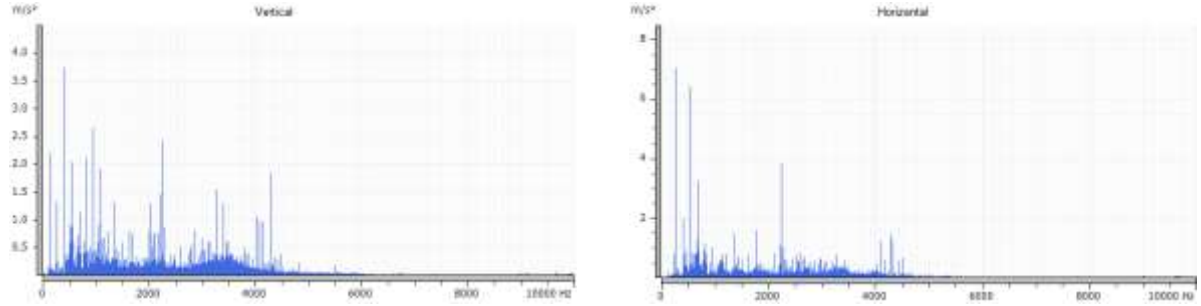
شکل ۱۵ : طیف فرکانسی شتاب نقطه ۱ بعد از تعمیر



شکل ۱۶ : طیف فرکانسی شتاب نقطه ۲ بعد از تعمیر



شکل ۱۷ : طیف فرکانسی شتاب نقطه ۳ بعد از تعمیر



شکل ۱۸ : طیف فرکانسی شتاب نقطه ۴ بعد از تعمیر

جمع بندی و نتیجه گیری

در این مقاله، عیب یک کمپرسور هوای اسکرو به کمک آنالیز سیگنال زمانی و طیف فرکانسی ارتعاشات تشخیص داده شده است. مجموعه مورد بررسی شامل یک الکتروموتور، یک گیربکس و دو ایراند است که هر ایراند دارای ۲ اسکرو می باشد. تحلیل های این مقاله بر روی ارتعاشات ایراندها انجام شده است. آنالیز سیگنال زمانی شتاب با تحلیل شکل موج و محاسبه پارامترهای RMS، کرتوسیس و کرست فکتور انجام شده است. در سیگنال زمانی، ضربات منظمی مشاهده شده که با محاسبه فاصله آنها مشخص گردید که عیب بر روی اسکروها قرار دارد. هم چنین مقادیر پارامترهای RMS، کرتوسیس و کرست فکتور وجود عیب را تایید کرده است. طیف فرکانسی شتاب با گستره 10kHz نیز بررسی شده است که مشابه طیف فرکانسی نویز، پیک های زیادی در آن وجود دارد که دلیل آن افزایش اصطکاک و کاهش روانکاری بین اسکروها می باشد. بر اساس این نتایج، اورهال تجهیز انجام گرفته و خرابی بر روی سطوح اسکروها مشاهده شده و تعمیرات لازم بر روی آن انجام گرفته است. پس از تعمیرات و نصب تجهیز، اندازه گیری ارتعاشات انجام شده است و نتایج نشان دهنده رفع عیب می باشد. در ارتعاشات پس از تعمیرات، ضربات سیگنال زمانی از بین رفته اند و مقادیر پارامترهای RMS، کرتوسیس و کرست فکتور به طور چشمگیری کاهش یافته اند. هم چنین طیف فرکانسی از حالت نویزی خارج شده و فرکانس های مرتبط با عملکرد تجهیز در آن مشاهده می گردد.

مراجع

[1] R.B. Randall, Vibration-Based Condition Monitoring, John Wiley & Sons, 2021.
[2] ISO 10816-3, Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts — Part 3: Industrial machines with nominal power above 15 kW and nominal speeds between 120 r/min and 15 000 r/min when measured in situ.
[3] VDI 3836-Measurement and evaluation of mechanical vibration of screw-type compressors and Root blowers.
[4] D. Hubel, P. Zitek, “Screw Compressor Analysis From a Vibration Point-of-View”, 36th Meeting of Departments of Fluid Mechanics and Thermodynamics, 2017.
[5] R. Rahnama et. al., “Case Study of Solving Screw Compressor Package Vibrations”, Gas Machinery Conference, Pittsburgh, PA, 2017.