

# بررسی پدیده اصطکاک با استفاده از روش غیرمخرب پخش آوایی<sup>۱</sup>

مهدی احمدی\*

استادیار- عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی- واحد دزفول

ahmadin@aut.ac.ir

\* نویسنده مسئول/ تاریخ دریافت: ۸۹/۲/۱۸ پذیرش نهایی مقاله: ۸۹/۵/۱

## چکیده

خرابی‌های ناشی از اصطکاک در یاتاقان یکی از عمده‌ترین عوامل از کار افتادن ماشین‌آلات از جمله موتور می‌باشد. تشخیص به موقع این نوع خرابی می‌تواند در کاهش هزینه‌های تعمیرات و نیز جلوگیری از توقف پیش‌بینی نشده مؤثر واقع گردد. استفاده از روش نشر فرا آوایی به علت حساسیتی که دارد، در پایش وضعیت ماشین‌آلات مورد توجه محققان قرار گرفته است. در این تحقیق با استفاده از مجموعه آزمایش، فرآیند اصطکاک شبیه‌سازی و در عین حال نشر فرا آوایی ناشی از آن بررسی شده است تا ساز و کارهای اثرگذار بر تولید علامت<sup>۲</sup> نشر فرا آوایی شناسایی شود. نتایج نشان می‌دهد که با بروز خرابی در سطح، شکل موج علامت تغییر می‌کند و می‌توان شروع فرآیند تخریب را در همان مراحل ابتدایی تشخیص داد. علاوه بر این عواملی چون جنس فلز، سرعت حرکت، نیروی اصطکاک و روانکار، که بر تشکیل خرابی مؤثرند، روی علامت نشر نیز تأثیر می‌گذارند و می‌توان با پایش و تجزیه و تحلیل آنها وضعیت اصطکاک را ارزیابی کرد.

کلید واژه‌ها: نشر فرا آوایی، اصطکاک، یاتاقان، پایش وضعیت

## ۱- مقدمه

پدیده سایش را می‌توان به‌عنوان یکی از عمده‌ترین عواملی دانست که مستقیماً یا به‌طور غیرمستقیم بر توقف و عملکرد غیرصحیح دستگاه‌های موثر است. علاوه بر این، سایش در بخش‌های متحرک سبب به هدر رفتن مقدار قابل توجهی از انرژی و کاهش بازدهی می‌گردد. موضوع سایش در حوزه علم روانکاری، یا علم ساز و کار اصطکاک قرار می‌گیرد. به سبب همین دلایل بسیاری از متخصصین در این علم موضوع تحقیق خود را به شناخت جنبه‌های مختلف آن اختصاص داده‌اند. غالباً برای بررسی دقیق ساز و کار عمل‌کننده در شکل‌گیری سایش

لازم است تا پس از توقف دستگاه سطوح قطعات سائیده شده مطالعه شوند. این محدودیت سبب شده تا روش‌هایی که قادر به مطالعه ساز و کار سایش در حین کار دستگاه هستند مورد توجه قرار گیرند. به‌عنوان مثال استفاده از روش پایش برخط<sup>۳</sup> در حوزه نگهداری دستگاه‌ها، به دلیل اعلام هشدار به محض دریافت علامت خرابی، توجه زیادی را به خود معطوف داشته است. به همین دلیل با تعبیه ابزارهای داده‌برداری که به طرق مختلف حرارتی، ارتعاشی و یا صوتی کار می‌کنند و بکارگیری آنها در مناطق حساس به اصطکاک و سایش، دستگاه را تحت پایش دائمی

۱- Acoustic Emission

۲- Signal

۳- Online Monitoring

■ مرحله گذر اولیه<sup>۱</sup>، در این مرحله پستی و بلندی‌های سطوح در تماس با یکدیگر متعادل<sup>۲</sup> می‌گردند. برجستگی‌های<sup>۳</sup> بلندتر کوتاه‌تر می‌شوند و عملاً صافی به یک حد از تعادل نزدیک می‌گردد که در نتیجه آن نیروی اصطکاک و حرارت ناشی از آن کاهش می‌یابد و نرخ سایش کم می‌شود.

■ مرحله پایدار<sup>۴</sup>، در این مرحله نیروی اصطکاک و نرخ سایش ثابت باقی می‌ماند.

■ مرحله گذر نهایی یا شتاب گرفتن، در این مرحله ضریب اصطکاک و نرخ سایش تا حد خرابی فاجعه آمیز<sup>۵</sup> افزایش می‌یابد. مسبب این وضعیت وقایعی چون آسیب دیدگی سطوح، افزایش بار، افزایش دمای تماس، فقدان روانکاری مناسب، تشکیل ذرات خارجی در محل تماس و آسیب غشاء سطوح و لایه‌های سطحی می‌باشند. این مرحله در پایش اجزای متحرک مورد توجه قرار دارد.

دو ساز و کار عمده خرابی در فرآیند اصطکاک منجر به خرابی سطوح می‌شوند. یکی نوعی جوش خوردگی و الصاق<sup>۶</sup> بین دو سطح در اثر فشار است و دیگری تغییر شکل، برش و کنده شدن این الحاق<sup>۷</sup> به علت تنش برشی می‌باشد. البته ساز و کارهای خرابی دیگری مثل خستگی، کاویتاسیون و خوردگی نیز بر حسب مورد ممکن است در فرآیند خرابی سطح مداخله داشته باشند.

### ۳- پخش‌آوایی در فرآیندهای اصطکاک

اگر چه به صورت بنیادی اطلاعات اندکی در مورد منابع تولید پخش‌آوایی ناشی از اصطکاک لغزشی انتشار یافته است [۱] با این حال، گزارش‌های امیدوار کننده‌ای در مورد قابلیت این روش در بررسی پدیده اصطکاک و سایش وجود دارد [۳]. بلیبی و همکارانش [۴] از روش‌های پخش‌آوایی برای مطالعه اصطکاک و سایش در یک سامانه روانکاری فلز-پلیمر استفاده کردند. دیبی [۵] نتایج بدست آمده را از کارهای دیگران [۶و۷] با اندازه‌گیری‌های پخش‌آوایی در حین آزمون‌های لغزش خار-روی-صفحه [۸] مقایسه کرد و نشان داد که رابطه پیوند نزدیکی بین علامت پخش‌آوایی و کار ناشی از اصطکاک بین دو سطح وجود دارد. این پیوند در قالب تابع توانی بین ولتاژ RMS پخش‌آوایی و نرخ اتلاف انرژی اصطکاک مطرح گردید. ماساکی [۹] نسبت بین پخش‌آوایی و

قرار می‌دهند. با این حال این ابزارها نیز از حساسیت کافی برخوردار نیستند و سایش را زمانی گزارش می‌کنند که مقدار سایش از حد آستانه تشخیص آنها تجاوز نموده باشد که گاهی ممکن است این زمان برای اجرای اقدامات پیشگیرانه دیر باشد.

اخیراً محققان توجه خود را به روش‌های نشرکننده، که حساسیت بیشتری دارند، معطوف داشته‌اند. این روش‌ها مبتنی بر ثبت نشر ناشی از وقوع پدیده‌های فیزیکی گوناگون در ماده‌اند. روش‌های نشرکننده بر اساس نشر الکترون، میدان الکترومغناطیس و پخش‌آوایی [۱] کار می‌کنند. وقوع پدیده‌های اصطکاک و سایش با تولید نشر آوا همراه است. با توجه به توسعه روش پخش‌آوایی در جنبه‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری و نتایج امیدوار کننده آن محققان به استفاده از این روش در عیب‌یابی مجموعه‌های روانکارانه نظر مساعد نشان داده‌اند.

روش پخش‌آوایی مبتنی بر ثبت و تحلیل امواج نشر ناشی از جابجایی‌های ارتجاعی بر بسامد در سطح مواد می‌باشد [۲]. اولین کاربرد عملی پخش‌آوایی در پایش مجموعه‌های روانکاری در اواخر دهه ۱۹۷۰ میلادی صورت گرفته است و تا کنون پیشرفت زیادی در استفاده از این روش بوجود آمده است و در سال‌های اخیر نیز در پایش وضعیت ماده و تشخیص از کارافتادگی قطعات مهندسی با موفقیت به کار گرفته شده است.

در این تحقیق مجموعه‌ای آزمایشی طراحی و ساخته شده است تا ضمن شبیه سازی شرایط اصطکاک بین دو سطح فلزی، امکان استفاده از روش پخش‌آوایی به عنوان یک روش نشری بررسی گردد. امواج تنش حاصل از برخورد برجستگی‌های دو سطح به یکدیگر، حسگر پخش‌آوایی که در تماس با سطح قرار دارد را تحریک می‌کند و متناسب با این تحریک علامت برقی با دامنه و محدوده بسامدی معینی بوجود می‌آید که به عنوان مشخصه اصطکاک در نظر گرفته می‌شود. از این علامت برای ارزیابی تأثیر عواملی چون جنس فلز، سرعت حرکت، نیروی اصطکاک و روانکار بر چگونگی تشکیل خرابی استفاده می‌شود تا دامنه کاربرد و حساسیت این روش در پایش اصطکاک در اتصالات متحرک و یاتاقان‌ها ارزیابی گردد.

### ۲- اصطکاک و سایش

جابجایی نسبی سطوح دو ماده در تماس با یکدیگر منجر به پدیده سایش می‌شود. در فرآیند سایش، سطوح تدریجاً در سه مرحله دچار تغییر شکل خمیری و نهایتاً جدا شدن مواد می‌گردند:

۱- Running-in (self-accommodation)

۲- Surface relief

۳- Asperities

۴- Steady state

۵- Catastrophic wear or damage (self-acceleration)

۶- Cohesive damage

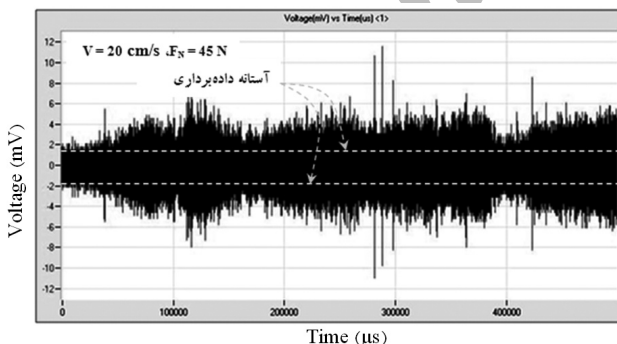
۷- Adhesive damage

اصطکاک را حسگری که روی حلقه نصب شده است دریافت می‌کند. ضریب اصطکاک با اندازه‌گیری نیروی‌های عمودی و اصطکاک به وسیله یک لگام ترمز از نوع Kistler ۹۲۵۵ B که روی میز نصب شده است محاسبه می‌گردد. در این آزمایش کیفیت سطح حلقه بررسی می‌شود و در صورت بوجود آمدن آثار سایش بر لبه حلقه کمی آنرا می‌چرخاند تا سطح سائیده نشده در برابر ورق قرار گیرد.

در آزمایش از ورق‌های فولاد زنگ نزن ۳۰۴ با سختی ۲۵۰ برینل، آلومینیوم ۱۰۰۰ با سختی ۲۰ برینل و ورق مسی (۹۹٫۹٪) با سختی ۳۵ برینل و با عرض ۴۰ میلی‌متر استفاده شده است. این آزمایش یکبار تحت شرایط خشک (سطوح خشک و چربی زدایی شده) و یکبار با استفاده از روانکار (روغن‌های شماره ۱۰ و ۴۰ با استاندارد SAE<sup>۳</sup> که روغن معمولی خوانده می‌شود) استفاده شد.

علامت پخش‌آوایی حاصل از فرآیند اصطکاک به صورت موج شکل<sup>۴</sup> با بسامد داده برداری ۱۰۰ MHz ذخیره می‌شود. شکل موج علامت بدست آمده از آزمایش روی ورق فولاد زنگ نزن ۳۰۴، برای مدت ۰٫۵ s تحت بار عمودی ۴۵ نیوتن، در شکل ۲ نشان داده شده است. شایان به ذکر است که دامنه علامت بدست آمده بستگی به مشخصه‌های مربوط به تنظیم دستگاه نظیر ولتاژ آستانه<sup>۵</sup> تحریک و حساسیت<sup>۶</sup> پیش تقویت کننده<sup>۶</sup> دارد که ارتباط بین آنها با معادله (۱) بیان می‌گردد:

$$V_{thr} (mV) = 1(\mu V) \times 10^{\frac{dB_{pre} + dB_{thr} - 3}{20}} \quad (1)$$



شکل ۲ شکل موج در آزمایش بر روی فولاد زنگ نزن ۳۰۴

که در آن  $V$  ولتاژ و زیرنویس‌های  $pre$  و  $thr$  به ترتیب حد آستانه و پیش تقویت کننده را بیان می‌کنند.

<sup>۳</sup>- Society of Automotive Engineers

<sup>۴</sup>- waveform

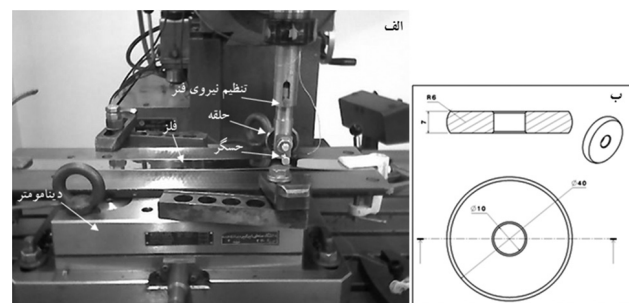
<sup>۵</sup>- Gain

<sup>۶</sup>- preamplifier gain

صافی سطح اولیه را با استفاده از آزمون خار-روی-صفحه تحقیق کرد و معیار rms پخش‌آوایی را برای شناسایی تغییر در ساز و کارهای سایش معتبر دانست. رانگ والا و دورنفلد [۱۰] از تحلیل علامت پخش‌آوایی برای مطالعه ویژگی‌های سطوح در تماس با هم استفاده کردند. لینگارد و انجی [۱۱] با یک الگو نسبت شمارش<sup>۱</sup> علامت پخش‌آوایی و کار حاصل از اصطکاک را پیشنهاد نمودند. هیساکادو و واراشینا [۱۲] آزمون‌های اصطکاک را در یاتاقان تحت شرایط روغنکاری و صافی سطوح مختلف انجام دادند و نرخ اتفاقات پخش‌آوایی<sup>۲</sup> و نرخ سایش و ضریب اصطکاک را نسبت به یکدیگر بررسی کردند.

#### ۴- روش آزمایش

برای آزمایش اصطکاک نیاز به طراحی یک مجموعه تجربی می‌باشد تا اولاً شرایط اصطکاک را شبیه‌سازی کند و ثانیاً امکان اندازه‌گیری نیروها و علائم پخش‌آوایی در آن وجود داشته باشد. برای این منظور مجموعه‌ای برای آزمایش اصطکاک آماده گردید. در شکل ۱- الف تصویر مجموعه آزمایش ملاحظه می‌گردد: این مجموعه شامل یک حلقه ثابت و یک سطح متحرک است. جنس حلقه از فولاد ۱،۲۴۳۶ و دارای سختی ۶۲۰ برینل می‌باشد. مشخصات هندسی حلقه در شکل ۱- ب نشان داده شده است. حلقه به کمک نیروی فنر روی ورق فشرده می‌شود. برای ایجاد حرکت نسبی بین ورق و ابزار از میز دستگاه سنگ استفاده شده است.



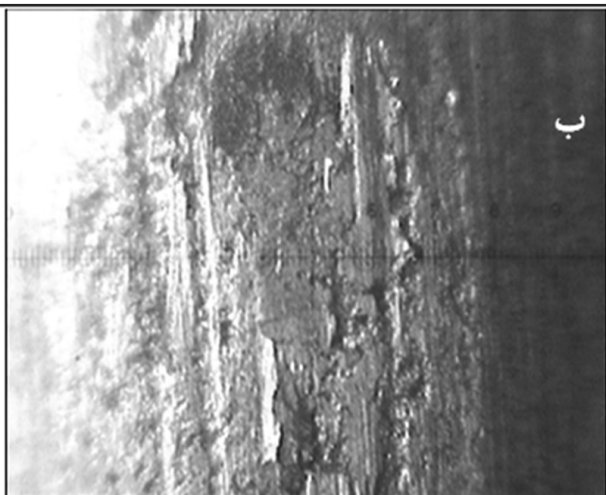
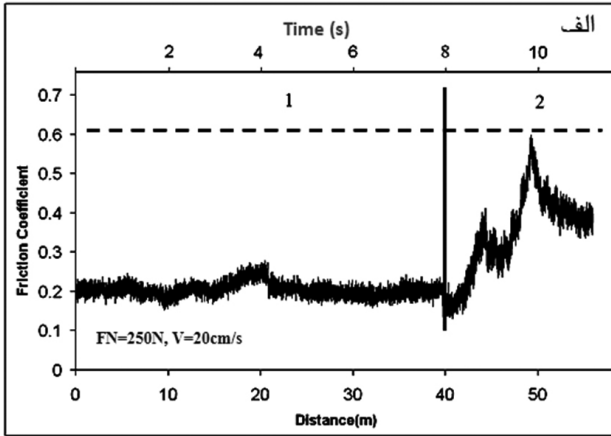
شکل ۱ مجموعه آزمایش شبیه سازی اصطکاک (الف) و ابعاد حلقه (ب)

پس از رسیدن حلقه به انتهای ورق حرکت میز متوقف و میز دستگاه به‌طور عرضی قدری جابجا می‌شود و مجدداً، در جهت عکس حرکت قبلی، حرکت می‌کند و به این ترتیب به صورت منقطع می‌توان مسیرهای تا چند ده متر را برای ایجاد سایش تأمین نمود. در آزمایش امکان اعمال سرعت‌های حرکت تند تا ۲۰ cm/s وجود دارد. ارتعاشات ناشی از

<sup>۱</sup>- Count

<sup>۲</sup>- Acoustic emission event rate

وقوع جوش سرد و متعاقباً کنده شدن ناحیه جوش خورده از سطح ورق و اتصال آن به حلقه باعث خرابی سطح حلقه در نقطه تماس با ورق شده و همین امر سبب تغییرات در ضریب اصطکاک می‌گردد [۱۳ و ۱۴].

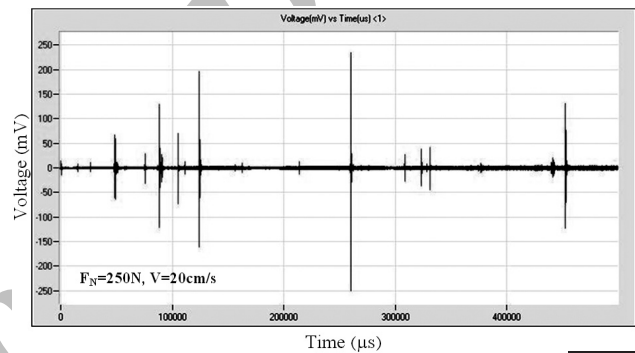


شکل ۵ الف- تغییرات ضریب اصطکاک بر حسب مسافت طی شده در آزمایش شکل ۳ ، ب- اثر خرابی بر سطح حلقه بعد از ۳۰ متر لغزش روی ورق در آزمایش شکل ۳

در شکل ۵ الف تغییرات ضریب اصطکاک که در حین آزمایش قبلی اندازه‌گیری شده است بر حسب مسافت جابجایی حلقه نشان داده شده است. در نمودار شکل ۳ فقط ۰,۵ ثانیه از داده‌های پخش آوایی از لحظه شروع آزمایش نشان داده شده است ولی در شکل ۵ الف نتیجه آزمایش برای مدت حدود ۳۰۰ ثانیه سایش حلقه بر سطح ورق آورده شده است که معادل ۶۰ متر جابجایی حلقه نسبت به ورق می‌باشد.

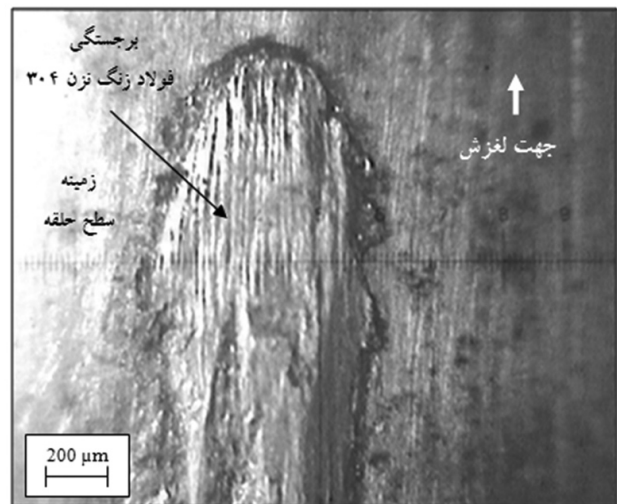
مشاهده می‌شود که در قسمتی از نمودار شکل ۵ الف که با شماره ۱ نشان داده شده است ضریب اصطکاک تقریباً ثابت و دارای مقدار متوسط ۰,۲ است.

در آزمایش روی ورق فولاد زنگ نزن ۳۰۴ تحت نیروی بزرگ‌تر از ۲۵۰ نیوتن همراه با روانکار (روغن شماره ۱۰) اصطکاک شبیه‌سازی و شکل موج ایجاد شده به توسط حسگر پخش آوایی به مدت ۰,۵ ثانیه ثبت گردید (شکل ۳). در شکل ۳ مشاهده می‌شود که علیرغم وجود روانکار بین ورق و حلقه، خرابی‌های ایجاد شده در اثر اصطکاک نقاط اوج بزرگی ایجاد نموده است. به دلیل استثنایی بودن و ضریب انتقال حرارت کم فولاد، شرایط مناسبی برای کاهش گرانشی روغن و در نتیجه تشکیل جوش سرد بین دو سطح ایجاد می‌شود و طبعاً فشار لازم برای پاره شدن غشاء روغن کاهش پیدا می‌کند و منجر به تماس مستقیم سطوح می‌گردد.



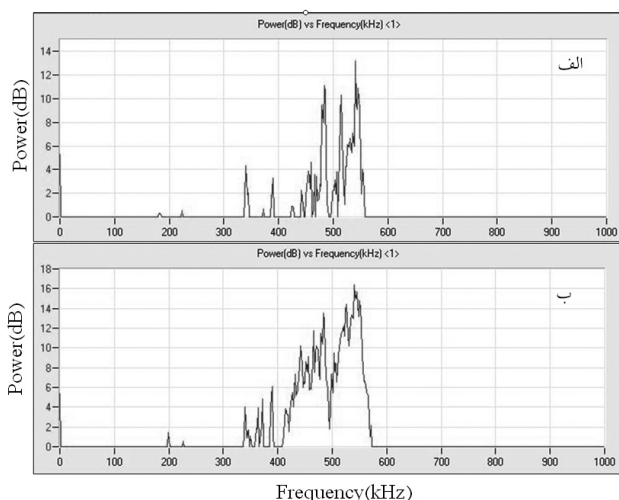
شکل ۳ شکل موج علامت در آزمایش حلقه روی ورق فولاد زنگ نزن ۳۰۴ برای مدت ۰,۵ ثانیه

در شکل ۴ خرابی ناشی از جوش سرد در سطح حلقه پس از آزمایش دیده می‌شود. برجستگی که در سطح حلقه دیده می‌شود در نتیجه کنده شدن مواد از سطح فولاد زنگ نزن ۳۰۴ بوجود آمده است.



شکل ۴ جوش سرد به سطح حلقه متعلق به آزمایش شکل ۳

۱- Peak

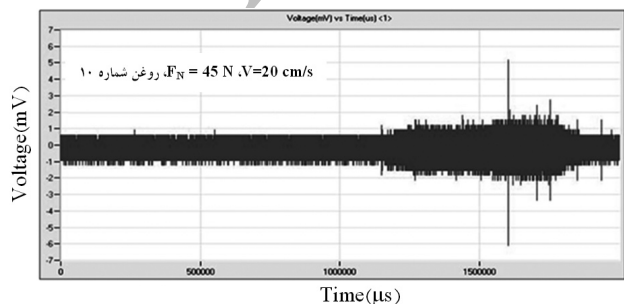


شکل ۷ توان موج بر حسب بسامد الف - متعلق به آزمایش شکل ۲ و ب- متعلق به آزمایش شکل ۳

اگر چه دو نمودار از نظر ظاهری تفاوت چندانی با یکدیگر نشان نمی‌دهند ولی محتوای بسامدی ۴۰۰ تا ۶۰۰ کیلوهرتز، که ناشی از بریده شدن جوش خوردگی‌های نقطه‌ای بین سطوح می‌باشد، در آزمایش با نیروی بزرگتر (۷-ب) به‌طور چشمگیری نسبت به آزمایش با نیروی کمتر (۷-الف) بیشتر است. این خود مبین افزایش خرابی سایش چسبنده (گالینگ) تحت نیروی بزرگتر است. از مقایسه دو نمودار شکل ۷ می‌توان این‌طور برداشت نمود که خرابی ناشی از جوش سرد دارای طیف بسامدی در همین محدوده (۴۰۰ تا ۶۰۰ کیلوهرتز) می‌باشد.

#### ۴-۱- تأثیر جنس ورق بر علامت اصطکاک

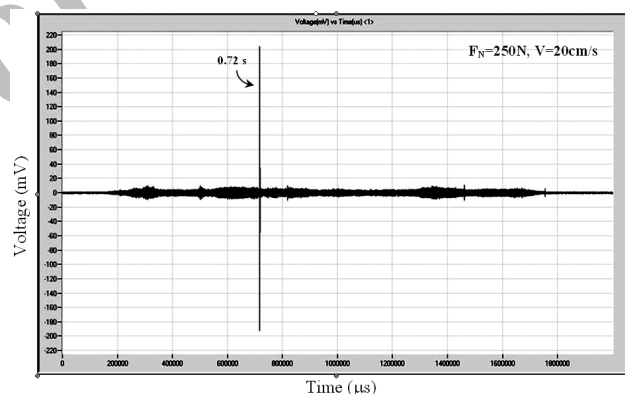
برای بررسی تأثیر جنس ورق، علاوه بر فولاد زنگ‌نزن، آزمایش اصطکاک روی ورق‌هایی از جنس مس و آلومینیم نیز انجام گرفت. هر دو آزمایش در نیروی ۴۵ نیوتن و در حضور روانکار (روغن شماره ۱۰) انجام گرفت. شکل ۸، شکل موج متعلق به آزمایش روی ورق مسی را برای مدت ۲ ثانیه، که تقریباً معادل ۴۰ cm مسافت لغزیده شدن حلقه می‌باشد، نشان می‌دهد.



شکل ۸ شکل موج (ولتاژ-زمان) در آزمایش حلقه روی ورق بر روی مس در مدت ۲ ثانیه

بعد از گذاراندن مسافت ۴۰ متر ضریب اصطکاک ناپایدار می‌گردد که این بخش در نمودار با شماره ۲ نشان داده شده است. مشاهدات سطح حلقه پس از آزمایش نیز بوجود آمدن خرابی گالینگ یا سایش چسبنده را، پس از ۴۰ متر سایش حلقه روی ورق، تأیید می‌کند ولی مشخص نیست که اولین خرابی‌ها بر سطح حلقه در چه زمان بوجود آمده‌اند. شایان به ذکر است که قبل از شروع تغییرات در ضریب اصطکاک، اثراتی از خرابی بر سطح حلقه مشاهده گردید که ظاهراً حساسیت روش محاسبه اصطکاک در این آزمایش برای نشان دادن این خرابی در نمودار کافی نیست. این امر را دیگران نیز گزارش داده‌اند [۱۴]. به عنوان نمونه، سطح حلقه بعد از ۳۰ متر لغزش روی ورق معاینه گردید که آثار خرابی مختصر بر آن ملاحظه شد (شکل ۵ ب).

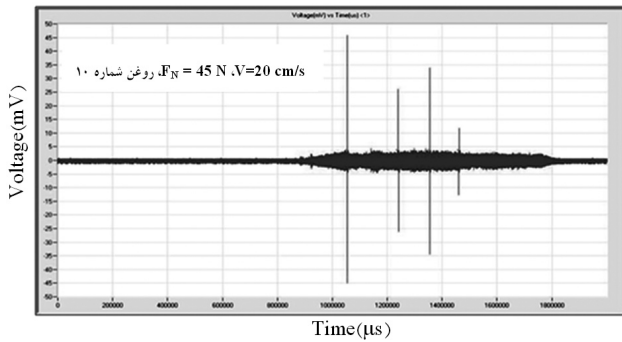
در شکل ۶ نمودار تغییرات دامنه علامت پخش‌آوایی به آزمایش شکل ۳ را در مدت ۱,۸ s (معادل با ۳۶ cm لغزش حلقه روی سطح ورق) نشان می‌دهد. نمودار در ثانیه ۰,۷۲ وجود نقطه اوج منفردی را با دامنه بسیار بزرگتر از دامنه علامت پیوسته نشان می‌دهد.



شکل ۶ علامت پخش‌آوایی مربوط به آزمایش شکل ۳

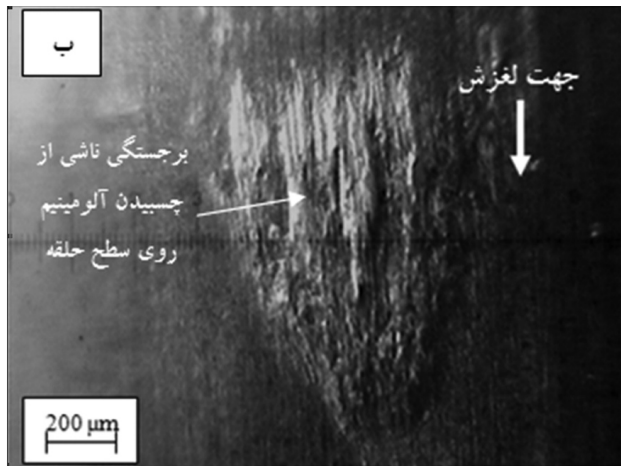
در آزمایش‌های مکرر هر بار پس از مشاهده نقطه اوج بلافاصله آزمایش قطع و سطوح مورد بررسی و تشکیل خرابی در آنها تأیید گردید. با مقایسه روش پایش ضریب اصطکاک (شکل ۵) با روش پخش‌آوایی (شکل ۶) مشاهده می‌شود که تشخیص پدیده خرابی در روش اخیر در زمان خیلی کوتاه‌تر (۰,۷۲ ثانیه با روش پخش‌آوایی در مقایسه با ۸ ثانیه در روش پایش ضریب اصطکاک) حاصل می‌گردد.

شکل ۷ نمودارهای توزیع توان علامت را بر حسب بسامد متعلق به داده‌های آزمایش شکل ۲ و آزمایش شکل ۳ نشان می‌دهد.



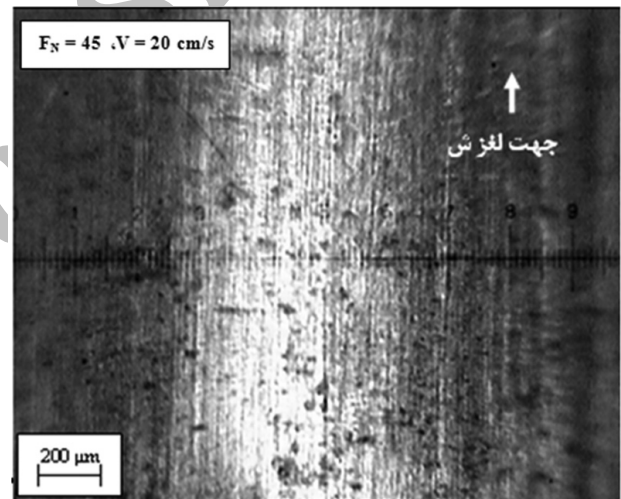
شکل ۱۰ شکل موج (ولتاژ-زمان) در آزمایش حلقه روی ورق آلومینیومی

در شکل ۱۱ تصاویر سطح ورق آلومینیومی و سطح حلقه را پس از آزمایش نشان می دهد مشاهده می شود که در سطح حلقه اثر جوش سرد آلومینیوم وجود دارد.

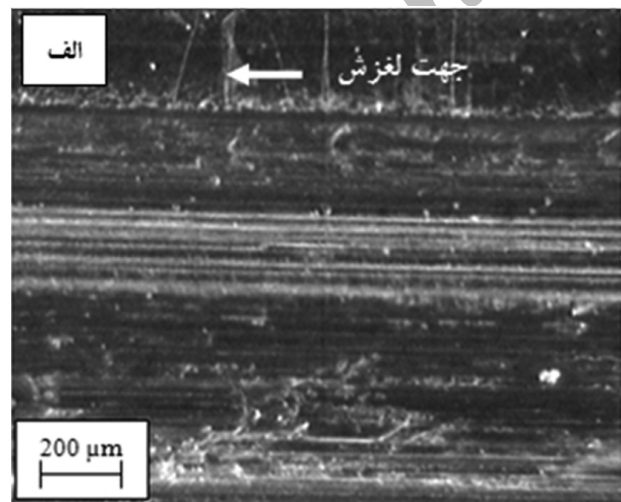


در شکل ۹، تصویری از سطح حلقه بعد از مسافت ۴۰ cm نشان داده شده است که در آن اثر تغییر شکل خمیری ناشی از کشیده شدن حلقه روی ورق مشاهده می شود ولی اثری از خرابی ناشی از جوش سرد وجود ندارد.

از مشاهده شکل های ۸ و ۹ می توان این طور نتیجه گیری نمود که در طی ۴۰ cm مسافت لغزش تحت نیروی کم (۴۵ نیوتن) امواج پخش آوایی منحصراً در اثر برخورد ریز برجستگی های میکروسکوپی به هر دو سطح حلقه و ورق مسی و تغییر شکل خمیری این برجستگی ها در سطح ورق مسی تولید شده است. این موضوع در کار سایر محققان نیز گزارش شده است [۱]. برای جلوگیری از آمیختگی علائم اخیر با علائم ناشی از خرابی سایش چسبنده (گالینگ) می تواند با تنظیم آستانه تحریک دامنه، این علامت ها را صافی نمود.



شکل ۹ سطح حلقه بعد از مسافت ۴۰ cm روی ورق مسی با روغن شماره ۱۰



شکل ۹ تصویر سطح ورق (الف) و سطح حلقه (ب) پس از آزمایش تحت  $F_N = 45 \text{ N}$ ,  $V = 20 \text{ cm/s}$  روغن شماره ۱۰

شکل ۱۰، علامت پخش آوایی را در آزمایش کشیده شدن حلقه روی ورق آلومینیوم ۱۰۰۰ نشان می دهد. مشاهده می شود که برخلاف علامت ورق مسی (شکل ۸) در اینجا، با وجود نیروی کم، علاوه بر علامت پیوسته ناشی از تغییر شکل خمیری، نقاط اوج منقطع بسیار بزرگ نیز دیده می شوند که مطابق آنچه که قبلاً گفته شد مربوط به پدیده های لحظه ای، مثل تشکیل جوش سرد و بریده شدن آن، است. این رفتار شبیه رفتار فولاد زنگ نزن ۳۰۴ تحت بار بزرگ می باشد.

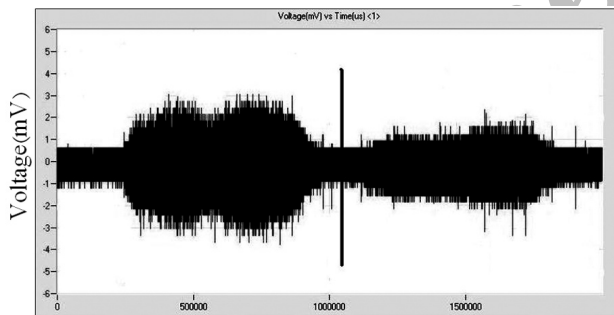
جدول ۱ مقایسه میانگین مدت استمرار موج ورق مسی با آلومینیم و فولاد زنگ نزن

جنس	میانگین استمرار موج در ۹ مسیر حرکت حلقه (ms)
Cu (۹۹,۹)	۱,۲
Al ۱۰۰۰	۱۹۰
SS ۳۰۴	۱۲۱

#### ۴-۲- تأثیر روانکار روی علامت پخش آوایی

برای بررسی تأثیر استفاده از روغن روانکار بر علامت اصطکاک، آزمایش بدون استفاده از روانکار شروع گردید و پس از ۱ ثانیه در محل لغزش حلقه روغن اضافه گردید.

در شکل ۱۳ تأثیر اضافه شدن روانکار علامت پخش آوایی در آزمایش روی ورق مسی نشان داده شده است. مشاهده می شود که پس از افزودن روانکار دامنه علامت کاهش پیدا می کند. در آزمایش تحت نیروی عمودی زیاد، به علت ناپایدار شدن قشر روانکار، با اضافه شدن روغن تفاوت محسوسی در دامنه علامت ایجاد نمی شود. کاهش دامنه علامت می تواند به دلیل کاهش تعداد تماس ریز برجستگی ها (میکروسکوپی) در اثر قرار گرفتن غشاء روغن بین حلقه و ورق و میرا شدن علائم پخش آوایی در حضور روغن باشد.

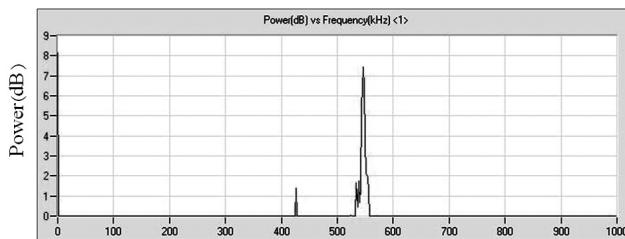


شکل ۱۳ دامنه علامت قبل (سمت چپ خط) و بعد (سمت راست خط) از افزودن روغن شماره ۱۰، سرعت لغزش حلقه ۲۰ سانتی متر بر ثانیه، نیروی عمودی ۱۲ نیوتن و جنس ورق: مس ۹۹,۹٪

#### ۵- نتیجه گیری

این تحقیق برای شناسایی ساز و کارهای اثرگذار در تولید علامت پخش آوایی اصطکاک در دستگاه شبیه سازی اصطکاک انجام گرفته است. با وجود اختلاف بین شرایط واقعی و شرایط شبیه سازی شده در این آزمایش، بدست آمده می تواند در ارزیابی توانایی روش پخش آوایی برای شناخت بهتر از پدیده استفاده شود. به طور خلاصه نتایج بدست آمده در این تحقیق بدین شرح می باشد:

در شکل ۱۲ توزیع توان موج بر حسب بسامد متعلق به آزمایش حلقه روی آلومینیم نشان داده شده است. نقطه اوج توان در بسامد ۵۴۰ kHz دیده می شود که مشابه بسامد نقطه اوج پیک در آزمایش فولاد زنگ نزن ۳۰۴ است.



شکل ۱۲ توان موج بر حسب بسامد در آزمایش شکل  $F_N = 49N$ ,  $V = 20 \text{ cm/s}$

از مقایسه نتایج آزمایش روی ورق های مسی و آلومینیمی و با استناد به شکل موج پخش آوایی می توان این طور نتیجه گیری نمود که، تحت شرایط یکسان اصطکاک، در آلومینیم پدیده سایش چسبنده، نسبت به مس زودتر اتفاق می افتد که با توجه به ضریب چسبندگی بیشتر آلومینیم نسبت به مس قابل توجیه است [۱].

علامت آزمایش لغزش حلقه روی ورق های آلومینیمی، مسی و فولاد زنگ نزن بررسی شد و در زمانی که اولین نقاط اوج انفجاری تشکیل گردید شکل موج علامت های این سه فلز با یکدیگر مقایسه شد. نتیجه نشان داد که زمان استمرار<sup>۱</sup>، که مدت زمان یک علامت انفجاری است و معادل زمانی است که امواج حادثه ای در ماده از آغاز تا انتها سبب تحریک حسگر می شود، در مورد این سه فلز با یکدیگر متفاوت است. در موقع بریده شدن اتصال موضعی بین دو سطح، هر چه طول برش در امتداد لغزش بیشتر باشد زمان استمرار بیشتر می شود. مدت زمان تولید ولتاژ با حسگر به کمک نرم افزار دستگاه پخش آوایی اندازه گیری می گردد.

در جدول ۱ مقادیر زمان استمرار بر حسب میلی ثانیه برای مس، آلومینیم و فولاد زنگ نزن با یکدیگر مقایسه شده است و مشخص است که زمان استمرار مس با دو فلز دیگر کاملاً متفاوت و بسیار کمتر است. این امر نشان دهنده تشکیل کمتر خرابی در سطح مس تحت شرایط آزمایش نسبت به دو فلز دیگر است. تشکیل خرابی سایش چسبنده در سطح مس به دلایلی چون هدایت حرارتی بیشتر، استحکام بزرگتر، پایداری بیشتر غشاء روانکار و سایر عوامل دیگر می تواند به تعویق افتد. تعیین شدت اثر هر یک از این عوامل یا اثر ترکیبی آنها در حال حاضر مشخص نیست و نیاز به تحقیق بیشتری دارد.

۱- Duration

tional Science Foundation Conf. On Production Research and Technology (May 1985), Presented at the proceedings, University of Wisconsin, Madison, WI (1985): 329-334.

7- Liang, S. Y., Dornfeld, D. A., "Punch stretching processes monitoring using acoustic emission signal analysis, Part 1, Basic characteristics", J. of Acoustic Emission No.6(1) (1987): 29-36.

8- Diei, E. N., Dornfeld, D. A., "Acoustic emission sensing of tool wear in face milling", J. Eng. Ind. No. 104 (1987): 234-240.

9- Masaki, T., Use of acoustic emission for the study of wear, S. B. Thesis, Department of Mechanical Engineering, MIT, Cambridge, MA, 1986.

10- Rangwala, S., Dornfeld, D. A., "Application of acoustic emission sensing to the analysis of contact between rough metallic surfaces", ESRC Rep, (1988).

11- Lingard, Ng, K. K.; "An investigation of acoustic emission in sliding friction and wear of metals", Wear No. 130 (1989): 367.

12- Hisakado, T., Warashina, T., "Relationship between friction and wear properties and acoustic emission characteristics: iron pin on hardened bearing steel disk", Wear No. 216 (1997): 1-7.

13- Van der Heide, E, Huis Veld, A.J., "The effect of lubricant selection on galling in a model wear test", Wear No. 251 (2001): 973-979.

14- Gaard, A., Krakhmalev, P. V., Bergstrom, J., Hallback N., "Galling resistance and wear mechanisms-cold work tool materials against carbon steel sheets", Tribology Letters No. 26 (2007): 67-72.

15- Stachowiak, Gwidon; Batchelor, Andrew; Engineering Tribology, 2th ed. Butterworth-Heinemann, 2001.

۱- تأثیر جنس فلز بر علامت اصطکاک در سرعت‌های کم مشخص‌تر است و در فلزی که تمایل بیشتری به تشکیل جوش سرد از خود نشان می‌دهد علامت قوی‌تری ایجاد می‌کند. در مورد فولاد زنگ نزن، علائم تولید شده در اثر سایش چسبنده بسیار قوی‌تر از علائم تغییر شکل خمیری ناشی از مالش سطح خارجی می‌باشد.

۲- فقدان روانکار روی علامت اصطکاک تأثیر داشته و امکان تشخیص اصطکاک خشک در فرآیندهای اصطکاکی از این طریق وجود دارد.

۳- پایش اصطکاک با استفاده از روش پخش آوایی نسبت به روش‌های دیگر نظیر پایش ضریب اصطکاک از حساسیت بیشتری برخوردار است و می‌تواند قبل از بروز خرابی‌های عمده اخطار دهد.

## References

1- Baranov V., Kudryavtsev E., Sarychev G. and Schavelin V., Acoustic Emission in Friction, 1st ed., Elsevier Pub, London: 2007.

2- ASM Handbook, Vol. 17, Nondestructive Evaluation and quality control, American Society for Testing and Materials 1994.

3- Jiaa, C.L., and Dornfeld, D.A., "Experimental Studies of Sliding Friction and Wear via Acoustic Emission Signal Analysis", Wear, No.139 (1990): 403-424.

4- Belyi, V. A., Kholodilov, O. V., Syiridyinik, A. L., "Acoustic spectrometry as used for the evaluation of tribological systems", Wear, No. 69 (1981), 309-319.

5- Diei, E. N., "Investigation of the milling process using acoustic emission signal analysis", Ph.D. Thesis, Department of Mechanical Engineering, University of California, Los Angeles, 1979.

6- Dornfeld, D. A., "Acoustic emission monitoring and analysis of manufacturing processes", 12th Na-