

بررسی تجربی اثر پیری بر رفتار ارتعاشی استاک بریج دمپرهای خطوط انتقال برق

مسعود آسایش

مریی پژوهشی، گروه تجهیزات دوار مکانیکی

پژوهشگاه نیرو

masayesh@nri.ac.ir

مهدي خاقانی*

کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، گروه تجهیزات دوار مکانیکی

پژوهشگاه نیرو

mkhaghani@nri.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۹/۰۳

چکیده

عوامل محیطی می‌توانند بر عملکرد قطعات مکانیکی اثرگذار باشند. پیری^۱ یکی از این عوامل است. اثر پیری بر پیراق‌آلات خطوط انتقال برق به صورت خوردگی و فرسایش بروز پیدا می‌کند. تأثیرات ناشی از این عامل در مناطق ساحلی و نواحی که دارای آب و هوایی با درصد رطوبت بالا که حاوی ذرات ریز نمک هستند غیرقابل چشم‌پوشی است. در این تحقیق اثر شرایط مه نمکی به عنوان یک عامل محیطی بر روی دو نمونه استاک بریج مورد بررسی قرار گرفته است. آزمون مه نمکی براساس استاندارد IEC 62217 روی نمونه‌ها انجام شده است. پارامتر اثرگذار در عملکرد استاک بریج‌ها که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است، پاسخ فرکانسی نمونه تحت تست ارتعاشی است. بررسی‌ها در این تحقیق نشان می‌دهد که پیری علاوه بر خوردگی و فرسایش در قطعات، منجر به تشکیل لایه-های رسوب بین اجزاء قطعات نیز می‌شود. نفوذ ذرات غبار یا نمک موجود در هوا در بین فضاهای موجود بین رشته‌های سیم به هم تابیده شده موجب بالا رفتن فرکانس‌های تشدید و افزایش میزان دمپینگ می‌شود.

واژگان کلیدی: استاک بریج، دمپینگ، فرکانس، تشدید، مه نمکی

۱. مقدمه

می‌توان گفت عوامل محیطی ناشی از شرایط آب و هوایی تأثیر چشمگیری بر عملکرد قطعات نصب شده روی خطوط انتقال برق می‌تواند داشته باشد. با وزش باد و یا تخلیه برف و یخ، ارتعاشات عرضی در هادی به وجود می‌آید. که این ارتعاشات سعی دارند در محل اتصال به میراکننده، آن را نیز به همراه سیم به نوسان درآورند. اما وزنه‌های طرفین

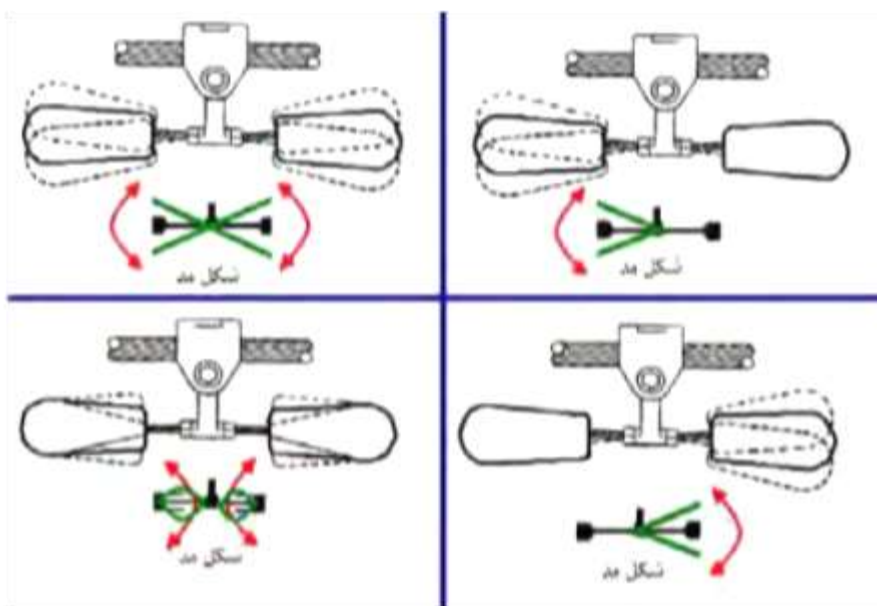
میراکننده که کابل انعطاف‌پذیر آنها را به هم وصل کرده این انرژی ارتعاشی را جذب و با تأخیر عمل کرده و هنگام عکس شدن جهت نوسان سیم انرژی جذب شده را رها می‌کنند. این کابل‌های انعطاف‌پذیر از تعدادی رشته سیم‌های به هم تابیده شده تشکیل شده‌اند. در این کابل‌ها هرچه فاصله بین رشته سیم‌های به هم تابیده شده کمتر باشد، یعنی رشته‌های کابل با فشردگی بیشتری بر روی

یکدیگر قرار گرفته باشند، می‌توانند رفتار ارتعاشی بهتر استاک بریج^۲ را به دنبال داشته باشند. در واقع می‌توان گفت استاک بریج‌ها نوعی جاذب دینامیکی هستند.

۲. اصول کارکرد جاذب‌های دینامیکی

نحوه عملکرد جاذب‌های دینامیکی و عوامل مؤثر بر نحوه عملکرد آنها را می‌توان اینگونه بیان نمود که در روش جاذب دینامیکی عملاً جسم دوم بر روی جسم اول که در معرض ارتعاشات ناخواسته است قرار گرفته و با جذب انرژی وارده به جسم اصلی به ارتعاش درآمده و سبب

انتقال انرژی و کاهش دامنه ارتعاشات در نقطه مورد نظر بر روی جسم اصلی می‌گردند. پس به منظور کنترل ارتعاشات در جسم اصلی، نیاز به طراحی جسم ثانویه‌ای بوده که بتواند مقدار مشخصی انرژی جذب و در نقطه خاصی دامنه ارتعاشات را به حد قابل قبولی کاهش دهد. مهم‌ترین پارامترهای مؤثر بر عملکرد دینامیکی این جاذب‌ها عبارتند از محدوده فرکانسی عملکرد استاک بریج، میزان میرایی و شکل مودها که در واقع نحوه تغییر شکل دمپر در فرکانس‌های عملکردی است.



شکل ۱. شکل مودهای رایج در استاک بریج‌ها

در نواحی ساحلی که هوا علاوه بر دارا بودن رطوبت بالا حاوی ذرات ریز نمک است و یا در مناطقی از کشور مانند استان‌های خوزستان و سیستان و بلوچستان که با بروز پدیده گرد و غبار مواجه هستند ذرات موجود در هوا می‌توانند به مرور در فضای بین این رشته‌های سیم نفوذ کرده و موجب تغییر در رفتار ارتعاشی دمپر شود. در این تحقیق با قراردادن دو نمونه استاک بریج در فضای مه نمکی آزمایشگاه، مه نمکی پژوهشگاه نیرو و میزان تأثیر

نفوذ این ذرات بر رفتار ارتعاشی استاک بریج‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. در سال ۱۹۰۹ برای اولین بار جاذب‌های دینامیکی ارتعاشات طراحی و ساخته شدند [۱]. آلنوت و همکارانش در سال ۱۹۷۴ ارتعاشات خطوط انتقال نیرو را با مدل‌سازی یک میراگر دینامیکی به صورت جرم و فنر میراکننده مورد بررسی قرار داده و نتایج حاصل از این بررسی منجر به تعیین محدوده کارکرد مفید میراگر استاک بریج بر روی خط انتقال گردید [۲].

در سال ۱۹۸۲ هاگدورن مدل ریسمان نامتناهی را برای ارتعاشات یک خط انتقال برق به همراه میراگر متصل در ابتدای آن در نظر گرفت [۳]. علی صیامی و همکارانش به تحلیل طراحی و تست دینامیکی جاذب-دمپر ارتعاشات آتولین در خطوط انتقال نیرو پرداخته‌اند. نتایج حاصل از این تحقیق بیانگر این موضوع است که علاوه بر پارامترهای متداول ارتعاشی ذکر شده در استاندارد شکل مودهای ارتعاشی جاذب در فرکانس‌های طبیعی دارای اهمیت بالایی است که باید در انتخاب و طراحی این دمپرها لحاظ شود [۴].

حمید مظاهری به بررسی نرخ خرابی خطوط هوایی انتقال قدرت در اثر ارتعاشات عرضی ناشی از عوامل طبیعی محیط جغرافیایی پرداخته و نتایج حاصل از شبیه‌سازی پارامترها و حرکات واقعی خط انتقال را با نتایج آزمایشگاهی اقتباس شده از ادبیات فن مقایسه نموده است [۵]. فرزاد وصالی بررسی آزمایشگاهی اثر عمر دمپر بر عملکرد ارتعاشی آنها در خطوط انتقال نیرو را موضوع پژوهش خود قرار داده است [۶]. پژمان خزائی به اتفاق همکارانش به طراحی و ساخت دمپر ضد گالوپینگ^۳ ATG برای خطوط سه باندا

پرداخته و ضمن انجام شبیه‌سازی و بررسی تجربی عملکرد آن با استفاده از تست ریگ ساخته شده به این نتیجه دست یافتند که این نوع دمپر هم‌زمان قابلیت شیفت فرکانسی و جذب نوسانات خط را داشته و از بروز پدیده گالوپینگ جلوگیری می‌نماید [۷]. هدف از انجام این تحقیق بررسی تجربی اثر آلودگی مه نمکی بر روی رفتار ارتعاشی استاک بریج بدون بار الکتریکی و در حالت استاتیکی دمپر است.

۳. روش تحقیق

در این تحقیق اثر پیری به عنوان یک عامل محیطی بر روی دو نمونه از این استاک بریج‌ها که به صورت نامتقارن هستند مورد بررسی قرار داده شده است. به منظور انجام تست پاسخ فرکانسی نمونه‌ها را به کمک شیکر^۴ مدل B&K Type482 و با استفاده از برنامه پالس^۵ در محدوده فرکانسی ۸ تا ۱۰۰ تحریک نموده و مطابق شکل ۲ رفتار ارتعاشی آنها مورد بررسی قرار گرفت. تست پاسخ فرکانسی استاک بریج‌ها مطابق استاندارد IEC 61897 انجام شده است.



شکل ۲. انجام تست پاسخ فرکانسی استاک بریج دمپر با استفاده از شیکر

شد. دمای محیط آزمون در تمام مدت آزمون بین ۱۵ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد نگاه داشته می‌شود و میزان نمک در طی فرایند پیرسازی معادل $4 \pm 0.8 \text{ kg/m}^3$ در نظر گرفته می‌شود. این میزان مطابق جدول ۲ استاندارد (بند ۷، ۱، ۱،

در مرحله بعد جهت بررسی اثر پیری، استاک بریج‌های تست شده مطابق استاندارد IEC 62217 در آزمایشگاه مه نمکی پژوهشگاه نیرو طی یک دوره زمانی ۱۰۰۰ ساعته در داخل محفظه‌ای حاوی رطوبت و ذرات نمک قرار داده

۳، ۳، ۹) استاندارد IEC 62217 انتخاب شده است. نرخ دبی با توجه به روش کالیبراسیون مه نمکی مطابق بند ۴، ۱، ۳، ۳، ۹ استاندارد تعیین می‌گردد. اندازه ذرات مه ۵ الی ۱۰ میکرون است. فرایند پیرسازی در شرایط مه‌آلود حاوی ذرات نمک در داخل محفظه تست ریگ را می‌توان در شکل ۳ مشاهده نمود.



شکل ۳. فرایند پیرسازی دمپر در داخل محفظه تست ریگ مه نمکی

پس از پایان آزمون مه نمکی، تست بررسی رفتار ارتعاشی بر روی نمونه‌ها مجدداً مطابق با استاندارد تکرار شد. به منظور دستیابی به نتایج دقیق‌تر بعد از این مرحله نمونه‌ها با استفاده از دستگاه مخصوص خستگی آزمایشگاه ارتعاشات پژوهشگاه نیرو، عملیات خستگی بروی استاک بریج‌ها انجام پذیرفت. عملیات خستگی بر روی هر نمونه به تعداد ۲ میلیون سیکل با دامنه ۱ میلی‌متر و در یکی از فرکانس‌های حدود ۴۰ هرتز که از انجام تست پاسخ فرکانسی در مرحله قبل از عملیات پیرسازی نمونه به‌دست آمده بود انجام گرفت. پس از پایان عملیات خستگی استاک بریج‌ها، دوباره تست پاسخ فرکانسی بر روی آنها انجام پذیرفت تا از مقایسه نتایج به‌دست آمده حاصل از تست پاسخ فرکانسی در مرحله قبل و بعد از آزمون مه نمکی و همچنین بعد از عملیات خستگی بتوان اثر پیری را بر عملکرد استاک بریج‌ها مورد بررسی قرار داد. در ادامه این تحقیق به بحث

و بررسی نتایج به‌دست آمده از سه مرحله تست پاسخ فرکانسی بر روی نمونه‌ها پرداخته می‌شود.

۴. یافته‌ها و نتایج تحقیق

در این قسمت نتایج به‌دست آمده از انجام آزمون‌ها بر روی نمونه‌ها ارائه و مورد بررسی قرار می‌گیرد. نتایج به‌دست آمده از سه مرحله تست پاسخ فرکانسی برای دو نمونه‌ای که تحت آزمون مه نمکی قرار گرفته‌اند به ترتیب در شکل‌های ۶ و ۷ قابل مشاهده است. نمودار مربوط به نتایج تست پاسخ فرکانسی استاک بریج‌ها در سه مرحله قبل از تست مه نمکی، بعد از تست مه نمکی و بعد از تست خستگی با سه شکل ترسیم متفاوت مشخص شده است. نمودار شماره ۱ که به صورت خطوط منقطع است مربوط به نتایج نمونه قبل از تست مه نمکی و نمودار شماره ۲ که به صورت نقطه چین ظاهر شده است شامل نتایج نمونه در مرحله بعد از تست مه نمکی و در نهایت نمودار شماره ۳ که به شکل خط کامل قابل مشاهده است، بیان‌کننده نتایج پاسخ فرکانسی نمونه بعد از تست خستگی است. با بررسی نمودارهای حاصل از نتایج تست پاسخ فرکانسی نمونه اول نقاطی که دارای فرکانس تشدید هستند استخراج و در جداول ۱ تا ۳ برای حالت‌های متفاوت نشان داده شده است. در این جدول‌ها فرکانس‌های تشدید به همراه میزان توان جذب شده در این نقاط قابل ملاحظه هستند.

جدول ۱. نتایج مربوط به نمونه اول قبل از تست مه نمکی

فرکانس (Hz)	۱۹	۴۳	۵۸	۶۴	۷۲	۸۶
توان (W)	۱/۵۹	۱/۸۷	۳/۵۴	۲/۸۵	۲/۱۹	۱/۸۲

جدول ۲. نتایج مربوط به نمونه اول بعد از تست مه نمکی

فرکانس (Hz)	۱۴	۲۲	۴۴	۵۸	۷۲
توان (W)	۰/۹	۱/۸	۱/۹۵	۴/۰۵	۲/۶۸

جدول ۳. نتایج مربوط به نمونه اول بعد از تست مه نمکی و خستگی

فرکانس (Hz)	۱۱	۲۲	۴۴	۵۴	۵۷	۷۲
توان (W)	۰/۳۳	۱/۷۶	۱/۷۴	۳/۱۵	۴/۱۳	۲/۵۸۳

با توجه به نمودارهای به‌دست آمده از نتایج تست نمونه شماره ۲ فرکانس‌های تشدید به همراه میزان توان جذب شده در این فرکانس‌ها در جداول ۴ تا ۶ به ثبت رسیده است.

جدول ۴. نتایج مربوط به نمونه دوم قبل از تست مه نمکی

فرکانس (Hz)	۱۹	۴۳	۵۶	۶۲	۸۷
توان (W)	۱/۵۲	۱/۷۷	۲/۹۶	۲/۸۴	۱/۶۸

جدول ۵. نتایج مربوط به نمونه دوم بعد از تست مه نمکی

فرکانس (Hz)	۲۳	۵۸	۶۶	۸۷
توان (W)	۱/۷۱	۳/۷	۴/۳۴	۲/۴۳

جدول ۶. نتایج مربوط به نمونه دوم بعد از تست مه نمکی و خستگی

فرکانس (Hz)	۱۵	۲۱	۵۷	۶۳
توان (W)	۱/۱	۱/۷۷	۴/۹۴	۳/۴۸

با توجه به نقاط تشدید به‌دست آمده در حالت قبل از تست مه نمکی در خصوص نتایج نمونه اول می‌توان گفت در این حالت کمترین و بیشترین توان جذب شده توسط استاک بریج مربوط به فرکانس‌های ۱۹ و ۵۸ هرتز و به ترتیب برابر ۱/۵۹۵ و ۳/۵۴۲ وات است. این درحالی است که در شرایط بعد از تست مه نمکی این مقادیر برابر ۰/۹۰۴ و ۴/۰۵۲ و متعلق به فرکانس‌های ۱۴ و ۵۸ است. در حالت بعد از خستگی بیشترین و کمترین توان در فرکانس‌های ۱۱ و ۵۷ و به میزان ۰/۳۳۷ و ۴/۱۳۵ رخ داده است. از مقایسه نقاط پیک^۶ به‌دست آمده در هر سه حالت تست می‌توان این‌طور برداشت کرد، که انجام فرایند پیری بر روی استاک بریج سبب بالارفتن مقادیر فرکانس تشدید و همچنین افزایش مقدار توان جذب شده در این فرکانس‌ها است. این درحالی است که نتایج حاصل از انجام عملیات خستگی نشان می‌دهد که نتایج در این دو مرحله نسبت به هم تفاوت چندانی ندارند. در مورد نتایج به‌دست آمده از تست نمونه شماره ۲ این‌طور می‌توان بیان نمود که در حالت اول تست کمترین و بیشترین مقدار توان متعلق به فرکانس‌های ۱۹ و ۵۶ و به میزان ۱/۵۲۳ و ۲/۹۶۱ است. این مقادیر در شرایط تست بعد از فرایند پیرسازی نمونه برابر ۱/۷۱۲ و ۴/۳۴۳ و در فرکانس‌های ۲۳ و ۶۶ حاصل شد. فرکانس‌های ۱۵ و ۵۷ نقاطی هستند که در شرایط بعد از خستگی نمونه مقادیر توان ۱/۱۰۱ و ۴/۹۴۸ را به خود اختصاص داده‌اند. با مقایسه نتایج به‌دست آمده درخصوص نتایج این نمونه مانند نمونه اول می‌توان گفت پیرسازی نمونه سبب بالارفتن فرکانس‌های تشدید نسبت به حالت قبل شد. همچنین میزان توان جذب شده توسط استاک بریج در تست ارتعاشی در این نقاط بعد از فرایند پیرسازی افزایش پیدا کرد. و این درحالی است که در اثر خستگی نمونه تغییرات چندانی در نتایج نسبت به نتایج مرحله بعد از تست مه نمکی ایجاد نشد. در مورد علت افزایش فرکانس‌های تشدید و توان در هر دو نمونه بعد از عملیات

مه نمکی می‌توان گفت با توجه به اینکه در طی فرایند پیرسازی هوای آغشته به ذرات نمک با ابعاد میکرونی به طور مداوم در حال جابه‌جا شدن در اطراف استاک بریج‌ها بوده و با عبور جریان هوا از بین رشته‌های سیم به هم تائیده شده، ذرات نمک در فضاهای خالی بین این لایه‌های سیم نفوذ کرده است. ذرات نفوذ کرده به مرور با از دست دادن رطوبت خود لایه‌های بسیار نازکی از رسوب را مطابق شکل ۴ در بین رشته سیم‌ها تشکیل می‌دهند. لایه‌های رسوب به‌وجود آمده در بین رشته‌های سیم موجب افزایش اصطکاک بین رشته‌های سیم در حین لغزش روی یکدیگر می‌شود. این افزایش اصطکاک حین ارتعاش کابل موجب جابه‌جا شدن فرکانس‌ها و افزایش میزان سطح دمپینگ توسط جاذب می‌شود.

به منظور انجام بررسی‌های دقیق‌تر در خصوص میزان عمق نفوذ ذرات در بین رشته سیم‌ها، کابل جاذب ارتعاشی را از یک سمت برش داده و رشته‌های سیم به هم تائیده باز شد. در این بررسی مشخص شد که در اثر عبور هوای حاوی ذرات نمک از داخل این رشته سیم‌ها، ذرات در بین لایه‌های داخلی نیز رسوب کرده و همان‌طور که در شکل شماره ۵ ملاحظه می‌شود لایه‌ای از رسوب روی این رشته‌های داخلی کابل شکل گرفته است.

با بررسی نمودارهای مربوط به نتایج تست پاسخ فرکانسی نمونه‌ها و مقایسه آنها می‌توان گفت نمودار شماره ۱، مربوط به نتایج تست قبل از فرایند مه نمکی، دارای نقاطی است که فرکانس پس از روند افزایشی، سیر کاهشی به

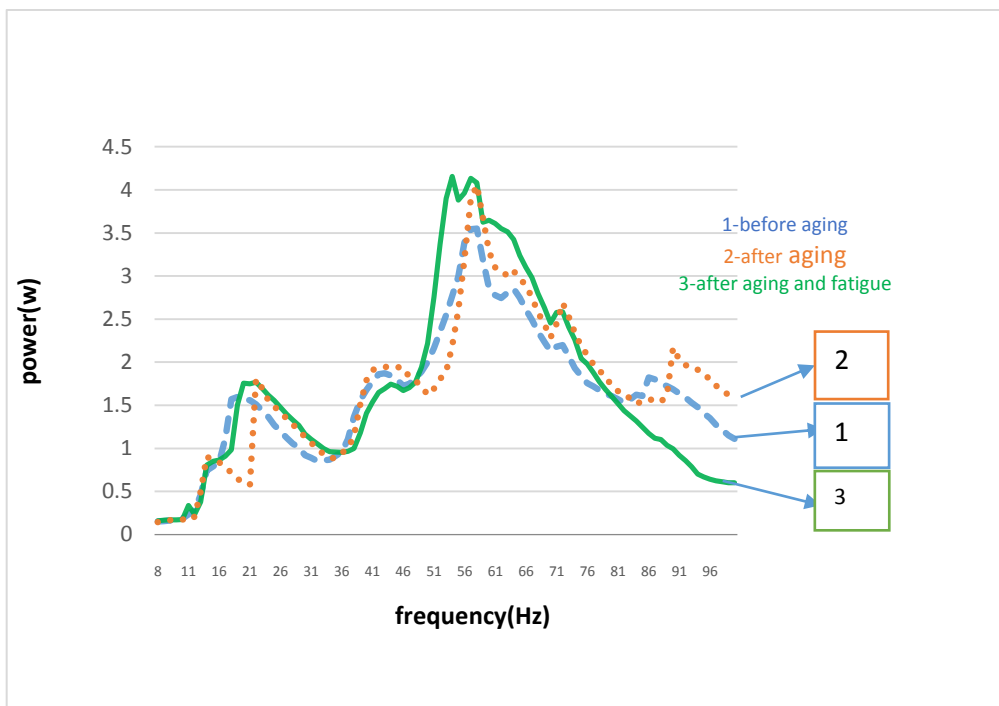
خود گرفته است. در اصطلاح این نقاط همان نقاط تشدید^۷ هستند. این نقاط در جداول ۱ تا ۶ برای هر دو نمونه به همراه مقادیر توان جذب شده در این نقاط بیان شده است. با مشاهده نمودارها می‌توان متوجه شد در نمودار شماره ۲ نقاطی شامل فرکانس‌های تشدید هستند که مربوط به نتایج تست بعد از مه نمکی است و نسبت به حالت قبل مه نمکی سیر افزایشی داشته و در اکثر نقاط میزان توان جذب شده در این حالت نسبت به حالت قبل بیشتر است. (به خصوص در محدوده فرکانسی ۱ تا ۵۰ که محدوده عملکردی دمپر به لحاظ فرکانسی است).

میان نقاط تشدید در نمودار شماره ۳، مربوط به نتایج تست بعد از عملیات خستگی و نمودار شماره ۱ اختلاف چندانی وجود نداشته و این عدم اختلاف در اکثر نقاط در میزان توان جذب شده نیز قابل مشاهده است. در واقع می‌توان گفت نتایج تست پاسخ فرکانسی در قبل و بعد از عملیات خستگی تفاوت چندانی ندارند. همین تحلیل را در خصوص نمودار مربوط به نمونه شماره ۲ نیز می‌توان ارائه نمود. در این نمودار نیز انجام فرایند مه نمکی (پیری) موجب بالا رفتن فرکانس‌های تشدید و افزایش میزان توان جذب شده در این فرکانس‌ها و اغلب فرکانس‌های دیگر شده است.

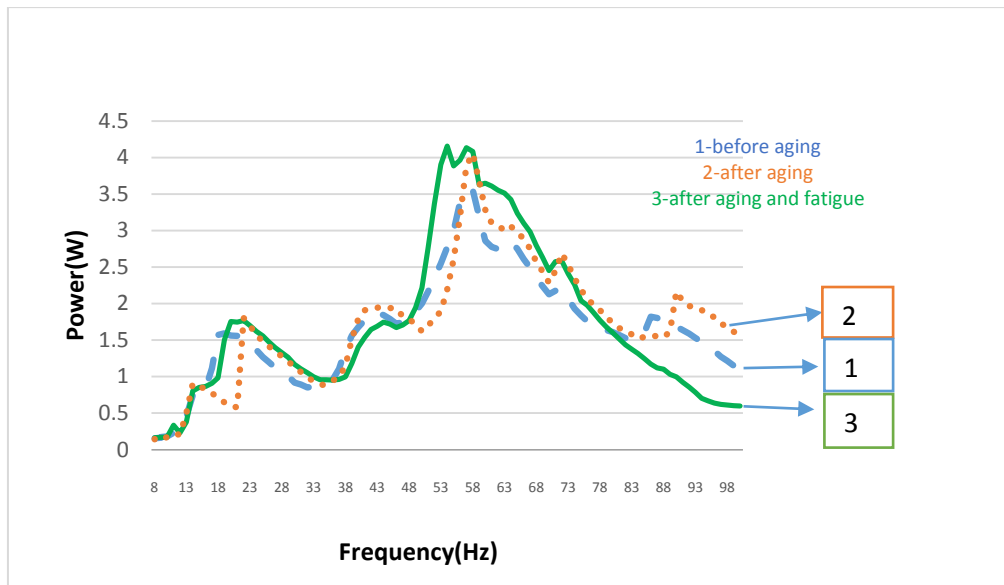


شکل ۵. لایه‌های رسوب شکل گرفته بر روی رشته سیم‌های داخلی کابل جاذب

شکل ۴. ذرات نمک رسوب شده در بین رشته‌های سیم کابل استاک بریج دمپر



شکل ۶. نتایج تست پاسخ فرکانسی نمونه شماره ۱



شکل ۷. نتایج تست پاسخ فرکانسی نمونه شماره ۲

نمک و یا غبار نیز می‌تواند بر عملکرد ارتعاشی استاک بریج دمپرها اثرگذار باشد.

۲- از بررسی نتایج تست دو استاک بریج می‌توان این نتیجه را کسب کرد که ذرات غبار و نمک موجود در هوای مرطوب در بین فضاهای خالی بین رشته‌های سیم به هم تابیده شده نفوذ کرده و افزایش اصطکاک بین رشته‌های سیم در حین لغزش روی یکدیگر را به دنبال دارد.

۳- افزایش اصطکاک در بین رشته‌های سیم، بالا رفتن فرکانس‌های تحریک و افزایش میزان سطح دمپینگ توسط استاک بریج را به دنبال دارد.

۴- در واقع نفوذ ذرات در فضای بین لایه‌ها باعث می‌شود تا رشته‌های سیم با اصطکاک بیشتری روی یکدیگر لغزش کنند و این کار نیاز به جذب انرژی بیشتری دارد و به دنبال این جذب بیشتر، میرایی و اتلاف انرژی بیشتری در پی خواهد داشت.

۵- با توجه به نتایج به‌دست آمده ممکن است در آینده از تست مه نمکی و پیرسازی به عنوان یکی از تست‌های مورد نیاز جهت بررسی رفتار ارتعاشی استاک بریج‌ها نام برده شود.

۵. تست دمپرها طبق استاندارد

در استاندارد IEC 61897 مربوط به تست استاک بریج دمپر پارامترهای اصلی برای کنترل کارایی دمپر شامل فرکانس‌های کارکرد، میزان انرژی جذب شده، عمر دمپر (تست خستگی) است. این تست‌ها در شرایط مختلف و بر روی چند نمونه دمپر و با استفاده از انواع تجهیزات و آنالایزرهای ارتعاشی استاندارد در محل آزمایشگاه ارتعاشات و آکوستیک پژوهشگاه نیرو انجام شده است. در حال حاضر آزمایشگاه مذکور، آزمایشگاه مرجع برای این نوع خدمات محسوب می‌شود. به منظور حصول اطمینان از صحت عملکرد دمپرها در حین انجام تست، نمونه‌ها بر روی شیکر نصب و با استفاده از یک استروسکوپ، فرکانس‌های تشدید به‌دست آمده از انجام تست دمپر مورد بررسی قرار گرفته و مشاهده گردید که بیشترین دامنه در این فرکانس‌ها است.

۶. نتیجه‌گیری

۱- می‌توان گفت علاوه بر عوامل محیطی مانند باد، سرما، یخ‌زدگی و برف، پیری ناشی از نفوذ ذرات ریز در هوا مانند

۷. مأخذ

- [1] Hartog, JP Den, "Mechanical vibrations", *McGraw Hill, New York*, 1956.
- [2] Allnutt, J. G., and M. D. Rowbottom, "Damping of aeolian vibration on overhead lines by vibration dampers", In *Proceedings of the Institution of Electrical Engineers*, 1974, Vol.121, no.10, pp.1175-1179. IET Digital Library.
- [3] Hagedorn, Peter, "On the computation of damped wind-excited vibrations of overhead transmission lines", *Journal of Sound and Vibration*, 1982, Vol.83, no.2, pp.253-271.
- [۴] م. آسایش، ع. صیامی، ا. همدانیان، "تحلیل طراحی و تست دینامیکی جاذب-دمپر ارتعاشات آتولین در خطوط انتقال نیرو"، بیست و ششمین کنفرانس بین‌المللی برق (psc 2011)، آبان ماه ۱۳۹۰.
- [۵] ح. مظاهری، م. صادقی، "بررسی نرخ خرابی خطوط انتقال قدرت ناشی از نوسانات عرضی و اثر نصب دمپر استاک بریج در کاهش آن"، بیست و یکمین کنفرانس بین‌المللی برق (psc 2006)، آبان ماه ۱۳۸۵.
- [۶] ف. وصالی، "بررسی آزمایشگاهی اثر عمر دمپر بر عملکرد آنها در خطوط انتقال نیرو"، بیست و هشتمین کنفرانس بین‌المللی برق (PSC 2013)، آبان ماه ۱۳۹۲.
- [۷] پ. خزائی، م. توفیق، م. یسن زاده، م.فتحیان، "طراحی و ساخت دمپر ضد گالوپینگ AGT برای خطوط سه باندل: شبیه‌سازی، تجربی"، سی و دومین کنفرانس بین‌المللی برق (PSC 2017)، آبان ماه ۱۳۹۶.

پی‌نوشت:

1. Aging
2. Stockbridge
3. Galloping
4. Shaker
5. Pulse
6. Peak
7. Resonant