تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۷/۲۸
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۲۵

بهبود کیفیت تصاویر بدست آمده از بازرسی نشتی شار مغناطیسی کابل‌ها با بهره‌گیری از تحلیل موجک

امیر رفاهی اسکوئی[1*]، حسین حیدری کلهرودی[2]. محسن صدری[3]
۱- استادیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی
۲- استادیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه تفرش
۳- کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک، شرکت مهندسان پایش وضعیت امیرکبیر (مپوا)
* amir.refahi@sru.ac.ir

چکیده

عیوب در کابل‌های فولادی عمدتا بصورت عیب خوردگی، عیب کاهش سطح مقطع و گسیختگی مفتول‌های فولادی ممکن است ظاهر شود. وجود این عیوب باعث کاهش استحکام و در نهایت پارگی کابل فولادی در اثر تنش‌های حاصل از بارگذاری‌های ترکیبی می‌گردد. این تحقیق با هدف شناسایی و بارزسی عیوب مصنوعی سطحی ایجاد شده با بهره‌گیری از روش نشتی شار مغناطیسی انجام شده است. ابتدا چند عیب مصنوعی مشخص که شامل ایجاد گسیختگی بر روی مفتول‌های فولادی کابل بود، ایجاد گردید. سپس با استفاده از دستگاه نشتی شار مغناطیسی سیگنال‌های مغناطیسی ناشی از عیوب مصنوعی توسط حسگرهای مغناطیسی تعبیه شده در دستگاه، دریافت و بعد از تجزیه و تحلیل بصورت تصویر رنگی نمایش داده شد. از آنجایی که وضوح تصاویر بدست آمده از سیگنال‌های حسگرهای مغناطیسی خیلی واضح نمی‌باشد لذا در کار حاضر سعی شده است که با استفاده از روش تحلیل موجک، سیگنال‌ها به سطوح مختلف فرکانسی تجزیه شده و با بکارگیری معیار حد آستانه برخی از نویزهای عملکردی دستگاه حذف گردد. سپس از بین سطوح فرکانسی، سیگنالی که دارای بهترین وضعیت از نظر محتوای عیب می‌باشد انتخاب و برای بازسازی تصویر مورد استفاده قرار می‌گیرد. نتایج نشان می‌دهد که استفاده از روش تحلیل موجک، تصاویر حاصل از عیوب را تا حد بسیار بالایی بهبود داده و نویزهای ناخواسته حاصل از حرکت‌های نسبی بین دستگاه و کابل را تا حد خوبی توانسته شناسایی و حذف کند.

واژگان کلیدی: نشتی شار مغناطیسی، کابل‌های فولادی، تحلیل موجک.

۱- مقدمه

کابل‌های فولادی به عنوان سازه های انتقال و جابجایی بارهای سنگین در تله کابین ها و مهاربند سازه های بزرگ مثل دکل ها و برج های مخابراتی مورد استفاده زیادی دارند. این سازه ها بعد از گذشت مدت زمانی به دلیل شرایط جوی و محیطی و بارهای اعمالی به آن ممکن است دچار خوردگی، سایش و گسسیختگی مفتول های بکار برده شده در آن گردند. روشهای مختلفی برای شناسایی این عیوب در کابل ها بکار می رود از جمله آنها می توان به روش چشمی و یا بازرسی های غیرمخرب مانند نشتی شار مغناطیسی[1] اشاره کرد. روش نشتی شار مغناطیسی در این نوع کابل های فولادی به دلیل اینکه میدان مغناطیسی را می توان در آنها القا کرد مورد توجه می باشد. لذا شناسایی عیوب از روی سیگنال های مغناطیسی گردآوری شده توسط حسگرهای حساس به تغییرات میدان مغناطیسی، یکی از مباحث مهم در این حوزه به شمار می رود. در این ارتباط تحقیقات بسیار مهمی با بهره گیری از ابزارهای تحلیل سیگنال انجام گرفته است. شارات چاندرا سینگ و همکاران [۱] از حسگرهای جدید با نام تجاری GMR[2] برای دریافت سیگنالهای حاصل از نشتی میدان مغناطیسی استفاده کردند. تصاویر حاصل از این حسگر در مقایسه با حسگرهای دیگر به دلیل کاهش سطح دامنه نویز خیلی واضح تر و با کیفیت تر بود. تان و همکاران [۲] با بهره گیری از روش تحریک مغناطیسی غیر اشباع شده بر روی کابل های مرکب و حسگرهای حساس به نشتی های خیلی پایین توانستند تصاویر حاصل از نشتی عیوب مختلف را مورد بررسی قرار دهند. در این کار برای بهبود وضوح تصاویر از الگوریتم تصاویر چند پنجره ای تیخونف[3] جهت حذف نویزها بهره گرفته شده بود. شبیه همین کار توسط ژانگ و همکارانش [۳] برای ایجاد تصاویر نشتی مغناطیسی حاصل از عیوب در جهت کاهش نویز و

1 Magnetic Flux Leakage - MFL
2 Giant Magneto Resistive
3 Tikhonov Multiframe Image Algorithm

www.SID.ir

بازسازی تصاویر در قدرت وضوح بالا بوسیله روش موجک انجام گرفته بود. در این کار از روش شبکه های عصبی برای کلاس بندی بهره گرفته شده بود. جیایینگ و همکاران [۴] تصویر سازی اسکن مغناطیسی یک ورق دارای عیب را با روش نشتی شار مغناطیسی و انحراف میدان مغناطیسی[1] مورد مطالعه قرار دادند. با بهره گیری از حداکثر دامنه سیگنالهای دریافتی و پارامترهای یکسان، تصویر سازی دو بعدی حاصله از روش انحراف میدان نسبت به روش نشتی میدان از وضوح بالاتری برخوردار بود. یانگ و همکارانش [۵] در مطالعات خود بر روی کلاس بندی تصاویر نشتی مغناطیسی از روش کانولوشن کرنل بهبود یافته[2] استفاده کردند. در این کار با بهره گیری از شبکه عصبی و همچنین فیلترهای آنالیز تصویر و کاهش اطلاعات پس زمینه تصویر، وضوح و کیفیت تصاویر ارتقا داده شده بود. در مطالعه دیگری ژانگ و همکارانش [۶] از روش تبدیل هیلبرت – هوانگ برای پردازش سیگنالهای مغناطیسی و متعادل کردن سطح نویز و سیگنال استفاده کردند. نتایج حاصل از این مطالعه برای کمیت بندی داده مغناطیسی و کلاس بندی عیوب بسیار کارآمد بود. در کار حاضر هدف بهبود کیفیت تصاویر حاصل از روش نشتی شار مغناطیسی با بهره گیری از تحلیل موجک سیگنال های جمع آوری شده از حسگرهای مغناطیسی می باشد. برای این کار عیوب مختلف در کابل سیم بکسل در اندازه های مختلف ایجاد شد و سپس با قرار دادن دستگاه نشتی شار مغناطیسی سیگنالهای آن دریافت گردید. سیگنالها طی یک کد نوشته شده توسط نویسنده در محیط نرم افزار مطلب مورد پردازش و بصورت تصویر نشان داده شد. به دلیل پایین بودن کیفیت تصاویر بدست آمده، با بهره گیری از روش موجک نویز های احتمالی حذف و سیگنال بدست آمده از یکی از سطوح موجک به عنوان سیگنال مرجع جهت پردازش و تصویرسازی دوباره مورد استفاده قرار گرفت.

۲- تبدیل موجک

تبدیل موجک بعنوان یک دیدگاه جدید در پردازش سیگنال و تصویر در طی ۲۰ سال اخیر معرفی شده است. کارهای متفاوتی در دهه های اخیر در مورد مطلوب بودن تبدیل موجک جهت بکارگیری در پردازش سیگنال انجام گرفته است. یک موجک شامل یک موج محلی در بازه زمانی محدود می باشد که دارای مقدار میانگین صفر است. تفاوتی که با آنالیز فوریه دارد این است که آنالیز فوریه سیگنال را به موجهای سینوسی با فرکانس های متفاوت می شکند در حالیکه تبدیل موجک سیگنالها را به خانواده ای از موجکها که دارای پارامتر مقیاس و موقعیت می باشد می‌شکند. تبدیل موجک برای فرکانس های کم با دقت کم و برای فرکانس های زیاد با دقت بالایی می تواند بکارگرفته شود [۷-۱۰]. نتیجه اینکه تبدیل موجک یک روش ایده آل برای آنالیز سیگنالهای گذرا و نشان دادن نویز ها و همچنین نحوه عملکرد سیگنالها می باشد.

زمینه کاربرد موجک در آنالیز سیگنالها بسیار گستره می باشد. در کار حاضر از روش موجک گسسته برای تحلیل سیگنالهای مغناطیسی استفاده می شود. بطور کلی در آنالیز موجک یک سیگنال به دو قسمت بنام های کلیات[3] و جزئیات[4] تفکیک می شود. قسمت کلیات شامل فرکانس های پایین از سیگنال اصلی و قسمت جزئیات شامل فرکانس های بالا از سیگنال اصلی می باشد. این قسمت خود می تواند به دوبخش جزئیات و کلیات در سطح دوم تقسیم شود. و این فرآیند تا رسیدن به حداقل سطح مورد نظر ادامه می یابد.

این روش می تواند بصورت عبارت ریاضی زیر بیان شود.

$$DW(j,k) = \sqrt{2^j} \int_{-\infty}^{+\infty} f(t)\varphi^*(2^j t - k)dt \qquad (۱)$$

که در این معادله DW(j,k) ضرایب تبدیل موجک می باشد که j بیانگر سطح مربوط به حوزه فرکانس و k بیانگر حوزه زمان و f(t) سیگنال آکوستیکی و φ خانواده موجک را نشان می دهد. تبدیل موجک گسسته معکوس بصورت عبارت ریاضی زیر قابل بیان است :

$$f(t) = c\sum_j \sum_k DW(j,k)\varphi_{j,k}(t) \qquad (۲)$$

که دراین معادله c ثابت وابسته به φ می باشد.

معادله ۲ اساسی ترین بخش کارحاضر را تشکیل می دهد و کل فلسفه استفاده از موجک ها برای آنالیز سیگنال ها، که در واقع عبارت است از سری زمانی سیگنالهای تجزیه شده بوسیله تبدیل موجک گسسته است را مورد بحث و بررسی قرار می دهد.

۳- مواد و تجهیزات انجام آزمون

در کار حاضر از کابل بکسل که دارای عیوب مختلف بودند استفاده گردید. عیوب شامل پارگی مفتول های بصورت تک مفتول، و سه مفتول گسیخته شده بر روی سطح خارجی کابل می باشد. از دستگاه نشتی شار مغناطیسی کابل MFL-MAP

1 Magnetic Field Distortion (MFD)
2 Optimized Covolution Kernel
3 Approximation
4 Deteails

www.SID.ir

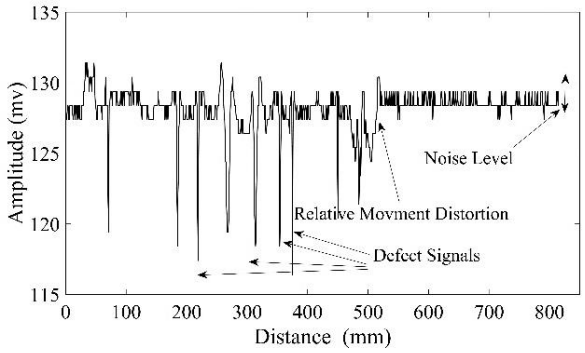
برای ارزیابی خرابی و جمع آوری داده های حسگرهای مغناطیسی استفاده شد. این دستگاه شامل ۲۰ حسگر حساس به میدان مغناطیسی است که بر روی محیط خارجی کابل قرار گرفته و در اثر عبور کابل از مابین حسگرها عمل عیب یابی انجام می گردد. در شکل ۱ سامانه آزمون به همراه عیوب مربوطه نشان داده شده است.

شکل ۱- سامانه آزمون کابل و عیوب آن.

۴- نتایج

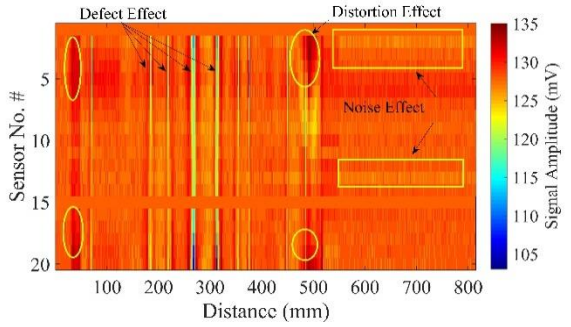
بطور کلی در روش نشتی شار مغناطیسی کابل ها به دلیل حرکت نسبی کابل و تجهیزات تست، سیگنالهای جمع آوری شده دارای وضعیت اعوجاجی می باشند که بر روی شکل ظاهری سیگنال دریافتی تاثیر گذار می باشد. باید در نظر داشت که این مشکل یعنی اعوجاج بوجود آمده در سیگنال دریافتی، صرفا شکل کلی سیگنال را عوض می کند و بر روی سیگنال حاصل از عیب، تاثیرگذار نیست ولی مشکل از آنجایی حاصل می شود که این سیگنال ها قرار باشد بصورت تصویر نشان داده شود. در اینصورت تصویر حاصله خیلی مبهم بوده و مخاطب نمی تواند بخوبی عیب را از غیرعیب تشخیص دهد. مشکل بعدی در سیگنال های دریافتی از حسگرهای مغناطیسی وجود نویز بر روی این سیگنال ها است. برخی وقت ها این نویز ممکن است از نظر دامنه در حدی بزرگ باشد که باعث گم شدن سیگنال عیب گردد. این مشکل در تصاویر بدست آمده از سیگنال های دارای نویز نیز همچنان وجود دارد و وضوح و کیفیت تصویر را کاهش می دهد و باعث اشتباه در شناسایی عیوب می گردد.

بر اساس موارد مطرح شده در بالا برای مرتفع کردن این مشکلات راه کارهای مختلفی ارائه شده است که در این تحقیق از روش تبدیل موجک برای حذف نویز و از بین بردن اعوجاج بوجود آمده در سیگنال ها بهره گرفته می شود. شکل ۲ سیگنال دریافتی از یکی از ۲۰ حسگر مغناطیسی بکار برده شده را نشان می دهد. این سیگنال های خام علاوه بر اعوجاج به دلیل حرکت های ناگهانی بین کابل و تجهیز اندازه گیری دارای نویز نیز می باشند. محل عیوب بر روی شکل نشان داده شده است.



شکل ۲- سیگنال خام دریافتی از یکی از حسگرهای مغناطیسی.

وجود این مشکلات باعث می شود که سیگنال های محل عیب بدرستی تشخیص داده نشوند یا برخی دامنه ها به اشتباه به عنوان عیب تلقی گردند. این مشکل زمانی بیشتر نمایان می گردد که تصویر های حاصل از سیگنال های دارای نویز مورد پردازش قرار بگیرد. همانطوری که در شکل ۳ دیده می شود تصویر حاصله از نظر وضوح و کیفیت خیلی پایین بوده و قابلیت شناسایی عیب را پایین می آورد.

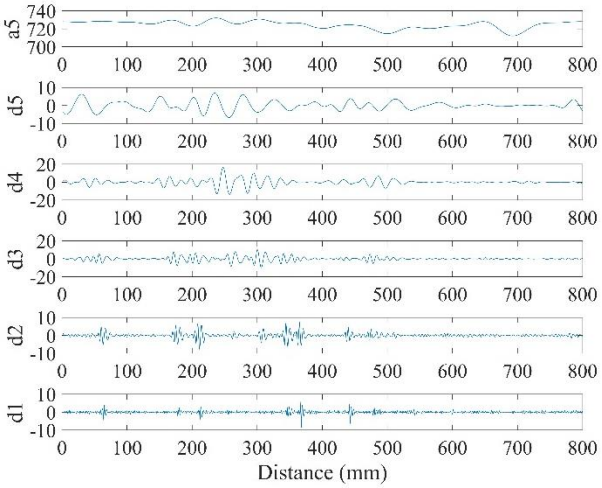


شکل ۳- تصویر حاصله از ۲۰ حسگر مغناطیسی

برای حل این مشکل روش موجک پیشنهاد گردید. ابتدا خانواده موجک دبیشز db10 بر اساس مطالعات قبلی نویسنده در مرجع [۱۱] انتخاب و بر روی تک تک سیگنال های دریافتی بکار برده شد. تعداد سطوح موجک انتخاب شده ۵ سطح بود که در شکل

www.SID.ir

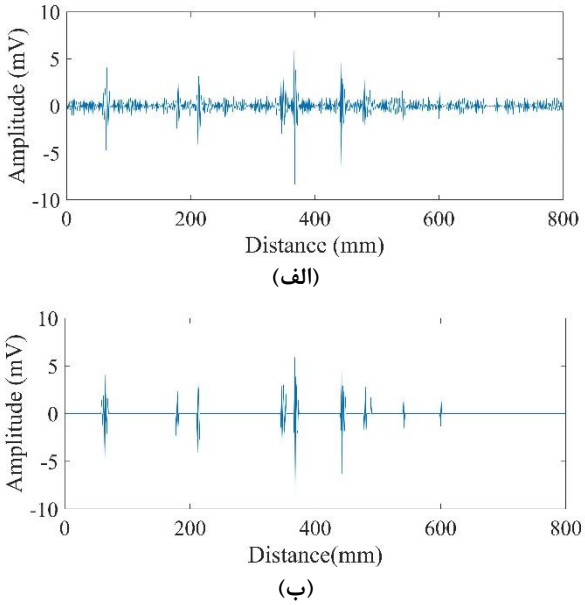
۴ نشان داده شده است. انتخاب تعداد سطوح بر اساس معیار آنتروپی که در مرجع [۱۲] به آن اشاره شده است، صورت پذیرفت.



شکل ۴- تجزیه سیگنال به روش موجک در ۵ سطح

همانطوریکه در شکل ۴ نشان داده شده است سیگنال های اعوجاجی حاصل از حرکت نسبی کابل و تجهیز اندازه گیری به دلیل اینکه از نظر فرکانس دارای فرکانس پایینی بودند لذا در سطوح کلیات موجک یعنی a5 قرار می گیرد و می توان برای حذف آن، بخش کلیات را در بازسازی سیگنال در نظر نگرفت. از طرف دیگر نویز مربوط به مجموعه حسگرهای مغناطیسی نیز باید حذف گردد. برای این امر از معیار حد آستانه نرم[1] Rigorous SURE استفاده می شود. در این روش بر اساس اصل تخمین ریسک مقادیر حد آستانه مشخص و سیگنال خروجی بر این اساس محاسبه و رفع نویز می شود. این معیار برای سطح موجک d1 به دلیلی وضوح سیگنال های عیب بکار برده شده است. از همین سطح d1 برای بازسازی سیگنال بعد از پردازش استفاده می گردد. استفاده از این روش دارای محاسن زیادی می باشد و آن اینکه محل دقیق عیب قابل شناسایی بوده و همچنین اعوجاج و نویز سیگنال نیز حذف گردیده است پس بنابراین تصویر باز سازی شده از نظر وضوح و کیفیت نسبت به سیگنال های خام خیلی بهبود یافته است. کار حاضر نسبت به مرجع [۳] دارای دو تفاوت ویژه می باشد: ۱) در کار حاضر از روش Daubechies wavelets که جز خانواده موجک بوده و سیگنال در حوزه فرکانس تجزیه و مورد تحلیل قرار می گیرد و نوع فیلتر بکار برده شده بر اساس انرژی های سیگنال متمرکز شده در طبقات فرکانسی می باشد و طبقه ای که بیشترین تمرکز انرژی را داشته باشد انتخاب و سیگنال دوباره بازسازی می شود در حالیکه در مرجع [۳] از روش Ensemble Empirical Mode Decomposition(EEMD) برای فیلتر کردن نویز استفاده کرده است که سیگنال در حوزه زمان تجزیه می شود و ممکن است برخی از اطلاعات مهم سیگنال را حین کاهش نویز از بین ببرد. ۲) در مرجع [۳] از حسگرهای GMR استفاده شده است که دارای نویز پایینی هستند ولی در کار حاضر از حسگرهای UGN استفاده شده است که هر حسگر نسبت به حسگرهای دیگر تفاوت نویز زیادی دارند و در اینجا کاهش نویز بیشتر اهمیت پیدا می کند.

شکل ۵ نمونه ای از سیگنال مغناطیسی نشان داده شده در شکل ۱ بعد از پردازش توسط روش موجک در سطح d1 بعد از پردازش را نشان می دهد. همانطوریکه در این شکل مشاهده می شود تغییرات بوجود آمده در سیگنال در اثر حرکت های نسبی و نویزهای محیطی با بهره گیری از روش موجک کاملا حذف گردیده و همچنین سیگنال با کیفیت بهتری را ارائه کرده است.

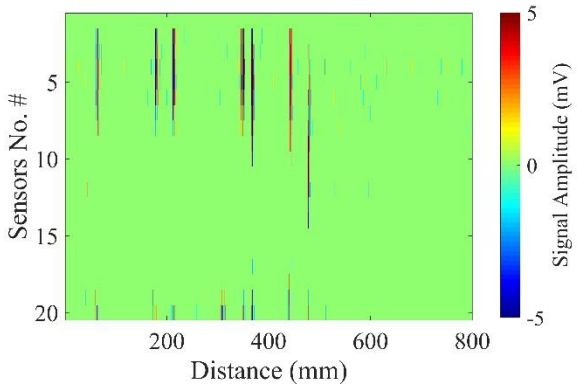


شکل ۵- حذف نویز سیگنال تجزیه شده در سطح d1 به روش حد آستانه، الف) سیگنال خام ب) سیگنال پردازش شده

در شکل ۶ تصویر بوجود آمده از پردازش سیگنال های بیست حسگر با روش موجک نسبت به سیگنال های خام (شکل ۳) مورد مقایسه قرار گرفته است. همانطوریکه در شکل ۶ دیده می شود تقریبا نویزهای پس زمینه حذف گردیده و مکان های عیوب بر روی کابل بطور واضح قابل مشاهده می باشد.

1 Soft Thresholding

www.SID.ir



شکل ۶- تصویر حاصله از سیگنال های سطح d1 بعد از حذف نویز

۵- نتیجه‌گیری

این مقاله با هدف بهبود کیفیت و وضوح تصاویر بدست آمده از روش نشتی شار مغناطیسی انجام گردید. بطور معمول کیفیت سیگنال های بدست آمده از حسگرهای مغناطیسی به دلیل وجود نویز و حرکت های نسبی بین دستگاه و کابل خیلی پایین است که این مساله بر روی تصاویر حاصله از سیگنال های خام تاثیرگذار بوده و وضوح تصویر و محل شناسایی عیوب را دچار اشتباه می کند. لذا از روش پردازش سیگنال موجک برای رفع این مشکل بهره گرفته شد. نتایج بدست آمده گواه بر آن است که این روش توانسته است بخوبی نویزهای اضافی را حذف کرده و محل عیوب را بدرستی نشان دهد. بنابراین روش موجک یکی از ابزارهای مهم برای حذف نویز های محیطی ایجاد شده بر روی حسگرهای مغناطیسی بوده و می تواند در جهت شناسایی عیوب از قدرت پردازش بالاتری برخوردار باشد.

۶- منابع

[1] Sharatchandra Singh, W., Rao, B. P. C., Thirunavukkarasu, S., Jayakumar, T. (2012). Flexible GMR Sensor Array for Magnetic Flux Leakage Testing of Steel Track Ropes. *Sensors*, 2012, Article ID 129074, 6 pages.

[2] Tan, X., Zhang, J., (2018) Evaluation of Composite Wire Ropes Using Unsaturated Magnetic Excitation and Reconstruction Image with Super-Resolution. *J. Appl. Sci.*, 8, 1-17.

[3] Zhang, J., Zheng, P., Tan, X., (2018). Recognition of Broken Wire Rope Based on Remanence using EEMD and Wavelet Methods. *Sensors*, 2018, 18, 1110.

[4] Jiaying, Z., Xiucheng, L., Junwu, X., Zekun, Y., Bin, W., Cunfu, H., (2019). A comparative study between magnetic field distortion and magneticflux leakage techniques for surface defect shape reconstruction in steel plates. *Sensors and Actuators A: Physical*, 288, 10-20.

[5] Yang, L., Wang, Z., Gao, S., Shi, M., Liu, B., (2019). Magnetic flux leakage image classification method for pipeline weld based on optimized convolution kernel. Neurocomputing. (IN PRESS).

[6] Zhang, J., Tan, X., Zheng, P., (2017). Non-Destructive Detection of Wire Rope Discontinuities from Residual Magnetic Field Images Using the Hilbert-Huang Transform and Compressed Sensing. Sensors, 2017, 17, 608.

[7] G. Kaiser, A friendly guid to wavelet. Basel: Birkhauser. 1994.

[8] Daubechies I. Ten lectures on wavelets. Philadelphia, PA: SIAM;1992.

[9] S. Mallat "A wavelet tour of signal processing,". New York: AcademicPress, 1998.

[10] DE. Newland, "Random vibrations, spectral and wavelet analysis.Essex," England: Longman Scientific & Technical, 1993.

[11] Oskouei, A. R., Ahmadi, M., Hajikhani, M., (2009). Wavelet-based acoustic emission characterization of damage mechanism in composite materials under mode I delamination at different interfaces. eXPRESS Polymer Letters, 3, 804-812.

[12] Coifman, R. R., Wickerhauser, M. V. (1992). Entropy-based algorithms for best basis selection. IEEE Transactions on Information Theory, 38, 713–718.

www.SID.ir

Improve the Quality of the Images Obtained by Magnetic Flux Leakage on Wire Ropes Using Wavelet Analysis

Amir Refahi Oskouei[1*], Hossein Haidarym[2], Mohsen Sadri[3]
1- Shahid Rajaee Teacher Training University
2- Tafresh University
3- MAPVA Industrial Group
* amir.refahi@sru.ac.ir

Abstract:
Defects in wire rope steel cables can be mainly due to corrosion, loss of cross-sectional metallic area and breakage of steel wires. These defects reduce the allowable strength of rope and eventually failure of the steel cable due to the stresses caused by the combined loads. This study aimed to identify and detect artificial defects on wire rope by using magnetic flux leakage method. First, a number of specific artificial faults created, which included the failure of cable steel wires. Then, using magnetic flux leakage device, the magnetic signals caused by artificial defects were received by magnetic sensors embedded in the device, and then displayed as a color image after analysis. Since the resolution of the images obtained from the magnetic sensor signals is not very clear, the wavelet analysis method has been applied on raw signals to improve quality of the image. In wavlet analysis signal decomposed into different frequency levels and the threshold criterion is applied to reduce the background noise. Then, from the frequency levels, the signal that best describes the faulty content is choosen and used to reconstruct the image. The results show that using the wavelet analysis method improves image analysis capability as well as image quality of the defect.
Keywords: Magnetic Flux Leakage, Steel Wire Rope, Wavelet Analysis.

www.SID.ir