

ارزیابی خوردگی در لوله‌های انتقال آمونیاک توسط پرتونگاری دیجیتال و موجک مختلط

امیر موافقی^{۱*}، نورالدین محمدزاده^۲، عفت یاحقی^۳، جهانگیر نکوئی^۴، پیمان رستمی^۴ و غلامرضا مرادی^۵

۱ دانشیار، مهندسی هسته‌ای-پرتوپزشکی، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، تهران

۲ مربی، فیزیک، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، تهران

۳ دانشیار، مهندسی هسته‌ای-پرتوپزشکی، گروه فیزیک، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین

۴ کارشناس، شرکت مهندسی پرتو آزمون آذر، تهران

۵ کارشناس، مجتمع پتروشیمی خراسان، بجنورد

* amovafeghi@aeoi.org.ir

چکیده

بازرسی لوله‌های انتقال نفت و گاز و مواد شیمیایی، از مهمترین مشکلات در صنعت انتقال مواد است. عدم تشخیص خوردگی‌ها در این لوله‌ها، منجر به بروز حوادثی می‌شود که خسارات جانی و مالی جبران‌ناپذیری دارد. با توجه به زیر بار بودن این لوله‌ها نیاز به آزمون‌هایی است که بدون هر گونه تخریب بتوان به مقدار و محل خوردگی لوله دست پیدا کرد. یکی از این آزمون‌های غیرمخرب که در این امر استفاده می‌شود، پرتونگاری صنعتی است. در این روش صفحه حساس که اطلاعات را ثبت می‌کند بدور لوله بسته شده و با تابش اشعه ایکس یا گاما به لوله اطلاعات درونی و خوردگی‌های آن روی صفحه حساس ثبت می‌شود. به علت پراکندگی، تصاویر حاصل نیاز به پردازش دارند تا نواحی عیوب و خوردگی در آنها واضح‌تر شود. مفسرین و متخصصین تصاویر پرتونگاری برای تشخیص نواحی عیوب به تصاویری با کیفیت و کنتراست بهتر نیاز دارند. الگوریتم‌های پردازش تصویر می‌توانند در این امر کمک کنند. الگوریتم موجک مختلط تصویر را به مولفه‌های مختلف فاز و دامنه تجزیه کرده و حذف بعضی از این مولفه‌ها می‌تواند بر بهبود کنتراست تصویر موثر باشد. در این تحقیق از روش موجک مختلط برای حذف زمینه و وضوح تصاویر استفاده شده است. نتایج حاصل نشان می‌دهد که این روش کارایی قابل قبولی در بهبود کنتراست تصاویر پرتونگاری در نواحی خوردگی لوله‌های حاوی آمونیاک داشته و ارزیابی متخصصین پرتونگاری صنعتی نیز بهبود تصاویر را با درصد بالایی تأیید می‌کند.

واژگان کلیدی: پرتونگاری صنعتی، روش موجک مختلط، خوردگی، لوله‌های آمونیاک

۱- مقدمه

در صد و پنجاه سال اخیر اختراعات و ابداعات صنعتی پیشرفت چشمگیری داشته و با پیشرفت و گسترش آن‌ها زندگی بشر دستخوش دگرگونی شده است. یکی از مباحث علمی، فنی و اقتصادی که کمتر از یکصد سال است توجه عده‌ای از دانشمندان را به خود جلب نموده و مطالعات زیادی روی آن انجام گرفته موضوع خوردگی فلزات است. بطور عمده زنگ زدن و ترکیب شیمیایی آهن و فولاد از مهمترین شکل‌های خوردگی هستند، هر چند خوردگی در مورد فلزات دیگر و مواد غیر فلزی نظیر پلاستیک، بتون و سرامیک و غیره نیز دیده می‌شود اما با توجه به نقش آهن و فولاد در صنایع و تجهیزات کارخانجات و نیز نقش آن صنایع نفت و گاز پتروشیمی این مسئله در مورد آهن و فولاد از اهمیت بسیاری برخوردار است.

امروزه مسائل خوردگی در فلزات در ابعاد وسیعی مورد توجه قرار گرفته است چرا که اصولاً اغلب فلزات در طبیعت به صورت سنگ معدن - لیمونیت و گوتیت - و به حالت ترکیب یافت می‌شوند. لذا کاربرد آن‌ها مشمول فراگیری‌های متعدد و در عین حال دشوار و پر هزینه و زمان است و سرمایه کلانی را در این خصوص می‌طلبد. خسارات ناشی از خوردگی یک واقعیت اجتناب‌ناپذیر در زندگی ماشینی امروزی است و در همه جا از فضا گرفته تا روی خاک، زیر خاک و در دریاها، تاسیسات و ابزار آلات ساخته دست بشر را مورد تهدید قرار می‌دهد. درجه حرارت، اختلاف پتانسیل عملیات حرارتی، شرایط سطحی، ناخالصی‌های محیطی و... روی خوردگی تأثیر دارند. یکی از مهمترین مسائل در صنعت انتقال مواد شیمیایی، خوردگی لوله‌هاست که عدم بررسی به موقع آن باعث خسارات جانی و مالی جبران‌ناپذیری خواهد شد. در

متعامد در فضای دو بعدی داشته باشیم و بر خلاف فوریه می‌تواند در حوزه زمان و فرکانس، محلی گردد و اطلاعات محلی دقیقی از سیگنال را استخراج نماید [۹-۶]. در نتیجه، استفاده از تبدیل موجک در کاربردهایی که سیگنال دارای مشخصات غیر ایستا با مولفه‌های فرکانس بالا هستند (مثل داشتن جهش و یا قله درسیگنال) بسیار مناسب‌تر از فوریه عمل می‌کند. تئوری تبدیل موجک در چند سال اخیر بسیار توسعه یافته و هم اکنون دارای کاربردهای فراوانی در زمینه‌های مختلف است. تبدیل موجک گسسته را می‌توان بر روی سیگنال‌های دو بعدی همچون تصویر اعمال کرد. تبدیل موجک گسسته از ساختار چندتجزیه‌ای استفاده می‌کند که در آن یک سیگنال با استفاده از یک مجموعه صافی برای چندین بار تجزیه می‌شود. دو صافی یکی بالا گذر و دیگری پایین گذر مورد استفاده قرار می‌گیرد. اگر ورودی تصویر باشد در ابتدا عملیات عبور از صافی به صورت افقی انجام شده و در مرحله بعد عملیات عبور از صافی به صورت عمودی روی سیگنال اعمال می‌شود. حساس بودن نسبت به تغییر مکان و تعداد محدود جهت انتخابی تبدیل موجک گسسته، دو مشکل اصلی این الگوریتم هستند. به این دلایل مدلی از تبدیل موجک گسسته تحت عنوان تبدیل درخت دوتایی تبدیل موجک مختلط مطرح شده است. این تبدیل تقریباً تغییر ناپذیر با جابجایی است و همچنین دارای تعداد جهت‌های بیشتری است [۹-۸]. تبدیل موجک گسسته یک بعدی، برای سیگنال ورودی $x(t)$ برای توابع موجک ϕ و مقیاس ψ چنین است:

(۱)

$$x(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} c(n)\phi(t-n) + \sum_{j=0}^{\infty} \sum_{n=-\infty}^{\infty} d(j,n)2^{\frac{j}{2}}\phi\left(2^{\frac{j}{2}}t-n\right)$$

که در آن $d(j,n)$ ضرایب مقیاس و $c(n)$ ضرایب موجک هستند که با روابط مشخصی محاسبه می‌شوند. در تبدیل موجک مختلط، تابع موجک و مقیاس به شکل مختلط در نظر گرفته می‌شوند (شکل ۱).

(۲)

$$\begin{aligned}\psi_c(t) &= \psi_r(t) + j\psi_i(t) \\ \phi_c(t) &= \phi_r(t) + j\phi_i(t)\end{aligned}$$

حالتی که نیاز به بررسی لوله‌های تحت بار باشد کار دشوارتر خواهد شد چون زمانی که سیستم در حال کار است و مواد شیمیایی در داخل لوله‌ها جریان دارد و ارزیابی لوله‌ها مشکل‌تر است [۳-۱].

برای بررسی خوردگی لوله‌های انتقال، روش‌های فیزیکی و شیمیایی وجود دارد. یکی از این روش‌های پر کاربرد و غیرمخرب، پرتونگاری صنعتی است. در این روش از اشعه گاما و یا ایکس برای بررسی خوردگی فلزات استفاده می‌شود. عبور اشعه از ماده با ضریب تضعیف آن متناسب است [۵-۴]. با آشکارسازی اشعه عبوری روی فیلم در پرتونگاری سنتی و صفحات فسفری در پرتونگاری دیجیتال تصاویر خوردگی درون لوله‌ها مشخص می‌گردد. بعلت وجود سیال در داخل لوله‌ها، شرایط خاص پرتونگاری در ارتفاع، وجود اجسام بزرگ و تجهیزات غیر قابل انتقال، تصاویر پرتونگاری دارای نویز می‌باشد. حذف این نویز و افزایش کنتراست تصاویر می‌تواند در شناسایی بهتر خوردگی لوله‌ها کمک کند. برای بهبود کیفیت تصاویر از روش‌های پردازش تصویر می‌توان استفاده کرد. این روش‌ها هر کدام بر مبنای اصول ریاضی استوار هستند و ویژگی‌هایی از تصویر را مشخص می‌کنند. تبدیل موجک یکی از کارآمدترین روش‌های ریاضی است که برای بهبود تصاویر بکارگرفته می‌شود. این الگوریتم انواع مختلفی مانند موجک گسسته، موجک منحنی و موجک مختلط، دارد. این تبدیل تصاویر را به زیرباندهایی تقسیم می‌کند که هر کدام از آنها جزئیات مختلفی از تصویر را دارد و برای بازسازی، فشرده‌سازی، حذف نویز و لبه‌یابی می‌توان از آنها استفاده کرد [۷-۵]. در این تحقیق از تبدیل موجک مختلط برای بهبود کیفیت تصاویر رادیوگرافی لوله‌های آمونیاک تحت بار استفاده شده است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- موجک مختلط

تبدیل موجک یکی از پرکاربردترین تبدیلات ریاضی در حوزه پردازشی و به ویژه پردازش سیگنال و تصویر است. با توجه به ماهیت تجزیه و تحلیل بر اساس قدرت تفکیک، این تبدیل جای خود را در بسیاری از کاربردهای پردازشی باز کرده است. تئوری تبدیل موجک می‌تواند جایگزینی بسیار مناسب برای تئوری فوریه در بسیاری از کاربردها باشد. موجک این امکان را فراهم می‌آورد که پایه‌های

و برای پرتونگاری از صفحات CR استفاده شده است. تصاویر دیجیتال شده با فرمت TIFF درون کامپیوتر ذخیره شده و نرم افزار استفاده شده برای انجام پردازش‌های بعدی بر روی این تصاویر، نرم افزار متلب (MATLAB ۲۰۱۳) بوده است.

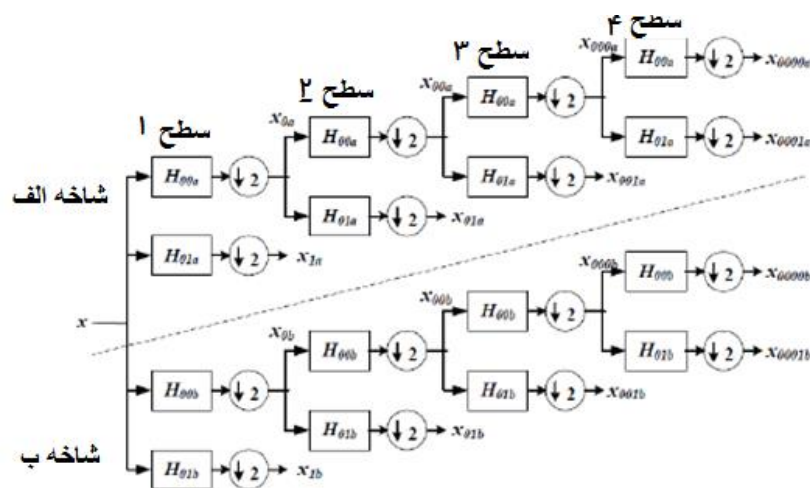
در کلیه آزمایش‌های پرتونگاری شامل انجام پرتونگاری استانداردهای مربوطه سری ISO، ASTM و ASME در نظر گرفته شده تا کلیه آزمایش‌ها و نتایج حاصله تکرارپذیر باشند و نتایج یکسانی را حاصل کنند. در کلیه آزمایش‌های پرتونگاری، ایمنی و حفاظت در برابر اشعه مطابق با قانون حفاظت در برابر اشعه کشور و استاندارد ملی شماره ۷۷۵۱ (که توسط سازمان انرژی اتمی ایران مطابق استانداردهای جهانی مصوب شده است) رعایت شده است [۱۱، ۱۰].

در تصاویر پرتونگاری عیب‌های جوش بر روی زمینه تصویر قرار گرفته‌اند. این عیب‌های جوش نسبت به زمینه تصویر، دارای شدت متفاوتی هستند، در چنین تصاویری، شدت به عنوان ویژگی تمیز دهنده برای استخراج عیب‌ها از زمینه تصویر به کار می‌رود. همچنین تصاویر تهیه شده پرتونگاری صنعتی دارای نویز زمینه ناشی از پراکندگی فوتونی هستند و کنتراست و وضوح کافی را ندارند و لازم است روش‌های پردازش تصویر برای اصلاح مقادیر پیکسل‌های تصویر دیجیتال شده بکار رود. پردازش‌هایی بر اساس مشخصات زمانی-فرکانسی تصویر می‌تواند در آشکارسازی عیوب مفید باشد.

در شکل ۱ تولید شاخه الف ضرایب حقیقی و شاخه ب ضرایب موهومی نشان داده شده است. با گذر مولفه‌های X از صافی‌های پایین گذر H برای ۴ مرحله، ضرایب محاسبه شده‌اند. اندیس‌ها نشان دهنده سطح ضرایب هستند. در تبدیل موجک مختلط نوسانات، تغییرات نسبت به جابجایی، دنداندار شدن تصاویر و جهت دار بودن ناکافی وجود دارند که در توابع مختلط این اشکالات تا حدودی رفع می‌گردد. انتخاب مقدار آستانه براساس تخمین و با مینیمم کردن مقدار خطا مقدار انجام می‌شود. جهت حذف نویز، مراحل زیر بر روی سیگنال اندازه‌گیری شده اعمال می‌شود: ابتدا سیگنال ورودی فیلتر شده و مجموعه ضرایب در هر سطح محاسبه می‌گردند. با استفاده از سطح آستانه مشخص شده، ضرایب کوچک حذف شده و در انتها، تابع موجک معکوس بر روی ضرایب موجک و مقیاس‌ها اعمال می‌شود. مجموع تمام مولفه‌های جزءها و تقریب‌های تخمین زده شده، سیگنال بدون نویز را به دست می‌دهد.

۲-۲- پرتونگاری

در پرتونگاری این لوله‌های انتقال، ولتاژ مورد استفاده ۲۷۰ kV، جریان ۵ mA و زمان پرتودهی ۲۰ دقیقه بوده است. این تصاویر در ارتفاع حدود پنجاه متری از سطح زمین برای لوله‌های زیر بار آمونیاک تهیه شده است. قطر لوله‌ها حدود ۸ تا ۱۰ اینچ بوده است. دستگاه پرتونگاری در حدود یک متری لوله‌های عایق بندی شده قرار گرفته



شکل (۱): ساختار درخت دوتایی تبدیل موجک مختلط یک بعدی در ۴ سطح [۸].

جدول (۱) درصد بهبود کنتراست و وضوح عیب

نوع عیب	تعداد	تصویر اصلی	تصویر بازسازی شده
حفره	۱۵	٪۷۰	٪۱۰۰
ترک	۲	٪۸۰	٪۱۰۰
تخلخل	۳	٪۸۰	٪۹۰
سایر عیوب	۷	٪۵۰	٪۷۰

۳- نتایج و بحث

در این تحقیق برای بهبود آشکارسازی عیوب پرتونگاری لوله‌های آمونیاک تحت بار، از تبدیل موجک مختلط استفاده شده است. تصاویر پرتونگاری حاوی عیوب تخلخل و حفره هستند که مطابق بخش ۲-۲ تهیه شده‌اند. نمونه‌ای از این تصاویر که پالایشگاه خراسان از لوله‌های تحت بار حاوی آمونیاک تهیه شده، در شکل ۲ نشان داده شده است. در شکل دیده می‌شود تصاویر به علت پراکندگی‌های زیاد پرتو ایکس مات و کدر هستند و نواحی عیب در آن‌ها مشخص نیست. برای وضوح تصویر از الگوریتم موجک مختلط استفاده شد. ابتدا اطلاعات فاز و دامنه تصاویر پرتونگاری در چهار سطح بدست آمده و سپس با اعمال سطح آستانه مولفه‌های کوچک آنها حذف شده و اعمال با عکس تبدیل موجک مختلط روی مولفه‌های تصحیح شده، تصاویر بازسازی شده بدست آمده‌اند.



شکل (۲): تصویر پرتونگاری اصلی

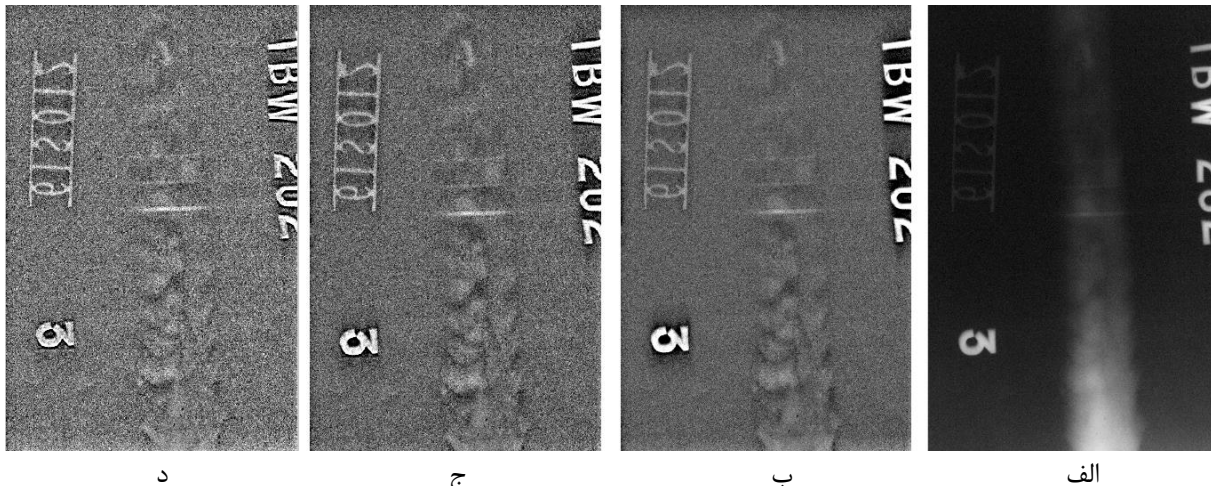
از مهمترین مشکلات اجرای الگوریتم تبدیل موجک مختلط برای از بین بردن نویز، تعیین مقدار آستانه است.

نویز تصاویر پرتونگاری بر اثر عوامل مختلفی مانند پراکندگی اشعه ایکس و نویز حاصل از دستگاه‌های الکترونیکی است تعیین میزان آن براحتی امکان پذیر نیست و به شرایط آزمایش بستگی دارد. با توجه به اینکه مقدار آستانه برای الگوریتم تبدیل موجک مختلط بستگی به مقدار نویز دارد؛ بنابر این لازم شد که تغییرات سطح آستانه بر روی تصاویر پرتونگاری مختلف بررسی شود. برای مقادیر مختلف سطوح آستانه الگوریتم موجک بر روی تصاویر مختلف پرتونگاری جوش اجرا شد. در شکل ۳ نتایج حاصل از تغییرات سطح آستانه در بازه ۱۰ تا ۵۰ برای پرتونگاره جوش نشان داده شده است. با توجه به شکل دیده می‌شود که تغییر سطح آستانه، در تغییر کنتراست تصویر اثر دارد. همچنین نتیجه حاصل از بررسی روی تصاویر مختلف نشان داد که نویز تصاویر یکسان نیست و سطح آستانه واحد برای همه تصاویر نمی‌توان در نظر گرفت. در نهایت با توجه به رابطه $thr=2\log(\text{length}(I))$ [8] که در آن I تصویر حاوی نویز است، مقدار آستانه با توجه به تصویر محاسبه شده است. در شکل ۴ تصویر بازسازی شده شکل ۱ با توجه به این سطح آستانه بدست آمده است. در شکل دیده می‌شود که نواحی خوردگی و جوش روی شکل کاملاً مشخص شده‌اند که در شکل ۱ این نواحی بسختی قابل تشخیص بوده‌اند. برای ارزیابی از روش انسانی استفاده شد که در آن حدود ۲۷ ناحیه از عیوب در تصاویر پرتونگاری اصلی و تصویر بازسازی شده، به ۷ فرد که در پرتونگاری صنعتی مهارت دارند نشان داده و نظرات آنها در خصوص بهبود کنتراست و واضح شدن ناحیه عیب بررسی شد. جمع آوری نظرات آنها در مورد تصاویر بازسازی شده نشان می‌دهد که همه آنها بهتر شدن کنتراست در تصاویر بازسازی شده و در عین حال واضح تر شدن ناحیه عیب را تأیید می‌کنند.

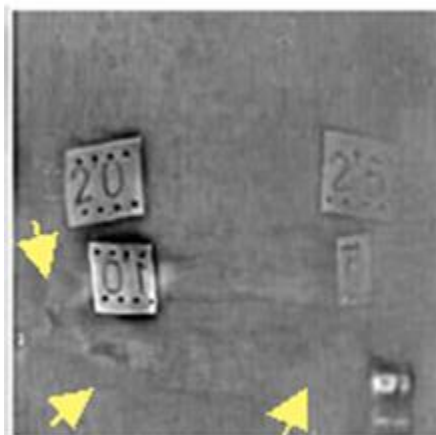
۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق، الگوریتم تبدیل موجک مختلط برای بهبود کنتراست در تصاویر پرتونگاری صنعتی از لوله‌های آمونیاک تحت بار به منظور تشخیص خوردگی، استفاده شده است. ابتدا ضرایب حقیقی و موهومی تصویر با تبدیل موجک در ۴ سطح محاسبه شده و سپس با اعمال سطح آستانه به آنها، نویز تصویر حذف شده است. تصویر نهایی

با ضرایب تصحیح شده در موجک مختلط با توجه به سطح آستانه، بازسازی شده است. برای ارزیابی از نظرات افراد متخصص در زمینه پرتونگاری صنعتی استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهند این الگوریتم در بهبود کنتراست تصاویر و واضح کردن نواحی عیوب خوردگی موثر است و متخصصان پرتونگاری وضوح نواحی عیوب را با درصد بالایی تأیید می‌کنند.



شکل (۳): الف تصویر پرتونگاری اصلی و تصویر بازسازی شده با سطح آستانه ب- ۵۰ ج- ۲۰ و د- ۱۰



شکل (۴): تصویر بازسازی شده شکل ۱

۵- منابع

- Journal of The British Institute of Non-Destructive Testing, 46, 7, 396-398.
- [5] ASME, (2004) Digital image acquisition, display, interpretation and storage of radiographs for nuclear applications. ASME Boiler and pressure vessel code and standard, Section 5, Article 2, Appendix 6, American Society of Mechanical Engineering.
- [6] Zhang, D., Kong, A., You, J., Wong, M. (2003). Online palmprint identification, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 25, 9, 1041-1050.

- [۱] اسکالی، جان.س. (۱۳۶۵) مبانی خوردگی. ترجمه دکتر رضا آلانی - چاپ اول تهران: مرکز نشر دانشگاهی.
- [۲] اسکوگ، و. (۱۳۷۱) مبانی شیمی تجزیه. جلد ۲، ترجمه عبدالرضا لاجقه، مرکز نشر دانشگاهی.
- [۳] شیخ‌زاده دونانی، ب. (۱۳۷۱) خوردگی. شرکت ملی گاز ایران.
- [4] Edalati, K., Rastkhah, N., Kermani, A., Seiedi, M., Movafeghi, A. (2004). In-service corrosion evaluation in pipelines using gamma radiography - a numerical approach. Insight the

- [9] Liao, S., Zhu, X., Lei, Z., Zhang, L., Li, S. (2007). Learning multi-scale block local binary patterns for face recognition. International Conference on Biometrics, 828-837.
- [۱۰] سازمان انرژی اتمی ایران، ۱۳۸۰. استانداردهای پایه حفاظت در برابر اشعه، معاونت نظام ایمنی هسته‌های کشور.
- [۱۱] موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۸۳. حفاظت در برابر پرتوهای یون‌ساز و ایمنی منابع پرتو- استانداردهای پایه، استانداردهای ملی ایران، استاندارد شماره ۷۷۵۱.
- [7] Caio, F.F., Cunha, C., André, T., Petraglia, C., M. R., Lima A., C.S. (2015). A new wavelet selection method for partial discharge denoising. Electric Power Systems Research, 125, 184–195.
- [8] Naderi, M. S., Gharehpetian, G. B., Abedi, M., Blackburn, T. R. (2006). Soft-Threshold Wavelet De-Noiseing Technique Application for a Single Arc Discharge Across a Static Gap. Proc. of 8th Int. Conf. on Properties and Application of Dielectric Materials, 1, 44–47.

Evaluation of corrosion in ammonia transfer tubes by digital radiography and image processing

Amir Movafeghi^{1*}, Nooredin Mohammadzadeh¹, Effat Yahaghi², Jahangir Nekouei³, Peyman Rostami³, Gholamreza Moradi⁴

Nuclear Science and Technology Research Institute, Tehran, Iran

Department of Physics, Faculty of Science, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran

Parto Azmoon Azar Engineering Co., Tehran, Iran

Khorasan Petrochemical Co., Bojnourd, Iran

* amovafeghi@aeoi.org.ir

Abstract

Inspection of oil and gas and chemical materials pipelines is one of the most important problems in the material transfer industry. Lack of corrosion detection in these pipes causes irreparable human and financial accidents. Due to the under loading of these pipes, kind of tests are needed that can be achieved to location of corrosion without any damage to the tube. One of these destructive tests is industrial radiography, which is used in this case. In this method, the sensitive plate is closed around the tube and transmitted X-rays or gamma-ray and the location of corrosion are recorded the sensitive plate. Due to the scattering, the resulted images need to be processed in order to clear the areas of defect and corrosion regions. Interpreter and radiographers need images with better quality and contrast to detect areas of defects. Image processing algorithms can help. The complex wavelet algorithm, using image decomposition into various phase and domain components and removing some of these components, can be effective in improving image contrast. In this research, the complex wavelet method was used to remove the background and clarity of images. The results show that this method has acceptable performance in improving the contrast of radiographic images in corrosion areas of ammonia tubes. And the evaluation of industrial radiography also confirms the improvement of images with a high percentage.

Keywords: Industrial Radiography, Complex Wavelet Method, Corrosion, Ammonia Tubes