

استفاده از الگوریتم میانگین غیرمحلّی و پرتونگاری برای آشکارسازی عیوب قطعات هواپیما

پویان شایگان فرد^۱، عفت یاحقی*^۲، امیر موافقی^۳

۱. دانشجوی کارشناسی کامپیوتر، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)

۲. دانشیار گروه فیزیک، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)

۳. دانشیار پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای

*yahaghi@sci.ikiu.ac.ir

چکیده

تنش‌های فیزیکی در قطعات معیوب هواپیما باعث شکستگی و خسارت می‌شوند. تشخیص دقیق عیب‌های داخلی توسط آزمون پرتونگاری امکان پذیر است. تعیین مکان عیوب توسط شخص پرتوکار، به دقت و مهارت و کیفیت رادیوگراف‌ها بستگی دارد. بسیاری از تصاویر تهیه شده با روش پرتونگاری صنعتی واضح نیستند و تشخیص دقیق عیوب آن‌ها مشکل است؛ در نتیجه نیاز به روش‌هایی است که به کمک آن‌ها بتوان این عیب‌ها را دقیق‌تر بررسی کرد. تصاویر پرتونگاری یا پرتونگاره‌ها به علت پراکندگی ذاتی اشعه ایکس قدری مات شدگی دارند. در این مطالعه با استفاده از روش صافی میانگین غیرمحلّی که مبتنی بر تشخیص پیکسل‌های مشابه در یک همسایگی است، برای تشخیص نواحی خوردگی استفاده شده است. در این روش تصویر به پنجره‌های کوچکتر تقسیم شده و الگوریتم پیکسل‌یابی روی این قسمت‌ها انجام می‌شود. در این روش داشتن انحراف معیار نویز اولیه برای پیاده‌سازی الگوریتم مهم است. نتایج نشان می‌دهد با توجه به نداشتن مقدار تابع نویز تصاویر پرتونگاری، روش حذف زمینه برای اجرای این الگوریتم مناسب‌تر است. در این تحقیق، با در نظر گرفتن مقدار زیادی برای انحراف معیار نویز فرضی، تصویر زمینه بدست آمده و از تصویر اولیه پرتونگاری کم شده است. تصویر بازسازی شده دارای لبه‌های تیزی است که نواحی خوردگی را با وضوح بیشتر مشخص می‌کند. ارزیابی نتایج توسط کارشناسان پرتونگاری نشان می‌دهد که از نظر آن‌ها این روش کارایی لازم برای آشکارسازی عیوب را دارد.

واژگان کلیدی: الگوریتم‌های میانگین محلّی، پرتونگاری، آشکارسازی عیوب، قطعات هواپیما

۱- مقدمه

بازگشت الکترون‌ها در تله‌های مصنوعی ماده گیر افتاده و با تاباندن اشعه لیزر به صفحات، نور مرئی ساطع شده می‌تواند تصویر پرتونگاری را ایجاد نماید. این روش به روش پرتونگاری محاسباتی (کامپیوتری) یا CR^۱ مشهور است. در روش دیجیتال پرتونگاری مستقیم یا پرتونگاری رقمی DR^۲ هنگام استفاده از آشکارساز نیمه هادی اشعه ایکس جفت الکترون -حفره در نیمه هادی آشکارساز تولید کرده و بر اثر میدان خارجی این بارها جمع آوری شده و تصویر ایجاد می‌شود [۲]. در فن آوری سلنیوم از آمورف سلنیوم برای پوشاندن صفحه آشکارساز و تبدیل مستقیم انرژی اشعه X به بار الکتریکی استفاده می‌شود. سلنیوم به وسیله ولتاژ الکتریکی اعمال شده دارای ناحیه تخلیه‌ای می‌شود، فرود اشعه X سبب تولید بارها در حجم حساس و جمع آوری آن‌ها توسط ولتاژ می‌شود. در این روش فوتونهای

در صنایع هوایی قطعات معمولاً تحت فشار و تنش بالا هستند و کوچکترین عیب به علت شرایط فیزیکی موجود، می‌تواند به شکستگی قطعه و حوادث مالی و جانی جبران ناپذیر ختم شود. برای عیب‌یابی قطعات و جلوگیری از حوادث مختلف از آزمون‌های مختلف مانند آزمون فراصوتی و پرتونگاری استفاده می‌شود. این آزمون‌ها به عنوان آزمون غیرمخرب در شناسایی عیوب و خوردگی قطعات به کار می‌روند. در آزمون پرتونگاری قطعات تحت تابش اشعه ایکس قرار گرفته و تصویر حاصل از اشعه‌های عبوری روی فیلم و یا آشکارساز مناسب ثبت می‌شود [۱-۲]. آشکارساز می‌تواند صفحات فسفری (IP) و یا آرایه‌ای از نیمه هادی‌ها باشد. در صفحات فسفری بعد از تابیدن اشعه، الکترون‌های باند ظرفیت تحریک شده و به باند هدایت می‌روند، هنگام

² Direct Radiography

¹ Computer Radiography

گروه دیگر از حوزه مکانی، صافی‌های همسایگی هستند که با عمل متوسط‌گیری محلی نویز را حذف می‌کنند. در صافی میانگین غیرمحملی از صافی‌های همسایگی استفاده می‌شود. در این روش تشابه پیکسل‌ها در یک همسایگی مشخص سنجیده می‌شود. این صافی دارای یک الگوریتم تکراری است و تکرار زیاد آن باعث بهبود کیفیت تصویر نهایی شده ولی زمان اجرا بالا می‌رود [۷-۱۰].

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- آزمون پرتونگاری

در این روش چند قطعه آسیب دیده هواپیما انتخاب شده‌اند تا عیوب داخلی آن‌ها بوسیله آزمون پرتونگاری بررسی شود. نمونه این قطعات در شکل ۱ نشان داده شده است. این قطعه قسمتی از بال هواپیما است که دچار آسیب شده است. در رادیوگرافی این قطعات ولتاژ مورد استفاده ۶۰ kV تا ۱۲۰ kV، جریان ۱/۵ mA تا ۶ mA و زمان پرتودهی ۳ دقیقه است. آشکارساز مورد نظر صفحات IP است که بعد از پرتودهی با اسکنر لیزری مخصوص با رزولوشن ۵۰ میکرون اسکن شده و اطلاعات آن بصورت دیجیتال ذخیره می‌شود. تصاویر دیجیتال شده با فرمت TIFF درون کامپیوتر ذخیره می‌شوند. نرم افزار استفاده شده برای انجام پردازش‌های بعدی بر روی این تصاویر، نرم افزار مطلب (MATLAB ۲۰۱۰) است.

در کلیه آزمایش‌های رادیوگرافی شامل انجام رادیوگرافی، ظهور و ثبوت فیلم، تفسیر فیلم، دیجیتایز کردن فیلم استانداردهای مربوطه سری-ISO 17636-1, 2 and ISO-14096-1, 2, 5, ISO-19232-1 در نظر گرفته می‌شود تا کلیه آزمایش‌ها و نتایج حاصله تکرارپذیر باشند و نتایج یکسانی را حاصل کنند. در کلیه آزمایش‌های رادیوگرافی، ایمنی و حفاظت در برابر اشعه مطابق با استاندارد ملی شماره ۷۷۵۱ (که توسط سازمان انرژی اتمی ایران مطابق استانداردهای جهانی مصوب شده است) باید رعایت گردد [۱۱-۱۶].

۲-۲- روش میانگین غیرمحملی

روش میانگین محلی بر اساس مشابه‌یابی پیکسل‌های درون یک پنجره عمل می‌کند؛ در این روش یک پنجره حول

ایکس و یا گاما بطور مستقیم تبدیل به بار الکتریکی و سپس تصویر می‌شوند

در روش غیر مستقیم این گیرنده‌های صفحه‌ای از فیلم‌های نازک سیلیکون تلفیق شده با آرایشی از فتودیودهای با آمورف سیلیکونی که با آشکار ساز سوسوزن ترکیب شده‌اند، استفاده می‌شود. در این حالت از کریستال‌های سوسوزن مانند یدور سزیم برای سوسوزنی استفاده می‌شود. از برهم کنش اشعه X با یدور سزیم نور تولید می‌کند. مقدار و شدت نور تولیدی بستگی به انرژی و شدت اشعه X دارد. نور تولیدی توسط فوتو دیودها به الکترون تبدیل و توسط تقویت کننده‌های مخصوص تقویت شده و تصویر را بوجود می‌آورند. اشعه ایکس در داخل قطعه بر هم کنش‌های مختلفی انجام می‌دهد که به عدد اتمی مواد و انرژی تابشی بستگی دارد. برای رنج انرژی ایکس مورد استفاده در پرتونگاری، برهم کنش‌های غالب فوتو الکتریک و کامپتون است. که به عدد اتمی ماده جاذب، انرژی پرتو و دانسیته ماده جاذب وابسته می‌باشد. به علت وقوع پدیده کامپتون که منشا پراکندگی پرتوهاست، تصاویر پرتونگاری حاصل مه گرفتگی دارند و لازم است برای شفاف شدن پردازش شوند [۱].

برای ازبین بردن مات شدگی روش‌های مختلف پردازش تصویر می‌تواند بکار گرفته شود. ولی هدف از حذف مات شدگی افزایش وضوح تصویر و حفظ جزئیات آن است. بطور کل این الگوریتم‌ها در دو حوزه تبدیل و مکانی عمل می‌کنند. برای مثال تبدیل موجک یک حوزه تبدیل بر اساس تابع موجک است که تصاویر و یا سیگنال را به مولفه‌های مختلف تجزیه می‌کند. برای حذف نویز در این تبدیل‌ها از آستانه‌گذاری سخت و نرم استفاده می‌شود و در آن‌ها بعضی از مولفه‌های تصویر حذف می‌شود. اگر پیاده‌سازی و حذف مولفه‌ها بطور مطلوب انجام نشود اطلاعات مهم تصویر از بین خواهد رفت. در حوزه مکان صافی‌های گوسی می‌توانند موثر عمل کنند ولی نواحی لبه‌ها را به شدت تضعیف می‌کنند. صافی‌های همگن انتشاری^۲، گرادیان چند جهته و ماشین بردار پشتیبانی^۴ از جمله این روش‌ها هستند [۳-۶].

⁴ Support vector machines

³ Isotropic Diffusion Filter

$$d^2(B(p), B(q)) = \sum_{i=1}^3 \sum_{j \in B} (u_i(p+j) - u(q+j))^2 \quad (4)$$

هسته یا کرنل نمایی برای $w(p; q)$ می‌تواند چنین تعریف شود:

$$w(p; q) = \exp\left(-\frac{\max(d^2 - 2\sigma^2, 0)}{h^2}\right) \quad (5)$$

در این رابطه σ انحراف معیار نویز و عاملی از فیلتر است که به مقدار انحراف معیار نویز وابسته است. در این الگوریتم تکه‌های تصویر با مقادیر کوچکتر از $2\sigma^2$ به یک و با مقادیر بزرگتر بصورت نمایی کاهش می‌یابند. در این الگوریتم مقدار $h = k\sigma$ در نظر گرفته می‌شود. تغییرات k روی شیب تابع نمایی و طول صافی تاثیر دارد. برای k بزرگ تابع نمایی شیب بیشتری خواهد داشت و تغییرات تصویر یکنواخت تر و تصویر مات تر خواهد شد. در جدول ۱ محدوده انحراف معیار نویز، تعداد پیکسل هر پنجره، تعداد پیکسل های همسایگی و ضریب k [۳، ۵] نشان داده شده است. باید در نظر داشت که در این تحقیق مقدار نویز تصاویر پرتونگاری مشخص نیست و به عوامل مختلفی بستگی دارد و یک تابع ریاضی نمی‌توان برای آن در نظر گرفت.

پیکسل p و q تعریف می‌شود که پیکسل وسط آن در نظر گرفته می‌شود. ابعاد پنجره متناسب با طول تصویر است. در این پنجره مقدار میانگین غیرمحملی برای تصویر u چنین محاسبه می‌شود:

$$NLu(p) = \frac{1}{C(p)} \int f(d(B(p), B(q)))u(q)dq \quad (1)$$

که در آن $d(B(p); B(q))$ فاصله اقلیدسی بین پیکسل‌ها حول نقطه p در محدوده تغییرات q است. f تابع کاهش و $C(p)$ عامل نرمالیزه است. \hat{u} که بازسازی شده تصویر u است که چنین محاسبه می‌شود:

$$\hat{u} = \frac{1}{C(p)} \sum_{q \in B(q,r)} u(q)w(p, q) \quad (2)$$

و $C(p)$ چنین تعریف می‌شود:

$$C(p) = \sum_{q \in B(q,r)} w(p, q) \quad (3)$$

$B(p; r)$ همسایگی حول p در محدوده r را نشان می‌دهد که اندازه همسایگی مربعی با اندازه $2r+1$ متناسب است. تعیین این مقدار اندازه‌گیری در زمان محاسبات تاثیر زیادی دارد. معمولاً پنجره‌های 21 در 21 تا 35 در 35 برای اینکار توصیه شده است. مقدار فاصله اقلیدسی در تصویر چنین محاسبه می‌شود.

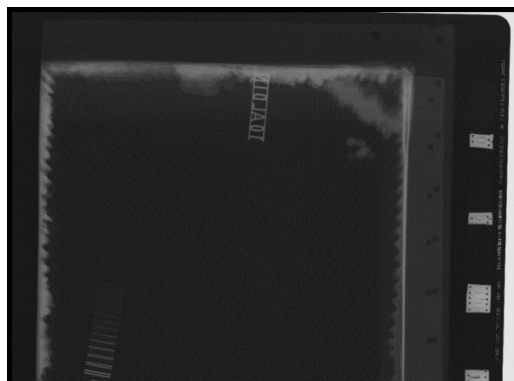
جدول (۱): محدوده انحراف معیار نویز، تعداد پیکسل هر پنجره، تعداد پیکسل های همسایگی و ضریب k [۷، ۸].

انحراف معیار نویز	پیکسل‌های همسایگی	پیکسل هر پنجره	k
$0 < \sigma \leq 15$	3×3	21×21	0.40σ
$15 < \sigma \leq 30$	5×5	21×21	0.40σ
$30 < \sigma \leq 45$	7×7	35×35	0.35σ
$45 < \sigma \leq 75$	9×9	35×35	0.35σ
$75 < \sigma \leq 100$	11×11	35×35	0.30σ

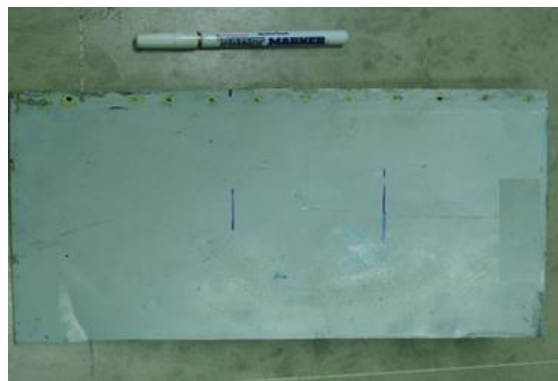
مقدار k مشخص شود. در این مطالعه، ابتدا تصاویر پرتونگاری از قطعات هواپیما مطابق بخش ۲-۱ تهیه شد. در شکل ۱ تصویر یک قطعه از قسمتی از بال هواپیمای مسافربری است که پرتونگاری آن در شکل ۲ نشان داده شده است. این تصویر با فاصله 155 سانتی متری فیلم از چشمه، ولتاژ 60 kV و جریان - زمان $1/5$ میلی آمپر در 3 دقیقه انجام شده است. در شکل مکان خوردگی در لبه‌های

۳- نتایج و بحث

در این تحقیق برای آشکارسازی عیوب رادیوگرافی قطعات هواپیما از الگوریتم میانگین غیرمحملی استفاده شده است که بر اساس شباهت پیکسل‌ها در داخل یک پنجره عمل می‌کند. در این الگوریتم لازم است پارامترهایی مانند انحراف معیار نویز اضافه شده به تصویر، ابعاد پنجره‌ها و



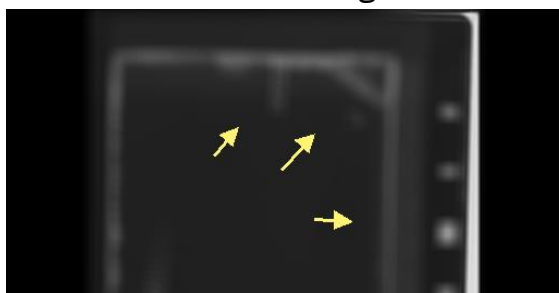
شکل (۲): پرتونگاری قطعه نشان داده شده در شکل ۱



شکل (۱): قطعه از قسمتی از بال هواپیمای مسافربری

در شکل ۴ تصاویر بازسازی شده با این روش نشان داده شده‌اند. در شکل دیده می‌شود که قسمت‌های خوردگی کاملاً مشخص شده و نواحی و لبه‌های آن به وضوح دیده می‌شوند. بعلاوه شماره‌های خط کش سربی، شیارهای کناری و شبکه شش ضلعی روی تصویر نیز نسبت به تصویر اولیه وضوح بیشتری دارند. همچنین نتایج نشان می‌دهد که کوچک کردن پنجره‌ها تا حدی تصویر خروجی را بهبود می‌دهد، ولی زمان اجرای برنامه بطور محسوسی بالا می‌رود. این برنامه برای تصویر ۵۰۰ در ۵۰۰ پیکسل با کامپیوتر ۴ هسته‌ای و پردازشگر اینتل حدود ۳۰ ثانیه زمان می‌برد که در مقایسه با روش‌های مشابه مانند صافی گوسی و همگن انتشاری [۷، ۸]، زمان قابل ملاحظه‌ای است. زیاد شدن ابعاد و تعداد پنجره‌ها باعث افزایش محاسبات [۷، ۵-۴] و بالا رفتن زمان اجرای برنامه می‌شود. برای مثال در تصویر ۵۰۰ در ۵۰۰ پیکسل اگر پنجره‌ها ۵ در ۵ انتخاب شوند زمان اجرا حدود ده دقیقه خواهد شد. برای ارزیابی از نظرات کارشناسان پرتونگاری صنعتی استفاده شد و از آن‌ها خواسته شد که به تصاویر امتیازاتی بین ۱ تا ۵ بدهند. جمع بندی نظرات نشان می‌دهد که کارشناسان کارایی روش را تا ۸۳/۷٪ تأیید می‌کنند.

تصاویر کاملاً مشخص است ولی علی‌رغم پیش پردازش تصویر توسط نرم افزار دستگاه پرتونگاری، به علت پراکندگی ذاتی اشعه ایکس بر اثر پدیده کامپتون تصاویر مات بنظر می‌رسند و لبه‌ها در تصویر کامل مشخص نیستند. برای رفع مات شدگی لازم است الگوریتم پردازشی استفاده شود. روش پیشنهادی، برای بهبود تصویر روش میانگین غیرمحملی بوده است. در این روش برای دو پنجره ۳۱ در ۳۱ و ۲۵ در ۲۵ با سطح نویزهای مختلف پیشنهادی در مراجع [۷، ۸]. انجام شد ولی نتایج حاصل نشان داد که تصویر مطلوبی از نظر واضح بودن لبه‌ها بدست نمی‌آید. بنابر این در مرحله بعد از الگوریتم برای حذف مقدار زمینه استفاده شد. در این روش مقدار σ بزرگ انتخاب شد و این امر باعث بزرگ شدن k و شیب کم تابع در رابطه (۵) شده و مات شدگی تصویر را همراه داشت. مات شدگی برای دو σ ، ۵۰ و ۹۰ با تعداد پیکسل در پنجره ۵ در ۵ در شکل ۳ نشان داده شده است. در شکل دیده می‌شود که تصاویر کاملاً تار شده و لبه‌های خوردگی، خطوط کناری و شماره‌های روی تصویر کاملاً محو شده‌اند. در ادامه برای بدست آوردن تصویر مناسب، این تصویر به عنوان تصویر زمینه در نظر گرفته شده و از تصویر اصلی کم شده است.

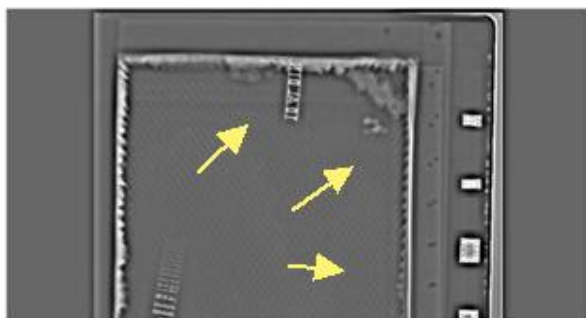


ب

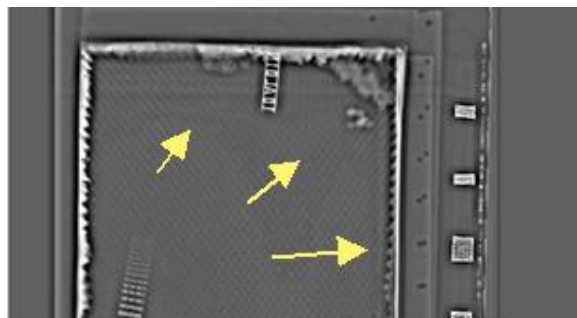


الف

شکل (۳): خروجی الگوریتم برای الف - $\sigma = 50$ ، و ب - $\sigma = 90$



ب



الف

شکل (۴): تصویر بازسازی شده برای الف - $\sigma = 50$ و ب - $\sigma = 90$

[4] Buades, A., Coll, B., Morel, J.M., 2005. "non local algorithm for image denoising", IEEE Computer Vision and Pattern Recognition 2005, Vol 2, pp: 60-65, <http://dx.doi.org/10.1109/CVPR.2005.38>

[5] Manjón, J.V., Carbonell Caballero, J., Lull, J.J., Garcia Martí, G., Martí Bonmatí, L., Robles, M., 2008. MRI denoising using non- local means. Med. Image Anal. 4, 514 – 523.

[6] Huazhu Song; Zichun Ding; Cuicui Guo and Zhe Li, "Research on Combination Kernel Function of Support Vector Machine", International Conference on Computer Science and Software Engineering, Volume:1, Pages: 838 –841, Dec. 2008.

[7] Buades, A., Coll, B., Morel, J.M., 2007. "Image data processing method by reducing image noise, and camera integrating means for implementing said method", EP Patent 1,749,278 (Feb. 7.)

[8] Coupé, P., Hellier, P., Prima, S., Kervrann, C., Barillot, C., 2008b. 3D wavelet subbands mixing for image denoising. Int. J. Biomed. Imaging. doi:10.1155/2008/590183 (Article ID: 590183.)

[9] Manjón, J.V., Coupé, P., Martí -Bonmatí, L., Robles, M., Collins, D.L., 2010. Adaptive non-local means denoising of MR images with spatially varying noise levels. J. Magn. Reson. Imaging 31, 192–203.

[10] Lou, Y., Favaro, P., Soatto, S., 2008. Nonlocal similarity image filtering. Research Reports CAM (8–26.)

[11] ISO-14096-1, 2005, "Nondestructive testing – Qualification of radiographic film digitization systems – part 1: Definitions, qualitative measurements of image quality parameters, standard reference film and qualitative control", the International Organization for Standardization

[12] ISO 14096-2, 2005, "Nondestructive testing – Qualification of radiographic film digitization systems – part 2: Minimum requirement", the International Organization for Standardization.

[13] ISO-17636-1, 2013 Nondestructive testing of welds — Radiographic testing - Part 1: X- and gamma-ray techniques with film, the International Organization for Standardization

[14] ISO-17636-2, 2013 Nondestructive testing of welds -- Radiographic testing - Part 2: X- and gamma-ray techniques with digital detectors, the International Organization for Standardization

[15] ISO-19232-1, 2018, Nondestructive testing - Image quality of radiographs - Part 1: Determination of the

۴- نتیجه گیری

در این مقاله، صافی میانگین غیرمحلی برای شناسایی عیوب قطعات هواپیما در تصاویر پرتونگاری صنعتی استفاده شده است. با توجه به حذف زمینه با در نظر گرفتن مقادیر بزرگ برای انحراف معیار نویز فرضی، سعی در واضح کردن شکل و ابعاد عیب شده است. نتایج نشان می‌دهد، روش صافی میانگین غیرمحلی کارایی بالایی در تشخیص عیوب دارد و در تصاویر بررسی شده پرتونگاری که حاوی عیوب خوردگی و ترک هستند، استفاده از این روش سبب بهتر شدن وضوح در ناحیه عیب شده است. عیب مهم این الگوریتم زمان اجرای زیاد آن است. اگر ابعاد و تعداد پنجره‌ها از حد بیشتر شود زمان بطور محسوسی نسبت به سایر روش‌های مشابه مانند روش صافی‌های همگن انتشاری بالا می‌رود. برای ارزیابی از نظر سه کارشناس پرتونگاری صنعتی استفاده شده و با تأیید کارشناسان پرتونگاری این روش می‌تواند برای بهبود وضوح و تشخیص نواحی عیوب موثر باشد.

۵- منابع

[1] Nacereddine, N., Draï, R, Benchaala A., 2002. "Weld defect extraction and identification in radiograms based neural networks," in Proc. IASTED International Conference on Signal Processing, Pattern Recognition, and Applications, Crete, Greece, June, pp 38-43 .

[2] Movafeghi A., Kargarnovin M. H., Soltanian-Zadeh H., et al, 2005. "Flaw Detection Improvement of Digitized Radiographs by Morphological Transformations", Insight - Nondestructive Testing and Condition Monitoring, Vol. 47, No. 10, pp. 625-630.

[3] Buades, Coll, B., Morel, J.M., 2006. "A review of image denoising methods, with a new one", Multi-scale Modeling and Simulation, Vol. 4 (2), pp: 490-530. <http://dx.doi.org/10.1137/040616024>

image unsharpness value using duplex wire-type image quality indicators, the International Organization for Standardization

image quality value using wire-type image quality indicators, the International Organization for Standardization

[16] ISO-19232-5, 2018, Nondestructive testing - Image quality of radiographs - Part 5: Determination of the

Use of Nonlocal Means Algorithm and Radiography to Detect Defects in Aircraft Parts

Poyan ShayanFard¹, Effat Yahaghi², Amir Movafeghi³

¹B.Sc. student, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran

²Scientific member, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran, yahaghi@sci.iki.ac.ir

³Scientific member, Nuclear Science & Technology Research Institute (NSTRI)

Abstract

Fractures and damages can be resulted from physical stresses in the flawed parts of an aircraft. The exact detection of internal defects is possible by radiography testing. The determination of the defects locations by the experts depends on the accuracy, skill and quality of the radiographs. Many of the produced images by industrial radiography are not clear, and it is difficult to accurately detect their defects; hence, the processing methods can help to better investigation of the defects. These images suffer from some opaqueness due to the inherent dispersion of X-rays. In this study, a non-local mean method based on the detection of similar pixels in a neighboring area is used to identify corrosion areas. In the method, the image is split into smaller windows and the similar pixel is found on these parts. The results of the method show that, due to the lack of noise function in radiographic images, the background elimination method is more suitable for this algorithm. In this research, the large amount of standard deviation of the noise is considered and background is extracted, the obtained image was reduced from the original radiographic image. The reconstructed image has sharp edges that more clearly indicates the defect area. The evaluation of the results by radiography experts showed that this method has the efficiency to detect defects.

Keywords: Non-local means algorithms, radiography, defects detection, aircraft parts