بهبود کنتراست پرتونگاره جوش با صافی پاسخ ضربه محدود

INC29-1135

عسگر یارمحمدی *[۱]، عفت یاحقی[۱]، امیر موافقی[۲]

۱. گروه فیزیک ، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی، قزوین، ایران
۲. مرکز مهندسی مواد، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، تهران، ایران

چکیده:

پرتونگاری جوش یکی از روش‌های معمول در ارزیابی و بازرسی جوش است که به‌صورت متداول در صنایع نفت و گاز استفاده می‌شود. کیفیت پرتونگاره در بازرسی جوش اهمیت بسزایی دارد و هرچه کنتراست تصویر بیشتر باشد، مناطق آسیب واضح‌تر شده و بازرس بهتر می‌تواند استحکام جوش را بررسی کند. معمولاً به علت پراکندگی پرتو ایکس و گاما و سایر نویزهای سیستم، پرتونگاره مات شدگی دارد. برای افزایش کنتراست پرتونگاره، روش‌های پردازش تصویر مفید هستند. در این تحقیق از صافی پاسخ ضربه محدود که کاربرد زیادی در پردازش تصویر دارد برای افزایش تباین پرتونگاره استفاده شده است. نتایج اعمال این روش بر روی پرتونگاره‌ها نشان می‌دهد که کنتراست در نواحی عیوب، شاخص کیفیت تصویر *IQI، ریشه جوش، خط کش سربی و حروف سربی افزایش یافته است. ارزیابی متخصصین پرتونگاری نیز افزایش ۲۵ تا ۳۵٪ در کنتراست را برای نواحی مختلف جوش، تائید می‌کنند.

کلیدواژه‌ها بهبود کنتراست، پرتونگاره جوش، صافی پاسخ ضربه محدود

Improving contrast of welded radiographs with finite impulse response filter

Asgar Yar-Mohammadi[1, *], Effat Yahaghi[1], Amir Movafeghi[2]

1. Department of Physics, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran
2 Material Engineering Center, Nuclear Science and Technology Research Institute (NSTRI), Tehran, Iran

Abstract:

Welding radiography is one of the common methods in welding evaluation and inspection, which is commonly used in oil and gas industries. The quality of radiographs is very important in welding inspection, and enhancing the contrast of the radiograph can clear the defect regions and the inspector can check the strength of the weld. Usually, due to X-ray and gamma scattering and other system noises, the X-ray image is foggy. Therefore, the image processing methods are useful to increase radiographic contrast. In this research, finite impulse response, which is widely used in image processing, has been used to increase the contrast of the radiographs. The results of applying this method on radiographs show that the contrast in defect regions, IQI*, weld root, lead ruler and lead letters have increased. The assessment of radiographers also confirms the increase of 25 to 35% in contrast for different regions of the welded radiographs.

Keywords: Improving contrast, welded radiographs, Finite impulse response filter

۱. مقدمه

امروزه صاحبان صنایع، ازجمله خطوط لوله‌های نفت و گاز پی بردند که پیشگیری و شناسایی عیوب خطوط لوله و انجام اقدامات پیشگیرانه، ازنظر اقتصادی موجب صرفه‌جویی می‌گردد با پیشرفت فن‌های پردازش تصویر و تکنولوژی محاسباتی ، ارتقای سطح کیفیت جوشکاری در صنایع اهمیت زیادی دارد. [۳-۱].

پرتونگاری یکی از روش‌های آزمون‌های غیرمخرب است. که هدف آن پیدا کردن عیوب و ناپیوستگی‌های پنهان در عمق قطعهٔ مورد آزمون است. که قابل‌شناسایی با چشم عادی نیستند. آزمون پرتونگاری بدون هیچ‌گونه تخریب بر روی قطعه مورد تست، آزمون را انجام می‌دهد. با استفاده از امواج پرانرژی گاما و ایکس که قابلیت نفوذ زیادی در مواد مختلف دارند، برای پیدا کردن عیوب و ناپیوستگی‌های پنهان در قطعه از پرتونگاری استفاده می‌شود[۴-۶]. این پرتوها قابلیت نفوذ در بسیاری از مواد را دارند، در روش پرتونگاری اشعه ایکس ساطع‌شده از دستگاه و یا گامای ساطع‌شده از مواد پرتوزا به سمت قطعه هدایت می‌شوند و پس از عبور از قطعه بر روی فیلم اثر می‌گذارند.ضخامت و ضرایب تضعیف ماده باعث می‌شوند نقاطی در فیلم تاریک یا روشن‌تر دیده شوند [۱و۴،۸-۷].

روش پرتونگاری صنعتی که به‌اختصار RT[1] نامیده می‌شود، یکی از پرکاربردترین روش‌ها است که برای بررسی عیوب داخلی استفاده می‌شود. با استفاده از این روش می‌توان ساختار قطعه و ناحیه عیب را همزمان نشان داد. معمولاً به علت پراکندگی پرتو ایکس و گاما و سایر نویزهای سیستم، پرتونگاره مات شدگی دارد. برای افزایش کنتراست و بهبود کیفیت تصویر پرتونگاره، استفاده از روش‌های مختلف پردازش تصویر مفید هستند. استفاده از روش‌های مبتنی بر مکان مانند صافی میانگین، صافی انتشار خطی و روش‌های مبتنی بر فرکانس مانند صافی گابور، روش کانولوشن گوسی و الگوریتم‌های تبدیل موجک و فوریه برای پردازش پرتونگاره‌ها کاربرد دارند. انتخاب صافی به قابلیت آن در آشکارکردن بهتر مناطق مختلف جوش مانند ریشه جوش و محل عیوب آن بستگی دارد. یکی از روش‌های متداول برای پردازش سیگنال‌های گسسته صافی پاسخ ضربه محدود[2] FIR است که بر اساس تبدیل Z عمل می‌کند [۱۲-۹].

در این تحقیق از صافی پاسخ ضربه محدود که کاربرد زیادی در پردازش تصویر دارد برای افزایش تباین(افزایش کنتراست) پرتونگاره استفاده شده است. با اعمال این صافی بر روی پرتونگاره‌ها کنتراست آن‌ها بهبود داده‌شده و سپس مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند.

۲. روش کار

در این تحقیق از صافی پا سخ ضربه محدود برای افزایش کنترا ست پرتونگاره‌های جوش ا ستفاده شده ا ست. در ادامه الگوریتم و نحوه تهیه پرتونگاره‌ها توضیح داده شده‌اند.

۲. ۱. صافی پاسخ ضربه محدود

همان‌طور که فیلترهای آنالوگ با استفاده از تبدیل لاپلاس طراحی می‌شوند، فیلترهای دیجیتال بازگشتی با یک تکنیک موازی به نام تبدیل z توسعه می‌یابند. استراتژی کلی این دو تبدیل یکسان است: برای یافتن قطب‌ها و صفرهای سیستم، پاسخ ضربه با سینوسی و نمایی بررسی می‌شود. پس همان‌طور که گفته شد برای تحلیل سیستم‌های خطی نامتغیر با زمان (LTI: linear time invariant) پیوسته، از تبدیل لاپلاس استفاده می‌شود. در طرف مقابل، تبدیل z ابزار مناسبی برای سیستم‌های LTI گسسته است. تبدیل z ، اساساً یک ابزار عددی است که برای انتقال از حوزه زمان به حوزه فرکانس به‌کاررفته می‌رود و یک تابع ریاضی از متغیر مختلط z است[۱۵-۱۳].

همان‌طور که می‌دانیم در تبدیل لاپلاس کرنل $e^{j\omega t}$ است که تابع تبدیل x(t) چنین است:

$$y(e^{j\omega t}) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j\omega t} \qquad (۱)$$

[1] Radiography Testing
[2] Finite impulse response filter (FIR)

که در آن $j=\sqrt{-1}$ است و در بازه $-\infty$ تا ∞ محاسبه می‌شود. برای یک تبدیل گسسته برای ورودی x[n] که خروجی آن به‌این‌ترتیب بیان می‌شود:

$$y[n]=\sum_{n=-r}^{r} a_k x[n-k] \qquad (۲)$$

$x[n-k]$ را می‌توان به‌صورت ضرب پاسخ ضربه در ورودی x[n] نوشت

$$y[n]=\sum_{n=-r}^{r} a_k x[n] * \delta[n-k] \qquad (۳)$$

در تبدیل z که یک تبدیل گسسته است $z=e^{j\omega t}$ است و تبدیل z به‌این‌ترتیب تعریف می‌شود.

$$y[n]=\sum_{n=-r}^{r} a_k x(z) z^{-n} \qquad (۴)$$

که در آن z یک عدد مختلط و n یک عدد صحیح است. در حقیقت، تبدیلz ، یک سری توانی نامحدود است که اندیس جمع n در آن، از$-\infty$ تا ∞ تغییر می‌کند. به‌دلیل همین بازه z بالا را تبدیل z دوطرفه می‌نامند، اگر پاسخ ضربه نامحدود باشد به آنIIR می‌گویند و اگر پاسخ ضربه محدود باشد به نام FIR شناخته می‌شود. ولی معمولاً محاسبات در بازه محدودشده r انجام می‌شود و تابع تبدیل آن چنین محاسبه می‌شود:

$$H[z]=\frac{y[n]}{x[n]}=\sum_{n=-r}^{r} a_k z^{-n} \qquad (۵)$$

بر این اساس یک صافی FIR طراحی می‌شود که با یافتن ضرایب و ترتیب صافی‌ها مشخصات خاصی را برآورده می‌کنند، طراحی پنجره، روش نمونه‌گیری فراوانی و روش حداقل MSE[۳] (میانگین مربعات خطا) برای طراحی فیلتر اهمیت دارند. .در طراحی صافی تابع تبدیل را چنین در نظر می‌گیرند که در آن ضرایب $G_\sigma[n]$ برای تابع تبدیل H(z) به‌صورت زیر تعریف می‌شود[۱۶]:

$$H[z]=\frac{1}{S(r)}\sum_{n=-r}^{r} G_\sigma[n] z^{-n} \qquad (۶)$$

$$s(r)=\sum_{n=-r}^{r} G_\sigma(n) \qquad (۷)$$

برای هر سیستمی پاسخ ضربه وجود دارد صافی مستقیماً با پاسخ ضربه محدود در حوزه فرکانسی طراحی می‌شود. بعد از طراحی در حوزه فرکانسی که تنها یک پارامتر سیگما وجود دارد که تغییرات آن روی تابع تبدیل اثرگذار است. FIR یکی از ساده‌ترین پیاده‌سازی‌های کانولوشن گاوسی است که بر روی سیگنال‌های زمان گسسته عمل می‌کند. در این الگوریتم، فیلتر خروجی به‌عنوان یک مجموع مدت محدود وزنی از مقادیر گذشته، حال و شاید آینده فیلتر ورودی محاسبه می‌شود. در عمل، پارامترهای تعریف‌شده توسط کاربر، شعاع، انتخاب می‌شوند و تابع گاوسی برای مقادیری که کوچک‌تر از شعاع انتخاب‌شده هستند، کوتاه می‌شود.

در این حالت شعاع معمولاً بر اساس این تابع انتخاب‌شده

$$r=\sqrt{2}\, erfc^{-1}(tol/2)\sigma \qquad (۸)$$

σ انحراف معیار و tol خطای موردقبول در محاسبات و erfc[۴] تابع سیگوئیدال است. تابع گوسی برای تابع تبدیل چنین است:

$$G_\sigma=\frac{1}{s(r)}\exp\left(-\frac{m^2}{2\sigma^2}\right), m=-r,\dots,r \qquad (۹)$$

[3] Mean Square Error
[4] complimentary error function (erfc)

لازم به ذکر است که اندازه شعاع r مبادله بین دقت و سرعت را تعیین می‌کند، برای جزئیات بیشتر به [۱۰،۱۷-۱۸] و مراجع در آن مراجعه کنید.

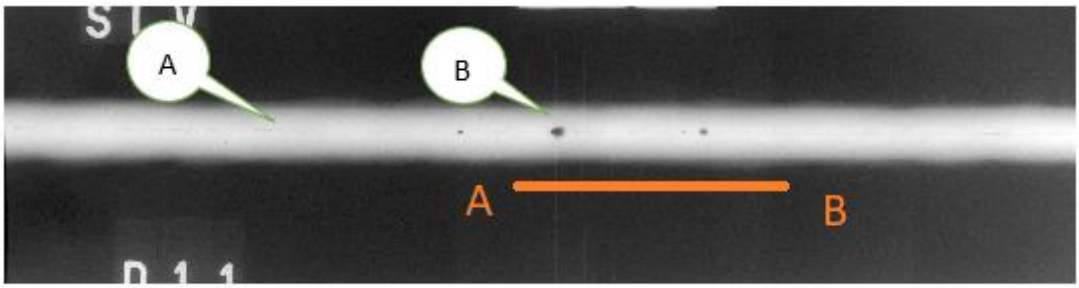
۲. ۲. پرتونگاری

پرتونگاره‌های موردنظر برای اعمال روش‌های پردازشی از پایگاه داده‌های رادیوگرافی GDXray انتخاب شده است. این پرتونگاره‌ها از لوله با قطرهای مختلف و صفحات جوشکاری شده که عیوب مختلف جوش را دارند تهیه شده‌اند. تصاویر با استفاده از فیلم تهیه شده‌اند و برای اسکن فیلم‌ها از یک اسکنر LS85 SDR استفاده شده است. ازنظر کنتراست پرتونگاره‌ها دارای محدوده وسیعی هستند. در برخی از پرتونگاره‌ها ریشه جوش و عیوب به‌خوبی مشخص هستند و در بعضی از آن‌ها تصاویر بسیار مات هستند و اطلاعات آن‌ها به‌سختی قابل‌مشاهده هستند. اندازه پیکسل‌ها ۴۰/۳ میکرون یا 630 dpi بوده است. تصاویر اسکن شده ۱۲ بیتی هستند که با فرمت tiff ذخیره شده‌اند [۱۸-۱۷].

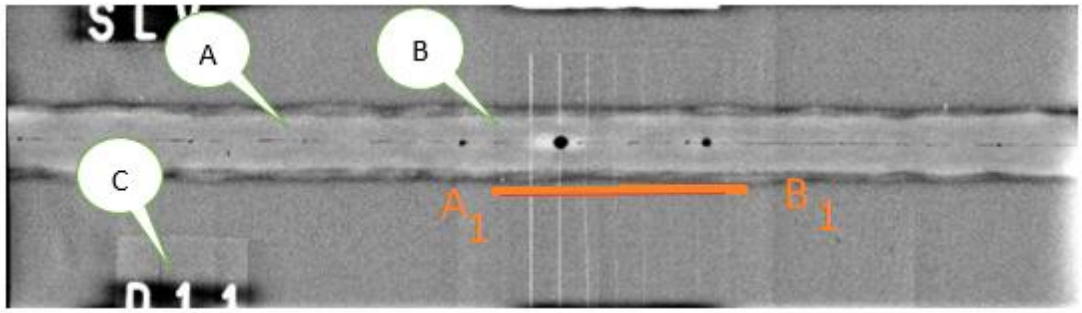
۳. نتایج

در این تحقیق از صافی FIR برای بهبود کنتراست پرتونگاره‌های جوش استفاده شده است. این صافی دارای یک پارامتر σ است که مقدار آن در خروجی تأثیر دارد. در این صافی که در حوزه فرکانس طراحی می‌شود، ابتدا تبدیل فوریه گسسته تصویر محاسبه و در صافی در حوزه فرکانسی ضرب می‌شود که با تغییر σ خروجی‌های مختلف خواهیم داشت. بررسی تصاویر نشان می‌دهد که هرچه σ بیشتر باشد تصویر خروجی مات‌تر می‌شود باشد. برای به دست آوردن بهترین تصویر از روش حذف زمینه σ برابر ۱۰۰ در نظر گرفته شد. در شکل ۱ پرتونگاره دو صفحه متصل شده با جوش که در روی آن سه حفره با اندازه‌های مختلف (نشانگرA) و یک ترک طولی (نشانگر B) وجود دارد، نشان داده شده است. در شکل ۲ خروجی صافی برای دو σ مختلف ۱۰ و ۱۰۰ نشان داده شده است. دیده می‌شود که هرچه سیگما بزرگ‌تر باشد تصویر مات‌تر می‌شود. در شکل ۳ تصویر بازسازی‌شده که حاصل کم کردن پرتونگاره اصلی و خروجی صافی FIR است، نشان داده شده است. در تصویر بازسازی‌شده علاوه بر واضح‌تر شدن حفره‌ها (نشانگرA)، خطوط IQI (نشانگرB) تا پنج خط واضح‌تر شده‌اند، درصورتی‌که در پرتونگاره اصلی سه خط دیده می‌شود. همچنین ناحیه حروف سربی و قاب آن (نشانگرC) مشخص‌تر دیده می‌شوند. مقایسه شکل ۱ و ۲ نشان می‌دهد که در تصاویر ۲- الف و ب خطوط IQI خیلی واضح‌تر از شکل ۱ هستند. ضمن آنکه در تصویر بازسازی‌شده خط ششم هم آشکار شده است.

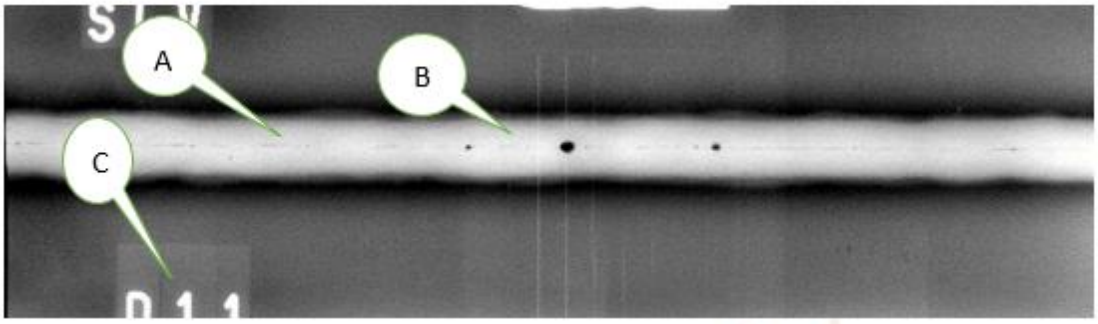
برای ارزیابی پرتونگاره‌های اصلی و باز بازسازی‌شده به متخصصین نشان داده شد و از آن‌ها خواسته شد نظرات خود را برای مقایسه نواحی عیوب، شاخص کیفیت تصویر IQI، ریشه جوش، خط کش سربی و حروف سربی به‌صورت امتیاز بین ۱ تا ۱۰ بیان کنند متوسط امتیازات به شکل درصد در شکل ۳ آمده است. استفاده از این روش که یک شاخص آماری است به تشخیص فردی افراد متخصص دارد و برحسب درصد بیان می‌شود. در تصاویر رادیوگرافی پزشکی از نظرات پزشکان متخصص و در رادیوگرافی صنعتی از نظرات متخصصین رادیوگرافی صنعتی استفاده می‌کنند. بطور خلاصه در این روش بیان می‌شود که پس از اعمال یک روش بهبود کیفیت تصویر، ازنظر یک متخصص انسانی که هوشمند است ارتقا کیفیت در چه سطحی ارزیابی می‌شود[۱۹].



شکل ۱. پرتونگاره جوش با سه حفره و یک ترک طولی



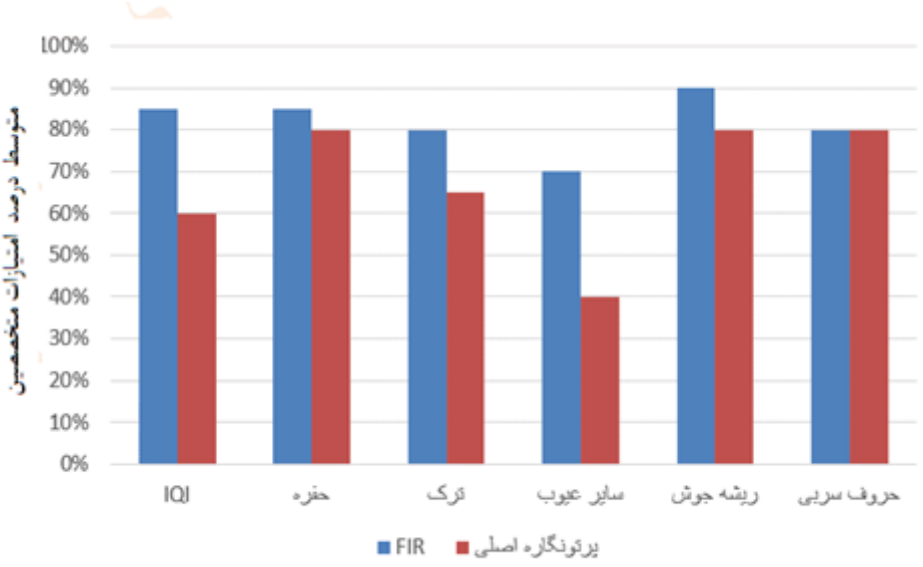
الف



ب

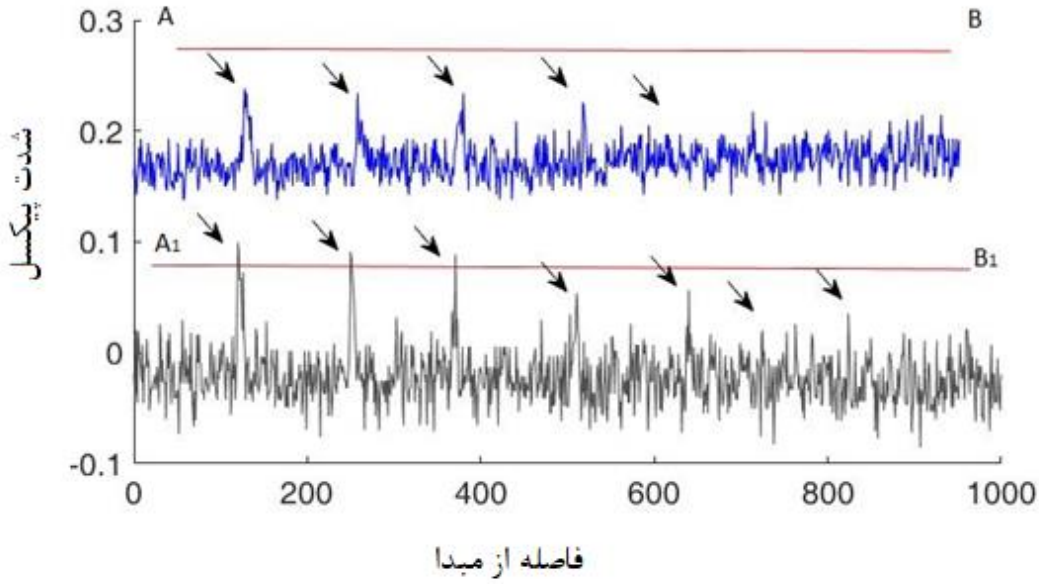
شکل 2. تصویر بازسازی‌شده پرتونگاره شکل ۱ بعد از اعمال صافی FIR، σ برابر الف- ۵۰۰، ب-۱۰۰

در اینجا، امتیازات با توجه به مشخص شدن نواحی عیوب توسط افراد متخصص که دوره‌های خاص پرتونگاری را دیده‌اند، انجام شده است. با توجه به شکل دیده می‌شود که بهترین بهبود کنتراست برای سایر عیوب و IQI بوده که حدود ۳۰٪ است. در ناحیه حروف سربی به علت تیز بودن لبه‌ها تغییر زیادی دیده نشده است و ریشه جوش و نواحی حفره‌ها هم بین ۵ تا ۱۰٪ بهبود داشته‌اند. ارزیابی متخصصین پرتونگاری نیز افزایش ۲۵ تا ۳۵٪ در کنتراست را برای نواحی مختلف جوش، تائید می‌کنند.



شکل۳. امتیازات متخصصین پرتونگاری برای بهبود کنتراست نواحی مختلف پرتونگاره‌های اصلی و بازسازی‌شده

برای بررسی کمی و عددی از روش رسم خط پروفایل استفاده‌شده که در شکل ۴ رسم شده است. خط پروفایل در امتداد دو خط نارنجی AB وA_1B_1 در دو شکل ۱ و ۲- الف رسم شده که نشان‌دهنده اندازه پیکسل‌ها در امتداد خطوط مشخص‌شده هستند. در امتداد خط پروفایل خطوط IQI با پیکان مشخص شده‌اند. همان‌طور که دیده می‌شود اندازه شدت پیکسل در امتداد شکل ۲-الف (خطA_1B_1) تقریباً دو برابر شکل ۱ (خطAB) است، یعنی تباین در تصویر بازسازی‌شده بهتر شده است. همچنین خط پنجم IQI در شکل ۱ و خط هفتم در شکل ۲-الف، توسط متخصصین دیده‌شده، ولی در خط پروفایل به‌سختی قابل‌تشخیص است. این نشان می‌دهد که روش انسانی بر این روش ارجحیت دارد.



شکل ۴ . خط پروفایل رسم شده در امتداد دو امتداد دو خط نارنجی AB وA_1B_1 در دو شکل ۱ و ۲- الف

۴. نتیجه‌گیری

در این تحقیق کارایی صافی پاسخ ضربه محدود برای شناسایی عیوب جوش در تصاویر پرتونگاره صنعتی استفاده شده است. با توجه به حذف زمینه بـا در نظر گرفتن مقادیر بزرگ برای انحراف معیار نویز فرضی، سعی در واضح کردن شکل و ابعاد عیب شده است. نتایج نشان می‌دهد صافی پاسخ ضربه محدود توانایی بهبود کنتراست و تشخیص بهتر عیوب را دارد. پرتونگاره‌ها دارای عیوب حفره و ترک هستند، استفاده از این روش سـبب بهتـر شـدن کنتراست در نواحی عیوب، ریشه جوش، IQI، خطوط سربی و خط کش سربی شده است. ارزیابی سه کارشناس پرتونگاری نشان می‌دهد که استفاده از این روش نه‌تنها کنتراست را افزایش می‌دهد بلکه در تشخیص نواحی عیوب مؤثر است.

۶. مراجع

1. C. Ajmi, J.Zapata, J.J. Martínez-Álvarez, G. Doménech, , and R. Ruiz, Using deep learning for defect classification on a small weld X-ray image dataset, J. Nondestr. Eval., 2020, vol. 39, no. 3, pp. 1–13.
2. Harara, W., Deposit thickness measurement in pipes by tangential radiography using gamma-ray sources, Russ. J. Nondestr. Test., 2008, vol. 44, no. 11, pp. 796–802.
3. Saber, S. and Selim, G.I., Higher-order statistics for automatic weld defect detection, Int. J. Software Eng. Appl., 2013, vol. 6, no. 5, pp. 251–258.
4. W. Hou, D. Zhang, Y. Wei, J. Guo, and X. Zhang, "Review on computer aided weld defect detection from radiography images," Applied Sciences, vol. 10, no. 5, p. 1878, 2020 https://doi.org/10.3390/app10051878
5. Mery D, Riffo V, Zscherpel U, Mondragón G, Lillo I, Zuccar I, Lobel H and Carrasco M 2015 Gdxray: the database of x-rayimages for nondestructive testing J. Nondestruct. Eval. 34 42

۶. امیر موافقی، عفت یاحقی ،نورالدین محمدزاده ،بهروز رکرک، بهبود کیفی ناحیه های نقص در تصاویر پرتونگاری جوش با استفاده از روش موجک مبتنی بر آستانه گذاری تطبیقی مجله علوم و فنون هسته ای ،، شماره۸۷ ج ۱(In Persian)

7. Amir Movafeghi, Mahdi Mirzapour, Effat Yahaghi, Using Interpolation with Nonlocal Autoregressive Modeling for Defect Detection in Welded Objects, Journal of Nondestructive Evaluation (2020) 39:60, https://doi.org/10.1007/s10921-020-00704-2
8. E. Yahaghi1, M. Mirzapour. and A. Movafeghi, Enhancing flaw detection in aluminum castings by two different mixed noise removal methods, published 7 May 2020 • © 2020 IOP Publishing Ltd –l0 Physica Scripta, Volume 95, Number 7
9. J. Coady, A. O'Riordan, G. Dooly, T. Newe, and D. Toal, "An overview of popular digital image processing filtering operations," in 2019 13th International conference on sensing technology (ICST), 2019: IEEE, pp. 1-5,doi.org10.1109/ICST46873.2019.9047683
10. .C. Bhabatosh, Digital image processing and analysis. PHI Learning Pvt. Ltd., 1977.
11. S. Kim and R. Casper, "Applications of convolution in image processing with MATLAB," University of Washington, pp. 1-20, 2013.
12. M. C. Motwani, M. C. Gadiya, R. C. Motwani, and F. C. Harris, "Survey of image denoising techniques," in Proceedings of GSPX, 2004, vol. 27, pp. 27-30.
13. B. Gupta and S. S. Negi, "Image denoising with linear and non-linear filters: A review," International Journal of Computer Science Issues (IJCSI), vol. 10, no. 6, p. 149, 2013.
14. R. Chandel and G. Gupta, "Image filtering algorithms and techniques: A review," International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering, vol. 3, no. 10, 2013.

15. M. S. Shaikh, A. Choudhry, and R. Wadhwani, "Analysis of digital image filters in frequency domain," International Journal of Computer Applications, vol. 140, no. 6, pp. 12-19, 2016.
16. P. Getreuer, "A survey of Gaussian convolution algorithms," Image Processing On Line, vol. 2013, pp. 286-310, 2013.
17. ISO 14096-2 International Standard. Non-destructive testing of welds— Qualification of radiographic film digitization systems – Part 2: Minimum requirements, Geneva, (2013).
18. ISO 17636-2 International Standard. Non-destructive testing of welds—Radiographic testing—Part 2: X- and gamma-ray techniques with digital detectors, Geneva, (2013).
19. ICRU Report 79, Receiver Operating Characteristic (ROC) Analysis in Medical Imaging, 2008.