

## Fourier Transforms for Recognition of Weld Defects in Industrial Radiography

A. Movafeghi<sup>1</sup>  | E. Yahaghi<sup>2</sup>  | A. Yar Mohammadi<sup>1</sup>  | S. M. H. Ghafele-Bashi<sup>3</sup> 

1. Materials Research Center, Nuclear Science and Technology Research Institute, NSTRI, Tehran, Iran.  
E-mail: [amovafeghi@aeoi.org.ir](mailto:amovafeghi@aeoi.org.ir)
2. Department of Physics, Faculty of Basic Sciences, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.
3. Freelance researcher in the computer sciences, Qazvin, Iran

### Article Information:

#### Research Article

Received 06 Nov. 2022

Revised 01 Dec. 2022

Accepted 10 Dec. 2022

### Keywords:

Industrial Radiography,  
Welding Defects,  
Discrete Fourier  
Transform,  
Cosine Fourier Transform.

### ABSTRACT

Weld strength is one of the most important goals in the welding industry. Non-destructive testing methods such as Radiography testing (RT) are widely used for weld strength inspection. In RT test, discontinuities and defects appear on the radiograph and are surveyed by interpreters. To increase the contrast of the radiographs, image processing methods are used to sharpen the edges and identify the defects by reducing the foginess. In this research, two different Fourier algorithms, namely, discrete Fourier transform, and cosine Fourier transform have been used to improve the contrast of welding radiographs and to identify defects and their information. The comparison of the results of the two methods shows that the discrete Fourier transform method has a better efficiency than the cosine Fourier transform method in determining the information of the welding region, IQI lines and welding defects, and its execution time is also less. The evaluation of results by experts show that the contrast of the reconstructed images improves between 5 and 40% for different welding region with the discrete Fourier transform method. According to experts' opinions, the reconstructed images with the cosine Fourier transform method do not have the necessary efficiency due to the artifact.

**Cite this article:** Movafeghi, A., Yahaghi, E., Yar Mohammadi, A., & Ghafele-Bashi, S. M. H. (2023). Fourier Transforms for Recognition of Weld Defects in Industrial Radiography. *Journal of Nondestructive Testing Technology*, 3 (11), 13-22. <http://doi.org/10.30494/JNDT.2022.367717.1105>

## بکارگیری تبدیلات فوریه برای عیب‌یابی تصاویر جوش با پرتونگاری صنعتی

امیر موافقی<sup>۱</sup> | عفت یاحقی<sup>۲</sup> | عسکر یارمحمدی<sup>۲</sup> | سید محمد حسین قافله باشی<sup>۲</sup>۱. مرکز مهندسی مواد، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، تهران، ایران. رایانامه: [amovafeghi@aeoi.org.ir](mailto:amovafeghi@aeoi.org.ir)

۲. گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.

۳. محقق آزاد، فارغ التحصیل رشته کامپیوتر، قزوین، ایران.

## چکیده:

پایداری و استحکام جوش از مهمترین اهداف در صنعت جوشکاری است. برای بررسی این موضوع آزمون‌های غیرمخرب مانند پرتونگاری کاربرد زیادی دارد. در این آزمون ناپیوستگی‌ها و عیوب روی پرتونگاره ظاهر شده و توسط متخصصین بررسی می‌شوند. برای بالابردن کنتراست پرتونگاره‌ها، از روش‌های مختلف پردازش تصویر استفاده می‌شود تا با کم کردن مات شدگی، لبه‌ها را تیزتر کرده و وضوح عیوب و احتمال تشخیص آنها بالاتر رود. در این تحقیق از دو الگوریتم تبدیل فوریه گسسته و تبدیل فوریه سینوسی برای ارتقاء کنتراست پرتونگاره‌های جوش و مشخص کردن عیوب و اطلاعات آنها استفاده شده است. مقایسه نتایج دو روش نشان می‌دهد که روش تبدیل فوریه گسسته نسبت به روش تبدیل فوریه کسینوسی کارایی بهتری در مشخص کردن اطلاعات ناحیه جوش، خطوط IQI و عیوب جوش داشته است و همچنین زمان محاسباتی آن نیز کمتر است. نتایج حاصل از ارزیابی نتایج توسط متخصصین درصد بهبود کنتراست تصاویر را بین ۵ تا ۴۰ درصد برای نواحی مختلف جوش با روش تبدیل فوریه گسسته نشان می‌دهد. از نظر آنها تصاویر بازسازی شده با روش تبدیل فوریه کسینوسی به علت آرتیفکت ناشی از بازسازی کارایی لازم را ندارند.

## اطلاعات مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:

۱۴۰۱/۰۸/۱۵

تاریخ بازنگری:

۱۴۰۱/۰۹/۱۰

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۱/۰۹/۲۰

## کلیدواژگان:

پرتونگاری صنعتی،

عیب جوش،

تبدیل فوریه گسسته،

تبدیل فوریه کسینوسی.

استناد: موافقی، امیر؛ یاحقی، عفت؛ یارمحمدی، عسکر و قافله باشی، سید محمد حسین (۱۴۰۱). بکارگیری تبدیلات فوریه برای عیب‌یابی تصاویر جوش با پرتونگاری صنعتی. *مجله فناوری آزمون‌های غیرمخرب*، ۳(۱۱)، ۲۲-۱۳. <http://doi.org/10.30494/JNDT.2022.367717.1105>

## ۱- مقدمه

جوشکاری یکی از مهمترین روش‌ها در صنعت برای اتصال دو قطعه است که با فرآیند گرم کردن همراه است. از جمله روش‌های اصلی در جوشکاری عبارتند از جوشکاری قوس الکتریکی، جوشکاری مقاومتی، جوشکاری با گاز اکسیژن و جوشکاری برق. انتخاب روش جوشکاری با نوع مواد مورد استفاده و محل انجام بستگی دارد. انواع جوش فلزات مانند آهن، فولاد، آلومینیوم و استیل در حالت کلی به دو نوع ذوبی و غیر ذوبی (حالت جامد) تقسیم می‌شود [۱-۲].

در جوشکاری ذوبی اتصال دو قطعه از گرما استفاده می‌شود. در برخی موارد ماده پُر کننده<sup>۱</sup> نیاز است. جوشکاری ذوبی بر اساس منبع انرژی مورد استفاده به چند دسته کلی جوشکاری قوسی<sup>۲</sup>، جوشکاری اکسی گاز<sup>۳</sup>، جوشکاری با پرتو لیزری<sup>۴</sup>، جوشکاری با پرتوی الکترونی<sup>۵</sup> تقسیم می‌شود. در جوشکاری قوسی معمول‌ترین نوع جوشکاری است و در آن از قوس الکتریکی برای ایجاد گرما و ذوب الکتروود استفاده می‌شود. برای این منظور یک منبع تغذیه با جریان مستقیم یا متناوب قوس الکتریکی بین الکتروود و قطعه کار ایجاد کرده و پس از ایجاد حمام مذاب قطعات را به هم می‌چسباند [۱-۳].

در جوشکاری حالت جامد هیچ گونه ماده‌ای ذوب نمی‌شود و از ماده پُر کننده استفاده نمی‌شود. مکانیسم جوشش مواد، بر اثر نفوذ بین مولکولی بین سطوح تماسی دو قطعه تحت فشار است. مولکول‌های سطح دو قطعه بر اثر فشار از نواحی پر تراکم به نواحی کم تراکم‌تر جریان پیدا می‌کنند. در بعضی مولارد برای تسریع سطوح تماس حرارت داده می‌شوند. از انواع جوشکاری غیر ذوبی می‌توان جوشکاری مقاومتی، جوشکاری اصطکاکی، جوشکاری انفجاری و جوشکاری فراصوتی را نام برد [۱].

در عملیات جوشکاری به خاطر عدم مهارت جوشکار، تغییرات دمایی و عدم سرد شدن یکنواخت و سایر علل،

عیوب مختلفی مانند ترک طولی و عرضی، حفره و... بوجود می‌آید که در استحکام جوش تاثیر دارند. برای بررسی این عیوب آزمون‌های مختلف غیر مخرب حجمی مانند آزمون فراصوتی و پرتونگاری وجود دارد. در آزمون پرتونگاری اشعه ایکس یا اشعه گاما از قطعه جوشکاری شده عبور می‌کند و پرتو ایکس یا گامای عبوری، روی فیلم و یا آشکارساز ثبت می‌شود. در نواحی عیب که ناپیوستگی وجود دارد، ضریب تضعیف فوتونی تغییر یافته و مقدار پرتو عبوری تغییر می‌کند [۴-۷]. برهم‌کنش‌های اشعه ایکس و گاما هنگام عبور از قطعه جوشکاری شده به جنس ماده و انرژی پرتو بستگی دارد. در محدوده انرژی ذرات برای ضخامت معمول جوشکاری، برهم‌کنش‌های غالب اثر فوتوالکتریک و پدیده کامپتون هستند. به علت پراکندگی ذاتی در پدیده کامپتون پرتونگاره‌های جوش معمولاً مات‌شدگی دارند. به علت نویز سیستم پرتونگاری و اسکنر فیلم نیز ممکن است مات‌شدگی بیشتر شود [۴].

برای از بین بردن مات‌شدگی روش استفاده از الگوریتم‌های پردازش تصویر مفید است. [۴-۶]. روش‌های مختلف پردازش تصویر براساس بهبود کنتراست در حوزه زمان و فرکانس می‌تواند برای کم کردن مات‌شدگی بکار گرفته شود مانند تبدیل موجک، صافی گابور و روش وردش [۴]. یک روش مؤثر برای حذف نویز تبدیل فوریه گسسته است. در این تبدیل با تجزیه تصویر به مولفه‌های آن بر اساس ضرایب فوریه در حوزه فرکانس و حذف بعضی از مولفه‌های نویزی، کنتراست تصویر را ارتقا می‌دهند [۷-۹]. در تبدیل فوریه متغیرها مختلط هستند و از دو جزو حقیقی و موهومی تشکیل می‌شوند. در تبدیل فوریه کسینوسی فقط از جزئی حقیقی این تبدیل برای پردازش تصاویر استفاده می‌شود که کاربرد زیادی در نهم‌نگاری و فشرده‌سازی و پردازش سیگنال‌های دیجیتال دارد [۱۰-۱۲].

در این تحقیق برای ارتقاء کیفیت به منظور بررسی عیوب تصاویر رادیوگرافی جوش از دو تبدیل فوریه گسسته و تبدیل فوریه کسینوسی استفاده شده است. تصاویر جوش‌های طولی و عرضی از پایگاه داده‌های رادیوگرافی صنعتی GDX-ray انتخاب شده‌اند [۱۳]. کنتراست پرتونگاره‌های انتخابی گستره تغییرات زیادی داشته‌اند تا اثر پردازش تصاویر روی آنها بخوبی بررسی شود. با توجه به

<sup>1</sup> Filler Material

<sup>2</sup> Arc welding

<sup>3</sup> Oxy fuel welding

<sup>4</sup> Laser beam welding

<sup>5</sup> Electron beam welding

برداری شده و می‌تواند حقیقی یا مختلط باشد.  $X(k)$  تبدیل فوریه  $x(n)$  است. عکس تبدیل فوریه گسسته با این رابطه قابل محاسبه است:

$$x(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X(k) e^{-2\pi i k n / N} \quad (2)$$

محاسبه  $X(k)$  نیاز به محاسبه  $N$  مرتبه ضرب مختلط و  $N$  مرتبه جمع مختلط برای هر یک از مقادیر  $k$  است. همینطور  $N$  مقدار  $X(k)$  وجود دارد، پس نیاز به محاسبه  $N^2$  بلاک ضرب و جمع مختلط دارد. در تبدیل فوریه سریع،  $FFT^2$  که شامل تجزیه  $DFT$  به دنباله‌های کوچکتر است، محاسبات کمتر شده و زمان اجرای الگوریتم بالا می‌رود. این الگوریتم اولین بار توسط گاوس در سال ۱۸۰۵ به وجود آمد ولی استفاده از آن به شکل فعلی، اولین بار در سال ۱۹۶۵ توسط کولی و همکارانش ارائه شد [۱۹]. در بازسازی تصویر مولفه‌های استخراج شده از تصویر در یک کرنل با تابع گوسی درهم پیچیده<sup>۳</sup> شده و تصویر خروجی بعد از عکس تبدیل فوریه گسسته بدست می‌آید. تابع گوسی دارای یک انحراف معیار  $\sigma$  مشخص است که به یک پنجره به طول و عرض  $h$  از تصویر با اندازه انتخابی اعمال می‌شود. روش  $FFT$  نسبت به روش  $DFT$  پیچیدگی و خطای کمتری دارد. میزان محاسبات در این تبدیل زیاد است و از الگوریتم‌های موازی برای کاهش زمان محاسبات استفاده می‌شود.

برای یک تصویر  $f(x,y)$  با ابعاد  $M \times N$  تبدیل فوریه چنین بیان می‌شود:

$$F(u, v) = \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) e^{-j2\pi(\frac{ux}{M} + \frac{vy}{N})} \quad (3)$$

که در آن  $u$  و  $v$  متغیرهای حوزه فرکانس هستند. اگر تابع فیلتر  $h(x,y)$  بر تصویر اعمال شود در حوزه مکان و فرکانس داریم:

$$f(x, y) * h(x, y) \leftrightarrow H(u, v) F(u, v) \quad (4)$$

$H(u, v)$  تبدیل فوریه فیلتر در حوزه فرکانس است و می‌تواند به شکل‌های مختلف در نظر گرفته شود مانند تابع گوسی که به این شکل بیان می‌شود:

اینکه در این تبدیلات تصویر با استفاده از تابع تبدیلات مبتنی بر فرکانس به مجموعه‌ای از مولفه‌های مختلف تجزیه می‌شود، این امکان ایجاد می‌شود که با استفاده از یک فیلتر مناسب مولفه‌های نویزی حذف شود و با ترکیب مجدد مولفه‌های باقیمانده تصویری بدون نویز ایجاد شود [۱۶-۱۴]. در بخش ۱.۲ پرتونگاره‌ها و شرایط پرتونگاری توضیح داده شده است. در ادامه بخش ساختار دو روش تبدیل فوریه گسسته و تبدیل فوریه کسینوسی توضیح داده شده است. در بخش ۳ نتایج اعمال دو تبدیل بر روی پرتونگاره‌ها و انتخاب بهترین پارامترهای تبدیلات ارائه شده و مقایسه و ارزیابی دو روش انجام شده است.

## ۲- روش کار

### ۲-۱ پرتونگاری

تصاویر پرتونگاره‌های این مطالعه با ولتاژهای مختلف تیوپ دستگاه اشعه ایکس تولید شده است [۱۳]. بعد از تشکیل تصویر روی فیلم از اسکنر دیجیتالی مخصوص فیلمهای رادیوگرافی صنعتی با کلاس DB برای اسکن استفاده شده است. دیجیتال‌سازی مطابق با استاندارد EN-ISO-14096 انجام شده است [۱۷-۱۸]. پرتونگاره‌های انتخابی از لوله‌ها و صفحات جوش داده شده هستند و تنوع کنتراست زیادی دارند. فرمت تصاویر خروجی "TIFF" و "PNG" هستند و اندازه پیکسل اسکنر دیجیتالی ۴۰ میکرون، یعنی ۶۳۰ dpi است. در مجموع ۱۴ پرتونگاره انتخاب شده است.

### ۲-۲ تبدیل فوریه گسسته

تبدیل فوریه که کاربرد بسیار زیادی در ریاضیات، فیزیک و علوم مهندسی دارد می‌تواند هر شکل موج به صورت مجموعه‌ای از توابع سینوسی و کسینوسی بیان کند. این تبدیل برای سیگنال‌های پیوسته و گسسته کاربرد دارد. تبدیل فوریه گسسته<sup>۱</sup>  $DFT^1$  برای یک تابع یک بعدی  $1 \times N$ ، با این رابطه بیان می‌شود [۷-۹]:

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{2\pi i k n / N} \quad (1)$$

که در آن  $x(n)$  تابع در حوزه زمان است که  $N$  بار نمونه

<sup>2</sup> Fast Fourier Transform

<sup>3</sup> Convolution

<sup>1</sup> Discrete Fourier Transform

مخابراتی، کاهش استفاده از پهنای باند شبکه و روش‌های طیفی کاربرد دارد و به علت عملیات کمتر سریعتر از روش فوریه گسسته است.

### ۳- نتایج

در این تحقیق برای بررسی ریشه جوش و عیوب آن از روش تبدیل فوریه گسسته و تبدیل کسینوسی گسسته استفاده شده است. ۱۴ پرتونگاره جوش از داده‌های GDX-ray انتخاب شده‌اند و انتخاب تصاویر بر اساس نوع جوشکاری و کنتراست بوده‌اند. ۶ تصویر از جوشکاری برای اتصال دو لوله و ۸ تصویر از جوشکاری در امتداد لوله انتخاب شده‌اند. ۷ تصویر دارای کنتراست مناسبی بوده‌اند و عیوب جوش روی آنها قابل دیدن بوده و ۷ تصویر دارای کنتراست بسیار کمی بوده‌اند و عیوب جوش در آنها قابل تشخیص نیستند. در این تصاویر پراکندگی اشعه ایکس و ضخامت لوله و انتخاب نادرست انرژی تیوپ اشعه ایکس و نویزهای سیستم پرتونگاری و اسکن فیلم سبب مات شدگی پرتونگاره شده است. این پرتونگاره‌ها با استفاده از فیلم مطابق بخش ۱.۲ تهیه شده و با برنامه‌ی نوشته شده در نرم افزار متلب ۲۰۱۸ با دو الگوریتم تبدیل فوریه گسسته و تبدیل کسینوسی پردازش شده‌اند [۲۰].

در شکل ۱ پرتونگاره دو لوله که با جوشکاری به هم متصل شده‌اند را نشان می‌دهد. پرتونگاری با تکنیک بیضوی از محل اتصال دو لوله نشان می‌دهد که ریشه جوش (نشانگر A) مشخص است ولی خط‌های شناسه کیفیت تصویر<sup>۲</sup> IQI (نشانگر B) واضح نیستند.



شکل ۱. پرتونگاره دو لوله متصل شده با جوشکاری

در الگوریتم‌های DFT با فیلتر تابع گوسی، دو مقدار انحراف معیار تابع گوسی  $\sigma$  و اندازه پنجره وجود دارد که در

$$H(u, v) = e^{-\frac{(u^2+v^2)}{2\sigma^2}} \quad (5)$$

که در آن  $\sigma$  انحراف معیار تابع گوسی است. با تغییر  $\sigma$  شکل تابع گوسی تیزتر یا پهن تر شده و تصویر خروجی تغییر می‌کند.

### ۲-۳ تبدیل فوریه کسینوسی

تبدیل کسینوسی گسسته<sup>۱</sup> (DCT) شباهت بسیاری به تبدیل فوریه گسسته (DFT) دارد، با این تفاوت که حاصل تبدیل فقط مقادیر حقیقی دارد، بر خلاف تبدیل فوریه که منجر به مقادیر مختلط می‌شود از اعداد مختلط استفاده نمی‌کنند. این تبدیل همواره یک تابع زوج نسبت به فرکانس است. در این روش داریم:

$$X(k) = \frac{2}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cos\left(\frac{2\pi ik}{N}\right) \quad (6)$$

که در آن  $x(n)$  تابع در حوزه زمان و  $N$  تعداد نمونه برداری است.  $X(k)$  تابع بدست آمده با تبدیل فوریه کسینوسی است. عکس تبدیل فوریه کسینوسی با این رابطه قابل محاسبه است:

$$x(n) = \sum_{k=0}^{N-1} X(k) \cos\left(\frac{2\pi ik}{N}\right) \quad (7)$$

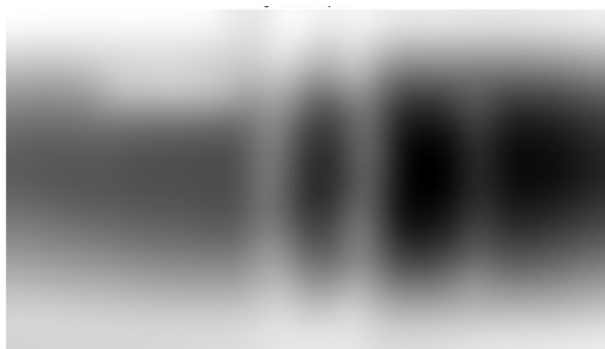
تعداد محاسبات این تبدیل از مرتبه  $N \log(N)$  است و زمان اجرای آن کمتر از تبدیل فوریه گسسته است. برای تصاویر تبدیل در دو بعد پیاده سازی می‌شود، برای یک تصویر  $f(x, y)$  با ابعاد  $M \times N$  تبدیل فوریه کسینوسی چنین بیان می‌شود:

$$F(u, v) = \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \cos\left(\frac{\pi x}{M}\left(u + \frac{1}{2}\right)\right) \cos\left(\frac{\pi y}{N}\left(v + \frac{1}{2}\right)\right) \quad (8)$$

در این روش نیز با اعمال یک فیلتر پایین گذر مانند رابطه (۴) می‌توان بعضی از مولفه‌های تصویر را حذف کرد و کنتراست تصویر را تغییر داد. روش بیشتر در نمان نگاری و فشرده سازی، پردازش سیگنال دیجیتال، دستگاه‌های

<sup>2</sup> Image Quality Indicator

<sup>1</sup> Discrete Cosine Transform

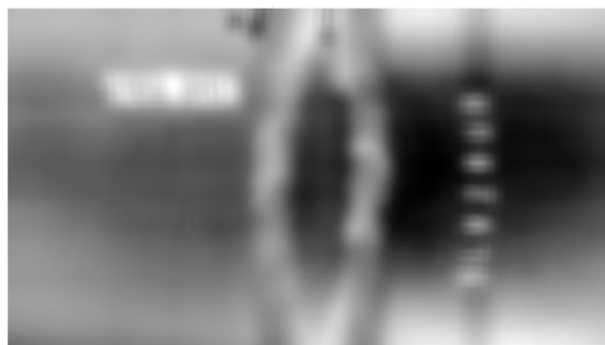


شکل ۲. تصویر بازسازی شده با DFT تصویر خروجی برای مقادیر  $\sigma$  برابر الف-۱، ب-۱۰ و ج-۲۰ در اندازه پنجره ۵۰

بررسی خروجی‌های دو الگوریتم برای تغییرات اندازه پنجره نشان می‌دهد که با بزرگ شدن پنجره تصاویر خروجی مات‌تر می‌شوند. با توجه به بررسی خروجی‌های بدست آمده، نتیجه حاصل شد که استفاده از روش کم کردن تصویر مات شده از پرتونگاره اصلی می‌تواند مفید باشد. در این راستا با انتخاب مقادیر  $\sigma = 10$ ، و اندازه پنجره ۵۰ برای روش DFT و مقدار  $\sigma = 10$  و اندازه پنجره ۵۰ در DCT تصاویر مات شده بدست آمد و از پرتونگاره اصلی کم شد.



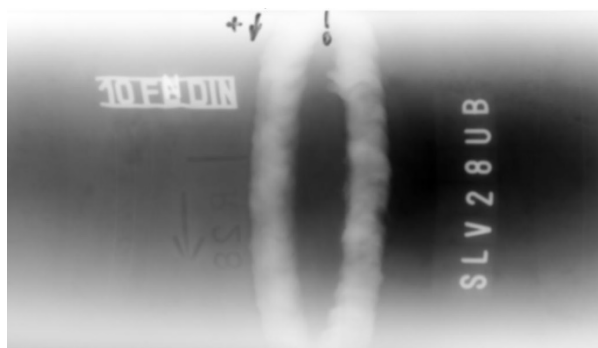
الف



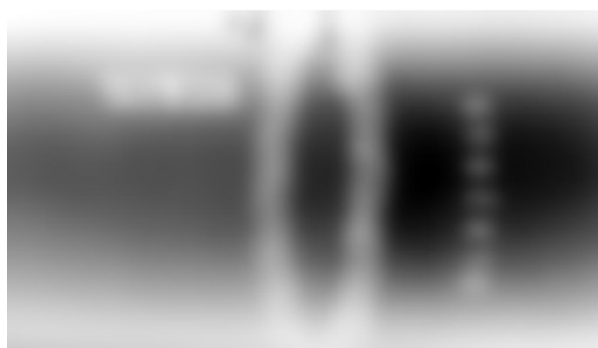
ب

کیفیت تصویر خروجی تاثیر دارند. برای بررسی اثر  $\sigma$  تصاویر خروجی این الگوریتم برای پرتونگاره شکل ۱ به ازای  $\sigma$  و پنجره‌های مختلف بدست آمد. در شکل ۲ خروجی الگوریتم DFT برای سه برابر ۱، ۱۰ و ۲۰ بدست آمد. اندازه پنجره ۵۰ در نظر گرفته شده است. همانگونه که در شکل دیده می‌شود برای مقادیر کم  $\sigma$  تصویر مات شدگی کمتری دارد و با زیاد شدن  $\sigma$  لبه‌ها صاف‌تر شده و تصاویر خروجی مات‌تر می‌شوند. بررسی اندازه پنجره نیز نشان می‌دهد که هرچه پنجره بزرگتر باشد تصویر خروجی مات‌تر می‌شود.

در تبدیل DCT با فیلتر گوسی نیز دو پارامتر  $\sigma$  (رابطه ۴) و اندازه پنجره در کنتراست تصویر خروجی تاثیر دارند. تاثیر این پارامترها بر تصویر خروجی برای الگوریتم تبدیل DCT در شکل ۳ برای مقادیر  $\sigma$  برابر ۱، ۱۰ و ۲۰ در اندازه پنجره ۵۰ نشان داده شده‌اند. همانطور که در شکل دیده می‌شود برای مقادیر کم  $\sigma$  تغییرات نوسانی در نواحی حروف دیده می‌شود. با زیاد شدن  $\sigma$  نوسانات از بین رفته ولی به علت حذف قسمتی از اطلاعات، تصویر خروجی مات شده است. این الگوریتم در فرکانس‌های آتیفتک زیادی دارد.

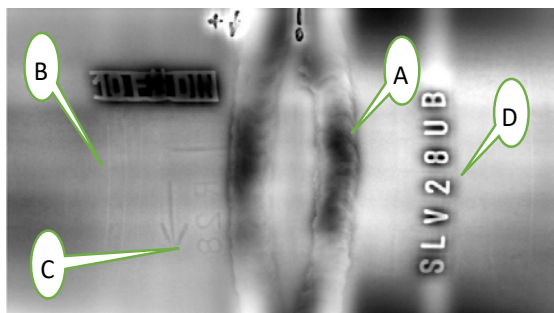


الف



ب



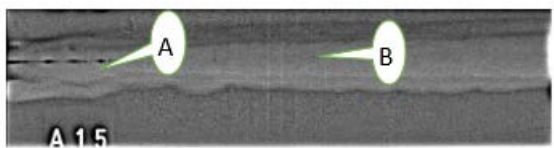


ج

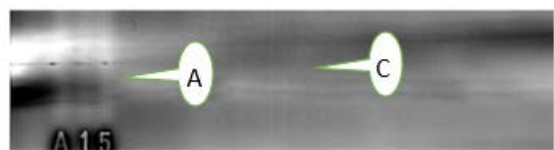
در شکل ۵-الف پرتونگاره یک جوش طولی نشان داده شده است. در روی ریشه جوش یک ترک طولی دیده می‌شود (نشانگر A). تصاویر بازسازی شده در دو شکل ۲-ب و ج نشان داده شده‌اند. در تصاویر بازسازی شده علاوه بر واضح‌تر شدن ناحیه ترک، خطوط IQI (نشانگرهای B و C) نیز دیده می‌شوند. تصویر بازسازی شده با روش DFT جزئیات ریشه جوش را بهتر نشان می‌دهد و حروف سربی آن نیز بهتر قابل مشاهده است.



الف



ب



ج

شکل ۵. الف- پرتونگاره لوله جوشکاری شده طولی ب- تصویر بازسازی شده با FFT - تصویر بازسازی شده با DCT

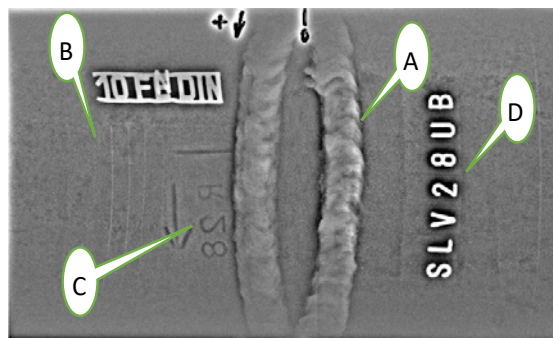
در شکل ۶ پرتونگاره و تصاویر بازسازی شده یک لوله جوشکاری شده نشان داده شده است. پرتونگاره دارای کنتراست خیلی کمی می‌باشد، طوری که اطلاعات زیادی در ریشه جوش را نمی‌دهد ولی حروف IQI و حروف سربی روی پرتونگاره مشخص هستند. در تصاویر بازسازی شده شکل ۳-ب با روش DFT ریشه جوش مشخص شده، در سمت راست دو خط IQI دیده می‌شوند و در سمت چپ تصویر ترک‌های



ج

شکل ۳. تصویر بازسازی شده با DCT تصویر خروجی برای مقادیر k برابر الف- ۱، ب- ۱۰ و ج- ۲۰ در اندازه پنجره ۵۰

در شکل ۴-الف و ب، تصاویر بازسازی شده با دو روش تبدیل DFT و DCT نشان داده شده است. این تصاویر تفاضل پرتونگاره شکل ۱ و شکل‌های ۲-ج و ۳-ج هستند. مقایسه پرتونگاره دو لوله جوشکاری شده در شکل ۱ و تصاویر بازسازی شده آنها در شکل‌های ۴-الف و ب با دو روش DFT و DCT نشان می‌دهد که در تصاویر بازسازی شده علاوه بر مشخص‌تر شدن ریشه جوش (نشانگر A)، خطوط IQI (نشانگر B)، علائم حک شده روی لوله (نشانگر C) و همچنین قاب حروف سربی (نشانگر D) که روی پرتونگاره اصلی دیده نمی‌شدند، واضح شده‌اند. تصویر بازسازی شده با روش DFT جزئیات تصویر را بهتر نشان می‌دهد، در این تصویر سه خط IQI واضح هستند ولی در تصویر بازسازی شده با DCT دو خط دیده می‌شوند. حروف حکاکی شده روی بدنه نیز در تصویر بازسازی شده با DFT بهتر دیده می‌شود.



ب



ج

شکل ۶. الف- پرتونگاره لوله جوشکاری شده طولی با کنتراست کم ب- تصویر بازسازی شده با DFT - تصویر بازسازی شده با DCT

بطور کلی بررسی نتایج برای پرتونگاره‌های مختلف نشان می‌دهد که روش DFT نتایج بهتری در آشکار کردن عیوب ریشه و اطلاعات پرتونگاره‌ها دارد، هر چند زمان اجرای آن بیشتر است و حافظه‌های بیشتری را اشغال می‌کند.

اجرای دو الگوریتم فوق روی پرتونگاره‌های جوش با کنتراست متفاوت نشان می‌دهد که استفاده از روش حذف زمینه که با تنظیم پارامترهای دو الگوریتم برای مات شدن تصویر و کم کردن تصویر مات شده از پرتونگاره اصلی اجرا می‌شود می‌تواند در گستره قابل توجهی از تغییرات کنتراست مفید باشد، مانند پرتونگاره جوش شکل ۱ که دارای کنتراست مناسبی است تا پرتونگاره شکل ۶ که کنتراست کمی دارد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که روش DFT برای همه پرتونگاره‌ها با  $\sigma$  برابر ۲۰ و اندازه پنجره ۵۰ جواب مناسبی داده است. ولی در مورد روش DCT باید دقت کرد که برای پرتونگاره‌ها با کنتراست کم آرتیفکت‌هایی ظاهر می‌شود که ممکن است با عیب اشتباه گرفته شود.

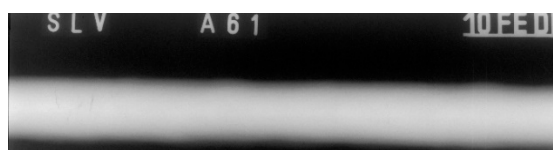
برای ارزیابی نتایج از نظر متخصصین جوش و پرتونگاری استفاده شد. نظرات آنها براساس درصد امتیاز داده شده برای واضح بودن نواحی مختلف جوش در شکل ۴ نشان داده شده است. برای محاسبه امتیازات از هر متخصص خواسته شد که به نواحی مختلف تصویر امتیاز دهند و متوسط درصد متوسط امتیازات در شکل ثبت شده است. نتایج نشان می‌دهد که امتیازات متخصصین برای تصویر بازسازی شده با روش DFT بیشتر بوده است و این امر بیانگر کارایی این روش برای شناسایی بازسازی پرتونگاره و مشخص کردن اطلاعات مهم و نواحی عیب است. در عیب ترک، ناحیه ریشه جوش و خطوط امتیازات روش DFT بیشتر بوده است. در آشکارسازی عیب حفره هر دو روش کارایی یکسانی داشته‌اند. روش DCT بخاطر آرتیفکت‌های زیادی که در تصویر بوجود می‌آورد برای بازسازی، تصویر مناسبی

کوچک ( نشانگر A) پدیدار شده‌اند. برای مشاهده بهتر ناحیه ترک، روشنایی تصویر ۴۰٪ افزایش داده شده‌است. در شکل ۳-ج که تصویر بازسازی شده با روش DCT را نشان می‌دهد ریشه جوش مشخص شده، ولی بخاطر وزن‌دهی اطلاعات در راستای حروف و آرتیفکت بوجود آمده (نشانگر B) تصویر تغییر کرده و حتی ترک‌های کوچک نیز قابل دیدن نیستند.

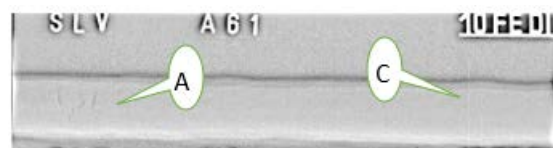
مقایسه زمانی دو الگوریتم DFT و DCT نشان می‌دهد که DCT زمان کمتری را در اجرا دارد. برای پرتونگاره شکل ۳ زمان اجرای برنامه ۳/۲۷ و ۱/۹۲ ثانیه به ترتیب برای دو روش DFT و DCT برای یک پرتونگاره با ابعاد ۱۲۶۹ در ۴۹۹۶ هستند که با یک رایانه با پردازنده Intel(R) Core(TM) i9-11900 @ 2.50GHz و ۱۶ GB حافظه اجرا شده است. در جدول ۱ مقایسه دو روش از نظر زمان اجرا، حجم حافظه اشغالی و تعداد محاسبات آورده شده است. همانطور که دیده می‌شود روش DFT به علت تعداد محاسبات زیاد که حدود  $10^6$  برابر روش DCT است، زمان اجرای طولانی‌تری دارد و حجم حافظه بیشتری اشغال می‌کند.

جدول ۱. مقایسه دو روش DFT و DCT

روش	DFT	DCT
زمان (s)	۳/۲۷	۱/۹۲
حافظه اشغالی (MB)	۱/۶۸	۱/۴۹
تعداد محاسبات	$4/01 \times 10^{13}$	$9/92 \times 10^7$



الف



ب



#### ۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق از دو الگوریتم DFT و DCT برای ارتقاء کنتراست پرتونگاره‌های جوش و مشخص کردن عیوب آنها استفاده شده است. پرتونگاره‌ها انتخابی دارای کنتراست با محدوده گسترده بوده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که روش DFT نسبت به روش DCT کارایی بهتری در مشخص کردن اطلاعات ناحیه جوش، خطوط IQI و عیوب جوش دارد. روش DCT به علت آرتیفکت‌های ناشی از بازسازی اطلاعات غلط از نواحی مختلف جوش می‌دهد. همچنین از نظر زمان اجرای برنامه DFT زمان کمتری را دارد. نتایج حاصل از ارزیابی نتایج توسط متخصصین پرتونگاری و کارشناسان جوشکاری نشان می‌دهد که تصاویر بازسازی شده با DFT محل عیوب را بهتر از پرتونگاره اصلی مشخص می‌کنند و جزئیات در تصاویر بازسازی شده توسط این روش بهتر دیده می‌شوند.

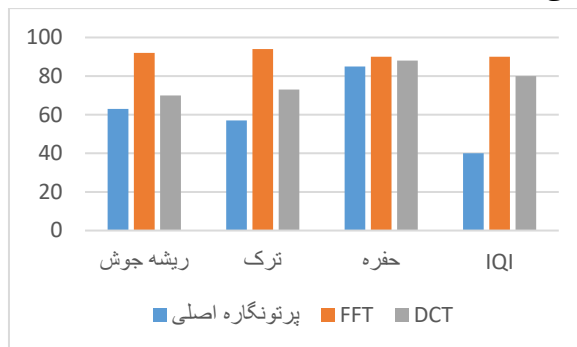
#### ۵- تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

#### ۶- منابع

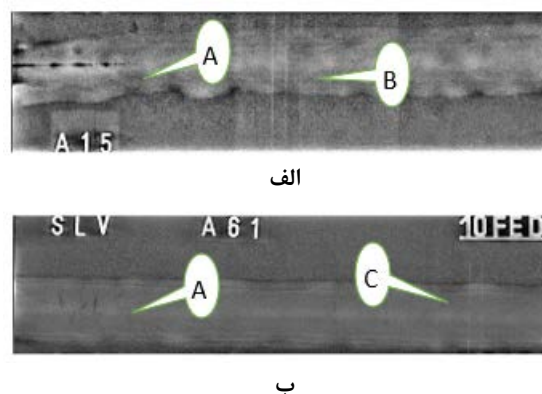
- [1] R. Finch, Welder's Handbook: A Guide to Plasma Cutting, Oxyacetylene, ARC, MIG and TIG Welding, Revised and Updated, HP Books, 2007.
- [2] H. Sharifpour, Specifications of welding technology and inspection: Principles of welding inspection and engineering in steel structure joints, National Building Regulations Office, (Spring 2019), in Persian.
- [3] S. M. Fatemi Tekyeh, M. Shirvani Farsani, Weld inspection: non-destructive tests with radiographic method and interpretation of radiographic images (RT & RTI), Dibagaran Publication, Tehran (2019), in Persian.
- [4] Yahaghi, E., and M. E. Hosseini-Ashrafi. "Comparison of the performance of three domain transform filters for radiographic contrast enhancement of welded objects." Insight-Non-Destructive Testing and Condition Monitoring 62, no. 6 (2020): 352-356.
- [5] M. Rakvin, c, D. Marku, B. Hižman, Evaluation of pipe wall thickness based on contrast measurement using computed radiography (cr). Proc. Eng. 69, 1216-1224 (2014).
- [6] M. Mirzapour, E. Yahaghi, A. Movafeghi The Performance of Three Total Variation Based

نمی‌دهد. همچنین متخصصین برای ارزیابی تصاویر، به مشاهده همزمان پرتونگاره‌ها و تصاویر بازسازی شده تاکید داشته‌اند. باید توجه داشت که هرگونه پردازش تصویر مقداری از اطلاعات تصویر اصلی را کم می‌کند، بنابر این لازم است هنگام بررسی تصاویر پردازش شده به پرتونگاره اصلی توجه شود تا اطلاعات غلط از روی آنها گزارش نشود.



شکل ۴. نتایج ارزیابی پرتونگاره‌ها و تصاویر بازسازی شده

در ادامه برای ارزیابی بهتر مقایسه نتایج دو روش DFT و DCT با روش موجک هار مرجع [۲۱] مقایسه شده است.



مقایسه شکل‌های ۵، ۶ و ۷ نشان می‌دهند که روش‌های DFT و موجک هار با ۴ سطح تجزیه در آشکارسازی نواحی عیب و خطوط IQI نتایج نزدیک به هم دارند (نشانگرهای A, B و C) و تا حدودی تصاویر بازسازی شده با روش موجک مقبول‌تر است. هر دو روش نسبت به روش DCT بهتر عمل کرده و نواحی را با کنتراست بیشتری آشکار کرده‌اند. مقایسه زمانی روش‌ها نشان می‌دهد که موجک هار با حدود ۱/۰۳ ثانیه زمان اجرا ی کمتری دارد. از معایب این روش لزوم تغییر ابعاد تصویر به توانی از ۲ برای اجرا می‌باشد.

- [19] J. W. Cooley; J. W. Tukey, An algorithm for the machine calculation of complex Fourier series. *Math. Comput.* 19 (90): 297–301. (1965). doi:10.2307/2003354. JSTOR 2003354
- [20] R. C. Gonzalez, R. E. Woods, S. L. Eddins, *Digital Image Processing Using MATLAB*, 3rd edition, 2020, ISBN: 9780982085417.
- [21] A. Yahaghi, A. Movafeghi, N. Mohammad-zadeh, Comparison of empirical mode decomposition and wavelet methods in detecting cracks in welding, *Machine Vision and Image Processing Journal*, (1)2, 23-31, (2014), in Persian.
- Algorithms for Enhancing the Contrast of Industrial Radiography Images, *Research in Nondestructive Evaluation* (2020).
- [7] S. S. Pandey, M. Pratap Singh, V. Pandey, Image Transformation and Compression using Fourier Transformation, *International Journal of Current Engineering and Technology*, 5(2), (2015).
- [8] J. Hu, Z. Shan, Image Compression Based on Improved FFT Algorithm, *Journal of Networks*, 6 (7) 1041-1048 (2011).
- [9] J. A. Richards, *Remote Sensing Digital Image Analysis*, Springer, 148–172 (1986), DOI: 10.1007/978-3-662-02462-1\_7 .
- [10] P. Nair, A. Popli, K. N. Chaudhury, A Fast Approximation of the Bilateral Filter using the Discrete Fourier Transform, *Image Processing On Line*, 7 (2017), pp. 115–130. <https://doi.org/10.5201/ipol.2017.184>
- [11] W. Zeng and H. Gao, Image Processing Research Based on Fractional Fourier Transform. *Journal of Software Engineering*, 9: 318-327 (2015). DOI: 10.3923/jse.2015.318.327
- [12] X.L. Chen, N.B. Liu, G.Q. Wang, J. Guan and Y. He, Gaussian short-time fractional fourier transform based detection algorithm of target with micro-motion at sea. *J. Acta Electronica Sinica*, 42: 971-977 (2014).
- [13] D. Mery, V. Rizzo, U. Zscherpel, G. Mondragón, I. Lillo, I. Zuccar, H. Lobel, M. Carrasco, GDxray: the database of X-ray images for non-destructive testing. *Journal of Nondestructive Evaluations*. Vol. 34(4), 42 (2015).
- [14] G. Gokmen, O. Akgun, T.C. Akinci, S. Seker, Fast Fourier transformation of emitted noises from welding machines and their classification with acoustic method, *MECHANIKA*. 23(4): 588-593 (2017).
- [15] M. I. Rajab, T. Ahmed El-Benawy, M. W Alhazmi, Application of frequency domain processing to X-ray radiographic images of welding defects, *Journal of X-Ray Science and Technology* 15(3):147-156, (2007).
- [16] O. Akgun, T.C. Akinci, S. Seker, Fast Fourier transformation of welding machines and their classification with acoustic method. *Mechanika*, Vol. 23 No. 4 (2017).
- [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).