

Investigating the defects of gas pipes with industrial gamma radiography method and weighted anisotropic–isotropic total variation

Mahdi Mirzapour^{1✉} | Amir Movafeghi² | Effat Yahaghi³

1. Corresponding Author*, Department of Mathematics, Faculty of Sciences, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran. E-mail: m.mirzapour@basu.ac.ir
2. Reactor and Nuclear Safety Research School, Nuclear Science & Technology Research Institute (NSTRI), E-mail: amovafeghi@aeoi.org.ir
3. Department of Physics, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran. E-mail: yahaghi@sci.ikiu.ac.ir

Article Information:

Research Article

Received 20 Oct. 2023

Revised 25 January 2023

Accepted 15 Feb. 2023

Keywords:

Nondestructive testing,
Gamma Radiography,
Image processing,
weighted anisotropic–
isotropic total variation.

ABSTRACT

Industrial gamma radiography is used to test the defect of thick pipes in the oil and gas industry. Due to the high energy of the gamma sources used in radiography, the permeability is high in parts with a thickness of several inches and gives a good image of the internal characteristics of the pipe. Due to various factors such as the scattering of gamma rays and the stages of emergence and proofing of the film, the recorded image is usually blurred. The resolution and contrast of radiographic images have an important rule for precise interpretation and better defect detection. Different methods of image processing, both in the frequency and spatial domains, can be useful for improving the quality of radiographs. Various types of total variation-based methods have been used to improve the quality of images in different types of image processing problems. In this research, the weighted isotropic-anisotropic total variation method (WAITV) has been used to process and improve the contrast of radiographic images. This method works based on horizontal and vertical differential operators and isotropic and anisotropic conversion functions and provides fast algorithmic coefficients for optimization using the alternating path method. This algorithm was applied to 24 prepared radiographic images and the original and processed images were evaluated by experts. The results of the evaluation show that, according to specialists, the use of the WAITV method has an effect of 10 to 20% in improving the contrast of radiographic images. In general, the edges of the images are sharper, and different regions such as IQI lines and defects are better seen in the processed images. Experts also emphasize that due to the changes in brightness in the pixels and the possibility of creating false defects, the use of this method and other processing methods can only be interpreted when compared with the original radiographic image.

Cite this article: Mirzapour, M., Movafeghi, A., & Yahaghi, E. (2023). Investigating the defects of gas pipes with industrial gamma radiography method and weighted anisotropic–isotropic total variation. *Journal of Nondestructive Testing Technology*, 3 (3), 47-55. <http://doi.org/10.30494/JNDT.2024.421117.1131>

بررسی عیوب لوله‌های گاز با روش پرتونگاری صنعتی گاما و وردش همسان‌گرد- ناهمسان‌گرد وزن‌دار

مهدی میرزاپور^۱ ✉، امیر موافقی^۲، عفت یاحقی^۳

۱. نویسنده مسئول، گروه ریاضی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران. m.mirzapour@basu.ac.ir

۲. پژوهشکده راکتور و ایمنی هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، تهران، ایران. رایانامه: amovafeghi@aeoi.org.i

۳. گروه فیزیک، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران، رایانامه: yahaghi@sci.ikiu.ac.ir

یکی از روش‌های مهم برای بررسی آسیب‌های لوله‌های ضخیم در صنعت گاز و نفت استفاده از پرتونگاری صنعتی گاما است. به علت انرژی بالای چشمه‌های گاما در پرتونگاری، نفوذپذیری آنها در قطعات تا ضخامت حدود چند اینچ است و تصویر مناسبی از مشخصات داخلی لوله می‌دهد. بر اثر عوامل مختلفی مانند پراکندگی ذاتی پرتو گاما و مداخلات مراحل ظهور و ثبوت فیلم، تصویر ثبت شده معمولاً مات شدگی دارد. کنتراست (تباين) و قدرت تفکیک تصاویر پرتونگاری نقش مهمی در تفسیر دقیق فیلم‌های پرتونگاری و شناسایی عیوب دارند. روش‌های مختلف پردازش تصویر اعم از حوزه فرکانس و مکان می‌توانند برای بهبود تباين پرتونگاره‌ها مفید باشند. روش وردش یکی از متداول‌ترین روش‌های پردازش تصویر است. انواع مختلفی از روش‌های مبتنی بر وردش برای بهبود کیفیت تصاویر در مسائل مختلف پردازش تصویر مورد استفاده قرار گرفته است. در این تحقیق از روش وردش همسان‌گرد- ناهمسان‌گرد وزن‌دار (WAITV) برای پردازش و بهبود تباين تصاویر پرتونگاری استفاده شده است. این روش بر اساس عملگرهای تفاضل افقی و عمودی و تابع وردش همسان‌گرد وردش ناهمسان‌گرد عمل می‌کند و از روش مسیر متناوب ضرایب الگوریتمی سریع را برای بهینه‌سازی ارائه می‌دهد. این الگوریتم بر روی ۲۴ تصویر پرتونگاری تهیه شده اعمال شد و تصاویر اصلی و پردازش شده توسط متخصصین پرتونگاری صنعتی که در جوشکاری لوله‌های نفت و گاز مهارت دارند، ارزیابی شده‌اند. نتایج ارزیابی نشان می‌دهد که از نظر این متخصصین استفاده از روش WAITV در بهبود تباين تصاویر پرتونگاری بین ۱۰ تا ۲۰ درصد بهبود داشته است. در کل لبه‌های تصاویر تیزتر شده و نواحی مختلف مانند خطوط IQI و عیوب در تصاویر پردازش شده بهتر دیده می‌شوند. همچنین این متخصصین تأکید می‌کنند که با توجه به تغییرات روشنایی در پیکسل‌ها و امکان ایجاد عیوب دروغین استفاده از این روش و روش‌های دیگر پردازش تنها در صورت مقایسه با تصویر پرتونگاری اصلی قابل تفسیر است.

اطلاعات مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:

۱۴۰۲/۰۷/۲۸

تاریخ بازنگری:

۱۴۰۲/۱۱/۰۵

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۲/۱۱/۲۶

کلیدواژگان:

آزمون‌های غیرمخرب،
پرتونگاری گاما،
پردازش تصویر،
روش وردش همسان‌گرد-
ناهمسان‌گرد وزن‌دار

استناد: میرزاپور، مهدی؛ موافقی، امیر؛ و یاحقی، عفت. (۱۴۰۲). بررسی عیوب لوله‌های گاز با روش پرتونگاری صنعتی گاما و وردش همسان‌گرد- ناهمسان‌گرد وزن‌دار. *مجله فناوری آزمون‌های غیرمخرب*، ۳ (۳)، ۴۷-۵۵. <http://doi.org/10.30494/JNDT.2024.421117.1131>

۱- مقدمه

پرتونگاری صنعتی یا پرتو گاما یک روش مهم تصویربرداری غیرمخرب است که برای بررسی و تشخیص نقاط ضعف و عیوب در جوش‌ها و قطعات فلزی استفاده می‌شود. این روش غیرمخرب در بسیاری از صنایع مانند جوشکاری، نفت و گاز، پتروشیمی و ساخت و ساز استفاده شده و برای تشخیص عیوب و نقاط ضعف در لوله‌ها، قطعات فلزی و سازه‌های بزرگ بکار می‌رود. در این روش، از منابع تابش گاما مانند کبالت-۶۰، ایریدیم-۱۹۲ یا ایزوتوپ‌های گامازای دیگر استفاده می‌شود. در جوشکاری، پرتونگاری گاما به عنوان یک روش ارزان و سریع برای تشخیص عیوب جوش استفاده می‌شود. با استفاده از این روش، می‌توان عیوب مانند به وجود آمدن بریدگی^۱، تخلخل^۲، ترک^۳ و وجود ناخالصی‌های حبس شده^۴ را در جوش تشخیص داد. همچنین، می‌توان با استفاده از تصاویر گاما، کیفیت جوش را ارزیابی کرده و اطمینان حاصل کرد که جوش به درستی انجام شده است [۱ و ۲].

چشمه مورد استفاده در پرتونگاری گاما، رادیوایزوتوپ‌های گسیلنده گاما مانند ایریدیم-۱۹۲ و کبالت-۶۰ هستند و برای بررسی دیوارهای ضخیم در لوله‌ها کاربرد دارند [۳-۶]. مزایای استفاده از پرتونگاری گاما قابلیت نفوذ در ضخامت‌های بالای قطعات فلزی، قدرت تفکیک بالا و بررسی جزئیات دقیق در پرتونگاری قطعات ضخیم است. همچنین استفاده از آن در شرایط محیطی مختلف آسان‌تر است و نیاز به سیستم‌های الکتریکی برای تغذیه ندارد. حجم چشمه‌ها کم، قابلیت حمل و نقل آسان است [۳-۴].

با این حال، پرتونگاری گاما دارای برخی محدودیت‌ها نیز است که عبارتند از: نیاز به مجوزهای خاص برای استفاده از چشمه‌های تابش گاما، خطرات پرتوی برای کارکنان و محیط زیست در صورت عدم رعایت اصول ایمنی، هزینه‌های بالا برای تهیه و نگهداری منابع تابش گاما، تغییرات اکتیویته و تضعیف چشمه با زمان و عدم امکان خاموش کردن پرتوهای گاما.

در تصاویر پرتو ایکس، از منابع تابش ایکس مانند لوله‌های

تولید کننده ایکس استفاده می‌شود. تصاویر ایکس قابلیت نفوذ به ضخامت‌های کمتر را دارند و برای بررسی ضخامت‌های کم قطعات مورد استفاده قرار می‌گیرند. پرتو گاما برای ضخامت‌های بیشتر استفاده می‌شوند و عمق نفوذ بیشتری دارند. تصاویر پرتو ایکس معمولاً با قدرت تفکیک بالا و جزئیات دقیق‌تری نسبت به تصاویر حاصل شده از پرتونگاری گاما دارند ولی برای ضخامت‌های زیاد فلزات به علت انرژی کمتر قابل دسترسی تصاویر خوبی حاصل نمی‌کنند [۴].

با توجه به مات شدگی و کیفیت پایین تصاویر پرتونگاری گاما، استفاده از روش‌های پردازش تصویر، می‌تواند کیفیت تصاویر را بهبود دهد و عیوب به طور دقیقتر تشخیص داده شود. همچنین، این روش‌ها به کارشناسان کمک می‌کنند تا اطلاعات بیشتری از تصاویر استخراج کنند و تحلیل دقیق‌تری از عیوب انجام دهند [۷-۹].

پرتونگاری گاما یکی از کاربردهای اصلی در بررسی جوشکاری لوله‌های فلزی است. در جوشکاری دو قطعه مختلف با روش‌های مختلف جوشکاری مانند جوشکاری قوس الکتریکی فلزی و جوشکاری فلزات نرم اتصال پیدا می‌کنند. هرگونه ناهمگنی و ناپیوستگی در محل جوش باعث تنش و شکستگی قطعه از این محل می‌شود. شناسایی این عیوب با پرتونگاری انجام می‌شود. برای بهبود تباین (کنتراست) تصویر می‌توان از روش‌های پردازشی مختلف استفاده کرد [۷]. اصولاً شناسایی عیوب مختلف در تصاویر پرتونگاری به کمک اختلاف در میزان روشنایی آنها صورت می‌پذیرد که عامل مهم تباین را ایجاد می‌کند. در کنار این عامل، قدرت تفکیک مکانی تصاویر هم عامل تعیین کننده‌ای برای تشخیص لبه‌ها و عیوب ریز به شمار می‌رود. پس قدرت تفکیک مکانی و تباین دو عامل مهم برای تشخیص عیوب در تصاویر پرتونگاری صنعتی هستند.

روش‌های پردازش تصویر حوزه‌های مختلفی دارند که هنوز در حال پیشرفت هستند. این الگوریتم‌ها بر اساس علم ریاضی می‌توانند تغییراتی در تصویر ایجاد کنند که باعث تغییرات تباین شوند. مری و همکاران روش‌های ساده‌ای بر

³ Crack⁴ Slag inclusion¹ Undercut² Porosity

وزندار برای پردازش تصاویر پرتونگاری گاما استفاده شده است. تعداد تصاویر گامای استفاده شده ۲۴ تصویر مربوط به تصاویر پرتونگاری جوشکاری لوله‌های نفت و گاز است که با روش فیلم پرتونگاری شده‌اند.

۲- روش‌ها

۲-۱ پرتونگاری گاما

در این تحقیق از ۲۴ تصویر پرتونگاری که با پروژکتور گاما در یک سایت بازرسی خطوط لوله تهیه شده، استفاده شده است. این فیلم‌ها با اسکنر مخصوص فیلم به تصاویر دیجیتال تبدیل شده‌اند. این اسکنر با قدرت تفکیک مکانی ۲۵۰ dpi برای تبدیل فیلم‌ها به تصاویر دیجیتال مورد استفاده قرار گرفته است. پرتونگاری از چشمه گامای ایریدیوم-۱۹۲ با فعالیت‌های متفاوت مطابق جدول ۱ برای هر پرتونگاری بوده است. ضخامت لوله‌ها و مدت زمان پرتودهی^{۱۲} نیز در جدول قوسی با الکتروود دستی روکش دار (SMAW^{۱۳}) استفاده شده است.

جدول ۱- مشخصات لوله‌ها و مدت زمان پرتونگاری

شماره لوله	اندازه لوله	اندازه ضخامت	فعالیت (Ci)	زمان پرتونگاری (min)
۱	۸	۱۸/۸	۳۰/۷	۲۷
۲	۴	۶/۰۲	۹	۲۰
۳	۴	۶/۰۲	۲۴/۱۹	۷
۴	۴	۶/۰۲	۲۴	۷
۵	۱۲	۶/۳۵	۱۹/۹۶	۸۳

چیدمان پرتونگاری در شکل ۱ نشان داده شده است. دوربین گاما از نوع سنتینیل 880 دلتا با قدرت بارگزاری حداکثر ۱۵۰ کوری ایریدیوم-۱۹۲ و تیوب هدایت چشمه در تصویر مشاهده می‌شوند. فیلم پرتونگاری از نوع کداک (AA-400)

اساس صافی میلنه^۱ و لبه‌یابی^۲ را در سال ۲۰۱۵ ارائه کردند [۷]. کسبان و همکاران در سال ۲۰۱۲ از چند صافی از جمله وینر^۳ برای پردازش تصاویر پرتونگاری گاما استفاده کردند [۸]. در بسیاری از موارد استفاده از صافی‌های پیشرفته باعث بهبود بیشتر تباین تصاویر می‌شود. میرزاپور و همکاران روش در سال ۲۰۲۱ از روش درهم آمیختگی^۴ بر اساس هوش مصنوعی^۵ برای پردازش تصاویر ایکس استفاده کردند و اندازه عیوب را محاسبه کردند [۹]. هرچند روش‌های مختلفی برای پردازش تصاویر پرتونگاری استفاده شده است ولی باید دقت داشت که در هر الگوریتم ریاضی استفاده شده در پردازش پارامترهایی از تصویر استخراج می‌شوند که می‌توانند اطلاعات مختلفی در اختیار مفسر بگذارند.

استفاده از منظم‌ساز وردش^۶ (TV)، یک روش بسیار متداول برای نویزدایی از تصاویر است. این روش که اولین بار توسط رودین، اوشر و فاطمی [۱۰] پیشنهاد شد تنها برای تصاویری که بصورت قطعه‌ای هموار هستند عملکرد مناسبی دارد و برای تصاویر طبیعی معمولاً منجر به آرتیفکت یا درستی‌های پله‌ای^۷، کاهش تباین و از دست رفتن جزئیات کلیدی در تصاویر می‌شود [۱۱]. برای غلبه بر این ایرادها، انواع مختلفی از روش‌های مبتنی بر وردش^۸ TV، مانند روش‌های وردش غیرموضعی^۹ و وردش تعمیم‌یافته^{۱۰}، پیشنهاد شده است که همه این روش‌ها از نظر محاسباتی دارای هزینه زیادی هستند [۱۲]. مطالعات نشان داده است که منظم‌سازهای غیرمحدب، مانند منظم‌ساز ناهمسانگرد TV^p و $0 < p < 1$ ، نسبت به منظم‌سازهای محدب عملکرد بهتری در حفظ لبه‌های تصویر دارند [۱۳]. در این مقاله، مشابه با مقاله [۱۴]، از یک روش وردش همسانگرد-ناهمسانگرد وزندار^{۱۱} (WAITV)، که ویژگی‌های مثبت هر دو نوع وردش را برای نویزدایی از تصویر به کار می‌بندد، استفاده می‌کنیم. نتایج پیاده‌سازی روش WAITV بیانگر کارایی این روش در تولید تصاویر با نویز کمتر و تباین بیشتر است. در این تحقیق از روش وردش همسانگرد-ناهمسانگرد

⁸ Total Variation

⁹ Nonlocal TV

¹⁰ Generalized TV

¹¹ weighted anisotropic-isotropic total variation

¹² Exposure time

¹³ Shielded Metal Arc Welding

¹ Median Filter

² Edge detection

³ Wiener Filter

⁴ Convolution

⁵ Artificial intelligence

⁶ Total variation

⁷ Staircasing artifacts

$$\min_u \lambda \langle u - f \log u, \mathbb{1} \rangle + \|\nabla u\|_1 - \alpha \|\nabla u\|_{2,1} \quad (3)$$

که در آن f تصویر نویزی، $\lambda > 0$ پارامتر منظم‌ساز و $\alpha \in (0,1)$ کنترل کننده تنگی عملگر گرادیان^۲ است. مسأله (۳) به دلیل وجود جمله λ - 1 ، یک مسأله بهینه‌سازی نامحدب است و حل مستقیم آن دارای هزینه بالایی است زیرا این نوع مسائل در دسته مسائل NP-hard^۳ قرار می‌گیرند. یکی از روش‌های حل این نوع مسائل، استفاده از تکنیک‌هایی است که مسأله اصلی را به چند زیرمسأله^۴ تبدیل می‌کنند بنحوی که هر کدام از زیرمسأله‌ها با هزینه محاسباتی کمتری قابل حل باشند. در این مقاله، برای حذف نویز و بدست آوردن تصویر با کیفیت بیشتر و تباین بالاتر از استراتژی حذف پس زمینه استفاده می‌کنیم که در آن، مشلبه با مقله [۱۰]، برای حل مسأله WAITV، از روش مسیر متناوب ضرایب (ADMM^۵)، که یک روش سریع و کارا را برای حل مسائل بهینه‌سازی مقید است، استفاده می‌کنیم. فرم لاگرانژ مسأله (۳) را می‌توان بصورت زیر در نظر گرفت:

$$\mathcal{L}_\beta(u, v, w, y, z) = \lambda \langle v - f \log v, \mathbb{1} \rangle + \|w\|_1 - \alpha \|w\|_{2,1} + \langle y, u - v \rangle + \frac{\beta}{2} \|u - v\|_2^2 + \langle z, \nabla u - w \rangle + \frac{\beta}{2} \|\nabla u - w\|_2^2, \quad (4)$$

که در آن $z = (z_x, z_y) \in \mathbb{R}^{M \times N}$ ، $y \in \mathbb{R}^{M \times N}$ یک $\beta > 0$ پارامتر جریمه^۶ است. روش ADMM بصورت تکراری همه متغیرهای فوق را بروزرسانی می‌کند تا شرایط توقف مهیا شود. همگرایی روش ADMM به یک نقطه بهینه موضعی مسأله (۳) اثبات شده است [۱۶]. فرض کنید \mathcal{F} و \mathcal{F}^{-1} به ترتیب بیانگر تبدیل فوریه دوبعدی و معکوس آن باشند و * و \circ به ترتیب بیانگر عملگرهای گرادیان مزدوج و ضرب مولفه‌ای باشند. بدون در نظر گرفتن جزئیات، تکرارهای اصلی روش ADMM بصورت زیر است:

با دانه‌بندی^۱ متوسط به دور منطقه جوشکاری پیچانده شده است. این فیلم جزء فیلم‌های با سرعت بالا و کیفیت متوسط محسوب می‌شود. از انواع لوله با ضخامت‌ها و قطرهای مختلف پرتونگاری انجام شده است.



شکل (۱) چیدمان برای پرتونگاری گاما

۲-۲ تئوری روش وردش همسانگرد- ناهمسانگرد وزن‌دار فرض کنید $u \in \mathbb{R}^{M \times N}$ بیانگر یک تصویر و عملگر گرادیان گسسته $(\nabla u)_{i,j} = ((\nabla_x u)_{i,j}, (\nabla_y u)_{i,j})$ که در آن ∇_x و ∇_y به ترتیب بیانگر عملگرهای تفاضل افقی و عمودی هستند. بدون در نظر گرفتن برخی جزئیات، تابع وردش همسانگرد $\|\nabla u\|_{2,1}$ و وردش ناهمسانگرد $\|\nabla u\|_1$ بصورت زیر فرمول‌بندی می‌شوند:

$$\|\nabla u\|_{2,1} = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \sqrt{(\nabla_x u)_{i,j}^2 + (\nabla_y u)_{i,j}^2} \quad (1)$$

$$\|\nabla u\|_1 = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N |(\nabla_x u)_{i,j}| + |(\nabla_y u)_{i,j}|. \quad (2)$$

در اینصورت مدل WAITV، که توسط لئو و همکاران [۱۵] پیشنهاد شده است، بصورت زیر فرموله می‌شود:

⁴ Subproblems

⁵ Alternating direction method of multipliers

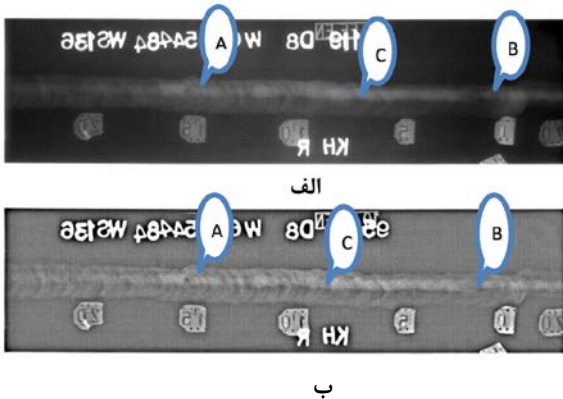
⁶ Penalty parameter

¹ Graininess

² Sparsity of the gradient operator

³ Non-deterministic Polynomial-time hard

وزن دار برای بهبود تصاویر پرتونگاری به کار گرفته شده است. ابعاد پرتونگاره‌های تهیه شده حدود 680×2600 بوده است. در شکل ۲-الف تصویر پرتونگاری از جوش یک لوله ۸ اینچی که مطابق ردیف ۱ جدول ۱ پرتونگاری شده، نشان داده شده است. در روی شکل ریشه و مرز جوش، خط کش سربی، حروف سربی و قسمت‌های عیوب جوش مانند حفره (نشانگر A)، تعقر جوش (نشانگر B) و ذوب ناقص جوش (نشانگر C)، قابل مشاهده هستند. در شکل ۱-ب تصویر پردازش شده با WAITV نشان داده شده است. برای بازسازی تصاویر پارامتر ADMM برای همگرایی 10^{-3} ؛ $\lambda = 0.0005$ و $\beta_0 = 0.1/2$ مطابق مرجع [۱۰] در نظر گرفته شده‌اند. مقایسه دو شکل ۲-الف و ب نشان می‌دهد که مرز و ریشه جوش در تصویر بازسازی شده بهتر دیده می‌شود. همچنین حفره در تصویر بازسازی شده واضح‌تر است (نشانگر A)، تغییرات ذوب ناقص جوش (نشانگر C) قابل ملاحظه‌تر است. به علت تغییرات روشنایی پیکسل‌ها عیب تعقر جوش (نشانگر B) در تصویر بخوبی قابل تشخیص نیست.



شکل ۲) الف تصویر پرتونگاری لوله ۸ اینچی ب- تصویر بازسازی آن

در شکل ۳-الف تصویر پرتونگاری جوش لوله ۴ اینچی مطابق با مشخصات ردیف ۲ جدول ۱ نشان داده شده است. در روی شکل پیوستگی ریشه جوش (نشانگر A) مشخص است ولی واضح نیست، همچنین حروف سربی و خط کش سربی واضح دیده می‌شوند. مقایسه تصویر پرتونگاری با تصویر بازسازی شده نشان می‌دهد که در تصویر پردازش شده شکل ۳-ب ریشه جوش در تصویر بازسازی شده بهتر دیده می‌شود (نشانگر A). ترک طولی در امتداد جوش مشخص است (نشانگر B). همچنین بریدگی در کنار جوش

$$u_{k+1} = \mathcal{F}^{-1} \left(\frac{\mathcal{F}(\beta_k v_k - y_k) - \mathcal{F}(\nabla)^* \circ \mathcal{F}(z_k - \beta_k w_k)}{\beta_k \mathcal{F}(I + \nabla^T \nabla)} \right), \quad (5)$$

$$v_{k+1} = \frac{(\beta_k u_{k+1} + y_k - \lambda \mathbb{1}) + \sqrt{(\beta_k u_{k+1} + y_k - \lambda \mathbb{1})^2 + 4\lambda \beta_k f}}{2\beta_k}, \quad (6)$$

$$(w_{i,j})_{k+1} = \text{Prox} \left((\nabla u_{k+1})_{i,j} + \frac{(z_k)_{i,j}}{\beta_k}, \alpha, \frac{1}{\beta_k} \right), \quad (7)$$

که در آن عملگر Prox ، بیانگر عملگر پروگزیمال است. الگوریتم ۱، بیانگر مراحل اصلی روش ADMM برای حل مساله (۳) می‌باشد.

الگوریتم ۱: نویززدایی از تصاویر پرتونگاری با روش ADMM و حذف پس‌زمینه

ورودی: λ پارامتر تنظیم، β_0 پارامتر جریمه، $1 > \sigma$ و مقدار خطا $\epsilon > 0$

مقادیر اولیه: u_0, w_0, z_0

۱. $k = 0$
۲. تا این شرط $\frac{\|u_k - u_{k-1}\|}{\|u_k\|} > \epsilon$ مراحل را انجام بده
۳. u_{k+1} را از رابطه (۵) محاسبه کن
۴. v_{k+1} را از رابطه (۶) محاسبه کن
۵. w_{k+1} را از رابطه (۷) محاسبه کن
۶. این محاسبات را انجام بده
۷. اگر شرط برآورده شده برو مرحله ۸ و گرنه از مرحله ۳ را تکرار کن
۸. $\bar{u} = u_{k+1}$
۹. $u^* = f - \bar{u}$

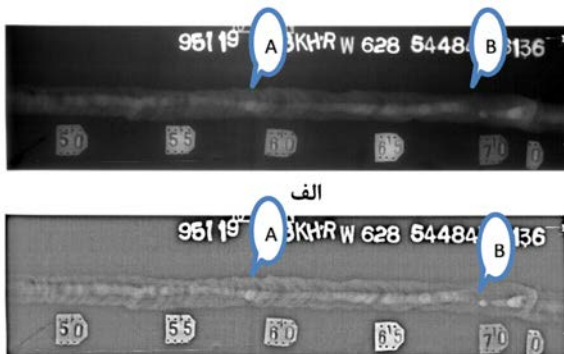
کیفیت تصاویر در محیط برنامه نویسی MATLAB-2021 و با استفاده از پردازنده Intel® Core™ i9 با 16 Gbyte حافظه دینامیکی صورت گرفته است.

۳- نتایج

در این تحقیق لوله‌های گاز با روش تصویر برداری گاما پرتونگاری شده و روش وردش همسانگرد- ناهمسانگرد

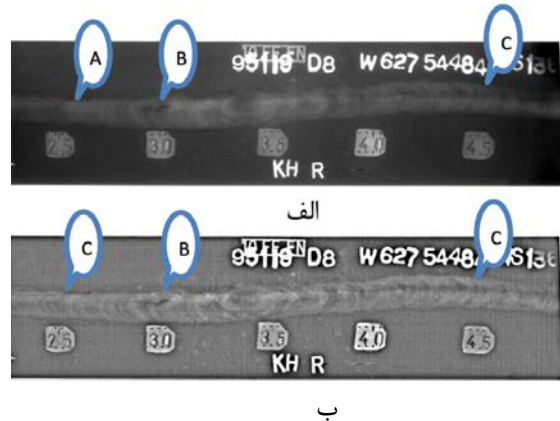
شکل ۵- الف و ب تصویر پرتونگاری و تصویر بازسازی شده یک لوله ۴ اینچی نشان داده شده‌اند. مشخصات لوله و پرتونگاری در ردیف ۴ جدول ۱ آورده شده‌اند. پرتونگاری و در این تصاویر نیز علاوه بر بهتر مشخص شدن ریشه و مرز جوش در تصویر بازسازی شده تراکم الکتروود ذوب در قسمت های مختلف جوش مشخص تر شده است (نشانگرهای A و B).

پرتونگاری یک لوله ۱۲ اینچی در شکل ۶- الف نشان داده شده که مشخصات لوله و پرتونگاری در ردیف ۵ جدول ۱ درج شده است. در تصویر پرتونگاری ریشه جوش و تغییرات در ذوب الکتروود جوش در امتداد جوش دیده می‌شود. در تصویر بازسازی شده شکل ۶- ب علاوه بر بهتر دیده شدن مسیر ذوب الکتروود در امتداد ریشه جوش ۲ خط از IQI نیز دیده می‌شوند (نشانگر A) که در تصویر پرتونگاری اصلی قابل مشاهده نیستند. همچنین ذرات خاک نیز در طول مسیر جوشکاری قابل مشاهده هستند (نشانگر B).



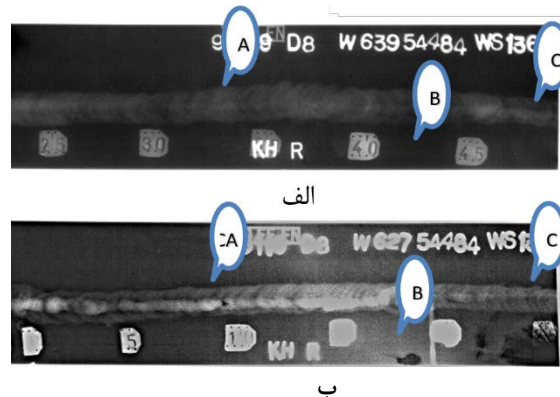
شکل ۵) الف- تصویر پرتونگاری یک لوله ۴ اینچی ب- تصاویر بازسازی شده آن

که ناشی از تغییرات ذوب الکتروود در امتداد جوشکاری است نیز در تصویر بازسازی شده بهتر دیده می‌شود (نشانگر C).



شکل ۳) الف تصویر پرتونگاری لوله ۴ اینچی ب- تصویر بازسازی آن

در شکل ۴- الف و ب تصویر پرتونگاری یک لوله دیگر ۴ اینچی و تصویر پردازش شده آن نشان داده شده‌اند. در کل این تصویر از نظر مفسر به علت پرتونگاری نامناسب اولیه مورد قبول نمی‌باشد و اطلاعات زیادی را در بر ندارد. در روی شکل پیوستگی ریشه جوش (نشانگر A) واضح نیست ولی حروف سربی و خط کش سربی واضح دیده می‌شوند. در تصویر پردازش شده شکل ۴- ب ریشه جوش در تصویر بازسازی شده بهتر دیده می‌شود (نشانگر A). کثیفی در قسمت‌های مختلف دیده می‌شود که نشان می‌دهد لوله در خاک بوده است (نشانگر B). همچنین حفره در تصویر بازسازی شده واضح تر است (نشانگر C). قابل ملاحظه تر است. به علت تغییرات روشنایی پیکسل‌ها عیب تعقر جوش در تصویر بخوبی قابل تشخیص نیست.



شکل ۴) الف تصویر پرتونگاری لوله ۴ اینچی ب- تصویر بازسازی آن

۴- نتیجه‌گیری

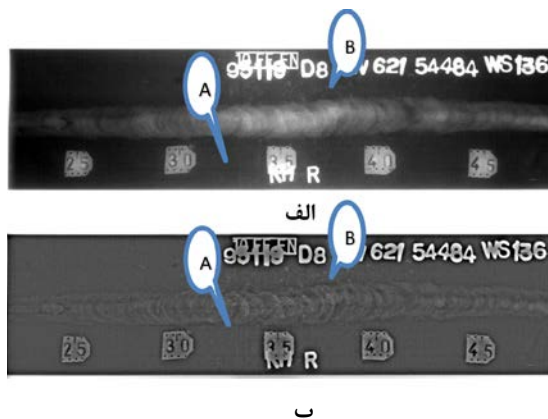
در این تحقیق تصاویر پرتونگاری گاما با ایریدیم ۱۹۲ برای لوله‌های گاز ۴ تا ۱۲ اینچی تحت زمان‌های مختلف تابش مورد بررسی قرار گرفته است. در تصاویر پرتونگاری هرچند نواحی مختلف مانند ریشه جوش و عیوب مشخص هستند ولی مات شدگی باعث عدم وضوح لبه‌ها شده است. برای بهبود تباین تصاویر پرتونگاری از روش وردش همسانگرد- ناهمسانگرد وزن‌دار (WAITV) استفاده شده است. نتایج ارزیابی نشان می‌دهد که از نظر متخصصین استفاده از روش WAITV برای افزایش تباین نواحی مختلف جوش و بررسی عیوب آنها مناسب بوده است. متخصصین افزایش تباین تصاویر پردازش شده را از ۱۰ تا ۲۰٪ تأیید می‌کنند. از نظر متخصصین با توجه به تغییرات روش‌نمایی در پیکسل‌ها و امکان ایجاد عیوب غیر واقعی (ارتیفکت) استفاده از این روش و روش‌های پردازشی دیگر تنها در صورت مقایسه با تصویر پرتونگاری اصلی قابل تفسیر است.

۵- تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

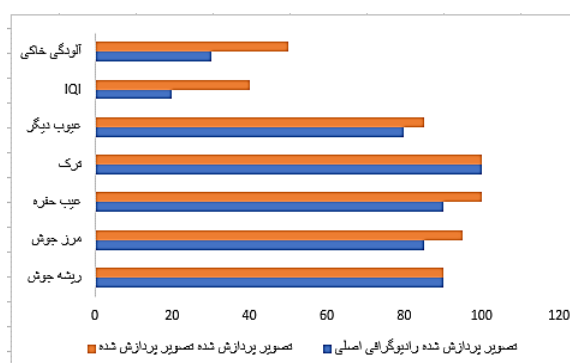
۶- منابع

- [1] Harry E M., Clinton M. L; Daniel J. Sch.; Peter J. Sh. (2016). X-Ray Imaging: Fundamentals, Industrial Techniques and Applications. Boca Raton, FL, USA: Taylor and Francis, CRC Press. p. 187. ISBN 9781420009767.
- [2] Woodford C., Ashby P. (2020) Non-Destructive Testing and Radiation in Industry, IAEA International Nuclear Information System. Retrieved 31 May 2020.
- [3] Polee C, Chankow N, Srisatit S, Thong-Aram D (2015) An industrial radiography exposure device based on measurement of transmitted gamma-ray intensity, IOP Publishing, Journal of Physics: Conference Series 611 012020, doi:10.1088/1742-6596/611/1/012020
- [4]. K Edalati, N Rastkhah, A Kermani, M Seiedi, A Movafeghi The use of radiography for thickness measurement and corrosion monitoring in pipes, International journal of pressure vessels and piping 83 (10), 736-741.



شکل ۶ الف- تصویر پرتونگاری یک لوله ۴ اینچی ب- تصاویر بازسازی شده آن

نتایج ۲۴ تصاویر پرتونگاری و تصاویر پردازش شده آنها در این تحقیق توسط سه متخصص پرتونگاری ارزیابی شد. نواحی ریشه جوش، مرز ریشه، عیوب، آلودگی‌های خاکی و IQI ارزیابی شدند. متوسط امتیازات داده شده توسط متخصصین که بین ۱ تا ۱۰۰ بوده در نمودار شکل ۷ آورده شده است. نتایج نشان می‌دهد که از نظر متخصصین عیوب ترک و ریشه جوش در تصاویر پرتونگاری و پردازش شده تفاوت محسوس‌تری نداشته‌اند ولی نواحی خطوط IQI و آلودگی‌های خاکی حدود ۲۰٪ بهبود پیدا کرده و در تصاویر پردازش شده بهتر دیده می‌شوند. همچنین نواحی مرز جوش و عیب حفره نیز از نظر متخصصین در تصاویر پردازش شده شده بهبود یافته است.



شکل ۷ متوسط امتیازات داده شده توسط متخصصین برای نواحی مختلف

SIAM Journal on Imaging Sciences, vol. 8, no. 3, pp. 1798–1823.

- [16] [21] Lou Y., Yan M. (2018) Fast l1-l2 minimization via a proximal operator, Journal of Scientific Computing, 74(2), 767–785.
- [5] Birchall I., Brown C.B., Knowles S.B. (1975) Gamma radiography using short half-life radioisotopes, The International Journal of Applied Radiation and Isotopes, 26(3), March, Pages 141-145, [https://doi.org/10.1016/0020-708X\(75\)90154-4](https://doi.org/10.1016/0020-708X(75)90154-4).
- [6] ISO 17636-1 (2022) Non-destructive testing of welds — Radiographic testing — Part 1: X- and gamma-ray techniques with film.
- [7] Mery D, Pieringer Ch. (2021) Computer Vision for X-Ray Testing: Imaging, Systems, Image Databases, and Algorithms, 2nd ed, Springer.
- [8] Kasban H., Zahran O., Arafa H., El-Kordy M., Elaraby S.M.S., Abd El-Samie F.E. (2011), Welding defect detection from radiography images with a cepstral approach, NDT & E International, 44, 2, 226-231, <https://doi.org/10.1016/j.ndteint.2010.005>
- [9] Mirzapour M, Movafeghi A, Yahaghi E (2021) Quantitative weld defect sizing using convolutional neural network-aided processing of RT images, Insight ,63 ,3 ,DOI: 10.1784/insi.2021.63.3.141
- [10] Rudin L. I., Osher S., Fatemi E., (1992) Nonlinear total variation based noise removal algorithms, *Physica D: Nonlinear Phenomena*,. 60 (1-4), 259–268.
- [11] Lysaker M., Lundervold A., Tai X.-C. (2003) Noise removal using fourth-order partial differential equation with applications to medical magnetic resonance images in space and time, *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 12, no. 12, pp. 1579–1590.
- [12] Remez T., Litany O., Giryes R., Bronstein A. M. (2018) Class-aware fully convolutional Gaussian and Poisson denoising *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 27, no. 11, pp. 5707–5722.
- [13] Zeng C., Wu C (2018) On the edge recovery property of nonconvex nonsmooth regularization in image restoration, SIAM Journal on Numerical Analysis, vol. 56, no. 2, pp. 1168–1182
- [14] Bui K., Lou Y., Park F., Xin J. (2023) Weighted Anisotropic-Isotropic Total Variation for Poisson Denoising, In *2023 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)* (pp. 1020-1024).
- [15] Lou Y., Zeng T., Osher S., Xin J. (2015) A weighted difference of anisotropic and isotropic total variation model for image processing,"