

Employing the Goldstein-Fattal Processing Method in Radiographic Images to enhance the identification of welding defects in storage tanks

Amir Movafeghi¹  | Effat Yahaghi²  | Shabar Rasooli³ 

1. Reactor and Nuclear Safety Research School, Nuclear Science and Technology Research, (NSTRI), Tehran, Iran. Email: amovafeghi@gmail.com
2. Department of Physics, Faculty of Science, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran. Email: yahaghi@sci.ikiu.ac.ir
3. Department of Physics, Faculty of Science, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran. Email: shabar.rasooli@gmail.com

Article Information:

Research Article

Received 04 Oct. 2025

Revised 04 January 2026

Accepted 19 Feb. 2026

Keywords:

Goldstein-Fattal method,
Image Processing,
Industrial Radiography,
Weld defects,
Storage Tanks

ABSTRACT

Welding is a critical process in the fabrication of oil and chemical storage tanks, serving as the primary method for joining metal plates. Different Non-Destructive inspection methods can be implemented for investigating of weldments in the storage tanks. Among them, industrial radiography is one of the best methods because of generated images which can give a fingerprint of welding and heat affected zone. However, radiographic images obtained using gamma sources of welded areas of large tanks are often of poor quality. Radiographic testing is the most widely employed technique for the evaluation of weld integrity in such structures. However, radiographic images acquired with a Gamma-ray source from welded regions of large tanks often suffer from poor quality. This problem is mainly geometrical effect that caused by radiation scattering, which occurs due to the distance between the film and the weld as a result of the insulation, leading to a reduction in image contrast. Quantifying haze in radiographic images can contribute to enhancing image quality. The Goldstein-Fattal (GF) dehazing method offers a valuable solution in this context, as it operates without requiring precise a priori information about the weld structure. Instead, it relies on the general statistical properties of the image, making it particularly well-suited for weld radiography. This property enables effective enhancement of low-quality radiographs. In the present study, the GF method was applied to remove haze and improve the detectability of weld defects in radiographic images of tanks of chemical material. These radiographs were obtained using traditional film-based techniques with Ir-192. Experimental findings show that the GF method successfully enhanced image contrast in several regions containing defects. By improving image clarity, this approach reduces the likelihood of misidentifying weld flaws, thereby increasing the reliability and safety of storage tanks. Furthermore, when the results of GF method compared with the Perona-Malik technique, the GF method exhibited superior performance, particularly in the root regions of welds where contrast improvement is most critical. Independent evaluations by radiographic experts corroborated these results.

Cite this article: Movafeghi, A., Yahaghi, E., & Rasooli, S. (2025). Employing the Goldstein-Fattal Processing Method in Radiographic Images to enhance the identification of welding defects in storage tanks. *Journal of Nondestructive Testing Technology*, 4 (2), 103-111.



© The Author(s).

DOI: <http://doi.org/10.30494/jndt.2026.551076.1171>

Publisher: Iranian Society for Nondestructive Testing

استفاده از روش پردازش Goldstein-Fattal در تصاویر رادیوگرافی برای بهبود آشکارسازی عیوب جوش مخازن ذخیره مواد

امیر موافقی^۱ | عفت یاحقی^۲ | شبر رسولی^۳

۱. پژوهشکده راکتور و ایمنی هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، تهران، ایران؛ رایانامه: amovafeghi@aeoi.org.ir
۲. گروه فیزیک، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی، قزوین، ایران؛ رایانامه: yahaghi@sci.ikiu.ac.ir
۳. گروه فیزیک، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی، قزوین، ایران؛ رایانامه: shabar.rasooli@gmail.com

چکیده:

جوشکاری یکی از فرایندهای حیاتی در ساخت مخازن نفتی و شیمیایی به شمار می‌رود و به عنوان روش اصلی اتصال صفحات فلزی مورد استفاده قرار می‌گیرد. آزمون‌های غیر مخرب مختلف برای بازرسی ناحیه جوش بکار می‌روند. آزمون رادیوگرافی یکی از رایج‌ترین روش برای ارزیابی کیفیت جوش در این سازه‌ها محسوب می‌شود که ویژگی مهم این روش ایجاد یک تصویر دو بعدی بر اثر عبور پرتو ایکس یا گاما از جسم آزمون است. با این حال، تصاویر رادیوگرافی تهیه‌شده با استفاده از چشمه گاما از نواحی جوش مخازن بزرگ، اغلب از کیفیت پایینی برخوردار هستند. این مسئله عمدتاً ناشی از مشکلات هندسه رادیوگرافی و پدیده پراکندگی پرتو است. بخاطر عایق‌ها موجود دور لوله‌ها، فاصله بین فیلم و محل جوش ایجاد شده و منجر به کاهش کنتراست تصاویر در رادیوگرافی می‌شود. برآورد میزان تیرگی در تصاویر رادیوگرافی می‌تواند در بهبود کیفیت آنها مؤثر باشد. روش Goldstein-Fattal (GF) در این زمینه رویکردی کارآمد به شمار می‌رود، زیرا نیازی به اطلاعات اولیه دقیق از ساختار جوش ندارد و بر پایه ویژگی‌های آماری کلی تصویر عمل می‌کند. این خصوصیت، کارایی این روش را برای ارتقای تصاویر رادیوگرافی با کیفیت پایین مناسب ساخته است. در پژوهش حاضر، روش GF به منظور حذف تیرگی و افزایش قابلیت آشکارسازی عیوب جوش در تصاویر رادیوگرافی مخازن شیمیایی به کار گرفته شد. این تصاویر با استفاده از روش رادیوگرافی صنعتی با فیلم و چشمه گامای Ir-192 تهیه شدند. نتایج حاصل از پردازش تصاویر رادیوگرافی نشان می‌دهد که روش GF توانسته در برخی نواحی دارای عیب، کنتراست تصویر را به طور محسوس افزایش دهد. ارتقای کیفیت تصاویر خروجی، احتمال خطا در شناسایی عیوب جوش را کاهش داده و در نتیجه، قابلیت اطمینان و ایمنی مخازن را افزایش می‌دهد. علاوه بر این، مقایسه نتایج حاصل با روش نفوذ پرونا-مالیک نشان داد که روش GF به ویژه در نواحی ریشه جوش و عیوب مرتبط با آن، کارایی بالاتری در افزایش کنتراست دارد. ارزیابی‌های صورت گرفته توسط کارشناسان رادیوگرافی نیز این نتایج را تأیید می‌کند.

اطلاعات مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:

۱۴۰۴/۰۷/۱۲

تاریخ بازنگری:

۱۴۰۴/۱۰/۱۴

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۴/۱۱/۳۰

کلیدواژگان:

روش Goldstein-Fattal، پردازش تصویر، رادیوگرافی صنعتی، آشکارسازی عیوب جوش، مخازن ذخیره مواد

استناد: موافقی، امیر؛ یاحقی، عفت؛ و رسولی، شبر. (۱۴۰۴). استفاده از روش پردازش Goldstein-Fattal در تصاویر رادیوگرافی برای بهبود آشکارسازی عیوب جوش مخازن ذخیره مواد. *مجله فناوری آزمون‌های غیرمخرب*، ۴ (۲)، ۱۱۱-۱۰۳.

© نویسندگان

ناشر: انجمن آزمون‌های غیرمخرب ایران

DOI: <http://doi.org/10.30494/jndt.2026.551076.1171>



۱- مقدمه

در صورت کیفیت پائین تصویر رادیوگرافی، لازم است رادیوگرافی تکرار شود که مستلزم هزینه زیاد و زمان است. باید دقت داشت که شناسایی عیوب کوچک در این تصاویر مشکل است و تفسیر فیلم در این حالت توسط اپراتور به سختی انجام شده و قابلیت اطمینان در آن پایین است. در بعضی موارد می‌توان با دیجیتال‌سازی فیلم و روش‌های پردازش تصویر کیفیت را با صرف هزینه کمتر بهبود داد. اسکنر رادیوگرافی^۱ برای تبدیل فیلم به تصویر دیجیتال معمولاً دارای رزولوشن بالا و در حدود ۱۰۰-۵۰ میکرون، است. همچنین اسکن فیلم‌ها باعث می‌شود داده‌ها قابل پردازش و آرشیو شوند [۱۱-۱۰].

بر اساس استانداردهای ISO 17636 [۱۲]، ASTM E1032 [۱۳] یا EN 12517 [۱۴] عیوب به دسته‌ها مختلف مانند ترک‌ها، تخلخل، سرباره، عدم ذوب، نفوذ ناقص، نقص سایز جوش، طبقه‌بندی می‌شوند. با رادیوگرافی قطعات می‌توان عیوب ذکر شده را روی فیلم و یا آشکارساز مشاهده کرد.

در صورت کیفیت پایین رادیوگراف‌ها، برای پردازش تصویر^۲ می‌توان از روش‌های حذف نویز مانند فیلترهای میانه^۳ یا گاوسی^۴ استفاده کرد [۱۰]. همچنین استفاده از روش‌هایی مثل متعادل‌سازی هیستوگرام^۵ برای پردازش تصویر فیلم‌های اسکن شده به منظور وضوح بهتر نواحی عیوب مناسب هستند. تصحیح روشنایی و کم کردن پس‌زمینه^۶ که بر اساس روش‌های مختلف مات شدگی عمل می‌کنند، برای حذف اثر ناهمگنی فیلم نیز در بهبود تصاویر رادیوگرافی استفاده می‌شوند.

استخراج ویژگی‌ها^۷ مانند ویژگی‌های هندسی مانند شکل، اندازه، طول ترک‌ها، ویژگی‌های بافتی^۸ و شناسایی عیب^۹، با الگوریتم‌های پردازش تصویر قابل بررسی هستند [۱۱-۱۰].

روش‌های حذف تار در رادیوگرافی صنعتی به دو دسته کلی تقسیم می‌شوند. روش‌های کلاسیک فیلترینگ مانند Wiener Filter یا Inverse Filtering که به دلیل

مخازن نفت و مواد شیمیایی نقش حیاتی در صنایع نفت، گاز و پتروشیمی ایفا می‌کنند. طراحی و ساخت این مخازن نیازمند دانش تخصصی، رعایت استانداردهای دقیق و فرآیندهای کنترل کیفیت سختگیرانه است. جوشکاری به عنوان یکی از مهم‌ترین فرآیندهای ساخت این مخازن، تأثیر مستقیمی بر ایمنی، طول عمر و عملکرد آنها دارد. طراحی مخازن نفت و مواد شیمیایی نیازمند توجه به عوامل متعددی از جمله نوع ماده ذخیره شده، شرایط محیطی، فشار و الزامات ایمنی است [۳-۱]. برای اتصالات از انواع جوشکاری‌های قوس فلزی با گاز محافظ مانند آرگون یا CO₂، جوشکاری قوس تنگستن با گاز محافظ و جوشکاری قوس فلزی با الکتروود پوشش‌دار استفاده می‌شود. برای بررسی جوش می‌توان از آزمون‌های اولتراسونیک، آزمون مایع نافذ، آزمون ذرات مغناطیسی و رادیوگرافی استفاده کرد [۴-۵].

روش‌های رادیوگرافی و اولتراسونیک می‌توانند عیوب عمقی پنهان مانند تخلخل یا ترک در جوش‌ها را نشان دهند. امروزه استفاده از روش اولتراسونیک سنتی و یا پیشرفته مانند روش آرایه‌های فازی گسترش زیادی یافته‌اند و مطالعات زیادی برای مقایسه کارایی این دو روش نسبت به هم صورت گرفته است [۶-۷].

برای بررسی جوش معمولاً از رادیوگرافی نیز استفاده می‌شود. در رادیوگرافی ابتدا از محل جوش با استفاده از پرتو ایکس یا گاما تصویربرداری می‌شود. تضعیف اشعه ایکس و یا گاما در قطعه مورد نظر به ضخامت و ضریب جذب در نقاط مختلف قطعه بستگی دارد. اشعه تضعیف شده روی فیلم یا آشکارساز ثبت شده و تصویر رادیوگرافی با ظهور و ثبوت فیلم و یا پردازش سیگنال تهیه می‌شود. در روی فیلم عیوب داخلی مانند ترک، تخلخل، عدم ذوب، سرباره و نفوذ ناقص ظاهر می‌شوند. کیفیت تصویر رادیوگرافی از مهمترین موارد برای تفسیر ناحیه جوش است [۸-۹].

⁶ Background Subtraction

⁷ Feature Extraction

⁸ Texture Features

⁹ Defect Detection

¹ Film Digitizer

² Image processing

³ Median

⁴ Gaussian

⁵ Histogram Equalization

طبیعی دارای طیف توانی با قانون توانی هستند. تاری باعث تغییر در این طیف می‌شود. بصورت ریاضی اضافه شدن نویز و تاری در تصویر را می‌توان چنین بیان کرد [۱۵]:

$$I_{\text{blurred}}(x,y) = I(x,y) * k(x,y) + n(x,y) \quad (1)$$

که در آن $I(x,y)$ تصویر اصلی، $n(x,y)$ نویز اضافه شده و $k(x,y)$ همان هسته تاری است که باید تخمین زده شود. برای برآورد k باید به این ترتیب عمل شود:

- محاسبه تبدیل فوریه دوبعدی تصویر.
- تخمین انحراف طیف از قانون توانی ایده‌آل.
- استنتاج شکل و اندازه هسته از این انحراف.

برای یک تصویر خاکستری $I(x,y)$ ابتدا تبدیل فوریه دوبعدی محاسبه می‌شود:

$$I(u,v) = F\{I(x,y)\} \quad (2)$$

که در آن $I(u,v)$ نمایش فرکانسی تصویر است. در حالت ایده‌آل، تصویر طبیعی دارای طیف توان با ساختار قانون توانی به این ترتیب است:

$$P_{\text{ideal}}(f) \propto \frac{1}{|f|^\alpha} \quad \alpha \in [2,3] \quad (3)$$

این قانون نشان می‌دهد که انرژی در فرکانس‌های پایین بیشتر از فرکانس‌های بالا است. وقتی تصویر دچار تاری شود، در حوزه‌ی فرکانس داریم:

$$I_{\text{blur}}(u,v) = I(u,v) \cdot k(u,v) \quad (4)$$

که در آن $k(u,v)$ تبدیل فوریه‌ی هسته تاری است. چون اطلاعات لبه‌ها و جزئیات تصویر $k(u,v)$ معمولاً در محدوده فرکانسی پایین^۳ است و در فرکانس‌های بالا مقدار آن کاهش می‌یابد، بنابراین، طیف تصویر تار از قانون توانی طبیعی منحرف می‌شود و در فرکانس‌های بالا افت بیشتری دیده می‌شود. روش GF از این انحراف طیفی استفاده کرده و با

حساسیت بالا به نویز، در کاربردهای NDT کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرند و روش‌های پیشرفته مبتنی بر مدل‌سازی هسته تاری که در آن ابتدا Kernel با توجه به خصوصیات تصویر تخمین زده می‌شود و سپس بازسازی انجام می‌گیرد [۸].

از روش‌های پیشرفته مبتنی بر مدل‌سازی هسته تاری، روش Goldstein-Fattal (GF) [۱۷-۱۵] به دلیل عدم نیاز به اطلاعات اولیه دقیق از هسته و یا کرنل و استفاده از خواص آماری عمومی تصاویر، برای رادیوگرافی جوش بسیار کاربردی است. این ویژگی باعث شده تصاویر فیلمی قدیمی یا تصاویر دیجیتال با کیفیت پایین با این روش قابل بازیابی شوند.

در سال ۲۰۱۲، Goldstein و Fattal روشی آماری مبتنی بر آمار طبیعی تصاویر^۱ برای برآورد هسته تاری و بازسازی تصویر اصلی معرفی کردند. این روش با تحلیل طیف توانی^۲ تصویر، که برای تصاویر طبیعی از یک قانون توانی ایزوتروپیک پیروی می‌کند، قادر است بدون دانستن قبلی شکل هسته تاری، آن را تخمین زده و سپس با الگوریتم‌های بازسازی ملنند Richardson-Lucy Deconvolution تصویر را شفاف‌سازی کند [۱۸-۱۶].

مزیت این روش برای رادیوگرافی جوشکاری در این است که می‌تواند تصاویر فیلم را بدون نیاز به تکرار آزمون رادیوگرافی بهبود دهد. این امر باعث کاهش هزینه‌ها، کاهش دوز پرتو دهی به اپراتور شده و دقت تشخیص عیوب را افزایش می‌دهد.

در این تحقیق از روش GF برای رفع تاری چند تصویر رادیوگرافی با کیفیت پایین استفاده شده است. این تصاویر از مخازن تهیه شده برای نگهداری نفت و مواد شیمیایی توسط فیلم تهیه شده است. هدف تحقیق، شناسایی عیوب نواحی جوش با ارتقا کیفیت رادیوگراف‌ها است.

۲- روش‌ها

۲-۱ روش Goldstein-Fattal (GF)

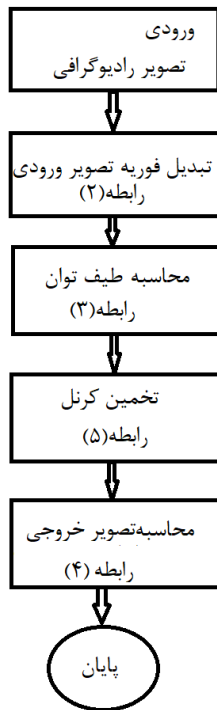
تصاویر طبیعی و بسیاری از تصاویر صنعتی با بافت

³ low-pass

¹ Natural Image Statistics

² Power Spectrum

بدنه و نزدیک کف مخزن تعبیه شده تخلیه می‌شوند. برای جوشکاری صفحات استیل زنگ نزن از روش جوشکاری قوسی فلز پوشش‌دار SMAW² استفاده شده است و الکتروود آن ۷۰۱۸ بوده است.



شکل (۱) فلوجارت روش GF

رادیوگرافی با چشمه Ir-192 انجام شده که اکتیویته آن حدود ۳۰ کوری بوده و اکتیویته دقیق آن در زمان رادیوگرافی محاسبه شده است. از روش SWSI³ برای رادیوگرافی استفاده شده و زمان تصویربرداری حدود ۱/۵ دقیقه و فیلم مورد استفاده AA-400، با عرض ۱۰ cm بوده است. فاصله چشمه از فیلم ۳۰ cm است و چشمه در خارج مخزن و فیلم در داخل مخزن قرار گرفته است.

۳- نتایج

برای بررسی جوش صفحات مخازن، از روش رادیوگرافی با اشعه گاما استفاده شده است. همانطور که ذکر شد به علل

برازش^۱ یک مدل قانون توانی ایزوتروپیک به نواحی طیف که کمتر تحت تأثیر تاری هستند (مثلاً فرکانس‌های میانی)، اختلاف بین طیف مشاهده شده و طیف ایده‌آل را محاسبه می‌کنند. این اختلاف تخمینی از $|k(u,v)|^2$ است که به این ترتیب محاسبه می‌شود:

$$|k(u,v)|^2 \sim \frac{P_{blur}(u,v)}{P(u,v)} \quad (5)$$

که در آن P_{blur} طیف توان تصویر تار است و P طیف توان با استفاده از قانون توانی شده است.

سپس با انجام تبدیل فوریه معکوس، شکل و اندازه‌ی کرنل یا هسته تخمین زده شده بدست می‌آید.

$$k(x,y) = F^{-1}\{k(u,v)\} \quad (6)$$

باید دقت کرد که در تصاویر رادیوگرافی، تصویر اصلی و مات شده وجود ندارد و مقدار نویز تصویر رادیوگرافی هم مشخص نیست، بنابر این ما از این روش به گونه دیگری برای بهبود تصاویر استفاده کرده‌ایم. ابتدا از این روش برای تار کردن تصاویر خروجی رادیوگرافی استفاده شده و با روش حذف زمینه تصاویر تیز و بهبود یافته کنتراست آن بدست آمده است. در شکل ۱ فلوجارت روش GF نشان داده شده است.

۲-۲ مشخصات مخازن و رادیوگرافی آنها

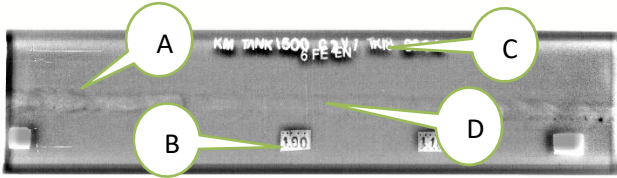
مخازنی که در این تحقیق جوش آن‌ها بررسی شده به شکل استوانه‌های عمودی هستند که قسمت‌های جوشکاری شده آنها توسط روش رادیوگرافی صنعتی با فیلم بررسی شده است. این مخازن دارای ارتفاع ۲۰ متر و قطر ۸ متر از جنس استیل ضد زنگ می‌باشند. این مخازن با ورق‌های فلزی خم‌کاری شده و جوش داده شده با ابعاد ۳ متر طول و ۱/۵ متر عرض و ضخامت ۱/۸ mm ساخته شده‌اند. اطلاعات ضخامت بدنه و ظرفیت مخزن روی تصاویر رادیوگرافی آورده شده است. سیالات ذخیره شده در این مخازن معمولاً آب و سوخت هستند که در تماس مستقیم با دیواره‌های داخلی بدنه آنها قرار دارند. مواد داخل مخازن توسط شیرینی که در

³ Single-Wall Single-Image

¹ fitting

² Shielded Metal Arc Welding

و خطوط IQI (نشانگر D) نیز در شکل ۳ واضح تر شده‌اند. با توجه به اینکه روش GF در حوزه فرکانسی کار می‌کند با حذف اطلاعات فرکانس بالا تصویر بهبود زیادی در نواحی مختلف بخصوص ریشه جوش داشته و تصویر خروجی واضح تر شده است.



شکل ۳ نمونه‌ای از خروجی روش GF در ناحیه جوش صفحات برای تصویر رادیوگرافی شکل ۲

در شکل ۴ خروجی الگوریتم GF بر روی تصاویر رادیوگرافی از نواحی دیگر صفحات جوشکاری شده نشان داده شده است. مقایسه تصاویر رادیوگرافی (ستون سمت راست شکل ۴) و تصاویر خروجی GF (ستون سمت چپ شکل ۴) نشان می‌دهد که اگرچه هر دو ستون تباين خوبی ندارند و اطلاعات تصاویر رادیوگرافی و تصاویر خروجی کاملاً واضح نیست، ولی در تصاویر خروجی ریشه جوش (نشانگر A) واضح تر شده و حفره‌های روی آنها مشخص تر هستند. همچنین خط‌کش و حروف سربی و خطوط IQI نیز در شکل‌های خروجی (ستون سمت چپ) واضح تر شده‌اند.

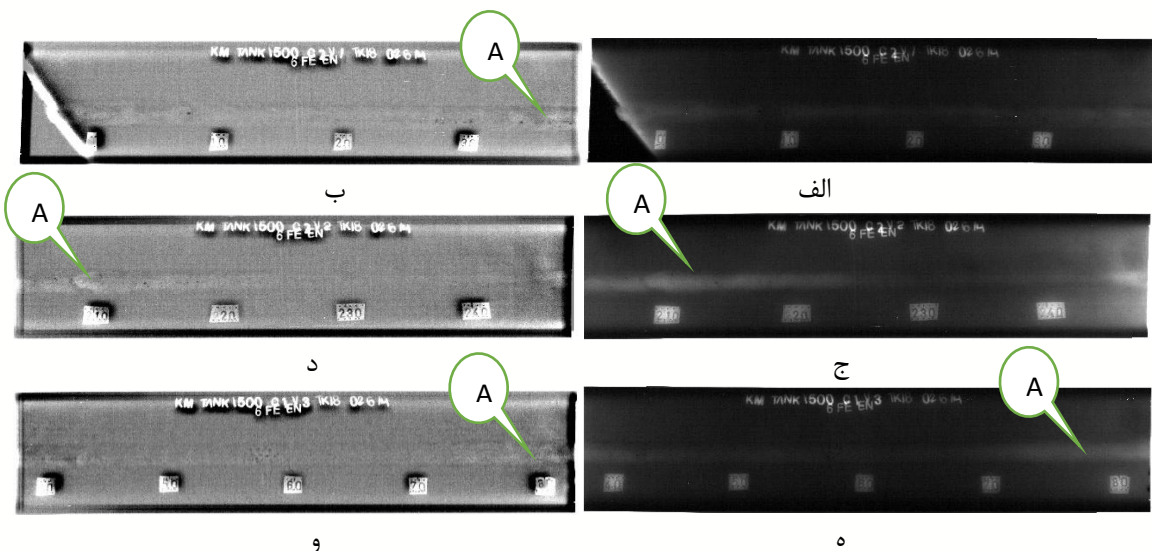
مختلف کیفیت تصاویر رادیوگرافی در این تصاویر بخصوص به علت پراکندگی زیاد پرتو گاما پایین است. در شکل ۲ نمونه‌ای از یک تصویر رادیوگرافی از جوش نشان داده شده است. همانطور که در شکل دیده می‌شود ناحیه‌ای از خط جوش (نشانگر A) در تصویر بسختی قابل دیدن است و بخاطر کیفیت کم تصویر خطوط IQI¹ در تصویر دیده نمی‌شوند. حروف سربی و خط‌کش سربی (نشانگرهای B و C) قابل مشاهده هستند.



شکل ۲ نمونه از تصویر رادیوگرافی در ناحیه جوش صفحات

برای بهبود کنتراست و مشخص شدن جزئیات تصویر ابتدا از روش GF به دلیل استفاده از خواص آماری تصاویر، استفاده شد.

مطابق بخش ۲-۱ الگوریتم GF روی تصاویر رادیوگرافی اجرا شد و تصاویر خروجی بدست آمد. در شکل ۳ تصویر خروجی این الگوریتم نشان داده شده است. مقایسه دو شکل‌های ۲ و ۳ نشان می‌دهد که ریشه جوش (نشانگر A) در شکل ۳ بسیار واضح تر شده و عیوب حفره روی آنها مشخص است. خط‌کش و حروف سربی (نشانگرهای B و C)

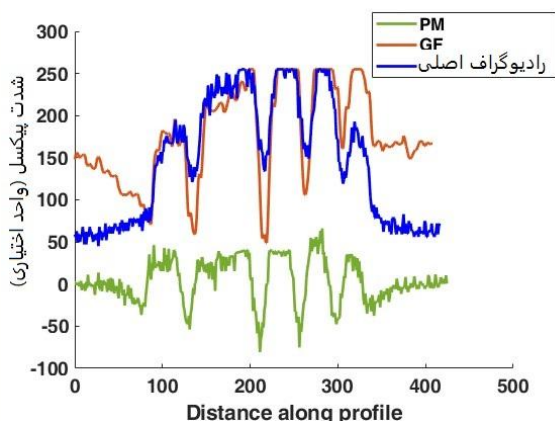


شکل ۴ نمونه‌ای دیگر از تصاویر رادیوگرافی (الف، ج، ه) و خروجی آنها با روش GF در ناحیه جوش صفحات (ب، د، و)

¹ Image Quality Indicator

هدف جدا کردن ساختار^۵ از بافت^۶ و یا نویز توسعه یافته است. این روش تلاش می‌کند یک تابع انرژی را به گونه‌ای کمینه کند که تغییرات نرم (ساختار) حفظ شوند و تغییرات پرنوسان مانند نویز و یا بافت تضعیف شوند. در مقایسه با PM، تأکید بیشتری بر پایداری عددی و رفتار قابل پیش‌بینی دارد. در نتیجه در بازسازی تصاویر برای بهبود کنتراست بهتر عمل می‌کند [۱۵].

برای ارزیابی از روش رسم خط پروفایل استفاده شد. خط پروفایل تغییرات اندازه پیکسل‌ها در امتداد مسیر مشخص شده در روی تصویر را نشان می‌دهد. ناحیه انتخابی که بهترین تغییرات در کنتراست را نشان می‌داد خط کش سربی بود. در امتداد عدد ۱۰۰ روی خط کش سربی برای شکل ۲ (راديوگراف اصلی)، شکل ۳ (روش GF) و شکل ۵ (روش PM)، خطوط پروفایل رسم شده در شکل ۶ نشان داده شده‌اند. مقایسه اندازه تغییرات خطوط پروفایل رسم شده نشان می‌دهد که تغییرات اندازه پیکسل‌ها نسبت به راديوگراف اصلی برای روش حدود ۲ برابر بوده است. تغییرات پیکسل‌ها در روش PM نسبت به راديوگراف اصلی تغییر چندانی نداشته است.

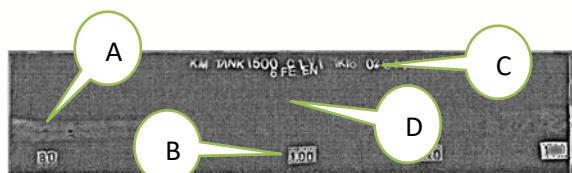


شکل ۶) خط پروفایل رسم شده در ناحیه خط کش سربی برای شکل ۲ (راديوگراف اصلی)، شکل ۳ (روش GF) و شکل ۵ (روش PM) در امتداد عدد ۱۰۰

همچنین برای ارزیابی تصاویر راديوگرافی اصلی و خروجی‌های الگوریتم‌های PM و GF به متخصصین نشان داده شد و از آنها خواسته شد نظرات خود را برای مقایسه

بخاطر کیفیت کم تصاویر راديوگرافی اصلی استخراج اطلاعات ناحیه جوش با الگوریتم‌های مختلف بسختی امکان پذیر است و همه اطلاعات ناحیه جوش بطور واضح قابل استخراج نیست.

برای ارزیابی نتایج بدست آمده از روش GF، نتایج بدست آمده با روش نفوذ پرونا-مالیک^۱ (PM) [۱۱-۱۰] مقایسه شد. در این روش با در نظر گرفتن تعداد تکرار ۱۰۰۰ و σ برابر ۲۰ الگوریتم اجرا شد و با مات کردن تصویر کم کردن آن از تصویر راديوگرافی اولیه، تصویر خروجی محاسبه شد (شکل ۵). در شکل ۵ اطلاعات ریشه جوش و عیب حفره (نشانگر A)، خط کش و حروف سربی (نشانگرهای B و C) و ناحیه IQI (نشانگر D) واضح‌تر از شکل ۲ شده‌اند.



شکل ۵) نمونه‌ای از خروجی با روش نفوذ پرونا-مالیک در ناحیه جوش صفحات برای راديوگرافی شکل ۲

مقایسه تصاویر راديوگرافی و تصاویر خروجی PM و GF در دو شکل ۳ و ۵ نشان می‌دهد که نشان می‌دهد که اطلاعات ناحیه جوش و سایر نواحی نسبت به راديوگراف اصلی (شکل ۲) واضح‌تر شده‌اند ولی عملکرد GF در آشکارسازی نواحی بهتر بوده است.

باید دقت داشت که روش یک مدل مبتنی بر معادلات دیفرانسیل جزئی (PDE) است که تصویر را مانند یک محیط نفوذپذیر در نظر می‌گیرد. نفوذ به صورت وابسته به گرادیان شدت تصویر انجام می‌شود، به گونه‌ای که در نواحی همگن نفوذ زیاد و نویز کاهش می‌یابد و در نواحی با گرادیان بالا مانند لبه‌ها نفوذ کم و حفظ لبه‌ها انجام می‌شود. این روش در برخی شرایط عدم پایداری ریاضی^۲ دارد. نتایج آن حساسیت زیاد به انتخاب پارامترها دارد و امکان ایجاد مصنوعات^۳ در آن وجود دارد. در نویزهای شدید یا تصاویر با کنتراست پایین عملکرد آن پایین است. روش GF که یک چارچوب بهینه‌سازی پیشرفته و منظم‌سازی^۴ است که با

⁴ Regularization-based

⁵ Structure

⁶ Texture

¹ Perona-Malik

² Ill-posedness

³ Artifacts

نواحی مختلف نسبت به روش PM بیشتر بوده است. استفاده از روش GF سبب بهتر شدن کنتراست در نواحی عیوب، ریشه جوش، IQI، خطوط سربی و خط کش سربی شده، ولی در روش PM کارایی کمتر بوده و نواحی ریشه جوش و عیوب در مواردی واضح نشده‌اند. ارزیابی سه کارشناس رادیوگرافی نشان می‌دهد که تباین در نواحی لبه‌های واضح‌تر شده و در نواحی حروف سربی کاملاً افزایش یافته است، ولی در نواحی ریشه جوش اطلاعات با روش GF بیشتر استخراج شده است.

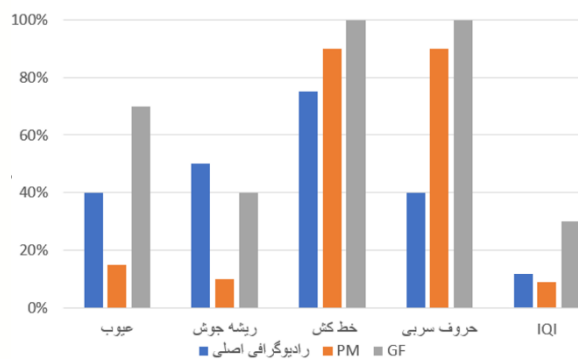
۵- تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۶- منابع

- [1] Bica, M., Talu, M., & Talu, Ş. (2017). SHAPES OF THE CYLINDRICAL PRESSURIZED FUEL TANKS. *Magazine of Hydraulics, Pneumatics, Tribology, Ecology, Sensorics, Mechatronics*, 17.
- [2] Tabish, F., & Mamaghani, I. H. P. (2022). BUCKLING ANALYSIS OF CYLINDRICAL STEEL FUEL STORAGE TANKS UNDER STATIC FORCES. In *Proceedings of the 7th International Conference on Civil, Structural and Transportation Engineering (ICCSTE 2022)*, Niagara Falls, Canada, Paper No. 243.
- [3] Khobragade, R., & Hiwase, V. (2017). DESIGN AND ANALYSIS OF PRESSURE VESSEL WITH HEMISPHERICAL AND FLAT CIRCULAR END. *International Journal of Engineering Science and Computing*, 7(5), 12458–12469.
- [4] American Petroleum Institute (API). (2012). *API STANDARD 650: WELDED TANKS FOR OIL STORAGE*.
- [5] American Petroleum Institute (API). (2023). *API STANDARD 653: TANK INSPECTION, REPAIR, ALTERATION, AND RECONSTRUCTION*.
- [6] Moran, T. L., Ramuhalli, P., Pardini, A. F., Anderson, M. T., & Doctor, S. R. (2010). REPLACEMENT OF RADIOGRAPHY WITH ULTRASONICS FOR THE NONDESTRUCTIVE INSPECTION OF WELDS: EVALUATION OF TECHNICAL GAPS – AN INTERIM REPORT. *U.S. Department of Energy Technical Report*.
- [7] Moran, T. L., Prowant, M., Nove, C. A., Pardini, A. F., Crawford, S. L., Cinson, A. D., & Anderson, M. T. (2015). APPLYING ULTRASONIC TESTING IN LIEU OF RADIOGRAPHY FOR VOLUMETRIC EXAMINATION OF CARBON STEEL PIPING. *U.S.*

نواحی عیوب، شاخص کیفیت تصویر IQI، ریشه جوش، خط کش سربی و حروف سربی بصورت امتیاز بین ۱ تا ۱۰ بیان کنند، متوسط امتیازات به شکل درصد در شکل ۶ آمده است. با توجه به شکل دیده می‌شود که بهترین تصاویر از نظر متخصصین رادیوگرافی برای حروف سربی و خط کش سربی بوده که در تصاویر خروجی GF حدود ۱۰٪ و در تصاویر PM حدود ۹۰٪ امتیاز گرفته‌اند. این نواحی در تصاویر رادیوگرافی اصلی هم قابل تشخیص بوده‌اند، ولی کنتراست آنها به دلیل سیاهی تصاویر، کم بوده است و شناسایی آنها سخت بوده است. در ناحیه حروف سربی و خط کش سربی در هردو الگوریتم لبه‌ها تیزتر شده‌اند. در روش GF هرچند ریشه جوش در تمام مناطق کاملاً واضح نیست ولی حفره‌ها در تصاویر خروجی واضح‌تر دیده می‌شوند. عدم وضوح ریشه جوش به دلیل کیفیت کم تصاویر رادیوگرافی است. خطوط IQI بسختی تا سه خط در بعضی تصاویر خروجی GF قابل مشاهده هستند و در بعضی از تصاویر رادیوگرافی اصلی و تصاویر خروجی PM نیز تا سه خط دیده می‌شوند.



شکل ۷) امتیازات متخصصین رادیوگرافی برای تصاویر رادیوگرافی و خروجی آنها با روش GF و PM

۴- نتیجه گیری

در این تحقیق روش GF برای شناسایی عیوب جوش در تصاویر رادیوگرافی از مناطق مختلف صفحات جوشکاری شده استفاده شده برای ساخت مخازن نفت و آب استفاده شده و نتایج بدست آمده با روش PM مقایسه شده است. نتایج نشان می‌دهد که کارایی روش GF در آشکارسازی

- Nuclear Regulatory Commission Report.*
- [8] Altinbalik, M. T., Kantur, S., et al. (2018). COMPRESS USAGE FOR DESIGN OF A STORAGE TANK AND COST ANALYSIS OF SPOT AND FULL RADIOGRAPHIC CONTROL. *Journal of the Technical University of Gabrovo*, 56, 48–52.
- [9] Mirzapour, M., Yahaghi, E., & Movafeghi, A. (2021). THE PERFORMANCE OF THREE TOTAL VARIATION BASED ALGORITHMS FOR ENHANCING THE CONTRAST OF INDUSTRIAL RADIOGRAPHY IMAGES. *Research in Nondestructive Evaluation*, 32(1), 10–23.
- [10] Movafeghi, A., Yahaghi, E., Mohammadzadeh, N., & Rokrok, B. (2017). DEFECT DETECTION AND CONTRAST IMPROVEMENT OF RADIOGRAPHIC IMAGES USING NONLINEAR DIFFUSION FILTER METHOD. *Journal of Nuclear Science and Technology*, 38(1), 1–11.
- [11] Madrid Garcia, J. A., Yahaghi, E., & Movafeghi, A. (2021). IMPROVEMENT OF THE DIGITAL RADIOGRAPHIC IMAGES OF OLD PAINTINGS ON WOODEN SUPPORT THROUGH THE ANISOTROPIC DIFFUSION METHOD. *Journal of Cultural Heritage*, 49, 115–122.
- [12] International Organization for Standardization (ISO). (2022). *ISO 17636-1: NON-DESTRUCTIVE TESTING OF WELDS — RADIOGRAPHIC TESTING — PART 1: X- AND GAMMA-RAY TECHNIQUES WITH FILM.*
- [13] ASTM International. (2019). *ASTM E1032-19: STANDARD PRACTICE FOR RADIOGRAPHIC EXAMINATION OF WELDMENTS USING INDUSTRIAL X-RAY FILM.*
- [14] European Committee for Standardization (CEN). (2006). *EN 12517-1: NON-DESTRUCTIVE TESTING OF WELDS – PART 1: ASSESSMENT OF WELDED JOINTS IN STEEL, NICKEL, TITANIUM AND THEIR ALLOYS BY RADIOGRAPHY.*
- [15] Anger, J., Facciolo, G., & Delbracio, M. (2018). ESTIMATING AN IMAGE'S BLUR KERNEL USING NATURAL IMAGE STATISTICS, AND DEBLURRING IT: AN ANALYSIS OF THE GOLDSTEIN-FATTAL METHOD. *Image Processing On Line*, 8, 282–304.
- [16] Wang, R., & Tao, D. (2014). RECENT PROGRESS IN IMAGE DEBLURRING. *arXiv Preprint arXiv:1409.6838.*
- [17] Wipf, D. P., & Zhang, H. (2014). REVISITING BAYESIAN BLIND DECONVOLUTION. *Journal of Machine Learning Research*, 15, 3595–3634.
- [18] Mery, D., & Pieringer, C. (2021). *COMPUTER VISION FOR X-RAY TESTING: IMAGING, SYSTEMS, IMAGE DATABASES, AND ALGORITHMS* (2nd ed.). Springer.