

Contrast enhancement by background removal in radiographic images of large water and oil reservoirs utilizing stochastic factor graphs

Amir Movafeghi ^{1✉}  | Effat Yahaghi ²  | Shabar Rasouli ² | Peyman Rostami ³

1. Reactor and Nuclear Safety Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute (NSTRI), Tehran, Iran, Email: amovafeghi@aeoi.org.ir
2. Department of Physics, Faculty of Science, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran, Email: yahaghi@sci.ikiu.ac.ir
3. Parto Azmoon Azar Engineering & Inspection Co., Tehran, Iran, Email: info@partoazmoon.com

ABSTRACT

In the industrial radiography of large storage tanks, the presence of noise, thickness non-uniformity, photon scattering within the radiation beam, unwanted background components, and the distance between the radiographic film and the tank wall can significantly reduce defect detectability and degrade radiographic image quality. In this study, a method based on Stochastic Factor Graphs (SFGs) is proposed for background removal and quality enhancement of radiographic images. In the proposed approach, the statistical dependencies among pixels and the structural characteristics of the image are modeled using a factor graph framework. Through optimal parameter estimation, the background components are separated from regions containing weld and defect-related information. The resulting background-corrected image is then subtracted from the original radiograph on a pixel-by-pixel basis to enhance image contrast. The results demonstrated that the proposed method substantially improved defect detectability. According to the evaluation performed by radiography experts, the contrast in the Image Quality Indicator (IQI) region increased from 20 % in the original image to 89 % in the reconstructed image. Furthermore, the detection accuracy for the weld line increased from 40 % to 83 %, while defect detection accuracy improved from 47 % to 94 %. The detection of lead letters increased from 83 % to 100 %, and the detectability of the lead ruler improved from 90 % to 100 %. These results demonstrate a significant improvement in image contrast, effective suppression of background effects, and enhanced visibility of fine structural details in radiographic images of large tanks. The findings indicate that the proposed SFG-based approach can serve as an effective tool for background removal and image-quality enhancement in industrial radiography. Moreover, the method has the potential to improve the accuracy of non-destructive testing (NDT) inspections, reduce operator-dependent interpretation errors, and enhance the reliability of the evaluation of large tanks and welded structures.

Article Information:

Research Article

Received 17 July 2026

Revised 14 August 2026

Accepted 6 Oct. 2026

Keywords:

large storage tanks,
Stochastic Factor Graphs,
Industrial Radiography,
Defects detection,
non-destructive testing.

Cite this article: Movafeghi, A., Yahaghi, E., Rasouli, S., & Rostami, P. (2025). Contrast enhancement by background removal in radiographic images of large water and oil reservoirs utilizing stochastic factor graphs. *Journal of Nondestructive Testing Technology*, 5 (1), 42-51.



© The Author(s).

DOI: <http://doi.org/10.30494/jndt.2026.592326.1176>

Publisher: Iranian Society for Nondestructive Testing

بهبود تباین با حذف زمینه تصاویر پرتونگاری صنعتی مخازن بزرگ آب و نفت با استفاده از

گراف‌های عامل تصادفی

امیر موافقی^۱ | عفت یاحقی^۲ | شیر رسولی^۲ | پیمان رستمی^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. شرکت مهندسی پرتو آزمون آذر، تهران ایران، رایانامه: info@partoazmoon.com

چکیده:

در پرتونگاری صنعتی مخازن بزرگ، وجود نویز، ناهمگنی ضخامت، پراکندگی فوتونی در پرتو و زمینه‌های ناخواسته و فاصله فیلم تا بدنه مخزن می‌تواند موجب کاهش قابلیت آشکارسازی عیوب و افت کیفیت پرتونگاره‌ها می‌شود. در این پژوهش، روشی مبتنی بر مدل گراف‌های عاملی تصادفی (Stochastic Factor Graphs; SFG) برای حذف زمینه و بهبود کیفیت تصاویر پرتونگاری ارائه شده است. در این روش، وابستگی‌های آماری بین پیکسل‌ها و ویژگی‌های ساختاری تصویر در قالب یک گراف عاملی مدل‌سازی شده و با تخمین بهینه پارامترها، مؤلفه‌های زمینه از نواحی حاوی اطلاعات عیب و جوش تفکیک می‌شوند. سپس تصویر حاصل به‌منظور افزایش تباین از پرتونگاره اصلی به صورت پیکسل به پیکسل کم می‌شود. نتایج نشان داد که روش پیشنهادی توانسته است کیفیت تشخیص عیوب را به‌طور محسوسی افزایش دهد. بر اساس ارزیابی انجام شده توسط متخصصین پرتونگاری، میزان بهبود تباین در ناحیه IQI از ۲۰٪ در تصویر اصلی به ۸۹٪ در تصویر بازسازی شده افزایش یافته است. همچنین دقت تشخیص خط جوش از ۴۰٪ به ۸۳٪، عیوب از ۴۷٪ به ۹۴٪، حروف سربی از ۸۳٪ به ۱۰۰٪ و متر سربی از ۹۰٪ به ۱۰۰٪ ارتقا یافته است. این نتایج بیانگر بهبود قابل توجه تباین، کاهش اثر زمینه و افزایش قابلیت مشاهده جزئیات ریز در تصاویر پرتونگاری مخازن بزرگ است. یافته‌های این مطالعه نشان می‌دهد که مدل SFG می‌تواند به‌عنوان یک ابزار مؤثر برای حذف زمینه و بهبود کیفیت تصاویر پرتونگاری صنعتی به کار گرفته شود و نقش مهمی در افزایش دقت بازرسی‌های غیرمخرب، کاهش خطای اپراتور و ارتقای قابلیت اطمینان ارزیابی مخازن و سازه‌های جوشی ایفا کند.

اطلاعات مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:

۱۴۰۵/۰۴/۲۶

تاریخ بازنگری:

۱۴۰۵/۰۵/۲۳

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۵/۰۷/۱۴

کلیدواژگان:

مخازن ذخیره‌سازی بزرگ،
گراف‌های عاملی تصادفی،
رادیوگرافی صنعتی،
شناسایی عیوب،
آزمون‌های غیرمخرب.

استناد: موافقی، امیر؛ یاحقی، عفت؛ رسولی، شیر و رستمی، پیمان. (۱۴۰۴). بهبود تباین با حذف زمینه تصاویر پرتونگاری صنعتی مخازن بزرگ

آب و نفت با استفاده از گراف‌های عامل تصادفی. *مجله فناوری آزمون‌های غیرمخرب*، ۵ (۱)، ۴۲-۵۱.

© نویسندگان

ناشر: انجمن آزمون‌های غیرمخرب ایران



DOI: http://doi.org/10.30494/jndt.2026.592326.1176

۱- مقدمه

مخازن بزرگ ذخیره‌سازی از مهم‌ترین تجهیزات صنایع نفت، گاز، پتروشیمی، نیروگاهی و شیمیایی محسوب می‌شوند. این مخازن برای نگهداری سیالات، فرآورده‌های نفتی، مواد شیمیایی و آب در حجم‌های بسیار زیاد طراحی و ساخته می‌شوند. فرآیند ساخت این مخازن شامل مراحل طراحی، انتخاب مواد، برشکاری، شکل‌دهی ورق‌ها، مونتاژ، جوشکاری، عملیات حرارتی و بازرسی نهایی است. با توجه به ابعاد بزرگ سازه و شرایط بهره‌برداری، کیفیت ساخت و اطمینان از سلامت اتصالات جوشی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است [۱-۲].

در طول فرآیند ساخت، چالش‌های متعددی می‌توانند بر کیفیت مخزن تأثیر بگذارند. از جمله مهم‌ترین این چالش‌ها می‌توان به اعوجاج ناشی از جوشکاری، تنش‌های پسماند، ناهمگنی ضخامت ورق‌ها، عدم هم‌راستایی قطعات، خوردگی، ترک‌های جوشی، تخلخل، نفوذ ناقص، سرباره محبوس و سایر ناپیوستگی‌های جوش اشاره کرد. وجود این عیوب می‌تواند استحکام مکانیکی سازه را کاهش داده و در شرایط بهره‌برداری منجر به نشت، شکست یا بروز حوادث جدی شود [۳-۴].

به‌منظور اطمینان از کیفیت ساخت و شناسایی عیوب احتمالی، از روش‌های آزمون غیرمخرب^۱ NDT استفاده می‌شود. بازرسی چشمی نخستین مرحله ارزیابی بوده و برای بررسی وضعیت ظاهری جوش‌ها و ناپیوستگی‌های سطحی به کار می‌رود [۳-۴]. آزمون مایعات نافذ برای آشکارسازی ترک‌ها و ناپیوستگی‌های باز به سطح [۴] و آزمون ذرات مغناطیسی برای شناسایی عیوب سطحی و نزدیک به سطح در مواد فرومغناطیس مورد استفاده قرار می‌گیرد [۴ و ۵].

در میان روش‌های حجمی، آزمون فراصوتی [۵] و پرتونگاری صنعتی [۶] از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. آزمون فراصوتی امکان شناسایی و تعیین موقعیت عیوب داخلی را با سرعت بالا فراهم می‌کند، در حالی که پرتونگاری صنعتی با استفاده از پرتوهای ایکس یا گاما تصویری دائمی از ساختار داخلی جوش ارائه می‌دهد و برای آشکارسازی تخلخل، آخال سرباره، نفوذ ناقص و ترک‌ها بسیار مؤثر است. با این حال، در

پرتونگاری مخازن بزرگ، عواملی نظیر ضخامت زیاد قطعات، فاصله فیلم تا سطح مخزن، پراکندگی پرتو، نویز و ناهمگنی زمینه می‌توانند کیفیت پرتونگاره‌ها را کاهش دهند و تشخیص عیوب را دشوار سازند [۴، ۱].

در بازرسی با روش پرتونگاری از چشمه‌های پرتوزا مانند ایریدیم ۱۹۲ برای بررسی عیوب جوش استفاده می‌شود و آشکارساز آن معمولاً فیلم و یا رادیوگرافی دیجیتال با صفحات فسفری CR هستند. یکی از علل مهم استفاده از این آشکارسازها، قابلیت خم شدن فیلم و صفحات CR [۷-۸] است که می‌تواند انحنای بدنه مخازن را پوشش دهد. با این حال، تصاویر پرتونگاری حاصل از مخازن بزرگ معمولاً بر اثر ناهمگنی زمینه، پراکندگی پرتو و تغییرات ضخامت دیواره، تباین پائینی دارند. برای تفسیر بهتر فیلم لازم است پرتونگاره‌های حاصل پردازش شوند [۳، ۱].

وجود این عوامل سبب کاهش نسبت سیگنال به نویز و دشوار شدن تشخیص عیوب واقعی می‌شود. در سال‌های اخیر روش‌های متعددی شامل آستانه‌گذاری، و روش حذف زمینه [۷]، شبکه‌های عصبی [۸] و مدل‌های مارکوف [۹] برای بخش‌بندی تصاویر پرتونگاری پیشنهاد شده‌اند. با این وجود، اکثر این روش‌ها قادر به مدل‌سازی همزمان وابستگی‌های فضایی و ویژگی‌های آماری تصویر نیستند.

گراف‌های عاملی تصادفی^۲ SFG چارچوبی احتمالاتی برای مدل‌سازی روابط پیچیده میان متغیرهای تصویر فراهم می‌کنند. این ساختار امکان ترکیب اطلاعات شدت روشنایی، ویژگی‌های بافت و ارتباطات فضایی را در قالب یک مدل احتمال مشترک فراهم می‌سازد. در این پژوهش، از SFG [۱۰-۱۲] برای حذف زمینه و بخش‌بندی عیوب در تصاویر رادیوگرافی مخازن صنعتی استفاده شده است. پردازش تصاویر مخازن می‌تواند در ارتقای دقت بازرسی و کاهش خطاهای انسانی در ارزیابی مخازن نقش بزرگ ایفا کند.

۲- روش‌ها

۲-۱ پرتونگاری

برای پرتونگاری مناطق جوشکاری شده در مخازن از چشمه ایریدیم ۱۹۲ استفاده شده است. پرتوایی چشمه

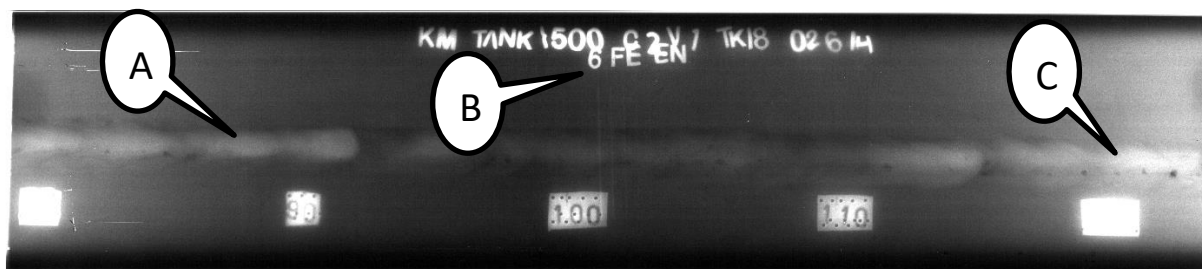
^۲ Stochastic Factor Graphs^۱ Nondestructive Testing

که در آن S اندازه چشمه، b فاصله فیلم تا سطح قطعه و a فاصله چشمه تا سطح قطعه است. فیلم‌ها بعد از عملیات ظهور و ثبوت بوسیله یک دیجیتایزر فیلم مدل NTFD 3.2 ساخت شرکت نهامین با قدرت تفکیک مکانی 300 dpi^2 و عمق تصویری ۸ بیت اسکن شده و به شکل یک تصویر دیجیتال در آمده‌اند. در شکل ۱ نمونه‌ای از این پرتونگاره‌ها نشان داده شده است. پرتونگاره از یک مخزن به ظرفیت تقریبی ۱۵۰۰ متر مکعب تهیه شده که ضخامت فولاد آن ۱۸ میلی‌متر بوده است. پرتونگاری از شاخص IQI و متر سربی استفاده شده است. همچنانکه در تصویر دیده می‌شود خط جوش (نشانهگر A) و خطوط IQI (نشانهگر B) و عیوب حفره (نشانهگر C) در تصویر واضح دیده نمی‌شوند و تصویر نیاز به پردازش دارد.

حدود ۳۰ کوری و زمان تصویربرداری حدود ۴/۵ دقیقه با SFD^1 ۳۵ سانتی متر با در نظر گرفتن ضخامت ۲۲ میلی‌متر در گرده جوش برای دانسیته اپتیکی ۲/۵ در نظر گرفته شده است. فیلم استفاده شده از نوع MX125 بوده است. پرتونگاری و اسکن فیلم‌ها به فرمت دیجیتال طبق استانداردهای مرجع ISO 17636-1 و ISO-14096-2 انجام شده است [۱۳-۱۴]. در پرتونگاری مخزن، فیلم در بیرون مخزن و چشمه در درون آن قرار گرفته است. مشخصات جوش و پرتونگاری روی هر فیلم ثبت شده است. با توجه به اندازه معادل چشمه گاما که حدود ۴/۲ mm عدم وضوح هندسی؛ Ug ؛ برابر ۰/۲۶ mm با توجه به رابطه (۱) محاسبه می‌شود.

$$Ug=S*b/a$$

(۱)



شکل (۱) نمونه‌ای از پرتونگاره دیجیتایز شده.

در نظر گرفتن وابستگی‌های محلی و سراسری فراهم می‌کند و در عین حال اثر نویز را کاهش می‌دهد. برای تصویر اولیه $Y = \{y_i\}$ که y_i شدت و i شماره پیکسل در تصویر اصلی است، تصویر جدید $X = \{x_i\}$ باید ساخته شود که نویز کمتر داشته باشد، لبه‌ها حفظ شوند و تباین در آن افزایش یابد. بنابراین مجهول اصلی ما فقط x_i است. مجموعه‌ای از پیکسل‌ها یک گره را تشکیل می‌دهند که شامل یک پیکسل مرکزی و همسایه‌های آن هستند. برای ساخت تصویر X نباید مقدار جدید پیکسل خیلی از مقدار اصلی دور شود. پس عامل داده را چنین تعریف می‌کنیم [۱۲]:

$$\phi_i(x_i) = \exp\left(-\frac{(x_i - y_i)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (2)$$

که در آن x_i مقدار جدید پیکسل، y_i مقدار اولیه پیکسل، σ شدت نویز تصویر است. اگر $x_i = y_i$ آنگاه $\phi_i = 1$

۲-۲ مدل SFG

مدل SFG روابط آماری بین متغیرهای مختلف تصویر را از طریق گره‌های متغیر^۳ و گره‌های عامل^۴ نمایش می‌دهد. در پردازش تصاویر رادیوگرافی، این مدل امکان استخراج و تقویت ساختارهای مهم تصویر را با در نظر گرفتن وابستگی‌های محلی و سراسری فراهم می‌کند و در عین حال اثر نویز را کاهش می‌دهد [۱۰-۱۱]. مزیت اصلی SFG این است که دو نوع اطلاعات آماری شدت روشنایی پیکسل و اطلاعات مکانی و همسایگی پیکسل‌ها را به طور همزمان در تصمیم‌گیری دخالت می‌دهد. در نتیجه، مدل تنها بر اساس روشنایی یک پیکسل تصمیم‌گیری نمی‌کند، بلکه رفتار پیکسل‌های اطراف را نیز در نظر می‌گیرد. در پردازش تصاویر پرتونگاری، این مدل امکان استخراج و تقویت ساختارهای مهم تصویر را با

³ Variable Nodes

⁴ Factor Nodes

¹ Source to Film Distance

² Dot per inch

$$E(X) = E_{data} + E_{smooth} \quad (۸)$$

که داریم:

$$E_{data} = \sum_i \frac{(x_i - y_i)^2}{2\sigma^2} \quad (۹)$$

و

$$E_{smooth} = \beta \sum_{(i,j)} (x_i - x_j)^2 \quad (۱۰)$$

اکنون باید مقدارهای x_i را پیدا کنیم به‌طوری که انرژی کمینه شود. برای مثال برای یک تصویر ۵۱۲×۵۱۲ ، تعداد ۲۶۲۱۴۴ متغیر وجود دارد که حل مستقیم ممکن نیست و باید از LBP^2/BP^1 استفاده شود که به هر پیکسل اجازه می‌دهد از همسایه‌هایش اطلاعات بگیرد. الگوریتم LBP یک روش تقریبی برای انجام استنتاج احتمالاتی روی گراف عاملی در شبکه‌های چندعاملی است. در این رویکرد، توزیع احتمال مشترک سیستم به مجموعه‌ای از متغیرها و توابع عامل تجزیه می‌شود و اطلاعات بین گره‌های متغیر و عامل از طریق عبور پیام‌ها منتقل می‌شود. در حالت ایده‌آل، هنگامی که گراف بدون حلقه باشد، الگوریتم الگوریتم انتشار باور جمع-ضرب^۳ می‌تواند استنتاج دقیق را انجام دهد؛ اما در شبکه‌های دارای حلقه LBP، پیام‌ها به‌صورت تکراری بین گره‌ها مبادله شده و پس از چندین تکرار به یک وضعیت همگرایی می‌رسند. به عبارتی هر عامل می‌تواند تنها بخش محلی و مرتبط از توزیع احتمال مشترک را در یک گراف عاملی نگهداری کرده و به‌جای ارسال کل توزیع، پیام‌ها و عوامل مرتبط با متغیرهای مشترک را با همسایگان خود مبادله کند. این ساختار باعث کاهش قابل توجه هزینه محاسباتی و ارتباطی می‌شود. مطابق الگوریتم برای هر یال $i \rightarrow j$ پیام $m_{i \rightarrow j}$ ارسال می‌شود:

$$m_{i \rightarrow j}(x_j) = \sum_{x_i} \phi_i(x_i) \psi_{ij}(x_i, x_j) \prod_{k \in N(i) \setminus j} m_{k \rightarrow i}(x_i) \quad (۱۱)$$

در این رابطه $\phi_i(x_i)$ پیکسل را به تصویر اصلی وابسته می‌کند و $\psi_{ij}(x_i, x_j)$ شباهت همسایه‌ها را اعمال می‌کند. $\prod m_{k \rightarrow i}$ اطلاعاتی است که پیکسل از سایر همسایه‌ها گرفته

خواهد بود و بیشترین احتمال اتفاق می‌افتد. برای x_i متفاوت از y_i ، ϕ_i کوچک می‌شود. بنابراین پیکسل جدید باید به تصویر اصلی وفادار بماند. در تصاویر پیکسل‌های مجاور معمولاً مشابه‌اند، پس برای همسایگی داریم:

$$\psi_{ij}(x_i, x_j) = \exp(-\beta(x_i - x_j)^2) \quad (۳)$$

که در آن x_i پیکسل اول، x_j پیکسل همسایه و β ضریب هموارسازی هستند. در این رابطه اگر $x_i = x_j$ آنگاه $\psi_{ij} = 1$ است و اگر اختلاف زیاد شود $\psi_{ij} \rightarrow 0$ می‌شود. بنابر این برای ساخت مدل SFG دو عامل داده ϕ_i و عامل همسایگی ψ_{ij} داریم. احتمال کل برای تصویر بازسازی شده چنین است:

$$P(X | Y) = \frac{1}{Z} \prod_i \phi_i(x_i) \prod_{(i,j)} \psi_{ij}(x_i, x_j) \quad (۴)$$

با جایگذاری دو عامل داده و همسایگی در روابط ۲ و ۳ در این رابطه داریم:

$$P(X | Y) = \frac{1}{Z} \prod_i \exp\left(-\frac{(x_i - y_i)^2}{2\sigma^2}\right) \times \prod_{(i,j)} \exp(-\beta(x_i - x_j)^2) \quad (۵)$$

و رابطه (۵) با توجه به ضرب توابع نمایی چنین نوشته می‌شود:

$$P(X | Y) = \frac{1}{Z} \exp\left[-\sum_i \frac{(x_i - y_i)^2}{2\sigma^2} - \beta \sum_{(i,j)} (x_i - x_j)^2\right] \quad (۶)$$

عبارت داخل براکت را انرژی تعریف می‌شود:

$$E(X) = \sum_i \frac{(x_i - y_i)^2}{2\sigma^2} + \beta \sum_{(i,j)} (x_i - x_j)^2 \quad (۷)$$

انرژی از دو قسمت تشکیل شده:

^۳ Sum-Product Belief Propagation

^۱ Belief Propagation

^۲ Loopy Belief Propagation

بخش ۲-۲ در این روش چندین پارامتر وجود دارد که باید توسط کاربر تنظیم شود. یکی از این پارامترها β است که میزان تأثیر پیکسل‌های مجاور بر یکدیگر را کنترل می‌کند. اگر $\beta \rightarrow 0$ تأثیر همسایه‌ها ناچیز خواهد بود و مدل تقریباً مستقل از ساختار فضایی عمل می‌کند و برای β بسیار بزرگ، تصویر بیش از حد هموار شده و احتمال محو شدن مرز عیوب وجود خواهد داشت. بنابراین انتخاب مناسب β برای حفظ تعادل بین حذف نویز و نگهداری لبه‌ها ضروری است. دیگری پارامتر σ در عامل داده است، اگر مقدار σ کوچک انتخاب شود مدل به شدت به داده اولیه وابسته خواهد بود و تغییرات اندکی در تصویر اعمال می‌شود. در مقابل، اگر مقدار σ بزرگ باشد مدل آزادی بیشتری برای اصلاح شدت پیکسل‌ها خواهد داشت و امکان حذف نویز بیشتری فراهم می‌شود. با توجه به این توضیحات و دقت به اینکه در تصاویر پرتونگاری نویز مشخص نیست، سعی شد با حذف زمینه لبه‌ها را واضح کرد. برای اینکار $\beta=7$ و $\sigma=0.25$ در نظر گرفته شد. با اجرای الگوریتم تصاویر خروجی بدست آمد و از تصویر اصلی کم شد. در شکل ۲ تصاویر خروجی و بازسازی شده برای پرتونگاره شکل ۱ نشان داده شده‌اند. در الگوریتم SFG دو پارامتر β و σ که مربوط به مشخصات گراف‌های عاملی هستند قابل تغییرند. در مقالات پردازش تصویر مانند مرجع [۱۲] نویز شناخته شده به تصویر اضافه شده و با تغییر در پارامترها و اجرای الگوریتم تصویر خروجی بدون نویز بدست می‌آید. باید دقت داشت که در تصاویر پرتونگاری نویز تصاویر مشخص نیست و از منابع مختلفی بوجود می‌آیند که مدلسازی ریاضی آن مشکل است. بنابر این در این تحقیق از روش SFG برای حذف زمینه استفاده شده، تا جزئیات تصویر و اطلاعات لبه‌ها را جدا کند. یعنی تصویر خروجی مطابق شکل ۲-الف که از اجرای الگوریتم SFG بدست می‌آید تصویر مات شده است، که با کم کردن آن از تصویر اصلی شکل ۱، تصویر با جزئیات در شکل ۲-ب بدست می‌آید.

در شکل ۲-الف طبق توضیحاتی که در خصوص پارامترهای β و σ داده شد، تصویر مات بدست آمده است. قلیل ملاحظه است که در این تصویر لبه‌ها کاملاً محو هستند. حروف سربی و اعداد متر سربی نیز ناخوانا شده‌اند. در شکل ۲-ب که تصویر بازسازی شده پرتونگاره شکل ۱

است. سپس با استفاده از رابطه زیر با معمولاً ۲۰ تا ۵۰ تکرار مقدار احتمال نهایی شدت پیکسل محاسبه می‌شود:

$$b_i(x_i) = \phi_i(x_i) \prod_{j \in N(i)} m_{j \rightarrow i}(x_i) \quad (12)$$

برای تولید هر پیکسل برای تصویر خروجی چنین داریم:

$$x_i^* = \arg \max b_i(x_i) \quad (13)$$

یعنی مقداری انتخاب می‌شود که بیشترین احتمال را دارد. بیشینه‌سازی این مقدار پیکسل‌ها منجر به تولید تصویری با تباین بالاتر و نویز کمتر می‌شود.

روش خلاصه اجرای الگوریتم [۱۲]

ورودی: Y

تعریف عامل داده: $\phi_i(x_i)$ - رابطه (۲)

تعریف عامل همسایگی $\psi_{ij}(x_i, x_j)$ - رابطه (۳)

ساخت توزیع احتمال $P(X | Y)$ - طبق رابطه (۶)

تعریف انرژی $E(X)$ - رابطه (۷ و ۸)

اجرای BP/LBP - رابطه (۱۱)

محاسبه $b_i(x_i)$ - رابطه (۱۲)

انتخاب x_i^* و تصویر بهبود یافته X^* - رابطه (۱۳)

۲-۳ مشخصات مخازن

مخازن استوانه‌های ساخته شده به ارتفاع ۲۰ متر و قطر حدود ۱۰ متر هستند که بصورت استوانه‌های عمودی ساخته می‌شوند. جنس ورق آنها از فولاد ضد زنگ است و ضخامت آن در نواحی مختلف متفاوت است. در روی فیلم‌های پرتونگاری ضخامت ناحیه مورد آزمون ثبت شده است. این مخازن برای نگهداری نفت و یا آب ساخته می‌شوند. برای ساخت آنها ورق‌های نورد شده فولاد با ابعاد ۳ در ۱/۵ متر برش خورده و به هم جوش داده می‌شوند.

۳- نتایج

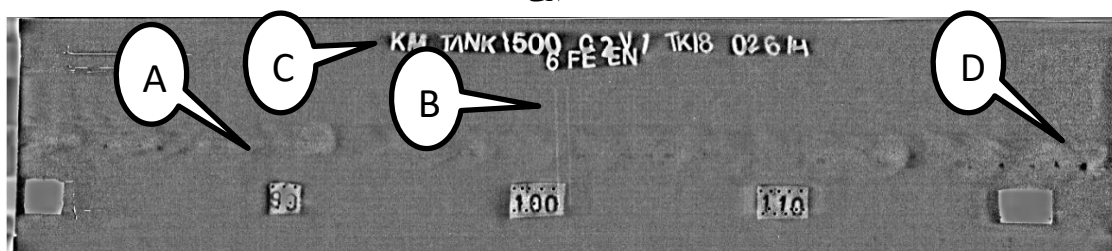
در این تحقیق برای آشکارسازی ساختار عیوب جوش در ساختار مخازن بزرگ از روش پرتونگاری و برای بهبود تباین تصاویر از روش SFG استفاده شده است. شکل ۱ نمونه‌ای از پرتونگاره یک جوش نشان داده شد. همانگونه که ذکر شد بخاطر هندسه پرتونگاری و سایر عوامل تصاویر واضح نیستند. برای بهبود تباین روش SFG استفاده شد. برنامه SFG با نرم افزار MATLAB R2023 اجرا شده و مطابق

در محل جوش در مخازن نشان داده شده است. در قسمت وسط تصویر خط جوش محو شده و در دو طرف آن نمایی ناواضح از آن مشخص است (نشانگر A) و همچنین در تصویر حروف و متر سربی (نشانگر B) بسختی قابل دیدن هستند، در تصویر بازسازی شده شکل ۳-ب این نقاط تا حدی واضح‌تر شده‌اند.

است. لبه‌ها تیز هستند. خط جوش (نشانگر A)، سه خط از خطوط IQI (نشانگر B) و حروف (نشانگر C) و متر سربی کاملاً واضح دیده می‌شوند. عیوب حفره (نشانگر D) که در سمت راست روی خط جوش وجود دارد در پرتونگاره اصلی شکل ۱ دیده می‌شود ولی در شکل ۲-ب کاملاً واضح است. در شکل ۳-الف نمونه‌ای از یک پرتونگاره با تباین کم

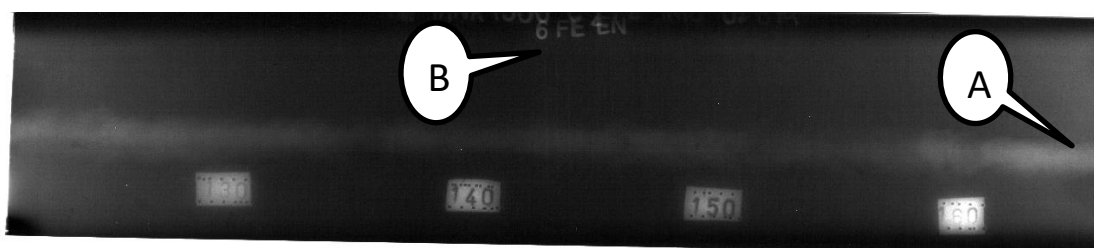


الف

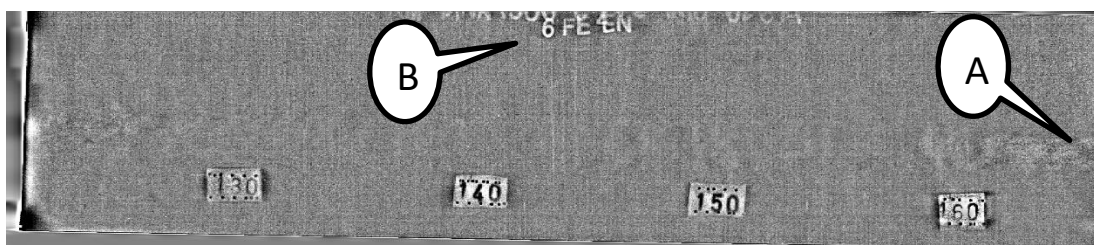


ب

شکل ۲) الف - تصویر خروجی و ب- تصویر بازسازی شده برای پرتونگاره شکل ۱ با $\beta=7$ و $\sigma=0.25$.



الف



ب

شکل ۳) الف - پرتونگاره اصلی و ب- تصویر بازسازی شده برای پرتونگاره جوش با تباین کم

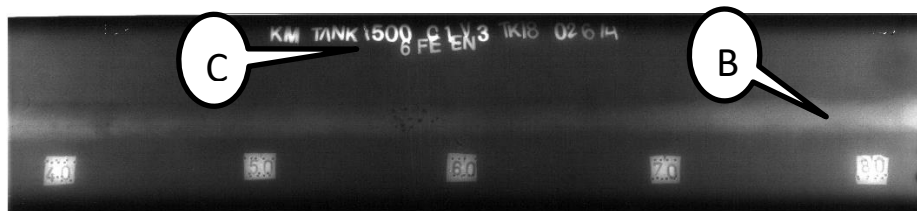
تصویر بسختی قابل دیدن است. حروف سربی (نشانگر B) و متر سربی نیز بخوبی دیده می‌شوند. در پرتونگاره اصلی،

همچنین در ناحیه IQI سه خط مشخص شده و خط جوش (نشانگر A) در دو طرف تصویر واضح شده ولی در وسط

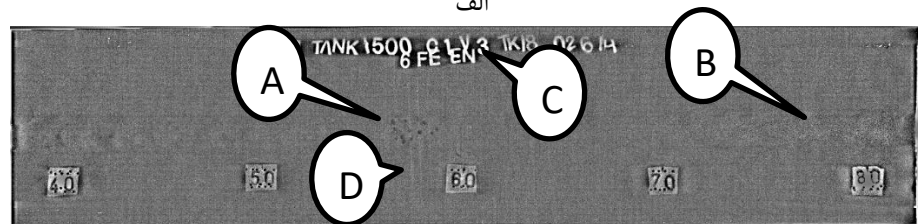
در شکل ۴ دو پرتو نگاره از جوش و تصاویر بازسازی آنها نشان داده شده‌اند. مقایسه پرتونگاره اصلی و تصاویر بازسازی شده در شکل نشان می‌دهد که تشخیص مرز عیوب در پرتونگاره‌های اصلی بسختی دیده می‌شوند و در تصاویر بازسازی شده هرچند بافت نویزی افزایش یافته ولی جزئیات مانند خط جوش (نشانگر B) بیشتر نمایان شده‌اند. همچنین نوشته‌های حروف و متر سربی واضح‌تر شده‌اند (نشانگر C) و تباین تصاویر بازسازی شده بهتر شده است. نواحی تخلخل، ناخالصی یا تغییرات ضخامت و شاخص‌های IQI (نشانگر D) بهتر قابل تشخیص هستند.

نواحی عیب تقریباً با زمینه ادغام شده‌اند و تشخیص آنها دشوار است. شاخص IQI و نوشته‌های بالای فیلم به سختی قابل خواندن هستند.

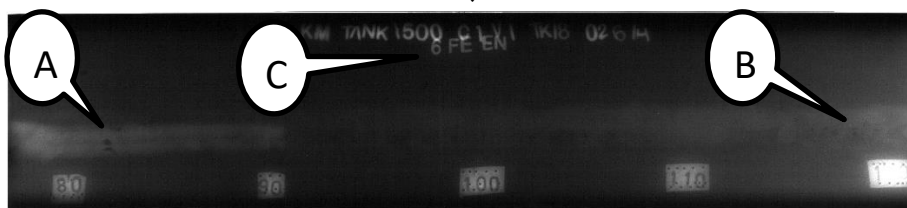
باید دقت کرد که برای رسیدن به حساسیت ۲٪ در تصاویر رادیوگرافی از ضخامت ۲۲ میلیمتر (شامل ضخامت گرده جوش) سیم شماره ۹ از IQI شماره ۶-۱۲ باید معلوم باشد. با توجه به قدرت تفکیک مکانی سنسور اسکتر ۳۰۰ dpi میباشد. (حدود ۸۰ میکرون) این اسکتر حداکثر سیم سوم IQI ۱۲-۶ را میتواند ثبت کند. که در تصاویر اصلی دیجیتایز شده معلوم نیست اما در تصاویر پردازش شده آشکار شده است.



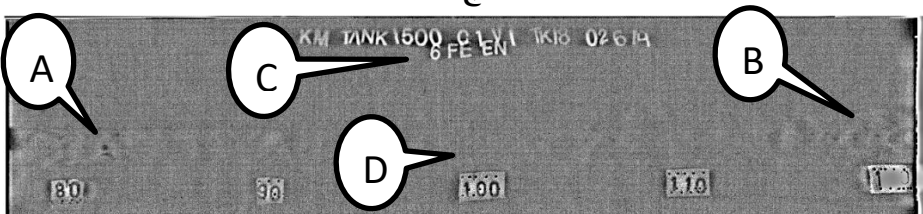
الف



ب



ج



د

شکل ۴ الف و ج - پرتونگاره اصلی جوش و ب و د - تصویر بازسازی شده برای پرتونگاره جوش

به تصاویر امتیاز دهند. درصد متوسط امتیازات در نمودار شکل ۵ نشان داده شده است. همانطور که در نمودار دیده

برای ارزیابی از نظرات سه متخصص پرتونگاری استفاده شد و از آنها خواسته شد در خصوص وضوح نواحی مختلف

لبه‌های واضح‌تری نسبت به پرتونگاره اصلی هستند و خطوط IQ، خط جوش و سایر جزئیات تصویر روی آنها بهتر از پرتونگاره اصلی دیده می‌شوند.

از نتایج بدست آمده می‌توان نتیجه گرفت که روش SFG افزایش تباین موضعی مناسبی در نواحی مختلف تصویر دارد و جزئیات ریز تصویر را حفظ می‌کند. این روش پیچیدگی محاسباتی بالایی دارد و نیاز به تنظیم پارامترها دارد و روابط بین پیکسل‌های مجاور در قالب یک مدل احتمالاتی لحاظ می‌شود که باعث بازیابی بهتر ساختارها در پرتونگاره‌ها می‌شود.

ارزیابی نتایج توسط متخصصین پرتونگاری نشان می‌دهد که تصاویر بازسازی شده نسبت به پرتونگاره‌های اصلی تغییرات معنا داری در تباین دارند و نواحی مختلف تصاویر بازسازی شده خیلی واضح‌تر از پرتونگاره‌های اصلی هستند. در نتیجه استفاده از روش SFG در بازرسی جوش مخازن مفید است و می‌تواند به عنوان یک روش کمکی در بازرسی جوش بکار رود.

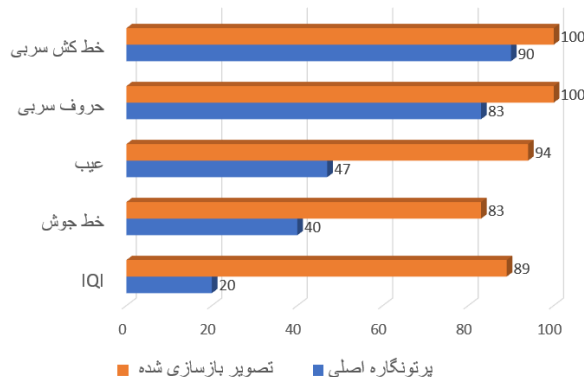
۵- تعارض منافع

هیچ گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۶- منابع

- [1] Hellier C. (2012). Handbook of Nondestructive Evaluation (2nd ed.). McGraw-Hill Education. ISBN 007177713X, 9780071777131
- [2] Raj B., Jayakumar T., & Thavasimuthu M. (2002). Practical Non-Destructive Testing. Woodhead Publishing. ISBN: 1842650815, 9781842650813
- [3] American Petroleum Institute (API). (2020). API Standard 650: Welded Tanks for Oil Storage. Washington, DC: American Petroleum Institute.
- [4] American Petroleum Institute (API). (2021). API Standard 653: Tank Inspection, Repair, Alteration, and Reconstruction. Washington, DC: American Petroleum Institute.
- [5] Gunasekaran S., Panchal M., Tripathi D. M., & Murugan S. S. (2019). API 650 Code Annex-U Requirements for Ultrasonic Examination in lieu of Radiography. Proceedings of NDE 2019.
- [6] Wang G., Liao T.W. (2002). Automatic Identification of Different Types of Welding Defects in Radiographic Images. NDT&E International. 35(8):519-528.
- [7] Movafeghi A., Keshavarz Nasab A., Yahaghi E. & Shojaii A. (2024). Implementation of Index Vectors

می‌شود از نظر متخصصین پرتونگاری در پرتونگاره‌های اصلی حروف سری و متر سری بهتر از نواحی دیگر دیده می‌شوند و بیشترین امتیاز را دارند. کمترین امتیاز در پرتونگاره‌های اصلی به ناحیه IQ اختصاص داده شده است، این ناحیه بخاطر وضوح کم تصاویر در بسیاری از پرتونگاره‌ها قابل مشاهده نبودند. در تصاویر بازسازی شده امتیازات به طور معناداری افزایش پیدا کرده‌اند که نشانگر بهبود تباین تصاویر در نواحی مختلف می‌باشد. همچنین برای نواحی عیوب، خط جوش و IQ این امتیازات تغییراتی در حدود ۲ تا ۴ برابر داشته‌اند. اجرای این الگوریتم برای یک تصویر ۱۱۸۱ در ۵۴۰۳ حدود ۴ دقیقه زمان اجرا طول کشیده است.



شکل ۵) درصد متوسط امتیازات برای نواحی مختلف پرتونگاره‌ها.

۴- نتیجه‌گیری

در بازرسی مخازن بزرگ، داشتن پرتونگاره‌هایی که بتواند اطلاعات بیشتری در اختیار مفسرین پرتونگاره قرار دهد، اهمیت دارد. این اطلاعات با ارزیابی مناطق جوش، سبب جلوگیری از نشستی مخزن در حین عملیات بهره‌برداری می‌شود. پرتونگاره‌های جوش به علت فاصله فیلم از مخزن در حین پرتونگاری و سایر عوامل، تباین کمی دارند. در این تحقیق از روش SGF همراه با حذف زمینه برای بهبود تباین در پرتونگاره‌های مخازن با پرتو گاما استفاده شده است. بعد از بدست آوردن بهترین پارامتر σ و β برای بدست آوردن تصویر زمینه، این تصویر خروجی از پرتونگاره اصلی کم شده و تصویر بازسازی بدست آمده است. نتایج نشان می‌دهند که تصاویر بازسازی شده دارای

- Utilizing Artificial Intelligence to Enhance the Contrast of Weld Radiograph. *Journal of Nondestructive Testing Technology*, 4 (1), 47-56, DOI: <http://doi.org/10.30494/jndt.2025.509280.1160>
- [8] Negahdarzadeh E., Yahaghi E., Rokrok B., Movafeghi A., Keshavarz Khani A., (2019). Diagnosis of design and defects in radiography of ceramic antique objects using the wavelet-domain hidden Markov models, *Journal of Cultural Heritage*, 35, 56-63, ISSN 1296-2074, <https://doi.org/10.1016/j.culher.2018.07.005>.
- [9] Mery D., Berti M.A. (2003). Automatic Detection of Welding Defects Using Textures Features. *Insight* 45(10):676-681.
- [10] Tehrani S. Sh., Mannor Sh. and Gross W. J., (2007). Survey of Stochastic Computation on Factor Graphs, *Proceedings of the 37th International Symposium on Multiple-Valued Logic (ISMVL'07)* 0-7695-2831-7/07
- [11] Drost R. J., Singer A. C. (2007). Factor-Graph Algorithms for Equalization, *IEEE Transaction On Signal Processing*, VOL. 55, NO. 5.
- [12] Dagan O., Ahmed N. R. (2021). Factor Graphs for Heterogeneous Bayesian Decentralized Data Fusion. *IEEE Control Systems Letters*, 6, 2585–2590.
- [13] ISO 17636-1, (2013). Non-destructive testing of welds -- Radiographic testing -- Part 1: X- and gamma-ray techniques with film, International Standard.
- [14] ISO 14096-2, (2004). 'Non-destructive testing - Qualification of radiographic film digitization systems - Part 2: Minimum requirement', International Standard.