

Implementation of Index Vectors Utilizing Artificial Intelligence to Enhance the Contrast of Weld Radiograph

Amir Movafeghi ¹ | Ali Keshavarz Nasab  ² | Effat Yahaghi ³ | Amir-Ahmad Shojaii⁴

1. Reactor and Nuclear Safety Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, Tehran, Iran, Email: amovafeghi@aeoi.org.ir
2. Shahid Rajaei University, Tehran, Iran. Email: alikeshtarzinasab@sru.ac.ir
3. Department of Physics, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran, Email: yahaghi@sci.ikiu.ac.ir
4. Atomic Energy Organization of Iran, Tehran, Iran, Email: amirahmadshojai@yahoo.com

ABSTRACT

Article Information:

Research Article

Received 28 Feb. 2025

Revised 8 May 2025

Accepted 30 May 2025

Keywords:

Facebook AI Similarity Search (FAISS),
Weld Radiographs,
Oil Industry,
Enhancing the Contrast.

Nowadays the use of radiography to inspect weld defects is of great importance in different industries. Given the various causes for image quality reduction in radiography systems, the use of image processing to enhance the contrast of radiographs is crucial. Artificial Intelligence (AI), as one of the most advanced technologies of the modern era, plays a significant role in image processing, where machine learning and deep learning algorithms are employed to analyze and interpret visual data. In this research, Facebook AI Similarity Search (FAISS) has been used to improve the contrast of weld radiographs. FAISS is a powerful and optimized library for similarity search in large datasets, developed by Facebook. The results of processing the radiographs show that the contrast has increased in various regions, particularly in the weld root and defect areas, where gas porosity and lack of fusion are most prevalent, showing a significant improvement. These results have been evaluated by radiography experts, who confirm that, in addition to improving the contrast of radiographs in different regions, the defect detection can be carried out efficiently. In addition, this method is fast and does not require complex manual adjustments. One of the key advantages of this method is the use of a pre-trained network, which saves time and costs associated with training new models. This is particularly important in large industries such as oil and gas, where time and accuracy of detection are critical. Given the positive results of this research, it is expected that the use of AI and libraries like FAISS will become a standard tool in the processing and analysis of radiography images in the future, bringing about a fundamental transformation in the quality and speed of defect detection, and it can help to identify the weld defects and discontinuities by radiography and welding specialists.

Cite this article: Movafeghi, A., Keshavarz Nasab, A., Yahaghi E. & Shojaii, A. (2024). Implementation of Index Vectors Utilizing Artificial Intelligence to Enhance the Contrast of Weld Radiograph. *Journal of Nondestructive Testing Technology*, 4 (1), 47-56.



© The Author(s).

DOI: <http://doi.org/10.30494/jndt.2025.509280.1160>

Publisher: Iranian Society for Nondestructive Testing

بکارگیری بردارهای شاخص با هوش مصنوعی برای بهبود کنتراست پرتونگاره‌های جوش

امیر موافقی^۱، علی کشاورز نسب^۲، عفت یاحقی^۳، امیر احمد شجاعی^۴

۱. پژوهشکده رآکتور و ایمنی هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، تهران، ایران، رایانامه: amovafeghi@aeoi.org.ir

۲. دانشگاه شهید رجایی، تهران، ایران، رایانامه: alikesavarznasab@sru.ac.ir

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

۴. سازمان انرژی اتمی ایران، تهران ایران، رایانامه: amirahmadshojai@yahoo.com

چکیده:

استفاده از پرتونگاری برای بررسی آسیب‌های منطقه جوشکاری شده، امروزه در صنایع مختلف اهمیت زیادی دارد. با توجه به عوامل مختلف افت کیفیت تصویر در سیستم پرتونگاری، استفاده از پردازش تصویر برای بهبود تباین پرتونگاره‌ها اهمیت ویژه‌ای دارد. یکی از کاربردهای مهم هوش مصنوعی (AI) به عنوان یکی از پیشرفته‌ترین فناوری‌های عصر حاضر، در پردازش تصویر است که در آن الگوریتم‌های یادگیری ماشین و یادگیری عمیق برای تحلیل و تفسیر داده‌های تصویری به کار گرفته می‌شوند. در این تحقیق از تکنیک FAISS برای بهبود تباین پرتونگاره‌های جوش استفاده شده است. FAISS یک کتابخانه قدرتمند و بهینه‌شده برای جستجوی شباهت در مجموعه داده‌های بزرگ است که توسط فیسبوک توسعه یافته است. نتایج پردازش پرتونگاره‌ها نشان می‌دهد که تباین در نواحی مختلف افزایش یافته و بخصوص در نواحی ریشه جوش و عیوب که بیشتر حفره‌گازی و فقدان اتصال در جوش هستند افزایش قابل ملاحظه‌ای داشته است. این نتایج توسط متخصصین پرتونگاری ارزیابی شده و آنها تأیید می‌کنند که در کنار بهبود تباین پرتونگاره‌ها در نواحی مختلف، شناسایی عیوب تصویر، بهتر صورت می‌پذیرد. علاوه بر آن، استفاده از این روش سریع است و نیاز به تنظیمات دستی پیچیده ندارد. یکی از مزایای کلیدی این روش، استفاده از یک شبکه از پیش آموزش‌دیده است که باعث صرفه‌جویی در زمان و هزینه‌های مرتبط با آموزش مدل‌های جدید می‌شود. این امر به ویژه در صنایع بزرگی مانند نفت و گاز، که زمان و دقت تشخیص از اهمیت بالایی برخوردار است، بسیار حائز اهمیت می‌باشد. با توجه به نتایج مثبت این تحقیق، می‌توان انتظار داشت که استفاده از هوش مصنوعی و کتابخانه‌هایی مانند FAISS در آینده به عنوان یک ابزار استاندارد در پردازش و تحلیل تصاویر پرتونگاری مورد استفاده قرار گیرد و تحولی اساسی در کیفیت و سرعت تشخیص عیوب ایجاد کند و به متخصصین پرتونگاری و جوش در تشخیص عیوب و ناپیوستگی‌های جوش کمک نماید.

اطلاعات مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:

۱۴۰۳/۱۲/۱۰

تاریخ بازنگری:

۱۴۰۴/۰۲/۱۸

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۴/۰۳/۰۹

کلیدواژگان:

جستجوی شباهت هوش

مصنوعی

فیسبوک

(FAISS)

پرتونگاره‌های جوش،

صنعت نفت،

بهبود تباین

استناد: موافقی، امیر؛ کشاورز نسب، علی؛ یاحقی، عفت؛ شجاعی، امیر احمد. (۱۴۰۳). بکارگیری بردارهای شاخص با هوش مصنوعی برای بهبود کنتراست پرتونگاره‌های جوش. *مجله فناوری آزمون‌های غیرمخرب*، ۴ (۱)، ۵۶-۴۷.

© نویسندگان

ناشر: انجمن آزمون‌های غیرمخرب ایران



DOI: <http://doi.org/10.30494/jndt.2025.509280.1160>

۱- مقدمه

طور بهینه انتخاب شود که بتواند از ضخامت لوله عبور کند، اما نه به اندازه‌ای بالا که منجر به کاهش تباین تصویر شود. فاصله منبع پرتوزا تا فیلم نیز باید به دقت محاسبه شود تا از اعوجاج تصویر جلوگیری شود. پرتوگیری نیز بر اساس ضخامت لوله و نوع ماده تنظیم می‌شود. پس از قرارگیری در معرض پرتو، فیلم برای ظهور و ثبوت به آزمایشگاه منتقل می‌شود. در این مرحله، تصویر نهایی تشکیل می‌شود و می‌توان آن را برای شناسایی عیوب احتمالی تحلیل کرد. دقت در انجام هر یک از این مراحل برای دستیابی به نتایج قابل اعتماد ضروری است [۳].

کیفیت تصویر به عوامل مختلفی مانند انرژی پرتو، فاصله منبع پرتوزا تا فیلم و زمان پرتو دهی بستگی دارد. انتخاب صحیح این پارامترها برای دستیابی به تصاویر واضح و قابل تفسیر بسیار مهم است. یکی از مزایای پرتونگاری با فیلم، دقت بالا و توانایی ثبت جزئیات ریز است. با این حال، این روش محدودیت‌هایی نیز دارد، از جمله زمان‌بر بودن فرآیند ظهور فیلم و نیاز به تجهیزات و مواد شیمیایی برای پردازش. همچنین، نگهداری و بایگانی فیلم‌ها به فضای فیزیکی نیاز دارد که می‌تواند چالش‌برانگیز باشد [۵-۶].

عیوب رایج در لوله‌های حمل نفت شامل ترک‌ها، حفره‌ها، خوردگی و ناپیوستگی‌های جوش است. این عیوب در تصاویر پرتونگاری به صورت سایه‌های تیره یا روشن با اشکال مختلف ظاهر می‌شوند. برای مثال، ترک‌ها معمولاً به صورت خطوط باریک و تیره دیده می‌شوند، در حالی که حفره‌ها به شکل نقاط تیره گرد یا بیضوی ظاهر می‌شوند. استانداردهای بین‌المللی مانند ASTM E94 [۷] و API 1104 [۸] برای تفسیر نتایج پرتونگاری استفاده می‌شوند. این استانداردها معیارهایی برای تشخیص و ارزیابی عیوب ارائه می‌دهند و به بازرسان کمک می‌کنند تا نتایج را به صورت یکسان و قابل اعتماد تفسیر کنند. در برخی موارد، از نرم‌افزارهای تخصصی نیز برای تحلیل دقیق‌تر تصاویر استفاده می‌شود.

پرتونگاری به عنوان یکی از روش‌های مهم آزمون غیرمخرب (NDT^۱) در صنایع مختلف، به ویژه در صنعت نفت و گاز، کاربرد ویژه‌ای دارد. این روش غیر مخرب با استفاده از پرتوهای ایکس یا گاما، امکان بررسی ساختار داخلی مواد و قطعات را بدون نیاز به تخریب آن‌ها فراهم می‌کند. در صنعت نفت، لوله‌های انتقال دهنده مواد به دلیل شرایط سخت کاری و قرار گرفتن در معرض فشار و خوردگی، نیازمند بازرسی‌های دقیق ادواری هستند. اهمیت پرتونگاری در صنعت نفت و گاز به حدی است که عدم تشخیص به موقع عیوب می‌تواند منجر به حوادث جدی، نشت نفت، آلودگی محیط زیست و حتی تلفات جانی شود. بنابراین، استفاده از روش‌های دقیق و قابل اعتماد مانند پرتونگاری با فیلم و انواع دیگر آشکارسازها، برای اطمینان از ایمنی و یکپارچگی لوله‌های حمل نفت ضروری است [۱-۲].

پرتونگاری با فیلم یکی از قدیمی‌ترین و پرکاربردترین روش‌های پرتونگاری است که به دلیل دقت بالا و طولنایی ثبت جزئیات، هنوز در بسیاری از پروژه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش به ویژه در بازرسی جوش‌ها و شناسایی عیوب داخلی لوله‌ها بسیار مؤثر است. با این حال، با پیشرفت فناوری‌های دیجیتال، روش‌های جدید دیجیتالی نیز در حال جایگزینی هستند [۳].

پرتونگاری با فیلم بر اساس جذب متفاوت پرتوهای ایکس یا گاما توسط مواد با چگالی‌های مختلف کار می‌کند. هنگامی که پرتوها از لوله عبور می‌کنند، بخش‌هایی از آن‌ها جذب شده و بخش‌های دیگر به فیلم حساس به پرتو برخورد می‌کنند. این فرآیند باعث ایجاد تصویری با نشانه‌های مختلف می‌شود که بیان‌کننده ساختار داخلی لوله است. فیلم‌های پرتونگاری از لایه‌های حساس به پرتو ساخته شده‌اند که پس از قرار گرفتن در معرض پرتو و طی فرآیند ظهور، تصویر نهایی را تشکیل می‌دهند. انتخاب پارامترهای مناسب برای پرتونگاری بسیار مهم است. انرژی پرتو باید به

¹ Non-Destructive Testing

می‌کند و دقت تشخیص عیوب را افزایش می‌دهد. یکی از روش‌های رایج، استفاده از شبکه‌های عصبی GANs³ است. این شبکه‌ها می‌توانند تصاویر با کیفیت پایین را به تصاویر با کیفیت بالا تبدیل کنند. اگر تصویر پرتونگاری به دلیل تنظیمات نادرست یا شرایط نامناسب تصویربرداری، کیفیت پایینی داشته باشد، هوش مصنوعی می‌تواند آن را بهبود بخشد. این قابلیت به ویژه در مواردی که تصاویر پرتونگاری به دلیل محدودیت‌های فنی (مانند ضخامت زیاد لوله یا شرایط محیطی نامناسب) کیفیت پایینی دارند، بسیار مفید است [۹].

FAISS⁴ یک کتابخانه قدرتمند و بهینه‌شده برای جستجوی شباهت در مجموعه‌های داده‌های بزرگ است که توسط فیسبوک توسعه یافته است. این کتابخانه به طور خاص برای جستجوی سریع و کارآمد در فضای برداری با ابعاد بالا طراحی شده است. در زمینه پردازش تصاویر پرتونگاری، FAISS می‌تواند برای جستجوی تصاویر مشابه، شناسایی الگوها و حتی کمک به کاهش نویز و اشکالات در تصاویر استفاده شود [۱۰-۱۱].

در این تحقیق از FAISS برای بهبود تباین (کنتراست) پرتونگاره‌های لوله‌های انتقال نفت در اندازه و ضخامت‌های مختلف استفاده شده است. تعداد تصاویر ۱۷ عدد بوده که توسط یک شرکت مهندسی برای بازرسی نواحی جوشکاری شده لوله‌ها تهیه شده است.

۲- ابزار و روش کار

برای انجام پرتونگاری لوله‌های حمل نفت، ابتدا باید لوله‌ها به دقت آماده شوند. این آماده‌سازی شامل تمیز کردن سطح لوله از هرگونه آلودگی، رنگ یا پوشش است که ممکن است بر نتایج بازرسی تأثیر بگذارد. سپس، فیلم پرتونگاری در یک محفظه محافظ در یک طرف لوله قرار می‌گیرد و منبع پرتو در طرف دیگر تنظیم می‌شود.

تفسیر صحیح نتایج پرتونگاری نه تنها به شناسایی عیوب کمک می‌کند، بلکه می‌تواند اطلاعاتی در مورد علت ایجاد عیوب و راه‌های جلوگیری از آن‌ها در آینده ارائه دهد. این موضوع به ویژه در صنعت نفت و گاز، که ایمنی و قابلیت اطمینان از اهمیت بالایی برخوردار است، بسیار حیاتی است [۳].

تفسیر تصاویر پرتونگاری نیازمند تجربه و تخصص است و به کیفیت تصاویر پرتونگاری نیز بستگی دارد. برای بالا بردن کیفیت تصاویر پرتونگاری استفاده از الگوریتم‌های مختلف رایج است. پردازش تصاویر پرتونگاری با استفاده از هوش مصنوعی (AI¹) یکی از زمینه‌های نوظهور و بسیار امیدوارکننده در صنعت آزمون غیرمخرب است. هوش مصنوعی می‌تواند با استفاده از الگوریتم‌های پیشرفته، تصاویر پرتونگاری را تحلیل کرده و عیوب را با دقت و سرعت بیشتری نسبت به روش‌های سنتی شناسایی کند [۹].

یادگیری عمیق، به ویژه در شبکه‌های عصبی کانولوشنی^۲ (CNN)، یکی از پرکاربردترین روش‌های هوش مصنوعی در پردازش تصاویر پرتونگاری است. این شبکه‌ها با آموزش روی مجموعه‌ای از تصاویر پرتونگاری که شامل عیوب مختلف هستند، می‌توانند الگوهای مرتبط با ترک‌ها، حفره‌ها، خوردگی و سایر ناپیوستگی‌ها را شناسایی کنند. مزیت اصلی استفاده از یادگیری عمیق، کاهش وابستگی به تحلیل‌های دستی و افزایش سرعت بازرسی است. این روش به ویژه در صنایعی مانند نفت و گاز، که حجم زیادی از لوله‌ها و تجهیزات نیاز به بازرسی دارند، بسیار مفید است [۹-۱۰].

هوش مصنوعی می‌تواند برای بهبود کیفیت تصاویر پرتونگاری نیز استفاده شود. الگوریتم‌های پردازش تصویر مبتنی بر هوش مصنوعی می‌توانند نویزهای موجود در تصاویر را کاهش داده و تباین (کنتراست) را افزایش دهند. این بهبود کیفیت، تفسیر تصاویر را برای بازرسان آسان‌تر

³ Generative Adversarial Networks

⁴ Facebook AI Similarity Search

¹ Artificial Intelligent

² Convolutional Neural Network

۱-۲- پرتونگاری

مرحله ۱: جمع‌آوری و پیش‌پردازش داده‌ها- تصاویر پرتونگاری ابتدا به تکه‌های ۸ در ۸ پیکسل تقسیم شده و سپس برای هر تکه^۱ بردارهای شاخص فاصله اقلیدسی^۲ محاسبه شده‌اند. بردارهای حاصل، نماینده تصاویر در فضای ابعاد بالا هستند و می‌توانند برای جستجوی شباهت استفاده شوند.

بردارهای شاخص فاصله اقلیدسی که به شکل یک ماتریس متقارن با قطر اصلی صفر است برای هر تکه از تصویر بدست می‌آیند. برای یک تکه از تصویر که با ماتریس نمایش داده شده و ابعاد آن $m \times n$ است، فاصله اقلیدسی به این ترتیب محاسبه می‌شود:

$$D_{ij} = \sqrt{\sum_{m=1}^n (A_{im} - A_{jm})^2} \quad (1-1)$$

در این رابطه مولفه‌های هر سطر ماتریس از سایر سطرها کم شده و جمع توان مربع تفاضل‌ها بدست آمده و جذر آنها محاسبه می‌شود. این ماتریس محاسبه شده به عنوان شاخص فاصله اقلیدسی هر تکه از تصویر در FAISS استفاده می‌شود [۱۳].

مرحله ۲: پیاده‌سازی FAISS برای جستجوی شباهت - کتابخانه FAISS در پایتون نصب شده است. این کتابخانه برای پایتون و C++ در دسترس است و می‌تواند روی CPU یا GPU اجرا شود. بردارهای تصاویر بصورت ماتریس محاسبه شده به FAISS اضافه شده است، این ماتریس یک شاخص^۳ برای تصویر است. FAISS از ساختارهای داده‌ای بهینه‌شده مانند IVF^۴ یا HNSW^۵ برای جستجوی سریع استفاده می‌کند. برای یک تصویر پرتونگاری جدید، بردار شاخص فاصله اقلیدسی آن برای هر تکه استخراج شده و با استفاده از FAISS، تصاویر مشابه را در پایگاه داده پیدا می‌شود.

مرحله ۳: کاهش نویز و اشکالات با استفاده از نتایج جستجو- با استفاده از نتایج جستجوی FAISS، تصاویر مشابه به تصویر ورودی پیدا شده و اگر تصویر ورودی دارای نویز یا اشکال باشد، تصاویر مشابه می‌توانند به بهبود آن کمک

برای انجام پرتونگاری لوله‌های انتقال مواد، ابتدا باید لوله‌ها به دقت آماده شوند. سپس، مطابق شکل (۱) فیلم پرتونگاری در یک محفظه محافظ در یک طرف لوله قرار می‌گیرد و منبع پرتو گاما در طرف دیگر تنظیم می‌شود. در این آزمون‌های پرتونگاری از چشمه ایریدیوم-۱۹۲ و فیلم AA400 استفاده شده است. لوله‌های مورد آزمون با قطر خارجی ۴، ۸ و ۱۲ اینچی با ضخامت ۰/۲ تا ۸/۱۸ میلی‌متر بوده‌اند. زمان پرتودهی متناسب با فعالیت چشمه هنگام پرتودهی و مشخصات لوله در محدوده دقیق تنظیم شده است. ۱۷ تصویر پرتونگاری تهیه شده ظهور و ثبوت شده و با یک اسکنر مخصوص فیلم به تصویر دیجیتال تبدیل شده‌اند.



شکل (۱) چیدمان برای پرتونگاری لوله‌ها

جدول (۱) پارامترهای پرتونگاری برای لوله‌های مختلف

ردیف	شرح	تعداد	نوع
اندازه لوله (اینچ)	ضخامت لوله (میلی‌متر)	میزان اکتیویته (کوری)	زمان پرتودهی (ثانیه)
۴	۶/۰۲	۲۹/۱۴	۷
۸	۸/۱۸	۳۰/۷	۲۷
۱۲	۶/۳۵	۱۹/۹۶	۸۳

۲-۲- پردازش داده و تشکیل تصویر

برای پیاده‌سازی FAISS در این تحقیق از داده‌های موجود در کتابخانه Facebook استفاده شده است. مراحل انجام کار به این ترتیب بوده است [۹-۱۳، ۸-۱۲]:

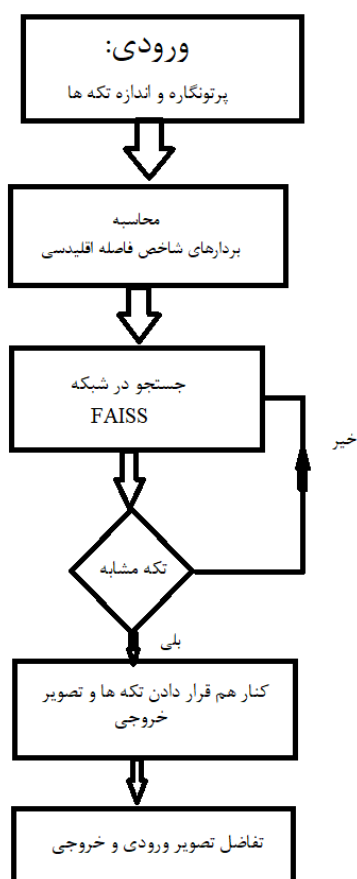
^۴ Inverted File System

^۵ Hierarchical Navigable Small World

^۱ Patch

^۲ Euclidean distance index

^۳ Index



شکل ۲) فلوجارت استفاده از کتابخانه FAISS

کنند. از بردارهای تصاویر مشابه برای کاهش نویز استفاده می‌شود. بردارهای تصاویر مشابه را میانگین‌گیری کرده و یک تصویر بهبودیافته ایجاد کرد. برای بازسازی تصویر بهبودیافته از یک شبکه رمزگشا^۱ استفاده می‌شود.

مرحله^۴: CLAHE^۲ که یک روش پیشرفته برای بهبود تباین تصاویر است که به‌طور خاص برای تصاویر با تباین پایین یا تصویری که دارای نواحی تاریک و روشن نامتعادل هستند، طراحی شده است. اعمال شد تا تباین تصاویر بهبود یابد. این روش بهبود تباین را به‌صورت محلی^۳ اعمال می‌کند، برخلاف روش‌های سنتی مانند متعادل‌سازی هیستوگرام^۴ که به‌صورت سراسری^۵ عمل می‌کنند.

مرحله^۴: ارزیابی و بهبود نتایج-کیفیت تصاویر بهبودیافته را با استفاده از معیارهایی مانند PSNR^۶ ارزیابی می‌شود. همچنین، ارزیابی متخصصان پرتونگاری برای تأیید نتایج استفاده می‌شود.

برنامه نوشته شده برای استفاده از کتابخانه FAISS برای بهبود تباین پرتونگاره‌ها با پایتون نسخه^{۳.۱۲} نوشته شده است که در آن قابلیت نصب کتابخانه موجود است. در شکل ۲ فلوجارت استفاده از این کتابخانه و برنامه نوشته شده با نرم‌افزار پایتون آورده شده است.

Faiss پایگاه‌های داده برداری معمولاً مجموعه‌های بزرگی از بردارهای جاسازی شده را مدیریت می‌کنند. در حال حاضر، برنامه‌های هوش مصنوعی به سرعت در حال رشد هستند، در نتیجه، تعداد جاسازی‌هایی که نیاز به ذخیره و نمایه‌سازی دارند، در حال افزایش است. کتابخانه Faiss که به جستجوی شباهت برداری می‌پردازد، یکی از قابلیت‌های اصلی پایگاه‌های داده برداری، اختصاص داده شده است. Faiss ترکیبی از تکنیک‌های پیشرفته برای تسریع جستجوی شباهت استفاده می‌کند، اما خود مبتنی بر شبکه‌های عصبی نیست. در عوض، از روش‌های کمی‌سازی^۷ و تقسیم فضا^۸ بهره می‌برد. در روش‌های کمی‌سازی بردارها به زیربردارهای کوچکتر تقسیم شده و هر بخش به‌صورت جداگانه کوانتیزه می‌شود. این روش

⁵ Global

⁶ Peak Signal-to-Noise Ratio

⁷ Quantization

⁸ Partitioning

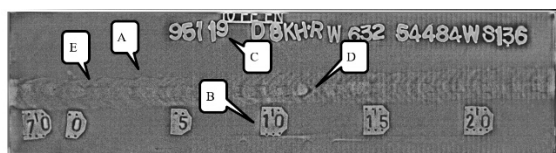
¹ Decoder

² Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization

³ Local

⁴ Histogram Equalization

لوله شکل ۳ دارای قطر ۱۲ اینچ و ضخامت ۶/۳۵ میلی‌متر است که با فیلم AA-400 کداک پرتونگاری شده است. هرچند که در این تصویر پرتونگاری ریشه جوش (نشانگر A)، خط‌کش سربی (نشانگر B) مشخص هستند و حروف سربی (نشانگر C) در پرتونگاری مشخص هستند، ولی تصویر مات شدگی دارد و خطوط IQI و مناطق عیب در پرتونگاره بخوبی دیده نمی‌شوند که علت آن ابعاد چشمه، پراکندگی ذاتی اشعه گاما و نویزهای است. برای بهبود کیفیت تصویر از FAISS استفاده شده است. در شکل ۴ خروجی تصویر بدست آمده از هوش مصنوعی FAISS و تصاویر بهبود یافته با روش CLAHE نشان داده شده است. در تصویر پردازش شده جوش (نشانگر A)، خط‌کش سربی (نشانگر B) بهتر از تصویر شکل ۳ دیده می‌شوند. حروف سربی (نشانگر C) در پرتونگاری مشخص هستند و نسبت به شکل ۳ ویژگی‌های بیشتری نشان نمی‌دهند. عیوب ناحیه جوش که شامل حفره‌های گازی (نشانگر D) و LOF⁶ (نشانگر E) در تصویر پردازش شده بهتر از شکل ۳ دیده می‌شوند. خطوط IQI نیز در تصویر پردازش شده دیده نمی‌شوند.



شکل ۴) نمونه‌ای از تصویر پرتونگاری از لوله ۸ اینچی با ضخامت ۶/۳۵ میلی‌متر

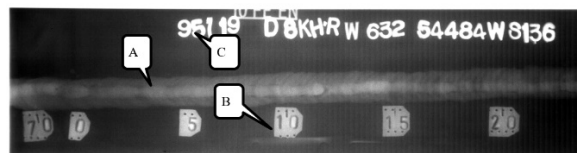
در شکل ۵ تصاویر پرتونگاری و پردازش شده با FAISS نشان داده شده است. در شکل ۵-الف که مربوط به یک لوله ۴ اینچی به ضخامت ۶/۰۲ میلی‌متر است، ریشه جوش (نشانگر A)، خط‌کش سربی (نشانگر D) و حروف سربی (نشانگر C) دیده می‌شوند. همچنین دو عیب حفره‌گازی (نشانگر E) و LOF (نشانگر F) نیز تا حدودی در تصویر مشخص هستند. در شکل ۵-ب تصویر بازسازی شده آن نشان داده شده و علاوه بر موارد ذکر شده سه خط از خطوط

فشرده‌سازی، محاسبات فاصله را با کاهش ابعاد بردارها تسریع می‌کند. داده‌ها به خوشه‌های مجزا تقسیم می‌شوند. هنگام جستجو، تنها خوشه‌های نزدیک به بردار پرس‌وجو بررسی می‌شوند که باعث کاهش محاسبات می‌شود. یک ساختار گرافی برای جستجوی تقریبی دارد که تعادل بین دقت و سرعت را برقرار می‌کند [۱۶-۱۴].

FAISS با ترکیب با الگوریتم‌های هوشمندانه مانند ایجاد کمی‌سازی PQ^۱ و معکوس کننده های ایندکس IVF^۲ جستجوی شباهت را در مقیاس بزرگ بهینه می‌کند. هرچند این کتابخانه مبتنی بر شبکه‌های عصبی نیست، اما به‌عنوان مکملی قدرتمند برای مدل‌های عصبی در تولید و جستجوی بردارها عمل می‌کند. FAISS با شبکه‌های عصبی استفاده مانند CNN^۳، BERT^۳ یا ResNet^۴ ترکیب می‌شود و از طریق ایندکس‌ها به شناسایی و جستجوی شباهت می‌پردازد [۱۶].

۳- نتایج و بحث

از مجموعه تصاویر پرتونگاری یک صنعتی یک شرکت پیمانکاری لوله‌گذاری، تصاویر پرتونگاری با گستره دینامیکی^۵ مختلف و عیوب متفاوت انتخاب شدند. در شکل ۳ نمونه‌ای از تصاویر پرتونگاری تهیه شده نشان داده شده که به علت نویزهای مختلف مات شدگی دارند. برای بهبود کیفیت تصاویر در این تحقیق از هوش مصنوعی FAISS استفاده شده است. که مطابق بخش ۲-۲ ابتدا تصاویر تکه‌های ۸ در ۸ شده و بعد از محاسبه شاخص فاصله اقلیدسی آنها با داده‌های موجود در FAISS مقایسه شده و نزدیکترین تصویر به آنها انتخاب و جایگزین شده است.



شکل ۳) نمونه‌ای از تصویر پرتونگاری از لوله ۸ اینچی با ضخامت ۶/۳۵ میلی‌متر

⁴ Residual Network

⁵ Dynamic Range

⁶ Lack of fusion

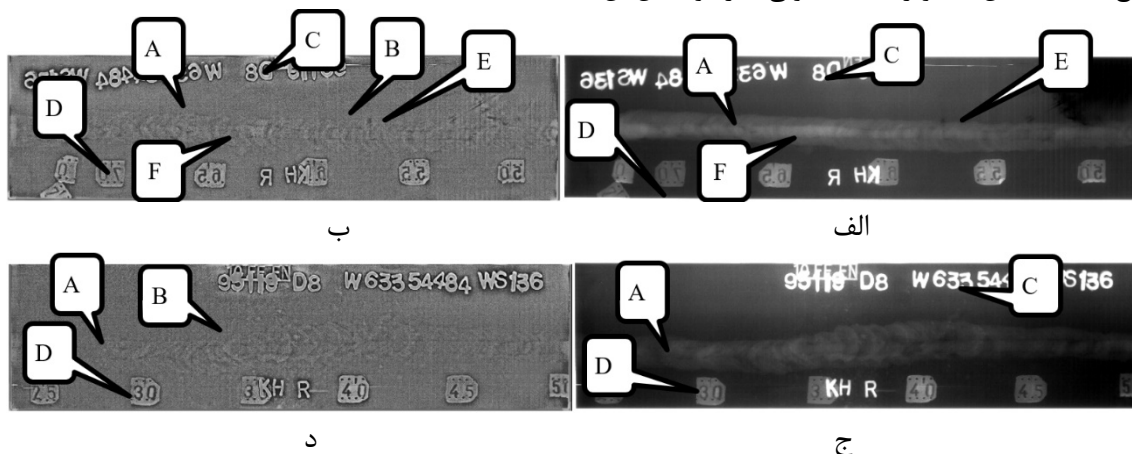
¹ Product Quantization

² inverted indexing

³ Bidirectional encoder representations from transformers

پایین است و اجزای تصویر در ناحیه خط جوش واضح نیستند. شکل ۵-ج تصویر پردازش شده آن را نشان می‌دهد که تباین بهتری دارد ریشه جوش آن واضح تر دیده شده ولی همچنان کیفیت خوبی ندارد و دلیل آن مناسب نبودن پرتونگاره اصلی شکل ۵-ج است. در نواحی حروف سربی و خط کش سربی اطلاعات واضح هستند.

IQI (نشانگر B) در تصویر دیده می‌شوند که در تصویر شکل ۵-الف قابل مشاهده نیستند. همچنین مقایسه محل دو نشانگر E و F نشان می‌دهد که شکل و اندازه عیوب در شکل ۵-ب مشخص تر هستند. در شکل ۵-ج پرتونگاره یک لوله ۶ اینچی با ضخامت ۸/۱۸ میلی‌متر نشان داده شده که ریشه جوش (نشانگر A) در آن به سختی دیده شده ولی خط کش سربی (نشانگر D) و حروف سربی (نشانگر C) در روی آن واضح هستند. این تصویر کیفیت خوبی ندارد و تباین آن



شکل ۵) الف و ج- تصاویر پرتونگاری از لوله ۴ و ۸ اینچی ب و د- تصاویر پردازش شده آنها با FAISS

جدول ۲) متوسط امتیازات افراد متخصص به نواحی مختلف پرتونگاره جوش و تصاویر پردازش شده

ناحیه	پرتونگاره اصلی	تصویر بازسازی شده
ریشه جوش	۵/۵	۸/۲
خط کش سربی	۹	۹
حروف سربی	۹	۹
ناحیه IQI	۱	۴/۳
عیوب مختلف	۶/۷	۸/۴

مزایای FAISS عبارتند از سرعت بالا که به دلیل بهینه‌سازی‌های انجام شده، قادر به جستجوی سریع در مجموعه‌های بزرگ داده است. بطوری که برای یک تصویر پرتونگاری با ابعاد پیکسلی ۲۶۵۸ در ۶۸۹ زمان پردازش حدود ۴۵ ثانیه برای یک کامپیوتر Core i9 با 15G RAM- byte است. همچنین FAISS از GPU برای تسریع محاسبات استفاده می‌کند که باعث افزایش سرعت جستجو می‌شود. FAISS از انواع مختلفی از شاخص‌ها پشتیبانی می‌کند که می‌تواند برای کاربردهای مختلف تنظیم شوند.

مقایسه این تصاویر نشان می‌دهد که FAISS برای بهبود تباین پرتونگاره‌های جوش عملکرد خوبی داشته و بخصوص در ناحیه پر اهمیت ریشه جوش که شامل آسیب‌ها هستند مناسب عمل کرده است.

برای ارزیابی نتایج از نظرات افراد متخصص پرتونگاری استفاده شد. برای ارزیابی توسط متخصصین امتیازات بین ۱ تا ۱۰ برای مناطق ریشه جوش، خط کش سربی و حروف سربی، ناحیه IQI و عیوب مختلف بر اساس وضوح آنها داده شد. متوسط این امتیازات برای هر قسمت در جدول ۲ ثبت شده‌اند.

با توجه به جدول ۲ دیده می‌شود که در نواحی خط کش و حروف سربی، جزئیات بیشتری در تصویر پردازش شده دیده نمی‌شود ولی در نواحی ریشه جوش و عیوب بهبود تباین ایجاد شده و به علت تیزتر شدن لبه‌ها جزئیات بهتر دیده می‌شوند.

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۵-منابع

- [1] Johnson, A. A., & Storey, R. J. (2006). Gamma radiography as a tool in failure analysis. *Journal of Failure Analysis and Prevention*, 6 (6), 6–7. <https://doi.org/10.1361/154770206X156187>
- [2] Iniewski, K., & Hansson, C. (2023). High-Z materials for X-ray and gamma ray detection in medical imaging. In L. Abbene & K. Iniewski (Eds.), *High-Z Materials for X-ray Detection* (pp. 1–22). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-20955-0_1
- [3] 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. <https://doi.org/10.30494/JNDT.2024.421117.1131>
- [4] Edalati, K., Rastkhah, N., Kermani, A., Seiedi, M., & Movafeghi, A. (2006). The use of radiography for thickness measurement and corrosion monitoring in pipes. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 83 (10), 736–741.
- [5] Li, D., Deng, H., Yao, G., Jiang, J., & Zhang, Y. (2022). Gamma radiation image noise prediction method based on statistical analysis and random walk. *Sensors*, 22 (19), 7325. <https://doi.org/10.3390/s22197325>
- [6] Ziock, K. P. (2018). Principles and applications of gamma-ray imaging for arms control. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors*

در این تحقیق از بردارهای شاخص فاصله اقلیدسی استفاده شده است. FAISS قادر به مدیریت مجموعه‌های داده بسیار بزرگ است. لازم به توجه است که استفاده از FAISS ممکن است برای کاربران پیچیده باشد، به ویژه زمانی که از شاخص‌های پیشرفته استفاده می‌شود و ممکن است به مقدار قابل توجهی حافظه به ویژه برای مجموعه‌های داده بسیار بزرگ نیاز داشته باشد و برای استفاده از قابلیت‌های GPU، نیاز به سخت‌افزار مناسب است. با توجه به شبکه آموزش داده شده موجود، مشکلات مربوط به حافظه زیاد قابل حل است و می‌توان از این شبکه آموزش یافته استفاده کرد.

۴-نتیجه‌گیری

در این تحقیق از کتابخانه FAISS که یک کتابخانه قدرتمند و بهینه‌شده برای جستجوی شباهت و خوشه‌بندی بردارهای با ابعاد بالا است برای از بین بردن نویز تصاویر پرتونگاره‌های جوش استفاده شده است. این شبکه آموزش دیده دارای سرعت بالاست و با GPU پشتیبانی می‌شود و انعطاف‌پذیری زیادی دارد. در این بررسی کیفیت تصویر ۱۷ پرتونگاره جوش با استفاده از این کتابخانه بهبود داده شده‌اند. نتایج بدست آمده که توسط متخصصین پرتونگاری بررسی شده نشان می‌دهد که تصاویر بدست آمده با این روش بر مبنای حذف زمینه لبه‌هایی تیز دارند و تباین آنها در نواحی مختلف بخصوص ریشه جوش و نواحی عیوب مانند حفره‌های گازی و LOF افزایش یافته است. زمان اجرای برنامه نیز در حد متوسط بوده است.

استفاده از هوش مصنوعی FAISS این روش‌ها قادر به حذف نویز بدون از دست دادن جزئیات مهم تصویر است. برای یک نویز ناشناخته مانند نویز تصاویر پرتونگاری قابلیت حذف نویز و بهبود تباین را دارد و این روش به طور خودکار و بدون نیاز به تنظیمات دستی پیچیده کار می‌کند، که باعث صرفه‌جویی در زمان و هزینه می‌شود. با این حال، چالش‌هایی مانند نیاز به داده‌های آموزشی زیاد و محاسبات سنگین نیز وجود دارد که باید در نظر گرفته شوند. در کل، هوش مصنوعی FAISS به عنوان یک ابزار قدرتمند در حوزه پردازش تصویر پرتونگاره‌ها، می‌تواند کیفیت پرتونگاره‌ها را به طور چشمگیری بهبود بخشد.

/Augly

- [14] George, G., & Rajan, R. (2022). A FAISS-based search for story generation. In *IEEE 19th India Council International Conference (INDICON)* (pp. 1–6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/INDICON56171.2022.10039758>
- and Associated Equipment, 878, 191–199. <https://doi.org/10.1016/j.nima.2017.04.001>
- [7] ASTM E94/E94M-17. (2022). *Standard Guide for Radiographic Examination Using Industrial Radiographic Film*. ASTM International.
- [8] API 1104. (2021). *Welding of pipelines and related facilities* (27th ed.). American Petroleum Institute.
- [9] Boopathi, S., Pandey, B. K., & Pandey, D. (2023). Advances in artificial intelligence for image processing: Techniques, applications, and optimization. In B. Pandey, D. Pandey, R. Anand, D. Mane, & V. Nassa (Eds.), *Handbook of Research on Thrust Technologies' Effect on Image Processing* (pp. 73–95). IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-6684-8618-4.ch006>
- [10] Facebook FAISS Users Group. (n.d.). Retrieved May 22, 2025, from <https://www.facebook.com/groups/faissusers/>
- [11] Sun, X., Qin, Y., Xu, X., Gong, G., Fang, Y., & Wang, Y. (2021). 3rd Place: A global and local dual retrieval solution to Facebook AI Image Similarity Challenge. *arXiv:2112.02373v2 [cs.CV]*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2112.02373>
- [12] Tone, D. D., Malisiewicz, T., & Rabinovich, A. (2018). Superpoint: Self-supervised interest point detection and description. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops* (pp. 224–236).
- [13] Bitton, J., & Augly, Z. P. (2021). A data augmentations library for audio, image, text, and video. Retrieved May 22, 2025, from <https://github.com/facebookresearch>