



بهبود و مقایسه تصاویر پرتونگاری با پرتو ایکس و نوترون با روش کانولوشن گوسین

امیر موافقی^{۱*}، عفت یاحقی^۲، سیدحسن موسویان^۲، بهروز رکرک^۱

۱. پژوهشکده‌ی رآکتور و ایمنی هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی، صندوق پستی: ۱۳۳۹-۱۴۱۵۵، تهران - ایران

۲. گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی، صندوق پستی: ۹۶۸۱۸-۳۴۱۴۸، قزوین - ایران

*Email: amovafeghi@aeoi.org.ir

مقاله‌ی پژوهشی

تاریخ دریافت مقاله: ۹۹/۵/۹ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۹/۹/۱

چکیده

استفاده از پرتونگاره‌های ایکس و نوترونی از کارآمدترین روش‌ها برای شناسایی عیوب داخلی و ساختار پیچیده اشیا است. با توجه به تفاوت برهم‌کنش نوترون‌ها و پرتوهای ایکس با مواد، از روی پرتونگاره‌ها می‌توان اطلاعات مختلفی به‌دست آورد. به علت پراکندگی‌های نوترون‌ها و فوتون‌های ایکس، ابعاد نقطه‌ی کانونی، نویزهای الکترونیکی و سایر موارد در پرتونگاره‌های حاصل از این دو روش، کیفیت کاهش یافته و تصاویر مات شدگی دارند. در این تحقیق ضمن بررسی پرتونگاره‌های ایکس و نوترون، به چگونگی شناسایی آسیب‌ها و ساختار درونی اشیا و اجسام با آن‌ها پرداخته شده و روشی برای بهبود کیفیت پرتونگاره‌ها ارائه شده است. بررسی نشان می‌دهد که پرتونگاری نوترونی در شناسایی ساختار داخلی مواد با عدد اتمی کم، بسیار خوب عمل می‌کند و پرتونگاری ایکس برای شناسایی مواد با اتمی بالا مانند اجسام فلزی کارایی خوبی دارند. در این تحقیق برای ارتقای تصاویر و از بین بردن مات شدگی از روش کانولوشن گوسی استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهند که با روش حذف زمینه می‌توان مات شدگی تصاویر را کم کرده و نواحی آسیب و ساختار درونی اشیا را بهتر بررسی کرد. برای ارزیابی از نظر متخصصین استفاده شده که نتایج ارزیابی نشان می‌دهد که بهبود تصاویر مورد تأیید متخصصین است.

کلیدواژه‌ها: پرتونگاری پرتو ایکس، پرتونگاری نوترونی، عیوب ساختاری، پردازش تصویر، کانولوشن گوسی

Improvement and comparison of X and Neutron radiography images by Gaussian Convolution Method

A. Movafeghi^{1*}, E. Yahaghi², S.H. Mosavian², B. Rokrok¹

1. Reactor and Nuclear Safety Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, AEOL, P.O.Box: 14155-1339, Tehran - Iran

2. Physics Department, Basic Science Faculty, Imam Khomeini International University, P.O.Box: 34148-96818, Qazvin - Iran

Research Article

Received 30.7.2020, Accepted 21.11.2020

Abstract

X-rays and neutron radiography images are one of the most effective defects and structure detection methods. The interactions between neutrons and X-rays are different in the material, and therefore, different information can be obtained from the radiographs. Due to neutron and X-rays photon scattering, focal spot size, electronic noises, etc., the images are blurred and their quality is reduced. In this study, while investigating the radiographs of X-rays, and neutrons, the defects and internal structure of objects are investigated. The results show that neutron radiography performs very well in detecting the internal structure of low atomic number materials. X-ray radiography is effective for high atomic numbers as metal. Gaussian convolution is used to enhance the radiography images and reduce blurriness components. The results show that by reducing the background, the blurriness components can be reduced and the defects areas and internal structure of the objects can be better investigated. Specialists evaluated the results in radiography; the results show that the expert's evaluation approved the image enhancement.

Keywords: X-rays radiography, Neutron radiography, Structure defects, Image processing, Gaussian convolution



۱. مقدمه

شناسایی عیوب ساختار و نقایص درونی اجسام، بدون آسیب رساندن به آن‌ها از کاربردهای مهم در علوم مختلف مانند صنایع نظامی، ریخته‌گری و عتیقه‌شناسی و مرمت است که تحت عنوان روش آزمون‌های غیر مخرب^۱ طبقه‌بندی می‌شوند. در این نوع روش‌ها بدون آسیب به کارایی آتی اجسام، عیوب و ساختار آن‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد. شناسایی عیوب و جلوگیری از ضررهای مادی و جانی در صنایع و یا برنامه‌ریزی صحیح برای مرمت آثار میراث فرهنگی، از اهداف اصلی این مطالعات به شمار می‌رود. فن‌آوری مورد استفاده بسته به نوع و ساختار ماده متفاوت خواهد بود و روش موردنظر باید قابلیت تشخیص عیوب و ساختارها را با دقت و کارایی بالا داشته باشد. پرتونگاری نوترونی و ایکس دو آزمون مورد استفاده و پرکاربرد غیر مخرب حجمی برای بررسی ساختار درونی اجسام هستند [۱-۳].

برهم‌کنش‌های اصلی پرتو ایکس با مواد طی سه اندرکنش کامپتون، فوتو الکترونیک و تولید جفت صورت می‌پذیرد که به انرژی باریکه و عدد اتمی ماده بستگی دارد [۲، ۴-۶]. برهم‌کنش‌ها برای نوترون به محدوده انرژی باریکه و سطح مقطع ماکروسکوپی ماده مورد مطالعه بستگی دارد.

اساس آزمون پرتونگاری عبور پرتو ایکس یا پرتو گاما از جسم و ثبت تصویر بر روی فیلم و یا آشکارساز است. پرتو عبوری از ماده تضعیف یا پراکنده شده و ثبت می‌شود. مقدار تضعیف به جنس، ضخامت ماده و انرژی پرتو بستگی دارد. در پرتونگاری سنتی از فیلم به عنوان آشکارساز استفاده می‌شود و بسته به نوع پرتونگاری و دقت مورد نیاز، فیلم تغییر می‌کند. در پرتونگاری محاسباتی^۲ (CR) از صفحات فسفری^۳ و آشکارسازهای نیمه‌هادی در پرتونگاری رقمی^۴ (DR) استفاده می‌شوند. چون پرتوهای ایکس قدرت نفوذ بالایی دارند می‌توانند به درون مواد، حتی موادی که نور از آن‌ها نمی‌گذرد نیز نفوذ کنند [۲، ۳-۵]. پرتو ایکس هنگام عبور از نمونه مورد آزمایش برهم‌کنش‌های متفاوتی دارد که به جنس ماده و انرژی پرتو بستگی دارد.

اگر هدف دارای عدد اتمی پایین باشد با پرتو ایکس تصویر مناسبی ایجاد نمی‌شود. ولی در پرتونگاری نوترونی برای مواد با عدد اتمی پایین می‌توان تصاویر مناسبی داشت. پراکندگی ذاتی پرتوهای ایکس و هم‌چنین نوترون با مواد و موارد مرتبط کیفیت

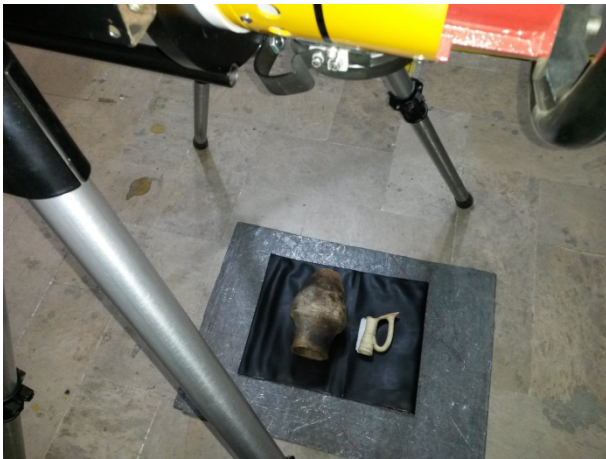
باریکه نظیر اندازه‌ی نقطه‌ی کانونی در پرتوهای ایکس و یا نسبت طول به دهانه‌ی سیستم باریکه‌ی نوترونی، سبب مات‌شدگی و کم شدن کیفیت تصویر پرتونگاری می‌شود [۶-۹]. وجود این پرتوهای پراکنده علاوه بر کاهش کیفیت تصویر و عدم تیزی لبه‌های تصویر، باعث عدم شناسایی اطلاعات مهم تصویر می‌شود. بنابراین لزوم استفاده از روش‌های مختلف برای بهبود و ارتقاء کیفیت تصویر ضروری است. صافی‌های مختلفی برای تصاویر پرتونگاری با پرتو ایکس استفاده شده که در بهبود تصاویر بسیار مهم بوده است. مری و همکاران [۴] صافی‌های لبه‌یابی و افزایش کنتراست را برای شناسایی نواحی آسیب داخلی به کار گرفته‌اند. شایگانفر و همکاران از روش‌های کمینه‌سازی برای جداکردن قسمت مات تصویر و بهبود پرتونگاره‌های تصاویر ایکس استفاده کرده‌اند [۵]. میرزاپور و همکاران از روش‌های کمینه‌سازی تکراری برای بهبود پرتونگاره‌های ایکس استفاده کرده‌اند [۶]. هم‌چنین در بسیاری از موارد از روش‌های شبکه عصبی و سطح خودکار آستانه برای شناسایی آسیب‌های درونی اشیاء استفاده شده است [۷]. تحقیقات و دستورات عمل‌های جهانی در مورد پرتونگاری نوترونی نیز وجود دارد که توسط محققین مختلفی به کار گرفته شده است [۸-۱۰]. قابل توجه است علی‌رغم تحقیقات بسزایی که در مورد پرتونگاری نوترونی مانند برنزل و همکاران [۱۱] انجام شده به علت گرانی سیستم و در دسترس نبودن پرتونگاره‌ها تحقیقات قابل توجهی در زمینه ارتقا کیفیت آن‌ها با پردازش تصویر وجود ندارد.

الگوریتم‌های به‌کار گرفته شده برای تصاویر دارای مبنای ریاضی مختلفی مانند فضای فرکانسی و مکانی هستند که هر کدام ویژگی‌هایی از تصویر را استخراج می‌کنند مثلاً تبدیل فوریه، تبدیل موجک و روش‌های کمینه‌سازی و غیره. یکی از روش‌های کارا در پردازش تصویر کانولوشن گوسی^۵ [۱۲-۱۴] است که کارایی زیادی در حذف نویز دارد، اساس این صافی ترکیب تابع گوسی و تصویر است که اطلاعات مختلفی از تصویر را جدا می‌کند [۱۵-۱۷]. با تنظیم انحراف معیار در تابع گوسی، مؤلفه‌های مات‌کننده حذف شده و بهبود در تباین تصویر ایجاد می‌شود. از مهم‌ترین معایب این الگوریتم تعیین بهترین انحراف معیار برای داشتن تصویری واضح است که باید دستی تعیین شده و به سطح نویز تصویر ورودی بستگی دارد [۱۴-۱۷]. با توجه به این‌که در پرتونگاره‌های واقعی مقدار نویز مشخص نیست در این‌جا از روش کانولوشن گوسی برای حذف زمینه

1. Non Destructive Testing (NDT)
2. Computed Radiography
3. Phosphor Plate
4. Digital Radiography

5. Gaussian Convolution





شکل ۱. نمایی از چیدمان پرتونگاری.



(ب)

(الف)

شکل ۲. الف) تصویر کوزه عتیقه منطقه‌ی باستانی سمیران قزوین و ب) پرتونگاره ایکس آن.

هم‌چنین در کلیه آزمایش‌های پرتونگاری، ایمنی و حفاظت در برابر پرتو مطابق با قانون حفاظت در برابر اشعه کشور و استاندارد ملی شماره ۷۷۵۱ (که توسط سازمان انرژی اتمی ایران مطابق استانداردهای جهانی مصوب شده است) و هم‌چنین الزامات استاندارد پرتونگاری دیجیتال مطابق با ISO-۱۷۶۳۶ رعایت شده است [۲۰].

۲.۲ پرتونگاری نوترونی

برای پرتونگاری نوترونی از باریکه‌ساز سیستم جدید رآکتور تحقیقاتی تهران استفاده شده است. رآکتور تحقیقاتی تهران با قدرت ۵ مگاوات از نوع استخری با کندکننده (و خنک‌کننده‌ی آب سبک) و سوخت صفحه‌ای با غنای ۲۰ درصد وزنی ^{235}U است. طیف نوترون‌های خروجی از قلب رآکتور تهران، در محدوده‌ی وسیعی از انرژی‌ها قرار دارد. اخیراً جهت بهبود پارامترهای باریکه‌ی نوترونی سیستم پرتونگاری نوترونی یک باریکه‌ی نوترونی جدید نصب شده و پرتودهی اجسام در این

تصویر و جدا کردن قسمت کارتونی^۱ آن که حاوی اطلاعات تیزی از لبه‌هاست، استفاده شده است. این روش توسط کوسکی و همکارانش [۱۸] برای از بین بردن نویز در تصاویر به کار رفته است.

در این تحقیق هدف مقایسه دو روش پرتونگاری نوترونی و ایکس در شناسایی ساختار داخلی اشیاء مختلف به منظور بررسی آسیب‌های درونی آن‌ها و هم‌چنین بهبود و ارتقا کیفیت پرتونگاره‌هاست. از کانولوشن گوسی برای ارتقا کیفیت تصویر و رفع مات‌شدگی پرتونگاره‌های ایکس و نوترون به منظور تعیین محل دقیق آسیب و شناسایی ساختار داخلی اشیاء استفاده شده است.

۲. روش کار

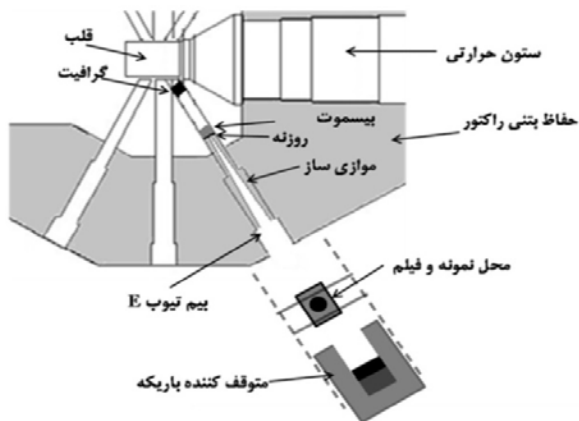
بخشی از پرتونگاره‌های ایکس به کار رفته در این تحقیق در آزمایشگاه آزمون‌های غیر مخرب سازمان انرژی اتمی ایران و پرتونگاره‌های نوترونی در رآکتور تحقیقاتی تهران تهیه شده‌اند [۱۹] و تعدادی از آن‌ها نیز از سایت مرجع [۲۰] هستند. در ادامه نحوه تهیه این تصاویر آورده شده است.

۱.۲ پرتونگاری ایکس

برای تهیه تصاویر پرتونگاری از چند شی با ضخامت و مواد مختلف مانند کوزه عتیقه‌ی مربوط به اوایل عصر قاجار که در منطقه باستان‌شناسی سمیران قزوین کشف گردیده، استفاده شده است. ولتاژ استفاده شده در حدود ۸۰ تا ۱۲۰ کیلوولت و جریان حدود ۰/۵ تا ۳ میلی‌آمپر بوده است. در شکل ۱ نمایی از چیدمان پرتونگاری که در آن کوزه که روی صفحه تصویرساز (IP)^۲ و با روش پرتونگاری رایانه‌ای (CR)^۳ انجام شده را نشان می‌دهد. تصویر کوزه عتیقه در شکل ۲ الف و تصویر پرتونگاری آن در شکل ۲ ب نشان داده شده است. برای این پرتونگاری ولتاژ ۱۳۰ کیلوولت، جریان ۰/۶ میلی‌آمپر و زمان ۲ دقیقه بوده است. زیر صفحات IP صفحه سربی قرار گرفته تا پس پراکندگی پرتو از سطح زمین بر روی تصویر به حداقل برسد. برای قرائت اطلاعات نهفته صفحات تصویرساز، از اسکنر لیزر مخصوص برای صفحات IP با قدرت تفکیک مکانی ۵۰ میکرومتری استفاده شده است.

1. Cartoon Part
2. Image Plate
3. Computed Radiography





شکل ۳. هندسه مورد استفاده برای نوترون رادیوگرافی نسبت به موقعیت قلب راکتور.



شکل ۴. موقعیت هندسی محل پرتو دهی و باریکه E.



شکل ۵. پرتونگاره نوترونی کوزه عتیقه منطقه باستانی قزوین.

۳.۲ الگوریتم کانولوشن گوسی

تعریف انتگرال کانولوشن برای سیگنال‌های پیوسته به صورت رابطه (۱) است:

$$u(x) = f(x) * h_{\sigma}(x) = \int_{-\infty}^{\infty} f(\tau) h_{\sigma}(x - \tau) d\tau \quad (1)$$

که در آن $f(x)$ سیگنال ورودی و $h(x)$ یک تابع عمومی تعریف شده که می‌تواند تابع گوسی با انحراف معیار σ باشد. τ مقدار جابه‌جایی تابع h را بیان می‌کند. برای حالت دو بعدی و گسسته رابطه (۲) تعریف شده است:

$$u(x, y) = f(x, y) * h_{\sigma}(x, y) = \sum_k \sum_l (f(k, l) h(x - k, y - l)) \quad (2)$$

تحقیق با استفاده از باریکه‌ی جدید انجام شده است. جدول ۱ مشخصات این باریکه‌ی نوترونی و پارامترهای استاندارد مورد نیاز برای آزمون‌های پرتونگاری نوترونی نشان می‌دهد. بالاتر بودن شار نوترون و نسبت نوترون به گاما در سیستم جدید، موجب کاهش زمان پرتو دهی و افزایش میزان کنتراست تصاویر می‌شود. مدت زمان پرتو دهی با توجه به شار نوترونی باریکه نوع سیستم ثبت تصویر انتخاب می‌شود.

در این تحقیق از سیستم جدید پرتونگاری نوترون در باریکه‌ی E در توان راکتوری ۳ مگاوات استفاده شده و برای ثبت نتایج، از صفحات تصویر ساز فسفرسانس و صفحه‌ی مبدل نوترون به الکترون گادولینیومی استفاده شده است. هم‌چنین شاخص‌های نشانگر برای تعیین کیفیت تصویر نوترونی نیز به کار گرفته شده‌اند. تصویر به کمک قرائت صفحه‌ی تصویر ساز با اسکرن لیزری مخصوص با رزولوشن مکانی $50 \mu\text{m}$ به دست آمد. شکل ۳ آرایش هندسی مورد استفاده و باریکه E و موقعیت قلب راکتور را نشان می‌دهد. با توجه به مشکلات موجود در شاتر قدیمی و عدم تکمیل و نصب شاتر جدید، راکتور ابتدا بحرانی شده و به قدرت ۳ مگاوات رسانیده شد. پس از دستیابی به قدرت پایدار و باریکه یکنواخت نوترونی، کاست حاوی مبدل و فیلم دیجیتال رادیوگرافی به صورت دستی در محل خود جای داده شد. زمان پرتو دهی نوترون حدود دو دقیقه و با شار نوترونی از مرتبه‌ی 10^6 بود.

در شکل ۴ موقعیت هندسی واقعی و محل پرتو دهی و باریکه E نشان داده شده‌اند. پارامتر مهم $\frac{L}{D}$ برای این تحقیق حدود ۱۵۰ بود است. در شکل ۵ پرتونگاره نوترونی از کوزه مورد نظر نشان داده شده است. پرتونگاره دارای کیفیت پایین است و مات شدگی به علت پراکندگی ذاتی نوترون وجود دارد. این پرتونگاره دارای کیفیت خوبی نیست و شیار روی گردن کوزه و بدنه مشخص نمی‌باشند. شاخص کیفیت تصویر که در گوشه بالا و سمت چپ تصویر دیده می‌شود نیز کم کیفیت بودن تصویر را تأیید می‌کند. بعضی از تصاویر این تحقیق از سایت پرتونگاری نوترونی با آدرس موجود در مرجع [۲۰] تهیه شده است.

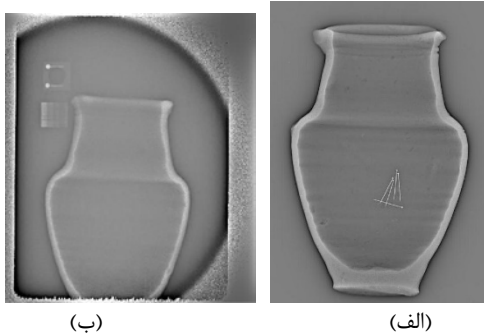
جدول ۱. مشخصات باریکه‌ی نوترونی سیستم پرتونگاری راکتور تحقیقاتی تهران و مقایسه با مقادیر استاندارد

پارامتر	باریکه نوترونی جدید	باریکه نوترونی قبلی	مقادیر توصیه شده استاندارد
شار نوترون حرارتی در محل نمونه ($\text{n cm}^{-2} \text{s}^{-1}$)	6.1×10^6	4.1×10^4	$> 10^6$
نسبت نوترون به گاما (N/G) ($\text{n cm}^{-2} \text{mrem}^{-1}$)	4.85×10^5	1.2×10^5	$> 10^5$
نسبت موازی سازی (L/D)	۱۵۰-۲۵۰	۱۴۰	> 100
درجه واگرایی (θ)	۲۶۷	۲۰۶	< 4



۳. نتایج

در این تحقیق ضمن مقایسه تصاویر پرتونگاره‌های ایکس و نوترونی به بهبود کیفیت آن‌ها برای تشخیص ساختار درونی و عیوب اشیا و اجسام پرداخته شده است. برای بررسی نتایج ابتدا پرتونگاره‌های ایکس و نوترون مقایسه و سپس برای افزایش تباین از کانولوشن گوسین استفاده شده است. برای اجرای الگوریتم از برنامه نسخه Ubuntu 18-04 LTS ۶۴ بیتی با یک پردازشگر ۸ هسته‌ای استفاده شده است. در شکل ۲ ب و ۵ تصاویر پرتونگاره‌های ایکس و نوترونی یک کوزه عتیقه معرفی شده در بخش قبل نشان داده شده بود. بررسی تصاویر نشان می‌دهد که این تصاویر اگرچه اطلاعات مفیدی از ساختار درونی مثل ضخامت در نواحی مختلف کوزه و نحوه ساخت آن می‌دهد، ولی تصاویر تباین کافی را ندارند. برای مثال شیار روی کوزه در پرتونگاره ایکس (شکل ۲ ب) واضح دیده نمی‌شود و در پرتونگاره نوترونی شکل ۵ نیز شاخص‌های کیفیت تصویر که در گوشه چپ-بالا گذاشته شده‌اند واضح نمی‌باشند. برای افزایش تباین از الگوریتم کانولوشن گوسی استفاده شد. در شکل ۶ نتایج حاصل از اعمال تابع h برای چند σ مختلف روی تصویر شکل‌های ۲ ب و ۵ نشان داده شده است. در تصاویر دیده می‌شود با زیاد شدن σ تصاویر مات‌تر می‌شوند. تصاویر بازسازی شده که در شکل ۶ نشان داده شده حاصل کم کردن پرتونگاره‌های اصلی از شکل ۵ می‌باشند. مقایسه شکل پرتونگاره‌های اصلی و تصاویر بازسازی شده نشان می‌دهد که در تصاویر بازسازی شده لبه‌ها تیزتر شده و ساختار کوزه مشخص‌تر است و مات‌شدگی تصاویر کم‌تر از پرتونگاره‌های اصلی هستند. طوری که در تصویر بازسازی شده ایکس سوزن ته‌گردهای داخل کوزه به وضوح دیده شده و شیارهای لبه و بدنه نیز واضح هستند. در تصویر بازسازی شده نوترون شاخص تصویر بهتر دیده شده ولی به علت کیفیت کم تصویر اولیه پرتونگاره نوترونی مشخصات زیادی در تصویر بازسازی شده دیده نمی‌شود. قابل ذکر است که در کوزه مواد خاکی با عدد اتمی بالا وجود دارند که در برهم‌کنش‌های نوترونی شاخص نیستند.



شکل ۶. تصویر بازسازی شده پرتونگاره ایکس (شکل ۲ ب) و پرتونگاره نوترون (شکل ۴).

که در آن $f(x,y)$ می‌تواند یک تصویر دوبعدی و $h(x,y)$ مانند تعریف رابطه (۱) یک تابع تعریف شده برحسب نوع کانولوشن باشد. k و l بیانگر جابه‌جایی تابع در راستاهای افقی و عمودی روی تصویر هستند. در حالت کانولوشن گوسین رابطه (۳) تعریف می‌شود:

$$h_{\sigma}(x, y) = (\sqrt{2\pi}\sigma)^{-2} \exp\left(-\frac{\|x, y\|_2^2}{2\sigma^2}\right) \quad (3)$$

$$= \sum_k \sum_l (f(k, l)h(x - k, y - l))$$

که در آن انحراف معیار چنین به دست می‌آید:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2} \quad (4)$$

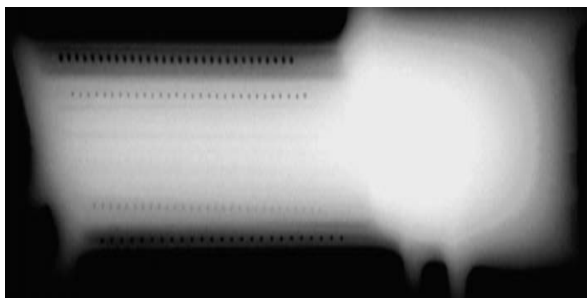
در این رابطه σ_1 و σ_2 به ترتیب انحراف معیار در دو راستای افقی و عمودی هستند. بنابراین رابطه (۲) یک الگوریتم کانولوشن دو طرفه است. در رابطه (۳) هرچه σ بزرگ‌تر انتخاب شود تابع گوسین بازتر شده و خروجی کانولوشن برای مقادیر مختلف x و y بهم نزدیک شده و در خروجی تصویر مات‌تری خواهیم داشت. در حالی که برای σ کم تابع گوسین جمع شده و مقادیر x و y در بازه‌های مختلف خروجی‌های متفاوت‌تری خواهند داشت و تصویر واضح‌تر می‌شود. تعیین مناسب‌ترین مقدار σ که به خصوصیات آماری پخش پیکسل‌ها وابسته است، با سعی و خطا امکان‌پذیر است. برای به دست آوردن تصویری که تباین بالایی داشته باشد و ساختار داخلی و نواحی آسیب را به خوبی نشان دهد از روش استخراج قسمت زمینه و کم کردن آن از تصویر اصلی استفاده شده است. در الگوریتم ۱ ادامه نحوه اجرای برنامه برای به دست آوردن تصویر با هم‌سنجی بالا نشان داده شده است.

الگوریتم ۱) اجرای برنامه کانولوشن گوسی

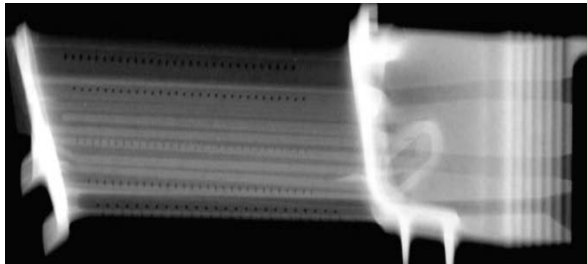
۱. فراخوانی تصویر مات به عنوان ورودی (f)
۲. تنظیم یک تابع گوسی با انحراف معیار یا σ بالا
۳. تعریف تابع $h_{\sigma}(x, y)$
۴. انجام عملیات کانولوشن روی سطرها و ستون‌ها:
۵. $(u_{ij})_{i=0}^{K-1} \leftarrow h_{\sigma} * (f_{ij})_{i=0}^{K-1}$
۶. $(u_{ij})_{j=0}^{L-1} \leftarrow h_{\sigma} * (f_{ij})_{j=0}^{L-1}$
۷. پایان عملیات کانولوشن و به دست آوردن تصویر زمینه $u = f * h_{\sigma}$
۸. ساخت تصویر کارتونی با کم کردن تصویر ورودی از تصویر زمینه ($f - u$)

الگوریتم ۱ برای پرتونگاره‌های نوترونی و ایکس اجرا شده و نتایج حاصل در ادامه آورده شده است.



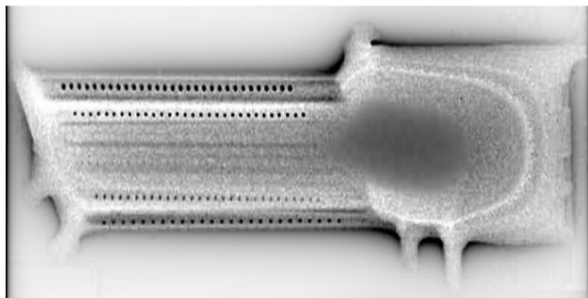


(الف)

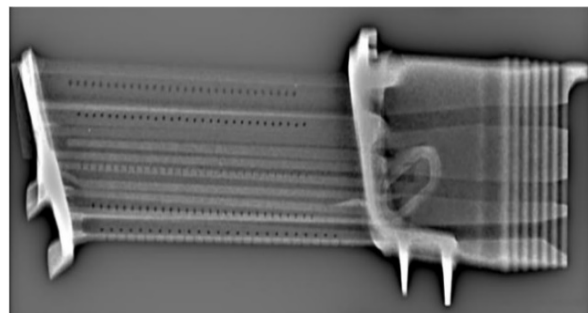


(ب)

شکل ۷. الف) پرتونگاره ایکس و ب) پرتونگاره نوترون از پره توربین [۱۹].



(الف)



(ب)

شکل ۸. تصویر بازسازی شده الف) پرتونگاره ایکس و ب) پرتونگاره نوترون از پره توربین با الگوریتم کانولوشن گوسی.

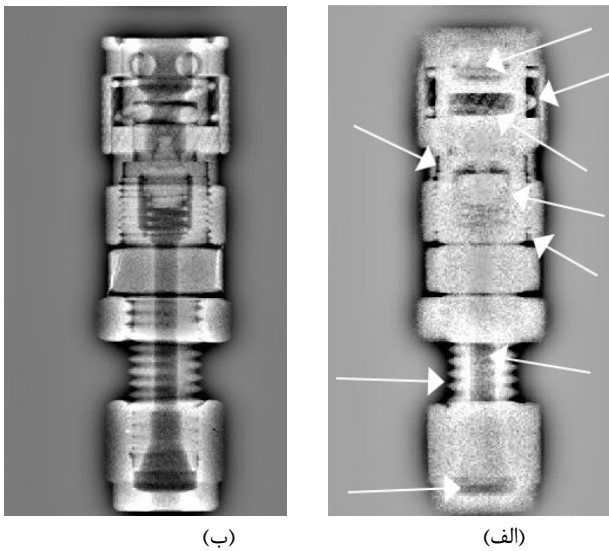
در شکل ۹ پرتونگاره ایکس و نوترونی قطعه‌ای از انژکتور موتور جت نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل ۹ الف مشاهده می‌شود، بعضی از قسمت‌های قطعه، به دلیل نوع مواد سازنده و چگالی بالای آن‌ها، در تصویر پرتو ایکس به خوبی قابل مشاهده هستند. قسمت‌هایی مانند بدنه فلزی دستگاه و یا قسمت دندانه‌دار (رزوه دار) در پایین قطعه به طور نسبتاً خوبی قابل مشاهده و تشخیص است. در حالی که

در ادامه بررسی اشیایی که دارای مواد ترکیبی با عدد اتمی مختلف دارند مورد بررسی قرار گرفت. در شکل ۷ پرتونگاره‌های ایکس و نوترونی یک پره توربین نشان داده شده‌اند. مقایسه پرتونگاره‌ها نشان می‌دهد که اطلاعات مختلفی از ساختار درونی پره در دو تصویر دیده می‌شود که به برهم‌کنش ایکس و نوترون با مواد مرتبط است. دیده می‌شود که ساختار پره در پرتونگاره نوترون واضح‌تر از پرتونگاره ایکس است. سوراخ‌های پره‌ها، مسیرهای هوا و شیارها در پرتونگاره نوترون به خوبی دیده می‌شوند. با توجه به جنس پایه پره و ضخامت بالای آن، پرتوهای ایکس قادر به نفوذ کافی در آن نیستند.

همان‌طور که می‌دانیم، برهم‌کنش نوترون و ایکس در مواد متفاوت است و همین امر باعث تولید تصاویر مختلف می‌شود که حاوی اطلاعات متفاوتی از ساختار درونی شی هستند. تصاویر بررسی شده در این تحقیق از برهم‌کنش نوترون‌های حرارتی عبوری از جسم با لایه گادولونیم که روی صفحات CR قرار می‌گیرد به وجود آمده‌اند که الکترون تولیدی با صفحات برهم‌کنش داده و تصویر ایجاد می‌شود. احتمال اندرکنش نوترون با مواد دارای عدد اتمی پایین بیشتر است. هرچه عدد اتمی ماده به عدد اتمی نوترون نزدیک‌تر باشد در برخورد کشسان انتقال انرژی بیشتر است. علاوه بر آن باریکه‌ی نوترونی توانایی نفوذ کافی در ساختار پره را فراهم می‌کند. در مورد پرتونگاره‌های ایکس شدت پرتو عبوری از جسم به عدد اتمی و انرژی پرتو بستگی دارد. با توجه به این‌که انرژی استفاده شده در محدوده ۸۰ تا ۱۲۰ کیلو ولت است، برهم‌کنش غالب، فوتو الکتریک و کامپتون است. پرتوهای ایکس برخلاف نوترون با عدد اتمی پایین تصویر مناسبی نمی‌دهند و موارد فلزی و دارای عدد اتمی بالا در این‌گونه تصاویر واضح‌تر هستند. برای بهتر شدن کیفیت پرتونگاره‌ها از کانولوشن گوسی استفاده شد. تصاویر بازسازی شده در شکل ۸ نشان داده شده‌اند.

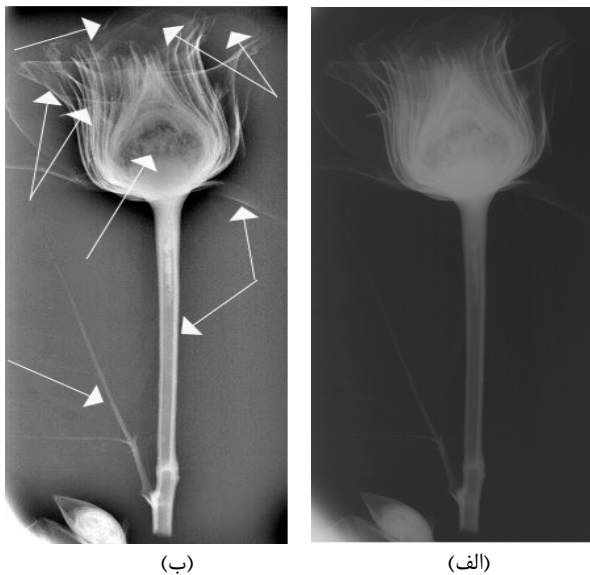
مقایسه پرتونگاره‌های اصلی (شکل ۷) و تصاویر بازسازی شده نشان می‌دهد که ساختار در تصاویر بازسازی شده واضح‌تر است و جزئیات با دقت بیشتری در آن‌ها دیده می‌شوند. نواحی سوراخ‌های روی پره و ساختار کلی پره توربین در این تصاویر بهتر دیده می‌شوند.





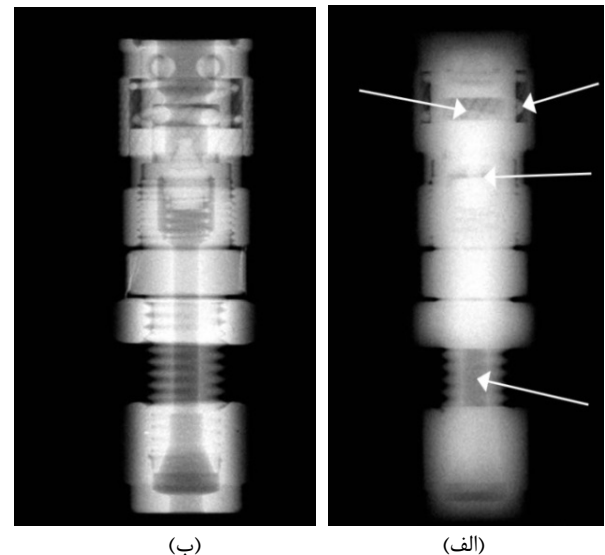
شکل ۱۰. تصویر بازسازی شده الف) پرتونگاره پرتو ایکس قطعه‌ای از موتور جت هواپیما، ب) پرتونگاره نوترونی آن [۱۹].

نواحی دیگری مانند محفظه‌های داخلی یا مجاری عبور هوا و یا قطعات اصلی تشکیل دهنده‌ی «سیستم قطع سریع»^۱ که در بالای قطعه دیده می‌شود و همچنین لوله مارپیچ و صفحه مشبکی که در واقع بخشی از همین سیستم هستند و در قسمت بالای تصویر قرار دارند به خوبی متمایز نیستند. در کل، همه قطعاتی که از موادی با چگالی پایین ساخته شده و درون این بدنه فلزی قرار دارند یا اصلاً قابل مشاهده نیستند و یا به سختی قابل دیدن و تشخیص هستند. برخلاف تصویر پرتونگاری پرتو ایکس، علاوه بر بدنه فلزی دستگاه، قسمت‌های درونی که شامل محفظه‌های داخلی، مجرای عبور هوا، مجموعه قطعات تشکیل‌دهنده «سیستم قطع سریع» رزوه‌های پیچ و تقریباً همه قطعات داخلی است، به وضوح دیده می‌شود. در شکل ۱۰ (الف و ب) تصاویر بازسازی شده این قطعه نشان داده شده اند. مجاری هوایی و سایر قسمت‌های منتقل‌کننده مواد در تصویر بازسازی شده نوترونی واضح‌تر شده و ساختار داخلی قابل تشخیص‌تر هستند. در شکل ۱۱ پرتونگاره نوترونی یک گل که در رآکتور تهران تهیه شده و تصویر بازسازی شده آن نشان داده شده است. در شکل ۱۱ الف اگرچه اجزا گل شامل گلبرگ‌ها، کاسبرگ و ساقه در پرتونگاره نوترونی دیده می‌شود ولی در تصویر ارتقا یافته شکل ۱۱ ب این قسمت‌ها کاملاً آشکار شده حتی آوندها و ساقه‌های کوچک نیز مشخص شده‌اند. لازم است ذکر شود که با توجه به عدد اتمی و ضخامت اجزای گل، تهیه پرتونگاره ایکس میسر نیست و اطلاعات مهمی در تصویر دیده نخواهد شد.



شکل ۱۱. الف) تصویر پرتونگاری نوترونی یک گل و ب) تصویر ارتقا یافته همان گل.

عکس مجسمه بودا، پرتونگاره ایکس و نوترون آن در شکل ۱۲ نشان داده شده است [۲۱]. طرح اصلی مجسمه در هر دو پرتونگاره ایکس و نوترون کاملاً مشخص است ولی اطلاعات ساختاری داده شده در دو پرتونگاره متفاوت هستند. در پرتونگاره ایکس قسمت سرمجسمه موها به صورت واضح‌تری قابل دیدن است و یا تاج مجسمه و همچنین حلقه‌های دور گردن آن به روشنی دیده می‌شوند. همچنین لبه‌های لباس مجسمه نسبت به قسمت‌های دیگر آن متمایزتر شده‌اند. در پایه مجسمه طرح‌ها کاملاً شبیه عکس هستند. در پرتونگاره نوترونی هر چند اطلاعات ناحیه سر مانند طرح موها و لباس و پایه



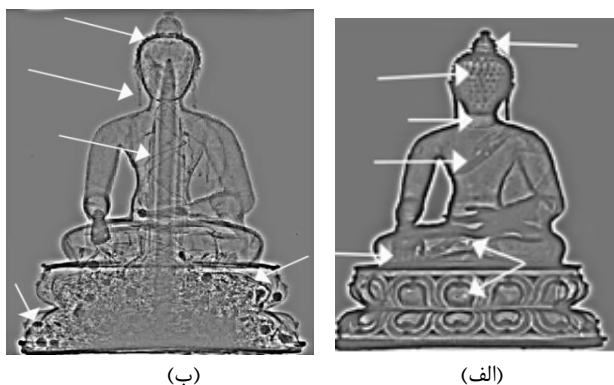
شکل ۹. الف) پرتونگاره پرتو ایکس قطعه‌ای از موتور جت هواپیما، ب) پرتونگاره نوترونی آن [۱۹].

1. Quick – Disconnect Fitting



در شکل ۱۳ تصاویر بازسازی شده پرتونگاره‌های ایکس و نوترونی مجسمه بودا نشان داده شده‌اند. هر دو تصویر بازسازی شده تیزتر شده و اطلاعات آن‌ها با وضوح بیشتری دیده می‌شوند. در تصویر شکل ۱۳ الف نواحی آسیب در روی سینه، پا و پایه مجسمه کاملاً واضح دیده می‌شود و طرح‌ها نیز دقیق‌تر هستند. در شکل ۱۳ ب نیز نواحی ستون پایه مجسمه و سیم‌های نگه‌دارنده که در پرتونگاره نوترونی مات دیده می‌شدند به روشنی قابل مشاهده هستند.

در این تحقیق به منظور ارزیابی از نظر متخصصین در امر پرتونگاری استفاده شده است به این ترتیب که افراد متخصص نظر خود را در مورد کیفیت تصویر و این که در کدام تصویر جزئیات بیشتری نمایان است و یا اجزای تصویر قابل شناسایی‌تر است را با امتیازی بین یک تا ۱۰۰ نمره بیان کردند. میانگین و انحراف معیار حاصل از ارزیابی در جدول ۲ آورده شده است. در مورد گل امکان تهیه پرتونگاره ایکس به علت ضخامت کم و عدد اتمی پایین وجود نداشته است. نتایج نشان می‌دهد بیش‌ترین امتیازات مربوط به تصاویر نوترونی بوده است. با اطلاعات پرتونگاره نوترونی می‌توان جنس مواد را تا حدودی زیادی تشخیص داد که علت آن توانایی نوترون در تفکیک مواد است. برای بررسی ساختار کلی پرتونگاره‌های ایکس کارایی بهتری داشته‌اند چون این برهم‌کنش علاوه بر عدد اتمی به ضخامت ماده نیز بستگی دارد. همچنین امتیازات متخصصین برای تصویر بازسازی شده بیش‌تر بوده است و این امر بیانگر کارایی کانولوشن گوسی برای شناسایی و مشخص کردن ساختار داخلی و نواحی آسیب از نظر متخصصین بوده می‌باشد. همچنین متخصصین اذعان داشته‌اند که که تصویر تیزتر شده و با کیفیت مناسب‌تری نسبت به پرتونگاره‌های اصلی قابل مشاهده هستند.



شکل ۱۳. تصویر ارتقا یافته مجسمه بودا، الف) پرتونگاره ایکس و ب) پرتونگار نوترونی.

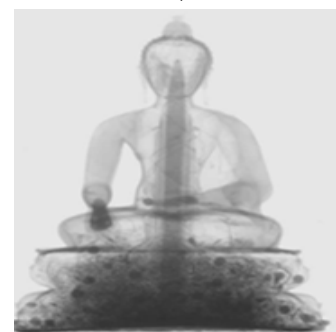
به‌وضوح پرتونگاره ایکس نیست ولی اطلاعات دیگری مانند ستون و سیم‌های مهارکننده و همچنین کلاف سیم‌های موجود در پایه مجسمه دیده می‌شوند. لازم به ذکر است که علت تفاوت اطلاعات استخراجی در دو پرتونگاره این است که پرتونگاری با پرتوهای ایکس علاوه بر وابستگی به عدد اتمی به ضخامت ماده نیز حساس هستند، ولی نوترون‌ها به جنس مواد وابسته هستند و در جایی که مواد عدد اتمی پایین دارند این برهم‌کنش‌ها بیش‌تر وجود دارند.



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۱۲. الف) عکس مجسمه بودا، ب) تصویر پرتونگاری ایکس مجسمه بودا و ج) تصویر پرتونگاری نوترونی مجسمه بودا [۲۱].



جدول ۲. متوسط و انحراف معیار امتیازات داده شده توسط متخصصین پرتونگاری صنعتی

نام	پرتونگاره ایکس	تصویر بازسازی شده ایکس	پرتونگاره نوترونی	تصویر بازسازی شده نوترون
کوزه	۴۵ (۷,۲۳)	۶۵ (۸,۹۶)	۳۵ (۲,۶۳)	۳۵ (۲,۶۳)
پره توربین	۵۵ (۸,۴۳)	۶۵ (۷,۱۷)	۸۰ (۱,۸۶)	۹۰ (۱,۳۶)
قطعه جت	۶۵ (۹,۱۲)	۸۰ (۸,۱۴)	۸۵ (۱,۱۱)	۹۰ (۱,۱۸)
گل رز	-	-	۶۵ (۳,۱۷)	۸۵ (۱,۵۶)
مجسمه بودا	۷۵ (۵,۷۶)	۸۵ (۴,۶۶)	۸۵ (۱,۱۶)	۹۰ (۲,۲۵)

۴. نتیجه گیری

در این تحقیق ضمن مقایسه پرتونگاره‌های ایکس و نوترون در استخراج اطلاعات، از کانولوشن گوسین برای استخراج زمینه تصویر استفاده شده است. کم کردن پرتونگاره اصلی از تصویر زمینه استخراج شده با روش کانولوشن گوسین باعث ارتقا پرتونگاره‌ها و مشخص کردن ساختار داخلی و محل آسیب اجسام مختلف با جنس و کارایی‌های متفاوت شده است. نتایج نشان می‌دهد که پرتونگاره‌های ایکس ساختار کلی اجسام با عدد اتمی و ضخامت مناسب را به خوبی نشان می‌دهند و برای اجسام با عدد اتمی پایین و ضخامت کم کارایی ندارند. پرتونگاره‌های نوترونی برای موادی که دارای عدد اتمی پایین هستند، اطلاعات مناسب‌تری از ساختار داخلی می‌دهند. هر دو پرتو نگاره دارای مات‌شدگی هستند. هرچند پرتونگاره‌های تهیه شده به روش CR اطلاعات مناسبی را می‌دهد ولی در این تحقیق با ارتقا تصاویر سعی در استخراج اطلاعات بیشتر از پرتونگاره‌ها است. برای ارزیابی، از نظر متخصصین پرتونگاری استفاده شده است. نتایج حاصل از ارزیابی متخصصین نشان می‌دهد که تصاویر بازسازی شده با کانولوشن گوسین ساختار داخلی و محل آسیب‌ها را بهتر از پرتونگاره اصلی مشخص می‌کنند و جزئیات در تصاویر بازسازی شده قابل مشاهده‌تر است.

مراجع

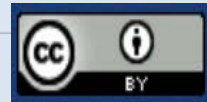
1. R. Behling, *Modern Diagnostic X-Ray Sources, Technology, Manufacturing, Reliability*. Boca Raton, FL, USA: Taylor and Francis, CRC Press. ISBN 9781482241327 (2015).
2. E. Negahdarzadeh, et al, *Diagnosis of design and defects in radiography of ceramic antique objects using the wavelet- domain hidden Markov models*, *Journal of Cultural Heritage*, **35**, 56-63 (2019).
3. T. Franzel, U. Schmidt, S. Roth, *Object Detection in Multi-view X-Ray Images*, In *DAGM* (2012).
4. P. Shaygan-Fard, et al, *Enhancement radiography image by two algorithms based on cartoon – texture decomposition*, *Physica Scripta*, No. 065002, **94** (6), 1-7 (2019).
5. M. Mirzapour, E. Yahaghi, A. Movafeghi, *Comparison of four iterative methods for improving the contrast of the radiography images*, *Physica Scripta*, No. 035001, **94** (3), 1-9 (2018).
6. D. Mery, V. Rizzo, *Automated Object Recognition in Baggage Screening Using Multiple X-ray Views*, In *52nd Annual Conference of the British Institute for Non-Destructive Testing*, Telford, (2013).
7. M. Mansoor, R. Rajashankari, *Detection of concealed weapons in Xray images using fuzzy K-NN*, *International Journal of Computer Science, Engineering and Information Technology*, **2**(2), (2012).
8. I.S. Anderson, *Neutron Imaging and Applications*, by, Springer, (2009).
9. ASTM International, *ASTM E748, Practices for Thermal Neutron Radiography of Materials*, (2014).
10. ASTM International, *ASTM E545: Standard Test Method for Determining Image Quality in Direct Thermal Neutron Radiographic Examination*, (2014).
11. J.S. Brenizer, *A review of significant advances in neutron imaging from conception to the present*, *Physics Procedia*, **43**, 10-20 (2013).
12. J.J. Henriksen, *3D surface tracking and approximation using Gabor filters*, *South Denmark University*, March 28 (2007).
13. R.J. Ferrari, et al, *Analysis of Asymmetry in Mammograms via Directional Filtering With Gabor Wavelets*, *IEEE Trans. on Medical Imaging*, **20**(9), 953-964, September (2001).



14. A. Serrano, et al, *Analysis of variance of Gabor filter banks parameters for optimal face recognition*, *Pattern Recognition Letters*, 1998-2008 (2011).
15. R.J. Ferrari, et al, *Analysis of Asymmetry in Mammograms via Directional Filtering With Gabor Wavelets*, *IEEE Trans. on Medical Imaging*, **20** (9), 953-964 (2001).
16. J. Oh, S. Choi, *Selective generation of Gabor features for fast face recognition on mobile devices*, *Pattern Recognition Letters*, 34, (2013).
17. P. Kruizinga, N. Petkov, S.E. Grigorescu, *Comparison of texture features based on Gabor filters*, *Proceedings of the 10th International Conference on Image Analysis and processing*, (1999).
18. P. Kovesei, *Phase Preserving Denoising of Images*, The Australian Pattern Recognition Society Conference: *DICTA'99*. Perth WA. pp 212-217 (December 1999). <http://www.cs.uwa.edu.au/pub/robvis/papers/p/denoise.ps.gz>.
19. <https://nray.ca/nray/images>.
20. ISO 17636-2, *Non-destructive testing of welds- Radiographic testing-Part 2: X- and gamma-ray techniques with digital detectors*, (2013).
21. E.H. Lehmann, S. Hartmann, M.O. Speidel, *Investigation of the content of Ancient Tibetan Metallic Buddha Statues by means of Neutron Imaging Methods*, *Archaeometry*, **52** (3), 416-428 (2010).

COPYRIGHTS

©2021 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.



استناد به این مقاله

امیر موافقی، عفت یاحقی، سیدحسن موسویان، بهروز رک‌رک (۱۴۰۱)، بهبود و مقایسه تصاویر پرتونگاری با پرتو ایکس و نوترون با روش کانولوشن گوسین، *مجله علوم و فنون هسته‌ای*، جلد ۹۹، شماره ۱، بهار ۱۴۰۱، ص ۸۶-۹۵

DOR: 20.1001.1.17351871.1401.43.1.10.3

Url: https://jonsat.nstri.ir/article_1353.html

