

بهبود کیفیت تصاویر پرتوهای ایکس بازگشتی با روش وردش

مطهره عظیمی^۱، عفت یاحقی^{۱*}، محسن روشن^۲، اسمعیل بیات^۳، مهدی میرزاپور^۴، امیر موافقی^۵، بهروز رک‌رک^۵

۱. گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، صندوق پستی: ۹۶۸۱۸-۳۴۱۴۸، قزوین- ایران

۲. دانشکده مهندسی هسته‌ای، دانشگاه شهید بهشتی، کدپستی: ۱۹۸۳۹۶۹۴۱۱، تهران- ایران

۳. پژوهشکده‌ی کاربرد پرتوها، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، صندوق پستی ۳۴۸۶-۱۱۳۶۵، تهران- ایران

۴. گروه ریاضی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه بوعلی سینا، صندوق پستی: ۳۸۶۹۵-۶۵۱۷۸، همدان- ایران

۵. پژوهشکده راکتور و ایمنی هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، صندوق پستی: ۱۳۳۹-۱۴۱۵۵، تهران- ایران

*Email: yahaghi@sci.ikiu.ac.ir

مقاله‌ی پژوهشی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۷/۲۳ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۹/۳۰

چکیده

اساس سیستم‌های تصویربرداری ایکس پس‌پراکنده، پرتوهای بازگشتی هستند که در صنعت و بازرسی دارای کاربردهای بسیاری می‌باشند. در این تصاویر برخلاف روش عبوری، مواد آلی با عدد اتمی پایین مانند مواد مخدر و مواد منفجره با پراکندگی فوتون بالا، واضح‌تر دیده می‌شوند. به علت پراکندگی چندگانه پرتوهای فوتونی معمولاً تصاویر مات‌شدگی دارند. پردازش تصاویر خروجی می‌تواند در بهبود کنتراست و تشخیص مواد کمک کند. در این تحقیق از روش وردش برای بهبود کنتراست تصاویر ایکس بازگشتی استفاده شده و پرتونگاره‌های فانتوم‌هایی که برای ارزیابی کیفیت سیستم کارایی دارند، پردازش و مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. نتایج نشان می‌دهند که روش وردش نسبی در افزایش کنتراست و قدرت تمایز اجسام کارا بوده و این روش می‌تواند به عنوان یک فیلتر کمکی مؤثر باشد. ارزیابی نتایج توسط کارشناسان پرتونگاری نشان می‌دهد که از نظر آن‌ها کنتراست تصاویر حدود ۲۰٪ تا ۴۰٪ بهبود یافته و تصاویر خروجی به طور قابل ملاحظه‌ای ارتقا پیدا کرده‌اند.

کلیدواژه‌ها: تصویربرداری پس‌پراکندگی اشعه ایکس، بهبود کنتراست، بازرسی، روش وردش

Contrast improvement of backscatter x-ray images by total variation method

M. Azimi¹, E. Yahaghi^{1*}, M. Roshan², E. Bayat³, M. Mirzapour⁴, A. Movafeghi⁵, B. Rokrok⁵

1. Department of Physics, Faculty of Basic Sciences, Imam Khomeini International University, P.O.Box: 34148-96818, Qazvin - Iran

2. Nuclear Engineering School, Shahid Beheshti University, Postal code: 1983969411, Tehran-Iran

3. Radiation Applications Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, AEOI, P.O.Box:11365-3486, Tehran-Iran

4. Department of Mathematics, Faculty of Basic Sciences, Bu-Ali Sina University, P.O.Box: 65178-38695, Hamedan - Iran

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

Research Article

Received 15.10.2021, Accepted 21.12.2021

Abstract

The basis of backscatter X-ray imaging systems is the scattering of backscattered rays that have many applications in industry and inspection. In these images, organic materials with low atomic numbers, such as drugs and explosives, produce many scattered photons and are seen more clearly. These images are blurred due to the multiple scattered X-ray. Image processing methods can help improve contrast and material detection in backscatter X-ray (BX) images. In this research, the total variation method has been used to improve the contrast of the BX images. Firstly, the BX images of the various phantoms have been processed for evaluating the BX system, then many BX images of motorcycles are investigated. The results show that the total variation method increases the contrast of the backscattered X-ray images and can be used as the additional filter in the BX imaging system. Evaluation of experts shows that the contrast of the processed images has been significantly improved and increased between 20 to 40%.

Keywords: Backscatter x-ray imaging, Contrast improving, Inspection, Total variation



۱. مقدمه

برای تصویربرداری با اشعه ایکس دو روش عمده وجود دارد: روش پرتونگاری مستقیم که در آن جسم بین چشمه و آشکارساز قرار می‌گیرد و پرتوهای عبوری بعد از برهم‌کنش با اتم‌ها از جسم خارج شده و در روی آشکارساز ثبت می‌شوند. در این روش مقدار پرتو عبوری به ضریب تضعیف و ضخامت ماده بستگی دارد. روش دوم روش پرتونگاری ایکس بازگشتی است که نقطه مقابل پرتونگاری مستقیم است. در این روش پرتوهای پس‌پراکنده شده توسط جسم به آشکارساز رسیده و تصویر را تشکیل می‌دهند. در این روش چشمه و آشکارساز در یک طرف جسم قرار دارند [۱]. تصویربرداری ایکس بازگشتی به دلیل این‌که آشکارساز و منبع تابش در یک سمت جسم قرار دارند، قابلیت زیادی فراهم نموده و در مواردی که دسترسی به سمت دیگر جسم دشوار باشد، بسیار کارا می‌باشند [۲].

پرتونگاری ایکس بازگشتی به دو روش تقسیم مکانی و تقسیم زمانی انجام می‌شود. در روش تقسیم مکانی از یک سیستم مشابه چشم خرنج استفاده می‌شود که در آن مکعب‌های کوچکی وجود دارند که پرتو ایکس پراکنده پس از بازتاب از آن‌ها روی کره‌ای تصویر را تشکیل می‌دهند. در این روش سیستم‌هایی برای متمرکز کردن و موازی‌سازی وجود دارند که در آن تعداد زیادی کالیماتورهای کوچک، پرتوهای بازگشتی از جسم را با توجه به مکان ارسال آن‌ها، روی آشکارسازهای پیکسل‌بندی شده، متمرکز می‌کنند [۳-۵]. در روش زمانی، باریکه مدادی شکل متحرک ایکس با استفاده از طراحی خاص کالیماتورها ساخته شده و این باریکه به شیوه راست یا رسترینگ^۱ جسم را به طور پیوسته اسکن می‌کند. در سیستم ثبت داده، با تعریف بازه‌های زمانی ثبت داده توسط کاربر، عمل اسکن به حالت گسسته و پیکسلی تبدیل می‌شود. در این روش از آشکارسازهای صفحه‌ای بزرگ از جنس گادوکس، CsI، سوسوزن پلاستیک، GEM و . . . می‌توان استفاده نمود. اطلاعات به یک پردازشگر الکترونیکی منتقل شده و تصویر به وجود می‌آید. برای ارزیابی تصویر آزمون‌های عمق نفوذ، تشخیص سیم حساسیت تباینی و قدرت تفکیک فضایی انجام می‌شود [۶، ۷].

استفاده از روش‌های مختلف پردازش تصویر مانند روش‌های خودکار افزایش تباین و روشنایی، انواع صافی‌ها و رنگ‌آمیزی مجازی، برای بهبود کیفیت تصویر در نرم‌افزار دستگاه تعبیه

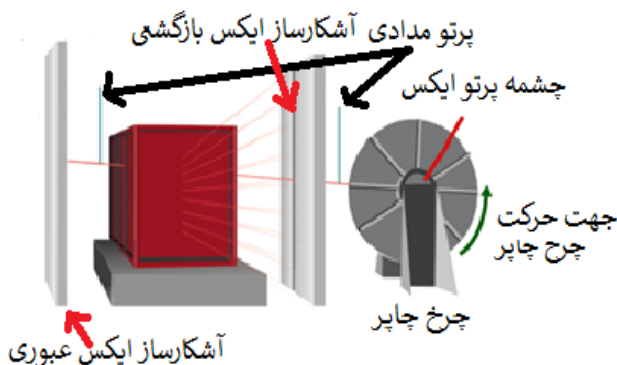
می‌شود تا به بهبود تصاویر کمک کند. هرچه نرم‌افزار دستگاه بهتر عمل کند از روی تصویر حاصل اطلاعات بیش‌تری قابل تشخیص است و بازرسی‌ها برای کالاهای قاچاق و ممنوعه و همین‌طور قاچاق انسان کارایی بیش‌تری خواهند داشت.

روش وردش یک روش پردازش تصویر برای حذف نویز است که برای تصاویر مختلف از جمله تصاویر دوربین‌های معمولی و ایکس عبوری به‌کار برده شده است. در هر کدام از موارد، چگونگی تنظیم پارامترها در کیفیت خروجی تأثیر دارد. انتخاب این پارامترها به نحوه جمع‌آوری اطلاعات و نوع تصویر مرتبط است. در این تحقیق روش وردش [۸-۱۲] که کارایی زیادی در افزایش کنتراست و حذف نویز از تصاویر دارد به عنوان یک فیلتر کمکی برای افزایش کنتراست تصاویر ایکس بازگشتی استفاده شده است.

۲. روش کار

۱.۲ پرتونگاری

نمایی از دستگاه استفاده شده در این تحقیق در شکل ۱ نشان داده شده است. دستگاه شامل یک چاپر است که لامپ اشعه ایکس درون آن قرار دارد و اطراف لامپ تعدادی لوله با قطر کم قرار دارد. درون این لوله‌ها سرب قرار دارد که جاذب پرتو ایکس است. با چرخش چاپر پرتوهای ایکس به صورت پرتو مدادی^۲ خارج شده و سطح جسم را اسکن می‌کند. لامپ اشعه ایکس دو قطبی و با زاویه بازشدگی ۴۰ درجه است و قابلیت ساخت ۸ کلیماتور روی آن وجود دارد. طول کالیماتورها حدود ۴۵ cm است که قدرت تفکیک ۱۰ mm را برای فاصله یک متری ایجاد می‌کند.

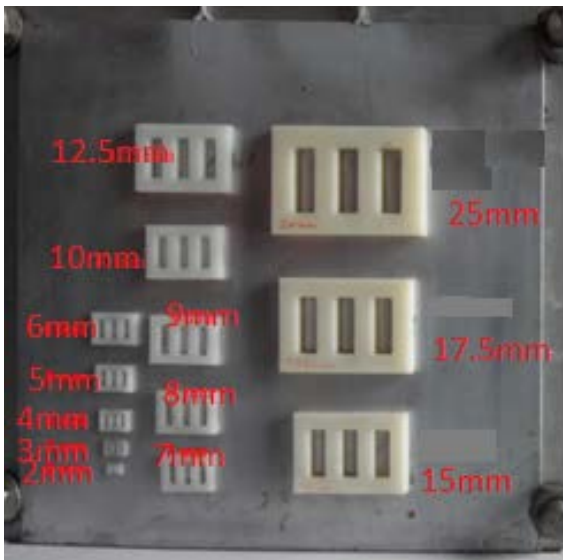


شکل ۱. چیدمان پرتونگاری پرتو بازگشتی زمانی.

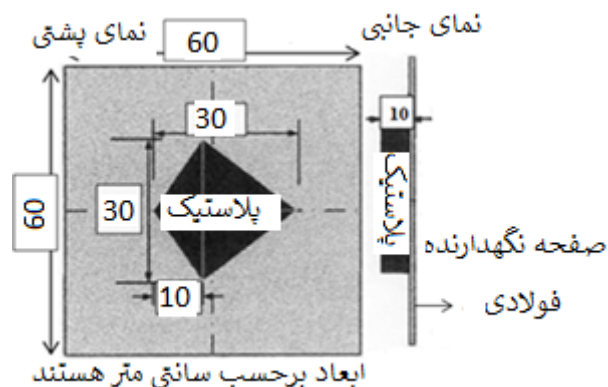


ابعاد و شکل جسم در شکل ۳ نشان داده شده است. بعد از تهیه تصویر پرتو ایکس بازگشتی، کمترین ضخامت فولاد که در آن تصویر جسم آزمون قابل تشخیص باشد تعیین می‌شود. تصویر نهایی برای تعیین جهت پیکان بررسی می‌شود. در این آزمون، فولاد به طور تدریجی افزوده شده تا جایی که جهت پیکان در تصویر بازگشتی قابل تشخیص نباشد.

در آزمون حساسیت کنتراست لایه‌ای از فانتوم شکل ۴ استفاده می‌شود. قطعه پیکان شکل ۳ بر روی یک بلوک پلی‌اتیلن به ابعاد $50 \text{ cm} \times 50 \text{ cm}$ قرار گرفته، این قطعه با ضخامت‌های متفاوت از جمله $1/2 \text{ cm}$ تهیه شده که برای آزمون‌های مختلف ایکس بازگشتی استفاده می‌شوند. در این آزمون کمترین ضخامتی از صفحه پلی‌اتیلنی که در آن جهت پیکان دیده شود، حساسیت کنتراست لایه‌ای را تعیین می‌کند.



شکل ۲. فانتوم مورد استفاده برای آزمون قدرت تفکیک مکانی در تصویربرداری ایکس بازگشتی.



شکل ۳. جسم آزمون مربوط به آزمون اندازه‌گیری عمق نفوذ برای حالت پس پراکنده در تصویربرداری ایکس بازگشتی.

آشکارساز استفاده شده سوسوزن پلاستیک است که علاوه بر ارزان بودن قابلیت شکل‌دهی نیز دارد. این آشکارساز زمان پاسخ سریع داشته و در مقابل دما و شوک حرارتی مقاوم است. در پشت آشکارساز، لامپ تکثیرکننده فوتونی^۱ PMT قرار داده شده است. ارتفاع بلوک آشکارساز 120 cm است که با توجه به ارتفاع ناحیه اسکن که 160 cm است تعیین شده است. PMTها دارای 12 داینود از مدل R1۸۲۸-۰۱ با قطر 2 اینچ هستند. برای حرکت جسم، سیستم ریل با استفاده از موتور پله‌ای استفاده شده که بتواند اجسام تا وزن 300 kg را با سرعت 0.5 km/h جابه‌جا کند [۱۳].

اطلاعات خروجی PMTها از طریق رابط به رایانه منتقل شده و تصاویر ساخته می‌شوند. نرم‌افزار طراحی شده دارای قابلیت‌هایی برای پیش‌پردازش تصاویر است. این سیستم توسط آزمون‌های عمق نفوذ، قدرت تفکیک فضایی، تشخیص سیم و حساسیت کنتراست مورد ارزیابی قرار گرفته است [۱۷].

در آزمون سنجش سیم، سیم‌های مسی با قطرهای مختلف $1/5$ تا 3 میلی‌متر روی یک بازتابنده پلی‌اتیلن با ضخامت 5 cm قرار گرفته و تصویر ایکس بازگشتی آن‌ها تهیه می‌شود. نحوه قرار گرفتن سیم‌ها روی پلی‌اتیلن می‌تواند به شکل مستقیم و یا سینوسی باشد. کمترین ضخامت قابل تشخیص در این تصویر نتیجه آزمون را نشان می‌دهد.

در آزمون تفکیک مکانی، فانتومی از مواد پلی‌اتیلن ساخته شده که در شکل ۲ نشان داده شده‌اند. قطعات فواصلی بین 2 تا 25 میلی‌متر دارند. هدف از آزمون تشخیص کمترین فاصله در پرتونگاره بازگشتی است. در آزمون نفوذ، جسم معینی مانند یک پیکان پلاستیکی در پشت ضخامتی از فولاد قرار می‌گیرد. جسم آزمون یک پلی‌اتیلن پیکانی شکل دارای 30 سانتی‌متر ارتفاع و 30 سانتی‌متر عرض است و 10 سانتی‌متر ضخامت دارد. ابعاد و شکل فانتوم در شکل ۳ نشان داده شده است. تصویر پرتو ایکس بازگشتی، برای تعیین جهت پیکان بررسی می‌شود. در این آزمون، ضخامت فولاد به طور تدریجی افزوده می‌شود. بیشترین ضخامت فولاد که جسم آزمون در تصویر قابل تشخیص باشد به عنوان عمق نفوذ معرفی می‌شود.

جسم آزمون یک پلاستیک پیکانی شکل دارای 30 سانتی‌متر ارتفاع و 30 سانتی‌متر عرض است و 10 سانتی‌متر ضخامت دارد، مواد پلاستیک از جنس پلی‌اتیلن با چگالی بالا (HDPE)^۲ و یا پلاستیکی مشابه با تراکم از 0.95 g/cm^3 هستند.

1. Photo Multiplier Tube
2. High Density Polyethylene



وردش تصاویری با جزئیات کاذب و نادرست، معمولاً بزرگ است و این امر باعث افزایش قدرمطلق گرادیان تصویر می‌شود. بنابراین، کاهش دادن تغییرات کل تصویر، با این شرط که تصویر حاصل با تصویر اصلی دارای بیشترین مطابقت باشد، باعث حذف جزئیات ناخواسته شده و در عین حال جزئیات مهم نظیر لبه‌ها را حفظ می‌کند. در واقع، در این روش قسمت‌های نسبتاً صاف تصویر یکنواخت‌تر شده در حالی که سعی می‌شود لبه‌ها حفظ شود. بنابراین استفاده از روش وردش می‌تواند در حذف نویز و آشکارسازی نواحی عیوب کمک کند. این مفهوم اولین بار توسط رودین، اوشر و فاطمی [۸-۹] در سال ۱۹۹۲ ارائه شد.

در این بخش، به طور خلاصه به معرفی مدل وردش برای بهبود کنتراست تصاویر پرتونگاری پرداخته و همچنین یک روش کارا برای حل مدل پیشنهادی ارائه می‌دهیم. فرض کنیم f تصویر دو بعدی دارای نویز باشد، داریم:

$$f = u + \varepsilon \quad (1)$$

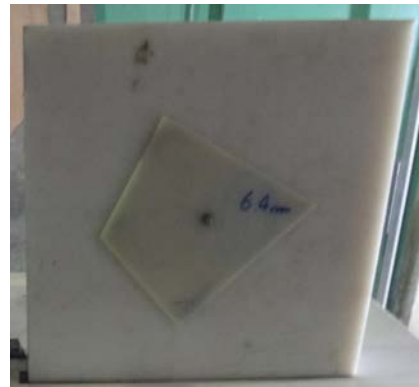
که در u تصویر شفاف و ε بیانگر نویز است. مدل وردش برای حالت یک بعدی شده تصویر به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\min_u \left\| \nabla u \right\|_1 + \frac{\lambda}{\rho} \left\| f - u \right\|_2^2 \quad (2)$$

که در آن $\lambda > 0$ پارامتر منظم‌ساز است و نقش محوری در تعادل بین جمله تطبیق داده و جمله منظم‌ساز ایفا می‌کند. همچنین $(\nabla u)_{i,j} = ((\nabla_x u)_{i,j}, (\nabla_y u)_{i,j})$ تعریف می‌شود که در آن داریم:

$$(\nabla_x u)_{i,j} = \begin{cases} u_{i+1,j} - u_{i,j} & \text{if } i < m \\ 0 & \text{if } i = m \end{cases} \quad \text{و} \quad (\nabla_y u)_{i,j} = \begin{cases} u_{i,j+1} - u_{i,j} & \text{if } j < n \\ 0 & \text{if } j = n. \end{cases} \quad (3)$$

جواب بهینه معادله (۲) به دلیل ترکیب دو نوع نرم مختلف به سادگی حاصل نمی‌شود. یکی از روش‌های کارا برای حل مسأله بهینه‌سازی (۲) روش جداساز برگمن است که توسط گلدشاین و اوشر در سال ۲۰۰۹ پیشنهاد شده است [۱۰]. برای پیاده‌سازی این روش، فرض کنیم $d_x = \nabla_x u$ و $d_y = \nabla_y u$ و همچنین



شکل ۴. فانتوم آزمون حساسیت کنتراست لایه‌ای در تصویربرداری ایکس بازگشتی.



شکل ۵. فانتوم آزمون حساسیت کنتراست ایزوله در تصویربرداری ایکس بازگشتی.

کنتراست ایزوله، توانایی شناسایی یک ورق نازک مواد آلی از دیگر مواد تعریف شده است. در این آزمون، جسم که صفحات پلاستیکی هم‌شکل به صورت جسم آزمون شکل ۳ با ضخامت ۰٫۷۵، ۱٫۵ و ۳ میلی‌متر است که به مرکز سطح یک ورق فولادی به ابعاد $60 \text{ cm} \times 60 \text{ cm} \times 0.6 \text{ cm}$ نصب می‌شوند. جسم آزمون بین چشمه پرتو اشعه ایکس و ورق فولاد قرار دارد. آزمون با تغییر ضخامت و جهت جسم آزمون انجام می‌شود. هدف به دست آوردن کم‌ترین ضخامت پیکان است که جهت آن نیز قابل شناسایی باشد. در این حالت ضخامت پیکان به عنوان کنتراست ایزوله معرفی می‌شود (شکل ۵).

۲.۲ روش وردش نسبی

فیلتر یا منظم‌سازی وردش ۱ (TV) یک روش متداول برای کاهش نویز است که کاربردهای فراوانی را در حوزه‌های مختلف تصویر پیدا کرده است. این روش بر این اصل استوار است که

1. Total Variation



این منظور برای حذف مات‌شدگی و افزایش کنتراست تصویر، از تکنیک حذف پس‌زمینه^۱ استفاده شده است.

۳. نتایج

در این تحقیق از روش وردش برای بهبود تصاویر ایکس برگشتی استفاده شده است. نتایج در ابتدا برای تصاویر ارزیابی سیستم در چهار آزمون عمق نفوذ، قدرت تفکیک فضایی، تشخیص سیم و حساسیت کنتراست ارائه شده و سپس تصاویر کاربردی موتورسیکلت که در آن یک ماده شبیه مواد منفجره و یک اسلحه کلت تقلبی جاسازی شده مورد ارزیابی قرار گرفته است. برای اعمال روش وردش، ابتدا فایل داده‌های خام تصویر که به روش ۱.۲ تهیه شده‌اند توسط برنامه نوشته شده در نرم‌افزار متلب باز شد و تصویر حاصل به دست آمد. سپس با تغییر پارامتر λ و تعداد تکرارها، تصاویر بازسازی شده ساخته شدند. در ادامه نتایج حاصل ارائه شده‌اند.

۱.۳ ارزیابی نتایج برای تصاویر حاصل از آزمون‌های ارزیابی سیستم در شکل ۶ الف خروجی تصویر برای آزمون‌های تشخیص سیم و قدرت تفکیک فضایی نشان داده شده‌اند. در شکل سمت راست تصویر ایکس بازگشتی برای آزمون تشخیص سیم نشان داده شده است. سیم‌ها به طور سینوسی بسته شده و ضخامت سیم‌ها نیز روی تصویر درج شده‌اند. برای افزایش کنتراست تصویر از فیلتر کمکی وردش استفاده شد. بررسی الگوریتم نشان داد با توجه به این‌که برای دسته تصاویر موجود، مشخص کردن تعداد تکرار و λ کار مشکلی است، بهتر است از روش حذف زمینه استفاده شود. هم‌چنین می‌توان دید که با تغییر λ و تعداد تکرار، تصاویر خروجی تغییرات زیادی دارند. در مقادیر کم λ و تعداد تکرارهای زیاد، لبه‌ها صاف‌تر می‌شوند. در شکل ۶ ب نمونه‌ای تصویر خروجی الگوریتم برای خروجی برای $\lambda=0.5$ و ۱۰۰ تکرار نشان داده شده است. در این تصویر لبه‌ها صاف شده و اجزای تصویر مشخص نیستند. در شکل ۶ ج سمت راست تصویر بازسازی شده این آزمون نشان داده شده است. مقایسه دو شکل ۶ الف و ج نشان می‌دهد که سیم‌ها روی تصویر بازسازی شده واضح‌تر دیده شده و تفاوت ضخامت‌ها در آن واضح‌تر هستند. سیم با قطر ۱/۵ میلی‌متر در تصویر اصلی به‌سختی قابل تشخیص است ولی در تصویر بازسازی شده واضح‌تر شده است. در آزمون تفکیک مکانی از فانتوم شکل ۲ پرتونگاری ایکس بازگشتی تهیه شده است. در شکل ۶ الف سمت چپ مقادیر این

قرار دهید $H(u) = \frac{\lambda}{\gamma} \|f - u\|_{\gamma}^{\gamma}$. در این صورت مسأله (۲) به مسأله زیر تبدیل می‌شود:

$$\min_{u, d_x, d_y} \|d_x\|_1 + \|d_y\|_1 + H(u) + \frac{\mu}{\gamma} \|d_x - \nabla_x u - b_x\|_{\gamma}^{\gamma} + \frac{\mu}{\gamma} \|d_y - \nabla_y u - b_y\|_{\gamma}^{\gamma}, \quad (4)$$

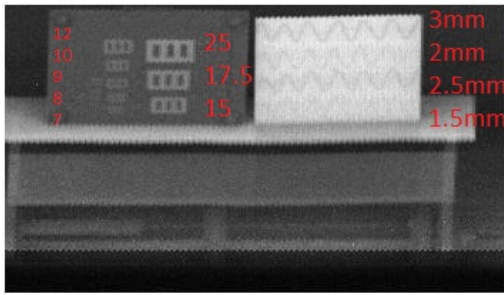
که در آن در صورت به دست آوردن مقادیر بهینه برای پارامترهای برگمن b_x و b_y مسأله (۲) با مسأله (۴) با هم معادل هستند. حال برای حل (۴) از یک روند تکراری پنج گامی به صورت زیر استفاده می‌کنیم و مقادیر بهینه متغیرها مسأله را به دست خواهیم آورد:

$$\left\{ \begin{array}{l} u^{k+1} = \arg \min_u H(u) + \frac{\mu}{\gamma} \|d_x - \nabla_x u - b_x\|_{\gamma}^{\gamma} + \frac{\mu}{\gamma} \|d_y - \nabla_y u - b_y\|_{\gamma}^{\gamma} \quad \text{گام اول} \\ d_x^{k+1} = \text{shrinkage}(\nabla_x u^{k+1} + b_x^k, \frac{1}{\mu}) \quad \text{گام دوم} \\ d_y^{k+1} = \text{shrinkage}(\nabla_y u^{k+1} + b_y^k, \frac{1}{\mu}) \quad \text{گام سوم} \\ b_x^{k+1} = b_x^k + (\nabla_x u^{k+1} - d_x^{k+1}) \quad \text{گام چهارم} \\ b_y^{k+1} = b_y^k + (\nabla_y u^{k+1} - d_y^{k+1}) \quad \text{گام پنجم} \end{array} \right. \quad (5)$$

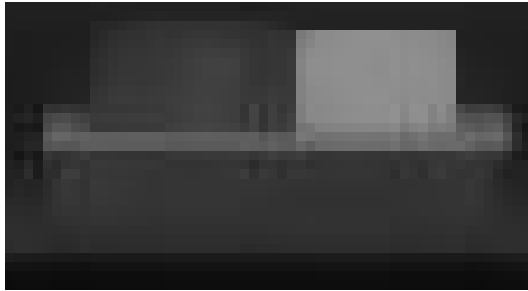
با توجه به این‌که هر دو جمله در بهینه‌سازی گام اول از یک نوع و مشتق‌پذیر هستند، لذا جواب بهینه در گام اول را می‌توان با استفاده از روش‌هایی نظیر گاوس-سایدل و یا گرادین مزدوج به دست آورد [۱۱، ۱۲].

بررسی الگوریتم نشان می‌دهد که تغییرات λ و μ در کیفیت تصاویر خروجی تأثیر دارند. با کم شدن این پارامترها، تصویر خروجی مات‌تر شده و لبه‌ها محو می‌شوند. انتخاب λ و μ واحد که بتواند خروجی مناسب برای تصاویر ایکس بازگشتی بدهد مشکل است. چون تصاویر ایکس بازگشتی به علت پراکندگی ذاتی پرتوهای ایکس مات‌شدگی دارند و مقدار مات‌شدگی برای هر تصویر بسته به شرایط تصویربرداری و ابعاد جسم آزمون متفاوت است. به علت محو شدگی، اطلاعات لبه‌ها در تصاویر واضح نیستند. از طرفی، تعیین پارامترهای وردش که بتواند برای تصاویر مورد نظر خروجی‌های مناسبی بدهد، مشکل است. به

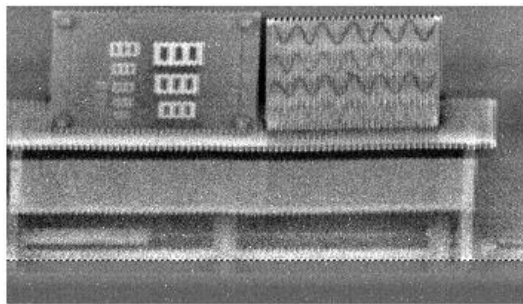




(الف)

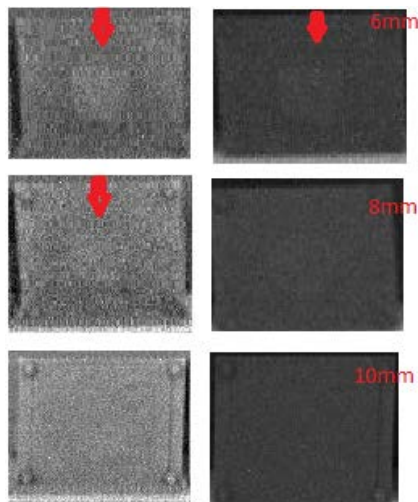


(ب)



(ب)

شکل ۶. الف) تصویر ایکس بازگشتی برای دو آزمون تشخیص سیم (سمت راست) و قدرت تفکیک فضایی (سمت چپ) ب) تصویر خروجی برای $\lambda=0.5$ و ۱۰۰ تکرار ج) تفاضل خروجی "ب" و تصویر پرتونگاری "الف" سیستم برای تصویر بازسازی شده با روش وردش.



(ب)

(الف)

شکل ۷. الف) تصاویر ایکس بازگشتی برای عمق نفوذ، ب) تصاویر بازسازی شده آنها.

فواصل کنار هر بلوک نوشته شده است. مقدار این تفکیک مکانی با استفاده از تصویر خروجی بازگشتی برای سیستم ۱۰ میلی متر به دست آمده است. در شکل ۶ ب سمت چپ تصویر بازسازی شده این تصویر نشان داده شده است. دیده می شود که در تصویر بازسازی شده لبه ها تیزتر شده اند و فاصله موجود در بلوک ها در تصویر بازسازی شده برای مورد ۹ و ۱۰ میلی متر واضح تر نمایش داده می شود.

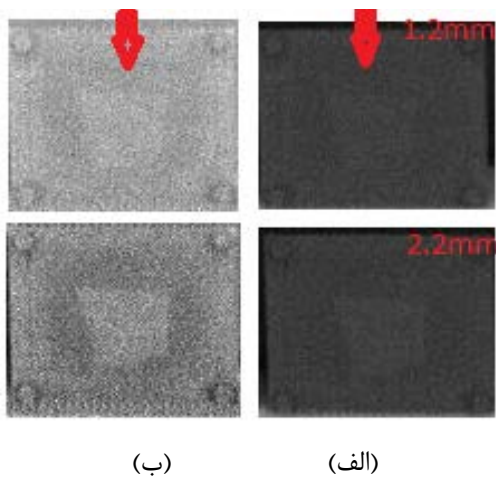
در آزمون عمق نفوذ، فانتوم شکل ۳ تصویربرداری شده و بیشترین ضخامت که در آن تصویر جسم آزمون و جهت آن قابل مشاهده است، تعیین شده است. در شکل ۷ الف نتایج آزمون برای ورق های فولادی ۶، ۸ و ۱۰ میلی متر نشان داده شده اند. دیده می شود که برای ورقه فولادی ۶ میلی متر تصویر جسم مشخص است ولی برای ورقه های فولادی ۸ و ۱۰ میلی متر اطلاعاتی در تصاویر نیست. در تصاویر بازسازی شده شکل ۶ ب برای فولاد ۶ میلی متر علاوه بر مشخص بودن شکل جسم آزمون، جهت آن نیز کاملاً واضح است. در تصاویر بازسازی شده برای ورقه فولاد ۸ میلی متری جسم دیده می شود ولی جهت آن واضح نیست. مکان قرارگیری فانتوم مورد نظر شکل ۳ با پیکان قرمز رنگ در شکل نشان داده شده است.

برای تعیین مقدار کنتراست لایه ای، فانتوم شکل ۴ با ضخامت های مختلف ۴/۸ تا ۱۰ میلی متر صفحات پلی اتیلنی تصویربرداری شد. در شکل ۷ تصاویر ایکس بازگشتی و تصاویر بازسازی شده این آزمون نشان داده شده اند.

در شکل ۸ الف دیده می شود که برای ضخامت ۱۰ mm پیکان و جهت آن کاملاً قابل تشخیص است. پیکان قرمز رنگ روی شکل محل قرارگیری فانتوم شکل ۴ را نشان می دهد در تصویر بازسازی شده شکل ۸ ب، دیده می شود که هرچند تصاویر دانه دانه شده ولی لبه ها تیزتر شده اند. در تصاویر بازسازی شده می توان به راحتی پیکان و جهت آن را برای ضخامت ۱۰ mm تشخیص داد. همچنین برای تصاویر بازسازی شده، در ضخامت های ۶/۴ و ۷/۶ میلی متر پیکان قابل تشخیص ولی جهت آن را نمی توان تعیین کرد.

برای کنتراست ایزوله، فانتوم استفاده شده در آزمون دو پیکان پلی اتیلنی به ضخامت های ۲/۲ mm و ۱/۲ mm بوده اند که بر روی یک صفحه فلزی نصب شده و پرتونگاری روی آنها انجام شده است.





شکل ۹. الف) تصاویر ایکس بازگشتی برای تعیین کنتراست ایزوله، ب) تصاویر بازسازی شده آن‌ها.

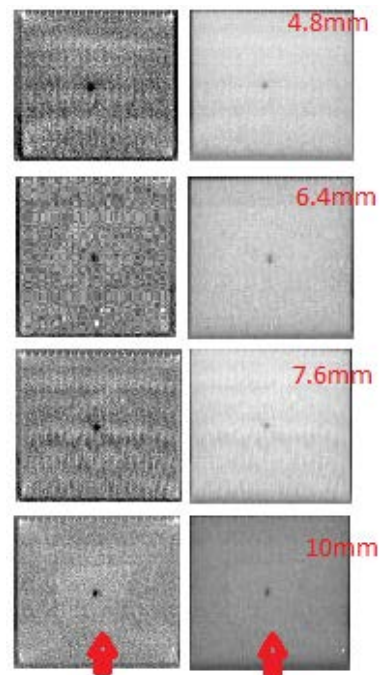
جدول ۱. نتایج آزمون‌ها برای پرتونگاره‌ها و تصاویر بازسازی شده

مقدار تشخیص داده شده		نام آزمون
تصویر بازسازی شده	پرتونگاره اصلی	
۹ mm	۹ mm	قدرت تفکیک فضایی
۱٫۵ mm	*۱٫۵ mm	تشخیص سیم
۶ mm	۶ mm	نفوذ
۶٫۴ mm	۶٫۴ mm	کنتراست لایه‌ای
۱٫۲ mm	۲٫۲ mm	کنتراست ایزوله

* اطلاعات روی تصویر به سختی دیده می‌شوند.

۱۰۳ ارزیابی نتایج تصاویر کاربری سیستم

در این قسمت نتایج حاصل از خروجی‌های سیستم تصویربرداری ایکس بازگشتی برای کاربری بازرسی بررسی می‌شود. برای این منظور تصویر ایکس بازگشتی یک موتورسیکلت در دو حالت بدون اجسام جاسازی شده و با اجسام جاسازی شده تهیه شده است. اجسام جاسازی شده، دو قطعه مشابه ماده منفجره به شکل دیسک با قطر ۱۰ cm و یک اسلحه کلت قلبی می‌باشند که به ترتیب در زیر روکش صندلی و محفظه باتری جاسازی شده‌اند. در شکل ۱۰ الف تصویر ایکس بازگشتی یک موتورسیکلت بنزینی نشان داده شده است. نواحی مختلف موتورسیکلت و ساختار درونی آن روی شکل مشخص هستند. قسمت‌های مختلف موتور و سایر اجزای پلاستیکی وضوح خوبی دارند. در شکل هیچ‌گونه وسیله غیرمعمول که در موتورسیکلت جاسازی شده باشد دیده نمی‌شود. در شکل ۱۰ ب تصویر بازسازی شده با روش وردش نشان داده شده است. در شکل لبه‌ها کاملاً تیز شده و کنتراست بهبود یافته است و مسیر اسکن نیز نشان داده شده است. اجزای موتور واضح‌تر دیده می‌شوند.



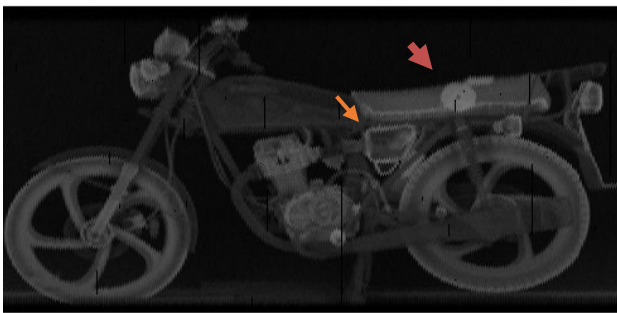
شکل ۸. الف) تصاویر ایکس بازگشتی برای تعیین کنتراست لایه‌ای، ب) تصاویر بازسازی شده آن‌ها.

مطابق شکل ۹ الف و ب پیکان و جهت آن در هر دو ضخامت دیده شده و حساسیت کنتراست ایزوله ۱٫۲ mm است. پیکان‌های قرمز رنگ مکان قرارگیری فانتوم در شکل را نشان می‌دهند. در شکل ۹ ب که پردازش شده را نشان می‌دهد، علی‌رغم دانه‌دانه شدن تصویر، لبه‌ها تیزتر شده و جزئیات بهتر دیده می‌شوند. هم‌چنین شکل پیکان کاملاً واضح شده و جهت آن بهتر تشخیص داده می‌شود. مقایسه تصاویر ردیف اول شکل ۹ نشان می‌دهد که تصویر پیکان برای ضخامت ۱٫۲ mm در شکل بازسازی شده (سمت چپ) کاملاً واضح‌تر از پرتونگاره اصلی (سمت راست) است.

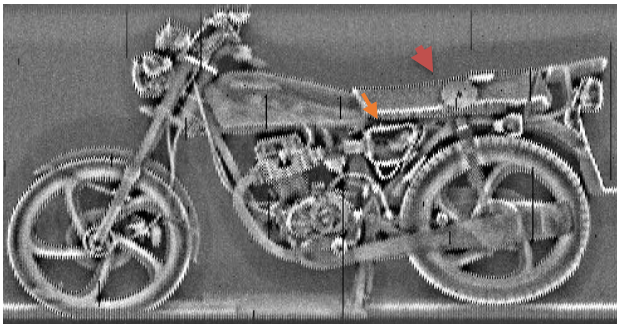
در جدول ۱ نتایج حاصل از آزمون‌ها برای تصاویر اصلی و بازسازی شده آورده شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که اگرچه تصاویر بازسازی شده به علت حذف اطلاعاتی از تصویر نویزی به نظر می‌رسد ولی نواحی لبه را تیزتر نشان می‌دهد و می‌تواند در تشخیص جسم آزمون کمک کند. با توجه به جدول دیده می‌شود که تصاویر بازسازی شده اطلاعات بهتری در زمینه پارامترهای دستگاه داده‌اند.

هرچند در آزمون‌هایی مانند تشخیص سیم، پارامترهای استخراج شده در پرتونگاره‌های اصلی و بازسازی شده یکسان هستند ولی تصاویر نشان می‌دهند که به علت تیزشدگی لبه‌ها تشخیص سیم‌ها و جسم آزمون در تصاویر بازسازی شده راحت‌تر است.



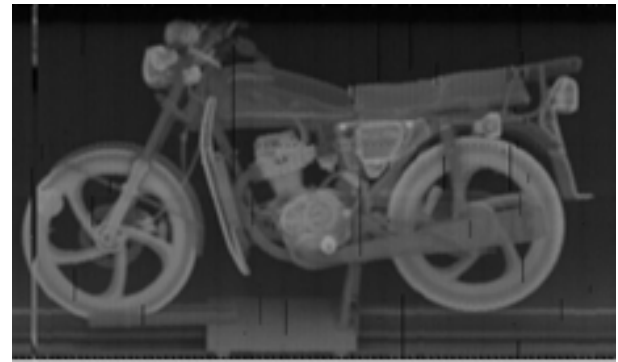


(الف)

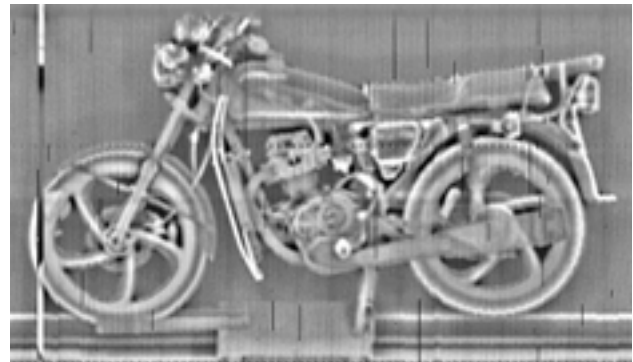


(ب)

شکل ۱۱. الف) تصاویر ایکس بازگشتی موتورسیکلت جاسازی شده، ب) تصاویر بازسازی شده آن.



(الف)



(ب)

شکل ۱۰. الف) تصاویر ایکس بازگشتی موتورسیکلت، ب) تصاویر بازسازی شده آن.

جدول ۲. نتایج ارزیابی متخصصین پرتونگاری برای پرتونگاره‌ها و تصاویر بازسازی شده

درصد امتیاز داده شده		
تصویر	پرتونگاره اصلی	تصویر بازسازی شده
قدرت تفکیک فضایی	۴۰	۵۰
تشخیص سیم	۴۰	۸۰
نفوذ	۲۰	۴۰
کنتراست لایه‌ای	۳۰	۵۰
کنتراست ایزوله	۴۰	۶۰
موتورسیکلت	۷۰	۹۰
موتورسیکلت جاسازی شده	۶۰	۹۰

۴. نتیجه‌گیری

در این تحقیق روش وردش برای بهبود تصاویر ایکس بازگشتی بررسی شده است. نتایج در دو قسمت ارزیابی با فانتوم‌های استاندارد و تصاویر کاربری سیستم ارائه شده است. در قسمت ارزیابی با فانتوم‌های استاندارد دیده می‌شود که تصاویر بازسازی شده به علت داشتن لبه‌های تیزتر توانایی تشخیص بهتری در سیم و جسم آزمون دارند. برای بررسی توانایی کاربری سیستم یک موتورسیکلت با جاسازی موارد ممنوعه بررسی شد. نتایج نشان داد که سیستم می‌تواند این نوع اجسام را تشخیص دهد. متخصصین پرتونگاری تأیید کردند که در تصاویر بازسازی شده کنتراست بسیار خوبی حاصل شده که دقت تشخیص را بین

شکل ۱۱ الف همان موتورسیکلت نمایش داده شده و یک استوانه پلی‌اتیلنی به قطر ۱۰ سانتی‌متر و یک ترکیب مشابه ماده منفجره و اسلحه به ترتیب در زیر روکش صندلی و داخل محفظه باتری جاسازی شده‌اند. در شکل ۱۱ ب تصویر بازسازی شده موتورسیکلت نشان داده شده است. مقایسه دو شکل نشان می‌دهد که نواحی جاسازی شده در تصویر بازسازی شده بهتر از تصویر اصلی قابل تشخیص هستند. مکان اجسام جاسازی شده در شکل با پیکان مشخص شده‌اند. دسته اسلحه که پلاستیکی است با وضوح مناسبی از بدنه فلزی قابل تشخیص است. اجزا و قطعات به کار رفته در موتور مانند چرخ دنده‌ها نیز واضح‌تر دیده می‌شوند. برای ارزیابی نتایج تصاویر توسط سه فرد متخصص در زمینه پرتونگاری ارزیابی شدند. از کارشناسان خواسته شد به تصاویر امتیازی بین صفر تا ۱۰۰ بدهند و در امتیازدهی مواردی مانند آشکارسازی جسم آزمون، طرح کلی وسیله، اجسام جاسازی شده را مد نظر قرار دهند. متوسط امتیازات داده شده در جدول ۲ آورده شده است. نتایج جدول نشان می‌دهد که تصاویر بازسازی شده حدود ۳۰٪ امتیازات بهتری نسبت به تصاویر اصلی پرتونگاری ایکس بازگشتی دارند و کارشناسان بهبود تصاویر را تأیید کرده‌اند.



8. L. Xu, et al, *Structure Extraction from Texture via Relative Total Variation*, (SIGGRAPH Asia 2012), 2012. DOI 10.1145/2366145.2366158, <http://doi.acm.org/10.1145/2366145.2366158>, <http://www.cs.uwa.edu.au/pub/robvis/papers/p/denoise.ps.gz>.
9. L.I. Rudin, S. Osher, E. Fatemi, *Nonlinear total variation based noise removal algorithms*, *Physica D: nonlinear phenomena*, **60(1-4)**, 259-268 (1992).
10. T. Goldstein, S. Osher, *The split Bregman method for L1-regularized problems*, *SIAM Journal on Imaging Sciences*, **2**, 323-3432 (2009).
11. B. Xiong, M. Zhang, *Adaptive Sparse Norm and Nonlocal Total Variation Methods for Image Smoothing*, *Mathematical Problems in Engineering*, (2014), Article ID 426125 | <https://doi.org/10.1155/2014/426125>.
12. P. Zhou, et al, *Directional relative total variation for structure–texture decomposition*, *IET Image Processing*, **13(11)**, 1835-1854 (2019), <https://doi.org/10.1049/iet-ipr.2018.5.133>.
13. A. Bayat, M. Roshan, S. Jamili, P. Ghorbani, Z. Alipour, *Design and construction of flying spot x-ray system*, *Iran Physics Conference*, (2018).

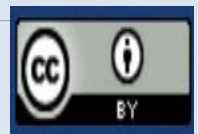
۲۰٪ تا ۴۰٪ برحسب مورد اعمال شده بالا می‌برد. در بررسی نتایج باید دقت داشت که به علت اعمال روش وردش اطلاعاتی از تصویر حذف می‌شوند و تصویر خروجی با تصویر اولیه متفاوت و شاید نویزی‌تر دیده شود، با این حال به علت تیزتر شدن لبه‌ها و رفع نسبی مات شدگی، نواحی مورد نظر در تصویر بازسازی شده بهتر دیده می‌شوند. نتایج نشان می‌دهد که روش وردش می‌تواند به عنوان یک روش کمکی در شناسایی مواد ممنوعه در بازرسی‌ها کمک کند.

مراجع

1. M.D. Herr, et al., *A Flying Spot X-Ray System for Compton Backscatter Imaging*, *IEEE Transactions on Medical Imaging*, **13**, 3, September (1994).
2. L. Kaufman, et al., *An Evaluation of Airport X-ray Backscatter Units Based on Image Characteristics*, *J. Transp. Secur.*, **4**, 73-94 (2011).
3. N. Wrobel, et al., *Innovative X-ray Backscatter Technique for Security Applications Detection of Dangerous Materials*, *11th European Conference on Non-Destructive Testing*, ECNDT (2014).
4. D. Shedlock, et al., *X-ray Backscatter Imaging for Aerospace Applications*, *AIP Conf. Proc.* **1335**, 509-516 (2011).
5. B. Yang, et al, *Design of x-ray backscatter imaging system for vehicle detection*, *Proc. SPIE. 11542, Counterterrorism, Crime Fighting, Forensics, and Surveillance Technologies IV*, (2020).
6. S. Yuk, et al., *Detection of Buried Landmine with X-ray Backscatter Technique*, *Nucl. Instru. and Meth. A*, **568**, 388-392 (2006).
7. Iranian national standard No. 22651, *Radiation protection instrumentation - cargo/vehicle radiographic inspection system*, INSO, (2018).

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

مطهره عظیمی، عفت یاحقی، محسن روشن، اسمعیل بیات، مهدی میرزاپور، امیر موافقی، بهروز رکرک (۱۴۰۲)، بهبود کیفیت تصاویر پرتوهای ایکس بازگشتی با روش وردش، ۱۰۳، ۱۲۱-۱۲۹

DOI: 10.24200/nst.2022.1322

Url: https://jonsat.nstri.ir/article_1322.html

