



## به کارگیری روش استخراج شکل از سایه برای بهبود عیب‌یابی در پرتونگاره‌های جوش

عفت یاحقی<sup>۱</sup>، امیر موافقی\*<sup>۲</sup>، نورالدین محمدزاده<sup>۲</sup>

۱. گروه فیزیک، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی، صندوق پستی: ۳۴۱۴۹-۵۵۹۹، قزوین - ایران

۲. گروه پژوهشی ایمنی هسته‌ای و حفاظت پرتوی، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی، صندوق پستی: ۸۳۶-۱۴۳۹۵، تهران - ایران

**چکیده:** پرتونگاری صنعتی یکی از مهم‌ترین روش‌های تشخیص عیب‌های جوشکاری است. در این روش عیب‌هایی چون تخلخل، سرباره و ترک با تفسیر فیلم پرتونگاری مشخص می‌شوند. عیب‌یابی از روی فیلم پرتونگاری به دقت و مهارت شخص پرتونگار مفسر فیلم و کیفیت فیلم‌های پرتونگاری بستگی دارد. اگر پرتونگاره‌های تهیه شده با روش پرتونگاری صنعتی وضوح مطلوبی نداشته باشند، تشخیص دقیق عیب‌های آن‌ها مشکل خواهد بود و در برخی مواقع معمولاً این تصویرها کیفیت لازم را نداشته، دارای نوفه‌ی زیاد و تضاد پایینی هستند. در نتیجه روش‌هایی مورد نیاز است که بتوان این عیب‌ها را دقیق‌تر بررسی و مشخص کرد. استفاده از روش‌های پردازش تصویر برای دست‌یابی به این امر بسیار مناسب است؛ به ویژه روش‌های مبتنی بر استخراج بعد سوم تصویرها می‌تواند برای این منظور به کار رود. با توجه به این که چشم انسان به دیدن اجسام سه‌بعدی عادت دارد و می‌تواند عمق را نیز تشخیص دهد استخراج بعد سوم روش مؤثری در ارزیابی و تشخیص عیب‌ها است. در این پژوهش با استفاده از روش استخراج شکل از روی سایه که بر مبنای سه‌بعدی‌سازی تصویر است عیب‌ها در پرتونگاره‌ها برجسته شدند تا به سهولت به وسیله‌ی مغز انسان قابل تشخیص و تفسیر باشند. این روش بر تصویرهای دوبعدی حاصل از پرتونگاری اعمال و تصویرهای سه‌بعدی آن ساخته شد. برای ارزیابی روش از نظرهای مفسرهای فیلم‌های پرتونگاری صنعتی استفاده شد. نتیجه‌های حاصل از نظرسنجی آن‌ها نشان داد که استفاده از این روش در تشخیص عیب‌های مختلف جوشکاری مفید است و تشخیص نواحی عیب‌ها با استفاده از این روش تا حد زیادی بهبود یافته است.

**کلیدواژه‌ها:** استخراج شکل از سایه، پردازش تصویر، پرتونگاری صنعتی، عیب‌های جوش

## Implement of shade from shading method for improvement of weld defect detection in radiographic images

E. Yahaghi<sup>1</sup>, A. Movafeghi\*<sup>2</sup>, N. Mohammadzadeh<sup>2</sup>

1. Physics Department, Imam Khomeini International University, P.O.Box: 34149-5599, Qazvin – Iran

2. Nuclear Safety and Radiological Protection Research Group, Nuclear Science and Technology Research Institute, AEOL, P.O.Box: 14395-836, Tehran – Iran

**Abstract:** Industrial Radiography is one of the most important methods to detect weld defects such as porosity, slag and crack. The interpretation of radiographic films characterizes the weld defects. The defect detection depends on radiographic film quality and the expert of interpreter. If the provided images of the industrial radiography are not clear, the detection of the defect can be difficult. But the radiographic image is usually noisy and has low quality. Thus, it is required to use methods that can detect the defect accurately. The use of image processing techniques is available to achieve this aim. It is noticed that human eye is used to see objects in three dimensions and can also detect the depth. Thus, in this research, the shape from the shading (SFS) method is applied for two-dimensional radiographic images to extract three-dimensional ones. For the evaluation, the experts' opinions in radiography have also been considered. The results of comments indicate that using the SFS method is valuable to improve the defects detection in weld radiography.

**Keywords:** Shape from shading, Image processing, Industrial radiography, Defect of weld

\*email: amovafeghi@aeoi.org.ir



## ۱. مقدمه

عیب‌های جوشکاری می‌توانند از عامل‌های مختلفی مانند مواد مصرفی نامناسب، عدم مهارت جوشکار و غیره ناشی شوند. عدم اتصال در جوش یا منطقه‌هایی که تحت تأثیر حرارت بالا قرار می‌گیرند باعث ایجاد تخلخل، پس‌مانده‌های سرباره یا انواع ترک‌ها می‌شوند. برخی از این عیب‌ها را می‌توان به راحتی با چشم غیرمسلح هم مشاهده کرد، ولی عیب‌های داخلی و ریز عمدتاً با روش‌های خاصی مانند پرتونوگرافی و فراصوتی موسوم به روش‌های غیرمخرب، قابل تشخیص هستند. این عیب‌ها بر روی استحکام قطعه‌های جوشکاری شده تأثیر دارند؛ شناسایی و اصلاح عیب‌ها، در طول عمر قطعه‌ها و کارکرد آن‌ها بسیار مؤثر است. یکی از روش‌های متداول برای شناسایی عیب‌های جوش، آزمایش رادیوگرافی (پرتونوگرافی جوش) است که به اختصار RT نامیده می‌شود. در این روش که یکی از پرکاربردترین روش‌های کنترل است، از پرتوهای ایکس و گاما برای شناسایی عیب‌های درون قطعه استفاده می‌شود. این پرتوها دارای طول موج‌های بسیار کوتاه هستند و به همین دلیل از انرژی بالایی برخوردار بوده و قدرت نفوذ و عبور از درون قطعه را دارند. عبور این پرتوها از هر محیطی با تضعیف و جذب قسمتی از آن به وسیله محیط همراه است. میزان تضعیف به عامل‌های مختلفی چون چگالی و ساختار محیط و هم‌چنین نوع، شدت و انرژی فوتون پرتو بستگی دارد [۱، ۲، ۳]. هر گونه عیب که چگالی متفاوتی با قطعه دارد باعث تغییر در میزان پرتو عبوری از قطعه می‌شود. با استفاده از فیلم پرتونوگرافی اثر این پرتوها ثبت شده و پس از ظهور فیلم می‌توان به شناسایی و تفسیر عیب‌ها پرداخت.

فیلم پرتونوگرافی، پس از برخورد پرتو، به هنگام ظهور و ثبوت سیاه می‌شود و قسمت‌هایی که پرتو بیش‌تری دریافت کرده تیره‌تر و قسمت‌هایی که پرتو کم‌تری دریافت کرده روشن‌تر خواهد شد. عیب‌هایی چون نفوذ ذرات تنگستن و یا ذرات مس ناشی از الکترودهای جوشکاری در آلیاژهای فولاد و آلومینیم که چگالی بالاتری از قطعه دارند، دارای ضریب جذب بیش‌تری هستند و شدت پرتو عبوری را بیش‌تر کاهش می‌دهند؛ در نتیجه این نقاط اثر روشن‌تری بر روی فیلم می‌گذارند و یا بالعکس عیب‌هایی مانند حفره و ترک که نسبت به قطعه دارای چگالی کم‌تری هستند اثر تیره‌تری بر روی فیلم می‌گذارند. با تفسیر دقیق

فیلم و آشنایی با فرایند انجام شده بر روی قطعه می‌توان در مورد عیب‌های احتمالی موجود در درون قطعه اظهارنظر نمود. در پرتونوگاره‌ها عامل‌های زیادی باعث مخدوش شدن تصویر و کاهش تضاد آن می‌شود که مشکلاتی را برای تفسیر فیلم به وجود می‌آورد [۴، ۵، ۶].

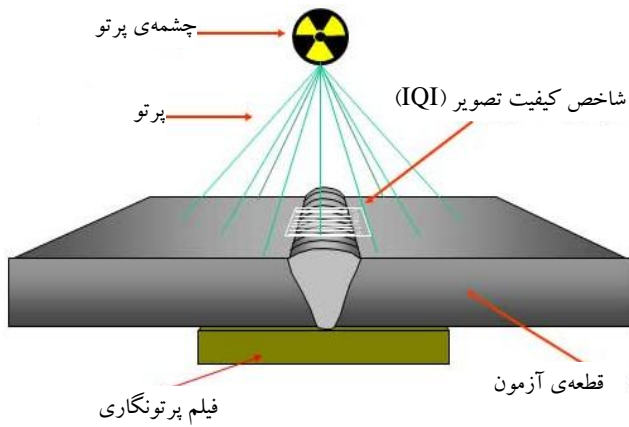
در سال‌های اخیر استفاده از پرتونوگرافی در تشخیص عیب‌های جوش، پیشرفت‌های مهمی داشته است. استفاده از پرتونوگرافی رقمی برای بهبود کیفیت پرتونوگاره‌ها با روش‌های پردازش تصویر، استخراج ویژگی‌های تصویر در راستای مشخص کردن عیب‌ها از جمله‌ی این پیشرفت‌ها هستند. یکی از روش‌های نسبتاً قدیمی‌تر تهیه‌ی تصویر رقمی استفاده از پوشش‌گرهای مخصوص فیلم‌های پرتونوگرافی است که با توجه به استانداردهای موجود انجام می‌شود. ولی اشکال این روش افت کیفیت تصویر بر اثر نوفه است [۶، ۷، ۸، ۹].

برای بهبود کیفیت پرتونوگاره‌ها از روش‌های مختلف پردازش تصویر از جمله روش‌های مبتنی بر خصوصیت‌های مکانی و بسامدی هر عنصر تصویر و غیره می‌توان استفاده کرد. در این پژوهش با توجه به حساسیت چشم انسان در تشخیص تصویرهای سه‌بعدی از روش استخراج شکل از سایه برای افزایش وضوح عیب‌ها در پرتونوگاره‌های صنعتی استفاده شده است. در این روش که به نوع و انرژی تابش، هندسه و ضریب بازتابش سطح بستگی دارد، مقدار پرتو بازتابیده برای هر عنصر تصویر تعیین می‌شود که با کنار هم گذاشتن این اطلاعات تصویر سه‌بعدی حاصل می‌شود [۱۰، ۱۱]. در این پژوهش تصویرهای دوبعدی به دست آمده از پرتونوگرافی، با استفاده از روش سه‌بعدی‌سازی تصویر براساس چگونگی تابش و بازتابش پرتو (لامبرتین)، برجسته‌سازی شدند تا عیب‌ها در آن‌ها به صورت سه‌بعدی آشکار شده و بهتر تفسیر شوند [۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵].

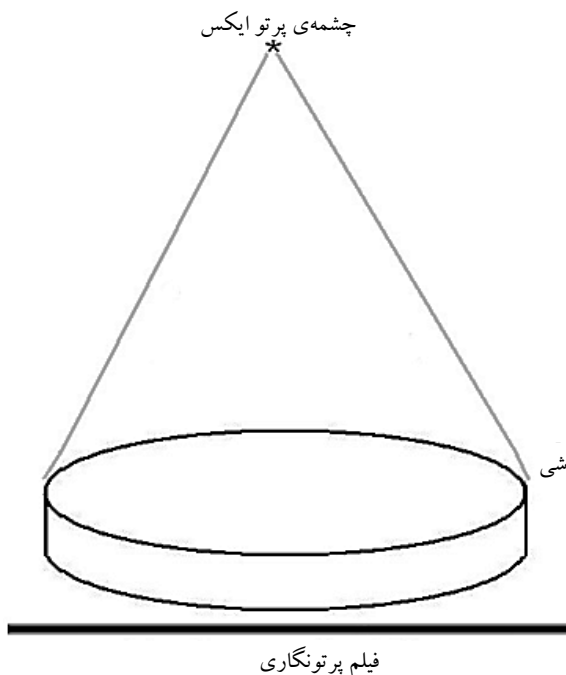
## ۲. روش‌ها

### ۱.۲ پرتونوگرافی صنعتی

پرتونوگرافی صنعتی، از جمله روش‌های غیرمخرب محسوب می‌شود. در این روش برای بررسی ساختار عمق مواد و تشخیص عیب‌های محصول‌های ساخته شده، از پرتو ایکس و گاما (ی-۱۹۲ Ir و  $^{60}\text{Co}$ ) با قابلیت نفوذ در مواد استفاده می‌شود؛ برای استفاده از



شکل ۱. طرح‌واره‌ی پرتونگاری صنعتی.



شکل ۲. طرح‌واره‌ی چیدمان آزمایش پرتونگاری.

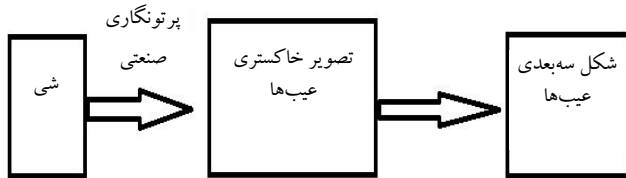
فن‌های پرتونگاری چگونگی انجام عمل پرتونگاری و تنظیم پارامترهای مختلف پرتونگاری برای رسیدن به هدف مورد نظر که همان تصویر مطلوب است را بیان می‌کند. بحث فنی پرتونگاری یک بحث پیچیده و مفصل است. در کلیه‌ی آزمایش‌های پرتونگاری شامل انجام پرتونگاری، ظهور، ثبوت فیلم، تفسیر و رقمی کردن فیلم، استانداردهای سری ISO، ASTM و ASME در نظر گرفته می‌شوند تا کلیه‌ی آزمایش‌ها و نتایج حاصل تکرارپذیر باشند. در کلیه‌ی آزمایش‌های پرتونگاری، ایمنی و حفاظت در برابر پرتو مطابق با قانون حفاظت در برابر اشعه‌ی کشور و استاندارد ملی شماره ۷۷۵۱ (که توسط سازمان

پرتو گاما، ماده‌ی پرتوزا در درون دستگاهی به نام پروژکتور گاما یا دوربین گاما طوری قرار داده می‌شود که پرتوهای گسیل شده به سمت قطعه هدایت شده و پس از عبور از قطعه با فیلم پرتونگاری برخورد نمایند. شکل ۱ طرح‌واره‌ی پرتونگاری صنعتی را نشان می‌دهد.

پرتو ایکس و گاما موج‌های الکترومغناطیسی هستند. انرژی این موج‌ها معمولاً در گستره‌ی چند کیلوالکترون ولت تا مگا الکترون ولت تغییر می‌کند که معادل طول‌موج‌هایی در محدوده‌ی نانومتر است. در شکل ۲ چیدمان آزمایش پرتونگاری نشان داده شده است. شدت پرتو عبوری از یک ماده که به احتمال برهم کنش فوتون با ماده در واحد طول ماده یا  $\mu$  بستگی دارد این است [۴، ۳، ۲، ۱]

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (1)$$

که در آن،  $I_0$  شدت پرتو تابشی،  $I$  شدت پرتو خروجی،  $x$  ضخامت ماده، و  $\mu$  ضریب تضعیف خطی و یا ضریب جذب است. در موارد عملی که ضخامت قطعه نسبتاً زیاد است، پراکندگی پرتو نقش عمده‌ای پیدا می‌کند. این پراکندگی پرتو که با ضریب انباشت<sup>(۱)</sup> نشان داده می‌شود باعث افزایش برخورد پرتو به فیلم می‌شود. باید توجه کرد که در عمل مقدار  $\mu$  ثابت نیست و تابعی از شکل، طیف پرتو، هندسه‌ی به کار رفته، نوع ضخامت ماده است. بنابراین در اجسام غیرمسطح و انحنادار مانند لوله‌ها و هم‌چنین در ضخامت‌ها و سطح‌های بزرگ‌تر مقدار آن تغییر می‌کند و باید از روش‌های دیگری برای تقریب  $\mu$  استفاده کرد. در این حالت‌ها فاصله‌ی چشمه تا جسم و هم‌چنین مسافتی که پرتو درون جسم می‌پیماید، در قسمت‌های مختلف جسم یکسان نیست. یکی از روش‌های متداول در این حالت‌ها استفاده از  $\mu$  مؤثر یا  $\mu_{eff}$  است. در ناحیه‌ی عیب مقدار  $\mu_{eff}$  و میزان عبور پرتو از ماده تغییر می‌کند و بسته به نوع عیب مقدار تابش رسیده به فیلم تغییر می‌کند. تیرگی و یا روشنی فیلم در این ناحیه عیب را نشان می‌دهد. تصویرهای تهیه شده به علت وجود نوفه‌ی بالا و تضاد پایین معمولاً واضح نیستند و نیاز به پردازش دارند.



شکل ۳. طرح‌واره‌ی روش به دست آوردن شکل از سایه.

برای پیاده‌سازی این روش باید چهار پارامتر، از یک تصویر خاکستری باید محاسبه و یا در نظر گرفته شود [۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵]،

- شدت روشنایی که به وسیله‌ی آن موقعیت، جهت و توزیع طیف انرژی (جهت پرتو و نوع چشمه از نظر نقطه‌ای بودن و ...) تعریف شده است؛
- چگونگی عبور پرتو از جسم، که به نوع ماده و ضریب جذب آن بستگی دارد؛
- هندسه و شکل سطح جسم؛
- جهت تابش و نوع پرتو تابشی.

بردار عمود بر سطح تصویر در هر نقطه‌ی  $(x, y, z)$  به شکل  $n = [n_x, n_y, n_z]$  تعریف می‌شود. در این جا محاسبه‌ها در مختصات کروی انجام می‌شود. بنابراین برای هر نقطه باید زاویه‌ی  $\theta$  و  $\phi$  مشخص شوند به عبارتی بردار عمود بر سطح در این مختصات  $n = [\cos \phi \sin \theta, \sin \phi \sin \theta, \cos \theta]$  است. بردارهای  $(p, \phi)$  و  $(q, \theta)$  شیب صفحه‌هایی هستند که می‌توانند بردار یکه را مشخص کنند. برای یک سطح، دو شیب  $p$  و  $q$  در نقطه‌ی مشخص  $(x, y, z(x, y))$  و در دو جهت  $x$  و  $y$  چنین به دست می‌آید

$$p = \frac{\partial Z(x, y)}{\partial x} \quad q = \frac{\partial Z(x, y)}{\partial y} \quad (2)$$

و بردار یکه در این نقطه، که از تقسیم بردار بر اندازه‌ی آن به دست می‌آید، این است

$$n = \frac{[-p, -q, 1]}{\sqrt{p^2 + q^2 + 1}} \quad (3)$$

انرژی اتمی ایران مطابق استانداردهای جهانی مصوب شده است) رعایت می‌شود [۷، ۸، ۹]. در جدول ۱ تنظیم‌های لازم برای پرتونگاری آورده شده است. برای پرتونگاری از دستگاه مولد پرتو ایکس صنعتی مدل Eresco ۶۵ MF۲ ساخت Pantak-Seifert با بیشینه‌ی انرژی  $300 \text{ keV}$  استفاده شده است و با توجه به حفاظ مناسب و فضای نسبتاً بزرگ آزمایشگاهی، باریکه‌ساز به کار گرفته نشده است.

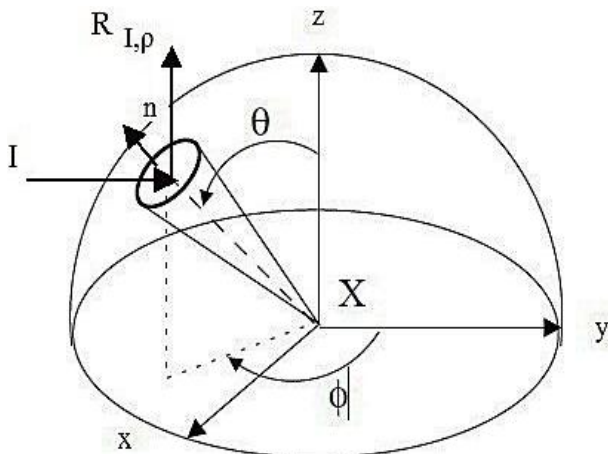
## ۲.۲ طرح به دست آوردن شکل از سایه

همان‌طور که پیش از این اشاره شد چشم انسان نسبت به عمق اجسام حساس است و می‌تواند اشیا سه‌بعدی را تشخیص دهد. بنابراین از مشاهده‌ی تصویرهایی که دارای اطلاعات عمق هستند درک قابل توجهی دارد. تصویرهای جوش در پرتونگاری صنعتی تصویرهای خاکستری رنگ دویعدی به دست آمده از اجسام سه‌بعدی بوده و دارای اطلاعات عمق هستند. بنابراین استفاده از روشی که بتواند تصویرهای دویعدی موجود را پردازش کرده و از آن‌ها تصویرهای سه‌بعدی استخراج کند، مفید است. یکی از این روش‌ها به دست آوردن شکل از روی سایه است که در پردازش تصویر کاربرد زیادی دارد. در این روش اطلاعات پرتو بازتابیده مورد توجه است ولی در پرتونگاری صنعتی اطلاعات حاصل از پرتو ایکس و یا گامای عبوری بهره‌برداری می‌شود.

در طرح به دست آوردن شکل از سایه اساس کار این است که چگونه با استفاده از اطلاعات تصویر طبقه‌ی خاکستری<sup>(۲)</sup> یک جسم می‌توان تصویر سه‌بعدی از آن را به دست آورد. در شکل ۳ طرح این روش نشان داده شده است که با توجه به بازیابی اطلاعات ورودی تصویر خاکستری، اطلاعات برای تشکیل یک تصویر با عمق استخراج می‌شود.

جدول ۱. تنظیم‌های پرتونگاری

ولتاژ لوله (کیلوولت)	جریان آند (میلی‌آمپر)	زمان پرتو دهی (ثانیه)	فاصله‌ی لوله تا نمونه (سانتی‌متر)	فاصله‌ی فیلم تا نمونه (میلی‌متر)	نوع فیلم پرتونگاری
۱۸۰	۳	۳۰۰	۱۱۰	۱	کوداک AA-۴۰۰



شکل ۴. پرتو تابشی I و بازتابشی R در مختصه‌های کروی.

برای بازسازی تصویرهای پرتونگاری جوش با استفاده از روش معرفی شده در بخش ۲.۲، ابتدا تصویرهای رقمی با استفاده از برنامه‌ی نوشته شده با نرم‌افزار MATLAB باز و مقدارهای عنصرهای تصویر در داخل یک ماتریس ریخته شد. در ادامه برای بازیابی ضخامت، شیب‌های p و q در دو جهت X و Y، و بردار یکه طبق رابطه‌ی ۴ محاسبه و روش، طبق رابطه‌ی ۵ برای ماتریس به کار گرفته شد. ضریب بازتابش ۰.۵ و بردار  $I = [0, 0, 1]^T$  در راستای محور Zها که هم‌راستای پرتو ایکس و گاما بود در نظر گرفته شد. تغییر ضریب بازتابش و جهت تابش باعث روشن و تاریک شدن تصویر می‌شود. در این پژوهش با توجه به اصول پرتونگاری، جهت تابش در راستای محور Zها در نظر گرفته شد. این روش نسبتاً سریع است و برای تصویرهایی با تعداد  $256 \times 256$  جز تصویری در عمق ذره‌ای  $16^{(4)}$  بیتی بر روی کامپیوترهای شخصی به راحتی قابل پیاده شدن است. در شکل ۵ نمونه‌هایی از تصویرهای اولیه و بازسازی شده نشان داده شده‌اند. مشاهده می‌شود که تصویر بازسازی شده واضح‌تر و عیب‌ها در آن مشخص‌تر است. مقایسه‌ی تصویرها نشان می‌دهد که عیب‌هایی مانند ترک و تخلخل در تصویرهای بازسازی شده واضح‌تر هستند و حتی به علت عمق تصویر شکل عیب نیز بهتر قابل تشخیص است. بررسی‌ها نشان می‌دهند که تصویرها با تضاد بالا به این روش بهتر پاسخ می‌دهند و بسیاری از عیب‌های ریز که در تصویرهای اصلی به سادگی قابل تشخیص نیستند، در تصویرهای بازسازی شده قابل مشاهده هستند.

برای پرتو تابشی I (که جهت آن با استفاده از مختصه‌های کروی مشخص می‌شود) و یک سطح با ضریب بازتابش p، پرتو بازتابنده R (شکل ۴) چنین به دست می‌آید

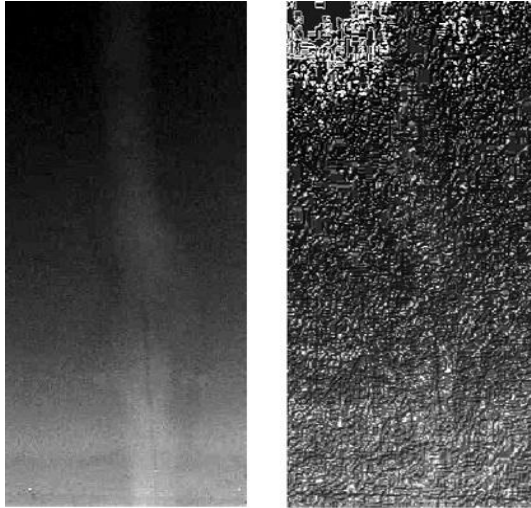
$$R_{I,p} = \rho I^T n = \rho I^T \frac{[-p, -q, 1]}{\sqrt{p^2 + q^2 + 1}} \quad (4)$$

که در آن،  $I^T$  ماتریس ترانهاده‌ی جهت اولیه‌ی پرتو است. با داشتن اطلاعات  $\rho$  و I، چگالی هر عنصر تصویر که متناسب با مقدار پرتو بازتابیده است محاسبه می‌شود. در حالت کلی، روش استخراج شکل از سایه یک روش بدرفتار<sup>(۳)</sup> است که به اطلاعات اولیه‌ی راستای پرتو، ضریب تابش سطح و شرایط مرزی بستگی دارد.

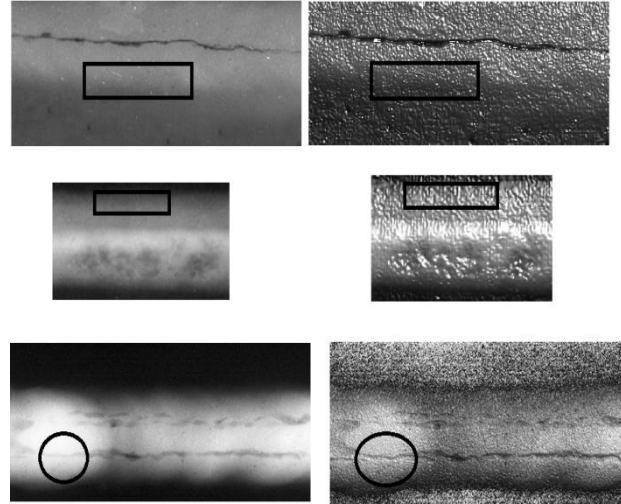
در عبور پرتو ایکس و گاما از ماده، انتقال پرتو مهم است که به ضریب عبور مواد و زاویه‌ی برخورد پرتو بستگی دارد. در این پژوهش به جای محاسبه‌ی پرتو بازتابیده، از این رابطه‌ها برای محاسبه‌ی پرتو انتقالی به مواد استفاده شده و با همین روش تصویرهای سه‌بعدی نشان‌دهنده‌ی عمق به دست آمده است. برای محاسبه‌ها از بسته نرم‌افزار ۷/۱۱ / ۲۰۱۰ Matlab استفاده شده است.

### ۳. نتایج و بحث

تشخیص عیب‌های جوش در برخی پرتونگاره‌های صنعتی به علت پراکندگی فوتونی و عامل‌های دیگری مانند نوفه‌ی زیاد و تضاد کم مشکل است و استفاده از روش‌های پردازش تصویر که بتواند عیب‌ها را واضح‌تر کند متداول است. در این جا از روش استخراج شکل از سایه برای تشخیص بهتر عیب‌ها در پرتونگاره‌های صنعتی استفاده شده است. در این روش از روی سایه‌ی تصویر با توجه به اطلاعات اولیه‌ی راستای پرتو تابشی، ضریب بازتابش سطح که در این جا به جای آن از ضریب عبور استفاده شده و هندسه‌ی شکل، میزان عبور پرتو از ماده مشخص شده است که می‌تواند عمق تصویر را نیز نشان دهد. با توجه به این که چشم انسان به تصویرهای نشان‌دهنده‌ی عمق حساس‌تر است عیب‌ها در این حالت واضح‌تر دیده می‌شوند.



**شکل ۶.** نمونه‌ای از نتیجه‌ها برای تصویر با کیفیت پایین: تصویر اصلی در سمت چپ و بازسازی شده در سمت راست قرار دارد.



**شکل ۵.** نمونه‌هایی از نتیجه‌های حاصل از بازسازی تصویر با استفاده از روش استخراج شکل از سایه: سمت چپ تصویرهای پرتونگاری عیب‌ها و سمت راست تصویرهای بازسازی شده عمق.

**جدول ۲.** تعداد و نوع عیب‌های فیلم‌های پرتونگاری تشخیص داده شده با

مشاهده‌ی تصویر بازسازی شده

نوع عیب و تعداد تشخیص	تعداد تشخیص درست	تعداد تشخیص نادرست
ترک (۱۳)	۹	۴
تخلخل (۳۸)	۳۵	۳
تخلخل خوشه‌ای (۵)	۳	۲
سایر موارد (۹)	۸	۱

در ادامه با نشان دادن هم‌زمان تصویرهای اصلی و بازسازی شده از مفسرین فیلم خواسته شد عیب‌ها را مشخص کنند. در این حالت سه وضعیت قابل بررسی بود:

الف) عیب‌هایی که در تصویرهای بازسازی شده و تصویرهای اصلی به وضوح قابل مشاهده بودند (برای مثال عیب‌های تخلخل و ترک شکل ۵)؛

ب) عیب‌هایی که در تصویرهای بازسازی شده به اشتباه دیده می‌شدند، نواحی‌ای که با علامت مربع روی شکل ۵ مشخص شده‌اند. این موارد بیش‌تر برجستگی‌های روی شکل است که تخلخل تشخیص داده شده است؛

ج) عیب‌هایی که در تصویر بازسازی شده واضح بود ولی در تصویر اصلی قابل مشاهده نبودند. مثالی از این نواحی بر روی شکل ۵ با دایره نشان داده شده است. شایان ذکر است که در تصویر اصلی این قسمت وضوح کافی ندارد و قابل تشخیص نیست. در این نظرخواهی نظر مفسرهای فیلم بهبود صددرصدی

علاوه بر آن، بررسی نتایج حاصل از این روش نشان می‌دهد در بعضی موارد که شیب روشنایی در تصویرها کم است، این روش نتیجه‌ی مناسبی را ارایه نمی‌دهد و تصویر حاصل دارای سطح‌هایی است که عیب در آن‌ها مشخص نیست و در برجستگی‌ها و فرورفتگی‌های تصویر محو شده است. در شکل ۶ نمونه‌ای از این تصویرها نشان داده شده است. در تصویر اصلی (پرتونگاری سمت چپ) عیب ترک به سختی قابل مشاهده است و با توجه به نوفه‌ی زیاد و کیفیت پایین تصویر عیب در تصویر بازسازی شده سمت راست نیز به سختی قابل تشخیص است.

برای ارزیابی کلی روش، نتایج حاصل از به کارگیری روش برای ۳۵ تصویر پرتونگاری صنعتی شامل عیب‌های ترک، تخلخل و غیره توسط هفت تن از مفسرهای پرتونگاری مشاهده و نظرهای آن‌ها در جدول ۲ ثبت شد. در ابتدا از این مفسرها خواسته شد که تنها با مشاهده‌ی تصویرهای بازسازی شده تعداد و نوع عیب‌ها را مشخص کنند. نتایج جدول ۲ نشان می‌دهد که بسیاری از موارد تشخیص داده شده به وسیله‌ی مفسرهای فیلم از روی تصویرهای بازسازی شده عیب نبوده است و اطلاعاتی که این تصویر به مفسر می‌دهد کافی نیست.



## مرجع‌ها

[1] T.J. Tarn, Sh.B. Chen, C. Zhou, (Eds) *Robotic Welding, Intelligence and Automation*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg (2007).

[2] Zh Guangjun, Y. Zhihong, W. Lin, *Reconstructing a three-dimensional P-GMAW weld pool shape from a two-dimensional visual image*, *Measurement Science and Technology*, 17(7) (2006) 1877, DOI:10.1088/0957-0233/17/7/028.

[3] K. Edalati, N. Rastkhah, A. Kermani, M. Seiedi, A. Movafeghi, *The use of radiography for thickness measurement and corrosion monitoring in pipes*, *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, Elsevier Pub., 83 (2006) 736-741.

[4] A. Movafeghi, M.H. Kargarnovin, H. Soltanian-Zadeh, M. Taheri, F. Ghasemi, B. Rokrok, K. Edaalati, N. Rastkhah, *Flaw detection improvement of digitized radiographs by morphological transformations*, *Insight-Non-Destructive Testing and Condition Monitoring*, 47 (10) (2005) 625-630.

[5] S.S Lee, *Thickness evaluation of pipes using density profile on radiographs*, in *10th Asia-Pacific Conference on Non-Destructive Testing*, Brisbane, Australia (2001) 17-21.

[6] ASME, *Digital image acquisition, display, interpretation and storage of radiographs for nuclear applications*, ASME Boiler and pressure vessel code and standard, Section 5, Article 2, Appendix 6, American Society of Mechanical Engineering (2004).

[7] EN 14096-1, *Non-destructive testing—Qualification of radiographic film digitization systems—part 1: Definitions, qualitative measurements of image quality parameters, standard reference film and qualitative control*, European Norm (2004).

[8] EN 14096-2, *Non-destructive testing—Qualification of radiographic film digitization systems—part 2: Minimum requirement*, European Norm (2004).

[9] Microtek, *Operation Manual of Scanmaker-1000 Scanner*, Microtek Co. (2005).

قابلیت تشخیص عیب‌ها برای تمام انواع آن است. طبق نظر این افراد مشخص شدن عمق و شکل عیب‌ها در تصویرهای بازسازی شده و محل آن‌ها در تصویرهای اصلی می‌تواند در تشخیص دقیق عیب‌ها مفید باشد. به طور کلی نتایج حاصل از ارزیابی نظرهای مفسرهای فیلم نشان داد که وضوح عیب‌ها در تصویرهای سه‌بعدی به علت عمق در تصویرها بیشتر است. از مزیت‌های دیگر این روش زمان انجام سریع آن در حد چند ثانیه است که کاربری آن را راحت می‌کند.

## ۴. نتیجه‌گیری

در این مقاله، از روش اصلاح شده‌ی استخراج شکل از سایه برای شناسایی عیب‌ها در پرتونگاره‌های صنعتی استفاده شده است. این روش مبتنی بر استخراج تصویر سه‌بعدی با استفاده از اطلاعات مربوط به عبور پرتو ایکس و گاما از ماده و ضریب تضعیف محیط مورد گذار است. با توجه به این که چشم انسان به تشخیص تصویرهای سه‌بعدی حساسیت بیشتری دارد نتایج نشان می‌دهند تشخیص عیب‌ها در تصویرهای سه‌بعدی نسبت به تصویرهای دوبعدی آسان‌تر است. شکل ظاهری عیب‌ها در این روش واضح‌تر است ولی سه‌بعدی شدن تصویرها باعث می‌شود بعضی از قسمت‌ها در تصویر به شکل عیب دیده شوند؛ بنابراین مشاهده‌ی هم‌زمان تصویر بازسازی شده و اصلی می‌تواند در تشخیص دقیق نوع و شکل عیب‌ها مفید باشد.

## پی‌نوشت‌ها

1. Build-up factor
2. Gray level
3. Ill posed
4. Bit depth



[10] Imperial College London MEng Individual Report A: A Study Of Statistical Methods For Facial Shape-from-shading, June 18 (2012).

[11] A. Ahmed, A. Farag, A new statistical model combining shape and spherical harmonics illumination for face reconstruction, in *Advances in Visual Computing, Lecture Notes in Computer Science*, 4841 (2007) 531-541.

[12] S. Barsky, M. Petrou, The 4-source photometric stereo technique for three-dimensional surfaces in the presence of highlights and shadows, *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, 25(10) (2003) 1239-1252 doi:10.1109/TPAMI.2003.1233898.

[13] S.Y. Yuen, Y.Y. Tsui, C.K. Chow, A fast marching formulation of perspective shape from shading under frontal illumination, *Pattern Recog. Letters*, 28(7) (2007) 806–824.

[14] R. Huang, W. Smith, A shape-from-shading framework for satisfying data-closeness and structure-preserving smoothness constraints, In *Proc. BMVC'09* (2009).

[15] P. Fletcher, C. Lu, S. Pizer, S. Joshi, Principal geodesic analysis for the study of nonlinear statistics of shape, *Medical Imaging, IEEE Transactions on*, 23(8) (2004) 995-1005, doi:10.1109/TMI.2004. 831793.