



## بهبود کیفی ناحیه‌های نقص در تصاویر پرتونگاری جوش با استفاده از روش موجک مبتنی بر آستانه‌گذاری تطبیقی

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

۱. پژوهشکده‌ی راکتور و ایمنی هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، صندوق پستی: ۱۳۳۹-۱۴۱۵۵، تهران - ایران  
۲. گروه فیزیک، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، کدپستی: ۳۴۱۴۸-۹۶۸۱۸، قزوین - ایران

**چکیده:** در این مقاله، از آستانه‌گذاری تطبیقی در روش موجک برای بهبود تصویرهای پرتونگاری صنعتی استفاده شده است. از آن‌جا که کیفیت تصویرهای پرتونگاری تأثیر زیادی در تشخیص دقیق‌تر نقص‌های جوش توسط کارشناس دارد بنابراین می‌توان با الگوریتم‌های پردازش تصویر قابلیت تشخیص نقص‌ها را بهبود بخشید. در این پژوهش از روش دو مرحله‌ای آستانه‌گذاری تطبیقی برای آشکارسازی ناحیه‌های نقص‌های جوش استفاده شده است. ابتدا تصویر با استفاده از تابع موجک مورد نظر به چند سطح تجزیه و ضرایب زیرنوارهای به دست آمده، توسط تابع آستانه‌گذاری، تصحیح شده و با اعمال تابع وارون موجک روی آن‌ها تصویر بازسازی شده به دست آمده است. در روش آستانه‌گذاری، برخلاف روش‌های معمول سطح زیر آستانه صفر نمی‌شود، بلکه با تابع چند جمله‌ای تضعیف می‌شود. از مزیت‌های این روش پیوستگی تابع و مشتق‌پذیری آن در سطح آستانه است. روش پیشنهادی بر روی چند فیلم پرتونگاری قطعه‌های استاندارد با نقص‌های مشخص اجرا شد؛ تصویرهای پردازش شده دارای کیفیت بالاتری نسبت به تصویرهای اولیه از نظر تشخیص نقص‌ها بودند. نتایج به دست آمده از ارزیابی کارشناسان نشان داد که ناحیه‌های نقص در تصویرهای پرتونگاری بازسازی شده با روش موجک بر مبنای آستانه‌گذاری تطبیقی واضح‌تر از تصاویر اولیه بوده و نقص در آن‌ها می‌تواند دقیق‌تر ارزیابی شود.

**واژه‌های کلیدی:** پرتونگاری، نقص‌های جوش، روش موجک، آستانه‌گذاری تطبیقی

## Quality Improvement of Defects Region in Weld Radiography Image by the Wavelet Method Based on Adaptive Thresholding

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

1. Reactor and Nuclear Safety Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, AEOL, P.O.Box: 14155-1339, Tehran – Iran  
2. Department of Physics, Imam Khomeini International University, Postcode: 34148-96818, Qazvin-Iran

**Abstract:** In this paper, adaptive thresholding at the wavelet transform is utilized for improving the industrial radiography images. The quality of radiographic images is a very effective parameter in the defect determining by the experts. Therefore, the defect detection capabilities can be improved by the image processing algorithms. In this research, two-stage adaptive thresholding method has been used to improve the contrast of the inspected areas. The radiographic image is decomposed to several sub-bands using the wavelet function and the obtained coefficients are corrected by the threshold function. Then, the inverse wavelet transform is applied for obtaining the corrected image. Unlike the usual methods, in the threshold function of this method, the coefficient of under the threshold level is not zero and weakened by the multi-polynomial function. The advantages of this method are the continuity and derivability at threshold level. The proposed algorithm is implemented to the several radiographs of standard welded objects with known defects. The results have been evaluated by industrial radiography experts and show that the defect regions are clearer in reconstructed images than the original radiograph according to the operator perception analysis. Mean while, the dimensions and style of defects can be evaluated more precisely by this method.

**Keywords:** Radiography, Weld Defects, Wavelet Method, Adaptive Thresholding

## ۱. مقدمه

فراوانی دارند. در آستانه‌گذاری سخت ضرایب بزرگ‌تر از آستانه بدون تغییر باقی می‌مانند و در آستانه‌گذاری نرم مقدار آستانه براساس مقدار داده تعیین می‌شود. در آستانه‌گذاری، تعیین سطح آستانه‌ی بهینه و نحوه‌ی اعمال الگوریتم آستانه‌گذاری مهم است. در تبدیل موجک قسمت عمده‌ی اطلاعات در چند ضریب موجک متمرکز هستند و بقیه‌ی ضرایب حاوی اطلاعات ناچیزی هستند ولی نوفه در تمام ضرایب گسترده است. بنابراین انتخاب آستانه‌ی مناسب برای هر ضریب می‌تواند به بهبود کنتراست تصویر و آشکارسازی ناحیه‌های نقص کمک زیادی کند [۱۱-۱۴]. روش "بیز" با انتخاب مدل مناسب برای تابع چگالی احتمال نتیجه‌های مطلوبی را در حذف نوفه می‌دهد [۱۵]. در این پژوهش، از روش‌های آستانه‌گذاری براساس روش تابع چگالی احتمال بیز و موجک برای بهبود تصویرهای پرتونگاری استفاده شده است.

## ۲. روش کار

### ۱.۲ تصویرهای پرتونگاری

پرتونگاری قطعه‌های جوشکاری شده با ولتاژ ۱۸۰ kV و جریان ۴ mA برای زمان پرتودهی ۳ دقیقه انجام شده است. فیلم استفاده شده از نوع کدک AA-۴۰۰ است. تصویرها با پوینده‌ی میکروتک<sup>(۱)</sup> پوینده شده و با فرمت TIFF [۱۶] ذخیره شده‌اند. از نرم‌افزار متلب<sup>(۲)</sup> برای انجام پردازش‌های دوبعدی بر روی این تصویرها استفاده شده است. در کلیه‌ی آزمایش‌های پرتونگاری شامل پرتودهی، ظهور و ثبوت، تفسیر و رقمی کردن فیلم استانداردهای سری EN ۱۴۰۹۶-۱ و EN ۱۴۰۹۶-۲ در نظر گرفته شده‌اند تا کلیه‌ی آزمایش‌ها ضمن تکرارپذیری نتایج یکسانی را به دست دهد [۱۷، ۱۸]. در کلیه‌ی آزمایش‌های پرتونگاری، مقررات و ضابطه‌های ایمنی و حفاظت در برابر اشعه مطابق با قانون حفاظت در برابر اشعه‌ی کشور و استاندارد ملی شماره ۷۷۵۱ (که توسط سازمان انرژی اتمی ایران مطابق استانداردهای جهانی مصوب شده است) رعایت شده است [۱۹، ۲۰].

برای تبدیل فیلم‌های پرتونگاری به قالب تصویرهای رقمی به منظور انجام عملیات پردازش تصویر و علامت از پوینده‌ی مخصوص فیلم استفاده شد. یکی از این نوع پوینده‌ها اسکن میکرو-۱۰۰۰- ایکس ال میکروتک<sup>(۳)</sup> است. این پوینده توانایی

آزمون‌های غیرمخرب از مهم‌ترین ابزارهای فنی برای بازرسی قطعه‌های مختلف جوشکاری شده هستند. در فرایند جوشکاری، شناسایی نقص‌های جوش در عملکرد قطعه‌ها و سازه‌ها اهمیت فراوانی دارد و تکنیک‌هایی مانند پرتونگاری که می‌تواند بدون تخریب و تغییر قطعه‌ها اطلاعات آن‌ها را مشخص نمایند اهمیت بیش‌تری دارند [۱-۳]. به دلیل پراش پرتو ایکس از ماده و سایر نوفه‌های الکترونیکی سیستم تصویرگیری، معمولاً تصویرهای ثبت شده همراه با نوفه بوده و در برخی مواقع از کیفیت لازم برخوردار نیستند. یا تصویر، مخدوش شده و تشخیص نقص‌ها را مشکل می‌کند. برای رفع این مشکل‌ها از روش‌های پردازش تصویر استفاده می‌شود [۴-۷].

اصولاً پردازش تصویر در حوزه‌های فضایی، بسامدی یا بسامدی- زمانی انجام می‌شود. پردازش تصویر در حوزه‌ی فضایی بیش‌تر با تبدیل‌های شدت روشنایی و فیلترگذاری فضایی، پردازش تصویر در حوزه‌ی بسامدی با عملیات فیلترگذاری، تبدیل فوریه و عکس آن و پردازش در حوزه‌ی بسامدی- زمانی با تبدیل‌های موجک بر روی تصویر انجام می‌شود. تبدیل موجک به عنوان روشی قدرتمند به منظور بازیابی اطلاعات از داده‌های نوفه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد [۶-۹]. این تبدیل در پردازش علامت‌های صوتی و تصویرهای پزشکی و صنعتی مانند سی تی و ام آر آی کاربرد بسیاری دارند. در این روش، تصویر که شامل علامت و نوفه است بر روی توابع پایه‌ی موجک تجزیه می‌شود. با تصحیح ضرایب‌های موجک به دست آمده براساس توابع مختلف می‌توان با عملگر عکس تبدیل موجک تصویر بازسازی شده‌ی مناسب را داشت. هم‌چنین در این روش امکان برآورد علامت در مقیاس‌ها و جهت‌های مختلف امکان‌پذیر است و بنابراین حفظ جزئیات و حذف نوفه به صورت هم‌زمان ممکن خواهد بود. ساده‌ترین روش حذف نوفه در حوزه‌ی موجک، آستانه‌گذاری است [۱۰]. در روش آستانه‌گذاری معمول سطح آستانه‌ی یکسان بر روی تمام ضرایب‌های موجک اعمال می‌شود که این امر باعث از بین رفتن اطلاعات مهم تصویر و ایجاد اعوجاج در آن می‌شود. انتخاب توابع آستانه‌گذاری و آستانه‌ی بهینه از موردهای مهم در حذف نوفه است. آستانه‌گذاری به صورت‌های نرم و سخت کاربرد

در این الگوریتم، ابتدا تصویر نوفه‌ای به چند سطح تجزیه می‌شود. سپس براساس قانون آستانه‌گذاری، ضریب‌های تبدیل موجک تصویر تغییر می‌یابند. نهایتاً وارون تبدیل موجک، تصویر بازسازی شده را نتیجه می‌دهد. آستانه‌ی سراسری در یک روش آستانه‌گذاری نرم به نام جمع شدن ویژو<sup>(۶)</sup> براساس نوفه چنین محاسبه می‌شود [۲۱]:

$$\text{thr} = \sigma \sqrt{2 \ln(H)} \quad (4)$$

که در آن،  $\sigma$  انحراف معیار نوفه و  $H$  طول علامت یا ابعاد تصویر هستند. روش‌های جمع شدن نرمال<sup>(۷)</sup>، جمع شدن سور<sup>(۸)</sup> و... نیز برای تخمین نوفه استفاده شده است. عمدتاً اطلاع دقیقی از نوع نوفه در دسترس نیست، ولی می‌توان آن را با استفاده از روش‌های تخمین نوفه، به دست آورد. در روش‌های تخمین نوفه تابع‌های مختلفی برای توزیع نوفه در تصویر در نظر گرفته می‌شود مانند تابع رایلی و گاوسی که با توجه به مقدار انحراف معیار و متوسط آن‌ها می‌توان مقدار تخمینی نوفه را به دست آورد [۲۲، ۲۳]. در آستانه‌گذاری‌های معمولی ضریب‌های موجک کوچک‌تر از سطح آستانه، صفر شده و تنها ضریب‌های موجک بزرگ‌تر از سطح آستانه باقی می‌مانند. اما در روش آستانه‌گذاری مرجع [۲۲]، ضریب‌های با اندازه‌ی کوچک‌تر از آستانه، صفر نشده بلکه با تابعی مانند تابع زیر تضعیف می‌شوند:

$$y = \eta(x, \text{thr}, k) = \begin{cases} y - \frac{\text{thr}^r \times k}{y} + (k-1) \text{ thr} & \text{thr} < y \\ \frac{k}{y} \left| y \right|^{\frac{k+r}{k}} & |y| \leq \text{thr} \\ y - \frac{\text{thr}^r \times k}{y} - (k-1) \text{ thr} & \text{thr} > -y \end{cases} \quad (5)$$

که در آن،  $y$  ضرایب موجک علامت نوفه‌ای و تابع  $\text{sign}$ ، تابع علامت است. تابع دارای یک پارامتر تنظیم شکل  $k$  است. تابع آستانه‌گذاری ارایه شده هنگامی که پارامتر تنظیم ( $\text{thr}$ ) آستانه-شکل آن به سمت صفر میل کند، به آستانه‌گذاری نرم میل

پوش مدارک در ابعاد  $A_3$  و با حداکثر قدرت تفکیک مکانی  $6400 \text{ dpi}$  و فیلم‌های با حداکثر چگالی نوری  $4$  را دارا بوده و عنصر حساس آن CCD است [۱۷]. طبق اکثر استانداردهای رقمی‌سازی فیلم‌های پرتونگاری، پوینده‌ی فیلم باید توانایی پوشش فیلم‌های پرتونگاری با کمینه‌ی چگالی نوری  $3/5$  را داشته باشد [۱۶]. برای درجه‌بندی و کنترل پوینده، از فیلم استاندارد  $IT8.7/1$  ساخت آگفا و هم‌چنین فیلم‌های پله‌ای درجه‌بندی ایکس-رایت<sup>(۴)</sup> و بام<sup>(۵)</sup> استفاده شده است [۱۷، ۱۸].

## ۲.۲ حذف نوفه در حوزه‌ی موجک با آستانه‌گذاری تطبیقی

در حذف نوفه با استفاده از روش آستانه‌گذاری در موجک باید به خواص اولیه‌ی این تبدیل توجه کرد. در این تبدیل، اطلاعات اصلی علامت یا تصویر در چند ضریب فشرده‌سازی شده و دیگر ضریب‌ها اطلاعات کمی از تصویر را دارند. با توجه به این خاصیت می‌توان با استفاده از آستانه‌گذاری، اطلاعات اصلی را حفظ و نوفه را حذف کرد [۱۳-۱۵].

تصویر دارای نوفه‌ی  $Y(x,y)$  با ابعاد  $M$  و  $N$  را می‌توان چنین تعریف کرد:

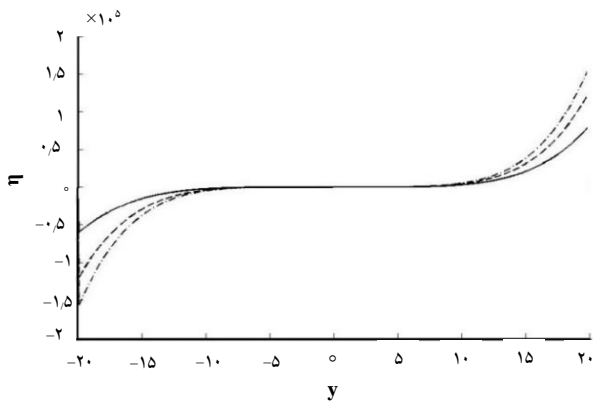
$$Y(x,y) = I(x,y) + n(x,y) \quad (1)$$

که در آن  $I$  تصویر اصلی و  $n$  مؤلفه‌ی نوفه هستند، به‌طور مشابه برای مؤلفه‌های موجک تصویر می‌توان داشت:

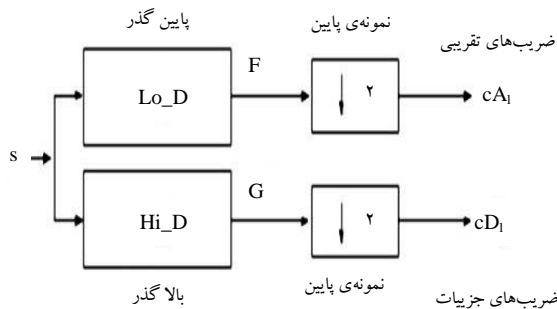
$$y_i(x,y) = I_i(x,y) + n_i(x,y) \quad i = 1, 2, \dots, H \dots \quad (2)$$

که در آن،  $I_i$  مؤلفه‌های موجک علامت اصلی و  $n_i$  مؤلفه‌های نوفه‌اند.  $H$  تعداد سطح‌های تجزیه‌ی موجک است. هدف از حذف نوفه، کمینه نمودن خطای میانگین مربعات  $y_i(x,y)$  است. بدین معنی که در نهایت باید اختلاف تصویر اصلی  $I$  و بازسازی شده  $\hat{I}$  به کم‌ترین مقدار ممکن برسد. اگر خروجی تابع آستانه‌گذاری در حوزه‌ی موجک باشد، مقدار خطا از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

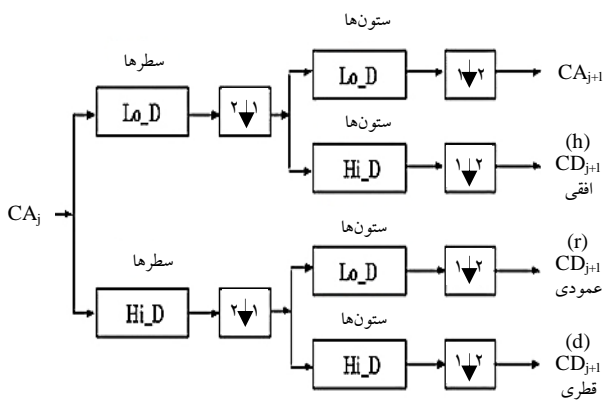
$$e(\hat{I}, I) = \frac{1}{P} E \|\hat{I} - I\|^2 = \frac{1}{P} \sum_{i=1}^H (\hat{I}_i - I_i)^2 \quad (3)$$



شکل ۱. تابع تغییرات  $\eta$  برحسب ورودی  $y$  به ازای  $k$ های: (الف) ۰٫۵ (خط و نقطه)، ۰٫۵۱ (خط چین) و ۰٫۵۳ (خط).



شکل ۲. روندنمای تبدیل موجک یک‌بعدی.



شکل ۳. روندنمای تبدیل موجک دوبعدی.

LL	HL <sub>r</sub>	HL <sub>r</sub>	HL <sub>l</sub> (جزئیات افقی)
LH <sub>r</sub>	HH <sub>r</sub>		
LH <sub>r</sub>		HH <sub>r</sub>	
LH <sub>l</sub> (جزئیات عمودی)		HH <sub>l</sub> (جزئیات قطری)	

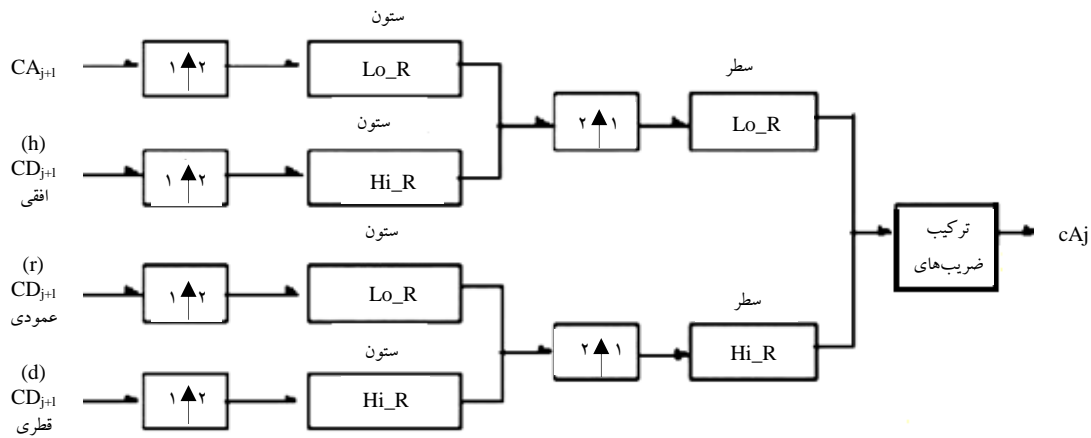
شکل ۴. تجزیه‌ی هرمی موجک سطح ۳، حرف اول اسم هر ناحیه نوع فیلتر در جهت افقی و دومین حرف نوع فیلتر در جهت عمودی و عدد شماره سطح تبدیل موجک را نشان می‌دهد.

می‌کند. علاوه بر آن به ازای  $k = 1$  آستانه‌گذاری برای مقادیرهای بزرگ‌تر از آستانه، به صورت مجانبی به آستانه‌گذاری سخت میل می‌کند. تبدیل موجک استفاده شده، موجک دابچیز<sup>(۹)</sup> (۸ db) در هشت سطح تجزیه است. مقدار انتخابی پارامتر تنظیم شکل آستانه‌گذاری پیشنهادی در این آزمایش‌ها ثابت و برابر در نظر گرفته شده است. در شکل ۱ تابع تغییرات  $\eta$  برحسب ورودی  $y$  به ازای  $k$ های ۰٫۵، ۰٫۵۱ و ۰٫۵۳ نشان داده شده است.

روش به دست آوردن تبدیل موجک برای یک علامت یک‌بعدی به این صورت است که علامت با یک صافی پایین گذر و یک صافی بالاگذر به دو بخش بسامد- بالا و بسامد- پایین تقسیم می‌شود که تعداد نمونه‌ها در هر یک از این بخش‌ها نصف تعداد نمونه‌های علامت اصلی است. سپس بخش بسامد- پایین دوباره به دو بخش بسامد- پایین و بسامد- بالا تقسیم می‌شود. تعداد دفعاتی که این عمل انجام می‌گیرد تعداد سطح تجزیه‌ی تبدیل موجک را نشان می‌دهد [۱۱-۱۴] (شکل ۲).

برای علامت دوبعدی، مشابه علامت یک‌بعدی تبدیل به همان ترتیب یک‌بار به طور افقی و یک‌بار به طور عمودی انجام می‌شود. در شکل ۳ روندنمای تبدیل موجک دوبعدی نشان داده شده است.

در تبدیل موجک دوبعدی، تصویری با ابعاد  $x$  و  $y$  به چهار ناحیه‌ی  $HH$ ,  $HL$ ,  $LH$ ,  $LL$  تقسیم می‌شود که  $LL$  ناحیه‌ای به ابعاد  $x/2$  و  $y/2$  است. در ادامه، این ناحیه دوباره به چهار ناحیه به ابعاد  $x/4$  و  $y/4$  و به نام‌های  $HL_1$ ,  $LH_1$ ,  $LL_1$  و  $HH_1$  تقسیم می‌شود و این عمل تا حد دلخواه ادامه می‌یابد. برای تبدیل موجک در سطح تجزیه‌ی  $n$  این کار  $n$  بار انجام می‌شود. در نهایت ناحیه‌ی  $LL_n$  به ابعاد  $x/2^n$  و  $y/2^n$  به دست خواهد آمد [۱۱]. بنابراین تصویر در حوزه‌ی تبدیل موجک به یک ساختار هرمی، مانند آنچه در شکل ۴ نمایش داده شده است، تبدیل می‌شود. روندنمای عکس تبدیل موجک دوبعدی برای بازسازی تصویر براساس ضرایب به دست آمده در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۵. روندنمای عکس تبدیل موجک دوبعدی.

رابطه‌ی ۵ زیاد شدن thr باعث صاف شدگی تصویر می‌شود. هر چند که تغییرات thr روی صاف شدگی تصویر تأثیر دارد، ولی مقدار بهینه‌ی آن به نوفه‌ی تصویر بستگی دارد. در پرتونگاره‌ها، نوفه به عامل‌های متعددی بستگی دارد و تخمین آن کار آسانی نیست. بنابراین در این‌جا از خاصیت صاف‌کنندگی تصویر این الگوریتم استفاده شد و تفاضل تصویر اصلی و صاف شده که حاوی اطلاعات نقص‌ها است، به دست آمد. در شکل ۷-ب این تصویرها به ازای مقدارهای ۰٫۱۵، ۰٫۱۵ و ۱٫۵ برای thr (به ترتیب از بالا) نشان داده شده‌اند. در هر سه تصویر نقص‌های ترک مشخص هستند ولی در تصویر ردیف سوم سمت چپ با thr=۱٫۵ کنتراست تصویر مناسب‌تر است. در شکل ۸ نتیجه‌های حاصل از اجرای الگوریتم برای پرتونگاره‌هایی با نقص‌های مختلف مانند تخلخل، حفره و ... نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که ناحیه‌های نقص روی تصویرهای بازسازی شده در شکل ۸-ب مشخص‌تر و واضح‌تر دیده می‌شوند. در پرتونگاره‌ی اصلی ردیف ۳ (سمت راست) خط‌های شاخص کیفیت به سختی قابل مشاهده‌اند، ولی روی تصویرهای بازسازی شده این خط‌ها به طور کامل دیده می‌شوند.

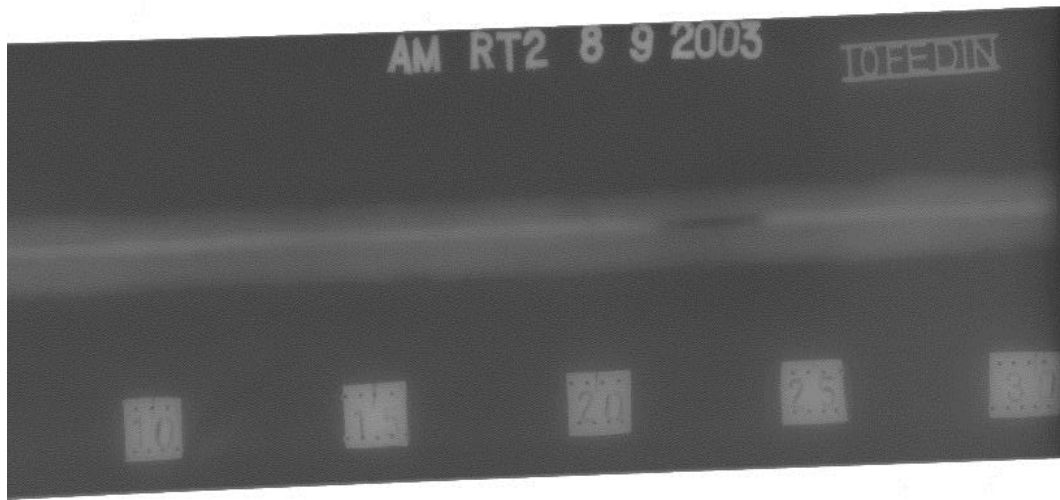
برای ارزیابی الگوریتم از نسبت احتمال موفقیت شناسایی (POISR)<sup>(۱۰)</sup> و روش انسانی استفاده شده است.

$$POISR = \frac{TP}{TP+FP} \quad (۶) \quad \text{همه‌ی پاسخ‌ها} = TP+FP$$

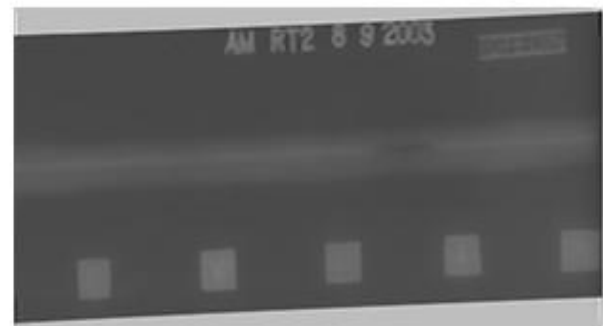
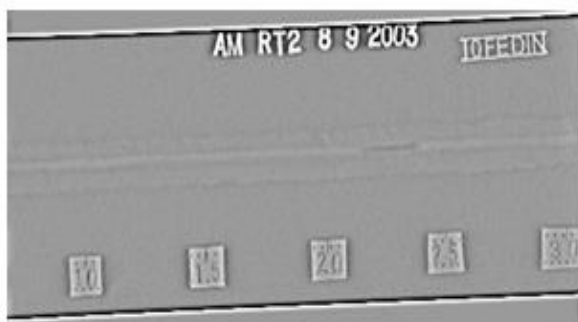
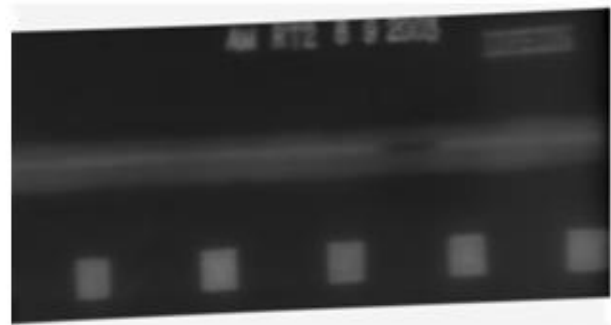
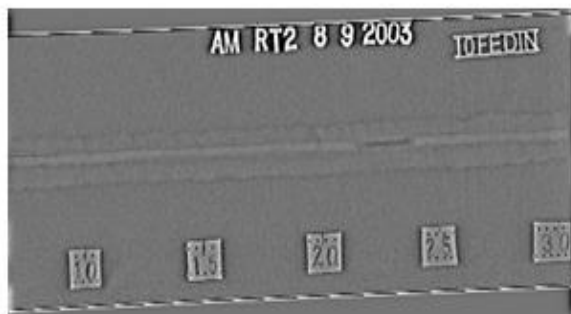
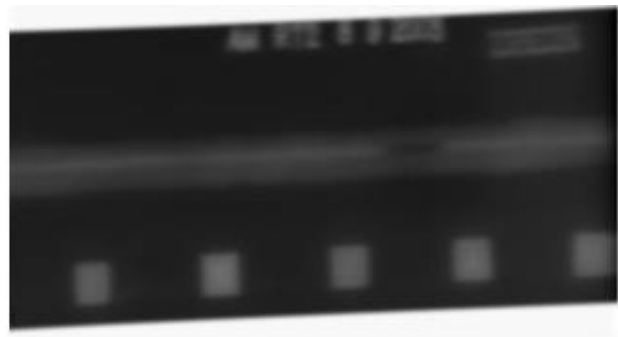
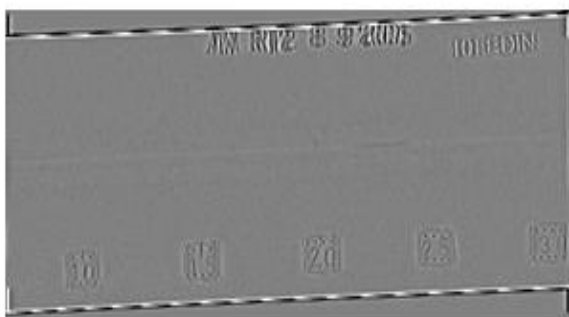
برای شناسایی نقص‌های تصویرهای پرتونگاری می‌توان آن‌ها را مانند مؤلفه‌های گذرا با شکل و ابعاد خاص در نظر گرفت. با تجزیه‌ی تصویر به مؤلفه‌های زمانی و بسامدی و عبور آن‌ها از تابع آستانه‌گذاری چندجمله‌ای می‌توان مؤلفه‌های نوفه‌ای را کوچک‌تر کرد و تصویر واضح‌تری از مناطق نقص به دست آورد.

### ۳. یافته‌ها

در این پژوهش، برای آشکارسازی ناحیه‌های نقص تصویرهای پرتونگاری صنعتی جوش، از روش موجک با آستانه‌گذاری چندجمله‌ای استفاده شده است. برای اجرای این الگوریتم ابتدا پرتونگاره‌ها که مطابق بخش ۱.۲ تهیه شده‌اند باز و سپس ضریب‌های موجک آن‌ها تا ۴ سطح محاسبه شده و با عبور این مؤلفه‌ها از تابع آستانه (رابطه‌ی ۵) ضریب‌ها تغییر کرده‌اند. قابل توجه است که در این رابطه آستانه به مقدار مؤلفه بستگی دارد و ضریب‌های با اندازه‌ی کوچک‌تر از آستانه، صفر نشده بلکه با تابعی چندجمله‌ای تضعیف شده‌اند. شکل ۶ پرتونگاره‌ی یک قطعه‌ی جوشکاری شده را نشان می‌دهد. این قطعه‌ی استاندارد دارای دو ترک است که یکی از آن‌ها به سختی در پرتونگاره‌ی معمولی دیده می‌شود. برای آشکارسازی ناحیه‌های نقص‌ها و ترک، الگوریتم روش آستانه‌گذاری چندجمله‌ای در روش موجک بر روی تصویر اجرا شد. نتیجه‌های حاصل از اجرای الگوریتم با مقادیر thr مختلف در شکل ۷ نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که مقدار thr در وضوح تصویر تأثیر دارد. مطابق



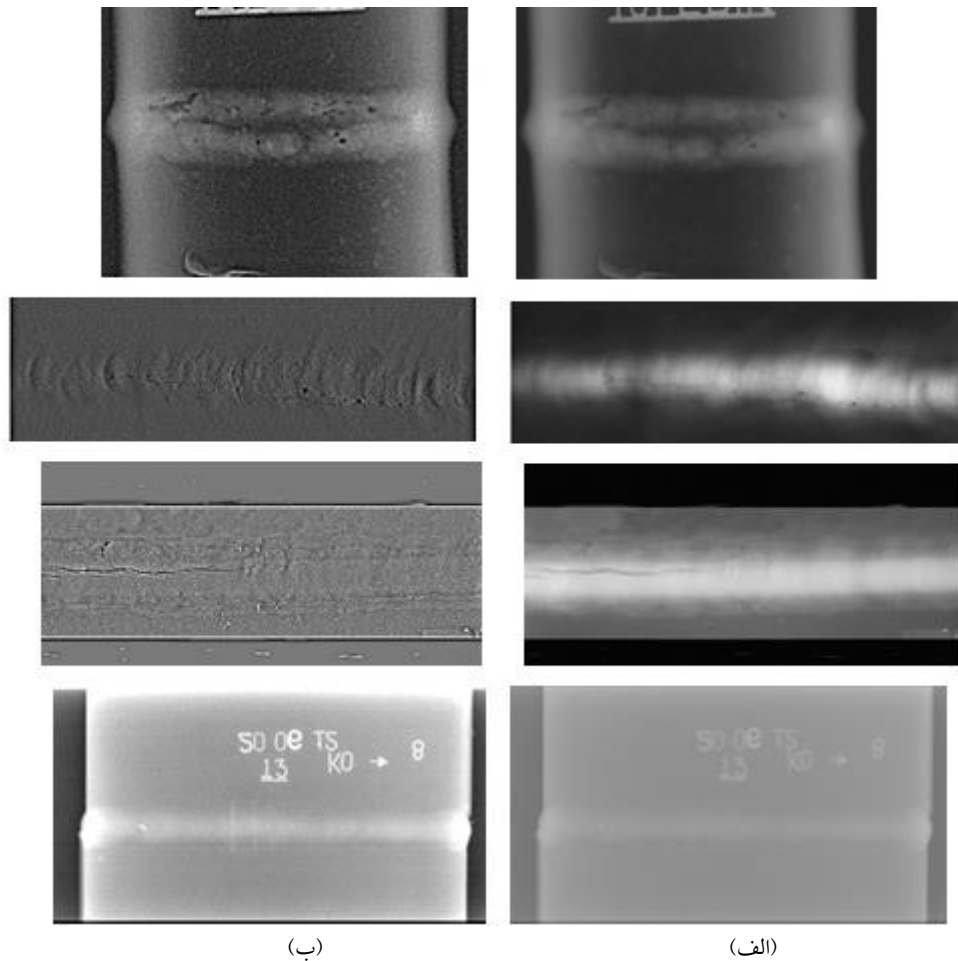
شکل ۶. پرتونگاری قطعه‌ی استاندارد دارای نقص دو ترک.



(ب)

(الف)

شکل ۷. (الف) تصویر خروجی برای thrهای ۰٫۱۵، ۰٫۱۵ و ۱٫۵ (به ترتیب از بالا)، (ب) تفاضل تصویر اصلی و صاف شده‌ی حاوی اطلاعات نقص‌ها برای thrهای ۰٫۱۵، ۰٫۱۵ و ۱٫۵ (به ترتیب از بالا).



شکل ۸. (الف) تصویرهای اصلی؛ (ب) تصویرهای بازسازی شده.

شده نشان می‌دهد که همه‌ی آن‌ها واضح‌تر شدن ناحیه‌ی نقص‌ها را تأیید می‌کنند. اجرای این الگوریتم برای یک تصویر به ابعاد  $256 \times 256$  با کامپیوتری با پردازشگر دو هسته‌ای  $2.66$  MHz اینتل و حافظه‌ی با دسترسی مستقیم  $4$  Gb به حدود  $6/3$  ثانیه زمان نیاز دارد. از نظر کارایی در بازسازی تصویر و مشخص کردن ناحیه‌های نقص، این الگوریتم مناسب و استفاده از آن برای کاربر راحت و آسان است. از طرفی، سرعت آن با سرعت سایر الگوریتم‌ها مانند موجک مختلط یکسان است.

**جدول ۱.** POISR محاسبه شده برای نقص‌ها در تصویرهای اصلی و بازسازی شده

نوع نقص	تعداد	POISR در تصویرهای اصلی	POISR در تصویرهای بازسازی شده
حفره‌های پراکنده	۳۸	۰٫۸۸	۰٫۹۲
تخلخل	۹	۱	۱
ترک عرضی	۲۵	۰٫۸۰	۰٫۸۶
ترک طولی	۸	۰٫۹۰	۰٫۹۲

که در آن TP به پاسخ‌هایی اشاره دارد که درست هستند و افراد آن‌ها را درست تشخیص داده‌اند و TF پاسخ‌هایی هستند که نادرست هستند و افراد آن‌ها را درست تشخیص داده‌اند.  $17$  قطعه‌ی دارای نقص‌های مختلف، رادیوگرافی شده و الگوریتم بازسازی روی آن‌ها پیاده شد. تصویرهای اصلی و بازسازی شده به  $5$  متخصص رادیوگرافی صنعتی نشان داده شد و از آن‌ها خواسته شد محل نقص‌ها و تعداد آن‌ها را تعیین نمایند. نتیجه‌های این ارزیابی در جدول ۱ درج شده است. دیده می‌شود که درصد تشخیص نقص‌ها در تصویرهای بازسازی شده بیش‌تر از تصویرهای پرتونگاری اصلی است و هم‌چنین بیش‌ترین نسبت احتمال موفقیت تشخیص نقص در تصویرهای بازسازی شده برای نقص تخلخل با مقدار یک است و کم‌ترین نسبت احتمال موفقیت تشخیص برای ترک طولی با مقدار  $0.92$  بوده است. جمع‌آوری نظرهای متخصصین در مورد تصویرهای بازسازی

**۴. نتیجه‌گیری**

در این مقاله، از روش موجک با آستانه‌گذاری تطبیقی برای شناسایی نقص‌ها در پرتونگاره‌های صنعتی استفاده شده است. در این روش آستانه متناسب با تابع ورودی تغییر کرده و نقص‌ها واضح‌تر می‌شوند. یافته‌ها نشان می‌دهد این روش کارایی نسبتاً خوبی در آشکارسازی نقص‌ها دارد. هم‌چنین، در بررسی پرتونگاره‌های اصلی و بازسازی شده‌ی قطعه‌های استاندارد که دارای نقص‌های مشخص هستند دیده می‌شود هر چند کنتراست تصویرها کم شده ولی ناحیه‌های نقص واضح‌تر شده است. ارزیابی متخصص‌های پرتونگاری در مقایسه‌ی پرتونگاره‌های اصلی و بازسازی شده قطعه‌های استاندارد با نقص‌های مشخص نشان می‌دهد که روش موجک با آستانه‌گذاری تطبیقی کارایی خوبی در بهبود آشکارسازی ناحیه‌های نقص دارد و با توجه به زمان اجرای نسبتاً کوتاه، می‌تواند به عنوان یک روش مؤثر کاربردی استفاده شود.

**پی‌نوشت‌ها**

1. Microtek
2. Matlab 2014
3. ScanMaker 1000-XL Microtek
4. X-Rite
5. BAM
6. Visu Shrink
7. Normal Shrink
8. Sure Shrink
9. Dubches
10. Probability of Identification Success Rate

**مراجع**

- [1] H.I. Shafeek, E.S. Gadelmava, A.A. Bdel-Shafy, I.M. Elewa, Assessment of welding defects for gas pipeline radiographs using computer vision, *NDT & E International*, 37 (2004) 291-299.
- [2] T.Y. Lim, M.M. Ratnam, M.A. Khalid, Automatic classification of weld defects using simulated data and an MLP neural network, *Insight*, 49 (March 2007) 154-159.
- [3] R.R. Da Silva, L.P. Galoba, M.H.S. Siqueira, J.M.A. Rebello, Pattern recognition of weld defects detected by radiographic tests, *NDT & E International*, 37 (2004) 461-470.
- [4] A. Karimian, S. Yazdani, A. Movafeghi, Corrosion Detection Improvement of Oil and Gas Pipelines with Industrial Radiography Method by using Image Processing, *International Conference on Recent Developments and Applications of Nuclear Technologies*, Bialowieza, Poland, (Sep 2008) 14-17.
- [5] M.A. Carrasco, D. Mery, Segmentation of welding defects using a robust algorithm, *Materials Evaluation*, (2004) 1142-1147.
- [6] N. Nacereddine, L. Hamami, M. Tridi, N. Oucief, Histogram-based and locally adaptive thresholding techniques for weld defect extraction in digital radiography, *35th International Conference and NDT Technique Exposition, Defectoscopy, Znojmo, Czech Republic*, (Nov 2005) 8-10.
- [7] M.K. Felisberto, H.S. Lopes, T.M. Centeno, L.V.R. Arruda, An object detection and recognition system for weld bead extraction from digital radiographs, *Computer Vision and Image Understanding*, (2006) 238-249.
- [8] D. Mery, M.A. Berti, Automatic detection of welding defects using texture features, *Insight*, 45 (October 2003) 676-680.
- [9] R.C. Gonzalez, R.E. Woods, S.I. Eddins, *Digital image processing using matlab*, 1st edition, Prentice hall, (2004) 57-119.



- [10] B.J. Yoon, P.P. Vaidyanathan, Wavelet-based denoising by customized thresholding, in Proc. ICASSP'04, 2 (May 2004) 925-928.
- [11] Z.D. Zhao, Wavelet shrinkage denoising by generalized thresholding function, in Proc. Fourth Int. Conf. on Machine Learning and Cybernetic, 9 (Aug 2005) 5501-5506.
- [12] C. Jacobsen, U. Zscherpel, Crack detection in digitized radiographs with neural networks, Proceedings of the Seventh European conference on Non-Destructive Testing, 3, 8 (1998) 26-29.
- [13] M. Torabian, A. Karimian, M. Yazdchi, Optimization of Interpretation of Industrial Radiographs for Defect Detection in Oil and Gas Pipeline Welds, The 2nd International Conference on Technical Inspection and NDT, Iran, (2008).
- [14] U. Lotric, Wavelet based denoising integrated into multilayered perceptron, Neurocomputing, 62 (Dec. 2004) 179-196.
- [15] X.P. Zhang, Thresholding neural network for adaptive noise reduction, IEEE Tran. IEEE, 12, 3 (2001).
- [16] Microtek, Operation manual of Scanmaker-1000 scanner, Microtek Co, (2005).
- [17] 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).
- [18] EN 14096-2, Non-destructive testing- Qualification of radiographic film digitization systems-part 2: Minimum requirement, European Norm, (2004).
- [19] AEOI, Basic Radiation Safety Standards, Iranian Nuclear Regulatory Authority, Atomic Energy Organization of Iran, in Persian, (2001).
- [20] ISIRI-7751, Protection Against Ionization Radiation and the Safety of the Radiation Sources, Institute of Standards and Industrial Research of Iran, in Persian, (2004).
- [21] D.L. Donoho, De-noising by soft-thresholding, IEEE Trans. Inform. Theory, 41, 3 (May 1995) 613-627.
- [22] M. Nasri, H. Nezamabadipour, S. Saryazdi, An Adaptive denoising Method in Wavelate Domain, Iranian Journal of Electrical and Computer Engineering, 6, 1 in Persian, (2008) 15-24.
- [23] Z. Al-Ameena, Gh. Sulonga, A. Rehmanb, M. Al-Rodhaanc, T. Sabad, A. Al-Dhel, Phase-preserving approach in denoising computed tomography medical images, Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering: Imaging & Visualization, (2014) <http://dx.doi.org/10.1080/21681163.2014.955615>.