



آشکارسازی عیوب و بهبود وضوح تصاویر رادیوگرافی با استفاده از روش صافی انتشاری غیر خطی

امیر موافقی*^۱، عفت یاحقی^۲، نورالدین محمدزاده^۱، بهروز رکرک^۱
۱. پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی، صندوق پستی: ۸۳۶-۱۴۳۹۵، تهران - ایران
۲. گروه فیزیک، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی، صندوق پستی: ۳۴۱۴۹-۵۵۹۹، قزوین - ایران

چکیده: استفاده از روش‌های پردازش تصویر برای استخراج عیوبی مانند ترک و تخلخل از تصاویر رادیوگرافی صنعتی که نویز زیاد و وضوح کمی دارند، بسیار مفید است. با توجه به این که در تصاویر رادیوگرافی، عیوب به شکل تغییرات مقادیر اجزای تصویر دیده می‌شوند، روش‌های مبتنی بر بهبود گرادیان در این تصاویر می‌توانند در مشخص کردن عیوب کمک کنند. در این پژوهش، نشان داده می‌شود که به کارگیری روش‌های مختلف استخراج گرادیان مانند سوبل، پرویت و صافی انتشاری غیرخطی، در بهبود لبه‌ها و آشکارسازی عیوب مفید است. روش صافی انتشاری غیرخطی به ضریب بازگشتی k بستگی، و انتخاب آن در صاف کردن لبه‌ها تأثیر زیادی دارد. با توجه به این ویژگی، در این پژوهش برخلاف روش‌های متداول شناسایی لبه، با به کارگیری مستقیم روش لبه‌ها، بهبود حاصل نمی‌شود، بلکه با تکرار روش و صاف کردن لبه‌ها، تصاویر واسطه‌ای به دست می‌آیند. در نهایت با کم کردن تصویر واسطه‌ای حاصل از به کارگیری روش صافی انتشاری غیرخطی از تصویر اصلی رادیوگرافی، عیوب تصویر که در گرادیان‌های تصویر وجود دارند، استخراج می‌شوند. این الگوریتم‌ها بر روی چندین تصویر رادیوگرافی صنعتی آزمایش شده است. نتایج نشان می‌دهند که روش ارائه شده در مقایسه با روش‌های سوبل و پرویت که بر اساس گرادیان‌های محلی هستند عملکرد بهتری دارد و نظر مفسرین فیلم‌های رادیوگرافی نیز این نتیجه را تأیید می‌کند.

کلیدواژه‌ها: رادیوگرافی صنعتی، روش صافی انتشاری غیرخطی، استخراج گرادیان، پردازش تصویر، عیوب جوش، بهبود وضوح

Defect Detection and Contrast Improvement of Radiographic Images using Nonlinear Diffusion Filter Method

A. Movafeghi*¹, E. Yahaghi², N. Mohammadzadeh¹, B. Rokrok¹

1. Nuclear Science and Technology Research Institute, AEOL, P.O.Box: 14395-836, Tehran - Iran

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

Abstract: Image processing methods is useful for extraction of the defects such as porosity, slag and crack in the noisy and low contrast industrial radiography images. It is noticeable that the defects appear as the gradients in pixel values, therefore, the gradient based method can help to detect the defects. In this research, different methods of gradient extraction such as Sobel, Perwitt and the nonlinear diffusion filter were implemented and tried to improve the edges and the defect detection. The nonlinear diffusion filter method depends on diffusion coefficient, k , and the chosen value for k can affect the exact smoothing of the edges. Thus, in this attempt, by the use of a new approach, in comparison with the conventional edge finder methods, a nonlinear diffusion filter method is repeated and the edges are smoothed in the obtained images. Then, the defects in the gradient of images are extracted by subtracting the original image from the obtained image. The mentioned methods were implemented in different radiography images. The results show that the proposed method in comparison with local gradient ones such as Sobel and Perwitt methods has superiority over different radiographic images as confirmed by the radiography film interpreters.

Keywords: Industrial Radiography, Nonlinear Diffusion Filter, Gradient Extraction, Image Processing, Weld Defects, Contrast Improvement



۱. مقدمه

روش به کار رفته است [۱۶]. هم‌چنین معادلات نمایی و گوسی برای تغییرات گرادیان‌ها در نظر گرفته شده است [۱۷].

با توجه به این که در تصاویر رادیوگرافی صنعتی نیز هر گونه ناپوستگی و تغییرات ناگهانی که معمولاً حاکی از وجود عیب است به صورت تغییرات در گرادیان‌ها ظاهر می‌شود، برای بررسی این عیوب و تشخیص و استخراج آن‌ها از تصاویر، می‌توان از روش‌های گرادیان استفاده کرد. روش انتشار غیرخطی در حذف نویز کاربرد فراوانی دارد، ولی برای حذف پس‌زمینه به منظور واضح کردن عیوب ناشی از جوش در تصاویر رادیوگرافی صنعتی تاکنون استفاده نشده است. در روش حذف پس‌زمینه، با تغییر ضرایب انتشار براساس گرادیان‌های تصاویر، پس‌زمینه‌ی تصویر محاسبه، و با کم کردن این پس‌زمینه از تصویر اصلی، تصاویری با وضوح بهتر در نواحی عیوب حاصل می‌شوند.

در این پژوهش، برای حذف نویز و آشکارسازی عیوب با هدف تشخیص آن در تصاویر رادیوگرافی صنعتی، از روش‌های مختلف گرادیان سوبل، پرویت^(۳) [۲۰] و صافی انتشاری غیرخطی استفاده شده است. با استخراج تغییرات گرادیان‌های جهتی در تصاویر و استفاده از روابط بازگشتی، تصاویر رادیوگرافی از جوش‌های صنعتی به منظور استخراج عیوب بازسازی، و نتایج الگوریتم‌های مختلف مقایسه شده‌اند.

۲. روش‌ها

۱.۲ معادلات انتشار برای تصویر

برای یک تصویر $I(x, y, t)$ معادله‌ی انتشار چنین تعریف می‌شود [۱۷]:

$$\frac{\partial I(x, y, t)}{\partial t} = \nabla^2 I(x, y, t) = \frac{\partial^2 I(x, y, t)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 I(x, y, t)}{\partial y^2} \quad (1)$$

در این معادله $I(x, y, t)$ تصویر در زمان t و به همین ترتیب $I(x, y, 0) = I_0(x, y)$ تصویر اولیه در $t = 0$ است. این معادله را با در نظر گرفتن ضریب انتشار می‌توان چنین نوشت:

$$\frac{\partial I(x, y, t)}{\partial t} = \nabla \cdot (C(x, y, t) \nabla I(x, y, t)) \quad (2)$$

تفسیر درست تصاویر رادیوگرافی صنعتی نقش بسیار مهمی در تشخیص عیوب نواحی جوش و خوردگی در صنایع ایفا می‌کند. کیفیت تصاویر نقش مهمی در تفسیر آن‌ها دارد ولی یکی از مشکلات تصاویر، پایین بودن کیفیت آنهاست [۱-۳]. افزایش وضوح و بهبود کیفیت تصویر تأثیر بسیار زیادی در تفسیر درست آن دارد. بنابراین حذف اختلالات ناخواسته نظیر انواع نویزها و استخراج اطلاعات مهم تصویر در تفسیر درست آن‌ها و در نتیجه تشخیص عیوب مهم هستند [۴-۵]. استفاده از الگوریتم‌های مختلف و روش‌های پردازش تصویر می‌تواند در حذف نویز و بهبود استخراج اطلاعات از آن مؤثر باشد [۶-۱۰]. روش‌های گوناگونی برای حذف نویز تصاویر وجود دارد؛ مانند استفاده از صافی‌های ساده از قبیل صافی متوسط‌گیری، صافی میانه و صافی گوسین. این صافی‌ها می‌توانند نویز تصویر را کاهش دهند اما معمولاً باعث تیره و هموار شدن تصویر و لبه‌های آن می‌شوند. برای مثال، صافی میانه، توانایی بالایی در حذف نویزهای فلفلی دارد اما برای نویزهای گوسین‌گزینه‌ی مناسبی نیست. هم‌چنین این مزیت را دارد که برخلاف صافی میانگین، مقدار پیکسل‌های هر سطح خاکستری را تغییر نمی‌دهد، اما بزرگ‌ترین عیب آن این است که لبه‌های تصویر را هموار می‌کند [۱۱-۱۵].

برطرف کردن مشکلات فوق با حل معادلات با مشتقات جزئی امکان‌پذیر است. در روش‌های مبتنی بر معادلات با مشتقات جزئی مانند روش انتشار غیرخطی^(۱)، تغییرات موجود در پیکسل‌های تصویر مانند مدل انتشار مواد بررسی، و به صورت یک تابع گوسی فرض می‌شود. یعنی در به کارگیری معادلات مشتقات جزئی برای پردازش تصویر، مدل تغییرات روشنایی تصویر به صورت تابع گوسی در نظر گرفته می‌شود. در نتیجه‌ی این فرض، هر گونه تغییرات ناگهانی در تصویر به عنوان نویز شناخته می‌شود [۱۶-۱۷]. در روش انتشار غیرخطی، پارامتری به نام ضریب انتشار^(۲) در تابع گوسی در نظر گرفته شده تعریف می‌شود که اندازه‌ی آن بیان‌کننده‌ی شدت تغییرات نفوذ معادله‌ی انتشار است و این پارامتر با وزن‌دهی به مقادیر گرادیان‌ها، نقش مهمی را در حذف نویز ایفا می‌کند [۱۶-۱۹]. ضرایب انتشار ثابت و متغیر براساس تغییرات گرادیان در این



معادله‌ی تصویر در زمان $t+\Delta t$ به این ترتیب تعریف می‌شود:

$$I(x, y, t + \Delta t) = I(x, y, t) + \Delta t(I_n g_n + I_s g_s + I_e g_e + I_w g_w) \quad (۴)$$

در این معادله g_n, g_s, g_e, g_w به ترتیب مقادیر گرادیان در چهار جهت غرب، شرق، شمال و جنوب هستند. با توجه به این مقادیر، ضرایب انتشار C_n, C_s, C_e, C_w با توجه به معادلات (۶) در چهار جهت چنین محاسبه می‌شوند:

$$\begin{aligned} g_n &= I(x, y - 1, t) - I(x, y, t) & C_n(x, y, t) &= \frac{1}{1 + \frac{g_n}{k^2}} \\ g_s &= I(x, y + 1, t) - I(x, y, t) & C_s(x, y, t) &= \frac{1}{1 + \frac{g_s}{k^2}} \\ g_e &= I(x + 1, y, t) - I(x, y, t) & C_e(x, y, t) &= \frac{1}{1 + \frac{g_e}{k^2}} \\ g_w &= I(x - 1, y, t) - I(x, y, t) & C_w(x, y, t) &= \frac{1}{1 + \frac{g_w}{k^2}} \end{aligned} \quad (۵)$$

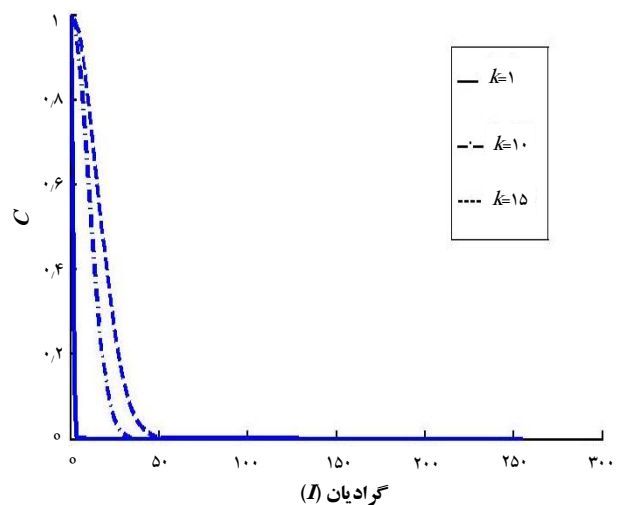
معمولاً مقدار t برابر ۰٫۲۵s انتخاب، و k بین ۵ و ۱۰۰ در نظر گرفته می‌شود. انتخاب یک مقدار مناسب برای ضریب بازگشتی k در فرایند حذف نویز تصویر بسیار اهمیت دارد. چرا که اگر مقدار ضریب بازگشتی یک تصویر از حد مورد نیاز بزرگ‌تر باشد، باعث هموار شدن و در نتیجه از بین رفتن لبه‌ها می‌شود، و اگر مقدار آن خیلی کوچک باشد، حذف نویز به خوبی صورت نمی‌گیرد. در معادلات انتشار، هر چقدر مقدار ضریب بازگشتی در یک فرایند حذف نویز کم‌تر باشد، ضریب انتشار کوچک‌تر است و در نتیجه نویز تصویر کم‌تر حذف می‌شود، و هر چقدر مقدار آن زیاد باشد، تصویر همراه با حذف نویز، هموارتر می‌شود.

محاسبات مختلفی که در این زمینه انجام شده‌اند نشان می‌دهند گرادیان تصویر که نشان‌دهنده‌ی تغییرات سطح در پیکسل‌ها است می‌تواند معیار مناسبی برای انتخاب k باشد. هر چقدر تصویر دارای جزئیات بیش‌تری باشد، مقدار مناسب ضریب بازگشتی برای حذف نویز بهینه‌ی این تصویر عدد

که در آن $C(x, y, t)$ ضریب انتشار است. اگر $C(x, y, t)$ ثابت باشد، معادله‌ی انتشار با ضریب انتشار همگن است که در این حالت، معادله‌ی فوق بین پیکسل‌های مربوط به لبه‌ها و سایر پیکسل‌های تصویر تفاوتی قائل نشده است و همه پیکسل‌ها را به یک میزان هموار می‌کند. چنین شرایطی باعث حذف اطلاعات لبه‌ها می‌شود و مطلوب نیست. دو معادله برای $C(x, y, t)$ پیشنهاد شده است که غیرخطی‌اند و به این ترتیب در نظر گرفته می‌شوند [۱۷-۱۹]:

$$\begin{aligned} C(x, y, t) &= \frac{1}{1 + \frac{|\nabla I(x, y, t)|}{k^2}} \\ C(x, y, t) &= \exp\left(-\frac{|\nabla I(x, y, t)|^2}{k^2}\right) \end{aligned} \quad (۳)$$

در این معادلات، k ضریب ثابت و ∇I گرادیان تصویر است. رابطه‌ی (۳) نشان می‌دهد با افزایش گرادیان تصویر، مقدار ضرایب انتشار $C(x, y, t)$ کاهش پیدا می‌کند. در شکل ۱، تغییرات C بر حسب تغییرات گرادیان تصویر به ازای مقادیر مختلف k نشان داده شده است. کاهش ضریب انتشار در گرادیان‌های بالا، نشان‌دهنده‌ی حفظ لبه‌هاست. در شکل ۱ دیده می‌شود که تغییرات C به ضریب k نیز بستگی دارد و انتخاب آن معمولاً به صورت سعی و خطا انجام می‌گیرد. در این جا از روشی بر مبنای واریانس^(۴) تغییرات برای انتخاب این ضریب استفاده شده است.



شکل ۱. تغییرات C بر حسب گرادیان به ازای مقادیر مختلف k .



Z _۱	Z _۲	Z _۳
Z _۴	Z _۵	Z _۶
Z _۷	Z _۸	Z _۹

شکل ۲. اطلاعات در پیکسل‌های مجاور هم برای محاسبه‌ی گرادیان‌ها.

به عبارت دیگر، پیکسل‌های وسط برخلاف روش سوبل، ضریب دو را ندارند.

۳.۲ تصاویر رادیوگرافی صنعتی

قطعاتی که در این پژوهش استفاده شده‌اند دارای عیوب مختلفی مانند ترک، تخلخل و غیره بوده‌اند که در اثر عوامل مختلفی در حین جوشکاری و یا خوردگی به وجود آمده‌اند. برخی از عیوب را به راحتی با چشم غیر مسلح هم می‌توان مشاهده کرد، ولی عیوب داخلی و ریز عمدتاً از طریق آزمون‌های غیرمخرب مانند رادیوگرافی قابل تشخیص‌اند.

در این پژوهش برای رادیوگرافی قطعات حاوی عیوب، از دستگاه مولد پرتو ایکس زایفرت مدل Eresco 65 با ولتاژ ۱۵۰ تا ۲۰۰ kV، جریان ۴ mA استفاده شده، و زمان پرتو دهی ۳ تا ۵ min بوده است. برای ثبت تصاویر از فیلم رادیوگرافی صنعتی کداک AA-400 استفاده شد. به منظور دیجیتال کردن تصاویر، از اسکنر ScanMaker 1000-XL Microtek استفاده، و فرمت ذخیره کردن عکس‌ها tiff انتخاب شد. این اسکنر توانایی اسکن فیلم در ابعاد A۳ و با حداکثر قدرت تفکیک (رزولوشن) مکانی ۳۲۰۰ dpi (میکرون) و فیلم‌های با حداکثر چگالی نوری ۴ را دارد و عنصر حساس آن CCD است. طبق اکثر استانداردهای دیجیتالی کردن فیلم‌های رادیوگرافی، اسکنر فیلم باید توانایی اسکن فیلم‌های رادیوگرافی با حداقل چگالی نوری ۳/۵ را داشته باشد. برای کالیبراسیون و کنترل اسکنر، از فیلم استاندارد کالیبراسیون Q-60 ساخت کداک و هم‌چنین فیلم‌های پله‌ای کالیبراسیون X-rite و آگفا استفاده شد. پردازش‌های بعدی بر روی این تصاویر رادیوگرافی دیجیتال، با نرم‌افزار متلب (MATLAB ۲۰۱۳) انجام شد.

در کلیه‌ی آزمایش‌های رادیوگرافی شامل انجام رادیوگرافی، ظهور و ثبوت، تفسیر و دیجیتالی کردن فیلم، استانداردهای سری

بزرگ‌تری خواهد بود. بنابراین با یافتن رابطه‌ای بین میزان تغییرات گرادیان یک تصویر، می‌توان مقدار مناسب را برای ضریب بازگشتی پیدا کرد. در این روش، گرادیان‌های تمام پیکسل‌های یک تصویر در چهار جهت اصلی همسایگی به دست می‌آید، و سپس اختلاف بین گرادیان‌ها در راستای عمودی و افقی محاسبه می‌شود. با محاسبه‌ی اختلاف گرادیان‌ها در این دو راستا، مقدار متوسط گرادیان در این دو جهت به صورت زیر حاصل می‌شود [۱۸]:

$$g_{ns} = g_n - g_s$$

$$g_{ew} = g_e - g_w$$

$$g = \sqrt{g_{ns}^2 + g_{ew}^2} \quad (۶)$$

برای به دست آوردن میزان تغییرات گرادیان در تصویر می‌توان انحراف معیار و واریانس گرادیان $\text{var}(g) = \nu$ را به دست آورد و آن را به عنوان مقداری متناسب با k در نظر گرفت.

۲.۲ سایر روش‌های استخراج گرادیان

۱.۲.۲ روش سوبل

در این روش، آشکارسازی لبه بر پایه‌ی مشتق اول شدت روشنایی محاسبه می‌شود. در روش سوبل، گرادیان با استفاده از تفاضل گسسته‌ی بین سطرها و ستون‌های همسایگی 3×3 ، به دست می‌آید. پیکسل مرکزی هر سطر و ستون دو برابر می‌شود تا هموارسازی انجام شود. برای پیکسل‌های مجاور نشان داده شده در شکل ۲، رابطه‌ی بین اندازه‌ی گرادیان و گرادیان‌ها در دو جهت X و Y به این ترتیب است [۲۰]:

$$\nabla I = \sqrt{g_x^2 + g_y^2}$$

$$g_x = (Z_v + 2Z_h + Z_l) - (Z_1 + 2Z_2 + Z_3)$$

$$g_y = (Z_r + 2Z_c + Z_b) - (Z_4 + 2Z_5 + Z_6) \quad (۷)$$

۲.۲.۲ روش پرویت

در این روش، رابطه‌ی اندازه گرادیان و گرادیان‌ها در دو جهت X و Y به این ترتیب محاسبه می‌شوند:

$$\nabla I = \sqrt{g_x^2 + g_y^2}$$

$$g_x = (Z_v + Z_h + Z_l) - (Z_1 + Z_2 + Z_3)$$

$$g_y = (Z_r + Z_c + Z_b) - (Z_4 + Z_5 + Z_6) \quad (۸)$$



در این رابطه نیز M و N ابعاد تصویر I مورد بررسی، $I_{original}$ تصویر اصلی، و $I_{denoised}$ تصویر پس از حذف نویز است. مقدار کم‌تر MSE نشان‌دهنده‌ی نزدیک‌تر بودن تصویر به تصویر اصلی است.

۳.۳.۲ برای ارزیابی میزان تشابه دو تصویر اصلی و تصویر پس از حذف نویز، از رابطه‌ی زیر استفاده شده است [۱۰-۱۱]:

$$L = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [I_{original}(i, j, t) - I_{denoised}(i, j, t)] \quad (11)$$

مقدار L برابر با فاصله‌ی اقلیدسی بین تصویر اصلی و تصویر به دست آمده پس از حذف نویز است. واضح است که هر چه مقدار عدد به دست آمده کم‌تر باشد، نشان‌دهنده‌ی نزدیک‌تر بودن این دو تصویر به یک‌دیگر است.

۳. نتایج و بحث

عیوب در تصاویر جوشکاری به صورت تغییرات گرادیان در پیکسل‌های تصویر دیجیتال شده مشاهده می‌شود. ولی به علت وجود نویز و وضوح کم تصاویر رادیوگرافی، لازم است که پردازش‌هایی به منظور آشکارسازی عیوب روی آن‌ها انجام شود. در این پژوهش، برای بهبود وضوح بیشتر تصاویر رادیوگرافی صنعتی برای استخراج عیوب، روش‌های مختلف استخراج گرادیان به روش انتشار، سوبل و پرویت در مورد آن‌ها به کار رفته، و نتایج حاصل مقایسه شده‌اند.

در ابتدا تصاویر رادیوگرافی دیجیتال با شرایط توضیح داده شده در بخش ۳.۲ در قالب tiff تهیه، و سپس با برنامه‌ی نوشته شده‌ی متلب ۲۰۱۳ باز، و روش‌های مختلف آشکارسازی لبه براساس گرادیان بر آن‌ها به کار برده شد. در شکل ۳، نمونه‌ی این تصاویر رادیوگرافی نشان داده شده است که خوردگی داخلی را مشخص می‌کند. در شکل ۴، تصاویر گرادیان در جهت x و y به روش سوبل نشان داده شده است. هم‌چنین در شکل ۵، تصاویر اندازه و فاز گرادیان در روش سوبل و پرویت نشان داده شده است. در دو شکل ۴ و ۵ مشاهده می‌شود اگرچه نواحی عیوب در دو تصویر دارای لبه‌های واضح‌تری هستند، ولی

ISO، ASTM و ASME در نظر گرفته می‌شوند تا از یکسان بودن و تکرارپذیری نتایج اطمینان حاصل شود. در کلیه‌ی این آزمایش‌ها، مقررات ایمنی و حفاظت در برابر اشعه مطابق با قانون حفاظت در برابر اشعه کشور و استاندارد ملی شماره‌ی ۷۷۵۱ (که توسط سازمان انرژی اتمی ایران مطابق استانداردهای جهانی مصوب شده است) رعایت شده است [۲۱، ۲۲].

۴.۲ ارزیابی تصاویر

برای ارزیابی تصاویر به دست آمده، از معیارهای مناسب پردازش تصویر استفاده شده است که در ادامه، معادلات آن‌ها توضیح داده می‌شوند.

۱.۴.۲ نسبت سیگنال به نویز

نسبت بیش‌ترین مقدار سیگنال به نویز^(۵)، $PSNR$ ، بیان‌کننده‌ی میزان انرژی سیگنال اصلی در برابر انرژی نویز موجود در سیگنال است و به صورت زیر تعریف می‌شود:

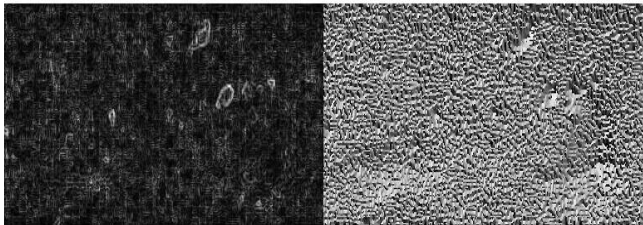
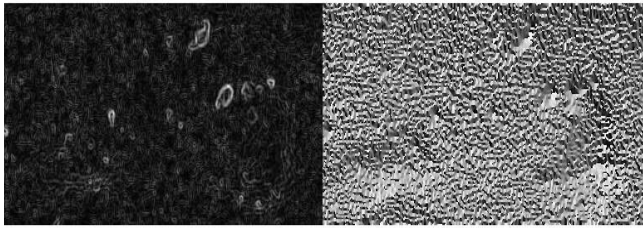
$$PSNR = \frac{1}{MN} \log \left(\frac{255^2 MN}{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [I_{original}(i, j, t) - I_{denoised}(i, j, t)]^2} \right) \quad (9)$$

در این رابطه، M و N ابعاد تصویر I ، $I_{original}$ تصویر اصلی، و $I_{denoised}$ تصویر بعد از حذف نویز است. مقدار بیش‌تر $PSNR$ نشان‌دهنده‌ی نزدیک‌تر بودن تصویر به تصویر اصلی است. به عبارت دیگر، هرچه این معیار دارای عدد بزرگ‌تری باشد، نشان‌دهنده‌ی کم‌تر بودن نویز موجود در سیگنال دو بُعدی و یا تصویر است.

۲.۴.۲ خطای میانگین مربعی

خطای میانگین مربعی^(۶)، MSE ، که کاربرد وسیعی در پردازش برای ارزیابی انواع سیگنال یک بُعدی و دو بُعدی (تصویر) دارد به این ترتیب تعریف می‌شود:

$$MSE = \sqrt{\frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M [I_{original}(i, j, t) - I_{denoised}(i, j, t)]^2} \quad (10)$$



شکل ۵. تصاویر اندازه (سمت چپ) و جهت گرادیان (سمت راست) به روش سوبل (تصاویر ردیف اول) و پرویت (تصاویر ردیف دوم).

جدول ۱. پارامترهای محاسبه شده برای مقایسه‌ی تصاویر اصلی رادیوگرافی و تصاویر ساخته شده با دو روش سوبل و پرویت

پارامترهای ارزیابی	روش سوبل	روش پرویت
<i>PSNR</i>	۱,۸۴	-۴,۴۴
<i>MSE</i>	۵,۵۱	۱۹,۹۶
<i>L</i>	۶,۹۷	۹,۵۶

در مرحله‌ی اول، الگوریتم با یکبار تکرار اجرا شد ولی عیوب در تصویر بازسازی شده تغییر محسوسی نکرده بود. برای وضوح عیوب، از این ایده که "با تکرار الگوریتم باید تصاویر صاف‌تر شوند" استفاده شد و سپس از رابطه‌ی (۵)، تصویر ساخته شده به ازای ۱۰ و ۱۰۰ و ۱۰۰۰ مرتبه تکرار به دست آمد. به این ترتیب که هر بار گرادیان تصاویر ساخته شده محاسبه، و با تعیین ضرایب انتشار آن تصاویر در هر مرحله، تصاویر مرحله‌ی بعد ساخته شد. این تصویر نسبت به نمونه‌ی اولیه، نویز کم‌تر و لبه‌های هموارتری داشت. با توجه به این که آشکارسازی لبه‌هایی که در آن عیوب وجود دارند مورد نظر بود، این الگوریتم ۱۰۰۰ مرتبه تکرار شد و تصویر با لبه‌های هموار شده ساخته شد. در شکل ۶: الف تصاویر ساخته شده با روش صافی انتشاری غیرخطی نشان داده شده‌اند.

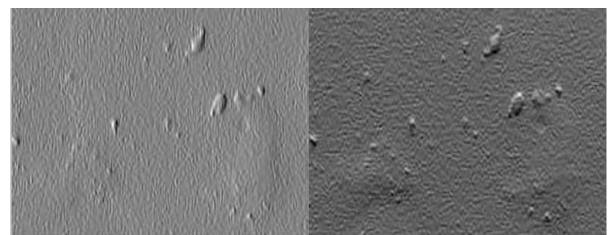
نتایج نشان می‌دهند هرچه تعداد تکرارها بیش‌تر باشد، تصویر هموارتر و صاف‌تر می‌شود به طوری که در تکرارهای کم،

سایر لبه‌هایی که گرادیان‌های تنیدی دارند نیز به صورت عیب تشخیص داده می‌شوند و قسمتی از نواحی عیوب که در شکل اصلی با پیکان مشخص شده‌اند، در این تصاویر کاملاً حذف شده‌اند. برای مقایسه‌ی تصویر ساخته شده و اصلی با سه روش بیان شده، پارامترهای *MSE*، *PSNR* و *L* محاسبه، و در جدول ۱ ثبت شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد در تصاویر ساخته شده به دو روش سوبل و پرویت که براساس گرادیان‌ها هستند، پیکسل‌ها تغییر کرده‌اند و از نظر این پارامترها، تصاویر شباهتی به هم ندارند و شکل ظاهری تصاویر نیز این موضوع را تأیید می‌کنند. بنابراین باید از روشی استفاده شود که علاوه بر تشخیص لبه‌ها، سایر نواحی عیوب حذف نشوند. به این منظور در ادامه از روش صافی انتشاری غیرخطی استفاده شد. براساس کد موجود در سایت متلب، کد جدیدی برای محاسبه‌ی پس‌زمینه با روش صافی انتشاری غیرخطی نوشته شد. در این روش، ابتدا گرادیان‌های تصاویر در چهار جهت اصلی شمال، جنوب، شرق و غرب از معادلات (۶) محاسبه شد. سپس با استفاده از آن‌ها، ضرایب *C* در چهار جهت اصلی به دست آمدند. با توجه به تأثیر ضریب *k* روی معادلات (۳) و (۶) و لزوم تغییر آن برای هر تصویر رادیوگرافی، از معادله‌ی پیشنهاد شده [۱۷] در محاسبات به این ترتیب استفاده شد:

$$g = \text{var}(\sqrt{g_{ns}^T + g_{ew}^T}) \quad (12)$$



شکل ۳. نمونه‌ای از تصاویر رادیوگرافی صنعتی تهیه شده مطابق بخش ۲.۲.



شکل ۴. تصاویر گرادیان در جهت X و Y به روش سوبل.

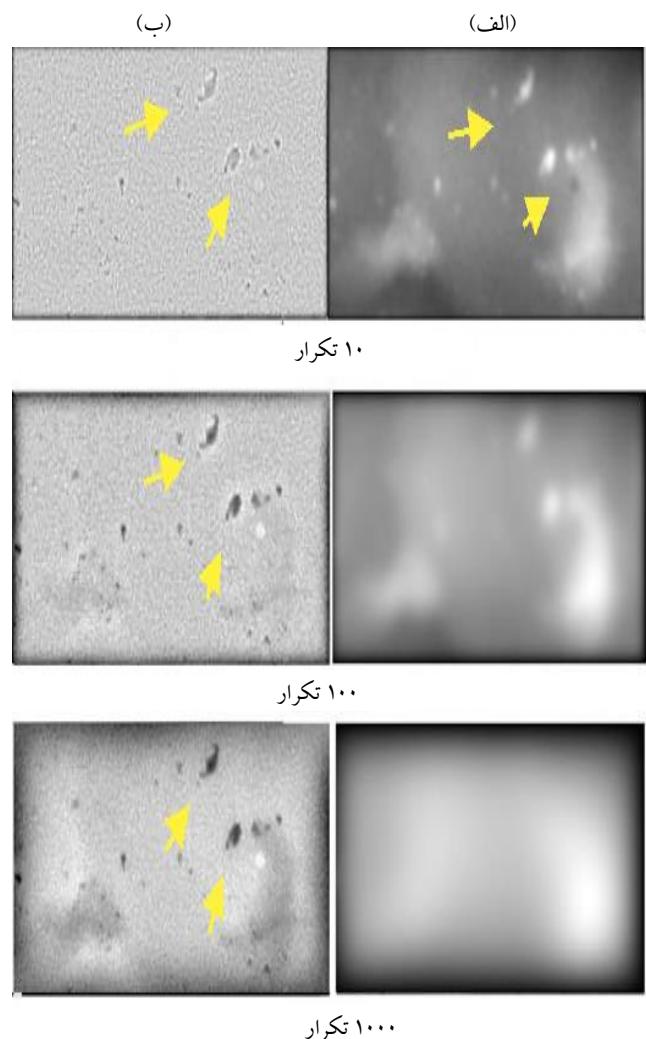
تفاضل این تصویر و تصویر اصلی، تغییرات لبه‌ها را نشان می‌دهد که در تصویر هموار شده بر اثر اجرای الگوریتم حذف شده‌اند. در شکل ۶. الف، در ردیف اول مشاهده می‌شود که تفاضل تصویر اصلی و تصویر ساخته شده با ۱۰ تکرار، محل عیوب را بهتر نشان می‌دهد ولی وضوح لازم را ندارد و هرچه تکرارها بیش تر شده است، وضوح این تصاویر بیش تر، و عیوب مشخص تر شده‌اند (شکل ۶. الف ردیف‌های دوم و سوم).

برای مقایسه‌ی تصویر ساخته شده و اصلی با سه روش ذکر شده، پارامترهای $PSNR$ ، MSE و L محاسبه، و در جدول ۲ ثبت شده‌اند. پارامترهای جدول ۲ نشان می‌دهند که با وجود وضوح عیوب در تصاویر ساخته شده با روش صافی انتشاری غیرخطی، اختلاف پارامترهای $PSNR$ و MSE خیلی زیاد است. به بیان دیگر نشان می‌دهند تصویر ساخته شده و اصلی شباهت زیادی به یکدیگر ندارند که این مورد کاملاً بدیهی است. زیرا در این جا هدف، حذف پیش‌زمینه‌ی تصویر است که بتوان به این شیوه، گرادیان‌هایی را که حاوی اطلاعات هستند واضح تر کرد. در واقع، در این پژوهش، شباهت تصویر اصلی و ساخته شده اهمیتی ندارد و واضح شدن شکل و محل عیوب از اهمیت بیش تری برخوردار است. هم‌چنین محاسبه‌ی این پارامترها نشان می‌دهد که به علت حذف پس‌زمینه در تصویر بازسازی شده با الگوریتم به کار رفته، تصویر از نظر مقدار پیکسلی تغییر کرده است و شباهتی با تصویر اولیه ندارد. در شکل ۷، نمونه‌ای از تصاویر رادیوگرافی اصلی و تصاویر ساخته شده با روش صافی انتشاری غیرخطی نشان داده شده است. در تصاویر مشاهده می‌شود که با وجود محو شدن تصاویر، لبه‌ها در محل عیوب واضح تر شده‌اند.

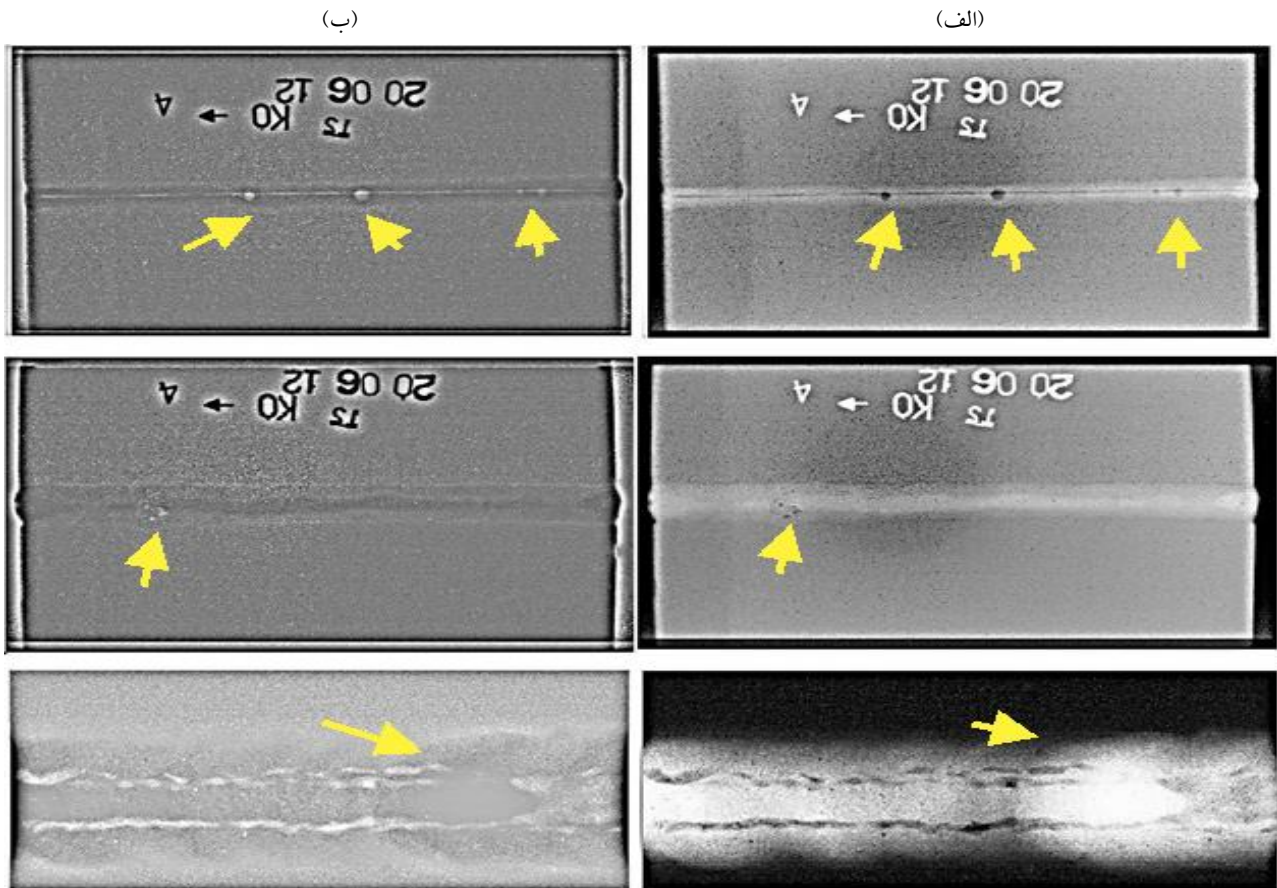
جدول ۲. پارامترهای محاسبه شده برای مقایسه‌ی تصاویر اصلی رادیوگرافی و تصاویر ساخته شده برای روش صافی انتشاری غیرخطی

پارامترهای ارزیابی	روش انتشار
$PSNR$	گرادیان
MSE	گرادیان
L	گرادیان

اطلاعات موجود در گرادیان‌ها وجود دارد ولی با افزایش تکرار الگوریتم، به تدریج اطلاعات موجود حذف، و لبه‌ها در هر مرحله صاف تر می‌شوند. عیوب تصاویر رادیوگرافی در لبه‌ها هم وجود دارند و هرگونه ناپیوستگی و تغییرات در گرادیان‌ها ممکن است عیب باشد. بنابراین باید تفاوت‌های تصاویر اصلی و تصاویر صاف شده، تغییرات گرادیان‌ها را نشان دهند. در شکل ۶. ب، اختلاف این تصاویر ساخته شده با روش گرادیان انتشار و تکرارهای مختلف و تصویر اصلی شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۶. (الف) تصاویر ساخته شده از روش صافی انتشاری غیرخطی (ب) تفاضل تصویر اصلی و تصاویر ساخته شده.

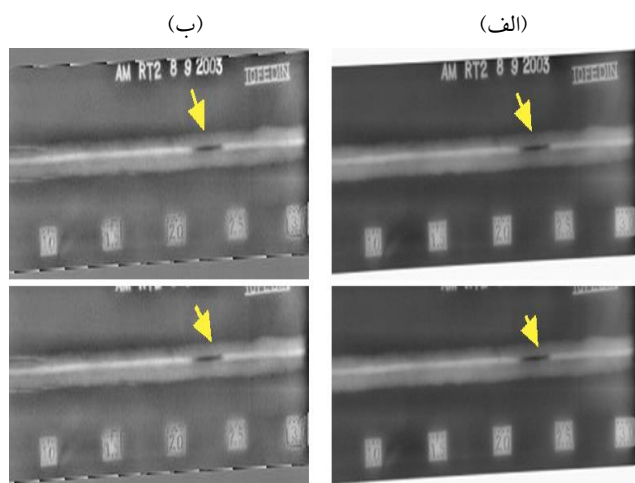


شکل ۷. نمونه‌هایی از تصاویر ساخته شده با روش صافی انتشاری غیرخطی (الف) تصویر اصلی (ب) تصاویر ساخته شده.

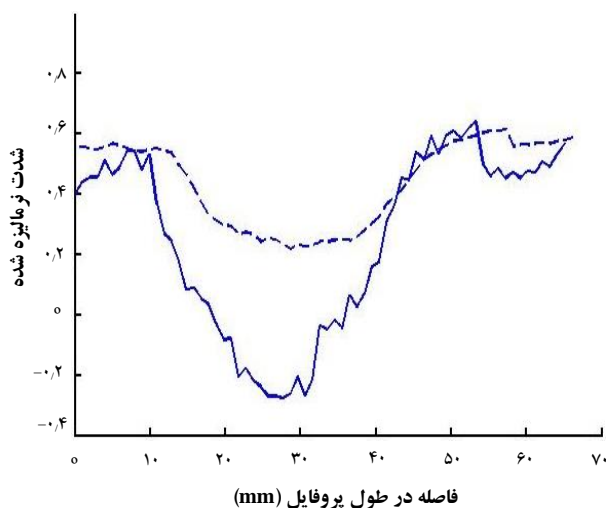
که تصاویر با ضریب ۱ و ۰٫۱ تفاوت چندانی ندارند، یعنی بازه‌ی تغییرات برای $\text{var}(g)$ در معادله‌ی (۳) خیلی بزرگ است و ضریب ۰٫۱ تغییری در تابع ایجاد نمی‌کند. برای ضریب ۰٫۰۱، تصویر بهتری به دست آمده است و وضوح عیوب نسبت به ضریب ۱ (که در تصاویر قبلی نیز همین ضریب در نظر گرفته شده بود) بهتر شده است. هم‌چنین نقاط عیب ناشی از جوش روی آن بهتر و واضح‌تر دیده می‌شوند، ولی برای مقدار ۰٫۰۰۱ تصویر کاملاً محو شده است. برای توضیح بیش‌تر به شکل ۹ که از تصویر ردیف اول شکل ۷. ب ساخته شده است توجه شود. در این تصویر به علت سایه روشن‌های تصویر، تغییرات گرادیان در آن خیلی زیاد است و همین مورد باعث شده است که اجرای روش با ضریب ۱ منجر به روشن شدن تصویر شود، ولی تصویر شکل ۹ با ضریب ۰٫۰۰۰۱ حاصل شده است که عیوب در آن واضح‌ترند. بنابراین با توجه به تغییرات $\text{var}(g)$ در تصاویر مختلف، در نظر گرفتن یک ضریب ثابت برای تمام تصاویر جوش امکان ندارد. بنابراین در این پژوهش این ضریب برای تمام تصاویر عدد ۱ در نظر گرفته شده است.

با توجه به این که پارامترهای تعریف شده برای تصاویر بر مبنای شباهت تصاویر تعریف شده‌اند، در این پژوهش این پارامترها نمی‌توانند ارزیابی معناداری ارائه دهند. برای مقایسه‌ی تصاویر ساخته شده از این سه روش، از نظرهای ۷ نفر از مفسرین فیلم رادیوگرافی استفاده شد و از آن‌ها خواسته شد با مقایسه‌ی تصاویر اصلی و ساخته شده، محل عیوب را مشخص کنند. برطبق نظر این افراد، عیوب در تصاویر ساخته شده واضح‌تر و شکل آن‌ها قابل تشخیص‌ترند.

از محدودیت‌های روش صافی انتشاری غیرخطی، مشخص کردن ضریب بازگشتی k است که بستگی به گرادیان‌های تصویر دارد. با توجه به معادلات (۳) و شکل ۱ دیده می‌شود که هرچه k کم‌تر باشد، تابع C تیزتر خواهد بود و لبه‌ها بیش‌تر حفظ خواهند شد، ولی حد این تابع مشخص نیست و نمی‌توان برای تمام تصاویر یک k مشخصی در نظر گرفت. در شکل ۸، مقدار ضریب تناسب k با تابع $\text{var}(g)$ مقادیر ۱، ۰٫۱ و ۰٫۰۰۱ در نظر گرفته شده است. از مقایسه‌ی تصاویر در شکل ۸ ملاحظه می‌شود



شکل ۱۰. (الف) تصویر رادیوگرافی قطعه‌ی استاندارد (ب) تصویر بازسازی شده آن با روش صافی انتشاری غیرخطی (ترک روی شکل با پیکان مشخص شده است).

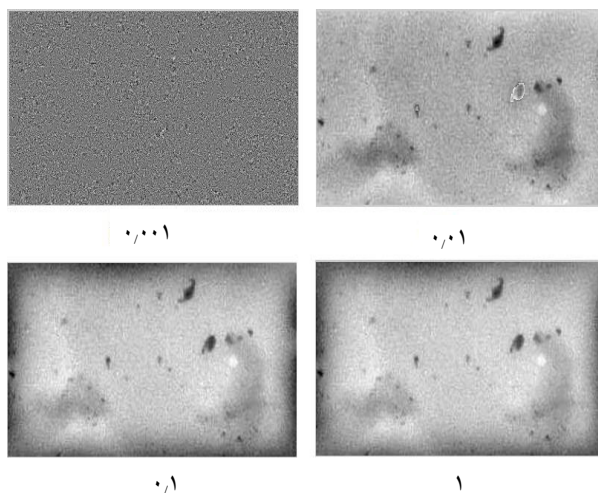


شکل ۱۱. پروفایل‌های رسم شده برای تصویر اصلی (خط چین) و تصویر بازسازی شده (خط پیوسته) در طول ترک نشان داده شده در شکل ۱۰.

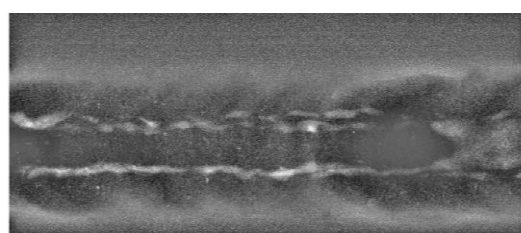
روش صافی انتشاری غیرخطی برای پردازش یک تصویر 424×112 برای ۱۰۰۰ تکرار اجرای برنامه با کامپیوتر Intel® Core™ E7300 2.66GHZ حدود ۲ min طول می‌کشد که زمان نسبتاً مناسبی برای کاربر است.

۴. نتیجه‌گیری

در این پژوهش، روش‌های گرادیان سوپل، پرویت و صافی انتشاری غیرخطی برای تصاویر رادیوگرافی به منظور وضوح نواحی عیوب استفاده شده است. با اجرای این سه روش، بر روی تصاویر رادیوگرافی، پارامترهای MSE ، $PSNR$ و L برای



شکل ۸. تصاویر ساخته شده با ضرایب مختلف برای تناسب k و $var(g)$.



شکل ۹. تصویر ساخته شده با ضریب ۰٫۰۰۰۱ (تصویر اصلی در شکل ۷ ردیف سوم - سمت راست نشان داده شده است).

برای ارزیابی کمی تصاویر، از روش رسم خط پروفایل استفاده شد. در این روش، تغییرات شدت پیکسل‌ها در امتداد خط معینی در تصویر اولیه و تصویر ساخته شده مقایسه می‌شود [۹]. شکل ۱۰، رادیوگرافی یک قطعه‌ی استاندارد را که دارای عیب با اندازه‌ی مشخص است، نشان می‌دهد. برای اندازه‌گیری ترک، از یک خط کش فلزی در کنار آن قطعه استفاده شده است. تصویر بازسازی شده‌ی آن با روش صافی انتشاری غیرخطی در شکل ۱۰، ب نشان داده شده است. دیده می‌شود که تصویر بازسازی شده، به علت حذف پس‌زمینه، دارای وضوح بهتری است. برای ارزیابی به منظور بهبود وضوح در تصویر بازسازی شده و مقایسه‌ی آن با تصویر اصلی، خط شدت پروفایل در امتداد ترک نمایش داده شده با پیکان، در شکل ۱۱ رسم شده است. دیده می‌شود که تفاوت پیکسل‌ها در تصویر بازسازی شده حدود ۳ برابر افزایش یافته، و وضوح بهبود پیدا کرده است. اندازه‌ی ترک از روی تصاویر اصلی و بازسازی شده و پروفایل آن‌ها به ترتیب $7/6$ و $7/9$ mm به دست آمده که مقدار حاصل از تصویر بازسازی شده به مقدار واقعی ترک که $7/3$ mm است نزدیک‌تر است.



پی‌نوشت‌ها

1. Nonlinear Diffusion Method
2. Diffusion Coefficient
3. Sobel, Perwitt
4. Variation
5. Peak of Signal to Noise Ratio
6. Mean Square Error

تصاویر اصلی و ساخته شده محاسبه شدند. نتایج حاصل از بررسی این پارامترها نشان می‌دهند که تصاویر ساخته شده شباهتی به تصاویر اصلی ندارند، ولی براساس نظر مفسرین فیلم‌های رادیوگرافی، عیوب در تصاویر ساخته شده به روش‌های سوبل و پرویت مشخص نیست. هم‌چنین در روش صافی انتشاری غیرخطی، لبه‌ها وضوح بیش‌تری پیدا کرده‌اند و عیوب مشخص‌تر شده‌اند. بنابراین از روش صافی انتشاری غیرخطی می‌توان برای پردازش تصاویر رادیوگرافی به‌منظور آشکارسازی و وضوح بیشتر عیوب استفاده کرد.

مراجع

- [1] C. Knaus, M. Zwicker, Progressive image denoising, *IEEE T. Imag. Process.* **99** (2014) DOI: 10.1109/TIP.2014.2326771.
- [2] A. Movafeghi, Using empirical mode decomposition and a fuzzy algorithm for the analysis of weld defect images, *Insight* **57(1)** (2015) 35-39.
- [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 Int.* **37** (2004) 461-470.
- [4] Ch. Dang, J. Gao, Zh. Wang, Y. Xiao, Y. Zhao, A novel method for detecting weld defects accurately and reliably in radiographic images, *Insight* **58(1)** (2016) 28-34.
- [5] M.A. Carrasco, D. Mery, Segmentation of welding defects using a robust algorithm, *Mater. Eval.* **62(11)** (2004) 1142-1147.
- [6] D. Mery, *Computer Vision for X-ray Testing*, Springer (2015).
- [7] H.I. Shafeek, E.S. Gadelmava, A.A. Abdel-Shafy, I.M. Elewa, Assessment of welding defects for gas pipeline radiographs using computer vision, *NDT&E Int.* **37** (2004) 291-299.
- [8] A. Movafeghi, E. Yahaghi, N. Mohammadzadeh, Defect Detection Improvement of Digitised Radiographs by Principal Component Analysis with Local Pixel Grouping, *J. Nondestruct. Eval.* **34(17)** (June 2015) DOI: 10.1007/s10921-015-0290-z.
- [9] 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.
- [10] P.N. Jebarani Sargunar, R. Sukanesh, Automatic detection of weld defects in pressure vessels using fuzzy neural network, *International Journal of Computer Applications* **1(21)** (2010) 0975- 8887.
- [11] 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.
- [12] J. Weickert, B.M. Ter Haar Romeny, M. Viergever, Efficient and reliable schemes for nonlinear diffusion filtering, *IEEE T. Imag. Process.* **7(3)** (Mar 1998) 398-410.
- [13] K. He, J. Sun, X. Tang, Guided image filtering, *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.* **35** (2013) 1397-1409.
- [14] E. Nadernejad, H. Hassanpour, Evaluating diffusion-based image de-noising techniques, in Proc. Int. Conf. on Intelligent & Advance Systems ICIAS, pp. 565-570, Kuala Lumpur, Malaysia, Nov. (2007) 25-28.
- [15] H. Hassanpour, E. Nadernejad, H. Miar, Image restoration using a PDE-based approach, *IJE Transactions B: Applications* **20(3)** Dec. (2007) 225-236.



- [16] J. Mahipal, S.K. Sharma, S. Sundar, On a generalized 5×5 stencil scheme for nonlinear diffusion filtering, *International Journal of Advances in Engineering Sciences and Applied Mathematics* **8 (3)** (2016) 194-206.
- [17] M. Ghisi, M. Gobbino, A class of local classical solutions for the one dimensional Perona-Malik equation, *Journal: Transaction of the American Mathematical Society* **361** (2009) 6429-6446.
- [18] Marina Ghisi, Massimo Gobbino, An example of global classical solution for the Perona-Malik equation, arXiv:0907.0772v1 (2009).
- [19] A. Shigeru, Consistent Gradient Operators, *IEEE T. Pattern Anal.* **22(3)** (2000).
- [20] R.C. Gonzalez, R.E. Woods, Digital Image Processing, Pearson Education Hall (2008).
- [21] INRA- Iran Nuclear Regulatory Authority, Basic Radiation Safety Standards (1999).
- [22] ISIRI-Institute of Standards and Industrial Research of Iran, Protection against ionizing radiation and the safety of radiation Sources-Basic standards, No 7751 (in Persian) (2005).