شناسایی عیوب خوردگی در آثار هنری با استفاده از رادیوگرافی و روش‌های پردازش تصویر مبتنی بر بهبود گرادیان و بهبود هیستوگرام

مهدیه عباسی رزگله * [۱]– عفت یا حقی [۲] – امیر موافقی [۳]

[۱] دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی، دانشکده علوم پایه، گروه فیزیک

[۲] دانشگاه بین المللی امام خمینی، دانشکده علوم پایه، گروه فیزیک

[۳] پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده کاربرد پرتوها

چکیده:

میراث فرهنگی سرزمین ایران، سرشار از آثار هنری تاریخی است. حفاظت و صیانت از چنین آثاری امری مهم به شمار می‌رود. بسیاری از این آثار با گذشت زمان، به دلیل شرایط نامناسب نگهداری، استحکام اولیه خود را ازدست داده و دچار خوردگی و فرسایش شده و طرح اصلی خود را از دست می‌دهند. برای آشکارسازی این خوردگی‌ها و ساییدگی‌ها نیازمند ابزارهای قابل اعتمادی است که میزان تخریب در هر قسمت از قطعه را مشخص می‌کند. در این مقاله با استفاده از روش‌های پردازش تصویر مبتنی بر گرادیان و افزایش کنتراست در تصاویر رادیوگرافی، به بررسی عیوب خوردگی وساییدگی اشیاء عتیقه‌ای که براثر مرور زمان دست‌خوش آسیب شده بودند پرداخته شده است.

کلمات کلیدی: *اشیاء عتیقه، عیوب خوردگی، رادیوگرافی، پردازش تصویر، بهبود کنتراست.*

مقدمه:

میراث فرهنگی و آثار هنری هر تمدنی، از جمله‌ی مفاخر آن تمدن بشمار می‌رود. با کشف هر اثر تاریخی سوال‌های مختلفی از قبیل، شناسایی درست بازه‌ی زمانی تاریخی و فرهنگی اثر، محل و روش تولید اثر و انتخاب روش درست حفظ و نگهداری و مرمت و بازسازی احتمالی در مورد آن مطرح می‌شوند. بسیاری از این آثار با گذشت زمان بر اثر مواردی مانند خوردگی، فرسایش و حوادث مختلف طرح اصلی خود را از دست می‌دهند. بررسی فرایند خوردگی و ساییدگی نیازمند ابزارهای آشکارسازی قابل اعتمادی است که میزان تخریب در هر قسمت از قطعه را مشخص کند. معمولاً استفاده از روش‌های فیزیکی بر روش‌های شیمیایی ترجیح داده می‌شود، چرا که آسیب کمتری به اثر هنری وارد می‌کند. آزمون‌های غیرمخرب[1] (NDT) به دلیل داشتن پایه فیزیکی و آسیب کمتر جایگاه ویژه‌ای در شناسایی آثار تاریخی- هنری دارد. یکی از مهمترین ابزارها برای مشخص کردن میزان خوردگی و ساییدگی، روش غیرمخرب رادیوگرافی است که می‌تواند به صورت دو بعدی و یا سه بعدی انجام شود [۱].

[1] Non-destructive testing

آزمون رادیوگرافی صنعتی که یکی از روش‌های آزمون‌های غیرمخرب می‌باشد بر این اصل که اشعه‌های ایکس و گاما تابش‌های الکترومغناطیسی با طول‌موج کوتاه می‌باشند و می‌توانند در مواد نفوذ کنند. این تابش-ها در عبور از ماده جذب یا میرا می‌شوند، که میزان آن بستگی به ضخامت، چگالی و عدداتمی ماده دارد استوار است. این پدیده جذب برای تفسیر اطلاعات ثبت شده روی فیلم استفاده می‌شود [۲و۳]. بهبود کنتراست تصویر پردازشی است که در آن، یک تصویر با استفاده از گسترش بازه سطوح خاکستری و تغییر در هیستوگرام آن، تبدیل به تصویری با کیفیت بالاتر و مناسب برای یک کاربرد معین خواهد شد. بهبود کنتراست یکی از مهم‌ترین حوزه‌ها در پردازش تصویر برای انسان و همچنین بینایی ماشین است [٤]. در این مقاله از رادیوگرافی و روش‌های پردازش تصویر، مبتنی بر افزایش کنتراست برای شناسایی عیوب خوردگی در اشیاء عتیقه که شامل بشقاب، کاسه، قندان و پلاک که برخی مربوط به دوره قاجار می‌باشد و در منازل بعنوان ظرف و تزئینات کاربرد داشته، استفاده شده است.

روش کار:

از مهم‌ترین روش‌های مورد استفاده روش‌های پردازش تصویر مبتنی بر گرادیان تصاویر است. عیوب جوشکاری در تصاویر به صورت تغییرات در گرادیان‌های محلی دیده می‌شوند [۱]. بنابراین با آشکارسازی‌های لبه می‌توان این عیوب را واضح‌تر کرد. هدف آشکارسازی لبه نشان‌گذاری نقاطی از یک تصویر است که در آن‌ها شدت روشنایی به تندی تغییر می‌کند. تغییرات تند در تصویر معمولاً بیانگر وجود عیوب هستند [۳-۱].

محاسبه لبه‌ها بر اساس یک عملگر مشتق محلی است. لبه در واقع یک گذر از ناحیه تاریک به ناحیه روشن است که به صورت یک تغییر سریع در سطح خاکستری دیده می‌شود. مشتق اول مقطع سطح خاکستری در لبه جلویی گذر، مثبت است، در لبه عقبی آن منفی است و همان‌طور که مورد انتظار است، در نواحی با سطح خاکستری ثابت صفر است. مشتق دوم برای قسمتی از گذر که در طرف تیره لبه است، مثبت است، برای قسمت دیگر گذر که در طرف روشن لبه است، منفی و در نواحی با سطح خاکستری ثابت و یا صفر است. بنابراین، از بزرگی مشتق اول می‌توان برای تعیین این که آیا پیکسل در روی لبه قرار دارد، استفاده کرد. مشتق دوم در نقطه وسطی هر گذر سطح خاکستری یک عبور از صفر دارد. عبور از صفرها راهی قوی برای تعیین محل لبه‌های تصویر فراهم می‌آورند. اندازه مشتق اول تصویر در هر نقطه برابر بزرگی گرادیان است. مشتق دوم نیز با استفاده از لاپلاسین به دست می‌آید. اگر یک لبه را به عنوان تغییر در شدت روشنایی که در طول چند پیکسل دیده می‌شود در نظر بگیریم، الگوریتم‌های آشکارسازی لبه به طور کلی مشتقی از این تغییر

شدت روشنایی را محاسبه می‌کنند [٦-٥]. در این تحقیق از خواص تغییرات گرادیان‌ها و فیلتر گوسی برای وضوح نواحی آسیب و عیوب در جوشکاری صنعتی استفاده شده است.

روش گوسی چند مرحله‌ای که بر اساس تغییرات گرادیان بر اساس انتشار است نیز بر اساس تغییرات گرادیان عمل می‌کند. با در نظر گرفتن ضریب انتشار بر اساس معادله انتشار حرارت می‌توان معادله تصویر I در تکرار t ام را چنین نوشت:

$$I_t = \mathrm{div}(g_k|\nabla I|^2)\nabla I \qquad (۱)$$

که در آن g_k ضریب انتشار است. اگر g_k ثابت باشد معادله انتشار با فاکتور انتشار همگن است که در این حالت، معادله فوق بین پیکسل‌های مربوط به لبه‌ها و سایر پیکسل‌های تصویر تفاوتی قائل نشده و همه پیکسل‌ها را به یک میزان هموار می‌کند. چنین شرایطی باعث حذف اطلاعات لبه‌ها شده و مطلوب نیست. برای ضریب انتشار یک معادله خطی و غیرهمگن در نظر گرفته می‌شود که وابسته به گرادیان است. در صورتی که ضریب انتشار وابسته به تصویر باشد، معادلات خطی فوق تبدیل به یک معادله غیرخطی می‌شوند که به این ترتیب در نظر گرفته می‌شوند [٦-٥]:

$$g_k(\omega) = \exp(-\frac{\omega}{2k})^2 \qquad (۲)$$

که در آن ω گرادیان نقطه مورد نظر در تصویر و k یک ضریب ثابت است. با افزایش گرادیان تصویر، مقدار این ضرایب کاهش پیدا می‌کند. که یک تصویر صاف خواهیم داشت که تصویر زمینه است با کم کردن زمینه از تصویر اصلی تصویر تغییرات گرادیان که لبه‌ها را بهتر نشان می‌دهد، به دست می‌آید.

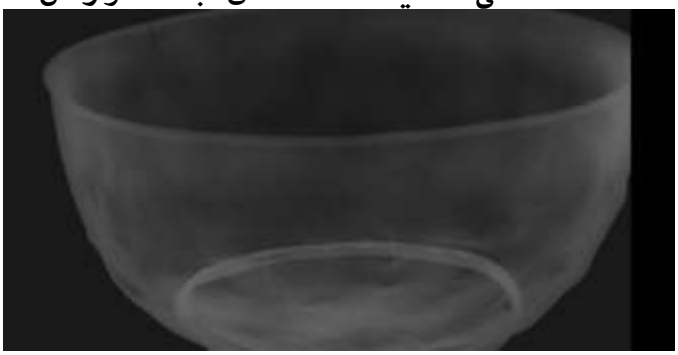
رادیوگرافی قطعات:

برای رادیوگرافی قطعات عتیقه از دستگاه ERESCO 65 MF2 استفاده شده که بوسیله شرکت Pantak-Seifert ساخته شده است. برای رادیوگرافی ولتاژ ۸۰-۱۲۰ kV، جریان بین ۲-۳ mA، دستگاه و زمان پرتودهی حدود ۳ دقیقه بوده است. از صفحات CR به جای فیلم استفاده شده و برای دیجیتال کردن تصاویر از اسکنر ScanMaker 1000-XL Microtek استفاده شده و فرمت ذخیره کردن عکس‌ها JPG بوده است. این اسکنر توانایی اسکن با حداکثر قدرت تفکیک (رزولوشن) مکانی ٦٤٠٠ dpi (میکرون) و فیلم‌های با حداکثر چگالی اپتیکی ٤ را داراست. طبق اکثر استانداردهای دیجیتال کردن فیلم‌های رادیوگرافی، اسکنر فیلم باید توانایی اسکن فیلم‌های رادیوگرافی با حداقل دانسیته اپتیکی ۳/۵ را داشته باشد [٨-٧]. نرم افزار استفاده شده برای انجام پردازش‌های بعدی بر روی این تصاویر رادیوگرافی دیجیتال، نرم افزار متلب (۲۰۱٤ MATLAB) است.

نتایج:

قطعات عتیقه موجود متعلق به دوران قاجار بوده و مصارف خانگی و تزئینی داشته‌اند. مجموعه اشیاء عتیقه کاسه مسی، قندان برنزی، قاشق نقره‌ای، پلاک و بشقاب مسی هستند. نمونه‌ای از این اشیاء در شکل ۱ نشان داده شده که یک کاسه مسی با طرح‌های تزئینی است و کاربرد آن به عنوان ظرف غذا بوده است. برای بررسی عیوب، نقوش و طرح‌های داخلی قطعات عتیقه، ابتدا تصاویر رادیوگرافی تهیه شده است. در شکل ۲ تصویر رادیوگرافی دیجیتال شکل ۱ نشان داده شده است. دیده می‌شود که در شکل ۲ تصویر بر اثر پراکندگی و نویزهای مختلف محو شدگی دارد. برای وضوح بهتر تصاویر و مشخص‌تر شدن لبه‌ها از روش گرادیان مرتبه اول و دوم استفاده شد.

شکل ۱ کاسه مسی عتیقه متعلق به دوران قاجار

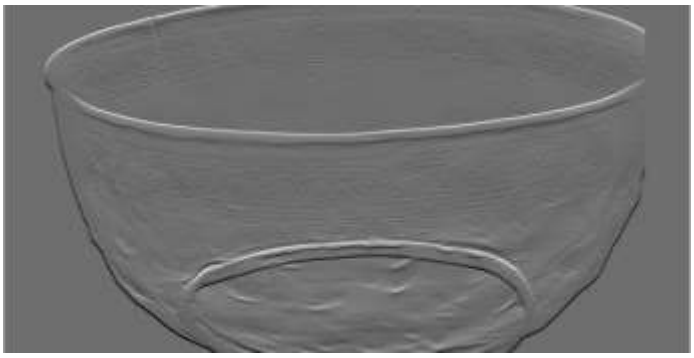


شکل ۲ تصویر رادیوگرافی کاسه عتیقه

در شکل ۳ نتایج حاصل از اعمال الگوریتم گرادیان مرتبه ۱ و ۲ بر روی تصویر رادیوگرافی کاسه مسی نشان داده شده است. در شکل ۳ دیده می‌شود که تصویر اندازه گرادیان درجه ۲ طرح‌ها و نقوش را صاف‌تر از گرادیان درجه ۱ نشان می‌دهد و علت آن تغییرات شیب زیاد در گرادیان درجه ۱ است. این الگوریتم‌ها برای همه تصاویر پاسخ خوبی نداشتند و بنابراین سعی شد از الگوریتمی استفاده شود که بر اساس اطلاعات ناشی از گرادیان تصویر خود را تعدیل کند. در ادامه روش گوسی چند مرحله‌ای برای ۱۰۰۰تکرار و ضریب ۲ =k

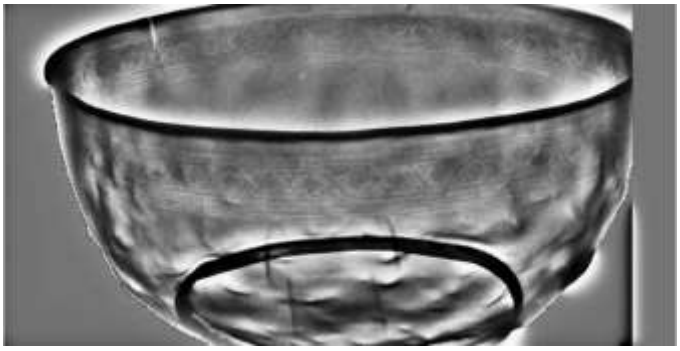
اجرا شد. در شکل ٤ تصویر بازسازی شده بوسیله این الگوریتم نشان داده شده است. تصویر نسبت به دو روش گرادیان درجه ۱ و ۲ وضوح بهتری دارد و شکستگی لبه کاسه کاملا مشهود و شکل شکستگی مشخص است. برای ارزیابی از تصاویر حاصل به پنج نفر با تخصص رادیوگرافی و باستان‌شناسی نشان داده شد و نظرات آن‌ها در مورد کیفیت تصاویر در جدول ۱ ثبت شد. با توجه به جدول مشاهده می‌شود که متخصصین نتایج حاصل از روش گوسی تکراری را بیشتر تائید کرده‌اند. در مورد پلاک این روش کارایی لازم را نداشته که علت آن کم کیفیتی تصویر اولیه رادیوگرافی به علت ضخامت کم آن بوده است.

الف



ب

شکل ۳ بازسازی تصویر شکل ۲ با استفاده از الگوریتم گرادیان الف- درجه ۱ و ب- درجه ۲



شکل ۴ تصویر با اعمال روش فیلتر گوسی چند مرحله‌ای

جدول ۱ – نتایج ارزیابی بوسیله متخصصین

شیء	گرادیان درجه ۱	گرادیان درجه ۲	روش گوسی تکراری
کاسه مسی	٪۳۰	٪۳۰	٪۹۰
پلاک	٪۰	٪۵	٪۱۰
بشقاب مسی	٪۴۰	٪۳۰	٪۸۰
قندان برنزی	٪۴۰	٪۳۰	٪۹۰

بحث و نتیجه‌گیری:

در این تحقیق روش بازسازی تصاویر رادیوگرافی اشیا عتیقه بر اساس گرادیان درجه ۱ و ۲ و روش گوسی تکراری مقایسه شده است. نتایج نشان می‌دهد که روش گوسی تکراری تصاویر بهتری نسبت به دو روش دیگر ایجاد می‌کند. هر چند که رادیوگرافی معمولی نیز می‌تواند برای شناسایی آثار عتیقه مورد استفاده قرار گیرد اما این تحقیق نشان می‌دهد که ترکیب توام دیجیتال رادیوگرافی و تکنیک‌های پردازش تصویر، می‌تواند نتایج بسیار مطلوب‌تری را در شناسایی آثار باستانی و کاربردهای مشابه حاصل نماید.

مراجع:

1. Bradley. D., Creagh. D., Physical Techniques in the Study of Art, Archaeology and Cultural Heritage, Elsevier Publication, Vol. 1 and 2, 2006.
2. Casali. F., X-ray Digital Radiography and Computed Tomography for Cultural Heritage, Archeometriai Muhely, pp. 24-28, 2006.
3. Lehmanna. E. H., Vontobela. P., Deschler-Erbb. E., Soares. M., Non-invasive studies of objects from cultural heritage, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 542, pp. 68–75, 2005.

4. Willems, P., et al., Application of CR for corrosion and wall thickness Measurements, Proc. of the 7th European Conference on NDT, Copenhagen, Denmark, pp. 2774-2781 , 1998.
5. He. K., Sun. J., Tang. X., Guided image filtering, IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell, Vol.35, pp. 1397–1409, 2013.
6. Mahipal. J., Sharma. S. K., Sundar. S., On a generalized 5 × 5 stencil scheme for nonlinear diffusion filtering International Journal of Advances in Engineering Sciences and Applied Mathematics, Vol. 8, Issue 3, pp 194–206, 2016.

۷. سازمان انرژی اتمی ایران، "استانداردهای پایه حفاظت در برابر اشعه"، معاونت نظام ایمنی هسته‌ای کشور، ۱۳۸۰

۸. موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، "حفاظت در برابر پرتوهای یون‌ساز و ایمنی منابع پرتو– استانداردهای پایه"، استانداردهای ملی ایران، استاندارد شماره ۷۷۵۱، ۱۳۸۳.