DOI: 10.30494/JNDT.2022.324751.1079 Received: Januray 15, 2022 - Accepted: May 27, 2022

A Study of the Internal Structure of two Antique Handguns by Means of Radiographic Inspection

Effat Yahaghi[1*], Amir Movafeghi[2], Jose A. Madrid García [3]

1- Department of Physics, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran
2-Reactor and Nuclear Safety Research School, Nuclear Science & Technology Research Institute (NSTRI), Tehran, Iran
3-University Institute for the Restoration of the Patrimony, Universitat Politècnica de València, Valencia, Spain

*yahaghi@sci.ikiu.ac.ir

Abstract

Identifying the internal components of old specimens such as antique guns is very important to restoration experts in terms of the internal design and their connections. It is also important to check the safety of the weapon in terms of whether it is full or empty or how the cartridges are positioned. In this case study, radiography testing was used to investigate the condition of two antique guns, revolver, and colt. Image processing techniques based on the curvelets was used to for better evaluation of the radiographs. The results show that radiography provides good information in revealing the internal structure and the parts arrangementsd in the two weapons. Their processed images also provide more detailed and accured information. Experts have confirmed the radiographic information in the two guns, and confirmed the efficiency of the “curvelet” wavelet method for the definition increasing of the images up to 25%.

Keywords: Radiography, Cultural Heritage, Revolver, Pistol, Image Processing, Curvelet

DOI: 10.30494/JNDT.2022.324751.1079

تاریخ دریافت: ۲۵ دی ۱۴۰۰- تاریخ پذیرش: ۰۶ خرداد ۱۴۰۱

بررسی ساختار داخلی دو سلاح دستی میراث فرهنگی با بازرسی پرتونگاری

عفت یاحقی*[۱]، امیر موافقی [۲]، خوزه آنتونی مادرید گارسیا[۳]

۱- گروه فیزیک، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران،

۲- پژوهشکدهٔ راکتور و ایمنی هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، تهران، ایران

۳ مؤسسهٔ دانشگاهی مرمت و بازسازی، دانشگاه پلی‌تکنیک والنسیا، والنسیا، اسپانیا

*Yahaghi@sci.ikiu.ac.ir

چکیده

شناسایی اجزای داخلی وسایلی مانند اسلحه‌های قدیمی برای کارشناسان مرمت اهمیت زیادی دارد. در این بررسی‌ها چگونگی طراحی داخلی و اتصالات اجزاء و وضعیت عمومی اسلحه اهمیت دارند. در این تحقیقات همچنین بررسی وضعیت ایمنی سلاح از نظر پر یا خالی بودن و یا نحوه قرارگیری فشنگ‌ها نیز مهم هستند. در این مطالعه پرتونگاری ایکس برای بررسی وضعیت دو هفت تیر شش لول و کلت میراث فرهنگی بکار گرفته شده است. برای وضوح بیشتر پرتونگاره‌ها از تکنیک پردازش تصویر به کمک موجک کرولت استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که پرتونگاری، در آشکارسازی ساختار داخلی و چگونگی چینش قطعات در دو سلاح، اطلاعات خوبی را به کاربر می‌دهد. تصاویر پردازش شده آن‌ها نیز جزئیات بیشتر و دقیق‌تری از این اطلاعات را ارائه داده است. نظر متخصصین، ضمن تایید اطلاعات پرتونگاری در دو اسلحه، کارایی روش موجک کرولت را برای افزایش تا ۲۵٪ در وضوح تصاویر تائید کرده است.

واژگان کلیدی: پرتونگاری، میراث فرهنگی، شش لول، کلت، پردازش تصویر، موجک کرولت.

۱- مقدمه

بررسی ساختار داخلی ابزار آلات عتیقه مانند سلاح‌های دستی بدون آسیب آنها از اهداف علم مرمت در باستانشناسی است [۳-۱]. این اشیا که در زمان خود از تکنولوژی‌های خوبی برخوردار بوده‌اند، بررسی آنها می‌تواند اطلاعات مناسبی در خصوص چگونگی ساخت، نحوه اتصالات، طراحی داخلی و مواد بکار رفته در آنها بدهد. همچنین اطلاعات در مورد قسمت‌های پوسیده و آسیب دیده نیز می‌تواند به کارشناسان مرمت در روش بازسازی قطعه برای جلوگیری از آسیب‌های آتی کمک کند.

با توجه به اینکه این اشیا عتیقه که در حفاری‌ها پیدا می شوند، معمولا به تعداد انگشت شمار و گاها منحصر بفرد هستند، در عین حال باز کردن بدنه برای بازبینی داخل آنها مشکلات زیادی دارد چون باعث وارد شدن صدمات جبران ناپذیر به این اشیا فرهنگی گرانبها می‌شود. بعلاوه بخاطر پوسیدگی و خوردگی قسمت‌های مختلف ممکن است سرهم کردن مجدد قطعات ممکن نباشد. همچنین با توجه به مسائل ایمنی، در بررسی سلاح‌های قدیمی مزیت استفاده از پرتونگاری، دسترسی به اطلاعات باروت و یا مواد منفجره موجود در قطعه است که می‌تواند در حین عملیات بازسازی و مرمت خطر آفرین باشد.

آزمون‌های غیرمخرب ابزار بسیار توانمندی برای برای دستیابی به اطلاعات داخلی و نحوه چینش اجزا بدون بازکردن آنها می‌باشد که بدون تخریب قطعه، این اطلاعات را در اختیار کارشناسان مرمت قرار می‌دهد [۷-۳].

از مهمترین این روش‌های غیرمخرب، پرتونگاری صنعتی است که بر اساس عبور پرتو ایکس و یا گاما از اجسام و ثبت پرتو تضعیف شده بر روی آشکارسازی مانند فیلم، صفحات فسفری و یا صفحات CR است[۶-۵].

در این تحقیق ساختار یک رولور و یک کلت از مجموعه ابزارآلات موزهٔ والنسیای اسپانیا با پرتونگاری بررسی شده است. این سلاح‌ها از نوع کوچک، سبک و قابل حمل هستند که سلاح کمری به حساب می‌آید[۹-۷]. شش لول یا رولور دارای استوانه‌ای است که خانه‌هایی برای جای دادن فشنگ

دارند و با هر بار شلیک استوانه چرخیده و یکی از فشنگ‌ها آماده شلیک می‌گردد. این سلاح تک لول است و عنوان شش لول فقط به علت ظرفیت مخزن آن، به این اسلحه داده شده‌است. کلت برای اولین بار به سلاح کمری کلت ام۱۹۱۱ از کارخانه کلت آمریکا اطلاق شد و بعدها به هر سلاح دستی که کم و بیش شبیه آن و دارای پیستول باشد، گفته می‌شود [۱۱-۱۰].

باتوجه به بدنه و اجزای فلزی این دو اسلحه، پرتونگاری با اشعه ایکس برای بررسی اجزا داخلی آن مناسب به نظر می رسد. برای کاهش عدم وضوح می‌توان روش‌های مختلف پردازش تصویر شامل افزایش کنتراست و حذف مات‌شدگی را بکار برد که هدف در این روش‌ها افزایش کیفیت و وضوح تصاویر با حفظ جزئیات آن‌ها است. این روش‌ها شامل الگوریتم‌های فرکانسی و مکانی هستند که می‌توانند برای بهبود کنتراست پرتونگاره‌ها مورد استفاده قرار بگیرند. از جمله این روش ها که در بازسازی تصاویر پرتونگاری کاربرد دارند انواع مختلف صافی، الگوریتم‌های موجک، شیرلت و کرولت هستند که برای رفع مات شدگی تصاویر پرتونگاره و بهتر شدن کنتراست تصاویر استفاده شده است.

در ادامه نحوه بررسی این دو اسلحه و بازسازی تصاویر آنها با الگوریتم کرولت برای شناسایی اجزا و ساختار آن‌ها توضیح داده شده است.

۲- روش‌ها

۲-۱- معرفی آثار میراث فرهنگی

دو اسلحه استفاده شده در این تحقیق از نوع سلاح‌های گرم کمری هستند که از دو نوع شش لول و کلت می باشند که در جنگهای داخلی اسپانیا بکار گرفته شده‌اند (قدمتی حدود ۹۰ سال) و تصویری از آنها در شکل ۱ آورده شده‌است. در شکل ۱- الف دیده می‌شود که اسلحه شش لول دارای خوردگی در دسته و لوله است و در ناحیه ماشه بیشترین خوردگی دیده می‌شود.

در شکل ۱-ب اگرچه ظاهر کلت آسیب کمتری دیده است ولی زنگ‌زدگی در کل سطح دیده می‌شود و ناحیه ماشه کاملا از بین رفته است. ناحیه پلاستیکی بخوبی حفظ شده و آثار و نقوش آن مشخص است. مشخصات این دو اسلحه در جدول ۱ آورده شده‌اند.

جدول ۱ – مشخصات اسلحه‌ها

نوع سلاح	ابعاد	جنس
شش لول	۱۲ X ۲۲	چوب و فلز
کلت	۱۲ X ۲۰	پلاستیک و فلز

الف

ب

شکل ۱-تصاویر سلاح‌ها: الف- شش لول ب- کلت

۲-۲ – آزمون پرتونگاری

برای پرتونگاری از منبع اشعهٔ ایکس ترانس پورتیکس ۵۰ استفاده شده است که دارای تیوب اشعه ایکس ۳ kW و اندازه نقطه کانونی ۲/۳ mm با ۲ mm صافی آلومینیومی است. این تیوب محدوده تغییرات ولتاژ بین ۲۰ تا ۱۱۰ کیلوولت دارد. مجموعه دارای یک لامپ با نور مرئی است که برای مشخص کردن محل بیم روی جسم استفاده می شود.

این سلاحها با استفاده از سیستم رادیوگرافی دیجیتال CR رادیوگرافی شده اند. صفحات فسفر برای آشکارسازی اشعه ایکس عبوری از جسم استفاده شده که بعد از پرتوگیری با اسکنرلیزری مخصوص CR 30-X اسکن شده و اطلاعات تصویر حاصل شده است. فاصلهٔ سورس تا فیلم SFD برابر ۱۰۰ سانتی متر، زمان اکسپوژر ۳ ثانیه و جریان تیوب برابر ۲۰ میلی آمپر انتخاب شده است. ولتاژ تیوب بترتیب ۹۱ و

۷۲ کیلو ولت تنظیم شده و آزمون در انستیتو مرمت و باستان‌شناسی دانشگاه پلی تکنیک والنسیا انجام شده است.

۲-۳ پردازش تصاویر پرتونگاری با روش کرولت

اکثر تصاویر طبیعی لبه‌های خط مانند، یا به عبارت دیگر، ناپیوستگی‌هایی در سرتاسر منحنی دارند. این ناپیوستگی‌ها اصطلاحا تکین‌های خط یا نقطه نامیده می‌شوند. تبدیل موجک تکین‌های نقطه‌ای را به‌خوبی بیان می‌کند و تنها تعداد اندکی از ضرایب آن دستخوش تغییر می‌شود، حال آنکه تکین‌های منحنی، تمامی ضرایب تبدیل موجک را تغییر می‌دهد و این تبدیل نمی‌تواند تکین‌های منحنی را بیان کند و باعث ازدست رفتن اطلاعات جهت می‌شود. برای داشتن اطلاعات دقیق جهتی در تبدیل موجک، یک تحلیل چند دقتی هندسی[1] به‌نام تبدیل کرولت، پیشنهاد شده‌است. تبدیل کرولت از گوه‌های متقارن زاویه‌دار یا پنجره‌های ذوزنقه‌ای زاویه‌دار استفاده می‌کند تا ویژگی‌های مرتبط با جهت را حل کند [۱۳-۱۲] موجک‌های متسع‌شده و انتقال یافته درنظرگرفته‌شده که در رابطه (۱) آورده شده‌است:

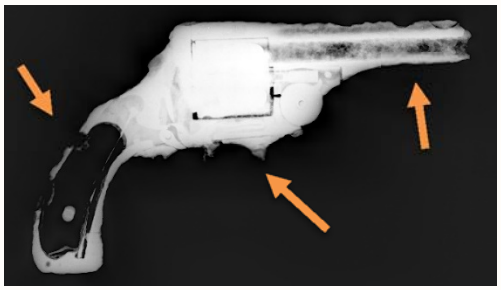
$$\Psi_{j,k} = 2^{j/2}\Psi(2^j \cdot (-k)) \quad (۱)$$
$$j,k\epsilon Z$$

که در آن j مرتبه موجک و k ضریب دامنه و زاویه در موجک هستند. هر سیگنال $f\epsilon L^2(R)$ می‌تواند در یک بسط موجک به‌طور یکتا به این شکل نمایش داده‌شود:

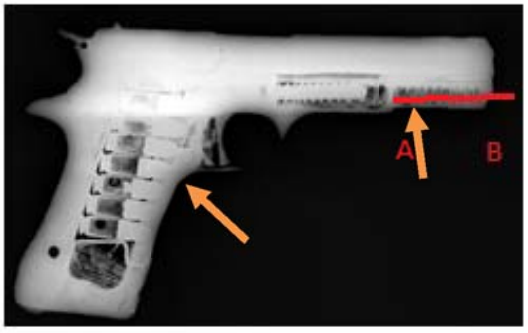
$$f = \sum_{j,k} C_{j,k}(f)\Psi_{j,k} \quad (۲)$$

که $C_{j,k}(f) = \langle f.\Psi_{j,k}\rangle$ ضرایب موجک است.در اینجا $\langle\cdot,\cdot\rangle$ علامت حاصل‌ضرب اسکالر در $L^2(R)$ است. در این تحقیق تبدیل کرولت پرتونگاره‌ها بدست آمده و ضرایب کرولت طبق رابطه (۱) محاسبه شده‌اند. با انجام آستانه‌گذاری بر روی ضرایب کرولت مقادیر مربوط به نویز حذف شده و با گرفتن تبدیل کرولت معکوس از ضرایب تصحیح شده تصاویر بازسازی شده بدست آمده‌اند[۱۳].

بهبود کیفیت تصاویر در محیط برنامه نویسی MATLAB و با استفاده از پردازندهٔ core-i7 صورت گرفته است.



الف



ب

شکل ۲- پرتونگاره های الف- شش لول ب- کلت

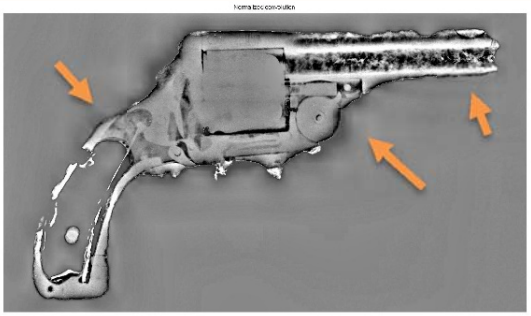
۳- نتایج

در این تحقیق هدف بررسی ساختار داخلی و طراحی داخلی دو اسلحه قدیمی با روش پرتونگاری بوده است. در شکل ۲ پرتونگاره‌های هفت تیر شش لول و کلت نشان داده شده‌اند. همانطور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود طرح داخلی و اجزای هفت تیرها کاملا در پرتونگاری مشخص شده‌اند. در شکل ۲- الف خوردگی‌های داخل لوله، دسته و قسمت ماشه کاملا نشان داده شده‌اند. در شکل ۲- ب اجزای داخلی کلت شامل فنر داخل لوله، ضامن اسلحه و حتی گلوله‌های داخل آن و ساختار داخل گلوله بخوبی دیده می‌شوند. همچنین برخی عیوب عمقی نیز در آن قابل مشاهده هستند. امّا به دلیل عدم‌وضوح موجود در پرتونگاره تشخیص دقیق اجزا و آسیب‌ها به دشواری صورت می‌پذیرد.

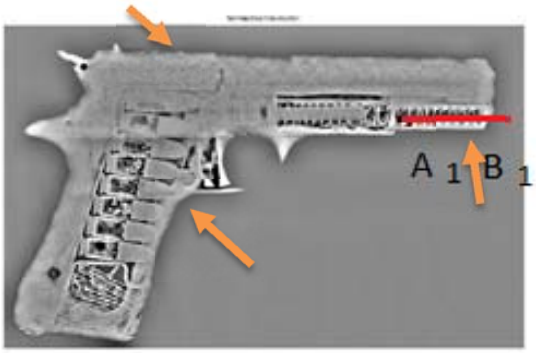
برای افزایش کیفیت تصویر از روش پردازش تصاویر با کرولت با تعداد ۵ سطح دامنه و ۶ سطح زاویه استفاده شد. این انتخاب بر اساس بهترین اطلاعات در تصویر خروجی و زمان اجرای برنامه بوده است. در شکل ۳ تصاویر بازسازی شده دو اسلحه نشان داده شده‌اند. با مقایسه تصاویر بازسازی شده و پرتونگاره‌های اصلی دیده می‌شود که تصاویر بازسازی شده بخاطر کمتر شدن مات شدگی اجزای تصویر را در

[1] MGA: Multiresolution Geometric Analysis

نواحی مختلف بهتر نشان می‌دهند. در شکل ۳- الف هرچند فشنگ داخل محفظه شش تایی دیده نمی‌شود ولی نحوه قرارگیری محفظه در کنار ضامن بهتر دیده می‌شود. خوردگی داخل لوله نیز واضح‌تر هستند.



الف



ب

شکل ۴ تصاویر بازسازی شده دو اسلحه: الف- شش لول ب- کلت

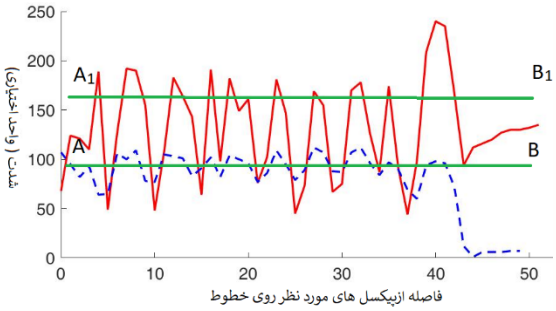
در شکل ۳-ب فنر داخل لوله، ضامن اسلحه و فشنگ‌ها کاملا واضح‌تر از پرتونگاره شکل ۲-ب دیده می‌شوند و فشنگی که در آماده برای شلیک است نیز واضح دیده می شود. محتویات داخل فشنگ‌ها مانند ساچمه و چاشنی و پوکه نیز بخوبی قابل تشخیص هستند.

برای ارزیابی نتایج از ۴ متخصص دز زمینه پرتونگاری و ۳ متخصص باستانشناسی خواسته شد که نتایج را ارزیابی کنند. روش ارزیابی به این ترتیب بوده که برای هر پرتونگاره و تصویر بازسازی شده از متخصصین خواسته شده که امتیازی بین ۱ تا ۱۰ اختصاص دهند. برای تصویر عالی امتیازات بین ۸ تا ۱۰؛ برای تصویر خوب بین ۶ تا ۸ ؛ تصویر متوسط بین ۴ تا ۶؛ تصویر ضعیف بین ۲ تا ۴ و تصویر خیلی ضعیف بین صفر تا ۲ امتیازدهی شده‌اند. منظور از درجه کیفیت تصویر مشخص بودن اجزا، طرح داخلی و نواحی آسیب هستند. نتایج حاصل از ارزیابی در جدول ۲ نشان داده شده‌اند. بررسی نتایج حاصل در جدول نشان می‌دهد که از نظر متخصصین توانایی کرولت برای آشکارسازی لبه ها مناسب بوده است. از نظر متخصصین کارایی روش کرولت بطور نسبی ۲۵٪ تصاویر پرتونگاره را بهبود می‌دهد و می‌تواند به عنوان یک روش کمکی برای متخصصین در تشخیص اجزائ این دو اسلحه و چگونگی اتصالات آنها مفید باشد.

جدول ۲- نتایج ارزیابی تصاویر بوسیله متخصصین

نام اسلحه	پرتونگاره اصلی	روش کرولت
شش لول	٪۶۷	٪۹۲
کلت	٪۷۵	٪۸۹

در ادامه برای مقایسه افزایش کنتراست پرتونگاره اصلی و تصویر بازسازی شده، خطوط پروفایل در امتداد لوله کلت برای خطوط AB و A_1B_1 در شکل ۵ رسم شد. مقایسه دو خط پروفایل نشان می دهد که تغییرات شدت پیکسل‌ها در تصویر بازسازی شده حدود ۲/۵ برابر تغییرات پیکسل‌ها در پرتونگاره اصلی است. در نتیجه تغییرات در تصویر بازسازی شده بهتر و واضح‌تر دیده می‌شوند.



شکل ۵ شدت پیکسل برحسب فاصله روی خطوط AB و A_1B_1در شکل های ۳-ب ۴-ب

۴- نتیجه‌گیری

مطالعه موردی دو هفت تیر شش لول و کلت عتیقه نشان داد که روش پرتونگاری اطلاعات مناسبی را برای بررسی ساختار و اجزای داخلی و وضعیت ایمنی ارائه می‌دهند. استفاده از روش موجک کرولت نیز در وضوح لبه‌ها بخصوص نواحی داخلی کارا بوده و به شناسایی دقیق‌تر اجزای اسلحه

ها کمک می‌کند. ارزیابی تصاویر توسط متخصصین انجام شده که بهبود اطلاعات استخراج شده را تائید کرده‌اند.

۵- قدردانی و تشکر

نویسندگان لازم می دانند از همکاری مسئولین موزه والنسیا که تصاویر پرتونگاره و اطلاعات لازم برای این تحقیق را در اختیار ما گذاشتند تشکر و قدردانی کنند.

۶- منابع

[1] G. Bardelli, R. Graells (Eds.): Ancient Weapons. New Research Perspectives on Weapons and Warfare Proceedings of the International Conference – Mainz, September 20th - 21st 2019, RGZMTagungen 44, Mainz 2021.

[2] T Shumeiko, K. Kurkova, R. Yarova, P. Nemesh, O., Zubko, Legislative prerequisites for the classification of arm. Amazonia Investiga, No. 10, Vol. 43, 168-174, 2021, https://doi.org/10.34069/AI/2021.43.07.17

[3] A. Kofanov, O. Kofanova, Forensic investigation of firearms, cartridges and gunshot residue (forensic ballistics). Criminalist's Scientific Library, 2019. Kyiv.http://elar.naiau.kiev.ua/bitstream/123456789/10710/1.

[4] T. Shumeiko, V. Kovalenko, M. Hurkovskyy, M. Legenkyi, P. Komirchyi, The main directions of State policy in the area of arms trafficking in Ukraine. Amazonia Investiga, No. 10, Vol. 38, 197-203, 2021, https://doi.org/10.34069/AI/2021.38.02.19.

[5] J. A. Madrid Garcia, E. Yahaghi, A. Movafeghi Improvement of the digital radiographic images of old paintings on wooden support through the anisotropic diffusion method, Journal of Cultural Heritage, Vol. 49 115–122, 2021.

[6] P. Poulopoulos, M. Pamplona, L. Richter, E. Cwiertnia, Technological study of the decoration on an Erard Harp from 1818, Stud. Conserv. No. 65, Vol. 2, pp. 86–102, 2020. http://dx.doi.org/10.1080 /00393630.2019.1622317.

[7] J. Van Asperen de Boer, R. Van Schoute, C. Garrido, J.M. Cabrera, Algunas cuestiones técnicas del «Descendimiento de la Cruz» de Roger van der Weyden, Bol. Museo Prado, No. 4, Vol. 10, pp. 39–50,1983.

[8] I. V.; Hogg, J. S. Weeks Military Small Arms of the 20th Century. Iola, Wisconsin: Krause Publication. pp. 85–86, 2000, ISBN 978-0-87341-824-9.

[9] J. Kuhnhasen, The U.S. M1911 M1911A1 Pistols and Commercial M1911 Type Pistols: A Shop Manual. VSP Publishers. p. 9. ,1997.

[10] M. Ayoob, The Gun Digest Book of Combat Handgunnery (Iola, Wisconsin ed.). Gun Digest Books. p. 233. 2007, ISBN 978-1-4402-1825-5.

[11] M. Morgan, Handbook of Modern Percussion Revolvers. Iola, Wisconsin: Krause Publications. p. 752014. ISBN 978-1-4402-3898-7.

[12] A. Majumdar, Bangla basic character recognition using digital curvelet transform, Journal of Pattern Recognition Research, vol. 2, pp. 17-26, 2007.

[13] B. L. Zhang, H. Zhang, S. S. Ge, Face ecognition by applying wavelet subband representation and kernel associative memory, IEEE Transactions on Neural Networks, vol. 15 (1), pp. 166–177, 2004.