



دانشگاه تبریز  
۱۳۸۸



## استفاده از الگوی وردش در آشکارسازی بهتر تصاویر پرتونگاری از کلاه‌های تاریخی خانوادهٔ تاویچی

فاطمه پذیرا<sup>۱</sup>، عفت یاحقی<sup>۲\*</sup>، امیر موافقی<sup>۳</sup>، خوزه آنتونی مادرید گارسیا<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup>دانشجوی کارشناسی ارشد فیزیک هسته‌ای، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

<sup>۲</sup>دانشیار و عضو هیئت علمی گروه فیزیک، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

<sup>۳</sup>دانشیار و عضو هیئت علمی مرکز مهندسی مواد، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، تهران، ایران

<sup>۴</sup>استاد و عضو هیئت علمی مؤسسه دانشگاهی مرمت و بازسازی، دانشگاه پلی‌تکنیک والنسیا، والنسیا، اسپانیا

### چکیده

در فرهنگ‌ها و ملل مختلف، کلاه برای محافظت سر و ایمنی یا مُد مورد استفاده قرار می‌گیرد. در گذشته، کلاه نشان‌دهندهٔ ملیت یا پایگاه اجتماعی فرد بوده است. شناسایی پارچه، نحوهٔ طراحی و دوخت کلاه می‌تواند اطلاعات خوبی در مورد تاریخچهٔ مُد در ملل مختلف را در اختیارمان قرار دهد. در این تحقیق، پنج کلاه متعلق به خانوادهٔ تاویچی از کشور ایتالیا با استفاده از پرتونگاری صنعتی بررسی شده و شناخت چگونگی طراحی و ساخت، ریخت‌شناسی، ساختار داخلی و نواحی احتمالی آسیب مد نظر بوده است. پرتونگاره‌ها به دلیل پراکندگی و تضعیف پرتو و عدد اتمی کم مواد سازندهٔ کلاه و ضخامت کم پارچه، وضوح کم و کیفیت پایینی دارند، به این دلیل شناسایی نواحی عیوب در پرتونگاره‌ها دشوار است. برای بالابردن وضوح تصاویر از الگوریتم‌های وردش و سه‌بعدی‌سازی استفاده شده است. روش وردش بر اساس حداقل کردن تغییرات است و در از بین بردن نوفه در تصاویر کاربرد دارد. در روش سه‌بعدی‌سازی یک تصویر سه‌بعدی از تصویر دوبعدی بر اساس چگونگی بازتاب نور ساخته می‌شود. نتایج نشان می‌دهند که پرتونگاری روش مؤثری در شناسایی ساختار کلاه‌های قدیمی است و می‌تواند بدون نیاز به شکافتن کلاه، اطلاعات ساختاری و نحوهٔ اتصال اجزای آن را نشان دهد. همچنین تصاویر پردازش‌شده وضوح بهتری دارند و می‌توانند در تشخیص بهتر اجزا و ساختار کمک کنند. برای ارزیابی از نظر متخصصان پرتونگاری و مرمت آثار باستانی استفاده شده و آن‌ها مؤثر بودن روش‌های پردازشی را در استخراج اطلاعات کارا از پرتونگاره‌ها تأیید کرده‌اند. همچنین بررسی‌های خط پروفایل رسم‌شده روی تصاویر نشان می‌دهد که تغییرات کنتراست در تصاویر بازسازی‌شده نسبت به پرتونگاره‌های اصلی بیشتر شده و اجزای تصاویر واضح‌تر شده‌اند.

**کلیدواژه‌ها:** کلاه‌های عتیقه، پرتونگاری صنعتی، خانوادهٔ تاویچی، ایتالیا، سه‌بعدی‌سازی و وردش

\* مسئول مکاتبات: عفت یاحقی - قزوین، بلوار شهید سلیمانی (نوروزیان)، دانشکدهٔ علوم پایه، گروه فیزیک، کد پستی ۳۴۱۴۸۹۶۸۱۸

پست الکترونیکی: [yahaghi@sci.ikiu.ac.ir](mailto:yahaghi@sci.ikiu.ac.ir)

## ۱. مقدمه

در زمان‌های مختلف انسان‌ها همواره از کلاه استفاده کرده‌اند. بسته به فرهنگ و محل زندگی، استفاده از کلاه به دلایل محافظت سر از سرما و یا نشانهٔ ادب و وقار و رتبهٔ اجتماعی بوده است. در بسیاری از دوره‌های تاریخی، طبقات مختلف اجتماع شکل کلاهشان از دیگران متمایز بود و افرادی که متمکن بودند و قدرت مالی داشتند، سعی می‌کردند جنس و اندازه و شکل کلاهشان از دیگران متمایز باشد. استفادهٔ الیاف محلی برای تهیهٔ آن در عشایر و قبیله‌ها رایج بود و شکل ظاهری آن به سنت‌ها بستگی داشت. مانند کلاه بختیاری و کلاه قشقایی که مخصوص ایلات و عشایر جنوب ایران است، شهرتی خاص دارد. در دوره‌هایی از تاریخ نیز استفاده از کلاه بر اساس مد بوده است. برای مثال، در دوران سلطنت پهلوی در ایران، کلاه پهلوی رایج شده که تقلیدی از البسهٔ اروپایی است [1-2]. در دربار هخامنشی نیز تاج شاهان اهمیت زیادی داشت. در نقوش تخت جمشید همواره شاهان با تاج نشان داده شده‌اند. تاج هخامنشی نسبت به کلاه‌های دیگر بلندتر بوده و لبهٔ بالایی آن مانند ساختمان‌ها و پرستشگاه‌های آن زمان ۲۲ تا ۲۴ کنگره داشته است. شاهزادگان و بزرگان و نجبا از نیم‌تاج‌ها و دیپیم‌ها و پیشانی‌بندها استفاده می‌کردند [2].

از نظر ظاهری، کلاه در بالاترین قسمت بدن انسان قرار می‌گیرد و در بهترشدن ظاهر افراد تأثیری بسیار دارد. کلاه با شکل‌ها، نمادها و جنس‌های مختلف امروزه نیز کاربردی وسیع دارد. برای مثال، کلاه در استفادهٔ نظامی می‌تواند نشان‌دهندهٔ ملیت، شاخهٔ فعالیت، درجه یا هنگ باشد. کلاه می‌تواند نماد مذهبی نیز باشد؛ شاهان و درباریان دورهٔ صفوی به‌خاطر اعتقادات مذهبی شیعی از عمامهٔ سبز با تاج و جقه‌ای از جواهر استفاده می‌کردند و علما و برخی از معمرین (پیران) نیز عمامه‌های سبز بدون تزئین بر سر می‌گذاشتند. در دورهٔ افشاریه و زندیه به‌جای عمامه از عرفچین و شال ترمه‌ای که به دور آن پیچیده می‌شد، استفاده می‌کردند و این رویه در دورهٔ قاجاریه ادامه داشته است. کلاه‌ها در دوره‌های مختلف با انواع پارچه‌ها مانند کتان، پنبه، پشم و غیره ساخته شده و با مواردی مانند چرم، پر و گل تزئین شده است. در اروپای رنسانس استفاده از کلاه بزرگ رایج بوده و علت آن برجسته‌کردن وضعیت اجتماعی و فرهنگی کسانی بوده که آن را به کار می‌بردند. در هر کشوری، فرم‌ها و روش‌های تولید کلاه متفاوت بود، اما به‌طور کلی، کلاه‌هایی که اشراف بر سر می‌گذاشتند، متفاوت بوده است. بررسی‌ها نشان می‌دهند که این کلاه‌ها بزرگ و رنگارنگ با مواد گرانبها مانند مخمل ساخته شده و با پر، روبان‌ها و سنگ‌های قیمتی تزئین شده است. مردم عادی کلاه‌های ساده و بدون تزئین استفاده می‌کرده‌اند [4-2]. در بعضی دوره‌ها کلاه‌ها نشان‌دهندهٔ وضعیت تأهل بوده و به‌طور کلی خارج‌شدن از چارچوب کلاه برای زن و مرد و حتی برای کودکان مذموم تلقی می‌شده و همهٔ طبقات اجتماعی هنگام خروج از خانه کلاه بر سر می‌گذاشتند. از زمان جنگ جهانی که زنان به مهم‌ترین نیروی کار تبدیل شدند و لباس آن‌ها اصلاح شد، موقعیت اجتماعی جدید بر تولید مد و نوع کلاه تأثیر گذاشت. علاوه بر این، در این دوره، زنان شروع به ورزش کردند و نیاز داشتند که آزادانه حرکت کنند، در نتیجه کلاه‌های کوچک‌تر متناسب با سر و با لبهٔ کوتاه از مواد انعطاف‌پذیر مانند نمد با تزئینات ساده‌تر مد شد. در دوره‌های مختلف برای ساخت کلاه از پنبه، ابریشم مصنوعی، پشم و موی حیوانات، پوست دام و خرگوش استفاده شده است. برای فشرده‌سازی الیاف از فرآیندهای گرما، بخار و فشار و برای فشرده‌سازی در نمدهای تولیدشده از موی حیوانات از مواد اسیدی، جیوه و اسید نیتریک استفاده شده است. بسیاری از این روش‌ها هنوز هم کاربرد دارند.

برای شناسایی طرح‌های داخلی کلاه، نحوهٔ اتصالات اشیای تزئینی روی کلاه، اتصالات قسمت‌های مختلف و چگونگی دوخت روش‌های متنوعی به کار گرفته می‌شوند و هدف تمام روش‌های مورد استفاده، به‌دست‌آوردن اطلاعات ساختاری و تشخیص قسمت‌های آسیب دیده هستند. استفاده از روش بازرسی چشمی و میکروسکوپ‌های مختلف برای بازبینی تار و پود کلاه به‌صورت منطقه‌ای بسیار رایج است. برای بررسی قسمت‌های داخلی روش‌های پرتونگاری مانند ماموگرافی و پرتونگاری صنعتی استفاده شده‌اند که غیرمخرب‌اند [5]. این روش‌ها قادرند اطلاعاتی را آشکارسازی کنند که توسط چشم انسان قابل مشاهده نیست. همچنین میکروسکوپ الکترونی روبشی به آنالیز اسپکتروسکوپی پراش انرژی پرتو ایکس (SEM-EDS) [۶] و پراش پرتو ایکس (XRD) [۷] از انواع روش‌هایی مجهز است که برای شناسایی ترکیب شیمیایی نمونه‌ها و مشاهدهٔ ریزساختارها مواد استفاده‌شده در الیاف قرار می‌گیرد [8-6].

آزمون پرتونگاری روشی غیرمخرب است که علاوه بر کاربرد گسترده در صنعت و پزشکی، در علوم و مطالعات باستان‌شناسی برای شناسایی و بررسی ساختار اشیای عتیقه هم کاربرد دارد. در آزمون پرتونگاری از پرتوهای ایکس استفاده می‌شود که توانایی نفوذ در اجسام را دارند. مقدار عبور پرتو ایکس به جنس و شدت پرتو تابشی بستگی دارد. در این فرایند قسمتی از پرتوها پس از عبور از قطعه، تضعیف شده و از جسم خارج می‌شوند. تصاویر حاصل از پرتونگاری با برخورد این پرتوهای خارج‌شده به آشکارسازی که درست پشت نمونه

آزمایش قرار دارد، به وجود می‌آیند. آشکارسازها در آزمون پرتونگاری سنتی فیلم‌های مخصوص و در آزمون پرتونگاری محاسباتی<sup>CR</sup>، صفحات فسفری<sup>CR</sup> هستند [9-12]. پرتونگاری الیاف و پارچه به دلیل ضخامت کم و عدد اتمی پایین مواد به کاررفته در آن‌ها سخت است و انرژی و انتخاب فاصله مناسب جسم تا منبع می‌تواند در کیفیت تصویر پرتونگاره تأثیر داشته باشد. کیفیت پرتونگاره‌ها در ارزیابی و به دست آوردن اطلاعات بیشتر و دقیق‌تر ساختار داخلی و نحوه ساخت کلاه ضروری است. انواع نوفه<sup>□</sup> ناشی از پراکندگی و الکترونیک سیستم باعث کیفیت پایین پرتونگاره‌ها می‌شوند. بهبود کیفیت و افزایش وضوح پرتونگاره‌ها به دلیل دیجیتالی بودن آن‌ها با روش‌های پردازش تصویر قابل حصول است. هرچند استفاده از سیستمی با نقطه کانونی کوچک‌تر و یا استفاده از صفحات تشدیدکننده و موازی‌کننده در بهبود پرتونگاره‌ها مفیدند، اما این روش‌ها نیازمند ایجاد تغییراتی پرهزینه در دستگاه پرتونگاری هستند. بنابراین، مقرون به صرفه‌ترین روش برای بهبود کیفیت پرتونگاره‌ها استفاده از الگوریتم‌های پردازش تصویر است. الگوریتم‌های مکانی، فرکانسی و فرکانسی-زمانی مانند تبدیل‌های موجک [13-15]، روش‌های حداقل‌سازی براساس نورم یک و دو در استخراج ویژگی‌های خاصی از پرتونگاره‌ها مفید و کارا هستند [15]. پرتونگاری عمدتاً برای اهداف پزشکی و صنعتی کاربرد دارند، ولی با وزن دهی و تغییر بعضی از مؤلفه‌ها می‌توان از آن‌ها برای کاربردهایی مانند بررسی ساختار داخلی کلاه‌های قدیمی استفاده کرد. در این تحقیق، از الگوریتم‌های وردش بر مبنای بهنجارش مرتبه یک و سه‌بعدی سازی تصویر دوبعدی برای بهبود کیفیت پرتونگاره‌های کلاه‌ها استفاده شده است [16-19]. انتخاب این دو روش بر اساس کم کردن نویزهای نقطه‌ای و همچنین توانایی انسان برای درک تصاویر سه‌بعدی نسبت به دوبعدی است. هدف از این تحقیق ارائه روشی برای بالابردن کیفیت پرتونگاره‌های کلاه‌های عتیقه است تا با شناسایی بهتر ساختار و اتصالات داخلی با پرتونگاره‌ها، به اطلاعات دقیقی در مورد چگونگی ساخت و نحوه درست کردن آن‌ها و تاحدی به شناسایی نواحی پوسیدگی‌های درونی دست پیدا کنیم. کلاه‌های بررسی شده در این تحقیق متعلق به خاندان تاویچی از ایتالیا است.

## ۲. روش‌ها

### ۲.۱ معرفی کلاه‌ها

در شکل ۱-الف یک کلاه پر به شکل توک (کلاه زنانه بدون لبه) نشان داده شده است که به آن جعبه قرص یا کاپ کلاه نیز می‌گویند. از نظر تاریخی این کلاه‌ها را سربازان رومی می‌پوشیدند. شکل پایه آن استوانه‌ای و گرد است. از بیرون با پره‌های ظاهراً شترمرغ که با یکدیگر درهم تنیده شده‌اند، اندود شده است. معمولاً از پر شترمرغ استفاده می‌شود، ولی انواع دیگر پر نیز به کار برده می‌شود. در این کلاه پرها به رنگ نارنجی هستند و جلوه‌ای که در مقابل نور می‌دهد، شبیه مخمل است. این مدل در اوایل دهه ۱۹۶۰ کاربرد داشته و کلاه به طور خاص برای بانوی اول آمریکا، ژاکلین کندی، توسط هالستون طراحی و آماده شده است. موادی که به عنوان ساختار کاپ یا جعبه قرص استفاده شده، نمد و نی بوده است. می‌توان آن را ساده یا با تزئینات پارچه‌های مختلف مانند تور، گل، خز استفاده کرد. کلاه احتمالاً در یک کارگاه خیاطی در کرمونا و با دست ساخته شده است. پرها کل کلاه را می‌پوشانند و جلوه‌ای مخملی به آن می‌دهند. دم از دو نخ فلزی، احتمالاً برنجی، تشکیل شده است که به آن اجازه می‌دهد کمی بلند شود. این رشته‌های فلزی توسط پر شترمرغ به طول حدود ۱۲ سانتی‌متر پوشانده شده است. روی انتهای کلاه پرها آویزان شده و روی سر و قسمت جلویی متقاطع و کشیده و ضربدری هستند. پشت کلاه آستر خاکستری وجود دارد که با یک تور هم‌رنگ پوشیده شده است. در شکل ۱-ب یک کلاه گل نشان داده شده است که یک روبان نواری پارچه‌ای و گل‌های مختلف برای تزئین آن استفاده شده‌اند. کلاهک به طور عمده از دو قسمت تشکیل شده است: قسمت پایین، از پارچه بنفش ساده درست شده است که به صورت چین خورده و لایه‌ای روی هم قرار گرفته‌اند. در انتهای کلاه یک گره کوچک با دنباله‌هایی از پارچه قرار دارد و جلوی کلاه تزئیناتی از همان پارچه با چین‌های عمودی وجود دارد. قسمت بالایی با گل‌های کوچک سفید و بنفش شبیه گل ادریس پوشانده شده است. این کلاه عمدتاً در تابستان و برای دریا در زمان تعطیلات استفاده می‌شده است. هدف اصلی آن، مرتب نگاه داشتن مدل مو و محافظت از آن در برابر نور خورشید و زینت مالک آن بوده است. در شکل ۱-پ کلاه مخمل مشکی نشان داده شده که به صورت یک کلاه به شکل گرد و صاف (تخت) است. کلاه زنانه‌ای است که به سر با نوارهای کش دار بسته می‌شود و پهلوی و بالای پیشانی را می‌پوشاند تا چهره و مدل مو را زیباتر کند. عمدتاً از اواخر دهه ۱۹۴۰، پس از جنگ جهانی دوم استفاده شده است. کلاه دو قسمتی است، در بالای کلاه دایره‌ای به قطر ۱۹ سانتی‌متر و ارتفاع ۶ سانتی‌متر و در قسمتی که به سر متصل می‌شود، به شکل دایره‌ای قطر آن ۷/۵ سانتی‌متر و ارتفاع آن ۲/۵ تا ۳ سانتی‌متر است و با پارچه مخمل مشکی پوشانده شده است.

داخل کلاه نیز با آستر مشکی پوشانده شده و در طرفین دو حلقه بیضی متقارن که با پارچه پوشانده شده است، وجود دارد که به ننگ داشتن مدل مو کمک می‌کند. بازرسی چشمی کلاه نشان می‌دهد که در قسمت رویه کلاه کیفی مشاهده می‌شود و در آستر سوراخ‌هایی به علت تخریب توسط حشرات وجود دارد. در شکل ۱-پ یک کلاه مخملی سبزرنگ دیده می‌شود که دارای ابعاد ۱۲ سانتی‌متر ارتفاع، ۲۸ سانتی‌متر طول و ۲۰ سانتی‌متر عرض است. کلاه بدون قالب و یا ساختار داخلی سفت است و کش در لبه پایینی و ناحیه پشت سر کلاه وجود دارد که به یک بند وصل می‌شود. این یک کلاه زنانه کوچک به علت راحت بودن احتمالاً در اوقات فراغت استفاده می‌شده است. شکل گشاد در قسمت جلو باعث می‌شود تا موها به سمت بالا ننگ داشته شوند. این کلاه ساخت فرانسه است و دارای برچسب شرکت معروف "Paulette" است. یک کلاه مخملی بنفش در شکل ۱-ت نشان داده شده که ۱۹/۵ سانتی‌متر طول، ۲۳ عرض و ۱۳ سانتی‌متر ارتفاع دارد. دارای یک محفظه سخت در جلو و یک پایپون در قسمت بالایی است. این یک کلاه زنانه زمستانی برای استفاده روزمره است. کلاهی است که از یک کاپ و یک لبه کوتاه و پهن تشکیل شده که کل کاپ کلاه را احاطه کرده است. کلاه کاملاً با مخمل بنفش پوشیده شده است. نواری از پارچه سفت‌تر روی مخمل در امتداد دور سر دوخته شده است. از همین روبان در بالای کاپ یک پایپون برای تزئین قرار داده شده و دنباله‌های پایپون در شکل مشاهده می‌شوند.



ب (b)

الف (a)



ت (d)

پ (c)



ث (f)

شکل ۱: تصاویر کلاه‌ها الف- پر، ب - گل، پ- مخمل مشکی، ت- کلاه مخمل سبز، ث- مخمل بنفش

Fig. 1: Photographs of hats: a- feather and b- Flowers, c- Black velvet, d- Green velvet hats, e- Purple velvet



## ۲.۲. پرتونگاری

پرتونگاری برای کلاه‌ها با یک دستگاه ترانس پورتیکس<sup>®</sup> 50 انجام شده است. تیوب اشعه ایکس توان ۳ kW داشته و اندازه نقطه کانونی سیستم تصویربرداری  $2/3\mu\text{m}$  است. فیلتر آلومینیومی با ضخامت ۲mm در خروجی دستگاه تعبیه شده است تا کیفیت پرتوهای خروجی را بهبود بخشد. در خروجی تیوب اشعه ایکس یک فیلتر آلومینیومی برای حذف قسمت نرم پرتو ایکس قرار گرفته تا پرتوهای کم‌انرژی را حذف کند. این پرتوهای کم‌انرژی سبب افزایش زمینه و تارشدن تصویر می‌شوند. ولتاژ این تیوب بین ۲۰ تا ۱۱۰ کیلو ولت قابل تغییر است. پرتو ایکس خروجی با یک سیستم تابش نور مرئی هم‌راستاست تا محل بیم روی جسم را مشخص کند. برای پرتونگاری کلاه‌ها از روش پرتونگاری محاسباتی استفاده شده است. آشکارسازی پرتو با استفاده از صفحات CR انجام شده است. صفحات فسفری بعد از پرتونگاری با اسکنر لیزری مخصوص CR 30-X تا ابعاد  $40.96 \times 40.96$  پیکسل می‌تواند تصویر دیجیتال تولید کند. با توجه به اینکه جنس کلاه‌ها، پارامترهای پرتونگاری متفاوت بوده‌اند، از پرتوهای با شرایط مختلفی استفاده شده است. در جدول ۱ مقادیر انتخابی برای پرتونگاری هر کلاه نوشته شده است. فاصله منبع از فیلم SFD<sup>□□</sup> برای همه موارد یکسان در نظر گرفته شده و جریان و ولتاژ و زمان تصویربرداری با توجه به جنس کلاه‌ها تنظیم شده‌اند. کلاه‌های استفاده‌شده در این تحقیق با مواد و جنس‌های مختلف ساخته شده‌اند. انتخاب جریان و ولتاژ و زمان پرتوهای بر اساس جنس و ضخامت مواد به‌کاررفته تنظیم شده است تا بهترین پرتونگاره به‌دست آید.

## ۳.۲. الگوریتم‌های وردش و سه‌بعدی سازی

۱,۳,۲ روش وردش - روش وردش برای صاف کردن تصاویر و حذف نویزهای نقطه‌ای در پردازش تصویر کاربرد فراوانی دارد. در این روش با حفظ لبه‌ها تصویر یکنواخت‌تر می‌شود. اساس این روش بر پایه یافتن تقریبی است که بتواند تفاوت دو تصویر اصلی و نویزی را حداقل کند. برای یک سیگنال یک‌بعدی  $f$  شامل  $N$  نقطه  $(I \leq n \leq N)$  وردش چنین تعریف می‌شود [13-14].

$$TV(f) = \sum_{n=2}^N |f(n) - f(n-1)| \quad (1)$$

در این رابطه  $TV^{\square\square}$  وردش است. هدف از این روش یافتن مقدار  $I(N)$  تقریبی است که کمترین وردش و یا به عبارت دیگر، شباهت بیشتری به سیگنال اصلی  $f$  را داشته باشد. در این حالت خطای بین دو سیگنال چنین محاسبه می‌شود:

$$E(f, I) = \frac{1}{2} \sum_{n=1}^N |f(n) - I(n)|^2 \quad (2)$$

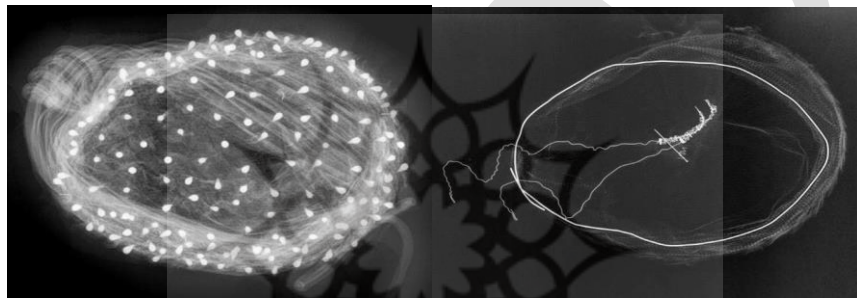
و باید این رابطه

$$\min_f \{E(f, I) + \lambda V(I)\} \quad (3)$$

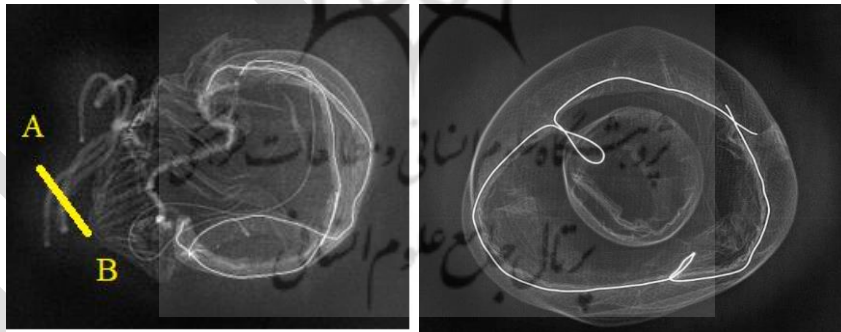
که در آن  $V(I)$  برابر  $\sum_{n=1}^N |I_{n+1} - I_n|$  است حداقل شود. پارامتر  $\lambda$  برای تنظیمات استفاده شده و تغییرات آن باعث تیزی و مات شدن تصویر می‌شود. بنابراین، انتخاب  $\lambda$  در به‌دست آوردن تصویر خروجی بسیار مهم است. مقادیر زیاد  $\lambda$  باعث صاف شدن لبه‌های تصویر و از بین رفتن نویز می‌شوند و اطلاعات مهم و جزئیات از بین می‌روند. به‌دست آوردن یک مقدار کمینه که بتواند اطلاعات مهم را حفظ کرده و در عین حال نویز را حذف کند، کار دشواری است [16-17].

جدول ۱: مشخصات پرتونگاری کلاهها  
Table 1: characteristic of RT for hats

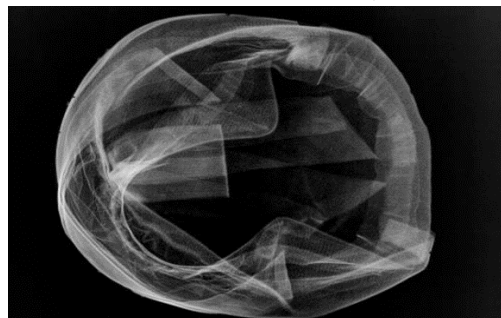
ولتاژ (kV) Voltage(kV)	جریان (mA) Current (mA)	زمان (ثانیه) Time(s)	SFD (cm)	نام کلاه Name of hat
37	10	3	100	پر feather
45	20	5	100	گل Flowers
45	20	3	100	مخمل مشکی Black velvet
45	20	3	100	کلاه مخملی سبز Green velvet
52	20	1	100	مخمل بنفش Purple velvet



الف (a)      ب (b)



پ (c)      ت (d)



ث (e)

شکل ۲: پرتونگاره‌های تصاویر کلاه‌های شکل ۱ تصاویر کلاه‌ها الف- پر، ب - گل، پ- مخمل مشکی، ت- کلاه مخمل سبز، ث- مخمل بنفش  
Fig. 2: Radiographs of hats in Fig. 1: a- feather and b- Flowers, c- Black velvet, d- Green velvet, e- Purple velvet

## ۱,۳,۲ سه‌بعدی سازی

در این روش بر اساس تئوری انعکاس نور از سطح، تصویر سه‌بعدی از روی تصویر دُبعدی ساخته می‌شود. در این تئوری چهار پارامتر اصلی وجود دارند: ۱- شدت روشنایی که توسط آن موقعیت، جهت و توزیع طیف انرژی (جهت تابش نور و نوع چشمه از نظر نقطه‌ای بودن و ...) تعریف شده است. ۲- چگونگی عبور و انعکاس اشعه از سطح جسم، که به نوع ماده و ضریب جذب آن بستگی دارد. ۳- هندسه، شکل سطح ۴- جهت تابش و نوع اشعه تابشی نیز از عوامل مهم در این الگوریتم هستند. همان‌طور که می‌دانیم، بردار عمود بر سطح در هر نقطه  $(x,y,z)$  به شکل  $n=[n_x, n_y, n_z]$  تعریف می‌شود. در این تئوری محاسبات در مختصات کروی انجام می‌شود، بنابراین برای هر نقطه باید زاویه  $\varphi$  و  $\theta$  که  $\varphi$  زاویه در صفحه  $xy$  با محور  $x$ ها و  $\theta$  زاویه با محور  $Z$  هستند، مشخص شوند. به عبارتی، بردار عمود بر سطح در این مختصات  $n=[\cos \varphi \sin \theta, \sin \varphi \sin \theta, \cos \theta]$  است. بردارهای  $(1,0,p)$  و  $(0,1,q)$  شیب صفحاتی هستند که می‌توانند بردار یکه را مشخص کنند. برای یک سطح، دو بردار  $p$  و  $q$  در نقطه مشخص از صفحه  $Z(x,y)$  و در دو جهت  $x$  و  $y$  چپین به دست می‌آید [18-20].

$$p = \frac{\partial Z(x,y)}{\partial x} \quad q = \frac{\partial Z(x,y)}{\partial y} \quad (4)$$

و بردار یکه بهنجار شده در این نقطه چنین است:

$$n = \frac{[-p, -q, 1]}{\sqrt{p^2 + q^2 + 1}} \quad (5)$$

جهت تابش نور با استفاده از مختصات کروی در یک جهت مشخص داده می‌شود و ضریب انعکاس نیز مشخص است. در نتیجه، داریم:

$$R_{I,\rho} = \rho I^T n = \rho I^T \frac{[-p, -q, 1]}{\sqrt{p^2 + q^2 + 1}} \quad (6)$$

در این معادله  $\rho$  ضریب انعکاس سطح و  $I^T$  ماتریس ترانپوز شده جهت اولیه نور است. با داشتن اطلاعات  $\rho$  و  $I$ ، چگالی هر پیکسل  $\rho$  متناسب با مقدار نور انعکاسی است، محاسبه می‌شود. در هر حالت کلی، روش استخراج شکل از سایه یک روش بدرفتار<sup>۳</sup> است که به اطلاعات اولیه جهت نور، ضریب تابش سطح و شرایط مرزی بستگی دارد. تحت فرض ساده لامبرتین، وارونگی مستقیم برای حل نرمال‌های سطحی کار بسیار دشواری است، که شامل حل یک معادله دیفرانسیل جزئی غیرخطی در حضور شرایط مرزی نامشخص است. علاوه بر این، در روش بدرفتار مقدار کمی نویز در تصویر می‌تواند باعث خطای زیادی در داده‌ها شود. با استفاده از دو الگوریتم وردش و سه‌بعدی‌سازی پرتونگاره کلاه‌ها نویززدایی شده و تصاویر سه‌بعدی آن‌ها برای استخراج بهتر اطلاعات بازسازی شده‌اند. برای محاسبات از نرم‌افزار Matlab 2017b در یک کامپیوتر با پردازنده Intel Core-i9 نسل یازدهم و ۱۶ گیگابایت حافظه استفاده شده است.

### ۳. نتایج

در این تحقیق برای بررسی ساختار کلاه‌های قدیمی و نحوه اتصالات آن‌ها از پرتونگاری استفاده شده است. کلاه‌ها مطابق بخش ۲-۱ پرتونگاری شده‌اند. هرچند پرتونگاره‌های شکل ۲ اطلاعات خوبی در مورد ساختار داخلی دارد، ولی در اینجا سعی شده است با پردازش پرتونگاره‌ها و استخراج ویژگی‌هایی از تصویر با نویززدایی و سه‌بعدی‌سازی، اطلاعات بهتری برای ساختار کلاه‌ها ارائه شود. برای این پرتونگاره‌ها، مقدار  $\lambda=0/15$  انتخاب شده تا تصویر صاف‌تر شده و برای سه‌بعدی‌سازی مقدار نویزهای نقطه‌ای را حذف کند. در شکل ۲-الف و ۳-الف پرتونگاره و تصویر بازسازی شده کلاه پر دیده می‌شود. در ساختار کلاه سیمی دیده می‌شود که احتمالاً از جنس برنج است. این سازه به‌عنوان یک پایه عمل می‌کند و به خیاط اجازه می‌دهد تا به‌طور متوالی پارچه‌هایی از مواد مختلف مانند نمد، مخمل یا حصیر را به شکل دلخواه برای کلاه شکل‌دهی کند. همان‌طور که دیده می‌شود، دو سیم دیگر که در وسط کلاه با گیره وصل شده‌اند و به پشت کلاه کشیده شده‌اند و به انتهای کلاه شکل می‌دهند. سیم‌های برنجی با ضخامت و استحکام متفاوت برای پایه کلاه و

استحکام آن استفاده می‌شده‌اند. توری، آستر خاکستری و لایه‌ای از پرهای متقاطع روی این ساختار کشیده شده‌اند. به‌خاطر ضخامت کم و عدد اتمی پایین الیاف استفاده شده، نمی‌توان اطلاعاتی در مورد پارچه‌های این کلاه به تفکیک به دست آورد. در تصویر بازسازی شده شکل ۳-الف، جزئیات تصویر بهتر دیده می‌شود.

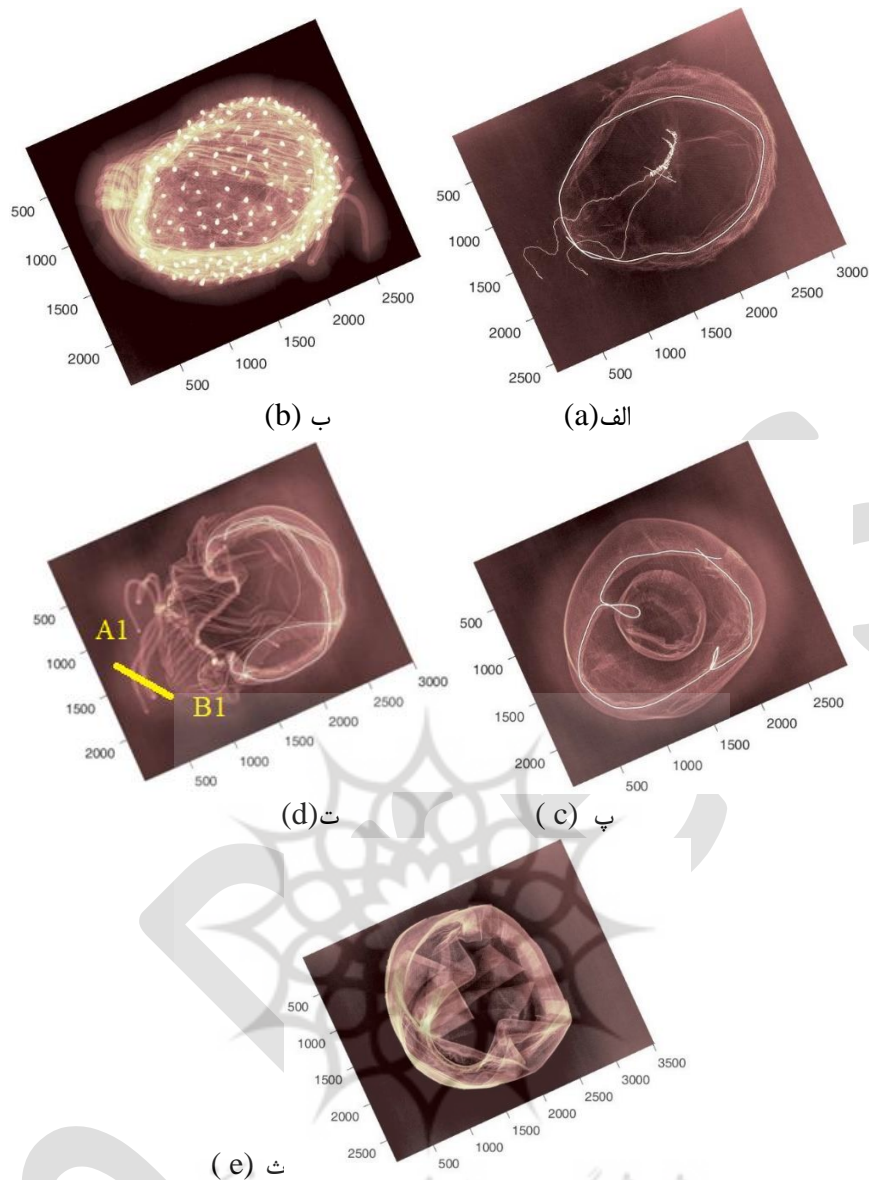
در شکل ۲-ب و ۳-ب پرتونگاره و تصویر بازسازی شده کلاه گل دیده می‌شود. قسمت‌های پلیسه‌شده که برای دور کلاه استفاده شده و گره‌ای پایونی در قسمت پشت و پلیسه‌های عمودی در جلوی کلاه در پرتونگاره کاملاً دیده می‌شوند. در روی کلاه که با گل‌های پارچه‌ای کوچک تزئین شده است (شکل ۱-ب) مرواریدهای استفاده شده احتمالاً فلزی هستند در پرتونگاره‌ها کاملاً دیده می‌شوند و نحوه اتصالات آن‌ها به پارچه کاملاً مشخص است. در تصویر ۳-ب بازسازی شده، طرز شکل‌دهی پارچه پایه و پایون انتهایی کلاه واضح‌تر دیده می‌شود.

پرتونگاره و تصویر بازسازی شده کلاه مشکی (شکل ۱-پ) در دو شکل ۲-پ و ۳-پ نشان داده شده است. ساختار داخلی کلاه با سیمی شکل گرفته که احتمالاً برنجی است. در این حالت، سیم ساختار کاملی برای پایه ندارد و احتمالاً به‌عنوان یک پایه اولیه عمل کرده و فقط نقش مستحکم کردن کلاه را دارد. وجود سیم به خیاط اجازه می‌دهد تا به‌طور متوالی ورقه‌های حصیری و پارچه مخملی را در بالای کلاه شکل دهد. ساختار کلاه، نحوه اتصالات و دو ورقه حصیری دایره‌ای که کل حجم را ایجاد می‌کند، در تصویر بازسازی شده کاملاً مشخص هستند.

پرتونگاره و تصویر بازسازی شده کلاه مخملی سبز (شکل ۱-ت) در اشکال ۲-ت و ۳-ت نشان داده شده‌اند. امکان بررسی و ارزیابی لایه‌های داخلی کلاه در این تصاویر وجود دارد. کلاه دارای ساختار داخلی سفت و سختی در قسمت لبه است. دو نخ فلزی نیز دیده می‌شوند که در حالت تا شده لبه آفتاب‌گیر کلاه را تشکیل می‌دهند. در ناحیه لبه از یک برگ حصیری و یک لایه داخلی استفاده شده تا ثبات و استحکام بیشتری ایجاد کند. از یک سیم احتمالاً برنجی به‌عنوان پایه کلاه برای ایجاد یک چهارچوب محکم برای ساخت لبه آفتاب‌گیر استفاده شده است. ویژگی این کلاه در استفاده از دو نخ فلزی است که در جلوی کلاه استفاده شده و در پشت کلاه، پارچه با کش محکمی شکل داده شده است. در جلوی کلاه برای تضمین استحکام و دوام مواد، چسب روی الیاف حصیری و پارچه اصلی ریخته شده است. در پشت لبه آفتاب‌گیر یک آستر برای محافظت از ساختار داخلی و یک پارچه آستر برای سر استفاده شده است. قسمت کاپ کلاه احتمالاً با دست دوخته شده است. در قسمت پایین یک نوار کش‌دار استفاده شده است تا بتواند پارچه را به سر بچسباند.

پرتونگاره کلاه مخملی بنفش (شکل ۱-ث) و تصویر بازسازی شده آن در اشکال ۲-ث و ۳-ث نشان داده شده‌اند. پرتونگاره‌ها نشان می‌دهند که در ساختار این کلاه سیم استفاده نشده است. در ساختار این کلاه تماماً از برگ‌های مقوایی ضخیم استفاده شده که قالب ساختار داخلی را در دست می‌کند. ابعاد ورق‌های مقوایی استفاده شده معمولاً بین ۵۰ در ۸۰ سانتی‌متر است و با مرطوب کردن آن‌ها می‌توان شکل مورد نظر را به دست آورد. در تهیه این نوع کلاه که به "فوتو" معروف بوده، مقواهای مرطوب برای انعطاف بیشتر روی مدل سر چوبی یا چوب پنبه‌ای با کمک قیچی و سنجاق طراحی شده و وقتی به شکل دلخواه می‌رسد، در نقاط مهم سفت و دوخته می‌شوند. در پایان این عملیات، کلاه آتوشده و با ماده مخصوصی پوشانده می‌شود تا صاف و یکنواخت شوند. این کار به چند روز زمان نیاز داشت. روی کلاه با پوشش پارچه‌ای و تزئینات مختلف تکمیل می‌شود. در پرتونگاره شکل ۲-ث قالب مقوایی و لایه‌های بالای سر، دور سر و همچنین پایون تزئینی و روبان ضخیم دور سر دیده می‌شوند. نحوه شکل‌دهی مقواها در قسمت‌های مختلف در پرتونگاره شکل ۲-ث مشخص است. در تصویر پردازش شده شکل ۳-ث نحوه قالب‌گیری مقوا به‌علت واضح شدن لبه‌ها مشخص‌تر است. در روی این تصویر اتصالات پایون به کلاه و ضخامت قالب مقوایی کلاه و اتصالات واضح‌تر دیده می‌شوند.

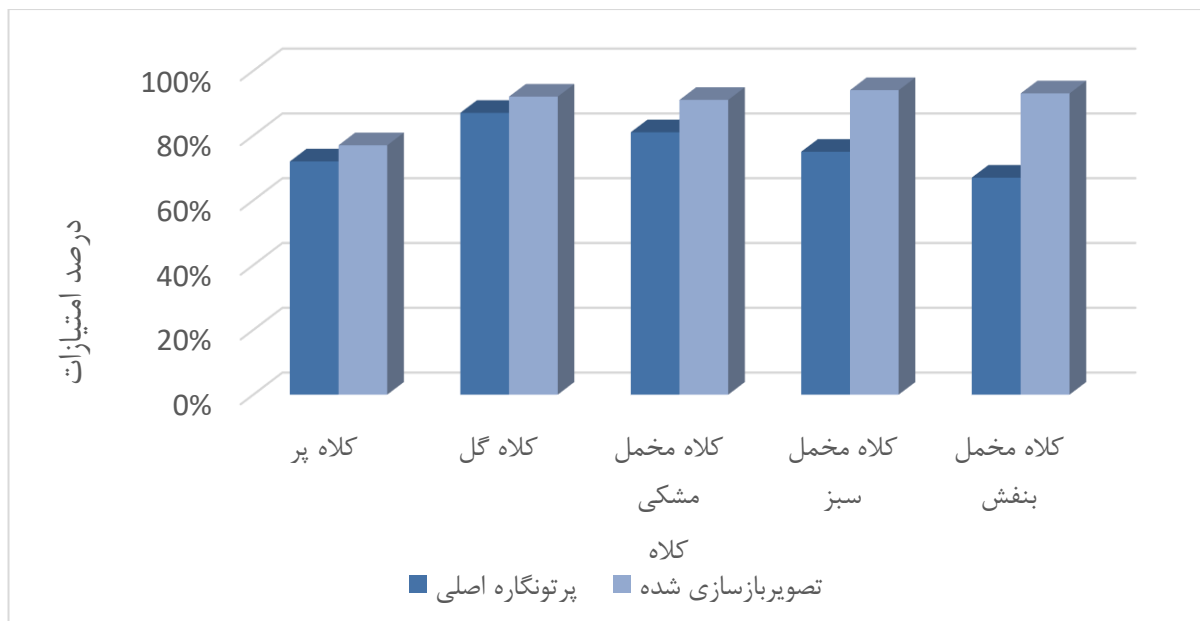




شکل ۳: تصویر خروجی الگوریتم وردش و سه بعدی سازی پرتونگاره‌های کلاه‌های (شکل ۲) الف- پر، ب- گل، پ- مخمل مشکی، ت- کلاه مخمل سبز، ث- مخمل بنفش

Fig. 3: Reconstructed images of the radiographs of Fig.2: a- feather and b- Flowers, c- Black velvet, d- Green velvet hats, e- Purple velvet

برای ارزیابی پرتونگاره‌ها و الگوریتم‌های استفاده شده نتایج توسط سه متخصص پرتونگاری و چهار متخصص مرمت و بازسازی انجام شد و از آن‌ها خواسته شد که امتیازاتی بین یک تا صد به تصاویر پرتونگاره اصلی و تصاویر بازسازی شده بدهند. در این ارزیابی، چگونگی نشان دادن ساختار داخلی، نحوه اتصالات، چگونگی فرم‌دهی ساختار پایه و تزئینات مد نظر بوده است. متوسط این امتیازات در نمودار شکل ۴ برحسب درصد برای پنج کلاه مورد نظر نشان داده شده است. بررسی نتایج نشان می‌دهد که تصویر پردازش شده کلاه پر بهبود بسیاری نسبت به پرتونگاره اصلی نداشته است. ولی تصاویر پردازش شده سایر کلاه‌ها بیشتر از ده درصد بهبود داشته‌اند. علت این امر می‌تواند جنس کلاه باشد که با پر ساخته شده و دارای عدد اتمی کم و ضخامت ناچیز است. برای سایر کلاه‌ها تصاویر بهبود یافته و ساختار داخلی و جزئیات اتصالات آن‌ها از نظر داوران بهتر دیده می‌شوند.

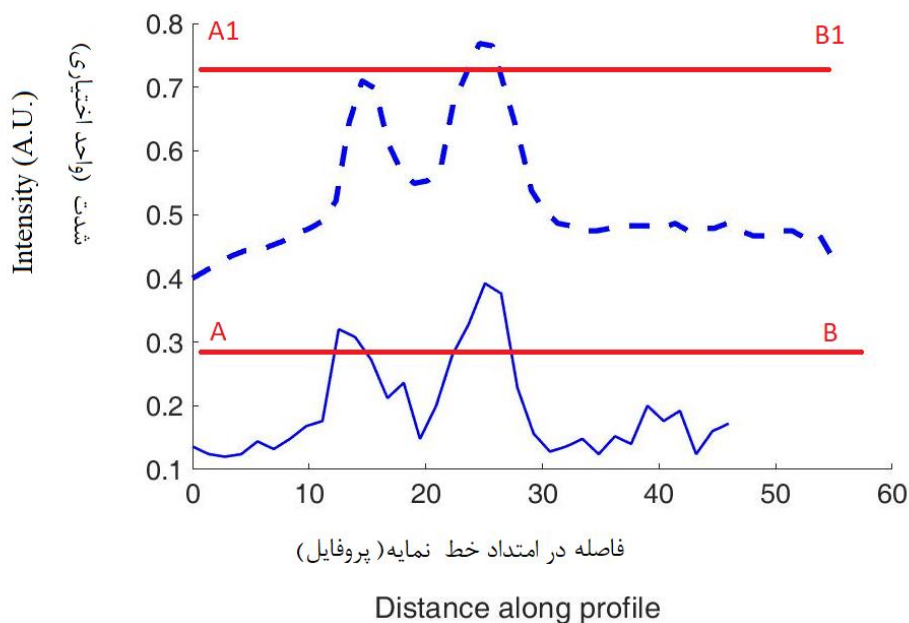


شکل ۴: درصد امتیازات متخصصان به پرتونگاره‌های اصلی و بازسازی شده  
 Fig. 4: Percentage of expert scores on original and reconstructed radiographs

برای بررسی تغییرات کنتراست در پرتونگاره‌ها و تصاویر بازسازی شده، در شکل ۵ خط نمایه یا خط پروفایل<sup>[۱۱]</sup> در دو مسیر نشان داده شده در پرتونگاره شکل ۲-ت در مسیر AB و تصویر بازسازی شده شکل ۳-ت در مسیر A<sub>1</sub>B<sub>1</sub> رسم شده‌اند. مقایسه دو خط نمایه نشان می‌دهد که اولاً تصویر بازسازی شده نسبت به پرتونگاره اصلی صاف‌تر شده و همچنین اندازه تغییرات شدت پیکسل‌های آن بین ۰/۴ تا ۰/۸ است، ولی در پرتونگاره اصلی اندازه تغییرات پیکسل‌ها بین ۰/۱۲ تا ۰/۳۵ است. این امر باعث شده که تصویر بازسازی شده بهتر دیده شود و الیاف پارچه و تورهای آن واضح‌تر شوند.

#### ۴. نتیجه‌گیری

در این مقاله، از پرتونگاری و پردازش تصویر به روش وردش و سه‌بعدی‌سازی برای بررسی ساختار کلاه‌های قدیمی استفاده شده است. با توجه به عتیقه‌بودن این کلاه‌ها امکان شکافتن آن‌ها برای بررسی ساختار داخلی و آسیب‌های احتمالی وجود ندارد، ولی استفاده از روش پرتونگاری که یک روش غیرمخرب است مفید و کاراست. در این تحقیق، پنج کلاه عتیقه خانواده تاویچی به‌وسیله پرتونگاری مورد بررسی قرار گرفته‌اند. پرتونگاره‌های این کلاه‌های قدیمی بوسیله روش‌های وردش و سه‌بعدی‌سازی پردازش شده و توسط متخصصان ارزیابی شده‌اند. در ارزیابی اطلاعات ساختار داخلی و نحوه اتصالات قسمت‌های مختلف کلاه مورد نظر بوده است. نتایج نشان می‌دهند که از نظر متخصصان روش‌های پردازشی استفاده شده باعث مشخص‌تر شدن اطلاعات پرتونگاره شده‌اند و می‌توانند برای بهتر شدن وضوح تصاویر کارایی خوبی داشته باشند و اطلاعات مناسبی را در اختیار کارشناسان مرمت قرار دهند. مزیت روش پرتونگاری به سایر روش‌های معمول مانند میکروسکوپ الکترونی این است که اطلاعات یکپارچه‌ای از ساختار حجمی کلاه و یا جسم می‌دهد.



شکل ۵: خط نمایه در دو مسیر  $AB$  و  $A_1B_1$  در پرتونگاره اصلی شکل ۲-ت (خط) و تصویر بازسازی شده شکل ۳-ت (خط چین)  
 Fig.5: The plotted profiles of scanned line  $AB$  and  $A_1B_1$  for the original radiograph in Fig 2-C (the solid line) and for the reconstructed image in Fig.3-C (the dashed line)

## پی نوشت

- <sup>i</sup> Scanning Electron Microscope Equipped with X-ray Energy Diffraction Spectroscopic analysis
- <sup>ii</sup> X-ray Diffraction
- <sup>iii</sup> Computed Radiography
- <sup>iv</sup> Phosphor plate
- <sup>v</sup> Noise
- <sup>vi</sup> Source to Film Distance
- <sup>vii</sup> Total variation
- <sup>viii</sup> Pixels
- <sup>ix</sup> Line profile

## References

- [1] Range dost sh., History of Iranian clothing, Jamal Honarzban Institute, 2009 [In Persian]  
 [رنج دوست ش. تاریخ لباس ایران، موسسه جمال هنرزیان، ۱۳۸۸.]
- [2] Tortora Ph. G., Eubank K., Survey of Historic Costume: A History Of Western Dress, Fairchild Pubns; 5th edition, 2010.
- [3] Kevin L, Chengyu S, Yuan Z, Yanping L. Structural Analysis of Three-Dimensional Mesh Fabric by Micro X-ray computed tomography. J. Eng. fibers and fabrics. December 2019.
- [4] Anita Q. Factors Influencing the Stability of Man-made Fibers: A Retrospective View for Historical Textiles. J. Poly. Degradation and Stability. September 2014, 210-218.
- [5] Dawei L, Wei W, Feng T, Wei L, Christophe J. The Oldest Bark Cloth Beater in Southern China (Dingmo, Bubing basin, Guangxi). J. Quaternary Int. 2014, 184-189.

- 
- [6] Eckart K, Benjamin S, Tony W, Michal M, Robert B, Maik G. Forming Analysis of Internal Plies of Multi-Layer Unidirectional Textile Preforms Using Projectional Radiography. *J. pricedia manufacturing*. April 2020; 17-23.
- [7] Martin H, Tomas T, Radek P, Vladimir L. Mediaeval Metal Threads and Their Identification Using Micro-XRF Scanning, Confocal XRF, and X-ray Micro-Radiography. *J. Radiat. Phys. Chem.*, February 2019, 299-303.
- [8] Douglas C, Andre M, Douglas K, Erika B, Digital Radiographic Image Processing and Analysis. *J. Dental Clinics of North America*. July 2018, 341-359.
- [9] Nour A, Harby A, Amal E, Sally E. Green and Novel Approach for Enhancing Flame Retardancy, UV Protection and Mechanical Properties of Fabrics Utilized in Historical Textile Fabrics Conservation. *Prog. Org. Coat.*, May 2022, 106822.
- [10] Yazeed A, Nasser S, Abdulrahman A, Sami A, Sami B. an Assessment of Image Reject Rates for Digital Radiography in Saudi Arabia: A cross-sectional study. *JRRAS*, March 2022, 219-223.
- [11] Paolo D, Massimillinao G, Daniele M, Valeria S, Alessandro D, Arianna M, Veronica P, Mauro M. Noninvasive Analyses of Low-Contrast Images on Ancient Textiles. *J. Cult. Herit.* January-february 2016; 14-19.
- [12] Philippe C, Christophe M, Alberto A, Thierry S, Isabelle H. Radiographic Analysis of Three Royal Effigies of Abomey (Benin). *J. Forensic Imaging*. December 2021, 200478.
- [13] Liberato D, Cinzia G, Rocco L, Francesco S, Teresa S, Emilia M, Giulio F. X-ray Dating of Ancient Linen Fabrics. *J. of MDPI*. November 2019.
- [14] Mirzapour M, Yahaghi E, Movafeghi A. The Performance of Three Total Variation Based Algorithms for Enhancing the Contrast of Industrial Radiography Images, *J. Nondestr Eval.* 2021, 32:1, 10-23, DOI: 10.1080/09349847.2020.1836293.
- [15] Yahaghi E., Movafeghi A., Contrast Enhancement of Industrial Radiography Images by Gabor Filtering with Automatic Noise Thresholding, *Russ. J. Nondestr. Test.*, 2019, 55 (1), 73–79.
- [16] Yahaghi E., Using Total Variation Denoising for Detecting Defects in Industrial Radiography, *Insight.*,5(6), 2016-308-311.
- [17] Getreuer P., Rudin-Osher-Fatemi Total Variation Denoising Using Split Bregman, *IPOLE*, 2012. <http://dx.doi.org/10.5201/ipol.2012.g-tvd>.
- [18] Jiacheng F, Yuan F, Jinqiu M, Shigang W, Qinghua L. 3D Reconstruction of Non-textured Surface by Combining Shape from Shading and Stereovision. *J. Meas.* November 2021, 110029.
- [19] Ziyi C, Yaxiang W, Wenfeng Z, Lirong Y, Yushan T, Wang M, Shan L, Bo Y. The Algorithm of Stereo Vision and Shape From Shading Based on Endoscope Imaging. *J. Bio. Signal Proc. and Control*. July 2022, 103658.
- [20] Luca P, Irene C, Filippo R, Emanuele S. X-ray Shape-from-Silhouette for Three-Dimensional Modelling Applied to Ancient Metallic Handworks. *J. Cult. Herit.* June 2013, e169-e175.