



CrossMark

کاربرد فتوگرامتری در مستندنگاری کتیبه‌های بناهای تاریخی

نمونه موردی: گنبد الله الله بقعه شیخ صفی‌الدین اردبیلی

محمد فارسی مدان*^۱، کریم حاجی‌زاده باستانی^۲، حبیب شهبازی شیران^۳، محمد علیزاده سولای^۴

۱. پژوهشگر مقطع دکتری باستان‌شناسی دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۲. دانشیار گروه باستان‌شناسی دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۳. استادیار گروه باستان‌شناسی دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۴. دانش‌آموخته دکتری باستان‌شناسی دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

چکیده

در میان تمامی عناصر تزئینی بناهای تاریخی، کتیبه‌نویسی از مهم‌ترین آن‌ها به شمار می‌آید. ظرایف این هنر و قابلیت‌هایی که خط از لحاظ ماهیت شکل حروف و قرار گرفتن آن‌ها در موضوعات و جایگاه‌های مختلف دارد، آن را از جایگاه صرفاً تزئینی به کاربردی سوق می‌دهد به گونه‌ای که نمونه‌های متعدد به‌جای مانده از این هنر بر بسیاری از ابنیه تاریخی نه تنها از منظر زیبایی-شناسی حائز اهمیت هستند، بلکه از نظر محتوایی نیز به دلیل داشتن اطلاعات تاریخی، سیاسی، اجتماعی و اقتصادی دوران مختلف جایگاه ویژه‌ای در نزد محققان یافته‌اند. علی‌رغم این درجه از اهمیت، مشکلات و محدودیت‌هایی در مطالعه آن‌ها وجود دارد که اصلی‌ترین آن‌ها، در دسترس نبودن عموم کتیبه‌ها و نبود تصاویر مناسب جهت بهره‌برداری از آن‌ها است. روش‌های قدیمی و فعلی برداشت، ثبت و مستندنگاری کتیبه‌ها، عموماً بازخوانی و بازنویسی متن و عکاسی ساده از آن‌ها است و در بهترین حالت انجام طراحی فنی به صورت دستی محسوب می‌شود که در بسیاری از موارد مستلزم صرف وقت، انرژی و هزینه بسیار است. در این مقاله سعی شده است استفاده از فتوگرامتری در مستندنگاری کتیبه‌های بناهای تاریخی با برداشت کتیبه‌های گنبد الله الله بقعه شیخ صفی‌الدین اردبیلی، به عنوان روشی نوین و کاملاً علمی و نوآورانه معرفی شود که با استفاده از تجهیزات اندک و با صرف زمان کوتاه و هزینه کمتر در مقایسه با روش‌های فعلی، می‌تواند جایگزین مناسبی برای آن‌ها باشد. فتوگرامتری؛ برداشت تصاویر دیجیتال است که با ساخت مدل‌های سه‌بعدی با ضریب خطای بسیار پائین، تصاویر بسیار باکیفیت در کمترین زمان حاصل می‌شود. این انتخاب از چند منظر، گویای توانایی شیوه جدید در مستندنگاری کتیبه‌های ساختمانی با سرعت، کیفیت و دقت بالا خواهد بود. ارتفاع زیاد و پلان مدور بنا مانع آن است که با یک یا چند عکس تصویر مناسبی از کلیت آن در اختیار محققان قرار داد، اما با این شیوه جدید، تمام کتیبه‌ها در قالب یک عکس به‌طور کامل، قائم و با جزئیات زیاد ارائه خواهند شد.

واژگان کلیدی: فتوگرامتری، مستندنگاری، کتیبه‌های تاریخی، بقعه شیخ صفی‌الدین اردبیلی، گنبد الله الله

* نویسنده مسئول مکاتبات: اردبیل، خیابان دانشگاه، دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده علوم اجتماعی، گروه باستان‌شناسی، کد پستی: ۵۶۱۹۹۱۱۳۶۷.

آدرس الکترونیکی: m.h.farsimadan@gmail.com

۱. مقدمه

از ابتدای ظهور اسلام علی‌رغم وجود آیه‌ای در قرآن که مخالفت مستقیمی با تصویرگری و مجسمه‌سازی داشته باشد [1]، به علت وجود احادیثی منسوب به پیامبر و ائمه معصومین [2]، مطابق نظر فقها تصویرگری از هر موجود زنده‌ای ممنوع شد و از این رو هنر نقاشی در نزد هنرمندان این دوران در ابتدا متروک شد؛ اما از همان ابتدا با توجه به نیاز روزافزون به نگارش قرآن و اهمیت فزاینده به زیبا نوشتن این کلام مقدس، هنر جدیدی به نام خوشنویسی پدید آمد. خیلی زود این هنر، جای خود را در میان هنرهای اسلامی باز کرد و تقریباً می‌توان گفت که به شاخص‌ترین هنر اسلامی بدل شد که بر ابنیه، ظروف سفالین، کاشی، پارچه و برای نگارش به کار گرفته شد. درک هیل و گرابار، خط را در بین تمامی عناصر و موضوعات تزئینی بناهای تاریخی، مهم‌ترین آن‌ها دانسته‌اند زیرا از میان تمام موضوعات، تنها این موضوع است که به طریقی اهمیت شمایل‌نگاری داشته است [3]. این تزئین در نوشتن آیات قرآنی، مدح و ثنای بانیان یا کتیبه‌های پیروزی یا کتیبه‌هایی برای توضیح کارکرد ساختمان‌ها و یا قسمت‌هایی از آن‌ها و جاودانه کردن خاطره زهد بنیان‌گذاران، مورد بهره‌برداری قرار می‌گرفت. توجه هوشمندانه بسیاری از اساتید خط و خوشنویسی به ظرایف این هنر و قابلیت خط کوفی و نسخ قرون اولیه از لحاظ ماهیت شکل حروف و قرار گرفتن آن‌ها در موضوعات و جایگاه‌های مختلف از طرفی و قداست کلمات قرآنی و آیات آن در کتیبه‌ها، خط را از جایگاه کاربردی به فرا کاربردی هنری و تزئینی سوق داده‌اند [4] به طوری که امروزه نمونه‌های متعدد این هنر زیبا بر دیوارهای بسیاری از ابنیه تاریخی به جای مانده‌اند که نه تنها از منظر زیبایی‌شناسی حائز اهمیت برای تحقیق هستند، بلکه از منظر محتوایی نیز اطلاعات بسیاری را در اختیار محققان قرار می‌دهند. با استفاده از کتیبه‌ها می‌شد به طور دقیق هدف و نقشه هر یک از ساختمان‌ها و عناصر ساختمانی را که در بناهای گوناگون عملکردهای متفاوت دارند، روشن کرد و همین امر می‌تواند تا حدودی علت استفاده زیاد از کتیبه و تنوع آن‌ها را بیان کند [5].

علی‌رغم اهمیت سرشار مطالعاتی این کتیبه‌ها، مشکلاتی بر سر راه تحقیقات بر روی این هنر وجود دارد. یکی از این مشکلات، در دسترس نبودن تصاویر تعداد قابل توجهی از کتیبه‌های کار شده بر روی ابنیه است. این مشکل از کمبود فعالیت‌های مستندسازی با گرایش به هنر خوشنویسی و همچنین استفاده از شیوه‌های قدیمی در انجام این کار نشئت می‌گیرد. در گذشته معرفی و مستند-نگاری کتیبه‌های خوشنویسی به شیوه‌های مختلف انجام می‌شد که در بخش روش‌شناسی، چند نمونه را با ذکر مثال مرور خواهیم کرد و به بحث پیرامون معایب هر کدام خواهیم پرداخت.

امروزه از تکنیک‌های فتوگرامتری (Photogrammetry) در مطالعات باستان‌شناسی و تاریخ معماری، برای ساخت مدل‌های سه‌بعدی با ضریب خطای بسیار پایین، به جهت انجام پروژه‌های مستندسازی، حفاظتی و مطالعاتی استفاده می‌شود. تعریف ساده فتوگرامتری، علم برداشت تصاویر دیجیتال است. تصاویر می‌توانند به دو گونه به ما اطلاعات دهند: گونه اول اطلاعات کیفی، مانند بافت، رنگ و شکل کلی و گونه دوم اطلاعات کمی، مانند طول، عرض و ارتفاع. در واقع، فتوگرامتری شیوه‌هایی را در اختیار محققان قرار می‌دهد تا اطلاعاتی از نوع دوم را به دست آورند. به بیان دیگر فتوگرامتری را «علم اندازه‌گیری در تصاویر» می‌نامند که به صورت سنتی بخشی از سنجش از راه دور به حساب می‌آید [6]. در این پژوهش سعی شده تا از این شیوه نوین برای مستند نگاری کتیبه‌های تاریخی یکی از بخش‌های اصلی مجموعه شیخ صفی‌الدین اردبیلی که به گنبد الله معروف است، استفاده شود. در اینجا ساخت مدل سه‌بعدی به جهت استخراج تصاویر بدون پرسپکتیو مدنظر خواهد بود که البته این امر به قسمت‌هایی از بنا که کتیبه دارند، محدود می‌شود.

۲. پیشینه پژوهش

از پژوهش‌های انجام شده در سال ۲۰۲۱ میلادی در سطح جهانی و در حوزه میراث فرهنگی می‌توان به فعالیت‌های حفاظتی مانند کار در مسجد سلطان برونئی [7] و کار بر روی نقوش صخره‌ای [8] اشاره داشت که هدف آن‌ها ثبت و ضبط اطلاعات این اماکن در جهت حفاظت آثار است. از سمت دیگر نیز می‌توان به کارهای مدل‌سازی سه‌بعدی آثار موزه‌ای [9] و مدل‌سازی سه‌بعدی ساختمان‌ها [10] اشاره کرد که هدف این نوع از تحقیقات کسب تجربه در رفع کمی‌ها و کاستی‌های این حوزه و بهبود الگوریتم‌ها، نحوه عکاسی و تمرین‌های سخت‌افزاری است.

در باب استفاده از فتوگرامتری در حوزه میراث فرهنگی در ایران، می‌توان به استفاده از آن در ساخت مدل سه‌بعدی رقومی از آثار تاریخی دو شهر زوزن و بسطام توسط مرحوم شه‌ریار عدل اشاره کرد که یکی از اولین موارد استفاده از این تکنولوژی در بحث حفاظت آثار باستانی در ایران به شمار می‌آید [11]. برای معرفی دیگر نمونه‌های این کار نیز می‌توان از مستندنگاری خانقاه جوزدان [12] و همچنین مدل‌سازی مقرنس ضلع شمالی عمارت مسعودیه نام برد [13] که این مورد اخیر نزدیکی بیشتری با کار ما دارد. تحقیقاتی نیز برای استفاده از این تکنیک کارآمد در حوزه‌های مختلف میراث فرهنگی صورت گرفته است که از جمله آن‌ها می‌توان به تلاش برای استفاده از این شیوه، در مستندنگاری آثار زیرآب [14] و همچنین طراحی سامانه‌هایی برای تهیه مدل سه‌بعدی از آثار موزه‌ای اشاره کرد [15]. کلیات تحقیقات گفته‌شده تئوریک و زیرساختی نبوده‌اند و به لحاظ افزایش تجربه کار در حوزه فتوگرامتری و اشتراک‌گذاری این تجارب با دیگران و ترویج این روش‌ها از ارزش و اهمیت بالایی برخوردار هستند؛ اما استفاده از فتوگرامتری با تمرکز بر مستندنگاری و ارائه کتیبه‌های ساختمانی، سابقه‌ای شناخته‌شده به آن صورت ندارد و یا هنوز نتایج این تحقیقات تنها در آرشیوهای سازمانی و شخصی باقی‌مانده و منتشر نشده‌اند. امید است که با افزایش مقالاتی از این قبیل، شاهد گسترش فعالیت‌هایی این‌چنینی باشیم.

۳. مجموعه تاریخی شیخ صفی‌الدین اردبیلی

مجموعه تاریخی شیخ صفی‌الدین اردبیلی از مهم‌ترین آثار تاریخی ایران و شهر اردبیل است که از لحاظ معماری و کاشی‌کاری از شاهکارهای سده هشتم هجری و سال‌های پس‌از آن بوده و پس از وفات شیخ، به‌وسیله فرزند وی پایه‌گذاری شده است [16]. ضمن اینکه عمارات منفرد این مجموعه بی‌نظیر است، تزئینات آن نیز از زیباترین آثار تاریخی اسلامی ایران محسوب می‌شود و اعتبار ویژه‌ای دارد. بقعه اردبیل شامل بناهای جانبی و حیاط‌های مجاور و در امتداد هم و باغ بوده است [17]. بر اساس گزارش عبدی‌بیگ شیرازی مؤلف کتاب صریح‌الملک، این مجموعه از بخش‌های مختلفی چون حرم، دارالحفاظ، مقبره خانوادگی شاهزادگان، چینی‌خانه، دارالحديث، مقبره شاه اسماعیل، چله‌خانه قدیم، چله‌خانه جدید، جنت سرا، محوطه شهید گاه و برخی دیگر تشکیل یافته است [18]. مجموعه فوق در زمان شاه‌طهماسب صفوی (۹۳۰ تا ۹۸۴ ه.ق) به شکل کنونی درآمده و در دوره شاهان بعدی این دوره تکمیل شده [19، 20] و تا عصر حاضر تغییرات زیادی در مجموعه بناهای آن انجام شده است.

گنبد الله در مجموعه جهانی بقعه شیخ صفی‌الدین اردبیلی با دارا بودن کتیبه‌های ارزشمند بسیار، به‌عنوان مطالعه موردی در این پژوهش انتخاب شده است. گنبد معروف به الله‌الله که در حقیقت مقبره و مدفن شیخ صفی‌الدین اردبیلی است، در ضلع غربی بنای معروف به قندیل خانه یا دارالحفاظ و سمت شرقی محوطه معروف به حیاط مقابر قرار گرفته است. این بنای استوانه‌ای شکل پس از فوت شیخ صفی در سال ۷۳۵ ه.ق به دستور پسرش صدرالدین موسی و در طول ده سال ساخته شده است [17]. ویور در تحلیل تاریخ بنای مقبره شیخ صفی‌الدین اردبیلی نوشته است: به نظر می‌رسد مقبره شیخ صفی‌الدین اردبیلی از لحاظ قدمت، دومین بنای مجموعه باشد. این بنای استوانه‌ای شکل با خطوط کوفی و طرح‌های هندسی مسطح و گنبد خاص باید مربوط به حوالی سال ۷۴۹ ه.ق/۱۳۴۸ م باشد، زیرا چنین شیوه گنبد زنی از اوایل قرن پنجم هجری متداول بوده و قرن‌ها ادامه داشته است [21]. بنای مذکور ارزش مطالعاتی تاریخی-هنری از دوران ایلخانی تا صفوی دارد و به دلیل کاربری خاص بنا، حجم عظیمی از کتیبه‌های خوشنویسی بر دیواره‌های آن خودنمایی می‌کنند. این کتیبه‌ها در اندازه‌ها و ارتفاعات مختلفی کار شده‌اند که این مسئله، دسترسی به آن‌ها و یا قراردادنشان در یک یا چند عکس را مشکل می‌سازد. در این پژوهش، تمامی کتیبه‌های کار شده بر روی این بنای ارزشمند با استفاده از فتوگرامتری مستندنگاری خواهد شد، کتیبه‌هایی از جنس کاشی معرق و آجر لعاب‌دار که دورتادور ساقه گنبد الله کار شده است (شکل ۱).



شکل ۱: گنبد الله الله در مجموعه بقعه شیخ صفی‌الدین اردبیلی
 Fig: 1: Allah Allah dome in Sheikh Safi Al-Din Shrine complex

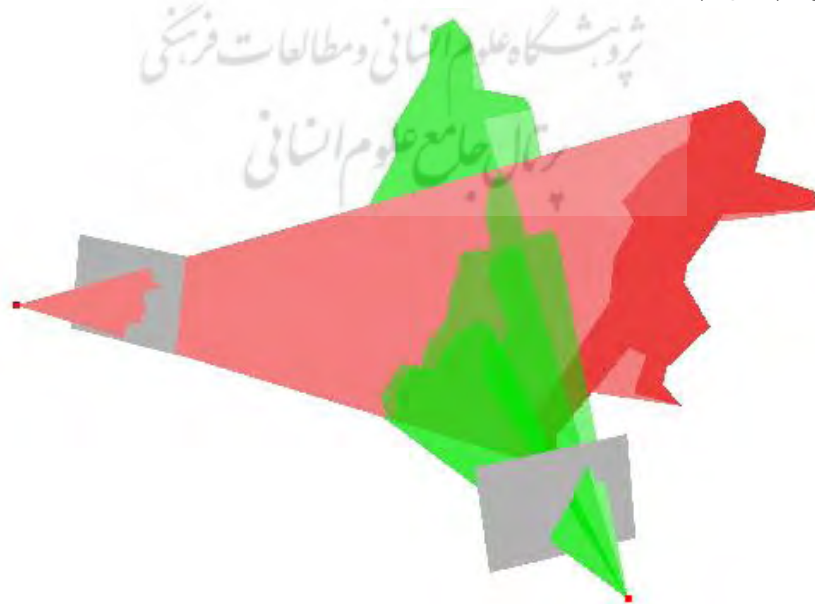
۴. روش‌شناسی

از شیوه‌های قدیمی مستندنگاری کتیبه‌های تاریخی می‌توان به اثر ماندگار ویت (Wiet) [22] اشاره کرد که در قالب یک مجموعه کتاب، به ذکر متن کتیبه‌های خوشنویسی در ابنیه مهم جهان اسلام پرداخته است. این کار به جهت یک معرفی کلی در زمان خود، حائز ارزش و اهمیت بسیاری بوده، اما اجازه تحقیقات بیشتر و همچنین اصلاح متون قرائت‌شده و یا تکمیل بخش‌های خوانده‌نشده را به محققان بعدی نمی‌دهد.

شیوه دیگر استفاده از عکاسی است که در هنگام معرفی متن کتیبه‌ها عکسی نیز از آن‌ها در کتاب ارائه می‌شد. از نمونه کارهای ارزشمند در این زمینه در کشورمان می‌توان به کار استاد محمود ماهر النقش [23] در معرفی کتیبه‌های خط کوفی بنایی در ابنیه مختلف و یا کار استاد محمدحسین حلیمی [24] در معرفی کتیبه‌های خوشنویسی مسجد جامع اصفهان نام برد. از معایب این شیوه آن است که گاهی کتیبه‌ها با عرض کم و طول زیاد نوشته شده و یا فرم خاصی دارند که در یک یا حتی چند عکس نیز نمی‌گنجند، بنابراین، همچنان بخش‌هایی از کتیبه از دسترس استفاده‌کنندگان کتاب خارج می‌ماند. در موارد دیگر نیز کتیبه‌ها در ارتفاع بالایی کار شده‌اند و عکس گرفته شده دارای پرسپکتیو بسیار بوده است و استفاده از آن مشکل خواهد بود. هرچند شایان ذکر است که می‌توان کتیبه‌هایی که ابعاد کوچک (حداکثر تا یک متر در یک متر) دارند، در ارتفاع بالایی قرار ندارند و ساخت آن‌ها با کاشی و یا نقاشی بوده است را در قالب یک تک عکس بدون پرسپکتیو با اعمال دستوره‌های Rectification (برای برطرف کردن اعوجاج لنز) و یا Perspective Warp (برای برطرف کردن دستی پرسپکتیو) ارائه داد. به‌رحال این شیوه، برای کتیبه‌های طولانی، بزرگ، مرتفع و یا ساخته شده با تکنیک‌های برجسته‌کاری مانند آجرکاری و یا حجاری، پاسخگو نخواهد بود.

به‌عنوان حالت سوم، می‌توان به انجام طراحی فنی از کتیبه‌های ساختمانی اشاره کرد. در این مورد که چندان روش نوینی به حساب نمی‌آید، می‌توان به دو حالت کار را به انجام رساند. اولی که دقت بالاتری نیز دارد، با گذاشتن کاغذ پوستی بر روی کتیبه و کشیدن باز طرح آن با استفاده از مداد انجام می‌پذیرد. این روش معایبی دارد که از آن جمله، نیاز به استفاده از داربست برای رسیدن به کتیبه‌های موجود در ارتفاع بالا؛ و همچنین عدم امکان اتصال کاغذ پوستی بر روی کتیبه‌های برجسته گچ‌بری یا حجاری را می‌توان نام برد. زمان بسیار زیاد و هزینه بالای موردنیاز نیز از معایب دیگر این‌گونه طراحی است که باید شرایط آب و هوایی مناسب را هم در طول مدت برداشت طرح، در نظر داشت. روش دوم در این زمینه نیز برداشت کاملاً فنی از کتیبه به‌وسیله اندازه‌گیری و انجام محاسبات خواهد بود که آن نیز علی‌رغم محدودیت در دسترسی به کتیبه، امکان خطا در طراحی و اندازه‌گیری را شامل می‌شود. از نمونه‌های باکیفیت انجام‌گرفته در این زمینه می‌توان به پژوهش بر روی کتیبه‌های مساجد جامع گلپایگان، اردستان و زواره [25] و همچنین کتیبه‌های منار جام [26] اشاره کرد که نتیجه آن، رسم باز طرح باکیفیت کتیبه‌های آن ابنیه با دقت بالا در کتاب‌های مذکور است که البته با سختی‌های ذکرشده همراه بوده است و نمونه‌های بیشتری از این موارد به جهت همین مشکلات در دسترس نیست.

حال در این پژوهش، روش چهارمی معرفی می‌شود که استفاده از خروجی‌های مدل سه‌بعدی، ساخته‌شده توسط فتوگرامتری است. فتوگرامتری را می‌توان به دو نوع پیچیده (حرفه‌ای) و ساده (غیرحرفه‌ای) تقسیم کرد. فتوگرامتری پیچیده، نیازمند ابزارهای دقیق آزمایشگاهی و گران‌قیمت است، مانند دوربین‌های متریک کالیبره شده؛ درحالی‌که فتوگرامتری ساده را با ابزار معمولی و در دسترس نیز می‌توان انجام داد، مانند دوربین‌های نیمه‌حرفه‌ای موسوم به DSLR [27]. در تحقیق حاضر، به آن جهت که مستندنگاری کتیبه‌ها از منظر زیبایی‌شناختی و محتوایی مدنظر است، همچنین به جهت ترویج راه‌حل‌های ساده و ارزان در راستای پژوهش‌های حوزه میراث فرهنگی، از تکنیک فتوگرامتری ساده استفاده می‌شود. سخت‌افزارهای استفاده‌شده در این پروژه یک عدد دوربین Nikon D5300 با لنز 15-150 و یک دستگاه رایانه شخصی مجهز به نرم‌افزارهای گرافیکی موردنیاز؛ بوده‌اند. فتوگرامتری روش‌های متعددی را از علوم مختلف به کار می‌بندد، مانند علوم شناخت نور و علم هندسه تصویر. برداشت تصاویر دیجیتال و تولید مدل‌های فتوگرامتریک شامل چندین مرحله فرایندهای دقیق هستند [28]. همان‌طور که پیش‌تر گفته شد، فتوگرامتری را علم برداشت تصاویر دیجیتال و یا علم اندازه‌گیری از روی تصاویر می‌نامند. در این تکنیک، مختصات هر نقطه در تمامی تصاویر که از نقاط مختلفی برداشت شده‌اند، در راستای سه محور x ، y و z محاسبه می‌شوند. سپس نقاط مشترک میان تصاویر مشخص می‌شوند. درواقع با محاسبه خطوط مستقیم میان محل برداشت تصاویر تا نقاط و نحوه برخورد آن‌ها با یکدیگر، فواصل و مختصات محیطی برآورد می‌شوند (شکل ۲).



شکل ۲: نحوه تولید مدل سه‌بعدی از هم‌پوشانی سایه آثار [29]

Fig. 2: A visual hull can be reconstructed from multiple silhouettes of an object.

در تکنیک فتوگرامتری ساده، یک دوربین دیجیتال و یک رایانه همراه (لپ تاپ) تنها نیازمندی‌های انجام کار محسوب می‌شود و کار می‌تواند توسط یک نفر به انجام برسد. این شیوه، مشمول صرف هزینه و زمان بسیار کمتری نسبت به برداشت کتیبه‌ها به روش‌های فوق‌الذکر خواهد بود؛ همچنین ناتوانی روش کاغذ پوستی برای برداشت کتیبه‌های حجاری و برجسته را به‌طور کامل برطرف می‌کند. از سوی دیگر مشکل عکس‌های عادی را در زمینه ناتوانی در ارائه کتیبه‌های طویل در یک قاب، حل می‌کند؛ و در نهایت مشکل پرسپکتیو را که عکس‌های عادی در ثبت کتیبه‌های مرتفع و یا بزرگ دارند، نخواهد داشت. این انتخاب از چند منظر به‌خوبی گویای توانایی شیوه جدید در مستندنگاری کتیبه‌های ساختمانی با سرعت، کیفیت و دقت بالا خواهد بود. اول به آن دلیل که کتیبه‌ها تا ارتفاع حدوداً ۱۵ متری از کف قرار گرفته‌اند که دسترسی به آن را تنها با ایجاد داربست یا بالابر ممکن می‌کند که آن نیز مستلزم صرف هزینه و وقت بسیار است. دلیل دوم آن است که به علت مدور بودن پلان بنا و در نتیجه گردش برخی کتیبه‌ها به دور ساقه گنبد، با یک الی چهار عکس نیز نمی‌توان تصویر مناسبی از کلیت آن در اختیار محققان قرارداد، اما با این شیوه، تمام کتیبه‌ها در قالب یک عکس به‌طور کامل، قائم و با جزئیات زیاد ارائه خواهند شد. مدت‌زمان مورد نیاز برای مستند نگاری کتیبه‌های یک بنا به روش فتوگرامتری، به ابعاد بنا، تعداد کتیبه‌ها، محل قرارگیری بنا و تجهیزات موجود بستگی دارد. این زمان معمولاً سه جلسه عکاسی است که بعد از هر نوبت باید با ورود عکس‌های گرفته‌شده به نرم‌افزار و ساخت ابر نقطه‌ای، کمبود عکس‌های گرفته‌شده تشخیص داده شوند تا در نوبت‌های بعدی رفع شوند. این فرایند برای گنبد الله سه مرحله عکاسی بود که پس از پایان آن ابر نقطه‌ای با تراکم یکسان از آن به دست آمد. پس از رسیدن به ابر نقطه‌ای مناسب، نرم‌افزار باید مدل سه‌بعدی را بسازد و بر آن، بافت رنگی را ایجاد کند. این مراحل برای گنبد الله در حدود ۱۲ ساعت پردازش مداوم در نرم‌افزار معرفی شده توسط سیستم به طول انجامید.

۵. ابزار انجام کار

سخت‌افزار استفاده‌شده جهت انجام کار در این تحقیق یک دستگاه رایانه همراه (لپ‌تاپ) و یک دوربین دیجیتال هستند. مشخصات سخت‌افزاری رایانه همراه (که در اجرای نرم‌افزارهای لازم مؤثر هستند) به‌قرار زیر است:

Cpu: Intel Core i7 7700 HQ; Gpu: NVidia Gtx 1070; Ram: 32 Gb DDR4.

همچنین یک عدد دوربین DSLR برند Nikon به مدل D5300 با مشخصات زیر استفاده‌شده است:

Effective Pixels (Megapixels): 24.2 million; ISO: 100 - 12,800. Hi-1 (ISO 25,600); Focal length: 15 to 140 mm; Zoom Range: 7.8x.

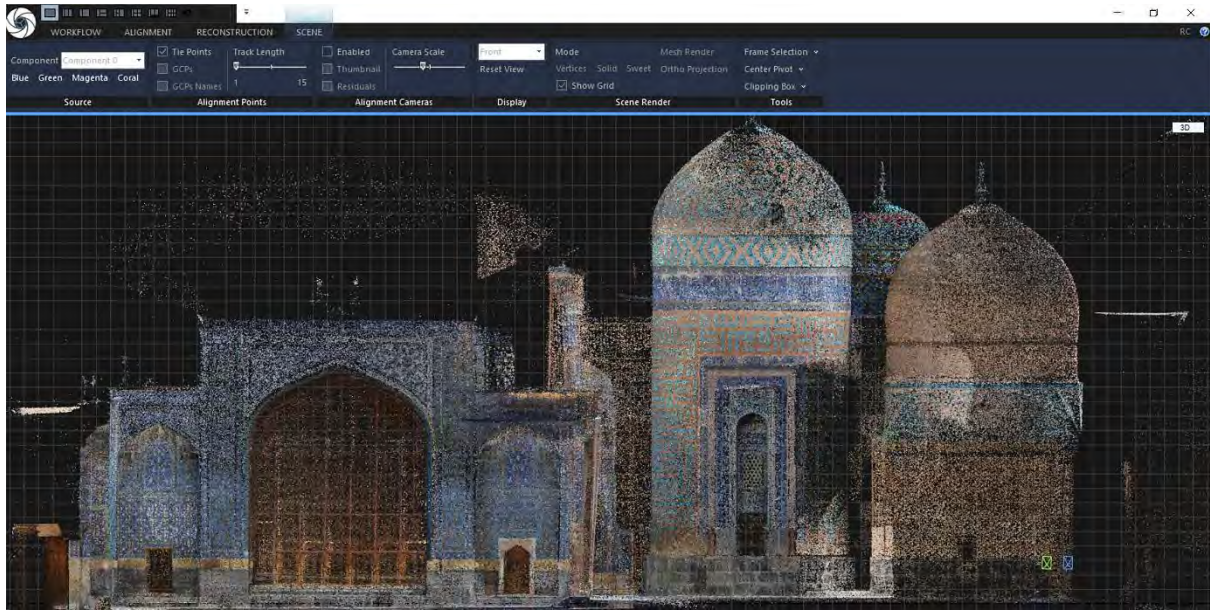
۶. مراحل انجام کار

برداشت مدل سه‌بعدی با تکنیک فتوگرامتری، از گرفتن عکس با استراتژی بخصوصی آغاز می‌شود. به‌طور خلاصه می‌توان گفت که در این شیوه، باید از شیء یا اثر موردنظر عکس‌های زیادی با هم‌پوشانی بالا از زوایای مختلف گرفته شود. منظور از هم‌پوشانی بالا، اشتراک حداقل ۷۰ درصد از عکس قبل در عکس مابعد خود است. پس همان‌طور که قابل تصور است، تعداد عکس‌ها به طرز شگفت‌آوری زیاد می‌شود. در این شیوه، نحوه حرکت عکاس بسیار مهم است و باید که تمامی زوایای ممکن از شیء یا اثر را در عکس‌ها بیاورد، در غیر این صورت قسمتهایی که کمبود تصاویر را داشته باشند، به‌خوبی بازسازی نمی‌شوند. در شکل ۳ مسیرهای حرکت برای برداشت تصاویر دیجیتال از گنبد الله و جهت نگاه دوربین مشخص شده است. همان‌طور که پیدا است مسیرهای متفاوتی به لحاظ شکل و به لحاظ فاصله تا گنبد برای برداشت عکس پیمایش شده که هر کدام به جهت حصول نتیجه‌ای خاص انتخاب شده‌اند. همچنین هر مسیر در سه نوبت پیمایش شده؛ یک نوبت با حداقل فاصله کانونی لنز موجود که ۱۵ میلی‌متر بوده، بار دوم با فاصله کانونی ۷۰ میلی‌متر و بار سوم با فاصله کانونی ۱۴۰ میلی‌متر برداشت، صورت گرفته است. دسته اول، تصاویر با فاصله کانونی حداقلی برای فهماندن کلیت بنا به نرم‌افزار، دسته دوم، تصاویر با فاصله کانونی متوسط برای ایجاد ارتباط میان دسته اول و سوم در هنگام پردازش تصاویر توسط نرم‌افزار و دسته سوم تصاویر با زوم حداکثری، برای ثبت جزئیات بنا برداشت شده‌اند.



شکل ۳: محل برداشت هفتصد عکس به محوریت گنبد الله الله (تصویر زمینه: تصویر تخت محوطه بقعه، تولیدشده از عکس‌های هوایی)
 Fig. 3: Places that seven hundred shots has been taken from Allah Allah dome (Background: non-perspective image of the complex made by aerial shots)

پس از برداشت عکس‌ها، نوبت به بارگذاری آن‌ها در نرم‌افزار و پردازششان به جهت دستیابی به مدل سه‌بعدی می‌رسد. برای این منظور نرم‌افزارهای مختلفی در دسترس هستند که در این پژوهش از نرم‌افزار Reality Capture استفاده شده است. نسخه استفاده شده از این نرم‌افزار در پژوهش حاضر 1.0.3 است. پس از بارگذاری عکس‌ها در این نرم‌افزار که با دستور input صورت می‌گیرد، ابتدا یکپارچگی آن‌ها بررسی می‌شود و در صورت عدم دریافت خطا، نرم‌افزار یک مدل متشکل از نقاط مشترک کلیدی را که در عکس‌ها تشخیص داده، می‌سازد؛ این مدل در اصطلاح ابر نقطه‌ای (Point Cloud) نامیده می‌شود (شکل ۴). تعداد عکس‌های وارد شده هزار عدد بودند که همگی با فرمت .jpg و دارای رزولوشن ۶۰۰۰ در ۴۰۰۰ هستند. بررسی یکپارچگی نیز با دستور Align Images انجام خواهد شد.



شکل ۴: محیط نرم‌افزار Reality Capture و ابر نقطه‌ای از مجموعه بقعه شیخ صفی
 Fig: 4: Reality Capture app interface and calculated point cloud of the complex

معمولاً زمانی که نرم‌افزار ابر نقطه‌ای را تشکیل می‌دهد، به جهت برخی خطاهای رخ داده در الگوریتم‌های محاسبه‌شده، برخی نقاط خارج از میانگین کلی برآورد شده‌اند که این نقاط را می‌توان با استفاده از دستورهایی Point Lasso و Point Rec انتخاب کرده و با دستور Filter Selection از مدل حذف کرد. سپس محدوده مورد نظر از ابر نقطه‌ای توسط کاربر انتخاب می‌شود و نرم‌افزار شروع به ساختن مدل سه‌بعدی با بافت و جزئیات کامل خواهد کرد. در این پروژه محدوده مورد نیاز، کتیبه‌های روی گنبد الله بود که به‌مانند شکل زیر، مدل همه آن‌ها توسط نرم‌افزار ساخته شد (شکل ۵). انتخاب محدوده توسط دستور Set Reconstruction Region و ساخت مدل سه‌بعدی توسط دستور High Detail یا Normal Detail در زیرمجموعه Reconstruction انجام می‌پذیرند.



شکل ۵: مدل سه‌بعدی ساخته‌شده از کتیبه کمربندی گنبد الله
 Fig: 5: 3D reconstructed model of circular inscription of Allah Allah dome

تا به اینجا مراحل شبیه کارهای فتوگرامتریک در قدیم بود، اما از اینجا به بعد به ساخت یک تصویر تخت از این کتیبه مدور می‌پردازیم. یکی از قابلیت‌هایی که مدل‌های سه‌بعدی به کاربران می‌دهند، تهیه تصاویر بدون پرسپکتیو از شیء یا اثر است. این تصاویر فاقد ژرف‌نمایی هستند و فاصله بیننده تا هر نقطه در تصویر یکسان است. این‌گونه خروجی‌ها سابق بر این در فعالیت‌ها و پروژه‌های مرمتی-حفاظتی استفاده می‌شده‌اند، اما در اینجا برای تبدیل کتیبه به یک تصویر تخت که مانند برداشتن آن توسط کاغذ پوستی است، استفاده می‌شود. دریافت خروجی از نرم‌افزار توسط دستور Render در زیرمجموعه Export صورت می‌پذیرد. از آنجا که این کتیبه در اطراف یک استوانه دور می‌زند، بنابراین، در قالب یک تصویر نمی‌توان آن را ارائه کرد. همچنین با وجود اینکه با استفاده از دو تصویر می‌توان تمام ۳۶۰ درجه از دایره را پوشش داد، اما تنها حدود ۴۵ درجه از تصویر بدون پرسپکتیو خروجی از هر ۱۸۰ درجه از کتیبه قابل استفاده است (شکل ۶).



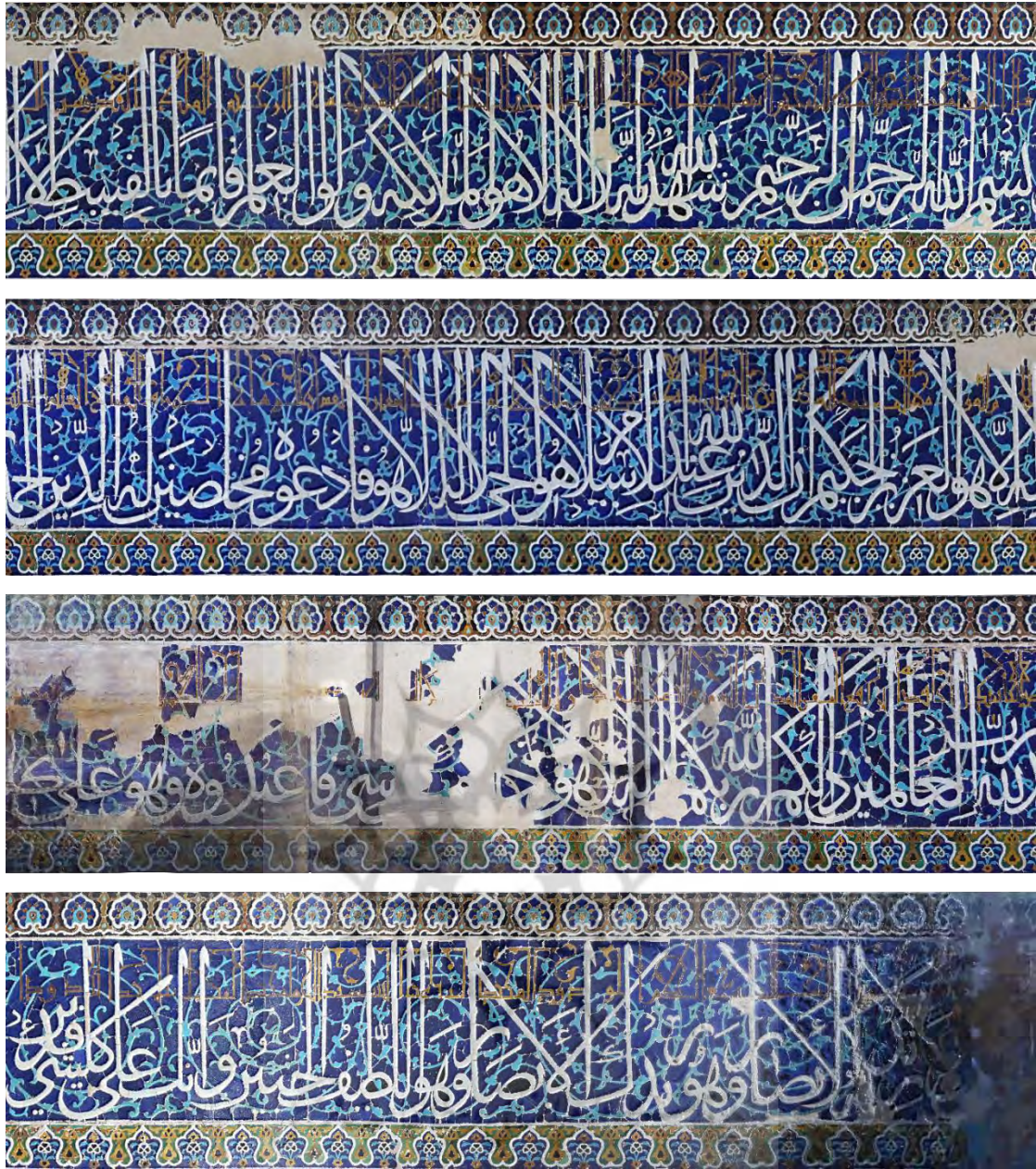
شکل ۶: تصویر بدون پرسپکتیو از کتیبه کمربندی و محدوده قابل استفاده
 Fig. 6: Non-perspective rendered image of circular inscription and usable portion of it

با وجود این نقص در مورد کتیبه مدور، می‌توان دایره را به بخش‌های کوچک‌تری با توجه به محیط دایره تقسیم کرد؛ هرچه محیط این دایره کوچک‌تر باشد به تعداد بخش‌های کمتر و هرچه محیط آن بزرگ‌تر باشد به تعداد بخش‌های بیشتری نیاز است. در مورد این کتیبه در اینجا کار با تقسیم دایره به هشت بخش و تهیه تصاویر بدون پرسپکتیو از هشت سمت اقدام شد. پس از تهیه این تصاویر، بخش میانی از هر کدام که معادل ۴۵ درجه از دایره اصلی است را در نرم‌افزار فتوشاپ (Photoshop) از آن‌ها جدا می‌کنیم و در قالب یک عکس جدید به یکدیگر می‌چسبانیم. در این مورد، به دلیل طولانی بودن کتیبه، تصاویر در چهار خط مونتاژ شده‌اند (شکل ۷).

توضیح، آنکه به دلیل فاصله کم میان گنبد الله الله، گنبد حرم‌خانه و گنبد مقبره شاه اسماعیل، امکان دسترسی و برداشت تصاویر بسیار کم بود و مشکل هم‌پوشانی تصاویر را داشتیم که منجر به مخدوش شدن مدل نهایی در ابتدای خط چهارم شد.


۷. معرفی کلی کتیبه‌ها








در مجموع ۲۳ قاب‌بندی مختلف از کتیبه‌های خوشنویسی بر جداره بیرونی گنبد الله الله نقش بسته‌اند (جدول شماره ۱). دو عدد از این قاب‌ها به دلیل قرارگیری در فضایی بسیار تنگ، قابلیت عکس‌برداری بدون وجود داربست را نداشته‌اند، بنابراین، عملیات فتوگرامتری بر روی آن‌ها انجام نشده است. در ارتباط با محل قرارگیری کتیبه‌ها بر روی بنا نیز باید اشاره کرد که کتیبه شماره ۱ سراسر بدنه استوانه‌ای ساختمان را در بر گرفته است. کتیبه‌های شماره ۲ تا شماره ۹ در حاشیه تزئینی اطراف قاب پنجره ضلع جنوب غربی گنبد، ملقب به قبله قابوسی قرار گرفته‌اند. کتیبه‌های شماره ۱۰ تا ۱۵ نیز در اطراف محل اتصال گنبد به شاه‌نشین موجود هستند. کتیبه‌های شماره ۱۶ تا ۱۹ نیز در قاب پنجره قبله قاموسی کار شده‌اند. کتیبه شماره ۲۰ اصلی‌ترین و مهم‌ترین کتیبه این بنا است که به صورت مدور در ساقه گنبد الله الله جای گرفته و کتیبه ۲۱ که امضای معمار بنا را بر خود دارد، به صورت منفرد در جبهه شمالی ساقه استوانه‌ای گنبد قرار گرفته است.










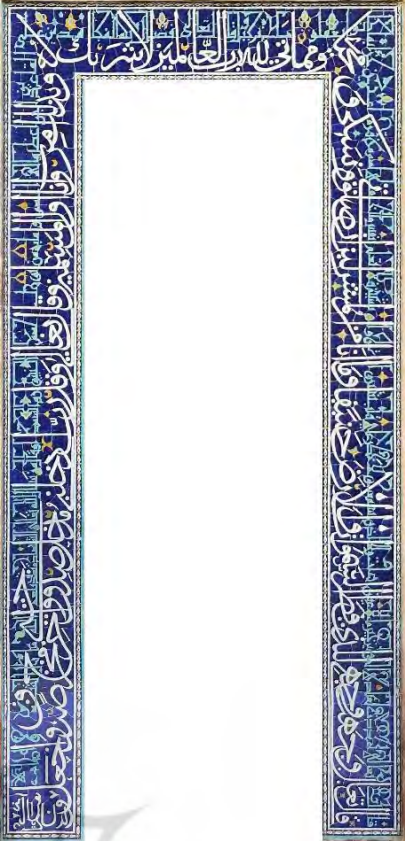



شکل ۷: تصویر نهایی از کتیبه کمر بندی گنبد الله الله به صورت تخت
 Fig. 7: Final processed image of the circular inscription of Allah Allah dome

جدول ۱: معرفی کتیبه‌های موجود بر جدار بیرونی گنبد الله الله
 Table1: Descriptions of all inscriptions on Allah Allah dome

نوع خط Script	متن کتیبه Content	تصویر بدون پرسپکتیو Non-perspective image	کد کتیبه No.
کوفی بنایی Angular Kufic	لفظ مقدس «الله» به صورت تکرار شونده.		۱

<p>کوفی تزئینی Floriated Kufic</p>	<p>قال الله تعالى للذين احسن الحسنی و زیاده (سوره یونس، بخشی از آیه ۲۶)</p>		<p>۲</p>
<p>کوفی تزئینی Floriated Kufic</p>	<p>قال الله تعالى ابشروا بالجنة التي كنتم توعدون صد [ق الله] (سوره فصلت، بخشی از آیه ۳۰)</p>		<p>۳</p>
<p>کوفی تزئینی Floriated Kufic</p>	<p>لیس شیء اکرم علی الله من الدعا</p>		<p>۴</p>
<p>کوفی تزئینی Floriated Kufic</p>	<p>و الله يدعو الی دارالسلام (سوره یونس، بخشی از آیه ۲۵)</p>		<p>۵</p>
<p>کوفی تزئینی Floriated Kufic</p>	<p>قال علیه السلام الدعا مخ العباد.</p>		<p>۶</p>
<p>کوفی تزئینی Floriated Kufic</p>	<p>اللهم احینى مسکینا و امتنى مسکینا و احشرنى فى زمرة المساکین، کتبه اکبر</p>		<p>۷</p>
<p>کوفی تزئینی Floriated Kufic</p>	<p>قال علیه السلام افضل الذکر لا اله الا الله</p>		<p>۸</p>

<p>کوفی تزئینی Floriated Kufic</p>	<p>قال الله تعالى (باقي كتيبه خوانده نشده)</p>		<p>۹</p>
<p>کوفی تزئینی Floriated Kufic</p>	<p>هذه روضه قطب الافاق صفى اسحاق رحمه [الله]</p>		<p>۱۰</p>
<p>کوفی تزئینی Floriated Kufic</p>	<p>قال عليه السلام افضل الدعا الحمد لله</p>		<p>۱۱</p>
<p>کوفی تزئینی Floriated Kufic</p>	<p>قال الله تعالى و ان الى ربك المنتهى (سوره نجم، آيه ۴۲)</p>		<p>۱۲</p>
<p>کوفی تزئینی Floriated Kufic</p>	<p>الله لطيف بعبادة يرزق من يشاء (سوره شورى، بخشى از آيه ۱۹)</p>		<p>۱۳</p>
<p>کوفی تزئینی Floriated Kufic</p>	<p>قال الله تعالى ان المتقين فى جنات و نعيم (سوره طور، آيه ۱۷)</p>		<p>۱۴</p>
<p>کوفی تزئینی Floriated Kufic</p>	<p>قل ان كنتم تحبون الله فاتبعونى يحببكم الله (سوره آل عمران، بخشى از آيه ۳۱)</p>		<p>۱۵</p>

<p>متن سفید: ثلث Thuluth متن آبی: کوفی تزئینی Floriated Kufic</p>	<p>متن سفید رنگ: آیه ۷۹ سوره انعام، آیات ۱۶۲ و ۱۶۳ سوره انعام، بخشی از آیه ۸۰ سوره اسراء. متن آبی رنگ: آیه ۱۷ سوره سجده، آیه ۹۵ سوره نسا</p>		<p>۱۶</p>
<p>متن طلایی: کوفی تزئینی Floriated Kufic متن سفید: ثلث Thuluth</p>	<p>متن طلایی: من قال لا اله الا الله صدقا من قلبه دخل الجنة متن سفید: آیه ۱۹ سوره محمد</p>		<p>۱۷</p>
<p>متن طلایی: کوفی تزئینی Floriated Kufic متن سفید: ثلث Thuluth</p>	<p>متن سفید: آیه ۶۲ سوره یونس متن طلایی: آیات ۶۳ و ۶۴ سوره یونس</p>		<p>۱۸</p>
<p>ثلث Thuluth</p>	<p>الله، محمد، علی (به صورت قرینه)</p>		<p>۱۹</p>

<p>متن طلایی: کوفی تزئینی Floriated Kufic متن سفید: ثلث Thuluth</p>	<p>متن سفید رنگ: آیات ۱۸ و ۱۹ آل عمران، آیه ۶۵ سوره غافر، آیات ۱۰۲ و ۱۰۳ سوره انعام متن طلایی: (خوانده نشده)</p>		<p>۲۰</p>
<p>ثلث Thuluth</p>	<p>عمل العبد الفقير الراجي الى عفو الصمد، عوض بن محمد المراغي</p>		<p>۲۱</p>

تمامی کتیبه‌های این بنا به شرح جدول فوق، با استفاده از این روش معرفی شده در این مقاله برداشت شده و تصویری باکیفیت و وضوح بالا و کاملاً قائم و بدون پرسپکتیو حاصل شده است.

۸. نتیجه گیری

همان‌طور که مشاهده شد، شیوه‌های سنتی مستندنگاری کتیبه‌های تاریخی با مشکلات متنوعی همراه بودند، از محدودیت در ارائه تصاویر مکفی و گویا تا نیاز به برنامه‌ریزی و صرف وقت و هزینه بسیار و مساعد بودن شرایط آب و هوایی. این محدودیت‌ها یا سبب می‌شده که مستندنگاری‌های صورت گرفته از این هنر تزئینی ارزشمند قابلیت مطالعات بیشتر را در اختیار محققان علاقه‌مند قرار ندهد، یا به علت گران بودن، اجرای آن تنها محدود به چند بنای خاص و یا بخش‌های محدودی از یک بنا باشد و حجم عظیمی از این اطلاعات در بناهای دورافتاده بدون ثبت و ضبط و معرفی باقی بمانند؛ اما استفاده از فتوگرامتری در معرفی کتیبه‌های ساختمانی، قادر است تا حد زیادی تمامی معایب شیوه‌های گذشته را برطرف سازد. این شیوه به‌روز، از تمامی کتیبه‌ها واضح‌ترین تصاویر را بدون اعوجاج، پرسپکتیو و مشکلات دیگر ارائه می‌دهد. از طرفی، علی‌رغم شیوه استفاده از کاغذ پوستی و یا طراحی‌های فنی که نیاز به نفرات زیادی در زمینه‌های مختلف دارد و همین امر سبب افزایش هزینه شده و خود شیوه نیز به‌خودی‌خود کاری زمان‌بر است؛ تمامی مراحل برداشت کتیبه‌ها با روش فتوگرامتری می‌تواند حتی توسط یک نفر با یک دوربین و یک رایانه همراه (لپ‌تاپ) و بدون نیاز به استفاده از داربست برای دسترسی به کتیبه‌های مرتفع انجام شود که این امر به‌شدت در کاهش هزینه‌ها و افزایش سرعت مستندنگاری و پیشبرد مطالعات و تحقیقات کمک می‌کند. نکته‌ای که باید متذکر شد در باب شیوه عکاسی از کتیبه‌های مرتفع، افزایش فاصله عکاس از ساختمان است. برای مثال به جهت عکس‌برداری از کتیبه کمربندی گنبد الله الله که در ارتفاع حدود ۱۵ متری از سطح صحن قرار دارد تا حدی که صحن اجازه می‌داد از گنبد فاصله گرفته شد و سپس عکس‌ها در سه حالت مختلف؛ زوم کامل، نیمه زوم و بدون زوم؛ از کتیبه گرفته شدند. در حقیقت یکی از نکات مثبت این روش همین است که برای مستندنگاری کتیبه‌های در ارتفاع بالا در ساختمان‌ها، هیچ نیازی به داربست و امثال آن نیست و مادامی که کار شما نیاز

به بازسازی سه‌بعدی پشت‌بام را نداشته باشد که معمولاً در بحث کتیبه‌ها این نیاز وجود ندارد، می‌توانید با عکاسی بر روی سطح زمین، کتیبه‌های مرتفع را نیز مدل‌سازی و مستندنگاری کنید.

References

- [1] Zaki Mohammad H. Photography in Islam at the Persians. Cairo: Correction, Translation and Publishing Committee; 1354 A.H. [In Arabic]
- [2] Albukhari M. Sahih Al-Bukhari. Beirut: Dar Tough Al-Najah; 1422 A.H. [In Arabic]
- [3] Hill D, Grabber O. Architecture and Islamic decoration. Translation: Vahdati M. Tehran: Elmi Farhangi; 2007. [In Persian]
[هیمل درک، گرابر اولگ. معماری و تزئینات اسلامی. ترجمه: وحدتی مهرداد. تهران: علمی فرهنگی؛ ۱۳۸۶.]
- [4] Tohidi F. Basics of Metalworking, Miniature, Pottery, Weaving, Architecture, Calligraphy and Illumination. Tehran: Samira; 2007. [In Persian]
[توحیدی فائق. مبانی هنرهای: فلزکاری، نگارگری، سفالگری، بافته‌ها و منسوجات، معماری، خط و کتابت. تهران: سمیرا؛ ۱۳۸۶.]
- [5] Hill D, Grabber O. Architecture and Islamic decoration. Translation: Vahdati M. Tehran: Elmi Farhangi; 2007. [In Persian]
[هیمل درک، گرابر اولگ. معماری و تزئینات اسلامی. ترجمه: وحدتی مهرداد. تهران: علمی فرهنگی؛ ۱۳۸۶.]
- [6] Linder W. Digital Photogrammetry a Practical Course. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg; 2016.
- [7] Abdul Rahman W, Nur Falah Edlin W. Visualization and preservation of cultural heritage using close range photogrammetry at Masjid Sultan Brunei. Bachelor thesis. Perlis: Universiti Teknologi MARA; 2021.
- [8] Frodella W, Elashvili M, Spizzichino D, Gigli G, Nadaraia A, Kirkitadze G, Adikashvili L, Margottini C, Antidze N, Casagli N. Applying Close Range Non-Destructive Techniques for the Detection of Conservation Problems in Rock-Carved Cultural Heritage Sites. Remote Sensing J 2021; 13(5):1040.
- [9] Apollonio FI, Fantini F, Garagnani S, Gaiani M. A Photogrammetry-Based Workflow for the Accurate 3D Construction and Visualization of Museums Assets. Remote Sensing. 2021; 13(3):486.
- [10] Ulvi A. Documentation, Three-Dimensional (3D) Modelling and visualization of cultural heritage by using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) photogrammetry and terrestrial laser scanners. Remote Sensing J 2020; 42(6):1994-2021.
- [11] Adl Sh, Karimi, A. Looking to plans and data of photogrammetric information of Zoozan and Bastam. Asar J 1998; 29 and 30: 90- 108. [In Persian]
- [عدل شهریار، کریمی اصغر. نگاهی به برداشتها و دیدهای شمارگانی (دیزیتالی) و فتوگرامتری شدهٔ زوزن و بسطام. مجله اثر ۱۳۷۷؛ ۲۹ و ۳۰: ۹۰-۱۰۸.]
- [12] Maleki M, Malian A. Documenting of Jozdan ensemble by close range photogrammetry. Tehran: First conference of documenting of cultural and natural heritage; 2017. [In Persian]
[ملکی مصطفی، مالیان عباس. مستندنگاری خانقاه جوزدان به روش فتوگرامتری برد کوتاه. تهران: نخستین همایش ملی مستند نگاری میراث طبیعی و فرهنگی؛ ۱۳۹۶.]
- [13] Abbasi Maleki N, Tasdighi Sh, Andaroodi E. Documenting of decoration of historical monuments: Modeling of muqarnases of northern side of Mas'udieh building. Tehran: First conference of documenting of cultural and natural heritage; 2017. [In Persian]
[عباسی ملکی نداء، تصدیقی شهاب الدین، اندرودی الهام. مستندسازی تزئینات بناهای تاریخی با استفاده از فتوگرامتری برد کوتاه: مدل‌سازی مقرنس ضلع شمالی عمارت مسعودیه. تهران: نخستین همایش ملی مستندنگاری میراث طبیعی و فرهنگی؛ ۱۳۹۶.]
- [14] Panahi Jeid M, Aghaei H, Sadeghian S. 3D reconstruction of historical objects by underwater photogrammetry. Tehran: Second conference of documenting of cultural and natural heritage; 2018. [In Persian]
- [پناهی مریم، آقای حدیث، صادقیان سعید. بازسازی سه‌بعدی اشیاء باستانی با استفاده از فتوگرامتری زیرآب. تهران: دومین همایش ملی مستندنگاری میراث طبیعی و فرهنگی؛ ۱۳۹۷.]
- [15] Fahami N, Malian A. Designation of a multi camera system for documenting museum objects. Tehran: Second conference of documenting of cultural and natural heritage; 2018. [In Persian]
[فهامی نرگس، مالیان عباس. طراحی و ساخت یک سامانه فتوگرامتری چنددوربین برای مستندنگاری آثار موزه‌ای. تهران: دومین همایش ملی مستندنگاری میراث طبیعی و فرهنگی؛ ۱۳۹۷.]

- [16] Mojarabi H, Gholami Firouzjaee A. Importance of Sheikh Safi al din shrine in Islamic art and architecture. *Iran Local Histories J* 2018; 12: 189- 204. [In Persian]
- [مجربی حسن، غلامی فیروزجائی علی. اهمیت و ارزش بقعه صفی‌الدین اردبیلی در معماری و هنرهای اسلامی. مجله پژوهشنامه تاریخ مای محلی ایران ۱۳۹۷؛ ۱۲: ۱۸۹-۲۰۴.]
- [17] Golmaghanizadeh Asl M, Yousefi H. Art and archaeology of Sheikh Safi al din shrine. Ardabil: Nikamooz; 2005. [In Persian]
- [گلمغانی زاده اصل ملکه، یوسفی حسن. باستان‌شناسی و تاریخ هنر بقعه شیخ صفی‌الدین اردبیلی. اردبیل: نیک آموز؛ ۱۳۸۴.]
- [18] Abdibeig Shirazi Z. Sarih al-molk, Endowment letter of Sheikh Safi shrine. Correction: Hedayati M. Ardabil: Oghaf organization; 2011. [In Persian]
- [عبدی‌بیگ شیرازی زین العابدین. صریح الملک، وقفنامه بقعه شیخ صفی‌الدین اردبیلی تصحیح: هدایتی م. اردبیل: سازمان اوقاف؛ ۱۳۹۰.]
- [19] Dibaj E. Cultural heritage and historical monuments of Azerbaijan. Tehran: Central council of imperial ceremony of Iran; 1977. [In Persian]
- [دیباج اسماعیل. آثار باستانی و ابنیه تاریخی آذربایجان. تهران: شورای مرکزی جشن شاهنشاهی ایران؛ ۱۳۵۶.]
- [20] Mashkoor M. Looking to history of Azerbaijan, cultural heritage and sociology. Tehran: National heritage association; 1970. [In Persian]
- [مشکور محمدجواد. نظری به تاریخ آذربایجان و آثار باستانی و جمعیت‌شناسی. تهران: انجمن آثار ملی؛ ۱۳۴۹.]
- [21] Yousefi H, Golmaghanizadeh Asl M. Shi'ah arts in history and cultural ensemble of Shaikh safi al-din in Ardabil. Ardabil: Yavaran; 2010. [In Persian]
- [یوسفی حسن، گلمغانی‌زاده اصل ملکه. هنرهای شیعی در مجموعه تاریخی و فرهنگی شیخ صفی‌الدین اردبیلی. اردبیل: یاوران؛ ۱۳۸۹.]
- [22] Wiet G. Répertoire chronologique d'épigraphie arabe. Paris: Le Caire; Tome: 1-13, 1931-1956. [In French]
- [23] Maheronaghsh M. Masonary scripts. Tehran: Soroush; 1991. [In Persian]
- [ماهرالنقش محمود. خط بنایی. تهران: سروش؛ ۱۳۷۰.]
- [24] Halimi M. Aesthetic of calligraphy in jame' mosque of Isfahan. Tehran: Ghadyani; 2011. [In Persian]
- [حلیمی محمدحسین. زیبایی‌شناسی خط در مسجد جامع اصفهان. تهران: قدیانی؛ ۱۳۹۰.]
- [25] Salehi Kakhki A, Azizpour Sh. Patterns and writings on Golpaygan, Ardestan and Zavareh mosques. Tehran: Goldasteh; 2013. [In Persian]
- [صالحی کاخکی احمد، عزیزپور شادابه. نقوش و کتیبه‌های مساجد جامع گلپایگان، اردستان و زواره. تهران: گلدسته؛ ۱۳۹۳.]
- [26] Khazaei M. Minar e Jam. Tehran: Institute of Compilation, Translation and Publication of Text Art Works, Academy of Arts; 2017. [In Persian]
- [خزایی محمد. منار جام: کتیبه‌ها و نقوش تزئینی و مفاهیم نمادین. تهران: مؤسسه تألیف ترجمه و نشر آثار هنری متن، فرهنگستان هنر؛ ۱۳۹۶.]
- [27] Ghafarian M, Molazemhosseini M, Mehrpooya S. Application of close range photogrammetry in providing plan of inscriptions and artistic decoration of Imam Reza shrine. Tehran: First conference of documenting of cultural and natural heritage; 2017. [In Persian]
- [غفاریان محمود، ملازم‌الحسینی محمد کاظم، مهرپویا سعید. کاربرد فتوگرامتری برد کوتاه در تهیه نقشه کتیبه‌ها و تولید مدل سه‌بعدی آرایه مای هنری حرم مطهر امام رضا (علیه السلام). تهران: نخستین همایش ملی مستندنگاری میراث طبیعی و فرهنگی؛ ۱۳۹۶.]
- [28] Sužiedelytė-Visockienė J, Bagdžiūnaitė R, Malys N, Maliene V. Close-range photogrammetry enables documentation of environment-induced deformation of architectural heritage. *Environmental Engineering and Management J* 2015; 6: 1371-1381.
- [29] Laurentini A. The visual hull concept for silhouette-based image understanding. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence J* 1994; 2: 150-162.