

## کاربرد «موبایل فتوگرامتری» در مستندنگاری معماری (نمونه مورد مطالعه: کاشی کاری‌های دروازه قرآن شیراز)

علی اسدپور<sup>۱\*</sup>

۱- استادیار گروه معماری داخلی، دانشگاه هنر شیراز، فارس، ایران. پست الکترونیکی: asadpour@shirazartu.ac.ir

### چکیده

بخش مهمی از میراث معماری و به‌ویژه تزئینات وابسته به معماری به دلیل رشد شتابان ساخت‌وساز، توسعه شهرها، مداخلات کالبدی در بناها و درنهایت به دلیل تنوع و پراکندگی آثار در سطح کشور با چالش تخریب پیش از مستندسازی یا نادیده انگاشتن در مطالعات مواجه هستند. از این‌رو یافتن راهی سریع و ارزان برای مستندنگاری ضروری است. «فتوگرامتری معماری» به‌عنوان دانش استخراج ابعاد و اندازه از روی عکس، روشی دقیق و شناخته‌شده در مستندسازی معماری در سطح جهان به شمار می‌رود. با این حال کاربردهای آن در ایران چندان فراگیر نیست. امروزه «موبایل فتوگرامتری» هم‌زمان با پیشرفت فناوری‌های رقومی در تلفن‌های همراه می‌تواند جایگزینی برای دوربین‌های حرفه‌ای و گران‌قیمت در فتوگرامتری مرسوم باشد. در این پژوهش ضمن معرفی این روش و مراحل اجرای آن، مجموعه کاشی کاری‌های دروازه قرآن شیراز به‌عنوان اثری برجای‌مانده از دهه بیست قرن چهاردهم خورشیدی مستندسازی شده است. این کاشی کاری‌ها که به دست محمدباقر جهانمیری - کاشی‌نگار شاخص اواخر عصر قاجار و پهلوی - طراحی و اجرا شده‌اند، نمونه‌ای فاخر از تزئینات وابسته به معماری هستند که به دلیل ابعاد و مکان قرارگیری، امکان تهیه عکس‌های تخت و نقشه‌های مستند از آن به‌آسانی ممکن نیست. در این پژوهش مدلی سه‌بعدی بر پایه عکاسی با موبایل از این اثر در نرم‌افزار Agisoft Metashape Professional نسخه ۲۰۱۹ تهیه گردیده و با استخراج «آرتوفتو (عکس تخت)»، فرآیند مقیاس‌دهی به آن‌ها نیز انجام شده است. خروجی‌های مقیاس‌دار، مبنایی برای ترسیم‌ها و تهیه نقشه‌های دقیق اثر هستند. یافته‌های این مطالعه میدانی نشان می‌دهند که «موبایل فتوگرامتری» می‌تواند روشی مقرون‌به‌صرفه، سریع و دقیق برای ثبت میراث معماری و به‌ویژه تزئینات وابسته به بنا بوده و داده‌های ارزشمندی برای مقاصد پژوهشی و مرمتی تولید نماید.

**واژه‌های کلیدی:** مستندسازی، فتوگرامتری برد کوتاه، کاشی کاری، دروازه قرآن، محمدباقر جهانمیری

### ۱- مقدمه

مستندنگاری و مستندسازی میراث معماری در ایران همچون بسیاری از دیگر نقاط مشابه در جهان دستکم با دو چالش جدی روبرو بوده و هست. چالش نخست به شرایط اجتماعی و شتاب دگرگونی‌های شهری بازمی‌گردد؛ تنوع و پراکندگی آثار معماری در ایران به حد قابل‌توجهی چشم‌گیر است و باوجود تلاش‌هایی که در دهه‌های اخیر برای مستندسازی و ثبت این آثار انجام شده، کم‌اکان بخش مهمی از آن‌ها فاقد اسناد قابل استناد هستند. افزون بر این رشد شتابان شهرنشینی در دهه‌های اخیر، توسعه شهرها را با چنان سرعتی روبرو نموده که به‌سختی برای حفظ «میراث معماری شهری» زمان کافی در دسترس بوده است؛ بافت‌های تاریخی و میانی شهرها که گنجینه آثار معماری بودند با تخریب مواجه شدند و یا با مداخلات کالبدی ساکنین یا مالکین تازه خود، چهره‌آستین خود را از دست دادند یا دستکم چهره‌ای مخدوش یافتند. به این فرآیند باید نگرش‌های نخبه‌گرایانه‌ای که مفهوم «اصالت» و «ارزش تاریخی» را به دوره‌های تاریخی خاص و عناصر هنری و بصری ویژه

محدود می‌کردند را نیز افزود. بر اساس چنین دیدگاهی بخش مهمی از آثار معماری که فخر کمتری نسبت به نمونه‌های شاخص داشتند از گردونه مطالعات مستندنگاری حذف شدند یا در اولویت قرار نگرفتند و یا دوره‌های متأخر در تاریخ معماری ایران، کم‌ارزش یا بی‌اهمیت تلقی شدند. به همین سبب حساسیت‌های عمومی نیز برای حفظ و نگهداری از آن‌ها تضعیف گردید.

چالش دوم به ماهیت عملیات مستندسازی معماری بازمی‌گردد که همواره کاری زمان‌بر و هزینه‌بردار بوده و دقت آن متناسب با توان ابزارهای اندازه‌گیری و مهارت مستندنگاران متفاوت است. طبق تعریفی که ایکوموس در سال ۱۹۹۶ میلادی تحت عنوان «اصول مستندنگاری آثار، مجموعه بناها و محوطه‌های تاریخی» از «مستندنگاری» ارائه داده، این کار نیاز به تخصص و مهارت کافی دارد. در این سند آمده است: «مستندنگاری دستیابی به اطلاعاتی است که شکل کالبدی، وضعیت و کاربری آثار، مجموعه بناها و محوطه‌های تاریخی را در زمانی معین توصیف می‌کند و بخشی ضروری از فرآیند حفاظت به شمار می‌رود» [1]. افزون بر این، قسمت مهمی از ویژگی‌های میراث معماری در تزئینات آن‌ها نهفته است که به سبب پیچیدگی در طرح و هندسه با روش‌های مرسوم قابل مستندسازی نیستند؛ گچ‌بری‌ها، تزئینات سرستون‌ها، نقاشی‌های سقفی، حجاری‌ها و کاشی‌کاری‌ها را به‌سختی می‌توان به‌خوبی و به‌درستی ثبت کرد. بیشتر اوقات این تزئینات وابسته به معماری با دوربین عکاسی ثبت می‌شوند. ولی دوربین‌ها نیز در بهترین حالت، آثار موردنظر را از یک یا چند زاویه نمایش داده، دارای اعوجاج‌های گوناگون در لنز و ساختار دوربین بوده و مهم‌تر از همه اینکه داده‌های متریک قابل استنادی که بتوانند مبنای مطالعات و سنجش‌های آتی باشند را ارائه نمی‌کنند.

با رشدی که در حال حاضر در فناوری دوربین‌های دیجیتالی صورت گرفته، «فتوگرامتری معماری» می‌تواند راهی ارزان، سریع و دقیق برای مستندنگاری آثار معماری به‌ویژه تزئینات وابسته به معماری تلقی شود. این روش می‌تواند در پیوند با روش‌های مرسوم برداشت از بناها و آثار تاریخی اطلاعات بسیار ارزشمندی را تولید کند که متناسب با موضوع اثر قابلیت‌های گوناگونی دارند. به‌ویژه اینکه می‌توانند در تصمیم‌گیری‌های متخصصان در آینده برای طرح حفاظت و مرمت به کار آیند. همچنین فتوگرامتری معماری می‌توان روشی برای تولید داده‌های متریک قابل‌اتکا در پروژه‌های پژوهشی نیز تلقی شود. صحت و دقت قابل‌اندازه‌گیری در این روش امکان مطالعات نظری را توسعه داده و دستاوردهای پژوهش‌ها را مستدل‌تر خواهد نمود. هدف این پژوهش معرفی عملی «موبایل فتوگرامتری معماری» به‌عنوان روشی در دسترس برای همگان است که می‌تواند بر هر دو چالش مستندنگاری یادشده در بالا- شتاب تغییرات کالبدی شهرها و فرایند زمان‌بر، پرهزینه و تخصص‌محور- تا حد زیادی فائق آید. بر این اساس، مجموعه کاشی‌کاری‌های ضلع شمالی دروازه قرآن شیراز به‌عنوان اثری شاخص از دهه بیست سده چهاردهم خورشیدی که بخش مهمی از هویت تاریخی و گردشگری شهر شیراز است، به‌عنوان نمونه مورد مطالعه انتخاب شده است. این کاشی‌کاری‌ها به دلیل ابعاد، شکل و هندسه و ارتفاع قرارگیری دارای پیچیدگی‌های قابل‌توجهی هستند که آن‌ها را برای عملیات فتوگرامتری ارزشمند و چالش‌برانگیز می‌نماید. افزون بر این، داده‌های این مطالعه می‌تواند سندی برای سنجش فرسودگی‌ها، تغییرات در رنگ‌بندی و تخریب‌های آن در طول زمان تلقی شده و در تهیه طرح‌های مرمتی و حفاظتی نیز به کار آید.

اهمیت این پژوهش از آنجا ناشی می‌شود که تهیه اسناد قابل‌اتکا از این کاشی‌کاری‌ها با روش‌های مرسوم بسیار دشوار و حتی غیردقیق خواهد بود و از سوی دیگر، این آثار در جریان کارهای مرمتی اخیر، آسیب‌هایی نیز دیده‌اند که بیم آن می‌رود در آینده برای حفاظت و مرمت آن‌ها به اسناد قابل‌اتکایی نیاز باشد. نتایج این کار میدانی می‌تواند روش موبایل فتوگرامتری را در جامعه دانشگاهی و حرفه‌ای رواج داده و نقطه آغازی برای تلاش‌های بعدی در زمینه‌های گوناگون باشد.

## ۲- فتوگرامتری و معماری

فتوگرامتری به هر تکنیک اندازه‌گیری اطلاق می‌شود که اجازه می‌دهد با استفاده از تصاویر دوبعدی، مدلی سه‌بعدی خلق شود [2]. در حقیقت فتوگرامتری به شخص اجازه می‌دهد تا موقعیت، جهت‌گیری، شکل و اندازه اشیاء را بر اساس عکس‌ها

بازسازی کند. این بازسازی و تحلیل ویژگی‌های اشیاء بدون تماس فیزیکی انجام می‌شود؛ بنابراین بخشی از دانشی است که امروزه سنجش‌ازدور نامیده می‌شود [3]. به همین سبب باید آن را علم اندازه‌گیری عکس‌ها نیز نامید که به‌طور کلی سه مرحله تاریخی را طی کرده است. این مراحل به ترتیب بدین شرح هستند [4]:

الف) فتوگرامتری آنالوگ: در دهه‌های آغازین فتوگرامتری از روش‌های اپتیکی-مکانیکی استفاده می‌شد. تجهیزات پیچیده و گران‌قیمت به همراه مهارت فراوان کاربر برای این کار موردنیاز بود. در این مرحله تمامی گام‌ها از مرتب نمودن تصاویر تا اندازه‌گیری، نقشه‌سازی و مانند آن به طور مکانیکی انجام می‌شد.

ب) فتوگرامتری تحلیلی: با روی کار آمدن رایانه این ایده به وجود آمد تا از الگوریتم‌ها برای فرمول‌بندی عملیات استفاده شود. تجهیزات در این دوره کوچک‌تر، ارزان‌تر و قابل‌حمل شدند. در این زمان هنوز هم با عکس‌های آنالوگ کار می‌شد که نیازمند بهره‌گیری از تجهیزات دقیق مکانیکی و اپتیکی بود که پلاتر تحلیلی نامیده می‌شدند.

ج) فتوگرامتری دیجیتال: با توسعه توان رایانه‌ها و استفاده از عکس‌های دیجیتال هر رایانه شخصی نیز می‌تواند امروزه به کار فتوگرامتری بپردازد.

فتوگرامتری را می‌توان به روش‌های گوناگونی دسته‌بندی کرد. اگر مبنا را موقعیت دوربین و فاصله تا شیء در نظر بگیریم فتوگرامتری ماهواره‌ای، هوایی، زمینی، برد کوتاه و ماکرو قابل‌طبقه‌بندی هستند. فتوگرامتری برد کوتاه در فواصل کم‌تر از ۳۰۰ کمتر انجام می‌شود. اگر شمار عکس‌های اندازه‌گیری‌شده مبنا باشند فتوگرامتری تک‌عکس، استریو فتوگرامتری و فتوگرامتری چند عکس را می‌توان برشمرد. فتوگرامتری تک‌عکس به معنی انجام فرآیند فتوگرامتری با تنها یک عکس است که از آن اغلب به مونوپلات کردن عکس، تصحیح عکس یا عکس‌های تخت یاد می‌شود. استریو فتوگرامتری نیازمند زوج عکس‌های هم‌پوشان است. در فتوگرامتری چند عکس تعداد عکس‌ها از دو بیشتر خواهد بود [5]. آرتوفوتو یا عکس تخت به عکسی اطلاق می‌شود که از نظر هندسی تصحیح شده است. در چنین عکس‌هایی مقیاس در همه جای عکس یکدست بوده و برخلاف عکس تصحیح‌نشده می‌تواند برای اندازه‌گیری فواصل واقعی استفاده گردد؛ چراکه عکس ساختاری نمایی داشته و اعوجاجات لنز و کجی‌های ناشی از ساختار دوربین در آن حذف شده‌اند [6].

فتوگرامتری معماری یکی از شاخه‌های فتوگرامتری است که متخصصانی از معماری، حفاظت از میراث فرهنگی و باستان‌شناسی به آن اشتغال دارند. دیگر شاخه‌های فتوگرامتری به فتوگرامتری مهندسی، صنعتی چندرسانه‌ای و نظایر آن شناخته می‌شوند. فتوگرامتری معماری زیرشاخه‌ای از فتوگرامتری برد کوتاه است و از فتوگرامتری تک‌عکس، استریو فتوگرامتری و فتوگرامتری چند عکس استفاده می‌نماید. مونوپلات کردن یا تصحیح عکس برای کار با عناصر نما در بناها مفید هستند چراکه ساختار هندسی اغلب ساختمان‌ها از هندسه مشخص راست‌گوشه تبعیت می‌کند ولی برای تصحیح اشکال پیچیده هندسی و تزئینات مفصل که در یک صفحه ننگند، با محدودیت‌هایی مواجه است. چراکه صحت فرایند تصحیح تنها در یک صفحه که به صفحه تصحیح مشهور است، قابل استناد بوده و بخش‌هایی از بنا که در آن صفحه قرار نگیرند به‌درستی اصلاح نخواهند شد. با این حال استفاده از فتوگرامتری به روش تصحیح عکس در پژوهش‌های متعددی دیده می‌شوند به‌عنوان نمونه نمای ساختمان کتابخانه‌ای در آلمان که در جریان جنگ جهانی دوم تخریب گردیده به همین روش بازیابی گردید [7]. نمای چندین تالار شهر نیز در آلمان با عکس‌هایی از سال‌های ۱۹۰۶ تا ۱۹۱۲ با همین روش ترسیم شدند [8]. در ایران نیز برای مستندنگاری بخشی از نمای ورودی عمارت کاخ مسعودیه تهران از تصحیح عکس استفاده شده است [9].

استفاده از فتوگرامتری چند عکس برای ساخت مدلی سه‌بعدی از بنا یا بخش‌هایی از آن امروزه بسیار مرسوم است. عکاسی با پهباد نیز بر گستره کار فتوگرامتری معماری افزوده که پرداختن به آن در این نوشتار نمی‌گنجد. از مستندنگاری آثار دفاعی نظامیان یونانی [10] تا شناخت ساختار طاق‌های نواری کلیسایی در لیسبون [11] موارد بی‌شماری در سال‌های اخیر مبتنی بر فتوگرامتری برد کوتاه معماری انجام شده است. مستندسازی قصر العبدیت در اردن نمونه متأخری است که از فتوگرامتری و اسکن لیزری بهره برده است [12]. در مقیاس تزئینات وابسته به معماری اسلامی، فتوگرامتری مقرنسی مربوط به روزگار سلجوقیان آناتولی در ترکیه داده‌های دقیقی از ساختار هندسی آن را به دست داد [13].

برای ساماندهی به فعالیت‌های فتوگرامتری معماری، نهاد سیپا (CIPA: Comité International de la Photographie Architecturale) در سال ۱۹۶۸ میلادی تأسیس گردید. این نهاد که قدیمی‌ترین کمیته تخصصی ایکوموس است با همکاری انجمن بین‌المللی فتوگرامتری و سنچس‌ازدور (ISPRS) برای تسهیل انتقال فناوری در زمینه دانش اندازه‌گیری به فرآیند مستندسازی و مستندنگاری در رشته‌های مرتبط با میراث راه‌اندازی شده است. هدف اصلی این کمیته بهسازی تمامی روش‌های برداشت اینیه و محوطه‌های فرهنگی به‌ویژه از طریق هم‌افزایی حاصل از ترکیب روش‌های ویژه فتوگرامتری با تمام جنبه‌های آن است که نقش مهمی در ثبت و پایش ادراکی میراث فرهنگی به‌منظور حفظ و مرمت آثار، اشیاء یا محوطه‌های معماری یا فرهنگی ارزشمند و در حمایت از پژوهش‌های معماری، باستان‌شناسی یا سایر پژوهش‌های هنری-تاریخی ایفا می‌کند [14]. در حال حاضر یکی از اولویت‌های سیپا ترویج روش‌های ساده فتوگرامتری معماری است [15]. موبایل فتوگرامتری می‌تواند یکی از این روش‌های ساده باشد که در این مقاله به آن پرداخته شده است.

### ۳- پیشینه موبایل فتوگرامتری

برخلاف آنچه انتظار می‌رود پیشینه کافی در زمینه موبایل فتوگرامتری وجود ندارد. با این حال شماری پژوهش در چند سال اخیر برای سنچس صحت و دقت دوربین‌های موبایل در قیاس با دوربین‌های دیجیتالی انجام شده‌اند. به‌عنوان نمونه مصطفی عبدالباری ابراهیم در سال ۲۰۰۴ صحت کار با دو مدل از دوربین‌های موبایل را در قیاس با دوربین دیجیتالی در شرایط آزمایشگاهی و در کار میدانی آزمود. یافته‌های وی نشان دادند که استفاده از دوربین‌های موبایل برای فتوگرامتری برد کوتاه صحت کافی را دارند و دقت نسبی آن‌ها نیز حدود یک چهارصدم بوده که برای بسیاری از مقاصد مطلوب هستند. رزولوشن موبایل‌های مورد استفاده وی ۶۴۰ در ۴۸۰ پیکسل بودند. به همین سبب وی ضعف دقت دوربین‌های موبایل را به کمبود رزولوشن آن‌ها نسب داد [16]. آزمون مشابهی نیز در سال ۲۰۰۷ انجام گردید که نشان می‌داد دوربین‌های ارزان‌قیمت موبایل باوجود برخورداری از اشکالات سامانه‌ای در ثبت تصاویر، ظرفیت بزرگی برای موبایل فتوگرامتری از نظر صحت، هزینه و انعطاف‌پذیری دارند [17]. تاکاشی و چیکاتسو در سال ۲۰۰۹ در مجموع ۱۷ دوربین موبایل با کیفیت ۱۰ مگاپیکسل را کالیبره نمودند. یافته‌های آن‌ها به‌اختصار نشان دادند که دوربین‌های موبایل می‌توانند جای دوربین‌های دیجیتالی ارزان‌قیمت را در فتوگرامتری بگیرند [18].

یکی از تازه‌ترین پژوهش‌های انجام‌شده به مقایسه دوربین نیکون D310 و دو موبایل سامسونگ (Note III & S5) و یک موبایل سونی (Xperia Z2) پرداخته است که به ترتیب ۲۰/۷، ۱۶ و ۱۳ مگاپیکسل کیفیت عکس‌برداری داشتند. نتایج این مقایسه نشان دادند که دوربین‌های موبایل کارا، سریع و مفید بوده و صحت آن برای فتوگرامتری برد کوتاه به حدی است که نتایج خوبی در مقایسه با دوربین‌های با کیفیت بالا ارائه می‌دهد. با بالا رفتن کیفیت عکس‌ها، ویژگی‌های موردنظر در فتوگرامتری نیز ارتقاء می‌یابند [19]. تأثیر کیفیت دوربین موبایل در ارتقای صحت و دقت کار فتوگرامتری در پژوهشی به دست خلیل‌الاشماوی در دانشگاهی در قاهره به سال ۲۰۱۷ سنجیده شده است. وی از یک برند تجاری موبایل، دوربین‌هایی با دو کیفیت ۵ و ۲۰ مگاپیکسل را آزمود. نتایج نشان دادند که رزولوشن بالاتر به نتایج دقیق‌تری منتج می‌گردد و در کل دوربین‌های موبایل برای فتوگرامتری برد کوتاه از نظر دقت، هزینه و انعطاف‌پذیری مناسب هستند [20]. نتایج کاملاً مشابهی نیز در سال ۲۰۱۹ با آزمون دوربین موبایل‌هایی با کیفیت‌های ۵، ۸ و ۲۰ مگاپیکسل به دست آمد که حاکی از آن بود که دقت اندازه‌گیری در تمامی جهات تنها ۰/۴ تا ۰/۵ میلی‌متر اختلاف دارند که معادل با کمتر از نصف یک پیکسل است [21].

### ۴- روش و فرآیند پژوهش

در این بخش، نخست روش و مراحل انجام کار تشریح خواهد شد و سپس در ادامه مکان مورد مطالعه به‌اختصار معرفی می‌گردد. برای جلوگیری از تکرار مطالب بخشی از جزئیات اجرای فتوگرامتری در بخش یافته‌های آمده‌اند تا با تصاویر ارائه‌شده کامل شوند.



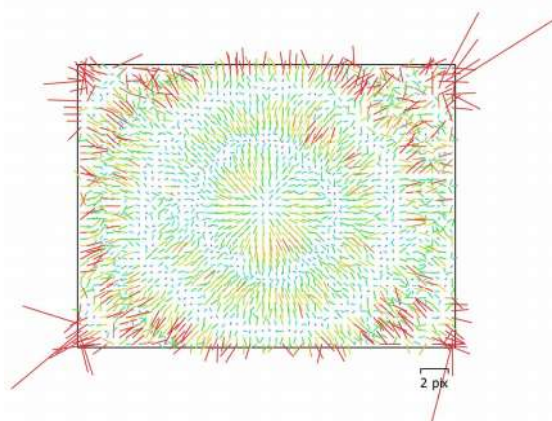
#### ۴-۱- روش پژوهش

در این پژوهش از روش فتوگرامتری برد کوتاه مبتنی بر عکاسی به صورت زوج عکس‌های استریو و عکس‌های متعدد استفاده شده است. دوربین موبایل مورد استفاده جهت عکس‌برداری سامسونگ مدل A720F/DS (16 MP, f/1.9, and 27 mm) بوده و تمامی عکس‌ها طی یک روز در اسفندماه ۱۳۹۹ اخذ شده‌اند. کیفیت عکس‌ها در بالاترین حد خود برابر با ۴۶۰۸ در ۳۴۵۶ پیکسل تنظیم گردید. برای اینکه عکس‌برداری از اعوجاج کمتری برخوردار باشد تلاش شده است تا حتی‌الامکان دوربین با سطح کاشی‌کاری‌ها موازی باشد برای همین از یک منوپاد جهت دسترسی به ارتفاع بالاتر استفاده شد. به این ترتیب امکان عکس‌برداری تا ارتفاعی حدود ۳/۲۵ متر فراهم گردید. همچنین دوربین موبایل از حالت خودکار خارج و با ثابت نگه داشتن سرعت و ISO و دیافراگم تلاش گردید مختصات درونی دوربین تا حد امکان در طی عکس‌برداری ثابت بماند.

فاصله ایستگاه‌های دوربین تا کاشی‌کاری‌ها حدود یک متر تنظیم گردید. از آنجاکه باید هر عکس با عکس بعد از خود بیش از ۵۰٪ همپوشانی داشته باشد، در مجموع ۹۷ عکس توانست تمامی سطح را پوشش داده و از کفایت عکس‌ها اطمینان حاصل گردید. عکس‌ها در نرم‌افزار Agisof Metashape Profesional نسخه سال ۲۰۱۹ فتوگرامتری شدند. این نرم‌افزار از شناخته‌شده‌ترین و قابل‌ترین نرم‌افزارهای فتوگرامتری در جهان است که توانایی کالیبریزاسیون خودکار عکس‌های دوربین را داشته و نیازی به کالیبره نمودن پیش از کار ندارد. نتایج «توجیه درونی» دوربین به شرح جدول ۱ است. توجیه درونی مجموعه‌ای از متغیرها است که برای هر دوربین عکاسی منحصر به فرد بوده و با داشتن آن‌ها نرم‌افزار امکان مکان‌یابی درست هر نقطه در عکس را خواهد داشت. به عبارت دیگر امکان تصحیح اعوجاج‌های لنز و توجیه هر عکس به واسطه پارامترهای دوربین فراهم می‌شود. F فاصله کانونی است. دو متغیر Cx و Cy مختصات نقاط مبنا به پیکسل هستند. K1 تا K3 پارامترهای شعاع صفر در منحنی اعوجاج و P1 و P2 پارامترهای اعوجاج شعاعی-غیر متقارن هستند. با استفاده از متر لیزری طول و عرض کاشی‌کاری‌های مورد نظر اندازه گرفته شد تا برای مقیاس‌دهی به عکس اُرتو به کار آید و همچنین مبنایی برای سنجش میزان دقت و صحت کار فتوگرامتری نهایی باشد. همان‌گونه که از شکل ۱ برمی‌آید، اعوجاج‌ها در گوشه‌های عکس از همه بخش‌ها بیشتر هستند (خطوط قرمز رنگ). برای همین باید عکس‌های اضافی برای پوشش بخش‌هایی از کار که در گوشه‌های کادر قرار می‌گیرند گرفته شود.

جدول ۱: گزارش کالیبریزاسیون دوربین موبایل سامسونگ A720F در Agisof Metashape Profesional

متغیر	مقدار	متغیر	مقدار
F	3648.69	K2	-0.71735
Cx	0.790653	K3	0.836092
Cy	48.8602	P1	0.000195943
K1	0.198802	P2	-0.000161008

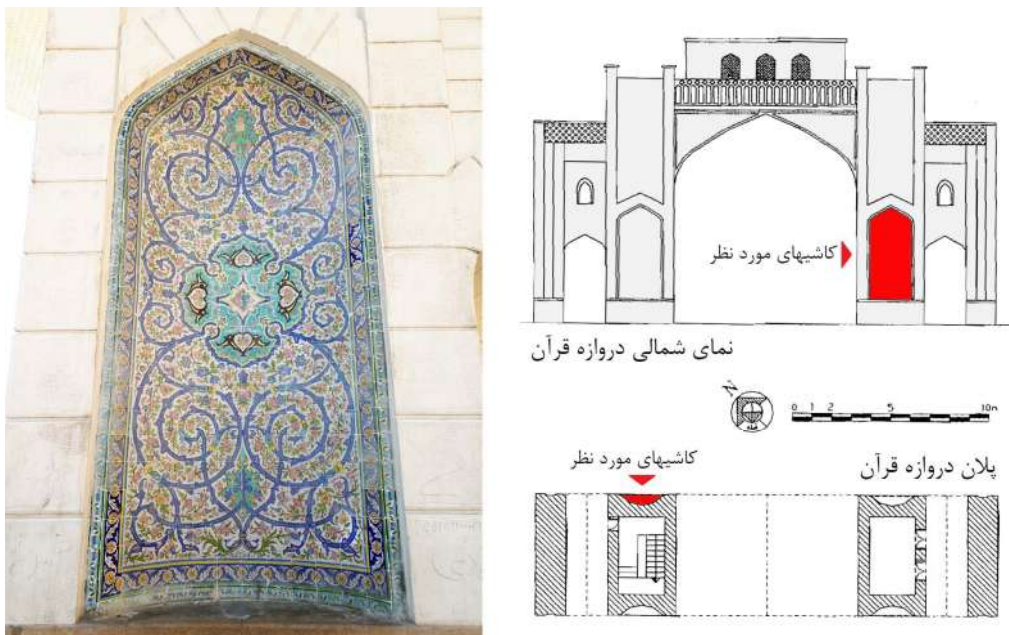


شکل ۱: گراف اعوجاج‌ها در دوربین موبایل سامسونگ A720F در Agisof Metashape Profesional

#### ۴-۲- معرفی مکان مورد مطالعه

بنای اصلی دروازه قرآن شیراز از روزگار عضد الدوله دیلمی (۳۳۸ هـ ق) است که در بالای آن قرآنی موسوم به «قرآن هفده من» نگهداری می‌شده است. این بنا در زمان زمامداری زندیان به دست زکی‌خان مرمتی اساسی شد و تا سال ۱۳۱۵ خورشیدی کماکان محفوظ بود تا اینکه در همان سال به دست شهردار وقت برای توسعه مسیر تخریب گردید. آنچه امروز پابرجاست در سال ۱۳۲۷ به دست حاج حسین اعتمادالتجار ایگاری از بازرگانان بنام شیراز بافاصله‌ای از دروازه قدیم، ساخته شده که به آرامگاه وی نیز بدل گردیده است [22]. اهمیت آن به حدی است که در مجموع اغلب سیاحان فرنگی که از شیراز دیدن کرده و از آن تصویری ترسیم نموده‌اند- دستکم از دلد تا بروگشن یعنی حدود ۲۰۰ سال همواره- عمارت دروازه قرآن را بخشی از منظر کلان تاریخی شهر تصویر نموده‌اند [23].

تزیینات این بنا شامل مجموعه کتیبه‌های از آیات قرآن بر کاشی و چهار قاب کاشی هفت‌رنگ گل و مرغ است که در پایه‌های جرز دیوارهای طاق اصلی دروازه کار شده‌اند. به استناد کتیبه‌های موجود، این کاشی‌ها اثر حاج محمدباقر جهانمیری است. وی در کنار میرزا عبدالرزاق و پسرش کریم فغفوری آخرین نسل از کاشی‌نگاران نهضت مردمی نقاشی روی کاشی در شیراز است که سهم مهمی در خلق و مرمت کاشی‌کاری‌های بناهای قاجاری و پهلوی شیراز دارد. در این پژوهش کاشی‌کاری‌های طاق‌نمای غربی در ضلع شمالی فتوگرامتری شده‌اند (شکل ۲). در سال‌های اخیر این بنا مرمت‌شده ولی آسیب‌هایی به دلیل پاشیده شدن رنگ به حاشیه‌های این کاشی‌کاری وارد آمده است. همچنین دوده ناشی از تردد خودروها نیز در کنار آسیب‌های انسانی این اثر ۷۳ ساله را تهدید می‌نماید.



شکل ۲: نما و پلانی از دروازه قرآن در سمت راست [22] و عکسی از کاشی‌کاری‌های مورد نظر در سمت چپ

#### ۵- بحث و تحلیل یافته‌ها

فرآیند فتوگرامتری در نرم‌افزار Agisof Metashape Profesional و دیگر نرم‌افزارهای موجود مبتنی بر سه مرحله کلان است که به ترتیب شامل الف) توجیه نسبی عکس‌ها مبتنی بر یافتن ایستگاه‌های عکاسی در فضا، ب) تولید ابر نقاط متراکم از هر عکس و ترکیب آن‌ها با یکدیگر باهدف تولید نقاط گره و مشترک، و ج) خلق مدل سه‌بعدی و الصاق بافت واقعی به آن. جزئیات این مراحل به شرح زیر و به‌طور کامل در نرم‌افزار به‌طور صحیح انجام شده است.

### ۵-۱- بارگذاری عکس‌ها، بازبینی و حذف تصاویر غیر ضروری

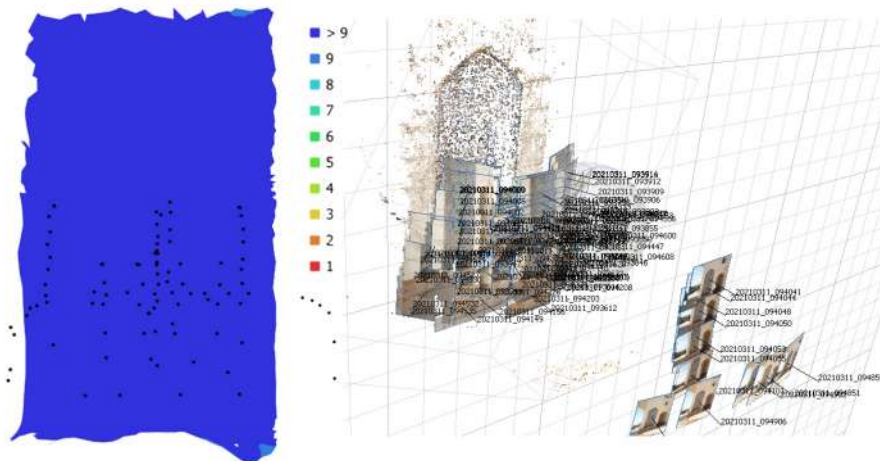
در این مرحله در مجموع ۹۷ عکس استفاده شده است. عکس‌ها به صورت زوج عکس‌های همپوشان گرفته شده‌اند. این تعداد عکس با توجه به ابعاد کاشی کاری‌ها که حدود ۲ متر عرض و بیش از ۴/۶۰ طول دارد ضروری است. تمامی عکس‌ها در نرم‌افزار وارد شدند و فرآیند بازبینی آن‌ها به حذف عکسی نینجامید.

### ۵-۲- تراز کردن محل استقرار دوربین و توجیه نسبی عکس‌ها

در این مرحله تمامی عکس‌ها توجیه شده و ایستگاه‌های دوربین شناسایی و توسط نرم‌افزار تشخیص داده شدند. در نهایت اعوجاج‌های لنز و کجی‌های ناشی از ساختار دوربین موبایل به طور خودکار محاسبه و طبق جدول ۱، گزارش کالیبراسیون آماده گردید. این داده‌ها برای اصلاح اعوجاج‌ها و شناسایی مکان دقیق هر پیکسل در مرحله بعد به کار خواهند آمد.

### ۵-۳- ساخت ابر نقاط متراکم

با مشخص شدن محل ایستگاه‌های دوربین در هر عکس و پارامترهای توجیه درونی دوربین، امکان تولید ابر نقطه‌ای متراکم برای هر عکس و ترکیب آن‌ها با یکدیگر فراهم آمد. به این ترتیب در این نمونه موردی از مجموع ۵۷۶۷۴ نقطه، ۳۳۱۴۱ نقطه گره‌ای تشخیص داده شد. همان‌طور که از شکل ۳ برمی‌آید، جهت کاهش اعوجاجات ناشی از عکس‌برداری به صورت مورب، مجموعه عکس‌هایی از فاصله‌ای دورتر نیز اخذ شده است. گزارش همپوشانی عکس‌ها نشان می‌دهد که عکس‌ها بالاترین حد از همپوشانی را دارند. نقاط سیاه‌رنگ در تصویر سمت چپ در شکل ۳ نشان‌دهنده محل استقرار ایستگاه‌های عکاسی در فضا است.



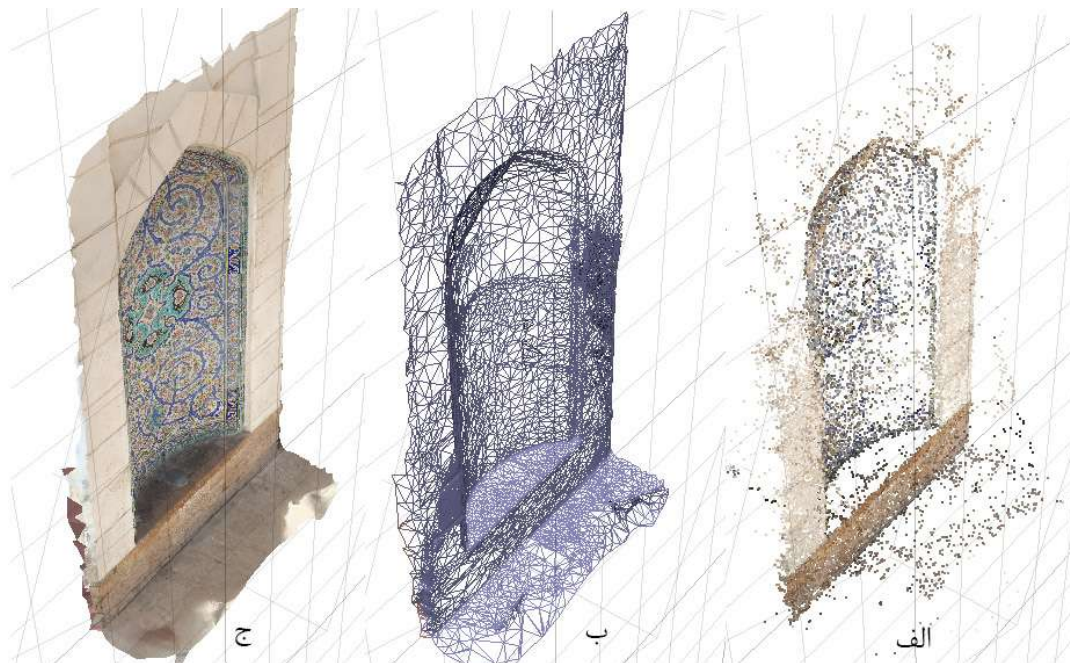
شکل ۳: تولید ابر نقاط متراکم و گزارش میزان همپوشانی عکس‌ها در Agisof Metashape Profesional

### ۵-۴- تولید مدل مشبک (مدل چندوجهی سه‌بعدی) و تولید بافت

شکل ۴ مراحل نهایی را نشان می‌دهد. پس از تولید ابر نقاط متراکم و تشخیص نقاط گره، امکان تولید مدل مشبک با مثلث‌بندی نقاط هم‌جوار برای خلق صفحات فراهم می‌آید. در این مرحله، مدل مشبک یا چند مجه‌ای سه‌بعدی، سطوح نهایی را ساخته‌اند و می‌توانند بستری برای الصاق بافت به مدل باشند. همان‌گونه از شکل ۴-ب برمی‌آید در ترازهای بالاتر که عکس‌ها به مراتب تعداد کمتری نسبت به ترازهای پایین‌تر دارند، ابعاد سطوح مشبک بزرگ‌تر هستند. این موضوع مشکلی در نتیجه نهایی به وجود نمی‌آورد ولی باید تلاش نمود تا توازن در عکس‌برداری از موضوع همواره تا جایی که شرایط محیطی اجازه می‌دهد، حفظ شود.



مدل نهایی سه بعدی تولید شده (شکل ۴-ج) در حقیقت مدلی از وضع موجود کاشی کاری‌ها است و داده‌ای خام تلقی می‌شود که می‌تواند برای مقاصد گوناگون پژوهشی و کار عملی مورداستفاده قرار گیرد. این مدل را می‌توان در دیگر نرم‌افزارهای سه بعدی نیز وارد نموده و برای اهداف طراحی یا تحلیلی آتی به کار برد.



شکل ۴: الف) ابر نقاط متراکم، ب) تولید مدل مشبک و ج) الصاق بافت به مدل نهایی در Agisof Metashape Profesional

#### ۵-۵- ساخت موزاییک تخت و خروجی آرتوفوتو

با تولید مدل نهایی سه بعدی، حال می‌توان با ساخت موزاییک تخت از کاشی کاری‌ها نوعی خروجی آرتوفوتو به دست آورد که حقیقت عکسی به صورت نما و بدون پرسپکتیو و اعوجاج‌های لنز دوربین است. این عکس در محیط AutoCad نسخه ۲۰۱۸ مبنایی برای ترسیم قرار گرفت. برای دادن مقیاس به آرتوفوتو، عرض و ارتفاع قاب دور کاشی‌ها با متر لیزری برداشت شد. این ابعاد به ترتیب برابر با ۲/۱۹۲ متر عرض و ۴/۶۵۲ متر ارتفاع هستند. با توجه به اینکه حاشیه‌های عرضی کاشی کاری‌ها از نظر مسطح بودن، کیفیت و دقت بالاتری داشتند، عرض قاب کاشی مبنای مقیاس‌دهی به تصویر قرار گرفت. شکل ۵، آرتوفوتو تولید شده را نشان می‌دهد. این عکس با توجه به اندازه‌های به دست آمده در سایت، مقیاس‌دهی شده است. تنها تفاوتی در حد ۰/۰۲۷ متر برابر با ۲/۷ میلی‌متر در ارتفاع دیده می‌شود که می‌تواند ناشی از خطا در اندازه‌گیری نیز باشد چراکه نقطه کاملاً مشخصی را برای رأس قوس طاق نمی‌توان به راحتی معین کرد و از عمودی بودن کامل متر لیزری نیز می‌بایست اطمینان حاصل نمود. با این حال، این تفاوت با توجه به خطاهای موجود در برداشت دستی قابل چشم‌پوشی است و نمی‌تواند تأثیر چندانی در نتیجه نهایی داشته باشد. با توجه به مقیاس انسانی موجود در کنار کار، به راحتی می‌توان حدس زد که تهیه نقشه‌ای دقیق از این اثر بدون بهره‌گیری از فتوگرامتری کار آسانی نیست.

همان‌گونه که از آرتوفوتو نیز برمی‌آید، آلودگی‌های زیادی در کاشی کاری‌ها وجود دارند. شرایط عکس‌برداری به نحوی بوده که تمامی کار در سایه قرار داشته است. آلودگی در ترازهای پایین منشأ انسانی داشته و در ترازهای بالا ناشی از دوده آگزوز خودروها است که قابل پیش‌بینی نیز هست. در سمت راست و بخش‌هایی از سمت چپ حاشیه کاشی‌ها نیز رنگ سفید ناشی از مرمت دیوارهای جانبی بر روی کاشی‌ها پاشیده شده که این نیز کیفیت نهایی اثر را مخدوش نموده است.





شکل ۵: ترسیم مقیاس‌دار بر روی خروجی آرتوفتو و بررسی دقت کار در حذف پرسپکتیو

## ۶- نتیجه‌گیری

فتوگرامتری معماری، دانش و هنر استخراج ابعاد و اندازه از عکس‌های گرفته‌شده از بناها و تزئینات وابسته به معماری است. این روش راهی مطمئن برای مستندنگاری و تولید اسناد دقیق از جزئیات و آثار معماری به شمار می‌رود. برخلاف روش‌های برداشت سنتی که از ابزارهای اولیه همچون متر نواری و مثلث‌بندی استفاده می‌کنند، فتوگرامتری راهی سریع و ارزان در اختیار می‌گذارد. امروزه رشد فناوری‌های دیجیتالی و توسعه نرم‌افزارهای رایانه‌ای، کار تهیه و پردازش عکس‌ها را آسان‌تر نموده و راه را برای بسط هرچه بیشتر این دانش فراهم آورده است. در این پژوهش میدانی، مجموعه کاشی‌کاری‌های بخش غربی واقع در ضلع شمالی دروازه قرآن شیراز به روش موبایل فتوگرامتری برداشت گردید. این کاشی‌کاری‌ها که در سطحی منحنی کار شده‌اند از نمونه‌های فاخر کاشی‌نگاری شیراز به شمار می‌روند که توسط حاج محمدباقر جهانمیری طراحی و اجرا شده است. داده‌ها در نرم‌افزار Agisof Metashape Profesional وارد و مدل نهایی سه‌بعدی تولید گردید. خروجی عکس مسطح یا آرتوفتو به‌عنوان برون‌داده‌ی کاربردی برای ترسیم جزئیات به کار گرفته شد. نتایج کار نشان دادند که موبایل فتوگرامتری ابزاری دقیق، سریع و ارزان برای برداشت و مستندنگاری معماری است و همان‌گونه که پژوهش‌های پیشین نشان داده‌اند ظرفیت بدل شدن به ابزاری فراگیر، همگانی و مطمئن را دارد.

استفاده از دوربین‌های موبایل با توجه به ارتقایی که در کیفیت آن‌ها در چند سال اخیر رخ داده می‌تواند جایگزینی برای دوربین‌های دیجیتالی باشند. موبایل فتوگرامتری معماری می‌تواند هر فردی را به یک مستندنگار بدل سازد و برای برداشت تزئینات و جزئیات معماری و معماری داخلی روشی بسیار مفید و کلیدی تلقی شود. داده‌های متریک تولیدشده به این روش در آینده می‌توانند کاربردهای ارزشمند و ذی‌قیمتی را به همراه داشته باشند. موبایل فتوگرامتری به‌ویژه برای مستندنگاری در مناطق دوردست که حضور نیروهای متخصص و تأمین منابع مالی دشوار است باید به‌عنوان یک گزینه عملی در نظر گرفته شود. هرچند کار با نرم‌افزارهای فتوگرامتری هنوز به حداقلی از دانش تخصصی نیاز دارد ولی توسعه نرم‌افزارهای رایگان تحت وب، رشد اپلیکیشن‌های موبایلی و نظایر آن این امید را می‌دهد که این چالش نیز به‌زودی رفع گردد. فتوگرامتری‌های حرفه‌ای با ابزارها و کاربران حرفه‌ای نیز می‌توانند برای پروژه‌های پیچیده، بزرگ یا مهم به کار گرفته شوند. ترکیب این دو می‌تواند در انواع پروژه‌ها نیز به کار رود.



**National Conference on Architecture, Civil Engineering,  
Urban Development and Horizons of Islamic Art  
in the Second Step Statement of the Revolution**

**Tabriz Islamic Art University / 20 May. 2021**



## مراجع

- [۱] حناچی، پ، محمودکلایه، س. و غلامنژاد، م. اصول و روش‌های مستندسازی و مستندنگاری بناها و محوطه‌های تاریخی، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۹۵.
- [2] Egels Y, Kasser M. Digital Photogrammetry. London: Taylor & Francis Inc.; 2001.
- [3] Kraus K, Harley IA, Kyle S. Photogrammetry: Geometry from Images and Laser Scans: De Gruyter; 2011.
- [4] Linder W. Digital Photogrammetry: A Practical Course. Berlin: Springer; 2009.
- [5] Luhmann T, Robson S, Kyle S, Harley IA. Close Range Photogrammetry: Principles, Techniques and Applications. Scotland, UK: Whittles Publishing; 2011.
- [6] Stylianidis E. Photogrammetric Survey for the Recording and Documentation of Historic Buildings. Switzerland: Springer; 2020.
- [7] Bräuer-Burchardt C, Voss K. Facade Reconstruction of Destroyed Buildings Using Historical Photographs. XVIII CIPA Symposium; Postdam, Germany; 2001.
- [8] Hemmleb M, editor Digital Rectification Of Historical Images. CIPA International Symposium; Olinda, Brasil 3-6 October; 1999.
- [9] Andaroodi E., Taqipour Z. Architectural Photogrammetry by Non-Metric Cameras: CAD-Based 2D Drawing of Facades from Rectified Photos. In: Ioannides M., Fritsch D., Leissner J., Davies R., Remondino F., Caffo R. (eds) Progress in Cultural Heritage Preservation. Lecture Notes in Computer Science, vol 7616. Berlin, Heidelberg: Springer; 2012.
- [10] Fachard S, Murray SC, Knodell AR, Papangeli K. The Fortress of Eleutherai: New Insights from Survey, Architecture, and Epigraphy. Hesperia: The Journal of the American School of Classical Studies at Athens. 2020;89(3):475-549.
- [11] Genin SM. Form, design and construction of ribbed vaults. João de Castilho's innovations in the Jerónimos Monastery, Lisbon (1470-1552). Construction History. 2018;33(1):27-48.
- [12] Alshawabkeh Y, El-Khalili M, Almasri E, Bala'awi F, Al-Massarweh A. Heritage documentation using laser scanner and photogrammetry. The case study of Qasr Al-Abidit, Jordan. Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage. 2020;16:1-6.
- [13] Karabörk H, Karasaka L, Yaldız E. A Case Study: Documentation Method with Close Range Photogrammetry of Muqarnas Which is to be an Ornamentation Type Specific to the Islamic Architecture. Procedia Earth and Planetary Science. 2015;15:133-40.
- [14] Grussenmeyer, P., Hanke, K., Streilein, A. Architectural photogrammetry. Chapter in « Digital Photogrammetry », edited by M. Kasser and Y. Egels, pp. 300-339, Taylor & Francis; 2002.
- [15] Quintero MS, Georgopoulos A, Stylianidis E, Lerma JL, Remondino F. CIPA's Mission Digitally Documenting Cultural Heritage. APT Bulletin: The Journal of Preservation Technology. 2017;48(4):51-4.
- [16] Ebrahim M. Using Mobile Phone Digital Cameras in Digital Close Range Photogrammetry. The Photogrammetric Journal of Finland. 2004;19(1):11-22.
- [17] Gruen a, akca d, editors. Mobile Photogrammetry. Dreiländertagung SGPBF, DGPF und OVG, Muttentz, Switzerland; 2007.
- [18] Takahashi Y, Chikatsu H. Accuracy Aspects of Mobile Phone Cameras for Digital Close Range Photogrammetry. Journal of the Japan society of photogrammetry and remote sensing. 2009;48(5):299-307.
- [19] Fawzy HE-D. The accuracy of mobile phone camera instead of high resolution camera in digital close range photogrammetry. International Journal of Civil Engineering and Technology. 2015;6(1):76-85.
- [20] El-Ashmawy KLA. Using smart phones for deformations measurements of structures. Geodesy and Cartography. 2017;43(2):66-72.
- [21] Shatnawi N, Obaidat MT. Extraction of As-Built Drawings Using Cell Phone Camera. Jordan Journal of Civil Engineering. 2019;13(1):21-9.



**National Conference on Architecture, Civil Engineering,  
Urban Development and Horizons of Islamic Art  
in the Second Step Statement of the Revolution**

**Tabriz Islamic Art University / 20 May. 2021**



[۲۲] شریف، ح.ر. یادی از دروازه قرآن، فصلنامه علمی-پژوهشی صفه. ۱۳۸۱؛ ۱۱(۳۴): ۱۰۳-۱۱۷.

[۲۳] فیضی، م. و اسدپور، ع. تحلیل منظر کلان تاریخی شیراز براساس ترسیم‌های جهانگردان خارجی، فصلنامه علمی-پژوهشی باغ نظر. ۱۳۹۲؛ ۱۰(۲۴): ۳-۱۲.