

مدل سازی سه بعدی به منظور مستندنگاری، مرمت و تعیین حریم قلعه دولت آباد قم با استفاده از تصاویر پهپاد

سعید صادقیان^{۱*}، احمد رجبی^۲، داود صدیق پور^۳

^۱دانشیار دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست - دانشگاه شهید بهشتی
sa_sadeghian@sbu.ac.ir

^۲دانشجوی دکتری سنجش از دور - دانشکده مهندسی نقشه برداری و اطلاعات مکانی - پردیس فنی - دانشگاه تهران
ahmadrajabi222@gmail.com

^۳کارشناس ارشد سنجش از دور - موسسه آموزش عالی حکمت قم
davodsedighpor@yahoo.com

(تاریخ دریافت شهریور ۱۳۹۹، تاریخ تصویب مهر ۱۳۹۹)

چکیده

میراث فرهنگی سرمایه‌ای گرانبها و غیر قابل جایگزین می‌باشد که اهمیت مستندنگاری در حفظ و نگهداری این میراث بر همگان روشن است. تهیه مدل رقومی و مستندنگاری سه بعدی این آثار با توجه به کاستی‌های روش‌های سنتی؛ به طور قابل توجهی در حال گسترش است. توسعه سنسورها، روش‌های جمع آوری داده و ارتقاء روش‌های بصری سازی سه بعدی به همراه ارائه الگوریتم‌های متنوع در بینایی کامپیوتر نقش به سزایی در مستندنگاری سه بعدی داشته است اما جای خالی یک مطالعه جامع و یکپارچه که کلیه عوامل مستندنگاری سه بعدی را در کنار هم ارزیابی کند و روند مناسبی ارائه دهد تا نتیجه کنترل شده‌ای حاصل گردد؛ به خوبی احساس می‌گردد. در این مقاله ارکان مستندنگاری سه بعدی از نقطه نظرهای گوناگون بررسی شده‌اند. منطقه مورد مطالعه قلعه تاریخی دولت آباد در روستای دولت آباد استان قم قرار دارد و وسعت آن پیش از ۱۰۰۰۰۰ متر مربع است. با در نظر داشتن وسعت منطقه و نیاز به دقت بسیار بالا در مستندنگاری و حفظ جزئیات، پس از مقایسه‌های صورت گرفته از تصویر برداری با پهپاد در تهیه مدل رقومی استفاده شده است. برای برآورد دقت از ۷ نقطه کنترل و ۳ نقطه چک استفاده شد که مجموع جذر میانگین مربعات در جهت‌های x ، y و z ۳، ۲ و ۳ سانتی متر بود. پس از مستندنگاری سه بعدی با استفاده از نتایج به دست آمده قلعه مرمت شد و بخش عمده‌ای از کالبد قلعه مورد بهسازی و استحکام بخشی قرار گرفت. سپس با تعیین حریم برای قلعه کلیه عوامل برای ثبت قلعه به عنوان آثار ملی مهیا گردید و قلعه تاریخی دولت آباد قم با شماره ثبت ۳۰۵۳۳ در مجموع آثار ملی ایران ثبت گردید. نسخه رقومی از قلعه نیز تهیه گردید که می‌توان از آن در تهیه موزه مجازی و یا مرمت مجدد استفاده کرد.

واژگان کلیدی: مستندنگاری سه بعدی، کاداستر میراث فرهنگی، تعیین حریم، مرمت و بازسازی، فتوگرامتری پهپاد

۱- مقدمه

میراث فرهنگی بقایای دیرپای سنت‌های دیرینه ما؛ دانشی ارزشمند از تمدن‌های گذشته از نظر انسان شناسی، تکنولوژی (Giuffrida et al, 2018) و درک زیبایی‌های ادوار فراهم می‌کند و رشد سرمایه انسانی را به وجود می‌آورد ((Backman and Nilsson, 2018). اهمیت حفاظت و نگهداری از این میراث گرانمایه بر کسی پوشیده نیست اما متأسفانه در گذر زمان عوامل طبیعی‌ای همچون سیل (Reimann et al, 2018)، زلزله (Despotaki et al, 2018) و فرسایش (Leslie and Reeder-Myers, 2015) عوامل غیر طبیعی مانند اجرای غیر اصولی طرح‌های عمرانی و صنعتی (Tallis et al, 2008) و رخداد جنگ‌ها ((Toprak et al, 2018 این میراث را دچار آسیب‌های جدی و جبران ناپذیری می‌کند. بر اساس آمارهای منتشر شده از مرکز میراث فرهنگی سازمان جهانی یونسکو؛ تعداد ۳۸ میراث فرهنگی و ۱۶ میراث طبیعی در سال ۲۰۱۸ در معرض خطر جدی نابودی قرار دارند ((whc.unesco.org. در طی جنگ تحمیلی نیز میراث ارزشمندی در کشور از بین رفتند که برجسته‌ترین آنان دو محوطه تاریخی مسجد جامع اصفهان و چغازنبیل خوزستان بود که به عنوان میراث جهانی نیز ثبت شده بودند ((www.tabnak.ir. با توجه به چالش‌های انسانی و طبیعی گفته شده؛ احتمال دارد حفاظت فیزیکی از میراث فرهنگی و طبیعی در برخی از شرایط ممکن نباشد (Toprak et al, 2018) اما با در دسترس بودن روش‌ها و ابزارهای مدلسازی ((Javadi et al, 2018؛ فرصت تهیه نمونه^۱ رقومی از این میراث ارزشمند و مستندنگاریشان فراهم گردیده است ((Javadi and sadeghian, 2018). مستند نگاری به معنای تهیه و گردآوری اطلاعات دقیقی از اشیای می‌باشد که یک اقدام حفاظتی است و همچنین راهکاری مؤثر برای مبادله اطلاعات میان سازمانها و نهادهایی است که قادر هستند در صورت بروز آسیب و خطرات ناشی از سرقت به بازایی این میراث کمک کنند. تهیه مدل رقومی سه بعدی از میراث فرهنگی و طبیعی روشی بسیار مناسب برای مستند نگاری محسوب می‌شود و مزیت اصلی آن ارائه امکان حفاظت و نگهداری بهتر از این میراث است. علاوه بر این؛ انجام اندازه گیری‌های هندسی و استخراج اطلاعات کمی را با حداکثر دقت فراهم

می‌کند (Ask, 2012) می‌توان از آن در تهیه طرح‌های مرمت و بازسازی بهره گرفت (Alitajer & Afshariazad, 2016) زیرساختی مناسب برای ایجاد موزه‌های مجازی به وجود می‌آورد و دسترسی علاقمندان به این میراث را ممکن می‌سازد (Biedermann, 2017)، تفاوت میان آثار جعلی ساخته شده و آثار اصلی با در دست داشتن مدل دقیق از این آثار مشخص می‌گردد و با توجه به گسترش پرینترهای سه بعدی اگر مدل سه بعدی دقیق از این میراث داشته باشیم می‌توانیم نمونه‌هایی مشابه نمونه‌های اصلی تهیه کنیم ((Toprak et al, 2018. در طی سال‌های گذشته مطالعاتی به صورت خاص در زمینه مستندنگاری و مدلسازی از میراث فرهنگی و طبیعی با استفاده از ابزارهای مختلف مطرح شده است که در ادامه به بررسی برخی از آن‌ها می‌پردازیم. میازاکی^۱ و همکاران در سال ۲۰۰۰، با ارائه روشی سه مرحله‌ای که شامل ایجاد مدل هندسی؛ مدل فتوگرامتری و طراحی زمینه بود از مجسمه بودا در کاماکورا ژاپن مدل سه بعدی تهیه کردند. در این روش پس از تهیه مدل هندسی و مدل فتوگرامتری این ۲ مدل با هم ادغام می‌شدند و برای انجام طراحی‌ها نیز از نرم افزار کد سه بعدی^۲ استفاده شده بود (Miyazaki et al, 2001). پیراسینی^۳ و همکاران در سال ۲۰۰۱، روش‌های مستند نگاری رقومی میراث فرهنگی و روش‌های جمع آوری داده از قبیل نور ساختار یافته، استریو فتوگرامتری و لیزر بر مبنای TOF^۴ و مثلث بندی ارزیابی کردند و دو نمونه مستند نگاری با استفاده از کامپیوتر انجام دادند. در این مطالعه اهمیت مستند نگاری رقومی در بازسازی، ترمیم و حفاظت از میراث فرهنگی به خوبی نشان داده شده بود ((Pieraccini et al, 2001). گوئیدی^۵ و همکاران در سال ۲۰۰۴، با استفاده از اسکنر نوری و به کار گیری روش ICP^۶ به منظور افزایش دقت مثلث بندی در اسکنر نوری توانستند با دقت مطلوبی مجسمه مریم مجدلیه اثر دوناتلو^۷ را مستندنگاری کرده و مدل سه بعدی آن را با دقت ۰٫۵ میلی متر تهیه کنند

^۱ Miyazaki

^۲ 3D CAD

^۳ Pieraccini

^۴ Time of flight

^۵ Guidi

^۶ Iterative closest point

^۷ Donatello

توصیفات^۸ در هریک از مدل‌ها بررسی شده بودند (KOLLER et al, 2009). رموندینو^۹ و ریزی^{۱۰} در سال ۲۰۱۰، عدم به کارگیری روش‌های مدل‌سازی و مستندنگاری سه بعدی در میراث فرهنگی را به عواملی همچون هزینه بالا، کافی نبودن استانداردهای دو بعدی برای ثبت سه بعدی میراث و نیاز به وجود فرد متخصص در زمینه مدل‌سازی نسبت دادند. آن‌ها همچنین برخی از تکنیک‌های مدل‌سازی را متناسب با میراث فرهنگی ارزیابی کردند و به این نتیجه رسیدند که روش مورد استفاده باید بیش‌ترین تطابق را با چهار معیار؛ دقت، قابل حمل بودن، هزینه پایین و انعطاف پذیری در شرایط مختلف زمانی و مکانی را داشته باشد (Remondino and Rizzi, 2010). رموندینو و همکاران در سال ۲۰۱۱، پهباد را به عنوان منبع کسب اطلاعاتی با ارزش در زمینه تولید مدل رقومی سطح^{۱۱} و مدل رقومی زمین^{۱۲} به جهت مدل‌سازی معرفی کرد. آن‌ها با استفاده از ۱۰۰ عکس که از منطقه پورتوناچو^{۱۳} ایتالیا گرفته شده بود مدل سه بعدی رقومی این منطقه باستانی را تهیه کردند. در این پروژه جذر میانگین مربعات خطا در جهت طولی، عرضی و ارتفاع به ترتیب ۴، ۳ و ۷ سانتی متر بود (Remondino et al, 2011). کرستن^{۱۴} و همکاران در سال ۲۰۱۲، به منظور نشان دادن قابلیت فتوگرامتری در مقایسه با روش‌های مدل‌سازی فعال مانند لیزر اسکنر و اسکنر نوری که دارای هزینه بسیار بالایی هستند؛ از نرم افزارهای فتوگرامتری مختلف برای مدل‌سازی اشیاء گوناگون استفاده کردند و نتایج را با ابر نقطه حاصل از لیزر اسکنر مقایسه کردند. نتایج به دست آمده بیانگر توانایی روش‌های فتوگرامتری در تولید مدل‌های سه بعدی دقیق در کاربردهای باستان شناسی است (Kersten et al, 2012). دی رتو^{۱۵} و همکاران در سال ۲۰۱۳ با در نظر گرفتن مزیت‌های نرم افزار Agisoft نسبت به روش‌های سنتی که شامل دقت، صحت و روش آسان تولید مدل رقومی سطح و ارتوفتو مپرون به صرفه بودن این نرم افزار را برای مستندنگاری

(Guidi et al, 2004). بهلر^۱ و ماربز^۲ در سال ۲۰۰۴، روش‌های مبتنی بر لیزر اسکنر و فتوگرامتری برد کوتاه را با مدل‌سازی تعدادی اشیاء با هم مقایسه کردند و بر اساس نتایج به دست آمده لیزر اسکنر را برای اجسامی که شکل هندسی پیچیده یا نا منظمی دارند پیشنهاد کردند و فتوگرامتری برد کوتاه را برای اجسامی با شکل منظم و بافت مشخص پیشنهاد دادند و همچنین روش فتوگرامتری برد کوتاه را نیازمند زمان بسیار کم برای کسب اطلاعات از محیط مورد مطالعه معرفی کردند (Bohler and Marbs, 2004). گوارنین^۳ و همکاران در سال ۲۰۰۶ به منظور افزایش دقت در مستندنگاری میراث فرهنگی روشی ارائه دادند که در آن تصاویر حاصل از فتوگرامتری برد کوتاه و لیزر اسکنر با هم تلفیق می‌شدند تا پیچیدگی‌های جسم مورد نظر و بافت آن را مدل‌سازی کنند و با این روش کاخ جیوانلی^۴ در ایتالیا را مستندنگاری کردند (Guarnieri et al, 2006). پاولدیز^۵ و همکاران در سال ۲۰۰۷ مروری بر روش‌هایی نظیر مدل‌سازی بر مبنای سایه، لیزر اسکنر، فتوگرامتری و توپوگرافی کردند و در مجموع به این نتیجه رسیدند که انتخاب روش مدل‌سازی مقتضی شرایط و هدف در عوارض مورد مطالعه است (Pavlidis et al, 2007). ییلماز^۶ و همکاران در سال ۲۰۰۸، برای بازسازی اشیاء کوچک با سطح نامنظم که نیاز به ابر نقطه متراکم احساس می‌شود تا بتوان پیچیدگی‌های سطح را نمایش داد، با به کارگیری فتوگرامتری برد کوتاه و استفاده از روش کالیبراسیون باندا لاجسمنت به منظور محاسبه پارامترهای دوربین؛ مدل سه بعدی را ایجاد کردند. بر اساس نتایج، فتوگرامتری راهکاری دقیق و سریع برای به دست آوردن مدل سه بعدی است اما به منظور دقت بالاتر، اشیاء با ساختار هندسی پیچیده باید مورد بازسازی قرار بگیرند (Yilmaz et al, 2008). کلر^۷ و همکاران در سال ۲۰۰۹ چالش‌های مدیریت بر آرشیوهای مدل‌های سه بعدی از میراث فرهنگی را بررسی کردند. در این مطالعه چارچوبی برای مدیریت آرشیوهای سه بعدی ارائه شده بود و موضوعاتی همچون جست و جو در آرشیو و ساختار

^۸ Metadata

^۹ Remondino

^{۱۰} Rizzi

^{۱۱} DSM

^{۱۲} DTM

^{۱۳} Portonaccio

^{۱۴} Kersten

^{۱۵} De Reu

^۱ Bohler

^۲ marbs

^۳ Guarnieri

^۴ Giovanelli

^۵ Pavlidis

^۶ Yilmaz

^۷ KOLLER

میراث فرهنگی پیشنهاد می کند ((Reu et al, 2013). مورتارا^۱ و همکاران در سال ۲۰۱۴ بر اهمیت ایجاد واقعیت افزوده^۲ و مدلسازی سه بعدی برای گسترش مسائل فرهنگی و افزایش شناخت عموم مردم بر میراث فرهنگی به عنوان نقشی مکمل تاکید کردند. در این مطالعه بازی های ویدئویی ای با هدف آموزش مسائل فرهنگی تولید شده بودند که در آن ها از مدل های سه بعدی تهیه شده از میراث فرهنگی استفاده شد (Mortara et al, 2014). سمیستوکلیوس^۳ و همکاران در سال ۲۰۱۵ با به کار گیری پهپاد فانتوم ۲ و برداشت پیش از ۱۰۰۰ عکس به تهیه مدل سه بعدی از کلیسای آسینو^۴ در قبرس پرداختند. آن ها پس از تهیه مدل سه بعدی با استفاده از چاپگر سه بعدی نمونه هایی مشابه کلیسای آسینو درست کردند و این روش را به عنوان روشی مقرون به صرفه به منظور مستندنگاری میراث فرهنگی معرفی کردند ((Themistocleous et al, 2015). باریل^۵ و همکاران در سال ۲۰۱۷، بخشی از دیوار یونان در شهر رجیو کالابریا^۶ یونان را به منظور ترمیم و حفاظت از آن با استفاده از پهپاد مستندنگاری کردند و پس از تهیه مدل سه بعدی این دیوار به این نتیجه رسیدند که استفاده از فتوگرامتری پهپاد در مقایسه با روش های فعال همچون لیزر اسکنر بسیار مقرون به صرفه تر و با زمان کم تر مستندنگاری سه بعدی از سایت هایی که امکان استفاده از پهپاد در آنها وجود دارد را ممکن می سازد ((Barrile et al, 2017). البروزوق^۷ و همکاران در سال ۲۰۱۷، یک روش یکپارچه مبتنی بر عکس های هوایی و سیستم اطلاعات مکانی سه بعدی برای جمع آوری و مدل سازی اطلاعات ضروری برای مدیریت مناسب سایت های باستان شناسی ارائه کرد که در آن با استفاده از روش های مبتنی بر فتوگرامتری و عکس های هوایی به مدل سازی سه بعدی سایت باستان شناسی برای شناسایی دقیق اشیاء، اندازه ها و بافت ها پرداخته شده بود (Al-Ruzouq et al 2017, Javadi and sadeghian 2018). توپراک^۸ و همکاران در سال ۲۰۱۸،

سنگ مقبره شیر در ترکیه که به تمدن فریژی^۹ تعلق داشته است را با استفاده از پهپاد مستندنگاری کردند. هدف اصلی آن ها از تهیه نسخه رقومی این بنای تاریخی مناسب نبودن شرایط در حفظ آن و احتمال وقوع تخریب این بنا به دلایل انسانی و طبیعی بوده است (Toprak et al, 2018). آیکاردی^{۱۰} و همکاران در سال ۲۰۱۸، تفاوت های میان استفاده از الگوریتم های بینایی کامپیوتر^{۱۱} و فتوگرامتری در مستندنگاری و مدلسازی میراث فرهنگی با استفاده از تصاویر را بررسی کردند. در این مطالعه آن ها به این نتیجه رسیدند با اینکه نمی توان این ۲ تکنیک را از هم مستقل در نظر گرفت و از هر یک برای ارتقاء دیگری استفاده می شود اما در تکنیک های مبتنی بر فتوگرامتری اندازه گیری ها، دقت و محصول به دست آمده کنترل شده است و در مقابل در تکنیک های مبتنی بر بینایی کامپیوتر مراحل تهیه مدل به سمت اتوماتیک شدن پیش می رود (Aicardi et al, 2018). در بررسی آثار باستانی مناطق مختلف کشور اعم از مدلسازی، پایش و تعیین تغییرات مناطق نیز پژوهش های متنوعی انجام شده که گویای اهمیت مطالعه این مناطق دارد (صادقیان و همکاران، ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸). به طور کلی همانطور که در مرور مطالعات پیشین مشاهده گردید توانمندی راهکار مدلسازی سه بعدی از میراث فرهنگی به خوبی نشان داده شده است و این راهکار برای بناها و اشیای تاریخی مختلف با سطوح منظم و نامنظم و بافت های گوناگون با تجهیزات و نرم افزارهای مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت که نتایج قابل قبولی ارائه داده است اما با وجود همه تحقیقاتی که انجام شده است، هیچکدام در زمینه تعیین حریم درجه ۱ اثر تاریخی که در راستای حفظ اثر بسیار مهم است، نتیجه ای ارائه نداده اند که جای خالی آن بسیار محسوس است. همچنین با توجه به معرفی نرم افزارهای نوین مبتنی بر الگوریتم هایی همچون MVS، SIFT، SFM و SURF به همراه روش های گوناگون مستندنگاری؛ جای خالی یک مطالعه جامع و یکپارچه در مستندنگاری سه بعدی میراث فرهنگی که عوامل مختلف مستندنگاری و تهیه مدل را در کنار هم ارزیابی کند و روند مناسبی را ارائه دهد مورد نیاز می باشد. بدین جهت در این مطالعه،

^۱ Mortara
^۲ Augmented reality
^۳ Themistocleous
^۴ Asinou
^۵ Barrile
^۶ Reggio Calabria
^۷ Al-Ruzouq
^۸ Toprak

^۹ Phrygia
^{۱۰} Aicardi
^{۱۱} Computer vision

مستحکم هستند. خروجی به دست آمده تا این مرحله یک ابر نقطه پراکنده است. برای به دست آوردن ابر نقطه تراکم از مجموعه تصاویر کالیبره شده که در اختیار داریم الگوریتم‌های MVS^۴ به کار می‌آیند. دو دسته از خروجی‌هایی که به کمک راهکارهای MVS تولید خواهد شد نقشه‌های عمق و ابر نقاط هستند. رویه‌های پیاده سازی شده در MVS شامل گام‌های تناظریابی، بسط و فیلتر کردن می‌باشد. نرم افزارهای گوناگونی که یا بر اساس این الگوریتم‌ها کار می‌کنند یا الگوریتم‌های مشابه، قابل دسترس هستند که یا مانند Visual SFM برای کارهای تحقیقاتی طراحی شده‌اند و متن باز هستند و یا مانند AgiSoft و SURE^۵ تجاری هستند و دسترسی کمی به الگوریتم‌های توسعه دهنده آن‌ها وجود دارد و برای انجام پروژه‌های تجاری طراحی شده‌اند و نرم افزارهای اینترنت مبنا مانند ARC 3D که تهیه مدل سه بعدی را برای ما بدون هیچ دانش تخصصی‌ای فراهم می‌کند. در جدول ۱ ویژگی‌های نرم افزارهای ذکر شده با یکدیگر مقایسه شده است (Shafiezadeh, 2015; Mousavi et al, 2018).

جدول ۱- مقایسه الگوریتم‌های نرم افزارهای رایج مدلسازی سه بعدی (mousavi et al, 2018)

نرم افزار	استخراج نقاط متناظر	تشکیل ابر نقطه پراکنده	تشکیل ابر نقطه تراکم
Visual SFM	SIFT	SFM	CMVS-PMVS
Agisoft	SIFT-like	SFM	SGM
SURE	-	-	SGM
Arc3D	SURF	SFM	MVS

در این پژوهش نیز مستندنگاری با استفاده از پهپاد که یک روش غیر فعال مبتنی بر تصویر است صورت گرفته و از نرم افزار Agisoft نیز در تهیه مدل استفاده شده است.

ارکان مستندنگاری میراث فرهنگی اعم از مدل سه بعدی، بصری سازی، الگوریتم و نرم افزار مورد استفاده در مستندنگاری سه بعدی بررسی شده، با استفاده از پهپاد به مستندنگاری سه بعدی قلعه تاریخی دولت آباد در استان قم پرداخته شده و در نهایت حریم درجه ۱ قلعه تعیین می‌گردد.

۲- روش بررسی

۲-۱- ارزیابی عملکرد نرم افزارهای مدلسازی سه بعدی تصویر مبنا در میراث فرهنگی

یکی از عوامل مؤثر بر دقت و جزئیات مدل به دست آمده، نرم افزار و الگوریتم مورد استفاده برای تولید مدل است، از آن جا که در بسیاری از پژوهش‌های میراث فرهنگی روش‌های مبتنی بر تصویر با توجه به در دسترس بودن، هزینه نسبتاً پایین‌تر و کیفیت قابل قبول مدل خروجی؛ بسیار متداول است، برای دستیابی به یک مدل کامل و دقیق ارزیابی نرم افزارهای رایج و انتخاب بهترین نرم افزار به‌وسیله شناخت نحوه عملکرد آن‌ها بسیار ضروری است تا خروجی کنترل شده‌ای به دست بیاید (Hess et al, 2014). برای تولید مدل سه بعدی از اشیاء و عوارض گوناگون الگوریتم‌های متنوعی قابل استفاده‌اند که رایج‌ترین آن‌ها الگوریتم SFM^۱ است. به منظور استفاده از الگوریتم SFM آرشیوی از تصاویر پوشش دار از منطقه و یا شی مورد مطالعه نیاز است. در الگوریتم SFM تصاویر بدون آگاهی از المان‌های توجیه داخلی و با استفاده از تطبیق تصاویر و استخراج نقاط متناظر از عوارض یکسان به صورت اتوماتیک انجام می‌شود (Mousavi et al, 2018). تئوری هندسی SFM فرض می‌گیرد که می‌توان مسئله نقاط متناظر را حل نمود؛ به این معنا که می‌توان نقاطی را از دو یا چند منظر شناسایی کرد که همگی حاصل Projection یک نقطه در فضای سه بعدی هستند (Shafiezadeh, 2015; Agarwal et al, 2011)). الگوریتم‌های SIFT^۲ و SURF^۳ از معروف‌ترین اپراتورهای استخراج نقاط متناظر می‌باشند که نسبت به تغییرات جابجایی، دوران، مقیاس، شرایط نوری و نویز تصاویر

^۴ Multi-View Stereo

^۵ Photogrammetric Surface Reconstruction from imagery

^۱ Structure from motion

^۲ Scale invariant feature transform

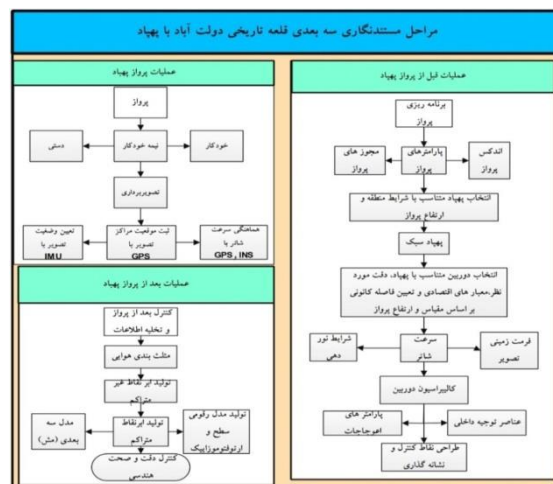
^۳ Speeded Up Robust Feature

جغرافیایی $49^{\circ}34'65''$ و عرض جغرافیایی $32^{\circ}19'92''$ و ارتفاع ۱۵۴۷ متر از سطح دریا در استان قم، شهرستان قم، بخش سلفچگان، روستای دولت آباد قرار دارد. روستای دولت آباد درون این قلعه تشکیل شده است (شکل ۳).



شکل ۳- تصویر ماهواره ای قلعه تاریخی دولت آباد

مالکیت این قلعه مشاع است. این روستا از نوع قلعه روستاها می باشد. بدین شکل که قلعه ایی مستحکم ساخته شده بود که اطراف حیاط آنرا منازل و فضاهای مورد نیاز رعایا احاطه کرده بود. این قلعه که از نوع قلاع دشتی است با مصالح چینه و خشت به شکل مستطیل ساخته شده که ابعاد آن $139/5 \times 158$ متر مربع می باشد. جهت قلعه تقریباً شمالی - جنوبی و ورودی آن در قسمت جنوب قرار دارد. نمای خارجی ورودی احتمالاً با سه قوس تیزه دار اجری ساخته شده بود که دروازه چوبی بزرگی در قوس میانی کار گذاشته شده است. اما متأسفانه از سه قوس پیشگفته فقط قوس شرقی بجای مانده که تزئینات خفته و راسته آجری آن همچنان زیبا می نماید. پس از عبور از دروازه به هشتی می رسیم که سقف آن با استفاده از کاربندی و گنبد گردچین ایجاد شده که البته دو نیم گنبد در شرق و غرب هشتی وجود داشته که امروزه نیم گنبد غربی مسدود گردیده است. همانگونه که ذکر شد باروی این قلعه از چینه و چند ردیف خشت ساخته شده که ضخامت پایه آن ۱۵۰ سانتی متر است. اما فوقانی ترین قسمت آن ۱۰ سانتی متر بیشتر ضخامت ندارد که نباید فرسایش دیوار در اثر عوامل مختلف را نادیده گرفت. نمای خارجی بارو فاقد تزئینات است اما ردیفی از حفره های مربع شکل دیده می شود که آنرا نباید عناصر تزئینی دانست چراکه آنها محل قرار دادن داربست چوبی هستند.



شکل ۱- مراحل مستندنگاری سه بعدی قلعه تاریخی دولت آباد

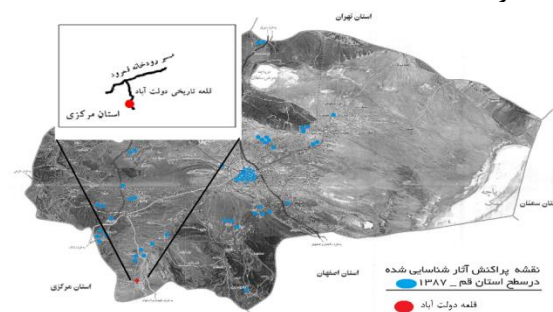
۳- یافته ها

۳-۱- پیاده سازی

با توجه به مزایا و محدودیتهای فتوگرامتری پهپاد که در پیشتر به آنها اشاره شد برنامه ریزی پرواز برای پروژه های فتوگرامتری پهپاد و مستندنگاری سه بعدی با آن پیچیده تر و متأثر از عوامل متعددی می باشد، بنابراین در پروژه فتوگرامتری پهپاد، باید تمامی جوانب را در نظر گرفت. شکل ۱ مراحل صورت گرفته برای انجام این پروژه را نشان می دهد.

۳-۲- منطقه مورد مطالعه

این قلعه روستا در غرب رودخانه انار بار (قمرود) قرار دارد که البته با احداث سد ۱۵ خرداد آب رودخانه کاهش پیدا کرده است.



شکل ۲- جانیایی قلعه تاریخی دولت آباد

ظاهراً در گذشته این قلعه یکی از قلعه روستاهای اصلی این منطقه بوده که در اطراف آن محصولاتی چون گندم، جو، خربزه، آفتاب گردان کشت می شده اما امروزه صرفاً گندم و جو تولید می شود. قلعه دولت آباد با طول

رطوبت پایه دیوار و ریزش بخشهایی از بار و به‌ویژه در ضلع غربی را اشاره کرد. از نکات حائز اهمیت در این سازه بی مثال بودن آن به لحاظ ساختاری در کشور است.

۳-۳- طراحی پرواز و تصویر برداری

در این پژوهش خطوط پرواز به به شکل متقاطع (شطرنجی) انجام گردیده به این صورت که خطوط افقی و عمودی موازی با باروهای قلعه یکدیگر را قطع می‌کردند. فاصله خطوط پروازی از هم با تغییر ارتفاع متغیر بوده است. در این پروژه از سه ارتفاع مشخص با فاصله خطوط پروازی معین استفاده شده است. پهباد مورد استفاده در این پژوهش فانتوم ۴ پرو است. سنجنده های تعبیه شده در این سیستم شامل GPS، IMU، قطب نما، ارتفاع سنج، شتاب سنج و ژيروسکوپ می‌باشد. فاصله خطوط پروازی در ارتفاع ۶۰ متر از هم ۲۰ متر، در ارتفاع ۸۰ متری فاصله خطوط ۲۲ متر و در ارتفاع ۹۰ متری ۲۵ متر از هم بوده است. مدت پرواز در این پروژه پیش از ۲ ساعت بوده که موجب گردید از ۶ باطری اضافه کمک گرفته شود تا وقفه‌ای در پروازهای مستمر صورت نگیرد. زاویه دوربین جهت تصویر برداری در محور افق ۶۰ و ۸۰ درجه بوده است (شکل ۵). نقاط کنترل زمینی و کنترل دقت بر اساس نقاط ثابت علامت گذاری شده بر روی سطح زمین و باروهای قلعه، با مشخصات معین صورت پذیرفته، که از طریق دوربین نقشه برداری و GPS به صورت زمینی برداشت شده است؛ سپس با انطباق مختصات حاصل از برداشت با دوربین و GPS در کل نقشه اعمال شده و طول عرض و ارتفاع دقیقی به دست آمده است. محدوده عکس برداری در این پروژه مساحتی بالغ بر ۱۰۰۰۰۰ متر مربع (۱۰ هکتار) بوده است که محدوده خود عرصه بنا و حرائم آن را شامل شده است.



شکل ۵ - تصاویر پهباد قلعه دولت آباد



در هر ضلع دیوار (بارو) چهار برج قرار دارد که ارتفاع امروزی آن‌ها ۷ متر است اما احتمالاً در اثر فرسایش بخشهای فوقانی آنها تخریب شده است. بنابراین ارتفاع در زمان ساخت و استفاده بیش از ۷ متر بوده است. برج‌ها سه طبقه بوده‌اند بدین شکل که آنها با دو سقف گنبدی گردچین به سه قسمت تقسیم می‌شده‌اند که برای دسترسی به این فضاها از یک پلکان مارپیچی می‌توانستند استفاده نمایند که البته سقف بسیاری از این برجها ریخته است (شکل ۴).



شکل ۴- نمای برج جنوب شرقی قلعه دولت آباد

در فوقانی ترین قسمت برج‌ها دریچه‌هایی تعبیه شده که از سه سمت تیرکش‌ها (مزغل‌ها) ی مستطیل شکل درون آنها ایجاد کرده‌اند. نکته جالب اینکه در نمای خارجی فوقانی ترین قسمت برج‌ها با ایجاد حفره‌های مستطیل شکل کوچک عناصر تزئینی ایجاد و بدین ترتیب برج‌ها از یکنواختی خارج و سایه روشن ایجاد نموده‌اند. نا گفته نماند که فاصله دو برج کنار ورودی نسبت به برج‌های دیگر به هم دیگر هم نزدیکتر است، (۱۹/۶۰ متر). با توجه به ساختار قلعه و گفته‌های اهالی به احتمال فراوان این قلعه در زمان قاجار و به دستور ارباب آغاخان شاه خلیل الله ساخته شده است. ویژگی‌های خاص اثر، استمراسکونت از گذشته‌های دور تا همین امروز است. حدود ۲۶ خانوار امروزه در قلعه زندگی می‌کنند. از دخل و تصرفات انجام شده و مشهود در اثر ساخت و سازهای جدید درون و بیرون قلعه و الحاق عناصر جدید چون در آهنی و ناودان در سطح بیرونی بارو و کور نمودن برخی از دریچه‌ها و تیرکش‌های برج‌ها است از نظر شرح وضعیت موجود اثر و آسیب‌های وارده می‌توان فرسایش بارو به‌ویژه در قسمت‌های فوقانی و تحتانی به دلیل ریزش باران و

پس از تصویر برداری تصویر موزاییک شده قلعه دولت آباد (شکل ۶) ایجاد گردید.



شکل ۶- تصویر موزاییک شده قلعه دولت آباد

۳-۴- تهیه مدل سه بعدی

پس از تصویربرداری از نرم افزار Agisoft که ابر نقطه متراکم را بر مبنای الگوریتم SGM می سازد؛ استفاده شده است. پویایی زیاد، نمایش عوارض در سطح جزئیات بالا، بافت متراکم و هندسه عالی از ویژگی های مدل به دست آمده است (شکل ۷).



شکل ۷- قسمت هایی از مدل تشکیل شده از قلعه دولت آباد

۴- بحث

۴-۱- ارزیابی دقت

جا نمایی صحیح نقاط کنترل اهمیت بسیار زیادی در دقت نهایی دارند؛ در این پژوهش از ۷ نقطه کنترل و ۳ نقطه چک استفاده شده است (شکل ۸). در جدول ۲ خطای جذر میانگین مربعات نقاط چک تهیه گردیده. نقاط کنترلی که با استفاده از GPS برداشت شده اند بر روی دیوار آب انبار، زیر پی برج و ورودی قلعه هستند.



شکل ۸- جانمایی نقاط کنترل و چک

جدول ۲- خطای جذر میانگین مربعات نقاط چک پس از پردازش با نرم افزار Agisoft

شماره نقاط	خطا در جهت X	خطا در جهت Y	خطا در جهت Z	مجموع (سانتی متر)
۱	۲,۲۸۱۵	۲,۷۹۴۱	۵,۱۵۷۶	۳,۲۰۳۶
۲	۱,۸۲۸۳	۳,۷۱۸۲	۳,۲۵۶۷	۲,۸۰۷۹
۳	۴,۱۵۷۴	۳,۲۱۴۵	۴,۳۱۶۵	۳,۸۶۳۹
مجموع	۲,۵۸۸۴	۳,۲۲۰۳	۴,۱۶۹۸	۳,۲۶۳۵

۴-۲- مستندنگاری سه بعدی برای مرمت و بازسازی قلعه

مرمت، سلسله اقداماتی که به منظور بهبود کالبد یک اثر تاریخی صورت می گیرد و شامل چهار اقدام تعمیرات، حفاظت، حمایت و استحکام بخشی بوده که هدف اصلی آن نگه داری و حفاظت از بنا است. میزان مداخله در شکل و شرایط موجود تا آن اندازه است که استمرار شباهت بنای مرمت شده نسبت به وضع پیشین اش دست خوش تحول محسوسی نگردد. شالوده اصلی قلعه دولت آباد از خشت خام، مهره گل (چینه) و چوب (جهت اتصال و قفل و بست) تشکیل شده است. همین مسئله باعث شده که مواردی مانند در دسترس بودن مصالح و ساخت سازه مستحکم دفاعی با هزینه و زمان اندک باعث اتخاذ تصمیم ساخت قلعه ای با ماهیت خشت و گل شود. از مهمترین عوامل آسیب شناسی بنا که صدمات زیادی را در سال های گذشته متحمل این بنا کرده است، ۲ عامل مهم و تأثیر گذار آسیب طبیعی و انسانی است (شکل ۹) که عامل طبیعی شامل نزولات جوی مانند باران، برف و باد که مهمترین و مؤثرترین مورد کج باران های معروف منطقه (تلفیقی از باران و باد تند) است که از سمت غرب به شرق می وزد و اثرات آن بر روی باروی غربی کاملاً مشهود است؛ و همچنین عامل انسانی که شامل تجاوز به عرصه اثر، ساخت و سازهای غیر مجاز، تخریب قسمتهایی از بارو و

بود که باعث ایزولاسیون و نا کشی تمامی قسمت‌های بنا جهت استحکام و پایداری در مقابل عوامل آسیب پذیری طبیعی می‌گردید.



شکل ۱۰- برج جنوب قلعه غربی در حال از مرمت



شکل ۱۱- برج جنوب قلعه غربی بعد از مرمت

مدل سه‌بعدی تهیه شده امکان بررسی دقیق منطقه را برای پژوهشگران فراهم می‌کند و با استفاده از آن می‌توان میزان مرمت و چگونگی مرمت را شبیه‌سازی کرد تا از آسیب به این میراث جلوگیری و بازسازی با کیفیت بیشتری صورت گیرد (شکل ۱۲).



شکل ۱۲- استفاده از مدل سه بعدی در مرمت برج جنوب قلعه غربی دولت آباد

برج‌های قلعه، تغییر کاربری غیر اصولی فضاها را مربوط به عرصه و حریم درجه یک اثر که باعث تخریب و مضطرب شدن اثر گردیده است.



شکل ۹- برج جنوب قلعه غربی قبل از مرمت

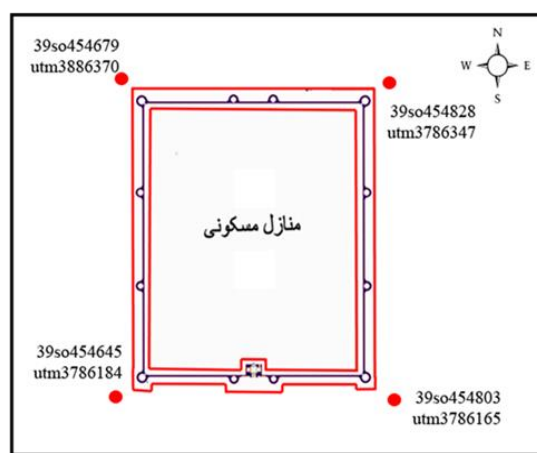
در حوزه مرمت اولین مسئله مهم پیش رو همگن بودن خاک مورد استفاده با خاک استفاده شده در بنای اصلی بوده که طی آزمایشات (از نظر نسبت تراکم رس به ماسه و مواد عالی) متعددی که از منطقه به عمل آمد، منبع خاک اصلی قلعه در ۲ کیلومتری شرق محل قلعه و نزدیک به رودخانه کشف و با اخذ مجوزهای مربوطه مورد استفاده قرار گرفت. مسئله دوم که اهمیت بیشتری نسبت به مسئله اول داشت خاک بشدت فشرده و متراکم حال حاضر سازه بود که در زیر بار سنگینی وزن بنا فشرده و نفوذ ناپذیر شده و به خاطر عدم جذب رطوبت لازم باعث جدا شدگی الحاقات سازه‌ای جدید آزمایشی از بنای اصلی شده بود. به همین علت موضوع مورد بررسی کارشناسی قرار گرفت و تصمیمی مبنی بر استفاده از ملات معدل (اتصال) در دستور کار قرار گرفت که شامل مخلوط گچ و خاک با نسبت‌های متفاوت، با محلول شیر آهک بود و در سه لایه ملات معدلی ابتدایی، میانی و متأخر مورد استفاده قرار گرفت که باعث اتصال مصالح جدید به بدنه اصلی بنا شد. از دیگر عوامل مهم در اتصال بخش‌های جدید به بنای اصلی اثر استفاده از چوبهای آغشته با روغن سیاه و گازوئیل (جهت تهدیدات موریانه) بود که به جهت قفل و بست کردن الحاقات جدید به بنای اصلی، به استحکام و ضریب پایداری بنا در مقابل لرزش‌های ناشی از زلزله می‌افزود (شکل ۱۰)؛ و آخرین مورد مرمتی انجام شده در مورد این بنا نصب ناودان‌های اضطراری (شکل ۱۱) و همچنین اندود کاهگل بر روی تمامی سطوح مرمت شده

۴-۳- تعیین حریم

در آثار تاریخی، حریم، محدوده‌ای است که متولی اثر تاریخی بر اساس ضوابط قانونی برای حفظ اثر تاریخی تعیین می‌کند. حریم آثار تاریخی، باعث حفظ موجودیت و یکپارچگی اثر می‌شود. حریم حفاظتی برای جلوگیری از فروریختن و آسیب دیدن کل اثر تعیین می‌شود. در این حریم، فعالیت‌ها، کاربری‌ها و ساخت‌وسازهای نامناسب بر روی نقشه مشخص می‌شود. حریم بصری برای ایجاد ارتباط دیداری دوطرفه بین محیط و اثر تاریخی تعیین می‌شود. به عبارت دیگر، حریم بصری، دید اثر تاریخی به بیرون و چشم‌انداز بیرون به اثر تاریخی را حفظ می‌کند و ارتقاء می‌دهد. حریم کاربردی بدین جهت تعریف می‌شود که پیوستگی اثر تاریخی و محدوده پیوسته به آن، دارای پیوستگی و همگنی با کارکردهای شهرها و مراکز تاریخی باشد. در تعیین این نوع حریم، بخش ویژه‌ای به تعیین کارکردهای مطلوب و قابل توصیه اختصاص می‌یابد. پس از بررسی منطقه مورد مطالعه و مستندنگاری سه بعدی قلعه دولت آباد، حریم پیشنهادی درجه ۱ قلعه دولت آباد به صورت شکل ۱۳ ارائه گردید.

۵- نتیجه گیری

علیرغم کوشش‌های فراوان برای حفاظت از میراث فرهنگی؛ به دلیل باقی ماندن عوامل مخرب طبیعی و انسانی، این میراث همچنان متحمل آسیب‌هایی می‌شوند. در این مطالعه که با هدف مستندنگاری سه بعدی قلعه آسیب دیده دولت آباد صورت گرفت؛ پس از بررسی و مقایسه روش‌ها و نرم افزارهای مستندنگاری، مدل سازی و بصری سازی؛ با استفاده از پهپاد مستندنگاری سه بعدی قلعه با دقت ۳,۲۶ سانتی متر صورت گرفت که دقت نسبتاً مطلوبی به حساب می‌آید و با به کارگیری نتایج حاصل از مستندنگاری سه بعدی به مرمت قلعه پرداخته شد و در نهایت با تعیین حریم برای آن؛ این قلعه به عنوان یکی از آثار ملی ایران با شماره ثبت ۳۰۵۳۳ به ثبت رسید. نسخه سه بعدی رقومی نیز از قلعه تهیه گردید که در صورت آسیب مجدد به قلعه به منظور مرمت و بازسازی و همچنین تهیه موزه‌های مجازی برای گسترش گردشگری در دسترس است.



شکل ۱۳- حریم پیشنهادی برای قلعه (خطوط قرمز حریم پیشنهادی درجه ۱ و خط مشکی عرصه بنا)

مراجع

- [1] Agarwal, S., Furukawa, Y., Snavely, N., Simon, I., Curless, B., Seitz, S. M., & Szeliski, R. (2011). Building rome in a day. Communications of the ACM, 54(10), 105-112.
- [2] Ahangarha, M., & Sadeghian, S. (2019). Photogrammetric Capabilities in Documentation and Production of Virtual Reality in Cultural Heritage. The Second National Conference on Documentation of Natural and Cultural Heritage. Tehran. Shahid Rajaei University.
- [3] Aicardi, I., Chiabrando, F., Lingua, A. M., & Noardo, F. (2018). Recent trends in cultural heritage 3D survey: The photogrammetric computer vision approach. Journal of Cultural Heritage, 32, 257-266.
- [4] Al-Ruzouq, R., & Abu Dabous, S. (2017). Archaeological Site Information Modelling and Management Based on Close-Range Photogrammetry and GIS. Conservation and Management of Archaeological Sites, 19(3), 156-172.

- [5] AliTajer, S., & Afshari Azad, S. (2013). Investigating the Role of Geomatics Engineering in the Applications of Cultural Heritage, Archeology and Architecture. *Journal of Archaeological Researches in Iran*, 5, 169-195.
- [6] Ask, C. (2012). Interpreting in 3D-Employing 3D modeling in field archaeology from research and public communication perspectives.
- [7] Backman, M., & Nilsson, P. (2018). The role of cultural heritage in attracting skilled individuals. *Journal of Cultural Economics*, 42(1), 111-138.
- [8] Barrile, V., Gelsomino, V., & Bilotta, G. (2017, August). UAV and computer vision in 3D modeling of cultural heritage in southern Italy. In *Proceedings of the International Conference on Advanced Material Technologies*, Visakhapatnam, Andhra Pradesh, India.
- [9] Biedermann, B. (2017). 'Virtual museums' as digital collection complexes. A museological perspective using the example of Hans-Gross-Kriminalmuseum. *Museum Management and Curatorship*, 32(3), 281-297.
- [10] Bitelli, G., Gatta, G., Guccini, A. M., & Zaffagnini, A. (2019). GIS and Geomatics for archive documentation of an architectural project: The case of the big Arc of entrance to the Vittorio Emanuele II Gallery of Milan, by Giuseppe Mengoni (1877). *Journal of Cultural Heritage*, 38, 204-212.
- [11] Boher, W., & Marbs, A. (2004). 3D scanning and photogrammetry for heritage recording: a comparison. In *proceedings of the 12th international conference on geoinformatics*, 291-298.
- [12] Bräuer-Burchardt, C., Heist, S., Kühmstedt, P., & Notni, G. (2014, May). High-speed 3D surface measurement with a fringe projection based optical sensor. In *Dimensional Optical Metrology and Inspection for Practical Applications III* (Vol. 9110, p. 91100E). International Society for Optics and Photonics.
- [13] Cabrelles, M., Blanco-Pons, S., Carrión-Ruiz, B., & Lerma, J. L. (2018). From multispectral 3D recording and documentation to development of mobile apps for dissemination of cultural heritage. In *Cyber-Archaeology and Grand Narratives* (pp. 67-90). Springer, Cham.
- [14] Ceccarelli, S., Guarneri, M., Ferri de Collibus, M., Francucci, M., Ciaffi, M., & Danielis, A. (2018). Laser Scanners for High-Quality 3D and IR Imaging in Cultural Heritage Monitoring and Documentation. *Journal of Imaging*, 4(11), 130.
- [15] De Reu, J., Plets, G., Verhoeven, G., De Smedt, P., Bats, M., Cherretté, B., ... & Van Meirvenne, M. (2013). Towards a three-dimensional cost-effective registration of the archaeological heritage. *Journal of archaeological science*, 40(2), 1108-1121.
- [16] Despotaki, V., Silva, V., Lagomarsino, S., Pavlova, I., & Torres, J. (2018). Evaluation of seismic risk on UNESCO cultural heritage sites in Europe. *International Journal of Architectural Heritage*, 12(7-8), 1231-1244.
- [17] English, C., Zhu, S., Smith, C., Ruel, S., & Christie, I. (2005, September). Tridar: A hybrid sensor for exploiting the complimentary nature of triangulation and LIDAR technologies. In *Proceedings of the 8th International Symposium on Artificial Intelligence, Robotics and Automation in Space* (Vol. 1).
- [18] Fahami, N., Javadi, M., & Sadeghian, S. (2019). Improving the quality of archeology using three-dimensional and four-dimensional cadastre in cultural heritage. The second national conference on natural and cultural heritage documentation, Tehran, Shahid Rajaei University.
- [19] Farokhi, M., Sadeghian, S., & Rajabi, A. (2020). Monitoring and studying the changes in the ancient regions and cultural heritage of the country using remote sensing and spatial information system. 4th International Congress on Agricultural Development, Natural Resources, Environment and Tourism of Iran.
- [20] Ghasemi, N. D., & Sadeghian, S. (2016). Implementation of 3, 4 and 5 dimensional cadastre by lidar and satellite high resolution satellite image. The 24th National Geomatics Conference, Iran.
- [21] Giuffrida, M. G., Mazzoli, R., & Pessione, E. (2018). Back to the past: deciphering cultural heritage secrets by protein identification. *Applied microbiology and biotechnology*, 102(13), 5445-5455.
- [22] Guidi, G., Beraldin, J. A., & Atzeni, C. (2004). High-accuracy 3D modeling of cultural heritage: the digitizing of Donatello's "Maddalena". *IEEE Transactions on image processing*, 13(3), 370-380.
- [23] Hess, M., Robson, S., & Hosseininaveh, A. (2014, June). A contest of sensors in close range 3D imaging: performance evaluation with a new metric test object. *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS). Remote sensing. Spatial inf*, 1, 277-284.
- [24] Javadi, M., Sadeghian, S., & Salek, R. (2018). Improvement of the performance of disaster management by using Three-dimensional modeling. Third National Conference on geospatial Information Technology Engineering and the 25th National Geomatics Conference, Iran.

- [25] Javadi, M., & Sadeghian, S. (2018). Geomatics methods assesment in three and four dimentional documentation of cultural and natural heritage. First national conferece on natural and cultural heritage documentation, Iran.
- [26] Kersten, T. P., & Lindstaedt, M. (2012, October). Image-based low-cost systems for automatic 3D recording and modelling of archaeological finds and objects. In Euro-Mediterranean Conference (pp. 1-10). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [27] Koller, D., Frischer, B., & Humphreys, G. (2010). Research challenges for digital archives of 3D cultural heritage models. *Journal on Computing and Cultural Heritage (JOCCH)*, 2(3), 1-17.
- [28] Mirvahabi, S. S., & ABASPOUR, R. (2016). Extraction of CityGML Building Models in LOD4 Based on Voluntary Data of OSM Database.
- [29] Miyazaki, D., Oishi, T., Nishikawa, T., Sagawa, R., Nishino, K., Tomomatsu, T. ... & Ikeuchi, K. (2001). The great Buddha project: Modeling cultural heritage through observation. In *Modeling from reality* (pp. 181-193). Springer, Boston, MA.
- [30] Mortara, M., Catalano, C. E., Bellotti, F., Fiucci, G., Houry-Panchetti, M., & Petridis, P. (2014). Learning cultural heritage by serious games. *Journal of Cultural Heritage*, 15(3), 318-325.
- [31] Mousavi, V., Khosravi, M., Ahmadi, M., Noori, N., Haghshenas, S., Hosseininaveh, A., & Varshosaz, M. (2018). The performance evaluation of multi-image 3D reconstruction software with different sensors. *Measurement*, 120, 1-10.
- [32] Nikolakopoulos, K. G., Soura, K., Koukouvelas, I. K., & Argyropoulos, N. G. (2017). UAV vs classical aerial photogrammetry for archaeological studies. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 14, 758-773.
- [33] Orlando, P., & Villa, B. D. (2011). Remote sensing applications in archaeology. *Archeologia e Calcolatori*, 22, 147-168.
- [34] Pavlidis, G., Koutsoudis, A., Arnaoutoglou, F., Tsioukas, V., & Chamzas, C. (2007). Methods for 3D digitization of cultural heritage. *Journal of cultural heritage*, 8(1), 93-98.
- [35] Pieraccini, M., Guidi, G., & Atzeni, C. (2001). 3D digitizing of cultural heritage. *Journal of Cultural Heritage*, 2(1), 63-70.
- [36] Reeder-Myers, L. A. (2015). Cultural heritage at risk in the twenty-first century: A vulnerability assessment of coastal archaeological sites in the United States. *The Journal of Island and Coastal Archaeology*, 10(3), 436-445.
- [37] Reimann, L., Vafeidis, A. T., Brown, S., Hinkel, J., & Tol, R. S. (2018). Mediterranean UNESCO World Heritage at risk from coastal flooding and erosion due to sea-level rise. *Nature communications*, 9(1), 1-11.
- [38] Remondino, F., Barazzetti, L., Nex, F., Scaioni, M., & Sarazzi, D. U. UAV Photogrammetry for mapping and 3D modelling: Current status and future perspectives. 2011. *Proceedings of the international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences*, 38, 1.
- [39] Remondino, F., & Rizzi, A. (2010). Reality-based 3D documentation of natural and cultural heritage sites—techniques, problems, and examples. *Applied Geomatics*, 2(3), 85-100.
- [40] Remondino, F., & El-Hakim, S. (2006). Image-based 3D modelling: a review. *The photogrammetric record*, 21(115), 269-291.
- [41] Saadarsesht, M., Hosseinpour-Aghdam, M., Tatr, N., Bromand, M., Roshan, M., ghollami-asl, A. H., & Javaheri, F. (2018). Evaluation manual laser scanner geoslam zeb revo in 3D reconstruction of interior and exterior buildings. First national conferece on natural and cultural heritage documentation, Iran.
- [42] Sadeghian, S., Abdolalizadeh, Z., & Ghavami, S. (2019). Presenting an integrated method using aerial, ground and laser scanner data in three-dimensional modeling of ancient sites. The second national conference on natural and cultural heritage documentation, Tehran, Shahid Rajaei University.
- [43] Shafizadeh, Sima. (2016). Evaluation of close range photogramery for 3D modelling of small objects in virtual museum application. Thesis of master degree in geomatic engineering-photogrametry, university of tehran.
- [44] Shahhosseini, S., Saasatseresht, M., & Babaee, A. (2017). Evaluation of the parameters affecting 3D reconstruction using digital fringe projection technique. The 2nd national conference on geoSpatial information technology, Iran.
- [45] Shahhoseini, S., Saadatseresht, M. (2018). Documentation of small objects of cultural herbage by phasogrammetry. First national conferece on natural and cultural heritage documentation, Iran.
- [46] Solà-Morales, P., Puche i Fontanilles, J. M., Macias Solé, J. M., Fernández Pino, I., & Toldrà Domingo, J. M. (2017). Automatic Recognition of materials from Laser-Scanner Survey Data by the Reflectance method. *Proceedings of the 3 rd international conference on preservation, maintenance and rehabilitation of historical buildings and structures*, Protugal.

- [47] Tallis, H., Kareiva, P., Marvier, M., & Chang, A. (2008). An ecosystem services framework to support both practical conservation and economic development. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(28), 9457-9464.
- [48] Themistocleous, K., Agapiou, A., Cuca, B., & Hadjimitsis, D. G. (2015, January). Unmanned aerial systems and spectroscopy for remote sensing applications in archaeology. *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing*.
- [49] Toprak, A. S., Polat, N., & Uysal, M. (2019). 3D modeling of lion tombstones with UAV photogrammetry: a case study in ancient Phrygia (Turkey). *Archaeological and Anthropological Sciences*, 11(5), 1973-1976.
- [50] Underwood, J., & Isikdag, U. (Eds.). (2009). *Handbook of research on building information modeling and construction informatics: Concepts and technologies: Concepts and technologies*. IGI Global. Information science reference, 22-27.
- [51] Vosselman, G., & Maas, H. G. (2010). *Airborne and terrestrial laser scanning*. CRC press.2-11.
- [52] Yilmaz, H. M., Yakar, M., & Yildiz, F. (2008). Digital photogrammetry in obtaining of 3D model data of irregular small objects. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37, 125-130.